

欧米の歴史的木造アーチ橋との比較を通して見た 錦帯橋の独自性に関する一考察

本田 泰寛¹・小林 一郎²

¹正会員 第一工業大学講師 自然環境工学科（〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2）
E-mail:y-honda@daiichi-koudai.ac.jp

²正会員 熊本大学大学院教授 自然科学研究科（〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1）
E-mail:ponets@kumamoto-u.ac.jp

本研究の目的は、錦帯橋が有する木造アーチ橋としての価値を明らかにすることである。日本の木造文化の粋と評される錦帯橋であるが、国外の歴史的な木造アーチ橋と比較した場合、その特徴はどういった点に見いだせるのだろうか。世界文化遺産への登録を目指すにあたり、このような国際的な視点からの検討も重要であると考え、本稿では主としてアーチ構造に着目し、欧米で建設された事例の分析と比較を通じて、錦帯橋が世界文化遺産として有する独自性の解明を試みた。

Key Words : Kintai-kyo, western, timber bridge, arch bridge, world heritage

1. はじめに

著者らはこれまで、世界文化遺産登録に向けて錦帯橋（山口県岩国市）の価値を明らかにするための調査・研究に取り組んできた¹⁾²⁾³⁾。錦帯橋は日本3奇橋のひとつにも数えられる独特な構造を有し、日本の名橋の最右翼⁴⁾とも評される我が国を代表する木橋である。本研究では、こうした従来の錦帯橋に対する評価に加え、海外の事例との比較を通じた錦帯橋の木造アーチ橋としての評価を試みた。

2008（平成20）年に岩国市にて開催された錦帯橋国際シンポジウムでは、イコモスアドバイザーから遺産の価値を「国際（普遍）レベル、国レベル、地域レベル⁵⁾」に整理しておくことの必要性が指摘された。また、評価基準への適合性に関する議論に終始することなく、対象となる構造物が世界文化遺産として示しうる価値を見出すことも重要であると考え、こうした観点から本研究は、欧米の歴史的な木造アーチ橋との比較を通して、錦帯橋が有する木造アーチ橋としての独自の価値（独自性）を見出すことを目的とする。

本稿ではまず錦帯橋の概要及び錦帯橋式アーチ出現の技術的背景についてまとめ（2章）、次いで、石造アーチ橋との関連性を軸に、欧米の代表的な木造アーチ構造（3章）および木造のトラスアーチ橋（4章）が有する構

造上の特徴や技術者の考え方を分析する。さらに、主として19世紀初頭に見られる上路式アーチ橋の展開と特徴をまとめる（5章）。以上を踏まえ、錦帯橋が有する木造アーチ橋としての独自性について考察する（6章）。

なお本稿では、桁橋を含む木造橋梁全般のことを「木橋」と呼び、木橋の中でもアーチ構造を有する、あるいは設計者によってアーチ橋とされている木橋を特に「木造アーチ橋」と呼ぶこととする。

2. 錦帯橋創建時のアーチ架橋技術

(1) 錦帯橋の概要

錦帯橋は山口県岩国市を流れる錦川に架かる木橋で、橋長は193.3mである。全5径間のうち、中央の3径間は反橋と呼ばれるアーチ構造で（それぞれ35.1m）、両側径間は柱橋と呼ばれる桁構造（34.8m）である。反橋は5主構のアーチリブで構成されている。錦帯橋を特徴づけているのは、アーチリブの組み方にある。アーチリブは、左右それぞれのアーチ基部から迫り出すように桁を組み、中央部に位置する大棟木および小棟木で連結されるような構造になっている（図-1⁶⁾）。本稿ではこれを錦帯橋式アーチとする。

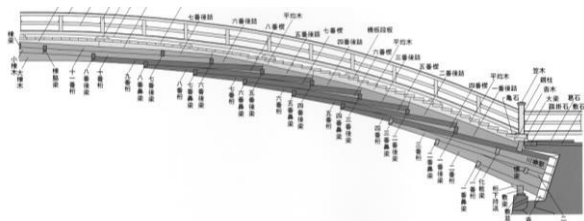


図-1 錦帯橋のアーチリブ側面図

(2) 秘伝書の存在

腰原は、岩国の大工がアーチの形状を決定する方法を知っていた可能性を指摘している⁷⁾。1788年に出版された『方圓順度』には日本の伝統的な建築技術が記述されており、「アーチのスパンと最初の登り勾配を特定した場合のスパン中央の高さを算出する方法」や、「アーチのスパンと中央の高さを特定した場合の円弧の中心、半径を算出する方法」が見られる。方圓順度の出版は錦帯橋より後であるものの、それ以前から秘伝として考え方が伝達されていた可能性がある。

(3) アーチ構造に対する理解

日本で最初に石造アーチ橋が建設されるのは1634年（長崎市）であり、錦帯橋が創建されるのはその39年後のことである。その間、長崎では5橋の石造アーチ橋が建設されている。錦帯橋の創建に携わった大工らがこれらの石橋や絵画などを通じてアーチ橋の形態や存在を知っていた可能性はあるものの⁸⁾、アーチの原理を応用可能なレベルで理解していたとは考えにくい。なぜならば、石造アーチ橋に倣って木造アーチを制作しようとした場合、錦帯橋式アーチのような構造が出てくるとは考えにくいからである。この点については、主にヨーロッパの事例を参照しながら3章及び4章で確認したい。

3. 建築物の木造アーチへの影響

ヨーロッパにおける木材の利用は少なくともローマ時代にまでさかのぼることができ、たとえばウィトルウィウスの『建築書⁹⁾』には木材の伐採時期や取り扱い方などが詳細に記されている。これはヨーロッパにおける木造文化の存在を示唆するものであり、多様な木橋が建設された要因として捉えることができる。その中には木造アーチ橋も含まれているが、これらの構造を見ると、石造アーチ橋が大きな影響を及ぼしていたことがわかる。

16世紀イタリアの建築家セルリオ（Sebastioano Serlio）が著した『建築書 第7巻¹⁰⁾』には、図-2のBとCに示すような木造アーチが見られる。両者はいずれも木材を半

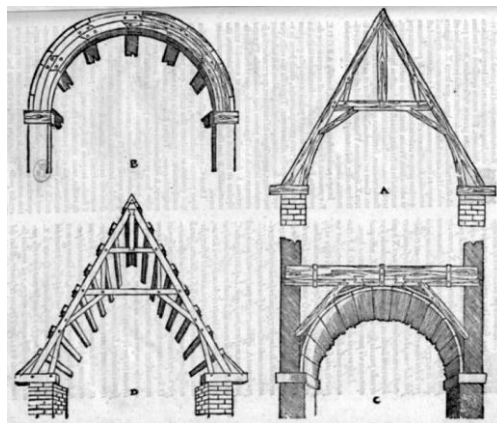


図-2 セルリオの木造アーチ

円アーチ状に組んだ構造である。このうち、図中B（左上）に示されるアーチは、湾曲した木材を組み合わせた構造になっている。図中C（右下）に示されているのはさらに簡易な方法で、方杖で支えられた単純桁をアーチで支えている。アーチ部分の構造は、ゆるく湾曲させた細長い木板を半円アーチ状に並べたもので、樽や木桶などにも通じるようなアイデアである。

同じく16世紀フランスの建築家ド・ロルム（Philibert de l'Orme）は『新しい発明¹¹⁾』において、図-3に示すような木造アーチ構造を考案している。ド・ロルム式アーチとも呼ばれるこの構造は従前の洋風小屋組に替わるものとして考案された。これは、湾曲した木板を迫石のように並べることでアーチ環を形成するもので、木材による石造アーチ構造の模倣を目指している。特徴は、小屋組に用いられるような水平材を用いる必要がなく、小さい部材だけで架設可能であるという点にある。ド・ロルムによれば、「パリで売っている薪程度の大きさ¹²⁾」の木材のみを用いて作成可能なこのアーチは、材料費の削減が可能な上に、部材の運搬と組立てが容易になるとしている。

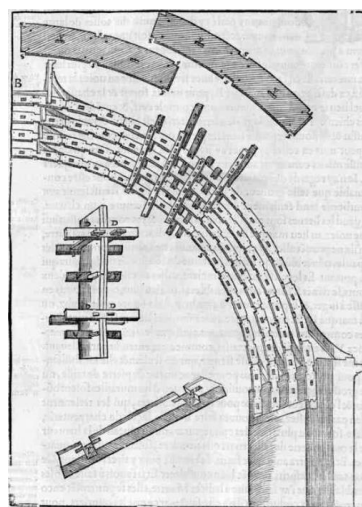


図-3 ド・ロルム式アーチ

しかしこのアーチは、建築物一般に広く受け入れられることはなかった。なぜならば、本構造によって得られる経済性は、工費の上昇によって相殺されてしまうと考えられていたためである。ド・ロルム自身は、このアーチの架設には熟練の大工が欠かせないことを指摘している¹³⁾。19世紀に入り、調馬場のような広い空間が必要とされる建物に利用されるようになった。

4. トラスアーチ橋に見られる石造アーチの影響

(1) 概念の流用

イタリアの建築家パラディオ（Andrea Palladio）が考案した橋梁の中には図-4に示すようなアーチ橋が含まれている¹⁴⁾。フランス土木局の技術者ゴーティエ（Henri Gautier）は『橋梁概論¹⁵⁾』においてこのトラスアーチがアーチ環または支保工と同じ形状であることや、鉛直材と斜材によって迫石が配置されているようであること、さらに奇数分割であることによって、中央に要石が配されていることを解説している。

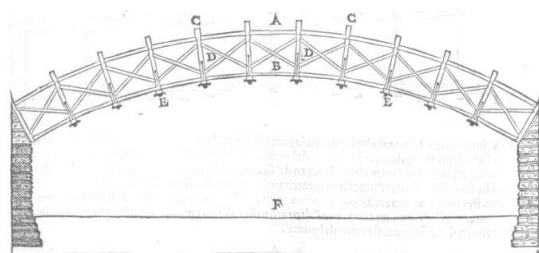


図4 パラディオのトラスアーチ

パラディオ自身は、このアーチ構造について詳細に説明していないため、ゴーティエの見解がどの程度正確なものであったかは明確ではない。しかしながらゴーティエの言葉からは、木造アーチ構造が、明らかに石造アーチ橋の概念を通じて理解されていることが見て取れる。

パラディオのトラスアーチは実際に建設されてはいないが、1753年にイギリスで建設されたハンプトンコート橋では7スパンのアーチ橋として実現されている（図-5¹⁶⁾）。本橋は完成から25年後の1778年に架替えられたが、構造が繁雑になるとの理由から桁橋が採用された。

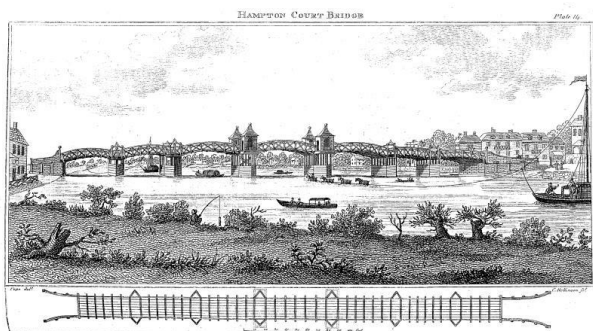


図5 ハンプトン・コート橋

(2) 構造の模倣

1803年、スコットランドのアバディーン近郊には図-6に示す上路式木造アーチ橋が建設された。本橋の設計・施工を手がけたバーン（James Burn）は、「筋交い入りのフレームをアーチ状の平面（支保工）上に並べる」工法を開発したと言われている¹⁷⁾。図-6下段の平面図は、フレームが環石のように連続で配置されているように捉えることも可能である。テルフォードは『エジンバラ百科事典』において¹⁸⁾、本橋のスパンドレル部分の部材が石造アーチ橋の迫石と同様の方法で床版を支持していると解説している。バーンは建築家・大工として建築物を手がけるかわら7橋の橋梁を設計・施工したとされる。そのうち4橋は石造アーチ橋、3橋が木造アーチ橋であることを考えると、石造アーチ橋建設と大工としての経験によって、木造アーチ橋の建設へと至ったと考えることができる。

またアメリカにおいて建設されたトラスアーチ橋にも、石造アーチ橋の影響を見ることができる。世界橋梁史を

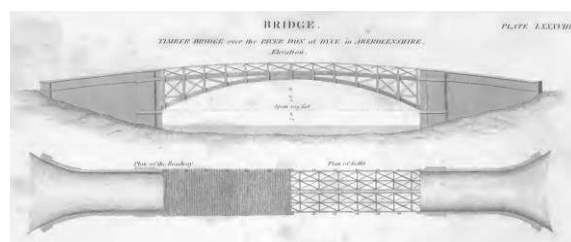


図-6 アバディーン近郊に架けられた橋梁

概観する『橋梁建築概論¹⁹⁾』を著したポップ（Thomas Pope）は、1805年にフィラデルフィア近郊に建設されたパーマメント橋（図-7）について、「この橋はキングポストと筋交い、そして石造アーチそれぞれの原理を組み合わせた、職人技の傑作である」と評している²⁰⁾。

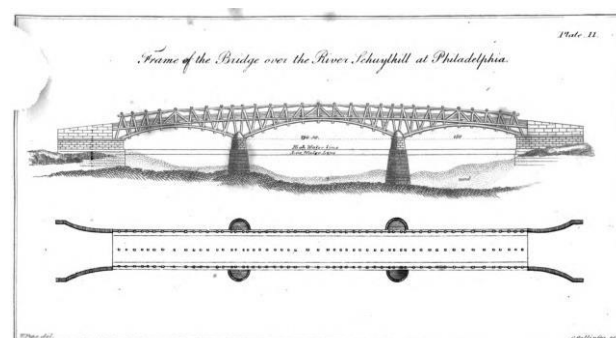


図-7 パーマメント橋

5. 上路式アーチ橋に見られる合理性の追求

19世紀初頭になると各国で様々な木造の上路式アーチ橋が見られるようになる。それらの中には前節で見たトラスアーチは見受けられず、集成材の原型とも言えるよ

うな、木材を束ねてアーチリブを構成する方法が主流となってる様子が見て取れる。

(1) 上部工の発展

カペル橋やシュプロイアー橋に代表されるように、スイスでは多くの屋根付き橋が建設されていた。構造はトラスとアーチを基本の多様な組み合わせが試みられていた。とりわけ、1765年にグルーベンマン兄弟によって建設されたヴェッチンゲン橋（図-8²¹⁾では、アーチスパンが61mに達した。本橋のアーチリブは、角材状の部材を7層に重ね、上下両端からボルト状の器具で圧着することで構成されている。

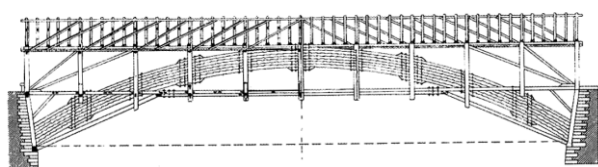


図-8 ヴェッチンゲン橋

18世紀末以降には、アーチリブ自体が主要な構造となった上路式アーチ橋が各地で見られるようになる。その主要な役割を担った一人として、バイエルン王国の土木局技術者であるヴィーベキング（Carl Friedrich von Wiebeking）をあげることができる。1809年に彼が設計したバンベルク橋（図-9²²⁾は、スパン62m、ライズは9.7mと大規模であり、3列のアーチリブはヴェッチンゲン橋と同様、角材を重ねることで構成されている。

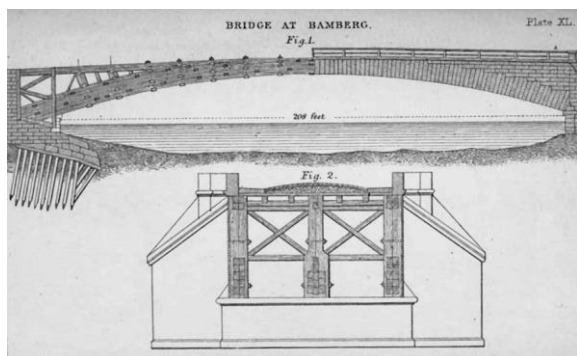


図-9 バンベルク橋

この他にも、フランス、イギリス、ベルギー各国で様々な上路式木造アーチ橋が建設されている²³⁾。また、例えばフランスでは木造アーチ橋に関する特許申請なども数件見られるが²⁴⁾、小さい部材を束ねて大きな部材をつくるという、いわゆる集成材に近い手法によってアーチリブの構成を試みるという共通点が見られる。

この時期は、上路式木造アーチ橋の定着・普及により木造アーチ橋の時代が到来するかのよう状況にも見受けられる。しかし、信頼性・耐久性が高い石造アーチ橋の存在や、より近代的な技術である鉄橋の登場によってこの傾向は次第に弱まっていった。

(2) トラスとアーチの併用に見られるアーチの役割

アメリカにおけるいくつかの事例は、木造アーチ橋の役割を見る上で興味深い事実を示している。よく知られるように、19世紀初頭にはパーマー、バー、ワーンワグらによってフィラデルフィア近郊に数多くの屋根付き橋が建設された。これらの橋梁に見られる特徴のひとつに、バートラスに見られるようなトラスとアーチの併用があげられる。図-10は1804年に建設されたハイウェイブリッジを示したものである。またワーンワグはコロッサス橋（Colossus Bridge）においてスパン102mを実現する。これはグルーベンマン兄弟による橋梁のスパンを大幅に超えるものであり、欧州で培われてきた木造アーチ橋の技術はアメリカで大きな発展を遂げたといえるだろう。しかしながら、これらの屋根付橋に設けられた木造アーチは、トラス橋を補強することが主要な役割であり²⁵⁾、1840年代にハウトラスやプラットトラスが登場するに従って、木橋におけるアーチの利用は徐々に少なくなっていく。

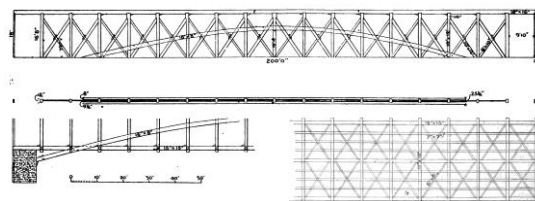


図-10 ハイウェイブリッジ

(3) 下部工の石造化

本節では橋脚本章で対象とした時期に建設された木造アーチ橋はすべて、橋脚・橋台が石造構造となっている。しかし、例えば4章1節にて取りあげたハンプトン・コート橋の橋脚は、水深1m程度の川に杭を打ち並べ、これを木の板で囲った中に砂利を詰めるという方法がとられている。また、カエサル橋に代表されるような桁橋の場合には必ずと言っていいほど木製橋脚（木杭）が用いられていることを考えると、木橋の橋脚が石造であることの必然性はなかったのではないだろうか。

この背景には、木材の耐久性の問題と、石造アーチ橋の影響があったと考えられる。木橋の利用、とりわけ木造アーチ橋の実用化を検討する技術者らにとって、耐久性は重要な課題であった。ヴィーベキングは木橋の耐久性を大きく制限するのが常に水中にさらされる橋脚であると指摘しており、これを石造とすることで橋脚及び上部工の架け替えコストを削減できるとしている²⁶⁾。石造橋脚の耐久性は既に石造アーチ橋によって実証されているため、石造橋脚の耐久性は改めて検討する必要性が低かったであろうことは容易に想像される。

この論理からは、木造アーチ橋においては、下部工の流出さえ防ぐことができれば、上部工は実用に耐えるも

のであるとの考え方を見て取ることができる。

6. 欧米の事例との比較

(1) 石造アーチ橋による影響の有無

建築物のアーチやトラスアーチ橋においては、石造アーチ橋の影響が大きかったことを確認した。アーチ橋の模倣を意図して木造アーチ橋を架設しようとした場合、迫石を木材で置き換えようと試みるのはごく自然なことであろう。錦帯橋の構造には、同様の模倣を試みた跡跡は見られない。

(2) 上路式アーチ橋との共通点

ヴィーベキングによる上路式アーチ橋やフランスの特許に見られるアーチリブの構造は、小部材を用いて大部材を構成することで、材料強度の均質化、構造の簡略化、耐久性の向上を企図していた。錦帯橋式アーチを見ると、小部材を用いて大部材を構成し、材料強度を均質化するという点に共通点を見出すことができる。

また錦帯橋の橋脚は、現在はRC製の橋脚に石積みの化粧が施されたものになっているが、創建時から昭和の架け替えまでは空石積橋脚が用いられていた（写真-1）。この背景にはやはり、流されない橋脚という、欧米と同様の発想を持っていたためであると考えられる。

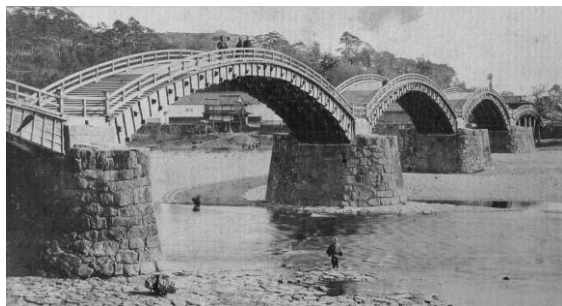


写真-1 明治10年頃の錦帯橋（岩国市提供）

(3) 錦帯橋式アーチの独自性

錦帯橋が建設される1673年頃、岩国の大工は絵図などを通じてアーチ橋の形状を知っていた可能性はあるものの、その原理に対する理解が当時の欧米の大工やエンジニアと同様のものではあったとは考えにくい。つまり錦帯橋は、アーチという概念が十分に普及していない日本において、設計者と大工らによる技術及び技能によって完成された木造アーチ橋である。

江戸期の日本という場所で独自に建設された錦帯橋は、世界の木橋史において独自の位置を占めうる存在である。

7. おわりに

本研究では、欧米の歴史的な木造アーチ橋との比較を通じて、国際レベルでの木造アーチ橋としての錦帯橋の評価を試みた。その内容をまとめると次のようになる。

2章では錦帯橋の概要及び錦帯橋式アーチ出現の技術的背景についてまとめた。錦帯橋創建時の大工は、アーチ橋の形態や存在を知っていたと思われるが、実際に応用するには至っていない可能性を指摘した。

3章及び4章では、建築物の木造アーチとトラスアーチ橋の成立において、石造アーチ橋の構造や概念が大きく影響していたことを明らかにした。

5章では、エンジニアによる合理性の追求によって、木造上路式アーチ橋の上部工が集成材状のリブアーチへと収束していったこと、下部工は石造の橋脚・橋台が用いられていたことを指摘した。

以上を踏まえ、6章では欧米の木造アーチ橋と錦帯橋との比較を通して、木造アーチ橋としての錦帯橋が有する独自性を明らかにした。

参考文献

- 1) 本田ほか：錦帯橋との比較研究に向けた欧州木造アーチ橋に関する歴史調査、『土木史研究・講演集 vol.31』, pp.85-88, 2011.6
- 2) 本田ほか：フランスにおける木造アーチ橋の発展『土木史研究・講演集 vol.33』, pp.209-214, 2013.6
- 3) 本田：欧米の木橋（錦帯橋世界文化遺産専門委員会編：『奇跡の名橋 錦帯橋』, 岩国市世界遺産推進室, pp.90-113, 2013)
- 4) 松村：『日本百名橋』, pp.194-198, 鹿島出版会, 1998
- 5) 岩国市：『錦帯橋国際シンポジウム報告書』, 2008
- 6) 岩国市：『名勝錦帯橋架替事業報告書』, 2007
- 7) 腰原：錦帯橋と木造文化（錦帯橋世界文化遺産専門委員会編：『奇跡の名橋 錦帯橋』, 岩国市世界遺産推進室, pp.56-70, 2013)
- 8) 前掲3)
- 9) ウィトルーウィウス著、森田訳：『建築書(De Architectura)』, 東海大学出版会, 1979
- 10) S. Serlio, *Architecturæ liber septimus*, p.199, Francfort, 1575
- 11) P. De l'Orme, *Nouvelles inventions, pour bien bastir à petits frais, trouvées naguère par Philibert De l'Orme, Lyonnais, architecte, conseiller et aumônier du feu Roi Henri, et abbé de Saint-Eloi les Noyon*, p.31, Paris, 1561
- 12) De l'Orme, *ibid*, p.31
- 13) *op. cit.*
- 14) A. Palladio: *Les quatre livres de l'architecture, mis en français*, p.164, 1650 [original 1570]
- 15) H. Gauthier: *Traité des Ponts où il est parlé de ...*, p.14, ed. 1765
- 16) T. Pope: *A treatise on bridge architecture*, p.92, 1811
- 17) A.W. Skempton et al.: *A Bibliographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland Volume I 1500-1830*, pp.104-105, ICE and Thomas Telford Limited, 2002
- 18) Hg. D. Brewster: *The Edinburgh Encyclopedia volume IV*, p.488, 1830
- 19) T. Pope: *A treatise on bridge architecture*, 1811
- 20) T. Pope, *ibid*, p.141
- 21) J. Killer: *Die Werke der Baumeister Grubenmann, Ein Baugeschichtliche und Bautechnische Forschungsarbeit*, 1942
- 22) T. Tredgold: *Elementary principles of carpentry*, p.244, 1875
- 23) J.-C. Krafft: *Plans, coupes et élévations de diverses productions de l'art de la charpente exécutées tant en France que dans les pays étrangers tome III*, Paris, 1805
- 24) 例えば, «Nouveau système de ponts», V. au 6e supplément de catalogue, p.58. Du 10 sep 1831, Brevet de perfectionnement et d'addition au Brevet d'invention de 15 ans, pris le 31 mai 1830, par Polonceau, inspecteur divisionnaire des Ponts et chaussées à Paris
- 25) Minnesota Dep. of Transportation: «Timber as a bridge material», *USFS Timber bridge manual*, p.1-11
- 26) R.-K. F. Wiebeking: *Traité contenant une partie essentielle de la Science de construction des ponts*, p.105, 1810

(2016. 4. 11 受付)