

第2節 仮設工事

第1項 索道

索道は熊本地震後に設けたもの（p 26参照）を継続して利用した。工事終了後、解体は以下の手順で行った。

1. 巻上索撤去

作業中は索下の立入りの有無を確認し、合図に従って作業した。

2. 主索撤去

主索を撤去する際は索道路線下の第三者立ち入りの有無を確認して作業した。ワイヤーロープの内角での作業と立ち入りを禁止した。

3. 横行索撤去

転落防止の命綱等の設置を行い、上下作業は行わないようにした。ウインチを使用しての巻き取り回収作業は、ウインチより2 m以上離れて行った。

4. 起点支柱・アンカー撤去

他の立木からの控索を撤去し、鋼製支柱部材と主索取付け立木の当木等を撤去した。

5. ウインチ撤去

ウインチ小屋を解体撤去し、ウインチ用アンカーからの控索を撤去した。

6. 終点支柱撤去

鋼製支柱部材を解体撤去した。

7. 終点アンカー撤去

他の立木からの控索を撤去し、主索取付け立木の当木等を撤去した。

8. 機材搬出

トラックで機材を搬出したが、過積載にならないよう積み込み時に重量確認を行った。また運搬中に荷崩れを起こさないように確実に固定した。

9. 完了

起点・終点アンカー、各支柱等での番線、ワイヤーロープ等の残材の有無を確認した。

第2項 直接足場

石垣の復旧をするため、上流右岸側に直接足場を設けた。足場は楔緊結式とし、落下物飛散防止のために垂直養生ネットを張った。また作業用床を2段設けた。

第3項 吹上ロステージ

熊本地震後に設けた吹上ロステージ（p 28参照）を継続して利用した。吹上ロステージは搬出入の完了後に解体した。

第3節 土工事

第1項 被覆土掘削

石垣の解体復旧に支障となる範囲（上流右岸側の石管の両脇1列ずつ）を掘削した。使用した機材及び工法は熊本地震後の修理（p 30参照）と同様である。

第2項 赤土叩き

赤土叩きの工法は熊本地震後の修理（p 30参照）と同様であるが、大雨災害復旧後の工事では赤土の撥水性と硬度を高めるため、既設の赤土に消石灰を混ぜ合わせた。消石灰は地盤改良用石灰（秩父石灰工業（株）ウエットライム相当品）を使用した。改良土は同製品のC B R試験（砂質シルト相当）を参考とし、C B R値が20%程度になるよう、1 m³当たり120kgの割合で配合したものを利用した。

第3項 被覆土埋め戻し

被覆土は石管の復旧後、埋め戻しを行った。使用した機材及び工法は熊本地震後の修理（p 30参照）と同様である。この工事では5層に分けて埋め戻した。



写真4-3-1. 被覆土掘削完了



写真4-3-2. 消石灰混ぜ合わせ

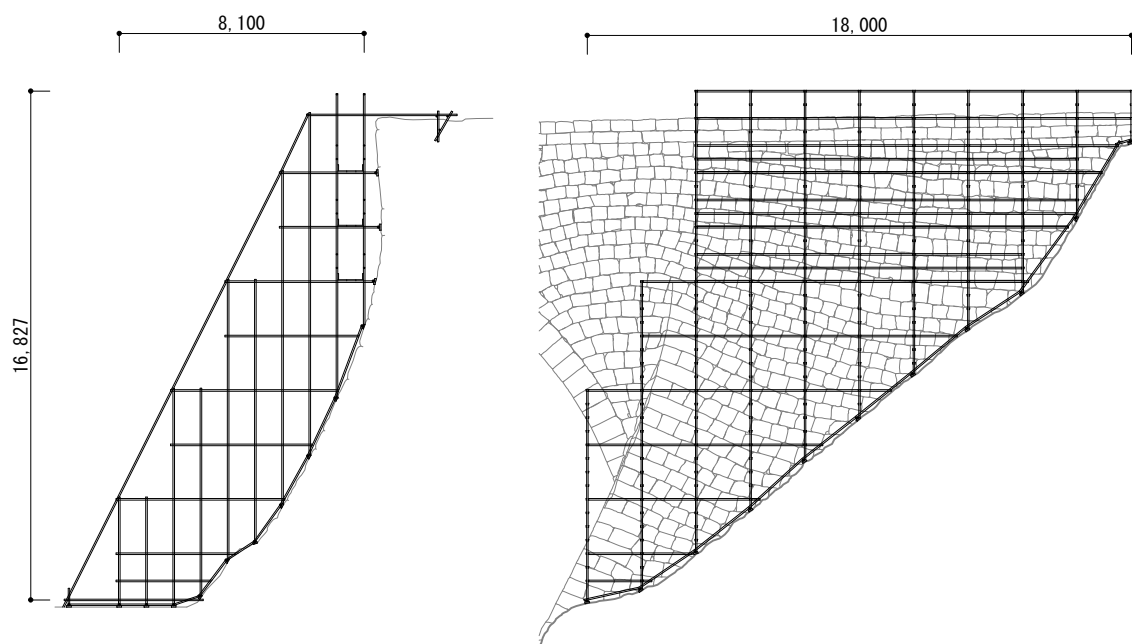


図4-2-1. 直接足場図

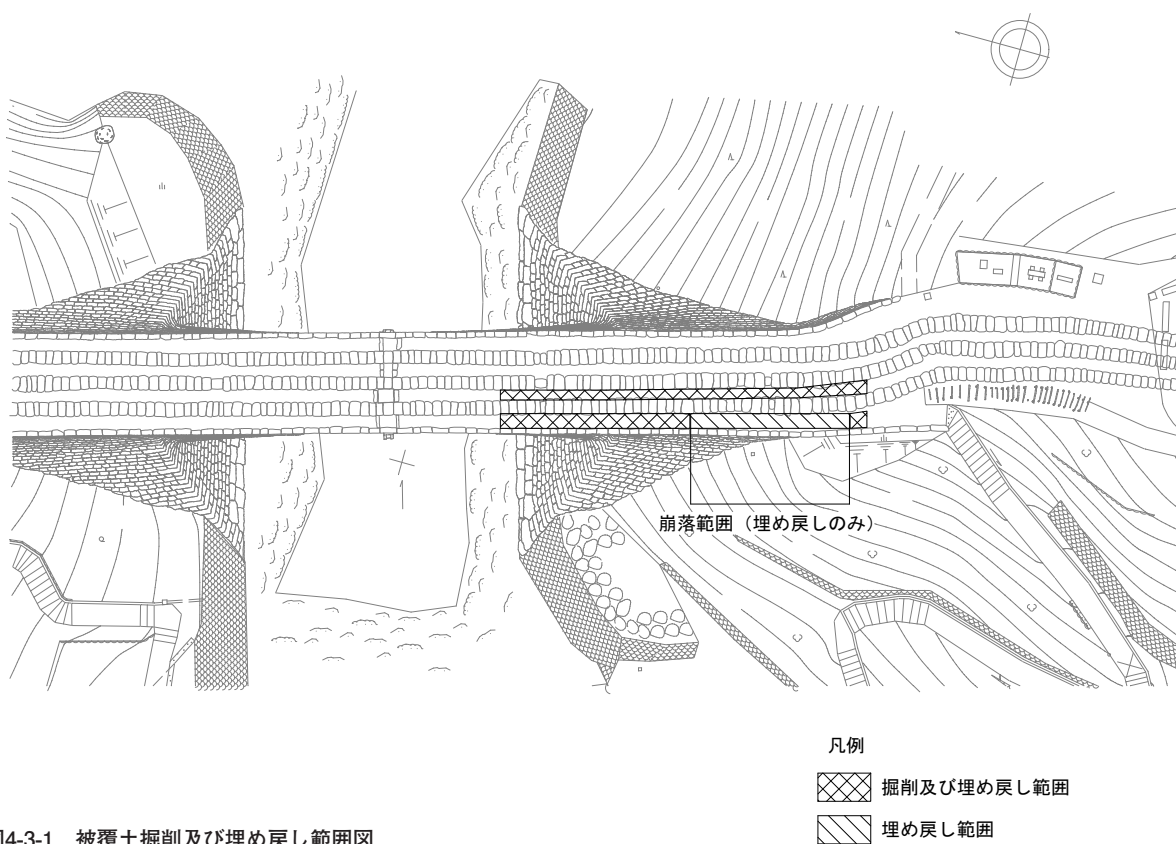


図4-3-1. 被覆土掘削及び埋め戻し範囲図

第4節 石工事

第1項 解体作業

大雨災害後の修理では裏築破損箇所の取り替えと壁石の復旧をするために、上流側の通水石管1列並びに敷石・裏築・手摺石・壁石を解体した。

1. 通水石管

始めに取り替え予定のある通水石管へ-21を取り壊し、そこからへ-57まで索道を用いて一つずつ取り外した。取り外した通水石管は目地漆喰除去の施工が出来る程度の間隔を空けて、橋上に仮置きした。なお、通水石管は元通りの位置に復旧するため、解体前に番付を取り付け、通水石管中央列の通り芯から1.5mの逃げ墨を打った。

2. 敷石

敷石は上部の通水石管との関係から、解体前の高さや位置の通りに復旧する必要があるため、石に60cm

四方の墨出しをして、墨出し交点の高さを測量した。石材は索道を用いて1石ずつ取り外した。

3. 裏築

裏築は1層ごとにすべて番付を振って位置を記録し、索道を用いて取り外した。取り外した石は橋上の負担にならない場所に仮置きした。裏築天端石は1石ごとに位置と高さを測量した。

4. 手摺石及び壁石

手摺石及び壁石は修理方針で記した（p48参照）通り、基本修理範囲の解体を進めたが、石材番付G10で控え約95cmの長尺石が確認され、大きな変位がなかったためG1～G10までは未解体とした。一方、擦りつけのためG列とF列の解体範囲を放水口方向へ数石拡張した。解体範囲は図4-4-3の通りである。解体する際は番付を上からA～G段まで取り付けた。この工事では崩落した93石を除いて55石の壁石を解体した。

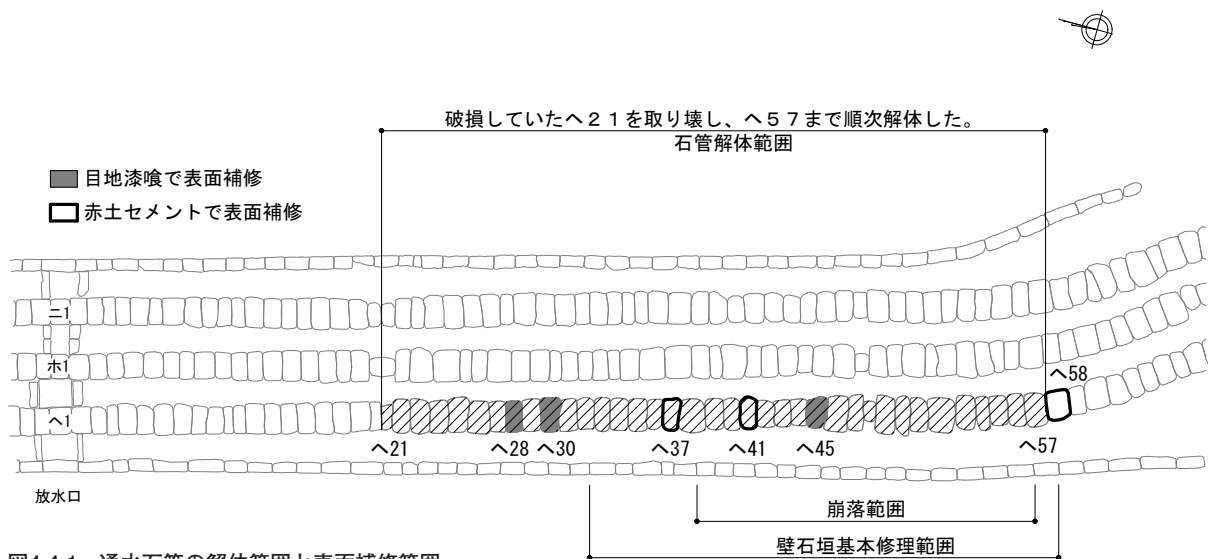


図4-4-1. 通水石管の解体範囲と表面補修範囲



図4-4-2. 解体完了

第2項 解体調査（内部構造の仕様）

今回の崩落で建立以降初めて内部構造が露わとなったため、解体中は石の積み方、石質、寸法等を詳細に調査した。

1. 敷石

敷石は通水石管直下に敷設されているもので、橋軸方向へ2列に敷いていた。石材は幅が40～80cm程度、厚さが20cm程度で、溶結凝灰岩（阿蘇1）であった。加工は側面及び下面が割肌で、通水石管を据える上面はノミ仕上げであった。また下面合端の隙間には通水石管の据える高さを微調整するため、要所に円礫を詰めていた。

2. 裏築天端石

裏築天端石は敷石直下に敷設されている裏築最上層の石積のことで、両側壁石の間にほぼ平らに敷設されていた（中央部は未解体のため推定）。裏築天端石という名称は今回の工事で付した仮称である。一般的な石橋の中詰材は最上層も同じ仕様となるが、通潤橋の場合は通水石管を支える基礎石の役割も果たしているため、他の裏築と名称を区別した。石材は幅が20～40cm程度の立方体で、溶結凝灰岩（阿蘇1）であった。加工は上面が敷石の基礎となるためノミ仕上、それ以外は割肌であった。積み方は長手方向の石を縦に積み（小端立て）、乱積み（乱並べ）であった。

3. 円礫

裏築天端石の下部は5～10cm程度の厚さで円礫が敷き込まれていた。円礫は敷石を規定の高さに積むための調整材として敷き込まれたものと推測した。

4. 裏築

円礫の下はすべて裏築で構成されていた。裏築は1石が20～40cm程度の立方体で乱積みである。積み方は裏築天端石ほど密に積まれておらず、層と呼べるほど整然としている訳ではなく、裏築の据わりが良い箇所を選んで積んでいると考えられる。石材は壁石や通水石管と同様に五老ヶ滝川河床の阿蘇1溶結凝灰岩が使用されているが、それらと比して脆いものが多い傾向にあった。また壁石の未成品（加工途中で失敗したもの）の転用も確認された。

5. 手摺石

手摺石は控えの長さが30～40cm程度で、延石状となっている。壁石垣の上部に2段積まれており、背面には被覆土が充填されていた。

6. 壁石

壁石は控え長さが50～60cm程度で、下層につれて

長くなる傾向が見られた。解体範囲の下部では控えが約90cmを超える石材も確認された。合端は胴付で支えており、飼石などによる調整がほぼ見られない。但し、明治期の補強石垣との隣接部分は、石尻の加工が粗く、飼石を用いなければ不安定なものもあった。

石材は通水石管同様に露出しているため、より強度の高いものを意識して選択されており、ガラス質ものが少なく、やや結晶化した石質のものが多かった。



写真4-4-1. 敷石詳細



写真4-4-2. 裏築天端石詳細



写真4-4-3. 裏築詳細

第3項 石材取替・補修

取替・補修が必要な石材は、解体時に詳細な調査を行い選定した。

1. 通水石管の取替

破損が確認されたへー21の通水石管を取り替えた。材料は御船町上野産の溶結凝灰岩（阿蘇1）を使用した。採寸した大きさに機械で整形した後、通水孔と目地穴を墨付けし、機械で加工した。現場搬入後、合端面をノミで仕上げた。

2. 通水石管の目地孔亀裂の補修

通水石管の目地孔は要所にひび割れや欠損が生じており、漏水の原因となっていた。今回はひび割れが著しい箇所を樹脂モルタルで補修した。

2. 通水石管上面の表面剥離の補修

通水石管の上面は、凍結融解による表面剥離の特に著しい箇所を補修した。細かな破片はすべて除去・清掃し、下記の材料を表面に擦り付けるように塗った。部分的に剥離している箇所は目地漆喰で補修し、全体的に剥離している箇所は赤土セメントで補修した。目地漆喰で3箇所（へー28、へー30、へー45）、赤土セメントで3箇所（へー37、へー41、へー58）の計6箇所施工した。

3. 手摺石・壁石の取り替え

未発見の手摺石と、ひび割れや割損が著しく構造的に問題のあった手摺石・壁石を取り替えた。手摺石は89番と未発見の石材の2箇所、壁石は27番、C2番の2箇所を対象とした。材料は89番を山都町貫原産の溶結凝灰岩（阿蘇1）、それ以外を御船町上野産の溶結凝灰岩（阿蘇1）とした。加工は採寸した大きさを機械で整形し、細かな納まりを現地で調整しながらノミで仕上げた。

4. 壁石の補修

大きく縦割れが生じていたC4番、C5番の壁石は、一度ひび割れ部分を大きく割り二材にして割面を清掃し、エポキシ樹脂で接着した。据え直し後は化粧面の接着剤が目立たないように、擬石補修（火山灰とエポキシ樹脂を練り混ぜたもの）を表面に施した。

5. 裏築石の取替

裏築石は経年劣化の影響により、主に上方（裏築天端石の直下）の石に縦割れが多く生じていた。今回の工事では破損が確認された裏築石（全体の2割程度。5.8㎡）を取り替えた。補足材は一定量仕入れ可能な玉名郡和水町産の溶結凝灰岩（阿蘇4）（商品名：なべた石）を使用した。



写真4-4-4. 通水石管の加工



写真4-4-5. 目地孔亀裂補修



写真4-4-6. 手摺石の取り替え

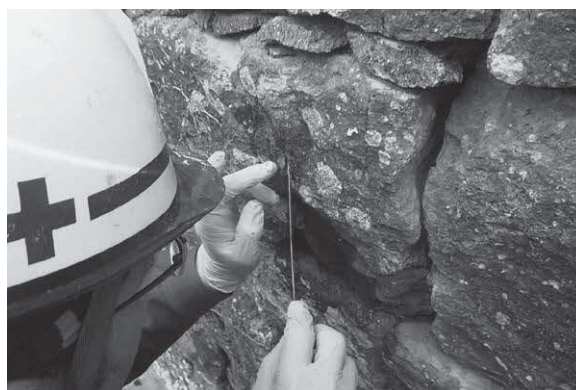


写真4-4-7. 壁石の補修

第4項 壁石仮組

城郭石垣の築石は背面の控え部分に飼石を入れて石垣表面の法面勾配を調整して積み上げている。一方、通潤橋の壁石は背面の控え部分に通減がなく、合端面を胴付にして積み上げているため、法面勾配の調整が非常に難しい。そのため、孕み出しの修正が可能か事前に仮組をして確認することにした。以下に経緯を記す。(石材番付位置は次ページ参照)

・令和元年10月7日 放水口側仮組

最下段G11～G14の取り外し後、放水口からの石垣の通りを見ながら仮組を行った。特段の問題はなく放水口側の仮組が完了した。

・令和元年10月8～9日 吹上口側仮組①

Gの段を丁張で確認(石垣積み直し範囲の端部を結ぶ丁張り)したところ、2石ほど前に出ている石材(G2、G3)があったため、Fの段を手前に引く形で仮組を試みた。F、E段の石の座りが悪く、通りも悪かった。

・令和元年10月10日 吹上口側仮組②

今度は石材の外面を合わせる形で仮組した。石垣の上部に行くにつれ前倒れになる形態が顕著で、明治期の補強石積みのラインより前倒れと孕み出しが顕著になり断念した。

・令和元年10月10日～ 吹上口側仮組③

崩落前写真(平成22年撮影)を確認したところ、石垣外面より内側へ引いている石積みを確認できた。それらを参考に再度積み直しを試みたが、積み直しのFから3段上の石材02が座らず、上部の石積みが不安定な状態となり、断念した。

・令和元年10月12日～ 吹上口側仮組④

Fの段では唯一、F2のみが飼石によって座る石だったため、F2の角度を変えて調整し(仮組③より石尻を下げた)積み直した。Fの上段にある石材42と石材67を据える際は、崩落前写真よりも内側へ引いた。(内側へ引いてもある程度安定しており、仮組②よりも前倒し・孕み出しが若干正された。)石材02の下面の合端(手前側)の目地が若干開いたが、仮組③より改善された。石材02上と石材67の上下の石組では合端の目地が開くが、尻のほうでは座っており、落下する可能性は低いと判断した。石材02の上の段にも石を積むことができた。

以上より仮組④の方法で積み直しを行うことに決定した。石垣の孕み出しを修正するためには、複数回の仮組により高い精度が求められることが分かった。



写真4-4-8. 吹上口側仮組②縦断方向 (10月10日時点)



写真4-4-9. 吹上口側仮組②横断方向 (10月10日時点)



写真4-4-10. 吹上口側仮組④縦断方向 (10月15日時点)



写真4-4-11. 吹上口側仮組④横断方向 (10月15日時点)

第5項 復旧作業

石垣の復旧は壁石を2段積み、裏築を1段積むという手順を繰り返し行った。上部は円礫、裏築天端石、敷石、石管の順で積み直した。

1. 裏築

壁石側の裏築は細かな石を詰めると孕み出しの要因になりかねないため、可能な限り大きな石を用いた。手順は壁石側の裏築1列を橋軸方向へ先行して積み、内側の裏築をハンマーで上から叩き敷き詰めた。裏築は解体時の位置を参考に石の座りを重視して積んだ。

2. 円礫

円礫は解体した材料を再利用した。在来に倣い、裏築天端石の直下に敷き詰めた。

3. 裏築天端石・敷石

裏築天端石と敷石は通水石管の仕上げ高さを決める重要な箇所である。裏築天端石は1石ごとの位置と高さの測量データをもとに復旧し、敷石は解体前に60cm角に墨付した交点の測量データを1点ずつ確認し、元の位置へ正確に復旧した。

4. 通水石管

通水石管は番付及び墨付けを基準とし、元通りに復旧した。施工誤差は新補材の石管により調整した。

5. 壁石・手摺石

壁石及び手摺石の復旧範囲は手摺石37石、壁石111石の合計148石（崩落石材93石、崩落の周囲の石材55石）とした。積み直しは前述の仮組の積み方を踏まえて、未解体の壁石の両端を水糸で結び通りをよく確認して施工した。今回の工事では補強石垣（明治初期頃）には手を付けず、それに擦り合わせるよう復旧した。これにより、熊本地震以前の平成22年と比してもその頂部では最大で15～20cm程度の孕みが是正されたことが確認できた。



写真4-4-13. 裏築天端石復旧



写真4-4-12. 壁石復旧



写真4-4-14. 石工事完了

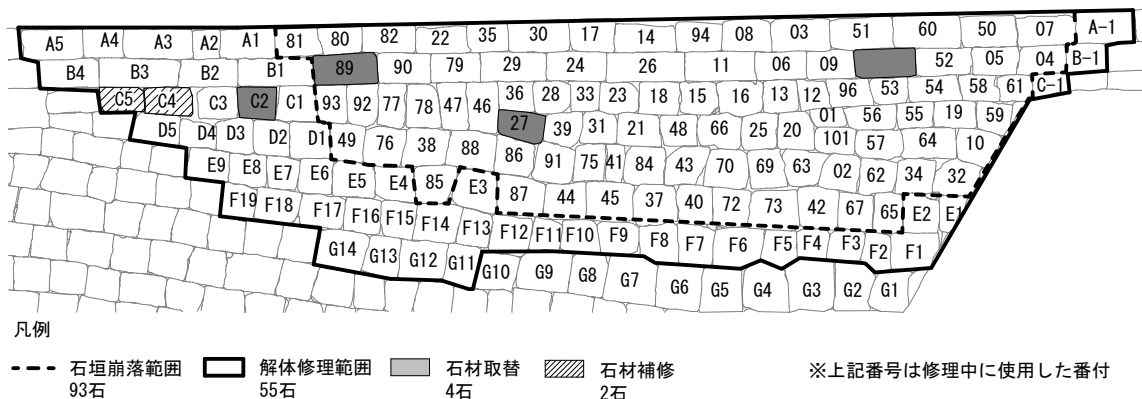


図4-4-3. 石垣修理範囲図

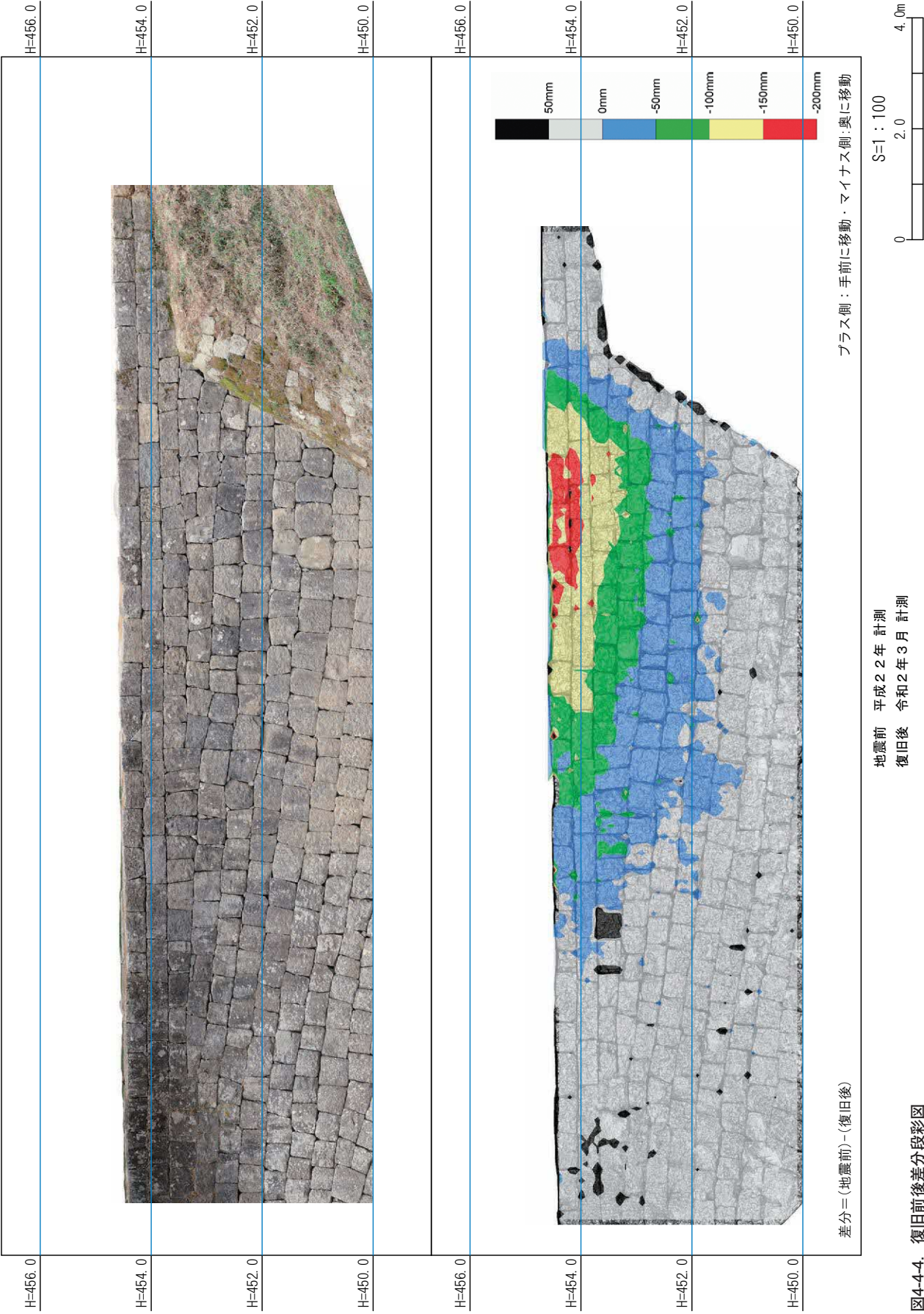


図4.4-4. 復旧前後差分段彩図

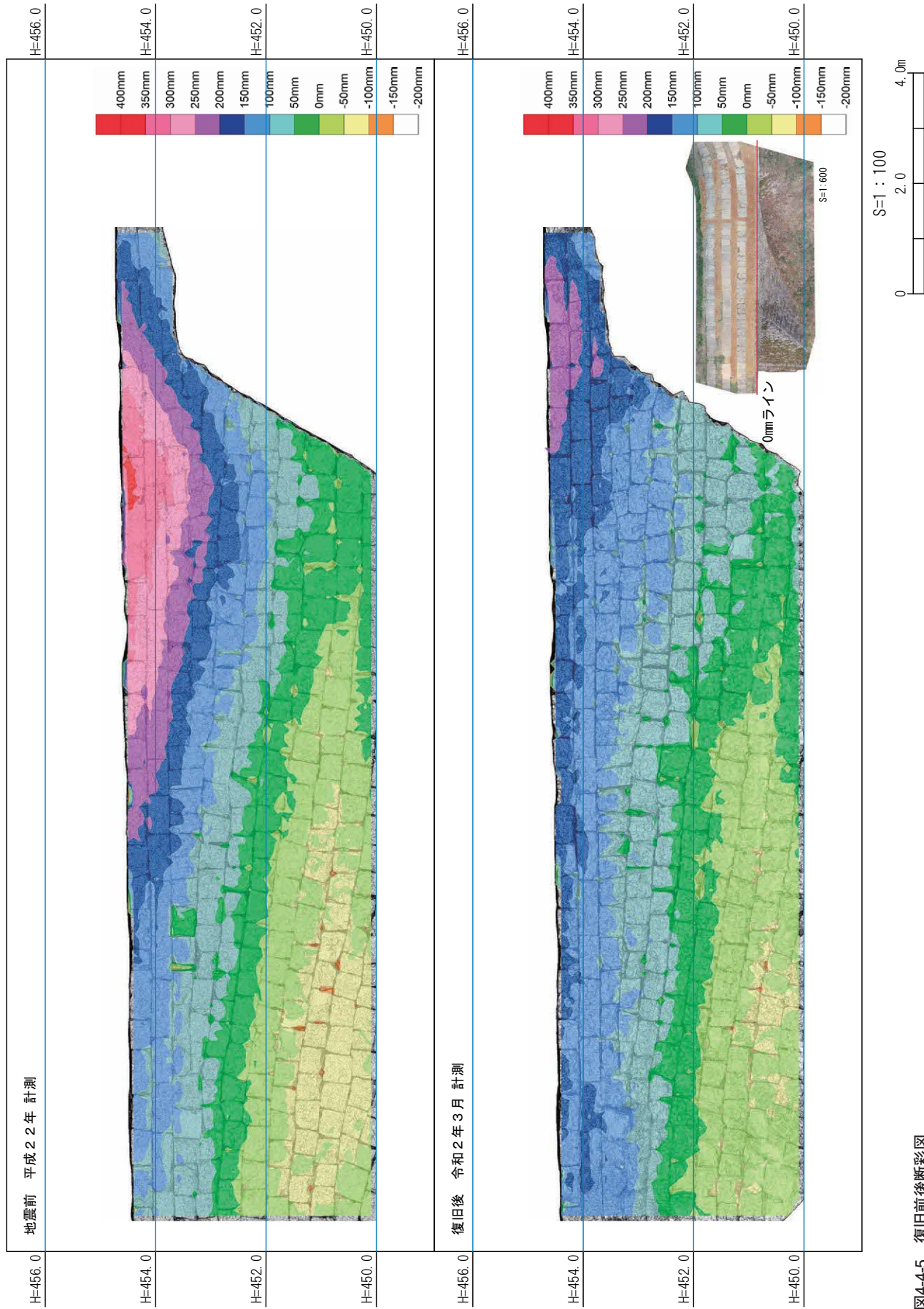


図4-4-5. 復旧前後断彩図

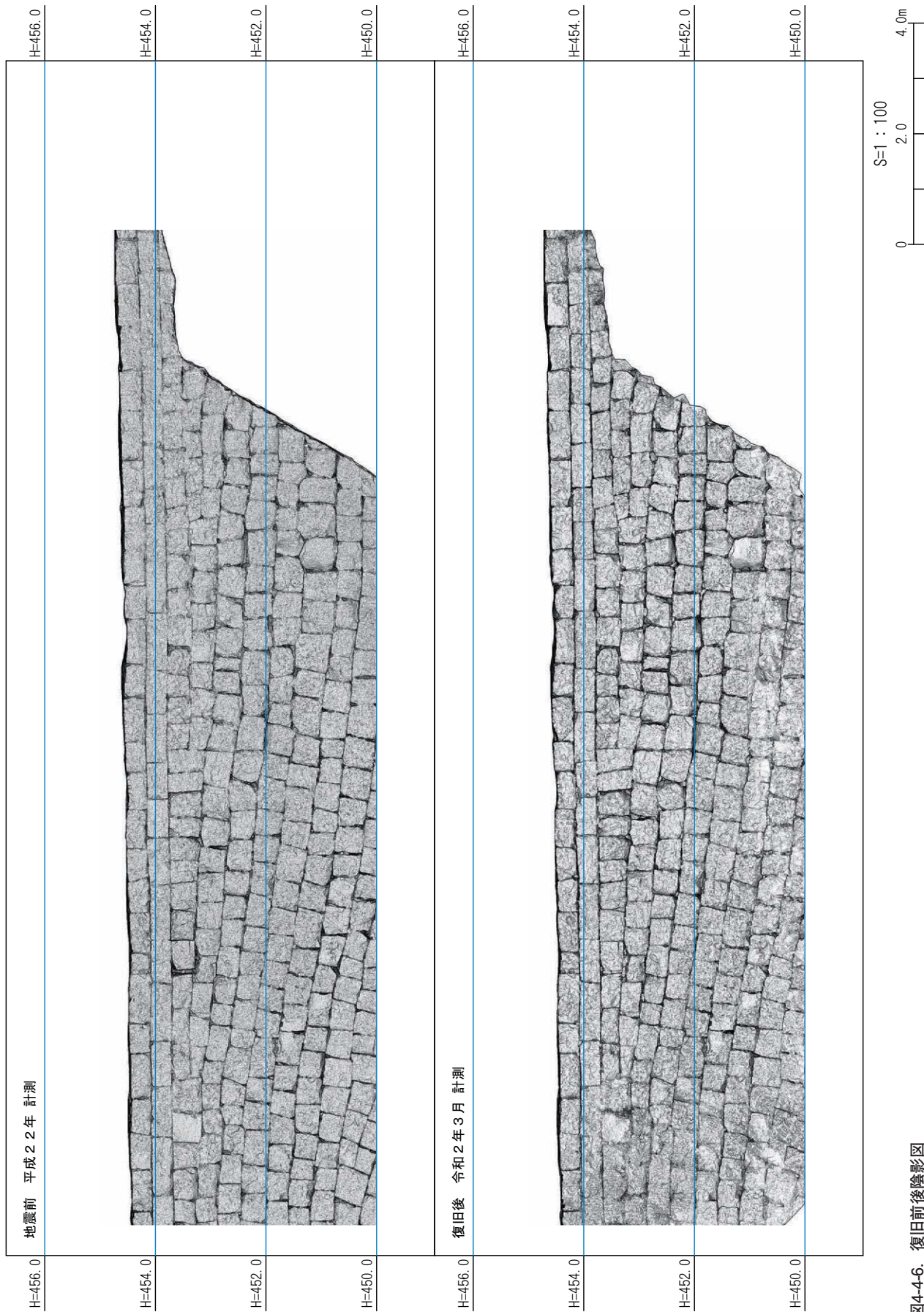


図4-4-6. 復旧前後陰影図

第6項 構造診断

6-1. 概要

石垣の耐震診断や安定性評価は数値計算手法（有限要素法・個別要素法・不連続体変形法）や実験的手法（モデル実験）等の方法を用いて実施する必要があるが、本格的な耐震診断を実施するにはかなりの時間を要する上、石橋の実施事例はなく技術的に確立されていないため、導入することは容易ではない。今回の修理はあくまでも崩落した壁石垣部分の災害復旧という位置付けであるため、将来的な橋全体の耐震に向けた「経過的補強」という考えで検討した。構造計算は関西大学名誉教授の西形達明氏にご協力をいただいた。

6-2. 構造計算

1. 概要

本来のジオテキスタイルの設計では、裏築の掘削面（あるいは主働すべり面）よりも奥までジオテキスタイルを敷設し、掘削面よりも奥側の敷設長を定着長とすることで、この部分に発生する摩擦抵抗によって壁石を引き留める（逆にいうと、壁石を引き留めることができるように定着長を決定する）考え方が一般的である。しかし通潤橋においては文化財修復であることを考慮して、掘削面は崩壊側の石管位置までとしているため、ジオテキスタイル敷設は裏築前面から背後の掘削面までとすることを前提として、通潤橋の壁石の補強安定性について検討を行った。この前提条件は裏築内の主働すべり面による崩壊を想定しないということの意味する。すなわち、裏築自体に崩壊が生じることがないように、割栗石による確実な層状施工を実施することが前提となる。今回の崩壊状況を見る限り既設の裏築には顕著な崩壊が見られず、壁石を背後から押し出した形跡も見られない。したがって、過去に実施された裏築の構築手法を順守して確実な裏築を構築すれば上記の条件は満足されるものと考えた。

ジオテキスタイルの敷設位置はジオテキスタイルと壁石間の連結方法や層状に構築される各裏築面の高さの影響を受けるものと考えられる。ジオテキスタイルによる壁石の引留め効果を確実にするためには、壁石との連結部と裏築部内におけるジオテキスタイルの敷設面に段差や弛みが生じないように水平に敷設する必要がある。また使用するジオテキスタイルについてはできるだけ開孔径が大きく、引張り剛性が高い材料を選定すべきであると考えた。

2. 壁石の引留め効果（ジオテキの引抜き抵抗力）

式の誘導および計算は図4-4-7の奥行を単位幅（1m）

とした。ジオテキスタイル面に作用する鉛直応力（ σ_{vi} ）はジオテキスタイルに作用する土被り圧と石管の自重の和とした。ただし、石管の自重は図の赤の破線で示すように45°で分散し、ジオテキスタイルの敷設深さが大きくなるほど石管自重の影響が小さくなることを考慮している。したがって、

$$\sigma_{vi} = \gamma_s \times h_i + W_s / (b + 2 \times h_i) \quad \cdots (1)$$

γ_s : 裏築の単位体積重量 (kN/m³)、 h_i : 各ジオテキスタイルの敷設深さ、 W_s : 石管の1m当たりの重量 (kN)、 b : 石管の幅 (m)、 i : 2層敷設を考えているので $i = 1$ or 2

ジオテキスタイルの引抜き抵抗はジオテキスタイルと裏築との摩擦によって生じるものと考え、各々のジオテキスタイルの引抜き抵抗力 (S_i) は

$$S_i = 2 \times \sigma_{vi} \times \ell_i \times 2/3 \cdot \tan \phi \quad \cdots (2)$$

ϕ : 裏築部の内部摩擦角、2/3はジオテキスタイルと裏築間の摩擦抵抗が裏築自身の摩擦抵抗の2/3に低減する（裏築自身よりやや滑りやすくなる）考えによっており、壁石の引留め効果は摩擦抵抗がジオテキスタイルの上下面で発揮されることに起因する。

3. 壁石の安定性の検討

3.1 ジオテキスタイルに作用する荷重とジオテキスタイルの敷設条件

図4-4-7に示すような2箇所にジオテキスタイルを敷設し、各々のジオテキスタイルを壁石の背部に結合することで、壁石の前傾と崩落を抑止する場合を想定した。この場合、ジオテキスタイルには結合した壁石1個分の自重が水平力として作用すると考えることも可能である。しかし壁石全体としての安定性を考えたとき、ジオテキスタイルを結合した壁石およびその上下の壁石の合計3石分の自重が水平方向に作用すると考える方が合理的かつ安全側の設計になるものと思われた。そこで壁石の控え長さとし、壁石の単位体積重量を26kN/m³とすると、各々のジオテキスタイルに作用する3石分の壁石の重量は

$$P_1 = P_2 = 3 \times 0.5 \times 0.5 \times 26 = 19.5 \text{ (kN)}$$

設計条件より、各々のジオテキスタイルの敷設長と敷設深さは以下の通りである。

$$\ell_1 = 2.20 \text{ (m)}, \quad h_1 = 0.48 \text{ (m)}$$

$$\ell_2 = 1.20 \text{ (m)}, \quad h_2 = 1.00 \text{ (m)}$$

3.2 計算結果

各ジオテキスタイル面に作用する鉛直応力は裏築の単位体積重量 $\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$ 、石管の1m当たりの重量 $W_s = 23 \text{ kN}$ 、石管の幅 $b = 0.8 \text{ m}$ 、各ジオテキスタイル

ルの敷設深さ $h_1 = 0.48\text{m}$ 、 $h_2 = 1.0\text{m}$ とすると、(1)式より、ジオテキスタイル面に作用する鉛直応力は以下になる。

$$\sigma_{V1} = 20 \times 0.48 + 23 / (0.8 + 2 \times 0.48) \\ = 22.67 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma_{V2} = 20 \times 1.0 + 23 / (0.8 + 2 \times 1.0) \\ = 28.21 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

各ジオテキスタイルの引抜き抵抗力は裏築部の内部摩擦角 $\phi = 45^\circ$ とすると、(2)式より

$$S_1 = 2 \times 22.67 \times 2.20 \times 2/3 \cdot \tan 45^\circ = 66.49 \text{ (kN)}$$

$$S_2 = 2 \times 28.21 \times 1.2 \times 2/3 \cdot \tan 45^\circ = 45.14 \text{ (kN)}$$

よって、各ジオテキスタイルの引抜き安全率は

$$F_{S1} = S_1 / P_1 = 66.49 / 19.5 = 3.4 > 1.2$$

$$F_{S2} = S_2 / P_2 = 45.14 / 19.5 = 2.3 > 1.2$$

したがって、ここで提示した設計案では両ジオテキスタイル共に十分な引抜き抵抗を有しており、ジオテキスタイルの引き抜けによる壁石の転倒破壊は生じないものと判断した。

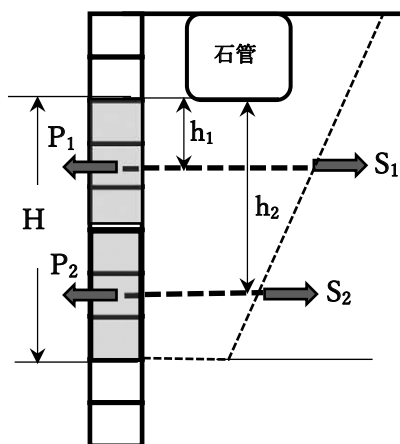


図4-4-7. 構造検討図

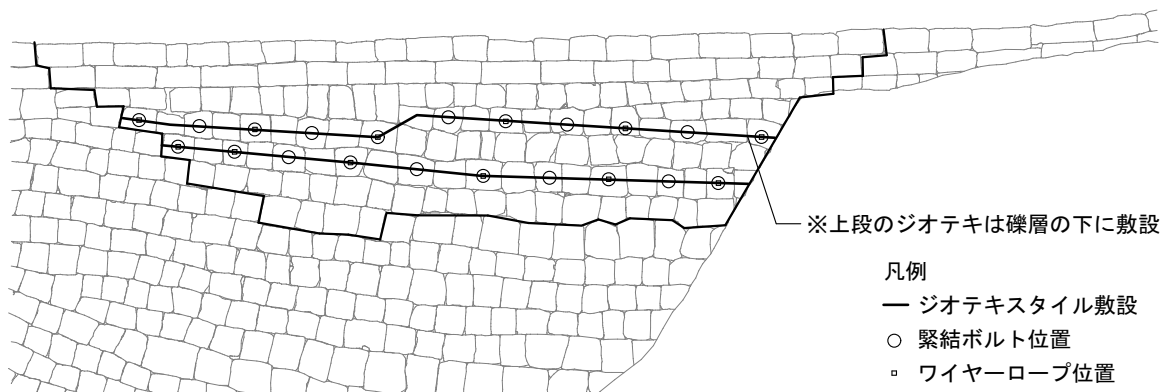


図4-4-9. ジオテキスタイル敷設範囲図

第7項 ジオテキスタイル補強

補強はアラミド繊維のジオテキスタイル（製品：前田工織株式会社、アダムFタイプ）を裏築の上下2段に敷設し、ジオテキスタイルと壁石の背面側を金具で緊結した。緊結は径9mm、長さ50cmの金属棒をジオテキスタイル壁石側の端部に巻き込み、壁石背面にケミカルアンカーを用いて差し込んだボルトとターンバックルで固定した。使用した金具はすべてステンレス製とした。さらに今回は補助的な補強として、壁石背面と既存裏築表面をワイヤーロープで緊結した。ボルトの水平間隔は壁石1つ飛ばしとし、ワイヤーロープの水平間隔は壁石3つ飛ばしとした。



写真4-4-15. ジオテキスタイルの緊結

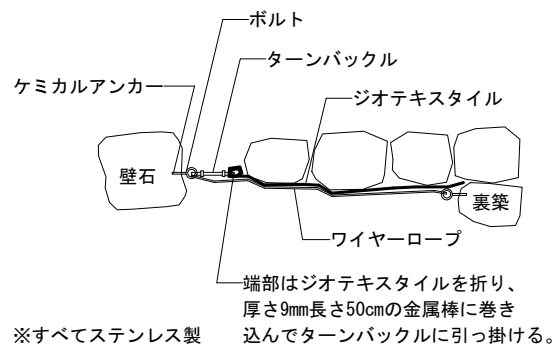


図4-4-8. ジオテキスタイル断面図

第5節 左官工事

第1項 通水試験

熊本地震後の修理（p 34参照）と同様に通水試験を行った。大雨災害復旧後は計4回の通水試験を行い、通水石管からの漏水がなくなるまで目地漆喰の詰め替え作業を繰り返した。

第2項 目地漆喰除去

熊本地震後の修理（p 34参照）は通水石管を解体せずに削孔したが、大雨災害後の修理では通水石管を解体した後に目地漆喰を除去した。解体した石管を調査したところ、目地にモルタルを詰め込んでいるものが多く確認された。（通水石管上面にモルタル補修をしたのが昭和46年であるため、おそらく同時期かと推測される）。

この工事では通水石管本体に傷が付かないように、ノミ及び電動工具を用いて慎重に除去した。目地漆喰を除去した後は石管の目地に残る埃等を1石ずつ丁寧に清掃した。

第3項 目地漆喰試験

1. 目的

大雨災害復旧後の修理は熊本地震後の修理（p 34参照）とは異なり冬季の施工となることから、松葉汁及び搗き時間の適正な配分を確認するために試験をした。

2. 日程

- ・ 搗き合わせ 令和2年1月8日（水）午後
- ・ 寝かせる 令和2年1月8日（水）夕方
～10日（金）昼頃
- ・ つき戻し 令和2年1月10日（金）午後
- ・ 竹筒開封 令和2年1月20日（月）午後

3. 試験内容

①漆喰搗き合わせ

初回の搗き合わせは赤土（5合）、消石灰（2升）、川砂（1升8合）、塩（1合）に、松葉汁（1,400ml）を混入し、機械を使い15分ついた。

②寝かせる

鏡餅上にして御小屋内で養生した。スケジュールの関係で中1日寝かせたが、厳冬期では大きな変化は起こらず、指で押してもやや凹むくらいであった。

③漆喰搗き戻し

搗き戻し時は現場での施工性を考え、松葉汁を入れたものと入れないものに分け、搗き時間を3分、6分、9分、12分と異なるサンプルを作成した。

4. 試験結果

竹筒に詰めたサンプルは10日間後に開封したが、夏場に比べると全体的に硬化は進んでおらず、竹筒開封の衝撃により漆喰が割れるものが多かった。松葉汁を入れない場合は搗き時間の長いもののほうが程よい粘性があり作業性が良く、反対に松葉汁を入れた場合は作業性が良くない結果となった。大雨災害後の修理では寝かせても硬化が進んでいない場合は搗き戻しの際に松葉汁を入れず、搗き時間を9分程度にした。

第4項 目地漆喰製作

目地漆喰の製作方法は熊本地震後の修理（p 38参照）と同様である。ただし前述した目地漆喰試験の結果より、大雨災害後の修理では搗き戻し時の松葉汁の量と搗き時間の目安を変更した。

第5項 通水石管目地漆喰詰め込み

解体復旧した通水石管及び漏水箇所目地漆喰を詰め込んだ。使用した機材及び工法は熊本地震後の修理（p 38参照）と同様である。

第6項 吹上口目地詰め替え

目地切れを起こしている吹上口の壁面目地漆喰を補修した。目地の材料は粘土：セメント＝2：1の割合で配合配合したもの（赤土セメント）を使用した。



写真4-5-1. 目地漆喰除去



写真4-5-2. 目地漆喰詰め込み

第6節 雑工事

第1項 排水工事

排水工事は前述した修理方針に倣い、吹上口から流水しないように水勾配を調整して盛土整形した。図4-6-1の通り、吹上口周辺の水はすべて吹上水槽に流れるようにした。吹上口から崩落部までの斜面部は排水溝と盛土小堤を設け、崩落部手前の両脇から排水することにした。これらは雨量計算を行い、排水機能が十分満たすことを確認した上で施工した。施工方法は以下の通りである。

1. 盛土

盛土材は仮置場から2tダンプで運搬し、山都町内産の土を使用した。表面仕上は機械による法面整形とし、既設地山と馴染む様に施工した。

2. 張芝

盛土法面の上に野芝（30×40）を割付け、竹串にて固定した。

3. 排水溝

階段下部の踏段内に幅15cm、長1.8mの排水溝と蓋を設置し、遊歩道側の既設側溝に接続した。



写真4-6-1. 張芝



写真4-6-2. 階段復旧

4. 小堤

崩落部に水が溜まらないよう、兩岸斜面最下部に小堤を設けた。小堤は土嚢積みで形を作り、その上から盛土で整形した。

第2項 銘札

修理完了後に修理年月、修理種別を陰刻した銘札を昭和期の修理工事記念碑の裏側に取り付けた。銘札の寸法は幅2.5cm、長18cm、厚1.5mmで、上下2点ビス止め、真鍮製とした。



写真4-6-3. 銘札



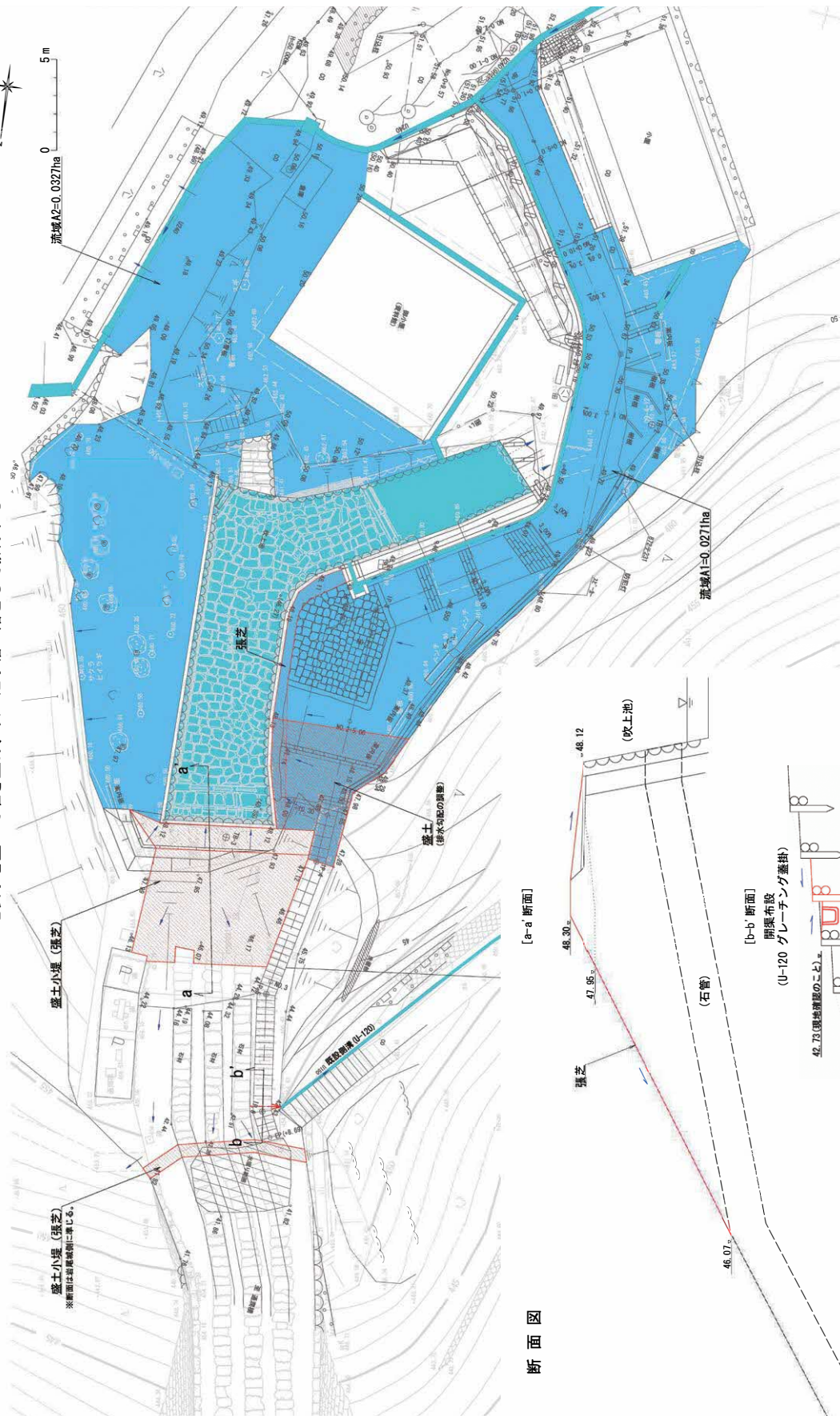
写真4-6-4. 排水溝



写真4-6-5. 小堤

平面図

橋面への雨水流入防止に係る対策（吹上口） 地表水を盛土で堰き止め、吹上池水槽に落として排除する



※図中の盛土と張芝のりも悪い場合は、図中の盛土も50.0m以上の高の埋め立てである（標準ではない）。
 ※吹上池の排水勾配の調整は、盛土で堰き止め、吹上池水槽に落として排除する（進歩道の既設排水に接続）。
 ※吹上池水槽の排水は、現地の勾配により谷間（五郎ヶ池川下流側）へ排除する。

図4-6-1. 排水図（吹上口）

第 5 章

参考資料

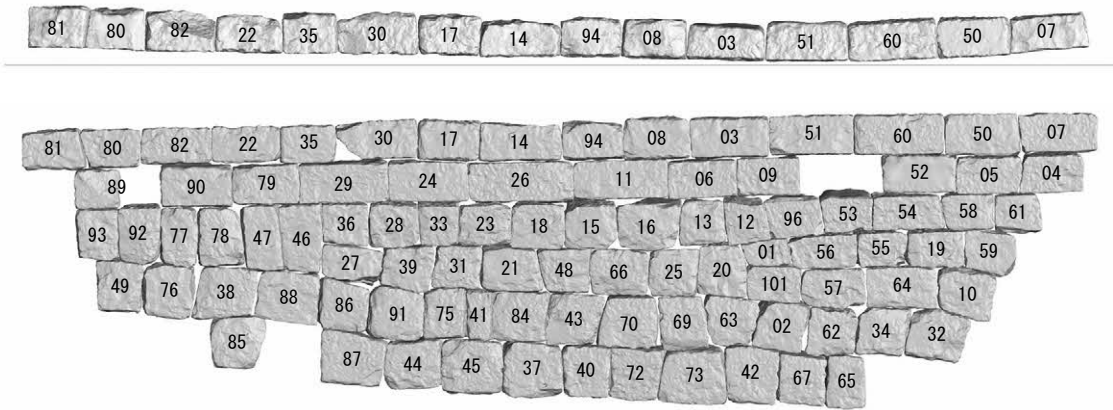
第1節 崩落石材一覧表

第1項 概要

今回の崩落により、壁石の形状等が創建以後初めて確認され、三次元計測によりそれぞれの壁石の記録を取った（5面計測）。

本節では石材の原位置シミュレーションの際に使用したデータを基に、各壁石の形状および寸法を参考資料として以下の通り記載する。

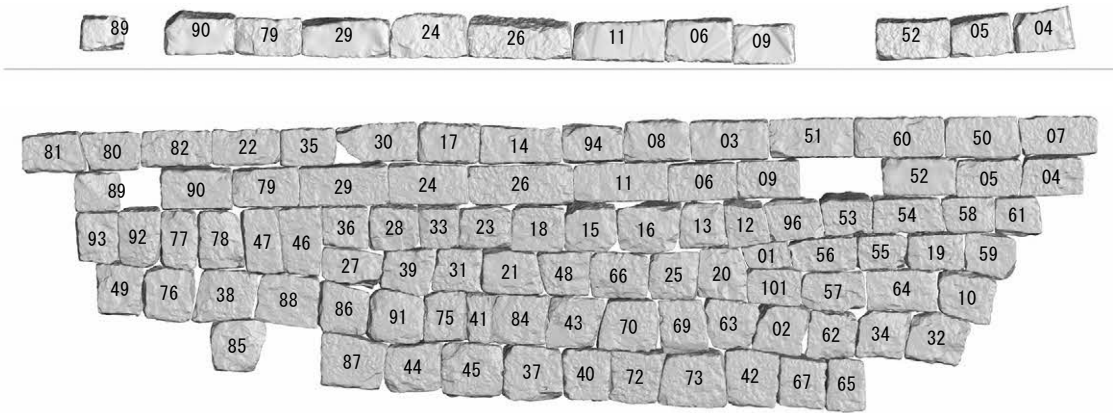
崩落石材番号 81-07

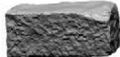


81	80	82	22	35
30	17	14	94	08
03	51	60	50	07

石材番号	面縦長さ	面横長さ	控え長さ	修理方法	備考
81	0.333 m	0.560 m	0.360 m	再用 補修 取替	
80	0.343 m	0.552 m	0.398 m	再用 補修 取替	
82	0.332 m	0.685 m	0.453 m	再用 補修 取替	
22	0.328 m	0.661 m	0.347 m	再用 補修 取替	
35	0.348 m	0.531 m	0.369 m	再用 補修 取替	
30	0.356 m	0.788 m	0.386 m	再用 補修 取替	欠損部は詰石で対応
17	0.360 m	0.587 m	0.397 m	再用 補修 取替	
14	0.321 m	0.790 m	0.332 m	再用 補修 取替	
94	0.331 m	0.587 m	0.351 m	再用 補修 取替	
08	0.372 m	0.642 m	0.326 m	再用 補修 取替	
03	0.353 m	0.753 m	0.289 m	再用 補修 取替	
51	0.366 m	0.821 m	0.363 m	再用 補修 取替	
60	0.365 m	0.876 m	0.358 m	再用 補修 取替	
50	0.373 m	0.716 m	0.347 m	再用 補修 取替	
07	0.351 m	0.741 m	0.314 m	再用 補修 取替	

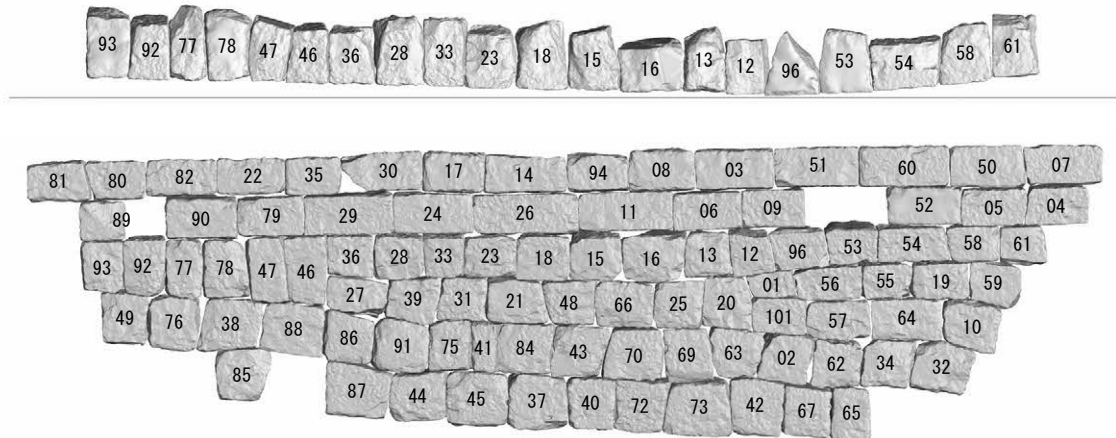
崩落石材番号 89-04



89		90		79		29		24	
26		11		06		09		52	
05		04							

石材番号	面縦長さ		面横長さ		控え長さ		修理方法			備考
89	0.361	m	0.418	m	0.288	m	再用	補修	取替	残存している石材の寸法
90	0.368	m	0.675	m	0.346	m	再用	補修	取替	
79	0.358	m	0.642	m	0.348	m	再用	補修	取替	
29	0.372	m	0.853	m	0.340	m	再用	補修	取替	
24	0.374	m	0.762	m	0.412	m	再用	補修	取替	
26	0.357	m	1.020	m	0.279	m	再用	補修	取替	
11	0.364	m	0.909	m	0.346	m	再用	補修	取替	
06	0.338	m	0.662	m	0.360	m	再用	補修	取替	
09	0.355	m	0.601	m	0.347	m	再用	補修	取替	
52	0.346	m	0.691	m	0.340	m	再用	補修	取替	
05	0.337	m	0.627	m	0.343	m	再用	補修	取替	
04	0.340	m	0.600	m	0.394	m	再用	補修	取替	

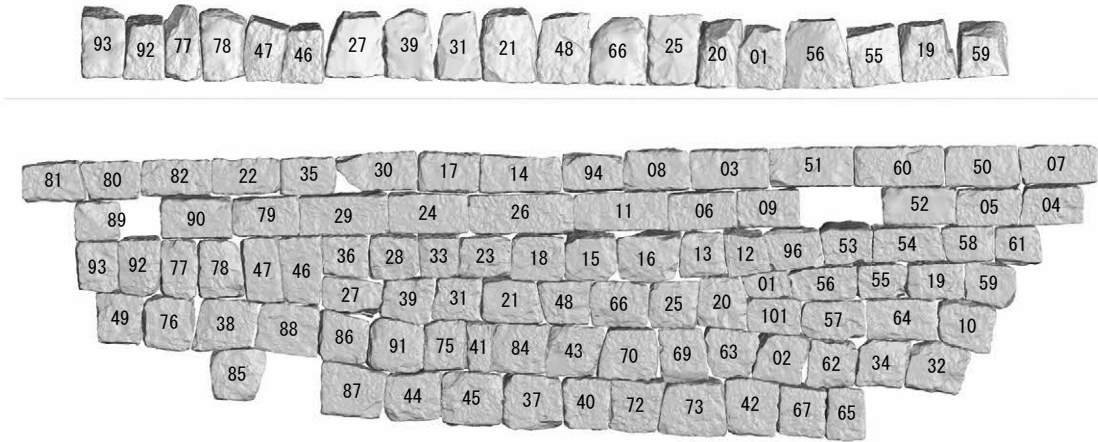
崩落石材番号 93-61



93		92		77		78		47	
46		36		28		33		23	
18		15		16		13		12	
96		53		54		58		61	

石材番号	面縦長さ		面横長さ		控え長さ		修理方法			備考
93	0.516	m	0.380	m	0.563	m	再用	補修	取替	
92	0.539	m	0.408	m	0.533	m	再用	補修	取替	
77	0.571	m	0.347	m	0.731	m	再用	補修	取替	
78	0.533	m	0.397	m	0.665	m	再用	補修	取替	
47	0.614	m	0.332	m	0.533	m	再用	補修	取替	
46	0.638	m	0.409	m	0.493	m	再用	補修	取替	
36	0.394	m	0.456	m	0.474	m	再用	補修	取替	
28	0.540	m	0.467	m	0.637	m	再用	補修	取替	
33	0.519	m	0.377	m	0.641	m	再用	補修	取替	
23	0.386	m	0.496	m	0.516	m	再用	補修	取替	
18	0.425	m	0.513	m	0.623	m	再用	補修	取替	
15	0.400	m	0.505	m	0.561	m	再用	補修	取替	
16	0.451	m	0.588	m	0.397	m	再用	補修	取替	
13	0.390	m	0.439	m	0.553	m	再用	補修	取替	
12	0.360	m	0.386	m	0.524	m	再用	補修	取替	
96	0.332	m	0.509	m	0.591	m	再用	補修	取替	
53	0.324	m	0.474	m	0.592	m	再用	補修	取替	
54	0.315	m	0.710	m	0.419	m	再用	補修	取替	
58	0.329	m	0.484	m	0.558	m	再用	補修	取替	
61	0.310	m	0.526	m	0.614	m	再用	補修	取替	

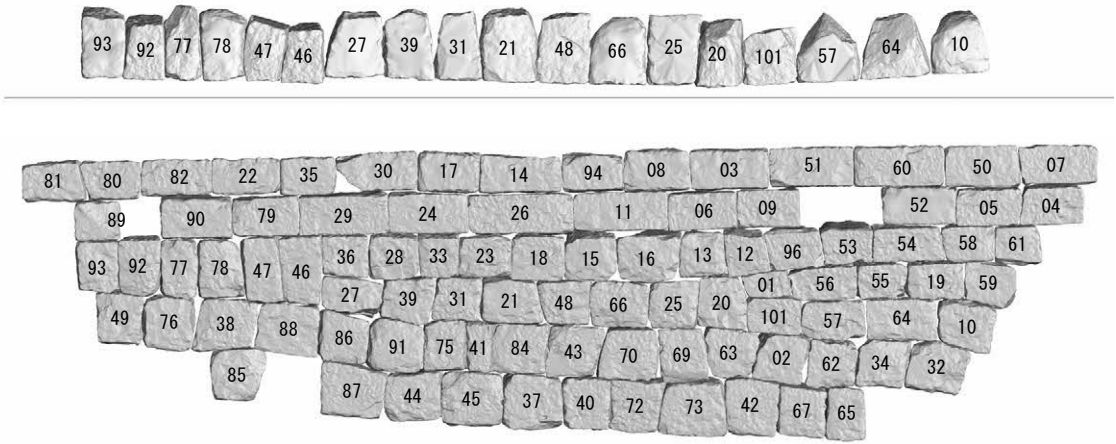
崩落石材番号 93-59



27		89		81		21		48	
66		25		20		01		56	
55		19		59					

石材番号	面縦長さ	面横長さ	控え長さ	修理方法	備考
93					
92					
77					
78					
47					
46					
27	0.330 m	0.571 m	0.572 m	再用 補修 ☒ 取替	下面に欠損やひび割れがあったため
39	0.405 m	0.494 m	0.629 m	☒ 再用 ☒ 補修 ☒ 取替	
31	0.388 m	0.428 m	0.612 m	☒ 再用 ☒ 補修 ☒ 取替	
21	0.405 m	0.563 m	0.639 m	☒ 再用 ☒ 補修 ☒ 取替	
48	0.396 m	0.437 m	0.656 m	☒ 再用 ☒ 補修 ☒ 取替	
66	0.450 m	0.555 m	0.639 m	☒ 再用 ☒ 補修 ☒ 取替	
25	0.443 m	0.444 m	0.660 m	☒ 再用 ☒ 補修 ☒ 取替	
20	0.474 m	0.451 m	0.624 m	☒ 再用 ☒ 補修 ☒ 取替	
01	0.233 m	0.493 m	0.575 m	☒ 再用 ☒ 補修 ☒ 取替	
56	0.298 m	0.634 m	0.626 m	☒ 再用 ☒ 補修 ☒ 取替	
55	0.324 m	0.457 m	0.503 m	☒ 再用 ☒ 補修 ☒ 取替	
19	0.327 m	0.555 m	0.518 m	☒ 再用 ☒ 補修 ☒ 取替	
59	0.382 m	0.494 m	0.522 m	☒ 再用 ☒ 補修 ☒ 取替	

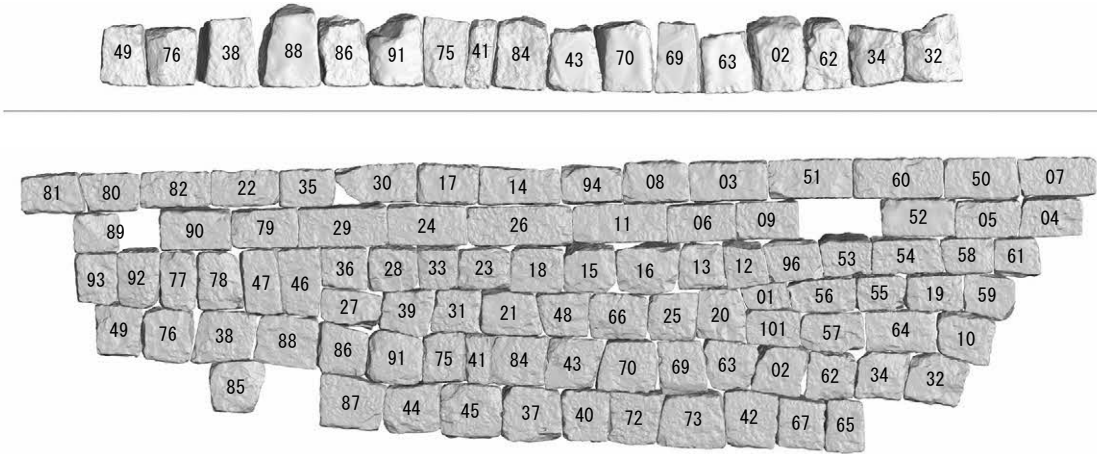
崩落石材番号 93-10



101		57		64		10		

石材番号	面縦長さ		面横長さ		控え長さ		修理方法			備考
93										
92										
77										
78										
47										
46										
27										
39										
31										
21										
48										
66										
25										
20										
101	0.323	m	0.482	m	0.498	m	再用	補修	取替	
57	0.351	m	0.601	m	0.649	m	再用	補修	取替	
64	0.365	m	0.665	m	0.606	m	再用	補修	取替	
10	0.385	m	0.517	m	0.553	m	再用	補修	取替	

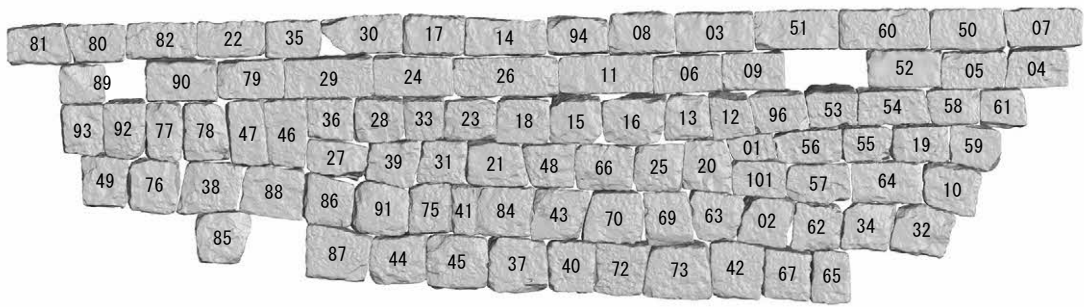
崩落石材番号 49-32



49		76		38		88		86	
91		75		41		84		43	
70		69		63		02		62	
34		32							

石材番号	面縦長さ		面横長さ		控え長さ		修理方法			備考
49	0.424	m	0.406	m	0.557	m	再用	補修	取替	
76	0.477	m	0.609	m	0.495	m	再用	補修	取替	
38	0.461	m	0.544	m	0.640	m	再用	補修	取替	
88	0.460	m	0.575	m	0.706	m	再用	補修	取替	
86	0.431	m	0.437	m	0.690	m	再用	補修	取替	
91	0.471	m	0.492	m	0.595	m	再用	補修	取替	
75	0.462	m	0.366	m	0.655	m	再用	補修	取替	
41	0.444	m	0.209	m	0.642	m	再用	補修	取替	
84	0.459	m	0.510	m	0.641	m	再用	補修	取替	
43	0.471	m	0.488	m	0.562	m	再用	補修	取替	
70	0.477	m	0.559	m	0.618	m	再用	補修	取替	
69	0.468	m	0.423	m	0.654	m	再用	補修	取替	
63	0.446	m	0.454	m	0.564	m	再用	補修	取替	
02	0.443	m	0.441	m	0.718	m	再用	補修	取替	
62	0.411	m	0.432	m	0.617	m	再用	補修	取替	
34	0.366	m	0.453	m	0.493	m	再用	補修	取替	
32	0.417	m	0.531	m	0.543	m	再用	補修	取替	

崩落石材番号 85-65



85		87		44		45		37	
40		72		73		42		67	
65									

[illegible]

第2節 工事完了後に開催した討論会

第1項 概要

大雨災害復旧では建造以来、初めて壁石や裏築の修理を実施した。修理方針は検討委員会や保存部会での協議により決定したが、現場で実際に石に触れ、積み直しを担った石工等の知見や経験を記録し後世に伝えることが重要であると考え、工事終了後に専門家、設計監理担当者、発注者を交えて施工者にヒアリング形式で石垣や裏築の特徴、施工時の留意点等の聞き取りを行った。ヒアリングの実施日時、場所、参加者は以下の通りである。

1. 日時

令和2年3月26日（木曜日）午後2時～4時

2. 場所

山都町役場本庁3階議会・共用会議室

3. 参加者

〔専門家〕北垣 聡一郎

〔施工者〕

・現場代理人

大和 陸男（63歳、株式会社尾上建設）

・石工

道上 直弘（33歳、株式会社尾上建設）

藤原 孝史（45歳、藤原石材工業）

・石工監修・指導、技術検討ワーキング等出席

荒木 大人（37歳、株式会社尾上建設）

※所属及び年齢は実施日当時のものである。

〔設計監理〕江崎 信貴（文建協）

〔発注者〕西 慶喜・大津山 恭子（山都町）

第2項 ヒアリング内容

2-1. 石工となった経緯、これまでの経験等

【山都町】山都町では尾上一哉氏らが発起人となって平成23年度から石工養成講座が開催されている。荒木氏、藤原氏はその1期生に当たられ、道上氏もその講座に参加をされている。荒木氏は講座以前から種山石工の技術継承者：竹部光春氏の弟子であられたが、その経緯やきっかけから伺いたい。

【荒木】平成18年に尾上建設会長（尾上一哉氏）から竹部さんがまだ現場に出られているので、受け継ぐならば今しかないということで紹介していただき、家に行き弟子入りをした。石橋の仕事は中々なく、最初のうちは護岸石積み等が主であった。平成19年には美

里町が被害を受けた豪雨災害があり、その時に霊台橋や大窪橋が少しずつ被災した。そのような小規模な修繕を数橋、師匠とやった。大規模な石橋工事は中々なかった。

【山都町】次に、道上さんが山都町に来られた経緯を伺いたい。

【道上】平成28年の熊本地震があった年から養成講座に参加した。その年の秋頃、10月に引っ越してきたが、その2ヶ月前の7月から通っていた。

【北垣】道上さんの場合はお父さんが高野山の3代目の石工さんで、道上さんは4代目と伺った。そうした中で、なぜはるばる鹿児島大学に行かれたのか。

【道上】大学には考古学の勉強をして博物館の学芸員になりたかったので行った。大学を出て実家に戻り何年か実家の仕事をしていた頃、石積みに興味があったが、地元でできる人がいなかった。誰かに習いたいと思っていたし、父親も誰かに習わせたかったようであった。ちょうどそのタイミングで種山石工の養成講座があっているというのを知人から聞き、一回熊本に行ってみようと思った。今の石塔の石屋は、自分のところで製品を作ることがほばないので、職人として自分の手仕事としてやりたいという思いがあった。

【北垣】高野山というのはご承知のとおり中世の五輪塔がたくさんあって、古いものは鎌倉時代のものもある。高野山の信仰というなかで宝篋印塔・五輪塔などがあるが、高野山ではさらに大きいものを扱うことはなかったのか。

【道上】（地元では）個人の墓石をやったり、字彫りをやったりすることが中心だった。中々石積みをしたりの仕事はなかった。

【北垣】城や護岸、堤防のような石を積む仕事に関心があったのか。

【道上】はい。

【北垣】不思議なご縁で、こちらで荒木さんに巡り会われて、このような仕事をするようになったということか。荒木さんのところで石工養成講座から現在まで一緒に過ごされたのか。

【道上】マンツーマンでというのではなく、現場で荒木さんの仕事を見ながら、真似ではないが、一緒にやっていった。

【北垣】何年くらいか。

【道上】3年と4ヶ月くらい。地震の後だったこともあり、石橋の仕事が結構あった。現場で色々教えてもらう機会が多かった。

2-2. 通潤橋修理への参画の経緯

【北垣】それで、いよいよ通潤橋の現場に入られるわけだが、普通なら地元の荒木さんにお願いするという方法もあっただろうが、道上さんに通潤橋を任されたところあたりから聞いていきたい。

【荒木・道上】色々なタイミングなどがあった。

【山都町】現場の役割分担としては、現場の責任者は大和さん、道上さんは石工の棟梁、藤原さんも石工として工事に参画いただいた。荒木さんは、もともと技術検討ワーキングに参加していただいており、指導監修といった感じか。

【道上】藤原さんは、兄弟子にあたる。(これまでの)現場では荒木さんに教わっていた。荒木さんには、石積みの中で見に来ていただいて、アドバイスをもらっていた。

【北垣】道上さんに白羽の矢が立ったわけだが、平成30年に壁石垣が崩れた時から関わっているのか。

【道上】1回目の工事(地震後の災害復旧)の時点では人吉の石工さん(正栄建設井福和弘氏)が来られているので、自分は平成30年の大雨で石垣が崩れた以降である。壁石の引き上げをしている時点で「修理は自分」ということを荒木さんから聞いていた。荒木さんが担当されている現場の工期が重なるだろうという理由で、自分が行くことになった。石を引き上げている時からそのつもりでやっていた。

【北垣】そうであれば、道上さんはご自身で棟梁として、崩れた現状を見てどう思われたか。

【道上】石の引き上げ後、位置の特定などは測量コンサルタントがされていた。ほとんどの石が見つかり、三次元でどの石がどれかという特定もほぼできて、1石分からなかったが、その場所も分かっていた。引き上げ後に石のチェックもしたが、欠けた所もほとんどなかったの、少し安心した。ただ崩れる前に相当孕んでいたということを聞いて、上手い具合に進むだろうか、と思っていた。

【北垣】その時に石垣の縦横断面などは道上さんもご覧になっているわけですね。

【道上】はい。

【北垣】私は、引き上げた石材をみて、規格性があまりない石だなという感想をもった。もっと言うと控えが短く寸足らずで、横一列に並ぶ石なのかと思ったが、結果的にはそうであった。また、加工も大変荒々しい。これが通潤橋が元氣な段階の顔なのかと思った。

2-3. 裏築検出・解体・復旧

【北垣】そんな感想のなかで、次に現場はどういった段階になるのか。

【山都町】先ほどもあったが、石を拾い上げた後、石の測量をして元の位置を特定し、1石のみが不明であった。

【道上】工事では結果的に、特定できなかった1石と欠けやひび割れなどがあった3石の合計4石を新しい壁石に交換した。石がしっかりしていたことが一番よかった。元の位置がしっかり分かっていたことも良かった。

【北垣】特定できなかった1石は見つからなかったのか。

【大和】探しても見つからなかった。

【道上】崩落した範囲の泥の中を掘ったり、鉄ピンを指したりして探したが、見つからなかった。

【北垣】三次元写真での石の旧の位置の特定が完了した段階で、どのような感想を持たれたか。

【道上】ありがたいなと思った。元の石がない、分からないという状態でやるのと全然手間が違う。

【北垣】いざ復旧となった場合、最初の工程はどうなるのか。

【山都町】はじめに足場を作って、崩落防止措置として被害箇所にモルタルを被せていたので、それらを剥がす作業が最初であった。現場で見ていたが、このモルタルが想定よりも分厚く、慎重に剥がすことがとても大変だった。この作業をしてから、崩土が被ったままの裏築、上から被覆土が落ちて乗っかっているままの状態が出てきた。

【道上】このモルタルは直接石に着かないよう、ブルーシートに不織布、ワイヤーメッシュなどをしてから吹き付けたため、モルタルは直接石についていない。

【北垣】これが最初の作業だったんですね。

【山都町】はい。その後、崩土が乗ったままの状態であったので、半分危険であることも承知しながら、町・文建協・工事関係者で少しずつ手作業で崩土除去を進め、石管下の裏築の状態を露出させて、内部の石の状態や積み方等を確認した。ここまでで(令和元年)6月末頃まで掛かっている。1か月位はかかったと思う。

【道上】(裏築を全て露出させてから)それでこのままでは石積みはできない、ということで石管を一部外して、石垣を積み直すということになった。

【北垣】この裏築を露出させた状況で、壁石の役割や裏築石についてどんなことを考えていたのか。つまり、

上から通水管の荷重がかかっているでしょ。それで崩落部分の周囲の壁石が、若干前に倒れている状態で、これから直すにあたり、考えられたことは何か。

【道上】あれだけ出てきてしまっていると、(周囲も)一度外してしまって積みなおすという形になると思う。

【北垣】今までこうした例や経験は、荒木師匠との現場であったか。

【大和】崩落してその部分を積みなおすという例はないと思う。変形しているか、移築などのために全部石を撤去してやる。そういうものが多かった。

【山都町】中の裏築構造が出てきたときには、どう思われたか。このような事例が他にもあったのか。

【道上】近いところで二俣橋(美里町)や下鶴橋(御船町)も直させていただいたが、(それらと比べて)ぐり石が大きいなと思った。ぐりというか、石を積んであるような感じ。かなり立派な中詰め(裏築)であったと思う。

【北垣】私は城と比較して、裏ぐり石とは違うなと思った。なぜかという道上さんの話のように、裏ぐりなら外へ孕み出してズレる。裏ぐりは細かく空間に詰まって入っていくだけに、相手(築石)がなかったら受けられない。こんな垂直に近い状態で残ることはないだろうと思った。この前後で、中村石材工業の北園さんにも現場を見ていただいたのでしょう。

【山都町】はい。

【道上】僕が見てきた中でも他の石橋の裏込めの石からしたら、やっぱり大きい。「通潤橋仕法書」で書いてある通り、裏築石(うらつきいし)という言葉がぴったり当てはまるなと思った。

【北垣】結局この裏築石の場合、石材の一つひとつが自立しているのではないか。

【道上】自立というよりしっかり詰まっているな、という感じがした。

【北垣】裏築石を横から見た感じで言うと、外へ飛び出していくような感じにも見えない。城の裏ぐりはこんな風にはならない。完全に一体になっているから。ここの裏築は(通水石管の)上からの圧力によく耐えたなと思った。初めて見たときは、よく分からない部分もあった。相当大きな石を使っていて、壁石の裏に裏築があるということは分かるが、ラインはないし。

【道上】そこはやはり裏込めなので、詰めているのは詰めている。けれどもやっぱりガタつかないように丁寧に詰めているという感じ。

【北垣】(石垣崩落後オルソ立面図(測量図3)を見て)

向かって右手の方は裏築石の面(つら)が見えているが、最初は面だとは思わなかった。城の石垣はどちらかというと裏ぐりに面はない。凹凸がいっぱい。これをどう表現すればよいと言われても困った。分からない。

【道上】普通はもっと小さい石で裏込めがされていて、石垣が落ちた部分はこぼれてくる。

【北垣】そう。こぼれずに、ちゃんと立っている。孕み出した状態の壁石の断面図をみても、よくこんな状態で自立できているものだ。壁と独立しているのではないかと。壁石の石尻と裏築の表側の間にきれいなライン(目地)があるとは思っていなかったし、説明できにくい、ややこしい構造物だと思っていた。さらに一番上の石(敷石)は、綺麗にラインが通っており、これでよくもっているなと思ったものだ。

【道上】裏築の石も石管の下の敷石に近づくにつれて、丁寧に詰められていた。

【北垣】上にいくにつれて施工が丁寧になっていった、ということね。

【道上】敷石(板石)の一つ下の裏築の天端の石は、とても綺麗に並べていた。ずっと下になってくると、やっぱりガタつかないようにしっかり詰めるという感じで詰まっていたが、敷石の一つ下は、敷石を並べやすいように見越して、完全に意図的にほぼ平らに綺麗に敷き詰められている。

【山都町】解体していて驚いた部分である。

【北垣】下の裏築の不均衡な状態をここで最終調整しているということやね。すごいね。

【道上】復旧の時にも、ここは石1石ずつにポイントを付けて高さを出してもらっていて、それに合わせて違わないように復元した。

【北垣】こんな時に、荒木さんに相談などはしなかったのか。

【道上】この時はもう(しなくても大丈夫だった)。(裏築天端)石の位置や高さなどの資料はあったので、大和さんとは話はしていたが。

【北垣】復旧ではもう最終の段階だからか。これが、以前話を聞いていたミリ単位の調整をしたという、そういう段階のことね。

【道上】はい。

【大和】この(裏築天端)石は並べてあるというか、「駒基礎」みたいな石。頭が平らで下が細い逆三角形の石が並べてあって、間は詰め物でしてあるので、今でいう軟弱地盤に使う駒基礎に近い。形状が一緒。

【道上】天端はほぼまっすぐ。ノミ跡もついていた。

【北垣】表面加工もしているか。

【道上】加工もしている。

【江崎】裏築天端石の下石も加工はしているのか。

【大和・道上】（裏築天端石より下は）基本は割石であった。

【江崎】裏築天端石はざっとはめ込んで、上端を現地で加工したということか。

【道上】その方が施工も早いと思う。

【大和】基本は裏築石をそのまま上げてきて、裏築天端石と敷石で石管の高さと勾配を決めている。

【道上】下の方の裏築石はやっぱり（層としての並べ方が）荒い。

【北垣】確かに下のほうの裏築石はめちゃくちゃ荒いね。

【道上】裏築石自体もだんだん上がるにつれて並べやすいようにきっちり裏築の石自体も加工している。

【北垣】下の方の裏築の石は裏ぐりみたいなものか。

【山都町】基本は割石。大きな割石を主体とするが、間に、破片やコップみたいなものも詰まっている。

【道上】下の方でも割石がびっしり詰まっているのは同じ。壁石と一体化するようになっていいる。

【北垣】先程大和さんが言われた裏築天端石に関して私は「木端立て（こばだて）」という呼び方をするが、別の言い方をされたが。

【大和】軟弱地盤の工法で「駒基礎」という工法がある。コンクリート二次製品の駒型の製品を並べて間に碎石を詰めるものである。

【北垣】木端立てがもとの呼び方だろう。

【大和】石を立てて並べる方法。

【北垣】河川の堤防などでよく見る。徳島県の吉野川では河川敷をつくるときに木端立てをやる。

【山都町】ここでは裏築天端石の下部に、砂利の替わりに円礫・山砂・角礫などが一緒に使われている。

【北垣】この辺が一番大事な部分なのでしょう。

【道上】石管を通すにあたっての工夫だと思う。川の丸っこい石などを用いて高さを合わせてあった。

【北垣】ここでズレたら拙いからね。

【道上】だから中の石を詰めるのは、だいぶ丁寧に時間をかけてやらせてもらった。

【大和】この天端石の構造で、上の荷重は全部分散していると思う。

【道上】裏築を隙間なく詰めることも、孕み出しがなるべくないように考えてあると思う。

【北垣】この裏築構造は下の方も1列ごとに丁寧に並べられているのか。

【山都町】上下関係を把握するために、裏築石は層で取り外しを行ったが、きれいに1列でとれるのは天端石のみである。

【北垣】その下は、1石で中は3石、4石で使っていたりとか、色々でしょう。

【道上】バラバラであった。

【北垣】だけど、裏ぐりのように、降ろすとガラガラと流れるような状態ではないということではいいか。

【道上】そういう石はない。1石の大きさもあるし、大体平べったいという感じで統一はされていた。

【大和】裏築天端石だけ、どちらかというと立っているという感じだった。

【山都町】裏築の解体は1層ずつ番付して取り外しをしている。私の感覚では裏築天端石は、ほとんど真っ平できちんと敷き詰めてあるという感じだった。その下からは高さは揃っておらず、かなりガタガタの状態だった。



写真5-2-1. 解体した裏築石（橋上で一時保管）

【道上】全然違う。

【北垣】全然揃えてないね。天端も揃っていないのか。尖がりもあるのか。

【道上】天端もガタガタだった。尖がりもあるし、大きさもマチマチ。

【北垣】裏築の下層も、縦に入る木端立てのような感じではないのか。

【道上】これは、縦に入っている石もあれば、横に入っている石もある。

【山都町】隙間には細かい石が入っている部分もあった。

【北垣氏】細かい石を入れることで排水はどうか。

【大和】水は抜けるのではないか。昔、通潤橋の除草

をした時、梯子をかけて壁石を上ったときに石の目地から風が吹き抜けてくる。大体壁の裏なので風を通さないはずだが、目地から涼しい風がくる。石の間には空隙があると思う。間詰めには泥は入っていないということ。土が入っているのは石管と石管の間のみ。

【道上】解体中にはそれ（被覆土）が回って落ちてきているというのが見えた。

【山都町】写真などで振り返っても、壁石垣に近い方が落ちている土が多い印象だった。

【北垣】上からの土砂が流入している、というのがよく分かる。

【大和】長年の風化というか、霜上りに溶けたりする中で、水が入って回ってそうなのではないか。それが表面では、石と石の間に草の種が根付いてしまって草が生えてしまうという状況だっただろう。

2-4. 壁石の解体・復旧

【山都町】裏築の解体を進め、その後崩落した周辺の壁石も取り外した。修理予定の最下段にまでいくと、壁石G10で長尺のものが見つかった。控えが95cmほどあった。

【北垣】この段では他にはないのか。今回解体された中で、何石くらい控えの長い石があったのか。

【道上】この段で見えたのは1石のみ。解体中に見つけたものは2石。

【山都町】G10ほか、G11の下段で2石あった。

【北垣】この控えの長い石があるところは、意味があるのか。

【道上】今回見えた中では、ちょうどアーチの肩ぐらゐの下辺りという感じがした。個人的な印象ではあるが。

【山都町】アーチの一番高いところのラインにあって

くるのではないかと現場でも伺っていた。

【道上】適当には入っていないので、規則性をもって使っていると思う。今回はあくまで部分的に分かったただけだが。

【北垣】この場合の石の控えというのはほとんど規格か。平均がとれているのか。

【道上】見た感じでは、ほとんどこれくらいというのは決まっているのではないかと。

【北垣】写真でいうとF7やF6は尻が長そうに見えるが、裏築の面には尻があたっているのか。ギリギリのところだとは思いますが。解体中の写真では、壁石の石尻と裏築の面の間に空隙があるように見える。

【道上】これは僕の考えでは、（壁石が）前に倒れていて、それで隙間があいているように思う。F12とF11は、倒れている部分だと思う。本来は裏築の石と壁石は付いている状態だと思う。

【北垣】そういう状態であれば、積んでいく時はどちら側から積んでいくのか。

【道上】壁石からである。壁石を1列積んで、その高さに合わせて裏築を入れていく。

【北垣】裏築の敷き方としては、まず壁石を1段並べ



写真5-2-2. G(10)の長尺石

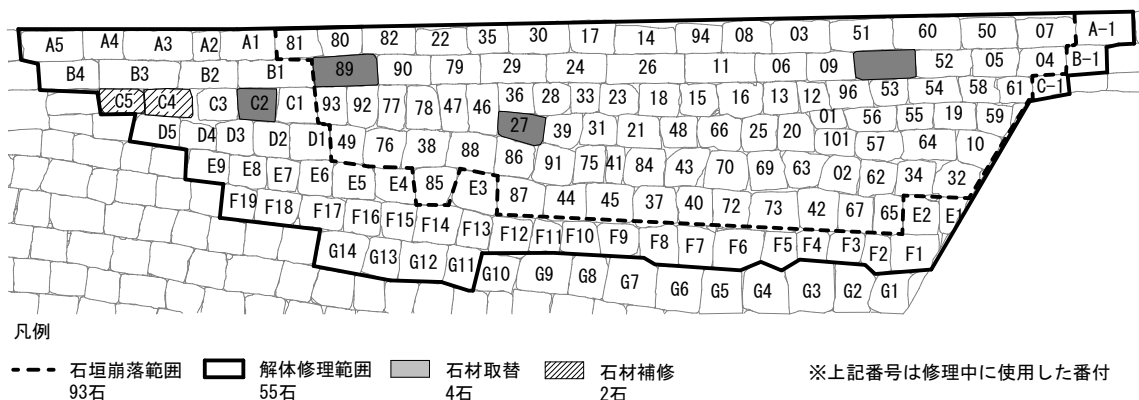


図5-2-1. 石垣修理範囲図

て裏の方は何段くらい並べるのか。裏も1段ずつ入れていくのか。

【道上】はい。たぶんそれがセオリー。壁石を1段、裏築を1段、壁石の天端まで詰めていって次の高さに、という感じ。

【北垣】壁石も1段ごとにやっていくという感じか。

【道上】はい。壁石だけ先にあげていくことはないと思う。

【北垣】壁石を1番最初において、それから中を入れていくわけやね。

【大和】壁石、裏築、壁石、裏築、という順である。

【北垣】それから壁石の控えの水平面は、上・下あると思うが、水平もしくは若干内傾するという感じか。

【道上】はい、水平もしくは尻下がりである。尻上げは多分しないと思う。

【北垣】壁石は全部その原則でできているのか。反対のものもあるのか。

【道上】全部というわけではなかったと思う。尻が上がっているものもあったが、その代わり合端はぴったり合っていた。

【北垣】それは、上の石で調整するのか。

【道上】壁石の面と尻を定規、差し金で測ってみたが、やっぱりその下の壁石の角度に合せて造ってあるという感じで、直角でないものもあった。ちょっと開いていたり、縮んでいたり。

【北垣】下の段に合せているということかね。

【道上】現場合わせて、全部下の段で合わせて作っているということ。ほぼ水平か尻下がりであるが、そうでない石も何石もあった。

【北垣】その据え付けの時には、壁石の石面に出てくる勾配を共通して持っているからできるのだろう。

【道上】そうだと思う。どういうアールにするのか考えてやっていたと思う。

【北垣】ところが現実問題としては、孕み出しが起こったのは、もともとの基準勾配よりも前に出たということでしょう。前に出たのか、尻が上がったのか。どんな現象だったのか。

【道上】崩れたところは、壁石の加工が悪かったものもあった。間知石のように加工したものも入っていた。

【北垣】それは後から入れた石か。

【道上】崩れたところの上の方では、積み方も加工も悪い。三角形のような尻の形の石があった。加工が荒いし、助もん（銅石）で上げてあったりした。

【北垣】全体としてみたら、三角の石はそんなに多く

はないのでは。2石位に見える。これは後で入れた石ではないのか。

【道上】三角の石だけではなく、端（吹上口側）の方では、加工も含めて荒い気がする。落ちて欠けたということではなく、元から荒めであった。積み直ししてあるのか、建設当時であるのかは分からないが。藤原（孝史）さんとも見てそうだと言っていた。

【大和】（建設当時に）工事の最後の方になり、突貫工事みたいになってきたのではないか。

【道上】端の方には、防護の（明治初め頃の）石積みもあるので、積んですぐの時点でもたない、ということになったのかも。中々そういうのはあまりないとは思いますが、昔から荒かったのかなとも考えられる。

【北垣】あの明治頃の（補強石垣の）石積みは完全に抑えたものだったからね。普通ならば前から抑えなくても自重で大丈夫であろうが、調子が悪かったであろう。このところに三角の尻の石があったのか。

【山都町】補強石垣に隣接する部分である。

【北垣】確かに石に落ち着きがない、ぐちゃっとしているように見える。

【道上】崩落前の写真を見ても石も荒いように見えた。地元の人に聞いたら、その辺りが一番孕み出しが酷かった場所であった。荒木さんとも話をした時に、通潤橋の弱点は崩れたところ辺りだろうと話していた。石の積みも2列になっていたりする。

【大和】小さい石で分割された積み方になっている。

【北垣】2石になっている部分はおかしいね。

【道上】その辺りが今回崩れた部分でもあるし、（積み）が悪い部分。

【北垣】崩落したラインの下辺りも少しおかしい。細い石も入っているし。

【道上】面の下側が逆三角形になっている石（F2）は、とても不安定だった。中々決まらなかった石。助もん（銅石）で合わせた石だった。

【北垣】このような石を「亀甲崩し」という。この1石でいうと、石そのものが六角形崩し。六角形に至らないけれども、上下3つ目まで受けている。上2段を含めて、やり替えているのではないか。

【大和】下の方の石積みは丁寧。崩落した辺りからガタガタが始まる。

【山都町】橋全体としてみると、上流側の石垣の端部は、両方（取入口側・吹上口側）とも、似たような状況になる。石の積みも2列に分割している。

【道上】取入口側もそうした辺りが孕んできている。

【北垣】十年か、百年先かは分からないが、取入口側の方も修理する時期が来たときに、こうした問題があることを申し送っておく必要があるだろう。

【北垣】それから、委員会の先生方や私などからの多様な質問等は、現場サイドから見てどのように感じられたか。理解されたかどうか。

【道上】僕は現場のことしか分からないが、特に問題はなかった。調整は、大和さんが全てされた。また、要所で荒木さんにも壁石の列を見てもらい意見をもらった。藤原さんとも現場ですっと一緒にやった。僕個人の意見としては、ジオテキスタイルはもったいない感じもした。空積みで100年以上持ってきたものでもあるので。壁石の修理では、石を削らないで既存の石を使ってやっているが、ジオテキスタイルのためには石にボルトを打ったので。色々あるとは思うので、あくまで僕個人の意見である。

【山都町】壁石の積み方では仮組みをしていただいて、何回も1ヶ月くらいをかけてこの形ならばいける、ということになったと思うが、どのようなところで出来そうという感触がつかめたのか。

【北垣】仮組みはやって良かったと思う。

【道上】あの時には藤原さんと一緒にしっかりやっていて、荒木さんにも見ってもらってやった。回数で言えば5回目くらいか。

【藤原】下が合わない、上の方が合ってこない。

【道上】壁石を積もうとすると、面を合わせて積んでいきたいが、そうするとどうしても反ってしまったり、どうしようもなくなった。苦肉の策でちょっと奥にずらしてやった。

【北垣】あれは文化財としてやろうとした時に、在来工法にジオテキスタイルはないので、ない方が望ましい。今のお話はあくまで文化財としてこの石の特徴を最大限活かしていくためには、これは城郭でもそうだが、石を少しずつ引きながら、大まかな粗々の勾配に戻していく、これをやらないとできない。ここでは、非常に良い判断をされたと思っている。そういう目線からしても当然だと思う。

【道上】荒木さんにも言われたが、最終的には見た目が大事。見た目でしっかり見ろよ、と言われた。糸を張ってやるのも大切だけれども、多少石を引いたとかそういうのではなく、見た目でしっかり見る。セオリ一通りでいくのではなく、全体を見て綺麗になるように組み上げろ、と言われた。

【北垣】それも大事な話ですね。城でもやっぱり同じ

ことで、水系を通すのは一番の基本。しかし、稜線は原則通さねばならないが、石垣も経年変化で年を取る。それでも文化財として残そうとするときは、できるだけ触らずに残していく方法を取ることもある。だから、そういう考え方は基本的には正しいと思う。

【道上】一から何もない状態で新設の石橋を造るのであれば、糸を通してきっちりやればいいが、修理だから両サイドの孕んでいる状態もあるところにすり合わせていかなければならないので、それはやっぱり糸を通して合わない。見た目でしっかり見る、ということをやった。

【北垣】糸を通して確認はするが、逆に今のように粗々でやろう、ということになる。

【道上】もちろん糸を通してやった上での話である。

【北垣】伝統的な文化財のスタイルを踏襲してやっていただいている。それから、最終的に新補石材は何石だったのか。

【道上】全部で4石である。完全になくなったのが1石、後は、割れている、ヒビが入っているなどで使えないものが3石あった。

【北垣氏】それぞれの意味があって4石が取り替えられたが、通潤橋石橋の残存度はどうか。

【道上氏】見た目では100%近いと思う。最初に言った通り、崩れてしまったが石がほとんど使えたというのが大きい。これで半数近く使えない、などの状況だったら石を集めるのも大変な状態だった。

【北垣】その4石の新補石材は、どこから集められたのか。この近辺のものか。

【道上】はい。尾上建設の会社で集めていたもので、ほぼ大丈夫であった。

【山都町】熊本地震の時に、隣の御船町で落石があった石の塊を荒木さんが取っていただいていたものが4石中の3石、もう1石は藤原石材工業さんで持ってい



写真5-2-3. 加工前の新補材（御船町大字上野産）

らっしゃった山都町の石材である。

【北垣】 あったことは運がよかったね。

【道上】 運もよかったが、石を集めていただいていた先見の明があった。

【山都町】 工事の途中で、道上さんと藤原さんと一緒に1日半くらい町内の石を見て回った。それでも使えそうなものがあっても取りに行くのが難しかったりしたので、結果的に荒木さんの石を使えたのが良かったと思う。

【道上】 だから、今後は大変だと思う。次の修理時には同じ種類の石は使えないかもしれない。

【北垣】 確かにそういう問題もあるだろう。

【大和】 石管が大変だと思う。元の大きさが大きいので、中々とれない。

【北垣】 あれは強度がないとダメでしょ。

【道上】 それに石の目ですね。縦じゃないといけなくて、難しい。

【北垣】 この場合、石の目は縦目地を使うということね。

【道上】 石管の場合は、縦である。壁石の場合は、あまり気にしていなかったようである。縦の目もいっぱいあったし、斜めに目が入っているものもあった。

【北垣】 ところが石管は、縦の目と考えられている。それから、さっきの仮組みの話で、要するに壁石に経年劣化があって、色んな状況のある中で、石尻が上がったり石面が前に出てくるように、勾配にも変形が起きている。

【大和】 石の浸食などはあまり見受けられなかった。

【道上】 多分壁石（そのもの）の劣化で孕み出すことはなく、中の問題だと思う。

【北垣】 裏築石の影響か。

【道上】 裏築石の影響というか、どう言ったらいいか難しいが。

【北垣】 壁石は下の石と接着するように積まれているので、どこかで前にズレるような変位で勾配が少しずつ変わらないか。

【大和】 それもどうかは分からない。

【江崎】 地震の時とかは部分的に孕み出したりした。そういったことの積み重ねだろうか。

【道上】 壁石の劣化で、というのは分からない。

【大和】 今回取り外した中で、一番下の列（G列）の壁石はぎっちり締まっていた。締まっているのでそれ以上は動かない。今度崩壊したのは、締まっている状態だったが、一度に（一気に）崩壊したと思う。石垣

の頭から落ちているから、円弧すべりではない。石そのものの変形はないと思う。今回取り替えた中で、1石は浸食によるものがあつた。面の方から剥離しているものがあつたので、それは取り替えた。

【道上】 石自体は、かなり堅いものを使っている。

【北垣】 石同士の当たりでかなりしっかりしており、ほとんど動かない状態で、変形はまず考えられないということね。

【道上】 そうだと思う。

【藤原】 浸食して割れていた石があつたが、そこから緩くなることなどはないのか。

【大和】 全体でもっているもので、そこまでないとは思いますが…。あれが輪石でもある程度まで傷んでいても全体でもっている。

【道上】 輪石の石でも割れていようが落ちない。荒木さんが現場監督だった船場橋（宇土市）も割れていたりしても落ちていない。相当傷んでいるのに、落ちていなかった。

【北垣】 結局、城郭の石垣でもみんなそう。1石が割れたからと言って回りがガラッと崩れるかということ、そうではない。その後の状況でそういうことも起こることもあるが、普通はなんとかそれでもっている。全体でもっている。

【大和】 外圧が一番ではないか。大雨の時に流出するのは水圧がかかるからで、橋自体ではない。

【北垣】 それは構造体としての強さ。輪石が落ちることがあるのはなぜか。

【荒木】 輪石は、落ちるものと落ちないものがある。普通は落ちない。落ちない理由は簡単で、台形になっているから落ちない。上が広くて下が狭いため、下に落ちることはない。それが地震とかで揺られることによってアーチが歪んだり、荷重とかによって微妙にアーチも動く。目には分からないくらい。ただ定点観測をすると動いている。この動きによって上下寸法が大差ない石、輪石背面をコップで調整している箇所などは、緩んでストッと落ちることがある。ピチッと作ってあるところは落ちない。

【道上】 二俣橋（美里町）は輪石の隙間に鎌が挟まれていた。輪石の精度が悪く隙間があくところである。

【大和】 隙間があくところに、楔みたいに鎌が入っている。

【北垣】 隙間と言っても薄いものですね。

【道上】 隙間と言っても本当に鎌が1枚入る位の隙間であるが、それでも鎌を入れて潰してある。

【山都町】 県内の他の石橋を扱われていると思うが、それと比較して通潤橋の石の積み方とか石の加工の程度などの違いはあるか。

【道上】 合端はしっかりしていると思った。合端の合わせは、ほぼ全部、全体で合っている。普通は、仮組みで4段とか5段とかを壁石だけで積めるというのは、ないと思う。助もん（飼石）とかもなくて、壁石だけで仮組みができる、というのが珍しいと思う。

【藤原】 普通はできない、本当に珍しい。

【荒木】 尻すけ（尻飼石）に頼っていない。他の石積みは、普通尻すけがあって安定させる。通潤橋はそれを想定していない。墓石を積んでいったような。

【北垣】 これをしようとすると、石の前と後ろとか関係なく、全体で上手く当てているわけでしょ。

【荒木】 多分規格がある。（建造時には）石工は何十人もいるため、流れ作業になる。あんたは作れよ、あんたは運べよ、お前並べろよ、といった役割分担が当然出てくる。その役割分担の中で、あまりにも人間が多くてバラバラになり過ぎるとスピードも悪くなるし、全体統率がとれなくなる。基本的に規格化した方が早い。大体規格化して作っていると思う。

【北垣】 石材を規格化しながら現場で再調整、合端合わせをやる。これが重要ということね。

【道上】 ほんまの（本当に）種山の職人が作った石橋だと思う。

【山都町】（橋本勘五郎率いる）種山の石工が作った石橋でいうと下鶴橋（御船町）もあるが、それらと比較してどうか。

【荒木・道上】 下鶴橋よりも。全然違う。

【北垣】 下鶴橋の石垣の勾配はどうなっているか。

【荒木】 上部は通潤橋と似た形で、反りがある。

【山都町】 同じ種山石工の中でも相当こちらの方が統率とか技術がしっかりされているという感じか。

【荒木】 下鶴橋よりも通潤橋の方がより統制がとれている感じがする。

【江崎】 下鶴橋は、裏ぐり石か。

【荒木】 下鶴橋の中詰めは、土砂と割石の混合。

【北垣】 その場合は、圧力は石垣にかかるでしょ。

【荒木】 はい。

【北垣】 逆によくもっている。

【道上】 そこも合端はびっちりしているからと思う。

【北垣】 控えはどうか。

【荒木】 控えは、もうちょっと長いかな。5尺くらいのものもたまにはあった。

【北垣】 そういう石があるからもつのだね。

【荒木】 やっぱりそれぞれの場所でそれなりに考えている。基本的に（通潤橋のように）割石ばかり使うと、仕事はやりにくい。運搬して歩いていくのにガタガタしていたら引っ張って持っていけない。すごくやりにくい。

【大和】 あと考えられるのは、憶測でいえば、水路橋だから漏水はつきもの。泥を充填していたら流れて抜けて変形するが、石だけであればそれがないと思う。それも考えてあったと思う。人道橋と違うところはそこだと思う。

【北垣】 今回、ミリ単位で綺麗に合わせて修理をされたので、変形はないはず。だけど石垣は1年位経つと全体に自重がかかり、変形を吸収していく傾向がある。通潤橋の場合も変形はありえないことだと聞いたが、1年、2年とか経つうちに、技術とは別にして、細かい変動があって落ち着くところで落ち着く。今はその過渡期、という見方もあるかもしれない。仮にそうした中で、上の方にどんな影響が出るのかどうか。これは分からない話ですが。

【荒木】 基礎構造が見えてないというのが、一つみそではないか。下が岩着なのか、例えば胴木なのかとか。基礎となるものが何か分からないので、これが全く動かないかということ、分からない。基礎の石が何に載っているか、ということである。

【北垣】 これは岩に載っているのではないのか。

【荒木】 地形から考えたときに岩が露出しているのかどうか…。

【北垣】 私は、十中八九胴木はないと思うが。地震で崩れた明石城の水堀で胴木の有無を調べた。本来ならば胴木を使っている箇所にはそれがない。理由は旧河川敷きに直接石垣を据えているからで、まったく狂わない。水が流れて、根石を動かさない限り崩れないので、胴木は使わない。城郭で出土した胴木は300年、400年は問題ない。空気に触れると傷んでくる。通潤橋では、使うのかどうか。

【大和】 輪石は岩盤に乗っていると思う。多少石垣でたわんでもそれは石管でもっているのではないか。想定範囲内なのは。大体石管は水落としの中央に水勾配がつくようになっているが、現状は今回石管の解体と復旧を行った所は中だるみしていた。それを復旧で直すかという、直しても周囲と合わない、直さなかった。周りに合せて復元した。

【北垣】 裏築と壁石の構造上の安定化ということに、

通水管の荷重が将来的にどう影響するかを考えていたが、お話を聞いているとそれも込み込みの伝統技術の世界ということになるのかな。

【大和】今回の修理で通水管の荷重の影響というのは、あまり関係ないような気もするが…。

【道上】崩落によって壁石が崩れても通水管は崩れなかったということが結果的には全てではないか。

【北垣】結果的にはね。

【道上】壁石がこれだけ崩れても通水管がどうもなかったというのが全て。何を大事にしているかが分かるのではないかな。僕もこういう仕事は一生ないと思う。

【山都町】石工さんのお三方からみて、通潤橋の特徴、特異性は何だと思われるか。先ほどから壁石がどこの石橋よりも合端がびたっとしていることなどは伺ったが、他にあるか。

【荒木】やっぱり中詰めだと思う。外からは見えないが、一番手をかけている部分と思う。これを作れと言われたら、苦勞する。

【道上】やっぱり中詰めを復旧する際も荒木さんから、ここは一番時間を掛けて丁寧にするように、と言われていた。手間も掛かっているし、やっぱり綺麗に詰まっている。昔は、ダンプもショベルもないから、手で並べたわけである。相当大変であったと思う。これが下まで全部詰まっていると思うと…。

【大和】これを1層1層やっている。これがかき込みならそうはならない。

【道上】放り込んでいるのとは違う。手でしっかり並べて、細かい隙間には石を詰めて、とやっている。今回も細かい隙間には、セットハンマーで石を詰めている。

【北垣】城でも手をかけなければならぬところは、しっかりひとの手で入れている。乱雑に放り込むところもあるが、手で入れるところは解体しても残っており、評価できる価値がある。そういうところがやはりすごい。それに通ずる話ですね。

【山都町】先ほどからの裏築の入れ方、しっかり手間をかけてびっしり詰めるということを具体的に、石の選び方とか置き方でいうとどのような感じか。

【荒木】石がぐらつかないようにする、座るところに。

【大和】裏築自体の間の空隙がないということは、接しているから、外からの力が加わっても皆に分散する。空隙があると、そこに石が落ちたりすると、狂っていく。それはあると思う。

【道上】これだけきっちり入っていたら押し出しにく

い。それだけは言えると思う。

【大和】荷重としては上からの土圧とかがあると思うが、それを裏築石が受けて全部に分散していると思う。

【道上】作業しやすい、というのもあったと思う。グラグラしないようにしとかなないと仕事する職人らしもづらかったというのもある。

【北垣】あの高さですからね。城の石垣は片面から石を積む片築（へんちく）で、石橋のような両面から石を積む夾築（きょうちく）ではない。だからお話のように、石橋の内部はより安定した構造を心掛けたのだろう。それはお話のように、グラグラしない石材を選んだり、石の据え方もズレないようにしっかり配石していることでもうかがえる。

【道上】あとは、やってみて面白かったのは、昔の職人も失敗とかもしていて、壁石の割れたやつとかを裏築で使っている。矢穴があって変に割れたりしてしまった、やりすったやつを入れていた。そういうのが僕は面白かった。昔の職人の人間味というか、そういうのも見られた。

【荒木】（壁石の）石1個持ってくるのは相当な労力だから、当時はものすごく怒られたと思う。

【北垣】素晴らしい出来上がりの中にはそう見えるものもある。しかし、大勢には影響はないが。

【道上】石積み話に戻ると、仮積みの5回目くらいでいけるということでやり始めたが、積んできてもやっぱり反りだけは完全にはなおらなかった。

【山都町】最終は、明治の補強石垣がついている箇所

の石垣の勾配で合わせたような形である。

【北垣】結局、明治期に抑えをつけた状態の石垣のラインまで復元できた、戻ったということか。

【道上】建設当時が垂直だったのか、ちょっと反っていたのか、ということについては、実際にやってみて、少し反っていたのではないかな、というのが僕の意見である。石同士の噛み合わせで、こうしか積みなかった。これ以上ふれなかった。だから、果たしてもう少し下からなおしてきた時に反りがなおるかと言われると、なおらない気がする。

【北垣】それは今までの話の中で、控えの平行をとりながらやってもらっている、その流れの中での話だから。

【道上】この石垣は、尻すけ（尻飼石）を入れて勾配を作っているものではないので、石同士で上がってきて、何石かで反ってきている。

【北垣】通潤橋の（「鞘石垣」の）勾配は熊本城で使っ

ている「ノリ返し勾配」のことである。地盤工学の専門家は、石垣ではこれ以上に安定する勾配はないとされる。ここに出ている勾配は、先人の残した技術の賜物であることを知っておく必要がある。ここで（道上さんが）いわれる上部の反りは何だったのか。完成概念図での反りの有無は微妙。そこを目指してご苦労を掛けしたが、それでもなお課題がある。

【道上】崩落部分にあった孕み（石垣のふくらみ）はなくなったが、反りだけはどうしてもついてしまうという状況だった。

【山都町】崩落部分の上から4、5段でお腹がでるように出ている部分は、きれいになくしていただいた。

【北垣】よく戻ったということと思う。

【道上】また、他の橋では、これだけ大きい裏込めを使うことはない。

【北垣】これだけ大きなものを使って、解体した裏ぐり石を仮置きしている状態でも、（流れずに）止まっている。城郭の裏ぐりなら横にぐしゃっと広がって、こんな状態で止まらない。割った石を活用しているが、無茶苦茶に割っているわけではない。一つひとつが大きいし、こんな形にすれば滑らないことを考えてやっている。

【道上】抱えきれないものも多かった。

【北垣】これは裏ぐり石とは言えない。そして壁石にもほとんど銅石がない。壁石の方に圧力がかからぬようにするのは苦労だったと思う。

【江崎】今までの話に出てこなかったのが、加工の仕方を教えてほしい。壁石、手摺石、裏築、石管があったと思うが。

【道上】裏築石はほとんどいじらなかった。

【江崎】割肌のような感じか。

【道上】上に上がってきたときに、出たところをノミではつった。

【江崎】壁石はどうか。

【道上】（新材の）壁石は自分のこだわりもあって、他の現場だったらエア工具を使うが、1石だけは全部手で作った。ノミとハツチであったり。他は面だけは手で作って、側面とか見えないところはエア工具を使った。

【江崎】道具は、今と昔で違うのか。

【荒木】今はタンガロイという超合金を使うので、鍛冶をしなくてよいが、昔は鋼。阿蘇1の石材も種類によっては、たまに花崗岩並みに硬いものがある。弟子の人たちは、朝からの鍛冶が日課だったと思う。

【道上】今はできないが、昔の石屋さんは鍛冶もできた。

【北垣】文石協（文化財石垣保存技術協議会）では、若い技能者がそれを研修している。

【荒木】使い方を間違えると折れたりもする。

【北垣】オリジナルの石垣の表面加工はどうか。

【藤原】今の感覚でいうと加工したがるというか、綺麗にしたい。少しでもはみ出ていたら打ちたくなるが、（昔のものは）結構自然のまま、というのが多い。石を見ても抜群に綺麗にした、という感じではない。

【荒木】石切の割り付けをする時から、大体矢の入れ方を考えている。あまり手をかけないようにしている。層でいくときも、高さを決めておいて、下から矢を打って、後ろも打って。そこまで手をかけないように、山切りの段階から上手である。

【北垣】例えばこの1石を作るときに、山の目（節理と層理）をみてそれに合わせて採っていく。採ったあとはどうなるのか。現場でやっていく工程は。

【荒木】まず、山でこれくらいのをとって、というものがある。石工の中でも山切りが上手な石工がいた。そういう人にはこれくらいのサイズということを伝え、（石の）目とか、これくらいの大きさでとっておけばいいというのが分かって、意思疎通ができていく。チームとして成り立つ。それで現場に持ってきて、少し加工してやって据えていくというスピードでやっていかないと通潤橋はできないと思う。

【北垣】粗々の段階は、山切りの段階でやっておかないといけないということ。

【荒木】師匠たちの頃は、丁稚の時は山切りから教わっていたと聞いている。

付論

通水石管新補材の吸水率・圧縮強度試験

第1節 業務依頼の内容と試験

第1項 業務依頼の概要

本業務は重要文化財「通潤橋」保存修理工事（平成30年大雨災害復旧）において、新規に設置した通水石管石材の吸水率並びに圧縮強度試験のデータを将来の生起する保存修理工事に活用するために行なった。

通水石管をはじめとするオリジナルの石材は通潤橋現地周辺の五老ヶ滝川一帯の河床において採取された阿蘇溶結凝灰岩のうち、学術的に「Aso-1」に区分されるものであり、公共事業では同様の石材は入手が不可能である。このため、採取地が異なる同種の石材を入手したうえで研究者及び石工の肉眼観察により今回新規の通水管として採用している。しかしながら、統一規格に基づく各種試験のデータはこれまでになく、文化財保存の観点から、将来の保存修理に備え詳細な試験データが必要である。また、今回採用した新規石材についても、過酷な通潤橋上の環境下においてモニタリングを並行しつつ、石材選定の指標を整備するための資料とした。

吸水率試験はこれまで3回に亘る大規模修理工事においても未実施であり、常に湿潤状態にある通水管が厳寒期において凍結融解により劣化をする状況を踏まえ、通潤橋の保護に必要不可欠なデータを得るための試験とした。

第2項 新規通水石管石材の試験

今後の通潤橋の通水石管の保存修理工事に活用するための基礎資料を得るために行うものである。使用する岩石材は、御船町大字上野で採取したもので、約20cm四方の大きさに石材を切り出し、試料A・Bとした。また、オリジナル採取地と思われる五老ヶ滝川

一帯の河床付近で採取した試料Cは含水率試験のみ実施した。

切り出した石材から、堆積方向と堆積直角方向の試験体コア（直径50mm、高さ100mm）の抜きを行い、吸水率試験の他に、堆積方向と堆積層方向ごとの圧縮強度を計測した。壊れ方の観察から強度以外の石材の特徴も抽出した。

第2節 通潤橋と通水石管の概要

国指定の文化財である通潤橋は橋長は76.02m、支間長は28.05m、全幅員は6.33mを有する石橋で、1854年に架設されている。また、石管の全長は約124m、橋面から吹込口（取水口）までの高さは7.6m、同じく吹上口の高さは6.49mである。写真-1は熊本地震で被災する前の通潤橋の正面の様子を示した。

2016年の熊本地震では前震で多数の漏水と橋上の間詰土に数箇所の亀裂が発生した。更に、本震後、壁石上部の手摺石が左右岸の2箇所で上流側への孕みだしが大きくなり、橋面上の漏水、間詰土の亀裂が拡大、通水石管接合部の亀裂や目地充填材である漆喰が浮き上がる現象が確認された。通水石管の多くの部分で漆喰が破損しており、アーチ輪石から漏水した（写真-2(a)）。

地震後、町は文化庁の保存修理事業として「通潤橋保存活用検討委員会」で修理範囲と修理工法を決定し、復旧に当たった。間詰土を掘削し、通水石管を露出させて漏水状況を確認し、補修及び漆喰の詰め替えを行った。同時に、孕んだ左右岸の壁石上部の手摺石を2段目まで据え直してほぼ修理を終えた（写真-2(b)）。なお、3段目以下の壁石の孕みだし補修は積み直し範囲が広



写真-1. 被災前の通潤橋の本体正面の様子



(a) アーチ輪石からの漏水

写真-2. 通潤橋の被災状況と補修工事

範囲となり、復旧に時間を要することから断念した。しかし、2018年5月の大雨で右岸の手摺石と壁石が一部崩落した（写真-3）。崩落の主要な原因として、手摺石と石管の間を充填した間詰土（粘性土）が水分を含んで膨張し、手摺石を押し出したことが考えられた。



(b) 手摺石の補修工事

その後、通潤橋保存部会が中心となって石垣復旧を行い、2020年3月には石垣の積み直しと通水石管の漆喰の詰め直しを行い、数回の漏水チェック後復旧工事を終了した。写真-4は石垣の修復と通水石管の状況を示したものである¹⁾。



(a) 大雨で崩壊した壁石の状況

写真-3. 通潤橋の大雨による壁石崩落状況



(b) 崩落した壁石と通水管



(a) 解体後の裏込め石と壁石の状況

写真-4. 通潤橋の壁石修復と通水石管



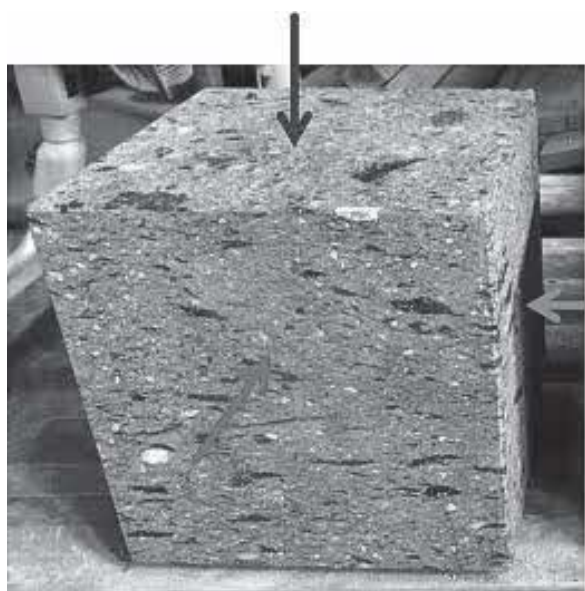
(b) 通水石管の断面状況

第3節 通水石管石材の試験手順と方法

第1項 試験体の製作

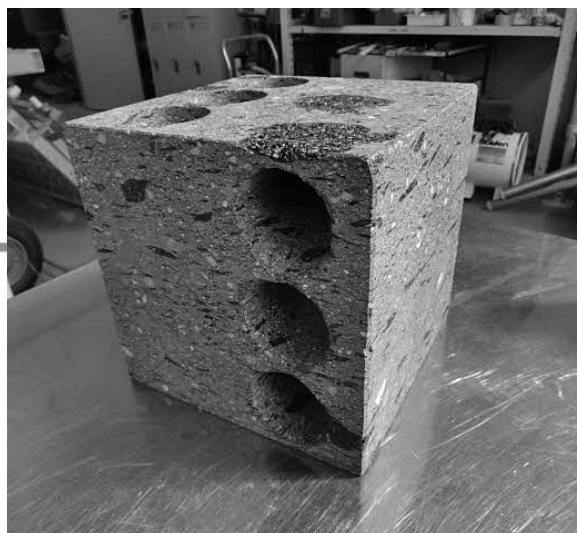
石材は堆積方向と堆積層方向により材料特性が変化するので、方向による性質の違いを調べるため、試験体の製作には材料のコア抜き方向を考慮した。1つの20cm四方の石材から、写真-5に示すように堆積方向（V）と堆積層方向（H）からそれぞれ3本ずつの計6本の試験体をコア抜きした。今回の試験に用いた石材は2体あり、それぞれ試料A、試料Bとした。写真-6に示すA1～A3、B1～B3は、試料Aと試料Bの堆積方向3本、A4～A6、B4～B6は試料Aと試料Bの堆積層方向のそれぞれ3本である。

なお、試験体の形状寸法は直径50mm、高さ100mmの円柱状のコアとし、試験体の形状計測は図-1に示すように高さ方向で2か所、直径方向で3か所において計測することとし、それぞれの平均値を算出した。写真-7には堆積方向（V）と堆積層方向（H）の試験体の例を示した。堆積方向は図中の赤枠で囲んだ部分に示す様に石材に含まれる異質岩片等のガラス質のレンズで、この方向でVとHの方向を確認できた。写真-8と写真-9は試料Aと試料Bからコア抜きした6本の試験体の様子を示したものである。

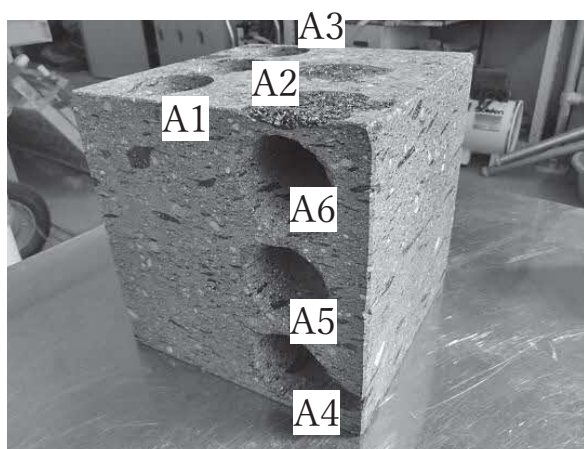


(a) 試験体コア抜く前の石材

写真-5. 吸水率と圧縮試験の試験体

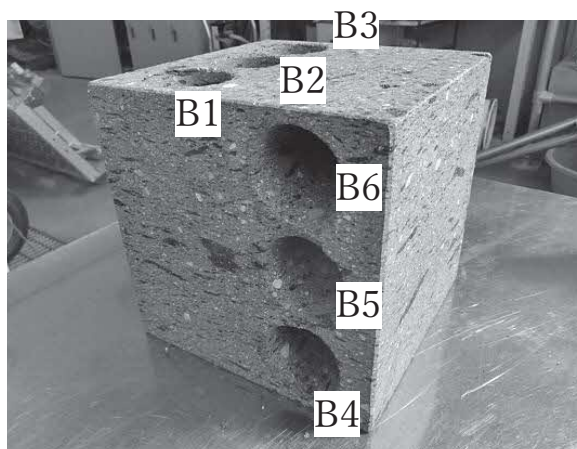


(b) 試験体コアを抜いた後の石材

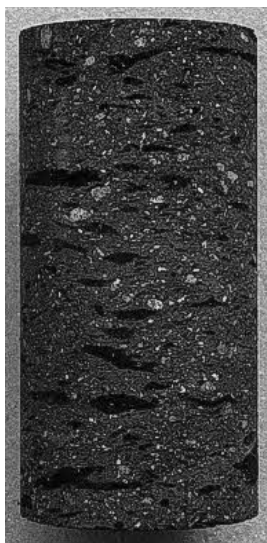


(a) 堆積方向（A1～A3）

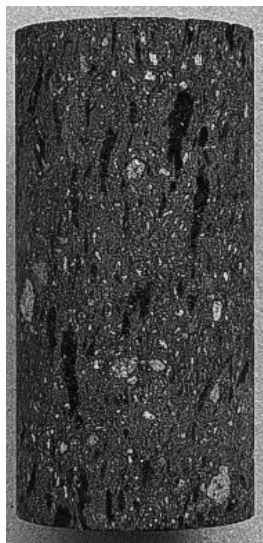
写真-6. 資料Aと資料Bの試験体のコア抜き状況



(b) 堆積層方向（B4～B6）



(a) 堆積方向V
写真-7. 試験体の例



(b) 堆積層方向H

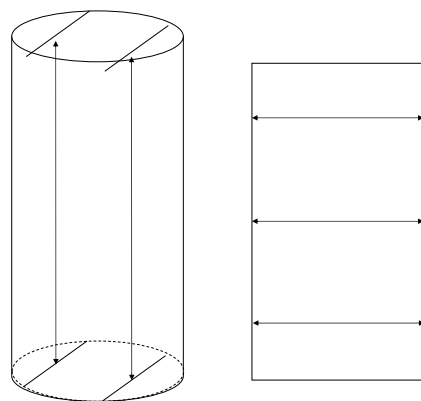
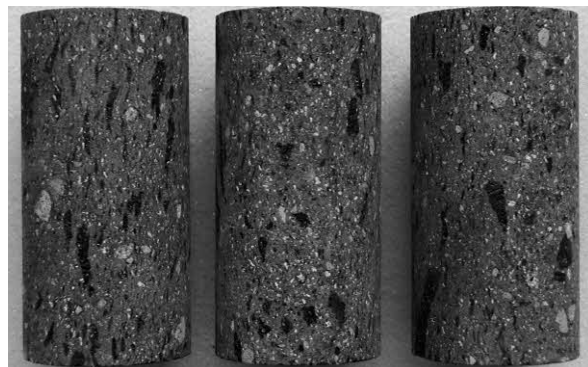


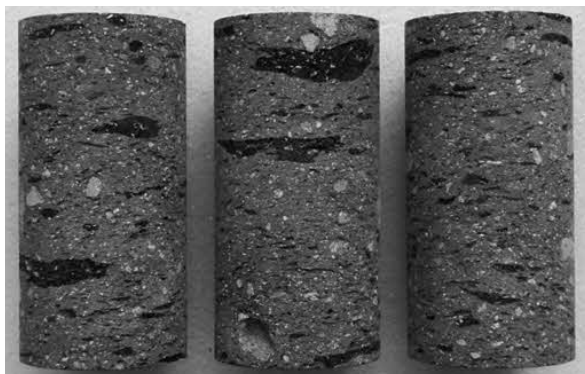
図-1. 試験体寸法計測方法



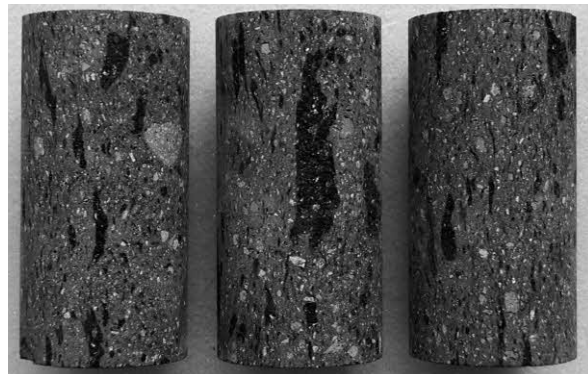
(a) 堆積方向 (A1～A3)
写真-8. 試料Aの試験体



(b) 堆積層方向 (A4～A6)



(a) 堆積方向 (B1～B3)
写真-9. 試料Bの試験体



(b) 堆積層方向 (B4～B6)

第2項 吸水率試験

試験は日本工業規格JIS 5003（1995）の規格²⁾に基づいて実施した。

まず、石材試験体の質量は乾燥時の質量（g）とする。なお、試験体の乾燥方法を写真-10に示す、これは試料Bである。次に、図-2に示すように石理を水面と平行にし、かつ上部1 cmを常に水面上になるように浸水して、20℃±3 K {20±3℃} で多湿の恒温室内に置く。48時間後に取り出し、手早く浸水部分の水をふきとり、直ちに質量を量り、吸水時の質量（g）とした。写真-11は試料Aと試料Bの全試験体の湿潤状況の様子を示したものである。

吸水率（％）は次式によって算出し、試験体3個の平均値をもって表す。

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{\text{吸水後の質量}(\text{g}) - \text{乾燥時の質量}(\text{g})}{\text{乾燥時の質量}(\text{g})} \times 100$$

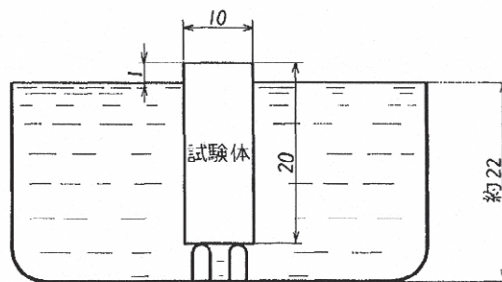


図-2. 試験体の湿潤方法

写真-12は、試料Cの試験体3本のコア抜き状態で、方向はいずれも堆積方向とした。また、写真-13は、試料Cの試験体3本の湿潤状況の様子であり、写真-14は、試料Cの試験体3本の様子を示したものである。なお、この試料は含水率試験のみの実施である。



写真-10. 試料B試験体の乾燥の様子



写真-11. 試料Aと試料Bの試験体の湿潤状況



(a) 試験体のコア抜き

写真-12. 試料C試験体コア抜きと乾燥状況



(b) 乾燥状況



写真-13. 試料C試験体の湿潤状況

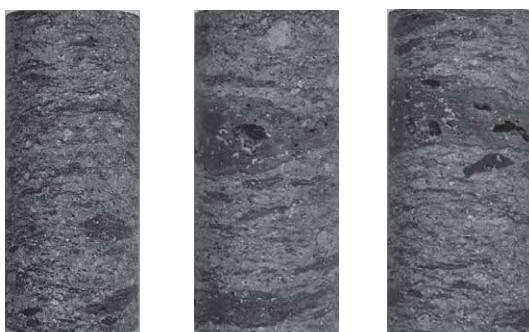


写真-14. 試料Cの試験体3本



写真-15. 圧縮試験前のデシケータ内の試料



(a) 試験体のセット

写真-16. 圧縮試験体のセットと加圧装置による载荷の様子

第3項 圧縮強度試験

吸水率を求めた石材試験体の圧縮強度を求めるために、堆積方向（V）と堆積層方向（H）について試験体について、日本工業規格JIS 5003（1995）の規格²⁾に基づいて実施した。圧縮試験は、中央に球接面をもつ伝圧装置を万能圧縮試験機に取り付け、試験体に垂直に毎cm²当たり毎秒98Nの速さで加圧し、最大荷重に達するまで载荷を続け、最大値を読み取った。圧縮強度は次式によって算出し、試験体3個の平均値をもって表す。断面積の算出する場合、各辺の寸法は0.1mmまで正確に測った。

$$\text{圧縮強度 (N/cm}^2\text{)} = \frac{\text{最大荷重 (N)}}{\text{断面積 (cm}^2\text{)}}$$

写真-15は圧縮試験前に試料Aと試料Bの全試験体をデシケータに入れて保存している様子を示した。写真-16は、石材試料の試験体を加圧装置である万能試験機にセットし、加圧装置より加圧している圧縮試験時の様子を示したものである。圧縮試験は含水率の測定後に実施し、写真-17と写真-18は、2種類の試料Aと試料Bの試験体について载荷前の様子をまとめて示したものである。試料の堆積方向及び堆積層方向の様子がよくわかる。



(b) 圧縮力の加圧試験の様子



(a) A1試験体



(b) A2試験体



(c) A3試験体



(d) A4試験体



(e) A5試験体



(f) A6試験体

写真-17. 試料Aの載荷前の様子



(a) B1試験体



(b) B2試験体



(c) B3試験体



(d) B4試験体



(e) B5試験体



(f) B6試験体写真

写真-18. 試験Bの載荷前の様子

第4節 通水石管石材の試験結果と考察

表-1と表-2は試料Aと試料Bの各6本の試験体の形状寸法の測定結果、重量、密度、吸水率、最大荷重と圧縮強度をまとめたものである。表-3と表-4は試料Aと試料Bの含水率の測定試験の詳細をまとめて示している。

今回の試験に用いた試料Aと試料Bの密度は同じ2.3 (g/cm³) あり、ほぼ標準的な値である。また、含水率の測定結果を見ると、試料AのVは4.35 (%) であり、Hは4.54 (%)、試料Bでは、Vは4.39 (%) であり、Hは4.43 (%) となったことより、両方の試料とも堆積方向Vよりも堆積層方向Hの含水率が大きくなったことがわかる。しかしながら、その差は小さく、両者ともほぼ同程度の含水率であることが分かった。なお、含水率測定の詳細なデータは表-3と表-4に示している。表-5は五老ヶ滝川一帯の河床付近で採取した石材で試料Cとし、含水率のみ測定した。試料Cは通潤橋の傍で、今までも石橋の石材として用いられてきた試料であるが、試料Aと試料Bに比べると吸水率の平均値は多少小さく、3.92 (%) であった。

表-1と表-2の結果によれば、最大荷重を断面積で除して求めた圧縮強度（3本の平均値）は、試料Aでは堆積方向では6691 (N/cm²) に対して、堆積層方向では7088 (N/cm²)、試料Bでは堆積方向で7131 (N/cm²) に対して、堆積層方向では7427 (N/cm²) となり、両方の試料とも通常とは逆の結果で、堆積層方向の方が堆積方向より大きくなった。また、試料Bの方が試料Aよりも平均値で大きな圧縮強度となった。

なお、両方の試料について言えることは、同じ堆積

方向の試験体、あるいは堆積層方向の試験体において最小値と最大値の差が1000 (N/cm²) 程度の大きなバラツキがあることがわかった。これは試料に含まれる異質岩片や黒曜石のガラス質のレンズの量や大きさにより変化が生じたと思われる。これについては、次に述べるように圧縮後の試験体の破壊状況からも推察できた。

写真-19と写真-20は圧縮載荷試験後の試料Aと試料Bの様子で、各試験体とも最大強度まで達して破壊した後の様子を示したものである。試験体の強度は、最大荷重に達するとすぐに割れ、それに伴って急激に荷重が低下した。載荷後の試験体の割れ方をみると、圧縮強度が小さくなった堆積方向の試験体は、内部に存在する異質岩片の影響により、圧縮力を受けた場合、内部が均等な力を受けていないことが考えられ、試験体の高さ方向の途中で破壊している（A3試験体やB1試験体）。一方、圧縮強度が大きくなった堆積層方向の試験体では、層方向に均一になっているためか破壊後は試験体の上から下まで割れが通っているようである（A6試験体やB4試験体）。

表-1. 試料Aの寸法諸元と実験結果

試料A		d(cm)	H(cm)	A(cm ²)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	吸水 率 (%)	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/cm ²)
V	1	4.95	10.01	19.24	446.9	2.3	4.17	149300	7760
	2	4.95	10.02	19.24	444.9	2.3	4.56	129300	6720
	3	4.95	10.01	19.24	445.6	2.3	4.33	107600	5593
平均		4.95	10.01	19.24	445.8	2.3	4.35	128730	6691
H	4	4.95	10.03	19.24	446.0	2.3	4.72	132700	6897
	5	4.95	10.02	19.24	448.5	2.3	4.42	141300	7344
	6	4.95	10.02	19.24	447.0	2.3	4.49	135100	7022
平均		4.95	10.02	19.24	447.1	2.3	4.54	136370	7088

表-2. 試料Bの寸法諸元と実験結果

試料B		d(cm)	H(cm)	A(cm ²)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/cm ²)
V	1	4.95	10.02	19.24	444.4	2.3	4.47	128100	6658
	2	4.95	10.01	19.24	444.4	2.3	4.34	134000	6965
	3	4.95	10.03	19.24	447.0	2.3	4.37	149500	7770
平均		4.95	10.02	19.24	445.3	2.3	4.39	137200	7131
H	4	4.95	10.02	19.24	447.0	2.3	4.51	152500	7926
	5	4.95	10.02	19.24	447.8	2.3	4.38	132700	6897
	6	4.95	10.03	19.24	447.5	2.3	4.41	143500	7458
平均		4.95	10.02	19.24	447.4	2.3	4.43	142900	7427

表-3. 試料Aの吸水率の試験結果の詳細

試料A		乾燥重量(g)	吸水重量(g)	吸水量(g)	吸水率(%)
V	1	429.0	446.9	17.9	4.17
	2	425.5	444.9	19.4	4.56
	3	427.1	445.6	18.5	4.33
平均		427.2	445.8	18.6	4.35
H	4	425.9	446.0	20.1	4.72
	5	429.5	448.5	19.0	4.42
	6	427.8	447.0	19.2	4.49
平均		427.7	447.2	19.4	4.54

表-4. 試料Bの吸水率の試験結果の詳細

試料B		乾燥重量(g)	吸水重量(g)	吸水量(g)	吸水率(%)
V	1	425.4	444.4	19.0	4.47
	2	425.9	444.4	18.5	4.34
	3	428.3	447.0	18.7	4.37
平均		426.5	445.3	18.7	4.39
H	4	427.7	447.0	19.3	4.51
	5	429.0	447.8	18.8	4.38
	6	428.6	447.5	18.9	4.41
平均		428.4	447.4	19.0	4.43

表-5. 試料Cの吸水率の試験結果の詳細

試料C		乾燥重量(g)	吸水重量(g)	吸水量(g)	吸水率(%)
V	1	469.5	488.1	18.6	3.96
	2	464.8	482.6	17.8	3.83
	3	460.5	478.7	18.2	3.95
平均		464.9	483.1	18.2	3.92



(a) A1試験体



(b) A2試験体



(c) A3試験体



(d) A4試験体



(e) A5試験体



(f) A6試験体

写真-19. 試料Aの載荷後の様子



(a) B1試験体



(b) B2試験体



(c) B3試験体



(d) B4試験体



(e) B5試験体



(f) B6試験体

写真-20. 試料Bの載荷後の様子

最後に、今回の試験体結果を既往の試験³⁾で得られた石材の圧縮強度と重量の関係にプロット(○、●)して示したものが図-3である。なお、今回の試験では石材の圧縮強度はN/cm²で得られているが、単位をN/mm²として示している。既往の石材試験で堆積方向と堆積層方向の圧縮強度も逆な結果となっている石材があり、今回の結果が特別でないことがわかる。なお、既往の試験では乾燥後の試験体を用いての圧縮強度であり、今回の試験体の乾燥重量は平均値で430(g)ぐらいであり、強度的にかなり強いことがわかる。

図-3 石材凡例

- 1 五老ヶ滝川河床(滝口付近)採集 / 阿蘇 1
- 2 福良 採石場 / 阿蘇 3
- 5 貫原 採石場 / 阿蘇 1
- 6 貫原の露頭(水田脇)採集 / 阿蘇 1
- 7 こぶれがし(実験場跡)右岸 / 阿蘇 1
- 8 通水管古材(尾上建設保管) / 阿蘇 1
- 9 町内の硬岩

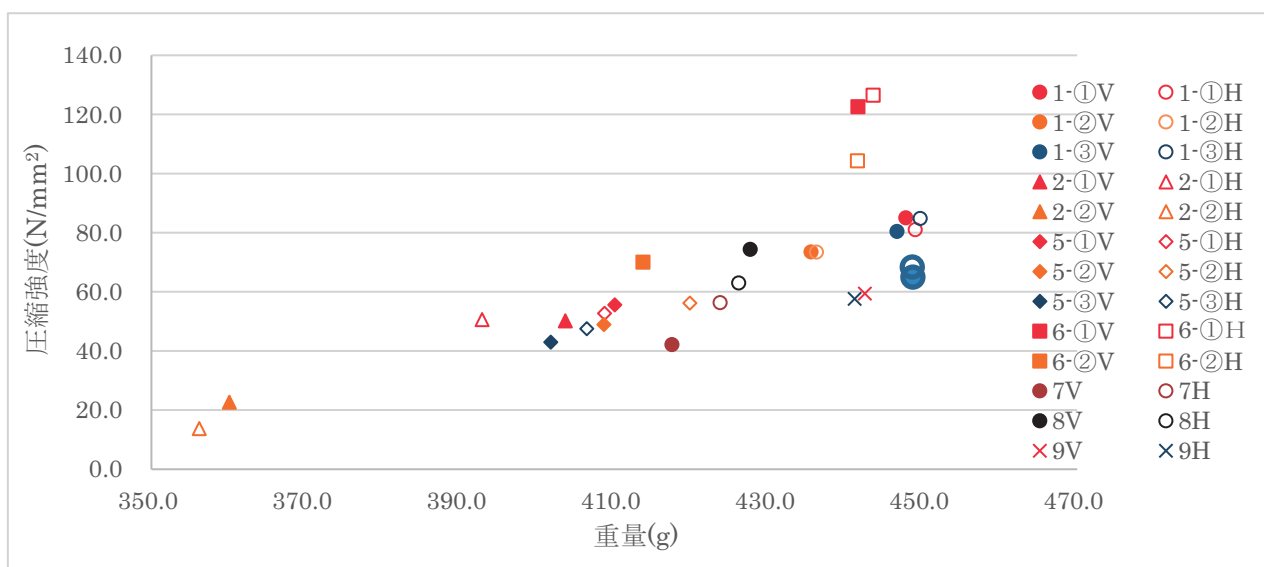


図-3. 石材の圧縮強度と重量の関係

参考文献

- 1) (一般社団法人) 九州橋梁・構造工学研究会：2016年熊本地震被害調査・分析報告書、2019.
- 2) 日本工業 (JIS) 規格【石材】JIS a 05003, 201611 確認. (p.15にその一部抜粋を示す)
- 3) 山尾敏孝：通潤橋調査報告書、平成25年度山都町委託事業、2014. (山都町『重要文化財通潤橋保存活用計画』平成27年3月発行. に附論として掲載)

【一部抜粋した日本工業(JIS) 規格】

A 5003-1995

5. 試験方法

5.1 数値の換算 従来単位の試験機又は計測器を用いて試験する場合の国際単位系 (SI) による数値への換算は、次による。

$$1 \text{ kgf} = 9.80 \text{ N}$$

5.2 見掛比重 試験体は、供試石材の代表的な部分から3個切りとり、大きさ10×10×20 cmの直方体⁽²⁾とする。

試験体の加圧面は平たん仕上げする。

これを105～110℃の空気乾燥器内で恒量となるまで乾燥する。その後取り出してデシケータに入れ、冷却した後質量及び正味体積を量る。

見掛比重は、次の式によって算出し、試験体3個の平均値をもって表す。

$$\text{見掛比重} = \frac{\text{質量 (g)}}{\text{正味体積 (cm}^3\text{)}}$$

注⁽²⁾ 20 cmを石理にはば垂直方向とする。

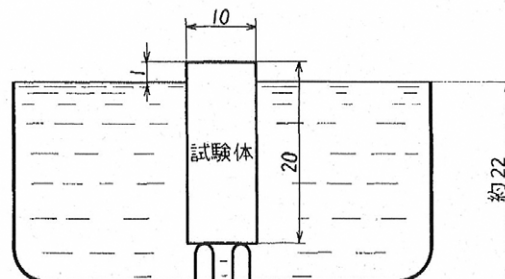
5.3 吸水率 見掛比重測定時の試験体の質量を乾燥時の質量とする。次に図1に示すように石理を水面と平行にし、かつ上部1 cmを常に水面上になるように浸水して、20℃±3 K {20±3℃}で多湿の恒温室内に置く。48時間経過後取り出し、手早く浸水部分の水をふきとり、直ちに質量を量り、吸水時の質量とする。

吸水率は、次の式によって算出し、試験体3個の平均値をもって表す。

$$\text{吸水率 (\%)} = \frac{\text{吸水後の質量 (g)} - \text{乾燥時の質量 (g)}}{\text{乾燥時の質量 (g)}} \times 100$$

図1

単位 cm



5.4 圧縮強さ 吸水率測定後の試験体を使用し、吸水時の質量測定後、直ちに試験する。

加圧には、中央に球接面をもつ伝圧装置を用いて、原則として石理に垂直に毎cm²当たり毎秒98 N {10 kgf}の速さで加圧する。圧縮強さは、次の式によって算出し、試験体3個の平均値をもって表す。

$$\text{圧縮強さ (N/cm}^2\text{) \{kgf/cm}^2\text{}} = \frac{\text{最大荷重 (N) \{kgf\}}}{\text{断面積 (cm}^2\text{)}}$$

断面積を算出する場合、各辺の寸法は、0.1 mmまで正確に測る。

