

錦帯橋における木造アーチ構造と架け替え技術の伝承について

DESIGN OF WOODEN ARCH AND TRANSFER OF TECHNOLOGY IN KINTAIKYO-BRIDGE

富岡 佐和子 *

Sawako TOMIOKA

Kintaikyo-Bridge has a wooden rib arch structure which is very rare in the world. It is a wooden five-span bridge with three arches, which span the Nishiki River, the largest river of Yamaguchi Prefecture in Japan. It was inaugurated in 1673, and rebuilt many times to ensure the wood always supports a full load. In order to make a strong bridge against floods, the best mix of wood and stone was used in the original Kintaikyo-Bridge. Arch structure was adopted in the superstructure, and hollow stone piers with spindle-shaped cross-section were adopted in the substructure.

In this paper, transfer of the sophisticated wooden arch technology in the Kintaikyo-Bridge was investigated.

Keywords : *Kintaikyo-Bridge, Wooden bridge, Design of Arch, Rebuilding, Transfer of Technology*

1. はじめに

錦帯橋は、山口県最大の河川である錦川に架かる、3 径間のアーチを有する 5 径間の木橋である(写真-1)。中央のアーチ橋は、世界でも珍しい、木造リブアーチ構造である。その巧みな構造は、周辺の美しい景観と調和し、多くの人々を魅了している。1673 年の創建以来幾度の架け替えが行われ、最近で

は 2004 年に、約 50 年ぶりとなる平成の架け替えが行われた。

初代の錦帯橋は、当時の木橋の架橋技術としては限界に近い径間長の支間割りで建造された。洪水に流されない強固な橋を架けるために、上部構造には合掌式アーチ構造を取り入れ、下部構造には紡錘形断面の空石積橋脚を採用し、当時の築城術が用いられている。本論文では、錦帯橋における木造アーチ構造の誕生と技術の伝承について考察する¹⁾。



写真-1 錦帯橋下流側前景（錦見側より見る）

* コンサルタント国内事業本部 交通運輸事業部 道路橋梁部

2. 錦帯橋創建の背景

初代の錦帯橋は、岩国藩三代藩主吉川広嘉によって建設された。初代藩主の吉川広家は、毛利家の家臣であり、出雲富田城を居城とする12万石を治めていた。広家は、1600年の関ヶ原の合戦で敗れた毛利家の存続を徳川家康に願い出て、毛利家は周防・長門二国を与えられ、吉川家は岩国3万石に移封された。1608年には、錦川を見下ろす山麓の横山に、岩国城が完成する。この岩国城は、長門の東に位置する周防の東部に位置し、山城の包囲戦において、毛利氏の居城である長門の萩城と連携して、徳川の東からの攻めに対する二段の守りを構成するという戦略的な位置づけを持っていた²⁾。さらに広家は、横山には上級武士を、錦川を挟んで横山の対岸の錦見には中・下級武士を住まわせ、錦見には城下町としての町割も行った³⁾。この横山と錦見を結ぶ軸線上の錦川に架かる橋が錦帯橋である(図-3)。

ところが、1615年の一国一城令により、岩国城の取り壊しを命じられる。それまでの錦川は、岩国城の外堀として機能しており、戦時下に橋は流されて敵の侵入を防ぐため、落ちない橋はむしろ必要とはされなかった。しかし岩国城破却後は、治世の中心であった横山と城下町の錦見を結ぶ、流されない橋が必須であった²⁾。と同時に、岩国城の正門とも言うべき場

所に位置する錦帯橋は、城を失った岩国藩にとっての、城に代わる象徴であり、正に不落の橋でなければならなかったと考えられる。また錦帯橋の橋脚は、取り壊された城の石垣を用いて建造されており、創建(1673年)から明治維新(1868年)までの195年間は、領主や家臣だけが通ることを許された特別な橋であった⁴⁾。

3. 中国蘇堤

広嘉は流されない橋を架けるため、近習の有能な技術者に橋の模型を作らせるなど、橋の研究をさせており、江戸に集まる橋梁技術のほか、中国の技術にも関心を寄せていた³⁾。1664年には明の帰化僧、独立(どくりゅう)が岩国を訪れる。独立から西湖誌の話聞いた広嘉は、本の閲覧を強く要望し、独立は広嘉のために長崎に飛脚を遣わして西湖誌を取り寄せている。西湖誌で蘇堤の絵(図-4)を見た広嘉は机をたたいて、「会心の奇所を得た」と言って喜んだという³⁾。蘇堤は北宋時代に築かれた長さ2.8キロの現存する堤防であり、数百メートルの人工島5つと、島間をつなぐ数十メートルの石造アーチ橋6つで構成されている⁵⁾。これにより広嘉は、錦川の中に島を築いて橋を架けるというアイデアを得たとされている。

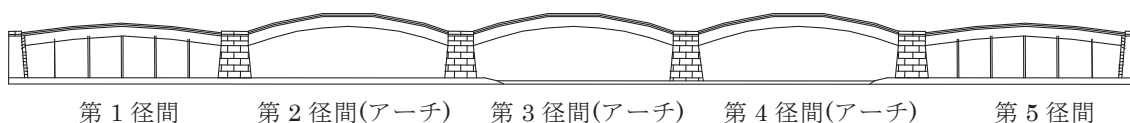


図-1 錦帯橋側面図 岩国市観光振興課所管



図-2 位置図 国土地理院標準地図(100万)に加筆



図-3 岩国領図(部分)(1866年岩国徴古館所蔵)

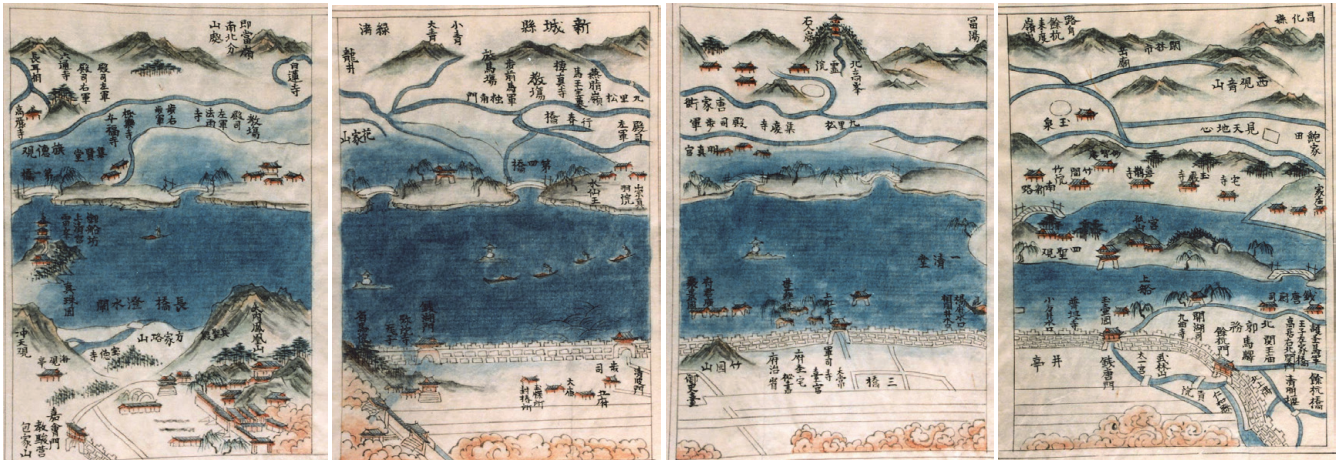
4. 石積み橋脚と河床の石張り

錦帯橋は、流水方向に沿った紡錘形断面の堅固な石積みで島を築いて橋脚としている。石積みの建造には、石垣の築造法が用いられた。さらに河床に石を敷いて洗掘を防いだことは、錦帯橋の特筆すべき技術となっている（写真－2）。

1673 年に創建した錦帯橋は、翌年の 1674 年に、洪水により中央の 3 径間のアーチが流失する。原因は、橋脚の固定に問題があったと思われる、広嘉は 1675 年に技術者達を近江へ派遣し、石垣の築造法を学ばせている³⁾。当時の石垣の築造法において、高い技術力を持っていた技術者が、安土城を築いた穴太衆と呼ばれた石工達であり、全国の石垣普請の指導も行っていた⁶⁾。技術者達の帰国後、1677 年には錦帯橋周辺の河床に敷石を設け、翌 1678 年には、橋脚周辺に捨石を施している³⁾。これ以後、昭和 25 年に橋脚が流失するまでの 270 年あまりの間、錦帯橋は洪水により流出することはなかった。

5. 木造アーチ誕生

上部構造である木造アーチは、甲斐の猿橋（写真－3）からヒントを得て建設されたとされている⁷⁾。猿橋は、錦帯橋と同じく木橋であるが、刳橋（はねばし）と呼ばれる、現在の片持ち梁構造であり、アーチ構造ではない。刳橋の形式で現存するのは、甲斐の猿橋だけであるが、刳橋の起源は古く、猿橋の記述は 1226 年の文書にある⁸⁾。また、越中の愛本橋は 1662 年に完成しており⁹⁾、刳橋は当時の身近な形式であったようである³⁾。錦帯橋創建から遡る 1658 年、広嘉は江戸参勤の帰りに木曾路を通っており⁷⁾、その際に猿橋を見ていると思われる。また広嘉は、技術者に諸国の橋梁建築を見学させており⁷⁾、その際にも猿橋を調査させていると推察されるが、真偽のほどはわからない。実際には、錦帯橋創建時以前の日本において、木造のアーチ構造が架橋されたという記録がないこと、また中国にも錦帯橋のルーツとなる橋がないことが確認されている¹⁰⁾。このことから、猿橋が錦帯橋のヒントになったのではないかと考えられ、錦帯橋は猿橋の持ち送り構造を基本として計画されたものであると推察できる。ヨーロッパではローマ帝国の時代に、支間 35 ～ 38 メートルの木の梁を組み合わせ



図－4 西湖誌（写本挿絵）寛文年間（1661～1672）岩国徴古館所蔵



写真－2 河床の石張り



写真－3 猿橋

当時のアーチ橋はすべて石造りであり、長崎、熊本、鹿児島などの九州地方で多く架けられていた¹²⁾。アーチ橋は、主に圧縮力で死荷重に抵抗する。石材は圧縮力に強い材料であるためアーチ構造に適しており、古代ローマの水道橋にみられるように、石造アーチは古くから世界の各地で建設されていた。アーチを構成する石材は小さなブロックでも可能であり、ブロックとブロックの間に働く圧縮力が接合の役割を果たし、古代においても架設が比較的容易であったと考えられる¹³⁾。

日本で最も古い石造アーチは長崎の眼鏡橋で、1634 年の創建であるから、広嘉が錦帯橋を構想していた時期には、既にアーチ構造についても研究していたと思われる。広嘉は、錦帯橋創建の前年に、技術者を長崎の独立のもとに送っており³⁾、眼鏡橋等の石造アーチを学ばせていたと思われることから、錦帯橋の施工には、石造アーチの原理が応用されていると考えられる。石造アーチの研究から、複数の石をアーチ形にすることによって、強固に支えられることができることはわかっていたはずである。アーチ橋が桁橋よりも長い支間を可能にするということは、模型実験などからわかっていたと推察されるが、猿橋に習い、上部工は軽い木造で基礎への負担を減らしながら、前例のない木造アーチ橋を計画するというアイデアは、当時の技術においては画期的であったと考えられる。

近年、依田¹⁴⁾の研究により、錦帯橋は力学的にアーチ構造であることが、模型を使った実験により証明されている¹⁴⁾。有限要素法を用いた数値解析シミュレーションでも、中央の大棟木には大きな圧縮応力が発生しており、大棟木がアーチ構造のキーストーンの役割をしているのである¹⁵⁾ (図-5)。

錦帯橋のアーチ形状は、創建当初の頃から最も安定したアーチ形状であるカテナリー曲線（懸垂線）であることが、松塚¹⁶⁾により確認されている。松塚¹⁶⁾によれば、カテナリーはコンピュータのない時代でもロープやチェーンがあれば誰にでもすぐ作れるアーチ曲線であり、錦帯橋は、創建の天才的な棟梁である児玉九郎右衛門によってカテナリーを利用し創建されたとしている。

おそらく児玉九郎右衛門は、カテナリー曲線が最も安定したアーチ形状であることを、模型実験から学んだと思われるが、実験結果を踏まえながら、構造的な美しさを追求していたのではないかと推察する。力学的に合理性のある構造物には、構造美という、造形美にはない独特の美しさがある。それは構造物としての安定感がありながら、決して過剰な安定感ではなく、洗練された軽快な美しさである。力学や計算機に頼れない時代、前例のない構造を実現させようとする時、構造的に理にかなった構造物は、結果的に美しい形状であることを、技術者の本能で感じ取っていたのではないかと想像する。



8. 錦帯橋以降

錦帯橋以降、木造アーチ構造が建設されなかった理由はいくつか考えられるが、一つは、錦帯橋が、他が模倣できない程に高い技術で建造された橋梁であるということが考えられる。例えば、アーチ構造の要となる支間中央の大棟木の大きさは、口伝により代々の棟梁だけに伝えられたといい¹⁷⁾、平成の架け替えでも、どのくらいの長さで切断すればいいのか最も悩んだ点であったという¹⁸⁾。当時の技術者達の数々の知恵と工夫を結集したものが錦帯橋であると言える。

もう一つは高額な建設費であると考えられる。平成の架け替えの総事業費は約 26 億円である³⁾。江戸時代は徳川幕府でさえも、財政難に苦しんでいたことを考えると¹⁹⁾、事業費を捻出するのは困難であったと思われる。

9. 技術の伝承

平成の架け替えは、昭和の再建後、約 50 年ぶりに行なわれたが、50 年という年月が人から人への架け替え技術の伝承を途絶えさせていた。50 年ごとの架け替えでは、大工等技術

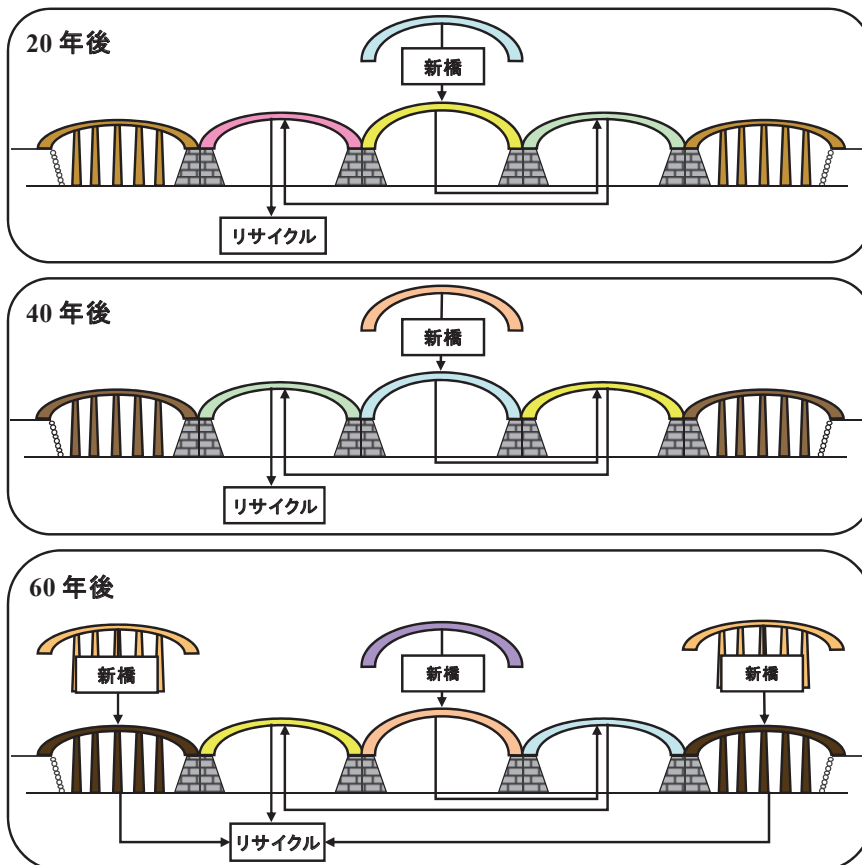
者が工事に携われるのは生涯 1 回である。錦帯橋架橋技術を確実に後世に伝えていくために、アーチ 3 径間のうち 1 径間を 20 年ごとに架け替えることが、岩国市の基本方針として決定した。新たに架け替えられたアーチは 20 年ごとに解体され、傷んだ部分を取り替えて別の径間に移設される。これにより、新調したアーチ橋はローテーションしながら 60 年間活用されることになる。今後の架け替えの概要を図－6 に示す²⁰⁾。

10. 現在の錦帯橋

錦帯橋の経年変化を調査することにより、劣化の兆候を早期に見つけ、発見時には然るべき対応策をとって橋の延命を図る目的で、1953 年から 2014 年までの間に、約 5 年ごとに合計 12 回の定期調査が早稲田大学により実施されている（表－1）。橋の変位と振動の計測を行い、変位の計測には毎回、荷重として山口県立岩国高等学校の生徒が協力している。若い世代が土木構造物の維持に携わることは好ましいことである。また、強度試験の様子は毎回地元の新聞やテレビで報道され、錦帯橋が郷土の誇りとして、地域に密着した存在であることが窺える。

表－1 定期調査

定期調査	実施時期
昭和 No.1	1953.3
No.2	1963.8
No.3	1967.8
No.4	1973.8
No.5	1978.8
No.6	1983.8
No.7	1988.8
No.8	1993.8
No.9	1998.8
平成 No.1 (No.10)	2004.8
No.2 (No.11)	2009.8
No.3 (No.12)	2014.9



図－6 今後の架け替え方針概要 錦帯橋みらい計画（基本計画）

2014年9月に行われた第12回強度試験は、岩国高等学校の生徒124人（推定重量約7トン）が重し役となった（写真－4）。強度試験結果²¹⁾は、最大で1ミリ程度のたわみしかなく、2004年の平成の架け替え時とほぼ同じ値を示した。現在の錦帯橋は強度的に健全であることが確認されたのである。

11. 未来への継承

架け替え時における錦帯橋の構造図が、1699年の創建当初（図－7）から残されている。これは、錦帯橋の架橋技術を藩の秘伝として大事に守ってきたという証拠である。古図面のほかにも多くの古文書が残されており、しかも、いつどこで誰が入手したかが明らかなものが多いという⁵⁾。岩国藩が、文化、技術の伝承の重要性を認識していた表れである。

現在、錦帯橋の世界遺産への登録を目指し、様々な方面からのアプローチが試みられている。登録に向けた課題のひとつに、錦帯橋が架け替えを行っていることによる、材料の真实性の問題がある。錦帯橋の本質は木橋であることと考えるが、木橋を維持するためには架け替えは不可避である。伊勢神宮や出雲大社の遷宮にみられるように、木造構造物は架け替えが必須である。技術の伝承は架け替えにより成されるのであり、架け替えによる技術の伝承にこそ価値があると思われる。

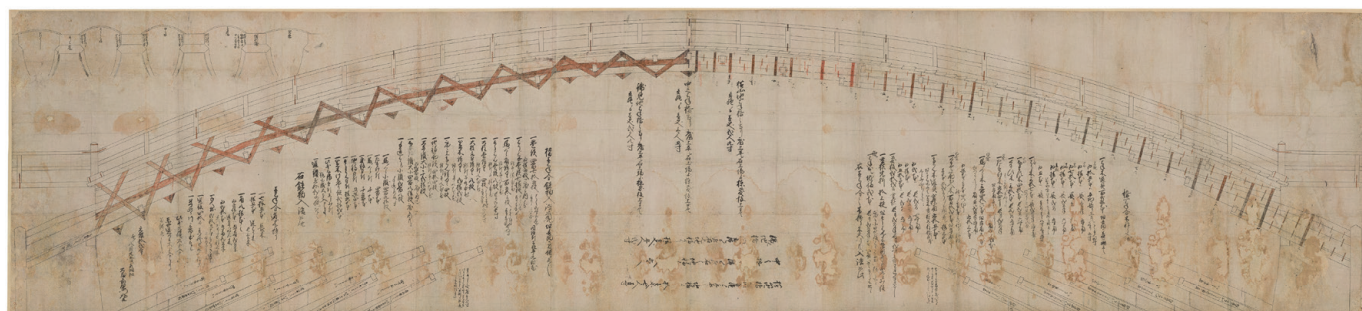
12. おわりに

明治になり土木分野にも近代化が進み、昭和の架け替え時に、錦帯橋をコンクリート橋に架け替えるという案が出た³⁾。耐久性、経済性の面からは、コンクリート橋は木橋よりはるかに優位である。しかし、岩国市は木橋としての錦帯橋を選択した。これは岩国の人々がいかに広嘉創建の錦帯橋を愛していたかということに尽きる。昭和26年に開かれた、文部省、建設省、山口県、岩国市、大学関係者らによる再建に関する会議でも、文化財的価値について議論されており、コンクリート橋改造の強い意見があったにもかかわらず、世界的価値のある文化財を残すべきとの結論に至っている。もし今の錦帯橋が鋼やコンクリートで造られていたら、岩国は、日本中の人々が訪れる現在のような観光地にはなっていないと言えるであろう。錦帯橋は、ただ単に木橋としての技術が優れているというだけでなく、江戸時代の風景を現代によみがえらせ、訪れた人が、自然と見事に調和した美しさを楽しむ希少な構造物なのである。

謝辞：本論文を作成するにあたり、岩国徴古館の松岡智訓氏に多くのご教示をいただきました。ここに記して謝意を表します。また早稲田大学理工学部依田照彦教授には、終始的確なご助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。



写真－4 地元高校生に荷重となってもら定期調査の様子



図－7 元禄十二年反橋図 元禄12年（1699）岩国徴古館所蔵（所蔵名 錦帯橋掛替図面）

参考文献

- 1) Sawako Tomioka, Tomoo Tomoda, Teruhiko Yoda : Design of Arch and Transfer of Technology in Kintaikyo-Bridge, IABSE Nara Spring Conference 2015
- 2) 小林一郎：錦帯橋の唯一性に関する 2 つの視点、土木史研究 講演集 Vol.30、2010 年
- 3) 岩国市：名勝錦帯橋架替事業報告書、平成 17 年 3 月
- 4) 重岡章夫：世界の名橋「錦帯橋」、土木史研究 講演集 Vol.32、2012 年
- 5) 中国新聞社：錦帯橋かいわい～架け替えとともに～、平成 17 年 3 月
- 6) 三浦正幸：城の作り方図典、小学館、2005 年
- 7) 岩国市史編纂委員会編：岩国市史上、岩国市役所、昭和 45 年
- 8) 山本宏：橋の歴史－紀元一三〇〇年ごろまで－、森北出版株式会社
- 9) 松村博：日本百名橋、鹿島出版会、1998 年
- 10) 第 2 回錦帯橋国際シンポジウム報告書、平成 22 年 11 月
- 11) 合田良實：土木と文明、鹿島出版会、1996 年
- 12) 高橋裕：現代日本土木史第二版、彰国社
- 13) 倉西茂、中村俊一：最新橋構造第 2 版、森北出版株式会社
- 14) 依田照彦：第 1 回錦帯橋国際シンポジウム報告書、平成 20 年 1 月
- 15) 依田照彦、赤木領太、森本博行：錦帯橋の構造特性に関する歴史的考察、土木史研究 講演集 Vol.24、2004 年
- 16) 松塚展門：錦帯橋のアーチ形状に関する基礎的研究、日本建築学会 学術講演会、2001 年
- 17) 依田照彦：錦帯橋が現代に伝えること、土木史フォーラム No.40、2011 年
- 18) 藤野陽三監修：プロが教える橋の構造と建設がわかる本、ナツメ社、2012 年
- 19) 松村博：論考 江戸の橋－制度と技術の歴史的変遷、鹿島出版会、2007 年
- 20) 岩国市：錦帯橋みらい計画（基本計画）－錦帯橋を未来につなげるために－、平成 26 年 3 月
- 21) 早稲田大学理工学術院総合研究所：錦帯橋強度試験報告書、平成 26 年 12 月