

19 世紀フランスにおける鉄筋コンクリート橋の受容過程*

A Study on the Acceptance of the Reinforced Concrete Bridge
in France during the 19th Century

本田泰寛**、小林一郎***、ミシェル・コット****

By Yasuhiro HONDA, Ichiro KOBAYASHI and Michel COTTE

概要

著者らはこれまで、エヌビック社を中心として、20 世紀初頭に見られた鉄筋コンクリート橋の開発と普及に関する研究をおこなってきた。本研究では、その前史となる 19 世紀のフランスに着目し、鉄筋コンクリートが橋梁建設材料として受容されていく過程を明らかにする。本論ではとくに民間のエンジニアによるいくつかの技術導入の試みと、それに対する官側のエンジニアの見解等を中心に整理することで、革新的な橋梁はどのように準備されるのかといった点について考察する。

1. はじめに

鉄筋コンクリートの発明、記録的な鉄筋コンクリート橋の建設に見られるように、フランスは、鉄筋コンクリート橋梁史において常に先駆的な存在であることが知られている(表-1¹²⁾)。これは、コンクリートと鉄の併用の開始、スパンの伸長というような、鉄筋コンクリートの発展過程における何らかの到達点に着目しているためである。しかし、19 世紀中のフランスの様子を詳細に見てみると、実際には様々な紆余曲折を経ており、20 世紀に入ってようやく鉄筋コンクリート橋が定着し始めたというのが実情であったことがわかる。

表-1 フランスの鉄筋コンクリート関係年表
(文献 1)、2)より作成:本田)

年	関連事項
1855	ランボ: 鉄筋コンクリート製のボートをパリ万国博覧会に出品
1861	モニエ: 金網を入れたセメントモルタルの植木鉢を作成
1873	モニエ: 桁橋(※橋梁名は不明)
1875	モニエ: ドーフ橋
1900	エヌビック: シャテルロー橋
1911	エヌビック: ローマ橋
1923	フレシネ: サン・ピエール・ヴォヴレ橋

*key word: 鉄筋コンクリート橋、受容、フランス

**学生員 工修 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 ナント大学 (Université de Nantes)

本稿では、技術雑誌に掲載された当時のエンジニアの言動などから、19 世紀中のフランスにおける鉄筋コンクリートの発生と、それが橋梁建設へ適用される過程を整理し、今後の課題を述べる。

2. 鉄筋コンクリートの発生

(1)1820 年代

コンクリートは、1820 年ごろからヴィカ (Louis Vicat) やスガン (Marc Seguin) らによって土木分野で積極的に利用されていた³。彼らの試みを見ると、鉄筋コンクリートの基本的なアイデアはこの頃すでに発案され、実用化されていたことがわかる。

ヴィカは 1818 年に水硬性石灰の理論を確立し、1822 年に完成した石造アーチ橋、スイヤック橋 (Pont de Souillac) の基礎に水中コンクリートを導入する⁴。また、吊橋に用いるケーブルの防錆についても研究をおこない、いくつかの実験を経た後に、セメントによる被覆が鉄の酸化を防止することを発見し⁵、コンクリートアンカーとケーブルの定着についても研究を進めた。

もうひとつの試みは、1825 年にスガンが手がけた吊橋、トゥルノン橋 (Pont Tain-Tournon) に見ることができる。スイヤック橋と同様、本橋の橋脚基礎にはコンクリートが使われているが、ここでは、図-1 に示すように⁶、基礎石積みによる橋脚の接触部分に補強を目的とした鉄棒が用いられている。橋門は、外壁が石積みで内部にはコンクリートが充填されているが、ここでも補強のために鉄棒が配置された。

日本語の「鉄筋コンクリート」に相当するフランス語は「ベトン・アルメ (béton armé)」であるが、これは補強されたコンクリートを意味し、英語の「reinforced

concrete」と同様の意味を持つ。スガンの試みに限らず、当時はコンクリート中に木片などを混ぜて補強するというような例もあったようである。これはまさに「補強コンクリート」と呼べるものである。鉄とコンクリートを組み合わせるというアイデアはもちろんのこと、コンクリートを補強するという目的のもとで、鉄筋コンクリートはこの頃誕生していた。

しかし、このような試みに対してナヴィエ (Claude Navier) は、「鉄のような高価な材料を用いることは避けなければならない⁷⁾」との見解を示した。ヴィカもまた、いくつかの試みの結果、「コンクリート内での挙動が不明であるため、鉄の棒は用いない方がよい⁸⁾」とするなど、鉄とコンクリートの併用には否定的であった。国内の土木行政に対して大きな影響力を持っていた土木局のエンジニアがこのような見解を示したことによって、結局コンクリートの利用は、基礎や充填材のような、マスとしての利用にとどまっていた。本稿ではこれを「材料レベルでの利用」と呼ぶことにする。

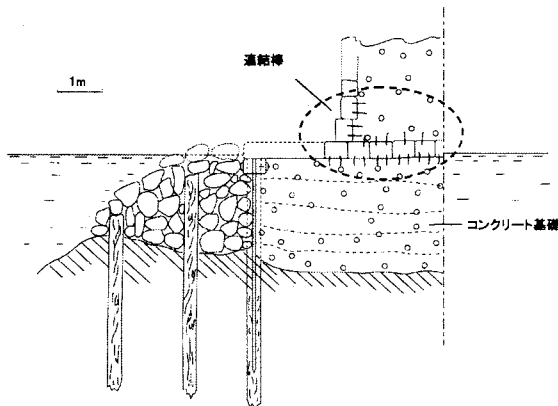


図-1 トウルノン橋の基礎

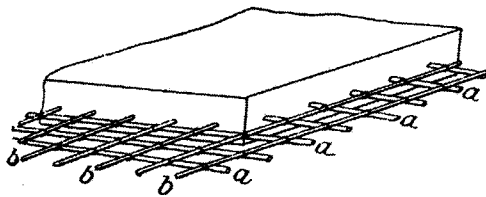


図-2 モニエシステム

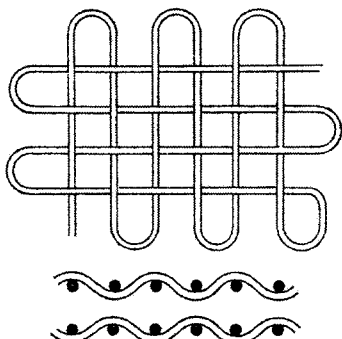


図-3 コタンサンシステム

(2)1880年代

フランスで鉄筋コンクリート開発が盛んになるのは1880年代である。当時のフランスではモニエシステム (système Monier、図-2) やコタンサンシステム (système Cottancin、図-3) のように鉄筋を使用したものや⁹⁾、マトレシステム (système Matrai、図-4¹⁰⁾ のようなケーブルによる補強システムが発案されていた。また、アメリカでも¹¹⁾、穿孔された複数の鉄板を並置し、鉄棒を通したハイアットシステム (système Hyatt、図-5) や、ねじった鉄棒を並置したランソムシステム (système Ransome 図-6¹²⁾) などがみられるようになる。このように、1870年代以降は、各人各様のアイデア創出が見られたが、鉄筋によってコンクリートを補強する「補強コンクリート」という意味では、本質的にスガンの試みと変わるものではない。これらのシステムは主として柱、桁、床版という、建築物の部材への適用を目的としていたことから、ここでは「部材レベルでの利用」とする。

3. 橋梁への適用の始まり

(1)モニエによる鉄筋コンクリート橋

モニエは1867年、金網とコンクリートによる植木鉢を作成し、特許を取得する。その後、1891年までに貯水槽や柱、床版に関する特許をフランス国内外で取得する。1873年には橋梁に関する特許を取得し、翌年には世界で

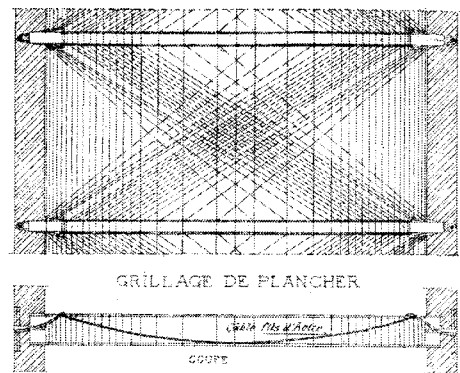


図-4 マトレシステム

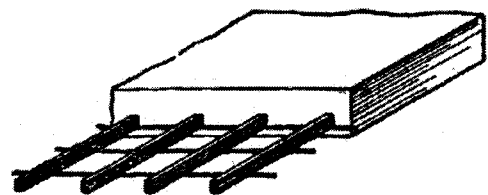


図-5 ハイアットシステム

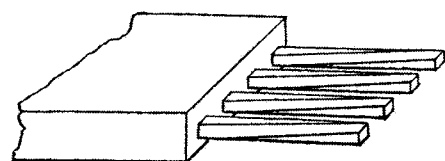


図-6 ランソムシステム

初めての鉄筋コンクリート橋を建設する（写真-1）。本橋は、シャズレ城（Château de Chazelet）の敷地内にある堀にかかる歩道橋で、スパンは13.8mであった。1884年にモニエは自身の特許のドイツにおける使用权をフライタク（Cornard Freytag）らに売却する。ドイツでは、モニエシステムをベースとした理論的な研究が進められ、橋梁建設もおこなわれた。一方モニエ自身は、システムの適用範囲を広げていったが、それは外壁や床版といった部材レベルの利用であり、橋梁においてはフランスで大きな発展はなかった。

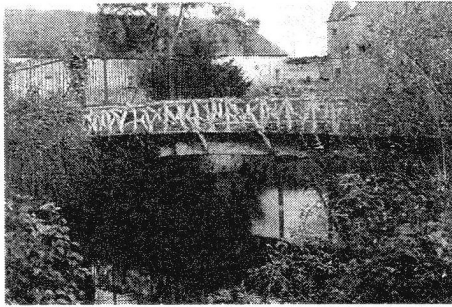


写真-1 シャズレ橋(文献18より転載)

(2)コワニエによるコンクリート水道橋

モニエがシャズレ橋を建設したのと同じ頃、コワニエ（François Coignet）は橋長1500m、最大スパン40mを有する充腹式のコンクリートアーチ橋であるヴァンヌ水道橋（Aqueduc de la Vanne、写真-2）を建設する。本橋は無筋コンクリート橋であるが、本橋の是非を巡る議論からはコンクリートを橋梁に用いることに対する当時の意見を知ることができる。『土木局年鑑（Annales des ponts et chaussées）』では、マッシブな構造であることから、「完全な一体構造が実現できるかどうかは甚だ疑わしい¹³」とされている。また、オッペルマン（Charles Alfred Oppermann）は「ローマ時代以来はじめての試みであり、興味深い事例である」としながらも、「この工法が最良かつ経済的であるとは思わない。外気にさらされたコンクリートは早々に崩れてしまうであろう¹⁴。」と、コンクリートの適用に対して否定的な見解を示している。

その後、ヴァンヌ水道橋は一部が崩壊してしまうが、これに対してオッペルマンは、「コンクリートは本来、基礎工事、切石の連結、人工ブロックに用いる材料であり、

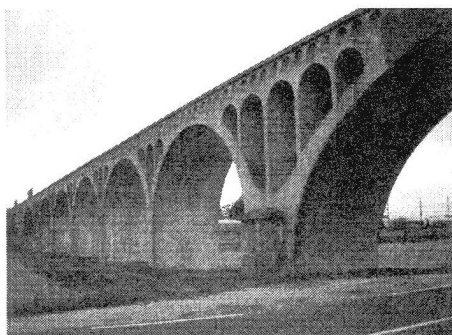


写真-2 ヴァンヌ水道橋(撮影:本田)

外気や厳しい気候にさらされるべきものではない¹⁵」としてその耐久性を疑問視する。コンクリートはもともと橋梁に用いる材料として誕生したわけではなく、材料レベルでの利用が当然のこととされていた。またこの頃フランスでは、19世紀半ばに相次いで起きた吊橋の事故を受けて橋梁の耐久性を意識しはじめており、新規の材料や構造の導入に対しては慎重な姿勢があった¹⁶。

材料レベルでの利用が前提となっていたコンクリートは、橋梁への適用に当たっては強度、経済性、耐久性が疑問視されており、日常的な利用にはほど遠い状況であったと言える。

4. フランス国外の状況

このようなフランスの状況とは対照的に、1890年代には、ドイツ、アメリカ、オーストリアでは既に鉄筋コンクリート橋の建設が盛んになり始めていた。フランス土木局の統計では、1902年の時点で、フランスで4橋、フランスを除くヨーロッパで16橋、アメリカで5橋がリストアップされている¹⁷。この中には、モニエシステムによってドイツのプレーメンに建設されたスパン40mの歩道橋（Passerelle de Brême、写真-3¹⁸）やスイスに建設されたスパン37mのウィルデッグ橋（Pont Wildegg、写真-4）、メランシステム（Système Melan）によってアメリカに建設されたスパン37mを有するトペカ橋（Pont Topeka）などがあげられている。この他にも、ドイツでは17橋の無筋コンクリート橋が建設されており^{19, 20}、その中には最大スパンが40mに達するような橋梁も見られる。このような状況を見る限り、フランス国外ではすでに部材レベルを超えた、「橋梁レベル」での鉄筋コンクリートの利用が一般化しつつあったものと推察される。



写真-3 プレーメンの歩道橋
(文献18より転載)

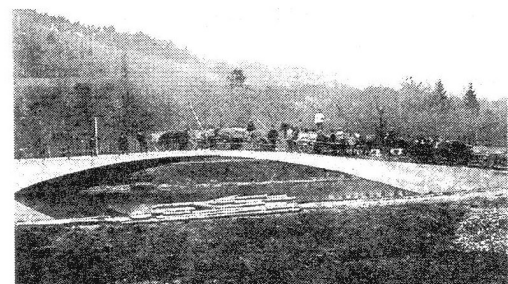


写真-4 ヴィルデッグ橋(文献18より転載)

このように外国で次々と実績が積みされてくるにしたがい、フランスの状況も徐々に変わってくる。例えば、『セメント』では、1896年にメランシステムによる橋梁建設の特集が生まれ²¹、アメリカにおける早期発展と成功の原因を探る努力を喚起する主旨の言葉が見られる。また『土木局年鑑』では1896年からの4年間で、海外の橋梁建設を報じる記事が16件掲載されているが（1896年以前の掲載はない）、そのうちドイツでの道路工事を取り上げたもののひとつには、フランス人エンジニアにとって最も興味深いものとしてコンクリート橋建設が紹介されており²²、土木局も徐々にではあるが鉄筋コンクリート橋を一般的な橋梁として利用していこうという姿勢になりつつあることがわかる。

雑誌などの文献を紹介するという形でありながらも、国外での実績を目の当たりにすることで、国内での鉄筋コンクリート橋の導入の気運は高まっていたものと見ることができる。ただし、ヴァンヌ水道橋の件でも見たように、一方では、先述した吊橋の事故やヴァンヌ水道橋の件が遠因となって、新規の形式や材料による橋梁に対してはまだ消極的な傾向にあったのではないかと考えられる。その結果、コンクリート橋が定着しにくいというのがフランスの実情であった。

5. 鉄筋コンクリート橋の定着

(1) 19世紀末

フランスで鉄筋コンクリート橋が建設されるようになるのは19世紀末のことである。表-2²³は1900年までにフランス国内で建設された橋梁をあげたものであるが、ここからはまず、シャテルロー橋（Pont de

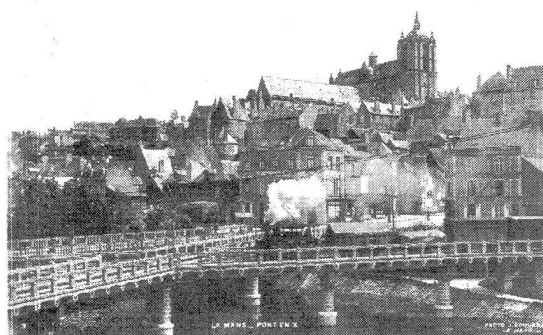


写真-5 エックス橋(古絵葉書)

表-2 1900年までのフランスの鉄筋コンクリート橋

年	橋梁	スパン	形式
1898	エシェズ橋	13 m	上路式アーチ
1899	グラン・モラン橋	10 m	桁
1899	オーシュの道路橋	21 m	上路式アーチ
1899	ヴァレット通り歩道橋	15 m	上路式アーチ
1899	エックス橋	10 m	桁
1900	ヴィニユーの道路橋	20 m	上路式アーチ
1900	シャテルロー橋	50 m	上路式アーチ

Chatellerault) が際だって大規模な橋梁であることがわかる。また、1899年にル・マンに建設されたエックス橋（Pont en X、写真-5）は、土木局のエンジニアであったドゥ・ラ・ノエ（Louis Harel de la Noë）の設計によるもので、市街電車が通過するためのものであった。これまで見てきたようなフランスの状況を考慮すると、官側のエンジニアが鉄筋コンクリートを橋梁に適用していることの意義は大きい。

そのほかに橋梁は、例えばブシロン（Simon Boussiron）によって建設されたヴァレット通り歩道橋（写真-6）のように²⁴、いずれも小規模なものである。



写真-6 ヴァレット通り歩道橋

この頃のフランスでは、主要交通網の整備がひと通り完了しており、地域が主体となった都市内、あるいはその周辺に二次的橋梁の建設が各地で進められていた。このため橋梁には、それまで以上に経済性が求められるようになった。このような背景のもと、少数ながらもこのような鉄筋コンクリート橋が建設され始めたのではないかと考えられる。ただしその多くは、第2章の(2)で見たような部材レベルの利用の延長であったために、小規模なものにとどまっていたのではないかと考えられる。

(2) 20世紀初頭

20世紀初頭になると、例えば、1904年にコンシデー（Armand Considère）によって建設されたスパン40mの単径間上路アーチ橋であるムニエ橋（Pont Menier、写真-7）や1914年頃からドゥ・ラ・ノエ（Louis Harel de

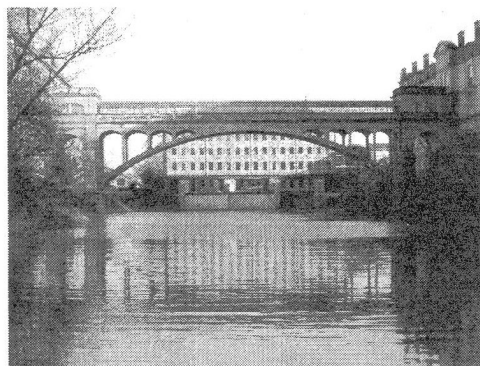


写真-7 ムニエ橋(撮影: 本田)

la Noë)によって建設された一連の鉄道橋(写真-8)、1912年にフレシネによって建設されたブティロン橋(Pont Boutiron、写真-9)など、大規模で多様な鉄筋コンクリート橋が建設されるようになる。また、当時フランスにおける石造アーチ橋建設の第一人者であったセジュールネ(Paul Séjourné)は1900年前後に手がけた3橋の石造アーチ橋の床版に鉄筋コンクリートを採用するなど(図-7²⁵)、橋梁建設における鉄筋コンクリートの受容が急速に進んでいった。ここでようやく、鉄筋コンクリートは「橋梁レベル」の利用が始まった。

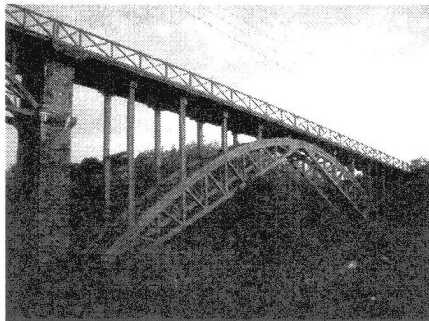


写真-8 カルアル橋(撮影:本田)



写真-9 ブティロン橋(撮影:本田)

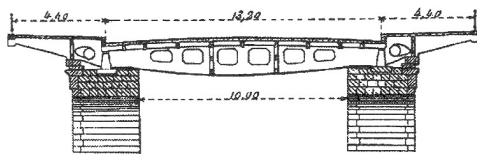


Fig. 4. — Coupe du tablier du pont des Amidoaniers.

図-7 アドミニエル橋の横断面図

6. まとめと今後の課題

以上をまとめると、次のようになる。

- ① 鉄筋コンクリートを「補強コンクリート」という視点で見ると、フランスでは1820年代にはすでにその萌芽が見られた。
- ② フランスは、「材料レベル」→「部材レベル」という、コンクリートの材料としての発展に寄与した。
- ③ 19世紀中は「部材レベル」から「橋梁レベル」への発展は見られなかったが、20世紀以降状況は一変し、橋梁レベルでの利用が急速に広まっていった。

今後の課題

フランスにおける鉄筋コンクリート発展の背景には、民側のエンジニアの様々な技術開発と、それに対する官側のエンジニアの厳しい統制があったものと見られる。今後は、この点を中心に考察を深め、革新的な技術の発生との関わりについて明らかにしていきたい。

参考文献

- ¹例えば 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, p.1, 昭和37年では、ドイツと並んで、「…フランスは、鉄筋コンクリートの起源地であるだけに、その発露を詳述を扱っており…」とある。
- ²土木学会編:『新体系土木工学43 橋梁上部構造』, 技報堂, 1980年。
- ³Ichiro KOBAYASHI and Michel COTTE: *On the foundation works of the Tain-Tourmon bridge designed by Marc Seguin*, Historical Studies in Civil Engineering, Japan Soc. of Civil Engineers, n° 15, 1995, p. 175-186.
- ⁴Bernard Marrey: *Les Ponts Modernes 20^e siècle*, Picard Editeur, p.26, 1995.
- ⁵Tom F. Peters: *Transition in Engineering: Guillaume Henri Delfour and the Early 19th Century Cable Suspension Bridges*, p.153, Birkhäuser, 1987.
- ⁶小林 功: マルク・スガン設計のタン=トゥルノン橋の基礎工について, 土木史研究No.15, pp.181-182, 平成7年。
- ⁷André Guillaume: *Bâtir la Ville*, p.197, Edition Champs Vallons, 1995.
- ⁸Tom F. Peters: *Transition in Engineering: Guillaume Henri Delfour and the Early 19th Century Cable Suspension Bridges*, p.154, Birkhäuser, 1987.
- ⁹« Construction en Ciment Armé », *Le génie civil* n°2, p.22, 1898.
- ¹⁰« Planchers et hourdis système Matrai », C. Berger: *La construction en ciment armé, Planche XIV*, 1909.
- ¹¹« Construction en Ciment Armé », *Le génie civil* n°2, p.22, 1898.
- ¹²E. Mörschi: *Le béton armé, étude théorique et pratique*, 1909.
- ¹³« Emploi du béton aggloméré (système Coignet) dans la construction de l'aqueduc de la Vanne », *Annales des ponts et chaussées*, p.405, 1870.
- ¹⁴« Aqueduc des Eaux de la Vanne », *Nouvelles annales de la construction* 1873.1.
- ¹⁵« Accident des aqueducs en béton de la Vanne », *Nouvelles annales de la construction*, 1874.5.
- ¹⁶Bertrand Lemoine, *L'architecture du fer XIX^e siècle*, p.126, Edition Champs Vallons, 1986.
- ¹⁷« Un pont en béton armé », *Annales des ponts et chaussées*, pp.175-179, 1902.
- ¹⁸Jean-Louis Bosc: *Joseph Monier et la naissance du ciment armé*, Edition du Linteau, p.97, 2001.
- ¹⁹« Ponts en Béton, à Wurtemberg et à Hohenzolern », *Le ciment*, p.16, 1900.1.
- ²⁰« Ponts en Béton, (suite) », *Le ciment*, pp.30-31, 1900.2.
- ²¹« Ponts en ciment armé (Système Melan) », *Le ciment*, pp.105-110, 1896.9.
- ²²« Rapport Administratif Direction des Voies de Communication du Wurtemberg », *Annales des ponts et chaussées*, pp.259-260, 1899.
- ²³1900年まで発行された『Le Béton Armé, Le Ciment』より作成。
- ²⁴Marcel Prade: *Ponts et Viaducs au XIX^e siècle. Techniques Nouvelles et Grandes Réalisations*, p.336, Edition Errance Paris.
- ²⁵Paul Séjourné, « Comment Aujourd'hui on Projette et on Construit les Grandes Voûtes en Maçonnerie », *Annales des ponts et chaussées*, pp.289-310, 1931.