

フランスの橋梁建設に見られる 木造アーチ構造の発展

本 田 泰 寛

第一工業大学 自然科学研究科 講師 〒899-4395鹿児島県霧島市国分中央1-10-2
E-mail:y-honda@daiichi-koudai.ac.jp

Development of Timber Arch Structure for Bridge Construction in France

Yasuhiro HONDA

Department of Environmental Engineering, Daiichi Institute of Technology
1-10-2 Kokubu Chuo, Kirishima City, Kagoshima 899-4395, Japan

This paper reviews the process of the use and the development of timber arch bridges in France where the masonry bridges were used frequently for road construction. Being less resistant and more expensive than the masonry bridge, the timber bridge was taken as temporary bridge. Therefore the timber bridge was hardly accepted and was used in France. However, through the analysis of some patents during the 19th century, it is illustrated that such circumstance led several engineers to develop their own method to make a timber arch by overcoming the demerits of the material. Furthermore, this paper clarifies that the innovation of the masonry bridges brought about the development of timber arch of falseworks.

Key Words : *timber bridge, arch bridge, laminated timber, arch shoring, France*

1. はじめに

著者はこれまで、錦帯橋との比較研究を目的として、欧米における木造アーチ橋に関する研究をおこなってきた¹⁾。我が国は木造文化を育んできた国として認識されているが、西欧においても、建設分野における木材の利用はローマ時代にまで遡ることができ、長い時間をかけて技術や知識が蓄積されてきたことがわかる。我が国の木造アーチ技術を評価する上でも、こうした国々における木造技術の特質をまとめておくことは意義あるものとする。

本研究では、フランスの橋梁建設に見られた木造アーチ構造に着目している。これまでフランスの橋梁史研究においては、メスキヤマレーらによって代表的な木橋が紹介されているものの^{2),3)}、あくまでも石造アーチ橋を補完するものとして位置づけられている。確かに、主に技術的な問題や耐久性の低さから、木橋全体に対する信頼性は低く、仮橋や簡易な桁橋はあっても、木造アーチ

橋が利用される例は極めて少なかった。しかし、木造アーチ構造の成立や発展という点に着目してみると、こうした限られた条件下ならではの特徴を見ることができる。

以上のような視点から、本稿では、主として文献等で木造アーチ橋の建設が確認できる18世紀以降を対象として、フランスにおける木造アーチ橋、および石造アーチ橋建設に用いられた支保工の変遷をたどり、その発展の経緯と特徴をまとめる。なお本稿では以後、桁橋を含む木製の橋梁全般のことを「木橋」と呼ぶ。さらに、史料内の記述内容などからアーチ構造であると考えられるものや、アーチ橋として設計されているものを特に「木造アーチ橋」と呼ぶこととする。

2. フランスにおける木橋の位置づけ

(1) 木橋利用の割合

はじめに、フランスの道路網整備において木橋がどの

程度利用されていたのかを確認しておきたい。トリュデン地図⁴⁾は1745年から1780年にかけて土木局によって作成されたフランス全土⁵⁾の地図で、都市間の主要道路や河川が記録されている。道路橋図面群は、全部でおよそ1,500橋が収められているが、ほとんどは石造アーチ橋（一部レンガを含む）であり、木橋は82橋、全体の5パーセントとなっている。これらの木橋はすべて桁橋で、アーチ橋は見られない。

その後19世紀初頭、1800年から1812年の間には土木局によって70橋（施工中も含む）の道路橋が建設されている。このうち45橋が石造アーチ橋、25橋が木橋という割合になっている⁶⁾。これらの木橋のうち、アーチ橋は2橋で、残りは桁橋であった。

(2) 仮橋としての木造アーチ橋

1711年に発生したロワール河の増水により、ナントに架かる石造アーチ橋のひとつであるピルミル橋(Pont Pimil)のアーチが数径間にわたって崩壊した。この橋の補修を担当したテヴノン(Thevenon)というナント市のエンジニアは、応急橋としてスパン130ピエ(およそ40m)の木造アーチ橋を計画する(図-1)⁷⁾。この応急橋は、アーチリブおよびスパンドレルに相当する部分がトラスによって構成されており、後の鉄橋に通じるような構造にも見受けられる。テヴノンによればボーム(Baum)という場所に架かっている橋梁を参考にした⁸⁾とある。今のところ、これ以上正確な情報は不明であるが、少なくとも当時のフランスにおいて、同様の構造は既に実用化されていたと見ることができる。

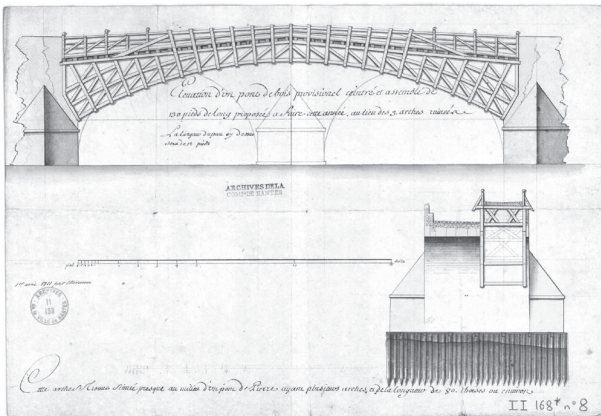


図-1 ピルミル橋案(文献7)より引用

テヴノンは崩壊したアーチを段階的に修復する計画を立てていた。まず上流または下流側半分仮橋を架設して交通を確保した上で残りの半分を補修し、これが完了した後に仮橋部分を補修しようというものである。この施工法をとることによって、河川中に仮橋の橋脚を設置する必要がなくなり、仮橋までもが流出する危険を回避

する。しかしこの提案は、ライヨール(Laillau)という請負業者が「実現不可能である」と判断したため、崩壊部分を大きく迂回する桁橋が建設された。ライヨールが反対するに至った主な理由は、①十分な強度を確保できず、横揺れも大きくなることと、②石造アーチを2度架ける不経済性、の2点である。

前項では、18世紀中に作成されたトリュデン地図に桁橋が掲載されていないことを確認した。さらにピルミル橋の復旧工事では、エンジニアによる設計案の可否が、請負業者の技術的な判断に委ねられており、結果的には桁橋が採用されたことを確認した。ここからは、18世紀初頭のフランスにおいては、設計を担当したエンジニアによって木造アーチ構造の利用が提案されていたという事実があったことがわかる。ただし、現場で施工を担当する者の判断によって、桁橋へと変更されるケースがまま見られたのではないかと考えることができる。

(3) 19世紀における木橋消滅の背景

19世紀中頃からは、木橋全般の利用が徐々に減少傾向にあった様子をうかがうことができる。その理由のひとつはやはり他の材料と比較した時の、木材の耐久性の短さである。例えばナントの市街地における架橋事業では、鉄橋、木橋、吊橋の3種を検討したレポートの中で、木橋に対しては「最も安価なのは木アーチであるが、耐用年数は25年を超えることはないであろう⁹⁾」という見解が示されている。さらに、近代的な橋にしたいという当時の市長の意向もあって、鑄鉄製の上路式アーチ橋が採用されている¹⁰⁾。これまでも石造アーチ橋を補完するような位置づけであった木橋は、鉄橋や吊橋の登場によってより一層、時代遅れで頼りないものとなりつつあったと言えるだろう。

もうひとつの理由は経済性である。ブリッソン(Bernabé Brisson)は、ゴティエが『橋梁概論』においてほぼ無条件に石造アーチ橋を推奨している¹¹⁾ことに対して疑問を投げかけ、道路橋における木橋と石橋の経済性を客観的に評価できるような数式の導出を試みた論文を残している¹²⁾。この論文では、材料費や施工費用に加え、架替えを含む維持管理費まで考慮する必要性を提言している。論文の中で例示されている橋梁の規模や耐久性、架替えの間隔などは仮定の数値であり、実際の架橋事業で採用されたかどうかは不明である。結論として、木橋の方が経済的な場合もありうることを示されているものの、やはり石橋の方が経済的である、という見解を示すに至っている。イニシャルコストは低いけれども、ライフサイクルコストは大きくなってしまふ、という木橋に対する漠然とした認識は、必ずしも十分な形ではなかったかもしれないが、こうした形でエンジニアによる工学的な裏付けがなされたと言うことができる。

木橋から石造アーチ橋への遷移は、実際の鉄道橋建設においても確認することができる。1840年代のフランスでは全国的に鉄道網整備が展開されているが、初期の鉄道橋では頻りに木橋が利用されていた¹³⁾。アーチ橋とする場合には、写真-1¹⁴⁾に示すようなリブアーチが用いられている。この他、1837年にアスニエール(Asnières, パリ～サン=ジェルマン鉄道)に建設された鉄道橋は5連の木造アーチ橋として建設されているが、アーチリブはシャビヨン橋と同様の構造となっている¹⁵⁾。



写真-1 シャビヨン橋(文献 14)より引用

このように鉄道橋では、日常的に木橋が利用されていたようであるが、1846年に建設されたモンルイ鉄道橋以降、この傾向は大きく変わっていった。本橋は、土木局のエンジニアであるモランディエール(Brichateau Morandière)によって設計された石造アーチ橋である。本橋は当初、木橋による建設が予定されていたが、モランディエールは、木橋より低コストの石造アーチ橋を提案し、採用されるに至った。ブリッソンの指摘にもあったように、石橋の建設費用は木橋よりも大きい、と考えるのが常識的なことであったが、モンルイ橋の事例は、木橋に対する石橋の優位性を決定づけることとなり、後の鉄道橋建設に大きな影響を与えることとなった¹⁶⁾。

3. 特許に見られる木造アーチ橋

前章で述べたように、フランスでは木造アーチ橋はもろろんのこと、木橋全般の利用が極めて少なかった。その理由は主に耐久性や経済性にあるが、この他にも、サイズの大きな部材を調達することが困難であったことも大きな要因となっていた。19世紀になると、木材の欠点を補いつつ活用しようというアプローチから、木造アーチ橋の積極的な利用を意図した特許が取得されている。その中には、1900年代にドイツで実用化が進められる集成材の原型となるような技術や、木鉄混合アーチなどを見ることができる。

図-2はモラルール(Barrès du Molard)というエンジニアが考案した木造アーチ橋である¹⁷⁾。スパン60mまでは木材を用い、さらにスパンが大きくなるときには鉄を使ってア

ーチを建設するとしている。木、鉄いずれの場合も、部材の両端同士を鋳鉄製の部品で連結することでアーチリブを作成し、油性塗料を塗布することで耐久性を高めるよう工夫されている。この他にも、モラルールは図-3に示すような特許も取得している。これは板状の部材を貼りあわせることで「たわみ、圧縮、振動に強い」橋梁が実現可能になると述べている。スパンや部材の具体的な数値の提示はなく、コンセプトと期待される効果が記述されているのみであるが、集成材に近いものになっている。

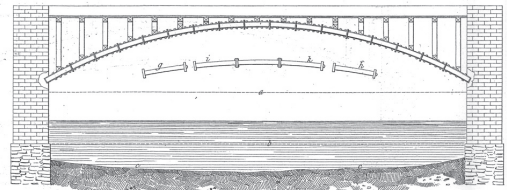


図-2 モラルールの木造アーチ(文献 17)より引用

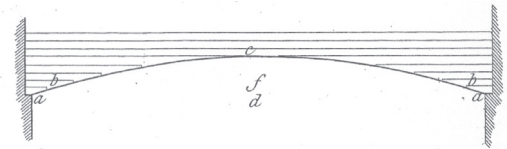


図-3 モラルールの擬似アーチ(文献 17)より引用

ポロンソー(Antoine-Rémy Polonceau)の場合には、木材を貼りあわせて円形、または楕円形断面のアーチリブを作成し、これを鋳鉄製のパイプアーチで「覆う¹⁸⁾」アーチリブ構造に関する特許を取得している(図-4)。この事例は、ポロンソーが木材を用いたアーチリブの作成を意図していたことを示している。実際、この翌年に出願された改良特許の中には¹⁹⁾、前述の特許と同じように薄い板状の木材を貼り合わせてアーチリブを作成する方法が記されている(図-5)。解説書によれば、木材は経済的であること、入念な防水対策を施していれば十分に実用に耐えること、板を貼り合わせることで材料の均質性が得られることなどの利点が記されている。

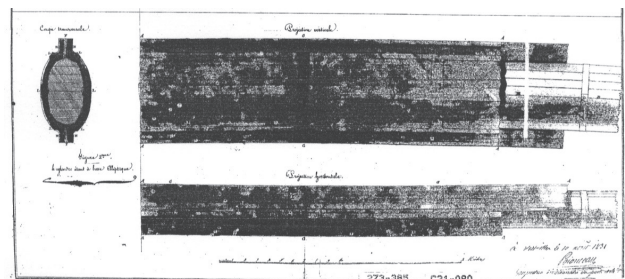


図-4 1830年のポロンソーの特許(文献 18)より引用

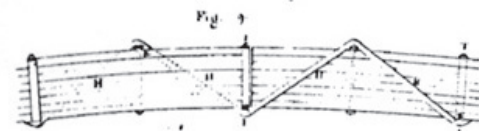


図-5 1831年のポロンソーの特許(文献 18)より引用

ドイツにおいてヘッツァー(Otto Hetzer)が集成材に関する特許を取得するのは1909年のことであるが²⁰⁾、上記の事例からは既にフランスにおいて、これに近いアイデアが70年ほど以前に存在していたことを示している。またポロンソーは、パイプアーチ状のアーチリブを有する上路式アーチ橋を確立したことで知られる。先に見た特許を見ると、その発端が木造アーチリブの実用化を模索する過程にあったと推察することもできる。

木材の調達が可能でなく、技術的にも十分とはいえないような状況において、木造アーチ橋を架けようという工夫が新たな技術を考案するきっかけとなっていることを示している。

4. 支保工に見られる木造アーチ

ここまで見たように、フランスにおいては、木造アーチ橋を建設する機会は少なく、架橋技術が大きく発展する機会も限られていた。一方で、石造アーチ橋を建設するには必ず支保工を架設する必要があることから、石造アーチ橋と全く同じ数だけ、支保工も建設されていたことになる。こうした条件のもと、木造構造物であった支保工にはどのような特徴を見ることができるのであろうか。ここでは、代表的ないくつかの事例に着目して、支保工に対する考え方や構造の変化をまとめる。

(1) 支保工の構造

出版物において支保工に関する記述が見られるのは、ジュース(Mathurin Jousse)の著書が出版された17世紀ごろからである。彼によれば、支保工の架設方法は多様であるため、自著においては半円アーチ、欠円アーチ、籠の手アーチという3種類の石造アーチのための支保工を、自らの実践において最もうまくいった例として紹介している²¹⁾。

次いで1716年には、土木局のエンジニアであるゴージェ(Henri Gautier)が、支保工全般について概説している(図-6)²²⁾。支保工は通常、水平材(entait)、垂直材(poignon)、鉛直材(arbalétrier)で構成され、構造的にはキングポストトラス(ゴージェは「扇形支保工」とも)としてみなされていた。また、水平材を設置する位置の違いによっても呼び分けがある。これらは、アーチの種類やスパンに応じて使い分けられていたようで、ゴージェの場合は、アーチスパンが12トワズ(約23.4m)、6トワズ(11.7m)、4トワズ(約7.8m)それぞれの場合に応じて、自身が考案した支保工を例示している。なおこの案では、全体的に簡素な構造になっているように見られるものの、基本的にはキングポストトラスを踏襲している。

このように、支保工の架設方法は設計者によって様々

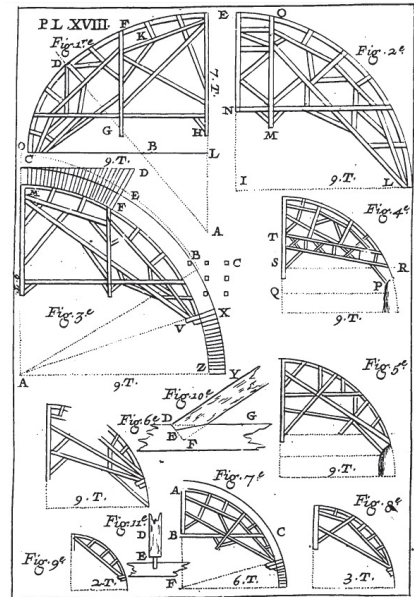


図-6 支保工の構造(文献22)より引用

(Fig.1-Fig.3:ジュース, Fig.7-Fig.9:ゴージェ)

であった。ただし、それぞれの違いは主として部材数の増減にあり、その他の部分に際立った違いは見られない。その理由は、①支保工が構造計算ではなく、経験にもとづいて架設されていたことと、②石造アーチ橋建設においては、支保工の完成度が極めて重要であったことの2点にあると考えられる。この点について、土木局のエンジニアであり、全6巻からなる石造アーチ橋に関する著書『大アーチ(Grandes Voûtes)』を著したセジュールネ(Paul Séjourné)は、「これまで我々は、とかく支保工に対しては、計算が不可能なシステムとみなしてきたようで、前例を真似ることしかできない。したがって、余分に強度を持たせることが、唯一の決まりごととなっている²³⁾」と述べている。支保工の出来・不出来は、石造アーチ橋の完成を左右するもので、取り外しの際に、石橋が崩壊してしまったという例も少なからず起こっていた²⁴⁾。したがって、木材の使用量を減少するにしても、前例を覆すような試みは容易に出来ることではなかったのではないかと推察される。このような傾向に変化が見られるのは、次に述べるように、石造アーチ橋の構造が大きく変化した時である。

(2) 石造アーチ橋の発展と支保工の構造

1770年に完成したヌイ橋(Pont de Nully)は、土木局のエンジニアであったペロネ(Jean-Rodolphe Perronet)によって設計された石造アーチ橋である。本橋は多心円の扁平アーチ(ライズ/スパン=1/4)や、極端に薄い橋脚(橋脚厚さ/スパン=1/10)など、それまでの石造アーチ橋の常識を覆したことでよく知られているが、支保工においては次のような特徴を見ることができる。ひとつは、支保工として仮設された木造アーチの構造である。先に見たように、石造アーチ橋の支保工はキングポストトラスを基本とし

たものであったが、本橋においては、リブアーチのような構造となっている(図-7²⁵)。もうひとつ注目すべきは、このリブアーチのスパンである。ヌイ橋のスパンは39mであることから、この支保工は木造アーチとしては比較的大きいスパンと見なすことができる。しかも、徐々に積み上げられていく石材を支持するに十分な強度を有していることから、この支保工自体が木造アーチ橋のアーチリブとして十分機能しうるものと考えることができる。つまりこの例は、フランスにおいても大きな荷重を支えうる木造アーチを架ける技術が存在していたことを示すものである。

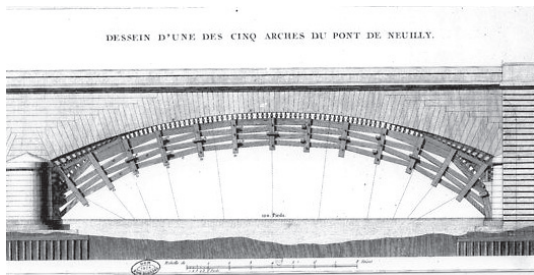


図-7 ヌイ橋の支保工(文献 25)より引用

18世紀末ごろになると、フランスでは図-8に示すような上路式アーチ橋が散見されるようになる²⁶。アーチリブは、角材状の部材を数層に重ねて、上下両端をボルト締めするもので、パリのシテ橋(Pont de la Cité²⁷)やパリ郊外のイヴリー橋(Pont d'Ivry²⁸)などのほか、リヨンやナントといった地方都市においても、上路式の木造アーチ橋が計画、あるいは建設されており、当時アーチ橋を架ける際の標準的な構造となっていたようである^{29,30}。さらにその後、ドイツのヴィーベキング(Carl Friedrich von Wiebeking)らによって上路式アーチ橋の利用は徐々に広まっていったが、これらの多くは、「ペロネの木造アーチ橋を参考にした」ものであるとされている³¹。ところが、ペロネ自身は、橋梁は可能な限り石造アーチ橋とするべきであると考えていたため³²、木橋の開発そのものに熱心であったとは考えにくい。19世紀に見られる上路式木造アーチ橋は、大スパンの扁平アーチという、石造アーチ橋の発展によってもたらされたものであった。

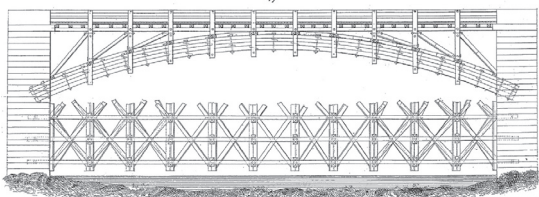


図-8 上路式アーチ橋(文献 25)より引用

(3) 高架橋における支保工

19世紀末から20世紀初頭にかけて、フランスにおける橋梁建設の主流は石から鉄、そしてRCへと移行していた。セジュールネはこうした状況の中でも、大規模な石

造アーチ橋をかけ続けた。これらは「最後の石造アーチ橋梁群³³」と呼ばれることもあり、1902年にルクセンブルクに架けられたアドルフ橋(Pont d'Adolphe)ではスパンが84.65mに達し、フォンペドルーズに1908年に架けられた鉄道高架橋(Viaduc de Fontpédrouse)では、水面から橋面までの高さが65mであった。

先に見たように、この時期になると木橋の利用は減少する傾向にあったが、セジュールネの石造アーチ橋においては、大規模な支保工が用いられていた。この支保工に対するセジュールネの考え方は、「支保工の工費は、石造アーチ橋のスパンとアーチ厚さが大きくなるにつれて、高くなる。したがって、支保工にかかる荷重はできるだけ小さくしなければならない」というものであった。これは、実際の設計に反映されており、セジュールネの石造アーチ橋梁群においては、細いアーチリブを併置して、その上にRC床版を並べる構造とすることで橋梁本体の軽量化が実現されている。

図-9は、セジュールネが1880年代に設計した石造アーチ橋梁群の支保工を示したものである³⁴。図の中央には、1884年に完成したスパン61.50mを有するラヴォールの鉄道高架橋(Viaduc ferroviare de Lavaur)の支保工であるが、図からは扇形に広がった部材が9列の支柱群によって支持されていることがわかる。その他の側面図からも、同様の構造の支保工が用いられていたことが確認できる。一方、写真-2³⁵は、アドルフ橋の施工中の様子を示している。本橋の支保工を見ると、大スパンアーチであるため

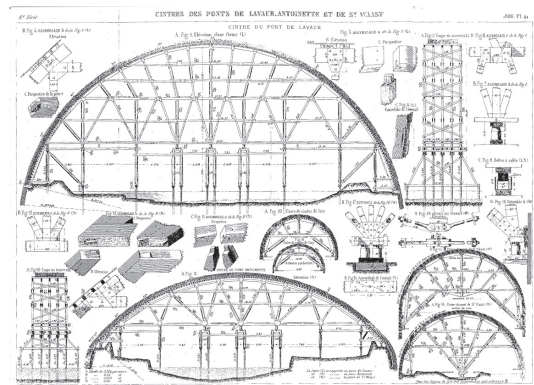


図-9 セジュールネによる石造アーチ橋の支保工(文献 34)より引用

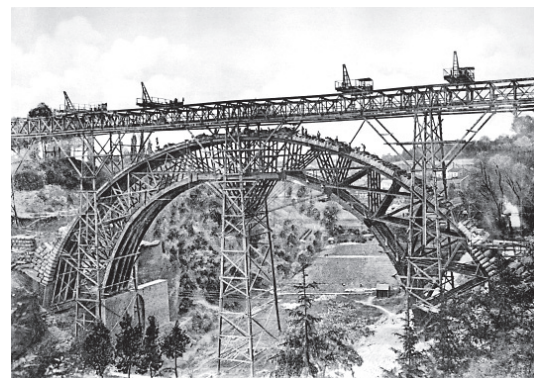


写真-2 アドルフ橋の支保工(文献 34)より引用

に中央部が支持されてはいるが、トラスアーチ構造になっており、従来のキングポストトラスとは異なった木造アーチ構造が採用されていることがわかる。もちろんこの時期にはトラスアーチ自体はすでに考案されているが、ペロネによるヌイイ橋の場合と同様に、セジュールネによるアドルフ橋においても、石造アーチ橋の長大化が新たな木造アーチ構造の実用的な利用をもたらしている。

5. おわりに

本稿では、特許技術や石造アーチ橋の支保工を対象として、フランスの橋梁建設における木造アーチ構造の発展の経緯を概観した。石造アーチ橋が主流であったフランスにおいては、橋梁としての木造アーチ構造の発展はほとんど見られなかったと言われている。しかしながら、特許技術を見てみると、木造アーチ橋の実用化を意図した様々な試みがなされていたことがわかった。その中には、集成材のような新技術の萌芽とも言えるものまで散見され、木造アーチ橋の普及すら予感させるような側面があったことがわかった。また、石造アーチ橋建設においては、アーチの扁平化に応じて支保工に用いる木造アーチリブの構造が改良され、上路式木造アーチ橋の標準的な構造となっていくことがわかった。また、トラスアーチも、石造アーチ橋の長大化に対応する形で、実用的な利用が進められていった。

このように、木造アーチ構造は様々な形で発展を遂げてはいるが、それは常に石造アーチ橋に大きく影響されるものであった。従って、木造アーチ橋そのものに対する需要が石造アーチ橋と同程度に発生することはなく、実用的なレベルでの普及と発展には至らなかったものと考えられる。

参考文献・注記

- 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.81-84, 2011.6
- 2) J. Mesqui : *Le pont en France avant le temps des ingénieurs*, Picard, 1986
- 3) B. Marrey : *Les ponts modernes 18^e - 19^e siècle*, Picard, 1991
- 4) Base de données ARCHIM Atlas des routes de France dits atlas de Trudaine : (<http://www.culture.gouv.fr/documentation/archim/atlasdetrudaine.htm>) (全62巻, 3,000枚以上の地図及び道路橋の図面がまとめられており、当時のフランスにおける道路橋建設の様子を概観することができる)
- 5) エタ地方, エレクション地方は除く
- 6) Courtin : *Travaux des ponts et chaussées depuis 1800*, Paris, 1812
- 7) « Pont de Pirmil par Thevenon », cote III 168/8, Archives municipales de Nantes
- 8) Lettre de Jean Dumel à Gérard Mellier, le 11 mai 1711, Archives

municipales de Nantes, DD99

- 9) Archives municipales de Nantes, « Sur le pont projeté en remplacement du pont Maudit », le 23 mars, année 1830
- 10) この架橋事業は都市内道路整備事業の一部であったが、線形自体が大きく変更されたために、橋梁が建設されることはなかった。後にポロンソーは、一度は採用された鉄造アーチ橋の設計料をナント市に対して請求している。
- 11) H. Gauthier : *Traité des Ponts où il est parlé de ...*, 1765 (1716)
- 12) B. Brisson, *Essai de comparaison sous les rapports économiques des ponts en pierre et des ponts en charpente*, Paris, le 18 septembre 1815
- 13) F. Caron : *Histoire des chemins de fer en France Tome I*, pp.285-286, Fayard, 1997
- 14) Centre d'Etudes et de Recherches du Patrimoine (<http://www.trouverfacile.com/page.php?idste=491&macat=06++LE+PONT+DE+CHAVILLON>)
- 15) B. Marrey : *Les Ponts Modernes 18^e - 19^e siècle*, p.143, Picard, 1990
- 16) C. Desnoyers : « Services rendus et travaux exécutés par M. Morandière, Inspecteur général des ponts et chaussées », *Annales des ponts et chaussées mémoire 5e série*, p.411, 1875
- 17) « Nouveau système de pont à grande portée », Brevet d'invention de 5 ans, pris le 26 août 1826, par le Vicomte de Barès-du-Molard, chef de bataillon d'artillerie, à Valence (Drôme)
- 18) « Nouveau système de ponts », Brevet d'invention de 15ans pris le 31 mai 1830. Ingénieur en chef des Ponts et chaussées, à Paris. Quai Voltaire no.15
- 19) « 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
- 20) ディルク・ビューラー編著, 中井ほか監訳 : 『Brückenbau 博物館で学ぶ橋の文化と技術』, p.64, 鹿島出版会, 2003
- 21) M. Jousse : *Théâtre de l'art de charpenterie*, pp.166-169, 1627
- 22) H. Gautier : *Traité des ponts où il est parlé...*, pp.75-80, 1765 (1716)
- 23) P. Séjourné : « Ponts du Castelet, de Lavaur et Antoinette », *Annales des ponts et chaussée 1886*, p.503, 1886
- 24) J-R. Perronet : *Description des prohets et de la construction des ponts de Neuilli, Mantes, Orléans, etc in Oeuvres de M. Perronet*, p.601, 1788
- 25) Base architecture Mérimée, <http://www.culture.gouv.fr/documentation/memoire/HTML/IVR11/IA00079818/index.htm>
- 26) H. Gauthier : *Traité des Ponts où il est parlé de ...*, p.14, ed. 1765 (1716)
- 27) 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*, p.5 (text), pl.20, Paris, 1805
- 28) J. Denfer : *Charpent en bois et menuiserie*, p.519, Paris, 1910
- 29) Em. Vintrinier : *Le Lyon de nos pères*, p.97, 1901
- 30) « Reconstruction du pont des Petits-Murs, travée en charpente 1831 », cote 1F1315, Archives municipales de Nantes
- 31) Barrès du Molard : *Nouveau système de ponts à grandes portées ou moyen économique des arches de toutes grandeurs*, pp.14-16, 1827
- 32) J. Förstel : *Perronet et la Seine*, p.6, île de France, 2010
- 33) B. Marrey, pp.284-293
- 34) P. Séjourné : « Construction des ponts du Castelet, de Lavaur et Antoinette », *Annales des ponts et chaussées*, pl.41, 1886
- 35) Administration de ponts et chaussées Grand-Duché de Luxembourg, http://www.pch.public.lu/gallery/main.php?g2_view=core.DownloadItem&g2_itemId=686&g2_serialNumber=2