

組織に着目したエヌビック社の橋梁普及戦略に関する一考察*

Organization-Focused Consideration of Bridge Diffusion Strategy of the Hennebique Company *

本田泰寛**

By Yasuhiro HONDA**

1. はじめに

筆者はこれまで、エヌビック社による橋梁建設に関する土木史的側面からの調査・分析を行ってきた¹⁾²⁾。エヌビック社は、RC 構造物の設計・施工を専門とする会社で、社長であるフランソワ・エヌビック (François Hennebique) によって 1892 年にフランスのパリに設立された。同社は、エヌビックによって開発された T 桁構造に関する特許技術 (エヌビックシステム) の開発・普及によって、世界中の RC 建設市場の 20 パーセントを占めるまでに成長した³⁾。また、橋梁においては、20 年間で 1800 橋あまりの RC 橋を建設し⁴⁾、シャテルロー橋 (Pont de Châtellerauld, 1900 年、フランス) とリソルジメント橋 (Pont Risorgimento, 1911 年、イタリア) の 2 橋は RC 橋のスパン記録を樹立している。

エヌビック社の橋梁に対する評価を見てみると、前述の 2 橋は当然、橋梁史において常に取り上げられている⁵⁾。ただしエヌビックを設計者としたいくつかの橋梁については、構造上の欠陥 (ヒンジの不採用) や凡庸な造形 (石造構造物の模倣) が指摘され、RC 橋の初期の発展過程における原始的な試みのひとつとして評価される傾向にある⁶⁾。

エヌビック社による RC 橋建設の特徴は、RC 技術の黎明期にあつて短期間で大量の RC 橋を建設したことにある。このことは、鉄橋や石造アーチ橋が大部分を占めていた橋梁建設市場において、ひとつの会社が RC 橋という新形式橋梁を定着させることに成功したと見ることができる。この場合、設計者としてのエヌビックに着目するだけでは、個人的な設計思想の分析等は出来ても会社全体の成果の評価は難しい。ある企業によって建設された橋梁群をトータルに評価するためには、個人ではなく、組織全体がどのような橋梁建設を実践していたのかという点に着目する必要があると筆者は考える。

本稿では、これまでの研究成果を踏まえて、エヌビック社の組織と橋梁建設の関係について、RC 橋の普及戦略という観点から考察したい。

*キーワード: 土木史、エヌビック社、RC橋、組織

**正員、博士 (工学)、熊本大学大学院自然科学研究科
(熊本市黒髪2-39-1、TEL096-342-3531、FAX096-342-3507)

2. エヌビック社の組織構造と各部署の役割

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などから知ることができる⁷⁾。本論に入る前に、本章ではこれらの文献にもとづいて、エヌビック社の組織構造と役割についてまとめる。

(1) 組織構造

エヌビックは、会社組織について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、設計と見積りを行うことができる。
- ・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、施工を行う。
- ・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」としていることから、その存在が重要なものであったことがわかる。

図-1 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

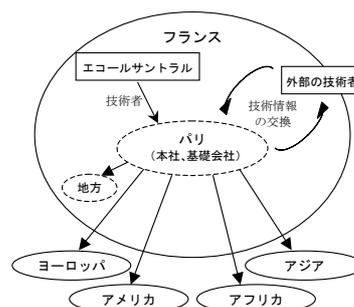


図-1 エヌビック社の組織構成 (作成: 著者)

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、各地で行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し、情報の中継機能を持っていた。さらに図中には、エコール・セントラル（Ecole Centrale）⁸⁾から技術者を主に採用していることと、定期的に開催されていた会合で外部の技術者と情報交換を行っていたことが示されている。

(2) 各部署の役割

a) 本社

本社の基本的な役割は、各地の代理店が競争設計に勝つために適切な設計、製図、構造計算の事業全段階にわたって支援するものであった。

エヌビック社にとって、請負業者を組織の一部として効果的に機能させることは必須の課題であったため、その技術力を育てるための教育は重要なことであった。このため、未経験の事業を手がける現場には本社から専門的なエンジニアが派遣され、施工の補助、現場の管理にあたった。つまり本社は、各地の代理店や請負業者と特許技術の使用契約を交わしただけの関係ではなく、共同して事業に対する責任を負っていたとすることができる。このようにしてエヌビック社は、現場監督、エンジニアといった多様な人材を擁する組織を形成し、世界各地でRC構造物を建設していった。

エヌビックは1893年から1900年中頃まで、自身が現場へ赴き、請負業者に設備、型枠、配筋、コンクリート打設の指導をおこなうことで、組織内への技術の普及に勤めた。これと平行して、事業ごとに本社でマニュアルを作成するなど、社内における教育プランまでも作り上げていった。長年現場での施工に携わってきたエヌビックは、本社が現場を管理するという意識が強かったのだろう。組織内における本社の役割は、こうしたエヌビックの意識が大きく影響しているものと考えられる。

b) 代理店

代理店の数は急速に増加していき、1910年の初期には40カ国で60店舗近くになった。各地の代理店は、現地で獲得した事業に対する詳細な研究を行い、遠隔地にある現場と本社のパイプ役としての役割を担っていた。代理店の第一の仕事は、その地方のために技術的なマネジメントをすることで、先行研究をおこなって、発注者や建築家へ提案するというような役割も果たした。各地の代理店は、簡単な手続きでエヌビック社の過去の事業に関する図面や文書を無料で参照することができ、自身の手がける構造物の設計に利用することが出来た⁹⁾。また、隣接する地域の代理店は、お互いに鉄筋コンクリー

トの効果的な利用方法について情報を交換することもできた。

代理店の役割はこのような技術的なものだけではなく、現地で事業を獲るために人的ネットワークを築き、地域におけるエヌビック社の代表として活動した。また、本社から送られてくる設計案と、各地域で定められた指針との調整をおこなった。このほかにも、セメントや鉄筋といった建設資材の調達や建設分野の市場調査、公共機関の政策調査もおこなっていた。

c) 請負業者

請負業者の基本的な役割は、現場での施工である。このため本社と請負業者との間で交わされる契約の内容は、特許の利用に関する簡単なものであった。ただし、ある地域に複数の請負業者が存在する場合には、ひとつの業者に対して単一の特許利用契約のみを交わすことで、それぞれの業者ごとに専門性を持たせた¹⁰⁾。こうすることで地域内での業者間の競争を避けたのである。それぞれの業者は地域を代表する代理店の管理下に置かれた。

d) 基礎工事専門の子会社

エヌビックの説明にはなかったが、この他にもエヌビック社の組織内には、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」）が存在している。この会社は、現場からの要請に応じて、軟弱な地盤上での施工に精通したエンジニアを派遣することが主な役割であった。また場合によっては橋梁の施工全体を担当することもあった¹¹⁾。

以上のように、エヌビック社の組織は各地の代理店（現場）が本社と密接に関連していたことが大きな特徴である。さらに各地の代理店同士も情報の交換という形で連携することで、本社と現場までがひとつのネットワークとしてつながりを持っていた。こうして、各地方には代理店と複数の請負業者からなるエヌビック社のグループが形成されていった（図-2）。

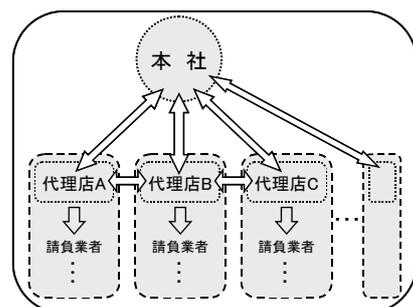


図-2 組織内のつながりを表した模式図（作成：著者）

3. 会合と刊行物の役割

先に見たような組織構成と並ぶエヌビック社の特徴は、当時の建設会社としては珍しく、定期的に会合を開催し、機関誌を発行していたことである。本章ではこれらの内容を見ながら、エヌビック社が組織全体として、橋梁建設に対してどのような意図を持っていたのかということを確認しておきたい。

(1) 技術的情報の伝播

a) 会合の開催

エヌビック社の第1回会合は1896年5月日に、1000プロジェクト達成を記念する形で開催された。その際、以降1000プロジェクトを達成するごとに同様の会合を開催することが決定され、1898年まで4回の会合が開催された¹²⁾。図-3は、1898年11月6日に開かれた5000プロジェクトを祝う会合のために作成されたパンフレットである¹³⁾。これを見ると、「鉄筋コンクリート万歳」という言葉と共に、豊かさを象徴する豊饒の角からエヌビックシステムに関連する図面や構造物が溢れ出ている様子が描かれている。紙面上最も目立つのは会合の際に振る舞われた食事のメニューとシャンパンの並ぶテーブルであり、祝宴的な性格が強く表れたものになっていることが見て取れる。



図-3 会合のパンフレット

表-1 1900年に開催された第4回会合の日程

日付	時間	内容
8月19日(日)	14:00	展示会
	19:00	宴会
8月20日(月)	09:00	代理店、請負業者の会議 床版の載荷試験及び耐火試験
	13:00~18:00	展示会
8月21日(火)	09:00~12:00	代理店、請負業者の会議
	14:00	現場見学
	16:00	火災現場見学
	20:30	会議(※詳細不明)
	21:00	会議(主要構造物の紹介) 実験等に関する議論
8月22日(水)	07:50~22:00	シャテルロー橋見学

これ以降、会合は毎年開催することが決定され、その内容もRC構造に関する技術的な議論の場へと変わっていく。例えば1900年8月に開催された第4回会合の日程(表-1)を見てみると、4日間にわたる期間の多くが代理店や請負業者による議論や現場見学に割かれている。議事録を見ると、エヌビック社の代理店や請負業者はもちろんのこと、フランス国内外の官側のエンジニアを交えてエヌビックシステムに関する様々な議論が交わされている様子が見て取れる。エヌビック社の会合は、このように自社主催の学会とも言える性格を持っており、各地に散在するスタッフへの技術情報の伝達や組織全体の技術力向上が図られた。

なお、本会合が開催された1900年は、フランスで初めての大規模RC橋であるシャテルロー橋が建設された年でもある。会期中に開催されたシャテルローへの見学旅行は動荷重試験の実施日と一致しており、エヌビック社側が何らかの日程調整をおこなったものと考えられる。このような技術的成功を目の当たりにすることは、代理店や請負業者にとっては大きな自信となり、官側のエンジニアに対しては、大きな宣伝となった。

b) 機関誌の発行

会合同様の役割は、エヌビック社が発行していた機関誌にも見ることが出来る。機関誌の編集部は本社に設置され、各地から集められる図面や写真資料など膨大な社内資料の管理と直結した部署となった。そして1898年6月1日に創刊されたのが、『鉄筋コンクリート(Béton Armé)』と題した機関誌である¹⁴⁾。

紙面の多くは構造物の図面や写真、試験結果の記録などで占められており、代理店や請負業者にとってはエヌビックシステムの適用事例を知るための情報源となっていた。また、会社の大きな成功を示すような事業については、施工現場や完成した構造物の写真が掲載された。

このように機関誌の発行は、技術情報の伝達と会社の宣伝が主な目的であったが、頻繁に見受けられるのが、信頼性や価格といった点で鉄橋や石造アーチ橋とエヌビック社のRC橋とを比較する内容の記事である。次節では、機関誌やその他の刊行物の内容から、RC橋建設に対するエヌビック社の考え方を見ることにしたい。

(2) RC橋の普及戦略

1906年、エヌビック社は『20世紀の橋梁建設 エヌビック橋(La construction des ponts au XXe siècle - Les Ponts Hennebique)¹⁵⁾』と題する冊子を発行する。内容の多くはそれまで発行された機関誌の記事を再掲したもので、エヌビック社の橋梁関連の実績が掲載された形になっている。ここで着目したいのは、誌面冒頭に示されている次頁図-4のようなグラフであ

る。これは、16世紀から19世紀末までの間にパリに建設された橋梁の、単位面積あたりの工費の推移を表したもので、20世紀以降の部分はエヌビック社のRC橋の工費が記載されている。16世紀の石造アーチ橋と20世紀のRC橋、あるいはパリの石造アーチ橋とその他の場所（または国）のRC橋というように、比較する対象の時間と場所が極端に異なるため、内容自体には疑問を持たざるを得ない。

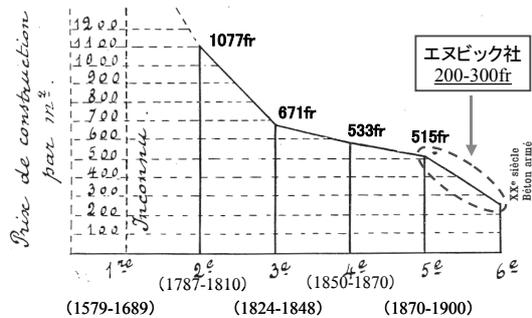


図-4 工費を比較したグラフ

ここで、エヌビック社をひとつの企業として見ると、会合や刊行物には組織内への技術情報の伝達とは異なった役割が見えてくる。当時鉄筋コンクリートは、挙動や耐久性の面で不確定な要素が多かった。またエヌビックシステムも、特許という形でその独自性は保証されていたが、実際の利用における安全性までが保証されているわけではなかった。従って、鉄筋コンクリート橋は石造アーチ橋や鉄橋と比べると信頼性が極めて低かったのである。そうした状況であっても、少数・小規模のRC橋を実験的に建設するのであれば、このような比較はおそらく必要なかったであろう。しかし、その実績が示しているように、エヌビック社が意図していたのは大量のRC橋を各地に建設することである。そのためには、RC橋が一般的な利用にも十分耐えることを示す必要があったことは想像に難くない。

このようにエヌビック社の会合や刊行物は、組織内への技術情報の伝播とは別に、自社の橋梁を各地に売り込むための戦略性を見ることが出来る。

4. 橋梁建設における組織の実態

エヌビック社の組織は、実際に橋梁を設計・施工するにあたってどのように機能していたのだろうか。ここでは、1911年にイタリアのローマで完成したリソルジメント橋を事例として見ていくことにしたい¹⁶⁾。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・ポルケッドゥ (Giovanni Antonio Porcheddu, 1860-1937。以下ポルケッドゥ) を社長とするポルケッドゥ社

(Société Porcheddu)、基礎会社が参加している。

ここでは、1909年から約2年の間に本社、代理店、基礎会社の間で取り交わされた約80通の手紙を資料として用いた。なお、一連の手紙には請負業者に関する記述は見られないため、ポ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今のところ不明である。

(1) 建設に至る経緯

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、ローマ市のエンジニアであるベンチベニャ (Bentivegna) から3スパンのRC橋建設が提案された¹⁷⁾。ポルケッドゥは、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RC橋を建設することを提案した¹⁸⁾。ローマ市側は、一週間で設計を完成し提出することを条件としてこの提案を受理し、ポ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、契約期間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) リソルジメント橋の構造

リソルジメント橋はスパン100m、ライズ-スパン比1/10の上路アーチ橋である。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の中空構造となっている (図-5¹⁹⁾)。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。また、基礎部分にはコンプレッソルという工法が用いられている。この工法はドロップハ

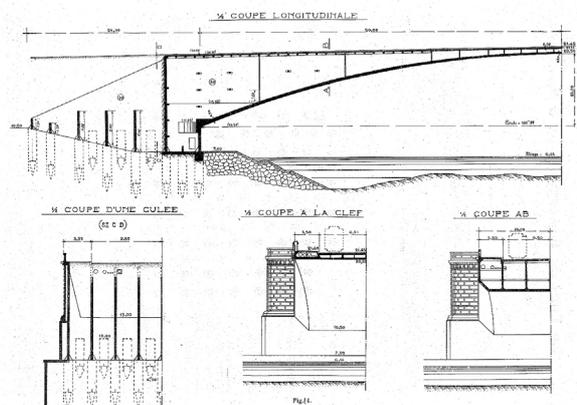


図-5 リソルジメント橋の縦断面、横断面図

ンマーで地盤を突き固め、コンクリートを流し込むことで地盤の強度を高めようとするものである。施工が完了すると写真-1のような状態になるが²⁰⁾、これを見ると、コンクリート製の杭と、補強された地盤の中間的な状態となっていることがわかる。コンプレッソルは橋台と連結され、アーチから橋台、基礎が一体となった全固定構造となっている。

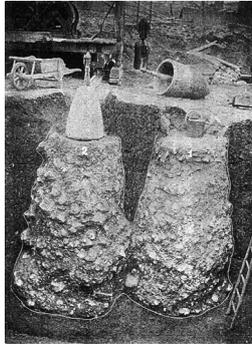


写真-1 コンプレッソル(実験時)

(3) 各部署の動き

リソルジメント橋の建設に関する議論の多くは、エヌビック（本社）とポルケッドゥ（代理店）の間でおこなわれている。その内容は設計から施工に至るもので、主に文書を基本として、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ポ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、ポ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。

表-2は、橋梁建設が決定する1909年7月から、完成後の試験がおこなわれる1911年7月までの間にエヌビックとポルケッドゥの間で取り交わされた手紙を中心に、主に技術的な議論をまとめたものである。ここでは、これらの書簡の内容より明らかとなった、a) 本社—代理店、b) 代理店—現場、c) 基礎会社—現場、の実際の動向を見ていくことにしたい。

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。ポルケッドゥは 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

表-2 設計に関する手紙の内容(作成:著者)

日付	差出人	書簡の内容
1909		
7.31	ローマ市によってポルケッドゥ社の案が採択	
8月末	ポルケッドゥによる現場の地質調査	
9.17	ポルケッドゥ	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。慎重な地質調査を行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	ポルケッドゥ	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	ポルケッドゥ社	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	ポルケッドゥ	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	ポルケッドゥ	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	ポルケッドゥ	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	ポルケッドゥ	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	ポルケッドゥ	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	ポルケッドゥ	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	ポルケッドゥ	現場に杭打ちを行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	ポルケッドゥ	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	ポルケッドゥ	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	ポルケッドゥ	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」、「ポルケッドゥ社」と表記した

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²¹⁾。このころエヌビックはちょうど本社不在で、即答を得ることはできなかったが、本社のエンジニアから、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²²⁾。

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²³⁾。設計の大まかな方針はこのときに決定されたようで、ポ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²⁴⁾。

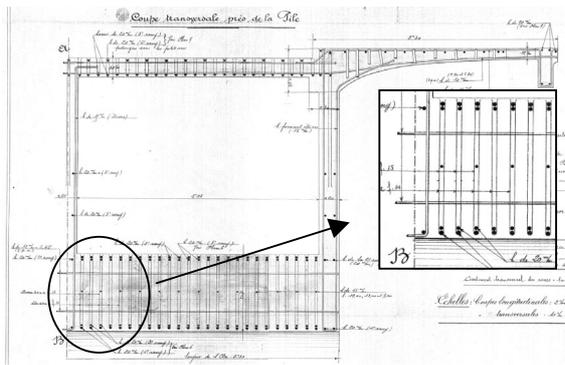


図-6 マティバ橋の図面(アーチ断面)

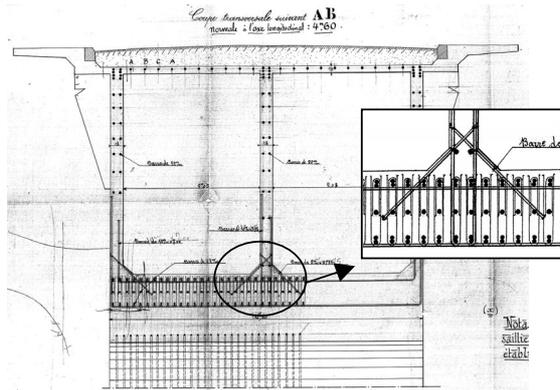


図-7 サン・クロード橋の図面(アーチ断面)

基礎の形態をはじめ、本橋の設計に関する議論は両者が直接会見した際に決定されたようである。表-2で見ると、1909年10月以降はポルケッドウ主体となって設計を進めている様子がわかる。しかし、ポルケッドウにとってスパン100mのアーチ橋の設計は容易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²⁵⁾。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²⁶⁾。図-6²⁷⁾、図-7²⁸⁾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。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形式である。それまでエヌビック社の橋梁の最大スパンはサン・クロード橋の64mであった。ポルケッドウは、さらにスパンを伸長するために既存の成功例として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。

また、図-6と図-7を比べてみると、後者では隔壁部分に用心鉄筋状の鉄筋が配置されているが、これは前者には見られないことが確認できる。後述するように、エヌビック社内では実際に設計を担当する代理店から提案された設計変更を受け入れるという体勢ができていたため、同じタイプの橋梁であっても、このような差異が生じているものと考えられる。

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

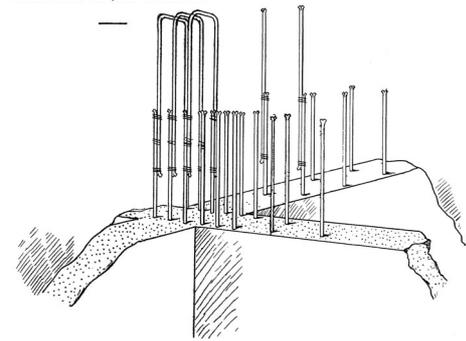


図-8 サン・クロード橋の継ぎ手を示す図面

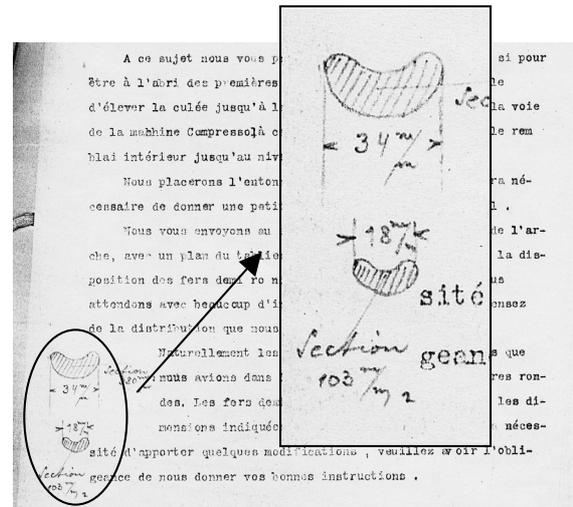


図-9 鉄筋断面の変更を提案する手紙

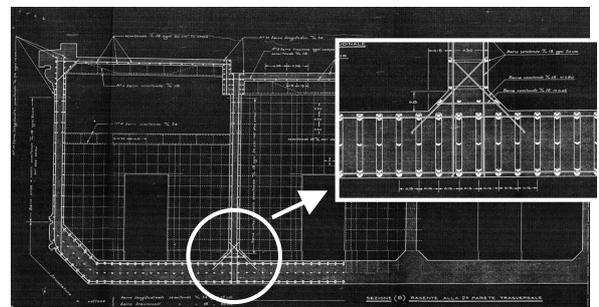


図-10 アーチの断面図

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-8)ではなく、溶接へと変更するよう指示している²⁹⁾。

また、ポルケッドウはエヌビックによる修正に従うと同時に、自らも鉄筋の断面を丸鋼から三日月形へと変更する提案を出している(図-9³⁰⁾)。これについての詳細な理由は明らかではないが、鉄筋の表面積を増やすことで、コンクリートとの付着を高め、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-10³¹⁾)、後にはポルケッドウが特許を取得している³²⁾。

橋梁本体の設計がこのような形で進められているのと平行して、1910年1月2日からは基礎部分の施工が開始された。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³³⁾。橋台のコンクリート打設が開始された約2ヶ月後の9月15日、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。その内容は、全固定構造を徹底するための指示となっている。リソルジメント橋と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との連絡がエヌビックに入ったようである。これを受けたエヌビックは、ポルケッドゥに対して、建設中のリソルジメント橋の橋台部分に早急に追加の杭を打ち、地盤を補強するようとの指示を出している³⁴⁾。図-11はエヌビックから送信された手紙のうち、杭を打つ位置を指示した部分図である。図中では、橋台を構成する隔壁の間にアルファベットのPで示された部分が新たな杭を示している。ポルケッドゥはエヌビックからの指示を図面にし、6日後(1910年9月21日)には手紙で現場へと指示を送った。図-12はポルケッドゥが指示に対応したことをエヌビック

へと報告する書簡に同封された図面である³⁵⁾。図からは、杭の位置だけでなく、杭打ちのための機械の配置までが追加されていることが見て取れる。このように、エヌビックとポルケッドゥは、お互いのアイデアを出し合うような形で、設計や施工を進める上で生じた問題点を解決していた。

また、これまでの両者の議論からは

- 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

という点が橋梁に対する変更点としてあげられる。ここからは、地盤と橋台、橋梁本体が一体となった全固定構造を実現しようとしていることが両者の共通の目標となっていることが確認できる。エヌビック社の組織内では、ここで見たエヌビックのように代理店へと指示を送る本社側の担当エンジニアと、代理店のエンジニアが、設計から施工まで全般的に議論を進めながら各地に橋梁を建設していった。

また、エヌビックとポルケッドゥの議論は基本的には書面を中心に進められていたことを確認したが、ポルケッドゥとしてはやはりエヌビックと図面を目の前にして直接話をしたいという考えが強かった³⁶⁾。このため機会を見てはたびたびその要望を本社に伝え、それに応じる形でエヌビックが数回ローマを訪れている(写真-2³⁷⁾)。軟弱地盤上にスパン100mのアーチ橋を建設するという技術的達成は、こうした本社と代理店の頻繁な議論によって実現したものであった。

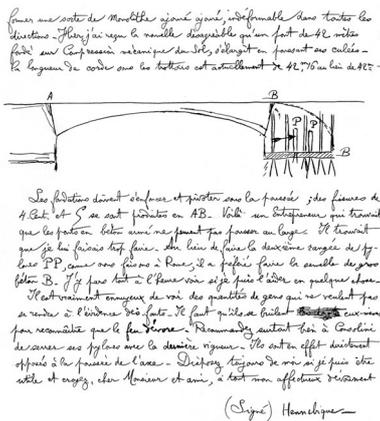


図-11 基礎杭について説明する手紙

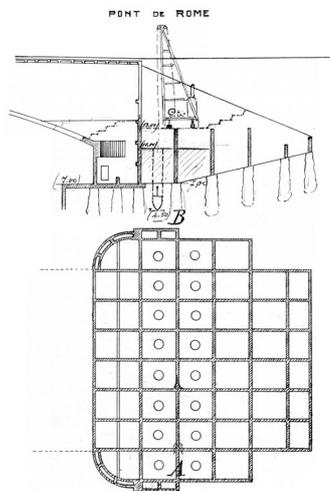


図-12 杭を打つ位置を指示する図面

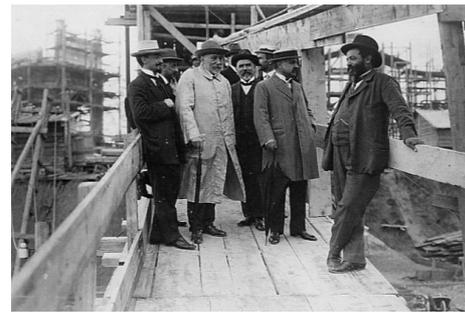


写真-2 現場を訪れるエヌビック(前列左から2番目)

b) 代理店—現場

ポルケッドゥは、基本的にトリノに常駐していたようで、必要に応じてローマに向かい、ベンチベニヤと打ち合わせをしたり³⁸⁾、施工が開始した後には現場の状況を写真に納め、エヌビックへと報告している。エヌビックからは、現場の写真を見た上で例えば鉄筋の長さなどの指示も出されている³⁹⁾。これまで見たように、本社は施工に対してほとんど関わっていない。一方、代理店は、本社(ここではエヌビック)の指示を確実に実行

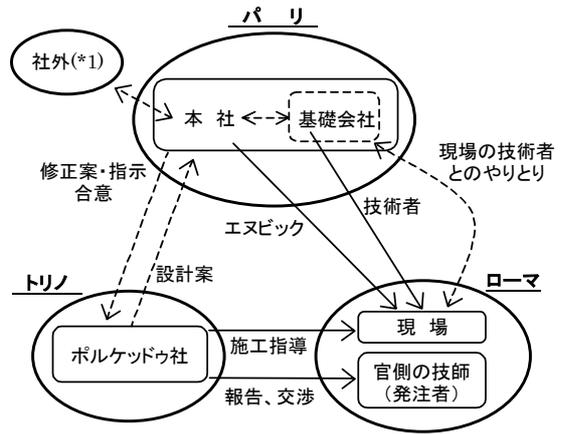
できるよう、現場に具体的な指示を送り、また現場の様子を本社に伝えるような役割を負っていたことが分かる。

c) 基礎会社－現場

先にも述べたように、現場の地盤状態の悪さは予想以上のもので、ポルケッドゥは現地の施工業者のみでは施工は不可能であると判断した。そこで、1909年12月3日に、熟練したエンジニアを現場に派遣するように要求している⁴⁰⁾。

これを受けて本社からは、コンソリーニ (Consolini) というエンジニアが派遣される。彼はトリノでポルケッドゥと打ち合わせをした後、12月23日にはローマへ出発した⁴¹⁾。基礎工事が開始された2日後の1910年1月4日、コンソリーニはエヌビックではなく基礎会社の社長 (directeur⁴²⁾) に宛てて進捗報告と、施工に関する質問の手紙を出している⁴³⁾。ここでは地盤が非常に軟弱なため、作業は困難を極めている様子を報告するとともに、作業の際に用いる防水板の数を2,3枚⁴⁴⁾と予定していたものを4枚に増やす許可を求めている。ここでの両者のやりとりにエヌビックは直接関わっていないが、基礎会社の所長とコンソリーニの間で交わされた手紙は全てエヌビックへと転送された。

リソルジメント橋の建設に関するエヌビック社内の各部署の関係は図-13のようにまとめられる。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、ポ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、ポ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⁴⁵⁾。



*1: エヌビックが社外にいる場合、すべての情報は本社を介してエヌビックのもとへと転送される。

図-13 各部署の役割(作成:著者)

5. 構造の規格化

前章で見た事例は、スパン 100m の RC 橋を設計・施工するという世界で初めての試みであった。これを組織内の技術移転という観点で捉えると、エヌビック社内で RC 橋が普及してゆく様子の典型的な例と言える。しかし多くの場合は、それまでの実績と同等あるいは小規模の橋梁が建設されていた。その一事例として、1909年にロシアで建設されたゴリ橋 (Pont de Gory) を見てみたい。本橋の設計に際して本社から代理店へ送られたのは⁴⁶⁾、シャテルロー橋と同様の構造とスパン割りを持った橋梁の図面である (図-14)。結局本橋は代理店の提案によって開腹アーチから充側アーチへと設計変更されるが、本事例からはエヌビック社内では、既往の事例をほとんど変更することなく適用するという基本的な方針に従って橋梁を建設していたことがわかる。

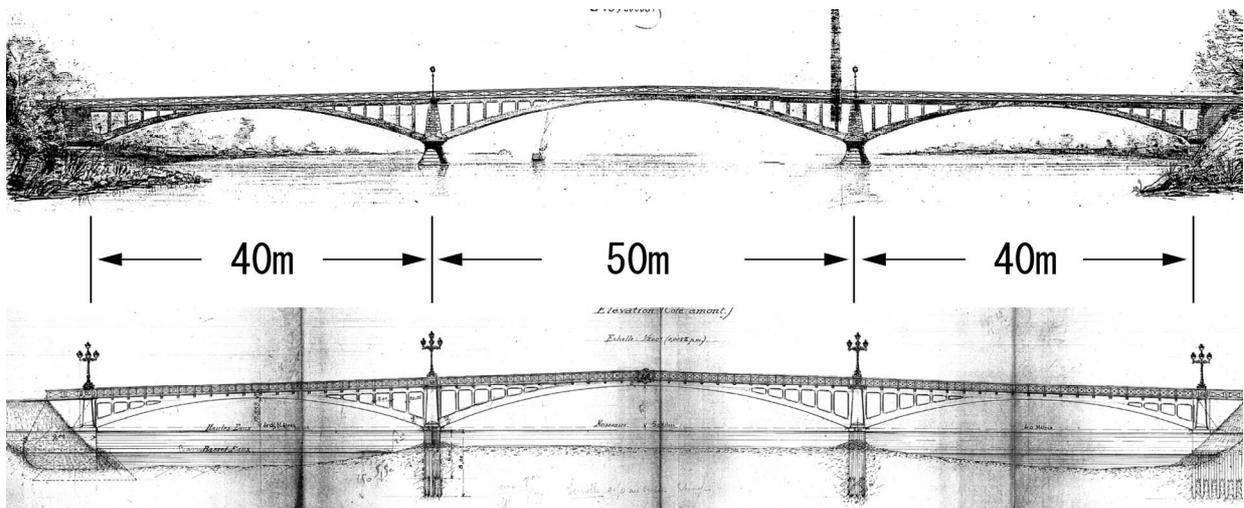
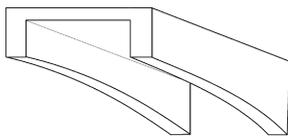
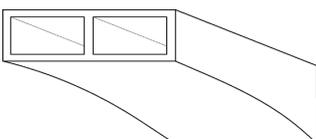
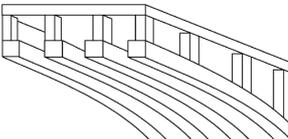
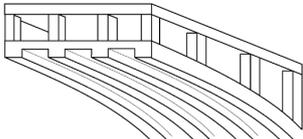


図-14 シャテルロー橋(上)およびゴリ橋(下)の計画図面

表-3 アーチ形式の分類 (作成: 著者)

	アーチリブ	アーチスラブ
充側		
開側		

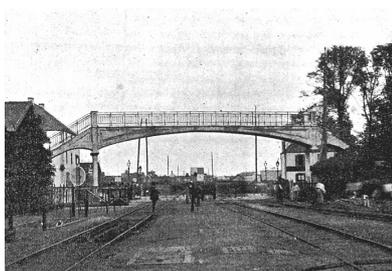


写真-3 ロリアン歩道橋



写真-4 ロッテルダム歩道橋



写真-5 シャテルロー橋

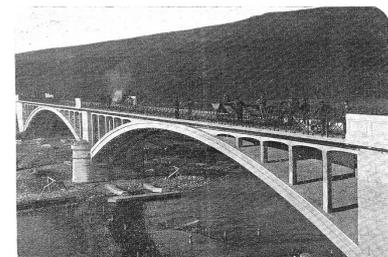


写真-6 スツーラ橋

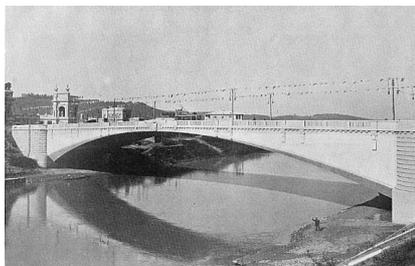


写真-7 リソルジメント橋



写真-8 バルム橋

ここでは、機関誌に掲載された橋梁関係の記事より、図面や写真から構造が判別でき、スパンなど基本的なデータの得られたアーチ橋 39 橋の構造を整理したい。これらの上路式アーチ橋は、①開側アーチ/充側アーチ、②アーチスラブ/アーチリブという点から、アーチ形式を開側アーチスラ/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 はその分類を模式的に示したものである。

それぞれの形式とスパンには対応が見られる。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、開側アーチスラブ、開側アーチリブ

については 60m に達することはない。スパンの伸長に沿ってこれを見ると、RC 橋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 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 100m を実現した。

このほかにも、構造や外観が酷似した橋梁が数多く確認できる。充側アーチ橋では、1900 年にフランスで建設されたロリアン歩道橋 (写真-3⁴⁷⁾) と、1903 年にオランダで建設されたロッテルダム歩道橋 (写真-4⁴⁸⁾)

は、外観が全く同じ橋梁が場所を変えて建設された。また、開腹アーチ橋の代表的な橋梁はシャテルロー橋（写真-5）であるが、これについては、「縮小する形で数多くの建設例がある」とされているように、スツエラ橋（写真-6⁴⁹）のように、同タイプの橋梁が多く見られる。箱桁アーチ橋においても、リソルジメント橋（写真-7⁵⁰）の完成からわずか2年後の1913年には、フランスにおいてスパン94mのバルム橋（写真-8⁵¹）が建設されている。ただしバルム橋の場合は、開側アーチスラブとなっている。このような変更がなされた理由は今のところ明確ではないが、1905年に建設されたマティバ橋のスパンドレルにひび割れが生じたことを受けて何らかの対策が取られた結果ではないかと推察される⁵²。

エヌビック社ではこのように構造を規格化し、それらの設計・施工情報を各地の架橋条件に合わせて選択するという、いわば工業化された橋梁建設を可能とする体勢が整えられていた。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。

6. 場所を問わない橋梁建設

（1）全固定構造の採用

エヌビック社によって建設されたアーチ橋には、下部工と上部工が完全に一体化した全固定構造が一貫して採用されている。3章でも触れたように、『ベトン・アルメ』では、RC橋を普及させるために旧来の橋梁形式の事故などを取りあげ、エヌビック社の橋梁が安全であることを主張する記事が数多く掲載された。その中でも際立っているのは、多部材から構成される石造アーチ橋、鉄橋、吊橋といった旧来の橋梁や、ヒンジを用いたRC橋の事故であり、その比較を通じて全固定構造の安全性を主張している。

エヌビックは会社設立時に数多くの有名な教会を調査しており、彼にとって構造物とは、大地に根付いてはじめて安定するものであったのだろう。多部材の集成ではなく、ひとつのマスとして構造物を建設できる鉄筋コンクリートは、理想的な材料だったのではないだろうか。結果としてエヌビックは寺院建築のような安定感をもつ橋梁を実現しようとしたと言える。また、エヌビック社の橋梁には家屋建築で多用していたT桁構造が流用されているが、これは新たな技術開発によって生じるコストの増加を抑えると同時に、RC橋に対して家屋のような安心感を与えたものと推察される。全固定構造によって実現を目指した安定感のある橋梁は、部材の接合によって石造アーチ橋や鉄橋、吊橋といった従来形式の橋梁との比較の上に成り立つものであり、信頼性を高めると

いう意図と一致していた。

ただし、こうした主張に正当性が欠如しているのは明らかであり、当時のエンジニアからはこうしたエヌビック社の主張に対して疑問を呈する内容の書簡がたびたび送られていた⁵³。このため、こうしたエヌビック社の戦略そのものがRC橋普及の直接的な要因であるとは言い難い。しかし少なくともエヌビック社がRC橋を普及したいという意図を持っていたことは明確に読みとることができるだろう。

（2）架橋条件の変更

こうした構造は、組織的な橋梁建設という視点から見るとどのように捉えることができるだろうか。全固定構造は、石造の橋脚や橋台を利用することによって発生しうるトータルなコストの上昇を抑えることができた。その特徴の最たるものは上部工と下部工が一体化されていることである。この構造が安定するための前提は、架橋地の地盤が十分な強度を持っていることである。

ここで大きな意味を持つてくるのが基礎会社の存在である。多様な現場で実施される施工には、様々な地形的制約が伴う。橋梁を設計する場合、与条件を考慮した上で構造等が決定されるのが一般的であろう。エヌビック社の場合は、橋梁本体の構造が規格化されているために、架橋地の条件を変えるという方法がとられた。エヌビック社はこうして場所を問わない橋梁建設をおこなっていたのである。全固定構造は、単に鉄筋コンクリートの利点を活かそうとした結果というだけではなく、広大な組織によって各地に橋梁を建設するという目的にも合致したものであった。

7. まとめ

（1）エヌビック社の組織の特徴

エヌビック社は、本社と代理店が互いに議論を重ねることが可能な組織を持っていた。こうした組織内での頻繁な情報交換や施工支援は、RC橋に関する設計・施工技術が急速に普及するための大きな要因であった。ただしそれは、あくまでもエヌビック社の組織が機能した結果として起こったことであり、エヌビック社の当初の狙いがRC橋を建設する技術そのものの普及であったとは考えにくい。なぜならば、代理店が全く独立して橋梁を設計・施工できるようになるということは、本社の存在意義が薄れてしまうからである。

ここで改めて、橋梁建設における本社と代理店との関係性から、エヌビック社の組織について考えてみたい。ここまで確認したように、代理店の役割は、設計段階では本社の指示に従って修正をおこなうことであり、施工段階では現場をマネジメントすることであった。実際に

設計をおこなっていたのは代理店であるが、それを実質的に管理していたのは本社であった。つまり本社がおこなった支援とは、代理店が現場のマネジメントに専念しやすい状況を準備することであり、代理店の役割は本社の指示を正確に現場へと反映させることであった。代理店に求められていた技術力は、本社の指示に従った設計ができる程度まで高まれば十分であったのではないだろうか。一見すると代理店が大きな自由度を持っているように見えるエヌビック社の組織も、その実体を見てみると、極めて本社中心の組織であったと言えるだろう。

このように考えると、橋梁建設に対するエヌビック社の真の目的は、技術を普及することよりも、本社が意図する橋梁を迅速に建設すること自体にあったのではないだろうかと推測できる。つまり、エヌビック社の組織が理想的に機能している状態とは、本社から各地の代理店へ一方向に指示を出すだけで、その成果として橋梁が完成することであった。エヌビック社の RC 橋には構造上大きな進歩はなく、その欠陥等が否定的に評価されるのはこのためであると考えられる。

(2) 工業製品としての RC 橋の普及

エヌビック社の目的は、自社商品である RC 橋を短期間で大量に建設できる体制を作り上げることであった。そのためにエヌビック社が解決しなければならなかった問題は、組織内に対しては本社の指示に従って橋梁の設計・施工が可能な技術の普及であり、組織外に対しては RC 橋利用の定着であった。このためにエヌビック社は、代理店を介した組織内での情報交換、橋梁の設計・施工の簡略化のための構造の規格化という普及戦略をとった。これは、それまで各人各様の試みが見られた RC 橋の設計・施工に対して、ひとつの基準が提示されたと言えるだろう。つまりエヌビック社は、RC 橋を工業製品として世の中に提示したことになる。その結果 RC 橋は、鉄橋に対して十分な競争力をもった橋梁として各地に広まっていった。RC 橋利用の一般化は、エヌビック社という組織による工業製品化を通してはじめて実現されたのである。

8. おわりに

本稿では、エヌビック社の組織と橋梁建設との関係に着目して、RC 橋を普及する経緯を見てきた。エヌビック社の橋梁自体には改善すべき点は見受けられるし、比較広告に見られるような姿勢にも疑問は残るものの、①組織的な橋梁建設に見合った構造を開発し、②それを工業製品として量販する、という普及戦略自体は考察に値するのではないだろうか。実際、今日のフランスでも、「橋梁は輸出品」という概念に基づいた戦略のもと国を

挙げた技術開発がおこなわれ、国内外で成功を収めている^{54),55)}。個人が主体となった橋梁建設が難しいとされる今日の我が国では、組織に着目した橋梁建設の歴史から学べることは少なくないと筆者は考える。今後は、時代や場所の変えた事例研究をおこないたい。

なおエヌビック社は、第一次世界大戦以降急速に縮小していった。特許の失効や代理店の独立などが理由として考えられるが、本研究では十分な考察をおこなっていない。急速に発展した組織が衰退していく経緯を、橋梁建設との関係することも、併せて今後の課題としたい。

謝 辞

はじめに、筆者にこのような発表の場をいただいた土木計画学研究会ならびに土木史研究会に感謝いたします。

論文奨励賞の受賞論文「エヌビック社による鉄筋コンクリート橋建設に関する歴史的研究（総合題目）」は、熊本大学小林一郎教授と、パルフェール・モンベリアール工科大学ミシェル・コット教授（現ナント大学）との共著であります。小林教授には、本研究に取りかかるきっかけをいただき、様々な形でご指導をいただきました。また、ミシェル・コット教授には、筆者がフランスでの調査・研究をおこなうにあたり、多くのご助力を頂きました。この場を借りて、心からの謝意を申し上げます。

注記及び参考文献

- 1) 本田ほか：シャテルロー橋の建設に見る鉄筋コンクリート橋技術，土木史研究論文集 vol.24, pp.1-8, 2005.6
- 2) 本田ほか：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、土木史研究論文集 vol.23, pp.83-93, 2004.6
- 3) Antoine Picon, *L'art de l'ingénieur*, Centre Georges Pompidou, Paris 1997, p. 223.
- 4) *Le Béton Armé* n° 90', 1905.12, Travaux exécutés en 1905-1912
- 5) 例えば、Bernard Marrey : *Les ponts modernes 20^e siècle*, Picard Editeur, 1995
- 6) 例えば、D.P.ビリントンによる一連のマイヤール研究（『塔と橋 構造芸術の誕生』、鹿島出版会、2001.8.10、David P. Billington : *Robert Maillart's Bridges The art of engineering*, Princeton University Press, 1979).
- 7) 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。
- 8) 1829年に設立された私設の高等専門学校。土木大学（Ecole Nationale des Ponts et Chaussées）が官僚エンジニアを輩出することを目的とした教育機関であったのに対して、エコール・サントラルは民間技術者の育成を目的として実務的で幅広い教育をおこなった。

- 9) Maison Hennebique, *Le béton armé Hennebique*, Paris, p. 57, 1929
- 10) « 3^e congrès du béton armé », *Le béton armé n°28*, p.7, 1900.9
- 11) 例えば、マティバ橋やドシズ橋などは基礎会社によって施工されたことが記録されている («Les Ponts Hennebique Les Trois Jemeaux », *Le béton armé n°85*, pp.77-88, 1905.6)
- 12) *Le béton armé*, n° 7, 1898.12
- 13) « Banquet du 5000^e projet », *Le béton armé n°7*, 1898.12.10
- 14) *Le béton armé*, n° 1, 1898.6
- 15) *La construction des ponts au XX^e siècle - Les Ponts Hennebique*, Maison Hennebique, 1906
- 16) 本田ほか：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、土木史研究論文集 vol.23, pp.83-93, 2004.6
- 17) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1911.5.25. IFA, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 18) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1911.5.30. IFA, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 19) « 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
- 20) « Fondations par compression mécanique pylônes en béton armé », *Le béton armé n°47*, pp.149-150, 1902.4
- 21) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1909.9.17, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 22) *Lettre de la Maison Hennebique à Porcheddu*, 1909.9.17, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 23) *Lettre d'Hennebique à Porcheddu*, 1909.9.26, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 24) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1909.10.7, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 25) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1909.10.12, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 26) *Lettre de la Maison Hennebique à Porcheddu*, 1909.10.14, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 27) « Pont de la Mathiva », IFA, BAH/4-A/1909/13, code23095
- 28) « Pont Saint-Claude », IFA, BAH/4-A/1909/13, code35141
- 29) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1911.5.25. , BAH/4-A/1909/13, code42623
- 30) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1911.5.30. , BAH/4-A/1909/13, code42623
- 31) « Plans du Pont à Rome », IFA, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 32) Brevet d'invention n°420.102, 1911.12.30
- 33) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1910.2.9, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 34) *Lettre d'Hennebique à Porcheddu*, 1910.9.15, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 35) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1910.9.21, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 36) *Lettre d'Hennebique à Porcheddu*, 1910.3.24, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 37) *Photos pendant l'exécution*, IFA, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 38) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1909.9.23 (contrat) , BAH/4-A/1909/13, code42623, 及び *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1909.11.18(plans) , BAH/4-A/1909/13, code42623
- 39) *Lettre d'Hennebique à Porcheddu*, 1910.9.15, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 40) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1909.12.3, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 41) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1909.12.23, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 42) 手紙では、Directeur とのみ表記されている。フランス語では組織全体 (または組織内の部署) を統括する立場にあるものを指す場合に用いられる言葉として用いられる場合が多い。本文中では、基礎会社という組織を取り仕切っていると言う意味で社長と表記した。
- 43) *Lettre de consolini au Directeur de la Société de la fondation mécanique du sol*, 1910.1.4, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 44) コンソリーニは、イタリアへ発つ前に社長と打ち合わせをしていたと見られ、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。
- 45) *Lettre de Porcheddu à Hennebique*, 1911.5.11, BAH/4-A/1909/13, code42623
- 46) *Lettre de Rotinv à MM. Monicourt et Egger*, 1904.5.22, BAH/4-A/1905/07, code23586
- 47) « Construction d'une passerelle à Lorient (Morbihan) », *Le béton armé n°56* , p.7, 1898.6
- 48) « Passerelle à Rotterdam », *Le béton armé n°44* , pp.103-104, 1802.1
- 49) « Pont sur la Stura à Rossiglione (Italie) », *Le béton armé n°118*.1908.3
- 50) « 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
- 51) « Pont de la Balme sur le Rhône », *Le béton armé n°213*, pp.105-112, 1925.11
- 52) « Pont de la Mathiva », IFA, BAH/4-A/1909/13, code23095
- 53) « Les Ponts Suspendu », *Le béton armé n°114*, pp.166-168, 1907.11
- 54) M. Virlogeux, « développement de l'innovation dans le domaine des grands ouvrages », *Travaux*, pp.39-53, 1981
- 55) M. Virlogeux, « bilan de la politique d'innovation dans le domaine des ouvrages d'art », *Travaux*, pp.20-34, 1986