

## 第5章 世界の木橋

# 1節 欧米の木橋

## 1.1節 木橋の歴史

本田 泰寛  
第一工業大学自然環境工学科

### 1. はじめに

世界文化遺産、とりわけ科学・技術遺産として錦帯橋を評価する時には、遺産の唯一性を証明する必要がある。すなわち、錦帯橋が建設される以前に、前例となるような木橋がなかったこと、さらに現在も錦帯橋と同じような木橋が存在しないことが示されなければならない<sup>1)</sup>。また錦帯橋は、我が国の木造文化の粹として評価され、日本三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<sup>2)</sup>とも言われる木造アーチ橋であるが、海外の事例と比較した場合それはどのように評価しうるのだろうか。この点を明らかにしていくことは、世界文化遺産として有すべき顕著で普遍的な価値を見出すことにもつながるのではないかと考える。

このような視点から、本節ではまず、主だった事例に着目しながら、欧米における木造アーチ橋および木造アーチ構造の歴史を概観し、錦帯橋の唯一性を確認する。さらに、木造アーチ構造の変遷や欧米の技術者および大工の木造アーチ構造に対する考え方を踏まえた上で、欧米で錦帯橋のような木橋が出現しなかった背景を明らかにする。最後に、木橋史における錦帯橋の位置づけについて簡単な考察を加える。

なお本節では、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木橋を特に「木造アーチ橋」と呼ぶこととする。

### 2. 錦帯橋のアーチ構造

はじめに、錦帯橋の概略およびアーチ構造について確認しておきたい。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5.1.1-1<sup>3)</sup>)。ここではこれを錦帯橋式アーチとする。

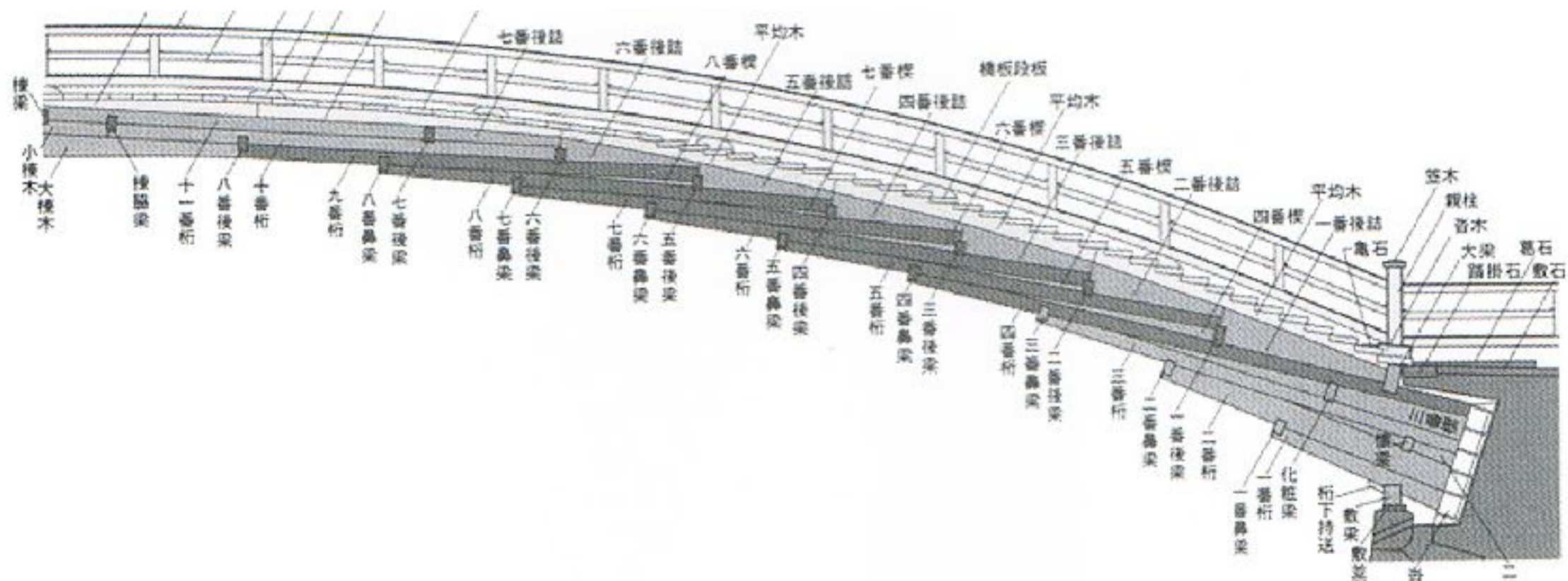


図 5.1.1-1 錦帯橋のアーチリブ側面図(文献 3)より引用)

## 3. 17世紀以前に見られる木造アーチ構造

欧州における木材の利用は少なくとも古代ローマにまでさかのぼることができる<sup>4)</sup>。例えば、ウィトルーウィウス(Marcus Vitruvius Pollio：前1世紀頃)の『建築書<sup>5)</sup>』には、木材の伐採時期や取り扱い方などが細かく記されており、欧州における木造文化の存在を見ることができる。したがってカエサルがライン川に架けた栈橋状の桁橋や、ヴィオレール＝デュク(Eugène Viollet-le-Duc：1814-79)の『中世建築辞典<sup>6)</sup>』にあるケルト人(ガリア人)が用いていたとする擬似アーチ橋(図5.1.1-2)など、様々な木橋が架けられていたと考えられるが、木橋の寿命は短く、現存例がないことや、史料不足のためにその存在を確認することは難しい。15世紀頃からは印刷技術の発展などを背景に建築家による著書が発行されるようになり、木造アーチ橋もいくつか見られるようになるものの、実際にどの程度のアーチ橋が建設されていたかは不明である。ここでは、橋梁から建築物にまで対象を広げて、錦帯橋が完成する17世紀以前の木造アーチ橋および木造アーチを用いた屋根組の構造をまとめる。

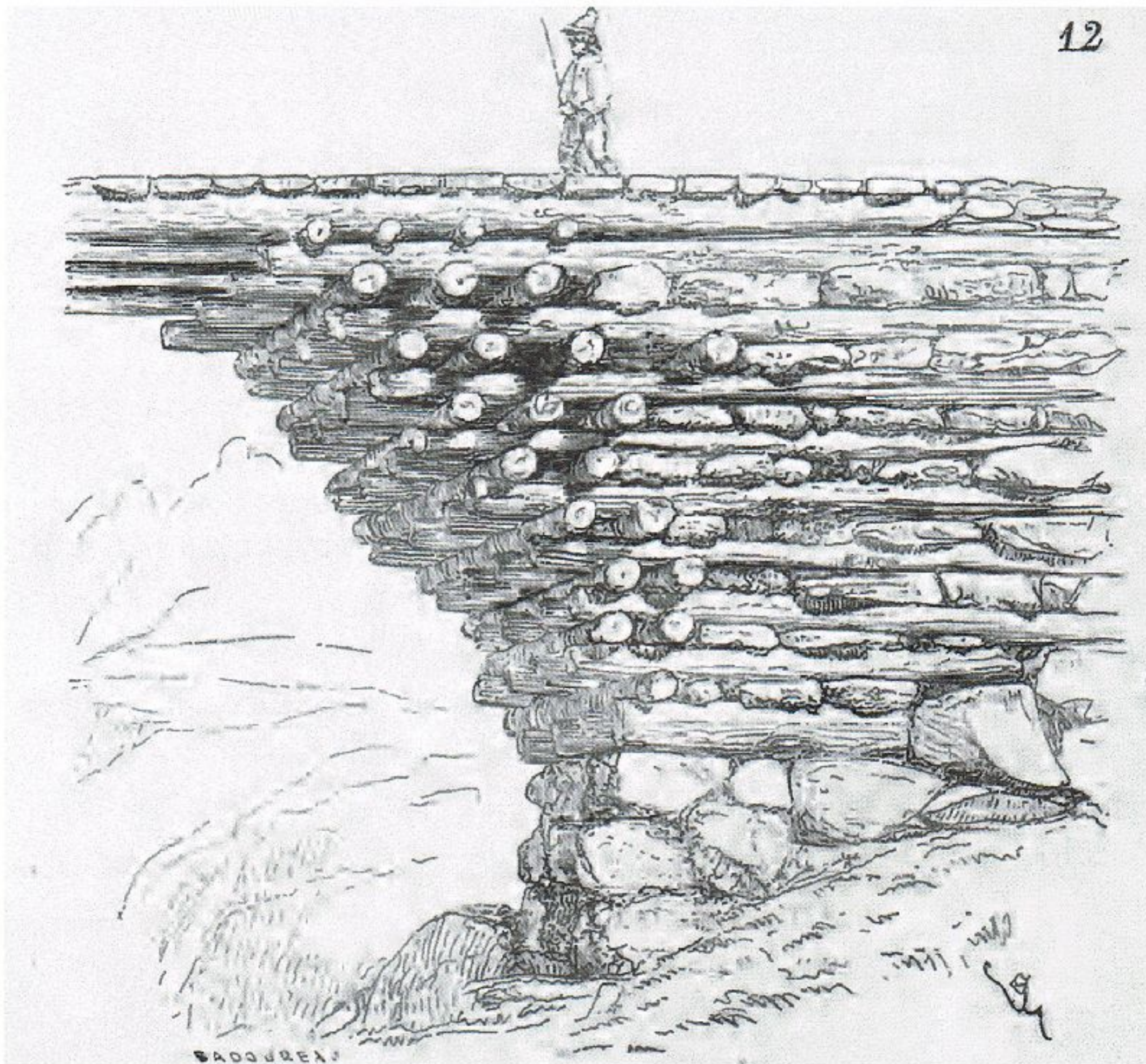


図 5.1.1-2 ケルト人の擬似アーチ(文献 6)より引用)

(1) トラヤヌス橋

現在、文献や資料で確認されている最も古い木造アーチ橋は、ローマにあるトラヤヌスの記念柱に描かれたトラヤヌス橋(Trajan Bridge)である。本橋は、105年にドナウ川がルーマニアのドロベタ(Drobeta)を通過する場所に架けられたものである。この橋を実際に目にしたというローマの歴史家カシウス(Dion Cassius : 155-?)の記述によれば、スパンは51m、橋長は1,200m以上であったとされている<sup>7)</sup>。これは木造アーチ橋としては極めて長大な部類になるものの、その記述内容の妥当性は長く疑問視されている<sup>8)</sup>。なお、記念柱に描かれた図をもとに復元された上部工は、3重に並置されたアーチリブが斜材のような部材によって床版と固定された構造となっているが(図5.1.1-3)、これは、18~19世紀頃のヨーロッパにおいて道路橋や鉄道橋で日常的に用いられていた構造に近い。

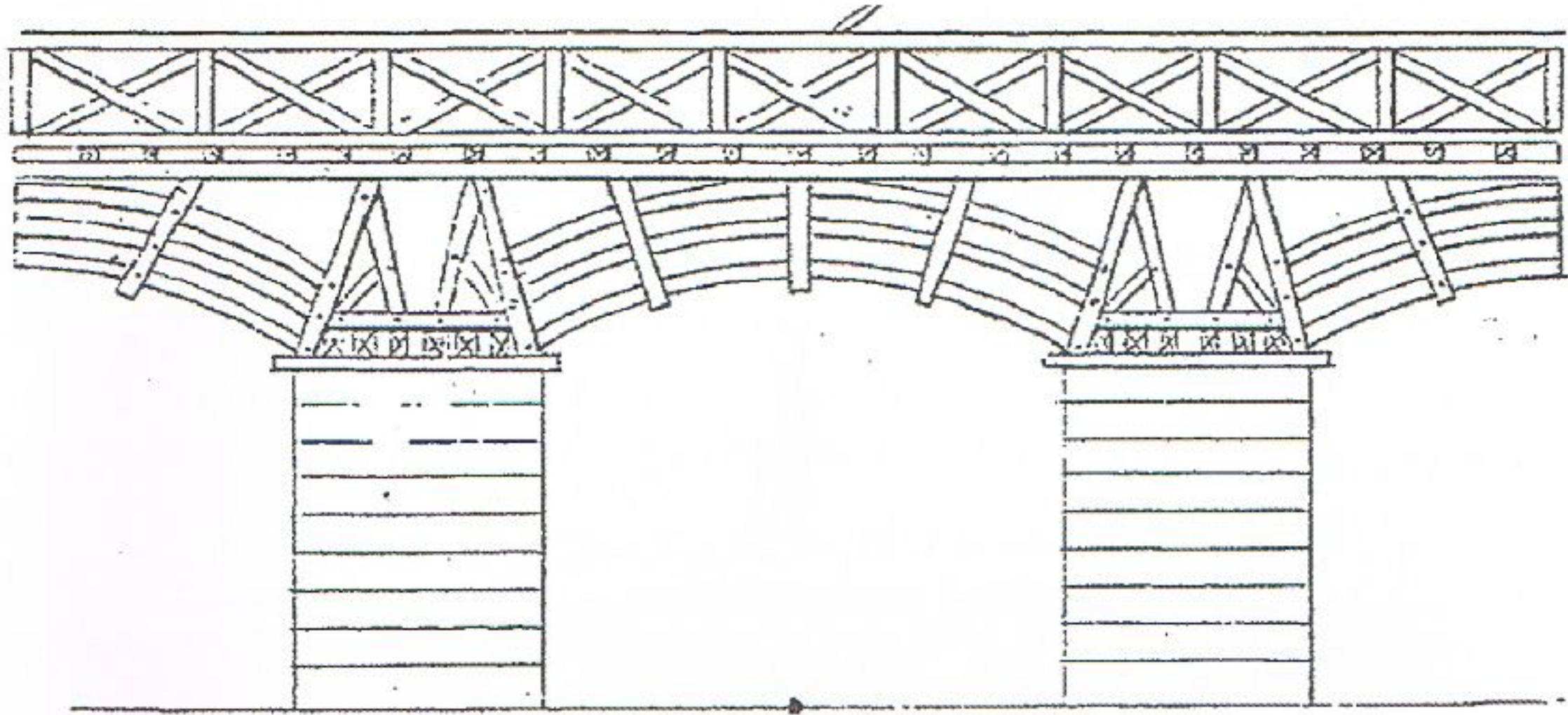


図 5.1.1-3 トラヤヌス橋(文献 10)より引用)

(2) パラディオのトラスアーチ

中世イタリアの建築家パラディオ(Andrea Palladio : 1508-1580)は、『建築四書<sup>9)</sup>』において、自身が考案したいくつかの橋梁を示している。この中にはトラス橋が4橋含まれており、そのうち1橋は図5.1.1-4に示すようなトラスアーチ橋である。このトラスアーチは、他の3つのトラス構造のヴァリエーションであると考えられるが、実際に建設されてはいない。フランス土木局のエンジニアであったゴーティエ(Henri Gauthier : 1660-1737)は『橋梁概論<sup>10)</sup>』においてこのトラスアーチを紹介しているが、構造の説明に際しては、石造アーチにおいて用いられる要石や迫石といった用語が用いられている。

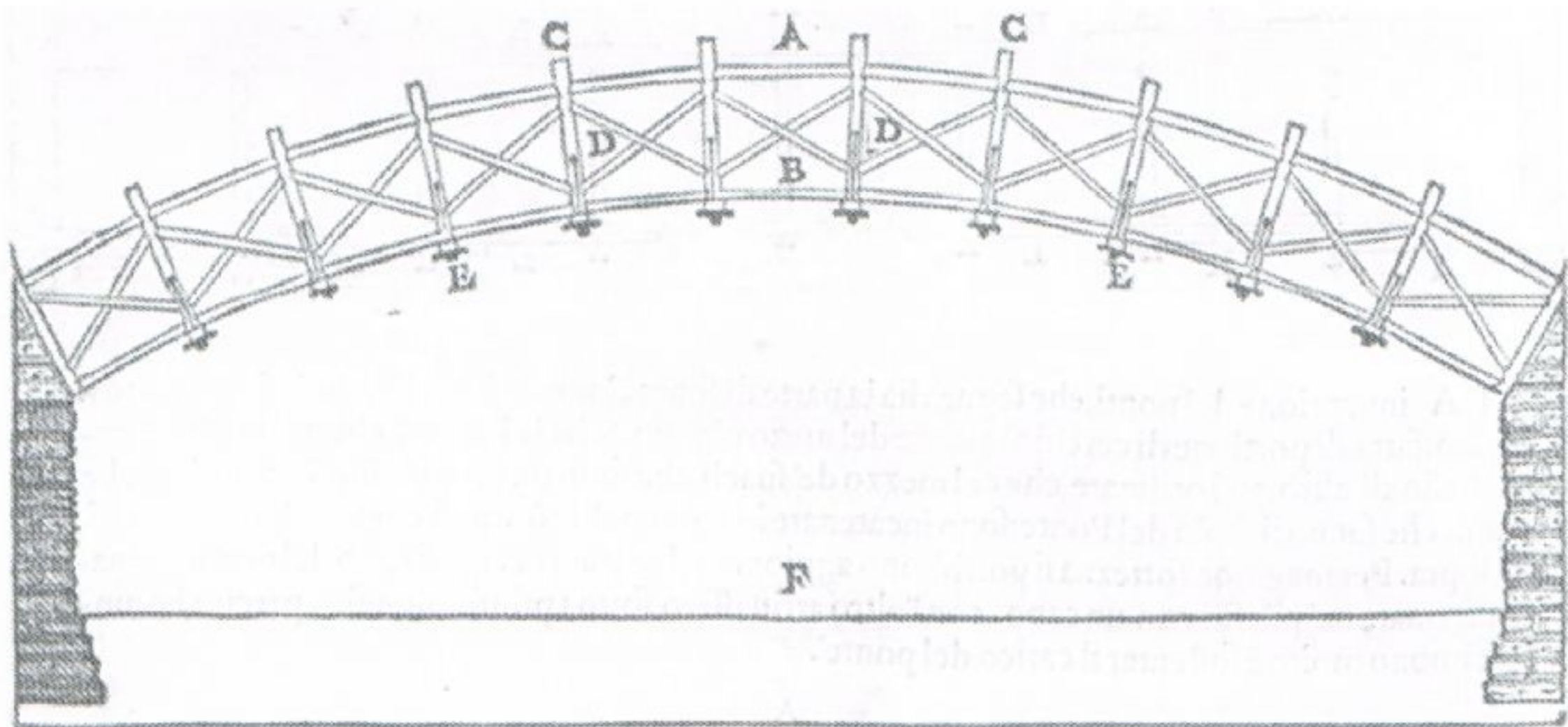


図 5.1.1-4 パラディオのトラスアーチ(文献 9)より引用)

### (3) スカモッツィの屋根付橋

パラディオから遅れること約50年、同じくイタリア人の建築家スカモッツィ(Vincenzo Scamozzi : 1548-1616)は『普遍的建築の理念<sup>11)</sup>』において木造の屋根付橋を紹介している(図5.1.1-5)。スパンおよそ18mの中央径間にはアーチが用いられている。桁を見ると、橋脚付近では二重になっており、さらに方杖によって補強されている。このような特徴を見ると、本橋はアーチ橋というよりは、桁橋をアーチリブによって補強した構造に近い。なお、この橋は実際には建設されてはいないようであるが、17世紀のヨーロッパにおいて、木材でリブアーチ橋を架けるという考え方が存在していたことを示している。

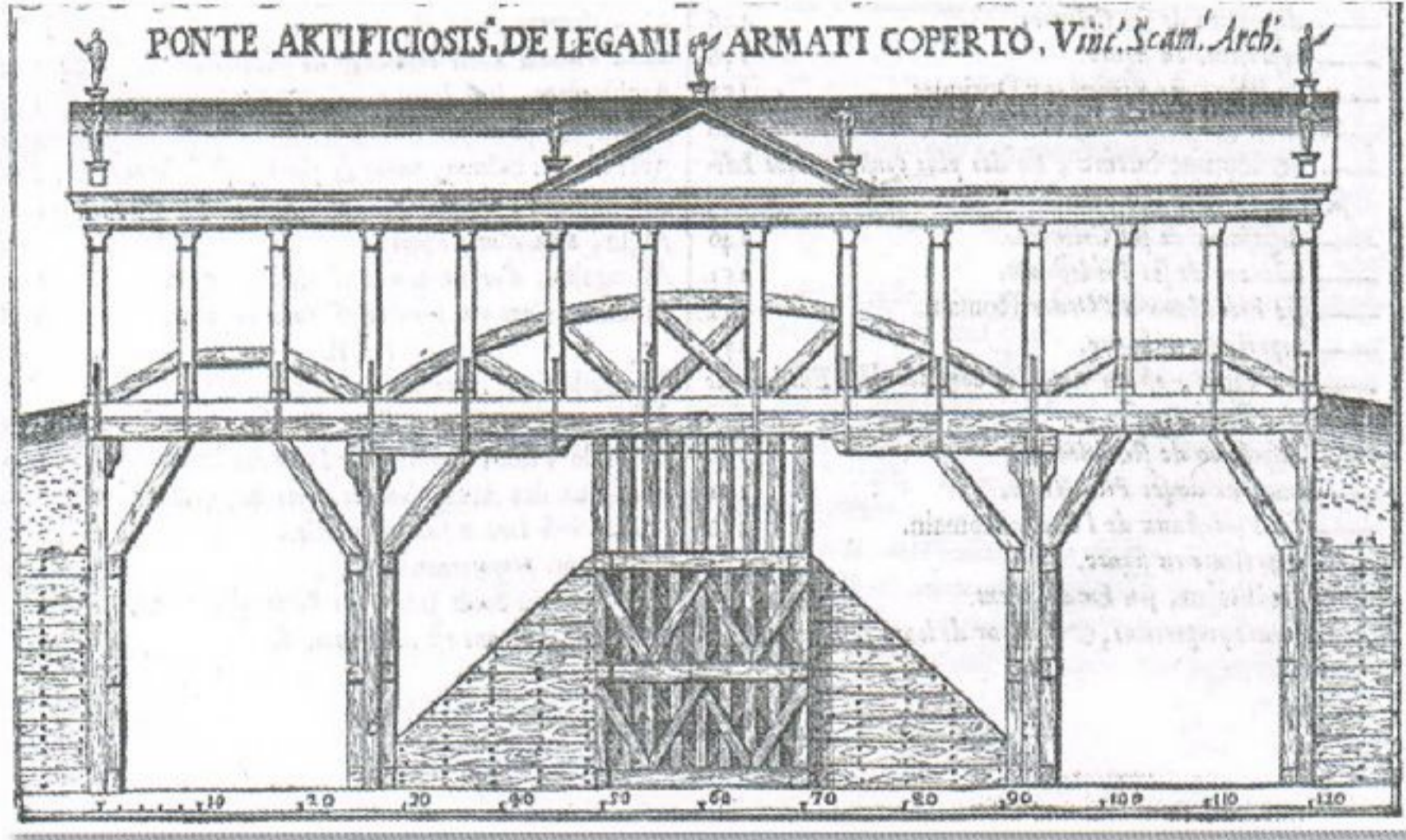


図 5.1.1-5 スカモッツィの屋根付橋(文献 11)より引用)

### (4) セルリオの木造アーチ

橋梁ではないが、イタリアの建築家セルリオ(Sebastiano Serlio : 1475-1554)が著した『建築書 第7巻<sup>12)</sup>』には、特徴的なアーチを見ることができる。セルリオの考案したものは、図5.1.1-6に示すような2種類の木造アーチ構造である。両者はいずれも木材を半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、棒状の部材を組み合わせた構造になっている。それぞれの部材は細長く、湾曲しており、継手によって連結されているように見受けられる。この構造は、次に述べるド・ロルム式アーチの原型となったのではないかと考えられる。図中C(右下)に示されているのはより簡易な方法で、方杖で支えられた単純桁を、さらに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、樽や木桶などに通じるアイデアである。

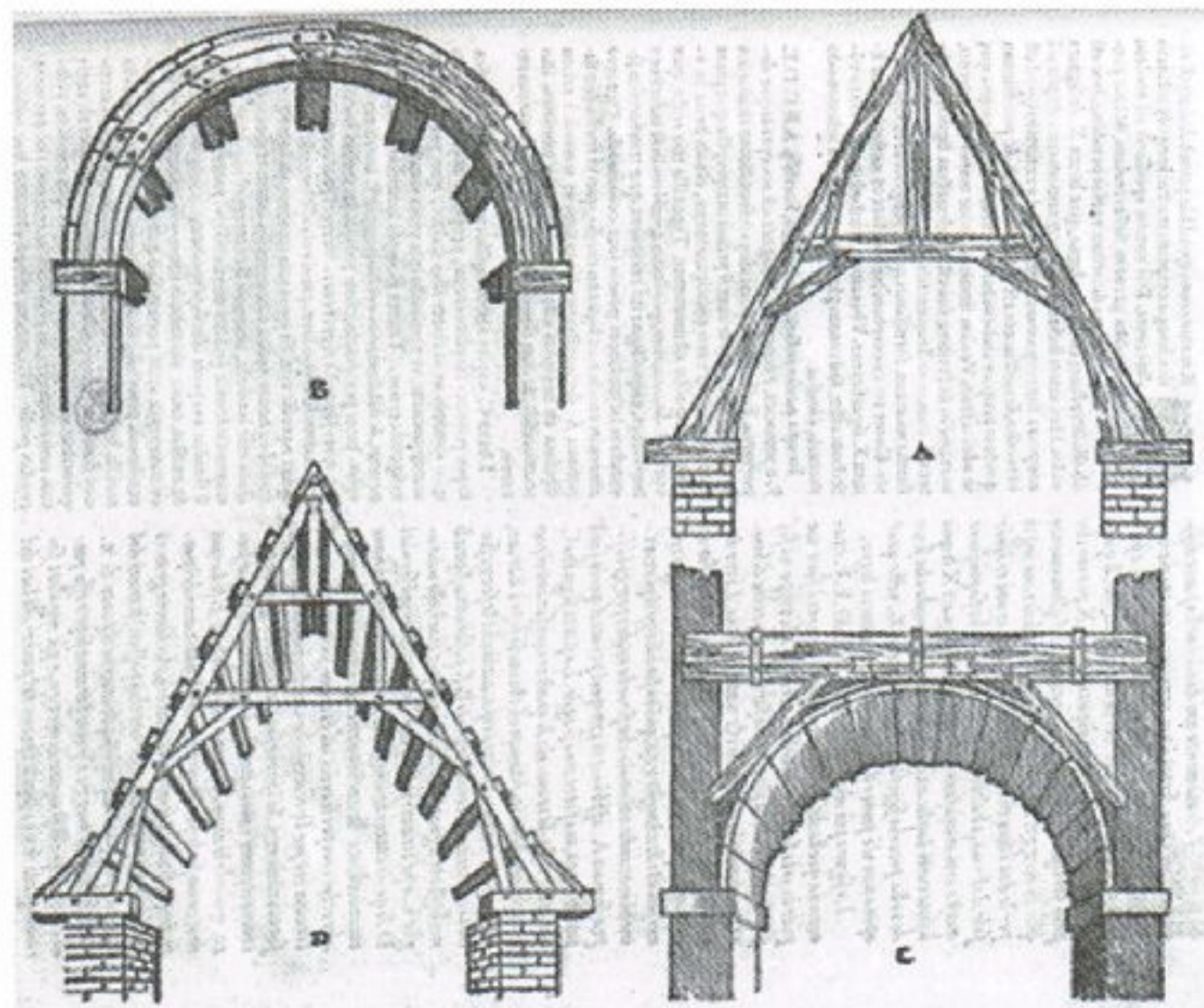


図 5.1.1-6 セルリオの木造アーチ(文献 12)より引用)

(5) ド・ロルム式アーチ

フランス人の建築家であり、建築アカデミーの会員でもあったド・ロルム(Philibert de l'Orme : 1506-1577)は、『新しい発明<sup>13)</sup>』において、自身の考案した木造アーチによる屋根組を紹介している。ド・ロルム式アーチとも呼ばれるこの構造は、従来の洋風小屋組に替わるものとして考案されたもので、迫石を有する石造アーチ橋の原理に倣った木造アーチ構造である(図5.1.1-7)。このアーチ構造の特徴は、小屋組に用いられるような水平材を用いる必要がなく、比較的サイズの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<sup>14)</sup>」の部材のみでできるこのアーチは、材料費の削減が可能となる上に、部材の運搬と組立てが容易になるとしている。

こうしたド・ロルムの考え方は、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。この点についてはド・ロルム自身も、この構造に精通した大工棟梁の存在が欠かせないことを指摘している<sup>15)</sup>。19世紀に入り、エミー(Armand Rose Emy : 1771-1851)による評価と同時に<sup>16)</sup>、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(写真5.1.1-1)。

なお、『新しい発明』においては、ド・ロルムは建築物の屋根についていくつかの適用例を示しているものの、木造アーチ橋については触れられていない。わずかに、『ガリア戦記』に記述されているカエサルによる木橋を引き合いに出しつつ、自身の考案した木造アーチの適用可能性を示唆するにとどめている<sup>17)</sup>。

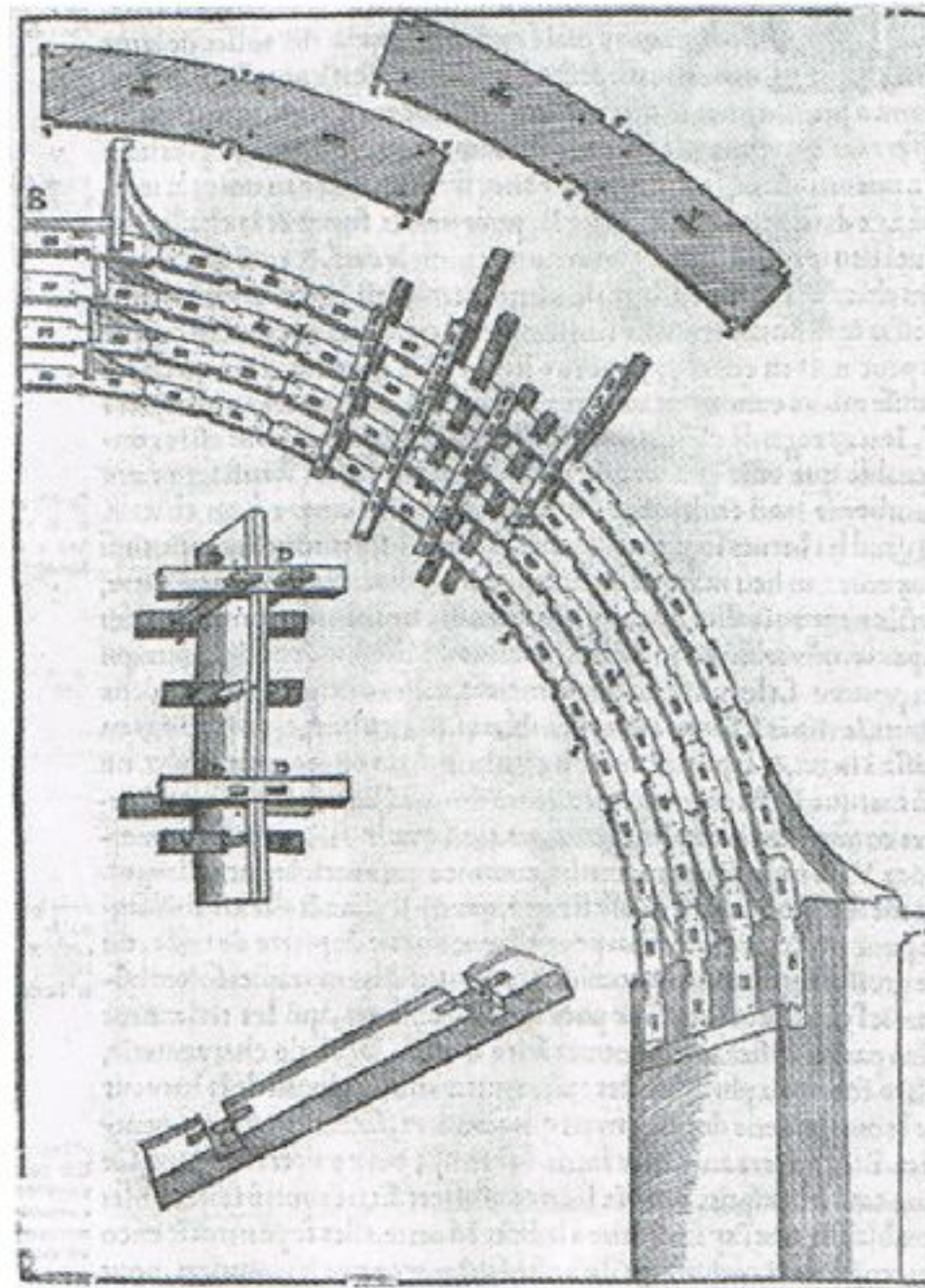


図 5.1.1-7 ド・ロルム式アーチ(文献 13)より引用)

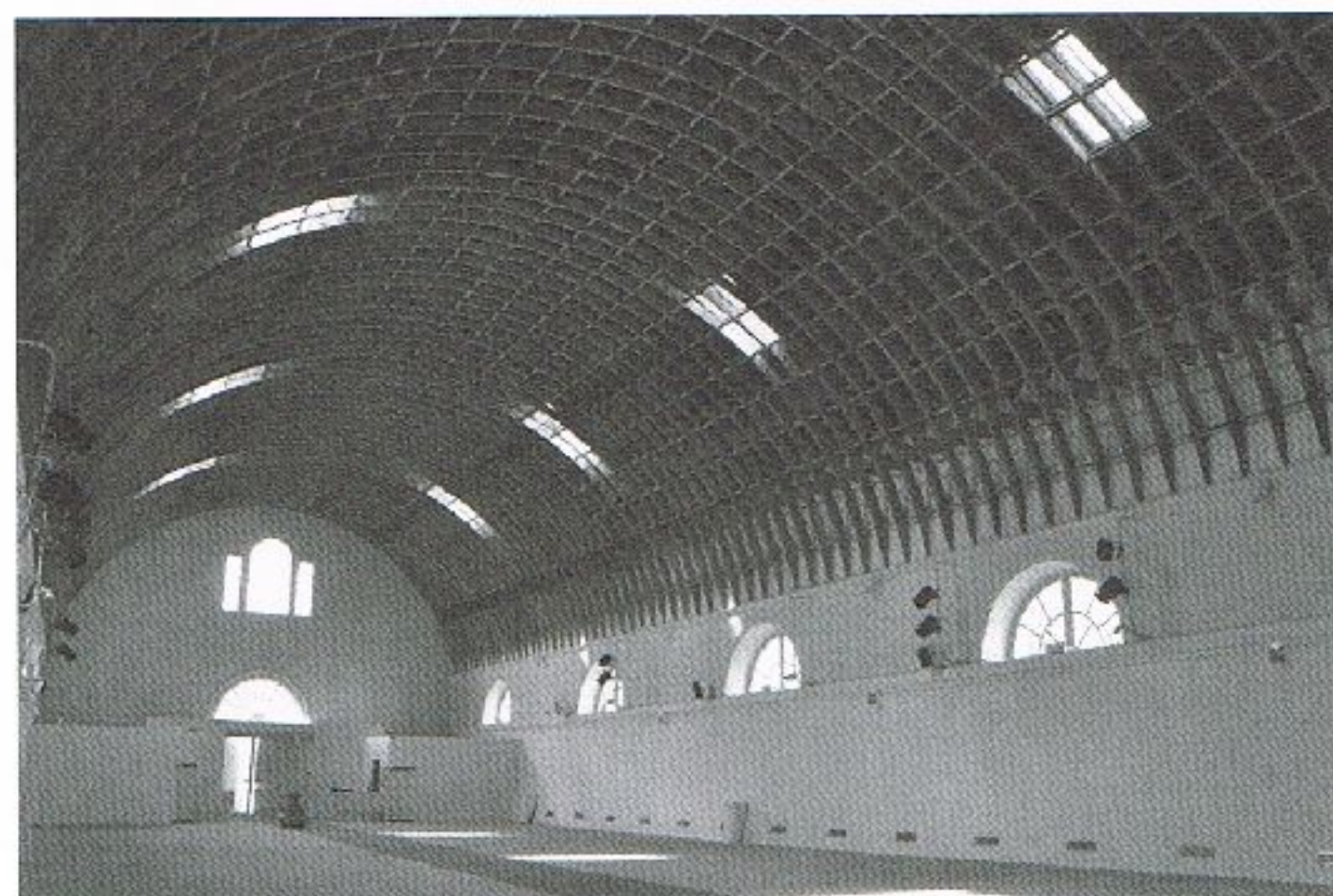


写真 5.1.1-1 サン・ジェルマン＝アン＝レーの旧王立調馬場(1816年完成, 著者撮影)

#### 4. 18世紀以後の木造アーチ橋

18世紀以降になると欧米では多様な構造が考案されており、19世紀には特にドイツを中心として上路式アーチ橋の構造が確立されつつあった。結局、鉄の普及によってこれは消えてゆくが、この200年間ほどの間に見られた木造アーチ橋発展の経緯を見ると、欧米における木橋の位置づけやアーチ構造に対する考え方などを垣間見ることができる。ここでは、主だった国の事例を取り上げる。

##### (1) スイス

カペル橋(Kapellbrücke, 写真5.1.1-2)やシュプロイアー橋(Spreuerbrücke, 写真5.1.1-3)に代表されるように、スイスでは数多くの屋根付橋が建設され、現在でも、少なくとも200橋を超える屋根付橋が共用されている<sup>18)</sup>。近年新設された道路橋でも、同じような形式が用いられ続けている(写真5.1.1-4)。ただしこれらの橋は、集成材と金属製のジョイントによって構成されている、いわゆる近代木橋と言われるものである。大工による架橋技術は多彩を極め、独特なトラス構造やアーチ構造が数多く考案された。その中でも重要な位置を占めるのは、ヨハネス(Johannes Grubenmann : 1707-71)とハンス=ウルリッヒ(Hans Ulrich Grubenmann : 1709-83)のグルーベンマン兄弟によって建設されたシャフハウゼン橋(Grubenmann-Brücke in Schaffhausen)とヴェッチングン橋(Brücke bei Wettingen)の2橋である。グルーベンマン兄弟はトイフェン(Teufen)出身の大工で、主として教会や住宅建築を手がける傍らで、11橋の木造アーチを建設した<sup>19)</sup>。



写真 5.1.1-2 カペル橋(著者撮影)



写真 5.1.1-3 シュプロイアー橋(著者撮影)



写真 5.1.1-4 ヒルヒェン橋(著者撮影)

シャフハウゼン橋は1758年の建設当初、スパン119mの単径間の架橋が計画されていたが、地元の架橋委員会の意見を受けて2スパン(52m, 55.8m)へと変更された(図5.1.1-8)。各スパンは、橋脚および橋台からスパン中央部へ向かって延びる部材で屋根を支持し、その屋根から床版が吊られたような構造となっている。さらに左右の橋台を支点としたアーチ状の部材が用いられていることも確認できる。

続いて1765年にはヴェッチンゲン橋を建設する(図5.1.1-9)。本橋はスパン61mのアーチを有しており、シャフハウゼン橋と比較すると全体的に簡素な構造になっている。アーチ部分は、角材状の部材を7層に重ね合わせて、上下両端からボルト状の器具で圧着することでアーチリブを構成している。本橋は、後に建設される屋根付橋のモデルとなり<sup>20)</sup>、20世紀以降に入っても同様の構造で屋根付橋が建設された。本橋の完成によって、木材でアーチリブを建設するという技術は実用化に至ったと見られる<sup>21)</sup>。

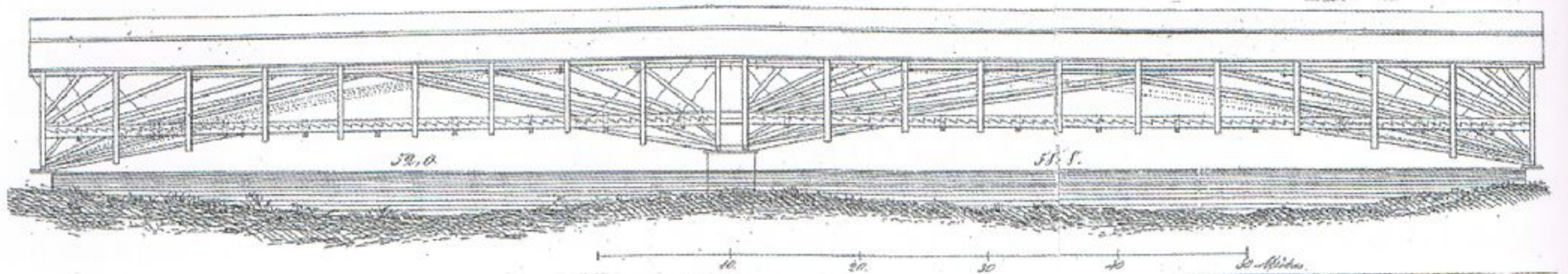


図 5.1.1-8 シャフハウゼン橋(文献 10)より引用)

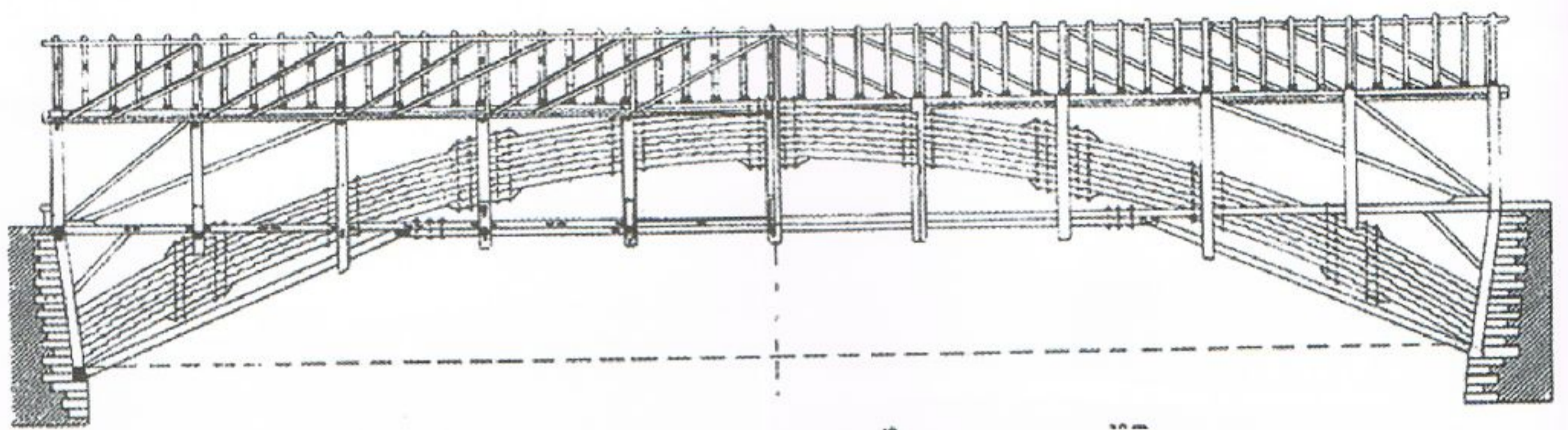


図 5.1.1-9 ヴェッチンゲン橋(文献 10)より引用)

上記の2橋はすでに現存しないが、ヴェッチンゲン橋と同じタイプのアーチ構造を有する橋梁としては、チューリッヒ空港付近ルムランクにかかるグラット橋(Glattbrücke, 図5.1.1-10)を現存例としてあげることができる<sup>22)</sup>。この橋は1767年に建設されたスパン27mの屋根付橋(1927年補修, 1950年移設)で、ヨハネスによる木橋のうち現存最古である。アーチリブは木材を重ねてトラスに固定されている(写真5.1.1-5)。現況を見ると、本橋の構造はアーチ橋というよりは、アーチとハウトラスが組み合わさった構造のように見受けられる。

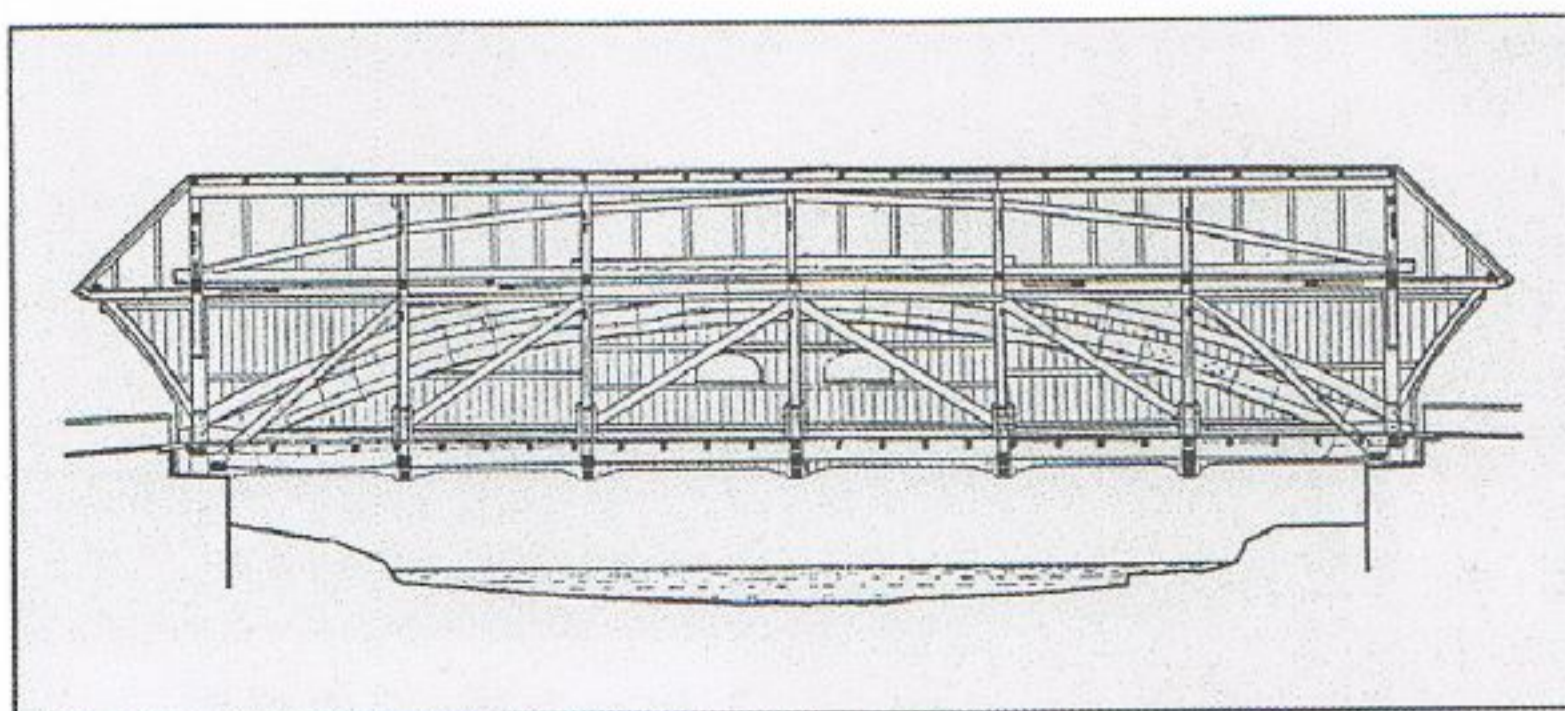


図 5.1.1-10 グラット橋側面図(文献 22)より引用)



写真 5.1.1-5 グラット橋内部(著者撮影)



## (2) フランス

フランスは石造アーチ橋の国としてよく知られるが、トリュデン地図<sup>23)</sup>からは、道路橋における木橋の位置づけを見ることができる。この地図は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の地図で、都市間の主要道路や河川の様子などが記録されている。全64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重要な資料のひとつである。道路橋図面群は、地図作成時に現存していたものと、さらに当時建設予定となっていたものからなっており、全部でおよそ1,500橋が収められている。このうちのほとんどは石造アーチ橋（一部レンガを含む）で、木橋は82橋、全体の5パーセントである。これらの木橋はすべて桁橋であるが、構造にはわずかながら差異が認められる。最も単純な構造は、図5.1.1-11に示すように橋脚上に直接桁を載せただけのものである。この他、橋脚上で桁を二重にしたもの(図5.1.1-12)や、さらに橋脚から桁にかけて斜材が追加されたものが見受けられる(図5.1.1-13)。フランス土木局エンジニアのゴーター(Emiland Gauthey : 1732-1806)は19世紀に、著書『橋梁概論<sup>24)</sup>』において木橋をとりあげているが、この記述からは、当時の桁橋の構造はスパンおよび木材の寸法に応じて大きく3つのパターンに分けられている(表5.1.1-1)。このことから、木橋は交通網整備において体系的に利用されていたことがわかる。

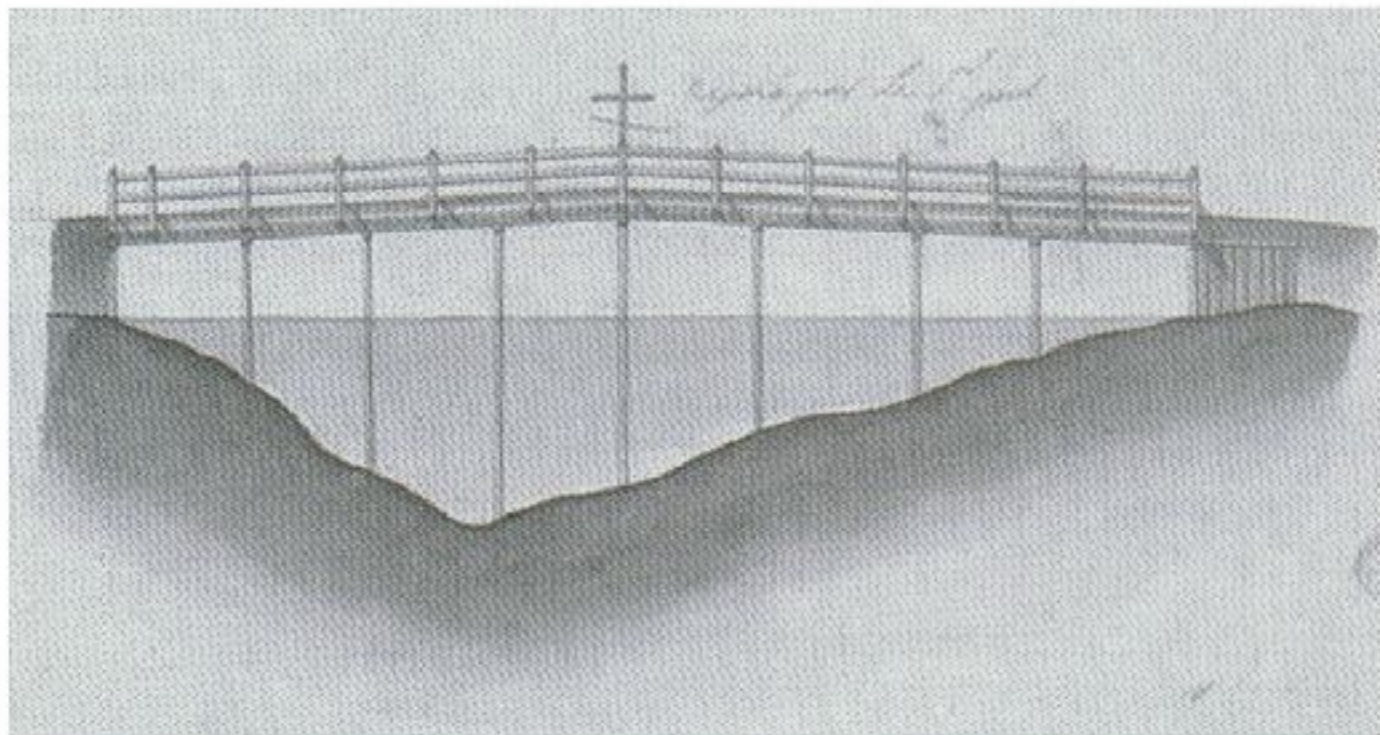


図 5.1.1-11 桁橋(文献 23)を加工・引用)

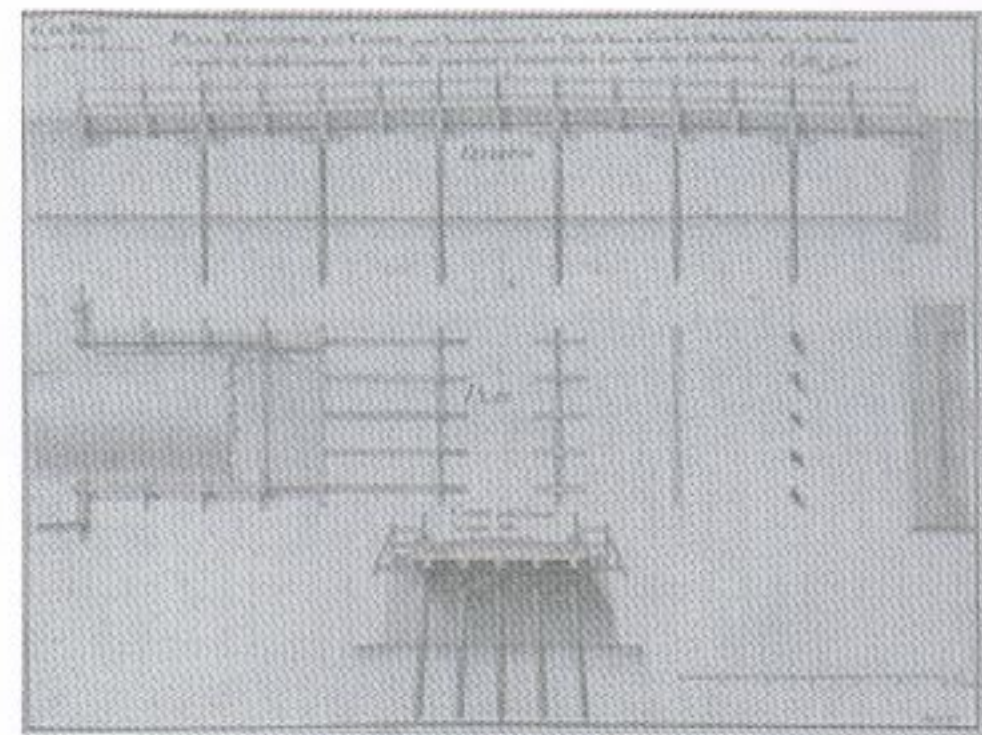


図 5.1.1-12 二重桁橋(文献 23)を加工・引用)

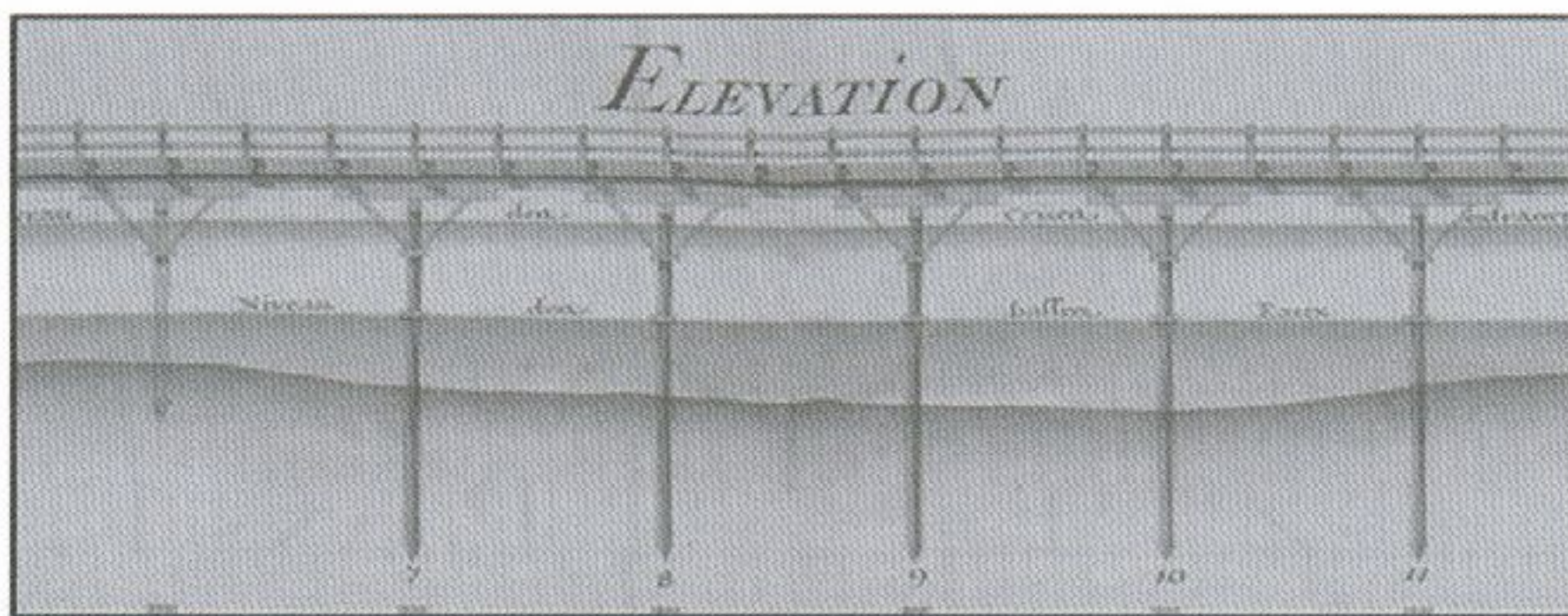


図 5.1.1-13 二重桁と斜材を用いた桁橋(文献 23)を加工・引用)

表 5.1.1-1 桁橋のスパンと構造(文献 10)より著者作成)

A	スパン	木材の寸法	基本構造
	3-4 m	30-32 cm	A
5-7 m	A		
B	8-9 m	32-35 cm	B
	10-11 m		B
	12-16 m		C
	20-25 m		C
B	C		

一方、木造アーチ橋は全く建設されていなかったというわけではない。頻繁に見られる例は、図5.1.1-14に示すようなアーチ橋である。これは、角材状の部材を4層に重ね、その上下両端をボルト締めすることでアーチリブとする構造になっている。この構造はパリのシテ橋(Pont de la Cité<sup>25</sup>)やイヴリー橋(Pont d'Ivry<sup>26</sup>)のほか、ナントのプチ・ミュール橋(Pont des Petits Murs<sup>27</sup>)といった地方都市の架橋でも用いられており、当時アーチ橋を架ける際のひとつのモデルとなっていたと考えられる。例えば1711年、ナントのロワール川上にかかっていた石造アーチ橋のピルミル橋(図5.1.1-15)の場合、洪水で流された2径間に、応急橋としてスパン40mの木造トラスアーチ橋が計画されている<sup>28</sup>。同じ時期の計画であると思われるが、フェイドー島に架かる橋の設計案にも、屋根付橋と思われるトラスアーチ橋も見られる(図5.1.1-16)<sup>29</sup>。

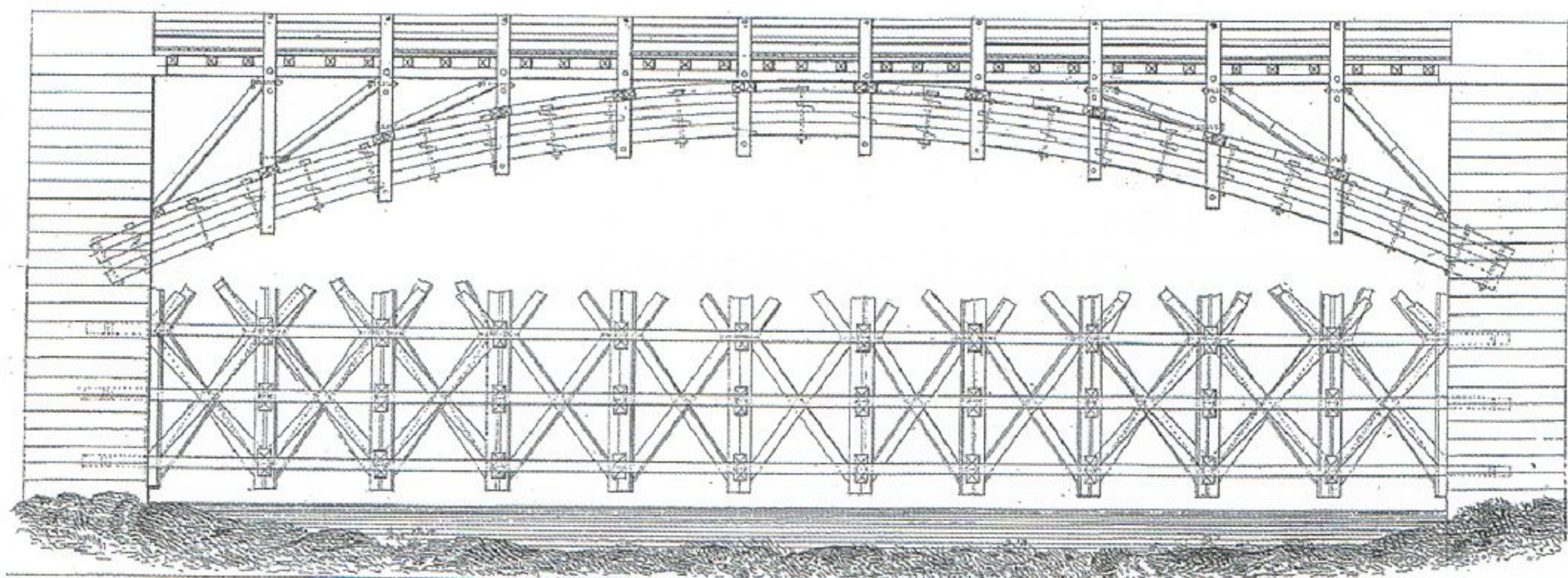


図 5.1.1-14 上路式アーチ橋(文献 10)より引用)

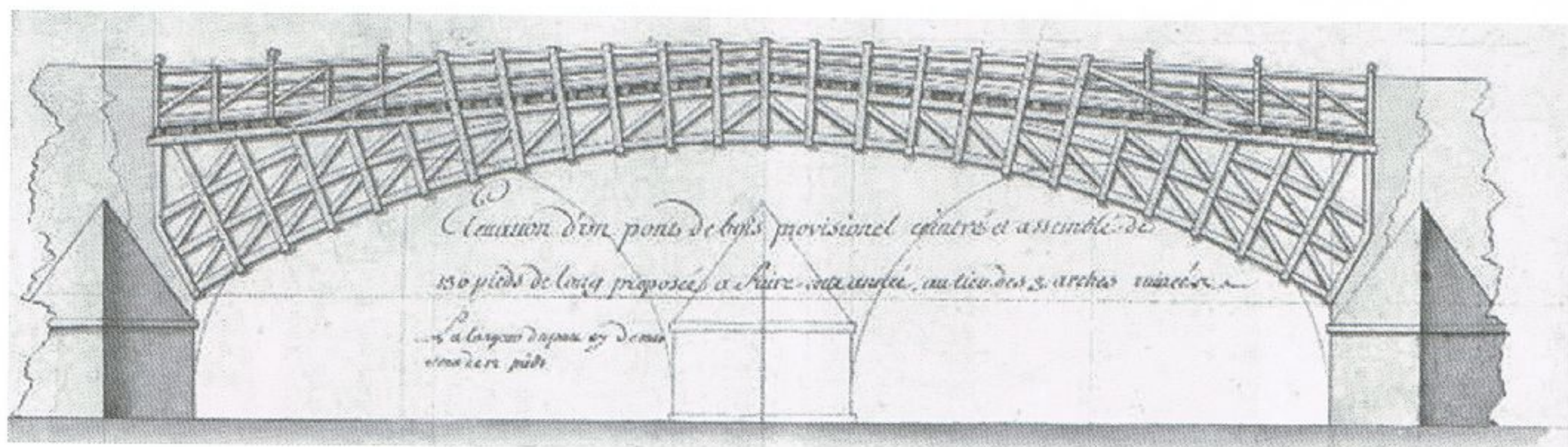


図 5.1.1-15 ピルミル橋の仮橋案(文献 28)より引用)

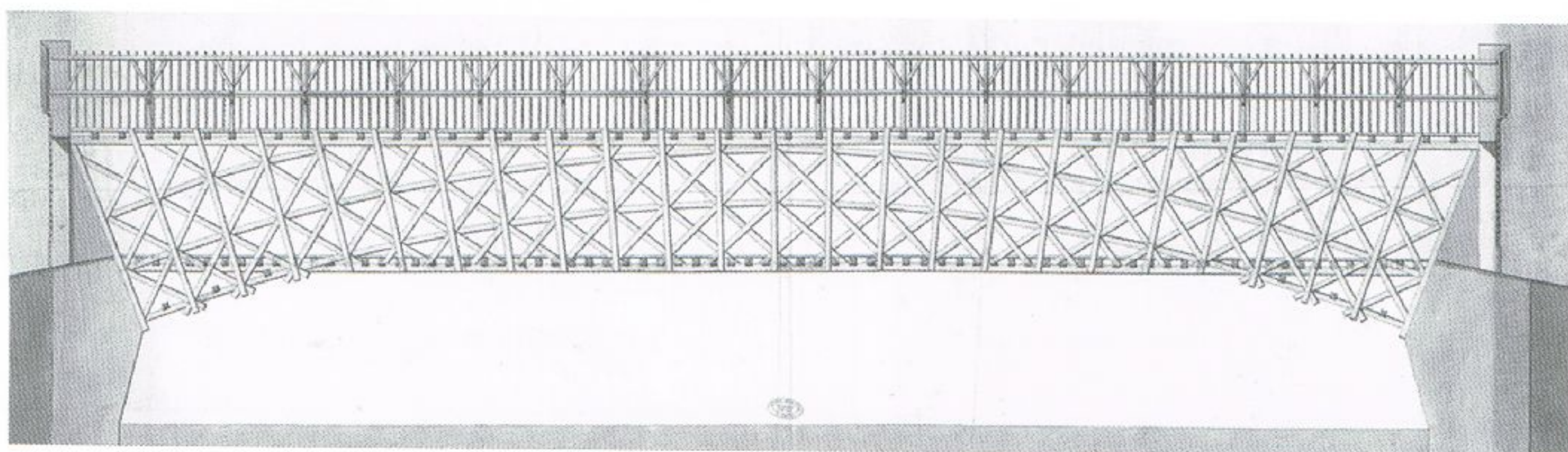


図 5.1.1-16 フェイドー島の木橋(文献 29)より引用)

## (3) イギリス

イギリスでは通常、川幅が広い場所での架橋の場合には、単純な桁構造の橋が多用されており、構造や力学において特筆するような技術は見られなかった<sup>30)</sup>。従って、木造アーチ橋が架けられるという例もあまり多くなかったのではないかと考えられる。そうした中、木造アーチ橋の萌芽として見ることができるのは、1737年に棟梁ジェームス・キング(James King)によって描かれたウエストミンスター橋(Westminster Bridge)の設計案である(図5.1.1-17<sup>31)</sup>)。この案は採用されることはなかったが、1750年のオールドウォルトン橋(Old Walton Bridge<sup>32)</sup>)や、1759年完成のキュー橋(Kew Bridge)においてそのコンセプトが現実のものとなった。これらの橋梁は、アーチ形になるように木材を組み上げてはいるものの、実際にはアーチ橋ではなく、トラス橋に近い構造である<sup>33)</sup>。一方、1773年にトーマス・プリチャード(Thomas Pritchard : 1723-77)が作成したアイアンブリッジ(Iron Bridge)の設計案の中には木造アーチ橋も見られるが<sup>34)</sup>、採用には至っていない。

同じくトラス構造ながらも、よりアーチに近い構造としては、橋長500フィート(約174m)、7径間のアーチを有するハンプトン・コート橋(Hampton Court Bridge)は特筆すべき事例であろう(1753年完成)。図5.1.1-18はハンプトン・コート橋の遠景であるが、本橋は、世界橋梁史を概観する『橋梁建築概論』を著したポップ(Thomas Pope)をして、「最も美しく、絵になる構造物<sup>35)</sup>」と言わしめており、当時としては極めて珍しい事例であったものと考えられる。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た。上部工は先に示したパラディオのトラスアーチと同様の構造になっている(図5.1.1-19)。このアーチを7連続けて架けているという点は、錦帯橋に近い考え方の橋ではないかと思われる。本橋は架橋から25年が経過した1778年に架替えが実施されるが、この時には、構造が複雑になるという理由から、トラスアーチではなく桁橋が採用された。

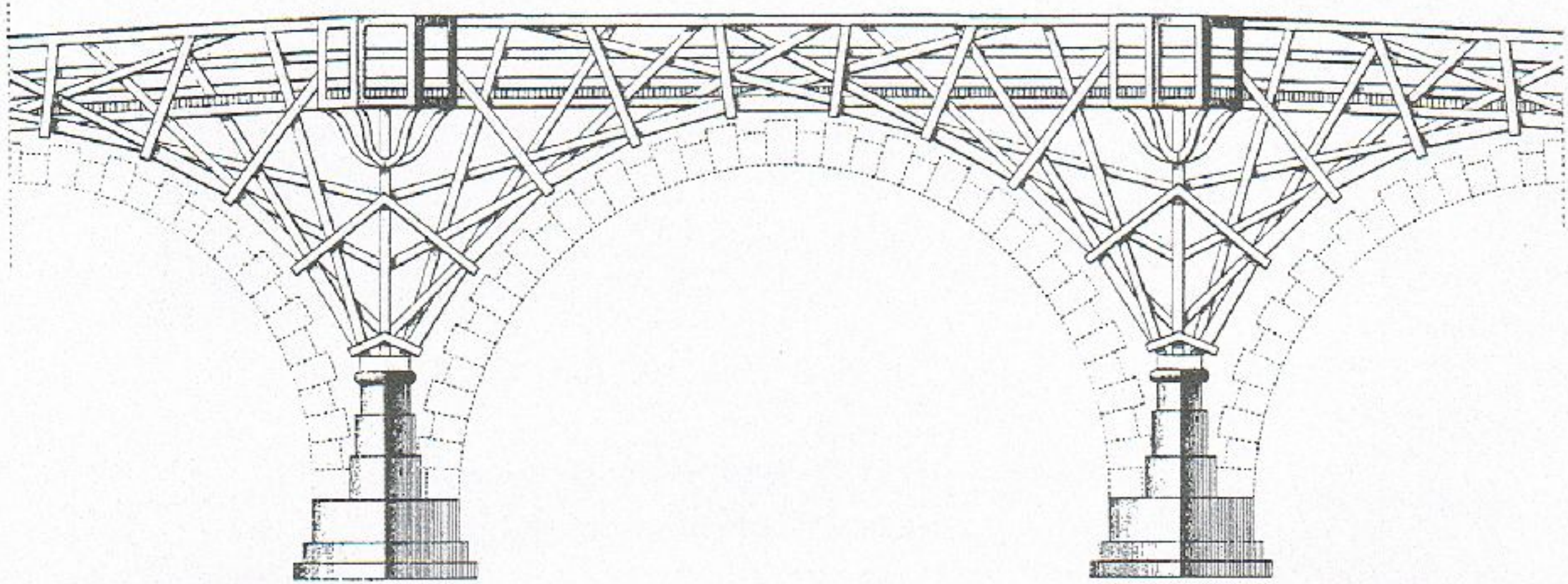


図 5.1.1-17 ウェストミンスター橋設計案(文献 31)より引用)

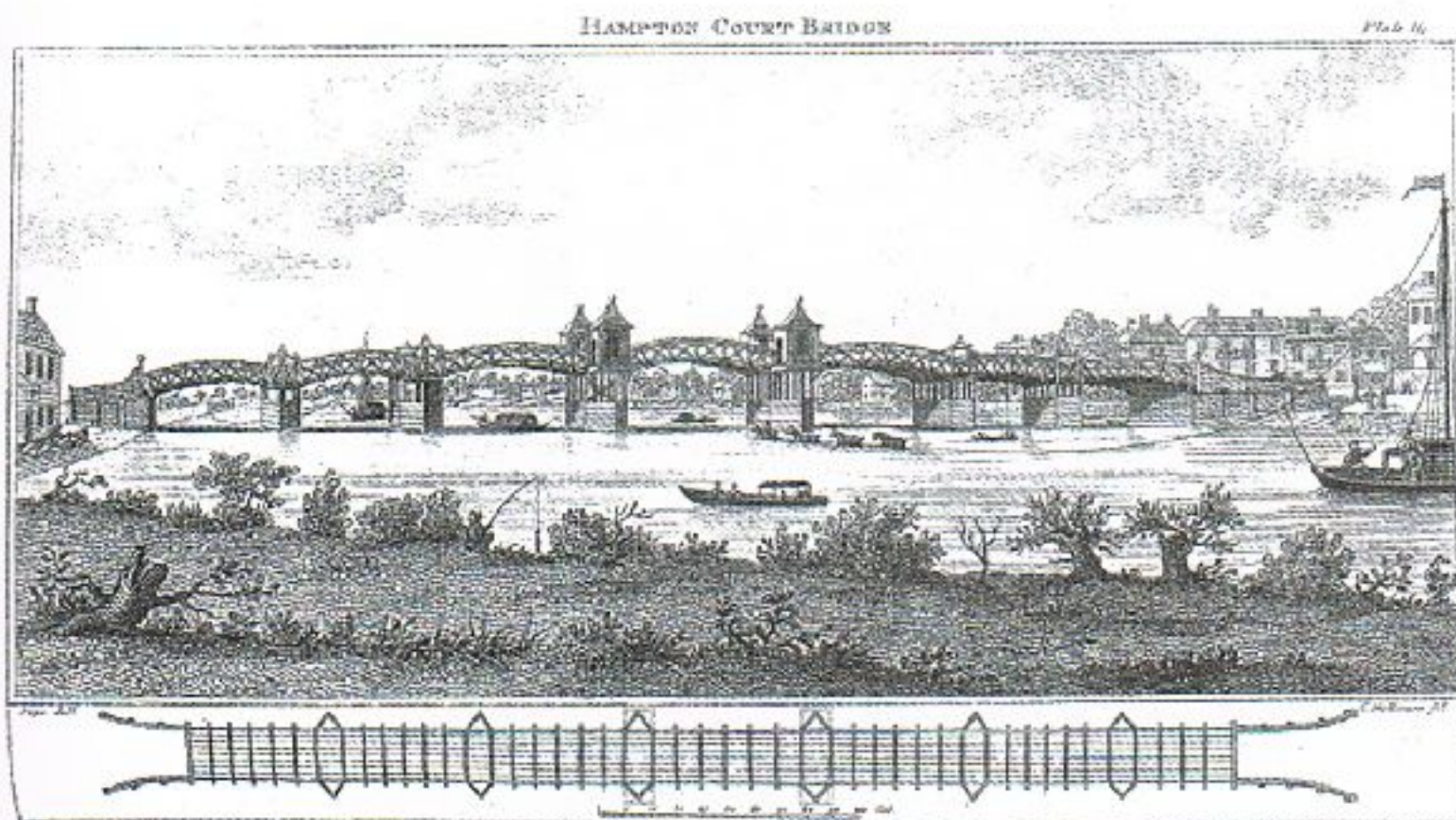


図 5.1.1-18 ハンプトン・コート橋  
(文献 35)より引用)

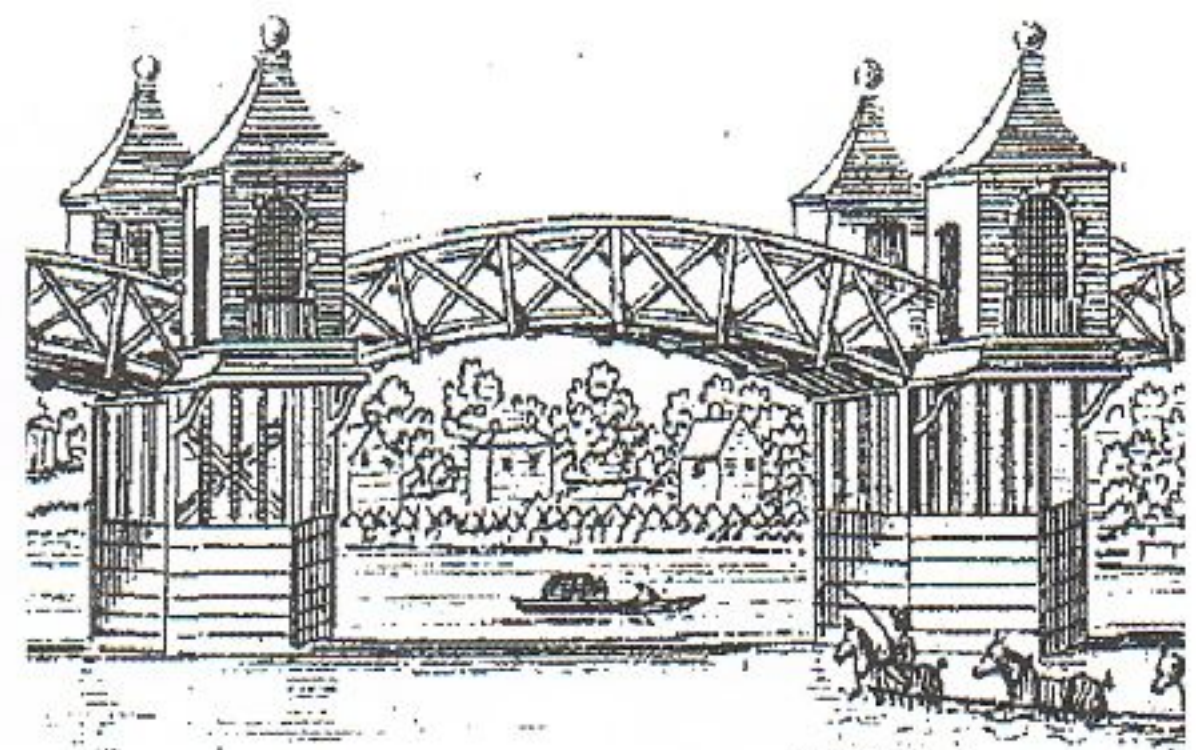


図 5.1.1-19 中央径間部

(4) アメリカ

アメリカにおける木橋の発展と錦帯橋の構造との関連性については、デロニーによる講演に詳しい<sup>36)</sup>。ここでは、スイスで用いられていたトラス及びリブアーチが、アメリカで広く実用化されていたことを確認しておきたい。よく知られているように、アメリカ、とくにフィラデルフィア近郊では18世紀末から19世紀前半にかけて、パーマー(Timothy Palmer : 1751-1821)、パー(Theodore Burr : 1771-1822)、ワーンワグ(Lewis Warnwag : 1769-1843)らによって数多くの屋根付橋が建設された。彼らはアメリカにおける橋兄弟団と評されることもあり<sup>37)</sup>、欧州における石橋と同様、アメリカにおける木橋は社会基盤として重要な位置にあった。彼らによる橋梁の特徴は、パートラスに代表されるように、トラスとアーチが組み合わされた構造を有する点にある。図5.1.1-20は、1804年に完成したハイウェイブリッジの側面図を示している<sup>38)</sup>。この構造を用いて、ワーンワグはコロッサス橋(Colossus Bridge, 図5.1.1-21<sup>39)</sup>)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<sup>40)</sup>、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た。つまりアメリカにおける木造アーチの役割は、トラス構造の確立を支えるに留まっていた。なお、パーマーが1805年にシュクルキル川に架けたパーマメント橋(Permanent Bridge, 図5.1.1-22)に関して、ポップは「キングポストとブレース、そして石造アーチの原理の組合せ」であり、下部工は「石造橋の模倣である」と解説しており<sup>41)</sup>、アメリカにおける木造アーチも、石造アーチに端を発するものであった。

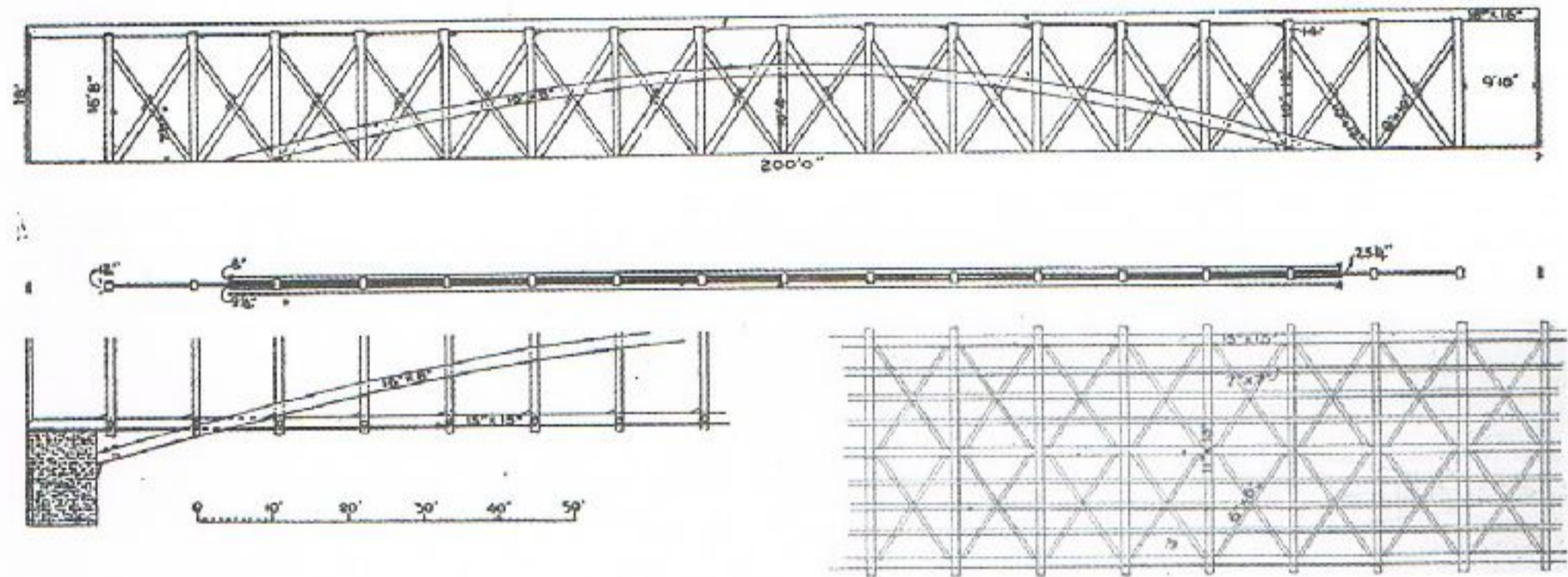


図 5.1.1-20 ハイウェイブリッジ(文献 38)より引用)

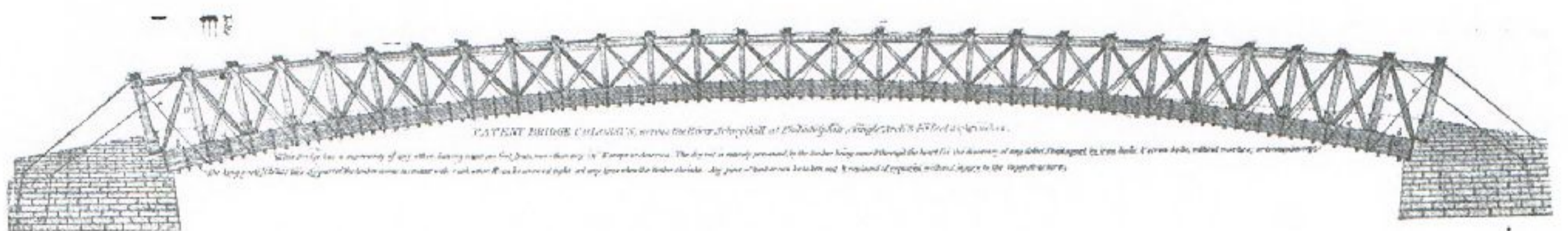


図 5.1.1-21 コロッサス橋(文献 39)より引用)

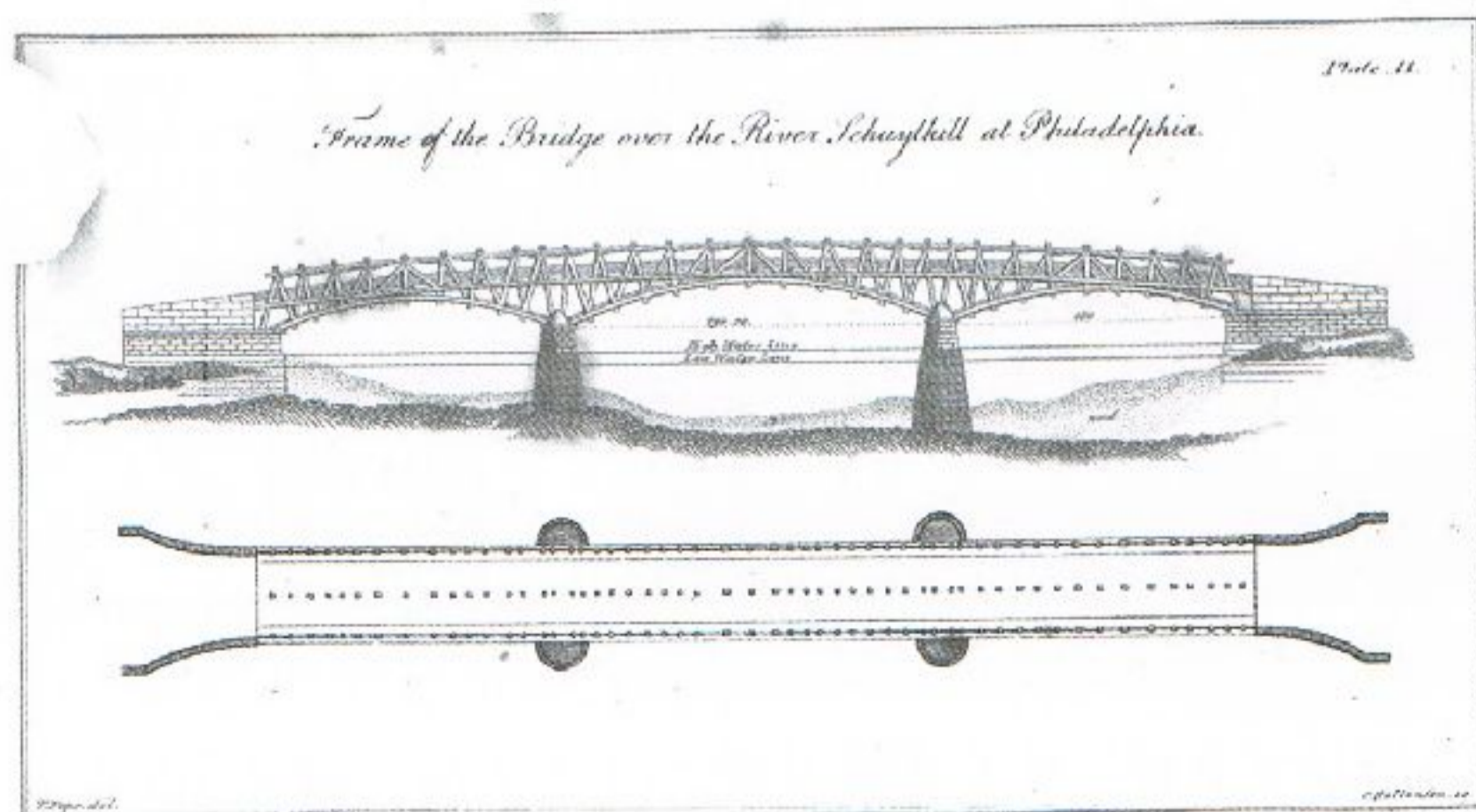


図 5.1.1-22 パーマメント橋(文献 35)より引用)

## (5) ドイツ

スイスと同様、ドイツにおいても15世紀ごろから屋根付橋が建設されていた<sup>42)</sup>。その後、18世紀末から19世紀初頭にかけて、欧州では上路式木造アーチ橋が散見されるようになる。しかもそれは、トラスの補強としてのアーチではなく、アーチリブ自体が主要な構造部材となっており、アメリカで見られた事例とはやや様子が異なる。その動きの主要な役割を担っていたのは、バイエルンのエンジニアであったヴィーベキング(Carl Friedrich von Wiebeking : 1762-1842)による上路式アーチ橋の普及である<sup>43)</sup>。図5.1.1-23は1809年に完成したバンベルク橋(Bamberg Brücke)である。本橋は、スパン208フィート(約62m)、ライズ32フィート(約9.7m)で<sup>44)</sup>、単径間の木造アーチ橋としては大規模なものであった。アーチリブは全部で3列あり、中央のリブは3列に並置した角材を3層に重ねたもの、左右両端のリブは2列に並置した角材を4層に重ねて構成されている。これは、基本的には前章で見たヴェッチングン橋と同様の構造である。外観は石造に見えるよう、化粧板のようなもので装飾されている。

バンベルク橋と同じ時期の建設であると思われるが、ヴィルテンベルクのネッカー川上では、図5.1.1-24<sup>45)</sup>のようなスパン約20mの中路式アーチ橋も架けられている。この橋の場合、アーチリブは複数の木材を貼りあわせて作られている。木材同士の接合面はお互い平板歯車状になっており、ずれ動かないような工夫が見られる。側面図を見る限り、アーチリブに定着された片面2本の吊材および橋台によって床版が支えられている。一方、本橋の高欄はトラスとしての役割はなく、グルーベンマン兄弟によるヴェッチングン橋と比べると、全体的に簡易な構造になっている。

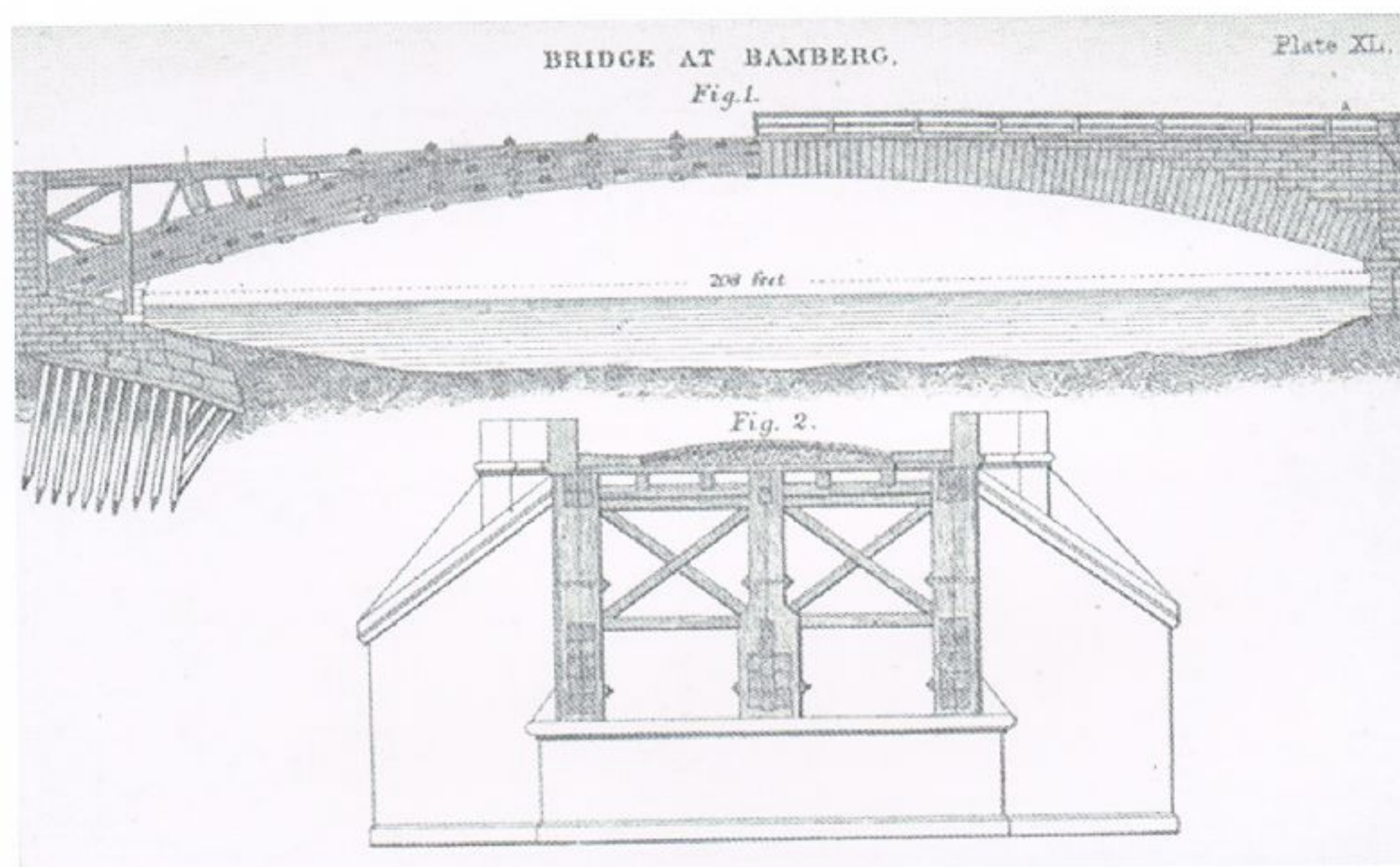


図 5.1.1-23 バンベルク橋(文献 44)より引用)

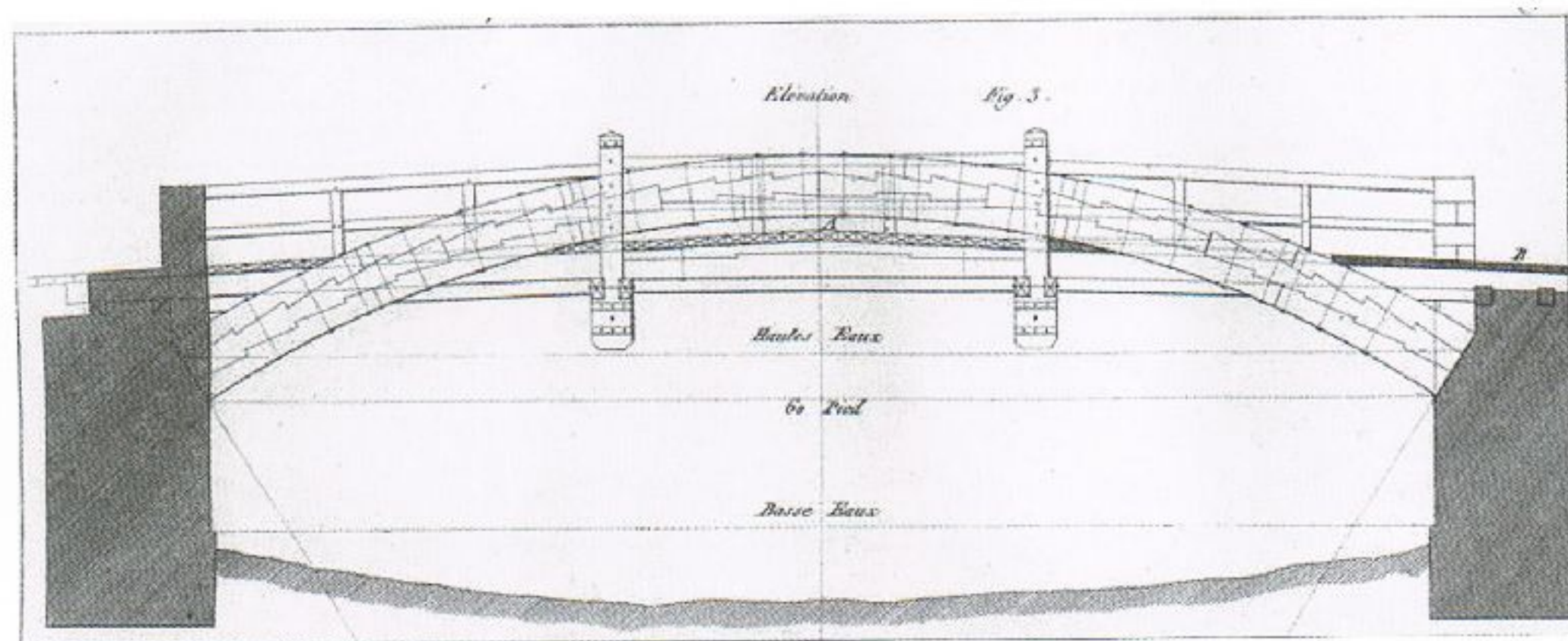


図 5.1.1-24 ヴィルテンベルクの橋(文献 45)より引用)

## 5. 木造アーチ橋の発展と消滅

19世紀に入ると、様々な木造アーチ橋が登場し、特許取得の動きも見られるようになる。一方でやはり、主として鉄橋の登場を理由として、徐々にその利用は減少していった。本章では、主にフランスに見られたいくつかの事例を参照しながら、19世紀初頭に見られた木造アーチ橋の消長をたどってみたい。

### (1) 木橋の展開

先に見たドイツの事例からは、上路式アーチ橋の構造が鉄製のアーチ橋とほぼ同じようなレベルに達していた様子をうかがうことができる。パリにおいては、1803年にセーヌ川にシテ島橋 (Pont de la Cité 図5.1.1-25) が建設されている。本橋は2径間の上路式アーチ橋で、アーチスパンはそれぞれ29mである。アーチリブは木材を上下からボルト締めすることで作成されている。また、景観上の配慮であると思われるが、石造アーチ状の化粧板が施されている<sup>46)</sup>。その他、イギリスやオランダ、ベルギーなどでも様々なタイプの上路式アーチ橋が建設されていた。例えば、図5.1.1-26は1803年にスコットランドに建設された上路式アーチ橋である。スパンは109フィート(約32m)で、5列のアーチリブが並置されている<sup>47)</sup>。

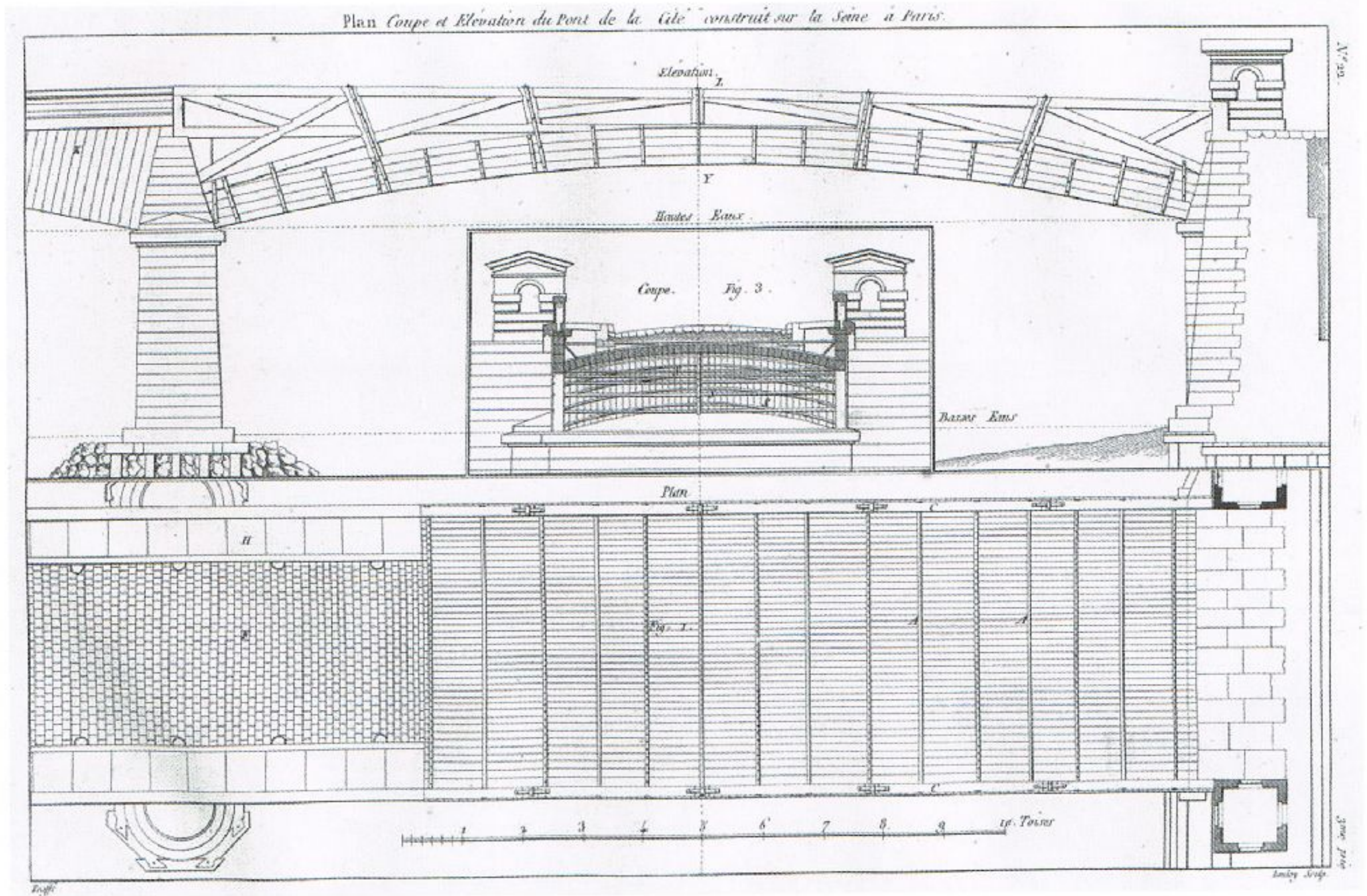


図 5.1.1-25 シテ島橋(文献 46)より引用)

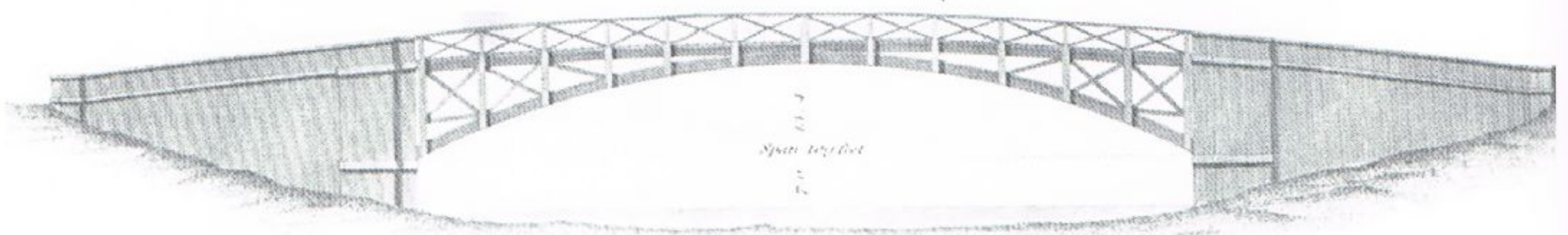


図 5.1.1-26 アバディーン近郊の橋(文献 47)より引用)

こうした動きの背景には、仮橋としての利用が多かった木橋を見直そうという思想の存在がある。石造アーチ橋の国であったフランスにおいてさえも、軍事エンジニアのモラル(Barrès du Molard)や土木局のエンジニアであるポロンソー(Antoine-Rémy Polonceau : 1778-1847)は、集成材の原型とも言えるような木造アーチリブの特許を取得したり、同じく土木局のエンジニアであり、数学者でもあったブリッソン(Barnabé Brisson : 1777-1828)はライフサイクルコストに近い概念を用いた石橋と木橋のコスト比較を試みるなど、木橋を工学的な視点から分析した上で、積極的に利用していこうという試みが見られる。

## (2) 特許に見られる集成材の萌芽

モラルやポロンソーらが取得した特許はアーチの長大化や低ライズ化に主眼が置かれる傾向にあり、主に上路式アーチ橋においてその技術の適用を目指していた。ここでは、アーチリブの構造に見られる特徴を抑えておきたい。図 5.1.1-27 はモラルの考案した木造アーチ橋である<sup>48)</sup>。スパン 60m の時には木材を用い、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。木橋とする場合、アーチリブは 17 の部材からなっており、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構成している。さらに上面と下面には金属製の板がボルトで取り付けられている。これらの木材および金属材は、防水のために油性塗料を 3 層に分けて塗り重ねられる。この他にも、モラルは図 5.1.1-28 に示すような特許も申請している<sup>49)</sup>。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モラルは述べている。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、この構造は今日の集成材に近いものになっている。

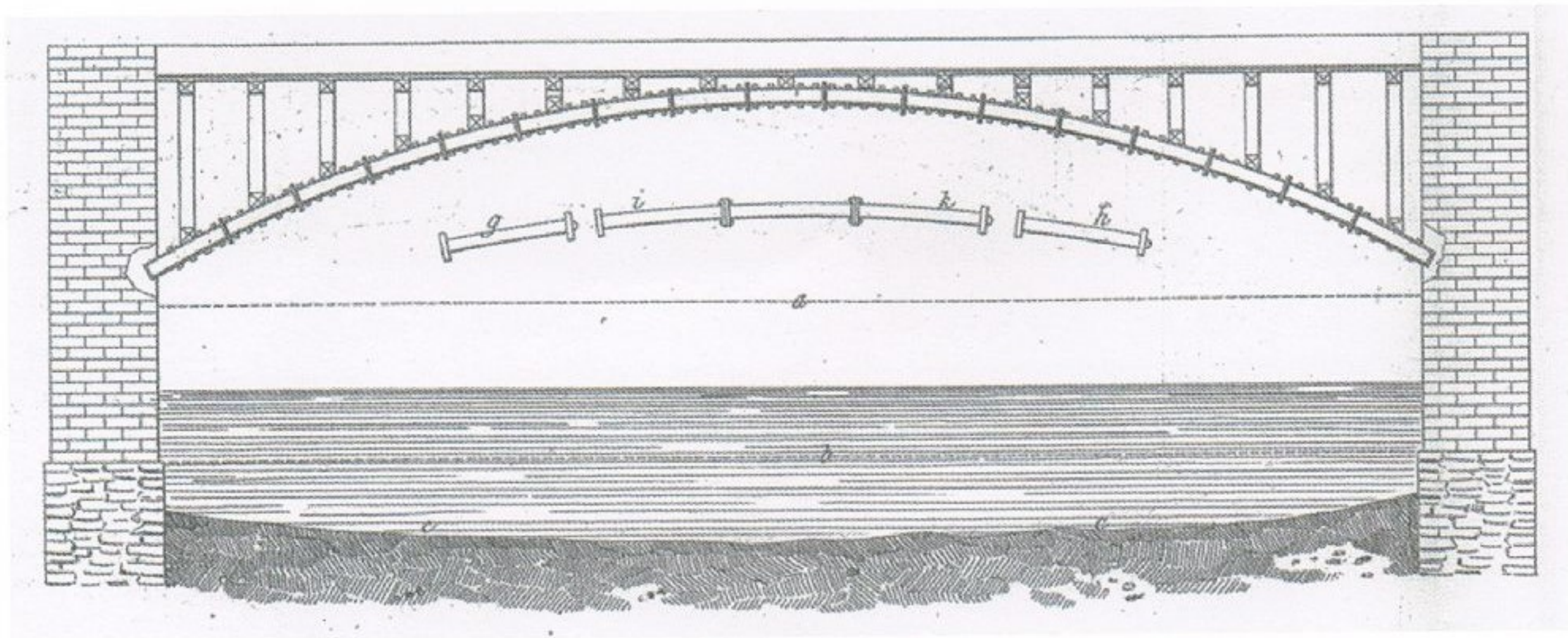


図 5.1.1-27 モラルの木造アーチ(文献 48)より引用)

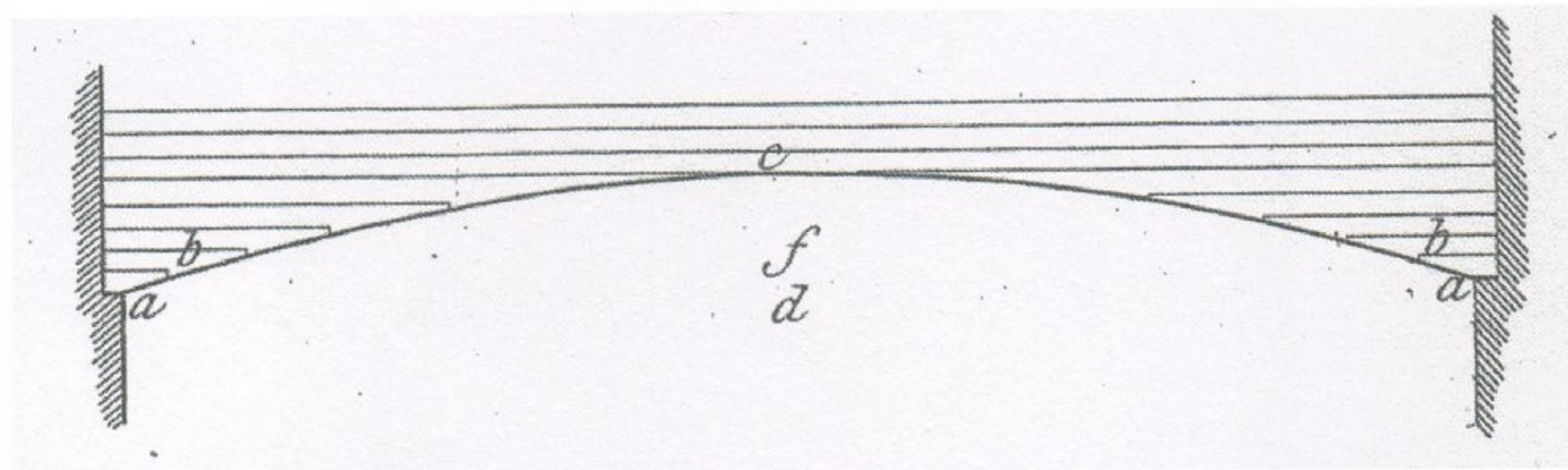


図 5.1.1-28 モラルの擬似アーチ(文献 49)より引用)

同様のアイデアはポロンソーが取得した特許にも見ることができる。ポロンソーは、パイプアーチ状のアーチリブを用いた鑄鉄アーチ橋を確立したことで知られるが、1830年に出願した特許では、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、これを鑄鉄製のパイプアーチで「覆う」構造<sup>50)</sup>を考案している(図 5.1.1-29)。翌1831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(図 5.1.1-30<sup>51)</sup>)。ただしここでは、アーチは完全に木材のみで構成されている。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おり、木橋を積極的に利用しようという動きを見ることができる。

サイズの大きな木材を調達しなければならないという点は、大規模な木橋を架設しようとした時に常についてまわる大きな課題のひとつであったと思われる。薪程度の木材しか必要としないとしたド・ロルム式アーチ同様、ポロンソーやモラルが残したアイデアは、このような木造構造物が持つ課題に対する解決策であった。このようなアイデアは、近代木橋において常識的に用いられている集成材にも通じるものである。こうした動向をみると、欧州においても木造アーチ橋が主要な位置を占める時代の到来すらも予感させるのであるが、次に述べるいくつかの理由によって、木造アーチ橋の利用は減少していく。

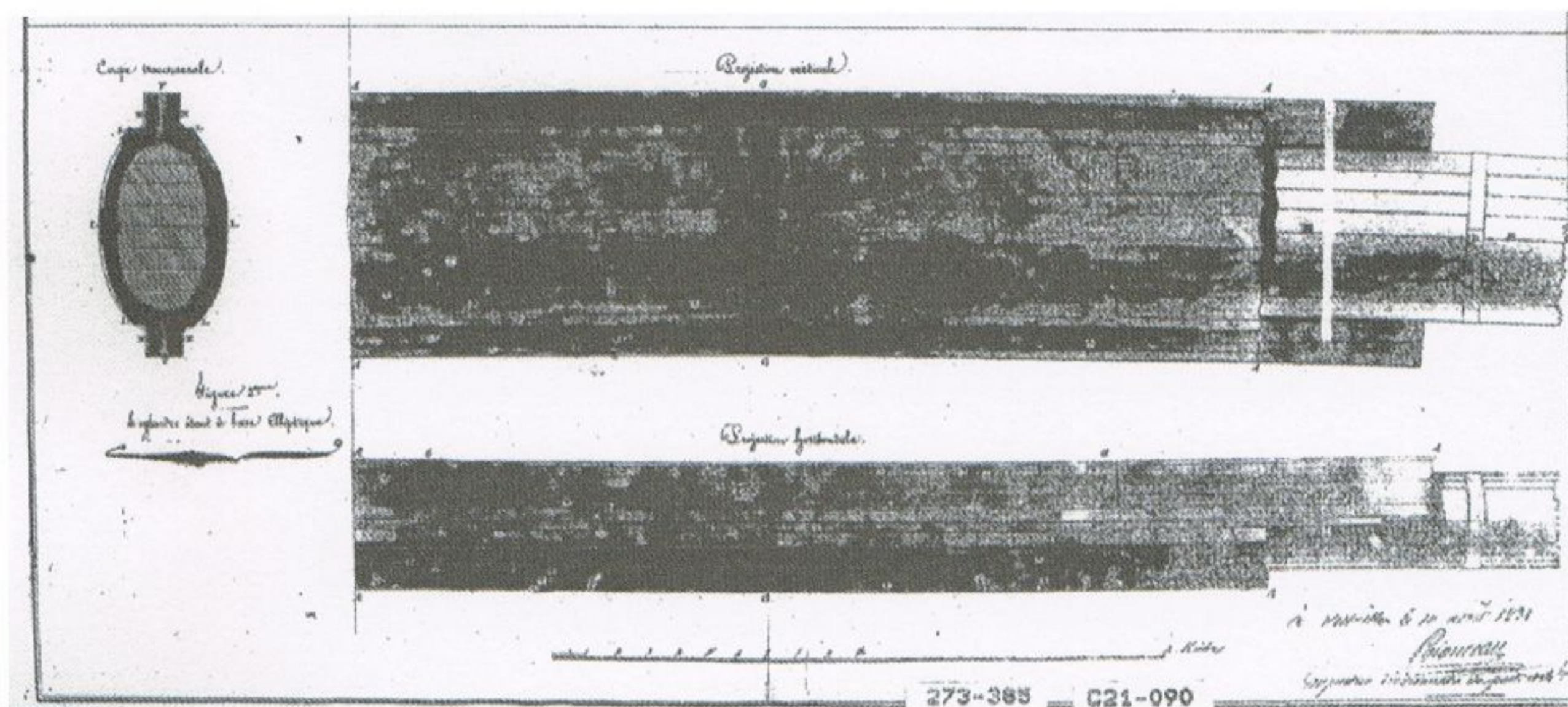


図 5.1.1-29 1830年のポロンソーの特許(文献 50)より引用)

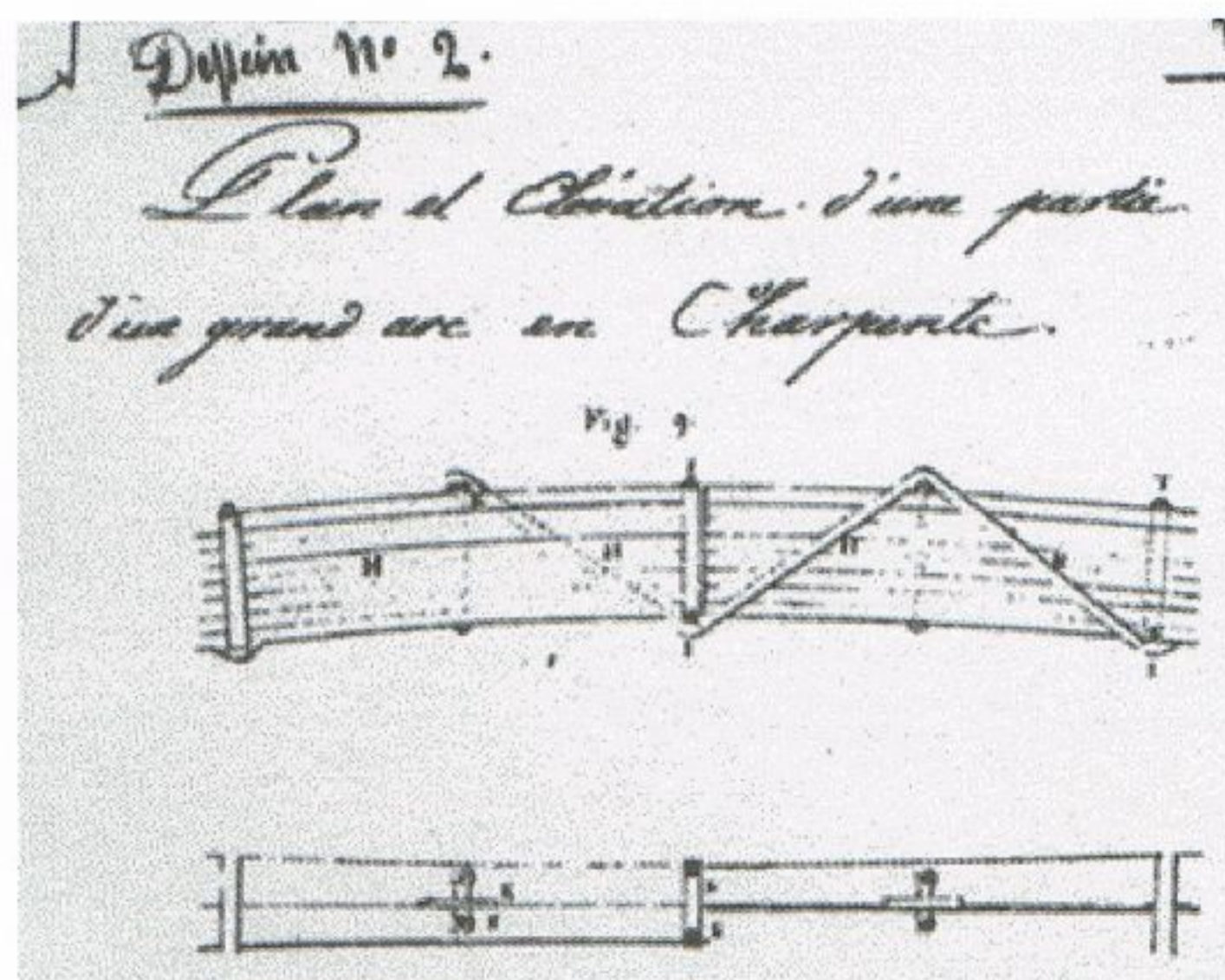


図 5.1.1-30 1831年のポロンソーの特許(文献 50)より引用)



### (3) 木造アーチ橋の消滅

フランスを例に見ると、1800年から1812年の間に土木局によって建設された道路橋70橋（施工中も含む）のうち、木橋は25橋、残りが石造アーチ橋という割合になっている<sup>52)</sup>。これら25橋の木橋のうち、アーチ橋は2橋で、残りは桁橋であった。割合から考えると、4分の1以上が木橋であり、その利用はむしろ一定の割合を保っているように見受けられる。しかし、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。

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。例えばナント市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<sup>53)</sup>」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、ポロンソーが提案した鑄鉄製の上路式アーチ橋が採用されている<sup>54)</sup>。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。ブリッソンは、ゴーティエが『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<sup>55)</sup>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<sup>56)</sup>。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想の数値であり、実際の架橋事業で適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という見解が示されてはいるものの、やはり石橋の方が経済的である、という見解が示されている。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、十分なものではないにせよ、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。

同様の傾向は鉄道橋建設においても見ることができる。1840年代、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繁に木橋が利用されていた<sup>57)</sup>。アーチ橋とする場合には、写真5.1.1-6<sup>58)</sup>に示すシャビヨン橋(Pont de Chavillon)のようなリブアーチが用いられている。本橋はサン＝テチエンヌ(Saint-Etienne)とローヌ渓谷(Vallée du Rhône)を結ぶ石炭運搬用の鉄道上に建設されたもので、橋長13m、幅員2mとなっている。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<sup>59)</sup>。



写真 5.1.1-6 シャビヨン橋(文献 58)より引用)

このように鉄道橋では、日常的に木造アーチ橋が利用されていたようであるが、モンルイ鉄道橋(Pont Montlouis 写真 5.1.1-7)の建設以降、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 : 1809-1875)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。初期の鉄道橋に木橋が用いられていた大きな理由のひとつはこの点にある。この事実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<sup>60)</sup>。

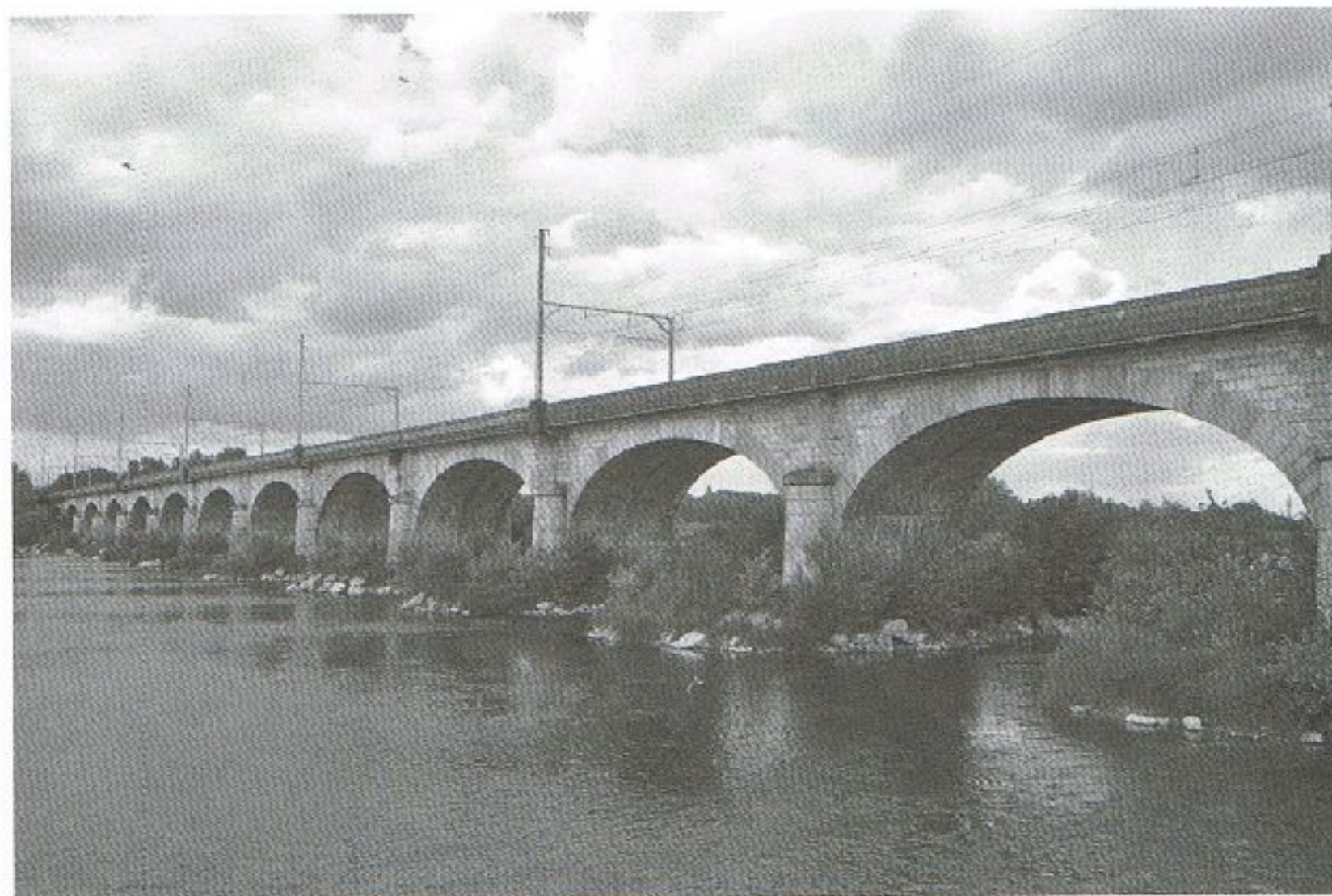


写真 5.1.1-7 モン・ルイ鉄道橋(著者撮影)

## 6. 支保工に見られる木造アーチ構造

ここまでは、欧米における木造アーチ橋に着目してきたが、とりわけフランスにおいては、石造アーチ橋が主流であり、木橋の需要は低かったことを確認した。このような状況では、木造アーチ橋の架橋技術が大きく発展する機会は限られていたと言えるだろう。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。形としては残っていても、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ながら、支保工に対する考え方や構造の変化について確認しておきたい。

### (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、ジュール(Journe Mathurin Jousse : 1575-1645)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<sup>61)</sup>。次いで 1716 年には、土木局のエンジニアであるゴーティエ(Henri Gautier : 1660-1737)が、支保工全般について概説している(図 5.1.1-31)<sup>62)</sup>。一般的に用いられる支保工は水平材(entait), 垂直材(poinçon), 鉛直材(arbalétrier)で構成されると述べており、構造的にはキングポストトラス(ゴーティエは「扇形支保工」とも)としてみなされていたことがわかる。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、ゴーティエの場合は、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。

なおゴーティエの案では、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であった。しかしながら、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 : 1851-1939)は、「これまで我々は、とに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、過剰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<sup>63)</sup>」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ようである。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。この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った。

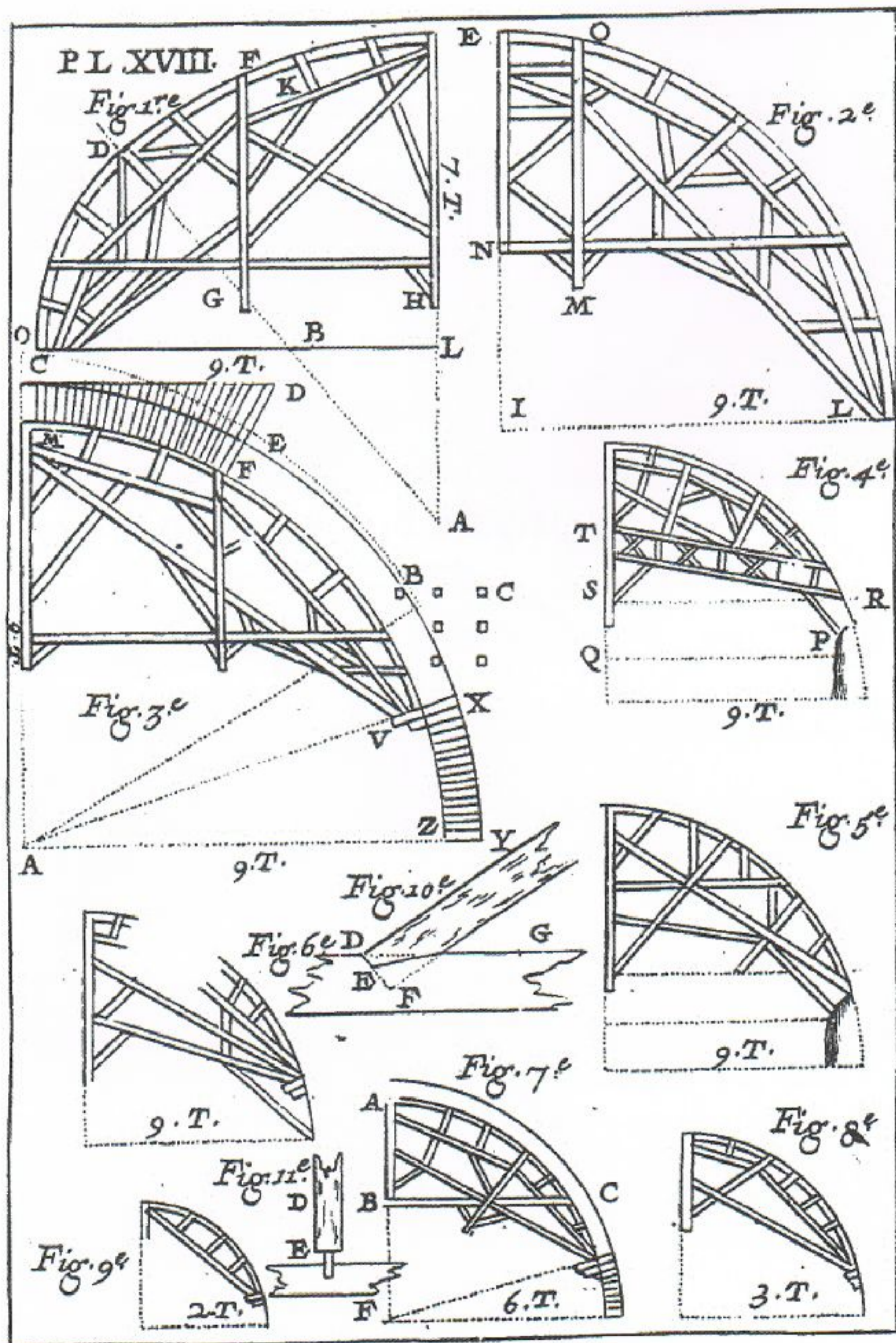


図 5.1.1-31 支保工の構造(文献 62)より引用  
(Fig.1-Fig.3:ジュース, Fig.7-Fig.9:ゴーティエ)

## (2) 石造アーチ橋の発展と支保工の構造

1770年に完成したヌイイ橋(Pont de Neuilly)は、土木局のエンジニアであったペロネ(Jean-Rodolphe Perronet: 1708-1794)によって設計された石造アーチ橋である<sup>64)</sup>。本橋は多心円アーチによる扁平アーチ(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、支保工においても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、通常は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 5.1.1-32<sup>65)</sup>、図 5.1.1-33<sup>66)</sup>)。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も極めて大きいスパンである。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と考えてよい。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している。しかもそれは、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実現されたものであった。

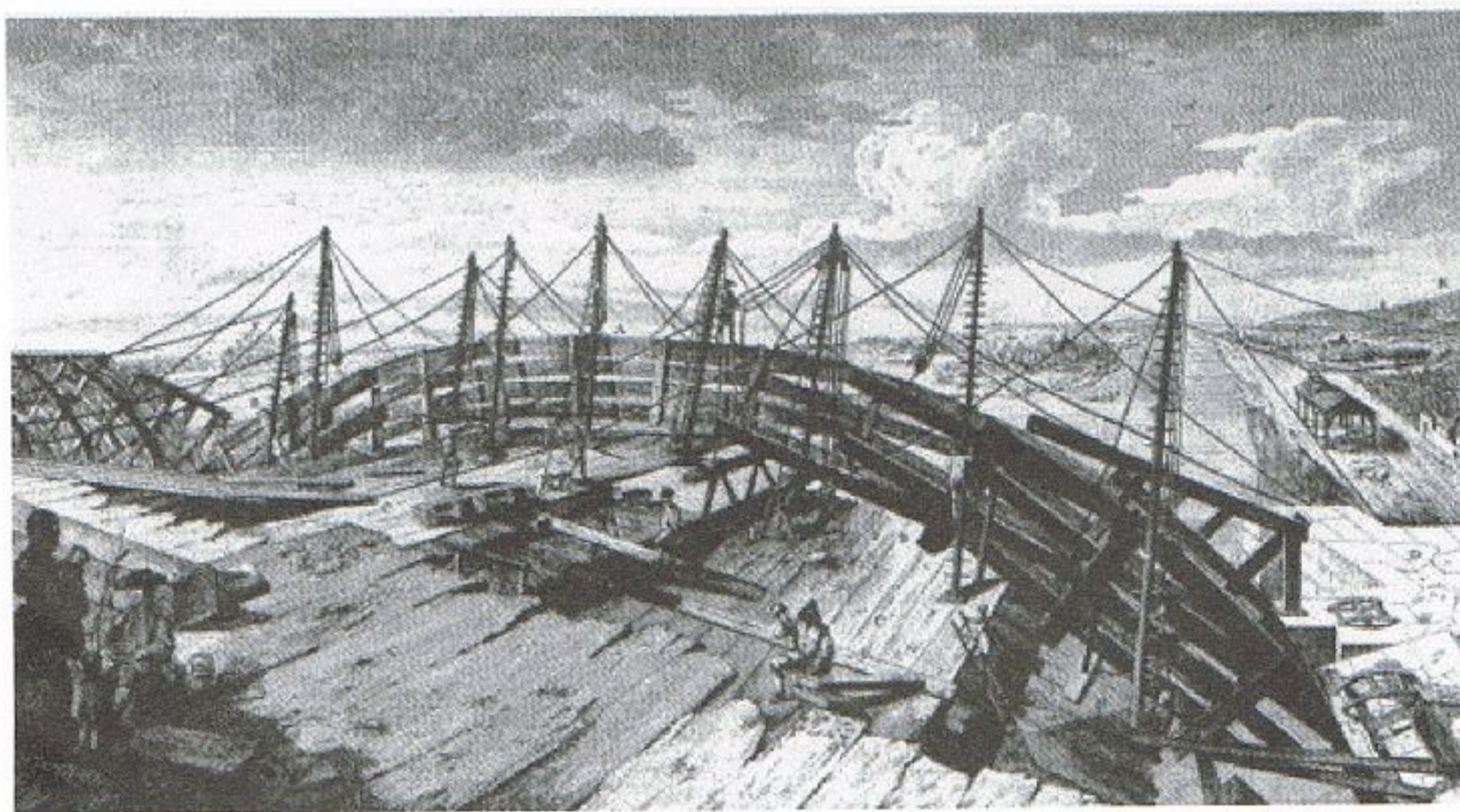


図 5.1.1-32 ヌイイ橋の支保工(文献 65)より引用)

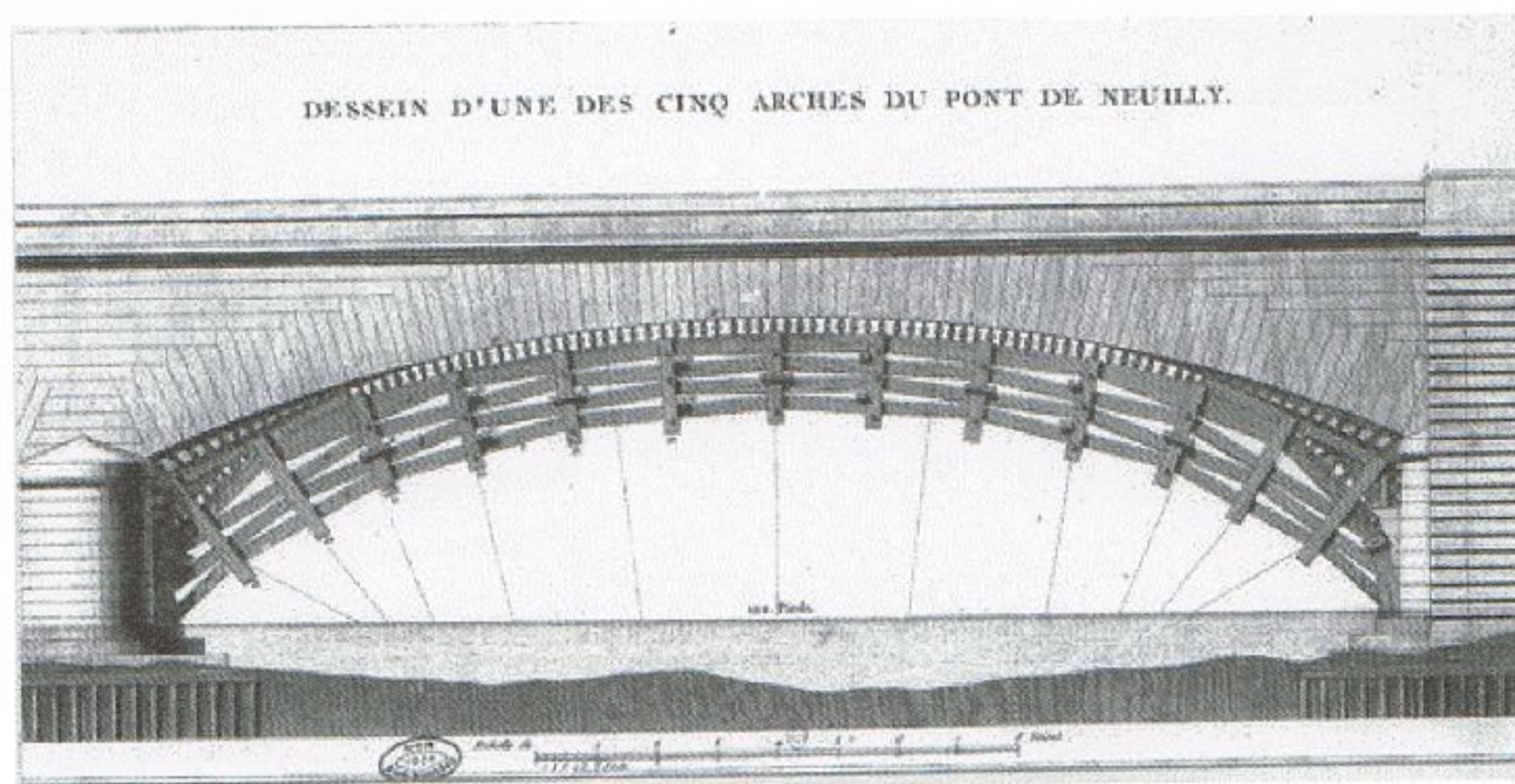


図 5.1.1-33 ヌイイ橋の支保工(文献 66)より引用)

## (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た。これらは「最後の石造アーチ橋梁群<sup>67)</sup>」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続けていた。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 5.1.1-34 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<sup>68)</sup>。図の中央には、スパン 61.50m を有するラヴォールの鉄道高架橋 (Viaduc ferroviare de Lavour, 1884 年完成) 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 5.1.1-8<sup>69)</sup>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全く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、トラスアーチ構造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じく、セジュールネによるアドルフ橋においても、石造アーチ橋の発展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。

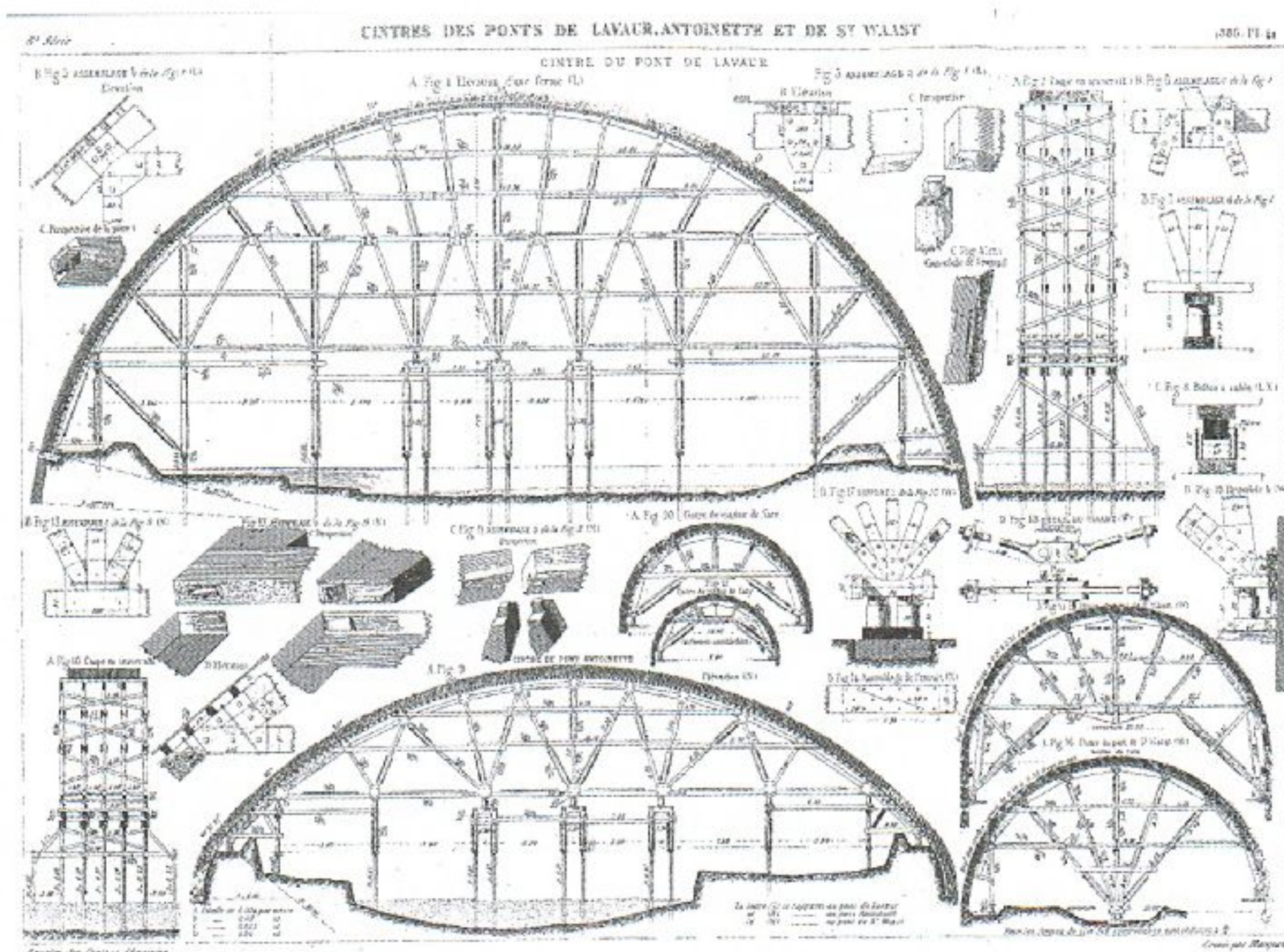


図 5.1.1-34 セジュールネによる石造アーチ橋の支保工(文献 68)より引用)

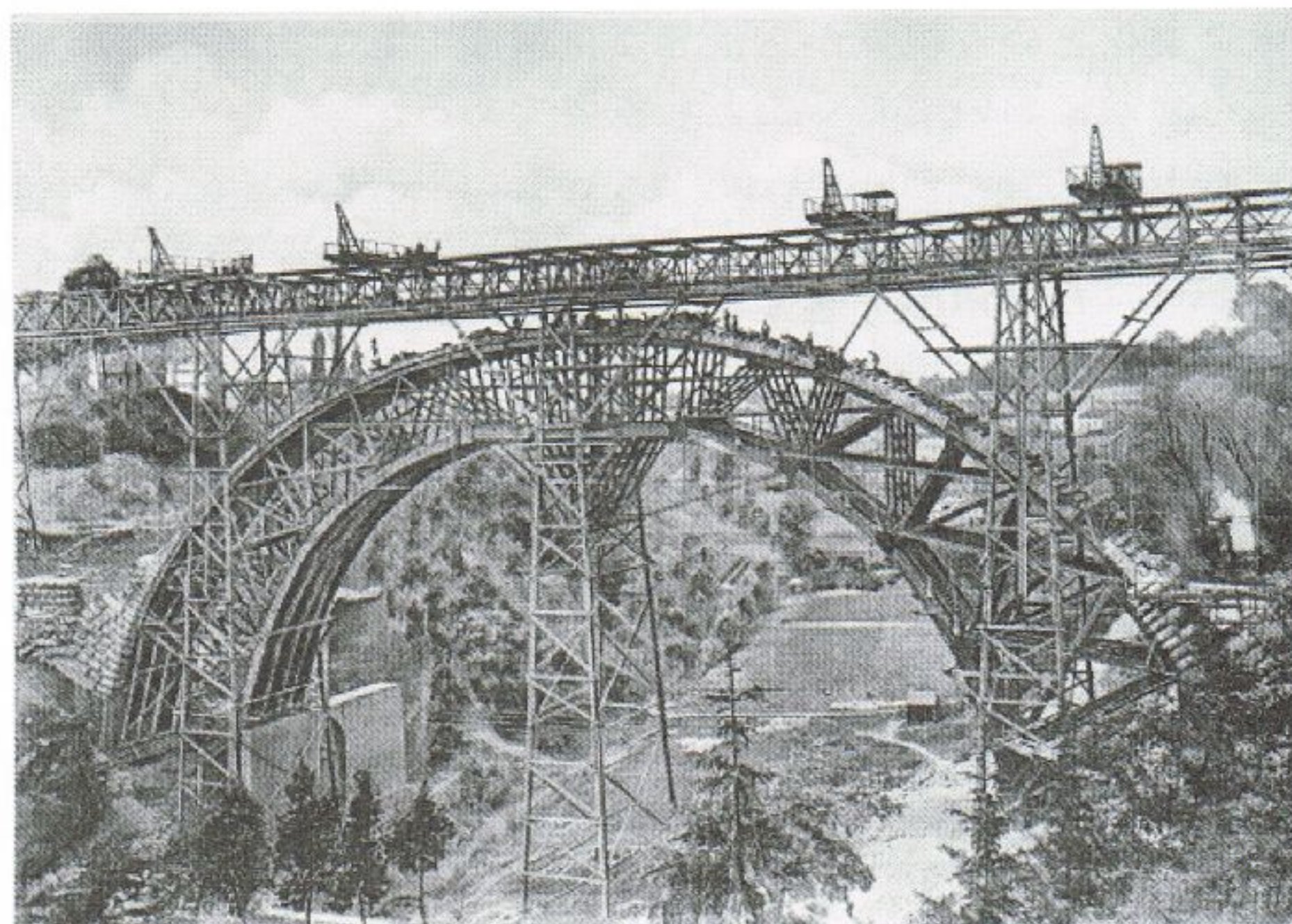


写真 5.1.1-8 アドルフ橋の支保工(文献 69)より引用)

## 7. 欧米における木造アーチの特徴

欧米における木造アーチ橋の成立には、石造アーチ橋の存在が大きく影響していた。端的に言えば、欧州においてアーチといえはそれは石造アーチのことであり、木造アーチはその模倣であった。例えばモンチュクラは、「100フィート(約30m)またはそれ以上の長さの単径間の木造アーチ橋はいかにして実現可能となるか。ただし、1径間のアーチで使用する木材の長さは数フィートまでとする<sup>70)</sup>」という問題に対する解答として、木材を用いて迫石のような立方体を作成し、アーチ状に組み立てるという方法が提示されている(図5.1.1-35)。これは数学・物理分野の問題ではあるものの、当時の欧州における木造アーチ橋に対する考え方が示されている一例であろう。

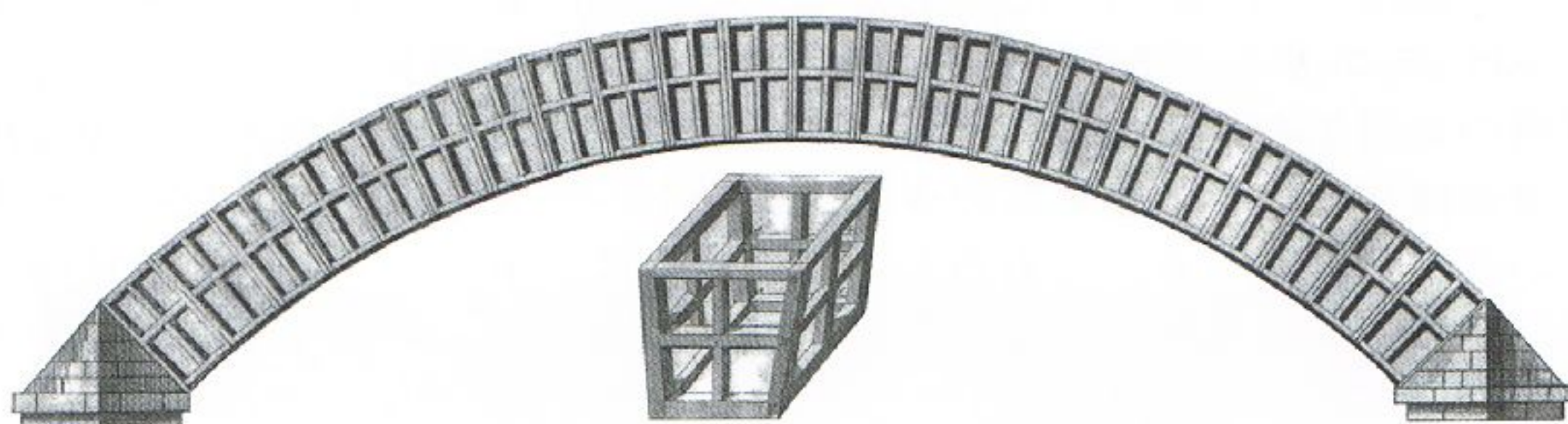


図 5.1.1-35 モンチュクラの迫石とアーチ(文献 70)を加工・引用)

実際に、ゴーターは、パラディオによるトラスアーチの構造を解説する際には、迫石や要石といった用語を使用していた<sup>71)</sup>。テルフォードも、図5.1.1-25に示した上路式アーチ橋について、スパンデルの縁端部は石造アーチ橋の迫石に倣ったものであると説明し<sup>72)</sup>、ポップはパーマネント橋が石造アーチ橋の原理に則っていることを述べていた。重ねあわせた桁状の部材を順次張り出すことで架橋する錦帯橋式アーチは、石造アーチ構造の影響を大きく受けた欧米の木造アーチとは根本的に発想が異なるものである。

## 8. おわりに

### (1) ヨーロッパにおける木造文化

欧州では2世紀ごろから木造アーチ橋の建設は始まっており、その後も様々な木造アーチが考案され、18世紀までには出版物という形で国境を超えて普及していた。したがって、建設分野における木材の利用という点では、欧州は我が国よりも長い歴史を有する。そうした歴史の中で、桁橋は当然のこと、アーチからトラスに至る多様な構造が各地で考案され、実用化されていた。我が国の伝統技術や木造文化という視点から世界文化遺産としての錦帯橋の価値を考えるにあたっては、こうした事実を念頭においておくことも重要である。

### (2) 欧米における木橋

アメリカのトラス橋やヨーロッパの上路式アーチ橋は、エンジニアや大工らによって、長い時間をかけて多彩な形態が考案され、構造が洗練されていった。これらの木橋は、木鉄混合構造を経ながら徐々に鉄橋へと置き換えられていった。欧米、とくにヨーロッパにおける木橋は、用途としては石造アーチ橋を補完する位置にあり、構造としては、19世紀から20世紀に訪れる鉄橋やRC橋の時代を準備するのに一役買っていたとすることができるだろう。

### (3) 欧米の木造アーチ橋

木材は自由度が極めて高い材料であったが、アーチリブを組み上げることに関しては、その発想は組積造に大きく影響を受けていた。なぜならば、欧州では石造アーチが定着しており、木材を用いてアーチ橋を架けようとする際に重視されたのは、石造アーチを木材でどう再現するかと

いう点にあったからである。様々な試みの中に、錦帯橋式アーチリブのような構造が出現しなかった理由の要因はここにあると思われる。また、ドイツのヴィーベキングによる上路式アーチ橋や、フランスのポロンソーらの特許に見られた集成材状のアーチリブの出現は、木造アーチ橋の飛躍的な発展を予感させるものでもある。しかし、程なくして鉄に取って代わられていった。

#### (4) 支保工としての木造アーチ

木造アーチは支保工においても用いられていたが、基本的な構造はキングポストトラスを補強したもので、多数の支柱列が設けられていた。また、人や馬車ではなく、石造アーチ橋の上部工を支持する十分な強度が求められたため、ほとんどの場合には確実性を優先するために前例を踏襲することが慣例となっていた。このため、わずかな例を除けば、アーチリブの構造には大きな変化が起こりにくかったものと考えられる。しかも、支保工という構造物が持つ性格上、その変化は石造アーチ橋の発展に依存するものであった。

#### (5) 欧米との比較を通して見た錦帯橋の価値

日本におけるアーチ橋の始まりは1634年の長崎であり、唐の僧侶の指揮のもとに架けられたとされている<sup>73)</sup>。その後どの程度の時間を経て、石造アーチ橋の架橋技術が日本人によって理解され、土木構造物の建設においてどう受け入れられてきたのか、ここでは検討していない。少なくとも錦帯橋が建設される1673年ごろは、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考えにくい。つまり錦帯橋は、アーチという概念が存在しない日本において<sup>74)</sup>、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。

#### 参考文献

- 1) 岩国市：『錦帯橋国際シンポジウム報告書』，2007
- 2) 松村博：『日本百名橋』，pp.194-198，鹿島出版会，1998
- 3) 岩国市：『名勝錦帯橋架替事業報告書』，2007
- 4) J-P. Adam： *La construction romaine sixième édition*, p.91, Picard, 2011
- 5) ウイトルーウィウス著，森田訳：『建築書(De Architectura)』，東海大学出版会，1979
- 6) E. Viollet-le-Duc： *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*, Paris, 1854-1868
- 7) D. Cassius： «Trajan construit un pont sur l'Ister», *Histoire romaine de Dion Cassius vol. VXVIII*, [mis en français par E. Gros, publié en 1867], pp.415-417
- 8) R-K. F. Wiebeking： *Traité contenant une partie essentielle de la science de construire les ponts...*, p.2, Munich, 1810
- 9) A. Palladio： *Les quatre livres de l'architecture, mis en français*, p.164, 1650 [original 1570]
- 10) H. Gauthier： *Traité des Ponts où il est parlé de ...*, p.14, ed. 1765 (original 1716)
- 11) V. Scamozzi： *L'Idea della architettura universale*, p.265, 1615
- 12) S. Serlio, *Architecturae liber septimus*, p.199, Francfort, 1575
- 13) 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 lès Noyon*, p.20, Paris, 1561
- 14) De l'Orme, p.31
- 15) *ibid*
- 16) A. R. Emy： *Traité de l'art de la charpenterie Tome 2*, p.160, 1841
- 17) *ibid*
- 18) Werner Stadelmann： *Suisse Holzbrücken der Schweiz – ein Inventar*, Verlag Brüder Monatsblatt, 1990
- 19) J. Killer： *Die Werke der Baumeister Grubenmann, Ein Baugeschichtliche und*

- Bautechnische Forschungsarbeit*, 1942
- 20) Accademia di Architettura : *John Soane and the wooden structure bridges of Switzerland. Architecture and the culture of technology from Palladio to the Grubenmanns*, Switzerland, 2003
  - 21) A. Picon, M. Yvon : *Ingénieur artiste*, pp.102-103, *Presse de l'école nationale des ponts et chaussées*, pp.102-103, Paris, 1989
  - 22) Berner Stadelmann, *op.cit.* p.67
  - 23) Base de données ARCHIM :  
<http://www.culture.gouv.fr/documentation/archim/atlasdetrudaine.htm>
  - 24) E. Gauthey : *Traité de la construction des ponts Tome II*, pp.69-71, Liège, 1806
  - 25) 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
  - 26) J. Denfer : *Charpent en bois et menuiserie*, p.519, Paris, 1910
  - 27) « Reconstruction du pont des Petits-Murs, travée en charpente 1831 », cote 1Fi1315, Archives municipales de Nantes
  - 28) « Pont de Pirmil par Thevenon », cote II168/8, Archives municipales de Nantes
  - 29) « Pont en bois de l'île Feydeau à l'île Gloriette, [an VX] », cote 1Fi476, Archive municipales de Nantes
  - 30) E. Cresy : *Un encyclopedia of civil engineering, historical, theoretical and practical*, London, 1847
  - 31) C. Singer, *A history of technology, Vol. III, From the renaissance to the industrial revolution c 1500 – c 1700*, p.426, Oxford, Clarendon Press, 1957
  - 32) « Of Walton Bridge », *Gentleman's magazine*, vol.20 (1750.12), 1750
  - 33) T. Ruddock : *Arch Bridges and their Builders 1735-1835*, p.31, Cambridge university press, 1979
  - 34) N. Cossons & B. Trinder : *The Iron Bridge Symbol of the industrial revolution*, p.11, The Bath Press, 2002
  - 35) T. Pope : *A treatise on bridge architecture*, p.92, 1811
  - 36) 岩国市, 2007
  - 37) F. E. Griggs, Jr : « Colossus Bridge Designer Lewis Wernwag », *Structure magazine October*, pp.34-36, 2004
  - 38) Old Highway Bridge at Waterford, N.Y., *Engineering News Volume XXI January – June 1889*, pp.496-497, 1889
  - 39) *Engineering news and amerian contract journal, Volume XIV*, p.98, Engineering News Publishing co., 1885
  - 40) Minesota Dep. of Transportation : « Timber as a bridge material », *USFS Timber bridge manual*, p.1-11
  - 41) T. Pope, *op.cit.* p.141
  - 42) Philip S. C. Caston, « Historic Wooden Covered Bridge Trusses in Gemany », *Proceedings of the Third International Congress on Construction History vol 1*, pp.329-336, Cottbus, 2009
  - 43) デイルク・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
  - 44) T.Tredgold : *Elementary principles of carpentry*, p.244, 1875
  - 45) 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*, planche No.13, Paris, 1805
  - 46) *Ibid.* planche No.22
  - 47) Hg. D. Brewster : *The Edinburgh Encyclopedia volume IV*, p.488, 1830
  - 48) « 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)
  - 49) « 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)
- 50) « 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
- 51) « 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
- 52) Courtin : *Travaux des ponts et chaussées depuis 1800*, Paris, 1812
- 53) Archives municipales de Nantes, « Sur le pont projeté en remplacement du pont Maudit », le 23 mars, année 1830
- 54) 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、一度は採用された鑄鉄アーチ橋の設計料をナント市に対して請求している。
- 55) H. Gauthier : *Traité des Ponts où il est parlé de ...*, 1765 (original 1716)
- 56) B. Brisson, *Essai de comparaison sous les rapports économiques des ponts en pierre et des ponts en charpente*, Paris, le 18 septembre 1815
- 57) F. Caron : *Histoire des chemins de fer en France Tome 1*, pp.285-286, Fayard, 1997
- 58) Centre d'Etudes et de Recherches du Patrimoine  
(<http://www.trouverfacile.com/page.php?idste=491&macat=06+-LE+PONT+DE+CHAVILLON>)
- 59) B. Marrey : *Les Ponts Modernes 18<sup>e</sup> – 19<sup>e</sup> siècle*, p.143, Picard, 1990
- 60) 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
- 61) M. Jousse : *Théâtre de l'art de charpenterie*, pp.166-169, 1627
- 62) H. Gautier : *Traité des potns où il est parlé...*, pp.75-80, 1765 (original 1716)
- 63) P. Séjourné : « Ponts du Castelet, de Lavaur et Antoinette », *Annales des ponts et chaussée 1886*, p.503, 1886
- 64) J-R. Perronet : *Description des prohets et de la construction des ponts de Neuilli, Mantes, Orléans, etc in Oeuvres de M. Perronet*, 1788
- 65) Base architecture Mérimée,  
<http://www.culture.gouv.fr/documentation/memoire/HTML/IVR11/IA00079818/index.htm>
- 66) Base architecture Mérimée,  
<http://www.culture.gouv.fr/documentation/memoire/HTML/IVR11/IA00079818/index.htm>
- 67) B. Marrey, pp.284-293
- 68) P. Séjourné : « Construction des ponts du Castelet, de lavaur et Antoinette », *Annales des ponts et chaussées*, pl.41, 1886
- 69) 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](http://www.pch.public.lu/gallery/main.php?g2_view=core.DownloadItem&g2_itemId=686&g2_serialNumber=2)
- 70) J. Ozanam : *Récréation mathématiques et physiques tome.3 architecture*, pp.374-378, 1778
- 71) Gauthey, *op.cit.*
- 72) Hg. D. Brewster : *The Edinburgh Encyclopedia volume IV*, p.488, 1830
- 73) 大田静六 : 『眼鏡橋 日本と西洋の古橋』, p.47, 理工図書
- 74) 文献 2), p.230