

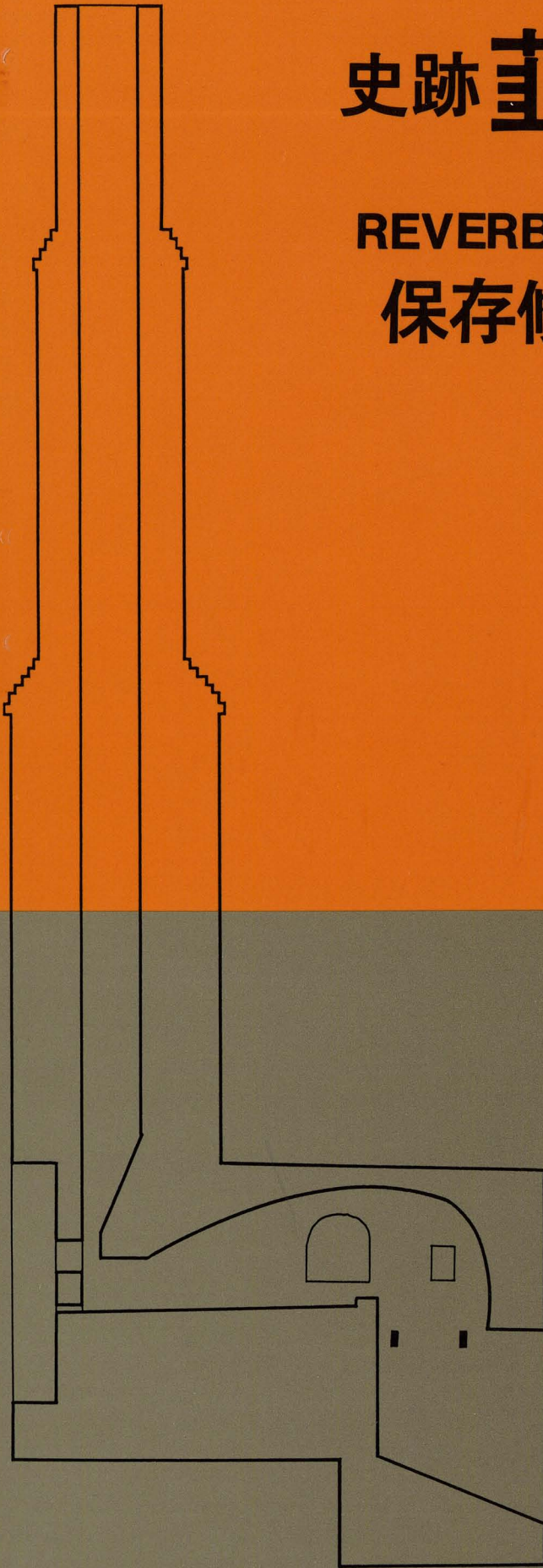
史跡 葦山反射炉

NIRAYAMA
REVERBERATORY FURNACE

保存修理事業報告書

平成元年3月

静岡県葦山町
NIRAYAMA TOWN
SHIZUOKA PREFECTURE
JAPAN
1989



史跡 葦山反射炉

保存修理事業報告書

静岡県葦山町



写真-1 竣工写真（出湯口側）



写真-2 炉内
(南B炉の中
から出湯口
側を見る)

正面の四角な窓が胴窓、右下の小さな円が出湯口である。また右側の大きな窓は鑄口。
 炉床は、なだらかに出湯口に向かい下がっている。
 天井部分の煉瓦の表面は、炉の実績をものがたるように熱融解ガラス状に変質している。

南B炉

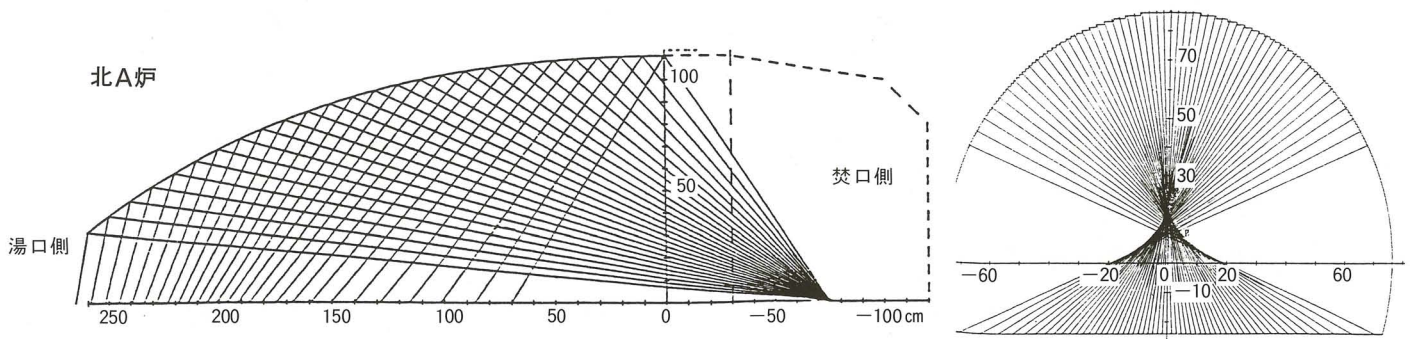


図-1 熱線軌跡シュミレーション(作成：葦山高校物理部反射炉研究班 1986年) 文献-1

高熱線の発生，反射

写真-3 炉内
(南B炉の中
から鑄口側
を見る)

左側の大きな窓が鑄口。その横が焚口でここから燃料が投入された。



南B炉

序文

葦山反射炉は、葦山の代官江川太郎左衛門英龍(坦庵)により、安政元年(1854年)に着工、同4年(1857年)に完成した洋式の金属熔解炉である。

18～19世紀におけるアジア近隣は、西欧諸国の力による進出で、国権さえ危うくする事態が諸所に起きていたが、鎖国政策により海外への目を閉ざされていた日本は、表面泰平をむさぼる状態にあった。先覚者坦庵はこれを深く憂え、国防特に海防の必要性を強く訴え、幕府に対し江戸湾防備の具体策を建言してきたが、やがて幕府の容れるところとなり、品川沖に台場を構築し、大砲を据え、侵入する異国船を打ち払う方針が打ち出された。

台場据え付けの大砲は、従来のものより長射程で堅牢、かつ価格の低廉さが要求され、この条件を満たすためには、鉄製で口径長大なる砲の製作が必要となった。かねてより、このことあるを予想し、夙に研究と準備を進めてきた坦庵は、幕府の裁許が下るや直ちに反射炉築造に着手するが、不幸にして安政2年(1855年)1月病没、その意志を継いだ子の英敏らにより完成することとなる。しかし、度々の天災や粗悪な銑鉄使用の弊害等が重なり、鑄砲の成功までには並々ならぬ困難があったと諸記録に見える。

炉が反射炉と呼ばれる所以は、燃焼ガスの反射熱を利用して金属を熔解する方法によるもので、幕末期わが国ではいくつかの反射炉が作られている。しかし現存するものとしては、山口県萩と葦山のみ、また当時の姿をほぼ完全な形で残すものとしては葦山反射炉をおいて他に例はない。更には、産業革命の進む西欧では、間もなく効率の良い高炉の発達により、反射炉は短期間に消滅していったところから、反射炉の実態を知る上で、世界唯一の貴重な遺産として捉えることができよう。近時わが国の鉄鋼業は、世界に冠たる業績を挙げてきたが、これも反射炉築造に挑んだ先人達の意気と、粒々辛苦の教訓が、今に受け継がれているものと思えてならない。

この反射炉も創建以来長年月を経過し、炉体各部に種々衰損がみられること及び、予想される東海沖大地震対応のためにも、早期に本格的修理・補強の必要に迫られていたが、昭和55年11月より、9年の歳月をかけ、国・県の補助対象事業として保存修理を実施したところである。この報告書は本事業で実施した、調査・試験・工事に関する内容の他、葦山反射炉の歴史的関連事項を含め記述したものである。今後各界においてご活用いただければ幸いである。

終りに、本事業が、いささかの事故もなく、所望どおりの竣工をみたことは、偏えに東京大学教授(現日本大学教授)岸谷孝一先生を始めとし文化庁記念物課、静岡県教育委員会文化課並びに、韮山反射炉保存修理委員会による、きめ細かいご指導と、直接、調査・施工に当たられた各機関、各位の真摯なご努力によるもので、深く感謝申し上げます。また、この貴重な文化遺産を、長く後世に伝え残す努力を、全町民と共に継続していくことをお誓いする次第である。

平成元年3月

韮山町長 渡辺文三

Nirayama Reverberatory Furnace

The Nirayama Reverberatory Furnace on the Izu Peninsular is a furnace made toward the end of the Edo Era (1854-1857) for the purpose of casting cannons.

Although Japan was closing its doors to foreign countries at that time, Westerners came to Japan, asking the country to open its ports. Under such circumstances, Japan developed a coastal defense policy using batteries at major ports to drive away foreign ships. They, therefore, had to manufacture a large volume of efficient iron cannons at low cost, and accordingly reverberatory furnaces were constructed at several places in the country. However, only two of them remain in two places at present, and the one at Nirayama is the only one that retains most of its original form.

The construction technique of the reverberatory furnace was introduced from the Netherlands, and the structure of the Nirayama Reverberatory Furnace is almost identical to the one specified in the Dutch instruction manual. The Furnace consists of two twin structures and there are a pair of furnaces enclosed by fire-resisting bricks in each stone base (5x6x2m³). Each pair of furnaces of the two bases meet at a right angle on the gate sides (the side from which the melted metal flows out) so that the melted metal from the four furnaces can be mixed at one place.

The production ability of one furnace is estimated at 2-3 tons, and therefore a maximum of 150-pound-cannons could be produced when the four furnaces were operated simultaneously. The inside of the furnaces are bow-shaped to increase the amount of heat reflection, and further, the outlets are narrower on the gate sides. The upper parts of the Furnace, 15.6m. in height, are made from bricks, and work as chimneys to secure natural ventilation. The present iron frames were added later for aseismic reinforcement.

The site was a cannon manufacturing factory with the reverberatory furnace at its center, and work-huts surrounding it. The Furnace is designated as a national cultural asset and is protected by the government as it is a precious historical monument to the dawning of the Japanese industrialization.

目次

第1章 概説	9
1. 葦山反射炉の環境	10
2. 葦山反射炉の沿革	12
資料 1 葦山反射炉の概要	12
資料 2 ヒュゲニン著「大砲鑄造法」	16
資料 3 佐賀の反射炉(古絵図)	18
資料 4 葦山反射炉(古絵図)	19
資料 5 葦山反射炉の築造記録等	22
資料 6 明治5年陸軍省調査記録	24
資料 7 史跡指定	26
資料 8 砲台と反射炉	28
第2章 保存修理事業の経緯、運営及び事業費	29
1. 保存修理事業の経緯	30
2. 保存修理事業の運営	32
資料 9 保存修理事業関係者	33
3. 事業費	34
第3章 保存修理工事の計画	35
1. 概要	36
資料 10 昭和32年度葦山反射炉保存修理工事記録	37
2. 現況調査	38
3. 設計	40
3.1 設計の基本方針	40
3.2 設計に必要な材料実験	42
3.3 耐久性向上のための設計	45
3.4 耐震性向上のための設計	47
第4章 保存修理工事の施工	53
1. 実施経過	54
2. 仮設工事	58
3. 解体工事	60
4. 基礎補強工事	64
5. 炉体補強工事	70
6. 補強用鉄骨差し替え工事	78

Outline of the Book

This book is a report about the repair and reinforcement work on the Nirayama Reverberatory Furnace conducted from 1980 to 1988.

Chapter 1 explains the location and the history of the Furnace.

Chapter 2 explains how the project proceeded. It was the third large-scale repair and reinforcement work at this site.

Chapter 3 explains the process of the design and planning, and the technique of repair and reinforcement work. The major object of the work of this time was aseismic reinforcement and improvement of durability.

Chapter 4 explains the progress of the four-year work.

7. 煙突外部補強工事	82
8. 煙突内部補強工事	88
9. 煙突天蓋工事	92
10. 周辺整備工事	92
第5章 保存修理工事の評価と維持管理方法	97
1. 補強効果の確認	98
2. 維持管理方法	106
第6章 調査事項	107
1. 概要	108
資料 11 葦山反射炉の構造	109
2. 層別調査	110
2.1 地盤	110
2.2 基礎地業	117
2.3 炉体部	122
資料 12 炉床に関する記述	128
2.4 煙突部	133
3. 遺構調査	143
4. 材料別調査	155
4.1 煉瓦	155
資料 13 文献による耐火煉瓦の製造方法	155
資料 14 梨本の煉瓦製造	159
4.2 鉄	163
4.3 石	166
4.4 漆喰	169
5. 調査結果の考察	171
資料 15 鉄焔鑄鑑図	171
資料 16 青銅砲鑄造に関する記録「宇都宮氏経歴談」	174
別添資料 1 図版(実測図, 劣化状況図)	175
別添資料 2 図版(竣工図)	187
別添資料 3 葦山反射炉関係史料	199
別添資料 4 挿図, 写真, 表, 引用文献リスト	204

Chapter 5 explains the evaluation of the reinforcement work by means of vibration measurement. The result of the measurement shows that the rigidity of the Furnace has increased considerably.

Chapter 6 explains the results of the survey about the structure of the Furnace.

Reverberatory furnaces were temporary means replaced soon by other systems in the world's iron industry. The Nirayama Reverberatory Furnace is considered to be the only reverberatory furnace that exists in the world. For this reason, detailed measurement results of the Furnace were included in the appendix.

It is our hope that this book will contribute to the preservation of cultural assets.

例言

1. 本書は、国指定史跡葦山反射炉の保存修理工事に関する報告書で、国庫および静岡県費補助事業の一部として刊行されたものである。
2. 編集にあたっては、工事の内容(第4章)を中心に調査、設計を含めた保存修理事業の概要(第2章、第3章)と葦山反射炉に関する調査結果(第6章)をまとめた。調査ではとくに、後世の研究資料として断面構造の解明に主眼を置いた。
3. 反射炉の各部の名称は、文中では従来の一般名称を使用しているが、第6章の概要において、原書を基に検討した名称を提示した。文献資料の旧漢字は、便宜上新漢字で代用した。
4. 図版は、巻末に修理前の老朽状況を示す図と竣工図を掲載し、その他の部分的な図は本文に挿入した。また、写真は修理前、工事中、ならびに竣工の記録と各種資料のうち主要なものを本文中に掲載した。
5. 本書の編集担当は、次のとおりである。

○ 監修	東京大学名誉教授, 日本大学教授 文化庁主任調査官 葦山町文化財保護審議委員長	岸谷孝一 安原啓示 三浦吉春
○ 本文執筆	〈総括 第1章 第2章 第3章, 第4章 第5章1 第5章2 第6章1, 2, 4, 5 第6章3	葦山町教育委員会 葦山高等学校教師 葦山町教育委員会 (財)建材試験センター (株)竹中工務店 (株)竹中工務店 (財)建材試験センター 葦山町社会教育課
○ 写真撮影	見開写真 本文写真	北田英治 (財)江川文庫 (財)建材試験センター (株)竹中工務店 葦山町社会教育課 葦山町教育委員会 葦山町社会教育課
○ 図版作製	遺構実測図 竣工図, 挿図他 写真測量図	葦山町社会教育課 (財)建材試験センター 朝日航洋(株)
○ 編集	葦山町教育委員会 (財)建材試験センター	石津英次 森 幹芳
○ 図書構成	井上企画デザイン	井上 博

第1章 概 説

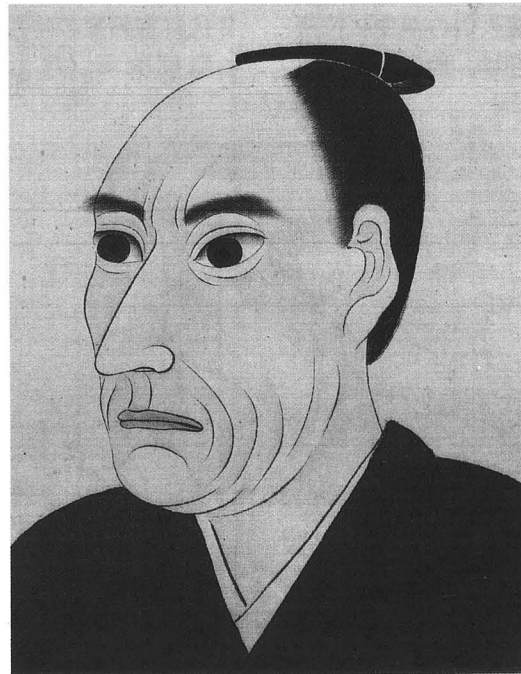


写真-4 江川坦庵自画像（江川家蔵）

Photo: Self-portrait of Mr.Tannan Egawa (1801-1855) who constructed the Nirayama Reverberatory Furnace.

第1章 概 説

1. 葦山反射炉の環境

自然環境

葦山反射炉は、伊豆半島の頸部にあたる狩野川中流域東南端の地、静岡県田方郡葦山町に所在し、伊豆箱根鉄道駿豆本線「伊豆長岡駅」の東方向約1.3km程の北緯35°2′，東経138°57′，標高22～24mに位置している。周囲は三方を丘陵に囲まれ、東側のすぐ脇を狩野川の支流古川が流れ、敷地は南西側に向かってなだらかに傾斜している。平野部から山間部に入る境目に位置し、その様子は山すその谷あい、ひっそりとたたずんでいる感がある。

気候は四季を通じ、温暖で風光明媚な土地である。年間平均気温は、14℃～15℃，年間降水量は1500～2200mmとなっている。地形的には富士火山帯に属する第4紀火山のひとつである多賀火山の西側に位置している。なお、この地域は、近年、地震の発生率

が高い地域として東海地震防災対策強化地域に指定されている。

歴史的環境

反射炉の所在する伊豆の国は、半島と諸島部からなる。国名の由来は、「出ヅ」（半島が突出）・「湯出ヅ」・「好イ津」などといわれる。「延喜式」では、田方・那賀・賀茂の三郡、近世には君沢を新設して四郡をもって構成され、国府は、最初大仁、後に三島に移転した。古代の流刑は、神亀元年（724年）遠国・近国が定められ、伊豆は、遠流の国となった。以来、橘逸勢（承和の変）・伴善男（応天門の変）・僧茂連（安和の変）・源為朝（保元の乱）等の重要人物が配流された。平安末の伊豆には、伊東氏・狩野氏・北条氏等が割拠していた。この中、源頼朝は永暦元年（1160年）から治承4年（1180年）の挙兵まで、20年間を蛭ヶ島（葦山町）で過ごしており、武家政権発生の地ともいえる。以後、伊豆には武士にかかわる著名な事件が相次いだ。つまり修禅寺における2代将軍頼家の暗殺、長祿元年（1457年）足利政知の堀越御所（葦山町）の開設、北条早雲の堀越

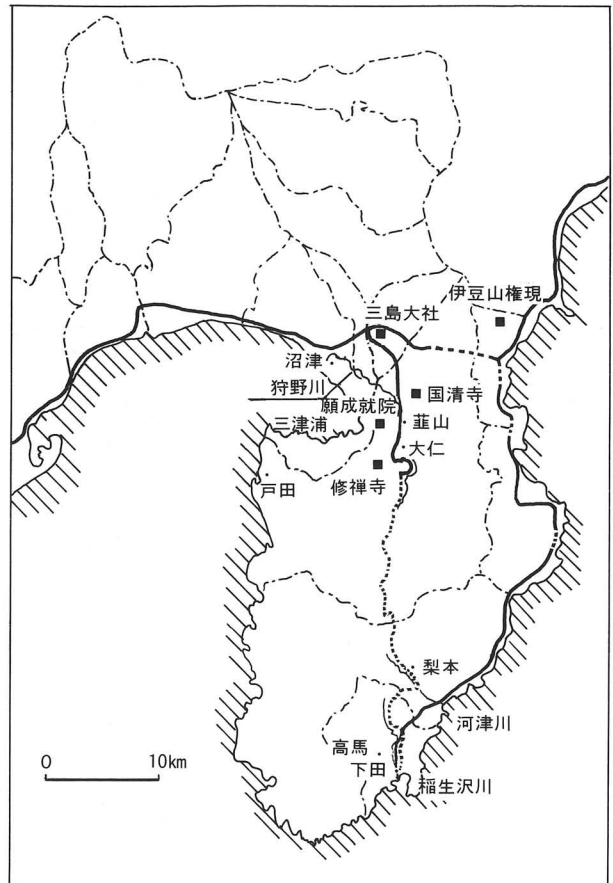
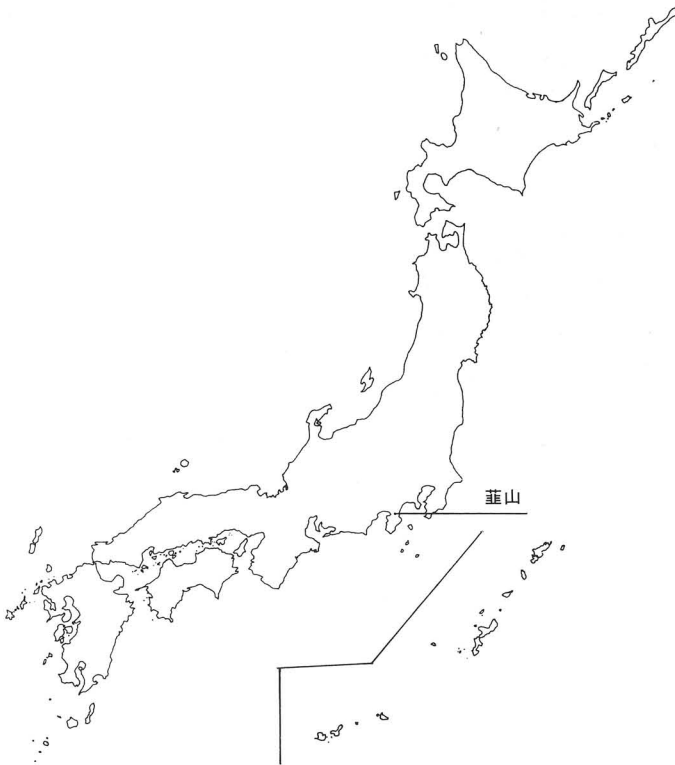


図-2 伊豆半島地図

御所の討滅と葦山城築城等があげられる。ここを本拠として早雲は、さらに小田原の大森藤頼を追い、関東支配へ一歩を進めた。やがて、天正18年(1590年)の豊臣秀吉の小田原征伐を迎え、葦山城・山中城が前線の2大防御点として注目されたが、特に北条氏規の葦山城における善戦は戦国史上に名高い。

北条氏滅亡後の伊豆は、徳川家康の所領となり、内藤信成が葦山に、戸田尊次が下田に配された。しかし、慶長6年(1601年)以後、伊豆には大名が置かれず、天領と旗本領・大名領(小田原・沼津・掛川藩など)の混在地となった。天領は主として三島代官が支配、江川氏は、北条氏から徳川へ主をかえ、旧領五千石余を支配する豪族代官に転じていた。享保の改革に伴い、三島代官が廃され、宝暦8年(1758年)強力な土豪性を残したまま、新たに吏僚代官江川氏が誕生した。以後、葦山代官は、駿河・伊豆・甲斐・武蔵・相模の天領を支配する特異な世襲代官として、英征、英毅からさらに英龍(坦庵)を生んだ。英毅は、半世紀余の代官時代に支配の基礎を固め、学者・文化人としても一流の域に達した人物で

ある。坦庵が開明派代官として活躍し得たのも、この様な背景に支えられていたからである。坦庵の後は、英敏・英武と兄弟相承し、明治維新を迎えることとなった。維新後、葦山代官所は葦山県庁となり、明治4年足柄県葦山支庁となるが、明治9年静岡県成立に伴い消滅した。

伊豆の産業は、天城山を中心とした林業に関するものが多く、古代の伊豆手船以来の造船、近世の炭・山葵・椎茸・紙などの生産が知られる。また、石の切り出しも盛んで、江戸城・品川台場・反射炉の築造にも用いられた。沢の利用による水車も多く、伊豆式の名で知られ、反射炉にも活用された。三方が海の伊豆は、漁業も盛んで、鮮魚の他、伊豆節・天草が生産された。鉱山資源は豊富ではないが、中世から近世初頭に金を多く産した。

社寺では、頼朝の帰依以来武家の信仰の厚い三島大社・伊豆山権現・修禅寺・国清寺(関東十刹)、北条氏の願成就院等々がある。

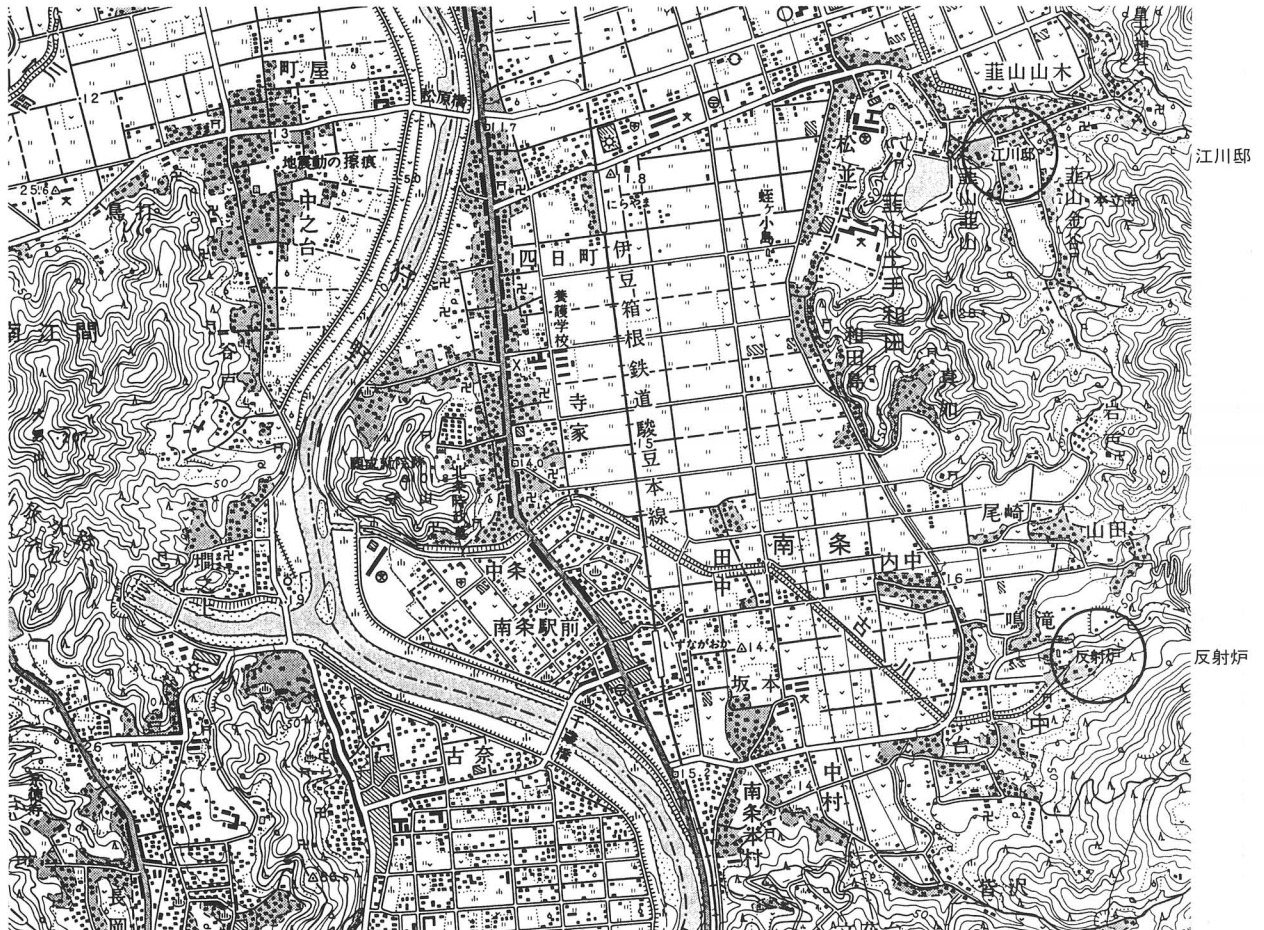


図-3 案内図(国土地理院より)

1:25,000

2. 葦山反射炉の沿革

はじめに

「反射炉とは何か」と質問された場合、「大砲を造ったところですよ」と答えることは容易だが、進んで「どうやって造ったのか」、「反射炉の名の由来は」、「溶鉱炉とどこが違うのか」、「なぜ現在使用されているものがないのか」などの疑問に即座に答え得る人は少ない。反射炉とは、それ程難解なものである。従って、ここでは以下、現在に至る歴史的推移を中心に概説する。

大砲の需要と反射炉

18世紀における植民地争奪戦は、蒸気動力の開発に伴い、19世紀に入ると、ますます熾烈の度を加えてくる。1769年イギリス人ワットが蒸気機関を改良すると、1807年にはアメリカ人フルトンが蒸気船を開発し、イギリス人スティーブンスンは1814年蒸気機関車を実用化した。かくして輸送速度と輸送量は飛躍的に伸び、船舶は巨大化・高速化の時代に入った。すなわち、植民地経営にも大きな変化をもたら

し、英・仏を中心とする各国は、大艦巨砲による相互の争奪、またアジア地域に対する恫喝外交へと進んだ。大艦に巨砲を用いれば、沿岸要塞砲も巨大化する。沿岸砲の射程範囲がその国の領海とされた時代であるから、艦載砲を上廻る沿岸砲の製作が求められる、さらに艦載砲も又それを打ち砕こうとする。

他方、陸戦においても、18世紀末に出現したナポレオンは、騎兵と野戦砲兵の運用に巧みで、英・普・墺・露軍に連戦連勝した。この19世紀初頭のナポレオン戦争は、大量の砲を機敏に運用するところに妙があり、それまでの陸戦を一変させた。ここに、野戦砲・攻城砲・要塞砲ともに格段の進歩を遂げていく。かくして、19世紀は海陸ともに大砲が急速に発達する時代となったのである。

この当時の大砲の主流は青銅砲であり、それ以前に製造された粗悪な鉄製砲とは比較にならない精度をもっていた。しかし、青銅砲には極端な長所と短所が共存していた。長所は、銅と錫の溶解点が低く、大量に溶解し、大型の砲を容易に製造し得る点である。短所は、銅・錫が高価な金属で、完成砲が高価

資料-1 葦山反射炉の概要

- (1) 名称 葦山反射炉
- (2) 指定区分 国指定史跡(大正11年3月8日官報第2877号)
- (3) 所在地 静岡県田方郡葦山町中宇鳴滝入268の1
- (4) 所有者 国有(文部省所管)
- (5) 管理者 静岡県田方郡葦山町
- (6) 敷地面積 南北約59m, 東西約52m, 面積3,068㎡
(文化庁登録)
- (7) 建築面積 南炉: 南北5.9m, 東西5.1m, 面積約30㎡
北炉: 南北5.1m, 東西5.9m, 面積約30㎡
- (8) 年代 安政元年(1854年)6月7日起工,
安政4年(1857年)完成
- (9) 規模構造 連双2基(南炉, 北炉)で計4炉をもち、湯口側で直交する。炉は炉床形で容量 2~3トン級
炉体部(低層部分): 外部伊豆石組積積み, 炉内は耐火煉瓦のアーチ積み
煙突部(高層部分): 煉瓦組積造
(竣工当時は漆喰塗り)
- (10) 主な補修 安政3年~安政4年(別記)
明治12年, 静岡県令大迫貞清, 内務省の許可により周囲を木柵で囲み第3種官有地に指定
明治年間, 煉瓦上中層の鉄帯補強(年不詳)
明治41年, 陸軍大臣寺内正毅の命により, 陸軍省経費で炉に鉄棒を施しロシア小銃を以て鉄柵とする
昭和32年, 煙突及びその基礎部分を含め, 構造用形鋼と鉄筋コンクリートで周囲を補強

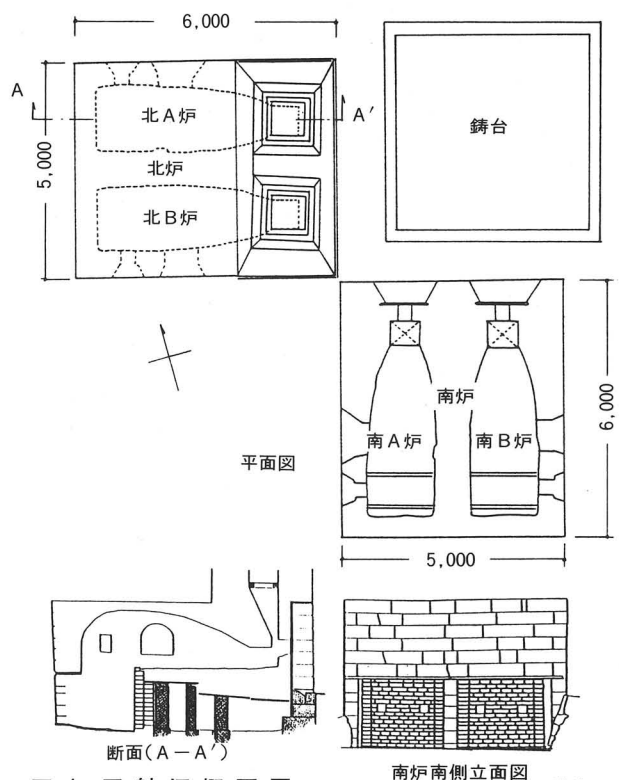


図-4 反射炉概要図

単位: mm

になることである。従って、砲の大型化・大量化を低予算で行うためには、青銅のもつ軟度即ち発射時の衝撃に耐え得る反発度をもつ安価な金属にかえねばならない。これを鉄に求めたのである。ここに、小銃を含め、鉄は武器と同義語となっていく。

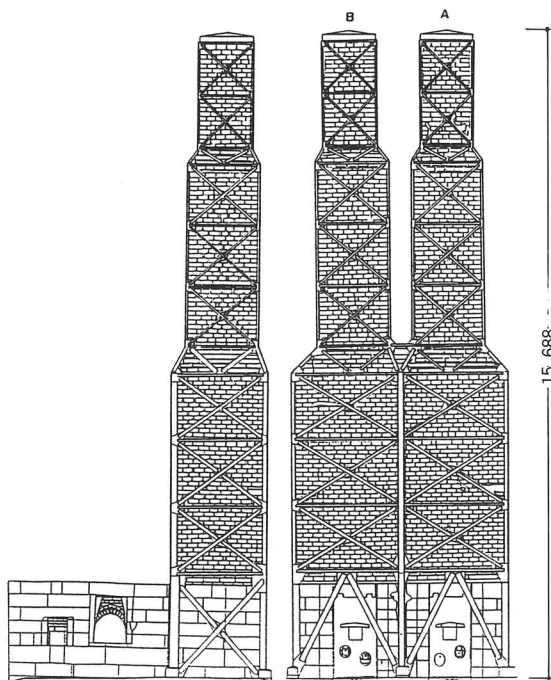
この鉄の需要に伴って、18～19世紀のヨーロッパでは、高炉（熔鋳炉・鉄鋳石製錬炉）が発達し、大量の銑鉄が生産されるようになった。これをさらに高温で熔解し、炭素分を抜き、軟度のあるものにして鑄型に鑄込み大砲とする。これが反射炉である。その名の由来は、熔解に必要な温度を得るため、熔解室天井面を湾曲させかつ煙突側に低くなる傾斜を持たせ、天上面を通過する焰の熱を反射・集中させることにある。

しかし、銑鉄を熔解させて大砲をつくるには千数百度という高熱を必要とし、高熱に耐え得る耐火煉瓦を大量に必要とする。しかも、千数百度を保って銑鉄を熔解し得る条件を満たす熔解室を最大限にとっても、その熔解量は少なく、とても要塞砲と呼ぶ長大な砲身をつくることはできない。そこで、反射

炉を数基（韮山は連双二基で反射炉数4）同時に稼働させ、同時に熔解させた銑鉄を一つの鑄型に流しこむ方法がとられた。

この鑄型から出された大砲は、錐台と呼ばれる工作材料により砲身内面（内腔面）を鑄開して、弾道を正確なものとする。この錐台の数と稼働率如何も大砲の生産数を決するもので、熔解と同様意を用いねばならぬところである。錐台で鑄開が始まるころには、野戦砲なら砲車、要塞砲なら台座など、またその部品・金具・弾丸なども鍛冶小屋・細工小屋で製作が始まり、最終的に御筒仕上小屋で完成され、搬送されていく。すなわち、反射炉とは、熔解炉を意味するばかりでなく、周囲に工場群を備え、組み立て試射し、完璧な状態にまで仕上げる砲兵工廠を意味するものである。

ヨーロッパにおける英・仏の争いは、ビスマルクが出現するにおよんで、英・独の争いとなり、大砲生産においては、英のアームストロング社対独のクルップ社の争いとなる。この過程で、尖頭弾や施条砲が出現してきた。この争いは、1860年代にはクルッ



南炉東側立面図

南炉北側立面図

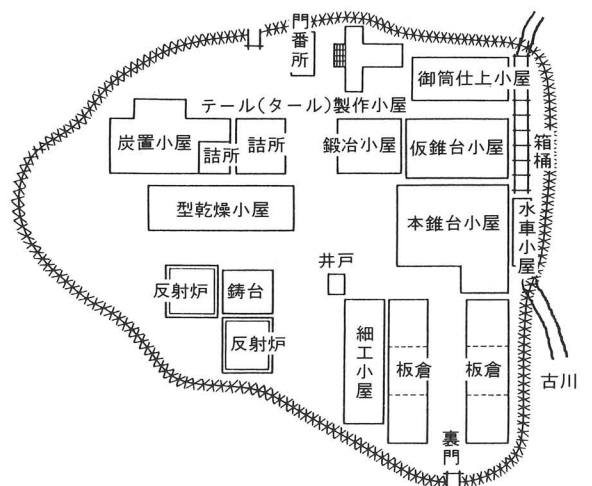


図-5 古地 図 (文久3年9月) 文献-2

古地図によると、韮山反射炉は現存している反射炉本体のまわりに、砲身を繰り抜く錐台小屋など敷地内に一連の作業小屋を含めた製砲工場であった。

これらの小屋をみると、本錐台小屋、御筒仕上小屋、鍛冶小屋、細工小屋、型乾燥小屋、炭置小屋、タール製作小屋、板倉、詰所、門番所などがあり、その他、古川の上流に板小屋、タタラ炉が配置されている。

当時の大砲は、砲身の内側にあらかじめ芯の鑄型を挿入する中子法から鑄造後、砲身をくり抜く工法に移っている。後者の工法は大砲を水車で回転させるもので、水力を必要とした。反射炉が川沿いに構築されたのはこの理由による。

ブの勝利するところとなり、やがて20世紀を待たずして駐退復座機（砲身のみが発射の反動で後退し、油圧などでもとにもどす装置）の出現を見、クルップはその地位を不動のものとした。駐退復座機の出現は、従来の砲車ごと後退するか、砲身・台座の重量で、発車時の衝撃を押え込むかの方法を一変させ、理論的には大砲の規格を無限大なものとしていった。また、砲身内腔には鋼鉄が用いられるようになり、大砲はほとんど完成の域に達した。

この過程において、数基の反射炉が同温度で同時に熔解するなどという複雑な工程では間にあわなくなり、高炉そのものの性能を向上させることにより、反射炉を不要なものとしていった。反射炉は、19世紀前半に出現し、19世紀半ばすぎには姿を消していったのである。つまり日本が必死に努力していたころ、ヨーロッパでは無用の長物と化しつつあった、といえよう。

しかし、近代は鉄によって始まるものであり、反射炉に注いだ先人達の情熱は、間違いなく明治に受け継がれていった。水戸藩の反射炉に銑鉄を供給す

る目的でつくられたのが釜石の熔鋳炉（大島高任と江川氏の手代肥田浜五郎が担当）であるが、水戸藩の反射炉瓦解後、釜石がこの火を受け継いで発展させ、現在に至ったことこそ、その象徴である。

江川坦庵の大砲製作

天保11年（1840年）のアヘン戦争により、清の大軍は小数の英国軍に敗れ、屈辱的な南京条約を結ぶに至った。ヨーロッパでは、清の次は日本であるとの見方が一般的となっていた。

アヘン戦争の報に驚いた長崎の高島秋帆は、同年9月長崎奉行田口喜行に、洋式砲術採用の建議書を提出した。ナポレオン戦争を通じて躍進したヨーロッパ軍事学の吸収・研鑽に努めていた秋帆は、来たるべき日本の姿に焦燥したのである。秋帆を尊崇する田口喜行から建議書が幕閣に上呈された。首席老中水野忠邦は、もとより外国事情通で知られ、敏感に対応し始めた。その第一歩は、幕閣内の意志統一にあった。水野は、まず反秋帆派の急先鋒目付鳥居耀蔵に意見書を提出させ、そのうえで秋帆派の江川坦庵に意見書提出を命じた。当時、西南雄藩のみな

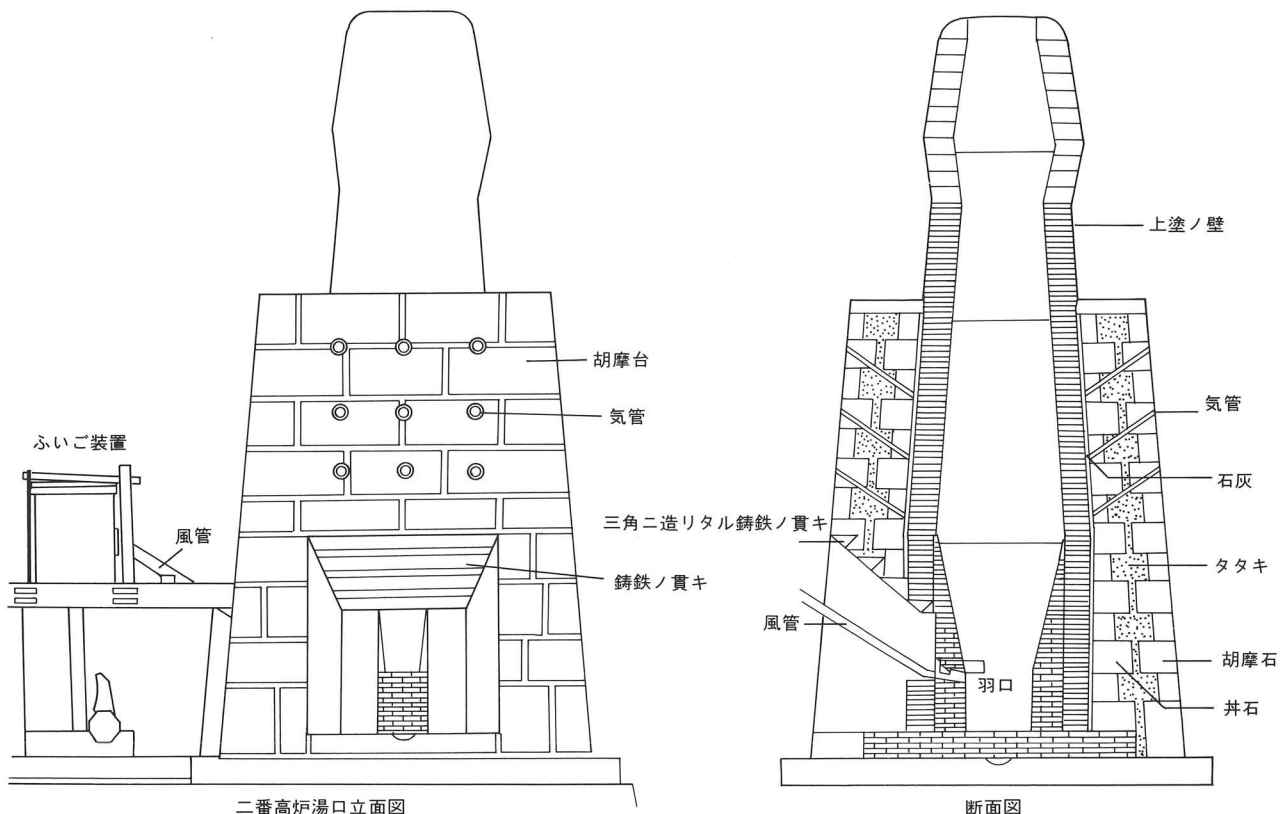


図-6 高炉（橋野高炉絵巻「両鉄鋳山御山内並高炉之図」より作図）文献-3

らず、水野忠邦以下の老中も藩士を秋帆のもとに入門させており、坦庵もまた柏木総蔵（忠俊）以下8名を長崎に派遣していた。鳥居対坦庵の対立は、秋帆を出府させ、徳丸原（現高島平団地）において演習を見分することに決した。

天保12年（1841年）5月9日徳丸原演練は成功裡に終り、坦庵は幕命により、唯一の直伝者となった。このことは、洋式軍事学を幕府内で司どる立場を承認されたことを意味する。以後、坦庵は鳥居との対決を避けながら、自力による洋式軍事組織の育成、洋式銃砲の国産化に取り組み始める。坦庵はまず幕府が買上げた徳丸原演練使用の大砲4門（野戦砲2・臼砲1・忽砲1）の借用を願い出る一方、長崎の秋帆を通じて燧発銃24挺（剣付式）を購入した。

小銃と大砲が葦山に到着したのは、天保13年（1842年）7月と10月頃である。これを門人（葦山塾々生）及び家臣・金谷組農兵などに使用させ、各種の実弾射撃を繰り返しつつ、操法の習熟と効能の確認を行った。これを土台に、小銃・大砲の製造に取りかかっていったのである。坦庵の銃砲製作は、天保12年

（1841年）11月の、「砲術稽古并細工之義御届書」により、高島流百目筒の製作を報告したのに始まる。幕府は「異国流ニ鑄立候哉」と警戒の意を表したが、坦庵は「高島流之筒ニ而、諸流鉄砲逆も元来異国より渡来いたし候、夫々工夫仕、国地におゐて製作いたし候上者、異国筒ニ者無御座候」と国産化の正当性を訴えた。

小銃において、坦庵は最初燧発銃の国産化を図った。しかし、燧石の製作法をオランダが秋帆にも教えず、幕府の手による製作法輸入方の建議をするなど、困難な問題が多かった。そこで、燧発銃を手がける一方、当時出現してきた雷管銃にも着目した。雷管銃は、天保13年頃より渡来したが、舶来の雷管が不良で採用にはふみきり難かった。しかし、雷管の製作に成功しさえすれば、問題は解決するわけである。そこで、門人片井京助（銃工・松代藩士）に命じ、2匁8分の雷管銃を製作させ、実験を繰り返した結果、間もなく完全なる雷管製作に成功した。かくして、天保末年には、雷管式小銃・短銃の注文生産ができるようになった。

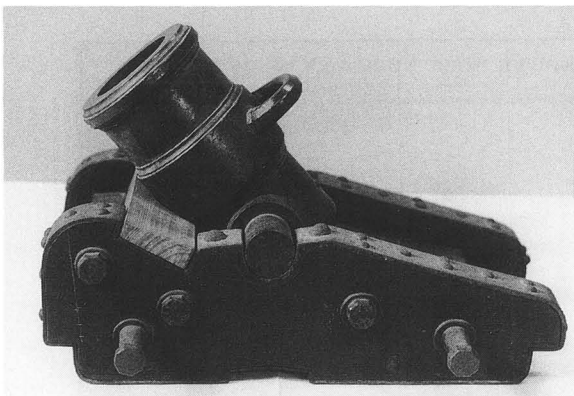


写真-5 臼砲模型（江川家蔵）

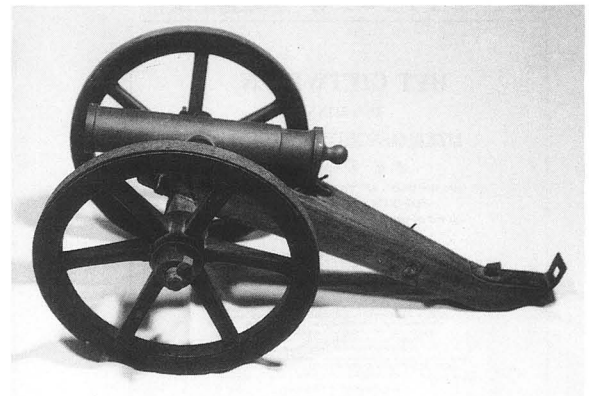


写真-6 野戦砲模型（江川家蔵）

36ポンドカノン上蓋

鉄製24ポンドカノン

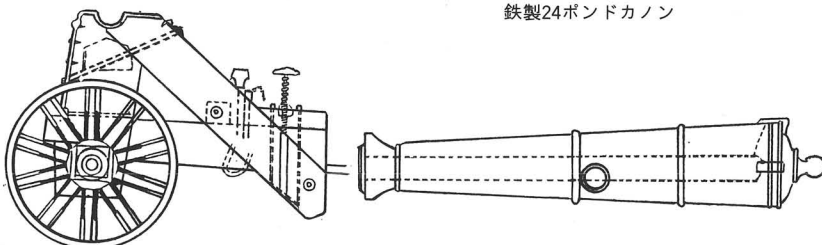


図-7 カノン砲（『陸軍歴史』より）文献-4

ヨーロッパでは口径11cm、運搬2人以上を砲と称した。江戸時代は弾丸重量により30匁以上を小筒、30～100匁を中筒、100匁以上を大筒（大砲）、1貫目以上を石火矢と称した。

・鉄製大砲（カノン）

- 6ポンド(所要鉄量1250kg)
- 8ポンド(所要鉄量1600kg)
- 12ポンド(所要鉄量2700kg)
- 24ポンド(所要鉄量3500kg) 2炉必要
- 36ポンド(所要鉄量4500kg) 2炉必要
- 150ポンド----- 4炉必要

天保13年(1842年)10月「高島流鉄砲鑄立之儀ニ付伺書」を提出,同月許可された。この伺書の内容は,鑄物師を用いての注文生産であるから,小銃以外大砲も生産できることとなる。しかし,実際にはこれ以前から生産は始っており,翌月の11月には「鉄砲鑄造御届書」が早くも提出された。これによると,ハンドモルチール式挺(水野忠邦),モルチール壱挺・ホーウイッスル式挺・五百目カノン壱挺(土井利位),ホーウイッスル式挺・モルチール壱挺・五百目カノン壱挺・三百目カノン壱挺(堀田正睦),ホーウイッスル壱挺・モルチール壱挺(真田幸貫)とある。水野以下いずれも天保の改革を担う老中方である。さらに,天保14年8月の「大砲鑄造御届書」では,堀田正衛(摂津守・下野佐野)・松前昌広(志摩守・蝦夷松前)の注文で,ホーウイッスル・モルチール・カノン5門を生産している。また,会津藩にも同様の生産をした。かくして,名工長谷川刑部を専属鑄物師として,青銅砲製造は軌道にのった。葦山反射炉に展示中の大モルチールは当時の刑部(在銘)の作品である。

青銅砲に用いる銅・錫は極上のもので,銅は鳴物銅をもって良しとする。当時,江戸の銅屋十郎兵衛方にては,鳴物銅が払底し,地丁銅壱貫目につき銀式拾匁五分・錫三百目につき銀式拾匁の値段である。古河藩士鷹見十郎左衛門(泉石)宛山田文蔵(坦庵の手代)用状(12月3日付)では,土井利位のモルチール・ホーウイッスル・カノン各一門に対し,銅三百五拾貫目・錫三拾五貫目の送付を依頼している。この銅・錫の代金は124両余である。また,堀田正睦の家臣兼松重蔵宛柏木総蔵用状(9月23日付)では,大砲鑄立諸入用金250両を受けとっている。当時,江戸中の銅屋に上質の銅が不足し,坦庵は古半鐘などの不良品の混入厳禁の命を下したほどである。以上のように,銅は品薄のうえ,野戦用小口径砲に限っても原材料の段階から高額なものとなる。大砲製造の最終目的は海防であり,海岸防備の要塞砲・艦載砲まで含めると,想像を絶する金額となる。

銅にかわる安価な鉄を原材料に求めることは,自然の成り行きである。坦庵が青銅砲にとりかかった天保13年(1842年)より16年も前に,オランダ人ヒュ

資料2 ヒュゲニン著「大砲鑄造法」



写真-7 原書表紙(国立国会図書館所蔵)

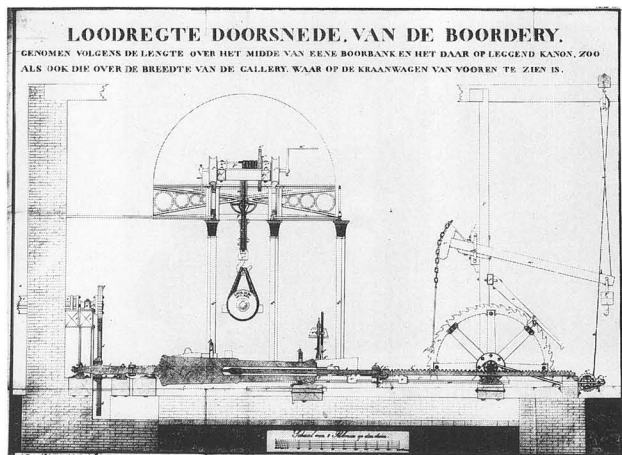


写真-8 原書図解編(国立国会図書館所蔵)

本邦における反射炉への関心は,長崎出島の調役でもあった,砲術家高島秋帆によって天保6年(1837年)に輸入された和蘭書ヒュゲニン(1755~1834年)著『ライク王立鉄大砲鑄造所における鑄造法』(1826年)(以下『大砲鑄造法』と略称)によってもたらされた。同書は,同鑄造所において,1826年に出版された砲身の鑄造及び砲腔の鑽削に関する大砲鑄造法の教科書であって,原料鉄の製造から鑄造過程を経て製品の検査にいたるまでが詳説されている。反射炉については,「青銅や鑄鉄を溶解する反射炉」,「反射炉の装入及び炉内の鉄の溶解」の章において炉の構造や溶解法を述べ,これに使用する鑄造用鉄の品質,さらに耐火煉瓦,燃料の石炭にも言及し,図解編が一葉からなる炉の縦断面,平面図を解説している。『大砲鑄造法』は,開港を求める外国艦船の来航が相次ぎ,海岸備砲の強化と鉄製大砲の要望が高まるおりから,弘化,嘉永の間に同書の翻訳が進み,手塚謙蔵訳『西洋鉄焔鑄造編』,伊東玄朴他共訳『鉄焔全書』,金森錦謙訳『鉄焔鑄鑑』などの翻訳書が写本されて各所に伝わった。

ゲェニン (Ulrich Huguenin) は『ライク王立鉄大砲製造所に於ける鑄造法』(Het Gietwezen in's Rijks Ijzer-Geschutgieterij te Luik)という反射炉(reverberoven)の書を著している。この書が輸入されたのは天保初年ごろといわれるので、当然高島秋帆は知っており、坦庵に知識として教授していたであろう。坦庵がヒュゲェニン原著を入手したのは、この天保13年ごろと推定する。

しかし、当時はまだ秋帆・坦庵とて反射炉に着手できる段階にはなかった。また、まもなく天保13年10月2日鳥居忠耀(耀蔵)の策謀により秋帆が逮捕され、以後嘉永6年(1853年)7月3日の赦免まで、11年7ヶ月も幽囚の身となってしまう。従って、坦庵が反射炉に着手することは、暗中模索以外の何ものでもなく、かつ現在から見ても難解な技術を駆使する反射炉は、研究の糸口をみつけることすら困難であった。たとえ、ヒュゲェニン原著の全訳が即座に成ったとしても、これを理解し、製砲に至るには、かなりの費用と試行錯誤の年月を要したこと疑いないといえる。

反射炉研究と佐賀藩との交流

江川坦庵は、水野忠邦以下の老中の指示を得て大砲製作に着手し、天保14年(1843年)には鉄砲方(与力5騎・同心50人)を拝命、天保の改革の中心政策たる軍備洋式化の責任者の地位に立った。しかし、天保の改革が挫折し、水野の与党が退陣すると、坦庵も鉄砲方の兼帯を解かれることになる。もし、天保の改革が順調に進んでいたならば、反射炉はペリー来航までに完成していたであろう。失意の坦庵の「忍」の時代である。以後、弘化からペリー来航まで、ほとんど出府せず、葦山塾の塾生を教育しつつ、海岸防備・反射炉・新式砲および砲弾・農兵制を含む軍制改革の研究などに没頭した。

坦庵は、弘化元年(1844年)専門の翻訳係として、矢田部郷雲を召し抱えた。『和蘭陀製鉄論』の訳述で知られる石井修三は嘉永6年(1853年)の抱え入れであるから、ヒュゲェニン原著の翻訳は郷雲の手によって始まった。もともと坦庵は、大槻俊斎や伊東玄朴の庇護者的立場であり、若き郷雲の手にあまる部分は、彼らに委ねていた。そして、2年余の歲月

表-1 『大砲鑄造方』書の目次内容と各翻訳書巻名の比較対象表 (文献8より)

原書	鉄 焔 全 書(宮内庁本)		鉄 焔 鑄 鑑(尊経閣本)		西洋鉄焔鑄造篇(鍋島家本)	
	目次	巻 項 目 名	巻	項 目 名	巻	項 目 名
序	1	序(訳業未成)	1	序例(別に「凡例」の一巻あり)	1	自序
緒言	1	総論			1	誘導篇
本文	2	鉄、鋳鉄、鋳種並溶化ニ準備スル方	2	緒言	2	鉄鋳ヲ録ス
	2	鋳鉄	3	鉄鋳、鋳種及溶化準備法	3	鉄鋳ヲ精製スル竈ヲ録ス
*	3	鋳鉄炉	4	鋳鉄炉	3	高竈ヲ録ス
	4	鋳鉄炉最初投火並作用	4	鋳鉄炉最初投火及作用	3	鋳鉄溶解ノ事件ヲ録ス
	5	鋳鉄溶化法	4	鋳鉄溶化法	4	鋳鉄ヲ録ス
	6	鋳鉄	5	鋳鉄	5	型ヲ作ルニ適宜ナル砂及結塵土ヲ録ス、内型外型ヲ録ス
	6	型料、粘土并砂	6	型料、結塵土及砂、焔砲沙製模型及横筐	6	銃砲ヲ砂中ニ模写スル術ヲ録ス
	6	砂製ノ砲型ヲ造ル方	7	沙型ニテ模造焔砲沙法	6	大ナル輪狀ノ器械ヲ直立セシメ模写スル術ヲ録ス
	7	長円体ノ器ノ模型ヲ直立シテ製造スル方	8	模造長大円体器法	6	青銅及鋳鉄ヲ鑄解スル反射竈ヲ録ス
	8	反射炉	9	溶化加砲銅及鋳鉄溶金炉	7	火ニ堪ユル石ノ性ヲ録ス、石炭ノ性ヲ録ス
	9	火ニ耐ル焼石、石炭	9	抵火焼石、石炭	7	反射竈ニテ鉄ヲ溶解スル事件ヲ録ス
	10	反射炉ヲ装填シ及鉄ヲ溶解スル方ヲ論ス	10	鋳金炉装填及鋳鉄法		
	11	鋳鉄並坑中ニ型ヲ排列シ鉄湯ヲ注瀉スル等ノ法方	10	鋳坑列型、連接模筐注瀉鉄液	7	反射竈ニテ鉄ヲ溶解スル事件ヲ録ス
	12	「カノン」砲ヲ鑄開スル器械ノ位置及錐刀使用ノ法方ヲ論ス	11	砲孔錐鑿法		
	13	火門ヲ鑄開スル法方ヲ論ス	12	火門錐鑿法		
	14	新造ノ砲身ヲ修整スル法方ヲ論ス	12	新製鉄焔点検及試験		
	15	火門ヲ修整スル法方ヲ論ス	13	鉄製砲火門換修法		
	16	実弾虚弾榴榴等模型ヲ製造并鑄治ノ法方ヲ論ス	13	天砲彈榴尋常彈鑄造法		
		第一、型砂ノ種類並模型製造法	14	型沙種類、鋳鉄	上	「ホヘンカラナーテンコーケルス」ノ製作及ヒ鑄造ノ要点ヲ録ス、彈丸ノ製造ニ用ユル三種ノ竈ヲ録ス、高竈、反射竈、穹隆竈、コルボルヤーヘン
		第二、鋳鉄ノ性質	14	鋳鉄炉種類、鋳鉄炉、可鳥波爾(コウボル炉)溶金炉	上	彈丸ノ内型、外型ヲ録ス
		第三、炉ノ種類并鋳鉄溶解ノ法、型砂ノ種類并模型製造法	14	彈丸型設及模筐	上	彈丸ノ砂型ヲ作ル事件ヲ録ス
		実弾虚弾ノ模型	14	彈型	下	空中心ノ鑄造ヲ録ス
	17	彈型	14	空彈核製法		彈丸ノ鑄造ヲ録ス
	18	散彈ノ核型				彈丸ノ疵ヲ検索スルコトヲ録ス
	19	彈丸ノ鑄型	15	鑄彈法	1	第一、二、三、四葉
	20		15	鑄彈撰択法	2	第五、六、七、八、九葉
	21		16	第一版図解、第二版、第三版図解	3	第十、十一、十二、十三葉
図解	13	第三版図解、第四版図解	17	第四、五版図解、第六、七、八版図解分輯		
	14	第五版、二体合築反射炉図解 第六、第七、第八版図解				
	15	第九版図解	18	第九、十版図解		
	16	第十版図解、第十一版図解	19	第十一版図解		
		第十二版、第十三版	20	第十二版図解、第十三版図解		

* 本文には番号なし(参照文献5~7)

が流れる。

幕府が坦庵を斥け、海防問題に事勿れ主義をとっていてもフランス船・イギリス船などの琉球及び日本近海への出現が相次ぎ、反射炉築造は時代の要望となっていく。当然、坦庵以外にもこの問題に取り組もうとする人物がいた。それが佐賀藩主鍋島直正（斉正・閑叟）である。両者が弘化3年（1846年）江戸城中で面会・挨拶を交わしたことから、反射炉研究も新たな展開を見ることになる。

佐賀藩は長崎港警備の任を負い、当時港外の伊王島・神の島などに台場の新築とその備砲鑄造を企画していた。嘉永元年（1848年）3月24日、三島宿本陣で、坦庵と直正は会見し、坦庵はライバズ銃（施回砲）・ドンドル銃（雷管銃）・ヤーゲル銃（狙撃銃）を披露した。直正は、これらの銃を注文し、ランゲ・ホーウィッスルなどの大砲の図面を所望した。この会談で注目すべきは、坦庵のもとで『鉄筒鑄造書』5巻ができており、伊東玄朴を介して、直正に呈覧が約束されたことである。坦庵と直正は、この後嘉永2年（1849年）10月21日、同4年10月20日に

三島で会談したことが明らかであるので参勤の途次は必ず面会していたものと考えられる。また、坦庵宛直正書状では、「臘月23日付」・「林鐘5日付」・「小春8日付」・「嘉永3年2月23日付」・「嘉永3年3月付」など、直正宛坦庵書状では「嘉永3年2月26日付」のものなどが確認されている。いずれも、技術面・研究面の交流とともに、両者の交友が大名と旗本の立場を超えた緊密なものであったことがうかがえる。

この過程において、嘉永2年（1849年）には佐賀藩士本島藤太夫が、台場築造に関する諮問のため葦山に赴き、葦山塾に逗留のうえ、山猟に参加したこともある。本島は、葦山屋敷の模様から、狩場への行程、狩の模様を克明に記し（『松乃落葉』）、直正に報告した。維新時に柏木忠俊を京に迎え、江川氏の新政府帰順のため奔走してくれたのが、この本島である。葦山・佐賀の交流は、意情通い合ったものといえよう。葦山からは、直正の要請により、嘉永3年長谷川刑部が門人惣五郎を伴って佐賀に赴いている。青銅砲製作で当代一の名手刑部は、葦山での鑄

資料-3 佐賀の反射炉（古絵図）

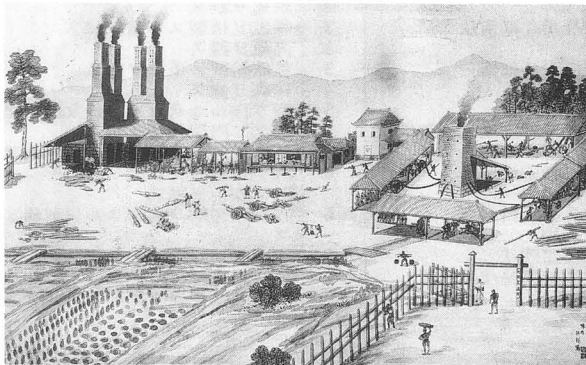


写真-9 築地反射炉の古絵図（鍋島報效会所蔵）

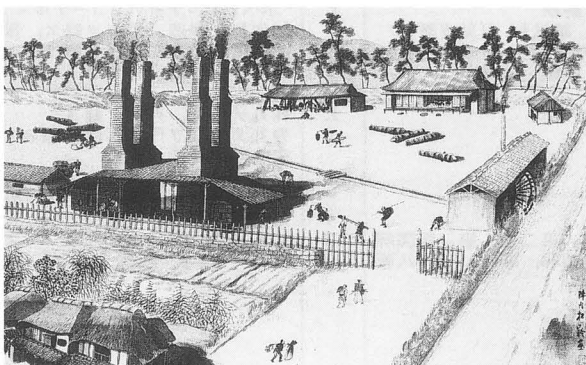


写真-10 多布施公儀石火矢鑄立方

築地石火矢鑄立方

多布施公儀石火矢鑄立方

佐賀の反射炉 文献-9,10

築地と多布施にそれぞれ2基8炉の反射炉を有していた。多布施は公儀の注文用大砲（品川台場に設置する24, 36ポンド砲計50門）を製作する目的でつくられ、築地より4年後の安政2年に竣工している。

古絵図により両者を比較すると、築地は湯口で2基が直交し、葦山反射炉と同じ型式であるが、多布施は湯口が向い合せになっている。また、築地では右側に高炉らしきものがあり、ふいごで送風している様子が伺える。高炉で最初、溶解して原料銑をつくり、反射炉でこれを溶融し、鑄造したと推定されている。

規模：東西24尺、南北21尺

耐火煉瓦：肥前の白石山、志田山、文珠山の土を使用（SK26）

銑：石見産の砂鉄

燃料：日向、肥後の木炭

造に繁忙を極めていた。しかし、坦庵はこれを快諾し、佐賀に派遣、佐賀の鋳物師の指導にあたらせたのである。

佐賀藩は、長谷川刑部の招請に伴い、大銃製造方を設置し、同年10月には反射炉築造に着手、翌4年8月には竣工をみた。この反射炉で青銅砲を製作するうち、12月には鉄製8ポンド砲製作に踏みきった。ところが、新製造の鉄製砲は、巢（気泡）が入り、第一発目から数発目までの発射でことごとく砲身がさけた。坦庵は、熔解した鉄を湯口より空中を経て鑄型に流しこむ方法に原因があるとし、鑄台を地中に設け、空中を経ず、直接地中の鑄型に導きこむ方法を佐賀に伝え、砲身の爆裂を解決したという。かくして、佐賀藩は葦山にさきがけて、反射炉に成功したのである。

この頃、坦庵はまず10分の1（未詳）、そして実形3分の1の炉を築き（『江川坦庵全集』・嘉永2年5月）、実験を繰り返していた。しかし、いかにしても江川氏の財政では、大反射炉にいとむことはできなかった。佐賀藩は富裕なうえ、嘉永3年（1850年）

7月には、台場築造・大砲鑄造のため、10万両の借用を幕府に願い出たうえの成功である。これに反し、坦庵は、一代官で、先祖以来の莫大な債務を幕府に負っている身である。いかに、坪井信道・高島秋帆ら葦山を訪れる者が驚愕するほどの儉約をしても、大反射炉築造の経費は捻出できなかった。

しかし、大反射炉に挑む条件づくりは次第に整っていった。その中でも、炉を形づくる耐火煉瓦の完成は見通しを明るくした。耐火煉瓦の土がいつ発見され、いつこれが完成したかは明らかでないが、弘化～嘉永期の天城山山嶽の折に、賀茂郡梨本村（現河津町）の山中にて、原料たる白土を発見した。この白土により、鉄の熔解に必要な耐火度の700～800℃、さらに鋼鉄の1300℃を超え、1700℃という白金の熔解度にも耐え得る煉瓦が完成した。佐賀の耐火煉瓦は不明であるが、薩摩藩はイギリスより輸入したとか、他の反射炉はいずれもこのように良質な煉瓦を作成できなかった。幕府もこの白土に留意し、慶応末年の王子滝野川反射炉案の頃、小栗忠順の命などにより、盗掘の禁令を再三発している。

資料4 葦山反射炉（古絵図）



葦山反射炉並ニ製砲工場見取図

古絵図の文字を解読すると次のとおりとなる。上段

1. 反射炉
2. 材木囲場ノ堀
3. 地銅鑄類倉庫
4. シャチ臺
5. 鑄壺
6. 外型製造場
7. 地鉄類板倉2棟
8. 石炭置場
9. 3連錐臺
10. テール製釜
11. 鍛冶仕上場
12. 同火作場
13. 図引小ヤ
14. 門番所
15. 會所
16. 型砂舂場
17. 運物対置場
18. 同
19. 同

写真-11 葦山反射炉の古絵図 万延元年(1860)頃、葦山江川家手代前田源之丞甲龍の書きたる見取書帖

下段

①1, 4, 5, 6, 7, 9, 10計7ヶ所大砲製造ノ反射爐ハ元豆州賀茂郡下田町在同郡中村ニ設置セシニ下田湊ヘ外国人來渡御造場ヘ立入不都合ノ由ニテ田方郡中村ニ移スト其年曆ハ安政度ナルベシ此處ニテ鉄製18ポンド製造一時中止文久年間ニ到リ豆国献貢銅製野戰筒百門鑄造ノ命アリテ講武所砲術教示方木村太郎兵衛江川手代同上教示方安井晴之助兩人被差遣同勤之内願ニ抛リ文久3年9月ヨリ此鑄造場ヘ出仕元治元年秋右銃筒及車臺數百門製造ノ命アリシテレバ②印ノ7ヶ所ニ而川筋ヲ境界トシ囲小屋ノ一計トス

2.3.8.11.12.13.14.15.
16.17.18.19.此数字アル印ノ分ハ元治元銃筒車製造ノ命令アリシ中川向ノ民有地山林ヲ買上諸小屋ヲ新設ス則チ別図ニアル御切定方御目付方等ノ役々出張ノ時ナリ

ペリー来航と反射炉

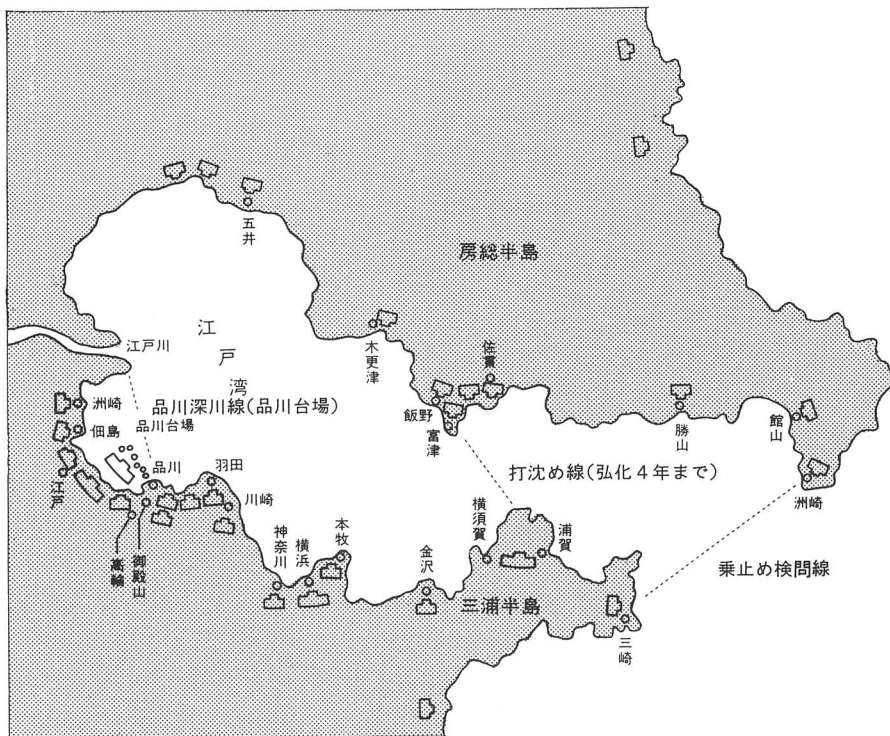
ペリー来航は、天保の改革の挫折以来中断していた近代的軍制改革を急浮上させ、この方面より遠ざけられていた江川坦庵の再抜擢を余儀なくさせた。嘉永6年(1853年)6月3日以来、下田港警備に出張していた坦庵は、急拠浦賀に呼び出され、勘定吟味役格・海防掛を命ぜられた。以後、海防・外交の責任者として、1年半余、休む間のない活躍が始めるのである。

幕府が焦眉の急として行った施策は、ペリー再来に備えての江戸湾防御策の立案である。同年6月末から7月にかけて武・相・房・総の海岸見分が行われた。この答申書が、7月に提出された坦庵の「海岸御見分ニ付見込之趣申上候書付」である。この内容の中心は海軍創設であり、軍艦の購入と製造・航海の習熟に大半がさかされている。江戸湾防御としては、浦賀水道防御案(観音崎・富津線…後の第1～3海堡)が答申され、品川・深川線は消極策として僅かにとりあげられているにすぎない。しかし、幕府としては、アメリカ艦船の吃水・大砲の射程を考

慮し、江戸市街地を充分に守り得る構成であり、経費が安く、短時日の完成が見込まれるとして、品川・深川線防御案を採用した。これが品川台場である。

台場構築となれば、備砲製造も併行しなければならない。同7月、坦庵は「反射炉御取建方之儀ニ付申上候書付」を提出した。しかし、品川台場も後に財政難から工事を打ち切ったように、安政の改革と称される中で、ペリー来航後の対応策に要する経費は厩大なものであったため、坦庵の最大の理解者川路聖謨でさえ、勘定奉行としては、即座に大反射炉構築を認めることができなかった。ようやく許可が下ったのは、嘉永6年12月13日のことである。できる限りの低予算を組み、坦庵が請求した金額は3,773両1分余であった(「大筒鑄造反射炉兼錐台仕立方御入用之儀申上候書付」嘉永6年12月)。すでに、この年8月には一番から三番台場までが着工、翌年4月に竣工した。幕府としては、決断せざるを得ない時期に至っていたのである。

反射炉築造下命の急状は、12月16日葦山に届いた。待機中の江川家家臣八田兵助・山田熊蔵は、先触れ



葦山反射炉の主目的は、品川台場に設置する大砲を生産することにあった。品川台場は、当初、南品川獵師町から東北に深川洲崎にいたる連珠のような二列11基と、後に南品川獵師町の海岸に1基と合せて12基築造する予定であった。工事は、嘉永6年(1853年)8月に着工したが、日米和親条約の締結等によって第7以下5つの台場を未着手のまま中止した。各台場の構造はほぼ同じで、埋め立て後、周囲に石垣の土塁をめぐらし、くぼんだ中央部に休息所を設けている。形は、一辺が150mほどの五角形と六角形のものに大別でき、それぞれの位置間隔は、300m～400mほどとなっている。竣工された各台場に備えられた大砲数は151門で、内訳は80ポンド砲19門、36ポンド砲4門、24ポンド砲28門、12ポンド砲42門、6ポンド砲12門、ランゲホーウィッスル16門、5目玉旧式5門、1目玉旧式25門となっている。ただし、「大筒数取調帖」によれば、嘉永6年12月の調査が260門であって、湯島桜馬場鑄立分175門、佐賀藩より50門、大阪表取寄分5門、葦山の86門が鑄造せられることになっていた。

図-8 江戸湾防備図 文献-11～13

手配の後、18日早朝建設予定地伊豆国賀茂郡本郷村（下田市）に向けて出発した。本郷村が最初から予定されていた理由は、やはり大砲の輸送の便に良い下田港に近い点と、炉の構築に不可欠な白土が天城山南面から産出した点にあるであろう。

大量の杭打ちを行う基礎工事が順調に進み、錐台小屋などの建築にもかかり、製砲用銑鉄も到着するなど、準備は着々と進んだ。その最中に、安政元年（1854年）3月27日アメリカ水兵の徘徊事件が起きた。この水兵は、神奈川条約締結により、3月4日下田に入港していたペリー艦隊の乗員である。アメリカ兵の上陸許可は七里四方とされていたが、反射炉建築現場の本郷中村はその範囲に入るのである。国家的軍事機密の漏洩を防ぐためには、移転せざるを得なくなった。これが、葦山役所にも近く、管理しやすい田方郡中村の現在地への移転である。以後、葦山反射炉と称す。この移転により、完成は一層遅れることとなった。

垣庵は4月3日「反射炉築立場所替之儀ニ付伺書」を提出し、即日許可となり、この報は4月6日には

葦山に届いた。しかし、現地ではその前日工事を打ち切り、八田兵助は移転先へと出立した。解体された用材は、稲生沢川を下り、海路三津浦もしくは沼津へ運び、陸路か狩野川水運を用いて南条河岸へ搬送、中村へ届けられた。これにより、6月7日より地形杭打が開始され、連双2基のうち南炉が10月に竣工した。万事順調に進む中に、11月4日紀州串本沖を震源地とする大地震（安政大地震）が起き、開港場下田は津波による大被害を受けた。垣庵は、下田に赴き、救済に奔走、さらに露国軍艦ディアナ号の乗員救済、戸田における代船建造準備を指揮したが、これらの過労がもとで病に倒れた。更には、幕命により病をおして出府したことが病状を悪化させ、翌安政2年（1855年）1月16日に歿した。享年55才。

垣庵は、ペリー来航後、ほとんど江戸に詰め、連日登城して、和親条約案の作成、品川台場築造など、阿部正弘の懐刀として働いた。そのため、ついに反射炉建設現場に足を運ぶことはなかった。機会があったとすれば、中浜万次郎を伴って帰葦した嘉永6年末から翌年1月11日ペリー再来の報により出府する

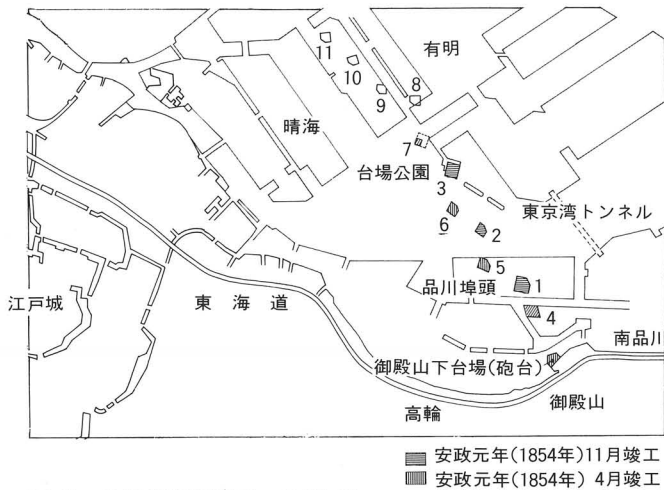


図-9 品川台場築造図 文献-11

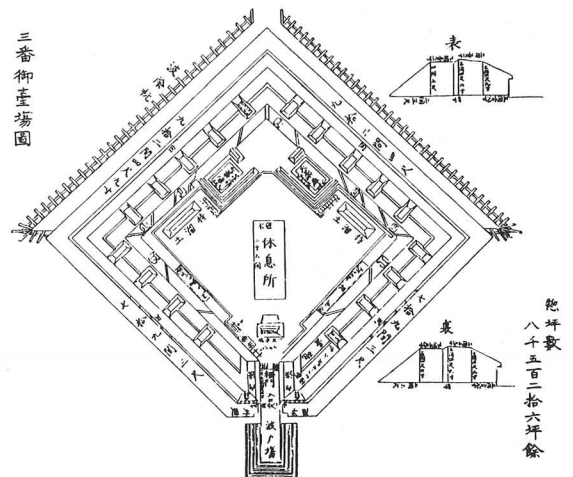


図-10 三番御台場図

島津家調『各藩兵器及反射炉』（文献10）によると、葦山反射炉で製作した大砲は、品川6台場の内、1番台場に供えたる砲種中、80ポンド10門、24ポンド2門、12ポンド12門、ランゲホウィスル4門の計28門となっている。

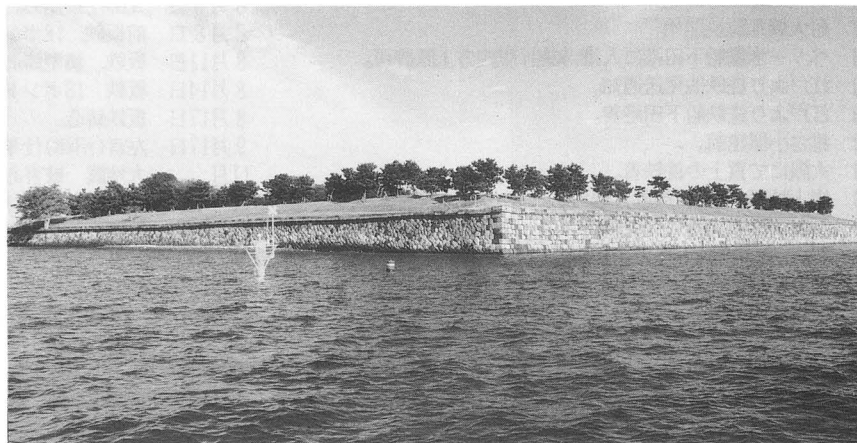


写真-12 品川台場（3番台場）

までの間である。この時も本郷を訪れた様子がなく、また、ディアナ号代船建造の頃、移転先の視察を行えないこともないが、いずれの記録にも表れてこない。反射炉完成に対する自信の程といえようか。

しかし、なんとといっても大黒柱を失ったことには変わりなく、幼少の英敏が引き継いだものの、天災と相まって、工事は容易に進まなくなった。安政元年の大地震の時には、「式番板蔵大破」のみで「反射炉其外都而別条なし」と『反射炉御取建日記』(11月4日)には記されているが、目に見えない亀裂があったのである。これが、翌2年7月の暴風雨によって傷口を広げ、ついに佐賀藩技師の援助を仰がねばならなくなった。この亀裂は粘土をもって築き立てたところに起こり、炉が崩落する危険性を生じた。英敏は、崩落すると煉瓦の再使用が不可能となるので、一旦、取り崩して再構築することを上申し、それに決した。

安政2年8月、英敏は「反射炉築直方之儀ニ付伺書」を提出し、佐賀藩技師の招聘により、炉製法の欠陥と、銑鉄の悪質による鉄製砲鑄造の不成功を克

服したい旨を願い出た。当時の佐賀藩も銃砲鑄造に多忙を極めている時でもあり、技師招聘困難は承知の上であった。そして、翌安政3年(1856年)8月の大風雨のため製砲工場その他も破損し、完成はますます遠のいた。

佐賀藩技師田代孫三郎・杉谷雍助以下11人が葦山に到着したのは、翌4年2月のことである。この時すでに南炉は葦山の自力ではほとんど完成しており、北炉に来援技師の協力を得ることとなった。同年7月、佐賀藩技師に帰国命令が届くまでに、南炉内の破損は完全に修復でき、北炉も5分どおりの修復までにこぎつけ、南炉では銑鉄の熔解が可能となった。佐賀藩技師の帰国は、杉谷の出府(7月8日～8月7日)で延期されたものか、彼等は引き続き葦山に滞在している。

やがて、南炉は9月朔日から活発な動きを開始し、9月には18ポンド砲1門を鑄込んだ。続いて、北炉も11月7日北半炉に、19日南半炉に点火し、以後順調に熔解を行った。この反射炉最初の鉄製砲である一番18ポンド砲は、12月4日に鑄開を始め、翌5年

資料5 葦山反射炉の築造記録等

葦山反射炉の関係資料(文献14, 別添資料3)から築造及び稼働記録をまとめると次のとおりである。

表-2 葦山反射炉の築造及び稼働記録

嘉永6年(1853年)

〈伊豆下田〉

- 12月 豆州賀茂郡本郷村(現下田高馬付近)で建設準備。
- 12月16日 反射炉御取建係仰付け
- 12月17日 築造場所、耐火煉瓦製造用の白土掘取場所(天城梨本)の見分。

安政元年(1854年)

- 1月 大栗石台掘出(豆州賀茂郡中村)、豆州天城山御林内字(梨本村)萩野入より耐火煉瓦用白土を採掘。
- 1月12日 反射炉築造場所小屋場基の外丁張。
- 1月14日 伊豆大賀茂村土見分。
- 2月 御用炭の伺書(天城炭)
- 2月1日 反射炉地形始め
- 2月17日 耐火煉瓦製造開始。
- 3月1日 耐火煉瓦製焼開始。
- 3月4日 ペリー米艦船下田港に入港、異船7里四方上陸許可。
- 3月8日 江戸より銑鉄他発送通知。
- 3月11日 江戸より銑鉄船下田港着。
- 3月16日 錐台小屋建前。
- 3月18日 大阪にて買上の銑鉄着。
- 3月20日 炭上納願 豆州賀茂郡大鍋村。
- 3月27日 反射炉築造場所外人侵入。
- 4月 石炭(筑後国10万斤買上)、炭(天城炭1万俵)。
- 4月3日 反射炉場所替え伺書。
- 4月6日 反射炉場所替の告知。
- 4月9日 常磐炭1万斤買上。
- 4月10日 錐台小屋其他解体。
- 4月16日 鑄造工場取片付済。
- 4月17日 土台石船積、反射炉役人一同引払。

〈中村葦山〉

- 5月29日 御用材沼津香貫村荷揚げ。
 - 6月 着工。
 - 6月4日 三津浦廻送の耐火煉瓦仕訳。
 - 6月6日 石運送開始。
 - 6月7日 地形松杭打込始め。
 - 6月9日 石類運送のため伊豆狩野川利用開始。
 - 6月14日 天城土仕訳。
 - 6月21日 下田鍛冶細工始め。
 - 6月22日 土運送開始。
 - 7月朔日 天野村石工 反射炉土台石掘方開始 地形松杭終了。
 - 7月13日 錐台上家家屋工事着手。
 - 7月25日 三島宿え 石灰2俵蠣殻4俵注文。
 - 閏7月18日 耐火煉瓦積み開始。
 - 閏7月22日 矢来杭20本杉板16間注文。板鉄鑄造。
 - 8月5日 前板鉄 鑄損し。
 - 8月6日 瓦師仕事始め。
 - 8月8日 前板鉄、18ポンド鑄換 鑄造。
 - 8月11日 板鉄、鑄型鑄造。
 - 8月14日 板鉄 18ポンド鑄換 鑄造。
 - 8月17日 板鉄鑄造。
 - 9月17日 左官(沼津)仕事始め。
 - 11月 大地震 被害あり。
 - 11月4日 安政の大地震(反射炉別条なし)。
 - 11月10日 地震。
- 安政2年(1855年)
- 1月16日 江川太郎左衛門英龍没。
 - 2月21日 1番反射炉半双(暁9つ半 吹初銑535貫目、朝4つ半 皆湯成18ポンド外形鑄台付金具を鑄造、暁9つ半終了)
 - 4月23日 36ポンド外形鑄造の件、久能鑄物師来葦。
 - 7月 大風雨の際、破損。
 - 8月 築炉上に欠陥あり、鑄造の鉄性不良のため改築方を

(1858年)正月8日に終り、2月8日に仕上げの工程に入った。出来具合は極めて良く、3月晦日の三番砲の砲頭に関し、『反射炉御取建日記』は「截口肌奇麗二而巢更ニ無之」と、気泡のまったくない優秀な砲であることを記している。

これらの砲の試射は、3月13日の1番砲を皮切りに次々と成功した。ここに、連双2基の反射炉が完成し、錐台も3連のうち1連の使用が可能となり、製砲の見通しが立ったのである。1番砲試射が好成績を納めたので、佐賀藩技師たちは同月22日帰国の途についていたのである。

反射炉完成までの過程には、石炭からコークスを抜いてコークスとし、火力を上げる工夫、そのコークスを戸田造船の防水剤として用いるなど、技術的副産物も見られたが、なお問題点も多かった。例えば、野戦砲のような小口径の砲は問題ないが、要塞砲などの大口徑砲は、4基同時にしかも同じ状態に溶解させた鉄を一斉に一つの鑄型に鑄込まねばならない。この手順が狂うと、巢ができるなど、不良品となる可能性が高い。これはヨーロッパでも同

じてあろうが、石炭と鉄の生産量は日本とは比較にならず、再度鑄直すにしても、日本では燃料費だけでも大変である。慶応2年(1866年)4月、江川氏私営に切り変るときの史料(陸軍奉行に提出した目録)によれば、完成砲はライフル・カノン5挺・ホートホーウィッスル9挺(鉄砲玉菓奉行に引渡し)疵砲36挺、鑄放鑄開可致分50挺(鉄砲製造奉行へ引越し分)の記事がある。すなわち、完成大砲14、半成品50に対し、不良砲が36挺もあることがわかる。また、錐台の稼働率が悪かったこと、大坂(大阪)より送られてくる銑鉄の質が悪かったこと、石炭の生産量と質の問題など、量産に影響する諸問題が山積していた。

以上のように、鉄製砲はロスが多く、このロスを補うためには多くの反射炉によるロスを問題としない生産量がなければ、真に安価な鉄製砲はできない。急がれる台場用備砲の生産のためには、コストは高くなるが、確実な青銅砲の利点を用いる以外にはなく、嘉永6年垣庵は湯島桜馬場製砲場を設立、青銅砲製造の指揮をとっている。英敏は、安政5年(1858年)10月「鉄筒鑄造反射炉ニ而銅製御筒鑄造之儀ニ付申

願出、佐賀藩の協力要請。
12月 佐賀藩了承。
安政3年(1856年)
4月11日 タール製造所出来る。同月中4回製造。
8月25日 大風雨のため、製砲工場その他破損。
9月 再築造計画『再築立目論見』提出。
安政4年(1857年)
2月5日 佐賀藩 杉谷ら来着(一番炉、ほぼ完成していた)。
閏5月 地代同(反射炉795坪 焼石他製造場所180坪)
7月朔日 南反射炉試鑄。
9月朔日 壺番反射炉東半双試鑄。
9月9日 18ポンド1挺鑄込み、今夜9時半時 昼9時鑄込済。
11月7日 2番反射炉の内北炉溶解開始、銑606貫。
11月19日 2番反射炉の内南炉 銑710貫100目。
12月4日 18ポンド砲孔鑄開始(7時から昼8時時終)。
12月6日 2番炉 銑1200貫800目。
安政5年(1858年)
1月8日 1番18ポンド砲孔鑄(2月17日まで)
2月22日 3番18ポンド砲鑄造 銑1300貫目。
2月25日 型取離し。
2月晦日 砲頭、切落 巢更ニ無。
3月 報告(2双完成、錐台3連の内、1連完成。長崎鎔鋳の銑を使用すれば、西洋通りの大砲可能ただし、試験の結果、耐久性あるので急ぎの砲は、今までの銑を使用する)。
3月10日 3番18ポンド巢中 初鑄錐 開始。
3月13日 3番18ポンド打様し。
3月22日 佐賀藩派遣者隨時離離終了。3番18ポンド巢中鑄開。
4月12日 3番18ポンド打様し。
10月 銅製大砲鑄造の得失について幕府へ解答(銅製鑄造の反射炉は、煙突なく熱度7倍の相違あり。木杵砂形にては、鑄砲出来悪く、金形がよい)。

安政6年(1859年)

1月25日 銅製80ポンド 4挺、24ポンド 1挺。
7月25日 大風雨 小屋破損。
8月12日 大風雨。
8月21日 銅製80ポンド、24ポンド砲鑄造の下知。
10月21日 反射炉、修復の件 下見。
10月28日 反射炉修復。

万延元年(1860年)

1月5日 1番反射炉煙突大破 修復。

文久3年(1863年)

7月 翌年2月の間、講武所派遣者と江川家関係者による鑄砲が行われる。製品殆ど失敗。

元治元年(1864年)

7月 反射炉滝野川取建ての上申あり、葦山反射炉陸軍奉行に移管。
11月 葦山反射炉廃止提案される。

主な事項

建設費：見積額3,773両、総工費5,311両、諸経費約 2,000両。安政3~4年の補修・再築工事の資材・経費(錫71貫978匁7分、銅719貫87匁3分、銑11,535貫754匁5分、鉄3,665貫598匁5分計金4,529両1分永40文5歩)
築造関係者：〈反射炉御取建係〉八田兵助、松岡正平、岩嶋源八郎、山田熊蔵、市川来吉(蘭書翻訳)矢田部郷雲、石井修三(佐賀藩協力派遣者)田代孫三郎、杉谷雍助。
炉の溶解量：1炉500~700貫目、1双(2炉)1200~1300貫目。
製作大砲：当初予定18ポンド8挺、24ポンド47挺、36ポンド13挺、60ポンド9挺。
諸原材料入手先：銑鉄(江戸、大阪)、石炭(築後等)、木炭(天城炭)耐火粘土(天城梨本、後に葦山)。

上候書付」を上程した。これは、反射炉で青銅砲の
 鋳造が可能かという幕府の諮問に答えたもので、鉄
 製砲量産が予想どおり進まなかったことの現れであ
 る。佐賀の反射炉においても、相当量の青銅砲が鋳
 造されており、共通の課題でもあった。やがて、5
 ケ国条約締結に伴い、自力製造より輸入の方が安価、
 容易な時代となっていくのである。しかし、近代文
 明は鉄から始ったといわれ、反射炉における努力は
 明治へと引き継がれていったといえよう。

反射炉のその後と保存事業（明治年間）

葦山反射炉は、秘密保持のために移転したもので
 あり、資材や完成砲の運輸に関する限り、葦山の地
 は利便とはいいがたい。そこで、慶応年間に入ると
 幕府は、鋳砲所を小石川の関口龍土町に移転し、江
 戸川の水力利用による反射炉築造を企画した。この
 企画は、王子滝の川に、さらに小石川水戸藩邸（明
 治後の小石川砲兵工廠）へと、二転、三転した。小
 石川反射炉は、金6643両余（万延の改鋳により一両
 小判の価値は下落しているの、葦山築立時とは比
 較にならない）の見積りで、技師として江川家臣

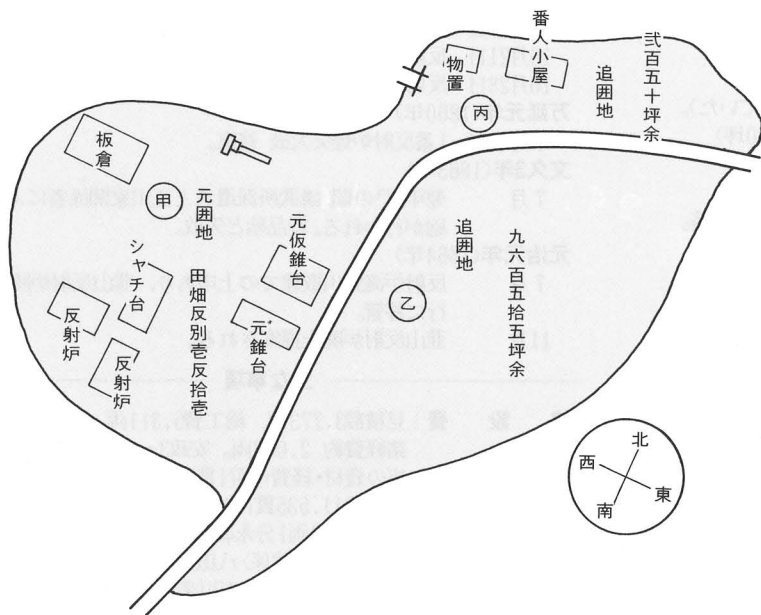
反射炉掛役の内藤八十八郎と葦山職工を招き、江川
 氏の手を経ない幕府直営とするものであった。

当然、葦山反射炉は不用となり、幕府は取崩しを
 命じた。慶応2年4月、江川英武（江川氏38世・英
 敏の庶弟）は、江川家私営とし、諸家依頼の銃砲製
 造の許可を願い出た。これはそのまま許可となった
 が、幕府は瓦解し、明治維新を迎える。英武は、新
 政府に反射炉処分の儀を伺い出たが、何の指令もな
 いまま月日が経過した。

その後、明治5年陸軍省武庫12等出仕松田道嗣が
 葦山に出張・調査した報告書が、前出の「反射炉其
 外間数取調書」・「豆州中村元大砲製造場機械取調書」
 である。これに基づき、翌6年陸軍大輔山県有朋の
 名により、反射炉及び附属品一切を造兵司令に引渡
 すべき命が下った。これにより、石と煉瓦積みの炉
 のみが残ることとなったのである。

風雨にさらされるままの炉を憂え保存のため、最
 初に動いたのが静岡県令大迫貞清である。明治12年
 大迫は、内務卿伊藤博文代理少輔林友幸に保存方の
 建白書を提出した。この許可により、反射炉は第三

資料6 明治5年陸軍省調査記録



反射炉の用地は、長さ30間、堀26
 間半、坪数791坪、反別8畝1歩(此
 段別屋敷地を除き、下田減米2斗6
 升1合)。煉瓦製造所坪数は、長さ15
 間、横13間、180坪、反別2畝10歩
 (此段別下畑減米5升7合)。合計
 高8斗9升5合の地で、総反別1反
 11歩(減米3斗1升8合)、この年
 貢控除を江川英敏より勘定所に願
 い出ている。以上は、明治5年(1872
 年)の陸軍省の調査によったもの
 である。参考のため、この時まで残
 っていた反射炉及び附属施設の規模、
 附属機械等の取調書(表3、表4)
 をあげておく。

図-11 明治5年 反射炉調査図

種官有地（古蹟風光保存地）となり、周囲を木柵をもって囲み、保存の道が開かれた。図11は大迫が内務卿に提出した図面であるが、その境界は図中の甲号を若干減じたものであるという。

しかし、その後放置荒廃するにまかせたため、江川英武はやむなく取り壊しを決意するが、これをとどめたのが、前田源之丞正順（甲龍）であるという。前田は葦山代官所手代であった人物で、英武に漢学を教授したこともあり、反射炉築造に関する坦庵の苦心を説き、英武を翻意させた。

その後、坦庵の歿後50年を機に炉そのものの保存の動きが出た。これに奔走したのが、英武の長女繁子の夫山田三良（東大法学部教授・のち学士院院長）・石黒忠恵（陸軍軍医総監）・大鳥圭介（陸軍奉行・駐清公使）らである。明治39年1月、山田三良は横山建堂（歴史学者）を伴って葦山にいたり、反射炉の実状を調査した。この時、上下2段の煙突の間に苔が生長して煉瓦の間に割りこむと共に、強き蔦が幾重にも取りまいて反対の作用をなし、炉体はかろうじて維持されている状態で、暴風雨か地震が襲

来すればたちまち崩壊すること疑いないありさまであったという。

山田は、横山に命じ、江川家の記録を調査させ、翌年1月から新聞・雑誌にその研究を発表、修理の必要性を盛んに鼓吹した。これとともに、山田は陸軍大臣寺内正毅を訪れ、陸軍省の後援による保存修理事業を実施することを求めた。寺内は、快諾し、明治41年5月修理費の支出を命じた。しかし、その請負工事が不完全であったため、さらに反射炉を陸軍省所管とし、10月頃より工事を開始した。斯くして、炉に鉄枠を施し、炉の周囲をロシア小銃219挺をもって囲み、周辺を整備させた。翌明治42年1月、修繕落成し、同16日の坦庵55回忌を期して記念祭を挙行した。式典には、寺内正毅・石黒忠恵・山田三良らが列し、三上参次（東大教授・文学博士）の記念講演も行われるという盛大なものであった。

なお、この時、江川氏より長谷川刑部作の臼砲3門が展示されている。

反射炉のその後と保存事業（大正・昭和年間）

我が国において、文化財遺産を保存し、活用を図る

表-3 反射炉其外間数取調書

表-4 豆州中村元大砲製造場機械取調書

反射炉其外間数取調書	豆州中村元大砲製造場機械取調書
<p style="text-align: center;">記</p> <p>一. 反射炉 二双 但高五丈二尺 敷長一尺八寸五分 横一丈六尺四寸 備考（一基は下脚に於いて六尺位低地にあり、故に之より起算せばあるいは五丈八尺位ならん）</p> <p>一. シャチ台 一棟 但桁行五間 梁二間半</p> <p>一. 板倉 一棟 但桁行七間 梁四間</p> <p>一. 元錐台小屋跡雨覆 一棟 但桁行六間半 梁間三間</p> <p>一. テール竈 一箇所 但堅一丈八尺 横九尺</p> <p>一. 番人小屋 一棟 但桁行六間半 梁間三間 之は江川英武置上置候分</p> <p>一. 物置 一棟 但桁行三間 梁間二間 之は右同断 合計八ヶ所 右之通御座候也 明治五壬申正月</p>	<p style="text-align: center;">記</p> <p>一. 合築反射炉 二双 此鍊化石坪四十四坪</p> <p>一. 同附属機械 鉄目 五千八百七十貫目 鉄目 千三百五十貫目</p> <p>一. 同小道具 鉄目 六百八十二貫二十匁 鉄目 二百九十八貫三百八匁</p> <p>一. 同シャチ台機械 鉄目 二百八十三貫目 鉄目 八十六貫九十目</p> <p>一. 三連錐台機械 鉄目 二千九十九貫八百六十五匁 銅目 六百三十三貫四百十三匁 鉄目 三百五十五貫二百三十匁 鉄目 四百四十一貫二百六十七匁</p> <p>一. 六十斤型穀台組 一組 鉄目 千二百八十五貫六百二十二匁二歩</p> <p>一. 三十六斤同 一組 鉄目 千二百六十七貫六百九十五匁五歩</p> <p>一. 十八斤同 一組 鉄目 六百二十五貫四百十三匁一歩 鉄目 六十六貫八百六十六匁三歩</p> <p>一. ホートホーウィッスル同 一組 鉄目 六百五十九貫 鉄目 三十三貫九十四匁 銅目 三十四貫三百五十匁</p> <p>一. テール製機械 一組 鉄目 二千二百三十九貫八百十匁</p> <p>一. 十八斤二挺 内一挺 塘中鑽開有之 一挺 鑄放之俣有之 鉄目 千三百貫目</p> <p>一. 仮錐台機械 鉄目 三百六十九貫五百九十目 銅目 百八十八貫九百四十八匁 鉄目 三百十八貫二十三匁</p> <p>一. 大砲外部仕上機械 筋入捻錐用 鉄目 二百七十一貫四百七十匁 銅目 百五十四貫七百二十目 鉄目 二百二十五貫五百二十九匁</p> <p style="text-align: right;">右機械重量之儀出来形帳書抜にて追々損傷且去る丑年中旧政府陸軍方のもの出張鉄砲製造に付諸機械模様換等いたし候に付現在重量急速取調難出来儀に御座候也 明治五壬申十月</p>

ため文化財保護という法的措置が始ったのは、明治4年の「古器旧物保存方」の太政官布告からである。その後、明治30年に「古社寺保存法」が制定され、これにより古社寺に属する建造物及び宝物類の保護が規定された。そして大正8年には「史蹟名勝天然紀念物保存法」が制定され、保護の対象は、土地、動植物等まで拡大された。文化財保護行政は、この後、昭和8年の「重要美術品等ノ保存ニ関スル法律」の制定、そして現在の行政基盤をなす昭和25年の「文化財保護法」の制定と続いている。

葦山反射炉が、史跡として指定（資料7）されたのは、大正11年3月8日で、「史蹟名勝天然紀念物保存法」が制定を受け全国指定が始った初期の段階である。この時期、北海道の五稜郭、東京の湯島聖堂などの主要な史跡が優先的に続々と指定されている。葦山反射炉にみられる産業遺跡は、使用される性格上、廃棄される運命にあり、大正年間まで保存されていたのは、初期の時代から、その文化財的価値が認識されていたためである。

製鉄関係の遺跡をあげると、大正13年指定の萩の

反射炉、昭和32年の橋野高炉、昭和57年の山口県のたたら遺跡のみである。近代産業の源となった鉄鋼産業を考えるとやや少ないともいえるが、これも産業遺跡としての宿命ともいえよう。最近は、各地で産業博物館が建てられ、ようやく、文化財保存の認識が、一般に浸透してきている。

近域に大災害をもたらした昭和5年北伊豆震災の際に、葦山反射炉では北炉煙突の最上部が崩落したものの、全体の崩壊をまぬがれたことは、明治42年の保存修理工事によるところが大である。その後、北炉の崩落部分を修復し、鉄骨トラスによる近代的な補強を行なった昭和32年保存修理工事、そして、今回の保存修理工事をかえりみると、30～50年周期ごとに保存修理工事を繰り返しながら、世界唯一といわれる貴重な文化財遺産をほぼ完全な形で、後世に引き継ごうとしている。

資料7 史跡指定

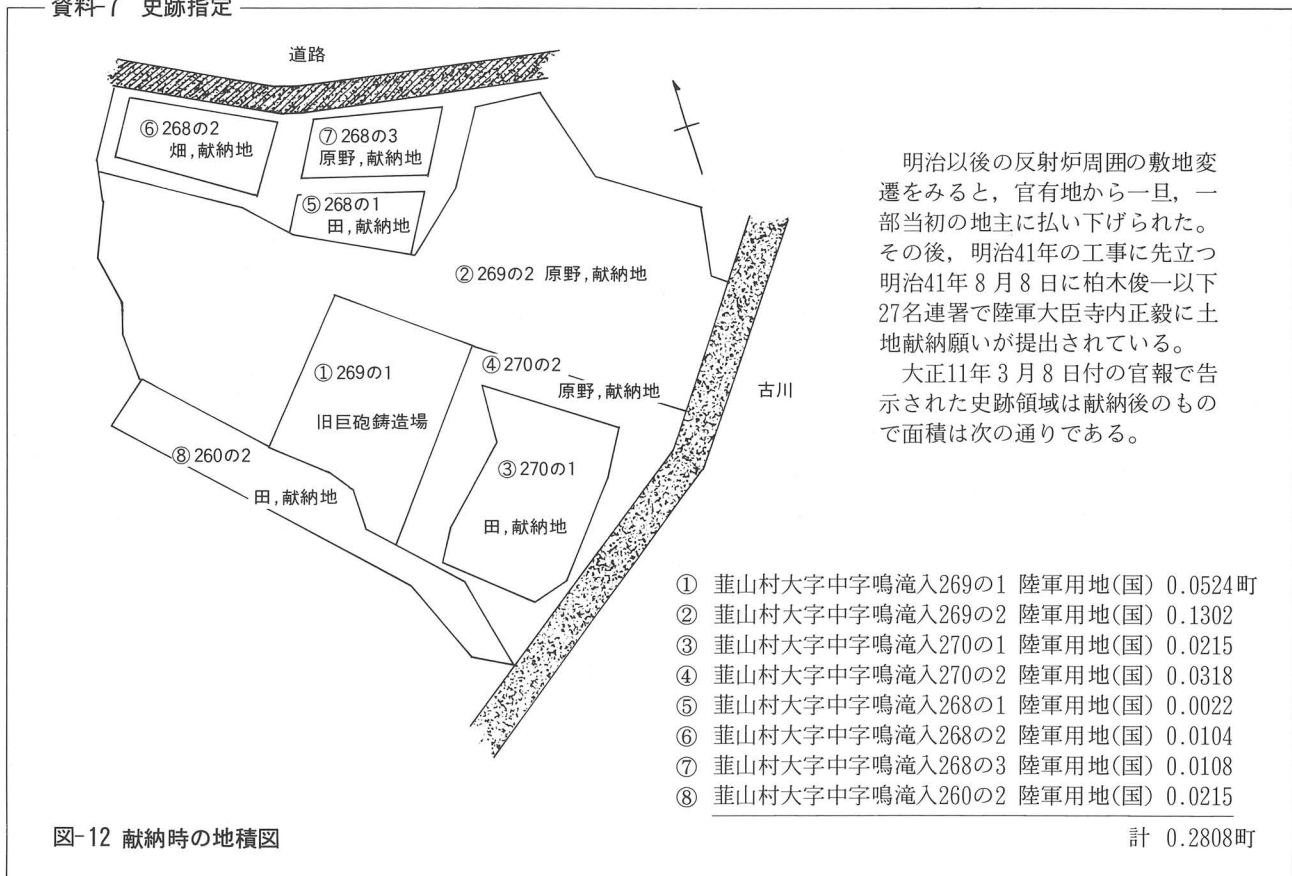


図-12 献納時の地積図

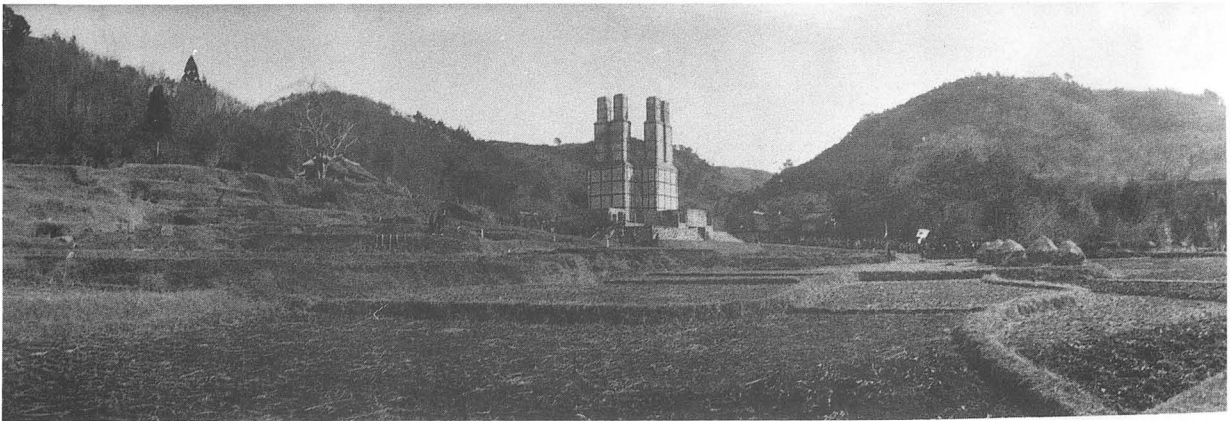


写真-13 反射炉 明治42年1月17日 (江川家所蔵)

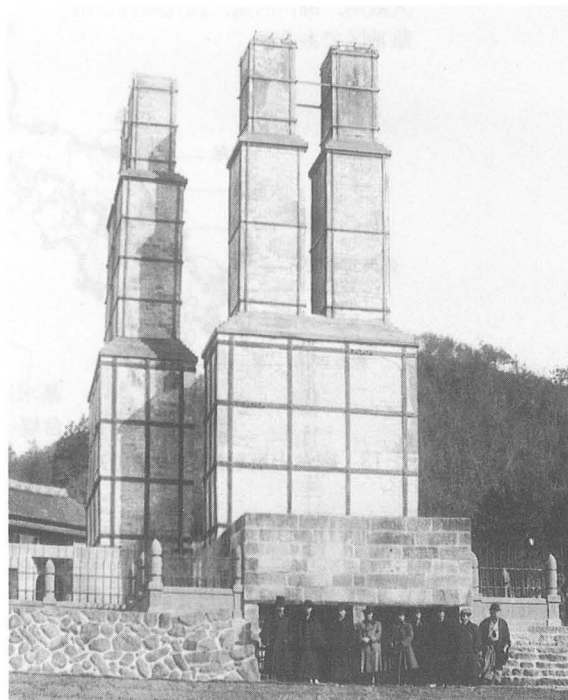


写真-14 反射炉 明治42年1月17日 (江川家所蔵)

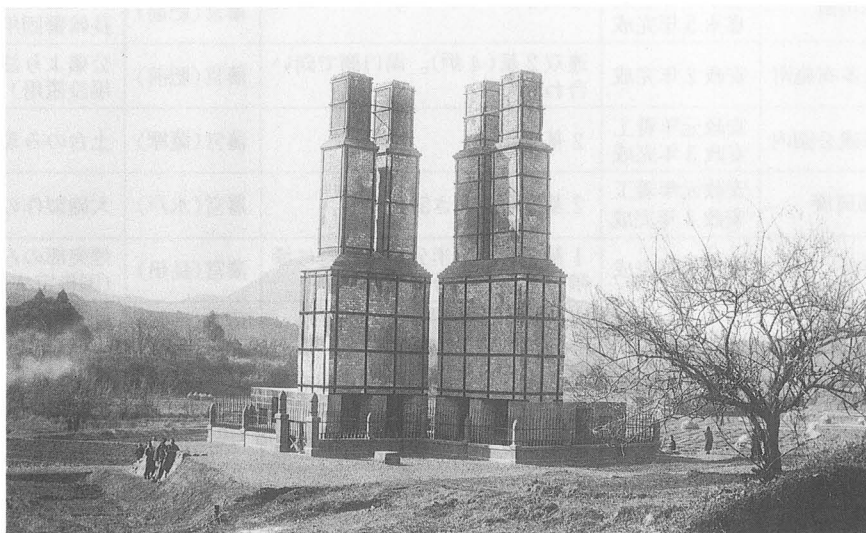


写真-15 反射炉 明治42年1月16日 (江川家所蔵)



写真-16 萩反射炉

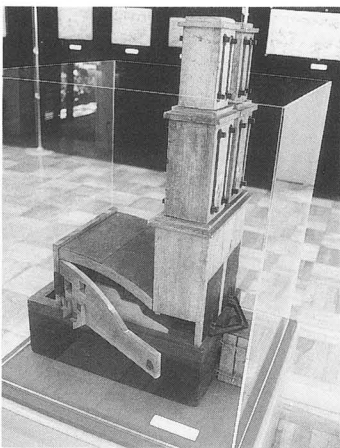
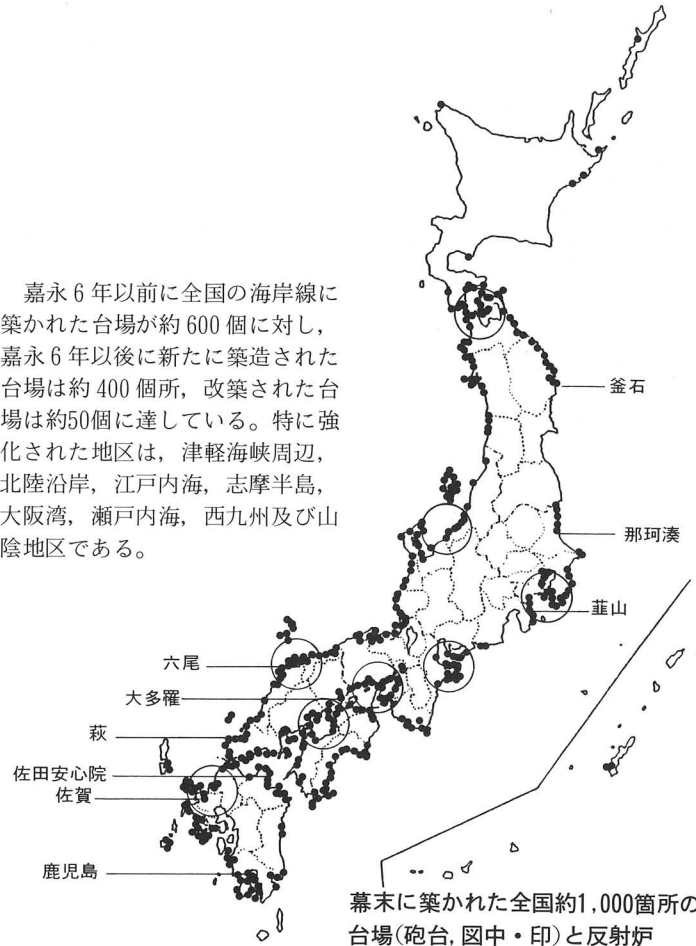


写真-17 水戸反射炉模型

嘉永6年以前に全国の海岸線に築かれた台場が約600個に対し、嘉永6年以後に新たに築造された台場は約400個所、改築された台場は約50個に達している。特に強化された地区は、津軽海峡周辺、北陸沿岸、江戸内海、志摩半島、大阪湾、瀬戸内海、西九州及び山陰地区である。



幕末に築かれた全国約1,000箇所の台場(砲台, 図中・印)と反射炉

図-13 砲台と反射炉 (文献13及び各都道府県教育委員会調査資料より)

表-5 反射炉一覧

名称	所在地	築造年	規模構造	所管	備考
葦山	静岡県田方郡 葦山町	安政元年着工 安政4年完成	連双2基(4炉)。炉体部は石積 煙突部(高さ15.6m)は煉瓦積	幕府直轄	現存(国指定史跡) 主に江戸湾警固用
下田	静岡県下田市高馬	嘉永6年着工	——	幕府直轄	建設途中で葦山に移設
滝野川	東京都北区滝野川	——	——	幕府直轄	幕府の崩壊と共に中止
古武井	北海道	——	——	幕府直轄	計画のみ
築地	佐賀県岸川町	嘉永3年着工 嘉永5年完成	連双2基(4炉)。湯口側で直交	藩営(肥前)	大砲製作の記録あり 長崎警固用
多布施	佐賀県上多布施町	安政2年完成	連双2基(4炉)。湯口側で向い 合わせ	藩営(肥前)	公儀より注文の大砲(品川台 場設置用)製作用
磯	鹿児島市磯公園内	安政元年着工 安政3年完成	2基4炉	藩営(薩摩)	土台のみ現存
那珂湊	茨城県那珂湊	安政元年着工 安政4年完成	2基2炉。高さ51尺	藩営(水戸)	大砲製作の記録あり
萩	山口県萩市	安政5年完成	1基2炉。下半分が玄武岩に漆 喰塗り。上半分が煉瓦積	藩営(長州)	煙突部のみ現存 (国指定史跡)
宮古	岩手県宮古市	——	——	藩営(南部)	計画のみ
佐田	大分県宇佐郡 安心院町	嘉永6年着工 安政3年完成	——	民営	経営者 賀来惟態 島原藩に納入
六尾	島根県東伯郡 大栄町	安政4年起工 安政9月完成	2~4基。2~4炉 高さ50尺。底部18尺平方	民営	経営者 大武信家 鳥取藩に納入
大多羅	岡山県岡山市	元治元年着工	1基1炉	民営	完成は不明

備考：引用文献(文献9,15~22)をもとに作成したもの。築造年、規模について十分な確証がないものもある。

第2章 保存修理事業の経緯 運営及び事業費

表-6 保存修理事業フロー

1980年 (S.55)	1981年 (S.56)	1982年 (S.57)	1983年 (S.58)	1984年 (S.59)	1985年 (S.60)	1986年 (S.61)	1987年 (S.62)	1988年 (S.63)	
調 査		設 計			工 事				
予備調査	本調査 I	本調査 II	基本設計	実施設計	工事 I, 基礎	工事 II, 北炉	工事 III, 南炉	工事 IV, 周辺	
<ul style="list-style-type: none"> ・外観目視調査 ・煉瓦, 目地材調査 ・耐久性, 耐震性調査計画書作成 	<ul style="list-style-type: none"> ・敷地地盤調査 ・炉体常時微動調査 ・煙突部傾斜測定 ・炉体外観老朽調査 ・炉体写真測量 	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎・地業調査 ・炉内部観察調査 ・煙突内部観察調査 ・耐震診断 ・補修, 補強対策の立案 	<ul style="list-style-type: none"> ・補修用煉瓦の試作実験 ・炉体補強実験 ・炉体上部調査 ・煉瓦耐久性実験 ・地盤振動特性調査 ・特記仕様書の作成 	<ul style="list-style-type: none"> ・構造設計図書作成 ・実施設計図書作成 ・工事仕様書作成 	<ul style="list-style-type: none"> ・補修用煉瓦製作 ・補強鉄骨加工図作成 ・基礎補強工事 ・炉体補強工事 ・特殊仮設基礎工事 ・耐震性向上調査 ・遺構調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・補強鉄骨, 特殊仮設鉄骨製作 ・煉瓦, 目地補強工事 ・補強鉄骨差替工事 ・煙突補強工事 ・炉床修復工事 ・炉下補強工事 ・耐震性向上調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・補強鉄骨製作 ・煉瓦, 目地補強工事 ・補強鉄骨差替工事 ・煙突補強工事 ・炉床修復工事 ・炉下補強工事 ・耐震性向上調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺整備工事 ・下焚口修復工事 ・耐震性向上総合解析 ・遺構調査 ・総合報告書作成 	
事業費(円)									
1,651,100	24,002,702	23,604,085	14,910,095	15,123,900	82,258,440	83,898,420	82,835,940	37,153,910	
								合計	365,438,592円

・保存修理事業は、1980年から1988年までの9カ年をかけて、調査、設計、工事の順に実施した。

The repair and reinforcement work was conducted over 9 years; from 1980 to 1988, in the order of survey, analysis, design, and finally, work.

第2章 保存修理事業の経緯、 運営及び事業費

1. 保存修理事業の経緯

保存修理事業に至る経過

第1章記載のとおり、明治42年（1909年）に陸軍省によって実施した修理事業の効果は、その後の炉体保全に顕著に現われている。即ち、大正12年（1923年）9月1日発生に関東大震災においては、外観上で煉瓦及び石積み部に若干のズレが生じた程度の被害にとどまり、更には昭和5年（1930年）11月26日の北伊豆地震（マグニチュード7.3、震度VI烈震）に際しても、近隣町村の蒙った大被害の中で、葦山反射炉は、北炉の2基に、煙突最上段部の崩落と、南北両炉の煙突内部に亀裂を生じた被害こそ受けたが、炉体倒壊の事態からは免れている。

また、地域（葦山村以外も含む）の有志は、江川坦庵の偉業敬慕の念から大正15年に葦山反射炉保勝会を組織、次いで昭和2年には坦庵会も結成され、

会員の抛金により江川坦庵の顕彰と反射炉の保存に自主的貢献をなしてきた。

戦後は我が国鉄鋼産業界の貴重な遺産として再認識され、昭和32年度に北伊豆地震で蒙った被害の復元と基礎及び鉄骨枠架設等の補強工事が実施されている（細部は第3章参照）。然しながら、当時の補修・補強工事は、諸般の事情により、炉体保全の根本的事項を満足させるものではなかったといえる。

その後度々の地震による各部のゆるみと共に、長年月の風雨による自然損耗が進み、炉体特に煉瓦積み部に風化脱落の他、鉄骨枠との離反が顕著となってきた。更には東海沖大地震の予想が発表されるに及び、早期に反射炉保全のための対応に迫られていた。このため葦山町は、昭和55年11月1日付けを以って、葦山反射炉保存修理委員会を発足させ、東京大学工学部岸谷孝一教授を全般指導官として迎えると共に文化庁記念物課、静岡県教育委員会文化課の指導を得つつ、保存修理事業に着手した。

保存修理事業実施上の着意事項

文化財の保存修理には、一般の建造物補修とは異

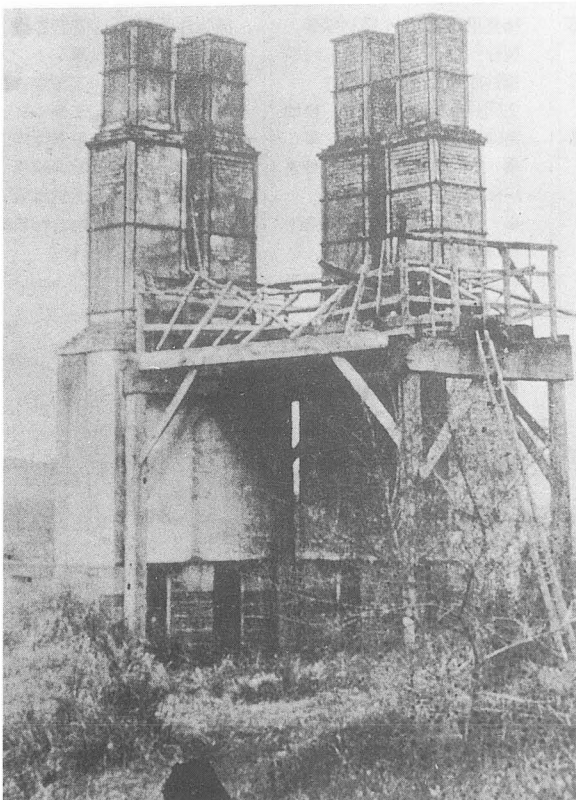


写真-18 反射炉 明治5年兵部省に引渡し時（江川家所蔵）

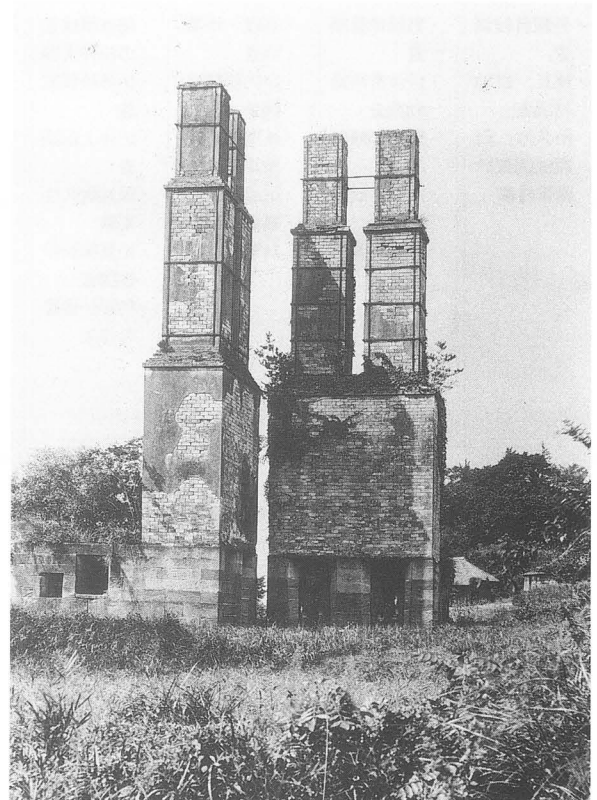


写真-19 陸軍省保存工事着工前の全景（江川家所蔵）

なる点の多くあることを認識し、特に次の諸点に着意した。

(1) 文化財の原形保持を第1義とした。

このため補強方法の程度にはある種の限界が生ずるもやむを得ぬこととした。本事業完成後の炉体の耐震能力は、地震波の地表面入力 300 gal（震度VI相当）を目標としたが、万一これ以上の力が加わり、炉体が潰滅に近い事態を生じても後日の復元を可能にさせるための細部資料を整えることとした。また、補修用煉瓦も既存煉瓦と材質が近似し、かつ、現状の色調とも合致させるため7色の煉瓦として焼成した。

(2) 文化財公開の中断を最小限とした。

菰山反射炉は、年間25万人以上の見学者が訪れており、南北両炉を同時併行して施工するときは、長期間に亘り文化財の公開を中断する結果となるため、見学者の安全を十分留意しつつ、南北両炉を各1年工期に区分実施した。なお、結果的に同時併行実施を避けたことにより、前年度実施の教訓を次年度に活用し得る利点が生じている。

(3) 工事実施間における炉体の保全に努めた。

伊豆半島付近は地震の多発地帯であり、特に既存鉄骨を新規鉄骨に架け替えする時期が憂慮された。このため、予め250gal（震度V相当）に耐え得る特殊仮設鉄骨を作成、足場と共に養生用とし、炉体両側面よりジャッキによる締め付けを各所に施した。本工事実施の間、偶々伊豆東海岸地震及び、三原山噴火による地震が群発したが、高所作業員や炉体の安全保持に効果があった。

(4) 工事の間、地表面下の旧遺構解明に努めた。

『反射炉御取建日記』によると、反射炉築造に関し、その基礎部の作業に長時日を要していること、及び古絵図に見る鑄台（鑄込み作業場）等の旧施設の状態は解明されておらず、工事と併行しつつ、なし得る限りこれらの調査を実施することとした。

保存修理事業の経過概要

保存修理事業は、前項の着意点に留意し、次のとおり調査、設計、工事の3期に区分し実施した。

①第1期……現況調査（昭和55～57年度）

反射炉に関する諸記録整備、炉体及び煙突部の老朽

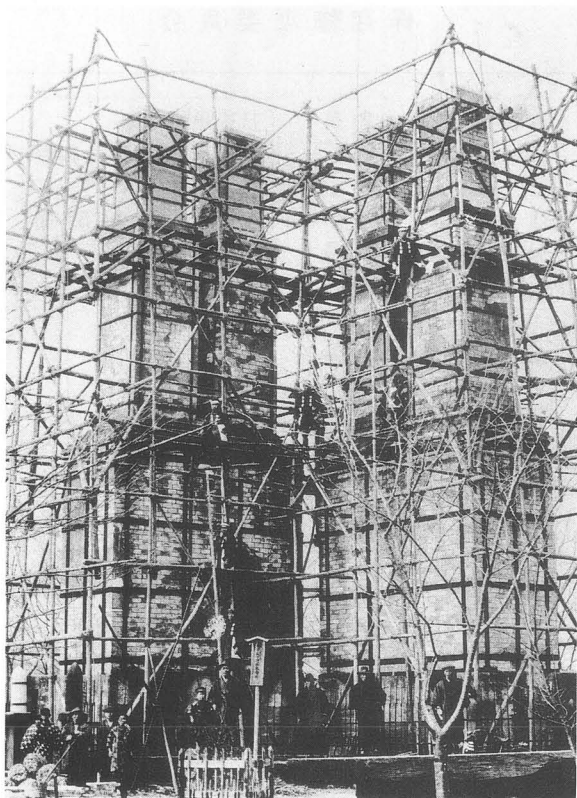


写真-20 大正年間補修工事

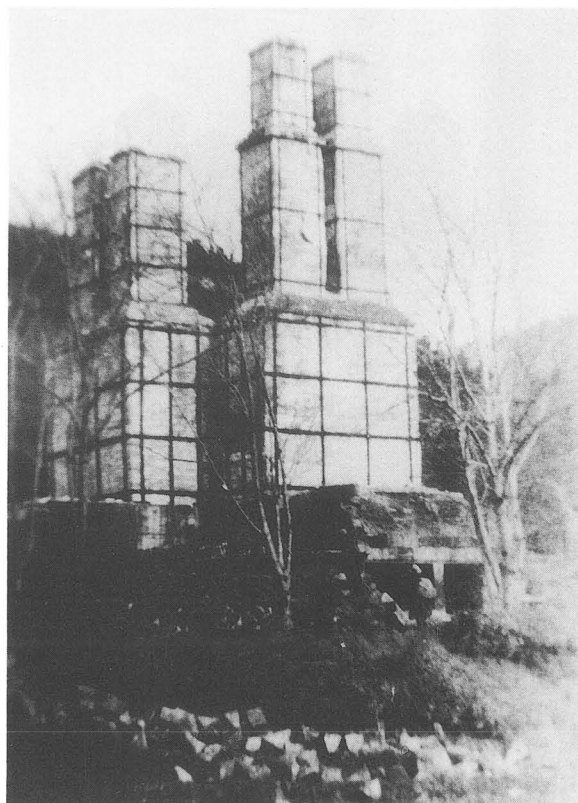


写真-21 北伊豆地震崩壊直後の反射炉

- 度調査，煉瓦に関する調査，耐震診断調査他
- ②第2期……設計図書の作成（昭和58，59年度）
設計図，工事仕様書，特記仕様書，構造計算書，特殊仮設物構造計算書の作成他
- ③第3期……補修・補強工事（昭和60～63年度）
- 炉体補強工事，基礎工事，煉瓦・鉄骨材の発注他
 - 北炉の補修・補強工事
 - 南炉の補修・補強工事
 - 周辺整備工事，遺構発掘調査，振動調査，報告書の作成他

2. 保存修理事業の運営

(1) 事業主体は，葦山町で，国庫及び県費補助対象事業として実施した。また，事業を適性，円滑に推進させるため，葦山反射炉保存修理委員会を設置（町条例による）年2～3回委員会を開催して，葦山町作成の「葦山反射炉調査計画書（第1次～第2次）」及び「葦山反射炉保存修理事業計画書（第1次～第7次）」に拠り，事業内容の検討と確認を行いつつ

事業を進めた。また各事業の結果は，各年度毎，単年報告書として作成し，その細部を明らかにした。

(2) 全体事業の内，調査委託及び設計・工事監理委託先として財団法人建材試験センターを選定，また工事請負先としては文化財保存事業に実績のある8社指名競争入札の結果，株式会社竹中工務店を選定した。

(3) 前項記載の第3期事業においては，工事の安全，円滑化を図るため，発注者（葦山町教育委員会，企画管財課，建設課），監理者，施工者の「三者定例打ち合せ会」を毎月1回（10日前後）開催，反射炉保存修理委員会決定事項の具現を図った。また，工事は設計図書及び各調査報告書を基に，施工者が作成する全体工事計画書及び個々の施工計画書について，上記三者により事前に内容検討を加えた後，施工に移ることとした。なお，反射炉敷地内に現場事務所を設置し施工者側の現場管理人1名が常駐すると共に，監理者側が各工程に応じ現場に勤務した。

(4) 事業組織図及び保存修理事業関係者……資料9による。

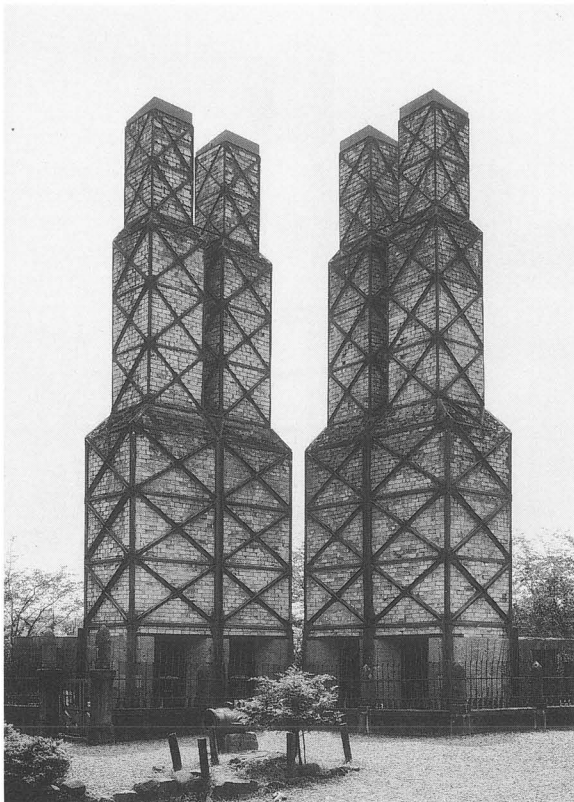
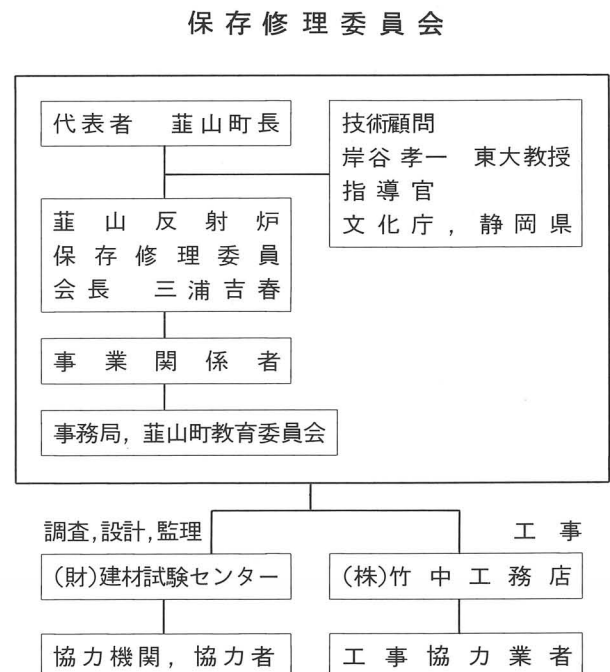


写真-22 工事前の反射炉 北東側

表-7 事業組織図



資料-9 保存修理事業関係者

○保存修理委員会構成(S.55～S.63)

事業代表者：渡辺文三 菫山町長(S.60～S.63)
 “：高橋静夫 菫山町長(S.56～S.60)
 “：多田憲次 菫山町長(S.55～S.56)
 “：松下友平 菫山町長(S.55)
 全般指導官：岸谷孝一 東京大学工学部教授(S.55～S.63)
 文化庁指導官：安原啓示 文化庁主任調査官(S.62, S.63)
 “：牛川喜幸 文化庁主任調査官(S.55～S.61)
 “：加藤允彦 文化庁調査官(S.58～S.63)
 “：高瀬要一 文化庁調査官(S.55～S.57)
 静岡県指導官：村上誠二 静岡県指導主事(S.63)
 “：天野忍 静岡県指導主事(S.60～S.62)
 “：山下晃 静岡県指導主事(S.60, S.61)
 “：森下嘉男 静岡県指導主事(S.59, S.60)
 “：中村羊一郎 静岡県指導主事(S.57～S.59)
 “：鈴木吉勝 静岡県指導主事(S.55, S.56)
 委員(会長)：三浦吉春 菫山町文化財委員長(S.57～S.63)
 “(“): 鈴木荘泰 菫山町文化財委員長(S.55, S.56)
 “(副会長)：菊地宗三郎 菫山町議会議長(S.62, S.63)
 “(“): 高橋武義 菫山町議会議長(S.60, S.61)
 “(“): 市川忠義 菫山町議会議長(S.58, S.59)
 “(“): 大川隆 菫山町議会議長(S.56, S.57)
 “(“): 宮沢主計 菫山町議会議長(S.55)
 “：石井憲治 菫山町厚生文教委員長(S.62, S.63)
 “：山下久八 菫山町厚生文教委員長(S.56, S.57, S.60, S.61)
 “：宮沢主計 菫山町厚生文教委員長(S.58, S.59)
 “：江間忠 菫山町厚生文教委員長(S.55)
 “：須原孝之 菫山町助役(S.61～S.63)
 “：佐藤勝定 菫山町助役(S.57～S.60)
 “：高橋静夫 菫山町助役(S.55～S.56)
 “：日吉章弘 菫山町教育委員長(S.63)
 “：雨宮清源 菫山町教育委員長(S.55～S.63)
 “：中村利夫 菫山町文化財副委員長(S.57～S.61)
 “：木内栄 菫山町文化財副委員長(S.55～S.56)
 “：伊丹重雄 江川家代表(S.55～S.63)
 事業関係者：山田一夫 菫山町教育委員会教育長(S.57～S.63)
 “：佐藤勝定 菫山町教育委員会教育長(S.55, S.56)
 “：鈴木正明 菫山町教育委員会教育長(S.55)
 “：梅原忠正 菫山町建設課長(S.60～S.63)
 “：山下三千雄 菫山町建設課長(S.59, S.60)
 “：小川勝 菫山町企画管財課長(S.60～S.63)
 “：遠藤幸雄 菫山町企画管財課長(S.56～S.60)
 “：増島一良 菫山町企画管財課長(S.55)
 “(契約事務)：水野洋明 菫山町企画管財課(S.62～S.63)
 “(契約事務)：大川利次 菫山町企画管財課(S.60～S.63)
 “(契約事務)：下里薫 菫山町企画管財課(S.55～S.61)
 “：小針輝男 菫山町社会教育課長(S.61～S.63)
 “：飯田孝雄 菫山町社会教育課長(S.63)
 “：渡辺恒利 菫山町社会教育課長(S.56～S.60)
 “：小川勝 菫山町教育委員会事務局長(S.55)
 “(遺構調査)：原茂光 菫山町社会教育課(S.60～S.63)
 事務局(総括)：石津英次 菫山町囃託(教育委員会)(S.55～S.63)

○調査、設計、監理(S.55～S.63)：(財)建材試験センター

代表：理事長 長澤榮一 (S.63)
 “： “ 長澤武 (S.56～S.63)
 “： “ 伊藤鉦太郎 (S.55)
 “：常務理事 金子新宗 (S.55～S.63)
 “：調査研究課 久志和巳 (S.57～S.63)
 “： “ 鈴木庸夫 (S.55～S.57)
 調査設計担当： “ 黒嶋寛光 (S.55～S.60)
 設計監理担当： “ 森幹芳 (S.60～S.63)

○調査協力機関及び協力者

- 写真測量：朝日航洋(株)
- 地盤調査：東京ソイルリサーチ(株)
- 資料調査：建設文化研究所 菊岡 俱也
 “：元早稲田大学教授 洞 富夫
 “：中央大学理工学部 菊池俊彦
- 製鉄、鋳造技術： 芹澤正雄
 “：早稲田大学理工学部 草川隆次
 “：千葉工業大学 館 充, 雀部 実
 “：産業考古学会 両角宗和
- 左官技術： 久住 章

○施工者(S.60～S.63)：(株)竹中工務店

東京本店：本店長 小早川洋太郎
 “：次 長 黒川泰三
 “：技術部 石田幸正, 内田忠男
 “：リノベーションセンター 勝畑安雄
 “：設計部 原 誠, 今田晴雄
 技術研究所：所 長 近藤基樹
 “： 山口育雄, 長能正武
 “： 坪内信朗, 持田哲雄
 横浜支店：支店長 西野 徹
 “： 菅井捷史, 沖田哲雄
 “： 清水勇美, 細川 一
 “： 温清太郎
 伊豆営業所：作業所長 中村義輝
 “：現場代理人 杉浦和雄 (S.63)
 “： 佐野正昭 (S.60～S.62)

○工事協力業者 (S.60～S.63)

- 煉瓦製作：(株)国代耐火工業所 加藤国雄, 吉川盛一
- 嵩土工事：渡辺建設(株) 渡辺誠司(代表者)
 杉崎正造, 力石 智, 中村永伯
- アースアンカー工事：日本基礎技術(株) 猪股 昭
- 注入補強, 劣化防止工事：(株)青木工業所
 青木龍雄(代表者), 嶋田勝巳, 海老沢宏
 新井利男, 小林金作, 嶋田勝成
- 煉瓦差替, 左官工事：(有)静岡コンクリート美装
 村松孝寿(代表者), 土田 巖, 粥川 豊
- 鉄骨工事：(株)キンヤ 大井一郎(代表者)
 佐藤 功, 青山芳夫, 奥沢 朗
 滝沢利夫, 鈴木久雄, 河原義勝, 下山喜久男
- 鉄骨塗装工事：(株)大塚塗装 大塚 博(代表者)
 矢田栄一, 山本利幸
- 重機レンタル：大富運輸(株) 大木正明(代表者)
 鈴木敏勝, 武田真吾
- 金物製作：キンヤ金物(株) 望月文夫
- サイン工事：(株)びこう社 藤本博己, 高石将人

3. 事業費

保存修理事業は、国庫及び県費補助金を受け実施した。その収支概要は下表(表8 事業費)のとおりである。

1. 収入の部 (単位: 円)

年 度	国庫補助金	県費補助金	町支出金	雑収入※	合 計
55	825,000	250,000	576,100	0	1,651,100
56	12,000,000	4,000,000	8,002,702	0	24,002,702
57	11,799,000	3,930,000	7,875,085	0	23,604,085
58	7,448,000	2,480,000	4,982,095	0	14,910,095
59	7,540,000	2,510,000	5,073,900	0	15,123,900
60	41,119,000	13,700,000	27,439,440	0	82,258,440
61	41,947,000	13,700,000	28,251,420	0	83,898,420
62	41,003,000	13,660,000	27,365,440	807,500	82,835,940
63	18,573,000	6,180,000	12,400,900	0	37,153,910
計	182,254,000	60,410,000	121,967,092	807,500	365,438,592

※: 雑収入は旧鉄骨材の売却代金

2. 支出の部 (単位: 円)

年 度	調査委託費	設計委託費	工事監理委託費	工事請負費	その他の経費	合 計
55	1,530,000	0	0	0	121,100	1,651,100
56	23,840,000	0	0	0	162,702	24,002,702
57	23,500,000	0	0	0	104,085	23,604,085
58	0	14,800,000	0	0	110,095	14,910,095
59	0	15,000,000	0	0	123,900	15,123,900
60	0	0	8,500,000	73,644,000	114,440	82,258,440
61	0	0	12,000,000	71,802,000	96,420	83,898,420
62	0	0	15,474,500	67,255,000	106,440	82,835,940
63	0	0	3,750,000	28,990,000	4,413,910	37,153,910
計	48,870,000	29,800,000	39,724,500	241,691,000	5,353,092	365,438,592

※: その他の経費は事務諸費 (63年度は発掘調査費及び報告書の印刷製本費を含む)

3. 工事請負費の内訳 (単位: 千円)

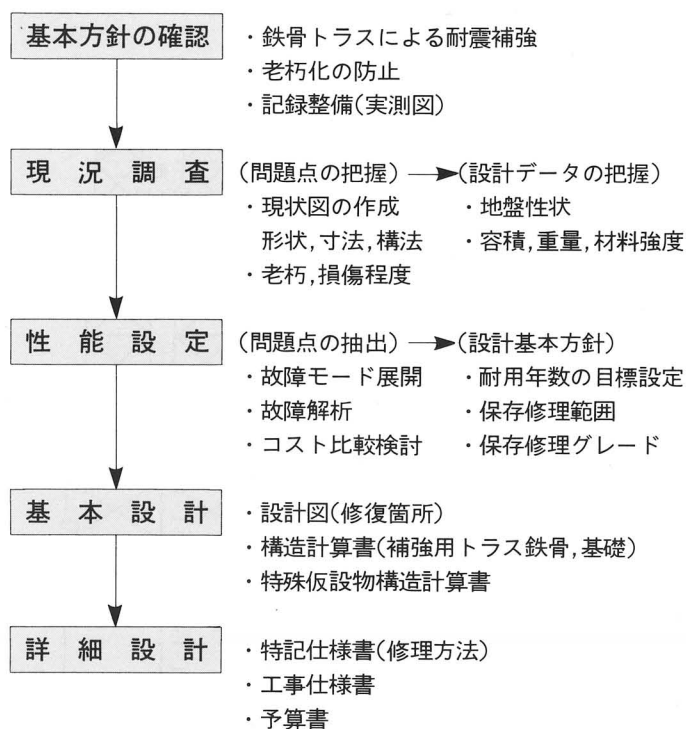
内 訳	60 年度	61 年度	62 年度	63 年度	合 計
I. 現存部分の保存修理補強工事	8,045	13,925	15,842	948	38,760
外壁補修・補強	0	2,436	3,173	0	5,609
煙突内部工事	0	9,949	10,353	0	20,302
炉体補強工事	7,107	0	0	948	8,055
炉内の保存修理	938	1,540	2,316	0	4,794
II. 差替等のための工事	14,950	14,097	11,172	0	40,219
外壁煉瓦差替工事	※ 14,950	13,590	10,665	0	39,205
煙突天蓋差替工事	0	507	507	0	1,014
III. 耐震性向上のための補強工事	15,745	8,702	8,702	0	33,149
補強鉄骨工事	3,434	6,176	6,176	0	15,786
補強鉄骨防錆塗装	0	2,526	2,526	0	5,052
基礎工事	12,311	0	0	0	12,311
IV. 既存鉄部の塗装工事	0	0	0	350	350
V. 特殊仮設鉄骨工事	11,773	7,245	3,374	0	22,392
VI. 周辺整備工事	0	0	0	22,857	22,857
VII. 調査・試験	511	380	380	0	1,271
VIII. 仮設工事	13,015	18,088	19,032	1,111	51,246
IX. 諸経費	9,605	9,365	8,753	3,724	31,447
計	73,644	71,802	67,255	28,990	241,691

※: 煉瓦製造

第3章 保存修理工事の計画

表-9 計画のフロー

文献-19~33



The repair, reinforcement work was planned 5 years before work actually started. The basic policy of the work was aseismic reinforcement and improvement of durability. The survey was conducted to comply with the basic policy and the necessary design manual was made based upon the results of the survey.

第3章 保存修理工事の計画

1. 概要

(1) 保存修理の基本的構想

文化財修理の基本的な方法として、木造建築物のように解体し補修材を混じえて再構築する方法と当時の材料、工法を復元して行う方法、又は新しい技術を加えて現形のまま保存する方法などがある。

老朽化が著しく進行し地震対策が求められるようになった葦山反射炉を、まずどのような方法でどのように保存するかについて、検討が行われた。この結果、昭和32年の鉄骨トラスによる補強方法(図14, 資料10)を尊重して、計画を進めることとした。これは解体工法については、煉瓦積みを一度解体すると炉内、煙突内部に付着している溶解物が破損し、文化財の特質すなわち炉の操業状況のこ跡が失われてしまう欠点があること、また、煙突内部に補強物を入れる方法についても検討を加えてみたが、こ

の場合も前述のように、煙突内部や炉の湯口部分を一部破損してしまうこと、及び耐震補強が十分確保できないなどの理由から、外部を鉄骨トラスで囲む補強方法が採用された。昭和32年工事の方法をみると外部の補強鉄骨も、以前(明治)の補強方法を踏襲して、上部から下部へ格子型からトラス型に形を変えているにすぎず、補強鉄骨で囲まれた姿が特別な異和感もなく見学者に受けとめられている状況を考え、鉄骨による耐震補強を引続き採用することとした。

(2) 保存修理の基本計画

後世の学術探求を考慮して、解体方法を用いず可能な限り文化財の特質を保持する“現形保存”を行うことを原則とし、①劣化のスピードを鈍化させ、延命対策を施す。②万が一の倒壊時のために、詳細な実測図を作成する。③内部の補強が不要になる手段をとる。の3点を基本方針として確認した。この基本方針を基に、3ヵ年にわたる調査を行い、問題点の把握、抽出、解析、記録整備及びコストの比較検討を行い、次の2ヵ年で具体的な葦山反射炉の保

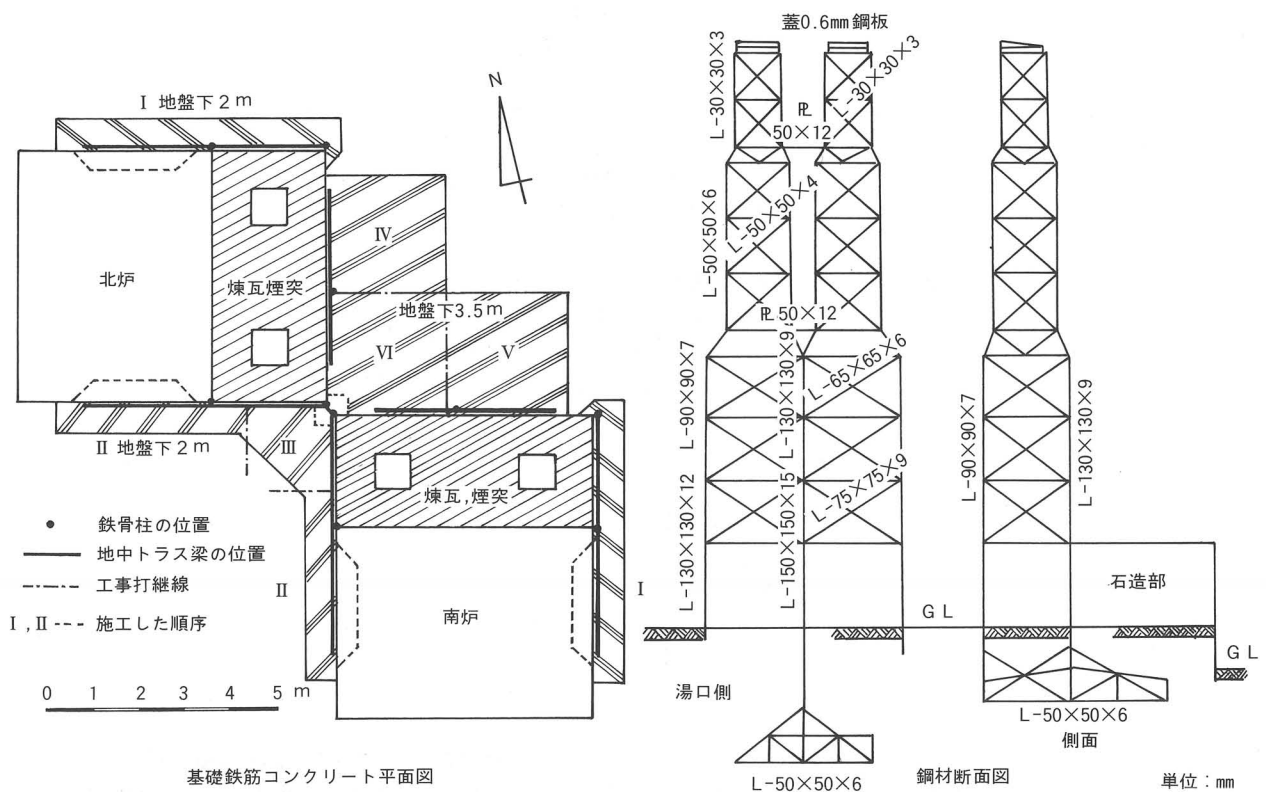


図-14 昭和32年補強工事設計図

資料-10 昭和32年度葦山反射炉保存修理工事記録

昭和32年度 葦山反射炉保存工事について(抜粋) 東京大学教授・工博 浜田 稔 東大大学院学生 山根 昭

1. 設計方針

先きの陸軍省当時の修理では、一応帯鉄で煉瓦煙突を補強してはあったが、煙突の各階段部では上下の鋼材に何の連絡も無く耐震上不安で、伊豆地震に際し崩れた。今回の補修は現状の趣きを可及的に保存し、しかも耐震上の安全を期し、また自然風化防止を達成することとし、耐震的には鋼材による補強方法をとる、煉瓦および目地の風化・破損に対しては十分な補修を加え、外部から撥水塗装を行うこととした。

このうち最も主たる目標の耐震補強については、柱体を鉄骨フレームで囲い、地震時応力をすべてこのフレームで耐えさせることとした。具体的な設計を始める前に次の調査を行った。

2. 調査

主として反射炉の規模・構造・煉瓦の風化・基礎および地盤の状況を調査し、設計方針の検討を行った。煉瓦積煙突の各柱体は各段毎に今迄の地震によって僅かに動いており、更に傾斜と捻れを呈しているが、その変形図を作り、煉瓦および目地の風化・破損の程度をも記入した。地盤は堅い砂混り粘土で、基礎は径約1.5 m程度の大理石が使用してあった。

3. 実施設計

(1) 方針 煙突の外部に鉄骨トラスを籠状に取付け、内部に若干の工作を施して地震に耐えしめ、この鋼材の最下端は炉体に接して地中深く下ろし、地中に新設する鉄筋コンクリート基礎スラブに連結し、このコンクリートの自重とその上に載る土の自重によって鋼材の引張に対抗せしめることとした。

(2) 耐震設計 許容応力度を慣習通り鋼材・コンクリート・地耐力について定め、容量は、土・コンクリートについては常用値を、煉瓦は実測値約1.7 t/m²(気乾)に基いて1.8 t/m²とし、震度0.35として炉体各部および全体の自重と、地震時水平力による柱体のモーメントおよび剪断力を算出した。各トラス部材の応力算定の方針として、煙突部の煉瓦積は剪断力および引張力には無抵抗とし、従って全水平力は鉄骨トラスに加わるものとした。煉瓦柱体と鉄骨トラスのフレームを一体構造とするために、外観を損なわない程度でなるべく密に鋼材を配して煉瓦を締付け、鋼材の接触する部分の煉瓦面は、鋼材の形に従って溝を作り、鋼材との間に十分にモルタルを充填することによって強固にし、また煙突内部には箱型木製組子を入れて煉瓦面との間に乾砂をつき詰めて内外から補強し一体化することとした。

(3) 基礎 最下部柱材は炉体の構造から側面および後面計5ヶ所に配置し、地中深く掘り下げ、そこで基礎梁トラスを作りこのトラスから鉄筋を水平に出してスラブを形作り、この基礎コンクリートスラブとその上に載る土との自重の和が柱材の引張に耐えるよう設計した。幸い地盤が比較的堅固であって炉体に及ぼす影響が少いと判断されたので、炉体に沿って行うこの工事の成功を期待したものである。所要コンクリートは約32m³。

(4) 煙道内部の工作 外部の鋼材のトラスの配置と、煉瓦目地の補修を十分にすることによって柱体の耐震補強を確保し、内部は柱体の変型を防ぎつつ個々の煉瓦の脱落を防ぐことを主眼として設計した。すなわち煙道内部には、6cm角の檜材を四隅として厚2.5cmの杉板を相決りに張った高さ50cmの木枠のブロック(クレオ

ソート塗り)を作り、最下部の煙道の狭まった所に木製土台を固定し、その上に順次ブロックを積み重ね乍ら、木製枠と煉瓦面との間に乾砂を充填して柱体を一体化し、併せて個々の煉瓦の内部への脱落を防ぐこととした。

(5) その他の部分についての設計 新しく建築する構造物と異って、傾斜し捻れている煉瓦煙突に真直な鋼材を取付けて補強するということは仲々困難なことではあるが、傾斜と曲りの平均をとって、鋼材と煉瓦面との最大のあきが約5 cmとなるように鋼材の枠の現寸を定め、従って鋼材の当る部分は、一応はつってから鋼材をはめ込み、接触部のあきにはモルタルを十分に充填することとした。またモルタルの剝落を防ぐために、鋼材に一定間隔毎に径5 mmの孔をあけ、相対する煉瓦面にも埋込孔を設け、径3 mmのボルトを通して鋼材に溶接し、このボルトに鋼線を繋いで芯となし、モルタルの附着効果を良くし、剝落を防ぐものとした。

(6) 煉瓦補修工事 先きに述べた如く煉瓦の欠損・風化は著しかったが、表面は風化していてもその程度は内部迄変質したものでないために強度も保持しており、この中に混入して使用してあるやや質の落ちる煉瓦の欠損が甚だしかった。設計方針の、現状を可及的に保存するという主旨に基き、欠損甚だしい部分や、混用してある質の劣る煉瓦の風化の著しいもののみを取り替え、他はモルタルで補修塗りを行い、現状になるべく近い色に仕上げることとし、取り替える煉瓦は、白色セメント・顔料・川砂・浅間産軽砂利を使用して煉瓦と同寸・類似色の軽量コンクリートブロックを作り(容量1.7 t/m³で煉瓦とはほぼ同一)これを積むこととした。

4. 工事

工事は基礎・鉄骨接触部分のはつり・鉄骨取付け・煙道内部の木製枠挿入・煉瓦面補修の順に行っていた。

(1) 基礎工事 炉体に接して工事を行う危険性に鑑み、これを更に細分して6回に分けて施工することとし、炉体側面から掘きくを開始した。第一に遭遇した困難は、炉体に接して作る基礎コンクリートのために、炉体の従前の基礎石を炉体直下迄はつり取る作業であったが、作業に時間を掛けることにより解決を得た。炉体の後面の地盤掘きくの際には、もともとこの位置は反射炉使用当時は低い地盤で、炉の後部の湯口から溶鉱を流し込んで鑄型に入れて成型するための鑄型を置いた所であって、後世使用を停止して後この場所の施設をそのまま埋戻して他の部分と同じ地盤としたものであったので、いわば成型室の床・壁・冷却水道と思われる施設がそのまま現われて基礎工事の掘きく作業を悩ました。

分割して行った鉄骨トラス梁の接合はガゼットプレートに溶接し、鉄筋はガス圧接による。コンクリートはセメント使用量300 kg/m³、硬練を打込み、養生4日で半分埋戻し、7日で全部埋戻した。基礎工事期間中に最も怖れていた地震の到来がなかったことは全く幸運であった。

(2) 鉄骨工事 既存した平鋼を取外し、上部2段の鉄骨トラスはL字型に、第3段は運搬の大きさに制約されたため6面に分割して工場組立(リベット接合)として搬入し、予め煉瓦との接触部分をはつって仮付し、更にはつり部分を揃えて外観を損わないことに努め、鉄骨トラスを取付け、ボルト締めの上溶接接合とし

た。不整な煉瓦面をはつることは容易ではなかったが、入念にしかも時間と労力を費して行った。しかし最上段は変型と凹凸が甚だしく、煉瓦の積替えを避けたので、鋼材と煉瓦面のあきが非常に大きい部分を生じ、最大15cmの分厚いモルタル充填を余儀なくされた。各段のトラスを繋ぐ階段の接合は予め曲折げたガゼットプレートに鋼材を溶接して剛な連結を期待した。

(3) 煙道内部木製枠組工事 煙道の大きさは一辺約67cmの正方形であって、最下部すなわち炉内に繋がる狭まった部分に取付ける木製土台は鉛コーキングで定着したアンカーボルトで固定したが、加熱変質硬化した煉瓦面と、作業空間の狭いことで全く至難の仕事であった。

(4) 煉瓦補修工事 創立当初からの漆喰塗りの部分および陸軍省修理時のモルタル補修面のうち容易に剝げ落ちる傾向にある箇所は全てはつり落し、目地の破損部分、および煉瓦の風化した表面はよくかき落したのち顔料を加えた白色セメントモルタルで被覆し、欠損・風化した目地はすべて新しくモルタルを充填した。北側第2段の上部は上質煉瓦の使用が少く風化が激しかったので、前述の軽量ブロックで積み替えた。

(5) 防錆塗装および撥水工事 鋼材の防錆塗装は従前は黒色であったが今回は、外観の補強色を強く浮上げて煩瑣の感を免れない嫌いがあり、なるべく煉瓦面の色と同色に近い仕上げを考え、オーカ色とした。

煉瓦煙突上部には箱蓋を取付け内部への雨水の浸入を防ぐ。煉瓦面の風化防止にはシリコン樹脂防水剤エバータイト2回吹付による撥水処理を施した。

(6) 北炉最上部の復元工事 伊豆地震で崩壊した北炉最上部2本の煙突の復元は、補強工事と同時に記念物としての保存工事予算の補助を得るという施工側の切なる要望は容れられなかったが、村の予算でこの復元工事と同時に実現することとなり、補強工事に続いて施工したものである。前述の浅間軽量コンクリートブロックを積み、既存のものと同じ補強構造とした。

工事期間 昭和32年2月～10月
 施工代表 静岡県田方郡葦山村
 村長 内野 豊
 設計施工監理 東大建築材料研究室
 浜田 稔・山根 昭
 施工業者 平井工事株式会社
 社長 平井新作
 溶接技術援助 東大仲研究室 有安 久

事業費

工事費		
(1)鉄骨工事	—————	1,346,500円
(2)鉄骨取付準備工事	—————	62,440円
(3)足場掛工事	—————	35,000円
(4)モルタル充填工事	—————	16,000円
(5)煙突内部木製枠組立工事	—————	162,720円
(6)煉瓦補修工事	—————	60,000円
(7)煉瓦面防水工事	—————	49,500円
(8)諸経費	—————	162,840円
合計	—————	1,895,000円

引用文献：文献23～28

存修理方法を計画した。計画の主題は、可能な限り反射炉の現状（形状、色彩及びテクスチャー）を維持するよう配慮し、自然環境に対する老朽化を防止する耐久性の向上、及び東海沖地震に備えるための耐震補強（耐震性の向上）である。

2. 現況調査

基本設計を行うために必要な事項を調査した。調査は、55年度を予備調査、56及び57年度を全体調査として実施した。調査内容の主な点は次の3点で、調査項目は表10のとおりである。なお、原則として非破壊調査方法を用いた。

- 反射炉の形状、寸法・構法を記録整備し、万一、保存修理工事終了前に損傷・倒壊等を生じた場合の復元時の資料とする（保存記録整備）。
- 反射炉の老朽度を調査し現状の損傷程度を把握すると共に、炉体各部について補修の要否を判断する（耐久性評価）。
- 反射炉の耐震性を現状の補強方法、老朽程度に基

づき診断評価し、補強の程度を判断する（耐震性評価）。

(1) 保存記録整備

今までの記録を調査した結果、正確な図面がほとんどなく、設計図面の参考にはならない状況であった。従って、記録類の収集に努める一方、基本的な図面として敷地平面図、反射炉の立面、炉内の断面形状について現況図を作成することとした。

平面図は、敷地内に国家の三角点水準点より定めた基準点（図15）を4ヵ所設定し、縮尺1：100を作成した。立面については、写真測量（図16）によって縮尺1：20を作成した（別添資料1）。炉内の断面形状については、炉内にセルフレベル材による仮の水平面レベルを設置し、炉長手方向には20cm間隔、炉短手方向には10cm間隔に墨出しを行い、その各交点直上の垂直高さを下げぶりにより水平面レベルから測定し、曲面形状を求めた（別添資料1）。

次に反射炉に使用されている煉瓦、石、補強用鉄骨材について、形状、寸法、成分、産地等を調査した。この他、基礎部及び煉瓦積み工法についても調

表-10 調査項目

調査項目	S55	S56	S57	S58	調査手法	調査結果	参照															
保存記録整備	敷地	○	○	○	平面測量, 基準点測量 写真測量, 実測, 目視 下げぶり測量 部分実測 コア調査	配置図(1/100) 立面図(1/20) 断面図(1/20) 立面図(1/40) 断面図(1/20)	別図2-19 別図1-1~8 別図1-9~16 第6章2.2 第6章2.3															
								形状構造	反射炉外観	○												
									炉内		○											
									基礎地業		○											
								材料	○	○	○	外観調査, 原料粘土採取, 分析	分類表, 化学組成	第6章4.1								
															煉瓦, 目地材							
								耐久性評価 (老朽度)	変形量	○	○	○	外観調査, 産地調査, 物性 下げぶり測量	種類別分布, 物性値 傾斜測定図	第6章4.3 図.87,88							
																老朽損傷	煙突外部	○				
																	煙突内部		○			
																老朽損傷	○	○	○	外観調査	傾斜測定図 老朽図(1/40)	図.42 別図1-1~8
煙突外部																						
煙突内部		○																				
炉内		○																				
基礎地業		○																				
煙突内補強枠		○																				
耐震性評価	地盤	○	○	ボーリング, 標準貫入, 土質 平板載荷	地層図, 土質結果 地耐力	第6章2.1 第6章2.1																
							地層															
							地耐力															
							振動特性		○													
							既存補強鉄骨		○													
							既存補強基礎		○													
耐震性能解析	○	○	○	常時微動, 弾性波探査 形状, 寸法, 腐食 形状, 寸法, 測定	推定地盤構造, 特性図 老朽図, 現況図 現況図(1/20)	第6章2.1 別図1-1~8 図.34,35																
							総合解析, 材料強度	耐震補強対策立案	第3章2.3													

査し、反射炉の基本構成を把握した。

(2) 耐久性評価

外観上煙突の傾斜及び捻れは肉眼でもはっきりと読みとれる状況であった。このため、これらの変形量を実測した。昭和32年以降、これらの変形がどのように進行しているのかは重要な検討課題であったが、残念ながら、昭和32年の変形図が、発見されなかったため、変形量の比較検討は実施していない。

煉瓦の老朽度については、風化の程度を図（別添資料1）にまとめた。風化の程度は健全部、欠損10mm以下、10～50mm、50mm以上に区分し、また補修部分をモルタル、軽量ブロック、差し替え煉瓦に分類した。その他、煙突内外、炉体、炉基礎部の損傷程度を調査した。また、昭和32年度の補強材の鉄骨、煙突内部の木製枠の耐久度を調査した。なお、煙突内部の木製枠については、取りはずし、内部調査を行った後、工事着工までの再利用を検討したが、腐朽が著しいため、補強工事までの間、仮の木製枠を製作し取り付けた。

(3) 耐震性評価

補強鉄骨の形状寸法を実測し、地盤等に関する種々の調査を行い、耐震設計に必要な基礎資料をまとめた。

(4) 調査結果

これら結果の詳細は、その後（工事期間中）の調査を含めて第6章及び別添資料1（現況図）で後述する。

この調査結果によると過去における近域地震の影響による煙突煉瓦積部の傾斜変形がみられ、煉瓦・目地の風化は予想以上に著しく、煉瓦と目地の接着力への期待は薄くまた煙突外面及び内面には、大小無数の縦亀裂、せん断亀裂が発生しており、反射炉を組積造とは見なせない状態であった。この他、補強鉄骨の発錆に伴う一部欠損、破断も認められ、耐震性能の著しい低下が認められた。振動調査においても、反射炉の固有振動数が2～3 Hzであり、煉瓦、目地の風化や亀裂に伴う炉全体の剛性の低下が認められた。また、地盤調査結果によれば、岩盤が深さ6～9 mにあるが、中間は砂礫層となっており、軟質地盤といえる。よって、現在の反射炉につ

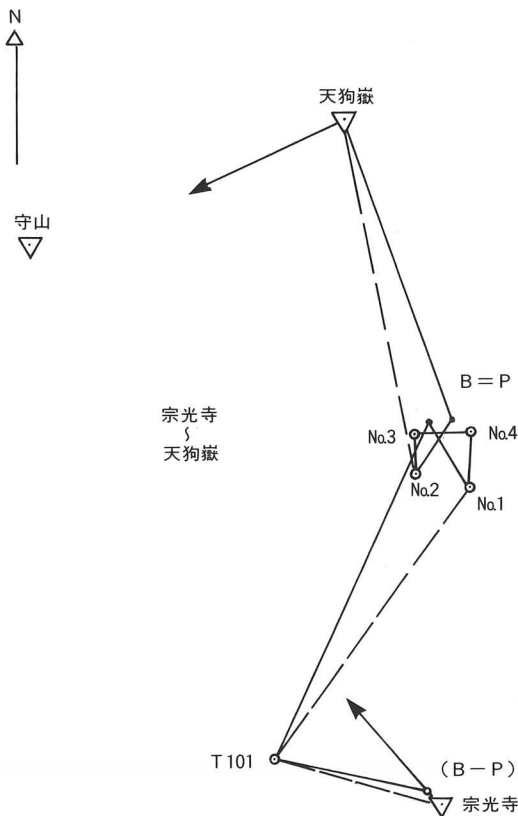


図-15 基準点測量

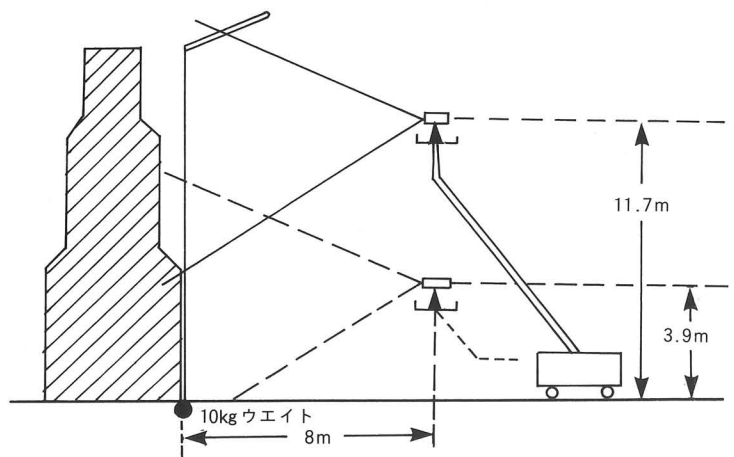


図-16 写真撮影図

- 使用機器：撮影カメラ ウィルドP32……………1台
 トランシット T2……………1台
 ハイライザー（クレーン）……………2台
- 撮影方法：ピアノ線2本を垂直に反射炉側面に吊し、写真に写し込み図化の標定用とした。ピアノ線は1m間隔に、風が吹いても常に同形になる直径2cmのプラスチックの球形目印を付け、10kgの重量をかけて撮影した。

いて老朽箇所，欠損，欠陥箇所等の補修及び補強を行い，耐震性を向上させる必要があり，さらに地振動による反射炉全体の挙動を抑制させるため，以下の対応が必要となった。

- ① 炉体部の剛性の向上
- ② 煙突部風化損傷煉瓦の差し替え
- ③ 既存補強鉄骨（昭和32年補強分）の更新
- ④ 耐震性能の目標設定と対応策

3. 設 計

3.1 設計の基本方針

前述の調査結果を基に，図17に示すように各部位ごとに修復の範囲と方法を計画した。昭和32年の補強計画との対比を表11に示す。なお，補修用煉瓦目地接着力，伊豆石補強定着力などは実験によって構造強度を確めた。

(1) 耐久性向上のための保存修理・補強方法

耐久性調査で得られた問題点を抽出し，目標耐用

年数を確保するための，補修箇所及び補修方法の基本事項を次の通りとした。

- ① 風化35mm以上の煉瓦部分及び既存補修モルタル部分の煉瓦を新しく製作した煉瓦で差し替えると共に北炉疑似煉瓦部を補修用煉瓦で積み替える
- ② 剥離及び基準面より5mm以上浸食している煉瓦目地に，セメントモルタルを，充填補強する
- ③ 残存する漆喰は，ステンレスピン止め及び高粘度エポキシ樹脂を充填して保存する
- ④ 煉瓦，伊豆石表面に，風化防止のために無機質の浸透性含浸剤を塗布する
- ⑤ 煙突内部の亀裂部にモルタルを充填し，更にセメントスラリー，エポキシ樹脂注入剤で補強する。従って既存の補強用木製枠は，除去する
- ⑥ 炉体天端は，上部外周2段の伊豆石をステンレス棒（内部挿入）により補強した後，炉体内部の空隙をセメントスラリーで充填し，ガラスクロス補強のコンクリート押え防水仕上げとする
- ⑦ 炉下東石は，根巻きコンクリートで補強する
- ⑧ 炉床の表層部分（三和土）は，欠損部を修理する

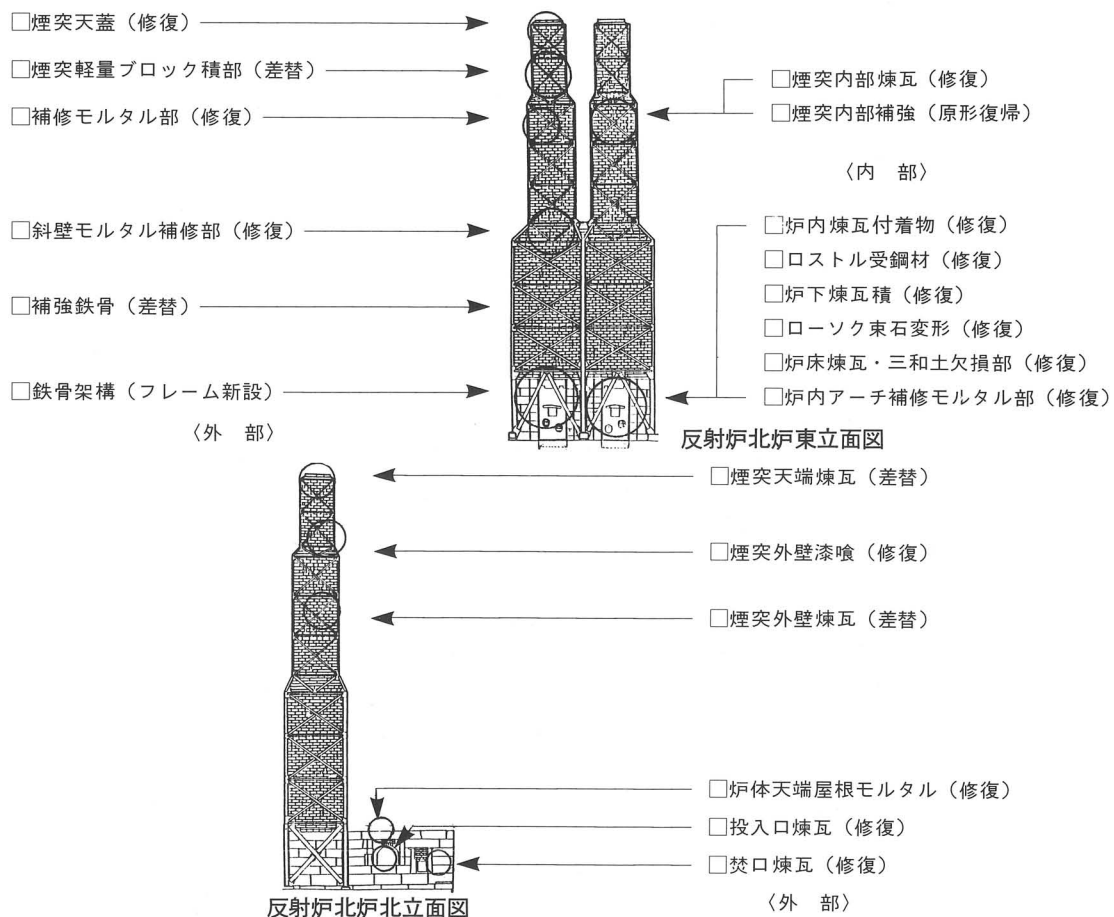


図-17 設計基本方針

(2) 耐震性向上のための補強方法

工事の重要課題となる耐震方法は、昭和32年の保存修理工事の方法を基本的に踏襲し、トラス形状の鉄骨で、地震時の水平力を受けもたせることとした。ただし、耐震条件は、葦山反射炉が地震の頻発する伊豆地方にあるという立地条件を勘案し、地表における地震波入力に300galとして、次の構造計画をたてた。なお、耐風設計は、地震より軽微なため構造計画は耐震設計によった。

- ①計算上必要な部材断面を確保し、接合部分は、ハイテンションボルトを採用する
- ②鉄筋コンクリート基礎を、既存基礎に打ち増しし、ケミカルアンカーで緊結する。なおかつ浮き上り防止のため、コンクリート基礎と風化安山岩の地盤をアースアンカーで締結する
- ③炉体部、煙突部に発生している内部の空隙に、注入剤を圧入し、組積造を一体化させ、地震時の応力を鉄骨部材に伝える

(3) 工事施工計画

工事施工にあたって、とくに次の点に留意することとした。

ととした。

- ①老朽補強鉄骨を新しい補強鉄骨に差し替える期間、一時地震に無防備な状態となるため、煙突部の周囲に250galの地震波入力に耐える特殊仮設用鉄骨を建て、この鉄骨からジャッキを介して煙突部を支持させる
 - ②北炉を修理してから、南炉の工事に着手し、北炉の経験を南炉に反映する
 - ③工区、工期を分割して、参観者をおある程度許容しながら工事を進めるため安全管理に十二分留意する
- (4) 維持保存計画

保存修理工事にあたり、耐用年数については、現在の技術において可能な最大に近い年数を目標として、各種材料の選定にあたった。

しかし、耐用年数をより長く維持するためには、現状観察と共にある程度のメンテナンスが不可欠である。このため、計画段階であらかじめ部位別の維持管理箇所、管理方法、修理方法を検討しながら設計を進めた。具体的な内容は第5章2を参照。

表-11 保存工事内容の比較

項目	昭和31年度～32年度 保存工事	昭和60年度～63年度 保存修理工事
[耐震補強] 煙突外部 基礎	○鉄骨トラスによる補強方法 ○最下部柱材は、地中深く掘り下げ、そこで基礎梁トラスを作りこのトラスから鉄筋を水平に出してスラブを作り、この基礎コンクリートスラブとその上に載る土との自重の和が柱材の引張に耐える設計。	○同左(ただし部材は大) ○最下部柱材のベースプレートにアンカーボルトで基礎に定着。基礎は、昭和32年度の既存基礎を樹脂アンカー等で一体化して打ち増しこの基礎梁をアースアンカーにて地下約10mの風化安山岩(N値 50以上)に定着し、地震時の引張に耐える設計。
煙突内部 炉体	○箱型木製組子を入れて煉瓦面との間に乾砂をつき詰めて補強。 ○モルタルによる外部からの目地補強。	○目地、亀裂部から注入補強を行い、煉瓦積みを一体化する。 ○木製組子撤去。 ○セメントスリラーによる注入補強及び目地処理。
[風化、 破損防止] 煉瓦	○欠損著しい部分や混用してある質の劣る煉瓦で風化の著しいもののみを取り替え。 (煉瓦は、白色セメント・顔料・川砂・浅間産軽砂利を使用した類似色の軽量コンクリートブロック(容量1.7t/m ³)他は、モルタルで補修塗り。	○風化が35mm以上の煉瓦を差し替え。 (煉瓦は、既存煉瓦と同程度の仕様で、新しく製造。)
煉瓦風化防止	○シリコーン樹脂防水剤エバタイト2回吹付による撥水処理。	○珪酸リチウム無機高分子化合物水溶液を吹付。
鉄骨防錆塗装	○塗装	○溶解亜鉛メッキの上、フッ素系の塗料を塗装。

表-12 震度階数(気象庁資料)

0：無感 人体に感じないで地震計に記録される程度の地震 加速度 0.8gal(m/sec ²)以下	家屋の動揺が激しくすわりの悪い花びんなどは倒れ、器内の水はあふれ出る、また歩いている人にも感じられ、多くの人々は戸外に飛び出す程度の地震 加速度 25.0～80.0gal
I：微震 静止している人や、特に地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震 加速度 0.8～2.5gal	V：強震 壁に割目のはいり、墓石、石どうろが倒れたり、煙突、石垣などが破損する程度の地震 加速度 80.0～250.0gal
II：軽震 大ぜいの人に感ずる程度のもの、戸、障子がわずかに動くのがわかる程度の地震 加速度 2.5～8.0gal	VI：烈震 家屋の倒壊は30%以下で山くずれが起き地割れを生じ多くの人々はすわっていることができない程度の地震 加速度 250.0～400.0gal
III：弱震 家屋がゆれ、戸、障子がガタガタと鳴動し、電灯のようなつり下げ物は相当ゆれ器内の水面の動くのがわかる程度の地震 加速度 8.0～25.0gal	VII：激震 家屋の倒壊が30%以上におよび、山くずれ、地割れ、断層などを生ずる 加速度 400.0gal以上
IV：中震	

3.2 設計に必要な材料実験

昭和58年度において、耐震対策案を立案するため、煉瓦、伊豆石の接着耐力試験と伊豆石の定着力試験を行った。また、葦山反射炉の長期保存を考慮して、新たに使用する煉瓦及び目地モルタルについて耐久性試験を行った。なお、この試験結果より現状で採取可能な山田山、梨本産粘土からなる再製煉瓦は量的な問題を含めて補修用に不適であることが判明したため、新たに別産地粘土を用いて、物性試験を行い、これを補修用煉瓦として採用した。

(1) 接着耐力試験

反射炉の支障のない箇所より採取した煉瓦（既存煉瓦）、伊豆石及び補修用煉瓦を用いて、貧配合モルタルで相互を接着したままの供試体及び、これに溶液硬化剤による注入補強を施した供試体を製作し、その接着力を①曲げ試験、②引張試験、③せん断試験、④付着強度試験により明らかにした。

試験結果をまとめると表13のとおりである。

●エポキシ樹脂注入補強を除く既存煉瓦の破壊に至

る強度は、 $9.15 \pm 0.82 \text{kgf/cm}^2$ と推定される。

●セメントミルク注入補強による曲げ期待強度は 8.33kgf/cm^2 、引張期待強度は 0.7kgf/cm^2 、せん断期待強度は 8.9kgf/cm^2 と推定される。

(2) 定着力試験

葦山反射炉炉体の保有耐震性の低下及び変形の発生が認められるため、その対策として炉体を構成する伊豆石を緊結する方法を検討した。試験は、実物大の伊豆石を数列又は数段に目地モルタルで接着したものにコアボーリングを施し、充填モルタルで補強したものを試験体として用いて、伊豆石の定着を明らかにした。

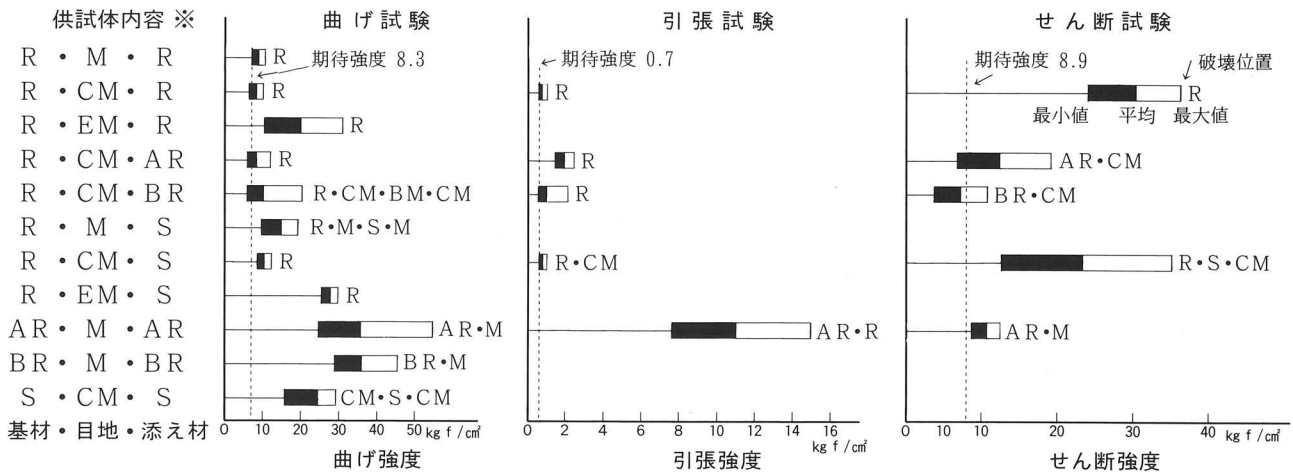
試験結果より次の事項が明らかとなった。

●穿孔（径32mm）の作業性は縦方向の場合、一般的に容易だが、水平方向については、伊豆石に微振動が伝わり易く難点がある。

●モルタル充填方法は、圧入方式とし、水平方向は専用のコアを穿孔して充填する工法が良く、鉛直方向は、補強用コアと兼用しても良好である。

●鉄筋の定着性は、伊豆石に直径32mmのコアをあけ

表-13 接着耐力試験結果



※ 既存煉瓦 (R) : 葦山反射炉より支障のない箇所 (炉内三和土) から採取した煉瓦。
 再製煉瓦 (Y_N) : 既存煉瓦に用いたと推定される粘土により製造した煉瓦。
 補修用煉瓦 (AR/BR) : 保存修理・補強工事に用いるために試作製造した煉瓦。
 伊豆石 (S) : 反射炉に使用したと推定される近傍採掘場より入手したもの。
 目地接着が貧配合モルタルのもの (M)、さらにセメントミルク注入補強したもの (CM)、及びエポキシ樹脂系接着剤により注入補強したもの (EM)。

付着強度 (kgf/cm²)	M	CM	M	CM	M	CM	EM
充填剤	M	CM	M	CM	M	CM	EM
被着煉瓦・伊豆石	AR	AR	BR	BR	S	S	S

直径16mmの丸棒を補強筋として押し、充填材を入れ試験した結果、伊豆石に破壊が発生しなかった。この際の強度期待値は、定着力が2.9kgf/cm²、曲げ強度が縦補強の場合6.28kgf/cm²以上、横補強の場合2.89kgf/cm²、せん断強度は3.12kgf/cm²と推定できた。

(3) 耐久性試験

既存煉瓦、再製煉瓦、補強用煉瓦（白系及び赤系2種類）及び伊豆石単体のもの、並びに目地モルタルにより接合したものの耐久性を①凍結融解試験及び②摩耗試験により明らかにした。

試験結果を図19、20及び表17に示す。

- 既存煉瓦の凍結融解耐久性は、バラツキは大きいですが、おおむね20サイクル前後で隅角部及び各辺から被害現象が生じ、30～40サイクルで砂状崩壊し、その形態は、供試体によって丸味を帯びるか、中心より崩壊するか等の差があった。なお、白色系と赤色系を比較してみると赤色系が早めに凍害が発し、破壊形態は、現況の風化現象に近似している。
- 補修用煉瓦では、大多数は20～30サイクルで亀裂

が発生するが、その後200サイクルまで試験を継続しても赤色系は亀裂が若干進行する程度、白色系は一部破断する程度であり、既存煉瓦のような砂状崩壊はなかった。

- 再製煉瓦では、山田山産粘土を用いた煉瓦は全て16サイクルで亀裂が発生し、赤色系では22～40サイクルで砂状崩壊又は破断、白色系は100サイクルで破断している。梨本産粘土を用いた煉瓦はおおむね300サイクル以上耐えられた。
- 伊豆石ではおおむね300サイクルまで耐えられた。
- 目地モルタルによる接合試験体では、22サイクルで既存煉瓦部分の砂状崩壊が生じた以外は、補修用赤色系煉瓦の場合22～200サイクルで、同白色系では34～88サイクルで伊豆石の場合22～292サイクルで目地剥離破断となった。
- 風化、損耗、耐久性の結果は、ほぼ直線的に損耗しており、傾向は耐久性のある順に①補修用赤色煉瓦、②補修用白色系煉瓦、③既存煉瓦及び市販普通赤煉瓦グループの3系統に分類できた。

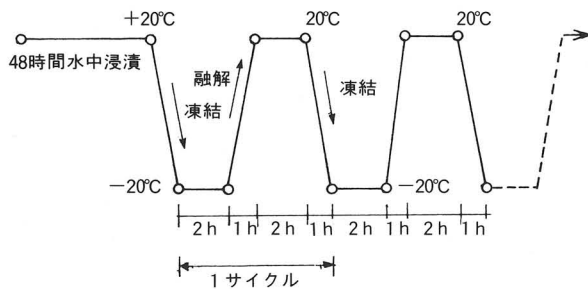


図-18 凍結融解サイクル

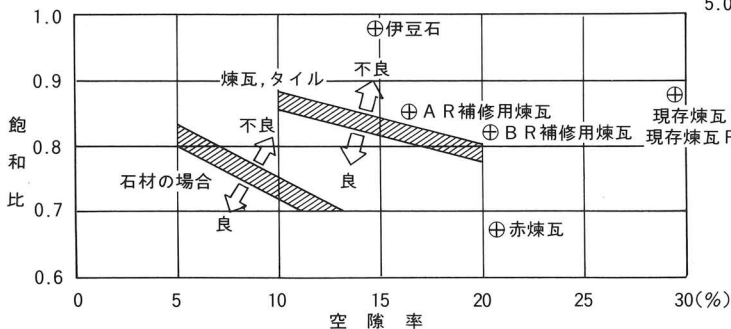


図-19 凍害判定図

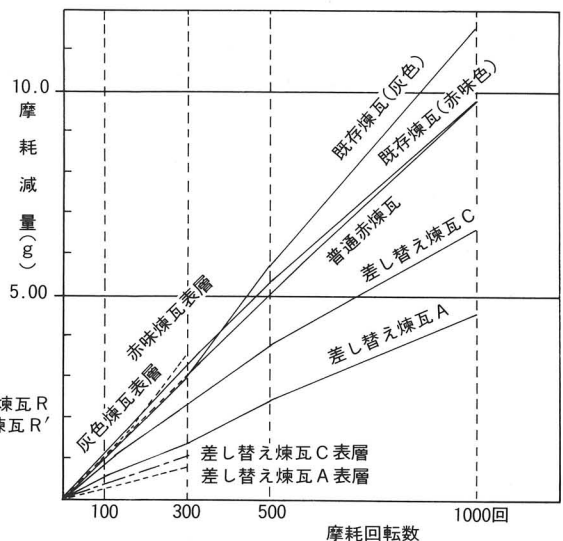


図-20 摩耗試験結果

表-14 補強用煉瓦

原 料		白 系 粘 土				赤 系 粘 土				シャモット		バリウム	備 考
産 地		岐 阜 県 多 治 見				愛 知 県 安 城 市				—		—	—
粒度 調整	フルイ目	0.55mm	0.149mm	0.004mm	0.55mm	0.149mm	0.004mm	2.5mm	4mm	—	—	—	
	通過量	25%	40%	35%	25%	40%	35%	以下	以下				
	方 法	フレットミル粉砕 2.5mm以下				ロールクラッシュチップ状							粉 砕
化学 成分	成分記号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	—	—	—	
	%	68.5	20.7	0.49	0.15	64.4	20.2	3.93	0.52				
	成分記号	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂				
	%	0.23	1.62	0.13	1.03	0.48	2.06	1.08	—				
白色系煉瓦		配 合 比 30 %				45 %				25 %		—	酸化焼成
黄色系煉瓦		配 合 比 40 %				40 %					25 %	0.2 g/m ³	温度1150~
赤色系煉瓦		配 合 比 60 %				30 %					15 %	200 g/m ³	1160°C

表-15 再製煉瓦

原 料		白 系 粘 土					赤 系 粘 土					
産 地		山 田 山 産			梨 本 産		山 田 山 産					
原 料 特 性		石化している不純物多い					粘性有り，小石多い			石化している，不純物多い		
原 料 調 整		不純物除去後，手打粉砕					フレットミル粉砕			小石，ゴミ等不純物除去		
白色系煉瓦	焼成方法	酸 化		酸 化		酸 化	酸 化	還 元	—	—		
	焼成温度	1180°C		1220°C		1180°C	1220°C	1150~1200°C	—	—		
	発色特徴	一部紫色		一部オレンジ色		白色	白色	白色	—	—		
	比 重	1.57					1.89			—	—	
赤色系煉瓦	焼成方法	—		—		—	—	—	酸 化	酸 化		
	焼成温度	—		—		—	—	—	1180°C	1220°C		
	発色特徴	—		—		—	—	—	薄ピンク色	薄 紫 色		
	比 重	—		—		—	—	—	1.47			
暗褐色系煉瓦	焼成方法	還 元		—		—	—	—	還 元	—		
	焼成温度	1150~1200°C		—		—	—	—	1150~1200°C	—		
	発色特徴	—		—		—	—	—	鉄粉発色茶系	—		
	比 重	—		—		—	—	—	—	—		

表-16 物性試験結果

煉瓦の種類		白 色 系 煉 瓦				赤 色 系 煉 瓦				備 考
物 性 項 目		吸 水 率 %	比 重 t/m ³	曲げ強度 kgf/cm ²	圧縮強度 kgf/cm ²	吸 水 率 %	比 重 t/m ³	曲げ強度 kgf/cm ²	圧縮強度 kgf/cm ²	
現 存 煉 瓦		20	1.55	18.2	109	20	1.56	26.4	130	
再製煉瓦	梨本産粘土	15.8	1.89	30.7	50	—	—	—	—	
	山田山産粘土	25.1	1.58	34.2	102	30.2	1.45	9.4	35	
補強用煉瓦		7.4	1.97	61.4	193	9.1	1.92	43.5	203	
配 合 比		白粘土：赤粘土：シャモット { 2.5mm } 60 : 30 : 15 { 以下 }				白粘土：赤粘土：シャモット { 4mm } 30 : 45 : 25 { 以下 }				

表-17 耐久性試験結果

煉瓦の種類		白 色 系 煉 瓦				赤 色 系 煉 瓦				備 考
耐 久 性 項 目		耐 凍 害 性		耐 摩 耗 性		耐 凍 害 性		耐 摩 耗 性		
		初被害 発生時 サイクル	破壊時 サイクル	表 面 g	中実部 g	初被害 発生時 サイクル	破壊時 サイクル	表 面 g	中実部 g	
現 存 煉 瓦		30	30~100	3.5	3.1	18~22	30~40	3.4	3.3	
再製煉瓦	梨本産粘土	76	300以上	—	—	—	—	—	—	
	山田山産粘土	16	100	—	—	16	22~40	—	—	
補強用煉瓦 (配 合 比 上表に同じ)		20~30	200 (100)	1.1	2.3	20~30	200 (100)	0.8	1.4	シャモット種類 上表に同じ
市 販 普 通 煉 瓦		—	—	—	—	300以上	—	3.1	—	
伊 豆 石		40~70	300以上	—	—	—	—	—	—	

(注) 耐摩耗性は300回時のすりへり損量 ()内の値は焼成面試験

3.3 耐久性向上のための設計

今までの実験・調査結果を踏まえ、特記仕様書(補修・補強範囲, 材料, 工法, 検査等)を設定した。設定項目及び概要は以下のとおり。詳細は第4章参照。

(1) 既存部分の保存修理・補強等の工事

a 外壁(煉瓦, 伊豆石, 目地及び漆喰)の保存修理補強工事

- 保存修理・補強範囲……差し替え部分以外の範囲について補強する。
- 目地の保存修理・補強方法……基準面より15mm以上浸食された部分を目地材で補修する。目地材は、防水セメントモルタルで強度は100~120 kgf/cm²程度とする。
- 煉瓦及び伊豆石の劣化(風化)防止方法……無機質(珪酸リチウム無機高分子化合物水溶液)の浸透含浸剤を塗布し、表層面を固化する。
- 煉瓦及び伊豆石と差し替え鉄骨との空隙部補強方法…鉄骨裏面に落下防止対策用のシアコネクター用

スタッドを設け、空隙部に防水セメントモルタルを充填する。

- 漆喰の保存修理方法……全ねじステンレスピンによる機械的固定と、低粘度エポキシ樹脂の圧入による化学的固定を、残存状況により選択して補修する。

b 煙突内部工事

- 煙突内部の木製枠と砂の撤去……最上部から下部へ向い撤去する。
- 煙突内壁煉瓦亀裂部及び目地欠損部の保存修理・補強方法……3mm以上の亀裂は、セメントスラリー充填, 3mm未満はエポキシ樹脂を注入する。煉瓦積内部の空隙は、最下部注入口より、順次上に向けセメントスラリーを注入していく。

c 炉体補強工事

- 炉体伊豆石の補強方法(図21)……補強筋(ステンレス丸棒)を炉体上部2段目の石まで挿入した後、セメントスラリーを充填する。この補強筋を防水押えコンクリートに定着させ、上部の剛性を確保する。
- 炉体上部注入補強方法……炉の上部にコアボーリング等で穿孔し、セメントスラリーを圧入する。ま

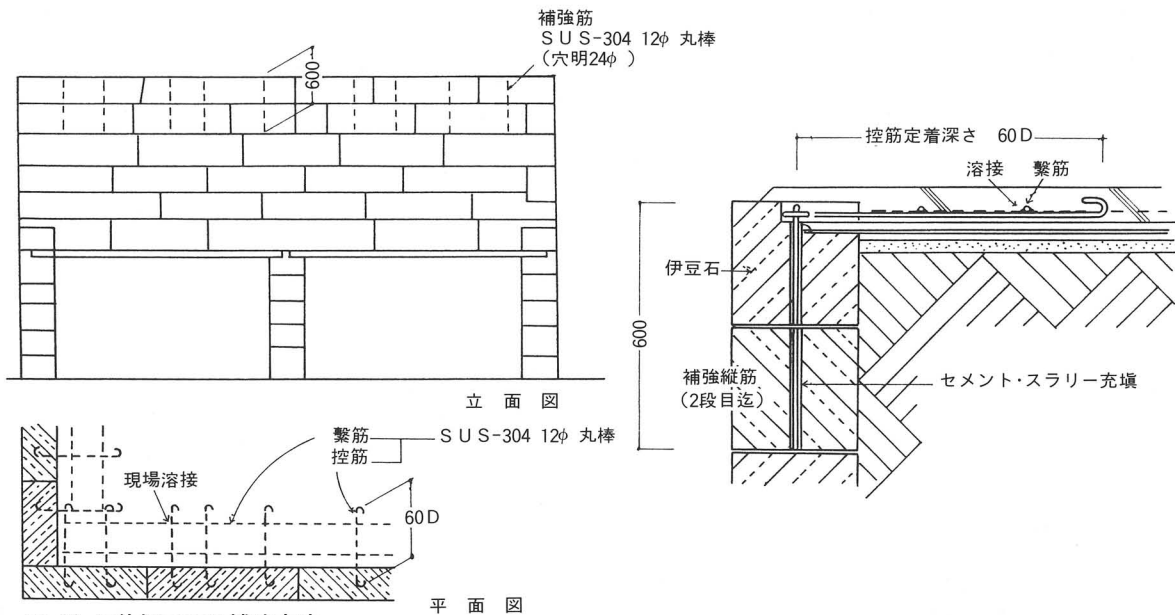


図-21 炉体伊豆石の補強方法

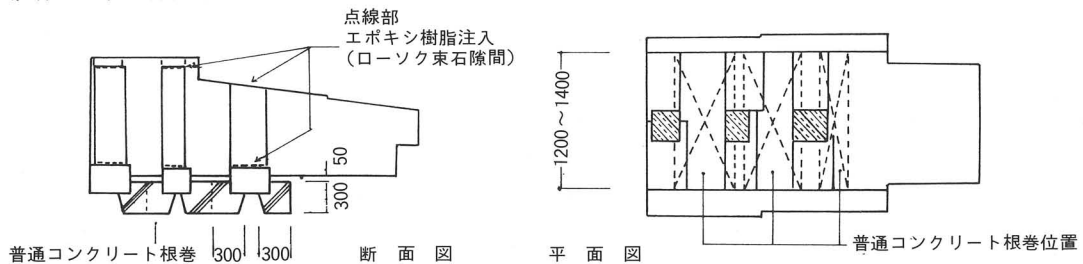


図-22 炉下ロック束石の補強方法

単位: mm

た、壁面下部から上部へ向け、順次セメントスラリーを圧入する。

● 炉体天端防水……既存の天端モルタルを撤去し、表19に示す仕様で、防水する。押えコンクリート仕上の色調は伊豆石のガラ等を混入し周囲との調和を考える。

d 炉内の保存補強・修理工事

● 炉下ローソク束石の補強方法（図22）……転倒防止のため束石下部の布石を根巻きコンクリートで固定する。また、束石の亀裂部をエポキシ樹脂で充填する。

● 炉内アーチ煉瓦部分の保存修理・補強……亀裂部に炉内注入剤の漏出防止を施し、エポキシ樹脂等で補修する。

● 炉床煉瓦、三和土欠損部の保存修復……半月状鉄板の露出部について防錆処理を施す。煉瓦、三和土の欠損部については、補修材（煉瓦、三和土）で修復する。

e 内柵（銃剣柵）の保存修理工事

<計画変更があり削除>

(2) 差し替え等のための工事

a 外壁煉瓦差し替え工事

・ 補修用煉瓦の製造仕様……表18による。
 ・ 差し替え範囲及び工法……差し替え範囲は①北炉上段部の軽量ブロック積部②侵食深さ35mm以上の部分③モルタル塗りで補修された部分④その他、係員の指示する部分。要領は先ず既存風化煉瓦をはつり取り、モルタルを裏込めし、補修用煉瓦を差し込んで目地処理を行う。

b 煙突天蓋差し替え工事

既存鉄製蓋を撤去し、銅板型の蓋を取り付ける

(3) 耐震性向上のための補強工事

a 補強鉄骨工事……耐震上、必要な補強鉄骨の形状・寸法は、3. 4による。

b 補強鉄骨の防錆塗装工事……仕様は、耐久性のあるフッ素樹脂系塗装とする（表20）。

c 基礎工事……基礎は、鉄筋コンクリートとし形状・寸法は、3. 4による。

表-18 煉瓦仕様

項目	適用
使用材料	原材料は粘土含有量が充分な白系粘土及び赤系粘土。混合するシャモットは最大寸法2.5mm以下。配合比60%以下。顔料は無機質系。
色調及びテクスチャー	限度見本による(全数検査)
成形方法	外観部分となる見付面は手加工とし、成形寸法は焼成による収縮を加味した許容差範囲内。
刻印	見付面以外の面に刻印を打つ。 (例) 製造者略号 年度 色番号
乾燥方法	含水率が3%以下になるまで自然乾燥。
焼成方法	焼成温度約1250℃による酸化焼成とし、焼成時間は約10時間以上。
品質基準値	耐久性(耐凍害性40サイクル以上異常なし)、吸水率(20%以下)、圧縮強度(150~250kgf/cm ²)、曲げ強度(35kgf/cm ² 以上)、寸法許容差(長さ±4mm、高さ±3mm)。
形状	平物(大): W220, D220, H91mm “(小): W220, D100, H91mm コーナー役物: W220, D100, H91, W220mm
検査	1ロットに付き5個採取し、その平均値が品質基準値に合格すること。

表-19 防水仕様

プライマー	0.2kg/m ²	—
下塗り	0.6kg/m ²	—
補強ガラスクロス(1)	1.1kg/m ²	—
目詰め塗り(1)	0.9kg/m ²	エポキシ0.7+珪砂0.2+揺変剤
中塗り	0.6kg/m ²	—
補強ガラスクロス(2)	1.1kg/m ²	—
目詰め塗り(2)	0.9kg/m ²	エポキシ0.7+珪砂0.2+揺変剤
上塗り	0.3kg/m ²	—
レジンモルタル	9.9kg/m ²	エポキシ1.4+珪砂8.5

表-20 塗装仕様

工程		塗料名	希釈剤	標準膜厚
工場屋内塗装	素地調整	—	—	—
	下塗り	(I)* 下塗グレー	シンナー	50μ
	上塗(第1層)	(II)* 上塗指定色	シンナー	20μ
	上塗(第2層)	(II) 上塗指定色	シンナー	20μ
現場塗装	素地調整	—	—	—
	補修塗 下塗り	(I)* 下塗グレー	シンナー	50μ
	上塗(第2層)	(II)* 上塗指定色	シンナー	20μ
	上塗(第3層)	(II) 上塗指定色	シンナー	20μ

* (I) 亜鉛メッキ用エポキシ樹脂系塗料 (II) 常温乾燥溶剤型フッ素樹脂塗料

3.4 耐震性向上のための設計

(1) 耐震補強設計（補強用鉄骨及び基礎の設計）

昭和32年に耐震用に施工されたトラス形状の補強鉄骨は、調査によると一部すでに腐食し破断しているか、破断に至らなくても発錆による断面欠損や接合部の欠陥が生じている部分が多く、また東海沖地震などの想定される地震波入力に耐え得ないため、今回の工事において地上部の鉄骨は、全て強度を増した新しい鉄骨と取り替えることとした。

新しい補強鉄骨の形状は、外観の変化を最小限にとどめるため、昭和32年と同様なトラス形状とし、新設する部材は、耐震上不可欠な最下層の各方向のブレース及び下の肩部の長辺方向のブレースのみとした。

また、基礎も、地震時における煙突部からの回転力に抵抗出来るよう補強することとし、増設部分の基礎はアースアンカーを併用することでその必要量を最小限に留めた。

耐震設計を表21に示すフローで行い、鉄骨の部材

形状及び基礎構造を求めた。耐震設計は、建築基準法に準じた地震力に対して静的解析を行い、次に動的解析によって入力加速度300galに対する耐力を確認するという2段階の設計を行った。

次に、設計条件として、下記の事項を設定した。

①静的解析では、建築基準法に準じ、震度の数値に0.2を用いる

②動的解析では、地表における地震波入力(300gal程度)の地震(震度VI, 烈震)に対して、耐震性を保有することとする。この地震波入力300galは、過去の統計からみて、100年に1度発生する可能性のある地震の最大加速度である。

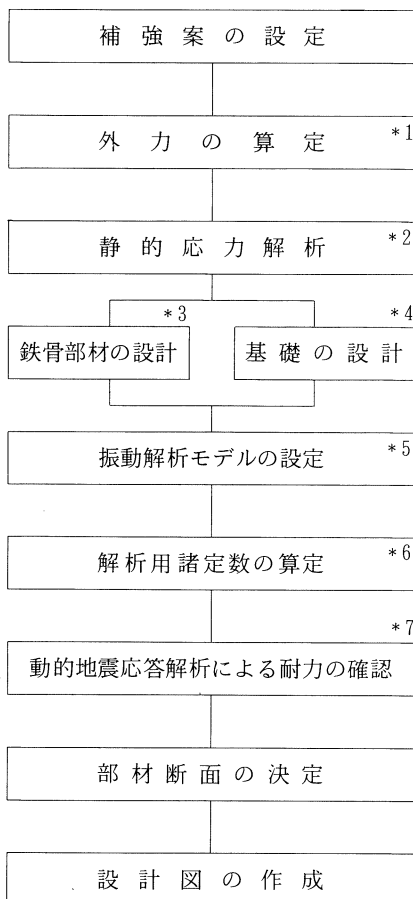
③設計上、以下の指針・規準等に準拠する。

- 構造計算指針・同解説（日本建築センター編）
- 建築耐震設計における保有耐力と変形性能
- 鋼構造設計規準
- 建築基礎構造設計規準・同解説
- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説

④主な使用材料は、表22による。

a 外力の算定・静的応力解析

表-21 耐震設計の流れ



- *1 $C_0=0.2$ 外力分布は告示式による A_i 分布。
- *2 立体架構解析による。*1による外力は全て鉄骨にて負担する。
- *3 短期許容応力度に対する検討。
- *4 鉄骨からの回転力は全てコンクリート基礎にて負担する。地耐力(短期)は 27.2 t/m^2 。浮上りに対しては風化安山岩に定着されたアースアンカーで抵抗。
- *5 曲げせん断型質点系・スウェィロッキングモデル。
- *6 鉄骨とレンガとを考慮した部材の復元力特性の算定。弾性波探査より求まる地盤の定数から地盤ばね算出。
- *7 入力加速度 = 300 gal。

表-22 主な使用材料

補強用鉄骨：	
鋼材種別：	SM50A
高力ボルト：	ボルトF8T ナットF10 座金F35
アンカーボルト：	SS41
鋼材、高力ボルトは	溶融亜鉛メッキ処理の上、フッ素樹脂塗装仕上
基礎：	
コンクリート：	普通コンクリート (高炉セメント使用) $F_c = 180 \text{ kgf/cm}^2$ スランプ = 12cm
コンクリートの品質の級 = 常用	
仕様の級：	材料 = II級、施工 = 乙種
鉄筋：	D16以下 = SD30 D19以上 = SD35
アースアンカー：	引張材 F130 $\phi 38.1 \text{ mm}$
ケミカルアンカー：	エポキシ樹脂系埋込み ステンレス全ねじ

静的応力解析は、一般の建築物における「一次設計」に相当するものであり、水平力はすべて鉄骨で負担することを解析の前提とし、標準せん断力係数を0.2と仮定した地震時の安全性を確かめた。

①解析用重量の算定……各層の容積計算を行い、容積に比重（煙突部1.7、炉体部1.8）を掛け重量を算出した。この結果は北炉157.94 t、南炉157.94 tである。

②鉄骨部分重量算定……仮定断面を基に、鉄骨部の重量を算出した。この結果は、北炉3.832 t、南炉3.832 tである。

③地震力の算定……入力地震の分布を「建築基準法施行令」<式(1)>によって算出した。

式(1)の各数値は、Z=1.0（地震の危険性が最も高い地域）、Rt=1.0を採用、またTの値は実測値より、煙突長辺方向T=0.3(秒)、煙突短辺方向T=0.45(秒)を採用した。

④煉瓦積部の平面剛性の算定……鉄骨トラスに囲まれた煉瓦積の煙突部分は、平面的な剛性を持つことから、鉄骨トラスの応力解析においては、各水平材

のレベルで仮想のブレースを想定した。

⑤静的応力解析……解析は、立体架構解析モデル(図23)による電算プログラム「STRUDL」を用いた。

b 補強用鉄骨の設計

①主要部材の設計……各部材の許容応力を求め、仮定断面における $\sigma N/fN$ が、1以下であることを確認した。

②接合部の方針……各部材の接合部は、原則として高力ボルト接合とし、炉体上部に使用される断面の小さな部材にはボルト接合を用いた。

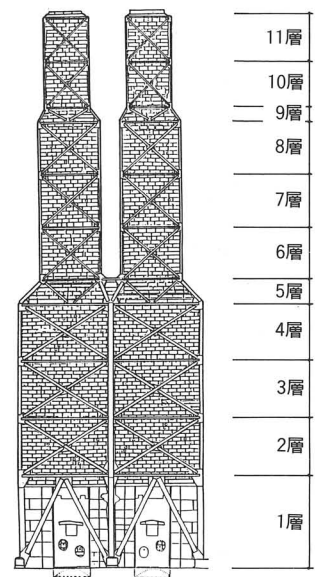
③高力ボルト接合部……溶融亜鉛メッキ高力ボルト接合部は、すべり係数 $\mu=0.4$ とし、式(2)によって許容耐力を計算した。なお、すべり係数は実験で確認することとした。

④高力ボルト必要本数の算定……各部材の最大応力によって高力ボルトの短期許容応力度の1.5倍における必要本数を求めた。

⑤接合部破断強度の確認……筋かい軸部で破断する場合、筋かい材の接合ファスナーで破断する場合、ファスナーのはしあき部分で破断する場合、ガセツ

表-23 静的解析用地震力算定表

層	ni (m)	Wi (t)	ΣWi (t)	αi	Ai		Qi (t)		Mi (t・m)	
					長 辺	短 辺	長 辺	短 辺	長 辺	短 辺
11	1.30	1.2	1.2	0.007	4.77	5.57	1.1	1.3	1.4	1.7
10	1.30	2.4	3.6	0.022	3.12	3.57	2.2	2.6	4.3	5.1
9	0.35	1.6	5.2	0.032	2.76	3.13	2.9	3.3	5.3	6.2
8	1.42	3.4	8.6	0.053	2.35	2.64	4.0	4.5	11.0	12.6
7	1.42	5.5	14.1	0.087	2.04	2.27	5.8	6.4	19.2	21.7
6	1.42	5.5	19.6	0.122	1.87	2.05	7.3	8.0	29.6	33.1
5	0.60	9.0	48.2	0.299	1.48	1.59	14.3	15.3	67.8	75.3
4	1.62	19.0	67.2	0.417	1.36	1.43	18.3	19.2	97.4	106.4
3	1.62	28.6	95.8	0.594	1.22	1.27	23.4	24.3	135.3	145.8
2	1.62	28.7	124.5	0.772	1.12	1.14	27.9	28.4	180.5	191.8
1	2.50	36.8	161.3	1.000	1.00	1.00	32.3	32.3	261.3	272.5



$$C_i = Z R_t A_i C_o$$

$$A_i = 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i \right) \frac{2T}{1+3T}$$

Z : 地震地域係数(1.0)
 Rt : 振動特性係数(1.0)
 Ai : 地震層せん断力係数の分布係数
 Co : 標準せん断力係数(0.2)
 T : 1次固有周期

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=i}^n W_j}{\sum_{j=1}^n W_j}$$

式(1)

$$S_f = \frac{1}{v} m \mu B_o$$

Sf : 許容摩擦耐力
 Bo : 設計ボルト張力
 v : すべりに対する安全率(v=1.5)
 m : 摩擦面の数(m=1)
 μ : すべり係数(μ=0.4)

式(2)

$$\sigma_o + \Delta\sigma_o < P_c$$

σo : 現在の有効応力
 Δσo : 有効応力増分
 Pc : 圧密先行荷重(圧密降伏応力)

式(3)

トプレートで破断する場合、溶接部で破断する場合の5つの破断形式について検討した。

c 基礎の設計

①設計の基本方針

- 自重は、築造当初の基礎部分で負担する。
- 上部構造が地震力に対して、すべて鉄骨で負担するという仮定から、基礎においても転倒モーメントに対し鉄骨のコンクリート基礎によって負担するものとする。
- 地盤の短期許容支持力度は、平板載荷試験結果からの値 27.2 t/m^2 を用いる。
- 玉石基礎及び下部粘性土の周囲には、コンクリート基礎を打設し、地震荷重時におけるこれらのはみ出しをおさえる。
- 基礎の浮上りに対しては、アースアンカーによって抵抗させるものとする

②地耐力に対する検討……地震力方向 (X, Y) における σ_{\max} が地盤の短期許容支持力度 (27.2 t/m^2) 以下であることを検討した。

③アースアンカーの引抜力の検討……1次設計用外

力による鉄骨柱脚部の最大引抜力を求め、これから基礎自重を引いた値をアースアンカー必要耐力として求めた。

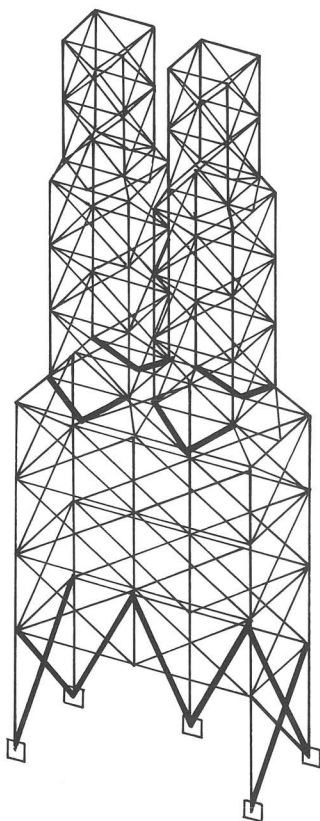
④フーチングの設計……柱が負担する力を地盤及びアースアンカーに伝達するため、フーチングの配筋を算定した。

⑤圧密沈下に対する考察……調査結果から「地盤は、過圧密の状態にあり反射炉には、地盤の沈下に起因すると考えられる不同沈下や傾斜は、ほとんど認められない。反射炉が建てられて以来、既に120年以上を経ているので今後も沈下が発生することはないと判断される」の結論が得られているが、基礎の荷重が若干増えることを考慮し、圧密沈下の有無に対する考察を式(3)から行った。

Pcの値を室内土質試験結果から、 40 t/m^2 とすると、 $19.2+1.1=20.3 < 40$ となり、圧密沈下はほとんどないものと判断される。

d 動的地震応答解析及び耐力の確認

動的解析モデルにおいて、地表面加速度 300gal に対する地震応答計算を行い、各部の耐力を検討した。



(太線は新設部材)

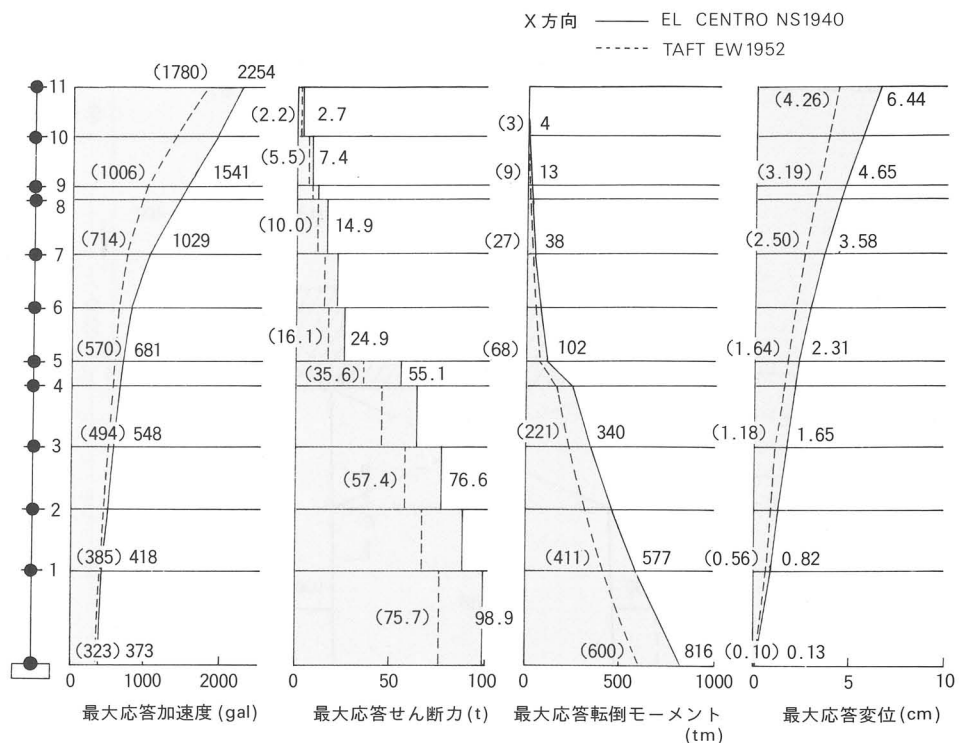


図-23 静的立体架構解析モデル 図-24 振動解析最大応答値 (X方向)

解析モデルは、曲げせん断型一軸多質点系スウェイロッキングモデルとする。

構造物の重量は、静的解析において算出した値と同一とし、剛性の算定にあたっては、煉瓦部分の剛性を適切に評価した。また、回転慣性モーメントは、基礎質点位置において考慮した。

解析は、弾塑性応答解析とし、入力地震波は、ELCENTRO及びTAFTの2波に対して行った。解析プログラムは、「RESP-2」とした。解析例を図24に示す。

- ①鉄骨及び煉瓦の複合体としての剛性の算定……煉瓦積部と鉄骨部のせん断強度を求め、その和を複合体のせん断強度とした。また、曲げ剛性は、長期軸力を考慮し、煉瓦部は、圧縮側のみを考慮し、鉄骨の軸断面積には、ブレースをも考慮した。
- ②解析用地盤ばね定数の算定……基礎は、既存の伊豆石の基礎と新設のコンクリート基礎が、一体として動くものとし、矩形基礎として扱った。
- ③基礎質点回転慣性の算定
- ④解析……せん断、曲げにおける最大応答層間変位

最大応答回転角及び、これらの終局耐力時の変形に対する比を求めた。この結果、せん断においては、煉瓦部は降伏に至っている部分があるが、いずれも鉄骨部には、かなりの余裕が認められた。また、曲げに関しては、鉄骨部の終局曲げ変形の方が、煉瓦部のそれに比べて小さいことから、すべての場合、すべての部材において終局曲げ変形を下回っており、従って主要部材は、十分な耐震性を有すると判断した。

⑤基礎の検討……動的振動解析による転倒モーメントの基礎底面接地圧を検討した。

e 部材断面の決定

構造計算の結果によって求めた増設コンクリート基礎の形状、アースアンカーの位置及び補強用鉄骨の位置と部材の大きさを図25、26に示す。

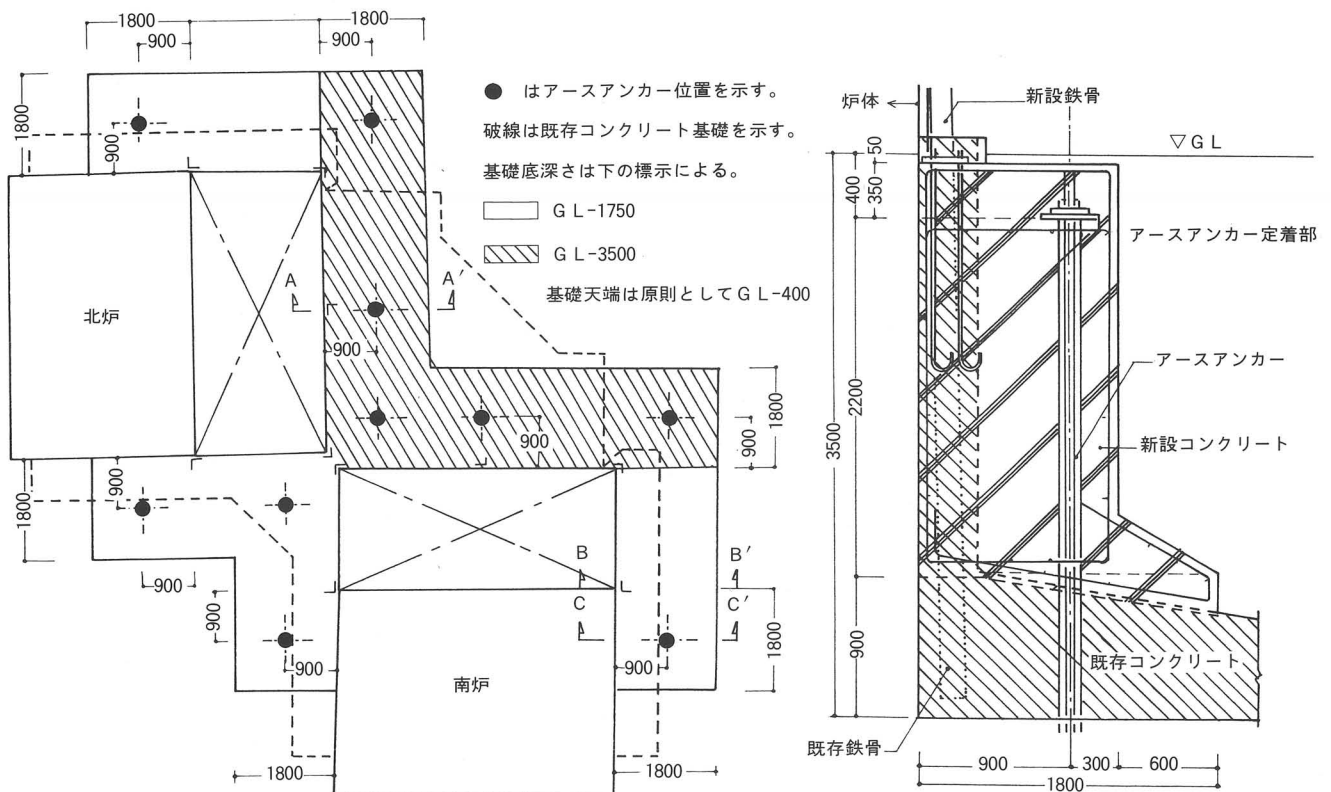
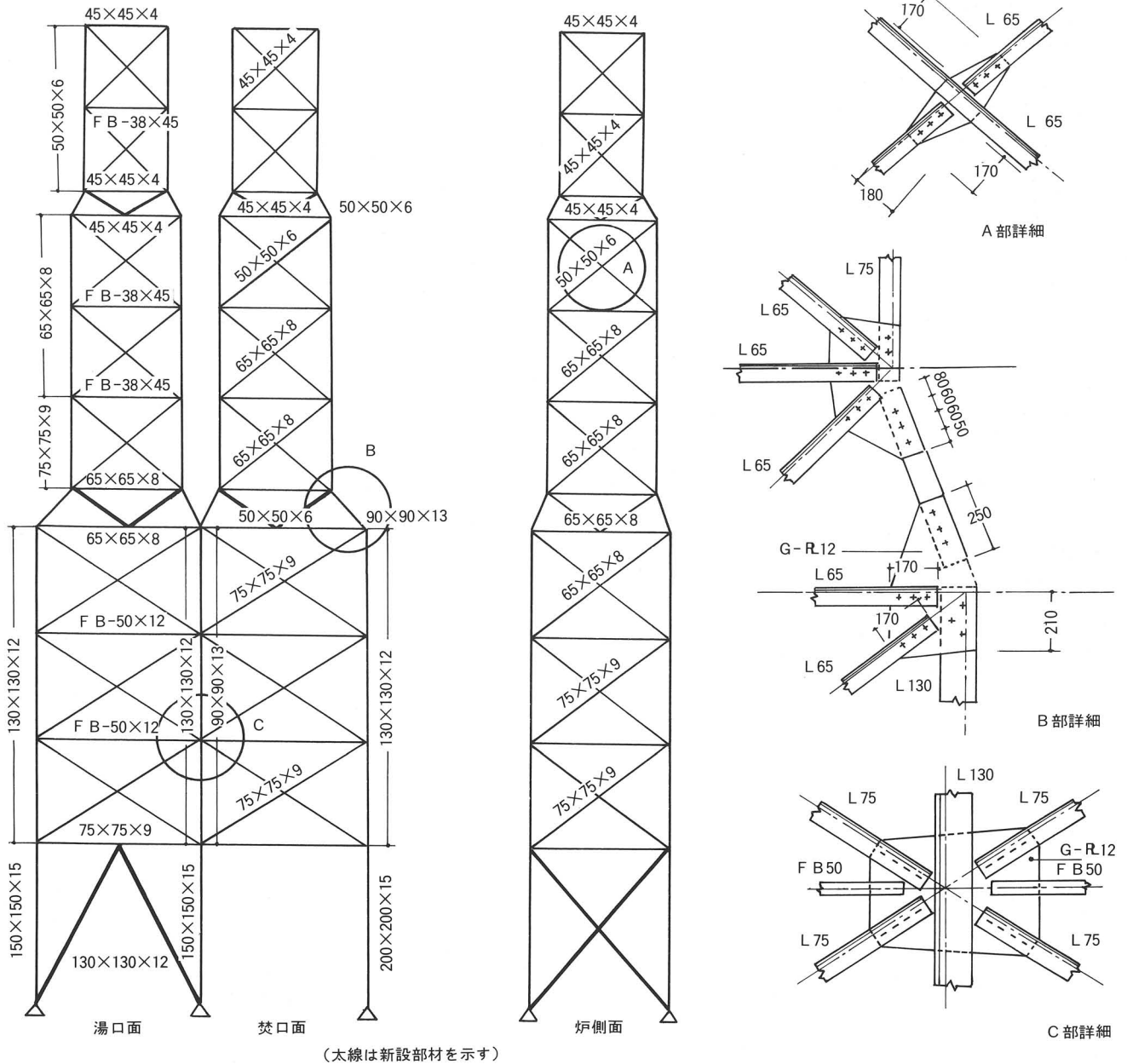


図-25 基礎図

基礎断面図〔A-A'断面〕

単位：mm



(太線は新設部材を示す)

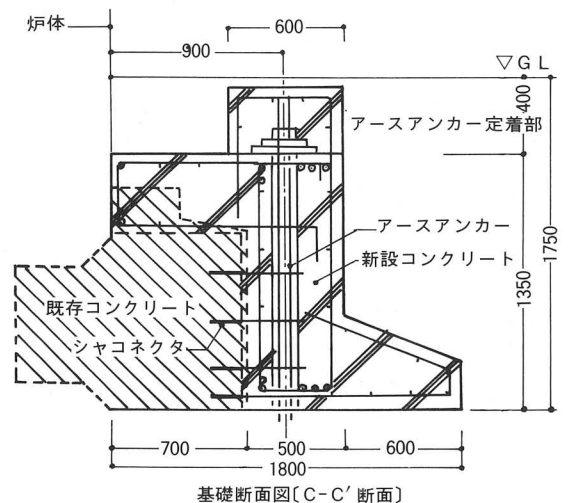
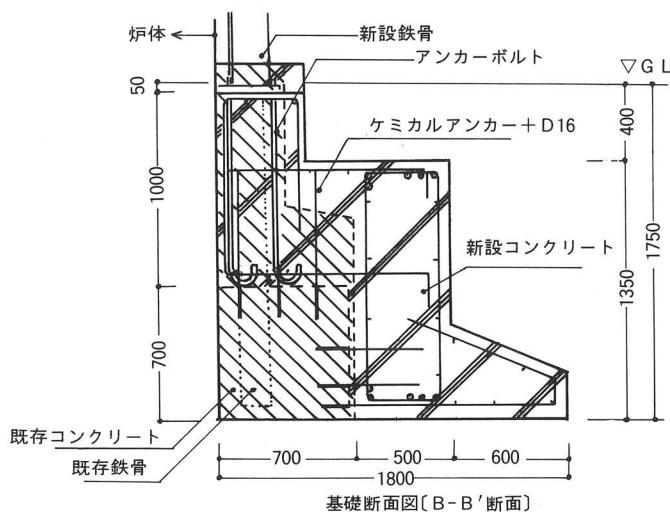


図-26 補強鉄骨の概略形状及び使用部材

単位: mm

(2) 耐震補強工事

a 補強鉄骨工事方法

既存鉄骨の取り外し開始から、新設鉄骨が差し替えられるまでの間、地震対策として特殊仮設鉄骨及び仮設アースアンカー等による仮補強を行う。

b 基礎工事方法

- 基礎の施工において、全体を一度に掘削して行うことは、地震時に炉体及び煙突の倒壊の危険性が考えられるため、可能な限り工区を分割して行う。
- アースアンカーの初期導入引張力は、基礎の接地圧等を考慮し、最小限の力とする。
- 基礎コンクリートと鉄骨柱脚部の定着は、昭和32年の基礎中の鉄骨と直接接合せず、必要耐力を確保できる長いアンカーボルトを使用して、鉄骨からの力を新設鉄筋コンクリート基礎等にスムーズに伝達させる。
- 鉄筋に対するコンクリートのかぶり厚さの最小限は、耐久性を考慮して100mmとする。

(3) 特殊仮設物構造設計

特殊仮設物の基本設計方針は、次による。

①地表における地震波入力（250 gal 程度）の地震（震度V・強震）に対して耐震性を保有するものとして、建築基準法施行令に準拠し標準剪断係数を、0.25とする。

②使用材料は、次による。

- 鋼材種別 SS 41
- コンクリート 普通コンクリート
($F_c = 180 \text{ kg f / cm}^2$)
- 鉄筋 SD 30

③計算フローは、次による。

- 解析用重量計算（本体鉄骨解析用重量算出，仮設用鉄骨重量算出，両者の和を算出）
- 設計用外力の算定
- ブレースの設計
- 柱軸力に対する検討
- 特殊仮設部材の決定

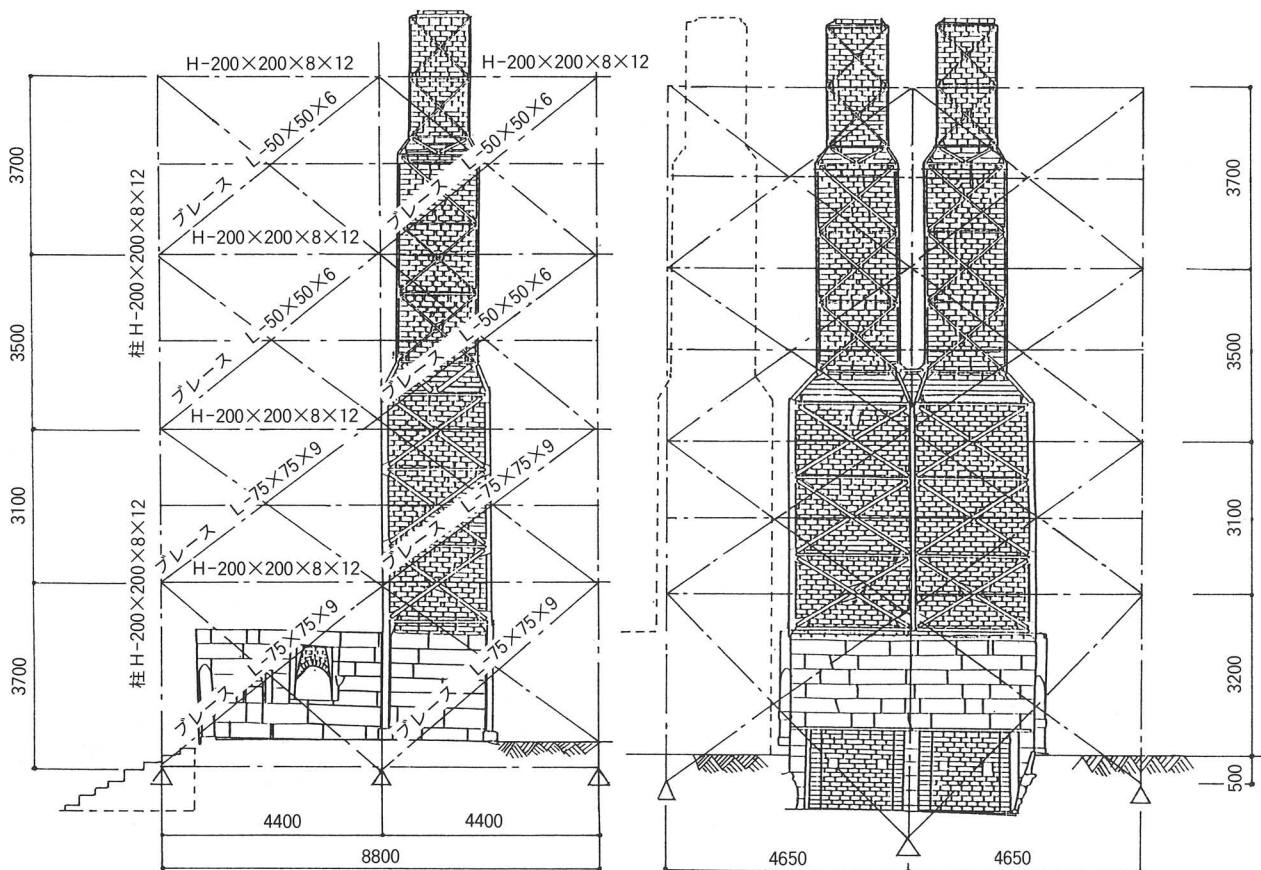


図-27 特殊仮設物構造設計

単位：mm

第4章 保存修理工事の施工

表-24 実施工程表

年度月	60 年 度			61 年 度			62 年 度			63 年 度																																					
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
工	<p>準備工事 仮設工事 資材発注 加工製作 周辺整備工事</p> <p>煉瓦製作 養生移動養生保管 仮設鉄骨補強用鉄骨製作 保管 仮設鉄骨盛替加工補強用鉄骨製作 仮設撤去 保管 準備 製作加工 内柵・説明板 取付 整地</p>																																														
事	<p>北炉修理工事</p> <p>炉体補強 基礎工事 内柵撤去 仮設鉄骨足場他 煙突内部補強 炉内補強 補強用鉄骨解体組立、煉瓦差替他 下焚口補強 塗装</p>																																														
程	<p>南炉修理工事</p> <p>炉体補強 仮設鉄骨足場 炉内 煙突内壁 補強用鉄骨解体組立 煉瓦差替他 下焚口補強 塗装</p>																																														
調	<p>遺構調査 施工確認 振動調査</p> <p>調査 振動調査 振動調査 総合調査 総合解析 調査 総合解析</p>																																														

文献-34~37

The work took four years. The major effort consisted of replacement of iron frames for aseismic reinforcement, additions to the foundations, filling of interior crevices to increase rigidity, and renewal of weathered bricks.

第4章 保存修理工事の施工

1. 実施経過

昭和60年度から、昭和63年度までの4ヵ年をかけ、保存修理工事を実施した。工事をこのように多年度に分けたのは、耐震対策とともに北炉及び南炉の2炉を単年毎に行うことで工事の経験を生かすためと、一般の見学を工事中も可能にするよう工区を分割したためである。

4ヵ年の工程を表24に示す。各年度の工事概要は次の通りである。なお、各年度の事後、事業内容を単年報告書としてまとめた。

(1) 昭和60年度……基礎補強，炉体補強

昭和60年5月18日に着工（起工）し，進入口の整備，現場事務所の設置後，7月の鉄骨実測から実質的な修理工事を開始した。

基礎工事は既設の銃剣柵を撤去後，3工区（後に4工区に変更）において補強用鉄骨の基礎と特殊仮

設用鉄骨の基礎工事を同時に実施した。11月第2工区の根切りを開始した時点で，境界部に創業当時の鋳台の遺構が発見された。このため，工事と並行して調査を進めることで調査期間を必要最小限にとどめ，また3工区を4工区に分け，可能なかぎりの補強を部分的に実施して基礎廻り掘削時の炉体の安全性を確保した。最終工区では，現状地盤下約3.5mの昭和32年補強基礎のレベルまで掘り下げたため炉体下の，大玉石が露出し，工事中の耐震的弱点をさらす状態となったが，この間，最も懸念された地震もなく，1月に最終工区のコンクリート打設を終了し，2月にアースアンカーを定着して基礎工事を終了した。

炉体補強は，基礎工事と並行して11月から開始した。炉体の地盤下も，予想以上に伊豆石の目地部に空隙があり，当初より約1ヵ月遅れの1月末に，炉体上部までの注入補強を終了した。注入補強で剛性を確保した後，炉体上端の補強を実施して一体化を図り，最後に炉体天端の防水工事を行った。

工事終了後，施工確認のため常時微動による振動

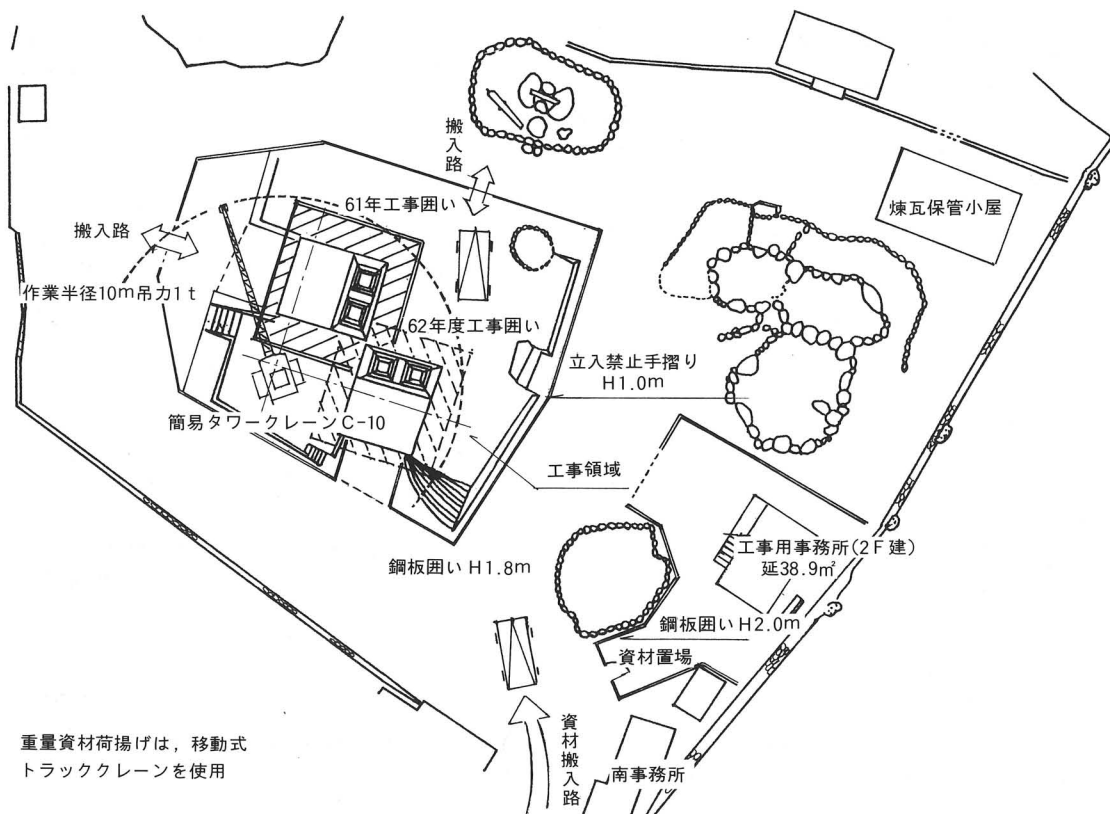


図-28 仮設工事図面

調査を実施し、60年度の補強工事の効果を確認した。

なお、工事に並行して、補修用煉瓦の製作を行い、現場に搬入し保管した。補強用鉄骨は、既存の補強用鉄骨を実測後、工作図の作成に着手したが、既存の鉄骨の位置が、必ずしも鉛直、水平でなく煙突部の傾きや振れに追従していたため、新規の基準点の設定について多大な検討時間を費した。この工作図を基に資材発注を行った。60年度の事業は61年3月24日に終了した。

(2) 昭和61年度……北炉保存修理

昭和61年4月26日に着工し、6月より実質的な北炉の修理工事を開始した。工事内容は、煙突部と炉体部の保存修理が主な内容である。

工事は、特殊仮設用鉄骨工事から始まり、前年度発注した資材を、工場で作成加工し、6月から現場で組立て、これに、仮設足場を設置した。7月に入り、煉瓦差し替え箇所調査及びマーキングを行い、既存鉄骨を解体する前に差し替え可能な箇所の煉瓦をできるだけ差し替えた。8月に入り軽量コンクリートブロック造りの煙突上段部を解体撤去した。この

間、新しい補強用鉄骨を前年度発注した資材で作成加工し、7月現場近くに搬入し、塗装工事を行った。塗装色については、色見本を保存修理委員会で検討し、こげ茶色系とした。

8月中旬より、この保存修理工事を中心とする補強鉄骨の差し替え工事を行った。工程は、下段部より順次既存鉄骨を解体し、鉄骨廻りの煉瓦を差し替え、新しい補強鉄骨を組立て、鉄骨と煉瓦の空隙部をモルタルで充てんするという工程を繰り返していった。既存鉄骨の解体は、工区の鉄骨をいちどに撤去することをさけ、ブレース、フラットバー、柱と部分的に解体し、この間、特殊仮設用鉄骨に支持された補強ジャッキを、鉄骨部あるいは煉瓦面と何度も盛り替えながら、解体工事中の地震対策を考え慎重に推し進めた。その後、外壁煉瓦の目地補修、鉄骨と煉瓦の空隙部の充てんといった外廻りの補修を行った後、煙突内部（亀裂及び空隙部）の注入工事を開始した。

ここまでの段階で、煉瓦の差し替え量の増加、煙突内部の新たな空隙部に対する注入量の増加が見込

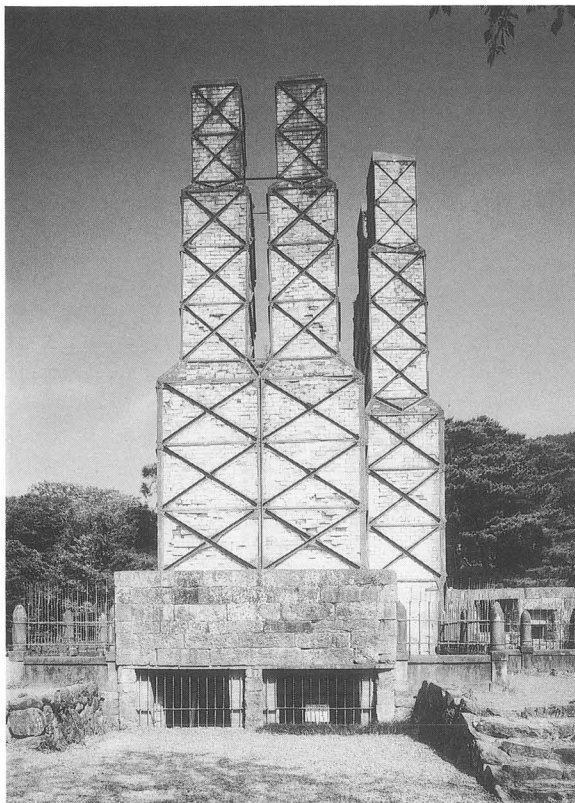


写真-23 北炉 修理前

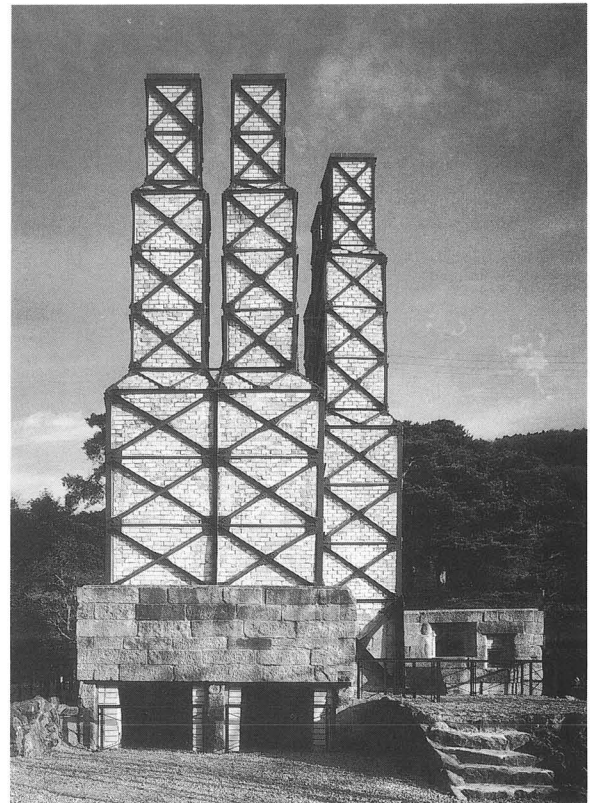


写真-24 北炉 修理後

まれたため、工事内容を変更した。12月には、この追加工事、補強鉄骨の最終仕上塗装など主な工事をほぼ終了した。

炉下束石の補強工事については、煙突部の工事と並行して行ったが、炉下の構造調査が必要となったため、日本鉄鋼協会、産業考古学会の協力を得ながら進め、下焚口側の遺構調査の結果とともに炉下及び基礎部分の構造解明に必要な資料を収集した。

1月に入り炉床三和土補修工事、特殊仮設用鉄骨の解体、足場撤去、整地工事を行い、施工確認調査（振動実測）を実施し1月下旬に現場の全工事を終了した。61年度の竣工日は昭和62年3月24日である。

(3) 昭和62年度……南炉保存修理

工事内容は、南炉の煙突及び炉体部の保存修理が主な内容で、昭和61年度の工事内容を南炉について繰り返した。工事は、昭和62年5月8日に着工し、年度の竣工日は昭和63年3月19日である。

工事は、62年度に北炉に使用した特殊仮設用鉄骨を部分加工しながら再度組立て、これに、仮設足場を設置した。7月、煉瓦差し替え箇所の調査及びマー

キング、煉瓦の一部差し替えを実施した。

8月下旬より、補強用鉄骨の差し替え工事を実施、工程は62年度と同様である。鉄骨差し替え工事、外壁煉瓦の目地補修、鉄骨と煉瓦の空隙部の充てんといった外廻りの補修がほぼ終了した10月下旬より、煙突部の注入工事を開始した。

ここまでの段階で、漆喰分析、北炉下焚口赤煉瓦控柱（後補）の調査などの必要性が生じたため、保存修理委員会で審議し追加調査として承認された。12月には、補強鉄骨の最終仕上塗装など主な工事をほぼ終了した。なお、12月の末に施工確認調査（振動実測）を実施し1月下旬現場の全工事を終了した。

(4) 昭和63年度……周辺整備

工事内容は、反射炉廻りの内柵設置と敷地周辺の外柵設置、南・西側の門扉設置及び標示・説明板の設置である。工事は、昭和63年8月16日に着工し、鑄台調査終了後、開始した。11月の保存修理委員会で、下焚口煉瓦修復工事及び既存鉄部の塗装工事が追加工事として承認され、これを実施した。年度の竣工日は平成元年1月16日である。

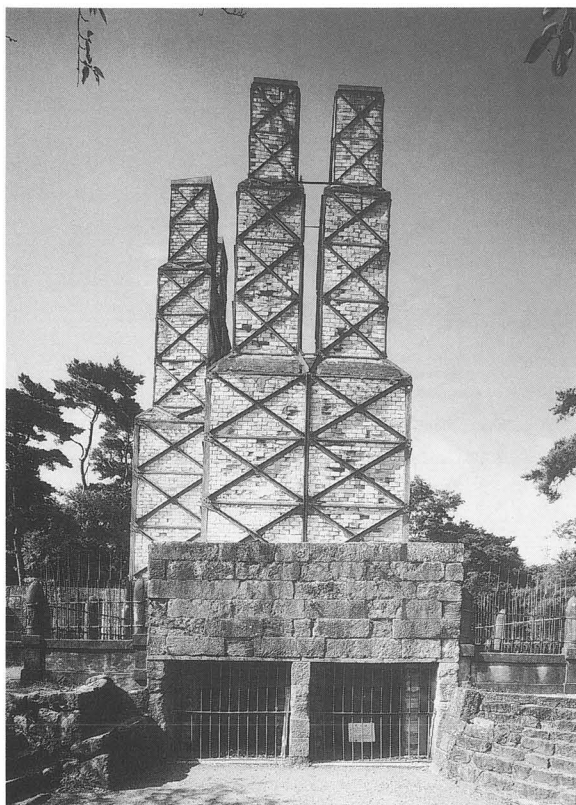


写真-25 南炉 修理前

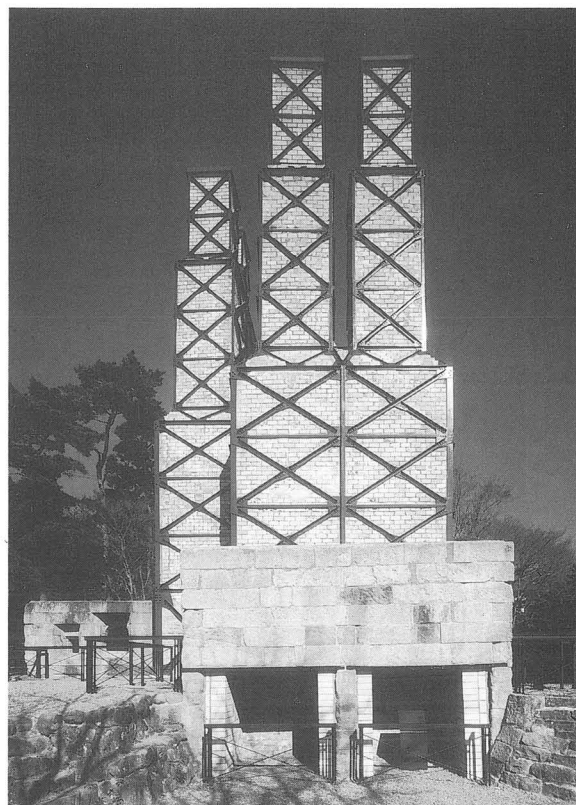


写真-26 南炉 修理後

表-25 数量表

年 度	使 用 材 料	使 用 機 器	労務人数(主な工事)
60 年 度 (1985年)	生 コ ン---92m ³ (屋根防水押えシンダー---4.5m ³ , 基礎補強用捨コン---5.5m ³ , 基礎補強用軀体---82.0m ³) 砕 石 敷---4.5m ³ 注入スラリー---5.361m ³ (フローロック300袋,樹脂(18ℓ)30缶) 永久アースアンカー---22本(304.9m), 仮設アンカー---12本	圧送ポンプ-----3台 20 t ラクタークレーン--3台 運搬トラック(4 t)---11台	注入補強 注入工---177人
61 年 度 (1986年)	生 コ ン---23m ³ (炉下補強1.5m ³ , 仮設基礎21.5m ³) 砂---6m ³ , セメント(40kg)---100袋, 防水マノール(18ℓ)8缶 注入スラリー---5.388m ³ (フローロック370袋, 樹脂(18ℓ)40缶, エポキシ45kg) 劣化防止(RF-100, 18ℓ)---8缶 煉 瓦---3384枚(大形煉瓦1764枚, 小形煉瓦1394枚, 役物コーナー146枚, 炉床80枚)	20 t ラクタークレーン--16台 運搬トラック(4 t)---15台	注入補強 注入工---205人 補強鉄骨 かじ工--- 74人 特殊仮設 かじ工--- 59人 煉瓦差替 煉瓦工---283人 左官工--- 58人
62 年 度 (1987年)	生 コ ン---1.25m ³ (炉下補強1.25m ³) 砂---8m ³ , セメント(40kg)---90袋, 防水マノール(18ℓ)7缶 注入スラリー---4.835m ³ (フローロック370袋, 樹脂30缶, エポキシ30kg), 劣化防止剤(RF-100, 18ℓ)---8缶 煉 瓦---2227枚(大形煉瓦643枚, 小形煉瓦1240枚, 役物コーナー154枚, 炉床190枚)	20 t ラクタークレーン--10台 運搬トラック(4 t)---18台	注入補強 注入工---184人 補強鉄骨 かじ工---114人 特殊仮設 かじ工--- 47人 煉瓦差替 煉瓦工---208人 左官工--- 48人
63 年 度 (1988年)	生 コ ン---39.5m ³ (内,外柵標識基礎34.0m ³ ,門扉5.5m ³) 砂 利---(構内敷込) 20m ³ 煉 瓦---496枚(大形煉瓦461枚, 小形煉瓦35枚)	小形重機-----9台 運搬トラック(4 t)---15台	内 外 柵 かじ工--- 43人 煉 瓦 積 煉瓦工--- 26人

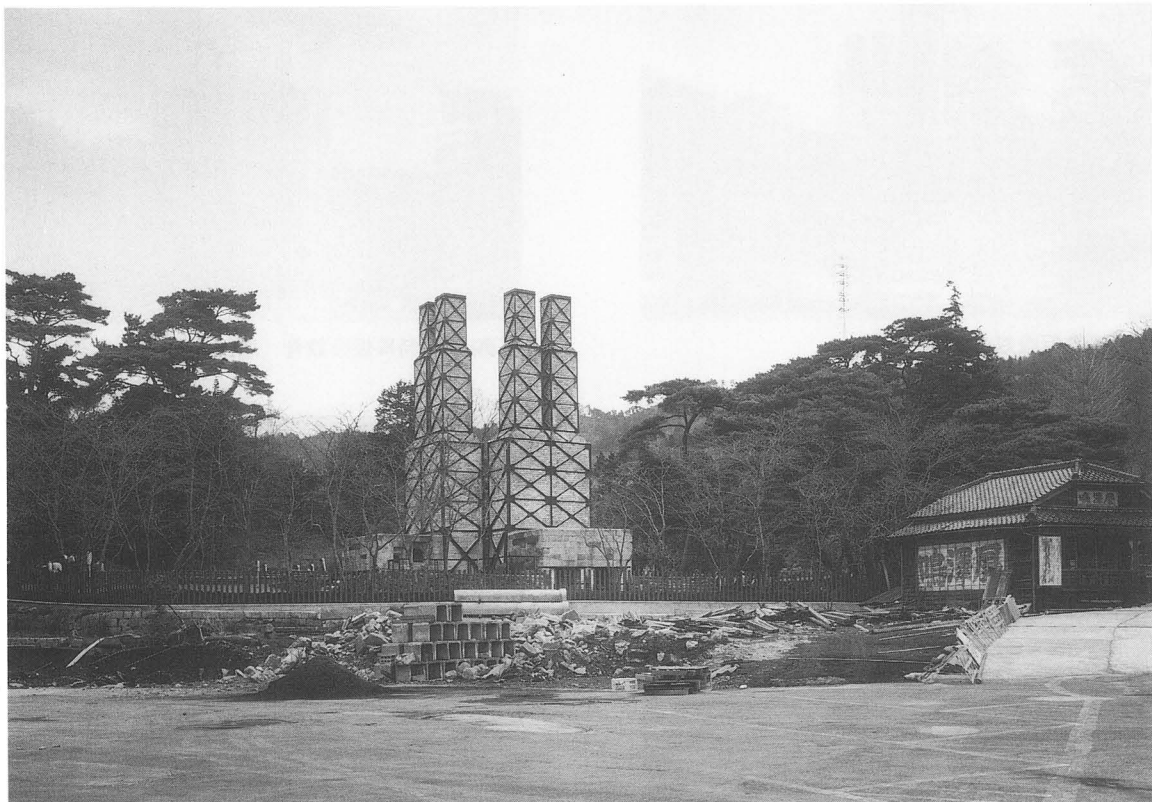


写真-27 全 景 (南側より反射炉を見る)

2. 仮設工事

今回の保存修理工事は、一般の工事現場と異なり、文化財参観者の見学を許容しながら工事を行うこととなった。このため、通常は敷地内の反射炉廻りの工事領域のみに仮囲いを施し、特殊仮設鉄骨の組立、解体など大型クレーン車が作動する期間で危険性がある場合は、特別に敷地内への入場を規制するなどして参観者の安全対策に努めた。この工事で使用された仮設物で、特別に計画したものは、次の特殊仮設用鉄骨と煙突用簡易ゴンドラである。

(1) 特殊仮設用鉄骨

昭和32年補強鉄骨を解体し、新しい補強鉄骨と差し替える期間、反射炉は、一時地震に対して無防備な状態になる。このため、反射炉の周囲に特殊仮設用鉄骨を組み立て、この鉄骨と反射炉の間に補強ジャッキを固定して、地震時の倒壊を防止した。位置関係、補強ジャッキ方法を図29に示す。

特殊仮設用鉄骨は、200×200mmのH型鋼のラーメン構造で足場を併用した。基礎は、補強用鉄骨基礎

と同様にアースアンカー工法を採用し地震時の浮き上りを防止した。設定された耐震強度は250gal<震度V(強震):80~250galと震度VI(烈震):250~400galの間に相当>である。

補強ジャッキは、工程に応じて煙突部の支持面を変え、補強の鉄骨がある場合は鉄骨面に、鉄骨がない場合は、煉瓦面にあて板をはさんで煙突部を支持した(写真30, 31)。

なお、この特殊仮設は、北炉と南炉を兼用したが、北炉から南炉への転用時には、多少、調整が必要となった。この他、足場と共に落下防止措置として養生ネットを周囲にめぐらせた。

(2) 簡易ゴンドラ

簡易ゴンドラは煙突内部の調査・作業を行うため、特別に製作した1人用のものである。特殊仮設用鉄骨の上に設けたフレームから滑車でつり下げ、手元コントローラーで上下動のコントロールができるようにした。煙突外側からの注入補強工事において、煙道側への溢流を確認するなど工事及び調査に大いに役立った。

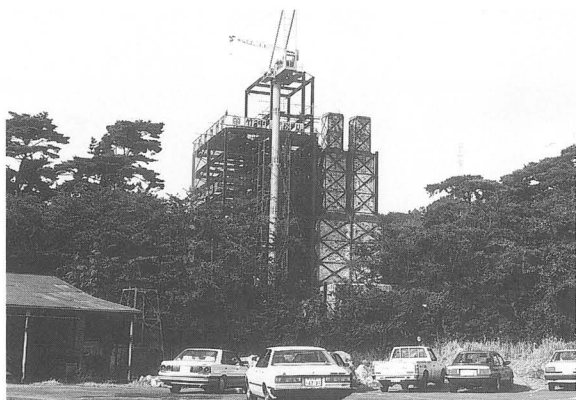


写真-28 特殊仮設鉄骨 (北 炉)

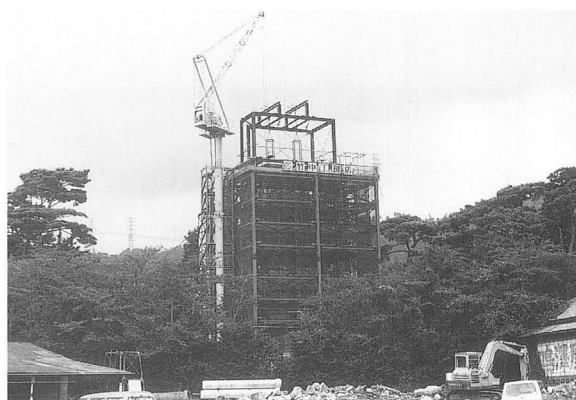


写真-29 特殊仮設鉄骨 (南 炉)

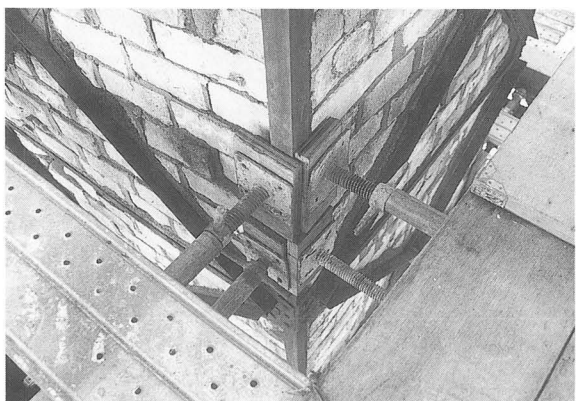


写真-30 補強ジャッキ (鉄骨部支持)



写真-31 補強ジャッキ (煉瓦面支持)

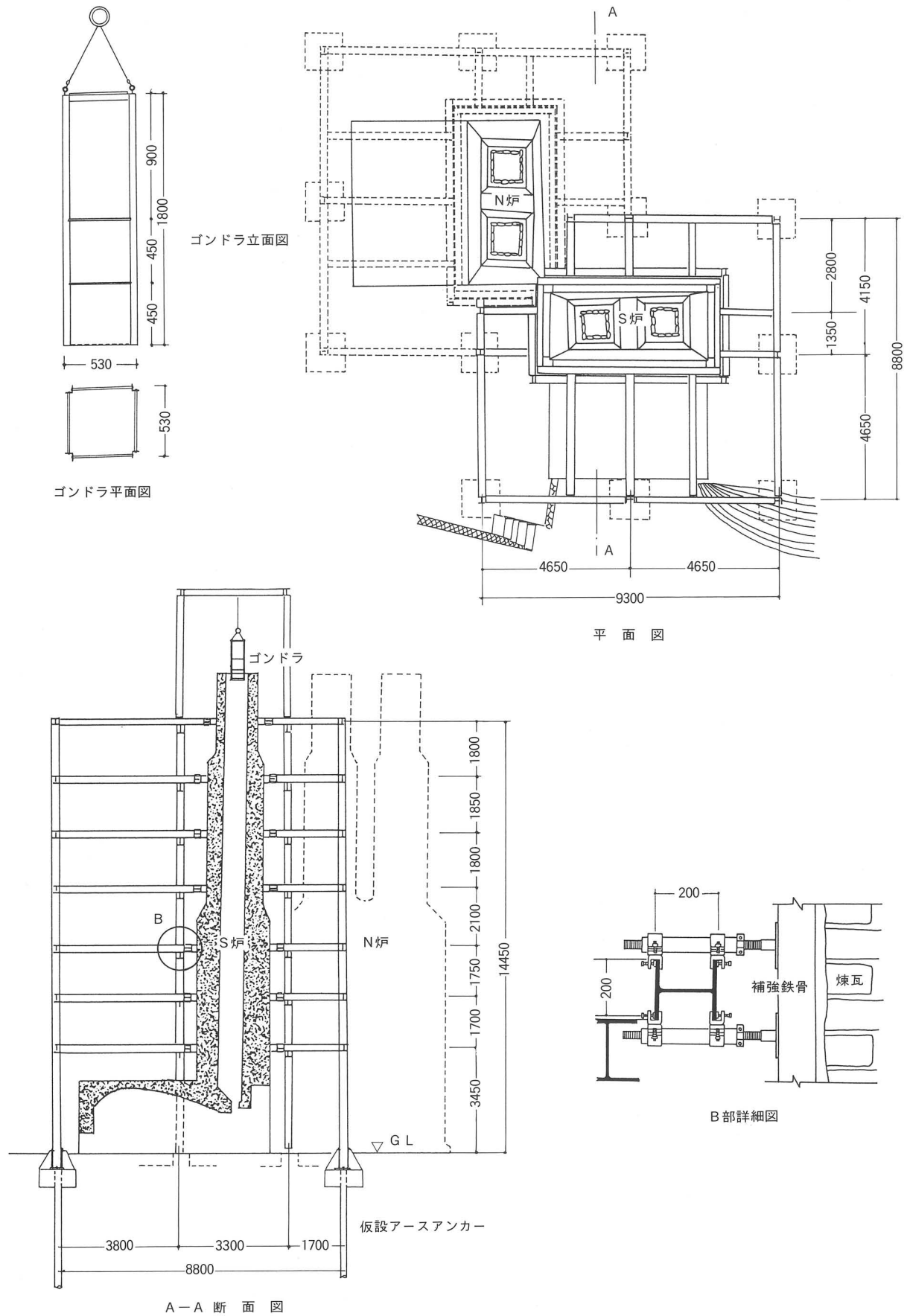


図-29 特殊仮設用鉄骨 (単位: mm)

3. 解体工事

今回の工事で反射炉の一部及び周辺部を何ヵ所か解体することになった。この解体部分は、銃剣柵(内柵)、炉体天端、既存補強用鉄骨、煙突最上部、天蓋、煙突内部木製枠及び北炉下焚口の赤煉瓦控柱で、南炉の煙突上段部を除きいずれも、過去の保存修理工事で後補された箇所である。解体箇所を図30に示す。

(1) 銃剣柵(内柵) (昭和60年度)

銃剣柵は、明治42年の陸軍省補修工事で反射炉まわりに設置されたものである。石造モルタル塗りの腰壁に砲弾型をした石柱(モルタル仕上げ)が2m50cmほどの間隔で立ち、この柱と柱との間にロシア小銃を縦に連結して囲いをなすという独特な構成になっていた(写真32, 図32)。

当初の計画では、工事期間中いったん解体して、修復、復元する予定であったが、解体後の腰壁、石柱をみると石積みの上にモルタルが塗られ、予想以上に損傷、劣化程度が著しく、破断した箇所が表面のモルタルで、かろうじて接着している状況であっ

た(写真35)。また、銃剣は一部に、腐食が進んでいたためと炉体観察を容易にさせる理由で、内柵の再構築を断念し新しい内柵を設置した。

解体後の銃剣柵は、葦山町で一時的に保管した。なお、使用されていた銃剣は総数219丁である。

(2) 炉体天端 (昭和60年度)

炉体の上部は、雨水が内部に浸透しないよう昭和32年に、モルタルの陸屋根防水が施工されていた。しかし、このモルタルには亀裂が生じ、今後十分な防水能力が期待できないため、新しい防水層を施工することとして、モルタル防水部分を解体した。解体時の状況では、内部に土や煉瓦のガラが充填され、昭和32年の工事等でかなり手が加えられていた。〈構造の詳細は第6章2.3(5)を参照〉

(3) 既存補強鉄骨 (昭和61, 62年度)

昭和32年の補強工事で、設置されたトラス形状の鉄骨は、経年変化により全面に赤錆を生じ、一部ジョイント部が破断したり、水平材が切断していた。このため、新しい補強鉄骨と差し替えることになり、これを解体した。

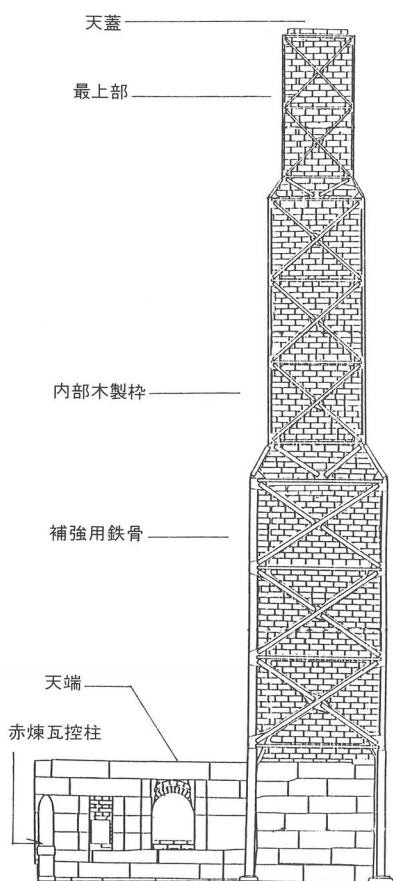


図-30 解体箇所

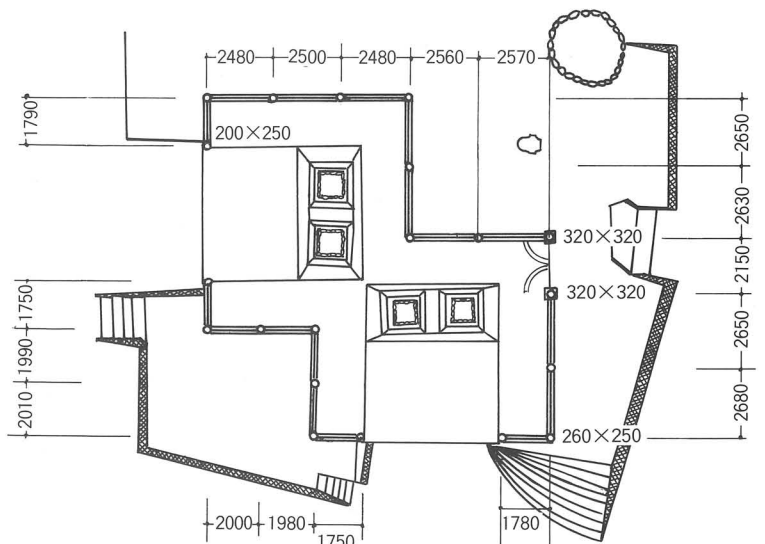


図-31 銃剣柵配置図 単位: mm

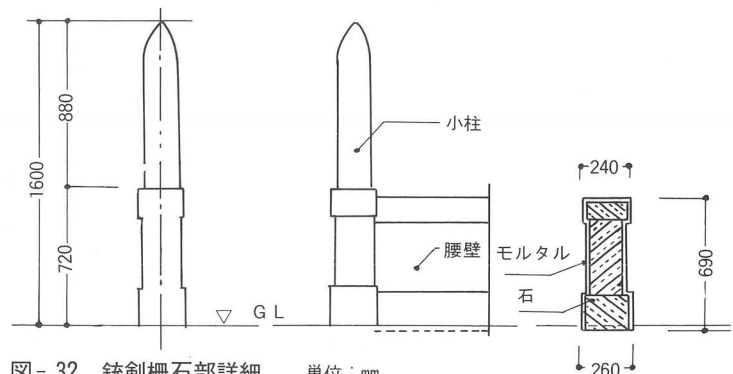


図-32 銃剣柵石部詳細 単位: mm

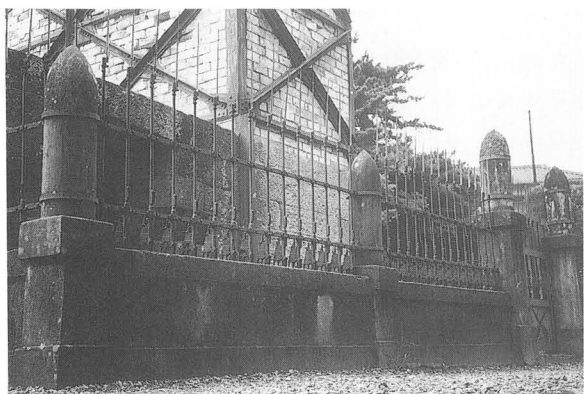


写真-32 銃剣柵 解体前

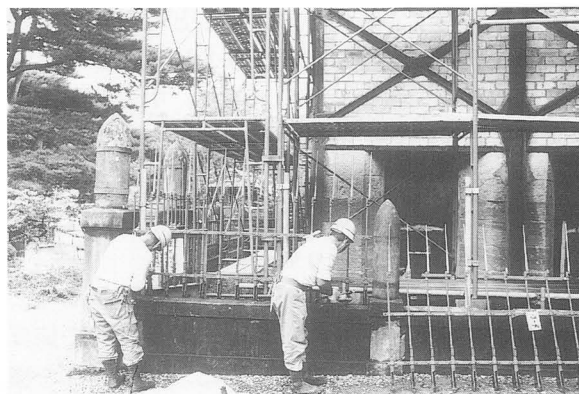


写真-33 銃剣柵 解体工事

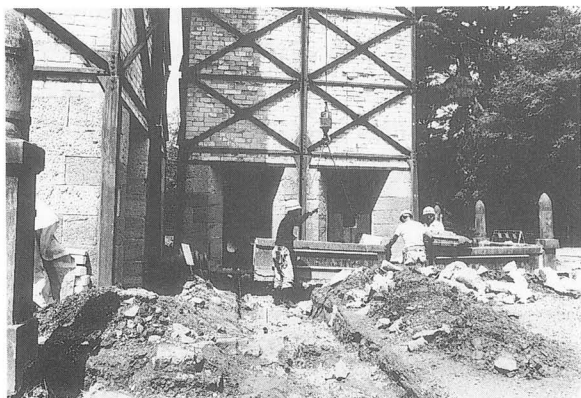


写真-34 銃剣柵 解体工事



写真-35 銃剣柵 解体後

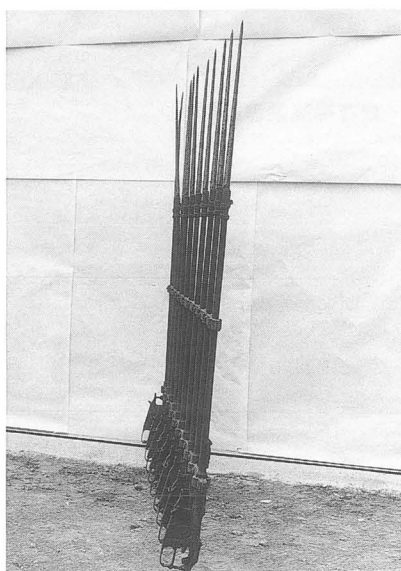


写真-36 銃 剣

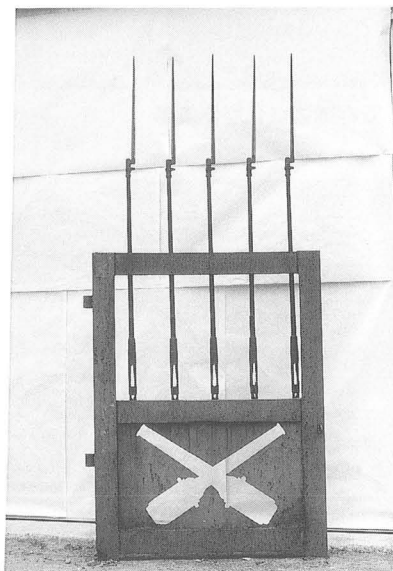


写真-37 銃 剣

解体は、一度に鉄骨を解体すると地震時に危険な状態となるため、特殊仮設用鉄骨に支持したジャッキで煙突部を補強しながら下段部、中段部と下から上に行った。また、部材の解体順序も①ブレース②フラットバー及び柱と、部分的に解体し、解体箇所は、直ちに煉瓦の差し替えを行うというように、危険な期間をできるかぎり短くした。

外観上、伊豆石・煉瓦面と鉄骨に空隙がなく、納まりがよくみえた部分も、数cmほど伊豆石や煉瓦を欠きこんで納めてあること、また、コーナ部を極端に欠く等、取付けに相当苦労した跡がうかがわれた。既存鉄骨は、リベット・ボルト締め、溶接の併用で、長辺をあらかじめリベットで組み立て、短辺方向を現場で組み合わせボルト締めするなどの工夫がみられた。

また、位置調整の困難なセットバックした部分(肩部分)は、鉄板を現場加工し溶接してあった。このように現状の煙突の形態にきっちりと沿った鉄骨形状とすることが不可能なため部分的な納まりに無理が生じ、結果的には煙突部や炉体を部分的に損傷し

ていた。

なお、既存鉄骨の裏面は、表面より腐食が著しく進行しており、鉄骨裏面の防錆処理の重要性を痛感した。

(4) 天蓋 (昭和61, 62年度)

今回、耐久性のある銅製の天蓋を施すため、既設の鉄製天蓋(調査時に設置したもの)を除去した。

(5) 煙突内部木製枠(昭和61, 62年度)

調査段階で、仮に設置した木製枠と煙道面の間に充填していた砂を再度撤去した。木製枠はユニットごとに組み立てられているため、上段部解体工事に合わせて順次、上部から撤去していった(写真41)。

(6) 煙突上段部 (昭和61, 62年度)

北炉煙突上段部は、昭和5年の北伊豆地震で崩落したため、昭和32年の工事で浅間軽量骨材を用いた軽量コンクリートブロックで積み直してあった。一方、南炉は、北面を除く3面の表層部に目地切りをした色モルタルが塗ってあり、上段部と中段部への境付近はかなり損傷を受けた様子で補修されたあとがあり、この部分の既存煉瓦に破損が多くみられた。

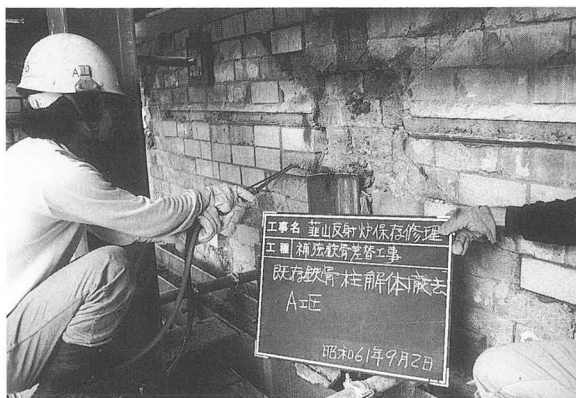


写真-38 既存補強鉄骨解体工事



写真-39 既存補強鉄骨解体後



写真-40 既存補強鉄骨解体後



写真-41 煙突最上部解体

今回の工事で、北炉上段部の軽量コンクリートブロック部分を解体し、新しい煉瓦で積み替えた。

また、南炉では上段部の上、中、下3ヵ所に井げた状に創建当時の外部補強鉄帯の水平支持材が埋め込まれその先端が発見されたため、補強と共にこの構法を確認する意味も含め、上段部を解体調査した後、既存煉瓦を選別し、補修用煉瓦を加えて積み直した。この解体調査から、煉瓦積みの工法及び地震時の応力集中の状況を推定することができた<調査結果は第6章2.(4)を参照>。

(7) 北炉下焚口赤煉瓦控柱 (昭和62年度)

北炉下焚口には、伊豆石の壁柱廻りに、昭和32年の補強と推測される赤煉瓦(1枚の大きさは225×105×55mm)の控柱が設置されていた。一方、南炉のこの部分は、煉瓦が欠損したままの状態となっていた。

北A炉の地盤下の調査結果から、創建当時は、露出した石壁部分を耐火煉瓦で覆っており、明治の修理で、この部分を欠いて、鉄格子をはめていたことが明らかになった。ただし、現状では、この控柱は傾いたり、上部に隙間を生じ、外観上、不安定な状

態であった。また、控柱の基礎や、支持応力を調査した結果、赤煉瓦の控柱は、ほとんど補強の用をなしていないことがわかったため、解体し、創建当初の姿に復元することとなった。

赤煉瓦控柱の支持応力の調査は、写真43のように、H鋼の反力台の上にジャッキを2本設置し、一方のジャッキに荷重計を設置し、他方は予備用(万一の場合は、ここで荷重を支える)とし控柱上部の赤煉瓦を2枚はずし、載荷状態を確認した。10日ほど、この荷重変化を調査した結果は、大きな変動がみられなかった。

(8) 下焚口鉄格子 (昭和63年度)

前述の下焚口煉瓦壁復元に伴い、腐食が進行していた後補の鉄格子を撤去し、外側に新しく内柵と同様な柵を設けた。

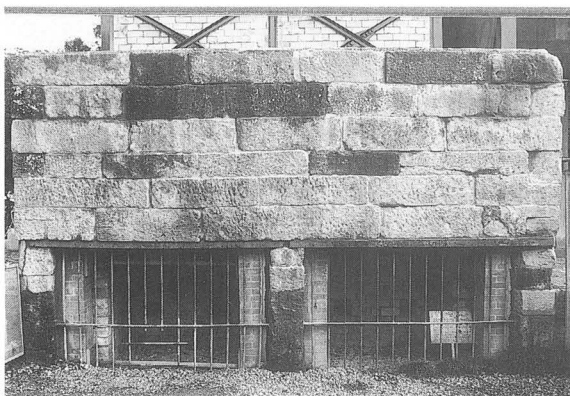


写真-42 北炉下焚口赤煉瓦控柱解体前

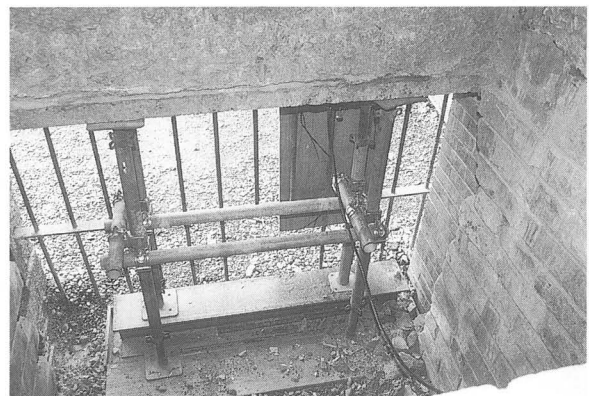


写真-43 北炉下焚口赤煉瓦控柱荷重調査



写真-44 北炉下焚口赤煉瓦控柱解体後

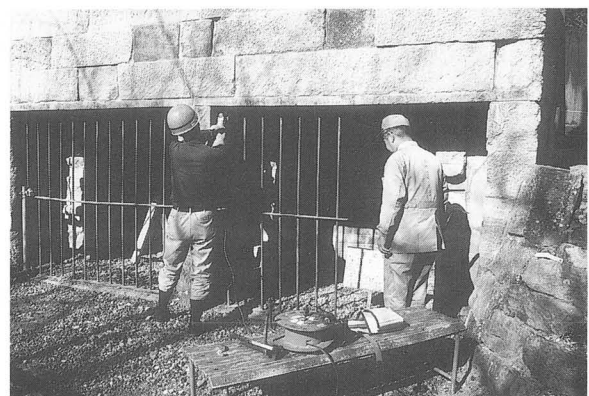


写真-45 南炉下焚口鉄格子解体

4. 基礎補強工事

耐震補強設計では、反射炉の近域に発生が想定される東海沖地震を考慮し、昭和32年の設計より地震の入力条件を厳しく設定した。このため、基礎は、昭和32年の基礎に添い増強することになった。

この主な内容は、昭和32年工事の基礎をできるだけ破壊しないようにして新しい基礎を打ち増し、新旧の基礎を樹脂アンカーで緊結し基礎部を広げるとともに地震時の引抜きに抵抗するようN値50以上が期待できる地表下約10m付近の風化安山岩層と増設した補強基礎をアースアンカーで結ぶことである。アースアンカーを採用したのは、塔状の建物で、かつ基礎の大きさに制限がある場合、有効な手段と判断したためである。なお、採用にあたっては、アンカー鋼線の腐食対策、構造物とアンカーの定着部分の保護に留意した。

基礎工事は、最初にアースアンカー（補強鉄骨用、特殊仮設鉄骨用共）を打ち込み、先端部を露出させたまま、図33に示すよう工区を4工区に分けて、掘

削、配筋、型枠組み、コンクリート打設という工程で鉄筋コンクリート基礎を施工し、最後にアースアンカーと基礎を定着した。工区を分けたのは、昭和32年度の工事と同様な主旨で、部分的な補強を行いながら、工事を行うことにより、工事中の地震による倒壊の恐れをできる限り最小限に食い止めようという理由による。なお、この基礎工事では、現況調査中不明確だった既存の基礎や、地盤の状況を調査しながら補強方法の一部を修正した（基礎の調査結果は、第6章2.2を参照）。

(1) アースアンカー工事（写真46～49）

アースアンカー工事は、次の工程で実施した。アースアンカーの長さは、図34に示すように支持地盤（風化安山岩）との定着長さを、設計耐力から、50 t については5.8m、45 t では5.2m、30 t では3.5m、15 t では2mと定め、定着部は鋼線ケーブルを露出し、その他の部分はポリエチレン樹脂で被覆した工場製品を現場に搬入した。なお、電力設備は90KW/200Vの発電機を現場に設置した。

① 墨出し

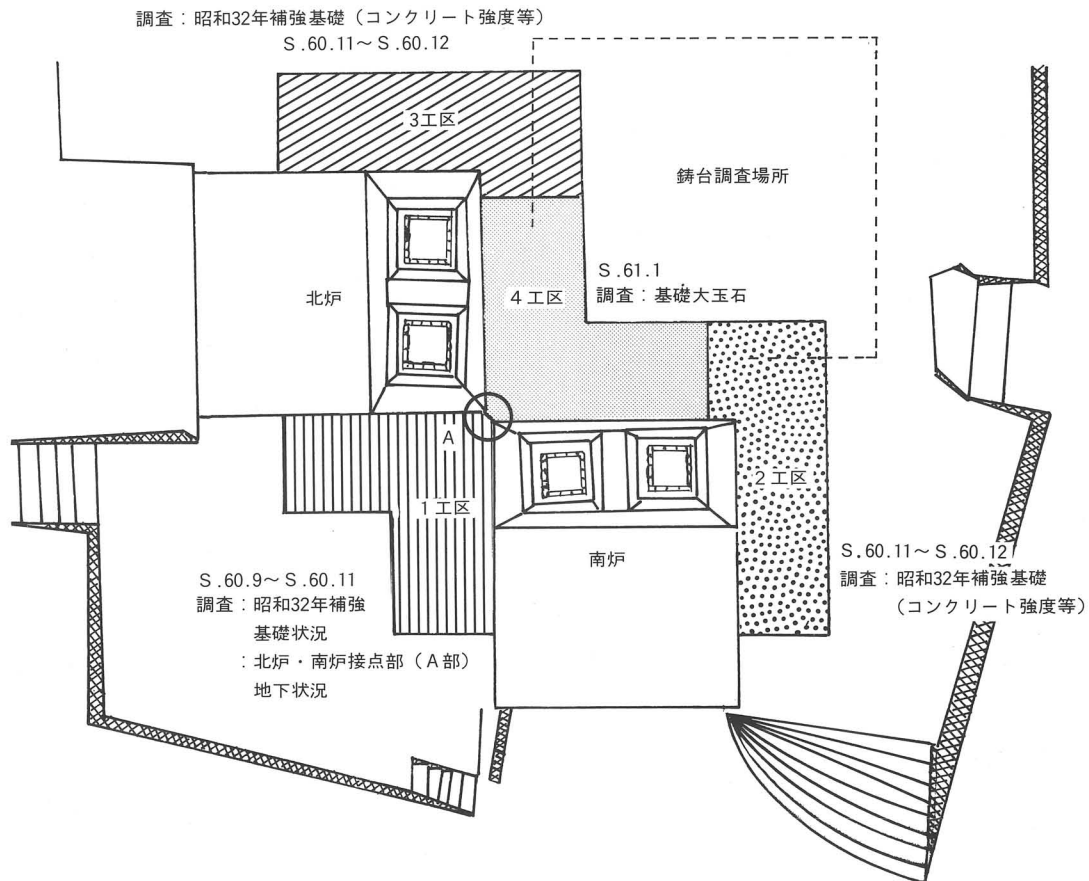


図-33 基礎工事工区

設計図による位置は図34による。

②削孔機掘付，削孔

削孔は，ロータリーバーカッションボーリングマシン二重方式により直径115mmドリルパイプ(1本当たり長さ1.5m)に先端ピットを装着したバーカッションロータリーで推力を加えながら所定の深度まで清水を使用して削孔した。なお，削孔中の打設角度はパイプセット時に角度計で測定した。

③孔内洗浄・検尺・アースアンカー加工

アンカーの定着部以外は，セメントペーストとの付着力の縁を切るため，ポリホースにより被覆した。

④アースアンカー挿入，セメントペースト注入

ドリルパイプ内にパイプ(ポリエチレンパイプφ26mm)を孔底まで挿入し，所定配合のセメントミルクを充填し，孔内の水及び空気を排除しつつ注入パイプを引上げ，加工されたアースアンカーをドリルパイプ内に人力で挿入した。

アースアンカーの仕様は次による。

- 永久アースアンカー(補強用鉄骨)：引張材SEEE F-130 標準径 38.1mm

品名(川鉄鋼線工業 SEEE Strand F-130)

- 仮設アンカー(特殊仮設用)：引張材SEEE F-50 標準径 24.3mm

品名(川鉄鋼線工業 SEEE Strand F-50)

- セメントミルク：セメントは，JIS R5210に規定する早強ポルトランドセメントを使用。圧縮強度は，材令4日で160kgf/cm²以上，材令7日で200kgf/cm²以上。セメントと水の重量配合比は1：0.55。

⑤ドリルパイプ回収

セメントミルクを加圧注入(0.5~1kgf/cm²)しながら，ドリルパイプをジャッキで引き抜いた。

⑥養生・定着確認耐力試験

中間の工程で養生後，本設アンカー2ヵ所について耐力試験を行い最後に本設アンカー全数について耐力検査を実施した。

試験はセンターホール方式油圧ジャッキを使用し，設計荷重の1.2倍の荷重を最大とし，繰り返し荷重を載荷し，耐力の確認を行った。

⑦検査

アースアンカーの品質については，メーカーの検

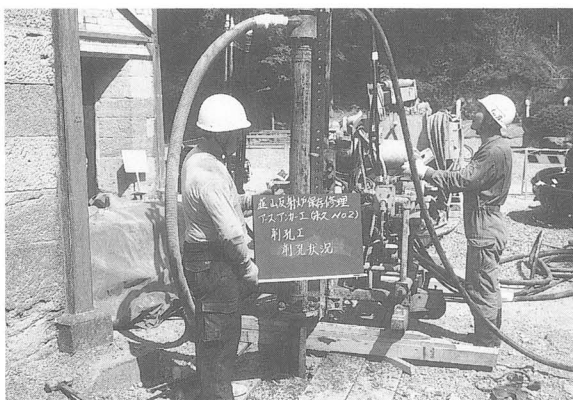


写真-46 アースアンカー工事(削孔)



写真-47 アースアンカー工事(引張材挿入)



写真-48 アースアンカー工事(ペースト注入)

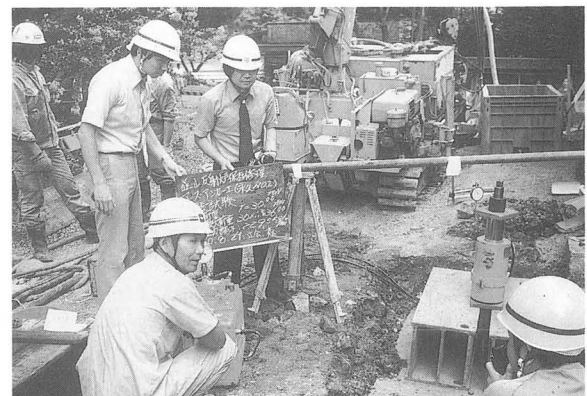


写真-49 アースアンカー工事(耐力試験)

査成績書、セメントミルクの品質については、型枠φ5cm×10cmの供試体によって強度試験（材令3日、8日）を行って確認した。なお、耐力試験は現場で立会い試験とし、いずれも設計耐力を上廻っていることを確認した。

(2) 基礎工事（写真50～61）

基礎工事は、次の工程で実施した。

- ①やり方、根切、残土搬出
- ②栗石地業、捨コン打設
- ③既存コンクリート基礎はつり、墨出し
- ④既存コンクリート基礎へ樹脂アンカー打ち（第1～第3工区のみ）

樹脂アンカーは、エポキシ樹脂系埋込みステンレス全ねじアンカーを採用した。

- ⑤鉄筋組立、補強用鉄骨のアンカーボルト取付及び配筋検査

鉄筋は、D16以下をSD30、D19以上をSD35、継手は重ね継手とし、一部圧接継手を使用した。

- ⑥型枠組立及び型枠撤去
- ⑦コンクリート打設

コンクリートは、普通コンクリートで、仕様は次による。

- 使用セメント：高炉セメントA種（宇部セメント）
- 設計基準強度（Fc）：180kgf/cm²
- スランプ：12cm
- コンクリートの品質の級：常用
- 仕様の級：材料＝Ⅱ級，施工＝乙種
- 細骨材：富士川水系
- 粗骨材：富士川水系
- 混和剤：AE剤チューポールC（竹本油脂）
- 鉄筋：D16以下SD30，D19以上SD35
- 鉄筋の継手：重ね継手，圧接継手
- ⑧養生，脱型，埋め戻し

a 第1工区＜S.60.9～S.60.11＞

第1工区の掘削を行った時点で、現況調査で不明確だった基礎廻りの構造が一部明らかになった。

昭和32年の基礎は、連続フーチング基礎で、柱脚レベル部（コンクリート部）の骨組みは、トラスが構成されていた。この既存基礎との取り合いを配筋施工図をもとに、現場で検討した結果、設計図どお

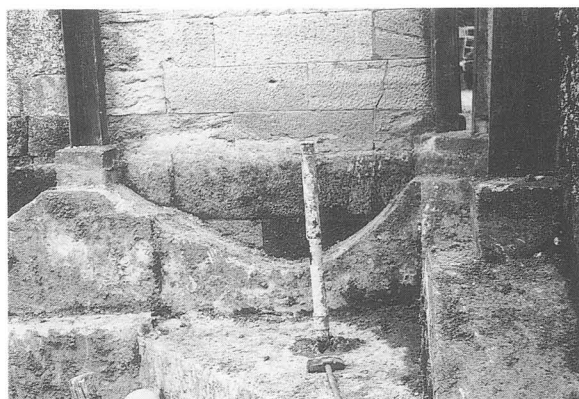


写真-50 基礎工事 第一工区（アンカー打ち）

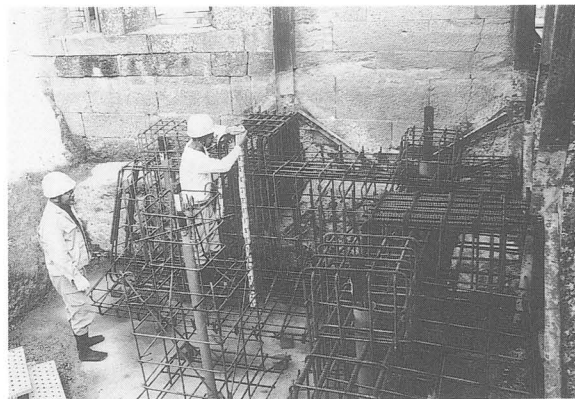


写真-51 基礎工事 第一工区（配筋）



写真-52 基礎工事 第一工区（コンクリート打設）

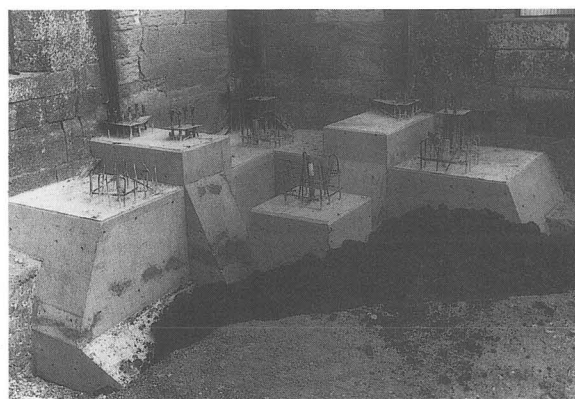


写真-53 基礎工事 第一工区（埋め戻し）

りに納めると、炉体の本体の基礎部をかなり損傷させることなどが判明したため、構造計算を再チェックし、基礎の配筋を一部変更した。これは工事中の安全上できるだけ創建当初の反射炉を損傷しないようにとの理由からである。

変更した内容は、基礎の一体化である。当初、第1工区と第4工区の基礎を連結する予定であったが、地表下を掘削してみると南炉と北炉との間に、十分な配筋スペースが確保できないため、支点A、Bの反力を、アースアンカーを支点とする直交2方向の4本の梁（a～d）で処理するものとし、引き抜き力に対する検討を行った。この結果、主筋を増やし、かつ上下主筋を拘束するという配筋方法に変更した。また、支点Aと支点Bの間に、主筋を縦方向10cm間隔に挿入し補強を加えた。この他、樹脂アンカーの位置も、既存の基礎に合せて変更した。これは、昭和32年度のコンクリート基礎の底部の状況がよくない箇所があったため、最下列のアンカーをとりやめ、上部のアンカー間隔を密にすることで必要本数を確保した。

なお、掘削時の状況であるが、この工区は土が攪乱され埋め戻された状況で昭和32年補修時の新しい煉瓦のかけら等が表層付近から発見された。

b 第2, 3工区<S.60.11～S.60.12>

第2工区の根切り時に、操業当時の鑄台の遺構が発見されたため、昭和60年11月19日文化庁、静岡県教育委員会、韮山町教育委員会と協議し、今回は、補修・補強工事が主であること、基礎廻りを掘削した状態で長時間放置することは、地震時に危険な状態となること、遺構が確認された場所が根切り境界で、ほとんど今回の工事範囲外であること（今回の工事は昭和32年の基礎掘削範囲とほぼ同じ）などの理由から、調査を必要最小限に留めて工事を続行した。遺構は、調査終了後、すぐに埋め戻し、昭和63年度に本格的な遺構調査を行い再調査した<鑄台の構造については、第6章3を参照>。

c 第4工区<S.61.1>

第4工区は、地盤下約3.5mと最も深く根切りを行う部分のため、安全上第1～第3工区で、部分的な補強を十分に実施し確認してから着手した。



写真-54 基礎工事 第二工区

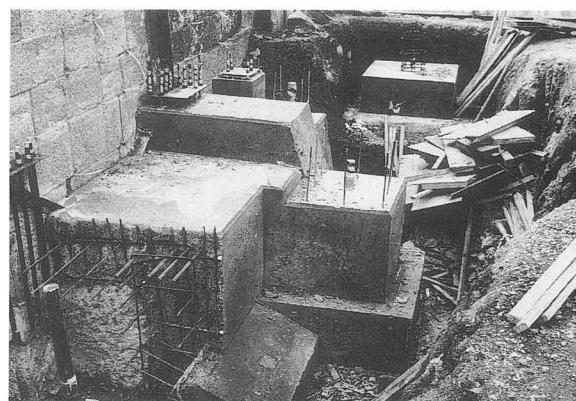


写真-55 基礎工事 第三工区



写真-56 基礎工事 第四工区 (掘削)

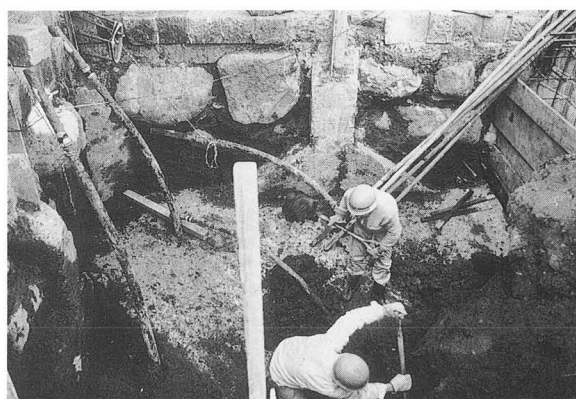


写真-57 基礎工事 第四工区 (掘削終了)

昭和32年の基礎は、反射炉のロッキングに伴う揚力に抵抗するためベタ基礎相当の床スラブが施工されていた。この工区で、掘削時炉体基礎下の大玉石が、部分的に20~30cm外へ突出しており基礎の配筋と交差することが判明したため、コンクリート基礎の幅を外側へ25cm拡張し、構造配筋を移動させ、この隙間のアンカーボルト廻りについては配筋方法を変更した。また、大玉石下面と根切り底との間約60cmは地盤が直接露出し(図35)、玉石のせり出しの状態からなんらかの仮補強が必要と予想されたが、基礎廻り調査から創建当初に松杭が密実に打込まれ反射炉の荷重を直接支えていることが確認されたため、特別な仮補強対策は施さなかった。

なお、根切り時に、地盤下2~3mの土が、粘土まじりで埋め戻しに再利用することが不適当なため、新しく購入した土を用いて埋め戻した。

d 検査

この工区で使用した材料の品質は、コンクリートについては圧縮強度試験(φ10cm×20cmの供試体による4週強度)で、鉄筋についてはミルシートで確

認した。なお、鉄筋の圧接継手を一部に適用したが、これについても引張試験を行い、引張強度を確認した。また、鉄筋の寸法、位置については、事前に配筋施工図を作成してこれを確認、検査し、かぶり厚さは、型枠検査で確認した。

(3) アースアンカーと基礎の定着<S.61.2>

基礎工事終了後に、アースアンカーを定着し、先端の露出部をコンクリートで保護した。アースアンカーの初期導入力は、設計耐力の1%とした。なお、定着後、アースアンカーの耐力試験を全数実施し、所定の耐力が確保されていることを確認した。

(4) 既存コンクリート基礎の調査

既存コンクリート基礎の経年変化をコアサンプルによって試験した。結果は次のとおりで地中で養生されていたため、健全な状態であった。

- 中性化…中性化深さ 0
- 圧縮強度…286~409kgf/cm²
- 静弾性係数…3.13~3.81×10kgf/cm²



写真-58 基礎工事 第四工区



写真-59 基礎工事 第四工区 (コンクリート打設)

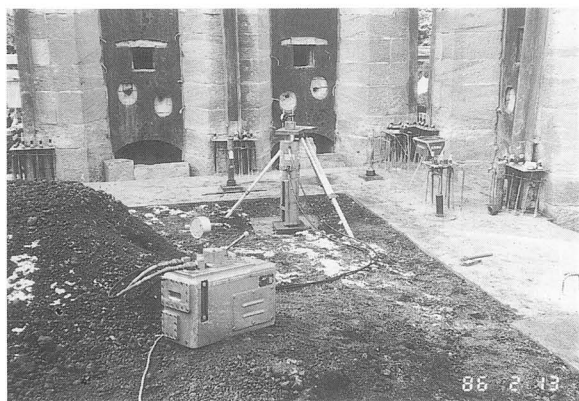


写真-60 基礎工事 第四工区 (アンカー耐力確認)

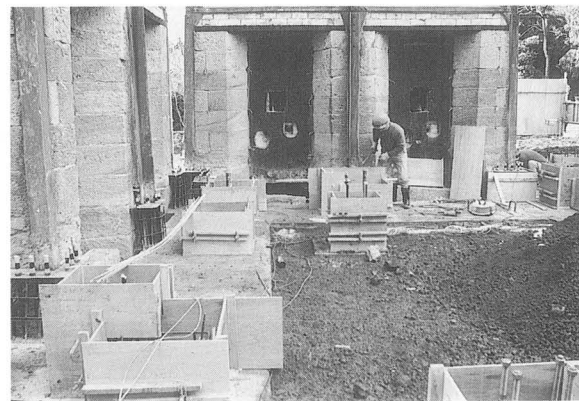


写真-61 基礎工事 第四工区 (アンカー先端部保護)

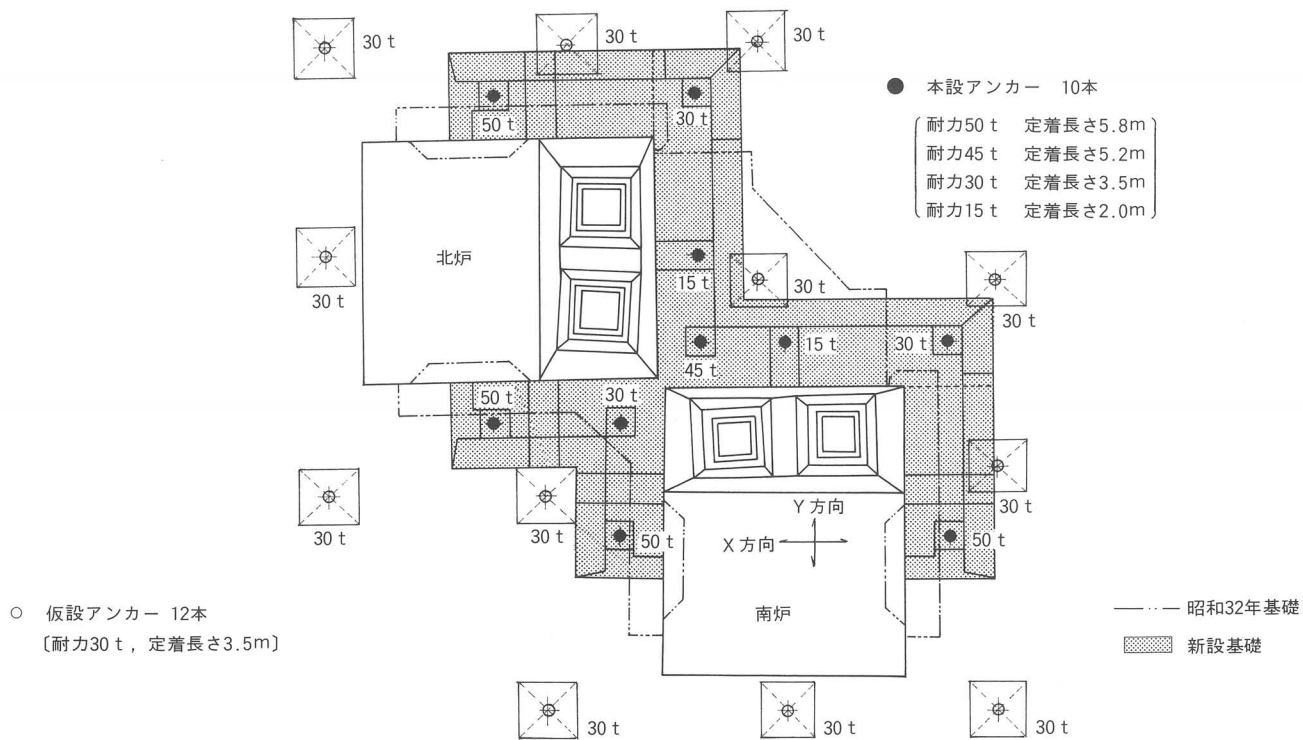


図-34 基礎伏図

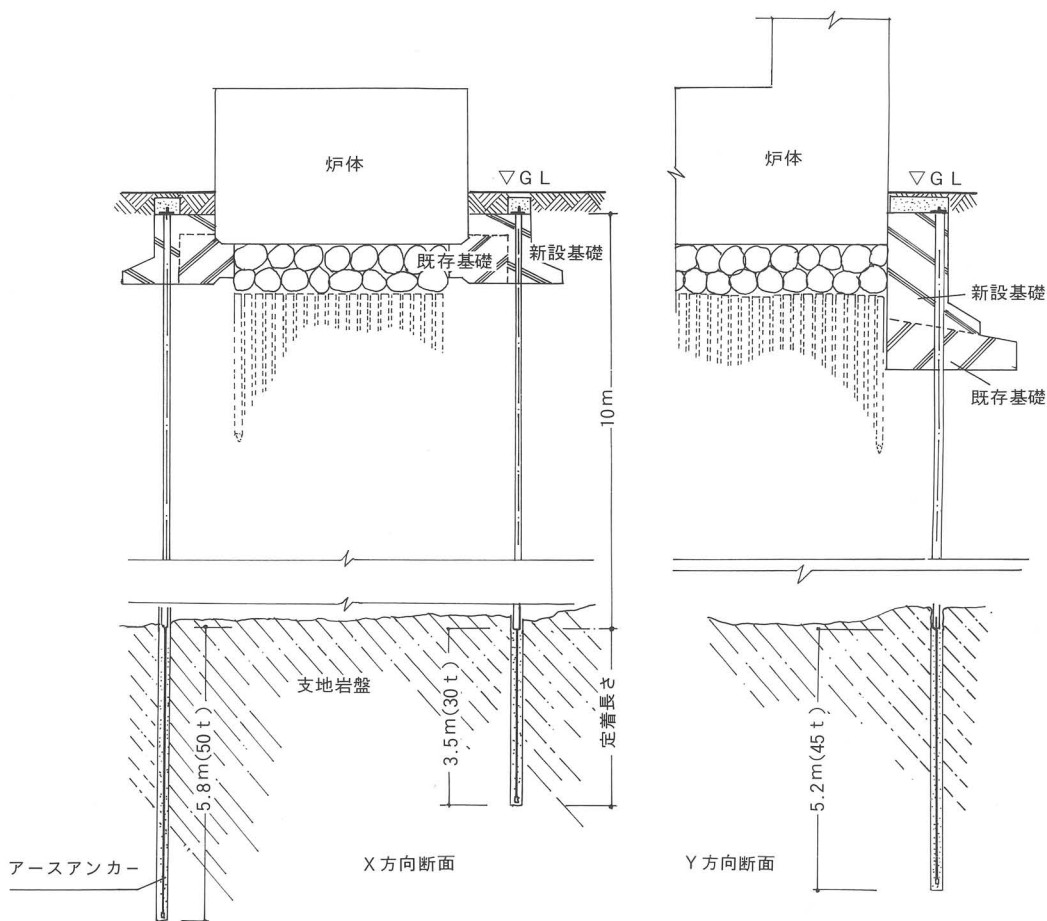


図-35 基礎断面

5. 炉体補強工事（伊豆石補強，注入補強，天端防水，炉下補修，炉床補修，下焚口煉瓦補修，既存鉄部塗装）

反射炉の中枢をになう低層部の炉体は，外観が伊豆石による組積造となっており，このなかに耐火煉瓦をアーチ状に積み上げた炉が納まっている。

炉床は，半月状鉄板の上に，煉瓦，三和土が敷きつめられ，炉床の下部構造を支える半月鉄板は，アーチ状となっており，伊豆石による土台及びアーチ中央部の束石で，支持されている（各部の詳細は第6章2.3を参照）。

炉体は，地震の挙動等長い年月を経過した結果，伊豆石のつき合わせ目地に所々隙間を生じ，炉体自体がせり出し，はらみなどかなりの変形を生じていた。炉内の耐火煉瓦にも亀裂が生じ，また，伊豆石自体にも数カ所亀裂が生じ，このままでは地震時に崩壊する危険性があるため，今回，次の補強工事を実施した（図36）。

●炉体の剛性の向上

セメントスラリーを目地部や亀裂部に注入し，炉体を一体化させ，ステンレス補強縦筋によって上部2段の伊豆石を補強して，炉体の剛性を高めた。

●天端防水改修

既存の天端押えモルタルコンクリートを解体して，新しく天端防水工事を施工した

●炉下補修

炉下束石の損傷部を補修し，束石の布石部をコンクリートで固定した。

●炉床補修

炉床及び火橋の損傷箇所を修理し，南A炉において炉床の断面構造を標示した。

●下焚口の側壁煉瓦補修

煉瓦が欠損し伊豆石が露出した側壁部分を，補修用煉瓦で修復した。

●既存鉄部塗装改修

創建当時，使用された鉄部については，旧塗膜をサンダーを用いケレン後，補強用鉄骨と区分できるよう黒色に統一して塗装した。

(1) 炉体部注入補強工事

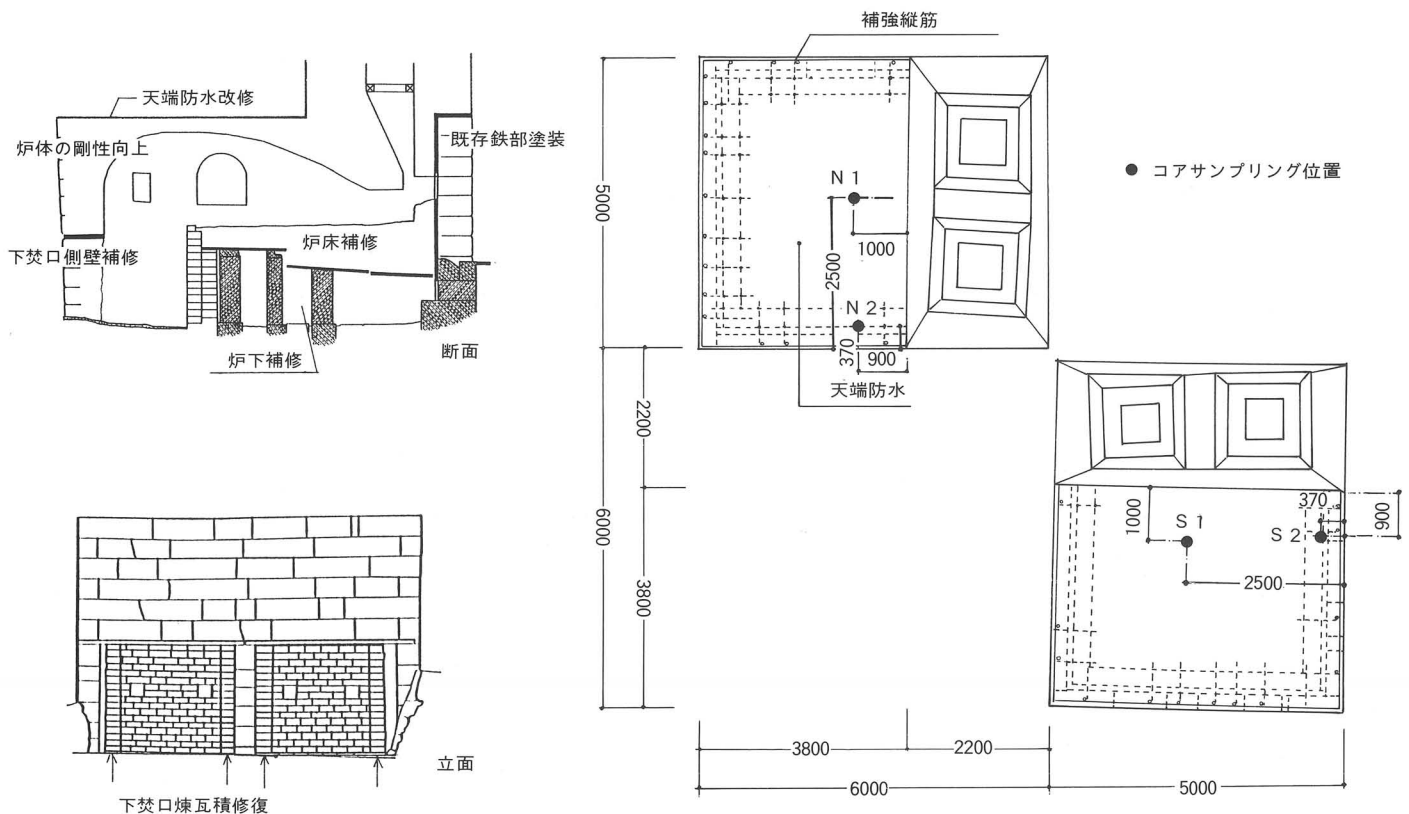


図-36 炉体補強工事箇所

平面 単位：mm

炉体の注入補強は、炉体の側面及び上部から次の工程で実施した。なお、注入材は、煙突内部に用いた注入材と同一である。注入材の品質を表26に示す。

①炉体側面の注入孔と充填確認孔の位置選定

現況調査を基に図面作成した。注入は、40～50cmの高さで6ブロックに分け、下のブロックから実施することとした。

②目地の隙間・亀裂部シール

既存モルタル目地を一部除去し、急結セメントでシールした。3mm以下の亀裂は、エポキシシールを使用した。

③注入孔及び確認孔の穿孔、パイプ挿入

直径15mmのドリルを使用して削孔した。注入確認孔は直径10mmのドリルを用いて削孔し、直径10mmのビニールホースを挿入し、ホース廻りを急結セメントでシールした。

④注入

圧力注入器を用い、樹脂プライマー液を注入し注入孔の貫通を確認した後、注入圧3～4 kgf/cm²でセメントスラリーを注入し、注入確認孔でのセメントス

ラリーの流出で注入状況を確認した。

⑤注入パイプ除去、清掃、養生

⑥充填確認

目地部に直径10mmのドリル穿孔を1炉につき10～15カ所行い、樹脂プライマーを注入圧(4～6 kgf/cm²)で注入し、その充填状況及び注入量から、注入補強を確認した。

⑦炉体上部の穿孔、注入

注入孔を、炉の両端及びA、B炉間の3カ所にコアボーリングマシン(直径24mm)で穿孔し、セメントスラリーを充填した。

⑧最終充填確認

各炉2カ所において、上部より直径30mm、長さ2000mmのコアボーリングを実施し、コアの状況から注入材の充填状況を確認した。

注入補強は、養生期間を利用し、南炉と北炉を交互に実施した。現況調査では、不明確だった現状地盤下の炉体下部の石積みも、上部同様に予想以上に隙間があり、注入量が増大した。また、注入孔の廻りに充填確認孔を設置し、セメントスラリーの溢流

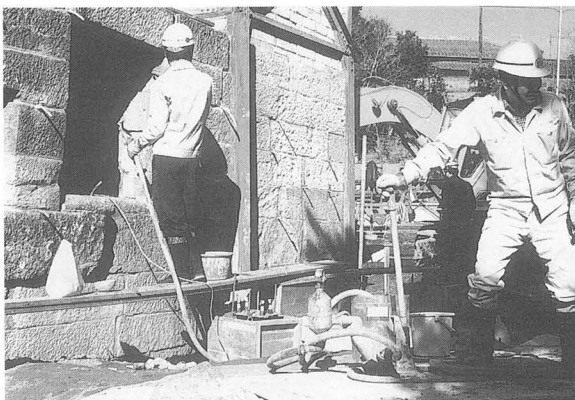


写真-62 炉体部注入補強工事(注入)

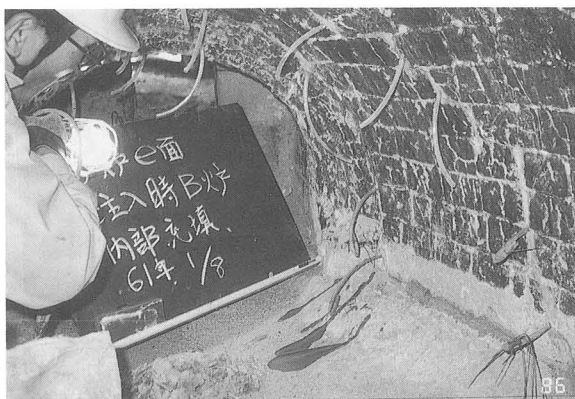


写真-63 炉体部注入補強工事(注入状況の確認)

表-26 セメントスラリー
フローロック配合表

種類		2号	3号	備考	
用途		目地シール材	充填材		
既 調 合 パ ウ ダ ー	セメント	1	1	普通ポルトランドセメント	
	骨 材	珪砂5号		0.5	
		珪砂7号	0.75	0.75	
		石粉	0.5	0.5	
	収縮防止材	0.087	0.087	デンカCSA	
	減水剤	0.03	0.03	ローマPW	
その他混和剤	少量	少量	流動化剤、消泡剤		
混和剤	エマルジョン樹脂固形分 55%	希釈倍率 6倍液	希釈倍率 8倍液	エチレン酢酸ビニール系共重合体(ベースメント樹脂)とする。	

セメントスラリーの強度

試験項目		2号	3号	備考
所要水量(kg)		7.0	6.5	希釈液、パウダー1袋(25kg)
フロー値(mm)		225	200	
凝結時間(時:分)		2:00	1:40	
吸水率(%)		25	25	JISA 1404に準ずる
強 度 kg/cm ²	曲げ	7日	30	40
		28日	70	75
	圧縮	7日	100	160
		28日	180	210
	接着	7日	10	12
		28日	14	14

を確認しながら注入を進めていったが、予期しない場所及び注入孔からかなり離れた場所からスラリーが溢流するなど目地空隙部のシールで仕事量が増大した。特に基礎底部廻りにスラリーの注入量が多くなった。これらの状況から、空隙は、内部で連続している部分が多いと推定された。

この工事で使用したセメントスラリーの品質については、圧縮強度試験を行って確認した。

(2) 伊豆石補強工事

注入で補強された炉体伊豆石と天端防水の押えコンクリートを緊結するため、上段2段の伊豆石に補助筋を縦に挿入し、この補強筋を押えコンクリートの水平配筋に定着することで、上部構造の一体化を図った。

炉体伊豆石補強は、次の工程で実施した。

①注入孔の選定

石の劣化状況、割れなどを調査し、注入孔をマーキングした。

②穿孔、清掃

コアボーリングマシン（直径24mm）により穿孔

し、送風ブロアーで孔を清掃した。

③補強筋挿入

ステンレス丸棒直径12mmを挿入した。

④セメントスラリー充填固化

注入補強と同仕様のセメントスラリーを充填した。

⑤伊豆石部分カット

伊豆石上部における押えコンクリートの水平配筋との定着部分（写真66）をカットした。

⑥アンカー筋溶接

伊豆石部分カットで、上段部の伊豆石の劣化状況を観察したが、鮮やかな青緑色を示し、カットによる欠けもほとんどみられず、石内部に至る劣化は認められない状況であった。

(3) 炉体天端防水工事

昭和32年の炉体天端防水は、モルタル防水となっているが、今回は、ガラスクロス2層エポキシ樹脂防水工法、及びエポキシ樹脂モルタルを併用し、次の工程で実施した。

①既存の天端モルタル除去

②粘土転圧



写真-64 伊豆石補強工事（穿孔）

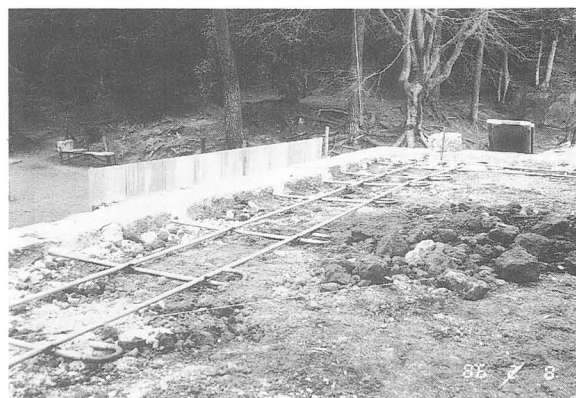


写真-65 伊豆石補強工事（アンカー筋）

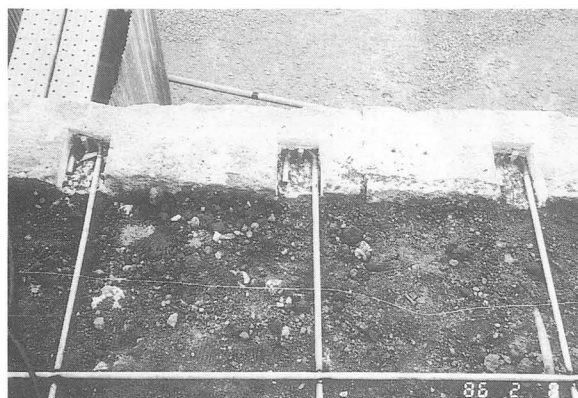


写真-66 伊豆石補強工事（アンカー筋）

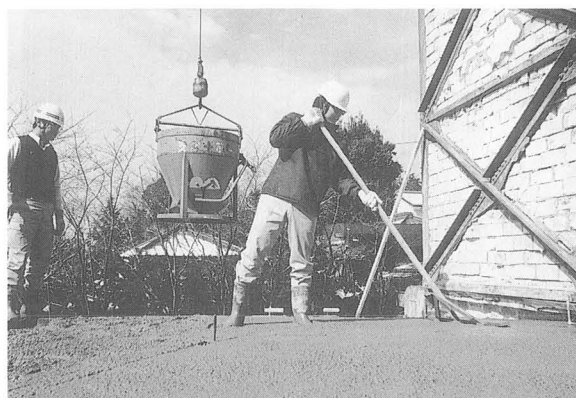


写真-67 炉体天端防水工事

既存と比重が同程度の赤土を使用し炉体上部を充填した。この時、前述の伊豆石補強工事を施工した。

③防水下地軽量コンクリート

下地厚さ約70mmとし、炉体面の傾斜にあわせて水勾配をとった。なお、下地の乾燥状態は含水率計で確認した。

④前処理（プライマー、下塗り）

⑤補強ガラスクロス2層塗り

1層目（ガラスクロス、目詰め塗り）、中塗り、2層目、上塗りを施した。

⑥レジンモルタル（厚さ5mm）

⑦押えコンクリート金鍔仕上げ

コンクリートの厚さを約60mmとし、特殊骨材（煉瓦碎片）を敷込んだ。

既存の天端モルタルを解体し、炉体上部構造を推定した（この結果は、第6章2.3で後述する）。

炉の上端の寸法をチェックした結果、かなり不陸があり勾配が煙突側に傾斜していたため、納まりを再検討し、現状の勾配にあわせながら水が煙突側に流れないように水勾配をとった。押えコンクリート

は、色見本を作製し検討した結果、煉瓦の碎片入りを採用した。これは、周囲の煉瓦色との調和を考慮したためである。

(4) 炉下束石補強

炉床の下部は、半月鉄板を束石及び基礎石で支えた構造となっており、人がようやく入れるほどの空洞部がある。

半月鉄板は、縦に3列並び、湯口側にいくほど低く狭く、いわゆる曲率半径が小さくなっている。各炉とも3カ所にアーチ頂部を支持するようにローソク束石が設置してある。炉下の基礎部は、布石が横に設置され、アーチやローソク束石を支持しており、この下は、直接大玉石となっていた。

アーチの力学的な流れからいうと、頂部には支持点を必要としないが、ここではローソク束石での支持方法が採用されている。曲率半径が必ずしも安定した力学形態になっていないためか、補助的なものと推定された。ローソク束石は、頂部に亀裂を生じたり、傾斜したりしており、なんらかの力を受けたこん跡がある。今回の補強では、このローソク束石

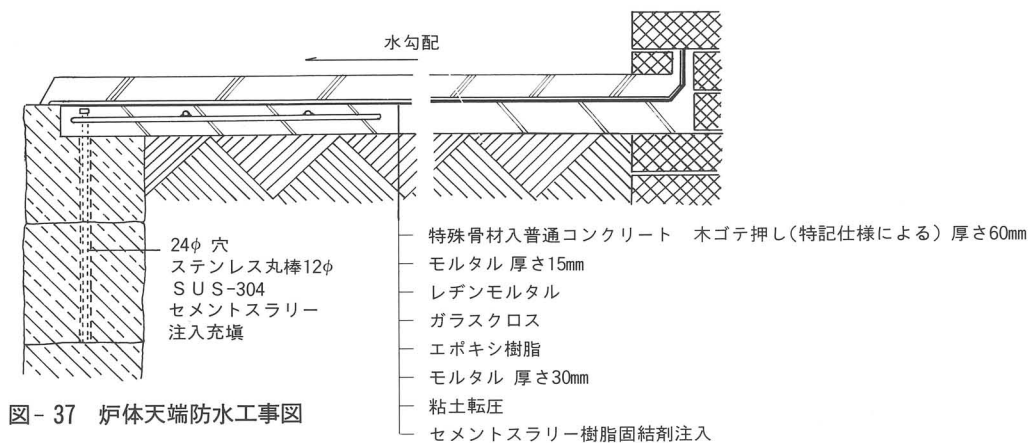


図-37 炉体天端防水工事図

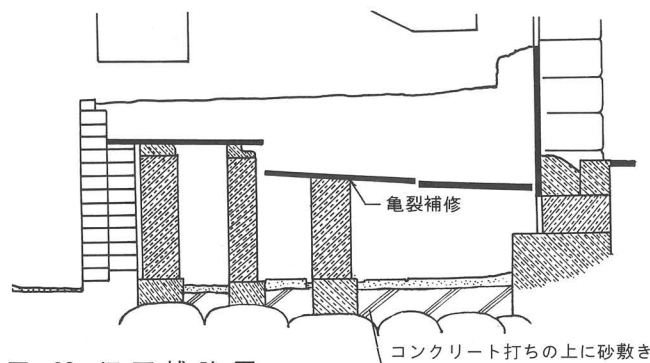


図-38 炉下補強図



写真-68 炉下束石補強工事

の損傷部をエポキシ樹脂注入で補強し、ローソク束石を支える布石をコンクリートで固定した。

①準備

砂を除去し、大玉石の露出部を清掃した。

②コンクリート打設

基礎布石の2/3ほどをコンクリートで固め、上部1/3は砂を充填することとした。上部を砂で充填したのは、伊豆石の基礎関係の痕跡をある程度残すためである。

③養生

④A炉, B炉間の下部隙間(伊豆石亀裂部下)補強

鉄板アーチ支持をする基礎石で亀裂が入っている箇所が1~2カ所あり(P125, 写真138), 補強上, この下の隙間はコンクリートですべて充填した。なお, 外部に面した隙間には, 昭和32年工事と推定されるコンクリート充填による補強工事が(P125, 写真137)3カ所ほど行われていた。

⑤養生

⑥ローソク束石の損傷部補強

束石頂部の隙間は, モルタルを充填し, 束石の亀

裂部は, 煙突部と同様にエポキシ樹脂を注入した。

⑦鉄板アーチ防錆塗装

補強鉄骨と同様な仕様でフッ素系樹脂を塗装した。なお, ケレンはサンダーがけとした。鉄板アーチの表層は錆が浮きあがっている状態だが鉄板の厚みが十分なため, 錆をできるだけ除去する程度とし, とくにパテ処理を行っていない。このため, 塗装面は凹凸が浮きでているが, 鉄板の種々の痕跡を十分確認することができ, 現状保存としてはこの程度が適切と判断した。

⑧砂埋め戻し

準備作業で除去した砂をそのまま埋めもどした。なお, 外部から炉下への雨水侵入防止方法については, 水抜き穴と水返しを設置した。

(5) 炉床三和土欠損部補修

炉床は, 操業時に何度も敷き直され, その後も攪乱され, 反射炉の中で原型を一番とどめていない部分である。

炉の同一断面を比較すると南A炉のみ, アーチ鉄板がそのまま露出し表層の三和土がない。残り3炉は,

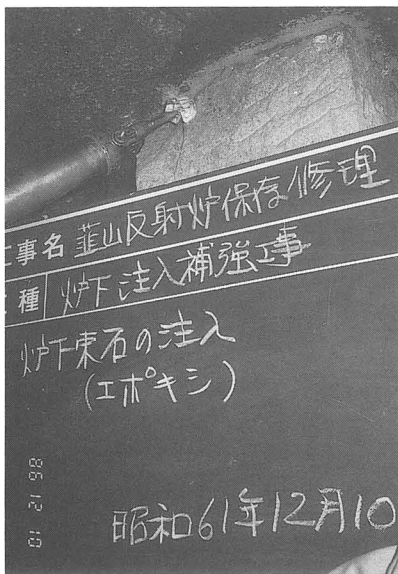


写真-69 炉下束石補強工事

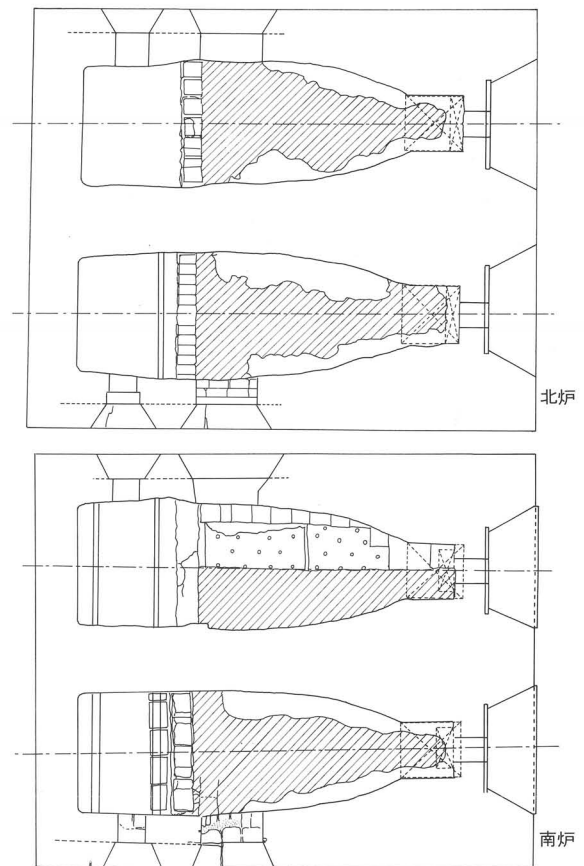


図-39 炉床の補修箇所(図中斜線部分)

火橋に近い部分が著しく欠損している。各部の壁面には、現在の炉底のやや上に溶解物に変化した線があり、すなわち作業時の炉底がこの付近にあったことを示している。この線は湯口側に向けてなだらかに傾斜（下降）しており当時の炉床高さを示す貴重な痕跡と判断し、炉床の補修にあたっては炉底推測線をそのまま残し炉床中央部の土が欠損している部分のみを新しい三和土で埋めることを補修の基本方針とした。

また、火橋については、南A炉が当時の高さであると判断し、残り3炉については、このレベルまで炉床煉瓦を積み重ね、欠損火橋部分を補修した。補修は次の工程で実施した。

①準備（清掃）

表面に点在している煉瓦破片などを除去し、ほうき等で砂を除去した後、エアブロアーで表層の砂を更に除去した。

②火橋部煉瓦積み

火橋部は、既存目地にできるだけそろえ新しい煉瓦を付着物の変化線の下まで積んだ。

③炉床内、煉瓦差し替え

炉床の煉瓦差し替え範囲は、欠損部と現況調査時の赤煉瓦復旧部分でこの部分を新しい炉床用煉瓦で差し替えた。

④三和土敷き

三和土の配合は、一般的には粘土、石灰、砂からなり、場合によってはにがりをいれることもあるが、今回採用した三和土の配合は、地元で行われている三和土の配合を基に現場で試験施工を行い、亀裂発生状況を確認しながら調整した。この結果、炉床のような直接日光にあたらぬ箇所ならば、大きな亀裂を生じないことがわかったため、この配合で実際に施工した。施工は、三和土を数cm敷きこみ、木でたたきこみながら何層にも重ね、炉壁の炉底推測線から補修レベルを決めて行った。施工後の状況を見ると中央部がややへこみ、そのレベルがなだらかに湯口側にむかっている。

補修部分は、炉底の中央部で炉床面積の8～9割を示しているが、既存炉床と土の色が違うため容易に識別できる。これは、炉床の学術的研究の結果を待つ



写真-70 炉床三和土欠損部補修



写真-71 炉床三和土欠損部補修



写真-72 炉床三和土欠損部補修（南B炉）

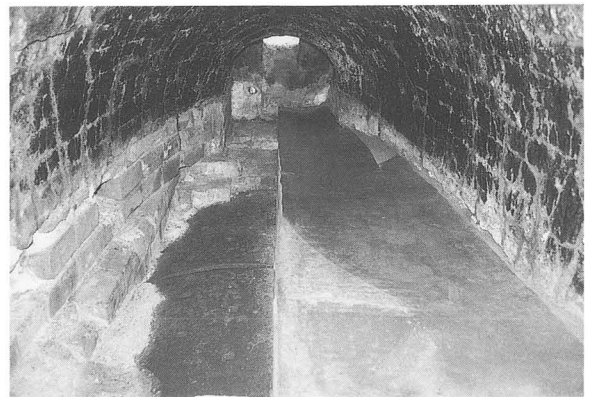


写真-73 炉床三和土欠損部補修（南A炉）

て炉床の位置を決めた方がよいとの意見を尊重し、可能なかぎり現状保存として、将来の調査時に補修部分をわかりやすくしようという意図を含めている。

炉床の構造、材料については、たえず現状が変化するため産業考古学の観点からも、十分解明されていないが、それだけに慎重な補修方法が必要とされ、また三和土の成分についても論議されたが、この部分はいつでも再調査、再工事が可能と判断し、今回の修理工事を実施した。

(6) 伊豆石の劣化防止

後述する煙突煉瓦の劣化防止と同様に、硅酸リチウム無機高分子化合物水溶液をスプレーで吹付けた。

(7) 下焚口煉瓦積み修復

下焚口前面は、明治42年の工事で鉄格子がはめられ、この取付けに伴い、側壁下部の煉瓦が、2～3列欠けたままの状態となっていた。北炉は、この部分に赤煉瓦の控柱が施されていたが、南炉は、欠損状態のまま外観上、やや不安な感じをいだかしている。

今回、この地下の部分の調査により、創建当初は、

この側壁部分に煉瓦が積まれていたことが明らかとなったため、北炉においては赤煉瓦控柱を撤去し、差し替え用煉瓦を用いて修復した。工法は、煙突部の煉瓦積みと同様である。形状的には、中央部が1列、外側は1枚半積みとなっている。北炉と南炉は、同一構造ではなく、北炉の方が高低差があるため、煉瓦の積み数が多くなった。工事にあたっては、煉瓦の割り付けを既存面に合わせたため、伊豆石の外表面より7～8cm引っこんだところで納まることとなった。

(8) 炉体廻り既存鉄部塗装

炉体には、厚い鉄板が構造上主要な部分に用いられている。湯口側には、出湯口、のぞき窓を含む前板鉄と、この開口部を支える鉄板、下焚口には下焚口の開口部を支える鉄板がある。これらは、いずれも創建当時のものである。今回の工事で、これらの鉄部に錆の発生がみられたため、補強鉄骨と同仕様のフッ素樹脂塗装改修を施した。なお、色については、補強部分と色別するため黒色とした。

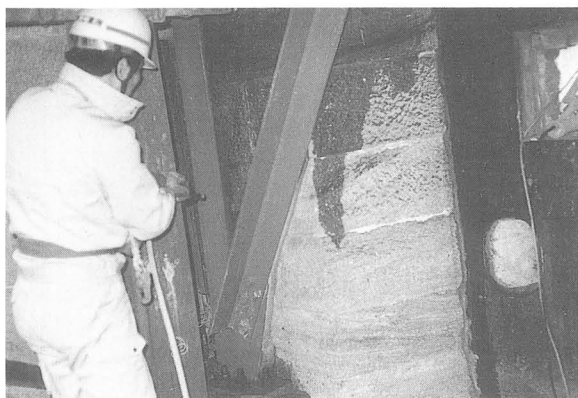


写真-74 伊豆石の劣化防止



写真-75 下焚口煉瓦積み修復



写真-76 下焚口煉瓦積み修復

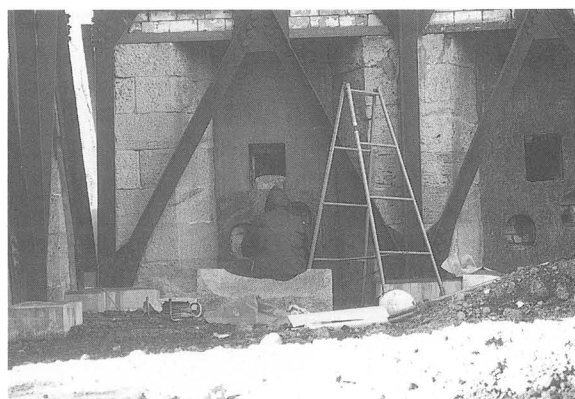


写真-77 既存鉄部塗装

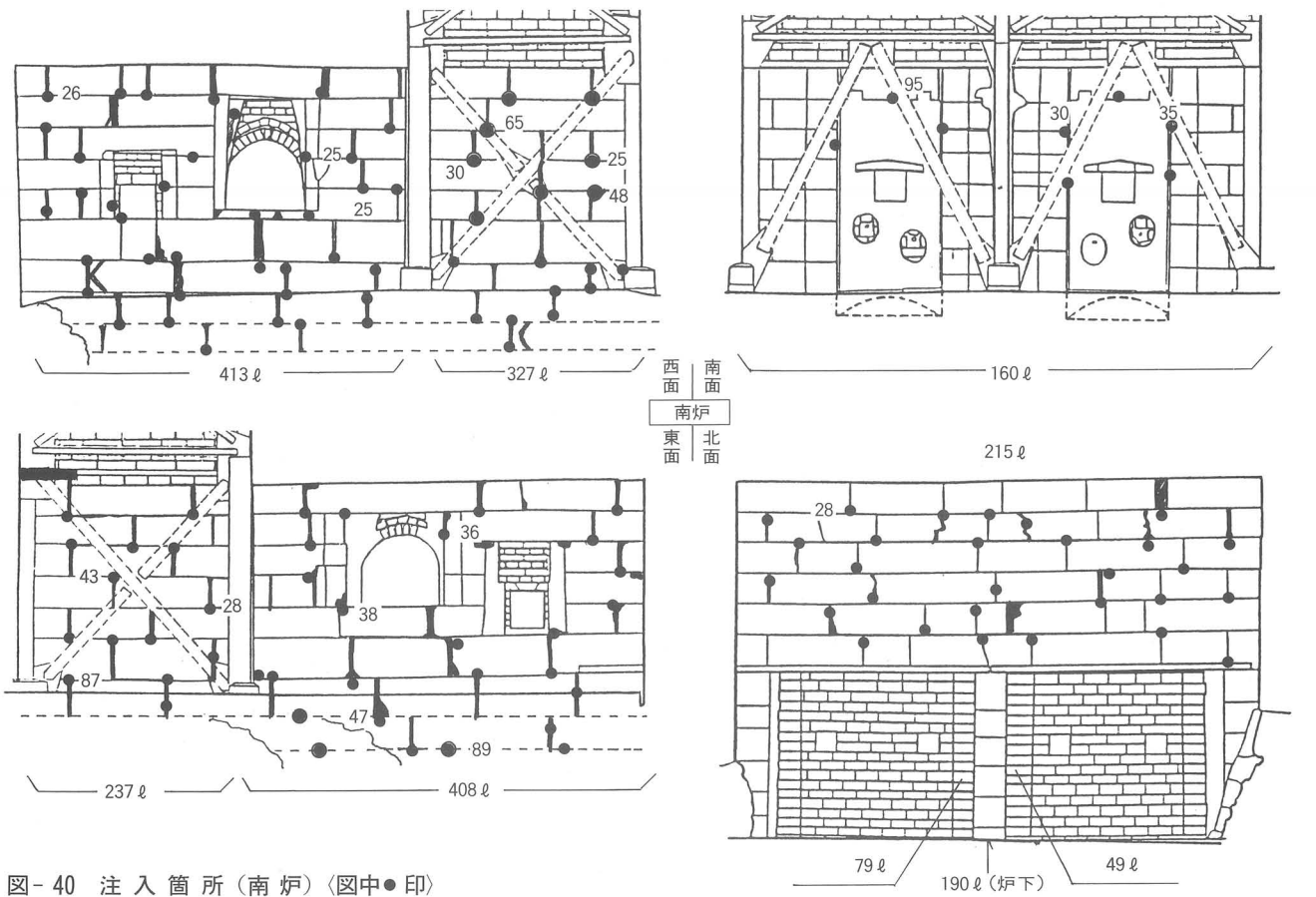


図-40 注入箇所(南炉) (图中●印)

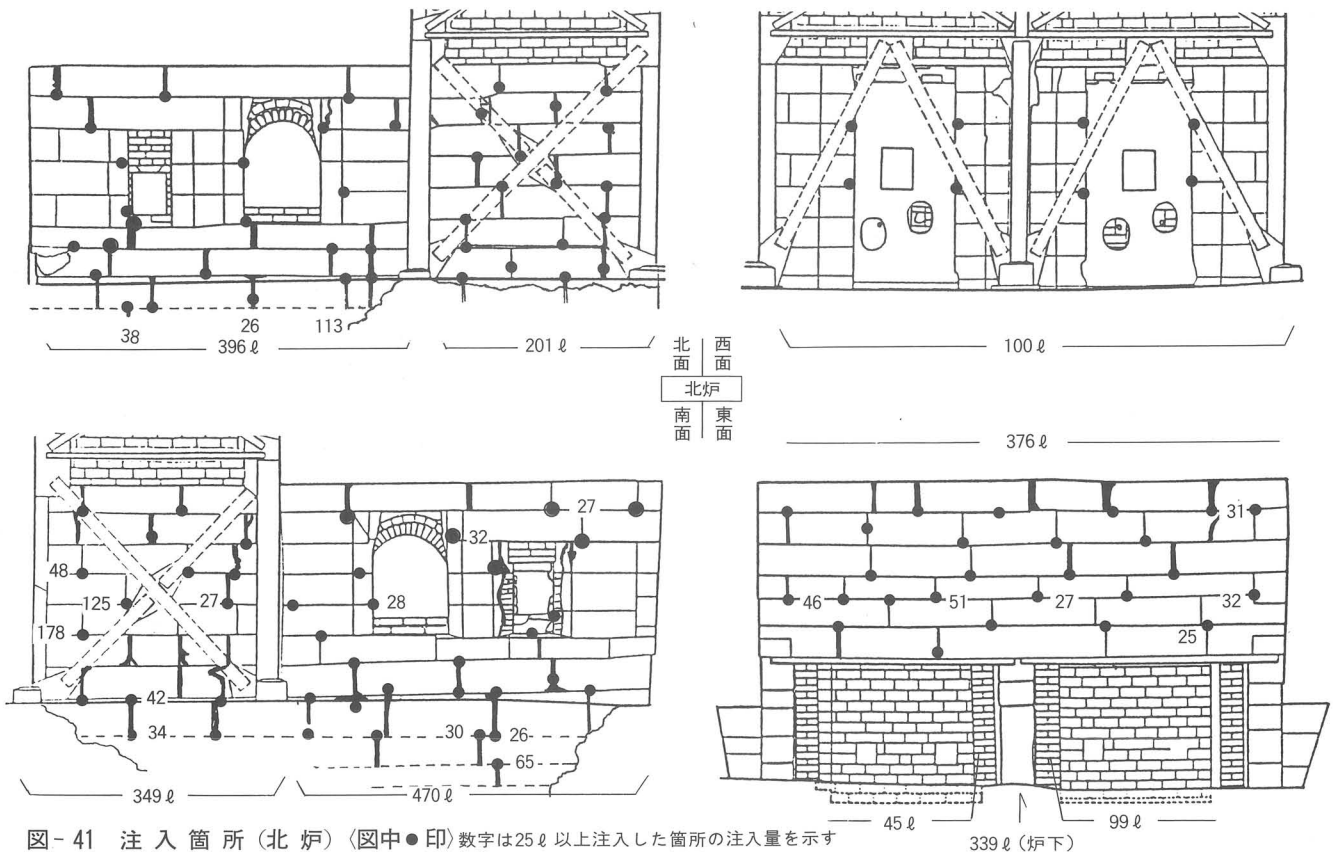


図-41 注入箇所(北炉) (图中●印) 数字は25ℓ以上注入した箇所の注入量を示す

6. 補強用鉄骨差し替え工事

反射炉の煙突部は、煉瓦組積造で、目地に原料粘土が使用されている。このため、目地強度があまり期待できず、十分な耐震強度が確保されないため、いくたびか地震で被害を受けている。

昭和32年の修理では、煙突部を鉄骨トラスで囲み、地震時の応力をトラスで受けるという補強方法が採用されていた。今回の補強は、この補強方法を引き継ぎ、耐震設計に基づく新しい補強鉄骨と差し替えることとした。施工方法については、とくに耐久性を考慮し、次の方針を定めた。

- 煉瓦と補強鉄骨の空隙は、原則として0～50mmとし、マイナス、いわゆる伊豆石及び煉瓦を欠きこむなど、反射炉を損傷しないこととする。
- 補強鉄骨の形状は、上記の原則を基にして現状のゆがみ、そりをできるだけ補正した形状とする。
- 接合方法は、耐久性の確保から、高力ボルトを全面に採用し、現場溶接を施工しないものとする。
- 鉄骨の防錆処理は、耐久性が最も高い方法として、

溶融亜鉛メッキ処理の上に、常温硬化型のフッ素樹脂系塗料を塗装する。

(1) 工作図の作成

最初に設計図書を基に、寸法、位置関係を明示した工作図（製作図面）を作成した。現状の反射炉は、上段から中段部にかけて、ねじれ、そりを生じているため新しい補強鉄骨を、どの位置に設定するかが、重要な課題となった。

昭和32年の修理では、かなり反射炉の煉瓦面を欠きこんで、鉄骨を納め、煙突部の形状に沿った納まりとなっている。しかし、この方法をとると、鉄骨が傾斜するなど不安定な外観となること及び構造上の応力のバランスから好ましくないため、可能な限り補正することとしたが、工場製作上必要な直角のみを重視すると、部分的に煉瓦と鉄骨の間に大きな空隙を生ずることになり、両者のあゆみよれる寸法を検討する必要が生じた。このため、鉄骨及び煉瓦面の位置を実測し、この実測図を基に、次の方針で新しい補強用鉄骨の寸法、位置を決定した。

- 煙突形状に沿った鉄骨ユニット単位（最下部、下

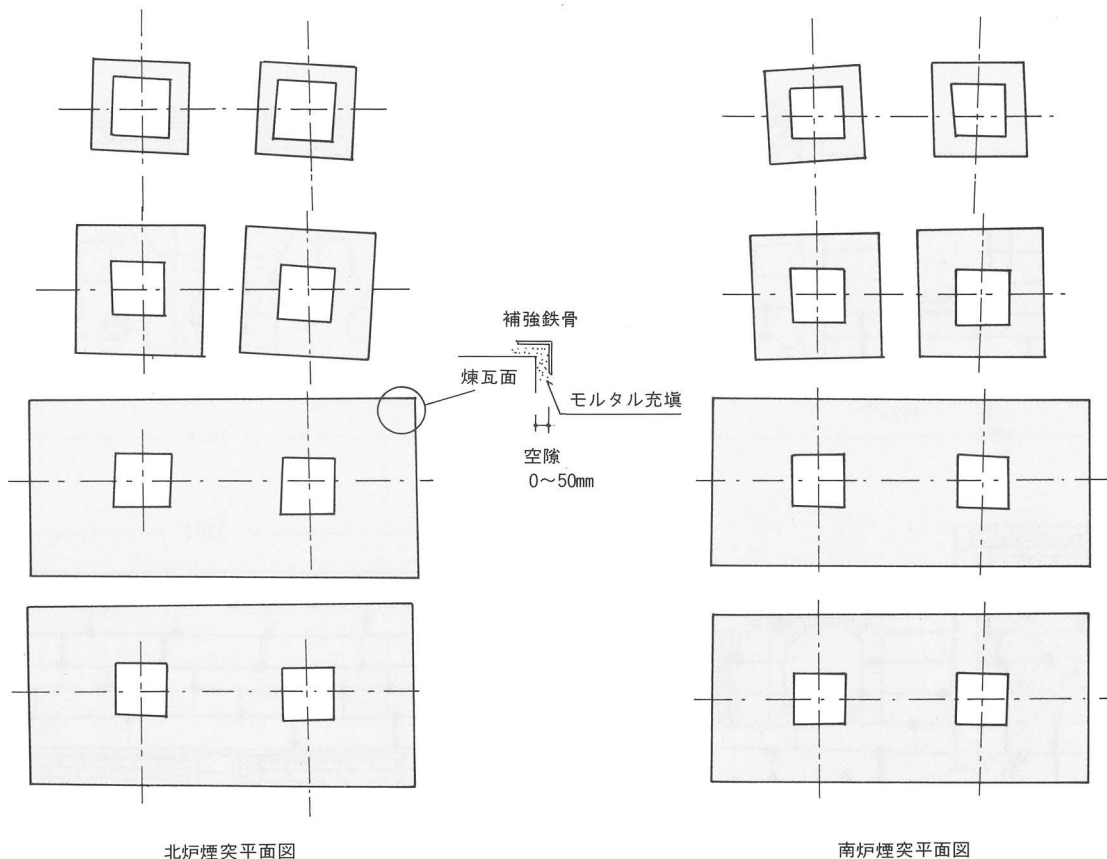


図-42 煙突形状図

段部、下段肩、中段部、中段の肩、上段部)の各ポイントを煉瓦面から+30mmに設定し、各ポイントを結んだユニットの各フレーム接点が+50mm以内に納まるかどうかを検討する。

- 納まる場合は、次に各面の直角で各節点を調整する。
- 納まらない場合は、設定値を修正し、再度、検討していく。

しかし、予想以上に、煙突部のねじれ、そりが大きく、調整に多くの時間を費やし、最終的に、数カ所50mmを越える部分を認めることとなった。昭和32年工事の納まりをみると、南炉上段部で煉瓦面と鉄骨との空隙が広がりすぎるため、南、西、東の各面にモルタルを全面に塗り納めていた。外部に補強鉄骨を施すというこの工法の避けられない現場での難題であった。

(2) 製作・加工

工作図を基に、鉄骨製作工場で見寸図を作製して、型紙に型取りを行った。この型紙により、鋼板及び型鋼の切断、曲げ加工、穿孔を行った。

ボルトは、耐久性が高い溶融亜鉛メッキ高力ボルトを用いることとしたが、JISの規定外であるため建築基準法第38条に基づく特別認定品である神鋼ボルト(株)の溶融亜鉛メッキ高力ボルトを採用した。この溶融亜鉛メッキ高力ボルトは、比較的新しい工法であるが、「設計施工指針」「施工管理要領」がまとめられており、また施工技術者の資格制度が定められ、適正な工事施工の体制が確立されている。今回の工事は、これらに従って行った。

部材と溶融亜鉛メッキ高力ボルトとの摩擦面の処理は、耐力を確保する上で、細心の品質管理が要求される。この処理方法については、部材を溶融亜鉛メッキ処理後、軽くブラストをかける方法を採用した。このブラストの程度については、珪砂3号、4号及びシリカサンド6号を用いて標準試験体によるすべり試験を行った。試験は、試験体を引張試験機に垂直にセットし、荷重を徐々に増加させ、すべり荷重を測定するもので、すべり点の確認はダイヤルゲージを併用し、①試験体が摩擦音を発した時②試験機の指針が急に停止し、降下した時③ケガキ線の



写真-78 補強用鉄骨 (現寸図)



写真-79 補強用鉄骨 (加工)



写真-80 補強用鉄骨 (亜鉛メッキ処理)

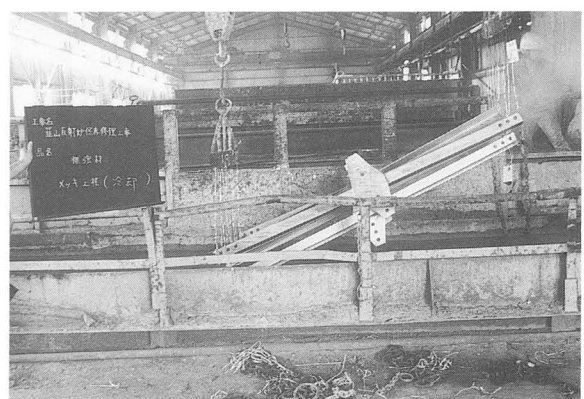


写真-81 補強用鉄骨 (亜鉛メッキ処理)

位置がずれた時とした。また、試験体の表面粗さをJIS B 0659によって測定した。合格判定値は50S以上である。これらの結果を基に、すべり係数が0.4以上であること、ブラスト処理後の亜鉛付着量が初期の1/2以上であること、ブラストの研磨材の入手しやすさなどを検討した結果、珪砂4号を用いることとした。

(3) 亜鉛メッキ処理

製作・加工した部材を、溶融亜鉛メッキ処理工程に移した。工程は、次のとおりである。

- ①脱脂
- ②酸洗
- ③フラックス処理
- ④メッキ (440~460°C, 2分間)
- ⑤冷却
- ⑥仕上げ

亜鉛の付着量の管理は、今までの実績から亜鉛槽の温度と時間でコントロールされていた。この検査は、塩化アンチモン法と膜厚計により100 μ 以上であることを確認した。なお、余剰付着亜鉛の処理は、

サンダー又は、やすりがけを行い除去した。

(4) 製品検査

亜鉛メッキ処理後、鉄骨製作工場内で仮組みを行った。原寸検査で確認できなかった三次元方向のセットバックする斜め部材が、うまく組み立てられるかどうかを調べるのが主目的である。昭和32年の工事をみると、この部分は、現場合わせて溶接されているが、今回すべて高力ボルト接合となっており、現場修正や溶接が不可能なため仮組みを行うことで、事前に修正することとした。なお、亜鉛メッキ処理後としたのは、熱処理で部材が変形することを考慮したためであるが、実際には、寸法変化はほとんどみられなかった。しかし、仮組みの結果は、やはり斜め部材に数ヵ所調整が必要な箇所が発生し、これを修正した。

(5) 塗装

仮組み検査後、部材を現場近くに搬入し、塗装仕様の工場屋内塗装①下塗 (下塗グレー, 膜厚50 μ) ②上塗 (第1層, 色見本番号L14-143, 膜厚20 μ) ③上塗 (第2層, 表側L14-143, 裏側L11-218, 膜厚20



写真-82 補強用鉄骨 (仮組み)

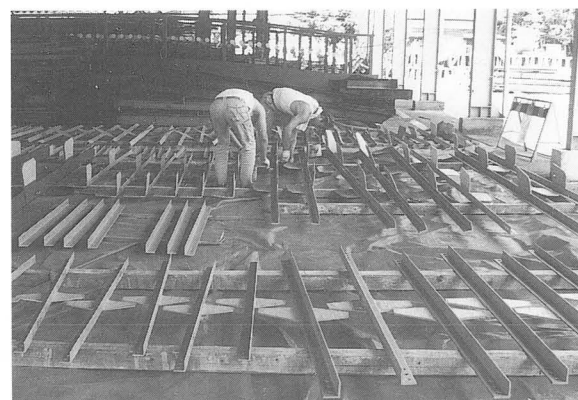


写真-83 補強用鉄骨 (工場塗装)



写真-84 補強用鉄骨 (組立)

μ)を行い、後述の鉄骨組立て後、最終仕上げ(第3層、膜厚20μ)塗装を行った。

膜厚管理は、塗装時に試験体を作製し、この試験体の膜厚を膜厚計で測定しながら確認した。フッ素系樹脂の施工性は良く、ハケ塗り1~2回で所定の膜厚をクリアした。色は、色見本と比較して確認した。

色については、現場で既存の鉄骨に近い色から除々に濃い色のこげ茶系まで5色の色見本を作成し、保存修理委員会で検討した。この結果、既存の鉄骨の色は、錆止め用に近い色であること、今まで赤茶系のイメージが定着していること、全体にひきしまった方がよいなどの理由から色見本のうちもっとも濃いこげ茶系に決定した。補強鉄骨の色は、明治42年のものが黒色、昭和32年がオーカ色、今回がこげ茶色と変せんした。

なお、組み立て後、発生した塗膜面の傷などは、同仕様にに基づき再度塗り直した。

(6) 組立て

組立ては、煙突廻りに特殊仮設用鉄骨があるため、

面に組みたてることが不可能で、このため部材を上部からクレーンで落としこみ、仮留めしながら組み立てた(写真84)。順序としては、①柱②ブレース③フラットバーの順で、順次、最下部、下段部、下段肩部、中段部、中段肩部、上段部と組立てていった。現場で最も困難とした点は、ガセットの高力ボルト裏側のとめ方である。ガセット廻りは、昭和32年時に、かなり欠けこんであつたが、今回の鉄骨ガセットは、ひと廻り大きいため、差し替え煉瓦の欠きこみ部分を利用しながら行ったがどうしても留め金具や手が入らない箇所があり、周囲の煉瓦をはつって納めざるをえなかった。なお、この箇所は、後で補修用煉瓦を差し込んだり、モルタルを充填して補修した。

高力ボルトの締めつけは、意匠上ボルト側を締めつけることとなつたため、ナット回転法によつた。この方法は、所定力で仮締めした後、ボルトにマーキングをして本締を、120°回転して締めつける方法である(写真87)。



写真-85 補強用鉄骨(組立)

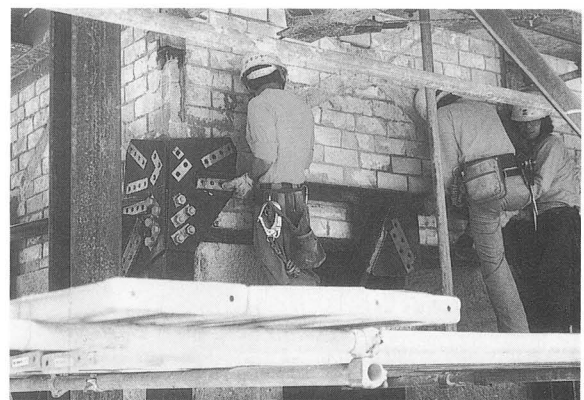


写真-86 補強用鉄骨(組立)



写真-87 補強用鉄骨(高力ボルト締め付け)

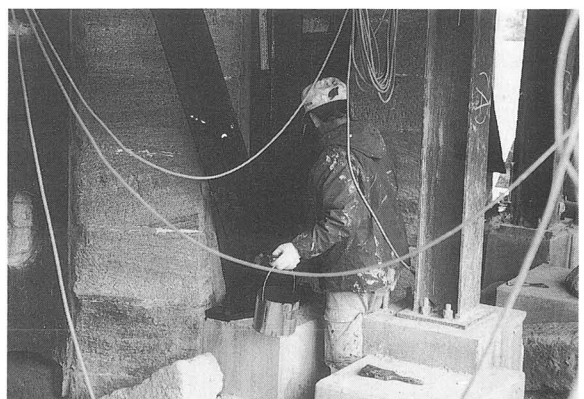


写真-88 補強用鉄骨(仕上塗装)

7. 煙突外部補強工事

(1) 煉瓦製作

風化した煉瓦及び昭和32年に補修された煉瓦部分を差し替えるため、新しく補修用煉瓦を製作した。製作にあたっては、既存煉瓦のテクスチャー、色調等と近似する様、次の点に留意した。

●色調……調査結果を基に、7色の煉瓦を作成する。各色の製作配分は、ピンク系の濃 (P1) を10%、中 (P2) を40%、淡 (P3) を25%、グレー系の濃 (D1) を5%、中 (D2) を5%、淡 (D3) を10%、ブラウン系 (B) を5%とする。

●テクスチャー……数種類の表面テクスチャーを作成し検討した結果、外観となる見付け面のみをワイヤー引きによる手加工とした。

●寸法・個数……差し替え用平物(220×220×91mm)2900個、補修用(220×100×91mm)3010個、役物コーナー(220×220×91mm)300個、合計6210個とする。

●品質……既存煉瓦の物性を考慮し、品質は耐久性が耐凍害性40サイクル以上で、外観に異状がないこ

と、吸水率は20%以下、圧縮強度は150~250kgf/cm²、曲げ強度は35kgf/cm²以上、寸法許容差は長さ±4mm、高さ±3mmとする。

煉瓦は、既存の煉瓦と品質を同等にするため、一般的な機械成型でなく、手抜き成型で製作する特注方式によった。製造工程は、次のとおりである。

①原料受入

粘土含有量が充分な白系粘土及び赤色粘土とし、瀬戸市郊外の八草・品野産粘土を混用した。シャモットは粒度1~2mm、顔料は無機質系を使用した。

②原料配合

品野粘土20%、八草粘土20%、シャモット60%、その他顔料をミキサーで混合した。

③成型

木型に人力で打込み、手抜き成型とした。水分混合量は、20%程度とし、木型から脱型後、裏面にS60 PS及び種類の略号(S60は昭和60年度、PSは製造メーカーの略号)を刻印した。

④乾燥

自然乾燥を7~10日行った後、窯の余熱を利用し

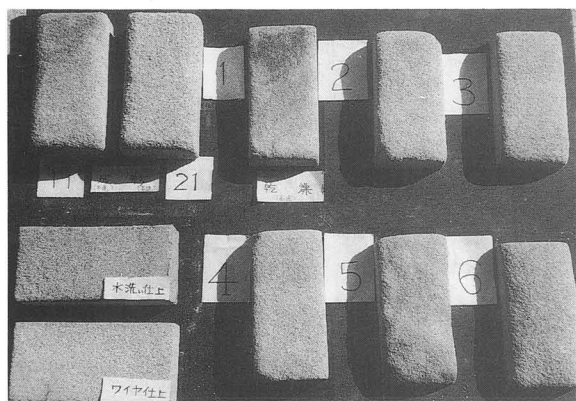


写真-89 テクスチャーの試作検討

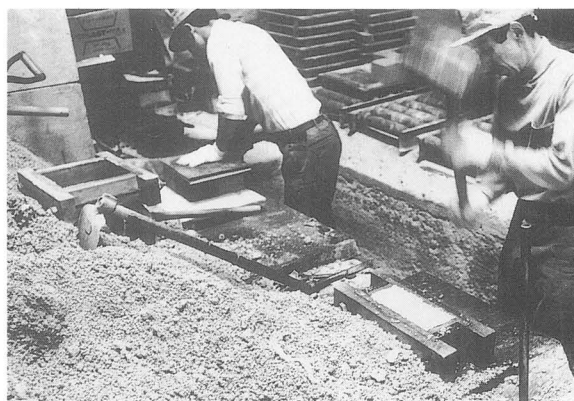


写真-90 煉瓦製作(成型)



写真-91 煉瓦製作(脱型)

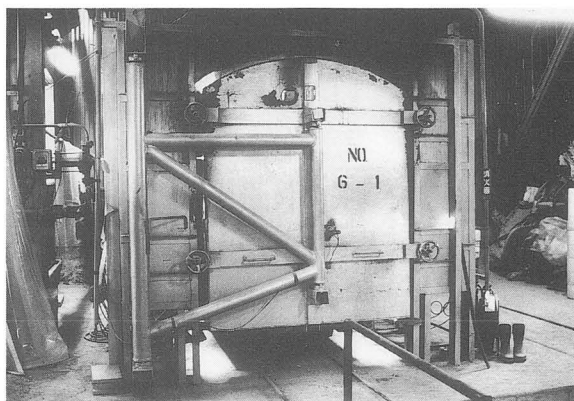


写真-92 煉瓦製作(焼成)

てさらに乾燥を4～5日行い、含水率が3%以下になるようにした。

⑤焼成

窯積後、シャトルキルンで焼成した。焼成の平均温度は、1250℃(±50℃)焼成時間は30～32時間である。

⑥品質検査

色調は、限度見本で全数を検査した。品質検査は、抜き取りにより、中間及び最終製品について行った。検査方法と結果は、表27による。

⑦梱包・出荷・保管

パレット積載し、敷地内に設置した保管小屋に搬入、保管した。

(2) 外壁煉瓦差し替え

昭和56年度に実施した現況調査(煉瓦の老朽調査)を基に、煉瓦の差し替え範囲を次の通りとした。

- ①軽量コンクリートブロック部分(北炉最上部、昭和32年に補修された箇所)
- ②モルタル補修部分(昭和32年に補修された箇所)
- ③風化が表面から35mm以上、進行している既存煉瓦

④その他必要と認めた箇所

その後、工事着手前に差し替え箇所の確認を行い、差し替え範囲に次の箇所と方法を追加した。

⑤風化が35mm未満でも必要と判断した箇所(亀裂が生じている煉瓦又は隅角部が著しく風化している煉瓦など)については、小形の補修用煉瓦で差し替えた。

⑥既存鉄骨解体後、部分的な補修が必要な箇所(4.で述べたように煉瓦の欠きこみによる新しい補強鉄骨との位置調整を必要とする箇所)について小形の補修用煉瓦で差し替えた。

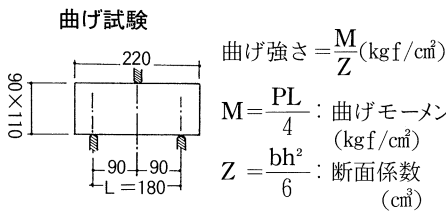
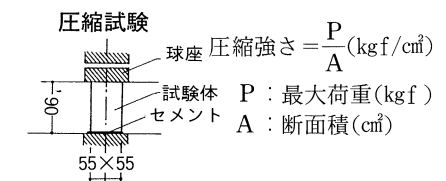
⑦新しい補強鉄骨を組み立てる時、ガセット廻りに治具が入るようにカットした箇所についても小形の補修用煉瓦で補修した。

この他、壁体内部の煉瓦で強度が低いと思われる煉瓦は、可能なかぎり補修用煉瓦と差し替えた。工事工程は、次のとおりである。

①差し替え箇所のマーキング

差し替え範囲を図面にプロットした後、決定された配色比率に基づき、工事区分別にそれぞれの色の個数を試算し、次に各工事区ごとに、現場で色見

表-27 煉瓦品質検査方法及び試験結果



吸水率測定

試験体(全形)を105～110℃の空気乾燥機内で24時間以上保った後、常温で冷し、質量(W₀)を測定する。次に常温の水中に24時間浸漬した後、取り出し、表面に付着している水をすばやく拭き取り、質量(W₁)を測定する。

$$\text{吸水率} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100(\%)$$

W₀ : 乾燥後の質量(g)
W₁ : 浸漬後の質量(g)

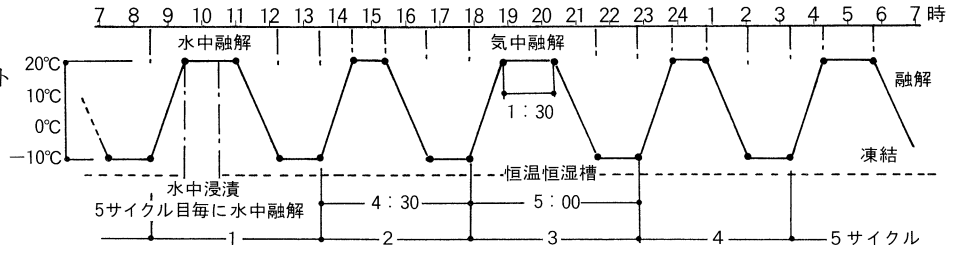
比重測定

$$\text{かさ比重} = \frac{W_0}{V_0}$$

W₀ : 絶乾重量(g)
V₀ : 体積(cm³)

凍害試験

試験体を温度105℃の熱風循環式乾燥機で24時間乾燥させ、恒量となったものの重量と寸法を測定した後、20℃の清水中に24時間浸漬し、自然吸水したものをを用いて行う。凍結温度は-10±2℃とし、融解温度は20±2℃とする。なお、5サイクル目毎に水中融解を行う。また、最終判定サイクル数は40サイクルとし、その間に有害な異状が発生した場合は、観察記録及び写真記録を行う。40サイクル終了後の試験体は、温度105℃の熱風循環式乾燥機を用いて恒量となるまで乾燥した後、重量を測定し、試験開始前の絶乾燥量に対する重量減少量を測定し、観察記録と合せて耐久性の評価を行う。



試験結果

試験体 (No.)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	吸水率 (%)	比重	寸法許容差 (mm)	耐久性 (耐凍害性) 重量減少率(%)
1	210	49	13.42	1.82	合格(+3.0 / +1.6)	合格 (0.01%)
2	131	35	13.29	1.89	合格(+3.2 / +0.4)	合格 (0.03%)
3	185	47	13.81	1.83	合格(-0.8 / +0.6)	合格 (0.01%)
4	142	50	13.94	1.85	合格(+2.6 / +0.6)	合格 (0.00%)
5	200	43	13.76	1.85	合格(+2.7 / -1.1)	合格 (0.03%)
平均	174	45	13.64	1.85	合格	合格 (0.016%)
基準値	150～250	35以上	20以下	1.7 / 2.0	長さ±4mm 高さ±3mm	大きな亀裂がない 重量減少率が10%以内

本をみながら、既存の煉瓦色に近い色を選定し、1個毎図面に記号をプロットした。

②既存煉瓦撤去

ドリル（径15mm）で、煉瓦面に6～8カ所、穴を130mmまであけた後、ドリルや刃先の細いタガネ等を用いて孔の廻りをはつり解体撤去した。

③清掃

ブローアを使用して、はつり箇所を清掃した。

④煉瓦水養生（水湿し）

煉瓦を乾燥した状態で使用すると、モルタル中の水分を吸い、十分な硬化が得られないため、あらかじめ現場で養生水槽をつくり、水中養生（3時間以上）し、工事着手前に水切り、使用した。

⑤煉瓦取付け

モルタルを裏込めし、煉瓦を取付けた。なお、部分的に寸法が正確に納まらない箇所は、適宜煉瓦をカットし調整して納めた。

⑥煉瓦目地仕上げ

差し替え煉瓦廻りの目地を、防水モルタルで押え仕上げた。

目地幅は、周囲にあわせて施工した結果、狭い箇所では、2～3mm、広い箇所では15mmとなった。目地は、水ブラシで洗浄した後、ハケで若干引込めて全体の調和をはかった。

工区の工程については、足場廻りの水平方向に工事を行い、順次、上層に移っていった。なお、はつり作業を終えた箇所は、翌日に煉瓦を取付けするという順序で、できるだけはつった状態を長時間放置しないようにした。

既存煉瓦のはつり状況を見ると、ピンク系の煉瓦はもろいものが多く、簡単に撤去できた。下段部の内部にも、部分的に質の劣る煉瓦がみられた。納まりについては、目地幅が既存との取り合いから一定せず、寸法調整とともに苦心した。上段部は、北炉では全て新しく積み替えたが、南炉では解体した後、既存煉瓦を選別し、健全なものを、部分的に混ぜながら積み直した。特に既存の大型煉瓦（22×35×9cm）は、コーナーまわりに可能な限り使用した。南炉上段部の解体に伴い、水平連結材<第6章2.4(1)参照>が挿入されていた層（各3カ所）は、その

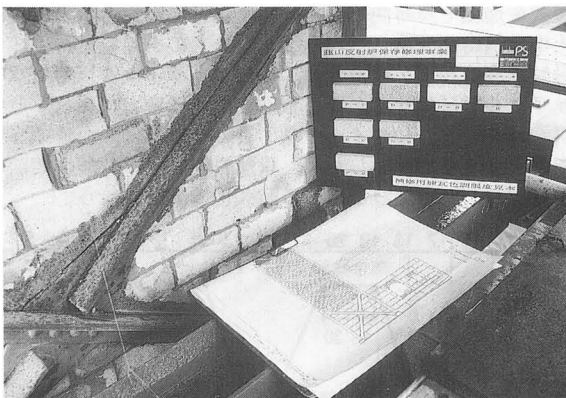


写真-93 煉瓦差し替え箇所マーキング



写真-94 既存煉瓦撤去



写真-95 煉瓦取付け

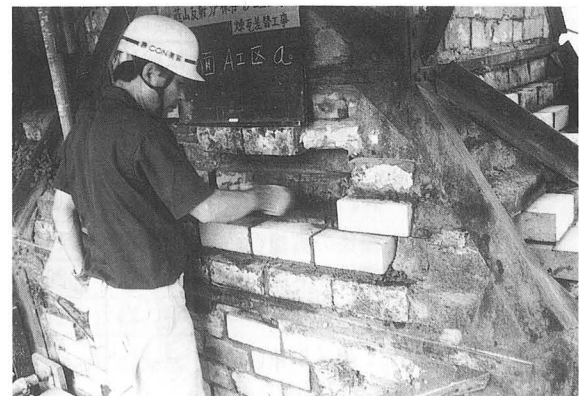


写真-96 煉瓦取付け

まま取り出し葦山町で保管した。ただし、下部の箇所は、地震時に損傷を受け、後の工事で補修されていたため、保管は健全な箇所のみとした。

差し替え後の煉瓦面は、全て新しく積み替えた北炉上段部の煉瓦面と既存の部との間に、差が生じた他は、異和感がなく、新しい煉瓦の露出面をカットし表面を粗くした方法は、効果があったといえよう。

煉瓦の差し替え率をみると、全体の枚数26000枚のうち、北炉3304枚、南炉2338枚を差し替えたことになり、差し替え率は北炉25%、南炉18%となった。なお、外面の比率をみると、全体を13800枚とした場合、北炉48%、南炉34%となった。

(3) 外壁煉瓦目地補修・補強

操業当時の外壁煉瓦目地は、粘土目地のため漆喰で保護されていた。その後、漆喰が剥落したため、明治42年及び昭和32年の修理で、部分的にモルタル補修され、今日に至っている。

劣化状況調査では、これらの目地部分も欠損し粘土目地が露出し、かなり内部まで侵食されていたことが明らかになった。このため、既存煉瓦目地の補

修範囲を次のとおりとした。

- 既存モルタル目地の浮き、剥離箇所
 - 基準仕上面より、5mm以上侵食されている箇所
- 工事工程は、次のとおりである。

①マーキング調査

補修範囲を図面表示した。

②既存煉瓦目地撤去

基準より15mmまでたがね等で既存目地を撤去した。

③清掃

ブロアーを使用して、清掃した。

④煉瓦目地仕上

先に撤去した目地部に十分水打ちを行い、防水モルタルを基準仕上面まで塗込み、水引き後、目地鍔押えを行い、ハケ引き仕上とした。

(4) 鉄骨と外壁煉瓦空隙部補修・補強

補強用鉄骨と外壁との間は、鉄骨を後で取り付けるため数cmの隙間が必然的に生じることになる。この工事は、この隙間にモルタルを充填し、地震時における水平力を鉄骨に伝えるのが目的である。

昭和32年の工事では、煉瓦や伊豆石を欠きこんで

表-28 差し替え煉瓦数量

葦山反射炉保存修理工事の差替煉瓦数量表 (N炉・S炉) 単位(本)										
形状:数	色	ピンク系			グレー系		クリーム	ブラウン	既 存	合 計
		P-1	P-2	P-3	D-1	D-2	D-3	B		
大形煉瓦 (220×220×91)	製作数	310	1090	700	180	180	310	130	—	2900
	N炉使用数	174	843	541	111	101	119	72	—	1961
	S炉使用数	122	228	148	67	68	170	39	280	842
	残 数	14	19	11	2	11	21	19	—	97
小形煉瓦 (220×100×91)	製作数	301	1204	752	151	151	301	150	—	3010
	N炉使用数	200	524	249	74	128	127	109	—	1411
	S炉使用数	91	512	376	41	23	174	41	—	1258
	残 数	10	168	127	36	0	0	0	—	341
役物コーナー (220×200× 100×91)	製作数	30	120	75	15	15	30	15	—	300
	N炉使用数	18	57	35	7	8	15	6	—	146
	S炉使用数	12	63	40	8	7	15	9	—	154
	残 数	0	0	0	0	0	0	0	—	0
炉 床 用 (220×220×91)	製作数	—						370	—	370
	N炉使用数	—						125	—	125
	S炉使用数	—						210	—	210
	残 数	—						35	—	35

注：表28の数値は外壁差し替え煉瓦、下焚口補修煉瓦及び炉床補修煉瓦の数量の総計である。

納めたり、コーナーがはみだしたりして、鉄という工業製品と現状の振れ、そりなどを生じている煙突部との間の納まりに苦心の跡がうかがわれる。今回の補強鉄骨は、炉体や煙突部をいじめないこととし、既存煉瓦面と補強鉄骨との空隙を0～50mmに設定し、かつポイントポイントで、この空隙寸法を調整し、鉄骨フレームの水平、垂直性をできるだけ確保した。このため、部分的に50mmを越す箇所が何ヵ所か発生した。このような隙間を、モルタルで充填する場合、年月を経るとモルタル接着面に隙間が生じ、落下する恐れがあるため、鉄骨裏側にあらかじめ落下防止のピン、いわゆるシアコネクターを取り付けた。昭和32年も同じように、ピン(釘)が現場で鉄骨に穴をあけ、外から差し込んであるが今回は、防錆上、あらかじめ工場での製作、加工段階で溶接した。シアコネクターの長さは30mm、直径3mmで、取り付け間隔は、300mmである。

工事工程は次のとおりである。

- ①下地処理
- ②モルタル充填

空隙部の下端に、30～50mmのバックアップ材を差し込み、上端より防水モルタルを空隙が生じないように治具等で入念に充填し、モルタル水引き後(20℃、1時間以内)下端のバックアップ材を取りはずして、防水モルタルを塗込んだ。防水モルタルは、煉瓦裏ごめ、煉瓦目地材と同じ材料とした。

③仕上げ

水切りを考慮して、水平部材の上部、斜め部材の上側は、やや傾斜をつけて仕上げ、水平部材の下面、柱は垂直に仕上げた。

(5) 漆喰保存処理

葦山反射炉は、竣工当時、耐火煉瓦の外面に全面しゅろ縄を配した漆喰塗り、いわゆる白亜の塔であった。しかし、その後の風化、補修工事のためほとんど剥落し、断片が南炉に10ヵ所、北炉に2ヵ所程度残存し、あとは、煉瓦表面にかすかに、付着している程度である。この漆喰の断片は、薄塗りで将来剥落する恐れがあるため、竣工当時どのような外観をしていたかを示すために、この断片を保存した。

保存方法は、断片まわりを白セメント入りモルタル



写真-97 煉瓦目地仕上げ

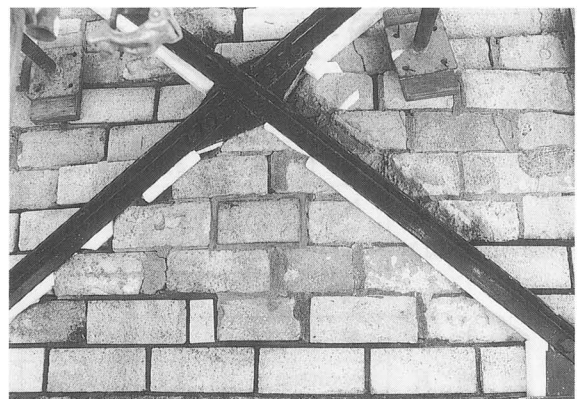


写真-98 補強鉄骨空隙部モルタル充填

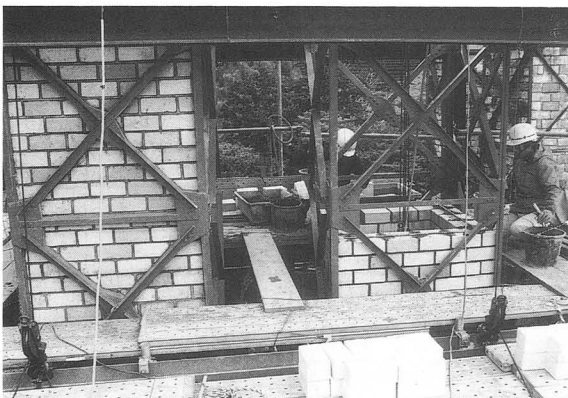


写真-99 煙突上段煉瓦積み

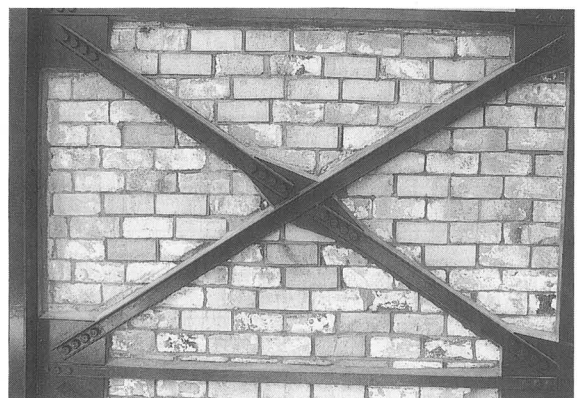


写真-100 煉瓦差し替え後

ルでシールし、大きなものは、中央部にステンレスピンをうち、ピンまわりにエポキシ樹脂を充填した。また、亀裂部は、エポキシ樹脂で接着した。ただし、この方法では、完全な保存といいがたいため、小断片を取りはずし（写真103）、別に保管することとした。なお、北炉では、しゅろ縄を確認できなかったが、南炉の下段部の漆喰断片の中に細いしゅろ縄が入っていることを確認した。

(6) 外壁煉瓦劣化防止

既存煉瓦の表面が風化し、風化35mm以上のものは、補修煉瓦で差し替えたが、風化35mm未満の煉瓦は、残存している。これらの煉瓦の風化がこれ以上進行しないようにするのが、この工事の目的である。

昭和32年の工事では、シリコン樹脂防水剤エバータイト2回吹付けによる撥水処理が施されている。しかし、約30年経過した今日、撥水処理の効果は消失し、煉瓦の風化が目立ち、今回の補修に至った。今回の工事では、風化防止剤を塗布した。この風化防止剤は、無機質浸透含浸剤の硅酸リチウム無機高分子化合物水溶液で、煉瓦表層部を固化し侵入水に

対する抵抗力を高めることを期待したものである。無機質系を採用したのは、耐久性を考慮したためである。

施工は、煉瓦面の汚れを高圧洗浄した後、エアガンで吹付けた。当初、ローラー、刷毛を用いる計画であったが、表面形状に凹凸があり、十分な塗布が期待できないため、吹付け工法を採用した。施工後の状態は、全体に薄い被膜ができ、ややぼんやりとした感じを受ける。ただし、場所によって新しい煉瓦にかなりの白華現象があらわれたり、一部の色の煉瓦がやや変色した。しかし、全体の様相は様々な色や形状、凹凸、テクスチャーがあり、このような現象はとくに目立たない感じがする。補強効果は、煉瓦面が粗面なため、えんぴつ硬度試験で十分な確認はできなかったが、補修前と比較すると表層はかなり固化し、風化防止剤の効果が得られたと判断された。



写真-101 漆喰保存修理



写真-102 漆喰保存修理後

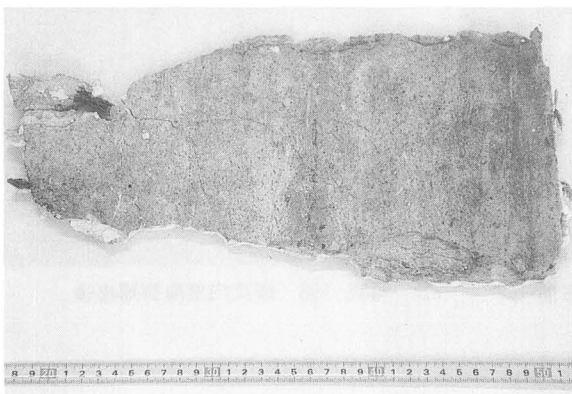


写真-103 漆喰断片



写真-104 外壁煉瓦劣化防止

8. 煙突内部補強工事（煉瓦積内部空隙補強及び内壁煉瓦亀裂部補修・補強）

煙道内壁は、耐火煉瓦積みのみで、地震時の痕跡を示す亀裂が中・下段部に多く発生している（第6章2.4(5)参照）。

亀裂は、短辺方向の壁面に縦に発生し、激しい箇所ではこぶしが入るほどの幅になっている。この亀裂が古いものでないことは、亀裂内面の煉瓦の肌が新しく、亀裂内面に煙突内部に付着している溶解物がほとんどないことや目地材が肌わかれしていることでもわかる。また、断面構造をコア抜きで調査した結果をみると煉瓦と煉瓦の間は、地震時の挙動により数cmの空隙が生じている箇所が随所にみられた。このため、内壁の亀裂をモルタル又はエポキシ樹脂で充填した後、内部の空隙廻りに、セメントスラリーを圧入し、煉瓦積みの剛性を確保することを、この工事の目的とした。

昭和32年工事では、外部を鉄骨トラス補強し、内部に木製枠を差し込み内壁と木製枠の間に乾いた砂

を充填するという補強方法となっていた。この木製枠は、腐朽がみられたため現況調査の段階で除去され、防腐処理された新しい木製枠が応急措置としてはめこまれていたが、枠を内部にはめこむと、学術的に貴重な煙突内部に付着している溶解物を、今後みることが困難になるとの理由から、撤去し、煉瓦差し替え、目地補修及び注入剤によって煙突自体を一体化させ剛性を高める補強方法を採用した。

注入の工事工程は次の通り。

①準備（木製枠の撤去、マーキング、最下部の養生）

注入は、注入の先端器具が煙道で作業できないため外壁面から行うこととし、注入口及び確認口は、煉瓦をいためない目地の位置にマーキングした。

なお、最下部には、ビニールシートをガムテープで取り付け工事中のごみや水が、湯口側の外部に排出するようにした。

②注入口、確認口のセット

マーキング箇所を中心に、上下・左右に50～70mm間隔で径13mmのドリル穿孔を行った後、送風ブローアに吸気ホースを取付けてほこりを排除した。深さは、

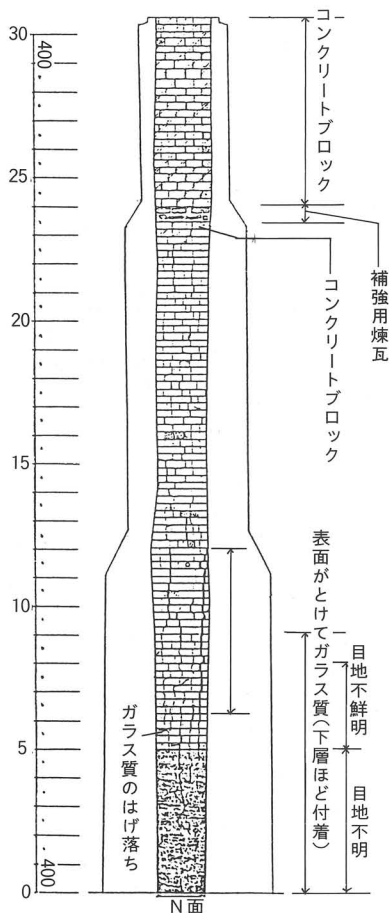


図-43 煙突内部亀裂状況



写真-105 煙突内部亀裂補修前

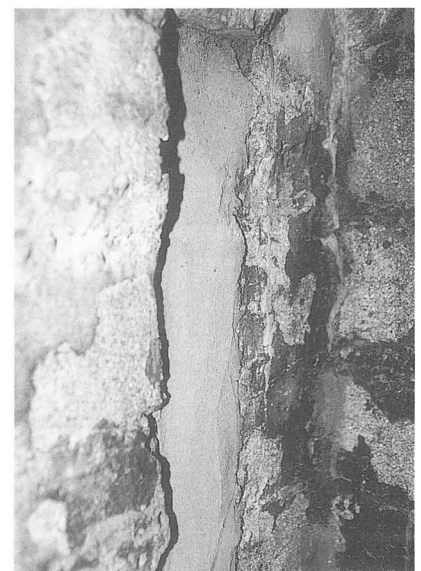


写真-106 煙突内部亀裂補修後

空隙発生箇所を中心として、220～700mmの位置に定めた。

③亀裂補修 3mm以上の亀裂部分にはモルタル充填をし、3mm未満の亀裂部分は、注入箇所を連続亀裂の中央、亀裂巾の広い所を選定し、径4mmのドリルで深さ50mmの注入孔を10～15cm間隔で穿孔し、周囲をシールした後、グリスガンでエポキシ樹脂を注入した。

④注入口セット、セメントスラリー注入

注入は、1サイクルを注入高50～70cm範囲とし、最下部より注入を行い順次、上部に移っていく工程を繰り返した。なお、煉瓦の目地補修、鉄骨と煉瓦空隙部等外廻りのシールを終了した後、注入工事を開始したが、微細な亀裂から注入剤がもれ、シールには手間を要した。

注入の深さについては、コア採取空隙部の位置を推定し、その位置まで注入パイプを送りこみ、注入後徐々に引き出して、空隙周辺まで更に注入を繰り返す方法を採用した。

⑤近接確認口、注入口よりの流出による注入確認

注入状況は、最下部ではかなり水平に注入剤がまわっていた。たとえば南面の注入口から注入すると、セメントスラリーが西面の中央部の確認口から流出する状態であった。このことから、隙間が場所によっては、煙突内部で連続していることがわかる。

⑥注入口、確認口の充填、清浄及び自主検査

⑦検査

全体の注入が終了した段階で立ち合い検査を行い、材料の数量確認を含め注入が設計通り行われたかを検査した。立会い検査は、任意にマーキングした箇所に再注入を行う方法で、圧力を4kgf/cm²までかけても材料が注入されないことをもって充填を確認した。場所は、中央や端部、注入口から遠い位置、近い位置など様々な角度で設定した。また、深さも奥・中・浅といった3段階で設定した。

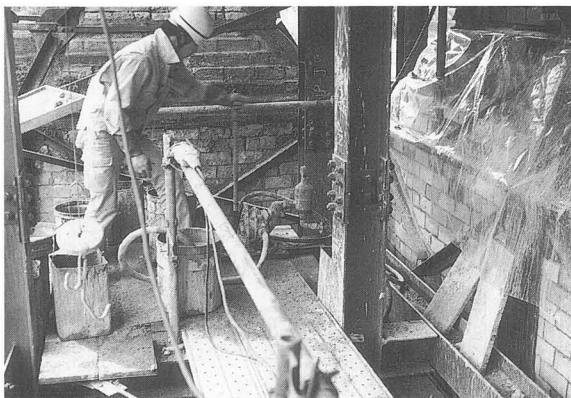


写真-107 煙突内部注入補強工事



写真-108 煙突内部注入補強工事

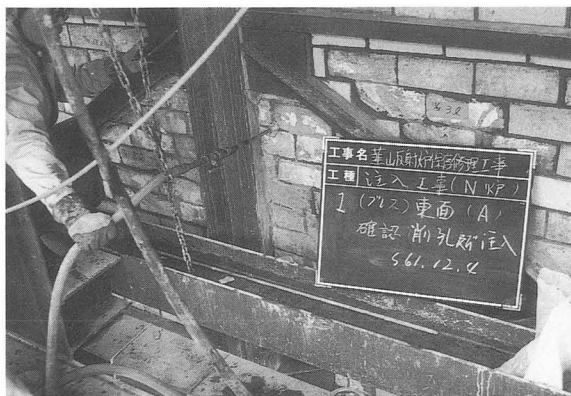


写真-109 煙突内部注入補強工事

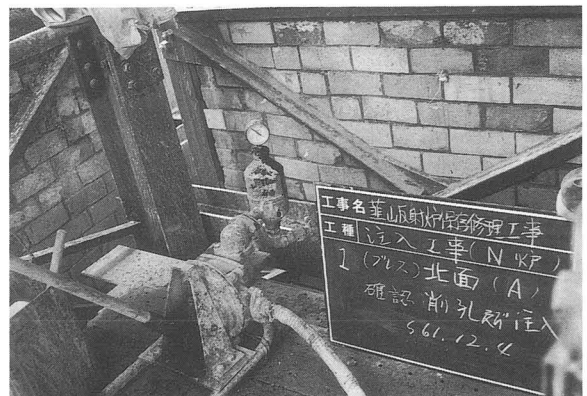


写真-110 煙突内部注入補強工事

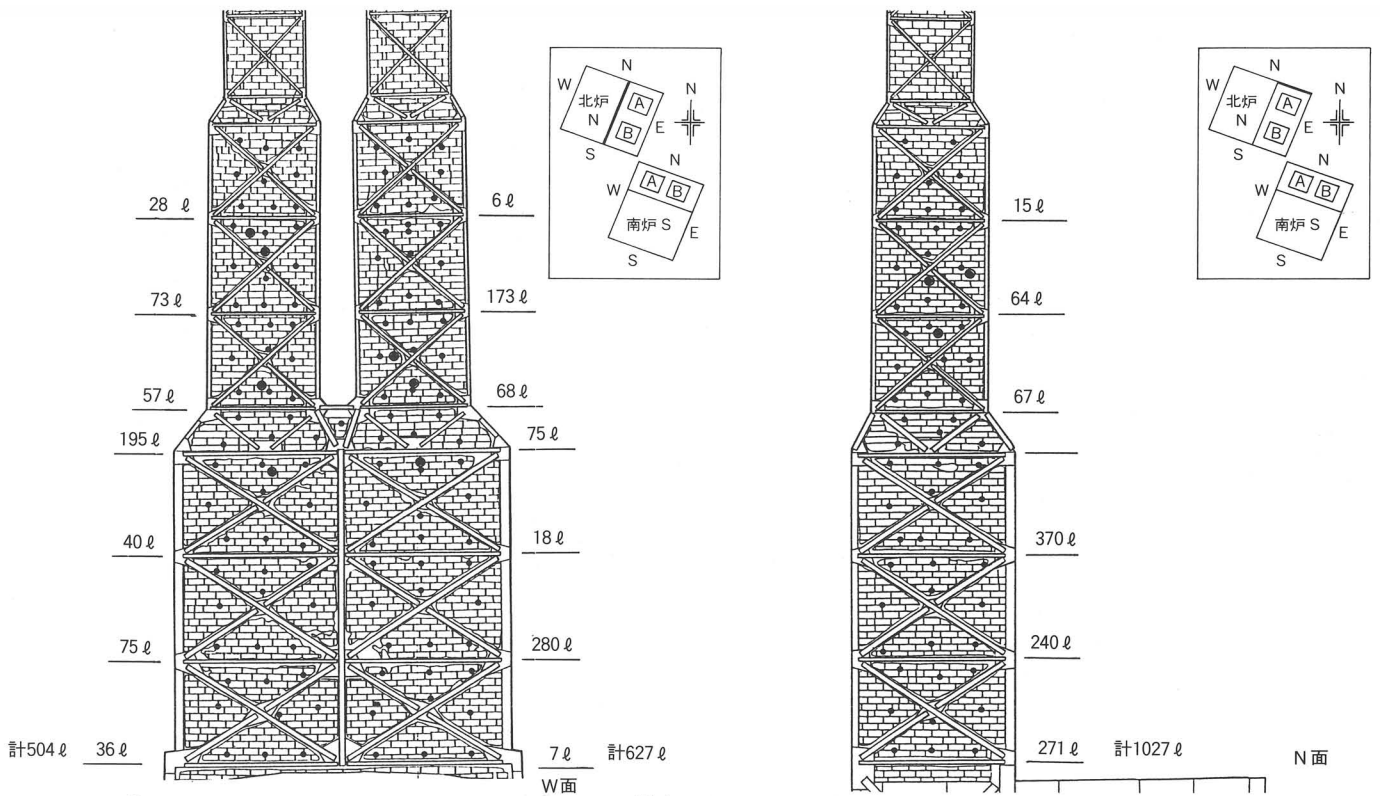
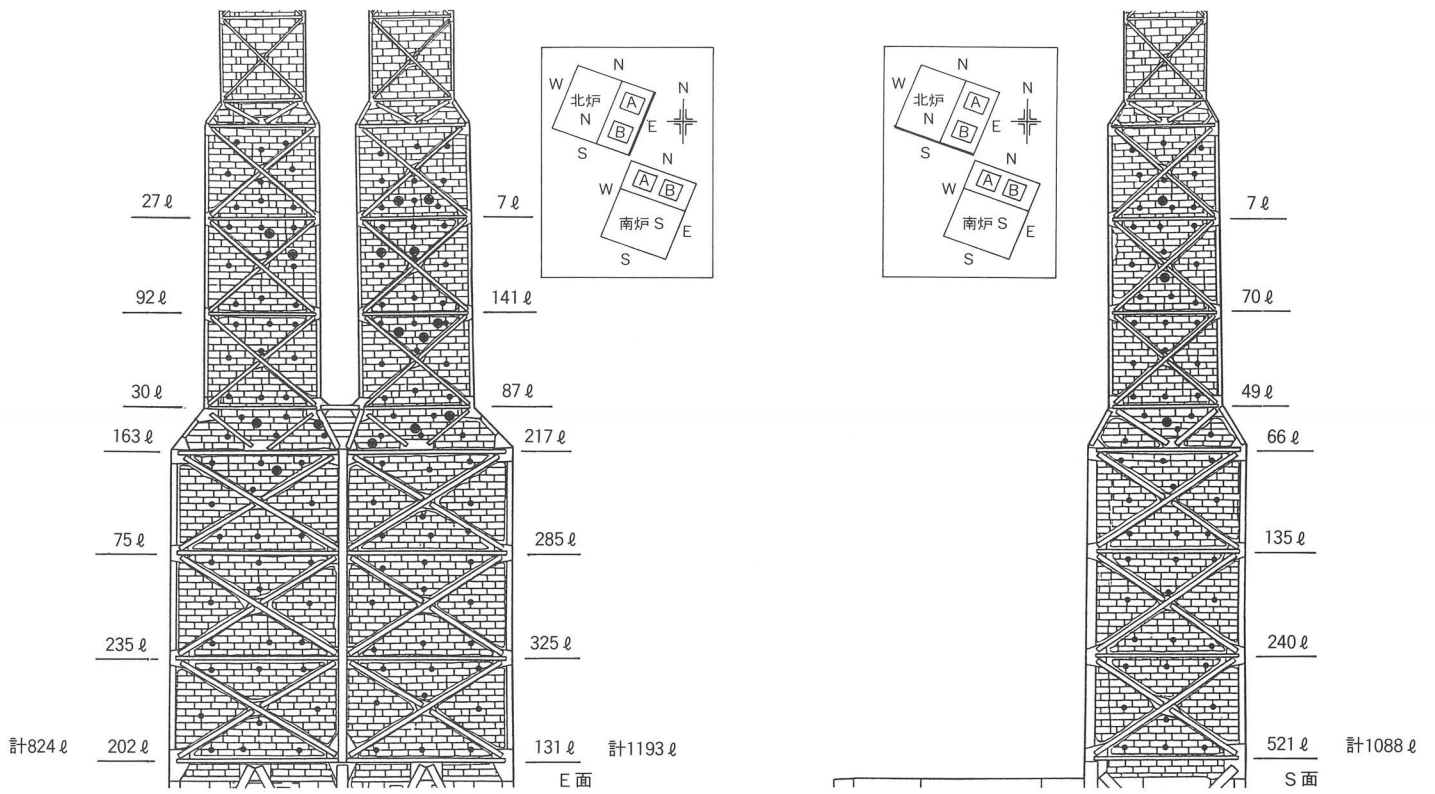


図-44 北炉 注入箇所 (・印 注入孔, ●印 検査孔, 数字は注入量を示す)

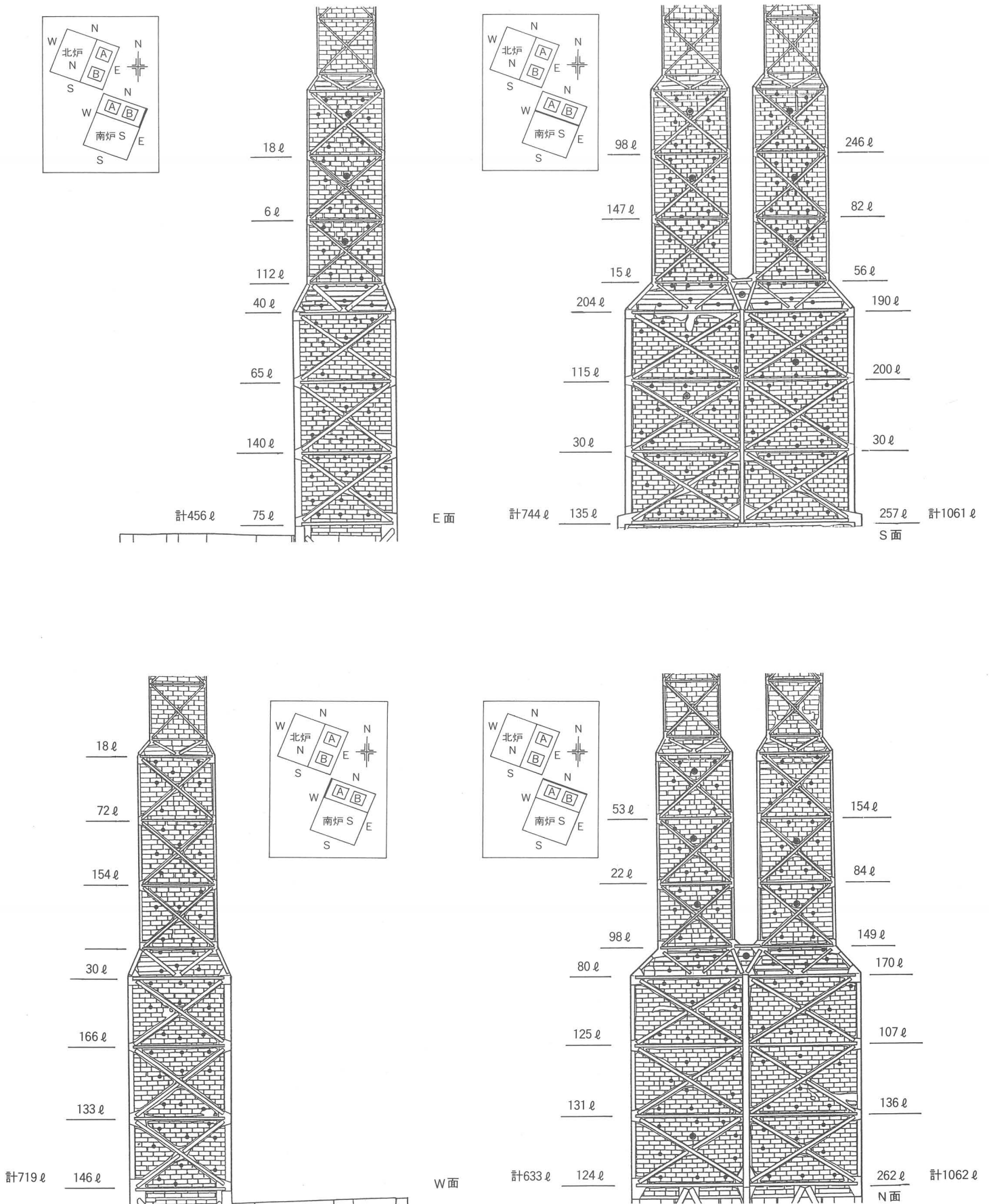


図-45 南炉注入箇所 (・印注入孔, ●印検査孔, 数字は注入量を示す)

9. 煙突天蓋工事

明治年間及び昭和32年の修理工事で、雨水が内部に入らないように鉄板の蓋がかぶせられていた。今回の保存修理工事では、この蓋を耐久性のある1.5mm厚の銅板で製作し、取付けた。なお、天蓋は受けアンクル材とステンレスボルト締めになっており、煙突内部を再調査する場合などを考慮して、いつでも取りはずしができるようにした。

形態は、昭和32年時が片流れ（写真111）であったのに対し、今回は、寄せ棟タイプに改めている（図46、写真112）。また、銅板、ステンレス、鉄といった異種金属が接触する箇所は、防食テープで保護し、耐久性を確保した。

銅板のテクチャーについては、当初緑青処理を計画したが、自然環境が良いため、とくに表面処理を施していない。その後の変化をみると、自然発生が進み、落ちつきをみせ、とくに異和感が生じていないようである。

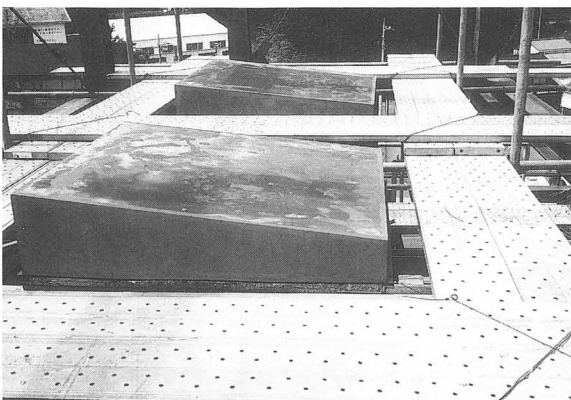


写真-111 煙突天蓋差し替え前

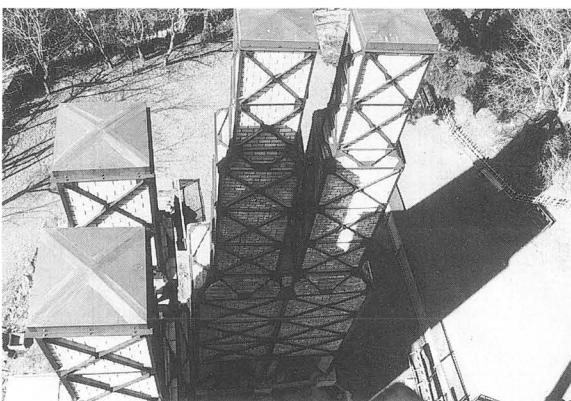


写真-112 煙突天蓋差し替え後

10. 周辺整備工事

葦山反射炉は、古図によると、反射炉を中心に型乾燥小屋、細工小屋、タール製作小屋等の建物がまわりを囲み、古川沿いに水車をもった本錐台小屋が配置されるなど、大砲の鑄造に必要な諸施設を包含していた（P13、図5参照）。その規模は、現在の敷地とほぼ同様だが、現在閉鎖されている北門が表門で、一般見学者が出入りしている南門が裏門となっている。また、古川の上流に“元タタラ炉”と称する記述があるが、矢来柵の外部となっており、どのような関係にあったかは不明である。

史跡の整備経過をみると、江川家から陸軍省に移管された後、明治42年に修復工事を行い、反射炉の周囲を銃剣を用いた柵で囲んでいる。古い写真をみるかぎり、周囲は何もなく、この周囲の敷地は、以前の地主に払い下げられていたという。その後、地元の有志から払い下げた敷地が献納され、再び周囲の敷地が国有となった。昭和32年の工事後、敷地内も整備され、南側と西側に受付事務所が設置され、

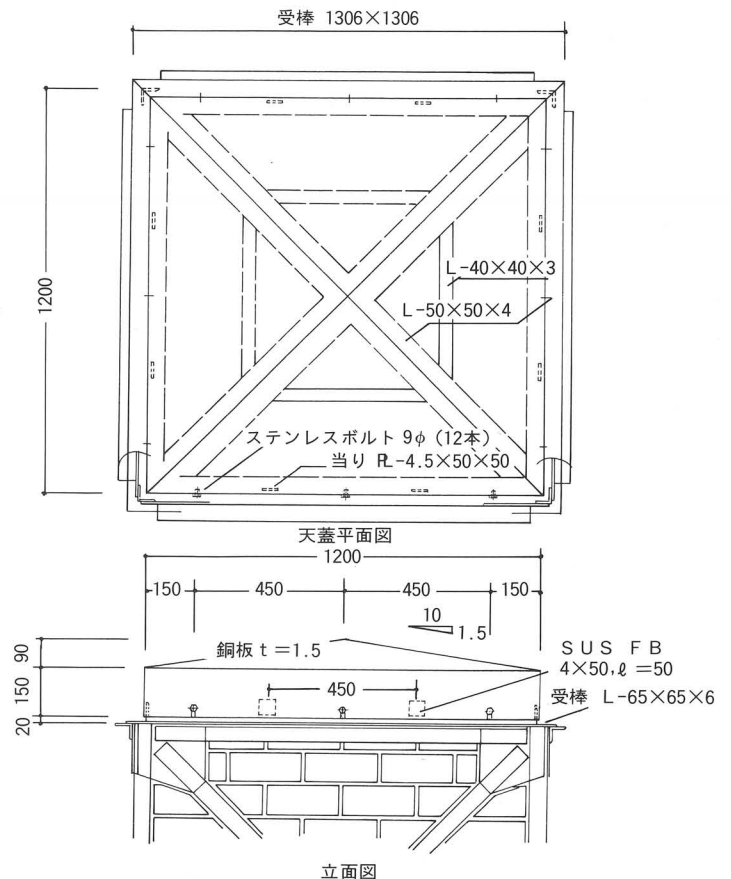


図-46 煙突天蓋図 単位：mm

池が整備されるなど、ほぼ現在の姿となった。これを見ると、反射炉の廻りのみを嚴重に囲み、敷地内への出入りを比較的自由にした方法で管理されてきたといえる。今回の保存修理工事で、基礎工事のため既存柵を撤去し、そのまま復旧する予定であったが、既存銃剣柵の老朽化とともに見学者の視界を良好にさせるため、新しい柵を設けることとなった。この時点で更に、周辺整備に関する事項が検討され、次の方針を決定した。

- 反射炉のみではなく、敷地全体を含む産業記念物であることを明確にする（外柵，説明板等の設置）。
- 反射炉本体を見やすくするため、シンプルな柵（内柵）を設ける。
- 従来の説明板の他に、この事業で新しく確認された事項を、説明するための説明板を設置する（反射炉の断面構造，鑄台，炉床，古図）。
- 外柵及び門扉を設け、夜間等は施錠し、敷地内への出入りを禁止する。
- 柵，案内板の素材，形態は、反射炉の機能を考えシンプルなものとし、鉄の製造をイメージさせる。

このためデザインは、鉄板を折り曲げるのみとしたシンプルな形態とし、素材は耐久性を考え、コルテン鋼を採用した。なお、外柵をアングルの独立形態としたのは、敷地の起伏を考慮したためである。

工事は次の工程で実施した。

①鋼材加工，プレパレン処理

設計図（図48，49）を基に、工場でコルテン鋼を加工し、外柵を除きプレパレン処理を施した。外柵をコルテン鋼の裸使用（無処理）としたのは、鉄の素材感を強調するためである。

②基礎工事

外柵は布基礎コンクリート，内柵・説明板・門扉は独立基礎コンクリートとした。

③設置

アンカーボルトで基礎に固定し、全ての脚部にタールエポキシ塗装による防錆処理を施し、砂利で埋め戻した。

④植栽

外柵の内側に低木を植えた。

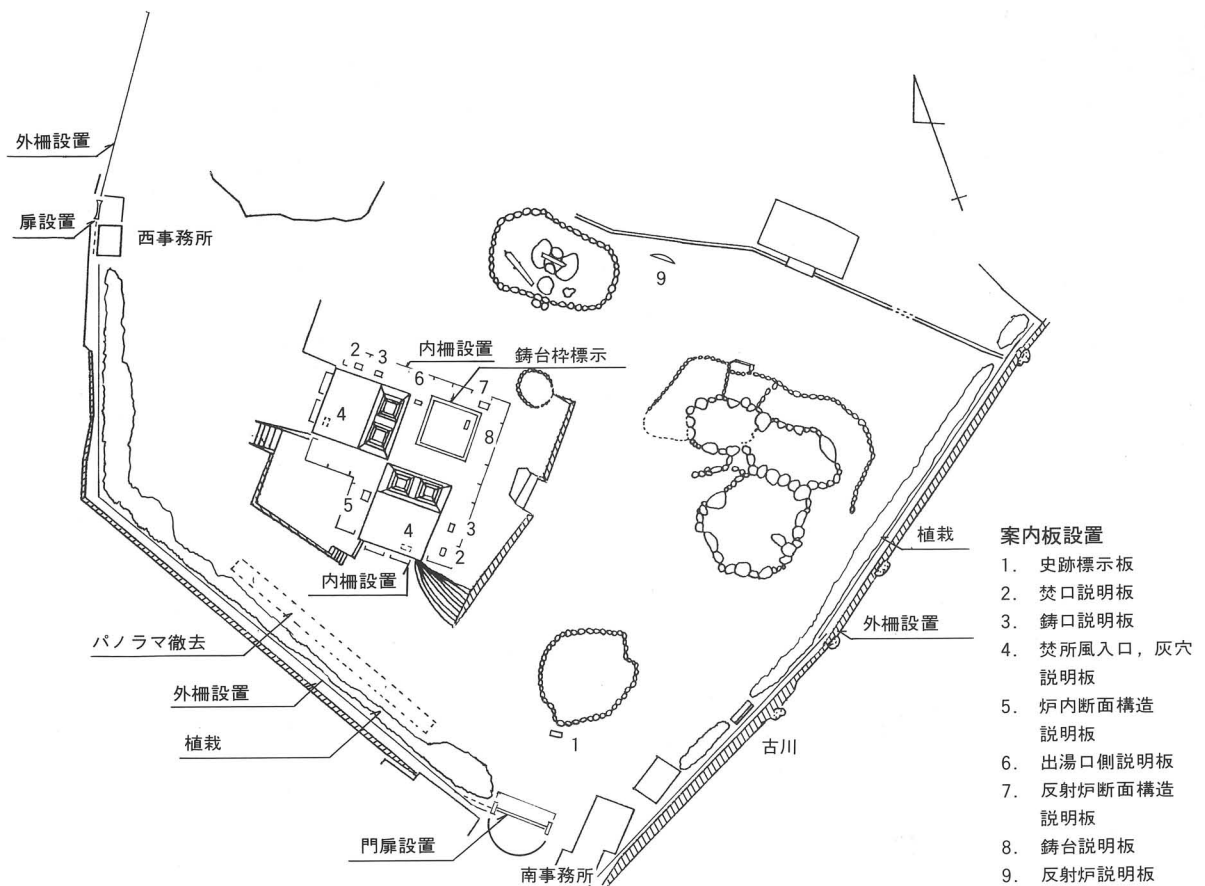


図-47 周辺整備箇所



写真-113 門扉 設置前

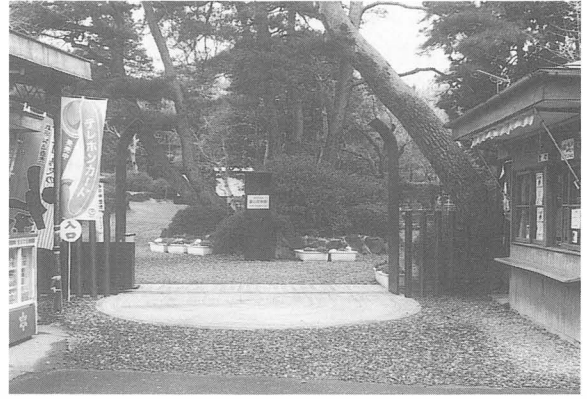


写真-114 門扉 設置後



写真-115 外柵 設置前

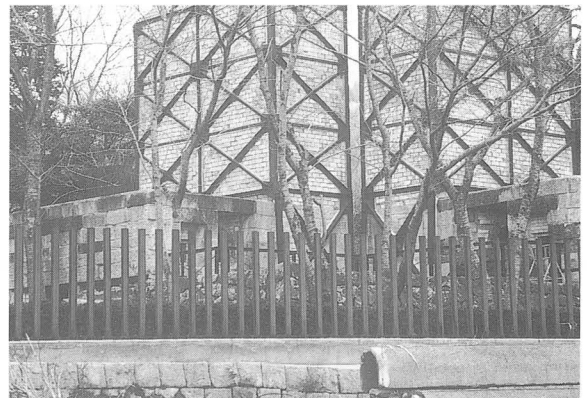


写真-116 外柵 設置後

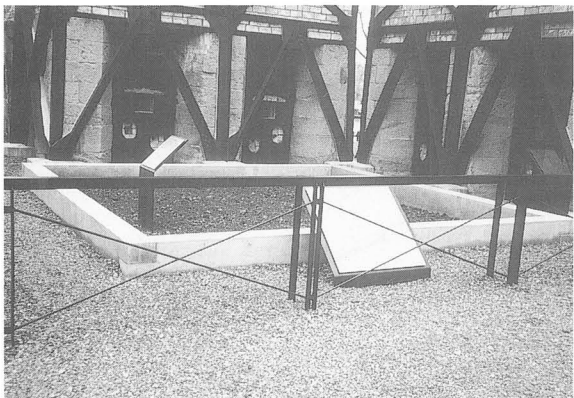


写真-117 内柵, サイン設置後 (出湯口)



写真-118 内柵, サイン設置後 (鑄口)

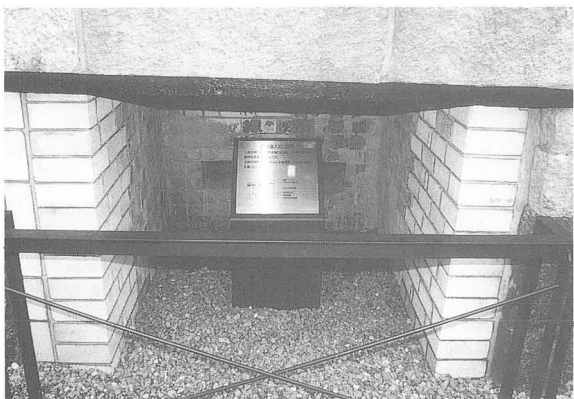


写真-119 内柵, サイン設置後 (灰穴)



写真-120 内柵, サイン設置後 (説明板)

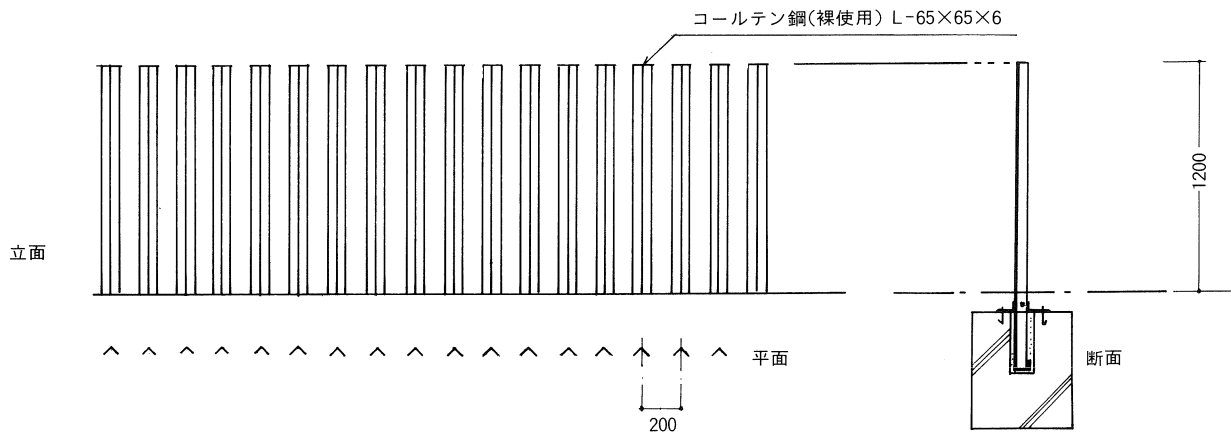
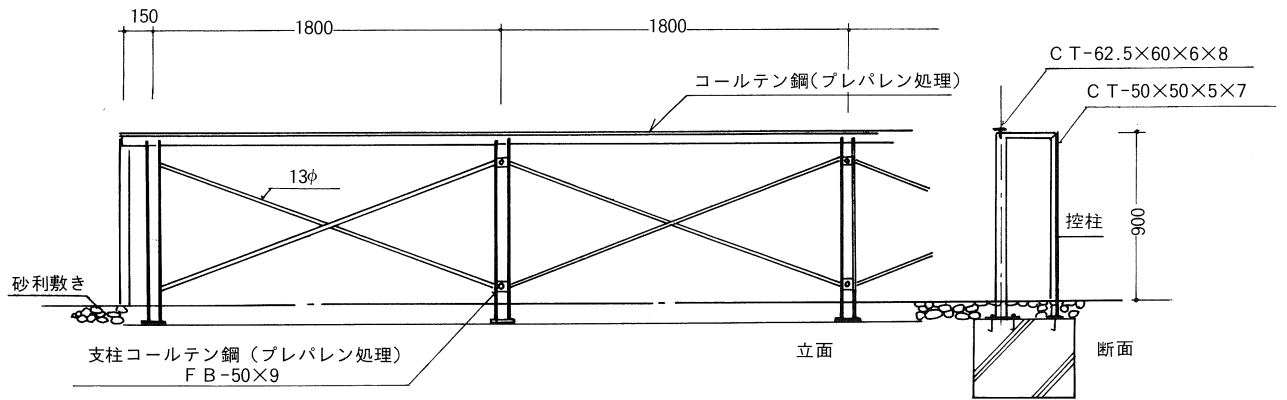
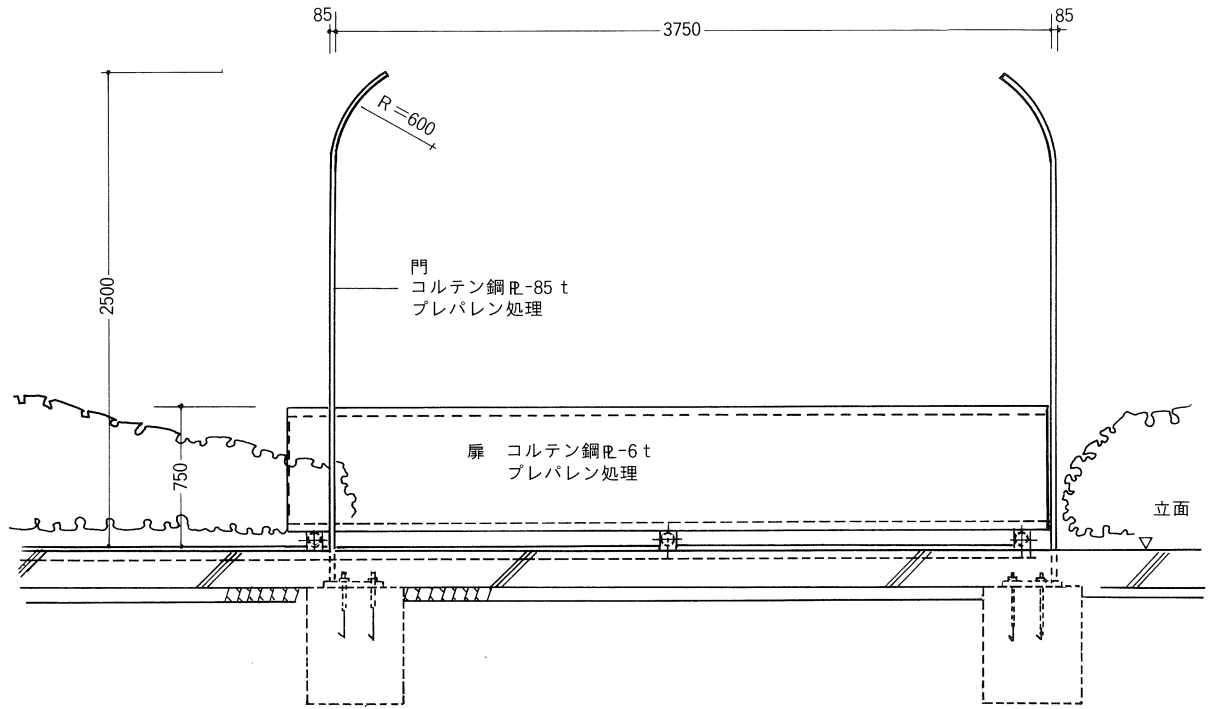
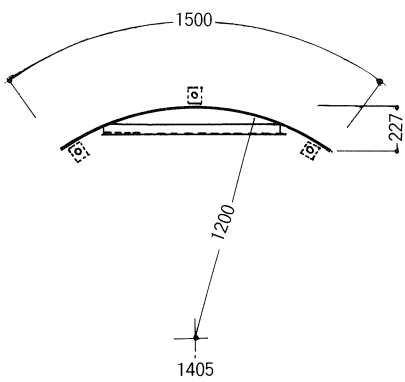
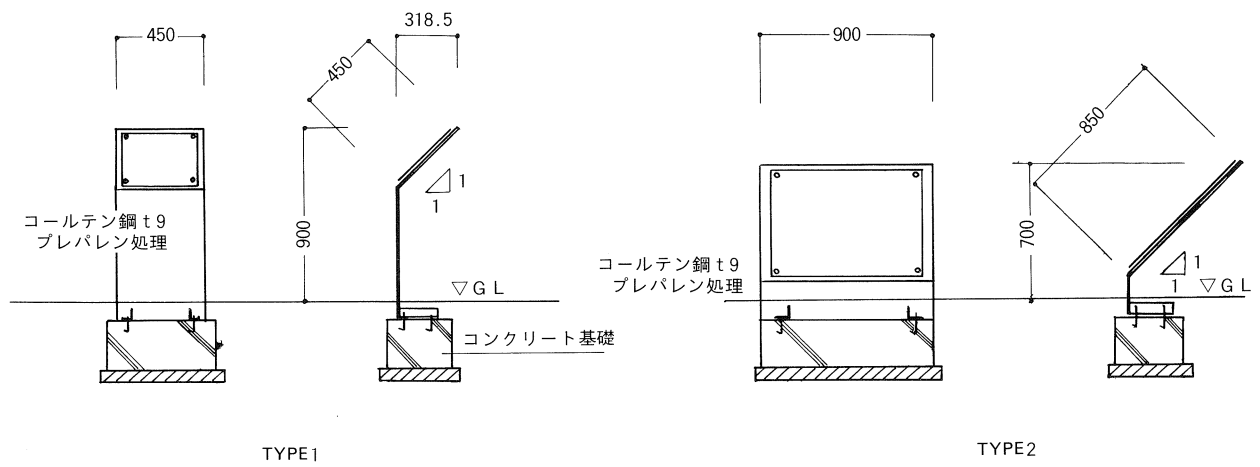


図-48 門扉, 外柵, 内柵設計図 単位: mm



- TYPE1 焚口, 鑄口, 焚所風入口・灰穴, 出湯口側, 鑄台説明板
- TYPE2 炉内断面構造, 反射炉断面構造説明板
- TYPE3 反射炉説明板
- TYPE4 史跡標示板

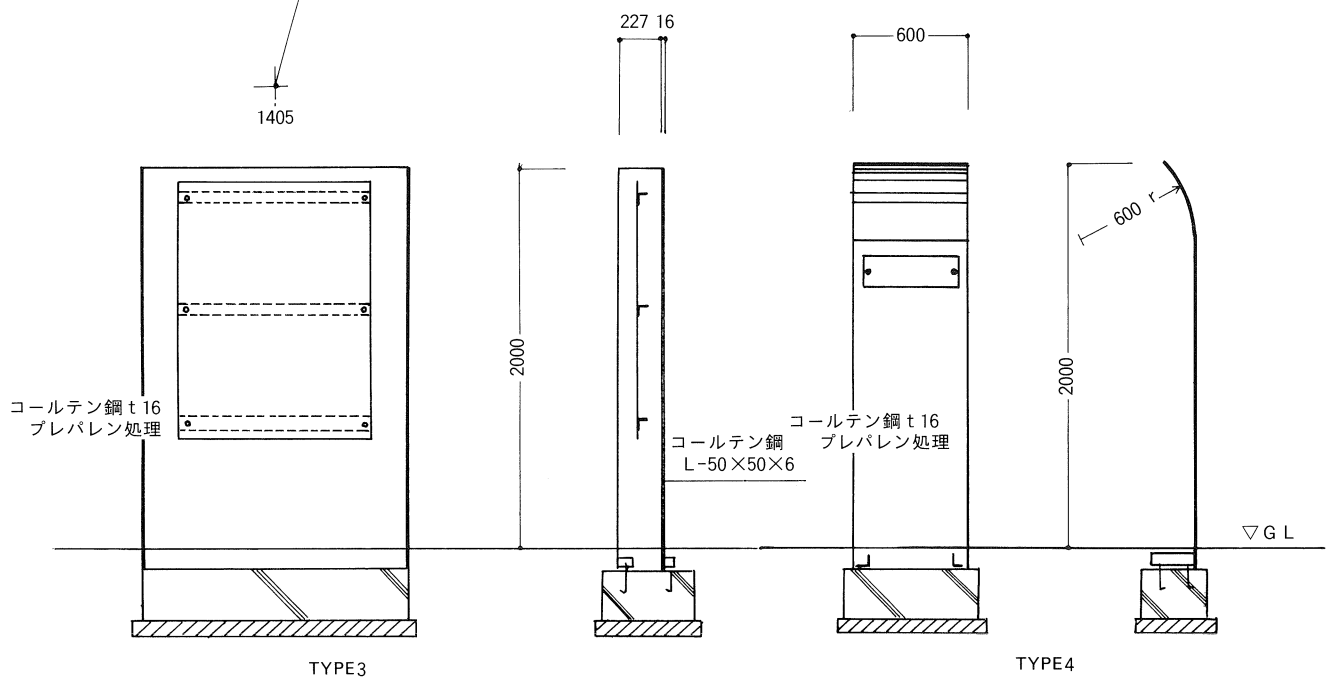
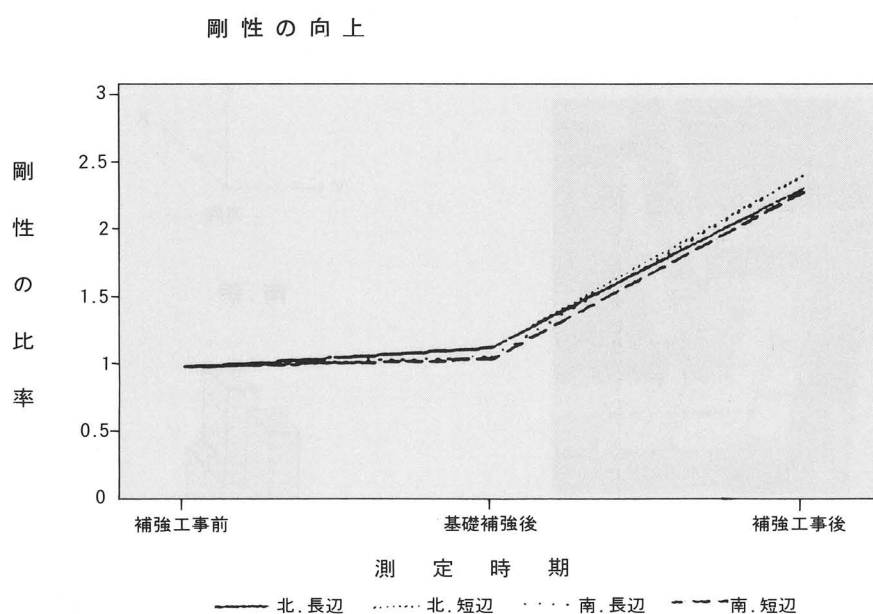


図-49 案内板設計図

単位: mm

第5章 保存修理工事の評価 と維持管理方法



工事によって、反射炉の補強効果がどの程度高まったかを確認する方法として、常時微動測定を採用し、この測定結果から剛性の変化を追ってみた。剛性は工事前を1とすると、工事後、2.4となっている。

Microtremor measurement was used to verify the reinforcement effects after completion. The change in rigidity was evaluated from the measurement results. The rigidity increased 2.4 times, compared with the original.

第5章 保存修理工事の評価と維持管理方法

1. 補強効果の確認

保存修理工事で当初計画した補強効果がどの程度期待できるようになったかを確認するため、常時微動による振動調査を修理前、工事中、修理後と三段階に分けて行った。この調査は、常時微動を計測して、これを解析し反射炉の剛性変化を求めるものでこの剛性の変化から、工事の補強効果を検討した。剛性の変化を基準にしたのは、反射炉が煉瓦及び伊豆石積みの塔状の組積造で固有振動数を比較する例が少ないためである。修理前の反射炉をみると、煉瓦目地に原料粘土が使用され、剛性が期待できない状態であるため補修工事（目地補強、内部の空隙充填）によりある程度剛性が高まることは予測された。しかし、反射炉は地震によって内部に損傷を受け空隙が生じ振動系が複雑になっていると予想されたため明確な判断が得られるかどうか、懸念されたが、

結果は剛性の変化に明確な差が生じ今回の補強工事によってかなり反射炉の全体的な剛性が高まったことが確認できた。

(1) 常時微動の測定方法

構造物や地盤の振動特性を検討する調査方法は、種々あるが、ここでは調査対象の反射炉の文化財的価値を考慮して特別な加力振動源を必要とせず比較的簡便に実施できる方法として、また、対象物に損傷を与えない方法として“常時微動”の測定方法を採用した。常時微動とは、各種交通機関及び工場などの操業による人工的発生源、さらには風及び水の流れなどの自然現象によって地盤上に常時生ずる微小な不規則振動で振動幅は、せいぜい数ミクロン程度、周波数は、1～20Hzが主な解析範囲である。この地盤上の常時微動は、反射炉自体にも伝播増幅し、微小な振動を与えている。測定調査は、多種多様な振動源で発生した振動が伝播する過程の中で地盤や構造物など媒体の振動特性を強く反映することを利用したものである。この地盤上及び反射炉の微動を計測した後、不特定要素の影響等を含む波形解析を行

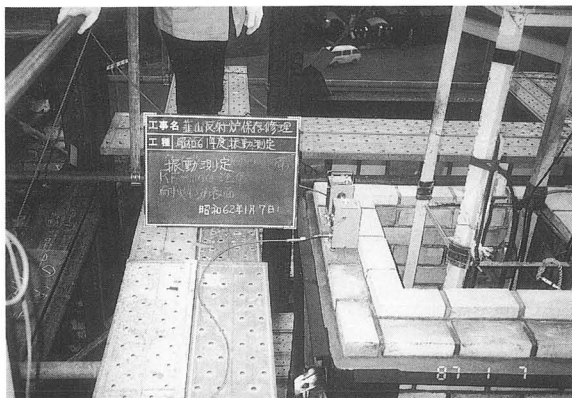


写真-121 振動計の設置 (煙突上部)

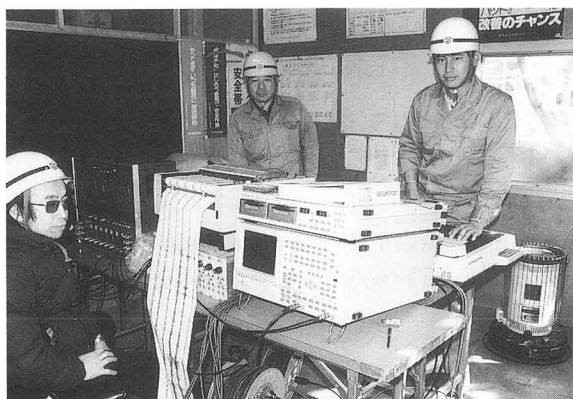


写真-122 測定状況

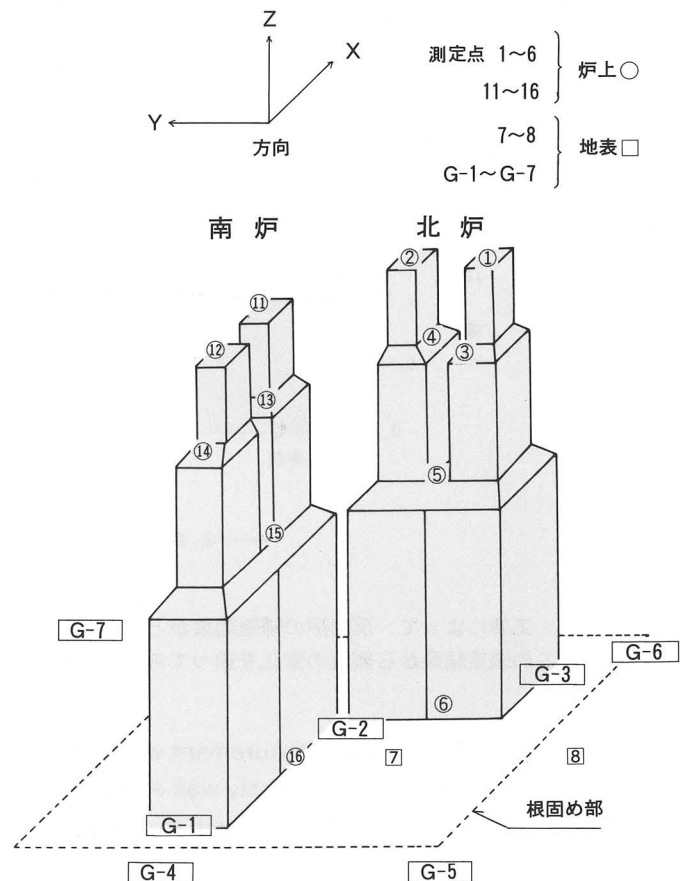


図-50 常時微動測定点

ない主に固有振動数を求めて、修理前、修理後の振動特性の変化を調査・評価しようというのが今回の目的である。

測定方法は、高感度振動計を図50に示すような反射炉の煙突部、基礎部及び地盤上の数カ所に設置し、この振動計（固有周期1秒）でとらえた振動を増幅器を通してペンレコーダー及びスペクトルアナライザーによりモニターしながらデータレコーダーに記録させた。次いで、特定の外部振動源の影響を直接に強く受けていないと思われる部分をデジタル変換した後に、収録した微動波形をフィルター処理し、波形解析（周波数解析）を行った。期間が数年間に及んだため、計測器にはその時により若干の変更があったが、測定機器の基本構成は統一するように努めた。測定機器の構成を図51に示す。

(2) 測定結果

測定は、修理前、工事中、修理後として次のとおり5回に分けて行った。

1回目／昭和56年度：保存修理工事前の振動特性の確認

2回目／昭和60年度：基礎部及び炉体注入補強工事の確認

3回目／昭和61年度：北炉全体の補強工事効果の確認

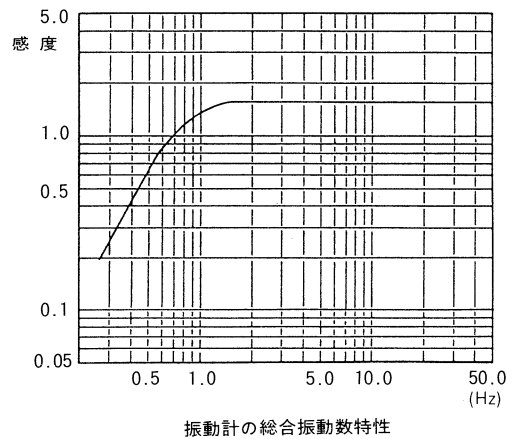
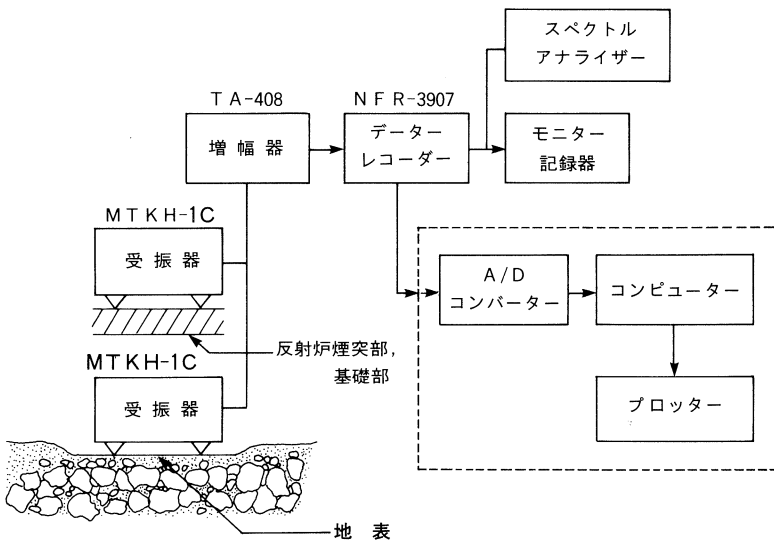
4回目／昭和62年度：南炉全体の補強工事効果の確認

5回目／昭和62,63年度：総合測定解析

測定時間は、昼間では観光客や周辺道路の車の往来が激しいので、それらの影響を可能な限り避けるため周辺が静かな夜間又は早朝に実施した。基本的な測定点は、反射炉とその周辺地盤上で同一地点となるようにした。計測は、記録器の制限内で多点同時測定を行った。

a 波形解析結果

測定波形の1例を図52,53に示す。波形上は、数秒の長周期の波と1秒以下の短周期の波が重なっている。長周波は、波浪等が主な原因と考えられている脈動と呼ばれるもので、気象条件などによって影響される。この調査では1秒以下の短周波領域を解析・評価の対象とした。波形を概観すると次のような特徴



<p>受振器 形式：MTKH-1C(水平成分用) MTKV-1C(上下成分用) 固有周期：1 sec 周波数特性：1~70 Hzで平坦 感度：5.25 V/Kine</p>	<p>データレコーダー 形式：NFR-3907 記録再生方式：FM 周波数特性：DC~500Hz(テープ速度 3.8cm/sec) S/N比：48 dB フラッタ：0.25%以下(テープ速度 3.8cm/sec)</p>
<p>増幅器 形式：TA-408 チャンネル数：8 ch 特性：変位および速度 利得：0~68 dB 校正装置：内蔵発振器による電氣的校正 フィルター：有</p>	<p>モニター記録器(ペンレコーダー) 形式：RECTI-HORIZ-8K(6チャンネル)</p>

図-51 測定機器の構成

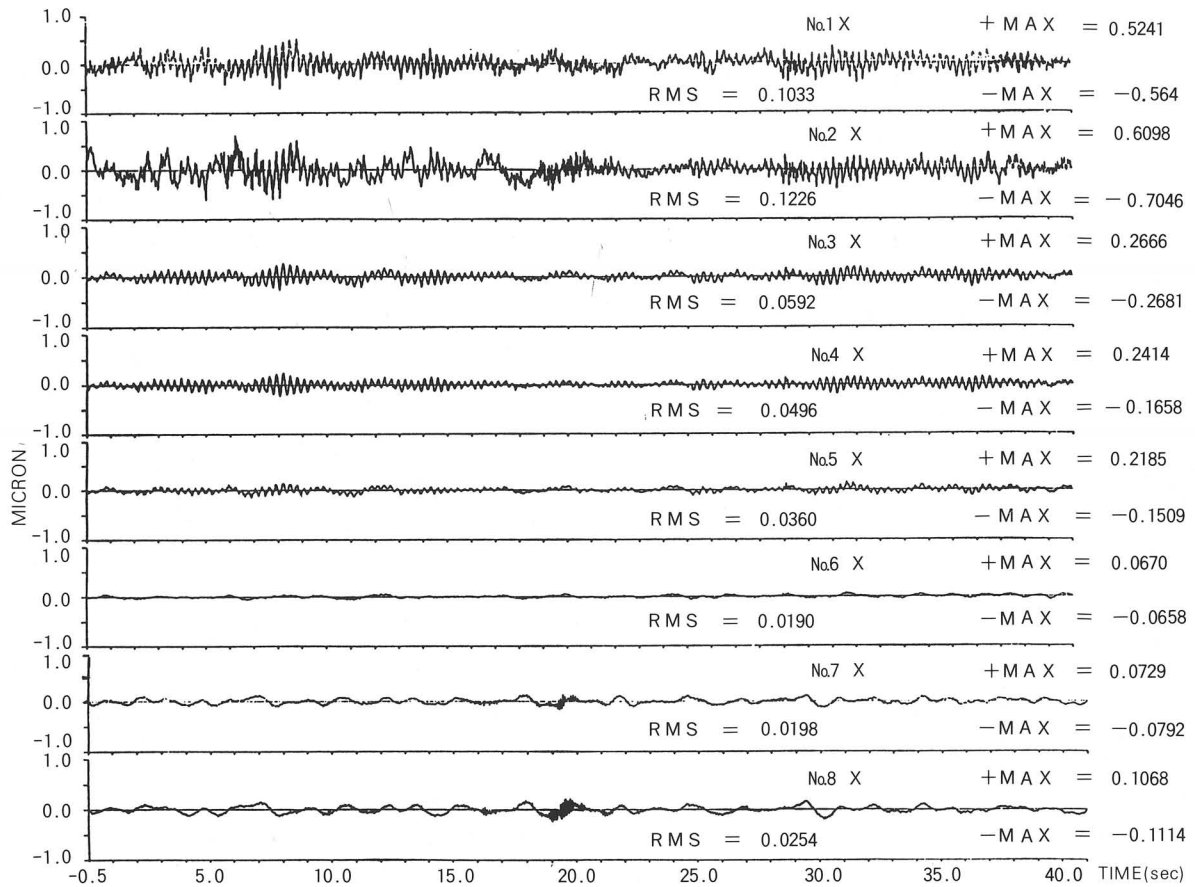


図-52 測定波形例 (No.1~No.8 X方向 同時測定)

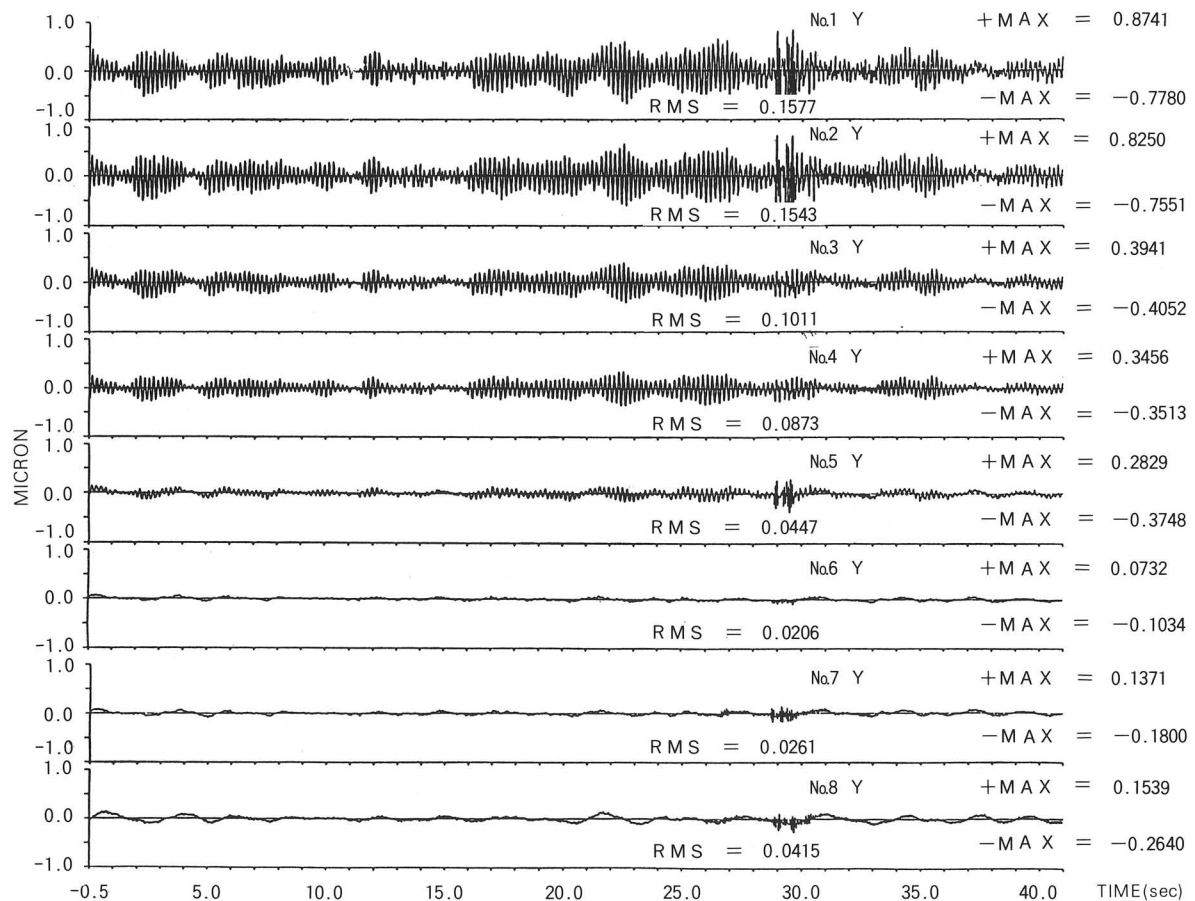


図-53 測定波形例 (No.1~No.8 Y方向 同時測定)

が認められる。短辺方向、長辺方向とも炉体の上部での波形は同じ周期の波が連続し調和振動的であり、その振幅は紡錘形の包絡線を示している。見かけ上の振動周期を見ると、短辺方向の周期が長く、長辺方向の周期が短い。波形は、全体的には調和振動的であるが、部分的に短周期の波の重なりが見られるところがある。振幅は炉体の下部になるほど小さくなり、波形も不規則になっている。

b 固有振動数、減衰定数

波形解析から固有振動数を求め、その振動数での振動減衰定数を求めた。固有振動数を表30、振動減衰定数を表31に示す。

剛性増加率は、次のように評価した。構造物を集中質量とバネで構成される1質点系でモデル化するとその固有振動数はバネと質量の比の平方に比例する。補強鉄骨フレームの差し替え、部材断面の増強及び炉体の空隙、亀裂への充填注入などの補強工事によって増加する反射炉の質量は、それ自体の質量と比較すればほとんど無視できるから、剛性の変化は、表32に示すように固有振動数の比の二乗に比例する

と判断できる。

このように評価すると今回の工事による炉体の剛性は修理前に比較し、X方向、Y方向両方向共大幅に剛性が向上したと判断できる。北炉、南炉共に補強工事前、工事後の振動特性は、よく似た性状を示している。振動数は短辺方向と長辺方向で違いはあるが、これは断面形状の違い等を反映しており、補強工事による振動数の増加率、即ち剛性の増加率は、両方向ともほぼ同じである。今回の工事により、煙突内部の亀裂空隙部の充填及び鉄骨ブレースの交換による補強効果が現われていると判断される。

また、基本振動数付近を狭帯域のバンドパスフィルター処理をした後のパワースペクトルのフーリエ逆変換による自己相関関数を用いて振動減衰定数を評価してみた。減衰定数は、補強工事前と比較すると小さな値を示している。

表-30 固有振動数 剛性増加率
北 炉

時期	長 辺 方 向			短 辺 方 向		
	振動数 (Hz)	振動数 比	剛性増加率 (%)	振動数 (Hz)	振動数 比	剛性増加率 (%)
補強工事前	3.30	1.00	1.00	2.20	1.00	1.00
基礎補強後	3.51	1.06	1.13	2.34	1.06	1.13
補強工事後	5.06	1.53	2.35	3.44	1.56	2.44

南 炉

時期	長 辺 方 向			短 辺 方 向		
	振動数 (Hz)	振動数 比	剛性増加率 (%)	振動数 (Hz)	振動数 比	剛性増加率 (%)
補強工事前	3.40	1.00	1.00	2.20	1.00	1.00
基礎補強後	3.50	1.03	1.06	2.25	1.02	1.05
補強工事後	5.32	1.56	2.45	3.35	1.52	2.32

表-31 減衰定数の変化

時期	北 の 炉		南 の 炉	
	長 辺 方 向	短 辺 方 向	長 辺 方 向	短 辺 方 向
補強工事前	4.50%	3.1%	2 %	2.2 %
補強工事後	1.16%	1.02%	0.98%	1.02%

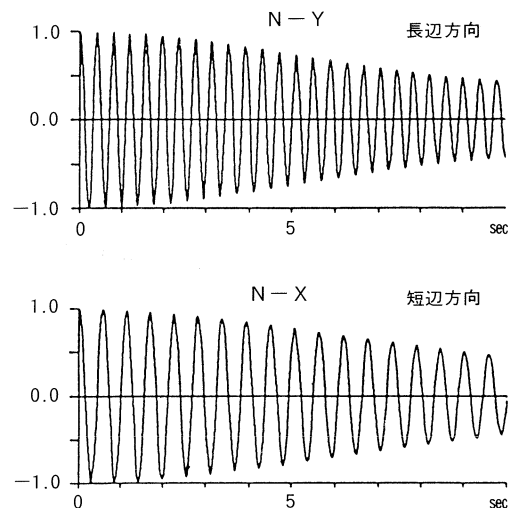
表-32 剛性の変化式

補強工事前の質量： M_0
 補強工事前の剛性： K_0 補強工事後の剛性： K_1
 補強工事による増加質量： m_1
 とすると
 補強前の固有振動数 f_0 は 補強後の固有振動数 f_1 は

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{M_0}{K_0}}$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{M_0 + m_1}{K_1}}$$
 ここで
 $m_1 \ll M_0$ であるから
$$\frac{K_1}{K_0} = \left(\frac{f_1}{f_0}\right)^2$$

自己相関関数波形



c 考察

保存修理工事前の振動特性

反射炉には、煙突部に主として昭和5年(1930年)の北伊豆地震によると考えられる亀裂が発生している。昭和32年の保存工事では、この亀裂はそのままにして、内側に木枠を組み細砂で木枠と内壁面の間を埋めてあった。

波形解析結果から判断した固有振動数でみる限り2基ある反射炉の差はみられない。長辺方向と短辺方向では、長辺方向の振動数が高くなっている。内壁面の亀裂(後述、図89,90参照)との相関をみると、短辺方向に亀裂の発達が著しい。そのために長辺方向の振動数が高くなっているものと思われる。

補強工事前の減衰常数は長辺方向、短辺方向共に北炉の方が南炉より大きな値を示している。この傾向は、北伊豆地震の際、北炉の頂部が落下するなど破損が南炉より著しかったことや炉体内部調査でも北炉の方の亀裂の程度が著しかった傾向と一致している。

基礎部補強工事後の振動特性

昭和60年度には、基礎部分の補強工事を実施した。反射炉の基礎は、松杭の上に玉石を置き伊豆石(凝灰岩)を積み上げてあり、昭和32年の補強工事で基礎部の一部をコンクリートで巻いてあった。今回の補強では、更に転倒防止を目的としたコンクリートの増し打ちと共にアースアンカーにより固定度を増加させ、更に炉体伊豆石間に生じている亀裂や空隙を無機質の充填材で埋めるようにした。この基礎部の補強が完了した時点で振動測定を行った。

測定点は、工事対象が基礎部周辺であるため、振動計の設置が炉の頂部では困難であったので修理前の測定点より少なくした。

周波数解析結果から得られた固有振動数を基礎部の補強前と比較すると若干振動数が高くなっている。これは補強工事によって基礎廻りの固定度が向上し、炉体下部の剛性強度を増したことを反映したものと判断できるが、各々の関与程度を今回の計測点の配置では分離することはできない。炉の振動特性はむしろ上部の特性に大きく影響される。

補強工事終了後の振動特性

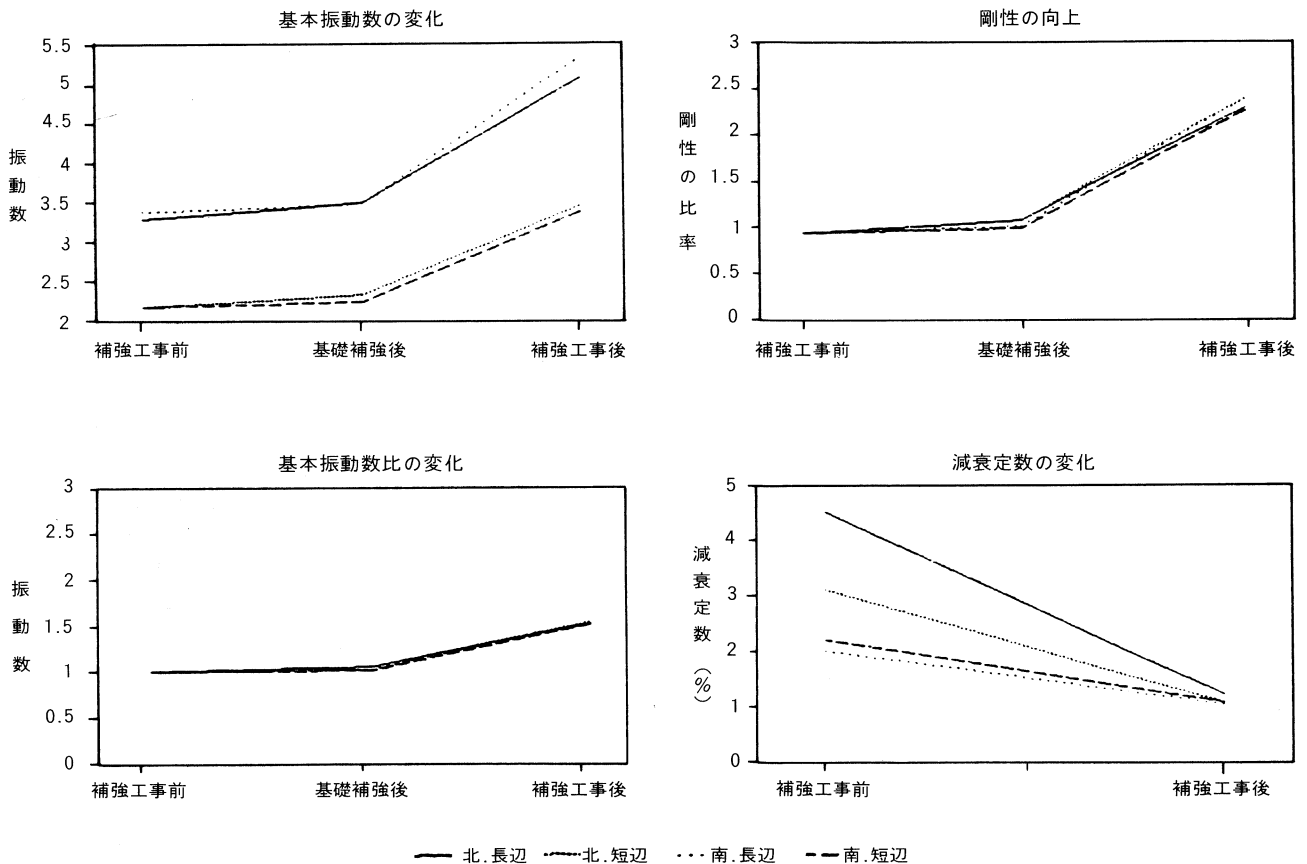


図-54 反射炉振動特性の変化

補強工事終了後の振動特性の測定は、北、南の各炉の工事終了後に行ったが更に、工事用の仮設鉄骨フレームなどをすべて撤去した後に全体的な最終測定を改めて行った。ここでは最終の測定の解析結果に基づいてそれまでの測定結果との比較を行った。

①固有振動数の比較

図54は補強工事前、基礎部の補強工事後、炉体の補強工事後の基本振動数の変化を示したものである。反射炉の基本振動数は、補強工事の各ステップ毎に振動数が高くなっていることが明瞭で、補強工事前と工事後の振動数の比から反射炉の全体的な剛性は各々約2.4倍に増加したと判断できる。

②振動減衰特性の比較

図54に振動減衰常数の変化を示す。減衰常数は、基本振動数を中心とするバンドパスフィルター処理をした自己相関関数から求めているが、入力振動をホワイトノイズと考える仮定などの前提や微少な振動領域の現象であることのため数値の詳細な比較をすることは無理があるが以下のような傾向を指摘することが出来る。補強工事終了後の振動減衰常数

は、北炉、南炉共にほぼ等しく1%程度になっている。基本振動数もほとんど差がなくなっているから2基の反射炉の振動特性はほぼ等しくなったと考えることが出来よう。減衰常数の工事前後の変化は、北炉の方が南炉よりも著しい。振動の減衰特性の要因は複雑であるが構造体が劣化したり亀裂や空隙が多くなれば減衰量は一般に増加することが知られている。減衰常数の変化程度から北炉の方が南炉に比較して亀裂や空隙が多かったと推定が可能である。このことは、注入した充填材の量が煙突部については南炉が若干少なかったとの報告と一致している。

③基礎周辺のロッキング振動

反射炉の基礎部は、転倒防止を目的としたRC基礎の増し打ちやアースアンカーによる基盤安山岩への定着などによって固定度が強化されている。補強後の基礎部の動的挙動を確認する意味で基礎上及び地盤上に上下動振動計を配置して計測を行った。基礎上の各測定点間や基礎上と地盤上の測定点とのスペクトル比からは、ロッキング振動特性を示すスペクトルのピークや位相差を見いだすことはできなかつ

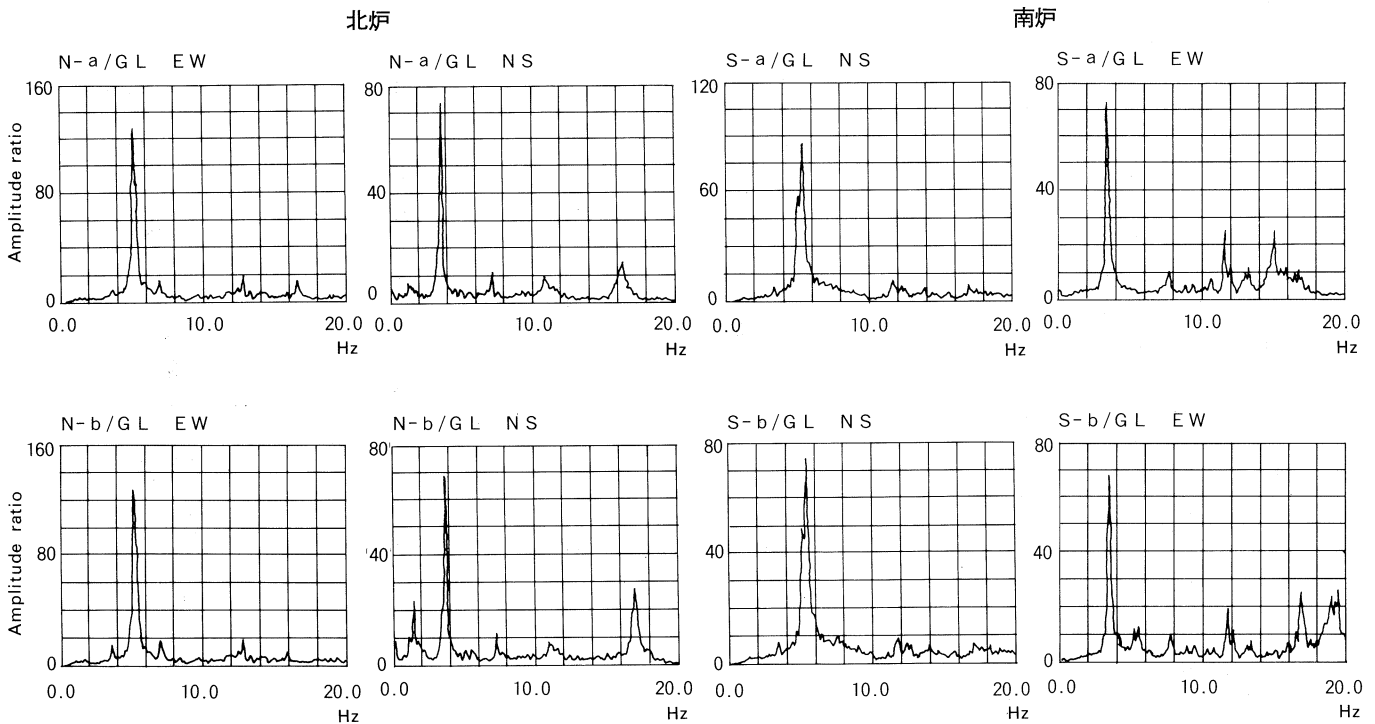


図-55 波形解析結果例(スペクトル比：反射炉の頂部/地盤上)

た。微細な振動測定結果のみから結論付けることは出来ないが、基礎部の固定度はかなり良好であると推定される。

以上検討比較した基本振動特性については、北炉、南炉に顕著な差異は認められなかったが、高次振動特性には若干の差がみられた。補強工事後の煙突頂部のスペクトルを図55として示す。南炉の場合は、高次の振動数を示すピークが明瞭に認められるが北炉の場合は、短辺方向にみられるもののピーク高さは低く、長辺方向では高次振動を示すピークは現状では判定できない。

不確定な振動源から伝播してきている不規則振動である微動測定による振動特性の検討には、ある種の限界はあるものの注意深い計測と測定対象に関する資料収集を行えばかなりの検討が期待出来る。とりわけ今回のような調査対象が文化財の場合は、加力試験などを行えないから微動測定は有効な方法である。

(3) 振動モデルによる応答解析検討

反射炉の多質点の振動モデル化による動的解析を

行い振動測定から得られた特性との比較を試みた後、そのモデル（図56）による耐震性の評価を試みた。

振動モデルは、耐震補強設計で設定されたモデルをまず採用した。ただし、比較する実測結果が微細振動領域であることや測定結果から判断し、基礎の条件は固定と見なした。また、モデル振動系の剛性は微細振動領域であることを配慮して初期剛性を考える。

当初のモデルの固有振動数は、振動方向による差は余りなく測定結果から得られた値の中間的な数値となった。(測定値=3.6~5.3Hz, 振動モデル=4.5Hz) この点で当初の耐震補強計画に際しての振動モデル化は、不確定要素の多いこの種の構造物に対して概ね適正であったと考えられる。しかしながら、モデルの固有振動数は、振動方向による差がほとんどないのに対し測定結果では約1.5倍の違いがある。

振動方向による違いは補強工事前からあり、補強鉄骨フレームの剛性には方向による差はほとんどないと考えられるため恐らく煉瓦や伊豆石の積み方などによる剛性の異方特性を反映しているのではない

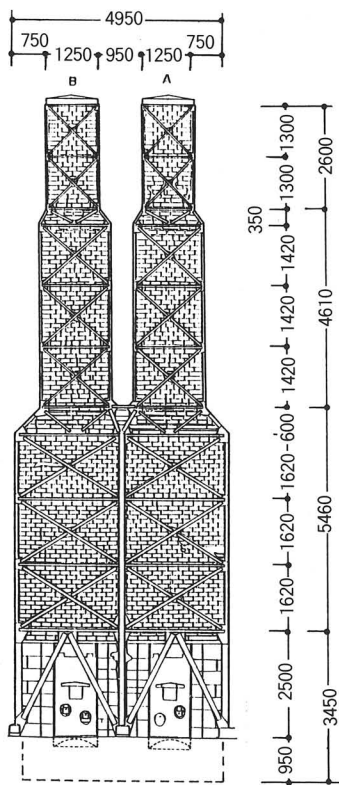


図-56 振動解析モデル(補強設計モデル)

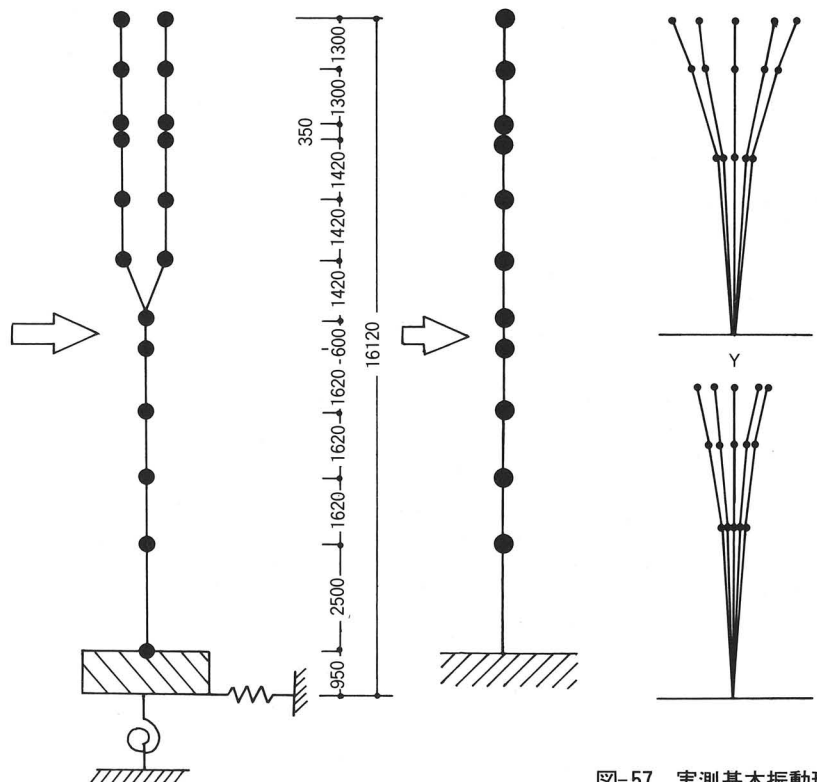


図-57 実測基本振動形

かとまず考えられる。しかし、振動数の比がそのまま剛性の差を表しているとするとは剛性の違いは2倍強となり、材料、工法による異方性として考えるには差がやや大きい。過去の地震などで生じた亀裂が振動数の低い短辺方向に著しいことと関係しているように思われる。

亀裂は、充填材で修復されているが、応力の集中を避けるために煉瓦などより剛性の低い材料を用いている。亀裂は、煙突の上部から下部までその幅に差はあるものの連続的に続いている。モデル化を行うときこのことは考慮されていない。

実測結果をベースとする振動モデル化、応答解析を行い補強設計の場合と比較してみる。振動測定結果の固有振動数と振動モードから等価なせん断バネ定数を求めた。質点数は設計モデルと同じとし、変形の分布は測定波形のスペクトル比（1次振動数）を滑らかな線で結んで与えた。

微細振動測定結果から求められた剛性は、地震時などの大振幅振動の場合よりも大きくなることから知られており、そのままの数値を用いて応答解析を行

うことには問題があるから弾性応答解析による設計モデルとの相対比較を試みた。用いた地震波はEL CENTRO1964 NSである。長辺方向については余り差はないが、短辺方向では実測に基づく応答値が幾分大きくなっているが、それほど著しくない。

以上の振動モデルと実測結果との比較から補強計画は妥当なものであり、工事の施工は適正に行われたと考えられる。従って、補強後の反射炉は概ね当初に計画された耐震性能を有しているといえよう。

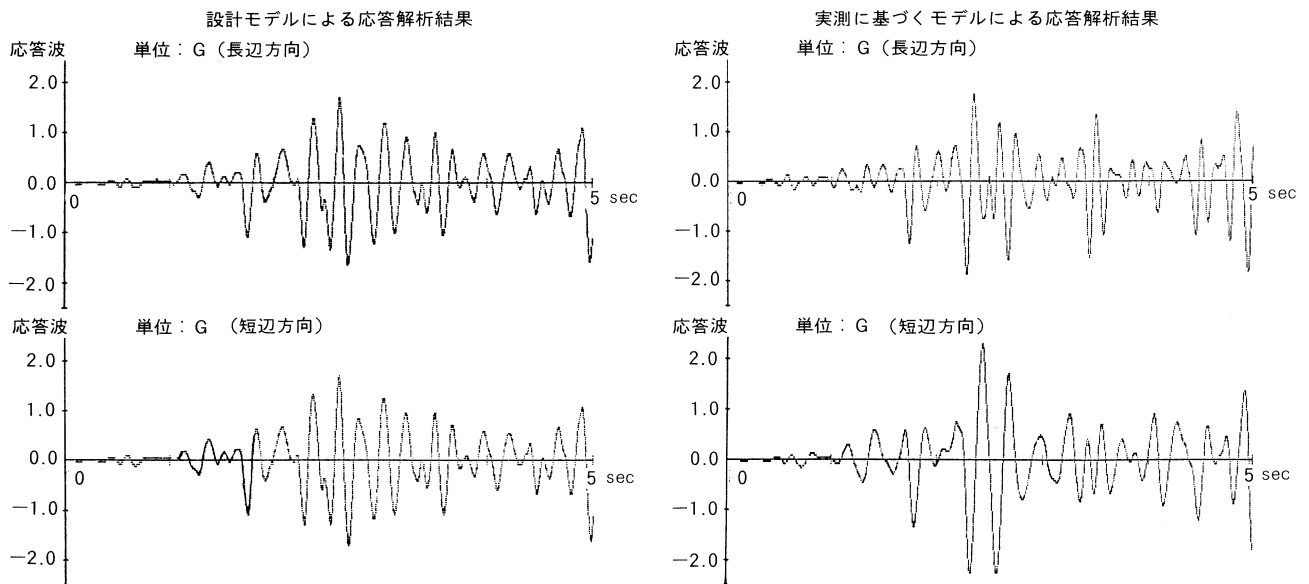


図-58 応答解析結果例 (注)

表-33 補強設計動的解析モデルと振動測定結果の比較

		動的解析モデル	振動測定結果
1次振動数	長辺方向	4.50Hz	5.06~5.32Hz
	短辺方向	4.48Hz	3.35~3.44Hz
応答解析 (最大加速度)	長辺方向	1676gal	1720gal
	短辺方向	1684gal	2235gal

(注) 応答解析の比較は設計モデルと実測に基づくモデルとの比較。
 応答解析の入力地震動は EL CENTRO 1940 NS。
 応答値は反射炉の頂部。

2. 維持管理方法

本保存修理工事にあたり、耐久年数については当初より現在の技術に於いて可能な最大に近い耐用年数を目標として、各種材料の選定に当たった。例えば、耐用上致命欠陥となる補強鉄骨の錆び腐食については、50年間を目標に設定をし、溶融亜鉛メッキに現代の塗料では最高の耐久性を誇るフッ素樹脂塗料を施工し、重防食の仕様を採用した。

しかし、フッ素樹脂塗料といえども自ずと寿命がある。今までの一般塗装（環境にもよるが）が、5～7年でチョウキング又は剥離が発生すると言われていたが、本工事で用いたフッ素系塗装は10～15年は耐久すると評価されている。平素のメンテナンスを行うことで耐久目標50年の鉄骨が70年耐久することになれば、1年間単位の総コスト〔(投資コスト+保全に掛かったコスト) / 耐用年数〕は安価になる筈である。大補修に至る前に、小さな欠陥のうちに計画的なメンテナンスをすることがいかに有利であるか、今までの経験上からも言える。

なお、この他に煉瓦（特に今回差し替え分以外）、軟質岩の伊豆石等今回手当をしたもののメンテナンスの継続がどうしても必要なものがある。各部位別のメンテナンスの方法及び周期を表34に示す。

補強鉄骨については300gal程度の地震波入力に対しても耐震性を保有する様設計されているが、主要本体である煉瓦部分はこの鉄骨に持たせ掛けている。この煉瓦部分は今回の工事で煉瓦目地内部空隙部にセメントスラリーを充填し、剛性は以前に増してはるかに増大していることは、非破壊検査に於いて確認されているものの現在の技術では、鉄骨補強と煉瓦の相互関係が、残念ながら解明できていない。ただし、上記程度の地震で崩壊は考えられないが、煉瓦の部分的な小さな故障の可能性は皆無とは言いきれない。従って、今後地震波入力で100gal（気象庁震度階IV；中震）程度の地震があった場合、目視点検（外部、内部）を行い、対策の要否の確認を行うよう留意し小さな欠陥が次の地震の大きな欠陥原因とならないよう管理にあたる必要がある。

表-34 維持保全計画

点検箇所	点検周期及び点検方法
補強鉄骨	鉄骨は常時風雨に濡され、鋼材としては不利な条件下にある。溶融亜鉛メッキの上にエポキシ樹脂系下塗り、及びフッ素樹脂系中塗り及び上塗りを施してあるが、竣工後10年目に点検の上、劣化が認められる部分については、ケレンを行い、中塗りのタッチアップをし、その上で全面的な上塗りを行う。その後は5年目毎に点検及びメンテナンス塗装を行うことが望ましい。
外壁煉瓦	外壁煉瓦は新旧の煉瓦が混在する。旧煉瓦は健全に近いものが残ったとはいえ、嘉永以来の経年をし、その時代の煉瓦は焼きが甘く、強度が低い。今回の工事で無機材による表面固化を計っているが、これも数年経年後冬季に雨水による吸水をすると凍結融解を繰り返し、表面から風化し剥離しだすことになる。これを阻止するには竣工後5年目位から一般的なシリコン樹脂系撥水剤なら3年毎、高級なもので5年周期程度にメンテナンスを行うようにしたい。これにより目地モルタルからの侵入水も或程度防げ内壁煉瓦への影響度も少なく済む。尚、煉瓦又は目地部へ寄生する雑草類は見つけ次第に除去すべきで、根の侵入は意外に深く風化を早めることとなる。
外壁伊豆石	このメンテナンスは煉瓦に準ずるが、伊豆石の風化をどうにか表面から固化している現状にあり、地表から近くメンテナンスもし易い位置にあるので撥水処理を早期に行う様期待する。
炉頂部の防水	この部分はエポキシ系塗膜防水を施してあるが、竣工後10年を経過した時点で点検を行い、下部その他に水が廻った形跡があれば防水の部分補修又は更新が必要である。
外に面する鉄部	投入口、湯口の鋼板、同まぐさ鋼板等は赤錆が出る状況は避けたいといけない。その気配があれば早期にケレンを行い、フッ素塗装に準ずる防錆対策を行う。
内部全般	年に2回程度は目視による点検が望ましい。若しも、どこからか水が廻っている形跡があるときは、速やかに水の侵入部位をつきとめ、止水処理を行う必要がある。
柵及びサイン工事の不銹鋼（コールテン鋼）	安定錆（黒錆）処理としてプレパレン処理をしてあるが、この処理剤と本当の黒錆との交代時期（1～5年位）に部分的に安定錆となりきれない部分が出来ることがある。特に人が触れる部位については、参観者への衣服の汚れの問題があり注意を要す。この様なところは再度プレパレン処理でタッチアップを行う。

第6章 調査事項

表-35 調査内容

	調査事項	調査設計期間	工事期間	6章記載項
層別	敷地	基準点設置 平面測量	敷地境界高低測量	配置図 (別図2.19)
	地盤	ボーリング, 標準貫入 土質標本, 室内土質, 弾性波, 平板載荷, 常時 微動	土質目視	2.1
	基礎地業	北A炉, 湯口側 部分実測	湯口側, 下焚口, 炉体, 基礎実測	2.2
	炉体部	実測(立面, 平面, 断面) 老朽調査	炉体上部, コアボーリ ング, 天端解体調査	2.3
	煙突部	実測(立面) 老朽調査	南炉最上部解体調査	2.4
	鑄台	—————	鑄台調査	3
	材料	煉瓦	形状, 外観, 風化損傷, 原料粘土の調査 耐火煉瓦及び粘土の 分析, 目地材	外観調査
鉄		実測	成分分析 鑄造法の考察	4.2
石		産地 物性	外観	4.3
漆喰		外観	構法, 成分分析	4.4

文献-29~37

The survey in this chapter shows the structure and the materials of the Furnace at the time of operation. Regarding the structure, the explanations are given in the order of ground, foundations, furnace bodies, chimneys; as for materials, bricks, iron, stone, and plaster.

第6章 調査事項

1. 概 要

蕪山反射炉は、炉の構造とその操業の跡を詳しく目でみることができる世界で唯一の遺構である。

昭和55年度から昭和59年度までの5ヵ年の調査、設計期間及び、昭和60年度から昭和63年度までの4年間の工事期間を通して、蕪山反射炉に関する様々な調査を行った。前半の5年間は、主として設計用及び記録保存用の資料作成を目的とし、後半の5年間は、前半を補足しながら全体的な反射炉の構造解明をめざした。

創建当時の反射炉の構造は、推定を含めまとめると図59のとおりで、各部の名称及び機能は表36のとおりである。今までの一般名称（既設の説明板に書かれていた名称、この報告書も文中はこの名称を採用している）、当時の翻訳本等の資料（鉄焔鑄鑑、反射炉目論見帳）による名称、学術的（窯炉、鑄物、

製鉄）な名称は必ずしも一致していない。今後、名称を統一すべきで、推奨する名称を表36に太字で示した。なお、新しい案内板にはこの推奨名称を採用した。

この章で今までの調査結果を次の視点から、総合的にまとめた。

- 層別による視点……………下位より順次、地盤、基礎、炉体、煙突の4つのブロックに大別し、主に記録類との対比、構造（外観、形状、寸法、構法）、使用材料、劣化状況、特異点をまとめた。

- 材料別による視点……………蕪山反射炉に使用されている主な材料（煉瓦、鉄、石、漆喰）について物性、形状等をまとめた。

- 考察……………蕪山反射炉の構造解明を基に新しい視点として「原書（大砲鑄造法）、翻訳本との比較」、「鑄造方法」及び「各炉の差異」について考察を試みた。

表-36 各部の名称及び用途 (文献-6,7,38,39,別添資料3より)

今までの名称	資料による名称	一般名称	用途
煙 突 煙突内部	煙 窓	煙 突 煙 道	炉内の煙を外部に拡散させるもの。浮力により自然送風を可能にする。
炉 内	火室, 焚所	燃烧室, 溶解室	金属を溶解するところ。
————	柵, 堰	火 橋	燃烧室と溶解室を区切る煉瓦積みの仕切り。
————	岬, 嘴	————	煙突入口をしぼりこみ、熱がにげないようにするところ。
ロストル	鉄 網 孔	火 格 子	燃料を置くところ。2本の鉄桁の上に敷かれる。
下 焚 口	焚所風入口 灰 孔	送 風 口 灰 穴	炉内への送風口と共に、下部は灰を落とすところ。この部分はピットになっていた。
炉 下	————	炉 下	炉床煉瓦に発生した水蒸気を拡散させ、地面からの湿気を遮断するところ。
炉 床	————	炉 床	溶解した金属が溜まる場所。
湯 口	注孔, 栓孔	出 湯 口 出 滓 口	溶解した金属が流れ出すところ。溶解した鉄の上部に浮くスラグ等を取り出すところ。また、予備用の出湯口ともなった。
覗 窓	小孔, 方孔	鉄湯酌取口	溶解した鉄をここからかき混ぜ、熟度を一定にするところ。また、小器で鉄湯を酌取るのに利用するところ。
上焚口, 焚口	点 火 孔	燃 料 口	燃料（石炭、木炭）を入れるところ。
鑄 口	方窓, 大孔	装 入 口	溶解させる金属を入れるところ。
鑄 台	シャチ台, 鑄孔	————	鑄型を置くところ。

備考：今までの名称（今まで説明板に書かれた名称、この報告書も文中はこの名称を採用している）。
資料による名称（翻訳本、目論見帖による）。 一般名称（窯炉関係の名称）。

資料-11 葦山反射炉の構造

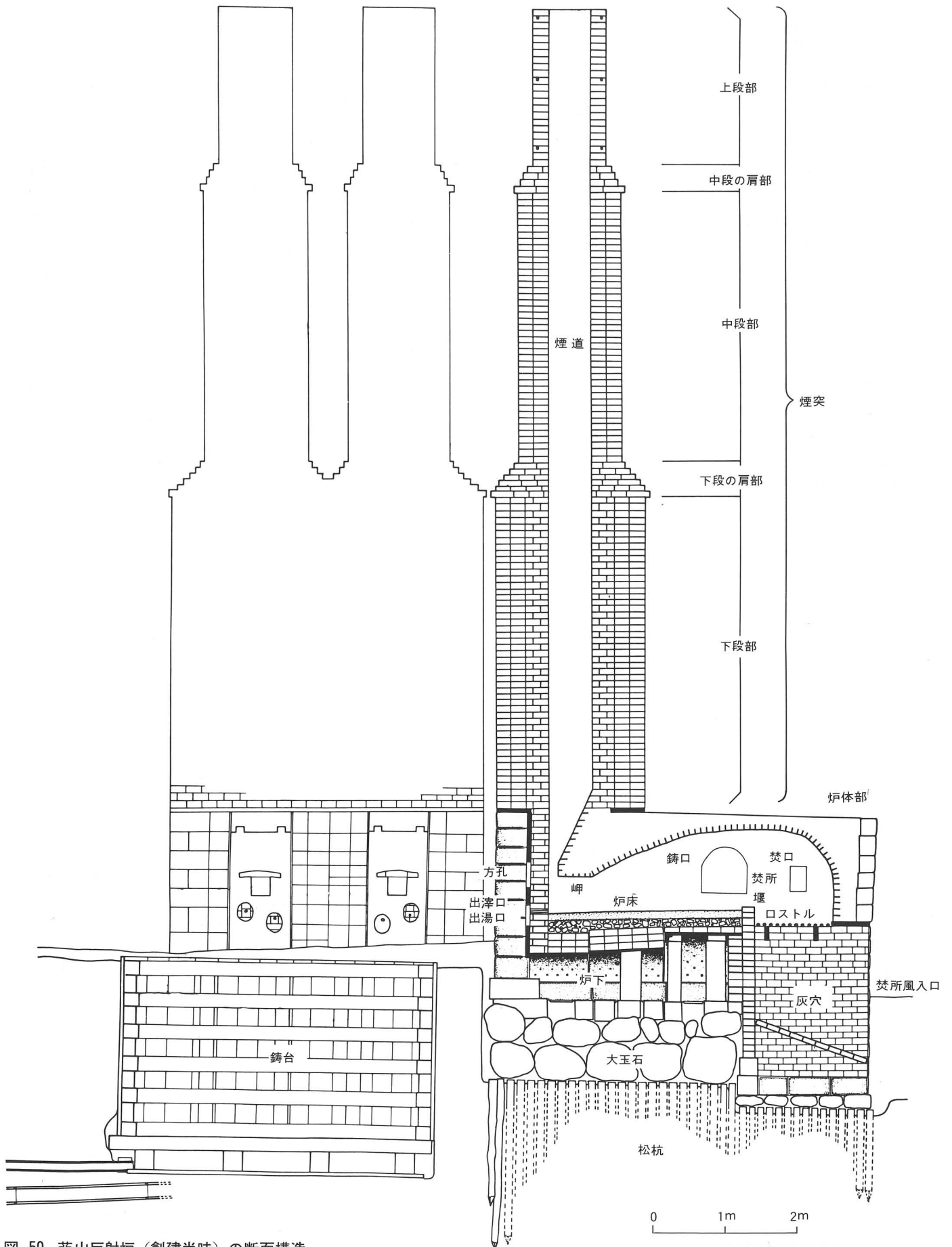


図-59 葦山反射炉（創建当時）の断面構造

2. 層別調査

2.1 地盤

地盤調査は、主として耐震補強における基礎設計の条件設定を目的として、地表下の地層、土質、地盤の支持力及び地盤の性状について調査した。とくに、構築物の動的応答解析により耐震性を検討するため、弾性波探査による地盤の振動特性、動的地盤剛性を含めて調査した。また、伊豆半島の地震活動についても資料調査を行った。

調査項目、方法及び調査内容は次のとおりで、図60に測定箇所を示す。

- ボーリング調査（図中No.1～3）

目的；土質、地層構成の把握

方法；ロータリー式ボーリング機械による。

- 標準貫入試験

目的；N値（地耐力）の把握

方法；JIS A1219 “トンビ法”による。

貫入回数は延べ55回。

- 土質標本

目的；土質の把握

方法；単一土層当り各1試料を採取し、土質標本とした。

- 室内土質試験

目的；単位体積質量、圧密降伏点応力、一軸圧縮強さ、砂分含有率の把握

方法；No.2, No.3孔について固定ピストン式シンウォールサンプラーを用いて不攪乱試料を4試料採取。この試料について表37の試験を実施。

- 弾性波調査（屈折法）

目的；地層、振動特性の把握

方法；P.S波速度分布を3本の調査測線から求めた。

- 平板載荷試験

目的；支持力の把握

方法；載荷板は300×300mm、図63参照。

- 常時微動測定

目的；動的性質振動特性の把握

方法；第5章1参照。

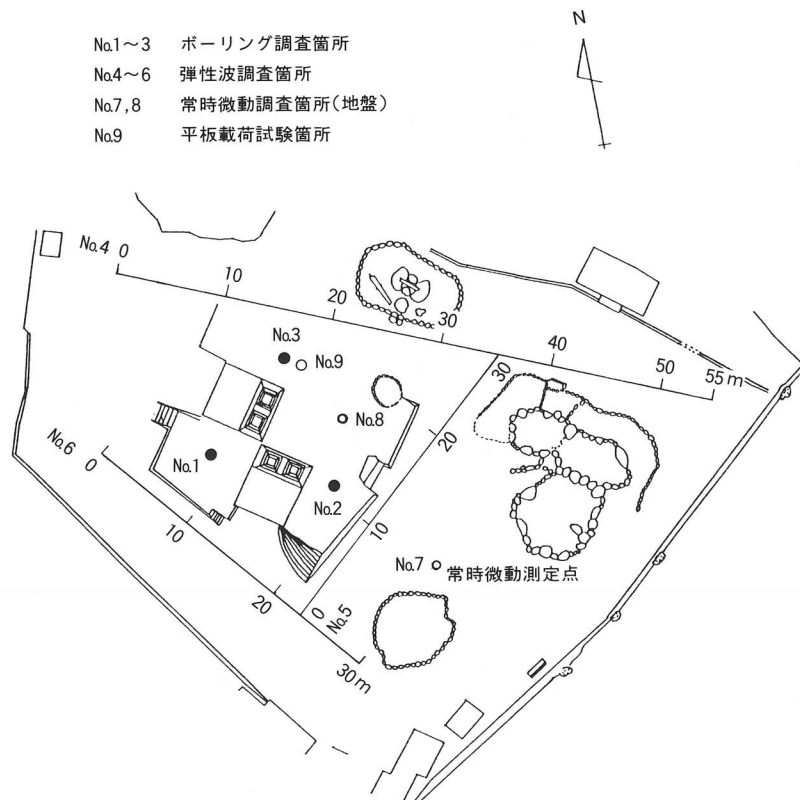


図-60 地盤調査箇所

ボーリングNo.	調査深度	不攪乱試料
No.1	20.09m	0
No.2	20.05m	2
No.3	20.03m	2
計	60.17m	4

表-37 室内土質試験

	試験内容	試験方法
物理試験	土粒子の比重試験	JIS A 1202
	土の含水量試験	JIS A 1203
	土の粒度試験	JIS A 1204
	土の液性限界試験	JIS A 1205
	土の塑性限界試験	JIS A 1206
力学試験	土の湿潤密度試験	ノギス法
	一軸圧縮試験	JIS A 1216
	三軸圧縮試験	UU(非圧密非排水)
	圧密試験	JIS A 1217

(1) 地層・土質

敷地は、伊豆半島の頸部にあたり、富士火山帯に属する第4紀火山の一つである多賀火山の西側に位置している。敷地の西方約1.5kmには狩野川が南より北に向かって流れ、敷地東側脇を流れる古川がこの狩野川に合流している。

伊豆半島の地形は、一般に下位より湯ヶ島層群～白浜層群という層序であるが、その境界は明確でない。伊豆半島新第三系下部を代表する変朽安山岩類、緑色凝灰岩類を一括して湯ヶ島層群としている。又、白浜層群は伊豆半島のほとんど全域にわたって分布し、変質の程度が低いことで湯ヶ島層群のものと別の安山岩質、石英安山岩質火山噴出物を総称したものである。なお、本調査地はボーリング調査結果でも湯ヶ島層群と白浜層群のどちらも判定し難い地域である。

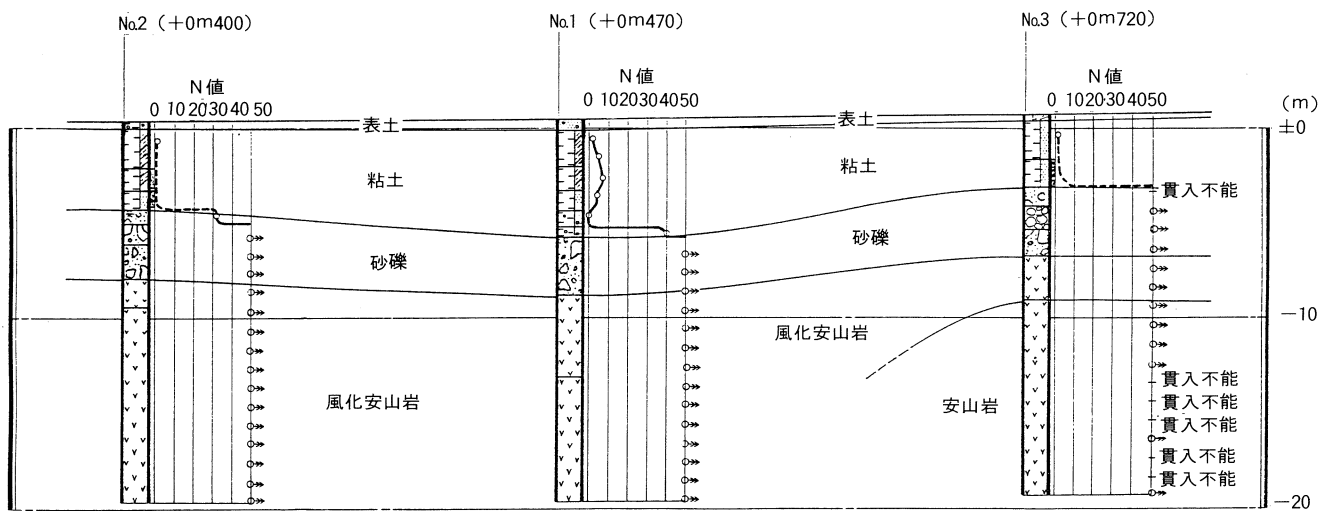
敷地地盤の土層構成及び土質性状の把握を目的として、敷地内の3ヵ所でボーリング調査を行い、各層における標準貫入試験と上部粘土層の室内土質試験を併せて実施した。また、反射炉をとりまくよう

に3本の測線を設け弾性波探査(屈折法)を行った。

a 地層調査結果

これらの結果によると、敷地周辺の基盤は付近の採石場にみられる安山岩でその上部は風化が進んでいる。基盤層までの深さは場所により差がみられるが5～10mである。推定地層構成は、図61のとおりで、ローム質粘土、砂質粘土層が地表より0.4～6.25m、砂礫層が4.7～9.8m、風化安山岩(N値50以上)、安山岩が9.25m以下となっている。地盤は、古川より西の方へゆるやかに傾斜しており、反射炉はその傾斜の始まる付近にある。粘土層は、深さ角16～18度で西南西方向に下降している。ボーリングNo.3地点の9.8mの深さで基盤岩である安山岩が認められたが、他地点はこの安山岩が風化したもので、風化がかなり進んでいると思われる。

当調査地の地下水位を付近の地形及び土層構成より推定するならば砂礫層上部に地下水位が存在し、水位は比較的高くその水量はかなり多量にあると予想される。



粘土層：

この層はローム質粘土、砂質粘土より構成されている。この粘土層はいわゆる富士山や箱根火山、あるいは達磨火山等が活動していたころ噴出した火山灰等が降下堆積したものが粘土化したものである。

砂礫層：

この砂礫層はいわゆる狩野川の支流等で浸食搬入によって形成された段丘

礫層であり、玉石や粘土が混ざる砂礫層である。礫は安山岩質の礫を中心に多孔質の溶岩、あるいは玄武岩質のものから成っている。ボーリング掘進時に孔壁の崩壊が激しく認められ、又、付近の地形及び古川が敷地のそばを流れていることも考えるならば、この砂礫層中には水が流れていることも予想される。

N値は、上層との境界付近を除くと

いずれも50以上を示している。

安山岩及び風化安山岩：

この地層は湯ヶ島層群、浜層群あるいは多賀火山を構成している岩類のいずれに当る地層か、当調査結果からは判定し難い地層である。なお、この風化安山岩及び安山岩の支持力としては安全側として東京礫層程度の支持力と考えられる。

図-61 推定地層構成

b 土質調査結果

砂礫層の上部の粘土層から不攪乱の4試料を採取し、室内土質試験を行った。この結果をまとめると図62のとおりである。

単位体積質量は、1.7 t/m³程度、圧密降伏点応力Pcはほぼ40 t/m²であり、有効土被り圧に対して6～8倍、一軸圧縮強さは粘土層で8～12 t/m²であった。過圧密比が2.3～8.0(平均6.1)で過圧密の状態にある。なお、各土層には、全般的に水の浸透形跡が見られ、砂分含有率も10～25%を示し、試料からは脆い結果を得ている。

(2) 地耐力

ボーリングNo.3の近傍地点で反射炉の支持層である対象土層(粘土層)まで掘削し、図63に示す平板載荷試験により、地耐力度を調査した。試験は最大荷重3.5 tまで実施した。これによると、最大荷重度(=極限荷重度)は、38.9 t/m²で、降伏荷重度は23.4 t/m²で、表37より短期支持力度は27.2 t/m²、長期支持力度は15.5 t/m²となる。なお、土質試験から支持力を求めると、長期許容支持力度は13.9 t/m²、短期許

容支持力度は24.1 t/m²となるが、洪積粘性土を対象としたサンプリング試験では、かなりのバラツキがこりうるため、支持力度は、信頼性の高い平板載荷試験の数値を採用した。

(3) 振動特性

動的地盤振動特性のうち剛性率(G)、ヤング率(E)は砂礫層の場合G=3,990kg/cm²、E=11,500kg/cm²、また風化安山岩ではG=24,700kg/cm²、E=69,500kg/cm²である。

弾性波探査で得られた地盤の振動特性及び、常時微動の周波数解析結果によると両者とも地盤は6～13Hzが卓越する振動特性となっている。

反射炉の近辺では、10Hz前後の振動数が卓越する特性となり地盤上で計測した微動のスペクトル解析結果(解析結果の例を図65に示す)とも対応し、建造物の支持地盤としては第一種地盤に区分され良好な地盤であると判定される。微動測定のスベクトルに認められる低振動数のピークは、海洋の波浪が主な振動源と考えられる脈動と称される現象である。

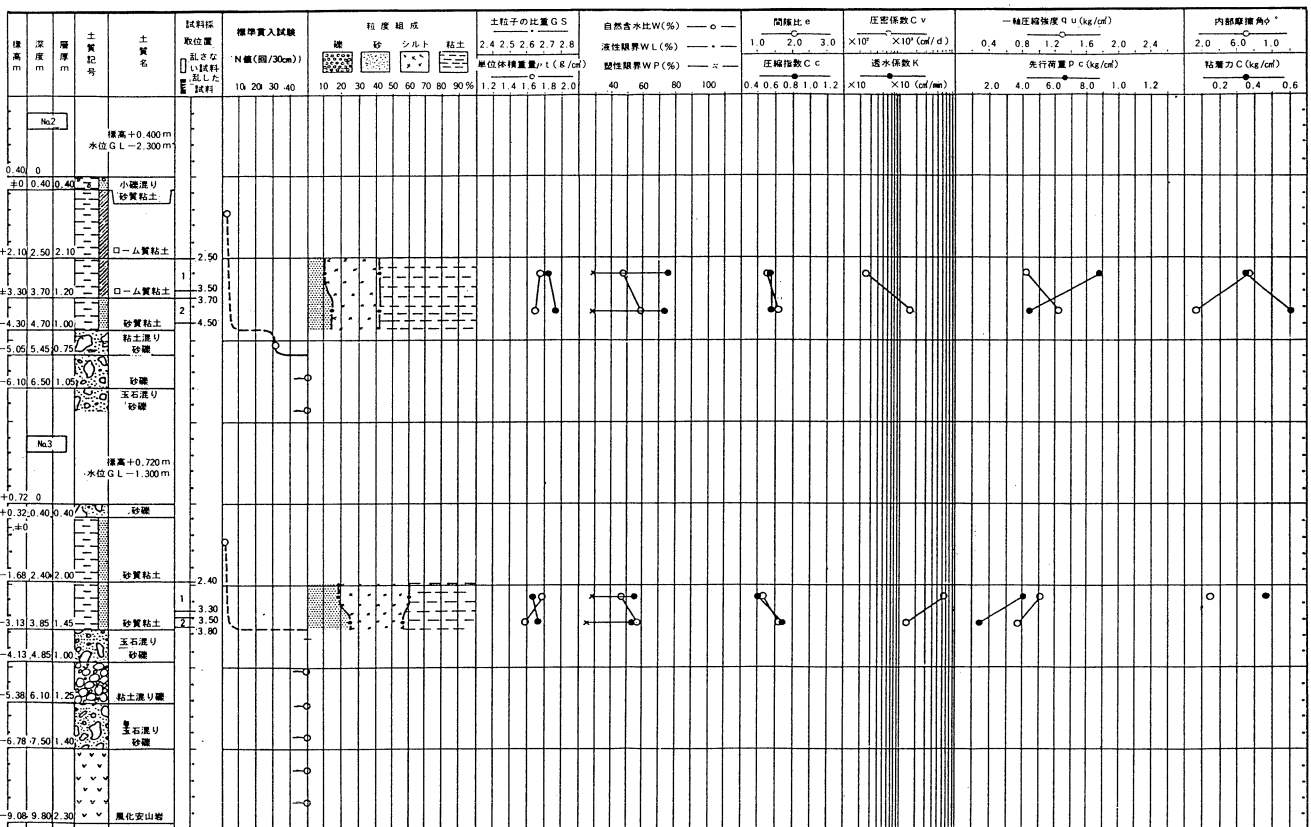


図-62 土質試験結果一覽図

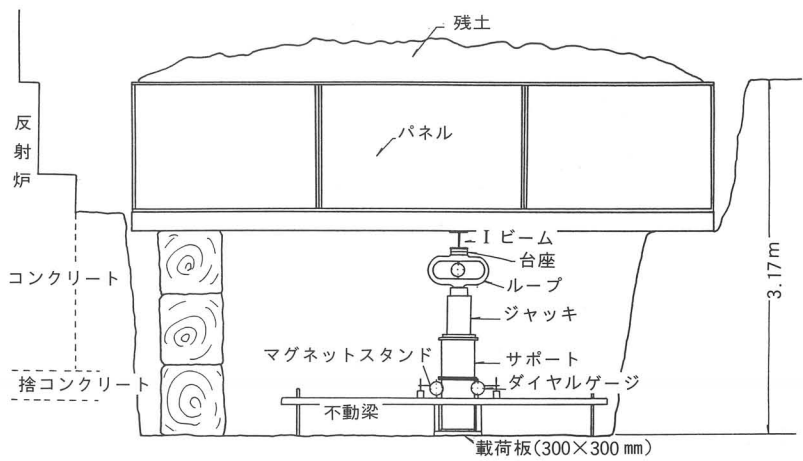


図-63 載荷試験方法

支持応力度算出式

$$q_a = q_t + \frac{1}{3} r_2 \cdot D_f \cdot N_g$$

$$q'_a = 2q_t + \frac{1}{3} r_2 \cdot D_f \cdot N_g$$

q_a : 長期許容支持力度 (t/m^2)

q'_a : 短期許容支持力度 (t/m^2)

q_t : 載荷試験における降伏荷重度の値の1/2, あるいは最大荷重度の1/3のうち, 小なる値 ($11.7 t/m^2$)

r_2 : 基礎荷重面より上方にある地盤の単位体積質量 ($1.71 t/m^3$)

D_f : 基礎に近接した最近地盤面から基礎荷重面までの深さ ($2.2m$)

N_g : 基礎載荷より下方にある地盤の土質によって決まる係数 (3)

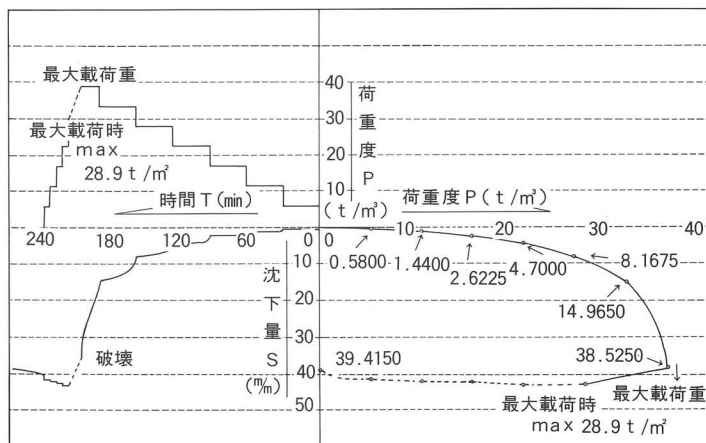
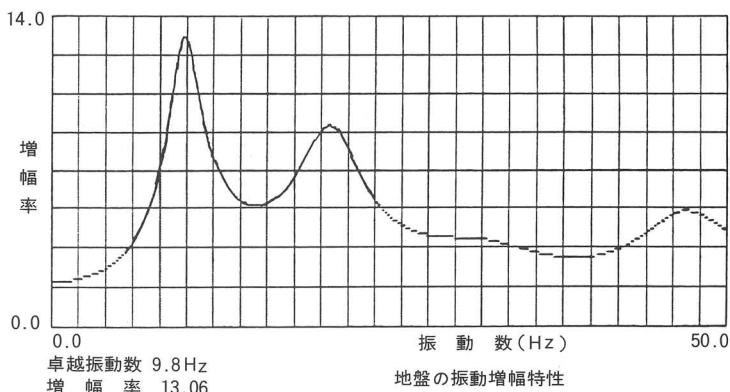
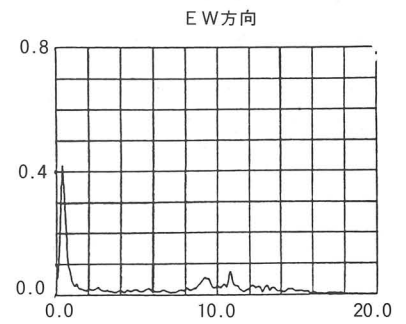
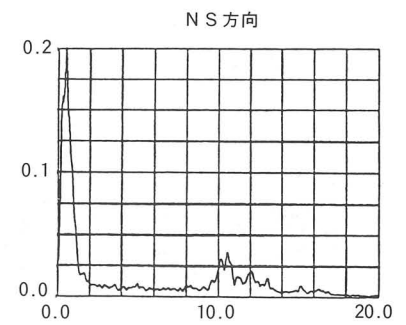


図-64 載荷試験結果



地盤構造の代表的な位置で平行な地盤構造を仮定した重複反射理論による振動増幅率を計算した結果を図65に示す。



地盤上の微動スペクトラムの例

図-65 地盤振動解析結果

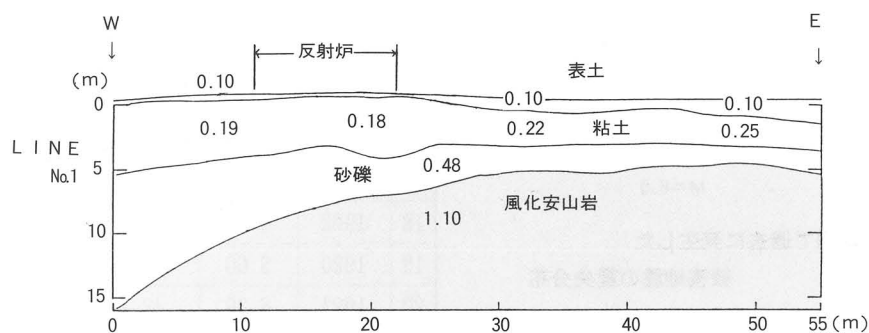


図-66 推定地盤構造 (S波速度構造; km/sec)

(4) 伊豆地方の地震活動(今までの地震による被害調査及び予測)

伊豆地方の地震活動をみると伊豆半島はフィリピン海プレートの境界に当たる駿河-南海トラフと、相模トラフに挟まれている地震活動の活発な地域である。200km以内で発生した被害地震の震央分布を図67に示す。プレート境界のトラフに沿って発生するマグニチュード：M8クラスの海洋型の巨大地震と内陸に発生するマグニチュード：M6～7クラスの中規模地震がある。

反射炉の建造に着手してから発生した主な被害地震を表38に示す。

安政元年の東海地震は、マグニチュード：M8クラスの巨大地震で東海地域に甚大な被害を与えたが、建造中の反射炉も被害を受け、再度伊豆石などの積み直しを行っている。大正12年（1923年）の関東地震は、反射炉にはそれほど影響を与えなかったようである。昭和5年に発生した北伊豆地震は、伊豆地方に大きな被害をもたらすと共に反射炉にも被害をもたらし、2基あるうちの北炉の頂部が崩壊した。

伊豆半島には多くの活断層が存在し北伊豆地震程度の地震が再び発生する可能性は高いと考えられる。今後の反射炉への地震による影響を検討する意味で、北伊豆地震による韮山周辺地域の被害状況の概要を整理し、どの程度の地震動強さであったのか推定を試みた。また、近い将来、発生が懸念されている東海地震による影響についても若干の検討を試みた。

a 北伊豆地震の概要

昭和5年（1930年）11月26日、伊豆半島の北部で発生したマグニチュード：M7の地震は、その有震範囲は東北地域、関西地域に及び伊豆地方の各地、特に伊豆半島北部地域に大きな被害をもたらした。地震と共に数本の断層が現れ、これらの断層活動により当時掘削工事中であった丹那トンネルでは約2.7mの水平変位を生じている。住家の被害は断層付近と韮山周辺の平地で多い（図68参照）。一般に被害の分布は、震源からの距離と地盤条件に大きく関係している。韮山の被害は地震断層（震源）に近いことと、狩野川が形成された沖積層による地震動の増幅作用による影響が大きいと考えられる。

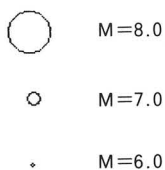
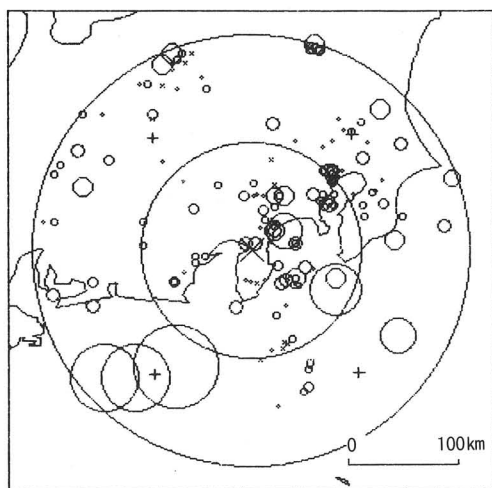


図-67 200km以内で過去に発生した被害地震の震央分布

表-38 過去の周辺で発生した主な被害地震((推定地震動強さの順)

	発生年	マグニチュード	震央距離 km	深さ km	地域名
1	1930	7.00	6.6	2.50	伊豆北部
2	1923	7.90	34.6	0.00	関東南部(関東地震)
3	1891	6.90	9.3	0.00	山中湖付近
4	1923	7.30	48.2	0.00	伊豆大島付近
5	1978	7.00	40.3	0.00	伊豆大島近海
6	1854	8.40	158.4	0.00	東海・東山・南海諸道
7	1905	7.00	41.1	0.00	大島近海
8	1980	6.70	28.1	10.00	伊豆半島中部
9	1924	7.20	54.2	0.00	丹沢山塊
10	1918	6.80	38.6	0.00	山梨県上野原付近
11	1906	7.30	80.8	0.00	安房沖
12	1974	6.90	55.5	10.00	伊豆半島沖
13	1923	6.70	50.4	0.00	山梨県南東部
14	1915	6.30	39.8	0.00	相模湾
15	1898	6.70	64.9	0.00	山梨県南西部
16	1922	6.90	80.9	0.00	浦賀水道
17	1923	7.40	130.5	0.00	千葉県勝浦沖
18	1902	6.60	61.1	0.00	甲斐東部
19	1920	5.60	21.7	0.00	箱根山
20	1923	6.30	48.2	0.00	伊豆大島付近

また、地震動の強さは地盤条件に大きく影響されるため地盤の比較的良好な反射炉の周辺では、断層により近いが軟弱地盤の韮山市街地よりもむしろ地震動強さは下回ったのではないと思われる。

地震の規模と震央（または震源）距離から地震動強さを推定する経験式はこれまで多く提案されている。代表的な距離減衰式により地震動強さの推定を試みた。推定式によるばらつきや地盤条件などを考慮すると、反射炉周辺敷地では300~600gal程度の地震動となると考えられる。但し、この推定は目安として扱われるべきで、特に震源に近い地域についてはその解釈は慎重にする必要がある。

いずれにせよ、北伊豆地震と同様の地震が再び発生すれば補強目標を上回る地震動となる可能性も高く、炉の構成材料の劣化や風化の進展を考慮すると、ある程度の被害は免れないと思われる。

b 東海地震による影響

近い将来、東海地域に大きな被害をもたらすと予想されている東海地震の影響を考えてみた。

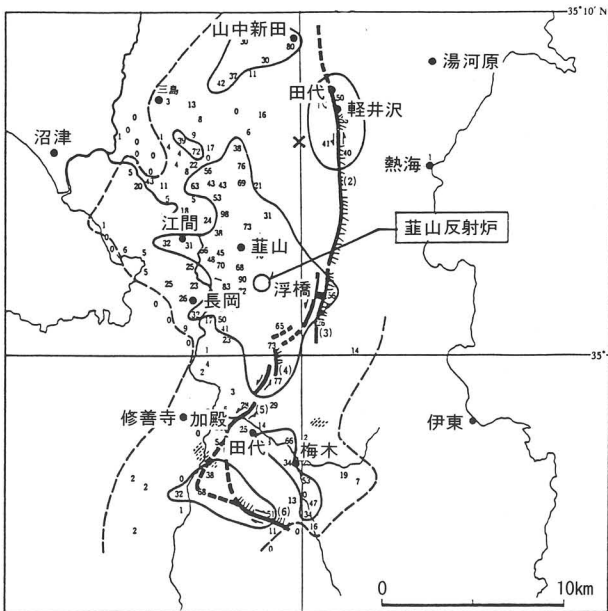
想定されている地震は、駿河湾域を震源とするマ

グニチュード：M8クラスのプレート境界で、発生する巨大地震である（図69）。

安政2年の東海地震は、東海沖から駿河湾に至る広い震源域を持つ超巨大地震であったと考えられており、その後に蓄積されたエネルギーの一部は、昭和19年の東南海地震で開放されたが、残された駿河湾域には依然としてエネルギーが残されているため、近い将来大きな地震の発生が予想されている。

想定されている断層面の中心を震源としてみると、韮山は60km程度の距離がある。北伊豆地震の場合と同様に距離減衰式、地盤条件によって地震動強さを推定してみると、250gal程度の地震動になるうと考えられる。この推定値は、安政の地震が反射炉へ及ぼした影響の記述とはそう矛盾するものではない。

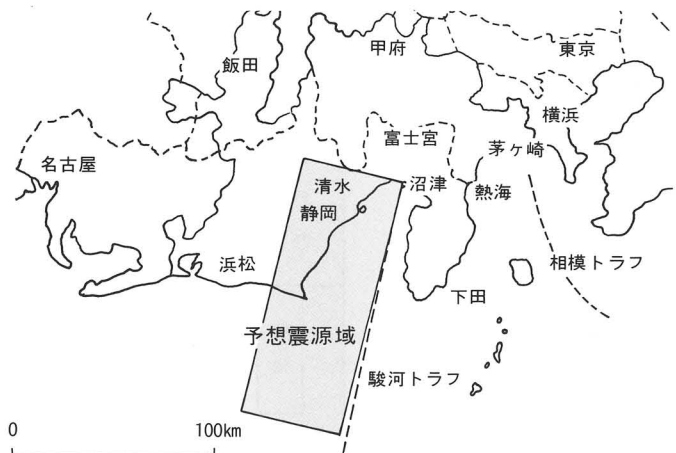
東海地震が想定されているように発生した場合、推定される地震動強さが補強設計目標を若干下回っていることから、軽微な被害が生じることがあっても大事に至る可能性は低いと考えられる。



宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧(文献40)に加筆

— 0% 被害率
 — 30% 被害率
 () 断層番号
 — 断層
 ⋯ 山津波

図-68 北伊豆地震（1930年）の震度分布と住宅被害率分布



長方形の部分は、予想される東海地震の断層面を示す。

図-69 地震防災対策強化地域（東海地震）文献-42

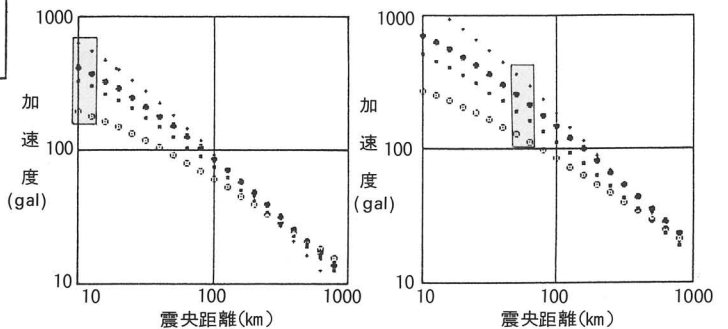
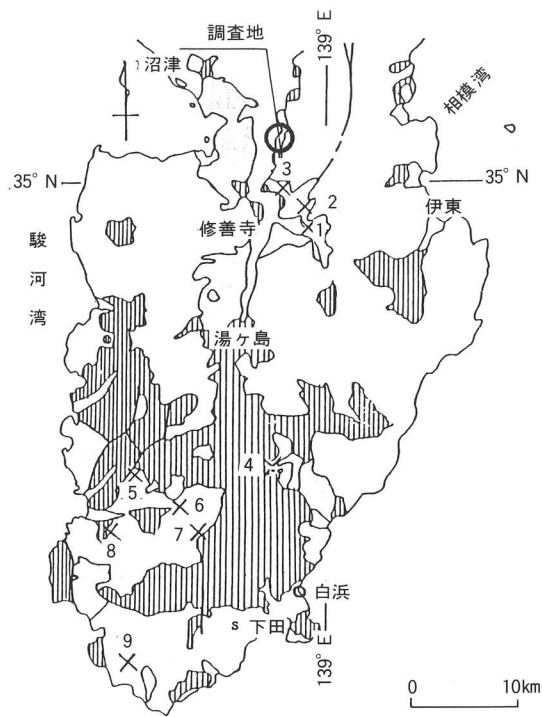
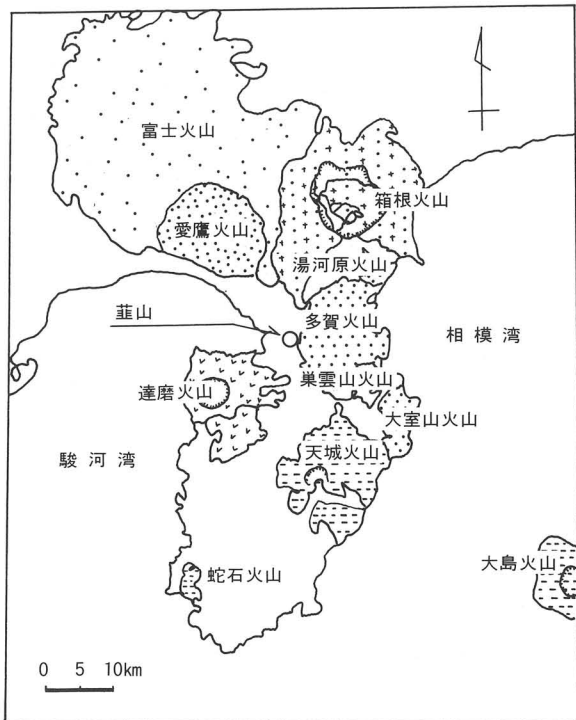
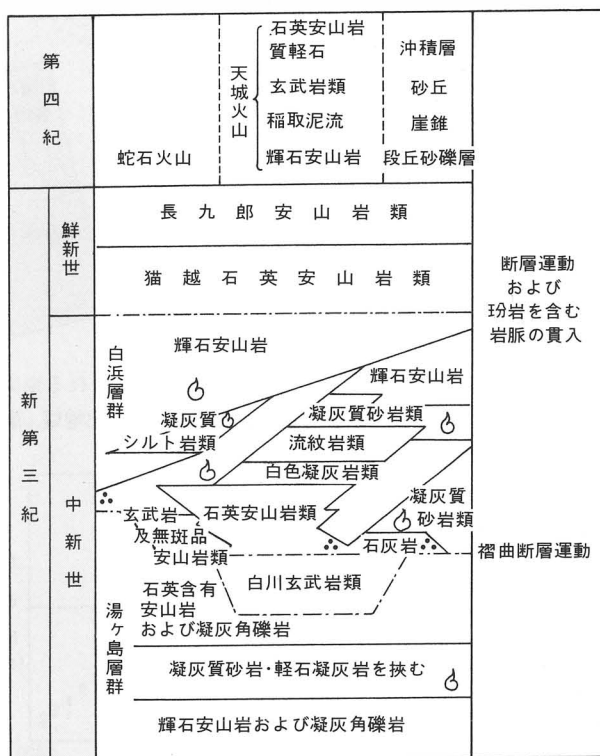


図-70 北伊豆地震による推定地震動強さ

図-71 想定による推定地震動強さ



伊豆半島の地質略図とレピドシクリナの産地(鮫島ら, 1968による)。縦線は湯ヶ島層群, 網は白浜層群(下白岩層を含む), 白は鮮新世中期以後の火山と地層, ×印はレピドシクリナ産地。
 1. 下白岩 2. 大野 3. 牧ノ郷 4. 梨本 5. 白川 6. 池代 7. 滑川 8. 伏倉 9. 差田



(沢村ら, 1970)

図-72 地質図 引用文献: 文献-43

2.2 基礎地業

資料5 (P22, 23) から葦山反射炉の基礎地業に関する記述をみると「安政元年6月7日地形松杭打込始め, 7月朔日 地形松杭終了, 天野村石工 反射炉土台石据方開始」となっており, 松杭が20日間ほどの工期で施工された後, 土台石を据えていることがわかる。土台(凝灰岩切石)は, 伊豆下田の反射炉を移築する際, 狩野川を利用して運送している。

(1) 湯口側基礎(煙突下部)

基礎補強工事で反射炉の湯口側地盤下部が露出したので昭和57年度調査の結果を含め, 前述の松杭, 基礎の大玉石を実測し, 創建当時の基礎地業を再調査した。なお, 湯口側現状地盤下3m程の所に昭和32年の補強用コンクリート基礎が打設してあった。また, 側面側は2m程の所にコンクリート基礎が設けてあり, 大玉石は隠蔽されていた。

これによると, 反射炉煙突下部の基礎は, 旧地表から2.3m掘り込み, この掘り込みの底面から直径15cm前後の松丸太を打ち込んでいる。松丸太は, 皮付で

全長を確認出来た2本のうち1本は148cm, 他の1本は265cmを測り, 後者は下層中の石で止っていた。その表皮は, グライ質土壌のためか, 黒色化しているが, 材はかなり新鮮で今日でも築造時の耐力を留めている様にみられた。地盤の上水位が比較的高く, このことが反射炉の基礎下に打たれた松杭が現在も健全性を保っている一つの理由である。杭は掘込み底面から5cm程頭を出しているが, その頭端は打込みの際のダメージがよく残されている。2箇所を検出部分での状況からみると杭はかなり密に打ち込まれている様で, 約30cm間隔程で, 千鳥配列になっている。

この上に長径1m短径40cm程の大玉石を2段積んでいる。湯口側の端面をみると, 1基あたり5~6個が横に2段並び, 丸太杭と大玉石との間及び大玉石相互間には, 木炭片を含む青紫褐色系の粘土(シルト)が小石と共に充填されていた。なお, 大玉石は安山岩で反射炉の脇を流れる古川の河床にある玉石と同じものと推定される。安山岩の圧縮強度は一般に1000kg/cm²前後といわれている。

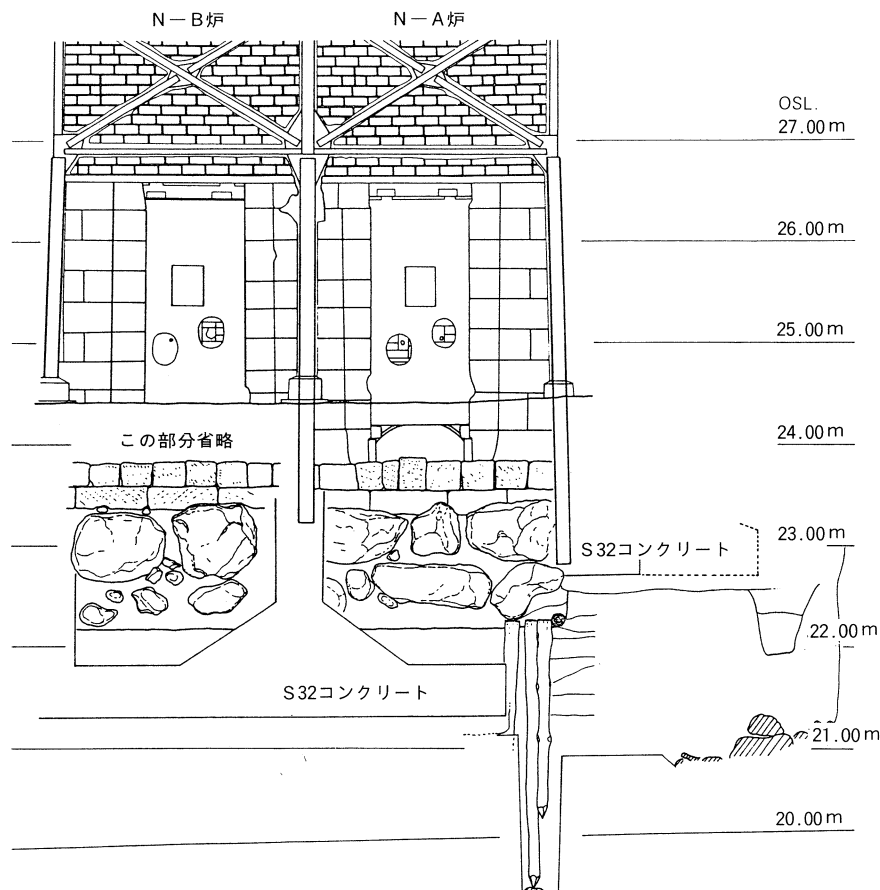


図-73 北炉煙突下部実測図

大玉石の上には、炉体の基礎が直接のっている。炉体の基礎は、緑色系凝灰岩角材が2段敷かれているが、下位のもの、大玉石の形状に合わせて加工し、その上面を水平に整えている。上位の石は、下位と直交として敷かれ、この上に炉体の石が9段積まれている。煉瓦の煙突部の荷重は開口上部の鉄板で両側の灰白色系凝灰岩、緑色系凝灰岩に伝達され、更に大玉石、松杭を通して地盤に伝達されている。

(2) 下焚口側基礎

下焚口部は前面の凝灰岩と、炉内のアーチ煉瓦の一边を、2枚の鉄板で受け、その荷重を3本の石柱で支える構造である。北炉でこの石柱の基礎をみると、中央の石柱は、一辺33cm、長さ60cmの凝灰岩を小口積みに10本積んでいた。この石柱にかかる荷重は、凝灰岩切石とその下に打たれている松杭とによって支えられている。石柱の下端両脇には炉内のアーチ煉瓦を受ける凝灰岩切石が添えられて、この石の寸法や一部、煉瓦の残存状況からみると、この上に煉瓦(平均220×220×90mm)が中央で1枚、端部で1.5枚の厚さで積まれている。

石柱の下から2段目には、一見「早大」と判読される2文字が彫られていた。この刻文は、右に寄っていることや、2文字目の第2画が切られていることなどから、2次利用されたものとみられるが、文字の意味も含めてははっきりしない(図74)。

下焚口側基礎下の土層は、最上部に現代の小砂利が約50cmあって、以下黒色の木炭・灰層を狭んで灰、砂、シルト、焼土、煉瓦層などの薄層が約50cm続き、最下部に緑色系凝灰岩の小片を多含する青灰色土層があつて、その下は黄褐色系の地山層(灰穴底面)となっている。灰穴底の石壁前には、1.2m×0.6m程の長方形の掘り込みがあつて、基礎下の松杭が露呈し、掘り込み内には、石2点と煉瓦片2点が入っていた(図81)。

各炉の基礎地業を試し掘りからままとめると次のとおりである。

●北A炉…松杭が検出された他、左側石柱の前面には部分的に2cm程の厚さで漆喰が残存していた。また、この石柱下端部から直線的に石列が並んで検出され、灰穴縁部の施設と考えられる。

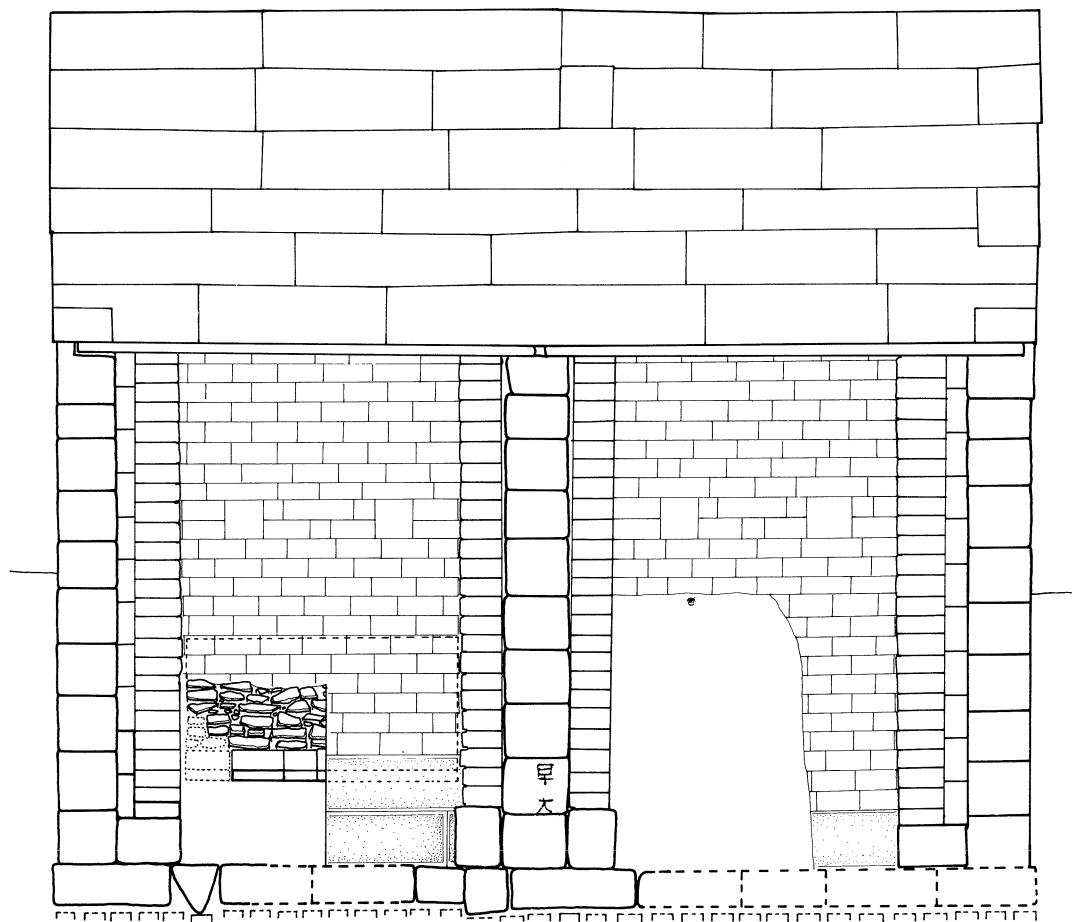


図-74 北炉下焚口部 正面見通し図

●北B炉…凝灰岩基礎は2面とも一段のみで、底面には安山岩が敷いてあった。

●南B炉…北炉とほぼ同様であったが、最下段の凝灰岩基礎は一段で、煉瓦壁面には赤色変化はないが凝灰岩基礎の上半部が赤色に変化し被熱していたことが判明した。底面には他の炉に増して大玉石を密に敷いていることも判明した。

(3) 炉体の基礎

炉体束石補強工事において、表層の土が除去されたので炉下基礎状況を調査した。

炉下の基礎は、束石の下に桁方向に長方形凝灰岩の切石が横に据えられ、この下に大玉石の背が露出していた。大玉石は煙突下部の玉石と同様の大きさ、材質（安山石）で、ほぼ平坦な面を上揃えていたが、上面は水平ではなく20cm前後の高低差がある。その上に乗る切石は玉石面に合せて整形、固定している。また、大玉石の間には小さな玉石を充填していた。露出面から大玉石の配置状況をまとめると図75,76のとおりで、大玉石は炉体基礎に全面に敷きつめてあることがわかる。

(4) 類似例の基礎

他の反射炉の立地状況をみると、川沿いの軟弱地盤または高台を選定している。前者は、錐台の水車利用を優先したもの、後者は地盤耐力を優先したものである。大正15年陸軍の手で、行われた佐賀・多布施反射炉の発掘調査の結果をみると、東西27尺、南北21尺の反射炉基礎は、地表から4尺2寸のところから東西9尺ごとに、またこれと直角に南北3尺ごとに7寸角の松材を置き、その上に赤石を3段積んで、さらに煉瓦を積みあげている。しかし、この程度の基礎工事では、地盤軟弱な低湿地の築地、多布施とも築炉後に歪が生じたようである。薩摩では、高さ2m以上、縦27m、横9mの堅固な石垣造りの土台の上に築造されている。

蕪山反射炉がいくたびかの地震の被害を受けながら、持ちこたえてきたのは、この松杭による基礎地業に負うところ大で、当時の土木技術の水準の高さを示すものといえる。なお、当時の杭工事の代表例としては、江川垣庵築造になる品川台場がある。

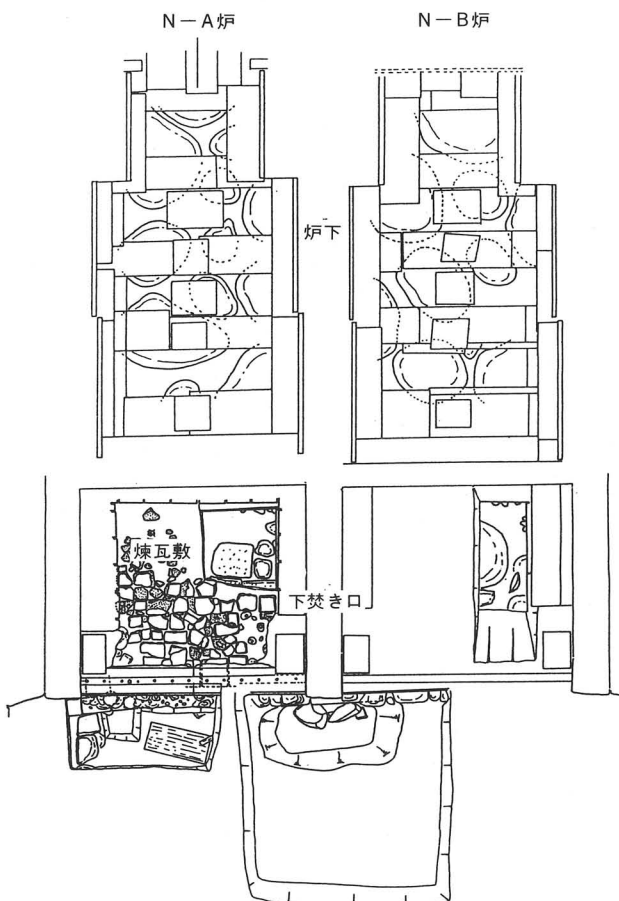


図-75 炉下・下焚口平面図(北炉)

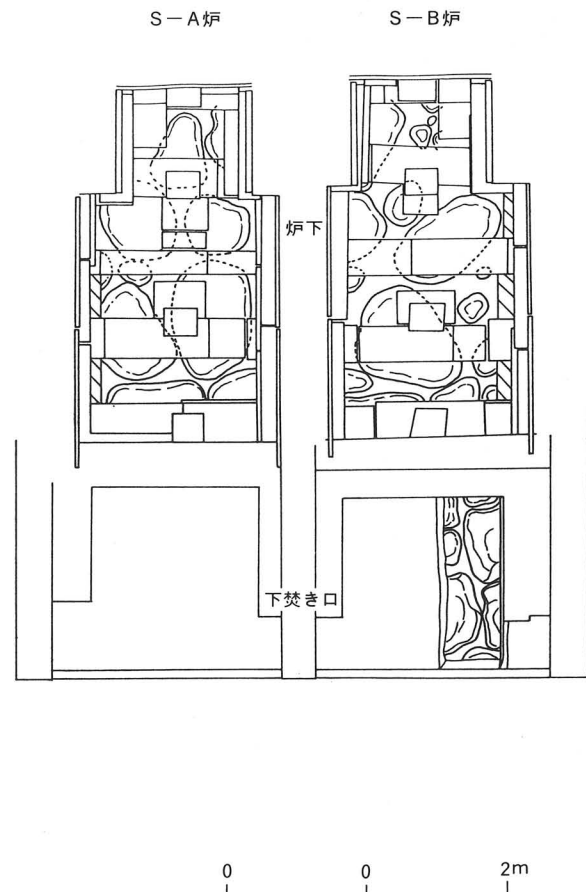


図-76 炉下・下焚口平面図(南炉)



写真-123 湯口側基礎調査状況

写真-124 北A炉基礎部分



写真-125 南炉基礎部分

写真-126 南B炉基礎部分



写真-127 松杭（北A炉）



写真-128 松杭（南B炉）



写真-129 下焚口側基礎調査箇所（北炉）



写真-130 下焚口側基礎（北炉）



写真-131 石柱の文字



写真-132 下焚口側基礎（北A炉）

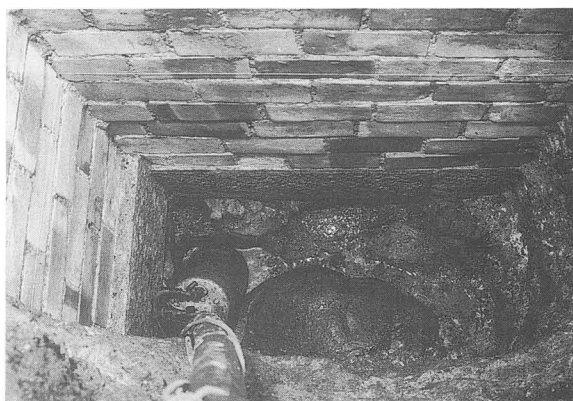


写真-133 下焚口側基礎（北B炉）



写真-134 下焚口側基礎（南B炉）

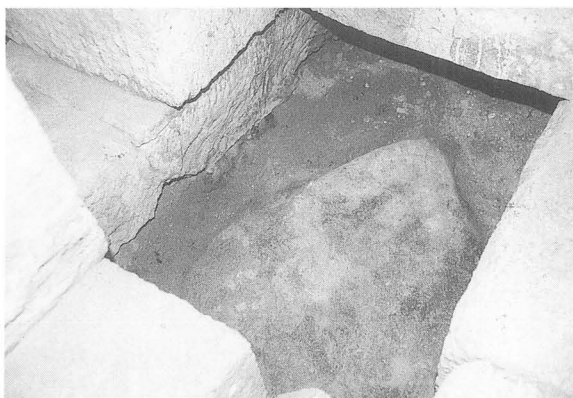


写真-135 炉下基礎（大玉石の露出状況）

2.3 炉体部

北炉、南炉とも反射炉の低層部は、幅5m、長さ6m、現状地盤から高さ2.1mほどの石積みとなっている。この石積み部分が反射炉の中核機能をなす鉄を溶解する炉体部である。炉体部は、外観が伊豆石の組積造であるが、内部に耐火煉瓦でかまれた炉を北、南とも2炉有している。内部は熱に耐える耐火煉瓦構造、外部は耐久性を考慮した石積みという2重構造になっている。

4炉の各炉はいつも同時に使用されていたわけではなく、溶解量によって、適宜合わせ湯等が行われたと推定される。1炉の生産量は約2～3トン、従って、当時の最大級である150ポンド砲を鑄造するに4炉の同時溶解が必要となる。このため葦山反射炉は、湯口側で各2炉が直交し、4炉の同時溶解が可能な形となっている。南北炉の炉内中心線を図上から求め、偏心角度を算出すると87.4度から89.8度となり、当時の技術の高さがうかがえる。

炉内は床面の状況から燃焼室と溶解室とに区分で

きるが、天井、壁は視覚上一体となっている。天井、壁は短辺がアーチ状で長辺が弓状となり、煙道に向かって狭まっていくという熱反射を考えた独特の形態を保ち、その表層は、炉の使用実績を示す溶解物が付着している。溶解室の床面は、表層が土でおおわれた炉床で、この下部構造は半月状の鉄板が炉床の荷重を基礎の伊豆石に伝えている。半月鉄板の内側は、幅1.35m、最も高いところで約1mほどの空洞となっている。一方燃焼室は、炉床よりやや下がったレベルに燃料を受ける太い鉄桁が2本、短辺方向に設置され、この下は灰のかき出し口となっている。かき出し口の底面は、試し掘りによると北炉では現状の湯口側地盤より1.3mほど下がったレベルにあった。

燃焼室の側壁には燃料をいれた上焚口と呼ばれる開口部があり、溶解室の側壁には鑄口と呼ばれる開口部がある。また、炉内は煙道との接続部で、いったん狭まり、燃焼ガスの煙道への吸い込み抑制に工夫がこらされている。なお、溶けた鉄は、ゆるい傾斜の炉床を伝って湯口側に流れるようになっている。

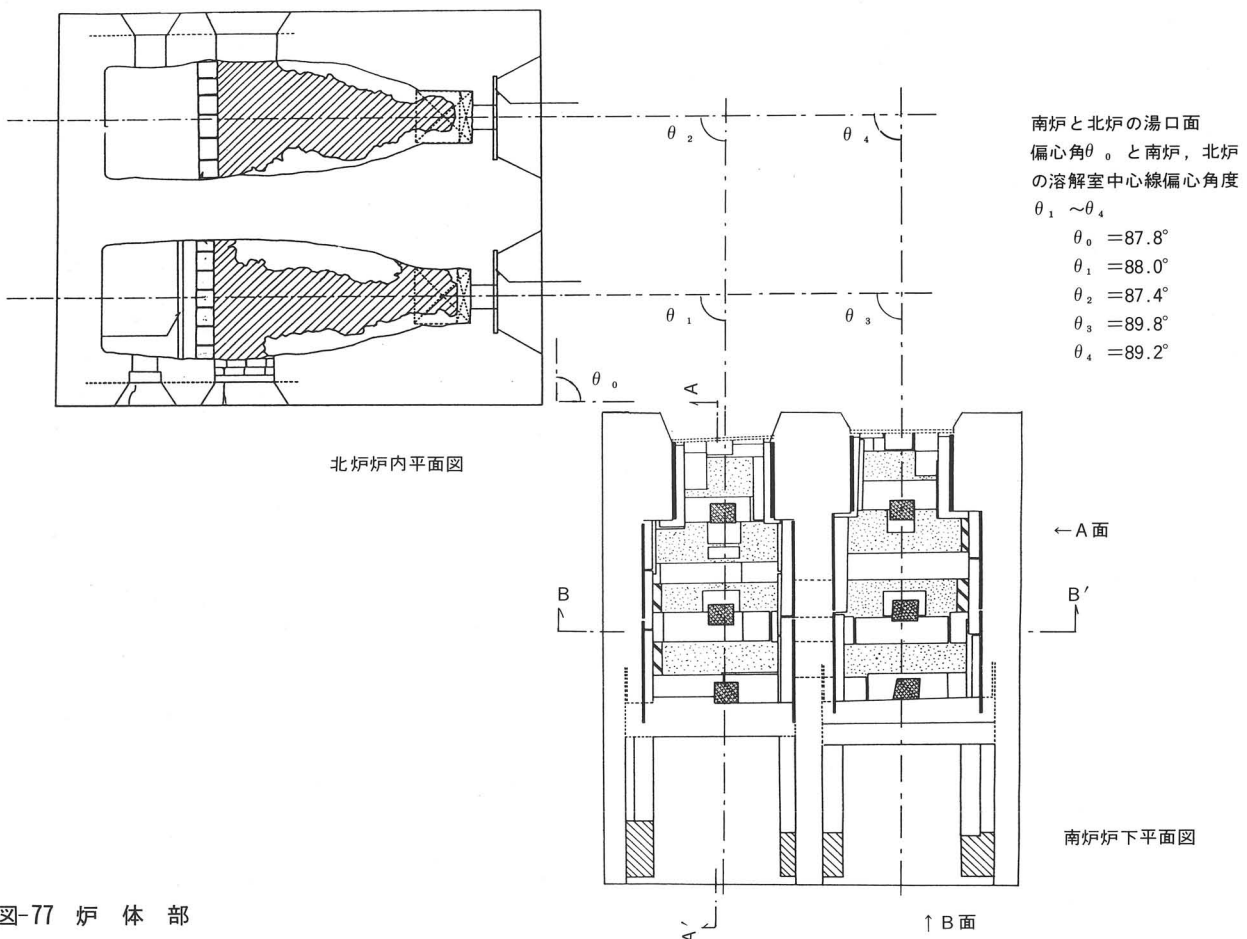


図-77 炉体部

湯口側は板鉄がはめこまれ、この板鉄には方形ののぞき窓1個と楕円状の出湯口が2個あいている。なお、板鉄の下端に隙間があり炉下の半月鉄板に囲まれた空洞につながっている。

炉体の開口部の構造をまとめると、狭い開口部は、石積み部では長い伊豆石を梁とし、煉瓦部ではアーチ積みとしている。広い開口は、外部、内部とも上部の荷重を鉄板が支えるという構造となっており、構造上主要な箇所には厚い板鉄が使用されている。各部の構造を下位より詳述すると次のとおりである。

(1) 炉下（半月鉄板に覆われた空間）

①記録

炉下の空間は、『鉄燗鑄鑑図』には明示されていない。安政3年（1856年）の「反射炉再築立目論見」によると、安政元年（1854年）12月4日の大地震に壊れた箇所を再築する際「フランス之反射炉築立方ニ寄炉底水気去り候のため上底ニ仕候」となっており、他の資料を基に工夫されたものと思われる。

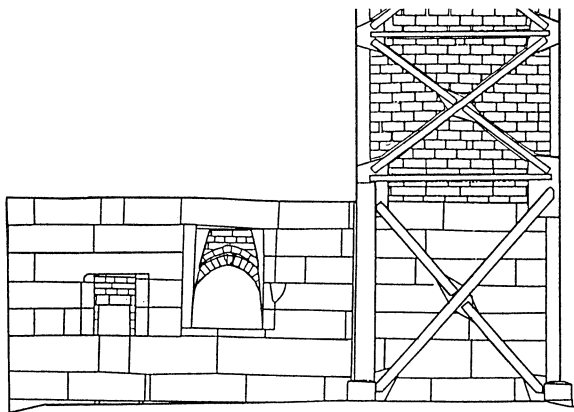
②構造

炉下の空間は、人が蹲居して入れるほどのアーチ

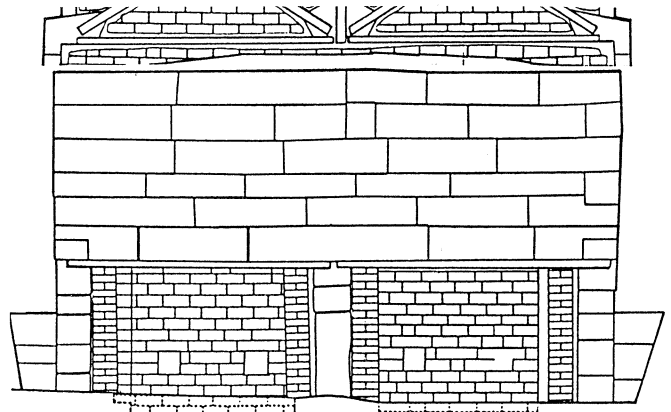
状の空間で、下焚口との間に煉瓦2枚分の小窓があり、湯口側鉄板下部の隙間との間に通気系路がとられている。天井を見上げると半月鉄板には規則的に、約4cm角の四角い穴が、約30cmほどの間隔で千鳥タイプであけてある。これは燃焼時炉床内部に発生した水蒸気を逃がすための工夫である。

半月鉄板の脚部は、1～2段敷かれた伊豆石に支持されている。長手方向の基礎石の下に直交して、伊豆石の梁石が敷かれている。この梁石の中央上または、またがった位置に、長方形の束石がのり、半月鉄板の頂部を支えている。しかし、梁石が据えられているにもかかわらず束石がない箇所があること、また、頂部の漆喰シールの痕跡からみると築造当初とは位置が異なっていると思われるものがある。

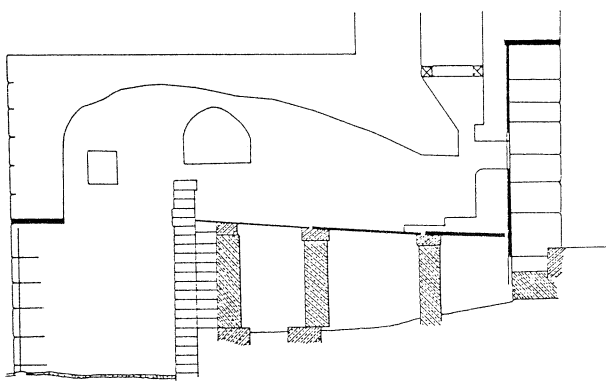
脚部の伊豆石は、ズレを防ぐための加工が所々にしてあったが、規則的で一様なものではなかった。また、A炉とB炉の境部分の桁石下の梁石と梁石との間は炉下同様に間があいており、A炉とB炉はつながっていた。この空隙は30cm程で、調査時点では砂で埋っていた。



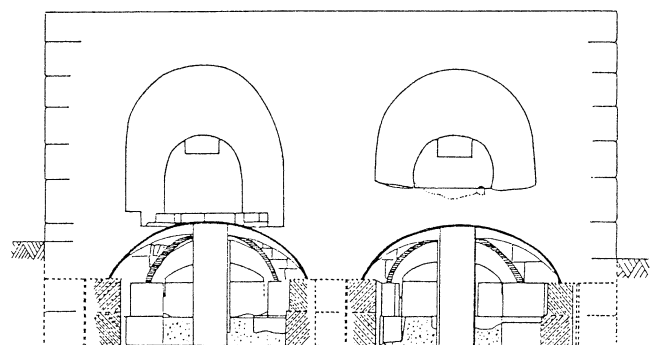
A面 立面図



B面 立面図



A-A' 断面図



B-B' 断面図

図-78 立面と断面の対比

束石の頂部は、部分的にかいもの石をはさんでいる箇所があり、半月鉄板との空隙は、所々漆喰でシールしてある。束石が構造上、どのような役目をもっているかは、明確でないが力学上からみると補助的なものといえよう。

③半月鉄板の形状

半月鉄板は、厚さ3～5cmの鉄板が半円状になったもので、大（長さ約1.2m、幅約1.7m、脚部よりのアーチ先端までの高さ約0.5m）・中（長さ約1.2m、幅1.35～1.5m、脚部よりの高さ約0.5m）・小（長さ約0.95m、幅1.2m、脚部よりの高さ約0.35m）の3枚が湯口側へ向って大、中、小の順で並んでいる。つまり曲率半径が小さくなり、炉下の空間は炉内と同様に湯口側に向って狭くなっている。

④機能

当初、湯口側は入口付近が土で埋まって人が入れない状態であったが、産業考古学会との共同調査の結果、炉下空間は炉床に発生した水蒸気を逃がすこと及び地面からの湿気を炉床と遮断することを目的に設けられた通気機能をもつ空間であると推定され

た。これは、鉄板に千鳥状にけられた四角い穴の存在が関連している。この事例は、『鉄焔鑄鑑図』の高炉の断面構造にみられ、高炉では、内側の煉瓦と外側の石の間に空隙を設け石灰を充填し、ここにたまった水蒸気を石にあけた穴から、外部に逃がす工夫が図示されている（P14、図6参照）。

⑤老朽状況

炉下の半月鉄板は、全面に赤錆を生じ、束石との間など湿気を含む箇所は部分的に、鉄の表層が剥離していた。鉄板は、全面に赤錆を生じ、束石との間など湿気を含む箇所は部分的に、鉄の表層が剥離していた。伊豆石の束石は、部分的に亀裂が生じ、かつ多少傾き、位置ズレを生じた形跡がみられた。束石の傾きについて方向性を実測したが、束石自体が不整形で正確な長方体でないため明確な結論は、得られなかった。なお、束石の損傷（亀裂、頭部かいもの石の破損）は、2～3割程度であった。

半月鉄板脚部下の伊豆石は、外部に面する所で数箇所コンクリートが充填されていた（写真137参照）。また、桁石で下部に亀裂を生じている箇所があった

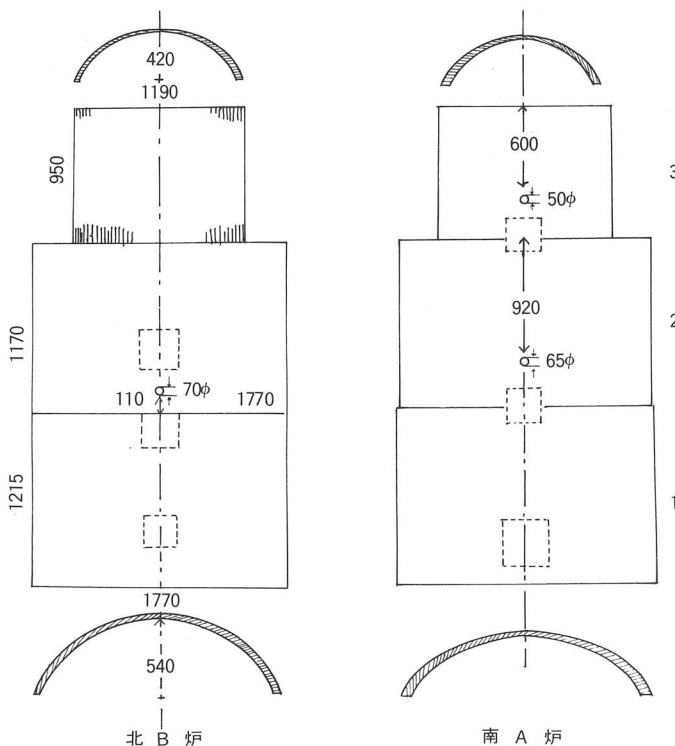


図-79 半月鉄板形状図



写真-136 炉下（南炉）

- 印 凸部
- 束石の位置
- 層状の模様

(写真138参照)。

⑥特異点

- この空間は火を使用した形跡もなく床面は乾いた砂でおおわれ、とくに埋設物は発見されていない。
- 北炉では、東石頂部の古い漆喰のシールの位置が大幅に変わっており、これをみると当初は、南炉と同じ位置に東石を設けており、その後、何かの理由で東石の位置を変更した様子がわかる。
- 内側の頂部には、鑄造法の痕跡を示す直径6～7cmほどのふくらみがある(図79参照)。
- 北炉Bの半月鉄板(小)で断面に層状の筋がみられた(写真226, 227参照)。
- 半月鉄板が南炉では直線上に並べられているのに対し、北炉では焚口側から1枚目の鉄板と2枚目の鉄板に約30cmの段差がある。

(2) 下焚口(灰のかき出し口)

①記録

この部分は従来、下焚口と称されてきたが『鉄焔鑄鑑図』では灰孔、「反射炉再築立目論見」では、焚所風入口となっている。

②下部構造

北炉と南炉では下部の構造が異なり、次のとおりである。

●北A炉(図80)…下焚口部分において50cmほど、現状地盤を掘り下げたところ、下底に外側に向かってなだらかな下り勾配の煉瓦面が検出されたが、これは、灰のかき出しを容易にさせる工夫と思われる。この煉瓦敷きは、奥側が破壊されているものの、旧状をよく留めており、二次使用の煉瓦を約25度の角度で斜めに敷いていた。煉瓦敷きの下位地山との間には、煉瓦屑や焼土、漆喰が層状に堆積し、最下層には凝灰岩の小片を含む褐色土がみられた。

下焚口の奥壁は21段の煉瓦が積まれ、その下に二段の凝灰岩が積まれていた。側壁では凝灰岩が一段で、その分だけ煉瓦が三段多く積まれていた。奥壁及び側壁には煉瓦敷きにそった変色部分(赤色)が残り、向って左側壁には奥壁方向部以外には使用していない長方形大型煉瓦を使用していた。

●北B炉(図80)…約1/3程、掘り下げて下部の状況を調査した。ここでは煉瓦敷きを検出できなかった



写真-137 炉下半月鉄板脚部(外側)

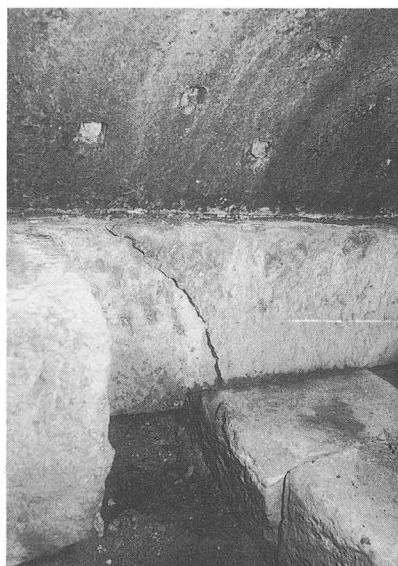


写真-138 炉下半月鉄板脚部(中央部分)

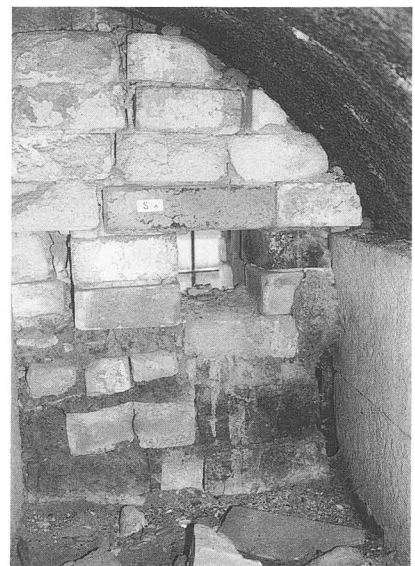


写真-139 炉下(下焚口側)

が2壁面で北A炉同様の赤色部分が検出された。

●南B炉(図80)…煉瓦壁面には、赤色部分はないが、基礎凝灰岩の上半分が赤色に変化し被熱している。なお、側壁最下段の煉瓦は少し間隔をあけて積まれていた。

③壁面の構造

下焚口柵まわりの伊豆石露出面は、基礎構造の調査から当初耐火煉瓦で被覆されていたことが明らかになった。中央の石柱側は、一枚、外側は、一枚半の厚みになる。煉瓦の割り付けから平面の納まりを推定すると若干、石柱の外側から後退している。この構造を下焚口補強工事で復元した。

④機能

燃焼室への空気取入れ口であると共に灰穴であることが明らかになった。

⑤老朽及び損傷状況

●南炉で壁面の煉瓦をみると、溶解物が付着した煉瓦が所々混入されており、再築の際又は、その後の補修で転用及び積み直された痕跡があった。記録類、目地の状況(粘土使用)からみると安政3年(1856

年)と推測される。

●下焚口既存柵まわりは、先の工事でかなり攪乱されていた。北炉では柵の内側に赤煉瓦控柱があり、南炉ではこの部分は煉瓦が欠損したままである。

掘削してこの状況を見ると図81のように柵の地表面下50cmには、コンクリート柱が横に並べられ、その下に安山岩を敷いている。コンクリート柱上方には鉄柵が設置してあるが、コンクリート柱は傾斜している。さらに、鉄柵の内側、中央石柱の両側と左右石柱の内側には4本の赤煉瓦控柱があったが、これも下位の土層が二次的な灰層を主とするため傾斜し、現状はほとんど用をなしていなかった。煉瓦控柱は、現代の赤煉瓦が使用されていることから昭和32年工事、また鉄柵は、古写真等から明治年間の工事によるものと思われる。

なお、南A炉では写真143に示すように既存壁面の下部に赤煉瓦を差し込み修復されていた。



写真-140 下焚口(北A炉)

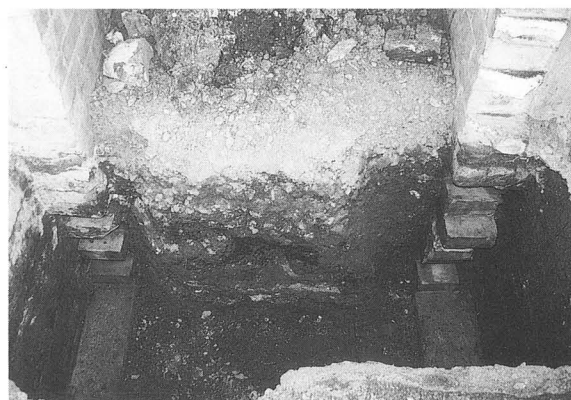


写真-141 下焚口(北B炉)

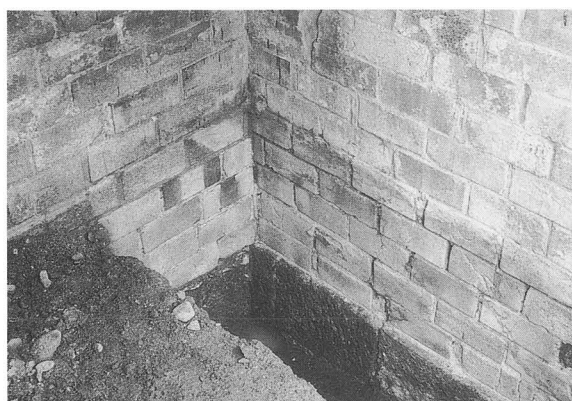


写真-142 下焚口(南B炉)

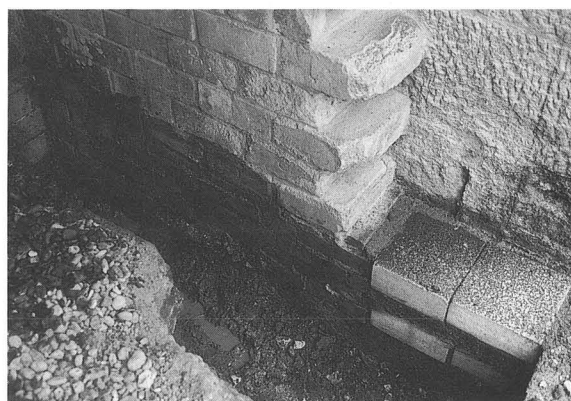


写真-143 下焚口(赤煉瓦補修)

南A炉において下部に赤煉瓦で補修がされている

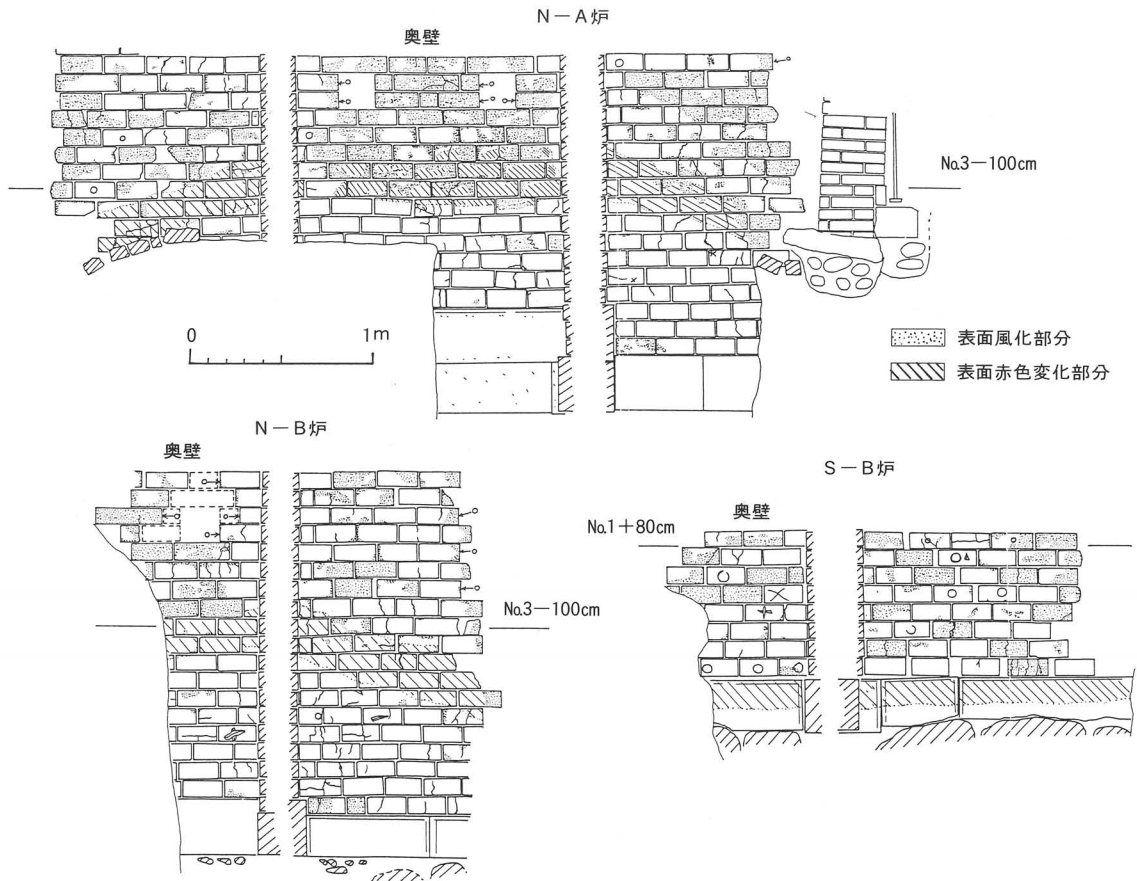


图-80 下焚口内壁面実測図

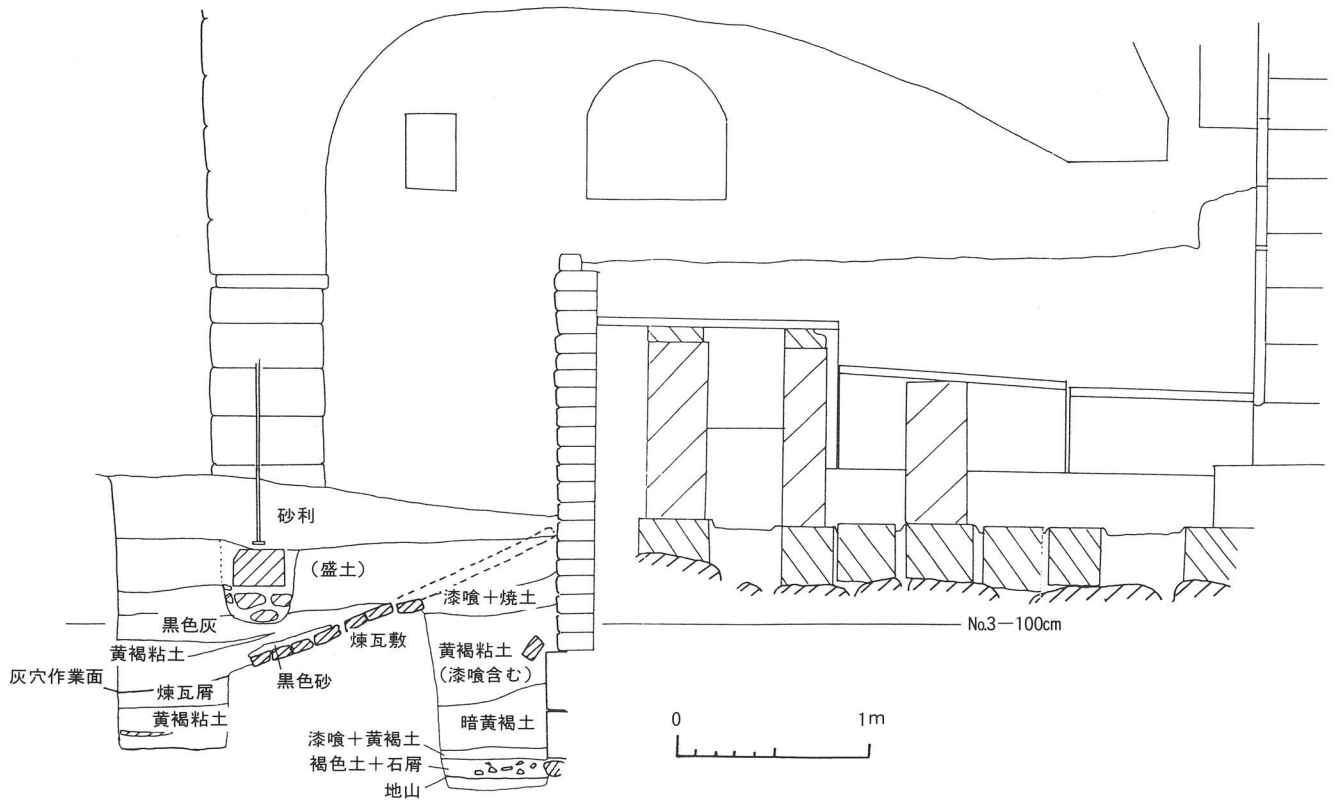


图-81 北A炉 炉下・下焚口

(3) 燃烧室及び溶解室

炉床

①記録

炉床がどのようなものであるかは鑄造方法をさぐる上で重要である。しかし、この部分は、反射炉の中で最もかく乱され、原型をとどめない部分である。「青銅及び鑄鉄を溶解する反射炉を録す（谷田部郷雲）」によると、炉床の使用方法は湯口側に流す方法と、炉底部にためてくみだす方法とに別れている（資料12参照）。

②構造

炉床構造を推測すると図82のとおりで北炉と南炉では異っている。

北炉では半月鉄板の上に耐火煉瓦を1～2枚敷き、この上に、煉瓦の碎片と粘土をかためた層を、3層ほど設け、この層で勾配を一線につけ表層を粘土等で仕上げたものと思われる。これに対し南炉では、耐火煉瓦を火橋部分で3段敷きにするなどして、煉瓦部分で勾配を設けており、煉瓦の破片と粘土をかためた層は表層1層のみである。

③炉床面

表面が土で覆われた3炉の表層状況は、かく乱され、風化しかつ土が堆積して操業当時の炉床の表層が、どのようなものであったかは、外観上判定するのは困難であった。このため、表層の土をコンプレッサー等で除去し、できるだけ当時の状況に近づけてみた。

この結果と壁面の付着物が示す傾斜線から推定すると炉床の短辺方向の断面は、なだらかな面で両端が円弧上に上り、長辺方向の断面は湯口側に向ってゆるやかに傾斜している。これはかなり強い勾配がついた『鉄煩鑄鑑図』とは、異なる点である。なお、ピットの明確な形跡は認められなかった。

④老朽状況（写真144～151）

4炉のうち、3炉は、炉床の表面が土で覆われ、煉瓦の破片が露出しており、人的にかなりかく乱された状況であった。残り1炉（南A炉）は、下地の半月鉄板全部が露出した状況であった。なぜ、1炉のみがこのような状態になったかは、不明である。また、火橋部分は、3炉とも欠損し崩壊し、健全な

資料12 炉床に関する記述

文献44より抜粋

「其の底部は、中央に方面にして少々長き坩鍋を作り、周囲より又上を瓦にて鑊るべし……。」

炉中の穹隆状部は坩鍋の底部に附属する溝の傾く勾配と相齊しふすべし。然る時は、火焰稠密にして能く鉄を溶解し、火気を久しく炉中に貯ふなり。而して此の穹隆状部は所謂火勢に堪ゆべき古き石塊を粉末とし、之を以て内面を覆ひ尚其上を結麗土にて鑊るべし。此の炉の坩鍋の部は僅に結麗土を含み、火力に触れて溶解せざる砂を以て鑊るべし。其の底部は大なる溝の如く中央を深くし、能く鑊りて、溶解する鉄、砂の相接する間に注流すること無からしむべし。およそ大なる銃器を鑄造するに当りて其の鉄を直ちに注孔より注ぐ時は、坩鍋の底部を稍斜にし流るゝに便利ならしむることを要す。然れども小なる銃器を製造する時は、炉の上辺より鉄匙を以て汲取るゆへに、其の底部を堪高くし、下辺を池の如く掘り、汲むに便利ならしむるを可とす。」

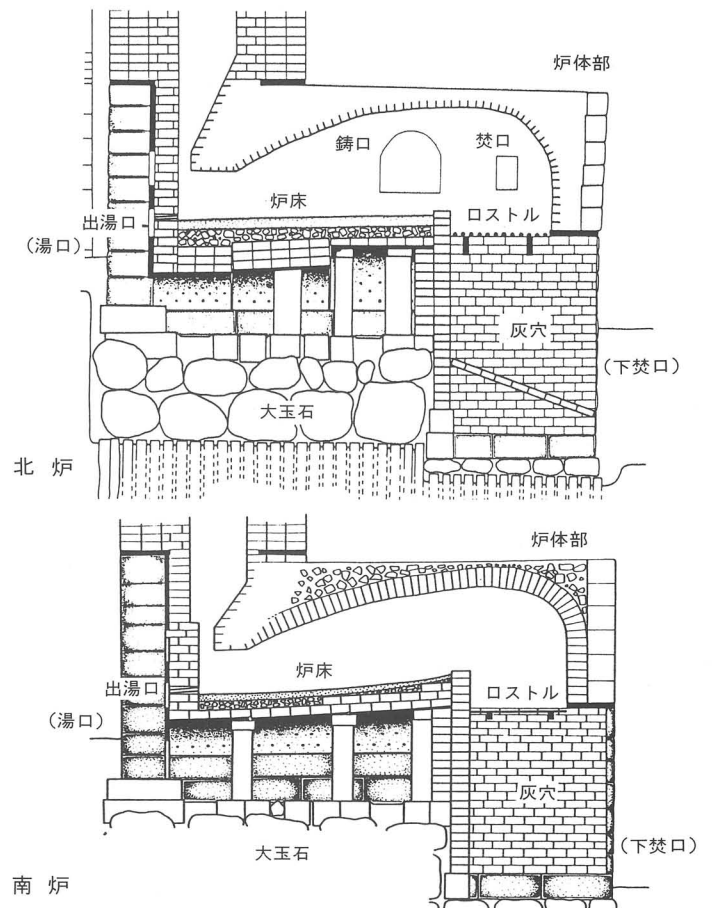


図-82 炉床断面図

部分は南A炉のみであった。欠損部分をみると目地は原料粘土で、表層は溶解し煉瓦と一体化していた。

⑤特異点

北B炉で炉床表面の所々に鉄錆の小片が、確認された。

炉壁

①記録

長手方向の天井の断面をみると、『鉄焔鑄鑑図』とはやや異なり、天井ラインが直線状に湯口側に下っているのではなく、多少放物線状になっている。

この断面形状が、当初のものなのか、使用によって残存厚が少なくなったのかは不明である。

②溶解物の付着状況

炉内壁の表面は、炉の使用実績を裏づける溶解物が付着している。炉壁は、表面にガラス状の溶解物が付着し、それぞれ独特の色をもっている。その様相は、下焚口から徐々に濃くなり、煙突付近で最も濃くなっているが、4炉の色は同一ではない。

③構造

炉壁は炉体上部からの調査及び下焚口の断面寸法

調査によると、耐火煉瓦1枚の小端手積みと推定されるが、内側は、溶解物が付着し外観上どのような煉瓦積みになっているかは不明である。

他の事例をみると、アーチ部分の煉瓦は特殊な形態となっているが、鑄台跡の発掘調査からアーチ積みと思われるくさび型加工の煉瓦が数枚発見された。

④老朽状況

炉壁は、亀裂が入り、昭和32年にモルタルで部分的補修されている部分がある。とくに、南炉において振れ、変形によると思われる亀裂、目地開きが多くみられた。なお、北炉ではモルタル表面が補修されているものの変形はあまりみられなかった。鑄口、上焚口まわりは、その後の補修工事により新しい赤煉瓦でアーチ状に積み直されていた。

(4) 炉の外壁

①構造

炉体外部は、伊豆石が積まれ上焚口(外側、高さ70cm、幅70cm、内側、高さ32cm、幅30cm)、鑄口(外側、高さ120cm、幅100cm、内側、高さ70cm、幅70cm)などの小さな開口部は、伊豆石がそのまま眉石となり上

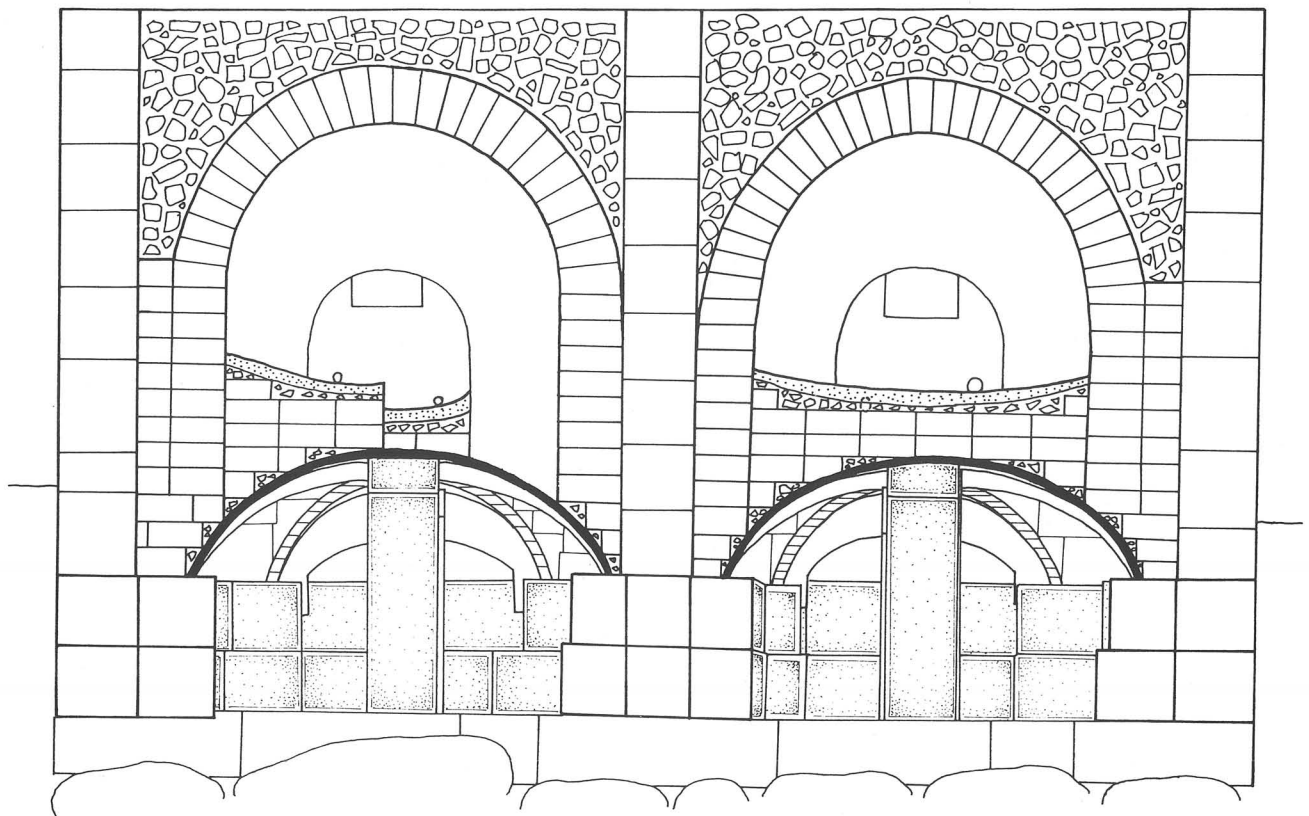


図-83 炉体断面推定図

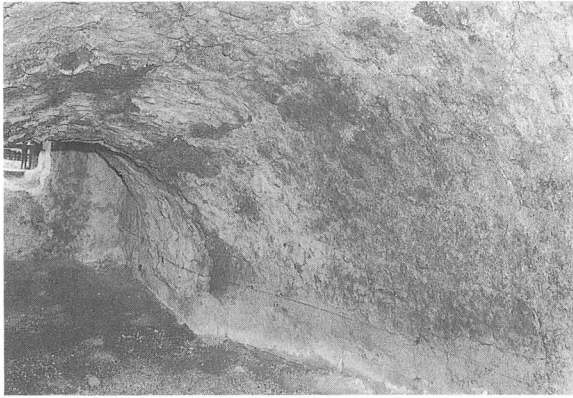


写真-144 炉内（北A炉湯口側）



写真-145 炉内（北A炉焚口側）

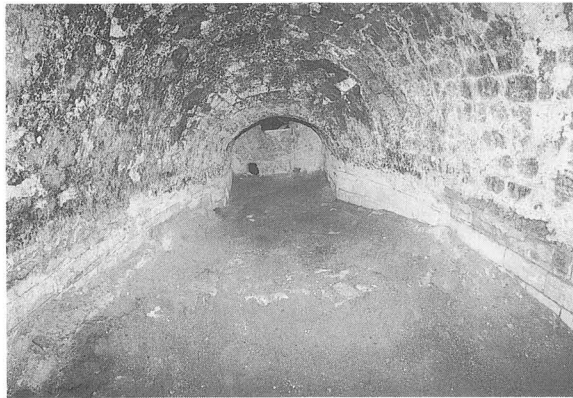


写真-146 炉内（北B炉湯口側）



写真-147 炉内（北B炉焚口側）

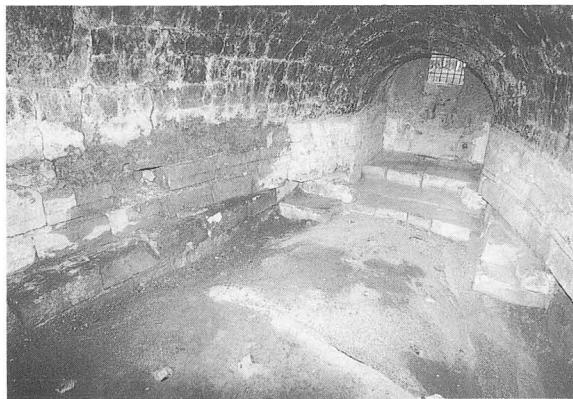


写真-148 炉内（南A炉湯口側）

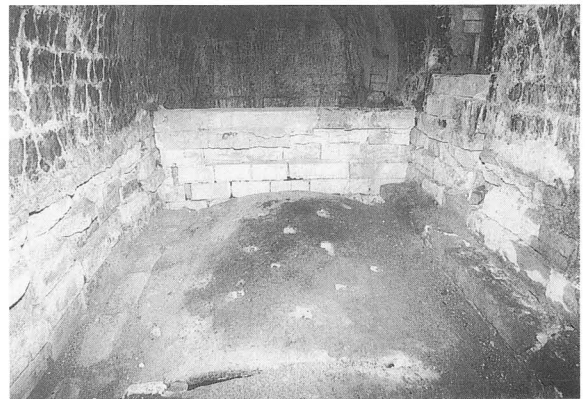


写真-149 炉内（南A炉焚口側）

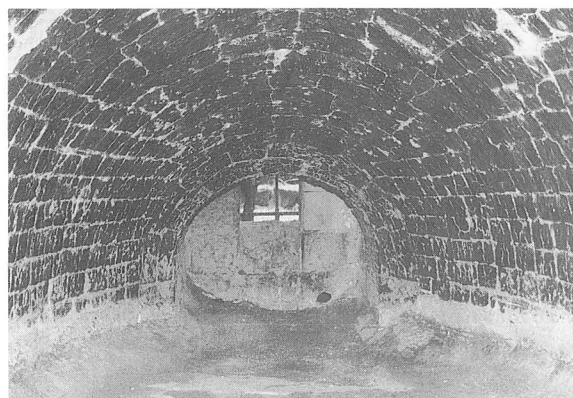


写真-150 炉内（南B炉湯口側）



写真-151 炉内（南B炉焚口側）

部の荷重を支持し、この奥は炉内壁と一体となった煉瓦がアーチ積みになっている。一方、下焚口、湯口側は開口部が広いので厚さ6～8cm、幅55～58cmほどの鉄板が開口部の上に設置され、上部の荷重を受け、両端の伊豆石柱に、力を流している。この鉄板幅寸法は下焚口の鉄板が伊豆石1枚と煉瓦1枚分、湯口側が煉瓦2枚半分に相当する。

伊豆石は、厚さ30cmほどの石が四周と2炉の間に、積み重ねられ厚い壁を構成している。基本的な大きさは、30×30×90cmで、梁の部分は長さが160cmほどとなっている。外部の伊豆石は、大分類では同種の石材と考えられるが、色調、テクスチャーの異なる石材が混在している（石材の種類は4.3参照）

②老朽状況

外観上、劣化状況を観察すると、いずれも表面が風化しボロボロとなって部分的にコケ類が繁殖していた。伊豆石の縦方向の目地は、所々地震時による影響が大きく、数cmほど広がっている箇所もあり、炉体全体もせり上りやねじれなどを生じていた。

主な点は次のとおりである。

- 石材表面の劣化状態；表面の劣化は、接地部、煙突と接する最上部及び上方から流れる雨水の水みちになっている部分に多く認められた。また、中には本来の物性より、かなり脆い状態のものもみられた。

- 石材のひび割れ、目地の口あき；ひび割れ及び目地の口あき箇所は過去モルタルで補修した箇所も含めると、かなりの数にのぼる。

- 石積の乱れ；ひび割れ、目地の口あきが更に進行して、石積の乱れとなっている。石積の乱れは炉体部分に多く、手直しされたと思われる石材が炉体部分に多いことから、過去に炉体部分の石積が損傷を受けたことが十分考えられる。

また、煙突上部の煉瓦重量を受けている煙突基台部の石材は、現在、石積の乱れが比較的少ない。

(5) 炉体外部の天端

①記録

炉体天端は昭和32年の補強でモルタル防水塗りとなっており、作業当時どのようなようになっていたか不明である。

しかし、『鉄燗鑄鑑図』や葦山反射炉の古絵図をみ

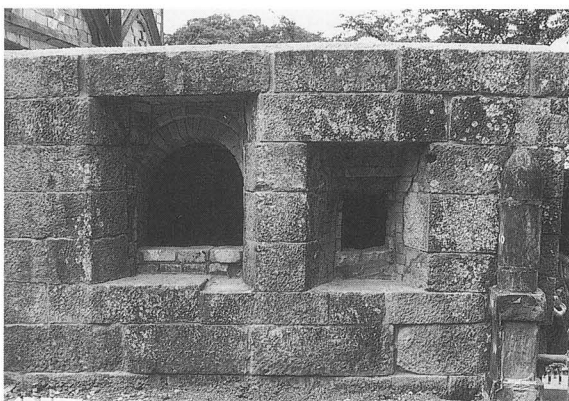


写真-152 炉体外観（北炉）



写真-153 炉体外観（南炉）

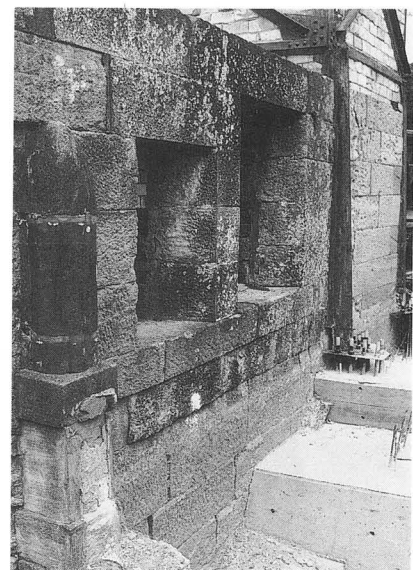


写真-154 炉体外観（基礎掘削時）

ると、炉の上に屋根がかけられており、炉体の防水、防風、保温のためおそらく何らかの形をした上屋があったと推定される。例えば、防水のみを取り上げてみても、平らな形態は天端の防水仕上げが必要で、当時の材料からいえば、石、煉瓦、漆喰が考えられるが、目地部の防水や構法上欠点が多いので採用されなかっただろうし、下焚口前の発掘調査で、地中に屋根材と思われるこけら板が発見されたこと及び記録類からも想定がつく。

ただし、屋根の形態が、どのようなであったかは、二通りの見方がある。ひとつは、『鉄燗鑄鑑図』や[佐賀の反射炉]にみられる煙突側からの片流れ方式で、他のひとつは、古絵図にみられる切妻方式である。葦山反射炉が、『鉄燗鑄鑑図』を忠実に守っていることを考えると、前者の可能性が強く、古絵図を唯一の記録とすれば後者になる。このため、煙突部の痕跡を調査したが、不明確で、水平方向に小さな穴(明治の鉄帯補強の痕跡とみられる)をもつ煉瓦が並んでいた程度であった。

②構造

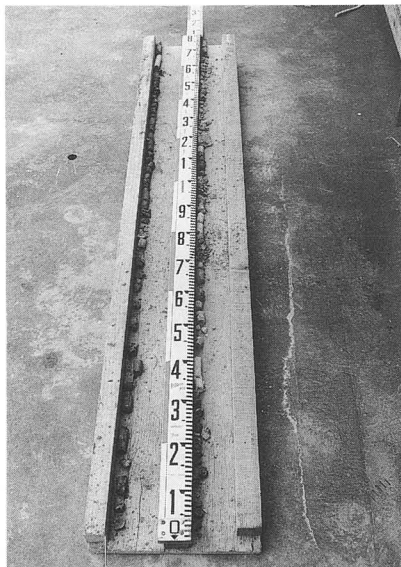


写真-155 炉体天端 (コアボーリング結果)

昭和32年のモルタルをはがした状況から推定すると、炉内のアーチ積み煉瓦の上に、粘土が充填され、その表面を三和土等が覆い、上屋がかけられていたと思われる。アーチ頂部とモルタル層との間は、約5cm程で赤色系の土砂が敷き詰められていた。頂部の煉瓦は幅70mmの煉瓦が小端立てに積まれ、目地部は幅が10~20mm、白色系の粘土となっていた。目地は湿気を有した状態を保持し、煉瓦の上部に敷き詰められた土は、焼成の影響によると思われるが、乾燥し、鮮かな赤色をなしていた。

A, B炉間と炉と外壁の間は、コアボーリング調査によると、内部にはコンクリートのガラや煉瓦の破片が粘土と一緒に炉内煉瓦との空隙部にうめてあった。また、炉の側面開口窓(鑄口)には、アーチ天端の押えとして昭和32年工事の赤煉瓦が載せてあった。

③老朽状況

昭和32年施工の天端モルタルは表面にクラックが入り、かなり風化して防水効果がないようにみえた。



写真-156 炉体天端 (解体調査)

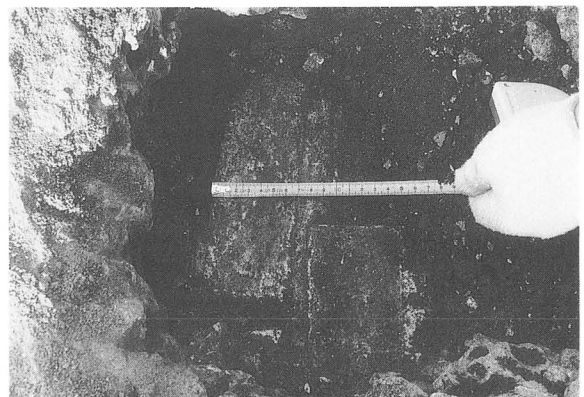


写真-157 炉体天端 (解体調査)

2.4 煙突部

煙突部は、基礎石上面より高さ約15.6m前後で外形は三段構造、中段部からそれぞれ独立し、上段にいくほど細くなり総積み数は127段である。内部は、上から下までほぼ同寸法で人間が入れる程度の約680×680mmの方形空洞をもっているが、炉内から煙突部に入る岬と呼ばれるところで空洞は1/3以下にしぼりこまれている。

断面構造をみると下段部は、長辺方向(4.9m)が22cm角の耐火煉瓦が4枚半、短辺方向(2.35m)が3枚半積みで、中段部(1基の寸法1.65×1.65m)は、2枚、最上部(1.25×1.25m)は、1枚積みとなっている。このため、最下部から中段部、そして中段部から上段部で、外観がセットバックした独特の形態となっている。目地材は、すべて粘土のため目地部の接着強度は、ほとんどない。外部は、創建当時漆喰塗りであったが、現在はほとんど剥落し、煉瓦面が露出している。内部は、煉瓦面のままだが、使用実績を示す付着物がある。

煙突部の煉瓦数量は、実際は、220×350mmの長方形の煉瓦や寸法調整したカット煉瓦が入っているが、容量を220角の煉瓦に換算すると総数26,000枚、1炉あたり6,500枚である。また、外面からみえる煉瓦は、総数約13,800枚、1炉あたり3,450枚となっている。

(1) 煙突部煉瓦積み構法

煉瓦の積み方は、220角の煉瓦を基本としコーナーに220×350mmの長方形の煉瓦を使い、芋目字をさけた工法になっている。従って基本的には、220角と220×350mmの2種類の煉瓦を使用していることになり、寸法調整が必要な箇所は、これを割った半端煉瓦を使用している。

下段部(段数50段、肩部4段)の煉瓦は、コアボーリング調査(写真169参照)によると、短辺方向が煉瓦3.5枚分厚さ820mmで、外側から約220mmの2枚があり、次に半端煉瓦があり最後に220mmの煉瓦が積んである。長辺方向は、煉瓦4.5枚分厚さ990mmで、外側から220角の煉瓦が3枚あり、次に半端煉瓦があり最後に220mmの煉瓦が積んである。

いずれも内側の220角の煉瓦の手前に半端煉瓦があ

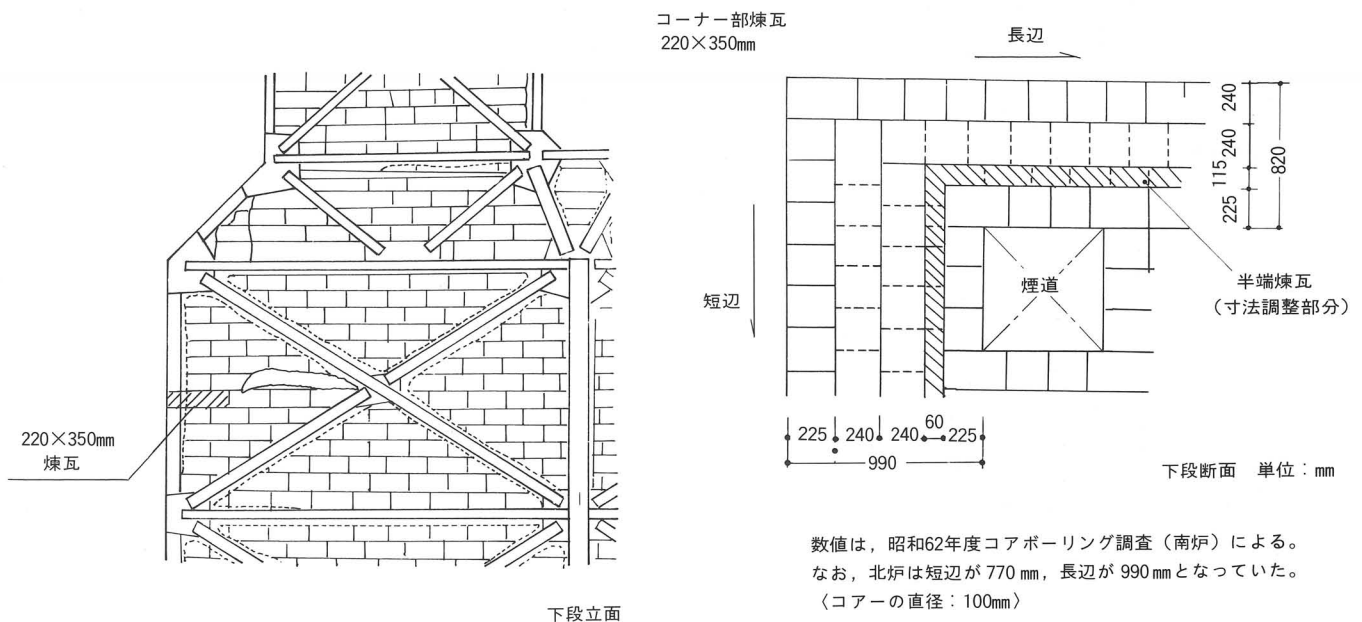


図-84 煙突下段 (立面, 断面)

り、この半端煉瓦廻りの目地部分に目地材が損失した空隙が、集中していた。この部分で半端煉瓦をつかったのは、おそらく寸法をここで調整したものと推測される。

中段部（45段、肩部4段）は、二枚積みで、北炉にはこの間かなりの空隙があった。これに対して南炉中段部の上部では、220×350mmの煉瓦をいれることで、間の横目地が一行にならぶことをさせた積み方になっており、北炉に比べ空隙は少なかった。

最上部（24段積み）は、南炉の解体調査によると一枚積みとなっている。なお、北炉の最上部は、昭和5年の北伊豆地震で崩落し、昭和32年の工事で軽量コンクリートブロック積みで復元されていた。このため、南炉についていえば最上部の煉瓦積みは、コーナに長方形の煉瓦を使い、長手面がみえる面は、中に幅220mmの煉瓦が2枚、短辺がみえる面は、220mmの幅の煉瓦が2枚、180～220mmの煉瓦が1枚入っていた。180～220mmの煉瓦は寸法調整用で、位置は、大部分が中央部に集中しており、この配列で縦横に交互に積んである。幅220mmの煉瓦は、220×350mmの

煉瓦を割ったもの（250～260mm前後）で、破断面を外部に露出させている。したがって端部で40mm前後の寸法の出入りが、交互に生じていた。特異点は、次のとおりである。

- 南炉最上段で上、中、下の3ヵ所に、8×20mm長さ1,200mmほどの鉄棒が水平方向にあらかじめ煉瓦の中央部分に4～5cmの溝をほって挿入し粘土で充填していた。

これは『鉄燗鑄鑑図』による最上外部の縦補強鉄帯の水平連結材と判断される（図86）。なお、縦補強鉄帯は各面に2本図示され、葦山反射炉では、これを忠実に守っていたことになる。鉄棒の直交の納まりは、下の煉瓦を欠きこむ場合、直交辺は、上の煉瓦を欠きこむか、あるいは、縦横の溝の深さを違えるなどの工夫がみられた。鉄棒の端部は、縦の鉄帯をいれる細工が施されて二股に分かれていた。

- 最上部で煉瓦に朱のシミが引かれてあった。下の方では中央に、上に行くに従って、煙突内部の内側に沿って引いてあり、シミ出しをしながら積んでいることがわかった。

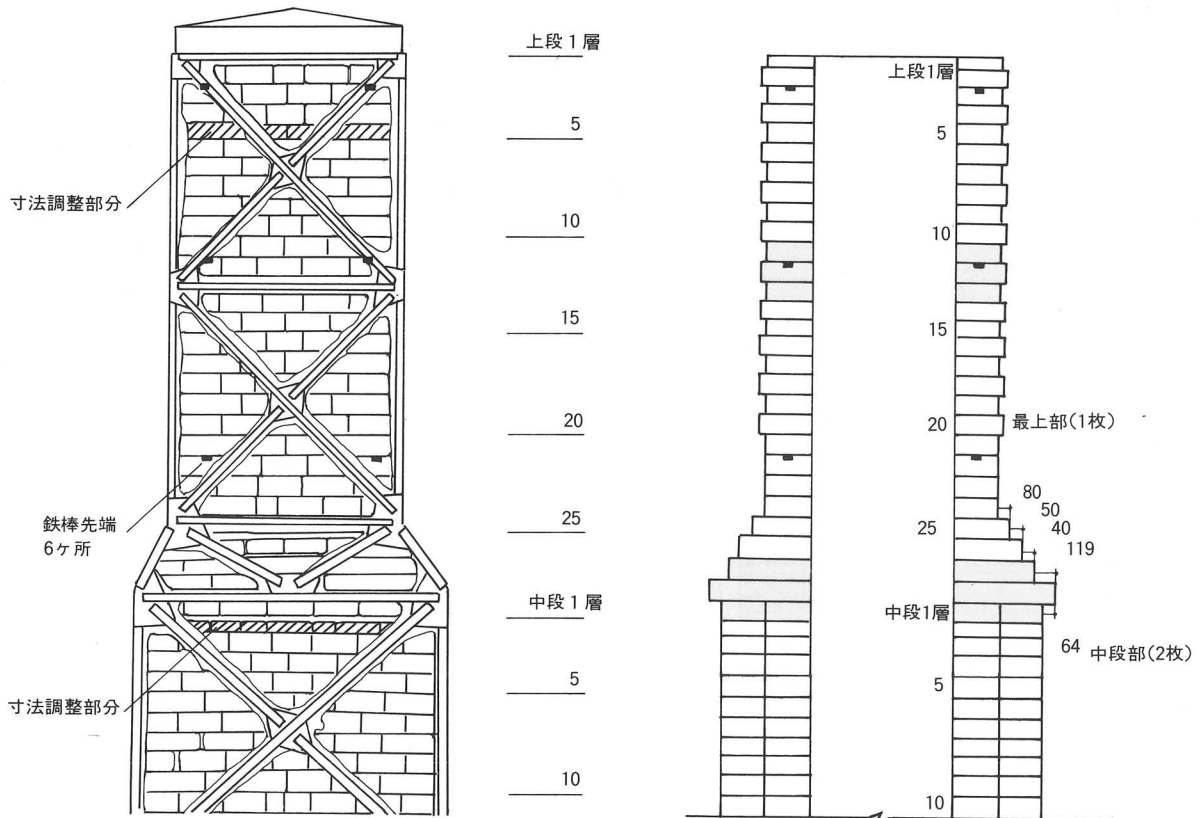


図-85 煙突中段上段（立面、断面）

構造上重要な目地は、いわゆる泥目地で、平均6～9mm幅であった。目地は、うすいピンク色をしており、耐火煉瓦の原料粘土を用いたと推測される。付着状況は、湿気をおび、うすい板状になっているものが多く、煉瓦を取りはずすと、くだけてボロボロとなり、小さなかたまりとなった。

(2) 煉瓦間（水平方向）の空隙状況

内部の空隙の発生状況は、南炉と北炉では、若干様相が異なり概して北炉の方が空隙が多かった。2枚積みの中段部では、中央の目地部に、下段部では、半端煉瓦廻りに空隙が集中していた。半端煉瓦は、煉瓦を割ってあるため、切断面が平滑でなく、したがって他の目地部のように粘土が十分充填されず、雨水の侵入、地震時の挙動等による空隙発生の原因となっている。

なお、この空隙が広いのは蒸気をにがす意図的なものとの可能性も考えられ再調査したが外部に水蒸気をにがす穴が残存しないこと、内壁の亀裂内側の煉瓦面に付着物が無いこと、空隙内の目地が6～9mmの板状となって残存していることから、当初から

のものではなく、地震時の挙動によって生じたものと判断された。

(3) 煙突外部の劣化状況及び損傷状況形状

煙突部は地震時の挙動等によりかなりの傾斜、ねじれを生じていた。(図87, 88参照) 主な点は次のとおり。

- 傾斜は各段部で異なる値を示しており、層間最大水平変形量は南炉中段部で北側に97mm傾斜している。
- 南炉が北東に若干傾斜している。隣接する煙突相互は、鉄骨の継ぎ部材により内側に傾斜している。
- 煉瓦のせりだしが南炉の中段、上部南側に顕著であった。
- 南炉の亀裂状況は短辺方向に縦に発生していた。
- 南炉の方が損傷が顕著であった。北炉は地震で最上部が倒壊したが逆にこれで中段部の損傷が少なくなったとも考えられる。
- 煙突部の風化は進行しており、煉瓦の風化（4.1参照）や、既存補修鉄骨の腐食、一部破断がみられた。

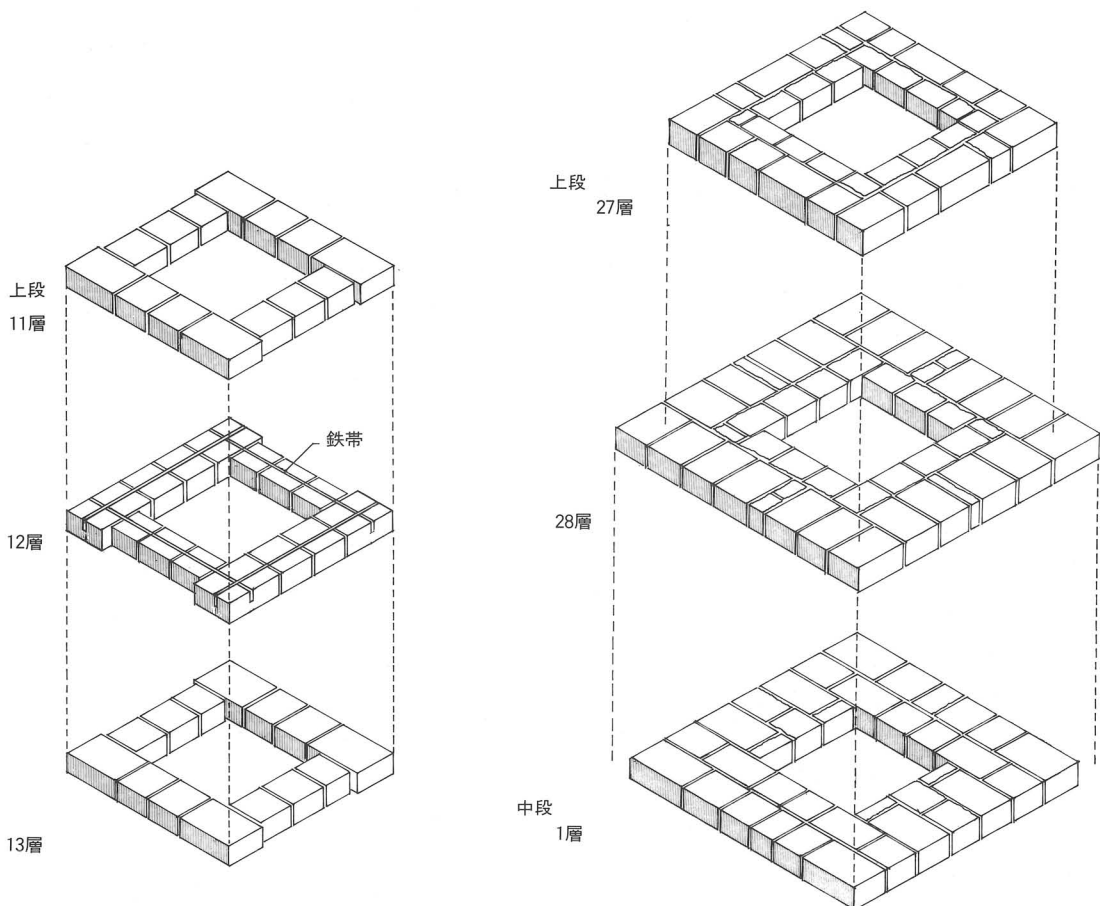


図-86 煙突中段上段の煉瓦積み

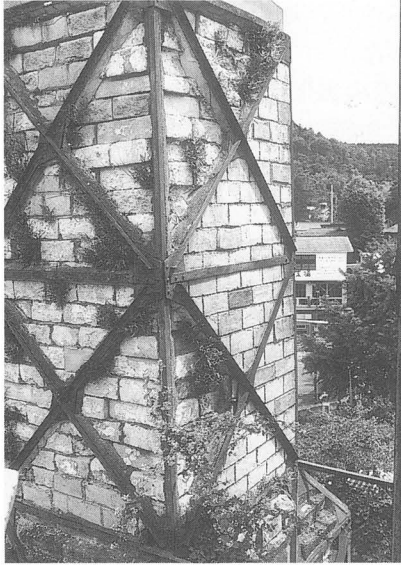


写真-158 南炉上段

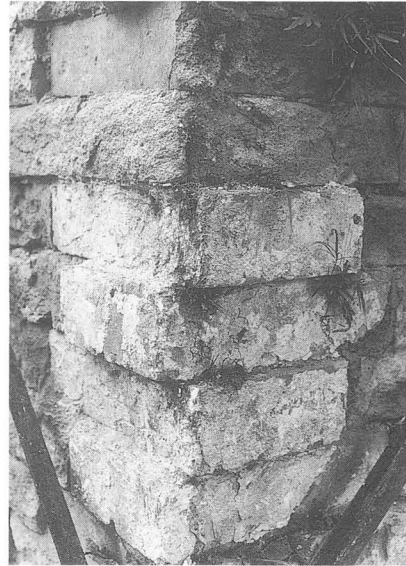


写真-159 南炉上段（コーナーの出入り）

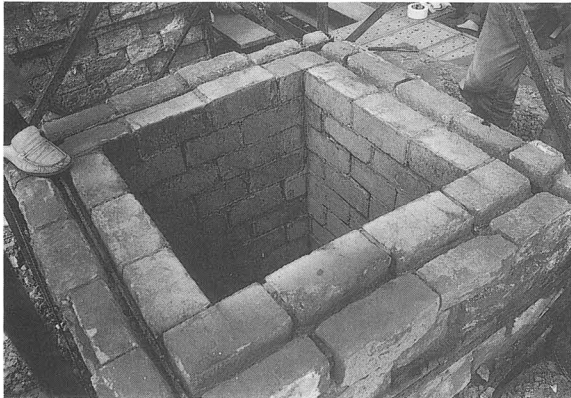


写真-160 南炉上段（水平連結棒）

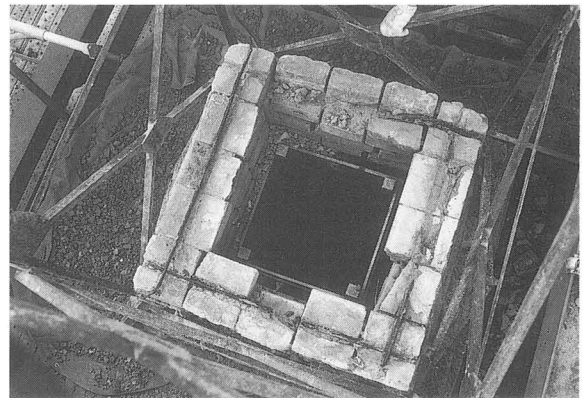


写真-161 南炉上段（水平連結棒）

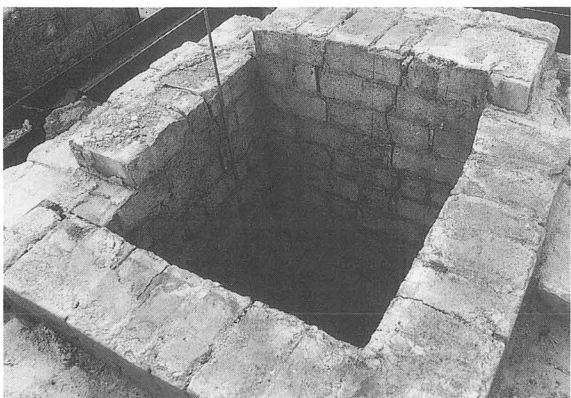


写真-162 煙突中段肩部（北炉）

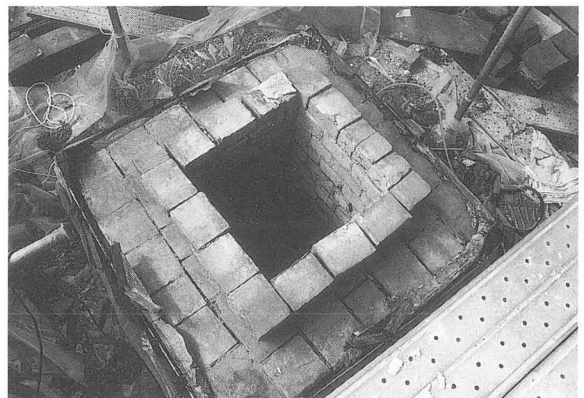


写真-163 煙突中段肩部（南炉）

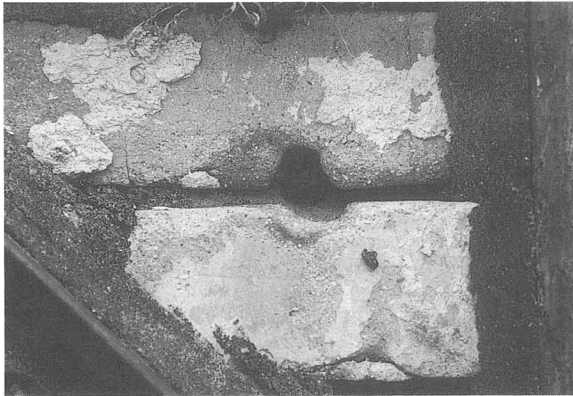


写真-164 水平連結棒の露出状況

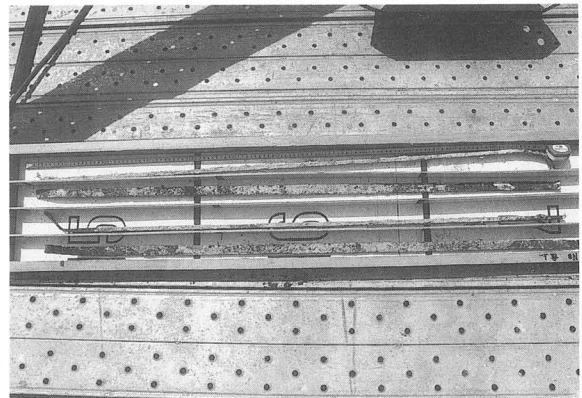


写真-165 水平連結棒

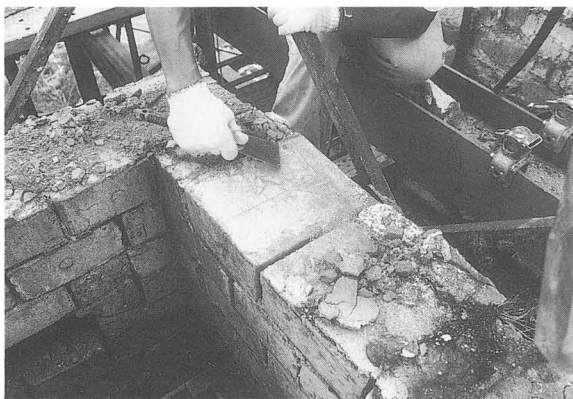


写真-166 煉瓦目地（水平方向）

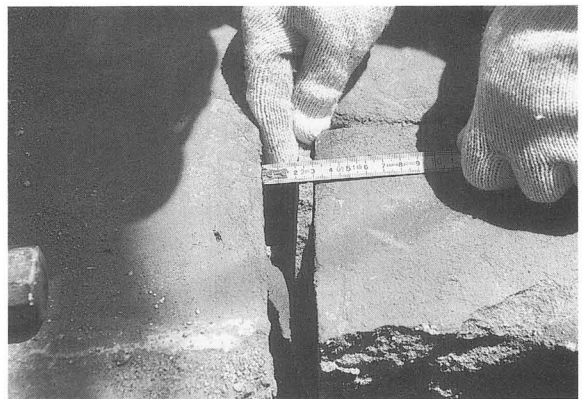


写真-167 煉瓦目地（垂直方向）



写真-168 煉瓦芯スミ

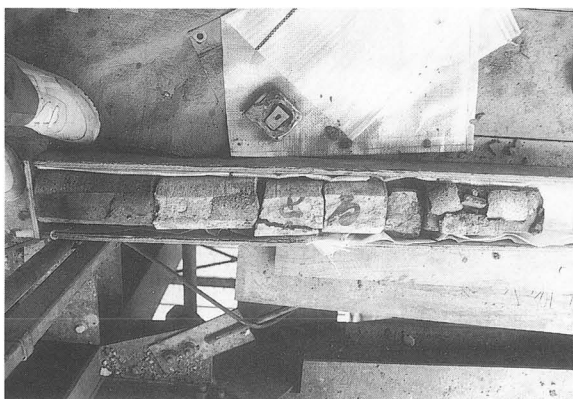


写真-169 煉瓦積みコア調査

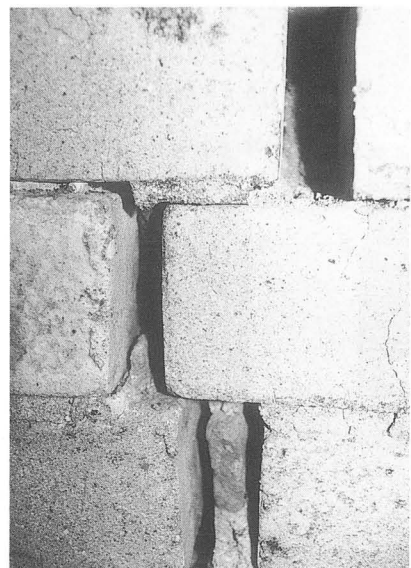


写真-170 煙突内部の目地

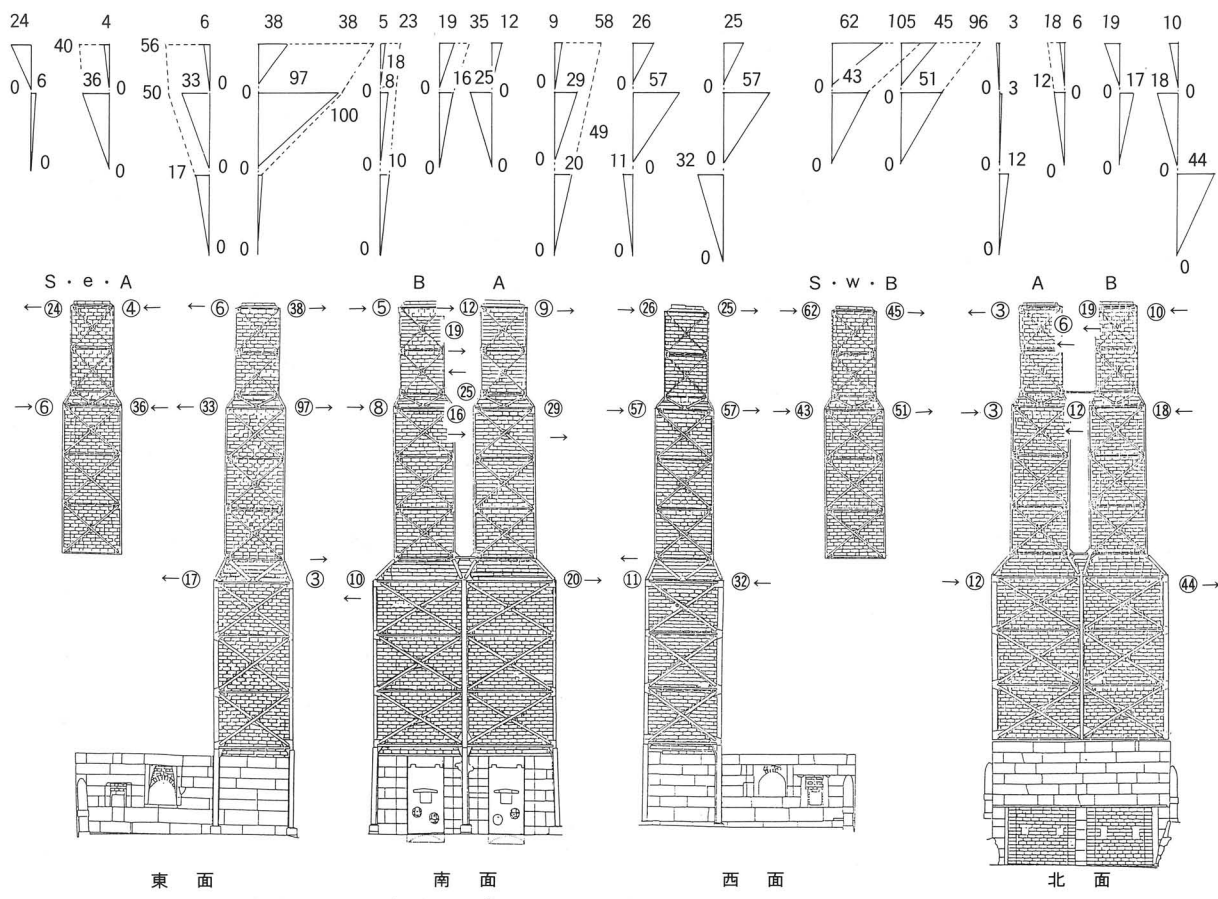


図-87 炉体外観調査; 煙突部傾斜測定 (南 炉)

註: ○内の数値は各層部材に対する傾斜水平変量(単位mm)

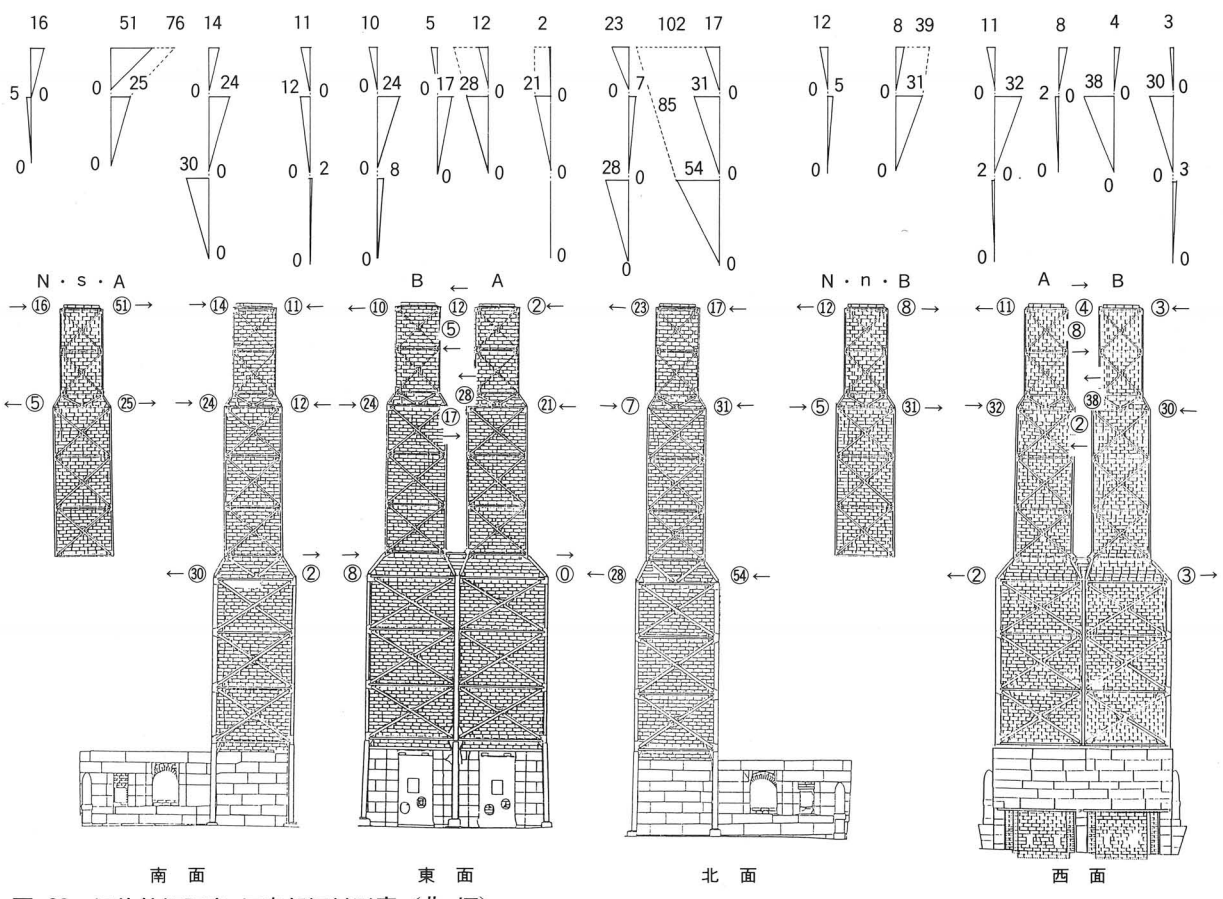


図-88 炉体外観調査; 煙突部傾斜測定 (北 炉)

(4) 煙突外部の仕上げ

葦山反射炉の煙突部分は、当初、耐火煉瓦の上に、漆喰を塗った白亜の塔であった。しかし、その後、風化及び目地保護のための補修工事によって漆喰は、ほとんど剥落している。古写真でみるかぎり、明治42年の修理時には大半が煉瓦の露出面となっている。

萩の反射炉の石積煙突部にも、漆喰の断片が残存しており、白壁のように土塗の上に漆喰仕上げとなっている。当時として、外壁仕上げは、ほとんど漆喰に頼っていたといえよう。

①老朽状況

漆喰の残存状況は大小の断片が北炉については2カ所、南炉については、10カ所ほど付着していた（写真171～174参照）。この他、各煉瓦の表面にも、漆喰がわずかに付着しており、煉瓦の風化した色とともに独特なテクスチャーをかもしだしている。

両炉を比較すると、南炉の方が、漆喰の残存状態がよく、後述する漆喰塗の工法を調査できた。

漆喰の状況は、北炉では、工事中に剥落しそうになるほどもろく、南炉では、一部強固に付着してい

た。表層は、モルタルと同系統の汚れ色となっている箇所と、はっきり漆喰とわかる灰白色の2タイプにわかれていた。

②構法

南炉の漆喰残存部の調査によると、漆喰塗りの工法は、3層仕上で、厚さは9～12mm程である。断片からみると、耐火煉瓦の上に、1.5mm程の薄い下塗りを施した上に、6mm程の中塗りをし、さらに、1.5mm程の薄い上塗りをしている。

特異な点は、この中塗りの中に、4～5mm程のしゅろ縄を塗りこめている点である。しゅろ縄は、約6～9cm間隔で巻きつけた痕跡があり、これで推定するかぎり、漆喰の剥落防止のため、全面に巻いていたと思われる。南炉の一部で漆喰を採取したところ健全なしゅろ縄が発見できた。ただし、北炉については、しゅろ縄の痕跡は一カ所も確認できなかった。

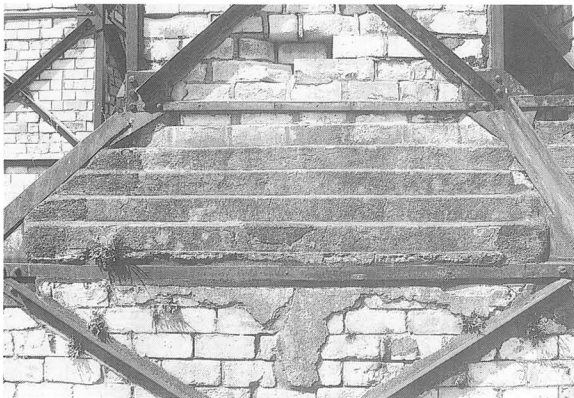


写真-171 漆喰残存状況（南炉南面）



写真-172 漆喰残存状況（北炉西面）



写真-173 漆喰残存状況（南炉西面）



写真-174 漆喰残存状況（南炉東面）

(5) 煙突内部（煙道）

煙突内部は、耐火煉瓦面のムキ出しで、特に仕上げは施されていないが、炉の使用実績を示す付着物が、表面を覆い、度重なる近域地震に伴う亀裂等の損傷跡が、そのまま残されていた。

昭和32年の補強工事では、内部に木製枠を入れ、煉瓦と木製枠の間に乾いた砂をつめ、煙突内煉瓦の内側への移動変形を防止していた。今回の修理工事では、煉瓦の付着物を観察、保存するためには、内部を露出した方がよいとの理由から、注入補強、煉瓦差し替え、目地部補修により煙突部の剛性を確保する構法を採用し、木製枠は除去した。

①形状

煙突内部の形状は、炉の出口（岬の部）で145～195mmほどに一端せばまった状態が0.7～1.6mほど立上り、あとは上部まで、ほぼ同面積（約680×680mm）となっている。内部は、倒れとねじれを生じていることが亀裂、煉瓦の出入りなどで、明確に確認される。とくに、中段部から最上部に移る肩の部分等で、地震時よると思われる変形、ゆがみが発生して、応

力がこの部分に集中したと推測される。

②老朽状況

昭和32年の補強用木製枠は、6cm角材を四隅にし、厚さ2.5cm、高さ50cmの木製ブロックを重ねたもので、煙突最下端部に水平に取りつけられた角材(150×150mm)に支持されていた。煉瓦内面と木製枠の間は、約30～50mmで川砂が密実に充填されていた。木製の腐食程度には、かなりの差が認められ、全体的には、上部では枠の形状を保っていたものの煙突上層部から中層部への接合部分及び中層部中央から下部にかけては、腐朽が著しく、解体時に枠材の崩れるものが多く認められた。これらの該当部分の川砂は、湿潤しており、煙突外表面の損傷状況と考え合わせると、降雨水が外部の風化欠損した部分から内部に流入したものと考えられる。

煙突内部の老朽損傷は、亀裂；煉瓦の割れ・欠損・脱落；煉瓦目地切れ損傷；煉瓦の出入り移動変形が顕著であった。

●亀裂：煙突内壁面の観察結果からは、特に壁面中央に縦方向に生じているものは、北炉では、煙突A.

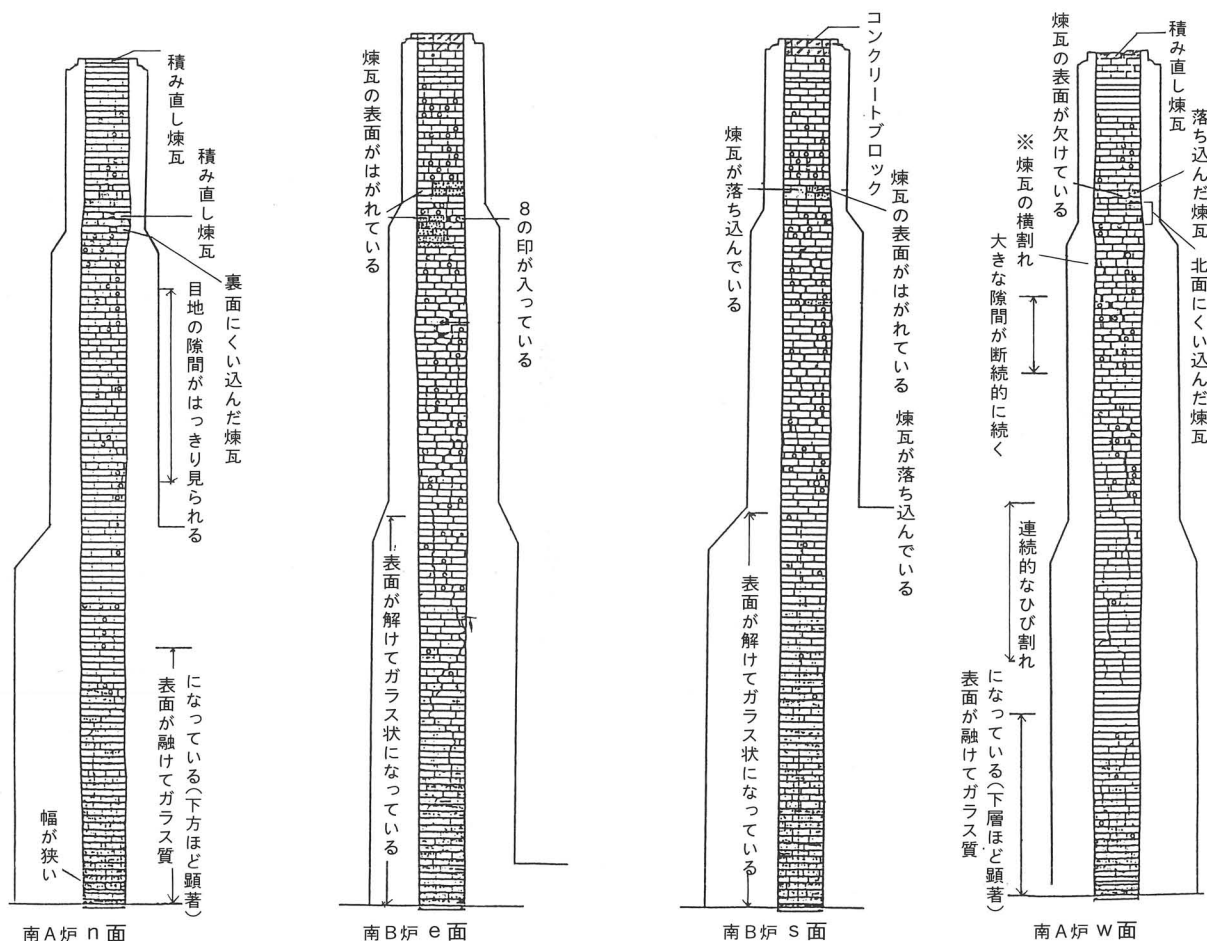


図-89 煙突内部状況図（南 炉）

B共, 最大の亀裂は, 南及び北壁面に生じている。位置は, 煙突下層部の中央から上部中層部へ接続する箇所である。これに比し, 南炉では, 最大亀裂を生じている壁面は, 煙突A, B共, 東及び西面であり, その発生位置は, 煙突下層中央から上部と更に, 煙突中層部全体に亘って生じており, 北炉に比べ南炉での中層部での亀裂損傷も著しい。

これは, 北炉, 南炉共, 夫々二本の煙突が, 双頭状に構成されており, 構造上短辺方向の弱軸方向に損傷が著しいことがわかる。この点は, 昭和56年度調査時の常時微動測定によっても振動特性として周期が長いことと一致している。

なお, 南炉の最大亀裂巾は, 北炉に比べやや小さく60~70mm程度である。これらの亀裂は, 発生箇所の煉瓦内面に付着物が無いことから, 炉の稼動が停止した後の地震時に発生したものであるといえる。

●煉瓦割れ欠損・脱落; 北炉煙突では, 地震動に伴う目地部の挙動で煉瓦の角が損傷している程度で大

きな脱落は認められない。これに比し, 南炉では, 煙突中層部の変形損傷も著しく, 特に上層と中層の接合部を中心として欠損脱落した跡も一部に認められると共に後年, 脱落乱れの著しい上記部分に新たに煉瓦を差し替え補修した形跡があった。この原因は, この部分の煉瓦の中央に, 溝をほって補強鉄棒を埋めこんであったため, このカット部分から, 煉瓦が割れ脱落したためである。従って, 当該部分では, 煉瓦積面の出入り乱れがかなりあり, 南炉煙突Aの外面にこの現象が著しく現われている。

●煉瓦表面溶融着層の状態; 煙突内側煉瓦表面には, いずれの炉に於いても, 溶融時に発生する物質が付着し, 層を作っているが, 炉によりその外観色調が異っている。又, 高さ方向では, 溶融火熱温度の影響から, 下位程, ガラス質性状を示している。この結果, 煙突下層部高さ約2.5~3mまでの部分では, 溶着物の剥れなどは少ないが中層部になると剥れ落ちて, 煉瓦表面が露出しているものが多い。

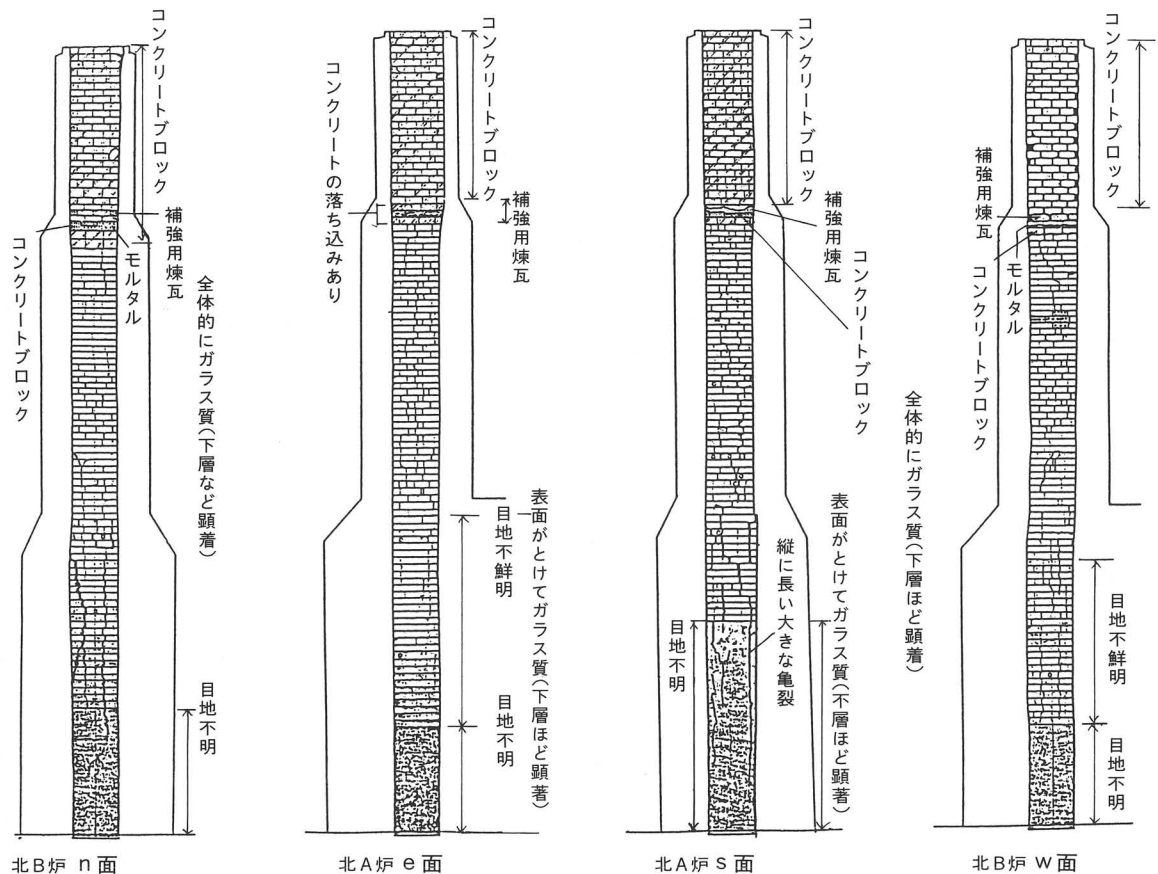


図-90 煙突内部状況図(北 炉)



写真-175 煙突内部（北A炉）



写真-176 煙突内部（北A炉）



写真-177 煙突内部（北B炉）



写真-178 煙突内部（北B炉）



写真-179 煙突内部（南A炉）

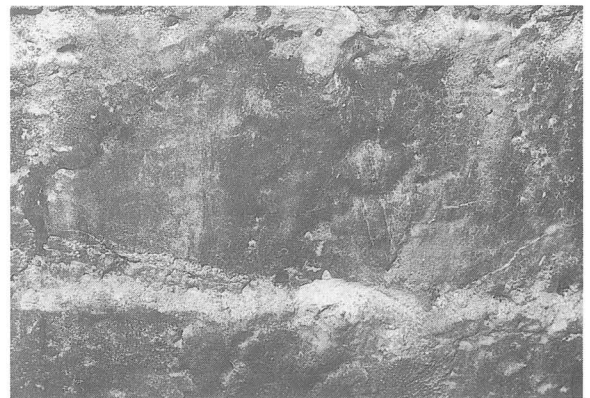


写真-180 煙突内部（南A炉）

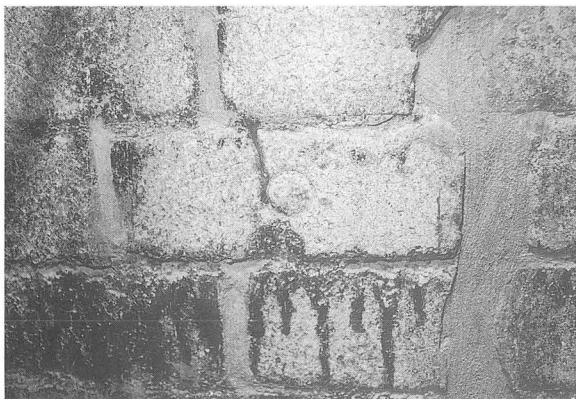


写真-181 煙突内部（南B炉）



写真-182 煙突内部（南B炉）

3. 遺構調査

(1) 調査の経緯

- ① 調査の目的・方法
- ② 各年度毎の調査地点と調査経過

(2) 調査の成果

- ① 遺構
- ② 遺物

(3) 小考察

- ① 鑄台の概要
- ② 炉体と鑄台の関係

(4) 今後の課題

(1) 調査の経緯

① 調査の目的と方法

昭和55年度から同59年度の調査及び設計事業に引き続いて64年度までの4年間に保存修理工事が実施された。この事業に伴って、主に工事によって地下遺構に影響を及ぼす部分を発掘調査して、築造及び操業当時の状況をさぐった。調査は各年度毎の工事にあ

わせて行い、遺構が発見される都度工事を中断して調査すると共に、遺構が予想される場合は事前に調査を実施した。

② 各年度毎の調査地点と調査経緯 (図91)

●60年度/炉体基礎の補強工事に伴って、鑄台の一部を発見・調査すると共に炉体湯口下の基礎部分を調査し、大玉石下の松杭を検出した。

●61年度/炉体の補強に伴って炉下及び灰穴内・外の調査を実施し、北炉において灰穴内に残存する煉瓦敷を検出した。また、煙突外面についても調査し、最上段の鉄帯を確認した。

●62年度/南炉煙突最上段の解体に立ち合って、築造時の墨のある煉瓦や鉄帯を調査取り上げし、煉瓦の積み方も調査した。

●63年度/内柵工事に先行して残存する鑄台の全容を調査した他、周辺部に2つのトレンチを設定して掘立柱建物跡などを検出した。また、灰穴部の煉瓦積みに伴って灰穴下部の記録調査も行った。

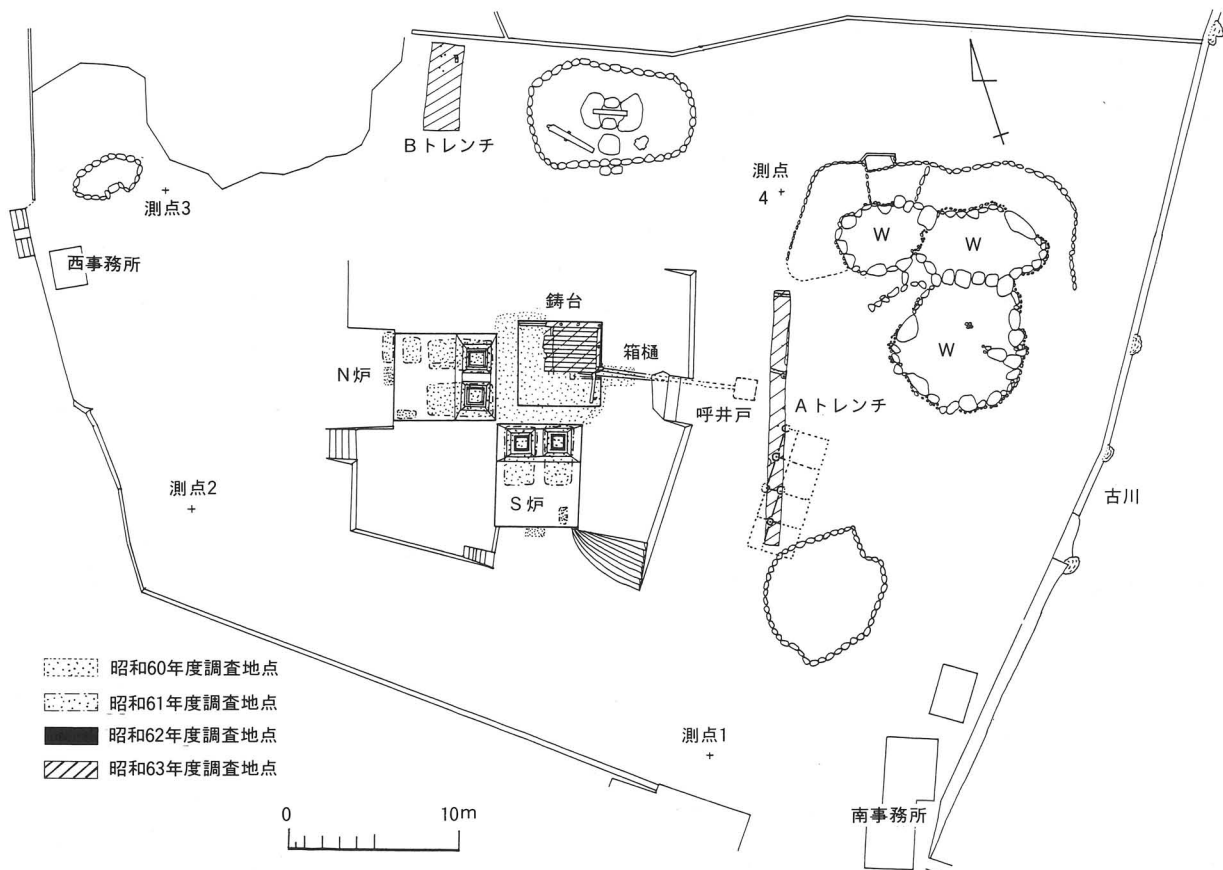


図-91 調査地点、遺構配置図

(2) 調査の成果

①遺構

遺構の調査は炉体や煙突についても実施したが、これ等は他項にゆずり、ここでは地下遺構（鑄台と掘立柱建物）を中心に述べる。

a 鑄台（図92～94、写真183～190）

鑄台は昭和60年度にその一部を確認し、同63年度に全容を調査した。

内部を掘り下げていくと、木材や煉瓦片が多量に出土し始め、明治頃に埋め戻された様子がうかがえた。まず上部の土砂を取り除くと明治5年の写真(写真18)にみえる上屋材と思われる多量の部材が投げ込まれた状況で現れた（写真183）。

これ等の部材には鑄台側壁の桁材、束柱や角材がみられ、煉瓦片、シュロ縄、文久永宝などと共に埋め戻し時に使用されたものとみられるスコープの柄（写真213）も検出され、写真206にみえる「タライバ……」銘の木簡も出土している。

この下にはさらに大型の角材が落ち込んでいて、これを取り除くとコケラ板群が現れた（写真184）。

この面にはコケラ板（覆屋材）が床面いっぱいに広がり、中には束ねたように折り重なっている部分もみられた。コケラ板材は上から投げ込まれたような状況で、これに混じってシュロ縄、煉瓦片、鑄型類、ルツボ、鑄造鉄製品（砲弾、板等）、大なべのフタの他、銅針金の付いたコケラ板も出土した。

コケラ板群の下は少量の板材があつて、すぐ床面となる（写真185）。

床面は25cm角の松材を並べて構成され、材は新鮮な状況を呈していた。床は南東（古川）側の内壁面から2.5mのところまで18cm削り込んだ段となっている（写真188）。この段付近の上位面と下位面全体には焼け焦げが顕著にみられ（写真189）、他の部分にはチョウナ削りの痕が明瞭に残っていた。

床面はこれに直交する30cm角の松材4本で支えられ、床角材を切り込んで組んでいる。この下には20×6cm角のマクラ材が敷かれていた。

側壁は床面上に立てられ、掘り方の土壁に密着させている。側壁材は幅60cm、厚さ6cmの松板を立てていて、この側壁が内側に倒れ込むのを防ぐため内

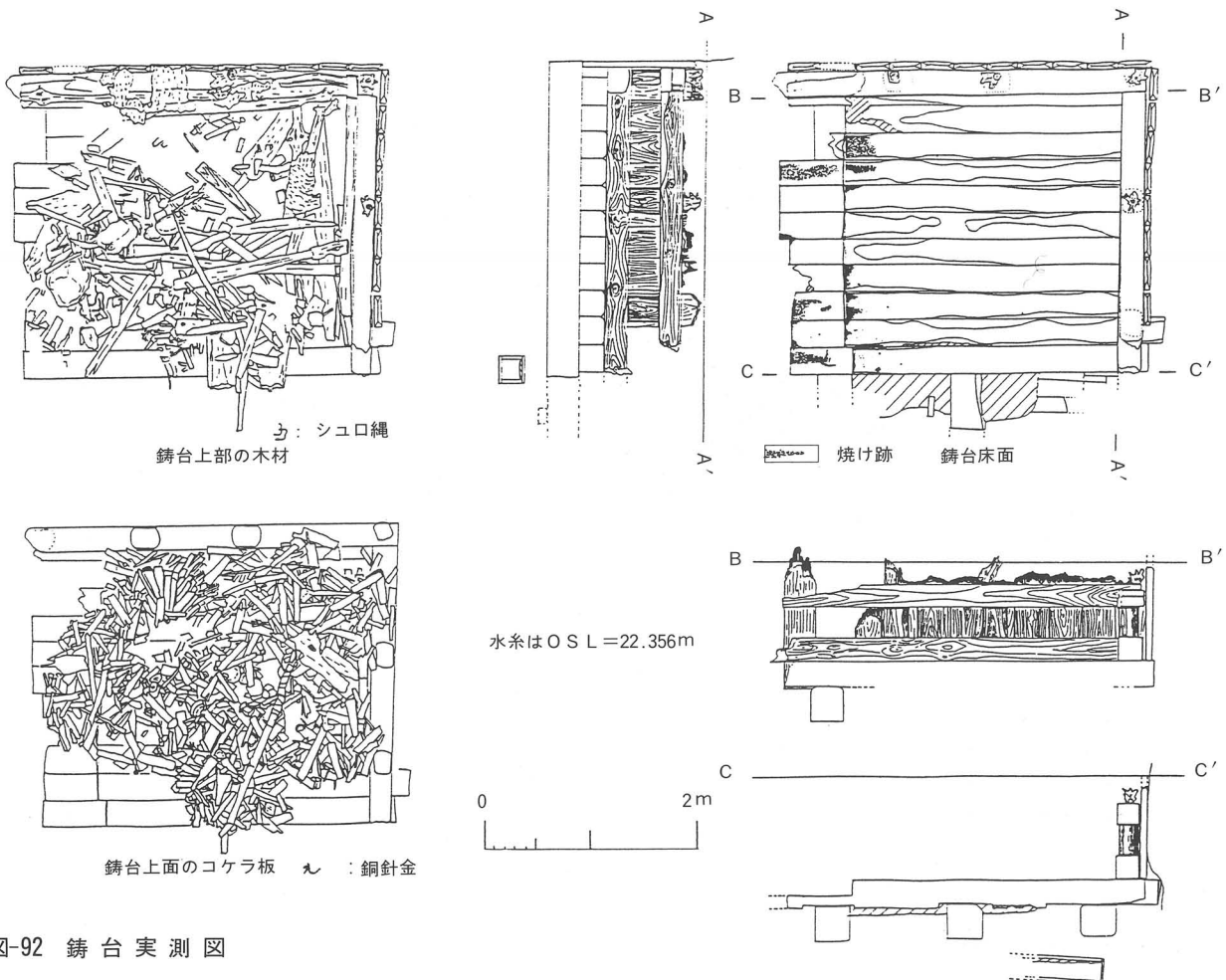


図-92 鑄台実測図



写真-183 鑄台内部の木材



写真-184 鑄台床面のコケラ板



写真-185 鑄台床面

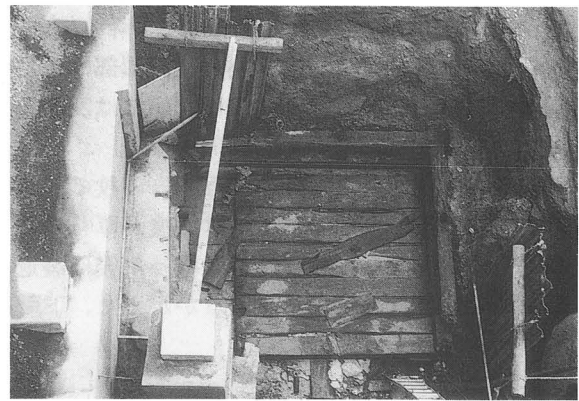


写真-186 鑄台完掘の状況



写真-187 鑄台側壁



写真-188 鑄台床面の段



写真-189 鑄台床面の焦げ跡



写真-190 鑄台床面下の状況

側に桁材と束柱を添えて支えている。

最下段には20cm角の松材を方形に組み、その上に高さ28cm程の束柱を一辺につき5本ずつ立て、その上に2段目の桁材を組んでいる。束柱は松材のやや細い部分を用い、2面を削っているのみであった。桁材は図92の断面のように端部をL字形に削って組み、スペーサーを入れるなどして周囲からの土圧に耐える構造となっている。この桁材と束柱は現在各々2段が残存している（写真187）。

床下のほぼ中央部には上・下2段の排水施設が作られていた。上段の排水樋は外法16cmの箱形で、4枚の杉または檜材で作られ、鉄釘で止められていた。傾斜は緩く、約1度の傾きで南東方向へ降っている。4枚の板の合せ目には漆喰がみられ、端部は床下の30cm角の松材で止まり、その端部両側には22cm角の煉瓦2枚が立てられていた（図93,94）。

下段の排水樋は外法27cmの箱形で、4枚の松板を釘で止めている。上蓋の下面には漆喰が厚く残っており、その状況から上蓋に漆喰を塗った後に裏返して蓋を乗せて釘止めしたことがうかがえた。下段は、

上段のものより傾斜は強く、約3度の傾きで上段同様南東方向に下降しているが、端部は床下に伸びているためつかめていない。

これ等2つの排水箱樋は幅60cm、現地表より4.1mに達する深い掘り込みの中に据えられていた（図93）。

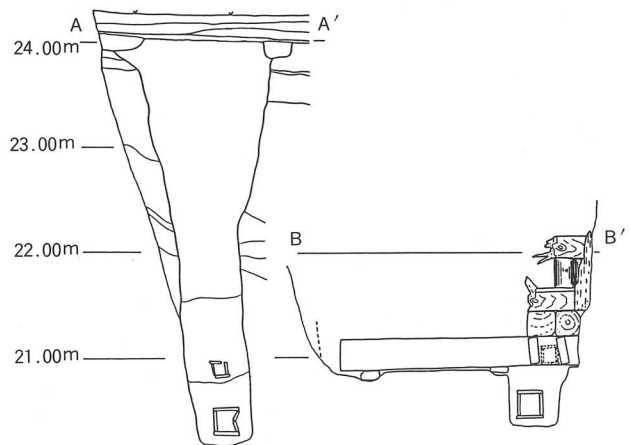


図-93 排水箱樋断面図

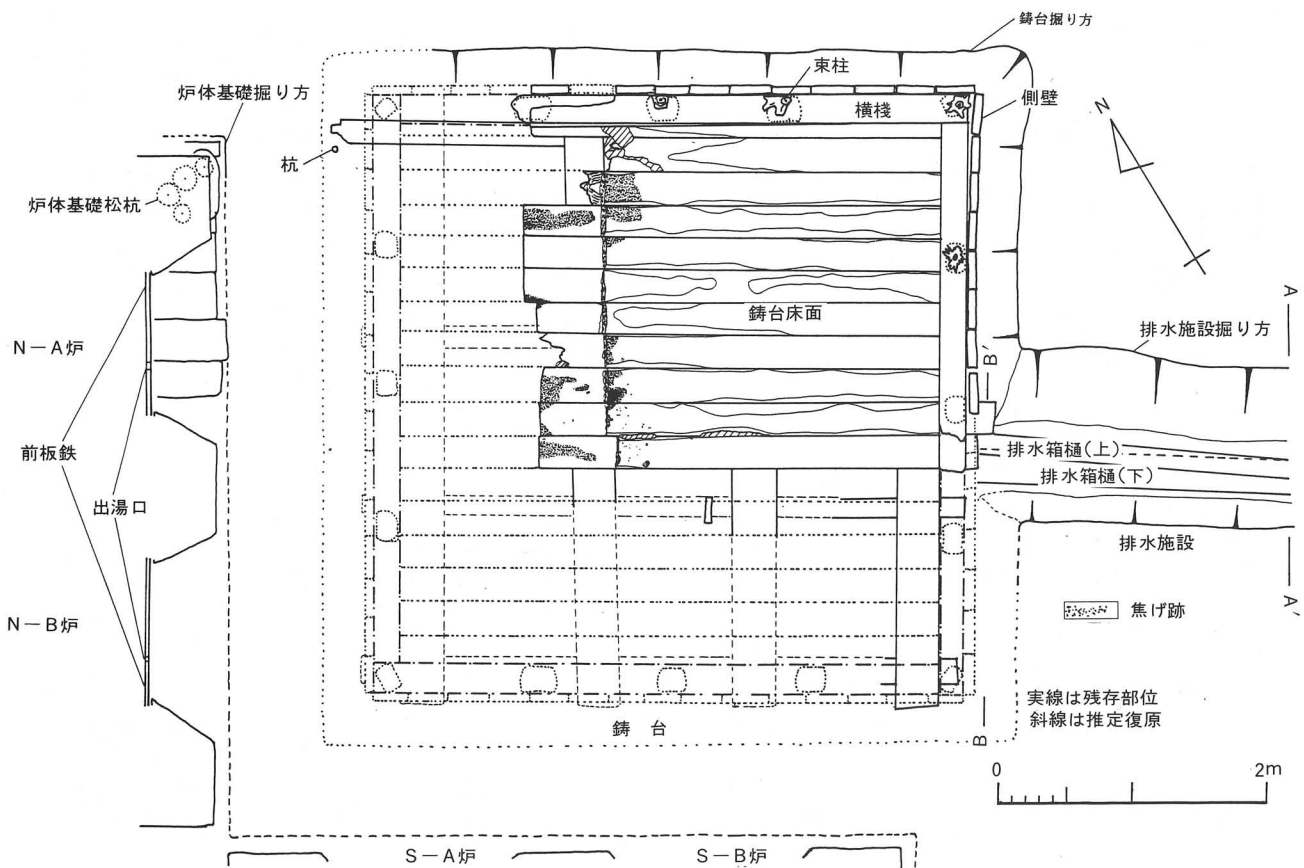


図-94 鑄台推定復原図

b 掘立柱建物 (図95, 写真191)

南炉の南東辺に平行して11m離れて設定したトレンチからその一部を検出した。検出面は明治時代の水田により上部を削られているが、標高は22.35m付近であった。

検出された柱穴は5本で、そのうち南東側の2本は掘り方は上端で40×35cm、北西側の3本は30×30cmの方形を呈している。深さはいずれも50cm程で、底部は20×25cm角となっている。柱痕は柱穴内に空洞として検出され、9cm(3寸)角程度の角柱で、北西側の柱穴には、柱の振れを止めるための小石が入れていた。

柱間は北東-南西方向では1.8m(1間)、これと直交する方向では0.9m(半間)であることから図95に示すような北西側に張り出した底部分と想定される。

この掘立柱建物の検出面には銅・鉄のスラグや焼土・煉瓦屑がみられることなどから、古絵図(図101)にみられる細工小屋と考えられる。

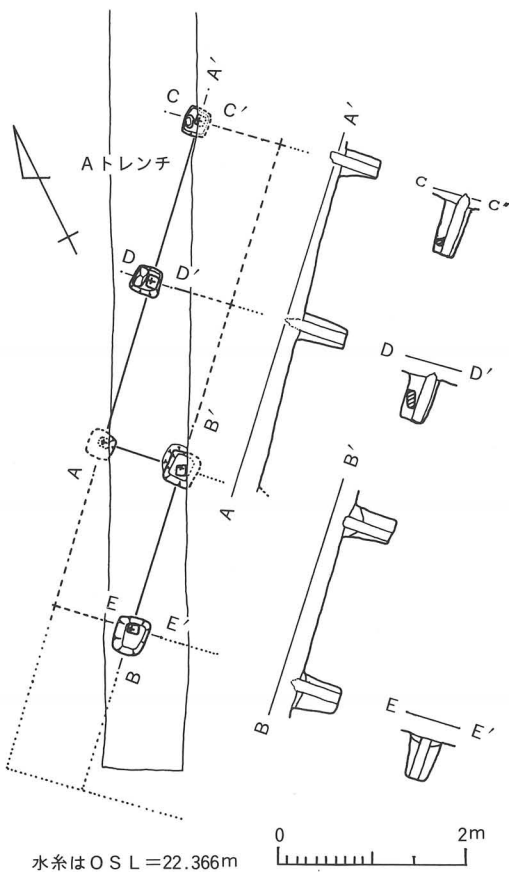


図-95 A トレンチ掘立柱建物実測図

②出土遺物

60年度から64年度までに行った遺構の発掘調査で多種・多量の遺物が出土しているが、現在整理中であり、用途・名称の不明なものが多い。

ここでは各出土品を分類して紹介し、今後各界のご教示を願うための資料としたい。

a 炉体・煙突材

炉体・煙突を構成する材料には石材・煉瓦・漆喰などがあるが、ここでは最も多い煉瓦を主に記述する。

写真192は文字レンガ(刻印)の例で、⊖, ル, 五, 八, ス六十, 六九などがみえる。これ等の文字は側面の他上面にも付けられたものもある。この他押印による○やへらによる+や×, 墨書による文字や野引線などがみられた。写真193は炉体アーチ部のテーパ煉瓦と厚さ調整煉瓦である。上段左の2つがテーパ煉瓦で、いずれも焼成後に削り出している。写真194は炉体アーチ部天井部の炉壁材で、天井から熔融したものが垂れ下がっている。



写真-191 掘立柱建物

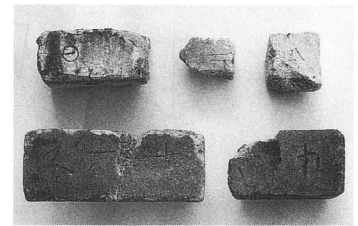


写真-192 文字記号煉瓦

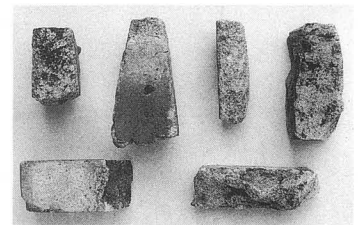


写真-193 テーパーレンガ等

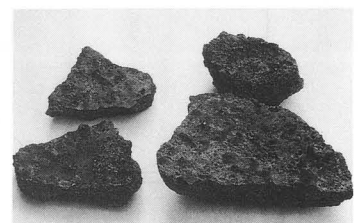


写真-194 天井炉壁材

b 鑄造関係遺物

図97は小球土型の実測図で直径35~36mmの球を鑄込むための再利用可能な土型(芯)である。残存状態から次のように使われたことが判る。

まず外径56~57mm, 高さ23mm, 底径41~42mmで, 深さ19mm程の半球形凹みをもたせたものの底部に径10mmの穴をあけて焼成する。これが型の芯となる。この芯の中に精選されたキメの細かい土を入れ, 型を回転させて径35mmの半球状の型を作る。これを2個組み合わせて, その外側を砂混じりの土で結合し, 球形の型が出来上がる。芯の底にあけられた穴から湯を流し込むものであろう。写真195は, これ等の型と, さらに大形の鑄型断片である。

写真196は筒形の石製品で, 左は内径 23 cmの円筒状で凝灰岩製。右は白に似た形状で, 高さ15.5 cmの砂岩製。いずれの内面も熱を強く受けて変色している。

写真197は白形の石製品で凝灰岩製。外径27.8cm, 高さ12.4cmの円柱に深さ9.4cmの半球状の凹みを作り, 底に径6.4cmの穴をあけている。この他に砂岩製の

のや, 土を焼いて作ったものがあるが, いずれも上縁付近を中心に強く熱を受けている。これ等は小球型の芯と同様な使われ方とみられる。なお, この白形石製品の外側面には, 中程に凹みが巡っており, 所々に鉄サビが見られる。鉄製のタガで補強したものと思われる。

写真198は窯道具類を中心に示したもので, 左列は直径8~9 cm, 厚さ3 cmの円盤状の焼成品で, 表面には指痕が顕著に残っている。用途不明。

同上段中は型乾燥用の支脚である。同中下段はクサビ形の焼成品で3点が出土した。同右上はふいごの羽口でかなり大形のものである。同右下は中子かと思われるもの。

写真199左は銅の付着したるつぼ, 右は石炭片で十数点出土している。

写真200は前炉の底部とみられるもので, 4ヵ所の出湯口が残っている。

写真201はスラグ類で, 各地点から多量に出土している。

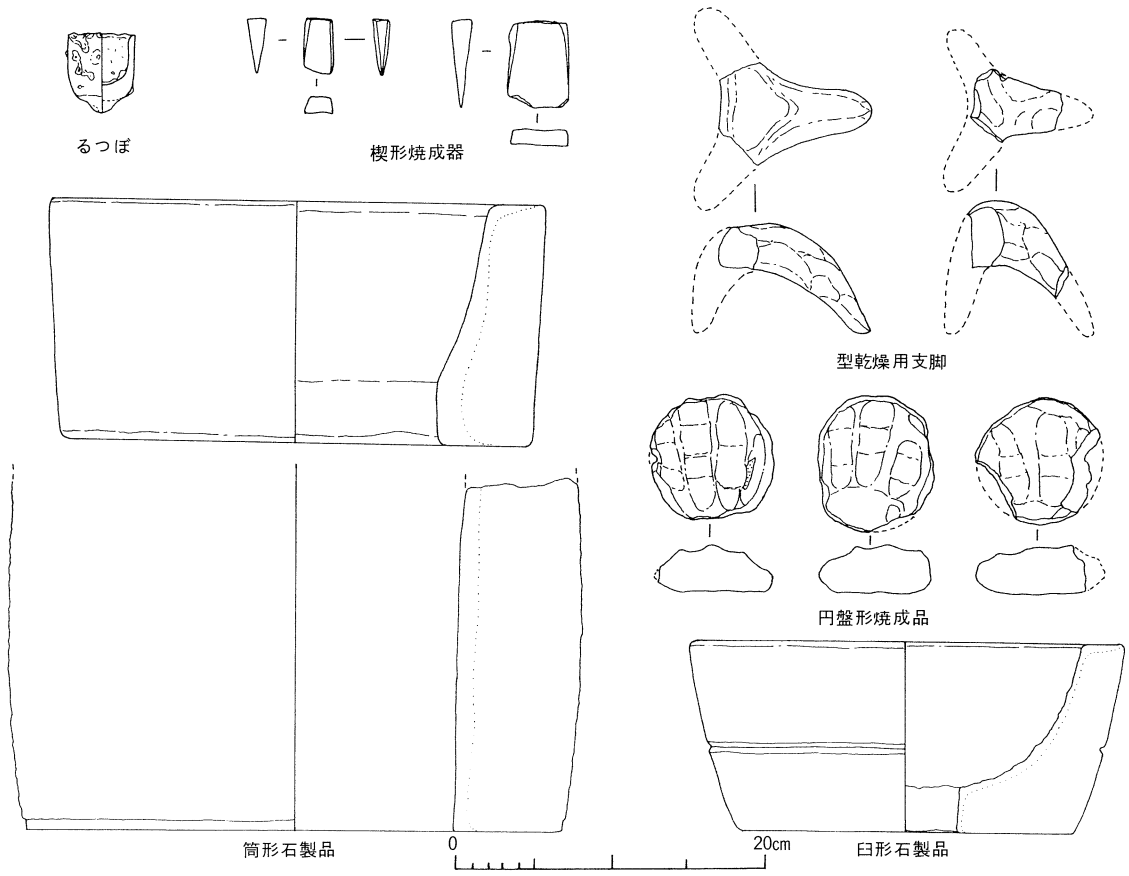


図-96 出土遺物実測図

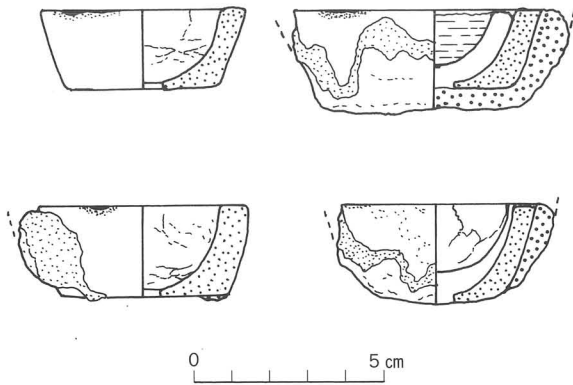


図-97 小球土型実測図

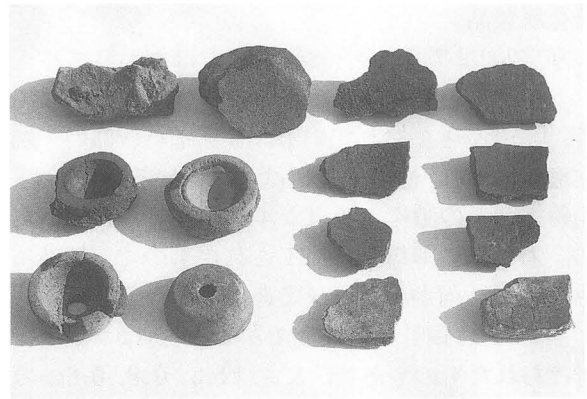


写真-195 遺物（鑄型類）

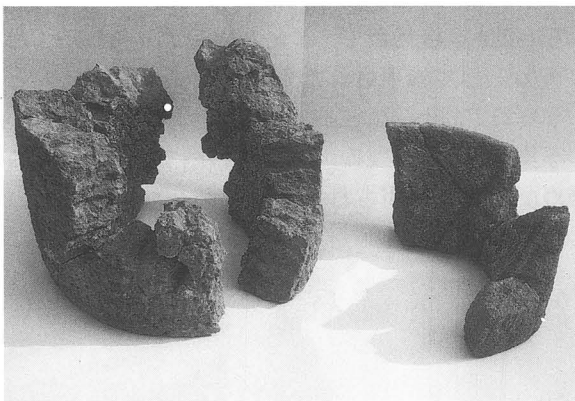


写真-196 遺物（筒形石製品）

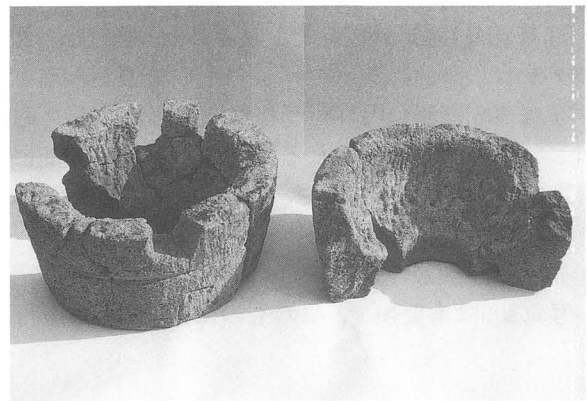


写真-197 遺物（白形石製品）

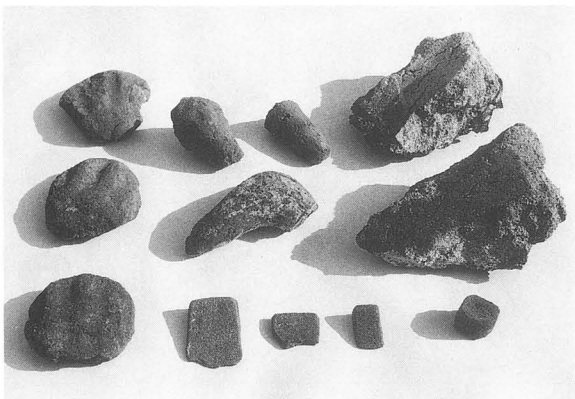


写真-198 遺物（窯道具類）

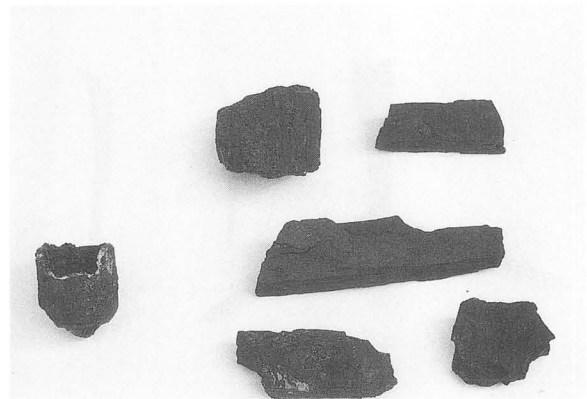


写真-199 遺物（るつぼ、石炭片）

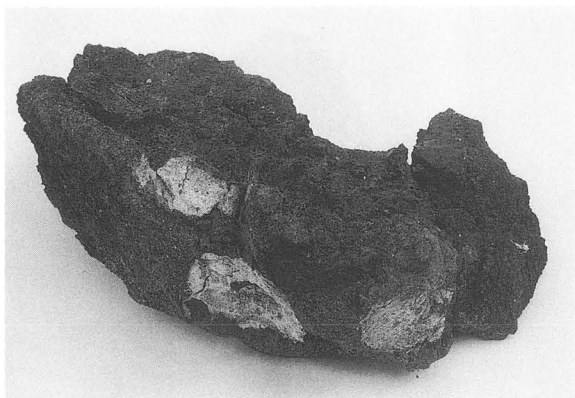


写真-200 遺物（前炉の底部）



写真-201 遺物（スラグ類）

c 金属製品

写真202は工具・ゲージ類で、左はカニ目スパナとドライバーを組み合わせたもの。スパナ部の幅は16mmで、「一半」と刻まれている。ドライバー部の一端は左廻しに捩れ、他の一箇所は欠けている。中央は『鉄煩鑄鑑図』の隙探索子（ガルベールデル）に似たもの。右は銅の薄板から加工されたもので 端部に刻みをもつ。何かのゲージであろう。

写真203は銅針金と銭貨である。針金はコケラ板に付けられたものもあり、太さは1.3, 0.8, 0.6mmの3つに大別出来る。右上は表土内から出土した明治10年代の一銭銅貨、下は鑄台内出土の文久永宝。

写真204は鑄造鉄製品で、厚さ2cm、幅11cmの板材やクサビ、湾曲のあるナベ状のものなどがみえる。

写真205は鑄台内コケラ板群内から出土した砲弾（しいのみ弾）とみられる鑄造鉄製品で、表面には鑄物砂が付着している。長さは17.8cm、最大径8.3cm、重量4.032kgを測る。

d 木・繊維製品

写真206は木筒類で、左のものには「砲兵本廠行・

タライバ……」と墨書されており、タライバス銃何丁かを砲兵本廠へ送ったことが判る。中は舎の墨書、右は小の焼き印がそれぞれみられる。

写真207はコケラ板とクサビ材で、コケラ板は長さ35cm、幅12cm、を測る。

写真208は大なべの蓋で、半分ずつ分かれるものの片方とみられる。直径73cmで、裏面は焦げており、表面にはコンパスによる同心円が刻まれている。

写真209はシュロ縄で、漆喰の付着したものや、竹串を縛ったものなどがある。

e その他の遺物

写真210は陶磁器類で、瀬戸や九州のものがある。

写真211は屋瓦類で、本瓦と棧瓦がみられる。右列は再加工して転用されたもの。

写真212は砥石などの石製品。

写真213はカシ製のスコップの柄であるが、明治の埋め戻し時に使用されたものであろう。

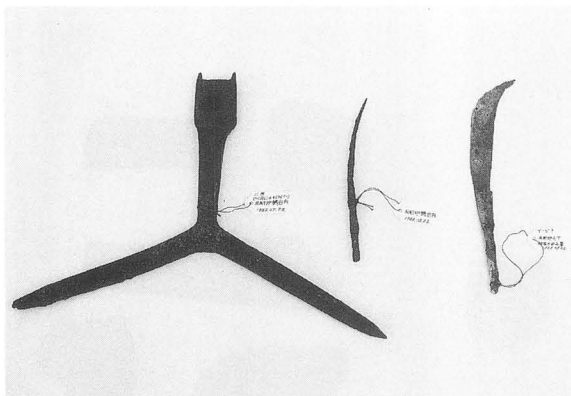


写真-202 遺物（工具・ゲージ類）

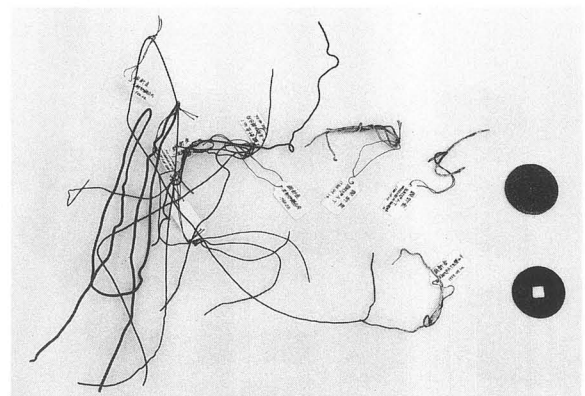


写真-203 遺物（銅針金、銭貨）



写真-204 遺物（鉄製品）



写真-205 遺物（砲弾）

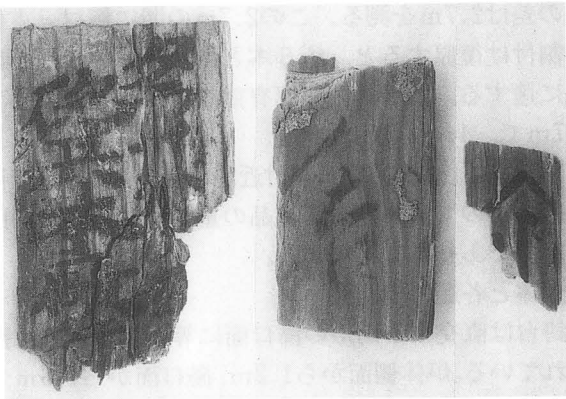


写真-206 遺物 (木筒類)

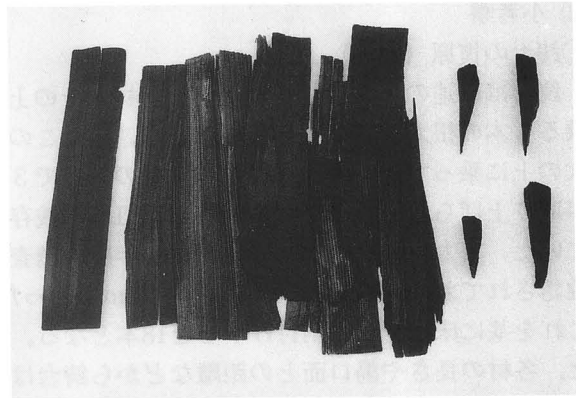


写真-207 遺物 (コケラ板, クサビ)

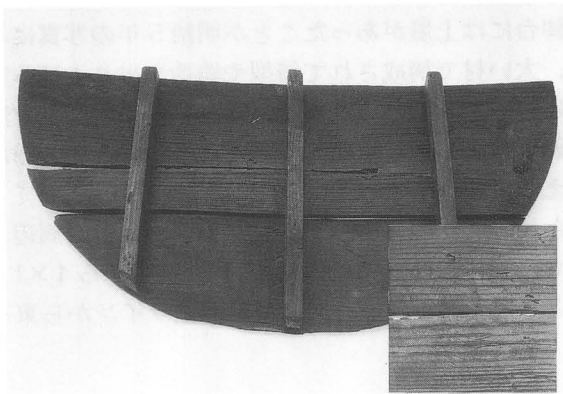


写真-208 遺物 (大なべのふた)

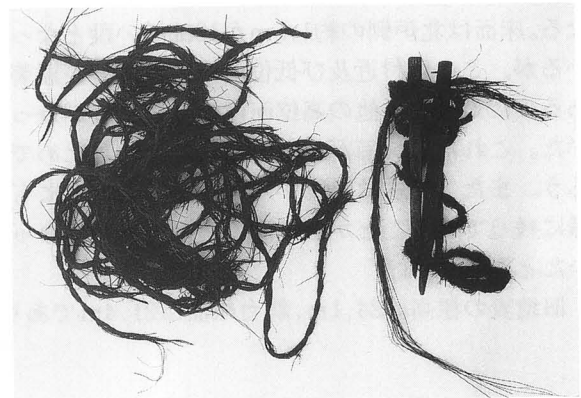


写真-209 遺物 (シュロ縄)

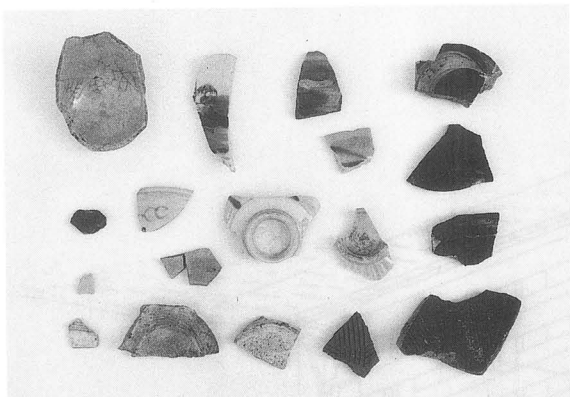


写真-210 遺物 (陶磁器)



写真-211 遺物 (屋瓦)

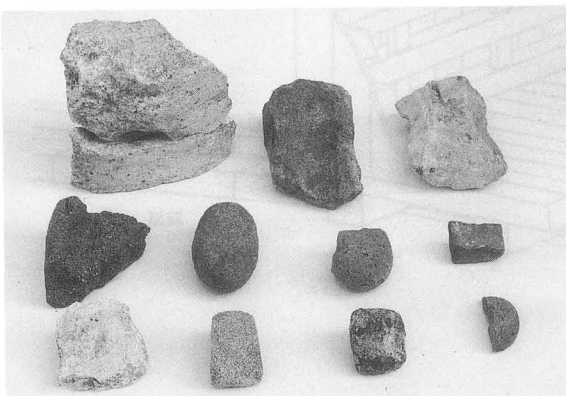


写真-212 遺物 (砥石)

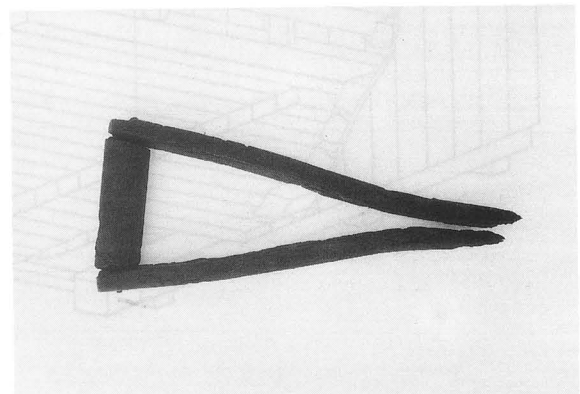


写真-213 遺物 (スコップの板)

(3) 小考察

① 鑄台の復原 (図98)

鑄台は前述のとおり、4本のマクラ材とその上に乗る4本の根太材とで支えられている。床はこの根太の上に乗っているが、床材は60年度の調査で3本が取り上げられて、63年度調査時には11本が残存していた。根太材とマクラ材の全長は60年度の調査で確認されており、それぞれ4.68mと4.88mであった。これを基に床材を復原割付けすると18本となる。また、各材の長さや湯口面との距離などから鑄台は方形と判断される(図93)。これを現存する壁等から推定して有効内測は4.06m角、掘り方内測は4.62mとなる。床面は北炉側の約1.5mが18cm低い段となっているが、この段付近及び低位面には焦げ痕が顕著であるのに対して、他の高位面はチョウナ痕が残っていた。これは高位面が土砂で覆われていたためであろう。またこの段は、60年度取り上げた3本にも同様に残っていることから床面の南西端まで連なっていたとみられる。

旧地表の標高は24.1m、鑄台床面は21.4mであり、

その差は2.7mを測る。この2.7mの間に桁材と束柱を割付け復原すると、桁6本と束柱5段でほぼ旧地表に達する。鑄台内の復原有効容積は $4.06 \times 4.06 \times 2.7\text{m}$ で、 44.5m^3 程となる。

図98はこれを南A炉湯口付近から見たものとして復原したもので、鑄型や鑄造品の重さに耐え得る堅固なものであったことが判る。

② 炉体と各遺構の関連

鑄台は直交する両炉の湯口面に等距離の位置に配されている。炉体側面から1.2m、湯口面から1.6mで鑄台床面が存在する(図93, 99)。この部分で4炉の湯を合わせるなどの作業をしたものとみられる。

鑄台には上屋があったことが明治5年の写真にみえ、太い材で構成されて鑄型や鑄造を吊り上げる重量に対応させている。また、写真から上屋は長方形で鑄型の出し入れは北東側だったらしいこともうかがえる。

Aトレンチで検出された掘立柱建物は、鑄台周辺よりも1.8m低いレベルで、検出された様子から 4×1.5 間と想定される。棟方向は南炉側壁ラインから東へ

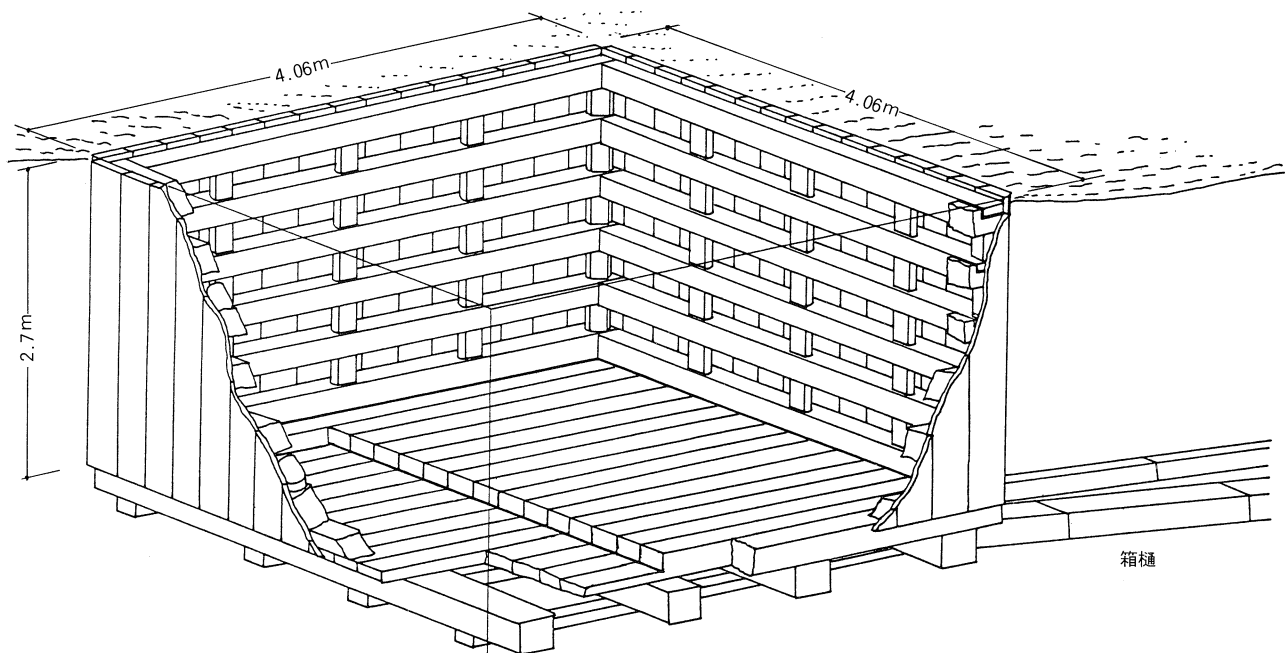


図-98 鑄台推定復原図

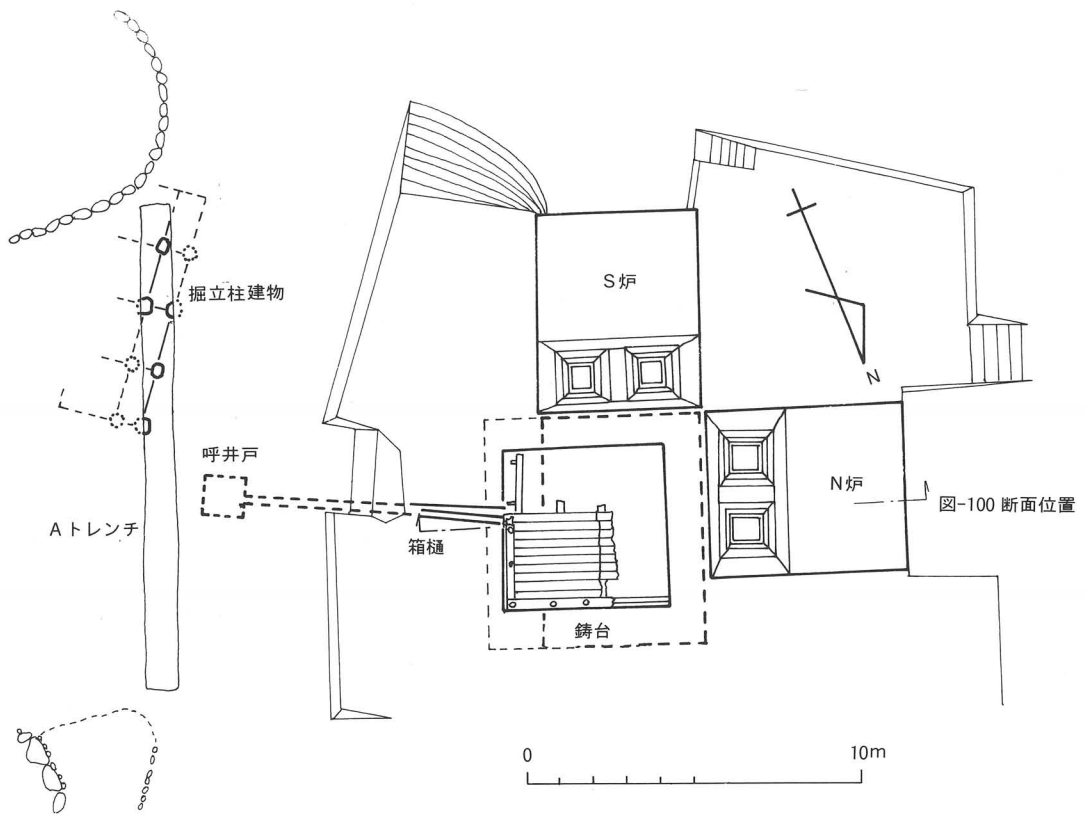


図-99 平面関連図

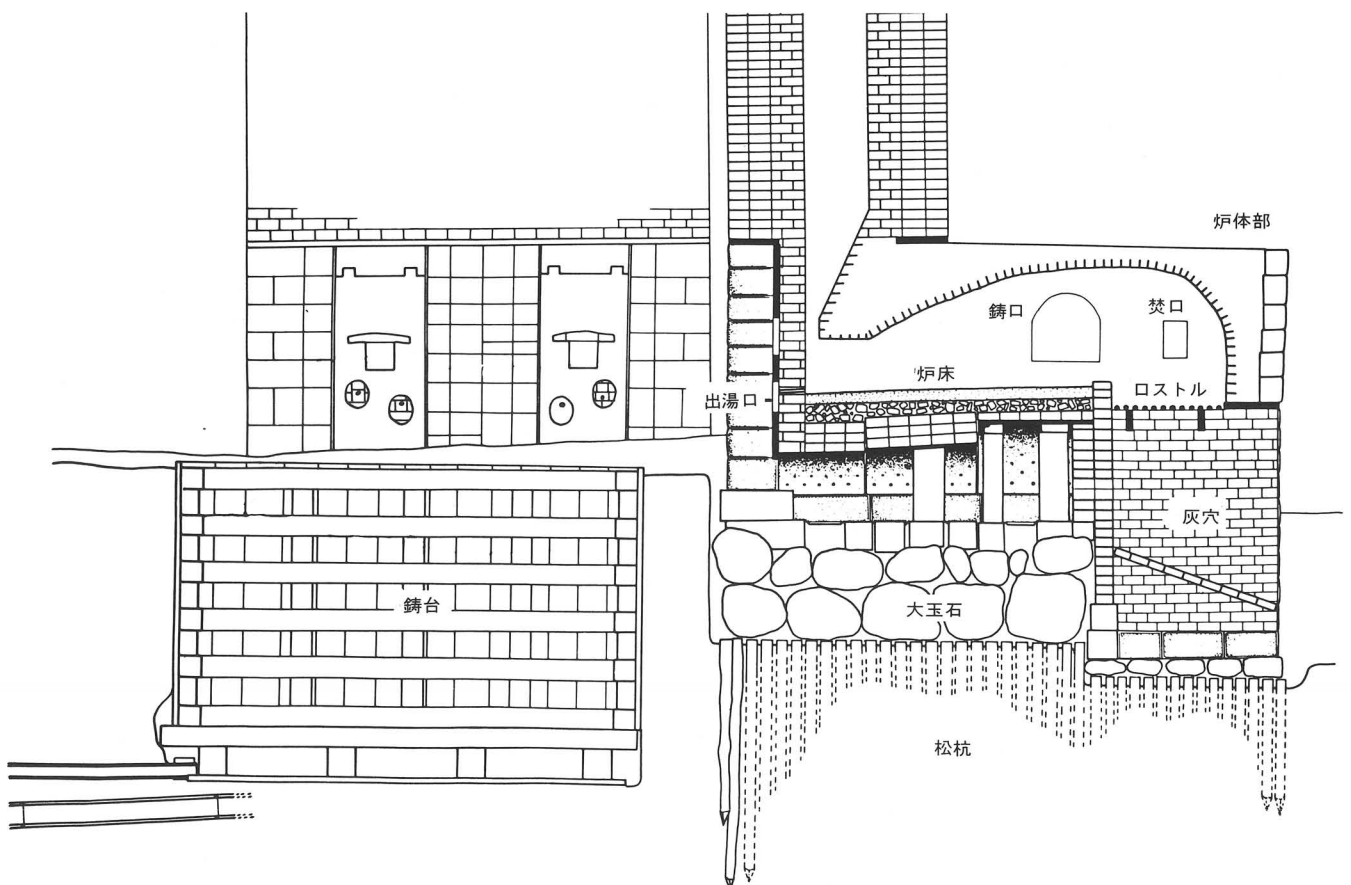


図-100 鑄台断面図

16度程開いているが、古絵図にみえる細工小屋と考えられる。

また、鑄台から南東方向に延びる2つの排水樋は古絵図の呼井戸の方向へ向っている。このためAトレンチを精査したが、排水樋の掘り方や井戸は検出されなかった。従って呼井戸は同トレンチよりも鑄台側にあるものと推定される(図99)。

(4) 今後の課題

①出土資料の解明

今回の発掘調査では、多くの資料が得られた。特に出土遺物は種類・量とも多く、整理には更に時間を要するものとおもわれる。

今後これ等出土遺物の名称、用法や産地の特定など究明しなければならないことが山積しているが、これらを逐次解明していくことにより、葦山反射炉の操業当時の状況、特に炉の使用された状況や保守等の状況も解明されていくものとおもわれる。

②旧遺構の解明

史跡葦山反射炉は、炉体のみを示すものではなく、古絵図(図101)が示すように炉体(熔解炉)を取

り巻くいくつかの工場から成り立っていた。今回の発掘調査では鑄台を完掘した他は細工小屋とみられる建物の一部が検出されたのみで、操業当時の各施設の数からいうと未検出の部分の方が多いともいえる。敷地内の現状からはやむを得ない状況にあるが、将来機会ある毎に未検出遺構の調査を進めていきたいものである。

③古資料の収集と研究努力

考古学的調査した内容が、単にこのようなものが出土したというのみでは不十分であり、調査によって検出された遺物・遺構が、古記録・古絵図等を裏付ける証明資料となってこそ十分といえる。

この意味からみて、葦山反射炉に関する古資料の現況は、必ずしも十分とはいえず、更に収集努力を図ると共に、今後、金属・煉瓦・石等に関する産業各界からの専門的助言を得つつ、疑問点の解明を継続していく必要がある。

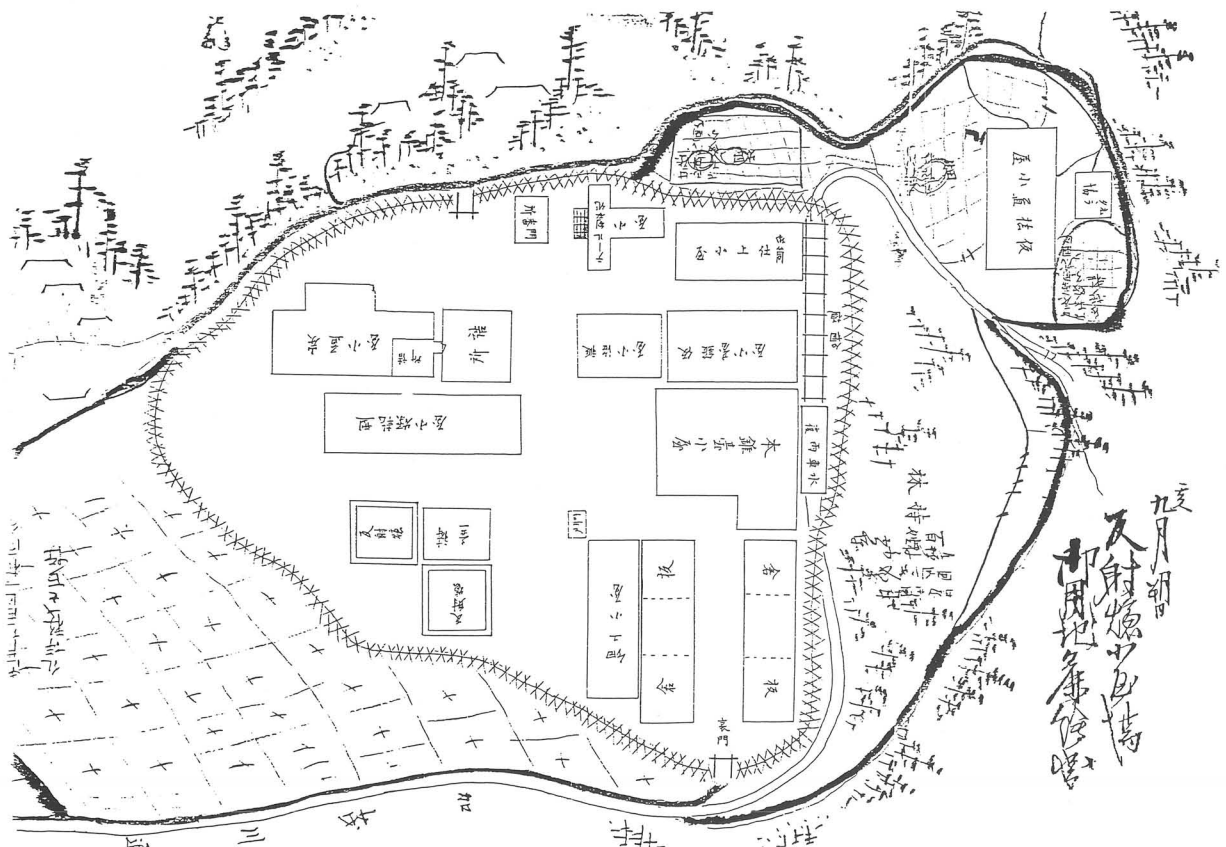


図-101 古絵図(文久3年「反射炉小屋場御用地鹿絵図」)

4. 材料別調査

蕪山反射炉に使用されている材料は、煉瓦、石、土、鉄、漆喰、木材の6種類である。前項との関係は次のとおりである。

- 基礎事業；松杭、玉石、充填材（粘土等）
- 炉体部；煉瓦、石、土、鉄材
- 煙突部；煉瓦、漆喰

この中で、耐火煉瓦の製作は、反射炉の成否を大きく左右していた。反射炉が設置される基本的な条件は、水の便が良いこと、良質の粘土が近距離で採取できることであった。

4.1 煉瓦

蕪山反射炉に使用されている煉瓦は、大半が重さ約7kg、大きさ220×220×91mmの方形の耐火煉瓦である。この耐火煉瓦は、鉄の溶解に必要な約1500℃の熱に耐えるものとして、我が国で初めて生産されたといわれる。鉄を大量に溶解するための新しい技術には新しい材料が必要とされたわけで、耐火煉

瓦の生産は、反射炉の成否を左右する重要な鍵をにぎっていた。この耐火煉瓦の技術指針は原書『大砲鑄造法』にしるされ、翻訳本の『鉄煇全書』では「火ニ耐ル焼石」、『鉄煇鑄鑑』では「抵火烧石」、『西洋鉄煇鑄造篇』では「火力ニ堪ユベキ石（堪火石）」としてその説明が書かれている。これを要約すると、資料13のとおりである。

この各工程にはそれぞれの操業法や注意事項が付言され、最終の条では側壁や天井用煉瓦の形状と品質、目地用材についても記述している。

従って蕪山反射炉築造時には、これらの資料を基に耐火煉瓦の製造もある程度検討されていたと推測される。この点は上申書に「反射炉の儀は、焼石と唱へ土を堅めて素焼上り、右を以て築立候に付、一通りの工性にては難用立、右は豆州天城山中に相応の土有之」としるされて、天城山中の土を用いることで、製造可能と報告していることでもわかる。

調査は蕪山反射炉にどのような煉瓦が使用されているか、どの程度の補修が必要かの把握及び補修に必要な煉瓦の仕様を求めるために実施した。調査内

資料13 文献による耐火煉瓦の製造方法

まず、耐火煉瓦の条件として、炉火に溶けないこと、破裂しないこと、質が緻密なことが必要である。粘土は礬土と硅土からなる。礬土は、火に触れても溶けず、堅くなるが温度があがると収縮し、破裂しやすいので、これを防ぐために収縮しない石英質の砂を混ぜる。純粹の礬土と石英がない場合には、粘土を焼いて生土に混和する。焼土は反射炉の中で数時間焼いてつくり、焼土と生土は粉ひきうすで粉末にして金網篩で大粒を除く。成型に当っては、よく混和したものを板上で水に濡湿させ、約1日後、別の板上において足で踏みならし、木型に入れて搗き固める。型打ちには強圧が必要なため、金型を用い、水圧や螺旋圧の圧搾具による方法がとられるといい、また王立鑄造所における螺旋圧搾具について詳述している。続いて型から取り出したものは日光雨露にあてることなく、 $\frac{2}{3}$ に収縮するまで8～10日間徐々に乾燥し、焼成は反射炉で行ない、1～2日間木屑ついで木片で予熱し、3日間の石炭焚きをつづけて後、密閉徐冷する。

引用文献：文献6,7

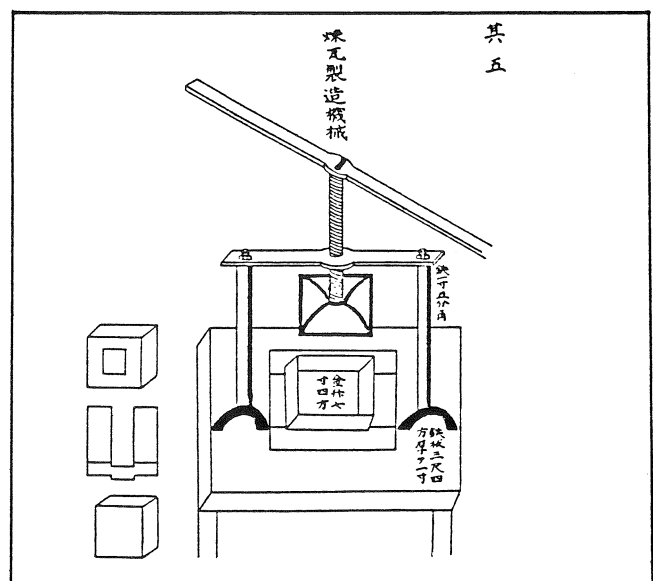


図-102 瓦締器(那珂湊, 煉瓦製造機械)

容及び調査目的は、表39のとおりである。

(1) 煉瓦の形状、外観

葦山反射炉に使用されている煉瓦は、その色調、材質等から考えると7～8種類に区分され、品質は、一定でなく様々なバラツキを包含している。これは原料粘土や焼成温度の影響によると考えられる。

反射炉煙突部を構成している煉瓦は、その色調、風化損傷などかなり混在した状況にある。煉瓦表面には、その風化浸食状況から全体的に肌目の粗い感じであり、また一部には手触程度で表層が剥離するものがあった。反面、部分的にはではあるが、非常に肌目細かく製造され、表層のかなり硬いものも見られた。色調は、橙色、褐色、灰褐色、灰色系統の概ね4種に分類されたが、一部には灰青白色に近い白っぽいものも見られた。煉瓦表面に見られた粒子は、2～3mm程度の白色粒あるいは、灰黒色粒であり、自然砂と砕砂が混在していた。また、若干ではあるが、酸化鉄と思われる斑点も見られた。

①煉瓦の風化損傷状況

煉瓦の風化状況は、一定でなく所々表層面より深

さ50mm以上の欠損を生じている部分があった。方位についていえば、南炉南西、北炉西面の風化が著しい。これらを分類するため、風化深さを設定し、風化深さ10mm以下を健全とし、風化深さ10～50mmを中程度、50mm以上を風化煉瓦に区分したこれらの劣化状況を別添1（現況図）に示す。風化した煉瓦の比率は、30～40%でこれらは煉瓦の材質による。

昭和32年の補修工事の手法をみると表層を色モルタルで補修した箇所と、新しい煉瓦で差し替えた箇所及び北炉最上部のように軽量ブロックで積み替えた箇所に区分される。いずれも、表面を煉瓦らしく肌を荒くし、遠くから見るかぎり、他の煉瓦との異和感はないように補修されていた。損傷状況は、地震時の力を受け、亀裂が発生している煉瓦、基準表層面よりとび出した煉瓦があった。亀裂は、短辺方向に多く、亀裂が数mにわたって生じているため、この線上の煉瓦の多くに亀裂が発生していた。

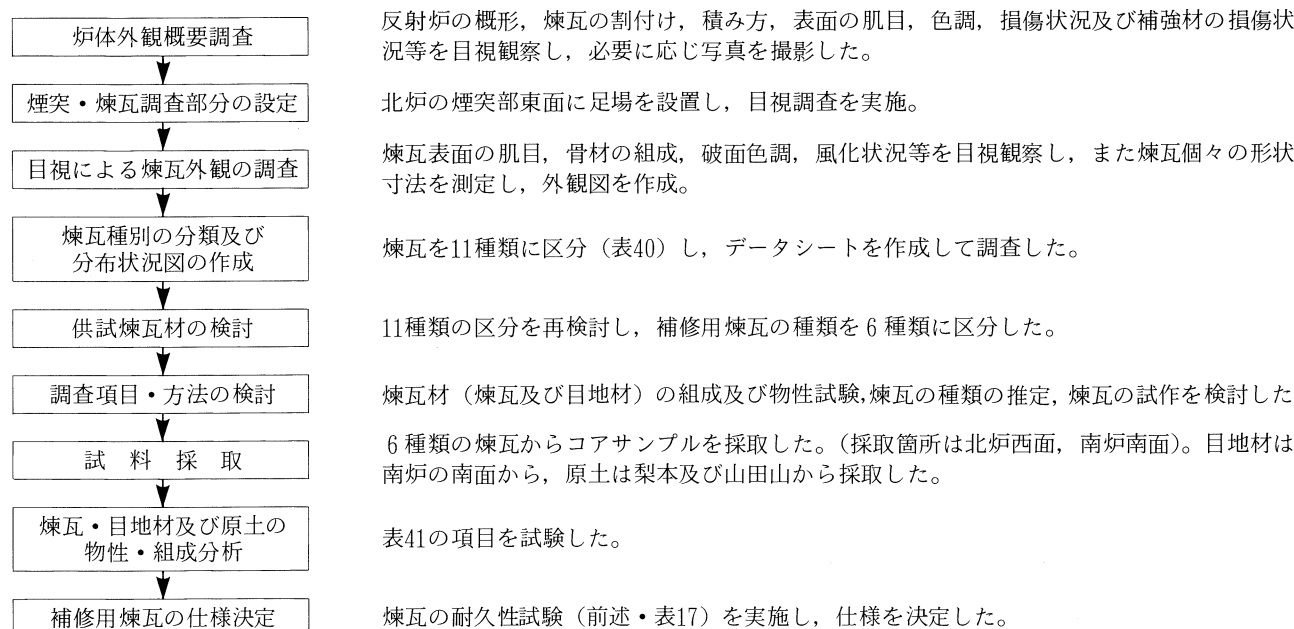
②煉瓦の形状

煉瓦の形状は、ほとんどが22cm角の方形で、この他35×22cmの長方形の煉瓦が一部に使用されている。

表-39 煉瓦調査

データシート

調査項目 分類記号 (11種類)	表面○印の有無			風化状況			色調				骨材組成			エクロレックス		割れ	
	イ	ロ	ハ	イ	ロ	ハ	イ	ロ	ハ	ニ	イ	ロ	ハ	イ	ロ	イ	ロ
	有	無	判別不可	健全	表面層損傷	風化	オレンジ	アイボリー	ベージュ	グレイ	白粒子混入(大)	白粒子混入(小)	黒粒子混入	有	無	有	無



この長方形の大きな煉瓦は、コーナー部分や肩の部分など、寸法割りから方形が1枚半必要な箇所に使用されている。この他の寸法調整は、この2種類の煉瓦を割って使用している。

補修用煉瓦の寸法は、差し込み時を考慮して平均値に1σを減じた値を基本とし、(220×±4)×(91±2.5)mmと定めた。

③煉瓦の外観

煉瓦の色調は、細かく区分すると、表40に示す11種類となるが、類似したものを考慮して再区分すると灰黒色(いぶし瓦に近い色分類記号A, B)、橙色(風化した煉瓦の大半をしめる同C)、アイボリー～褐色(表面はほとんど風化浸食している同D, E)、ベージュ～灰青白色(比較的健全同F, G)、アイボリー～灰褐色(表面はほとんど風化されている同E')、ベージュ～灰青白色(比較的健全だが、表層はやや軟かいF')の6種類となる。

この区分は、煉瓦の表層がなくなったもの、つまり煉瓦の内部の色を含めているため、かならずしも煉瓦表面の色調を再現しているとはいえないが、補

修用煉瓦の色調再現はこれらを考慮し、この結果に1種類を追加、ピンク系の濃(P1)、中(P2)、淡(P3)、グレー系の濃(D1)、中(D2)、淡(D3)、ブラウン系(B)の7種類とした。また、これらのおよその比率を、調査結果をもとにP1が10%、P2が40%、P3が25%、D1が5%、D2が5%、D3が10%、Br系5%と定めた。

④特異点

一部の煉瓦の表面に○印がつけてあることである。一説によると○印が梨本で焼成された煉瓦といわれている。ちなみに、外観上の○印の分布比率は、北炉東側部についていえば7～8%である。ただし、この比率は表層が風化した現地点での調査であり、表層が健全な操業当時は、この印が更に多いと考えられる。○印は大半が直径約2cm程度であるが、まれに大きなもの(直径3～4cm)と小さなもの(直径1cm)とあった。

この他、下焚口で×印の煉瓦が確認された。なお、コアー抜き取り調査で煉瓦に「と」「る」の文字が確認されたが意味不明である(写真169)。

表-40 煉瓦の分類一覧

	粒 形	粒 度	粒子の色・分布	破面色調	風化浸食状況・その他
A	自然砂 (やゝ丸味がある)	細かい 粒径1~2mm	灰黒色粒が密に分布している。	灰黒色	表面は比較的健全である。
B	自然砂 (やゝ丸味がある)	細かい 粒径1~2mm	灰黒色粒が多く分布し、 白色粒もやゝ点在。	灰黒色	表面はほとんど風化浸食されているが、 表層の硬さにはバラツキがある。
C	砕 砂 (やゝ角張っている)	粗 い 粒径2~3mm	白色粒が多く分布し、鉄 斑点が若干点在。	橙々色	表面はほとんど風化浸食され、その深度 も深い。
D	自然砂 若干の砕砂	細かい 粒径1~2mm	白色粒が多く分布し、鉄 斑点が若干点在。	茶褐色	表面は比較的健全であり、表層はかなり 硬い。
E	砕 砂 自然砂点在	粗 い 粒径2~3mm	白色粒が多く分布し、鉄 斑点が若干点在。	アイボリー ～茶褐色	表面はほとんど風化浸食され、その深度 は深い。表層は手触程度で剝離する。
F	自然砂 砕砂点在	細かい 粒径1~2mm	灰黒色粒が多く分布し、 白色粒もやゝ点在。	灰青白色	表層は風化浸食されているが、その深度 はバラついている。硬さにはバラツキがある。
G	自然砂 砕砂点在	細かい 粒径1~2mm	灰黒色粒が多く分布し、 鉄斑点若干点在。	ベージュ ～灰青白色	比較的健全で、表層は硬い。
D'	自然砂 若干の砕砂	細かい 粒径1~2mm	灰黒色粒が多く分布し、 白色粒もやゝ点在。	アイボリー	表面は比較的健全であり、表層はかなり 硬い。
E'	自然砂 (やゝ丸味がある)	細かい 粒径1~2mm	灰黒色粒が多く、鉄斑点 も若干点在。	アイボリー ～灰褐色	表面はほとんど風化浸食され、その深度 は深い。表層は手触程度で剝離する。
F'	自然砂 砕 砂	細・粗混入 粒径1~3mm	白色粒が多く、灰黒色粒 もやゝ点在。	ベージュ ～灰青白色	表層の損傷深度は浅いが、手触程度で剝 離する。
G'	自然砂 砕 砂	細・粗混入 粒径1~3mm	白色粒が多く、灰黒色粒 もやゝ点在。	ベージュ ～灰青白色	比較的健全であるが、表層はやゝ軟かい。



写真-214 煉瓦劣化状況

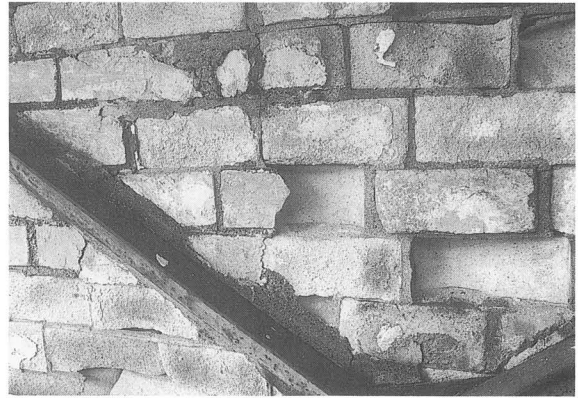


写真-215 煉瓦劣化状況

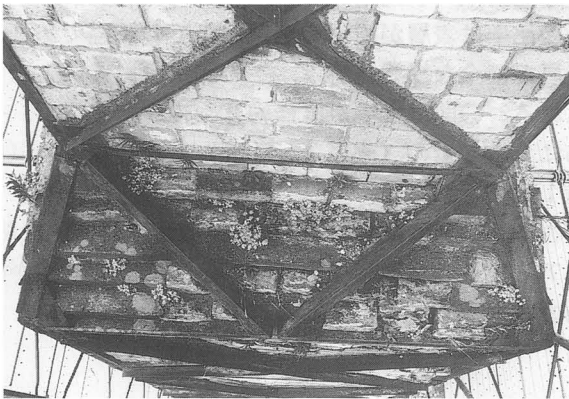


写真-216 煉瓦劣化状況

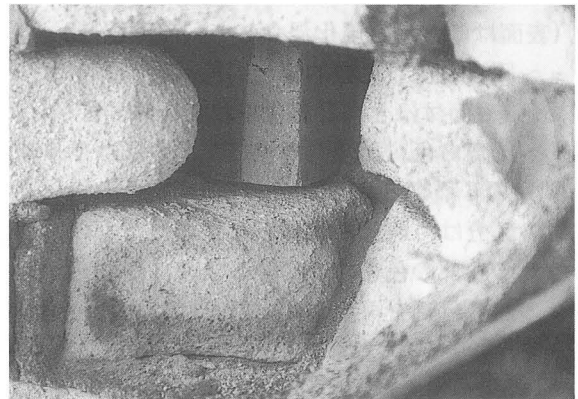


写真-217 煉瓦劣化状況

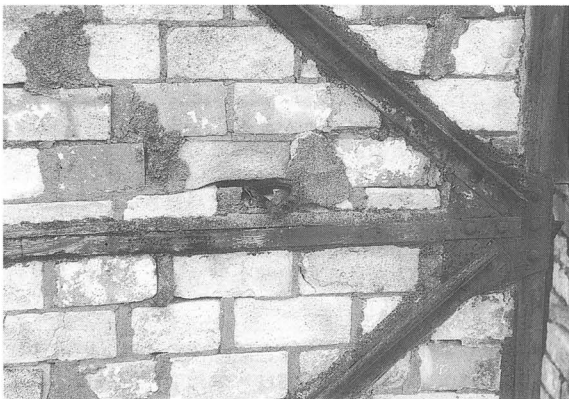


写真-218 煉瓦劣化状況 (空隙部に蛇が侵入)

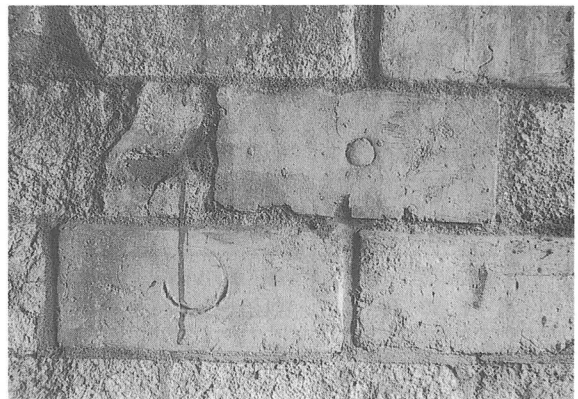


写真-219 煉瓦の刻印



写真-220 煉瓦の刻印



写真-221 煉瓦の刻印

(2) 原料粘土の調査

文献によれば、葦山反射炉の耐火煉瓦は、天城山南麓梨本村小川産の蠟石とその風化した軟質粘土を同地の登り窯で焼成したものが、主として用いられ、後に葦山反射炉に近い中村山田山の白土によって焼成されたとされ、その耐火度はSK 27(熔融温度1610℃)ないし 26 (1580℃) であると記されている。このため上記の2カ所を訪ね、試料を採取した。

a 河津町梨本小川原料粘土調査・採取

昭和55年11月28日、河津町教育委員会、後藤氏の案内で現地を検分したが、現在同地は、林野庁所轄の国有林で、既に植林で覆われており、原料粘土採掘箇所を特定することは、困難であった。試料採取は、煉瓦を焼成したと伝えられる登窯跡の背面表層に近い白灰色系粘土を採取し分析用試料とした。(試験体記号N-1) なお、周辺の表層土地質は白色系軟質粘土に覆われていた。

b 葦山町山田山原料粘土調査

反射炉の東側に位置する山田山中腹は、地層断面の露出状況から、白色軟質粘土層が広く存在するこ

とが外観からも確認できる。所有者でもある鳴沢屋稲村氏の話から当時、この周辺で煉瓦用粘土の採取が行われたと言いつえられている由説明があったため、同地の同灰白色軟質粘土層より試料採取を行った。

なお梨本は、その後、明治6年、工部省所轄、赤羽工作分局において、白土の産地として伊豆国加茂郡梨本村が適地と認め、この地に焼成窯五基を築き、1ヵ月3万個の耐火煉瓦を製造する計画をたて、同年8月、梨本の工場で、煉瓦製造を開始した。しかし、明治16年官営から民営に移りしばらく操業したが閉鎖され、その歴史を閉じている。翌明治7年9月には、他の土の方が築炉用に適していたためとして廃止されている。

(3) 耐火煉瓦及び原料粘土の分析

過去の耐火煉瓦の組成分析資料は、次のとおりである。

●明治41年／小野田セメント会社笠井眞三博士の分析結果……
 硅酸71.36 礬土 20.21 酸化鉄 3.58
 石灰0.50 強熱減量 3.81 合計99.46

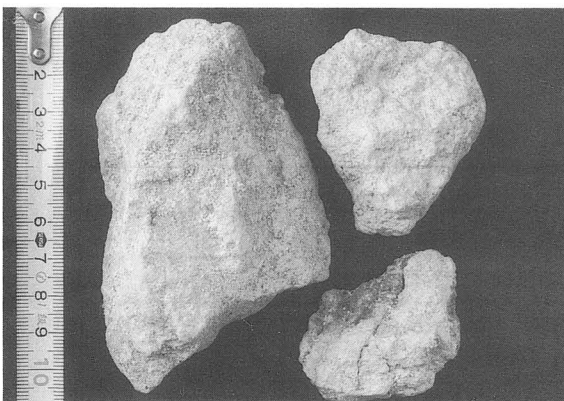


写真-222 供試原土の外観

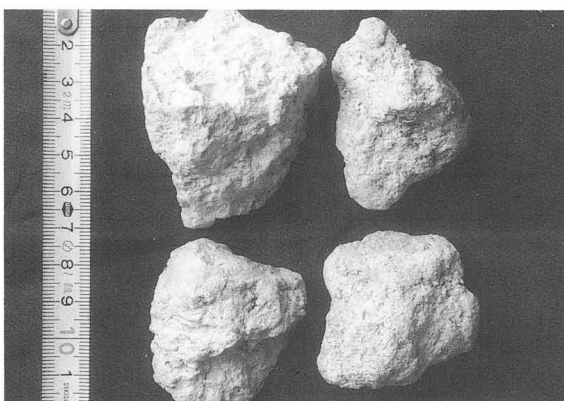


写真-223 梨本原土の外観 灰白色の30~100mm大の塊状物質で灰色の縞状を呈する。比較的軟い。

資料-14 梨本の煉瓦製造

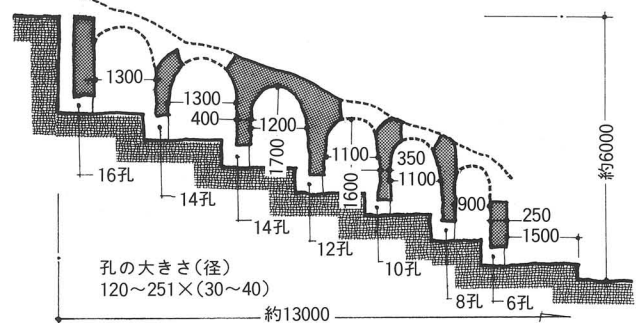


図-103 梨本登り窯遺構断面図 単位mm (文献45から作図)

天城山中、河津町梨本小川国有林内にある登り窯遺構は、『工部省沿革報告』によれば、明治6年5月に5基の登窯を築き、1ヵ月間に3万本、6ヵ月間で18万本を製造する事業計画をもって起工した。

なお、梨本付近、下田から蓮台寺に向う途中、稲生沢川の橋を渡る手前に反射炉跡と呼ばれるところがある。この地について文献46「伊豆下田」によると、昭和33年7月10日から13日にかけて、トレンチによる発掘調査(場所:稲生沢川に接した野沢忠男氏所有畑地)が行われている。ただし、この間に人工的遺構は発見されていない。

この地に産出した白色粘土は安政の葦山反射炉の耐火煉瓦原料より始まり、明治初期迄の関東圏の耐火材料として大きな位置付けを残したとともに、日本近代窯業史に大きく貢献したものと見える。

●明治42年／東京高等工業学校窯業科の分析結果…
 硅酸72.96, 礬土及び酸化鉄25.96, 石灰 0.17, 苦土
 痕跡・亜爾加里 0.07, 強熱減量 0.87, 耐火度ゼー
 ゲル標準三角錐第28番 (1700℃の強熱に耐えうるもの)

色調により区分した煉瓦6種類について, 各種類
 毎に2個程度コアカッターを用いて直径25mm, 長さ
 90~100mmのコアサンプルを採取した。この試料と原
 料粘土の組成分析及び物性試験を行った。

a 試験項目及び概要

試験項目及び概要を表41に示す。

b 試験結果

試料の組成分析及び物性試験の結果を表42に示す。

①煉瓦

化学組成分析の結果, 煉瓦は S_iO_2 及び Al_2O_3 を主
 成分としたろう石煉瓦で大別すると2種類 (表42の
 IグループとIIグループ) がある。吸水率, 見掛気孔
 率, 嵩比重は相互に関連した値 (例, 見掛気孔率=
 吸水率×嵩比重) であり, 煉瓦の焼きしまり程度の
 目安となる。現在, 製造されている同種の耐火煉瓦

の見掛気孔率は約22.0である。

圧縮強度試験の結果は大きくばらついており, 他
 の物性値との相関も得られなかった。これは, 創業
 当時の煉瓦製造において, 締めむら (粗密の不均質)
 の大きいものであったことに起因すると考えられる。
 外観から認められる粗粒の状態及び見掛気孔率の値
 などから, 大半の煉瓦の強度は, $100kgf/cm^2$ 程度と推
 定され, 現行で製造されている同種 (の化学組成)
 の煉瓦に比べかなり劣るものである。

熱間線膨張率は, 供試体の都合から1種類 (表42
 のG-1) についてのみ測定したが, 温度と膨張率の
 関係は, 図104のとおりである。これによると, 温度
 -膨張率がほぼ直線的であったものが, $1,100^\circ C$ を超
 えた頃から収縮している。これは, 当初の煉瓦焼成
 温度がほぼこの付近であった事を示唆するものでは
 ある。また, $1,200^\circ C$ を超えた後, 急激に膨張してい
 るのはろう石の特徴である。

残存膨張収縮率と熱間線膨張収縮率と合わせて,
 煉瓦の焼成温度を推定するならば, 恐らく焼成温度
 は $1,100^\circ C \sim 1,200^\circ C$ であろうと言える。

表-41 組織分析及び物性試験方法の概要

試験項目	概要
化学組成	JIS M8855 (ろう石分析方法) に準じて行った。
耐火度 (SK)	JIS R 2204 (耐火れんがの耐火度の試験方法) に準じて行った。
吸水率, 見掛気孔率 嵩比重, 見掛比重	JIS R 2205 (耐火れんがの見掛気孔率, 吸水率及び比重の測定方法) に準じて 行った。尚, 試料は $\phi = 25mm$, 長さ25mmの円柱2体である。
圧縮強度	JIS R 2206 (耐火れんがの圧縮強さの試験方法) に準じて行った。 尚, 試料は $\phi = 25mm$, 長さ25mmの円柱1体である。
熱間線膨張率	JIS R 2207 (耐火れんがの熱間線膨張率の試験方法) に準じて行った。
残存膨張収縮率	JIS R 2208 (耐火れんがの残存線膨張収縮率の試験方法) に準じて行った。 尚, 試料は $\phi = 10mm$, 長さ25mmで, 加熱炉として炭化硅素質発熱体箱型電気炉 を用い, 長さ方向の寸法変化を測定した。
鉱物組成	X線回折装置を用いて行った。
(原土の) 焼成試験	各原土を 297μ 以下に粉碎し, $\phi = 30mm$, 長さ30mmのブリケットに $150kg/cm^2$ で成形した後, $105^\circ C$ で乾燥したものを供試体として下記の試験を行 った。 焼成収縮率……残存膨張収縮率と同様に測定した。 熱膨張率……熱間線膨張率と同様に測定した。

以上の結果から、供試煉瓦は表42の如くⅠ～Ⅳの4種類のグループに区分できる。

②原土

原土の品質試験結果を表43に、熱膨張率曲線を図105に示す。

化学組成分析結果の強熱減量を按分して、実質部分内の割合に換算すると、山田山原土は煉瓦のⅡグループに、梨本原土はⅠグループにほぼ類似する。また、山田山原土の鉱物組成中にあるCristobaliteは、火山帯の粘土に見られるものである。

焼成試験の結果、梨本原土を1,100℃で焼成したものの見掛気孔率は煉瓦のⅠグループに近い。また、鉱物組成で山田山は煉瓦のⅡグループに、梨本は煉瓦のⅠグループに類似している。

(4) 目地材

煉瓦の目地材は、煉瓦の原料土をそのまま用いている。このため表層保護材の漆喰が剥離すると、この目地部は容易に雨風によって浸食されやすくなり、煉瓦組積造としての形態を維持できなくなる。このため過去の補修工事では、この目地の破損部をモル

タルで補修しているが、このため、内部の目地材が洗い流された部分が多く、またモルタル補修がない箇所の浸食が進んでいた状態になっている。組積の目地材としては、自重に耐えているが横力に対しては、あまり効いていない。

試料目地材は約1～0.5mmの白色粒が若干混入し、極めて脆く指頭で崩れ易い。供試目地材の品質試験結果を表に示す。組成分析から、目地材は生粘土で、煉瓦(Ⅱグループ)に用いられたものと同様の原料が使用され、山田山の原土に類似している。目地材の品質試験結果を表44に示す。

耐火度 (SK No.)

耐火物が熱のためある量の液相を形成し、軟化変形する温度をあらわす度合である。耐火度はNo.ごと組成を定めたゼーゲル標準三角錐の変形する番号 (SK No.) であらわし、熔融温度との関係は次の通りである。

SK No.	熔融温度(℃)
17	1480
18	1500
19	1520
20	1530
26	1580
27	1610
28	1630
29	1650
30	1670
31	1690
32	1710
33	1730
34	1750
35	1770
36	1790

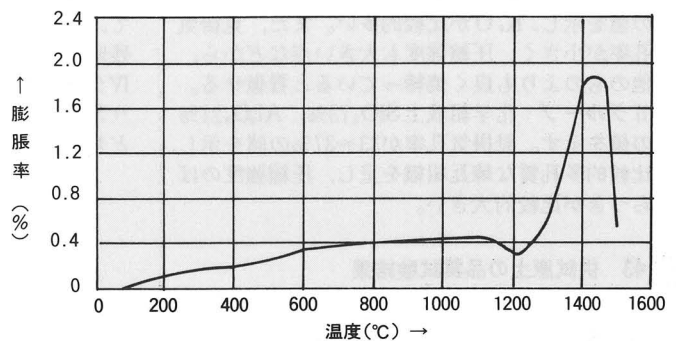


図-104 熱間膨張率曲線 (G-1)

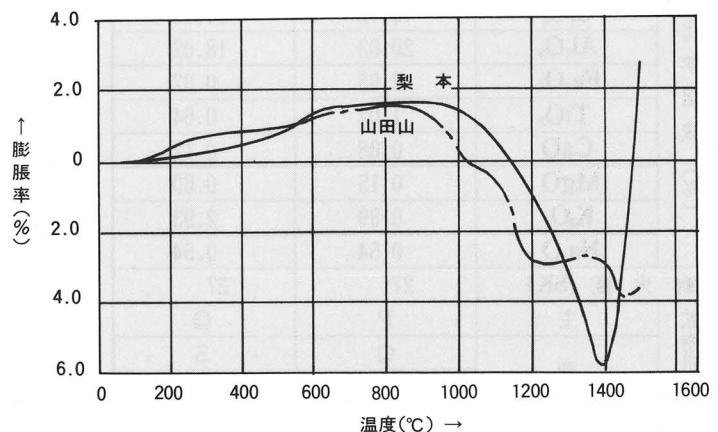


図-105 供試原土の熱膨張率曲線

表-42 煉瓦物性試験結果

試験体記号	P-1	P-1	B-1	B-2	B-3	B-4	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	
サンプル記号	S 9-20	N 7-13	S15-18	N15- 8	S12-12	S11-10	S10-13	N10-18	S10-18	N11- 4	S 5-18	
色 調	白色	橙色	褐色	褐色	褐色	褐色	灰色	灰色	灰色	灰色	灰色	
化学組成 (%)	Igloss	0.47	1.12	0.36	0.26	1.19	0.41	0.73	0.52	0.67	0.57	0.58
	SiO ₂	78.45	72.65	73.55	73.80	72.26	73.48	73.54	73.69	73.46	73.57	74.52
	Al ₂ O ₃	17.99	20.52	21.18	20.59	21.12	21.44	70.98	21.08	21.63	20.64	21.46
	Fe ₂ O ₃	0.43	2.17	2.04	2.19	1.92	1.81	1.87	1.40	1.88	2.17	0.84
	TiO ₂	0.67	1.09	1.03	1.08	1.03	1.05	1.02	1.03	1.04	1.11	1.00
	CaO	0.16	0.23	0.34	0.10	0.12	0.13	0.11	0.12	0.21	0.14	0.15
	MgO	0.09	0.45	0.54	0.49	0.46	0.53	0.53	0.50	0.49	0.64	0.44
	K ₂ O	1.07	0.51	0.28	0.30	0.32	0.32	0.34	0.33	0.35	0.30	0.30
	Na ₂ O	0.24	0.32	0.48	0.64	0.60	0.51	0.57	0.68	0.75	0.78	0.45
耐火度(SK)	28+	26	20	26-	20	26	26	26	26+	26	27	
吸水率(%)	11.0	23.4	20.4	22.8	23.4	20.4	20.6	19.4	20.9	21.2	19.2	
見掛気孔率(%)	22.0	36.7	33.7	36.2	37.1	33.7	33.8	32.4	34.3	34.2	32.2	
かさ比重	2.00	1.57	1.66	1.58	1.58	1.65	1.64	1.67	1.64	1.61	1.68	
見掛比重	2.57	2.48	2.50	2.48	2.52	2.49	2.48	2.46	2.50	2.45	2.48	
圧縮強さ(kg/cm ²)	221	77	62	82	130	94	157	107	105	89	174	
熱間線膨張率(%)at1000	—	—	—	—	—	—	0.43	—	—	—	—	
残存膨張 収縮率 (%)	1100°C / 2hr	-0.22	—	+0.21	—	-1.35	-1.09	-1.15	—	-0.10	+0.09	—
	1200°C / 2hr	-0.68	—	+0.62	—	-0.45	-0.30	-1.26	—	+1.92	+1.24	—
	1300°C / 2hr	-1.55	—	+1.91	—	+0.14	+0.84	+1.02	—	+4.50	+2.92	—
鉱物組成	主	Q	C	C	C	P&C	C	C	C	C	Q	
		M	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	C	
		C	M	M	M	J	M	M	M	M	M	
	副	F	J	J	J	F	J	J	J	J	J	
		—	F	F	F	M	F	P	F	F	F	
		—	H	H	H	—	—	F	—	—	—	
目視調査による分類	F, G	C	D, E	C	D, E	D, E	E'	F'	F, G	A, B	A, B	
分類区分	I	II	II	II	III	II	II	II	II	II	IV	
備考			○印あり	○印あり					○印あり	○印あり		

Iグループ：化学組成上SiO₂78%, Al₂O₃18%の値を示し、K₂Oが比較的多い。また、見掛気孔率が小さく、圧縮強度も大きい点などから、他のものよりも良く焼締っていると看做せる。

IIグループ：化学組成上SiO₂73%, Al₂O₃21%の値を示す。見掛気孔率が33~37%の値を示し、比較的多孔質な煉瓦組織を呈し、圧縮強度のばらつきが比較的大きい。

IIIグループ：化学組成および物性値などからみて、略IIグループと考えられるが、葉ろう石が残留し、やや焼成不良と見られる。

IVグループ：化学組成上Bグループよりも、少々SiO₂が多く、鉱物組成が若干異なっている。どちらかといえばIIグループに属する。

記号

Q：石英

C：クリストバル石

M：ムライト

J：リンケイ石

P：パイロフィライト

F：長石

H：赤鉄鉱

表-43 供試原土の品質試験結果

試験体記号	山田山原土	梨本原土	
試験体記号	Y-1	N-1	
化学組成 (%)	Igloss	4.56	3.17
	SiO ₂	70.72	74.16
	Al ₂ O ₃	20.03	18.02
	Fe ₂ O ₃	2.05	0.32
	TiO ₂	1.02	0.64
	CaO	0.08	0.12
	MgO	0.15	0.60
	K ₂ O	0.39	2.93
	Na ₂ O	0.54	0.54
耐火度(SK)	27+	27	
鉱物組成	主	P	Q
	副	Q	S
		F	P

表-44 供試目地材の品質試験結果

試験体記号	J-1	
試験体記号	目地材	
化学組成 (%)	Igloss	6.09
	SiO ₂	69.90
	Al ₂ O ₃	19.70
	Fe ₂ O ₃	1.71
	TiO ₂	0.99
	CaO	0.13
	MgO	0.40
	K ₂ O	0.39
	Na ₂ O	0.85
耐火度(SK)	28	
鉱物組成	主	P
	副	C
		—
	H	

4.2 鉄

蕪山反射炉には、構造上主要な箇所には部厚い（厚さ3～8cm）鉄板や鉄棒が使用されている。炉体部では、湯口側、下焚口側の開口部上部のいわゆるまぐさ部に、梁として鉄板が使用され、その他、湯口側の前板、炉下のアーチ部やロストルの受け棒に使用されている。また、今回の解体調査で煙突最上部に補強用鉄帯が当初から使用されていたことがわかった。この内、『鉄焔鑄鑑図』に図示されていないのは炉下の半月鉄板だけである。今回、現認した使用鉄部材を表45に示す。

これらの鉄は従来の技術で製造されたものであるが、どこでどのようにして鑄造したかは不明である。ただし、記録類から関係するものをあげると古図（図101参照）による「元たたら場」と「反射炉御取建日記」において安政元年の建設段階で、前板鉄、板鉄鑄造が6月～8月にかけて行われるという記述がある。これらから推定すると、古川の上流で古来のたたらによる鑄造が行われていた可能性が強い。

ここで行った調査手法は、①外観形状の特異点、②硬さ、③成分分析等である。

(1) 梁鉄板

湯口側のまわりに新しい鉄骨を納める時、若干、梁鉄板を欠きこんだが、この破断面及び碎片から、梁の鉄性を観察した。なお、工事中の状況を見ると、鉄はかなり硬く、手間を要していた。

この結果によると内部には、いわゆる“す”があり、キラキラとしたこまかな結晶がみられ、部分的に半溶解の状態であることがうかがえる。また、試料を分析した結果を表46に示す。含有成分はTi（チタン）が微量であり、半月鉄と同様なP（リン）以外には不純物の少ないきれいな若鉄鋳鉄の鑄物製品であることが判明した。顕微鏡による組織を見ると、パーライトとフェライトはかなり黒鉛が大きく伸び、結晶粒界にPを含むステダイトが認められ鑄放し徐冷されたことがわかる。

これらの結果、及び「反射炉御取建日記」にみられる板鉄鑄造の記述から推して厚板は、鑄鉄であるといえる。

表-45 創建当時の使用鉄部材リスト

No.	部 位	形 状	寸 法	用 途	備 考	
①	下焚口の梁	NA 2450×575×66 NB 2450×575×64 SA 2450×565×65 SB 2450×580×62		開口上部の荷重を石壁へ伝達		
②	煙突下部の梁	NA 2450×550×70 NB 2450×560×70 SA 2450×610×70 SB 2450×600×70		開口上部の荷重を石壁へ伝達	SAから成分分析のサンプル採取	
③	前板 湯口側	NA 990×2360×35 NB 950×2330×40 SA 950×2600×35 SB 950×2500×40		開口補強部	北炉は下部が直線、南炉は下部が円弧状	
④	炉 下 （半月状鉄板 3 枚 大, 中, 小）	NA 1215×1690×40 NB 1210×1740×40 SA 1220×1740×30 SB 1215×1690×30	1170×1400×40 1160×1350×30 1160×1740×30 1165×1690×30	950×1100×40 950×1050×50 915×1100×50 910×1100×50	炉下空間（通気地面からの湿気防止）の構築	2×2cmの四角い穴が約30cm間隔で千鳥状にあいている
⑤	ロストル受け桁	NA 現存せず NB (1本のみ) 63×80×1500 SA 65×80×1500 SB 95×150×1450		ロストル（火格子）の支持材	SAのみ変形 SBは他より太い	
⑥	煙突 最上部	SA, SB 8×20×1200		最上部補強	先端部は二股に分かれ、外部の縦補強鉄帯を支持していた	

（確認されたもののみ）（単位：mm）

(2) 前板

南北の炉で、方形のぞき窓、下部などの形状に差異がある。(写真224, 225) 脚部は、南炉が円弧状、北炉が水平になっている。上部は、前引き開閉式を意味するちょう番形状となっている。ただし、前板の両端とも伊豆石の壁に埋めこまれ開閉のけい跡はない。

(3) 炉下アーチ

半月鉄板には、通気のため約2×2cmの四角い穴が、約30cm間隔に千鳥状にあげられている。

アーチ頂部の下側には、直径6cmほどのへそ状の痕跡がみられた。(図79参照) この痕跡は鑄造方法をさぐる糸口となるものだが、専門家の見解が凸面側頂上に湯口を設けて鑄込む方法と、凹面側に鑄込む方法の二つに分れた。また、北B炉の炉下湯口側半月鉄板において、断面に15~20mmの層状の痕跡が発見された(写真226, 227参照)。この痕跡は、15~20cmほど内面にも続いており、このため、鑄造か、鍛造かについて専門家のなかで議論がわかれ、試料採取による成分分析を試みた。この結果は表46のとおり

で、不純成分の含有の極めて少ない鑄鉄であるとの見解を得ている。半月鉄の炭素含有量の少ないのは鑄込中に脱炭された部分であり、分析試料の削り取りが難しかった程の硬さはPを含有し、さらにチルされていたと思われる。北B炉にみられた層状の痕跡は、ここ1ヵ所のみで、現在のところ鑄込み時に温度が低かったために起きたものと推定している。

(4) ロストル

南B炉のロストル受け棒が他よりも太く、この理由が不明である。南A炉のロストル受け棒は細いため、熱の影響と思われるたわみが生じている。

(5) 煙突最上部

2. 4で示した鉄棒は腐食状況を見ると薄板が何板も重ねてあるように、肌割れしており、薄い板鉄には、鍛鉄が使用されていたことがわかる。なお、先端部は、破損しているが、一部だけ先端が二股に分れているものがあった。

(6) 昭和32年補強鉄骨材調査

強度試験結果を表47に示す。

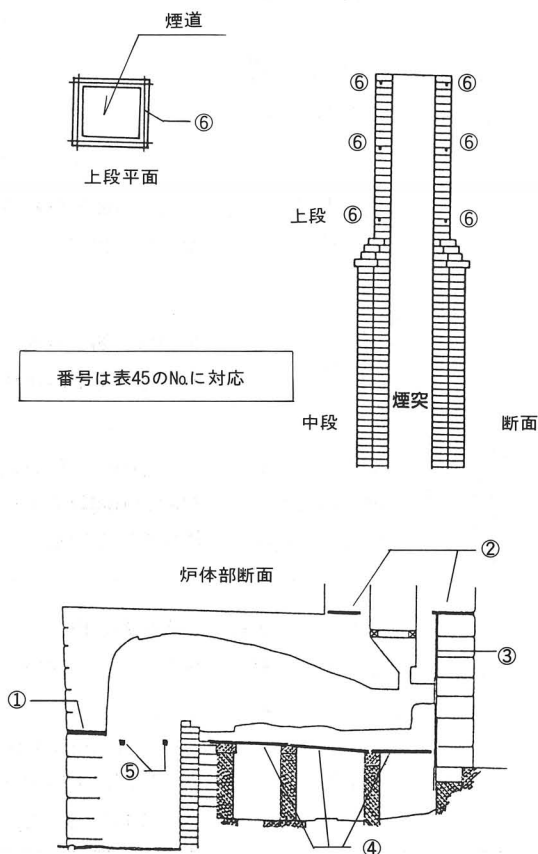


図-106 鉄材使用箇所

表-46 煉瓦積付設鉄材化学成分分析値 (%)

鉄材名	C	Si	P	S	Ti
④ 風入半月鉄	3.5	0.016	—	0.026	0.003
② まぐさ鉄板	4.2	0.02	0.14	0.014	0.008

注：半月鉄試料は微量、まぐさは試料3個の平均とする。

表-47 補強用鉄骨部材強度試験結果 (昭和32年)

No.	採取試料	降伏点 σ_y (kg f/mm ²)	引張強さ σ_μ (kg f/mm ²)	破断伸び δ (%)	材質の推測
1	上段部斜材 L-30×30×3	31.0	39.4	12.5	SS41鋼
2	中段部斜材 L-50×50×4	35.5	47.5	23.4	SS41鋼
3	下段部斜材 L-65×65×6	26.5	37.8	24.5	SS34鋼

注：試験は、JIS Z 2201 (金属材料引張試験方法) に沿ってIB型試験片を1本ずつ作成し、試験した。

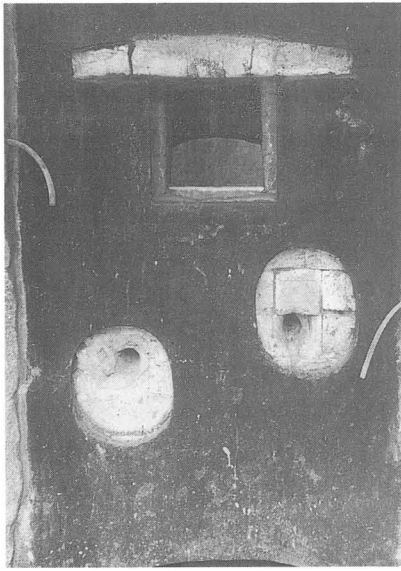


写真-224 湯口鉄板（南A炉）

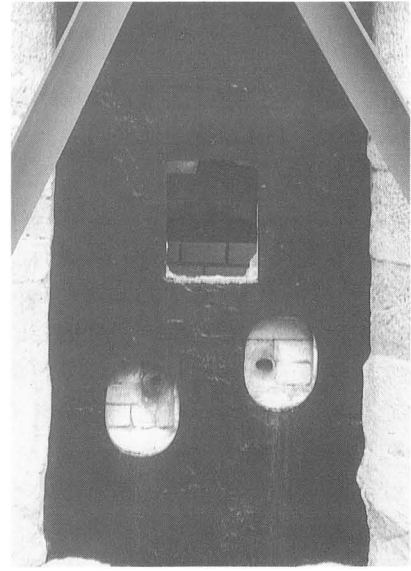


写真-225 湯口鉄板（北A炉）

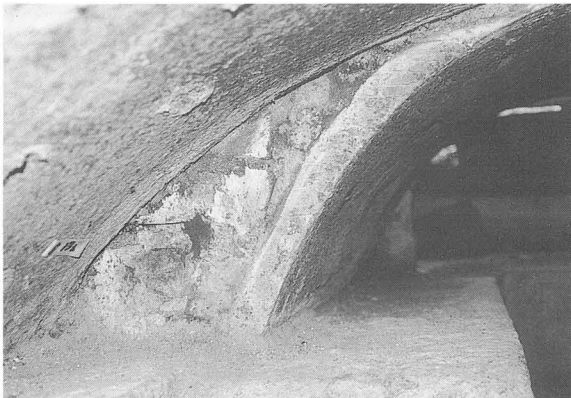


写真-226 半月鉄板（層状の痕跡）



写真-227 半月鉄板（層状の痕跡）

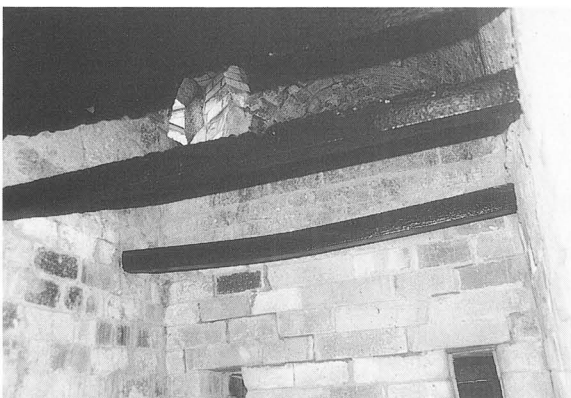


写真-228 ロストル受け桁（南A炉）

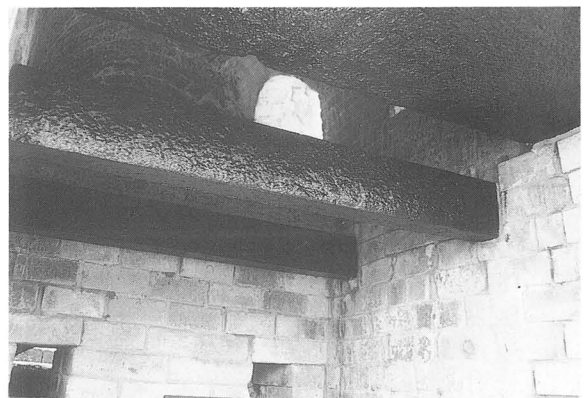


写真-229 ロストル受け桁（南B炉）

4.3 石

葦山反射炉に石が使用されている箇所は、基礎の大玉石、基礎石、半月鉄板を支えるローソク束石及び炉の外壁である。

大玉石は、ひとかかえもある大きなもの(安山岩)で、丸い自然石を使用している。基礎石、ローソク束石、炉の外壁は切石で、標準的な大きさが30×30×90cmの長方体である。切石は、伊豆地方に産出される凝灰岩で、伊豆石と呼ばれるもので色から2タイプに区分できる。1つは青緑色、他のタイプは白色貝殻混りのややうす茶色である。

伊豆石は、耐火性、加工性に秀れているといえ、近くの江川邸のカマド、井戸及び倉の入口庇の屋根などにも使用されている(写真230, 231)。特に後者は、水切りを考慮したはず部分に精度の良い加工技術が伺える。葦山反射炉でも基礎の大玉石との納まりなどには、伊豆石を玉石の形状にあわせて加工したり、半月状鉄板の脚部の下などはズレないように欠きこみが施してあり、水平レベルの納まりについ

て工夫されている。切石の加工は、表面上は平滑でなく、仕上も細いのみで荒削りになっている(写真232)。

『鉄焔鑄鑑図』には、炉体部を水平に貫通する補強鉄棒が図示されているが、このような痕跡は、葦山反射炉には確認できなかった。また当時の石の接合技術として橋野高炉にみられる立鼓型チギリを用いた例があるがこの痕跡も確認できなかった。

調査は、外観調査(使用石材の種類分け、損傷・劣化状況)、試料採取による物性試験を行った。

(1) 使用石材の種類分け

炉体部に使用されている石材は、大分類では同種の石材と考えられるが、石材の色調・テクスチャーは、混在している。このため、外観上から種類分けを行い次に伊豆半島近域を中心に、地元文化財専門委員の協力で、下田付近石材を始め河津石、長源寺石等の調査を行った(表48)。

後述の試験の結果では、使用石材のサンプルと採掘地調査とのサンプルが必ずしも対応せず、その後の補修を含めると何種類かの石が使用されていると



写真-230 江川邸 カマド石

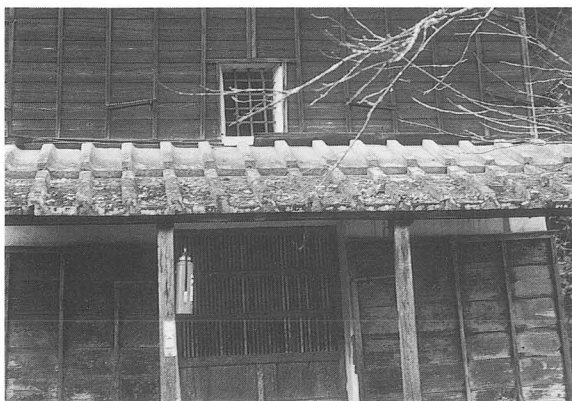


写真-231 江川邸 倉の入口庇

表-48 石材採取調査結果

調査地	調査概要	サンプリング
長源寺石採石場 (高橋石材KK)	青緑色の色合いは、使用石材と類似して居り、昭和5年の補修時に用いられたと思われる。	○
口野切通し採石場	現在採石されていない。黄白色の外観で横縞がみられるが、使用石とは異なる。	—
口野(放水路傍)	黄色砂岩状だが、使用石とは組成も異なる。	○
多比船越	使用石材の外観調査時には、黄褐色系のもは多比石ではないかとも思われたが、ここで見られたものは使用石材とは異なり、色調が白く、貝殻の細粒もみられない。	○
志下採石場	使用石材とは異なる。	—
式根採石場	(廃鉱)非常に硬い石質で、使用石材とは異なる。	○
岡方採石場	使用石材とは異なる。	—
河津石採石場	青緑色で色調は使用石材に類似している。	○

推定されるが、色調、肌目あるいは反射炉創建当時の状況及びその後の補修状況から推定すると、次の3種類に区分される。

①下田付近で採取されたと思われるが、明確な採掘場所が判らないもので、全体の色調は、褐色で、砂粒、貝殻片などが多く混在し、表面が一様に劣化しているもの

②河津石（一般には、沢田石と言われているもので、色調は青緑色で比較的肌目がこまかいもの）

③長源寺石（菰山に産する石で、過去の補修に際し差し替えられたと思われるもの、色調は河津石に近い青緑色であるが、礫状の肌目を有するもの）

(2) 劣化状況の外観調査

次の3ランクに区分できた。

①ほぼ健全（当初のみ加工のタッチが残存）

②表層のみ風化（表面が薄片となって劣化）

③内部まで風化（表面が損耗）

(3) 石材の物性

炉体から採取したコアサンプル（直径30mm）、類似石材採掘地で得られた石材（サンプル30mm角）及び

炉内で得られた石材サンプル（30mm角）について吸水率・比重及び圧縮強度試験を行った。

測定項目は、次のとおり。

①吸水率・比重；絶乾重量，吸水重量，水中重量等の測定結果から算出

②圧縮強度試験；コアサンプルは直径30mm，長さ60mm，他は30×30×60mmの供試体を切出し，上下加圧面を平滑に研いて，コアサンプルは絶乾，その他は絶乾及び48hr吸水し，これらを取り出して後，各部の寸法を測定してインストロン10t万能試験機（荷重速度1mm/min）を用いて試験した。

③測定結果

各種石材の物性値の平均値を一覧すると表49のとおりである。

一般に凝灰岩は耐火性に富んでいるが，吸水率が大きく圧縮強度は他の建築用石材に比べて小さく，また，風化に対する抵抗力は弱い。

石材は乾燥状態では，コンクリート，セメントモルタルより大きな値を示しているが，飽水状態ではその1/2～1/3に低下している。



写真-232 炉体伊豆石の表面加工

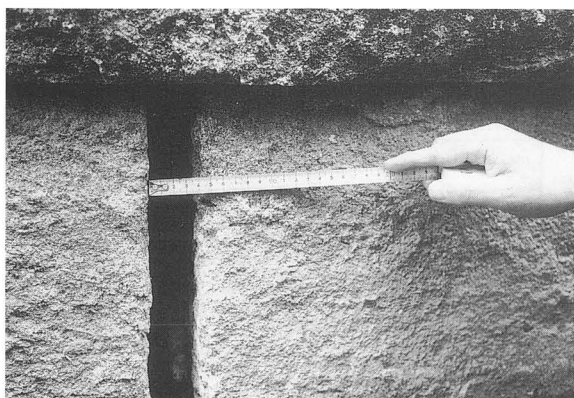


写真-233 炉体伊豆石の目地状況

表-49 石材物性値

		静置† 吸水率	飽和‡ 吸水率	飽和係 数	高比重	見掛 掛重
炉内	1	17.2	17.8	0.97	1.63	2.30
	2	18.2	18.6	0.98	1.62	2.31
大賀茂	1	11.4	11.4	0.99	1.93	2.47
	2	11.9	12.0	1.00	1.93	2.52
河津	1	12.8	12.8	1.00	1.87	2.46
	2	12.0	12.0	1.00	1.90	2.46
	3	12.9	12.9	1.00	1.86	2.45
長源寺	1	10.5	10.8	0.97	2.00	2.56
	2	9.2	9.4	0.98	2.05	2.54
	3	10.0	10.2	0.98	2.03	2.56
コアサ ンプル	1	9.0	10.2	0.88	2.08	2.64
	2	11.4	12.0	0.95	2.00	2.64
	3	11.1	12.3	0.90	1.99	2.63
	4	10.5	10.5	1.00	2.00	2.54
	5	11.8	12.5	0.94	1.94	2.57
	6	18.1	19.3	0.94	1.61	2.33
	7	20.1	21.2	0.95	1.55	2.30
	8	—	—	—	—	—
	9	9.5	9.6	0.99	2.17	2.74
	10	10.3	10.7	0.96	2.04	2.60

†20℃水中に48時間浸漬後の吸水率(%)‡更に5時間真空吸水後の吸水率(%)

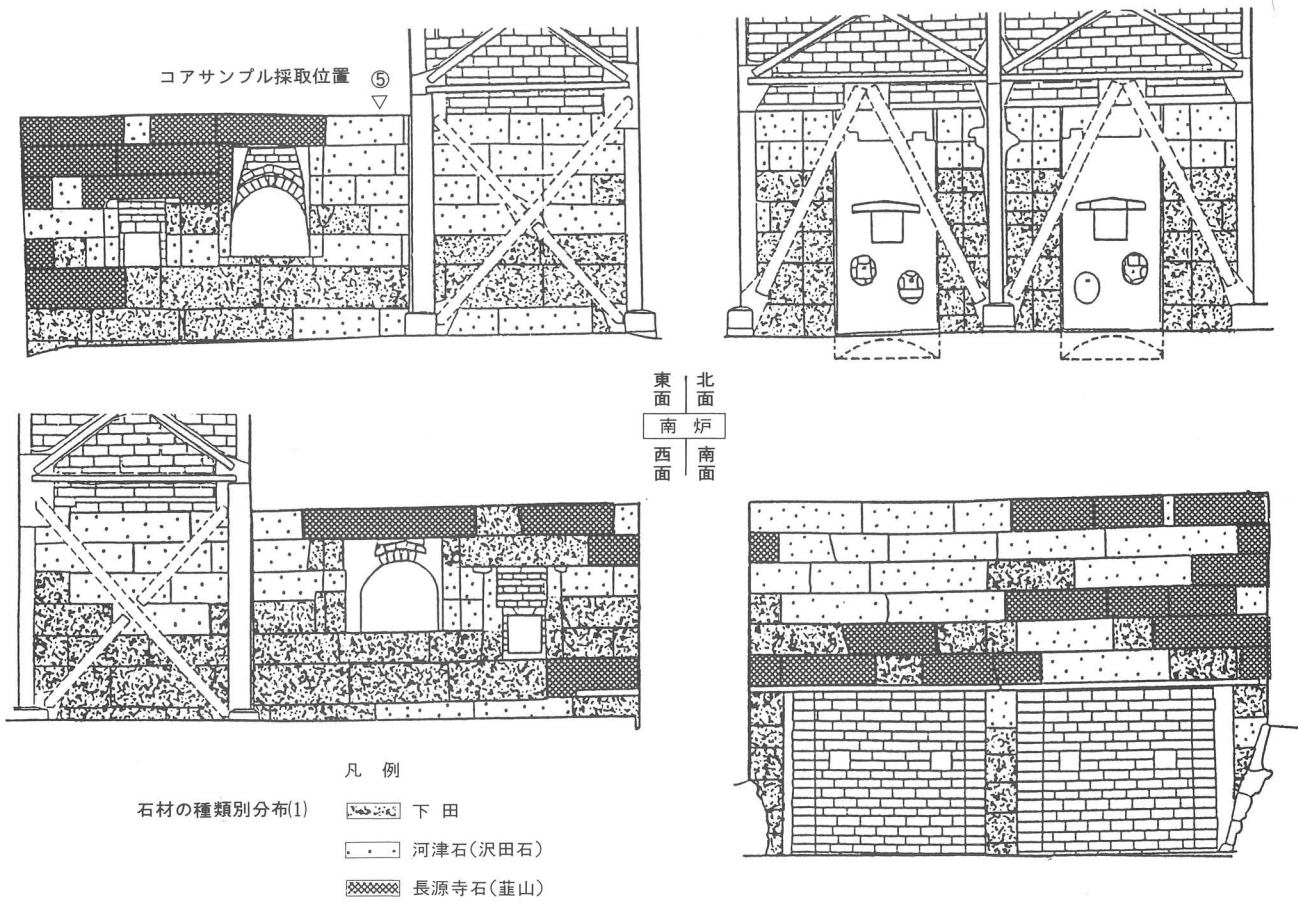


図-107 石材産地調査結果(南 炉)

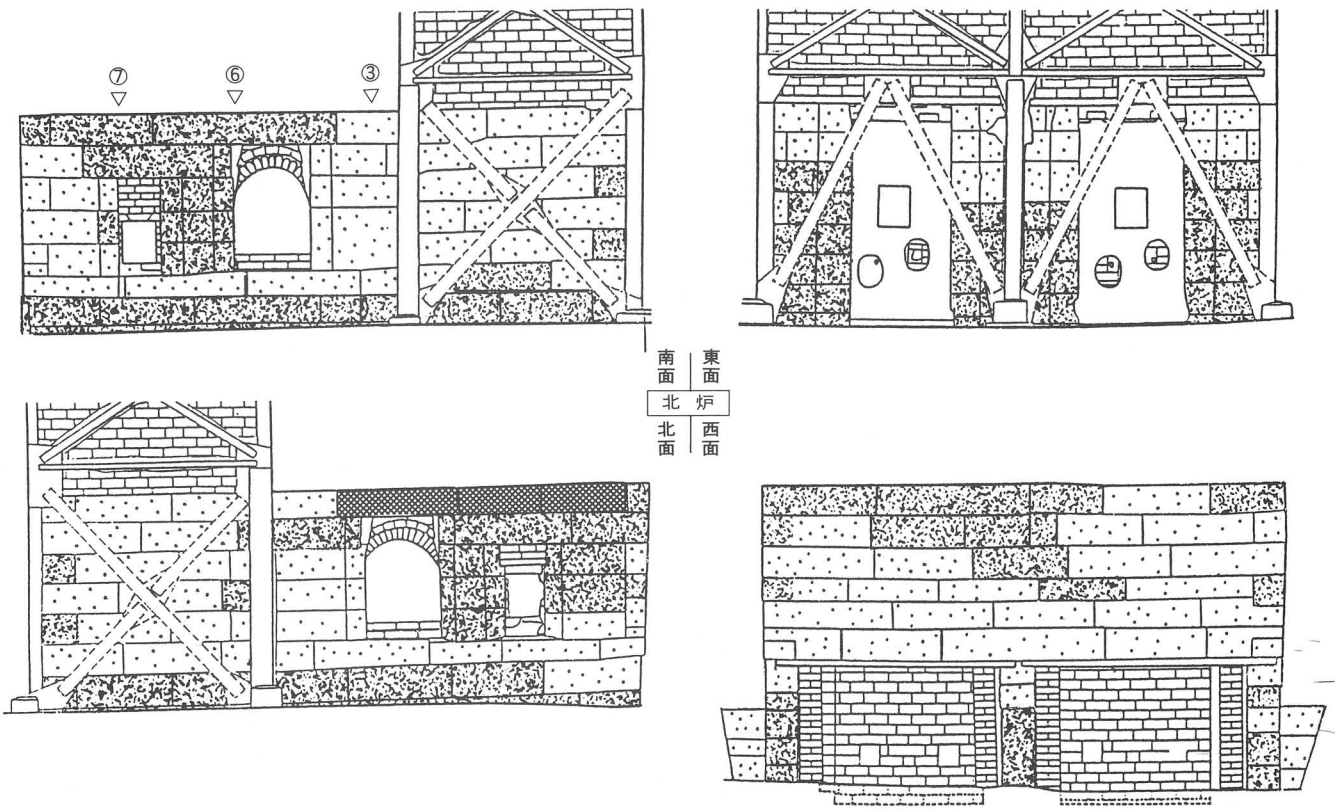


図-108 石材産地調査結果(北 炉)

4.4 漆喰

創建当時の葦山反射炉には随所に漆喰が使用されている。最も顕著な例は、煙突部分の外装で当初の反射炉は、漆喰で塗られた白亜の塔であり、現在の何色もの耐火煉瓦が露出する様相とは異ったものであった。漆喰は、外装材の他に炉下束石と半月鉄板の隙間などのシール材に使用されている。

漆喰関係の記録をみると「反射炉御取建日記」に[安政元年7月25日、三島宿之石灰2俵、蛎殻4俵注文]及び反射炉再築立目論(安政3年)に「蛎126俵1分是者烟窓外側四方平坪97坪漆喰塗1坪ニ付キ1俵3分、石灰85俵4分是者前同断10坪ニ付キ8俵8分、布海苔87貫9匁是者前同断1坪ニ付キ897匁、苧寸荷87貫9匁是者前同断1坪ニ付キ897匁、針金387丈2尺是者烟窓外側漆喰塗下ケ縄坪ニ遺、左官470人は者烟窓外側漆喰塗2双分」の記述がみられる。この記録をみると漆喰は貝灰を主成分としたもので、左官職人が施工していたことがうかがえる。

明治年代の古写真をみるとうす黒く汚れてはいる

が、かなりの漆喰が残存していることがうかがえる。しかし、その後の風化の進行と何回かの修理工事を経て現在はほとんど剥落し、南炉に数カ所断片を残すのみである。

この残存部の漆喰について、その構法と組織を調べた。

(1) 構法

南炉の煙突部断片をみると、漆喰の厚みは9~12mmと薄く、中に直径6mm程度のしゅろ縄が6~7cm間隔で横に入っている。工程は下塗り、しゅろ縄巻き、下塗り、中塗り、上塗りの5工程と推定される。漆喰は煉瓦の目地を保護するためと考えられる。煉瓦積み目地は、煉瓦用生粘土のため風雨により浸食されやすく、これを放置すると煙突部の倒壊につながるため表面を漆喰で保護する必要があった。

(2) 組成

化学分析、X線回析、電子顕微鏡観察を試みた。当時の成分として予想されるのは、①主成分(CaCO₃)等貝灰、②骨材、砂、石粉③糊料、海藻糊類④スサ、麻である。なお、サンプルは、南炉の煙突下段部西側

表-50 漆喰成分分析

試料項目	Igloss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	合計
漆 喰	42.7	3.9	0.8	0.4	51.0	0.2	0.7	99.7
試料項目	不溶残分	骨材量 * ₁	CO ₂	CaCO ₃ * ₂	全炭素	有機炭素* ₃	(単位: 110°C 乾燥ベース%)	
漆 喰	4.4	4.6	38.4	87.3	11.5	1.0		

*₁ 推定骨材量(%) : 4.4 / (95.2 × 100) = 4.6
 *₂ 推定炭酸カルシウム量(%) : 38.4 × (100.08 / 44) = 87.3
 *₃ 推定有機炭酸量(%) : 11.5 - (38.4 × 12 / 44) = 1.0

分析項目は文献51を参考にした

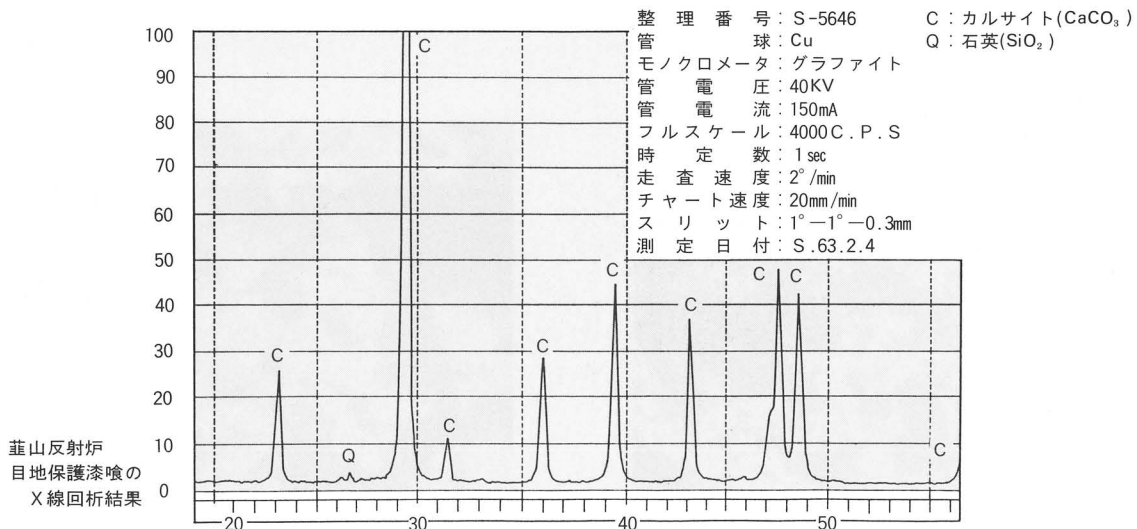


図-109 漆喰X線分析

の外壁煉瓦に付着していた漆喰で中和した炭酸カルシウムとなっていた。

a 試験の項目分析

①化学分析

- SO₃ : 赤外線式硫黄分析計
- CO₂ : 永井式無水炭酸分析装置
- 全炭素 : 赤外線式炭素分析計
- 不溶残分 : セメント協会コンクリート専門委員会『硬化コンクリートの配合推定方』

その他の項目: CAJS I-12-1986

②X線回析: 理学電機社製 回転対陰極形ガイガーフレックスRAD-rA

③電子顕微鏡観察: 日本電子社製 X線マイクロアナライザーJXA-733

b 結果

①化学分析結果 表50に示す。

②X線回析結果

主鉱物はカルサイト (CaCO₃) で、その他微量の石英 (SiO₂) が現存している。(図109チャート参照)

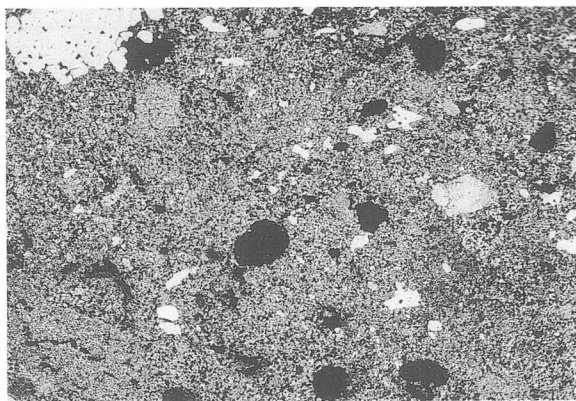
③電子顕微鏡観察結果

試料をエポキシ樹脂に埋込み、断面方向に切断・研摩したのち炭素蒸着を行い組成像 (反射電子像) で観察を行った。

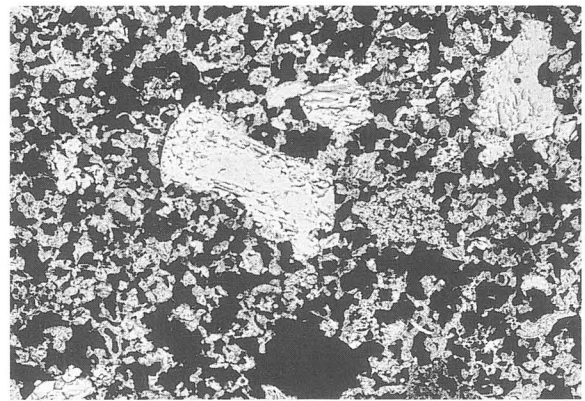
観察の結果、数μmの微細なカルサイトが大部分である。この他に組織がポーラスな50~100μmのカルサイトが少量観察されるが、これは石灰石を焼成した際、未分解で残った粒子ではないかと考えられる。また、この試料からは、スサに相当する繊維状物質は観察されなかった。

④考察

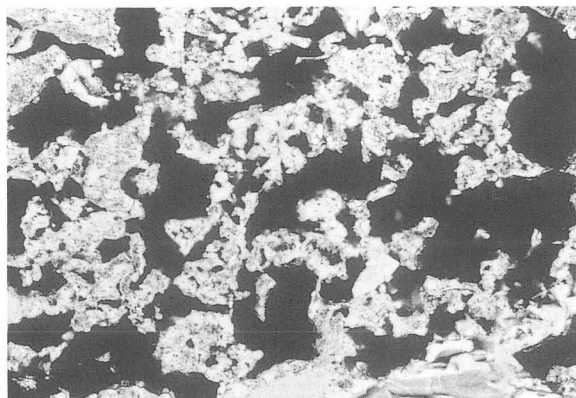
主成分が炭酸カルシウムで、若干の骨材及び有機物が検出された。



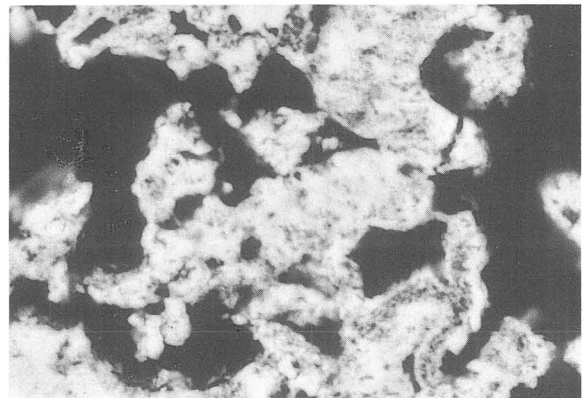
(30倍)



(300倍)



(1000倍)



(3000倍)

写真-234 電子顕微鏡写真

5. 調査結果の考察

今回の保存修理事業で行った調査の結果、葦山反射炉の構造がより明らかとなり、いくつかの新しい知見が得られた。この主な点をまとめてみると、①葦山反射炉の基本構造は、かなり忠実に『鉄煇鑄鑑図』に従っている、②鑄造方法は、出湯口側に鑄台を掘り、ここに鑄型を置いて鑄造しており、各炉の使用状況は一樣でない、の2点に集約できる。

前者は、原書『大砲鑄造法』を規範としていることを考えれば当然の結果であるが、どこまで忠実に原書通りにできたのか、新しい工夫が施されているかどうかは、反射炉そのものの技術の普へん性と当時の土木技術レベルの程度を知るうえで興味深い点である。

後者は、反射炉でどのように鑄造されたかを知る資料が少なく、古来のたたら炉による鑄造技術をどのように駆使し鑄造したかを知るうえで、鑄台の発掘は貴重な資料となり得るだろう。

なお、南炉、北炉に構造上、微妙な差異がある。

南炉、北炉の築造年代に2～3年のズレがある事を考えるとき、後年の北炉が葦山と佐賀の技術交流等によって改良された炉とも推測されるが、佐賀の技術者の行った改良が反射炉の構造そのものであったか、また材料の銑の質の良否等であったかを考察するうえでも興味深い点である。

また、煙突内部及び、炉内の付着物や損傷状況の比較は、4炉がどのように使用され、過去にどのような地震応力が発生したかを解明する大きな手がかりといえる。

上記について、各項で述べた内容をまとめると次のとおりである。

(1) 『鉄煇鑄鑑図』(図110) と葦山反射炉の比較

a 煙突部

- 図110では、上段部の縦方向に鉄帯補強が図示されている。葦山反射炉でもこの補強方法が採用され縦鉄帯の水平連絡材が煉瓦を欠いて納めてあった。(2.4参照)

- 上部から中段に至る肩部の煉瓦積みは、煉瓦積みの寸法から割り出すと図110のように水切りを考慮し

資料-15 鉄煇鑄鑑図

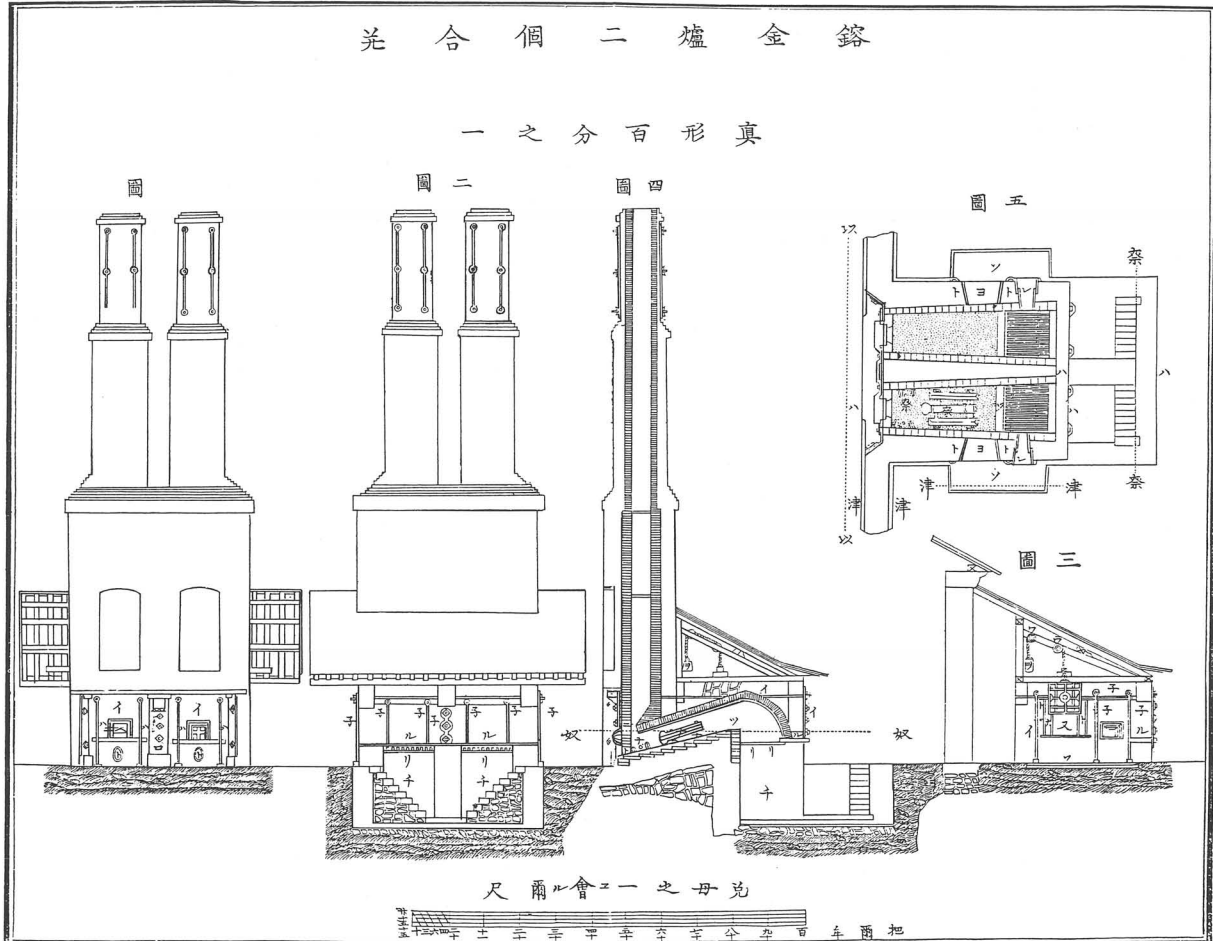


図-110 鉄煇鑄鑑図 (文献52より)

て若干せりだして積んでいたと推定される。

b 炉体部

●下焚口の発掘調査の段階で、こけら板が発見された事、炉体上部の雨仕舞を考えると、炉体上部になんらかの屋根がのっていたと推測される。この屋根がどのようにかけてあったかを解明するこ跡は、発見できなかった。古絵図(資料4, P19参照)では、図110の片流れに対し、切妻となっている。

●図110には、炉体部にも鉄帯補強が明示されているが、このこ跡は確認できなかった。この他、図110では炉体の開口部をふさぐ滑車形式のおとし戸が明示されているが、北A炉の鋳口部分の側壁に四角い穴が認められた他は、その形跡は認められなかった。なお、佐賀の反射炉(資料3, P18)をみると、炉は葦山反射炉と同様に石積みのみである。

●炉内の天井の傾斜は、図110では直線状に下り勾配となっているのに対し、葦山反射炉では弓状になっている。当初からこのような形となっていたか、使用頻度に伴い減厚してこのようになったかは不明である。

●炉床の勾配も同様に、図110では天井と平行してかなり強い勾配となっているが、葦山反射炉では炉壁の付着物ライン及び火橋と出湯口の位置からみ限り、なだらかな傾斜がついている程度である。

●この他、炉内で図110と異なる点は、火橋(図中のツ)と岬を結ぶ線である。図110では炉内の熱が逃げるのを防ぐため火橋と岬は同一レベルになっているのに対し、葦山反射炉では火橋の高さより岬の方が高くなっている。

●湯口側の前板鉄に、図110では出湯口が1つしかないのに、葦山反射炉では2つあけられている。

●炉の平面をみると図110では、直線上に狭くなっているのに対し、葦山反射炉では出湯口のところで、わん曲して狭くなっている。

図110では、下焚口に灰のかき出し用ピット(図中、チ)が掘られているが、どのようなピットであったかは不明である。ただし、葦山反射炉では北A炉において灰のかき出し口が、かき出しが容易なように転用煉瓦敷きの傾斜面を持っていた。

炉の下部構造は、図110では明示されていないが、

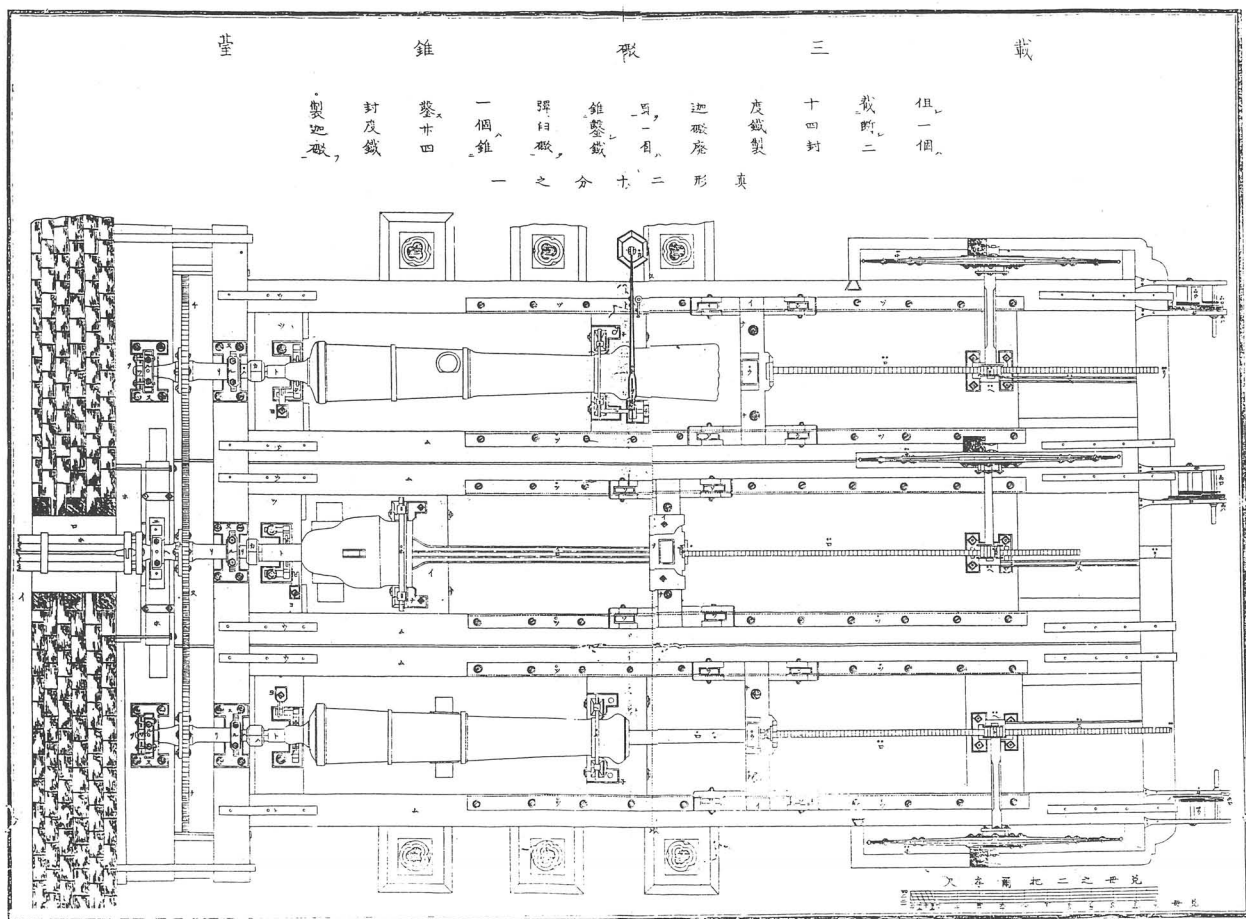


図-111 鉄焔鑄鑑図 (文献52より)

葦山反射炉では通気機能を持つ炉下空間が設けられている。

c 鑄造場

出湯口から、溶け出した鉄をどのように鑄込こむかについては、図110にその構造が明示されていない。

葦山反射炉では直交する出湯口側部分に地下ピットが掘られ、ここに鑄台を設けていた。鑄台の発掘調査結果からは地表のスロープは認められず、古写真（写真18）及び発掘による木材の検出状況から、上屋内の梁を利用し、滑車等で上下させたものと思われる。なお、ピットの深さ（地下3m）から鑄型は立てて据え、鑄込みを行ったと推定される。上屋内形状は、古写真をみるかぎり高さが7.5m程の高いものである。鑄台跡の発掘調査では、上屋内の屋根材が発見されている。

(2) 鑄造方法の考察

葦山反射炉でどのような鑄造が行われたかを知る手がかりは少ないが、現在のところ、現認できるものとして炉内及び煙道内の付着物、鑄台（地表下に保存）、江川家に保管されている錐台・大砲の模型が

あり、記録類として『反射炉御取建日記』、『宇都宮氏経歴談（P174 資料16）』がある。この他解説書として『大砲鑄造法』の翻訳書（P16, 資料2）等があげられる。

炉内の付着物を分析した結果を表51に示す。付着物の中から鉄分が検出され、鉄製の大型砲を鑄造していたことがうかがえる。『反射炉御取建日記』では試鑄を含めて7回ほど大砲を鑄造している。

(3) 各炉の比較

a 北炉と南炉の構造上の差異

● 炉床の勾配をつけるための構造が異っている。北炉は、煉瓦をほぼ平らに敷いたうえで煉瓦の破片をいれた土の層を3層ほど重ね、この土層の重ね具合で、勾配をとっている。一方、南炉は、煉瓦の敷き方（1段～3段）で勾配をとり、このうえに土層を一層重ねている。

● 炉下、半月鉄板の敷き方が異っている。北炉は、大、中、小三枚組みのうち、焚口側の大一枚と他の二枚に20cmほどの段差があるのに対し、南炉は、なだらかに傾斜している。また、この鉄板を支える束

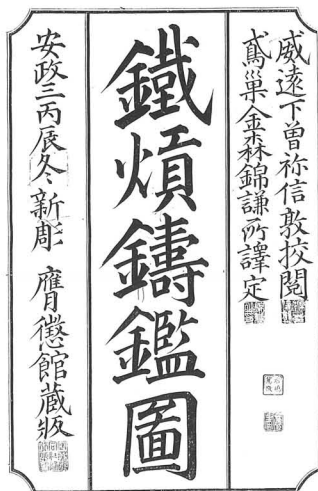


写真-235 翻訳本

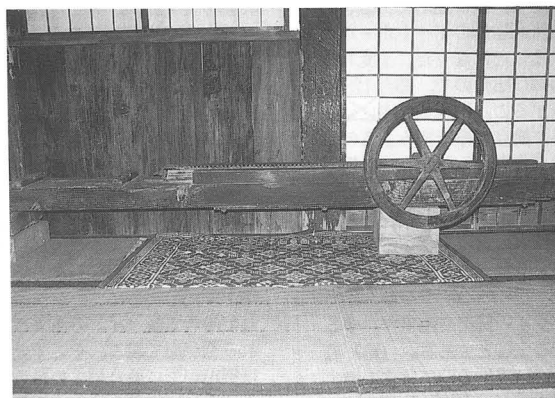


写真-236 錐台



写真-237 旗指物

表-51 炉壁付着物の化学成分分析表 (%)

T.Fe	Cu	FeO	Sn	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	TiO ₂
12.51	0.012	6.61	0.001	15.5	61.3	2.41	0.44	0.52

石の位置が違っている。ただし、北炉の東石は、当初南炉と同じ位置にあったものを、移したこん跡がある。

- 湯口側の前板鉄の下部の状態が異っている。北炉は直線で、南炉はアーチ状となっている。

- 灰のかき出し口について、北炉では、傾斜をつけているのに、南炉では、その工夫がみとめられない。

- 煙突内部の最下部の形状が異っている（炉内断面図参照）。

b 各炉の損傷状況、付着物の差異

- 地震時の損傷は、北炉、南炉とも短辺方向の内壁に、縦の亀裂が発生している。長辺方向は中段部で2炉が1体化しているため、短辺方向と比較すると損傷の程度が少ない。

- 煙突内部の付着物は、各炉まちまちで北A炉が最も少なく、南B炉では他と違ったガラス質の付着物がある。

った。

付着物の質は若干異なり、例えば、南 A 炉は黒いスス色でつやがなく、付着物の剥れた煉瓦面は赤紫が点在しているのに対し、南 B 炉は表面がガラス状で、色は黒の上に茶の釉薬が重なっている状況である。

(4) 今後の課題

これまで実施した調査は、保存修理工事に関連したものに限られ、鑄造方法、反射炉の機能など産業遺跡として最も関心が深い部分について十分な解明がなされていない。

今回の調査で得られた貴重な資料を基に、今後、反射炉の歴史的な意味が各方面からの研究によって解明され、文化遺産としての価値が認識されていくことを期待したい。

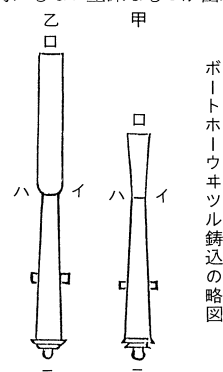
資料-16 青銅砲鑄造に関する記録「宇都宮氏経歴談（文献54）より抜粋」

自分が最初、櫻の馬場の大砲御鑄造場に出た時に大砲に心を入れて鑄て居るのを見て是れは無垢に鑄なければならぬ、而して煩銅（カノメタル）の調合の法を改正しなければならぬ、此金の中に鉛や硬石を含んで居ては不可、今造って居る大砲は役に立たぬと云ったので亂心だの發狂人だのと名を付けて退けられやうとしたのであったが、再び出て遣ることになった。其時煩銅の調合位は致したが大砲を無垢に吹いて削り抜くと云ふことは行はれず手切れになった。然るに2、3年の後、今度は陸軍奉行（川勝縫之助）から兼て足下の望んで居る通りの大砲を今度始めて御製造になるから、思ふ存分に遣るが宜しいと云ふ事で、矢張江川太郎左衛門（今の江川英武氏にて其頃14、15歳）、木村太郎兵衛、安井清之助（江川の砲術教官）の3人に大砲鑄造の事を命ぜられ、自分には総て學問上に係ることを任せられた。ソコで伊豆の韭山に出張を命ぜられた。韭山には反射爐がある。其處で亞米利加形のポートホークキツル（12ドイム位と覚ゆ）を100挺製造することになった。丁度其時に阿州侯も同砲を28挺だけ1所に拵へたいと願ひ出たので、都合128挺を製造することになった。ソコで自分の關係することは地金の中に鉛、砒石等を含んで居るや否やを検査するので外に鑄立て錐で揉み上げるのは他の係りの人が遣る。勿論錐探の道具などは是迄なかったからソレ等も皆新規に拵へた。ソレから大砲を吹くには木炭を用ふことに極って居ったが、鐵は石炭か木炭でなければ溶かすことは出来ないが銅製であれば薪で澤山である。而かも之を薪にするときは大に費用を減ずることが出来る。今度は一つ薪でやってみて如何と云ふた。ソレから此事を伺ひになった處が「伺ひの通り」と云ふ下げ札が付て來た。(略)ソレから薪で大砲を鑄たが、何の故障もなく好く溶解してやすい費用で出來た。そこで自分の専ら關係する處は地金の性質と鑄型の土質とである。(略)若しも土に石灰かマグネシヤを含んで居るときには鑄型の役には立たぬ。これを試験するには先づ砂やカオリンを蒸留水でドロドロにして、ツマリ土や砂の中に空氣の無い様にしてソレに希硫酸を注入し若し沸騰して泡が出れば則ち炭酸瓦斯の存する證で、斯う云ふものの中には必ず石灰かマグネシヤを含んで居る。大砲を鑄る時に土砂中の炭酸が熱のために遊離して筒の中に空氣の氣球が出來て無疵の大砲が出來ぬ。是れが兵科化學で鑄型の土の大切なる精選法である。そこで韭山附近の海岸には白き砂が澤山ある。先づ之を取って希硫酸を注入すると皆沸騰する。何故かと云ふに此所の砂の中には貝の破片を含んで居る。到底斯ういふ砂は役に立たぬから貝のなまゝうな河砂を選びソレから土も沸騰しないものを選んで漸く鑄型の土は出來上がった。(略)又銅錫も鉛や砒石を含んで居れば役に立たぬから江戸の銅座に申付けて極精製の銅を取寄せた。(略)鑄型の土も好い物が出來、銅の性質も充分なものが出來た。銅座のもの云ふに從來是程の品を製造したことはない。従って費用も餘程高く掛った。是れは先づ特別製で普通の品ではないと云って、其銅に大砲用とか云ふ刻印をして來た。ソコで其銅を内ひて溶し調合法を充分にして愈々大砲の鑄造を始めた處が、一體大砲を鑄るには「廢頭という」押

金（押湯とも云ふ）を附けることが大切である。斯う云ふ大砲を製造すると假定すれば（二）の方を下にして（ロ）の方が上に爲りて（イ）より上の方は餘分の金即ち押湯で（ロ）に達するまで注ぎ込む。是れは重いものが下の方に往くやうにする爲めで、而して氣泡が（ハ）の邊で來ると冷えて後餘分の金は（イ）より切つて仕舞う。而して其心を錐を以て揉み抜くのである。斯う云ふ風にして鑄造した大砲に何處から出たか氣泡があつて、之を仕上げて見ると筒先に疵が出來て居て役に立たぬ。さうして何挺鑄ても一挺も無疵のものが出來ない。費用ばかり懸つて完全のものが出來ぬので、陸軍方でも到底成功しないと見て、小栗豊後守よりモウ断然廢めて仕舞へと云ふて來た。丁度此時野州の事件が起つたので自分は野州に出張することになって未だ廢止と云ふ命令の來ない前に歸つて來た。

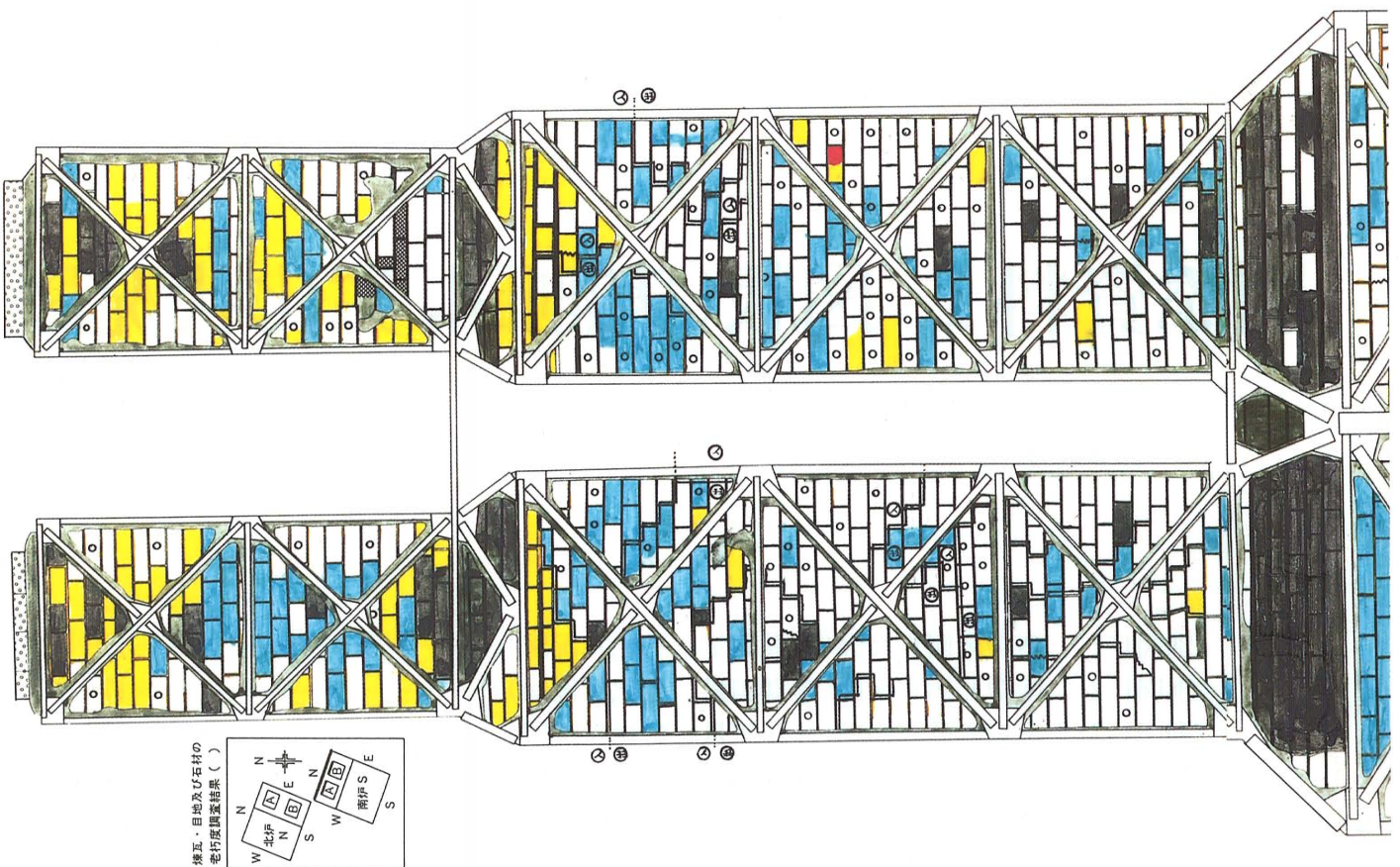
序に銅の性質の話をする普通の化學書などには論じてないが兵科化學には最も大切なることがある。ソレは銅製の大砲は鐵製とは全く正反對の性質を持って居ると云ふことである。鐵は暖めて漸々に冷めるやうにすると柔かいものが出來る。俄に冷めると堅いものが出來る。(略)然るに銅はソレと正反對で早く冷める程柔かく遅く冷める程ボキボキになるから、銅製は大形の筒は堅く、小さい筒は柔かく出來る。之を銅を扱ふものが知て居たらば大に益することであらう。ソコでポートホークキツルは筒が小さいから堅いものは出來ぬ。(略)

江戸に歸つて來ると、和蘭から大砲鑄造の書物が開成所に來たから何か新しいことがないかと思つて頻りに繰返して見ると、乙圖の如く氣泡が押湯の爲めに（ハ）を通り越して砲身の中には最早氣球は無い。而して冷めて後（イ）の所より切つて仕舞う。又此書には餘計に押湯を入れる圖が出て居る。そこで此圖を寫して韭山に送り、元來疵の出來るのは氣泡が上を通り越さぬからである。押湯を多くして泡が通り越す様にさへすれば無疵の筒が出來ると云ふ事を申送つて、野州に立った。韭山では直ぐに其通りに遣つて見ると、疵も何にもない立派なものが出來た。然るに一度出た命令を動かす事は出來ぬから、最終に疵の無いものが出來るやうになったに拘らず多額の金を出して拵へた銅を皆積戻して大砲製造は廢めになった。そこで阿州侯から依頼された28挺だけを製造した處が、1點の疵もなく、地金の質も此上ないと云ふものを吟味したから立派な筒が出來た。此阿州の28挺が日本で初めて思ふ通りのものが出來たのだ、是れが先づ一つの話。其後、王子に大砲鑄造場が出來た。是れは乙圖の通りにした故に一點の疵の無いものが出來た。

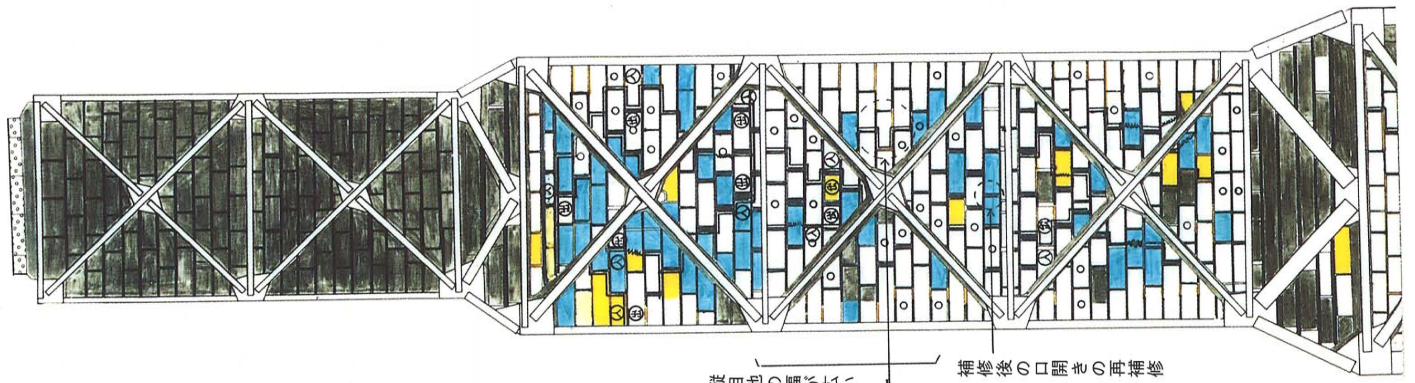


別添資料 1 図版(実測図,劣化状況図)

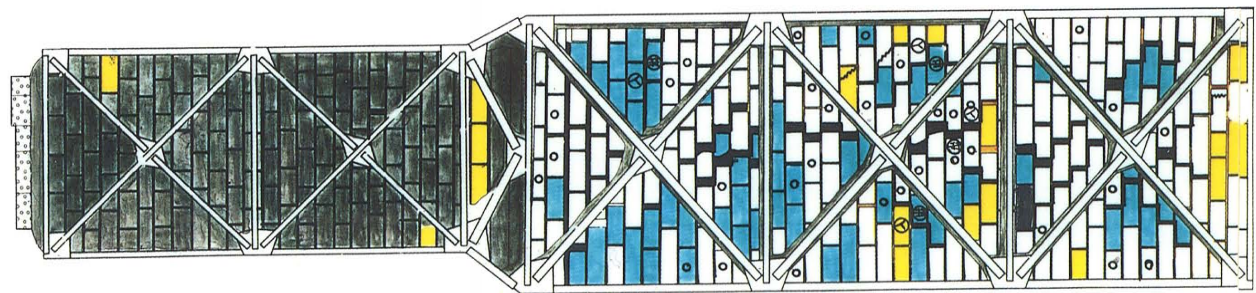
別図1-1	南炉東側立面図(写真測量,劣化状況図)	176
別図1-2	南炉北側立面図(写真測量,劣化状況図)	176
別図1-3	南炉西側立面図(写真測量,劣化状況図)	178
別図1-4	南炉南側立面図(写真測量,劣化状況図)	178
別図1-5	北炉北側立面図(写真測量,劣化状況図)	180
別図1-6	北炉東側立面図(写真測量,劣化状況図)	180
別図1-7	北炉南側立面図(写真測量,劣化状況図)	182
別図1-8	北炉西側立面図(写真測量,劣化状況図)	182
別図1-9	南A炉断面実測図	184
別図1-10	南B炉断面実測図	184
別図1-11	北A炉断面実測図	185
別図1-12	北B炉断面実測図	185
別図1-13	北A炉内垂直方向断面実測図	186
別図1-14	北B炉内垂直方向断面実測図	186
別図1-15	南A炉内垂直方向断面実測図	186
別図1-16	南B炉内垂直方向断面実測図	186



棟瓦・目地及び石材の劣化調査結果()



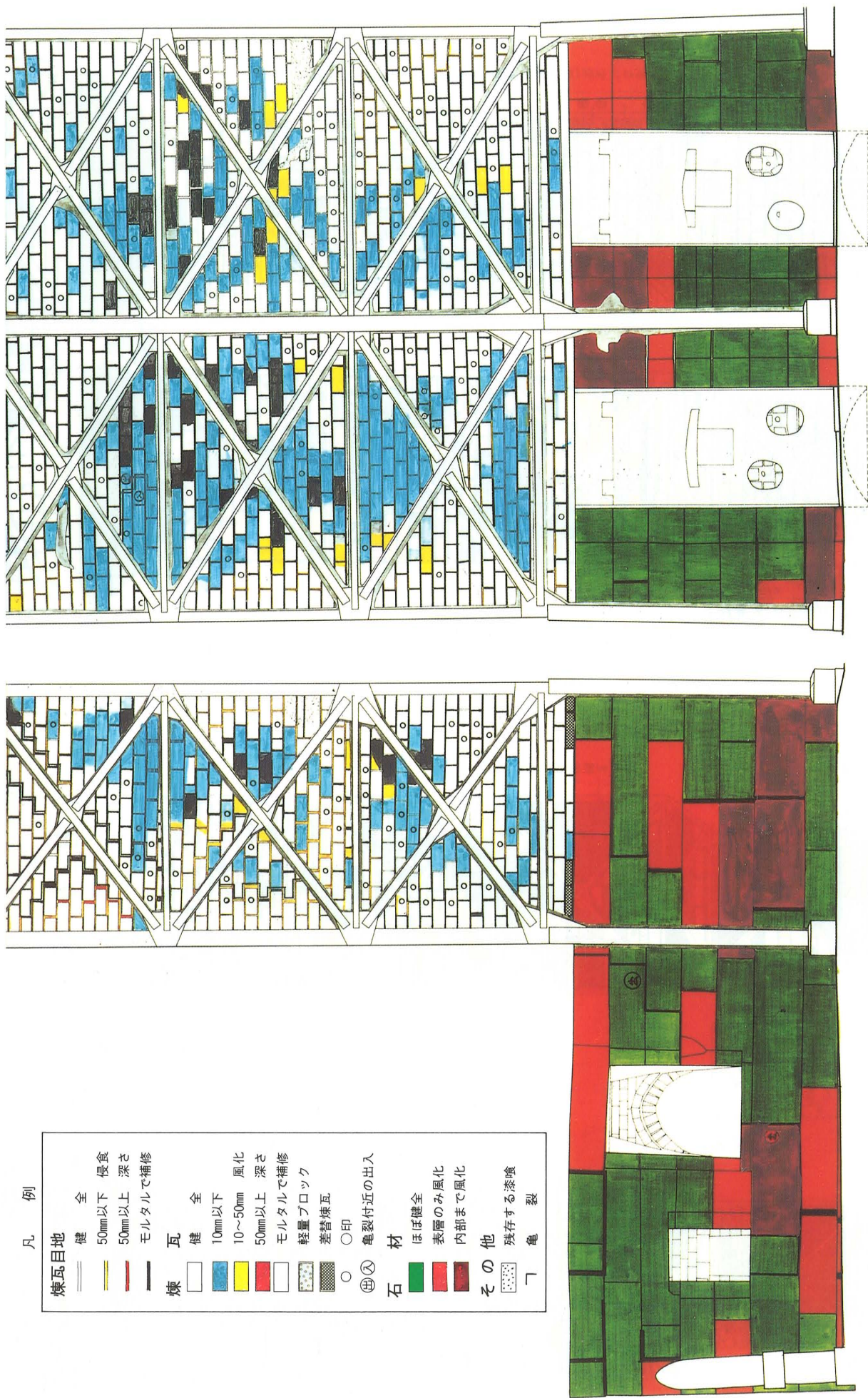
棟瓦・目地及び石材の劣化調査結果()



N・e・A

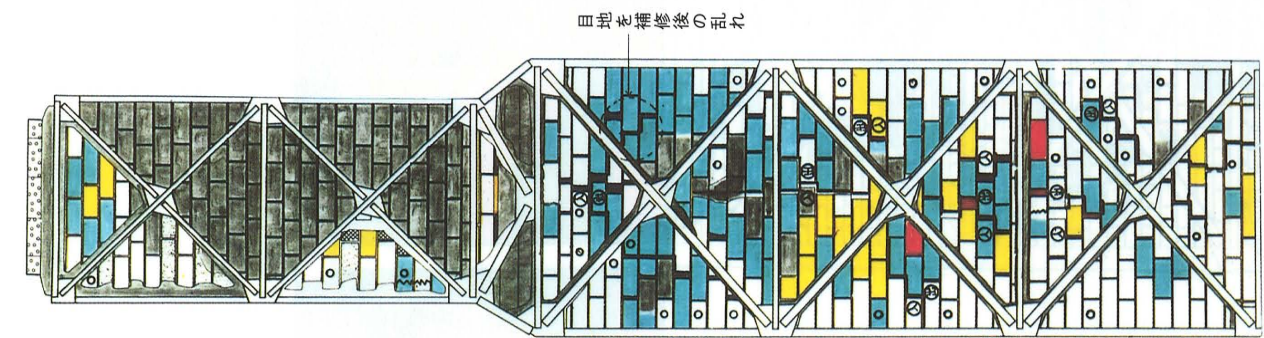
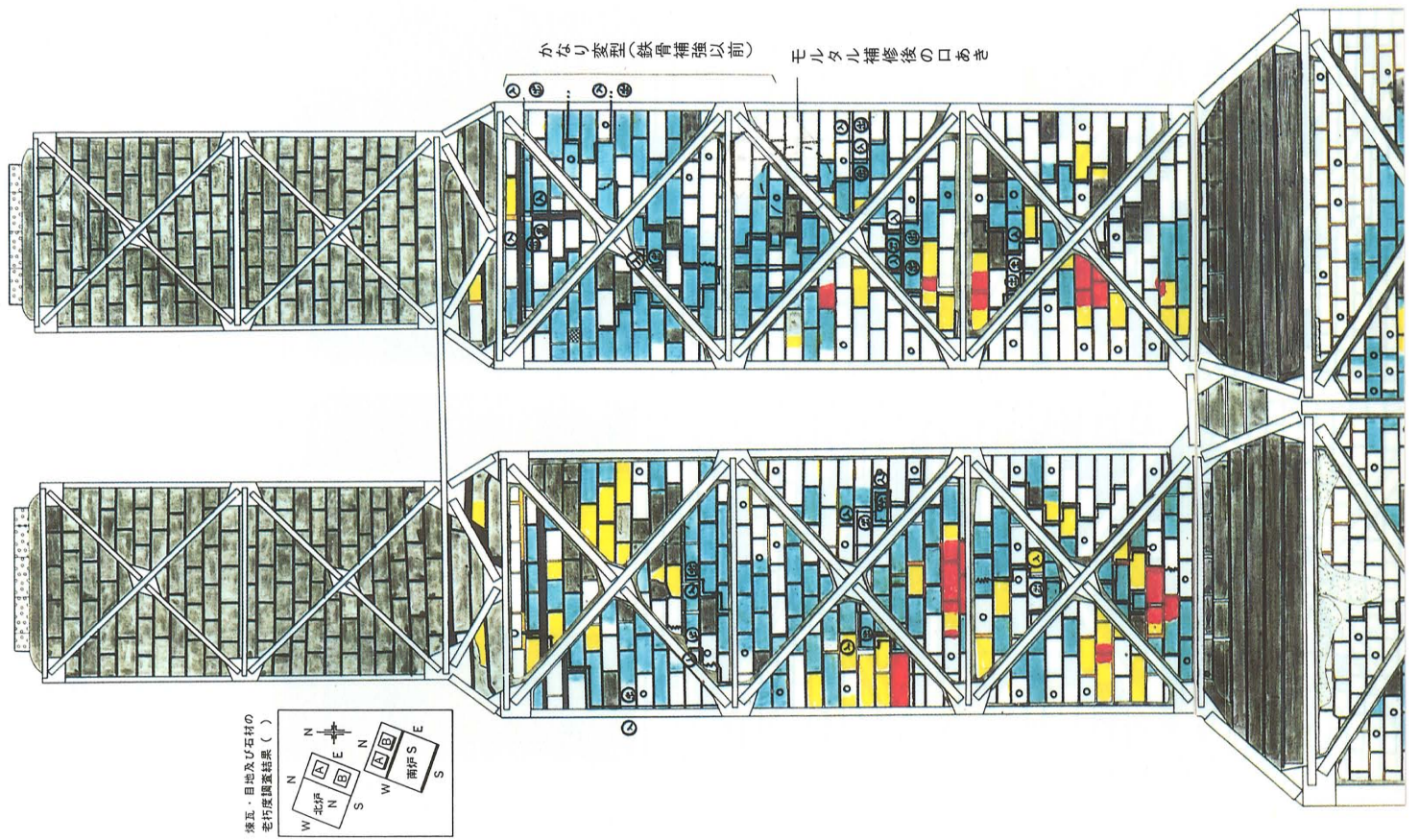
凡例

煉瓦目地	全	健全	全	石	ほぼ健全	その他	残存する漆喰											
—	50mm以下	50mm以上	モルタルで補修	煉	10mm以下	10~50mm	50mm以上	モルタルで補修	軽量ブロック	差替煉瓦	○	⊕	亀裂付近の出入	材	表面のみ風化	内部まで風化	亀	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

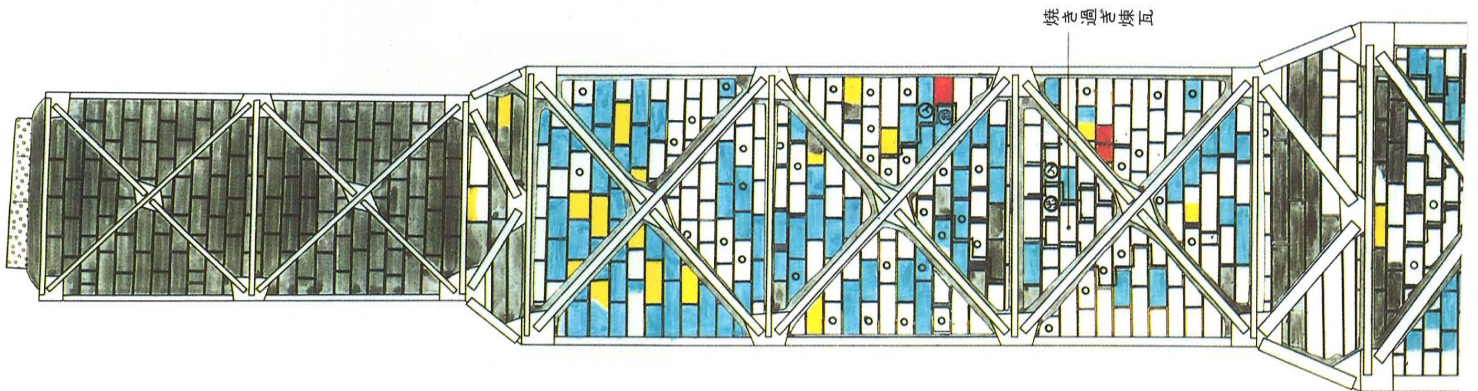


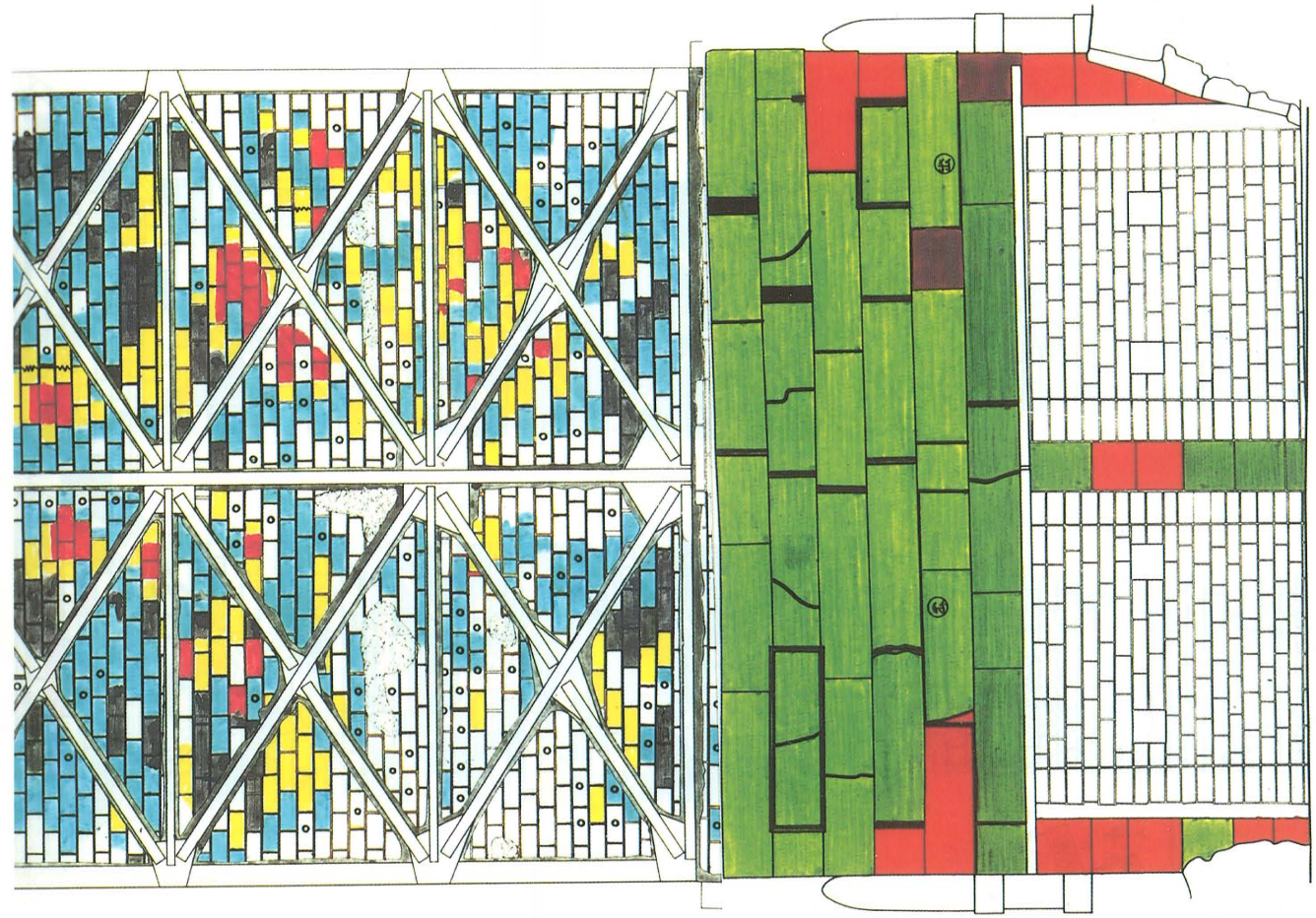
別図 1-1 南炉東側立面図

別図 1-2 南炉北側立面図



N・W・B

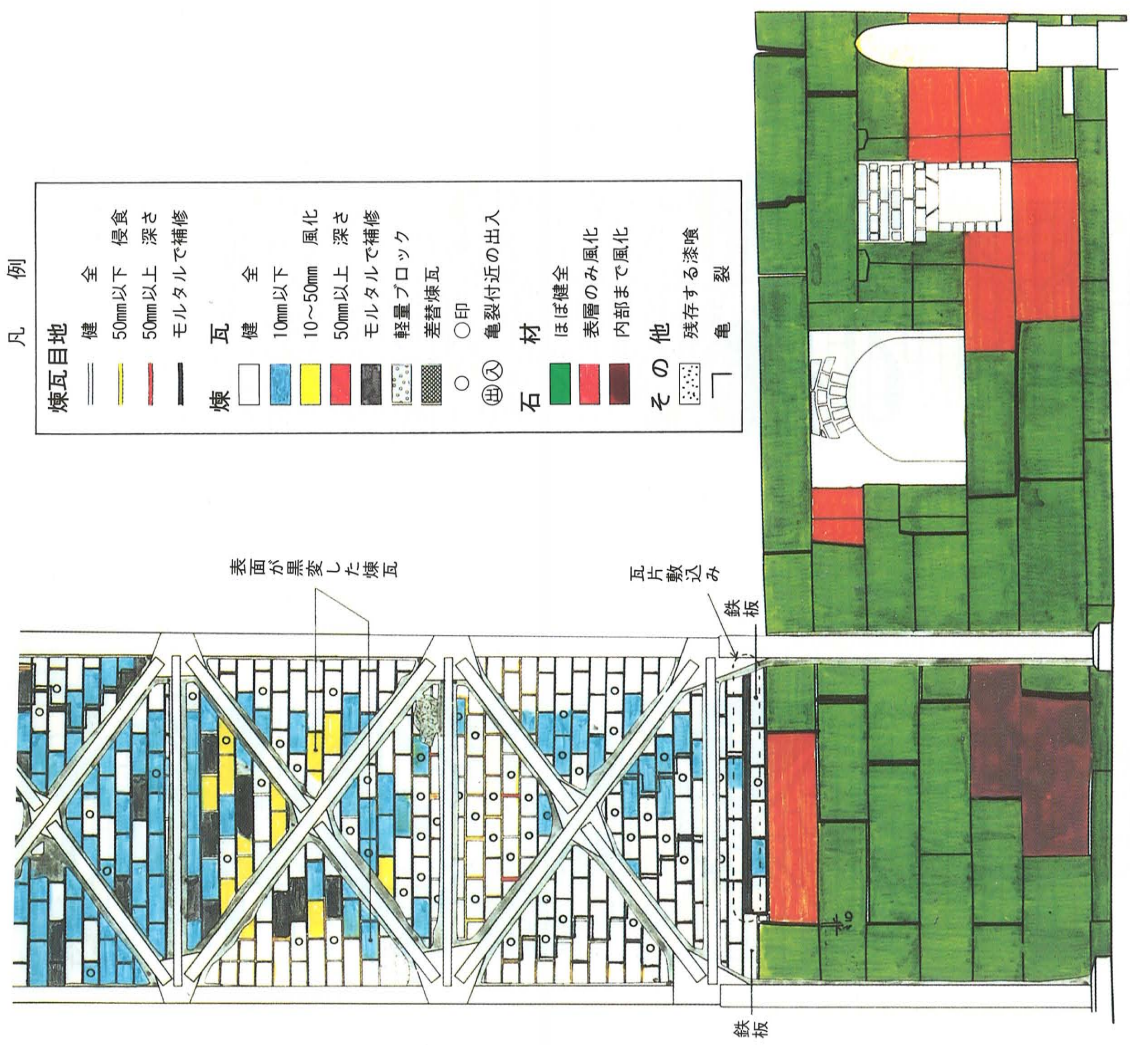




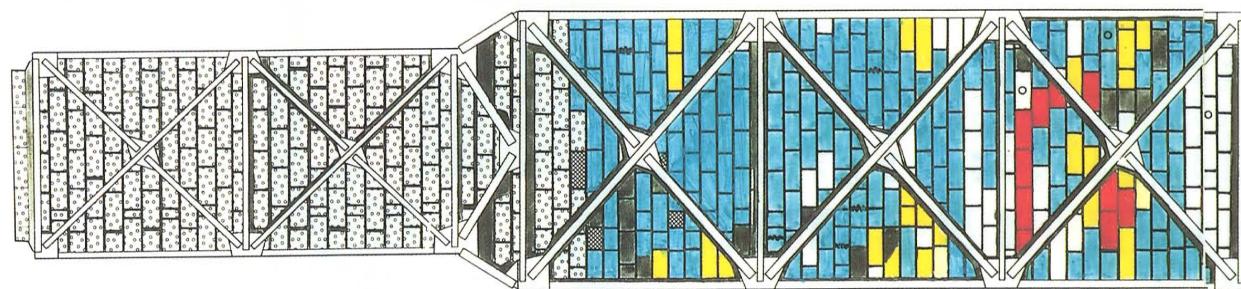
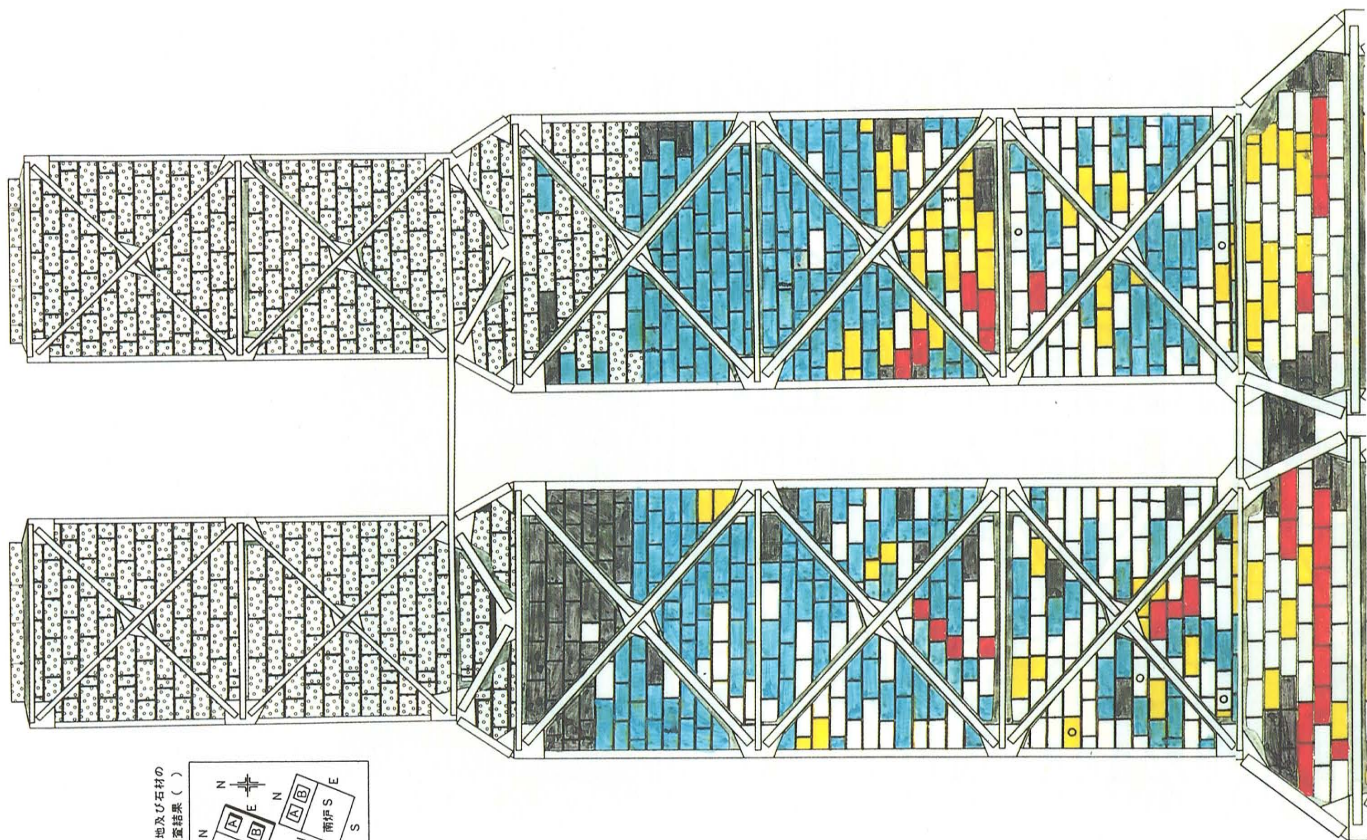
別図 1-4 南炉南側立面図

凡例

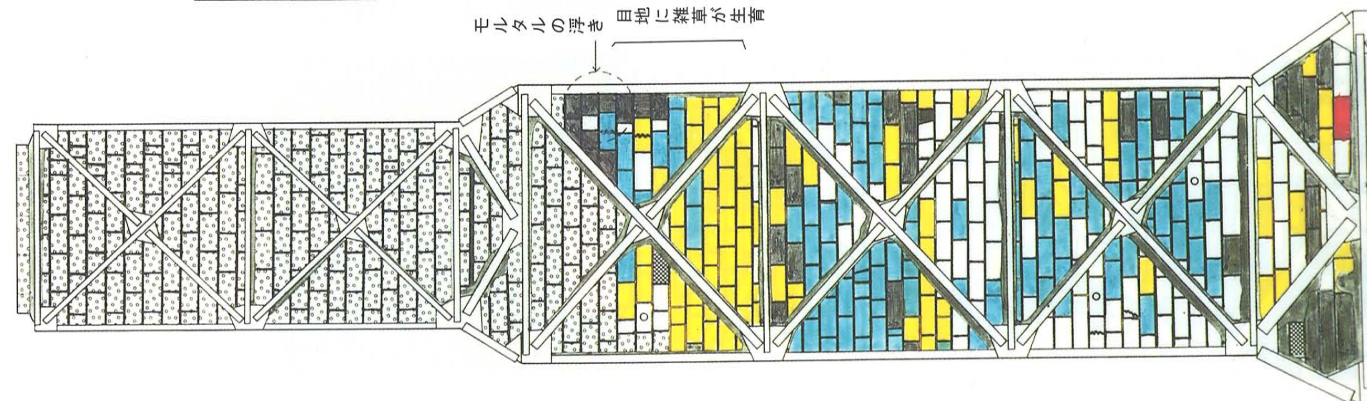
煉瓦目地	全	健全	50mm以下	50mm以上	モルタルで補修	煉瓦	全	10mm以下	10~50mm	50mm以上	モルタルで補修	軽量ブロック	差替煉瓦	○印	亀裂付近の出入	材	ほぼ健全	表面のみ風化	内部まで風化	その他	残存する漆喰
—	—	—	—	—	—	□	□	□	□	□	□	□	□	○	⊕	石	■	■	■	■	■

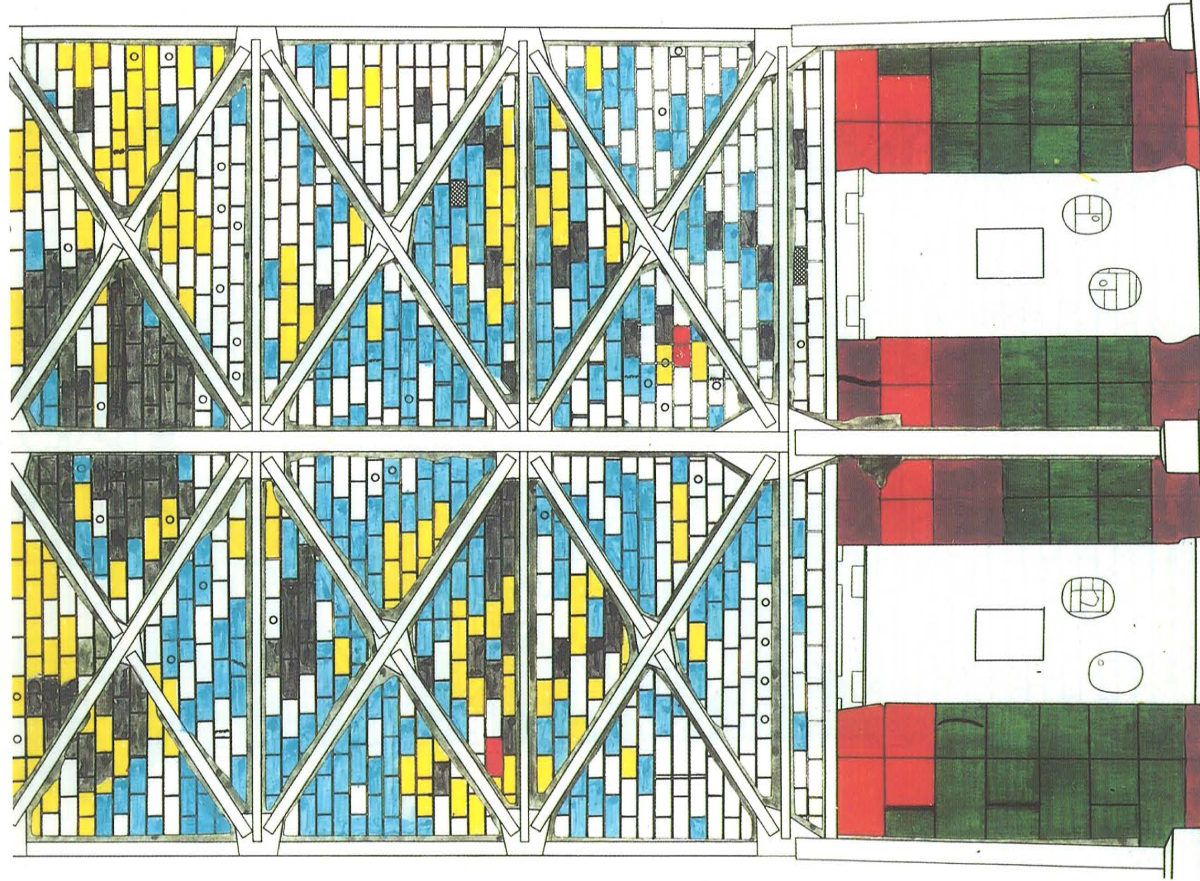


別図 1-3 南炉西側立面図

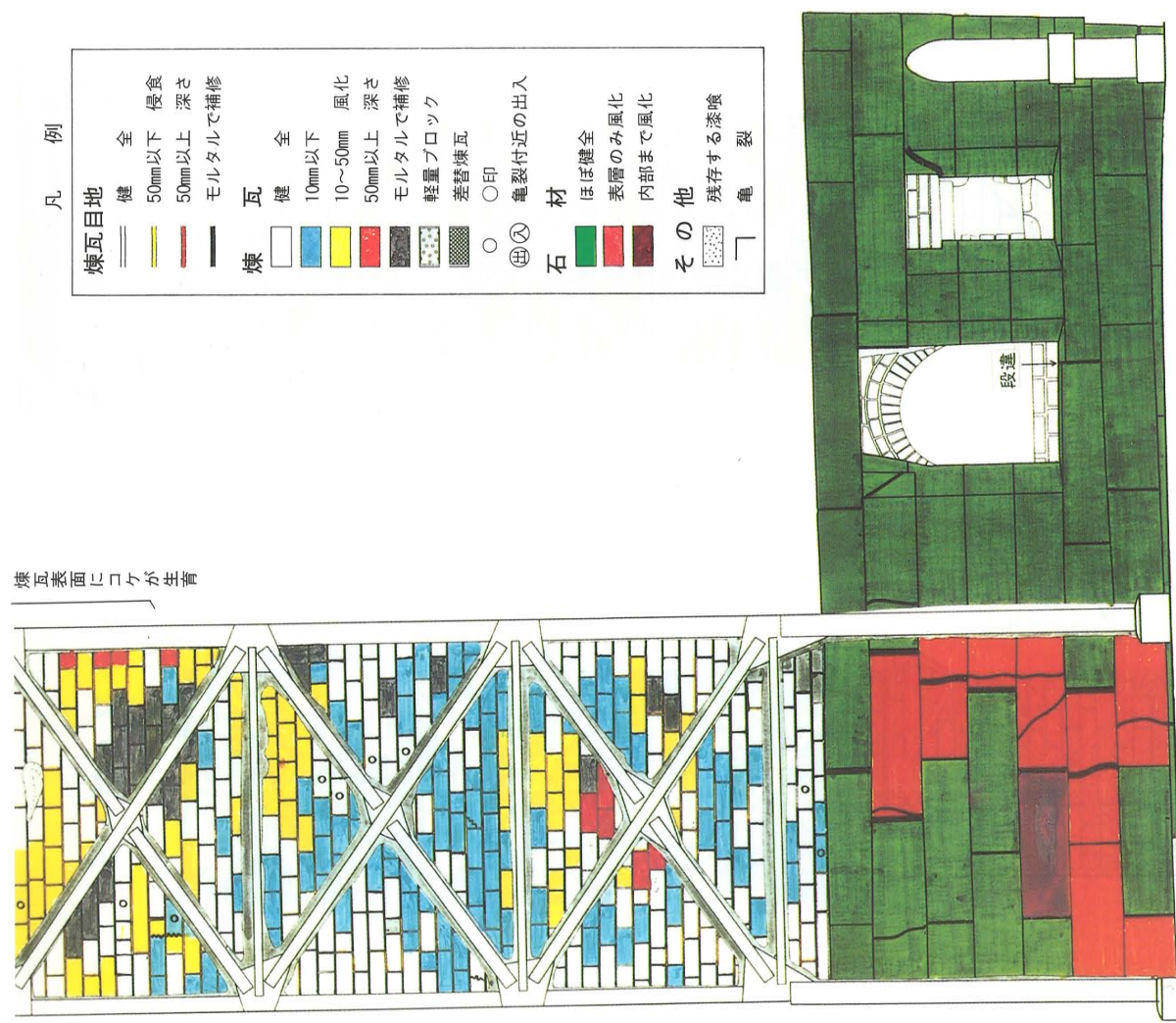


S・n・B





別図 1-6 北炉東側立面図

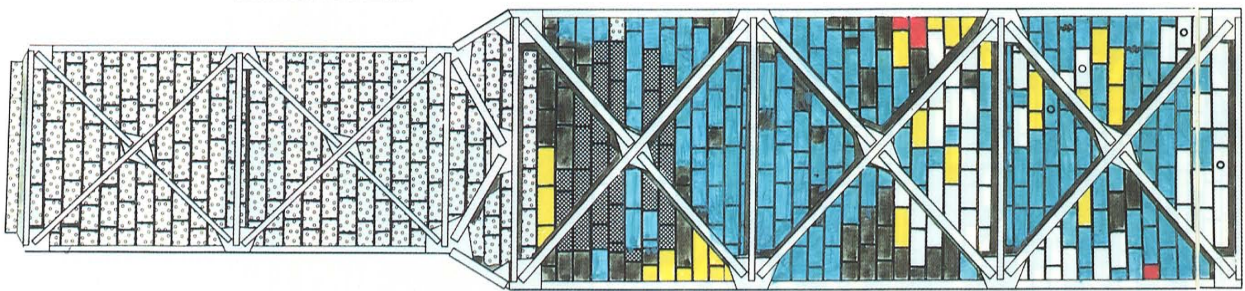
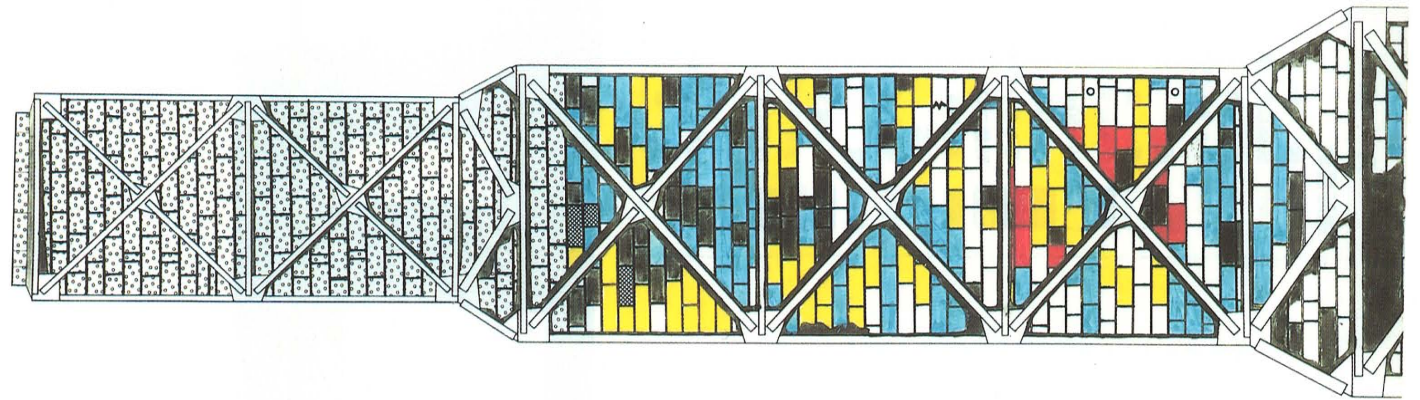
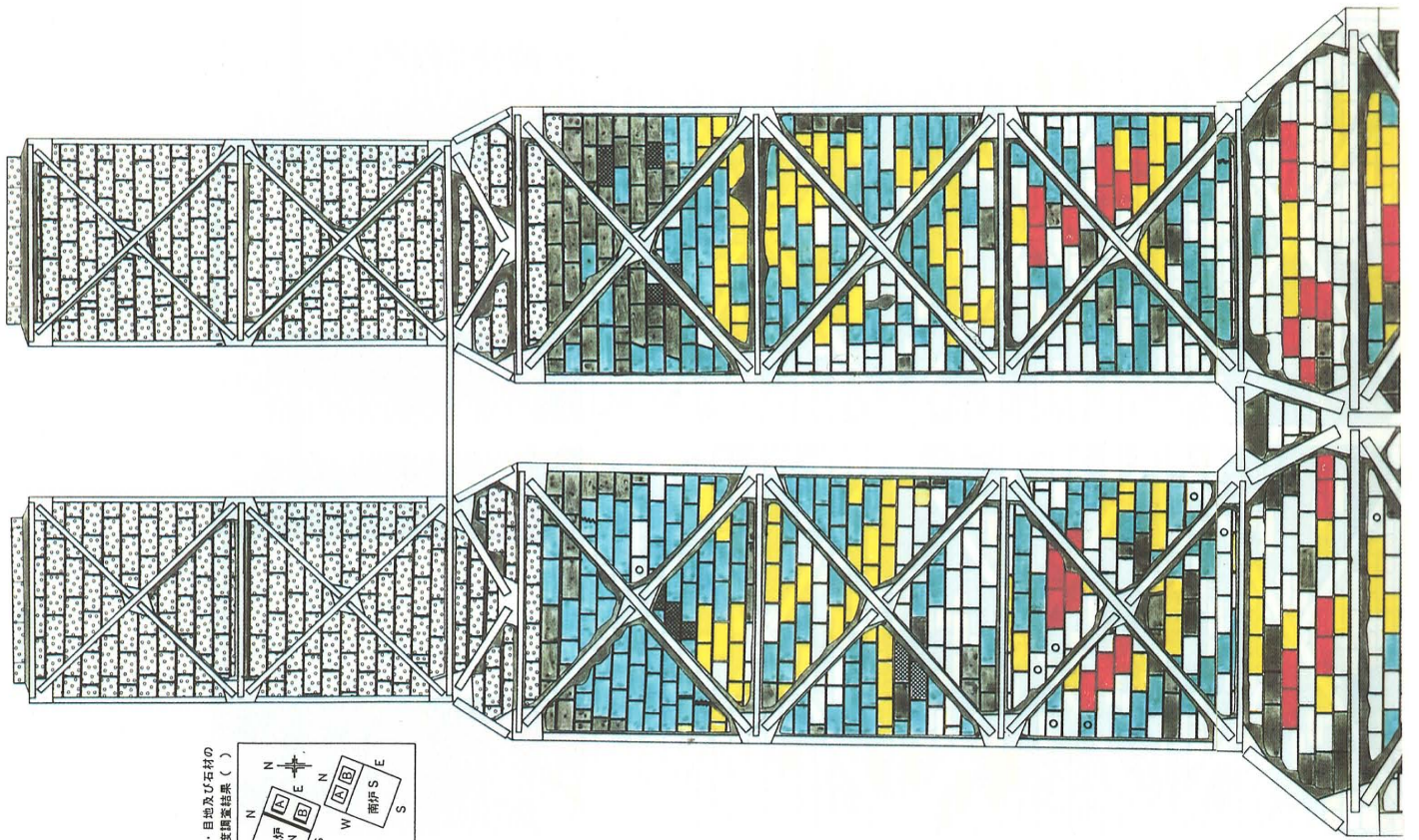


別図 1-5 北炉北側立面図

凡例

煉瓦目地	全	健全	50mm以下	50mm以上	モルタルで補修
煉	瓦	全	10mm以下	10~50mm	50mm以上
					モルタルで補修
					軽量ブロック
					差替煉瓦
					○印
					亀裂付近の出入
石	材	ほぼ健全	表面のみ風化	内部まで風化	その他
					残存する漆喰
					亀裂

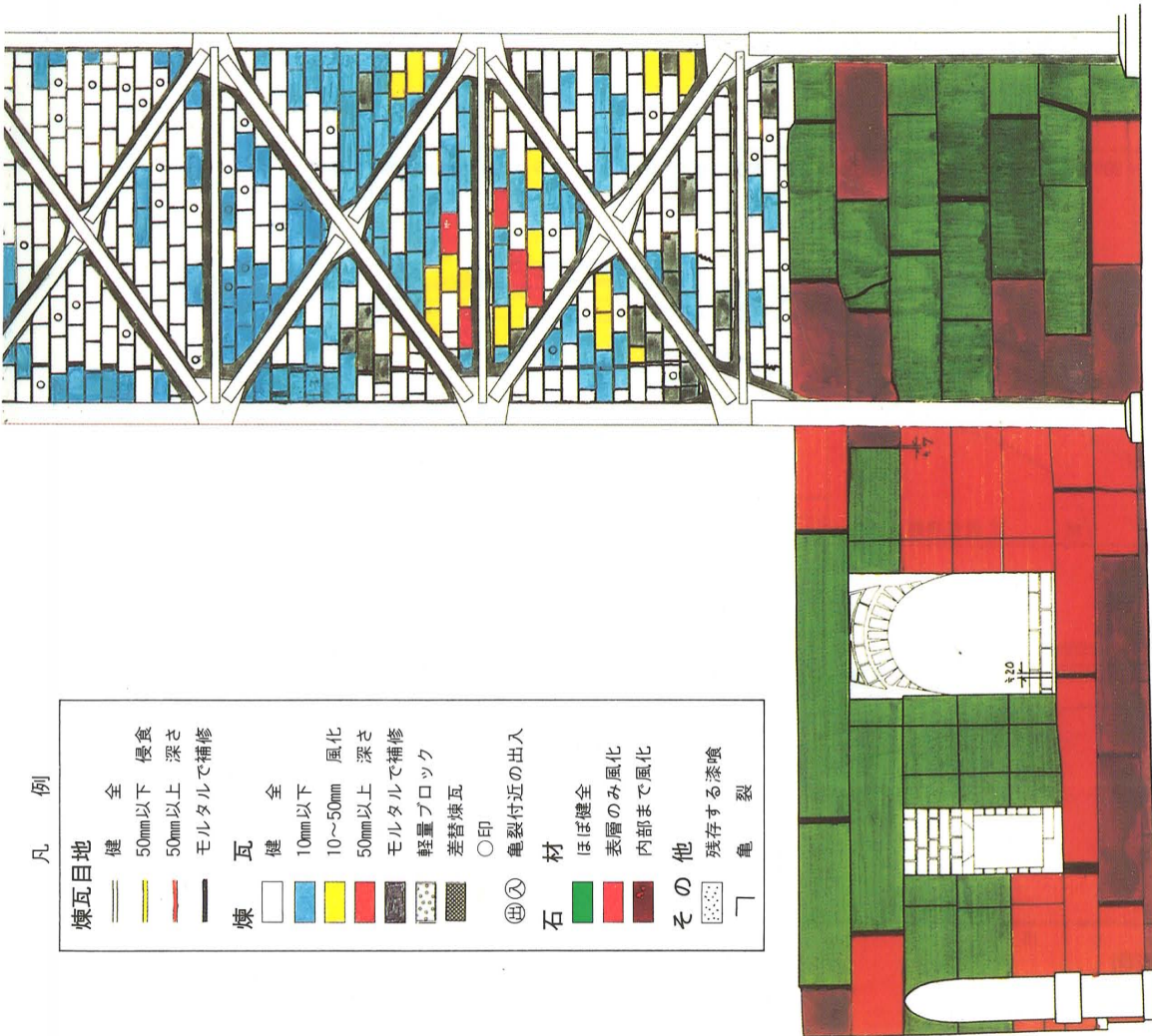
煉瓦表面にコケが生育



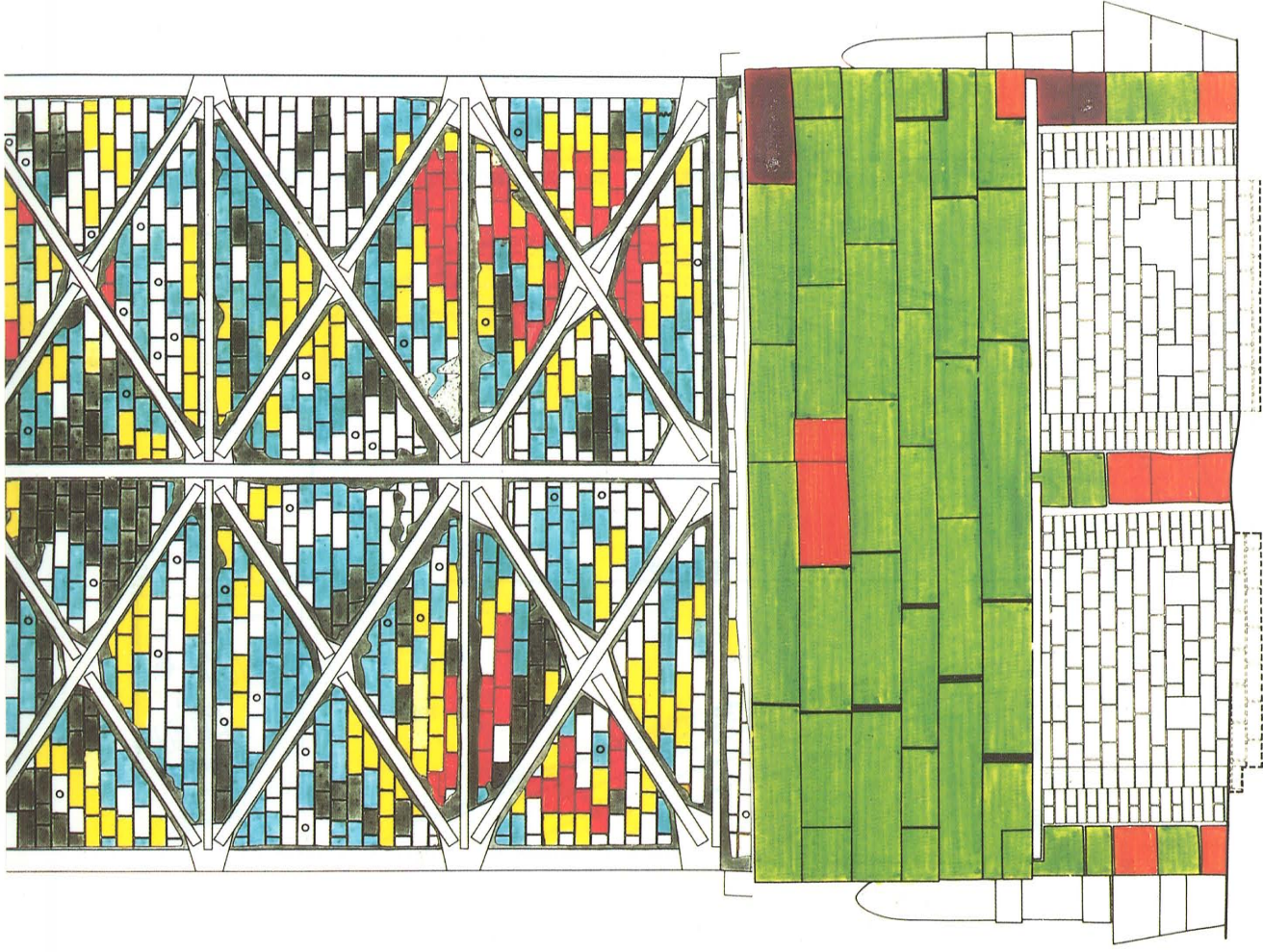
S・W・A

凡例

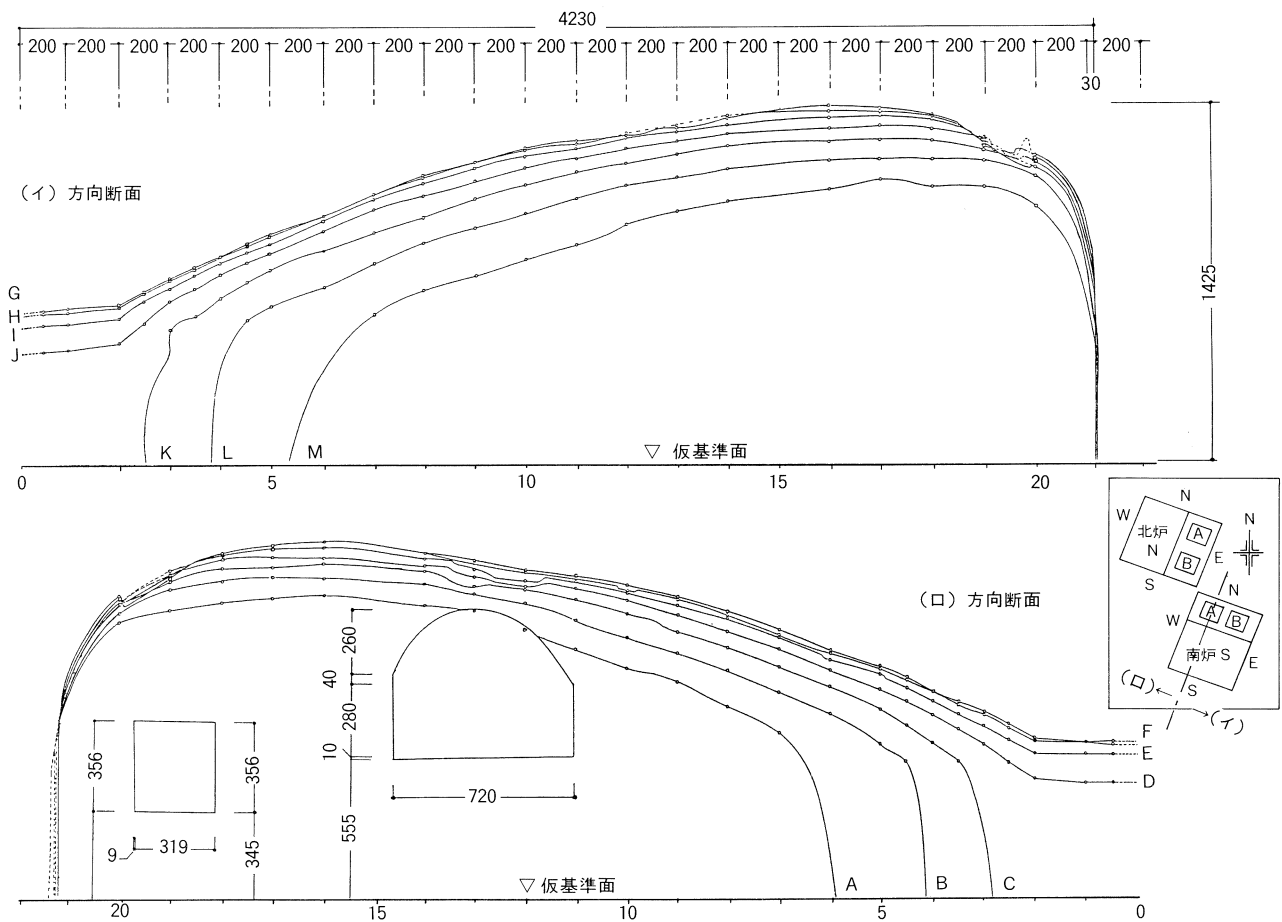
煉瓦目地	全	健全	全	健全	○印	亀裂付近の出入	材	ほぼ健全	その他	亀												
—	50mm以下	50mm以上	モルタルで補修	煉	瓦	全	10mm以下	10~50mm	50mm以上	モルタルで補修	軽量ブロック	差替煉瓦	⊕	⊗	石	ほぼ健全	表面のみ風化	内部まで風化	その他	残存する漆喰	亀裂	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—



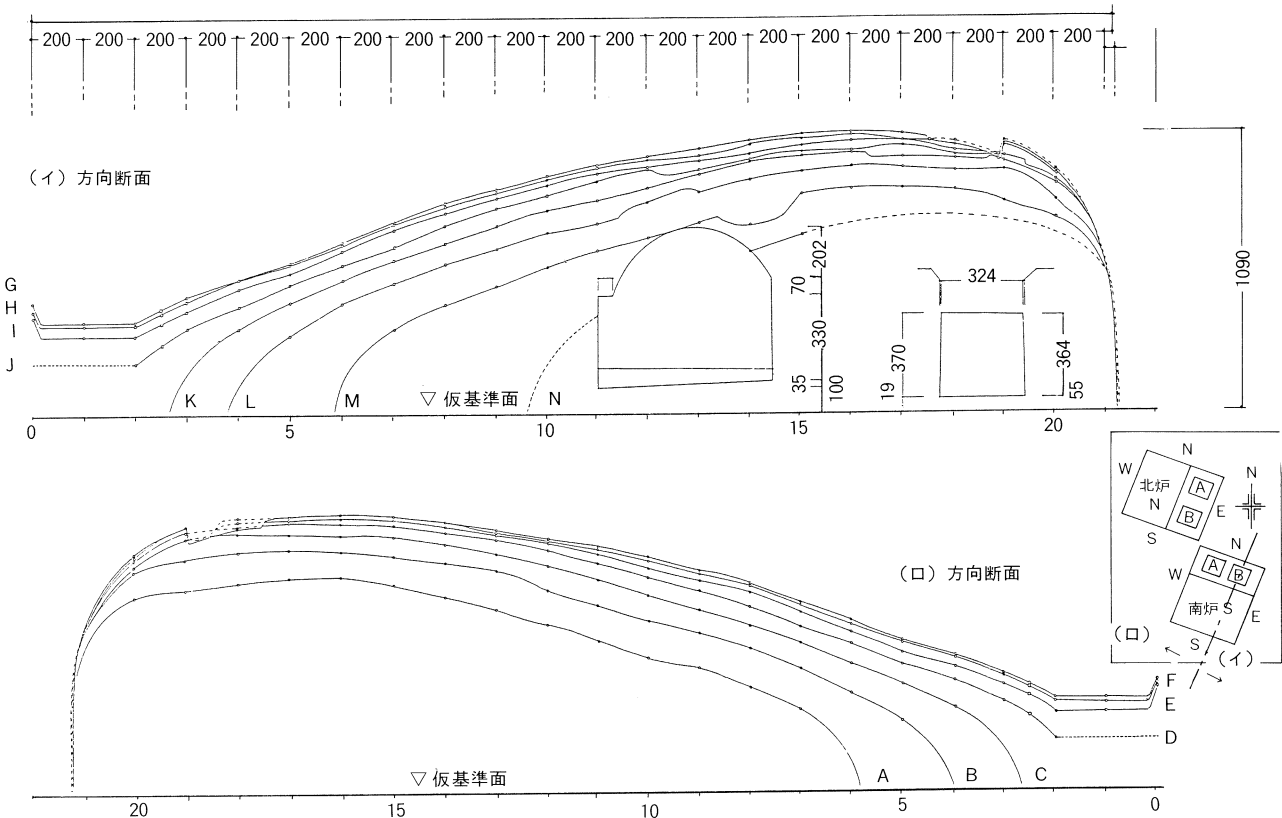
别图 1-7 北炉南側立面图



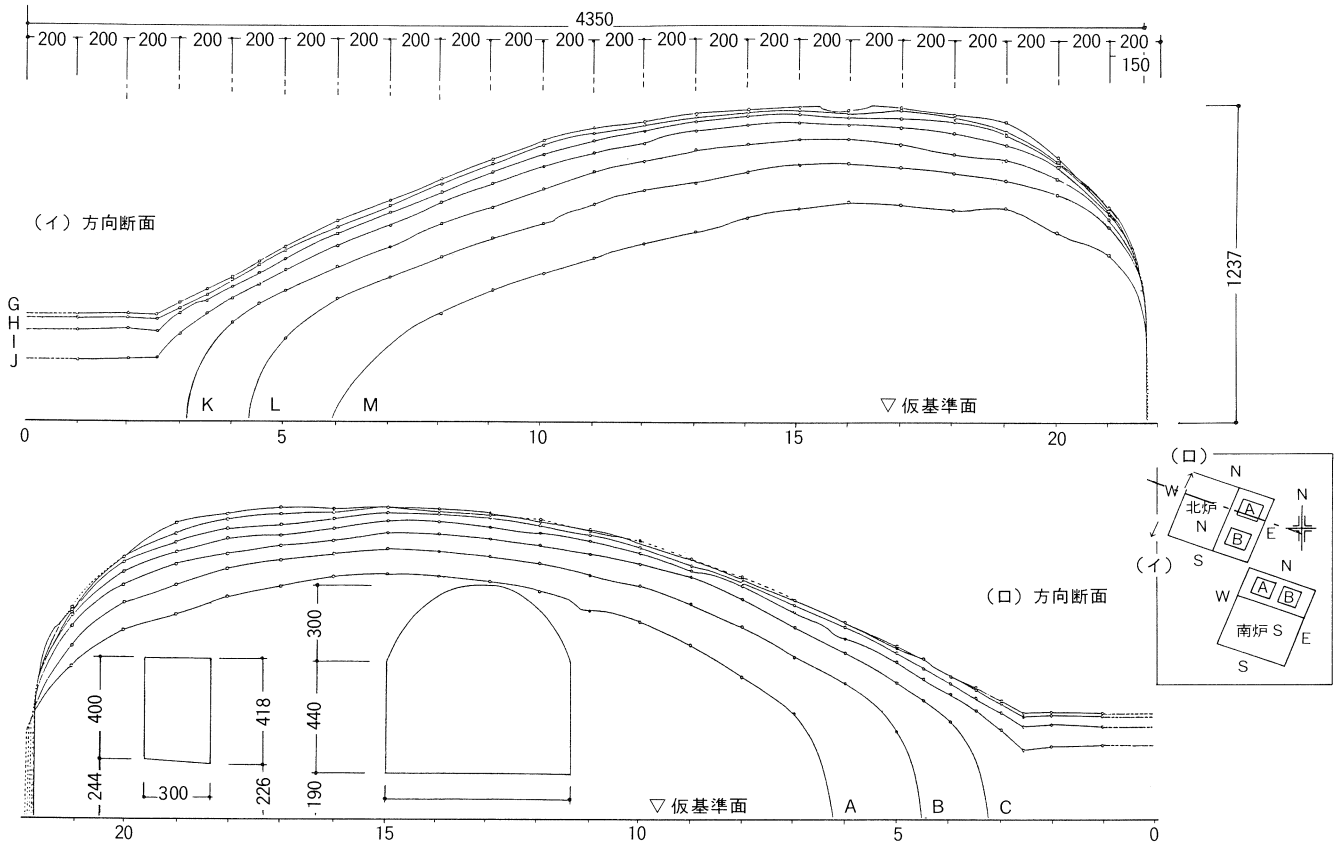
别图 1-8 北炉西側立面图



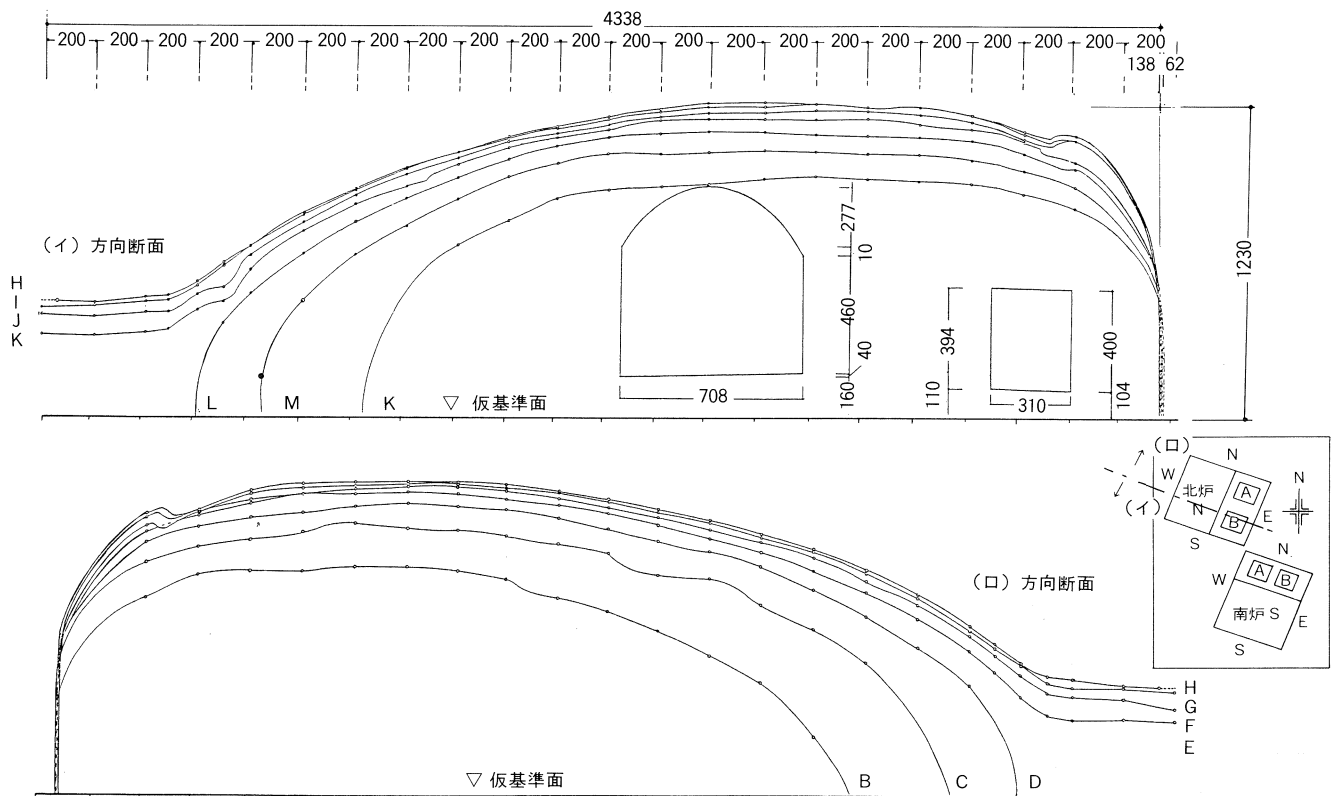
別图 1-9 南A炉断面实测图



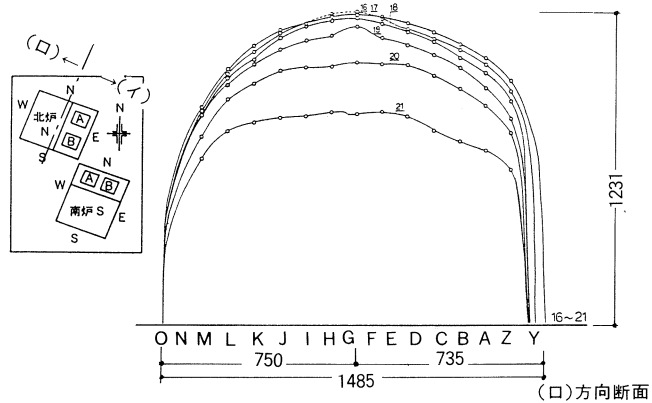
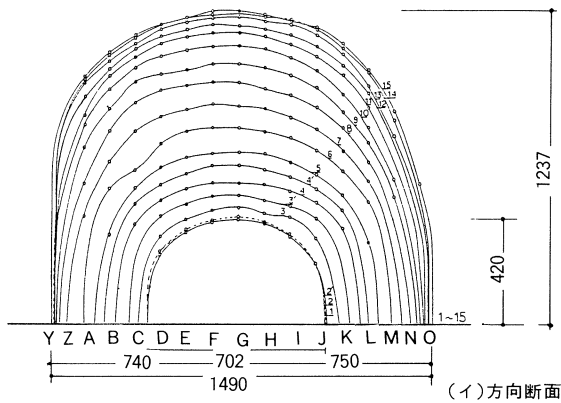
別图 1-10 南B炉断面实测图



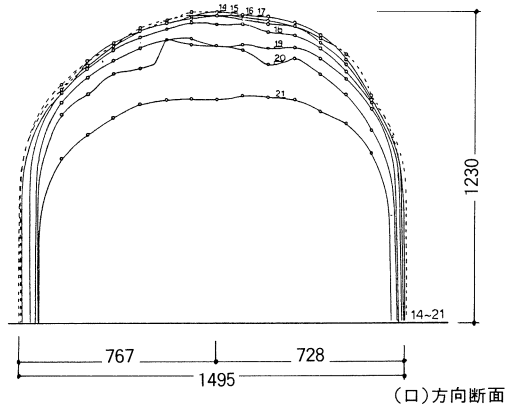
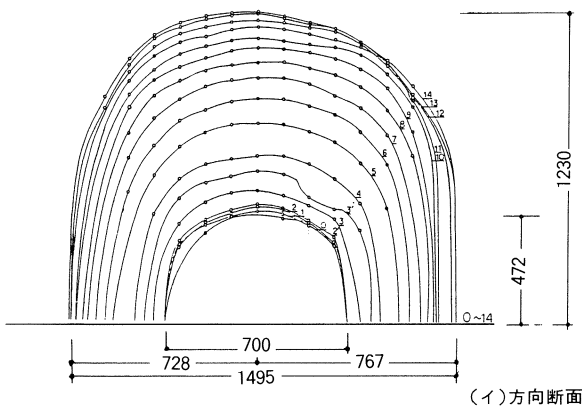
別図 1-11 北A炉断面実測図



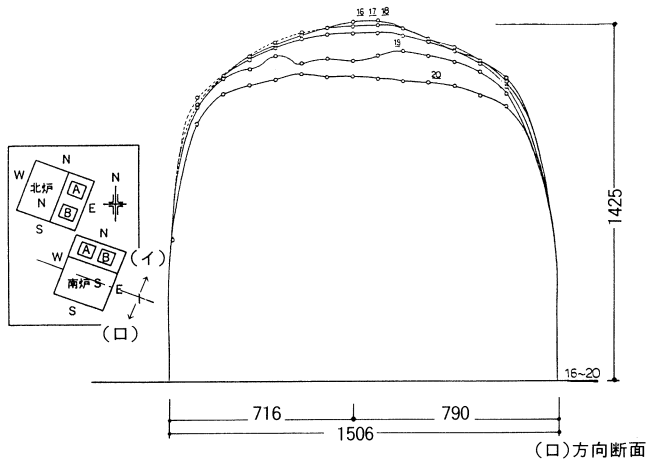
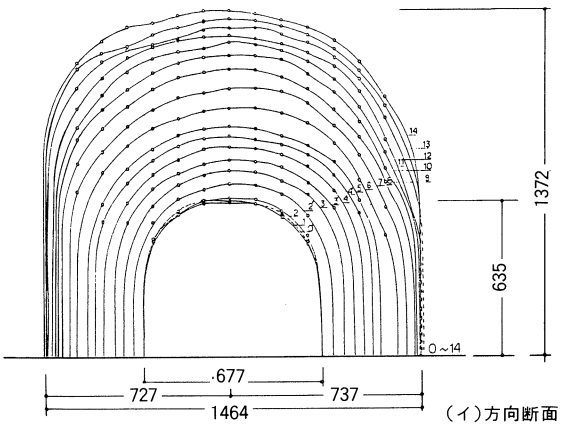
別図 1-12 北B炉断面実測図



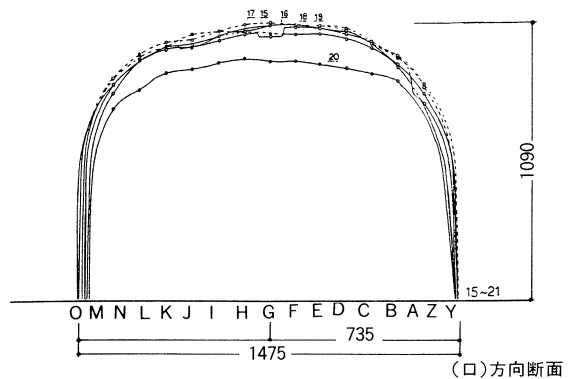
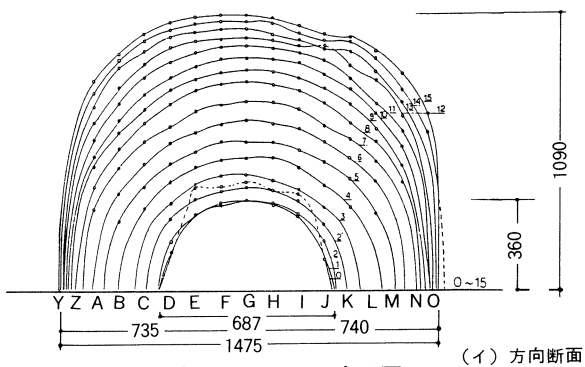
别图 1-13 北A炉内垂直方向断面实测图



别图 1-14 北B炉内垂直方向断面实测图



别图 1-15 南A炉内垂直方向断面实测图

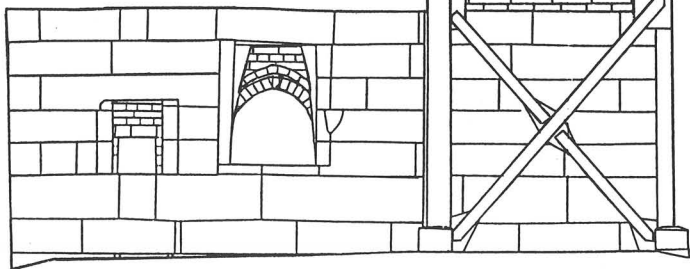
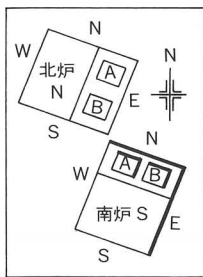
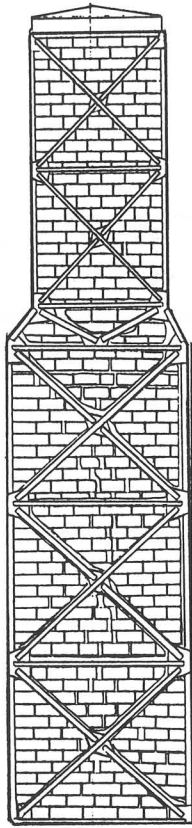


别图 1-16 南B炉内垂直方向断面实测图

別添資料2 図版(竣工図)

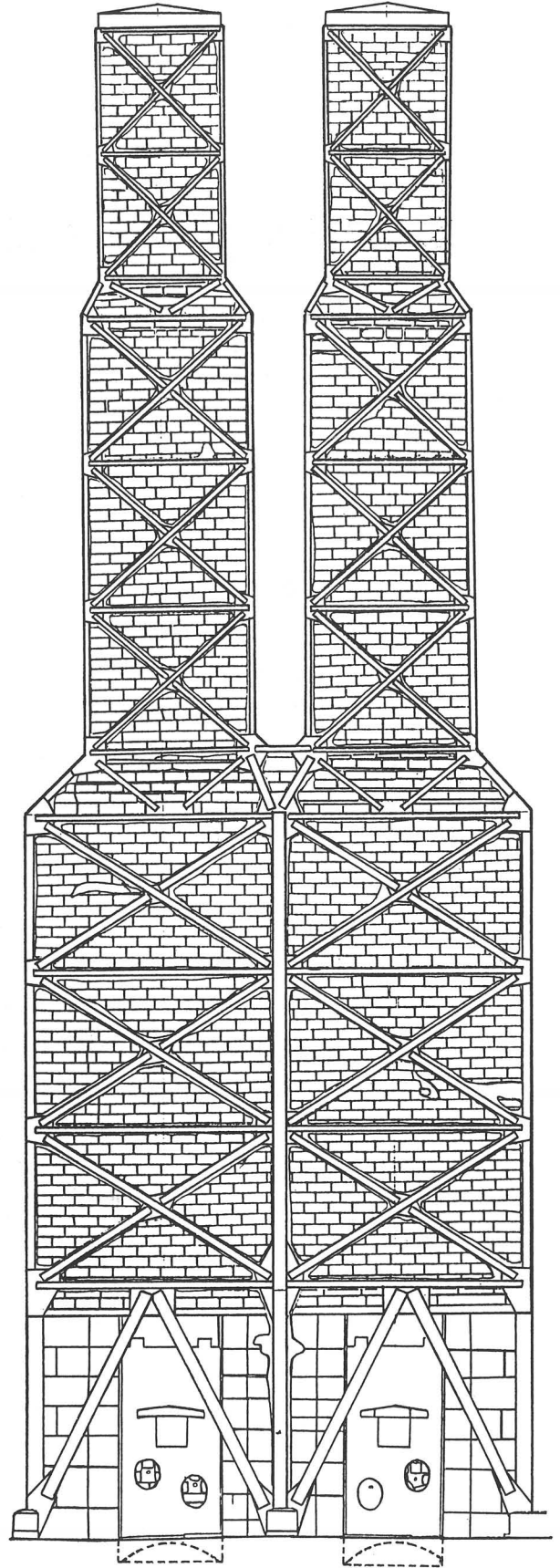
別図2-1	南炉東側立面図	188
別図2-2	南炉北側立面図	188
別図2-3	南炉西側立面図	189
別図2-4	南炉南側立面図	189
別図2-5	北炉南側立面図	190
別図2-6	北炉東側立面図	190
別図2-7	北炉北側立面図	191
別図2-8	北炉西側立面図	191
別図2-9	南炉平面図	192
別図2-10	北炉平面図	193
別図2-11	南A炉断面図(長辺方向)	194
別図2-12	南B炉断面図(長辺方向)	194
別図2-13	北A炉断面図(長辺方向)	195
別図2-14	北B炉断面図(長辺方向)	195
別図2-15	南炉断面図(短辺出湯口方向)	196
別図2-16	南炉断面図(短辺焚口方向)	196
別図2-17	北炉断面図(短辺出湯口方向)	197
別図2-18	北炉断面図(短辺焚口方向)	197
別図2-19	配置図	198

S · e · A



B

A



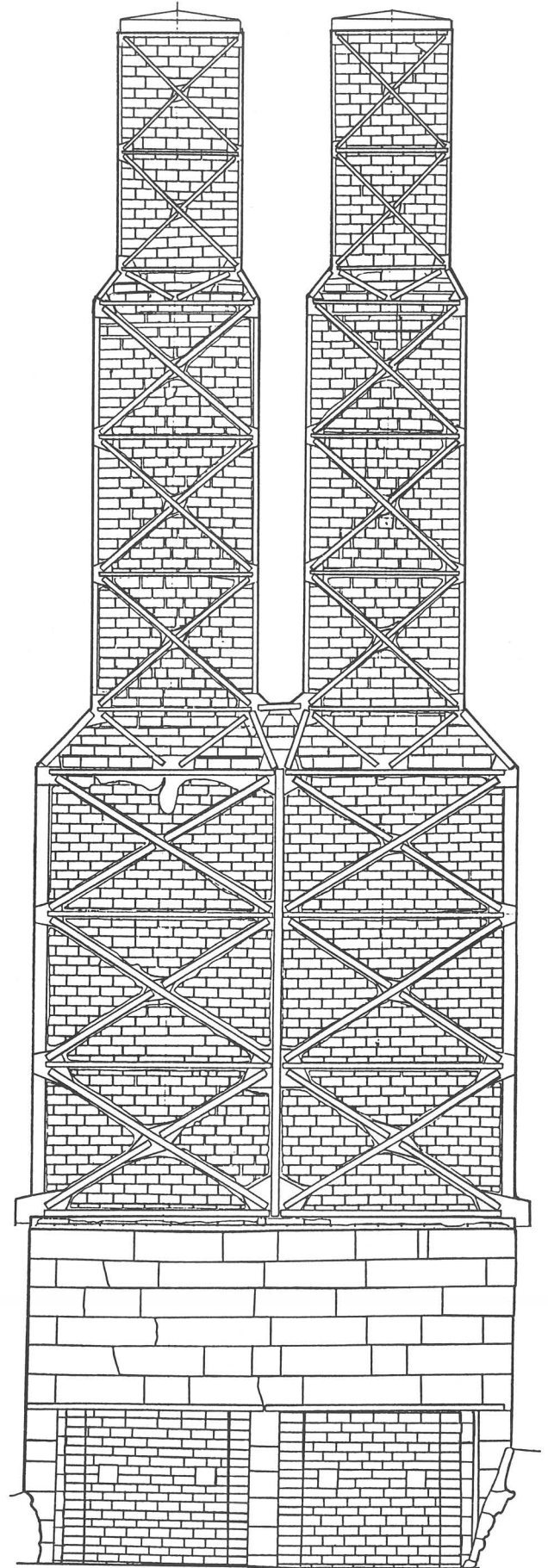
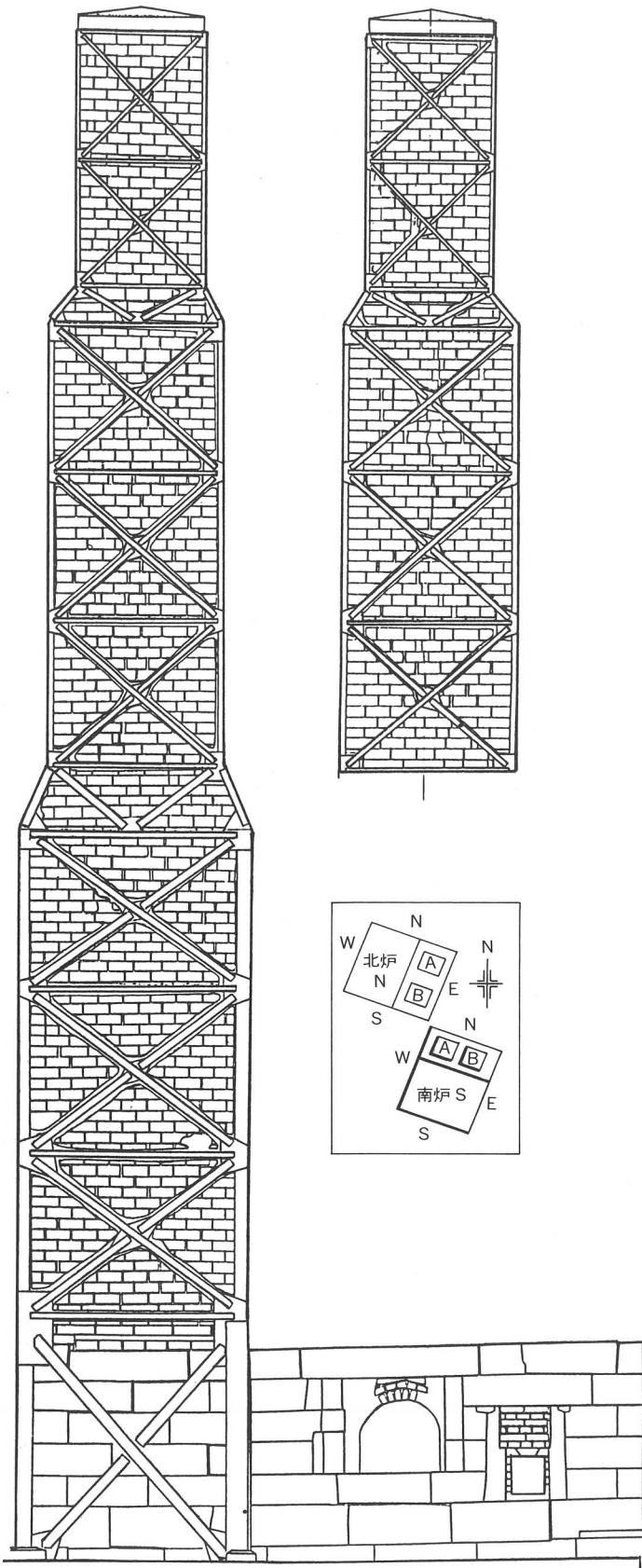
别图 2-1 南炉东侧立面图

别图 2-2 南炉北侧立面图

S · W · B

A

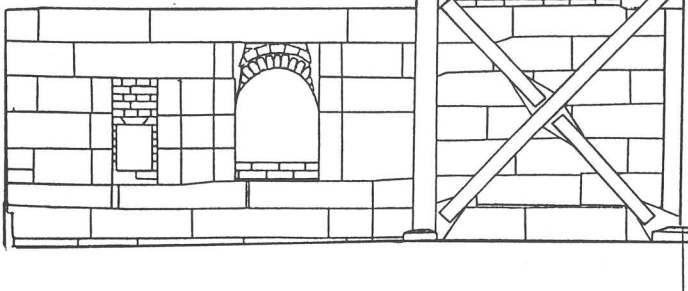
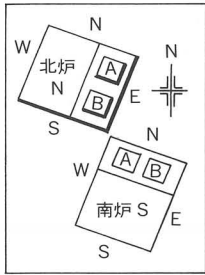
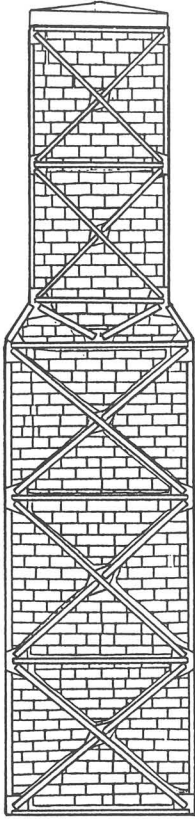
B



別图 2-3 南炉西側立面图

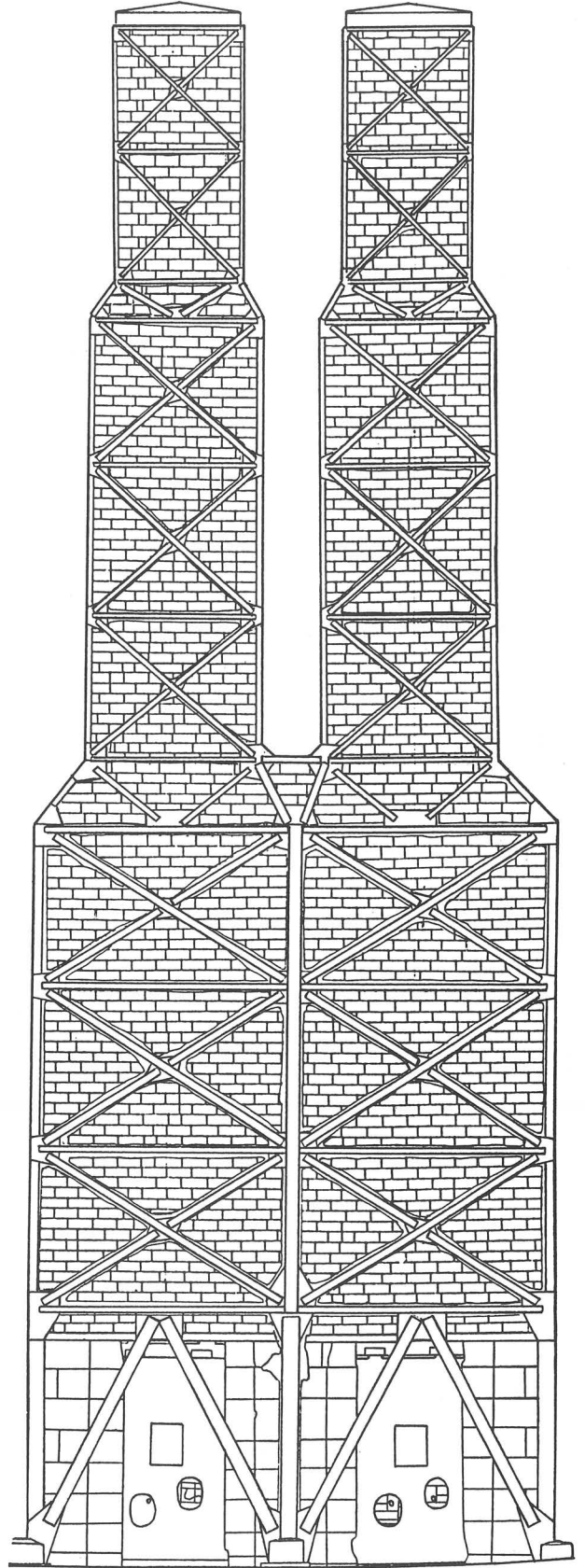
別图 2-4 南炉南側立面图

N · s · A



B

A



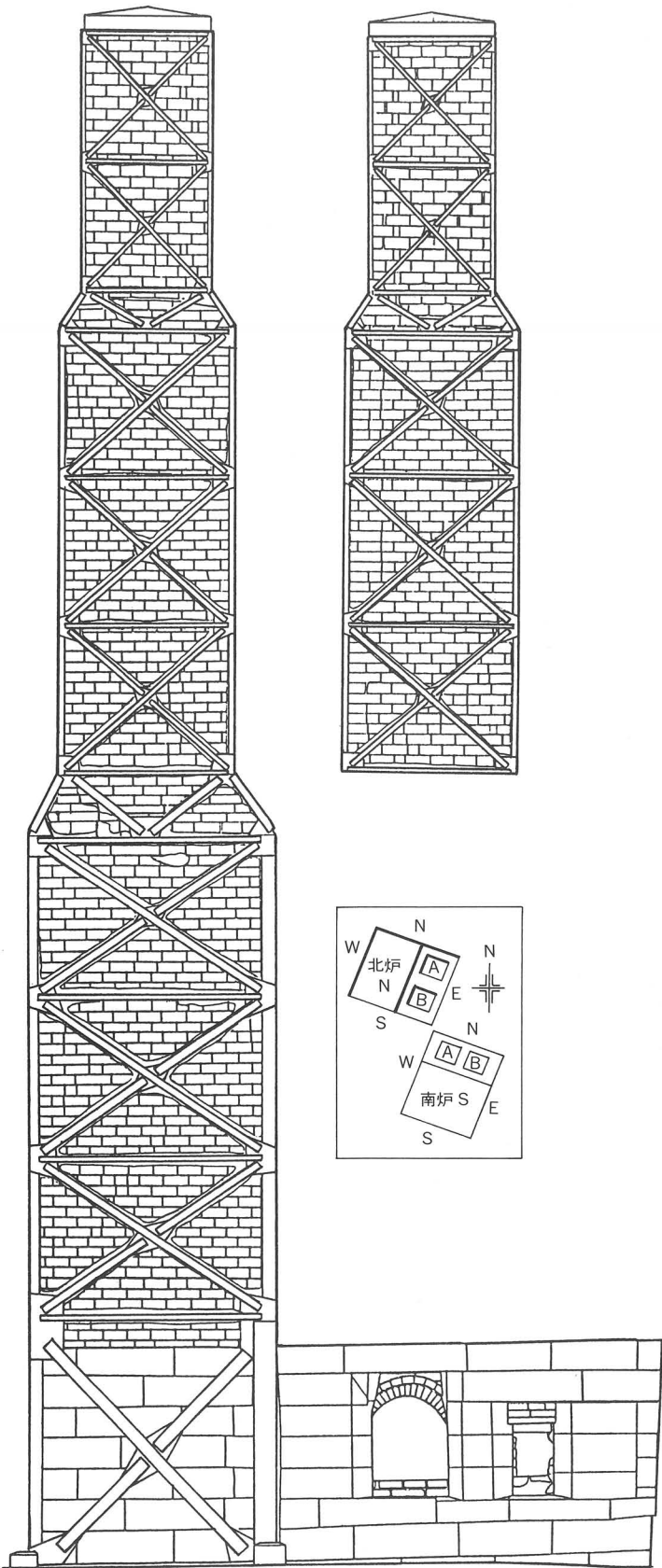
別圖 2-5 北炉南側立面圖

別圖 2-6 北炉東側立面圖

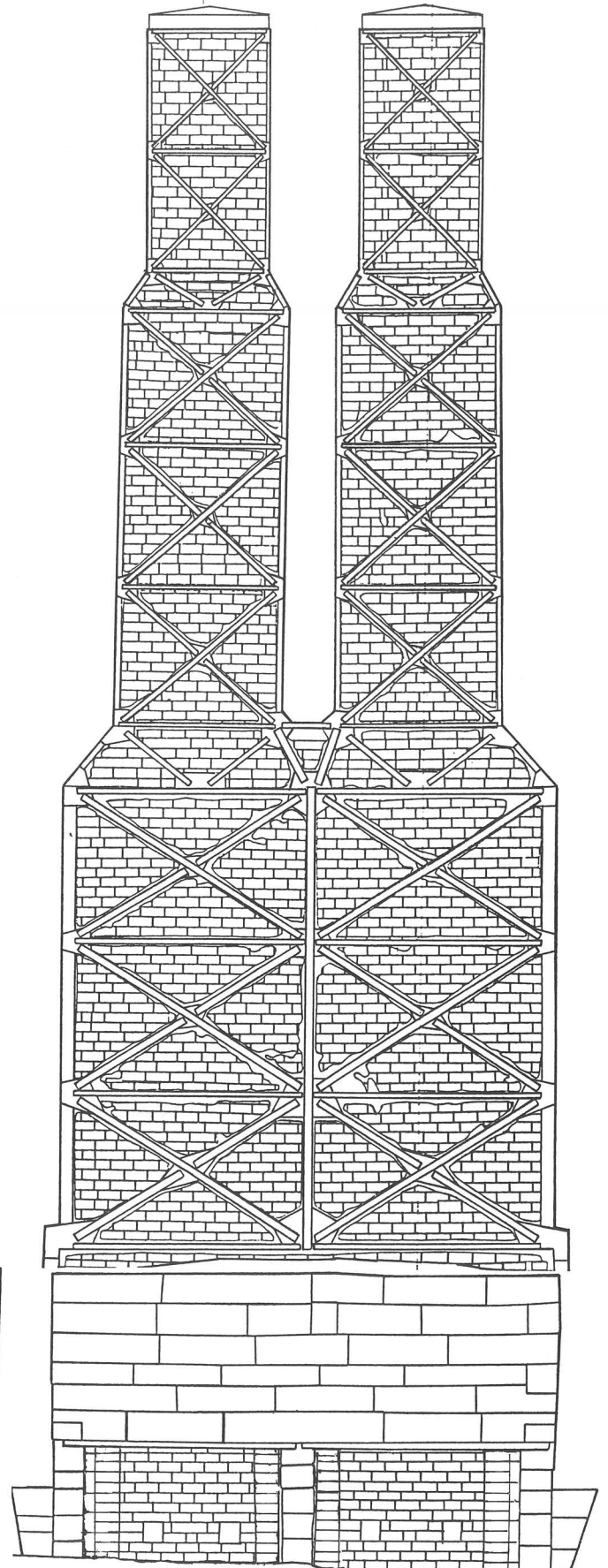
N · n · B

A

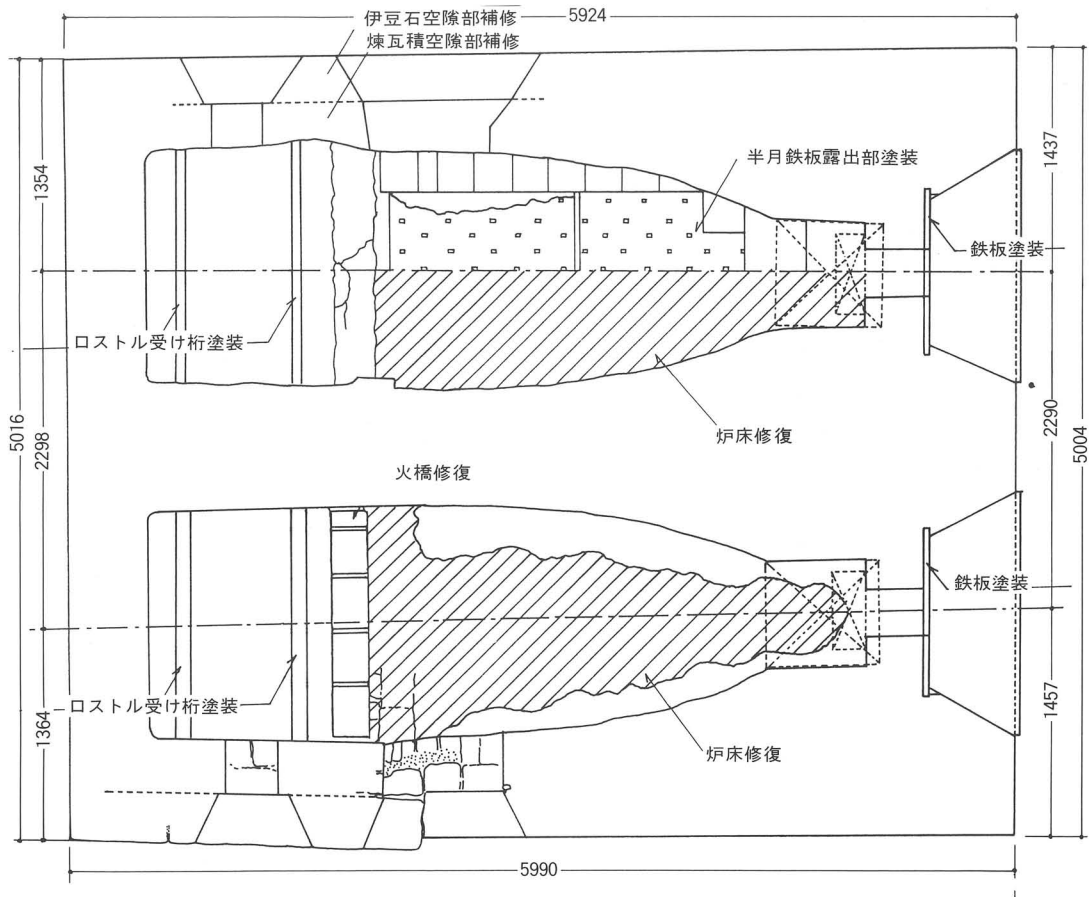
別添資料 2 図版 (竣工図)



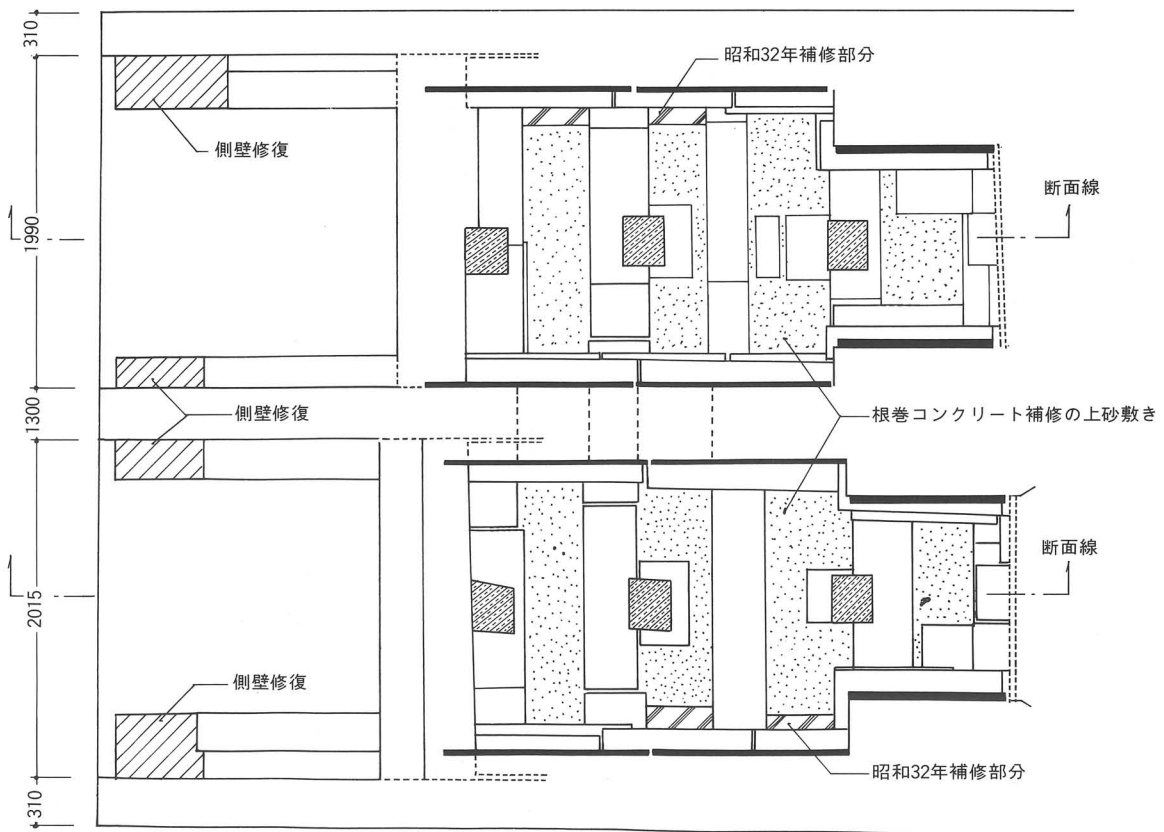
別图 2-7 北炉北侧立面图



別图 2-8 北炉西侧立面图



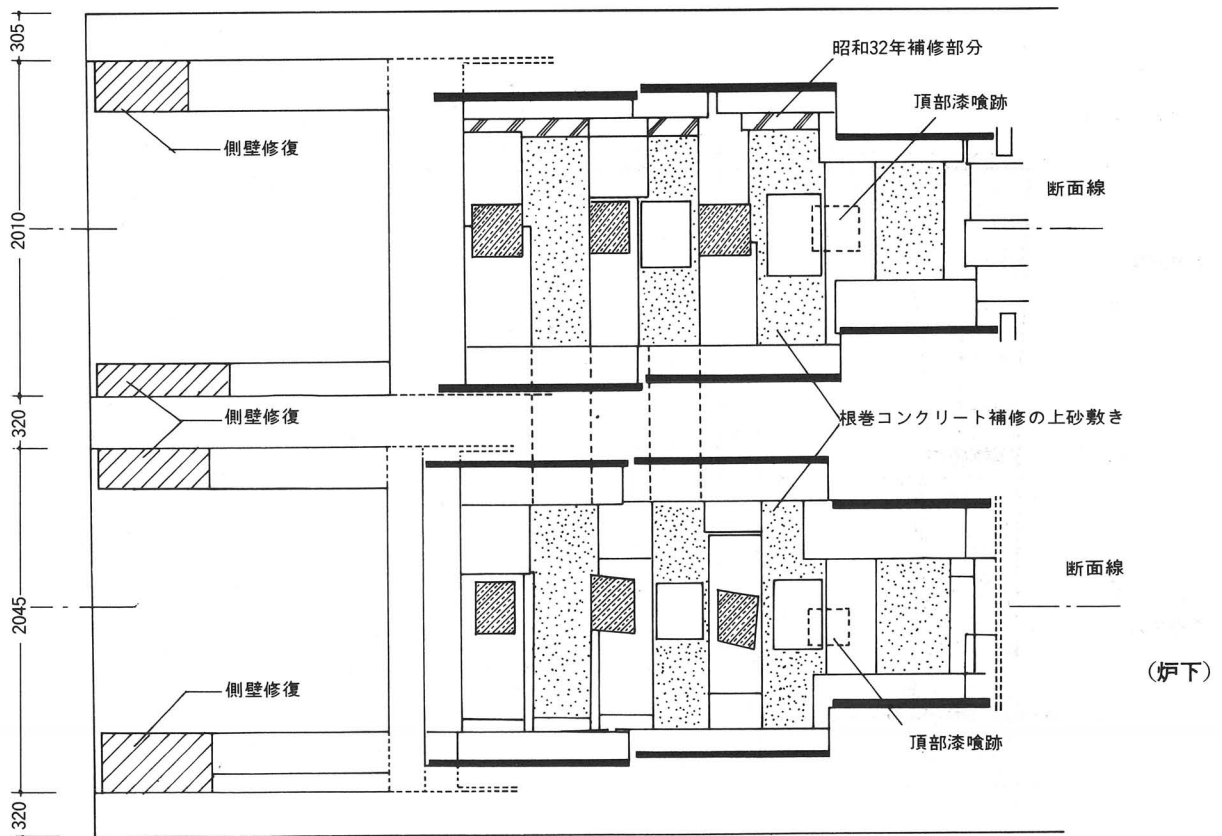
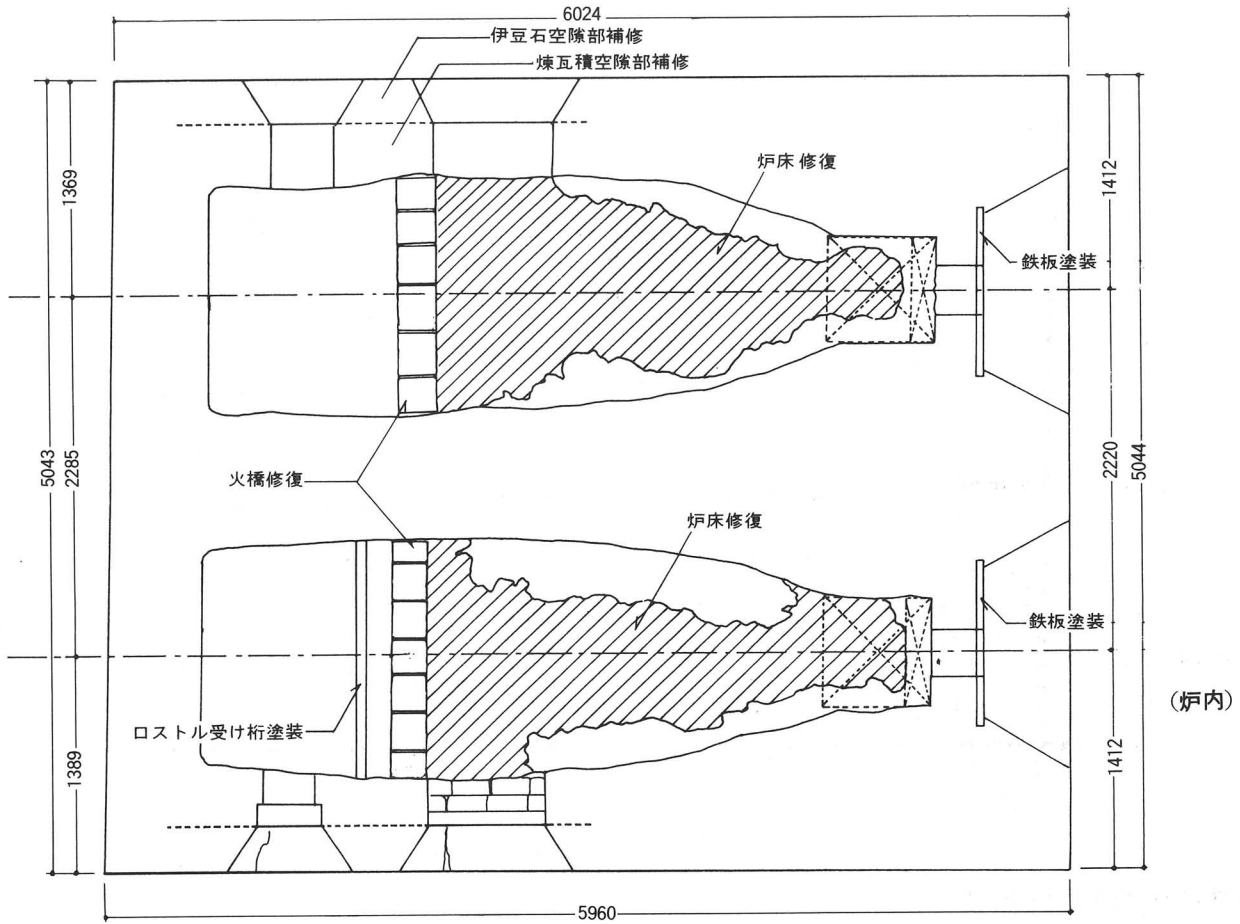
(炉内)



(炉下)

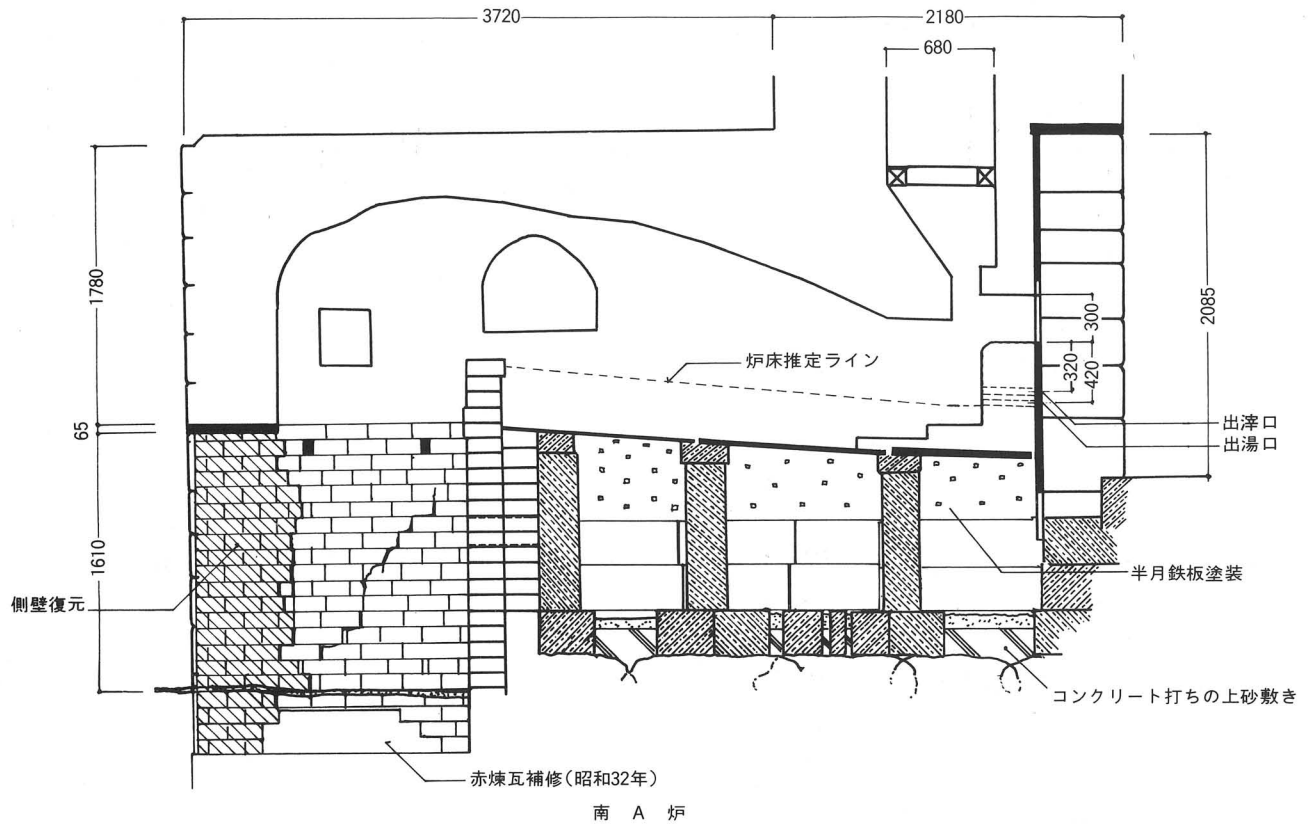
別図 2-9 南炉平面図

単位：mm

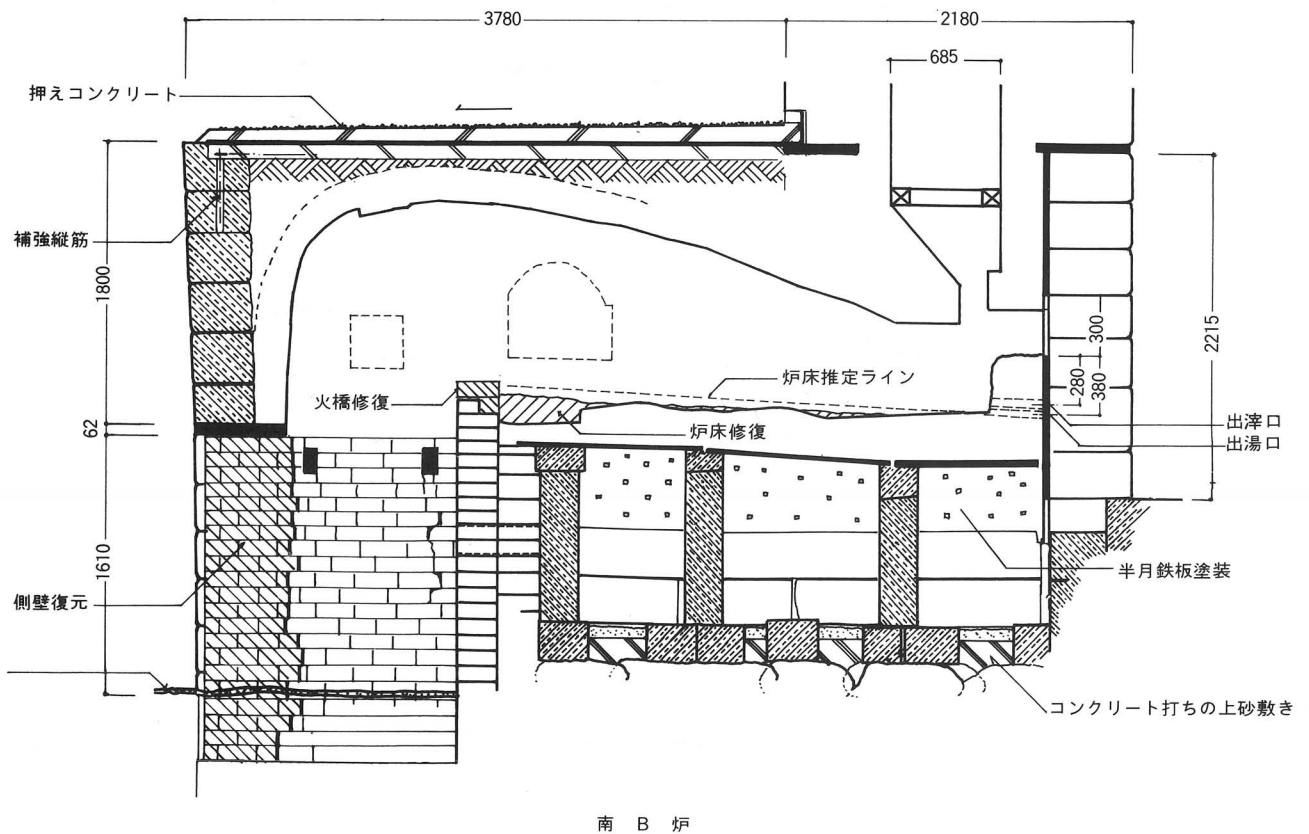


別図 2-10 北炉平面図

単位mm

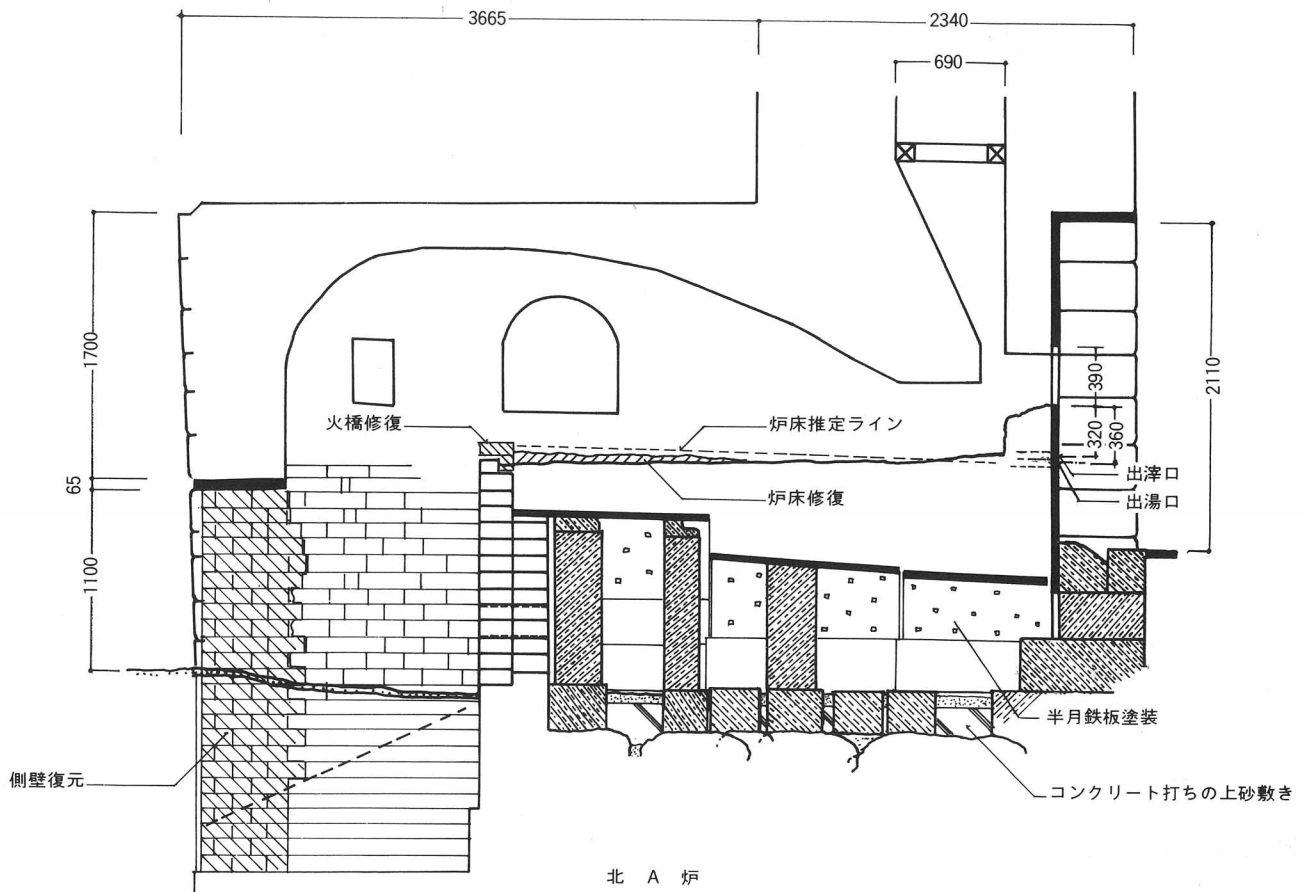


別図 2-11 南A炉断面図(長辺方向)

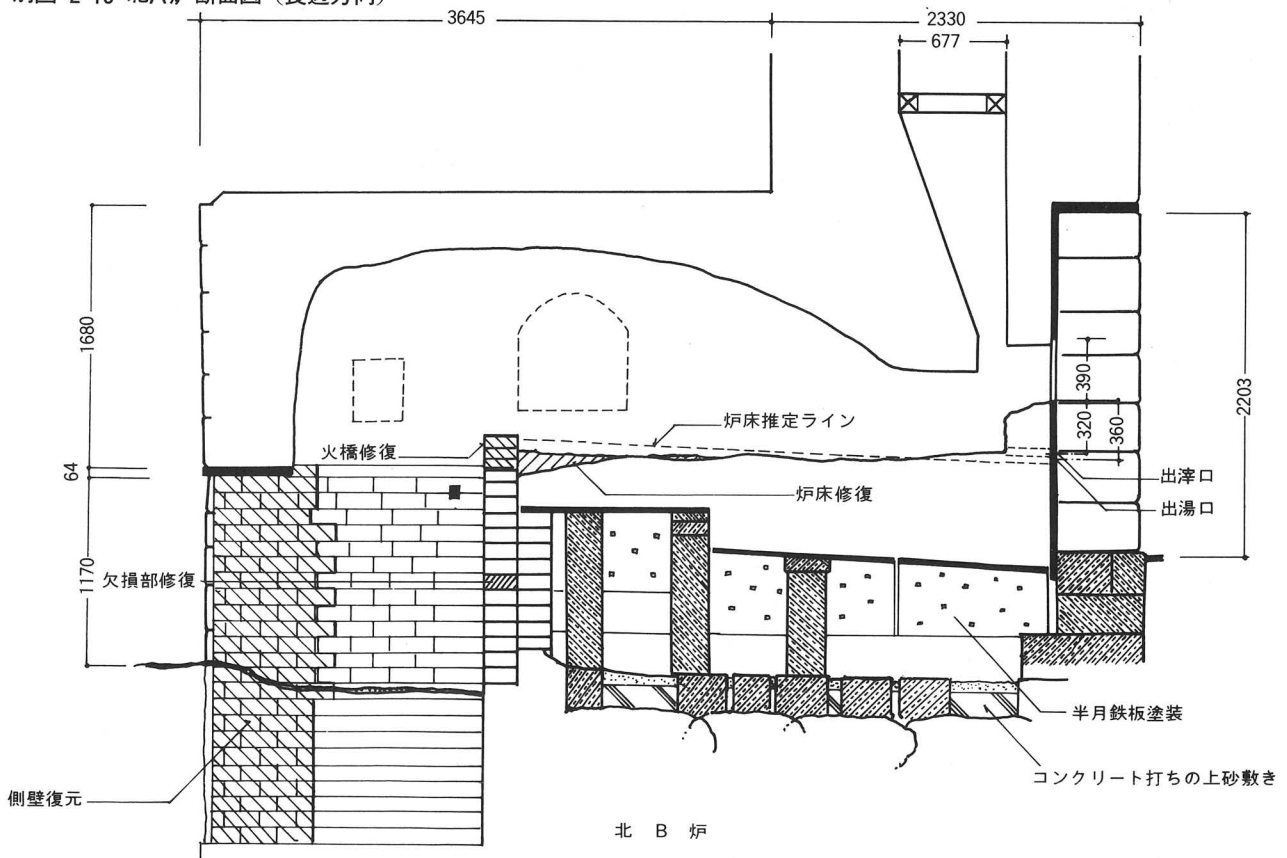


別図 2-12 南B炉断面図(長辺方向)

単位: mm

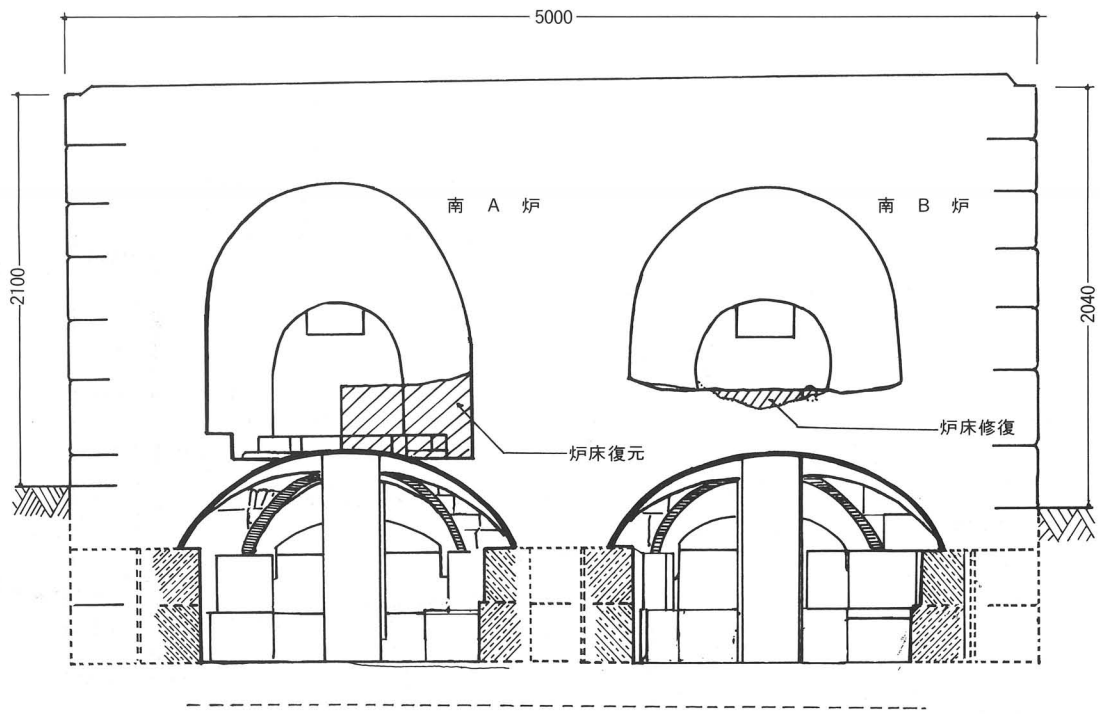


別図 2-13 北A炉断面図(長辺方向)

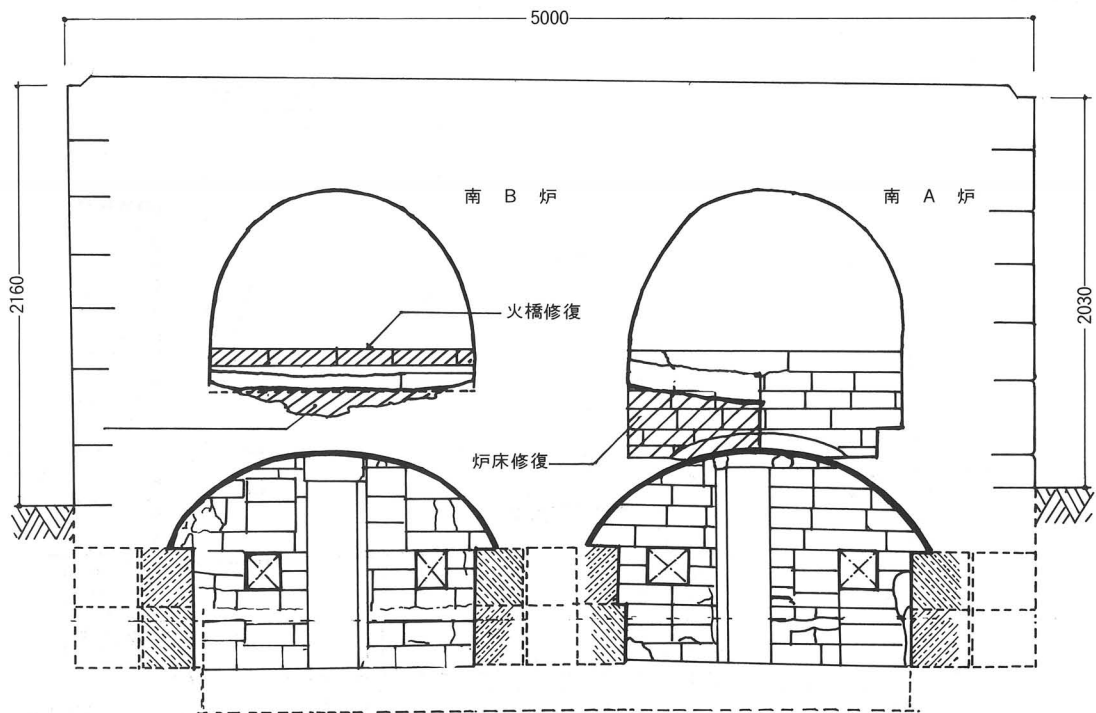


別図 2-14 北B炉断面図(長辺方向)

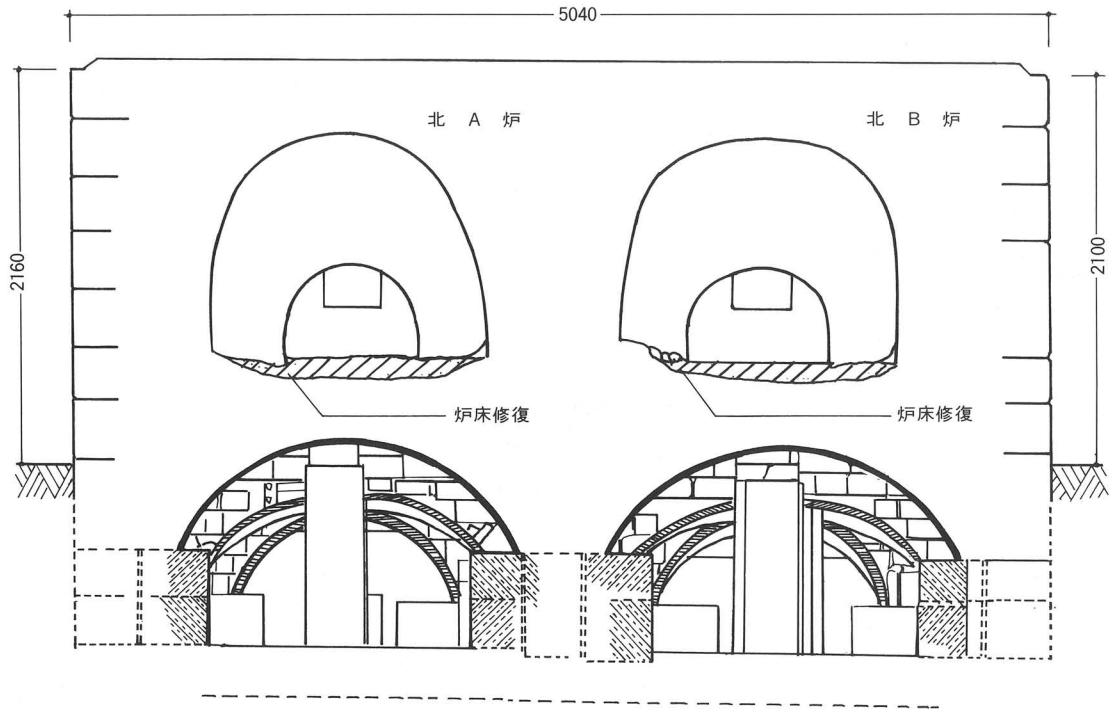
単位: mm



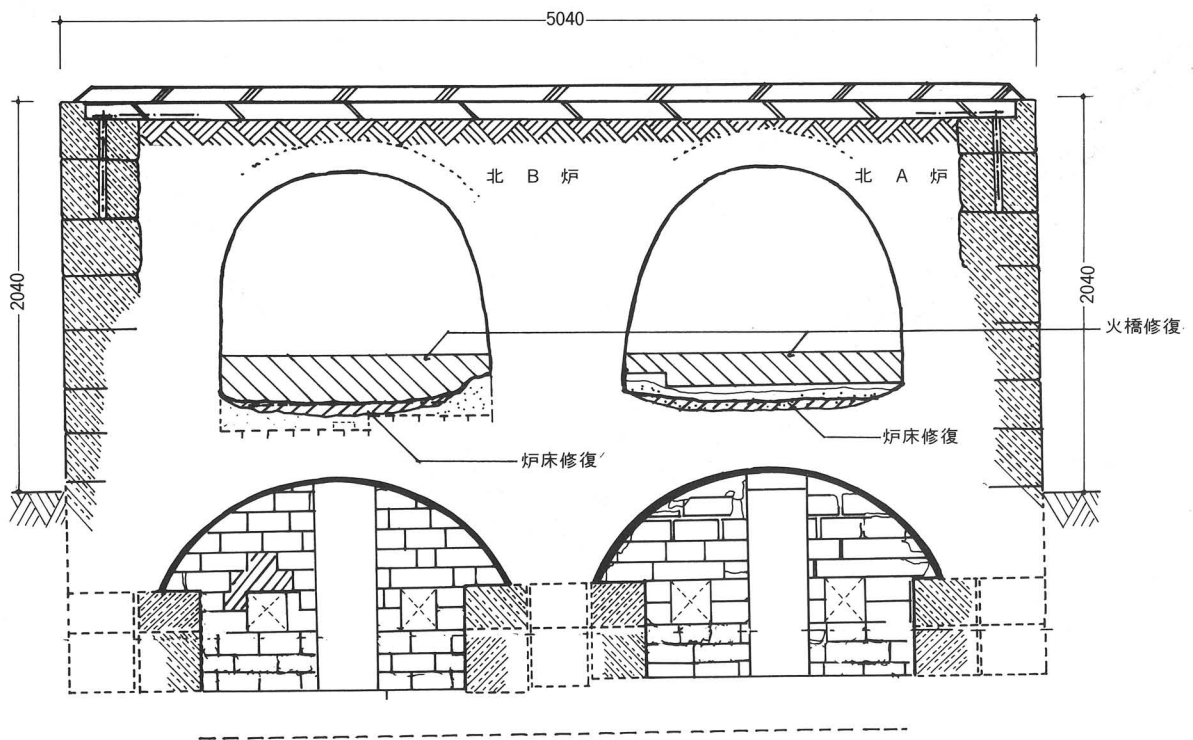
別圖 2-15 南炉断面圖（短边出湯口方向）



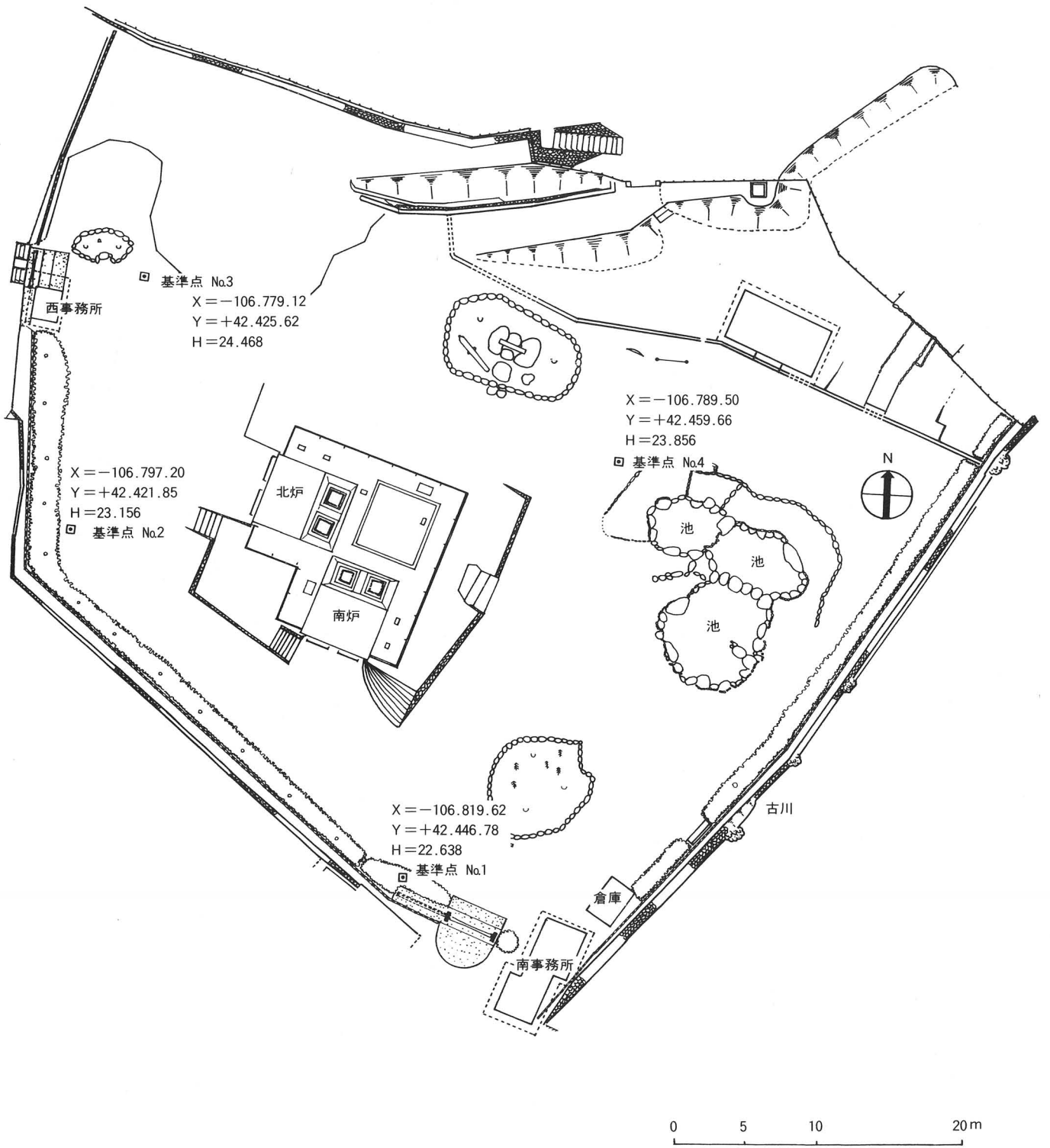
別圖 2-16 南炉断面圖（短边焚口方向）



別図 2-17 北炉断面図(短辺 出湯口方向)



別図 2-18 北炉断面図(短辺 焚口方向)



別図 2-19 配置図

別添資料 3 葦山反射炉関係史料

反射炉築立に関する史料

江川坦庵の反射炉研究に関するヒュゲニン原著や、それらの訳述書『鉄煩全書』などは江川家には現存していない。^注わずかに矢田部郷雲の「青銅及び鑄鉄を鎔解する反射炉を録す」や、石井脩三の「和蘭国製鉄論」などが、『江川坦庵全集』に掲載されているのみである。しかし、これとて原書は存在しない。

築立資料としては、金森錦謙の『鉄煩鑄鑑図』が残っている。金森錦謙に関しては、桃裕行氏の「雲藩洋学補考」(立正大学『文学部論叢』)が詳しい。同図は反射炉および高炉の図録であり、反射炉の構造が一目瞭然となる。葦山反射炉の築立・設計の原図というべきものである。

反射炉運営に関する史料

現在江川家に所蔵されている反射炉関係文書は、築立の見積書、煉瓦製造の入用金、石炭の請払い等である。しかし、いずれも単年度のみで、全体を継続して把握することはできない。全体をうかがい知る史料としては「反射炉御取建日記」があり、経過を知ることができる。「反射炉築立御用留」も基本史料の一つであるが、内容的には大砲製造に関する記事はなく、紙代、ろうそく代等反射炉事務局の運営に関する経費と、石炭、銑鉄等の出入りをしめた記事が主体である。まったくの反射炉事務局の事務的書き留めである。

昭和43年、東京大学史料編纂所が購入した内田弥太郎の「房総測量記」ほか6点の反射炉関係史料を別記した。これらは、いずれも江川家よりいつの時代か流出し、古書店より史料編纂所に渡ったものである。なかでも「反射炉目論見張」は嘉永6年11月付けの目論見帳の最初のもので、幕府に提出した正扣(控)でもっとも詳細なものである。よって、特に全文を掲載した。

なお、早稲田大学図書館の勝俣文庫には『鉄筒鑄造御用留』なる同反射炉末期の会計記録(見積り)が収蔵されている。

以下、『江川坦庵全集』に掲載されている史料と東大史料編纂所所蔵及び早大図書館所蔵のものを示しておく。

- 「反射炉築立御用留」
- 「反射炉御取建日記」(嘉永6年～文久2年)
- 「煉化石御製造御用金請払帳」(文久3年)
- 「反射炉築立目論見帳」(安政1年)
- 「反射炉再築立目論見」(安政3年)
- 「大砲錐台目論見帳」(安政1年)
- 「石炭テール製竈築立出来形帳」(嘉永6年)
- 「テール製御入用帳」(安政2年)
- (以上『江川坦庵全集』所収) 文献14

- 「反射炉目論見帳 正扣」(嘉永6年11月)
- 「反射炉并錐台小屋水車其外御修復目録見帳」
- 「反射炉附シャチ并台出来形帳 葦山控」
- 「大砲錐台再目論見帳 扣」
- 「大砲鑄造小道具類再目論見帳 扣」
- 「豆州本郷村分同州中村江反射炉場所替付諸荷物運送御入用仕訳帳」
- (以上、東大史料編纂所蔵) 文献53
- 「鉄筒製造御用留」(文久3年～元治元年)
- (以上、早大図書館所蔵)

注. ヒュゲニンの原著は現在、国立国会図書館に、鉄煩全書は宮内庁書陵部にある。その他の訳述書は表1を参照。

反射炉目論見帳

正扣

江川太郎左衛門

(1オ) 一、合築反射炉 式双

此坪四拾六坪九合
内 拾五坪八合 燒石坪
三拾壹坪壹合 土坪

内
炉長壹丈八尺ツ、式ヶ所
炉延長三丈六尺 但 高七尺三寸
横壹丈六尺三寸

長壹丈四ツ、四口
炉内空坪延長五丈六尺 高三尺
横三尺

此坪拾七坪
内 燒石坪式坪五合 但、燒石 七寸六分四方
厚三寸式分
土坪拾四坪五合 空坪并板鉄坪除之、
外式坪八合

是者、炉内面天井并四方燒石平二積、其条粘土ヲ以築立、外側四方厚壹寸板鉄張、

(1ウ) 長壹丈六尺三寸ツ、式ヶ所
烟抜窓延長三丈貳尺六寸 高壹丈八尺貳寸
横八尺三寸 長壹丈六尺三寸ツ、四口

烟抜穴延長六丈五尺貳寸
此坪拾五坪八合 式貳寸四方

内 燒石坪式坪七合
土坪拾三坪壹合
外壹坪五合 烟抜穴坪除之、
是者、前同断、燒石粘土ヲ以築立、外側四方漆喰塗、式双分、
長壹丈五尺ツ、四口 長壹丈五尺ツ、四口

同中段延長六丈 五尺壹寸四方 烟抜穴延長六丈貳尺貳寸四方

此坪五坪九合
内 燒石坪式坪五合
土坪三坪四合
外壹坪三合 右同断
是者、右同断、

(2オ) 長壹丈、四口 長壹丈ツ、四口
同上段延長四丈 三尺九寸四方 烟抜穴延長四丈貳尺貳寸四方

此坪壹坪八合
内 燒石坪壹坪七合
土坪壹合 右同断
是者、右同断、

長壹丈六尺三寸ツ、式ヶ所 厚貳尺
横壹丈四尺
炉敷延長三丈貳尺六寸

此燒石坪四坪式合
是者、敷土台木上惣燒石ヲ以築立、式双分、
奥行五尺八寸ツ、式口

焚所風入口壹丈壹尺六寸 但 高八尺 中仕切 奥行五尺八寸
横四尺 高八尺 厚貳尺三寸

此燒石坪貳坪式合
是者、式方燒石平二積、中仕切惣燒石積、式双分、

(2ウ) 右入用

側板鉄拾式枚
此銚目五千四百壹貫九百九拾目八分 式割五分
外千三百五拾貫四百九拾七目七分 鑄減

内
四枚 長壹丈八尺 填窓長貳尺五寸 横貳尺
横七尺六寸 焚窓長壹尺 横八尺
厚壹寸 釘穴六ヶ所壹寸四方

此銚目貳千八百貳拾八貫三百四匁
壹枚
但 七百七貫七拾六匁

長壹丈六尺三寸
式枚 横五尺壹寸 釘穴六ヶ所
厚壹寸

此銚目八百九拾七貫百五拾六匁

壹枚
但 四百四拾八貫五百七拾八匁

(3オ) 長九尺 平均長壹尺 注口式ヶ所差渡三寸
四枚 横七尺五寸 窓 横八寸 釘穴三ヶ所壹寸四方
厚壹寸

此銚目千四百五拾六貫四百四拾四匁八分

壹枚
但 三百六拾四貫百拾壹匁式分

式枚 長八尺九寸 横貳尺三寸 釘穴式ヶ所壹寸四方
厚壹寸

此銚目貳百貳拾貫八拾六匁 但 壹枚
百拾貫四拾三匁

是者、炉外側板鉄式双分、

板鉄八枚 長八尺 巾壹尺八寸
厚貳寸

此銚目千貳百四拾四貫百六拾目
但 壹枚
百五拾五貫五百貳拾目

外三百拾壹貫四拾目 式割五分
鑄減

是者、烟窓土持板鉄前渡式枚ツ、式双分、

同四枚 長八尺 巾壹尺
厚壹寸五分

此銚目貳百五拾九貫貳百目 但 壹枚
六拾四貫八百匁

(3ウ) 外六拾四貫八百目 前同断

是者、焚所風入口土持板鉄壹枚ツ、式双分、

灸針請鉄八本 長七尺五寸
巾三寸
厚壹寸

此銚目百九拾四貫四百目 但 壹本
貳拾四貫三百目

外四拾八貫六百目 前同断
是者、灸針請鉄式本ツ、式双分、

合銚目七千九拾九貫七百五拾目八分

外千七百七拾四貫九百三拾七目七分 式割五分
鑄減

式口
灸銚目八千八百七拾四貫六百八拾八匁五分

(4オ) 釘釧式拾四本
此銚目貳百七拾三貫六百目

外五拾四貫七百貳拾目 式割
鍛減

内
拾式本 長貳丈壹尺貳寸 壹寸角

此銚目百五拾貳貫六百四拾目 但 壹本
拾貳貫七百貳拾目

拾式本 長壹丈六尺八寸 壹寸角
此銚目百貳拾貫九百六拾目 但 壹本
拾貫八拾目

是者、外側板鉄留釘式双分、

押鉄式拾四本

此銚目貳百拾六貫貳百四拾目

外四拾三貫貳百四拾八匁 式割
鍛減

(4ウ) 拾式本 長七尺六寸 巾貳寸 釘穴式ヶ所壹寸四方
厚壹寸

此銚目百八貫目 但 壹本
九貫目

八本 長五尺壹寸 巾貳寸 釘穴式ヶ所壹寸四方
厚壹寸

此鉄目四拾八貫目 但 壹本 六貫目
式本 長壹丈四尺 巾貳寸 厚壹寸

此鉄目三拾三貫貳拾目 但 壹本 拾六貫五百六拾目
式本 長七尺六寸 巾三寸 厚壹寸 釘穴四ヶ所壹寸四方

此鉄目貳拾七貫百貳拾目 但 壹本 拾三貫五百六拾目
是者，外側板鉄押鉄貳二分，

灸釘鉄百四拾四本 長三尺六寸 壹寸角

此鉄目三百拾壹貫四拾目 但 壹本 貳百六拾目
外六拾貳貫貳百八匁 式割 鍛減

是者，焚所灸釘三拾六本ツ，貳双方 延長九尺 巾三寸 厚貳分

(5オ) 縁鉄四ツ 此鉄目拾貳貫九百六拾目 但 壹本 三貫貳百四拾目 前同斷

外貳貫五百九拾貳匁 是者，填窓蓋土持縁鉄四枚分， 十字鉄八本

此鉄目貳貫三百五拾貳匁 外四十七拾目四分 前同斷

内 四本 長貳尺七寸 巾壹寸 厚貳分

此鉄目壹貫貳百九拾六匁 但 壹本 三百拾四匁

四本 長貳尺貳寸 巾壹寸 厚貳分 此鉄目壹貫五拾六匁 但 壹本 貳百六拾四匁

是者，前同斷，蓋壹枚貳本ツ，四枚分， 延長三尺六寸 巾三寸 厚貳分

(5ウ) 縁鉄四本 此鉄目五貫百八拾四匁 但 壹本 老貫貳百九拾六匁 前同斷

外老貫三拾六匁八分 是者，焚窓蓋土持縁鉄四枚分， 十字鉄八本

此鉄目六百貳拾四匁 外百貳拾四匁八分 前同斷

内 四本 長貳尺壹寸 巾八分 厚壹分五厘

此鉄目三百三拾六匁 但 壹本 八拾四匁

四本 長壹尺 巾八分 厚壹分五厘 此鉄目貳百八拾八匁 但 壹本 七拾貳匁

是者，焚窓蓋土持十字鉄壹枚貳本ツ，四枚分 太サ差渡 貳分五厘 延長七寸

(6オ) わらび手八ツ 此鉄目百四拾四匁 但 壹本 拾八匁 前同斷

外貳拾八匁八分 是者，填窓蓋縁鉄取付蓋壹枚貳本ツ，四枚分，

同八ツ 太サ差渡 貳分 延長六寸

此鉄目九拾六匁 但 壹本 拾貳匁 前同斷

外拾九匁貳分 是者，焚窓蓋縁鉄取付蓋壹枚貳本ツ，四枚分，

鎖四筋 錐太差渡 貳分 延長六寸

此鉄目壹貫貳百目 但 老筋 三百目 前同斷

外貳百四拾目 是者，老筋錐拾五繼，填窓蓋壹枚老筋ツ，四枚分 錐太差渡 壹分八厘 延長四寸

(6ウ) 同四筋

此鉄目七百貳拾目 但 老筋 百八拾目 前同斷

外百四拾四匁 是者，老筋錐三拾繼，焚窓蓋壹枚老筋ツ，四枚分，

烟窓蓋鉄四枚 式尺貳寸五分四方 厚壹分 此鉄目壹貫貳百貳拾四匁 但 壹枚 三百六匁 前同斷

外貳百四拾四匁八分 是者，烟窓帯鉄取付壹枚ツ，四ヶ所分，

同蓋請鉄四本 長貳尺四寸 巾六分 厚貳分

此鉄目六百九拾六匁 但 壹本 百七拾四匁 前同斷

外百三拾九匁貳分 是者，烟窓帯鉄ヨリ取付壹本ツ，四ヶ所分，

(7オ) 筋鉄三拾貳本 長壹丈五尺 巾壹寸五分 厚五分

此鉄目百五拾壹貫百四匁 但 壹本 四貫七百貳拾貳匁 前同斷

外三拾貳貫貳百拾目八分 是者，烟窓上ノ段土持壹方貳本ツ，八本筋鉄入，貳二分，

帶鉄拾貳 延長九尺壹寸 巾壹寸五分 厚三分

此鉄目貳拾五貫貳百八拾八匁 但 壹本 貳貫貳百七拾四匁 前同斷

外五貫四百五拾七匁六分 是者，烟窓上ノ段筋鉄押上中下帯鉄三ツ，貳二分，

合鉄千四貫四百七拾貳匁 外貳百貫八百九拾四匁四分式割段減

式口 鉄千貳百五貫三百六拾六匁四分 (7ウ) 地形築立 高老間 八間四方

此土坪四拾壹坪五合 外貳拾貳坪五合 石坪其外之分除之，

此人足貳千七拾五人 但 壹坪地形築立共 五拾人

此賃，永六拾四貫九百四拾七文五分 但 壹人 永三拾壹文三分

是者，四方根入壹人栗石積築立炉高六尺長壹丈八尺横壹丈六尺 三寸式ヶ所鑄坪八尺四方高六尺并石坪之分除，

土台石八拾本 長三尺 壹尺角 代永六貫貳百貳拾四文 但 壹本 永七拾七文八分

是者，炉敷長壹丈六尺三寸横壹丈四尺之処，堅二六繼八方二並 式二分，

四方八間之内，鑄坪入口老間除，右南側四間共， 石積延長三拾五間 平均高老間 地形上

(8オ) 内 五間貳尺六寸 風入口坪式ヶ所除之， 殘貳拾九間三尺四寸

此平坪貳拾九坪六合 此人足五百五拾三人五分 但 平壹坪石取 拾八人七分

賃永拾七貫三百貳拾四文五分 但 壹人 永三拾壹文三分

是者，地形八間四方并鑄坪口兩側杉廻し四方高老間之処，廻り 栗石積，炉風入口高老間横式間四尺三寸式ヶ所分除，

長壹丈六尺三寸ツ、式ヶ所 炉敷地形延長三丈貳尺六寸 高式尺 横壹丈四尺

此坪四坪式合 此人足貳百九拾四人 但 壹坪土石取突堅メ共 七拾人

賃永九貫貳百貳文貳分

但 老人前同断

是者、栗石并山土ヲ以突堅メ之積、貳ヶ所分、角尺ノ五拾壹本

松木三拾四本 長三間 壹尺用 土台木

是者、炉土台石上ノ並木壹雙拾七本ツ、貳双分、丸木尺ノ拾六本七分三厘 土台石下

同丸木拾四本 長貳間半 末口壹尺 右同断

是者、上面削落、土台石繼手下江壹本ツ、兩鼻共七本ツ、貳ヶ所分、地形平均木ニ遣、角尺ノ拾八本

同木拾貳本 長三間 壹尺角 土留木

是者、炉敷風入長壹丈八尺之处、三繼三本ツ、四ヶ所分、角尺ノ拾八本

同木拾貳挺 長三間 巾貳尺 厚五寸 蓋板木

是者、前同断、蓋板壹ヶ所三枚ツ、四ヶ所分、角尺ノ五分三厘貳毛

杉木四本 長壹丈 四寸角 柱 木

是者、炉家根軒柱兩側貳本ツ、貳双分、(9オ)角尺ノ八分五厘貳毛

同木四本 長壹丈六尺 四寸角 右同断

是者、右同断、烟抜窓ヨリ取付、柱兩側貳本ツ、貳双分、角尺ノ貳本五分六厘

同木四本 長四間 巾八寸 厚四寸 桁 木

是者、右同断、前後貳本ツ、貳双分、角尺ノ壹本八分六毛

同木四拾貳本 長貳間壹尺 貳寸角 垂 木

是者、右同断、間ニ送り六本ツ、角尺ノ貳本六分

同木拾本 長貳間 巾六寸五分 厚四寸 指 木

是者、右同断、貳間半之处五厘貳双分、角尺ノ八分壹厘

同木貳本 長四間 四寸五分角 舟屋桁

是者、右同断、壹厘壹本貳双分、(9ウ)角尺ノ貳本壹分六厘

同木百八枚 長貳間壹尺五寸 巾貳寸五分 厚七分 小舞貫

是者、右同断、間ニ送り拾三本ツ、貳双分、(朱)・角尺ノ三分貳厘

(朱)・檜木四本 長壹間 四寸角 車真木

是者、填窓蓋上下車心木炉家根江取付、貳双分、(朱)・角尺ノ貳分

(朱)・同木貳本 長四尺 巾一尺 厚三寸 車 木

是者、右同断、車木ニ遣貳双分、丸木貳拾四本四分壹厘六毛

杉木五拾六本 長五間 末口貳寸貳分 足代木

是者、烟窓築立足代立木并筋違木ニ遣、丸木尺ノ拾九本貳分

同木六拾本 長四間 末口貳寸五分 同 断

是者、右同断、平横木ニ遣 丸木尺ノ八本三分四厘 (10オ)

同木六拾本 長貳間半 末口貳寸五分 同 断

是者、右同断、妻横木ニ遣、

丸木尺ノ九本貳分八厘四毛

同木四拾四本 長三間貳尺 末口貳寸五分 同 断

是者、右同断、妻筋違木ニ遣、丸木尺ノ貳本八分八厘

同木八拾本 長壹間 末口貳寸五分 同 断

是者、右同断、中屋繫横木ニ遣、角尺ノ貳本七分

同板三拾枚 長貳間 巾六寸 厚壹寸五分 同 断

是者、右同断、足代板ニ遣、座板四拾束六分

代永壹貫貳百拾八文 家根板 壹東三百枚ニ付 但 永三拾文

是者、炉家根坪八坪七合之处、壹坪ニ付七百枚ツ、貳双分、唐竹五拾九本 目通八寸廻り 押 竹

代永四百六拾文貳分 但 壹本 永七文八分

是者、右同断、家根板押ニ遣、貳双分、(10ウ)針金三拾壹丈三尺貳寸

代永貳百三拾四文九分 但 壹丈ニ付 永七文五分

是者、右同断、家根八坪七合之处、壹坪拾貳ヶ所ノ壹ヶ所ニ付壹尺五寸ツ、押竹ノ貳双分、五寸釘百八拾四本

代永貳貫四拾貳文四分 但 拾本ニ付 永拾壹文壹分

是者、右同断、垂木壹本ニ付三本打、桁壹本ニ付五本打、指木上下留釘貳本ツ、車横木取付釘拾八本、

足三寸釘三百拾八本

代永九拾九文五分 但 百本ニ付 永三拾壹文三分

是者、右同断、家根三方軒屋小舞貫ヨリ垂木江打付釘七拾五本、家根板押竹軒竹軒三通、壹通り貳拾壹本打、貳双分、並三寸釘千八拾本

代永貳百拾六文 但 百本ニ付 永貳拾文

(11オ) 是者、右同断、小舞貫ヨリ垂木江打付釘、

松真木四千三百四拾五束

代永拾壹貫五百八拾六文七分 但 壹兩ニ付 三百七拾五束

是者、燒石拾五坪八合燒方入用、壹坪ニ付貳百七拾五束、堅木炭壹万六百四拾九俵六分

代永五百三拾貳貫四百八拾文 但 壹兩ニ付 貳拾俵替

是者、銃仕上七千九拾九貫七百五拾目八分、拾貫目ニ付拾五俵、松炭四千拾七俵九分

代永百三拾三貫九百三拾文 但 壹兩ニ付 三拾俵替

是者、仕上鉄千四貫四百七拾貳匁、壹貫目ニ付四俵、

(11ウ) 蛎九拾七俵

代永八貫八百九拾四文九分 但 壹俵 永九拾壹文七分

是者、烟窓外側四方平坪九拾七坪、漆喰塗、壹坪壹俵、

芋寸莎三拾八貫八百目

代永三貫貳拾貳匁五分 但 壹貫目 永七拾七文九分

是者、前同断、壹坪四百目ツ、布海苔貳拾九貫百目

代永四貫百九拾六匁貳分 但 壹貫目 永百四拾四文二分

是者、前同断、壹坪三百目、

繩五千九百四拾房

代永九貫貳百六拾六文四分 但 拾房 永拾五文六分

是者、足代結繩貳双分、

(12オ) 永四百五拾八貫貳百文
 是者、焼石坪拾五坪八合之処、土搬焼堅メ減一倍増三拾壹坪六合、合土取縄俵代、天城山ヨ本郷村迄駄賃運賃共、壹坪永拾四貫五百文、
 永八拾壹貫五百拾貳文七分
 是者、土坪三拾壹坪壹合之処、土搬塗堅メ減五割増四拾六坪六合、粘土取縄俵代、柿崎村之内外浦組山ヨ本郷村迄駄賃運賃共、一式壹坪永壹貫七百四拾九文貳分、
 左官百九拾四人
 賃永九貫七百文 但 壹人 永五拾文
 是者、烟窓外側四方平坪九拾七坪塗手間、壹坪貳人掛り、
 大工四拾五人
 賃永貳貫貳百五拾文 但 壹人 永五拾文
 (12ウ) 是者、炉家根并車仕立手間代共、
 黒鍬百四拾八人
 賃永七貫四百文 但 壹人 永五拾文
 是者、割栗石積平坪貳拾九坪六合、壹坪五人、
 鍛冶四千拾七人九分
 賃永貳百貫八百九拾五文 但 壹人 永五拾文
 是者、仕上鉄千四貫四百七拾貳匁、壹貫目四人、
 鑄物師壹万六千七百七拾貳人七分
 賃永八百八貫六百三拾五文 但 壹人 永五拾文
 内
 八千五百拾九人七分 銃仕上七千九拾九貫七百五拾目八分 壹貫目壹人貳分掛り
 三千三百九拾七人 焼石拾五坪八合、合土搬焼立手間、壹坪貳百拾五人掛り
 (13オ) 三拾五人 焼石素焼竈ケ所築立手間、炉坪四拾六坪九合築立手間、壹坪九拾人掛り
 四千貳百貳拾壹人
 人足四千九百六拾四人七分
 賃永百五拾五貫三百九拾五文壹分 但 壹人 永三拾壹文三分
 内
 四千七拾六人七分 炉築立其外諸職人手伝人足、職人五人ニ壹人ツ、
 三百八拾八人 左官手伝土搬才取差共壹人ニ貳人ツ、
 五百人 足代結立人足、貳双分
 (13ウ) 鑄坪深四間之内
 一、鑄坪掘下壹ヶ所 深三間 壹丈壹尺四方
 此土拾坪壹合
 此人足五拾人五分 但 壹坪 五人
 賃永壹貫五百八拾文六分 但 壹人 永三拾壹文三分
 右入用
 角石拾六本 上面壹尺五寸四方 厚壹尺 土台石
 代永壹貫百貳拾文
 是者、四方八尺送り四本ツ、中通り式ツ宛、式通分、
 丸木尺ノ式本六分壹厘貳毛
 栗木四本 長九尺 末口壹尺 土台木
 是者、敷木下江敷梁四屋兩鼻帶付立柱江帶入土台石江仕組、
 (14オ) 角尺ノ四本貳分七厘
 松木拾本 長八尺 八寸角 敷並木
 是者、四方八尺之処、並木二遣、
 丸木尺ノ拾六本貳分壹厘四毛
 同木拾三本 長三間半 末口八寸 土抱抗
 是者、右同断、八尺送り四本ツ、根入三尺堀込之積、

丸木尺ノ貳拾三本七分六厘四毛
 同木拾三本 長三間半 末口壹尺 内杵柱
 是者、土抱板内江遣、
 角尺ノ拾壹本六分八厘七毛
 同板八拾貳枚三分 長八尺五寸 厚貳寸 巾壹尺 土抱板
 是者、長八尺ツ、三ヶ所式拾壹枚ツ、壹ヶ所者拾八枚、右上壹枚三分六枚ニシテ遣、
 角尺ノ八分三厘八毛
 松貫拾六挺 長九尺 巾五寸 厚壹寸五分 通 横
 是者、土抱杭八尺ツ、四方、延長三丈貳尺之処、四通屋貫、
 (14ウ) 角尺ノ壹本九分八厘四毛
 同貫拾六挺 長八尺三寸 巾六寸 厚三寸 右同断
 是者、右同断、内杵通貫、
 丸木尺ノ四本五分貳厘四毛
 松木四本 長壹丈壹尺 末口壹尺貳寸 上桁木
 是者、内杵杭木上鼻江帶入壹ヶ所兩端式尺ツ、伐三本、壹本ハ入口土台帶付杵柱江帶入式尺ツ、貳本者杵柱上鼻江帶入栓ノ、
 丸木尺ノ式本四分三厘貳毛
 同木三拾貳本 長三尺貳寸 末口六寸 上台梁
 是者、柱二重根堅ノ切立梁、
 大五寸釘百九拾五本
 代永貳百拾六文四分 但 拾本ニ付 永拾壹文壹分
 是者、土抱板壹枚拾貳本打、三本者入口兩脇増釘、
 大工貳拾七人七分
 賃永壹貫三百八拾五文 但 壹人 永五拾文
 (15オ) 是者、敷四方一式
 人足六拾六人五分 但 壹人 永三拾壹文三分
 賃永貳貫八拾壹文四分 但 壹人 永三拾壹文三分
 是者、大工手伝、木品持運、杭木掘埋、土台石居込共、
 右寄
 檜角尺ノ五分貳厘
 代永八百六拾八文四分 但 尺ノ壹本 永壹貫六百七拾文
 松杉角尺ノ拾九本七分九厘九毛
 代永九拾五貫八百三拾九文貳分 但 尺ノ壹本 永八百文
 松杉栗丸木尺ノ百三拾本四分六毛
 代永六拾五貫貳百三文 但 尺ノ壹本 永五百文
 (15ウ) 永貳千五百三拾五貫七百拾七文壹分
 銃八千八百七拾四貫六百八拾八匁五分
 鉄千貳百五貫三百六拾六匁四分
 銃八千八百七拾四貫六百八拾八匁五分
 合 銃千貳百五貫三百六拾六匁四分
 金貳千六百九拾七匁貳分永百貳拾七文七分
 (16オ) 右銃鉄者、御買上御渡之積目論見候処、
 御入用書面之通御座候、以上、
 丑
 十一月
 江川太郎左衛門
 (16ウ) 御勘定所
 (空白)

別添資料4 挿図リスト

- 図-1 熱線軌跡シュミレーション
〈作成、葦山高校物理部〉
- 図-2 伊豆半島地図
- 図-3 案内図
- 図-4 反射炉 概要図
- 図-5 古地図
- 図-6 高炉(橋野高炉絵巻「両鉄鉱山御山内
並高炉之図」)
- 図-7 カノン砲
- 図-8 江戸湾防備図
- 図-9 品川台場築造図
- 図-10 三番御台場図
- 図-11 明治5年 反射炉調査図
- 図-12 献納時の地積図
- 図-13 砲台と反射炉
- 図-14 昭和32年補強工事設計図
- 図-15 基準点測量
- 図-16 写真撮影図
- 図-17 設計基本方針
- 図-18 凍結融解サイクル
- 図-19 凍害判定図
- 図-20 摩耗試験結果
- 図-21 炉体伊豆石の補強方法
- 図-22 炉下ローソク束石の補強方法
- 図-23 静的立体架構解析モデル
- 図-24 振動解析最大応答値
- 図-25 基礎図
- 図-26 補強鉄骨の概略形状及び使用部材
- 図-27 特殊仮設物構造設計
- 図-28 仮設工事図面
- 図-29 特殊仮設用鉄骨
- 図-30 解体箇所
- 図-31 銃剣柵配置図
- 図-32 銃剣柵石部詳細
- 図-33 基礎工事工区
- 図-34 基礎伏図
- 図-35 基礎断面
- 図-36 炉体補強工事箇所
- 図-37 炉体天端防水工事図
- 図-38 炉下補強図
- 図-39 炉床の補修箇所
- 図-40 注入箇所 南炉
- 図-41 注入箇所 北炉
- 図-42 煙突形状図

- 図-43 煙突内部亀裂状況
- 図-44 北炉注入箇所
- 図-45 南炉注入箇所
- 図-46 煙突天蓋図
- 図-47 周辺整備箇所
- 図-48 門扉、外柵、内柵設計図
- 図-49 案内板設計図
- 図-50 常時微動測定点
- 図-51 測定機器の構成
- 図-52 測定波形例(No1～No8 X方向同時測定)
- 図-53 測定波形例(No1～No8 Y方向同時測定)
- 図-54 反射炉振動特性の変化
- 図-55 波形解析結果例
- 図-56 振動解析モデル
- 図-57 実測基本振動形
- 図-58 応答解析結果例
- 図-59 葦山反射炉(創建当時)の断面構造
- 図-60 地盤調査箇所
- 図-61 推定地層構成
- 図-62 土質試験結果一覧図
- 図-63 載荷試験方法
- 図-64 載荷試験結果
- 図-65 地盤振動解析結果
- 図-66 推定地盤構造(S波速度構造;
km/sec)
- 図-67 200km以内で過去に発生した被害地
震の震央分布
- 図-68 北伊豆地震(1930年)の震度分布と
住宅被害率分布
- 図-69 地震防災対策強化地域
- 図-70 北伊豆地震による推定地震動強さ
- 図-71 想定東海地震による推定地震動強さ
- 図-72 地質図
- 図-73 北炉煙突下部実測図
- 図-74 北炉下焚口部正面見通し図
- 図-75 炉下・下焚口平面図(北炉)
- 図-76 炉下・下焚口平面図(南炉)
- 図-77 炉体部
- 図-78 立面と断面の対比
- 図-79 半月鉄板形状図
- 図-80 下焚口内壁面実測図
- 図-81 北A炉 炉下・下焚口
- 図-82 炉床断面図
- 図-83 炉体断面推定図
- 図-84 煙突下段(立面, 断面)
- 図-85 煙突中段上段(立面, 断面)
- 図-86 煙突中段上段の煉瓦積み
- 図-87 炉体外観調査; 煙突部傾斜測定
(南炉)

- 図-88 炉体外観調査; 煙突部傾斜測定
(北炉)
- 図-89 煙突内部状況図(南炉)
- 図-90 煙突内部状況図(北炉)
- 図-91 調査地点、遺構配置図
- 図-92 鑄台実測図
- 図-93 排水箱樋断面図
- 図-94 鑄台推定復原図
- 図-95 Aトレンチ掘立柱建物実測図
- 図-96 出土遺物実測図
- 図-97 小球土型実測図
- 図-98 鑄台推定復原図
- 図-99 平面関連図
- 図-100 鑄台断面図
- 図-101 古絵図
- 図-102 瓦締器
- 図-103 梨本登り窯遺構断面図
- 図-104 熱間膨張率曲線(G-1)
- 図-105 供試原土の熱膨張率曲線
- 図-106 鉄材使用箇所
- 図-107 石材産地調査結果(南炉)
- 図-108 石材産地調査結果(北炉)
- 図-109 漆喰X線分析
- 図-110 鉄燐鑄鑑図
- 図-111 鉄燐鑄鑑図

写真リスト

- 写真-1 竣工写真(出湯口側)
- 写真-2 炉内(南B炉の中から出湯口側をみる)
- 写真-3 炉内(南B炉の中から焚口側をみる)
- 写真-4 江川坦庵自画像(江川家蔵)
- 写真-5 臼砲模型(江川家蔵)
- 写真-6 野戦砲模型(江川家蔵)
- 写真-7 原書表紙(国立国会図書館所蔵)
- 写真-8 原書図解編(国立国会図書館所蔵)
- 写真-9 築地反射炉の古絵図(鍋島報效会
所蔵)
- 写真-10 多布施反射炉の古絵図(鍋島報效
会所蔵)
- 写真-11 葦山反射炉の古絵図
- 写真-12 品川台場(3番台場)
- 写真-13 反射炉 明治42年1月17日
〈江川家所蔵〉
- 写真-14 反射炉 明治42年1月17日

- 〈江川家所蔵〉
- 写真-15 反射炉 明治42年1月16日
 〈江川家所蔵〉
- 写真-16 萩反射炉
- 写真-17 水戸反射炉模型
- 写真-18 反射炉 明治5年兵部省に引越し時
 〈江川家所蔵〉
- 写真-19 陸軍省保存工事着工前の全景
 〈江川家蔵〉
- 写真-20 大正年間補修工事
- 写真-21 北伊豆地震崩壊直後の反射炉
- 写真-22 工事前の反射炉 北東側
- 写真-23 北炉 修理前
- 写真-24 北炉 修理後
- 写真-25 南炉 修理前
- 写真-26 南炉 修理後
- 写真-27 全景 (南側より反射炉を見る)
- 写真-28 特殊仮設鉄骨(北炉)
- 写真-29 特殊仮設鉄骨(南炉)
- 写真-30 補強ジャッキ(鉄骨部支持)
- 写真-31 補強ジャッキ(煉瓦面支持)
- 写真-32 銃剣柵 解体前
- 写真-33 銃剣柵 解体工事
- 写真-34 銃剣柵 解体工事
- 写真-35 銃剣柵 解体後
- 写真-36 銃剣
- 写真-37 銃剣
- 写真-38 既存補強鉄骨解体工事
- 写真-39 既存補強鉄骨解体後
- 写真-40 既存補強鉄骨解体後
- 写真-41 煙突最上部解体
- 写真-42 北炉下焚口赤煉瓦控柱解体前
- 写真-43 北炉下焚口赤煉瓦控柱荷重調査
- 写真-44 北炉下焚口赤煉瓦控柱解体後
- 写真-45 南炉下焚口鉄格子解体
- 写真-46 アースアンカー工事(削孔)
- 写真-47 アースアンカー工事(引張材挿入)
- 写真-48 アースアンカー工事(ペースト注入)
- 写真-49 アースアンカー工事(耐力試験)
- 写真-50 基礎工事 第一工区
 (アンカー打ち)
- 写真-51 基礎工事 第一工区(配筋)
- 写真-52 基礎工事 第一工区
 (コンクリート打設)
- 写真-53 基礎工事 第一工区
 (埋め戻し)
- 写真-54 基礎工事 第二工区
- 写真-55 基礎工事 第三工区
- 写真-56 基礎工事 第四工区(掘削)
- 写真-57 基礎工事 第四工区(掘削終了)
- 写真-58 基礎工事 第四工区
- 写真-59 基礎工事 第四工区
 (コンクリート打設)
- 写真-60 基礎工事 第四工区
 (アンカー耐力確認)
- 写真-61 基礎工事 第四工区
 (アンカー先端部保護)
- 写真-62 炉体部注入補強工事(注入)
- 写真-63 炉体部注入補強工事(注入状況の確認)
- 写真-64 伊豆石補強工事(穿孔)
- 写真-65 伊豆石補強工事(アンカー筋)
- 写真-66 伊豆石補強工事(アンカー筋)
- 写真-67 炉体天端防水工事
- 写真-68 炉下束石補強工事
- 写真-69 炉下束石補強工事
- 写真-70 炉床三和土欠損部補修
- 写真-71 炉床三和土欠損部補修
- 写真-72 炉床三和土欠損部補修(南B炉)
- 写真-73 炉床三和土欠損部補修(南A炉)
- 写真-74 伊豆石の劣化防止
- 写真-75 下焚口煉瓦積修復
- 写真-76 下焚口煉瓦積修復
- 写真-77 既存鉄部塗装
- 写真-78 補強用鉄骨(現寸図)
- 写真-79 補強用鉄骨(加工)
- 写真-80 補強用鉄骨(垂鉛メッキ処理)
- 写真-81 補強用鉄骨(垂鉛メッキ処理)
- 写真-82 補強用鉄骨(仮組み)
- 写真-83 補強用鉄骨(工場塗装)
- 写真-84 補強用鉄骨(組立)
- 写真-85 補強用鉄骨(組立)
- 写真-86 補強用鉄骨(組立)
- 写真-87 補強用鉄骨(高力ボルト締め付け)
- 写真-88 補強用鉄骨(仕上塗装)
- 写真-89 テクスチュアアの試作検討
- 写真-90 煉瓦製作(成型)
- 写真-91 煉瓦製作(脱型)
- 写真-92 煉瓦製作(焼成)
- 写真-93 煉瓦差し替え箇所マーキング
- 写真-94 既存煉瓦撤去
- 写真-95 煉瓦取付け
- 写真-96 煉瓦取付け
- 写真-97 煉瓦目地仕上げ
- 写真-98 補強鉄骨空隙部モルタル充填
- 写真-99 煙突上段煉瓦積
- 写真-100 煉瓦差し替え後
- 写真-101 漆喰保存修理
- 写真-102 漆喰保存修理後
- 写真-103 漆喰断片
- 写真-104 外壁煉瓦劣化防止
- 写真-105 煙突内部亀裂補修前
- 写真-106 煙突内部亀裂補修後
- 写真-107 煙突内部注入補強工事
- 写真-108 煙突内部注入補強工事
- 写真-109 煙突内部注入補強工事
- 写真-110 煙突内部注入補強工事
- 写真-111 煙突天蓋差し替え前
- 写真-112 煙突天蓋差し替え後
- 写真-113 門扉 設置前
- 写真-114 門扉 設置後
- 写真-115 外柵 設置前
- 写真-116 外柵 設置後
- 写真-117 内柵,サイン設置後(出湯口)
- 写真-118 内柵,サイン設置後(鋳口)
- 写真-119 内柵,サイン設置後(灰穴)
- 写真-120 内柵,サイン設置後(説明板)
- 写真-121 振動計の設置(煙突上部)
- 写真-122 測定状況
- 写真-123 湯口側基礎調査状況
- 写真-124 北A炉基礎部分
- 写真-125 南炉基礎部分
- 写真-126 南B炉基礎部分
- 写真-127 松杭(北A炉)
- 写真-128 松杭(南B炉)
- 写真-129 下焚口側基礎調査箇所(北炉)
- 写真-130 下焚口側基礎(北炉)
- 写真-131 石柱の文字
- 写真-132 下焚口側基礎(北A炉)
- 写真-133 下焚口側基礎(北B炉)
- 写真-134 下焚口側基礎(南B炉)
- 写真-135 炉下基礎(大玉石の露出状況)
- 写真-136 炉下(南炉)
- 写真-137 炉下半月鉄板脚部(外側)
- 写真-138 炉下半月鉄板脚部(中央部分)
- 写真-139 炉下(下焚口側)
- 写真-140 下焚口(北A炉)
- 写真-141 下焚口(北B炉)
- 写真-142 下焚口(南B炉)
- 写真-143 下焚口(赤煉瓦補修)
- 写真-144 炉内(北A炉湯口側)
- 写真-145 炉内(北A炉焚口側)
- 写真-146 炉内(北B炉湯口側)
- 写真-147 炉内(北B炉焚口側)
- 写真-148 炉内(南A炉湯口側)
- 写真-149 炉内(南A炉焚口側)
- 写真-150 炉内(南B炉湯口側)

写真-151 炉内(南B炉焚口側)
 写真-152 炉体外観(北炉)
 写真-153 炉体外観(南炉)
 写真-154 炉体外観(基礎掘削時)
 写真-155 炉体天端(コアボーリング結果)
 写真-156 炉体天端(解体調査)
 写真-157 炉体天端(解体調査)
 写真-158 南炉上段
 写真-159 南炉上段(コーナーの出入り)
 写真-160 南炉上段(水平連結棒)
 写真-161 南炉上段(水平連結棒)
 写真-162 煙突中段肩部(北炉)
 写真-163 煙突中段肩部(南炉)
 写真-164 水平連結棒の露出状況
 写真-165 水平連結棒
 写真-166 煉瓦目地(水平方向)
 写真-167 煉瓦目地(垂直方向)
 写真-168 煉瓦芯スミ
 写真-169 煉瓦積みコア調査
 写真-170 煙突内部の目地
 写真-171 漆喰残存状況(南炉南面)
 写真-172 漆喰残存状況(北炉西面)
 写真-173 漆喰残存状況(南炉西面)
 写真-174 漆喰残存状況(南炉東面)
 写真-175 煙突内部(北A炉)
 写真-176 煙突内部(北A炉)
 写真-177 煙突内部(北B炉)
 写真-178 煙突内部(北B炉)
 写真-179 煙突内部(南A炉)
 写真-180 煙突内部(南A炉)
 写真-181 煙突内部(南B炉)
 写真-182 煙突内部(南B炉)
 写真-183 鑄台内部の木材
 写真-184 鑄台床面のコケラ板
 写真-185 鑄台床面
 写真-186 鑄台完掘の状況
 写真-187 鑄台側壁
 写真-188 鑄台床面の段
 写真-189 鑄台床面の焦げ跡
 写真-190 鑄台床面下の状況
 写真-191 掘立柱建物
 写真-192 文字記号煉瓦
 写真-193 テーパレンガ等
 写真-194 天井炉壁材
 写真-195 遺物(鑄型類)
 写真-196 遺物(筒形石製品)
 写真-197 遺物(円形石製品)
 写真-198 遺物(窯道具類)
 写真-199 遺物(るつぼ、石炭片)

写真-200 遺物(前炉の底部)
 写真-201 遺物(スラグ類)
 写真-202 遺物(工具・ゲージ類)
 写真-203 遺物(銅針金、銭貨)
 写真-204 遺物(鉄製品)
 写真-205 遺物(砲弾)
 写真-206 遺物(木簡類)
 写真-207 遺物(コケラ板、クサビ)
 写真-208 遺物(大なべのふた)
 写真-209 遺物(シュロ縄)
 写真-210 遺物(陶磁器)
 写真-211 遺物(屋瓦)
 写真-212 遺物(砥石)
 写真-213 遺物(スコップの板)
 写真-214 煉瓦劣化状況
 写真-215 煉瓦劣化状況
 写真-216 煉瓦劣化状況
 写真-217 煉瓦劣化状況
 写真-218 煉瓦劣化状況
 写真-219 煉瓦の刻印
 写真-220 煉瓦の刻印
 写真-221 煉瓦の刻印
 写真-222 供試原土の外観
 写真-223 梨山原土の外観
 写真-224 湯口鉄板(南A炉)
 写真-225 湯口鉄板(北A炉)
 写真-226 半月鉄板(層状の痕跡)
 写真-227 半月鉄板(層状の痕跡)
 写真-228 ロストル受け桁(南A炉)
 写真-229 ロストル受け桁(南B炉)
 写真-230 江川邸 カマト石
 写真-231 江川邸 倉の入口庇
 写真-232 炉体伊豆石の表面加工
 写真-233 炉体伊豆石の目地状況
 写真-234 電子顕微鏡写真
 写真-235 翻訳本
 写真-236 錐台
 写真-237 旗指物

表-6 保存修理事業フロー
 表-7 事業組織図
 表-8 事業費
 表-9 計画のフロー
 表-10 調査項目
 表-11 保存工事内容の比較
 表-12 震度階数
 表-13 接着耐力試験結果
 表-14 補強用煉瓦
 表-15 再製煉瓦
 表-16 物性試験結果
 表-17 耐久性試験結果
 表-18 煉瓦仕様
 表-19 防水仕様
 表-20 塗装仕様
 表-21 耐震設計の流れ
 表-22 主な使用材料
 表-23 静的解析用地震力算定表
 表-24 実施工程表
 表-25 数量表
 表-26 セメントスラリー(フローロック配合表)
 表-27 煉瓦品質検査方法及び試験結果
 表-28 差し替え煉瓦数量
 表-29 剛性の向上
 表-30 固有振動数 剛性増加率
 表-31 減衰定数の変化
 表-32 剛性の変化式
 表-33 補強設計動的解析モデルと振動測定結果の比較
 表-34 維持保全計画
 表-35 調査内容
 表-36 各部の名称及び用途
 表-37 室内土質試験
 表-38 過去の周辺で発生した主な被害地震
 表-39 煉瓦調査
 表-40 煉瓦の分類一覧
 表-41 組織分析及び物性試験方法の概要
 表-42 煉瓦物性試験結果
 表-43 供試原土の品質試験結果
 表-44 供試目地材の品質試験結果
 表-45 創建当時の使用鉄部材リスト
 表-46 煉瓦積付設鉄材化学成分分析値
 表-47 補強用鉄骨部材強度試験結果
 表-48 石材採取調査結果
 表-49 石材物性値
 表-50 漆喰成分分析
 表-51 炉壁付着物の化学成分分析表

表リスト

表-1 『大砲鑄造方』書の目次内容と各翻訳書巻名の比較対象表
 表-2 蕪山反射炉の築造及び稼働記録
 表-3 反射炉其外間数取調書
 表-4 豆州中村元大砲製造場機械取調書
 表-5 反射炉一覧

引用文献リスト

- 文献-1 西岡昭夫 葦山反射炉その熱のメカニズム 葦山高校龍城論叢第11号
- 文献-2 仲田正之 江川坦庵 吉川弘文館
- 文献-3 江戸科学古典叢書(7)「橋野高炉絵巻」 恒和出版
- 文献-4 勝安房 陸軍歴史上 陸軍省蔵版
- 文献-5 U.Huguenin, “Het Gietwezen in’s Rijks Ijzer-Geschutgie rij te Luik” 1826
- 文献-6 金森錦謙訳 鉄煩鑄鑑
- 文献-7 三枝博音編 西洋鉄煩鑄造篇 日本科学古典全集第9巻 朝日新聞社
- 文献-8 芹澤正雄 蘭書「大砲鑄造法」の訳本書の探訪 産業考古学会報第30号 1983
- 文献-9 大橋周治 幕末明治製鉄史 アグネ
- 文献-10 秀島成忠編 佐賀藩鉄砲沿革史 原書房
- 文献-11 品川歴史館 特別展「黒船来航と品川台場」
- 文献-12 東京市役所 品川台場 昭和2年
- 文献-13 原 剛 幕末海防史の研究 名著出版
- 文献-14 戸羽山瀚編 江川坦庵全集 巖南堂書店
- 文献-15 吉田光邦 幕末反射炉考 京大人文学研究所人文学報 1964
- 文献-16 E.Pauer JAPAN INDUSTRIELLE LEHRZEIT (日本の工業化黎明期) BONN 1983
- 文献-17 金子 功 幕末の反射炉跡を訪ねて 山村文化研究所
- 文献-18 窪田蔵郎 坦庵江川太郎左衛門(葦山反射炉とその背景) 金属 1966.5.1
- 文献-19 窪田蔵郎 葦山反射炉(ゆれ動く幕末の兵器工場) 金属 1967.1.1
- 文献-20 飯田賢一 日本鉄鋼技術史 東洋経済新報社
- 文献-21 石塚裕道 幕藩営軍事工業の形成 史学雑誌第80編第8号, 第9号(史学会)
- 文献-22 山口県萩市 史跡萩反射炉保存整備事業報告書(昭和62年3月)
- 文献-23 浜田稔 葦山反射炉保存工事について 昭和33年4月(葦山村役場)
- 文献-24 浜田稔, 山根昭 葦山反射炉保存工事について 建築雑誌 昭和33年2月15日
- 文献-25 浜田稔, 山根昭 葦山反射炉補強工事予備調査書(昭和31年2月9日)
- 文献-26 浜田稔, 山根昭 葦山反射炉補強工事見積書(昭和31年12月11日)
- 文献-27 葦山村役場 反射炉関係書類(明治41年~大正13年)(葦山町役場)
- 文献-28 葦山村役場 史蹟葦山反射炉関係つづり(昭和27年~昭和33年)(葦山町役場)
- 文献-29 葦山町, 建材試験センター 昭和55年度葦山反射炉保存修理事業報告 葦山町
- 文献-30 葦山町, 建材試験センター 昭和56年度葦山反射炉保存修理事業報告 葦山町
- 文献-31 葦山町, 建材試験センター 昭和57年度葦山反射炉保存修理事業報告 葦山町
- 文献-32 葦山町, 建材試験センター 昭和58年度葦山反射炉保存修理事業報告 葦山町
- 文献-33 葦山町, 建材試験センター 昭和59年度葦山反射炉保存修理事業報告 葦山町
- 文献-34 葦山町, 建材試験センター 昭和60年度葦山反射炉保存修理事業報告 葦山町
- 文献-35 葦山町, 建材試験センター 昭和61年度葦山反射炉保存修理事業報告 葦山町
- 文献-36 葦山町, 建材試験センター 昭和62年度葦山反射炉保存修理事業報告 葦山町
- 文献-37 葦山町, 建材試験センター 昭和63年度葦山反射炉保存修理事業報告 葦山町
- 文献-38 矢木栄, 国井大造 工業窯炉 共立出版
- 文献-39 功刀稚長 燃焼及び窯炉 共立全書 132
- 文献-40 宇佐美龍夫 新編日本被害地震総覧 東大出版
- 文献-41 静岡県警察部 駿豆震災誌(昭和6年)
- 文献-42 浅田敏 関東・東海地震と予知 岩波書店
- 文献-43 星野通平, 青木 斌 伊豆半島 東海大学出版会1972
- 文献-44 日本科学技術史会編 日本科学技術史体系20(採鉱冶金部門)「青銅及び鑄鉄を溶解する反射炉を録す(矢田部郷雲)」
- 文献-45 芹澤正雄 伊豆天城山中登窯は葦山反射炉用耐火煉瓦をつくったか 産業考古学会報 第10号
- 文献-46 地方史研究所 伊豆下田 昭和37年
- 文献-47 E.Pauer 幕末民営反射炉の耐火煉瓦について 産業考古学会報 第42号
- 文献-48 大日本窯業協会 日本近世窯業史 大日本窯業協会編蔵版 大正3年
- 文献-49 日本近代建築発達史 日本建築学会
- 文献-50 岡田広告 幕末の高炉における石材の利用 昭和54年全国地下資源関係学協会合同秋季大会
- 文献-51 岩崎友吉編 高松塚古墳壁画再現研究報告 東京芸術大学美術部 1976
- 文献-52 金森錦謙訳 鉄煩鑄鑑図 安政3年 膺懲館蔵版
- 文献-53 東京大学史料編纂所報 第3号昭和43年 東京大学史料編纂所
- 文献-54 交詢社 宇都宮氏経歴談 汲古会

史跡 葦山反射炉 保存修理事業報告書

- 発行日 平成元年3月
- 発行 葦山町
- 編集 葦山町教育委員会
(財)建材試験センター
- 制作 井上企画デザイン
- 連絡先 葦山町教育委員会
静岡県田方郡葦山町四日町290
郵便番号 410-21
電話番号 0559-49-4694
-

