重要文化財 旧美歎水源地水道施設
保存修理工事報告書

鳥 取 市

重要文化財旧美歎水源地水道施設
保存修理工事報告書

鳥 取 市

1　竣工　濾過池全景　西より見る

2　修理前　濾過池全景　西より見る

3　竣工　制水井3号上屋　正側面

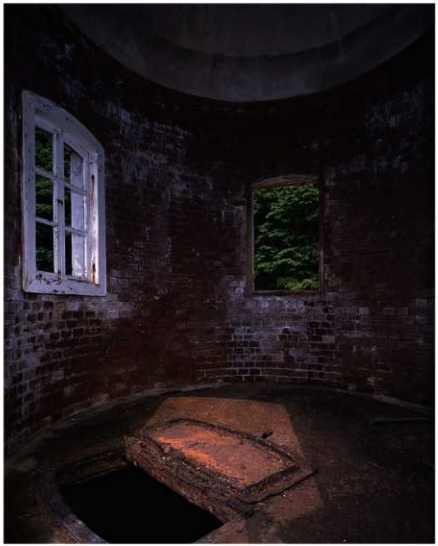
4　修理前　制水井3号上屋　正側面

6　修理前　制水井3号上屋　内部

5　竣工　制水井3号上屋　内部

7　竣工　接合井　正側面

8　修理前　接合井　正側面



10　修理前　接合井　内部

9　竣工　接合井　内部

11　竢工　量水器室　南西面

12　竢工　量水器室　南西面

14　修理前　量水器室　内部

13　竣工　量水器室　内部

15　竣工　下流側管理橋　北面

16　修理前　下流側管理橋　北面

17　竣工　門柱　西面

18　修理前　門柱　西面

序　文

美歎水源地水道施設は、鳥取市街地へ供給する飲料水の確保と公衆衛生の向上を主な目的として、鳥取市を事業主体とし、同市技師長三田善太郎の計画及び設計に基づいて大正元年6月に起工、同4年10月に竣工しました。

その後、大正7年（1918）9月の水害により、貯水池堰堤、濾過池等が破損したことから、復旧工事が大正9年（1920）に着手され、堰堤の石造化などの改良が施された上で、大正11年（1922）に再興されました。

昭和初期には、市内の人口増加に伴い五号濾過池と附属制水井が増築され、その後も鳥取市民の水がめとしての役割を果たしてきましたが、昭和53年（1978）に至って、新たな水源地の完成と施設の老朽化により機能を停止し、平成4年（1992）には水源地としての用途を廃止しました。

平成8年から11年にかけて、貯水堰堤を砂防堰堤とする機能転換とそれに伴う補強工事が実施されましたが、近代水道施設としての意義が評価され、平成19年6月18日に「旧美歎水源地水道施設」として国の重要文化財（建造物）に指定されました。

その後、本市では平成21年度に「保存整備基本計画」を策定し、平成22年度には市事業として現況調査を、平成23年度～24年度には国庫補助事業として調査工事を実施して、保存修理の方針の確立に努め、平成25年度より5ヶ年計画で建造物の保存修理事業に着手しました。この間、文化財建造物として例のない近代化遺産の修理事業であったことから、学術的検討のための委員会を設置するとともに、文化庁、公益財団法人文化財建造物保存技術協会、その他各分野の専門家の指導・助言を得て事業の実施にあたることができました。

また、砂防堰堤の所有者であり、河川・砂防区域を管理される鳥取県、整備期間において施設の管理を担当された鳥取市水道局、地元である美歎地区の方々には、多大なる御協力をいただきました。

平成30年度には公開活用施設の整備も終え、わが国の近代水道の歴史を知ることのできる貴重な文化財として、また、広く市民に親しまれる憩いの場として、今後も旧美歎水源地水道施設の保存・活用に努めていきます。

結びにあたり、本事業の実施に際してご指導・ご協力いただきました文化庁、公益財団法人文化財建造物保存技術協会、関係機関、工事関係者、資料提供にご協力いただいた多くの皆様に、心より感謝申し上げます。

平成30年3月

鳥取市教育委員会 教育長　尾室　高志

例　言

・本書は、重要文化財旧美歎水源地水道施設保存修理工事事業において国庫補助の一部として刊行されるものであり、工事に関する概要、調査事項、工事内容、記録写真及び図面等のうち主要なものを掲載した。
・調査事項の一部は、上記の調査工事（平成23～24年度）において実施した調査結果を再構成したものである。
・重要文化財指定名称と、本書における各建物の呼称の対応は下表による。

重要文化財指定名称	本書における各建物の呼称	備考
一号濾過池（制水井附属）	制水井1号上屋	今回の工事では専ら制水井の上屋を修理したため
二号濾過池（制水井附属）	制水井2号上屋	〃
三号濾過池（制水井附属）	制水井3号上屋	〃
四号濾過池（制水井附属）	制水井4号上屋	〃
五号濾過池（制水井附属）	制水井5号上屋	〃
接合井	接合井	
量水器室	量水器室	
附・鳥取水道記功碑、管理橋2基	下流側管理橋	調査工事では「事務所前人道橋」と呼称
	上流側管理橋	調査工事では「岩ヶ平人道橋」と呼称
水道用地 原野及び保安林、取水塔、排水井、門柱、石造擁壁	門柱	今回の工事では専ら門柱を修理したため

・本書作成の分担は以下のとおり。
監修：小林裕幸（公益財団法人文化財建造物保存技術協会）
総括：内海勝博（公益財団法人文化財建造物保存技術協会
編集執筆作図：遠藤優（公益財団法人文化財建造物保存技術協会）
修理前・竣工写真撮影：武市写真事務所（修理前カラー写真は鳥取市提供）

鳥取県略図　（鳥取県HPより転載）

旧美歎水源地周辺図　（国土地理院1/25000地図を加工）

目　次

1章　概　説

1.1　概　要 …… 5

1.2　建造物の概要 …… 7

1.2.1　重要文化財指定
1.2.2　主要寸法（修理対象のみ）
1.2.3　構造形式（制水井上屋）
1.2.4　構造形式（接合井）
1.2.5　構造形式（量水器室）
1.2.6　構造形式（下流側管理橋）
1.2.7　構造形式（上流側管理橋）
1.2.8　構造形式（門柱）

1.3　修理事業の概要 …… 10

1.3.1　事業の経過と概要
1.3.2　請負工事工程表
1.3.3　事業関係者
1.3.4　事業費

2章　沿革とシステム

2.1　概　要 …… 13

2.2　沿革とシステム …… 13

3章　調査・設計事項

3.1　地盤調査 …… 17

3.1.1　調査の目的と地盤構成
3.1.2　各層の特徴
3.1.3　各層の分布
3.1.4　地下水位
3.1.5　5号濾過池東側側壁の変形

3.2　破損調査とその原因 …… 20

3.2.1　制水井上屋
3.2.2　接合井
3.2.3　量水器室
3.2.4　下流側管理橋
3.2.5　上流側管理橋
3.2.6　門柱
3.2.7　濾過池および敷地

3.3　仕様調査 …… 27

3.3.1　鉄骨鉄網モルタル造（制水井1～4号上屋、接合井屋根）
3.3.2　鉄網コンクリート造（制水井5号上屋、量水器室）
3.3.3　煉瓦造（濾過池・制水井上屋基礎、接合井壁、門柱）
3.3.4　二連鋼桁造（管理橋）
3.3.5　管理橋の銘板

3.4　分析調査 …… 36

3.4.1　モルタルとコンクリートの圧縮強度・躯体厚さ・中性化深さ（制水井1～5号、量水器室、管理橋）
3.4.2　モルタルの配合推定・成分分析・変更顕微鏡観察・粉末X線回析（制水井2・4号上屋）
3.4.3　鋼材の分析（制水井2号上屋、下流側管理橋）
3.4.4　煉瓦と目地の強度（接合井）

3.5　修理仕様および構造補強の検討 …… 44

3.5.1　修理方針と仕様比較表
3.5.2　構造検討の概要
3.5.3　制水井上屋
3.5.4　接合井
3.5.5　量水器室
3.5.6　管理橋
3.5.6.1　調査工事における検討
3.5.6.2　下流側管理橋　実施における検討と方針修正

3.5.6.3 上流側管理橋　実施における検討と方針修正
3.5.6.4 構造検討と修理方針のまとめ
3.5.7 門柱
3.5.8 濾過池および敷地

3.6 油性ペイントの調査と再現 …… 63
3.6.1 調査
3.6.2 試作と仕様の検討
3.6.3 手板暴露試験と仕様の決定

3.7 現状変更 …… 71

4章　実施の仕様

4.1 仮設工事（各棟共通） …… 83

4.2 躯体補修工事（各棟共通） …… 83

4.3 建具工事・雑工事（各棟共通） …… 127

4.4 塗装仕様（各棟共通） …… 134

4.5 下流側管理橋工事 …… 136

4.6 上流側管理橋工事 …… 148

4.7 門柱工事 …… 152

4.8 敷地整備 …… 152

史　料　157

「濾過池及貯水池築造工事」抄録
「鳥取市水道工事報告」
古写真
古図面

写　真　173

1～4　濾過池全景
5～10　制水井1号上屋
11～16　制水井2号上屋
17～22　制水井3号上屋
23～28　制水井4号上屋
29～34　制水井5号上屋
35～40　接合井
41～46　量水器室
47～50　下流側管理橋
51～54　上流側管理橋
55～56　門柱

図　面　203

1～4　制水井1～4号上屋
5～8　制水井5号上屋
9～11　接合井
12～14　量水器室
15～22　下流側管理橋
23～26　上流側管理橋
27～28　門柱

1章 概 説

1.1 概 要

施設の概要 旧美歎水源地水道施設は、大正4年（1915）に山陰地方で最初に建設された近代水道施設である。鳥取市東方に位置する稲葉山付近に端を発する美歎川の上流部に堰堤を築いて貯水池とし、その下流部に煉瓦貼りの緩速濾過池と、洋風の意匠を施した上水道施設群を美歎川の自然地形に沿って配置する。大正7年の台風による洪水で貯水堰堤が決壊し、下流部の各施設が被災したが大正8年から11年にかけて復旧工事が行われ、土堰堤が重力式コンクリートダムへ築き直された。昭和2年には水需要の増加を受けて5号濾過池が増設された。この後、昭和53年までの63年間に渡って鳥取市域へ上水を供給してきた。供用停止後は、堰堤が砂防堰堤に用途変更され大規模な補強や改造を受けたが、石積みは復旧され景観が保たれた。事務所棟や砂洗い場等は撤去されたものの、濾過池をはじめとする主要施設は良好な状態で残されている。平成19年には近代水道施設の遺構としての価値が認められ、堰堤や濾過池等の施設10所および水道用地、山林等の施設全体が、重要文化財の指定を受けた。

保存修理に至る経緯 文化財指定後の平成21年に「重要文化財旧美歎水源地水道施設保存整備基本計画」が鳥取市により策定され、整備目標年代を昭和初期に設定するなどの基本方針および、破損が進んでいた各施設の保存修理を行うなどの整備方針が示された。同時に、破損進行を防ぐため制水井上屋と接合井へ仮設の覆屋が設けられた。建造物の保存修理工事は、平成23～24年度の調査工事を経て、平成25～29年度に実施された。

保存修理の概要 修理対象は、主に破損が進行していた建築物8棟（濾過池附属制水井の上屋5棟、接合井、量水器室、水道用地内の門柱）と土木構造物（附・管理橋2基）とし、同時に濾過池および周囲の敷地整備を行った。保存修理工事は国庫補助事業とし、平成25年4月24日から平成30年3月31日まで59ヶ月の事業期間と、295,817,317円の事業費を要して行われた。

修理方針は部分修理とし、修理を実施することにより、耐震性能として「復旧可能水準」を回復することを目的とした。建屋については壁の破損より建物の浮き上がりが先行するとの診断結果を受け、活用上長時間の滞在を想定しないことから、耐震補強は行っていない。下流側管理橋は公開時の通行に供するため、仮設補強桁で既存床板と鋼桁を受ける構造補強を行った。門柱については転倒防止のため、鉄筋挿入による補強を行った。敷地や濾過池については、今後の維持管理と活用を考慮し、水道施設として最も整備された5号濾過池増設時の昭和初期頃の景観に準じて復旧整備を行った。

今回の修理の特徴 制水井上屋は、大正期に出現した新工法「鉄骨鉄網モルタル造」を採用しており、貴重な現存例となっている。これは、リベット接合で組み上げた鉄骨下地に鉄網（メタルラス）を番線止めし、内外にモルタルを塗り付けて躯体としたものである。しかし工法上、壁内部に空隙を生じやすく、主に結露に起因すると思われる鉄骨や鉄網の発錆、爆裂が生じ、さらに壁の浮きやひび割れ、剥離・脱落へ至る破損が著しく進んでいた。修理前は保存が危ぶまれた建物もあったが、施工の結果、鉄骨材の溶接補修が可能であり、現行のRC造断面修復工法が適用できたことにより、全棟を部分修理として保存することができた。

管理橋2基については、修理後の活用方針に応じて異なる修理方針を採用したことが大きな特徴である。下流側は、活用動線上、常時通行可能とすることが条件とされたことから、安全確保のため、破損が進んでいた床版と橋桁は取替えが必須となり、さらに現行基準に適合させるため、構造形式も変更する必要が生じた。このため考え方を見直し、大型の鉄骨補強桁を新設することで安全基準を満たすとともに、既存の床版と橋桁の荷重も負担させることで、本来は取替える予定であった橋桁も、文化財の「部材」として現地で保存することを実現した。一方、上流側の橋は通行に供さないことから、補強はせずに、橋桁の溶接補修等「構造、形式、意匠」を保存するため、在来型の保存修理を実施した。

写1.1 貯水池堰堤

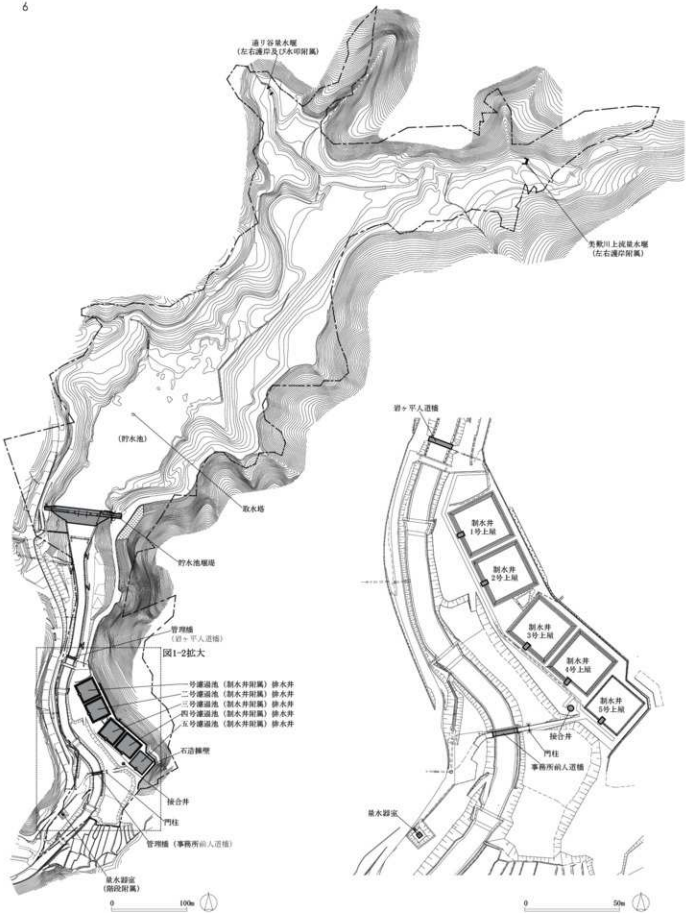


図1-1 指定物件配置図 1/5000

---水道用地、原野及び保安林
鳥取水道記功碑は例言参照

図1-2 工事対象配置図 1/2000

1.2　建造物の概要

1.2.1　重要文化財指定

官報告示建第2349号

旧美歎水源地水道施設8所、1基、1棟
貯水池堰堤、美歎川上流量水堰、通り谷量水堰、一号濾過池、二号濾過池、三号濾過池、四号濾過池、五号濾過池、接合井、量水器室、土地よりなる

右を重要文化財に指定する
平成19年6月18日　文部科学大臣　伊吹文明

所有者　鳥取県、鳥取市
所有者の住所
鳥取県鳥取市東町1丁目220番地（県）
鳥取県鳥取市尚徳町116番地（市）
所在の場所
鳥取県鳥取市国府町美歎上町87番2

指定基準

「（三）歴史的価値の高いもの」による

指定説明

旧美歎水源地水道施設は、鳥取市中心部より約5km東方、千代川水系美歎川の上流に位置する旧上水道施設である。

旧美歎水源地水道施設は、鳥取市街地へ供給する飲料水の確保と公衆衛生の向上を主な目的として、鳥取市を事業主体とし、同市技師長三田善太郎の計画及び設計に基づき[1]、大正元年6月に起工、同4年9月より給水を開始し、翌月に竣工した[2]。その後、大正7年9月の水害により、貯水池堰堤、濾過池等が損したことから、佐野藤次郎指導のもと、市技師友永染蔵の設計に基づき同8年7月から11年6月にかけて復旧工事が行われた[3]。昭和53年の新水源地建設に伴い供用を停止し、平成4年から11年にかけて貯水池堰堤を砂防堰堤へ改修しているものの、全体として保存状況は良好である[4]。

旧美歎水源地施設は、貯水池堰堤を中心として、貯水池上流に配された美歎川上流量水堰及び通り谷量水堰、貯水池より下流に配された濾過池、接合井及び量水器室よりなる。

貯水池堰堤は、東西に長い貯水池の西端に位置する。岩盤を基礎として築かれた重力式コンクリート造堰堤で、堤長103.0m、堤高19.5m、水通し幅37.6mの越流式とし、表面は玄武岩のくずし谷積とする[5]。堤体法勾配は上流側で2分、下流側で7.2分とし、上流側南寄りに半円形平面の取水塔を設け、塔下部より堤体軸とほぼ直交する送水用隧道を穿つ[6]。

美歎川上流量水堰と通り谷量水堰は、東方より貯水池

別紙

重要文化財（建造物）の名称	員数	構造及び形式	所有者
旧美歎水原地水道施設			
貯水池堰堤		重力式コンクリート造堰堤，堤長103.0メートル，堤高19.5メートル	鳥取県
美歎川上流量水堰		重力式コンクリート造堰堤，堤長7.9メートル，堤高1.5メートル，左右護岸附属	鳥取市
通り谷量水堰		重力式コンクリート造堰堤，堤長4.5メートル，堤高1.1メートル，左右護岸及び水叩附属	
一号濾過池	8所	煉瓦及びコンクリート造，面積663.45平方メートル，胴木井附属	
二号濾過池		煉瓦及びコンクリート造，面積663.45平方メートル，胴木井附属	
三号濾過池		煉瓦及びコンクリート造，面積663.45平方メートル，胴木井附属	
四号濾過池		煉瓦及びコンクリート造，面積663.45平方メートル，胴木井附属	
五号濾過池		煉瓦及びコンクリート造，面積502.85平方メートル，胴木井附属	
接合井	1基	煉瓦及びコンクリート造，面積7.47平方メートル	
量水器室	1棟	鉄筋コンクリート造，建築面積6.17平方メートル	
		附　鳥取水道記功碑　1基 管理橋　2基	
		水道用地、原野及び保安林158、782.61㎡（地番等省略） 字谷石谷698番2・3及び699番、字勝田ヶ平56・57番、61番、63番、64番、65番1～3、66番～68番及び68番1・2、字小金谷70番、字五反田71番、72番1・2、73番及び74番、字小谷135番～139番、139番1、740番1、742番1及び743番、字先達林632番1、633番2、634番2及び636番2、字砂田75番、75番1、76番及び76番1、字牛下ヶ688番2、691番、693番及び694番1・2、字通り谷113番・114番及び115番1・2、字城ヶ岡116番～119番、119番1・2、144番1、637番2、640番2、641番2、649番2及び660番、字研石畑120番、120番1、121番1、122番～124番及び127番～129番、字宮ノ谷130番～132番、132番1・2、133番、134番、735番11・12、736番及び738番、字金内140番、141番、141番1、142番～145番、145番1、148番、149番、149番1及び150番～155番、字猫谷159番及び161番、字岩ヶ平162番、163番、163番1・2、164番、744番2、745番4～7、745番9～13及び745番16・17、字上後面165番、165番1、166番1、167番1及び168番1、字護喜田170番、171番2、179番2、184番、185番2、186番及び674番～749番 鳥取市指定地域内の取水塔、排水井、門柱、石造擁壁を含む	鳥取市

に流入する美歎川と北方より貯水池に流入する美歎川右支通り谷に建設された重力式コンクリート造堰堤で、堤長は7.9mと4.5m、堤高は1.5mと1.1m、水通し幅は6.1mと2.1mとする[7]。いずれも左右対称のつくりで、左右に法勾配約三分の石積護岸を配し、通り谷量水堰は下流側に石敷の水叩を連続させる。

濾過池は、緩速式で、貯水池堰堤より約300m南西に位置する。一号濾過池から五号濾過池までの五所を南北にくの字形に配し[8]、一号濾過池から四号濾過池までは25.8m四方[9]、増設の五号濾過池は22.4m四方とし、いずれも西面中央に制水弁を付ける。コンクリート基礎の上に煉瓦を敷詰めた底版の中央東西に導水溝を設け[10]、側壁は法勾配一割のコンクリート面に煉瓦の長手積を施したもので、天端には縁石を廻らす[11]。制水弁は長方形平面で、上屋は山形鋼、平鋼及び網状鈑を用いたコンクリート造とし下線部注1、表面はモルタル塗仕上げとする[12]。

接合井は、四号濾過池の西側に位置する。各濾過池からの送水を合流して、下流へ送り出す施設で、直径3.1mの円形平面とし、煉瓦造小口積の上屋壁面に、欠円アーチ形の入口と窓三箇所を等間隔に穿ち、頂部にはコンクリート造下線部注2ドームを載せる。表面はモルタル塗仕上げとする。

量水器室は、接合井より約110m西方に位置する[13]。地面から掘下げた方形の敷地の中央に北面して建ち、北方面には階段を付ける。ほぼ正方形平面の鉄筋コンクリート造平屋建で、方形造、建築面積4.17m²とし、北面を除く三面に矩形の窓を設け、外装は頂部、柱形、窓枠及び腰部等をモルタル洗出仕上げとする他は煉瓦タイル張とする[14]。

旧美歎水源地水道施設は、山陰地方で最初に建設された近代水道施設である鳥取市創設水道施設の代表的遺構として、歴史的に価値が高い。また、貯水池堰堤を有する水源地のうち、緩速濾過池を備えた数少ない水道施設の一つで、貯水池の上下流に残る量水施設を含め、近代水道施設の構成を知る上で貴重であり、水源涵養と治山を目的として植林された貯水池周辺の土地を併せて保存を図る[15]。

（下線部は今回の修理工事に伴う調査により修正すべき箇所）
下線部注1　1～4号はモルタル造、5号のみコンクリート造とする。
下線部注2　モルタル造

注

(1) 明治41年に東京電燈技師小林柏次郎が作成した設計書と、同44年の内務省技師中島鋭治の調査を参考にして、三田善太郎等が翌年作成した「鳥取市水道目論見書」に基づき建設が行われた。三田善太郎は、明治11年に東京大学理学部土木工学科を卒業し、同校の助教授を務めた後、神奈川県技師（後に横浜市技師）として横浜市創設水道等の建設に携わり、新潟市創設水道の建設を経て、鳥取市創設水道建設の中心的役割を果たす。「水道記功碑建設関係至大正一三年度」所収の「水道記功碑裏彫刻人名決定ノ件」によると、工事主任は大正3年8月までが市技師海老原林蔵が務め、その後大正5年3月まで同鈴木重英が担当している。

(2) 起工及び竣工の年月は『落成式に関する印刷物入』所収の「鳥取市水道工事報告」（三田善太郎大正4年10月）、給水年月は『大正四年工事関係綴』所収の「給水量報告之件」による。

(3) 水害により大正四年竣工の土堰堤が決壊し、復旧工事において現在の重力式コンクリート造堰堤に改築されている。佐野藤次郎は、明治24年に帝国大学工科大学土木工学科卒業後、布引水源地五本松堰堤（兵庫県。重要文化財）、鳥原水源地立ヶ畑堰堤（兵庫県。登録有形文化財）、大井堰堤（岐阜県）等の時代を代表する優れた堰堤を数多く設計した技術者である。前掲注(1)「水道記功碑除膨別人名決定ノ件」によると大正8年7月より10年12月まで市顧問を務めた。友永染蔵は、明治31年攻玉社工学科卒業後、佐野と共に神戸市第一次拡張工事、釜山第二次拡張工事等従事した後、佐野の推薦により、大正8年4月から11年6月まで鳥取市技師として復旧工事の設計及び工事主任を務めた。なお、起工及び竣工の年月は『日本水道史』（中島工学博士記念事業会昭和2年）による。また、復旧工事を含めた建設の経緯、関連技術者等を記した『鳥取水道記功碑』が大正12年に上町配水池構内に建設されている。これを附指定とする。

(4) 水源地は平成5年に廃止されている。また、砂防工事において堤体上流面及び水叩きへのコンクリート打増、水通し中央部の切欠き等が行われている。

(5) 砂防工事前は、堤高21.1m、断面は堤体上流側でほぼ直立であった。

(6) 錆泥用の隧道が堤体軸に対して斜めに穿たれ堤体下流側に坑口を現す。また、『鳥取市水道改修工費変更予算書』（大正11年3月）によると、堤体下流側の両岸岩盤が軟弱なため、当初設計で49.1mだった水通し幅を現在の規模に設計変更し、浸透緩和のために堤体軸に直交して3.0m間隔で亜鉛管を堤体に差し込む。

(7) 『大正五年度工事関係綴』所収の「貯水池上流字通り谷量水堰新設工事外一廉延期許可ノ件」及び「検査済報告」によると、量水堰はいずれも大正5年7月1日起工、同年8月24日竣工で、請負人は西中吉太郎である。

(8) 前掲注(2)『大正四年工事関係綴』所収の「工事着手届」によると、一号濾過池より四号濾過池及び接合井は大正2年10月9日に起工し、実施設計は市技手戸澤欽介、工事監督は市技手大沼幸一、請負は澁澤順二郎である。復旧工事は『濾過池復旧工事関係書綴』所収の「工事竣工報告」より、工事監督市技手吉小路正喜、起工大正8年9月4日、竣工同10年3月27日で、五号濾過池は『鳥取市水道六十年史』（鳥取市水道局昭和30年）によると昭和2年に起工し、『昭和三年一二月一八日付忘急送水工事認可業請ノ件』に濾過池五所の存在が明記されているため昭和3年以前の竣工と考えられる。濾過池周辺の土地には、大正4年竣工の貯水池堰堤取水塔取付浅橋の材料を用いて、復旧工事の一環として製作された鋼製二連桁橋の管理橋が二基残り、これを附指定とする。二基のうち、上流側に架かる橋は大正15年に床版、高欄及び親柱が改修されている。また、土地には排水井、門柱等も残り、大正7年の水害により損した案門柱については、前掲『濾過池復旧工事関係書綴』所収の濾

過池表門及び本機復旧工事関連資料より、大正10年6月30日より8月28日にかけて加藤長蔵の請負により再建されていることがわかる。

(9) 頂部の寸法をとる。一号濾過池より四号濾過池までについては、底部で一辺203mm長、深さは東端部で27m、西端部で28mとする。

(10) 濾過池東側から水を取り入れ、濾過の後に導水溝を通って制水井に流水される。供用時には、底版の上に砂を敷詰めて濾過を行っていた。導水溝は幅0.30mで、両側に焼過煉瓦4枚を積み上げ、切石で蓋をするつくりとする。

(11) 前掲註(2)『大正四年工事関係綴』所収の「濾過池築造工事仕様書」によると、周壁には焼過煉瓦を、縁石に新井産を用い、コンクリートと煉瓦の間に防水用アスファルトを施した。

(12) 制水井は、四周に欠円アーチ形開口部を設け、隅部の柱形を軒上にも突出させ、持送りに装飾をあしらう装飾的なつくりとする。基礎は煉瓦造イギリス積とする。

(13) 建設年代は詳らかでないが、『昭和九年市単独施工分第一水源地災害復旧工事関係綴』によると、昭和11年に量水器室南側敷地復旧工事が実施されているため、それ以前の建設が判明し、つくりから見ても昭和初期頃の建設と推察される。

(14) 量水器室内部にはベンチュリーメーターを残す。

(15) 緩速濾過池を備えた貯水池式の水源地は、長崎県長崎市の本河内水源地（明治24年）を嚆矢とするが、現在は急速濾過池に改変されている。旧美勢水源地の竣工以前に建設された緩速濾過池付の貯水池式水源地として、民間水源地では福岡県北九州市小倉区の道原水源地（大正2年）、軍用水源地では長崎佐世保市の田環堤（明治41年）の現存が確認されている。

参考文献

『鳥取県の近代化遺産』（鳥取県教育委員会1998年）
『日本の近代土木遺産［改訂版］』（土木学会2005年）

1.2.2 主要寸法（修理対象のみ）

建物名称	摘要	寸法
制水井上屋	梁間×桁行×棟高（m）	3.39×2.03×3.58
	平面積（㎡）	6.88
接合井	直径×棟高（m）	3.07×4.24
	平面積（㎡）	7.40
量水器室	梁間×桁行×棟高（m）	2.06×2.06×4.22
	平面積（㎡）	4.24
下流側管理橋	幅員×桁長（m）	2.35×12.62
上流側管理橋	幅員×桁長（m）	2.58×12.70
門柱	間口（m）	2.49

1.2.3 構造形式（制水井上屋）

概　要　1～4号は鉄骨鉄網モルタル造、5号は鉄骨鉄網コンクリート造。1階建、寄棟造。

平　面　濾過池西端中央に位置した東西に長い矩形平面とし、内部は一室。

構　造　1～4号は山形鋼及び平鋼をリベット接合した鉄骨造で壁と屋根を形作り、外壁側にラス網を垂線止めし、内外モルタル塗。5号は1～4号と同種の鉄骨で壁を、φ15丸鋼で屋根を形作り、外壁側にワイヤメッシュ及びラス網を取り付け、コンクリートを打設し、内外モルタル塗。

基　礎　濾過池縁石と同高さで廻る制水井天端の縁石（凝灰岩製布基礎石）に載る。1～4号は最下段の山形鋼を土台として布石に鬼ボルト止（5号は不明）。

屋　根　寄棟造、隅棟と大棟をモルタルで作り出す。両側面の屋根面に鋼製ガラリを嵌めたドーマー、棟両端に木製フィニアルを飾る。水下はパラペットを立ち上げて外側は庇、内側は内樋とし、背面一ヶ所に落口を設けてSUS製（当初：亜鉛めっき鋼板製）竪樋と接続し、雨水を濾過池内へ排出する。屋根面・パラペット内側・庇上面はポリマーセメント系塗膜防水とする（当初：外壁仕上げと同じ）。

外　壁　モルタル上に薄塗材、防錆ペースト、クリーム色のアクリル系ペイントを塗り重ねる（当初：モルタル上に薄塗材、クリーム色のノロがけ）。腰壁・付柱・開口額縁・庇プラケット・パラペット装飾等をモルタルで作り出す。

内　壁　天井は設けず屋根下面を化粧とする。躯体モルタル上に薄塗材刷毛引き仕上げ。

床　制水井の天端石となる凝灰岩製石敷、中央に鋼製蓋と調整バルブを設ける。

建　具　総て木製、油性ペイント仕上げ。正面に両開ガラス扉、側面に両開ガラス窓、背面に片開ガラス窓を設ける。

1.2.4 構造形式（接合井）

概　要　煉瓦造。1階建、屋根ドーム型。

平　面　円型平面、内部は一室。

構　造　煉瓦造木口積、壁厚1枚、外部モルタル塗。

基　礎　凝灰岩製布石に載る。

屋　根　ドーム型に組んだ帯鉄にラス網を垂線止めし、内外にモルタルを塗る。頂部にモルタルでフィニアルを作製する。水下は軒蛇腹を廻して内樋とし、背面一ヶ所に落口を設けてSUS製（当初：亜鉛めっき鋼板製）竪樋と接続し、雨水は構内に排出する。屋根面・パラペット内側・庇上面にポリマーセメント系塗膜防水（当初：外壁仕上げと同じ）。

外　壁　モルタル上に防錆ペースト、クリーム色のアクリル系ペイントを塗り重ねる（当初：モルタル上にクリーム色のノロがけ）。腰壁・アーチ飾り・軒蛇腹をモルタルで作り出す。

内　壁　壁は化粧煉瓦積、天井は設けず屋根下面が化粧となり、モルタル上にクリーム色のノロがけ。

床　中央の鋼製蓋が床を兼ねる。

建　具　総て木製、油性ペイント仕上げ。正面に両開ガ

ラス扉、側面及び背面に両開ガラス窓を設ける。

1.2.5　構造形式（量水器室）

概　要　鉄筋コンクリート造。1階建、寄棟造。

平　面　矩形平面、内部は一室。

構　造　鉄筋コンクリート造、鉄筋の詳細は不明。

基　礎　不明。

屋　根　寄棟造とし、隅棟及びフィニアルをモルタルで作り出し。水下は内樋とし、背面一ヶ所に落口を設けてSUS製（当初：亜鉛めっき鋼板製）竪樋と接続し、雨水は構内に排出する。屋根面・パラペット内樋・庇上面にポリマーセメント系塗膜防水（当初：洗い出し仕上）。

外　壁　付柱、腰壁、建具周り、パラペット等は洗い出し仕上、その他は煉瓦タイル張。

内　壁　白漆喰塗。

床　モルタル塗。

建　具　総て木製、油性ペイント仕上げ。正面に片開扉、側面及び背面に上下窓を設ける。

外　構　モルタル土間及び側溝を設け、その周囲を法面とする。

1.2.6　構造形式（下流側管理橋）(1)

構　造　I型鋼による鋼製二連桁橋、水道管を転用した橋脚付の3スパン橋。北側に送水管を併う。

床　版　鉄筋コンクリート造、アスファルト舗装。

手　摺　鋼製手摺。親柱はコンクリート造、モルタル洗い出し仕上、鋼製銘板取り付け。

基　礎　護岸石積に直接橋桁を載せる。

(1)　下流側の管理橋は今回工事に伴う構造補強によって橋の支持構造が大きく変更された。本項目では在来の構造形式を記述する。

1.2.7　構造形式（上流側管理橋）

構　造　I型鋼による鋼製二連桁橋、水道管を転用した橋脚付の2スパン橋。

床　版　鉄筋コンクリート造、モルタル仕上にポリマーセメント系塗膜防水（当初：仕上げなし）。

手　摺　鋼製手摺。親柱は鉄筋コンクリート造、モルタル洗い出し仕上。

基　礎　護岸石積に直接橋桁を載せる。

1.2.8　構造形式（門柱）

概　要　煉瓦造門柱、木製門扉及び袖塀付。

構　造　無筋コンクリート造基礎に凝灰岩製礎石を据え、見付2枚、見込1枚半の煉瓦を積み、凝灰岩製の笠石を載せる。煉瓦造部分内部に補強鉄筋（丸鋼）を設ける。

1.3　修理事業の概要

1.3.1　事業の経過と概要

経　過　平成19年に旧美歎水源地水道施設が重要文化財に指定された後、平成21年には、鳥取市が設置した旧美歎水源地水道施設保存整備基本計画検討委員会によって「重要文化財旧美歎水源地水道施設保存整備基本計画」が策定され、整備目標年代を昭和初期に設定するなどの基本方針や、文化財建造物の保存修理を行うなどの整備方針が示された。同時に、破損が著しかった制水井上屋と接合井へ仮設の覆屋が設けられた。

建造物の保存修理工事は、平成22年度の現況調査、平成23～24年度の調査工事を経て、平成25～29年度に実施された。いずれも鳥取市の直轄工事とし、公益財団法人文化財建造物保存技術協会に委託した。また、平成25年度には「重要文化財旧美歎水源地水道施設保存活用計画」が策定された。

上記の諸計画については、鳥取市が設置した「旧美歎水源地水道施設保存整備検討委員会」が指導・助言を行うとともに、建造物の保存修理に関しては特に「建造物保存修理専門部会」が設置された。

調査工事の概要　前述の調査工事は、建物の使用の把握や破損原因の究明を目的とした各種調査及び耐震診断を行った（表1.3）。本報告書では、その一部を再構成して掲載した。

保存修理の概要　重要文化財旧美歎水源地水道施設のうち、主に破損が進行している建築物および土木構造物のうちの橋梁について、保存修理を行った。

保存修理工事は国庫補助事業とし、平成25年4月24日から平成30年3月31日まで、59ヶ月の事業期間と、事業費295,817,317円を要して行われた。

修理方針は部分修理とし、修理を実施することにより、耐震性能として「復旧可能水準」を回復することを目的とした。現段階では、活用は長時間の滞在を目的としないため、耐震補強は行わなかった。ただし下流側管理橋では公開時の通行に供するため、支承や橋桁の変更等の構造補強を行った。

敷地や濾過池については、修理完了後の維持管理および公開活用を考慮して、5号濾過池が完成した頃の景観に準じて整備した。

表1.3 調査工事における各種調査内容

調査項目	調査概要	量水器室	接合井上屋	制水井1号上屋	制水井2号上屋	制水井3号上屋	制水井4号上屋	制水井5号上屋	下流側管理橋	上流側管理橋
1.目視・打診調査	屋外、屋外の壁面、天井および屋根のひび割れ等の損傷を目視確認するとともに、打診ハンマーを用いて浮き・はく離等の範囲を確認した。損傷は図面に記録し、代表的な損傷について写真撮影を行なった。また、補修数量の集計のため、部分的に損傷の範囲や長さも記録した。	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2.コンクリート圧縮強度調査	コンクリートコア（直径約80mmあるいは45mm）を壁から採取し、圧縮強度試験を行なった。なお、壁のコンクリート躯体あるいはモルタル躯体厚さを確認するため、壁を貫通させてコアを採取した。また、コア採取後の貫通孔は無収縮モルタルで復旧を行なった。	2 φ80mm	－	1 φ45mm	2 φ45mm	1 φ45mm	1 φ45mm	3 φ45mm	3	3
3.コンクリート中性化深さ調査	圧縮強度試験用コアを圧縮試験後割裂し、1%フェノールフタレインエタノール溶液を割裂面に噴霧して中性化試験を行なった。	2	－	1	2	1	1	3	3	3
4.配筋調査	電磁波レーダ法により、壁あるいは屋根の鋼材間隔を推定した。	2	－	－	3	3	－	3	3	3
		2	1	－	3	3	－	3		
5.屋根スラブ厚調査	小径コア（直径約25mm）により屋根を削孔し、採取コアの長さや貫通孔の深さをスケールで実測して屋根の厚さを確認した。	－	－	－	1	－	－	1	－	－
6.鉄骨（鋼材）腐食調査	柱形（建物角部）の両面を20cm程度はつり取り、鉄筋あるいは鋼材の腐食状況を目視確認した。	－	－	－	－	1	－	1	－	－
7.基礎部掘削調査	建物外周部・柱脚の土を掘削し、土家の接合部分・柱脚の基礎状況を確認した。	－	1	1	1	－	－	1	1	1
8.鋼材分析調査	脱落した部材を採取し、鋼材の組成分析を行なった。	－	－	－	2	－	－	－	1	－
9.レベル調査	梁形天端および床上面でレベル測定、壁面で傾斜の測定を行い、不同沈下（傾斜）の傾向を確認した。	－	○	－	－	－	－	－	－	－
10.練瓦圧縮強度調査	練瓦（壁）の目地をカッターで切断し、圧縮強度試験用の試験体を採取した。	－	3	－	－	－	－	－	－	－
11.黒色付着物の分析調査	屋根に付着している黒色付着物を採取し分析を行ない、付着物の物性を確認した。	－	1	－	－	－	－	－	－	－
12.モルタル躯体の推定調合調査	壁に使用されているモルタル躯体の配合推定および分析を行ない、モルタル躯体の物性を確認した。	－	－	－	3	－	1	－	－	－
13.練瓦壁の目地せん断強度調査	練瓦（壁）の目地位置をコアボーリング（直径約80mm）で円筒状に採取し、目地せん断強度試験用の試験体を採取した。	－	3	－	－	－	－	－	－	－
14.赤色塗料の分析調査	屋根の赤色塗料の分析を行ない、赤色の物性を確認した。	－	1	－	－	－	－	－	－	－
15.鉄骨部材厚さ測定調査	上部工は桁、下部工は丸柱および水平材の鋼材の残存肉厚を超音波厚さ計で測定した。（測定は腐食程度ごとに行ない、1箇所あたり3点測定してその平均値を算出した。）	－	－	－	－	－	－	51	38	
16.耐震診断	1.5m²の積載荷重と地震時の水平力に対して復旧可能水準が確保されているかを確認した。	○	○	○				○	○	○

1.3.2 請負工事工程表 1マス3ヶ月とする

	平成25年度				平成26年度				平成27年度				平成28年度				平成29年度			
仮設工事																				
制水井1号上屋																				
制水井2号上屋																				
制水井3号上屋																				
制水井4号上屋																				
制水井5号上屋																				
接合井																				
量水器室																				
下流側管理橋																				
上流側管理橋																				
門柱																				
敷地整備																				

1.3.3　事業関係者

事業主

鳥取市　市　　長	竹内　　功（～平成25年度）	
	澤　義彦（平成26年度～）	
鳥取市教育委員会		
教育長	木下　法広（平成25～28年度）	
	尾室　高志（平成29年度～）	
文化財課　課長	林　佳文（平成25年度）	
	森下　俊介（平成26～27年度）	
	冨田　恵子（平成28年度～）	
課長補佐兼文化財専門員		
	佐々木孝文	
主幹	中島　　泉（平成25～28年度）	
技師	岡垣　頼和（平成29年度）	

指導・監修

重要文化財旧美歎水源地建造物保存修復部会検討部会

部会長　名古屋工業大学教授	麓　　和善
委　員　名古屋大学名誉教授	谷川　恭雄
委　員　国土交通省国土技術政策総合研究所住宅部長	長谷川直司
オブザーバー	
文化庁　文化財部参事官（建造物担当）付調査官	清永　洋平
鳥取県　教育委員会事務局文化財課文化財主事	松本　絵理
鳥取県　県土整備部　維持管理課	
治山砂防課	
鳥取市水道局	

設計監理

公益財団法人文化財建造物保存技術協会	
理事長	高塩　　至
理事長（前）	佐々木正峰
監　督	小林　裕幸
主　任	内海　勝博
主任補佐	遠藤　　優
有限会社安芸構造計画（構造検討）	古川　　洋

請負工事

株式会社藤木工務店倉敷支店　支店長	伊澤　健二
現場代理人	真名子　壮
協力業者	
仮設・木工事	原田建築㈱（鳥取市）
	マルイチ㈱（鳥取市）
躯体補修	山陰建設サービス㈱（米子市）
防水工事	大和防水㈱（岡山市）
鉄骨補修	大照建工㈱（鳥取市）
基礎工事等（下記以外）	原田建設㈱（鳥取市）
（深礎）	㈱河野組（倉敷市）
（石積み）	㈱万楽園（岡山市）
曳家工事等	仁志組（倉敷市）
木工事	㈲布川商店（倉敷市）
建具工事等（下記以外）	新東住建工業㈱（岡山市）
	㈲布川商店（岡山市）
	㈱ホリグチ（倉敷市）
（門柱）	㈲藤建具店（岡山市）
雑工事（フィニアル）	㈲実盛木彫堂（岡山市）
ガラスパテ工事	平田ガラス（倉敷市）
金属工事	㈱ユーエムホンバニー（岡山市）
補足木材納入	中商㈱（江南市）
木材含浸処理	九州木材工業㈱（筑後市）
補足金具作成	㈱大谷相模接鋳造所（大阪市）
	㈱藤井工業（倉敷市）
ロールスクリーン納入	㈱メタコ（東京都）
塗装工事（油性ペイント）	㈲鳥津漆彩色工房（広島市）
（管理橋橋桁等）	電気硝子建材㈱（広島市）
	㈱アイテク（堺市）
（制水井壁等）	コンクリ工房 T-STYLE（福山市）

1.3.4　事業費

単位：円

総事業費	295,817,317
主たる事業費	295,368,360
修理工事経費	250,031,680
量水器室	5,586,840
接合井	16,990,480
制水井1号上屋	14,395,988
制水井2号上屋	18,723,920
制水井3号上屋	14,152,600
制水井4号上屋	14,122,840
制水井5号上屋	15,314,202
門　柱	7,530,840
下流側管理橋	66,847,680
上流側管理橋	31,449,600
敷地整備	42,720,278
共通工事費	2,196,412
設計料及び監理料	45,336,680
その他の経費	448,957

2章　沿革とシステム

2.1　概要

旧美歎水源地水道施設は、大正4年から昭和53年までの63年間にわたって鳥取市へ上水を給水していた上水道施設である。明治44年の水源地調査着手から現在までの沿革を、今回修理対象となる施設を中心に、表2.1および図2.1にまとめた。また、昭和53年の給水停止時における水道施設の主なシステム概要図を図2.2に示す。

大正4年竣工時の主な施設は、美歎川の上流を土堰堤で堰き止めた貯水池と、その原水を緩速濾過するための4所の濾過池であった。その後、大正7年の水害によって決壊した土堰堤が重力式コンクリートダムへ築き直され、昭和2年には水道使用量の増加を受けて5所目の濾過池が増設された。この時の施設群が、現在まで概ね保存されている。以下では、現存しないものを含め、各施設の沿革とシステムを述べる。

2.2　沿革とシステム

貯水池堰堤　前述のように、現在の堰堤は大正7年水害後に築かれた重力式コンクリートダムである。築造時は貯水池側に突出したストレーナから取水した原水を各濾過池へ給水していたが、平成11年に砂防ダムへと機能変更された際に濾過池へ給水する機能は失われた。機能変更に伴う改変点は、貯水池側へのコンクリート打ち増し、階段新設、上部欠き取り、法面への放水口新設である（図23～24）。

取水塔　取水塔は大正4年に土堰堤と同時に築かれた煉瓦造の円筒形構造物で、貯水池の中に建つ。当時は取水機能があったはずだが、大正7年以降は堰堤自体に設けられたストレーナから取水することになったため、取水塔の機能は失われ、そのまま現在に至っている。

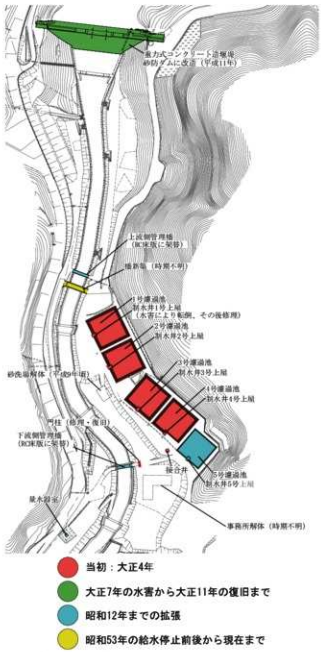


図2.1　水道施設の変遷

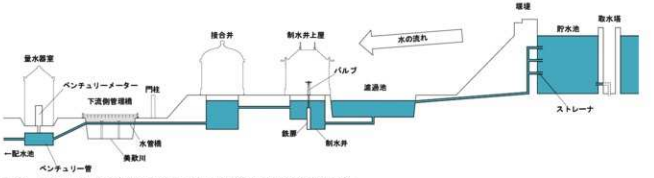


図2.2　旧美歎水源地水道施設のシステム概要図（昭和53年の給水停止時）

美歎川上流量水堰・通り谷量水堰　いずれも貯水池の上流側にある小規模な堰堤で、コンクリート造の堤防が残存する。かつては堤防に流量計が設けられていたとされるが、現在は失われている。年代は不明。

濾過池・制水井　前述のように、5所の濾過池（北から1号～5号と称す）のうち1～4号は大正4年の築造だが、5号は水道使用量の増加に対処するため、昭和2年に増設されたものである。いずれも貯水池から供給された原水を緩速濾過[1]によって濾過する機能を担う。「鳥取市水道60年史」によれば、当初の濾過池4所のうち1所は予備池であり、一昼夜の給水能力は3所合せて12万立方尺（約3,340m³）であった。

各濾過池西面の地下に制水井が設けられる。内部は鉄扉で区切られた2室で構成されており、地上部のバルブで鉄扉を開閉することで、濾過池からの給水量を調整することが出来る。上部は開閉可能な鉄蓋で閉じられている。

制水井上屋　制水井を保護するため、その真上に建てられた上屋である。凝った洋風の意匠が施されていることから、制水井の保護のみならず、近代水道施設を象徴するシンボルとしての役割も果たしたのではないかと思われる。そうした意匠の上屋は、柴島浄水場（大正3年、大阪市）や忌部浄水場（昭和4年、松江市）など、全国に複数例が確認できる。

いずれも濾過池や制水井と同年代の建物で、後世の改変としては、木製建具に塗られたペンキの色の変更、屋根に取り付くフィニアルの欠失、外壁へのリシン塗り増し等が挙げられる。大正7年水害時には、貯水池に最も近い1号上屋が洪水に流されて転倒した様子が古写真に写っている。現在の1号上屋は、転倒した建物を建て起こしたもので、その痕跡が腰回りの鉄骨材に見られる（写3.3.1.6）。

砂洗い場（残存せず）　1号濾過池西側に建っていた木造建造物で、緩速濾過機能を維持するために必要な濾過砂の洗浄を行っていた。大正4年の建築で、給水停止後もしばらく建っていたが、平成9年頃に解体され、現在は煉瓦造の基礎の一部が残存している。本修理工事と併行して実施された環境整備事業で、同位置に建物の旧状を模したガイダンス施設が建てられた。

接合井　円筒型のコンクリート造地下構造物と、その上に建つ円筒形の煉瓦造上屋で構成されており、5所の濾過池で濾過された上水を1箇所に集水する機能を担う。

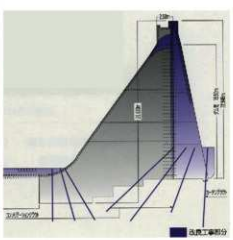
大正4年の建築で、制水井上屋と同様、地上部は洋風の凝った意匠とする。後世の改変としては、木製建具に塗られたペンキの色の変更、外壁へのリシン塗り増し等が挙げられる。

排水井　濾過池制水井から接合井へ至る配管経路上に設けられたコンクリート造のマンホールで、縁石を廻し縞鋼板の蓋をする。各濾過池造成時のものと思われる。

石造擁壁　水道用地東側に接する山裾に設けられた擁壁で、5号濾過池付近から貯水池の北側まで断続的に石積みが確認できる。古写真により、水道用地の敷地造成時に築造されたことが分かる。5号濾過池付近のものは石造ではなく石風に目地を切ったモルタル造である。

管理橋2基　水道用地西側に流れる美歎川に架かる管理用の橋である。指定説明によると、現在の橋は貯水池堰堤取水塔取付桟橋の材料を用い、大正7年水害の復旧時に作成されたものとされ、水害時の古写真にもその存在が確認できる（写2.1）。

下流側管理橋には水管橋を伴う。親柱に取り付く銘板に「水道橋」と記されていることため、橋は配水管の架空が主目的であるといえる。上流側管理橋では、馬車等



左：図2.3　堰堤断面図（大正7年水害復旧に伴う築造図、鳥取市水道局蔵）
右：図2.4　同上（平成11年砂防ダムへの改変図、完成時のパンフレットから転載）

写2.1　管理橋部材の前身である貯水池堰堤取水塔取付桟橋（大正7年水害時の古写真の一部）

の通行に支障をきたしていた手摺[2]が大正15年に交換された。2基とも当初は木造床版だったが、下流側は昭和5年、上流側は昭和12年に、現状の鉄筋コンクリート造床版へ架け替えられた。現在では、上流側管理橋の南側に架けられた新たな橋が、実質的な管理橋として使用されている。

門　柱　下流側管理橋を渡った水道用地の入口に建つ正門である。大正7年以前の建築で、大正7年水害後は大正10年に復旧工事が行われ、既存の門柱や木製門扉の修理が行われると共に、門扉両脇に木柵が復旧された。現状では木製門扉が鉄製門扉に改変され、木柵が欠失していた。

事務所（現存せず）　門柱を入って右手に建っていた木造建造物で、L字に配された複数棟からなっていたことが古写真等から判明する。大正4年の建築で、事務所機能を有していたと思われるが解体時期などは不明。

量水器室　水道用地南端に位置し、上水の供給量を記録する機能を担う。建物は地中に設けられたベンチュリー管[3]の真上に建ち、室内には後補のベチュリーメータが残存し（写2.2）、床には計測管を送水管に取り付けるための開口が残る。量水器室を通過した上水は、鳥取市内の長田山配水池へ送られ、そこから市内へ配水されていた。

現存の建物は昭和11年まで確認できないが、その機能を考えると、同等の建物は当初から存在していたはずである。後世の改変は外壁洗い出し部の補修を除いて殆ど行われていない。

(1) 緩速濾過とは、砂と砂利層に原水を透過させて浄化する濾過方法で、定期的な砂の洗浄が必要となる。

(2) 『大正十五年工事関係綴』所収の『美歎水源地岩ヶ平橋梁修繕工事設計書』（大正15年3月）に、それまでの手摺では「馬車牛荷通行ノ毎ニ手摺及男柱等ヲ損破」して不便なので、高さが低い手摺に替えると記されている。なお下流側管理橋の手摺は交換されないまま現在に至っている。

(3) 管径をやや急激に絞り、その後やや緩やかに拡大させた管。この管を管路に取り付けて流体を流すと、入口部と最小径部との間に圧力差を生ずるので、これを利用して流量を測定するのに用いられる（建築大辞典　第2版）。

写2.2　量水器室内に残存するベンチュリーメーター
水道機工株式会社（昭和21年に社名変更）製。従って機器自体は昭和21年以降の後補材である。昭和53年3月27日の給水量が記された記録紙が内部に残存している。

表2.1　旧美歎水源地水道施設に関する略年表

年代		水道施設全体	制水井1～5号上屋	接合井上屋	量水器室	管理橋2基	門柱	出典
1911	明治44	水源地調査着手						A
1912	大正元	起工						
1913	大正2		1～4号起工	起工				B
1915	大正4	貯水池堰堤（前身）竣工	1～4号竣工	竣工				A
		給水開始						C
					（前身）竣工			D
1916	大正5	美歎川上流量水堰・通リ谷量水堰竣工						E
1918	大正7	水害により貯水池堰堤等が崩壊	水害により1号転倒					FG
1919	大正8	水害復旧工事起工						H
1921	大正10		復旧竣工					H
							竣工	I
1922	大正11	復旧工事、貯水池堰堤（現状）竣工						FG
						竣工（2基共）		指定説明
1923	大正12	鳥取水道記功碑竣工						G
1926	大正15昭和元					上流側橋の床版・高欄・親柱修繕		J
1927	昭和2		5号起工、同年竣工					K
1930	昭和5					下流側橋床版取替		銘板
1936以前	昭和11以前				（現状）竣工			L
1937	昭和12					上流側橋床版取替		M
1978	昭和53	給水停止						N
1989	平成元	用途廃止						
1992～1999	平成4～11	貯水池堰堤の砂防ダムへの改良工事着手						
2007	平成19	重要文化財指定						官報告示
2009	平成21	保存整備基本計画策定						
2011～2013	平成23～25	調査工事実施						
2013	平成25	保存修理工事着工						
2014	平成26	保存活用計画策定						
2017	平成29	保存修理工事竣工						

出典凡例

A：「鳥取市水道工事報告」　B：「工事着手届」　C：「給水量報告之件」　D：「重要文化財旧美歎水源地水道施設保存整備基本計画報告書」　E：「貯水池上流字通リ谷量水堰新設工事他一廉延期許可ノ件」「検査済報告」　F：「日本水道史」　G：「鳥取水道記功碑」　H：「工事竣功報告」　I：「濾過池表門及び水栅復旧工事関係資料」　J：「検査報告 美歎水源地岩ヶ平橋梁修繕工事」　K：「鳥取市水道60年史」　：「量水器室南側敷地復旧明細書」　M：「竣功届 岩美郡宇倍野村大字美歎鳥取市水道水源地構内美歎川筋白銀橋復旧工事」(1)　N：「美歎川都市砂防工事」

(1)　添付図面より、上流側管理橋を示していると判断した。

3章　調査・設計事項

3.1　地盤調査

3.1.1　調査目的と地盤構成

修理工事に先立ち、旧美歎水源地水道施設の地形・地質状況を把握するため、機械ボーリング（66φ×8箇所）、標準貫入試験（8箇所）、観測井戸設置（3箇所）を実施した。

調査地の地盤は、新生代新第三紀中新世の「普含寺泥岩層」に属する頁岩（Sh）を基盤とし、その上位には新生代第四紀更新世～完新世の礫質土を主体とする崖錐・河床性堆積物（dt）、現世の粘性土や礫質土を主体とする盛土層（B）が覆っている（図3.1.2）。

3.1.2　各層の特徴

盛土層（B）は、敷地造成時の盛土であり、層厚2.5～6.0mに分布している。土質は主に砂礫により構成され、所々に玉石や転石（礫径20～30cmと推測）を含む。また礫の間を埋めるマトリックスは、砂質粘土～粘土質中砂よりなり、粘性を有している。含水量は、中位程度の状態にある。また、ボーリング地点によっては1.0～1.7mの盛土層（B）、2.5～2.7mの崖錐・河床性堆積物（dt）には、淡灰色を呈する粘土を挟在しており、土性は非常に硬質であるが、五号については、この層が地すべりを発生させるすべり面となる可能性がある。

崖錐・河床性堆積物（dt）本層は、後背の山地や「美歎川」より供給された崖錐性および河床性の堆積物であり、層厚0.7～6.3mで分布している。ボーリング地点の複数箇所で、大正7年の水害時に削剝されていると推定される。土質は、角礫～亜角礫を主体とする砂礫より構成され、所々に玉石や転石（礫径30～50cmと推測）を含む。また礫の間を埋めるマトリックスは、砂質粘土～粘土質中砂よりなり、粘性を有している。含水量は、中位～やや多い状態にある。N値は15～57とばらつきが大きいが、概ねN値20～30程度の「中位」の部分が主体となっている。

基盤岩（Sh）は、主に頁岩より構成され、風化の影響により、上位の強風化頁岩（W1-Sh）と、下位の風化泥岩（W2-Sh）の2層に区分される。強風化頁岩（W1-Sh）岩相は、著しい風化の進行により、土砂状を呈する頁岩よりなり、層厚0.7～6.8mで分布している。N値は22～40（一部50以上）で、粘性土としては「非常に硬い」～「固結した」土性を示している。

風化頁岩（W2-Sh）は、深度3.3～9.0m以深に広く分布している。岩相は、比較的新鮮な頁岩よりなり、岩片は非常に硬質な状態を呈する。また、一部は風化による軟質化が進み、粘土質細砂状に砕ける部分を伴う。N値は51～貫入不能で、非常に強固な状態を示している。

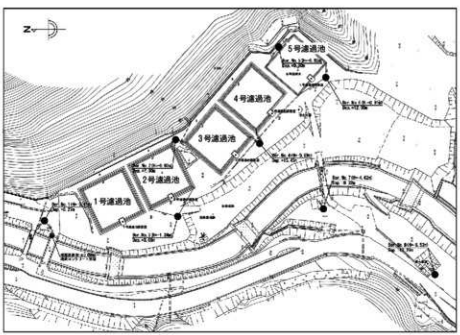


図3.1.1　土層断面位置図

地質時代		地層名		記号	土質・岩相	N値
現世		盛土層		B	砂混じり粘土～粘土質砂礫（玉石・転石伴う）	2～25
新生代	第四紀 更新世～完新世	扇積・河床性堆積物		dt	礫混じり砂質粘土～粘土質砂礫（玉石・転石伴う）	15～47
	新第三紀 中新世	基盤岩	強風化頁岩	W1-Sh	凝灰シルト状～砂礫状	22～40
			風化頁岩	W2-Sh	D級（土砂状岩） 粘土質細砂～短棒状コア D～CH級（軟岩Ⅰ～Ⅱ）	（一部50以上） （一部50以上） 51～貫入不能

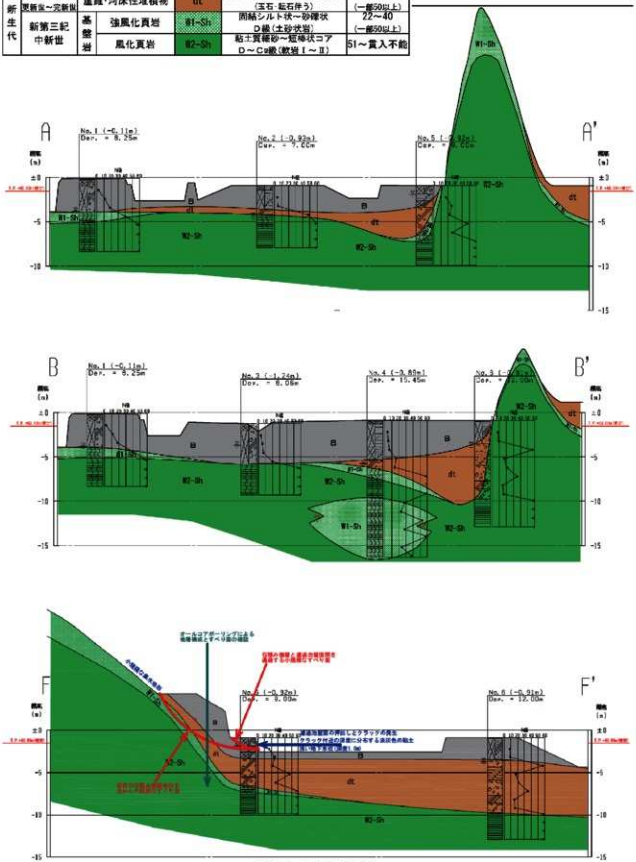


図3.1.2　土層断面想定図

3.1.3 各層の分布

土層断面想定図A-A'およびB-B'は敷地南北方向の地盤断面を表し、A-A'は濾過池の東側、B-B'は西側を示している。A-A'およびB-B'ともに、各層の分布と層厚は近似した傾向となっている。また、各建造物の支持地盤である盛土（B）に層厚の大きな変化や、傾斜地での分布が無いこと、盛土の支持地盤である崖錐・河床性堆積物（dt）や、基盤岩（W1-Sh、W2-Sh）についても安定した層を形成している。

一方、5号濾過池東西方向の地盤断面を示したF-F'については、敷地西側の山地を切土造成して建設しているため、盛土が山側の傾斜面に分布しており、不安定な地盤を形成している。

3.1.4 地下水位

地下水位は深度1～5m程度以深の盛土層（B）下部から、崖錐・河床性堆積物（dt）中に帯水している。

表3.1.1 ボーリング調査による坑内水位

調査番号	深度	測定条件
No.1	3.70m	無水掘り水位
No.2	3.50m	洗浄後水位
No.3	2.45m	洗浄後水位
No.4	4.87m	洗浄後水位
No.5	1.00m	洗浄後水位
No.6	2.85m	泥水水位
No.7	2.55m	洗浄後水位

3.1.5 5号濾過池東側側壁の変形

5号濾過池は、1～4号濾過池の建設後に追加して建造されたものであり、敷地南端に張り出す尾根の北側を切土造成して建設されている。5号濾過の東側側壁は、西側方向に押出されるようにはらみ出しており、壁面中央付近で20cm以上の変形が発生している（図3.1.5、写3.1.1）。

写3.1.1 5号濾過池東側壁のはらみだし（雑草除去後）

また、側壁天端から下方1.0～1.5m程度の位置に水平方向のクラックが認められる。クラックより下の部分については、変形が認められず、水平方向のズレが生じている（写3.1.2）。ボーリング調査ではこの位置に淡灰色の粘土の分布が確認されている。この粘土はN値22と非常に硬質であるが、東側斜面上部の小規模な集水地形のため、水を含むことで緩む可能性がある。このため濾過池側壁を結ぶ粘土層がすべり面となり、側壁に変形を生じさせたと思われる。その詳細を把握するためには、上段部においてオールコアボーリングによる追加調査を実施し、すべり面とその発生機構を把握することが望まれる。

写3.1.2 5号濾過池東側壁煉瓦のクラック・段差

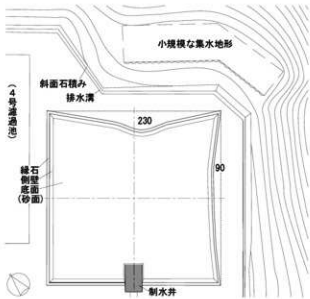


図3.1.5 5号濾過池縁石はらみ出し図
数字は各面の最大はらみだし実測値（mm）、10倍に図示

3.2　破損調査とその原因

3.2.1　制水井上屋

地盤・基礎　上屋が乗る制水井内部の観察において、沈下やひび割れ等の変形、破損はみられなかった。こられがのる制水井では濾過池と一連の広いコンクリートベース上に構築されている。地盤は表層から6mまでが盛土で、概ねN値10未満の「緩い」部分が主体となっているが、下層にはN値20～30程度の崖錐・河床性堆積物層および基盤岩であるN値20以上の頁岩層がある。このため、濾過池は全体的に安定しているものと考えられる。

制水井上屋の躯体にはエフロレッセンスが生じているが、特に亀裂や沈下はみられず、健全な状態を保っており、上屋の基礎としては安全であると考えられる。

上屋の基礎石は凝灰岩のため、外部雨掛かり部分の表面剥離が著しく、角が欠けたものが多く見られる。ただし大きな亀裂や割損はなく、構造上は問題ないと思われる。

構造体（1～4号）　鉄網モルタル造の屋根や庇、内外の壁に亀裂やモルタルの浮き・剥離が生じており、壁内部の鋼材が錆びて膨張したことによる爆裂が随所で発生していた。特に2号は、腰壁や柱型部分の崩落が著しく、一部の山形鋼は降伏しており、建物が正面側に向かって傾斜していた。パラペットの笠石やオーナメントは部品をモルタルで貼り付けており、これが脱落している箇所があった。庇は水が廻り込み、天端、鼻先、持ち送りのモルタルに浮きや剥離が生じ、剥落も著しい状態だった。内部の帯鉄は錆が著しく、一部の断面が失われていた。内部壁面や天井面は山形鋼の小口及び帯鉄等の発錆により格子状のひび割れが生じていた。

構造体（5号）　鉄網コンクリート造の屋根にアスファルトルーフィングを張り、この上にモルタルを塗っていたために、ルーフィング面でモルタル塗が剥離、崩落していた。外壁面は多くのひび割れが多く生じていたが、1号～4号のような剥落はみられなかった。内部は格子状のひび割れが目立ったが剥落等は生じていなかった。屋根の下面には爆裂が生じており、錆びた鋼材が露出している状態であった。

各上屋ともひび割れからエフロレッセンスが生じていた。また、外部塗装面には、雨だれによる汚損や経年劣化による剥落が生じていた。背面は竪樋が破損、欠失しており、屋根面の雨水が壁に掛かることによる汚損や、内部鋼材の発錆・膨張、壁の爆裂・剥落を誘発していた。

構造体以外　建具は保存のため近年取り外して別途保管されているが、框、桟、戸板、額縁に摩耗や破損、腐朽が生じており、ガラスは大半が欠失していた。蝶番や戸締り金具には発錆や曲がりなどの破損が生じており、一部は欠失していた。

屋根頂部には、古写真によって2本のフィニアルが飾られていたことが判明し、棟にはこれを差し込んでいた枘穴の跡が残っていた。

内部の床となる制水井上蓋の縞鋼板は、1～4号のものについては、黒色塗装が剝がれて錆を生じており、開閉が困難なものが多かったが保存は可能な状態にあった。5号のものは全体の発錆が著しいうえに厚みが減少し、穴もあいており、歩行が困難なほど全体的に腐食が進行していた。これを支える I型鋼も同様に腐食が著しく、保存が難しい状態であった。

制水バルブは黒色塗装が劣化して錆が生じていた。ハンドルは下部の制水装置の錆び付きにより固着しているため、回転できないものが多かった。制水井内部の防水モルタルは剝離しており、鉄扉は全面的に発錆していた。

破損の原因　鉄網モルタル（コンクリート）造の破損は鉄骨及び鉄網の発錆・爆裂に起因するが、その原因は次のとおりと推測された。

(1) ひび割れ部分から浸入した雨水や積雪等の水分による。
(2) モルタル充填不足箇所の結露水による。付柱部分では特に空隙が大きい（3.3.1 参照）
(3) モルタルの中性化により鉄骨表面の不動態皮膜が破壊されたことによる。ただし、これが明らかな破損原因であるといえるのは制水井2号上屋のみである（3.4.2 参照）。

なお、制水井5号上屋の屋根では、ルーフィングの上にモルタルを塗るという仕様そのものが破損原因である。

基礎石、犬、建具などの破損は経年劣化といえるが、特に窓の下枠は、浸入した雨水が外部に抜けない納まり（図3.3.1.3）が破損を促進している。基礎石の破損は劣化しやすい凝灰岩（新井石）を使用していることが原因で、濾過池縁石、接合井基礎、門柱基礎石及び笠石でも同様の破損が生じている。

制水井5号上屋と接合井（後述）内部の鉄蓋破損が1～4号の鉄蓋より著しいのは、南西に斜面が迫っており湿気が溜まりやすいという立地条件も影響していると思われる。

表3.2.2 接合井の沈下・傾斜測定結果

部位	沈下量(1) (mm)	沈下量/部位直径 (rad)
パラペット天端	-65	1/51
礎石天端	-55	1/61
部位	傾斜量 (rad)	
正面側壁	1/43	
背面側壁	1/54	

(1) 背面側を0とした時の正面側の相対沈下量

3.2.2 接合井

地盤・基礎　地下コンクリート躯体の沈下が躯体の傾斜につながり、正面側へ1/51沈下、壁面は1/43傾斜している（表3.2.2）。敷地内でこれほど傾斜している建物は他にないことから、沈下原因は不明である。

上屋の基礎となる礎石は凝灰岩のため、正面の扉付近で表面剝離が著しく、角が欠けていた。ただし、その他の箇所では大きな亀裂や割損はなく、構造上は問題ないと思われる。

構造体　外壁モルタルに水平クラックが入っているが、煉瓦躯体の目地モルタルには特に破損は見られないことから、仕上げ材のひび割れと考えられた。屋根の屋外側については、中古に補修された仕上げモルタルの浮きや剝落、ひび割れが生じていた。屋内側の下面には同心円状及び放射状のひび割れが発生していた。これらはモルタル内部の鋼材の位置と重なることから、内部の鋼材の発錆が原因と思われた。ただしモルタルに大きな浮きは見られないことから、発錆自体は軽微なものと考えられた。

仕上げモルタル表面には、白色リシン状の仕上げ材が塗られており、塗膜層の浮きや剝離、剝落が生じていた。

内部床に設置されている接合井上蓋の縞鋼板は、全面の発錆が著しく、厚みが減少して穴があいている箇所があり、歩行が困難なほど全体的に腐食が進行していた。これを支える I 型鋼も同様に腐食が著しく、保存修理が難しい状態であった。

構造体以外　竪樋が破損しており、雨水が壁面を汚損していた。竪樋は上屋背面側に取り付くが、前述のように上屋全体が正面側に傾斜しているため、内樋が逆勾配になり、排水が機能せず、正面に雨水が垂れては壁面を汚損していた。

建具は保存のため近年取り外して別途保管されていたが、出入口戸の框、桟、戸板、額縁に摩耗や破損、腐朽が生じており、ガラスは大半が欠失していた。

蝶番や戸締り金具に発錆や曲がりなどの破損がみられ、一部が欠失していた。窓は比較的保存状態が良いものの、部分補修や塗装直し、金具の調整等が必要な状況にあった。

破損の原因　基礎の沈下原因は不明だが、沈下の進行はしていない（表3.5.4）。鉄網モルタル造の屋根や、樋、建具などの破損原因は制水井上屋と共通する。

3.2.3 量水器室

構造体　コンクリート躯体の仕上げ材として施工されている屋外側の煉瓦タイルおよび洗出し仕上げ面に、ひび割れ、浮き、欠損が部分的に見られた。洗い出し仕上げ面の破損は主に屋根の隅棟とパラペット上角及び庇上面に集中していた。その発生程度も比較的軽微であることから、これらの劣化や破損は仕上げ材に留まると考えられた。煉瓦タイルの目地や洗出し仕上げ面では、経年により表層から劣化が進行し、化粧目地の部分的な欠損や、降雨や日射の影響を受けやすい洗出し仕上げ面で破損が発生していた。

屋根については、表面のモルタル塗りに浮きが生じていた。

屋内には幅0.3mm程度のひび割れや漏水、鉄筋腐食によると推測される錆汁の発生、部分的なモルタル仕上げ材の浮きが発生していた。一部にコンクリート躯体を貫通する水平ひび割れや、部分的な鉄筋腐食が発生していた。

構造体以外　建具において木部の腐朽、ガラス割れ、塗装の剝がれが発生していた。屋外側に設けられている鉄格子では、表面が発錆し、格子枠では雨が溜まる下部に断面欠損を伴う発錆が部分的に認められた。雨樋については縦樋が欠失しており、壁面の汚損の原因となっていた。

破損の原因　いずれも経年劣化といえるが、パラペット上角や庇上面に見られる仕上材の破損は、積雪の影響が大きい。躯体の水平ひび割れの原因は明らかでないが、コンクリート打ち継ぎ部位の可能性が高い。

3.2.4 下流側管理橋

床版　表面のアスファルト舗装は、経年摩耗・劣化により粗骨材が露出していた。床版の鉄筋コンクリートは、両端部に立ち上がりを設けず、雨水や融雪水が小口に流れ、表層のセメントが洗い流されて骨材が露出していた。下端は豆板がみられ、細かいひび割れが生じていた。

手摺　手摺の親柱は昭和5年の床版と同時期のもので、仕上げモルタルの浮きや剝がれが生じており、エフロ

写3.2.1 鉄骨の発錆・モルタル剥落（制水井2号上屋庇）

写3.2.2 装飾部材の脱落（制水井2号上屋パラペット）

写3.2.3 格子状のひび割れ（制水井1号上屋内壁）

写3.2.4 腰壁の破損（制水井2号上屋内壁）

写3.2.5 換気口の欠失（制水井2号上屋屋根）

写3.2.6 格子状のひび割れ（制水井2号上屋天井）

写3.2.7 防水層保護モルタルの剥離（制水井5号上屋屋根）

写3.2.8 鉄筋の発錆（制水井5号上屋天井）

写3.2.9 制水井鉄蓋解体状況（制水井5号上屋）

写3.2.10 建具解体材保管状況（制水井・接合井）

写3.2.11 接合井鉄蓋解体状況

写3.2.12 左：外壁の汚損 右：水平クラック（量水器室）

写3.2.13 橋桁腐食（下流側管理橋）

写3.2.14 同前、フランジ端部の層状腐食

写3.2.15 橋桁腐食（上流側管理橋）

写3.2.16 RC造床版下面の破損（上流側管理橋）

写3.2.17　手摺破損（上流側管理橋）

写3.2.18　右岸側橋台石積の乱れ（上流側管理橋）

レッセンスが析出していた。手摺に塗られた白色の塗装が劣化して全体に錆を生じており、腐食により折損や欠損に至っている箇所があった。

橋桁　支承付近を中心として、全体的に著しい発錆膨張、減肉、断面欠損が生じており、こうした破損は今後も急速に進行するものと考えられた。I型鋼のフランジでは層状腐食が観察された。構造的な要所の腐食が進んでいたので、部材の破断や座屈により破壊に至る危険な状態にあった。

橋脚上の支承　鋳物製と思われる支承部材は全体に発錆しているが、圧延材である橋桁と比べて腐食は少なく、断面欠損はほとんどみられない。ただし、緊結ボルトやナットが錆びており、膨張や割れが生じているものがあった。

橋脚　鳥取市水道局のマークが陽刻されていることから、鋳鉄製の水道管を利用したものである。川の流水面付近で多少の減肉は生じているが、保存状態は良好であった。水平繋ぎ材や筋交いは錆が著しく、断面欠損や部材の欠損もみられた。

橋台　橋台の石積みは、特に右岸の護岸より上の部分に乱れが生じていた。天端石は支承の固定ボルトの土台が埋め込まれており、橋桁の挙動によって動いたことが考えられたが、通常の温度変化による延び縮みによる影響とは考えにくいとの報告がなされていることから、裏込めの流出や緩みが生じている可能性があった。

破損の原因　床版端部に立ち上がりや水切が無いことに加え、橋桁が床版端部寄りに配置されていることによって、雨水や融雪水が橋桁のフランジに溜まり易い構造となっており、これが橋桁破損の原因となった。

両端の支承部では、雨水および融雪水が滞留し、さらに土や腐食生成物が堆積することにより常時湿潤状態となるため、破損を助長していた。また、鋼製構造物であるにも関わらず、これまで殆ど防錆塗装のメンテナンスが行われてこなかったことも破損を促進させていた。

手摺の破損は積雪などによる経年劣化といえる。

3.2.5　上流側管理橋

床版　鉄筋コンクリート造の床版下面は、全体的に錆びた鉄筋が露出しており、豆板等、コンクリートが十分に充填されていない範囲が多かった。

手摺　手摺の親柱は大きく転倒して橋の外部へ飛び出していた。おそらく車両が衝突したものと考えられる。本体は比較的形が残っているが、モルタルの浮きや剝がれが生じており、エフロレッセンスが析出していた。手摺は塗装が完全に剝げて全体に錆を生じており、腐食による折損や欠損がみられた。親柱と同様、大きく湾曲している箇所があった。

橋桁　塗装が剝落し錆が前面に生じていた。下流側管理橋に比較すると軽微ではあったが、支承付近や上フランジを中心として発錆膨張、減肉、断面欠損が生じていた。上フランジ上面には不陸調整と思われる鋼製剝物が適宜配置されており、橋桁の腐食はこの剝物周囲で顕著だった。

柱脚上の支承　鋳物製と思われる支承部材は発錆がみられるものの、圧延材である鋼桁と比べて腐食は少ない。ただし、緊結ボルトやナットが錆びて膨張や割れが生じているものがあった。

橋脚　下流側管理橋と同様、鋳鉄製の水道管を利用したものと思われる。川の流水面付近で多少の減肉を生じているが、保存状態は良好であった。水平繋ぎ材や筋交いは錆が著しく、断面欠損や部材の欠損もみられた。

橋台　橋台の右岸側石積みは、本来は河床から積み上げるべきものが、護岸高さで積み分けられており、上下が一体となっておらず、乱れも生じていた。さらにモルタ

ル詰めの目地はひび割れて植物が繁茂しており、石積みが緩み始めている可能性があった。護岸部分は角石がなく、上部の力を受けきれていなかった。

左岸側には目立った破損が見られない。

破損の原因　両端支承部の破損原因は下流側管理橋と共通する。しかし、床版端部に立ち上がりが設けられ、橋桁から床版端部までも距離があるため、橋桁の破損度合いは下流側管理橋よりも少ない。下流側管理橋には無い破損原因としては、橋桁に載せられた不陸調整鋼物の存在が挙げられる。

床版は鉄筋の発錆によりコンクリートが爆裂していた。鉄筋発錆の原因は、全体的にかぶり厚が少ないことである（3.3.4参照）。また、梁の下端筋は密に配筋されており、特にフック継手部分では鉄筋の隙間が殆ど無く、コンクリート充填が不十分となり豆板が生じていた。こうした原因に加えて、河川からの水分供給を受けて腐食しやすい環境にあることも、破損を助長していた。

手摺の破損は車両の衝突が原因と思われるが、それは上流側管理橋が車両の通路として使用されていたためである（2.2注（2）参照）。

右岸側の橋台に乱れが生じているのは後世の積み直しが原因と思われる（3.3.4参照）。

3.2.6　門柱

笠石、蛇腹石、基礎石とも表面劣化や風化摩耗が生じていた。頂部の笠石には若干のずれも生じていた。また、基礎石の肘壺金具取付部や笠石に欠損がみられた。煉瓦積みは、一部に表面劣化や欠損、亀裂が生じているが、全体の保存状態は良かった。門柱側面には木柵を取り付けていた痕跡があり、際柱の引きつけボルトの根元が錆びた状態で残っていた。

鋼製の門扉や肘壺金具は塗装の劣化と鋼材の腐食が進行していた。北側（上流側）の門柱は若干北へ傾斜しており、沈下が生じているが、現状の門扉（後補材）の召し合わせは合っており、進行は止まっているものとみられた。

いずれの破損も経年劣化が原因である。基礎石の肘壺金具取付部は、重い木製扉（現状欠失、3.7【水道用地（門柱）】参照）の荷重が石に作用したことが原因と考えられる。

3.2.7　濾過池および敷地

濾過池　濾過池側壁の煉瓦目地の緩みや脱落により植物が生え始めている。アスファルト防水層にモルタルで張り付けられた煉瓦は、アスファルト面で界面剥離を生じ、部分的に脱落している（写3.2.19）。このような破損は水道施設の供用時にも生じていたらしく、随所でコンクリートによる補修が行われている（写3.2.20）。1～4号では全体的に煉瓦目地が欠失していた。5号東側の煉瓦破損は、3.1.5を参照のこと。

現状では草の繁茂や泥の堆積がみられ、2号および3号は水が溜まった状態となっている。このうち3号では排水バルブが破損しているため水を抜くことが出来ない状況であった。堆積していた泥等を除去したところ、下部には濾過砂が残っていた。縁石は1～4号が凝灰岩のため、部分的に著しく表面が風化している。

濾過池本体については大正7年洪水時の古写真（古写5）をみると、破損した1号濾過池の擁壁の断面には鉄筋が確認できず、無筋コンクリートと考えられるので、鉄筋腐食による破損は生じないと考えられる。

敷地　古写真により濾過池や制水井の周囲は砂利敷きとなっていたことがわかる。現状は砂利の流入込みにより、草の繁茂が著しいが、下層に砂利が残っている。

濾過池背面の山裾には石積みがあり、下部には排水溝

写3.2.19　煉瓦の破損（1号濾過池側壁）

写3.2.20　コンクリートによる過去の補修（2号濾過池側壁）

写3.3.1.1　リベットとボルト（制水井3号上屋）

写3.3.1.2　土台山形鋼と鬼ボルト（制水井3号上屋）

写3.3.1.3　腰壁外側断面 鉄網を型枠として利用（制水井2号上屋）

写3.3.1.4　腰壁内側断面 板材型枠の痕跡（制水井2号上屋）

写3.3.1.5　窓枠固定木煉瓦の痕跡（制水井3号上屋）

写3.3.1.6　大正7年転倒時に生じたと思われる鉄骨ゆがみ（制水井1号上屋）

写3.3.1.7　当初鉄網（メタルラス）（制水井1号上屋）

写3.3.1.8　後補（大正7年）鉄網（メタルラス）（制水井1号上屋）

が整備されていることが古写真から確認できるが，ほとんどの部分が土砂で埋まっていた。

原因 濾過池側壁の煉瓦脱落は，アスファルトに煉瓦を積むという仕様が原因である。その他は，草の繁茂や泥の堆積，5号東側壁のはらみ出し（3.1.5参照）を除けば破損は比較的軽微と言える。

3.3 仕様調査

3.3.1 鉄骨鉄網モルタル造（制水井1～4号上屋、接合井屋根）

概要 制水井1号～4号上屋及び接合井屋根（躯体は煉瓦造）は，鉄骨をリベット接合して組み立てた下地に対し，鉄網（メタルラス）を番線止し，内外にモルタルを塗り付けた構造である。ただし制水井上屋では腰壁のみコンクリートを打設している（図3.3.1.1）。

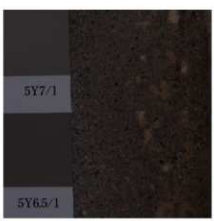
鉄骨 制水井上屋一般部の土台は山形鋼（L-5×64×64、鉄骨寸法は2号の実測値，以下同様）とし，建物四隅と正面扉際で基礎石に鬼ボルト固定とする（写3.3.1.2）。付柱では複数の帯鉄（PL-3×39等）を山形鋼型に接合したものを土台とし，一般部の土台と干渉する箇所は，一般部の土台を折り曲げて納めていた（図3.3.1.2）。

柱は山型鋼（L-5×38×38）の足元を，土台の立ち上がりにリベット接合して立ち上げ，これに帯鉄（胴縁：FB-4×20 間柱：FB-6×26）や山形鋼（L-4×30×30窓台や腰壁見切など）を縦横に組み付けて骨組みを形成している。

制水井上屋の屋根は，垂木となる帯鉄（L-12×25）へ母屋となる帯鉄（同前）を取り付ける。庇は，帯鉄（FB-10×25）でブラケット下地を作り，先端を帯鉄（同前）で繋ぐ。鉄骨は何れも20～30cm間隔で配し，互いにリベット接合とする。壁と屋根の取り合いや、棟周りの納まりなどは，今回工事ではこの部分のモルタルを解体していないため不明である。

接合井の屋根は，垂木となる帯鉄（PL-14×27）を，ドーム全体を32等分して放射状に配し，外側に鉄網を取り付ける。

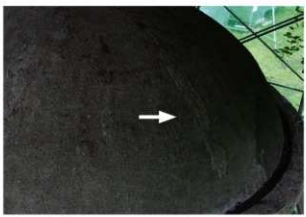
鉄骨の接合は基本的にリベットであるが，制水井上屋の腰壁・ブラケット・ドーマー窓の取付部分には六角ボルトが使用されていた（写3.3.1.1）。これらは何れも帯鉄を曲げ加工している部位なので，工場等で加工・仮組を行なった部材を現地に搬入し，躯体にボルトで取り付けるという作業が行われたようである。



写3.3.1.9 外部薄塗り材

写3.3.1.10 外部ノロがけ（当初仕上げ）

写3.3.1.11 内部白色塗装か


写3.3.1.12 接合井屋根リブ残存状況（矢印）

写3.3.2.1 制水井5号上屋 ワイヤメッシュ（矢印）

鉄網　当初の鉄網は厚0.5mmの鋼板を、横30mm×縦12mmの菱型網目状に広げたもので、下地となる鉄骨の外側に細い番線で固定される（写3.3.1.7、当時の既製品）。

モルタル　鉄骨及び鉄網の内外にモルタルを塗り付ける。制水井上屋の壁の厚さは70mm前後（表3.4.1）、壁のかぶりは外側帯鉄表面～外部仕上げ面で14～20mm、内側山形鋼のフランジ端部～内部仕上げ面で15mm程度である。付柱の張り出しでは下地の鉄骨が二重に配置されるため、それらに挟まれた空隙にモルタルが十分に充填されていない箇所が多かった。接合井屋根のかぶりは20mm程度である。

コンクリートと型枠　制水井上屋の腰壁のみに用いられているコンクリートの粗骨材は川砂利である。外部は鉄網をラス型枠として用いたため、打設圧によって鉄網が孕んでいる（写3.3.1.3）。内部はコンクリート打設面は平滑なので、板状の型枠を用いたことが分かる（写3.3.1.4）。コンクリート表面にはモルタルが塗られており、型枠の形式は不明である。

木製建具枠の納まり　制水井上屋の各側面には木製建具及び木製建具枠が取り付く。躯体開口周縁部に栗材と思われる堅木の木煉瓦を埋め込み、これに山形鋼を被せる。木製建具枠は山形鋼に削孔して木煉瓦へマイナスビス止めとし、ビス頭は露出する（図3.3.1.3）。

大正7年洪水被害の痕跡　建物が竣工して3年後の大正7年に発生した水害によって1号上屋が転倒したことが、古写真より分かる。古写真に写る上屋基礎やバルブの位置から推定すると、上屋は足払いされたように転倒し、水下に押し流されたらしい。現在の1号上屋は、この転倒した1号上屋を建て起こしたものであり、これを裏付ける転倒の痕跡がふたつ確認できた。

ひとつは後補鉄網の仕様で、当初材（前出）よりも厚い1.0mmのエキスパンドメタルラスが使用されていた（写3.3.1.8）。敢えてエキスパンドメタルラスを使用した目的は躯体の補強と思われるが、実際には逆効果で、エキスパンドメタルを境にモルタルが肌分かれしていた。これはエキスパンドメタルの剛性が強く、モルタル等の挙動に追従できなかったためだと思われる。

ふたつめは鉄骨のゆがみで、特に隅柱の下部を中心として鉄骨が折れ曲がったり、リベットが飛んでいる箇所が散見された（写3.3.1.6）。

壁仕上げ　断面観察の結果、外部は青みがかったモルタルを薄塗りし（写3.3.1.9）、これにクリーム色のノロ引き（写3.3.1.10）を行ったのが当初の仕上げであることが判明した。修理前は、後補のクリーム色リシン（各厚さは表3.4.1.1）が吹き重ねられていた。

薄塗り材ではなくノロ引きが当初であると判断した根拠は、大正7年水害時に撮影された古写真（古写5）に写る2号上屋の壁が、建具の色よりも明るいためである。これは後述のように当初の建具は鼠色であるため、薄塗り材が当初である場合、壁と建具は同等、または壁のほうが暗く写ることによる。古写真からは、ノロ引きが部分的に剝落し、その下地である薄塗り材が斑状に表れている様子も伺える。薄塗り材には躯体モルタルとは異なり、やや青みがかっている。上屋建設時には薄塗り材で仕上げられていた可能性があるが、少なくとも大正7年水害直前にはノロ引きが施されていたと言える。

内部は薄塗り材の刷毛引き仕上げとする。5号を含め、天井付近が面的に白色となっている。天井蛇腹の段差で塗り分けているように見える箇所もあるが、そうでない箇所もあり、これが塗料なのかエフロレッセンス等によるものなのかは判断できなかった（写3.3.1.11）。

屋根仕上げ　いずれの屋根表面にも防水層は確認できない。古写真には屋根と壁が同じ色に写っているため、壁と同じ仕上げだったと思われる。部分的に後補の赤色塗装（防水機能があったかどうかは不明）が残存している。赤色塗料を後補と判断した根拠は、後世の修理部分にも塗られていたためである。内側には防水のためタールと思われる黒色物質が付着していたが赤色の上に塗られていたことから後補であることが明らかである。

接合井の屋根表面には、ドーム全体を16等分する放射状のリブが配されている。修理前は殆ど欠損していたが、痕跡が残存していたので、その寸法や形状は確認できた（写3.3.1.12）。

3.3.2　鉄網コンクリート造（制水井5号上屋、量水器室）

制水井5号上屋　躯体は、豆砂利を粗骨材とするコンクリートと、山形鋼や丸鋼等の鋼材で構成されているため、部分的には鉄骨コンクリートだが、本稿では鉄網コンクリートと称す。1～4号と比べると修理に伴う解体範囲が少なかったので、調査できた仕様は一部に留まる。壁・屋根とも型枠の痕跡は確認できなかった。

鋼材による骨組は1～4号と概ね同じだが、鉄網の外側にワイヤメッシュ（ϕ3×150×150）を取り付け、ひび割れ防止が考慮されている点が異なる（写3.3.2.1、図3.3.2.1）。壁の厚さは65mm前後（表3.4.1）、鉄骨のかぶりは外側ワイヤメッシュ～外部仕上げ面で15～25mm、内側山形鋼のフランジ端部～内部仕上げ面で12mm程

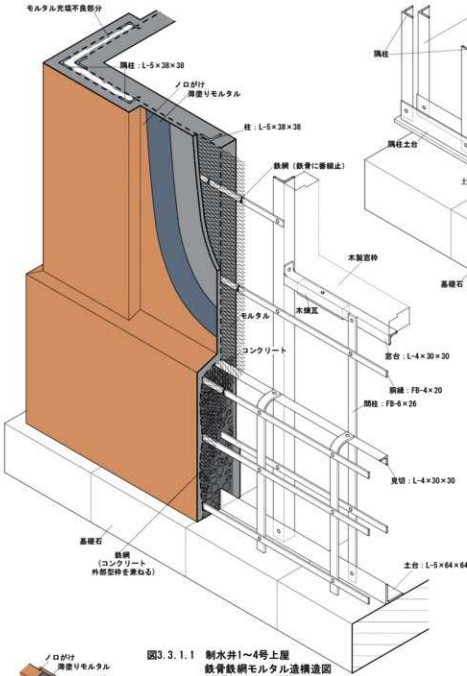


図3.3.1.1　制水井1～4号上屋
鉄骨鉄網モルタル造構造図
躯体厚さは表3.4.1.1参照

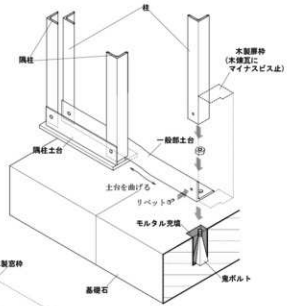


図3.3.1.2　制水井1～4号上屋
隅土台周り詳細図

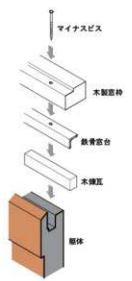


図3.3.1.3　制水井1～4号上屋
木製窓台の納まり

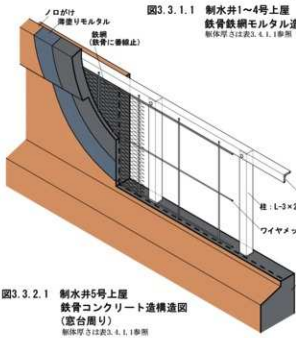


図3.3.2.1　制水井5号上屋
鉄骨コンクリート造構造図
（窓台周り）
躯体厚さは表3.4.1.1参照

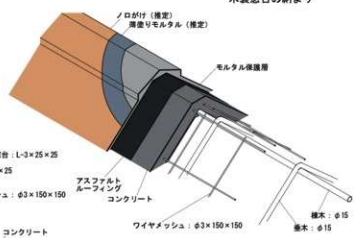
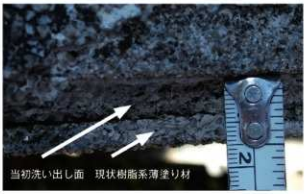


図3.3.2.2　制水井5号上屋
鉄筋コンクリート造構造図
（屋根）



写3.3.2.2　量水器室外壁

度、仕上げは1～4号と同じである。

屋根は垂木となる鋼棒（φ15）の外側に上記ワイヤメッシュを取り付けるが、鉄網は設けない。躯体コンクリート表面にアスファルトルーフィングを張り、その上に厚さ1cmのモルタル保護層を塗り重ねて仕上げる（図3.3.2.2）。

量水器室　断面修復を始ど行わなかったので、躯体の詳細は不明である。鉄筋探査機を用いた調査によると壁には鋼材の明確な反応は認められなかったので、無筋コンクリートの可能性がある。屋根は、縦方向に310～375mm、横方向に215～230mmの鋼材が配筋されている。

壁の現状仕上げは、内部が漆喰、付柱以外の外壁が煉瓦タイル、その他の外部が洗出し風の樹脂系薄塗り材である。壁面の煉瓦タイルは108×59×11mmで、現在の小口タイルと殆ど同じ寸法である。コンクリート躯体にモルタルで張り付け、白モルタルで目地を塗っている。

腰壁等の樹脂系薄塗り材（厚6mm）は、当初の洗い出し面（厚8mm）の上に塗り重ねている（写3.3.2.2）。付柱とバラペットの接合部などでは、薄塗り材を線状に塗り残して目地風に仕上げているので、目地底が当初の洗い出し面となる。

屋根では隅棟を上述の薄塗り材としている。その他の面は風蝕が著しいため当初の仕上げは不明である。

3.3.3　煉瓦造（濾過池・制水井上屋基礎、接合井壁、門柱）

概要　1～4号濾過池の古図面を見ると、濾過池隅壁の構造はコンクリートで、その表面に半枚厚の煉瓦が化粧積みされている。隅壁の破損部を観察すると、煉瓦を長手方向へ2つに割ったものを、アスファルト防水層にモルタルで張り付けていたことがわかった。

5号濾過池の古図面は確認できないが、上屋基礎周りを掘削したところ、基礎はコンクリートであった。接合井の壁は一枚厚の小口積みである。門柱はイギリス積みだが、門の規模が小さいので長手列の端部には七五煉瓦が用いられている。

煉瓦の当初仕様　「濾過池及貯水槩造工事」内の工事仕様書に、大正4年に竣工した施設に使用された煉瓦の仕様が記載されている。これには、煉瓦は「上等焼過」、寸法は「厚一寸八分 幅三寸五分 長七寸三分」、重さは「七百弐拾目以上」すなわち2.7kg以上、吸水率は「重量ノ八分ノ一以下」すなわち12.5％以下、と指定されている。目地幅の指定はないが、割付を考慮すると竪目地は3分である。

大高庄右衛門「煉瓦の形状に就て」（『建築雑誌225号』、明治38年）で紹介されている、当時流通していた主な煉瓦寸法と比較すると、「大阪を中心とせる関西地方」で使用されていた「並型 長七寸四分 幅三寸五分 厚一寸七分五厘」に近い。竣工6年後の大正10年に制定される日本標準規格（JES）では、寸法は「長210mm 幅100mm 厚60mm」、「上焼」の吸水率は「14％以下」とされ、その他「耐圧力150kg/cm²」なども記されているが重さの指定はない。現在の規格であるJIS R 1250では、寸法はJESと同じで、吸水率と圧縮強度は区分によって数値が異なり、それぞれ9～20％以下、圧縮強度は15～30N/mm²以上とされている。JESと同様に重さの指定はない。

以上より、仕様書の煉瓦寸法にはJES以前の地方性がある程度反映されており、その吸水率はJESよりも厳しく、JISと比べても遜色が無い。また、圧縮強度ではなく重量を指定するところに仕様書の特徴があるといえる。

煉瓦の実測値　次に、実際に使用されている煉瓦の寸法を表3.3.3に示す。表には、参考として昭和3年に竣工した5号濾過池（仕様書は現存せず）の寸法も併記している。各寸法は任意の5箇所の実測平均値である。なお、今回工事では煉瓦の解体はしていないので、刻印の確認は出来なかった。

まず、大正4年の煉瓦を仕様書と比較する。JESには寸法公差として「幅ニ於テ±3％、厚ニ於テ±4％」という規定があるが、この規定を大正4年の煉瓦に準用すると、厚さ以外は仕様書通りといえる。仕様書より約8％も厚い煉瓦を使用した理由は、当時の垣計基準である四段九寸、すなわち煉瓦の厚さに横目地の厚さを足したものを4倍すると9寸になるというモジュールを使いたかったからではないだろうか。実際に、厚さと横目地を足すと2.25寸となり、四段九寸が成立する。仕様書の煉瓦で四段九寸に積もうとすると横目地が4.5分と厚くなりすぎる。

写3.3.3.1　煉瓦表面状況　左：1号濾過池側壁　中：接合井　右：5号濾過池側壁

表3.3.3　煉瓦寸法実測値 単位：尺

年代	区分			積み方	長手	小口	厚さ	竪目地	横目地
大正4年	実測値	1号	濾過池側壁	長手積	0.733	(斫り)	0.196	0.022	0.026
			制水井上屋基礎	長手積	0.711	(不明)	0.192	0.05	0.035
			接合井内壁	小口積	(不明)	0.354	0.197	0.022	0.029
	実測平均値 ①				0.722	0.354	0.195	0.031	0.03
	仕様書記載寸法 ②				0.73	0.35	0.18	(0.03)	(未記載)
	寸法誤差 ②-①				-1.1%	+1.1%	8.3%	3.3%	-
昭和3年	実測値	5号	濾過池側壁	長手積	0.72	(不明)	0.186	(不明)	0.045
			制水井上屋基礎	長手積	0.73	0.342	0.186	0.416	0.04
	実測平均値 ③				0.725	0.342	0.186	0.416	0.043

昭和3年の煉瓦の寸法の特徴は、JES制定以後に作成されているにも関わらずJESの寸法とは異なること、厚さを除くと概ね大正4年の煉瓦と近い寸法であること、が挙げられる。厚さは減じているが横目地は厚く、両者を足すと2.29寸なので、やはり四段九寸に近くなっている。今回は五号濾過池の煉瓦試験は行っていないが、横目地を厚く出来たのは目地モルタルの強度が上がったためであり、煉瓦表面の色も大正4年と比べて黒っぽいので、焼成温度が高く圧縮強度も向上しているのではないかと推測する。

門柱の基礎　門柱では本体を持ち上げて曳家工事を行ったので、基礎の仕様が確認できた（写3.3.3）。基礎は90cm角、厚さ25cmの無筋コンクリートで、上部中央に19mm角の鉄製太柄を25cm間隔で2本植える。太柄の長さは11cmで、そのうち下部5cmを基礎内に埋め込む。基礎上面全体に据え付けモルタルを敷き、門柱の石造礎石を据える。

写3.3.3.3　門柱基礎　鉄製太柄のひとつを矢印で示す。もうひとつは門柱基礎に取り付いた状態で保存した。

3.3.4　二連鋼桁造（管理橋）

概要　管理橋の下部工（橋脚から橋桁まで）は、下流側が3スパン橋、上流側が2スパン橋であることを除けば同じ構造である。いずれも橋脚は鋳鉄製水道管の転用材、橋桁や筋交等は圧延鋼である。転用材には、部材が水道管であったことを示す陽刻が残る（写3.3.4.1）。

2基の管理橋は何れも当初は木造床版だったが、下流側は昭和5年、上流側は昭和12年に現状の鉄筋コンクリート造床版に架け替えられた。従って上部工（床版と手摺）には時代差があり、それぞれ形式も異る。

橋脚　内径10インチ（実測252mm）、厚1インチ半（実測40mm）と思われる鋳鉄製水道管の転用材で、柱脚は無筋コンクリートの根巻を設けて川底に固定し、柱頭は鋳物製の金具を取り付けて橋桁を受ける。下流側管理橋曳屋時に橋脚内部を実測したところ、柱脚は川底に70cm前後埋まっていることが分かった。繋材や筋交を受ける帯鉄を、柱の上下2箇所に固定する。

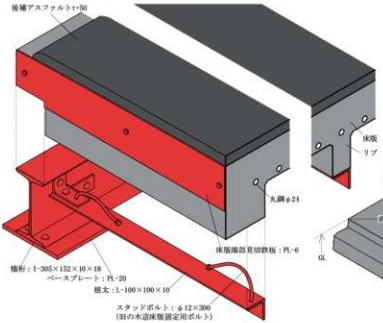


図3.3.4.1　下流側管理橋構造図

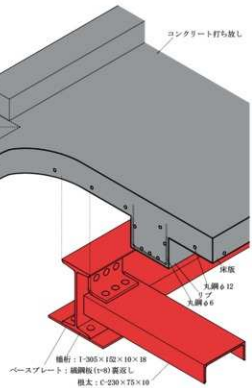


図3.3.4.2　上流側管理橋構造図

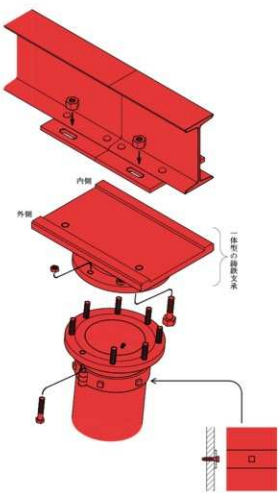
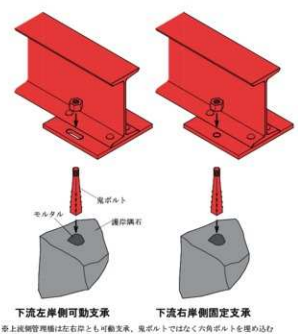


図3.3.4.3　橋脚上部構造図



※上流側管理橋は左右岸とも可動支承，鬼ボルトではなく六角ボルトを埋め込む

図3.3.4.2　支承図

橋桁と支承 I形鋼の実測値は310×155×10×20mm程度だが、上流側管理橋に「12/6」のロールマーク（写3.3.4.2）があるため、12×6×0.4×0.717インチ（305×152×10×18mm、小数点以下四捨五入）の製品[1]である。下流側管理橋は腐食のためロールマークは確認できない。橋脚位置で2丁継ぎとなるが、継手は作らず突付けである。現在の管理橋部材は取水塔取付桟橋の転用材とされており、橋桁にも不使用のリベット穴が多い。

橋は橋台石積みと橋脚に支持されている。いずれも橋桁とリベット接合されたベースプレートが支持材に固定される。橋台石積みでは、最上段の隅石上端に穴を穿ち、下流側管理橋では鬼ボルト（写3.3.4.3）、上流側管理橋では六角ボルトをモルタルで埋め込む。ベースプレートの穴はルーズホールになっているので可動支承となるが（写3.3.4.7）、現状では発錆のため可動出来ない状態であった。橋脚では、ベースプレートのルーズホールと橋脚上部の金具をボルト固定している。

以上の仕様は2基の管理橋で共通するが、下流側では右岸のみ固定支承（ルーズホールにならない）、上流側では縞鋼板をベースプレートに転用している等、細かな差異がある。

(1) 英国Dorman Long社の1906年カタログに掲載されたI形鋼寸法のうち、実測値に近いもの。ただし管理橋のI形鋼が輸入品か国産材かは不明。

防錆塗装 比較的状態の良い下流側管理橋床版の根太の塗装を擦り出し調査したところ、橙色→赤色の2層が確認できた（写3.3.4.9）。橙色は明らかに鉛系防錆塗装であり、当初の仕上げの可能性が高い。赤色については、鋼材をはみ出して現状の鉄筋コンクリート造床版にも塗られている部分があるので、床版の架替時、またはそれ以降に塗られた後補の仕上げである。以上の痕跡は上流側管理橋も同様である。

床版と根太（下流側管理橋） 傾面はモルタル塗り、下面は打放しとし、幅8.5寸程度の型枠痕が残る。下面には短手方向へ一定間隔に根太状のリブが作り出され、このリブの下に、リブと平行に山形鋼の根太が取り付く。根太には木造床版を固定していたと思われる長さ30cmのボルトが取り付いたままになっており、現状ではボルトを大きく曲げてリブの中に埋め込んでいるので、結果的にスタッドボルトとして機能している（写3.3.4.5）。

根太と橋桁はL字に曲げた帯鉄を介してリベット固定されている。根太には二種類（L-100×100×10、L-75×75×10）あるが、前述のボルトはどちらにも取り付いており、床版の作り出しリブの幅も根太に合わせて二種類あるので、何れも当初材である。橋桁と床版は全く固定されていない。

床版の両端部には蒲鉾型の見切鉄板が取付き、この鉄板の輪郭に沿って床版上端に水勾配がとられている。

現状では床版の表面に厚さ約5cmのアスファルト舗装が施されている。コアによってその断面を確認すると、床版上面が風化しているので、現状のアスファルトは後補であることがわかる（写3.3.4.4）。ただし床版上面のコンクリート中性化があまり進んでいないことから、早い段階で何らかの舗装を施していたと考えられる（表

左：写3.3.4.1
下流側管理橋橋脚（鋳造水道管）の陽刻「鳥水16（記号）」

右：写3.3.4.2
上流側管理橋橋桁（I形鋼）のロールマーク「12/6」

上：写3.3.4.3 下流側管理橋支承鬼ボルト
中：写3.3.4.4 下流側管理橋アスファルト断面
右：写3.3.4.5 下流側管理橋スタッドボルト

写3.3.4.6　下流側管理橋右岸側支承・護岸

写3.3.4.7　下流側管理橋左岸側支承・護岸

写3.3.4.8　下流側管理橋護岸石積みの目地

写3.3.4.9　下流側管理橋根太の塗装調査　床版への塗料付着

3.4.1.2)。

鉄筋はφ24mm丸鋼、下端筋のかぶり厚は平均15mmで、作り出しのリブは無筋である。今回工事では断面修復箇所が少なく、配筋間隔は直接計測できなかったため、鉄筋探査機による調査値の平均を記すと、短手方向の下端筋が135mm、長手方向の上端筋が308mmであった。

護岸石積み（下流側管理橋）　下流側管理橋の構造補強に伴い、護岸石積みの上部と支持層を解体したため、これらに関して調査を行った。

護岸石積みは小松石に似た安山岩による谷積みとし、露出面には鏨をとった幅広のモルタル目地を施す。この目地は石積み全体にあり、表面から5cmほど入ったところまで詰められているので、幅広の目地は当初の仕様である（写3.3.4.8）。

石積みは川に面する露出面が練り積み、橋と並行する見え隠れ面が空積みである。裏込めコンクリートは、右岸側が良質なモルタルと20cm程度の砕石（石を割った後の所謂「コッパ」）による粗骨材、左岸が脆いモルタルと川砂利の粗骨材であった（写3.3.4.6～7）。大正7年の水害により右岸石積みが破損しており（古写6）、その後の復旧によって裏込め仕様に差異が生じたと考えられる。

支持層は両岸とも地表より約5m下に認められるが、右岸側が頁岩層、左岸側が砂礫層であった。これらも水害後の復旧が原因の可能性がある。

床版と根太（上流側管理橋）　床版の両端部には下流側管理橋のような鉄板は無く、床版上面には水勾配が殆ど取られていない（実測値5mm）。上面は路面が洗い出され骨材が露出しているため当初の仕上げは不明である。手摺位置の床版立ち上がり部分はモルタル塗りとしている。下面は打ち放し仕上げで、5寸程度の型枠痕が残る。下面には長手方向へ2本のリブが作り出され、このリブの下に、リブと直行した溝型鋼の根太が取り付く。

鉄筋はφ12mm丸鋼、かぶり厚は全体的に殆ど無く、大きいところでも2cm程度だった。配筋間隔はスラブ短手方向の下端筋が約15cm、長手方向の上端筋が約20cm、リブは下端筋3本、上端筋（スラブ下面位置）2本、リブのスターラップとしてφ6mm丸鋼が約30cm間隔に入る。リブ下端筋はフック継手とし、重ね長さは50cm程ある。

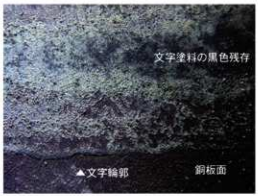
護岸石積み（上流側）　上流側管理橋では構造補強を行わなかったので、支持層に関する調査はできなかった。石の積み方を見ると、左岸側は下流側右岸と同じであるが、右岸側は護岸の上に橋台を載せる形式となっている

(写3.2.18)。また、今回工事での床版撤去に伴う部分的な解体範囲から観察する限り、裏込めコンクリートの仕様は両岸とも下流側管理橋の右岸側と同じであった。

3.3.5 管理橋の銘板

管理橋にはそれぞれコンクリート造(下流側は無筋、上流側は鉄筋入)の親柱が4本ずつあり、いずれも正面側に窪みがある。下流側は窪みに銅板製銘板が嵌まるが、上流側は銘板がなく、嵌めた痕跡も確認できない。

下流側管理橋の銘板は、表面に黒色塗料で文字を記した厚0.2～0.3mmの銅板である(写3.3.5.2)。銘板を取り外すと、裏側の親柱が豆板状になっていたことから、親柱構築時、生乾きのうちに圧着して取り付けられたことが分かる。4枚の銘板はいずれも残存しているが、銘板の破損状況、文字の風化状況はそれぞれ異なる(写3.3.5.1)。右岸南では「道橋」は読み取れるが、その上の一文字目が不明瞭である。左岸北では、一文字目以外は欠損しているが、一文字目はかろうじて痕跡が確認できる。左岸北の銘板に残る一文字目を、赤外線写真で観察したところ、「水」が確認できたことから(写3.3.5.3)、銘板は「水道橋」であることが判明した。右岸南の銘板に残る僅かな痕跡(中央縦線下端のはらい部分)の位置も、右岸南の痕跡と一致するため、左岸北と右岸南の銘板は同じ文字だったといえる。左岸南と右岸北はいずれも「昭和五年拾月架替」であるが、書体が僅かに異なる。



写3.3.5.2 文字の詳細 (右岸北「拾」の一部)

写3.3.5.3 赤外線写真で判明した「水」 (左岸北)

写3.3.5.1 各銘板残存状況 左から左岸南、左岸北、右岸北、右岸南

3.4　分析調査

3.4.1　モルタルとコンクリートの圧縮強度・躯体厚さ・中性化深さ（制水井1～5号上屋、量水器室、管理橋）

概要　壁と屋根についてコアを採取し、躯体や仕上げの厚さを確認した。その後、壁のコアを利用して圧縮強度試験を行い、耐震診断の資料とするとともに、中性化深さ調査[1]を行い躯体劣化状況の確認を行った（表3.4.1.1～2）。

圧縮強度（表3.4.1.1～2）　上流側管理橋以外は建物年代やモルタルとコンクリートの別に関わらず20N/mm²内外、時代が降る上流側管理橋のコンクリートは34.6N/mm²と高かった。

中性化深さ（表3.4.1.1～2）　制水井上屋の躯体（1～4号は鉄骨鉄網モルタル造であるが、ここでは最外層のモルタル薄塗り以外を躯体とみなした）では2号を除き3～10mm、最外層のモルタル塗り継ぎを含めると9～19mmである。屋内・屋外での中性化深さに差は認められない。鉄骨に対するかぶり厚は仕上げを含めて15～20mm程度なので（3.3.1参照）、中性化の進行が鉄骨腐食の原因となりうる状態である。2号上屋の全面中性化については3.4.2で考察する。

量水器室の屋外では制水井上屋に比べて小さい。これは煉瓦タイル仕上げによって躯体が炭酸ガスから保護されていたためと考えられる。

管理橋の床版では概ね30mm内外で、バラツキが大きい。下流側管理橋の上面は厚さ約5cmの後補と見なされるアスファルト舗装が施されているが（3.3.4参照）、中性化深さは16.9mmと比較的小さいことから、早い段階で何らかの舗装が施されていたと考えられる。

中性化の一般理論式（岸谷式）[2]によりコンクリート中性化深さを推定したところ、制水井5号上屋の屋外が9.4mm、屋内が16.6mm、量水器室の屋外が9.0mm、屋内が15.9mmとなり、いずれも実測値の方が遥かに小さい値となった。これは人や車など炭酸ガスの発生源が少ない環境に立地していることが原因と思われる。一方、下流側管理橋は9.4mm（アスファルト舗装）、33.5mm（打放し）、上流側管理橋は32.0mmであり、実測値と理論値が比較的近い。

(1)　コンクリート中の鉄筋はコンクリートの高アルカリ（打設時pH約12.5）によりその表面に不動態被膜が形成されて腐食から保護されている。しかしながら、コンクリートは時間が経過するにつれて空気中の炭酸ガスと反応し徐々にアルカリ度が低下していく。この現象を中性化または炭酸化と呼び、鉄筋まで中性化が進展すると不動態被膜形成の条件（pH11以上）がくずれ、水分・酸素および炭酸ガスにより鉄筋が腐食しやすくなると言われている。屋外では鉄筋位置に中性化領域が達した時点で、屋内では中性化領域が鉄筋のかぶり厚さおよそ20mm奥に進んだ時点で鉄筋の腐食が始まることが報告されている（岸谷孝一・西澤紀昭他編「コンクリート構造物の耐久性シリーズ中性化」技報堂出版）。

(2)　中性化の一般理論式（岸谷式）

$$C=\alpha\times\beta\frac{(X-0.25)}{\sqrt{0.3\times(1.15+3\times X)}}\times R\times\sqrt{y}$$

C：中性化深さの理論値（cm）
α：環境条件による係数（屋外1.0、屋内1.7）
β：仕上材による係数（屋外モルタル0.28　屋内モルタル0.29）
　アスファルトは屋外モルタルの係数と仮定
X：水セメント比（0.6と仮定）
R：中性化比率（普通セメント1.0と仮定）
y：経過年数（年）

3.4.2　モルタルの配合推定・成分分析・偏光顕微鏡観察・粉末X線回折（制水井2・4号上屋）

概要　制水井上屋では2号のみモルタルが全面中性化しており、破損状況も最も著しい。この原因を明らかにするため、2号上屋の壁と屋根から採取したモルタルについて各種調査を行った。比較検討のため、4号上屋の壁でも同様の調査を行った。

配合推定・成分分析（表3.4.2.1～4）　2号は600℃と1000℃のig.loss（揮発性物質の質量）差が大きいため、炭酸カルシウムの存在が考えられる（炭酸カルシウムは600℃から1000℃の間で脱炭酸分解によって減量することが知られいる）。成分分析バランスから考えると、溶解液にはセメントの他にカルシウム系の混合材が多く含まれていることが予想される（希塩酸に容易に溶け出す混合材としては、消石灰や炭酸カルシウムがあげられる）。以上より、2号のモルタルには炭酸カルシウムが構成材料の一部になっている可能性が高い。

4号は、普通セメントの成分と比較しややCaOが少なくSiO₂が多い結果であった。これは、セメント成分によるものの他に、けい酸質骨材からの溶解分も含まれているためと考えられる。

偏光顕微鏡観察・粉末X線回折（表3.4.2.5～6）　2号と4号ではいずれも、細骨材は0.2～1.0mm程度、セメントはポルトランドセメントを使用し、細骨材の粒子間に1～2mm程度の空隙が認められる。

一方で、4号躯体以外（2号外壁側モルタル薄塗、2号躯体、4号外壁側モルタル薄塗）には石灰質の人工焼成物が含まれ、炭酸化が進行しているが、4号躯体では含まれておらず、炭酸化もあまり進行していない。同時に4号躯体からはフリーデル氏塩（塩化物イオ

表3.4.1.1 モルタルとコンクリートの圧縮強度・躯体厚さ・中性化深さ（制水井上屋、量水器室）

部位	施設名	年代	調査記号	種別	圧縮強度(1) [N/mm2] 圧縮強度	圧縮強度(1) [N/mm2] 平均値	全体の厚さ [mm]	仕上の種類・厚さ [mm]		躯体厚さ [mm]	躯体の中性化深さ [mm] (2)
壁	制水井1号上屋	大正4	C1	モルタル	[18.7]	－	64	屋外	モルタル+ノロ引+リシン:9	46	5
								屋内	モルタル+ノロ引:9		5
	制水井2号上屋		C1		[25.5]	[22.0]	66	屋内	仕上げ確認できず	66	全面
								屋外	ノロ引+リシン：<1		
			C2		[18.4]		76	屋外	モルタル+ノロ引+リシン:18	47	全面
								屋内	モルタル+ノロ引:11		
	制水井3号上屋		C1		[21.7]	－	76	屋内	モルタル+ノロ引:11	55	3
								屋外	モルタル+ノロ引+リシン:10		3
	制水井4号上屋		C1		[18.7]	－	68	屋内	モルタル+ノロ引:4	55	5
								屋外	モルタル+ノロ引+リシン:9		10
	2号以外の中性化深さ平均値（95年経過）										**5**
	2号以外の中性化速度係数(mm/√年)										**0.5**
	制水井5号上屋	昭和2	C1	コンクリート	[19.4]	[22.5]	63	屋外	モルタル+ノロ引+リシン:6	52	5
								屋内	モルタル+ノロ引:5		10
			C2		[25.0]		65	屋内	モルタル+ノロ引:10	48	5
								屋外	モルタル+ノロ引+リシン:7		5
			C3		[23.0]		66	屋内	モルタル+ノロ引:10	43	3
								屋外	モルタル+ノロ引+リシン:13		3
	中性化深さ平均値（83年経過）										**5**
	中性化速度係数(mm/√年)										**0.5**
	量水器室	昭和11以前	C1	コンクリート	25.0	21.2	230	屋外	モルタル+煉瓦ﾀｲﾙ:33	185	0.2
								屋内	モルタル+漆喰:12		6.8
			C2		17.4		226	屋外	モルタル+洗出し:20～25	186	0.1
								屋内	モルタル+漆喰:15		4.8
			中性化深さ平均値（74年経過）								**屋外0.2 屋内5.8**
			中性化速度係数(mm/√年)								**屋外0.02 屋内0.67**
屋根	制水井2号上屋	大正4	S1	モルタル	－	－	85	屋内	仕上げ確認できず	85	－
								屋外	仕上げ確認できず		－
	制水井5号上屋	昭和2	S1	コンクリート	－	－	60	屋内	モルタル保護層:10	35	－
								屋外	モルタル+ノロ引:15		－

(1) 圧縮強度の［ ］の値は、コア寸法がJISの規定値外であるため参考値とする。

(2) 制水井上屋はコア側面で明瞭な着色が認められなかったので、圧縮強度試験後の割裂面での測定値とした。量水器室はコア側面5点平均値とした。

表3.4.1.2　コンクリートの圧縮強度・躯体厚さ・中性化深さ（管理橋）

部位	施設名	床版の年代	調査記号	種別	圧縮強度(1) [N/mm2] 圧縮強度	圧縮強度(1) [N/mm2] 平均値	全体の厚さ [mm]	仕上の種類・厚さ [mm]		躯体厚さ [mm]	躯体の中性化深さ [mm](1)
床版	下流側管理橋	昭和15	C1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	15.1	23.4	250	上面	ｱｽﾌｧﾙﾄ：46～50	200	0
								下面	打放し		60.9
			C2		20.3		250	上面	ｱｽﾌｧﾙﾄ：55～64	186	13.1
								下面	打放し		-
			C3		34.8		245	上面	ｱｽﾌｧﾙﾄ：50	195	37.5
								下面	打放し		10.2
			中性化深さ平均値（81年経過）					上面（アスファルト）			16.9
								下面（打放し）			35.6
			中性化速度係数（mm/√年）					上面（アスファルト）			1.9
								下面（打放し）			4.0
	上流側管理橋	昭和12	C1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	25.8	34.6	147	上面	打放し	147	16.2
								下面			34.5
			C2		30.4		100～115	上面		100～115	82.9
								下面			0.8
			C3		47.6		110～125	上面		110～125	16.2
								下面			24.8
			中性化深さ平均値（74年経過）					打放し			29.2
			中性化速度係数（mm/√年）					打放し			3.4

(1)　コア側面5点平均値とした。調査実施時期は平成23年11月。

写3.4.1.1　躯体コア（制水井2号上屋C1）
内外部とも完全に中性化している

写3.4.1.2　躯体コア（制水井3号上屋C1）
中性化は表層に留まっており鉄網深さには達していない

表3.4.2.1 モルタル分析結果

試料名	ig. loss [%] (600℃)	ig. loss [%] (1000℃)	insol. [%]	CaO [%]
制水井４号上屋　壁	6.1	7.3	67.1	13.4
制水井２号上屋　天井	7.0	16.8	59.1	18.6
制水井２号上屋　壁	5.6	15.1	61.1	18.5

表3.4.2.2 配合推定計算結果 (F-18)

試料名	単位容積質量 [kg/m³]		材料単位量 [kg/m³]			水セメント比 [%]
	絶乾	表乾	セメント量	水量	骨材量	
制水井４号上屋　壁	1770	2045	389	343	1313	88.2
制水井２号上屋　天井	1859	2077	565	310	1203	54.9
制水井２号上屋　壁	2154	2261	647	178	1436	27.5

今回の配合推定試験結果は、使用されたセメントおよび骨材の化学分析値が不明なため、セメントの酸化カルシウム量以外は、旧セメント協会コンクリート専門委員会報告F-18「硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告」に示された仮定値を使用した。なお、セメントの酸化カルシウム量は、通産省工業技術院東京工業所調査結果に記載の大正4年度における酸化カルシウム量62.2%を仮定値として使用した。

表3.4.2.3 配合推定計算結果（ギ酸法）

試料名	単位容積質量 [kg/m³]		材料単位量 [kg/m³]			水セメント比 [%]
	絶乾	表乾	セメント量	水量	骨材量	
制水井２号上屋　天井	1859	2077	98	294	1684	300
制水井２号上屋　壁	2154	2261	136	163	1962	120

炭酸カルシウムが混合材として含まれていると推定された制水井２号上屋のモルタルは、F-18に基づいて配合推定を行う事は困難であるため、SiO_2の定量値を手がかりにして、ギ酸法によるセメント量の推定方法を応用して、配合推定を行った（参考値）。

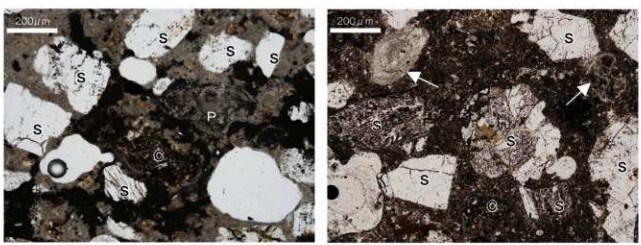
表3.4.2.4 成分分析結果 (ICP発光分光分析 mass%)

試料名	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO(1)	MgO	SO_3	合計
制水井４号上屋　壁	6.7	2.1	1.1	13.4	0.5	0.2	24.0
制水井４号上屋　壁（補正）(2)	26.9	8.4	4.4	53.7	2.0	0.8	96.2
No.2　制水井２号上屋　天井	1.1	1.3	0.6	18.6	0.4	<0.1	22.0
No.3　制水井２号上屋　壁	1.3	1.3	0.8	18.5	0.5	0.3	22.7
制水井２号上屋　天井（補正）(2)	4.8	5.7	2.6	81.3	1.7	<0.1	96.1
制水井２号上屋　壁（補正）(2)	5.5	5.5	3.4	78.4	2.1	1.3	96.2
普通セメント(3)	21.2	7.0	3.0	62.2	1.6	1.2	96.2

(1) CaOは、配合推定の試験結果でEDTA滴定法により測定。

(2) 希塩酸（1+100）はセメント及びセメント水和物を溶解し、骨材を殆ど溶解しない。よって、この表に示すSiO_2～SO_3の6成分は主として結合材（セメント）に相当すると考えられる。そこで、一般的に使用されている普通セメントの化学成分で次のように補正した。普通セメントに含まれるSiO_2～SO_3の6成分の合計は96.2%であるので、試料の分析値の6成分の合計が96.2%になるように補正した。

(3) 通産省工業技術院東京工業所調査結果に記載の大正4年度の普通セメントの化学成分を記載した。



写3.4.2 偏光顕微鏡写真（単ニコル） 左：2号上屋壁躯体　右：4号上屋壁躯体

S：砂　C：セメントクリンカ　P：石灰石の人工焼成物　矢印：貝殻片　2号には石灰石の人工焼成物が含まれ、4号には貝殻片が含まれている。

表3.4.2.5　骨材（砂）とセメントペーストの偏光顕微鏡観察結果

試料名			制水井2号上屋（天井）		制水井2号上屋（壁）		制水井4号上屋（壁）		
			表層	躯体	表層	躯体	表層	中間層	躯体
骨材（砂）	結晶破片		石英，カリ長石，斜長石，黒雲母，角閃石，鰊石		花崗岩，粘板岩，安山岩，珪質片岩，泥質片岩，玄武岩，チャート，貝殻		石英，カリ長石，斜長石，黒雲母，角閃石，鰊石		
	岩片など		花崗岩，粘板岩，安山岩，珪質片岩，泥質片岩，玄武岩，チャート，貝殻		石英，カリ長石，斜長石，黒雲母，角閃石，鰊石		花崗岩，粘板岩，安山岩，珪質片岩，泥質片岩，貝殻，玄武岩，チャート（躯体には比較的多くの貝殻を含む。）		
	混合材		石灰質の人工熔成物と見られる混合材が入っている（セメント粒子サイズ～最大1mm）。						混合材は入っていない。
セメントペースト	モルタル組織	炭酸化	進行している。		あまり進行していない。	かなり進行している。	進行している。	していない。	あまりしていない。
		空隙	多い。	表層より少ない。	多い。	表層より少ない。	多い。	少ない。	やや多い。空隙の中に板状結晶の生成が多く認められる。
	セメント粒子	サイズ	セメントの粒子に粗大粒子が多く含まれる（最大200μm程度）。						
		クリンカ鉱物	ビーライトに富みフェライトを含有する粒子が多い。ビーライトは水和して炭酸化している。ビーライトはラメラを持つ。表層，躯体とも未水和のビーライトが認められる。		ビーライトに富みフェライトを含有する粒子が多い。ビーライトはラメラを持つ。未水和のビーライトが認められる。		ビーライトに富みフェライトを含有する粒子が多い。	ビーライトに富みフェライトを含有しない粒子が多い。	ビーライトに富みフェライトを含有する粒子と，ビーライトに富みフェライトを含有しない粒子の両方が認められる。

表層と躯体ならびにその境界を同時に観察するために，薄片試料は，表面と垂直な深さ方向の断面（範囲20×20mm程度）より切り出した。試料を可視光が十分に透過する程度の厚さ（20μm程度）に調製し鏡面研磨薄片を作製した。これを偏光顕微鏡下で観察し，使用材料の種類・形状・特徴・組織などについて記述した。

表3.4.2.6　粉末X線回折試験結果

試料名		制水井2号上屋（天井）		制水井2号上屋（壁）		制水井4号上屋（壁）		
		表層	躯体	表層	躯体	表層	中間層	躯体
骨材	石英	◎	◎	◎	◎	◎	／	◎
	長石	◎	◎	◎	△	◎	／	○
	緑泥石	△	△	△	△	△	／	△
	白雲母	△	△	△	△	△	／	△
	角閃石	△	△	△	△	△	／	△
水和物	ﾓﾉｶｰﾎﾞｱﾙｷﾈｰﾄ	－	－	－	－	－	／	△
	ﾌﾘｰﾃﾞﾙ氏塩	－	－	－	－	－	／	△
炭酸化物	方解石	◎	◎	◎	◎	◎	／	－

測定試料は，対象とする試料をめのう乳鉢を使用して指頭に感じなくなるまで微粉化したものとした。測定装置はPANalytical社製粉末X線回折装置（X' Pert PRO MPD）を使用した。測定条件は，管球Cu，入射側発散スリット1°，入射側散乱防止スリット2°，受光側散乱防止スリット5.5mm，管電流40mA，管電圧45kV，スキャン角度2θ=5～60°，スキャンスピード5°/min，サンプリング間隔0.03°である。

回折強度　◎20,000 Counts以上　　○20,000～10,000 Counts　　△10,000 Counts未満　　－ 未検出　　／ 分析対象外

ンが多い時に生成する水和生成物）が検出され、貝殻が比較的多く含まれていることから、細骨材に海砂が使用されていたことが分かる。

このように、分析対象となったモルタルには大きく分けて①石灰質の人工焼成物を含み炭酸化が進行しているもの、②石灰質の人工焼成物を含まず炭酸化もあまり進行していないが海砂を使用しているもの、の2種類が確認できた。4号の壁から推定すると、②は躯体用モルタル、①は仕上用モルタルとしての使用が意図されていたらしい。そして2号では、何らかの事情により、仕上用の①を躯体に使用したのではないだろうか。

なおセメント粒子の特徴としては、粗大粒子が多く含まれること、クリンカ鉱物のビーライトが細かいことが挙げられる。前者は当時の粉砕・分級の技術が進歩していなかったこと、後者は回転窯で焼成されたセメントであることを示している[1]。

結論 2号上屋躯体のモルタルには他の上屋躯体（ここでは4号で代表させた）とは異なり、セメントクリンカに加えて石灰質の人工焼成物が含まれ、かつ炭酸化している。つまり消石灰（水酸化カルシウム）が炭酸化して炭酸カルシウムとなっている。2号上屋躯体には砂も含まれているので、この躯体は「セメント入りモルタル」[2]または「石灰セメントモルタル」[3]と呼ばれるものである。

セメントは水硬性であり、強アルカリ性を示す水酸化カルシウム等の水和物を生成するが、空気中の二酸化炭素と反応して徐々に炭酸カルシウムとなる。一方、気硬化石灰である消石灰は、水の存在下で空気中の二酸化炭素と反応して直ちに中性の炭酸カルシウムとなる。従って躯体全体としては竣工時から中性に近かったといえる。

大正13年に使用が禁じられるまで、石灰セメントモルタルは煉瓦造の目地材や基礎工事に使われていた[4]。制水井2号上屋では、意図的か否かは不明だが、仕上げ用の石灰セメントモルタルで躯体が造られていた。セメントモルタルに石灰を混ぜたリスクは、少なくとも今回

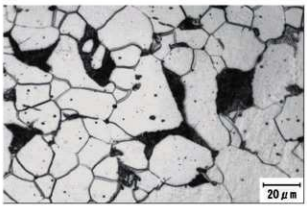
表3.4.3.1 化学成分分析結果（%）

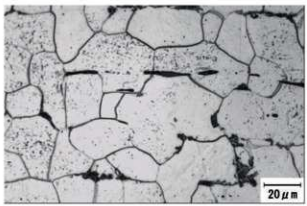
分析元素	分析結果			JIS G 3112（鉄筋コンクリート用棒鋼）との比較				
	制水井2号上屋（大正4年）		下流側管理橋（大正11年）					
	平鋼	山形鋼	山形鋼	SR235 SR295 SR295A	SR295B	SD345	SD390	SD490
C	0.20	0.04	0.04		≦0.27	≦0.27	≦0.29	≦0.32
Si	0.01	<0.01	<0.01		≦0.55	≦0.55	≦0.55	≦0.55
Mn	0.44	0.36	0.42		≦1.50	≦1.60	≦1.80	≦1.80
P	<0.050	0.045	0.044	≦0.050	≦0.040	≦0.040	≦0.040	≦0.040
S	<0.050	0.086	0.045	≦0.050	≦0.040	≦0.040	≦0.040	≦0.040
Cu	0.01	0.01	0.09					
Ni	<0.01	0.04	0.05					
Cr	0.01	0.02	0.02					
Mo	0.01	0.01	0.01					
V	<0.003	<0.003	<0.003					
Nb	<0.003	<0.003	<0.003					
Ti	<0.003	<0.004	<0.003					
N	0.0035	0.0107	0.0131					
B	<0.0003	<0.0003	<0.0003					
solAl	<0.006	<0.003	<0.003					
溶接指数	換算(1)結果			参考：JIS G 3136（建築構造用圧延鋼板）との比較				
	平鋼	山形鋼	山形鋼	SN400B	SN400C	SN490B	SN490C	
Ceq	0.28	0.11	0.12	≦0.39		≦0.44～0.46		
Pcm	0.23	0.06	0.07	≦0.26		≦0.29		

(1) Ceq及びPcmの換算式は以下のとおり。

Ceq=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14

Pcm=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B





写3.4.3　鋼材の断面ミクロ組織観察写真

左：平鋼（2号上屋 大正4）
右上：山形鋼（2号上屋 大正4）
右下：山形鋼（下流側管理橋 大正11）
白色がフェライト（純鉄組織）、黒色がパーライト（炭化物とフェライトの層状組織）を示す。

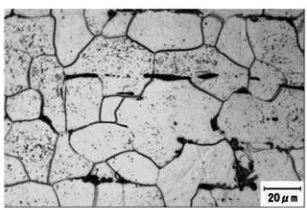


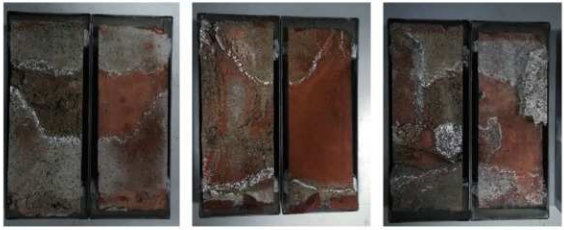
表3.4.3.2　ビッカース硬さ試験結果（HV1kg）

計測位置	制水井2号上屋（大正4年）		下流側管理橋（大正11年）
	平鋼	山形鋼	山形鋼
1	103	119	119
2	104	137	119
3	102	134	120
4	102	124	120
5	102	121	119
平均値	103	127	119
引張強さ換算	340 N/mm²	410 N/mm²	390 N/mm²

表3.4.4　煉瓦強度調査結果

区分	供試体（接合非）		
	BC1	BC2	BC3
圧縮強度(N/mm²)	79.7	60.4	43.2
静弾性係数(kN/mm²)	20.4	15.2	9.6
ポアソン比	0.214	0.180	0.129

区分	供試体（接合非）		
	MS1	MS2	MS3
目地せん断強度(N/mm²)	1.14	0.55	0.35
破壊形態	境界面	煉瓦面+	目地+
目地充填率(%)	70.4	28.3	61.6
要素せん断弾性係数(kN/mm²)	0.133	0.117	0.093



MS1　　MS2　　MS3

写3.4.4　煉瓦組積体目地せん断強度における破壊形態と目地充填状況

の場合は強度低下ではなく（表3.4.1.1によれば2号壁の強度は他に比べても遜色ない）、中性化による躯体内部の鋼材腐食に表れたことになる。

(1) クリンカ鉱物の結晶径はそれぞれ、焼成過程における昇温速度と高温保持時間に対応して変化することが知られている。ビーライトが細かいことは、急加熱後に短時間で焼成されたことを示唆している。こうした加熱・焼成は回転窯の特徴である。

(2) 「石灰ト砂ニせめんとヲ混ぜ且水ヲ加ヘ手作リタルもるたる」（中村達太郎『日本建築辞彙』（明治39年））

(3) 「lime-and-cement mortar　ポートランドセメント，砂と混ぜた消石灰，組積やポートランドセメントプラスター（スタッコ）に使われるセメントモルタルを作る」（村松貞次郎訳『建築英和辞典』（昭和51年））

(4) 村松貞次郎『日本近代建築技術史』（昭和51年）pp112-113

3.4.3 鋼材の分析（制水井2号上屋、下流側管理橋）

概要　現状では鋼材の腐食が著しい箇所があり、修理では新規鋼材との取替や溶接を計画した。実施に先立ち化学成分分析、ミクロ組織観察、断面硬さ測定を行い、補足材の仕様検討や溶接の可否について確認した。試料は制水井2号上屋から採取した平鋼及び山形鋼と、下流側管理橋から採取した柱繋の山形鋼とした。

化学成分分析　発光分光分析及び燃焼法によって各元素を分析し、Ceq（炭素当量）・Pcm（溶接割れ感受性組成）を算出して溶接性を検証した（表3.4.3.1）。分析結果を見ると、各試料ともCeq・PcmはJIS G3106（溶接構造用鋼板）に規定された上限値より低い。山形鋼は炭素量が極めて低い一方、不純物として硫黄や窒素が多く含まれている。

ミクロ組織観察　観察結果を写3.4.3に示す。平鋼は亜共析鋼（炭素量0.77％未満）の標準組織であるフェライト・パーライト組織が観察された[1]。炭素量が極めて低い山形鋼は殆どがフェライトである。

断面硬さ計測　ビッカース硬さ計測を行い、得られた硬さの値から引張強さを換算し、鋼材規格の検証を行った（表3.4.3.2）。何れもSS330（引張強さ330～430 N/mm²）に近い鋼材である。

結論　以上の分析により、鋼材を溶接補修したとしても、溶接接合部での著しい硬化層の形成あるいは軟化などの不具合は生じにくいため、溶接補修を行っても差し支えないと判断した。なお施工時には、実際に溶接補修したサンプルの引張試験を行い、溶接部に不具合が生じないことを再度確認した（写3.5.3.1）。

山形鋼（制水井上屋・管理橋共）の素材は炭素量の少ない極軟鋼で、不純物の含有量から考えても平鋼とは異なる方法によって精製されたものである。圧延形状によって素材の使い分けをしている点が興味深い。

(1) 炭素を含まない純鉄の組織がフェライトで、これに炭素を添加すると炭化物（セメンタイト）を形成する。パーライトはフェライトとセメンタイトが層状組織となったものである。

3.4.4 煉瓦と目地の強度（接合井）

概要　接合井の耐震診断の資料とするため、圧縮強度試験及び目地せん断強度試験を行なった。圧縮試験用の試料は煉瓦単体とし、室内積の最上段煉瓦のうち3個について、電動カッターで目地を切断して採取した（供試体番号 BC1～3）。試料採取後は普通煉瓦を用いて積み直した。目地せん断強度試験用の試料は目地を含んだφ80のコア3本とした（供試体番号 MS1～3）。試料採取後はモルタルを充填し、修理時に室内積煉瓦の差し替え補修を行なった（写4.2.50）

圧縮強度　圧縮強度は43.2～79.7 N/mm²とバラツキが大きいが、JISで規定する強度（JIS R 1250 普通れんが4種 30N/mm²以上）よりも高く、良質な煉瓦といえる。

目地せん断強度　目地せん断強度も0.35～1.14 N/mm²とバラツキが大きいが、これは目地充填率に差があるためである。今回調査によって躯体内に空隙が多いことが明らかになり、グラウト注入によって空隙を充填する必要性が認められた。

3.5　修理仕様および構造補強の検討

3.5.1　修理方針と仕様比較表

今回工事の前提条件である水道施設全体の活用・公開計画は、『重要文化財旧美歎水源地水道施設保存活用計画』（以下『保存活用計画』、平成26年3月鳥取市教育委員会、前文は鳥取市ホームページに掲載）79～80頁にまとめられている。このうち修理対象建物に関する記載を、後述の構造補強内容を併記しながら、表3.5.1.1に抜粋する。

『保存活用計画』55頁では、今回の修理工事を部分修理と定めた上で、「建造物の保存修理の方針」(1) として実質7項目の基準が示されている（表3.5.1.2）。この基準をどのように適用して今回の工事仕様を検討・決定したかの概要を、在来仕様と対比しながら表3.5.1.3～8に整理した。3.5.3以下では、特に検討を要した事項についてその内容を記載する。

(1)　これとは別に、『保存活用計画』31頁には「保護の方針」として3種類の基準が記載されている。この基準は、今回工事後に見直される予定である。

表3.5.1.1　活用・公開計画と構造補強

建造物名称	『保存活用計画』79～80頁記載の活用・公開計画		構造補強	
	公開部分	摘要	調査工事の検討	実施の検討
1～5号濾過池	外観	濾過池内立入禁止、2・3号は現状通り湛水	なし	
制水井1号～5号上屋	外観・室内	室内は通常非公開とし、ガイド等人的対応が可能な場合に限って公開	なし	
接合井	外観・室内	室内は通常非公開とし、ガイド等人的対応が可能な場合に限って公開、内部への立ち入りは禁止	なし	
量水器室	外観・室内	室内は通常非公開とし、ガイド等人的対応が可能な場合に限って公開	なし	
下流側管理橋（事務所前管理橋）	外観	常時通行可、手摺りの高さが不足していること等、通行時の注意を喚起する表示を設置	基礎や杭の新設	基礎や杭の新設 既存橋桁内側に補強鉄骨新設
上流側管理橋（岩ヶ平管理橋）	外観	橋梁内立ち入り禁止	なし	
門柱	外観	常時通行可	（未検討）	基礎の新設 内部に鉄筋挿入

表3.5.1.2　「保存活用計画」55頁に示された修理方針

① 経年変化によって健全でなくなった部位については、下記の基準に沿って修復方針を検討する。

1. 破損が軽微な部位については、保存のための手段を講じた上で現状を維持する。
2. 剥離したモルタル片等のうち、意匠上重要な部材については再用する。
3. 再用できない部材の取り換え・補修の材料及び工法は、当初材に倣うことを原則とする。
4. 当初材と同種のものが入手困難な工業製品等については、下記のとおりとする。
   （ア）工業生産品のうち焼瓦やタイル等、現代でも当初と同種の製法で製造され入手可能なものについては、補足材を製作するなど極力当初材に倣った修復とする。
   （イ）工業生産品のうち鉄板や鋼材等については、当初材を再現した製品の入手が困難な場合は、現在入手可能な既製品の中から類似品を選んで使用する。意匠的に重要なものについては当初と製造方法を変更して意匠を復原することも検討する。（金属部品の鋳造・鍛造から切削造への変更による形状復原等）
   （ウ）モルタルおよびコンクリートの配合比やセメント、骨材等の使用材料の産地や組成については、建築時に特に意図されたものを除き、当初に倣うのではなく、適正な強度、剛性および耐久性を有することを優先する。
5. 建物全体の破損が著しく、新規施工部分が広範囲におよぶ恐れがある場合は、古材の保存方法について別途検討する。

② 建築当初の設計・施工上の問題によって生じた健全でない部位のうち、保存管理上問題のある部位については、下記の基準に沿って個別に手法を検討し、対策を講ずる。

1. 構造補強が必要になった場合は、必要最小限かつ可逆性のある構法で、意匠的価値に影響しないものとする。
2. 耐久性向上等のために工法・仕様の変更が必要な場合は、意匠的価値に影響しないものとする。

表3.5.1.3 制水井 上屋仕様比較表・修理方針の基準と検討 報告書中に仕様の詳細を記載したものは（ ）内に示す

区分		在来の仕様	修理の仕様		仕様の検討	
			取替	再用	修理方針の基準	検討の概要
躯体補修工事	鉄骨（材料）	山形鋼、平鋼等（3.3.1、2）	在来に倣う（表4.2.1工程8）	残置、塑解体による露出箇所のみ防錆処理（表4.2.1工程5～7）	①-1 ①-3	在来形状と同等の現行圧延鋼を使用。
	鉄骨（工法）	リベット接合（3.3.1）	溶接接合（表4.2.1工程8）	残置	①-1 ①-4(イ) ①-4(ロ) ②-2	壁の解体が部分的であるためリベットが施工できない箇所が多く、打撃により未解体の壁が損傷する恐れがあり、意匠的価値に影響しないことから、リベット は採用せず、部分溶け込み溶接による接合とする。
	壁	モルタル、コンクリート（3.4.2）	断面修復（リフリート工法、表4.5.1工程3～11）	残置、ひび割れ補修（表4.5.1工程12）	①-1 ①-4(ロ)	当初の躯体モルタルやコンクリートの配合は特に意図されたものではないと考え、当初躯体を出来る限り残して補修を行い、さらに耐久性向上のための工法を採用。
	壁（ラス）	差形鉄製ラス（3.3.1）	亀甲SUS製ラス（表4.5.1工程10）	残置	①-1 ①-4(イ)	差型製品入手困難により類似品（亀甲型）を使用。
	壁仕上げ	当初ノロがけ、後補リシン（3.3.1、2）	仕上げ（表4.5.1工程13～14-1、3）	再用なし	①-1 ②-2	未解体部位の保存（中性化進行の抑制）及び補修箇所の段差解消のため、防錆ペーストを外部全体に塗布。仕上げは耐久性向上のため、ノロがけの色に近い吸水防止性能をもつ塗装。
	屋根仕上げ	ノロがけ、5号のみルーフィング（3.3.1、2）	仕上げ（表4.5.1工程13～14-2）	再用なし	①-1 ②-2	同上、屋根であるため防水を行う。5号では在来の仕様が破損の原因となっていたため、1～4号と同様の仕様とする。
建具工事	建具	木製建具、ガラスパテ止め、木練瓦へ鉄製ﾏｲﾅﾋﾞｽ止	在来に倣う 下枠に水切板金追加、木練瓦へSUSﾌﾗｽﾋﾞｽ止	木部：保管材を復旧 その他：再用なし	①-1 ①-3 ①-4(イ) ②-2	破損原因となっていた下枠の水仕舞を改善する。ﾋﾞｽはﾋﾞｽ頭が隠蔽されるため耐久性を考慮し現行品を使用。
	建具取付用木練瓦	粟材と思われる木製（3.3.1）	セラミック（写4.3.1）	再用なし	②-2	在来の木練瓦は腐朽してほとんど欠失し、耐久性に問題があることが明らかであり、意匠的影響もないため、仕様を改善。
	建具仕上げ	油性ペイント、当初黒色（5号のみ水色）、在来白色（3.6）	当初に倣う（3.6.2.3）、木部再用材はBA種	再用なし、別途保存建具古材表面に残存	①-4(ア)	色は現状変更(3.7)、木部の保存を考慮し、文献調査、史料調査等により油性ペイントを再現。
	建具金具	鉄製、鉄製ﾏｲﾅﾋﾞｽ使用	鉄製特注品鉄またはSUS製既製品、鉄製ﾏｲﾅﾋﾞｽ使用	蝶番金具：取り外し、復旧 ﾋﾞｽその他：再用なし	①-1 ①-3 ①-4(イ)	門金具など類似品がない場合は特注品、蝶番など類似品がある場合は既製品（鉄製を優先、なければSUS製）を使用。ﾋﾞｽはﾋﾞｽ頭が露出するため意匠性を考慮し、鉄製ﾏｲﾅﾋﾞｽのﾃﾞｯﾄﾞｽﾄｯｸ品を購入して使用。
	金具仕上げ	発錆のため不明	黒色ｳﾚﾀﾝ塗（表4.4.1）、金具再用材はBB種	再用なし	②-2	タール焼付と思われる黒色防錆仕上げと推定。タールが発がん性物質であることから、現行の防錆塗装とする。
雑工事	フィニアル	当初：木製フィニアル 現状：欠失	当初に倣い補足、木製ダボ部のみ金属製に変更、屋根と同色のｳﾚﾀﾝ塗装（表4.4.2）	再用なし	①-3 ②-2	現状変更(3.7)、塗装仕様は耐久性を優先する。塗装色は古写真（古写5～7）から判断して、躯体と同色とした。
	樋・樋金具	鉄板・鉄製、躯体に建込み	SUS板・SUS製、躯体に面付け	再用なし	②-2	樋の破損が壁への雨水浸透と鉄材腐食を助長していたため、耐久性を考慮して樋および支持金物の材質をSUS鋼に変更。在来の建込みでは部材破損時に交換不能となるため、面付けに変更。
	樋・樋金具仕上げ	明色（古写8）	躯体壁と同色の塗装焼付	再用なし	②-2	色は古写真から判断、仕様は耐久性のためSUS金具に焼付け塗装とする。
	制水井鉄蓋（鉄部）	鋳鋼板、形鋼、リベット接合	5号：在来に倣い補足	1～4号：残置	①-1 ①-3 ①-4(イ)	在来形状と同等の現行圧延鋼を使用。リベット接合で組み立てる。在来構標の鋳鋼板は入手不可能のため類似品を使用。
	制水井鉄蓋（仕上げ）	黒色塗装	黒色ｳﾚﾀﾝ塗（表4.4.1）、鉄部再用材はBB種	1～4号：活膜は左記塗装で隠蔽	②-2	在来黒色塗装はタール焼付と思われるが、現場で焼付塗装が不能で、タールが発がん性物質であることから、現行の防錆塗装とする。

表3.5.1.4　接合井　仕様比較表・修理方針の基準と検討　記載なき区分は制水井上屋と同じ

区分		在来の仕様	修理の仕様		仕様の検討	
			取替	再用	修理方針の基準	検討の概要
躯体工事	練瓦	東京型練瓦小口積(3.3.3)	JIS普通練瓦	残置	①-1 ①-4(イ)	取替範囲が一部であり、小口積であるため普通練瓦との寸法差による意匠的影響が少ないと考え、類似品を使用。
	練瓦目地(内部)	モルタル	取替なし	空隙部に注入(表4.5.1工程12)	①-1 ①-4(ウ)	躯体内空隙部への充填性を優先し、注入材を低圧注入する。
	練瓦目地(化粧)	モルタル	外装用目地モルタル	残置	①-1 ①-4(ウ)	上記注入口のみ補修、在来の目地色と調和する色のモルタルを使用。
雑工事　鉄蓋は制水弁鉄蓋（5号）と同じ						

表3.5.1.5　量水器室　仕様比較表・修理方針の基準と検討　記載なき区分は制水弁上屋と同じ

区分		在来の仕様	修理の仕様		仕様の検討	
			取替	再用	修理方針の基準	検討の概要
躯体工事	壁仕上げ(洗い出し)	当初洗い出し、後補断指系薄塗材(3.3.2)	後補に倣う（表4.2.1工程14-4）	残置、洗浄	①-1 ①-4(ウ)	補修範囲が後補仕上げ層の一部であるため、未解体の壁と調和する材料を使用。
	壁仕上げ(タイル)	練瓦タイル(3.3.2)	在来に倣う	残置、洗浄	①-1 ①-4(イ)	在来の練瓦タイルは現在の小口タイルと殆ど同じ寸法であるため、色や質感が似た既製品を使用。
	壁仕上げ(内部漆喰)	漆喰	取替なし	残置、洗浄	①-1	内部非公開であるため現況保存を優先し汚損の上塗直しや色合わせは行わない。
建具工事	ロールスクリーン（本体）	欠失	既製品本製スクリーン補足	再用なし	①-4(ア)	補足材の長さはブラケット残存位置から決める。
	ロールスクリーン（ブラケット）	鉄製、建具枠にマイナスビス止	在来に倣う	再用なし	①-1 ①-4(ア)	在来形状に近い既製品鉄製ブラケットとする。
	ロールスクリーン（ブラケット仕上げ）	窓枠塗料をブラケットにも塗る	在来に倣う、金具再用材はEB種	活膜は左記塗装で隠蔽	①-4(ア)	金具取替材はメッキ仕上げであるため、プライマー塗装の後、塗装する。
	上下窓分銅	鋳鉄製	在来に倣う	取り外し、復旧、破損状態により鉛板巻付（写4.2.4）	①-1 ①-3	原型を留めていないほど腐朽しているものは鋳鉄製特注品に取替、断面欠損により重量が軽くなっているものは鉛板を巻き付けて重量を調整のうえ再用。
	上下窓分銅（仕上げ）	不明	黒色DP塗（表4.4.1）	再用なし	②-2	当初仕上げはその有無を含めて不明、材料の保存を考慮し黒色防錆塗装を黒色で整備。
雑工事	窓鉄格子	丸鋼と平鋼をリベット組立、建具枠に鉄製ワイヤ抜止ジ止	在来に倣う	鉄部：取り外し、復旧 ネジ：再用なし	①-1 ①-3 ①-4(ア)	下部の腐朽部分のみ切断、在来形状と同等の鋼材を溶接補修、組立は在来に倣う。
	窓鉄格子（仕上げ）	不明	黒色DP塗（表4.4.1）	再用なし	②-2	当初仕上げは不明のため、材料の保存を考慮し黒色防錆塗装により整備。

表3.5.1.6　管理橋　仕様比較表・修理方針の基準と検討　構造補強を網掛けで示す

区分		在来の仕様 (3.3.4)	修理の仕様		仕様の検討	
			取替	再用	修理方針の基準	検討の概要
共通	橋脚	水道管、鋳鉄製柱頭、コンクリート製根巻	取替なし	残置、根巻コンクリート増打ち、蛇籠新設	①-1 ②-1	根巻コンクリート増打ちは足元の構造補強、蛇籠は洗掘防止のため県土整備局の指導により設置。
	類材・ブレース等	山形鋼、丸鋼等	在来に倣う（図4.5.2）	残置	①-1 ①-3 ①-4(4)	ターンバックルのみ在来形式入手困難のため類似品とする。
	同上仕上げ	当初：丹色塗装 後補：赤色塗装	RB種赤色DP塗（表4.4.1）	活膜は左記塗装で隠蔽	②-2	色は在来に倣うが、塗装仕様は耐久性を優先する。
下流側	橋桁	I形鋼	取替なし	鬼屋、復旧	①-1 ①-5	著しく腐食した鋼材の保存を優先する。ただし橋桁としての機能回復はしない。
	橋桁（仕上げ）	当初：丹色塗装 後補：赤色塗装	RB種黒素繊維入り無機系防錆材、赤色上塗（表4.4.1）	活膜は左記塗装で隠蔽	②-2	色は在来に倣うが、塗装仕様は著しく腐食した鋼材の保存を優先して選択した防錆塗料と使用。
	新設補強鉄骨	なし	新設(図4.5.3～5)	なし	②-1	橋桁保存のため、橋桁の機能を担う補強鉄骨を新設し、床版及び橋桁を支持する。仕上げは暗灰色DP塗（表4.4.1）。
	両端支承	BPと鬼ボルトを石に埋込	取替なし	BP：残置、石に固定せず ボルト：頭のみ再用	①-1 ②-2	修理後は支承として機能しないため、ボルトは機能させない。
	新設支承	なし	新設（写4.5.18）	なし	②-1	新設補強鉄骨を支持する可動/固定支承を新設。
	橋脚上支承	BPと橋脚柱頭金具をボルト固定	取替なし	BP：残置、柱頭金具に固定せずボルト：頭のみ再用	①-1 ②-2	修理後は支承として機能しないため、ボルトは機能させない。
	橋台	石、練積み	取替なし	取り外し、新設基礎表面に復旧（図4.5.6）	①-1	補強鉄骨に干渉する石は復旧せず、別途保存。
	新設補強基礎	なし	新設(図4.5.6)	なし	②-1	新設支承を支持する深礎及びRC造基礎を橋台内に新設。
	床版	RC造打ち放し	取替なし	鬼屋、復旧 ひび割れ補修（表4.5.1工程12）	①-1 ①-4(3)	補修仕様は制水井上屋躯体補修工事参照。
	床版舗装	当初：なし 後補：アスファルト舗装	後補に倣う	再用なし	①-4(4)	修理後の主動線となることから、舗装を整備する。
	手摺	丸鋼等を曲げ加工・溶接又はリベット接合	在来に倣う(図4.5.1)	残置	①-1 ①-3	意匠を優先しリベットを使用。
	手摺（仕上げ）	当初：不明 中古：緑 現状：白	RB種緑色DP塗（表4.4.1）	活膜は左記塗装で隠蔽	②-2	色は現状変更(3.7)、塗装仕様は耐久性を優先する。
	手摺親柱	無筋コンクリート、洗い出し仕上げ	取替なし	鉄筋挿入、ひび割れ補修（表4.5.1工程12）	①-1 ①-4(4) ②-1	制水井上屋躯体補修工事参照、断面修復の面積狭小のため洗い出しは復旧せず、モルタル刷毛引き仕上げとする。折損防止のため補強鉄筋を上部から鉛直方向に挿入する。
	銘板	銅板、黒色塗料の文字、手摺親柱に埋込（3.3.5）	在来に倣う、取付は機械式とする	再用せず、別途保存	①-3 ②-2	文字の消失を防ぐため全て取替、補足材は在来の文字を筆書き、将来の取り外しを考慮して取付方法を変更。別途保存先は場内のガイダンス施設とする。

区分		在来の仕様 (3.3.4)	修理の仕様		仕様の検討	
			取替	再用	修理方針の基準	検討の概要
上流側	橋桁	I形鋼	取替なし	補修（図4.6.2）	①-1	フランジの部分的な腐食箇所のみ。I形鋼を利用した継鉄・短鉄により補修。
	橋桁（仕上げ）	当初：丹色塗装 後補：赤色塗装	同種赤色DP塗（表4.4.1）	活膜は左記塗装で隠蔽	②-2	色は在来に倣うが，塗装仕様は耐久性を優先する。
	両端支承	BPと鬼ボルトを石に埋込	在来に倣う（図4.6.2）	残置	①-1	リベット部はトルシア形ボルトを使用して意匠に配慮する。
	橋脚上支承	BPと橋脚柱頭金具をボルト固定				
	橋台	石，練積み	取替なし	取り外し，復旧（図4.6.3）	①-1	床版掃屋に干渉する部分のみ。
	床版	RC造打ち放し	取替なし	掃屋，復旧 ひび割れ補修（表4.5.1工程12）	①-1 ①-4(ｲ)	橋桁上フランジ補修のために掃屋する。 補修仕様は耐水井上屋躯体補修工事参照。
	床版舗装	なし	塗膜防水	なし	②-2	床版防水のため塗膜防水を新設，トップコートの色はモルタルに合わせて灰色とする。
	手摺	丸鋼等を曲げ加工・溶接又はリベット接合	在来に倣う（図4.6.1）	残置	①-1 ①-3	意匠を優先しリベットを使用。
	手摺（仕上げ）	当初：緑 現状：白	同種緑色DP塗（表4.4.1）	活膜は左記塗装で隠蔽	②-2	色は現状変更(3.7)，塗装仕様は耐久性を優先して現行品とする。
	手摺親柱	RC造モルタル仕上げ	リフリート工法（表4.5.1工程3～11）	ひび割れ補修（表4.5.1工程12）	①-1 ①-4(ｲ)	耐水井上屋躯体補修工事参照。

表3.5.1.7　門柱　仕様比較表・修理方針の基準と検討　構造補強を網掛けで示す

区分		在来の仕様 (3.3.3)	修理の仕様		仕様の検討	
			取替	再用	修理方針の基準	検討の概要
基礎工事	**基礎**	**無筋コンクリート**	**鉄筋コンクリート（図3.5.7）**	**再用なし**	**②-2**	**構造補強材の定着のため**
躯体補修工事	煉瓦	東京型煉瓦	JIS普通煉瓦	曳屋，復旧，水洗	①-1 ①-4(ｲ)	取替範囲が一部であり，隅部に長手が表れない普通煉瓦との寸法差による意匠的影響が少ないと考え，類似品を使用。
	煉瓦目地（内部）	モルタル	取替なし	空隙部に注入（表4.5.1工程12）	①-1 ①-4(ｲ)	躯体内空隙部への充填性を優先し，注入材を低圧注入する。
	煉瓦目地（化粧）	モルタル	外装用目地モルタル	残置	①-1 ①-4(ｲ)	上記注入口のみ補修。在来の目地色と調和する色のモルタルを使用
	煉瓦内鉄筋	**中央に1本**	**取替なし，4本追加，基礎に定着（図3.5.7②）**	**残置**	**①-1 ②-1**	**在来の意匠や工法への影響が少ない補強案とする**
	石（一部が破損している部材）	近隣産角礫凝灰岩（新井石）	鞍石モルタル	曳屋，復旧	①-1	破損部を石で補修する場合，健全部分を斫る必要が生じるため，残存部材の保存を優先し，補修にはモルタルを使用。
	石（全体が破損している部材）		兵庫県産角礫凝灰岩	再用なし	①-3	在来の石は現在産出していないため，外観が似た同種の石を使用。
建具工事	門扉	当初：木製門扉 現状：鉄製門扉	当初に倣う（図4.7.3）	再用なし	①-3	現状変更(3.7)
	木柵	当初：木柵 現状：欠失	当初に倣う（図4.7.4）	再用なし	①-3	現状変更(3.7)
	門扉・木柵（仕上げ）	白色	白色MP塗（表4.4.2）	再用なし	②-2	色は当初に倣う(3.7)，塗装仕様は耐久性をして現行品とする。
	門扉金具	針金：鉄製金具 根本のみ残存 その他：欠失	鉄製特注品，鉄製ｱﾝﾋﾞｽ使用（図4.7.1）	残置	①-1 ①-4(ｲ)	現状変更(3.7)，針金は補足金具を残存部に溶接。
	門扉金具（仕上げ）	不明	可動部：黒色DP塗 固定部：白色DP塗（表4.4.1）	再用なし	②-2	可動部は耐水井上屋建具金具（仕上げ）と同じ。ただし固定部（辻金具）が黒色では目立ちすぎること，可動しないため塗装しても摩擦部剥離の恐れがないことから，白色とする。

表3.5.1.8 濾過池及び敷地

区分		在来の仕様	修理の仕様		工法の検討	
			取替	再用	修理方針の基準	検討の概要
濾過池	側壁煉瓦	当初：東京形煉瓦を長手方向へ2つに割ったもの 後補：煉瓦欠損部にコンクリート打設	取替なし、欠損部は後補に倣う	残置、洗浄（写4.8.1）	①-1	修理方法は供用時に倣う。
	側壁煉瓦目地	モルタル	取替なし、欠失部はタイル用セメント目地材充填	残置（写4.8.2）	①-1 ①-4(ⅰ)	煉瓦側壁の更なる欠損を防ぐための措置。
	縁石	近隣産角礫凝灰岩（新井石）	なし	残置	–	今回修理では補修せず、経過観察。
	濾過砂	濾過砂	表層撤去、砂洗い場跡から出土した砂補足	表層撤去後の砂篩取り、洗浄、その他残置（写4.8.3）	①-1 ①-3	汚泥を含む砂を撤去、砂の入れ替えは供用時に倣う。
敷地	見学路	玉砂利	取替なし	洗浄、防草シート・ずれ止め材の上に復旧	①-1 ②-2	管理のため防草シート追加、活用のためずれ止め材追加。
	見学路以外		取替なし、不足範囲に玉砂利を補足	洗浄、防草シートの上に復旧	①-1 ①-3 ②-2	管理のため防草シート追加。

3.5.2 構造検討の概要

地盤 地盤調査により、建物や工作物の支持地盤として問題がないことや、円弧滑りが発生するような地盤ではないことが確認された（3.1参照）。ただし、管理橋橋台の支持地盤への固定方法と、東側傾斜地からの伏流水による側圧の軽減には留意する必要がある。

想定外力 1.5mの積雪荷重（鳥取市建築基準法施行細則第5条の2による）と地震時の水平力に対して、必要な安全性能が確保されているかを確認した。劣化状況には、保存修理によって建物を構成する壁等の構造性能の回復が図られるものとして検討した。

検討の方針 検討は、調査結果に基づき建物重量を算出し、建築基準法に準じて地震力を算出し、建物の部材の構成や耐力評価に考慮して立体解析モデルを作成した。建物の構造性能の評価は、壁や屋根スラブ等の各部材の許容応力度に基づいて実施した。屋根の積雪荷重を立体解析モデルに加えてその挙動を解析し、発生した応力が全てひび割れ以下であることを確認した。

3.5.3 制水井上屋

構造検討 上屋は鉄網モルタル構造の壁（厚さ46～66mm）または鉄筋コンクリート構造の壁（厚さ43～52mm）で囲まれ、出入り口と窓開口が設けられている。壁式鉄筋コンクリート構造の平屋の必要壁厚t=12cmには満たないが、壁の負担せん断力の性能により、地震や風荷重による水平力に抵抗している。ここでは以下の2ケースについて、耐震性能を確認した（壁厚は各棟共48mmで計算）。

①壁式コンクリート構造に準じて、平面置換モデルにより負担せん断力の確認と壁柱の曲げ耐力を考慮して最大耐力を確認した。その結果は壁に浮き上がりが発生する時に、壁にひび割れが発生するが、壁端部の鋼材の断面積が1/3以下に減じていなければ、浮き上がりが先に生ずることを確認した。

②壁の平面要素と屋根のシェル要素、壁内の鋼材の軸要素で構成する立体解析モデルを作成し、長辺及び短辺方向に地震力を作用させ、静的増分解析により荷重－変形曲線を算定した。それぞれ二方向の最大耐力は平面置換モデルと同様の結果が得られた。またCo=0.20相当の地震力に対して、壁頂部の変形は0.1mm程度、壁の開口隅角部に発生する応力もひび割れ応力度以下であることを確認した。

以上により、積雪荷重に対してはひび割れを起こすことなく支持できること、壁端部の鋼材断面積が1/3以下に減じていなければ、壁の破壊よりも浮き上がりが先に生ずる結果となった。

制水井上屋は通常内部非公開として活用するため、補強は行わないことにした。なお、修理工事では1/3以下

に減じている鋼材は交換する必要がある。

調査工事における検討　制水井2号上屋は他の上屋に比べて特に破損が著しいため、調査工事当初より保存方法について懸念が示されていた。調査工事において現況調査を行った結果、破損は著しい一方で、壁面上方や屋根面には、比較的健全な部分も確認されたことから、保存修理も可能ではないかとの提案をおこなった。これにより、調査工事期間中に示された修理方針案を整理すると次の通りである。

①現状維持案…積極的な修理はおこなわず、現状維持の処置を施して保存する。

②移築・復原案…他所へ移築した上で維持措置を講じ、現地には、当初にならって新たに上屋を復原する。

③保存修理案…破損部の補修をおこない、現地で保存する。

これらは、それぞれ維持のための技術的な課題や今後の維持管理および場所性に関するオーセンティシティの問題がある。また③の保存修理案は、工事において脆弱部の解体を進めた結果、予想以上に鋼材の腐食が進んでいた場合には、大半のモルタル壁および鋼材の当初材を失うおそれがあり、結果として、希少な鉄網モルタル造としての価値を減ずることが懸念された。

このため、調査工事における2号の取り扱いは、いったん部分修理として計画し、工事は破損が比較的少ない3号より着手し、4号、1号、5号の順に修理計画の精査・見直したうえで各棟工事を実施し、最終的にこれらの成果が揃った段階で、2号の修理方針を見直すこととした。

その他の方針に関して検討部会で行われた検討内容は、概ね次の2点に集約できる。

・エポキシ系接着材[1]は可逆性がなく、将来樹脂が劣化した際に接着した部材も一緒に除去しなければ無くなるため結果として保存にならない。→原則として無機系材料を用いる。

・鉄網は錆びるので修復時には使わないほうが良い→表面仕上げとメンテナンスを行うことで発錆への対処は可能と考える。防錆塗料を予め塗布するなどの予防措置も考慮する。工法の再現は保存修理の意義上、重要と考える。

(1)　ここでエポキシ系接着材が検討された理由は、調査工事の時点では、制水井2号上屋の大きく浮いた壁を接着性に優れたエポキシ系接着材で固定するという工法が想定されていたためである。

着工時の修理方針　鉄骨や鉄網が腐食・膨張し、壁の浮きや剝落を生じていたが、健全部は十分強度を保っていることが確認できたことから、破損部の補修をおこない、防錆および防水対策を施すことで、今後の維持が可し、上屋を構成する部材断面を本来の性能に回復することを目的とした。

修理工法としては、現行の鉄筋コンクリート造の改修で行われている断面修復工法（リフリート工法相当）を採用する。着手にあたっては、破損部の補修について、まず壁の浮きの大小や変形の有無を確認し、壁を除去する部位を決定し、次に浮きや変形の大きい壁を部分的に除去した後、鋼材腐食状況を確認した上で、その大小によりさらに壁の除去範囲を見直しながら作業を進めることとする。その際、予想以上に当初材が失われる可能性があると判断された場合は、修理方針を見直すこととする。

ひび割れ部や壁の浮きが軽微な箇所は、セメントスラリー注入を行い、壁面の空隙に充填して鋼材の防錆と躯体の一体化を図る。屋根面は防水対策を行う。

その他、建具の補足と補修、ペイント塗直し（ペイントの仕様は3.6参照）、竪樋の復旧、フィニアルの復原（現状変更）、内部の制水弁や鉄蓋等の防錆処置を行う。

修理に用いる材料は、今後の維持管理に支障がない限り、原則として当初にならうこととする。ただし鉄網、鉄骨材等、現行の規格にない工業製品は、入手や制作が困難な場合には代替品の使用を検討する。

実施における検討と方針修正　破損が比較的少ない3号から断面修復を進めた結果、破損部以外は鉄材を含む躯体が健全であったことが確認できたので、最小限の解体によって破損部分のみが補修できることが判明した。そのため、計画時に懸念されていた2号についても他の棟と同様の補修を行うこととした。

以下の6点は、修理着手後の検討によって実施の仕様を決めた。

①鋼材の補修方法…腐食した山形鋼や平鋼（3.3.1）を補修するため、断面形状が近い現行の鋼材を溶接で接続する。

在来の仕様はリベット接合であるが、破損部分以外の壁は解体しないのでリベットが施工できない箇所が多いこと、打撃によって未解体の壁が損傷する恐れがあること、壁内部に隠れるため意匠的価値に影響しないことからリベットは採用せず、保存部位への影響を抑えるため溶接接合とする。

溶接の仕様については、完全溶込み溶接とした場合、裏側の溶接（または裏当て金の取り付け）のために健全なモルタルを斫る必要があり、解体範囲が過大になるため、最小限のモルタル斫り量で施工できる部分溶け込み

溶接とした。

部分溶け込み溶接でも鋼材本来の性能が回復できることを引張試験により確認した（写3.5.3.1）。なお、在来の鋼材同士はリベット接合で組まれていたが、リベットを用いると既存躯体に振動を与えるため隅肉溶接とした。

補足するメタルラスは、在来の菱形ラスの大きさに近い現行品を用いた（写3.5.3.2）。

②外部の仕上げ…鉄骨や鉄網のかぶりが全体的に小さい（3.3.1参照）。また、2号以外の既存モルタルの中性化は鉄骨位置まで進行していないとはいえ（写3.5.1.2）、中性化に対する全体的な予防措置は必要と考えられる。そこで、未補修部分に対しても表面に防錆ペーストを塗ることで躯体の中性化進行の抑制を行う。防錆ペーストを全体に塗ることで、断面修復をした個所としない個所で生じた段差を解消する目的もある。

当初の仕上げはノロがけであり（写3.3.1.10）、現状では後世のリシンが塗り重ねられていた。今回修理では現状変更により当初形式へ復すため、外部の仕上げもノロがけが望ましい。しかし、当初とは下地が異なること（当初はモルタル、今回は防錆ペースト）、耐久性の問題（昭和4年の時点で外壁が著しく汚損していることが古写真（古写8）より判明する。積雪量が多く湿度も高い水源地周辺の環境が原因と思われる）が懸念された。以上により、今回工事では当初ノロがけの色に近い塗装とした。なお、吸水防止性能を有する塗料を採用することで耐久性に考慮した。

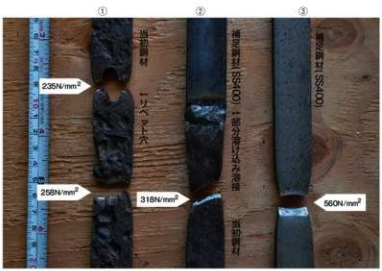
③屋根の仕上げ…1～4号では防水層が無く、壁と同じ仕様であった（3.3.1）。今回も防錆ペーストまでは壁と同じ仕様とするが、その上に塗膜防水を施し、当初ノロがけの色に近いトップコート仕上げとした。調査工事時の検討において、使用材料は無機系を原則とするとしていたため、ポリマーセメント型塗膜防水材を採用した。

写3.5.3.2 メタルラス（左：在来　右：補足）

5号ではアスファルトルーフィングにモルタルを塗り重ねていたが、モルタルが剥離して破損の原因となっていたので（3.2.1参照）、1～4号と同様の仕様とした。

④内部の仕上げ…当初の仕様はモルタル刷毛引きである。その上に白色塗料（写3.3.1.11）が塗られているようにも見えるが、断定はできない。内部は外部と異なりリシン等の明らかな後補材が塗られておらず、当初の仕上げが保存されていた。また、外部と比べて破損が少なく、断面修復痕が露出する面積が限られているため、防錆ペーストは断面修復を行わない既存躯体には塗らないことにした。断面修復箇所では周囲に倣って刷毛引き仕上げとした。

面積が限られているとはいえ、断面修復材が露出したままでは意匠上問題があるため、修復箇所は水性塗料で



写3.5.3.1 鋼材溶接補修の性能確認

引張試験により溶接補修の性能確認を行った。試験体は①当初鋼材、②溶接補修材、③補足鋼材の3点とした。数字は引張強度を示す。溶接した②では溶接部分以外で破断したので、溶接性はある。

強度を比較すると、当初鋼材＜溶接部＜補足鋼材となり、溶接による強度の劣影響は見られないことから、補修は妥当である。

周囲に合わせて色合わせを行った。

⑤建具金具の仕上げ…現状は建具の後補白色塗装が金具に塗られていたが下塗塗装痕は見当たらず、当初仕上げは不明であった。

当時の既製品鉄製金具には様々な防錆仕様が用意されていたが[1]、在来の金具は見え隠れを含めて防錆の痕跡が確認できなかった。これは、比較的簡易な防錆仕様であったことが原因と思われる。当時の一般的な防錆仕様は黒色仕上げであるため[2]、補足金具の仕上げもこれに倣い黒色とし、防錆塗装仕上げとした。

⑥5号の鉄蓋…著しい腐食は認識されていたが、調査工事では補修と計画していた。修理着手後に解体すると腐食が著しく再用が不可能であることが判明したため、取替とした（写3.2.9、取替仕様の検討は接合井の鉄蓋を参照）。

(1) 米国Sargent社のカタログ（1926年）によれば、鉄製金具の防錆仕様としては、漆（Japanned）、亜鉛メッキ（Galvanized）のほか、鉄防錆仕上げ（Rustproof Iron Finish）、各種メッキ仕上げ（Bronze Finishes/Brass Finishes/Nickel Finishes）が挙げられている。冒頭の漆については、動詞のjapanに「漆に似た黒光りする塗料」（小学館ランダムハウス英和大辞典）の意味もあることから、実際には漆ではなくタールのような黒色塗料であった可能性がある。なお、大正～昭和初期に国内で出版された金具カタログを見ると、一般的にはStanley社やBommer社など米国製の輸入品が掲載されている。そのうち鉄製金具の仕上げはブロンズ（磨金）メッキが多く、次いで黒漆、磨仕上げ（ニッケルメッキか）が確認できる。

(2) 前掲Sargent社のカタログによれば、Rustproof Iron Finishは防錆方法として一般的な黒色仕上げだが、湿潤環境には不適当とされているので、簡易な防錆仕様ということになる。

3.5.4　接合井

構造検討　接合井は煉瓦壁と金網モルタル構造の屋根スラブで構成され、出入り口と窓開口が設けられている。煉瓦組積造の壁としての負担せん断力の性能により、地震や風荷重による水平力に抵抗している。ここでは以下の2ケースについて、耐震性能を確認した（屋根スラブ厚は48mmで計算）。

①現地から採取した煉瓦の圧縮耐力と煉瓦の目地のせん断耐力を考慮し、壁が負担する軸力とせん断力に対して、必要性能を満足することを確認した。

②壁の平面要素と屋根のシェル要素で構成する立体解析モデルを作成し、側面と出入り口長辺及び短辺方向に地震力を作用させ、静的増分解析により荷重－変形曲線を算定した。それぞれ二方向の壁頂部の変形は0.25mmを超える程度、発生する煉瓦壁開口偶各部の主応力度が0.059N/mm²、煉瓦目地のせん断試験結果 $\tau = 0.35 \times 2/3 = 0.23$N/mm²に満たないことを確認した。また支点の浮き上がりを考慮した水平耐力は100kNを超え、ベースシアー換算でCo=0.75以上であることを確認した。

以上により、積雪荷重に対してはひび割れを起こすことなく支持できること、壁が負担する軸力とせん断力に対して必要性能を満足することを確認した。

接合井は内部立入禁止として活用するため、補強は行わないことにした。なお、目地の充填不足が明らかとなったことから、修理工事では目地の充填を行うこととした。

調査工事における検討　検討部会で行われた検討内容は、次の2点である。

・沈下の修正について→工事期間中を通して経過観察を行ない、沈下の進行状況を確認して、対処を検討する。

・鉄蓋の取替について→取り外しできるものであれば、現状変更の対象とはならない（文化庁担当者）。

着工時の修理　方針各部の破損・劣化を補修するため、部分補修を行う。ただし煉瓦躯体目地の充填不良と目地せん断強度のばらつきが確認され、耐力不足の可能性が指摘されたことから、目地の補充充填を行う。

目地の補充充填は、煉瓦躯体内壁側の目地を一定間隔に穿孔し、セメントスラリー注入を行う。内壁のエフロレッセンスや汚れは高圧水で洗浄、外壁モルタルは、浮きやひび割れをセメントスラリー注入および断面補修をおこない、仕上げを復旧する。

内部鉄蓋は腐食が著しいため取り外し、旧規にならって新規に作製したものに取り替える。その他は制水井上屋と同様の修理とする。

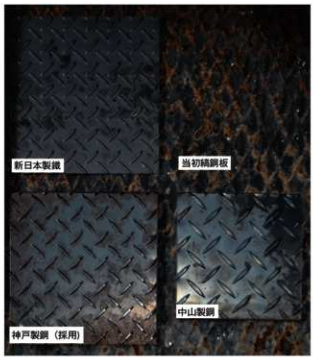
実施における検討と方針　修正以下の2点は、修理着手後の検討によって実施の仕様を決めた。

①沈下の修正…調査工事から5年後に再度沈下を計測したところ、進行は認められなかったので、沈下への対策は行わないことにした（表3.5.4、沈下量のズレは実測誤差と考えられる）。ただし、パラペット内樋が逆勾配になっているので、溝底及びパラペット上端にモルタルを塗り増し、水勾配を確保する（図4.2.1）。

②鉄蓋の取替仕様…在来の鉄蓋は縞鋼板を使用しているが、縞模様が現行の縞鋼板と異なり切れ目のない菱形となる。表3.5.1.2に示された修理方針のうち、①4.（イ）は、この縞鋼板を想定した項目と思われるが、同じ当初縞鋼板は制水井1号～4号上屋鉄蓋で保存されること、鉄蓋を鋳物にするとヒンジの曲げ加工や接合部の溶接が困難となることから、既製品を用いることにした。模様の間隔が比較的近い縞鋼板3種を比較して実施の材料を

表3.5.4 接合井沈下の経過観察

部位	沈下量（mm）	
	平成23年	平成28年
パラペット天端	－65	－68
礎石天端	－55	－49



写3.5.4 鋼鋼板補足材の検討　10cm

選定した（写3.5.4）。

3.5.5 量水器室

構造検討 壁面から採取されたコンクリートコアから判断すると、壁厚180mm程度の鉄筋コンクリート造の上屋で、出入り口と窓開口が設けられている。壁やスラブの配筋は不明であるが、小規模な壁で囲まれた建物であることから、壁の負担せん断力の性能により、地震や風荷重による水平力を負担している。ここでは壁式鉄筋コンクリート構造として耐震性能を確認した。

建物が礎石上に据えられていると判断し、壁の浮き上がりがそのまま転倒に繋がるものとすると、積雪考慮のCo=0.40相当で支点が浮き上がることが確認できた。このときの壁の負担せん断力や壁柱の曲げひび割れに対しても十分な余裕があることが確認できた。

以上により、積雪荷重に対してはひび割れを起こすことなく支持できること、地震時には無傷のまま転倒することが確認された。

着工時の修理方針 量水器室は通常内部非公開として活用するため、補強は行わないこととし、各所破損・劣化部の補修を行う部分修理の方針案を策定した。

外部の棟瓦タイル部、モルタル洗い出し仕上げ部について高圧水等による洗浄をおこない、エフロレッセンスや苔等の汚れを除去、浮きやひび割れ部分の注入・充填、欠損部は断面補修および表面仕上補修を行う。

内部のプラスター塗の壁面は、水洗いによる汚れの除去、ひび割れ部分の注入・充填を行う。

屋根面は、高圧水洗浄をおこない、苔や汚れを除去する。その際、仕上げモルタルに浮きや剝がれがないか確認し、必要に応じて塗り直しや、ひび割れ・浮きの補修を行う。

その他、建具・雨樋・窓鉄格子の復旧整備とし、道路側の取り付き階段の仕上げモルタルの浮きや剝がれ、欠損部は断面補修および表面仕上げ補修を行う。

実施における検討と方針修正 各面の仕上げについては、修理着手後の検討によって実施の仕様を決めた。

①外部洗出し面（後補の樹脂系薄塗り材）の仕上げ…破損が集中していた屋根の隅棟、パラペット、庇では全面塗直しとした。その他の箇所では破損が部分的であるためひび割れ補修のみとした。大部分で樹脂系薄塗り材が残置されるので、補修材も樹脂系薄塗り材を用いた。パラペットと付柱は、後補の修理に伴う目地で縁が切れていたため、この目地を塗り継ぎ位置とした。

②屋根面の仕上げ…隅棟以外の屋根面は当初の仕上げが不明だったので、剝水井上屋等と同様の塗膜防水を用い、トップコートの色は建物との調和を考慮してグレーを選定した。

③内部の仕上げ…内部は非公開となるため、水洗いで除去できない漆喰の汚損は残置して現況を保存、上塗直しや色合わせ塗装は行わなかった。

3.5.6 管理橋

3.5.6.1 調査工事における検討

構造検討結果 鉄筋コンクリート造の床版は発錆による鉄筋の断面欠損を考慮して無筋コンクリートとみなし、床版の応力検定を行った結果、コンクリートのひび割れ応力度以下であることを確認した。また、橋桁の性能を確認し、支点反力を求めた結果、載荷性能を充分満たしていたものと判断できた。『立体横断施設技術基準・同解説』（日本道路協会）に基づき、活荷重と固有振動数にも配慮した。ただし現状においては、床版や橋台石積みに損傷が確認されていること、橋脚部の基礎が未確認で

あること等の不確定要素があるため、それらの積み直しや、コンクリート基礎の打設等が必要であると判断した。

第1回検討部会協議　破損の著しい橋桁の取替えが了承された。床版は活用上の安全性の課題はあるが、補修は可能であると考えられることから、文化財保護の観点から補修して残す方針が示された。これにより、現状の橋桁および橋脚を保存することを優先した修理計画案を複数作成した（図3.5.6.1①案）。これに対しては、安全性は満たされるものの、補強により部材構成や外観が変わってしまうこと、橋桁、床版、橋脚各所の破損は橋桁や橋脚を含めた橋梁としての総合的な判断が必要であること、という検討課題が生じた。

総合点検調査　そこで、協議のうえ橋梁専門メーカーである川田工業株式会社に総合点検調査を依頼した（表3.5.6.1）。その結果、橋桁の腐食が著しいことから、取替が望ましいとの判断がなされた。この総合調査に基づき、再度修理計画案を検討したところ、床版は修理したうえで再用、橋桁は取替とし、橋脚は繋ぎ材以外を再用とする案を策定した。

整備活用委員会協議　人道橋の修理方針の検討経過について報告したところ、委員より「上流側管理橋は代替の橋が架かっており、保存のために残すのであれば使用できなくてもよいが、下流側管理橋が流れないのは維持管理上、非常に不便である。景観上、代替の橋を架けるのも難しい」との意見が出された。また、文化庁担当官より「渡れることを前提とした修理を検討することもありうる。活用も必要。すべてを凍結保存するということではない。床版は中古材であり当初のオリジナルではないので、打ち直しもありうる」との意見が出された。

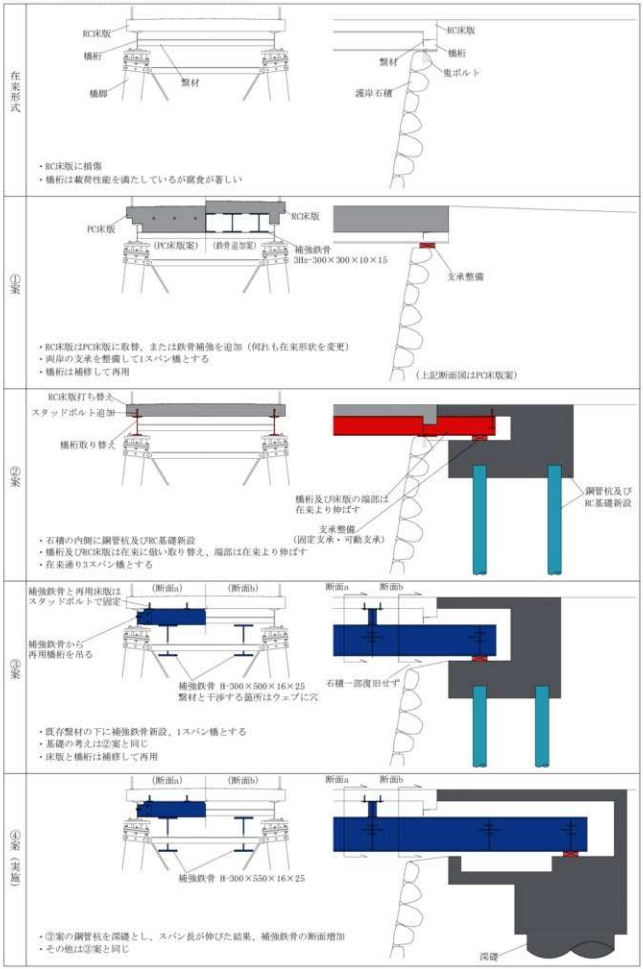
第2回検討部会協議　修理後に積極的な活用を行う場合、床版を取り替える以外に、安全性を保証することは難しいという設計側の判断について協議したところ、活用を考慮し、床版を取り替える方向で意見がまとまった。

第3回検討部会協議　上述の方向に対して更に検討を加え、外観が変わるＰＣ床版を取りやめ、現行の床版形状を踏襲するため、見え隠れの橋桁端部と床版を石積みの内側に新設するコンクリート基礎及び支持層まで達する鋼管杭で受ける修正案を提出した。これは、石積みの剥損と橋桁端部の腐食を招いていた支承を可動支承に整備

表3.5.6.1　橋梁専門メーカー（川田工業株式会社）による総合点検調査結果

下流側管理橋	上流側管理橋
橋面からの目視では、高欄以外はそれほど大きな損傷は見られないが、桁下の状況は主桁の腐食がかなり進んでいる。 主桁の腐食の度合いはほぼ全面に至っており、桁、支点付近の断面欠損はとくに著しい。床版はＲＣ構造であり、ひび割れ、遊離石灰は若干認められるが、比較的健全な状況である。 ①路面：アスファルト舗装で比較的健全と思われる。雨水は直接桁下へ落下する形態である。 ②高欄：曲がり、破断、脱落あり。高さは45ｃｍと低いので改修が必要である。 ③主桁 ・腐食の度合いはほぼ全面に至っており、桁、支点付近の断面欠損はとくに著しい。上フランジ側の腐食はほぼその断面がなくなっている状況である。これは、雨水が路面から直接排水され、主桁を伝って桁下に落下する環境が腐食を促進させた要因である。 ・桁端部は損傷著しく、今後も腐食が進行する環境にある。 ④音：桁と同様腐食状況にあり、取替えが必要である。 ⑤床版：遊離石灰や鉄筋露出（腐食）箇所が一部認められる。 ・床版は主桁と横桁上に打ち下ろされて施工されている。 ・床版側面（地覆）は骨材が露出し、凍害を受けているものと考えられる。 ⑥橋脚は比較的健全であるが、横つなぎ材のアングルは腐食し、断面欠損している。 ⑦橋台は一部すき間を生じている。すき主の状態からすると、河川側に傾いた可能性があるが、詳細は調査を行わないとわからない。 **結論：本橋の鋼桁は、腐食が著しく取替えが望ましい状況である。**	橋面からの目視では、高欄以外はそれほど大きな損傷は見られないが、桁下の状況は非常に劣化が進んでいる。 損傷の度合いはお岸側が激しく、桁、床版ともに上流側は崩壊に近い状態である。今後は通行禁止の措置を早急にとる必要がある。原状の環境では劣化が進む状態にあり、右岸上流側は、積雪荷重によっては崩落のことも考えた措置を講じる必要がある。 ①路面：床版コンクリートそのもので路面形成している。骨材がかなり浮き出ており、補修が必要である。 ②高欄：曲がり、破断、脱落あり。高さは45ｃｍと低いので改修が必要である。 ③音：桁と同様腐食状況にあり、取替えが必要である。 ④主桁：桁端部は損傷著しい。ほかは比較的健全で以下のとおり。 ・右岸上流側の主桁端部は腐食が著しく、下フランジはすべて断面欠損状態であり、ウエブにおいては2/3以上の断面が欠損しており荷重が作用すると破壊する状態である。 ・また、この主桁は外側に傾いており危険な状況にある。すなわち、この主桁では床版を支えていない状態である。 ⑤右岸上流側の床版は損傷が著しい状態である。 ・床版は主桁とはすき間をあけて設置されており、すなわち、床版はその下にＲＣ桁を一体化して構成されている。ＲＣ桁は横桁（2m程度のピッチ）を支点としている構造と思われるが、主桁上の数点でも支えられている状況である。 ・右岸側床版下面はほぼ全域に渡って、ＲＣ桁、床版ともにひび割れ、表面のコンクリートが剥落状態にある。 これは、橋面がひび割れ、コンクリート内部に雨水が日常的に浸入し、内部鉄筋を腐食膨張させ、コンクリート剥落に至らしめたものと思われる。 ・床版を支えるＲＣ桁右岸側は損傷が著しく、横桁上のコンクリートも脱落直前の状態にある（割れたコンクリートで支えられている）。 ⑥橋脚は比較的健全であるが、横つなぎ材のアングルは腐食し、断面欠損している。 ⑦橋台は一部すき間を生じている。 **結論：本橋右岸側は崩落に近づいており、第三者被害対策を講じる必要がある。** **左岸側の橋梁部分は右岸側と比べると損傷度合いは少ないものの、今後補修対策を講じなければ急激に劣化が進行する状況である。**

表3.5.6.1 下流側管理橋の 補強と修理方針の検討



するとともに、橋脚への荷重負担を減らすことを考慮したものである。しかし、橋桁や床版端部の納まりに変更を生じるため、保存修理工事着手以降の実施設計時に、検討・協議を行うこととした。

3.5.6.2　下流側管理橋　実施における検討と方針修正

着工時の修理方針　調査工事における最終的な修正案をまとめると、以下のようになる。

①石積みの内側に、支持層まで達する鋼管杭及び鉄筋コンクリート造の基礎を打設し、支承を設ける。

②橋桁は在来に倣い取り替えるが、その端部は在来よりも延長して新たな橋桁に固定する。

③床版は在来に倣い打ち替えるが、その端部は在来のままとし支承上は基礎と一体の躯体上部を路盤とする。

第4回検討部会協議　前述のように、端部の納まりを検討する必要があるため、②について2通りの案（図3.5.6.1②案）（取り替える橋桁自体を伸ばして支承に固定する案、取り替える橋桁は在来通りの長さとして、その内側に長い鉄骨を添わせ、その鉄骨を支承へ固定される案）を提案した。

その結果、いずれの案でも古い橋桁は保存されず、部材の取替率が高くなることが協議の対象となった。そこで調査工事の修正案を再び修正し、橋桁を保存した状態で、内側に補強鉄骨を設ける案を検討する事になった。また、取替率が着目されたことにより、調査工事では打ち替えと結論されたRC床版についても補修を行い再用することになった。

以上により、(1) 橋桁は自立できないほど劣化しているため、補強材から吊って支持する方法、(2) 橋桁をケレンをすると断面が殆ど失われるため、浮錆を落とす程度のケレン（3種ケレン）で施工できる防錆塗装、(3) 橋桁及び床版を補修して再用するための施工計画、の3項目について検討する必要が生じた。

検討項目 (1)　床版を受ける補強鉄骨を既存橋桁裏側まで伸ばし、既存橋桁を内側から吊る案とした。吊る位置は、既存橋桁のフランジ腐食が上下とも著しいく腐食しているためウェブとした。次に補強鉄骨と既存橋桁ウェブをどう接合するかは、溶接かボルトかで検討したが、溶接とした場合は既存橋桁を健全部までケレンせねばならず、検討項目 (2) と矛盾するため、ボルト接合とした。ボルトは頭が目立たないようにトルシア型高力ボルトを用いるが、ピンテールが破断するほど締め付けると既存橋桁のウェブが破損する可能性が高いので、手締めとした。

図 3.5.6.2　3種ケレン防錆塗装の検討

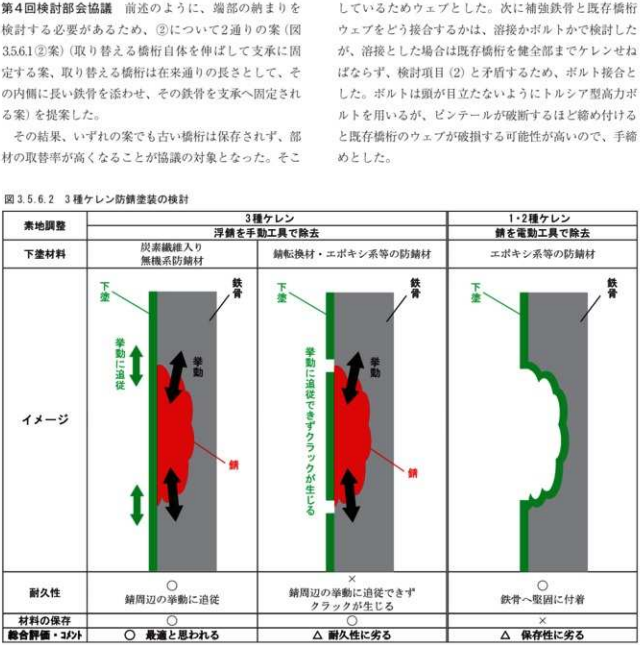
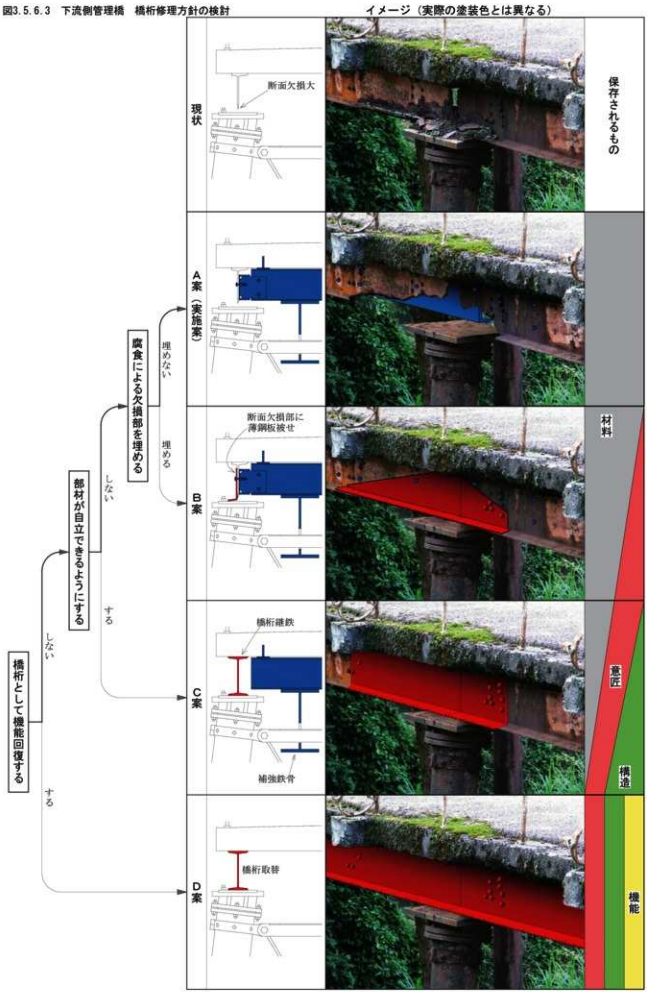


図3.5.6.3 下流側管理橋 橋桁修理方針の検討



検討項目（2）　3種ケレンで防錆塗装する方法としては、錆転換剤処理（赤錆を黒錆に転換して錆の進行を止める）が挙げられる。そこで錆転換剤を手掛けるメーカーと協議した結果、次の問題が明らかになった。

錆転換剤処理では表層の錆は安定するが、鋼材と錆の収縮率が異なるため、鋼材と錆との境界面で生じる挙動に表層の安定した錆が追従できずに破れてしまい、鋼材や不安定な錆が露出し、そこから錆が進行する。エポキシ系防錆剤に代表される堅固な塗料でも、下地の挙動に追従できないので同様の問題が起きる（図3.5.6.2）。

従って鋼材と錆の挙動に追従できる防錆塗料が必要となった。そのような塗料としては炭素繊維入り無機系防錆塗料（商品名：マイティCF-CP）があり、30年の実績があるので、これを採用することにした。

検討項目（3）　橋桁及び床版を陸に曳屋し、新設基礎及び補強材を設置した後、在来の位置に曳き戻す計画とした。クレーン等で吊って曳家する方法を検討したが、敷地が狭小で必要な大型重機が入らないことから、美歎川に足場を組む必要が生じた。河川を管理する鳥取県土整備局と協議した結果、河川内に足場を設ける場合は渇水期（10月～6月）の施工となり、工程上の制約が生じた（表4.5.1）。

第5回検討部会協議　以上の検討によって修理に伴う技術的な問題は解決したが、理念的な問題が残ったので協議した。

そもそも橋桁は床版を安全に支持するという機能を持った部材であり、支承の納まりを変えれば当初と同断面の鋼材でも載荷性能を満たしている。しかし現状の破損状態を鑑みると、全部材の取替が必要であり、材料の価値が失われる（図3.5.6.3 D案）。

次に、部材の取替率を少しでも下げるため、既存橋桁の比較的健全な部分だけを再用、残りを撤去し、再用部分を新たなI型鋼で接続する案を検討した。これにより、橋桁は自立できる（他の部材から吊ってもらう必要がない）ようになり、最低限の構造は担保される。しかし床版を安全に支持するという機能は失われるので、その機能を担う補強鉄骨が別途必要となる。その補強鉄骨は、既存の橋脚よりも内側に納まるので、1スパン梁となり、在来の橋桁（3スパン梁）よりも大断面になる（図3.5.6.3 C案）。

次に、腐食した橋桁を全く取り替えずにそのまま残した場合、材料は最大限保存されるが、腐食による鋼材欠損部が露呈し、I型鋼本来の意匠と大幅に異なる姿となる。そこで、欠損部を覆うように薄鋼板を被せ、I形鋼の断面を模すことで、本来の意匠を保とうとする案も検討した。この時、橋桁は自立できないので、補強鉄骨から吊って支持されることになる（図3.5.6.3 B案）。

最後に、上述の薄鋼板を被せることもなく、欠損部はそのままの状態とする案を検討した。これにより、機能、構造、意匠は保存されないが、材料を最大限保存したという姿勢が明瞭になる（図3.5.6.3 A案）。

図3.5.6.3では、上述のA～D案を実施した場合、本来の橋桁が持つ様々な価値のうち、何が保存され、何が保存されないかを模式的に示している。この図に基づいて修理案を委員会に諮ったところ、材料の保存を最優先すべきであることからA案に決まった（図3.5.6.1 ③案）。

河川協議　管理橋は美歎川にかかる橋梁であるため、工事着手時に鳥取県県土整備局と河川協議を行った。その際、補強鉄骨を支持する基礎のうち鋼管杭が許可されなかった。その根拠は『砂防技術指針』（鳥取県県土整備部治山砂防課平成26年10月）に「橋台底面は堤防の地盤高以下とする」と記されているためである[1]。これにより、鉄筋コンクリート造基礎を地盤面から立ち上げる計画となり、橋台石積みを全て積み直す必要が生じた。

(1)　平成11年に貯水池堰堤が砂防ダムに改造されたので（2.2）、美歎川には砂防技術指針が適用される。また、本来の橋台は護岸石積だが、修理後の実質的な橋桁は補強鉄骨になるため、その基礎が橋台となみなされる。

第6回検討部会協議　県土整備局による指導を委員会に諮った結果、深礎であれば指導の趣旨に沿ったものとみなされるという意見が出された。そこで鋼管杭を深礎に置き換えた案を県土整備局へ再提出したところ、許可されたので、石積は鉄筋コンクリート造基礎打設に干渉する上方のみの積み直しとなった。ただし鋼管杭の径（固定支承側でφ216mm）よりも深礎の径（φ1.4m）が大きいため、石積に影響を与えないように杭位置を陸側にずらす必要が生じた。その結果、補強鉄骨のスパン長が伸び、その部材断面が増した（図3.5.6.1 ④案で実施）。

第7回検討部会協議　補強の施工が始まってからも、補強材の色と石積みの扱いについて協議した。

橋桁の内側に架かる補強鉄骨の色は、在来の橋桁と区別するため無彩色の暗灰色（日塗工番号HN30）とする。橋桁を裏側で吊る溝型鋼は、橋桁の腐食部分から橋桁ウェブと殆ど同じ仕上面で外部に露呈するため、鉄骨と同色の赤色（写3.3.4.7、日塗工番号07-40P）とする。

橋補強鉄骨と干渉する石積みは欠込まずに別途保存とするが、外部から見える個所で隙間が多い箇所のみ、新しい石を用いて復旧する。

第8回検討部会協議　最後に、手摺端部の親柱4本にそれぞれ埋め込まれている銅板製銘板の取り扱いについて協議した。銘板は銅板の破損とともに文字自体の風化が著しいが（写3.5.5.1～3）、文字の現地保存は技術的に不可能であると判断した（クリア塗装や透明アクリル板等を用いた保護では、それらによる悪影響が検証できない）。

銘板は昭和5年に橋が架け替えられた史実や、当時における橋の呼称を示すものであり、その史料的価値は、文字の痕跡にあると考えられる。従って痕跡の保存を優先し、現状の銘板は別途保管、現地には複製品を取り付けることにした。

複製品は文字の筆跡も忠実に再現するため、銅板に黒色塗料で旧の銘板筆跡を筆書きする。南北で異なる書体であることが明らかな部分は区別するが、南北一方しか文字の輪郭が分からない部分は、その輪郭を南北の銘板に採用する。

「昭和五年拾月架替」では、「和五年拾」は書体の違いが明らかなので南北を区別するが、「昭」と「月架替」は、それぞれ文字の輪郭が明瞭な左岸南と右岸北の銘板に倣う。「水道橋」では、「水」は左岸北、「道橋」は右岸南の文字に倣う。

複製する銘板は、昭和5年に作成されたオリジナルとの誤認を避けるため、銘板表面の下方に「平成29年写」の文字を入れる。その後の検討により、この文字は目立たないよう鏨彫りとした。

銘板の素地は在来に倣い銅板とするが、在来のように親柱に埋め込む工法では次回の修理時に親柱の表面仕上げを削らねばならないため、銅板を銅製の下地に巻き付け、その下地を親柱に機械的に取り付ける工法とした。右岸北以外では、親柱の修理に伴い、それらに取り付く3枚の銘板を取り外す必要があったが、右岸北の親柱は比較的状態が良かったので、銘板を取り外さずに修理ができた。銘板の文字も比較的読み易い状態であったため、この1枚だけは現地で保存し、文字の風化が更に進んだ段階で取り外す案が提案された。これを受け、過去に銘板を撮影した写真と現在のそれを比較したところ、わずか8年で加速度的に文字の消失が進んでいる事が判明した（写3.5.6.2）。従って右岸北の銘板も別途保管することにした。

写3.5.6.2　下流側管理橋銘板の経年変化
左：平成21年　右：平成29年

なお別途保管先は、別工事で場内に建設されるガイダンス施設内である。

実施の修理方針　床版及び橋桁は陸上に曳屋し、床版の断面修復と橋桁の防錆塗装を行う。石積みは上部を解体し、基礎工事や補強鉄骨据付後に復旧するが、補強鉄骨と干渉する石は復旧せず場内に保管する。橋桁と床版を曳き戻し、在来の高さに据え付け、補強材と床版及び橋桁を連結する。

床版の断面修復は全面外部となるが、下面は打ち放しであるため未補修部分への防錆ペースト塗りは行わない。その代わり、コンクリートを保護するクリア塗料を塗布する。モルタルで仕上げられていた側面では、未補修部分を含めて防錆ペースト塗りとする。

床版上面の在来アスファルト舗装は後補の仕上げと思われるが、修理後は下流側管理橋が水源地の主たる動線となるため、在来に倣って舗装を復旧する。

高欄親柱は一旦取り外し、床版からアンカーを立ち上げて固定する。手摺は欠損部を補足し変形部を修正、錆落とし・防錆処置を施す。水道管養生板金は巻き直す。在来の銅板製銘板は全て取り外して別途保管、新規銅板よる銘板を補足する。補足銘板には在来と同じ文字を、在来の筆跡通りに篦書きで書く。

橋脚は足元にコンクリート根巻きを新設して上流側・下流側の一体化を図ると同時に、蛇籠を設けて洗掘防止とする。橋脚間のブレース材等のうち腐食材は取替、その他は錆落とし・防錆処置を施す。

3.5.6.3　上流側管理橋　実施における検討と方針修正

構造検討結果　下流側管理橋と同様に、床版を無筋コンクリートとみなして検討した結果、載荷性能を充分満たしていたものと判断できた。

調査工事における検討　整備活用委員会において、「下流側管理橋の南側に代替の橋が架かっているので渡れなくても良い」との意見が出された。翌18日の検討部会においても、基本的には渡ることは想定せず、「文化財と

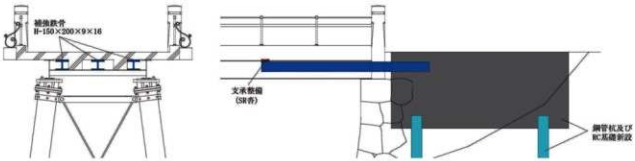


図3.5.6.4　上流側管理橋補強案（実施せず）

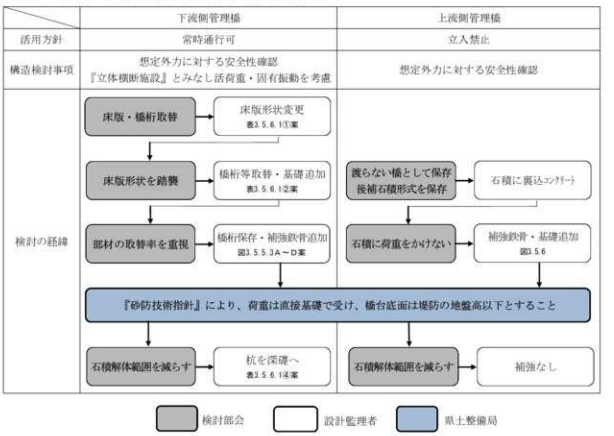
して保存するための橋として残す」とし、修理後は橋梁内立入禁止とすることになった。これにより、床版および橋桁は、補修した上で再用する案が了承された。

その際、右岸の後補石積み（写3.2.18）について、維持管理を考慮して、東側と同様に角石を入れ直して河床からの積み直しを提案したところ、文化財の場合は現状の石積みのまま積みなおすことが原則であり、補強が必要であれば、裏込めコンクリート等を入れること、との指導があった。

その後の検討部会では、既存の石積みにかかる荷重を減ずるため、下流側管理橋と同様に橋桁端部に可動支承を整備し、床版を石積みの内側に新設するコンクリート基礎で受ける修正案を提出したが、当初材との納まりに検討の余地があることから、実施において協議を継続することとした。

実施における検討と方針修正　既存の石積みへの考慮に加えて、補修後の橋桁には本来の性能が期待できないと仮定し、橋を床版による1スパン梁とみなした場合の補強について検討した。橋梁内は立入禁止となり、活荷重や固有振動を考慮する必要が無く、積雪荷重に対する検討のみで済むため、常時通行可能とした下流側管理橋に比べると小規模な補強となる（図3.5.6.4）。この案は検討

表3.5.6.4　下流側・上流側管理橋の構造検討と修理方針の検討経緯



部会で了承されたが、補強材を受ける新たな基礎が必要となる。すると前述の「砂防技術指針」に適応させるため、深礎等の大規模な基礎工事とならざるを得ず、石積みの保存に影響を及ぼすことから、補強は行わないことにした。

実施の修理方針　床版は撮屋し、床版の断面修復と橋桁の補修・防錆塗装を行い、復旧する。橋桁は腐食部分の補修を行う。高欄親柱は一旦取り外し、補強鉄筋を挿入して固定する。手摺は欠損部を補足、変形部を修正し、錆落とし・防錆処置を施す。親柱には銘板が嵌まるような窪みはあるが、銘板は残存しておらず、嵌めた痕跡もないことから、現状のままとする。橋脚等は下流側管理橋と同様の修理とする。

3.5.6.4　管理橋の構造検討と修理方針のまとめ

修理後は常時通行可とする下流側管理橋では、安全性を全て補強材に担わせる代わりに、腐食した鋼材の性能回復は行わず、防錆塗装による保存措置を行って在来の材料を最大限保存することとした。

修理後は立入禁止とする上流側管理橋では、腐食した鋼材を補修し、補強材がなくても自立できるようにはするが、補修した橋桁や石積みの支承には、橋としての安全性は期待しない。

2基の管理橋の検討過程を振り返ると、協議の度に保存の論点や修理方針が段階的に変化していった。これは著しく腐食した鋼材の修理に係る技術的・理念的問題（防錆の方法・何を保存するか）、土木的観点からの評価、河川協議による規制（「砂防技術指針」への適応）など、調整すべき課題が多かったためである。表3.5.6.4に、検討部会・設計監理者・橋梁専門メーカー、県土整備局が検討にどのように関与したかを時系列で示した。

3.5.7　門柱

調査工事における検討　躯体に大きな破損はみられないが、基礎石、蛇腹石、笠石に表面劣化や角の欠損、表層剥離や剥落、ひび割れが生じている。現状では北側（上流側）の門柱が若干北へ傾斜しているが、後補の門扉召し合わせは合っており、進行は止まっているとみられる。以上により修理方針を部分修理として、石材部と煉瓦部の補修を行う修理計画案を策定した。検討部会では調査結果と修理方針案は承認され、後補の門扉は工事着手後に復原検討を行うこととした。無筋コンクリートの基礎は、傾斜が収まっていると判断し、掘削はせず存置することとした。

実施における構造検討　『保存活用計画』では、下流側管理橋から門柱へ至る動線が、水源地のメインエントランスからの見学者主要動線として設定された。そのため、活用及び安全性を考慮し、実施において構造検討を行った。

門柱は無筋コンクリートの基礎に礎石が据えられ、その上に煉瓦が付着力無しで積み上げられていると考え[1]、それぞれの部位が転倒する時の震度を算定した。その結果、礎石と煉瓦の間、礎石と基礎の間でそれぞれ転倒が起こることが判明した。前者はX方向Co=0.17、Y方向Co=0.13、後者はX方向Co=0.22、Y方向Co=0.18のとき転倒するが、これは震度Ⅴ弱～Ⅴ強に相当する。

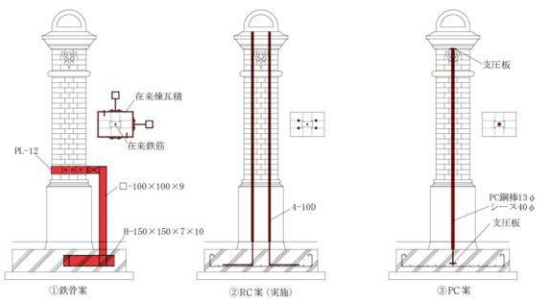


図3.5.7　門柱補強案

(1) 古図面には門柱の中央に鉄筋が図示されており（古図4）、これによって礎石と煉瓦が連結されていると思われるが、解体しておらず詳細不明のため、付着力がないという前提で検討した。

補強案の検討　転倒を防止するためには、礎石下にRC基礎を設け、門柱と緊結することが必要になり、次の3案を検討した。なお何れの案でも、調査工事で存置としていた在来の基礎は撤去することとした。

①鉄骨案…外部に鉄骨を立ち上げ、門柱を支持する。

②RC案…4-D10を門柱に孔を明けて配筋し、グラウトを注入する。

③PC案…門柱の中央に1本の孔を明け、在来の鉄筋をPC鋼棒に置換し、プレストレス力で基礎に圧着する。

①では、門柱には見え隠れがないため、外部鉄骨による意匠への影響が大きい。③では在来の鉄筋を除去する結果となり、鉄筋と煉瓦を組み合わせるという工法が失われてしまう。②は削孔数は多いものの、在来の意匠や工法への影響が比較的少ない。以上により、②案を採用した。

3.5.8　濾過池および敷地

調査工事における検討　制水井上屋、接合井、下流側管理橋、門柱の保存修理にあわせて、今後の維持管理および公開活用のため周辺整備を行うこととした。また濾過池の保護のため、背面の排水路を整備する。計画は原則として、5号濾過池が増設された昭和3年以降に撮影された昭和初期の古写真に倣い整備を行う。

5号東側擁壁の破損原因は、東側斜面上部からの地すべり地形である可能性が指摘された（3.1.5参照）。検討部会では、今後も経過観察をおこない、当面は対策を行わず立ち入り禁止区域とすることが提案された。従って修理工事では、すべり面への対策工事や、その発生機構を把握するためのオールコアボーリングによる追加調査は行わない。

着工時の修理方針　濾過池の側壁は高圧水による洗浄を行い、底部にたまった泥砂と植物を含んだ砂を撤取り、搬出処分する。撤取り面に防草シートを敷き込み、この上に緩速濾過用の砂を敷ならす（ただし2・3号は現状通り湛水する）。

濾過池周辺の敷地では、草木が混入した既存の表土を撤取り、砂利を選別・洗浄する。撤き取りした地面に防草シートを敷き詰め、所定の厚さに砂利敷きを復旧整備する。不足する砂利は補足する。特に見学路として想定される範囲では、見学者の歩行を考慮して樹脂製のずれ止め材を敷きこむこととした。

排水溝は、排水溝の土砂を撤取り、所定の深さまで掘削し、土砂を搬出処分する。底部には砕石地業をおこない、コンクリートを打設、生乾きのうちに底部表面に砂利を敷き美観を整える。排水溝の濾過池側には縁石を復旧整備する。既存縁石は記録写真撮影を行って一旦取り外して番付を付し、砕石地業、捨てコンクリートを打ち、据付モルタルで据直す。不足分は補足する。

実施における検討と方針　修正濾過池側壁の洗浄に伴い、煉瓦の破損詳細が明らかになった（写3.2.17）。こうした破損のうち、脱落しかかった煉瓦が残存している箇所では、その煉瓦をモルタルで積み直す。煉瓦が欠失している箇所では、供用時の修理方法（写3.2.18）に倣いコンクリートやモルタル等によって煉瓦欠失部を埋める。

1～4号で欠失している煉瓦目地は、タイル用セメント目地材を用いて目地を復旧する。5号東側壁のクラック（写3.1.2）については、モルタルで充填することは可能だが、側壁破損の発生機構を把握していない以上、裏込め部に浸入した水による擁壁のはらみだしが、充填によって加速される可能性が否定できない。従って今回工事では、すべり面への対策工事と同様に、側壁のクラックも補修しない。

濾過池底部では、緩速濾過池用の砂を復旧するとしていたが、敷地内の砂洗い場跡を掘削したところ、濾過砂が大量に出土したため、これを使って復旧する(1)。また、2号と3号の排水バルブを確認したところ、2号ではバルブを開いて排水できたが、3号ではバルブが動かず排水できなかった。そのため、3号では計画通り湛水とするが、2号では1・4・5号と同様に濾過砂を見せる。

排水溝では、表土撤取りによって、底部や縁石が比較的健全な状態で残存していることが判明したため、コンクリート打設や縁石の据直しは行わない。

(1) 水道施設の重文指定時には、敷地全体が水道用地として指定されているため、濾過砂の入れ替えが現状変更等に該当する可能性が懸念された。文化庁に確認したところ、水道施設として供用していた時代にも入れ替えは行っていたため、現状変更等には該当しないことが確認された。

3.6 油性ペイントの調査と再現

3.6.1 調査

概要 制水井上屋等では建具と枠のみが木製で、そこに油性ペイントが塗られている。今回の工事では、史料調査及び成分分析の側面から、油性ペイントの仕様の調査を行った。そして、調査結果を反映しながら、在来に倣った仕様で油性ペイントを再現した。

油性ペイントとは何か 油性ペイントとは、油性竪練ペイントと油性調合ペイントの総称である。当時の文献に記載されたこれらの定義の一例を挙げる。

> **『近世建築用材料下巻』（大正5年）**
> 硬練「ペイント」(stiff paint) にして之れを使用するに際し直亜麻仁油、テレビン油及乾燥剤を加へて適宜の調度に溶解せざるべからず然れども溶解「ペイント」(Ready mixed paint or Fluid paint) は直ちに使用し得べく製造したるものなり

他の文献にもほぼ同じ内容が記載されている。すなわち油性竪練ペイントと油性調合ペイントは、①いずれも塗料の展色材が乾性油またはボイル油[1]のみで構成されている、②油性竪練ペイントは塗装する際に現場でボイル油等を一定量追加する必要がある、③油性調合ペイントはその必要がない（または加える量が少ない）、と定義できる。

資料調査1 仕様書 制水井上屋の塗装に関する当初の仕様書は存在しないが、大正10年と昭和2年に行われた塗替工事の仕様書と内訳書が鳥取市水道局に保存されている。時期を考えると、前者が1回目、後者が2回目の塗替工事と推測される。両者の内容はいずれも在来の鼠色塗料をケレンして、新たに鼠色塗料を2回塗りする、というものである。大正10年の内訳書には、材料の調合も記載されている（図3.6.1.1）。これにより、「白ペンキ」と「黒ペンキ」を調合することで鼠色塗料を作成していたことが分かる。

摘要欄には、使用した塗料を単に「ペンキ」としか記していないので、それが油性竪練ペイントだったのか、油性調合ペイントだったのか分からない。前述のように、両者の違いは現場で加えるボイル油の量によって決まるので、その違いを定量的に記載した文献の内容（表3.6.1.2）と比較を行った。上塗と中塗によって量の違いはあるが、油性竪練ペイントの場合は、ペイントに対してボイル油を32～50％、油性調合ペイントの場合は0～10％加えたようである。大正5年の仕様書では「白ペンキ」と「黒ペンキ」の合計に対するボイル油[2]の割合は42％なので、大正5年に用いた塗料は油性竪練ペイントだったと判断できる。

史料調査2 文献 大正5年に使用された「白ペンキ」「黒ペンキ」の成分を推定するため、参考文献に記載されている白色と黒色の油性竪練ペイントの調合を表3.6.1.3にまとめた。いずれも乾性油またはボイル油と顔料を主成分とし、乾燥剤等を添加する点は共通するが、顔料の種類に違いが認められる。

白色顔料は、着色顔料として亜鉛華（酸化亜鉛）や鉛白（塩基性炭酸鉛）、体質顔料[4]としてバライト（硫酸バリウム）や白亜（炭酸カルシウム）が用いられる。白色ペイントでは、体質顔料を含まず亜鉛華のみを顔料とする塗料が「最上等」「A級品」と呼ばれている。

黒色顔料は煤煙や油煙を用いる場合が多く、それらと白色顔料を混ぜると青みを帯びた灰色を示すとされている[5]。

目視観察と成分分析 在来の塗膜を目視調査したところ、灰色～青色の塗装が4回、その上に白色塗装が数回塗られていた（写3.6.1.1）。仕様書で「鼠色」と指定された色は、実際には青色に近いが、これは前述の「青みを帯びた」という記載と合致する。

塗り重ねられた塗膜のうち、最下層が当初（大正4年）、その上の層が1回目の塗替（大正10年）で使用された塗料であると仮定し、成分分析（EDX分析）を行った。成分分析は、塗料に使用されている無機系顔料の推定を目的とした（表3.6.1.5）。

分析により、主な顔料成分は白色着色顔料である亜鉛華（ZnO）で、体質顔料として白亜（$CaCO_3$）とバライト（$BaSO_4$）が含まれていた。重量比では炭素（C）と酸素（O）が多いが、これは油に由来する有機化合物の影響と思われる。

(1) ボイル油とは、亜麻仁油等の乾性油にマンガン等の乾燥剤を加え、空気を吹き込むことで流動性を高めたものである。
(2) 小数点第2位を四捨五入。当時のペンキ1缶の容量について、『ペイント及びエナメルペイント』には「竪練ペイントは主として12.5kgの鐵丸罐に充填される」とある。油の比重は0.9とした。
(3) 図3.6.1.1に示すように、大正5年の仕様書ではボイル油ではなく「亜麻仁油」と記載されている。しかし、油性竪練ペイントに対して現場で亜麻仁油等の乾性油を調合すると記載した文献は確認できないので、仕様書の「亜麻仁油」はボイル油の誤りといえる。
(4) 体質顔料は塗料の体質や増量剤となる白色の顔料で、展色材と混ぜると透明になる。
(5) 『ペイント及びエナメルペイント』によれば、油煙を「白顔料に混じて鼠色ペイントを造る時は青みを帯びたい色を生じる」。『塗料と塗装』によれば、松煙を「白顔料と混ぜると青味のある灰色を作る」。

制水井集合井五個
一個宛　一坪半
塗具ノ配合ハ白ペンキ一缶
黒ペンキ三封度亜麻仁油

在来鼠塗ノ汚損セル所及金物銹等ハ紙鑢ヲ以テ充分摩擦シ
旧所ハパテヲ填充シタル後二回塗鼠色ニ塗具ヲ嵐スペシ塗具調合

重量に換算すると、
白ペンキ 1缶=12.5kg
黒ペンキ 3ボンド=1.4kg
亜麻仁油 4升=6.5kg
の調合となる[2]。

図3.6.1.1　塗替工事の仕様書（大正十年鳥取市水道局蔵）

表3.6.1.2　油性ペイントに現場調合するボイル油の量

『建築土設備仕様精録』（昭和12年）

塗別種別	濃色ノ場合	
	中塗用	上塗用
希釋剤「ミネラルスピリット」	0.80	
溶解剤「ボイル」油	4.00	5.00
各種堅練「ペイント」ニA「ジンク」堅練「ペイント」ヲ混ジタル合量	12.50	12.50

『建築工学ポケットブック』（昭和24年）

堅練ペイント白色（上塗）

Aジンク　100　Aボイル油　40～50　ドライヤー　0～2　テレメン　0～5

『塗料と塗装』（昭和30年）

木部白色堅練ペイント塗装（外部）			木部白色調合ペイント（外部）		
工程	使用塗料		工程	使用塗料	
中塗	堅練A級白亜鉛ペイント	100	中塗	調合白亜鉛ペイント	100
	A級ボイル油	30		ボイル油	0～5
	地塗用ボイル油	10		ミネラルスピリット	0～5
	ミネラルスピリット	0～5		液体ドライヤー	0～2
	液体ドライヤー	0～2			
上塗	堅練A級ペイント	100	上塗	調合白亜鉛ペイント	100
	A級ボイル油	50		A級ボイル油	10
	ミネラルスピリット	0～5		ミネラルスピリット	0～5
	液体ドライヤー	0～2		液体ドライヤー	0～2

3.6.2　試作と仕様の検討

再現へ至る経緯　5号を除く制水井上屋では、ペイントの色を現状の白色から当初の鼠色に復する現状変更を行うこととなった（3.7参照）。そこで、復旧時には色だけでなく、塗料の仕様も当初（ここでは、建築当初の大正4年と、1回目の塗替が行われた大正10年を区別しないことにする）に復することができないか検討することにした。その理由としては、当初の塗料の仕様が各種調査によって推定出来たこと、塗装面積が限られているため再現に伴うコストの影響が少ないこと、そして所謂「樹脂系」ペイントを使用することによる木部の腐朽が各所で問題視されていることが挙げられる[1]。

しかし、冒頭で述べたように「塗料の展色材が乾性油またはボイル油のみで構成されていること」を油性ペイントの定義とするならば、現在の日本には商品化された状態の油性堅練ペイントや油性調合ペイントは存在せず[2]、それらの施工もされていないことになる。従って油性ペイントを再現するには、塗料をゼロから作成する必要が生じた。

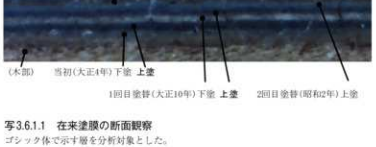
参考文献

・野呂長四郎『近世建築用材料下巻』（項原屋書店、大正5年）
・吉村兼富『実験応用化学工芸品製造法録』（同済号書房、大正5年）
・今泉辰次郎『実用塗工術』（鈴木書店、大正14年）
・『建築土設備仕様精録』（建築設備研究会出版部、昭和12年）
・阿部英治郎『ペイント及びエナメルペイント』（修教社、昭和16年）
・『建築工学ポケットブック』（日本建築学会、昭和24年）
・兒玉正雄他『塗料と塗装』（太陽閣、昭和30年）
・『近代日本建築学発達史』（日本建築学会、昭和47年）
・『建築大辞典』（彰国社、昭和51年）

表3.6.1.3 史料における油性堅練ペイントの調合

文献名	ペイント名	成分		調合(kg)
		文献記載名称	具体的な成分	
『実験応用化学工芸品製造法 続』（大正5年）	堅練白色ペンキ	亜鉛華	ZnO	20
		硫酸鉛	$PbSO_4$	12
		硫酸カルシウム	$CaSO_4$	16
		亜麻仁油もしくは荏油		8
	堅練黒色ペンキ	煤煙	C	10
		亜鉛華	ZnO	28
		硫酸バリウム	$BaSO_4$	52
		煮亜麻仁油	ボイル油	23
		ニス		1.5
『近世建築用材料 下巻』（大正5年）	最上等白亜鉛ペイント	亜鉛華	ZnO	24.4
		精製亜麻仁油又は荏油		3.6
	普通白亜鉛ペイント	亜鉛華	ZnO	16.8
		硫酸バリウム	$BaSO_4$	8.4
		精製亜麻仁油又は荏油		2.8
	黒色ペイント	煤煙	C	2.5
		胡粉 白墨	$CaCO_3$？	13.5
		硫酸バリウム	$BaSO_4$	13
		煮亜麻仁油	ボイル油	5.7
		ワニス		0.4
『実用塗工術』（大正14年）	白色ペイント	白鉛	$Pb(OH)_2 \cdot 2PbCO_3$	4分
		亜鉛華	ZnO	12分
		ボイル油		5分
	黒色ペイント	バライト	$BaSO_4$	15分
		油煙	C	3分
		ボイル油		6分
『ペイント及びエナメルペイント』（昭和16年）	堅練白亜鉛ペイント	亜鉛華	ZnO	85
		精製油		15
	堅練白鉛ペイント	鉛白	$Pb(OH)_2 \cdot 2PbCO_3$	91
		精製油		9
	堅練黒ペイント	カーボンブラック	C	4
		体質（白亜又はバライト粉）	$CaCO_3$又は$BaSO_4$	75
		練油		21
	調合鼠色ペイント（参考）	亜鉛華	ZnO	62.0
		カーボンブラック	C	1.5
		ボイル油		32.5
		揮発性油		4.0

『塗料と塗装』（昭和30年）	堅練白亜鉛ペイント種類	ペイントの組成(%)		顔料の組成(%)	
		顔料	ボイル油	着色顔料	体質顔料 白亜($CaCO_3$) バライト粉($BaSO_4$)
	白亜鉛ペイント(A級品)	80～90	10～20	亜鉛華(ZnO) 100	0
	白亜鉛ペイント(B級品)			亜鉛華(ZnO) 50	50
	黒ペイント	75～85	15～25	カーボンブラック (C) 3～8	92～97



写3.6.1.1 在来塗膜の断面観察
ゴシック体で示す層を分析対象とした。

表3.6.1.4 在来塗膜のEDX分析結果

元素	由来成分	質量濃度(%)	
		大正4	大正10
C	油など	34	29
O		35	34
Mg	不明	1	1
Al		<1	<1
Si		2	2
S	バライト	<1	<1
Ca	白亜	8	8
Zn	亜鉛華	17	24
Ba	バライト	1	2

白ペンキと黒ペンキの推定　これまで明らかになった3種類の調査結果を総合して、大正10年に使用された「白ペンキ」「黒ペンキ」(いずれも堅練)の調合を推定した。表3.6.1.5に示す分析結果は、あくまでも「白ペンキ」と「黒ペンキ」が混ざった状態の成分であるため、推定は以下の手順で行った。

まず、表3.6.1.3における白色ペイントと黒色ペイントの何れかを、大正10年の塗替工事で使用したと仮定した(成分分析で検出されなかった鉛を含むペイントは予め除外)。次に、それらのペイントを大正10年の仕様書に基づいて調合した場合、無機系顔料に由来する成分がどれくらいの割合で存在することになるのかを確認した。そして、その割合が前記分析結果と最も近いペイントの成分を、「白ペンキ」「黒ペンキ」の成分に比定した。

その結果、「近世建築材料下巻」に記載された「普通白亜鉛ペイント」と「黒色ペイント」の組み合わせが比較的近い値となった。そこで、これらの調合を参考にしながら、実施の調合案を検討することにした。

白ペンキと黒ペンキの試作　試験施工に先立ち、「白ペンキ」(白色堅練ペイント)と「黒ペンキ」(黒色堅練ペイント)を少量試作した(写3.6.2)。黒色顔料は油煙を用いた。その結果、「白ペンキ」は塗料となったが、「黒ペンキ」はゴム状の物質になってしまった。その理由は展色材であるボイル油の量が少ないためか、あるいは顔料がボイル油と反応して膠化したためと思われ、油煙は計画量の半分も入らなかった。製造方法の違い(試作品は机上で調合したが、当時はローラーミル等の機械を使用していた)が原因の可能性もある。

そこで、堅練ペイントではなく調合ペイントの試作を行った。すなわち2種類の堅練ペイントを別々に作成するのではなく、それぞれを大正10年仕様書の調合比で按分し、ボイル油を加えた塗料を予め作成した(図3.6.2右下)。この塗料はやや粘性が低いように感じたが、塗料としての使用は可能で、色も青みがかった鼠色であった。そこで、鼠色には油性調合ペイントを用いることにした。

下塗の調合　在来塗膜の断面観察によると、当初及び大正10年の塗装には下塗があり、特に後者では明確に白い層が確認できる(写3.6.1.1)。ところが仕様書には下塗の記載がないため、下塗の調合を検討する必要が生じた。

木部下塗用ペイントは、「塗料と塗装」に「顔料分は比較的多量に配合し、鉛白・亜鉛華のような硬い塗膜を作る活性顔料を多く含むものが良い。ボイル油分は、桐油を多量に含む重合油を用いる。稀釈剤の含量も多く、揮発油のように揮発性の早いものを多量に用いる」とある。そこで、前述の「近世建築材料下巻」に記載された「最上等白亜鉛ペイント」(顔料が亜鉛華のみ)の調合を採用し、塗装時には希釈剤を比較的多く入れるようにした[3]。すなわち下塗は白色の油性堅練ペイントとした(図3.6.2右上)。

(1) 近年、「樹脂系」ペイントが木部に与える悪影響が懸念されるようになった。堅牢な「樹脂系」皮膜により、被膜のひび割れから侵入した水分が抜けず、木地が腐朽するという懸念である。これを避けるため、比較的緩やかな劣化により木部を傷めないと想像されている、油性ペイントを用いて塗装することとなった。

(2) 現在、文化財建造物の修理で油性調合ペイントとして使用されている某商品の展色材は「長油性フタル酸樹脂と乾性油」なので、本稿の定義によると、油性調合ペイントではない。

(3) 同書に記された稀釈剤を含む下塗用塗料の調合は、顔料分60～70%、ボイル油分15～30%、稀釈剤10～20%であり、白色堅練ペイントに対する稀釈剤の現場調合比は示されていない。そこで今回は便宜的に、上記「顔料分」を「堅練ペイント」とみなし、各割合の中間値を手板調合案とした。

3.6.3　手板暴露試験と仕様の決定

試験施工　上記の検討を反映し、白色油性堅練ペイントによる下塗と鼠色油性調合ペイントによる中・上塗の手板を作成した。このとき、仕様を変えた18種類の手板を作成し、以下の項目について比較検討した。

(1) 堅練ペイントと調合ペイントの違い…下塗では堅練ペイント、中・上塗では調合ペイントを塗るので、その際の施工性の違いを検討する。

(2) 下地調整の種類…大正10年仕様書や在来塗膜の断面観察では下地調整が確認できない。しかし今回は施工性向上のため、下地調整をしない場合、ボイル油を塗った場合、ニスを全面に塗った場合の3種類を検討した。なお、ニスは本来節止に塗るものだが、今回は全面に塗布した。

(3) 白亜(炭酸カルシウム)の有無…表3.6.1.3を見ると、白色塗料に白亜が含まれない(亜鉛華のみとする)

写3.6.2　白色堅練ペイントと黒色堅練ペイントの試作品

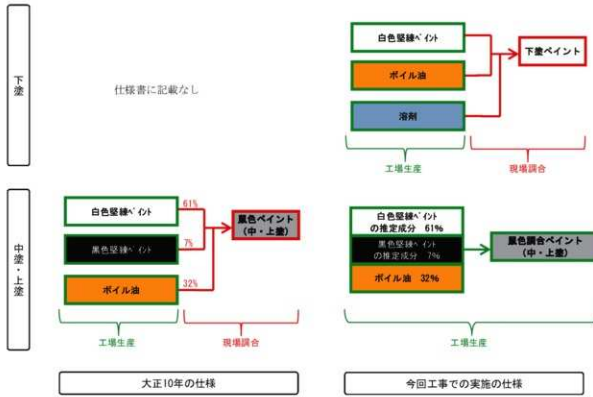


図3.6.2　在来と実施の油性ペイント模式図

ものを上等ないしA級品のように扱う文献がある。その実態を確認するため、中・上塗において、白亜を含んだ塗料と含まない塗料の2種類を作成し、比較を行った。なお、在来塗膜の分析結果からは炭酸カルシウムが検出されている。

(4) 中・上塗に用いる炭素系黒色着色顔料の種類…松煙と油煙の2種類を比較した。

(5) 乾燥材の有無と入れるタイミング…油性ペイントで問題となるのは乾燥の遅さで、施工性に加えて乾燥中にゴミが付着するなど仕上がりにも影響する。そこで、乾燥材を入れない場合、乾燥材入りのボイル油を用いた場合（既調合）、乾燥材を入れずに作成したペイントに、後から乾燥材を入れた場合（現場調合）の3種類を比較した。

その他、細かな調合はメーカーの判断で多少変更した部分がある[1]。

手板作成と暴露試験　塗料メーカーの協力を得て、体質顔料等の調合を変えた複数の塗料を試作し、手板に塗装して暴露試験を行なった（表3.6.3、写3.6.3.1～2）。

現在のペンキとは異なり、彩色等の現場調合塗料に類似しているため、塗装は塗師に依頼した。手板は新材の桧板を用い、暴露期間は134日（平成28年12月8日～平成29年4月20日）、暴露位置は現地の現場事務所南壁とし、塗装面の半分をアルミ箔で隠蔽した。

同時に、再用古材に残る旧塗装のケレン、ケレンした面への塗装、ガラスパテへの塗装も行った。これらは暴露しなかったが、施工に問題がないことを確認した。

暴露試験結果　暴露試験の結果、目視では何れの手板にも剝離や亀甲割れ等の破損は確認できなかった。顕微鏡観察すると、暴露面・隠蔽面共に微細な縮みが確認できたが、これは乾燥材の量に起因するものである（写3.6.3.3）。暴露面の塗装に対してクロスカット試験（JISK5600-5-6）を実施したが、何れの手板にも欠陥は見られなかった（表3.6.3.3、写3.6.3.4）。

上述の5項目を比較検討した結果は、以下のようになった。

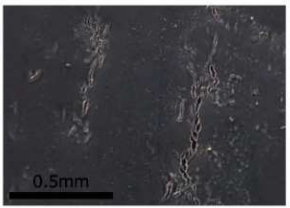
(1) 堅練ペイントと調合ペイントの違い…調合ペイントは粘性が低すぎ、材を立てた状態では塗れないほどであった。原因はボイル油の量が多すぎたためと思われる。しかし、今回作成した鼠色調合ペイント中のボイル油含有量は、当時の文献に基づいて判断する限りでは、適正である[2]。従って、当時のボイル油は現在のボイル油よりも粘性が高かったと推測できる。

堅練ペイントでも、手板⑦～⑱では現場調合のボイル油や溶剤が多すぎたので、同様の問題が生じた。手板①～⑥では量を減らしたため、適度な粘性を有した塗料となった。

(2) 下地調整の種類…ニスを塗ると、施工性が向上し

写3.6.3.1　暴露試験時の手板

写3.6.3.2　暴露試験時の材料



写3.6.3.3　微細な縮み（手板④）

た。下地調整をしない場合とボイル油を塗った場合では差がなかった。

(3) 白亜（炭酸カルシウム）の有無…白亜を入れることで施工性が向上し、艶が生じた。亜鉛華は白亜と異なり白色の着色顔料であり、体質顔料ではない（透明にならない）ので、白亜を含まない（亜鉛華の割合が多い）ペイントの鼠色は、実際よりも薄くなってしまった。

なお、炭酸カルシウムは酸に侵される性質があるため、白亜の割合を高めると酸性雨等に対する耐久性が低下する。一方で、亜鉛華を入れることで亜鉛とボイル油が反応して塗装表面に金属石鹸が生じるので、中塗に用いると剥落の原因となる（表面に滑性効果が生まれて上塗の付着性が低下する）。

(4) 中・上塗に用いる炭素系黒色着色顔料の種類…メーカーによると、松煙は寒色系、油煙は暖色系の黒色となる。在来の鼠色は寒色系である。

(5) 乾燥材の有無と入れるタイミング…乾燥材を入れない場合、1週間経っても乾燥せず、生乾きの状態で上塗せざるを得なかった。既調合では、2～3日で乾燥した。現場調合では、乾燥期間に幅があり、早すぎる場合には縮みが生じる可能性があった。

仕様の決定以上の比較検討の結果、実施の塗料は以下の仕様とした（表3.6.3⑥）。

(1) 施工性のため、下地調整にはニスを用いる。

(2) 分析結果に近い成分及び在来の色調に近い鼠色とするため、かつ施工性も考慮して、白亜を含んだペイントとする。

(3) 鼠色を在来通りの寒色系とするため、黒色着色顔料は松煙とする。

(4) 施工性及び乾燥期間の管理のため、乾燥材は既調合とする。ただし、微細な縮みが確認されたことから、調合料はやや減らす。

(5) 現在のボイル油は粘性が低いため、白色堅練ペイントに現場調合するボイル油と、鼠色調合ペイントに含めるボイル油の量は、表3.6.3⑥よりも減らす。

制水井5号上屋の仕様　制水井上屋5号上屋のみ、他の建物に比べて建築年代が降るため、水色で復旧する（現状変更、3.7参照）。当初の水色も油性ペイントと思われるが、その仕様書は残存していなかった。そこで、鼠色のペイントを作成した要領で、在来の水色に合わせた水

表3.6.3.1　暴露試験時の油性ペイント調合採用した仕様を網掛けで示す。

	下地調整	下塗	鼠色調合ペイント（中・上塗） 体質顔料・着色顔料		乾燥材
①	なし	下塗ペイント（白色堅練ペイント＋ボイル油等現場調合）	亜鉛華	松煙	既調合
②			亜鉛華・白亜		
③	ボイル油		亜鉛華		
④			亜鉛華・白亜		
⑤	シケラックニス		亜鉛華		
⑥			亜鉛華・白亜		
⑦	なし		亜鉛華	油煙	現場調合
⑧			亜鉛華・白亜		
⑨	ボイル油		亜鉛華		
⑩			亜鉛華・白亜		
⑪	シケラックニス		亜鉛華		
⑫			亜鉛華・白亜		
⑬	なし		亜鉛華		
⑭			亜鉛華・白亜		
⑮	ボイル油		亜鉛華		
⑯			亜鉛華・白亜		
⑰	シケラックニス		亜鉛華		
⑱			亜鉛華・白亜		

白色堅練ペイント　重量比（以下同）

区分	成分	①～⑥	⑦～⑱
着色顔料	ZnO（亜鉛華）	82.16	87.0
展色材	亜麻仁油	17.76	13.0
乾燥材	マンガンドライヤー	0.08	0

下塗ペイントの現場調合

	①～⑥	⑦～⑱
上記白色堅練ペイント	77.8	65
マンガンドライヤー含有亜麻仁ボイル油	11.1	20
石油系溶剤	11.1	15

鼠色調合ペイント（中・下塗）

区分	成分	①③⑤	②④⑥
体質顔料	$CaCO_3$（白亜）	0	20.0
	$BaSO_4$（バライト）	2.7	2.8
着色顔料	ZnO（亜鉛華）	58.4	42.9
	C（松煙）	0.5	0.5
展色材 ・乾燥材	マンガンドライヤー含有亜麻仁ボイル油	37.4	32.8
	ダンマルワニス（樹脂分33%）	1.0	1.0

鼠色調合ペイント（中・下塗）

区分	成分	⑦⑨⑪⑬⑮⑰	⑧⑩⑫⑭⑯⑱
体質顔料	$CaCO_3$（白亜）	0	18.3
	$BaSO_4$（バライト）	2.6	2.6
着色顔料	ZnO（亜鉛華）	55.8	39.3
	C（油煙）	0.5	0.5
展色材	亜麻仁ボイル油	41.0	39.2
	ワニス	0.1	0.1

表3.6.3.2　制水井5号上屋水色油性調合ペイントの成分

区分	成分
体質顔料	$CaCO_3$（白亜）
	$BaSO_4$（バライト）
着色顔料	ZnO（亜鉛華）
	C（松煙）
	フェロシアン化鉄カリウム（紺青）
展色材 ・乾燥材	マンガンドライヤー含有亜麻仁ボイル油
	ダンマルワニス（樹脂分33%）

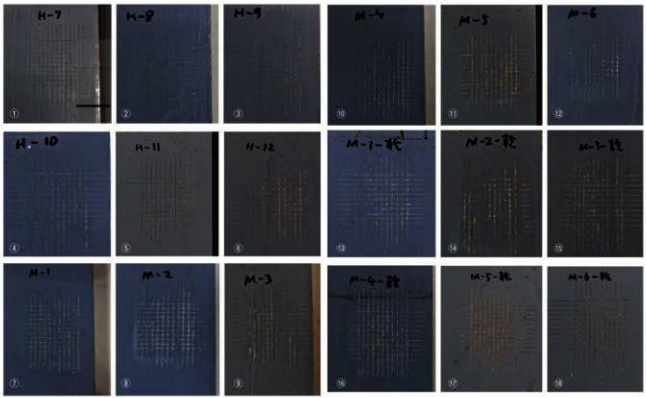
色油性調合ペイントを作成した。その成分を表3.6.3.3に示す。

パテの仕様　古材へ塗装する場合、風化した木地をある程度平滑にする必要がある。当時は鉛系顔料と少量のボイル油によるペイントをパテとして使用していたようだが（3）、成分分析から鉛が検出されなかったこと、パテは部分的な使用に留まる副資材であることから、今回の再現ではパテとしての性能を優先し、ポリエステルパテ等の現行パテを適宜使用することとした。

（1）白色堅練ペイントに対して現場調合するボイル油と溶剤について、注（2）の調合では多すぎて塗料垂れの心配があったため、手板①～⑥では約10％ずつとした。鼠色調合ペイントにおいてワニスを文献通りに調合した場合、ワニスが少なくなりすぎて効果が無いと判断したため、①～⑥ではワニス量を増やした。

（2）調合ペイントの組成が記載された文献から、ボイル油の割合を抜き出すと、『実験応用化学工芸品製造法続』（大正5年）掲載の黒色調合ペイントでは48.4％、『ペイント及びエナメルペイント』（昭和15年）掲載の鼠色調合ペイントでは32.5％、『塗料と塗装』（昭和30年）掲載の黒色調合ペイントでは40～50％である。今回作成した鼠色調合ペイント中のボイル油割合は32.8～41.0％なので、適正量といえる。

（3）『実用塗工術』（前掲書、大正14年）には七種類のパテが掲載されており、そのうち六種には鉛系顔料が含まれている。ただし、岡山秀吉『木材着色、ワニス、ペンキ、漆、蝋塗工術』（大倉書店、大正14年）では『普通品』のパテとして、炭酸カルシウムを少量のボイル油で溶いたものを挙げている。この場合、顔料とボイル油の比率を40：1としており、かなりの堅練である。



写3.6.3.4　暴露試験後のクロスカット試験結果写真

表3.6.3.3　暴露試験後のクロスカット試験結果

試験結果の分類			
番号	分類	番号	分類
①	0	⑩	1
②	0	⑪	2
③	1	⑫	1
④	1	⑬	1
⑤	1	⑭	2
⑥	2	⑮	2
⑦	1	⑯	2
⑧	2	⑰	2
⑨	1	⑱	1

JIS K5600-5-6基づくクロスカット試験結果の分類は以下の通り

分類 0 ： カットの縁が完全に滑らかで，どの格子の目にもはがれがない。

分類 1 ： カットの交差点における塗膜の小さなはがれ。クロスカット部分で影響を受けるのは，明確に 5 %を上回ることはない。

分類 2 ： 塗膜がカットの縁に沿って，及び／又は交差点においてはがれている。クロスカット部分で影響を受けるのは明確に 5 %を超えるが 15 %を上回ることはない。

分類 3 ： 塗膜がカットの縁に沿って，部分的，又は全面的に大はがれを生じており，及び／又は目のいろいろな部分が，部分的，又は全面的にはがれている。クロスカット部分で影響を受けるのは，明確に 15 %を超えるが 35 %を上回ることはない。

分類 4 ： 塗膜がカットの縁に沿って，部分的，又は全面的に大はがれを生じており，及び／又は数か所の目が部分的，又は全面的にはがれている。クロスカット部分で影響を受けるのは，明確に 65 %を上回ることはない。

分類 5 ： 分類 4 でも分類できないはがれ程度のいずれか。

3.7 現状変更

現状変更説明

旧美歎水源地水道施設一号濾過池、二号濾過池、三号濾過池、四号濾過池、五号濾過池、接合井、附管理橋二基、水道用地（門柱）

前文

旧美歎水源地水道施設は、鳥取市中心部より約5km東方、千代川水系美歎川の上流に位置し、貯水池堰堤を中心とし、上流側に量水堰、下流側に濾過池、接合井及び量水器室等を配する[1]。

水道施設は、鳥取市街地へ供給する飲料水の確保と公衆衛生の向上を主な目的とし、大正元年9月に起工、大正4年10月に竣工した[2]。大正7年9月の台風により、貯水池堰堤、濾過池等が被災したが、大正8年7月から同11年六月にかけての工事で復旧した[3]。昭和3年頃に濾過池一所を増設し、昭和戦後も機能を維持したが、昭和53年の新水源地建設に伴い供用を停止した。平成11年には貯水池堰堤を砂防堰堤に改修した[4]。

濾過池は緩速式で、貯水池堰堤より約300m南西に位置する。一号から五号濾過池が南北に並び、一号から四号は大正4年の竣工、五号は昭和3年頃の増設である[5]。各濾過池西面中央に制水井上屋が附属し、いずれも長方形平面で、寄棟造、建築面積8.28m²とする。壁面は山形鋼や平鋼を組み合わせた下地とし、一号から四号はモルタル、五号はコンクリートで躯体をつくり、欠円アーチ型の入口と窓3箇所を開ける。当初の濾過地制水井の上屋は木部のペイント塗色を一号から四号までを「鼠色」[6]、五号を水色とし[7]、各屋根棟両端部にフィニアルを載せていた[8]。時期は不明であるが、昭和53年までに木部のペイント塗色を白色に改め、フィニアルを欠失した[9]。

接合井は各濾過池からの送水を合流し、下流へ送出す施設で、四号濾過池の西側に位置する。上屋は直径3.1mの円形平面とし、煉瓦造小口積の上屋壁面に、欠円アーチ形の入口と窓三箇所を等間隔に開ける。頂部にはモルタルを載せ、表面はモルタル塗仕上とする。当初の接合井は、木部のペイント塗色を「鼠色」[10]とし、昭和53年までに白色に改めた[11]。美歎川を跨ぐ管理橋は二基あり、上流側は一号濾過池北方、下流側は接合井西方に位置する。いずれも大正10年に復旧した鋼製二連桁橋で[12]、昭和5年に下流側、昭和12年に上流側で、管理橋の床版を木造から鉄筋コンクリート造に改めた[13]。この時、両橋の手摺のペイント塗色を緑色とし[14]、昭和53年までに白色に改めた[15]。門柱は美歎川左岸の水道用地入口に建つ。柱間2.9mの煉瓦造で、大正7年以前の竣工である[16]。当初は門扉を付け、門柱両脇には木柵を設け、水害後の大正10年には、同規模で復旧したが[17]、昭和53年までに門扉を木製から鉄製に改め、その後、木柵を欠失した[18]。

今回の修理に伴う調査によって、以上のような当初の姿とその後の変遷が概ね明らかとなった。旧美歎水源池水道施設は、山除地方初の本格的水道施設として貴重で、昭和初期までに段階的に整備された施設全体が良く残る[19]。よってこれを機に、水道施設が最も整った昭和初期の姿に復する。

(1) 美歎水源池水道施設10所は、平成19年6月19日付で重要文化財（建造物）に指定された。

(2) 起工及び竣工の年月は『美歎水源地落成式に関する綴』（鳥取市水道局所蔵）所収の大正4年10月27日付『鳥取市水道工事報告』による。

(3) 復旧工事の起工及び竣工の年月は『日本水道史』（中島工学博士記念事業会昭和2年）による。

(4) 水源地は平成5年に廃止されている。また、砂防工事において堰体上流面及び水叩きへのコンクリート打増、水通し中央部の切欠き等が行われている。

(5) 五号濾過池は、『鳥取市水道六十年史』（鳥取史水道局昭和50年）によると、昭和2年に起工し、『昭和三年以降雑件綴』（鳥取市水道局所蔵）所収の昭和3年12月18日付「応急送水工事認可稟請ノ件」によると、濾過池五所の存在が明記されるから、昭和3年頃の竣工とみられる。

(6) 採出し調査では、一号から四号の濾過池附属制水井上屋の出入口扉、窓及び建具枠に現状を含めて5時期のペイント塗膜があり、再下層の上塗は灰色である。大正10年『制水井及集合井各上屋修繕工事設計書』（鳥取市水道局所蔵）に「在来鼠塗具ノ汚損セルヲ所（後略）」と記載し、最下層の塗膜表面は風化しているから、当初の木部は「鼠色」と判断する。なお、下から2層目の塗膜にも灰色のペイント塗装の上塗を認められる。昭和2年『制水井及集合井上屋其他ペンキ塗換修繕工事設計書』（鳥取市水道局所蔵）では、制水井及び集合井（集水井）に「鼠色」を使用して修繕していることを確認できるから、塗替時期からみて昭和10年代までいずれの上屋木部は「鼠色」を継持していたと考えられる。

(7) 採出し調査では、出入口扉、窓及び建具枠には現状を含めて、2時期のペイント塗膜があり、最下層の上塗は水色で、その塗膜表面が風化しているから、当初は水色であったと判断する。

(8) いずれの制水井附属上屋の棟両端に帆穴が残存する。大正四年の制水井附属上屋を描く設計図（鳥取市水道局所蔵）が残り、屋根頂部にフィニアルを確認できる。また、昭和九年の濾過池を撮影した写真（鳥取市水道局所蔵）でもフィニアルを確認できるから、いずれも当初はフィニアルがあったとわかる。

(9) 時期不明であるが、水道施設が機能している時期のカラー写真（個人蔵）では、いずれの制水井附属上屋及の木部のペイント塗色が白色となり、制水井附属上屋ではフィニアルを欠失しているため、昭和53年の供用停止までに現状のようになっていたとわかる。

(10) 前掲（6）参照。

(11) 時期不明であるが、水道施設が機能している時期のカラー写真（個人蔵）では、接合井の木部のペイント塗色が白色となっているため、昭和53年の供用停止までには現状のようになっていたとわかる。

(12) 指定説明には、大正4年竣工の貯水池壌塊取水塔取付桟橋の材料を部分的に再用し、復旧したと考えられる。また、「鳥取市水道美歎水源人道橋之圖」「鳥取市水道美歎水源人道橋兼鐵管受之圖」（鳥取市水道局所蔵）所収の大正10年の災害復旧時の図面が残り、当初はいずれも木製の床版であったとわかる。

(13) 下流側管理橋の床板の取替については、北西隅の親柱に取り付く銘板による。銘板「昭和五年拾年架修」上流側管理橋については、「昭和九年市単独施工分第一水源地災害復旧工事関係綴」（鳥取市水道局所蔵）所収の昭和12年12月付「鳥取市水道水源地構内美歎川筋白銀橋復旧工事」に、「床板を取替」とあり、鉄筋コンクリート造に改めたことがわかる。なお、手摺の形状から「白銀橋」が現状の上流側管理橋を示すと判断する。

(14) 撤出し調査では、上流側管理橋の手摺は発錆が著しく当初塗装の痕跡が確認できないが、前掲（13）の昭和12年12月付「鳥取市水道水源地構内美歎川筋白銀橋復旧工事」によれば、上流側管理橋の床版を改める際に、手摺の塗色を「濃緑色」にしたことを確認できる。下流管理橋では、現状を含めて5時期の塗装があり、最下層の上塗は緑色であり、表面が風化しているから、塗替時期からみて昭和10年代はいずれの手摺も「濃緑色」であったと推定される。

(15) 時期不明であるが、水道施設が機能している時期のカラー写真（個人蔵）では、手摺のペイント塗色が白色であるから、昭和53年の供用停止までには現状のようになっていたとわかる。

(16) 『大正十年工事関係綴』（鳥取市水道局所蔵）に、昭和10年10月付「濾過池門柱及木欄復旧工事」（「戸過池門柱及木欄復旧工事設計図」（以下、『門柱及木欄設計図』と記す。）及び「戸過池門柱及木欄復旧工事仕様書」（以下、『門柱及木欄仕様書』と記す。）を含む、大正11年の水道施設を撮影した写真（鳥取市水道局所蔵）が残り、大正10年の復旧時に門扉と木欄があったことがわかる。なお、この工事は大正7年に発生した水害の復旧工事であるため、門柱（門柱）及び木欄は大正7年以前の竣工とみられる。

(17) 前掲（16）『門柱及木欄設計図』では煉瓦造の門扉と門柱両脇の欄が描かれ、『門柱及木欄仕様書』により、門扉及び木欄は「杉」であったとわかる。「一門扉ハ現存品ノ破損ヶ所ニ修繕ヶ加ユ（後略）」とあるため、復旧に伴う変更はなく、当初に倣って復旧したと判断する。

(18) 時期不明であるが、水道施設が機能している時期のカラー写真（個人蔵）では、門扉は鉄製で、門柱両脇に木欄が確認できるから、昭和53年の供用停止までには門扉は改められたと判断する。木欄は現在欠失しているため、これ以降の撤去とみられる。なお、現状の鉄製門扉は指定範囲外である。

(19) 重要文化財（建造物）に指定されている近代の水道施設に、旧大滝水源地水道施設（青森県）、藤倉水源地水道施設（秋田県）、布引水源地水道施設（兵庫県）、本庄水源地水道施設（広島県）があるが、礎連濾過池を備えた水道施設でかつ、その機能を充足する施設全体が残存するのは、美歎水源地水道施設のみである。

【一号濾過池、二号濾過池、三号濾過池、四号濾過池、五号濾過池、接合井】

一　一号から五号濾過池の各附属制水井上屋及び接合井上屋の木部のペイント塗色を復する。

一号から五号濾過池の各附属制水井上屋及び接合井上屋の木部のペイント塗色を別表1のように復する。

二　一号から五号濾過池の各附属制水井上屋のフィニアルを復する。

一号から五号濾過池の各附属制水井上屋では棟の両端に柄穴が残存する(1)。大正4年の上屋の設計図や昭和9年の古写真で、屋根頂部にフィニアルを確認できるから(2)、これらがフィニアルを止付けた柄穴で、当初はフィニアルがあったことがわかる(3)。

以上により、一号から五号濾過池の各附属制水井上屋の屋根フィニアルを復する(4)。

(1) 柄穴の大きさは直径25mm、深さ60mmである。
(2) 前文（8）参照。
(3) 一号濾過池制水井附属上屋の棟西端の柄穴に腐朽した木製の柄の一部が残存するから、当初のフィニアルは木製で、棟に丸柄で固定したものとわかる。
(4) 今後の維持管理のため、フィニアルの柄部分のみ金属製とする。

別表1

棟名	部位	現状	変更	備考
一号濾過池 制水井附属上屋	建具、建具枠	白色（内部、外部）	鼠色（内部、外部）	撤出し調査による。前文(6)参照。
二号濾過池 制水井附属上屋	建具、建具枠	白色（内部、外部）	鼠色（内部、外部）	撤出し調査による。前文(6)参照。
三号濾過池 制水井附属上屋	建具、建具枠	白色（内部、外部）	鼠色（内部、外部）	撤出し調査による。前文(6)参照。
四号濾過池 制水井附属上屋	建具、建具枠	白色（内部、外部）	鼠色（内部、外部）	撤出し調査による。前文(6)参照。
五号濾過池 制水井附属上屋	建具、建具枠	水色（内部） 白色（外部）	水色（内部、外部）	撤出し調査による。前文(6)参照。
接合井上屋	建具、建具枠	白色（内部、外部）	鼠色（内部、外部）	撤出し調査による。前文(6)参照。

別表2

建物名	部位	現状	変更	備考
上流側管理橋	手摺	不明	濃緑色	発錆により塗膜残存せず。下流側管理橋の塗色に倣って整備。前文（14）参照。
下流側管理橋	手摺	白色	濃緑色	撤出し調査による。前文（14）参照。

【附管理橋二基】

上流側及び下流側管理橋の手摺のペイント塗色を復旧また整備する。

上流側及び下流側管理橋の手摺のペイント塗色を別表2のように復する。

【水道用地（門柱）】

木製門扉を復するとともに、門柱の北及び南脇に延長約3.6mの木柵をそれぞれ復する。

現状の門柱は大正10年に復旧されたものである(1)。門柱の北及び南の向かい合わせ面には、錬鉄製の蝶番が上下2箇所残存し、これまでに取替がないから、当初のものとみられる。門柱礎石には、それぞれの外面に地覆状の造出しがあり、北門柱の南側約1.9m位置には上面両端部を一部切欠いた礎石が残存し、周囲には動いた痕跡がない。

「門柱及木柵設計図」及び「門柱及木柵仕様書」によれば、大正10年の復旧時の門扉は、上部を鉄格子、下部を木板とし、弓形の上框や腰框を用いた扉を吊っていたとわかる。門の北及び南脇には約1.9m幅で2スパンに親柱を建て、これを控柱で支え、親柱間に8本の柵柱を建て、延長約3.8mの木柵があったことがわかる(2)。

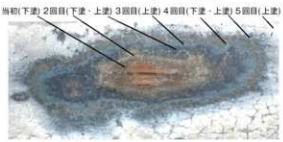
以上により、木製門扉を復するとともに、門柱の北及び南脇に延長約3.6mの木柵をそれぞれ復する(3)。

(1)　前文（16）参照。

(2)　「門柱及木柵仕様書」では、木柵の項目に「ペンキ塗」とあり、前文（16）の大正11年の写真では、門扉及び木柵は白色で写る。「制水井及集合井上屋其他ペンキ塗換修繕工事設計書」（昭和2年）にも「正面柵白色」とあるので、今回は門扉、木柵とも白色のペイント塗装とする。

(3)　現状の門柱間の地面は削平され、門扉の戸車及びレールは確認できないが、管理上、門扉の戸車及びレールを整備する。

写1　扉（外側）　写2　扉（内側）



写7　塗装擦り出し調査

写3　窓側面（外側）　写4　窓側面（内側）

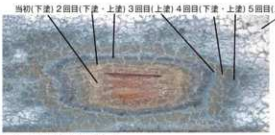
写5　窓背面（外側）　写6　窓背面（内側）

1回目（当初）		2回目	3回目	4回目		5回目
下塗	確認できず	下塗 上塗	上塗	下塗	上塗	上塗

要旨ー（一）　一号濾過池制水井上屋 建具塗装調査

現状の建具は白色のペンキ塗仕上げである。当初の上塗は確認できなかったが、三号及び四号の濾過池制水井上屋の塗装擦り出し調査及び資料より、当初は鼠色だったことが判明した。

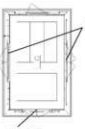
写1　扉（外側）　写2　扉（内側）



写6　塗装擦り出し調査

写3　窓側面（外側）

写4　窓側面（内側）



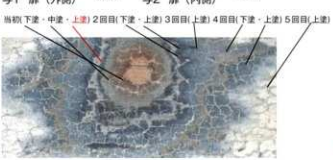
写5　後補扉の痕跡調査

1回目（当初）	2回目	3回目	4回目	5回目
下塗　確認できず	下塗　上塗	上塗	下塗　上塗	上塗

要旨二（一）（三）　二号濾過池制水井上屋 建具塗装調査・痕跡調査

現状の建具は白色のペンキ塗仕上げである。当初の上塗は確認できなかったが、三号及び四号の濾過池制水井上屋の塗装擦り出し調査及び資料より、当初は鼠色だったことが判明した。扉の片方（外側から見て右側）は後補材。

写1　扉（外側）　写2　扉（内側）



写5　塗装擦り出し調査（赤字が復原色）

写3　窓背面（外側）　写4　窓背面（内側）

1回目（当初）	2回目	3回目	4回目	5回目
下塗　中塗　上塗	下塗　上塗	上塗	下塗　上塗	上塗

要旨三（一）（三）　三号濾過池制水井上屋 建具塗装調査

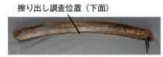
現状の建具は白色のペンキ塗仕上げである。塗装擦り出し調査及び資料より、当初は鼠色だったことが判明した。扉は二枚とも後補材で内側は素木。

写1 扉（外側）

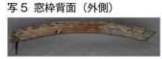
写2 扉（内側）

写3 窓背面（外側）

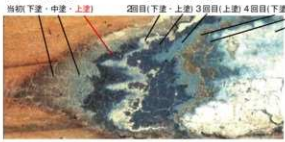
写4 窓背面（内側）



写5 窓枠背面（外側）



写6 窓枠背面（内側）



写7 塗装擦り出し調査（赤字が復原色）

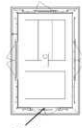
1回目（当初）			2回目		3回目		4回目		5回目
下塗	中塗	上塗	下塗	上塗	上塗	下塗	上塗	上塗

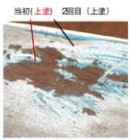
要旨四（一） 四号濾過池制水井上屋 建具塗装調査

現状の建具は白色のペンキ塗仕上げである。塗装擦り出し調査及び資料より、当初は鼠色だったことが判明した。扉は片方が欠失。

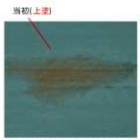
写1 扉（外側）

写2 扉（内側）





写3 塗装擦り出し調査（外側）
いずれも赤字が復原色



写4 塗装擦り出し調査（内側）

1回目（当初）	2回目(外側のみ)
上塗	上塗

要旨五（一） 五号濾過池制水井上屋 建具塗装調査

現状の建具は外側が白色、内側が水色のペンキ塗とされているが、当初は内外とも水色であったことが判明した。