金属器（第5－109～5－113図）

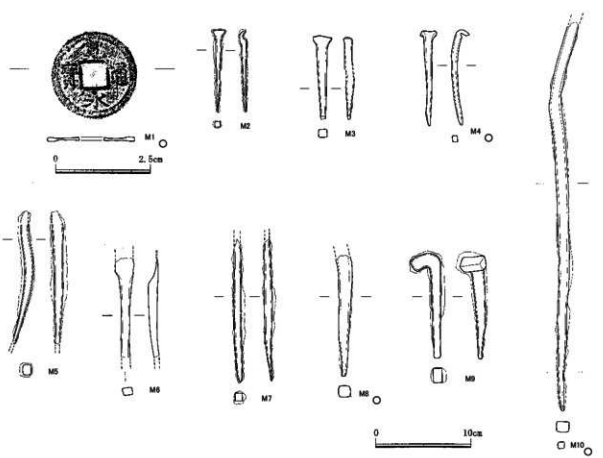
金属器も土器・瓦と同様の取り上げ区分に準じて報告することとする。M1～10は天守台の1・2段目，天守台前面と中川櫓台の10・11段目，虎口の17段目の解体（グループ①）に伴う出土遺物である。M11～42は天守台の5～9段目の解体（グループ③－1）に伴う出土遺物である。M43～54は天守台の10～15段目，天守台前面と中川櫓台の12～15段目の解体（グループ③－2）に伴う出土遺物である。M55～62は天守台と天守台前面，中川櫓台の16～20段目，虎口の18～20段目の解体（グループ③－3）に伴う出土遺物である。

M1は天守台前面の盛土より出土した「寛永通寶」で，裏面は無文である。

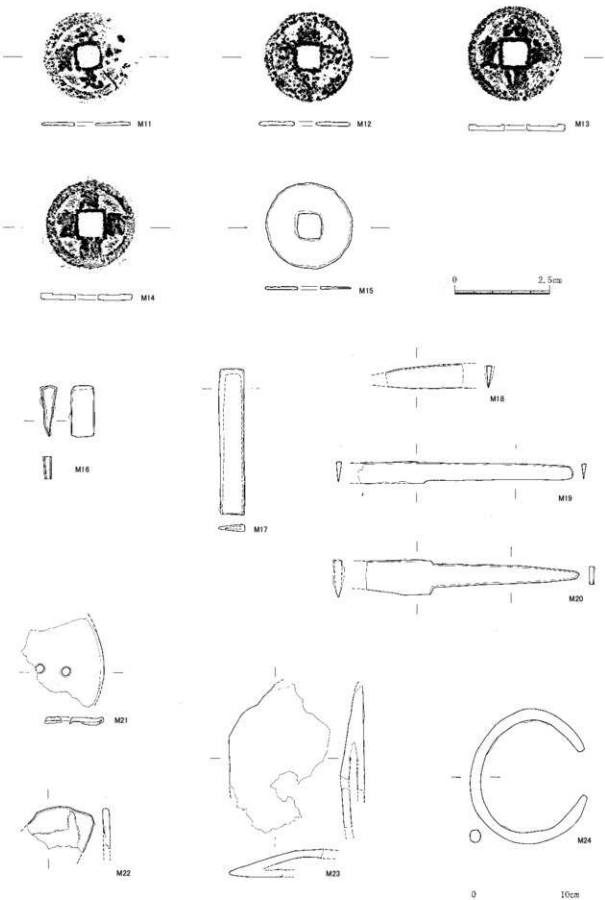
M2～10は釘で，M2・3・5～7・9は天守台の栗石より，M4・8は天守台前面の栗石より，M10は天守台前面の盛土より出土した。M2～4は全長5cm以下の小型の頭巻釘で，頭部は薄く鍛打し屈曲する。M5～8はやや大型の釘で，M5は切釘，M6は頭部を薄く鍛打する頭巻釘である。M9は頭部を棒状のまま厚く折り曲げる。M10は全長20.6cm以上の大型の釘で，瓦釘と考えられる。

M11～15は北宗銭で，M11・14・15は盛土より出土，M12・13は出土層不明である。M11は「祥符元寶」（1008年），M12は「嘉祐元寶」（1056年），M13は「元□（祐ヵ）通寶」（1086年ヵ），M14は「元□□寶」，M15は解読不可能である。

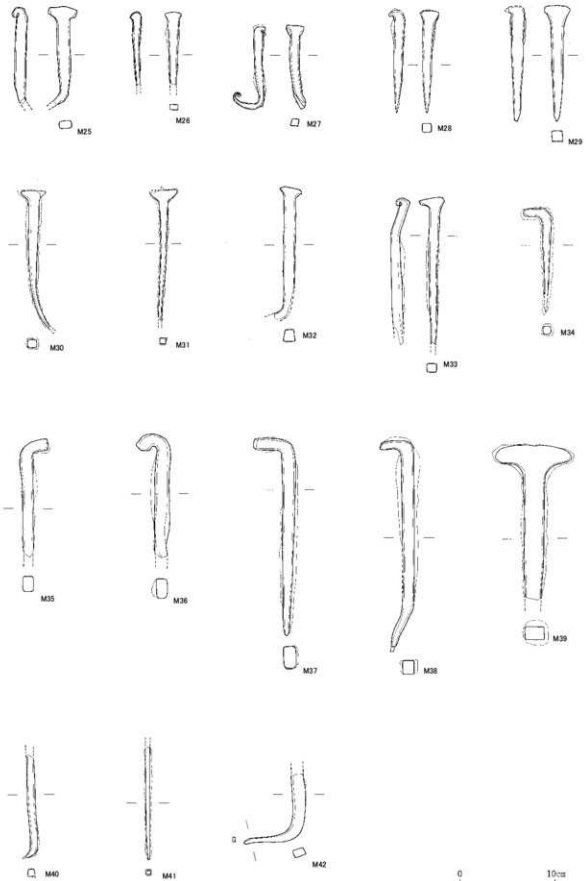
M16は盛土より出土した銅製の鏃で，側面に斜め方向の擦痕が見える。M17は青銅製の小刀



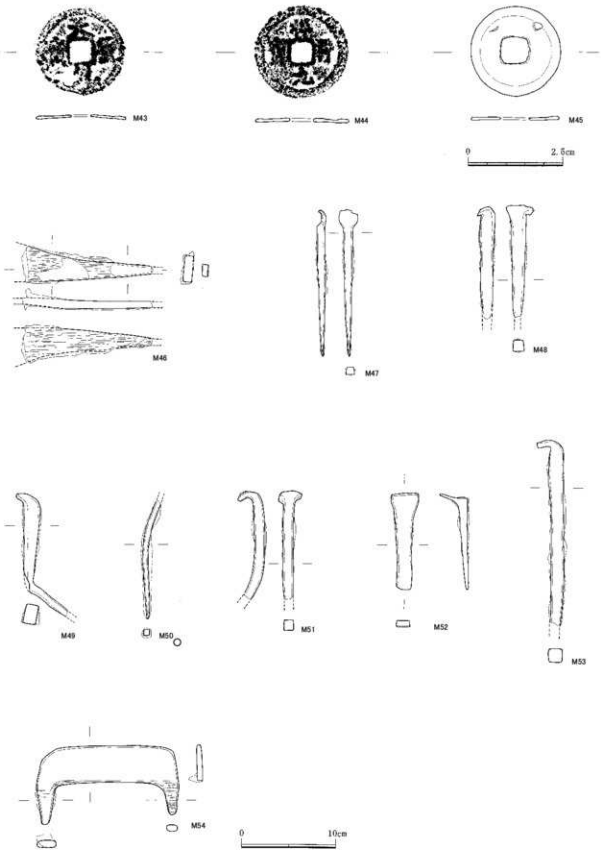
第5－109図　石垣解体に伴う出土金属器実測図（1）



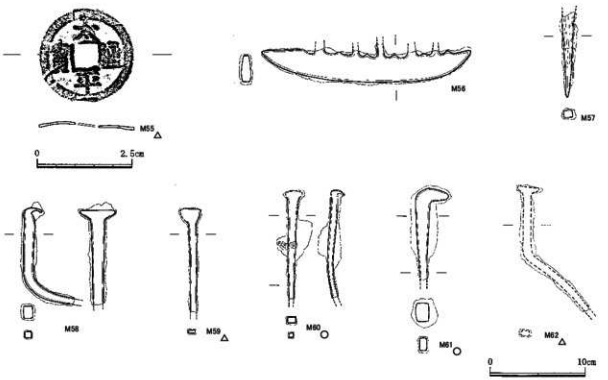
第５－110図　石垣解体に伴う出土金属器実測図（２）



第５－111図　石垣解体に伴う出土金属器実測図（３）



第５－112図　石垣解体に伴う出土金属器実測図（４）



第5－113図　石垣解体に伴う出土金属器実測図（5）

の鞘で，レントゲン写真によると断面は中空の三角形である。M18は鉄製の小刀で，断面は三角形である。M19は盛土より出土した鉄製の小刀で，身の茎部分が残存している。茎の幅は0.8cm，刃は1.1cmを測り，断面は三角形である。M20は盛土より出土した鉄製の刀で，身の茎部分が残存している。茎は茎先に向かってしだいに細くなり，幅は0.4～1.3cm，刃は1.8cmを測る。茎の断面は長方形である。

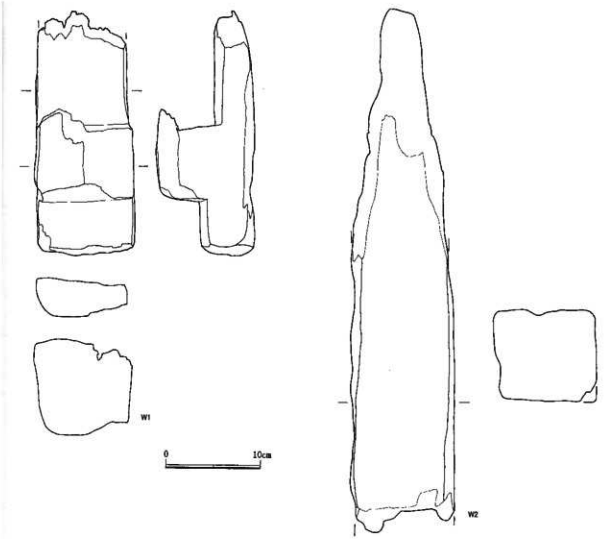
M21・22は用途不明の鉄板であり，M21は円形を呈する形態と考えられ，縁は鉄板を折り返して作っており，2個の孔が残る。M23は盛土より出土する鉄製の鍬先である。M24は鉄製の輪であり，1ヶ所開いた「C」字形である。断面は円形で，用途は不明である。

M25～42は釘で，栗石より出土したM25を除いた釘は盛土より出土した。M25～29は小型の頭巻釘，M30～33はやや大型の頭巻釘である。M34～38は頭部を棒状のまま厚く折り曲げた折釘で，M34のみ小型である。M37は断面が扁平であり皆折釘の可能性もある。M39は頭部が大きく大型の釘である。

M43・44は盛土出土の北宗銭，M45は出土層不明の銭である。M43は「天□（聖ヵ）元寶」（1023年），M44は「祥符元寶」（1008年）であり，M45は解読不可能である。

M46は盛土出土の小刀の茎で，茎先に向かってしだいに細くなり，幅は0.4～1.9cmを測る。茎の断面は長方形で，木質が残る。

M47～53は釘である。M47～49は盛土出土，M50～53は出土層不明である。M47～49・51～53は基部上端を叩き潰し，折り返して頭部とする頭巻釘である。M54は盛土出土の平鎚で，基部の幅は2.0cmを測る。両脚部には木質が残る。



第５－114図　石垣解体に伴う出土木製品実測図

M55は出土層不明の北宋銭で，「太平通寶」（978年）である。

M56は出土層不明の火打金で，装飾のあるねじり鎌形である。

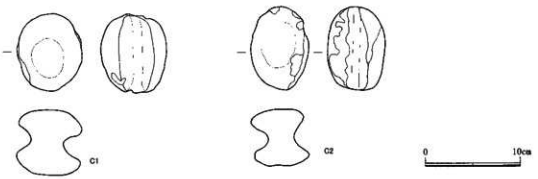
M57～62は出土層不明の釘で，M58～60・61は基部上端を叩き潰し，折り返して頭部とする頭巻釘，M61は頭部を棒状のまま厚く折り曲げた折釘である。M57は全面に木質が残存する。

木製品（第５－114図）

W１・２は建築材であり，C面盛土最下層より出土した。W１は残存長25.9cm，幅15.3cm，厚さ10.5cmであり，一端部を欠損している。大きな切込みが２箇所入る。心持材を方形に加工されている。W２は残存長55.5cm，幅11.0cm，厚さ9.9cmを測る柱材であり，両端部を欠損している。心持材を方形に加工されている。

土製品（第５－115～５－117図）

土製品も土器・瓦と同様の取り上げ区分に準じて報告することとする。C１・２は天守台の１・２段目の解体（グループ①）に伴う出土遺物である。C３～30は天守台の５～９段目の解体（グ



第５－115図　石垣解体に伴う出土土製品実測図（１）

ループ③－１）に伴う出土遺物である。C 31～35は天守台の10～15段目，天守台前面と中川櫓台の12～15段目の解体（グループ③－２）に伴う出土遺物である。

C１・２は天守台の栗石より出土した有溝土錘である。C１は全長8.2cm，重量336.1ｇ，C２は全長8.9cm，重量269.9ｇである。

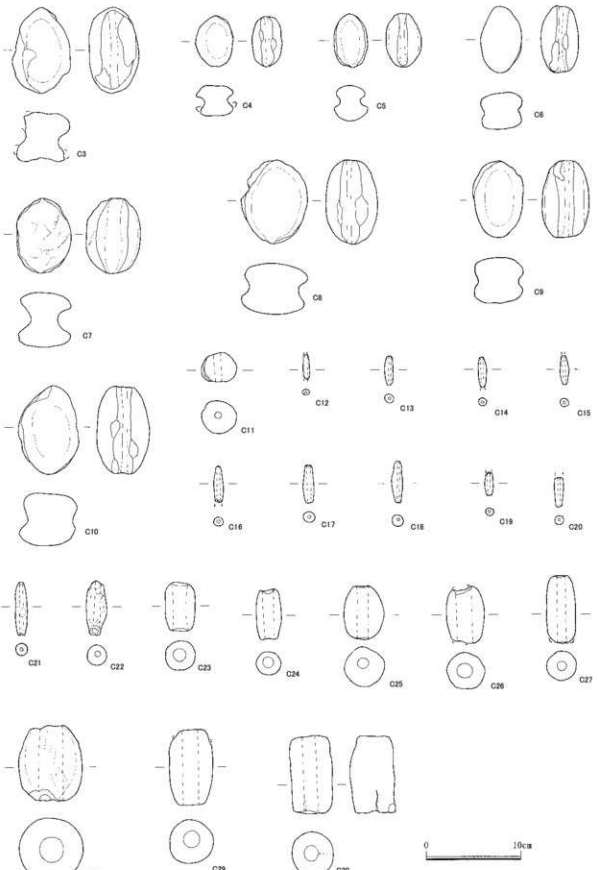
C３は栗石より出土した有溝土錘で，上面と下面が僅かに凹む。全長は9.1cm，重量235.8ｇである。

C３～10は有溝土錘で，C３～８は盛土より出土し，C９は出土層不明である。C４・５は全長６cm未満，重量70ｇ未満の小型の土錘である。C６・７は全長７～８cm，重量120～230ｇ，C８～10は全長８～10cm，重量190～307ｇを測る中形の土錘である。C８は長さに対して幅が広くやや丸みのある形で重量306.6ｇを測る。C 11は盛土より出土する丸玉状土錘で，直径3.7cm，重量40.3ｇである。C 12～30は管状土錘で，C 12～14・16～29は盛土より出土し，C 15･30は出土層不明である。C 13～20は細く小型の土錘で，全長2.6～4.5cm，重量1.0～5.3ｇであり，C 15･18は中央が太くなる。C 21･22は細長い中型の土錘で，全長6.0cm前後であり，C 23～27は長さに対して太い形を呈する中型の土錘で，全長5.2～7.2cm，重量35.0～96.0ｇである。C 25は中央部が太くやや丸い形である。C 28～30は大型の土錘で，全長8.0cm前後，重量147.5～321.3ｇである。C 28はやや丸い形をなし，C 29は表面に黒斑があり，C 30は接合痕が残る。

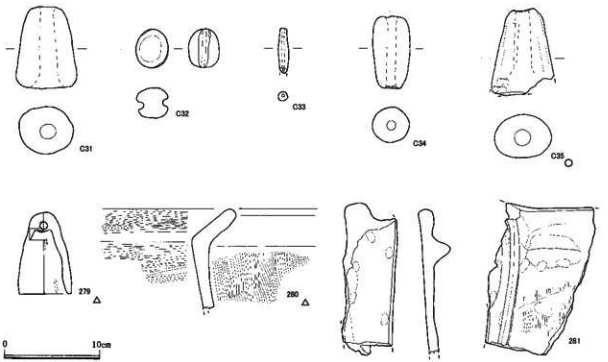
C 31は天守台栗石より出土した管状土錘で，上端に向かって細くなり，断面は台形を呈する。全長は8.7cm，重量は284.6ｇを測り，中央の孔は下側が広がる。

C 32～34は天守台盛土より出土した土錘である。C 32は小型の有溝土錘で，全長4.1cm，重量43.9ｇを測り，円形を呈する。C 33･34は管状土錘で，C 33は全長4.7cm以上，重量5.5ｇ以上で，細長い形で表面に黒斑がある。C 34は全長7.6cm，重量117.2ｇを測る中型であり，上端部に黒斑がある。

C 35は天守台前面より出土した管状土錘であり，下端から上端に向かって急激に細くなり，断面は台形である。全長9.3cm，重量216.0ｇであり，中央の孔は下側で稜を持って広くなる。表面は非常に滑らかである。



第５－116図　石垣解体に伴う出土土製品実測図（２）



第５－117図　石垣解体に伴う出土土製品実測図（３）・土器実測図（16）

石製品（第５－118図）

石製品も土器・瓦と同様の取り上げ区分に準じて報告することとする。S 427は天守台の５～９段目の解体（グループ③－１）に伴う出土遺物である。S 428～430は天守台の10～15段目の解体（グループ③－２）に伴う出土遺物である。

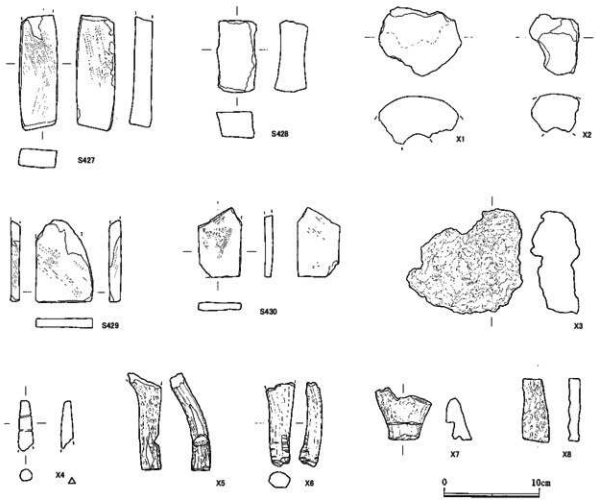
S 427は天守台の栗石より出土した花崗岩の砥石であり，上面と下面に使用痕が残るが，平坦である下面はあまり使用されなかったと思われる。

S 428～430は天守台の盛土より出土した砥石である。S 428は花崗岩の砥石であり，上面と下面を使用しており中央が凹んでいる。S 429は頁岩の砥石であり，非常に薄い。上面のみ使用し，下面は自然面である。３面の側面は加工する。S 430は頁岩の砥石であり，非常に薄い。上・下面を使用し，３面の側面は加工する。

その他の遺物（第５－118図）

その他の遺物も土器・瓦と同様の取り上げ区分に準じて報告することとする。X３・５・６は天守台の５～９段目の解体（グループ③－１）に伴う出土遺物である。X１は天守台の10～15段目の解体（グループ③－２）に伴う出土遺物である。X２・４・７・８は天守台と中川櫓台の16～20段目の解体（グループ③－３）に伴う出土遺物である。

X３はスラグである。X５・６は加工された鹿の角であり，X５は一端が切断され，側面には加工痕が２箇所ある。加工は深く抉る部分と薄く削る部分がある。X６は上端の一部と下端に切断痕が明確に残り，下方側面に薄く削った加工痕が明確に残る。これらの鹿の角は薬として使用された可能性が考えられる。



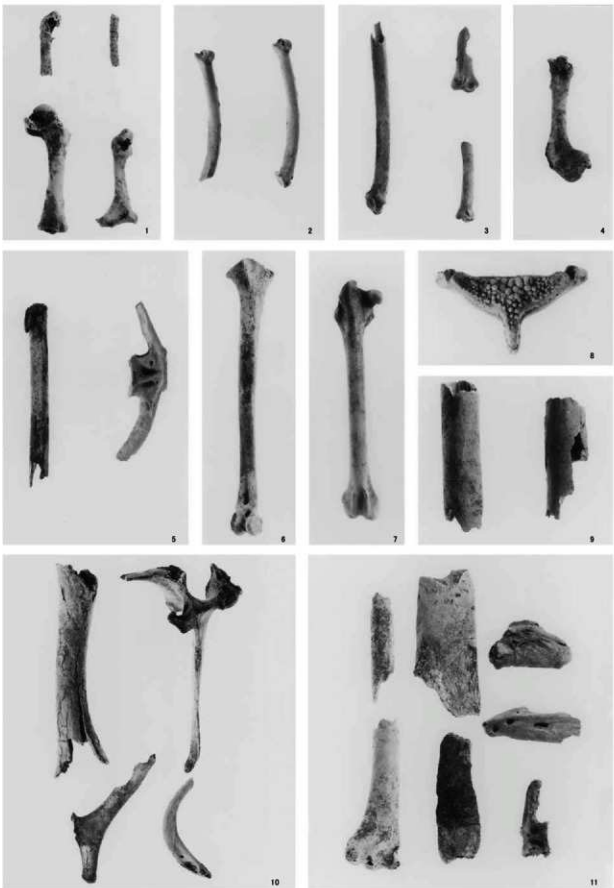
第５－118図　石垣解体に伴う出土石製品・その他の遺物実測図

Ｘ１は羽口の破片であり，表面が被熱により黒く変色しており接合部に近い部分の破片と考えられる。

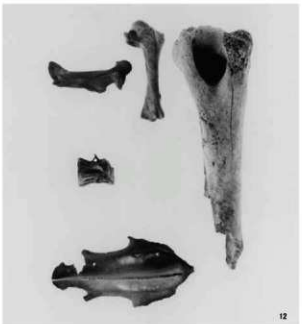
Ｘ２は羽口の破片であり，表面が被熱により黒く変色しており接合部に近い部分の破片と考えられる。Ｘ４は蝋石で，混入したと考えられる。Ｘ７・８は加工された鹿の角である。Ｘ７は角の二つに分かれる部分であり，二つの上端と下端は切断され，側面は深く抉られる。Ｘ８は薄い断面で，上端と下端は切断されている。これらの鹿の角は薬として使用された可能性が考えられる。

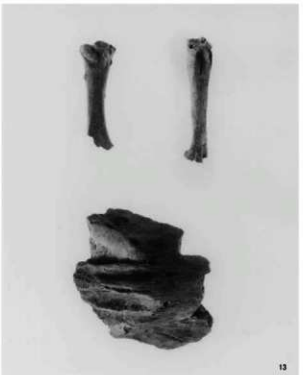
動物遺存体・人骨（第５－119～５－123図）

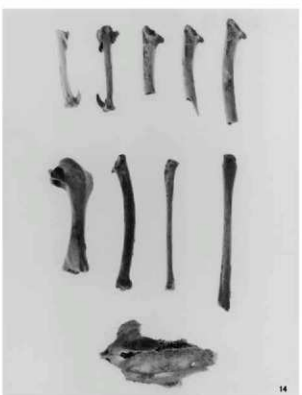
第５－119・５－120図の動物遺存体は，天守地下１階で検出した玉藻廟基礎の埋土と天守台前面，中川櫓台，虎口の包含層より出土した骨と天守地下１階で検出した遺構より出土した骨であり，本来は2012年刊行の『史跡高松城跡整備報告書第６集　史跡高松城跡（天守台）－発掘調査編－』に掲載すべきものである。専門家の分析を受けていないため，骨の細かな種類・部位を同定することはできなかった。本稿では出土位置のみ報告し，今後の課題とする。出土した骨は約400点以上であり，その種類は魚類・鳥類・哺乳類である。１～５は玉藻廟基礎の上層・第２層淡黄色粘質土より出土した。６～８は天守台前面の上層より，９は虎口の上層より出土した。



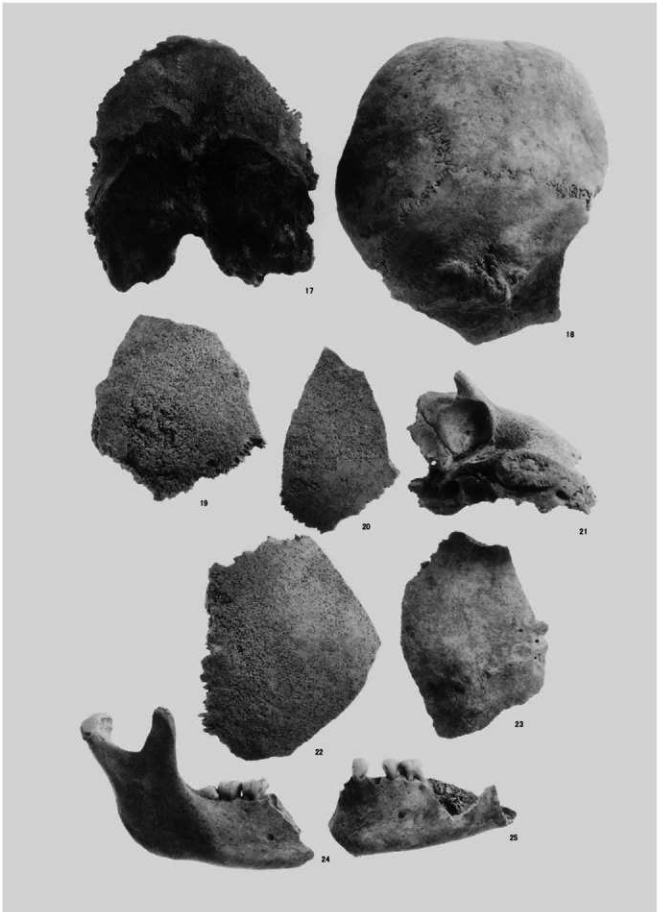
第5－119図　石垣解体に伴う出土動物遺存体（1）



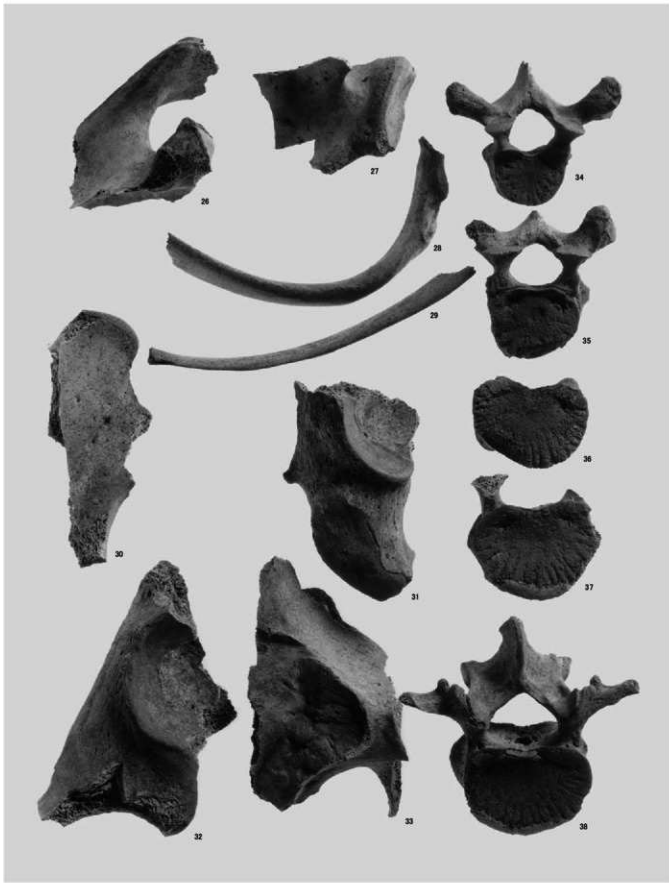




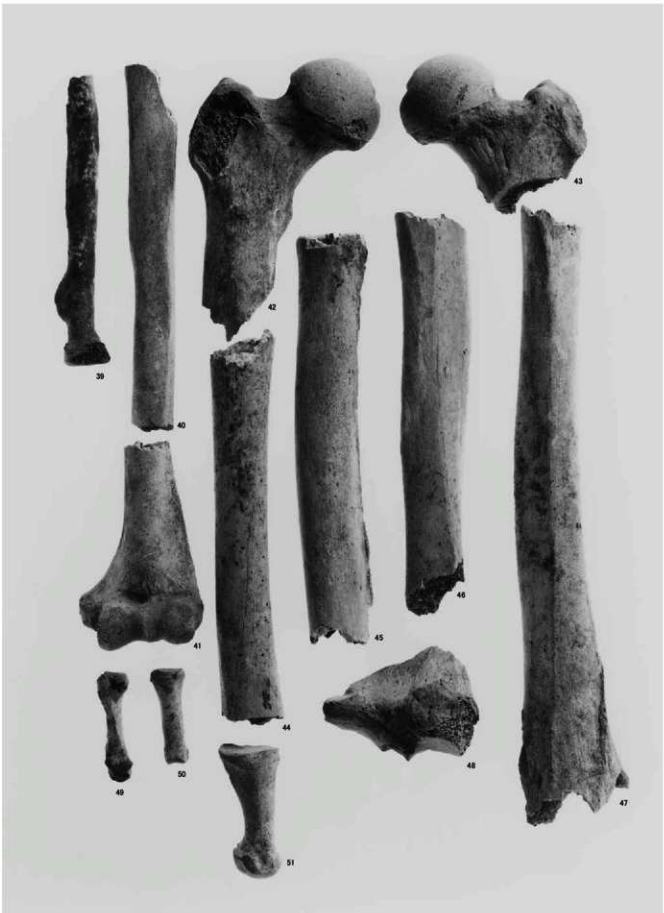
第５－120図　石垣解体に伴う出土動物遺存体（２）



第５－121図　石垣解体に伴う出土人骨（１）



第５－122図　石垣解体に伴う出土人骨（２）



第５－123図　石垣解体に伴う出土人骨（３）

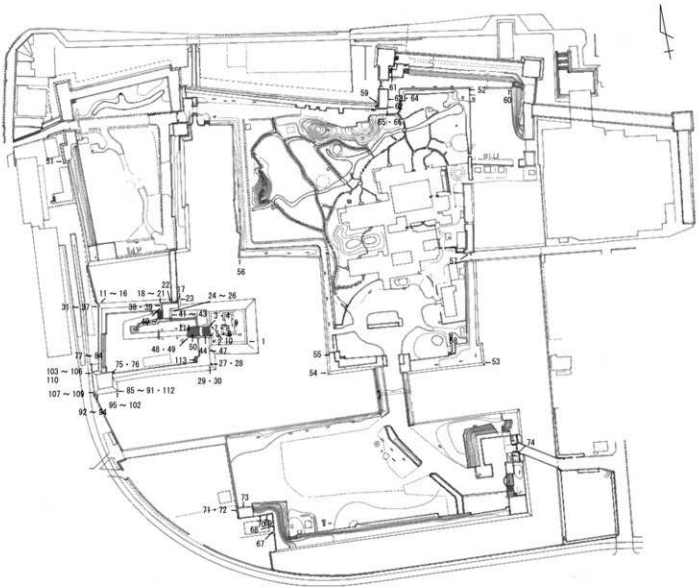
10 ～ 13 は玉藻廟基礎の埋土より出土した。14 はＳＰ９より出土し，15 は掘立柱跡３の掘方埋土より出土した。16 は玉藻廟へ上がる階段より出土した。

第５－ 121 ～５－ 123 図の人骨片が天守台内部の盛土より出土した。人骨は盛土の上部から最下部のほぼ全域にわたって出土したが，しいて言えば中段部より下において人骨の出土が多いことが言える。出土した人骨は約 500 点以上にのぼり，写真図版に載せたのは遺存状態の良い人骨を選択しており，出土した人骨の一部である。完存するものはなく，いずれも破片である。部位などについて既述しておく。17 ～ 23 は頭骨片で，18・21 は後頭隆起，乳様突起が大きく，男性のものと考えられる。24・25 は下顎骨片で，左の第１～３大臼歯，右の犬歯，第２小臼歯，第１大臼歯が残存している。26・27 は右肩甲骨，28・29 は左肋骨，30 は左寛骨，31・32 は右寛骨，33 は左寛骨で女性，34・35 は胸椎，36 ～ 38 は腰椎である。39 は左橈骨，40・41 は同一個体で左上腕骨，42 は右大腿骨，43 は右大腿骨，44・45 は大腿骨，46 は脛骨，47 は右脛骨，48 は左脛骨，49 は右中手骨，50 は右第３基節骨，51 は左中足骨である。

出土した人骨は２，３点を除いて火葬の痕跡を残しておらず，全て土葬されたものであると考えられる。第５章第１節第３項の石造物において前述したように，天守台石垣の栗石には多数の五輪塔や墓標，層塔が転用されていることが石垣の解体に伴う調査で判明している。さらに，高松城の北西付近に位置する鉄門の調査では小面積であるが 29 個の五輪塔と１個の石仏が出土し，三ノ丸南西部にある石垣 3020 面の前面の内堀には現在も五輪塔が多く散布している状況を見ることができる。また応永 19 年（1412）の『北野天満宮一切経』には野原の寺院として無量壽院・極楽寺・福正寺が記載され，その内の無量壽院が現在の高松城の西側に存在していたことが発掘調査で確認している。同寺は天平 11 年(739)に坂田郷室山の麓に創建された寺で，天文年間(1532 ～ 1555）に野原郷八輪島に移転しており，高松城築城に際して再度移転している。今回の発掘調査による五輪塔を中心とする多量の石造物や人骨の出土，鉄門からの石造物の出土，無量壽院跡の検出という考古学的な調査結果，高松城周辺の野原郷にいくつかの寺院の名が見られ，その一つの無量壽院が高松城築城に際して移転したという文献の記載から，天正 16 年（1588）の高松城築城に際して，周辺に所在する寺院や墓地の移転や整地が行われたと考えられる。

第４項　刻印

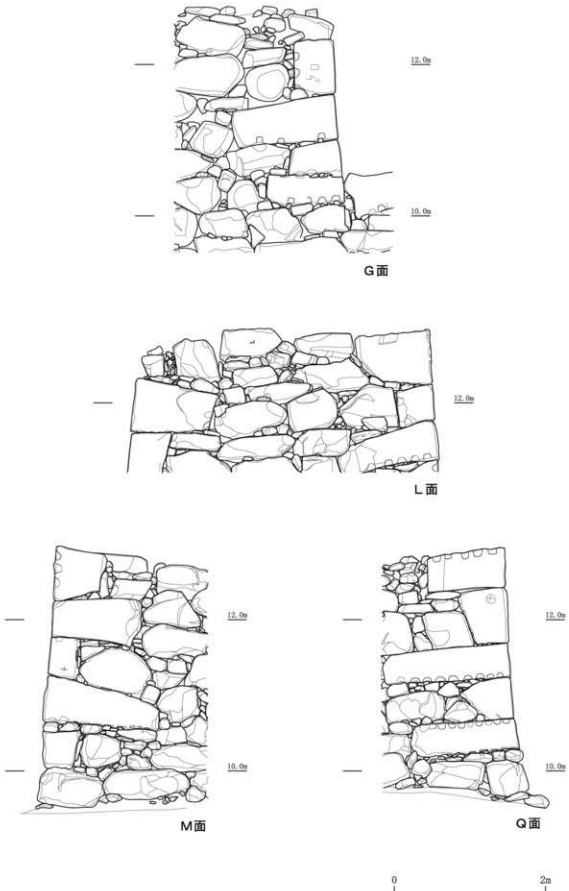
天守台の石垣において検出した刻印は，９石・10 箇所である。１はＣ面・Ｄ面の隅角の天端から２石目の石材の上面の刻印で，本発掘調査により新たに検出した。刻印は「×」とするが，円形の一部と思われる沈線があることから「㊥」とも考えられる。２はＤ面・Ｇ面の隅角の天端から６石目の石材の上面の刻印で，本発掘調査により新たに検出した。刻印は生駒家の家紋である「波引車」と半円形である。「波引車」の刻印は史跡高松城跡の石垣において唯一であり，周辺では高松城跡（厩跡）の大型井戸の石垣で検出している。３はＧ面の地下１階の入口の左袖２石目にあり，刻印は長方形・「ち」・「り」である。４はＧ面の地下１階の入口の左袖３石目にあり，刻印は分銅形である。５はＧ面の地下１階の入口の右袖２石目にある刻印で，「○」・「×」



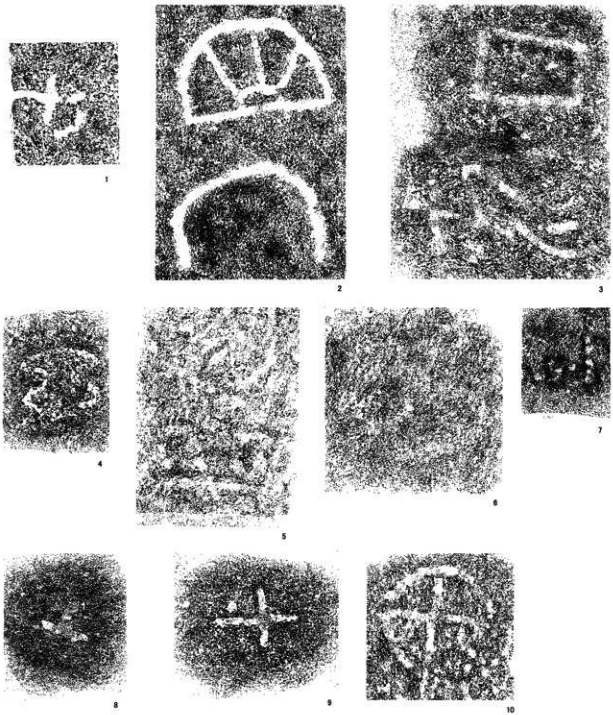
第５－124図　史跡高松城跡の刻印石分布図

である。６はG面の地下１階の入口の右袖４石目にある刻印で，「○」である。５，６は刻印が非常に浅く不明瞭であり，天守台の石垣の積直し終了後の平成24年度に検出した。７はL面右隅角部１石目の左２石目の石材にあり，刻印は「上」である。８は７と同じ石材の上面にあり，刻印は「上」である。９はM面左隅角部３石目にあり，刻印は「×」である。10はQ面右隅角部２石目にあり，刻印は「㊉」である。

天守台にある刻印の種類別の個数は，「㊉」が２個，「上」２個，長方形・「ち」・「り」１点，分銅形１点，「○」・「×」１点，「○」１点，「×」１点，「波引車」・「半円形」１点であり，その個数は均衡している。刻印のある石材の分布は，南東隅角部の１と南西隅角部の２を除いた３～10の刻印が天守地下１階の入口部分に集中しており，その刻印石の位置は天端中央にある７・８を除いて隅角部であり，算木積の小面に刻印を施している。刻印石は全て花崗岩である。このような隅角部の小面に刻印が多いことおよび石材が花崗岩であることは，天守台以外の石垣においても同様である。天守台の刻印で注目すべきは，生駒家の家紋である「波引車」が南西隅角部

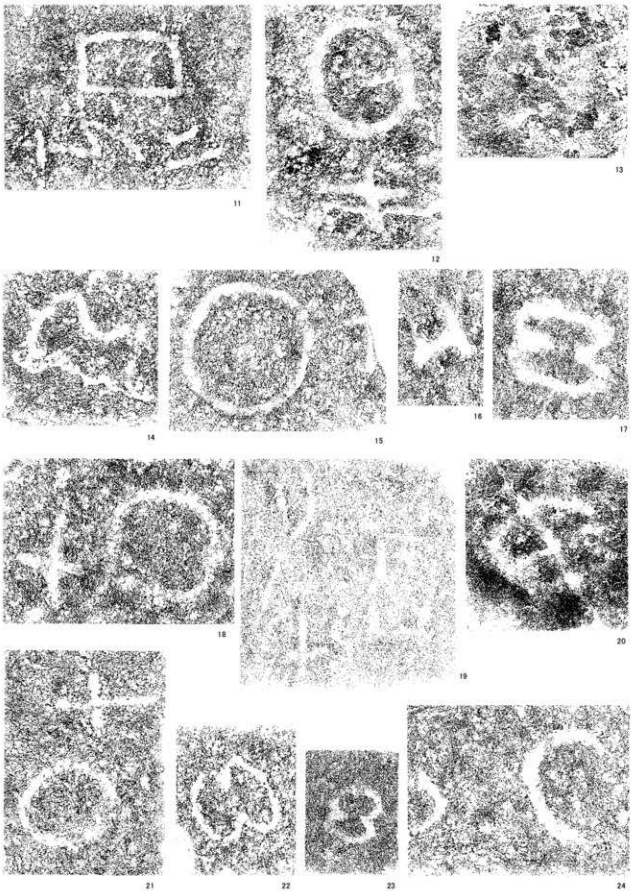


第５－125図　刻印立面図 (1/50)



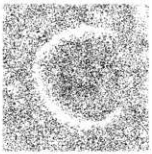
第5－126図　刻印拓本（1）(1/4)

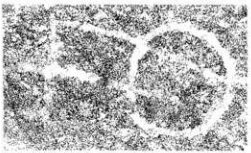
6石目の上面で検出したことである。天守台石垣は，隅角部を算木積みで構築しており，生駒親正が築城した天正年間ではあまり例を見ない積み方で，その完成度も高いことから，後年に改修されたと想定していた。一方で，発掘調査では石垣改修の痕跡は認められておらず，築城年代と石垣構築技術との間に差異が認められる。『讃羽綴遺録』によると，生駒家は朝鮮出兵以後に家紋を「波引車」に変更したとされる。この「波引車」の刻印が天守台の石垣内部から発見されたことと，石垣改修の痕跡は認められないことから，『讃羽綴遺録』の記述が正しいとすれば，少なくとも最初に朝鮮半島へ渡った文禄元年（1592）以降に天守台が築造されたと考えられる。なお，「波引車」・「半円形」は第5－126図と別に第5－130図に2分の1の縮尺で再掲している。



第５－127図　刻印拓本（２）(1/4)

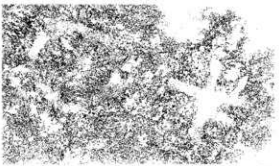
25


26


27

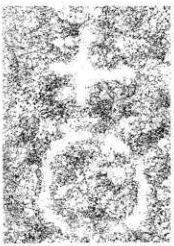
28

29

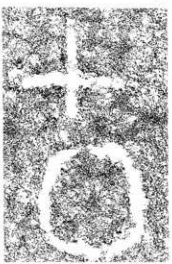

31

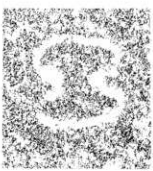
30

33


34

32

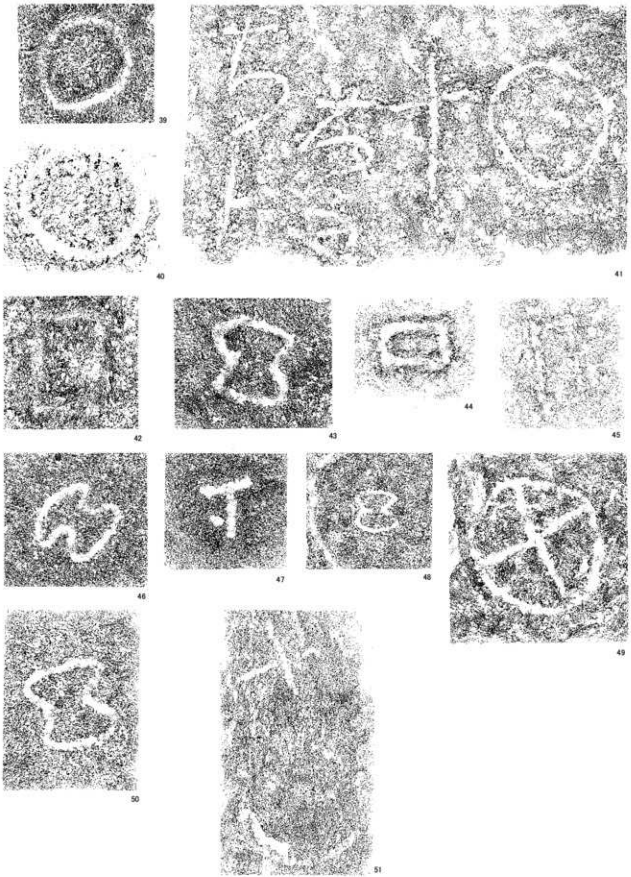

38


35

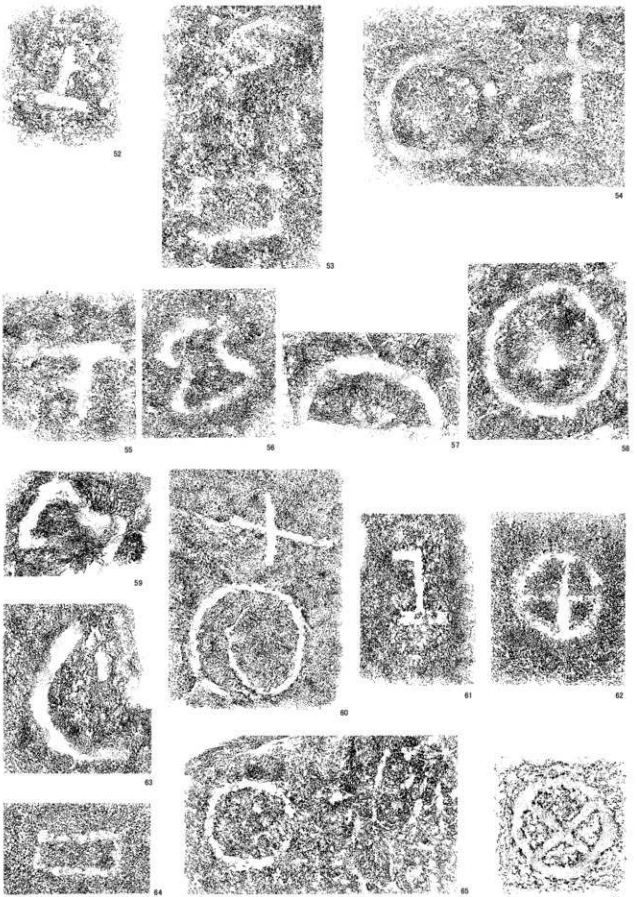
36

37

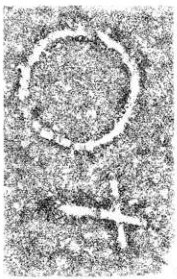
第5－128図　刻印拓本（3）(1/4)

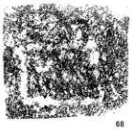


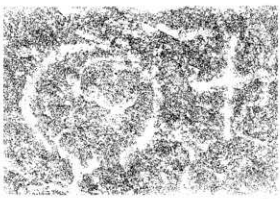
第５－129図　刻印拓本（４）(1/4)

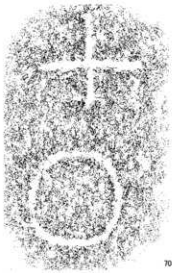


第5－130図　刻印拓本（5）(1/4)

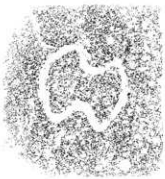

67

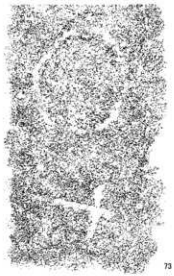

68

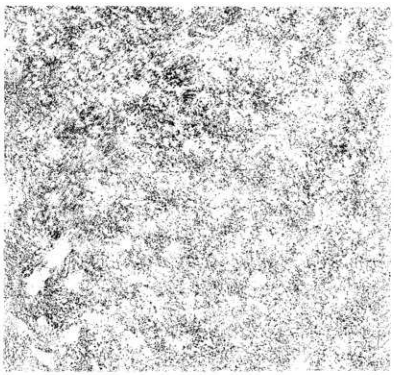

69


70

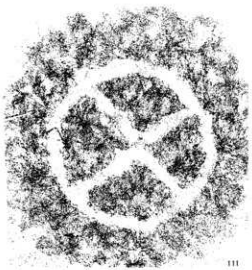
71

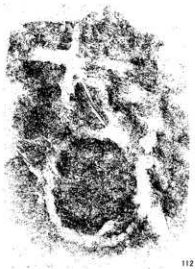

72


73

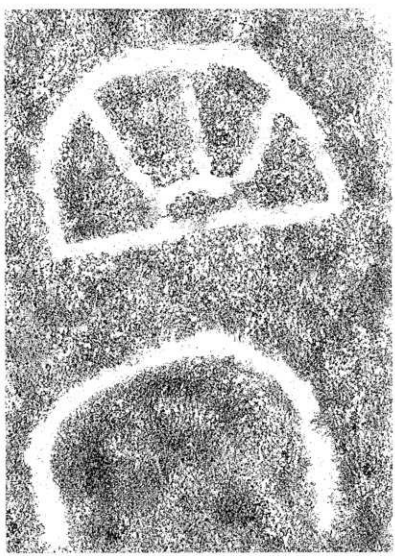

74

第５－131図　刻印拓本（６）(1/4)


111


112

113


2

第5－132図　刻印拓本（7）（1/4・1/2）

史跡高松城跡の石垣に見られる刻印に関しては，2008 年に刊行した『史跡高松城跡整備報告書第２冊　石垣基礎調査報告書』に石垣別の刻印を報告しているが，本発掘調査により新たに検出した刻印や平成 16 ～ 18 年度に実施した石垣基礎調査以降に行った城内の石垣の調査で見つかった刻印が 15 石ある。天守台で検出した刻印を考える上でその他の石垣の刻印と比較することは重要であると考えられるので，本報告書に全ての刻印の拓本を掲載した。ただし，地久櫓台に検出された刻印の拓本は 2004 年刊行の『史跡高松城跡地久櫓台発掘調査概報　平成 14・15 年度調査』に掲載しているので省略するが，新たに１点検出されたので掲載する (111)。

史跡高松城跡に見られる刻印石は，前述した天守台も含めて総数 110 石であり，刻印は 112 点である。その内訳は，天守台９石，本丸 77 石，二ノ丸１石，三ノ丸７石，北ノ丸８石，桜ノ馬場８石である。その分布を図化したのが第５－ 124 図である。刻印石の集中する部分が３箇所あることは明白である。それは天守台と本丸・渡櫓付近・生駒期の大手が所在した桜ノ馬場の南西隅である。二ノ丸と三ノ丸では刻印石が点在している。天守台と本丸の刻印石が全体の約 78％を占めており，渡櫓付近と桜ノ馬場の南西隅はそれぞれ８％に過ぎず，刻印石の点在する三ノ丸は７％である。天守台・本丸は城内で最も多くの刻印が存在している。明らかに転用されたと考えられる石材にある刻印としては，玉藻廟の階段にある刻印 48・49，天守地下１階への階段上面検出の石材にある刻印 50，明治以降に築造された石垣にある刻印 57，新郭造築期に築造された可能性がある石列の１石にある刻印 60 が挙げられる。刻印 44 ～ 47 は天守地下１階への階段の石材に見られる。これらの刻印を除き，石垣の築石に見られる刻印石は 99 石であり，その内の 77 石が角石である。角石に刻印が多いという傾向は城内のほぼ全域に見られるが，桜ノ馬場の南西隅では角石でない石垣の築石に刻印が見られる。渡櫓の石垣 4040 は生駒期の石垣に寛文 11 年（1671）～延宝５年（1677）の北ノ丸・東ノ丸造営に伴う石垣を継ぎ足した石垣であり，刻印は生駒期の石垣の角石に見られる。

112 点の刻印の図柄は 12 種であり，種別の個数は第５－２表の通りである。最も多いのは 25 点の分銅形であり，次は 23 点の「○」・「×」，以下は 16 点の「上」，15 点の「⊕」，12 点の長方形，７点の「○」，５点の長方形・「ち」・「り」，４点の半円形，２点の「×」，最も少ないのは「○」・「ち」・「り」と「１」と「波引車」・「半円形」である。これらの刻印は，特定の図柄が一つの場所に集中することはなく，城内の曲輪別での刻印の割合はほぼ同一である。ただし，本丸における分銅形は他の曲輪と比較してかなり高い割合を示している。

第５－ 132 図の 113 は，本丸の南東隅に設けられた石段（1017）の最上段の石材に見られる刻字である。石材は 23cm 角，現存する全長 78cm を測る立方体の花崗岩であり，上端部を欠損する。文字は，上部に「界」，その右下に「嘉元二年」，同左下に「十月八日」，最下部に「夜叉女」と刻印される。欠損するが「界」の上には「法」があり，仏教用語の「法界」を表すと推測できる。文面や文字の配列から，嘉元二年（1304）十月八日に夜叉女という人が建立した石塔であると考えられる。この石段は明治以降の石段である可能性が高く，この石塔は転用石である。

第５－２表　刻印観察表

報告番号	石垣	位置	石目数	刻印の種類	備考
1	1004	左隅角	２石目	×あるいは○に×	D-2-1
2	1005	左隅角	６石目	生駒家紋・半円形	E-6-1
3	1028	入口左袖	２石目	長方形・ち・り	
4	〃	〃	３石目	分銅形	
5	〃	入口右袖	２石目	○・×	
6	〃	〃	４石目	○	
7	1041		天端中央	上	
8	〃		天端中央上面	上	
9	1042	左隅角	３石目	×	
10	1046	右隅角	２石目	○に×	
11	1001	右隅角	２石目	長方形・ち・り	
12	〃	〃	４石目	○・×	
13	〃	〃	６石目	分銅形	
14	〃	〃	８石目	分銅形	
15	〃	〃	１２石目	○・×	
16	〃	〃	１４石目	上	
17	〃	左隅角	２石目	分銅形	
18	〃	虎口の隅角	１石目	○・×	
19	〃	〃	３石目	長方形・ち・り	
20	〃	〃	５石目右面	○に×	
21	〃	〃	５石目右下の石材	○・×	
22	〃	Ａ－１－４	左面	分銅形	
23	1002	右隅角	２石目	分銅形	
24	1003	右隅角	２石目	半円形	C-11-201
25	〃	〃	６石目	長方形	C-15-152
26	〃	〃	６石目左側の石材	半円形	
27	1006	左隅角	１石目	○・×	
28	〃	〃	３石目	分銅形	
29	1007	右隅角	３石目左側の石材	分銅形	
30	〃	〃	その約３ｍ左側の石材	上	
31	1009	左隅角	１石目	○・×	
32	〃	〃	３石目	○・×	
33	〃	〃	５石目	○・×	
34	〃	〃	７石目	○・×	
35	〃	〃	９石目	分銅形	
36	〃	〃	１石目右側の石材	分銅形	
37	〃	〃	９石目右側の石材	分銅形	
38	1010	右隅角	２石目	○・×	
39	〃	〃	４石目	○	
40	〃	左隅角	６石目右側の石材	○	
41	1026	左隅角	３石目	○・×・ち	
42	〃	〃	５石目	長方形	
43	〃	〃	７石目	分銅形	
44	1048		８段目踏石右面	長方形	
45	〃		７段目踏石右面	長方形	
46	〃		T-6-2	分銅形	
47	〃		T-10-2	上	
48	1029		側面の石材の裏面	分銅形	
49	〃		〃	○に×	
50	1049		上面検出の石材	分銅形	CZ-3
51	2018		右隅角７石目左側３石目の石材	○・×	
52	3011	右隅角	１石目左側の石材	上	
53	3017	左隅角	３石目	長方形・ち・り	
54	3020	右隅角	１１石目	○・×	
55	〃	櫓台左隅角	４石目	上	
56	3021	左隅角	８石目	分銅形	

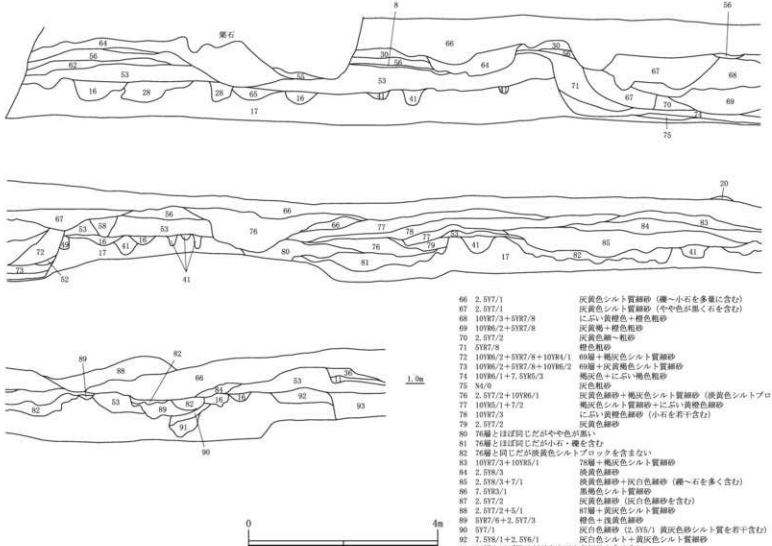
報告番号	石垣	位置	石目数	刻印の種類	備考
57	3070		左の上から４石目	○	
58	3075	右隅角	３石目	○	
59	4001	右入角	１石目	分銅形	
60	4027		右列北側	○・×	
61	4036		右隅角３石目左側の右材	1	
62	4040	左隅角	３石目	○に×	
63	〃	継ぎ足し前の右隅角	４石目	半円形	
64	〃	〃	４石目左側の右材	長方形	
65	4041	右隅角	４石目	○	
66	〃	〃	３石目左面	○に×	
67	5007	天端中央	右隅角から１２石目	○・×	
68	〃		右隅角から１７石目の下４石目	長方形	
69	5008		右隅角から約３ｍ左の最下段の右材	○・×	
70	〃		右隅角から約５ｍ左の中段の右材	○・×	
71	5009	左隅角	１石目	○に×	
72	〃	〃	３石目右側の右材	分銅形	
73	5010	右隅角	５石目の左側２石目の右材	○・×	
74	5035	左隅角	１石目	○	
75	1008	左隅角	１石目	分銅形	地久櫓
76	〃	〃	３石目	分銅形	地久櫓
77	〃	右隅角	３石目	長方形	地久櫓
78	〃	〃	４石目裏面	上	地久櫓
79	〃	〃	５石目裏面	上	地久櫓
80	〃	〃	６石目裏面	上	地久櫓
81	〃	〃	７石目	上	地久櫓
82	〃	〃	11 石目	長方形	地久櫓
83	〃	〃	１３石目	分銅形	地久櫓
84	〃	〃	８石目左側５石目の石材の左面	○・×	地久櫓
85	1030	左隅角	２石目	○・×	地久櫓
86	〃	〃	４石目	分銅形	地久櫓
87	〃	〃	８石目	○・×	地久櫓
88	〃	〃	１０石目	長方形・ち・り	地久櫓
89	〃	〃	１１石目右面	上	地久櫓
90	〃	〃	１４石目	○・×	地久櫓
91	〃	〃	１７石目	○に×	地久櫓
92	1031	左隅角	６石目	上	地久櫓
93	〃	〃	１０石目	○に×	地久櫓
94	〃	〃	４石目右側２石目の石材	上	地久櫓
95	〃	右隅角	１石目	長方形	地久櫓
96	〃	〃	３石目	分銅形	地久櫓
97	〃	〃	９石目	長方形	地久櫓
98	〃	〃	１３石目	長方形	地久櫓
99	〃	〃	１７石目	○に×	地久櫓
100	〃	〃	１１石目裏面	上	地久櫓
101	〃	〃	１７石目裏面	○に×	地久櫓
102	〃	〃	５石目左側２石目の石材	上	地久櫓
103	1032	左隅角	２石目	○に×	地久櫓
104	〃	〃	８石目	長方形	地久櫓
105	〃	〃	１０石目	分銅形	地久櫓
106	〃	〃	１２石目	分銅形	地久櫓
107	〃	右隅角	５石目裏面	半円形	地久櫓
108	〃	〃	７石目裏面	○に×	地久櫓
109	〃	〃	９石目	○に×	地久櫓
110	〃	左隅角	３石目裏面	○に×	地久櫓
111	1030	左隅角	１８石目	○に×	地久櫓
112	1026	左隅角	７石目右側２石目の石材	○・×	地久櫓

第5項　築城以前の遺構

高松城は天正16（1588）年に築城を開始したとされるが，それ以前の周辺の状況に関しては，享保3（1718）年に奉納された『南海通記』が文字史料として最も詳しい。南海通記には，西側と東側に海が湾入しており，その間の砂洲（陸地）が海に向かって突き出す様子が，あたかも一筋の矢のようであることから篦原郷と称され，郷内には西浜，東浜という漁村があったと記載されている。この記述からそれまで寂れていた漁村に高松城が突然築城されたと最近まで考えられていた。しかし，高松城跡周辺で実施された近年の発掘調査では，寂れた漁村というイメージを覆すような遺構が検出されている。すなわち，12世紀～13世紀前半の港湾施設の検出や多量の搬入土器の出土，中世後半の区画溝を有する屋敷地や『北野天満宮一切経』の奥書に記載された寺院のひとつである無量壽院の存在が明らかになり，高松城築城以前の周辺は「経済基盤の整った港町」であったと考えられるようになっている。

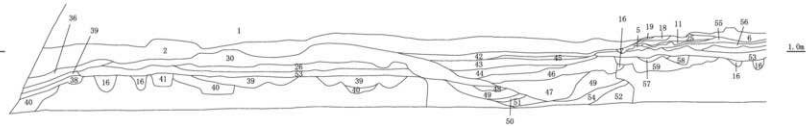
高松城跡周辺の地形に関しても，周辺の発掘調査の成果を参考に復元できる。前述した遺構や遺物が検出されることから，現在のＪＲ高松駅付近では中世前半には安定した地盤が面的に形成されたと考えられる。史跡高松城跡の南側に所在する松平大膳家上屋敷跡において最も古い時代の遺構として弥生時代終末期のピット群が検出されており，微高地の形成がさらにさかのぼる可能性がある。また，厩跡と東町奉行所跡では中世前半の旧河道が検出されており，少なくとも中世前半には微高地と旧河道が存在している。このような低地に囲まれた微高地が点在することは，「八輪島」と呼ばれた景観を示唆する。

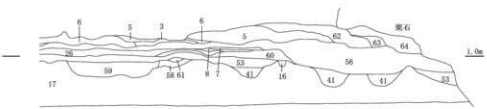
天守台の石垣解体に伴う調査では盛土の断面観察（第5－133～135図）をしており，石垣の最下段付近で高松城築城以前の基盤層を確認し，その上面から掘り込まれた遺構を検出している。石垣下段における盛土の掘削は幅狭い範囲であるため，遺構面の上面を面的に検出することは不可能であり，断面観察のみの調査となった。天守台の盛土は非常に薄い土層が何層も重なり合い版築状の複雑な層序をなしているが，基盤層は淡黄色＋浅黄色細砂の単一層である。基盤層の標高は0.40～0.90ｍであり，平坦ではなく場所により高低差があるが，全体的には西側から東側に向かって緩やかに下がっていることがわかる。土層観察の結果，Ｃ～Ｅ面の全面にかけてピット・土坑の遺構を検出し，Ｄ面とＥ面に旧河道と考えられる落ち込みを確認した。ピット・土坑は直径0.20～2.00ｍ，深さ0.15～0.80ｍを測り，いろいろな規模の遺構がある。平面形は前述するように不明であり，断面形は「Ｕ」字状を呈する。埋土は遺構毎に異なるが，最も多い埋土は灰黄褐色シルト質細砂の単一層とにぶい黄褐色シルト質細砂の単一層である。遺構内の埋土の違いや遺構の切り合い関係から，これらのピット・土坑は時期差があると考えられるが，出土遺物が全く無いのでその全様を明らかにすることはできない。しかし，少なくともこれらの遺構は高松城築城以前，言い換えれば中世以前のものであることは明らかである。また，これらの遺構をＣ～Ｅ面の断面全域にわたって広く検出していることから，今回調査が行われなかった天守台中央部にも同様に遺構が広がっていると考えられる。旧河道と考えられる落ち込みはＥ面東端とＤ面中央において確認している。確認位置から判断すると，旧河道は南西方向から北東方向に



66　2.5Y7/1　灰黄色シルト質細砂（礫～小石を多量に含む）
67　2.5Y7/1　灰黄色シルト質細砂（やや色が黒くお石を含む）
68　10YR7/3+5YR7/8　にぶい黄橙色＋橙色粗砂
69　10YR6/2+5YR7/8　灰黄褐＋橙色粗砂
70　2.5Y7/2　灰黄色細～粗砂
71　5YR7/8　橙色砂
72　10YR6/2+5YR7/8+10YR4/1　69層＋褐灰色シルト質細砂
73　10YR6/2+5YR7/8+10YR6/2　69層＋灰黄褐色シルト質細砂
74　10YR6/1+7.5YR5/3　褐灰色＋にぶい橙色粘砂
75　N4/0　灰色粗砂
76　2.5Y7/2+10YR6/1　灰黄色細砂＋褐灰色シルト質細砂（淡黄色シルトブロック若干含む）
77　10YR5/1+7/2　褐灰色シルト質細砂＋にぶい黄橙色細砂
78　10YR7/3　にぶい黄橙色細砂（小石を若干含む）
79　2.5Y7/2　灰黄色細砂
80　76層とほぼ同じだがやや色が黒い
81　76層とほぼ同じだが小石・礫を含む
82　76層と同じだが淡黄色シルトブロックを含まない
83　10YR7/3+10YR5/1　76層＋褐灰色シルト質細砂
84　2.5Y8/3　淡黄色細砂
85　2.5Y8/3+7/1　淡黄色細砂＋灰白色細砂（礫～小石を多く含む）
86　7.5YR3/1　黒褐色シルト質細砂
87　2.5Y7/2　灰黄色細砂（灰白色細砂を含む）
88　2.5Y7/2+5/1　87層＋黄灰色シルト質細砂
89　5YR7/6+2.5Y7/3　橙色＋浅黄色細砂
90　5Y7/1　灰白色細砂（2.5Y5/1 黄灰色砂シルト質を若干含む）
92　7.5Y8/1+2.5Y6/1　灰白色シルト＋黄灰色シルト質細砂
93　83層とほぼ同じだがやや灰白色細砂を多く含む

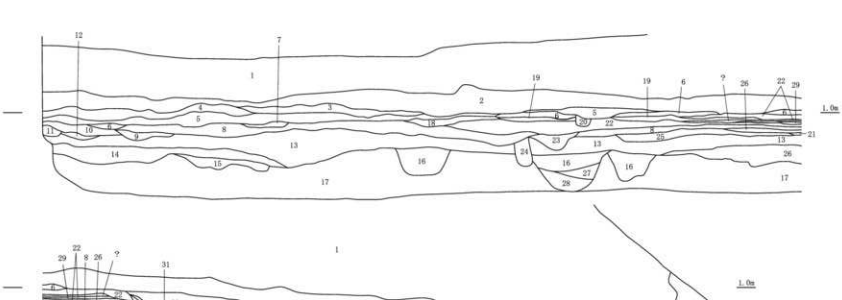
第５－133図　天守台Ｃ面背面盛土土層図(1/80)





53	10YR5/1＋6/3	褐灰色＋灰黄褐色シルト質細砂
54	2.5YR6/3＋8/2＋10YR5/1	49層＋褐灰色シルト質細砂
55	10YR5/1＋7/2	褐灰色シルト質細砂＋にぶい黄橙色細砂
56	10YR5/1＋7/2＋8/6	55層＋黄橙色シルト質細砂ブロック
57	10YR5/1＋6/3＋6/1	53層＋黄灰色シルト質極細砂
58	2.5Y8/3	淡黄色細砂
59	10YR5/1＋6/3＋2.5Y7/2	53層＋灰黄色細砂
60	2.5Y6/1＋6/2	黄灰色細砂
61	10YR5/1＋6/3＋2.5Y7/2＋8/4	59層＋淡黄色シルト質細砂
62	2.5Y8/3	淡黄色細砂＋礫
63	5層とほぼ同じ	
64	5Y8/2	灰白色細砂
65	51層＋炭化材	

第5－134図　天守台D面背面盛土土層図（1/80）



1　2.5Y7/3　浅黄色細～粗砂（小石・礫を多量に含む）
2　2.5Y7/3　浅黄色細～粗砂（2.5Y6/1　黄灰色シルト質細砂を含む）
3　5Y8/3　浅黄色細砂（2.5Y7/2　灰黄色シルト質極細砂をブロック状に含む）
4　5Y8/3　浅黄色細砂（2.5Y7/2　灰黄色シルト質極細砂を少量含む）
5　2.5Y6/1＋5Y8/3　黄灰色シルト質細砂＋浅黄色シルト質細砂
6　2.5Y8/3　浅黄色細砂
7　2.5Y5/1　黄灰色細砂
8　2.5Y5/1＋2.5Y6/3　黄灰色＋にぶい黄色細砂
9　2.5Y3/1＋7/2　黒褐色＋黄灰色細砂
10　8層とほぼ同じ
11　2.5Y7/3　浅黄色粗砂
12　9層とほぼ同じ
13　2.5Y6/3　にぶい黄色シルト質細砂（炭化材を少量含む）
14　2.5Y6/1＋10YR5/3　黄灰色シルト質細砂＋にぶい黄褐色細砂
15　2.5Y6/1　黄灰色シルト質細砂
16　10YR4/1　灰黄褐色シルト質細砂～盛構の埋土
17　2.5Y8/3＋7/3　浅黄色＋浅黄色細砂～地山
18　2.5Y7/3　浅黄色シルト質細砂（ややしまる）
19　2.5Y7/2＋2.5Y8/1　灰黄色シルト質細砂＋灰白色細砂
20　5Y8/1　灰白色細砂
21　2.5Y8/2　灰白色細砂
22　7.5YR4/1　褐灰色シルト質細砂
23　10YR4/2＋2.5Y8/2　灰黄褐色シルト質細砂＋灰白色細砂
24　2.5Y5/2　黄灰色シルト質細砂（炭化材を含む）
25　5Y7/2　灰白色シルト質極細砂（10YR8/6　黄橙色シルト質極細砂をブロック状に含む）
26　10YR5/2　灰黄褐色シルト質細砂
27　10YR4/1＋10YR8/2　16層＋灰白色細砂
28　10YR5/1＋2.5Y7/3　褐灰色シルト質細砂＋浅黄色細砂
29　2.5Y8/2＋10YR6/2　灰白色細砂＋灰黄褐色シルト質細砂
30　(2.5Y8/3＋2.5Y7/1)＋10YR6/1　灰白色細砂＋褐灰色シルト質細砂
31　2.5Y6/1＋(2.5Y8/3＋2.5Y7/1)　黄灰色シルト質細砂＋灰白色細砂
32　2.5Y8/3＋2.5Y7/1　灰白色細砂
33　2.5Y8/1＋8/2　灰白色シルト質細砂
34　5Y8/1　灰白色細砂（2.5Y7/1　灰白色シルト質細砂を含む）
35　2.5Y6/2＋5Y8/1　灰黄色シルト質細砂＋灰白色細砂
36　10YR6/1＋5Y8/1　褐灰色シルト質細砂＋灰白色細砂
37　2.5Y6/2＋5Y8/1＋2.5Y8/2　35層＋灰白色細砂
38　2.5Y86/2＋2.5Y8/1＋2.5Y7/2　灰黄色シルト質細砂＋灰白色細砂＋黄灰色細砂
39　2.5Y6/2　灰黄色シルト質細砂（2.5Y7/1　灰白色細砂を含む）
40　N6/0＋5Y7/1　灰白色細砂＋灰白色細砂

第５－135図　天守台E面背面盛土土層図（1/50）

流れていたと考えられる。土層断面が旧河道に直交していないので旧河道の正確な規模は不明であるが，幅は5m以上，深さは1m以上であると想定できる。埋土は緩やかな傾斜のレンズ状堆積を示している。出土遺物が無いので旧河道の時期を決定することはできないが，確認面がピット・土坑と同じ面であることから，旧河道も高松城築城以前のものであると考えられる。C面東端から約15m西側において幅約5.50mの落ち込みを検出しているが，盛土からの掘り込みであることと堆積状態が不規則であることから，この落ち込みは遺構でないと判断した。

第6項　石垣前面の堀内からの出土遺物

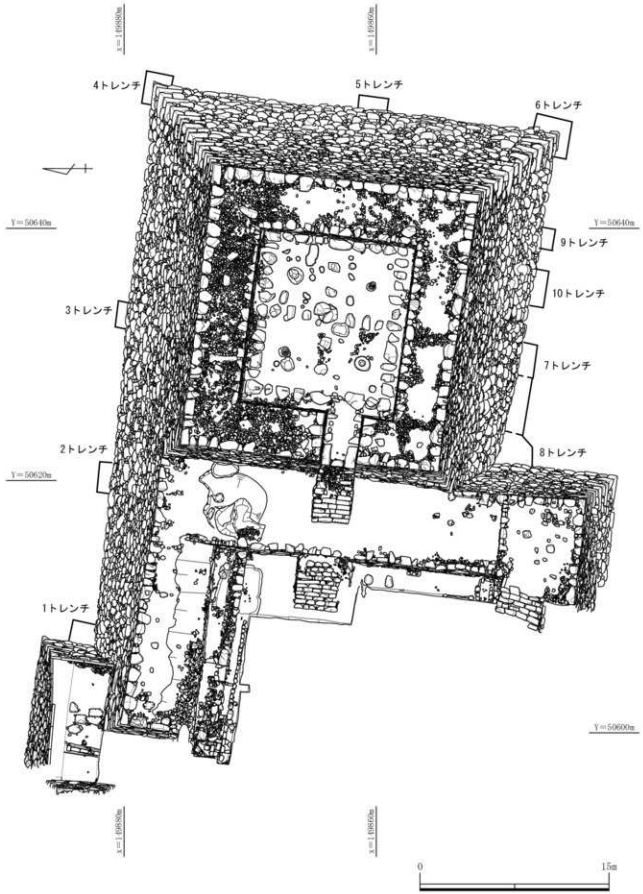
天守台と中川櫓台の石垣の根石を確認する目的で石垣前面においてトレンチを設定し調査を実施した（第5－136図）。石垣前面に対して3ないし4箇所のトレンチを設定した。天守台の北東隅と南東隅は「L」字形のトレンチであり，面は異なるが同一のトレンチ番号となる。最も全長の長いC面では，B面との入隅部分に長さ1.80m，幅1.80mの第1トレンチ，入隅から約12.00m東側に長さ2.50m，幅1.00mの第2トレンチ，さらに入隅から約25.50m東側に長さ2.00m，幅1.00mの第3トレンチ，C面東端に長さ2.00m，幅1.00mの第4トレンチを設定した。D面は，北端に長さ1.50m，幅1.00mの第4トレンチ，D面南端から約13.70m北側に長さ2.30m，幅1.00mの第5トレンチ，南端に長さ2.00m，幅1.00mの第6トレンチを設定した。E面は，東端に長さ2.00m，幅1.00mの第6トレンチ，E面東端から約17.00m西側に長さ2.50m，幅1.00mの第7トレンチ，F面との入隅部分に長さ2.50m，幅2.50mの第8トレンチを設定したが，石垣の19段目の築石の破損状況を確認する必要が生じたために，新たにE面東端から約7.50m西側に長さ1.60m，幅1.00mの第9トレンチ，約11.00m西側に長さ3.00m，幅1.00mの第10トレンチを設定し，さらに第7トレンチと第8トレンチの間を掘削した。

調査では海水と崩落しやすい砂の影響を受け，石垣の根石が確認できる深さまで掘削できたのは第4トレンチと第6トレンチのみである。掘削できたトレンチ底面の標高は，第1トレンチが－1.10m，第2トレンチが－1.50m，第3トレンチが－1.10m，第4トレンチが－1.60m，第5トレンチが－1.20m，第6トレンチが－1.60m，第7・8トレンチが－1.10m，第9トレンチが－0.90m，第10トレンチは－0.80mである。土層の堆積状態は前述したように海水と砂のために確認することができなかった。同様に遺物の出土状況も不明である。

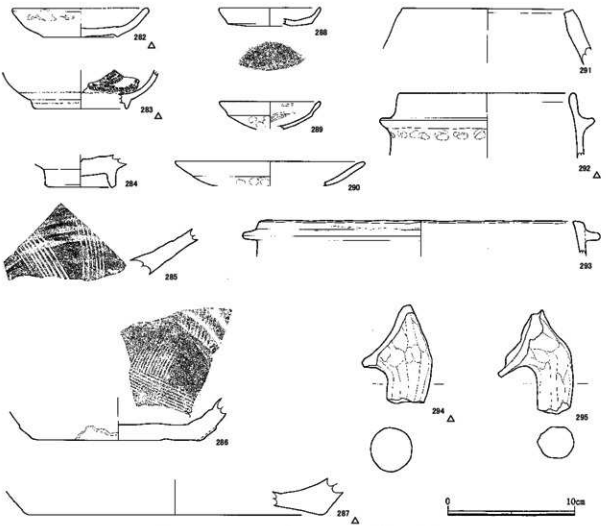
土器（第5－137～5－140図）

282～311は天守台石垣のC面前面の内堀より出土した土器である。個々の土器の出土層位は不明である。

282は陶器皿であり，低い削り出し高台であり，体部外面は部分的に露胎し，見込みは無釉である。283は磁器皿であり，外面に2条の圏線，内面に松が描かれる。284は陶器瓶であり，厚い底部に高い高台が付き，底部と見込みは無釉である。285・286は陶器擂鉢であり，285は9条1単位の卸目が施される。286は明石焼の擂鉢であり，高台はなく，見込みに7条1単位の崩れ



第５－136図　天守台石垣前面堀のトレンチ配置図（1/300）



第5－137図　石垣前面堀出土土器実測図（1）

たウールマークの条溝がある。287は備前焼陶器大甕であり，底部は上げ底である。内面の調整はヘラナデ，外面はナデ，底部は板ナデである。288・289は土師質土器小皿である。288は底部と体部の境に稜を有し，底部の調整は板目・ナデが施される。289は口縁部と体部の境に僅かな稜を有し，内面はナデ・ヘラミガキ，外面は指頭圧が施される。290は土師質土器皿であり，器高が低く，体部の立ち上がりは非常に緩やかである。体部外面は指頭圧の後にナデが施される。291～293は土師質土器羽釜である。291の口縁部は内傾する。292はやや内傾気味の口縁部であり，口縁部の下側に鍔部が付く。内面はナデ，口縁部外面はヨコナデ，顎下に指頭圧が施され，煤が付着する。293は内傾する口縁部の直下に鍔部が付く。294・295は土師質土器足釜の脚部であり，全面に板ナデが施される。

296～298は弥生土器壺である。296は細頸壺で，外面に突帯1条を有する。297は長頸壺で，外面の調整は縦方向のハケ，内面は指頭圧・指ナデが施される。298は長頸壺で，外面に3条の貼付突帯が廻り，棒状突帯を有する。

299～305は弥生土器甕である。299は外反気味の口縁部で，口縁端部は丸い。300～302は頸部から「く」の字状に立ち上がり，口縁端部は角張り僅かにつまみあげられる。体部外面の調

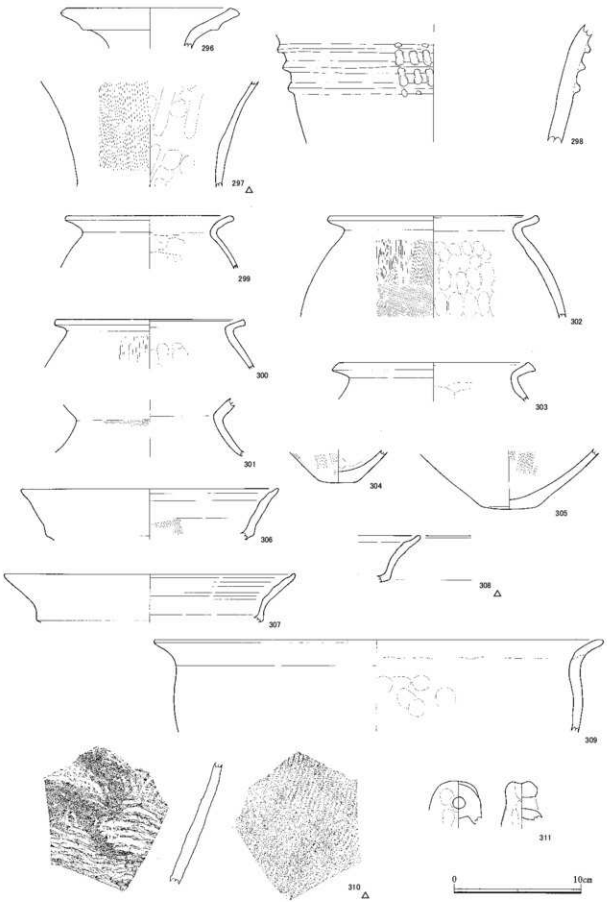
整は縦と斜め方向のハケ，内面は指頭圧が施される。303は口縁端部がやや上下に拡張し，体部外面の調整はナデ，内面はヘラナデが施される。304・305は平底で，304の外面は縦方向のハケ，内面はヘラナデが施され，305の外面は摩滅し，内面はハケ・ナデが施される。306～308は弥生土器高杯であり，外面に明確な稜線を境に口縁部が立ち上がる。口縁部は内面に僅かな凹凸を有し，口縁端部が細くなる。309は弥生土器鉢で，口縁部は体部から緩やかに外反する。内面の調整は指頭圧の後にナデが施され，輪積み痕が残る。310は須恵器甕の体部片であり，外面は平行タタキ後にハケ，内面は青海波状タタキが施される。311は飯蛸壺である。

312～344は天守台石垣のD面前面の内堀より出土した土器である。個々の土器の出土層位は不明である。

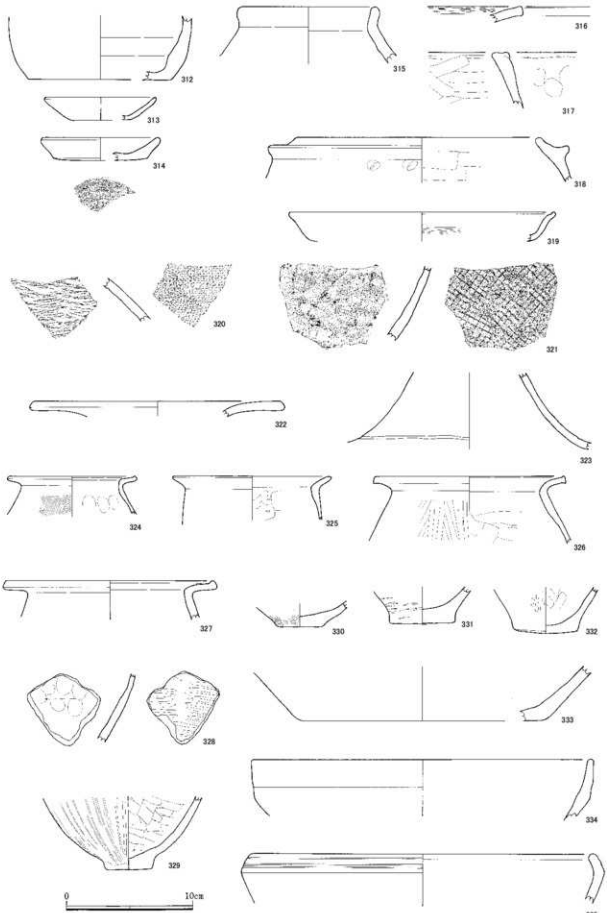
312は陶器壺の底部で，内面にロクロによる凹凸があり，外面全面に釉がかかる。313・314は土師質土器小皿である。313は全体的に薄い小皿で，314は器厚の厚い小皿で，底部に板目・回転ヘラナデが施される。315は土師質土器壺で，口縁部が短く直立する。316は土師質土器鍋の口縁部，317・318は土師質土器足釜で，317は外面に煤が付着し，318は内傾する口縁部に鍔部が付く。319は土師器皿で，器高の低い器形であり，口縁端部内面に僅かな段を有し，内面にはヘラミガキが施される。320・321は須恵器甕の体部で，外面に格子状タタキ，内面に青海波状タタキが施される。

322・323は弥生土器壺で，322の口縁部が大きく外反する。内外面ともに摩滅する。323は頸部であり外面に沈線1条を巡らす。324～333は弥生土器甕である。324は短く直立する頸部から口縁部が強く屈曲する。体部外面はハケ，内面は指頭圧が施される。325は肩の張らない体部から緩やかに屈曲する口縁部であり，内部はヘラケズリが施される。326は肩の張らない体部から強く屈曲する口縁部で，端部を上下に少し拡張する。外面は縦方向のヘラミガキ，内面はヘラケズリが施される。327は肩の張らない体部から「く」の字状に屈曲する口縁部で，端部を上方向につまみ上げる。内外面ともナデが施される。328は体部下半の破片で，外面はタタキが施される。329は平底で，体部外面はヘラミガキ，内面は板ナデが施され，胎土に角閃石を含む。330～333は平底の底部であり，胎土に角閃石を含む。330の外面は縦方向のハケ，331の外面はヘラによる圧痕，332は外面ヘラミガキ，内面ヘラケズリが施される。333は底径18.8cmの大きな甕で，内外面ともナデが施される。334・335は弥生土器鉢で，334は半球状を呈し，胎土に角閃石を含む。335は口縁部が内傾し，外面に細い沈線を3条巡らす。336～344は弥生土器高杯である。336・337は円盤充填され，胎土に角閃石を含む。338は脚部外面にヘラによる沈線4条巡り，内面に絞り目，爪の圧痕，ヘラの圧痕が施される。339は内外面にヘラケズリが施される。340は内面に輪積み痕が残り，胎土に角閃石を含む。341は外面にヘラミガキが部分的に残り，内面に4条の輪積み痕が残る。342は脚部の裾であり，未貫通の孔を有する。外面はナデ，内面はヘラケズリが施される。胎土に角閃石を含む。343・344は穿孔が1個残り，胎土に角閃石を含み，343の内面はヘラケズリが施される。

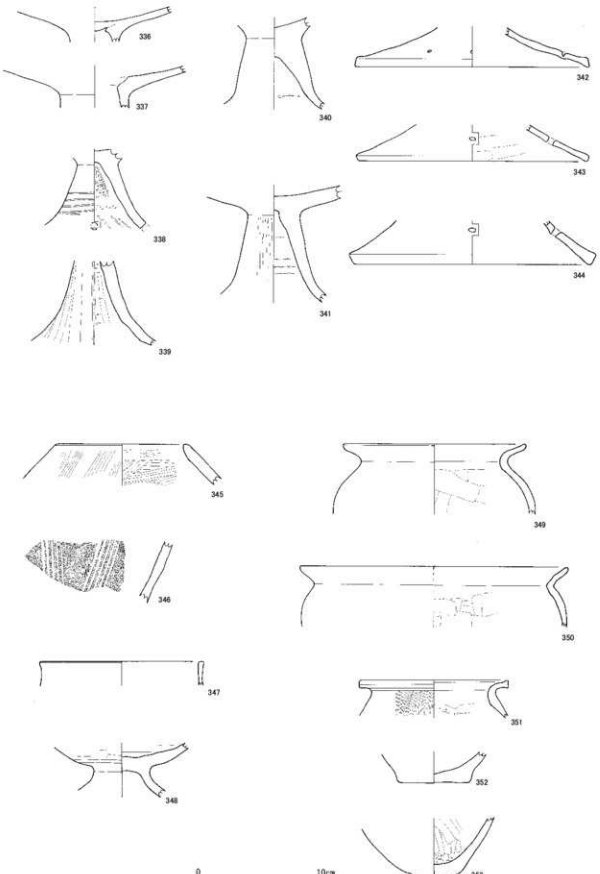
345～353は天守台石垣のE面前面の内堀より出土した土器である。個々の土器の出土層位は



第5－138図　石垣前面堀出土土器実測図（2）



第５－139図　石垣前面堀出土土器実測図（３）



第5－140図　石垣前面堀出土土器実測図（4）

不明である。

345は土師質土器蛸壺で，口縁部は強く内傾し，外面はハケ，内面は粗いハケが施される。

346は須恵質土器擂鉢で，外面はナデが施される。347は須恵器壺で，口縁部が直立する。348は須恵器高杯で，杯部外面はヘラケズリが施される。

349・350は弥生土器壺であり，口縁部は球形の体部から屈曲する。349の体部外面はナデ，内面は指頭圧の後にヘラケズリ，350の内面はヘラケズリが施される。

351～353は弥生土器甕である。351の口縁部は体部から強く屈曲し，端部は上方向に拡張する。体部外面は縦方向のハケ，内面はヘラケズリが施される。胎土に角閃石を含む。352の平底は未調整であり，353はやや丸みのある平底で，外面はナデ，内面は縦方向のヘラナデが施される。

瓦（第５－141～５－143図）

Ｔ88～92・95～97・100はＣ面前面の堀より，Ｔ98・99・101・102はＤ面前面の堀より，Ｔ93・94・103はＥ面前面の堀より出土した。

Ｔ88・89は右巻き三巴文の軒丸瓦であり，鉤形の巴頭部から巴尾部が細長く延びて隣接する巴尾部と繋がり，全体として圏線状をなす。珠文は一定間隔にあり，径は小さい。佐藤分類Ⅱ類２に類似する。Ｔ90・91・92は右巻き三巴文の軒丸瓦である。Ｔ90は鉤形の巴頭部で，巴尾部が長い。周縁にケズリがあり，凸面は縦方向の板ナデが施され，凹面はコビキＢと布目が残存する。被熱により変色する。Ｔ91は凸・凹面に縦方向の板ナデが施される。Ｔ92は巴頭部が小さく丸く，対向する巴頭部の間隔が広い。佐藤分類Ⅳ類49に類似する。Ｔ93は三巴文の軒丸瓦であり，釘孔２個有し，凸面に縦方向のミガキが施され，凹面にはコビキＢ・布目が残る。

Ｔ94・95は軒平瓦で，中心飾りは珠文状の結束点から延びる太い剣頭形の三葉であり，Ｔ94の唐草文は結束点から両側に子葉を伴う軸線状の蔓が延び，その上側に平行して３転する。瓦当面に砂粒が多量に付着し，凸・凹面にキラ粉が付着する。Ｔ95の唐草文は子葉を伴わず，蔓が中心飾りの両側から延びる。佐藤分類Ⅴ類７である。

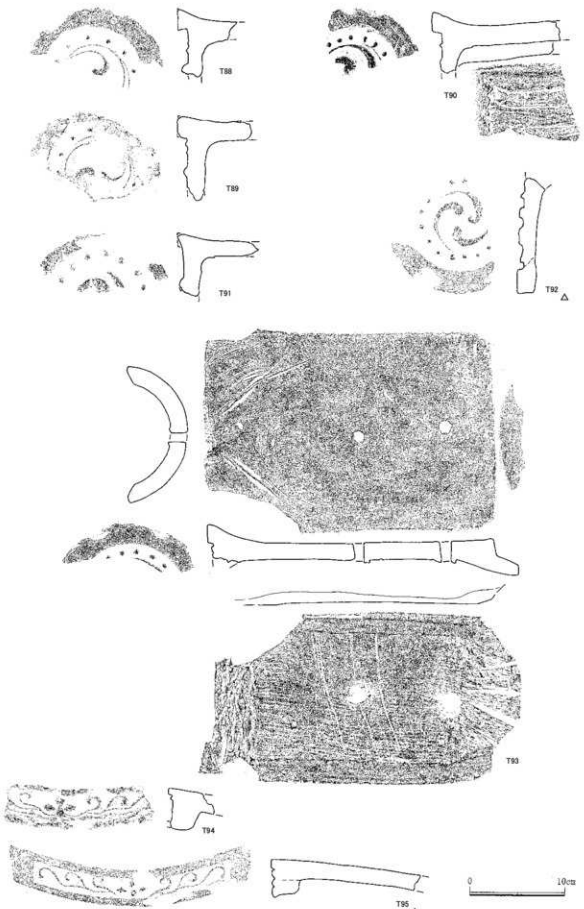
Ｔ96・97は軒桟瓦である。Ｔ96は上向きの半裁花菱文を平部文様区の中心飾りとし，唐草文は２重の陽刻線で表現し，下・上と２転する。小丸瓦当は剥離する。Ｔ97は２条の陰刻弧線のある扁平な宝珠文を平部文様区の中心飾りとし，唐草文は２重の陽刻線で表現し，宝珠文の下から左右に延び，先端は短く２転する。小丸瓦当の中心飾りは右巻き三巴文である。凸・凹面は縦方向の板ナデが施される。

Ｔ98は菊丸瓦で，花弁は陽刻線で表し，先端は尖り気味，中房は花弁先端より高い。佐藤分類Ⅰ類１である。

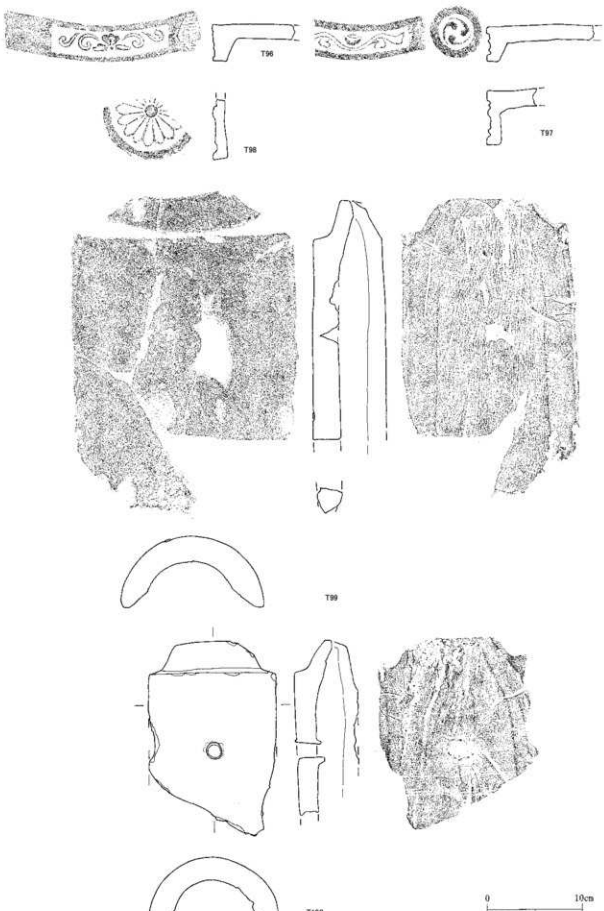
Ｔ99は玉縁丸瓦で，凸面は縦方向のナデが施され，凹面はコビキＢ・布目が残る。凸面に漆喰が付着する。

Ｔ100は釘孔を持つ玉縁丸瓦で，凸面は縦方向のナデが施され，凹面はコビキＢ・布目が残る。

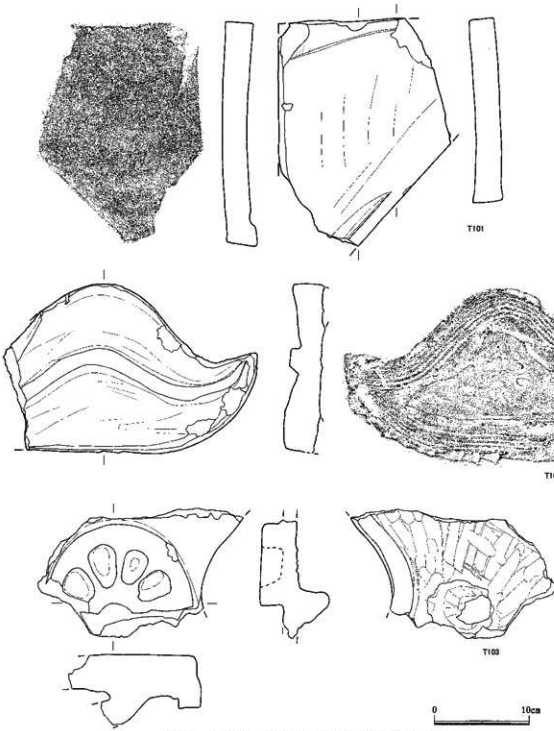
Ｔ101は隅切平瓦で，凹面に僅かな突起とひもずれ痕を有する。



第5－141図　石垣前面堀出土瓦実測図（1）



第５－142図　石垣前面堀出土瓦実測図（２）



第5－143図　石垣前面堀出土瓦実測図（3）

石造物（第５－144図）

Ｓ431はＣ面前面の内堀より出土した五輪塔空・風・火輪であり，火輪は遺存状態が悪い。それぞれの境に僅かな凹みがある。石材は凝灰岩である。Ｓ432はＣ面前面の内堀より出土した五輪塔空・風輪である。石材は凝灰岩であり，風輪部の大半は欠損し，空輪と風輪との境を示す僅かな凹みの一部が見られる。Ｓ433はＣ面前面の内堀より出土した五輪塔水輪である。上面はほぼ平坦であり，浅い加工痕が残り，下面は僅かに凹んでおり上面と同様に浅い加工痕が残る。石材は凝灰岩である。Ｓ434はＣ面前面の内堀より出土した五輪塔水・地輪であり，上部が欠損する。地輪と水輪の堺に凹みがあり，水輪の上部にも凹みの一部が見られる。断面は方形を呈し，明確な稜線がある。石材は豊島産凝灰岩である。

Ｓ435はＣ面前面の内堀より出土した五輪塔地輪である。石材は凝灰岩であり，方形を呈する地輪の一隅を欠損する。上面はほぼ平坦であり，水輪の痕跡が明確に見られる。下面は中央が大きく凹んでおり，不明瞭であるが加工痕が残る。

鉄製品（第５－145図）

Ｍ63はＣ面前面の内堀より出土した真鍮製の煙管である。火皿を欠損するが雁首であり，脂返しは首部から緩やかに湾曲する。

Ｍ64はＤ面前面の内堀より出土した石材加工用の鑿である。完形であり全長は17.2cm，直径2.5cmを測る。

木製品（第５－146～５－149図）

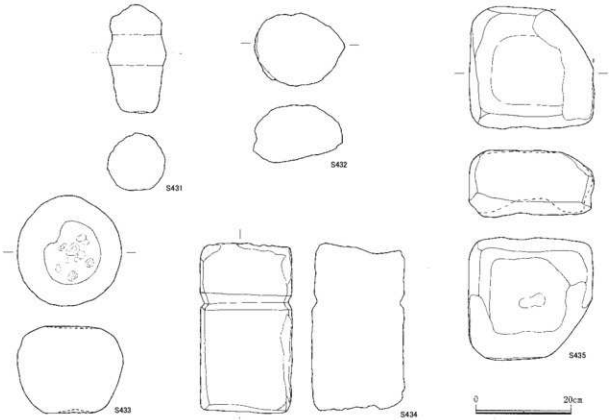
Ｗ３はＥ面前面の内堀より出土した。木簡であり，一部を欠損するがほぼ完形である。全長は13.3cm，幅4.7cm，厚さ0.7cmを測り，一方向から穿孔した孔を２個有する。木取りは柾目である。

Ｗ４はＣ前面の内堀より出土した柄であり，断面は楕円形である。

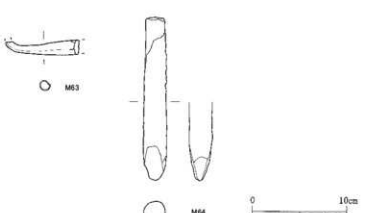
Ｗ５～８は薄い板材であり，Ｗ５・７・８はＤ面前面の内堀より，Ｗ６はＥ面前面の内堀より出土した。木取りは，Ｗ５～７が柾目，Ｗ８は板目である。

Ｗ９～15は加工材であり，Ｗ９・11はＤ面前面の内堀より，Ｗ10はＣ面前面の堀より，Ｗ12・13・15はＥ面前面の堀より出土し，Ｗ14は天守台南東隅の根石の下方において出土した。Ｗ９は柾目の板であり，２辺の一部が残存する。Ｗ10は幅1.9cm，厚さ0.9cmで両端を欠損する。木取りは板目である。Ｗ11は厚さ3.4cmを測り，２辺の一部を残存する。上面に加工痕が見られる。木取りは板目である。Ｗ12は断面正方形の加工材であり，一端を欠損する。木取りは板目である。Ｗ13はミカン割りの加工材であり，一端に加工痕がある。Ｗ14は全長60.3cm，幅7.3cm，厚さ3.5cmを測り，断面は長方形を呈する。両端には加工痕が明瞭に残存する。木取りは板目である。Ｗ15は残存長65.0cm，厚さ4.1cmを測り，端部に１方向からの加工痕が明瞭に残存する。裏面は火を受け炭化している。木取りは柾目である。Ｗ14・15は建築材である可能性も考えられる。

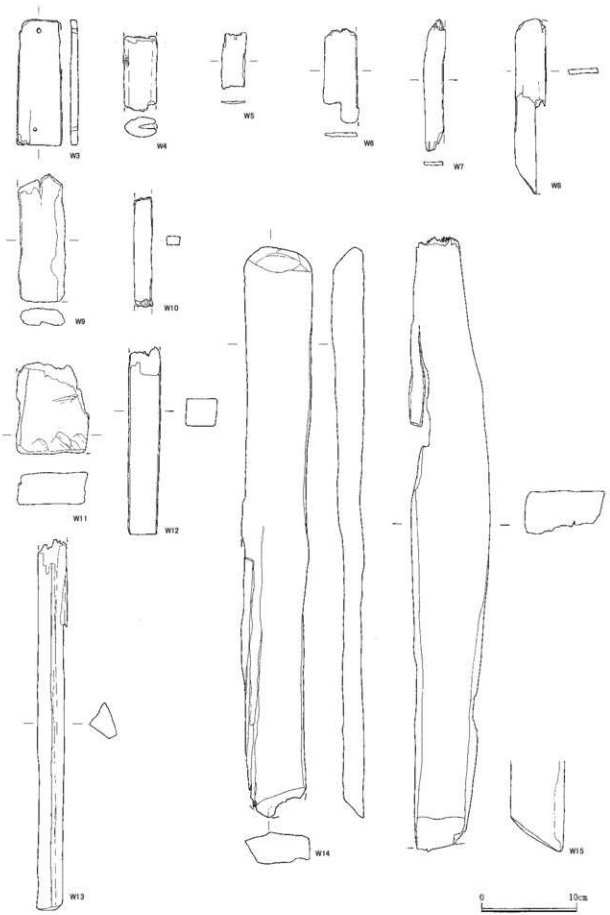
Ｗ16～20は加工された板材であり，Ｅ面前面の内堀より出土した。Ｗ16・17は上面と下面



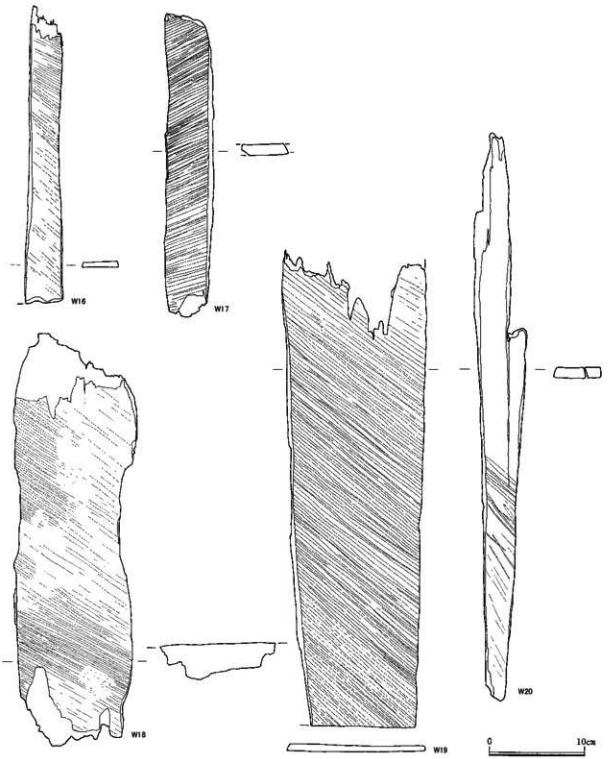
第5－144図　石垣前面堀出土石造物実測図



第5－145図　石垣前面堀出土金属器実測図

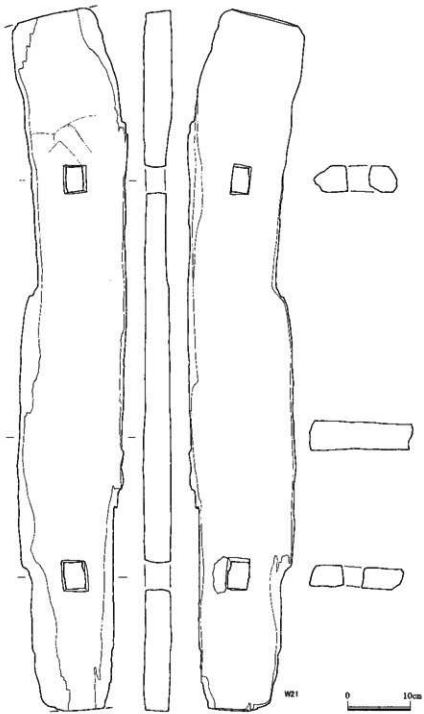


第５－146図　石垣前面堀出土木製品実測図（1）



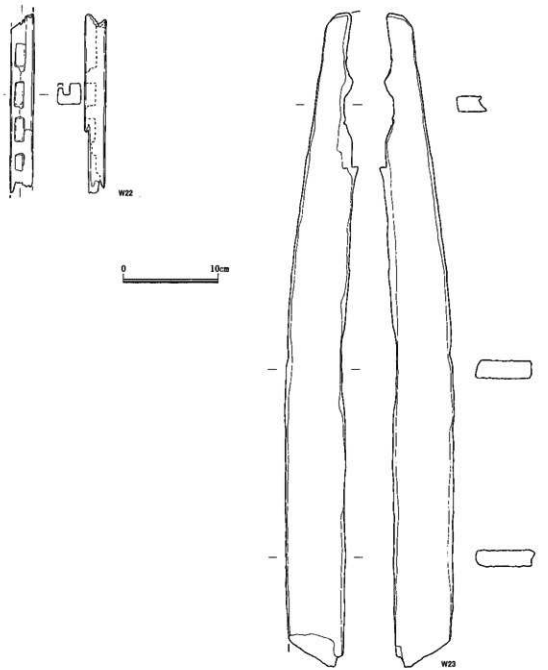
第5－147図　石垣前面堀出土木製品実測図（2）

にノコギリによると考えられる斜め方向の加工痕が無数に残存する。木取りは板目である。W18は上面にノコギリによると考えられる斜め方向の加工痕が無数に残存し，下面は火を受けて炭化している。木取りは柾目である。W19は残存長50.5cm，残存幅15.3cm，厚さ0.8cmを測り，2辺の一部を残存する。上面と下面にノコギリによると考えられる斜め方向の加工痕が無数に残存する。木取りは柾目である。W20は依存状態が悪いが上面にノコギリによると考えられる斜め方向の加工痕が残存する。木取りは柾目である。



第５－148図　石垣前面堀出土木製品実測図（３）

W 21 ～ 23 は建築材であり，E 面前面の内堀より出土した。W 21 は全長 110.5cm，残存幅 16.7cm，厚さ 4.6cm を測り，両端部は切断面である。両端部近くに僅かに規模の違う２個の長方形を呈するホゾ穴が貫通している。大きいホゾ穴は 5.0 × 4.2cm，小さいホゾ穴は 4.5 × 3.6cm の規模である。ホゾ穴の間隔は中心間で 63cm である。上面には加工痕が僅かに確認できる。木取りは板目である。W 22 は断面正方形の加工材であり，両端を欠損する。４個のホゾ穴が残存し，ほぼ 1.0cm 間隔を保ちながら規則的に並んでいる。その規模は 2.6 × 1.0cm，深さは 1.2cm である。木取りは板目である。W 23 は残存長 69.8cm，残存幅 6.2cm，厚さ 1.8cm の板状であり，残存する側面は湾曲している。木取りは柾目である。



第5－149図　石垣前面堀出土木製品実測図（4）

第７項　天守へ続く階段

１　概要

天守台石垣の解体修理以前には，天守台前面から本丸東端にかけて本丸から玉藻廟へ上がるための階段が設置されていた。この階段は明治 35 年の玉藻廟建設に伴い構築された。その階段を撤去すると本丸から天守地下１階に繋がる石段を検出した。石段は天守台前面から天守地下１階に上がる上段の石段と本丸から天守台前面に上がる下段の石段の二つの石段から構成されている。この石段の詳細は 2012 年刊行の『史跡高松城跡整備報告書第６冊史跡高松城跡（天守台）－発掘調査編－』に既述している。今回は，平成 18 年度に実施した石段の解体に伴う報告である。

２　調査結果

上段の石段の内側は盛土により構築されており，６層に細分することができる。第１層は小石や礫を多量に含むにぶい黄色シルト質細砂であり，石段の踏石直下にあり石段全面で検出した。第２層はにぶい黄色＋灰黄色シルト質細砂，第３層は淡黄色＋灰黄色シルト質細砂＋淡黄色細砂であり，G 面と接する中位に検出する。第４層はにぶい黄色＋灰黄色＋褐灰色シルト質細砂であり，石段下方の中位で検出した。第５層は淡黄色細砂＋灰オリーブ色＋灰黄色シルト質細砂であり，石段の下位全面で検出した。第６層は淡黄色細砂＋灰黄色シルト質細砂であり，石段の最下位で検出した。これらの盛土は，構築状態や内容物から大別すると三つに分けられる。小石や礫を多量に含む第１層，中間に見られる第２～４層，下層にある第５・６層である。

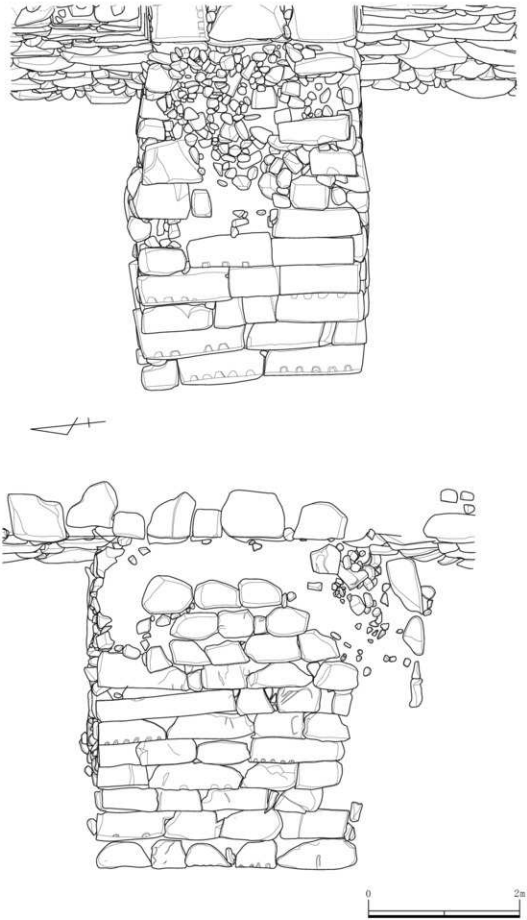
下段の石段は，側面における石の積み方の違いと踏石に残る豆矢から判断すると少なくとも１回の改修が行われ，遺存状態の良いⅤ面ではⅡ面に接する築石の最下位の石から上に３石目の石と前方へ５石目の石を囲む範囲は石段の原形を保っていると考えられる。このため今回の解体修理では改修を受けたと考えられる部分のみ解体を実施した。解体工程により土層断面を作成することができなかったが，概略すると，改修を受けた部分は漆喰を含む浅黄色シルト質細砂が大半を占める盛土であり，本丸に堆積する土層とほぼ同じある。その下は栗石的な機能を持つ小石と礫を多量に含む細砂とシルト質細砂である。

３　出土遺物（第５－ 153 ～５－ 158）

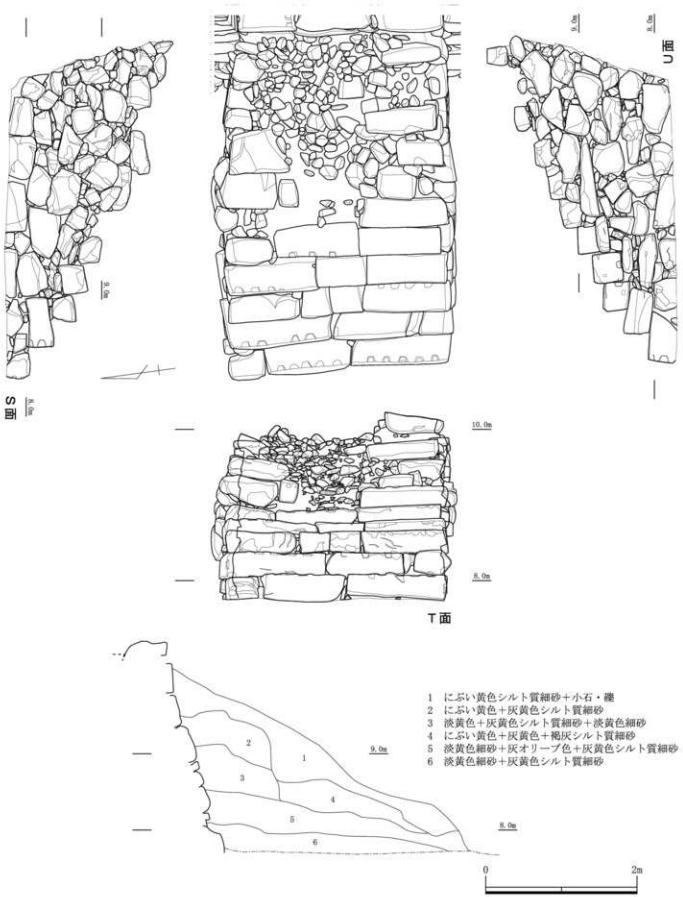
上段の石段の内側より出土した遺物は 354・355，T 104 ～ 124，X － 9・10，S 436 であり，下段の石段の内側より出土した遺物はY 20 － 31 ～ 20 － 37，S 437 ～ 439 である。

354 は磁器皿である。355 は軟質施釉陶器の蓋で，内面に隅丸方形囲いに「屋島（やまかんむりに島）」の刻印が見られる。

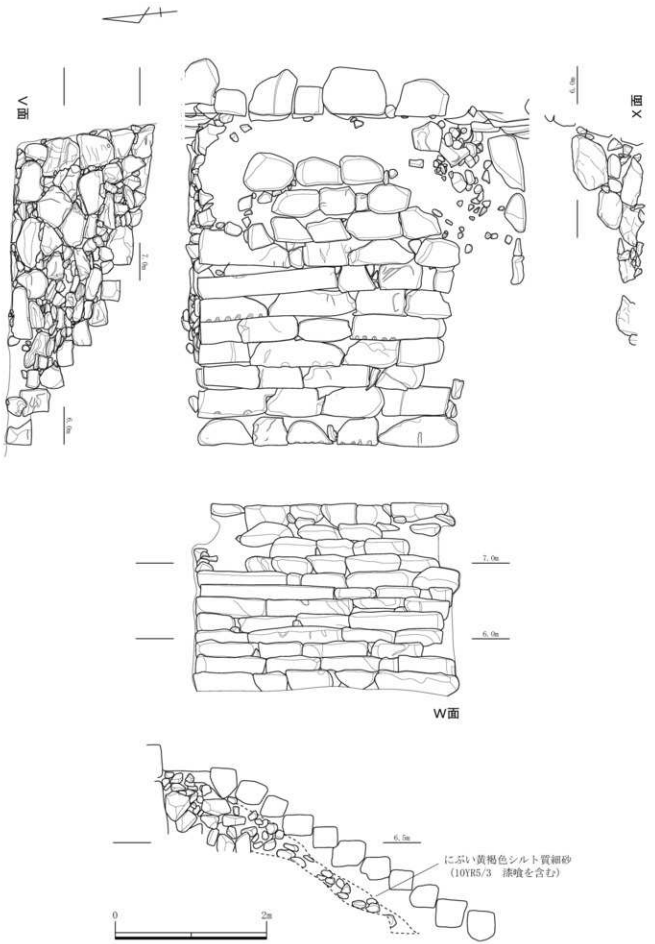
T 104 ～ 110 は三巴文の軒丸瓦である。T 104・105 は巴頭部が小さく丸く，基部と先端の幅が大差ない細長い巴尾部を持つ。T 104 は巴頭部がやや屈曲し，珠文は 14 個を数える。佐藤分類 47 に類似する。T 105 は巴尾基部の括れが不明瞭である。T 106・107 は巴頭部がやや大振りで，巴尾部はやや長め，巻きが強く連続的に隣の巴尾部に近接する。周縁の幅が広い。佐藤分類 165 に類似する。T 108 ～ 110 は巴頭部が大振りで，巴尾基部の括れが明瞭であり，巴尾部はやや長め，巻きが強く連続的に隣の巴尾部に近接する。周縁の幅が広く，T 108・109 は刻印を持つ。



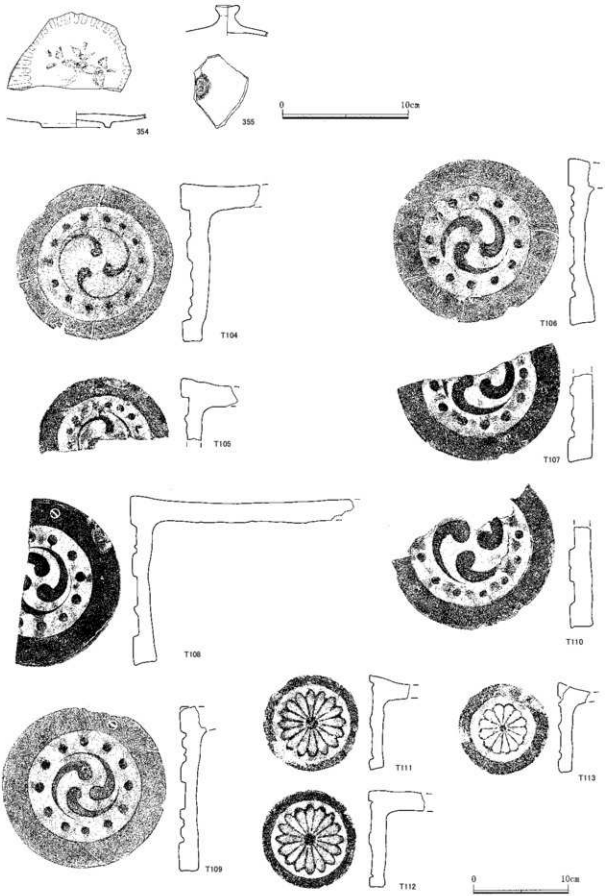
第5－150図　天守へ続く階段平面図 (1/50)



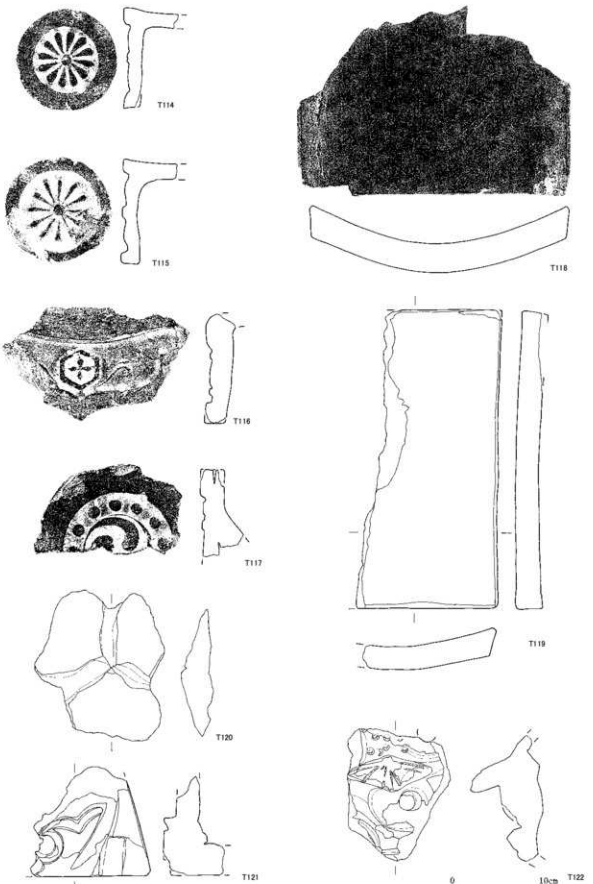
第５－151図　天守へ続く階段（上段）平・断・立面図（1/50）



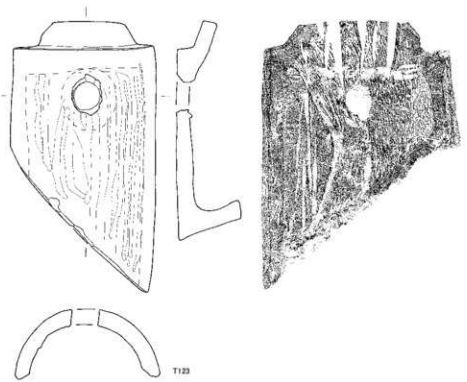
第５－152図　天守へ続く階段（下段）平・断・立面図（1/50）

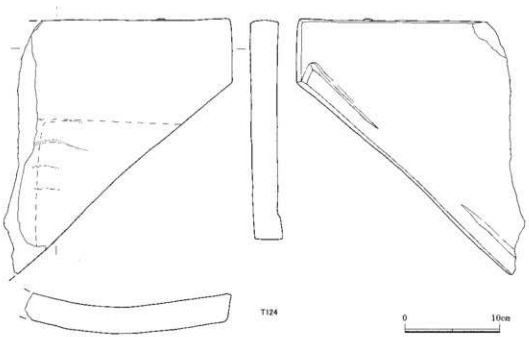


第５－153図　天守へ続く階段（上段）出土土器実測図・瓦実測図（１）

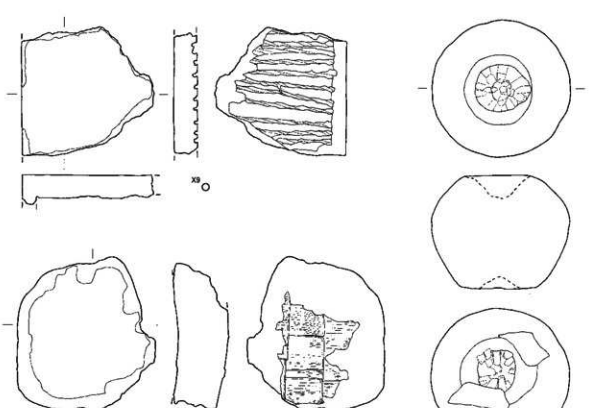


第5－154図　天守へ続く階段（上段）出土瓦実測図（2）





第５－155図　天守へ続く階段（上段）出土瓦実測図（３）



第5－156図　天守へ続く階段（上段）出土漆喰・石造物実測図

佐藤分類164に類似する。

T 111 ～ 115は菊丸瓦である。T 111 ～ 113は菊花文で花弁の輪郭を陽刻線で表現する。T 111・112は16枚の花弁で，花弁先端の輪郭平面が尖り気味であり，中房は花弁より高い。T 113は13枚の花弁で，先端の輪郭平面が丸くなる。瓦頭の直径が小さく，周縁の幅がやや広い。T 114・115は12枚の花弁を有する陽刻菊花文である。T 114は花弁の幅が広く，周縁の幅が広い。T 115は花弁の幅が狭い。

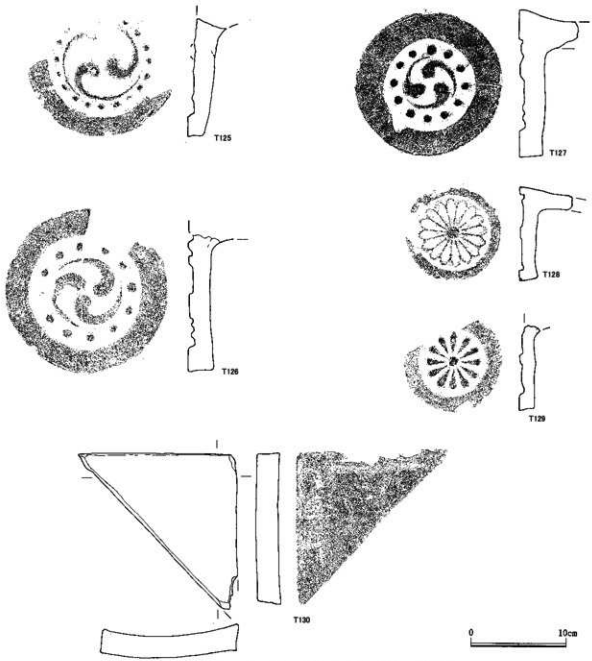
T 116は滴水瓦であり，中心飾として一重の亀甲文の中心に十字形の四葉が描かれている。唐草文は細い陽刻線が使われ，先端は上下に逆転している。

T 117は鳥衾瓦であり，巴尾基部の括れが不明瞭なため，巴頭部と尾部が連続的に延びる。巴と珠文の断面が高く明瞭に隆起する。縁部の上部に細い釘孔を有する。

T 118・119は平瓦である。T 119は下端に㊀の刻印がある。

T 120 ～ 122は鬼瓦である。T 120は中央に松平家家紋「葵紋」を配する鬼瓦であるが，剥離が著しく葵の間の3本の沈線のみ残存する。T 121はヒレ部の破片である。T 122は鬼面文鬼瓦の破片で，左目付近である。

T 123は隅切丸瓦であり，凸面は細かいヘラナデが施され，釘孔の周囲と体部の端部には漆喰

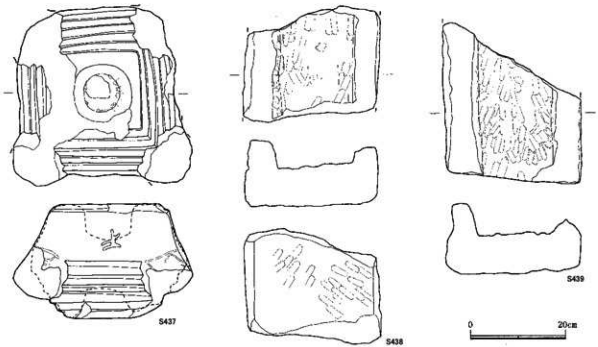


第５－157図　天守へ続く階段（下段）出土瓦実測図

の痕跡が残る。凹面はゴザ目とタタキが残存し，側縁は明確な面取りが行われている。T 124は隅切平瓦であり，凹面に使用痕が残り，凸面側の切隅の隅部を突出させ，その間はやや凸帯状に盛り上がる。

X 9・10は天守の壁に使用されていた漆喰である。X 9は厚さ2.5cmを測り，端部の一部が残存し「L」字形の断面である。表面は平坦で滑らかであり，裏面には平行に走る縄の圧痕が残る。X 10は厚さ5.7cmを測り，縦方向の断面がやや湾曲する。表面は滑らかであり，裏面には板の圧痕が残る。

S 436は五輪塔水輪で，やや規模の大きな水輪である。上面・下面共に中央部が凹んでおり，特に上面の凹みは深く，幅約2.0cmの鑿による加工痕が明瞭に残る。石材は豊島産凝灰岩である。



第5－158図　天守へ続く階段（下段）出土石造物実測図

T 125～127は三巴文の軒丸瓦である。T 125は右巻き三巴文で，巴頭部はやや鉤状を呈し，巴尾部は細長く，珠文の間隔が狭い。T 126は右巻き三巴文で，巴頭部はやや鉤状を呈し，巴尾部は基部の幅がやや広く，珠文は12個である。T 127は左巻き右巻き三巴文で，巴頭部は大きく丸い。巴尾部は短く，珠文は12個で，周縁の幅が広い。

T 128は花弁の輪郭を陽刻線で表す菊丸瓦で，佐藤分類Ⅰ類1である。T 129は陽刻菊花文の菊丸瓦で，花弁基部が中房から分離する。佐藤分類Ⅲ類23である。

T 130は隅切平瓦で，凸・凹面はナデが施される。

S 437宝篋印塔の笠で，隅飾突起は欠損している。上下面には円形で深い抉りがあり，上面の凹みの底部には漆喰が付着している。隅飾突起の間に6段を数える段を有する。側面の中央には梵字が刻印されているが摩滅のため解読不可能である。石材は凝灰岩である。S 438・439はV面築石のV－8－6であり，水路に使用されていた石を築石として再利用したものである。断面はU字形を呈し，石の幅は29.1cm，内側の幅は15.7cm，厚さは8.5cmである。側壁はやや内向き気味に立ち上がる。内外面ともに全面に鑿による幅約1.0～1.5cmの加工痕が明瞭に残存する。石材は豊島産凝灰岩である。

第８項　本丸

金属器（第５－159図）

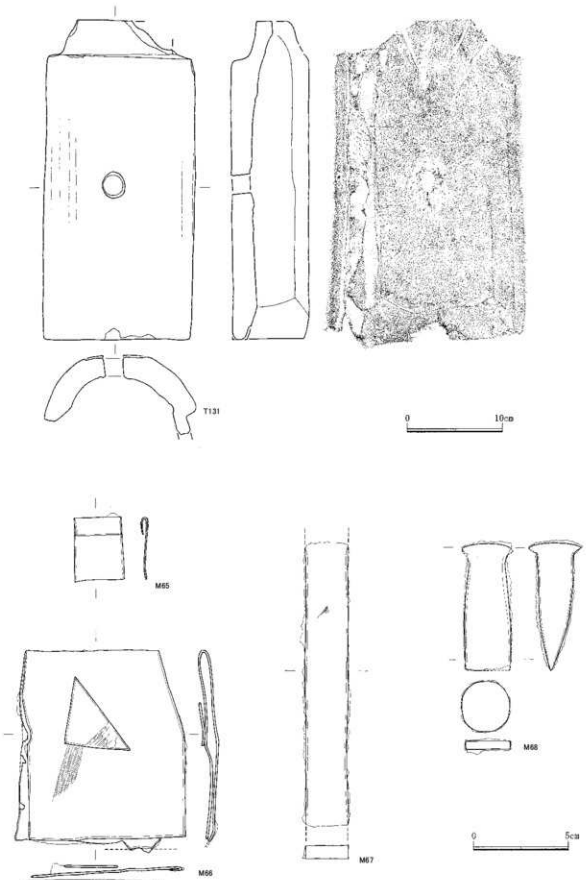
M65は方形で非常に薄い鉄板で，一端を折り返す。M66は二つ折りの鉄板で，全長10.0cm，幅8.7cmを測る。鉄板の厚さは0.1cmで非常に薄い。表面に三角形の鉄板が付着し，その間に木質が残存している。M67は両端を欠損する鉄板で，現存長14.8cm，幅1.8cm，厚さ0.7cmを測り，僅かであるが木質が付着している。M68は完形品の豆矢であり，全長6.9cm，先端の幅2.3cm，基部の厚さ2.6cmを測る。

瓦（第５－159図）

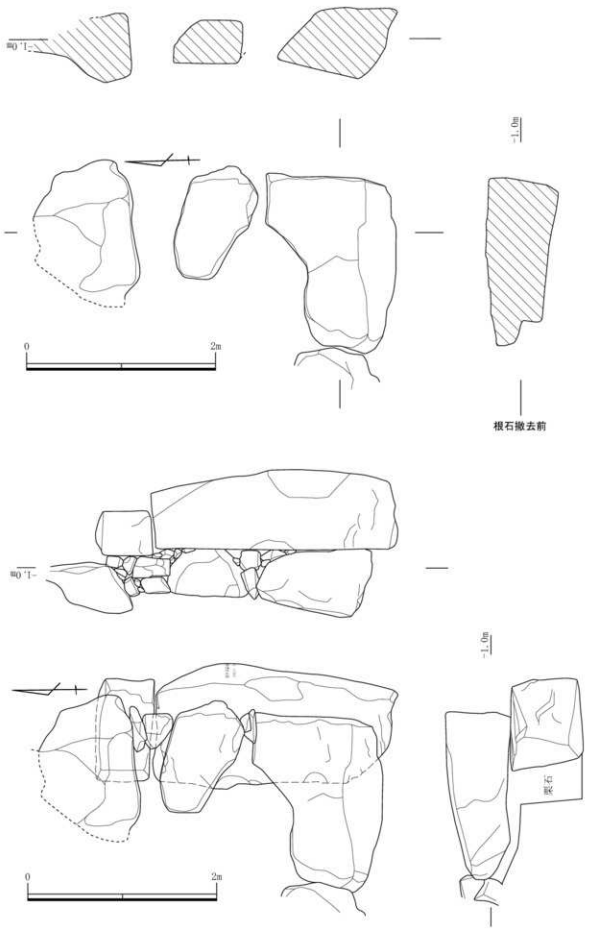
T131は玉縁丸瓦の右側側縁が下方に延びる特殊な形態の瓦である。釘孔を有し，凸面は縦方向のナデが施され，両側に漆喰が付着している。凹面は粗い布目が残る。

第９項　石垣根石の調査

天守台石垣は堀の水面よりやや上部において全体的に大きく孕み出しており，特にD面の孕みは最も大きく，さらに隅角部の下部の石材が南側にずれて築石との間に約30cmの開きが認められ，D面がもっとも危険な状態であった。石垣の根石の状況を明らかにし，ハラミの原因を解明することと積直しに必要な復元勾配を算出することを目的として石垣前面にトレンチを設定し，調査を実施した（第５章第１節第６項参照）。その結果，天守台北東隅の第４トレンチと天守台南東隅の第６トレンチにおいて根石を確認することができた。根石の設置状況は上部の築石より約15cm前に張り出すように設置されている。第６トレンチの根石は３石確認した。石材は花崗岩である。隅角部の根石は「L」字形の平面形の切石であり，大きさは南北1.40m，東西1.73m，厚さ0.73mを測る。東西方向の上面はほぼ水平であるが，南北方向は約20cmの比高差で北側に下がっている。上面の最高位の標高は－0.58ｍである。１石北側の根石は1.17×0.77ｍ，厚さ0.46m以上を測る小規模の自然石であり，上面は標高－0.73mである。２石目の根石は東西1.55m以上，南北1.05ｍ以上，厚さ0.70mの自然石であり，上面は大きく北側が下がる。上面の最高位の標高は－0.55ｍである。このような状況から隅角部と１石目の根石が旧河道状の落ち込みの方向に前転びになっていることが明らかになり，史跡高松城跡石垣整備会議での検討結果により根石の下に大きい盤石を設置し補強することとなった。まず，検出した根石の平面図と断面図（第５－160図）を作成し，写真撮影を行った後に，根石を解体した。次に根石の下部を人力で掘り下げた。次に掘削した底面に割栗石を敷きならし，新補石材の盤石を設置した。なお，この磐石には「根石前転修正用下部新設材　平成二十一年三月　高松市」と刻印し、新補石材であることがわかるようにつとめた。最後に盤石の上に解体した根石を設置し，根石間に新補石材の間詰め石を入れた。設置後の平面図と立面図を作成した。根石の下部の掘削では，胴木等は検出されておらず，砂地に直接根石を設置する方法を採っていたと考えられる。



第5－159図　本丸出土瓦・金属器実測図



第５－160図　天守台南東隅根石検出状況・磐石設置状況図

第２節　高松市高松城天守台出土木製品の樹種調査結果

１．試料　試料は，天守台から出土した建築材や板材などの木製品18点（W３－４・８～23）である。いずれも保存処理実施済みであった。

２．分析方法　各木製品の木取りを観察した上で，破損部等を利用して切片を採取する。該当箇所を水で湿らせ，剃刀で木口（横断面）・柾目（放射断面）・板目（接線断面）の３断面の徒手切片を作製する。切片をガム・クロラール（抱水クロラール，アラビアゴム粉末，グリセリン，蒸留水の混合液）で封入し，プレパラートを作製する。生物顕微鏡で木材組織の種類や配列を観察し，その特徴を現生標本および独立行政法人森林総合研究所の日本産木材識別データベースと比較して種類を同定する。

なお，木材組織の名称や特徴は，島地・伊東（1982），Wheeler他（1998），Richter他（2006）を参考にする。また，日本産木材の組織配列は，林（1991）や伊東（1995，1996，1997，1998，1999）を参考にする。

３．結果　樹種同定結果を表に示す。木製品は，針葉樹５分類群（マツ属複維管束亜属・モミ属・ツガ属・スギ・ヒノキ科）と広葉樹１分類群（ヤナギ属）に同定された。各分類群の解剖学的特長等を記す。

・マツ属複維管束亜属（Pinus subgen. Diploxylon）　マツ科

軸方向組織は仮道管と垂直樹脂道で構成される。仮道管の早材部から晩材部への移行は急～やや緩やかで，晩材部の幅は広い。垂直樹脂道は晩材部に認められる。放射組織は，仮道管，柔細胞，水平樹脂道，エピセリウム細胞で構成される。分野壁孔は窓状となる。放射仮道管内壁には鋸歯状の突起が認められる。放射組織は単列，１～15細胞高。

・モミ属（Abies）　マツ科

軸方向組織は仮道管のみで構成される。仮道管の早材部から晩材部への移行は比較的緩やかで，晩材部の幅は狭い。放射組織は柔細胞のみで構成される。柔細胞壁は粗く，垂直壁にはじゅず状の肥厚が認められる。分野壁孔はスギ型で１分野に１～４個。放射組織は　単列，１～20細胞高。

・ツガ属（Tsuga）　マツ科

軸方向組織は仮道管と樹脂細胞で構成される。仮道管の早材部から晩材部への移行は急で，晩材部の幅は比較的広い。樹脂細胞は，年輪界近くに認められるが，数が少なく目立たない。放射組織は仮道管と柔細胞で構成される。柔細胞壁は滑らかで，垂直壁にはじゅず状の肥厚が認められる。分野壁孔はヒノキ型で，１分野に１～４個。放射組織は単列，１～20細胞高。

・スギ（Cryptomeria japonica（L. f.）D. Don）　スギ科スギ属

軸方向組織は仮道管と樹脂細胞で構成される。仮道管の早材部から晩材部への移行はやや急で，晩材部の幅は比較的広い。樹脂細胞はほぼ晩材部に認められる。放射組織は柔細胞のみで構成さ

れる。分野壁孔はスギ型で，１分野に２～４個。放射組織は単列，１～10細胞高。

・ヒノキ科（Cupressaceae）

軸方向組織は仮道管と樹脂細胞で構成される。仮道管の早材部から晩材部への移行は緩やか～やや急で，晩材部の幅は狭い。樹脂細胞は晩材部付近に認められる。放射組織は柔細胞のみで構成される。分野壁孔は保存が悪く観察できない。放射組織は単列，１～10細胞高。

・ヤナギ属（Salix）　ヤナギ科

散孔材で，道管は単独または２－３個が複合して散在し，年輪界付近で径を減少させる。道管は，単穿孔を有し，壁孔は交互状に配列する。放射組織は異性，単列，１～15細胞高。

遺物番号	出土位置	遺物名	形状	木取り	樹種	備考
W３	E面前面堀	木簡	板状	柾目	ヒノキ科	
W４	C面前面堀	柄	丸棒状	芯持丸木（楕円形）	ヤナギ属	
W８	D面前面堀	加工板	板状	板目	スギ	
W９	D面・E面前面堀	加工材	板状	柾目	マツ属複維管束亜属	
W10	C面前面堀	加工材	板状	板目	マツ属複維管束亜属	
W11	D面前面堀	加工材	厚板状	板目	マツ属複維管束亜属	
W12	E面前面堀	加工材	角棒状	芯外分割材	マツ属複維管束亜属	
W13	E面前面堀	木簡	板状	柾目	ヒノキ科	
W14	南東隅　根石下	加工材	板状	柾目（半裁）	スギ	
W15	E面前面堀	加工材	角材	芯外分割材	モミ属	一部炭化
W16	E面前面堀	板材	板状	柾目	モミ属	
W17	E面前面堀	板材	板状	板目	ツガ属	
W18	E面前面堀	板材	板状	柾目	モミ属	一方の面が炭化
W19	E面前面堀	板材	板状	板目	モミ属	
W20	E面前面堀	板材	板状	柾目	モミ属	
W21	E面前面堀	建築材	板状	板目	マツ属複維管束亜属	四角穴２箇所
W22	E面前面堀	建築材	角材	芯外分割材	スギ	
W23	E面前面堀	建築材	板状	追柾	モミ属	

４．考察　今回樹種同定を行った天守台から出土した木製品は，柄，木簡，建築材，板材，加工材，である。これらの木製品は，針葉樹のマツ属複維管束亜属・モミ属・ツガ属・スギ・ヒノキ科と，広葉樹のヤナギ属に同定された。この結果から，モミ属などの針葉樹が多用されている傾向がうかがえる。

各樹種の木材の性質を**みると，針葉樹のモミ属・スギ・ヒノキ科は，**木理が通直で割裂性が高く，加工は容易ではある**が，比較的耐水性が高いヒノキ科やスギに対し，**モミ属は保存性が低いとされる。マツ属複維管束亜属は，軽軟であるが，比較的強度・保存性が高く，加工は容易である。ツガ属は，針葉樹としては重硬な部類に入り，割裂性は高いが，加工はやや困難である。ヤナギ属は，広葉樹としては軽軟な部類に入り，加工は容易であるが，強度・保存性は低い。

柄は，断面が楕円形の芯持丸木が利用されている。樹種はヤナギ属であり，上記の材質を考慮す

ると，強度を必要としないような用途の柄に利用された可能性がある。

木簡は板状加工が容易なヒノキ科が利用されている。近年の木簡の類については，東山崎・水田遺跡で呪符木簡にスギ類似種とモミ属，札にスギ類似種，木簡にスギが確認されている（パリノ・サーヴェイ株式会社，1992）。今回の結果から，ヒノキ科の木材も利用されていたことが推定される。

建築材は，角材状の資料と板状の資料がある。角材状の資料は，いずれも芯外しの分割角材であり，スギとモミ属が認められた。また，板状の資料は板目あるいは追柾となり，モミ属とマツ属複維管束亜属が認められた。この結果から，少なくとも３種類の木材が建築材として利用されていたことになる。香川県内のこれまでの調査事例を見ると，近年では柱を中心にマツ属複維管束亜属の多用されている傾向がうかがえる（パリノ・サーヴェイ株式会社，1992，1993；環境考古研究会，1999，2001）。今回の結果も同調的である。

加工材は，角棒状，ミカン割材，板状の資料がある。角棒状の資料にマツ属複維管束亜属，ミカン割材および板状の資料にスギが認められ，建築材と同様の木材利用が推定される。

板材は，板目の試料が多いが，柾目の資料も２点ある。スギ，マツ属複維管束亜属，モミ属，ツガ属が利用され，分割加工が容易な木材が利用されている。層位別に見ると，E面の資料がモミ属を中心にツガ属が混じる組成であるのに対し，C面の１点はマツ属複維管束亜属，D面の２点はスギとマツ属複維管束亜属，D・E面の１点はマツ属複維管束亜属であり，樹種構成に違いが認められる。こうした違いには，器種や時期の違いが考えられる。なお，高松城跡における板材の同定結果をみると，西の丸地区の漆塗りの板物にヒノキ，無量壽院跡の板材に複維管束亜属を中心にスギが混じる組成が確認されているが，モミ属やツガ属は確認されていない（北野，2003；吉田生物研究所，2005）。今回の結果から，モミ属やツガ属も利用されていたことになるが，時期別や器種別の利用状況については，今後の検討課題である。

引用文献

林　昭三，1991，日本産木材　顕微鏡写真集．京都大学木質科学研究所．

伊東隆夫，1995，日本産広葉樹林の解剖学的記載Ⅰ．木材研究・資料，31，京都大学木質科学研究所，81－181．

伊東隆夫，1996，日本産広葉樹林の解剖学的記載Ⅱ．木材研究・資料，32，京都大学木質科学研究所，66－176．

伊東隆夫，1997，日本産広葉樹林の解剖学的記載Ⅲ．木材研究・資料，33，京都大学木質科学研究所，83－201．

伊東隆夫，1998，日本産広葉樹林の解剖学的記載Ⅳ．木材研究・資料，34，京都大学木質科学研究所，30－166．

伊東隆夫，1999，日本産広葉樹林の解剖学的記載Ⅴ．木材研究・資料，35，京都大学木質科学研究所，47－216．

株式会社吉田生物研究所，2005，高松市高松城跡出土木製品の樹種調査結果．「高松城跡（無量壽院跡）市街地

再開発関連街路事業（高松駅南線）に伴う埋蔵文化財発掘調査報告第１冊」，高松市埋蔵文化財調査報告第81集，高松市教育委員会，80 － 85.

環境考古研究会，1999，川南・西遺跡出土木材及び炭化材の樹種同定．「川南・西遺跡　都市計画道路室町新田線埋蔵文化財発掘調査報告書第一冊」，高松市埋蔵文化財調査報告第38集，高松市教育委員会，111 － 119.

環境考古研究会，2001，高松港頭地区再開発関連事業に伴う埋蔵文化財発掘調査事業鬼無藤井遺跡における樹種同定，「鬼無藤井遺跡　高松港頭地区再開発関連事業に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書」，高松市埋蔵文化財調査報告書第51集，高松市教育委員会，233 － 250.

北野信彦，2003，高松城城下町武家屋敷出土漆器資料の材質と製作技法．「高松城跡（西の丸町地区）Ⅱ第１冊分，サンポート高松総合整理事業に伴う埋蔵文化財発掘調査報告第４冊」，香川県埋蔵文化財調査センター・財団法人香川県教育委員会，175 － 186.

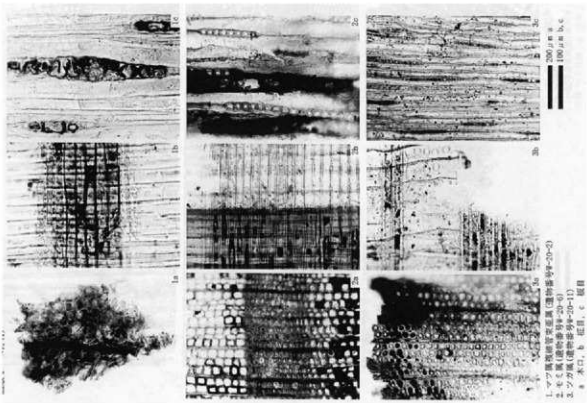
パリノ・サーヴェイ株式会社，1992，木製品の樹種．「東山崎・水田遺跡　高松東道路に伴う埋蔵文化財発掘調査報告第１冊」，香川県教育委員会，財団法人香川県埋蔵文化財調査センター，建設省四国地方建設局，358 － 368.

パリノ・サーヴェイ株式会社，1993，郡家一里屋遺跡出土木製品の用材選択について．「郡家一里屋遺跡四国横断自動車道建設に伴う埋蔵文化発掘調査報告第12冊」，香川県教育委員会・財団法人香川県埋蔵文化財調査センター・日本道路公団，227 － 230.

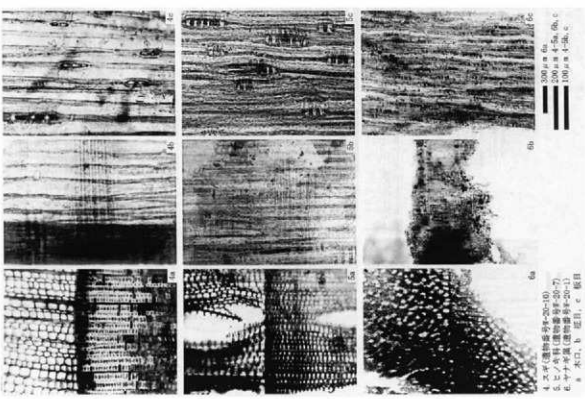
Richter H.G., Grosser D., Heinz I. and Gasson P.E.（編），2006，針葉樹林の識別　IAWAによる光学顕微鏡的特徴リスト．伊東隆夫・藤井智之・佐野雄三・安部　久・内海泰弘(日本語版監修)，海青社，70p.〔Richter H.G., Grosser D., Heinz I. and Gasson P.E.（2004）IAWA List of Microscopic Features for Softwood Identification〕.

島地　謙・伊東隆夫，1982，図説木材組織．地球社，176p.

Wheeler E.A., Bass P. and Gasson P.E.（編），1998，広葉樹林の識別　IAWAによる光学顕微鏡的特徴リスト．伊東隆夫・藤井智之・佐伯　浩（日本語版監修），海青社，122p.〔Wheeler E.A., Bass P. and Gasson P.E.（1989）IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification〕



1. マツ属複維管束亜属（遺物番号＊-20-2）
2. ホミ属（遺物番号＊-20-6）
3. ツガ属（遺物番号＊-20-11）
a 木口，b 柾目，c 板目



4. スギ（遺物番号＊-20-10）
5. ヒノキ科（遺物番号＊-20-7）
6. ヤナギ属（遺物番号＊-20-1）
a 木口，b 柾目，c 板目

第３節　石材調査

石垣解体前および解体中に，石垣に用いた石材調査を実施し，石材カルテを作成した。拳大よりも大きな石材は全て対象としており，築石のみならず大振りな間詰め石もカルテを作成した。カルテ作成にあたっては，石垣の各面に名称を与え，天端を１段目とした段数と各段の中での番号を作成し，石材番号とした。例えば石材番号「Ａ－１－１」は，Ａ面の１段目の１石目の石材であることを表す。カルテの記載項目は，①計測値（面縦長，面横長，控え長，重量）②石材名称　③配石状況　④加工状況　⑤積み方　⑥配置位置　⑦矢穴形状　⑧各種痕跡　⑨所見　⑩石材利用判別　⑪写真記録（石垣積正面・石垣積上面・解体計測状況）　の 11 項目である。以下それぞれの記載内容について詳述する。なお，作成したカルテは本書付属のＤＶＤに収録した。

①計測値では，石材の石垣を形成する面の法量と，控えの長さ，重量（ｔ）を記録した。隅角部の石材は，各面ごとにカルテを作成しているため，各石２枚のカルテを作成している。

②石材名称は，花崗岩・安山岩・凝灰岩の種別を肉眼判定し，記載した。

③配石状況は，石材の積み方を調査したもので，積まれた状態での石材の長辺方向を縦・横・斜に区分して記載した。

④加工状況では，石材の加工の程度について，５段階に区分して記載した。野面は全く加工がなされていないものとした。この野面石を数回程度叩き割ることで成形したものを割石（粗）とし，矢などを用いて石材を割ることにより成形したものを割石（精）とした。割石をさらに再分割し，形を整えるために加工したものを加工（粗）とした。さらに，加工が全面におよび自然面や割面を全く残さないものを加工（精）とした。

⑤積み方は，築石については，乱積み，布積み，谷積み等に区分し，隅角部については算木積みの有無で区分した。

⑥配置位置は，隅角部，築石部，間詰めに区分した。

⑦矢穴形状は，矢穴の位置・法量（縦×横×穴の厚み）・個数を記録し，成功したか途中で放棄したものかを区分して記載した。

⑧各種痕跡では，加工（矢穴，ノミ切り）・傷み（ワレ・ヒビ）・付着物（貝殻，モルタル等）の有無と，確認できる範囲について記載した。

⑨所見では石材の石垣面を正面とし，⑧で確認した各種痕跡の範囲や数について略図を作成した。

⑩石材利用判別では，まず石材の破損区分を調査した。石材にほとんど傷みがないものは良好とし，石材が割れているものはワレとし，完全に割れてはいないがヒビが見えるものおよび節理が見えるものはヒビとした。また，石材全体が風化などにより傷んでいるものは劣化とした。なお，石材自体の破損ではないが，控えが極端に短いものについては控短とした。また，破損理由についても調査したうえで，再利用の可否を判別した。再利用を行う場合は，再利用区分に原位置と記載した。再利用を行わない場合は，再利用区分を転用とし，転用先と転用先の理由について記載を行った。

①写真記録では，解体中の石材に墨で石材番号を背書きし，正面・上面・側面の３方向からの写真撮影を基本とした。石材の位置によって３方向からの撮影が困難であった石材もいくつか存在する。

石材調査カード

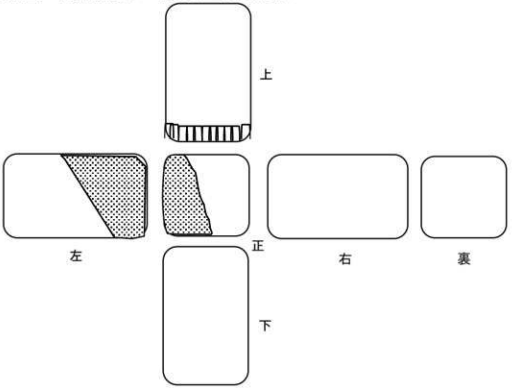
高松市教育委員会

石材番号	A-1-1	記入者	

①計測値(計測最大値)		②石材名称	花崗岩
面縦長	0.52 m	③配石状況	横
面横長	1.63 m	④加工状況	割石(精)
控え長	0.57 m	⑤積み方	算木
重　量	1.30 t		

⑥配置位置	隅角部						
⑦矢穴形状	1.	上面	11 ×	7 ×	1 cm	11 個	成功
	2.	面	×	×	cm	個	成功 ・ 途中放棄
	3.	面	×	×	cm	個	成功 ・ 途中放棄
	4.	面	×	×	cm	個	成功 ・ 途中放棄
	5.	面	×	×	cm	個	成功 ・ 途中放棄
⑧各種痕跡	矢穴(上) ノミ切り(正・左)						

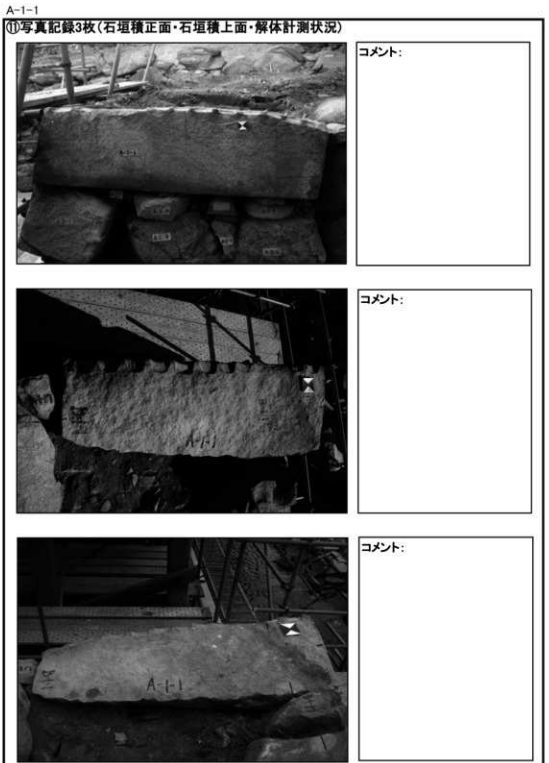
⑨所見(略図：各種痕跡・加工範囲・加工具等記載)



⑩石材利用判別	可	(修正の場合は朱書きとする)
破損区分	良好	
破損理由		
再利用区分	原位置	
再利用理由		
転用先		
転用先理由		
備　考		

第５－161図　石垣カルテ見本(1)

なお，石材については割れ石からサンプルを抽出し、薄片プレパラートを作成して分析を行った。顕微鏡観察により、高松城周辺の岩石サンプルと比較した結果、花崗岩については屋島～庵治にかけての花崗岩に近いことが判明した。安山岩については、産地の特定にはいたらなかった。凝灰岩についてはサンプルを作成していないが、石工等の目視により、豊島産の可能性が高いと考えられる。



第５－162図　石垣カルテ見本（２）

石材調査カード

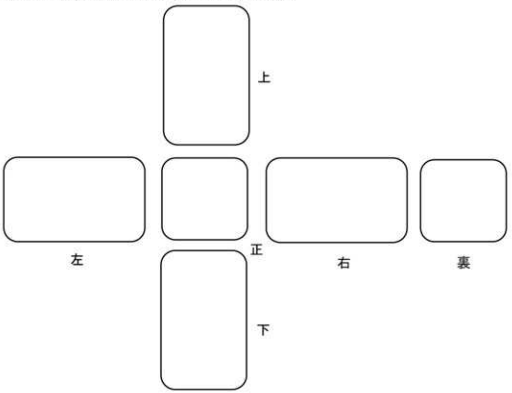
高松市教育委員会

石材番号	A-2-29	記入者	

①計測値（計測最大値）		②石材名称	安山岩
面縦長	0.29 m	③配石状況	縦
面横長	0.26 m	④加工状況	野面
控え長	0.50 m	⑤積み方	乱
重　量	0.10 t		

⑥配置位置	間詰め					
⑦矢穴形状	1.	面	×	×	cm	個	成功 ・ 途中放棄
	2.	面	×	×	cm	個	成功 ・ 途中放棄
	3.	面	×	×	cm	個	成功 ・ 途中放棄
	4.	面	×	×	cm	個	成功 ・ 途中放棄
	5.	面	×	×	cm	個	成功 ・ 途中放棄
⑧各種痕跡							

⑨所見（略図：各種痕跡・加工範囲・加工具等記載）



⑩石材利用判別	可	（修正の場合は朱書きとする）
破損区分	良好	
破損理由		
再利用区分	原位置	
再利用理由		
転用先		
転用先理由		
備　考		

第５－163図　石垣カルテ見本（3）

A-2-29

⑪写真記録3枚（石垣積正面・石垣積上面・解体計測状況）

コメント：

コメント：

コメント：

第５－164図　石垣カルテ見本（4）

第４節　工学的調査

第１項　ボーリング調査

本調査は，石垣足下のハラミが広範囲で生じた原因を探るため，天守台周辺地盤の現状把握を目的とした。調査は，石垣解体工事の実施設計を行った，株式会社空間文化開発機構に委託した。調査期間は平成 18 年 11 月２～８日。

調査内容　ボーリング調査　４箇所　L=28m

原位置試験（標準貫入試験）　28 回

第５－３表　地質調査一覧表

孔番号	地盤高 (m)	機械ボーリング（φ 66mm） 調査深度 (m) 粘土・シルト	砂・砂質土	礫混り土　砂	計	原位置試験 標準貫入試験（回） 粘土・シルト	砂・砂質土	礫混り土　砂	計	水上足場（箇所）	備考
BNo. 1	−0. 03	0. 00	4. 30	2. 70	7. 00	0	5	2	7	1	
BNo. 2	−0. 18	0. 00	4. 30	2. 70	7. 00	0	5	2	7	1	
BNo. 3	−0. 48	0. 20	4. 80	2. 00	7. 00	1	5	1	7	1	
BNo. 4	−0. 43	0. 00	5. 00	2. 00	7. 00	0	6	1	7	1	
合　計		0. 20	18. 40	9. 40	28. 00	1	21	6	28	4	

※調査位置は第５－ 167 図に示す。

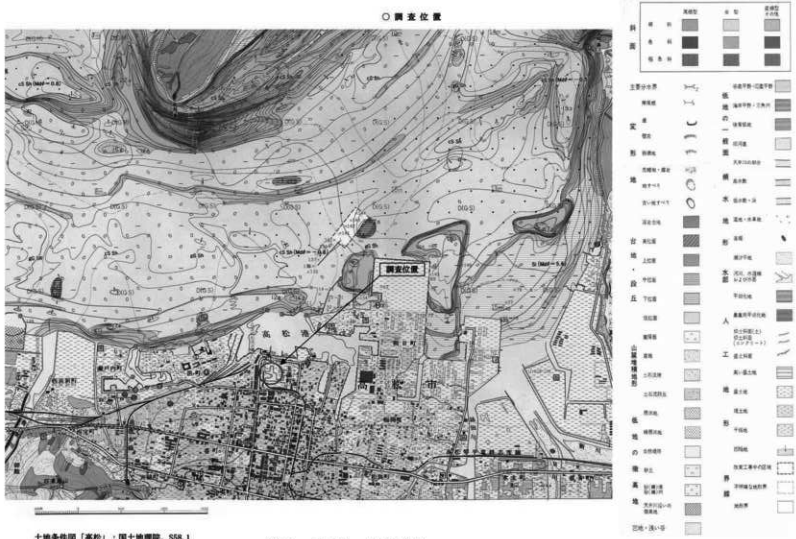
調査地周辺の地質概要

調査地は，高松低地の北端沿岸部に位置する。西方には紫雲山地（紫雲山 200. 0 m，石清尾山 232. 6 m）が，東方には屋島山地（南嶺 292. 1 m）が控えている。天正 16 年（1588）に生駒親正が旧香東川河口の八輪島付近を埋立て，高松城を築城した。以来，人工的に埋め立てられた地域が広がっている。旧香東川は，紫雲山の東側を流れ，調査地周辺で分流して三角州を形成した。東方に流下する現在の御坊川や高松港の入り江は，分流によって形成された流路の一つと考えられる。周辺は商業経済の中心として，中・高層ビルが立ち並ぶ臨海都市となっている。

地質は，周辺の丘陵を構成する中生代白亜紀の領家花崗岩類を基盤岩とし，同岩上に下位より，新生代新第三紀鮮新世の三豊層群，第四紀更新世の洪積層，完新世の沖積層と成層する。山頂部の溶岩は，第三紀中新世の讃岐層群で花崗岩類を貫いている。沿岸部の沖積平野は，地形発達史から大まかに見れば，洪積世末期の古期扇状地が沖積世初期の海進で海底に沈み，その後の海退にともない再び海岸平野としてあらわれた。そこへ河川によって運ばれた砂礫が被覆して新期扇状地を形成している。臨海部の沖積層は，下位から沖積下部層（旧扇状地層），沖積上部層（海成層），沖積最上部層（扇状地～三角州性）と成層しているが，今回の調査深度は，沖積層の上部にとどまっている。高松城跡がある沖積層は，扇状地性であるが臨海部では三角州性を呈している。したがって，本地区の盛土直下には，扇状地性の砂礫質な粗粒土や三角州性の砂・シルトおよび粘土などの細粒物質が互層状態に分布している。粗粒土は，上流山地の和泉砂岩泥岩および花崗岩類の礫を含み，拳～人頭大の砂岩が混入する場合こともある。次頁以降に，「香川県の地質層序表」および周辺の「土地条件図」と「地質図」を示す。

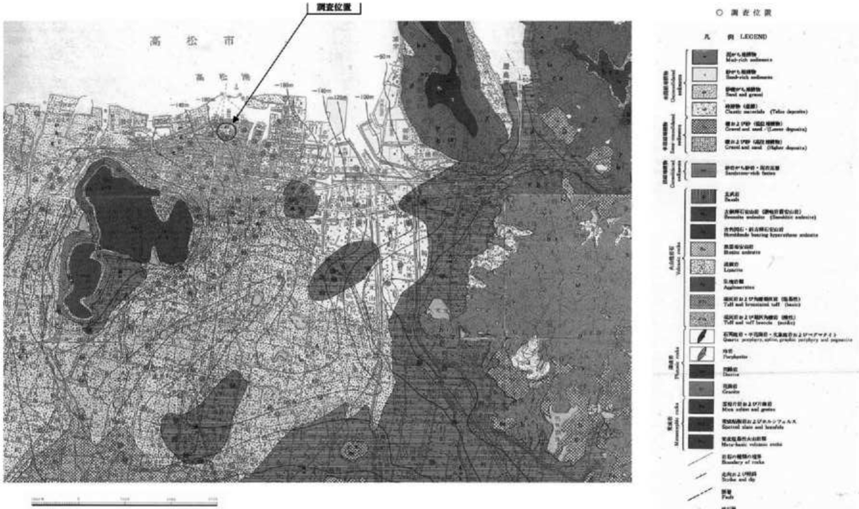
第５－４表　香川県の地質層序表

地質時代			地層名	記号	層相	
新生代	第四紀	沖積世（完新世）	沖積層（完新統）	Al	河口海岸平野	新期河川堆積物：dta 粘土 c，砂 s，礫 g
					河谷平野氾濫原	河川氾濫堆積物：rd 粘土 c，砂 s，礫 g
					扇状地平野	扇状地堆積物：fan 粘土 c，砂 s，礫 g
					崖錐：Tl	砕屑物：cls
		洪積世（更新世）	洪積層（更新統）	Dl	低位段丘：L	河成段丘堆積物：rtr 粘土 c，砂 s，礫 g
					中位段丘：M	河成段丘堆積物：rtr 粘土 c，砂 s，礫 g
					高位段丘：H	旧期扇状地堆積物：ofan 粘土 c，砂 s，礫 g
	新第三紀	（更新世）～鮮新世	三豊層群	Mk	丘陵前縁平野伏在	湖沼性堆積物：アルコース砂岩 ark，シルト岩 sls
		中新世	讃岐層群	Sa	熔岩	各種火山岩類 An：讃岐岩 S
					火山砕屑岩（キャップロック）	讃岐岩質安山岩 As，黒雲母安山岩 Ab，角閃石安山岩 Ah 古銅輝石安山岩 Ap，流紋岩 Ry 集塊岩 Ag，凝灰角礫岩 Tb 等
			土庄層群	To	小豆島北西部～豊島北部	海成層：花崗質砂岩 ark 礫岩 Cg，亜炭 lgn 等
中生代	白亜紀	ヘトナイ世	和泉層群	Iz	讃岐山脈	海成層：砂岩 Ss，泥岩 Ms 互層
		先和泉	斑岩・ヒン岩類	Pb	貫入岩（岩株・岩脈）	石英斑岩 Qp，花崗斑岩 Gp 閃緑岩 Dr，ヒン岩 Po 変輝緑岩 Ed 等
			領家花崗岩類	Gr	深成	黒雲母花崗岩 Gb 花崗閃緑岩 Gd，角閃石黒雲母
					迸入岩	母花崗岩 Gh，閃緑岩 Dr 等
古生代	二畳紀		領家変成岩類	Ge	接触変成（パッチ状）	山口層群変成層：雲母片岩 Msh，ホルンフェルス Hr 片麻岩 Gn，変成輝緑岩 Ed



土地条件図「高松」；国土地理院，558.1

第5－165図　土地条件図



上半部：経済企画庁，表層地質図「高松・草壁・西大寺・寒霞渓」；S49.5
下半部：経済企画庁，表層地質図「高松南部」；S49.4

第５－166図　　地質図

調査結果

ボーリング調査の結果は，柱状図（第５－168～171図）ならびに推定地質断面図（第５－172～175図）のとおりであるが，概略を以下に示す。

第５－５表　BNo.1　GH=-0.03m　*l*=7.50m

深度 (m)	土質名	*N* 値	地質記号	観察記事
2.70	砂礫	8～12	Ag	沖積礫質土 礫はφ5～20mmの亜円礫を主体に40～50%混入する 砂は中～粗粒砂主体も粗粒砂多い 含水非常に多い 相対密度は「緩い～中位の」である
7.50	砂	8～20	As	沖積砂質土 細～中粒砂主体 4.0～4.5m，7.0～7.5m間はシルト質～シルト混り 5.5m付近，微粒砂層挟在 相対密度は「緩い～中位の」である

第５－６表　BNo.2　GH=-0.18m　*l*=7.50m

深度 (m)	土質名	*N* 値	地質記号	観察記事
2.70	砂礫	5～8	Ag	沖積礫質土 礫はφ5～10mmの亜円礫を主体に30～40%混入する　max φ 20mm 砂は中～粗粒砂主体も粗粒砂多い 含水非常に多い 相対密度は「緩い」である
7.50	砂	9～20	As	沖積砂質土 細～中粒砂主体 5.0～5.5m間，シルト質 6.2m付近，貝殻片混入 6.0m以深，シルト質砂の薄層混在 相対密度は「中位の～緩い」である

第５－７表　BNo.３　GH=-0.48m　l=7.50m

深度 (m)	土質名	N値	地質記号	観察記事
2.00	砂礫	15	Ag	沖積礫質土 礫はφ５～20mmの亜円礫を主体に40～60%混入する 砂は中～粗粒砂主体も粗粒砂多い 含水非常に多い 相対密度は「中位の」である
6.80	砂	15～28	As	沖積砂質土 細～中粒砂主体 6.0m以深，少量のシルト分混入 相対密度は「中位の」である
7.50	砂混りシルト	6	Ac	沖積粘性土 砂は微～細粒で30～40%混入する シルトの粘性は小さい コンシステンシーは「中位の」である

第５－８表　BNo.４　GH=-0.43m　l=7.50m

深度 (m)	土質名	N値	地質記号	観察記事
2.00	砂礫	12	Ag	沖積礫質土 礫はφ５～20mmの亜円礫を主体に40～50%混入する　max φ 50mm 砂は中～粗粒砂主体も粗粒砂多い 含水非常に多い 相対密度は「中位の」である
7.50	砂	12～28	As	沖積砂質土 細～中粒砂主体 2.0～2.5m間に，φ 10mm程度の亜円礫点在 7.0～7.5m間，微～細粒砂に少量のシルト分混入する 相対密度は「中位の」である

地質構成

本調査地に分布する地層および層相（特徴）を以下にまとめる。

第５－９表　調査地の層相

時　代	地　層　名		層相および特徴	記　号
現　世	盛　　土		築城時の盛土	Bs
新生代 第四紀 完新世	沖 積 層	礫質土	最上部を占める扇状地性の礫質土。砂岩・泥岩礫を主体に細～中粒の亜円礫が 30 ～ 60% の礫率で混入する。基質の砂は中～粗粒砂で含水が非常に多い。層厚は 2.0 ～ 2.7m 程度で，締まりは緩い～中位程度である。	Ag
		砂質土	三角州性の砂質土。上層の砂より細粒となり，細～中粒砂が主体。所々，シルト質～シルト混りであり微粒砂の薄層も含まれる。また，わずかに貝殻片の混入も見られる。締まりは礫質土同様，緩い～中位程度である。	As
		粘性土	BNo.３の砂質土直下のみに認められ，上層の砂質土より細粒化し粒度構成は漸移する。砂は微～細粒砂となり，細粒分全体の粘性は小さい。硬さは中位程度である。	Ac

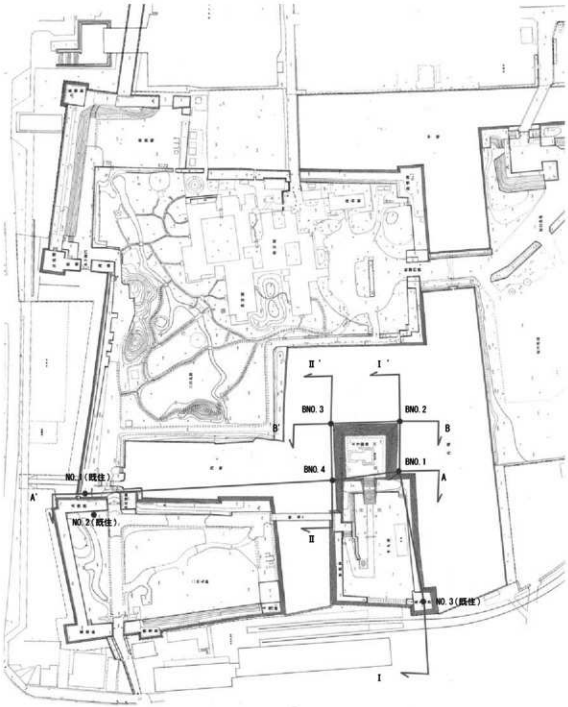
まとめ

調査結果を踏まえ，調査地の地層区分（地質記号）を以下のとおりとした。

盛　　土　　(Bs)
沖積礫質土　　(Ag)
沖積砂質土　　(As)
沖積粘性土　　(Ac)

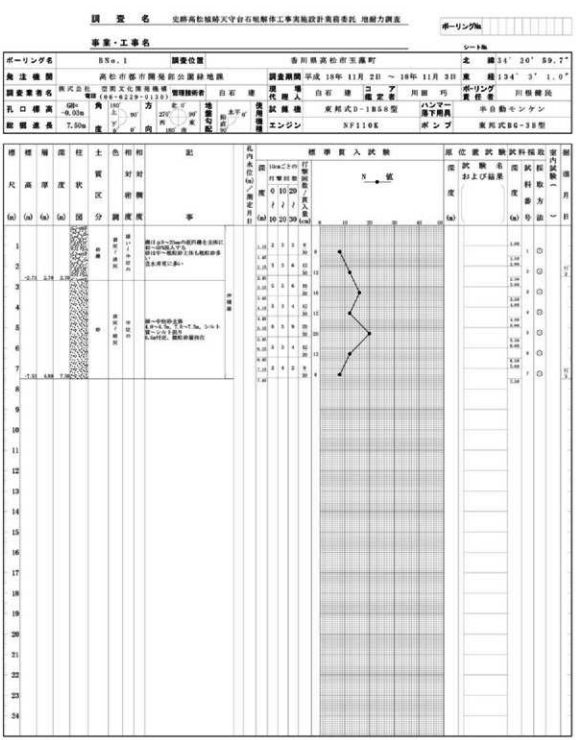
各調査地点から沖積層の最上部が確認された。深度 7.5 mにおける地質構成は，上位より沖積礫質土 (Ag)，沖積砂質土 (As)，沖積粘性土 (Ac) が成層している。各層は，上位から下位に向かって粗粒土から細粒土へ細粒化していることから，三角州性から扇状地性へと水深が次第に浅くなっていったものと考えられる。

各層の締まりは，一部緩い (4<N 値 <10) 部分を挟みながら，その他は中位程度 (N 値 =10 ～ 28) の締まりを有している。BNO.２の相対密度が他と比べて低い理由は，旧河道上を調査したためということが，後の発掘調査で明らかとなった。地下水位は，堀に海水を引き込んでいることから，海面潮汐と同調している。天守台は，緩い～中位の締まりを有する沖積礫質土の上に築かれている。これにより石垣足下のハラミが広範囲で生じたのか，それとも石垣背面土圧等の別要因があるのか，本調査結果だけでは結論に至らなかった。いずれにしても，天守台周辺地盤の締まりは十分 (N 値 30 以上) とは言えず，地盤改良などにより地耐力の向上，もしくは石垣基礎の支持力を増加する補強（杭や基礎拡大等）を検討する必要があると判断した。なお，推定地質断面図については，城内の既往調査結果を加えて示す。



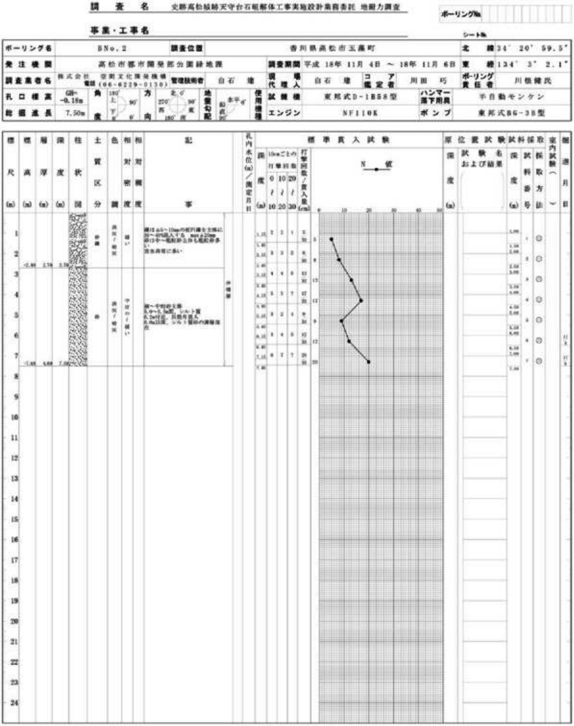
第５－167図　調査位置図

ボーリング柱状図



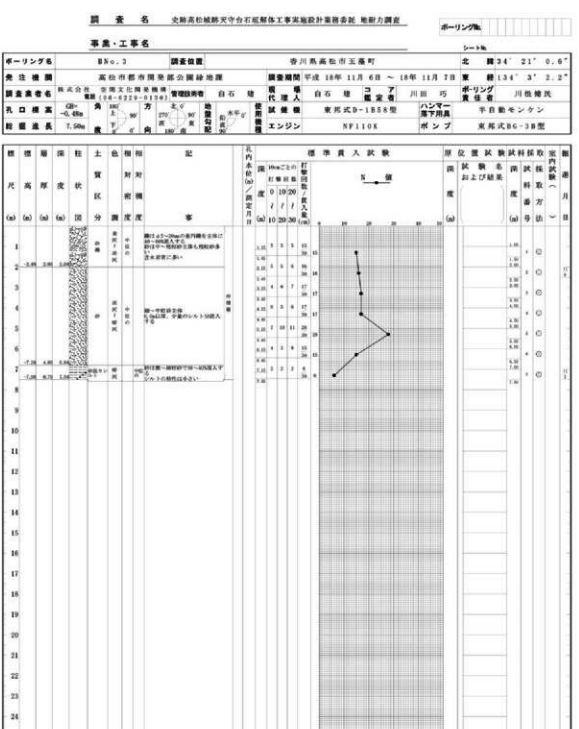
第５－168図　BNo.1ボーリング柱状図

ボーリング柱状図



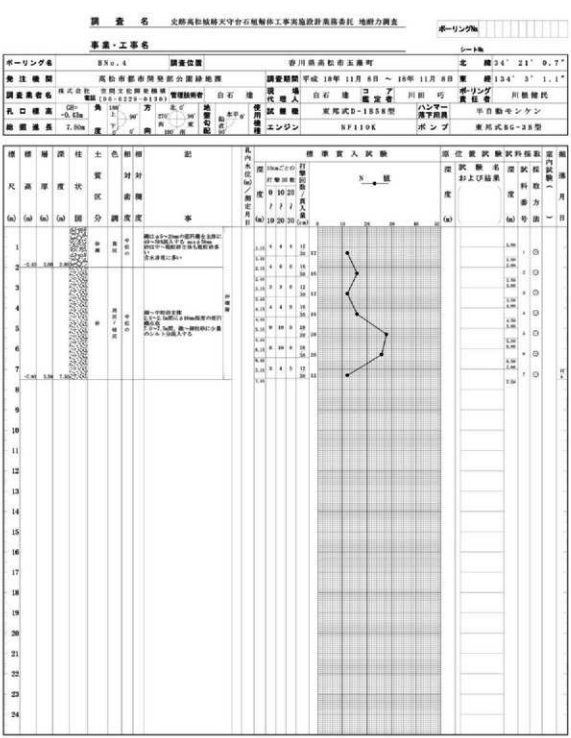
第５－169図　BNo.2ボーリング柱状図

ボーリング柱状図

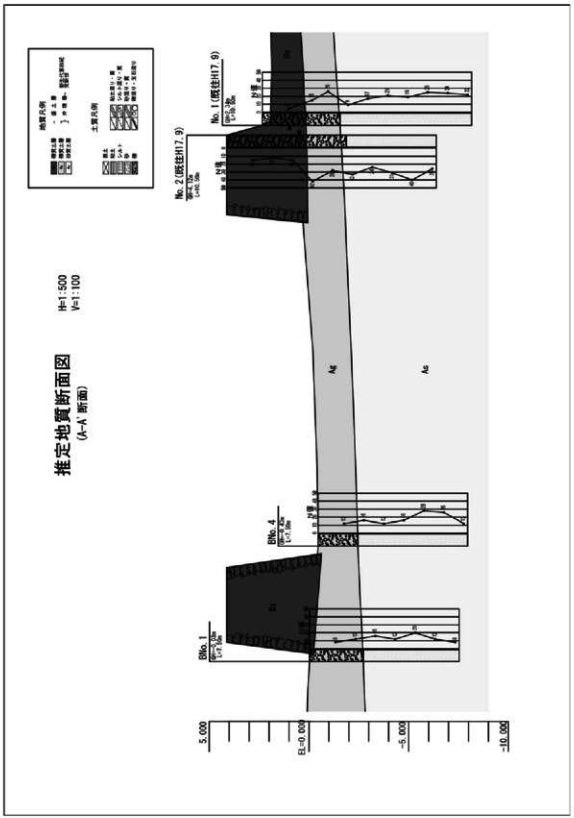


第５－170図　BNo.3ボーリング柱状図

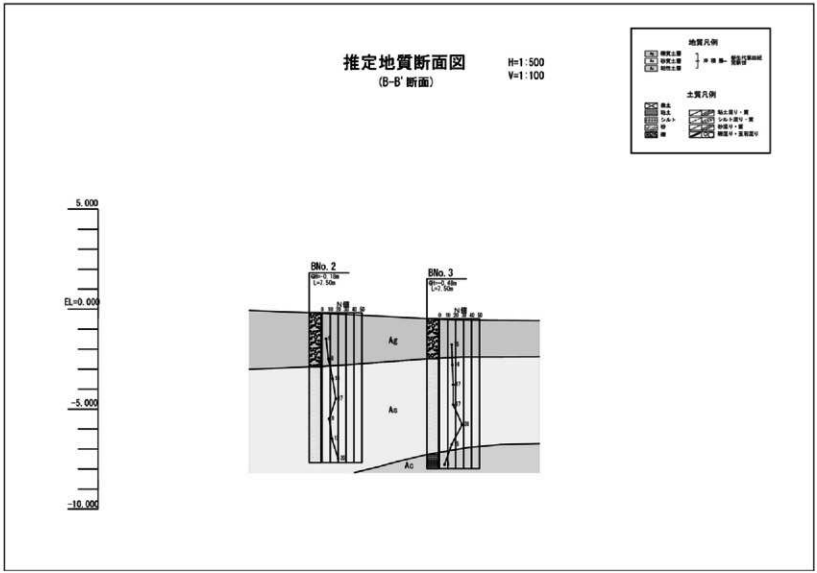
ボーリング柱状図



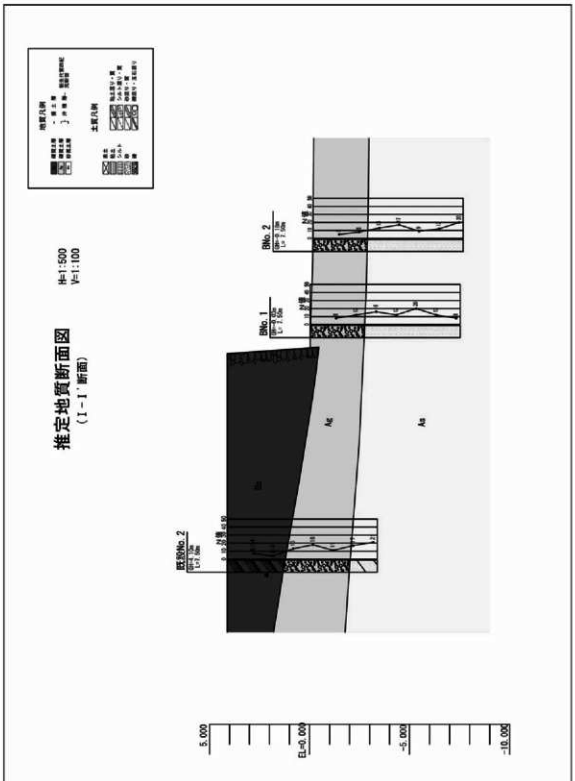
第５－171図　BNo.4ボーリング柱状図



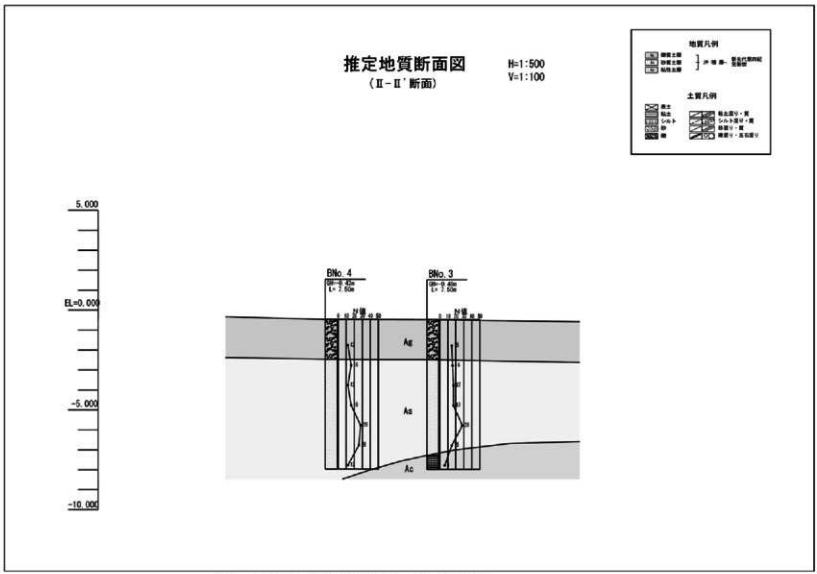
第５－172図　推定地質断面図　A－A' 断面



第５－173図　推定地質断面図　Ｂ－Ｂ' 断面



第５－174図　推定地質断面図　Ⅰ－Ⅰ′断面



第５－175図　推定地質断面図　Ⅱ－Ⅱ'断面

第２項　土質試験

石垣背面盛土の掘削勾配および掘削土の再利用について検討するため，土質試験にて盛土の強度を調べた。ここでは土質試験結果および切土法面の安定化についてまとめる。盛土の評価および掘削土の再利用については，第６章の盛土対策にまとめる。

試験内容　土粒子の密度試験
土の含水比試験
土の粒度試験
土の液性限界試験および塑性限界試験
土の湿潤密度試験
突き固めによる土の締固め試験
土の一軸圧縮試験
改良型一面せん断試験（不撹乱および撹乱）

採取箇所

石垣解体作業に合わせて，天守地下１階直下と裏込め栗石層の背後から高さ約２ｍ毎に試料を採取した。全て同じ面から試料を採取する予定としていたが，NO.１～４までを採取した石垣Ｄ面は，盛土下部に多量の礫を含み，不撹乱の状態で採取することが困難となった。そこでT.P.2.70ｍ以下は，隣のＣ面から採取した。盛土は非常に柔らかかったが，ネイルサンプラーにて不撹乱の状態で採取することができた。

第５－176図　試料採取箇所図（左：Ｃ面・右：Ｄ面）

試験結果

土質試験結果を以下にまとめる。なお，各試験のデータシートは第５－179～283図に添付する。

第５－10表　土質試験結果一覧

		細粒分 (%)	含水比 (%)	間隙比	ρ d (g/cm³)	ρ dmax (g/cm³)	C u (kN/m²)	φ u (°)	C' (kN/m²)	φ' (°)
NO.1	不撹乱	10.9	8.5	0.868	1.408	1.729	57	22.8	6	37.4
	撹乱						43	53.8	0	41.0
NO.2	不撹乱	10.5	7.1	0.845	1.424	1.682	89	31.6	3	42.7
	撹乱						75	43.4	0	39.8
NO.3	不撹乱	13.1	10.5	0.661	1.587	1.816	76	45.3	16	38.9
	撹乱						285	28.3	0	42.4
NO.4	不撹乱	29.4	13.6	0.552	1.703	1.868	181	51.1	50	39.1
	撹乱						186	29.2	0	41.5
NO.5	不撹乱	16.8	9.8	0.519	1.740	1.913	228	34.0	171	22.1
	撹乱						311	64.9	131	34.9
NO.6	不撹乱	24.2	18.4	0.552	1.741	1.947	89	34.0	0	45.6
	撹乱						146	28.0	0	41.2

ρ d：乾燥密度，ρ dmax：最大乾燥密度，C'：粘着力，φ'：せん断抵抗角

掘削勾配

天守台を画する石垣Ｃ～Ｅ面は，いずれの面も足下でハラミが広範囲に生じていることから，T.P.0.6ｍ付近まで解体する予定としていた。天守地下１階の地盤高がT.P.10.4ｍであることから，切土高は約10ｍとなる。日本道路協会の『道路土工，法面工・斜面安定工指針』によると，土質が砂質土で密実な場合，切土高が10ｍ以下の勾配（割）は1:1.0を標準値としている。しかも，切土高5～10ｍの間隔で小段を設ける必要があり，安定した地盤でも大規模な掘削が必要となる。背面盛土は，栗石と同様に裏込め材の一部であり，可能な限り残すことが望ましい。しかし，解体作業に従事する作業員の安全を第一に考え，安全勾配で掘削しなければならない。そこで，解体作業を進めながら常に最新データを基に掘削勾配の見直しを行い，法面の安定を保った上で掘削規模の縮小に努めることとした。

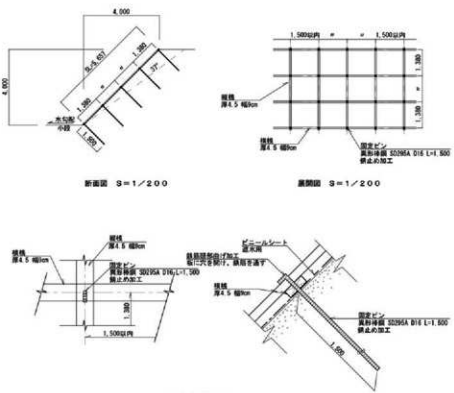
第５－11表　切土法面勾配の基準

地山の土質及び地質		土工指針		標準値
		切土高 (m)	勾配 (割)	
硬岩	硬岩		1:0.3～1:0.8	0.3
	中硬岩			0.5
軟岩	軟岩Ⅱ		1:0.5～1:1.2	0.7
	軟岩Ⅰ			1.0
砂			1:1.5～	1.8
砂質土	密実なもの	5m以下	1:0.8～1:1.0	1.0
		5m～10m	1:1.0～1:1.2	
	密実でないもの	5m以下	1:1.0～1:1.2	1.2
		5m～10m	1:1.2～1:1.5	
砂利又は岩塊混り砂質土	密実なもの又は粒度分布の良いもの	10m以下	1:0.8～1:1.0	1.0
		10m～15m	1:1.0～1:1.2	
	密実でないもの又は粒度分布の悪いもの	10m以下	1:1.0～1:1.2	1.2
		10m～15m	1:1.2～1:1.5	
粘性土等		10m以下	1:0.8～1:1.2	1.2
岩塊又は玉石混りの粘性土		5m以下	1:1.0～1:1.2	1.2
		5m～10m	1:1.2～1:1.5	

設計は，背面盛土を密実なものと想定して，掘削勾配を1:1.0(45度）として中段に幅２ｍの小段を設けた。しかし，天守地下１階直下の盛土は非常に柔らかく，T.P.9.7ｍ付近から採取した試料NO.１の内部摩擦角（安定勾配）は37.4度であった。解体完了から積直しを始めるまでにある程度の時間を要することから，遮水シートで覆うだけで法面の安定を保つには難しい数値であった。それでも盛土下部は，盛土から長期間を経ていることから，それなりの強度を期待した。しかし，その後の土質試験結果も数値が上がらず法面安定化の対応に迫られた。

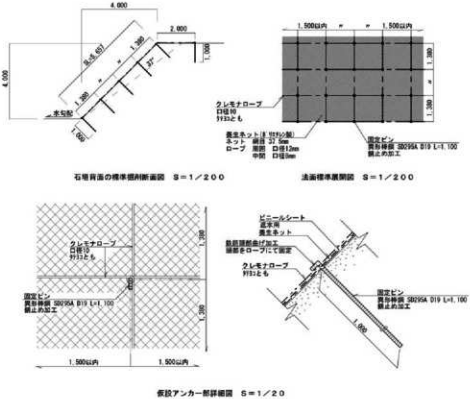
法面安定化

安全勾配まで倒すという選択肢もあったが，可能な限り背面盛土を残すという考え方を尊重して，法面を補強することで安定化を図ることとした。工法を検討する上で，法面に対する影響が少ないこと，背面盛土を行う際に補強材が容易に除去できることを条件とし，２つの工法を考案した。



第５－177図　木枠養生案

第５－177図の工法は，切土法面を遮水シートで覆い，1.5ｍ間隔の格子状に組んだ木枠でシートを押さえる。木枠の交点に錆止め加工した鉄筋棒（φ16mm・異形棒鋼）を法面が安定する深さまで打ち込むものである。



第５－178図　ネット養生案

第５－178図の工法は，切土法面を遮水シートで覆い，ポリエチレン製のネットで押さえる。1.5ｍ間隔で錆止め加工した鉄筋棒（φ16mm・異形棒鋼）を法面が安定する深さまで打ち込み，ロープにて鉄筋棒の頭部を格子状に連結するもの。本丸南西隅にある地久櫓台石垣の背面盛土に施し，成果を上げている。

両案とも法面への影響を考慮して鉄筋棒（以降「固定ピン」とする）の径を細くしたため，打ち込みによる地盤の締固めは望めない。しかし，固定ピンを連結することで，背面盛土の拘束一体化が期待できる。砂質土層に対して杭を打ち込み地盤の一体化を図る場合，1.4ｍ間隔が最も効果的であることが土木工学における研究で証明されている。２案を比較した場合，後者は前者に比べて施工性が優れている。しかし，固定ピンをロープで連結していることから，張力（杭の間隔が開くときに生じる）が働いた場合に一体化が維持できる。もっとも，格子状にロープを張ることから，逆の収縮の場合でも多少の一体化は期待できる。これに対して前者は，木材で連結していることから，張力と収縮のいずれにも適応する。今回は地久櫓台よりも規模が大きく，掘削後の切土法面が多面体となることから，法面の安定をより確実なものとするため木枠養生案を採用した。

岩石の試験結果一覧表

報告用紙

調査件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験						
採取場所							
試験期間		平成20年4月3日			整理者	福角 健	
孔番号・試料番号		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
岩種							
岩石名							
真比重	Gs						
密度・吸水率・有効間隙率・飽和度	自然状態の密度 Gnat						
	乾燥状態の密度 Gdat						
	飽和状態の密度 Gdy						
	含水比 %						
	吸水率 %						
	有効間隙率 %						
	飽和度 %						
超音波伝播速度	状態						
	密度 ρ (g/cm³)						
	P波速度 Vp (km/sec)						
	S波速度 Vs (km/sec)						
	動ポアソン比 μo						
	動弾性係数 Eo (MN/m²)						
圧縮試験	状態	自然状態	自然状態	自然状態	自然状態	自然状態	自然状態
	密度 ρ (g/cm³)	2.613	2.583	2.819	2.897	2.598	2.726
	圧縮強度 σc (MN/m²)	112	64.0	112	302	159	137
	静弾性係数 Es (MN/m²)	4.36E+04	1.32E+04	1.01E+05	9.68E+04	3.67E+04	1.50E+05
	静ポアソン比 μs	0.256	0.359	0.275	0.278	0.330	0.231
引張試験	状態						
	密度 ρ (g/cm³)						
	圧裂引張強度 σt (MN/m²)						
ゼイ性度							
スレーキング率 (%)							
乾湿繰返し吸水率 (%)							
備考							

第５－179図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（1）

JIS M 0302　岩石の一軸圧縮試験

報告用紙

調査件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験		
採取場所			
試験年月日	平成20年4月3日	試験者	梅本 学
試験機形式	関西機器製作所		

孔番号・試料番号	No.1	No.2	No.3
岩種			
供試体状態	自然状態	自然状態	自然状態
直径 d (cm)	5.10	5.09	5.11
断面積 As (cm²)	20.43	20.35	20.51
高さ H (cm)	10.00	9.96	9.86
体積 V (cm³)	204.28	202.67	202.21
質量 W (g)	533.72	523.43	569.94
密度 ρ (g/cm³)	2.613	2.583	2.819
破壊荷重 Po (MN)	2.29E-01	1.30E-01	2.29E-01
圧縮強度 σc (MN/m²)	112	64.0	112
採用歪量 ε (×10⁻⁶)	657.4	1577.1	405.4
採用強度 σ (MN/m²)	28.7	20.9	41.1
静弾性係数 Es (MN/m²)	4.36E+04	1.32E+04	1.01E+05
採用縦歪 ε1 (×10⁻⁶)	657.4	1577.1	405.4
採用横歪 ε2 (×10⁻⁶)	168.3	568.7	111.4
静ポアソン比 μs	0.256	0.359	0.275
破壊状態のスケッチ			
備考			

第５－180図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（2）

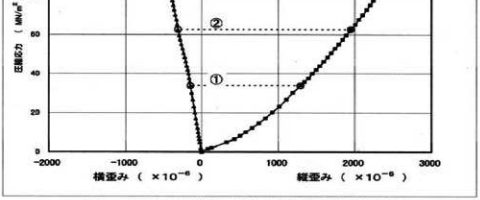
JIS M 0302	岩石の一軸圧縮試験		報告用紙
調査件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験		
採取場所			
試験年月日	平成20年4月3日	試験者	梅本 学
試験機形式	岡西機器製作所		
孔番号・試料番号	No.4	No.5	No.6
深度			
供試体状態	自然状態	自然状態	自然状態
直径 d (cm)	5.10	5.09	5.10
断面積 As (cm²)	20.43	20.35	20.43
高さ H (cm)	10.05	10.06	10.04
体積 V (cm³)	205.30	204.70	205.10
質量 W (g)	594.79	531.89	559.10
密度 ρ (g/cm³)	2.897	2.598	2.726
破壊荷重 Pc (MN)	6.16E-01	3.24E-01	2.79E-01
圧縮強度 σc (MN/m²)	302	159	137
採用歪量 ε (×10⁻⁶)	1268.1	1407.1	334.0
採用強度 σ (MN/m²)	123	51.7	50.0
静弾性係数 Es (MN/m²)	9.68E+04	3.67E+04	1.50E+05
採用縦歪 ε1 (×10⁻⁶)	1268.1	1407.1	334.0
採用横歪 ε2 (×10⁻⁶)	352.6	464.8	77.2
静ポアソン比 μs	0.278	0.330	0.231
破壊状態のスケッチ			
備考	粉砕		粉砕

第５－181図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（3）

件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験							
試料番号	No.1			直径(cm)	5.10	高さ(cm)	10.00	
断面積(cm²)	20.43	質量 (g)	533.72	破壊荷重(MN)	2.29E-01	圧縮応力(MN/m²)	112	
No.	荷重 MN	応力 MN/m²	縦歪み ×10⁻⁶	横歪み ×10⁻⁶	横歪み1 ×10⁻⁶	横歪み2 ×10⁻⁶	横歪み1 ×10⁻⁶	横歪み2 ×10⁻⁶
1	0.00E+00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3.08E-03	1.51	78.9	−8.2	15.0	142.8	−0.8	−15.5
3	4.11E-03	2.01	129.1	−10.6	23.0	235.2	−1.1	−20.1
4	9.94E-03	4.86	324.6	−21.9	81.0	568.2	−2.6	−41.1
5	1.34E-02	6.54	428.4	−27.8	138.0	718.9	−3.9	−51.7
6	1.68E-02	8.22	501.5	−34.9	195.0	808.0	−6.2	−63.5
7	2.06E-02	10.1	577.6	−43.5	265.0	890.3	−9.3	−77.7
8	2.50E-02	12.2	663.6	−52.4	349.0	978.3	−13.0	−91.9
9	2.98E-02	14.6	750.5	−62.5	441.0	1060.0	−17.2	−107.9
10	3.49E-02	17.1	835.3	−73.5	534.0	1136.6	−21.7	−125.3
11	4.11E-02	20.1	924.4	−85.9	635.0	1213.7	−26.2	−143.5
12	4.73E-02	23.1	1016.2	−98.9	749.0	1283.4	−35.2	−162.7
13	5.45E-02	26.7	1110.9	−113.5	868.0	1353.7	−44.1	−182.9
14	6.17E-02	30.2	1194.6	−128.0	971.4	1417.7	−52.5	−203.4
① 15	6.92E-02	33.9	1294.2	−144.2	1101.0	1487.4	−61.7	−226.7
16	7.30E-02	35.7	1344.8	−152.5	1169.5	1520.0	−66.4	−238.8
17	7.67E-02	37.6	1395.8	−161.2	1239.1	1552.6	−71.5	−251.9
18	8.15E-02	39.9	1444.7	−171.6	1304.8	1584.6	−75.0	−264.2
19	8.57E-02	41.9	1495.4	−182.1	1374.3	1618.6	−80.7	−277.5
20	8.98E-02	43.9	1544.4	−194.0	1441.9	1648.9	−97.2	−290.7
21	9.42E-02	46.1	1594.4	−207.2	1510.5	1678.3	−109.6	−304.9
22	9.87E-02	48.3	1643.3	−221.0	1578.1	1708.6	−122.9	−319.1
23	1.03E-01	50.5	1692.9	−235.2	1645.7	1740.0	−136.2	−334.2
24	1.08E-01	52.8	1742.8	−250.6	1712.4	1773.1	−150.5	−350.6
25	1.12E-01	55.0	1791.5	−265.9	1776.2	1805.9	−163.8	−368.0
26	1.17E-01	57.4	1840.0	−282.7	1840.0	1840.0	−178.1	−387.2
27	1.22E-01	59.5	1888.2	−296.4	1903.8	1872.6	−193.4	−399.4
28	1.26E-01	61.7	1936.9	−306.8	1974.3	1899.6	−203.7	−409.9
② 29	1.29E-01	62.6	1951.6	−312.5	1994.0	1909.1	−207.8	−417.1
30	1.33E-01	65.1	2008.6	−322.9	2077.2	1940.0	−220.0	−425.8
31	1.38E-01	67.6	2054.9	−334.5	2140.0	1969.7	−232.2	−436.8
32	1.43E-01	69.9	2105.0	−349.0	2210.0	2000.0	−248.2	−449.8
33	1.48E-01	72.6	2157.9	−362.9	2289.0	2028.9	−263.5	−462.2
34	1.53E-01	75.0	2200.7	−375.3	2346.0	2055.4	−278.7	−471.8
35	1.58E-01	77.3	2242.9	−387.1	2403.0	2082.9	−291.3	−482.9
36	1.64E-01	79.7	2282.2	−398.3	2461.0	2103.4	−303.1	−493.4
37	1.67E-01	81.7	2319.8	−410.2	2518.0	2121.6	−314.9	−505.4
38	1.71E-01	83.9	2362.0	−423.8	2579.0	2145.0	−327.4	−520.2
39	1.76E-01	86.4	2405.8	−440.0	2645.0	2166.8	−343.8	−536.2
40	1.82E-01	88.9	2454.9	−457.7	2727.6	2182.2	−358.1	−557.3
41	1.86E-01	91.2	2500.7	−477.2	2795.2	2206.2	−373.4	−581.0
42	1.92E-01	93.9	2544.1	−499.2	2861.0	2227.2	−389.6	−608.9
43	1.97E-01	96.3	2590.3	−526.6	2932.4	2248.2	−407.3	−645.9
44	2.01E-01	98.6	2637.2	−551.8	3007.6	2266.8	−420.6	−683.0
45	2.07E-01	101	2681.3	−580.6	3077.1	2285.4	−437.9	−723.2
46	2.12E-01	104	2728.9	−611.7	3151.4	2306.4	−453.2	−770.3
47	2.17E-01	106	2775.3	−653.6	3228.6	2322.0	−473.4	−833.8
48	2.21E-01	108	2824.0	−698.5	3301.9	2346.0	−497.0	−900.0
49	2.26E-01	111	2872.5	−753.0	3385.7	2359.2	−517.2	−988.8
50	2.29E-01	112	2917.5	−789.5	3457.1	2377.8	−532.5	−1046.4

第５－182図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（4）

JIS M 0302	静弾性係数・ポアソン比測定結果			報告用紙
件　名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験			
試料番号	No.1		試験年月日	平成20年4月3日
採取場所			試 験 者	梅本 学
測定機器	TDS-302,PC-98	ゲージファクター	2.13	使用ゲージ PFG-10-11-1L
供試体状態	自然	採用重量	ε ($\times10^{-6}$)	657.4
供試体直径	d (cm)	5.10	採用応力	σ (MN/m^2)	28.7
断面積	A_0 (cm^2)	20.43	静弾性係数	Es (MN/m^2)	4.36E+04
高　さ	H (cm)	10.00	採用横歪	ε ($\times10^{-6}$)	657.4
体　積	V (cm^3)	204.28	採用横歪	ε ($\times10^{-6}$)	168.3
質　量	W (g)	533.72	静ポアソン比		0.256
密　度	ρ (g/cm^3)	2.613	備　考	①、②を結ぶ直線の傾きより求めた	
破壊荷重	P_0 (MN)	2.29E-01			
圧縮強度	σ_0 (MN/m^2)	112			

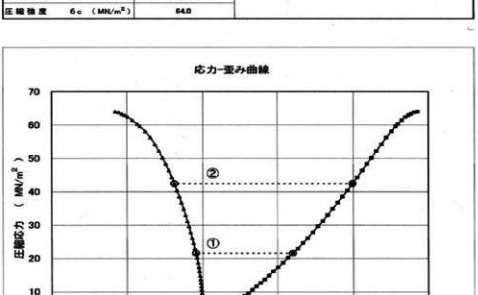


第５－183図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（5）

件　名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験							
試料番号	No.2			直径(cm)	5.09	高さ(cm)	9.96	
断面積(cm²)	20.35	質量 (g)	523.43	破壊荷重(MN)	1.30E−01	圧縮応力(MN/m²)	64.0	
No.	荷重 MN	応力 MN/m²	縦歪み ×10⁻⁶	横歪み ×10⁻⁶	縦歪み1 ×10⁻⁶	縦歪み2 ×10⁻⁶	横歪み1 ×10⁻⁶	横歪み2 ×10⁻⁶
1	0.00E+00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.31E−03	0.65	17.6	−1.0	12.38	22.86	−0.95	−0.95
3	2.74E−03	1.35	195.3	−1.6	209.52	181.00	−1.50	−1.80
4	5.82E−03	2.86	433.5	−3.2	449.06	418.00	−3.20	−3.30
5	8.57E−03	4.21	617.6	−4.7	609.52	625.71	−4.30	−5.10
6	1.03E−02	5.05	721.9	−6.1	695.24	748.57	−5.90	−6.40
7	1.13E−02	5.56	787.1	−7.1	744.76	829.52	−6.90	−7.40
8	1.27E−02	6.23	850.0	−8.3	795.24	904.76	−8.00	−8.80
9	1.40E−02	6.90	927.1	−10.1	857.14	997.15	−9.60	−10.50
10	1.58E−02	7.75	1017.1	−13.6	931.43	1102.86	−11.80	−15.40
11	1.78E−02	8.76	1115.2	−19.4	1012.38	1218.10	−15.50	−23.20
12	1.95E−02	9.60	1214.8	−24.8	1097.15	1332.38	−19.40	−30.20
13	2.16E−02	10.6	1321.4	−32.4	1188.58	1454.29	−25.10	−39.70
14	2.36E−02	11.6	1432.9	−41.2	1286.67	1579.05	−31.80	−50.80
15	2.57E−02	12.6	1544.8	−49.5	1385.72	1703.81	−38.30	−60.80
16	2.78E−02	13.6	1654.8	−59.5	1486.67	1822.86	−46.10	−72.80
17	3.02E−02	14.8	1771.0	−72.9	1594.29	1947.62	−56.10	−89.80
18	3.25E−02	16.2	1889.0	−89.9	1706.67	2071.43	−68.90	−110.80
19	3.53E−02	17.3	2013.3	−105.8	1822.86	2203.81	−82.20	−129.30
20	3.80E−02	18.7	2140.5	−125.3	1946.57	2332.38	−99.20	−151.43
21	4.11E−02	20.2	2273.3	−150.0	2076.19	2470.48	−120.95	−179.05
① 22	4.38E−02	21.6	2403.3	−180.0	2202.86	2603.81	−148.57	−211.43
23	4.66E−02	22.9	2533.8	−211.0	2330.48	2737.14	−177.14	−244.77
24	5.00E−02	24.6	2667.6	−245.2	2460.95	2874.29	−209.52	−280.96
25	5.21E−02	26.1	2798.6	−282.4	2588.57	3008.57	−243.81	−320.96
26	5.65E−02	27.8	2933.3	−321.4	2720.00	3146.67	−280.00	−362.86
27	6.03E−02	29.6	3067.6	−354.8	2850.48	3284.76	−320.00	−409.53
28	6.34E−02	31.2	3196.7	−409.0	2975.24	3418.10	−360.95	−457.15
29	6.72E−02	33.0	3328.5	−456.7	3104.76	3554.29	−404.76	−508.57
30	7.09E−02	34.9	3459.5	−507.1	3231.43	3687.62	−451.43	−562.86
31	7.47E−02	36.7	3591.4	−562.4	3360.00	3822.86	−501.90	−622.86
32	7.85E−02	38.6	3718.6	−618.6	3483.81	3953.33	−553.33	−683.81
33	8.22E−02	40.4	3849.5	−681.0	3612.38	4086.67	−610.47	−751.43
② 34	8.63E−02	42.4	3980.5	−746.7	3739.05	4221.90	−670.47	−822.86
35	9.01E−02	44.3	4106.2	−815.7	3861.81	4350.48	−732.38	−899.05
36	9.42E−02	46.3	4236.2	−890.5	3987.62	4484.76	−799.04	−981.91
37	9.83E−02	48.3	4363.8	−971.0	4112.38	4615.24	−871.43	−1070.47
38	1.02E−01	50.2	4492.4	−1060.0	4238.10	4746.67	−950.47	−1169.52
39	1.06E−01	52.2	4619.0	−1155.2	4362.86	4875.24	−1034.28	−1276.19
40	1.10E−01	54.2	4750.9	−1264.3	4491.43	5010.47	−1129.52	−1399.05
41	1.14E−01	56.2	4881.4	−1382.4	4619.05	5143.81	−1231.42	−1533.33
42	1.18E−01	58.1	5014.3	−1519.0	4744.76	5283.81	−1343.80	−1694.28
43	1.21E−01	59.6	5122.0	−1653.0	4840.00	5404.00	−1454.00	−1852.00
44	1.23E−01	60.3	5183.0	−1726.5	4899.00	5467.00	−1513.00	−1940.00
45	1.25E−01	61.4	5288.0	−1857.5	4982.00	5594.00	−1615.00	−2100.00
46	1.27E−01	62.4	5385.5	−1981.7	5059.00	5712.00	−1713.32	−2250.00
47	1.28E−01	63.0	5469.5	−2059.5	5101.00	5838.00	−1791.00	−2328.00
48	1.29E−01	63.3	5540.5	−2136.5	5148.00	5933.00	−1853.00	−2420.00
49	1.30E−01	63.8	5625.0	−2225.7	5207.00	6043.00	−1940.00	−2511.43
50	1.30E−01	64.0	5714.0	−2314.5	5266.00	6162.00	−2043.00	−2586.00

第５－184図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（6）

JIS M 0302	静弾性係数・静ポアソン比測定結果			報告用紙
件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験			
試料番号	No.2		試験年月日	平成20年4月3日
採取場所			試験者	梅本 学
測定機器	TDS-302,PC-98	ゲージファクター	2.13	使用ゲージ PFC-10-11-1L
供試体状態	自然	採用重量	ε ($\times10^{-6}$)	1577.1
供試体直径	d (cm)	5.09	採用応力	δ (MN/m^2)	20.9
断面積	A_0 (cm^2)	20.35	静弾性係数	Es (MN/m^2)	1.32E+04
高さ	H (cm)	9.96	採用縦歪	ε ($\times10^{-6}$)	1577.1
体積	V (cm^3)	202.67	採用横歪	ε ($\times10^{-6}$)	566.7
質量	W (g)	523.43	静ポアソン比		0.359
密度	ρ (g/cm^3)	2.583	備考	①、②を結ぶ直線の傾きよりまめた	
破壊荷重	P_0 (MN)	1.30E-01			
圧縮強度	δ_0 (MN/m^2)	64.0			



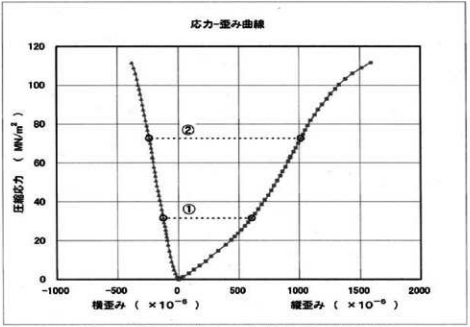
第５－185図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（7）

件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験							
試料番号	No.3				直径(cm)	5.11	高さ(cm)	9.86
断面積(cm^2)	20.51	質量 (g)	569.94	破壊荷重(kN)	2.29E-01	圧縮応力(MN/m^2)		112

No.	荷重 MN	応力 MN/m^2	縦歪み $\times10^{-6}$	横歪み $\times10^{-6}$	縦歪み-1 $\times10^{-6}$	縦歪み-2 $\times10^{-6}$	横歪み-1 $\times10^{-6}$	横歪み-2 $\times10^{-6}$
1	0.00E+00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.71E-03	0.84	8.1	−2.4	−3.8	20.0	1.9	−6.7
3	3.08E-03	1.50	16.7	−7.3	−3.8	37.1	1.0	−15.8
4	6.51E-03	3.17	34.3	−10.5	−15.2	83.8	4.8	−25.7
5	1.03E-02	5.01	51.4	−15.3	−21.9	124.8	7.6	−38.3
6	1.44E-02	7.02	72.9	−17.6	−28.6	174.3	11.4	−46.7
7	1.88E-02	9.19	96.7	−22.4	−30.5	228.8	11.4	−56.2
8	2.43E-02	11.9	122.4	−26.9	−25.7	270.5	11.4	−65.2
9	3.02E-02	14.7	155.4	−31.6	−17.1	328.0	11.4	−74.6
10	3.67E-02	17.9	190.7	−37.0	−7.6	389.0	10.5	−84.5
11	4.18E-02	20.4	218.5	−40.7	1.9	435.0	9.5	−90.9
12	4.52E-02	22.1	187.6	−14.9	−89.5	464.8	65.7	−95.6
13	4.87E-02	23.7	218.1	−20.4	−57.1	493.3	59.0	−99.8
14	5.24E-02	25.6	235.2	−22.4	−51.4	521.9	60.0	−104.8
15	5.65E-02	27.6	252.4	−25.2	−45.7	550.5	60.0	−110.5
16	6.03E-02	29.4	269.0	−28.1	−40.0	578.1	61.0	−117.1
① 17	6.48E-02	31.6	287.8	−31.0	−32.4	607.6	61.9	−123.8
18	6.92E-02	33.8	306.7	−34.8	−21.9	635.2	60.0	−129.5
19	7.40E-02	36.1	327.1	−39.0	−7.6	661.9	58.1	−136.2
20	7.91E-02	38.6	349.0	−44.3	8.6	689.5	54.3	−142.9
21	8.39E-02	40.9	371.2	−50.0	25.7	716.2	50.5	−150.5
22	8.87E-02	43.3	393.8	−56.2	44.8	742.9	45.7	−158.1
23	9.39E-02	45.8	417.8	−62.9	66.7	768.6	39.0	−164.8
24	9.90E-02	48.3	443.3	−70.5	93.3	793.3	32.4	−173.3
25	1.04E-01	50.8	470.0	−78.6	121.9	818.1	22.9	−180.0
26	1.09E-01	53.3	507.7	−88.6	170.5	845.0	7.6	−184.8
27	1.14E-01	55.5	548.1	−101.7	234.3	862.0	−13.3	−190.0
28	1.19E-01	57.9	583.5	−112.3	278.1	889.0	−26.7	−198.0
29	1.24E-01	60.6	617.3	−121.5	326.7	909.0	−40.0	−203.2
30	1.28E-01	62.5	654.9	−132.7	385.7	924.0	−58.1	−207.3
31	1.30E-01	63.2	743.5	−161.0	558.1	929.0	−112.4	−209.6
32	1.35E-01	65.7	795.6	−176.2	635.2	956.0	−138.1	−214.4
33	1.39E-01	67.7	849.8	−196.2	726.7	973.0	−172.4	−220.0
34	1.44E-01	70.2	909.4	−216.3	825.7	993.0	−205.7	−226.9
② 35	1.49E-01	72.7	964.1	−235.7	915.2	1013.0	−236.2	−235.2
36	1.52E-01	74.7	1024.6	−255.8	1016.2	1033.0	−269.5	−242.1
37	1.58E-01	76.9	1097.9	−280.6	1143.8	1052.0	−311.4	−249.7
38	1.62E-01	79.2	1160.8	−301.3	1249.5	1072.0	−346.7	−255.9
39	1.66E-01	81.9	1212.2	−319.0	1328.6	1097.0	−372.4	−265.8
40	1.74E-01	84.7	1268.4	−335.0	1405.7	1131.0	−396.2	−273.9
41	1.79E-01	87.4	1324.3	−353.4	1489.5	1159.0	−423.8	−282.9
42	1.85E-01	90.0	1382.7	−370.0	1572.4	1193.0	−449.5	−290.5
43	1.90E-01	92.9	1446.4	−389.3	1663.8	1229.0	−479.0	−299.5
44	1.96E-01	95.6	1502.4	−406.5	1743.8	1261.0	−503.8	−309.2
45	2.01E-01	98.1	1585.2	−429.7	1870.5	1300.0	−541.9	−317.5
46	2.06E-01	100	1645.5	−447.4	1961.0	1330.0	−567.6	−327.2
47	2.12E-01	103	1711.5	−464.5	2039.0	1384.0	−591.4	−337.5
48	2.18E-01	106	1783.9	−482.4	2123.8	1444.0	−616.2	−348.6
49	2.23E-01	109	1862.7	−502.6	2211.4	1514.0	−641.9	−363.2
50	2.29E-01	112	1960.3	−532.3	2329.5	1591.0	−684.8	−379.8

第５－186図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（8）

JIS M 0302	静弾性係数・静ポアソン比測定結果			報告用紙
件　名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験			
試料番号	No.3		試験年月日	平成20年4月3日
採取場所			試験者	梅本 学
測定機器	TDS-302,PC-98	ゲージファクター 2.13	使用ゲージ	PFC-10-11-1L
供試体状態	自然		採用歪量 ε（×10⁻⁶）	405.4
供試体直径 d（cm）	5.11		採用応力 σ（MN/m²）	41.1
断面積 A_s（cm²）	20.51		静弾性係数 Es（MN/m²）	1.01E+05
高さ H（cm）	9.86		採用縦歪 ε（×10⁻⁶）	405.4
体積 V（cm³）	202.21		採用横歪 ε（×10⁻⁶）	111.4
質量 W（g）	569.94		静ポアソン比	0.275
密度 ρ（g/cm³）	2.819		備考	①、②を結ぶ直線の傾きより求めた
破壊荷重 P_C（MN）	2.29E-01			
圧縮強度 σc（MN/m²）	112			



第５－187図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（９）

件　名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験							
試料番号	No.4			直径(cm)	5.10	高さ(cm)	10.05	
断面積(cm²)	20.43	質量(g)	594.79	破壊荷重(MN)	6.16E-01	圧縮応力(MN/m²)	302	
No.	荷重 MN	応力 MN/m²	縦歪み ×10⁻⁶	横歪み ×10⁻⁶	縦歪み1 ×10⁻⁶	縦歪み2 ×10⁻⁶	横歪み1 ×10⁻⁶	横歪み2 ×10⁻⁶
1	0.00E+00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	2.74E-03	1.34	11.9	−3.9	21.9	1.9	−5.7	−2.0
3	8.22E-03	4.03	36.7	−9.7	45.7	27.6	−11.4	−8.0
4	1.54E-02	7.55	69.0	−18.1	78.1	60.0	−21.0	−15.3
5	3.84E-02	18.8	172.4	−44.6	185.7	159.0	−50.5	−38.7
6	5.21E-02	25.5	234.8	−60.1	248.6	221.0	−67.6	−52.7
7	7.50E-02	36.7	341.9	−88.5	361.9	321.9	−101.0	−76.0
8	8.46E-02	41.4	386.7	−100.8	408.6	364.8	−116.2	−85.3
9	1.03E-01	50.7	481.0	−125.7	506.7	455.2	−146.7	−104.7
10	1.24E-01	60.7	580.5	−152.0	607.6	553.3	−178.1	−126.0
11	1.46E-01	71.3	685.7	−178.6	711.4	660.0	−208.6	−148.7
① 12	1.68E-01	82.2	795.7	−206.8	818.1	773.3	−241.0	−172.7
13	1.91E-01	93.6	910.5	−237.0	928.6	892.4	−275.2	−198.7
14	2.03E-01	99.5	970.0	−252.7	986.7	953.3	−293.3	−212.0
15	2.16E-01	105	1030.0	−267.9	1043.8	1016.2	−310.5	−225.3
16	2.28E-01	112	1091.9	−284.4	1102.9	1081.0	−329.5	−239.3
17	2.41E-01	118	1154.8	−301.0	1162.9	1146.7	−348.6	−253.3
18	2.54E-01	124	1217.6	−317.8	1222.9	1212.4	−367.6	−268.0
19	2.67E-01	131	1281.9	−334.7	1283.8	1280.0	−386.7	−282.7
20	2.80E-01	137	1347.1	−352.3	1344.8	1349.5	−406.7	−298.0
21	2.93E-01	144	1414.8	−370.5	1410.5	1419.1	−427.6	−313.3
22	3.07E-01	150	1481.9	−390.0	1473.3	1490.5	−448.6	−331.3
23	3.20E-01	157	1551.4	−408.4	1538.1	1564.8	−469.5	−347.3
24	3.34E-01	164	1620.5	−428.0	1603.8	1637.1	−491.4	−364.7
25	3.48E-01	171	1691.4	−447.9	1670.5	1712.4	−512.4	−383.3
26	3.62E-01	177	1764.8	−468.6	1739.0	1790.5	−535.2	−402.0
27	3.76E-01	184	1836.2	−490.4	1803.8	1868.6	−558.1	−422.7
28	3.90E-01	191	1909.0	−512.1	1870.5	1947.6	−581.0	−443.3
29	4.04E-01	198	1988.1	−535.5	1941.0	2035.2	−605.7	−465.3
② 30	4.19E-01	205	2063.8	−559.4	2007.6	2120.0	−629.5	−489.3
31	4.33E-01	212	2143.3	−586.0	2078.1	2208.6	−655.2	−516.7
32	4.47E-01	219	2231.4	−610.3	2147.6	2315.2	−680.0	−540.7
33	4.62E-01	226	2310.5	−637.6	2218.1	2402.9	−708.6	−566.7
34	4.77E-01	233	2389.0	−663.8	2287.6	2490.5	−734.3	−593.3
35	4.91E-01	240	2467.6	−689.9	2352.4	2582.9	−759.0	−620.7
36	5.05E-01	247	2537.1	−716.3	2403.8	2670.5	−781.9	−650.7
37	5.20E-01	254	2621.9	−748.7	2480.0	2763.8	−811.4	−686.0
38	5.34E-01	261	2711.0	−783.7	2558.1	2863.8	−844.8	−722.7
39	5.49E-01	269	2804.8	−827.2	2633.3	2976.2	−877.1	−777.3
40	5.63E-01	276	2910.5	−872.1	2708.6	3112.4	−909.5	−834.7
41	5.77E-01	283	3014.0	−918.1	2781.9	3246.2	−942.9	−893.3
42	5.91E-01	289	3110.1	−961.7	2840.0	3380.2	−971.4	−952.0
43	6.05E-01	296	3212.4	−1008.2	2910.5	3514.3	−1005.7	−1010.7
44	6.16E-01	302	3312.7	−1063.2	2977.1	3648.4	−1057.1	−1069.3

第５－188図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（10）

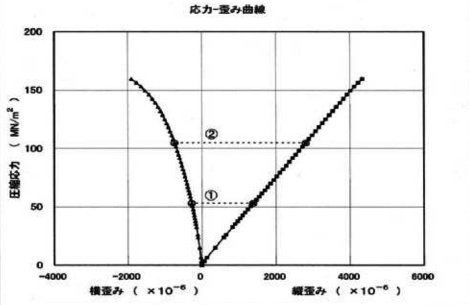
JIS M 0302	静弾性係数・静ポアソン比測定結果				報告用紙
件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験				
試料番号	No.4			試験年月日	平成20年4月2日
採取場所				試験者	梅本 学
測定機器	TDS-302,PO-98	ゲージファクター	2.13	使用ゲージ	PFD-10-11-1L
供試体状態	自然	採用圧量	ε ($\times 10^{-6}$)	1268.1	
供試体直径	d (cm)	5.10	採用応力	σ (MN/m^2)	123
断面積	A_0 (cm^2)	20.43	静弾性係数	Es (MN/m^2)	9.69E+04
高さ	H (cm)	10.05	採用横歪	ε ($\times 10^{-6}$)	1268.1
体積	V (cm^3)	205.30	採用横歪	ε ($\times 10^{-6}$)	352.6
質量	W (g)	584.79	静ポアソン比		0.278
密度	ρ (g/cm^3)	2.897	備考	①、②を結ぶ直線の傾きより求めた	
破壊荷重	P_B (MN)	6.16E-01			
圧縮強度	σ_c (MN/m^2)	302			

第５－１８９図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（11）

件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験								
試料番号	No.5				直径(cm)	5.09	高さ(cm)	10.06	
断面積(cm^2)	20.35	質量 (g)	531.89	破壊荷重(MN)	3.24E-01	圧縮応力(MN/m^2)	159		
No.	荷重 MN	応力 MN/m^2	縦歪み $\times 10^{-6}$	横歪み $\times 10^{-6}$	縦歪み1 $\times 10^{-6}$	縦歪み2 $\times 10^{-6}$	横歪み1 $\times 10^{-6}$	横歪み2 $\times 10^{-6}$	
1	0.00E+00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2	1.03E-03	0.51	7.1	-2.4	7.8	6.7	-2.9	-2.0	
3	6.81E-03	3.25	66.0	-16.7	88.0	44.0	-24.8	-8.7	
4	1.29E-02	6.38	135.5	-27.3	188.0	83.0	-38.0	-16.5	
5	3.06E-02	15.1	366.5	-59.2	500.0	233.0	-78.0	-40.3	
6	4.87E-02	23.9	599.9	-98.6	795.0	404.8	-128.6	-68.6	
7	5.31E-02	26.1	662.3	-109.0	877.0	448.0	-141.0	-77.1	
8	6.65E-02	32.7	838.6	-145.2	1080.0	597.1	-184.8	-105.7	
9	7.16E-02	35.2	903.8	-158.6	1158.2	651.4	-201.0	-116.2	
10	7.64E-02	37.6	970.0	-172.9	1233.3	706.7	-217.1	-128.6	
11	8.15E-02	40.1	1036.7	-187.6	1309.5	763.8	-234.3	-141.0	
12	8.67E-02	42.6	1105.2	-202.4	1386.7	823.8	-251.4	-153.3	
13	9.18E-02	45.1	1175.2	-218.6	1465.7	884.8	-270.5	-166.7	
14	9.73E-02	47.8	1247.8	-235.7	1548.7	948.6	-289.5	-181.9	
15	1.02E-01	50.5	1321.4	-252.9	1627.6	1015.2	-308.6	-197.1	
① 16	1.08E-01	53.0	1393.3	-271.4	1705.7	1081.0	-328.6	-214.3	
17	1.14E-01	55.9	1472.9	-291.0	1792.4	1153.3	-350.5	-231.4	
18	1.19E-01	58.6	1544.8	-311.4	1870.5	1218.1	-372.4	-250.5	
19	1.25E-01	61.5	1622.4	-331.9	1953.3	1291.4	-395.2	-268.6	
20	1.31E-01	64.2	1699.1	-353.8	2035.2	1362.9	-419.0	-288.6	
21	1.36E-01	67.0	1778.8	-376.2	2120.0	1437.1	-443.8	-308.6	
22	1.42E-01	69.9	1857.8	-399.0	2203.8	1511.4	-468.6	-329.5	
23	1.48E-01	72.9	1940.5	-424.3	2291.4	1589.5	-495.2	-353.3	
24	1.55E-01	76.1	2023.8	-450.0	2379.1	1668.6	-523.8	-376.2	
25	1.61E-01	79.1	2107.1	-477.1	2466.7	1747.6	-552.4	-401.9	
26	1.67E-01	82.0	2190.0	-504.8	2553.3	1826.7	-582.9	-426.7	
27	1.73E-01	85.2	2276.2	-534.3	2643.8	1908.6	-615.2	-453.3	
28	1.80E-01	88.4	2360.0	-563.8	2731.4	1988.6	-646.7	-481.0	
29	1.87E-01	91.8	2448.1	-596.2	2823.8	2072.4	-681.9	-510.5	
30	1.93E-01	94.6	2532.9	-627.6	2912.4	2153.3	-716.2	-539.0	
31	1.99E-01	98.0	2621.9	-662.4	3004.8	2238.1	-753.3	-571.4	
32	2.07E-01	102	2712.9	-698.6	3100.0	2325.7	-793.3	-603.8	
② 33	2.16E-01	105	2800.5	-736.2	3191.4	2409.5	-834.3	-638.1	
34	2.20E-01	108	2888.1	-774.3	3281.9	2494.3	-875.2	-673.3	
35	2.26E-01	111	2978.6	-815.7	3376.2	2581.0	-921.0	-710.5	
36	2.34E-01	115	3071.4	-859.5	3473.3	2669.5	-969.5	-749.5	
37	2.41E-01	118	3161.4	-905.2	3566.7	2756.2	-1019.0	-791.4	
38	2.47E-01	122	3254.8	-953.8	3663.8	2845.7	-1072.4	-835.2	
39	2.54E-01	125	3345.2	-1005.2	3758.1	2932.4	-1126.7	-883.8	
40	2.60E-01	129	3441.4	-1060.5	3857.1	3025.7	-1187.6	-933.3	
41	2.69E-01	132	3533.8	-1120.5	3953.3	3114.3	-1250.5	-990.5	
42	2.76E-01	136	3630.0	-1187.1	4054.3	3205.7	-1321.9	-1052.4	
43	2.83E-01	139	3723.8	-1257.1	4152.4	3295.2	-1392.4	-1121.9	
44	2.90E-01	143	3821.9	-1339.0	4255.2	3388.6	-1476.2	-1201.9	
45	2.97E-01	146	3921.4	-1429.0	4360.0	3482.9	-1566.7	-1291.4	
48	3.04E-01	150	4019.5	-1534.3	4463.8	3575.2	-1681.9	-1406.7	
47	3.11E-01	153	4123.3	-1642.7	4574.3	3672.4	-1773.3	-1512.6	
48	3.18E-01	156	4223.8	-1763.9	4673.3	3774.3	-1883.8	-1644.0	
49	3.24E-01	159	4334.8	-1899.4	4797.1	3872.4	-2022.9	-1776.0	

第５－１９０図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（12）

JIS M 0302	静弾性係数・静ポアソン比測定結果			報告用紙
件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験			
試料番号	No.5		試験年月日	平成20年4月3日
採取場所			試験者	楠本 学
測定機器	TDS-302,PC-98	ゲージファクター 2.13	使用ゲージ	PFC-10-11-1L
供試体状態	自然		採用歪量 ε ($\times10^{-6}$)	1407.1
供試体直径 d (cm)	5.09		採用応力 σ (MN/m^2)	51.7
断面積 A_s (cm^2)	20.35		静弾性係数 Es (MN/m^2)	3.67E+04
高さ H (cm)	10.06		採用縦歪 ε ($\times10^{-6}$)	1407.1
体積 V (cm^3)	204.70		採用横歪 ε ($\times10^{-6}$)	464.8
質量 W (g)	531.89		静ポアソン比	0.330
密度 ρ (g/cm^3)	2.598		備考	①、②を結ぶ直線の傾きより求めた
破壊荷重 P_c (MN)	3.24E-01			
圧縮強度 σc (MN/m^2)	159			

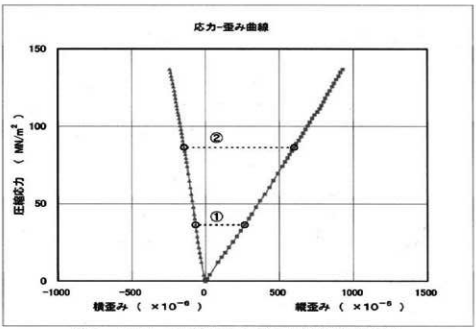


第５－191図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（13）

件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験							
試料番号	No.6			直径(cm)	5.10	高さ(cm)	10.04	
断面積(cm²)	20.43	質量 (g)	559.10	破壊荷重(MN)	2.79E-01	圧縮応力(MN/m²)	137	
No.	荷重 MN	応力 MN/m^2	縦歪み $\times10^{-6}$	横歪み $\times10^{-6}$	縦歪み1 $\times10^{-6}$	縦歪み2 $\times10^{-6}$	横歪み1 $\times10^{-6}$	横歪み2 $\times10^{-6}$
1	0.00E+00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	2.40E-03	1.17	7.4	−3.3	10.0	4.8	−4.8	−1.9
3	3.08E-03	1.51	12.7	−4.8	13.0	12.4	−5.7	−3.8
4	3.43E-03	1.68	10.2	−4.8	10.0	10.5	−6.7	−2.9
5	8.22E-03	4.03	26.9	−9.0	30.0	23.8	−11.4	−6.7
6	2.50E-02	12.2	81.1	−24.0	86.0	76.2	−27.1	−21.0
7	3.15E-02	15.4	102.1	−29.5	109.0	95.2	−34.3	−24.8
8	3.77E-02	18.5	119.8	−33.7	133.0	106.7	−39.8	−27.6
9	4.45E-02	21.8	138.5	−38.1	158.0	119.0	−45.7	−30.5
10	5.17E-02	25.3	159.2	−42.4	186.0	132.4	−51.5	−33.3
11	5.89E-02	28.9	179.4	−46.4	213.0	145.7	−56.7	−36.2
12	6.65E-02	32.5	201.0	−51.6	240.0	161.9	−62.2	−41.0
① 13	7.43E-02	36.4	223.0	−56.7	266.0	180.0	−67.7	−45.7
14	8.26E-02	40.4	248.2	−60.9	294.5	201.9	−73.3	−48.6
15	8.82E-02	43.2	192.4	−46.8	314.4	70.5	−77.4	−16.2
16	9.76E-02	47.8	210.0	−50.2	343.8	76.2	−83.3	−17.1
17	1.06E-01	52.0	227.1	−54.6	372.4	81.9	−90.1	−19.0
18	1.15E-01	56.2	247.1	−58.6	403.8	90.5	−96.2	−21.0
19	1.24E-01	60.5	266.2	−62.9	434.3	98.1	−103.0	−22.9
20	1.33E-01	64.9	283.8	−67.1	461.0	106.7	−109.5	−24.8
21	1.42E-01	69.6	302.9	−71.4	491.4	114.3	−117.1	−25.7
22	1.51E-01	74.1	322.4	−75.2	521.9	122.9	−123.8	−26.7
23	1.58E-01	77.2	348.6	−64.9	541.0	156.2	−128.8	−1.0
24	1.62E-01	79.5	360.4	−66.6	557.0	163.8	−132.2	−1.0
25	1.67E-01	81.8	372.2	−68.7	571.0	173.3	−136.4	−1.0
26	1.72E-01	84.0	383.5	−70.9	586.0	181.0	−140.8	−1.0
② 27	1.76E-01	86.4	395.2	−72.9	600.0	190.5	−144.9	−1.0
28	1.82E-01	88.9	406.0	−75.5	614.0	198.1	−150.0	−1.0
29	1.86E-01	90.9	419.3	−77.6	631.0	207.6	−154.2	−1.0
30	1.90E-01	93.3	434.5	−79.3	648.0	221.0	−157.7	−1.0
31	1.95E-01	95.6	446.2	−81.5	660.0	232.4	−162.1	−1.0
32	2.00E-01	97.9	460.0	−83.6	677.1	242.9	−166.2	−1.0
33	2.05E-01	100	478.5	−85.8	692.2	264.8	−170.7	−1.0
34	2.10E-01	103	491.8	−87.5	706.4	277.1	−174.1	−1.0
35	2.15E-01	105	507.5	−89.5	723.5	291.4	−178.1	−1.0
36	2.19E-01	107	516.1	−92.2	738.0	294.3	−183.4	−1.0
37	2.23E-01	109	540.9	−94.6	757.0	324.8	−188.2	−1.0
38	2.27E-01	111	577.0	−96.5	772.0	381.9	−192.0	−1.0
39	2.32E-01	113	622.0	−98.0	784.0	460.0	−195.1	−1.0
40	2.37E-01	116	649.0	−100.3	798.0	500.0	−199.6	−1.0
41	2.41E-01	118	669.3	−102.5	810.0	528.6	−204.0	−1.0
42	2.47E-01	121	692.0	−104.7	825.0	559.0	−208.5	−1.0
43	2.51E-01	123	714.8	−106.4	840.0	589.5	−211.9	−1.0
44	2.56E-01	126	741.3	−109.0	856.0	626.7	−217.1	−1.0
45	2.61E-01	128	766.9	−111.4	869.0	664.8	−221.9	−1.0
46	2.66E-01	130	795.3	−114.3	884.0	706.7	−227.7	−1.0
47	2.71E-01	132	820.8	−116.5	899.6	741.9	−232.0	−1.0
48	2.75E-01	135	838.8	−119.0	911.9	765.7	−237.0	−1.0
49	2.79E-01	137	865.4	−122.4	928.0	802.9	−243.8	−1.0

第５－192図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（14）

JIS M 0302	静弾性係数・静ポアソン比測定結果			報告用紙
件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験			
試料番号	No.6		試験年月日	平成20年4月3日
採取場所			試験者	梅本 学
測定機器	TDS-302,PO-98	ゲージファクター	2.13	使用ゲージ PFC-10-11-1L
供試体状態	自然	採用歪量	ε (×10⁻⁶)	334.0
供試体直径	d (cm)	5.10	採用応力	σ (MN/m²)	50.0
断面積	A_0 (cm²)	20.43	静弾性係数	Es (MN/m²)	1.50E+05
高さ	H (cm)	10.04	採用横歪	ε (×10⁻⁶)	334.0
体積	V (cm³)	205.10	採用横歪	ε (×10⁻⁶)	77.2
質量	W (g)	559.10	静ポアソン比		0.231
密度	ρ (g/cm³)	2.726	備考	①、②を結ぶ直線の傾きより求めた	
破壊荷重	P_0 (MN)	2.79E-01			
圧縮強度	σc (MN/m²)	137			



第５－193図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（15）

土質試験結果一覧表（材料）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　整理年月日　平成 20年 3月 20日

整理担当者　福角 健

試料番号（深さ）		No.1	不撹乱	撹乱		
物理	湿潤密度 ρ_t g/cm³	1.544				
	乾燥密度 ρ_d g/cm³	1.408				
	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.630				
	自然含水比 w_n %	8.5				
	間隙比 e	0.868				
	飽和度 S_r %	29.1				
粒度	石分（75mm以上） %					
	礫分（2~75mm） %	14.8				
	砂分（0.075~2mm） %	74.3				
	シルト分（0.005~0.075mm） %	4.9				
	粘土分（0.005mm未満） %	6.0				
	最大粒径 mm	53				
	均等係数 U_c	10.8				
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %	NP				
	塑性限界 w_P %	NP				
	塑性指数 I_p					
	コンシステンシー指数 I_c					
分類	地盤材料の分類名	粘性土混じり砂				
	分類記号	(S-CsG)				
締固め	試験方法	A～b				
	最大乾燥密度 ρ_{dm} g/cm³	1.729				
	最適含水比 w_{opt} %	13.9				
CBR	試験方法					
	密度比 r_c %					
	貫入試験用含水比 w_c %					
	平均CBR %					
	修正CBR %					
コーン貫入	突固め回数 回/層					
	コーン指数 q_c kN/m²					
三軸圧縮	試験条件		一面CU	一面CU		
	全応力 c kN/m²		57	43		
	全応力 φ °		22.8	53.8		
	有効応力 c' kN/m²		0	0		
	有効応力 φ' °		37.4	41.6		

特記事項

1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

(社)地盤工学会6162

第５－194図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（16）

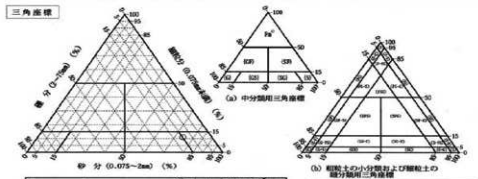
JGS 0051 **地盤材料の工学的分類**

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成 19年 12月 17日

試験者 稲角 健

試料番号 (深さ)	No.1					
石 分(75mm以上) %						
礫 分(2~75mm) %	14.8					
砂 分(0.075~2mm) %	74.3					
細粒分(0.075mm未満) %	10.9					
シルト分(0.005~0.075mm)%	4.9					
粘土分(0.005mm未満) %	6.0					
最大粒径 mm	53					
均等係数 U_c	10.8					
液性限界 w_L %	N P					
塑性限界 w_P %	N P					
塑性指数 I_P	—					
地盤材料の分類名	粘性土質まじり砂					
分類記号	(S-CsG)					
凡例記号	○					

三角座標



特記事項　1) 主に観察と塑性図で判別分類

(社)地盤工学会 6221

第5－195図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（17）

JIS A 1203 / JGS 0121 **土の含水比試験**

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成 19年 12月 12日

試験者 熊谷 恵

試料番号 (深さ)	No.1					
容器 No.	1440	1367	1369			
m_1 g	1212.01	1289.77	1090.93			
m_2 g	1136.10	1213.99	1031.06			
m_r g	294.31	298.17	302.55			
w %	9.0	8.3	8.2			
平均値 w %		8.5				
特記事項						

試料番号 (深さ)						
容器 No.						
m_1 g						
m_2 g						
m_r g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号 (深さ)						
容器 No.						
m_1 g						
m_2 g						
m_r g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号 (深さ)						
容器 No.						
m_1 g						
m_2 g						
m_r g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号 (深さ)						
容器 No.						
m_1 g						
m_2 g						
m_r g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

$w=\frac{m_1-m_2}{m_2-m_r}\times 100$　m_1：(試料＋容器)質量　m_2：(炉乾燥試料＋容器)質量　m_r：容器質量

(社)地盤工学会 6331

第5－196図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（18）

JIS A 1202 / JGS 0111

土粒子の密度試験（測定）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 19年 12月 13日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）	No.1					
ピクノメーター No.	382	383	384			
(試料＋蒸留水＋ピクノメーター)の質量 m_b g	167.676	166.844	171.099			
m_bをはかったときの内容物の温度 T ℃	15.5	15.5	15.5			
T℃における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm³	0.99902	0.99902	0.99902			
温度T℃の蒸留水を満たしたときの(蒸留水＋ピクノメーター)質量 m_a[1] g	150.282	150.277	153.791			
試料の炉乾燥質量　容器 No.	382	383	384			
(炉乾燥試料＋容器)質量 g	73.572	73.643	77.102			
容器質量 g	45.515	46.928	49.192			
m_s g	28.057	26.715	27.910			
土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.629	2.630	2.630			
平均値 ρ_s g/cm³		2.630				
試料番号（深さ）						
ピクノメーター No.						
(試料＋蒸留水＋ピクノメーター)の質量 m_b g						
m_bをはかったときの内容物の温度 T ℃						
T℃における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm³						
温度T℃の蒸留水を満たしたときの(蒸留水＋ピクノメーター)質量 m_a[1] g						
試料の炉乾燥質量　容器 No.						
(炉乾燥試料＋容器)質量 g						
容器質量 g						
m_s g						
土粒子の密度 ρ_s g/cm³						
平均値 ρ_s g/cm³						
試料番号（深さ）						
ピクノメーター No.						
(試料＋蒸留水＋ピクノメーター)の質量 m_b g						
m_bをはかったときの内容物の温度 T ℃						
T℃における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm³						
温度T℃の蒸留水を満たしたときの(蒸留水＋ピクノメーター)質量 m_a[1] g						
試料の炉乾燥質量　容器 No.						
(炉乾燥試料＋容器)質量 g						
容器質量 g						
m_s g						
土粒子の密度 ρ_s g/cm³						
平均値 ρ_s g/cm³						

特記事項

1) ピクノメーターの検定結果から求める。

$$\rho_w = \frac{m_s}{m_s + (m_a - m_b)} \times \rho_w(T)$$

(社)地盤工学会 *6322*

第５－197図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（19）

JIS A 1204 / JGS 0131

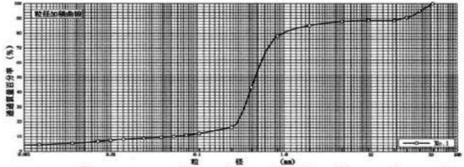
土の粒度試験（粒径加積曲線）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 19年 12月 13日

試験者　熊谷 恵

試料番号(深さ)	No.1			
	粒径 mm	通過質量百分率%	粒径 mm	通過質量百分率%
ふるい分析	75		75	
	53	100.0	53	
	37.5	95.0	37.5	
	26.5	90.6	26.5	
	19	88.8	19	
	9.5	88.8	9.5	
	4.75	88.0	4.75	
	2	85.2	2	
	0.850	78.0	0.850	
	0.425	43.2	0.425	
	0.250	16.2	0.250	
	0.106	12.0	0.106	
	0.075	10.9	0.075	
沈降分析	0.0541	10.1		
	0.0384	9.5		
	0.0243	8.8		
	0.0141	8.1		
	0.0100	7.4		
	0.0071	6.7		
	0.0036	5.5		
	0.0015	4.4		

試料番号（深さ）	No.1	
粗礫分 %	11.2	
中礫分 %	0.8	
細礫分 %	2.8	
粗砂分 %	7.2	
中砂分 %	61.8	
細砂分 %	5.3	
シルト分 %	4.9	
粘土分 %	6.0	
2mmふるい通過質量百分率 %	85.2	
425μmふるい通過質量百分率 %	43.2	
75μmふるい通過質量百分率 %	10.9	
最大粒径 mm	53	
60 % 粒径 D_{60} mm	0.55	
50 % 粒径 D_{50} mm	0.47	
30 % 粒径 D_{30} mm	0.35	
10 % 粒径 D_{10} mm	0.051	
均等係数 U_c	10.8	
曲率係数 U_c'	4.37	
土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.630	
使用した分散剤	ヘキサメタ燐酸ナトリウム	
溶液濃度，溶液添加量	20%，10ml	
20 % 粒径 D_{20} mm	0.29	



粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫

特記事項

(社)地盤工学会 *6343*

第５－198図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（20）

JIS A 1205
JGS 0141

土の液性限界・塑性限界試験（試験結果）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 19年 12月 13日

試　験　者　熊谷 恵

試料番号（深さ）　No.1

液性限界試験		塑性限界試験	塑性限界 w_P %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	NP
			塑性限界 w_P %
			NP
			塑性指数 I_p
			—

試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験	塑性限界 w_P %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
			塑性限界 w_P %
			塑性指数 I_p

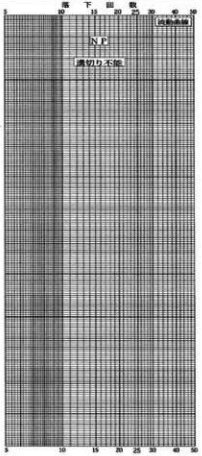
試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験	塑性限界 w_P %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
			塑性限界 w_P %
			塑性指数 I_p

試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験	塑性限界 w_P %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
			塑性限界 w_P %
			塑性指数 I_p

特記事項



（社）地盤工学会 6352

第５－199図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（21）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 19年 12月 12日

試料番号（深さ）　No.1　　試　験　者　橋本 篤

				1	2	3		
供試体		供試体No.						
		供試体の質量 m	g	86.46	87.88	87.53		
	直径	上部	cm	6.00	6.00	6.00		
			cm	6.00	6.00	6.00		
		中部	cm	6.00	6.00	6.00		
			cm	6.00	6.00	6.00		
		下部	cm	6.00	6.00	6.00		
			cm	6.00	6.00	6.00		
		平均値 D	cm	6.00	6.00	6.00		
	高さ		cm	2.00	2.00	2.00		
			cm	2.00	2.00	2.00		
		平均値 H	cm	2.00	2.00	2.00		
	体積	$V=(\pi D^2/4)H$	cm^3	56.55	56.55	56.55		
含水比		容器No.		480	351	296		
		m_1	g	68.66	70.06	73.81		
		m_2	g	64.90	66.43	69.61		
		m_3	g	28.99	28.59	27.28		
		w	%	9.9	9.6	9.9		
		容器No.		279	433	414		
		m_1	g	64.00	71.64	65.90		
		m_2	g	60.77	67.55	61.82		
		m_3	g	27.96	21.20	19.06		
		w	%	9.8	8.8	9.5		
		平均値 w	%	9.9	9.2	9.7		
湿潤密度 $\rho_t=m/V$			g/cm^3	1.529	1.554	1.548		
乾燥密度 $\rho_d=\rho_t/(1+w/100)$			g/cm^3	1.391	1.423	1.411		
間隙比 $e=(\rho_s/\rho_d)-1$				0.891	0.848	0.864		
飽和度 $S_r=w\rho_s/(e\rho_w)$			%	29.2	28.5	29.5		
土粒子の密度 ρ_s			g/cm^3	2.630	平均値 w %	9.6	平均値 ρ_t g/cm³	1.544
平均値 ρ_s			g/cm^3	1.408	平均値 e	0.888	平均値 S_r %	29.1

特記事項

（社）地盤工学会 6381

第５－200図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（22）

JIS A 1210
JGS 0711

突固めによる土の締固め試験（測定）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 19年 12月 14日

試料番号（深さ）No.1　　試験者　寺本 広紀

試験方法		A－b	土質名称	粘性土礫まじり砂（S-CsG）		
試料の準備方法		乾燥法，~~湿潤法~~	ランマー質量 kg	2.5	内径 cm	10.0
試料の使用方法		~~繰返し法~~，非繰返し法	落下高さ cm	30	高さ H° cm	12.73
含水比	試料分取後 w_1 %		突固め回数 回/層	25	容量 V cm^3	1000
	乾燥処理後 w_2 %	7.4	突固め層数 層	3	質量 m_1° g	2404

測定 No.		1	2	3	4
(試料+モールド) 質量 m_1° g		4197	4257	4327	4370
湿潤密度 ρ_1 g/cm^3		1.793	1.853	1.923	1.966
平均含水比 w %		7.4	9.7	11.9	13.7
乾燥密度 ρ_2 g/cm^3		1.669	1.689	1.718	1.729
含水比	容器 No.	1044	1048	1052	1092
	m_1 g	653.17	690.72	635.63	700.49
	m_2 g	616.43	643.62	582.03	631.78
	m_3 g	129.91	132.50	129.77	131.35
	w %	7.6	9.2	11.9	13.7
	容器 No.	1122	1080	1003	1119
	m_1 g	591.23	695.04	624.52	704.30
	m_2 g	559.84	643.27	572.47	635.70
	m_3 g	126.47	131.67	130.80	130.34
	w %	7.2	10.1	11.8	13.6

測定 No.		5	6	7	8
(試料+モールド) 質量 m_1° g		4393	4402		
湿潤密度 ρ_1 g/cm^3		1.989	1.998		
平均含水比 w %		15.4	16.4		
乾燥密度 ρ_2 g/cm^3		1.724	1.716		
含水比	容器 No.	1113	1056		
	m_1 g	696.91	774.07		
	m_2 g	622.48	684.24		
	m_3 g	129.50	131.86		
	w %	15.1	16.3		
	容器 No.	1040	1091		
	m_1 g	763.85	736.00		
	m_2 g	677.80	650.72		
	m_3 g	130.16	130.13		
	w %	15.7	16.4		

特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
2) モールドの質量は底板を含む。

$$\rho_2 = \frac{\rho_1}{1+w/100}$$

(社)地盤工学会 6521

第5－201図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（23）

JIS A 1210
JGS 0711

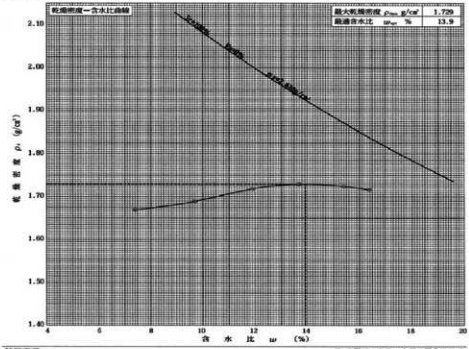
突固めによる土の締固め試験（締固め特性）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 19年 12月 14日

試料番号（深さ）No.1　　試験者　寺本 広紀

試験方法		A－b	土質名称	粘性土礫まじり砂（S-CsG）		
試料の準備方法		乾燥法，~~湿潤法~~	ランマー質量 kg	2.5	土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	2.630
試料の使用方法		~~繰返し法~~，非繰返し法	落下高さ cm	30	試料調製前の最大粒径 mm	
含水比	試料分取後 w_1 %		突固め回数 回/層	25	モールド 内径 cm	10.0
	乾燥処理後 w_2 %	7.4	突固め層数 層	3	高さ H° cm	12.73

測定 No.		1	2	3	4	5	6	7	8
平均含水比 w %		7.4	9.7	11.9	13.7	15.4	16.4		
乾燥密度 ρ_2 g/cm^3		1.669	1.689	1.718	1.729	1.724	1.716		



特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
ゼロ空気間隙曲線の計算式

$$\rho_{max} = \frac{\rho_w}{\rho_w/\rho_s + w/100}$$

(社)地盤工学会 6522

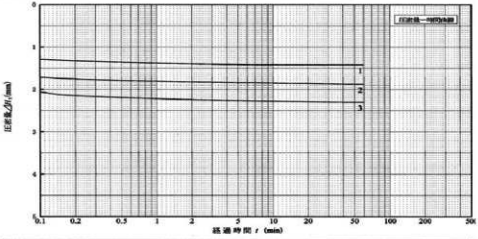
第5－202図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（24）

JGS (0560) 0561　土の圧密 (定体積/定圧)　一面せん断試験（初期状態, 圧密過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成19年12月12日

試料番号（深さ）　No. 1 不撹乱　　試験者　橋本 篤

試料	土質名称	(S-CoG)	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.630	試験機の形式	垂直力の加圧形式 / 垂直力荷重計の位置 / 垂直力載荷装置の位置 / 可動箱 / 可き間の設定方法
	最大粒径 mm	53.000				重錘・レバー式 / 反力板側（加圧板側） / 上面（下面） / 上面（下面） / 下面 / すき間調節ねじ
	状態	(塊状)・非塊状				
供試体	直径 D cm	6.00	断面積 A cm²	28.27		
	作製方法	トリミング				
供試体 No.		1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²		50	100	200		
初期状態	高さ H_c cm	2.00	2.00	2.00		
	湿潤質量 m_c g	86.46	87.88	87.53		
	炉乾燥質量 m_s g	78.67	80.48	79.79		
	含水比 w_c %	9.9	9.2	9.7		
	実質高さ H_s cm	1.06	1.08	1.07		
	湿潤密度 ρ_{ss} g/cm³	1.529	1.554	1.548		
	乾燥密度 ρ_{ss} g/cm³	1.391	1.423	1.411		
	間隙比 e_c	0.887	0.852	0.869		
	飽和度 S_{rc} %	29.4	28.4	29.4		
圧密時間 t_c min		60	60	60		
最終圧密量 ΔH_c cm		0.14	0.19	0.23		
高さ H_c cm		1.86	1.81	1.77		
乾燥密度 ρ_{ss} g/cm³		1.496	1.573	1.594		
間隙比 e_c		0.755	0.676	0.654		



特記事項

$H_c = \frac{m_c}{A\rho_c}$, $e = \frac{H}{H_s} - 1$, $S_{rc} = \frac{w_c \rho_s}{e_c \rho_w}$

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4742

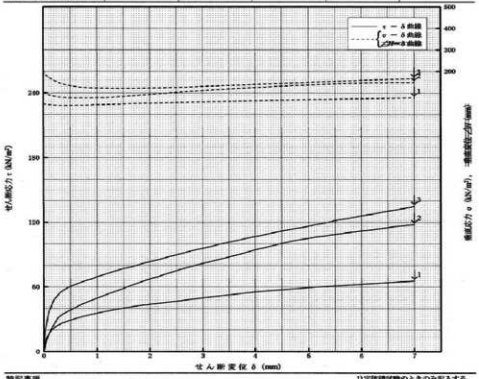
第5－203図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（25）

JGS (0560) 0561　土の圧密 (定体積/定圧)　一面せん断試験（せん断過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成19年12月12日

試料番号（深さ）　No. 1 不撹乱　　試験者　橋本 篤

土質名称		(S-CoG)	最大粒径 mm	53.000	供試体直径 cm	6.00
垂直力荷重計の位置		反力板側（加圧板側）	せん断変位速度 mm/min	0.10	すき間の大きさ mm	0.30
供試体 No.		1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²		50	100	200		
垂直応力 σ_s kN/m²	圧密応力 σ_c kN/m²	66	118	135		
	せん断変位 δ_s mm	7.01	7.00	7.00		
	垂直応力 σ_s kN/m²	76.9	148.3	166.1		
	垂直変位 ΔH_s mm					
垂直変位最大変動幅 mm						
垂直応力最大変動率 %						



特記事項

1) 定体積試験のときのみ記入する。
2) 定圧試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4743

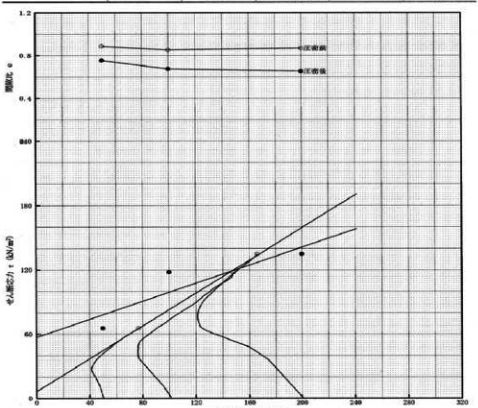
第5－204図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（26）

JGS　0560　土の強度特性　土の圧密定体積一面せん断試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成19年12月12日

試料番号（深さ）　No. 1 不撹乱　　試験者　橋本 篤

強度定数	全応力			有効応力	
応力範囲	c_{cu} kN/m²	ϕ_{cu} °	$\tan\phi_{cu}$	c_1' kN/m²	ϕ_1' °
正規圧密領域					
過圧密領域	57	22.8	0.42	6	37.4



特記事項

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4737

第５－205図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（27）

JGS　0560 / 0561　土の圧密（定体積/定圧）一面せん断試験（初期状態, 圧密過程）

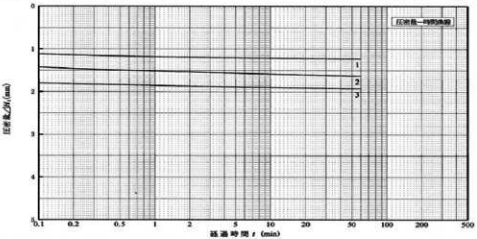
調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月13日

試料番号（深さ）　No. 1 撹乱　　試験者　橋本 篤

試料	土質名称	(S-CsG)	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.630
	最大粒径 mm	53.000		
	状態	塊状（非塊状）		
供試体	底径 D cm	6.00	断面積 A cm²	28.27
	作製方法	静的締固め		

試験機の形式		
垂直力の加圧形式	重錘・レバー式	
垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）	
垂直力載荷装置の位置	上面（下面）	
可動箱	上面（下面）	
すき間の設定方法	すき間調節ねじ	

供試体 No.		1	2	3
圧密応力 σ_c kN/m²		50	100	200
初期状態	高さ H_0 cm	2.00	2.00	2.00
	湿潤質量 m_0 g	87.31	87.31	87.31
	炉乾燥質量 m_s g	79.66	79.66	79.66
	含水比 w_0 %	9.6	9.6	9.6
	実質高さ H_s cm	1.07	1.07	1.07
	湿潤密度 ρ_{t0} g/cm³	1.544	1.544	1.544
	乾燥密度 ρ_{d0} g/cm³	1.409	1.409	1.409
	間隙比 e_0	0.869	0.869	0.869
	飽和度 S_{r0} %	29.1	29.1	29.1
圧密後	圧密時間 t_c min	60	60	60
	最終圧密量 ΔH_c cm	0.12	0.16	0.19
	高さ H_c cm	1.88	1.84	1.81
	乾燥密度 ρ_{d0} g/cm³	1.499	1.531	1.557
	間隙比 e_c	0.757	0.729	0.692



特記事項

$H_s=\frac{m_s}{A\rho_s}$, $e=\frac{H}{H_s}-1$, $S_{r0}=\frac{w_0\rho_s}{e_0\rho_w}$

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4742

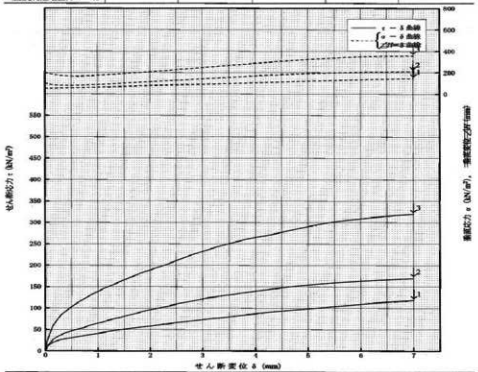
第５－206図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（28）

JGS 0560 0561　土の圧密（定体積/定圧）一面せん断試験（せん断過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月13日

試料番号（深さ）　No. 1　撹乱　　試験者　橋本 篤

土質名称	(S-CsG)	最大粒径 mm	53.000	供試体直径 cm	6.00
垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）	せん断変位速度 mm/min	0.10	すき間の大きさ mm	0.30
供試体No.	1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²	80	100	200		
圧密後せん断応力 τ_f kN/m²	118	170	319		
せん断変位 δ_f mm	7.01	7.00	7.01		
垂直応力 σ_f kN/m²	143.7	210.3	355.8		
間隙水圧変化量 Δu_f mm					
垂直応力最大変動幅 mm					
垂直応力最大変動率 %					



特記事項

1)定体積試験のときのみ記入する。
2)定圧試験のときのみ記入する。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4743

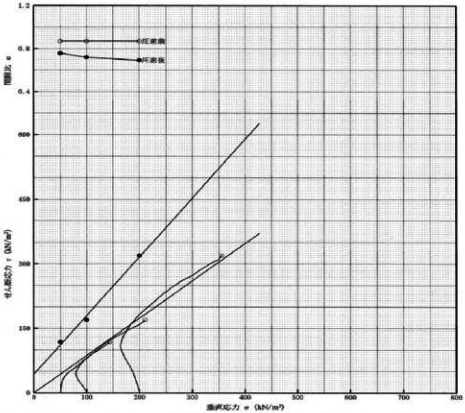
第５－207図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（29）

JGS 0560　土の強度特性　土の圧密定体積一面せん断試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月13日

試料番号（深さ）　No. 1　撹乱　　試験者　橋本 篤

強度定数 / 応力範囲	全応力 c_{cu} kN/m²	全応力 ϕ_{cu} °	有効応力 $\tan\phi_{cu}$	有効応力 c'_i kN/m²	有効応力 ϕ'_i °
正規圧密領域					
過圧密領域	43	53.8	1.36	0	41.9



特記事項

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4757

第５－208図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（30）

土質試験結果一覧表（材料）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　整理年月日　平成 20年 3月 20日

整理担当者　穂角 健

試料番号（深さ）		No.2	不撹乱	撹乱			
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm³	1.556					
	乾燥密度 ρ_d g/cm³	1.424					
	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.627					
	自然含水比 w_n %	7.1					
	間隙比 e	0.845					
	飽和度 S_r %	28.8					
粒度	石分（75mm以上） %						
	礫分（2～75mm） %	9.1					
	砂分（0.075～2mm） %	80.4					
	シルト分（0.005～0.075mm） %	2.7					
	粘土分（0.005mm未満） %	7.8					
	最大粒径 mm	75					
	均等係数 U_c	9.63					
コンシステンシー	液性限界 w_L %	NP					
	塑性限界 w_P %	NP					
	塑性指数 I_P	—					
	コンシステンシー指数 I_c						
分類	地盤材料の分類名	粘性土まじり砂					
	分類記号	(S-CsG)					
締固め	試験方法	A－b					
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm³	1.682					
	最適含水比 w_{opt} %	14.0					
CBR	試験方法						
	膨張比 r_e %						
	貫入試験後含水比 w_{ar} %						
	平均CBR %						
	95%CBR %						
コーン指数	突固め回数 回/層						
	コーン指数 q_c kN/m²						
	試験条件		一面CU	一面CU			
	全応力 c kN/m²		89	175			
	全応力 ϕ °		31.6	43.4			
	有効応力 c' kN/m²		3	0			
	有効応力 ϕ' °		42.7	39.8			

特記事項

1）石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

［1kN/m²=0.0102kgf/cm²］

（社）地盤工学会 6162

第5－209図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（31）

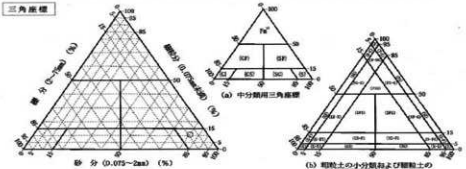
JGS 0051　地盤材料の工学的分類

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 1月 29日

試験者　穂角 健

試料番号（深さ）		No.2					
石分（75mm以上）	%						
礫分（2～75mm）	%	9.1					
砂分（0.075～2mm）	%	80.4					
細粒分（0.075mm未満）	%	10.5					
シルト分（0.005～0.075mm）	%	2.7					
粘土分（0.005mm未満）	%	7.8					
最大粒径	mm	75					
均等係数 U_c		9.63					
液性限界 w_L	%	NP					
塑性限界 w_P	%	NP					
塑性指数 I_P		—					
地盤材料の分類名		粘性土まじり砂					
分類記号		(S-CsG)					
凡例記号		○					

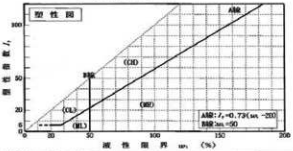
三角座標



(a) 中分類用三角座標

(b) 粗粒土の小分類および細粒土の細分類用三角座標

特記事項　1）主に細粒と塑性図で判別分類



（社）地盤工学会 6221

第5－210図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（32）

JIS A 1203
JGS 0121

土の含水比試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 1月 21日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）	No.2						
容器 No.	1052	1082	1190				
m_1 g	356.88	309.75	315.33				
m_2 g	342.08	297.71	303.09				
m_c g	129.77	130.26	128.51				
w %	7.0	7.2	7.0				
平均値 w %		7.1					
特記事項							

試料番号（深さ）							
容器 No.							
m_1 g							
m_2 g							
m_c g							
w %							
平均値 w %							
特記事項							

試料番号（深さ）							
容器 No.							
m_1 g							
m_2 g							
m_c g							
w %							
平均値 w %							
特記事項							

試料番号（深さ）							
容器 No.							
m_1 g							
m_2 g							
m_c g							
w %							
平均値 w %							
特記事項							

試料番号（深さ）							
容器 No.							
m_1 g							
m_2 g							
m_c g							
w %							
平均値 w %							
特記事項							

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_c} \times 100$$

m_1：(試料＋容器)質量
m_2：(炉乾燥試料＋容器)質量
m_c：容器質量

(社)地盤工学会 *6331*

第5－211図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（33）

JIS A 1202
JGS 0111

土粒子の密度試験（既定）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 1月 22日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）		No.2					
ピクノメーター No.		122	123	124			
(試料＋蒸留水＋ピクノメーター)の質量	m_2 g	177.522	164.961	181.228			
m_2 を量かったときの内容物の温度	T ℃	12.0	12.0	12.0			
T℃における蒸留水の密度	$\rho_w(T)$ g/cm³	0.99949	0.99949	0.99949			
温度T℃の蒸留水をピクノメーターに満たしたときの(蒸留水＋ピクノメーター)質量	m_1 g	156.499	146.089	157.469			
試料の(炉乾燥試料＋容器)質量	容器 No.	122	123	124			
	m_3 g	85.338	77.504	86.033			
炉乾燥質量	容器質量 m_c g	51.432	47.016	47.691			
	m_s g	33.906	30.488	38.342			
土粒子の密度	ρ_s g/cm³	2.630	2.623	2.628			
平均値	ρ_s g/cm³		2.627				
試料番号（深さ）							
ピクノメーター No.							
(試料＋蒸留水＋ピクノメーター)の質量	m_2 g						
m_2 を量かったときの内容物の温度	T ℃						
T℃における蒸留水の密度	$\rho_w(T)$ g/cm³						
温度T℃の蒸留水をピクノメーターに満たしたときの(蒸留水＋ピクノメーター)質量	m_1 g						
試料の(炉乾燥試料＋容器)質量	容器 No.						
	m_3 g						
炉乾燥質量	容器質量 m_c g						
	m_s g						
土粒子の密度	ρ_s g/cm³						
平均値	ρ_s g/cm³						
試料番号（深さ）							
ピクノメーター No.							
(試料＋蒸留水＋ピクノメーター)の質量	m_2 g						
m_2 を量かったときの内容物の温度	T ℃						
T℃における蒸留水の密度	$\rho_w(T)$ g/cm³						
温度T℃の蒸留水をピクノメーターに満たしたときの(蒸留水＋ピクノメーター)質量	m_1 g						
試料の(炉乾燥試料＋容器)質量	容器 No.						
	m_3 g						
炉乾燥質量	容器質量 m_c g						
	m_s g						
土粒子の密度	ρ_s g/cm³						
平均値	ρ_s g/cm³						

特記事項

1) ピクノメーターの検定結果から求める。

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_1 + (m_2 - m_3) \times \rho_w(T)}$$

(社)地盤工学会 *6322*

第5－212図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（34）

JIS A 1204
JGS 0131

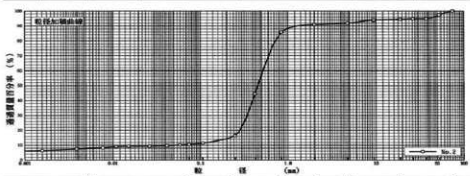
土の粒度試験（粒径加積曲線）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験

試験年月日　平成 20年 1月 22日

試験者　熊谷 恵

試料番号 (深さ)	No.2				試料番号 (深さ)	No.2
ふるい分析	粒径 mm	通過質量百分率%	粒径 mm	通過質量百分率%	粗礫分 %	5.6
	75	100.0	75		中礫分 %	2.5
	53	97.4	53		細礫分 %	1.0
	37.5	94.8	37.5		粗砂分 %	5.0
	26.5	94.8	26.5		中砂分 %	69.4
	19	94.4	19		細砂分 %	6.0
	9.5	93.9	9.5		シルト分 %	2.7
	4.75	91.9	4.75		粘土分 %	7.8
	2	90.9	2		2mmふるい通過質量百分率 %	90.9
	0.850	85.9	0.850		425μmふるい通過質量百分率 %	44.5
	0.425	44.5	0.425		75μmふるい通過質量百分率 %	10.5
	0.250	16.5	0.250		最大粒径 mm	75
	0.106	11.5	0.106		60 % 粒径 D_{60} mm	0.52
	0.075	10.5	0.075		50 % 粒径 D_{50} mm	0.46
比重分析	0.0592	10.2			30 % 粒径 D_{30} mm	0.35
	0.0419	9.6			10 % 粒径 D_{10} mm	0.054
	0.0265	9.3			均等係数 U_c	9.63
	0.0153	9.2			曲率係数 U'_c	4.36
	0.0109	9.0			土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.627
	0.0077	8.3			使用した分散剤	ヘキサメタリン酸ナトリウム
	0.0039	7.5			溶液濃度，溶液添加量	20%，10ml
	0.0016	6.4			20 % 粒径 D_{20} mm	0.28



粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫

特記事項

(社)地盤工学会 S343

第５－213図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（35）

JIS A 1205
JGS 0141

土の液性限界・塑性限界試験（試験結果）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験

試験年月日　平成 20年 1月 21日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）　No.2

液性限界試験 落下回数	液性限界試験 含水比 w_L %	塑性限界試験 含水比 w_P %	液性限界 w_L %	NP
			塑性限界 w_P %	NP
			塑性指数 I_p	—

試料番号（深さ）

液性限界試験 落下回数	液性限界試験 含水比 w_L %	塑性限界試験 含水比 w_P %	液性限界 w_L %	
			塑性限界 w_P %	
			塑性指数 I_p	

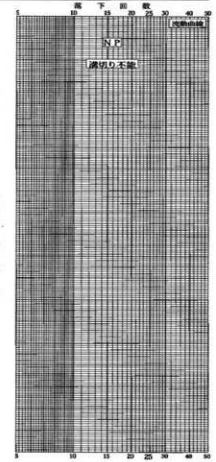
試料番号（深さ）

液性限界試験 落下回数	液性限界試験 含水比 w_L %	塑性限界試験 含水比 w_P %	液性限界 w_L %	
			塑性限界 w_P %	
			塑性指数 I_p	

試料番号（深さ）

液性限界試験 落下回数	液性限界試験 含水比 w_L %	塑性限界試験 含水比 w_P %	液性限界 w_L %	
			塑性限界 w_P %	
			塑性指数 I_p	

特記事項



(社)地盤工学会 S352

第５－214図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（36）

JIS A 1225
JGS D191

土の湿潤密度試験（ノギス法）

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成 20年 1月 30日

試料番号（深さ） No.2　　試験者 橋本 篤

供試体No.				1	2	3		
供試体の質量 m g				89.51	85.77	88.63		
供試体	直径	上部	cm	6.00	6.00	6.00		
			cm	6.00	6.00	6.00		
		中部	cm	6.00	6.00	6.00		
			cm	6.00	6.00	6.00		
		下部	cm	6.00	6.00	6.00		
			cm	6.00	6.00	6.00		
		平均値 β	cm	6.00	6.00	6.00		
	高さ		cm	2.00	2.00	2.00		
			cm	2.00	2.00	2.00		
		平均値 δ	cm	2.00	2.00	2.00		
体積 $V=(\pi\beta^2/4)\delta$ cm^3				56.55	56.55	56.55		
含水比	容器 No.			417	30	483		
	m_c g			69.80	80.32	71.47		
	m_1 g			66.24	75.06	68.11		
	m_2 g			25.79	21.81	30.64		
	w %			9.0	9.9	9.0		
水比	容器 No.			342	146	466		
	m_c g			68.50	75.37	65.55		
	m_1 g			65.02	72.00	62.19		
	m_2 g			27.44	32.96	26.14		
	w %			9.3	8.6	9.3		
	平均値 w %			9.2	9.3	9.2		
湿潤密度 $\rho_t=m/V$ g/cm³				1.583	1.517	1.567		
乾燥密度 $\rho_d=\rho_t/(1+w/100)$ g/cm³				1.450	1.388	1.435		
間隙比 $e=(\rho_s/\rho_d)-1$				0.812	0.893	0.831		
飽和度 $S_r=w\rho_s/(e\rho_w)$ %				29.8	27.4	29.1		
土粒子の密度 ρ_s g/cm³				2.627	平均値 w %	9.2	平均値 ρ_d g/cm³	1.556
平均値 ρ_t g/cm³				1.424	平均値 e	0.845	平均値 S_r %	28.8

特記事項

(社)地盤工学会 6381

第5－215図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（37）

JIS A 1210
JGS 0711

突固めによる土の締固め試験（測定）

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成 20年 1月 18日

試料番号（深さ） No.2　　試験者 寺本 広記

試験方法		A－b	土質名称	粘性土礫まじり砂（S-CsG）		
試料の準備方法	乾燥法，○湿潤法	ランマー質量 kg	2.5	モールド	内径 cm	10.0
試料の使用方法	○繰返し法，非繰返し法	落下高さ cm	30		高さ cm	12.73
含水比	試料分取法 w_1 %	突固め回数 回/層	25		容積 V cm^3	1000
	乾燥粉砕法 w_2 %	5.6	突固め層数 層	3		質量 m_1' g	2403

測定 No.			1	2	3	4
(試料+モールド) 質量 m_2' g			4071	4128	4202	4261
湿潤密度 ρ_t g/cm³			1.668	1.725	1.799	1.858
平均含水比 w %			5.6	7.3	9.3	11.5
乾燥密度 ρ_d g/cm³			1.580	1.608	1.646	1.665
含水比	容器 No.		1044	1091	1054	1100
	m_c	g	772.29	676.93	716.26	683.55
	m_1	g	738.38	639.96	666.19	626.44
	m_2	g	129.91	130.13	128.84	128.99
	w	%	5.6	7.3	9.3	11.5
水比	容器 No.		1007	1107	1048	1113
	m_c	g	778.39	747.42	711.04	741.99
	m_1	g	744.32	705.91	661.74	678.24
	m_2	g	128.83	131.33	132.50	129.50
	w	%	5.5	7.2	9.3	11.8
測定 No.			5	6	7	8
(試料+モールド) 質量 m_2' g			4313	4341		
湿潤密度 ρ_t g/cm³			1.910	1.938		
平均含水比 w %			13.6	15.9		
乾燥密度 ρ_d g/cm³			1.681	1.672		
含水比	容器 No.		1061	1159		
	m_c	g	765.56	817.84		
	m_1	g	688.73	724.06		
	m_2	g	126.85	129.96		
	w	%	13.7	15.8		
水比	容器 No.		1008	1030		
	m_c	g	777.34	842.75		
	m_1	g	700.77	744.77		
	m_2	g	130.39	130.34		
	w	%	13.4	15.9		

特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
2) モールドの質量は底板を含む。

$\rho_t=\frac{\rho_t}{1+w/100}$

(社)地盤工学会 6521

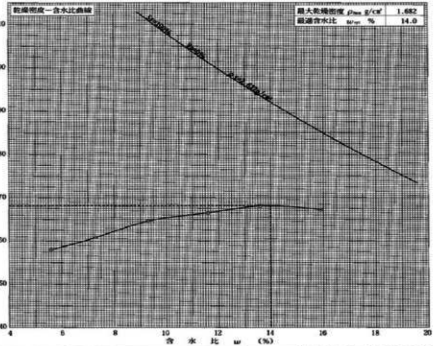
第5－216図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（38）

JIS A 1210 / JGS 0711　**突固めによる土の締固め試験**（締固め特性）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 1月 18日

試料番号（深さ）　No.2　　試験者　寺本 広紀

試験方法	A－b		土質名称		粘性土礫まじり砂（S-CsG）			
試料の準備方法	乾燥法，~~湿潤法~~		ランマー質量 kg		2.5	土粒子の密度 ρ_s g/cm³		2.627
試料の使用方法	~~繰返し法~~，非繰返し法		落下高さ cm		30	試料調製前の最大粒径 mm		
含水比 試料分取後 w_0 %			突固め回数 回/層		25	モールド	内径 cm	10.0
含水比 乾燥処理後 w_1 %	5.6		突固め層数 層		3		高さ[1] cm	12.73
測定 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
平均含水比 w %	5.6	7.3	9.3	11.6	13.6	15.9		
乾燥密度 ρ_d g/cm³	1.580	1.608	1.646	1.665	1.681	1.672		



特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
ゼロ空気間隙曲線の計算式
$\rho_{dsat} = \frac{\rho_w}{\rho_w/\rho_s + w/100}$

（社）地盤工学会 6522

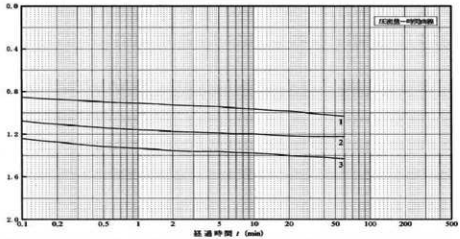
第５－217図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（39）

JGS 0560 / 0561　**土の圧密〔定体積・定圧〕一面せん断試験**（初期状態，圧密過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年1月30日

試料番号（深さ）　No.2 不撹乱　　試験者　橋本 篤

試料 土質名称	(S-CsG)	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.627	試験機の形式 垂直力の加圧形式	重錘・レバー式	
最大粒径 mm	75.000			垂直力荷重計の位置	反力板側・（加圧板側）	
状態	（塊状）・非塊状			垂直力載荷装置の位置	上面・（下面）	
供試体 直径 D cm	6.00	断面積 A cm²	28.27	可動箱	（上箱）・下箱	
作製方法	トリミング			すき間の設定方法	すき間調節ねじ	
供試体 No.	1	2	3			
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200			
初期状態 高さ H_0 cm	2.00	2.00	2.00			
湿潤質量 m_0 g	89.51	85.77	88.63			
炉乾燥質量 m_s g	81.97	78.47	81.16			
含水比 w_0 %	9.2	9.3	9.2			
実質高さ H_s cm	1.10	1.06	1.09			
湿潤密度 ρ_{t0} g/cm³	1.583	1.517	1.568			
乾燥密度 ρ_{d0} g/cm³	1.450	1.388	1.435			
間隙比 e_0	0.818	0.887	0.835			
飽和度 S_{r0} %	29.5	27.5	28.9			
圧密後 圧密時間 t_c min	60	60	60			
最終圧密量 ΔH_c cm	0.10	0.12	0.14			
高さ H_c cm	1.90	1.88	1.86			
乾燥密度 ρ_{dc} g/cm³	1.526	1.476	1.543			
間隙比 e_c	0.727	0.774	0.706			



特記事項

$H_s = \frac{m_s}{A\rho_s}$, $e = \frac{H}{H_s} - 1$, $S_{r0} = \frac{w_0\rho_s}{e_0\rho_w}$

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4742

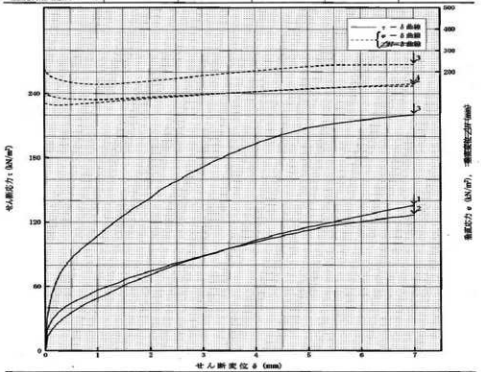
第５－218図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（40）

JGS (0560 / 0561)　土の圧密（定体積）定圧　一面せん断試験（せん断過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年1月30日

試料番号（深さ）　No. 2 不撹乱　　試験者　橋本 篤

土質名称	(S-CsG)	最大粒径 mm	75.000	供試体直径 cm	6.00
垂直力荷重計の位置	圧力板側（加圧板側）	せん断変位速度 mm/min	0.10	すき間の大きさ mm	0.30
供試体 No.	1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200		
せん断力 τ_c 最大	135	126	220		
せん断変位 δ_t mm	7.00	7.00	7.01		
垂直応力 σ_t kN/m²	143.2	133.1	234.4		
垂直変位 ΔH_t mm					
垂直変位最大変動幅 [1] mm					
垂直応力最大変動率 [2] %					



特記事項

1) 定体積試験のときのみ記入する。
2) 定圧試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4743

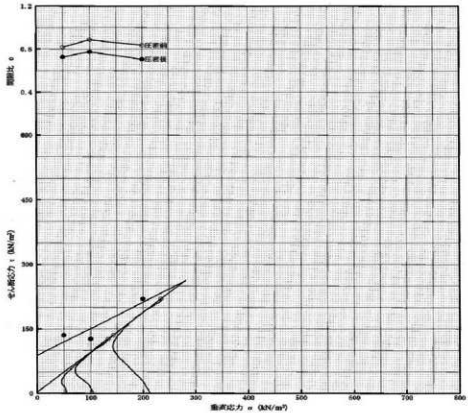
第5－219図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（41）

JGS 0560　土の強度特性　土の圧密定体積一面せん断試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年1月30日

試料番号（深さ）　No. 2 不撹乱　　試験者　橋本 篤

強度定数	全応力			有効応力	
応力範囲	c_{cu} kN/m²	ϕ_{cu} °	$\tan\phi_{cu}$	c'_t kN/m²	ϕ'_t °
正規圧密領域					
過圧密領域					
	89	31.6	0.62	3	42.7



特記事項

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4737

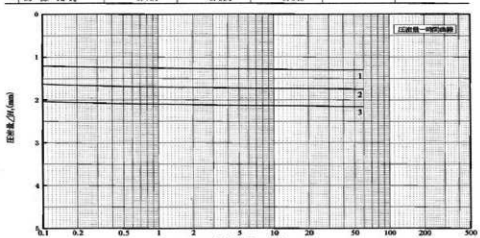
第5－220図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（42）

JGS 0560 0561 土の圧密（定体積/定圧）一面せん断試験（初期状態, 圧密過程）

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成20年3月14日

試料番号（深さ） No. 2 撹乱　　試 験 者 橋本 篤

試料の状態	土質名称	(S-CsG)	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.627	載荷・レバー式	
	最大粒径 mm	75.000			圧力計算（加圧板側）	
	状態	撹乱（作成状）			上部（下部）排水	
	直径 D cm	6.00	断面積 A cm²	28.27	可動 固定（上部）下部	
	作製方法	静的締固め			すき間の設定方法	すき間調節ねじ
供試体No.		1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²		50	100	200		
初期	高さ H_0 cm	2.00	2.00	2.00		
	供試体質量 m_0 g	87.99	87.99	87.99		
	炉乾燥質量 m_s g	80.50	80.50	80.50		
期	含水比 w_0 %	9.3	9.3	9.3		
	含有高さ H_s cm	1.08	1.08	1.08		
状	湿潤密度 ρ_t g/cm³	1.556	1.556	1.556		
	乾燥密度 ρ_d g/cm³	1.424	1.424	1.424		
態	間隙比 e_0	0.852	0.852	0.852		
	飽和度 S_{r0} %	28.7	28.7	28.7		
圧	圧密時間 t_c min	60	60	60		
	最終圧密量 ΔH_c cm	0.13	0.17	0.22		
密	高さ H_c cm	1.87	1.83	1.78		
	乾燥密度 ρ_{dc} g/cm³	1.523	1.556	1.599		
後	間隙比 e_c	0.731	0.694	0.649		



特記事項

$H_s = \frac{m_s}{A\rho_w}$, $e = \frac{H}{H_s} - 1$, $S_r = \frac{w_0 \rho_s}{e_0 \rho_w}$

[kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4742

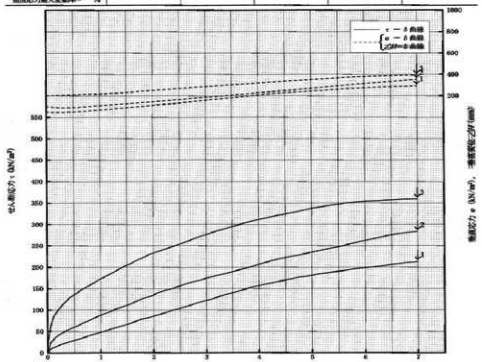
第5－221図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（43）

JGS 0560 0561 土の圧密（定体積/定圧）一面せん断試験（せん断過程）

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成20年3月14日

試料番号（深さ） No. 2 撹乱　　試 験 者 橋本 篤

土質名称		(S-CsG)	最大粒径 mm	75.000	供試体直径 cm	6.00
垂直力荷重計の位置		反力板側（加圧板側）	せん断変位速度 mm/min	0.10	すき間の大きさ mm	0.30
供試体No.		1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²		50	100	200		
最大せん断応力 τ_f kN/m²		213	283	359		
せん断変位 δ_f mm		7.00	7.00	7.00		
最終垂直応力 σ_f kN/m²		293.1	353.1	393.7		
垂直変位 ΔH_f mm						
垂直変位最大変動幅[1] mm						
垂直応力最大変動率[2] %						



特記事項

1) 定体積試験のときのみ記入する。
2) 定圧試験のときのみ記入する。

[kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4743

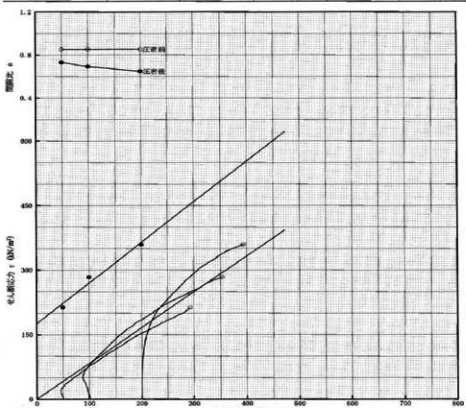
第5－222図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（44）

JGS 0560 土の強度特性 土の圧密定体積一面せん断試験

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成20年3月14日

試料番号（深さ） No.2 攪乱　　試験者 橋本 篤

強度定数	全応力			有効応力	
応力範囲	c_{cu} kN/m²	ϕ_{cu} °	$\tan\phi_{cu}$	c'_1 kN/m²	ϕ'_1 °
正規圧密領域					
過圧密領域					
	175	43.4	0.94	0	39.8



特記事項

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4737

第５－223図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（45）

土質試験結果一覧表（材料）

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　整理年月日 平成 20年 3月 22日

整理担当者 稲角 麗

試料番号（深さ）		No.3	不攪乱	攪乱			
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm³	1.782					
	乾燥密度 ρ_d g/cm³	1.587					
	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.636					
	自然含水比 w_n %	10.5					
	間隙比 e	0.661					
	飽和度 S_r %	49.0					
粒度	石分（75mm以上）%						
	礫分（2～75mm）%	20.5					
	砂分（0.075～2mm）%	66.4					
	シルト分（0.005～0.075mm）%	7.2					
	粘土分（0.005mm未満）%	5.9					
	最大粒径 mm	53					
	均等係数 U_c	25.2					
コンシステンシー指数	液性限界 w_L %	NP					
	塑性限界 w_P %	NP					
	塑性指数 I_p	—					
	コンシステンシー指数 I_c						
分類	地盤材料の分類名	粘性土まじり礫質砂					
	分類記号	(SG-Cs)					
締固め	試験方法	A－b					
	最大乾燥密度 ρ_{max} g/cm³	1.816					
	最適含水比 w_{max} %	12.2					
CBR	試験方法						
	膨張比 r_e %						
	貫入試験後含水比 w_{CBR} %						
	平均CBR %						
	%修正CBR %						
コーン指数	突固め回数 回/層						
	コーン指数 q_c kN/m²						
試験条件			一面CU	一面CU			
	全応力 c kN/m²		76	285			
	全応力 ϕ °		45.3	28.3			
	有効応力 c' kN/m²		16	0			
	有効応力 ϕ' °		38.9	42.4			

特記事項

1）石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

(社)地盤工学会 6162

第５－224図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（46）

JGS 0051

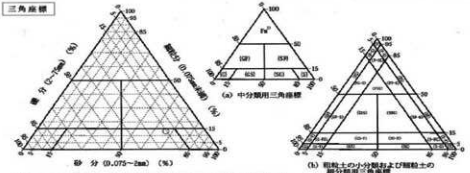
地盤材料の工学的分類

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成 20年 2月 25日

試験者 稲角 健

試料番号（深さ）		No.3						
石分(75mm以上)	%							
礫分(2～75mm)	%	20.5						
砂分(0.075～2mm)	%	66.4						
細粒分(0.075mm未満)	%	13.1						
シルト分(0.005～0.075mm)	%	7.2						
粘土分(0.005mm未満)	%	5.9						
最大粒径	mm	53						
均等係数 U_c		25.2						
液性限界 w_L	%	N.P						
塑性限界 w_P	%	N.P						
塑性指数 I_p								
地盤材料の分類名		粘性土まじり礫質砂						
分類記号		(SC-Cs)						
凡例記号		○						

三角座標



特記事項　1) 主に観察と塑性図で判別分類

(社)地盤工学会 *6221*

第５－225図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（47）

JIS A 1203
JGS 0121

土の含水比試験

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成 20年 2月 16日

試験者 熊谷 恵

試料番号（深さ）		No.3						
容器 No.		1439	1380	1372				
m_c	g	1224.65	1325.72	1476.20				
m_a	g	1143.41	1223.58	1360.68				
m_w	g	297.48	301.72	302.69				
w	%	9.6	11.1	10.9				
平均値 w	%		10.5					
特記事項								
試料番号（深さ）								
容器 No.								
m_c	g							
m_a	g							
m_w	g							
w	%							
平均値 w	%							
特記事項								
試料番号（深さ）								
容器 No.								
m_c	g							
m_a	g							
m_w	g							
w	%							
平均値 w	%							
特記事項								
試料番号（深さ）								
容器 No.								
m_c	g							
m_a	g							
m_w	g							
w	%							
平均値 w	%							
特記事項								
試料番号（深さ）								
容器 No.								
m_c	g							
m_a	g							
m_w	g							
w	%							
平均値 w	%							
特記事項								

$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \times 100$　m_1：(試料＋容器)質量
m_2：(炉乾燥試料＋容器)質量
m_3：容器質量

(社)地盤工学会 *6321*

第５－226図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（48）

JIS A 1202 / JGS 0111

土粒子の密度試験（測定）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 2月 18日

試験者　熊谷 惠

項目						
試料番号（深さ）	No.3					
ピクノメーター No.	25	97	27			
(試料＋蒸留水＋ピクノメーター)の質量 m_b g	171.046	175.041	176.730			
m_bをはかったときの内容物の温度 T ℃	12.0	12.0	12.0			
T℃における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm³	0.99949	0.99949	0.99949			
温度T℃の蒸留水を満たしたときの(蒸留水＋ピクノメーター)質量 m_a g	152.825	155.336	154.210			
試料の炉乾燥質量　容器 No.	25	97	27			
(炉乾燥試料＋容器)質量 g	77.982	81.154	83.206			
容器質量 g	48.632	49.444	46.906			
m_s g	29.350	31.710	36.300			
土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.636	2.640	2.633			
平均値 ρ_s g/cm³		2.636				
試料番号（深さ）						
ピクノメーター No.						
(試料＋蒸留水＋ピクノメーター)の質量 m_b g						
m_bをはかったときの内容物の温度 T ℃						
T℃における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm³						
温度T℃の蒸留水を満たしたときの(蒸留水＋ピクノメーター)質量 m_a g						
試料の炉乾燥質量　容器 No.						
(炉乾燥試料＋容器)質量 g						
容器質量 g						
m_s g						
土粒子の密度 ρ_s g/cm³						
平均値 ρ_s g/cm³						
試料番号（深さ）						
ピクノメーター No.						
(試料＋蒸留水＋ピクノメーター)の質量 m_b g						
m_bをはかったときの内容物の温度 T ℃						
T℃における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm³						
温度T℃の蒸留水を満たしたときの(蒸留水＋ピクノメーター)質量 m_a g						
試料の炉乾燥質量　容器 No.						
(炉乾燥試料＋容器)質量 g						
容器質量 g						
m_s g						
土粒子の密度 ρ_s g/cm³						
平均値 ρ_s g/cm³						

特記事項

1) ピクノメーターの検定結果から求める。

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + (m_a - m_b)} \times \rho_w(T)$$

(社)地盤工学会 6322

第5－227図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（49）

JIS A 1204 / JGS 0131

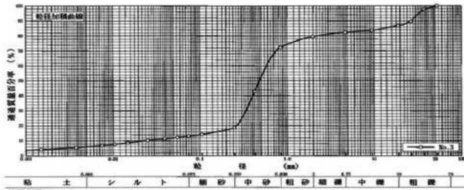
土の粒度試験（粒径加積曲線）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 2月 18日

試験者　熊谷 惠

試料番号（深さ）	No.3			
	粒径 mm	通過質量百分率%	粒径 mm	通過質量百分率%
ふるい分析	75		75	
	53	100.0	53	
	37.5	97.8	37.5	
	26.5	89.5	26.5	
	19	86.8	19	
	9.5	83.6	9.5	
	4.75	82.3	4.75	
	2	79.5	2	
	0.850	72.3	0.850	
	0.425	42.9	0.425	
	0.250	18.8	0.250	
	0.106	14.3	0.106	
	0.075	13.1	0.075	
沈降分析	0.0560	12.3		
	0.0398	11.4		
	0.0253	10.3		
	0.0148	8.7		
	0.0105	7.7		
	0.0075	6.8		
	0.0038	5.4		
	0.0015	4.1		

試料番号（深さ）	No.3	
粗礫分 %	13.2	
中礫分 %	4.5	
細礫分 %	2.8	
粗砂分 %	7.2	
中砂分 %	53.5	
細砂分 %	5.7	
シルト分 %	7.2	
粘土分 %	5.9	
2mmふるい通過質量百分率 %	79.5	
425μmふるい通過質量百分率 %	42.9	
75μmふるい通過質量百分率 %	13.1	
最大粒径 mm	53	
60 % 粒径 D_{60} mm	0.58	
50 % 粒径 D_{50} mm	0.48	
30 % 粒径 D_{30} mm	0.34	
10 % 粒径 D_{10} mm	0.023	
均等係数 U_c	25.2	
曲率係数 U_c'	8.67	
土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.636	
使用した分散剤	ヘキサメタ燐酸ナトリウム	
溶液濃度, 溶液添加量	20%, 10ml	
20 % 粒径 D_{20} mm	0.26	



特記事項

(社)地盤工学会 6343

第5－228図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（50）

JIS A 1205
JGS 0141

土の液性限界・塑性限界試験（試験結果）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 2月 25日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）　No.3

液性限界試験		塑性限界試験	液性限界 w_L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	N P
			塑性限界 w_P %
			N P
			塑性指数 I_P
			—

試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験	液性限界 w_L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
			塑性限界 w_P %
			塑性指数 I_P

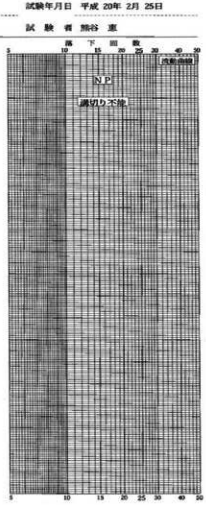
試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験	液性限界 w_L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
			塑性限界 w_P %
			塑性指数 I_P

試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験	液性限界 w_L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
			塑性限界 w_P %
			塑性指数 I_P

特記事項



(社)地盤工学会 6352

第５－229図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（51）

JIS A 1225
JGS 0191

土の湿潤密度試験（ノギス法）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 1月 30日

試料番号（深さ）　No.3　　試験者　橋本 篤

供試体 No.				1	2	3		
供試体の質量 m g				102.59	99.52	100.25		
供試体寸法	直径	上部	cm	6.00	6.00	6.00		
			cm	6.00	6.00	6.00		
		中部	cm	6.00	6.00	6.00		
			cm	6.00	6.00	6.00		
		下部	cm	6.00	6.00	6.00		
			cm	6.00	6.00	6.00		
		平均値 D	cm	6.00	6.00	6.00		
	高さ		cm	2.00	2.00	2.00		
			cm	2.00	2.00	2.00		
		平均値 H	cm	2.00	2.00	2.00		
	体積 $V=(\pi D^2/4)H$ cm³			56.55	56.55	56.55		
含水比	容器 No.			345	364	108		
		m_1	g	72.77	68.21	69.26		
		m_2	g	68.12	62.67	63.75		
		m_3	g	27.05	20.57	20.01		
		w	%	11.3	13.2	12.6		
比重	容器 No.			328	15	325		
		m_1	g	68.36	72.22	84.63		
		m_2	g	64.36	66.56	78.74		
		m_3	g	28.49	21.52	32.63		
		w	%	11.2	12.6	12.8		
	平均値 w		%	11.3	12.9	12.7		
湿潤密度 $\rho_t=m/V$ g/cm³				1.814	1.760	1.773		
乾燥密度 $\rho_d=\rho_t/(1+w/100)$ g/cm³				1.630	1.559	1.573		
間隙比 $e=(\rho_s/\rho_d)-1$				0.617	0.691	0.676		
飽和度 $S_r=w\rho_s/(e\rho_w)$ %				48.3	49.2	49.5		
土粒子の密度 ρ_s g/cm³				2.636	平均値 w %	12.3	平均値 ρ_t g/cm³	1.782
平均値 ρ_d g/cm³				1.587	平均値 e	0.661	平均値 S_r %	49.0

特記事項

(社)地盤工学会 6361

第５－230図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（52）

JIS A 1210
JGS 0711

突固めによる土の締固め試験（測定）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 2月 15日

試料番号（探さ）No.3　　試 験 者　寺本 広記

試験方法		A－b	土質名称		粘性土まじり礫質砂（SG-Cs）			
試料の準備方法		乾燥法，○湿潤法	ランマー質量 kg		2.5	モールド	内径 cm	10.0
試料の使用方法		○繰返し法，非繰返し法	落下高さ cm		30		高さ cm	12.73
含水比	試料分取後 w_1, %		突固め回数 回/層		25		容量 F cm³	1000
	乾燥処理後 w_1, %	7.5	突固め層数 層		3		質量 m_1' g	2403
測定 No.		1	2		3		4	
(容器+モールド) 質量 m_2' g		4253	4353		4421		4454	
湿潤密度 ρ_t g/cm³		1.850	1.950		2.018		2.051	
平均含水比 w %		7.5	9.4		11.3		13.2	
乾燥密度 ρ_d g/cm³		1.721	1.782		1.813		1.812	
含水比	容器 No.	1088	1147		1109		1017	
	m_a g	569.10	524.38		604.14		719.04	
	m_b g	538.31	489.99		554.53		650.14	
	m_w g	127.55	128.56		131.13		131.52	
	w %	7.5	9.5		11.7		13.3	
比重	容器 No.	1071	1191		1095		1156	
	m_a g	618.53	597.01		640.85		590.29	
	m_b g	584.60	557.50		590.54		537.27	
	m_w g	126.58	131.40		130.82		128.97	
	w %	7.4	9.3		10.9		13.0	
測定 No.		5	6		7		8	
(容器+モールド) 質量 m_2' g		4455	4431					
湿潤密度 ρ_t g/cm³		2.052	2.028					
平均含水比 w %		15.5	17.6					
乾燥密度 ρ_d g/cm³		1.777	1.724					
含水比	容器 No.	1100	1096					
	m_a g	701.46	758.72					
	m_b g	623.25	662.01					
	m_w g	128.99	129.95					
	w %	15.8	18.2					
比重	容器 No.	1083	1122					
	m_a g	728.23	640.00					
	m_b g	648.85	565.28					
	m_w g	124.70	126.47					
	w %	15.1	17.0					

特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
2) モールドの質量は底板を含む。

$$\rho_t = \frac{\rho_d}{1+w/100}$$

(社)地盤工学会 6521

第５－231図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（53）

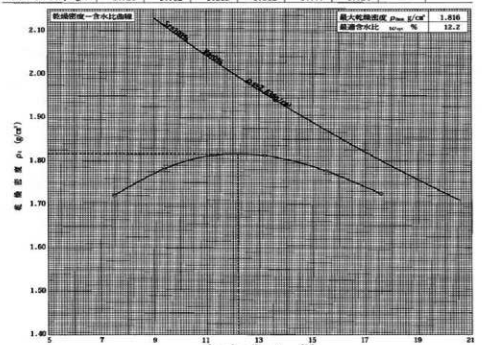
JIS A 1210
JGS 0711

突固めによる土の締固め試験（締固め特性）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 2月 15日

試料番号（探さ）No.3　　試 験 者　寺本 広記

試験方法		A－b	土質名称		粘性土まじり礫質砂（SG-Cs）			
試料の準備方法		乾燥法，○湿潤法	ランマー質量 kg		2.5		土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.636
試料の使用方法		○繰返し法，非繰返し法	落下高さ cm		30		試料調製時の最大粒径 mm	
含水比	試料分取後 w_1, %		突固め回数 回/層		25	モールド	内径 cm	10.0
	乾燥処理後 w_1, %	7.5	突固め層数 層		3		高さ cm	12.73
測定 No.		1	2	3	4	5	6	7	8
平均含水比 w %		7.5	9.4	11.3	13.2	15.5	17.6		
乾燥密度 ρ_d g/cm³		1.721	1.782	1.813	1.812	1.777	1.724		



特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
ゼロ空気間隙曲線の計算式

$$\rho_{dw} = \frac{\rho_w}{\rho_w/\rho_s + w/100}$$

(社)地盤工学会 6522

第５－232図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（54）

JGS (0560) (0561) 土の圧密（定体積）定圧　一面せん断試験（初期状態，圧密過程）

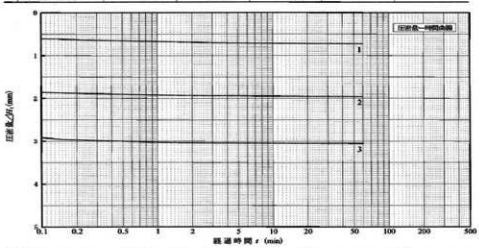
調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年2月1日

試料番号（深さ）　No. 3 不撹乱　　試験者　橋本　篤

試料	土質名称	(SG-Cs)	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.636	試験の形式
	最大粒径 mm	53.000			
	状態	塊状・非塊状			
供試体	直径 D cm	6.00	断面積 A cm²	28.27	
	作製方法	トリミング			

垂直力の加圧形式	重錘・レバー式
垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）
垂直力載荷装置の位置	上面（下面）
可動箱	上箱（下箱）
すき間の設定方法	すき間調節ねじ

供試体 No.	1	2	3
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200
初期状態 高さ H_0 cm	2.00	2.00	2.00
湿潤質量 m_0 g	102.99	99.52	100.25
炉乾燥質量 m_s g	92.17	88.15	88.80
含水比 w_0 %	11.3	12.9	12.9
実質高さ H_s cm	1.24	1.18	1.19
湿潤密度 ρ_{t0} g/cm³	1.814	1.760	1.773
乾燥密度 ρ_{d0} g/cm³	1.630	1.559	1.570
間隙比 e_0	0.613	0.695	0.681
飽和度 S_{r0} %	48.6	48.9	49.9
圧密後 圧密時間 t_c min	60	60	60
最終圧密量 ΔH_c cm	0.07	0.20	0.31
高さ H_c cm	1.93	1.80	1.69
乾燥密度 ρ_{dc} g/cm³	1.689	1.732	1.858
間隙比 e_c	0.556	0.525	0.420



特記事項

$H_c=\frac{m_c}{A\rho_s}$, $e=\frac{H}{H_c}-1$, $S_{r0}=\frac{w_0\rho_s}{e_0\rho_w}$

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4742

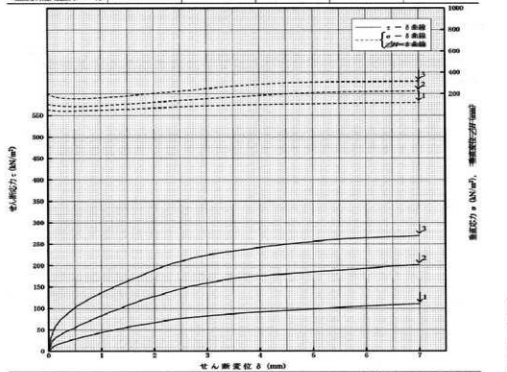
第５－233図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（55）

JGS (0560) (0561) 土の圧密（定体積）定圧　一面せん断試験（せん断過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年2月1日

試料番号（深さ）　No. 3 不撹乱　　試験者　橋本　篤

土質名称	(SG-Cs)	最大粒径 mm	53.000	供試体直径 cm	6.00
垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）	せん断変位速度 mm/min	0.10	すき間の大きさ mm	0.30
供試体 No.	1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200		
せん断力 τ 最大時 τ_{max} 最終時 τ_f 最大時 τ_{max} 最終時 τ_f kN/m²	110	202	270		
せん断変位 δ_f mm	7.01	7.00	7.01		
垂直応力 σ_f kN/m²	119.2	225.5	317.1		
垂直変位 ΔH_f mm					
垂直変位最大変動幅 mm					
垂直応力最大変動率 %					



特記事項

1) 定体積試験のときのみ記入する。
2) 定圧試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4743

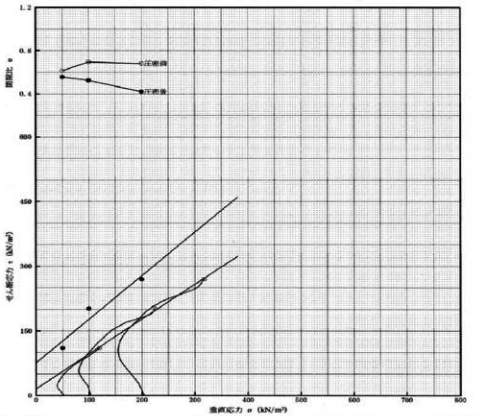
第５－234図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（56）

JGS　0560　土の強度特性　土の圧密定体積一面せん断試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年2月1日

試料番号　(深さ)　No. 3 不撹乱　　試験者　橋本 篤

強度定数	全応力			有効応力	
応力範囲	c_{cu} kN/m²	ϕ_{cu} °	$\tan\phi_{cu}$	c'_1 kN/m²	ϕ'_1 °
正規圧密領域					
過圧密領域	76	45.3	1.01	16	38.9



特記事項

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4737

第5－235図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（57）

JGS　0560 / 0561　土の圧密（定体積,定圧）一面せん断試験（初期状態,圧密過程）

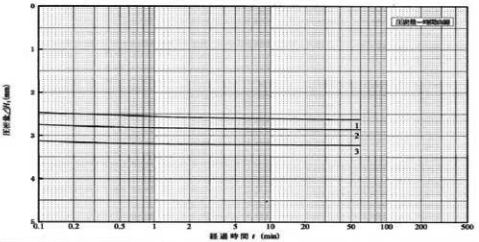
調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月18日

試料番号　(深さ)　No. 3　撹乱　　試験者　橋本 篤

試料	土質名称	(SG-Ca)	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.636	試験機の形式
	最大粒径 mm	53.000			
	状態	撹状（非撹状）			
供試体	直径 D cm	6.00	断面積 A cm²	28.27	
	作製方法	静的締固め			

供試体 No.	1	2	3
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200
初期状態 高さ H_0 cm	2.00	2.00	2.00
初期状態 湿潤質量 m_0 g	100.77	100.77	100.77
初期状態 炉乾燥質量 m_s g	89.65	89.65	89.65
初期状態 含水比 w_0 %	12.4	12.4	12.4
初期状態 実質高さ H_s cm	1.20	1.20	1.20
初期状態 湿潤密度 ρ_{t0} g/cm³	1.782	1.782	1.782
初期状態 乾燥密度 ρ_{ds0} g/cm³	1.585	1.585	1.585
初期状態 間隙比 e_0	0.667	0.667	0.667
初期状態 飽和度 S_{r0} %	49.0	49.0	49.0
圧密後 圧密時間 t_0 min	60	60	60
圧密後 最終圧密量 ΔH_0 cm	0.26	0.29	0.32
圧密後 高さ H_0 cm	1.74	1.71	1.68
圧密後 乾燥密度 ρ_{ds0} g/cm³	1.822	1.854	1.887
圧密後 間隙比 e_0	0.450	0.425	0.400

試験機の形式	
垂直力の加圧形式	重錘・レバー式
垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）
垂直力載荷装置の位置	上面（下面）
可動箱	上面（下箱）
すき間の設定方法	すき間調節ねじ



特記事項

$H_0=\frac{m_0}{A\rho_0}$, $e=\frac{H}{H_0}-1$, $S_{r0}=\frac{w_0\rho_s}{e_0\rho_w}$

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4742

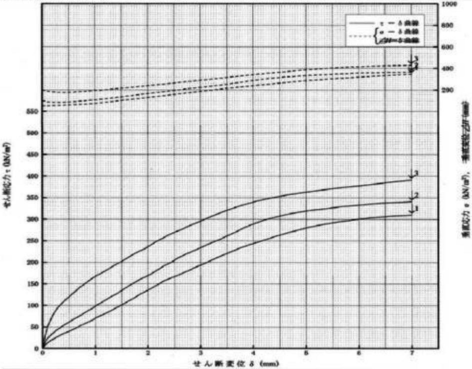
第5－236図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（58）

JGS 0560 / 0561　土の圧密（定体積・定圧）一面せん断試験（せん断過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月18日

試料番号（深さ）　No. 3　撹乱　　試験者　橋本　篤

土質名称	(SG-Cs)	最大粒径 mm	53.000	供試体直径 cm	6.00
垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）	せん断変位の速度 mm/min	0.10	すき間の大きさ mm	0.30
供試体 No.	1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200		
せん断応力最大時 せん断応力 τ_f kN/m²	310	341	391		
せん断変位 δ_f mm	7.01	7.01	7.00		
垂直応力 σ_f kN/m²	345.7	366.4	427.5		
垂直変位 ΔH_f mm					
垂直変位最大変動幅[1] mm					
垂直応力最大変動率[2] %					



特記事項

1)定体積試験のときのみ記入する。
2)定圧試験のときのみ記入する。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4743

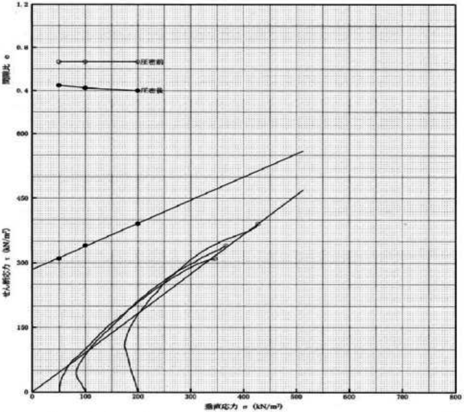
第５－237図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（59）

JGS 0560　土の強度特性　土の圧密定体積一面せん断試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月18日

試料番号（深さ）　No. 3　撹乱　　試験者　橋本　篤

強度定数 / 応力範囲	全応力 c_{cu} kN/m²	全応力 ϕ_{cu} °	全応力 $\tan\phi_{cu}$	有効応力 c'_1 kN/m²	有効応力 ϕ'_1 °
正規圧密領域					
過圧密領域					
	285	28.3	0.54	0	42.4



特記事項

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4737

第５－238図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（60）

土質試験結果一覧表（材料）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　整理年月日　平成 20年 3月 31日

整理担当者　稲角 健

試料番号（深さ）		No.4	不攪乱	攪乱			
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm³	1.895					
	乾燥密度 ρ_d g/cm³	1.703					
	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.640					
	自然含水比 w_n %	13.6					
	間隙比 e	0.552					
	飽和度 S_r %	54.4					
粒度	石分（75mm以上）%						
	礫分（2～75mm）%	3.4					
	砂分（0.075～2mm）%	67.2					
	シルト分（0.005～0.075mm）%	18.7					
	粘土分（0.005mm未満）%	10.7					
	最大粒径 mm	19					
	均等係数 U_c	95.1					
コンシステンシー	液性限界 w_L %	NP					
	塑性限界 w_P %	NP					
	塑性指数 I_p	—					
	コンシステンシー指数 I_c						
分類	地盤材料の分類名	粘性土質砂					
	分類記号	(SCs)					
締固め	試験方法	A－b					
	最大乾燥密度 ρ_{max} g/cm³	1.868					
	最適含水比 w_{ap} %	13.1					
CBR	試験方法						
	膨張比 r_e %						
	貫入試験後含水比 w_{ar} %						
	平均CBR %						
	5%修正CBR %						
コーン指数	突固め回数 回/層						
	コーン指数 q_c kN/m²						
	試験条件		一面CU	一面CU			
	全応力 c kN/m²		181	186			
	全応力 ϕ °		51.1	29.2			
	有効応力 c' kN/m²		50	0			
	有効応力 ϕ' °		39.1	41.5			

特記事項　　1）石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

（社）地盤工学会 6162

第５－239図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（61）

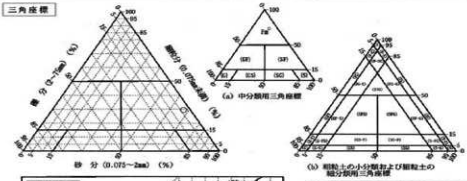
JGS　0051　地盤材料の工学的分類

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 3月 5日

試験者　稲角 健

試料番号（深さ）	No.4					
石分（75mm以上）%						
礫分（2～75mm）%	3.4					
砂分（0.075～2mm）%	67.2					
細粒分（0.075mm未満）%	29.4					
シルト分（0.005～0.075mm）%	18.7					
粘土分（0.005mm未満）%	10.7					
最大粒径 mm	19					
均等係数 U_c	95.1					
液性限界 w_L %	NP					
塑性限界 w_P %	NP					
塑性指数 I_p	—					
地盤材料の分類名	粘性土質砂					
分類記号	(SCs)					
凡例記号	○					

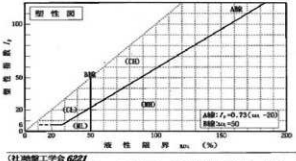
三角座標



(a) 中分類用三角座標

(b) 細粒土の小分類および細粒土の細分類用三角座標

特記事項　1）主に細粒土塑性図で判別分類



（社）地盤工学会 6221

第５－240図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（62）

JIS A 1203
JGS 0121

土の含水比試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 2月 27日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）	No.4					
容器 No.	1020	1044	1026			
m_c g	516.90	534.94	507.79			
m_0 g	469.81	485.58	464.87			
m_1 g	130.15	129.91	131.92			
w %	13.9	13.9	12.9			
平均値 w %		13.6				
特記事項						

試料番号（深さ）						
容器 No.						
m_c g						
m_0 g						
m_1 g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号（深さ）						
容器 No.						
m_c g						
m_0 g						
m_1 g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号（深さ）						
容器 No.						
m_c g						
m_0 g						
m_1 g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号（深さ）						
容器 No.						
m_c g						
m_0 g						
m_1 g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

$$w = \frac{m_0 - m_1}{m_1 - m_c} \times 100$$

m_c：（試料＋容器）質量
m_0：（炉乾燥試料＋容器）質量
m_c：容器質量

（社）地盤工学会 *JS1*

第５－241図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（63）

JIS A 1202
JGS 0111

土粒子の密度試験（測定）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 2月 29日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）		No.4					
ピクノメーター No.		125	717	127			
(試料＋蒸留水＋ピクノメーター)の質量	m_2 g	171.137	178.380	170.189			
m_2をはかったときの内容物の温度	T ℃	12.5	12.5	12.5			
T℃における蒸留水の密度	$\rho_w(T)$ g/cm³	0.99944	0.99944	0.99944			
絶対乾燥の試料を入れたときの（蒸留水＋ピクノメーター）質量	m_3 g	155.507	159.580	152.086			
試料の炉乾燥質量	容器 No.	125	717	127			
	（炉乾燥試料＋容器）質量 g	73.381	81.826	76.724			
	容器質量 g	48.228	51.533	47.658			
	m_s g	25.153	30.293	29.066			
土粒子の密度	ρ_s g/cm³	2.640	2.634	2.645			
平均値	ρ_s g/cm³		2.640				

試料番号（深さ）							
ピクノメーター No.							
(試料＋蒸留水＋ピクノメーター)の質量	m_2 g						
m_2をはかったときの内容物の温度	T ℃						
T℃における蒸留水の密度	$\rho_w(T)$ g/cm³						
絶対乾燥の試料を入れたときの（蒸留水＋ピクノメーター）質量	m_3 g						
試料の炉乾燥質量	容器 No.						
	（炉乾燥試料＋容器）質量 g						
	容器質量 g						
	m_s g						
土粒子の密度	ρ_s g/cm³						
平均値	ρ_s g/cm³						

試料番号（深さ）							
ピクノメーター No.							
(試料＋蒸留水＋ピクノメーター)の質量	m_2 g						
m_2をはかったときの内容物の温度	T ℃						
T℃における蒸留水の密度	$\rho_w(T)$ g/cm³						
絶対乾燥の試料を入れたときの（蒸留水＋ピクノメーター）質量	m_3 g						
試料の炉乾燥質量	容器 No.						
	（炉乾燥試料＋容器）質量 g						
	容器質量 g						
	m_s g						
土粒子の密度	ρ_s g/cm³						
平均値	ρ_s g/cm³						

特記事項

1）ピクノメーターの検定結果から求める。

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + (m_2 - m_3)} \times \rho_w(T)$$

（社）地盤工学会 *JS2*

第５－242図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（64）

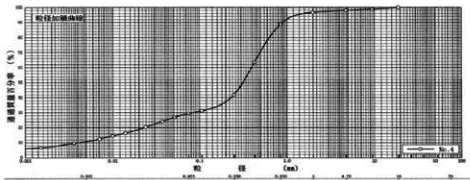
JIS A 1204
JGS 0131

土の粒度試験（粒径加積曲線）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 2月 28日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）	No.4				試料番号（深さ）		No.4
土質区分	粒径 mm	通過質量百分率%	粒径 mm	通過質量百分率%	粗礫分	%	-
	75		75		中礫分	%	2.0
	53		53		細礫分	%	1.4
	37.5		37.5		粗砂分	%	7.7
	26.5		26.5		中砂分	%	47.0
	19	100.0	19		細砂分	%	12.5
	9.5	98.8	9.5		シルト分	%	18.7
	4.75	98.0	4.75		粘土分	%	10.7
	2	96.6	2		2mmふるい通過質量百分率	%	96.6
	0.850	88.9	0.850		425μmふるい通過質量百分率	%	63.6
	0.425	63.6	0.425		75μmふるい通過質量百分率	%	29.4
	0.250	41.9	0.250		最大粒径	mm	19
	0.106	31.2	0.106		60 % 粒径 D_{60}	mm	0.39
	0.075	29.4	0.075		50 % 粒径 D_{50}	mm	0.31
	0.0514	27.0			30 % 粒径 D_{30}	mm	0.084
	0.0369	24.1			10 % 粒径 D_{10}	mm	0.0041
	0.0238	20.4			均等係数 U_c		95.1
	0.0140	16.3			曲率係数 U'_c		4.41
	0.0100	14.6			土粒子の密度 ρ_s	g/cm³	2.640
	0.0071	12.4			使用した分散剤		ヘキサメタリン酸ナトリウム
	0.0036	9.5			溶液濃度，溶液添加量		20g，10ml
	0.0015	6.6			20 % 粒径 D_{20}	mm	0.023



粘土 | シルト | 細砂 | 中砂 | 粗砂 | 細礫 | 中礫 | 粗礫

特記事項

（社）地盤工学会 6343

第５－243図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（65）

JIS A 1205
JGS 0141

土の液性限界・塑性限界試験（試験結果）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 2月 29日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）　No.4

液性限界試験		塑性限界試験	塑性限界	
落下回数	含水比 w_L %	含水比 w_P %	塑性限界 w_P %	NP
			塑性限界 w_P %	NP
			塑性指数 I_p	—

試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験	塑性限界	
落下回数	含水比 w_L %	含水比 w_P %	塑性限界 w_P %	
			塑性指数 I_p	

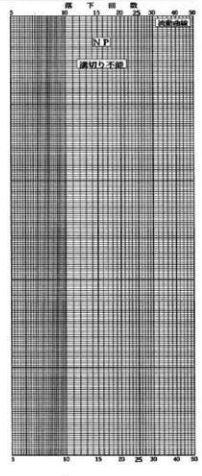
試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験	塑性限界	
落下回数	含水比 w_L %	含水比 w_P %	塑性限界 w_P %	
			塑性指数 I_p	

試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験	塑性限界	
落下回数	含水比 w_L %	含水比 w_P %	塑性限界 w_P %	
			塑性指数 I_p	

特記事項



（社）地盤工学会 6352

第５－244図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（66）

JIS A 1225 JGS 0191	土の湿潤密度試験（ノギス法）				
調査件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験		試験年月日	平成 20年 3月 5日	
試料番号（深さ）	No.4		試験者	橋本 寛	

項目		1	2	3		
供試体 No.		1	2	3		
供試体の質量 m	g	106.44	102.49	112.57		
供試体寸法 直径 上部	cm	6.00	6.00	6.00		
		6.00	6.00	6.00		
直径 中部	cm	6.00	6.00	6.00		
		6.00	6.00	6.00		
直径 下部	cm	6.00	6.00	6.00		
		6.00	6.00	6.00		
平均値 D	cm	6.00	6.00	6.00		
高さ	cm	2.00	2.00	2.00		
		2.00	2.00	2.00		
平均値 H	cm	2.00	2.00	2.00		
体積 $V=(\pi D^2/4)H$	cm³	56.55	56.55	56.55		
含水比 容器 No.		7	432	284		
m_a	g	74.61	72.42	77.63		
m_b	g	69.81	67.87	72.35		
m_c	g	27.34	25.73	26.78		
w	%	11.3	10.8	11.6		
容器 No.		339	479	329		
m_a	g	78.28	71.98	82.05		
m_b	g	73.63	67.99	77.13		
m_c	g	33.14	32.19	32.43		
w	%	11.5	11.1	11.0		
平均値 w	%	11.4	11.0	11.3		
湿潤密度 $\rho_t=m/V$	g/cm³	1.882	1.812	1.991		
乾燥密度 $\rho_d=\rho_t/(1+w/100)$	g/cm³	1.689	1.632	1.789		
間隙比 $e=(\rho_s/\rho_d)-1$		0.563	0.618	0.476		
飽和度 $S_r=w\rho_s/(e\rho_w)$	%	53.5	47.0	62.7		
土粒子の密度 ρ_s	g/cm³	2.640	平均値 w %	11.2	平均値 ρ_t g/cm³	1.895
平均値 ρ_d	g/cm³	1.703	平均値 e	0.552	平均値 S_r %	54.4

特記事項

(社)地盤工学会 6381

第５－245図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（67）

JIS A 1210 JGS 0711	突固めによる土の締固め試験（測定）			
調査件名	史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験		試験年月日	平成 20年 2月 28日
試料番号（深さ）	No.4		試験者	寺本 広紀

項目					
試験方法	A－b	土質名称			
試料の準備方法	乾燥法，~~湿潤法~~	ランマー質量 kg	2.5	モールド 内径 cm	10.0
試料の使用方法	~~繰返し法~~，非繰返し法	落下高さ cm	30	高さ[1] cm	12.73
含水比 試料分取後 w_0 %		突固め回数 回/層	25	容量 V cm³	1000
乾燥処理後 w_1 %	7.9	突固め層数 層	3	質量 m_1[2] g	2403

測定 No.		1	2	3	4
(試料+モールド)質量 m_2[2]	g	4237	4365	4485	4523
湿潤密度 ρ_t	g/cm³	1.834	1.962	2.082	2.120
平均含水比 w	%	7.9	9.9	12.1	13.9
乾燥密度 ρ_d	g/cm³	1.700	1.785	1.857	1.861
含水比 容器 No.		1154	1021	1082	1174
m_a	g	753.64	741.35	647.80	537.39
m_b	g	707.85	686.41	591.61	487.80
m_c	g	128.70	131.22	130.26	131.40
w	%	7.9	9.9	12.2	13.9
容器 No.		1119	1066	1049	1052
m_a	g	701.14	716.15	660.49	461.18
m_b	g	659.91	663.37	603.86	420.61
m_c	g	130.34	131.78	130.64	129.77
w	%	7.8	9.9	12.0	13.9
測定 No.		5	6	7	8
(試料+モールド)質量 m_2[2]	g	4478	4427		
湿潤密度 ρ_t	g/cm³	2.075	2.024		
平均含水比 w	%	16.0	17.8		
乾燥密度 ρ_d	g/cm³	1.789	1.718		
含水比 容器 No.		1003	1059		
m_a	g	606.29	867.13		
m_b	g	540.54	755.89		
m_c	g	130.80	129.55		
w	%	16.0	17.8		
容器 No.		1118	1023		
m_a	g	608.10	838.92		
m_b	g	542.61	732.35		
m_c	g	133.89	130.01		
w	%	16.0	17.7		

特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
2) モールドの質量は底板を含む。

$$\rho_d=\frac{\rho_t}{1+w/100}$$

(社)地盤工学会 6521

第５－246図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（68）

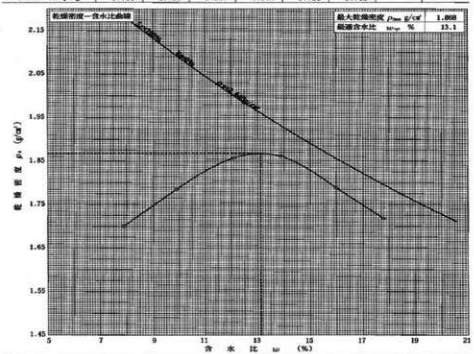
JIS A 1210
JGS 0711

突固めによる土の締固め試験（締固め特性）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 2月 28日

試料番号（深さ）　No.4　　試験者　寺本 広紀

試験方法	A－b		土質名称					
試料の準備方法	乾燥法，[illegible]		ランマー質量 kg		2.5	土粒子の密度 ρ_s g/cm³		2.640
試料の使用方法	[illegible]，非繰返し法		落下高さ cm		30	試料調整前の最大粒径 mm		
含水比	試料分散後 w_1 %		突固め回数 回/層		25	モールド	内径 cm	10.0
	乾燥処理後 w_2 %	7.9	突固め層数 層		3		高さ cm	12.73
測定 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
平均含水比 w %	7.9	9.9	12.1	13.9	16.0	17.8		
乾燥密度 ρ_d g/cm³	1.700	1.785	1.857	1.861	1.789	1.718		



特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
ゼロ空気間隙曲線の計算式

$$\rho_{dm}=\frac{\rho_w}{\rho_w/\rho_s+w/100}$$

(社)地盤工学会 6522

第５－247図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（69）

JGS 0560
0561

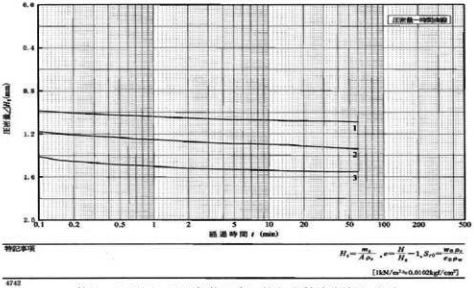
土の圧密（定体積/定圧）一面せん断試験（初期状態，圧密過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成20年3月11日

試料番号（深さ）　No. 4 不撹乱　　試験者　橋本 篤

試料	土質名称	(SCs)	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.640	試験機の形式	垂直力の加圧形式	重錘・レバー式
	最大粒径 mm	19.000				垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）
	状態	塊状・非塊状				垂直力載荷装置の位置	上面（下面）
供試体	直径 D cm	6.00	断面積 A cm²	28.27		可動	上端（下端）
	作製方法	トリミング				すき間の設定方法	すき間調節ねじ

供試体 No.	1	2	3	
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200	
初期状態 高さ H_0 cm	2.00	2.00	2.00	
湿潤質量 m_0 g	106.44	102.49	112.57	
炉乾燥質量 m_1 g	95.55	92.33	101.14	
含水比 w_0 %	11.4	11.0	11.3	
実質高さ H_s cm	1.28	1.24	1.36	
湿潤密度 ρ_{t0} g/cm³	1.883	1.813	1.991	
乾燥密度 ρ_{d0} g/cm³	1.690	1.633	1.789	
間隙比 e_0	0.563	0.613	0.471	
飽和度 S_{r0} %	53.5	47.4	63.3	
圧密後 圧密時間 t_c min	60	60	60	
最終圧密量 ΔH_c cm	0.11	0.13	0.16	
高さ H_c cm	1.89	1.87	1.84	
乾燥密度 ρ_{dc} g/cm³	1.788	1.746	1.944	
間隙比 e_c	0.477	0.508	0.383	



特記事項

$H_c=\frac{m_c}{A\rho_s}$, $e=\frac{H}{H_s}-1$, $S_{r0}=\frac{w_0\rho_s}{e_0\rho_w}$

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4742

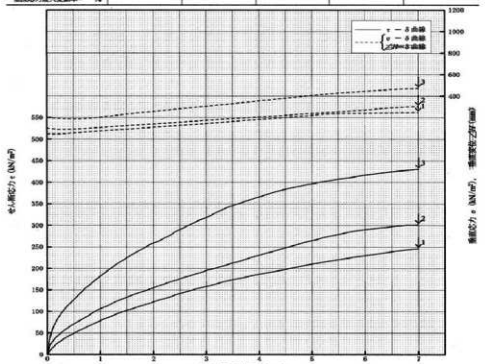
第５－248図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（70）

JGS 0560 / 0561　土の圧密（定体積/定圧）一面せん断試験（せん断過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月11日

試料番号（深さ）　No. 4 不撹乱　　試験者　橋本 篤

土質名称	(SCs)	最大粒径 mm	19.000	供試体直径 cm	6.00
垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）	せん断変位速度 mm/min	0.10	すき間の大きさ mm	0.30
供試体 No.	1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200		
圧密（定体積）せん断強さ τ_f kN/m²	246	301	430		
せん断変位 δ_f mm	7.00	7.00	7.01		
垂直応力 σ_f kN/m²	246.9	302.5	470.4		
垂直変位 ΔH_f mm					
垂直変位最大変動幅[1] mm					
垂直応力最大変動率[2] %					



特記事項

1) 定体積試験のときのみ記入する。
2) 定圧試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4743

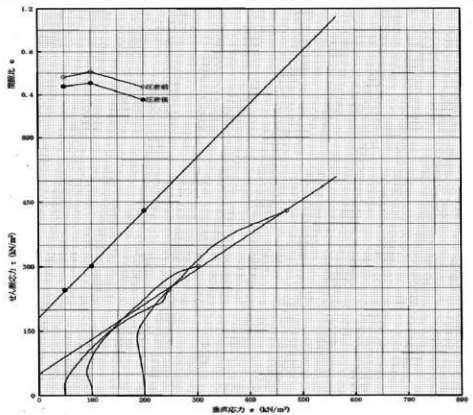
第5－249図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（71）

JGS 0560　土の強度特性　土の圧密定体積一面せん断試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月11日

試料番号（深さ）　No. 4 不撹乱　　試験者　橋本 篤

強度定数	全応力			有効応力	
応力範囲	c_{cu} kN/m²	ϕ_{cu} °	$\tan\phi_{cu}$	c'_1 kN/m²	ϕ'_1 °
正規圧密領域					
過圧密領域	181	51.1	1.24	50	39.1



特記事項

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4737

第5－250図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（72）

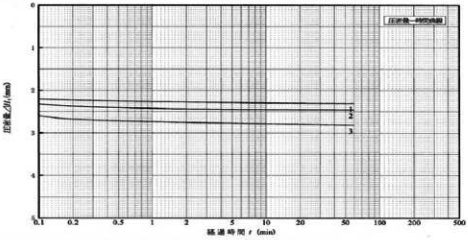
JGS (0560) 0561　土の圧密（定体積/定圧）一面せん断試験（初期状態、圧密過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月19日

試料番号（深さ）No. 4　撹乱　　試験者　橋本　篤

試料	土質名称	(SCa)	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.640	試験機の形式	垂直力の加圧形式	重錘・レバー式
	最大粒径 mm	19.000				垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）
	状態	撹状（非撹状）				垂直力載荷装置の位置	上面（下面）
供試体	直径 D cm	6.00	断面積 A cm²	28.27		可動箱	上箱（下箱）
	作製方法	静的締固め				すき間の設定方法	すき間調節ねじ

供試体No.	1	2	3
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200
初期状態 高さ H_c cm	2.00	2.00	2.00
湿潤質量 m_c g	107.22	107.22	107.22
炉乾燥質量 m_s g	96.42	96.42	96.42
含水比 w_0 %	11.2	11.2	11.2
実質高さ H_s cm	1.29	1.29	1.29
湿潤密度 ρ_{c0} g/cm³	1.896	1.896	1.896
乾燥密度 ρ_{d0} g/cm³	1.705	1.705	1.705
間隙比 e_0	0.550	0.550	0.550
飽和度 S_{r0} %	53.8	53.8	53.8
圧密後 圧密時間 t_c min	60	60	60
最終圧密量 ΔH_c cm	0.23	0.25	0.28
高さ H_c cm	1.77	1.75	1.72
乾燥密度 ρ_{d0} g/cm³	1.927	1.949	1.983
間隙比 e_c	0.372	0.357	0.333



特記事項

$H_c=\frac{m_c}{A\rho_c}$, $e=\frac{H}{H_c}-1$, $S_{r0}=\frac{w_0\rho_s}{e_0\rho_w}$

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4742

第5－251図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（73）

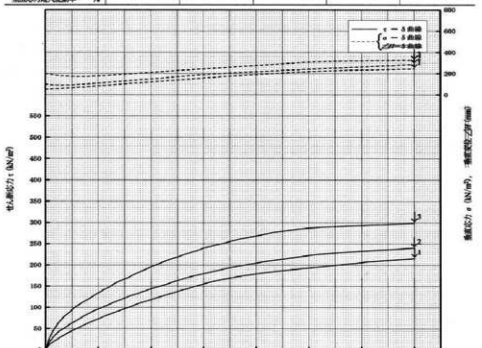
JGS (0560) 0561　土の圧密（定体積/定圧）一面せん断試験（せん断過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月19日

試料番号（深さ）No. 4　撹乱　　試験者　橋本　篤

土質名称	(SCa)	最大粒径 mm	19.000	供試体直径 cm	6.00
垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）	せん断変位速度 mm/min	0.10	すき間の大きさ mm	0.30

供試体No.	1	2	3
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200
せん断変位 τ_c kN/m²	215	240	298
せん断変位 δ_c mm	7.01	7.00	7.01
垂直応力 σ_c kN/m²	243.7	285.4	323.6
垂直変位 ΔH_c mm			
垂直変位最大変動幅[1] mm			
垂直応力最大変動率[2] %			



特記事項

1) 定体積試験のときのみ記入する。
2) 定圧試験のときのみ記入する。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4743

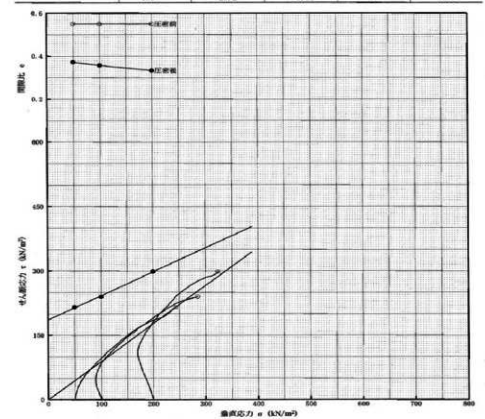
第5－252図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（74）

JGS　0560　**土の強度特性　土の圧密定体積一面せん断試験**

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月19日

試料番号（深さ）　No. 4　撹乱　　試験者　嶋本　篤

強度定数	全応力			有効応力	
応力範囲	c_{cu} kN/m²	ϕ_{cu} °	$\tan\phi_{cu}$	c'_1 kN/m²	ϕ'_1 °
正規圧密領域					
過圧密領域					
	186	29.2	0.56	0	41.5



特記事項

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4737

第5－253図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（75）

土質試験結果一覧表（材料）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　整理年月日　平成 20年 4月 18日

整理担当者　稲角　健

試料番号（深さ）		No.5	不撹乱	撹乱			
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm³	2.021					
	乾燥密度 ρ_d g/cm³	1.740					
	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.643					
	自然含水比 w_n %	9.8					
	間隙比 e	0.519					
	飽和度 S_r %	82.1					
粒度	石分（75mm以上）%						
	礫分（2～75mm）%	18.0					
	砂分（0.075～1mm）%	65.2					
	シルト分（0.005～0.075mm）%	7.4					
	粘土分（0.005mm以下）%	9.4					
	最大粒径 mm	26.5					
	均等係数 U_c	92.4					
コンシステンシー	液性限界 w_L %	NP					
	塑性限界 w_P %	NP					
	塑性指数 I_p	—					
	コンシステンシー指数 I_c						
分類	地盤材料の分類名	粘性土質 礫質砂					
	分類記号	(SCmG)					
締固め	試験方法	A－b					
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm³	1.913					
	最適含水比 w_{dmax} %	12.4					
CBR	試験方法						
	膨張比 r_1 %						
	貫入試験強含水比 w_{CBR} %						
	平均 CBR %						
	%修正CBR %						
コーン指数	突固め回数 回/層						
	コーン指数 q_c kN/m²						
	試験条件		一面CU	一面CU			
	全応力 c kN/m²		228	311			
	全応力 ϕ °		34.0	64.9			
	有効応力 c' kN/m²		171	131			
	有効応力 ϕ' °		22.1	34.9			

特記事項

1）石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

(社)地盤工学会6162

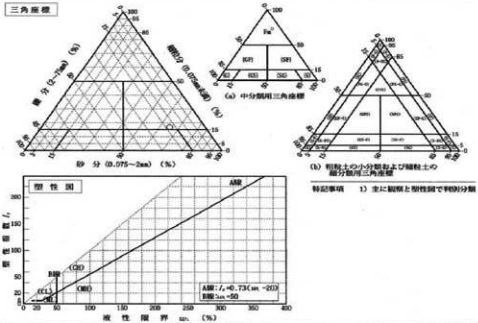
第5－254図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（76）

JGS 0051 **地盤材料の工学的分類**

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成 20年 3月 31日

試験者 稲内 健

試料番号（深さ）		No.5
石分(75mm以上)	%	
礫分(2~75mm)	%	18.0
砂分(0.075~2mm)	%	65.2
細粒分(0.075mm未満)	%	16.8
シルト分(0.005~0.075mm)	%	7.4
粘土分(0.005mm未満)	%	9.4
最大粒径	mm	26.5
均等係数 U_c		92.4
液性限界 w_L	%	NP
塑性限界 w_P	%	NP
塑性指数 I_p		—
地盤材料の分類名		粘性土質礫質砂
分類記号		(SCsG)
凡例記号		○



(社)地盤工学会 *6221*

第５－255図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（77）

JIS A 1203
JGS 0121 **土の含水比試験**

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成 20年 3月 24日

試験者 熊谷 恵

試料番号（深さ）	No.5					
容器 No.	1044	1036	1028			
m_c g	852.20	846.71	869.41			
m_0 g	784.75	786.18	802.18			
m_w g	129.91	131.62	127.85			
w %	10.3	9.2	10.0			
平均値 w %		9.8				
特記事項						

試料番号（深さ）						
容器 No.						
m_c g						
m_0 g						
m_w g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号（深さ）						
容器 No.						
m_c g						
m_0 g						
m_w g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号（深さ）						
容器 No.						
m_c g						
m_0 g						
m_w g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号（深さ）						
容器 No.						
m_c g						
m_0 g						
m_w g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

$w=\frac{m_w}{m_0}=\frac{m_1-m_2}{m_2-m_c}\times 100$

m_1：(試料＋容器)質量
m_2：(炉乾燥試料＋容器)質量
m_c：容器質量

(社)地盤工学会 *6331*

第５－256図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（78）

JIS A 1202 JGS 0111	土粒子の密度試験（測定）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 3月 26日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）	No.5					
ピクノメーター No.	376	377	378			
(試料+蒸留水+ピクノメーター)の質量 m_b g	170.864	175.072	169.113			
m_bをはかったときの内容物の温度 T ℃	17.5	17.5	17.5			
T℃における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm³	0.99868	0.99868	0.99868			
温度T℃の蒸留水を満たしたときの(蒸留水+ピクノメーター)質量 m_a g	150.294	154.201	148.829			
試料の炉乾燥質量　容器 No.	376	377	378			
(炉乾燥試料+容器)質量 g	81.386	80.183	80.644			
容器質量 g	48.331	46.604	48.060			
m_s g	33.055	33.579	32.584			
土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.644	2.639	2.646			
平均値 ρ_s g/cm³		2.643				
試料番号（深さ）						
ピクノメーター No.						
(試料+蒸留水+ピクノメーター)の質量 m_b g						
m_bをはかったときの内容物の温度 T ℃						
T℃における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm³						
温度T℃の蒸留水を満たしたときの(蒸留水+ピクノメーター)質量 m_a g						
試料の炉乾燥質量　容器 No.						
(炉乾燥試料+容器)質量 g						
容器質量 g						
m_s g						
土粒子の密度 ρ_s g/cm³						
平均値 ρ_s g/cm³						
試料番号（深さ）						
ピクノメーター No.						
(試料+蒸留水+ピクノメーター)の質量 m_b g						
m_bをはかったときの内容物の温度 T ℃						
T℃における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm³						
温度T℃の蒸留水を満たしたときの(蒸留水+ピクノメーター)質量 m_a g						
試料の炉乾燥質量　容器 No.						
(炉乾燥試料+容器)質量 g						
容器質量 g						
m_s g						
土粒子の密度 ρ_s g/cm³						
平均値 ρ_s g/cm³						

特記事項

1) ピクノメーターの検定結果から求める。

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + (m_a - m_b)} \times \rho_w(T)$$

(社)地盤工学会 6322

第５－257図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（79）

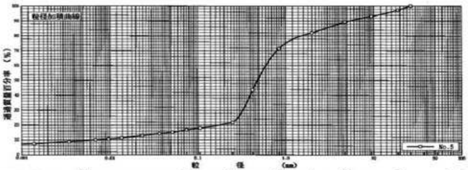
JIS A 1204 JGS 0131	土の粒度試験（粒径加積曲線）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 3月 26日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）	No.5			
	粒径 mm	通過質量百分率%	粒径 mm	通過質量百分率%
ふるい分析	75		75	
	53		53	
	37.5		37.5	
	26.5	100.0	26.5	
	19	97.3	19	
	9.5	93.1	9.5	
	4.75	89.2	4.75	
	2	82.0	2	
	0.850	71.5	0.850	
	0.425	43.6	0.425	
	0.250	21.9	0.250	
	0.106	18.0	0.106	
	0.075	16.8	0.075	
沈降分析	0.0522	15.2		
	0.0371	14.3		
	0.0236	12.9		
	0.0137	11.4		
	0.0097	10.7		
	0.0069	10.1		
	0.0035	8.8		
	0.0014	7.4		

試料番号（深さ）	No.5	
粗礫分 %	2.7	
中礫分 %	8.1	
細礫分 %	7.2	
粗砂分 %	10.5	
中砂分 %	49.6	
細砂分 %	5.1	
シルト分 %	7.4	
粘土分 %	9.4	
2mmふるい通過質量百分率 %	82.0	
425μmふるい通過質量百分率 %	43.6	
75μmふるい通過質量百分率 %	16.8	
最大粒径 mm	26.5	
60%粒径 D_{60} mm	0.61	
50%粒径 D_{50} mm	0.48	
30%粒径 D_{30} mm	0.33	
10%粒径 D_{10} mm	0.0066	
均等係数 U_c	92.4	
曲率係数 U_c'	27.0	
土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.643	
使用した分散剤	ヘキサメタ燐酸ナトリウム	
溶液濃度、溶液添加量	20%, 10ml	
20%粒径 D_{20} mm	0.18	



特記事項

(社)地盤工学会 6343

第５－258図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（80）

JIS A 1205
JCS 0141

土の液性限界・塑性限界試験（試験結果）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 3月 26日

試　験　者　熊谷 恵

試料番号（深さ）　No.5

液性限界試験		塑性限界試験	
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
			液性限界 w_L %
			NP
			塑性限界 w_P %
			NP
			塑性指数 I_p
			—

試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験	
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
			液性限界 w_L %
			塑性限界 w_P %
			塑性指数 I_p

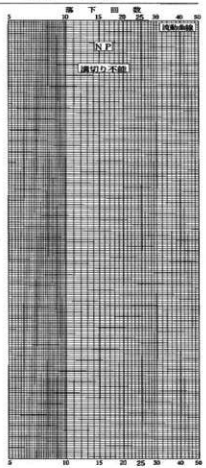
試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験	
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
			液性限界 w_L %
			塑性限界 w_P %
			塑性指数 I_p

試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験	
落下回数	含水比 w %	含水比 w %	
			液性限界 w_L %
			塑性限界 w_P %
			塑性指数 I_p

特記事項



(社)地盤工学会 6352

第５－259図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（81）

JIS A 1225
JCS 0191

土の湿潤密度試験（ノギス法）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 3月 21日

試料番号（深さ）　No.5　　試　験　者　橋本 篤

				1	2	3		
供試体No.								
供試体の質量 m g				114.22	116.14	112.43		
供試体	直径	上部	cm	6.00	6.00	6.00		
				6.00	6.00	6.00		
		中部	cm	6.00	6.00	6.00		
				6.00	6.00	6.00		
		下部	cm	6.00	6.00	6.00		
				6.00	6.00	6.00		
		平均値 β	cm	6.00	6.00	6.00		
	高さ		cm	2.00	2.00	2.00		
				2.00	2.00	2.00		
		平均値 H	cm	2.00	2.00	2.00		
体積 $V=(\pi\beta^2/4)H$ cm³				56.55	56.55	56.55		
含水比	容器No.			1633	1583	1764		
		m_1	g	87.05	95.28	86.85		
		m_2	g	78.66	86.09	78.70		
		m_3	g	27.65	28.64	28.22		
		w	%	16.4	16.0	16.1		
水比	容器No.			1806	1728	1844		
		m_1	g	91.39	84.96	83.31		
		m_2	g	82.56	77.14	75.56		
		m_3	g	27.24	27.84	26.99		
		w	%	16.0	15.9	16.0		
	平均値 w %			16.2	16.0	16.1		
湿潤密度 $\rho_t=m/V$ g/cm³				2.020	2.054	1.988		
乾燥密度 $\rho_d=\rho_t/(1+w/100)$ g/cm³				1.738	1.771	1.712		
間隙比 $e=(\rho_s/\rho_d)-1$				0.521	0.492	0.544		
飽和度 $S_r=w\rho_s/(e\rho_w)$ %				82.2	86.0	78.2		
土粒子の密度 ρ_s g/cm³				2.643	平均値 w %	16.1	平均値 ρ_s g/cm³	2.021
平均値 ρ_t g/cm³				1.740	平均値 e	0.519	平均値 S_r %	82.1

特記事項

(社)地盤工学会 6351

第５－260図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（82）

JIS A 1210
JGS 0711

突固めによる土の締固め試験（測定）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 3月 26日

試料番号（深さ）No.5　　試 験 者　寺本 広記

試験方法	A－b	土質名称	粘性土質礫質砂（SCsG）		
試料の準備方法	乾燥法，○湿潤法	ランマー質量 kg	2.5	モールド	内径 cm	10.0
試料の使用方法	○繰返し法，非繰返し法	落下高さ cm	30		高さ cm	12.73
含水比	試料分取質量 w_1 %	突固め層数 回/層	25		容積 V cm^3	1000
	乾燥処理後 w_1 % 5.4	突固め層数 層	3		質量 m_1' g	2403

測定 No.		1	2	3	4
(試料+モールド) 質量 m_2'	g	4190	4255	4334	4513
湿潤密度 ρ_t	g/cm³	1.787	1.852	1.931	2.110
平均含水比 w	%	5.4	7.1	8.8	11.3
乾燥密度 ρ_d	g/cm³	1.695	1.729	1.775	1.896
含水比	容器 No.	1056	1027	1092	1015
	m_c	g	514.67	419.25	535.35	434.99
	m_0	g	495.26	399.70	502.33	403.75
	m_w	g	131.86	125.81	131.35	129.62
	w	%	5.3	7.1	8.9	11.4
水比	容器 No.		1013	1176	1074	1154
	m_c	g	483.73	458.86	507.19	517.33
	m_0	g	465.22	437.34	477.06	478.14
	m_w	g	124.62	131.07	130.71	128.70
	w	%	5.4	7.0	8.7	11.2
測定 No.		5	6	7	8
(試料+モールド) 質量 m_2'	g	4542	4464		
湿潤密度 ρ_t	g/cm³	2.139	2.061		
平均含水比 w	%	14.1	15.8		
乾燥密度 ρ_d	g/cm³	1.875	1.780		
含水比	容器 No.	1032	1021		
	m_c	g	517.03	683.00		
	m_0	g	468.58	607.78		
	m_w	g	132.12	131.22		
	w	%	14.4	15.8		
水比	容器 No.		1103	1174		
	m_c	g	500.03	698.00		
	m_0	g	455.97	620.50		
	m_w	g	134.38	131.40		
	w	%	13.7	15.8		

特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
2) モールドの質量は底板を含む。

$$\rho_t = \frac{\rho_w}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{w}{100}}$$

(社)地盤工学会 6521

第５－261図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（83）

JIS A 1210
JGS 0711

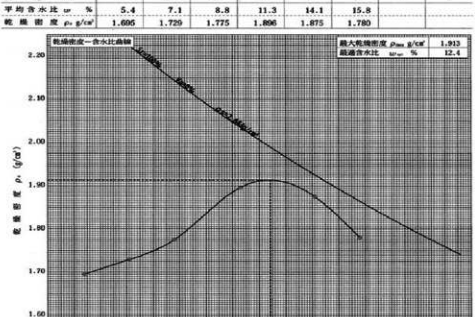
突固めによる土の締固め試験（締固め特性）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 3月 26日

試料番号（深さ）No.5　　試 験 者　寺本 広記

試験方法	A－b	土質名称	粘性土質礫質砂（SCsG）		
試料の準備方法	乾燥法，○湿潤法	ランマー質量 kg	2.5	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.643
試料の使用方法	○繰返し法，非繰返し法	落下高さ cm	30	試料調製前の最大粒径 mm	
含水比	試料分取質量 w_1 %	突固め回数 回/層	25	モールド	内径 cm	10.0
	乾燥処理後 w_1 % 5.4	突固め層数 層	3		高さ cm	12.73

測定 No.		1	2	3	4	5	6	7	8
平均含水比 w	%	5.4	7.1	8.8	11.3	14.1	15.8		
乾燥密度 ρ_d	g/cm³	1.695	1.729	1.775	1.896	1.875	1.780		



特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
ゼロ空気間隙曲線の計算式

$$\rho_{sat} = \frac{\rho_w}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{w}{100}}$$

(社)地盤工学会 6522

第５－262図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（84）

JGS (0560) 0561　土の圧密 (定体積)定圧　一面せん断試験 (初期状態、圧密過程)

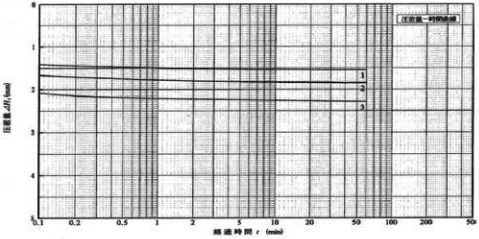
調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月21日

試料番号 (深さ)　No. 5 不撹乱　　試験者　橋本 篤

試料	土質名称	(SCsG)	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.643	試験機の形式
	最大粒径 mm	26.500			
	状態	(乾)・(湿)・(水)・(飽)・(水)・(飽)・(水)・(飽)			
供試体	直径 D cm	6.00	断面積 A cm²	28.27	
	作製方法	トリミング			

供試体 No.	1	2	3	
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200	
初期状態 高さ H_0 cm	2.00	2.00	2.00	
湿潤質量 m_0 g	114.22	116.14	112.43	
炉乾燥質量 m_s g	98.30	100.12	96.84	
含水比 w_0 %	16.2	16.0	16.1	
実質高さ H_s cm	1.32	1.34	1.30	
湿潤密度 ρ_{0s} g/cm³	2.020	2.054	1.989	
乾燥密度 ρ_{0s} g/cm³	1.738	1.771	1.713	
間隙比 e_0	0.515	0.493	0.538	
飽和度 S_{r0} %	83.1	85.8	79.1	
圧密時間 t_c min	60	60	60	
最終圧密量 ΔH_c cm	0.15	0.18	0.23	
高さ H_c cm	1.85	1.82	1.77	
乾燥密度 ρ_{0c} g/cm³	1.879	1.946	1.935	
間隙比 e_c	0.402	0.358	0.362	

試験機の形式	垂直力の加圧形式	重錘・レバー式		
	垂直力荷重計の位置	反力板側 (加圧板側)		
	垂直力載荷装置の位置	上面 (下面)		
	可動筒	(上筒)・下筒		
	すき間の設定方法	すき間調節ねじ		



特記事項

$H_c=\frac{m_s}{A\rho_s}$, $e=\frac{H}{H_s}-1$, $S_{r0}=\frac{w_0\rho_s}{e_0\rho_w}$

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4742

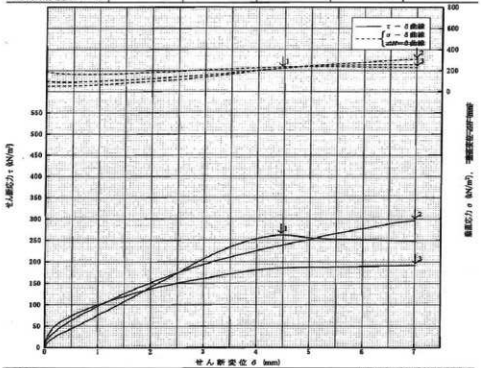
第5－263図　石垣解体工事に伴う土質試験結果 (85)

JGS (0560) 0561　土の圧密 (定体積)定圧　一面せん断試験 (せん断過程)

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月21日

試料番号 (深さ)　No. 5 不撹乱　　試験者　橋本 篤

土質名称	(SCsG)	最大粒径 mm	26.500	供試体直径 cm 6.00
垂直力荷重計の位置	反力板側 (加圧板側)	せん断変位速度 mm/min	0.10	すき間の大きさ mm 0.30
供試体 No.	1	2	3	
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200	
せん断変位 δ_0 mm	262	296	192	
せん断変位 δ_1 mm	4.46	7.00	7.02	
垂直応力 σ_1 kN/m²	224.7	307.8	229.4	
垂直変位 ΔH_1 mm				
垂直変位最大変動幅[1] mm				
垂直応力最大変動率[2] %				



特記事項

1) 定体積試験のときのみ記入する。
2) 定圧試験のときのみ記入する。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4743

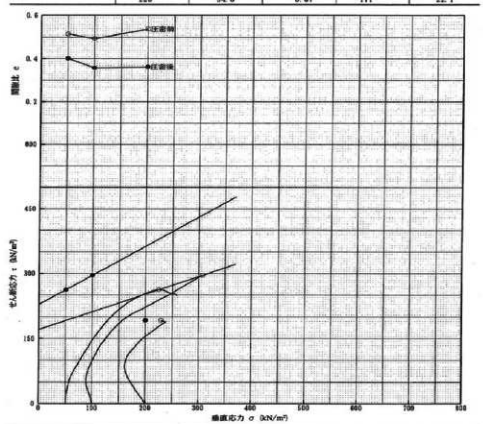
第5－264図　石垣解体工事に伴う土質試験結果 (86)

JGS　0560　土の強度特性　土の圧密定体積一面せん断試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年3月21日

試料番号（深さ）　No. 5 不撹乱　　試験者　橋本 篤

強度定数	全応力			有効応力	
応力範囲	c_{cu} kN/m²	ϕ_{cu} °	$\tan\phi_{cu}$	$c_{\bar{c}}$ kN/m²	$\phi_{\bar{c}}$ °
正規圧密領域					
過圧密領域					
	228	34.0	0.67	171	22.1



特記事項

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4737

第５－265図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（87）

JGS　0560 / 0561　土の圧密（定体積/定圧）一面せん断試験（初期状態、圧密過程）

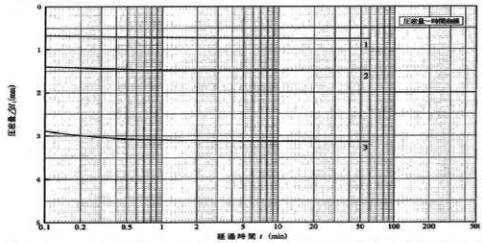
調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年4月16日

試料番号（深さ）　No. 5 撹乱　　試験者　橋本 篤

試料	土質名称	(SCsG)	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.643
	最大粒径 mm	26.500		
	状態	撹 状（非撹状）		
供試体	直径 D cm	6.00	断面積 A cm²	28.27
	作製方法	静的締固め		

供試体 No.	1	2	3
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200
初期状態 高さ H_0 cm	2.00	2.00	2.00
湿潤質量 m_0 g	114.28	114.28	114.28
炉乾燥質量 m_s g	104.27	104.27	104.27
含水比 w_0 %	9.6	9.6	9.6
実質高さ H_s cm	1.40	1.40	1.40
湿潤密度 ρ_{t0} g/cm³	2.021	2.021	2.021
乾燥密度 ρ_{d0} g/cm³	1.844	1.844	1.844
間隙比 e_0	0.429	0.429	0.429
飽和度 S_{r0} %	59.1	59.1	59.1
圧密後 圧密時間 t_c min	60	60	60
最終圧密量 ΔH_c cm	0.08	0.15	0.31
高さ H_c cm	1.92	1.85	1.69
乾燥密度 ρ_{d0} g/cm³	1.921	1.993	2.182
間隙比 e_c	0.371	0.321	0.207

試験機の形式	
垂直力の加圧形式	重錘・レバー式
垂直力の変動中の位置	反力床側（加圧板側）
垂直力の周波数及び位置	上面（下面）
可動周	上面（下面）
すき間の設定方法	すき間調節ねじ



特記事項

$H_c = \frac{m_s}{A\rho_s}, e = \frac{H}{H_s} - 1, S_{r0} = \frac{w_0 \rho_s}{e_0 \rho_w}$

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4742

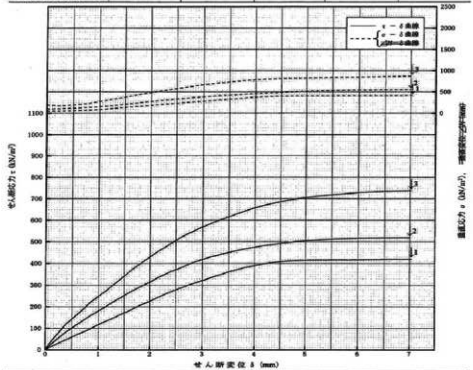
第５－266図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（88）

JGS 0560 / 0561　土の圧密（定体積/定圧）一面せん断試験（せん断過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年4月16日

試料番号（深さ）No. 5　撹乱　　試験者　橋本 篤

土質名称	(SCsG)	最大粒径 mm	26.500	供試体直径 cm	6.00
垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）	せん断変位速度 mm/min	0.10	すき間の大きさ mm	0.30
供試体 No.	1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200		
圧密前 せん断強さ τ_f kN/m²	420	519	738		
圧密前 せん断変位 δ_f mm	7.04	7.01	7.03		
圧密後 垂直応力 σ_f kN/m²	417.8	551.1	872.2		
圧密後 垂直変位 ΔH_f mm					
垂直変位最大変動幅 [1] mm					
垂直応力最大変動率 [2] %					



特記事項

1) 定体積試験のときのみ記入する。
2) 定圧試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4743

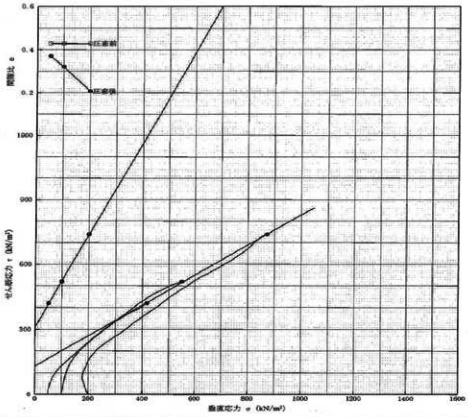
第5－267図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（89）

JGS 0560　土の強度特性　土の圧密定体積一面せん断試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年4月16日

試料番号（深さ）No. 5　撹乱　　試験者　橋本 篤

強度定数	全応力			有効応力	
応力範囲	c_{cu} kN/m²	ϕ_{cu} °	$\tan\phi_{cu}$	c'_1 kN/m²	ϕ'_1 °
正規圧密領域					
過圧密領域					
	311	64.9	2.13	131	34.9



特記事項

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4737

第5－268図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（90）

土質試験結果一覧表（材料）

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　整理年月日 平成 20年 5月 1日

整理担当者 稲角 健

試料番号（深さ）		No.6	不撹乱	撹乱			
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm³	2.062					
	乾燥密度 ρ_d g/cm³	1.741					
	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.651					
	自然含水比 w_n %	18.4					
	間隙比 e	0.522					
	飽和度 S_r %	93.4					
粒度	石分（75mm以上） %						
	礫分（2~75mm） %	26.7					
	砂分（0.075~2mm） %	49.1					
	シルト分（0.005~0.075mm） %	13.7					
	粘土分（0.005mm未満） %	10.5					
	最大粒径 mm	37.5					
	均等係数 U_c	138					
コンシステンシー	液性限界 w_L %	28.3					
	塑性限界 w_P %	17.5					
	塑性指数 I_p	10.8					
	コンシステンシー指数 I_c	0.9					
分類	地盤材料の分類名	粘性土質礫質砂					
	分類記号	(SCsG)					
締固め	試験方法	A－b					
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm³	1.947					
	最適含水比 w_{opt} %	11.0					
CBR	試験方法						
	膨張比 r_e %						
	貫入試験後含水比 w_{f1} %						
	平均 CBR %						
	5mmCBR %						
コーン指数	突固め回数 回/層						
	コーン指数 q_c kN/m²						
	試験条件		一面CD	一面CD			
	全応力 c kN/m²		86	146			
	全応力 ϕ °		34.0	28.0			
	有効応力 c' kN/m²						
	有効応力 ϕ' °						

特記事項

1）石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

（1kN/m²≒0.0102kgf/cm²）

（社）地盤工学会 6162

第５－269図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（91）

地盤材料の工学的分類

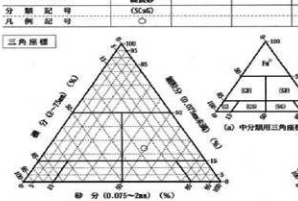
JGS 0051

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成 20年 4月 11日

試験者 稲角 健

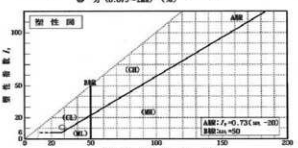
試料番号（深さ）	No.6					
石分（75mm以上） %						
礫分（2~75mm） %	26.7					
砂分（0.075~2mm） %	49.1					
細粒分（0.075mm未満） %	24.2					
シルト分（0.005~0.075mm） %	13.7					
粘土分（0.005mm未満） %	10.5					
最大粒径 mm	37.5					
均等係数 U_c	138					
液性限界 w_L %	28.3					
塑性限界 w_P %	17.5					
塑性指数 I_p	10.8					
地盤材料の分類名	粘性土質礫質砂					
分類記号	(SCsG)					
凡例記号	○					

三角座標



特記事項　1）主に観察と塑性図で判別分類

塑性図



（社）地盤工学会 6221

第５－270図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（92）

JIS A 1203 / JGS 0121

土の含水比試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 4月 7日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）	No.6					
容器 No.	1382	1413	1415			
m_a g	996.84	1109.99	997.94			
m_b g	936.70	1039.50	939.49			
m_c g	298.09	297.61	296.35			
w %	9.4	9.5	9.1			
平均値 w %		9.3				
特記事項						

試料番号（深さ）						
容器 No.						
m_a g						
m_b g						
m_c g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号（深さ）						
容器 No.						
m_a g						
m_b g						
m_c g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号（深さ）						
容器 No.						
m_a g						
m_b g						
m_c g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号（深さ）						
容器 No.						
m_a g						
m_b g						
m_c g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

$$w=\frac{m_a-m_b}{m_b-m_c}\times 100$$

m_a：（試料＋容器）質量
m_b：（炉乾燥試料＋容器）質量
m_c：容器質量

（社）地盤工学会 6331

第5－271図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（93）

JIS A 1202 / JGS 0111

土粒子の密度試験（測定）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 4月 9日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）	No.6					
ピクノメーター No.	82	83	84			
（試料＋蒸留水＋ピクノメーター）の質量 m_b g	168.960	174.188	172.538			
m_bをはかったときの内容物の温度 T ℃	18.0	18.0	18.0			
T℃における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm³	0.99860	0.99860	0.99860			
温度T℃の蒸留水を満たしたときの（蒸留水＋ピクノメーター）質量 m_a[1) g	152.895	157.346	154.974			
試料の炉乾燥質量　容器 No.	82	83	84			
試料の炉乾燥質量　（炉乾燥試料＋容器）質量 g	75.060	77.828	76.971			
試料の炉乾燥質量　容器質量 g	49.254	50.838	48.799			
試料の炉乾燥質量　m_s g	25.806	26.990	28.172			
土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.646	2.656	2.652			
平均値 ρ_s g/cm³		2.651				

試料番号（深さ）						
ピクノメーター No.						
（試料＋蒸留水＋ピクノメーター）の質量 m_b g						
m_bをはかったときの内容物の温度 T ℃						
T℃における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm³						
温度T℃の蒸留水を満たしたときの（蒸留水＋ピクノメーター）質量 m_a[1) g						
試料の炉乾燥質量　容器 No.						
試料の炉乾燥質量　（炉乾燥試料＋容器）質量 g						
試料の炉乾燥質量　容器質量 g						
試料の炉乾燥質量　m_s g						
土粒子の密度 ρ_s g/cm³						
平均値 ρ_s g/cm³						

試料番号（深さ）						
ピクノメーター No.						
（試料＋蒸留水＋ピクノメーター）の質量 m_b g						
m_bをはかったときの内容物の温度 T ℃						
T℃における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm³						
温度T℃の蒸留水を満たしたときの（蒸留水＋ピクノメーター）質量 m_a[1) g						
試料の炉乾燥質量　容器 No.						
試料の炉乾燥質量　（炉乾燥試料＋容器）質量 g						
試料の炉乾燥質量　容器質量 g						
試料の炉乾燥質量　m_s g						
土粒子の密度 ρ_s g/cm³						
平均値 ρ_s g/cm³						

特記事項

1) ピクノメーターの検定結果から求める。

$$\rho_s=\frac{m_s}{m_s+(m_a-m_b)}\times\rho_w(T)$$

（社）地盤工学会 6322

第5－272図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（94）

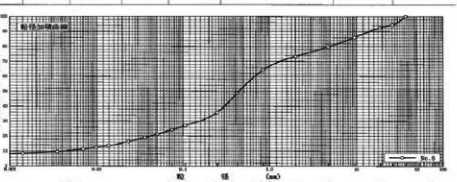
JIS A 1204
JGS 0131

土の粒度試験（粒径加積曲線）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 4月 8日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）	No.6				試料番号（深さ）	No.6
ふるい分析	粒径 mm	通過質量百分率 %	粒径 mm	通過質量百分率 %	礫分 %	7.6
	75		75		中礫分 %	12.7
	53		53		細礫分 %	6.4
	37.5	100.0	37.5		粗砂分 %	9.0
	26.5	94.4	26.5		中砂分 %	28.5
	19	92.4	19		細砂分 %	11.6
	9.5	86.0	9.5		シルト分 %	13.7
	4.75	79.7	4.75		粘土分 %	10.5
	2	73.3	2		2mmふるい通過質量百分率 %	73.3
	0.850	64.3	0.850		425 μmふるい通過質量百分率 %	48.8
	0.425	48.8	0.425		75 μmふるい通過質量百分率 %	24.2
	0.250	35.8	0.250		最大粒径 mm	37.5
	0.106	27.2	0.106		60 % 粒径 D_{60} mm	0.68
	0.075	24.2	0.075		50 % 粒径 D_{50} mm	0.45
沈降分析	0.0508	21.3			30 % 粒径 D_{30} mm	0.16
	0.0364	19.1			10 % 粒径 D_{10} mm	0.0043
	0.0234	16.4			均等係数 U_c	158
	0.0138	13.6			曲率係数 U_c'	8.76
	0.0098	12.5			土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.651
	0.0070	11.2			使用した分散剤	ヘキサメタリン酸ナトリウム
	0.0035	9.6			溶媒濃度，溶液添加量	20%，10ml
	0.0014	8.5			20 % 粒径 D_{20} mm	0.042



粒径	土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫

特記事項

(社)地盤工学会 6363

第５－273図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（95）

JIS A 1205
JGS 0141

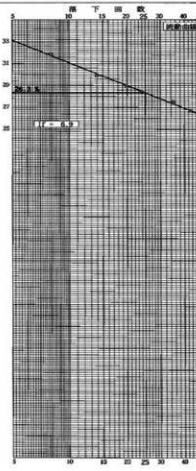
土の液性限界・塑性限界試験（試験結果）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日　平成 20年 4月 9日

試験者　熊谷 恵

試料番号（深さ）　No.6

液性限界試験		塑性限界試験		液性限界 w_L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %		28.3
43	26.7	17.7		塑性限界 w_P %
35	27.5	17.5		17.5
24	28.4	17.3		塑性指数 I_p
20	28.9			10.8
14	29.9			
8	31.9			



試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験		液性限界 w_L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %		
				塑性限界 w_P %
				塑性指数 I_p

試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験		液性限界 w_L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %		
				塑性限界 w_P %
				塑性指数 I_p

試料番号（深さ）

液性限界試験		塑性限界試験		液性限界 w_L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %		
				塑性限界 w_P %
				塑性指数 I_p

特記事項

(社)地盤工学会 6352

第５－274図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（96）

JIS A 1225
JGS 0191

土の湿潤密度試験（ノギス法）

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成 20年 4月 17日

試料番号（深さ） No.6　　試 験 者 梅本 学

供試体No.				1	2	3		
供試体の質量 m g				116.80	116.56	116.44		
供試体の寸法	直径	上部	cm	6.00	6.00	6.00		
		中部	cm	6.00	6.00	6.00		
		下部	cm	6.00	6.00	6.00		
		平均値 β	cm	6.00	6.00	6.00		
	高さ		cm	2.00	2.00	2.00		
		平均値 β	cm	2.00	2.00	2.00		
体積 $V=(\pi\beta^2/4)\beta$ cm^3				56.55	56.55	56.55		
含水比	容器No.			385	98	278		
	m_1		g	73.25	73.35	70.44		
	m_2		g	66.02	66.15	63.81		
	m_3		g	26.54	28.13	26.73		
	w		%	18.3	18.9	17.9		
水比	容器No.			366	274	414		
	m_1		g	65.62	79.88	66.49		
	m_2		g	59.28	72.10	59.37		
	m_3		g	24.32	32.04	19.06		
	w		%	18.1	19.4	17.7		
	平均値 w		%	18.2	19.2	17.8		
湿潤密度 $\rho_t=m/V$			g/cm³	2.065	2.061	2.059		
乾燥密度 $\rho_d=\rho_t/(1+w/100)$			g/cm³	1.747	1.729	1.748		
間隙比 $e=(\rho_s/\rho_d)-1$				0.517	0.533	0.517		
飽和度 $S_r=w\rho_s/(e\rho_w)$			%	93.3	95.5	91.3		
土粒子の密度 ρ_s			g/cm³	2.651	平均値 w %	18.4	平均値 ρ_s g/cm³	2.062
平均値 ρ_t			g/cm³	1.741	平均値 e	0.522	平均値 S_r %	93.4

特記事項

(社)地盤工学会 *6381*

第5－275図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（97）

JIS A 1210
JGS 0711

突固めによる土の締固め試験（測定）

調査件名 史跡高松城跡天守台石垣解体工事 土質試験　　試験年月日 平成 20年 4月 7日

試料番号（深さ） No.6　　試 験 者 寺本 広記

試験方法	A－b	土質名称	粘性土質礫質砂（SCsG）		
試料の準備方法	乾燥法，○繰返し法	ランマー質量 kg	2.5	モールド	内径 cm	10.0
試料の使用方法	○繰返し法，非繰返し法	落下高さ cm	30		高さ cm	12.73
含水比	試料分取後 w_0 %	突固め回数 回/層	25		容量 V cm^3	1000
	乾燥処理後 w_n %	6.2	突固め層数 層	3		質量 m_1 g	2403

測定No.				1	2	3	4
湿潤+モールド質量 m_2 g				4303	4388	4552	4556
湿潤密度 ρ_t g/cm³				1.900	1.985	2.149	2.153
平均含水比 w %				6.2	8.3	10.6	12.6
乾燥密度 ρ_d g/cm³				1.789	1.833	1.943	1.912
含水比	容器No.			1144	1099	1032	1080
	m_1		g	533.05	412.59	433.41	534.83
	m_2		g	509.43	391.47	404.24	490.72
	m_3		g	129.74	128.81	132.12	131.67
	w		%	6.2	8.0	10.7	12.3
水比	容器No.			1030	1096	1122	1041
	m_1		g	500.90	566.59	515.00	516.28
	m_2		g	479.44	532.41	477.95	472.22
	m_3		g	130.34	129.95	126.47	129.91
	w		%	6.1	8.5	10.5	12.9
測定No.				5	6	7	8
湿潤+モールド質量 m_2 g				4524	4492	4452	
湿潤密度 ρ_t g/cm³				2.121	2.089	2.049	
平均含水比 w %				14.7	16.6	18.1	
乾燥密度 ρ_d g/cm³				1.849	1.792	1.735	
含水比	容器No.			1178	1188	1118	
	m_1		g	564.48	510.90	653.95	
	m_2		g	509.71	455.69	576.12	
	m_3		g	132.02	128.98	133.89	
	w		%	14.5	16.9	17.6	
水比	容器No.			1046	1154	1020	
	m_1		g	569.77	512.57	537.00	
	m_2		g	513.43	459.05	473.48	
	m_3		g	132.74	128.70	130.15	
	w		%	14.8	16.2	18.5	

特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを含けく。
2) モールドの質量は底板を含む。

$\rho_d=\frac{\rho_t}{1+\frac{w}{100}}$

(社)地盤工学会 *6521*

第5－276図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（98）

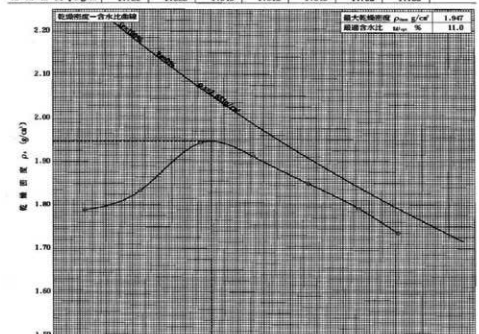
JIS A 1210
JGS 0711

突固めによる土の締固め試験（締固め特性）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成 20年 4月 7日

試料番号（深さ）　No.6　　試験者　寺本 広紀

試験方法	A－b		土質名称		粘性土質礫質砂（SCsG）			
試料の準備方法	乾燥法，~~湿潤法~~		ランマー質量 kg		2.5	土粒子の密度 ρ_s g/cm³		2.651
試料の使用方法	~~締固し法~~，非締固し法		落下高さ cm		30	試料調製法の最大粒径 mm		
含水比	試料分散後 w_0 %		突固め回数 回/層		25	モールド	内径 cm	10.0
	乾燥処理後 w_1 %	5.2	突固め層数 層		3		高さ cm	12.73
測定 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
平均含水比 w %	6.2	8.3	10.6	12.6	14.7	16.6	18.1	
乾燥密度 ρ_d g/cm³	1.789	1.833	1.943	1.912	1.849	1.792	1.735	



特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
ゼロ空気間隙曲線の計算式
$\rho_{max}=\frac{\rho_s}{\rho_s/\rho_w\times w/100}$

(社)地盤工学会 6522

第５－277図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（99）

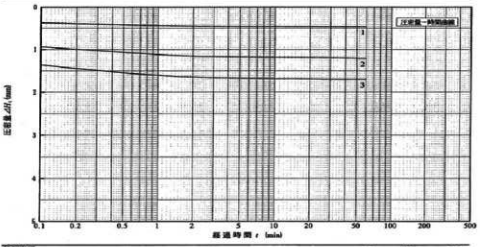
JGS 0560 0561

土の圧密（定体積/定圧）一面せん断試験（初期状態，圧密過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年4月18日

試料番号（深さ）　No. 6 不撹乱　　試験者　梅本 学

試料	土質名称	(SCsG)	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.651	試験機器の形式	垂直力の加圧形式	重錘・レバー式
	最大粒径 mm					垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）
	状態	（撹乱）・非撹乱				垂直力載荷装置の位置	上面（下面）
供試体	直径 D cm	6.00	断面積 A cm²	28.27		可動	上面・下面
	作製方法	トリミング				すき間の設定方法	すき間設定ネジ
供試体 No.		1	2	3			
圧密応力 σ_c kN/m²		50	100	200			
初期状態	高さ H_0 cm	2.00	2.00	2.00			
	湿潤質量 m_0 g	116.80	116.56	116.44			
	炉乾燥質量 m_s g	98.82	97.79	98.85			
	含水比 w_0 %	18.2	19.2	17.8			
	高質高さ H_s cm	1.32	1.30	1.32			
	湿潤密度 ρ_{t0} g/cm³	2.066	2.062	2.059			
	乾燥密度 ρ_{d0} g/cm³	1.748	1.729	1.748			
	間隙比 e_0	0.515	0.538	0.515			
	飽和度 S_{r0} %	93.7	94.6	91.6			
圧密状態	圧密時間 t_c min	60	60	60			
	最終圧密量 ΔH_c cm	0.05	0.12	0.17			
	高さ H_c cm	1.95	1.88	1.83			
	乾燥密度 ρ_{dc} g/cm³	1.792	1.840	1.910			
	間隙比 e_c	0.477	0.446	0.386			



特記事項

$H_c=\frac{m_c}{A\rho_s}$, $e=\frac{H}{H_s}-1$, $S_{r0}=\frac{w_0\rho_s}{e_0\rho_w}$

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4742

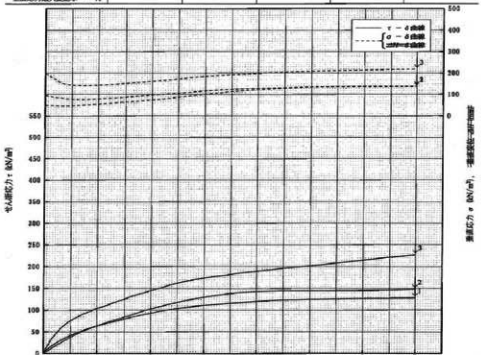
第５－278図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（100）

JGS 0560 0561　土の圧密（定体積）定圧　一面せん断試験（せん断過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年4月18日

試料番号（深さ）No. 6 不攪乱　　試験者　梅本　学

土質名称	(SCsG)	最大粒径 mm		供試体直径 cm	6.00
垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）	せん断変位速度 mm/min	0.10	すき間の大きさ mm	0.30
供試体No.	1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200		
圧密量	129	148	227		
圧密量	7.00	7.00	7.00		
垂直応力 σ_1 kN/m²	139.4	137.2	218.8		
垂直応力 σ_2 kN/m²					
垂直応力 σ_3 kN/m²					
垂直変位 ΔH_1 mm					
垂直変位最大変動幅[1] mm					
垂直応力最大変動率[2] %					



特記事項

1) 定体積試験のときのみ記入する。
2) 定圧試験のときのみ記入する。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4743

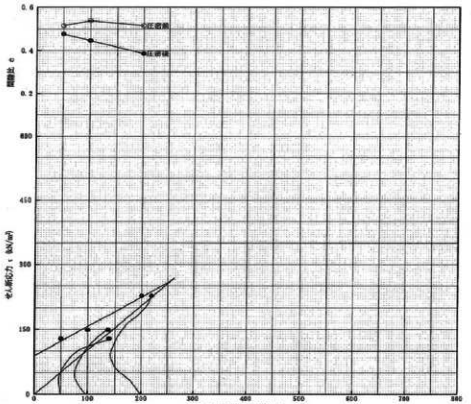
第5－279図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（101）

JGS 0560　土の強度特性　土の圧密定体積一面せん断試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年4月18日

試料番号（深さ）No. 6 不攪乱　　試験者　梅本　学

強度定数	全応力			有効応力	
応力範囲	σ_{cu} kN/m²	ϕ_{cu} °	$\tan\phi_{cu}$	σ_1' kN/m²	ϕ_1' °
正規圧密領域					
過圧密領域					
	89	34.0	0.67	0	45.6



特記事項

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

4737

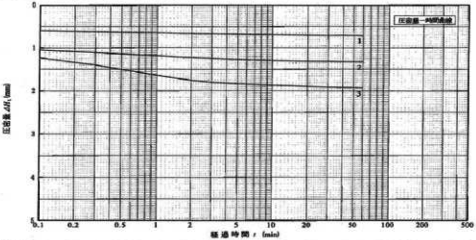
第5－280図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（102）

JGS 0560 / 0561　土の圧密（定体積）定圧　一面せん断試験（初期状態, 圧密過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年4月21日

試料番号（深さ）　No. 6　撹乱　　試験者　梅本　学

試料	土質名称	(SCsG)	土粒子の密度 ρ_s g/cm³	2.651	垂直力の加圧形式	重錘・レバー式
	最大粒径 mm				垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）
	状態	撹状（非撹状）			垂直力載荷装置の位置	上面（下面）
供試体	直径 D cm	6.00	断面積 A cm²	28.27	可動箱	（上箱）下箱
	作製方法	静的締固め			すき間の設定方法	すき間設定ネジ
供試体 No.		1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²		50	100	200		
初期状態	高さ H_0 cm	2.00	2.00	2.00		
	湿潤質量 m_0 g	116.60	116.60	116.60		
	炉乾燥質量 m_s g	99.40	99.40	99.40		
	含水比 w_0 %	17.3	17.3	17.3		
	実質高さ H_s cm	1.33	1.33	1.33		
	湿潤密度 ρ_{t0} g/cm³	2.062	2.062	2.062		
	乾燥密度 ρ_{d0} g/cm³	1.758	1.758	1.758		
	間隙比 e_0	0.504	0.504	0.504		
	飽和度 S_{r0} %	91.0	91.0	91.0		
圧密後	圧密時間 t_c min	60	60	60		
	最終圧密量 ΔH_c cm	0.07	0.13	0.19		
	高さ H_c cm	1.93	1.87	1.81		
	乾燥密度 ρ_{dc} g/cm³	1.822	1.880	1.942		
	間隙比 e_c	0.451	0.406	0.361		



特記事項

$H_s=\frac{m_s}{A\rho_s}$, $e=\frac{H}{H_s}-1$, $S_{r0}=\frac{w_0\rho_s}{e_0\rho_w}$

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4742

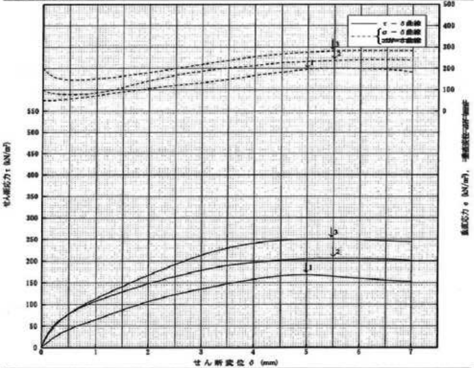
第５－281図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（103）

JGS 0560 / 0561　土の圧密（定体積）定圧　一面せん断試験（せん断過程）

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年4月21日

試料番号（深さ）　No. 6　撹乱　　試験者　梅本　学

土質名称	(SCsG)	最大粒径 mm		供試体直径 cm	6.00
垂直力荷重計の位置	反力板側（加圧板側）	せん断変位速度 mm/min	0.10	すき間の大きさ mm	0.30
供試体 No.	1	2	3		
圧密応力 σ_c kN/m²	50	100	200		
せん断力最大時：定圧（定体積）せん断強さ τ_f kN/m²	169	206	251		
せん断力最大時：せん断変位 δ_f mm	4.99	5.50	5.46		
せん断力最大時：垂直応力 σ_f kN/m²	195.7	237.5	281.9		
せん断力最大時：垂直変位 ΔH_f mm					
垂直変位最大変動幅[1] mm					
垂直応力最大変動率[2] %					



特記事項

1) 定体積試験のときのみ記入する。
2) 定圧試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

4743

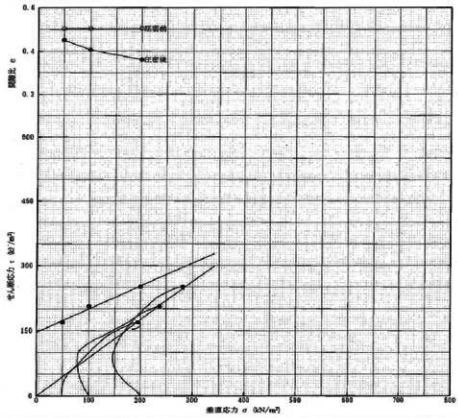
第５－282図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（104）

JOS　0560　土の強度特性　土の圧密定体積一面せん断試験

調査件名　史跡高松城跡天守台石垣解体工事　土質試験　　試験年月日　平成20年4月21日

試料番号（深さ）　No. 6　攪乱　　試験者　梅本　学

強度定系 / 応力範囲	全応力 c_{cu} kN/m²	全応力 ϕ_{cu} °	全応力 $\tan\phi_{cu}$	有効応力 c'_d kN/m²	有効応力 ϕ'_d °
正規圧密領域					
過圧密領域	146	28.0	0.53	0	41.2



特記事項

[1kN/m²=0.0102kgf/cm²]

4137

第5－283図　石垣解体工事に伴う土質試験結果（105）

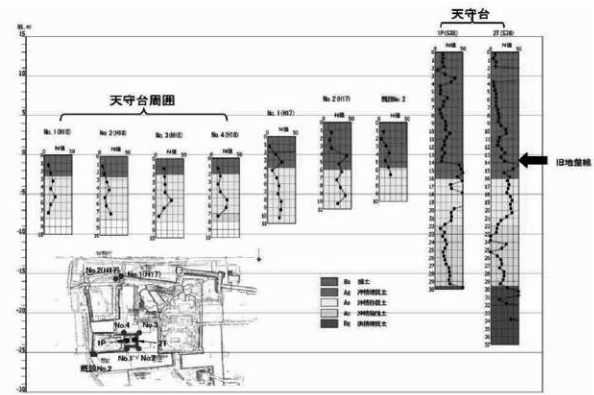
第３項　地盤調査

周辺地盤の地形・地質と液状化

第５－284図に，玉藻公園内で実施した既往ボーリング調査報告書による，天守台および周辺地盤における標準貫入試験結果を示す。天守台周囲の地盤は，上位から，沖積礫質土，沖積砂質土，沖積粘性土，そして洪積礫質土が堆積している。沖積層厚は約10 mであり，沖積礫質土および沖積砂質土ともにN値は小さいことが分かる。

天守台の柱状図から，天守台盛土のN値は概ね10～20であり，旧地盤線より下位の沖積礫質土および沖積砂質土のN値は，天守台周囲のN値と比較して大きい。このN値が大きい理由として，上載荷重による拘束圧増加と圧密による効果もあるが，それ以上に，当時の築造場所の判断として，微地形を利用し少し高まりのある，すなわち礫分の多い（N値の高い）場所を選択したのではないかとの推測ができる。

四国地盤情報活用協議会のボーリングデータを用いて，高松城天守台近傍の地盤の液状化判定を「道路橋示方書・同解説 Ⅴ耐震設計編（1996年12月）」に準じて実施した。

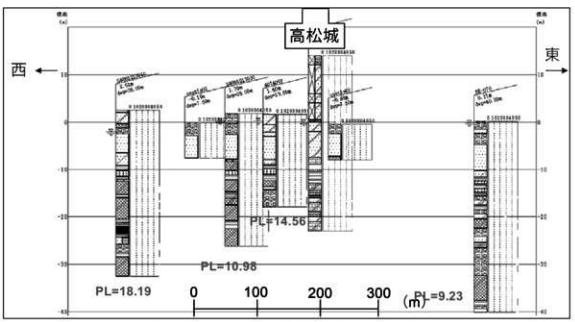


第５－284図　高松城周辺（玉藻公園内）の地質柱状図

第５－285図に，液状化判定を実施した南北断面線を示す。

第５－286図は，第５－285図に示した断面線におけるボーリングデータにより求めた液状化危険度評価値PL値を併記している。高松城周辺地盤のPL値は概ね10～15であり，液状化危険度ランクはB（液状化危険度は高い）と判定される。

第５－285図　液状化判定を実施した断面



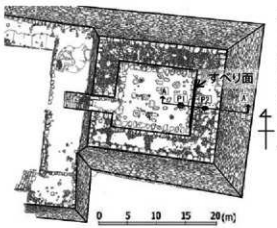
第５－286図　液状化危険度評価値（PL値）

石垣内部盛土について

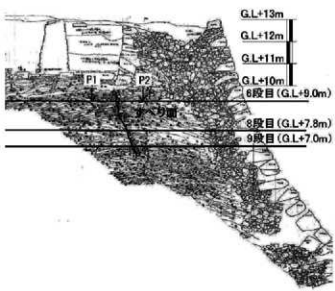
１）版築構造とすべり面の検出

2007年９月より進められている史跡高松城天守台石垣解体修理工事では，工事の進行とともに内部盛土の詳細な観察が進められ，盛土が版築構造となっていることが判明した。すなわち，文化財として当時の盛土技術を推定する上で，現状の盛土の地盤工学的物性を得ることは極めて重要であると考えられた。そこで，石垣内部盛土の土質物性を詳細に調査することとなった。

調査の過程において，第５－287図に示す断面おける石垣内部盛土内に，第５－288図に示すようなスベリ面が発見された。このすべり面は前面石垣のハラミによるものと推測されたため，このスベリの確認を目的とし，６段目のＰ１およびＰ２の２箇所で簡易動的貫入試験を実施した。本試験は，ハンマー打撃１回当たりの打撃力とロッド貫入量から，地盤の深さ方向の強度分布を測定する試験である（第５－289図参照）。

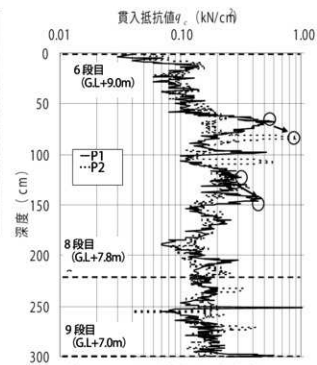


第５－287図　高松城天守台平面図



第５－288図　石垣断面図(A-A'断面)

第５－289図　簡易貫入試験実施状況
(すべり土塊の検出)



第５－290図　簡易貫入試験結果

第５－290図に，簡易貫入試験の結果を示す。ピーク値の変化から判断すると６段目から80cmの深さで約15cmのスベリの発生を確認することができる。その後の断面観察により平面的にも広がりを有していることが確認できている。このスベリ面が検出された東側石垣の下部には，ハラミが発生していることから，このスベリは前面の石垣のハラミにともない，石垣背面土塊が落ち込んだために形成されたと考えられる。

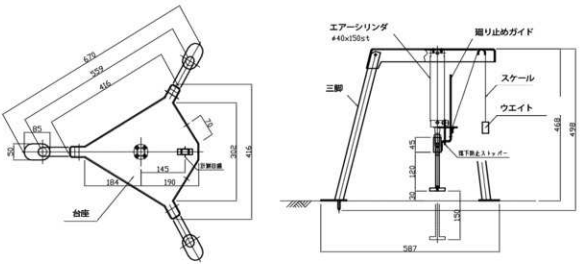
2）盛土の簡易支持力試験によるゆるみ域の検出

すべり土塊の内部盛土にゆるみ域が生じているものと考え，このゆるみ域の検出を目的として簡易小型支持力試験を実施した。

地盤の支持力を求める方法として，地盤の平板載荷試験が広く一般に用いられている。しかし，この平板載荷試験は，反力装置として反力杭や載荷ばり（時には重機）を必要とすることから，作業スペースを広く必要とし，準備等により多くの時間がかかることが問題となる。

第５－291図に，用いた簡易小型支持力試験機の概略図を示す。測定時の最大寸法は高さ50cm，最大幅67cmと小さく，本体重量が約8.0kgと小型軽量な試験機である。試験方法として，５種類の載荷板（16～50mm）を介して，対象地盤に直接的に載荷する方法をとる。測定者の体重を反力とし，測定時間は測定準備を含め1箇所あたり30分程度であり，短時間に複数個所での試験が可能である。また，支持力試験の対象とする地盤は，載荷板が小さいことから，粘性土～砂質土の比較的粒径が小さい範囲を適用の対象としている。

第５－292図に，簡易支持力試験の実施状況を示す。

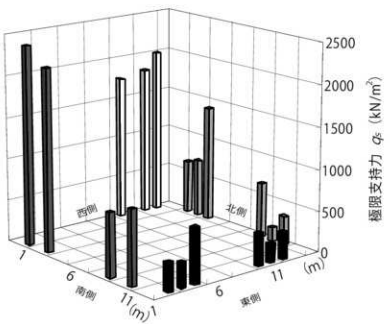


第５－291図　簡易小型支持力試験機の概略図

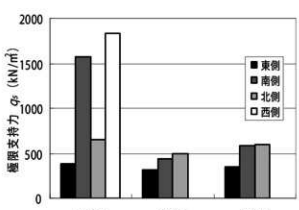
第５－292図　簡易支持力試験の実施状況

第５－293図に，石垣６段目の盛土面における簡易支持力試験機による極限支持力を示す。地盤状況に合わせて載荷板を変化させ，東側面では直径25～50㎜を，その他の側面では直径16㎜および25㎜を使用した。各測点１回毎の計測結果である。進入路のある西側から，スベリの発生した東側に向かって極限支持力が小さい傾向にあることがわかる。

第５－294図に，石垣６～９段目における側面別の平均した極限支持力を示す。６段目の西側と南側の極限支持力が大きい理由としては，上部構造物や土の撤き出しの影響が考えられる。特に，盛土構築時には，西側より土を搬入し土を撤き出したことから，６段目西側が特に締め固まり，極限支持力が大きくなったもの思われる。また各断面において，東側の極限支持力qsの値はその他の方向よりも小さい。これは内部盛土スベリにより，東側が緩んだ結果であると考えている。



第５－293図　極限支持力qs(石垣６段目)



第５－294図　石垣６～９段目における方向別極限支持力qs

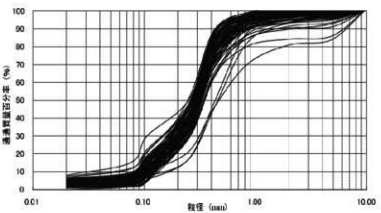
３）盛土構成土の基本土質物性

版築構造と築造当時の締固めエネルギーを求めることを目的として，円筒モールド（内径５cm，高さ５cm）を用いて不撹乱状態で土質試料を採取した。

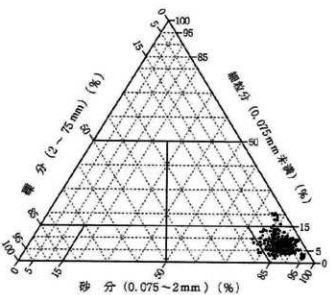
第５－295図に，盛土掘削面から採取した土質試料（計88試料）の粒度分布を示す。当初は，砂質土と粘性土の２グループの粒度分布となることを想定していたが，粒度試験の結果からは，ほとんどの試料が砂質土であり，すなわち均一な土質材料で構成されていることが判明した。

第５－296図に，採取した土質材料の分類結果（三角座標）を示す。礫分15%以下，砂分85%以上，細粒分15%以下に大部分が集中し，ほとんどが細粒分まじり砂と分類される。

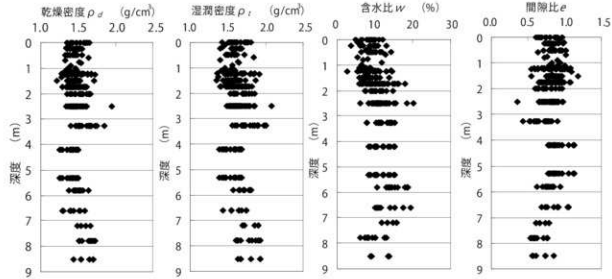
また，貝殻片を含む土質も多く見られた。したがって，高松城天守台石垣内部の盛土材料としては内堀や外堀を掘削した際の土砂等（ほとんどが海砂）を利用したことがうかがえる。



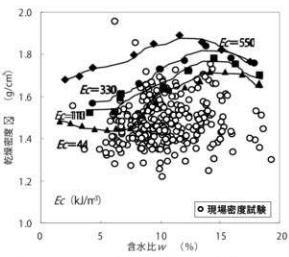
第５－295図　粒径加積曲線



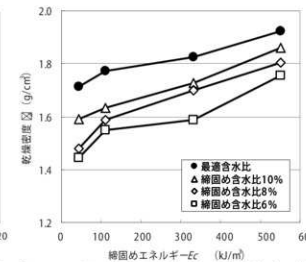
第５－296図　土の分類（三角座標）



第５－297図　土質物性の深度方向変化



第５－298図　締固め曲線と現場密度の関係



第５－299図　締固めエネルギーと乾燥密度の関係

第５－297図に，各土質物性値の深さ方向変化を示す。なお，深度０mは盛土上面を，深度９mは天守台周辺の海水位より概ね１m上方に相当する。乾燥密度および湿潤密度ともに，どの深度とも緩い状態である。含水比は全体的に小さく，透水性の良さが伺える。

第５－298図に，締固めエネルギーEcを変化させた締固め曲線（Ec＝44～550kJ/m³の４条件）を示す。図中の○印は，不撹乱試料から求めた現場密度試験の値である。現場乾燥密度は，いずれの締固め曲線よりも概ね下位に位置し，より小さな締固めエネルギーで盛土が構築されたことが推定できる。

第５－299図に，含水比別の締固めエネルギーと乾燥密度の関係を示す。使用した土質材料は近傍の砂質土の利用が考えられることから，締固め時の含水比を低めの８％とすると，締固め乾燥密度1.5g/cm³を得るための締固めエネルギーは約60kJ/m³である。これは100N（9.8kgf）の重しを30cmの高さから２回落下させた締固めエネルギーに相当する。

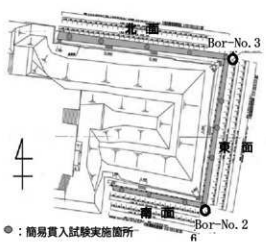
すなわち，高松城天守台石垣内部盛土は版築構造を一見なしているが，一般的に見られる明瞭

な砂質土と粘性土の互層ではなく，単一粒度の砂質土で構成され，かつ緩く盛土が築造されていることが判明した。また，盛土を構築するための締固めエネルギーは小さいことから，盛土築造時には締固めを強く意図したものではないことが推定できた。

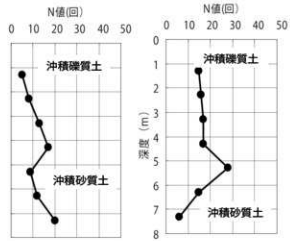
木杭枠工による地盤の安定化

高松城石垣解体修復工事において，石垣外側の地盤に木杭を打ち込んで枠を作り，緩い砂で構成されている枠内に割石を敷き詰めて石垣底部の地盤を安定化させる枠工の工事が実施された。この工事と並行して，枠工打設の前後において簡易貫入試験を行い，枠工打設による地盤の締固め効果を検討した。

第５－300図に示す天守台の隅角部でのボーリングによる，地盤のＮ値分布を第５－301図に示す。地盤表層部のＮ値は10～20程度の砂層が分布している。また，天守台盛土直下のＮ値が大きいのに比べ，盛土周辺のＮ値は比較的小さく，緩く堆積している。

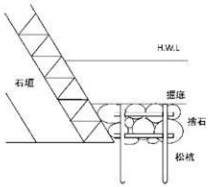


第５－300図　ボーリング位置図



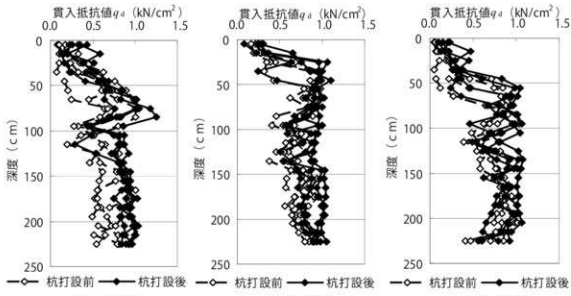
第５－301図　天守台部のＮ値

第５－302図に松杭と捨石による枠工の模式図を，第５－303図に枠工設置状況をそれぞれ示す。実施された枠工は，解体時には発見されていないものの，当時の技術水準と照らし合わせ，石垣基底部の安定化策として適用された。この枠工は構造物の外側に木杭を枠型に打ち込み，地盤の強度を上げることを目的としている。枠工の杭は，直径200㎜，長さ３ｍであり，1.4ｍ間隔で正三角配置されている。



第５－302図　枠工の模式図

第５－303図　枠工設置状況(2009年２月26日撮影)

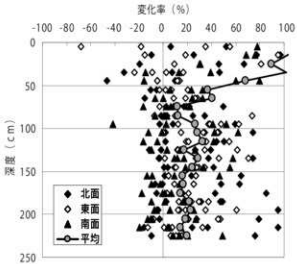


第５－304図　杭打設前後の貫入抵抗値

杭打設による地盤の硬さの変化をみるために，高松城天守台石垣を取り囲むように施工される枠工部の計12箇所において，簡易貫入試験を杭打設前後に実施した。

第５－304図に，側面別の杭打設前後の貫入抵抗値qdを示す。全体的にqdは杭打設により増加していることが読みとれる。側面別では，北面における貫入抵抗値の変化，比較的大きいようである。

第５－305図に，杭打設による貫入抵抗値qdの変化率の深度別分布を示す。表層部のqdの変化率が大きいことが分かる。このことより，天守台石垣の修復に伴う枠工による地盤補強工事において，杭打設前後における簡易貫入試験を行うことにより，杭打設による地盤の締固め効果を確認することができた。



第５－305図　杭打設による貫入抵抗の変化

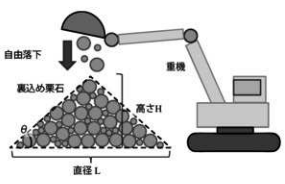
第４項　栗石調査

天守台裏込め栗石の内部摩擦角の測定

高松城天守台石垣の安定性に大きく影響すると考えられる裏込め栗石の力学的物性値（特に内部摩擦角）の把握を目的として，工事現場内において安息角測定実験を実施した。

第５－306図に，安息角測定実験の概念図を示す。石垣解体修復工事において取り出されている裏込め栗石（長径約30～40cm，短径約20～30cm）を，重機（バックホウ）のバケットからの自由落下させることにより，円錐状の山を形成する。円錐状の山の側面勾配が定常状態になったことが目視により確認できるまで栗石の自由落下を繰り返す。

第５－307図は，安息角測定実験の状況であり，形成された円錐状の山を示す。概ね高さ２m，直径６mの山が形成できた。

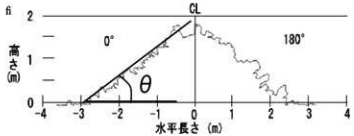


第５－306図　安息角測定実験の概念図

第５－307図　形成した栗石の円錐状の山

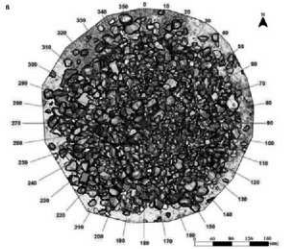
この形成した栗石からなる山の側面勾配を詳細に測定するために，３次元レーザー測量を実施した。第５－309図に，３次元レーザー測量で求めた山の形状を示す。この形状の全方向の斜面勾配を解析するために，平面図において円錐中心点を中心に18断面を取り出した。

第５－308図に，一例として０度～180度断面での表面形状を示す。この表面形状の斜面勾配θを算出した。計18断面の斜面勾配を求めたところ，方向別に大きな違いは見られなかったために，全断面の平均値を算出したところ，平均斜面勾配θ＝39.1度の値が得られた。



第５－308図　斜面勾配θ

(a) 側面図



(b) 平面図

第５－309図　３次元レーザー測量による解析形状

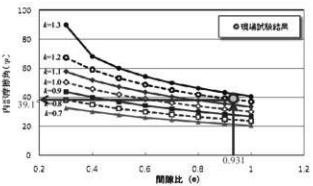
この平均斜面勾配 39.1 度は安息角を示し，この安息角は実験に用いた栗石の場合（粘着力がゼロの場合），内部摩擦角 ϕ に相当する。一般に内部摩擦角 ϕ は，間隙比（詰まり具合の指標）e と相関があるとされているために，栗石の間隙比 e を別途求めて，実験値である ϕ ＝ 39.1 度の値を検討することとした。

間隙比 e は，予め水を貯めて容積を求めたドラム缶に入る栗石の容積を算出することで間隙比 e ＝ 0.931 が得られた。この間隙比 e を用いて以下に示す最上の式により内部摩擦角を推定する。

$$sin\phi = \frac{k}{1+e}$$

ここで，k：最上の定数（0.7 ～ 1.3）

現場試験により求めた ϕ ＝ 39.1 度，e ＝ 0.931 から，最上の式により求めた k は 1.21 となり，比較的大きな値となった。定数 k は，粒子形状や密度，岩質により変化する。用いた栗石の形状が角張った割石であることから，比較的大きな k を与えたものと考えられる。



第５－310図　最上の式による ϕ と e の関係

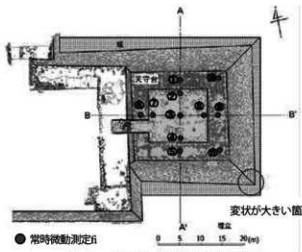
第５項　常時微動測定

修理工事前後に実施した常時微動測定

解体修理工事に先がけて天守台での常時微動測定を実施した結果，石垣の変状が大きい箇所での卓越周波数が小さくなる傾向が得られた。このことから天守台石垣の各位置で測定した卓越周波数は，天守台石垣の相対的な健全性を把握できる指標となり得ると考え，解体修理工事終了後の天守台石垣を対象として，再度，常時微動測定を実施した。

第５－311図に，天守台上での常時微動測定箇所を示す。測定箇所数は，盛土部で５箇所と石垣上部で６箇所の計11箇所である。なお，修理工事前において石垣に最も変状の大きかった箇所は東南角部であり，石垣東面でハラミやズレが大きく，石垣北面は比較的変状の少ない健全な石垣であった。

常時微動測定には，サーボ型速度計（VSE-15D）と携帯型記録計（SPC-35N）を使用した。速度計は0.3～30Hzでフラットな利得特性を示す。各測点においてサンプリング周波数100Hzで５分間の測定を行った。測定波形の中からノイズの少ない20.48秒間のデータを10個取り出し，成分ごとのフーリエスペクトルを求めた。さらに，水平上下フーリエスペクトル比（H/Vスペクトル比）を求めた。なお，スペクトルはバンド幅1.0HzのParzenウィンドウにより平滑化を行った。

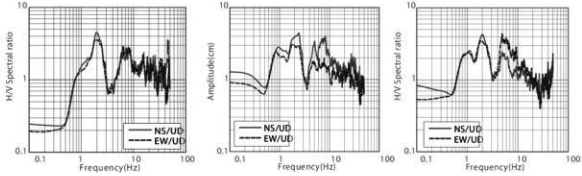


第５－311図　常時微動測定箇所

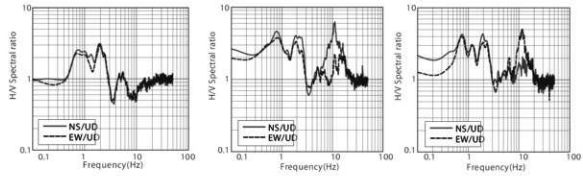
第５－312図 (a)～(c)に，修理工事前の盛土部③，北側石垣①および東側石垣⑨におけるH/Vスペクトル比を示す。修理前のスペクトル比をみると，共通して0.8Hzおよび2Hz前後に明瞭なピークが認められる。これらのピークは天守台周辺の埋立地盤でも同様に見られることから，これが基礎地盤の卓越周波数に対応するものと考えられる。しかし，これより高周波数側では，天守台盛土と石垣では形状がやや異なっている。すなわち，(a)図の盛土部③の卓越周波数では概ね5Hzに，(b)図の石垣①の卓越周波数では5Hz，8Hz付近にピークが見られることから，天守台盛土の卓越周波数は5Hz程度，石垣部の卓越周波数は8Hz程度と考えられる。この周波数帯域では，いずれも石垣直交方向の振動が卓越している。

一方，石垣部での測定結果である，(b)図と(c)図を比較すると，石垣に変状の少なかった(b)図の北側石垣では卓越周波数が8Hz程度に見られる。しかし，変状の大きかった(c)図の東側

石垣①では卓越周波数が５Hz 程度と，(b) 図の北側石垣⑨と比べて，低周波数側にピークが見られる。東側石垣⑨の卓越周波数が小さい理由としては，石垣下部の変状により間詰め石のヌケやズレが発生し，他面の石垣に比べてゆるみが大きくなっていることが考えられる。



第５－312 図　修理工事前の H/V スペクトル比

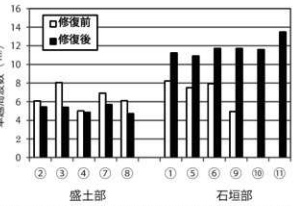


第５－313 図　修理工事後の H/V スペクトル比

第５－313 図 (a) ～ (c) に，修理工事後の天守台における H/V スペクトル比を示す。(a) 図の盛土部③の卓越周波数は，修理前と同様，５Hz 付近に明瞭なピークが見られる。一方，(b)，(c) 図の石垣①，⑨では，石垣直交方向の卓越周波数で 10Hz 付近に明瞭なピークが見られ，変状の大きかった東側石垣⑨の卓越周波数が他面の石垣と同程度のピークとして確認できる。

第５－314 図に，各測点の修理前後での石垣直交方向の卓越周波数を示す。盛土部では，全測点で修理前よりも修理後の卓越周波数がわずかに小さくなっているが，５Hz 程度とほぼ同じ値を示すことから，修理により均一な地盤となっていることが推察できる。

一方，石垣部では，修理前の卓越周波数は東側⑨以外では８Hz 程度であるが，東側⑨では５Hz 程度と卓越周波数が小さい。しかし，修理後の卓越周波数は東側⑨が 11Hz 程度と高周波数側へ移行している。また，修理前に石垣下部に変状が見られた南東角⑪でも 13Hz 程度にピークが認められる。

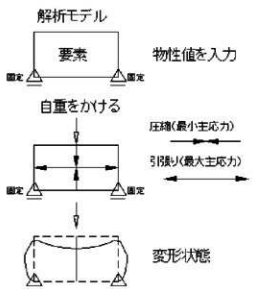


第５－314 図　修復工事前後での卓越周波数の変化

これらのことより，石垣のゆるみに改善の傾向があり，修理により石垣の剛性が高まったことが考えられる。

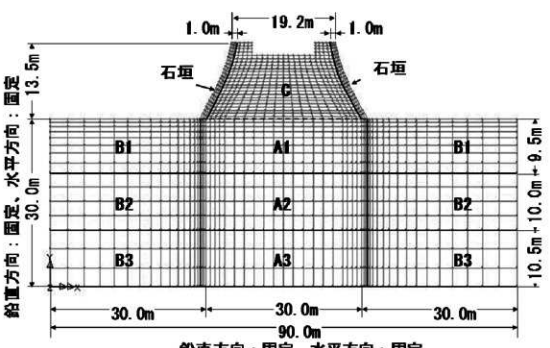
第６項　有限要素法解析（FEM 解析）

解体作業時に地盤内に観測されたスベリの方向は，石垣下部に向かっていると判断できた。石垣下部でのハラミ出しとリンクして発生した盛土地盤内でのスベリ現象と考えられる。石垣変状と石垣背面地盤でのスベリ現象は，天守台内部地盤がどのような力学状況にあったかを考える貴重な痕跡である。



第５－315 図　物性値解析モデル

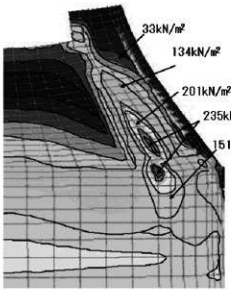
次に，この力学状態を検討するため解析条件を単純化した有限要素法解析を行った。解析モデルは石垣の断面を分割し，要素を入力し，物性値を入力し，その解析モデル左図に自重をかけ計算を行う。第５－316 図に有限要素モデル２次元を，第５－12 表に入力条件（物性値）を示す。



第５－316 図　有限要素モデル（２次元）

第５－12表　入力条件（物性値）

位置番号	要素特性	材料・層	N値	弾性係数 (N/m2)	ポアソン比	単位体積質量 (N/m3)
石垣	弾性	石垣石	－	40.0×109	0.15	2.6×103
裏込め栗石	弾性	裏込め栗石	－	50.0×107	0.2	2.1×103
A1	弾性	砂礫層	36	46.7×106	0.25	2.1×103
A2	弾性	粘性土層	19	14.3×106	0.4	1.8×103
A3	弾性	砂礫層	50	63.0×106	0.25	2.1×103
B1	弾性	砂礫層	10	14.3×106	0.25	2.1×103
B2	弾性	砂層	12	10.0×106	0.3	1.8×103
B3	弾性	砂礫層	50	63.0×106	0.25	2.1×103
C	弾性	砂礫層	10	14.3×106	0.25	2.1×103



第５－317図　天守台部分最大せん断応力解析結果

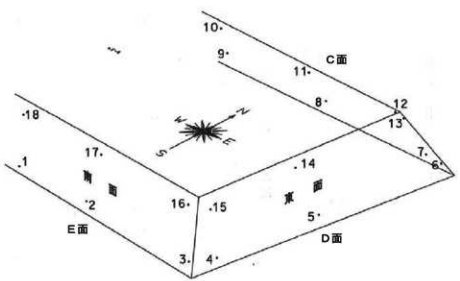
第５－316図の最大せん断応力の解析結果の天守台部分を拡大して第５－317図に示す。図より134～235kN/㎡の大きい最大せん断応力が生じている部分は，スベリが生じている部分とよく一致していることがわかる。石垣下部でハラミが生じた場合にスベリが生じやすい部分であると考察できた。

第７項　定点観測

本調査は，石垣解体作業に合わせて石材の移動量を計測することで，石垣積直しにおける安全管理基準の目安を得ることを目的とした。調査は，解体工事の施工監理を行った株式会社空間文化開発機構に委託した。調査期間は，平成 19 年 11 月６日～平成 20 年３月４日。

調査内容　観測点 18 箇所
観測回数 ６回

調査対象石垣は，天守台を画する石垣の内，堀に接する３つの石垣（Ｃ・Ｄ・Ｅ 面）とした。石垣の規模は，高さ約 14 m，天端約 22 m，裾の延長は約 30 ～ 53 m。観測点は，ハラミが広範囲で生じた足下（T.P. ２m付近）と，変形がうかがえない中段部分（T.P. ６m付近）の石垣中央と両端とした。



第５－ 318 図　観測箇所図

観測点は，石垣前面に仮設足場を設置した後，高松市文化財課と現場協議の上で決定した。プラスチック製のターゲットは，コーキング材を用いて石材正面のできるだけ中央に設置した。

観測回数は，解体前と解体途中（天端石から３・８・11・16・18 段目の解体後）の計６回とし，トータルステーションにて石材の水平および垂直移動量を計測した。なお，５～６回目の観測は，石垣中断の解体後となることから，下部の９石のみ計測した。

図上で観測箇所を計画
↓
仮設足場設置
↓
ターゲット設置
↓ ※観測位置から視認できる位置にターゲットを設置
初期値計測
↓
石垣解体開始
↓
3段目解体 ←計測（2回目）
↓
↓
↓
18 段目解体 ←計測（6回目）
↓
解体完了

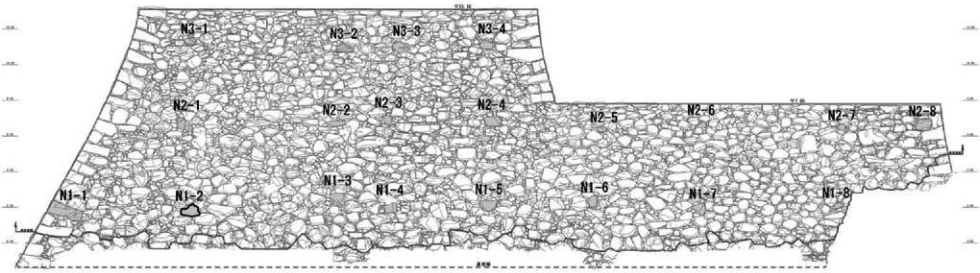
観測結果

垂直方向は，ほとんどの石材が解体前より僅かに高くなる結果となった。2回目の観測で解体前より低くなった北面および東面も，3回目以降は上昇に転じている。中段部分は，観測回数が少ないことから，最終計測値がマイナス値となった観測点がいくつかあるが，下段の移動量を除外すると全ての石材が解体前より高くなった。

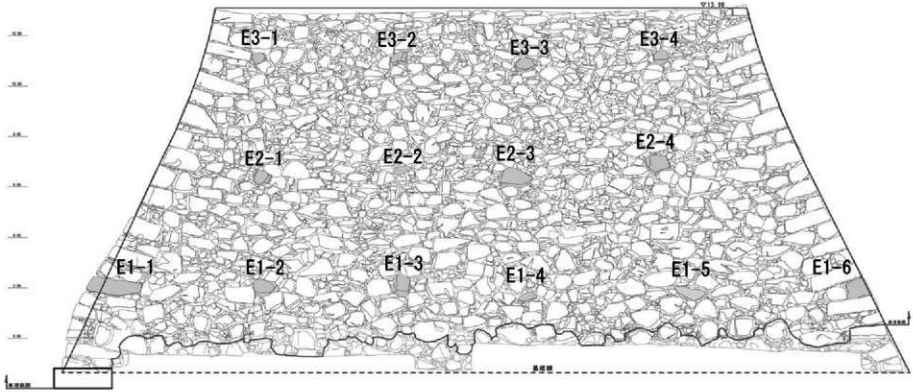
水平方向は，全ての観測点が石垣内部に向かって移動した。移動量は下段の方が多く，とりわけ東面中央から南東角にかけては，同じ面の中段より約3倍も移動した。他の面と比べても，その量は突出している。単なる上載荷重の差によるものだけでなく，解体前のハラミ量とも関係していると考えられる。東面下部では，3面の中で垂直移動量が一番少ないばかりか，中段よりも少なく，他の面ではみられない結果となった。今回の観測結果だけで，原因を解明することはできないが，こちらも垂直と水平移動量に何らかの相関関係がうかがえる。

まとめ

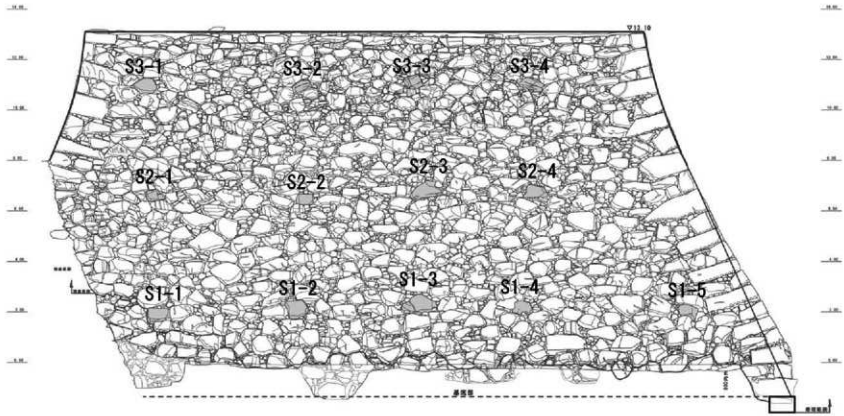
解体時の定点観測で得られたデータを基に安全管理の許容値を設定することは難しいものの，移動量とその方向にある程度の規則性がみられることがわかった。そこで，積直し時の定点観測では，不規則な動きや平均値を大きく超えた箇所を注視していくこととした。



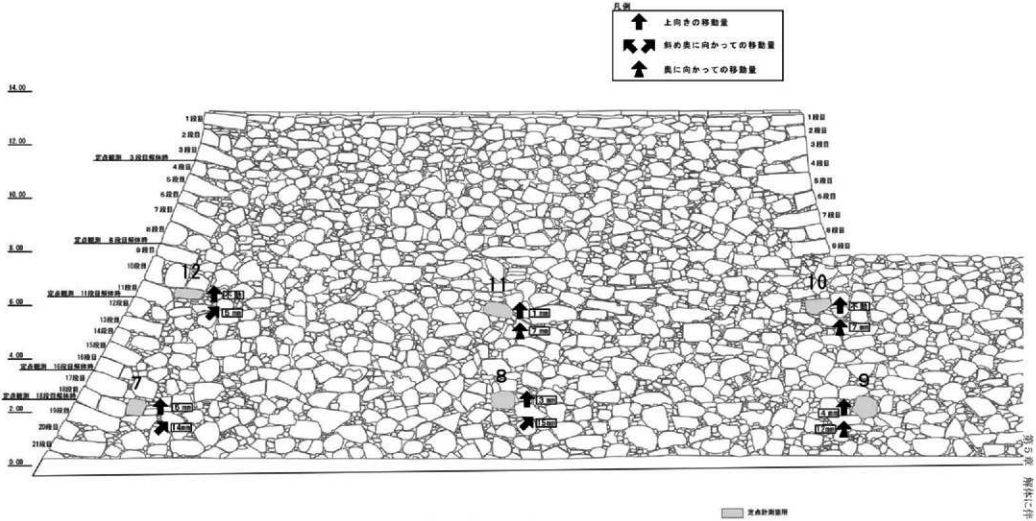
第５－319図　石垣Ｃ面定点観測位置



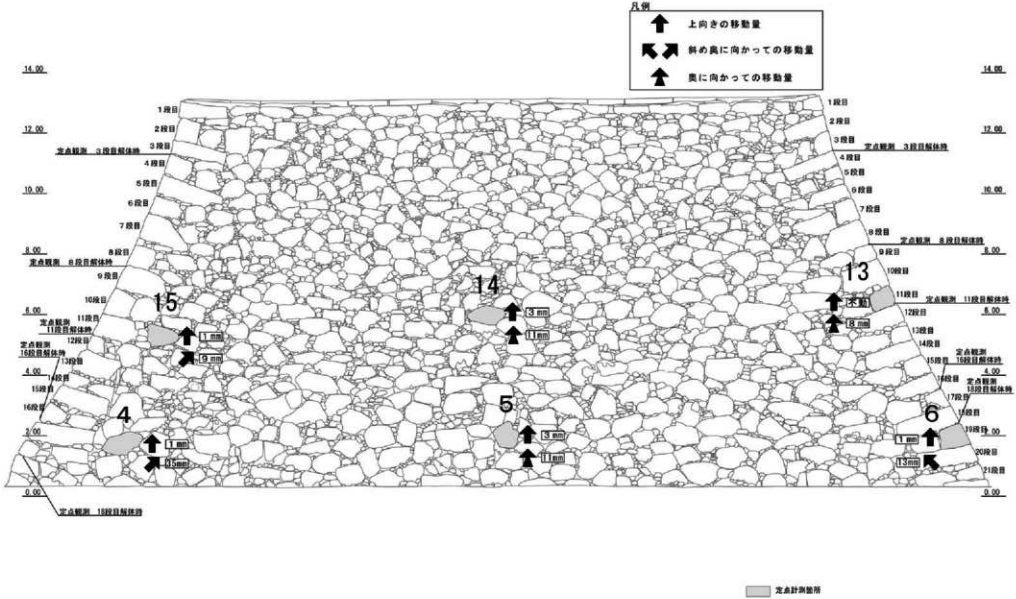
第５－320図　石垣D面定点観測位置



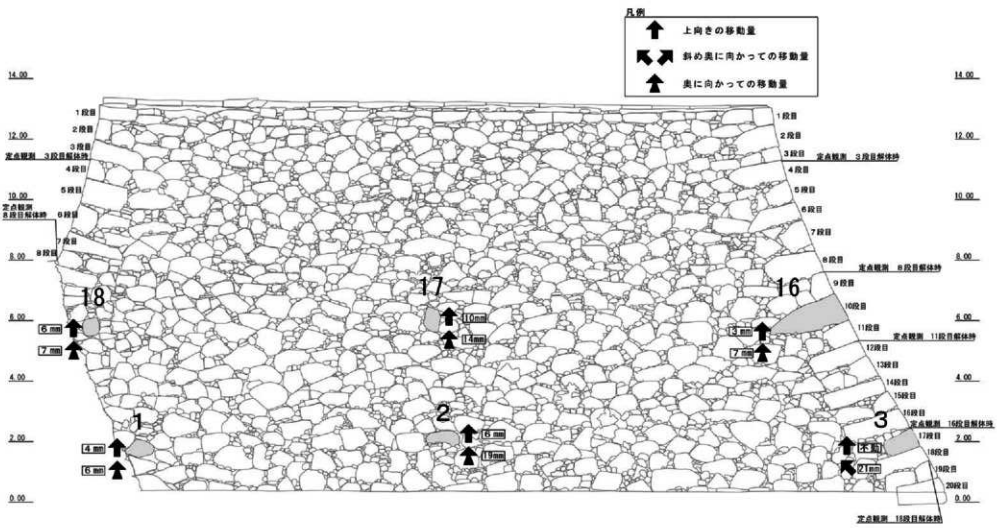
第５－321図　石垣E面定点観測位置



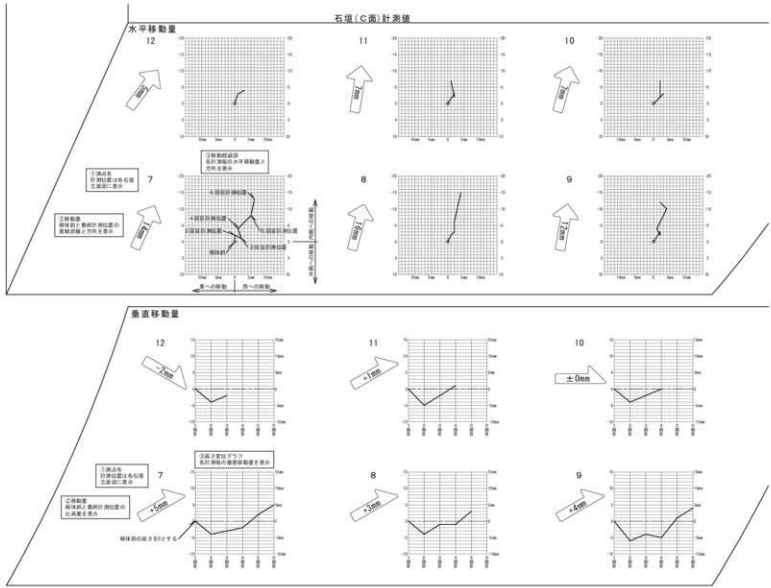
第５－322図　石垣Ｃ面解体に伴う移動量



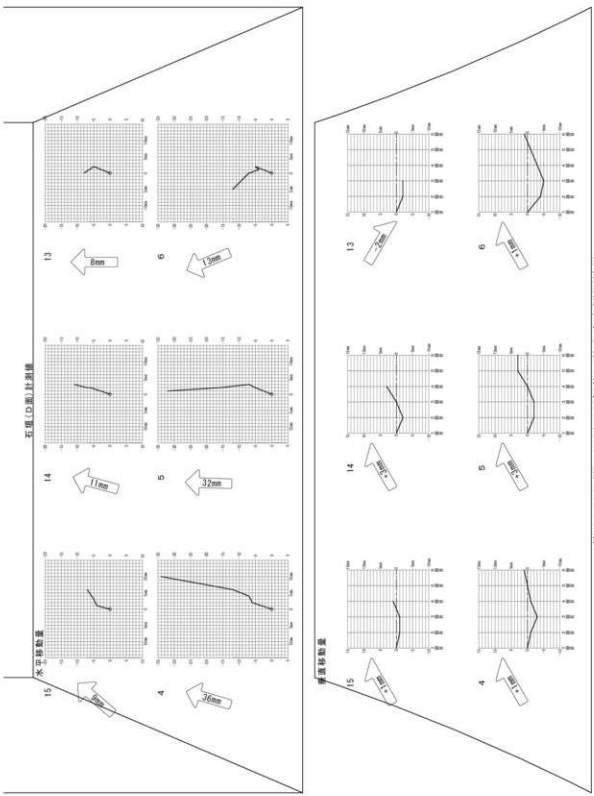
第５－323図　石垣D面解体に伴う移動量



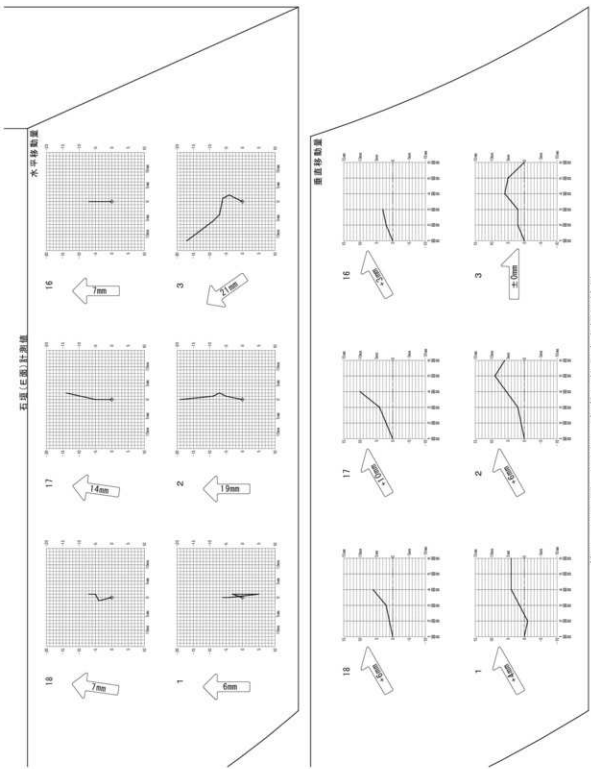
第５－324図　石垣E面解体に伴う移動量



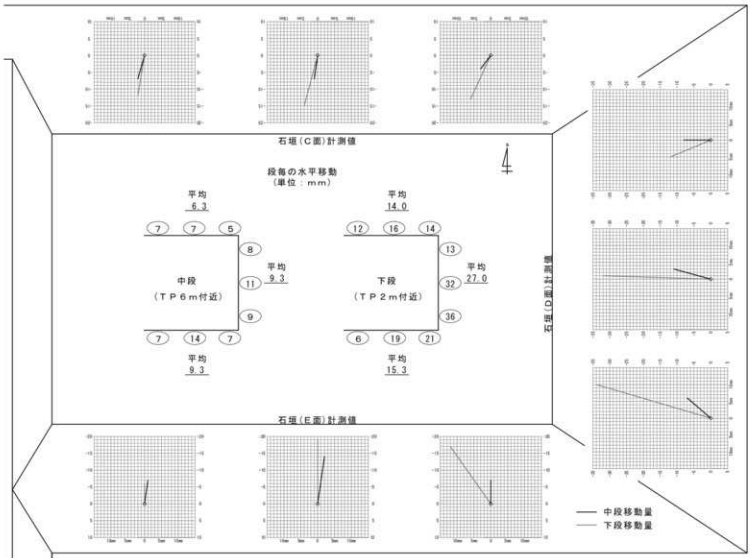
第５－325図　石垣C面解体に伴う定点観測結果



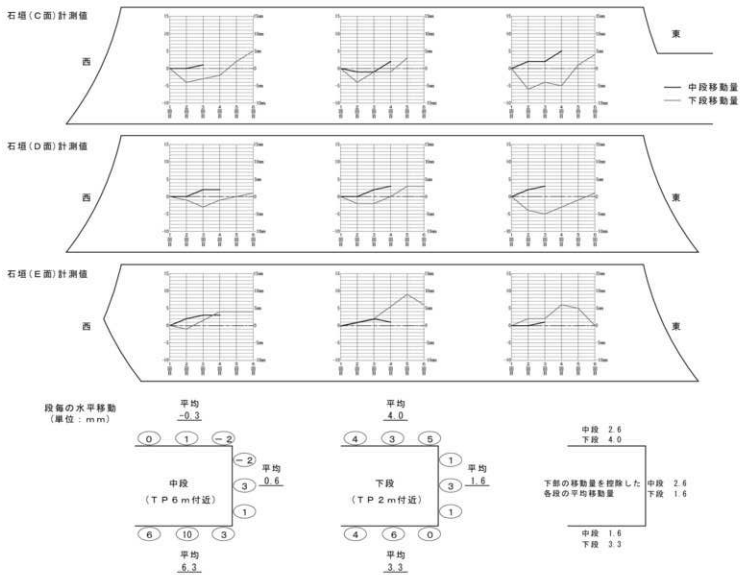
第５－326図　石垣D面解体に伴う定点観測結果



第5－327図　右頬E面解体に伴う定点観測結果



第5－328図　観測点から算出した水平移動量



第5－329図　観測点から算出した垂直移動量

第５－13表　定点観測管理表（1）

点　　名　1

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149473.950	50862.840	1.863	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149473.953	50862.841	1.862	0.003	0.001	-0.001	0.003	0.001	-0.001
3回目	2008/01/19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4回目	2008/02/04	149473.945	50862.841	1.867	-0.008	0.000	0.005	-0.005	0.001	0.004
5回目	2008/02/22	149473.954	50862.840	1.867	0.009	-0.001	0.000	0.004	0.000	0.004
6回目	2008/03/04	149473.956	50862.840	1.867	0.002	0.000	0.000	0.006	0.000	0.004

点　　名　2

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149472.280	50872.577	2.233	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149472.285	50872.578	2.234	0.005	0.001	0.001	0.005	0.001	0.001
3回目	2008/01/19	149472.287	50872.579	2.235	0.002	0.001	0.001	0.007	0.002	0.002
4回目	2008/02/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5回目	2008/02/22	149472.289	50872.578	2.242	0.002	-0.001	0.007	0.009	0.001	0.009
6回目	2008/03/04	149472.299	50872.577	2.239	0.010	-0.001	-0.003	0.019	0.000	0.006

点　　名　3

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149469.484	50887.778	2.323	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149469.488	50887.780	2.325	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002
3回目	2008/01/19	149469.490	50887.779	2.325	0.002	-0.001	0.000	0.006	0.001	0.002
4回目	2008/02/04	149469.491	50887.774	2.329	0.001	-0.005	0.004	0.007	-0.004	0.006
5回目	2008/02/22	149469.493	50887.772	2.328	0.002	-0.002	-0.001	0.009	-0.006	0.005
6回目	2008/03/04	149469.501	50887.768	2.323	0.008	-0.004	-0.005	0.017	-0.012	0.000

第５－14表　定点観測管理表（2）

点　　名　4

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149472.367	50888.635	1.910	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149472.369	50888.629	1.908	0.002	−0.006	−0.001	0.002	−0.006	−0.001
3回目	2008/01/19	149472.371	50888.628	1.907	0.002	−0.001	−0.002	0.004	−0.007	−0.003
4回目	2008/02/04	149472.371	50888.628	1.908	0.000	0.000	0.002	0.004	−0.007	−0.001
5回目	2008/02/22	149472.373	50888.623	1.910	0.002	−0.005	0.001	0.006	−0.012	0.000
6回目	2008/03/04	149472.377	50888.601	1.911	0.004	−0.022	0.001	0.010	−0.034	0.001

点　　名　5

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149484.703	50890.084	2.100	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149484.705	50890.079	2.098	0.002	−0.005	−0.002	0.002	−0.005	−0.002
3回目	2008/01/19	149484.705	50890.079	2.098	0.000	0.000	0.000	0.002	−0.005	−0.002
4回目	2008/02/04	149484.706	50890.077	2.100	0.001	−0.002	0.002	0.003	−0.007	0.000
5回目	2008/02/22	149484.705	50890.068	2.103	−0.001	−0.009	0.003	0.002	−0.016	0.003
6回目	2008/03/04	149484.704	50890.052	2.103	−0.001	−0.016	0.000	0.001	−0.032	0.003

点　　名　6

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149499.543	50891.614	2.165	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149499.545	50891.609	2.161	0.002	−0.005	−0.004	0.002	−0.005	−0.004
3回目	2008/01/19	149499.545	50891.609	2.160	0.000	0.000	−0.001	0.002	−0.005	−0.005
4回目	2008/02/04	149499.544	50891.610	2.162	−0.001	0.001	0.002	0.001	−0.004	−0.003
5回目	2008/02/22	149499.543	50891.607	2.164	−0.001	−0.003	0.002	0.000	−0.007	−0.001
6回目	2008/03/04	149499.538	50891.602	2.166	−0.005	−0.005	0.002	−0.005	−0.012	0.001

第５－15表　定点観測管理表（3）

点　　名　7

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149500.001	50889.340	2.139	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149499.999	50889.340	2.135	-0.002	0.000	-0.004	-0.002	0.000	-0.004
3回目	2008/01/19	149500.000	50889.338	2.136	0.001	-0.002	0.001	-0.001	-0.002	-0.003
4回目	2008/02/04	149499.997	50889.339	2.137	-0.003	0.001	0.001	-0.004	-0.001	-0.002
5回目	2008/02/22	149499.993	50889.335	2.141	-0.004	-0.004	0.004	-0.008	-0.005	0.002
6回目	2008/03/04	149499.988	50889.334	2.144	-0.005	-0.001	0.003	-0.013	-0.006	0.005

点　　名　8

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149501.466	50875.788	2.422	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149501.464	50875.787	2.418	-0.002	-0.001	-0.004	-0.002	-0.001	-0.004
3回目	2008/01/19	149501.463	50875.786	2.421	-0.001	-0.001	0.003	-0.003	-0.002	-0.001
4回目	2008/02/04	149501.460	50875.786	2.421	-0.003	0.000	0.000	-0.006	-0.002	-0.001
5回目	2008/02/22	149501.451	50875.784	2.425	-0.009	-0.002	0.004	-0.015	-0.004	0.003
6回目	2008/03/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-

点　　名　9

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149502.940	50862.260	2.116	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149502.937	50862.258	2.110	-0.003	-0.002	-0.006	-0.003	-0.002	-0.006
3回目	2008/01/19	149502.938	50862.258	2.112	0.001	0.000	0.002	-0.002	-0.002	-0.004
4回目	2008/02/04	149502.936	50862.259	2.111	-0.002	0.001	-0.001	-0.004	-0.001	-0.005
5回目	2008/02/22	149502.930	50862.258	2.117	-0.006	-0.003	0.006	-0.010	-0.004	0.001
6回目	2008/03/04	149502.928	50862.258	2.120	-0.002	0.002	0.003	-0.012	-0.002	0.004

第５－16表　定点観測管理表（4）

点　　名　10

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149500.626	50883.561	5.996	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149500.623	50883.558	5.992	-0.003	-0.003	-0.004	-0.003	-0.003	-0.004
3回目	2008/01/19	149500.624	50883.559	5.994	0.001	0.001	0.002	-0.002	-0.002	-0.002
4回目	2008/02/04	149500.619	50883.559	5.988	-0.005	0.000	0.002	-0.007	-0.002	0.000
5回目	2008/02/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6回目	2008/03/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-

点　　名　11

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149499.429	50875.536	5.988	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149499.426	50875.536	5.981	-0.003	-0.002	-0.005	-0.003	-0.002	-0.005
3回目	2008/01/19	149499.427	50875.536	5.984	0.001	0.000	0.003	-0.002	-0.002	-0.002
4回目	2008/02/04	149499.422	50875.537	5.987	-0.005	0.001	0.003	-0.007	-0.001	0.001
5回目	2008/02/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6回目	2008/03/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-

点　　名　12

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149498.137	50887.285	6.433	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149498.134	50887.285	6.429	-0.003	-0.001	-0.004	-0.003	-0.001	-0.004
3回目	2008/01/19	149498.133	50887.283	6.431	-0.001	-0.002	0.002	-0.004	-0.003	-0.002
4回目	2008/02/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5回目	2008/02/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6回目	2008/03/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-

第５－17表　定点観測管理表（5）

点　　名　13

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149497.517	50888.859	6.585	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149497.519	50888.854	6.583	0.002	-0.005	-0.002	0.002	-0.005	-0.002
3回目	2008/01/19	149497.517	50888.851	6.583	-0.002	-0.003	0.000	0.000	-0.008	-0.002
4回目	2008/02/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5回目	2008/02/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6回目	2008/03/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-

点　　名　14

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149484.429	50887.443	6.085	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149484.428	50887.437	6.083	0.002	-0.006	-0.002	0.002	-0.006	-0.002
3回目	2008/01/19	149484.428	50887.436	6.085	0.000	-0.001	0.002	0.002	-0.007	0.000
4回目	2008/02/04	149484.429	50887.432	6.088	0.001	-0.004	0.003	0.003	-0.011	0.003
5回目	2008/02/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6回目	2008/03/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-

点　　名　15

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149473.950	50886.430	5.483	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149473.951	50886.426	5.482	0.001	-0.004	-0.001	0.001	-0.004	-0.001
3回目	2008/01/19	149473.953	50886.425	5.482	0.002	-0.001	0.000	0.003	-0.005	-0.001
4回目	2008/02/04	149473.956	50886.423	5.484	0.003	-0.002	0.002	0.006	-0.007	0.001
5回目	2008/02/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6回目	2008/03/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-

第５－18表 定点観測管理表（6）

点　　名　16

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149472.256	50885.204	6.203	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149472.259	50885.204	6.205	0.003	0.000	0.002	0.003	0.000	0.002
3回目	2008/01/19	149472.263	50885.204	6.206	0.004	0.000	0.001	0.007	0.000	0.003
4回目	2008/02/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5回目	2008/02/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6回目	2008/03/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-

点　　名　17

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149474.375	50872.506	6.131	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149474.378	50872.506	6.133	0.003	0.000	0.002	0.003	0.000	0.002
3回目	2008/01/19	149474.380	50872.506	6.135	0.002	0.000	0.002	0.005	0.000	0.004
4回目	2008/02/04	149474.389	50872.506	6.141	0.009	0.002	0.006	0.014	0.002	0.010
5回目	2008/02/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6回目	2008/03/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-

点　　名　18

観測回数	観測日	X座標	Y座標	標高	較差			累計較差		
					⊿X	⊿Y	⊿H	⊿X	⊿Y	⊿H
1回目	2007/11/06	149476.129	50861.361	5.766	-	-	-	-	-	-
2回目	2007/12/01	149476.133	50861.360	5.767	0.004	-0.001	0.001	0.004	-0.001	0.001
3回目	2008/01/19	149476.134	50861.362	5.768	0.001	0.002	0.001	0.005	0.001	0.002
4回目	2008/02/04	149476.136	50861.362	5.772	0.002	0.000	0.004	0.007	0.001	0.006
5回目	2008/02/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6回目	2008/03/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-

第８項　ひずみ計測

背景と目的

伝統的技法による城郭石垣は石材間の摩擦および噛み合いにより安定性を保っており，このためには上部の石材の荷重が下部の石材に偏りなく伝達される必要がある。石垣の変形や縦目地等の不連続面が発生すると，こうした力の流れが不均一となり，極端に大きな荷重が作用する石材とほとんど上載荷重が作用しない石材とが生じることとなる。すなわち，上述のような石垣の変状はその安定上大きな問題となる。具体的には，荷重が集中する部分では石材の破損などの懸念が高まり，一方，荷重が作用しない部分では，石材の緩みやヌケなどの発生が考えられる。

このようなことから，石材に作用する荷重を測定することで，石垣の安定性の評価が可能であると考えられる。実際の石垣で石材に作用する荷重そのものを直接計測することは困難であるため，石材に作用する力（応力）により発生する微小な変形（ひずみ）を測定することで，石材に作用する力の状態を知ることができる。具体的には，石材に力が加われば，石材はわずかに圧縮され，その寸法が縮小し，上載荷重が除去されれば，石材がわずかに伸びることとなる。この関係は下の式のように表現される。

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

σ：応力（石材に作用する力を単位面積当たりで表した数値（N/m^2））
E：弾性係数（材料に特有の係数で，応力に対する変形しやすさを示す。フックの法則でのばね係数に相当する。（N/m^2））
ε：ひずみ（微小な変形量。通常は 1/1000000 を示すμ（マイクロ）で表す）

この方法は鋼構造物やコンクリート構造物等でも広く用いられている方法であり，石垣にも適用できるようになれば，石垣に作用する力の状態を把握できることとなり，現在，石垣補修工事において広く行われている光波測量による定点観測と合わせて，工事期間の有効な安定性評価技術となり得る。

以上のような背景を受けて，本計測では工事による石材の撤去期間を通じて，石材に作用するひずみを測定し，施工管理の一手法としての有効性を評価するためにデータ取得を行った。本計測の目的は以下のようにまとめられる。

① 石垣を対象としたひずみ計測システムの構築とその作動状況の確認
② 施工過程に応じた石材に生じるひずみの評価
③ 温度補正方法の検討

計測概要

計測システムの機器仕様を第５－19表に示す。使用したひずみゲージは，３軸ロゼット型ゲージ（引張＋，圧縮－）とし，計測精度を向上させるためゲージ長30㎜とした。また，計測対象の築石に熱電対を設置し，温度計測も合わせて実施した。これらのデータはデータロガで集約

第５－19表　ひずみ計測システムの機器構成

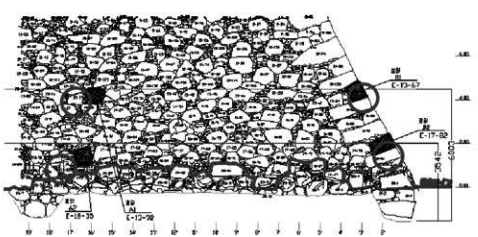
項目	計器名	形式	数量	備考
ひずみ計測	ひずみゲージ	SKF-21329	10	ゲージ長30mm
温度計測	熱電対	K-HVVF	10	K タイプ
データ収集	データロガ	TDS-302	1	
	スイッチボックス	ASW-50C	1	

第５－330図　３軸ロゼット型ゲージ

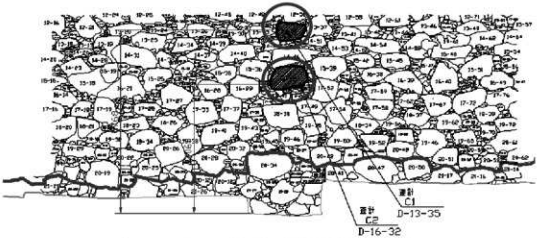
第５－331図　ひずみゲージ貼り付け状況

された後，現場事務所まで有線で伝送され，事務所内のパソコンでリアルタイムに表示・処理できるようにした。石材に貼り付けるひずみゲージとその貼付け状況を第５－330・331図に示した。ひずみゲージは未風化で均質な岩質の花崗岩を選んで，表面を平滑にした上で接着剤で貼り付けた。具体的な貼付け位置は，南面と北面は隅角部と築石部中央断面部とし，東面は築石部中央断面部とした。ひずみゲージの設置高さは石垣天端より８ｍ～９ｍ（上部ひずみ計測位置と呼ぶ）で石垣変状が見られない部分と10ｍ～11ｍ（下部ひずみ計測位置と呼ぶ）で石垣変状が著しい部分より選択して，全部で10箇所に測点を設けた。

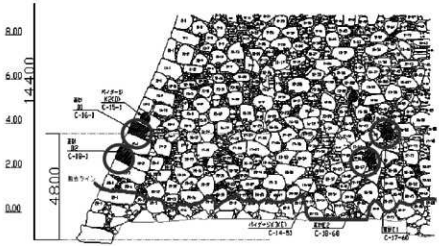
ゲージの貼付け位置を第５－332～334図に，測定石材No.を第５－20表に示した。



第５－332図　ひずみゲージ貼付け位置図（南面）



第５－333図　ひずみゲージ貼付け位置図（東面）



第５－334図　ひずみゲージ貼付け位置図（北面）

第５－20表　ひずみ計測石材

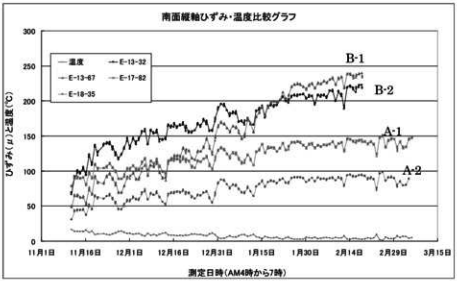
測点 No.	石垣面	石材 No.	測点 No.	石垣面	石材 No.
A1	南面	E-13-32	D1	北東隅	C-16-1
A2		E-18-35	D2		C-18-1
B1	南東隅	E-13-67	E1	北面	C-17-60
B2		E-17-82	E2		C-18-68
C1	東面	D-13-35			
C2		D-16-32			

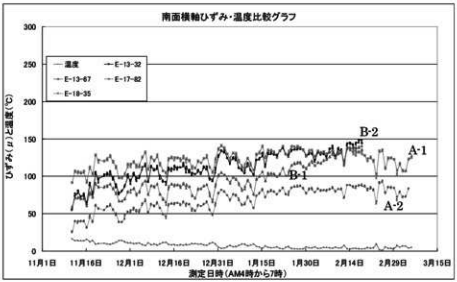
計測結果

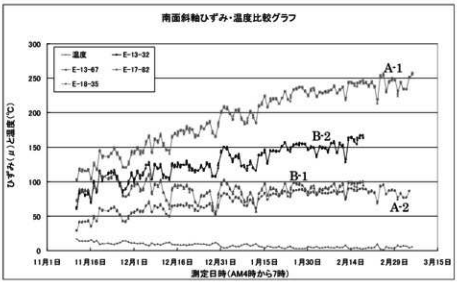
1）各面の測定結果

各面の測定結果を第5－335～337図に示した。いずれの測定結果も同様な傾向を示しており，日変動などはあるものの徐々にひずみの値は引っ張り側に増加する傾向が見られる。これは，石垣解体に伴う上載荷重の低下により，石材がわずかに伸張していることを示しているものと考えられる。その大きさは縦ひずみで南面で最大250 μ，東面で200 μ，北面で150 μ程度と，最大で100 μ程度の差が生じている。ここで，各面における上載荷重の条件に大きな差がないものと考えると，この差が生じた要因としては，日射や温度変化の大きさが影響しているものと推定される。すなわち，日射量が多く，昼間の温度上昇が大きな南面は，ほぼ終日日陰になり温度変化が小さい北面に比較して，日較差が大きくなり，これによって最大ひずみも大きな値となったものと考えられる。東面が両者の中間的な値となっていることもこの推論を裏付けるものである。

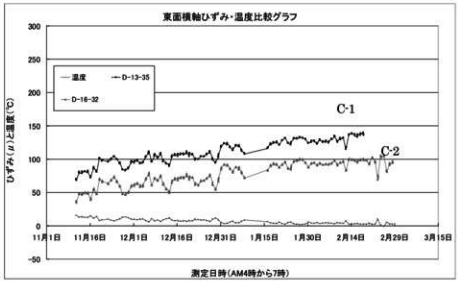
本計測結果から，石垣解体工事の施工中の条件下でも連続したデータ取得が可能であったことと，日変化や季節変化による影響は少なくないものの，施工に伴う石材のひずみの変化を捉えることが可能であることが示された。

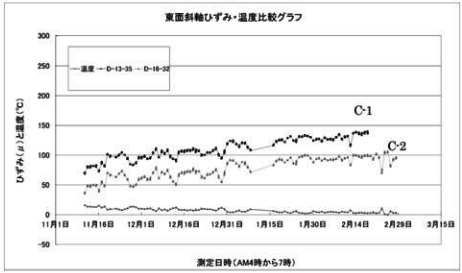




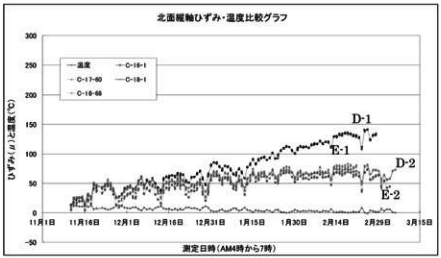


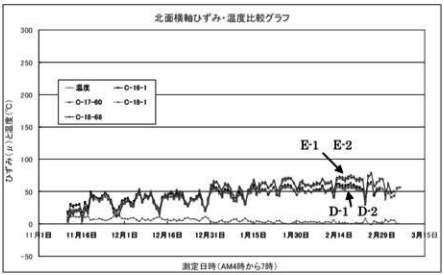
第５－335図　ひずみ計測結果（南面石垣）

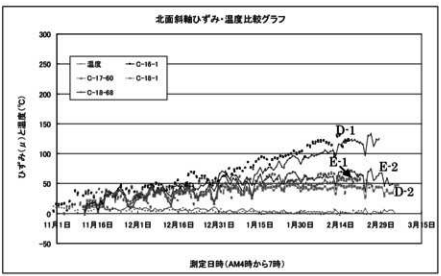




第５－336図　ひずみ計測結果（東面石垣）





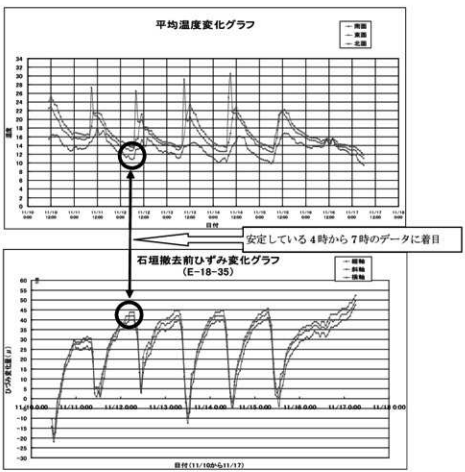


第５－337図　ひずみ計測結果（北面石垣）

2）温度補正 [1)]

石材に発生するひずみの要因には上部石垣の荷重などの他に，温度変化が上げられる。一般に物体は温度が上昇すると膨張し，低下すると収縮する。石垣を構成する石材も同様であり，夜間に対して日中は膨張し，冬季に比較して夏季は膨張する。こうした伸縮量はわずかではあるものの，ひずみ計測においては大きな影響を与えることとなる。このため，計測値から温度変化による影響を取り除くための温度補正が必要となる。以下に，本計測における温度補正方法についてまとめる。

本計測におけるひずみの温度補正係数を，石垣解体の各施工段階ですべてのひずみゲージに対して求めた。ひずみ計測では，ひずみゲージを貼り付けた時点（初期値）の測定値をゼロとすることから，各計測値を初期値の温度に補正することによって，温度による石垣の膨張・収縮分を取り除いて評価することができる。ここで，温度補正係数を求めるためには，施工の影響を受けない，温度変化のみによる石材のひずみを把握する必要がある。このため，まず石垣解体作業の行われていない施工段階で午前５時での計測値により温度変化によるひずみの変化を計測した。これは，石材に作用する荷重の変化がない（上に積まれた石材の荷重が変化しない）にも関わらず，ひずみが変化する部分を温度変化によるものと考え，このときの温度変化とひずみの変化率をもとに補正係数を求めるものである。具体的な両者の関係を第５－338図に示した。こうして求められた各石材の温度補正係数を第５－21～26表にまとめた。



第５－338図　上載荷重が一定の条件での温度補正係数の算出範囲

第５－21表　ひずみの温度補正係数（１）　北面（縦ひずみ）

段階	高さ	C-16-1	C-17-60	C-18-1	C-18-68
ステップ1	11	3.56	5.52	3.9	5.03
ステップ2	10.5	3.18	4.22	3.48	4.26
ステップ3	9.5	3.88	4.71	4.63	4.24
ステップ4	9	2.68	4.07	2.33	3.09
ステップ5	8.5	3.52	4.33	4.39	4.67
ステップ6-1	8	2.07	4.05	2.14	4.3
ステップ6-2	8	3.65	5.84	3.97	4.66
ステップ7	7.5	3.57	4.4	2.72	4.46
ステップ8	7	3.79	4.18	3.25	3.8
ステップ9	6.5	4.2	4.94	3.31	4.1
ステップ10	6	2.52	3.3	1.77	2.97
ステップ11	5.5	1.58	4.23	1.78	3.82
ステップ12	5	3.97	2.76	3.38	3.85
ステップ13	4.5	5.81	1.35	2.82	2.22
ステップ14	4	2.04	4.05	2.29	3.63
ステップ15	3.5	3.42	4.25	2.99	2.54
ステップ16	3	1.33	4.62	2.72	2.44
ステップ17	2.5	3.28		3.24	3.55
ステップ18	2			2.81	3.82
ステップ19	1			2.76	2.1
平均値		3.22	4.16	3.03	3.67

第５－22表　ひずみの温度補正係数（２）　北面（横ひずみ）

段階	高さ	C-16-1	C-17-60	C-18-1	C-18-68
ステップ1	11	4.37	4.78	3.44	4.97
ステップ2	10.5	3.71	4.27	3.37	3.99
ステップ3	9.5	3.26	4.69	4.63	4.65
ステップ4	9	3.25	3.23	2.13	3.29
ステップ5	8.5	4.93	4.81	3.88	5.4
ステップ6-1	8	2.09	3.45	2.05	4.04
ステップ6-2	8	4.51	4.08	2.79	4.96
ステップ7	7.5	3.04	4.42	2.75	4.85
ステップ8	7	4.04	3.51	3.39	3.9
ステップ9	6.5	3.18	4.16	2.74	4.56
ステップ10	6	2.55	3.23	1.77	2.91
ステップ11	5.5	3.47	3.02	2.25	4.32
ステップ12	5	2.65	3.74	3.1	2.66
ステップ13	4.5	2.61	3.28		2.96
ステップ14	4	2.85	3.75	2.74	3.8
ステップ15	3.5	2.47	3.69	2.42	3.93
ステップ16	3	4.14	3.57	3.37	3.08
ステップ17	2.5	3.57		2.86	4.05
ステップ18	2			2.53	4.38
ステップ19	1			2.4	0.74
平均値		3.37	3.86	2.87	3.87

第５－23表　ひずみの温度補正係数（3）　東面（縦ひずみ）

段階	高さ	D-13-35	D-16-32	平均
ステップ1	11	4	2.8	3.4
ステップ2	10.5	3.17	2.64	2.905
ステップ3	9.5	3.86	3.33	3.595
ステップ4	9	4.3	2.57	3.435
ステップ5	8.5	2.32	3.6	2.96
ステップ6-1	8	3.43	3.8	3.615
ステップ6-2	8	2.49	3.17	2.83
ステップ7	7.5	2.67	2.48	2.575
ステップ8	7	4.24	3.64	3.94
ステップ9	6.5	5.34	3.52	4.43
ステップ10	6	1.79	1.76	1.775
ステップ11	5.5	2.25	1.54	1.895
ステップ12	5	3.24	2.07	2.655
ステップ13	4.5	5.11	4.01	4.56
ステップ14	4	6.51	3.11	4.81
ステップ15	3.5	3.48	1.91	2.695
ステップ16	3	3.63	4.71	4.17
ステップ17	2.5	－	1.94	1.94
ステップ18	2	－	－	－
ステップ19	1	－	－	－

第５－24表　ひずみの温度補正係数（4）　東面（横ひずみ）

段階	高さ	D-13-35	D-16-32	平均
ステップ1	11	4.08	4.06	4.07
ステップ2	10.5	2.81	3.64	3.225
ステップ3	9.5	3.56	4.72	4.14
ステップ4	9	3.11	2.86	2.985
ステップ5	8.5	3.51	4.97	4.24
ステップ6-1	8	3.3	3.65	3.475
ステップ6-2	8	3.74	5.13	4.435
ステップ7	7.5	3.13	3.24	3.185
ステップ8	7	4.01	4.47	4.24
ステップ9	6.5	4.42	5.33	4.875
ステップ10	6	1.69	3.6	2.645
ステップ11	5.5	2.29	3.07	2.68
ステップ12	5	3.18	3.09	3.135
ステップ13	4.5	4.28	1.66	2.97
ステップ14	4	4.74	3.32	4.03
ステップ15	3.5	1.97	1.85	1.91
ステップ16	3	3.39	2.2	2.795
ステップ17	2.5	－	4.02	4.02
ステップ18	2	－	－	－
ステップ19	1	－	－	－

第５－25表　ひずみの温度補正係数（５）　南面（縦ひずみ）

段階	高さ	E-13-32	E-13-67	E-17-82	E-18-35
ステップ1	11	9.72	5.33	4.92	4.24
ステップ2	10.5	5.79	5.59	2.98	3.61
ステップ3	9.5	8.35	7.33	4.83	4.53
ステップ4	9	7.64	4.72	4.85	3.5
ステップ5	8.5	5.93	5.1	5.45	5.05
ステップ6-1	8	1.18	2.3	4.73	4.26
ステップ6-2	8	1.7	5.75	4.37	4.71
ステップ7	7.5	4.45	4.01	4.18	4.58
ステップ8	7	5.31	6.65	5.37	4.07
ステップ9	6.5	10.89	7.85	5.56	4.31
ステップ10	6	5.74	3.45	2.51	2.79
ステップ11	5.5	2.04	3.78	3.28	2.78
ステップ12	5	4.4	3.78	3.62	4.14
ステップ13	4.5	5.81	4.28	3.02	3.49
ステップ14	4	7.78	6.61	5.33	3.17
ステップ15	3.5	3.48	3.08	4.36	3.37
ステップ16	3	5.09	5.88	1.65	3.67
ステップ17	2.5	－	－	4.48	3.19
ステップ18	2	－	－	4.22	3.12
ステップ19	1	－	－	4.01	3.38
平均値		5.6	5.02	4.18	3.79

第５－26表　ひずみの温度補正係数（６）　南面（横ひずみ）

段階	高さ	E-13-32	E-13-67	E-17-82	E-18-35
ステップ1	11	6.82	4.99	6.44	5.02
ステップ2	10.5	5.44	2.75	3.93	4.12
ステップ3	9.5	5.86	4.83	4.3	4.9
ステップ4	9	6.81	4.86	5.35	4.06
ステップ5	8.5	6.74	6.54	6.89	5.34
ステップ6-1	8	4.02	5.77	3.98	4.38
ステップ6-2	8	4.16	5.61	5.27	3.61
ステップ7	7.5	4.77	4.29	5.51	4.59
ステップ8	7	6.24	5.58	6.34	4.85
ステップ9	6.5	11.66	5.62	6.66	4.79
ステップ10	6	5.64	2.29	3.35	2.94
ステップ11	5.5	3.05	4.51	4.71	3.42
ステップ12	5	3.99	3.12	2.43	2.05
ステップ13	4.5	14.55	4.35	2.44	2.85
ステップ14	4	9.21	6.2	6.46	3
ステップ15	3.5	3.26	1.45	6.15	2.88
ステップ16	3	6.42	2.09	5.84	3.16
ステップ17	2.5	－	－	4.73	3.53
ステップ18	2	－	－	4.99	3.78
ステップ19	1	－	－	8.69	4.2
平均値		6.39	4.4	5.22	3.87

施工ステップごとに，上述の温度補正係数を用いて，ひずみの補正を行った結果のうち，代表的な事例としてA－2測点（南面下段）について，第5－339図に示した。この図の(1)は石垣の解体過程を石垣高さで表したものであり，(2)はそれぞれの施工段階における温度補正係数を示したものである。この図から，ひずみの補正係数自体が石垣の高さ（上載荷重）の減少とともに小さくなる。(3)は石垣の解体段階と温度の関係を示したものであり，ひずみの補正前後の値を示したものが(4)である。

上記のような補正方法によって求めた最終段階（3/6:石垣高さ1m）での補正後のひずみ（純粋に荷重の変化のみによるひずみ）は，93 μの引張りであり，補正前の約60 μの1.67倍程度の値となっている。なお，解体前のひずみは，Strain Release Technique の原理より，解放ひずみである引張ひずみを圧縮ひずみとして読み替えることで評価できる。

3）石垣の構造体としての安定性の評価

第5－340図に石垣解体前のひずみε_1（縦ひずみ）とε_2（横ひずみ）を示す。なお，天守台石垣の“石垣構造比（石垣上辺長さ / 石垣高さ）”は2程度であり三次元力学効果を期待できる石垣形状である[2)]。外見よりの観察で石垣変状がみられない上部ひずみ計測位置と，石垣変状の生じている下部ひずみ計測位置での石垣解体前のひずみ計測値を比較すると，次のように考えることができる。

上部ひずみ計測位置では，下部ひずみ計測位置に比較して，ε_1とε_2とも大きい引っ張りひずみとなっており，特にε_2が大きくなっている。これに対し，下部ひずみ計測位置ではε_1とε_2が同じ程度の値で上部ひずみ計測位置と比較して小さい引っ張りひずみとなっており，特にε_2が小さいのが特徴である。

これらのひずみの計測値より，上部ひずみ計測位置では三次元力学効果が生じているのに対して，下部ひずみ計測位置ではそれがみられないことが読み取れる。このことは，上部においては，ε_2に石垣面での連続体としての強固さ，すなわち横方向への力の流れが生じる三次元力学効果が数値として現れていることを示している。一方で，外面からの石垣変状調査から，隅角部である算木積み部の下部部分が平石部から離れるように「ズレ」が生じ，その結果三次元力学効果がなくなり，その結果として平石部の下部が孕み出したと判断できる。これらの現象はひずみ計測結果と符合するものと言うことができる。

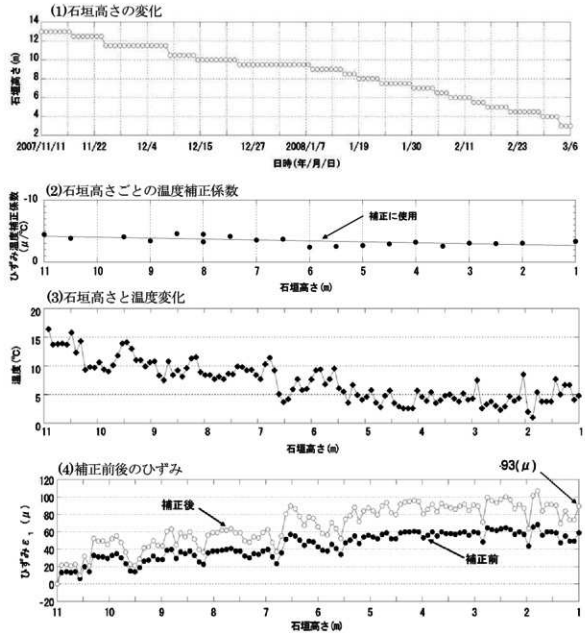
まとめ

石垣解体時のひずみ計測結果から明らかになった事項は以下のとおりである。

①ひずみゲージを石材表面に貼り付けることで石垣の解体過程に伴うひずみの変化を測定することができた。同時にそのシステム構成を明確にした。

②石垣の解体過程に伴う上載荷重の変化に応じたひずみの変化を測定できた。このことから，石垣の解体・積み直し工事期間中のひずみ計測が施工管理に適用できる可能性を示すことができた。

③温度補正方法を提案し，より正確な石垣のひずみが測定できることを示した。

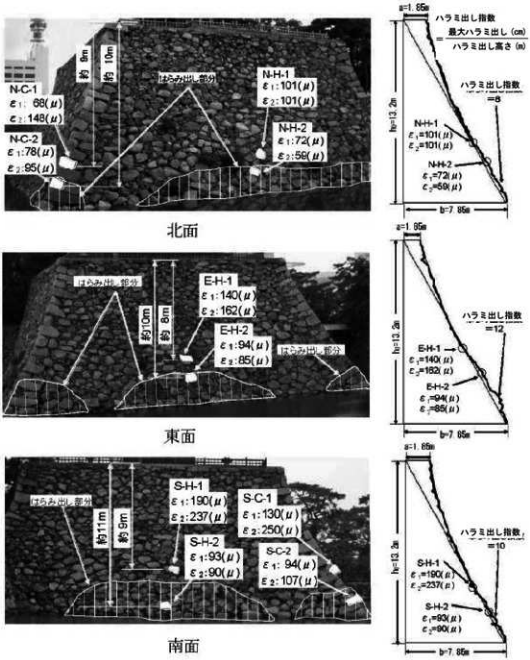


第５－339図　石垣の解体過程と温度変化によるひずみの補正

計測値は以下の式により補正される。

補正後のひずみ＝補正前のひずみ×（１＋補正係数＊）

＊補正係数は該当する石垣高さの値を用いる。



第５－340図　各面に作用するひずみと代表的断面でのハラミ出し指数

【参考文献】

1) 西田一彦，大嶋和則，西川禎亮，北園和憲，玉野富雄，金岡正信：高松城石垣のひずみ計測，地盤工学研究発表会講演集，Vol.44, pp.1037-1038, 2009.7

2) K.Nishida, T.Tamano, H.Morimoto , B.Shrestha: Geotechnical Aspect of Japanese Castle Masonry Wall and Mechanical Analysis for its Preservation, Proceedings of the 16th International Conference on SMGE, pp.2769-2772, 2005.9