

石造の土木遺構における対策工設計事例

応用地質(株) ○古川 舞, 小林 恵

1. はじめに

石造の土木遺構は、野外の雨風、日照、凍結、地震といった状況下に常にさらされており、石材表面の風化や亀裂の進行により保存が危ぶまれているものが全国に多数存在している。文化財保護法において、文化財の整備時には「保存」「管理」の他に「公開」「活用」を図ることが定められており、石造の土木遺構では来訪者に対する安全確保が「公開」「活用」における課題の一つである。

ここでは、遺構である岩盤の浮石化により、遺構本体の崩壊と園路への落石が懸念された現場において、遺構や景観の保全と園路の安全対策の両者に配慮した対策工の設計事例を紹介する。

2. 劣化状況の把握と保存工事の基本方針

(1) 劣化状況と原因の把握

対象は図-1に示すような鎌倉時代に岩盤を切削して造られた横穴状の遺構であり、この横穴を含む岩盤全体を遺構として保存することが求められた。地質は主に第三紀層の砂質凝灰岩で構成されており、全体的に亀裂が発達している。そこに樹木や草本類の根が侵入することによって亀裂が開口し、中には浮石化したものもある。また、岩表面は風化によって軟質化しており、その原因として、日照と降雨による乾湿繰返しや、地衣類や苔類の繁茂による岩表面の劣化が挙げられた。



図-1 岩盤の劣化状況

(2) 対策工の基本方針

崩落対策工は、土木工事の中でも景勝地における採用実績が多い「接着工」を主体とし、接着工のみでは一体化することができない浮石については補助工法として「鉄筋挿入工」を用いる方針とした。ただし、これらを遺構への対策工法として採用するためには、景観の変化や施工時の遺構への影響を最小限とするために施工方法や材料を工夫することが求められた。また、同じく石造である石碑や仏像の保存対策技術には、石材に薬剤を含

浸させて、岩内部の空隙を埋めることにより、風化を遅らせる「基質強化処理工」と、石材の欠損部を擬土材で補修する「擬岩処理工」とがある。当該地で採用する場合、どちらも崩落を抑止することはできないが、景観の保全や遺構の劣化を抑制する対策としては有効である。

以上より、崩落対策と保存対策を組み合わせた複合的な対策を立案した(図-2)。

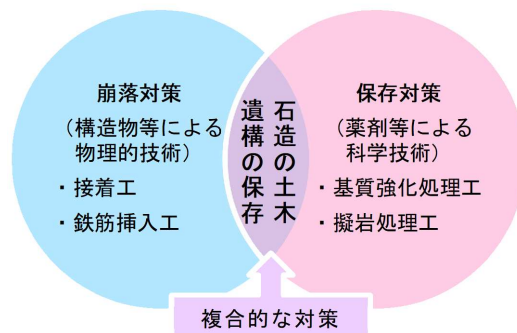


図-2 石造文化財における対策工の考え方

3. 調査・試験内容と結果

地質の把握と対策工の設計条件を設定することを目的に、ボーリング調査と各種試験を実施した¹⁾。

(1) 崩落対策(接着工・鉄筋挿入工)

ボアホールカメラによる岩内部の亀裂の状況確認と、採取したコアを用いた物理試験と一軸圧縮試験を行い、岩の物性値と強度を求めた。また、鉄筋挿入工の適切な鉄筋長を算出することを目的に引抜き試験を行い、周面摩擦抵抗値を求め、設計に反映させた。

(2) 保存対策(基質強化処理工)

使用する薬剤は、複数の薬剤を浸透させた供試体を現地の岩盤と同じ状況下で1年間曝露試験を行い、耐候性や色調の変化を観察したうえで選定した²⁾。現在も曝露試験を継続しているが、無処理の供試体は亀裂が発生し表面が軟質化しているのに対し、薬剤を含浸させた供試体は亀裂の発生や風化の進行はわずかである(図-3)。

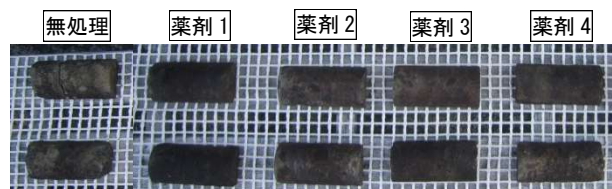


図-3 基質強化処理の曝露試験状況(11年経過段階)²⁾

4. 対策工法の材料・施工方法

(1) 接着工

接着工に用いるモルタルは、粒子が細かく、乾燥収縮の少ないポリマーモルタルセメントを選定し、亀裂の深

部までモルタルが充填されることを期待した。さらに、注入モルタルは、目地に設置した注入孔からハンドポンプによって多少の圧力を与えながら注入し、他の注入孔からモルタルが噴出することが確認できるまで注入することにより、亀裂内部が充填されていることの確認を行った。

対策箇所を目立たせない施工上の工夫として、土木工事では亀裂全体を覆い隠すように接着工を施工するのに対し、保存工事では図-4のように目地の位置をできる限り母岩の面より奥まらせ、表面に見える面積が最小限となるようにした。さらに擬岩処理工として、樹脂と現地発生土を混合し、岩盤と色調を合わせた擬土材を貼り付けることによって修景処理を行った。

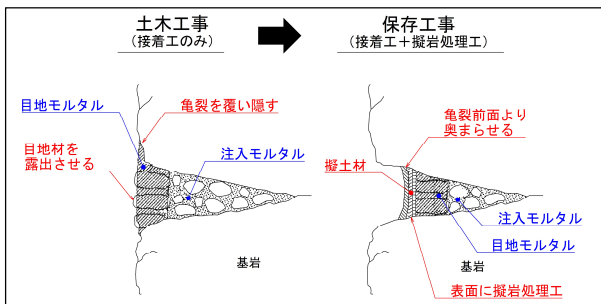


図-4 接着工および擬岩処理工の施工イメージ

(2) 鉄筋挿入工

鉄筋挿入工による対策を行う浮石は、横穴の形状を保存するうえで重要なパーツであるが、岩盤の削孔時に発生する振動によって浮石の崩壊やさらなる亀裂の発達懸念された。そこで、以下の①②のように岩塊の規模に応じて、補強材の径と削孔機を使い分けることにより、削孔時の岩塊への負荷を軽減した。なお、削孔時の落石を防ぐ仮設工として、浮石は支保工で下方から支え、周囲の亀裂は事前に接着工によって充填した。

- ①規模が小さく、必要抑止力が少ない浮石に対しては、 $\phi 15\text{mm}$ で削孔が可能なハンドドリルを採用することにより、振動による岩塊へ影響を少なくした。孔内に充填するグラウト材は、鋼材の温度変形の抑制と、孔内からの亀裂充填効果を期待して、耐熱性に優れ、接着力の高いエポキシ樹脂とした（図-5）。
- ②設計計算により①の手法では抑止することができない規模が大きな浮石に対しては、土木工事において一般的に用いられるレッグドリル（ $\phi 42\text{mm}$ ）を削孔機として採用し、削孔位置は亀裂分布を確認し、亀裂への影響が少ない位置を選定した。削孔長が①と比較し長いため、グラウト材は孔内の深部まで充填させるために流動性が必要である。そこで、材料はエポキシ樹脂ではなく岩接着工と同様のポリマーセメントモルタルを採用した（図-6）。

使用する鋼材は耐久性を最優先に選定し、防錆に優れるステンレスとした。鉄筋の頭部は接着工と同様に母岩の面より奥まらせ、表面を擬岩処理工で修景処理をした。

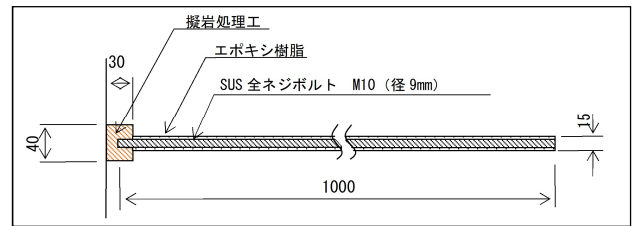


図-5 鉄筋挿入工模式図(①削孔径 $\phi 15\text{mm}$)

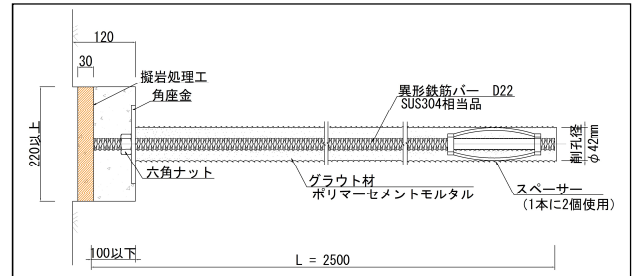


図-6 鉄筋挿入工模式図(②削孔径 $\phi 42\text{mm}$)

(3) 基質強化処理工

風化の進行が既に認められる岩盤面と、乾湿繰返しの影響を受けやすい日照が当たる面を中心に、噴射機を用いて薬剤を浸透させた。吹付ける量は、岩への薬剤の浸透状況を観察しながら設定し、概ね $2\sim 4\text{kg}/\text{m}^2$ とした。

5. おわりに

施工方法や材料の工夫と、保存対策技術の活用により、現在に対策工事前の景観を維持したまま岩盤崩落を抑制できている。図-7の箇所は、施工後5年が経過するが新たな亀裂の発生は認められない。これらの保存工事により、現在この遺構は一般公開が行われており、市民の文化財への興味関心のもととして「公開」「活用」が行われている。



図-7 施工前後の比較写真

《引用・参考文献》

- 1) 逗子市教育委員会：国指定名越切通崩落対策検討報告書 pp.29～53、2004
- 2) 小林恵ほか：名越切通における砂岩及び泥岩に対する強化撥水処理の効果、第25回東アジアシンポジウム、2015