

エヌビック社内でおこなわれた技術移転に関するケーススタディー*

小林一郎**、本田泰寛***、ミシェル・コット****

By Ichiro KOBAYASHI, Yasuhiro HONDA and Michel COTTE

概 要

本研究は、1911年にイタリアで建設されたリソルジメント橋を例に、エヌビック社のおこなった技術移転に関するケーススタディーをおこなうことを目的としている。本橋の建設に関しては、社内の関係部署の間で書簡による連絡が頻繁に取られている。本稿ではこの書簡の内容からそれぞれの部署の果たした役割と、それぞれの間で交わされた情報を明らかにし、エヌビック社がおこなっていた技術移転に関する考察をおこなう。

1. はじめに

1892年に設立されたエヌビック社は、設立者であるフランソワ・エヌビック (François Hennebique) によって開発されたエヌビックシステム(Système Hennebique)と呼ばれる鉄筋コンクリート技術の使用契約をフランス国内、国外にいる建設業者と交わし、その利用を広めていった。それぞれの建設業者は、その役割によって代理店(agent)と請負業者(concessionnaire)にわかれており、ヨーロッパの諸国をはじめとして、アフリカ、南北アメリカ、アジアといった世界の各地に存在していた。

設立当初のエヌビック社は主に家屋構造物などの建築物の分野において建設をおこなっていたが、1900年以降は、シャテルロー橋に見られるようなスパン50mクラスの橋梁など、比較的規模の大きな土木構造物の建設もおこなうようになる。エヌビック社を通してみると、建設材料としてはまだ新しいものであった鉄筋コンクリートの利用が短い期間で広い範囲に広がっていたといえる。

これを可能とした理由のひとつに、パリに位置するエヌビック社の本社、代理店、請負業者によって構成されるひとつの組織内において技術移転がおこなわれていたということが考えられる。

エヌビックシステムと組織運営に関しては、ドリュモールによる研究に詳しいが、これは主に建築会社としてのエヌビック社に焦点を当てている¹⁾。またビリントンは、エヌビック自身によって設計されたいくつかの橋梁建設を取りあげ、その設計手法について言及している²⁾。しかし、いずれも1つの建設事業の経過を詳細に追った上での分析はおこなわれていない。

そこで本研究では、1911年にイタリアのローマに建設されたリソルジメント橋(Pont Risorgimento)の建設を取りあげ、エヌビック社のおこなった技術移転に関するケ

ーススタディーをおこなう。

例として本橋を取り上げる理由は、①鉄筋コンクリートではじめてスパン100mを実現するという技術的な達成をみていることと、②本橋の建設がエヌビック社の本社のあるフランスではなくイタリアでおこなわれており、その建設の経過におけるやりとりはエヌビック社内でおこなわれていた技術移転をみる1つの好例であると考えられるからである。

本研究では、リソルジメント橋の建設に関する一連の書簡³⁾を資料として用いた。これらの書簡は1909年9月から1911年6月の間に本社と代理店の間で取り交わされたもので(注1)、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。本研究ではこれを読み解くことで、リソルジメント橋の建設において①組織内でおこなわれた技術情報の交換と、②本社や代理店が担っていた役割を明らかにし、エヌビック社の組織内における橋梁建設と技術移転について考察をおこなう。

2. エヌビック社の組織の概要

エヌビック社の組織を構成する部署のうち、代理店と請負業者の役割は、エヌビック自身によって次のように説明されている⁴⁾。

「私の代理店は、フランスの各地域や国外の技術研究機関で、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。」

さらに、本社や代理店の事務所に所属するものとしてエンジニアと製図家をあげている。

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がおこなわれるようになっていた。また現場では施工を指導する役目もおっており、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。エヌビック自身の言葉の中にも、代理店についての「私の」としている点からも、エヌビック社の組織運営において、代理店が非常に重要なものであっ

* key word フランソワ・エヌビック、鉄筋コンクリート、技術移転

** 正会員 熊本大学大学院 自然科学研究科

*** 学生員 熊本大学工学部

(〒862-0862 熊本市黒髪2丁目39番1号)

**** 非会員 Dr.of History of technology, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard

たということがわかる。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るボルケッドゥ社(Société Porcheddu)が参加している。なお、一連の書簡には請負業者に関するものはなく、ボ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。

このほか、エヌビック社の組織の部署として基礎工事を専門とする会社(Société de fondation par compression mécanique du sol、以下基礎会社と呼ぶ)がある。この会社は、本社と同じ住所にある子会社で、基礎工事を専門としており、リソルジメント橋の建設でもここから技術者が現場へと派遣されている。

3. リソルジメント橋までにおこなわれたエヌビック社による橋梁建設

3. 1 エヌビックシステムによる橋梁建設

表-1 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)』に紹介された橋梁のうち、1910 年までに建設された主要なアーチ橋を示したものである。なお、網掛けの部分はボルケッドゥ社によってイタリアで建設された橋梁を示している。

アーチの形式をみると、1906 年にチュニジアで建設された下路アーチ橋(Pont à Bèja)や 1909 年に南フランスで建設された中路アーチ橋(Pont sur le Var à la Mescla)なども見られ、エヌビックシステムが上路アーチ以外にも適用されている。アーチの構造についても、アーチリブと鉛直材を用いたもののほか、充腹アーチリブやリソルジメント橋の建設でも採用されることになる中空アーチを採用している橋梁もいくつか見られ、多様なアーチ橋が建設されていることがわかる。

また、スパンの伸張という面では 1905 年に建設されたマティバ橋(Pont Mativa à Liège)ならびにドシズ橋(Pont de Decize)で 55m、1909 年のサン・クロード橋(Pont Saint-Claude)では 65.7m に達し、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 に達するなど、より長大化されていたことがわかる。

これらを含む橋梁建設すべてにエヌビック自身が直接的に関わって指揮を執っていたということは考えにくいですが、同型式の橋梁が場所を違えて建設されていることから、これらの橋梁建設の情報が本社に集まり、他の橋梁建設の際に利用されていたということがわかる。

3. 2 ボルケッドゥによる橋梁建設

エヌビック社の代理店であるボルケッドゥ社は、1899 年にはすでにエヌビック社の代理店として主にサイロや製粉所などの産業構造物を手がけておりその実績はエヌビックからも高く評価されている⁵⁾。橋梁建設については、1910 年までに 100 橋近い橋梁を建設している(注 1)。表-1 でみると、スパン 20.25m、充腹アーチリブを持つドーラ橋(Pont sur la Dora、1902 年)、スパン 51m、アーチスラブと鉛直材からなるボルミダ橋(Pont sur la Bormida、1903 年)、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 を持つ中空アーチからなるアスチコ橋(Pont d'Astioco、1908 年)など、複数の形式の橋梁を建設し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。

4. リソルジメント橋の建設における情報交換

4. 1 リソルジメント橋について⁶⁾

1) 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、将来的には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これを断念しそのまま木橋で博覧会に臨もうとして

表-1 リソルジメント橋以前に建設された主要な橋梁(本田作成)

完成年	橋梁名	国(フランス国内の地域)	最大スパン	アーチ数	ライズ/スパン	アーチの構造・備考
1900	Pont de Châtelleraut	(Vienne)	50.0	3	1/10	アーチスラブと鉛直材
1902	Passerelle sur le canal du Midi	(Toulouse)	42	1	1/16	アーチリブ
1902	Pont sur la Dora	Italie	25	2	1/10	充腹アーチリブ
1903	Pont de Soisson	(Ardenne)	24.48	3	1/10	充腹アーチリブ
1903	Pont sur la Bormida	Italie	51	1	1/10	アーチスラブと鉛直材
1904	Pont de Kazarguène	Russie	23.1	13	1/10	充腹アーチリブ、300m 橋長
1905	Pont de Decize	(Nièvre)	55.50	2	1/12	アーチリブと鉛直材
1905	Pont Mativa à Liège	Belgique	55	3	1/15	中空アーチ
1906	Pont à Bèja	Tunisie	40	1	1/9*	下路アーチ、鉛直材
1907	Pont sur la Loire à Imphy	(Nièvre)	31	10	1/12.5	中空アーチ、橋長 313.5m
1907	Pont de Pyrimont	(Ain et Haute-Savoie)	55	3	1/7	アーチスラブと鉛直材、橋長 200m
1907	Viaduc à Deurne-Merxem	Belgique	44	5	1/10*	アーチスラブと鉛直材
1907	Pont sur la Stura à Rossiglione	Italie	36	1	1/10	アーチスラブと鉛直材
1908	Pont de l'Astico	Italie	34.50	1	1/17	中空アーチ
1909	Pont de Saint-Claude	(Jura)	65.7	1	1/12	中空アーチ
1909	Pont sur le Var à la Mescla	(Alpes-Maritimes)	40	1	1/11	中路アーチ、鉛直材
1909	Pont d'Hermalle sur la Meuse	Belgique	51	4	1/11	アーチスラブと鉛直材
1909	Pont de Gori	Caucase	50	3	1/10	中空アーチ
1909	Pont sur l'arroyo Canelon Chico	Uruguay	35	1	1/9	アーチリブと鉛直材
1909	Viaduc de Scenery Hill	Etats-Unis	33	1	-	アーチリブと鉛直材
1911	Pont Risorgimento à Rome	Italy	100	1	1/10	中空アーチ

単位：メートル、*：推測値、-：データが明記されておらず推測も困難なため、ここでは不明とした

いたところ、ローマ市の技術者であるベンチベニャ(Bentivegna)から鉄筋コンクリートによる橋梁建設計画が提案された。彼自身は3径間アーチの橋梁を想定していたが、ポルケッドゥによって提案されたスパン 100mの橋梁に大きな興味を示し、1909年7月31日にポルケッドゥ社による案が採用された。

2) リソルジメント橋の概要 本橋(写真・1)はスパン 100m、ライズ・スパン比 1/10 の上路アーチ橋であり、アーチ、橋台ともに隔壁を持つ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。

本橋の架設地点の地盤状態は非常に悪かったために、当初予定していた基礎杭を用いることはできなかった。そこで、ドロップハンマーで地盤を突き固め、そこにコンクリートを流し込むことで地盤の強度を得るコンプレッソル(compressol)という工法によって基礎が建設された。流し込まれたコンクリートは、橋台と連結され、橋梁本体から地盤にかけて構造の一体化が図られている。さらに橋台の周辺には、基礎部分の防水のために多数の杭が打ちこまれた。

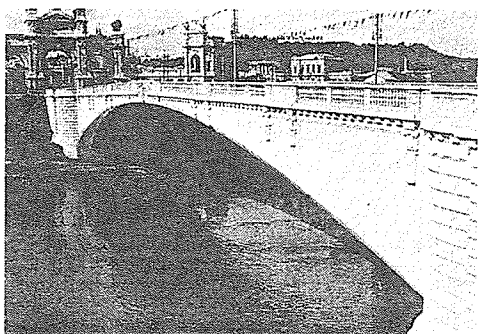


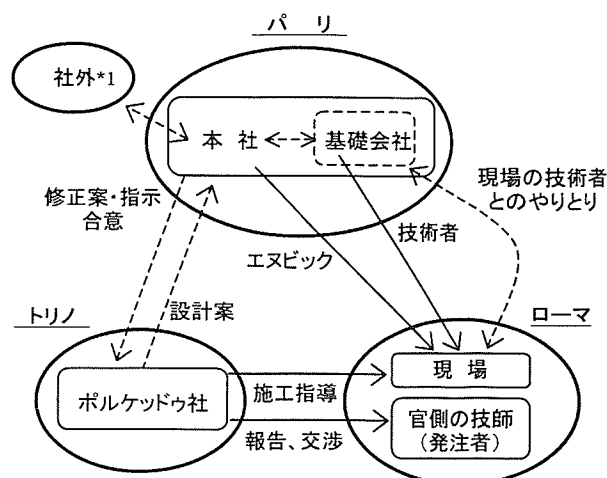
写真-1 リソルジメント橋

4. 2 リソルジメント橋の建設における組織の働き

本橋の設計・施工は、パリの本社と基礎会社、トリノの代理店という3つの部署が主体となって進められている。図-1に現場を含めたそれぞれの部署の働きを示す。設計は、ポルケッドゥ社の代表者であり、技術者でもあるポルケッドゥ(Porcheddu)とエヌビックの2者によって次のような過程で進められている。

- ①まず設計図をポルケッドゥが仕上げ、疑問点、あるいは同意を求める手紙を添えてこれをエヌビックのもとへ送る。
- ②エヌビックの同意が得られた場合には、これが決定案となるが、修正案を提示された場合には、ポルケッドゥ側で指示に沿った修正がおこなわれ、再びエヌビックへと送られた。

本橋の設計にエヌビック自身が全面協力する事になったのは、1909年9月17日にポルケッドゥからの書簡を受けたあとである。表-2にエヌビックとポルケッドゥの間で交わされたやりとりの概要を示す。設計に関する議論は主に1909年9月から12月の間に集中しておこなわれており、その内容は軟弱地盤上にスパン 100m の橋梁



*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-1 リソルジメント橋建設における各部署の関係(本田作成)

表-2 設計に関する書簡の内容(本田作成)

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	
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	現場に杭打ちをおこなうよう指示を出したことを報告
9 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

が建設できるのかというものから、基礎の設計、鉄筋の配置や接合の仕方、型枠の設置、中空アーチの原理の説明など細かい点にまで及んでいる。

さらに、エヌビック社によってこれまで建設された橋梁のうち、1905年にベルギーに建設されたマティバ橋と、1909年にフランスで建設されたサン・クロード橋の図面と計算も本社から代理店へと送られ、ポルケッドゥが設計の際に参考に行っている(1909年10月14日)。

このほかにも、ポルケッドゥ側からは現場の写真を添えた進捗状況の報告もおこなわれ、これに対してもエヌビックからの助言が送られた。

以上のように設計の進行は主に書簡によるやりとりによっておこなわれているが、ポルケッドゥとしてはやはり図面を前にしてエヌビックと直接話をするを望んでおり、折りを待ってはぜひ直接会って話をしたいという要望を伝えている。これに対してエヌビックは数回に渡ってイタリアに赴き、ポルケッドゥと打ち合わせをしたり、現場を訪れたり(写真・2)している。

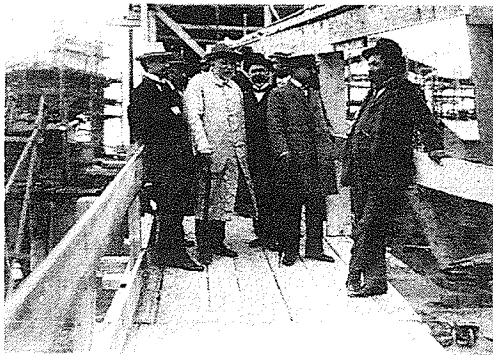


写真-2 現場を訪れたエヌビック
(前列左から2番目)

施工段階では、軟弱地盤上での作業であることから特に基礎部分の作業が困難であり、ポルケッドゥ社単独では施工を進めることはできなかった。このためポルケッドゥは熟練した技術者の派遣を本社に要求しており(1909年12月3日)、基礎会社から専門の技術者が派遣された(1909年12月23日)。現場に派遣された技術者は基礎会社と頻りに連絡を取り合っているが、これも基礎会社を介してエヌビックへ転送されている。

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。一ヶ月後の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ている。

5. おわりに

本研究では、リソルジメント橋の建設に関して社内で行われた一連の書簡をもとに、本社と代理店の間のやりとりの詳細を明らかにし、エヌビック社内でおこなわれていた技術移転の一例を示した。

(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、施工に至る作業をポルケッドゥが中心となっておこない、エヌビックはポルケッドゥによっておこなわれた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としての役割を担っている。またパリの本社は、関連のある橋梁の図面をポルケッドゥへと送ったり、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った、技術的な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、専門の会社から技師が派遣されており、組織内において分業とも言えるような明確な役割分担がなされていた。

(2)本社と代理店の間での情報交換 ポルケッドゥ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、両者は単に技術を介した契約上の関係ではなかった。ポルケッドゥはエヌビックからの指示を忠実に実行したが、例えばポルケッドゥから新たな鉄筋の断面形状の提案がなされているように(1910年8月26日)、自らも改良点を提案しようとする実力を持っていた。この案はエヌビックも同意しており、ポルケッドゥはこの鉄筋に関する特許をフランスで取得している。

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、両者間での相互補完的な情報交換を通し設計・施工がおこなわれた。

(3)エヌビック社の技術移転について リソルジメント橋の建設から読みとれるエヌビック社の技術移転の特徴として、①エヌビックスシステムという技術があったこと、②円滑に技術情報が移動できる組織があったこと、③組織を構成する各所(本社、代理店、基礎会社)が設計、施工に関して十分な能力をもっていること、の3点をあげることができる。

各地に散在するエヌビック社の代理店が現地で競争に勝ち抜くためには、それぞれがより高い技術力を持つことが重要なことであった。このためエヌビック社は、代理店に対して技術の使用権を与えるだけでなく、その使用方法までも丁寧な指導し、組織内での技術力の均等化・高度化を図っていたと考えられる。

エヌビック社はエヌビックスシステムという技術だけでなく、それを支える設計(設計者や製図職人など)や施工(基礎会社など)に関する人的資源とそれらを効率よく運用する組織運営が全体として一つのシステムとなり、有効に機能することで、新材料である鉄筋コンクリートおよび新形式である鉄筋コンクリートアーチ系の橋梁を短期間に広範囲に普及させることができた。

(参考文献) 1) Gwenaél Delhumeau, 『L'invention du béton armé』, Norma éditions, 1999. 2) D.P.ピリントン, 『塔と橋構造芸術の誕生』, 鹿島出版会, 2001.8.10. 3) IFA, BAH/4-A/1909/13, code42623. 4) 『Le béton armé No.28』, p.7, 1900.9. 5) 『Le béton armé No.9.』, p.3, 1899.2. 6) 『Le béton armé No.165-166.』, pp.17-40, 1912.2-3