

石造アーチ橋「小石川後樂園円月橋」の解体修復工事

Restoration Work of Engetsukyo Bridge, Stone Arch Bridge, at Koishikawa Korakuen Garden

飯田 有貴夫 (いいた ゆきお)

東京都建設局 東部公園緑地事務所

西澤 正 浩 (にしざわ まさひろ)

(公財)文化財建造物保存技術協会

1. はじめに

都立小石川後樂園の円月橋は、旧水戸藩邸敷地に寛文年間（1670年頃）に築造され、石造アーチ橋としては日本最古といわれる沖繩の天女橋（文亀2（1502）年築造；重文）や長崎の眼鏡橋（寛永11（1634）年築造；重文）等に次ぐ古いものである。設計は、徳川光圀が招いた明の儒学者朱舜水が行い、施工は当時の名工、駒橋嘉兵衛によると伝えられている。これまで幾多の地震や戦禍に遭ったにもかかわらず大規模な破損や修理の記録等はなく、創建時の姿を保持しているとみられる貴重な文化遺産である。

この石造アーチ橋に具体的にどのような技術が使われていたのか等、詳細はこれまで明らかでなかった。

本稿は、高欄など上部石材に劣化の進行した円月橋の解体・修復過程で判明した事項をとりまとめたものであり、同種の修復事業の参考となれば幸いである。

2. 工事の概要

2.1 円月橋の概要

円月橋は、図-1に示すように、橋長11.09 m、幅2.32 m、アーチ円弧の半径2.42 mの石造単アーチ橋である。図中には各部材の名称を示した。

小石川後樂園は、武蔵野洪積台地の東端に近い小石川台の下端、神田川に沿う低地帯との境界付近に位置する。

近年は台地上の開発が進み地下水位が低下して付近に湧水はないが、円月橋周辺には近年大木が茂り、直射日光が当たりにくく湿度が高い状態であった。

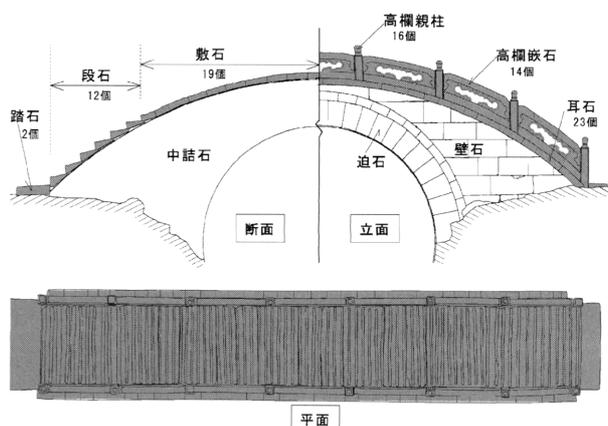


図-1 円月橋及び今回解体範囲図

2.2 工事の基本方針

後述するとおり、現状変異調査の結果、橋梁下部や、基礎部に目立った変状は認められなかった。このため、基礎部等の修理の必要はないと判断され、今回は図-1に示す部分解体工事とした。石材の劣化が進行している高欄部や橋面部を構成する段石等を一旦取り外し、状況調査と破損要因の検討、並びに破損石材の修復を行い、従来の技法に倣いこれらを旧位置に復旧した。

なお、本工事は、平成22（2010）年1月から現状調査、平成23年12月に仮設・解体工事を開始し、平成24（2012）年3月に全事業を終了した。

3. 調査結果

3.1 現状変異調査

(1) 上部石材の変状 (写真-1)

外観調査により、高欄や段石等の上部石材に次のような変状が認められた。

① 敷石及び段石

敷石間の合端の間隙は最大で30 mm 開きが生じていた。段石には、最大で45 mmの浮き上がりが生じ、隙間から段石下部に伸長した樹木根が確認された。

② 耳石

耳石も、最大42 mm 浮き上がりが生じ、上流側左岸および下流側右岸の耳石数枚の下に、長手方向に伸びる樹木根が確認された。

③ 高欄部

上部石材では、高欄部の変異と破損が最も目立つ。高

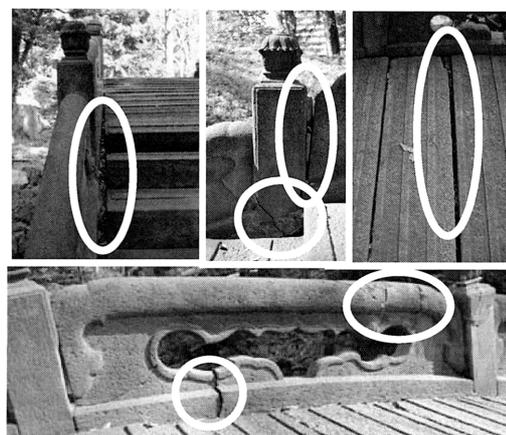


写真-1 破損した各部の状況

左上：高欄傾斜 中：親柱 右上：敷石 下：嵌石

欄は、上下流側とも外側に傾斜し、敷石と段石との取り合い部に最大38 mmの間隙が生じた。高欄部では、親柱部分で最大45 mm浮き上がり、親柱基部が著しく破損しているのが見られた。高欄嵌石は、浮き上がりのほか、下流側左岸より1枚目と5枚目、及び上流側左岸より1枚目の破損が著しく、完全にせん断され、過去に応急的な補修が施されていた。せん断部位を観察すると、破損した嵌石のせん断箇所や方向は、よく類似していた。

(2) 橋梁下部の状況

① 基礎部

アーチ基部のヘドロを浚渫しての目視による調査及び3D測量の結果からは、基礎部に変状は認められず、地盤沈下や不同沈下も特に確認できなかった。

② アーチ迫石及び壁石

3D測量成果を用いアーチの変形を確認したところ、上流左岸側足元で20 mmほど変形が確認されたが、全体構造に影響する程のものではないと判断された。

また、測量成果を用い壁面の孕み出しを横断面で確認したが、若干の歪みが認められたものの、施工精度を勘案すると歪みは軽微で、健全な状態と判断された。

迫石、壁石とも目地部から白色の垂れ染みや、表面に経年で汚れが見られるものの欠損等は軽微であった。

3.2 解体時調査

上部石材の解体に当たっては、25 t吊ラフタークレーンと石工が連携し、バランスが偏らないよう左右対称に順序良く石材を取り外した。解体による影響を極力回避するため、工事中は外した石材の重量(12.7 t)に相当する土嚢を積載した。解体により以下の状況が分かった。

(1) 使用材料

① 石材

耳石、段石、高欄親柱から試料を採取し、薄片を作成して偏光顕微鏡にて構成鉱物と組織を観察した。観察結果から、石材はいずれも斜長石斑晶を多く含む変質鉱物を含まない新鮮な輝石安山岩であり、試料中に含まれる構成鉱物の種類とその量比からみて、神奈川県真鶴方面に産する安山岩のうち新小松石に該当すると判断された。

② 砂漆喰(石灰モルタル)

石材のホゾ穴及び鉄ダボ接続箇所の穴には、白色の粉末とその塊が充填されており、試料を採取して蛍光X線分析による構成元素の定性分析、プラズマ発光分光法による定量分析、示差熱重量測定による熱挙動調査など各種の方法を用い成分分析を行った。分析の結果、これらは、炭酸カルシウム80%以上+砂20%程度の漆喰に若干のカルボン酸塩が検出される砂漆喰(石灰モルタル)であることが分かった。

砂の割合が少ないため、強度よりも接着・充填・緩衝材的な効果を期待していた可能性がある。

③ 金属

石材同士を固定、補強するためダボやカスガイなどに鉄、銅、鉛の3種類の金属が使用されていた。

(2) 石材の固定、据え付け技法

① 敷石

敷石と段石の下には、密に黒土が詰まり、白い粉が混じっている状況が確認された。元々は敷石や段石の座りを良くするため砂漆喰が数 cm 敷かれていたが、長年の降雨等で多くは流出したと推定された。なお、敷石は固定されずに単に置かれている状態だった。

② 段石

段石の多くは、1枚ごとに鉄ダボで固定されていた。段石とその下の中詰石には、上下位置を合わせて開けられた穴があり、鉄ダボを挿入し砂漆喰で固定していた。

鉄ダボは他の部位を含め全般に赤錆が生じ膨張していたが、ダボの内部は比較的健全なものが多かった。

なお、浮き上がりや黒土の堆積により、ダボが全く効かなくなっている状態もみられた。

③ 踏み石

最下端に置かれた踏み石は、左岸側で一枚340 kg、右岸側で490 kgの重量があり、段石がずれ落ちないように支持し、最下端の親柱が倒れないように押さえる機能も果たしていた。

④ 高欄親柱と嵌石

親柱基部にはホゾがあり、耳石に開けられた穴を貫き壁石上面の浅いホゾ穴に立て込まれていた。なお、親柱16本のうち、13本の基部ホゾは折れていた。

嵌石は、耳石の上に立てられ、1~2個の鉄ダボで耳石と補強されていた。

嵌石と親柱は、親柱側面にホゾ穴を縦に溝状に掘り、嵌石側面に造作したホゾと組まれていた。ホゾ穴には砂漆喰を充填しており、敷石下部に比漆喰の保存状態がよく、堅固に繋がっていた(写真-2)。また、親柱の基部見え隠れには、嵌石と親柱をより強固に引き付けるため、鉛カスガイが施工されていたが、表面は白化し、外力や過去の補修により全て破断していた(写真-3)。

⑤ 耳石

耳石は、1枚当たり2本程度の鉄ダボで壁石と固定され、また、隣接する耳石同士も鉄ダボで固定されていた。

壁石との据え付け調整用の飼物として銅板小片がところどころで使用されていた。

⑥ 中詰め石及び壁石

今回は解体していないため上面のみからの調査となっ

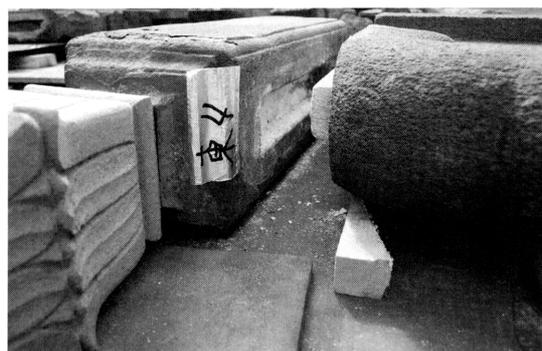


写真-2 親柱と嵌石をつなぐホゾ穴に白い粉状の砂漆喰が残っていた

報 告

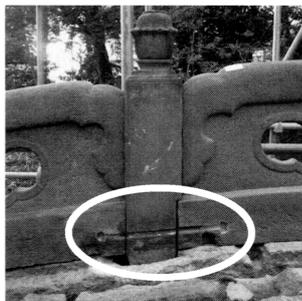


写真-3 鉛カスガイの穴



写真-4 銅チギリ



写真-5 敷石等の下部に伸長した樹木根

たが、中詰め石や壁石等の据え付け調整にも砂漆喰が使用されていた。壁石は裏込め部に深く入るものがあり、橋梁幅員が狭いため中詰め石を兼ねているものが多い。

アーチ上端中央部の中詰め石では、中詰め石同士および壁石との固定に銅チギリ(写真-4)が、また、壁石の亀裂補強に鉛チギリが用いられていた。

円月橋には以上のように、石材据付調整やホゾ穴等の充填に砂漆喰が使用されていたこと、親柱と嵌石、親柱と耳石等がホゾで組まれ固定されていたこと、さらには、石材ずれ止めの鉄ダボや高欄引付用鉛カスガイ、中詰め石引付用銅チギリなど金属を用いた細かい工夫がなされていた。当時の技術水準を知る上で貴重なものと言える。

(3) 樹木根の伸長

敷石や段石の下の隙間には、北側橋詰から上流3m付近に生えるムクノキの根が縦横に侵入成長し、直径は最大8cmにも成長していた(写真-5)。

平面的な広がりを見ると、耳石下部など比較的橋面の辺縁部に多く、特に壁石上面に造作された耳石を据え付けるための段差部に沿い、伸長する傾向が見られた。根茎も呼吸をしており、辺縁部で通気性がよい場所を選んで伸長・肥大したものと推定される。また、砂漆喰が流出し、長年の風雨等で少しずつ侵入・堆積した黒土の存在が、樹木根の伸長を助長していた可能性もある。

4. 破損原因の考察

外観調査や解体時の調査結果から、各部の損傷原因を考察した。

① 敷石間の隙間

敷石間に生じた隙間は、据え付け調整に敷かれた砂漆

喰が経年の降雨等で目減りし、樹木根による浮き上がりもあって段石が左右に沈下した結果、敷石が左右側に動き隙間が生じたとみられる。

② 段石の浮き上がり

一枚の重さが200kg近い段石の浮き上がりは、樹木根が伸長・肥大したためである。

③ 高欄の傾斜

高欄が外側に傾斜したのは、段石の浮き上がり量と、高欄の傾斜量が最大の箇所がほぼ一致していることから、耳石を押さえていた段石や敷石が樹木根により浮き上がったことが主因と考えられる。

④ 高欄親柱の破損

高欄親柱は、親柱と嵌石がホゾにより剛結されており、耳石ともホゾで組まれていたため、親柱が嵌石とともに下方に引っ張られた際、発生した大きなモーメントに耐え切れずに取り合い部やホゾが破損したと考えられる。

⑤ 高欄嵌石のせん断

せん断が生じた嵌石の位置とせん断箇所からみて、ホゾで繋がる上下の親柱の一方が固定され、片持ち梁のような状態になり、曲げせん断されたためと考えられる。

⑥ その他

具体的損傷箇所は特定できないが、鉄ダボの腐食膨張圧によるダボ周辺の石材の劣化状況、ホゾ穴中に充填された砂漆喰の品質や吸水膨張圧が石材に及ぼしていた影響、固化した砂漆喰がどの程度の強度を有していたかなど、不明な点も多く残されている。

5. 修復方法

破損した石材や金属類は、状況を記録化したうえで、修復方針を検討し以下のように修復を行い、破損の主因である樹木根を除去したうえで、組み立て復旧した。

5.1 石材の修復

石材の修復は、修理後の強度の確保と修理箇所ができるだけ判らないようにする技術や工夫が必要である。石材の修復は、強度、作業性、仕上り感を評価要素として、最善と思われる工法、材料を選択するため、試験施工を行いながら実施方法を決定した。

(1) 材料

既存のダボ等に使用されていた鉄材は錆びて膨張し、石材に影響を及ぼしていたため、破断した石材同士をつなぐ補充ダボ(鋼棒)には全てステンレスを用いた。

また、樹脂系接着剤は紫外線などの耐候性に課題があると思われるため外表面に用いることは極力避けた。

擬石モルタルは、付着強度、肌合い、色合いやテカリ、吸水時の見え方、施工後のノミ成形の施工性などを評価要素とし、材料を変えて3通りの試験施工を行い、樹脂モルタル+ポリエステル系接着剤+石粉(2:1:少)とする工法を採用した。

その他、現代の材料は、文化財修理の長期スパンで見ても実績は十分とは言えないが、現在広く採用され妥当と思われる材料を用いた。

(2) 修復方法

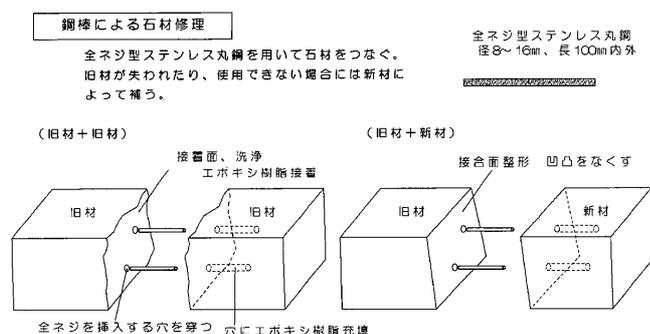


図-2 石材のステンレス鋼棒による修理

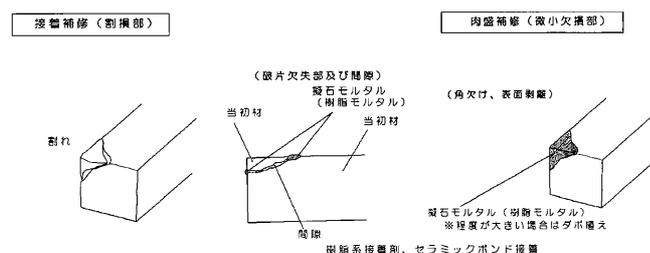


図-3 石材の接着・肉盛補修

石材の修理は、石材同士が大きく破断しているときは、石材同士をつなぐ鋼棒を挿入する穴を穿ち、ステンレス鋼棒(φ6~16mm, L=100mm)を挿入してエポキシ樹脂(SRクイック30)を充填した。石材の接着には、セラミックボンド(アイエーシーボンドTK55)や樹脂系接着剤(リゴラック)を用い、接着後は接ぎ手周囲に擬石肉盛を施し成形した。破断した石材の劣化が激しいときは、図-2に示すように新材を用い、旧材との接合面を成形し、上述と同様に接合した。

また、端部などが割損している場合は図-3のように擬石モルタル及び樹脂系接着剤やセラミックボンドで接着し、欠損部は擬石モルタルで肉盛補修した。

擬石モルタルに用いた石粉は、修理部分の色合いや肌合いが自然に仕上がるような様々な石粉を調合し試験施工を繰り返し行い、最適と判断された方法を採用した。

5.2 石材の洗浄

石材の洗浄は、除去可能な汚れを対象とし風化した肌合いを損ねない範囲とした。このため、水洗浄を基本としたが、解体部材の目立つ汚れは、市販の次亜塩素酸ナトリウム水溶液を3倍希釈して塗布し、3分後に水洗浄する方法が最も良好と判断し洗浄した。

解体しない部分で、染み出した砂漆喰による汚れ等は、イシクリーンスーパーSPや、白華除去剤を塗布して水洗浄した。

5.3 砂漆喰

砂漆喰は、経年の変化により劣化したり、流出しており、本来の効果を発揮できていないと推定された。

このため、接合箇所のクッション材としての機能を確

保するとともに、在来工法を尊重すること、また、現代の材料を用いる場合はあくまで補助材料とし、円月橋や周辺環境に影響を及ぼさないものとするを念頭に、修復に使用する砂漆喰の材質を検討した。

無機化合物を複合反応させた無機固化安定剤(FC-1000)を砂漆喰に混ぜて溶解性を抑えることとし、石灰と砂の比率を変えた配合試験の結果から、砂漆喰の配合を重量比で左官用石灰80%、中目砂20%、FC材混練水適量とした。

5.4 鉄ダボ

鉄ダボは円月橋の変状を抑止するうえで、重要な役割を果たしていた。赤錆化し膨張しているものの内部まで腐食していないものが多く、できるだけ再利用することとした。文化財修理で一般的に用いられているように、ケレンで赤錆を落とし、黒さび転換剤を塗布することとし、「ラストチェンジ」と「さびチェンジ」の2者を選び試験施工して比較した。その結果、重量のある石材を固定する機能性を重視し、塗膜が強力で衝撃で剥離したりしない「ラストチェンジ」を採用した。再使用困難な鉄ダボは、ステンレス製に置き換えた。

6. まとめ

今回の円月橋の部分解体工事により、江戸時代初期における石造アーチ橋の建造技術の一端が明らかとなった。

石造構造物の修復・復元事例は限られており、変状の原因究明や対策工法を検討するうえで、今回のような事例を公表し、データを蓄積していくことは意義あるものと考えている。

しかしながら、今回の解体は橋梁上部石材のみであり、下部構造や基礎部の詳細な調査は、今後に期待せざるを得ない。また、実施した修復方法についても、長期的な評価は今後の観察や修復時に委ねる点が多いといえよう。

7. 謝 辞

本修復工事は、「小石川後楽園大泉水護岸修復等に関する分科会」の諸先生方をはじめとして、文化庁記念物課や東京都教育委員会、文京区教育委員会、(公財)東京都公園協会、実際の施工に携わった方々など、多くの関係者の皆様のご協力とご指導のもと実現した。

本稿をとりまとめる機会をいただき、また、石材の破損要因の考察など終始丁寧にご教示いただいた、上記分科会委員の田中邦熙先生に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 東京都建設局東部公園緑地事務所：特別史跡・特別名勝小石川後楽園円月橋修理工事報告書，2013。
(原稿受理 2014.1.20)