

中国における歴史的アーチ石橋の損傷、補修に関する考察*

A study on the Damage and Repair of
Historical Arch-type Stone-Masonry Bridges in China

阿久根 芳徳**, 吉原 進***

by AKUNE, Yoshinori, YOSHIHARA, Susumu

Abstract

This paper presents the investigations on the historical arch-type stone-masonry bridges, carried out by the authors between 1994 and 1996 in Japan and China.

These bridges were built several hundred years ago and are still in use. Authors studied the actual examples of the damage and the repair of these bridges by classifying them based on the reasons of damage. And the structural characteristics of arch-type stone-masonry bridges were examined. Finally a technical discussion has been presented concerning the repair and conservation of arch-type stone-masonry bridges in the future.

1. はじめに

橋は人が道という輸送経路上にある川や谷などの離れた2点間を繋ぎ、移動手段あるいは流通手段としての機能を充足させるために、古代より石や木の天然材料を用いて造ってきた構造物である。2点間の距離が長くなるにつれ橋の形式は桁からアーチへ推移し、安全で便利に利用出来るよう変化を遂げてきた。また、橋は自然の中に存在し、自然から与えられる要件を満たさなければならない。さらに、自然の風景の中に収まる造形物として優れた景観的要素が不可欠となった。その点、アーチ石橋はそれらの要素を十分に満足し、時には信仰の対象物として精神的機能をも備えたものとなった。

鹿児島には、鹿児島市内を貫流する甲突川に4ないし5個のアーチを持つ多連アーチ石橋が5橋架けられ甲突川五石橋として称されていたのをはじめと

して、県内に300橋とも450橋ともいわれる石橋が架けられていたとされる^{1) 2) 3) 4) 5) 6)}。さらに、九州を中心に日本全土にその数は定かでないがアーチ石橋が架けられていた。しかしながら、橋の老朽化や洪水による流失により補修や架け替えが行われ、社会環境の変化に伴う機能的要件の不足により改造されてきた。また、アーチ石橋の先駆地とされる中国やローマを中心とするヨーロッパのアーチ石橋においてもそのスパンには時代的に差異はあるものの同様の経過をたどってきた。

本論文では中国におけるアーチ石橋の現地調査結果⁷⁾を紹介し、国内における石橋の調査結果と合わせてアーチ石橋の損傷の種類や補修の状況を整理した上でそのあり方を検討し、今後のアーチ石橋の補修、保存に対し技術的に資するものである。

* keywords アーチ石橋、技術史、損傷、補修

** 正会員 大福コンサルタント(株)

(〒890 鹿児島市東郡元町17番15号)

*** 正会員 工博 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 (〒890 鹿児島市郡元1丁目21番40号)

2. アーチ石橋強度の特徴

(1) アーチ石橋素材の特徴

アーチ石橋の素材には溶結凝灰岩、花崗岩、安山岩、大理石、石灰岩、砂岩など、石質は様々である。例えば、鹿児島島の甲突川五石橋においては甲突川周辺で産出される小野石、河頭石、花棚石などと呼ばれる、溶結凝灰岩を用いていた^{8) 9)}。長崎の幸橋においては橋のある平戸島に程近い鷹島で産出される阿翁石と呼ばれる玄武岩を主に用いていた¹⁰⁾。熊本の霊台橋においては橋のある砥用町周辺の石切場から産出される溶結凝灰岩を用いていた¹¹⁾。また、中国河北省石家荘市の趙州橋においては橋の架かる洺河の上流30km～60kmから産出される青白色石灰岩を用いていた¹²⁾。この様に、アーチ石橋は比較的建造地の近くで産出される石材を用い、石材の持つ強度的性質(表2-1)や美性、加工性に応じて建造された傾向が高いと思われる。石材は天然の色つやを持ち、アーチの造形美と共にアーチ石橋の美しさを創出する。各箇所のアーチ石橋はその地域で産出される石材を用いることにより、自ら地域の景観と融合することになる。

アーチ石橋に用いられている主な石材の物理的特徴は表2-1の通りである。

表2-1 石材(岩石)の物性値^{13) 14) 15)}

石材(岩石)の種類	圧縮強度 kg/cm ²
溶結凝灰岩	100～800
花崗岩	500～2100
安山岩	950～1350
石灰岩	850～2200
大理石	800～1400
砂岩	550～1750
玄武岩	450～1150

(2) アーチ石橋の構造的強度の特徴

アーチ石橋は石の強度(圧縮強度)を生かし、石単体の弱点(引っ張り力)を排除した拘束型集合構造物として、アーチ石相互の軸力とそれによる接触面(合端)の摩擦力で自重や上方からの荷重に抵抗する構造物となっている。アーチ石橋に関する構造解析は図解法や静定解法が用いられていたが、近年では有限要素法などにより計算が行われるようになり、より高度な解析が可能となった。そのなかでも菊田ら¹⁶⁾はアーチ石橋を個別要素モデルにより解析

し、より正確な応力の状況やアーチの変形が求められるとしている。その結果によると、載荷土を含む自重による圧縮応力度は石材の許容応力度に対して小さく、アーチ構造が載荷荷重に対して極めて強く、地震時にはアーチの接触面(合端)がエネルギーを吸収し、多少の変形でも安定する構造であることを結論づけている。このことは、活火山を有し地震の経験もある鹿児島島のアーチ石橋や1400年程の間に十数回の破壊的地震を受けた¹⁷⁾中国河北省の趙州橋が健在であったこともうなずける。

(3) アーチ石橋を構成する付属構造物の特徴

アーチ石橋の主たる構造はアーチにあるが、石橋を構成する壁石や高欄にも構造的な特徴がみられる。中国江蘇省蘇州市にある呉門橋、江村橋、楓橋などや、上海市郊外にある朱家角鎮放生橋、天皇閣橋、普濟橋、金沢鎮放生橋などには間壁と呼ばれるフレーム状の石が壁石面と結合する形で立てられ、長系石と呼ばれる桁状の長い石を橋軸直角方向に上下流壁石を貫入する形で渡し¹⁸⁾、壁石全体の変形を制限する構造(図2-1)となっている。また、鹿児島島の甲突川五石橋のうち、西田橋を除く橋の高欄の支柱下部には上下流方向へ張り出し部が設けられ、支柱底面の設置面積を大きくし、外力の作用による高欄全体の転倒に強い構造(図2-2)となっていた^{19) 20)}。

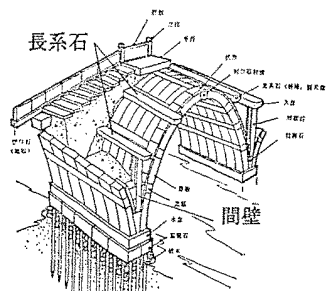


図2-1 中国石橋の構造的特徴²¹⁾より転載

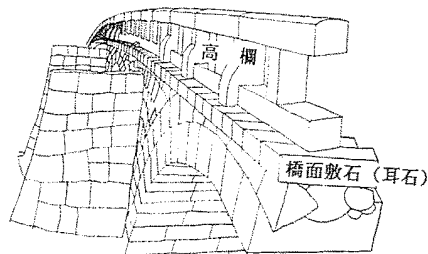


図2-2 甲突川五石橋の高欄支柱の特徴²⁰⁾より転載

3. 損傷と改造、補修の定義

石は一般に耐久性が強い。しかしその石を組み合わせたアーチ石橋も供用して数百年ともなると、各所に緩慢な損傷を受け、また洪水時には急激な破壊などの痕が現れる。また社会は変化するので橋の利用の仕方が変わり、環境が変化して力学的要件が厳しくなることがある。これらの損傷や社会変化にうまく対応しつつ変わっていくのが実用の橋の宿命である。従って、それらを組み合わせた構造物は実用の手段として定期的なメンテナンスを必要とし、修理、修復と無縁でない。ちなみに、近代橋においては、鋼橋で塗料の塗り替えに数年間隔、コンクリート橋で数十年間隔で補強、補修が行われている。

今回の調査においては石橋を構成する石材の欠けやひび割れ、剥離などの「損傷」を発生要因別に以下のように分類した。

a. 自然環境の影響による損傷

b. 構造体の変状による損傷

c. 外的要因により引き起こされる損傷

また、橋の「改造」や「補修」に関しては、橋の用途や利用状況により判別し、以下のように分類した。

a. 社会的環境の変化に伴う改造

b. 橋を利用する人々の安全性、利便性に対する改造

c. 長期的な活用、保存のための補修

ここでは、分類を試みた「損傷」及び「改造」、「補修」の具体的内容について述べる。また、今回調査を行った中国及び国内のアーチ石橋の一覧を表3-1に、それぞれのアーチ石橋の位置図を図3-1に示す。

表3-1 中国及び国内における調査アーチ石橋一覧

No.	橋 名	橋 長	アーチ連数	架 設 年	使 用 石 材	所 在 地
1	普濟橋	26.7	1	1267	安山岩	中国上海市
2	放生橋	72.0	5	1571	花崗岩	中国上海市
3	玉帶橋	30.5	1	736～1795	結晶質石灰岩（大理石）	中国北京市
4	趙州橋	50.8	1	615～617	青白色石灰岩	中国石家荘市
5	永濟橋	22.0	3	不詳	結晶質石灰岩（大理石）	中国石家荘市
6	高麗橋	55.0	4	1847	溶結凝灰岩	日本鹿児島市
7	盧溝橋	265.0	11	1192	結晶質石灰岩（大理石）	中国北京市
8	円明園残橋	—	1	不詳	結晶質石灰岩（大理石）	中国北京市
9	宝帯橋	371.0	53	816～819	花崗岩	中国蘇州市
10	呉門橋	56.0	1	1872再建	花崗岩	中国蘇州市
11	西田橋	49.6	4	1846	溶結凝灰岩	日本鹿児島市
12	後山橋	27.0	3	不詳	結晶質石灰岩（大理石）	中国北京市
13	永通橋	32.0	1	1190～1195	結晶質石灰岩（大理石）	中国石家荘市
14	幸 橋	19.8	1	1702	玄武岩	日本平戸市

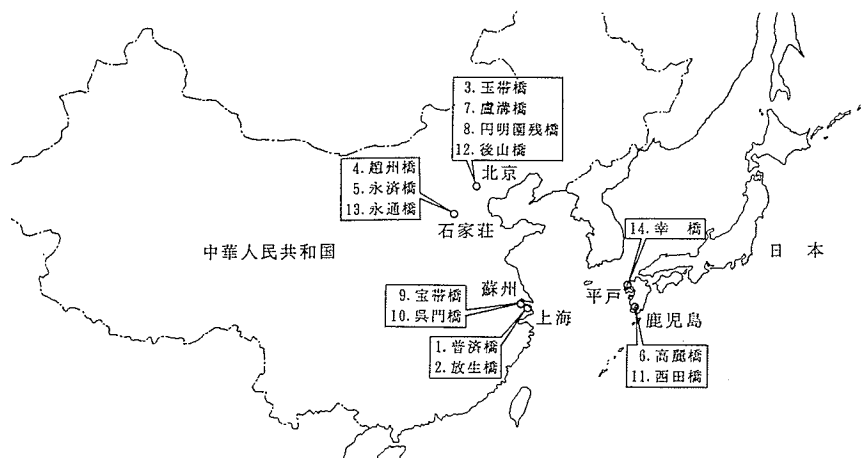


図3-1 中国及び国内における調査アーチ石橋位置図

(1) 損傷の定義

a. 自然環境の影響による損傷

本来石材自体の物理的寿命は極めて長いものであるし、アーチ石に発生する歪みも小さく、従って応力も石材自身の強度に比べて極めて小さいものである。しかしながら、自然環境すなわち太陽光や雨水、流水、氷結、温度、大気汚染などの影響により石材組織の劣化あるいは化学変化が進行し、その結果石材表面の剥離や風化、摩耗、石材全体におよぶ亀裂や石材の部分的な欠け、あるいは汚れや変色などの現象を引き起こす。また、石材の加工障害も損傷の一つの要因にあげられる。ここでいう加工障害とは、石橋建造時における石材の表面仕上げ加工の衝撃により石材組織が破壊され、長年の歳月の後に顕在化した障害が石材表面の剥離などの現象におよぶものと考えられる。

b. 構造体の変状による損傷

社会環境の変化により交通事情が変わり重車輛が高速で往来するようになるとアーチ石橋への載荷荷重が増え、振動が加わる。載荷荷重の増加や車輛通過時の振動は中詰めの土圧に影響し、集合体構造物である石橋のアーチ石や基礎石、壁石の変状を招き、時として石材の破損におよぶ。また、石橋全体の安定性をより高めるため、だぼ穴を穿ち金物や石を嵌め、石材のずれを防止し石材同志の結合を強固にする。しかしながら、この加工穴や異種材料との接合が損傷を起こす。長年の環境変化により嵌め込んだ金物の腐食や膨張が進行した結果、応力集中のため石材のだぼ穴から亀裂が発生し、石材の割れにおよぶ。さらに、石橋に寄生する植物も石材に損傷を起こす原因となる。中詰めや壁石、アーチ石の目地に入り込んだ植物の種子が長い年月で発育し、その根の発達が構造体の変形や石材の割れを引き起こす。

c. 外的要因により引き起こされる損傷

上述した他に、アーチ石橋に損傷を与える外的要因としては、自然災害、交通事情及び人為的行為があげられる。河川に架かるアーチ石橋は建造時に想定したであろう以上の洪水などの自然災害の影響で局所的あるいは石橋全体の崩壊(写真3-1)におよぶ損傷を受ける。しかし、前述したようにアーチ石

橋がエネルギー吸収能力に優れているため、地震による自然災害の影響は少ない。また、橋上を移動する車両や河川を航行する船舶などの交通機関の大型化や高速化による衝突などで損傷を受ける。さらに、人間の手による落書きや破壊行為なども損傷の一つといえる。

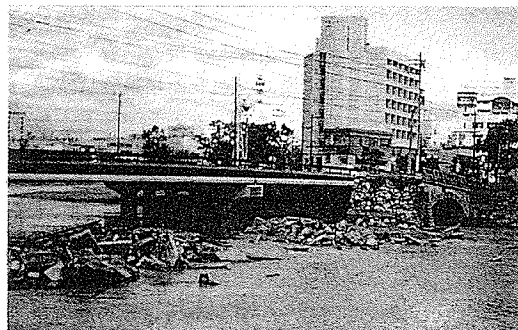


写真3-1 アーチ石橋の崩壊例(甲突川五石橋の武之橋)²²⁾

(2) 改造、補修の定義

a. 社会的環境の変化に伴う改造

橋は元来、人間が自然的条件を克服し人間の要求する機能的要件を満足する目的で造られた構造物である。時代の流れとともに社会基盤の整備が進み、水道や電気、ガスなどの生活資源の供給施設が発達してきた。そして、川や水路で仕切られた居住区域間の供給に橋がその収容機能を担うようになり、元々そのような機能のない石橋は改造され、社会環境の変化に対応してきた。

b. 橋を利用する人々の安全性、利便性に対する改造

橋が建造されて以来、橋周辺の社会的環境も変化し、橋を利用する人も必然的に多くなった。また、利用の仕方でも徒歩による横断から自転車、自動車を利用したものになり、アーチ石橋の持つ機能的な問題が生ずるようになった。それらの問題を克服し人々がより安全に、より便利に利用出来るように階段の斜路化や高欄の改造、歩行者専用路の増設など、橋の全面的あるいは部分的な改造が行われてきた。

c. 長期的な活用、保存のための補修

石橋が自然環境の影響や構造体の変状あるいは様々な外的破壊力により損傷を受けてきたことは前述した通りである。先人たちは今日までに橋という土

木施設を損傷前の姿に戻し、実用的な利用を可能にしてきた。また、洪水などの自然環境や載荷荷重などの影響を受けない安全な環境作りを行い、石橋が末永く活用、保存されるように補修を行ってきた。

4. 損傷の事例と要因の考察

アーチ石橋はそれを取り巻く社会環境の変化に伴い、機能的寿命が尽きたり、力学的要件が変化することにより損傷あるいは崩壊を受けるものである。ここでは、前で定義した損傷について国内や中国の各地で調査した具体的な事例を損傷種類毎に整理し（表4-1）、主な事例について損傷の要因を推察した。

表4-1 中国及び国内における損傷の種類と事例

損傷部	損傷の種類	事例(橋名)
基礎	浮き上がり	中国永濟橋
壁石	孕み出し 抜け落ち 表面の劣化 亀裂 汚れ	高麗橋ほか 中国普濟橋 西田橋ほか 玉江橋 中国趙州橋
アーチ石	亀裂(基礎の沈下) だば穴からの亀裂 アーチ石のずれ 腹面の汚れ 成分の溶出	玉江橋 中国趙州橋 中国永濟橋 中国十七孔橋 中国玉帶橋
路面	橋面石の摩損 階段踏み板の剥離	中国盧溝橋 中国玉帶橋
高欄などの装飾	欠け 自動車衝突 欠損(倒壊?) 落書きなど	中国盧溝橋 玉江橋ほか 中国宝将橋 中国趙州橋
全体的破壊	緩慢な自然破壊 洪水 暴力、戦闘	中国永通橋 武之橋 中国円明園残橋

(1) 自然環境の影響による損傷の事例

a. 普濟橋(中国、上海市 1267年創建)

本橋は全長 26.7mの単連欠円アーチ石橋(写真4-1)であり、上海市文物保護単位に指定されている。紫色を呈した石で造られており、通称“紫石橋”と



写真4-1 通称“紫石橋”と呼ばれる普濟橋の全景

呼ばれている。この橋は石材の物理的寿命が尽きた顕著な例である。石材は安山岩で比較的硬質(表2-1参照)であるが、長年の風化により随所に損傷がみられた。特に壁石は石材の風化により崩壊したものとわれ、中詰めの様子が伺えた。(写真4-2)



写真4-2 壁石が崩壊し中詰めの様子が見える(中国、普濟橋)

b. 朱家角鎮放生橋(中国、上海市 1571年創建)

本橋は全長 72mの5連半円形アーチ橋であり、上海地区では最大規模の古アーチ橋である。橋面は階段形式で現在も多くの住民の重要な橋として機能している。本橋の側面にはその昔人々が植えたザクロの木が数本繁茂(写真4-3)している。過去に中国政府はザクロの樹根が橋の崩壊を招くことを憂慮し切ろうとしたが、ザクロは“石榴”と書き、石をかため留める効果があるとし、周辺住民らに反対され、切られずに現在に至っている。橋を構成する石材は強度の大きい花崗岩(表2-1参照)で部分的な欠けはあるものの全体的に堅牢な造りであり、今のところ橋の変状や崩壊までには及んでいないが、ザクロの樹根による将来の崩壊の可能性に関してはそれを否

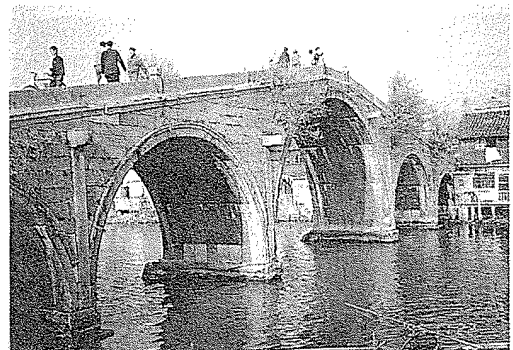


写真4-3 崩壊原因となりうるザクロの木(中国、朱家角鎮放生橋)

定できない。また、本橋の架かる運河は近年大型船舶の往来が激しく、橋脚への衝突の外的要因による衝突も懸念された。

c. 玉帯橋（中国、北京市 1736～1795年創建）

本橋は北京市郊外の頤和園にある単連で純スパンが11.38m、ライズが7.5mの尖頭型アーチ橋（写真4-4）である。本橋は全体が比較的硬質な（表2-1参照）白色の石英を含んだ光沢のある大理石で築かれてお

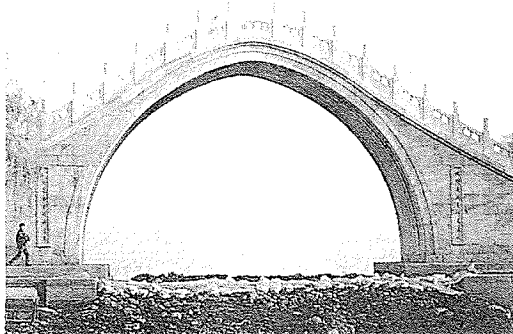


写真4-4 尖頭型アーチが特徴の中国、玉帯橋の全景

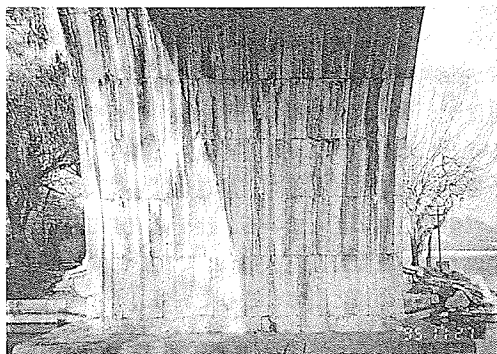


写真4-5 アーチ腹面の黒ずんだ汚れ（中国、玉帯橋）

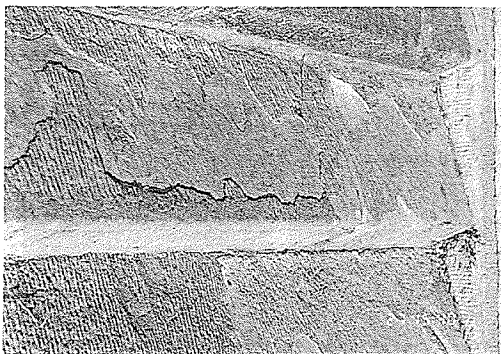


写真4-6 階段踏み板の剥離現象（中国、玉帯橋）

り、高欄柱や欄板まで細かい彫りが施され、豪華な印象の橋である。欠損などの大きな損傷はないが、アーチ腹面に黒ずんだ汚れ（写真4-5）と橋面階段踏み板の表面に剥離（写真4-6）が生じていた。アーチ腹面の汚れは石材成分の溶出か、中詰めの流出によるものであろうが、付着した汚れは厚さ数mmでアーチ腹面全体に及んでいた。また、階段踏み板の剥離は雨水、氷結、溶解、乾燥の繰り返しによる自然環境の変化と表面仕上げによる加工障害が原因と思われる。

（2）構造体の変状による損傷の事例

a. 趙州橋（中国、石家荘市 615～617年創建）

本橋は全長50.82mの単連空腹式アーチ橋（写真4-7）であり、中国に現存する最古のアーチ石橋であるとされている。橋を構成する石材は強度の大きい青白色石灰岩（表2-1参照）であるが、長年の歳月による損傷も大きかったため、現在までに大小様々な修理（1953～1955年大修理）が施され、今では全国重点文物保护单位に指定され、公園として整備され

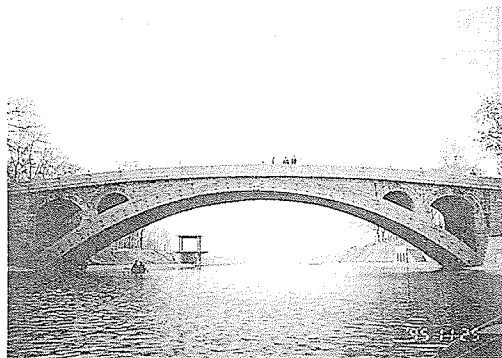


写真4-7 中国最古のアーチ石橋、趙州橋の全景

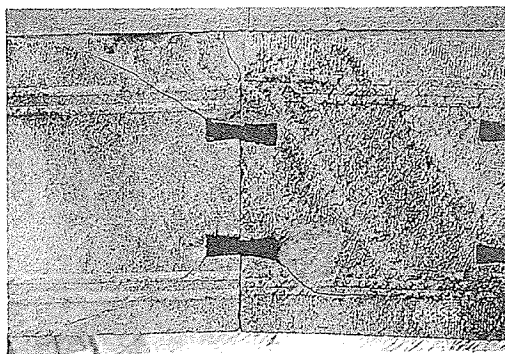


写真4-8 アーチ石だば穴から発生した亀裂（中国、趙州橋）

た中で手厚く保護されている。本橋は縦方向に並べて積まれたアーチ石と偏平なアーチ形状の上に4つの孔の空いた構造が特徴である。その特殊な構造のアーチを補強するために鉄拉杆と呼ばれる鋼棒でアーチを横方向に締め、腰鉄と呼ばれる蝶形のくさびが施され、アーチ石の一体性を高めている。ところが、アーチ石のくさびを嵌め込んだば穴から亀裂（写真4-8）が生じていた。橋の大修理から40年以上が経過し、アーチ連結部に応力が集中したり、継手材である鉄の腐食や温度変化による膨張により、だば穴から亀裂が生じたものと思われる。

b. 永濟橋（中国、石家荘市 創建不明）

本橋は中国に現存する最古の橋とされる趙州橋の隣にあり、3連のアーチ石橋（写真4-9）である。創建年代も不明であり、特に文化財としての保護対象でもなく、村外れに埋もれかかった橋である。本橋を構成する石材は趙州橋と類似した強度の大きな石灰岩質（表2-1参照）であり、各部材に欠けなどの大きな損傷はみられないものの、アーチ石は基礎石



写真4-9 不安定な状態の中国、永濟橋の全景



写真4-10 アーチ石横一列が浮き上がった様子（中国、永濟橋）

上2段目から中詰めが見えるほど浮き上がり（写真4-10）、基礎石の下には大きな隙間を生じていた。恐らく、橋台下の基礎地盤の沈下や、中詰めの異常土圧の影響が考えられるが、このまま不安定な状態で重量車両などの通行が続けば、崩壊は免れないものと思われた。

c. 高麗橋（日本、鹿児島市 1847年創建）

本橋は全長 55.0mの4連アーチ橋（写真4-11）であり、肥後の石工岩永三五郎が架けた甲突川五石橋の一つである。本橋は先の甲突川の河川改修事業（激特）に伴い、復元を前提に解体された。解体前の現況調査を行った結果、壁石が最大10～20cm外側に孕み出している（写真4-12）ことがわかった。恐らくこの孕み出しは橋上を移動する長年の交通機関の大型化（車馬からトラックへ）による振動と外力（上載荷重）のため、中詰めからの土圧が徐々に大きくなることにより発生したものと推察される。また、本橋を構成する石材はほとんどが小野石と呼ばれる溶結凝灰岩で強度が小さく（表2-1参照）、石材表面の剥離や欠損が顕著であった。

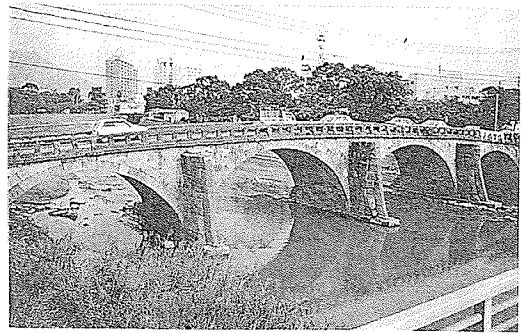


写真4-11 甲突川五石橋のひとつ、高麗橋の全景



写真4-12 壁石の孕み出し現象（鹿児島、高麗橋）

(3) 外的要因により引き起こされる損傷の事例

a. 盧溝橋（中国、北京市 1192年創建）

本橋は全長265mの11連アーチ橋（写真4-13）であり、中国北方に現存する古橋中最も長い橋である。

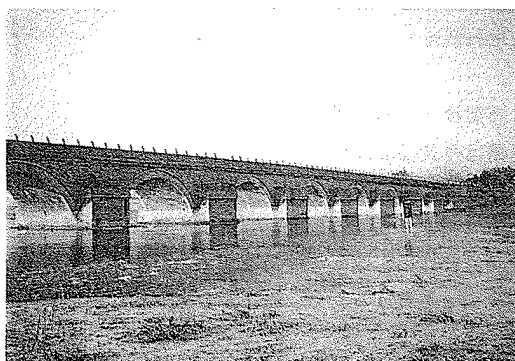


写真4-13 車輛通行を制限した中国、盧溝橋の全景



写真4-14 高欄支柱の崩壊状況（中国、盧溝橋）



写真4-15 親柱を支える象の損傷状況（中国、盧溝橋）

1987年中国政府の手により大規模な修復工事が行われ、現在は全国重点文物保护单位として車両の通行を禁止し、歩行者用の橋として保護されている。路面には元の橋の轍などで擦り減った旧路面敷石を部分的に再現している。本橋の石材は石灰岩質（表2-1参照）のもので、剥離などの損傷が見受けられたが、修復工事により、アーチ石や壁石などは剥離部分をモルタルで補修したり、当初材とは明らかに異なる表面加工を施した新材により置き換えがなされていた。しかし、本橋の特徴のひとつである獅子飾りのついた高欄支柱（写真4-14）や親柱を支える象の装飾（写真4-15）は何らかの人為的な外力によるものと思われるような破壊形態を残し、修復されぬままの状態であった。

b. 円明園残橋（中国、北京市 創建不明）

本橋は単連半円形アーチ橋（写真4-16）である。円明園は北京市の北西にある清朝の離宮跡であり、「圓明園」「万春園」「長春園」の三つの庭園の総称である。1860年の第二次アヘン戦争で英仏連合軍により侵略、破壊を受け、当初三つの園内に100数橋あった橋梁も殆ど破壊され、円明園にあるアーチ石橋のアーチ部分だけが残された²³⁾。本橋を構成する石材は比較的硬質な大理石（表2-2参照）であるが、アーチ石一つで支えられているアーチ形が戦闘による破壊力の凄まじさを物語っていた。



写真4-16 アーチだけが残された中国、円明園残橋

c. 宝带橋（中国、蘇州市 816～819年創建）

本橋は全長371mの53連の連続アーチ橋（写真4-17）である。二つの運河が交差するところに架かり、曳き舟道の延長として機能していたとされる。本橋は建造以来、大水や戦禍の影響で数回破壊され、1956

年に政府の手により現在の形に修復された。本橋の石材は主に強度の大きい花崗岩（表2-1参照）で構成されているが、橋の随所は大理石の新材での置き替え修復工事がなされている。また、橋のもとには石碑や石塔、獅子の像があり、欠損部をモルタルで修復していた。橋の中央橋脚基礎には修復再建したとされる石塔が建てられているが、中段より上部は欠落（写真4-18）していた。その欠落位置からみて恐らく橋上からの人為的な破壊によるものと思われる。



写真4-17 薄い橋脚が特徴の中国、宝帯橋の全景

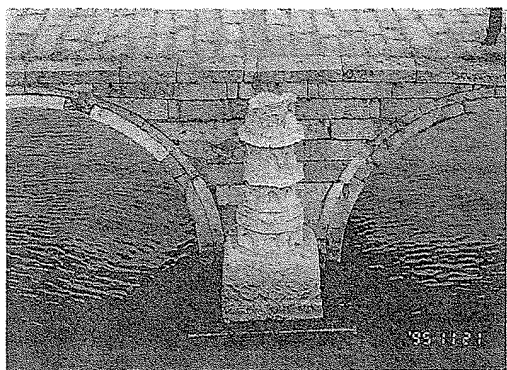


写真4-18 中央橋脚部の石塔の倒壊？（中国、宝帯橋）

5. 改造、補修の事例と必要性の考察

前述したように、石橋を構成する石材の物理的寿命により各所に様々な障害が発生したり、石橋を取り巻く社会的環境が変わって機能的使用限界となる。しかしながら、社会的需要に対する橋の機能は不変であるため、橋自体や橋を利用する人々の安全性並びに利便性を考慮した改造、補修が必要不可欠となる。その様な社会的背景のなかで改造、補修された事例を紹介し、その必要性を考察する。

（1）社会的環境の変化に伴う改造の事例

a. 呉門橋（中国、蘇州市 1872年再建）

本橋は単連の半円形アーチ橋（写真5-1）であり、アーチの高さは蘇州市で最大である。橋面は階段形式で、現在でも実用の橋として機能している。本橋には橋面の端に水道管が添架されているが、本橋の架かる運河が蘇州市を囲む形でめぐらされており、蘇州市中心部から郊外へ水を供給するために本橋に水道管が添架されたものと思われる。また、本橋には自転車や荷車用のコンクリート製の斜路が階段形式の橋面に設けられており、利用者の利便性にも配慮した改造がなされていた（写真5-2）。

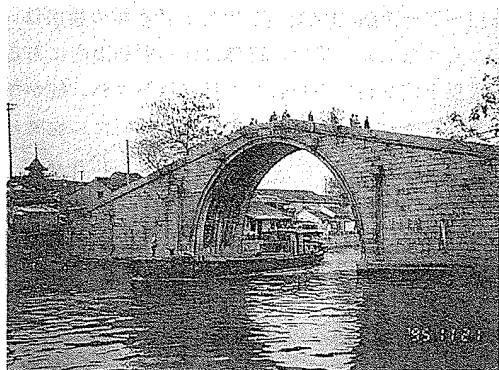


写真5-1 下を大型船舶が往来する中国、呉門橋の全景

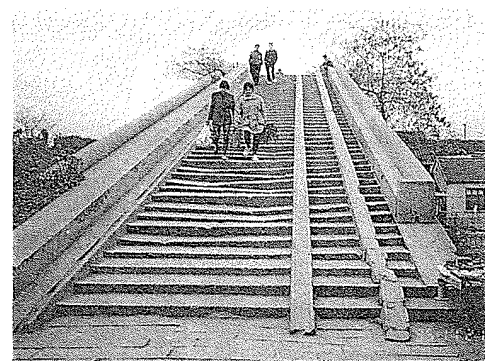


写真5-2 左端が水道管、右が自転車用の斜路（中国、呉門橋）

b. 西田橋（日本、鹿児島市 1846年創建）

本橋は全長 49.6mの4連のアーチ橋であり、甲突川五石橋のなかでも参勤交代の道筋に架かる橋として、当時の藩主が財を尽くして架けたもので、あった。本橋には大正10（1921）年に鹿児島市内の水道網整備のため、本橋の上流側の壁に架台を設け、平成2（1990）年まで水道管が添架（写真5-3）され

ていた。

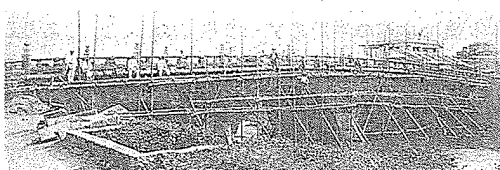


写真5-3 西田橋の水道管添架工事（大正10年）²⁴⁾

(2) 橋を利用する人々の安全性、利便性に対する改造の事例

a. 後山橋（中国、北京市 創建不明）

本橋は北京市郊外の頤和園の蘇州街にある3連の長円形アーチ橋（写真5-4）である。本橋の橋面はなだらかなスロープで、高欄は同じ頤和園内にある玉帯橋と同様白い石灰質の石材で構築され、細かな彫りが施されている。高欄の内側には新たに鉄製の柵が設けられているが（写真5-5）、これは本橋が蘇州街の中央にあり観光客の往来も多く、橋面から水面まで10m以上と高いため、観光客の転落防護柵として設置されたものと思われる。



写真5-4 観光客が多い中国、後山橋の全景



写真5-5 高欄内側の転落防止用鉄柵（中国、後山橋）

b. 高麗橋、西田橋（日本、鹿児島市）

高麗橋、西田橋の概要については前述の通りである。両橋共に江戸時代に建造されたアーチ橋であるが、明治40年代に当時の社会環境の変化に合わせて改造が行われた。「...此橋中心ニ到ルニ随ヒ其橋面漸次ニ高シ故ニ車馬ノ往来不便ナリ市ハ茲ニ見ルアリ市會ニ工費ヲ要求シテ...此工ヲ起ス而シテ其橋面ヲ平夷ニ改メ橋臺ヨリ其前後路面ヲ延長シテ以テ通行ヲ便ニス...」という当時の工事記録²⁵⁾や解体調査の結果からも改造工事が路面の勾配補整の工事であったことは明らかであり、改造前はかなり急勾配であったため、当時交通機関である荷馬車や人力車の通行を考慮した改造であったと思われる。

(3) 長期的な活用、保存のための補修の事例

a. 永通橋（中国、石家荘市 1190～1195年創建）

本橋は全長32mの単連空腹式アーチ橋であり、趙州橋と同一構造の橋である。趙州橋より橋の規模がひとまわり小さいことから地元では趙州橋の大石橋に対し小石橋と俗称されている。現在は全国重点文物保护单位として、畑に変貌した清水河跡に実用の橋として利用されながら保存されている。本橋は石材の破損や風化が極めて顕著であったために、1984年国家と地元の県政府が共同で修復工事を行った。本橋の調査の際、北京市の石橋修復担当の方々と懇談の折に、今は立派に修復されている永通橋の修復前（写真5-6）の姿をビデオで見せて貰った。ビデオを見る前に既に修復済みの原物（写真5-7）を目にしていた、その彫りの深い端正な姿（写真5-8）に感動した後ただただビデオの修復前は同じ橋とは思えないほどの無残な姿であった。今は修復されて見事になってシャープすぎる硬い印象のこの橋も、あと数百年の星霜を経れば、もう少し柔らかい表情を見せるようになるだろうことは推察出来る。



写真5-6 無残な姿の修復前の永通橋²⁶⁾（中国）

しかし、修復前後の見掛けの差を見ると、石橋のように耐久性のあるものの修復、補修や保存に対して、見る側も長い目を持たなければならないことを教えているように思われた。



写真5-7 見事に修復された中国、永通橋の全景

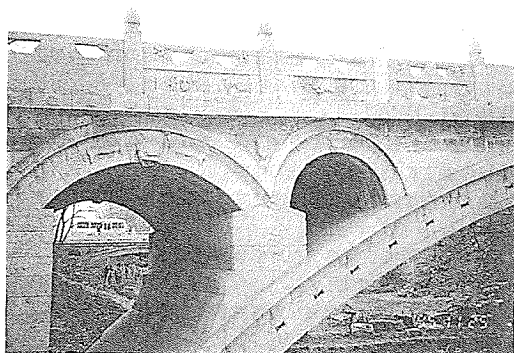


写真5-8 シャープな印象のアーチ側面（中国、永通橋）

b. 幸橋（日本、平戸市 1702年創建）

本橋は平戸港に流れ込む戸石川の河口に架けられた全長 19.8mの単連アーチ橋である。昭和53年に重要文化財に指定され、橋の損傷が著しく（写真5-9）

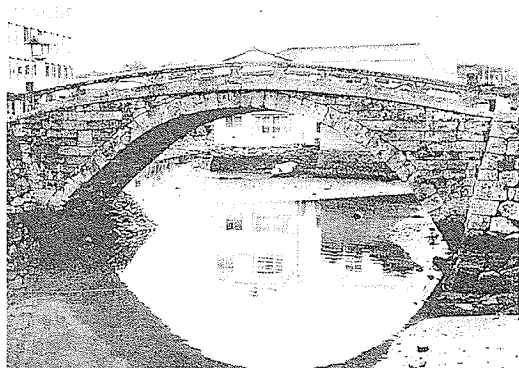


写真5-9 保存修理工事前の幸橋²⁷⁾（日本）

地震等の外力作用時に崩壊が予想されたため、昭和59年に現地において大規模な保存修理工事が行われた。当時の記録²⁸⁾によると損傷は基礎石の沈下、アーチ石の塩類風化、壁石の孕み出し、高欄の傾斜までにおよんでおり、石橋全体を解体し基礎の強化や石材の接着、取り替えを行った。修理工事により、アーチ石や壁石、高欄などは欠損部分を石材接着により補修したり、新材に取り替えられ、細部まで手の行き届いた補修がなされていた（写真5-10）。



写真5-10 保存修理工事が行われた平戸市、幸橋の全景

6. おわりに

本論文では中国におけるアーチ石橋の材料や損傷の状況、補修の方法を中心に調査し、国内のアーチ石橋の状況と併せてそれらの特徴を述べた。それらから得られたものをまとめると以下の様である。

（1）使用されている石材はその地域により異なるが、何れも比較的強度の大きい火山性の変成岩や火成岩を用いる傾向が高い。また、岩質によりその強度も異なり風化速度も異なるが、橋を取り巻く環境や橋の構造も異なるため、一概に強度の大きい石材で造られたアーチ石橋が損傷を受け難いとは言い難い。

（2）調査したアーチ石橋の殆どが過去に補修を受けていたが、補修材にコンクリートやモルタルがよく使われていた。これらは石材との違和感が目立ち、次の補修の障害になり易い。また、詰め物として石橋の内部に用いられ、石材の隙間からその成分が流出し、橋の美観を損ねているものが見受けられた。橋の内部にコンクリートやモルタルを用いることは好ましくないが、やむなく用いる際には貧配合のものをを用い、石材との接触部に何らかの分離策を講じ

ておく必要がある。

(3) 損傷の酷い石材を新たな石材に置き替える方法が殆どのアーチ石橋でとられていた。置き替えは特定の箇所に限らず全体的に行われており、近代の機械技術による石材加工のため、周囲の旧材との馴染みが悪く、相当の期間に渡って見るものに違和感を与え続けることになる。新材で置き替えをする際には周囲の旧材との馴染みを良くするため、表面加工に工夫が必要である。

(4) 石材間のずれや回転を防止し、石材同志の結束力を高めるため、石材間に鉄製のだぼを設置し補強する方法が用いられていた。しかし、この鉄製のだぼが石材に損傷を与えていた。鉄材やステンレス鋼などの異種材による補強はその膨張性を考慮し、石材中に逃げを確保する必要がある。さらに、腐蝕防止のための防錆処置も必要となる。

(5) 折損した石材を接着剤により接合し、当初形状に復し用いていた。接着剤の種類や配合は不明であるが、色や質が石材と明らかに異なり、違和感を覚えた。接着剤として用いる材料は安定性、耐久性はもとより、色や質など外観にも十分配慮して選定すべきである。また、近年の接着剤の性能は優れていると考えられるが、実績がまだ少ないので、大きな力が働く主要な部分への使用は慎重に行うべきである。

アーチ石橋が末永く保存されるには、修復工事の正確さは無論こと、材料選定や材料の使い方を十分検討することにあるといっても過言ではない。補修、保存は対象となるアーチ石橋の素材や構造の特徴並びに歴史性を把握し、使う材料を十分に吟味した上で、アーチ石橋周辺の環境まで含めた総合的な形態で行わなければアーチ石橋の本来の姿を失ってしまう。我々は先人の建造したアーチ石橋の技術を後世に正しく継承するためにもその時の技術を最大限に生かし、臨むべきであろう。

参考文献及び注記

- 1) 岡崎忠一「土木技術5月号－鹿児島県の石造アーチー」, pp. 9~13, 1951(昭和26)年5月
- 2) 諫早市教育委員会「重要文化財眼鏡橋移築修理工事報告書」, p. 43, 1961(昭和36)年9月
- 3) 鹿児島県教育委員会「甲突川の五大石橋」, p. 4, 1969(昭和44)年6月
- 4) 鹿児島県土木部河川課「鹿児島県の石造橋」, pp. 3~4, 1982(昭和57)年7月
- 5) 鹿児島県土木部河川課「藩政時代の土木史」, p. 13, 1983(昭和58)年10月
- 6) 鹿児島県教育委員会「石造橋の保存に関する調査報告書」, p. 3, 1985(昭和60)年
- 7) 中国のアーチ石橋調査は1995年11月19~28日にかけて愛甲頼和(鹿児島大学工学部)、末永幸一(鹿児島市橋りょう建設課)、中島一誠(建設技術コンサルタント)、今村裕一郎氏(同左)、坂元正義(新日本技術コンサルタント)、荒田利行(同左)、立山耕造(大福コンサルタント)、迹目英正(ほつま土木計画)、山口弘信(協和コンサルタント)、秋山裕史(秋山環境デザイン研究所)、前迫実(前迫石材)各位の同行を頂き、現地においては「中国石橋」の著者であり、元上海市政工程設計院の陸徳慶氏(案内)、王友雲氏(通訳)らの協力を頂いた。また、北京市市政工程局での懇談会の席では同局の夏樹林氏、胡達和氏らから石橋修復の貴重なお話を拝聴した。
- 8) 鹿児島市建設局橋りょう建設課「玉江橋外2橋解体工事調査報告書」, p. 23, 1995(平成7)年3月
- 9) 鹿児島市建設局橋りょう建設課「高麗橋現況調査報告書」, p. 280, 1995(平成7)年5月
- 10) 長崎県平戸市「重要文化財幸橋保存修理工事報告書」, p. 60, 1984(昭和59)年3月
- 11) 熊本県砥用町「重要文化財霊台橋保存修理工事報告書」, pp. 122~124, 1980(昭和55)年9月
- 12) 武部健一編訳「中国名橋物語」技報堂出版, p. 26, 1987年
- 13) 鹿児島県土木部・土木学会「建設資材としての凝灰岩の特性についての基礎調査」, pp. 73~76, 1995(平成7)年3月
- 14) 三木幸蔵、古谷正和「土木技術者のための岩石・岩盤図鑑」鹿島出版会, pp. 6~7, 1993年
- 15) 山口梅太郎「岩石力学入門」東京大学出版会, p. 120, 1980年
- 16) 菊田利雄「個別要素法によるアーチ石橋の構造特性の検討(第16回土木史研究論文集)」, pp. 281~291, 1996(平成8)年
- 17) 陸徳慶「中国石橋」人民交通出版社, p. 188, 1992年
- 18) 前出 12), p. 288
- 19) 金丸正光「玉江橋解体調査結果(第16回土木史研究論文集)」, p. 220, 1996(平成8)年
- 20) 阿久根芳徳「薩摩藩城下に架けた高麗橋の構造(第16回土木史研究論文集)」, p. 230, 1996(平成8)年
- 21) 茅以升「中国古橋技術史」北京出版社, p. 96, 1986年
- 22) 前出 8), p. 16
- 23) 前出 17), p. 31
- 24) 鹿児島市水道局「鹿児島市水道史」, p. 239, 1993年
- 25) 鹿児島市「鹿児島市史」, p. 493, 1916(大正5)年
- 26) 前出 21), 差絵(図版-5)
- 27) 前出 10), 図版 修理前写真-6
- 28) 前出 10), pp. 50~59