

横 浜 吉 田 橋

—日本初のトラス橋の建設—

正会員 NKK 五十畑 弘

The Yoshida Bridge

—First Construction of Trussed Girder in Japan—

by Hiroshi Isohata

概 要

ブラントンは、主業務の灯台建設以外にも多岐にわたって業績を残しているが、その1つに鉄の橋（吉田橋）の建設がある。吉田橋は、1869（明治2）年に横浜の居留地の入口（現JR根岸線関内駅前）に架けられた日本で2番目の鉄の橋で木橋を架け替えたものであった。この前年（1868（慶応4）年）に長崎で架けられた日本初の鉄の橋、くろがね橋がプレートガーダーであったのに対し、吉田橋は下路ダブルワーレントラス桁であった。

ワーレントラスは、19世紀中期以降世界中で英国の技術者が中心となって架設されていった橋梁型式であり、吉田橋もこの1つである。日本国内では明治10年以降の鉄道建設の本格化にともなって、数多くのトラス桁が英国から輸入された。吉田橋は19世紀後半の世界的なトラス橋建設の潮流にのったものであり、その橋梁型式には必然性があった。

ここでは、ブラントンの業績の1つである吉田橋について19世紀後半における世界的視点からその橋梁型式の必然性について述べ、更にその構造、製作技術、運搬、架設技術など橋梁技術のテーマごとに仮説を提示しつつ言及する。（明治期、橋梁、技術転移）

1. 鉄道建設と技術転移

19世紀後半に入ると英国では鉄道建設のピークが過ぎ下降に転じていった。1830年にリバプール、マンチェスター間に鉄道が開通した後、1850年までのわずかに20年間に5,000 マイル（8,000km）の鉄道網が建設され、英国の主要な町はこのネットワークで結ばれた。この爆発的な鉄道建設ラッシュに製鉄技術の進歩が加わり、鉄橋の生産設備は拡大され数多くの鉄道土木の技術者が養成された。

しかし、19世紀後半に入ると英国内では鉄道建設の需要が低下したことにより拡大された鉄橋生産設備は、植民地を中心とした海外へふり向けられていった。

国内の鉄道建設に従事していた鉄道建設の技術者も、海外における鉄道建設にともなって海外へ渡っていった。これが、19世紀後半における英国から海外への技術転移（Spread of Technology）現象を起こす背景である。

日本が19世紀の後半に開国を行なったのは、技術の導入という面から非常にタイミングが良かった。

明治初年から急速に技術を吸収することが出来たのは日本の社会システム、日本人の特質などの内的要因と、この技術転移を引き起こす英国の状況である外的要因が一体となった結果と考えられる。

2. ワーレントラス、ラチス桁の発達

欧米においては、鉄製トラスの前には木製のトラスが数多く建設された。トラスは18世紀から建物の屋根トラスとして用いられた構造であり、19世紀に入り木材、錬鉄複合トラスも用いられた。（図-1）

木製のトラスは、ヨーロッパ大陸とアメリカ（1820年、Townトラス）で用いられたが、英国では木材の不足から木製トラスの例はまれであった。しかし、鉄材を木材の代わりに用いた鉄製トラスについては、1830年代以降主として英国人によって開発が行なわれていった。

(Alfred Neville(1793-1861), James Warren (1802-1870) 等)

フランスでは英国に引き続き、1830年代に始まった鉄道建設で鉄の橋が本格的に建設され始めた。

1840年代には英国人技術者 Neville のトラスがベルギー、フランスで建設された。

一方、ドイツ、オーストリアでは鉄道建設の初期は豊富な材料により木橋が主流であり、鉄橋の製造技術、技術者などが英国のレベルに近づくのは、1860年代になってからであった。

このようなヨーロッパの中で英国では、1850年頃までには、スパン 100フィート(30m) 程度までであれば、錬鉄ワーレントラス（ラチス）を用いるのが一般的となった。

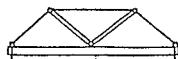
〔通常、トリプルワーレントラス以上の密な斜材をもつマルチワーレントラスをラチス(lattice) というが、当時英国ではダブルワーレンもラチスという場合もあった。ブラントン自身は吉田橋をラチスと言っている。〕

1850年以降、英国ではワーレントラス、ラチス桁が無数に架設されており、ヴィクトリア期の橋梁型式はラチスによって特徴づけられているといっても過言ではない。今日でも英国内では数多くのラチス桁が残されているのを目にすることが出来、同時代に遠く離れた横浜で建設された今はない吉田橋をこれらの今に残る英国のラチス桁から思いおこすことが出来る。

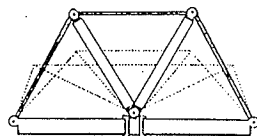
英国における初期の大規模なワーレントラスとしては、南ウェールズに1857年に建設されたCrumlin 高架橋があるが、これは 150フィートスパン10連より成る。1966年に撤去されるまで110年間使用された。(図-2)

又、吉田橋が完成した同じ年（1869年）の1月には、ロンドンのリッチモンド付近でテムズ河を渡るラチス桁の

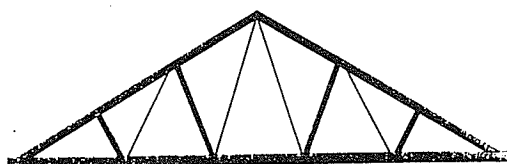
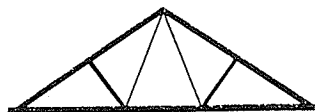
"To prevent this, numerous timber could not be got large enough to form the beams in one piece, & latterly resorted to simple beams, braced with iron in this manner."



"But for several years past, working beams of timber for engines of every size have been entirely sold aside, and those made of cast-iron have been employed in place of them, whereby the bending, splitting, twisting, drying, &c. to which wood is subject, are completely avoided." 19.



a



c

(a) Composite wood and wrought-iron engine beam, 1790s: Watt's footnote sketch (left) and *Encyclopaedia* drawing (right).

(c) Composite wood and wrought-iron roof trusses: Nicholson, 1819.

図-1 複合トラスの例

(History of Technology Vol. II, より)



図-2 Crumlin 高架橋

(Civil engineering Heritage, Thomas Telford London, 1986 より)

Kew鉄道橋が完成している。(図-3)

Kew 鉄道橋はブラントンが来日前に勤めていたロンドンのGalbraith 事務所が計画を行ない建設にあたってはGalbraithがエンジニアをしている。

1873年にロンドンで出版された“Works in Iron”という文献によれば、当時の一般的なトラス骨組として図-4が示されている。全て斜材は 60° 、又は 45° であり吉田橋はこれらのうち 60° の斜材をダブルに用いたGのタイプに相当する。(図-4)

3. 英国からの鉄橋の輸出

英国内の鉄道建設需要の低下により、鉄橋の輸出圧力が高まったことは前述した通りであるが、英国から海外への輸出は何とんでも英国にとって最重要な植民地であったインド向が圧倒的に多かった。

1850年代に入り、東インド会社によってカルカッタ、デリー間を皮切りにインドの鉄道建設が始まった。

1856年には、英国アームストロング社が東インド鉄道向に 150フィートラチス桁、28連を輸出するほか、大量の鉄桁の輸出が行なわれた。

又、カルカッタやボンベイには英国の鉄橋製造会社が進出し、英国から供給された鉄材で橋梁が製造された。これに伴って数多くの英国人技術者がインドに駐在し、彼らの一部はこの後他の英国植民地や日本で雇用されたりした。

例えば、1872(明治5)年開通の新橋、横浜間の鉄道建設に従事した英国人技術者のうち、E. Morel(1841-1871)、J. England(C1823-1877)は南オーストラリアでの鉄道建設経験者であり、R. Boyle(1822-1908)、R. Shervinton(C1827-1903)はインドでの鉄道建設の経験者であった。

オーストラリアは1850年代から入植地域の南オーストラリアで鉄道建設が開始され、これにともなって鉄製トラス桁が英国から輸入された。

Alexander Gordon(1802-1868)という英国人技術者は、ブラントンと同様、灯台建設を行っていたが、1858年に南オーストラリア鉄道会社の要請で鉄製の跳開橋を建設している。

ニュージーランドでは、1860年代から主としてセイロン、インドでの鉄道経験のある英国人技術者によって鉄道の建設が開始された。初期は木橋が主であったが、1871年に初めて道路、鉄道併用の鉄橋が建設された。

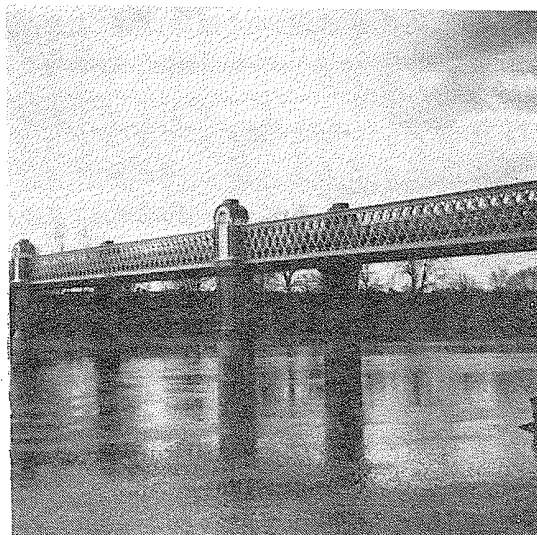


図-3 Kew 鉄道橋 (1987年撮影)

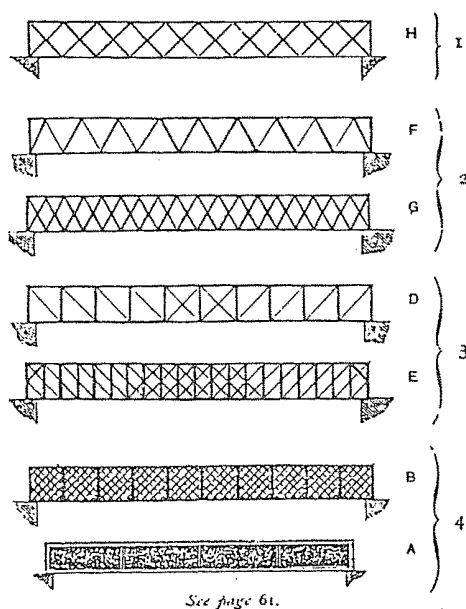


図-4 19世紀中頃の主構の構成と種類
(Works in Iron Ewing Matheson, London, 1873より)

中国でも鉄橋の英国からの輸入は鉄道の建設と同時であったが、その時期はかなり遅く1875年～76年に上海、呉淞間の9マイルの鉄道建設がされた時であった。

4. 技術転移としての吉田橋

以上のように19世紀中頃から後半の英国の状況、そして英国から世界各地への鉄道建設、鉄橋の輸出、技術者の進出をみてみると、1868年の時点で英国人技術者ブラントンによる吉田橋の建設は明らかに英国から海外への鉄橋建設の技術転移（Spread of Technology）という大きな流れの1つであることがわかる。

ブラントンがダブルワーレントラスを吉田橋に採用したのは、英国から世界各地へワーレントラスが輸出され建設されていたことを考え併せれば、極めて自然であったこともわかる。吉田橋は日本国内で製作されたが、19世紀後半に英国から世界の各地へ散った数多くの鉄製ワーレントラスの1つと見る事が出来る。

そして、吉田橋の建設はブラントンという英国内で鉄道土木を経験した英国人技術者によって日本へ橋梁技術が転移された第一歩であった。

5. 吉田橋の設計

残されているいくつかの記録によれば吉田橋の寸法については表-1に示すように相互に矛盾がある。

資 料 名	長 さ	幅
Pioneer Engineering in Japan (ブラントンの手記)	スパン 100フィート (30.48m)	道路幅 25フィート (7.62m)
1870, 71年版 英 領 事 報 告	アバット間隔 70フィート (21.34m)	幅 20フィート (6.10m)
横 浜 市 史 稿	長さ13間 (23.54m)	幅 5間 (9.05m)
明 治 37年 全 国 道 路 鉄 橋 調 査	橋長 13間7分 (24.80m)	幅 3間2分 (5.79m)
横浜市吉田橋鉄橋 コンクリート工事報告 (工学会誌365巻)	長さ79間 (23.84m)	幅 20尺 (6.04m)

表-1 吉 田 橋 の 寸 法

これらの記録の中で、長さはブラントンの手記のスパン100フィートはおそらく間違いと思われるが、その他のものは橋長、スパン、アバット前面間隔など、寸法のとり方の違いであろう。幅についても約6m程度が主構外面間隔で中心間隔は6m未満であったものと思われる。

横浜市史稿の幅5間とはおそらく河川を占有する構造物の総幅として横桁の全長が計測されたものと思われる。

以上の資料に加えてトラス主構の形式については残されている吉田橋の写真を参考にし、前述のように斜材角度は60°であることを考え併わせ、フィート、インチでラウンドな数字を求めれば、吉田橋の寸法はほぼ推定することができる。

橋長は80フィート(24.38m)、支間78フィート(23.77m)、桁高5フィート2 1/3 インチ (1.58m) が吉田橋のほぼ正確な寸法と思われる。

一方、吉田橋の設計計算に用いられた設計荷重および材料の許容応力度は、19世紀中頃のヨーロッパでの設計方法からそのまま採用されたものと思われる。

当時、吉田橋のような道路橋に対する設計荷重は、橋面に等分布する群集荷重がとられていた。もっとも、軽いフランスでは42 lbs/ft² (205kg/m²)、最も重いオーストリアで96 lbs/ft² (469kg/m²)、英国ではこの中間の60~90 lbs/ft² (290~439kg/m²) がとられており、当時の英国の土木技術者I. K. ブルネルは84 lbs/ft² (410kg/m²)をとっている。

又、支間100フィート、幅員30フィート程度の橋で木床版の場合、英国では死荷重として66 lbs/ft² が採用されていた。

これらから、吉田橋の設計荷重は、84+66=150 lbs/ft² (732kg/m²)程度がとられたものと思われる。吉田橋に用いられた主要材料の鍛鉄の許容応力度は、当時の英国では5~5.5t/in² (787~866kg/m²) がとられていた。

これらの条件から吉田橋の設計計算を再現すれば、最大弦材軸力は95ton、断面積は120cm²程度（支間中央）、最大斜材軸力は15ton、断面積は18cm²程度（端部付近）となる。部材の構成は、図-5の当時の英国で設計に用いられていた断面構成のClass IのNo.4のTセクションが吉田橋の弦材に相当する。

又、斜材は吉田橋の写真から推定すると、アングル又はプレートより構成されていたものと思われる。床組については木製の全長5間（9.05m）の横桁が図-6の例に示されるように、トラス下弦材より支持され、その上に橋軸方向に床版の木材が敷かれていたものと思われる。横桁の先端から上弦材まで二ブレースがのびており、写真でははっきりわからないがおそらくチャンネルが用いられていたものと思われる。

以上をとりまとめ図示したものが図-7の吉田橋構造一般図である。

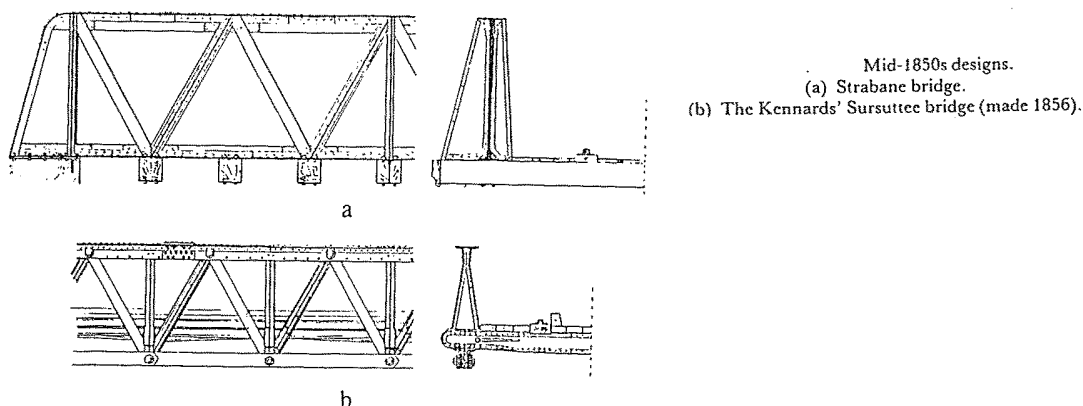
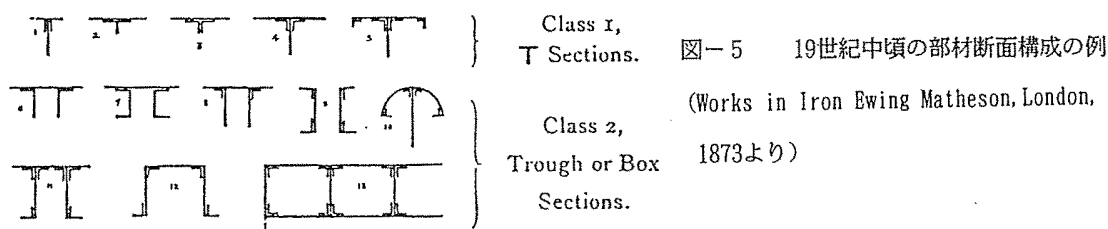
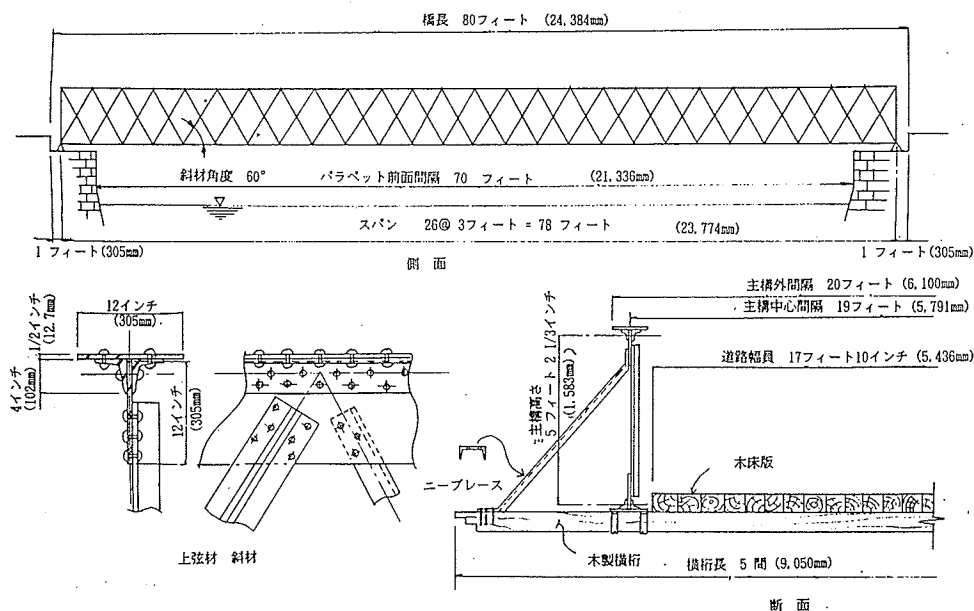


図-6 19世紀中頃の木製床桁の支持構造例(History of Technology Vol. II,

より)



図一 7 吉田橋構造一般図

6. 吉田橋の建設

吉田橋の建設に関する記録は皆無に近いが、唯一ブラントンの手記 (Pioneer Engineering in Japan) には剪断機械、パンチング機械をある工場から借用して、材料の鉄板は香港の居留地から手に入れ、日本人の職工によってラテス桁を組立てたと記されている。このわずかな記述のほかに、当時の日本における鉄板工作技術の状況、および現地の地理的条件、更に当時の英国の橋梁建設技術の常識などを加味して、吉田橋建設工法の推定を試みる。

吉田橋の製作（組立て）は、当時開設間もないブラントンの活動の本拠地であった灯台寮で行われたものと思われるが、ブラントンの記述の工作機械を借用出来る工場とは、おそらく横須賀製鉄所分工場、横浜製鉄所において他にはなかったのではないだろうか。

横浜製鉄所は現 J R 石川町駅付近にあり、灯台寮から 1 km 以内の近い場所に位置していた。横浜製鉄所は、横須賀製鉄所建設のための準備工場の性格をっており、この工場の工作機械は幕末（1865年頃）にパリに派遣された外国奉行柴田日向寺剛中らによって購入されたものの一部が含まれており、の中には鉄板加工機械もあったものと思われる。1865年 8 月には建屋が竣工し、これ以降工作機械などの据付けが行われており、1866年 7 月には 10 馬力の小蒸気船用の機械を製造している。1868年の吉田橋建設当時にはすでに完全に稼動を開始していた。

又、吉田橋の建設の依頼をブラントンに対して行った寺島宗則は、横浜製鉄所が明治 2 年 10 月に大蔵省の管轄に移されるまでこの工場の総括をしており、フランス人の手によって稼動されていた工場ではあったが、イギリス人のブラントンの工作機械借用は容易に受け入れられたのではないだろうか。

工作機械の借用とは動力設備の問題もあり、機械を移設するのではなく部材を横浜製鉄所に搬入して加工することであり、加工された部材は灯台寮に水路（掘割川→内浦）搬入され組立てられたものと考えられる。

一方、吉田橋の製作に関わった日本人の職工についても横浜製鉄所が関与していたとの推定も成り立つ。

横浜製鉄所は、横須賀製鉄所稼動に備えて技術伝習機能を持っており、1868（慶応4）年4月に新政府が幕府よりこの工場の引渡を受けた時には12名のフランス人のもとに22名の職工生徒が居り、これらの日本人が吉田橋の製作に関与したことも十分考え得る。

しかし、以上の横浜製鉄所が吉田橋の製作に関与していたことを裏づける資料は今のところ無い。

灯台寮で製作された吉田橋の桁は、組立てられた灯台寮と架設現地の地理的条件から水上運搬されて架設地点まで水上運搬され潮位差を利用して架設されたと考えるのが最も可能性の高い工法である。（図-8）

1878年版の文献“Works in Iron”の鉄桁の架設の項では、工場から桁を台船にのせ、水上運搬ののち、潮位の差を利用して桁を架設する工法が紹介されている。この工法は現在でも用いられる工法であるが、19世紀中頃にはすでに鉄橋の架設で実績のある工法であった。

1849年、北ウェールズで完成した有名なブリタニア橋は台船で水上輸送され、潮位差ではないがジャッキで持ち上げ、架設されている。又、オランダでも同種の工法の実績があった。

吉田橋の鉄材の全重量は30ton 程度であったと思われるが、道路が整備されていない陸上を台車又はコロで運搬する陸上運搬は極めて困難ではあったと思われる。しかし、灯台寮から吉田橋架設地点まで高低差はほぼ0であることから、約300mの距離を陸上運搬し関内側から関外側へむけて張出し架設したとも考え得る。

吉田橋の写真には兩岸の桁下に張出しステーシングが写っているものがある。これはおそらく吉田橋のかさ上げを行った時のものと思われるが、架設時にも同様のステーシングが用いられたことも考えられる。当初架設された吉田橋の桁下高さが極めて少ないことも潮位差を利用して架設されたことをうかがわせるように思われる。

これらから吉田橋の架設の状況を図示したものが図-9である。

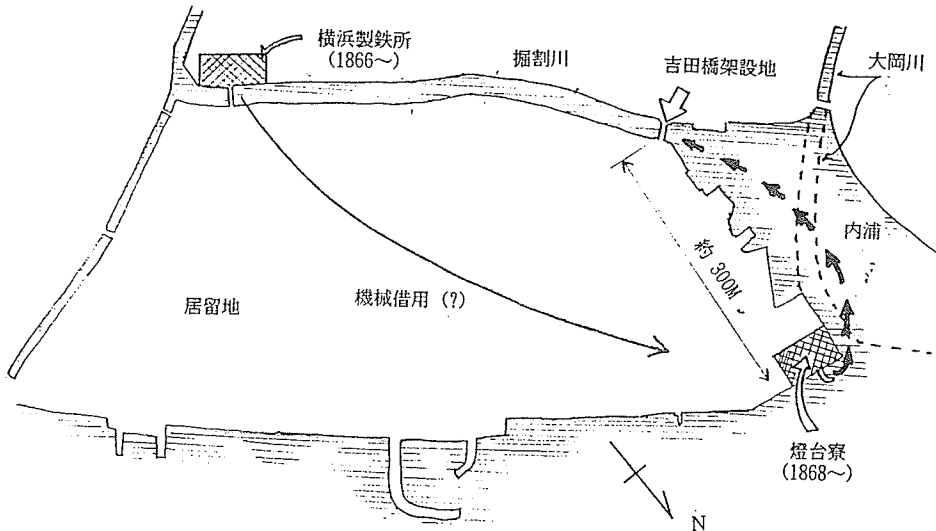


図-8 横浜製鉄所、燈台寮と吉田橋架設地

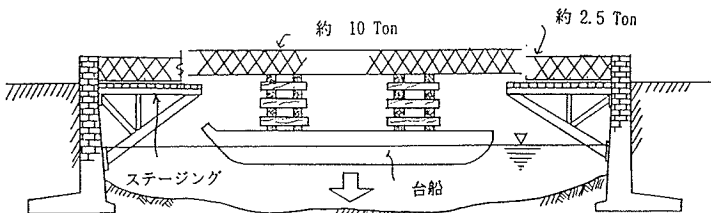


図-9 吉田橋の架設工法

7. あとがき

明治初期の鉄橋技術の歴史は、欧米からの技術の導入の歴史であった。この技術の導入（技術転移）は、明治政府によって雇用されて来日した数多くのお雇い外国人の建設活動への従事という“人”を通じて、そして鉄道建設にともなって主として英国から輸入された鉄桁という“物”を通じてスタートした。

横浜吉田橋は、お雇い外国人であった、英国人 R.H. ブラントン（1841-1901）によって輸入錬鉄材を用いて、横浜で製作され架設された日本初のトラス桁であり、“人”を通じて導入された鉄橋技術といえよう。これは、日本の鉄橋の歴史年表から見れば、慶応4（1868）年に長崎で建設された、くろがね橋とともに最も初期の1つであるが、くろがね橋→吉田橋、そして高麗橋（日本3番目の鉄の橋）という年表に沿った流れは見出しにくい。これは、すでに述べた通り、明治初期の日本の技術導入も、19世紀半ばの英国を中心とする欧米から海外への技術拡散の大きな流れの1つとしてとらえられる現象であるからである。

明治初期の欧米から日本への技術転移については、日本に視点を置いて技術の導入とする見方が一般的であるが、視点を国外に置いて、グローバルな見方をすることも意味があると考ええる。

なお、本論文は、横浜市が土木学会「ブラントンに関する調査研究委員会」に委託した研究の一環としてまとめたものをベースとしていることを付記する。

主 要 参 考 文 献

1. R.H. Brunton, Pioneer Engineering in Japan
2. Dredge. W. Thames Bridges, London, Engineering, 1897. 23. Kew Bridge; London and South Western Railway
3. Overseas railways and the spread of iron bridges. C.1850-1870, 1987
4. The evolution of iron bridge trusses to 1850.
Newcomen Society Transactions, Vol.52, 1980
5. Origin and early examples of Warren Truss. bridges.
History of Technology, Vol.11, 1986,
6. 日本の橋 (社)日本橋梁建設協会編 朝倉書店 1984.4
7. 横浜市史 第三卷上第二節横浜製鉄所の建設
8. 横須賀海軍工廠沿革誌
9. 横須賀造船所創設とその二恩人 高橋恭一 横須賀市発行 昭和27年
10. 横須賀製鉄所の人びと 富田 仁ほか 有隣堂 昭和58年
11. Brunel's Britain, Derrick Beckett, London, 1980
12. Civil Engineering Heritage, Thomas Telford, London, 1986
13. Works in Iron Ewing Matheson, London, 1873