

や橋長を確認できるのは3,000橋に満たない。現在の日本では、石造アーチは作られることがなくなった。

2——石造アーチ6,000年の伝承

社会の進展により、①都市部の軟弱な地盤での架設、②洪水対策、③長大化、④重荷重、⑤低コスト化、画一化、機械化など様々な要求が生ずる。

長大化への要求に応えるためにも、石造アーチでは特に基礎が重要となる。イタリアのアオスタにある紀元前120年のサンマルタン橋は岩盤を基礎とし、支間35.6mを達成した。同時代の、ローマのテヴェレ川に架かるファブリチオ橋(支間24.5m)などは、軟弱な地盤を対象とし穴あき橋脚とするなど、工夫の成果である。また、スペインのメリダのローマ橋には人工島基礎の工夫がある。近代に入り、イギリスにある1756年のポンテプリッド橋は橋体に穴をあけ、自重を低減している。更に、ドイツにある1905年のフリードリヒブルッケンは壁に大きな穴をあけ軽量化、支間90mを実現した。

中国南部の石造アーチ橋は舟運が盛んな水路に架かる場合が多く、軟弱な地盤で桁下高を確保するため、基礎を杭や置き換えなどにする工法の工夫とともに、アーチ石を極限まで薄くし橋体自重を低減している。

表3に示すように、それぞれの時代に技術的解決策と記念碑的の石造アーチが存在する。これらの技術の蓄積、伝承が今日の橋梁技術の基礎となっている。橋は画一化、機械化などの要求に応じ、素材は扱いやすい鋼やコンクリートに変容したが、現代の橋は石造アーチ6,000年の伝承を受け継いでいるともいえる。

3——名橋の条件とアーチの特性

今日、資源、環境、ライフサイクルコストなど、新たな時代の要求がある。縁あって石造アーチを調べる機会を得、改めてその特徴を見直すと、鋼やコンクリートの構造にはまねができない石造アーチ独自の良さに気づく。

石造アーチの特性を現代の設計・施工技術で見直したときの新しい石造アーチの現代への適用性、可能性を考察する。

(1) 本当にいい橋とはどんなものなのか

橋梁技術者には普遍的テーマのはずであるが、名橋の条件として、大阪市のホームページに以下のような記述があった。

- ① 架設が強く望まれた橋(憧れの橋)
- ② 技術的にすぐれた橋(優れた橋)
- ③ 周辺環境と調和した橋(調和のある橋)



■写真10—幕末頃の西田橋 創建1835(出典：鹿児島市史)

④ 利用者に親しまれる橋(親しみのある橋)

⑤ 歴史や伝承をもった橋(歴史のある橋)

更に次の2点を追加したい。でなければ、サステイナブル(地球環境の持続と人類の存続)にならない。

⑥ イニシャル・ライフサイクルコストが安い

⑦ 資源、環境に負担をかけない

そして、歴史的にも、橋の架設に求められてきたのは、時代の要求に応えきる、技術、社会を含めた総合力である。

(2) 石造アーチの特性

石造アーチの長所を引き継ぎ、現代の技術を楽しむ新たな石造アーチ(拘束性離散体アーチ)は、経済性、環境適応性などを期待できる。

次にその構造要件、力学性能、経済性、環境適応性、施工性などの要点を紹介する。

1) 構造要件

① アーチ形状

アーチ形状により部材は全て圧縮になり、耐荷性、耐久性が発揮される。アーチを構成する部材には自重と活荷重に対し、応力線がアーチ部材の中を通るよう、基礎を含め剛性が高いことが求められる。

② 離散体と合端

現代の構造物は連続体を基本としている。しかし、長期的には「連続体の仮定」は成り立たなくなり、一部の欠陥や応力集中から部材全体、構造全体の機能が失われることになる。一方、離散体構造は元々バラバラなため、構造系として応力が集中することはない。離散体は合端(石を積む時に隣り合って接する面)と一体となって絶妙の構造系をなす。

③ 拘束性

荷重による応力線とアーチ形状による軸線の対応について、間詰め石やオープンスパンドレルによるアーチ部材の押さえ(拘束性)が重要になる。

2) 力学性能

① 応力状態

アーチ軸線を部材の中を通し、剛性を確保する必要から部材断面が決まり、かつ、荷重による応力の変動は死荷重による応力に比べ小さく、許容応力に比べ余裕があることが解っている。

② 耐久性

石材の耐久性は皆の認めるところであるが、実際には良いのもあれば悪いのも混ざっており、部分的に劣化が進む(100~200年)。しかし、好都合なことに離散体は寄せ集め構造になっているため、劣化した部材はそこだけ取り替えることで殆どの部材は再利用できる。

③ 耐震性

関東大震災の煉瓦建造物の被災から、全ての離散構造が地震に弱いとされてきた。しかし、アーチ構造に関しては地震に強いことが知られてきている。実際、地震で石造アーチが壊れたことは殆どない。

④ 変形追随性

基礎の多少の変位は合端で調整され、結果として安定し破壊に至ることはない(変位が増大しても構造系の応力は発生しない)。これはコンピューターシミュレーションでも実際の石造アーチでも確認できる。

3) 経済性、環境適応性、施工性

① 合端の加工の省略

石造アーチの安定要因を考えると、求められることは「アーチ」「離散体」「拘束性」であり、必ずしも石材の合端面を精密に加工する必要はない。これにより、石造アーチ衰退の最大の要因となった石材加工費が大幅に低減する。

② リサイクル材・低品位材の活用

剛性を保つ断面からは応力度に余裕が生じるため、アーチ材の材料として、リサイクル材、コンクリートガラ、煉瓦など、石材と比べ低品位なものも活用でき、材料の調達と低コスト化が可能となる。

③ 設計法、基礎工法、架設方法など現代技術の享受

石工の技に頼る伝統的な工法と異なり、解析手法、施工技術(基礎工、支保工、組石など)の進歩を反映できる。例えば、石造アーチにおける基礎は重要な位置を占めるが、水平方向の分力を斜杭でとらせるなど、基礎工法の進歩を享受できる。

4——新たな石造アーチの出番に向けて

(1) 煉瓦アーチの架設体験

数年前から煉瓦アーチの架設実演をしてきた。最近ほ

全国で、このようなイベントもかなり増えたようである。煉瓦アーチの架設体験には以下の特徴がある。是非試して頂きたい。

- ① あり合わせの煉瓦と間詰め用の砂でできる
- ② 作る楽しさがある
- ③ 誰でも簡単にできる
- ④ 自分が作った橋をその場で渡れる

(2) 新たな石造アーチの出番に向けて

技術は創造の機会がなければ伝わらない。継続しなければ発展しない。社会の理解、支持とその期待に応える姿勢があるから、技術は伝承、発展する。

1994年頃「石造アーチ橋」でのホームページのヒットは1,000件ほどだったが、今では17,000件を超える。ホームページの内容も充実してきた。2000年に開園した鹿児島島の石橋記念公園の来場者数も100万人に達するという。市民の支持を得、北薩もどり橋(煉瓦アーチ歩道橋)も架設された。日本における新たな石造アーチの出番も遠くないかもしれない。

<引用文献・参考文献>

- 1) Brangwyn, Frank and Walter Shaw-Sparrow, 1915, a book of bridges, John Lane Co.
- 2) 木下武之助, 1925, 世界橋梁写真集, シビル社
- 3) Watson, Wilbur J., 1927, Bridge Architecture, William Helburn Inc.
- 4) 唐寰澄, 1957, 中国古代橋梁, 文物出版社
- 5) K. NARUSE, K.AOKI, 1967, BRIDGES OF THE WORLD, MORIKITA PUBLISHING CO, LTD
- 6) Ted Ruddle, 1979, Arch Bridges and their Builders, Cambridge university press
- 7) 太田静六, 1979, 九州のかたち眼鏡橋・西洋建築, 西日本新聞社
- 8) 太田静六, 1980, 眼鏡橋—日本と西洋の古橋—, 理工図書
- 9) FRITZLEONHARDT, 1982, BRUCKEN/BRIDGES, ARCHITECTURAL PRESS
- 10) 川田忠樹, 1985, 歴史のなかの橋とロマン, 技報堂出版
- 11) Wilbur J. Watson Sara Ruth Watson, 1986, 歴史と伝説にみる橋, 建設図書
- 12) 武部健一, 1987, 中国名橋物語, 技報堂出版
- 13) 山本宏, 1991, 橋の歴史, 森北出版
- 14) 小山田了三, 1991, ものと人間の文化史66橋, 法政大学出版局
- 15) ベルト・ハインリッヒ, 1991, 橋の文化史桁からアーチへ, 鹿島出版会
- 16) 羅英・唐寰澄, 1993, 中国石拱橋研究(翻訳), 人民交通出版社
- 17) ベルナル・マレイ, 1996, フランス近代の橋 18e, 19e(翻訳)
- 18) 建設省道路局, 1948, 橋梁現況調
- 19) 小林一郎, 1998, 風景の中の橋, 横書房
- 20) 高橋ほか, 1996, 石造アーチ橋の載荷試験と構造特性について, 土木史研究 16
- 21) 菊田ほか, 1996, 個別要素法による石造アーチ橋の構造特性の検討, 土木史研究 16
- 22) (社)日本道路協会, 1977, 日本道路技術編第5章橋梁
- 23) 逸目, 2001, 鋼橋・コンクリート橋・石造アーチ橋のライフサイクルコストの比較, 土木学会全国大会研究討論会「平成に石橋は甦るか!」
- 24) 逸目ほか, 2001, 石橋への誤解と環境適応性について, 土木史研究 21
- 25) ほつま工房, 2002, 簡単な石造アーチ橋の作り方, (<http://www.hotsuma.jp/pr041.htm>)
- 26) 逸目, 2005.8, 経済性と環境負荷の低減を両立する具体策—新しい石造アーチ(拘束性離散体アーチ)のすすめ—, 橋梁と基礎, 建設図書
- 27) 大阪市ホームページ (<http://www.osakacity.or.jp/kikaku/gallery/keikankougi/bridge1.htm>)



■写真11—煉瓦アーチの架設体験