

19 世紀初頭のフランスにおける 木造アーチ橋の開発及び設計に関する事例研究

本田 泰寛

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

Case study on a timber arch bridge design in France in the early 19th century

Abstract : This study focuses on the Gournay Bridge, constructed in 1829 in France. This bridge was realized with their 25m arches under the era when masonry bridges and especially suspension bridges were much more preferred. This bridge characterizes itself by its original arch rib structure and application of the patented idea of its designer. However, it seems that no other bridges followed this concept. Through the analysis of correspondences and drawings exchanged among concerning persons (designer, engineers of Ponts et Chaussées, prefectural governor; etc.), this research tries to describe the process and context of the realization of the original bridge then to clarify the origin of the unique concept.

Key Words : Timber arch bridge, patent, Barrès du Molard, 19th century, France

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

本研究は、1829年にフランスで建設されたグルネ橋を対象とした古構造学の事例研究である。古構造学とは、現在では利用されなくなった構造を有する橋梁に着目し、その構造の持つ独自性の由来を解明し、記述することを目的としている¹⁾。

今回対象としたグルネ橋は、全長 81m、3 径間の上路式木造アーチ橋である。19 世紀初頭のフランスは、木橋全般に対する信頼度が低い一方、革新的な軽量吊橋や鉄橋が普及しつつあった。そうした中であって、木造アーチ橋の建設自体は珍しいものではないが、角材を重ねてアーチリブを構成するという手法が実現されている例は本橋以外には見られない。しかも、この構造の適用はわずか 1 橋にとどまっている。

筆者はこれまで、グルネ橋の計画から施工に至る間に関係者の間で交わされた書簡及び図面群から、グルネ橋が実現に至った要件を整理した²⁾。また、本橋が 4 度の設計変更を経ている点に着目し、設計者が取得した木造アーチ橋に関する特許資料および著書の分析から、設計変更の経緯を整理した上で、独特な構造の発想に至る由来を明らかにした³⁾。本稿では、古構造分析の事例として、グルネ橋が実現に至った経緯を「外的要因」と「内的要因」に区別してそれぞれ整理する。

(2) 既往研究

現在出版されているフランス橋梁史を通史的にまとめた文献でグルネ橋を取り上げたものは今のところ見あたらない⁴⁾。また、本橋の設計者であるバレス・デュ・モラル (Barrès du Molard) については、マルク・スガンが開発した軽量吊橋の請負業者としてその名前が紹介される文献がわずかにあるが^{5) 6)}、本橋との関連性を指摘するものは見られない。

(3) 研究に用いた資料

本研究では、主にグルネ橋の計画から完成に至る経緯を明らかにするために、セーヌ＝サン＝ドニ県 (Seine-Saint-Denis) の公文書館に保存されているグルネ橋建設に関する資料⁷⁾を中心に用いた。この資料は、グルネ橋の計画から施工に関わった請負者、土木局の技術者、行政官らによって交わされた一連の書簡および図面群といった一次資料からなっている。

また、モラルはグルネ橋の設計とほぼ並行して、1 件の発明特許と、これに関連する 2 件の完成・補足特許を申請し⁸⁾、承認を受けているが、設計に対する考え方を知るために、申請書に添えられた解説書及び添付図を参照した。さらに、建設後に刊行された技術系の雑誌に掲載された記事を主な資料として用いた。その他、フランス国立公文書館及びポンゼショセの図書館にて関連する情報を収集した。

2. グルネ橋の概要

グルネ橋はパリからおおよそ 20km 東に位置するグルネ＝シュル＝マルヌ (Gournay-sur-Marne) に 1829 年に建設された 3 径間の上路式木造アーチ橋である。アーチスパンはいずれも 25m, ライズは 1.725m で、各径間は 3 列に並置されたアーチリブによって構成されている (3 主構)。それぞれのアーチリブは数層に重ねた角材の上下端をボルト締めすることによって形成され、アーチリブの上縁と下縁はそれぞれ厚さ 9mm, 幅 16.2mm の鉄板によって保護されている。橋脚は石造構造で、杭基礎上に設置されている。

木材による積層構造である上部工は、石造橋脚とともに石造橋のような外観を呈していると評されている⁹⁾。さらにサン・タンドレの十字架をデザインの基調とした高欄は、橋脚上で微妙なアレンジが加えられるなど、細やかな配慮を見ることができる。

本橋は幾度かの補修や補強を経ながら 33 年間供用された後の 1862 年に鉄橋へと架け替えられた¹⁰⁾。また完成直後にはパリのベルシーに同じ構造の橋梁を架ける構想もあったようだが¹¹⁾実現されることはなく、その構造も絶えることとなる。

3. 時代背景

(1) 吊橋の急速な普及

グルネ橋が建設される 1820 年代のフランスは、新たな橋梁の登場という意味では極めて躍動感にあふれる時代であったと言える。第一次産業革命を経て国内での輸送が活発になるとともに主要な国道網整備はひと段落し¹²⁾、都市内や都市間交通のための道路網整備が進められるようになっていった。これに伴って橋梁建設も盛んにおこなわれる。長さ約 200m のナポレオン橋 (1828 年) や、長さ 500m 近くに達するピエール橋 (1822 年) など、大規模な石造アーチ橋が利用され続ける傍ら、ナヴィエはチェーンケーブル、スガンはワイヤーケーブルを用いた吊橋の開発によって大スパンを有する渡河橋の実現を目指す。とりわけスガンが完成させる軽量吊橋の普及は著しく、フランス国内だけで 1823 年ごろから 1850 年にかけて 400 橋の吊橋が建設されたという¹³⁾。また、パリだけでも少なくとも 7 橋の吊橋が建設された¹⁴⁾。

(2) 特許に見られる木造アーチ構造

石造アーチ橋や吊橋と比較すると数は多くないが¹⁵⁾、フランス各地で桁やアーチ式の木橋も建設されている。上路式アーチ橋では、木材を重ねることでアーチリブを構成する方法が標準的に用いられていた¹⁶⁾。

19 世紀にはいると、木材の欠点を補いつつ木造アーチ橋を積極的に利用しようとした特許が取得されている。グルネ橋の設計者であるモラルは 1820 年代に木造アーチ橋に関する 3 つの特許を取得しているが、これについては後ほど詳しく取り上げることにする。

土木局の技術者であるポロンソー (Antoine-Rémy Polonceau) 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¹⁷⁾」アーチリブ構造に関する特許を 1830 年に取得している (図-1)。その翌年には、改良特許としていくつか新たなアーチを出願しているが、この中には、前年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。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。この特許はパリのカルーゼル橋 (1834 年) やストラスブールのサン・トマ橋 (1841 年) で適用された。

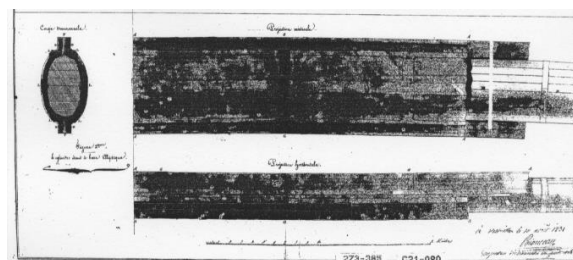


図-1 ポロンソーの特許

このほか、ナンシーという人物は 1836 年にアーチリブをトラス状とした特許を取得している (図-2)、この図からは、小さな木材を組み合わせることで、スパンの大きな木造アーチ橋の架橋を試みようという意図を見ることができる。このように、木造アーチ構造は橋梁建設の主流ではなかったものの、多様なアイデアの萌芽をみることができる。

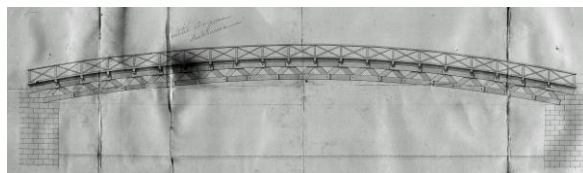


図-2 ナンシーの特許

4. 関連人物

今回調査をした書簡からは、グルネ橋の計画から完成に至るまでに、a) 請負者とb) 行政側の人物数名が関わっていることがわかった。

(1) 請負者

グルネ橋の設計・建設を請け負ったのは、ヴァンタドゥール (Le Duc de Ventadour) とモラル (Le Viconte de Barrès du Molard) という二人の人物である¹⁸⁾。書簡および文書では名前とともに必ず公爵 (Le Duc)、子爵 (Le Viconte) という爵位が添えられており、復古王政下の貴族階級の人物であったことがわかる¹⁹⁾。前述のように、グルネ橋にはモラルが開発し特許を取得した技術が用いられていることから、実質的な設計者はモラルであろうと思われる。ヴァンタドゥールは技術的な面にも関与しているようであるが、事業が円滑に進むよう資金面や発注者側との調整などにあたっている²⁰⁾。なお、特許申請時のモラルの肩書はヴァランスの砲兵大隊長 (Chef de bataillon d'artillerie à Valence) と記されている。

(2) 行政側

行政側は、土木局では主に土木局局长 (Directeur Général) のベケイ (Louis Bequey)、セヌ＝エ＝オワズ県²¹⁾の主任技師 (Ingénieur en chef) であるダスティエ (D'Astier de la Vigerie) と専任技師 (Ingénieur ordinaire) に相当する人物が関係している。また、グルネ橋の計画は4年の中断を経て再開するが、中断前の主任技師は前章で取り上げたポロンソー (1821年時) であった。自治体側では、セヌ＝エ＝オワズ県の県知事が請負者及び土木局との対応や、架橋地のコミュニケーションとの中継を負っている。

5. 設計案の変遷と特許申請の関係

グルネ橋の建設に向けた資料は1823年から確認でき、架橋の必要性等をまとめたレポート、架橋位置を検討した平面図や河川横断面図、橋梁の側面図なども作成されている²²⁾。その後数年間、事業の進捗はなかったようで、モラルが最初の設計案を土木局に提出する1827年から建設に向けた具体的な動きが見られるようになる。

グルネ橋の設計図面は4枚残っており、いずれの図面にも共通して側面図、平面図が描かれ、必要に応じて断面図や橋脚基礎も添えられている。これらを時系列順に整理し、関係者が交わした書簡の内容と照らし合わせると、1827年から1828年にかけて3回にわた

って設計変更がなされていることがわかった。本稿では以下、4つの案を第一設計案 (図-3)、第二設計案 (図-4)、第三設計案 (図-5)、最終案 (図-6)、と呼び分ける。2章で述べたように、グルネ橋の設計と並行する形で、モラルは橋梁に関する特許を申請し、承認を受けている。本稿ではそれぞれを第一特許、第二特許、第三特許と呼び分ける。

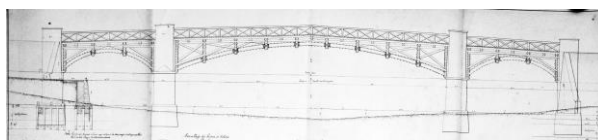


図-3 第一設計案

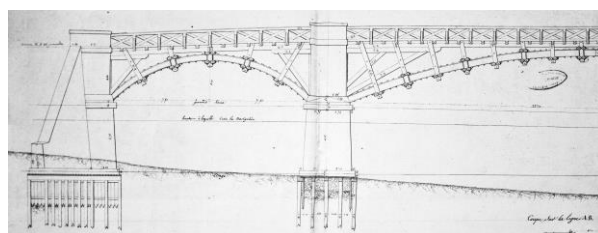


図-4 第二設計案

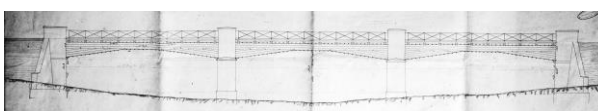


図-5 第三設計案

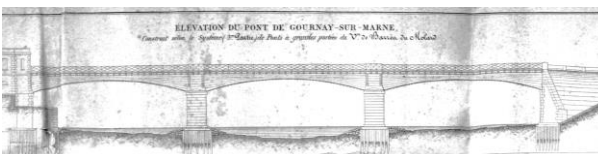


図-6 最終案

資料に付された日付にもとづいて、グルネ橋の図面が作成された時期と、特許が申請された時期を時系列で整理したものを表-1に示す。表からは、4件の設計案のうち、最初の2案が開側アーチ橋で、残る2案が充側アーチ橋となっていることがわかる。また、3件の特許はいずれも新しい設計案の作成に先立つような形で申請される関係にあることもわかる。

表-1 モラルの特許申請及び設計案作成

年	日付	特許の申請と承認
1826	7月7日	発明特許の申請 (木鉄混合の開側アーチ)
1827	10月12日	第一設計案作成 (開側アーチ)
1827	10月26日	完成・補足特許の申請 (積層構造の構想、吊橋への適用)
1827	11月3日	第二設計案作成 (開側アーチ)
1828	1月4日	完成・補足特許の申請 (積層構造のアーチ橋への適用)
1828	3月21日	第三設計案作成 (充側アーチ)
1828	11月17日	最終案作成 (充側アーチ)

6. 特許に見るモラールの設計思想

(1) 第一特許

グルネ橋の第一設計案が作成される以前の1826年7月7日にモラールは初めての特許を申請する。「大スパン橋梁の新システム」と題されたこの特許では、モラールが考案した方式によるスパン60mの3径間の上路式アーチ橋が提案されている。この木鉄混合システムの具体的な適用例として、スパン60m、ライズ8m38mmの上路式アーチ橋が提案されている(図-7)。本橋はアーチリブを6列並置することでひとつのスパンが形成されている(6主構)。アーチリブは17の部材から構成されており、これらの部材には一辺が0.5mの木材が用いられている。部材同士は金属製の部品で連結され、アーチリブの上縁および下縁は幅200mm、厚さ14mmの鉄板で覆われ、ボルトによって固定されている。

費用面においては、鉄を木材に置き換えて材料費を抑えることで、より経済的に大スパンアーチを架けることができるとしている。想定している樹種としては、

床板のみポプラを用い、その他はすべてトルコカン(オーク材)を用いるとしている。木材、鉄材ともに油性塗料を塗布することで耐水性の向上が図られている。また、橋脚と橋台が石造となっていることで、架け替えは上部工のみでよく、経済的な方法であることも強調されている。

(2) 第二特許

第一設計案の作成からちょうど2週間後の1827年10月26日、モラールは第一特許の完成・補足特許を申請している。この特許は、先述の第二設計案作成の1週間ほど早く申請されているが、実際の設計に反映されるのは後述する第三設計案以降である。

第一特許が開側アーチであったのに対して、この特許では角材を積み重ねて上下端をボルト締めで固定し、アーチリブを構成するというアイデアが示されている。これはグルネ橋の最終案において採用される方法であるが、この段階では上路式アーチ橋への適用は想定されていない。図-8は、追加特許として申請された説明

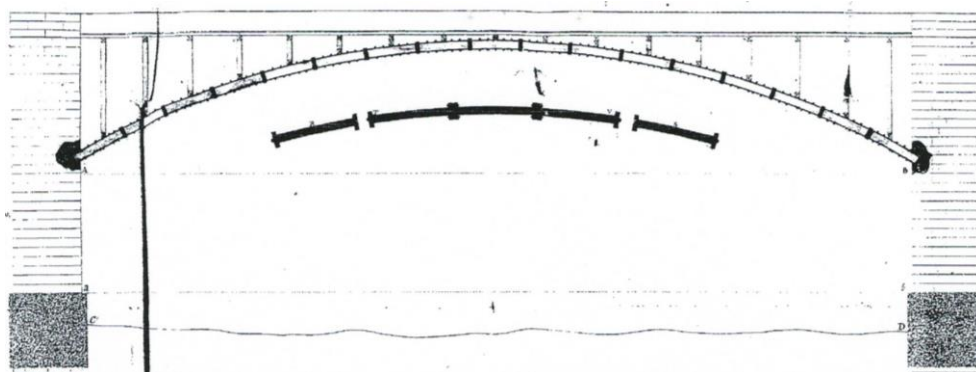


図-7 第一特許の説明図

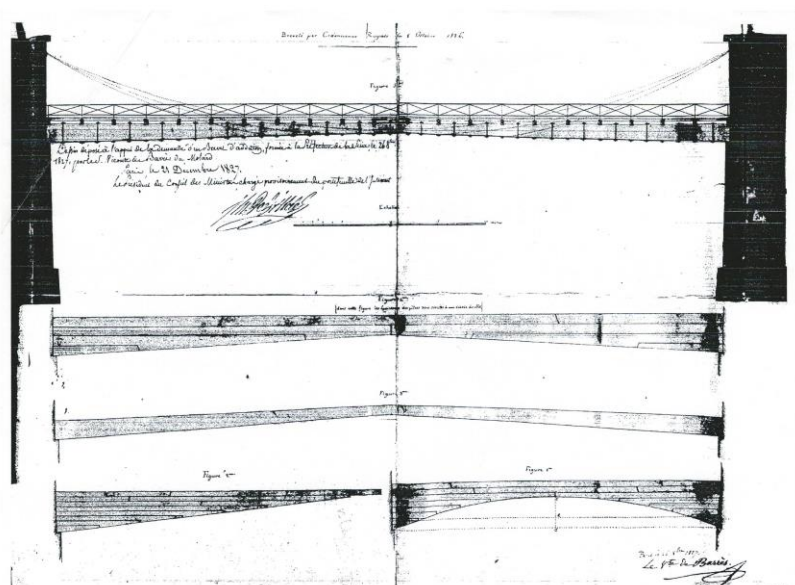


図-8 第二特許の説明図

図である。図中には5通りの側面図が示されているが、モラルの説明によれば、基本となる構造は右下に示されているアーチ状の構造である。この構造は、スパンに対してライズが小さく、曲げ、圧縮、振動にも強いことが特徴として挙げられている。また、アーチ基部の部材を省略することでさらにライズを抑えることが可能になるとも述べており、モラルの扁平アーチに対するこだわりを見ることができる。

図中にはそのバリエーションとして曲線部分を直線としたものが3つ示され、具体的な適用例となる橋梁の側面図が付されている。一見すると桁橋に見えるこの橋梁は、両側の主塔上部に定着されたケーブル（またはチェーン）によってアーチリブを支持する構造となっている。モラルによると橋脚・橋台に荷重の大部分を負担させることでケーブルにかかる荷重を軽減できることや、桁の剛性を高めた上でさらに橋台上に設置することで振動を抑制しようとするなど、当時の吊橋が抱えていた問題に対する改善案の提示を試みている。

（3）第三特許

上記の第二特許が承認された約2週間後には完成・追加特許がさらに1件申請されている。この特許に添付された説明図には11通りの側面図が描かれている

が、基本となるのは図-9の左上に示されている構造で、第二特許で示されていたものと同様に、橋脚からスパン中央に向かって木桁を徐々にずらしながら積み重ね、上下端がボルトや金具で固定されている。

図中には、スパンドレルを構成する木桁同士がずれないように桁端部の形状を工夫したものや、アーチ下縁部が直線状になっているもの、曲線状になっているものなどいくつかのバリエーションが提示されている。モラルは解説文において、この構造が安定する条件として①アーチは荷重でたわまないほどに十分な強度を持った木材で構成されていること、②橋台と桁が十分に固定されていることの2点をあげている。第二特許でも見たように、解説文においてほとんどの場合に「アーチ」という表現を用いているが、この説明からは両端から桁が張り出すカンチレバーのような構造が想定されていることがわかる。

このアイデアの実際の適用例として、中央径間21m、側径間14mの3径間アーチが提示されている。本案については、一定年数経過後に必要な補修のための費用が大きくなることが問題点としてあげられている。一方、両側から張り出すように施工ができるため、足場を組む必要がないことを利点としており、架橋条件次第ではこの方式が採用されうると考えている²³⁾。

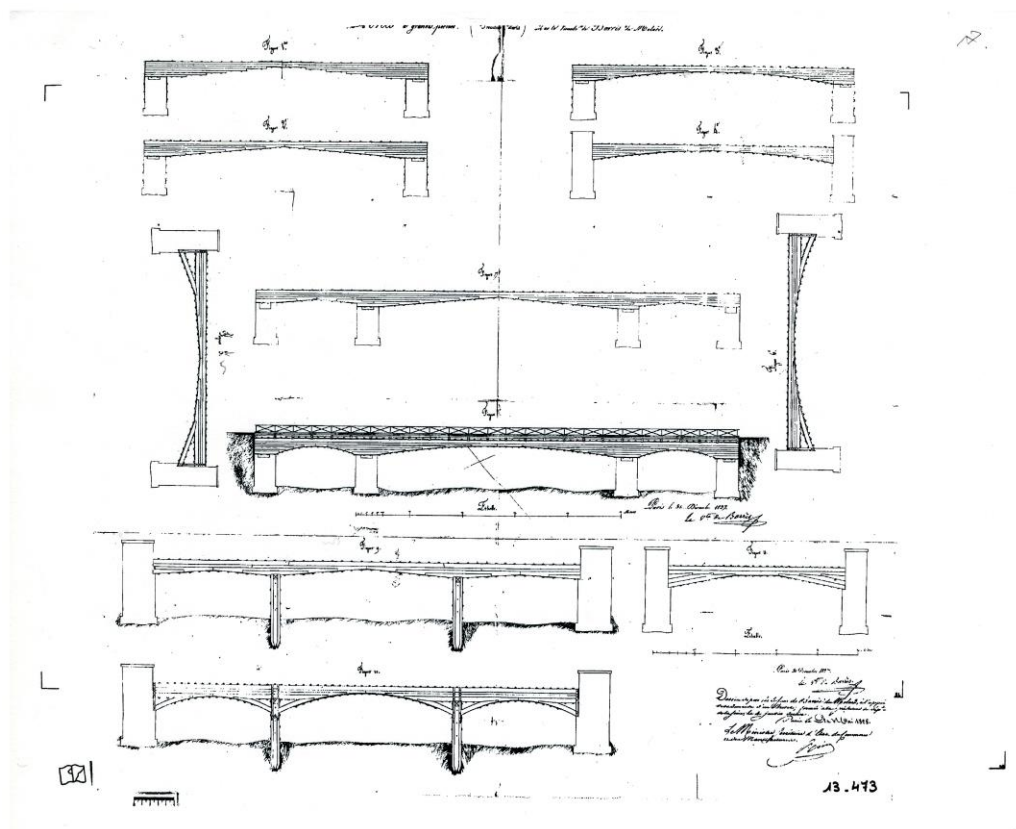


図-9 第三特許の説明図

7. 設計変更の経緯

(1) 桁橋 (1821 年 5 月 18 日)

前述のように、本橋の計画は 1821 年にさかのぼることができる。当時セヌ＝エ＝オワズ県の主任技師であったポロンソーが県知事に宛てて送った書簡からは、県が構想しているグルネ＝シュル＝マルヌでの架橋について「周辺の地域ではマルヌ川上に橋が架かっていないため、(新たな) 架橋はとても有益であると考えていただいてよい」との内容が伝えられている²⁴⁾。その 2 年後、1823 年には 7 径間の桁橋の図面 (図-10)、架橋地周辺の平面図および河床横断図²⁵⁾が作成されているが、何らかの理由で計画は中断されたようである。

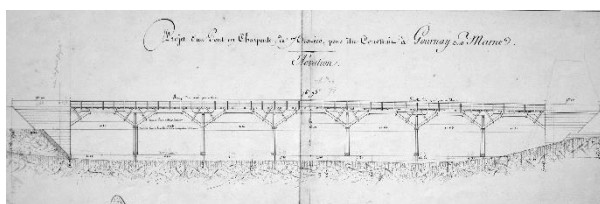


図-10 桁橋案側面図

(2) 第一案 (1827 年 10 月 12 日)

a) 経緯

計画が本格的に再開するきっかけになったのは、1827 年に本橋の請負者となるヴァンタドゥールとモラルの 2 名から、土木局局長のベケイに計画案が提出されたことに端を発する²⁶⁾。これを受けてベケイは架橋地となるセヌ＝エ＝オワズ県知事に書簡を送り、主任技師に概略設計を指示することと、その報告書を自身に送るよう依頼している。ベケイが受けた提案の詳細は不明であるが、書簡の内容から上部工は木造、下部工 (橋脚と橋台) は石造による複数径間のアーチ橋が提案されていたものと考えられる。この建設事業は、「請負者の全責任において」実施し、しかも費用負担も請負者という形態がとられている。

モラルが作成した同年 10 月 12 日付の図面²⁷⁾には、黒インクで橋梁の上部工と下部工、平面図が描かれた

ものに、主任技師によって赤インクで橋台基礎、翼壁、船曳道、河床が追記されていることから、請負者の提案を土木局の技師が技術的に補助するような態勢であったことを読み取ることができる。

b) 構造

前節で見た特許では、スパン 60m の 3 径間上路式アーチが想定されていたが、ここで設計案として提案されているのは、中央径間 44m、側径間 15m の 3 径間からなる 4 主構の上路式アーチ橋である。図-11 は中央径間のアーチリブを示したものであるが、アーチリブが 9 つの部材で構成されていること、部材同士が金属製と思われる器具で連結されていることが示されている。アーチリブの上縁及び下縁は金属板をボルト締めで固定する補強が施されていることも確認でき、第一特許にて示した構造を適用していることがわかる。

一方、スパンドレルの構造には第一特許とは異なる点を確認できる。特許ではアーチリブ上の支柱のみで床板を支える方式であったが、本設計案では支柱の間に筋交い状の部材が追加されている。この点についてモラルは「それぞれのアーチリブは横桁で連結され、アーチリブと床板の間には斜材が設けられている。このふたつの部材によって、橋全体は十分な強さを得る²⁸⁾」と説明している。第一特許と同様、アーチリブが支柱を介して床板を支える方式であることに大きな変わりはないが、斜材を追加することで橋梁全体の剛性を高めようとしたものと考えられる。

(3) 第二案 (1827 年 11 月 3 日)

a) 経緯

前述の訂正を受けてモラルが作成した図面²⁹⁾には、側面、横断、平面がいずれも片側だけ描かれている。橋台基礎、翼壁はほぼ提案のままであるが、船曳道は描かれていない。この点については県知事やベケイの書簡に指摘が見られ、おそらくはそれを受けた修正図面が翌年 1 月には作成されているようである³⁰⁾。アーチ

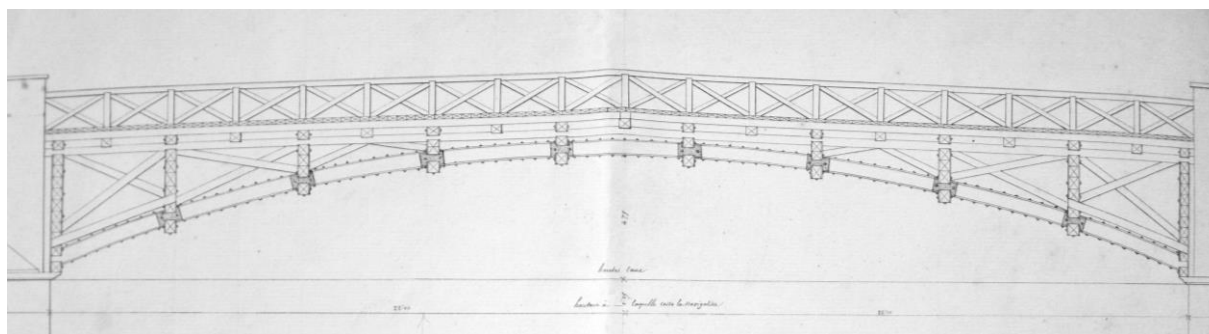


図-11 第一設計案中央径間

リブと床板の連結方法は変更が生じているが、この点についての議論等は確認できない。なおこの段階で、ベケイからモラルに宛てて下部工の着工が許可されたとの書簡が直接送付されている³¹⁾。さらに、本案にて、土木局の会議にて船曳道を付けるなどの条件付きで計画が承認された。

ここまで非常に円滑に進んでいるように見受けられるが、この点についてモラルは、ベケイが土木局側にて緊急扱いでモラルの提案を通してくれたことに対する感謝を述べ、直接お礼に伺いたいとの手紙を送っている³²⁾。

b) 構造

第二設計案では、スパン割りおよび主構の数に変更はないものの、スパンドレルの構造には大きな変更が加えられている。第一設計案では床板を支える支柱は垂直に配置されていたが、この案では斜めに取り付けられている(図-12)。支柱の数は、中央径間では8本から16本に、側径間では2本から5本に増加している。さらに、橋脚、橋台付近には方杖状の部材と二重の桁が追加されており、全体的に補強を加えようという意図を図を見ることができる。その結果アーチリブのみが床板を支えるというよりは、斜材、床板が一体となっているような構造となっている。

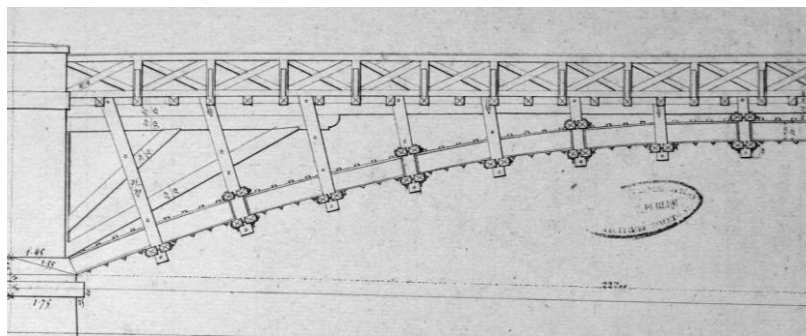


図-12 第二設計案の中央径間 1/2 側面図

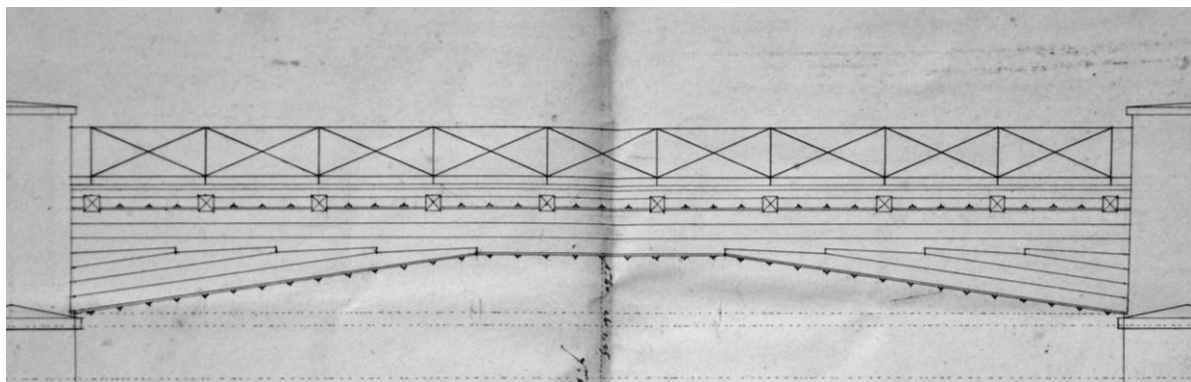


図-13 第三設計案の中央径間

(4) 第三設計案 (1827 年 5 月 21 日)

a) 経緯

第三特許の申請から4か月ほど経過した1828年3月21日、これまでの設計案とは大きく異なる第三設計案となる図面が作成されている³³⁾。本案は第一、第二設計案と同様の3径間アーチではあるが、スパン割りは15m+44m+15m から 25m+25m+25m となり、スパンドレルも開側アーチから充側アーチへと変更されているなど、土木局が着工を許可した第二設計案から大幅な変更が加えられていることがわかる。この案は土木局側の検討を経て、図面の作成日からおよそひと月後に建設許可へと至っている。書簡を見る限りでは、架橋位置と湯水期の桁下高を指定する以外、特に上部工の設計変更について言及していない。また、できた書簡類からは、一度承認された設計案を取り下げ、大幅に異なる設計案へと変更が可能となった理由は明らかではない。しかし、特許申請と設計変更が繰り返されていることを考えると、第三特許を申請した段階で、開側アーチから充側アーチへの設計案の変更が検討されていたのではないかと推測される。

b) 構造

本案のアーチリブは、第二特許及び第三特許において考案された積層構造へと変更されている(図-13)。この構造についてもモラルは引き続き「アーチ」と

表現しているが、橋脚から斜め上方へ張り出した部材で水平に配置した桁を支持しているように見受けられる。桁の上下縁には鉄板が配置され、ボルトで固定されているが、これは第一特許から一貫して用いられている。また、橋脚厚も 3.5m から 3m となったことで、河積阻害率は 8.6% から 7.4% に減少している（橋台間の距離 81m を川幅と仮定）。

本案では、スパン割り、アーチリブの構造ともに大幅に変更されているため、全く別な橋梁が提案されていると言える。ここで提案されている構造は第二特許及び第三特許に見られるもので、自身のアイデアを適用したいという設計者の意図が引き続き反映されていると捉えることができる。

（5）最終案（1827 年 11 月 17 日）

第三設計案への変更が承認されたおよそ半年後となる 1828 年 11 月 17 日付で、最終設計案となる案がモラルから提出され、変更が承認されている³⁴⁾。

スパン割りは直前の案と変わっていないが、アーチリブの下縁は直線状からアーチ状へと変わっている。モラルは解説書の中でも曲線を用いる方が趣味が良いと述べていることから、この変更もデザイン上の理由によるものと考えられる。また、2 本の橋脚の高さにも変更が加えられ、第三案では高欄の高さにまで達していた橋脚頭頂部は最終案では橋面と同じ高さにまで下げられている。この変更に合わせて橋脚上では高欄のパターンもやや変化がつけられていることから、グルネ橋の設計にはデザインの面にも配慮がなされていたことがわかる。

また、図面には示されていないが、現場に常駐していた専任技師の報告書からは、アーチリブの数が 4 主構から 3 主構へと変更されていたことがわかる。これは橋梁の設計において極めて重要な変更であるが、専任技師は大きな問題としては扱っていないようである。

ただし、それぞれのアーチリブには大幅な補強が施されている（図-14³⁵⁾）。ボルト締め箇所は 37 か所から

51 か所へと大幅に増加しており、アーチ形状を与えるために増設したと思われる斜材は 3 本から 4 本へと増加している。アーチリブを貫く横桁状の部材は 42 か所追加されるなど、全体的に剛性を高めることを目的とした変更がなされたものと考えられることができる。

最も信頼性の高い石橋、急速な普及を遂げつつあった軽量吊橋、産業革命の到来とともに定着しつつあった鉄橋と並ぶ渡河橋として木造アーチ橋の定着をはかるために、新技術の開発と適用、橋脚幅および主構数の減少による材料削減および工期短縮という合理化を図っていたと言うことができる。

8. グルネ橋実現の要因整理

（1）内的要因

a) 橋梁設計におけるモラルの考え方

この特許技術においてモラルが目指していたのは「強固で、耐久性が高く、十分に偏平で橋面が平坦な大スパンアーチシステム」の確立である³⁶⁾。このような考えに至った経緯をモラルは次のように説明している。すなわち、石造アーチ橋の建設では橋台と橋脚によって川幅を狭めないことが重要であるが、そのためにアーチスパンを大きくしようとすれば路面の縦断勾配が大きくなる。その対策としてアーチを偏平にしようとすれば、橋脚および橋台の厚さを増す必要があるため、結局は川幅を狭めてしまうことになる結論付けている。さらに、この課題を経済的に解決することは国や民衆にとって大きな利益であり、日増しに入手困難になっている木材の利用を最小限に抑えつつ、鉄材を併用するシステムはこの課題を解決するものであると考えている。

b) 積層構造のアイデア

前節で見た特許申請に至る背景からは、石造アーチ橋では実現が難しい大スパンの扁平アーチを、木鉄混合のアーチリブというアイデアによって解決しようと

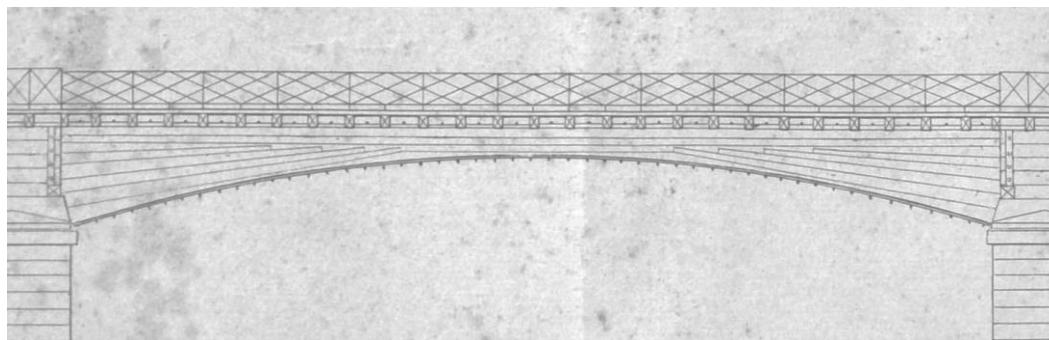


図-14 最終案の中央径間側面図

いう意図を見ることができる。ただし、18世紀末にはペロネのヌイイ橋によってすでに薄い橋脚と扁平なアーチを持った石造アーチ橋が完成しており、モラルもこれを知っていたと思われるが、この点についての記述は見当たらない。

一方モラルは木造アーチ橋の発展史を概観する中で、18世紀末にペロネが考案しドイツにおいてヴィーベキングによって発展・完成された湾曲材による木造アーチ橋にも言及し、これを補完するものとして自身のシステムを位置づけている。丘組で角材を積み重ね、湾曲させた状態で固定することでアーチリブを構成するヴィーベキングのアーチ構造は、グルネ橋の積層構造と共通するアイデアを見ることができる³⁷⁾。

この湾曲材を用いた木造アーチは、ペロネが考案した扁平な石造アーチ橋のための支保工がもとになっているが、この点を踏まえると、モラルが独自の構造を考案するに至った背景には、木造アーチ橋の技術的な発展と、それを促した石造アーチ橋の技術的な発展があったと考えることができる。

c) 他形式橋梁の影響

2章で示したパイプアーチを考案したポロンソーは、グルネ橋建設時には別な事業の主任技師としてセヌ＝エ＝オワズ県に赴任していた³⁸⁾。グルネ橋の最終案に適用されたモラルの特許とポロンソーの特許の間には、木材を重ねることで断面積の大きいアーチリブを作成するという類似点を見出すことができる。

モラルの出身地は、1825年に建設された世界初の軽量吊橋であるトゥルノン橋が建設されたアルデッシュ県であり、グルネ橋の設計・建設に関わっている間も、トゥルノンから20kmほど南にあるヴァランスに活動の拠点を置いていたようである。1827年にはヴァランスにて吊橋建設を請負っているが³⁹⁾、同時期に申請した第二特許には、吊橋状の橋梁が提案されている。結局、この権利はジュール・スガンの会社に売却しているが、この事実は、モラルとスガン社並びにトゥルノン橋建設との間におそらく直接的な関わりがあったことを示している。吊橋が可能とした大スパンと平坦な路面の両立は、モラルが第一特許の冒頭で述べている考え方そのものである。

19世紀初頭に完成したグルネ橋は、吊橋と鉄橋において橋梁建設の潮流を作った二人の技術者の影響を受けつつも、独自の木造アーチ橋という形でモラルが自身の思想の実現を追求した結果として、積層構造を有するグルネ橋が完成するに至った。

(2) 外的要因

a) 民間主体による社会基盤整備の補完

この時期のフランスでは、主要な道路網は完成していたものの、都市内交通や地域の都市間交通のための橋梁建設は十分ではなかった。このように渡河橋に対する需要が存在していたことが前提条件として考えられる。またこの時代には、「請負者の全責任」による架橋が散見される。グルネ橋の場合も、土木局が承認した設計案にかなり程度の大きい変更が加えられても、橋梁の強度に対する責任も請負者にあるとして大きな問題とはなっていないようである。

このような制度は、モラルのように技術開発とその適用に意欲的な技術者や企業の活動を刺激するものであったに違いない。それは同時に、行政側にとっては民間の技術力と資金を活かしつつ、残された社会基盤整備を進めることができるといった性質を有する仕組みとして捉えることができる。

b) 土木局による技術的な支援

グルネ橋の建設における関係者の相関を図-15に示す。民間が主体となった技術開発とその実地への適用が可能となった要因として、土木局側が新しい提案の妥当性を検証し、必要に応じて修正する技術力を持っていた点は重要である。今回取り上げた事例では、請負者から提出された設計案が土木局での検討を経て、必要な修正点とともに請負者へと戻ってきていることを確認した。このような土木局側の機能によって、利益や理想の追求に傾きがちな請負者側とのバランスを保ちつつ、新しい構造の実用化が可能になったのではないかと考えられる。さらに、行政側では知事が、請負者側ではヴァンタドゥールがそれぞれ仲介役として機能していたことも、本事例のような特殊性の高い事業が円滑に進捗した要因であった。

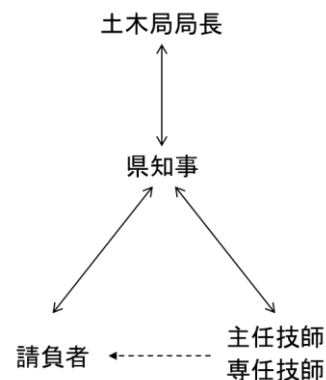


図-15 グルネ橋の設計における関係者の役割

9. おわりに

本研究では、1829年にフランスで建設されたグルネ橋を対象として、関係者によって交わされた書簡を中心とした資料から、独特な構造を有する橋梁が計画さ

れ、実現へと至った経緯を明らかにした。さらに、設計者であるモラルが著した木造アーチ橋に関する特許資料や著書から、さらに橋梁の実現が可能となった要因を、設計者の考えに直接影響を及ぼしたと思われる内的要因と、時代背景や社会状況などの外的要因に分けて整理した。今後は、ここまでの成果を踏まえた上

で、古構造の分析手法の改良に向けた考察を進める予定である。

謝辞: 本研究は科学研究費（課題番号：18K00270）の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 本田ほか：古構造学の創生へ向けて，土木史研究論文集 vol.26, pp.1-8, 2007
- 2) 本田ほか：バレス・デュ・モラルによるグルネ橋の設計経緯に関する研究，土木史研究講演集 vol.40, pp.153-159, 2020
- 3) 本田ほか：設計図面と特許資料の分析に基づいたグルネ橋の構造の由来に関する研究，土木史研究講演集 vol.41, 2021（印刷中）
- 4) 例えば Bernard Marrey : Les ponts modernes 18e-19e siècle, Picard, 1990
- 5) Michel Cotte : « Innovation et pont suspendu dans la France de 1825 », Culture Technique N°26, p.211, 1992
- 6) « Les ponts anciens et modernes sur le Rhône à Valence », Bulletin de la Société d'archéologie et de statique de la Drôme, pp.376-384, 1905
- 7) Archives Départementales de Seine-Saint-Denis (A.D.S.S.D), 93/828 Pont de Gournay
- 8) 特許名は，Brevet d'invention を発明特許，Brevet de perfectionnement et d'importation を完成・追加特許とした（参考：『仏和大辞典』，小学館，1998）
- 9) “Pont de Gournay-sur-Marne”, *Journal du génie civil*, p.178, 1829
- 10) A.D.S.S.D 93/828 Pont de Gournay
- 11) *Journal du Génie civil, des sciences et des arts Tome IV*, p.463, 1829
- 12) Guy Grattasat : *Ponts de France, Press des ponts et chaussées*, p.103, 1982
- 13) Guy Lambert : *Les ponts de paris*, Action artistique de la ville de Paris, p.85, 1999
- 14) *ibid*
- 15) Courtin : *Travaux des ponts et chaussées depuis 1800*, Paris, 1812
- 16) A. Picon : *L'Ingénieur Artiste*, p.102, Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées, 1989
- 17) « 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
- 18) A.D.S.S.D 93/828, Consession à MM. le Duc de Ventadour et le Vicomt de Barres, le 3 oct 1827.
- 19) Gaston-François-Christophe-Victor de Lévis-Ajac (*Inventaire historique et généalogique des documents des brabches laterales de la Maison de Lévis Tome IV*, pp.646-647, 1912), Jean-Scipion-Fleury de Barrès du Molard (*Nobiliaire universel de France Tome sixième*, p.151, 1815)
- 20) A.D.S.S.D 93/828, Lettre de Bequey au Préfet, le 6 avril 1829
- 21) 1790 年から 1968 年までフランスに存在した県
- 22) A.D.S.S.D 93/828, *Projet d'un Pont en Charpente, de 7 travées, pour être construit à Gournay sur Marne*
- 23) 実際の施工では足場が組まれていたようで，早急な撤去を求める内容の書簡が確認できる（Lettre de l'inspecteur général de la Marne au préfet de Seine et Oise, 28 décembre 1828）
- 24) A.D.S.S.D 93/828, Lettre de Polonceau au Préfet le 18 mai 1821
- 25) A.D.S.S.D 93/828, *Projet d'un Pont en Charpente, de 7 travées, pour être construit à Gournay sur Marne*
- 26) A.D.S.S.D 93/828, Lettre de Bequey au Préfet, le 2 mars 1827
- 27) A.D.S.S.D 93/828, Dessin No.1 Elévation et coupe 1er projet, le 12 octobre 1827
- 28) Mémoire joint aux dessins du pont de Gournay sur Marne, 12 oct 1827
- 29) A.D.S.S.D 93/828, Dessin No.2 Plan, coupe et élévation de la moitié du Pont à construire à Gournay-sur-Marne en remplacement du Bac actuel
- 30) A.D.S.S.D 93/828, Lettre du Préfet à l'Ingénieur en chef, le 28 janvier 1828
- 31) A.D.S.S.D 93/828, Lettre de Bequey à Molard, le 3 dec 1827
- 32) A.D.S.S.D 93/828, Lettre de Barrès du Molard au Préfet, le 7 février 1828
- 33) A.D.S.S.D 93/828, No.1 Nouveau projet pour le pont de Gournay-sur-Marne tracé sur l'axe avant le 17 janvier 1828 par monsieur le Directeur général des Ponts et Chaussées
- 34) Rapport de l'ingénieur ordinaire de l'arrondissement de l'Est sur les modification apportés dans l'exécution du di Pont par les concessionnaires au projet approuvé par M. le Directeur général, le 17 novembre 1828
- 35) A.D.S.S.D 93/828, Elevation du pont de Gournay sur Marne (sans date)
- 36) Barrès du Molard : *Nouveau système de ponts à grandes portées*, Paris ; 1827
- 37) Ritter Karl Friedrich Wiebeking : "Traité contenant une partie essentielle de la science de construire les ponts...", Munich, 1810
- 38) 主任技師が作成した概略設計報告書の中でポロンソーへの言及が見られる(A.D.S.S.D 93/828, Rapport de l'ingénieur en chef de Seine et Oise, 4 avril 1827)
- 39) « Les ponts anciens et modernes sur le Rhône à Valence », Bulletin de la Société d'archéologie et de statique de la Drôme, pp.376-384, 1905