

# 明治期の英国人鉄道技師 C.A.W.Pownall による 鉄道橋の設計に関する資料の紹介 — 旧揖斐川橋梁に着目して —

豊永 早織<sup>1</sup>・崔 静妍<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 非会員 (株)文化財保存計画協会 (〒101-0003 東京都千代田区一ツ橋 2-5-5)

E-mail: toyonaga@b-hozon.co.jp

<sup>2</sup> 正会員 同上

E-mail: choi@b-hozon.co.jp

本稿は、明治時代に架設された東海道線の鉄道橋などを設計した、英国人鉄道技師の C.A.W.Pownall について、本人が執筆したと考えられる日本の鉄道橋の設計に関する資料を翻訳・紹介したものである。

鉄道橋の技術的な事柄に関する資料がほとんど残っていない中、当該資料には、これまで資料の不足から明らかになってこなかった各鉄道橋の設計やその意図、そして鉄道橋の標準設計が盛んに用いられた背景などが語られている。

また、河川や地盤の条件に大きく左右される鉄道橋の設計を、日本の土地になじみの薄い外国人が設計するにあたり試行錯誤が繰り返されたようで、そのような実態が垣間見える点も興味深く、本資料は有用な情報が多く価値が高い基礎的資料であると評価できる。

**Key Words:** C.A.W. Pownall, railway bridge, Meiji period, foreign engineers, Ibigawa bridge

## 1. はじめに

### (1) 研究背景—旧揖斐川橋梁について

岐阜県大垣市に位置する旧揖斐川橋梁は、明治 22 年 (1889 年) に開通した東海道線の鉄道橋として建設され、現在は歩道橋として使われている。転用時にもほとんど改造が行われず当時の姿をきわめてよく残しており、また東海道線の鉄道橋遺構のうち唯一原位置に残っていることから価値が認められ、平成 20 年には国の重要文化財に指定された<sup>1)</sup>。平成 26 年からは調査工事、平成 28 年からは塗装の塗替えを中心とした保存修理工事が行われた。

旧揖斐川橋梁は 200ft ダブルワーレントラス 5 連で構成されている。これは東海道線の建設時に、揖斐川・長良川・木曾川などの大河川に架橋するために新たに設計されたもので、それまでの最大桁であった 100ft ポニーワーレントラスの 2 倍強のスパンを持つ大規模なトラスの形式である。明治時代中期にかけて日本で建設されたこれらの鉄道橋は、イギリスをはじめとした外国で製作され、設計も外国人鉄道技師、いわゆるお雇い外国人によるものとなっている<sup>2)</sup> (表-1 参照)。

### (2) 本研究の位置付け

#### —明治期の鉄道橋設計に関する資料の現状

旧揖斐川橋梁をはじめとした東海道線の鉄道橋は、英国人技師である C.A.W.Pownall によって設計されたことが明らかとなっている<sup>2)</sup>。しかし、当時の資料は乏しく、その設計内容などがわかる資料は極めて少ない。

当時の鉄道橋の歴史を示す基礎的資料としてよく知られているものには久保田敬一の論文『本邦鉄道橋ノ沿革ニ就テ』<sup>3)4)5)</sup> (以下『本邦』, 1934 年) があるが、この資料すらも久保田が

「橋梁ニ關スル沿革ヲ詳細ニ知ルハ難事ノ難事ニシテ殆ンド調査スルニ途ナキモノ尠カラズ、然レドモ當時ヲ距ル僅カニ 60 年ニ過ギザル今日ニ在リテハ明治初年以來自ラ鐵道建設ニ従事セラレタル諸先輩ノ談ヲ親シク聞キ得ルノ便アリ以テ記録ノ缺失ヲ補ヒ或ハ記録ニ於テハ求メ得ベカラザルノ詳細事ヲ知り得ベキヲ以テ本邦ニ於ケル鐵道橋梁ノ沿革ヲ調査スルニハ泡ニ逸シ難手時機ナリトス」

としていることから、現在の研究の助けになる部分は多くとも、あくまで二次的な資料であると評価せざるを得ない。また、

表-1 今回発見した資料とイギリス人技師の一覧（筆者作成）

| 名前                              | 来日時期                  | 今回発見した資料                                                                                                                                       |
|---------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Richard Vicars Boyle            | 1872（明治5）～1877（明治10）  | ①"THE ROKUGO RIVER BRIDGE AND FOUNDATIONS ON THE TOKIO-YOKOHAMA RAILWAY, JAPAN. (INCLUDING APPENDIX AND PLATE AT BACK OF VOLUME) ",1882        |
| William Fumiss Potter           | 1874（明治7）～1877（明治10）  | ②"RAILWAY WORK IN JAPAN (INCLUDING PLATE AT BACK OF VOLUME) ",1879（すでに日本語に翻訳・紹介されている <sup>9)</sup> ）                                           |
| Thomas Robert Shervinton        | 1873（明治6）～1881（明治14）  |                                                                                                                                                |
| Charles Asheton Whately Pownall | 1882（明治15）～1896（明治29） | ③"Government railways of Japan; bridges recently built, with a note on the economy of spans",1887<br>④"THE USUI MOUNTAIN RAILWAY, JAPAN.",1895 |

「技術ニ關スルモノニ至テハ當初外國人ノ獨斷專行ニヨリタルモノ多ク邦人ニシテ其ノ事ニ與リシモノモ尠シトセズト雖モ全般ニ互リテ悉知セルモノハ未ダ之レアラズ、其殘シタル記録モナキニ非ザリント思ハルハ、モ或ハ祝融ノ禍ニ罹リテ消滅シ或ハ管理轉換ノ間ニ逸散シテ今日ニ傳ハラズ」

ともしており、鉄道橋の技術的な事柄に関する資料は国鉄には残っていなかったことから、現在も少なくとも日本には残されていないと考えられる。

しかし、当時来日していた外国人鉄道技師に関する資料の調査を行うことで、明治期の鉄道橋の設計について新たな情報が得られる可能性がある。

そこで、旧揖斐川橋梁を設計した Pownall を中心に、イギリス人鉄道技師に着目し、彼らが所属したと考えられる ICE (Institution of Civil Engineers, イギリス土木学会) のアーカイブ<sup>6)</sup>内で調査を行った。その結果、彼らが日本の鉄道橋に関して執筆した論文等の資料がいくつか発見された（表-1 参照）。

今回はその中でも、旧揖斐川橋梁を含む6つの鉄道橋について言及した Pownall の論文”Government Railways in Japan; Bridges recently built. With a note on the economy of spans of various dimensions.”<sup>7)</sup>（以下”Bridges recently built”）について紹介したい。この論文は ICE の機関誌に掲載されていない（後述）ためか、これまで日本の土木史研究でほとんど取り上げられていない<sup>8)</sup>。

なお本稿では、論文の内容に関しては筆者が翻訳したものを掲載している。専門的知識の不足等から、誤訳の恐れもあるが、論文の全貌と、その翻訳文に関しては今後発刊される旧揖斐川橋梁の修理工事報告書内で公開するため、そちらを参照のうえ叱正を願いたい。

## 2. “Bridges recently built”の概要

### (1) 書誌情報

本論文は ICE Library<sup>6)</sup>（イギリス土木学会図書館）に所蔵されており、表-2 のものを含む。

本体となるのが表-2 の①および②に記述される論文と

なっている。①、②の論文自体は同じ内容だが、②のみ末尾に、1891年1月28日に James Forrest (ICE 関係者と思われる) に宛てた手紙が添えられている。

この手紙の内容は、1887年の夏に ICE に提出された本論文に記された内容が、直近の大地震による被害の復興に役立つと考え、何かしらの形で再利用したいという旨の申し出である。この「大地震」とはおそらく 1891年に発生し、論文内でも紹介される長良川橋梁などにも甚大な被害をもたらした、濃尾震災を指すと考えられるため、この手紙の日付は 1892年の誤りであると推察できる。なお、この後 Pownall と Forrest の間にどのようなやり取りがあり、また Pownall がこの論文をどのように用いたかは明らかになっていない。

また、論文の末尾には、2枚の図面、2枚の写真、2つの図が添付してある旨が記述されていること、およびその内容からも表-2 の⑥（表 9 枚）については本来この論文に付属するものではないと考えられる。

表-2 論文の付属資料一覧（筆者作成）

|   |          |                                                      |
|---|----------|------------------------------------------------------|
| ① | 手書きの論文本体 | (図-1 参照)                                             |
| ② | 活字化された写本 | (巻末に手書きにはない手紙の内容などを含む)                               |
| ③ | 写真2枚     | "NAGARA GENERAL VIEW" (図-2 参照)                       |
|   |          | "NAGARA PIER No.4" (図-3 参照)                          |
| ④ | 図面2枚     | "DRAWING No.1" (6つの橋梁の側面図)                           |
|   |          | "DRAWING No.2" (図-4 参照)                              |
| ⑤ | グラフ2枚    | "No.1 DIAGRAM" (図-13 参照)                             |
|   |          | "No.2 DIAGRAM" (図-14 参照)                             |
| ⑥ | 表 9 枚    | (論文と直接は関係なく、混入したものか。神戸―大津間に関するものが5枚、東京―横浜間に関するものが4枚) |

### (2) 論文の構成

論文の構成とその内容をまとめたものが表-3 である。最初に論文執筆の背景や目的などを述べたあと、戸田（現在の荒川）・利根・揖斐・長良・木曾・枇杷島の6つについて、それぞれが鉄道橋の各型式の代表例であるとし、その詳細を記述している。

各橋梁において共通で説明しているのが、橋の立地、川の条件、採用した橋の形式と長さ、完成年度、費用、

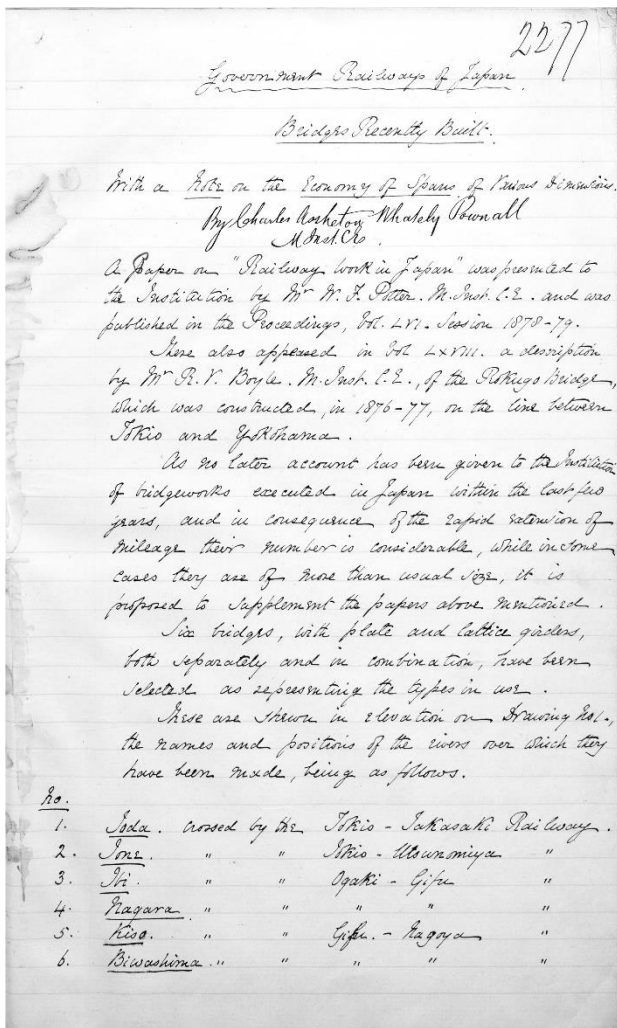


図-1 手書きの論文1ページ目 (表-2の①)



図-2 長良川橋梁の全景を示す写真 (表-2の③)



図-3 長良川橋梁の橋脚を詳細に示す写真 (表-2の③)

強度試験の結果などの仕様である。その他各橋梁にて特筆すべき点 (表-3 参照) については、それぞれ重点的に記述されている。

各橋梁について述べた後には、” NOTE ON THE ECONOMY OF THE VARIOUS SPANS” (各スパンの経済性に関するメモ) が続く。ここでは、経済性の観点からの橋梁の設計方法に関して述べられている (詳細は後述する)。

表-3 論文の構成 (筆者作成、○は本稿で取り上げたもの)

| (序論)              | ・既往の論文について<br>・背景, 目的, 対象                                                                    | ○<br>○           |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 戸田                | ・上部工 (100ft トラス) の設計について<br>・橋脚, 基礎の詳細<br>・プレートガーダー部の詳細 (上部工・下部工)                            | ○<br>○           |
| 利根                | ・上部工, 下部工の形式<br>・上部工 (200ft トラス) の標準設計について                                                   | ○<br>○           |
| 揖斐                | ・下部工の工事にて使用した機械について (性能の紹介も含む)<br>・機械の稼働に使用した蒸気ウインチについて<br>・足場の設置と組立工事の方法 (使用したクレーンなどの紹介も含む) | ○<br>○<br>○      |
| 長良                | ・下部工 (鉄製桁) の工事, 設計について (写真2枚と, 詳細図面1枚を含む)                                                    |                  |
| 枇杷島               | ・上部工 (プレートガーダー), 下部工について                                                                     |                  |
| 経済性に<br>関する<br>メモ | ・標準設計について<br>・プレートガーダー, トラスの仕様と重量との関係<br>・南オーストラリアとの比較<br>・コスト (経済性) について, 算出方法              | ○<br>○<br>○<br>○ |

### (3) 論文の背景・目的

Pownall は執筆の意図として、次の旨を記している。

「『日本における鉄道事業』に関する論文が W.F. Potter 氏 (M.Inst.C.E.) により学会にて発表され、『Proceedings Vol.LVI』<sup>10)</sup>に掲載された。

また、『Proceedings Vol.LXVIII』<sup>11)</sup>には M.R.V. Boyle 氏 (M.Inst.C.E.) による、1876-77 年に東京-横浜間に架けられた六郷橋に関する論述も掲載されている。

ここ数年に日本で建設された橋梁については、まだ学会で報告されていないが、鉄道路線距離が急速に伸びているため、その数はかなり多く、またものによっては通常よりも規模が大きくなっているため、本稿にて上記の論文に補足したい。」

なお、ここで出てくる『Proceedings』とは”The Proceedings of the Institution of Civil Engineers”すなわち土木学会の機関誌を指すと考えられ、これらはすべて ICE のアーカイブにて公開されている。上記の Potter の論文が表-1 の②、Boyle の論文が表-1 の①である (ただし会員のみ閲覧

可) . しかし、この“Bridges recently built”は“Proceedings”には掲載されていない。論文の番号が振られ、ICE のアーカイブに収められていることから提出されたことは確かであろうが、どこでどのように発表されたかは明らかでない。

以降は特筆すべき詳細の内容について述べる。

### 3. 旧揖斐川橋梁に関連する内容

#### (1) 200ft ダブルワーレントラスの設計について

論文内では、上部工についてそれぞれプレートガーダー、100ft トラス、200ft トラス (200ft ダブルワーレントラス) について記述がある (表-5 参照) . 中でも設計について詳しく書いてあるのが、Pownall が設計したとされている 200ft ダブルワーレントラス<sup>12)</sup>で、特に利根川の上部工に関する記述の中で説明されている。内容は以下の通りとなっている。

「河道の上には、長さ 208ft 10in(支間長 199ft 4in)のラチス桁の3連が使用された。これらの図面は日本で作成され、英国に送られた。

[訳注：この論文では一貫して「ラチス桁」(lattice girder) という語が用いられているが、トラスのことを指すと考えられる。]

設計は、顧問技師の T. R. Shervington 氏 (M.Inst.C.E.) が検討し、細部を修正した後、彼の監督のもと、Patent Shaft & Axletree Company によって製作された。DRAWING No.2 Fig.1 はこの桁の立面図、Fig.2 は断面図である。

フランジからフランジまでの高さは 19ft 6in で、ブレースは 45 度の角度の単純な三角形である。フランジの幅は 3ft で、桁は斜めのブレースで上部が連結され、上弦材の端には丈夫な板状の鉄のプレートが挿入されている。

主桁の芯々間の距離は 16ft 2in で、この幅員は複数両の機関車の負荷を運ぶように設計されており、最初に送られたものは、製造者によって出荷前にその程度の検査が行われた。

このため、部材は 4in ほどずつに分割され、受け取り後、担当の日本人技師が工事のために巧みに建てた足場を用いて、橋脚の上に組み立てられた。

横桁は下弦材の上に芯々が 8ft 8in の間隔で配置され、間には縦桁が敷かれている。(中略)

すべての桁は鑄鉄製の床板の上に乗っており、一方の端は砲金製の板の上であり、鑄鉄製板の平滑面上を自由に動けるようになっている。この地方の気候では、冬の寒さと夏の暑さの間で膨張するのは長さ 100ft あたり

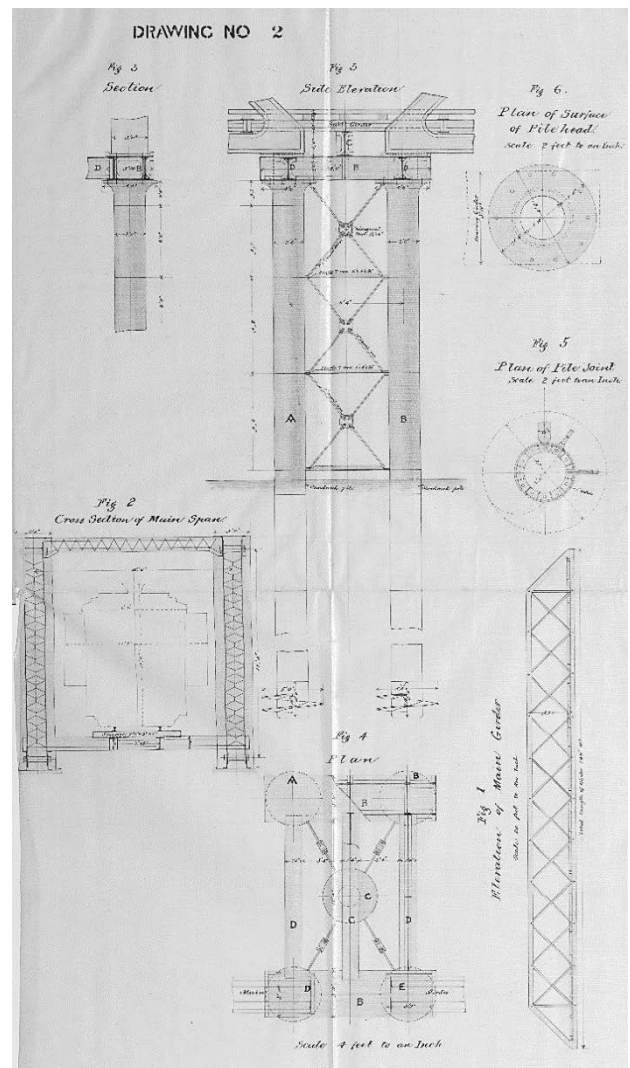


図-4 “DRAWING No.2” 全体図 (表-2の④)

2/3in であることが実験によって確認されたため、桁の自由端をローラーに乗せる必要はないと判断された。」

まず、200ft ダブルワーレントラスの設計については『本邦』にも詳しく、また表4に示すような図面資料 (標準設計図・実例の記録図面) も残っている。これらと照らし合わせても、同じ寸法が記されていることが確認できた (図-5, 6 参照) .

なお些末な差異ではあるが、『本邦』では「冬夏ノ間温度ノ差68度ニ對シ100間ニ32分ノ21吋ノ伸張ヲ測定セリ」

としており、“Bridges recently built”では単純に 2/3 となっていることから、数値が簡単にされていることがわかる。

設計を Pownall が行った後、すでにイギリスに帰国していた Shervington がそれを審査・修正し、イギリス国内の工場 (Patent Shaft & Axletree Company) で部材が製作されたことについても、『本邦』をはじめ後世の様々な論文で指摘されている。なお旧揖斐川橋梁にも、ピンの鞅管に「PS&A Co 1885」といった刻印がある (図-7 参照) .

表-4 200ftダブルワーレントラス橋 図面資料の一覧 (網掛けは鍊鉄製のもの, 筆者作成)

| タイトル<br>(図面に書かれているもの)                                                                                                   | タイトル<br>(出典内で付けられたもの)                            | 内容                      | 出典                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| I.G.R. GIRDERS FOR 200FT SPANS<br>DRAWING No.1 (図-6)<br>※I.G.R.=Imperial Government Railways=<br>(内閣直属) 鉄道局 (1885-1890) | 二百呎鍊鐵単線構桁                                        | 標準図 (200ft・鍊)           | 久保田敬一『本邦鉄道橋ノ沿革ニ就テ』<br>附属図面第21圖            |
|                                                                                                                         | 東海道線大井川橋梁／ラチスガーダー<br>／径間二百呎十六連 (第一図)             | 類例 (200ft・鋼)            | 鉄道工事設計参考図面 <sup>15)</sup> 第二図<br>橋梁之部 第一回 |
|                                                                                                                         | 東海道線大井川橋梁／ラチスガーダー<br>／径間二百呎十六連 (第二図)             | 類例 (200ft・鋼)            |                                           |
| BRIDGE WORK 100 FT. SPAN /<br>BRIDGE WORK 200 FT. SPAN                                                                  | 百呎及二百呎ガーダー                                       | 標準図 (100ft・<br>200ft・鋼) | 第二十図                                      |
| N.R.C. TOKIO & UTSUNOMIYA<br>SECTION TONEGAWA BRIDGE.<br>／No.1                                                          | 日本鉄道会社線 利根川橋梁 (No.1) /<br>径間百九十九呎三連 径間九十四呎九<br>連 | 事例 (200ft・鍊)            | 鉄道工事設計参考図面<br>橋梁之部 第五回                    |
| N.R.C. TOKIO & UTSUNOMIYA<br>SECTION TONEGAWA BRIDGE.<br>／No.2                                                          | 日本鉄道会社線 利根川橋梁 (No.2) /<br>径間百九十九呎三連 径間九十四呎九<br>連 | 事例 (200ft・鍊)            | 第二図<br>(図 8 参<br>照)                       |
| 200 FT STEEL GIRDER.                                                                                                    | 鋼鉄製径間二百呎ワーレン形鉄桁定規                                | 標準図 (200ft・鋼)           | 鉄道工事設計参考図面<br>定規之部 第七回                    |
| 200 FT STEEL GIRDER.                                                                                                    | 鋼鉄製径間二百呎ワーレン形鉄桁定規                                | 標準図 (200ft・鋼)           |                                           |
|                                                                                                                         | 鋼鉄製径間二百呎ワーレン形鉄桁定規                                | 標準図 (200ft・鋼)           |                                           |
|                                                                                                                         | 鋼鉄製径間二百呎ワーレン形鉄桁定規                                | 標準図 (200ft・鋼)           |                                           |
|                                                                                                                         | 鋼鉄製径間二百呎ワーレン形鉄桁定規<br>分解図                         | 標準図 (200ft・鋼)           |                                           |
| KAMITONEGAWA BRIDGE.<br>(KIRIU & MAEBASHI SECTION.)                                                                     | 日本鉄道 利根川橋梁／径間二百呎二<br>連 径間七十呎三連                   | 事例 (200ft・鋼)            | 鉄道工事設計参考図面<br>橋梁之部 第八回                    |
| KAMITONEGAWA BRIDGE.<br>(KIRIU & MAEBASHI SECTION.)                                                                     | 日本鉄道 利根川橋梁／径間二百呎二<br>連 径間七十呎三連                   | 事例 (200ft・鋼)            | 第十七図                                      |
|                                                                                                                         | 各種版鉄桁支端装整明細図 其一                                  | 標準図 (鋼)                 | 鉄道工事設計参考図面<br>雑之部 第十二回                    |

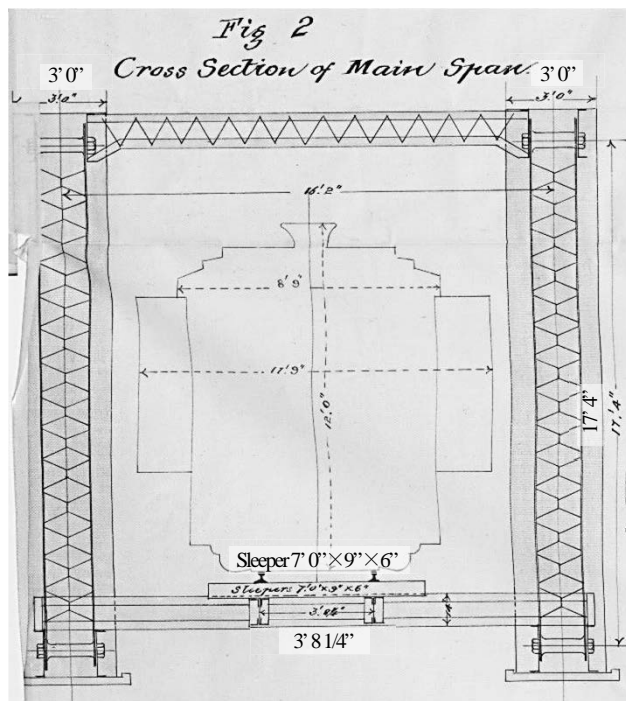


図-5 “DRAWING No. 2 Fig. 2” 拡大  
(表-2の④, 筆者加筆)

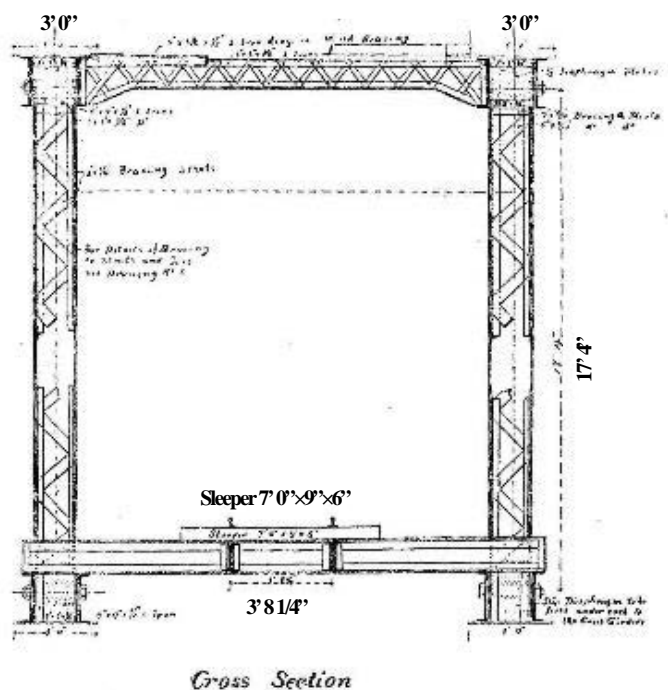


図-6 “I. G. R. GIRDERS FOR 200FT SPANS DRAWING No. 1”  
(鍊鉄製 200ft トラスの標準設計図面, 筆者加筆)

表-5 各橋梁の形式・情報（記述及び図面の内容より判断、？の付くものは明記されていないため推定、筆者作成）

|     | 上部工形式                        | 下部工形式 <sup>14)</sup> |                | 年代     |         | 費用（当時の価格）               |
|-----|------------------------------|----------------------|----------------|--------|---------|-------------------------|
|     |                              | 橋脚                   | 基礎             | 着工     | 完成      |                         |
| 戸田  | 100ft トラス（4連）                | 煉瓦造アーチ               | 煉瓦造井筒（直径 12ft） | 1883   | 1885/2  | 191,647 円<br>（£ 33,000） |
|     | 50ft プレートガーダー（北 10 連，南 38 連） | 煉瓦造円形？               |                |        |         |                         |
| 利根  | 200ft トラス（3連）                | 煉瓦造アーチ？              | 煉瓦造井筒（直径 12ft） | 1885/6 | （1886）  | 220,000 円<br>（£ 37,000） |
|     | 100ft トラス（北 6 連，南 3 連）       | —                    |                |        |         |                         |
| 揖斐  | 200ft トラス（5連）                | 煉瓦造アーチ               | 煉瓦造井筒（直径 12ft） | —      | 1886/12 | —                       |
| 長良  | 200ft トラス（5連）                | 鑄鉄管柱                 |                | 1886/1 | 1886/12 | —                       |
|     | 100ft トラス（両端 2 連）            |                      |                |        |         |                         |
| 木曾  | 200ft トラス（9連）                | 石造                   | 煉瓦造井筒（直径 12ft） | 1886/3 | 1887/4  | —                       |
|     | 70ft プレートガーダー（両端 2 連）        | —                    | —              |        |         |                         |
| 枇杷島 | 70ft プレートガーダー                | 煉瓦造円形？               | 煉瓦造            | —      | —       | —                       |



図-7 旧揖斐川橋梁のピン靴管の刻印（筆者撮影）

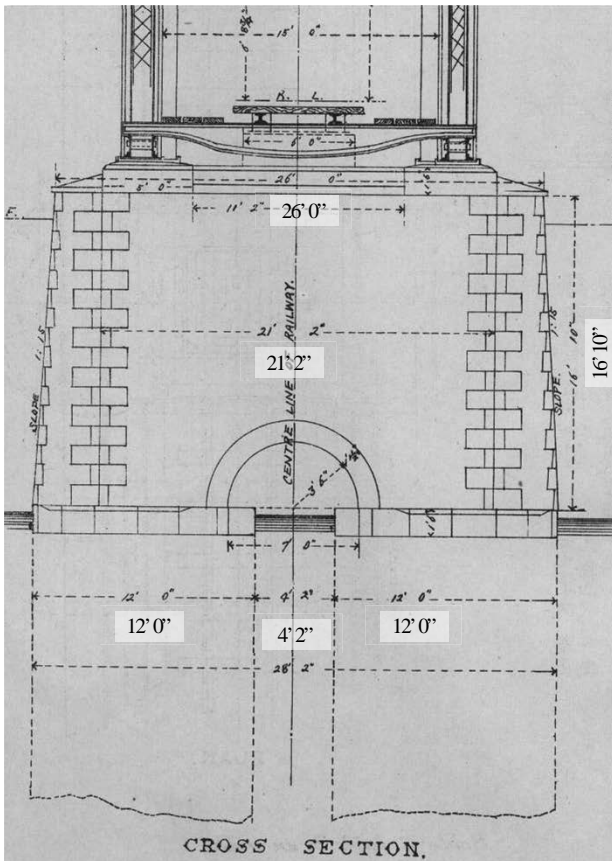


図-8 利根川下部工の図面（筆者加筆）

## (2) 煉瓦造下部工の設計について

下部工の設計に関しては、まず煉瓦造のものは戸田と利根についてそれぞれ簡単に寸法を示している。記述はそれぞれ以下の内容であった。

### 戸田

「橋脚は、底辺で 7ft、桁の下で 6ft の厚さのものである。将来的な複線化にも十分に対応できる幅となっている。

これらの各橋脚を支える直径 12ft のレンガ造の井筒 2 本が 19ft 間隔で配置され、20ft スパンの半円アーチで連結されている。アーチの最下部、つまり井筒の上部は 2in の錬鉄製の棒で結ばれている。

橋脚の幅は井筒に接続する箇所ですら 38ft、そこからの高さは 22ft で、これは主桁の底が既知の最高洪水水位より 4ft 高い位置にある。（中略）

（プレートガーダーを）支える橋脚は、幅 12ft、厚さ 4ft 10.5in、高さは平均約 10ft で、原則としてコンクリートの層の上に下から建設されたが、場合によっては木製の杭が必要だった。」

### 利根

「戸田と同様に井筒を埋め込み、橋脚を築いた。しかし、複線化の可能性はより低かったので、橋脚は単線に十分な幅にしか作られなかった。

井筒の間隔は 4ft 2in で、その上に幅が下部で 26ft、上部で 21ft、高さ約 18ft の橋脚を設置した。

井筒の深さは最大で 69ft だった。（中略）

（上部工の）幅を確保するために、橋脚は 100ft 桁のものと同様であったが、厚さは 10ft に増加された。」

表-4 にも示す通り、このうち利根川橋梁は『鉄道工事設計参考図面 橋梁之部 第五回』<sup>15)</sup>に図面があるため、これと寸法を比較すると（図-8 参照）、橋脚の高さが約 18ft（Pownall）と 16' 10"（図-8）で異なる数値を示すが、Pownall は「約 18ft」（about 18ft）と記述してお

り、誤差の範囲内といえる。このようにわずかに差異はあるものの、概ね違いはないことが確認できた。

### (3) 旧揖斐川橋梁の下部工の施工について

旧揖斐川橋梁の下部工も先述した戸田・利根と同様に煉瓦造であるが、その記述内では設計よりも施工について詳細に説明してある。

まず、前提条件として、揖斐の設計の経緯については以下の旨が記してある。

「この川は、東京と京都の間の別の場所にある。架橋地点の水路の幅は830ftであった。

しかし1860年に記録された洪水で最大水深は20ftにもなり、この川は非常に危険と見なされたため、東側の堤防をさらに200ft後退させるという処置が取られたのである。

このため、総幅は1000ft以上となり、また洪水に対して障害となる橋脚と基礎の数を最小限にするため、利根川で使用されているような長大なスパンが5連採用された。

そのため、上部工はこれまで説明したものと同じであるが、井筒が持ち上がってできた円形の橋脚と、それらを繋げるアーチとその上の壁によって、異なる外観を呈している。

純径間は202ftである。」

下部工の形状について利根と比較すると、揖斐はアーチの上部がへこんでいることがわかる。(図9～11参照、なお図11は、利根は図8の平面図(90度回転)、揖斐は濃尾震災の被害を示す『震災予防調査会報告第1号』<sup>14)</sup>よりそれぞれ抜粋した。)

このような特殊な形状の下部工にした理由としては、揖斐川に洪水の危険性があり、なるべく橋脚の阻害率を小さくしたかったためと推察できる。

また、明治期の鉄道橋下部工については小西純一氏の『明治時代における鉄道橋梁下部工 序説』<sup>15)</sup>に詳しく、各橋梁の綿密な調査により橋脚・基礎の形式が整理されている。小西氏によれば、旧揖斐川橋梁の橋脚の形状をもつ橋梁にはほかに六郷川橋梁(1877年)があるが、上部工が200ftのトラスのものとしては旧揖斐川橋梁が唯一となる。なお六郷川橋梁の上部工は現在博物館明治村に移築されているが、その建設当時の下部工は現存していない。

また、利根(図8)と揖斐(図10)に共通して、アーチにて橋脚が連結されているが、このような形式についても200ft桁では揖斐、利根のほかには木曾川橋梁のみであり、「以後は楕円形井筒に載る小判型が多い」と指摘している。



図-9 旧揖斐川橋梁の下部工 (塗替工事前に筆者撮影)

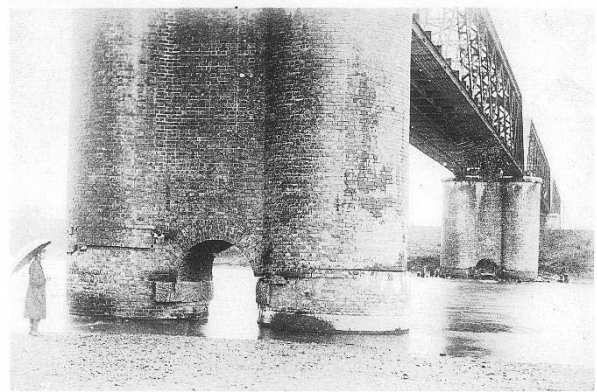


図-10 濃尾震災後の下部工 (比企忠旧蔵『濃尾震災地写真』<sup>16)</sup>より)

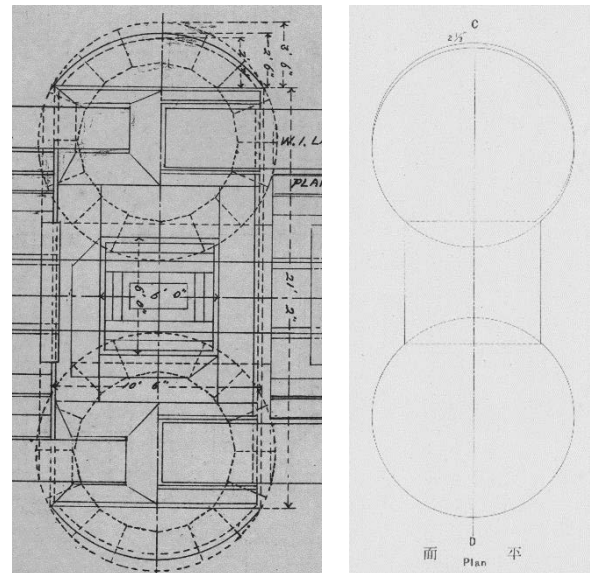


図-11 下部工の形状比較 (左:利根, 右:揖斐)

なお旧揖斐川橋梁の下部工には1891年(明治24年)の濃尾震災後に煉瓦の積み直しやアーチ部の補強<sup>17)</sup>、昭和45年にはコンクリートの巻き立て補強が行われており、当時から少し姿を変えている。

次に、工事の内容としては以下の旨が記してある。

「基礎工事は非常に難航した。まずスクリーパイルが試されたが、最初の杭を打ってみると、ボーリングの結果は誤りで、固い地盤があるのは地表から30ftのところではなく、その2倍以上の深さであることがわかった。そのため、レンガ製井筒に変更して、さらに70ft以上の深さまで掘ることになった。

井筒の設置のための掘削には、以前の現場のために備えられていた Bull の浚渫機、Milroy の掘削機、Kennard のサンドポンプが使用された。また、『Proceedings Vol.XLVII』で紹介されている Gatwell の掘削機も使用され、素晴らしい働きをしてくれた。

様々な種類の浚渫船が試されたが、深く進むにつれて、これらは断念された。

Bull の浚渫機の性能は軟弱地盤では満足できるものであったが、井筒の底のように平らで硬い地盤には貫通せず、表面を削った後は空回りしてしまう。泥や砂には非常によく機能し、自重の5分の1ほどを持ち上げることができた。

Milroy の掘削機は、他の道具にない切断力を持つが、重量があり、扱いにくい。Gatwell は、Bull の浚渫機を反転させたもので、パンが背中合わせになっているため、土に食い込むエッジがある。パンの間に研いだレールを入れることで、パンが落ちるときの衝撃を緩和し、同時に浸透力を高めた。この道具によって、自重の約5分の1の砂泥が持ち上げられた。

[訳注：上の段落は用語が頻出し、訳の精度が低いので以下に原文を併記する。

*Milroy's excavator has the cutting power which the other tool lacks, but is of such great weight that it is awkward to handle. The Gatwell, which is a Bull's dredger reversed, the pans being back-to-back, has an edge to dig into the earth, and this was helped by putting a sharpened rail between the pans, which relieved them from the jar on falling, and at the same time increased the penetration. ]*

Kennard のサンドポンプは、その名の由来ともなった砂に対して非常によく働き、毎回自重のほぼ半分の重さの砂が上がってきた。

掘ることのできる土の重さと機械の重さの比率は重要で、低すぎると労力に対してあまり成果がないことになる。

様々な地層を通過する必要があったため、上記の道具が様々な種類の地盤で行った作業を比較する良い機会になった。

井筒の中からこれらの機械を引き上げる際には、この川と長良川の技術者であった K. Hosegood 氏 (Assoc.M.Inst.C.E.) が工夫を凝らした。各橋脚に蒸気ウインチを置き、そこに岸の定置機関からパイプを通じて川を

渡ってきた蒸気を供給するのである。この方法は、時間と労力を大幅に節約できることがわかった。

この橋のレンガ造の井筒は、1886年1月に着工し、翌年の秋に完成した。10月末には、高さ27ftの第一橋脚が完成し、橋桁を受ける準備が整った。」

このように下部工の工事内容について詳細に記述されているが、これらは『本邦』をはじめとした基礎資料ではほとんど触れられてこなかったものである。なお『鉄道工事設計参考図面 橋梁之部 第八回』<sup>19)</sup>には Bull の浚渫機と Gatwell の掘削機 (“GATMELL'S EXCAVATOR” と題がついているが、同じものを指すと考えられる) の図が掲載されている。

また、本文中で紹介されている『Proceedings Vol.XLVII』については、どの論文を指すか明らかでないため内容は確認できないが、先述の Potter の論文 (表-1の②) にも

「ウエルの沈下にさいしては、ミルロイ・ウェブおよびバルの浚渫機がすべて試用されたが、バルの浚渫機が他のものより一般によく適合していることがわかった。」といった記述がある。

いずれにせよ、この Pownall の記述は各機械の使用記録や性能を、技師、そして設計者の視点から詳述しており、興味深い。洪水の危険性や地盤の軟弱さといった、揖斐川の厳しい条件下でどのように下部工が設計・施工するのか、試行錯誤のさまがうかがえる。

#### (4) 旧揖斐川橋梁の上部工架設について

揖斐の下部工工事の内容の次には、上部工の架設について以下のような内容が続く。

「この川は特に、突然の大洪水に見舞われる恐れがあるため、利根川で行われていたように橋脚の間に足場を設置してから組立てることは危険であり、足場はリベットで固定される前に桁の下から流されてしまうかもしれない。」

そこで、桁の各部分を連結し、川から離れた場所に組み上げてから、所定の場所まで運ぶことにした。川の土手のふもとの平地に組立場が作られ、そこに様々な部品を運ぶためのダブルガントリーが作られた。

桁を土手の上まで運ぶために、頑丈な車輪と 5ft 3in の軌間を持つ特別な台車が作られた。通常のレールの外側には特別なレールが敷いたため、通常の鉄道の 3ft 6in 軌間に対応したものよりも広い土台となった。

このトロリー4台 (中央の2台は旋回ベアリング付き) に桁を載せて川岸まで運んだ。重量は 50t を超え、底面も細長いため、作業は非常に慎重を要したが、いずれも成功裏に終了した。

川岸に到着した桁は、角材と杭によって固定され、42ft 間隔に敷かれたレールの上を走るゴライアスクレーンに先導されながら前進した。クレーンの高さは 46ft、1 台の耐用荷重は約 80t であった。このクレーンは 4 台使用され、十分な労働力が確保されていた。3 台のクレーンは桁を台車に載せて前進し、前端が橋脚に達したところで 4 台目のクレーンが、桁を鉄道の中心線から側面の位置まで横行させた。

この作業に必要な設備の負担は大きかったが、ブロックとチェーンをイギリスから取り寄せた以外は、すべて日本の鉄道局で設計・製作されたものであり、現在建設中の橋梁に今後も使用することができる。」

上部工の架設については、『本邦』などでも詳しく述べられている。以下は『本邦』のゴライアスクレーンを用いた架設法に関する記述の抜粋である。

「大阪京都間 100 呎鍊鐵わーれん型ノ架設ニハ各構桁ヲ橋外ニ於テ組立テごらいあすくれーん (Goliath Crane) ヲ用ヒテ其位置ニ架設セリ、之ニ用ヒタルごらいあすハ附圖第 7 ニ示ス如シ、此等ニ用ヒタル 4・5 噸ノ扛重機ノ如キハ皆英國ヨリ輸入セル記録アリ、ぼーなるガ揖斐、長良、天龍川等ノ橋梁ヲ設計スルヤ亦同様ノ架設法ヲ用フルニ決シ、之レニ要セル 30 噸ごらいあすヲ神戸工場ニテ、其他ノ扛重機ヲ新橋工場ニ於テ製作セリ、揖斐川ニアリテハ其西端築堤外ノ平地ニ組立場ヲ設ケ此處ニテ各構全部ヲ組立ごらいあすくれーんヲ用ヒテ架設セリ」

上記の『本邦』の記述では、組立が土手のふもとで行われたこと、そしてクレーンが日本で製作された事が示されているが、Pownall の記述ではその意図や背景が明かされている。

#### (5) 長良川橋梁の鑄鉄管橋脚について

旧揖斐川橋梁とは関連しないが、“Bridges recently built”の中で詳しく述べられている長良の鑄鉄管橋脚（スクリーパイル）に関する内容についても簡単に紹介したい。

長良の橋脚については、その寸法や構造など詳しく述べられており、図面（図 4）も付されている。また、揖斐でも当初検討されていたが地盤の条件から断念された鑄鉄管を選定した意図としては、地盤が固く工事が可能であったことと、複数の鑄鉄製の杭で構成される開口式の橋脚により、洪水の被害が軽減される狙いがあったことが記されている。

このように洪水対策のため採用された鑄鉄管橋脚であったが、1891 年の濃尾震災で折損したことが知られている。その後は煉瓦造の基礎と橋脚が新設されたが、現在も長良川には当時の鑄鉄管橋脚の一部と思われるものが



図-12 現在の長良川橋梁のふもとに残る鑄鉄管橋脚の一部  
(2016 年に筆者撮影)

残っている（図 12 参照）。直径は約 76cm で、Pownall の図面（図 4）に記載されている直径 2ft 6in とも整合している。鉄管の断面と、内部に砕石が詰められていた事がよくわかる。鑄鉄管の橋脚で現存しているものはなく、一部分とはいえ遺構として価値が高いといえる。

## 4. 鉄道橋の標準設計に関する内容

先述した通り、Pownall は巻末に経済性の観点から鉄道橋の設計について述べたメモを付している。特に標準設計と、経済性の観点から評価する方法について詳しく記述しており、それぞれ紹介したい。

### (1) 上部工の標準設計の背景

Pownall が鉄道橋（特に 200ft ダブルワーレントラス）の詳細な標準設計を行ったことはよく知られており、『日本国有鉄道百年史 2』<sup>18)</sup>にも

「なお、構桁は従来概略の設計図をイギリスに送り、精密な設計図に仕上げた後、これをもとに製作されていたが、200 フィート構桁では、最初から精密な図面を作成して発注された。また、揖斐川等に用いられた構桁の形状は、以後の 200 フィート構桁の基本となった。」と記されている。

これに対して Pownall の記述では、その背景が以下のように詳述されている。

「以上のような河川を扱う場合、従来はあまり議論されてこなかったが常に解決しなければならない問題、すなわち場所ごとに対応した橋をどう設計するかという問題が付きまとう。しかしとある幅の河川があった場合、すでに決められた標準型の中からどのように適切な橋梁を用意して渡せばよいだろうか？

河川ごとに個別の桁の設計をすることは、設計を遅滞

なく実行できるヨーロッパやアメリカでは一般的だが、製造地から遠く離れた国では不可能である。

日本から英国に送られた設計図によって製作された鉄材は、図面が送られてから12ヶ月から18ヶ月以内に到着することは期待できない。図面の作成に要する時間を加えると、標準型を使用しない限り、川を渡るための橋の製作は注文を受けてから完成するまでに2年近くかかると言えるだろう。

このような大きな遅れを避けるために、手紙や電報で注文すれば、必要な数だけ英国で繰り返し製作できる標準型を採用した。

20ft から70ft までは、10ft 刻みのプレートガーダー、それより大きい100ft や200ft のスパンには、戸田や利根のようなラチス桁となっている。軌間は3ft 6in で、エンジン36t、車軸12t のときひずみは圧縮で4t/in、引張りで5t/in の設計である。主桁は各レールの下に1本ずつ配置され、枕木は上部のフランジの上に直接置かれる。」

すなわち、急速に高まる鉄道橋架設の需要に対応するために考案されたのが、製作を行うイギリスには端的な連絡、例えば「200ft を10連」といった指示を出しさえすれば即座に製作が行われ、鉄道橋の部材が短期間で届くという合理的で効率的なシステムであった。そしてこのために Pownall は詳細な標準設計を作成していたことが明らかとなった。

## (2) 各型式のコストについて

各スパンの標準設計の中から選定を行うための指標の一つに経済性が挙げられる。Pownall は、コストに直結する桁の重量について述べた後、各スパンごとのコストを概算する方法を示している。

記述の内容は以下の通りとなっている。

「Diagram No.1 には、各スパンの重量が、施工図と送付状から引用されている。この図から、内挿法で中間の大きさのものを推定することができ、異なる軌間や荷重に対して補正を加えれば、他の場所で同様の工事を行う際のガイドとなるであろう。

他の多くの国でも、同じような条件下で鉄道橋が建設されている。無駄な経費は掛からないが品質の担保された鉄骨の需要は高く、イギリスから取り寄せなければならない。南オーストラリアはイギリスのメーカーからは遠く離れており、地理的には日本と等距離である。

『Proceedings of the Institution Vol.LVI』<sup>19)</sup> には、南オーストラリア鉄道で採用された標準的な桁の種類が記載されている。軌間は日本と同じだが、エンジンは18 3/4t と軽く、移動荷重は15 cwt/linear ft とされている。レールは主桁の上に同じように敷かれている。60ft のスパンでの重

量は、9t、12 1/2cwt とされている。

これを表中の対応するスパンと比較すると、日本の重量は15 1/4t であることがわかるが、これは日本の場合、エンジンの重量がほぼ2倍であることに起因している。

表中のプレートガーダーからラチス桁への移行で重量が急激に増加しているのは、ラチス桁の縦桁と横桁によるもので、上部空間を確保するために下弦材にて恒久的にとられている方法である。

[訳注：上の段落は用語が頻出し、訳の精度が低いため以下に原文を併記する。

*The sudden rise in the weights on diagram, in passing from plate to lattice, is caused by the rail and cross girders in the latter; the permanent way being taken on the bottom booms in order to save headway.]*

これまでは常に錬鉄が使用されてきたが、長大なスパンでは鋼鉄に置き換えられている。桁の形式は同じだが、上下弦材の断面積を小さくし、重量を減らしている。

Diagram No.2 には、40ft 以上のスパンを持つ様々なタイプのコストがポンド(英貨)で示されている。また、橋脚が流水の障害となる率を水路の大きさと割合によって示しているが、これは日本の川について計画する際には注視しなければならない。スパンが大きくなるにつれて、障害となる割合は下がり、コストは上がる。

後者の見積もりにおいて、これらは変動量であることに気をつけねばならず、この表は実際のコストの近似値としてのみ考慮されるべきものである。しかし、完成した作品の支出額と比較すると、非常に近い値を示すことが分かっている。

費用は2つに分けられ、1つは桁の費用、もう1つは橋脚と基礎の費用とされている。前者については、重量は正確に把握されているが、価格は英国市場によって変動する。鉄骨の価格の根拠となる数値は、1885年から1886年の請求書から引用し、得られた値を図に示した。

橋脚と基礎については、前者は高さを、後者は深さを想定しなければならない。計算の基準となる数字を決め、最初は不確定の状態では始める必要があり、その後、各河川の水準測量やボーリングの結果によって(割合を加減して)確定させる。

すなわち、橋脚は高さ20ft と仮定する。基礎の深さは10ft とする。これはイギリスで通常行われており、また日本では戸田の例のように時々可能な方法で、地表から掘り、その先の溝に敷設することができるようにする方法を取ると仮定したものである。

これは、プレートガーダーの最初の項目となり、それ以降の項目とラチス桁では、スクリュールパイプであれリング造井筒であれ、深さは30ft とされる。

このようにして得られた橋脚と基礎のコストは、別途、

表に示す。

高さや深さが異なる場合は、補正が必要である。それらが増すと、スパンが長くなり、この作業が少なくなるという利点がある。

表の上の方の線は、下の2つの線の合計、つまり工事の総費用になる。プレートガーダーでは1ftあたり7~8ポンド、100ftと200ftのラチス桁では20~21ポンドと、増加することがわかる。

ポッター氏の論文の中の価格表では、単線100ftスパンのコストを1ftあたり約20ポンドとしており、今回の計算もそれを裏付けるものである。

利根の水路の幅と、図の橋脚と基礎の数字を実際の高さと深さで修正した値を用いると、その費用は36,000ポンドとなる。前述したが実際の橋の出費は37,000ポンドである。

見積もりには常にある程度の余裕が必要であることを考えると、この計算方法は十分に正確であると思われる、この方法を信頼してもよいことがわかるだろう。また、使用中の橋の情報も反映すれば、他の国の工事にも適用できると思われる。」

文中に登場する Diagram はそれぞれ以下の内容となっている。

Diagram No.1 (図 13) : タイトルは”DIAGRAM OF WEIGHT OF BRIDGE GIRDERS IN TONS OF SINGLE LINE SPANS”. 縦軸が重さ(単位:t), 横軸が径間(単位:ft)となっている)を示す。

Diagram No.2 (図 14) : タイトルは”DIAGRAM OF BRIDGEWORK Showing Cost of different Kind of Girders and Foundations”. 横軸の各項目は上部工と下部工の形式(例: Double 12' wells 30' deep pier 20' high 199' 4" Lattice Girders)を示し、上には4本の折れ線グラフが描かれている。それぞれの折れ線グラフの内容は、①コストの総額、②橋脚と基礎のコスト、③上部工のコスト、④径間に対する流水への障害の割合(現在の阻害率)である。図 14 右半分のトラスに関する部分のみ数値を抜粋しグラフを作り直したものが図 15 である。

Pownall はグラフを用いて、川の条件(阻害率)を考慮しながらコストを概算し、標準設計の型を選定し計画を行うことを提唱している。下部工については、揖斐の記述にて述べられていたように工事が始まってから計画を変更することも多いだろうが、上部工はスパン(と形式)さえ決定すればイギリスに発注することができるため、効率化の一助となっただろう。

また図 15 を参照すれば、上部工が同じ形式(近い径間)のものとき、鑄鉄管橋脚と煉瓦造井筒とでは総工費も阻害率も鑄鉄管橋脚の方が低く、旧揖斐川橋梁が当初鑄鉄管橋脚で計画されていたこともうなずける。

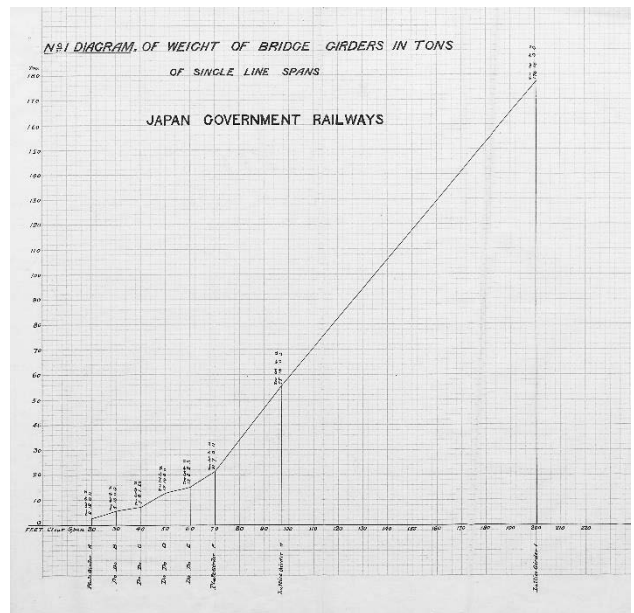


図-13 “No.1 DIAGRAM OF WEIGHT OF BRIDGE GIRDERS IN TONS OF SINGLE LINE SPANS” (表-2の⑤)

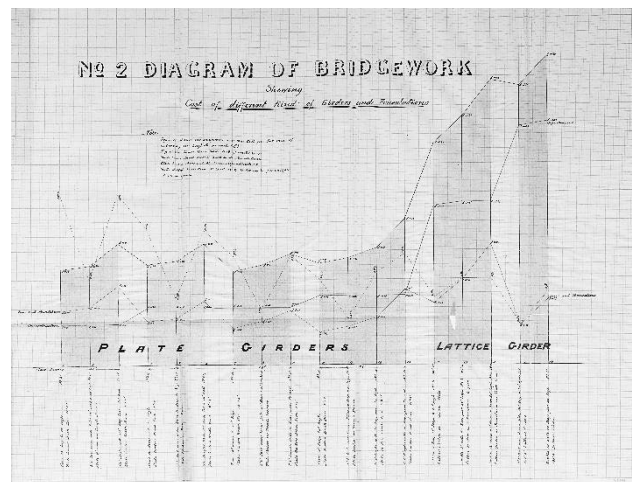


図-14 “No.2 DIAGRAM OF BRIDGEWORK Showing Cost of different Kind of Girders and Foundations” (表-2の⑤)

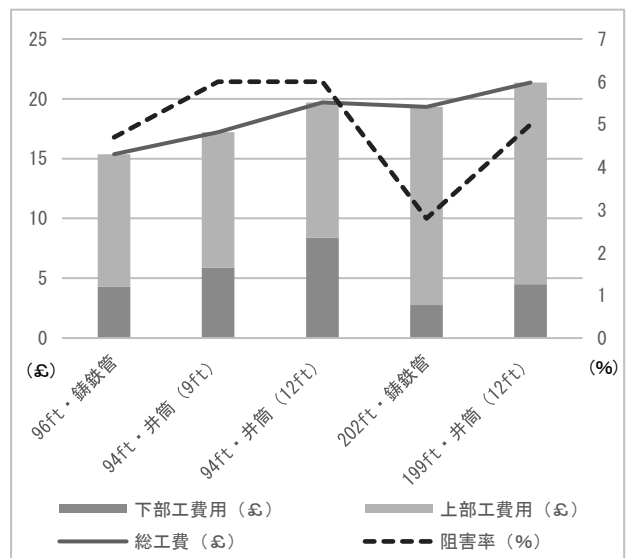


図-15 図-14を再作成したもの(トラスのみ抜粋)  
例) 199ft・井筒 (12ft) = 径間199ftのトラスで下部工は直径12ftの井筒

## 5. おわりに

本稿では明治期の鉄道橋を数多く設計した、イギリス人鉄道技師の C.A.W.Pownall の執筆した論文について紹介した。紙面の都合上、掲載は筆者による翻訳文のみとなり、また筆者らが保存修理工事に携わった旧揖斐川橋梁に関連する事柄の紹介が中心となったが、先述した通り本論文の全文は公開される予定であるため、そちらを参照されたい。

本論文には、これまで資料の不足から明らかになってこなかった各鉄道橋の設計やその意図について、有用といえる情報が多く含まれていた。特に鉄道橋の標準設計が盛んに用いられた背景が語られており、設計者本人の言葉で記された設計思想がわかる資料として価値が高いと評価できる。

鉄道橋の建設、特に下部工の施工に関しては、河川や地盤の条件によるところが大きく、また設計者は日本の土地になじみの薄い外国人であったため、様々な試行錯誤や工夫が繰り返されたものと想像できる。そのような実態が垣間見える点も興味深い。今後もこれらの一次情報の整理を行うことで、橋梁史研究の更なる進展が期待できる。

**謝辞：**本稿は、大垣市より委託された（補）揖斐川橋修復工事監理業務に関連して取りまとめたものである。筆者が ICE のアーカイブで発見した Pownall の論文を、五十畑弘先生が取り寄せてくださったことで本稿をまとめることができた。また、小野田滋先生には本文中で取り扱った Potter の論文の和訳資料を紹介いただいた。坂井田実氏には旧揖斐川橋梁に関して多くをご教授いただいた。末筆ながら深く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 文化庁：建第 2535 号重要文化財指定書，p.35-41，2008
- 2) 小西純一，西野保行，淵上龍雄：わが国における英国系鉄道トラス桁の歴史，土木史研究第 10 号，1990
- 3) 久保田敬一：本邦鉄道橋ノ沿革ニ就テ，土木学会誌，第 3 巻第 1 号，1917
- 4) 久保田敬一：本邦鐵道橋梁ノ沿革ニ就テ，業務研究資料第 22 巻第 2 号，鐵道大臣官房研究所，1934.
- 5) 久保田敬一：本邦鐵道橋ノ沿革ニ就テ，東京帝国大学博士論文，1933
- 6) ICE Library : <https://www.ice.org.uk/engineering-resources/our-services/ice-library/>（閲覧日：2022/4/11）
- 7) Charles Asketon Whately Pownall : Government railways of Japan; bridges recently built, with a note on the economy of spans, ICE, 1887
- 8) 林田治男：鐵道草創期に貢献した絵黒人技術者の経歴，大阪産業大学經濟論集第 5 巻第 3 号，2004（本文中で Pownall の論文としてタイトルが紹介されて

いるが、これ以外に該当論文について触れているものはなかった。）

- 9) ウイリアム・ファーニス・ポッター（訳：原田勝正）：日本における鐵道建設，汎交通第 68 巻第 10 号，1968
- 10) WF POTTER : RAILWAY WORK IN JAPAN (INCLUDING PLATE AT BACK OF VOLUME) , *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Volume 56 Issue 1879, p. 14-23 PART 2,1879,
- 11) R V BOYLE : THE ROKUGO RIVER BRIDGE AND FOUNDATIONS ON THE TOKIO-YOKOHAMA RAILWAY, JAPAN. (INCLUDING APPENDIX AND PLATE AT BACK OF VOLUME)., *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Volume 68 Issue 1882, p. 216-228 PART 2 , 1882
- 12) 小西純一，西野保行，淵上龍雄：明治時代に製作された鐵道トラス橋の歴史と現状（第 1 報）—200 フィートダブルワーレントラス橋を中心として—，第 5 回日本土木史研究発表会論文集，1985
- 13) 内田録雄編輯：鐵道工事設計参考圖面，共益商社書店，1897-1898
- 14) 震災予防調査会：震災予防調査会報告第 1 号（附図），1895-1901
- 15) 小西純一：明治時代における鐵道橋下部工 序説，土木史研究第 15 号，1995
- 16) 土岐憲三：濃尾震災地寫真，1993
- 17) 坂井田実，所哲也，小坂潔彦：旧揖斐川橋梁における濃尾地震後の復旧工事に関する考察，土木史研究講演集 Vol.34，2014
- 18) 日本国有鐵道百年史第 2 巻，1969
- 19) R C PATTERSON : ON THE BEST METHODS OF RAILWAY CONSTRUCTION FOR THE DEVELOPMENT OF NEW COUNTRIES, AS ILLUSTRATED BY THE RAILWAY SYSTEMS OF SOUTH AUSTRALIA (INCLUDING APPENDICES AND PLATES AT BACK OF VOLUME), *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Volume 56 Issue 1879, p. 24-45 PART 2, 1879

(2022.4.18 受付)