

リソルジメント橋の設計を通して見たエヌビック社の技術移転の事例*

A Study on the Technical Transfer of the Hennebique Co. Analyzing the Design Process of the Risorgimento Bridge

本田泰寛**、小林一郎***、ミシェル・コット****

Yasuhiro HONDA, Ichiro KOBAYASHI and Michel COTTE

Abstract

The Hennebique Company, funded in 1892 by François Hennebique in France, expanded its organization very quickly and diffused a reinforced concrete technology widely the world. It is often explained that the reason why the company could grow up so rapidly is due to the 'Hennebique Système', one of the idea to reinforce a structure of concrete. But it does not seem to be enough to clarify the reason of the rapid growth. This paper analyzes the process of the Risorgimento bridge construction from the viewpoint of technology transfer. For that, a series of letters mainly exchanged between the company and one of the agents in Turin (Italy) discussing about the construction problems is analyzed. That will illustrate a capability of the organization of the Hennebique Company in the field of the technology transfer and technology development.

1. はじめに

(1) 研究の背景・目的

鉄筋コンクリートは 19 世紀中頃にフランスで考案され、主要な発展がなされた。特に 19 世紀後半から 20 世紀初頭にかけては、多くの技術者によって鉄とコンクリートを併用する方法が探られており、フランソワ・エヌビック

(François Hennebique) もその中の一人として上げられる。彼はいくつかの試みを経た後、1892 年に「エヌビックシステム (Système Hennebique)」という鉄筋コンクリート技術に関する特許を取得し、同時にエヌビック社を設立する。エヌビックシステムとは、étrier と呼ばれる鉄製の板でできた定着器具と折り曲げ鉄筋状のものを用いた、梁の入った床版を構成する技術として特徴づけられたものである¹⁾。エヌビック社はこの特許の使用契約をフランス国内、国外の建設業者と交わし、その利用を世界規模で広めていった。エヌビック社内において、特許の使用契約を結んだ建設業者は、契約の内容によって代理店 (agent) と請負業者 (concessionnaire) の 2 種類に区別されており、1905 年頃には、フランス近隣のヨーロッパの諸国、アフリカ、南北アメリカ、アジアといった世界の各地にまで存在していた²⁾。

1909 年に発行された『La construction en ciment armé (補強セメントによる建設)³⁾』を見ると、当時のフラン

スだけでも 18 種類の「システム」が存在していたことがわかる。また、その他いくつかの技術雑誌⁴⁾でもエヌビックシステムが取りあげられ、それぞれの構造的な特徴について記述されている。エヌビックシステムは其中で、「最も普及している技術」として紹介されている。しかし、あくまでも様々ある技術の中のひとつとして捉えられているように見受けられ、エヌビック社の急速な発展の理由をエヌビックシステムという特許技術のみに求めることは適当ではないと考えられる。

エヌビック社について言及した文献はいくつか見られ⁵⁾、特許技術を介した組織経営という点から急速な発展の要因について説明されている。特に、ドリュモーによって表された『L'Invention du béton armé⁶⁾』は、社内文書等の一次資料に基づいた唯一の研究であり、エヌビック社の組織経営について詳細な分析がなされている。しかし、ほとんどの研究は建築史からのアプローチであり、橋梁を中心に論じたものは極めて少ない。また、ある事業に着目し、その経過を明らかにしたものも見られない。

そこで本研究では、一つの橋梁建設に着目した事例研究を通して、エヌビック社の組織内で実際にどのようなプロセスを経て橋梁建設がおこなわれていたのかということ明らかにする。さらに、組織内における技術移転についての考察を加える。

* keyword : エヌビック社、鉄筋コンクリート、技術移転

** 学生員 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2 丁目 39 番 1 号)

*** 正会員 工博 熊本大学工学部環境システム工学科

**** 非会員 Dr. of History of technology, Université de Nantes

(2) 研究の対象・研究の方法

本研究では、研究の対象として、1991年にイタリアのローマ（図-1）に建設されたリソルジメント橋を取りあげている。本橋は世界で初めてスパンが100mに達した鉄筋コンクリート橋であり、橋梁史上で重要な位置を占めるものである。エヌビック社は、1900年にシャテルロー橋の建設においても鉄筋コンクリート橋としては世界で初めてスパン50mを実現しており、そのわずか11年後に2度目の記録更新を達成していることになる。エヌビック社は鉄筋コンクリート橋建設において特筆すべき技術的発展を果たしていると言える。

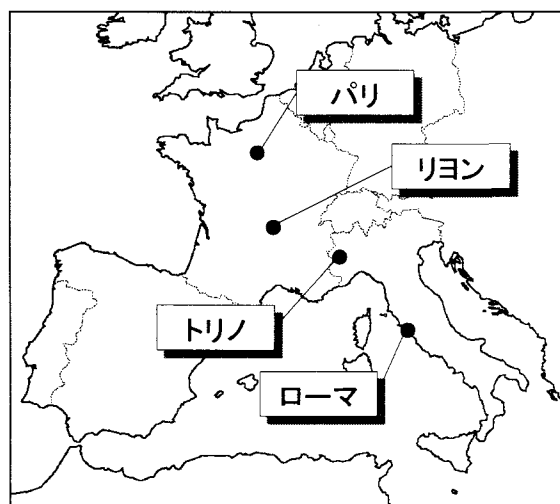


図-1 本社、代理店、現場の位置（作成：本田）

表-1は1900年から1911年にかけて見られた鉄筋コンクリート橋のスパン更新の歴史を示したものである。横道は⁷⁾、鉄筋コンクリートアーチ橋の評価する値の一つとして「大胆度（単位：m）」をあげている。これは、スパン長の2乗に比例し、ライズに反比例する値であり、いかに扁平で、スパンの長いアーチであるかを示すものであるが、表で見ると、リソルジメント橋の大胆度（1000m）が際だって大きいことがわかる。エヌビック社にとって、本橋の建設は非常に重要な技術的挑戦であったと言える。なお、リソルジメント橋のスパン100mは1923年に建設されたミネアポリス（Minneapolis）橋の121.92mによって更新されるが、その大胆度は554mであった。

また、リソルジメント橋の建設を取り上げる理由としてさらに次の2点をあげる。

- ①エヌビック社の本社があるフランスではなく、イタリアで建設された橋梁であること
- ②エヌビック自身が設計・施工に関わり、現地の代理店に指示を与えていること

つまり、それまで前例のない規模の橋梁建設が、遠隔地でおこなわれており、さらにエヌビック自身も直接参加していることから、エヌビック社の組織内における技術移転の様子を明らかにする1つの好例であると考えた。

本研究ではまず、エヌビック社が毎月発行していた雑誌『Le béton armé』より、リソルジメント橋が建設される1911年までにエヌビック社によって建設された橋梁の概要をまとめた。また、リソルジメント橋の建設については、エヌビック社内でもやりとりされた約80通一連の手紙⁸⁾を参照した。これらの手紙は1909年9月から1911年6月の間に本社（パリ）と代理店（トリノ）の間で取り交わされたもので、おもに設計と施工に関する議論がフランス語によって交わされている。エヌビック社の橋梁建設に関しては、このような一次資料をもとにした研究はまだ見られない。

本研究では一連の書簡を読み解くことで、橋梁建設における①組織内の技術情報の交換と、②本社や代理店が担っていた役割を明らかにする。さらに、エヌビック社の組織と技術移転がどのような性質のものであったのかということについて考察する。

2. エヌビック社の組織構成

エヌビック社の組織構成と各部署の役割については、エヌビック自身の言葉や、エヌビック社が発行した冊子から知ることができる⁹⁾。ここでは、本研究の視点に基づいてエヌビック社の組織構成の概要を整理する。

エヌビックは、1899年に開かれた会合の中で、以下のように説明している。

- ・私の代理店は、フランス国内の各地域や国外における技術研究機関であり、設計と見積りをおこなうことができる。
- ・請負業者は、私の取得した特許の一部を利用する契約を結んでおり、施工をおこなう。
- ・技術者、製図家は本社や代理店に直属している。

代理店は、現地におけるエヌビック社の代表として事業

表-1 鉄筋コンクリートアーチ橋のスパン更新（文献6）より作成：本田）

架橋年	橋梁名	スパン (m)	ライズ (m)	ライズ/スパン	大胆度 (m)
1900	Châtellerault	50	5	1/10	500
1904	Grünwald	72.25	12.8	1/5.6	407
1908	Gmündertober	79	26.5	1/3	235
1910	Grafton	97.54	27	1/37	352
1911	Risorgimento	100	10	1/10	1000
1923	Minneapolis	121.92	26.82	1/4	554

を獲得することができ、ここで作成された図面や構造計算などは原則として本社へと送られ、技術者らによって無償で検討・修正を受けることができるようになっていた。現場では施工を指導する役割も担っており、本社と現場とを結ぶ機関として代理店の果たす役割は非常に大きなものであった。エヌビックが、代理店についてのみ「私の」としている点からも、その存在の大きさがわかる。

図-2は、エヌビック社と、国内外各地のつながりを模式的に示したものである。図中の「地方」とアメリカヨーロッパなどの「地域名」は、各地に散在する代理店と請負業者を表している。パリの本社は技術情報の発信地としての機能を持っていると同時に、各地でおこなわれた事業の図面や構造計算などの情報が集積し、必要に応じて他の代理店へ受け渡す、情報の集積機能を持っていた。さらに図中には、エコール・セントラル (Ecole Centrale) から技術者を主に採用していることと、定期的に行われていた会合で外部の技術者と情報交換をおこなっていることが示されている。

リソルジメント橋の建設ではエヌビック社のイタリアにおける代理店であり、ジオヴァンニ・アントニオ・ボルケッドゥ (Giovanni Antonio Porcheddu, 1860-1937。以下ボルケッドゥ) を社長とするボルケッドゥ社 (Société Porcheddu)、基礎工事を専門とするエヌビック社の子会社 (Société de fondation par compression mécanique du sol、以下、基礎会社と呼ぶ) が参加している。

なお、一連の手紙には請負業者に関するものはなく、ポ

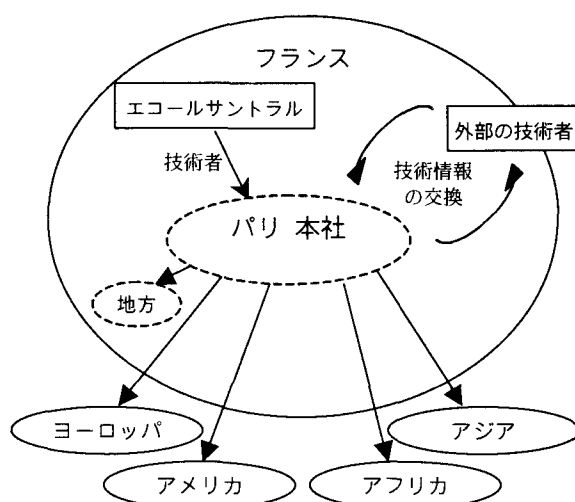


図-2 エヌビック社の組織構成 (作成：本田)

ルケッドゥ社が直接施工を担当していたのか、別の請負業者が存在していたのかは明らかではない。

3. 1911 年までのエヌビック社の橋梁建設

(1) エヌビックシステムによる橋梁建設

エヌビック社による橋梁建設は 1894 年よりおこなわれ始めるが、スパン 50m クラスの橋梁を建設するのは 1900 年のシャテルロー橋 (写真-1) 以降である。

表-2 エヌビック社によって建設された主要なアーチ橋¹⁰⁾ (作成：本田)

完成年	橋 梁 名	架 橋 地	最大スパン	径間数	ライズ/スパン	形式上の特徴
1900	Pont de Châtellerault	フランス (Vienne)	50.0	3	1/10	開側アーチ
1900	Passerelle de Lorient	フランス (Lorient)	17.15	1	1/11	充側アーチ
1902	Passerelle sur le canal du Midi	フランス (Toulouse)	42	1	1/16	アーチリブ
1902	Pont sur la Dora	イタリア	20.25	1	1/10	充側アーチ
1903	Pont de Soisson	フランス (Ardenne)	24.48	3	1/10	充側アーチ
1903	Pont sur la Bormida	イタリア	51	1	1/10	開側アーチ
1904	Pont de Kazarguere	ロシア	23.1	13	1/10	充側アーチ
1905	Pont Mativa	ベルギー	55	3	1/15	箱 桁
1905	Pont de Decize	フランス (Nievre)	55.50	2	1/10*	アーチリブ
1905	Pont sur la Meuse à Rouillon	ベルギー	42	4	1/10	開側アーチ
1906	Pont à Béja	チュニジア	40	1	1/9*	下路アーチ
1907	Viaduc à Deurne-Merxem	ベルギー	44	5	1/10	開側アーチ
1907	Pont sur la Loire à Imphy	フランス (Nievre)	31	10	1/12.5	箱 桁
1907	Pont de Pyrimont	フランス (Ain et Haute-Savoie)	55	3	1/7	開側アーチ
1907	Pont sur la Stura à Rossiglione	イタリア	36	1	1/10	開側アーチ
1908	Pont de l'Astico	イタリア	34.50	1	1/17	箱 桁
1909	Pont d'Hermalle sur la Meuse	ベルギー	51	4	1/11	開側アーチ
1909	Pont de Saint-Claude	フランス (Jura)	65.7	1	1/12	箱桁
1909	Pont sur le Var à la Mescla	フランス (Alpes-Maritimes)	40	1	1/11	中路段アーチ
1909	Pont de Gori	コーカサス	50	3	1/10	箱 桁
1909	Pont sur l'arroyo Canelon Chico	ウルグアイ	35	1	1/9	アーチリブ
1909	Viaduc de Scenery Hill	アメリカ合衆国	33	1	-	アーチリブ
1911	Pont Risorgimento	イタリア	100	1	1/10	箱 桁

*: 推測値、単位: m



写真-1 シャテルロー橋



写真-2 ドシズ橋

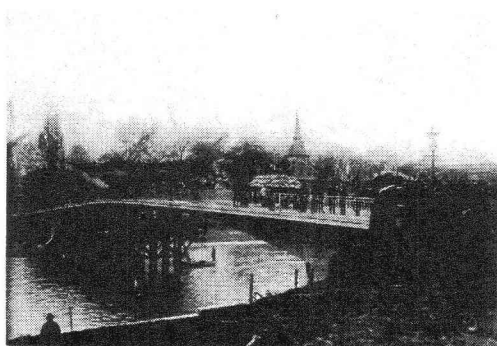


写真-3 マティバ橋

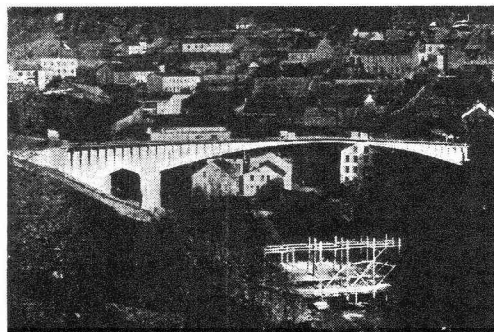


写真-4 サン・クロード橋

表-2は、エヌビック社によって毎月発行されていた雑誌『ベトン・アルメ(Le béton armé)』に、リソルジメント橋の建設される1911年までに掲載された橋梁で、主要なアーチ橋を示している。なお、網掛けの部分はボルケッドウ社によってイタリアで建設された橋梁を示している。

これらを見ると、1906年にチュニジアで建設された下路式アーチ橋(Pont à Bèja)や1909年に南フランスで建設された中路式アーチ橋(Pont sur le Var à la Mescla)などがみられるものの、ほとんどが上路式アーチ橋である。本表から、エヌビックシステムがいくつかのアーチ形式に適用されていることがわかる。

スパンの伸張は上路式アーチ橋にみられる。1905年に建設されたドシズ橋(Pont de Decize、写真-2¹¹⁾)ならびにマティバ橋(Pont Mativa à Liège、写真-3¹²⁾)で55m、1909年のサン・クロード橋(Pont Saint-Claude、写真-4¹³⁾)では65.7mに達している。橋長についても、カザゲ

ンヌ橋(Pont de Kazagène)やアンフィ橋(Pont sur la Loire à Imphy)では橋長が300mに達しており、エヌビックシステムによる橋梁が、長大化の傾向を示していることがわかる。

(2) アーチ形式とスパンの伸張

前節で見てきた橋梁のうち、上路式アーチ橋について見てみると、①開側アーチであるか/充側アーチであるか、という点と、②アーチスラブであるか/アーチリブであるか、という点から、アーチ形式を開側アーチスラブ、開側アーチリブ、充側アーチリブ、充側アーチスラブ(以下、箱桁アーチ)の4種類に分類することができる。表-3はその分類を示したものである。

それぞれのアーチ形式がどの程度のスパンに対応したものであったかという点、まず充側アーチリブについては、スパンは20m台までに限られている。また、開側アーチ

表-3 アーチ形式の分類(作成: 本田)

	アーチリブ	アーチスラブ
充側		
開側		

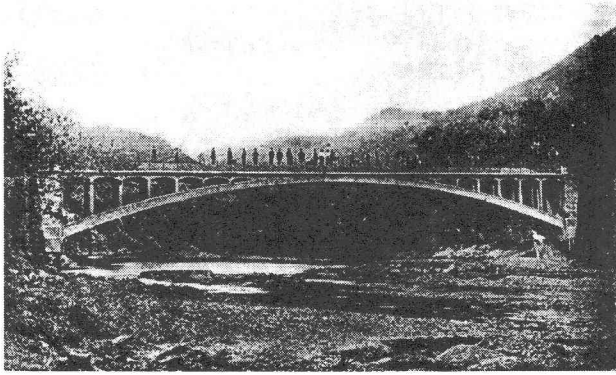


写真-5 ボルミダ橋

スラブ、開側アーチリブについては 50m 台を越えるものは見られない。スパンの伸長にそってこれを見てみると、RC 橋梁として初めてスパン 50m に達したシャテルロー橋では開側アーチスラブが採用されている。次いで 1905 年にスパンが 55m の橋梁が、箱桁アーチと開側アーチリブの 2 つのアーチ形式で実現する。その後、サン・クロード橋は箱桁アーチによってスパンが 65.7m と大きく伸び、リソルジメント橋でスパンが 100m を実現した。

1905 年を境に、スパンの伸長には箱桁アーチが採用されている。これはスパンの伸長に伴ってアーチに生じる曲げに抵抗するためであると思われる。

このように、エヌビック社のおこなっていた橋梁建設は、①アーチ形式のパターン化と、②それに見合ったスパンの当てはめが一つのフォーマットとして定められ、これを使い回すことで各地に橋梁を建設していたと考えることができる。

(3) ボルケッドゥ社による橋梁建設

ボルケッドゥ社は、1899 年にはすでにエヌビック社の代理店となっている。当初は主にサイロや製粉所などの産業構造物の建設をおこなっており、その能力はエヌビックからも高く評価されている¹⁴⁾。また、拡幅や床版などの工事も含めた橋梁関連の事業は 1910 年までに 100 橋近くを手がけている¹⁵⁾。

表-2 でみると、スパン 20.25m、充側アーチリブを持つドーラ橋 (Pont sur la Dora、1902 年)、スパン 51m、開側アーチスラブのボルミダ橋 (Pont sur la Bormida、1903 年、写真-5¹⁶⁾)、ドーラ橋と同形式でスパン 36m のストゥーラ橋 (Pont sur la Stura、1907 年) やスパン 34.5m、スパン・ライズ比 1/17 を持つ箱桁アーチからなるアスチコ橋 (Pont d'Astico、1908 年、写真-6¹⁷⁾) などがあげられる。これらの橋梁に大きなスパンの伸長などの特色は見られないが、これまでに見てきたようなアーチ形式を一通り手がけていることがわかる。

ボルケッドゥ社においても、このような橋梁建設を通して本社とのやりとりをおこない、設計や施工に関するノウハウを獲得していったものと考えられる。

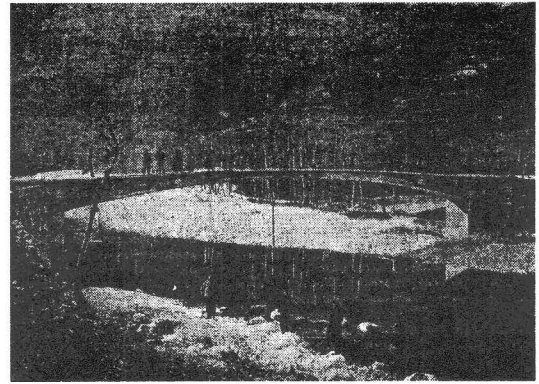


写真-6 アスチコ橋

4. リソルジメント橋の建設

(1) 橋梁建設までの経過

リソルジメント橋は 1911 年 4 月 21 日に開催される博覧会のためにチベル川上に建設された。本橋の架設地点には、1909 年の時点ですでに木製仮橋の建設がおこなわれており、石造アーチ橋の建設が計画されていた。しかし工期と経費の問題から石造アーチ橋を断念し、木橋で博覧会に臨もうとしていたところ、ローマ市の技術者であるベンチベニャ (Bentivegna) から 3 スパンの鉄筋コンクリート橋建設が提案された¹⁸⁾。ボルケッドゥは、リソルジメント橋とは別の工事についてベンチベニャと会見した際に、スパン 100m の鉄筋コンクリート橋を建設することを提案した¹⁹⁾。これに対して、ローマ市側から一週間で設計を完成し提出するようにとの要求があり、ボルケッドゥはこれに従って図面と構造計算を完成させた。1909 年 7 月 31 日にこの案は採用されたが、期限内に橋梁が完成しなかった場合には、木橋と同じ費用のみが支払われるという条件付きのものであった。

(2) 本橋の概要

本橋 (写真-7²⁰⁾) はスパン 100m、ライズ・スパン比 1/10 の上路アーチ橋である。図-3 は本橋の縦断面図、横断面図を示したものである²¹⁾。上段には、橋台からアーチクラウン部までの縦断面図、下段には横断面図が示されている。下段の横断面図は、左から、橋台・基礎部、アーチクラウン部、アーチ中間部のものとなっている。

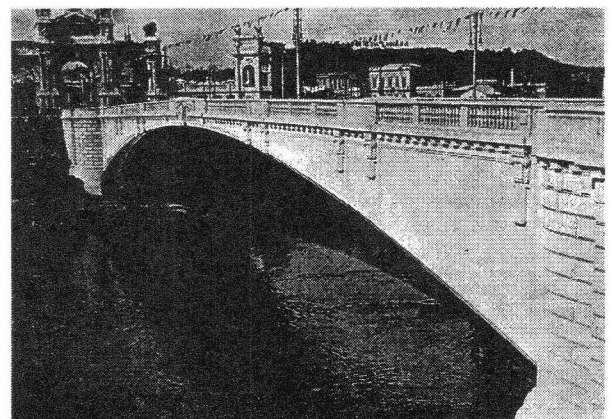
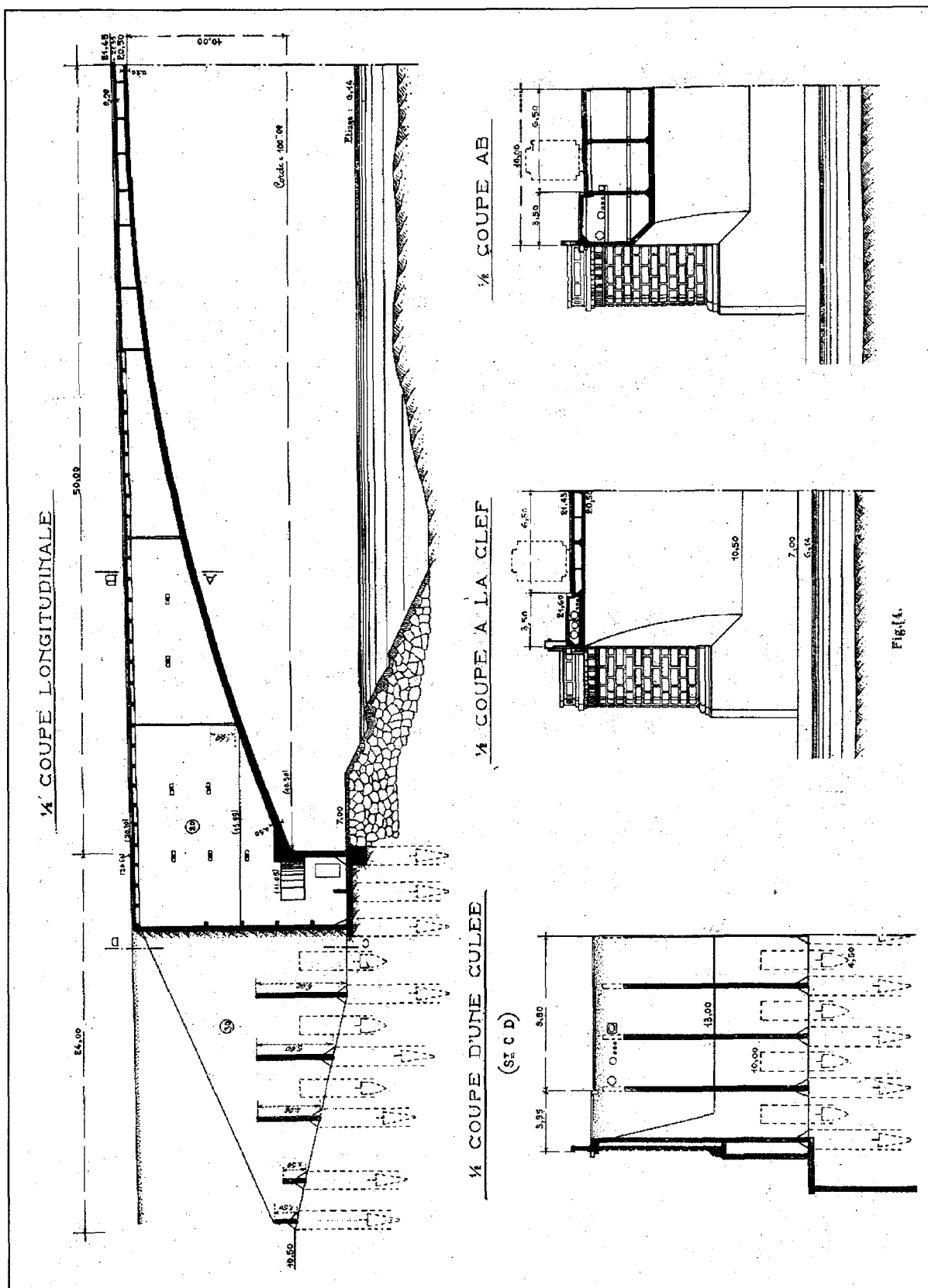


写真-7 リソルジメント橋



図一3 リソルジメント橋の縦断面、横断面図

アーチ部分は橋軸方向に6室に分けられた箱桁構造となっており、橋台は、アーチ部分の構造がそのまま延長された形で中空構造となっている。アーチ部分のスパンドレルと隔壁の厚さは20cm、アーチ厚はクラウン部で20cm、アーチ基部では50cmである。幅員は、車道部分で13.0m、歩道部分は左右それぞれ3.50mとなっている。また、基礎部分には杭やスラブは用いられておらず、替わりに、タンパー（鉄筋コンクリート塊の先端部）の自由落下で地盤を突き固め、そこにコンクリートを流し込み地盤の強度を得るコンプレッソル（compressol）という工法がとられた。コンプレッソルによる基礎は橋台と連結され、アーチから橋台、基礎は完全な一体構造を形成している。

（3）組織内での情報交換

一連の手紙より、リソルジメント橋の建設にはパリの本社、同じくパリの基礎会社、トリノの代理店、現場に出向している基礎会社の技術者、また、官側の技術者としてベンチペニャが関わっている。ここでは、これらの一連のやりとりから、エヌビック社の組織が橋梁建設においてどのように機能していたのかということ明らかにする。表-4は、エヌビックとボルケッドゥの間でやりとりされた手紙から、主に技術的な情報のやりとりをまとめたものである。

両者の議論の多くは設計に関するものであり、主に書面によって、次のような形で詳細設計が進められた。

- ①ある段階までの設計をボルケッドゥがおこない、変更点や指示を求める内容の手紙とともにエヌビックへと郵送する。
- ②エヌビックの同意が得られた場合、それが決定案となるが、修正を指示された場合には、ボルケッドゥによって再度指示通りの仕上がりになるよう修正が加えられる。

（a）本社－代理店

リソルジメント橋の建設で重要な問題は、軟弱な地盤にどのように基礎を築くかということであった。

ボルケッドゥは8月末に架橋地点の地質調査をおこなうが、その結果、建設地の地質は予想よりもはるかに軟弱なものであることがわかった。そこで彼は、エヌビックへ宛てて手紙を書き、スパン100mのアーチを支える基礎をこの地盤上に築くことができるのかという判断を仰いだ²²⁾。このころエヌビックはちょうど本社をはずしており、即答を得ることはできなかったが、本社の技術者から、基礎スラブを設置するか、あるいはコンプレッソルを用いるか、慎重な判断が必要であるとの返事を当日に受けている²³⁾。

その後、7月29日にエヌビックは議論のために直接イタリアに向かっている²⁴⁾。設計の大まかな方針はこのときに決定されたようであり、ボルケッドゥからはエヌ

ビックがイタリアへ来たことの感謝とともに、議論をふまえた上で設計の修正を報告する手紙が送られている²⁵⁾。

基礎の形態をはじめ、本橋の設計に関する議論は二人が直接話し合って決定されたようである。表-4で見ると、1909年10月以降はボルケッドゥ主体となって設計を進めている様子がわかる。しかし、ボルケッドゥにとってスパン100mのアーチ橋の設計は簡単なものではなかったようで、同年の10月12日にはエヌビックに「リソルジメント橋と同じ方針で建設されたマティバ橋の設計図と構造計算を送って欲しい」と本社に依頼している²⁶⁾。その2日後に、マティバ橋に加えて、サン・クロード橋の図面と構造計算も送られた²⁷⁾。

表-4 設計に関する手紙の内容(作成：本田)

日付	差出人	書簡の内容
1909		
7.31	ローマ市によってボルケッドゥ社の案が採択	
8月末	ボルケッドゥによる現場の地質調査	
9.17	ボルケッドゥ	軟弱地盤上に本橋の建設が可能かどうか検討を要請
9.17	エヌビック社	エヌビック不在。慎重な地質調査をおこなったうえで基礎を決定するように指示
10.7	エヌビック	①杭の鉄筋のサイズ、②スパンドレル部の鉄筋、③伸縮目地に関する指示
10.12	ボルケッドゥ	①配筋、基礎工事に関する修正図面の報告、②マティバ橋の図面を要求
10.14	エヌビック社	サン・クロード橋、マティバ橋の図面、計算書
10.15	ボルケッドゥ社	配筋の修正図面の報告
10.23	エヌビック	①隔壁の図面、②鉄筋の接合に溶接を使うよう助言
11.10	ボルケッドゥ	①杭の配筋、打ち込み位置に関する提案、②コンプレッソルの機械と専門家を要求、③全体的な配筋に関する報告
11.18	現場の整地工事開始	
11.25	ボルケッドゥ	配筋に関する指示の催促
11.27	エヌビック	①アーチの配筋、②中空アーチに関する説明、指示
12.3	ボルケッドゥ	①基礎工事の専門家の要求、②隔壁の配筋に関する指示を要求
12.23	ボルケッドゥ	①基礎会社の技師が到着、②基礎工事の図面を受け取った報告
1910		
1.2	基礎工事開始	
7.1	ボルケッドゥ	橋台の設計の変更提案
7.27	橋台のコンクリート打設開始	
8.26	ボルケッドゥ	鉄筋の断面形状の一部変更を提案
9.15	エヌビック	①型枠の設置、②鉄筋のサイズ、③杭を打ち足すことを指示
9.21	ボルケッドゥ	現場に杭打ちをおこなうよう指示を出したことを報告
9月末	アーチの型枠設置完了	
1911		
3.17-18	エヌビック	支保工を取り外す際の厳密な変位測定を指示
3.25	ボルケッドゥ	①測定器の設置場所、②橋梁内への配管、③載荷試験の報告
4.11	型枠の取り外し終了	
5.1	ボルケッドゥ	①図面の最終版を送信、②載荷試験に関する指示を要求
5.8~11	死荷重、動荷重による試験	
5.31	ボルケッドゥ	①載荷試験の指示をローマの方へ送ったことを報告
7.17	群衆による耐振動試験	

注)差出人が明記されていない場合や、代理人による書簡の場合には、「エヌビック社」、「ボルケッドゥ社」と表記した

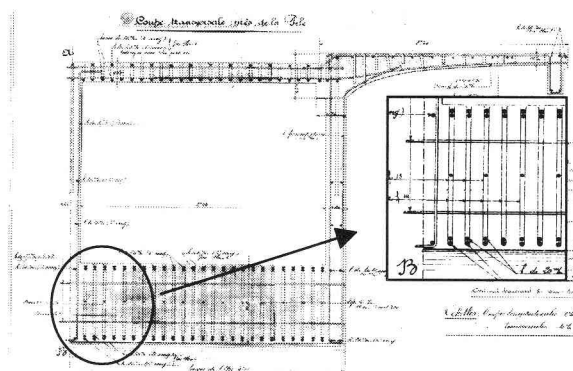


図-4 マティバ橋の図面（アーチ断面）

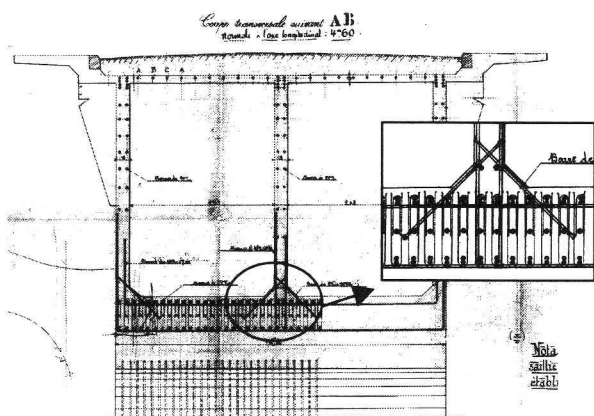


図-5 サン・クロード橋の図面（アーチ断面）

図-4、5はそれぞれマティバ橋とサン・クロード橋の桁断面図を示したものである^{28), 29)}。両橋とも、橋軸方向に2室に分けられた箱桁アーチであり、エヌビック社においてスパンを伸長してきた2橋である。ポルケッドゥがさらにスパンを伸長するために両橋の情報を要求したことは当然のことであろうと思われる。

エヌビックはこれらのうち、サン・クロードの図面に言及し、鉄筋の継ぎ手を鉄線（図-6）ではなく、溶接でしっかりと鉄筋を繋ぐことを指示している³⁰⁾。

また、ポルケッドゥはエヌビックからの細かい修正に従うと同時に、ポルケッドゥからも鉄筋の断面を丸鋼から三日月形へと変更する提案が出される（図-7³¹⁾）。これについての詳細な理由は明らかではないが、表面積を増やすことで、鉄筋とコンクリートの付着を高め、橋梁全体の剛性を高めることを狙っていたのではないかと考えられる。この案は、実際にリソルジメント橋の建設で用いられ（図-8³²⁾）、後にはポルケッドゥが特許を獲得している³³⁾。

橋梁本体の設計がこのような形で進められると同時に、1910年1月2日になると基礎部分の施工が開始される。施工に関しては、写真を添えた進捗の報告がなされている³⁴⁾。

橋台のコンクリート打設が開始された約2ヶ月後（1910年9月15日）に、エヌビックから急を要する指示を出す手紙が送られている。

同じ時期に建設中であったスパン42mの上路式アーチ橋の橋台が、アーチの水平力を支えきれず16cm水平移動するという事態が発生した。この知らせを受けたエヌビッ

— Culée droite —
Toutes les barres verticales des cloisons
seront prolongées à l'aide de barres supplémentaires
et ligaturées comme ci-dessous

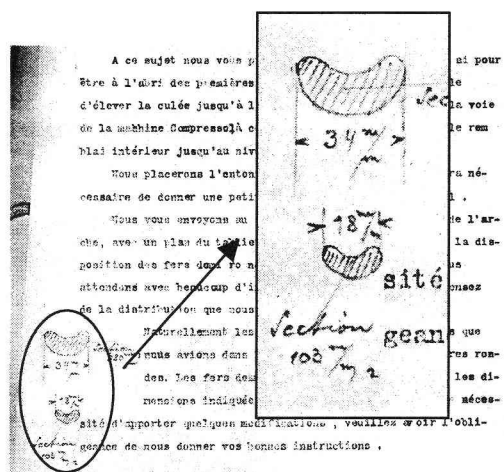
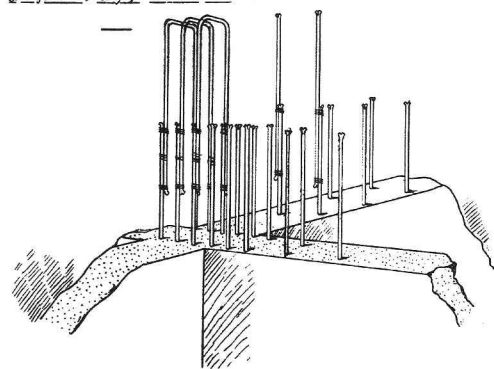


図-7 鉄筋断面の変更を提案する手紙

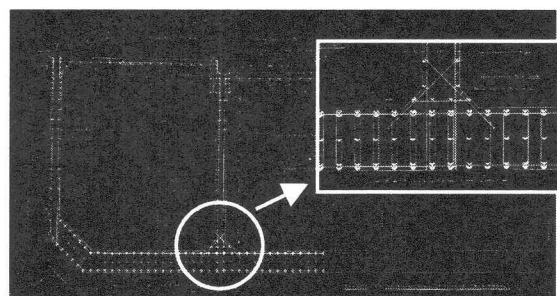


図-8 アーチの断面図

クは、「早急に追加の杭を打ち、地盤を補強するように」との指示を出している（図-9³⁵⁾）。ポルケッドゥはこれにすぐ対応し、6日後（1910年9月21日）には、ローマへ指示を送ったことを報告している（図-10³⁶⁾。

このように、お互いにアイデアを出し合うことで解決策を探っていることがわかる。また、

- ①コンプレッソルを橋台と固定すること
- ②鉄線ではなく溶接を継ぎ手に用いること
- ③鉄筋の断面を変更し、付着を強化すること
- ④杭を打ち足すこと

A hand-drawn diagram of a cable-stayed bridge. On the left, a vertical pylon is labeled 'A'. A cable extends from the pylon to a point on the main span. The main span is a large, curved arch-like structure. On the right, another vertical pylon is labeled 'B'. Multiple cables extend from pylon B to the main span. Below pylon B, there is a structure labeled 'P' with vertical lines, possibly representing a pier or support. The bridge is shown crossing a body of water, indicated by horizontal lines at the bottom.

(Signé) Hennelique —

Diagram illustrating the organizational structure and interactions for the Paris 2024 Olympic Games, involving Tokyo 2020 and Rome 2020.

Paris 2024 (パリ 2024):

- 本社 (Main Company) ↔ 基礎会社 (Base Company)

Tokyo 2020 (トリノ 2020):

- 社外(*1) (Outside Company)
- パルケッドウ社 (Parkedou Company)

Rome 2020 (ローマ 2020):

- 現場 (Site)
- 官側の技師 (発注者) (Official Technicians/Orderer)

Interactions:

- 修正案・指示合意 (Revision/Approval) from Tokyo to Paris.
- エヌビック (Enbick) from Paris to Rome.
- 設計案 (Design Proposal) from Tokyo to Rome.
- 現場の技術者とのやりとり (Interaction with Site Technicians) from Paris to Rome.
- 技術者 (Technician) from Paris to Rome.
- 施工指導 (Construction Guidance) from Tokyo to Rome.
- 報告、交渉 (Reporting/Negotiation) from Tokyo to Rome.

- 91 -

本橋の設計、施工はこのようなやりとりを経て進められ、1911年4月11日に型枠の取り外しが完了し、完成に至った。1ヶ月後の5月11日には、ボルケッドゥ社がローマ市との契約に至るまでの経過を報告するレポートと共に、ボルケッドゥ社によって作成された最終版の図面すべてがパリの本社へと送られた⁴⁶⁾。

5. おわりに

ここではさらに、エヌビック社の橋梁建設の特徴と、組織の持つ機能という点から、会社組織とはどのような性質のものであったのかということについて考察する。

(1) プロトタイプ橋梁の建設

エヌビック社がおこなった橋梁建設の特徴のひとつとして、上路式アーチ橋の形式がスパン長に応じて4種類に分かれていることを見た。

このことから、あらかじめ4つのプロトタイプ橋梁を建設しておいて、それらの設計・施工情報を各地の架橋条件に合わせて再利用していたとみることができる。代理店はその情報をもとに、現場の状況に応じて修正を加えたり、本社に相談したりすることで、比較的容易に設計・施工をおこなうことができたものと考えられる。

(2) 組織の機能①（各部署の役割）

リソルジメント橋の建設では、計画案の作成から入札、設計、施工に至る作業を、代理店の代表者であるボルケッドゥ社が中心となっておこなっていた。エヌビックはその設計に対して助言を与えるという、いわばコンサルタントのような役割を果たしていた。

パリの本社は、関連のある橋梁の図面をボルケッドゥ社へと送ったり、本社にエヌビックが不在の場合にはすべての情報を彼のもとへと転送するというように、情報の中継地点としての機能を持っていた。

また、代理店のみでは施工が困難な基礎工事については専門の技術者が派遣されている。

エヌビック社においては、各部署が組織内において明確な役割分担がなされていたとすることができる。基礎会社はリソルジメント橋の他に、マティバ橋やドシズ橋の建設にも関わっていることから⁴⁷⁾各地でおこなわれる橋梁建設を施工的な面で支援する役割を持っていたとすることができる。

(3) 組織の機能②（情報交換）

ボルケッドゥ社とエヌビックの間では、緊密で詳細なやりとりがおこなわれており、両者は単にエヌビックシステムという技術を介した契約上の関係ではなかった。

基本的な両者の関係は、エヌビックの指示にボルケッドゥ社が従うという形であり、これは技術者エヌビックが技術者を育てるという、教育的な一面と捉えることができる。

エヌビック社の技術移転は、このような「技術を売り、その使い方まで指導する」という形でおこなわれていた。

一方で、ボルケッドゥ社から鉄筋断面の形状変更が提案され、それが実際に採用されていることから、両者はお互いに技術情報を交換していたということもできる。

つまり、エヌビック社内での技術情報の移動は循環しており、さらにその過程で技術が変化していたことを示している。

エヌビックは、全固定アーチの実現という大前提は保ちつつも、それをさらに改善するためには、従来の技術に極端にこだわることなく、状況に応じて必要な変更は認めるような性質を持っていた。

このように、リソルジメント橋の建設においては技術的な情報の流れは本社から代理店へという一方通行ではなく、むしろ相互補完的な関係で設計・施工をおこなっている。

(4) エヌビック社の組織と技術移転

本研究では、リソルジメント橋の建設を通して、エヌビック社の技術移転と組織の関係を明らかにした。

エヌビック社が早期に拡大し、鉄筋コンクリート技術を普及できたのは、特許技術の契約だけによるものではなく、技術の適用方法をプロトタイプ橋梁の建設という形で準備していたことと、本社が代理店の設計や施工の支援をできるような機能を持った組織をもっていたからである。

また、本社と一定の技術力をもった代理店の間では、お互いに技術情報を交換することで技術開発をおこなうことも可能であった。リソルジメント橋の成功は、両者の技術協力の結果として達成されたものであった。

<参考文献・注記>

- 1) Le béton armé n°.11, pp.1-5, 1899.4.
- 2) Relevé des travaux Exécutés en 1905.
- 3) C. Berger et V. Guillerme, 'La construction en ciment armé', H. Dunod et E. Pinat éditeur, 1909.
- 4) 例えば、「Construction en ciment armé Système Hennebique」, 'Nouvelle annales de la construction', col.142-144. 1896.9. « Construction en ciment armé », 'Le Génie Civil' n°2, pp.22-24, 1898.
- 5) 例えば、Douglas McBeth, « François Hennebique (1841-1921), reinforced concrete pioneer », 'Civil Engineering 126', pp.86-95, 1998.5. Antoine PICON, « François Hennebique », 'l'art de l'ingénieur', pp.223-225, Le Moniteur, 1997. D.P. ピリントン著・伊藤學他監訳、『塔と橋 構造芸術の誕生』、鹿島出版会、2001.
- 6) Gwenaél Delhumeau, 'L'invention du béton armé', Norma éditions, 1999.
- 7) 横道英雄：『コンクリート橋 鉄筋コンクリート橋およびプレストレストコンクリート橋』、技報堂、p541、1962.
- 8) エヌビック社の資料はフランスの IFA (Institut français d'architecture) に保管されており、リソルジメント橋に関するすべての資料は「IFA, BAH/4-A/1909/13, code42623」と

- いう番号のもとで一括して保管されている。このため本稿では差出人、宛先、日付によってそれぞれを表記、区別する。
- 9) エヌビック自身による説明については、Le béton armé n°28, p.7, 1900.9. 冊子については‘Le béton armé Hennebique’, 1929.を参照した。エヌビック社の組織については文献 5) にあげた既往研究にも見ることができる。また、著者らは「The Hennebique Company :An early Industrialization for the Reinforced Concrete(1880-1914)」(土木史研究 Vol.21、pp.227-232、2001.5 の中で、エヌビック社の発生・発展という点でこれについてまとめており、第 2 章の記述の多くはここに依る。
 - 10) 本表は「Le béton armé」 n°1 から n°166 からデータを収集し、作成した。なお、橋梁名、地名については、本文中では日本語による読みカタカナで表記したが、表中では資料に掲載されているものをそのまま掲載した。
 - 11) Le béton armé n°85, PLANCHE I, 1906.6.
 - 12) Le béton armé n°92, PLANCHE III, 1906.1.
 - 13) Le béton armé n°85, pp.77-82, 1909.12.
 - 14) Le béton armé n°9, p.3, 1899.2.
 - 15) Relevé des travaux exécutés en 1900-1910.
 - 16) Le béton armé n°56, PLANCHE I, 1903.1.
 - 17) Le béton armé n°125, p.137, 1908.10.
 - 18) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙、1911.5.25.
 - 19) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1911.5.30.
 - 20) « Pont de 100 mètres de portée libre sur le Tibre a Rome (Italie) », 'Le béton armé n°165-166', pp.17-40, 1912.2-3.
 - 21) 前掲 20)、p.22.
 - 22) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1909.9.17.
 - 23) エヌビック社からボルケッドゥへ宛てた手紙 1909.9.18
 - 24) エヌビックからボルケッドゥへ宛てた手紙 1909.9.25.
 - 25) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1909.10.7.
 - 26) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1909.10.12.
 - 27) エヌビック社からボルケッドゥへ宛てた手紙 1909.10.14.
 - 28) IFA, BAH/4-A/1909/13, code23095.
 - 29) IFA, BAH/4-A/1909/13, code35141.
 - 30) エヌビックからボルケッドゥへ宛てた手紙 1909.10.23.
 - 31) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1910.8.26.
 - 32) IFA, BAH/4-A/1909/13, code42623 « Pont de Rome.
 - 33) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1911.5.25.
 - 34) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1910.2.9.
 - 35) エヌビックからボルケッドゥへ宛てた手紙 1910.9.15.
 - 36) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1910.9.21.
 - 37) 例えば、ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1910.3.24.
 - 38) IFA, BAH/4-A/1909/13, code42623.
 - 39) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1909.9.23 (契約) や 1909.11.18 (図面の提出)
 - 40) エヌビックからボルケッドゥへ宛てた手紙 1910.9.15.
 - 41) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1909.12.3.
 - 42) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1909.12.23.
 - 43) 手紙では、Directeur とのみ表記されている。これはフランス語では組織の長を意味する。本文中では、基礎会社を取り仕切っていると言う意味でこれを社長と表記した。
 - 44) コンソリーニから基礎会社の社長へ宛てた手紙 1910.1.4.
 - 45) コンソリーニは、ローマへ出発する前に、社長と議論を交わし、使用する防水板の数を 3 枚までとしていたものとみられる。文面では、これを 4 枚に増やすことについて、社長に対し断りを入れている。
 - 46) ボルケッドゥからエヌビックへ宛てた手紙 1911.5.11.
 - 47) Le béton armé n°85, 1905.6.