

# わが国における橋梁建設技術の近代化の方向づけについて

## —構造比較の視点からの—考察—

五十畑弘<sup>1</sup>・榛澤芳雄<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 正会員 日本鋼管株式会社 総合エンジニアリング事業部 (〒100 東京都千代田区丸の内1-1-2)

<sup>2</sup> 正会員 工博 日本大学教授 理工学部交通土木工学科 (〒274 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

わが国の橋梁建設技術の近代化の方向づけは、明治初年における欧米先進技術に対する在来技術の接し方、その後の導入技術の扱われ方によって決定されたと考えられる。本研究では、明治初期の橋梁建設技術を、明治維新以前の在来技術と比較することによって、わが国の橋梁建設技術の近代化の方向、およびその性格について考察を行った。この結果、構造材料としての鉄材や、鉄道荷重などの条件の下での欧米橋梁技術の先進性の認識、設計思想の変革により、わが国の橋梁建設技術の近代化の方向づけが明らかとなった。

*Key Words: bridges, modern Japan, technology transfer*

### 1. 研究の背景と目的

わが国の橋梁建設技術は、産業近代化の一部として、幕末から明治初年にかけて、欧米先進技術を導入することによって、近代化を開始した。外発的要因により、産業革命が開始されたわが国では、最も初期における欧米先進技術に対する在来技術の接し方、その結果としての導入技術の扱われ方が、近代化の方向と性格を決定した大きな要因のひとつであると考えられる。在来技術の導入技術への影響については、例えば治水技術、水利事業などにおいては、その近代化の過程で、明治維新以前の技術が引き継がれたり<sup>1), 2)</sup>、近代製鉄技術における、土着的伝統技術の影響<sup>3)</sup>などが指摘されている。橋梁の分野では、80年余の鉄橋建設の実績に裏打ちされた欧米の橋梁建設技術が、明治初年に在来技術と接触し、それ以後の近代化の方向を決定づけた。

本研究では、明治初期の橋梁建設技術に着目し、その特徴を在来技術との比較から明らかにすることによって、わが国の橋梁建設技術の近代化の方向づけ、およびその性格について考察をすることを目的とする。

### 2. 研究の位置づけ、対象および方法

#### (1) 研究の位置づけ

わが国における近代橋梁建設技術の発展に関する既往の研究には、大きく分けて二つの流れがある。一つは、欧米からの導入技術による発展過程に関するもので、鉄道橋に関するものとしては、「本邦鉄道橋梁ノ沿革ニ就テ」(久保田敬一, 1934)<sup>4)</sup>、「国鉄トラス橋総覧」(西村俊夫, 1957)などの基礎的なデータを含む論文の他に、最近ではこれらを元とした明治、大正期に建設され、現存する鉄道橋の実態的調査が進んでいる<sup>5)</sup>。道路橋については、「本邦道路橋輯覧」(内務省土木試験所, 大正14)、「本邦道路橋輯覧(増補)」(同, 昭和3)、「本邦道路橋輯覧(第3輯)」(同, 昭和10)、「本邦道路橋輯覧(第4輯)」(昭和14)<sup>6)</sup>などを基礎史料とした調査や、土木学会歴史的鋼橋調査小委員会による網羅的な実態調査<sup>7)</sup>、あるいは、(社)日本橋梁建設協会の調査研究<sup>8)</sup>や、鋼橋技術研究会などによって、橋梁建設技術の発展に関する研究が進められている。もう一つの研究の流れは、橋梁をその設計思想、とくに景観の面から扱ったものであり、主として大正期以降の道路橋を対象とし、それ以前にはない設計思想の新たな傾向に着目して、近代化を把握しようとする

ものである<sup>9)</sup>。

これらの研究は、それぞれの視点から、近代における橋梁建設技術が、どのような経過を経て発展したかを扱うものであり、近代化の方向が決定された以降の発展過程に、その焦点がある。本論文では、明治初期に建設された近代橋梁と、在来橋梁の比較を通じ、欧米技術がどのように受容されたかを考察することによって、近代化が本格的に開始されるまでのわが国における、橋梁建設技術の近代化の方向づけと、その性格について述べる。

## (2) 研究の対象

対象とする時代は、わが国の近代橋梁建設の方向づけが定まった時期である、明治の初年から中頃までとする。研究対象は、主としてこの時期に近代橋梁として建設された道路橋とする。但し、比較対象として、明治維新以前の在来橋梁をとり上げる他、必要に応じて鉄道橋も対象に含める<sup>10)</sup>。

## (3) 研究方法

以下の手順によって研究を行う。

- まず、わが国の明治維新以前の在来橋梁について、主として橋梁構造の面から、その特徴について整理をする。史料としては、「明治以前日本土木史」<sup>11)</sup>、「堤防橋梁組立之図」<sup>12)</sup>、「堤防橋梁積方大概」<sup>13)</sup>などによる。
- 次いで、明治初年に建設された横浜吉田橋など、およびこれ以降、日本人技術者が関与した明治中期までの近代橋梁を事例とし、構造的な特徴について明治維新以前の在来橋梁技術との対比を念頭において明らかにする。
- 明らかにされた在来橋梁、および明治以降の近代橋梁の特徴を比較することによって、在来橋梁技術と導入技術の関係について検討する。この結果をもととして、わが国の橋梁建設技術の近代化の方向づけを明らかにし、その理由について推論を試みる。
- この推論に対して、材料、設計荷重、建設技術者、設計思想などの面から検証を行って、わが国の橋梁建設技術の近代化の性格と姿勢について述べる。

## 3. 明治維新以前の橋梁建設技術の特徴

明治維新以前のわが国の橋梁形式で、最も一般的な形式であったのは、高欄付板橋と呼ばれる木造桁橋である<sup>14)</sup>。土橋と呼ばれる形式も、木桁に敷かれた床板上に床版として土砂が敷き詰められたもので、構造的には同形式である。これ以外の構造形式としては、肱木橋(刎橋)と呼ばれる構造形式があ

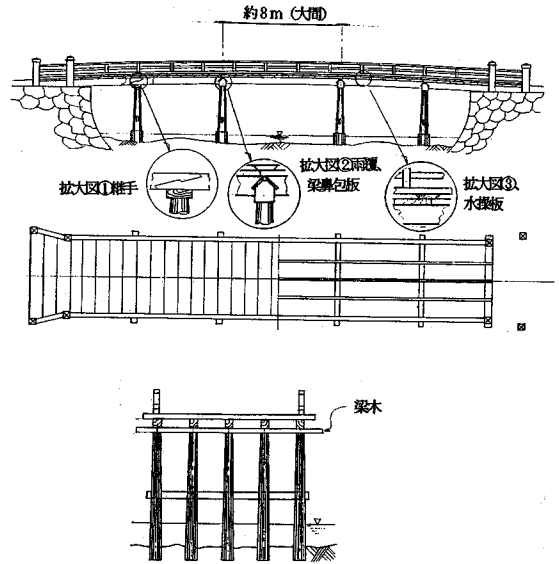


図-1 高欄付板橋(明治維新以前の木造桁橋)  
(『堤防橋梁組立之圖』、『堤防橋梁積方大概』  
(明治4年、土木寮発行)を参考にして作図をした。)

り、愛本橋、猿橋が有名である。愛本橋は、橋長207尺(62.7m)、幅員12尺(3.64m)で、張出桁とそれに支持される長さ7間(12.7m)の3本の桁からなる吊桁で構成されている。この形式は、チベット、中国から伝わった構造といわれている。木造アーチ構造としては、錦帯橋が有名である。橋長110間5分(218m、注:1間=6尺5寸として換算)、幅員2間7分5個(5.4m)で、5径間で構成されており、スパンは、約42mに達する。同じ形式の橋梁としては、四国の立花橋などがある。石造アーチは、九州地方、および沖縄で比較的多く見られる構造形式であった。

明治以後の近代橋梁建設技術との比較の意味から、最も一般的な在来工法である木造桁橋、および桁橋よりやや構造的に複雑な刎橋の2種の形式に着目し、その構造的な特徴を明らかにする。明治維新以前の橋梁構造については、「堤防橋梁積方大概」、および「堤防橋梁組立之図」などが、数少ない資料の一部である。後者の資料に図面が示されており、前者の資料は、この図面に使用される材料が示された材料表の性格をもっている。これらの資料、および愛本橋の資料<sup>15)</sup>をもととして作図したのが図-1, 2である。

桁橋の基本的な構造は、行桁と称する矩形断面の外桁と、矩形、または円形断面の中桁によって構成

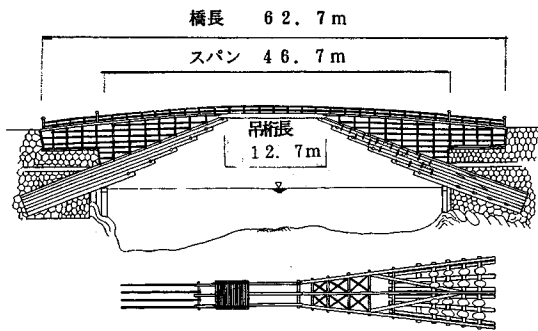


図-2 刎橋（明治以前の木造ゲルバー桁構造）（『堤防橋梁組立之圖』（明治4年 土木寮発行）を参考にして『越中愛本橋』（高田雪太郎、工学会誌vol. 138）の文久の愛本橋の図に従って作図をした。）

され、主桁を橋脚によって支持する簡単なものである。外桁の断面は、桁高1尺2～3寸(364～394mm)、幅7～8寸(212～242mm)程度であり、中間橋脚上で大継ぎと称される木材継手法によって継がれている(図-1の拡大図①)。桁は、全長にわたってキャンバーがつけられており、梁木(橋脚の横梁)によって脚頭が繋がれた橋脚で支持されている。主桁は、全径間にわたって連続しているが、支点上の継ぎ構造からみれば、構造的には、単純支持構造であると考えられる。スパンについては、2～4間(端径間2間、大間(舟通し)4間=約3.9m～7.9m)程度であった<sup>16)</sup>。上部構造には、横構、および対傾構に相当するブレース材は設けられていない。

下部工の橋脚は、幅1尺3寸(394mm)程度の梁木と、これを支持する3～5本程度の橋脚支柱で構成される、いわゆるパイルベント形式である。横梁の長さは、外主桁間隔より長く、梁木の端部が外主桁より出た部分には、屋根形の雨覆、梁鼻包板が付けられている。これは、機能的より装飾的な意味が大きい。支柱の断面は、末口1尺2寸～9尺(364～273mm)程度の円形断面となっており、水貫と称される横繋ぎ水平材で連結されているが、図-1のようにブレース材のないものも多い<sup>17)</sup>。

床構造は、橋軸直角方向に桁上に敷かれた厚さ3～5寸(91～152mm)の板材で構成されている。高欄は、床版上に逆台形の水操板(図-1の拡大図③)と称する板を介して支持される。路面の雨水は、水操板の間を抜けて、橋下へ流下するようになっている。高欄端部は、男柱と称される親柱と、袖柱によって橋詰部が構成されている。

全体的にみると、構造的には水平力に対しては抵抗力は少なく、材料(松、檜など)についても耐久性は低く、長い橋齢を想定したものではないことをう

表-1 比較のための近代橋のサンプル

グループ	定義	サンプル橋梁
第一世代	明治10年頃までに、わが国で建設された近代橋梁。外国人が主導的な役割を果たして建設された橋梁で輸入橋も含まれる。	吉田橋(明治元年、 錬鉄道路トラス) 高麗橋(明治3年、 錬鉄道路桁橋) 都賀川橋梁(明治6年、 木造鉄道トラス) 武庫川橋梁(明治6年、 錬鉄道路トラス)
第二世代	日本人が主体的な関与をした、明治20～30代の橋梁。	新布橋(明治25年頃、 木造道路トラス) 標準鋼鉄道桁 (明治35年、定規桁)

かがわせる。また意匠的にも、装飾性は少なくシンプルである。

一方、刎橋については、施工例は少ないものの、技術的には難易度の高い構造形式であった。基本的な構造は、いわゆるゲルバー構造であり、刎木を橋台より斜めに張り出し、この先端部に吊桁をのせた構造である。図-2は、幕末(文久3(1863)年)に架け替えられた愛本橋である。刎木は、1尺1寸角(333×333mm)、長さ40～60尺(12.1m～18.2m)の杉材を、元刎木3列の上に5段重ねで設置している。張出桁部には、6尺8寸(2.05m)間隔で井桁が組まれ、その上に縦桁が設置されている。吊桁は、幅1尺1寸(333mm)、高さ2尺2寸(666mm)、長さ40尺(12.1m)の桁3本で構成され、縦桁端部で支持されている。水平方向力に抵抗するために、張出桁部に振れ止め材と横構が配置されている。この構造によって、154尺(46.7m)のスパンを実現している。

桁橋、および刎橋の部材の継ぎ構造は、主として接合面にほぞを切って組み合わせ、木栓や鉄釘などを使用する方法が一般的であった。

#### 4. 明治初期の橋梁建設技術の特徴

ここでは、明治初期の橋梁建設技術の特徴について明らかにする。主として、明治初年の外国人主導の近代橋梁(第一世代と称す)、およびその後建設された国産橋や、日本人が関与を始めた近代橋梁(第二世代と称す)を対象とする。取り上げるサンプル橋梁としては、明治維新以前との対比をし易くするために、必ずしもその時期の代表的な橋梁とは限らないが、材料の連続性のある木造橋を含めることとする(表-1)。但し、サンプル数は限られたものとなるので、これ以外にも、同時期の橋梁事例を補

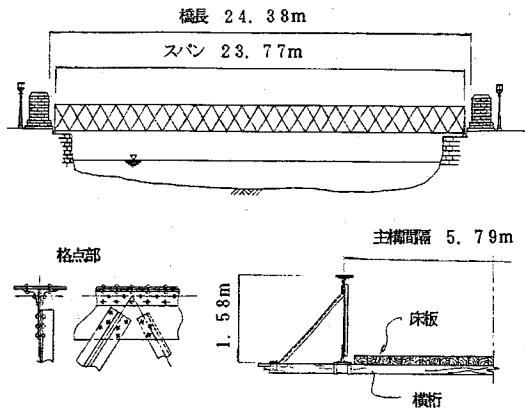


図-3 明治初期の鍊鉄道路トラス (吉田橋)  
 (『横浜市史稿、第三巻上』、『工学会誌vol. 365』(撤去時の報告)、『神奈川の写真誌』、を参考にして作図をした。)

足的にとりあげて、橋梁建設技術の特徴を考察する範囲に含める。

### (1) 第一世代グループの橋梁

#### a) 吉田橋

吉田橋は、イギリス人技術者のプラントン(R.H. Brunton, 1841-1901)によって設計され、1869(旧暦明治元)年に横浜に完成した、わが国で最初の鍊鉄道路トラスである。橋長80ft(24.38m)、スパン78ft(23.77m)、トラス高5ft2 1/4in(1.58m)、主構間隔19ft(5.79m)で、構造形式は、木製の横桁上に木製床版が配置された、下路式ダブルワーレントラス構造である。イギリスから輸入された鍊鉄を、国内で加工して製作された<sup>18)・19)</sup>。弦材はアングルと板材をリベットで結合して構成され、斜材にはアングルが用いられた。弦材と斜材、およびその他の鉄材の連結は、全てリベットが用いられた。橋台は、石積構造で、親柱も石造で親柱のすぐ前には、照明燈が配置された。

#### b) 高麗橋

高麗橋は、1870(明治3)年に、大阪の東横堀に架設された鍊鉄道路桁橋で、30ft(9.14 m)スパンの8径間で、道路幅員は、18ft(5.49 m)であった。イギリスのハンディーサイド社(A.Handyside and Co.)に発注され、同社で詳細設計、製作された輸入橋梁であった。国内では、本橋の構造に関する記録は皆無であるが、イギリスのハンディーサイド社の記録を調査することによって、ある程度の構造的な特徴が明らかとなった<sup>20)</sup>。

下部工は、川底の地盤が柔らかいと理由で、橋

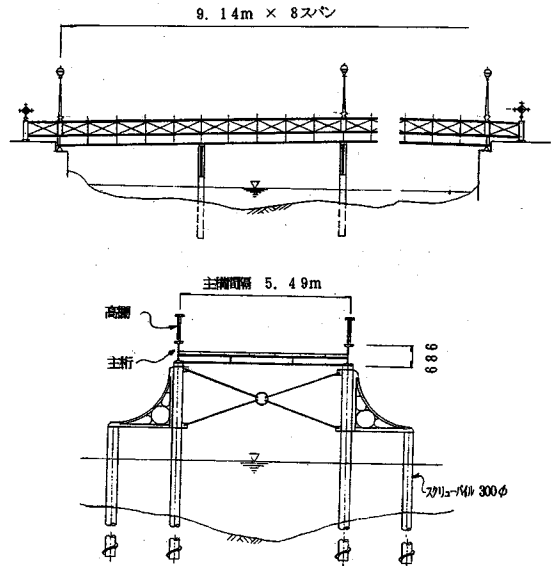


図-4 明治初期の鍊鉄道路桁橋 (高麗橋)  
 (高麗橋を設計、製作したイギリス、ハンディーサイド社(A.Handyside and Co., Derby and London)から1873年に発行された『Works in Iron - Bridge and Roof Structure』にある同橋の図および構造の説明を参考として作図をした。)

脚一箇所あたり、直径1ft(30.5cm)の鑄鉄製のスクリー付き杭4本を採用している。杭長は、平均で28ft(8.53m)であり、相互にブレース材で連結され、水平力に抵抗するように配慮された。上部工は、桁高2ft3in(686mm)の2本の鍊鉄のI型断面で構成され、直接橋脚の杭頭に固定された。横桁は、5ft6in(1.68 m)間隔に主桁の下端位置に取り付けられ、木床版を支持する中路に近い構造であった。高欄は、主桁の上フランジ上に建てられた鑄鉄の支柱に、鍊鉄の綾材で構成され、橋上には照明灯が配置された。使用された鉄材は、鑄鉄が39.25t、鍊鉄が51.25t、合計90.5tであった。

#### c) 都賀川橋梁

わが国における木造鉄道トラスは、1871(明治4)年に、新橋・横浜間の六郷川橋梁に架けられた55ftトラスが最初である。檜を材料としたダブルワーレントラスであったが、工事途中で撓みが過大であることから、クイーンポストが外側に重ねる形で追加された。これに対して、神戸・大阪間の鉄道に架設された木造トラスは、六郷川橋梁に比べると堅牢であり<sup>21)</sup>、一段の進歩を示した<sup>22)</sup>とされている。この一例が、図-5に示す都賀川橋梁である。これは、

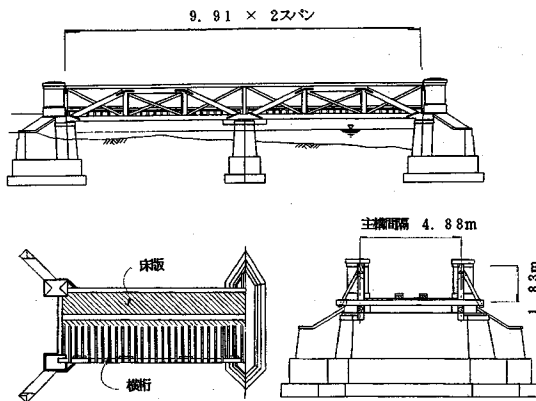


図-5 明治初期の木造鉄道トラス（都賀川橋梁）  
 (『本邦鉄道橋ノ沿革ニ就テ』(1934,久保田敬一)  
 に示された図をもとにして作図をした。)

1873(明治6)年頃に、大阪・神戸間の鉄道建設によって架設された木造トラスの一つである。桁高6ft(1.83m)、スパン32.5ft(9.91m)、主構間隔16ft(4.88m)の単線ポニー型クイーンポストトラスである。2径間連続となっているが、断面構成からみれば、構造設計上で意図した連続構造ではなく、単純トラス2連を一体としているものと思われる。

格点部の継手は、ほぞに加えてボルト、および添接金物が使われ、支点部は橋脚や橋台の天端に直接下弦材が載るのではなく、持臺と称される受け台が使用されている。横桁は、約40cmと密な間隔で、下弦材上に配置されている。支点位置には、主構の横倒れに抵抗するために、ニーブレースが配置されている。橋台、橋脚はレンガ造である。

なお、ヨーロッパでも、イギリス以外の大陸では、初期の鉄道橋は、木造橋が使用され、その後、鉄橋に架け換えられる経過を辿る場合もあったが<sup>23)</sup>、本橋も、六郷川橋梁と同様に、数年の供用の後、明治11(1878)年頃に鉄桁に架け換えられた。

#### d) 武庫川橋梁

武庫川橋梁は、大阪・神戸間の鉄道建設(1874年開通)によって、神崎川橋梁、十三川橋梁とともに、1874(明治7)年に架設されたわが国初の鍊鉄製鉄道トラスである。70 フィートトラスと称されるもので、スパン68ft8in(20.93m)、桁長69ft10in(21.29m)、桁高8ft(2.44m)、主構間隔16ft6in(5.03m)の3主構ポニー型ワーレントラスである。開通時は、2主構単線トラスであったが、1896(明治29)年に国内生産された第3の主構が追加され、複線となった。開通時のトラスは、イギリスのダーリントン

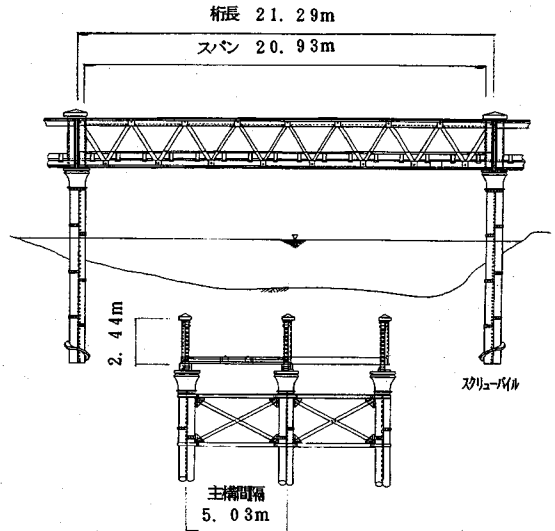


図-6 明治初期の鍊鉄鉄道トラス（武庫川橋梁）  
 (『本邦鉄道橋ノ沿革ニ就テ』(1934,久保田敬一)  
 に示された図をもとにして作図をした。)

ン工場(Darlington Iron Works Co.)で製作され、輸入されたものである<sup>24)</sup>。

上、下弦材の断面は、板材およびアングル材によってπ型断面に構成されており、斜材は圧縮、引張材ともアイバー2枚で構成され、圧縮材はレイシングバーで繋がれている。弦材と斜材の連結は、ピンによっている。横桁は、各パネルに2本ずつ下弦材上に直接のせられている。ラテラル材は設けられていない。

#### e) その他の第一世代グループの橋梁

サンプルとして挙げた以外の主な橋梁としては、道路鉄桁では、わが国で最初の鉄橋である、くろがね橋(明治元(1868)年)、を始め、新橋(明治4(1871)年)、四条大橋(明治7(1874)年)、雑喉場橋(明治8(1875)年)、京町橋(明治9(1875)年)などがある。鉄道トラスでは、武庫川橋梁と同じ時期に、同様の形式が、神戸・大阪間に架設されている。道路トラスでは、スパン37.1mの心斎橋(明治6(1873)年)、木鉄混合構造の豊平橋(明治8(1875)年)などを挙げる事ができる。その他、垂鉛メッキ鍊鉄平行ワイヤーを使用した、山里の吊橋(明治3(1870)年)や、可動橋の安治川橋(明治6(1873)年)なども、欧米の技術によって同じ時期に架設されたものである。また、東京では、万世橋(明治6(1873)年)などの石造アーチもこの時期に建設されている。

これらの橋梁を含めて、第一グループ橋梁全体に共通して指摘できることは、初めて鉄を主要材料とした点、列車を荷重とする鉄道橋、トラスに代表さ

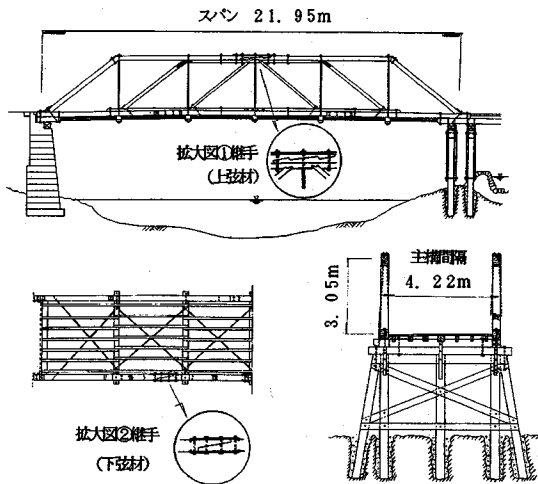


図-7 明治中期の木造道路トラス(新布橋)  
 (『木橋圖譜 第貳輯』(明治25年、野澤房敬、  
 工学書院)に示された明治25年頃に群馬県で  
 建設された新布橋の図をもととして作図した。)

れる骨組み構造など、在来橋梁には無かった、新たな構造や条件、新しい材料の出現である。

## (2) 第二世代グループの橋梁

### a) 新布橋(木造道路トラス橋)

図-7は、明治25年頃に、日本人技術者によって設計が行われ、実際に群馬県で架設が行われたものである<sup>25)</sup>。スパン72ft(21.95m)、桁高10ft(3.05m)、主構間隔14ft(4.22m)のポニー型ハウトラスである。部材断面は、上弦材が9×12in(高×幅:229×305mm)、下弦材が、10×12in(254×305mm)である。上弦材は、2本の木材が中央で継がれており、下弦材は3本が継がれている。上弦材、および下弦材の中央部には、6×12in(152×305mm)の断面が追加され、断面力に応じた断面変化をしている。斜材についても、同様に断面変化しており、端部斜材より中央部に、それぞれ部材厚さは、9in(229mm)、7 1/2in(191mm)、6 1/2in(165mm)と漸減している。垂直材には、錬鉄のロッドが使用され、この断面も端部から直径が、1 1/2in(38.1mmφ)から、1in(25.4mmφ)まで、断面力に応じて漸減され、ネジ切りされた端部が、上弦材と横桁にナットで固定されている。床版は、木製である。ラテラル材は、錬鉄のロッドで構成されている。

橋脚は木造で、支柱は、12×12in(305×305mm)の断面で、水平力に対して抵抗するように、斜杭に加えてプレース材も使用されている。

上部工、下部工とも木材の継手構造は、接触面にはほぞが刻まれ、添接金物を使用したボルト継手と

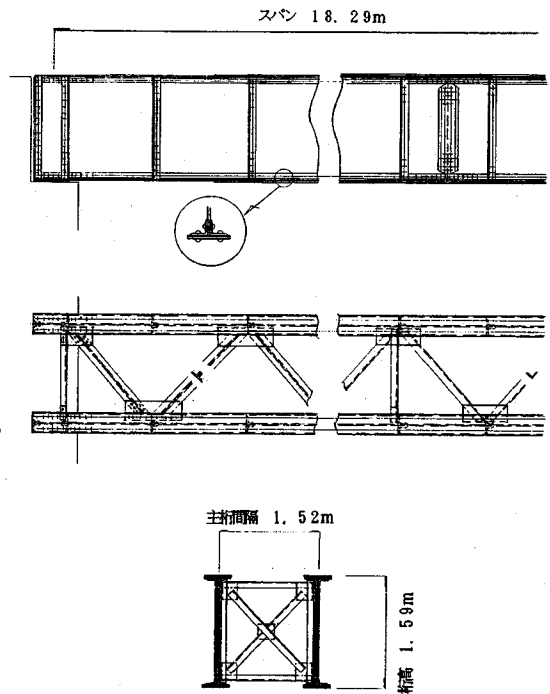


図-8 明治中期の鋼鉄道板桁(6071t標準桁)

(『本邦鉄道ノ沿革ニ就テ』(1934、久保田敬一)に示された図をもとにして作図をした。杉文三が明治35年(1902)年にアメリカのペンコイド社の標準桁にならって設計した20~80フィート標準桁の一部である。これ以降英国式板桁(作練式、作30年式など)にかわってこの標準桁が使用された。)

なっている。

### b) 標準鋼鉄道板桁

パウナルは、1893(明治26)年に、20~80ftの板桁定規(いわゆる作30年式標準桁)の設計を行った。しかし、1896(明治29)年に、彼が帰国すると、その後、荷重の増加による変更などを機に、アメリカ方式が採用されるようになった。1902(明治35)年に、杉文三によって設計された鋼板桁が、図-8に示す60ft板桁定規である<sup>26)</sup>。

桁高は、5ft 2 1/2in(1.59mm)で、フランジは、カバープレート2枚まで使用され、断面変化されている。主桁間隔は、5ft(1.52mm)である。補剛材には、アングルが用いられ、約1.5mm程度の間隔で配置される。アングルは、熱間曲げ加工せずに、フィラープレートを介し、上下フランジ面に端部を接触させて、ウェブにリベット結合されている。対傾構は、ガセットプレートを介して、アングル材をクロスして固定されている。上面には、アングル材のラテラル緩構が配置され、フランジとガセットプレートを介してリベット結合されている。支点部は、ベッド

表一 2 明治維新以前の在来橋梁と近代橋梁の比較

		明治以前の橋梁		第一世代の近代橋梁				第二世代の近代橋梁	
		桁橋	刎橋	吉田橋	高麗橋	都賀川橋	武庫川橋梁	木造トラス	鉄道鋼板桁
建設時期		江戸期		1868年 (明治 2)	1870年 (明治 3)	1874年 (明治 7)	1874年 (明治 7)	1892 年頃 (明治25)	1902 年頃 (明治35)
上部工の 主要構造材		杉、檜、樺などの木材		錬鉄、鋳鉄	錬鉄、鋳鉄	木材	錬鉄、鋳鉄	木材、錬鉄	鋼鉄
構造形式	上部工	桁橋	カンチレバ ー桁橋	ポニー型 ダブルワー レントラス	プレートガ ーダー (圧延桁)	ポニー型 クイーンポ ストトラス	ポニー型 ワーレント ラス	ポニー型 ハウトラス	プレートガ ーダー
	下部工	橋脚は木造のバイルベ ント方式で橋台は石積工。 バイルベントはプレース する場合もある		石積橋台	スクリュー 付の 鋳鉄杭 4 本 を錬鉄ロッド でプレース した構造	石積橋脚お よび橋台	スクリュー 付の 錬鉄杭をア ングルスでプ レースした 構造	橋脚はブレ ースされた 木製柱、橋 台は石積	—
スパン		最大スパン (大間)で 7~8m程度	愛本橋(最 大級)で 約47m	23.8m	9.1m	9.8m	20.9m	21.8m	6~24m
継手		ほぞなど木工継手を主体 として鉄釘、釘、木栓等 を部位に応じて使用		リベット継 手	リベット継 手	ほぞを切り ボルト、添 接金物で連 結	リベット継 手、弦材・ 斜材はピン 継手	ほぞを切り ボルト、添 接金物、 ロッドで結合	リベット継 手
上部工の 構造的特徴		桁橋では水平力に対して 特別な構造はないが刎橋 ではラテラルに相当する 綾材がある		横桁は木製 で主構の横 倒のニーブ レスが取付 いている	横桁は主桁 の下端に取 付き中路橋 となっている	クイーンポ ストトラス 構造	当時の欧州 から輸出さ れた典型的 な鉄道トラス である	主構トラス は弦材、斜 材とも断面 変化があり ラテラルも 配置	上下ラテラル および対傾 構(X型) がある
意匠性		高欄、親柱、 袖柱および 梁木の端部 の雨覆、梁 鼻包に装飾 性が配慮	高欄の親柱、 袖柱に装飾 性が配慮	石積の親柱 および照明 燈に装飾性 が配慮	橋上の照明 燈および鋳 鉄、錬鉄製 の高欄に装 飾性が配慮	石積の親柱 に装飾性を 配慮	橋脚上の鋳 鉄製の柱に やや装飾性 がある	実用性重視 でとくに意 匠性の配慮 はない	同 左

プレートが敷かれ、アンカーボルトによって長孔(可動側)を通して固定されている。添接部は、桁長のほぼ1/3点付近にあり、シアプレートのみ添接板によってリベット結合されている。鋼重量は約19.5tである。

c) その他の第二世代グループの橋梁

サンプルとして挙げた以外の主な橋梁としては、道路橋としては、吾妻橋(明治20(1887)年、トラス)、旧二重橋(明治21(1888)年、アーチ)などの他、明治中期の最大スパン65.6mの天神橋(明治21(1888)年、トラス)がある。また、お茶の水橋(明治22(1889)年)、永代橋(明治30(1897)年)なども、この時期を代表する橋梁である。鉄道橋では、わが国で初めて鋼を使用した天竜川橋梁(明治21(1888)年、トラス)がこの時期に架設されている。

第二世代グループ橋は、第一世代グループに比べて、その規模が拡大されたことが、特徴として挙げられる。材料としては、錬鉄から鋼への移行する時期を示している。鉄道橋については、イギリス式か

らアメリカ式の構造へと移行している。また、吾妻橋などのかなりの大規模橋梁も国産化がされるようになった。

5. 在来橋梁技術と近代橋梁技術の比較と考察

3. , 4. において、明治維新以前の在来橋梁、および明治以後の近代橋梁の構造的特徴について明らかにした。ここでは、両者を比較することによって、明治維新以前から、明治初年、中頃までの推移について考察する。次いで、この比較結果に基づいて、わが国の欧米技術の受容について考察を行い、その背後にある橋梁技術の近代化に対する姿勢と、その方向づけについて推論を試みる。

(1) 在来橋梁技術と導入技術の比較

在来橋梁技術と、サンプル橋梁の諸元、構造的特徴について整理をして表-2に示す。この表、およびサンプル橋梁以外の同時期の橋梁を考慮に入れ

て、明治維新以前から、第一世代、第二世代への推移を材料、構造形式、構造上の特徴、スパン、デザイン思想の面から考察を加える。

#### a) 材料

明治維新以前の在来橋梁技術と、明治初年以降に建設された第一世代との間で、最も大きな相違は、橋梁の主材料として錬鉄、鋳鉄が使用されるようになったことである。明治維新以前においては、一部の石橋を除けば、在来橋梁には、もっぱら松、杉、檜、樺、栗、桂などの木材が使用されており、鉄は鋸、釘などの使用に限られていた。この鉄の構造材としての使用が、近代橋梁を在来橋梁と分ける、最も大きな技術要素の一つといえる。

一方、第一世代から第二世代の間についてみると、第二世代が建設された明治中頃では、鉄道橋では材料は木材から錬鉄、さらには鋼鉄に移行している。道路橋については、明治維新以前からのストックに加え、地方の小規模な橋梁では、木橋も新設が続いており、その数は依然として多数を占めている<sup>27)</sup>。しかし、木を主体として、鉄をブレース材や引張材など、部分的に用いた道路橋も、数は多くはないが建設されている。このことから、第二世代は、第一世代の延長上としての発展をしていることを示しており、この間の不連続性は認められない。

#### b) 構造形式

材料に次いで、在来橋梁と第一世代との間の相違としては、第一世代において構造形式が多様になったこと、特に上部工においては、骨組構造である各種のトラス形式が用いられるようになったことが挙げられる。明治維新以前のわが国の橋梁建設技術の中には、トラス構造のような骨組構造は存在せず、梁構造が主体で、ほとんどが上路形式であった。明治以降の木造トラスとして挙げた、第一世代の鉄道トラス(図-5)の材料は、在来技術で使用された檜であったが、構造形式の違いによって、全く新たな橋梁技術となっている。下部工については、施工法、詳細構造、使用材料などを別とすれば、在来橋梁のパイルベント橋脚と石積橋台は、構造形式分類上は、近代橋梁の場合と同じと見做せる。しかし、明治初年から採用されたスクリューパーイルや、レンガ積ウェル構造は、在来橋梁にはない、新たな下部工の施工法である。第一世代から第二世代への推移では、上部工では、トラス構造の一層の普及が見られ、旧二重橋、(明治11(1888)年、2ヒンジアーチ)のような、アーチ構造も建設されるようになった。下部工では、スクリューパーイル、レンガ積ウェル構造、石積構造の普及が見られる。

#### c) 構造上の特徴

構造上の特徴について比較すれば、上部工では、在来橋梁に比べて第一世代では、全体的に構造が複雑化したことがいえる。明治維新以前では、短スパンで高さ方向を持たない梁構造を主体とする、単純な構造であった。これに対して、第一世代では、トラスの骨組構造が導入され、構造が立体的となって構成部材の種類も増え、結果として複雑化した。部材相互をつなぐ継手が多くなり、部材保持のためのブレース材、スウェー材などが多用されるようになった(図-3、5のニーブレース、図-7のラテラル)。また、荷重の増加に伴う構造の複雑化の傾向もみられる。例えば、支承部では、同じ木橋であっても在来橋梁に比べ、第一世代では、主桁を直接橋脚の梁木が受ける構造から、持臺と称される支点部の枕材を介して受けるようになってきていることが指摘できる(図-5、7の支点部)。橋脚では、水平方向荷重への配慮のための構造上の違いが、目立つ。在来橋梁では、図-1の橋脚のように、ブレース材を設けないものも多かった。これに対して、第一世代では、木造橋を含めて例外なく、橋脚の水平方向への抵抗のために橋柱間をブレースで結んでいる(図-4、6、7の橋脚のブレース)。杭についても、木杭の先端部に鉄沓をつけたり、鉄杭ではスクリューパーイルを付けるなどは、第一世代になって初めて行われたことである。第二世代以降の鉄道橋では、上部構造がイギリス式からアメリカ式に移行し、トラスの格点構造としてピン結合が好まれるようになった。鋸桁では、対傾構がラーメン式からトラス式に変わり、補剛材間隔が密になった。これは明治維新以前から第一世代への移行と比較すれば、設計上の考え方の違いに類するものであり、相対的にははるかに小さな変化で、延長線上の変遷と考えられる。

この他の比較すべき技術ポイントとしては、継手構造がある。明治維新以前と明治以後の継手構造の対比図を、図-9に示す。在来橋梁における継手は、桁橋の梁を橋脚上でつなぐなど、単なる材料の長尺化のための継手が多かった(図-1の拡大図①)。これに対して、第一世代の木造トラスでは、構成部材数が増えて、構造も立体的となったために、格点部のように継手構造も複雑化した。第一世代の都賀川橋の継手では、部材の接触面にはホゾを切り鉄板の添接板をあて、ボルトによって固定されている(図-9の⑧)。これは欧米では、木橋の継手として、当時一般的に用いられていた方法である(付図-1)。わが国の在来橋梁の継手(図-9の①~⑦)は、ホゾを切り釘、鋸、木栓などを併用することはあったが、このような継手(図-9の⑧~⑪)



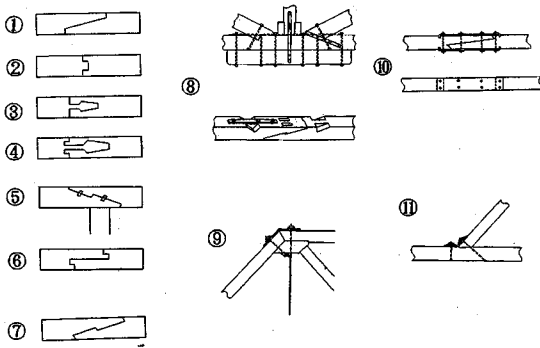


図-9 木部材の継手形状

(明治以前(①～⑦)については『堤防橋梁積方大概』(明治4年 土木寮発行) pp. 163, 164より、明治以後については『本邦鉄道橋ノ沿革ニ就テ』(1934, 久保田敬一)の木造鉄道トラス(明治8年;⑧)、および『木橋圖譜 第貳輯』(明治26年、野澤房敬、工学書院)の木造道路トラス(明治25年;⑨～⑪)に示された継手図を参考にして作図した。)

はなかった。ただ、部分的に見ると、在来技術の継手(図-9の⑦(大持継と称す))と似たものが、明治以後の木造トラスの継手(図-7の拡大図①, ②, 図-9の⑧)として使用されている。

#### d) スパン

スパンについては、在来橋梁に比べると、第一世代では、設計荷重が増加しているものの、材料の鉄化、構造形式の違い(合理化)によって増加している。明治維新以前の一般的な工法であった桁橋のスパンが、7～8mであったのに対して、第一世代の吉田橋では、24m程度を中間橋脚なしで、渡すことを可能としている。このスパンの増加は、第一世代から第二世代の間も続き、特に、鉄道橋では、機関車の重量が増加したにもかかわらず、スパンも増加を辿っている。機関車重量は、明治5年の23.08t(3.09t/m)が、明治17年には36.30t(4.18t/m)に増加した。これに対して、スパンは、明治19(1887)年には、わが国の鉄道橋で初めて60mを越える、スパン208ft(63.40m)の、ダブルワーレントラスの利根川橋梁が、架設されている。

#### e) デザイン思想

意匠性についてみると、明治維新以前では、格式の高い橋梁では、親柱、間柱の柱頭には擬宝珠が飾られたように、装飾性の高い橋梁もあったが、その数は限られていた<sup>28)</sup>。ここで対象としている、一般に普及した桁橋では、梁木の端部の雨覆、梁鼻包板(図-1の拡大図②)、高欄の親柱、袖柱に装飾性がみられるものの、全体的にはシンプルである。これに対して、第一世代の吉田橋(図-3)や、高麗橋(図-4)では親柱、その付近や橋上に設置された照

明灯、鋳鉄を用いた高欄などに、装飾性をみることが出来る。しかし、初期の鉄橋が錦絵のモチーフとして採用されており、第一世代では鉄を用いていることや、トラスの綾模様という新規性自体が、シンボル効果をもっていたとも考えられる。鉄道橋については、全体的に意匠性は少ないが、武庫川橋梁においては、中間橋脚上に装飾性のある鋳鉄柱(図-6の橋脚上)が設けられたり、鉄道橋の都賀川橋でも、石造の親柱(図-5の橋台上)が設置されて、橋梁をシンボルとして表現しようとした意図を感じさせる。しかし、第二世代においては、鉄道橋では、装飾性は姿を消して、実用性が重視されるようになったのに対し、都市部の道路橋では、吾妻橋(1887)、鎧橋(1888)、湊橋(1895)など、橋詰や橋端部を橋名板や照明燈、高欄、親柱などで飾り性をもたせたものがみられる。

以上、在来橋梁と明治以後の近代橋梁の比較を行った結果より、次のことが言える。

①わが国の最初期の近代橋梁は、部分的には木造トラスの継手などに、在来技術が認められるように、施工の面における在来技術の部分的な介在が認められる。しかし、基本的には、在来橋梁と近代橋梁の間は、不連続である。近代橋梁への在来の影響は皆無であり、欧米の技術を材料、構造形式などの全ての面で、全面的に受容し、導入する選択をしたと考えられる。

②近代橋梁の第一世代と、第二世代の間を比較すると、鉄道橋など実用性をより重視する傾向、国産化、大規模化の傾向がみられるものの、連続性のある同一延長線上での発展と考えられる。

③このことから、在来技術を否定しつつ、欧米の先進技術を全ての面で積極的に取り入れ、その後も同じ延長上での発展を指向したことが、わが国の橋梁建設技術の近代化の方向であるといえる。

#### (2) 近代化への姿勢とその理由

では、なぜわが国の橋梁建設技術の近代化は、このような方向へ進んだのであろうか。その理由について、推論を加える。

##### a) 欧米橋梁技術の先進性への認識

わが国における、欧米工業力への評価は、既に、幕末において定着している。欧米技術、産業全般に対する先進性を認めたことの、具体的な行動が、洋式船の輸入や、長崎製鉄所、横浜製作所、横須賀製鉄所などの建設、各種の機械類の輸入などであった。これが、明治以降の橋梁建設技術を含む、産業技術全般にわたる近代化の姿勢の根底にあるものといえる。橋梁材料としての鉄材は、欧米橋梁建設技

術の先進性を示す、大きな要素の一つと考えられる。鍊鉄の許容応力度は、木材のほぼ10~15倍程度をとることが出来ること、断面性能の優れた型材などの工業生産が可能であったこと、この結果として経済性に優れることが、構造用材としての鉄の圧倒的な優位性をもたらした。これへの認識と理解をもっていたことが、欧米技術の導入の早さに結びついている。これゆえに、造船技術と同様に、鉄を加工する設備や、技術の導入を、幕末より積極的に進め、明治に入ってからも、工部省によって赤羽製鉄所などの建設で、この姿勢が引き継がれたものと考えられる。

欧米橋梁建設技術に対する先進性の認識は、材料のみには止まらず、構造形式についても同様であった。在来橋梁の構造形式をそのまま維持し、材料のみを木から鉄へ置き換えるという方向には進まなかった<sup>29)</sup>。この理由は、後述するようにいくつかあるが、その一つには、やはり欧米技術における、構造の先進性を認識することが出来たからであると考えられる。

在来の橋梁技術は、上部工では、刎橋を含めて基本的に、木材単体の曲げ強度に期待する梁構造である。これを組み立ててより剛性の高い構造体とするものではなかった。このような在来技術との対比をしながら、欧米から導入したトラスの構造的合理性への理解を、吉田橋や、木造鉄道トラスの六郷川橋梁などを通じて、認識したものと考えられる。下部工の杭についても、在来工法にはない木杭の先端部に鉄沓をつけたり、スクリュー付鉄杭、レンガ積ウェルや鑄鉄のウェル<sup>30)</sup>を採用したことは、より大きな支持力を得るために、貫入量を確保する必要性の認識をもっていたことを、示していると考えられる。

#### b) 設計荷重の増加

欧米橋梁建設技術の先進性を認識するにあたって、設計活荷重の大幅な変化が、欧米技術が初めて導入されたのと同じ時期であったことの影響も大きい。すなわち、明治維新以前にはなかった、鉄道による荷重の増加である。上部工、および下部工とも、在来橋梁に対する荷重をはるかに越える荷重条件の変更があったために、在来技術で対応するのではなく、既に鉄道荷重に対して実績を積んでいる欧米の橋梁技術を、全面的に取り入れる方向に進んだものと考えられる。

#### c) 外国人技術者

欧米橋梁技術を全面的に導入することによって、近代化を開始したもう一つの理由は、技術的な判断を下す立場を、欧米人技術者が占めていたことが挙

げられる。特に、第一世代の橋梁は、ことごとく欧米人技術者が直接設計を行い、製作、架設の指揮にあたった<sup>31)</sup>。建設を推進する立場にあった外国人技術者が、それぞれの経歴の中で経験した工法を採用するのは、ごく自然な技術的選択であった。また、第二世代においても、橋梁建設に関与した日本人は、欧米人の下で橋梁に関する工学教育を受けており、この面からも欧米技術が主流となったことがうなずける。

#### d) 永久橋へのニーズと設計思想の変化

在来橋梁の橋脚構造の特徴として、橋軸直角水平方向荷重に対しての耐力が、第一世代以降の橋梁と比べて、低いことは既に指摘した。明治維新以前の橋梁では、橋脚支柱相互を結ぶブレース材がないものも、珍しくはなかった。しかし、一部の在来橋梁では、水平方向に抵抗するために、ブレース材を設けたり<sup>32)</sup>、通常の建築物や、櫓などの構造物では、筋交いを用いることが一般的に行われていた。これから推測すれば、橋脚のブレース材の欠如は、意図的なものであったとも考えられる。河川の氾濫、洪水時における河川敷内の構造物の存在は、特に川幅の広くない河川では、防災上問題があることから、橋脚は流されてしまう方が望ましいとの意図があったと考えられる。在来橋梁では、洪水時には、川中に没して流水を障害しないように、橋桁の側面に丸みをつけた潜り橋や、洪水時には一時的に桁を流して水が引いてから、ロープを手繰り寄せてもとに戻す、流れ橋のような橋梁<sup>33)</sup>があった。これは、洪水の水圧に逆らわないという点で、桁橋の水平抵抗用のブレースの欠如と共通するものがある。ここに、明治維新以前における、橋梁建設への設計思想の一端が現れていると考えられる。すなわち、わが国の在来橋梁は、永久構造であるよりもむしろ、仮構造としての考え方が強くあったものと推測される。構造が簡単な明治維新以前の木造桁橋は、この仮構造の考えに合致したものであったといえる。これに対して、第一世代以降の近代橋梁は、想定した外力に対して抵抗できるように、永久構造を目指して設計、建設されるものである。これは近代産業における設備、装置などは、効率良く、出来るだけ長い期間、安全に機能することを意図して設計される近代経済社会における、基本的な原則に則ったものである。明治以降、わが国が先ず目指したものは、富国強兵であり殖産興業であり、これは産業を興して西欧型の経済社会を構築するものに他ならない。ここに、明治維新以前の構造物設計を支配する価値観の大きな変革が、行われていると考えられる。都市の不燃化を目指して、銀座に煉瓦街が建設された

ように、橋梁においても、産業基盤の一端を担う交通路を、常に機能させておくために、出来るだけ長い構造生命をもつ永久構造物であることが、求められるようになったのである。これが、欧米橋梁建設技術を、全面的に取り入れるようになった理由の一つである永久橋へのニーズと、設計思想の変化と考えられる。

## 6. 近代化の方向づけに関する考察

前章で行った推論に対して、欧米技術の先進性、合理性、耐久性と経済性、建設システム、および技術者教育の面から検証を行う。その結果から、わが国橋梁技術の近代化の方向づけについて考察する。

### (1) 欧米技術の先進性への認識

明治年間において、わが国に多くの鉄橋を輸出したイギリスのハンディーサイド社の資料<sup>34)</sup>によれば、当時のイギリス商務省では、錬鉄の許容応力度を5英ton/in<sup>2</sup>(790kg/cm<sup>2</sup>)と規定している。これに対して、杉材などの針葉樹の繊維方向の引張許容応力度は、80kg/cm<sup>2</sup>程度<sup>35)</sup>である。これから錬鉄は、約10倍程度の許容応力度をとれることが分かる。これに耐久性を考慮すれば、鉄の優位性は、さらに増すことが、容易に知ることが出来る。鉄材を橋梁へ使用することの優位性を、石橋絢彦は著書<sup>36)</sup>の中で次のように説明している。これは、橋梁用材としての、鉄材に関する当時の考え方の一端を示している。同時に、鉄を使用した欧米橋梁技術の先進性を、認識していたことを示していると考えられる。

『・・・長柱形ニ付キ木鐵ノ價格ト持久ノ比例ヲ示サンニ・・・鐵価ハ木価ヨリ貴キ17倍ナレド強力22倍<sup>37)</sup>ナレバ22/17=1.3、一割3分ノ利アリ木材ハ實體ヲ用ユレド鐵材ハ中空ニ為スモ製造法ニ由リ實體ト同一ノ強力アレバ価ハ是ヨリ減ジテ保存年限ハ木材ト比シ百倍余トス本邦木材ノ価月ニ貴ケレバ橋梁ハ鐵ニ換ルニ如カズ・・・』

欧米橋梁技術の先進性の認識を示す事例は、技術教育の面にも見られる。橋梁技術に関する実務的な教育機関として、鉄道建設が開始された後の、明治10(1877)年5月に、シャーピントン、ホルサムらを教師として、鉄道工学関連の一環として、橋梁工学を修得させる工技養成所が開設された<sup>38)</sup>。明治15年の閉鎖までの5年間に、24人の卒業生を出しており、彼らは、明治10年代以降の鉄道、橋梁建設の中心的な役割を果している。この中には、鉸桁を設計した最初の日本人技術者であった、三村周や、パウル帰国後のわが国鉄道橋の設計者の中心となった

古川晴一が含まれる。

さらに、欧米橋梁技術の先進性の認識を示すものとして、経験的な判断から、科学的な判断への移行が挙げられる。これは、構造力学などの欧米の工学理論の修得への姿勢に表れている。これを示すものとしては、明治20年代以降に始まった、わが国における橋梁工学図書の発行である。初期に発行された主なものとしては、明治23(1890)年から29(1896)年に発行された橋梁を含む土木全般に関する「土木學講義録」<sup>39)</sup>、明治26(1893)年の「橋梁論」<sup>40)</sup>、明治29(1896)年の「土木工学、橋梁編(上下)」<sup>41)</sup>、明治31(1898)年の「橋梁構造編(理論応用)」<sup>42)</sup>などがある。この「橋梁構造編(理論応用)」では、当時の日本人技術者の、欧米技術の先進性への認識の一端を示すものとして、次の記述がある。これは、欧米の工学書に対する、国内の橋梁工学書への評価を示したものである。これを通じて、欧米の技術に対する認識が現れているといえる。

『・・・本書ノ不完全ナルハ編者ハ讀者ト共ニ認ムル所ナリ然ドモ完全ナル著書少クモ歐米工學家ニ紹介シテ恥ザルノ著述ヲ現今ノ日本人ニ望ムハ夫レ猶黄金世界ノ現出ヲ現今ニ望ムガ如キノミ。然レドモ我邦亦碩學ニ乏シカラズ必ズヤ外人ニ諭サレザルノ著述ヲミルハ蓋シ遠キニアラザル可シ・・・』

### (2) 合理性の追求

橋梁構造の合理性の追求は、鉄道荷重による設計荷重の大幅な増加によって始まったといえる。道路橋は、この影響を受けている。

ここで、堤防橋梁積方大概で示される幅員4間の桁橋の桁断面から、明治維新以前の桁橋上部工の許容積載活荷重の推算を試みる。「堤防橋梁組立之圖」では、主桁断面は、高さ1尺2寸ないし3寸、幅7寸或いは、8寸となっている。これより、主桁を、杉角材394mm×242mm、5本とし、スパンを、大間の8mとする。杉材の許容曲げ応力度を90kg/cm<sup>2</sup>、死荷重強度を50kg/m<sup>2</sup>として計算すれば、許容積載活荷重は440kg/m<sup>2</sup>程度となる<sup>43)</sup>。これは、明治19(1886)年に制定された、内務省訓令の荷重である400貫/坪(455kg/m<sup>2</sup>)<sup>44)</sup>にはほぼ相当する。このことから、明治になってからも、明治維新以前の在来橋梁は、鉛直方向に対しては、必ずしも耐力が少ないわけではなかった。

しかし、明治以前に存在しない荷重を受ける鉄道橋については、状況は異なる。明治5(1872)年に開通した新橋・横浜間の鉄道の機関車重量は、23.08tで、これは単位長さ当たり3.09t/mである<sup>45)</sup>。これに対して、明治維新以前の推定道路橋許容荷重、

440kg/m<sup>2</sup>より、幅員を単線鉄道橋と同じ程度の2間とすれば、単位長さ当たりの荷重は1.59t/mとなり鉄道橋荷重は、道路橋荷重のほぼ2倍に達する活荷重強度となることが分かる。これより、鉄道荷重に対して、仮に、在来の橋梁形式を適用するにも、2倍以上の活荷重に対応することが必要となり、極めて難しい条件変更であったことが明らかである。ここに、鉄道橋は、在来技術の及ぶ範囲外であるとの認識をもつことにより、構造的な合理性を求める必要性があった。

具体的な桁断面をみてみると、明治13(1880)年に、シャーピントンによって制定された木造鉄道桁の標準では、在来橋梁の桁橋と比べると、断面は大幅に大きくなっている。例えば、18ft(5.49 m)スパンの木造桁に用いられた桁断面は、明治13(1880)年のシャーピントンの木造鉄道標準では、14in(356 mm)×18in(457mm)であった。明治20(1887)年のパウナルの標準では、18in×23in(457mm×584mm)となり、在来橋梁にはない、大断面の桁高の木材が採用されている<sup>46)</sup>。これは、桁橋としては、材料の入手からほぼ限界であるといえる。これ以上のスパンは、木造桁橋では不可能で、より構造的合理性の認められる欧米技術の鉄桁や、トラス構造の採用が不可欠であったと考えられる。

### (3) 耐久性と経済性

水平方向荷重に対する、構造上の配慮について、在来技術の桁橋では、橋脚、上部工とも、水平方向に抵抗するブレース材を用いない場合がある点を、すでに指摘した。これに対して、第一世代の高麗橋では、舟の衝突による水平力に抵抗できるように、铸铁杭相互がブレース材で連結されており、明確に水平力に対する、設計的な配慮がされている<sup>47)</sup>。また、仮橋的な橋梁建設から永久橋へと、より耐久性の高い橋梁建設への指向を示す一つの事例としては、明治初年の東京における、不燃化を意図した木造桁橋の石造アーチ橋への架け替えを挙げることができる。明治6(1873)年に万世橋、明治8(1875)年には、京橋、江戸橋など、約5年間に11橋が架け替えられた。材料は、見附の石垣を転用し、施工は九州の石工の手によったとされている<sup>48)</sup>。明治維新以前のような、仮構造から永久構造への転換は、構造物の耐久性を増し、その結果として経済性を追求する、経済社会の原則に則ったものであった。

### (4) 建設システム

欧米人技術者を指導的な立場で招聘した、いわゆるお雇い外国人を前提とした鉄道、橋梁建設のシス

テムも、近代化の方向づけに大きな影響を与えている。

吉田橋は、燈台建設を主目的として、明治元(1968)年に雇用されたイギリス人技術者のブラントン(R.H.Brunton)が、神奈川県知事の寺島宗則の依頼を受けて設計を行い、製作、架設の指揮をしている<sup>49)</sup>。また、主として、本州で建設された鉄道橋では、明治初年から中期にかけて、イギリス人技術者が主要なポストを占めており、日本に駐在したこれらの技術者と、イギリス本国の技術者、製作工場が有機的なシステムを構成して鉄道橋の建設が進められた。これは、インドやオーストラリア、その他のイギリスの影響を受けて鉄道の建設が進められた地域にとって、共通のパターンであった<sup>50)</sup>。第一世代の武庫川橋梁などを建設した時期では、イングランド(John England:1822-77)が、技師長のポストにあった。彼の概略設計にもとづいて、1871年から日本政府とコンサルタント契約を結んだポール(W. Pole:1814-1900)が、イギリス国内で詳細設計を実施し、イギリスのダーリントン工場で行って日本へ輸出するという、英-日をまたぐシステムにのっていた<sup>51)・52)</sup>。この他、ポイル(R.V.Boyle:1822-1908)、シャーピントン(R.Shervinton:1827-1903)、ポッター(W.F.Potter:1843-1907)などのイギリス人技術者も同様に、欧米技術をイギリス本国との連携システムの中で導入する役割を果たした<sup>53)</sup>。最後期のお雇い外国人の一人であった、明治29(1896)年まで技師長の立場にあったパウナル(C.Pownall:1849-?)が帰国すると、イギリス式の影響が少なくなり、アメリカ式のピントラスや、鉄桁に移行していった。このことは、橋梁建設に関与する職務、特に技師長などの立場にある技術者の考え方が、技術の導入のあり方に大きな影響を与えていることを、示している。これは、北海道においては、クロフォード(J.U.Crawford:1842-1924)らのアメリカ人技術者を鉄道建設の為に招聘したことから、アメリカ式の橋梁が当初より採用された事実からも、明らかであるといえる(写真-1)。

### (5) 技術教育

先進性の認識を証する史実として、実務的な技術教育機関の設立を挙げた。これと同時に、欧米の考え方を大幅に取り入れた本格的な工学教育制度の整備を、極めて短期間のうちに進められたことも、近代橋梁建設技術の方向を示している。明治初年から、教育機関は急速に整備されたが、工部省の管轄下で欧米技術を導入する目的で設立された工部大学校は、最も初期のものである。イギリス人技術者の

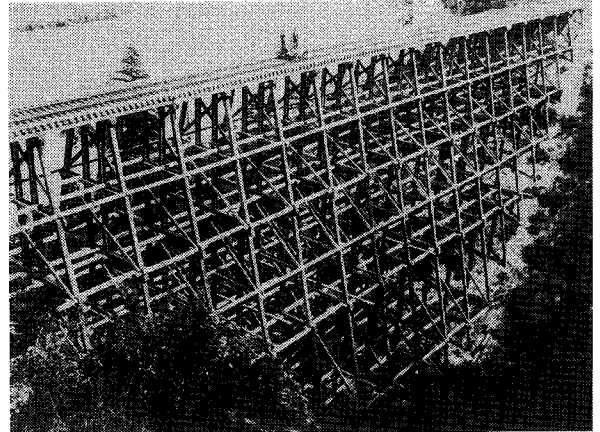
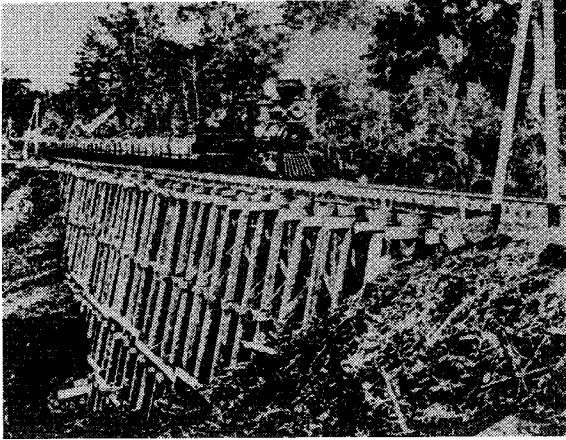


写真-1 木造トレスル式高架橋

(木造トレスル構造は北米で多く建設された形式である。左はクロフォードらによって建設された明治15(1882)年開通の函館本線野幌岡橋で右は1886年頃のカナディアン・パンフィック鉄道のキーファーズ(Keefers)高架橋である。

出典：左；日本の橋（財）日本橋梁建設協会、1994 p.33）、右；Civil Engineering 1839-1889, (M Chrimes：“A Photographic History”，1991, p.133)

ダイアー(Henry Dyer:1848-1918)は、工部大学の設立から、カリキュラムを策定するなど、中心的な役割を果たした。その内容は、イギリスの実利主義とフランス、ドイツの学理主義を組み合わせた当時の世界的レベルからも高ものであった<sup>54)</sup>。これは、外国人の知識に負うところが大きい、その背後には、山尾庸三らの欧米技術による教育の必要性の認識があり、さらには、教育を尊ぶ明治維新以前からの、わが国の伝統があった。これは、明治初年で230校を数える藩校や、その他無数にあった一般庶民の寺子屋その他の私塾の存在にも表れている。このように、わが国の教育重視の気風に支えられて、技術教育が実施され、欧米科学技術の振興が図られて、近代化が進められた。

## 7. 結論—わが国の橋梁建設技術近代化の方向づけ—

わが国の橋梁建設技術は、在来技術と欧米技術の融合という方向ではなく、在来技術を無として、欧米技術を全面的に導入することによって、近代化を開始する方向を選択した。これを可能としたのは、

構造材としての鉄の優位性や、橋梁構造の合理性など、欧米橋梁技術の先進性の認識、鉄道の導入による設計荷重の増加、欧米技術者の影響、設計思想の変化であることを明らかにした。

近代化を開始した時点の、欧米の状況も、わが国の全面的な技術導入の姿勢に適した環境にあった。また、わが国の橋梁建設技術の近代化の方向は、すでに幕末から始まった欧米諸国の工業力の導入によって殖産興業、富国強兵を進めようとした産業近代化の枠内にあるものでもあった。

橋梁建設技術の近代化の方向として、このような選択をとり得た背景には、短期間のうちに、在来橋梁技術に対する評価を得ると同時に、それに対峙する欧米橋梁技術への理解と、客観性のある評価があったからである。この根底には、明治初期における進取性、とらわれることのない実利性重視の考えによる積極的な姿勢があったものと思われる。在来技術への評価と欧米技術の先進性への認識、そしてこの結果であるわが国の意志にもとづく欧米橋梁技術の導入によって開始したのが、わが国の橋梁建設技術の近代化である。図-10は、橋梁建設技術の近代化の方向づけを示したものである。

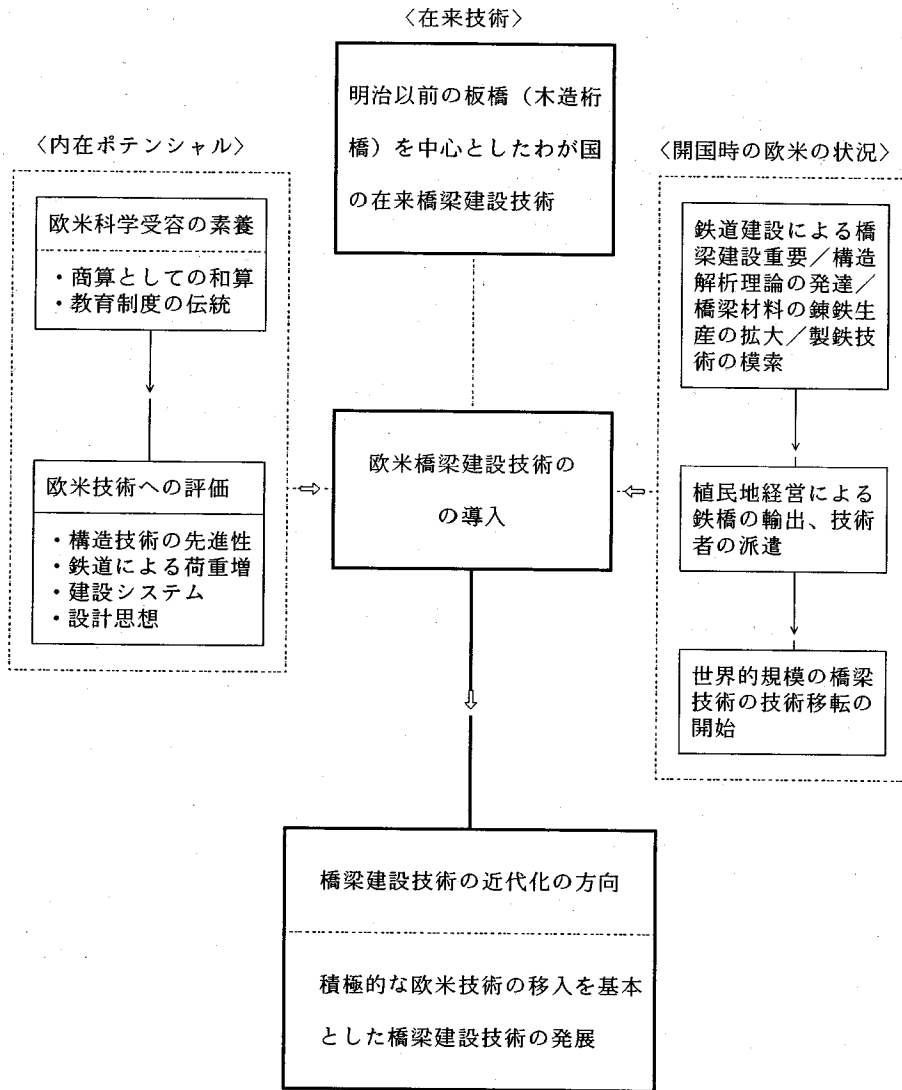


図-10 橋梁建設技術の近代化の方向づけ

\* \* \* \* \*

本研究で、わが国橋梁建設技術の近代化の方向づけを明らかにした。今後は、この橋梁建設技術の近代化の発展過程と、その確立についての研究を進める。

謝辞：本研究をまとめるにあたり、京都大学名誉教授長尾義三博士、日本大学理工学部教授新谷洋二博士、および日本大学理工学部教授屋埜正明博士にご指導頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献・注釈

- 1) 知野泰明は「近世における堰に関する研究」(土木史研究 第14号, 土木学会, 1994. 6, pp. 93-108)において、近世の分水, 分離と堰技術の調査を行い, 近代への影響を指摘している。
- 2) 石崎正和は「明治における在来技術の発展に関する研究」(土木史研究, 第11号, 土木学会, 1991. 6, pp. 205-210)において、明治以降の水利分野で、近世以来の在来技術の発展があったことを指摘している。
- 3) 飯田賢一は、「軍事工業と鉄鋼技術」(技術の社会史, 第3巻, -西欧技術の移入と明治社会-, 有斐閣, 1982, pp. 30-60)で、在来技術が西洋技術に融合

- した例として、幕末の南部藩釜石鉾山の洋式高炉の成功の背景に、近代製鉄技術を受容する土着的技術の伝統があったことを指摘している。
- 4) 久保田敬一「本邦鉄道橋梁ノ沿革ニ就テ」、鉄道省大臣官房、1934.
  - 5) 小西純一らはイギリス、アメリカ、ドイツから輸入された鉄道トラス橋の実態的調査を網羅的に実施している。(第5回日本土木史研究発表会、1985.6~土木史研究, No. 13, 1993.6, 土木学会)
  - 6) 内務省土木試験所「本邦道路橋輯覧」、1925, 同「本邦道路橋輯覧(増補)」、1928, 同「本邦道路橋輯覧(第3輯)」、1935, 同「本邦道路橋輯覧(第4輯)」、1939.
  - 7) 例えば、成瀬輝男編「鉄の橋百選」、土木学会、東京堂出版、1994.9, 成瀬輝男「現存する歴史的鋼橋—その調査と保存について—」、土木学会誌, vol. 79-3, 1994.3, pp. 56-59, および「現存する歴史的鋼橋一覽、①トラス編、②アーチ編、③吊橋編、④プレートガーダー編」、橋梁と基礎、1994.11, 1995.1.3.7.
  - 8) (社)日本橋梁建設協会編「日本の橋(増訂版)」, 朝倉書店、1994.6
  - 9) 復興橋梁を景観の面から取り上げた大島らの論文(大島光博、中村良夫「震災復興街路の植栽景観に関する一考察」、第3回日本土木史研究発表会論文集、土木学会、1983.6)、伊東らの論文(伊東孝、岡田孝「震災復興橋梁の計画とデザインの特徴」、第4回日本土木史研究発表会論文集、土木学会、1984.6)、篠原、松村、佐々木らの橋梁景観をアーバンデザイン視点から捉えた論文(例えば、佐々木葉「戦前のおおさか市内橋梁の景観設計思想に関する研究」、土木史研究、土木学会、1991.6)などがある。
  - 10) 鉄道橋は、明治維新以前には存在しないため、在来橋梁と鉄道橋との直接的な比較は出来ない。しかし、橋梁建設技術の近代化の方向を論ずるためには、道路橋のみに事例を限定することでは不十分であると思われる。そこで、道路橋についての比較を主体としつつも、道路橋、鉄道橋共通の特徴を抽出するために、鉄道橋についても必要に応じてとり挙げることにした。
  - 11) 土木学会編「明治以前日本土木史」、岩波書店、1936.
  - 12) 土木寮編「堤防橋梁積方大概」、1871.
  - 13) 土木寮編「堤防橋梁組立之圖」、1871.
  - 14) 工学会「明治工業史(土木編)」, 第一編, 三章, p. 10 『・・・往古の橋梁中には一本橋、蔓橋の類多く、漸次掛板橋、木柱板橋等の木橋を見るに至り、交通頻繁なるに従ひて各所に堅牢なる橋梁起り、後世に至りては勾欄付木橋全國橋梁の大部分を占むるに至れり。』とある。
  - 15) 高田雪太郎「越中国愛本橋」、工学会誌、第138号、1893.
  - 16) 佐伯章美他「江戸時代の心齋橋について—大阪町橋の研究—」、第1回日本土木史論文集、土木学会、1981.6, pp. 34-38.
  - 17) 前掲13)では、橋脚支柱を結ぶ綾材は用いられていないが、前掲8)に示される富嶽三十六景の深川萬年橋、両国橋、千住大橋などの図によれば、脚柱を繋ぐ綾材がみられる。
  - 18) Brunton, R.H.: "Building Japan 1868-1876", Japan Library Ltd., UK, 1991 p. 36, によれば「材料の殆どを香港から手に入れて横浜在住の英国人鍛冶職工の協力を得て、ある工場から借用した剪断機械とパンチ機械によって加工した・・・」(筆者訳)とある。
  - 19) 五十畑弘「横浜吉田橋—日本初のトラス橋の建設—」、土木史研究 No. 11, 1991.6, p. 340, では、横浜製作所で製作が行われたと推測されている。横浜製作所は、幕末に佐賀藩が、オランダから輸入した機械類を据え付けて、横須賀製鉄所の準備工場として1866年に稼働を始めた。
  - 20) Matheson, E.: "WORKS IN IRON - Bridge and Roof Structures -", THE FIRM A. HANDYSIDE AND Co., 1873, p. 135にExample of bridgesとして高麗橋の設計および構造、数量に関する記述および図がある。おそらく高麗橋に関する唯一の資料と思われる。(イギリス土木学会図書館蔵)
  - 21) 前掲4), p. 33 および図-2.
  - 22) 工学会編「明治工業史(鐵道編)」, 1929, p. 231.
  - 23) 例えば、フランスでは初期の鉄道であるParis-Le Pecq間(1836-37年建設、1846-47年に、St. Germainまで延伸)、Paris-Rouen間(1840-43年建設、1846-47年に、Le Havreまで延伸)では、多数の木造アーチ橋などが使用された。これらが、鑄鉄アーチ橋に架け換えられるのは、1850年代に入ってからである。  
(James J.G.: Overseas Railway and the Spread of Iron Bridges, c. 1850-70, 1987, p. 45より)
  - 付図-1は、Paris-Rouen間の木造高架橋の格点を示す。
  - 24) 前掲4), p. 43 および図-18.
  - 25) 野澤房敬によって設計されて明治25年に群馬県に建設された。図面は「木橋圖譜 第貳輯」(工學書院、明治26年発行)に示される。



付図-1 フランスの木造鉄橋

(フランス初期の鉄道であるParis - Rouen 間に、1840年代初めに架設された木造高架橋の格点構造。  
 出典：イギリス土木本土学会、アーカイブス展示会資料、  
 "MACKENZIE - GIANT OF THE RAILWAY -",  
 ICE, 1993, p. 56より)

- 26) 前掲4), p. 23 および図-12.  
 27) 前掲14), p. 33に、明治年間に実施した橋梁調査の結果が示されており、これによれば明治30(1897)年では、全橋梁数286, 153のうち、鉄橋85, 石橋53, 478, 木橋130, 938, 土橋101, 289, その他362となっている。  
 28) 「江戸東京事典」, 三省堂, 1988, p. 109, によれば、江戸期において市中に架かる橋梁は、多くが木橋で、およそ500橋といわれているが、親柱、間柱の柱頭には、擬宝珠を飾られた格式の高い橋は日本橋、京橋、新橋の3橋(0.6%)だけであった。  
 29) 1779年に完成した世界初の鉄橋のアイアンブリッジは、旧来の石橋、木工の技術に製鉄の技術を重ね合わせて、材料を鋳鉄に置き換えたことから出発した(Cossons, N., Trinder, B, 五十畑弘訳「アイアンブリッジ」, 建設図書, 1989, p. 31). この後、材料強度あたりの死荷重が、石橋より小さいという鉄の特質にあった、ライズ比をとる方向に変化しており、材料の置き換え⇒材料にあった構造変化、とい

う技術進歩のパターンを示している。

- 30) Potter, W.F.: "Railway Work in Japan", Minutes of Proceedings, ICE, 1878, p. 2には、六郷川橋梁で、橋台および一部の橋脚の基礎に、直径12ft(3.66m)のレンガ積ウェルを採用し、中間橋脚基礎には、深さ60ft(18.29m)まで、鋳鉄シリンダーを沈下させたとの記録がある。また、大阪・神戸間の鉄道橋基礎では、直径2ft6in(76cm)のスクリュウ付き杭を、川底20ft(6.10m)に打ち込んだと記録されている。  
 31) 前掲22), p. 231に、『・・鉄道諸建造物中最も永く外人の手を煩わせしものは橋梁特に橋桁なりとす。明治29年當時の顧問技師英國人ポーナル歸國以前にありては設計は勿論製作に至まで悉く外人の手をへたるものにして29年以後に於ても主要なるものは尚ほ之を國外に仰ぎ全く之が獨立をなすに至りしは明治末葉のことに屬す。』とある。  
 32) 前掲17).  
 33) 前掲8), pp. 148-149によれば、潜り橋や流れ橋はいまだに各地に残っており潜り橋は四国の四万十川に最も多い。  
 34) 前掲20), p. 100.  
 35) 木道路橋設計示方書案(昭和15年, 内務省)では針葉樹の軸方向引張許容応力度(縦断面につき)80kg/cm<sup>2</sup>としていた。  
 36) ヘンリー・アダムス著、石橋絢彦訳「鐵材構造設計例」, 工學書院, 明治30年。  
 37) この22は過大であると思われる。錬鉄/木材の強度比の根拠については、同書には示されていない。鋼/木材としても過大であるが、原文どおり引用した。  
 38) 日本国有鉄道「国有鉄道百年史」, 通史, 第2版, 1975, pp. 40-41.  
 39) 石橋絢彦, 野澤房敬他著「土木學講義録」(全16巻), 工學書院, 1890-1896.  
 40) 岡田竹五郎「橋梁論」, 工談会発行, 1893.6.  
 41) 西川新太郎編「土木工学, 橋梁編(上下)」, 建築書院発行, 1896.  
 42) 坂岡末太郎編纂「橋梁構造編(理論應用)」, 建築書院発行, 1898.  
 43)  $W = 4bh^2 \sigma / 3l^2 \times 1/B \times 1/n = 489\text{kg}/\text{m}^2$   
 $W_{\text{live}} = W - W_{\text{dead}} = 489 - 50 = 440\text{kg}/\text{m}^2$   
 ここに、B: 幅員, 7.2m, n: 桁数, 5, b: 断面幅, 24.2cm, h: 断面高, 39.4cm,  
 l: スパン, 8.0m,  $\sigma$ : 木材許容応力度, 90kg/cm<sup>2</sup>  
 44) 前掲14) 第一編 道路 p. 25 「・・橋梁の構造は橋面平積一坪に付四百貫目の重量を橋上満面に積載し得るものとなすべし。」



- 45) 「日本の土木技術-100年の発展のあゆみ-」, 土木学会, 昭和39年, p. 268
- 46) 前掲4), pp. 33-34
- 47) 前掲20) p. 135 1. 3-5 によれば高麗橋の脚の設計として「- each pier was composed of 4 columns, screwed into the ground, so as to give wide base, and strongly braced together to resist concussion from boats.」とある(下線筆者追加).
- 48) 前掲28), p. 109,
- 49) 前掲18) p. 36
- 50) ICEのObituaryによれば, わが国で雇用されたイギリス人技術者の多くは, 来日前に植民地での鉄道建設に従事している. イングランドは, 南オーストリアで13年間(1854-70)の土木工事の経験者であり, ボイルは15年間(1853-68), シャーピントンは17年間(1854-70), ポッターは5年間(1869-74)それぞれインドでの鉄道建設を経て, 来日しており, イギリス本国との連携による鉄道建設を経験している.
- 51) 前掲4), p. 43
- 52) Obituary of Willim Pole, Institution of Civil Engineersには, 9頁にわたってポールの業績の記録が示されており, この中の日本に関する部分では, 彼は1871年から83年まで, 日本政府と鉄道建設に関する在英のコンサルタント契約を結んで, 鉄道建設に貢献したことが記されている.
- 53) 前掲30) p. 14によれば, 1878年時点で, ポッターは, 今後の日本の鉄道建設についての課題を指摘している. この中で, より経済的な建設のために, イギリスの施工業者に建設をまかせることを提案しており, これによれば建設費は半減し施工速度は倍増するとしている.
- 54) ダイアーは, 工部大学校での経験をもとに, イギリスの技術者教育への提言として, 技術者教育論をまとめている.( Dyer H.: "The Education of Civil and Mechanical Engineers", E.& F.N. SPON, 1881.)

(1995. 7. 4受付)

## TREND AND CHARACTER OF THE MODERNIZATION OF BRIDGE ENGINEERING IN JAPAN - A Study from a view point of structural comparison -

Hiroshi ISOHATA and Yoshio HANZAWA

The trend and character of the Modernization of bridge engineering depended on how traditional pre-modern technology met the western modern technology just after the Meiji Revolution and how the western technology had been accepted since then. Aim of this study is to clarify the character and trend of Japanese modern bridge engineering through the investigation of traditional pre-modern bridge technology and modern bridge technology introduced from western countries at the most early age of Meiji.