

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

本田 泰寛¹・Stéphane SIRE²・小林一郎³

¹正会員 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

²非会員 LBMS, Université Bretagne Occidentale

³正会員 熊本大学大学院先端科学研究部

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。石造アーチ橋や吊橋が盛んに建設される時代に3径間上路式木造アーチ橋として完成した本橋は、独特なアーチリブ構造や木造アーチに関する特許技術の適用といった設計者の革新的な試みが見られる興味深い事例である。本稿では、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の内容を整理する。さらに、独特な構造を有する木造アーチ橋が実現へと至った要件を整理し、考察を加える。

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。木橋全般に対する信頼度が低かった19世紀初頭のフランスであっても、同規模の木造アーチ橋は決して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。また一連の書簡からは、このような独自性の高い橋梁が実現へと至った興味深い経緯を読み取ることができる。

そこで本稿では、グルネ橋の計画から施工に至る間に関係者の中で交わされた書簡及び図面群の内容を整理する。さらに、独特な構造を有する木造アーチ橋が実現へと至った要件を整理し、考察を加える。

(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²⁾。また、設計者について言及した研究はいくつか見られるものの³⁾、本橋との関連性について詳細な分析はなされていない。

(3) 研究に用いた資料

本研究では、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⁴⁾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。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(図-1)。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⁵⁾を呈している。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、橋脚上では高さでデザインに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⁹⁾。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⁷⁾もあったようだが実現されることはなく、その構造も絶えることとなる。

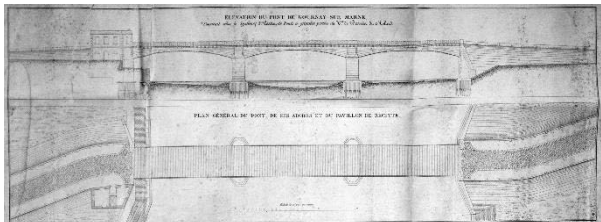


図-1 グルネ橋側面図および平面図

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⁸⁾、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⁹⁾。また、パリだけでも少なくとも 7 橋の吊橋が建設された¹⁰⁾。

(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¹¹⁾、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、例えば図-2¹²⁾に示すように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。

木材の欠点を補いつつ活用しようという発想から、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。その中には、トラスアーチ、集成材の原型となるような技術や、木鉄混合構造などを見ることができる。図-3 は、グルネ橋を設計したモラル (Barrès du Molard) が取得した木造アーチ橋に関する特許である¹³⁾。アーチスパン 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の向上が図られている。図-4 では、木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している。適用す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。

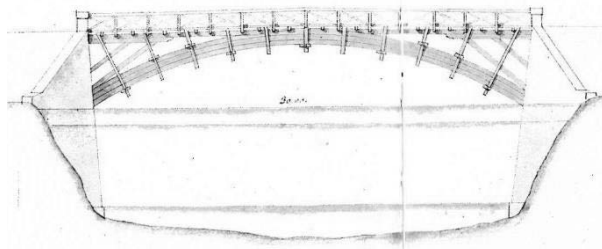


図-2 上路式アーチ橋の一例

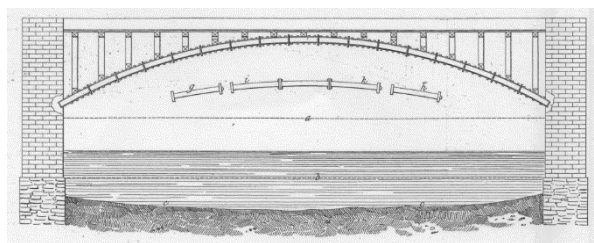


図-3 モラルの特許 (開側アーチ)

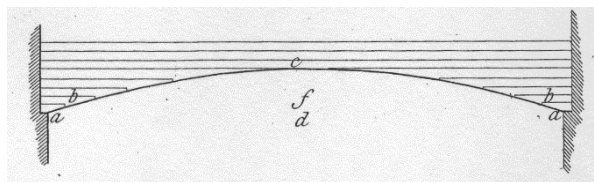


図-4 モラルの特許 (充側アーチ)

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¹⁴⁾」アーチリブ構造に関する特許を取得している (図-5)。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ラーゼル橋 (1934 年) やストラスブルのサン・トマ橋 (1841 年) で適用された。

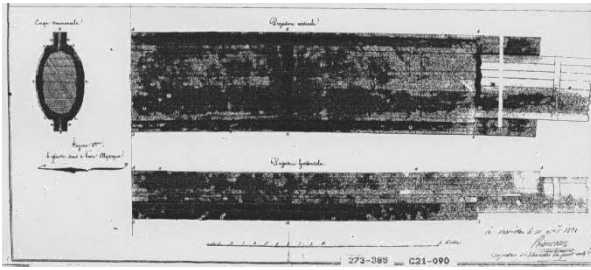


図-5 ポロンソーの特許

4. 計画から完成に至る経緯

(1) 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、以下に示すような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。

a) 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¹⁵⁾。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¹⁶⁾。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でも関与しているようであるが、むしろ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¹⁷⁾。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) となっている。

b) 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¹⁸⁾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, 専任技師) にあた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述のポロンソー (1821年時の主任技師) 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、架橋地のコミューンとの中継を負っている。

(2) 設計変更の経緯

a) 桁橋 (1821年5月18日)

書簡によると本橋の計画は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」といった内容が伝えられている¹⁹⁾。その2年後、1823年には7径間の桁橋の図面 (図-6)、架橋地周辺の平面図および河床横断面²⁰⁾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。

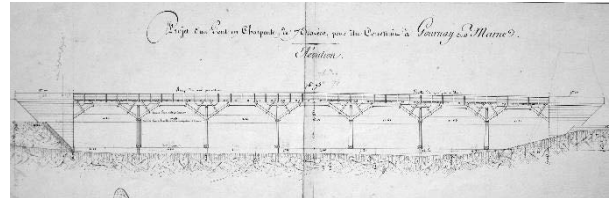


図-6 初期の桁橋案

b) 第一案 (1827年10月12日)

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、土木局局长のベケイに計画案が提出されたことに端を発する²¹⁾。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、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になること、下部工 (橋脚と橋台) は石造とされており、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。

図-7²²⁾に同年10月12日付の図面を示す。中央径間44m、側径間15mの3径間からなる上路式アーチ橋である。図面では、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。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の存在を見ることができる。

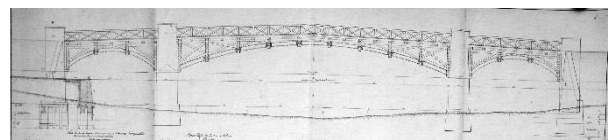


図-7 第一案側面図

c) 第二案 (1827年11月3日)

前述の訂正を受けてモラルが作成した図面が図-8²³⁾である。側面、横断、平面がいずれも片側だけ描かれており、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²⁴⁾。アーチ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²⁵⁾。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²⁶⁾。

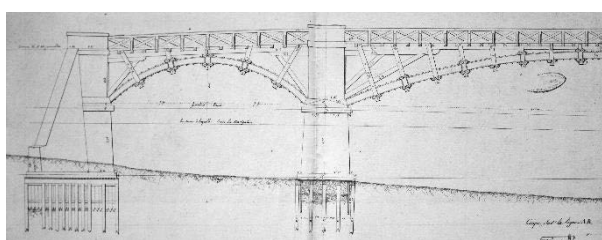


図-8 第二案側面図

d) 第三案(1827年5月21日)

土木局による承認から5週間ほどが経過した後、モラルらは更なる設計変更を土木局に申し出ている。図-9²⁷⁾は第3案の図面を示したものであるが、スパン割りが25mの3径間になり、アーチリブは開側アーチから充側アーチとなっているなど、土木局が着工を許可した第2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、図面の作成日から起算すると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、架橋位置と渇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。

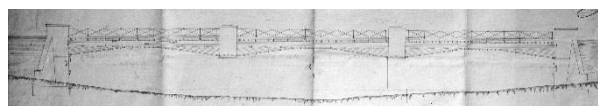


図-9 第三案側面図

e) 最終案(1827年11月17日)

土木局側によって作成されたと思われる報告書から、その後更なる変更が加えられていることが読み取ることができる²⁸⁾。主要な変更点は、①4主構から3主構になっていること、②アーチの厚さ、③アーチの高さである。これに相当すると考えられる図面を図-10²⁹⁾に示す。側面図からはアーチ下縁部が直線から曲線に代わっていることが確認できる。また、横断面図からは報告書にあるように主構数が3主構となっている。これらは橋梁の構造に関わる重要な変更であり、現場に常駐していた専任技師は、この変更について考慮しておく必要があると記しているが、これが特に問題とはなっていないようで、最終案として建設されるに至った。

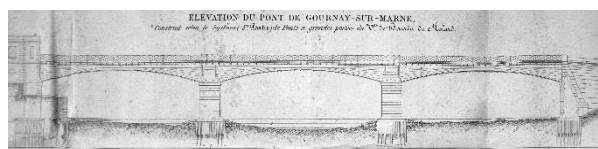


図-10 最終案側面図

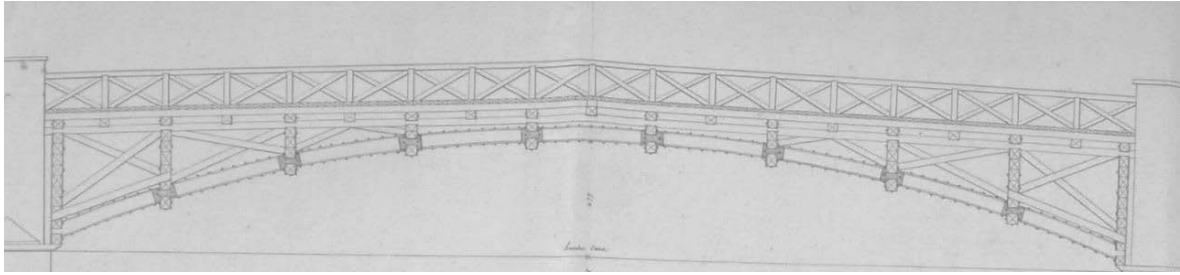
5. 設計変更点のまとめ

設計変更の概要をまとめたものを表-1に示す。また、第一案から最終案までのアーチ側面を図-11に示す。第一案から第二案では橋長、スパン割り、主構数に変更はないが、アーチリブと床板を連結する支柱の数と取り付け角度が変更されている。

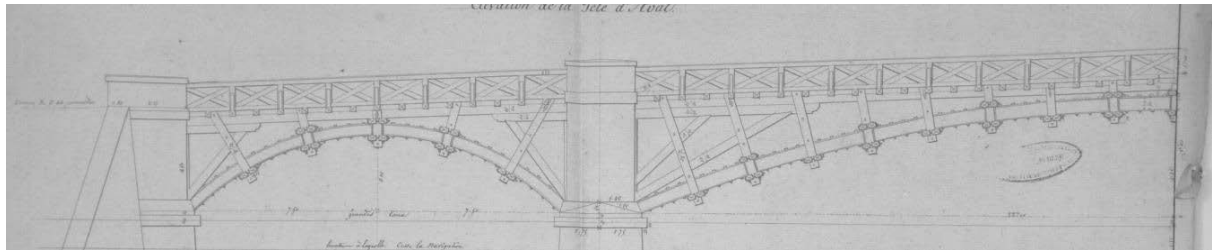
第一案は図-3に示したモラルの特許とほぼ同じ構造であり、自身のアイデアの実地への適用を考えていたことがわかる。第二案では、特許を適用したアーチリブの構造は変わっていないが、スパンドレルの支柱の数が増加し、取り付け方も鉛直材から斜材へと変わ

表-1 モラルによる設計案の変遷

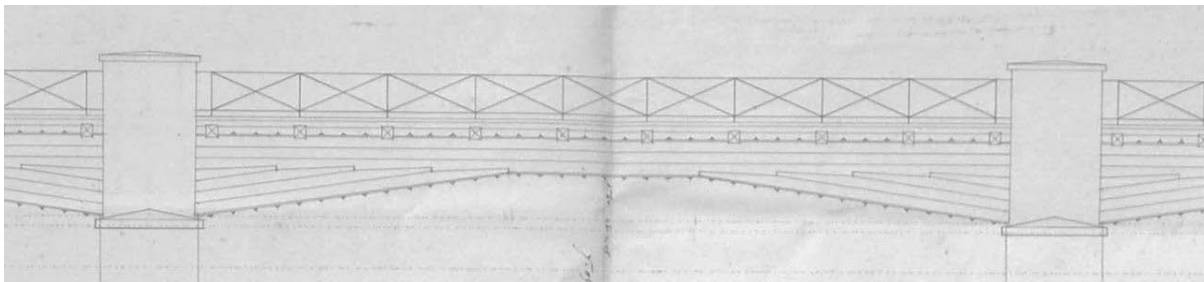
案	図面日付	形式	径間数	橋長(m)	橋脚厚(m)	主構数	スパン割(m)	道路部幅員(m)
1	1827.10.12	開側アーチ	3	81	3.5	4	15+44+15	6
2	1827.11.03	開側アーチ	3	81	3.5	4	15+44+15	6
3	1828.03.21	充側アーチ	3	81	3	4	25+25+25	6
4	1828.11.17	充側アーチ	3	81	3	3	25+25+25	6



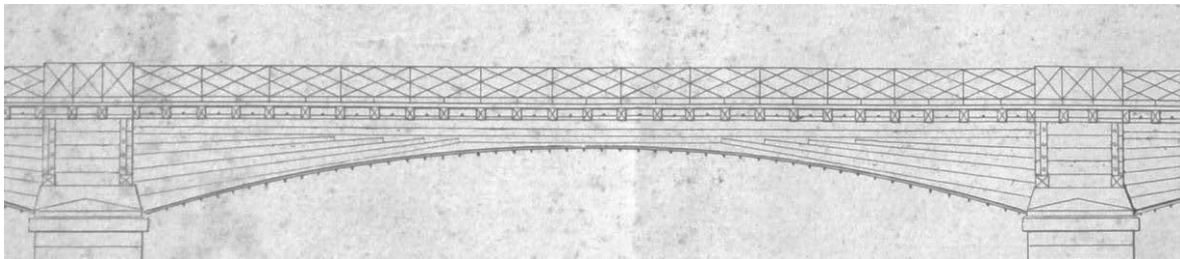
第一案 (スパン 44m)



第二案 (スパン 44m)



第三案 (スパン 22m)



最終案 (スパン 22m)

図-11 第一案から第四案の中央支間

っている。さらに方杖材も追加されているところを見ると、全体的な強度を上げるための修正が加えられたと考えることができる。

第三案では、スパン割り、アーチリブの構造ともに大幅に変更しているため、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モラルが取得したもう一つの特許と同様であるため、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。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）。本案は書簡中では「アーチ」と記述されているものの³⁰、側面図を見る限りでは桁高に変化を持たせた桁橋のように見受けられる。

最終案となる第四案は、第三案の桁に丸みを持たせることでアーチ橋のような外観に変更されている。高欄のデザインも変更され、第三案では高欄の高さまで達していた橋脚の柱頭部は第四案では橋面の高さまで下げられており、特許の適用だけでなく、デザイン的な面でも継続的に配慮していたことがうかがえる。

最終案の最も大きな変更点は、主構数が 4 から 3 へと減少している点である。前章 e) で述べたように、この変更については専任技師が報告書において言及しているものの、とくに大きな問題とはなっていない。その背景には、橋梁の強度に関しても請負者が全責任を負う、という請負形態がひとつの根拠になっているようである。

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することができる。

6. グルネ橋完成の要件整理

本章では、独特な構造を有するグルネ橋が完成へと至った要件を以下の 3 点について整理する。

(1) 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う利点を有する仕組みとなっている。

(2) 土木局による技術的な支援

上記と関連するが、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ことも重要である。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。グルネ橋の建設における関係者の相関を図-12 に示す。

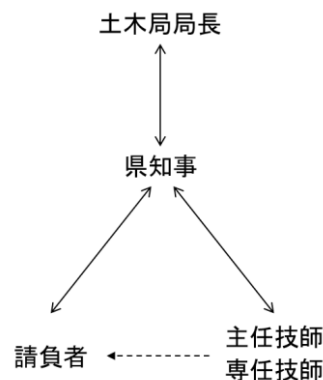


図-12 グルネ橋の設計における関係者の役割

(3) 他の技術者との交流の可能性

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³¹。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、木材を重ねて締め付け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が見られる。

またモラルは 1827 年にフランス南部の都市ヴァランス (Valence) の吊橋建設の請負者になっている（この権利はのちにジュール・スガンの会社に売却）。彼の出身地がスガン社と同じアルデッシュ県であることも考えると、なんらかの交流の可能性が考えられる³²。

現時点では推測の域を出ないが、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と直接あるいは間接的な影響を受けながらも、独自の構造を有する 3 径間上路式木造アーチ橋として完成するに至ったと考えられる。

7. おわりに

本研究では、古構造学の事例研究として1829年に完成したグルネ橋を取り上げ、関係者によって交わされた書簡を中心とした資料から、計画から完成に至る経緯を明らかにし、時代背景、請負者と行政側との関係性、著名な技術者との交流の可能性など、独特な構造が完成に至るいわば外的要因を抽出した。今後は、設

計者であるモラルの経歴や木造アーチ橋に対する考え方など、設計者に着目した分析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。

(2020. 4. 20 受付)

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) 例えば Bernard Marrey: Les ponts modernes 18e-19e siècle, Picard, 1990
- 3) Michel Cotte: « Innovation et pont suspendu dans la France de 1825 », Culture Technique N°26, p.211, 1992
- 4) Archives Départementales de Seine-Saint-Denis (A.D.S.S.D), 93/828 Pont de Gournay
- 5) “Pont de Gournay-sur-Marne”, *Journal du génie civil*, p.178, 1829
- 6) A.D.S.S.D 93/828 Pont de Gournay
- 7) *Journal du Génie civil, des sciences et des arts* Tome IV, p.463, 1829
- 8) Guy Grattesat: *Ponts de France, Press des ponts et chaussées*, p.103, 1982
- 9) Guy Lambert: *Les ponts de paris*, p.85
- 10) *ibid*
- 11) Courtin: *Travaux des ponts et chaussées depuis 1800*, Paris, 1812
- 12) A. Picon: *L'Ingénieur Artiste*, p.102, Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées, 1989
- 13) « 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)
- 14) « 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
- 15) A.D.S.S.D 93/828, Concession à MM. le Duc de Ventadour et le Vicomte de Barres, le 3 oct 1827.
- 16) Gaston-François-Christophe-Victor de Lévis-Ajac (*Inventaire historique et généalogique des documents des branches laterales de la Maison de Lévis Tome IV*, pp.646-647, 1912), Jean-Scipion-Fleury de Barès du Molard (*Nobiliaire universel de France Tome sixième*, p.151, 1815)
- 17) A.D.S.S.D 93/828, Lettre de Bequey au Préfet, le 6 avril 1829
- 18) 1790年から1968年まで存在した県.
- 19) A.D.S.S.D 93/828, Lettre de Polonceau au Préfet le 18 mai 1821
- 20) A.D.S.S.D 93/828, Projet d'un Pont en Charpente, de 7 travées, pour être construit à Gournay sur Marne
- 21) A.D.S.S.D 93/828, Lettre de Bequey au Préfet, le 2 mars 1827
- 22) A.D.S.S.D 93/828, Dessin No.1 Elévation et coupe 1er projet, le 12 octobre 1827
- 23) 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
- 24) A.D.S.S.D 93/828, Lettre du Préfet à l'Ingénieur en chef, le 28 janvier 1828
- 25) A.D.S.S.D 93/828, Lettre de Bequey à Molard, le 3 dec 1827
- 26) A.D.S.S.D 93/828, Lettre de Barès du Molard au Préfet, le 7 février 1828
- 27) 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
- 28) 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
- 29) A.D.S.S.D 93/828, Elevation du pont de Gournay sur Mame (sans date)
- 30) A.D.S.S.D 93/828, Lettre de Bequey au préfet, le 25 avril 1828
- 31) 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)
- 32) « 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

STUDY ON THE DESIGN CONTEXT OF GOURAY BRIDGE BY BARRES DU MOLARD

Yasuhiro HONDA, Stéphane SIRE and Ichiro KOBAYASHI

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 paper tries to describe the process and context of the realization of the original bridge.