

ルイ・アレル・ドゥ・ラ・ノエ によるコート・デュ・ノール県の 鉄道高架橋設計に関する研究*

Railway Viaducts Design in Côtes-du-Nord by Louis Harel de la Noë

本田泰寛**、小林一郎***、星野裕司****

By Yasuhiro HONDA, Ichiro KOBAYASHI and Yuji HOSHINO

abstract

The purpose of this paper is to clarify the existence of a coherent concept for the viaduct design for the brunch lines of Côtes-du-Nord (France) at the beginning of the 20th century. The structure of the viaducts designed by Louis Harel de la Noë is very unique. But it is generally thought that the origin of unique design is referred to the strong personality and architectural talent of Harel de la Noë. In our research, we regard Harel de la Noë as an engineer who worked for railway construction. This paper shows an analysis of structure of the viaducts design and elucidates the origin of the design concept of the viaduct design of Harel de la Noë.

1. はじめに

(1) 研究の背景

本稿は、著者らの提唱する古構造学の創設に向けた事例研究の成果の一部をまとめたものである。古構造学は、現在では利用されなくなった構造を有する橋梁に着目し、その構造の持つ独自性の由来を解明することを目的とする¹⁾。現在、ポン・ヌフ高架橋(写真-1)を対象とした事例研究を進めている。本橋は20世紀初頭にフランスのコート・デュ・ノール県²⁾で整備された軽便鉄道網³⁾の高架橋群のひとつで、8連の3ヒンジ式開腹アーチからなるRC橋である。アーチにはトラス状のアーチ補剛材とタイ材が設けられており、これらが連続して配置されていることで全体的な外観は繊細かつ極めて独特なものとなっている。



写真-1 ポン・ヌフ高架橋 (撮影: 本田)

ポン・ヌフ高架橋の設計者は、19世紀末から20世紀初頭にかけて主にブルターニュ地方の鉄道網整備に携わったエンジニア、ルイ・アレル・ドゥ・ラ・ノエ (Louis Harel de la Noë、本稿では以下アレルと表記) (写真-2) である。

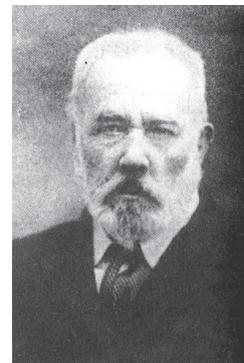


写真-2 ルイ・アレル・ドゥ・ラ・ノエ (文献5)より

アレルは、1877年からおよそ40年の職務期間中、常に地方都市の土木事業に携わった官僚エンジニアである。仕事の内容は交通網の計画から構造物の設計と幅広いが、これまでフランス土木史や橋梁史関連の文献でその経歴などが簡単に紹介される程度であった⁴⁾。近年、地方で活動したエンジニアの再評価や土木遺産の保存・活用に対する意識が高まったことで、ようやくアレルの経歴及び実績がまとめられたところである⁵⁾。これらの既往研究においては、主としてコート・デュ・ノール県で建設された石造アーチ橋や駅舎のデザインに見られる建築家としての資質や、RCアーチ橋の先駆的な導入といった点が評価されている。一方ポン・ヌフ高架橋をはじめとする橋梁の独自性は、性格や個性というような設計者自身の持つオリジナリティーに求められる傾向にある。

*keywords : 古構造学、ルイ・アレル・ドゥ・ラ・ノエ、
鉄道高架橋

**正会員 博(工) ナント大学科学技術学部研究員

***正会員 工博 熊本大学大学院自然科学研究科教授

****正会員 博(工) 熊本大学大学院自然科学研究科准教授

(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39番1号)

コート・デュ・ノール県におけるアレルの実績において着目すべき点は、地域の新たな交通体系整備と橋梁設計を同時に担当していた点にある。つまりアレルの仕事とは軽便鉄道網整備を通じた地域開発そのものであり、橋梁や駅舎といった構造物の設計ではない。従って、文献 4) および文献 5) で指摘される設計者個人のオリジナリティーという観点のみでは、個々の橋梁について考えることはできない。むしろ、一人物が手がけた軽便鉄道網整備の意義や、鉄道網と高架橋群全体の関連性が明らかになってはじめて、個々の橋梁の分析が可能になると考えるが、こうした視点に立った考察はこれまでなされていない。

(2) 研究の目的および本稿の位置付け

そこで本稿では、ポン・ヌフ高架橋の古構造的な分析に先立って、アレルの就いたポストと職能の関係 (2 章)、軽便鉄道網整備の背景 (3,4 章) という観点から事実関係を改めて整理する。さらにコート・デュ・ノール県に建設された高架橋群全体を俯瞰的に捉え直し、一貫した設計コンセプトが存在していたことを指摘する (5,6 章)。以上を踏まえた上で、アレルの鉄道高架橋設計に対する評価には、個人のオリジナリティーよりも鉄道網整備へと至る条件が重要であることを指摘する (7 章)。なおアレルは、官僚エンジニアとして一地方に長期間赴任し、現地の鉄道網整備を実施したという希有な例である。しかし我が国ではほとんど知られておらず、これを提示するのは本稿が初めてである。

2. アレルの経歴

表-1 にアレルの経歴を示す。アレルは、1852 年にフランス北西部、英仏海峡に面するコート・デュ・ノール県の中心地サン・ブリューに生まれた。中学校を卒業するまでをこの地で過ごした後、パリの高校に進学する。その後理工科学校を経て、1875 年に土木大学を卒業した。卒業後に携わった仕事は、鉄道網敷設の計画や外部との折衝、橋梁や駅舎、灯台に至る各種構造物の設計など多岐に渡る。本章では、文献 5) を参考にしつつ、主にポストと職能との関連性に注目してアレルの経歴を整理する。

(1) 土木局における技術者配属の概要

まず、当時の土木局が全国で実施される土木事業を統括していた制度について簡単に触れておきたい。各県にはアンジェニア・アン・シェフ (ingénieur en chef) が 1 名配置され、その下には県内の地区ごとにアンジェニア・オルディネール (ingénieur ordinaire) が通常一人ずつ配置された。本稿では前者を「主任技師」、後者を「専任技師」と表記する。

アレルは土木大学を卒業後、パリから 500km ほど南にあるアヴェイロン県へ赴任する。同県は、ロデス、ヴィルヌーヴ・ドゥ・ルエルグ、サンタフリック、エスパリオンの 4 地区に分かれており、アレルはエスパリオン区に配属された。ここから 1893 年までの約 18 年間は専任技師として、その後 1918 年に退職するまでの 25 年間は主任技師として、フランス各地の土木事業に携わった。

表-1 アレル・ドゥ・ラ・ノエの経歴

年	年齢	職位	赴任地等	主な仕事
1852	0		サン・ブリューにて誕生	
1868	16		パリのサン・ルイ高校入学	
1870	18		高校を卒業、理工科学校に入学	
1872	20		理工科学校を卒業、土木大学に入学	
1874	22		土木大学卒業	
1875	23	専任技師	①エスパリオン(アヴェイロン県)	【プロジェクトなし】
1877	25		②ロデス(アヴェイロン県)	各区で道路橋、鉄道橋の設計補助
1878	26		③カンペール(フィニステール県)	【カンペール区の鉄道、運河整備】 関係機関との折衝、橋梁設計補助
1880	28		④ヌヴェール(ニエーヴル県)	【ロワール側方運河の改修】 ブリアール運河橋の設計 (不採用)
1884	32		⑤ル・マン(サルトル県)	【ル・マン区の鉄道整備】 鉄道橋・歩道橋設計
1891	39		⑥プレスト(フィニステール県)	【プレスト区の鉄道整備】 内容：路線計画、鉄道橋の設計
1893	41	主任技師	⑦ル・マン(サルトル県)	【県内の軽便鉄道網整備】 計画から完成まで監督。橋梁設計
1901	49		⑧サン・ブリュー(コート・デュ・ノール県)	【県内の軽便鉄道網整備】 第一期鉄道網、第二期鉄道網の計画・設計 高架橋、擁壁、駅舎、給水塔等を設計
1918	66		退職	
1931	79		ランデルノーにて没	

(2) 専任技師時代 (1875年～1893年)

土木大学を卒業した後、アレルは専任技師として6つの地区を転任する(図-1)。1875年から3年間はアヴェイロン県のエスパリオンとロデスの2つの地区で過ごす。アヴェイロン県は中央山塊の中に位置する農業県で、大規模な開発事業も行われていなかった。この間アレルに任せられたのは、主に道路橋や歩道橋の設計補助であった。その後フィニステール県のカンペールへと赴任する。本県はブレストの軍港や数多くの漁港を持っており、経済状況も良好であったため、多くの鉄道網整備が進行中であった。アレルはここで鉄道会社との折衝や、ナント～ブレスト運河の整備計画などの様々な仕事を経験し、2年後にはニエヴール県のヌヴェールへ赴任した。ここではロワール側方運河の整備が進められており、アレルは運河への導水計画や、ブリアール運河橋⁶⁾の設計などを担当するが、整備が完了する2年前の1893年にはサルトル県のル・マン地区へ異動となった。この頃になると、跨線橋や歩道橋など、アレル自身の設計による橋梁がいくつか見られるようになる。サルトル県の鉄道整備が一応の完成を見た後、アレルはフィニステール県のブレスト地区へ赴任を命じられた。ここでは唯一、軽便鉄道網上に建設されたトレススル式のランベゼレック高架橋(写真-3⁷⁾)のみを設計している。



図-1 赴任地の変遷 (作成: 本田)

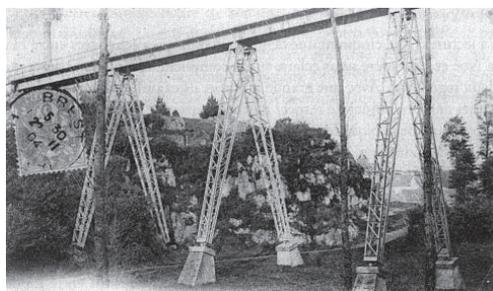


写真-3 ランベゼレック高架橋

(3) 主任技師時代 (1893年～1918年)

ブレストで2年を過ごした後の1893年、再びル・マン(サルトル県)への赴任を命じられる。サルトル県は県内の軽便鉄道網整備を計画しており、アレルは計画・設計を統括する主任技師として7年間この仕事に携わった。

この時期の橋梁を見ると、主任技師となったことでアレルの橋梁設計への関与の度合いが以前より大きくなっていることがわかる。ル・マン市街に建設されたエックス橋(写真-4)は、アレル設計の橋梁としてはじめて技術雑誌で紹介されている⁸⁾。本橋は路面電車の2つの橋梁がサルトル川上で交差している橋梁である。上部工はプレートガーダーとRC床版によって構成されており、歩道部も設けられている。文献⁸⁾では、橋脚断面を円形としたことで材料が減少したため、経済性が実現されたと評価されている。この他、同じくサルトル県で設計したドゥオー高架橋では、かつて自身がフィニステール県にて設計に携わったランベゼレック高架橋(前出写真-3)と同じトレススル高架橋を採用している。この時期、橋梁設計におけるアレルの役割は設計補助ではなくなっていることがわかる。さらに、道路橋のラ・フィレ橋(写真-5)と同じ構造を他の現場の架橋にも適用するなど、橋梁単体に対する設計はもちろんのこと、担当する地域全体の橋梁設計に対して大きな決定権を持つようになっていた。

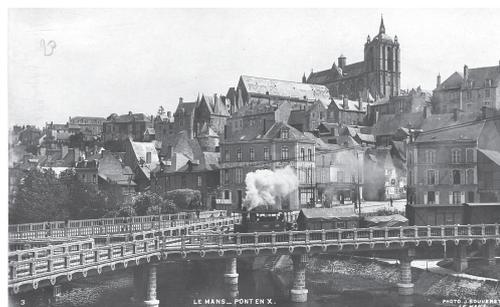


写真-4 エックス橋 (古絵葉書)



写真-5 ラ・フィレ橋 (撮影: 本田)

サルトル県の軽便鉄道網が開通した1901年、アレルはコート・デュ・ノール県へと異動になる。この時期、本県は軽便鉄道網整備の動きが本格化しており、今回の異動はサルトル県での軽便鉄道網整備の経験を頼りとする地元議会からの強い要請を受けたものであった。その後、1918年に66才で退職するまで生まれ故郷での軽便鉄道網整備に携わることになるが、ここで建設された鉄道高架橋群はサルトル県までの橋梁とは大きく性質の異なるものである。これは、地域的事情やアレルの橋梁設計に対する関与の仕方がそれまでとは異なっていたためである。次章では、地形や地域の経済状況といった点から、コート・デュ・ノール県における鉄道網整備の意義を明らかにする。

3. ブルターニュ地方およびコート・デュ・ノール県の概要

(1) ブルターニュ地方

現在のブルターニュ地方は、大西洋に突き出したブルターニュ半島に位置する 4 県から構成されている (図-2)。この一帯は 300~400m 級の山々によって形成されるアルモリカン山塊が横断している。半島の南岸は海岸が広がる比較的なだらかな地形であるが、北岸は海岸線に沿って谷と台地が連続する海岸段丘状の地形となっている。北岸の主要都市は谷周辺に位置するものが多いため、高架橋が建設されている例がよく見られる。例えば、フィニステール県のモルレでは、橋脚高さが 60m に及ぶ鉄道高架橋が市街地をまたぐように建設されている (写真-6)。



図-2 ブルターニュ地方 (作成: 本田)



写真-6 モルレ高架橋 (撮影: 本田)

(2) コート・デュ・ノール県

コート・デュ・ノール県は、地域の半分近くをアルモリカン山塊の一部をなすアレ山脈が占めている。海岸部は前項で述べた海岸段丘となっているため、県内は全体的になだらかな丘と深い谷が連続する地形となっている。地質上の特徴として、グラニ・ローズと呼ばれる赤褐色の花崗岩が至る所に存在しており、ブルーマナック海岸では写真-7のような巨大な花崗岩群が見られる。

19 世紀末のコート・デュ・ノール県は、商工業、農業ともに極めて閉塞的な状況であった。産業としてはサン・ブリュー周辺で製鉄業や採石業などが見られるものの、地域を大きく発展させる程の規模ではなかった⁹⁾。農作物を

見ると、県内の農作地の大部分をそばとじゃがいも畑が占めており、本県が地味の肥えた土地ではなかったことがうかがえる。生産された作物も、ほとんどが県内で消費されていた¹⁰⁾。

このように、周辺地域から孤立しがちであった同県にとって地域開発は重要な目標であり、鉄道という新たな交通体系の整備はその切り札として大きく期待されていた¹¹⁾。早急な鉄道網整備と財政上の問題という両立困難な問題を抱えていたコート・デュ・ノール県での軽便鉄道網の整備が、アレルに一任された仕事であった。



写真-7 ブルーマナック海岸の花崗岩巨石群 (撮影: 本田)

4. コート・デュ・ノール県の鉄道網整備

(1) 時代背景

フランスでは 1825 年にサン・テチエンヌ〜リヨン間が開通して以来、数多くの鉄道網が整備されていた。これらが 6 つの民間鉄道として再編されたのが 6 大鉄道である。6 大鉄道はパリにある始発駅からフランス各地へ至るもので、北駅を始発駅とする北部鉄道、東駅を始発としストラスブルへ至る東部鉄道、リヨン駅を始発とする PLM (パリ・リヨン・地中海) 鉄道、オーステルリッツ駅を始発とするオルレアン鉄道および南部鉄道、サン・ラザール駅を始発とする西部鉄道である。なお、六大鉄道会社は 1938 年に国鉄 (SNCF) として統合される。

19 世紀末には、上記の 6 社によって国内の主要都市および各地方の都市を網羅する幹線鉄道の整備が完了しつつあった。ブルターニュ地方では、西部鉄道会社によってパリーブレスト間が開通し、さらに地方内の主要都市を結ぶブルターニュ鉄道の建設が進められた (図-3-a)。しかし、内陸部の農作物を港のある都市へと運搬することも容易ではなく、これらの鉄道網整備も県内の各都市を十分に連結するには至っていなかった。さらに、サン・ブリューのように港を有する町でさえも、地形的な制約のために既存鉄道の駅は港から数キロ陸地側に入り込んだ場所とせざるを得なかった。こうした地域レベルの輸送問題はコート・デュ・ノール県に限ったことではなく、1860 年代以降は全国各地で県単位での軽便鉄道整備が実施されるようになる。

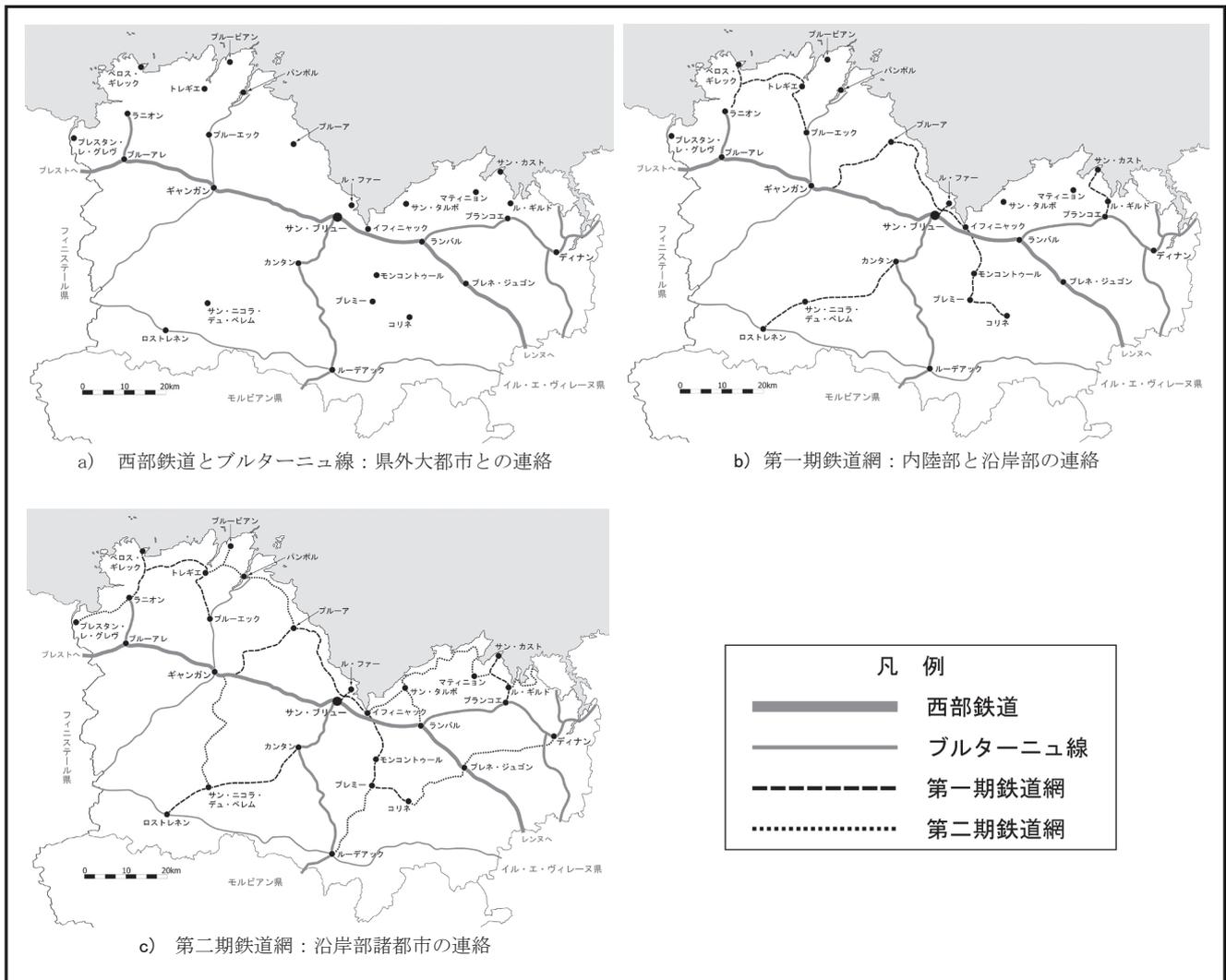


図-3 コート・デュ・ノール県における鉄道網整備（作成：本田）

(2) 軽便鉄道網整備

全国で鉄道網整備が進められる中、1878 年になるとフレシネプラン (Plan Freycinet) と呼ばれる国土整備計画が策定される¹²⁾。この計画は各県の主要都市を結ぶ鉄道網の完成と運河網の再編を目的としたもので、1880 年から 1914 年にかけて全国各地で総延長 90,000km の軽便鉄道網建設が計画された。それぞれの事業は各県が主体となり、第一期鉄道網 (1^{er} réseau) 整備と第二期鉄道網 (2^{ème} réseau) に分けて整備が進められた¹³⁾。

コート・デュ・ノール県においては 1900 年から 1905 年にかけて 10 路線、総延長 209km の第一期鉄道網 (図-3-b) が建設され、内陸部と沿岸部の都市間交通が確立された。続いて 1912 年から 1926 年にかけては 9 路線、総延長 452km の第二期鉄道網 (図-3-c) が建設され、沿岸部に点在する都市も連絡された。以上のような形で主要都市全てが鉄道によって連結され、コート・デュ・ノール県の鉄道網整備は完了した。なお、軽便鉄道が営業を開始する 1905 年から、全線が廃止される 1956 年の間に購入された車輛は 956 であるが、このうち 827 が貨物車、105 が客車であった (残り 24 は不明)¹⁴⁾。これは、県内の物流が抱えていた課題において鉄道網の占める重要性が極めて大きかったことを示している。

5. 第一期鉄道網の高架橋群

(1) 石造アーチ橋群

第一期鉄道網には、1903 年から 1904 年にかけて 16 橋の高架橋が建設された (表-2、図-4)。このうち 12 橋はアレルの定めた標準設計によるもの¹⁵⁾で、スパンは 6m で統一されている。パルフォン・ドゥ・グエ高架橋 (表-2 の 6) とグレヴ・デ・クルス高架橋 (表-2 の 12) の 2 橋は、アーチスパンが異なっているものの、アーチやスパンドレル、橋脚の構造を見ると、標準設計の 12 橋と同じタイプとみなすことができる。一方、石造アーチ橋のスーザン高架橋 (表-2 の 1) と鉄アーチ橋のトゥーパン高架橋 (表-2 の 11) は、主に上部工の構造や材料に違いが見られる。

ここでは石造アーチ橋の一例として、ドゥーヴナン高架橋を示す (写真-8)。本橋は、橋長 130.8m、橋脚高 22.8m (最大部)、幅員 3.9m で、現在は歩道橋として利用されている。上部工は通常の石造アーチ橋に見られるアーチリングではなく、アーチリブを並置した上に RC 床版が設置されている。アーチスパンは 6m、スパンドレルは凹型¹⁶⁾になっており (写真-9)、橋脚断面は H 型断面となっている。この構造とアーチスパンは他の石造アーチ橋にも共通している。このような標準設計の導入や、橋梁群全体の統一感のあるデザインがこれまで評価されてきた。

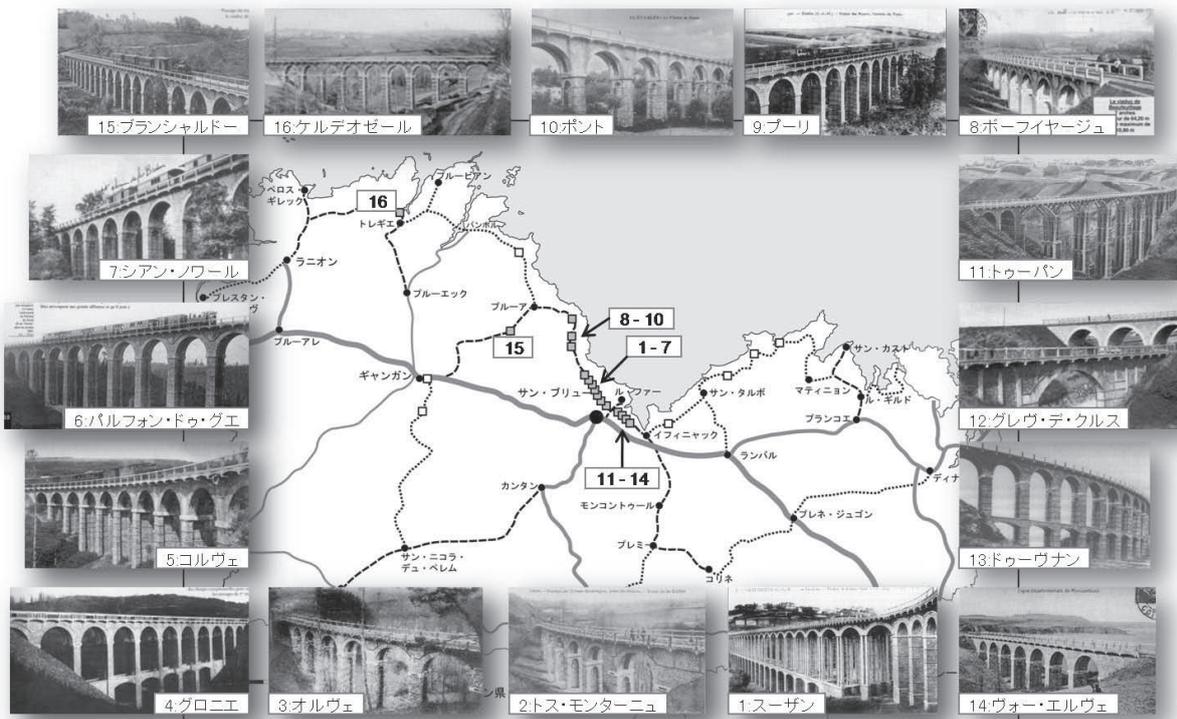


図-4 第一期鉄道網に建設された高架橋の分布

表-2 第一期鉄道網に建設された高架橋一覧

	橋梁名	橋長	小アーチ数	最大橋脚高	路線
1	スーザン	259.0m	23@9m,8@5m	32.0m	サン・ブリュール - プルーア
2	トス・モンターニュ	68.4m	7@6m	13.5m	サン・ブリュール - プルーア
3	オルヴェ	60.6m	6@6m	15.0m	サン・ブリュール - プルーア
4	グロニエ	94.4m	6@6m	21.0m	サン・ブリュール - プルーア
5	コルヴェ	86.6m	10@6m	16.7m	サン・ブリュール - プルーア
6	パルフォン・ドゥ・グエ	124.1m	13@7m	34.0m	サン・ブリュール - プルーア
7	シアン・ノワール	94.4m	11@6m	15.4m	サン・ブリュール - プルーア
8	ポーフィヤージュ	64.2m	7@6m	10.8m	サン・ブリュール - プルーア
9	プーリ	91.8m	10@6m	16.5m	サン・ブリュール - プルーア
10	ポント	91.0m	8@6m	13.4m	サン・ブリュール - プルーア
11	トゥーパン	172.9m	7@15m(鉄),4@6m(石)	38.8m	サン・ブリュール - モンコントゥール
12	グレヴ・デ・クルス	62.2m	12m	-	サン・ブリュール - モンコントゥール
13	ドゥーヴナン	130.8m	15@6m	22.8m	サン・ブリュール - モンコントゥール
14	ヴォー・エルヴェ	58.2m	7@6m	15.0m	サン・ブリュール - モンコントゥール
15	ケルデオゼール	84.0m	10@6m	18.0m	トレギエール - ペロス・ギレック
16	ブランシャルドー	149.2m	18@6m	10.0m	ギャンガン - プルーア

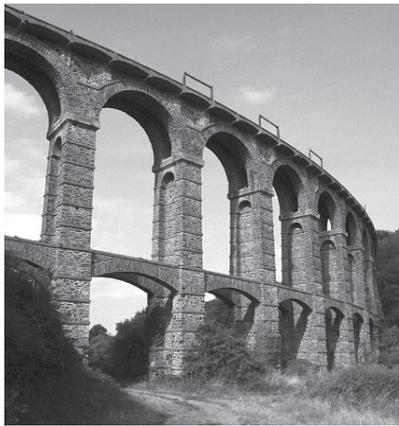


写真-8 ドゥーヴナン高架橋（撮影：本田）



写真-9 スパンドレル（撮影：本田）

この時期は、全国的に軽便鉄道網の橋梁が石造構造から鉄やRC構造へと移行する時期に相当する。そのため、鉄道橋に石造アーチ橋を用いること自体は必ずしも特殊なことではない。しかしながら、当時のフランスの交通網整備で十数橋を全て石造アーチ橋とした例は見られない。例えば1909年に完成したフランス南部のアルプ・マリタイム県の軽便鉄道整備では、橋梁に関する議論は鉄橋かRC橋のどちらかで議論されており、石造アーチ橋は消えつつあった様子がうかがえる¹⁷⁾。

アレル自身に関しても、2章で見たように、コート・デュ・ノール県に赴任するまでの経歴からは、石造構造に対するこだわりのような一面は見出し難い。むしろ、トレスル橋（ランベゼレック高架橋、ドゥオー高架橋）やトラスアーチ橋（ラ・フィレ橋）などを見ると、橋梁設計者としての関心はトラス構造などを用いた構造の軽量化へと向けられている。

軽便鉄道における高架橋建設の動向や、設計者としてのアレル自身の指向を見ると、石造アーチ橋を多用することは必ずしも自然なものではなかったと言えるだろう。また、並置したアーチリブ上にRC床版を設置するという構造も、セジュールネ¹⁸⁾によって設計された数橋で確認できる程度である。第一期鉄道網の高架橋群には、石造アーチ橋が多用されている点と、アーチリブとRC床版を組み合わせた構造である点にひとつの特徴を見出すことが出来る。

（2）石造アーチ橋の設計コンセプト

第一期鉄道網における石造アーチ橋の設計について、アレルは「橋脚高が15m以下となる場合は最も安価な材料

を用い、使用量も可能な限り抑える」と説明している¹⁹⁾。ここで最も安価な材料とはもちろん、現場周辺に豊富に存在する石材を指している。なお実際には、橋脚高30m以上になる場合でも石材が用いられている（表-2参照）。上部工の構造についても、「地形的な制約によってほとんどの高架橋が半径120mの曲線橋となったため、アーチスパンは小さくせざるを得ず、「このような地形的事情によって径間数及び橋脚数が増加したため、独立したアーチ（筆者注：アーチリブ）を並置する構造にすることで施工効率を高めた。」とある。

ここからは、第一期鉄道網の高架橋設計において、安価な材料を最小限利用する、という極めて明快なコンセプトが設定されていたことがわかる。しかもそれは、路線全体に共通する地形や地質などを考慮した上で設定されたものであり、これを踏まえる形で具体的な構造が決定され、標準設計となった。主任技師であるアレルが高架橋の設計において果たした重要な役割は、このような地域特性の読み解きと、それを踏まえた設計コンセプトの設定にある。

（3）スーザン高架橋

本章の冒頭でも述べたように、第一期鉄道網には標準設計の石造アーチ橋とは異なるタイプものが2橋建設されている。そのひとつが写真-10に示すスーザン高架橋である。石造アーチ橋の中では本橋のみが開腹アーチであり、スパン9mのアーチリブが4列に並置されている。橋脚は2層構造で、1層目は石造、2層目はレンガ造となっている。このように標準設計とは異なる構造であるために、本橋は前項で述べた標準設計の石造アーチ橋とは異なるものとして取りあげられてきた²⁰⁾。

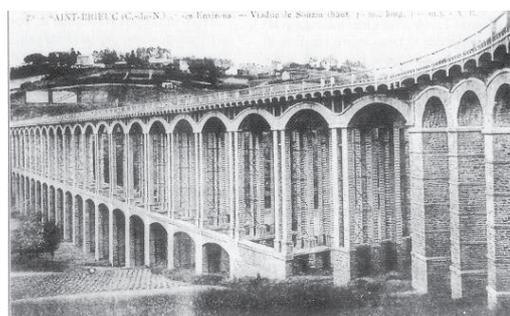


写真-10 スーザン高架橋

しかし、一連の図面の中には、本橋が当初は石造の充腹アーチ橋として設計されていたことを示すものが残されている。この図面²¹⁾からは、橋脚に石材のみを使用していること（図-5-a）、スパン7mの充腹アーチリブを4列に並置した構造であることなど（図-5-b）、他の石造アーチ橋と同様の構造が適用されていたことが確認できる。

このように、スーザン高架橋は、標準設計に沿って設計されつつも、最終的にはスパンドレルと橋脚部分に大きな変更が加えられた。その要因は本橋の規模にあったと思われる。すなわち、本橋の橋長259.0mは高架橋群の中では突出したものであり、複線の鉄道と車道を通すためにアー

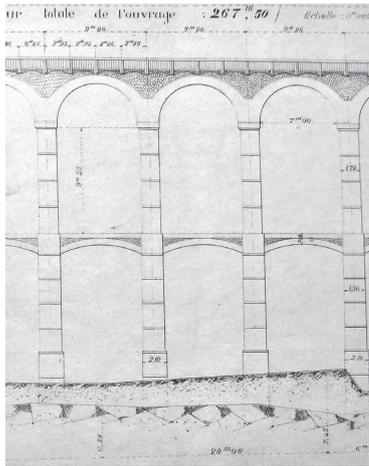


図-5-a 石造アーチ橋案側面図

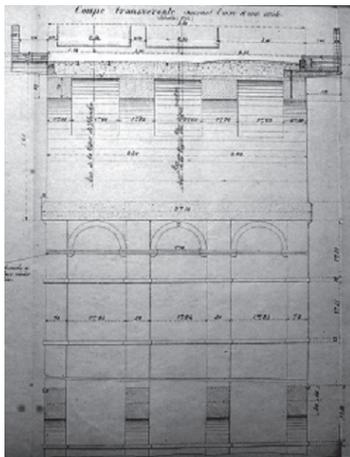


図-5-b 石造アーチ橋案横断面図

チリブは、標準設計の2倍にあたる4列となった。さらに、橋脚高も最大部分では32.0mに達しており、他の高架橋と同じように標準設計を適用することが難しかったのではないかと考えられる。

完成後の橋梁を見ると、上部工はオープンスパンドレルとなり、橋脚2層目はレンガ積の柱列となっている。アーチスパンは7mから9mに延長されたことで、すり付け部を除く径間数は28から23になり、橋脚の数も減少している。前節で述べたように、第一期鉄道網の石造アーチ橋は、当時としては極めて軽量の構造である。しかし、スーザン高架橋はその規模が過大となったために、標準設計からさらに死荷重の軽減が図られたと考えられる。その結果、最も安価な材料を最小限利用する、というコンセプトが、石造アーチ橋の中で最大限に追求された例となっている。

(4) トウーパン高架橋

第一期鉄道網に建設された高架橋の中で唯一、上部工に鉄アーチを採用しているのがトウーパン高架橋である(写真-11)。本橋は橋長172.9m、最大橋脚高38.8m、有効幅員7.80で、現在は2車線の道路橋に転用されている。

本橋のみが鉄アーチ橋となった理由は、資料焼失のために現在では知ることはできないが²²⁾、現況からはおおよそ以下のような点を推測することが出来る。ひとつは、死荷

重の軽減である。本橋は橋脚高が38.8mと高架橋群中最大であり、重量の小さい鉄アーチとすることで上部工の安定性を確保したものと考えられる。橋脚の3層目は現在RC構造であるが、完成時はレンガ積であった。これもスーザン高架橋と同様、死荷重を軽減するためであると思われる。もうひとつは、地盤の状態との関連性である。架橋地に地盤状態が悪い場所がある場合、アレルはスパンを大きくとることで対応している。これは、次章で取りあげる第二期鉄道網のRC高架橋では頻繁に見られる例である。また、前項で指摘したように、標準設計より大きいスパンとすることで、橋脚の数を減少させようとした可能性も十分に考えられる。



写真-11 トウーパン高架橋 (撮影：本田)

6. 第二期鉄道網の高架橋群

(1) RCアーチの構造

第二期鉄道網には、1913年から1926年(第一次世界大戦による中断を含む)にかけて7橋の3ヒンジ式RCアーチ橋が建設された(表-3、図-6)。写真-12は、本稿の冒頭で示したボン・ヌフ高架橋である²³⁾。本橋は、第二期鉄道網がグエサン谷を越える地点に架かる8連のRCアーチ橋で、全長237m、最大橋脚高27.6m、半径120mの曲線橋である。アーチ部分は図-7²⁴⁾に示すような開腹3ヒンジ構造になっており、トラス状のアーチ補剛材とタイ材を有する。タイ材はアーチ基部よりやや下方で剛結されており、アーチリブ下縁に付けられたフックから吊材が下げられ、タイ材の鉄筋へ固定されている(図-8²⁵⁾)。このようなアーチを2列に並置し、その上にRC床版を設置することで軌道が支えられている。



写真-12 ボン・ヌフ高架橋 (撮影：本田)

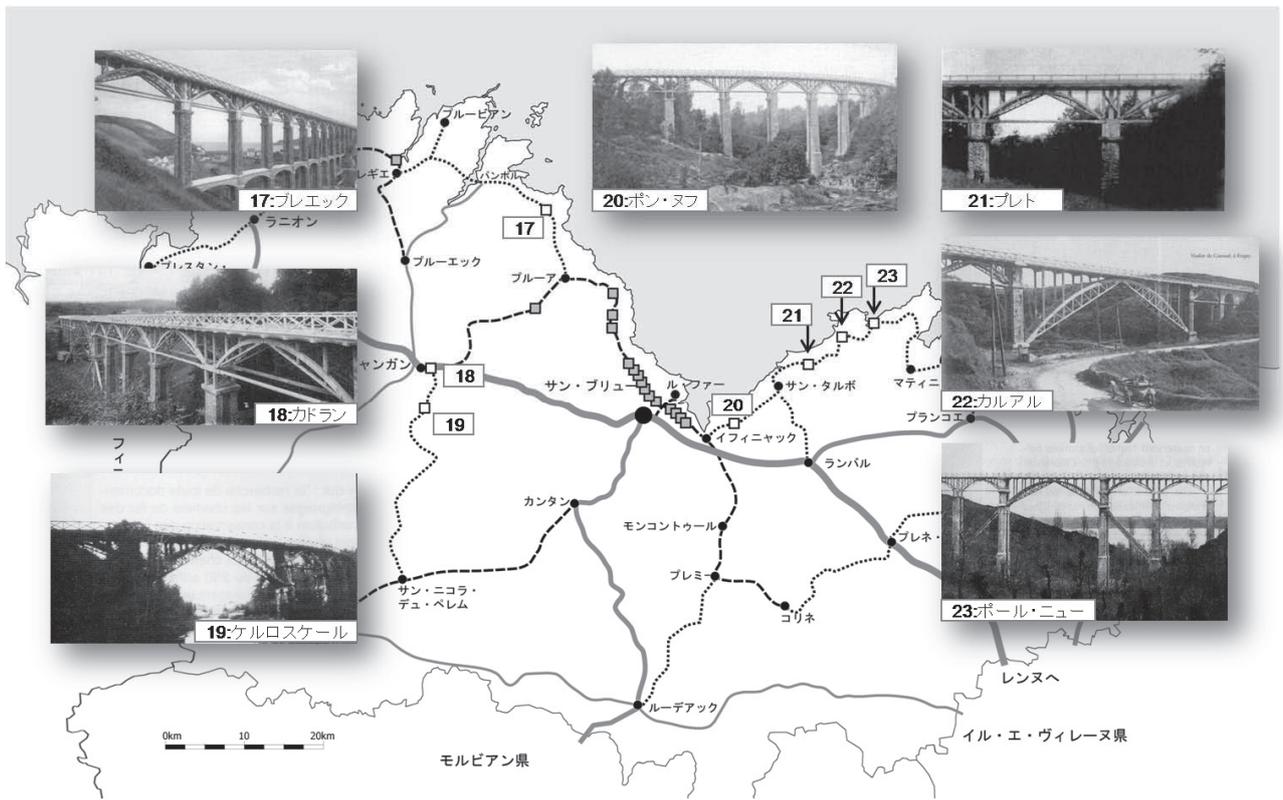


図-6 第二期鉄道網に建設された高架橋の分布

表-3 第二期鉄道網に建設された高架橋一覧

	橋梁名	橋長	小アーチ数	中央径間	最大橋脚高	路線
17	ブレエック	203 m	12@12m	—	32 m	ブルーア — バンポル
18	カドラン	204 m	9@12m	39 m	18 m	ギャンガン — サン・ニコラ
19	ケルロスケール	133 m	5@12m	26 m	14 m	ギャンガン — サン・ニコラ
20	ポン・ヌフ	237 m	8@12m	—	27.60 m	イフィニャック — マティニオン
21	プレト	95 m	4@12m	—	12 m	イフィニャック — マティニオン
22	カルアル	109 m	2@12m	45 m	17 m	イフィニャック — マティニオン
23	ポール・ニュー	207 m	7@12m	26 m	29 m	イフィニャック — マティニオン

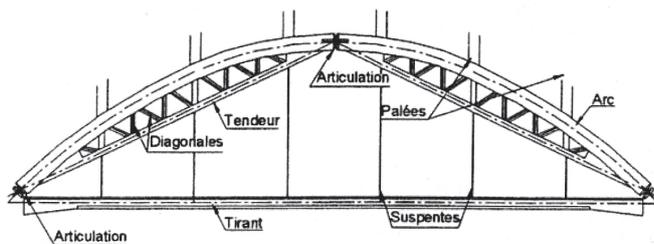


図-7 12m アーチ側面図

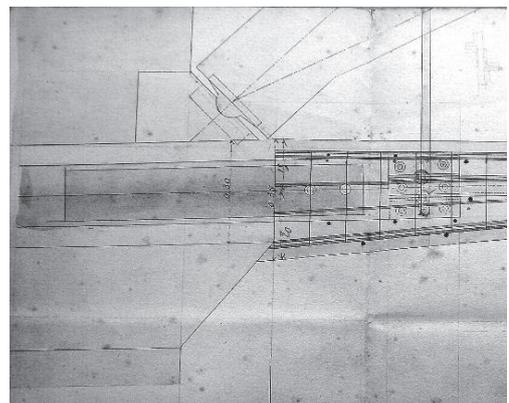


図-8 12m アーチ基部の断面図

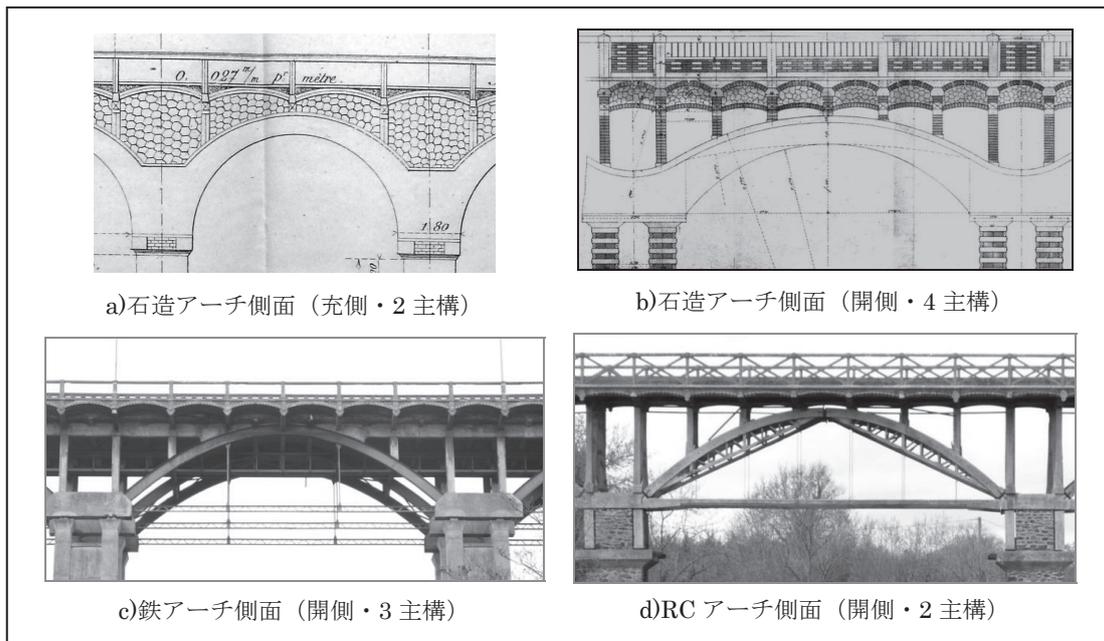


図-9 アーチ側面の比較

表-3 に示した 7 橋のうち 4 橋には、スパン 24m~45m のアーチが用いられている。これらは、強度の低い地盤に橋脚を設けることを避けるために用いられたもので²⁶⁾、例えば写真-13 に示すカルアル高架橋の場合はスパン 45m の中央径間が設けられている。構造は、タイ材が用いられていないことを除けば 12m アーチと同様の構造であることが確認できる。下部工は、第一期鉄道網の石造アーチ橋と同じく石造の H 型断面橋脚となっている。

(2) 構造の特殊性

当時のフランスにおける RC 橋を見ても、アレルによる 7 橋の RC 高架橋以外で、同様の構造を確認することはできない。また、それぞれの部材がどのような意図のもとに設けられていたのかという問題については、現存資料の不足のため今のところ解明は困難となっている。ただしタイ材の役割に関しては、7 橋間の比較から以下のように推定することが可能である。

- ①12m アーチは全て、橋脚頂部に位置している。どの高架橋に置いても例外なくタイ材が設置されている。
- ②ポール・ニュー高架橋の 26m アーチ、カドラン高架橋の 39m アーチの場合アーチ基部は橋脚途中に位置する。この場合、アーチ基部から両側径間の橋台に向けて斜材が設けられている。
- ③カルアル高架橋の 40m アーチとケルロスケール高架橋の 26m アーチは橋脚基礎付近にアーチ基部が位置するが、この場合にはタイ材も斜材もない。

以上の比較からは、12m アーチに見られるタイ材は、橋脚の橋軸方向への変位を防止しようという意図があったのではないかと考えることができる。第二期鉄道網では、全ての高架橋は 12m アーチを基本として、その適用が困難な場合には同じ構造のアーチでスパンを大きくするという方法によって対応していた。

(3) 高架橋設計におけるコンセプトの一貫性

第一期鉄道網とは異なり、第二期鉄道網では全ての高架橋に RC 橋が採用されている。第一次世界大戦の勃発は第二期鉄道網の現場にまで深刻な人手不足をもたらしている。アレルのメモ書きには、エルキー（カルアル橋の現場）にはもう工夫がいなくなってしまう、2つの現場に人員を配置することさえも困難であるとの旨が記されている²⁷⁾。このような状況では、時間と人手を要する石材の利用は必ずしも効率的ではなかったはずである。

一方、1906 年に RC に関する指針が制定されて以降、フランス各地で RC 橋が積極的に建設されるようになる。また、第二期鉄道網は主として海岸沿いの都市を結ぶための路線であり、現場付近の海砂を細骨材として利用することが可能であった²⁸⁾。さらにアレルは、部材のプレハブ化や施工マニュアルの作成によって、現場の作業効率を上げる工夫もしている²⁹⁾。石から RC への材料の変化は、上記のような諸条件の変化によるものであったと考えられる。

図-9 は、第一期・第二期鉄道網に建設された 4 種類のアーチ側面を示したものである^{30),31)}。これを見ると、a)は充腹アーチではあるものの、凹型とすることでスパンドレルは軽量化されている。しかも、柱列が床版を支えるようなデザインは b)~d)に示す開腹アーチにも通じるものである。スパンドレルを可能な限り軽量化することは、材料を最小限に利用するというコンセプトの実現において重要な位置にあったと言える。

第一期鉄道網の石造アーチ橋群であれ、第二期鉄道網の RC アーチ橋群であれ、アレルにとっては「最も安価な材料を最小限利用する」というコンセプトは一貫したものであり、上部工ではアーチリブとスパンドレルの軽量化、下部工では H 型断面橋脚、といった形で具体的な構造として実現されていた。

7. おわりに

本稿では、アレルがコート・デュ・ノール県で軽便鉄道網整備へと至る背景を整理したうえで、第一期鉄道網および第二期鉄道網に建設された高架橋の設計コンセプトを明らかにした。アレルが高架橋群を設計するに至った条件は次のようにまとめることができる。

①プロジェクトの存在

軽便鉄道網整備というプロジェクトの存在は、高架橋群が建設されるための最低条件である。しかもそれは、軽便鉄道網ブームとも言える時代の影響を大きく受けてはいるものの、コート・デュ・ノール県という一地域における社会基盤整備であった。アレルがプロジェクト全体に関わることができたのも、こうした条件が整っていたためである。

②主任技師の職能

2章で見たように、たとえ条件の整ったプロジェクトが存在していたとしても、仮に専任技師であったならば、構造物単体の設計のみを任せられていた可能性は高い。計画段階から主任技師として携わっていたことではじめて、全体を通じた橋梁設計が可能となった。

主任技師であるアレルにとって、最も重要な課題は地域開発のために軽便鉄道網を敷設することであり、必ずしも個々の橋梁設計そのものを重視してはいなかった。むしろ、事業対象となる地域の地域特性に基づいて一貫したコンセプトを設定し、それを標準設計とすることで具体的な構造を決定していた。こうした点を考慮すると、第二期鉄道網のRCアーチ橋の構造も、コンセプトという点では既に第一期鉄道網における石造アーチ橋の計画段階で決定され、一貫して適用されたものであった。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費・基盤研究(C) (課題番号 19560539) の補助を受けたものです。記して謝意を表します。

参考文献・注記

- 1) 本田・小林ほか、古構造学の創生へ向けて、土木史研究論文集 vol.26, pp.1-8, 2007
- 2) コート・デュ・ノール県は1990年にコート・ダルモール県(Côtes d'Armor)へと改称された。本研究で対象としている時期は改称以前に相当するため、本稿では「コート・デュ・ノール」で統一した。
- 3) 県が主体となって設することが認められた鉄道で(1865年7月12日に可決された法律)、軌道間隔は欧州標準軌1435mmより狭い1000mmで統一されている(我が国の標準軌は1065mm)。フランスではVFIL(voie ferrée d'intérêt local: 地域のための鉄道)と表記される。本稿ではこれを便宜的に軽便鉄道と表記している。
- 4) 例えば、B. Marrey: « Louis Harel de la Noë », *Les Ponts Modernes 20^e siècle*, pp.44-47, Picard, 1995、A. Picon: *L'art d'ingénieur*, pp.223-225, Le Moniteur, 1997 など
- 5) François Lépine: *LOUIS HAREL DE LA NOË (1852-1931) Un grand ingénieur breton*, Presse de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 2003
- 6) ロワール河上に架かる橋長662m、幅員11.5mを有する鉄製の

運河橋。アレルが担当したのは石造運河橋で、その後大幅な設計変更が行われ、現在の鉄橋となった。

- 7) 本橋は現在、歩道橋として利用されている。近年、アレルの再評価とともにその遺産的価値が認められつつあり、現在 IUFM プルターニユのステファン・シールらによって保存・活用に関する調査が進められている。
- 8) « Le pont en X au Mans étudié et construit par M. Harel de la Noë, ingénieur en chef des ponts et chaussées », *La Revue Technique* No.3, pp.49-59, 1899.2
- 9) André Meynier: « Villes de Bretagne », *Annales de Géographie*, Vol.55, No299, 1946.
- 10) J. Rigaud: *Géographie Historique des Côtes-du-Nord*, Imprimerie Francisque Guyon, 1890
- 11) Cronu Alain, *Petits Train des Côtes du Nord*, p.31, Edition Cénomane, 1985
- 12) フレシネブランは、当時の建設大臣シャルル・ドゥ・フレシネ(Charles de Freycinet)によって策定され、レオン・ガンベッタ(Léon Gambetta)の協力で推進された。この計画は、公共投資による国内の経済振興及び民間資本の流出防止という目的があり、民間鉄道会社の買い取りもこの時に進められた。これによって地方都市の鉄道網は充実するが、同時に人口流出を促した。
- 13) Laurant Goulhen: *L'album du petit Train des Côtes-du-Nord*, Association des Chemin de fer des Côtes-du-nord, 2005
- 14) 前掲 13), p.58
- 15) *Les 13 Viaducs de type Grognet de Louis Harel de la Noë*, p.5, AMENO-HAREL, 2006
- 16) この凹型について、アレル・ドゥ・ラ・ノエ協会会長ビエール・ゴレグは、スパンドレルのはらみ出しを防ぐ狙いがあったのではないかと推測している。
- 17) « Pont en béton armé, sur le Var, à la Mescla, Chemin de fer électrique de la Tinée (Alpes-Maritimes) », *Nouvelles annales de la construction*, pp.97-107, 1912.7
- 18) ポール・セジュールネ(Paul Séjourné, 1851-1939)。土木局技師として行政機関や鉄道会社などのポストを経た後、1901年からは土木大学で教鞭を執る。フランス石造アーチ橋梁史の最後を飾る人物で、1910年代以後も大規模な石造アーチ橋を設計した。彼の設計した橋梁は「最後の大アーチ群」とも称される(B. Marrey, *Les ponts modernes 18^e - 19^e siècle*, p.284, Picard,)。全6巻からなる大著『大アーチ(Grandes voûtes, 1913-1916)』を残している。
- 19) 前掲 15)
- 20) *Le viaduc de Souzain*, L'association pour la mémoire et la Notoriété de Luis Harel de la Noë, 2005
- 21) A.D.C.N, S.sup.307, « Ligne de Saint Brieuc à Plouha, Viaduc sur le Gouët », 1903.3.31 コート・デュ・ノール県のアーカイブには、Sシリーズにて軽便鉄道網に関する当時の資料が保存されている。本稿ではA.D.C.N(Archives Départementals des Côtes-du-Nord)と表記する。
- 22) *Le Viaduc de Toupin*, L'association pour la mémoire et la Notoriété de Luis Harel de la Noë, p.8, 2004
- 23) Jean-Loïc Heurtier et Louis Jourdan: *20 promenades autour des ponts du Petit Train*, Association des Chemin de Fer des Côtes-du-Nord, 1999.
- 24) L'association pour la mémoire et la notoriété de Louis Harel de la Noë: *Le viaduc de caroual et son environnement*, AMENO-HAREL, 2006
- 25) A.D.C.N, S.sup.438, « Viaduc Erquy, Travée de 12m, Bétonnage de Tirants » 本図面には作成日が記入されていない。添付されている資料の日付から、1919年に作成されたものと推定される。
- 26) L'association pour la Mémoire et la Notoriété de Louis Harel de la Noë: *La ligne de Sables (d'Or-les-Pins à Saint-Cast Le viaduc de Port-nieux*, p.12 AMENO-HAREL, 2007
- 27) A.D.C.N, S.sup.438, Viaduc d'Erquy, Divers, Lettre d'Harel de laNoë, 30 janvier 1915. この他、現場監督と思われる人物に徴兵の知らせが届いたことを記したメモ書きも見られる(A.D.C.N, S.sup.438, Viaduc d'Erquy, Divers, Lettre d'Harel de laNoë, 10 février 1915)。
- 28) A.D.C.N, S.sup.438, « Viaduc Erquy, Travée de 12m, Bétonnage de Tirants »
- 29) L'association pour la Mémoire et la Notoriété de Louis Harel de la Noë: *Ville de Saint-Brieuc Le viaduc de Toupin*, AMENO-HAREL, 2004
- 30) A.D.C.N, S.sup.307, « Ligne de Saint-Brieuc à Plouha », 1903
- 31) 前掲 20), p.48