

明治中期から大正期に掛けての我が国近代的吊橋構造の展開

The progress of the modern suspension bridge Structure in Japan
from the middle of Meiji to Taisho Age.

山根 巖※

By Iwo YAMANE

要旨；

我が国の明治中期から大正期の近代的吊橋の技術は、欧米の19世紀段階での技術の後を追って発展して来たが、その残された資料は少なくその技術も明らかでない。

今回現存する我が国最古の岐阜県の美濃橋の現地調査を行なった所、主ケーブルと吊材との連結構造が、仏人セガン (Marc Sequin) 流のストランドをループ状に曲げて主ケーブルに通して載せただけの「ループ型」であった。大正中期以後主流となった鋼材製のバンドで主ケーブルを締め付け、下に吊材を取り付ける「バンド型」とは異なっていた。そこで主ケーブルと吊材の連結方法に注目して、資料の僅かに存在している三重県の荻原橋、福井県の勝山橋、岐阜県の廃案橋及び美濃橋について調査し、比較したので報告する。

1. はじめに

「橋梁史年表」¹⁾で調べると、我が国では明治中期から大正中期頃までに庄川、天竜川、富士川、豊川、九頭竜川等の急流河川で、多くの鉄線釣橋や、木造補剛吊橋が架設されているのが見られる。これ等の急流河川では木造橋脚の流失する事が多く、当時の橋梁技術では洪水に耐え得る橋脚基礎を造る事は困難であり、また大変高価であった。従って費用が地元負担であった道路では、幅員や活荷重は小さいが橋長100mを越える吊橋が可成多数架設されていた。それ等は地方庁の土木技術者の設計した橋もあるが、多くは地元民の共同出資により民間技術者の手により架設された賃取橋であった。

これ等の吊橋は設計図や技術資料は残っておらず、その技術は不明であるが、当時の地方産業の発達と交通の進展に伴う地域交通の必要に迫られて架設された橋であり、社会的な価値が高く人々の記憶に残すため記念写真等に残されている例が多い。

今回岐阜県美濃市の長良川に現存する我が国最古の近代的吊橋として知られる、1916 (大正5)年に架設された美濃橋を調査し、主ケーブルと吊材との連結構造に注目した。美濃橋では主ケーブルに対して、吊材ストランドをループ状に曲げて主ケーブルに通して載せただけの仏人セガン流の「ループ型」の簡易な構造である。²⁾

一方福井県の九頭竜川に1915 (大正4)年に架設された勝山橋を始め、愛知県新城市の豊川に明治43 (1910)年に架設された弁天橋の吊橋は、アメリカ流

の鉄鋼バンドで主ケーブルを締め付け、バンドの下に吊材を吊下げている「バンド型」である。

明治中期から大正期までの我が国の長大吊橋について、吊材の連結形式の大約が分かる近接写真を集めて、両者の分布を調べると表-1の通りであった。(表-1)

現在調査中ではあるが、例外はあるが大約言える事は大正中期までは、庄川、天竜川水系と岐阜県の吊橋はループ型であるが、九頭竜川、豊川水系の吊橋はバンド型であり、大正中期までは両者は共存していた。しかし大正中期以後は全体として鋼補剛トラスとバンド型が主流となっている。塔柱については明治末まで木造塔柱が主流であるが、大正期に入るとトレスル型鋼塔か、鉄筋コンクリート塔柱が多く採用される様になって来た。

こうした変化は大正8 (1919)年の道路法制定により、設計活荷重が等分布荷重から自動車荷重への近代化と荷重増大の影響と、一般に橋梁への鋼材の使用が広まって来た影響が考えられる。

これ等の状況について、代表的吊橋の例を報告する。

2. 廃案橋 (岐阜県)

この廃案橋は岐阜県郡上郡嵩田村上田と下川村白川 (共に現在美並村、勝原橋附近)間の長良川に、明治40 (1907)年頃架設の予定で県により設計された木造鉄線吊橋である。明治44 (1911)年に約2km上流の下田渡しの下田橋 (木塔木鉄補剛吊橋)と競合して廃案になった吊橋と見られる。³⁾

岐阜県道路技師仲野雄介 (第三高等学校工学部土木科、明治31年卒)が大正2 (1913)年に出版した編著書^{4) 5)}に、著者の自信作と見えて設計書 (材料表) 設計計算書、及び設計図が記録されている。図-1に示す

Keyword; 近代的吊橋 明治大正 構造技術史

※ 正会員 工博 石原工業kk

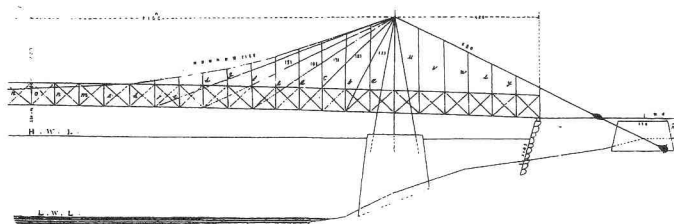
〒474-0026 大府市桃山町2-11-5

表一 明治末期から大正末期、長大吊橋一覧表 (橋長90m以上) 1) 2) 3) 4) 5)

架設年	橋名	橋長・支間 m	幅員 m	構造	河川名	位置	通要
1900 明治33	大田 橋 庄川橋 ¹⁾	447.0 (多径間)	3.0	木造無補剛 吊橋、木塔	庄川	富山県大田村 富山県般若村	田川築橋社貨取 吊材ループ型
1900 明治33	中田 橋 ¹⁾	522.5 (多径間)	4.2	木造無補剛吊 橋木塔+木桁	庄川	富山県上般若 村・中田村	貨取橋、新築索 吊材ループ型
1902 明治35	早川 橋 ¹⁾	155.6		木造吊橋	早川	山形県身延町 中里町・飯富	早川渡船
1906 明治39	新川 橋 立山橋 ¹⁾	360.0 (多径間)	3.6	木造無補剛吊 橋木塔	常盤寺 川	富山県立山町 立山町	貨取橋 佐藤勘次郎監造
1906 明治39	庄金剛寺 橋 ¹⁾	127.1	2.1	木造吊橋 木塔	庄川	富山県越前村 庄金剛寺	貨取橋明治43 年流失架装
1908 明治41	魚沼 橋 ¹⁾	95.0	4.5	鉄骨補剛吊 橋鉄塔	(徳川川)	新潟県中魚沼 郡川西町	輸入鉄材使用
1908 明治41	水沼 橋 ¹⁾	127.0		木造吊橋	只見川	福島県山形町 水沼	大正13年架装 東京建築師監造
1909 明治42	水神 橋 ¹⁾	199.4 79.7	2.1	無補剛吊橋 木造無補剛吊 橋	天竜川	長野県下久保 村飯田松尾村	中島鉄心西澤 吊材ループ型
1909 明治42	明神 橋 ¹⁾	227.5 (3径間)	2.3	木造吊橋用補剛 吊橋、木塔	天竜川	長野県豊丘村 田村	貨取橋、矢沢四 郎吊材ループ型
1910 明治43	元徳神橋 ¹⁾	231.0 (多径間)	3.6	木造吊橋用補剛 吊橋、木塔	庄川	富山県庄川町 (越前村)	貨取橋吊材ループ 型
1910 明治43	弁天 橋 ¹⁾	98.3 (3径間)	3.0	木造無補剛吊 橋木塔	豊川	愛知県瀬西市 東新町・日吉	吊材バンド型
1911 明治44	秋葉 橋 ¹⁾	94.5	2.6	木造吊橋用補剛 吊橋木塔	宮川	三重県多気郡 秋葉村	吊材ループ型 岩井藤太郎監造
1911 明治44	水神宮橋 ¹⁾	145.0	2.1	鉄骨補剛橋	姫川	長野県北安曇 郡北谷町	国鉄線索使用
1911 明治44	弁天 橋 伊久橋 ¹⁾	97.0	2.3	木造吊橋用補剛 吊橋、木塔	天竜川	飯田・松尾村 番木村伊久間	吊材ループ型 矢沢四郎監造
1911 明治44	平和 橋 ¹⁾	140.0		木造無補剛吊 橋	和賀川	岩手県湯田町	国鉄線索使用 (東京建築)
1911 明治44	天竜 橋 鹿島橋 ¹⁾	206.3 114.5+90.9	2.7	木造吊橋用補剛 吊橋木塔	天竜川	静岡県天竜市 鹿島	貨取橋吊材ループ 型矢沢四郎監造
1911 明治44	川根大橋 ¹⁾	197.0	3.7	鉄骨補剛吊 橋木塔	大井川	静岡県本川根 町千原	
1912 大正元	新築 橋 ¹⁾	135.0 (2径間)	2.7	木造吊橋用補剛 吊橋、木塔	豊川	愛知県瀬西市 石田	吊材バンド型 地元民募金
1914 大正3	轟 橋 ¹⁾	100.0		木造無補剛吊 橋	太田川	広島県戸内町	
1915 大正4	原田 橋 ¹⁾	111.8	2.4	木造吊橋用補剛 吊橋木塔	厚田川 天竜川	静岡県佐久間 町中野	吊材ループ型 新築索有り

架設年	橋名	橋長支間 m	幅員 m	構造	河川名	位置	通要
1915 大正4	野山 橋 ¹⁾	92.6 230.0	3.6	鉄骨補剛吊橋 木塔	九郎坂 川	滋賀県栗山町 野山・比島	吊材ループ型、横河 建設事務所監造
1915 大正4	野原 橋 ¹⁾	136.0		木造吊橋 木塔	九郎坂 川	滋賀県永平寺 町野原	
1915 大正4	富士 橋 ¹⁾	203.5 (2径間)		木造吊橋用補剛 吊橋木塔	富士川	静岡県芝川町 赤田町	軽便鉄道+歩道 鈴木権平監造
1915 大正4	藤原 橋 ¹⁾	113.0	2.2	木造吊橋	藤原川	岐阜県本巣郡 藤原町水島	
1916 大正5	美濃 橋 ¹⁾	114.2	3.0	鉄骨補剛吊 橋 RC塔	長良川	岐阜県岐阜市 信代	現存 吊材ループ型
1917 大正6	富城 橋 ¹⁾	91.0	2.5	木造吊橋用補剛 吊橋 RC塔	富川	岐阜県古川町 富城	吊材ループ型
1920 大正9	多摩川橋 ¹⁾	100.0	2.7	鉄骨補剛吊 橋 RC塔	多摩川	東京都青梅市	
1920 大正9	正源 橋 ¹⁾	139.0	3.6	鉄骨補剛吊 橋鉄塔	荒川	埼玉県志保町	建設省プラット・ トラス 貨取橋
1921 大正10	野川 橋 ¹⁾	217.0 (3径間)	4.0	鉄骨補剛吊 橋木塔	長良川	岐阜県野川町 赤見村	吊材バンド型
1922 大正11	桃介 橋 ¹⁾	248.0 (多径間)	2.7	木造吊橋用補剛 吊橋 RC塔	木曾川	長野県木曾 川町	発明工事業用近 江トラス吊材ループ
1922 大正11	川本大橋 ¹⁾	109.0	5.5	鉄骨補剛吊 橋木塔、木塔	江川	鳥取県鳥取市 川本町下川村	東京建築師監造 吊材バンド型
1922 大正11	川辺 橋 ¹⁾	130.0	2.7	木造吊橋用補剛 吊橋 RC塔	荒瀬川	岐阜県川辺町	
1923 大正12	進山 橋 第3次 ¹⁾	107.5	3.5	鉄骨補剛吊 橋木塔	木曾川	岐阜県進山町 八百崎町赤田	吊材ループ型日本橋 監 平成8年撤去
1923 大正12	身延 橋 ¹⁾	237.6 (3径間)	4.5	鉄骨補剛吊 橋木塔	富士川	山形県身延町	
1923 大正12	紅雲 橋 ¹⁾	163.6 (2径間)	2.7	鉄骨補剛吊 橋、鉄骨 RC塔	愛知川	滋賀県神楽町 永源町	上野工日本橋監 造
1923 大正12	八百崎 橋 ¹⁾	117.0	3.6	木造吊橋用補剛 吊橋 RC塔	木曾川	岐阜県八百崎 町	吊材バンド型
1923 大正12	美濃 橋 第2次 ¹⁾	107.0	2.8	鉄骨補剛吊 橋 RC塔	木曾川	岐阜県中津川 市、苗木村	松尾建設施工 東京建築師監造
1924 大正13	十日町 橋 ¹⁾	247.2 (2径間)	3.7	木造吊橋用補剛 吊橋木塔	信濃川	新潟県十日町	
1924 大正13	小川 橋 ¹⁾	95.4	3.6	鉄骨補剛吊 橋 RC塔	物部川	高知県香美郡 美良村小川	RC并橋脚型
1925 大正15	五木松 橋 ¹⁾	247.3 (3径間)	3.7	鉄骨補剛吊 橋木塔	九郎坂 川	福井県松岡町	

註1. 1) 藤井郁夫「橋梁史年表」(財)海洋架橋調査会、平成4年9月。
 2) 森陽子他3名「四日市製紙専用鉄道の大型吊橋・富士橋」土木史研究No.23、83頁、2003.6。
 3) 藤井郁夫「日本の吊橋の変遷について」土木史研究No.11、101頁、1991.6。
 4) 土木試験所編「本邦官路橋輯覧、第1輯」大正13年12月。
 5) 後藤和清他3名「桃介橋 — 文化財としての修復・復元」土木史研究No.12、213頁、1992.6。
 註2. 適要欄の吊材の連結形式(ループ型又はバンド型)は、各吊橋の近接写真からの判定である。



図一 廃案橋、橋梁一般図。5)



写真一 フィンレイが1801年最初に架設した近代吊橋ジェイコブス・クリーク (Jacobs Creek) 橋²⁾

橋長89.1m、幅員3.0m、支間(12.73+63.63+12.73m)の3本櫓型の木造塔を有する3径間木鉄混用補剛吊橋である。(図一)

これは写真一に示す米人ジェームス・フィンレイ (James finley)が1801年に架設した近代的吊橋に類似している。²⁾この廃案橋は明治期に欧米の近代的吊橋の技術を導入した一様式の吊橋の構造や設計計算の分かる貴重な資料であり、以下概要を紹介する。

(1) 主ケーブルは3径間吊橋の近似拋物線としての張力を計算し、鍛鉄製8番線305條を8本のケーブルに捻り合わせて片側に使用している。これは死荷重132Kg/m²と、活荷重244Kg/m²の全等分布荷重に対して3.5の安全率を取っている。主ケーブルの他に塔柱近くに東西各々5本の斜張索を採用しているが、設計計算はしていない。(図一)

(2) 木造二重ワーレントラスは設計計算は行なってお

らず、活荷重を分散させて主ケーブルの撓みを小さくして吊橋の剛性を高めているが、他橋の例に倣ったものと見られる。外形は木鉄混用補剛吊橋に近いが、設計図では鉄線吊橋と称している理由であろう。(図-2)

(3) 塔柱は3本の大型桧材を櫓に組み、横断方向に鳥居型として、根本をコンクリート橋脚に埋め込んでいる。設計は長柱として一本に加わる軸力のみで支持して、安全率は9を取っている。塔頂部は鉄板で補強しているが、鉄製のサドル等は使用していない。(図-3)

(4) 吊材は錬鉄製8番線8條のストランドをループ状に曲げて、主ケーブルに通して載せただけのループ型であるが、ストランド端部は鉄線で巻き固められている。(図-2)

全体として多くの安全側の仮定により、安全率を大きく取った簡易計算であり、何等かの他の設計例に準じた部分の多い設計である。

この土木設計資料の図譜之巻⁵⁾には木造桁橋、木造構橋(木曾川橋、忠節橋)、木造吊橋(平瀬橋)鉄筋コンクリート拱橋(和歌山県光明橋)等の設計図が示されてをり、説明之巻⁴⁾には一部の橋の設計計算書も記録されている。

図譜之巻の序文において、指導及び資料提供した恩師大藤高彦博士(京都帝大土木科教授、元第三高等学校教授)及び同級生中村猪市(栃木県土木技師)に感謝の意を表している。

3. 荻原橋(三重県)

荻原橋は三重県多気郡荻原村藪と江間の宮川に明治44(1911)年に架設された、鋼塔を有する木鉄混用補剛トラスの吊橋である。宮川の谷は架設地点で比高約42mの深さで交通の難所であり、豪雨の際には渡船場は屢々川留めとなるので、村長が熱心に県に陳情し、県の補助を受けて荻原村が架設した橋である。技術指導及び設計は、当時三重県内務二課(土木課)の道路技師であった岩井藤太郎が担当し工事報告を發表している。⁶⁾

明治43年10月に起工し、同44年7月に竣工しているが、当時の木鉄混用補剛トラスの吊橋の技術を知る上で貴重な資料である。(写真-2及び3)

(1) 荻原橋の橋梁諸元は次の通りである。⁶⁾

橋長: 94.5m、塔間距離: 103.7m (図-5)

幅員: 2.6m、

ケーブル垂下高: 9.15m。サグ比: 1/11。

静荷重: 146.5kg/m² 動荷重: 97.65kg/m²

風圧: 73.2kg/m²

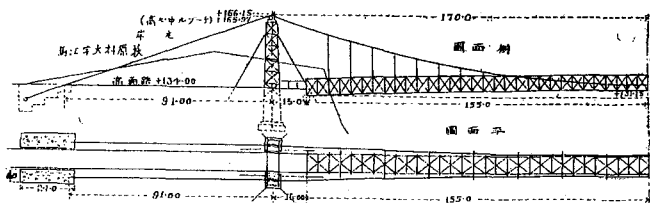


図-5 荻原橋、一般図。⁶⁾

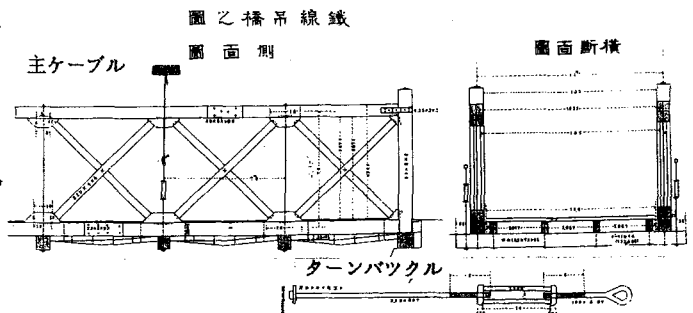


図-2 廃案橋、横断面図及び補剛トラス側面図。⁵⁾

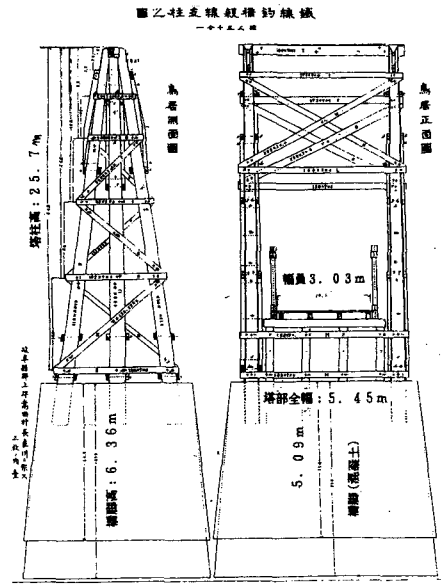


図-3 廃案橋、木造塔柱及び橋脚。⁵⁾

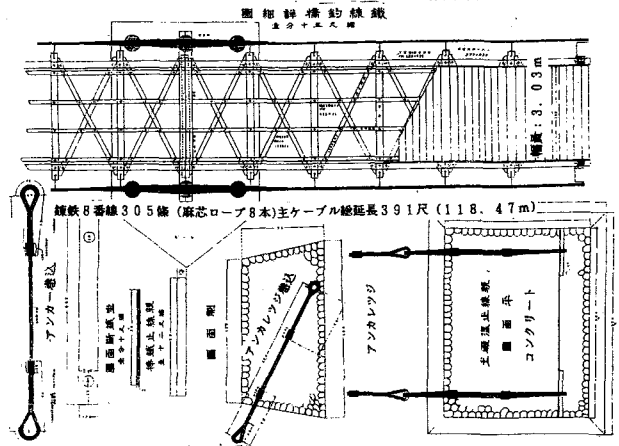


図-4 廃案橋 補剛トラス床組及びアンカレッジ。⁵⁾

塔柱: トレessel型鋼塔、高さ: 9.36m、L型鋼組
主ケーブル: 垢場鋼線索、19本撚り、外周: 15.2cm
耐張力: 1本当たり100屯、片側2本(図-6)

アンカレッジ: コンクリート・アンカー内、鑄鉄管巻付け
補剛トラス: 木造二重ワーレントラス、垂直材鉄棒
床組及び床版: 木造床組、木床版(図-6)

(2) 吊橋の設計は次の仮定により簡易化されている。
a) 主ケーブル及びサスペンダー(吊材)に静荷重の全量を、常に等分布に負担するものとする。

b) 補剛トラスは動荷重の偏量を常に等分にサスペンダーに伝達し、且つ均等な風圧に抵抗するものと仮定する。

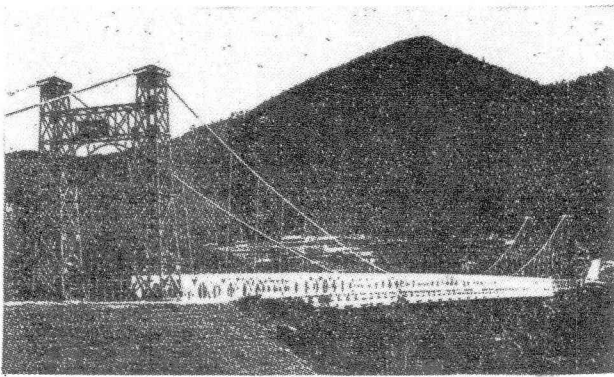


写真-2 荻原橋完成全景、1911 (明治44)年⁶⁾

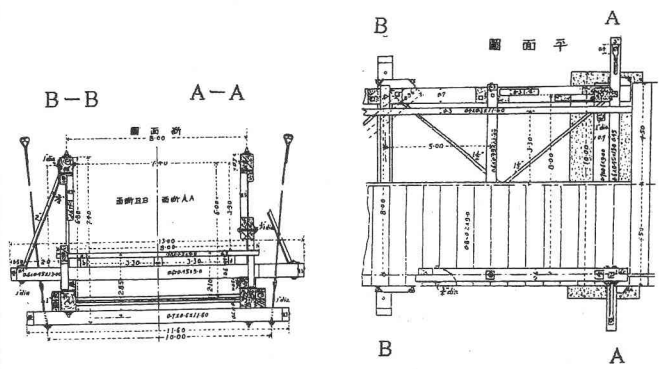


図-6 荻原橋、横断面図及び平面構造図。⁶⁾

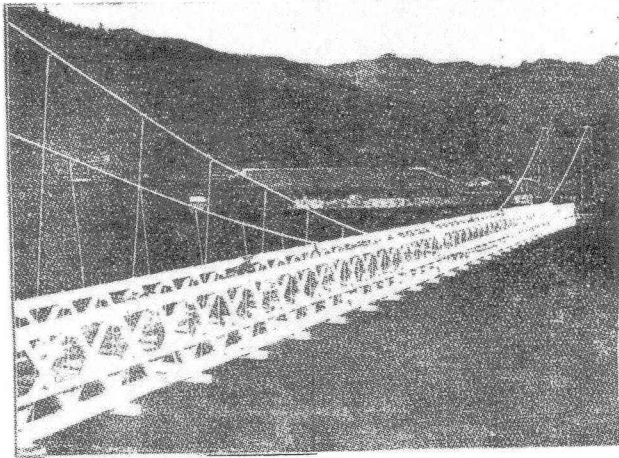


写真-3 荻原橋近景 (鋼塔及び木鉄混用補剛トラス吊橋)

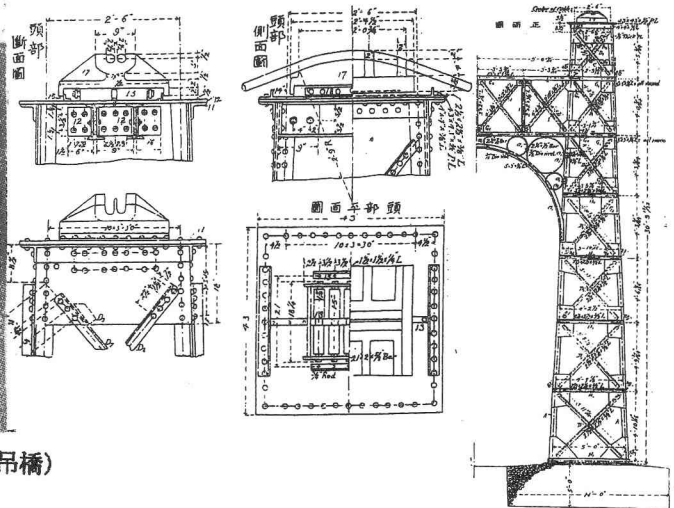


図-7 荻原橋、鋼塔及びサドル構造図。⁶⁾

- c) 最大風圧と最大動荷重とは同時に起らないと仮定。
- d) 塔柱に加わる荷重は4本の親柱により支持せられ、ブレースは単に風圧に抵抗すると仮定する。

これ等は当時の構造力学のレベルからの設計計算では、妥当な仮定と考えられる。

(3) 各構造部分は次の通りである。

- a) 主ケーブルの張力は主ケーブルの形を近似的抛物線と仮定した式で計算し片側で48.6屯となり、耐力100屯のケーブル2本使用し安全率4以上としている。
- b) 吊材は図-6で見る通り、ストランドをループ状に曲げて主ケーブルに通して載せただけであり、ストランド相互の摩擦により保持されている。吊材ストランド端部は鉄線により巻き固められている。
- c) 吊材の下端は片側ターンバックル付きのボルトで補剛桁を支える横桁に取り付けられている。ターンバックルは架設後の路面のキャンバーの微調整に使用される。
- d) 吊材は補剛トラスの横揺れを減少させるため、下端より外側に傾斜させる様に主ケーブルの形状が決められている。(図-5)
- e) 塔頂にあるサドルは図-7の通り铸造製の可動支承であるが、ケーブルの防水構造にはなっていない。
- f) 主ケーブルの両端のアンカーレッジは図-8の通りコンクリート構造であり、ケーブルは内径25.4cmの鉄管にループ状に巻き付けて中に定着されている。
- g) 補剛トラスの設計は計算式の誘導は無く、吊橋の補

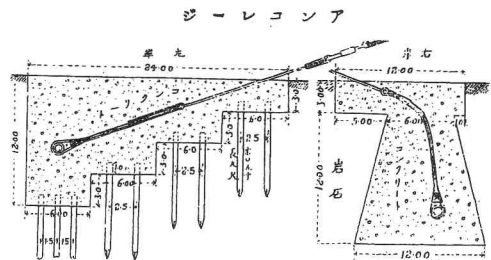


図-8 荻原橋、アンカレッジ構造図。⁶⁾

剛桁としてのモーメントの式を示しているが、支間の3分の1点が最大となっている。吉町太郎一の著書⁷⁾によれば補剛桁が全動荷重を受持つ場合は、4分の1点が最大となっており、疑問はあるが安全側の設計である。

この値を使用してトラスの上下弦材及び腹材の断面を決めているが、垂直材は径32mmの鉄棒で上下弦材にボルト留めしている。上下弦材は厚さ13mmの鋼板を使用してボルト継ぎ手で連結している。

h) 鋼塔は図-7に示す様に欧米風の洗練されたデザインのトレスル型であるが、4本のL型鋼を親柱として、カネギーの計算図表により極強耐力を求め、安全率6を取って断面を決めている。(図-7)

(4) 岩井藤太郎は工事概況として、施工状況を簡潔に

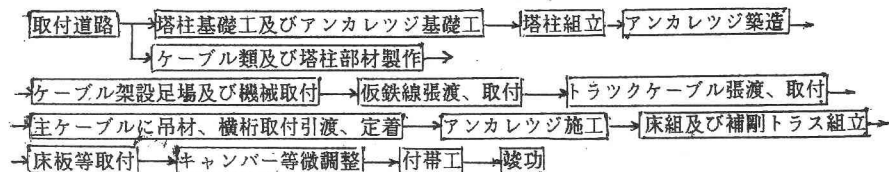


図-9 荻原橋、架設工事施工順序図。⁶⁾

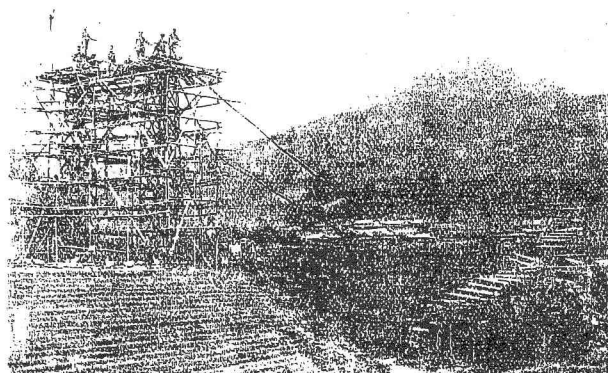


写真-4 荻原橋架設工事中全景⁶⁾

述べているが、それを図化すると図-9の順序であった。全体としては近代的小吊橋の妥当な施工順序であり、左右両ケーブルを同時に作業をしており、吊材と横桁を取り付けながら架設を進めている。(写真-4)

また吊橋完成後約12屯(設計荷重の約1/2)の重量の人間等分布荷重で荷重試験を実施している。

吊橋の架設工事の請負人は森勇太郎と記されているが、当時の公共工事の施工体制は、地元請負人が一括受注して、鋼構造物等を下請負人に外注しており、実際の施工者の名称は不明である。

(5) 荻原橋は吊橋として細部構造まで欧米の技術の成果を導入して洗練された構造に設計されており、施工も順調に行った様である。補剛トラスは木造ではあるが、欧米風の洗練されたデザインのトレスル型鋼塔を採用している。吊橋の設計は弾性理論の力学によっているが、可成合理的な仮定に基づき安全側に設計されている。

ただし吊橋の変形を無視した初等力学による近似的設計であり、初歩的な吊橋の設計計算といえる。

技術指導し設計した岩井藤太郎は、資料によれば1899(明治32)年に第三高等学校工学部土木科を卒業し、門司市役所に就職しているが、1902(明治35)年三重県技師となり、1911(明治44)年荻原橋を完成させ、1915(大正4)年に大分県の土木課長に任ぜられている。⁸⁾

岩井藤太郎は優れた技術者であったが、吊橋架設の技術は橋梁の中でも特殊な技術であり、独力で設計や架設指導が出来たとは考えられない。当時の我が国の大学教授は欧米の先進技術を文献等で学び、それを現場で實地指導し応用して我が国土木技術の向上に熱心であった。

岩井藤太郎に欧米の技術資料を提供し指導したのは、明確な資料は無いが当時京都帝大の大藤高彦教授(東京帝大明治27年卒、元第三高等学校教授)と推定される

。同教授は明治43年頃の本曾川水系八百津水力発電所でも、導水路の鉄筋コンクリート・アーチ橋等の指導を行っており、京都帝大では留学から帰朝した新進教授として「構造強弱学」の講座を担当していた。⁹⁾

4. 美濃橋(岐阜県)

美濃橋は岐阜県美濃市曾代と前野の間の長良川の「前野渡し」に大正5(1916)年に架設された、現存する我が国最古の近代的吊橋である。写真-5に見る通り鉄筋コンクリート構造の特異な形状の塔柱を有する鋼補剛トラスの吊橋であり、塔柱に鉄筋コンクリート構造の採用は我が国では最初であったと見られる。(写真-5)

美濃市は江戸時代には長良川の川湊「上有地(こうずち)湊」があり中濃の中心地であったが、明治に入ってから産業、交通の要衝として栄え、明治43(1910)年には板取川水力発電所を建設して、美濃電気軌道株式会社による上有知、岐阜間の電車の運行を開始していた。¹⁰⁾

美濃橋は美濃町から牧谷街道の前野渡しに架設された吊橋であるが、洪水期や吹雪の時期になると、河川に張渡したロープと滑車による新式の「岡田式渡船」でも渡船が困難になり、屢々川留めになるので、人々は大層不便を感じる様になった。地元から県の補助を受けて前野渡しに架橋の要望が強くなり、明治44(1911)年と大正3(1914)年の2度の「橋梁架設起工申請書」を県に提出して漸く認可となった。¹⁰⁾

当時長良川には大正4(1915)年に岐阜市の長良橋(橋長271.5m、単純鋼プラットトラス橋、支間53.6m、幅員8.4m軌道併用、鑄鉄管パイルベント橋脚)が架設されていたが、それより上流には木造補剛吊橋しかなかった。美濃橋の設計及び工事指導は県が

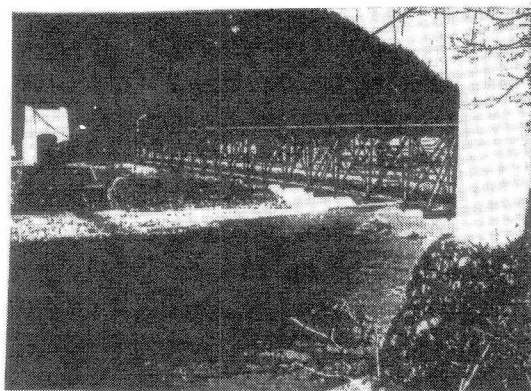


写真-5 美濃橋全景(左岸より右岸を望む、平成15年筆者撮影以下同)

担当し、工事及び費用は県の補助を受けて地元が負担したと見られる。美濃橋は1915（大正4）年に起工して、翌年7月に竣功している。¹⁰⁾

(1) 美濃橋の橋梁諸元は次の通りであった。¹⁰⁾

- ・橋長：114.2m 補剛桁支間113.6m塔中心間距離116.4m、幅員3.0m(写真-5)
- ・上部工形式：下路式鋼二重ワーレン補剛トラス吊橋
- ・下部工形式：コンクリート構造の角柱、直接基礎。
表面玉石張りRC擁壁、直接基礎。
- ・塔柱形式：鉄筋コンクリート2本柱、壁連結構造。地上高さ11.5m。(写真-7及び図-10)
- ・アンカレッジ：コンクリートアンカー、左右両岸各2基。(写真-9)
- ・主ケーブル：サビ比（ケーブル懸垂高/塔中心距離）1/12クルシブル（Crucible）スチール・ワイヤーロープ（塔間鋼線索）共芯入り19本普通撚り、7本束ね
- ・床組及び床版：木造床組。木板床版。(写真-6)

(2) 各種構造は次の通り。

a) 美濃橋の上部工は前述の三重県荻原橋の木造二重ワーレン型補剛トラスと外形は大略同じであるが、鋼補剛トラスを採用している。橋の耐久性を重視した点と、郡道として設計活荷重は内務省が明治19（1886）年に定めた坪当たり400貫（453kg/m²）を採用した為に鋼補剛トラスを使用したと見られる。実際に昭和の中期の頃まで、バス路線として小型乗合バスが運行していたと言われている。

b) 主ケーブルの7本のストランド・ケーブルは、約5m間隔で鉄線を巻いて束ねられているが、この鉄線の位置は吊材の位置とはずれている。吊材は荻原橋と同様、写真-8に示す様にストランドをループ状に曲げた「ループ型」であるが、ケーブル端部は5個のグリップで締め固められてをり、下端にはフック付きのターンバックルが取り付けられている。(写真-8及び図-11)

写真-11は大正5（1916）年8月17日の渡初式の写真であるが、吊材の連結構造は「ループ型」であったと見られる。¹⁴⁾ (写真-11)

岡山大学馬場俊介教授の御教示によれば、美濃橋の吊材の連結法が「バンド型」であった資料もあるとの事であり、現状が架設当初のままではなく大約20年毎に改修が加えられている様である。岐阜県の吊橋も大正9（1920）年以後は「バンド型」を採用しており、改修工事で一時的に「バンド型」となった可能性はある。

c) 塔頂に設置されている主ケーブルのサドルの形は明確でないが、荻原橋とはやや異なり可動支承ではあるが、防水には配慮されている様である。(写真-6)

d) 主ケーブルのアンカレッジへの定着は不明であるが、右岸側は写真-9に示す様に7本の主ケーブルを分散させて定着している。荻原橋と同様に各ケーブルの取り付け位置には調整用のターンバックルを連結している。

(3) 下部工の構造は次の通り。

a) 美濃橋の現地調査によると、左岸側は山が迫り岩盤が露出し、橋台はこの上に設けられた重力式コンクリートの直

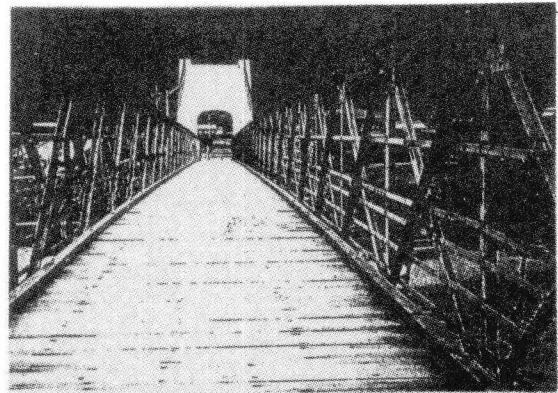


写真-6 美濃橋、下路鋼補剛トラス及び床版。

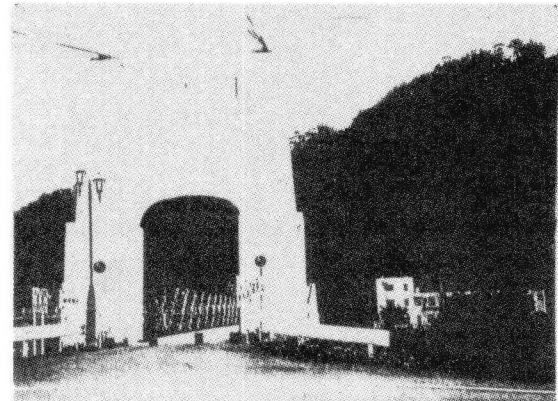


写真-7 美濃橋、鉄筋コンクリート塔柱。

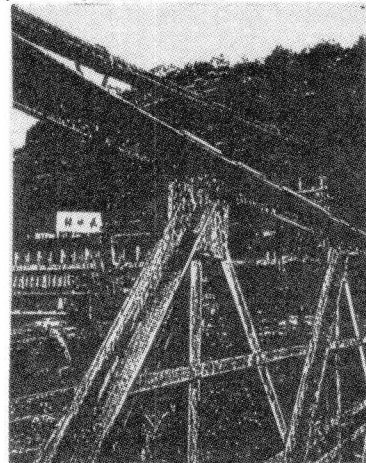


写真-8 美濃橋、主ケーブルと吊材の連結構造及び補剛トラス

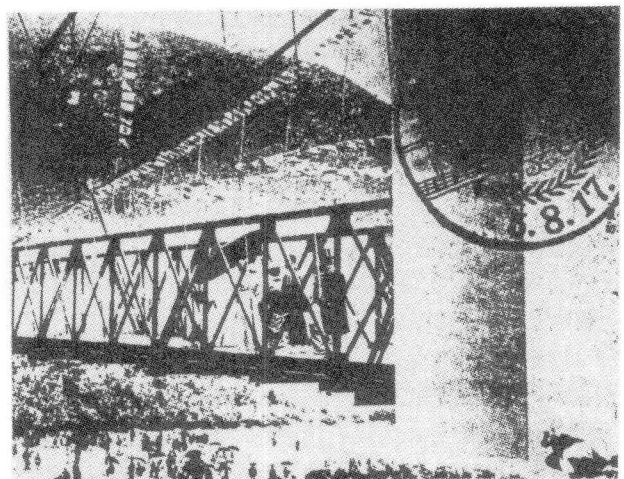


写真-11 美濃橋、大正5年渡初式状況¹⁴⁾ (吊材連結法に注目)

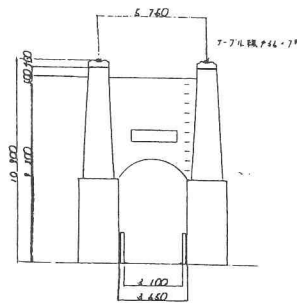


図-10 美濃橋、鉄筋コンクリート塔柱図。¹¹⁾

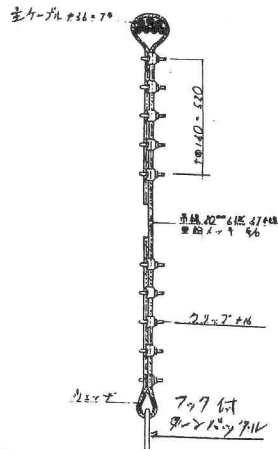


図-11 美濃橋 吊材及び主ケーブル。¹¹⁾

接基礎構造で表面玉石張である。橋台背面は高盛土であり、表面石張りの鉄筋コンクリート擁壁が設けられていると推定される。(写真-5)

右岸側は河川堆積物の河原となっているが、橋台は岩盤に定着された直接基礎の半重力式コンクリート構造と見られ、背面は10mを越える非常に高い盛土となっており、表面玉石張りの高い擁壁が設けられていると推定される。

(写真-10) これ等の構造は橋長を小さくして、しかも現地河川の流況を考慮したもので、今日から見ても美しい自然環境に配慮した適切な構造である。

b) 塔柱は2.16×2.06mの2本の角柱の上に、テーパの付いた角柱が載せられ、その間を広い壁構造で連結して形成されている。(図-10)

橋台構造には大きな背面土圧が作用するので、鉄筋コンクリート構造とする必要があり、塔柱も鉄筋コンクリート構造とするのが、合理的であったと見られる。

塔柱の形状は米国に多いテーパの付いた角柱間を薄くて広い壁構造で連結した構造であり、写真-12に示す米国マサチューセッツ州のニューベリーポート橋の塔柱に似ている。¹²⁾ 事実この橋も1913(大正2)年に旧橋をイメージした中空断面の鉄筋コンクリート構造の表面石張りに改築された報告があり、¹³⁾ 美濃橋の設計に際して参考にされた可能性がある。(写真-12、及び図-14)

当時岐阜県下の鉄筋コンクリート構造としては、前述の八百津発電所の旅足川水路橋や、岐阜駅から平田町までの明治44(1911)年の美濃電気軌道の第1次開



写真-9 美濃橋、右岸側アンカレッジ状況。

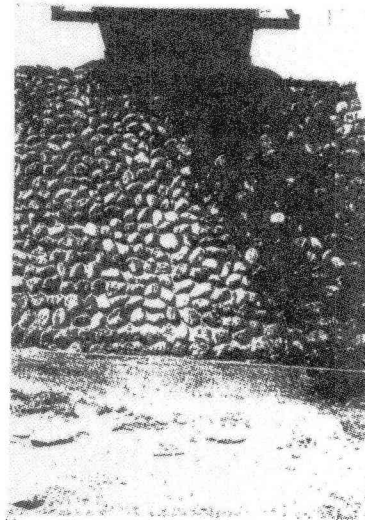


写真-10 美濃橋、右岸橋台擁壁表面玉石張。

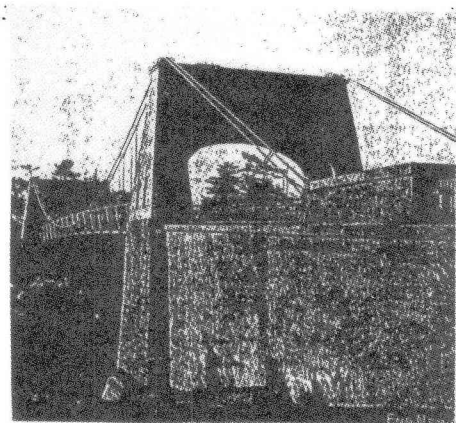


写真-12 米国ニューベリーポート橋塔柱(1913年改築)¹³⁾

通時に、神田通の忠節用水上に鉄筋コンクリート構造の平田橋(橋長4.5m、幅員15.7m)を架設していた。吊橋下部工の鉄筋コンクリート構造は、岐阜県内で既に施工実績があり、美濃橋に採用したと見られる。

(4) 美濃橋の渡初式の大正5(1916)年8月17日の「岐阜日日新聞」の記事によれば、美濃橋の先進橋梁技術として次の3点を特記している。(写真-13)

a) 美濃橋の増場鋼線索は、東京製綱株式会社が原材をスエーデンから輸入して製造した製品で、岐阜県土木課戸谷技師等の立ち会いの下で、同社工場で75吨の切断試験が行われて、その優秀性が実証された。

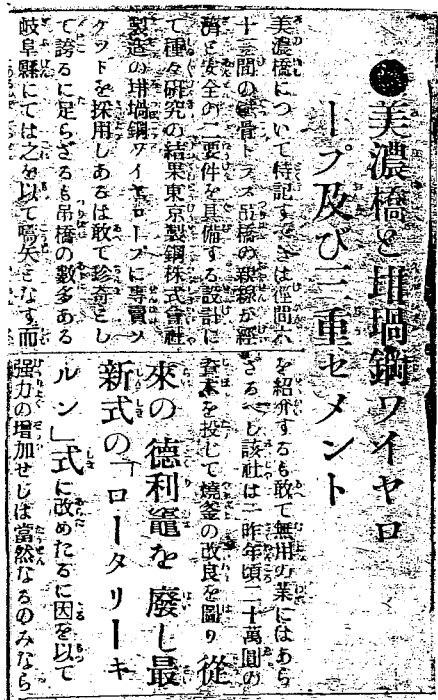


写真-13 美濃橋記事、岐阜日日新聞
大正5年8月17日掲載一部分。

b) 鉄筋コンクリート造の鳥居（塔柱）は、京大工科大学長大藤高彦博士及び戸谷技師の考案による本邦初の構造であり、鉄製の鳥居に比して工費約二分の一で完成したが、当時第一次世界大戦による鋼材3倍の高騰の影響が大きいと記している。

c) コンクリート構造に使用したセメントは、岐阜県土木課で数社の製品でモルタル引張試験による比較の結果より、三重セメント社の製品が $1.8 \sim 2.1 \text{ kg/cm}^2$ の最高値を示し、同社セメントが使用された。同社は当時新式のロータリーキルンの採用により、高品質の製品が生産される様になった為としている。

なお美濃橋左岸の鋼補剛トラス正面には「製作・名古屋鉄工所」「竣功・大正五年七月」と標示されている。「名古屋商工業案内」によると、鉄工業（機械）梶田繁敏と記され、商号「名古屋鉄工所」とされており、補剛トラスの製作を担当したと見られる。¹⁵⁾

吊橋全体の施工は、名古屋電灯KKの八百津（木曾川）発電所の鉄筋コンクリート・アーチ橋等を、大藤高彦教授の指導で施工し、名古屋附近で新式橋梁の施工実績の多い名古屋市の合資会社早川組（社長、早川昇策）の担当の可能性が大きい。¹⁵⁾

(5) 以上の通り美濃橋は、上部工については大正三重県の荻原橋を木造補剛トラスから、耐久性と活荷重の増大に対応して鋼補剛トラスに換えた外形を示している。

塔柱や橋台は現地の地形や河川流況に応じて、高い橋台とそれを保護する擁壁に鉄筋コンクリート構造を採用し、これ等に対応してアメリカ風の2本角柱と広い連結壁の鉄筋コンクリート塔柱を採用している。全体としては、明治末期の木塔を有する木鉄混用補剛トラスの吊橋から、大正中期の鋼塔又は鉄筋コンクリート塔を有する

鋼補剛トラスの吊橋へ進展する過渡期の吊橋と言える。

美濃橋を設計及び指導した担当者の記録はないが、明治末期から大正初期にかけて岐阜県土木課には土木技師戸谷亥名蔵（東京帝大明治21年卒）と道路技師仲野雄介がいた記録がある。¹⁶⁾ 戸谷亥名蔵はすでに高齢であり、工事全体の総括責任者であったと見られる。仲野雄介は既に述べた通り岐阜県下の木鉄混用吊橋を多数架設しており、三重県の荻原橋を担当した岩井藤太郎と同様大藤高彦教授の門下生であった。仲野雄介は橋梁技術に優れ前述の通り1913（大正2）年に「土木工事設計資料」^{4) 5)}を出版しているが、更に退職後の1928（昭和3）年には、「鉄筋混泥土橋梁」と言う著書を監修し、出版している。¹⁷⁾

これ等の優れた構造物等は、大藤高彦教授の一連の指導と資料提供による仲野雄介の設計と推定される。

なお「京都大学工学部土木教室六十年史」⁹⁾によると、大正5（1916）年の卒業生、井上隆根は卒業論文で「吊橋・美濃橋の設計」を行なっている。¹⁸⁾ これは大藤高彦教授の指導で吊橋の変形を考慮し、影響線を用いた鋼補剛トラスの設計を行なっており、塔柱も変断面を有する不静定フレームとしてエネルギー法で解析している。全体としての外形は現存吊橋と良く似ているが、細部構造や寸法では若干の違いがあり、これは現橋とは異なる井上隆根の設計と言える。

5. 勝山橋（福井県）

福井県勝山市の九頭竜川に1915（大正4）年に架設された勝山橋は、アメリカで橋梁技術を研鑽して1908（明治41）年に横河橋梁kkに入社した関場茂樹（東京帝大土木科、明治36年卒）の技術で架設された、トレス型鋼塔を有する鋼補剛トラスの吊橋として有名である。¹⁹⁾

勝山橋は1907（明治40）年頃から九頭竜川右岸上流の大野郡や勝山町と、福井市とを連なく街道が九頭竜川を渡る3個所の渡りで、何処を先行して橋を架設するかが問題となっていた。明治末期に九頭竜川左岸側に沿って福井市から勝山方面に向かって電車軌道の建設が始まったため、左岸の遅羽村比島と右岸の勝山町と結ぶ「鶴の嶋の渡し」の架橋が優先される事になった。²⁰⁾

勝山橋は全長約323mあり、右岸の勝山町側約200mが木桁橋、中央部30mが木造ボーストリング・トラス橋、そして左岸の比島側が、92.6mの鋼補剛トラスの吊橋として設計された。工事は1912（大正元）年から始められたが、仮橋等の工費が嵩み、吊橋は大正2年に架設されたが、橋全体の竣工は1915（大正4）年8月となった。²⁰⁾

写真-14は勝山橋の全景であり、²¹⁾ 写真-15は勝山橋の吊橋部の完成時の景観である。図-12は吊橋の概要図である。写真-16は吊橋左岸側（比島側）の塔柱附近での近接写真である。²²⁾

トレス型鋼塔は、中心間距離91.5m、塔中心

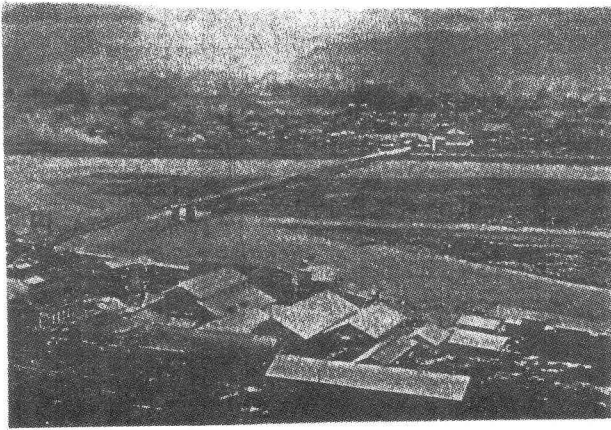


写真-14 勝山橋全景（左側は右岸比島、右側は左岸勝山）²¹⁾

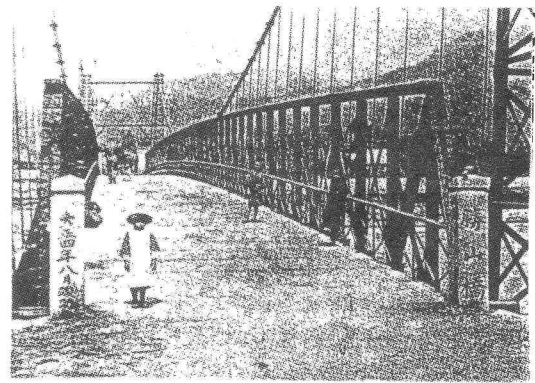


写真-16 勝山橋右岸塔柱部近接景。²²⁾

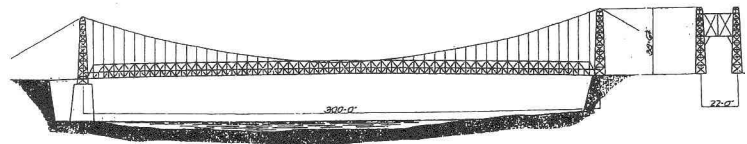


図-12 勝山橋概要図（横河ブリッジ提供）

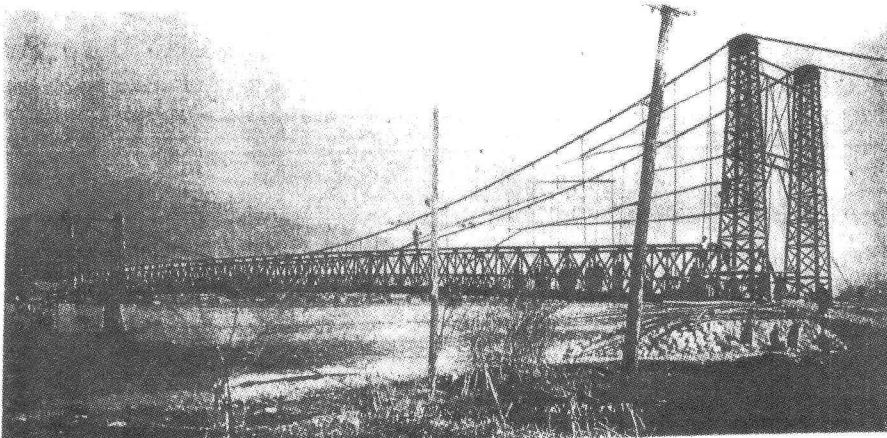


写真-15 勝山橋吊橋部完成時（大正2年）全景（横河ブリッジ提供）

間隔6.71m、塔柱高さは13.21mであった。

吊橋の主ケーブルには東京製綱kk製造の坩堝鋼線索が、片側4本のストランド・ワイヤーロープとして使用されていた。²⁰⁾

補剛トラスの高さは2.4mで美濃橋と略同じ高さであり、トラスの形状も二重ワーレン型であり、図-12で見る、副格間のあるバルチモア型ではない。

図-12の吊橋概要図と写真-15及び写真-16を比較すると、図-12の概要図の僅かの違いに気付く。

第1は写真-16によれば、高欄の高さはトラス斜材の交点には達していないで、高欄柱は格間中央にあるが、トラスとは独立した面に設けられているのが分かる。

第2は補剛トラスの最両端格間の斜材の傾斜方向は、写真-15及び16（概要図の右端）では右から左に下がっており、概要図は両端格間の斜材が抜けている。

写真-15では分かり難いが、写真-16では美濃橋等で設けられていた補剛トラスの面外横倒れを防止する外部斜材は見られない。写真-16を見ると補剛トラスの上弦材や垂直材が斜材に比べて太く、写真-6の美濃

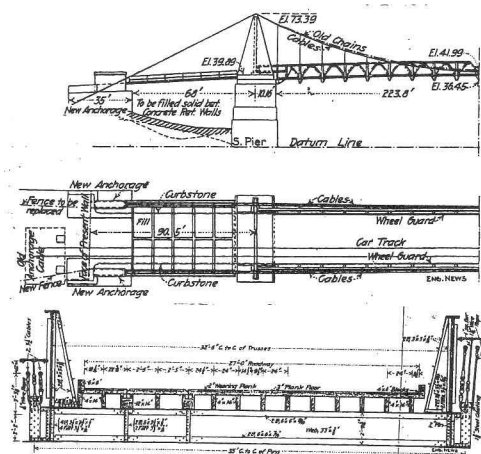


図-13 米国ニューベリポート橋一般図（1913年）¹³⁾

橋の同じ部材に比べても太い。勝山橋では下路式補剛トラスの部材構造が美濃橋等とは異なり、垂直材と床桁との結合部のニーブレイスを強化していたと見られる。

これは図-13に示した米国のニューベリポート橋の横断面に見られる程大きくないが、上弦材や垂直材と

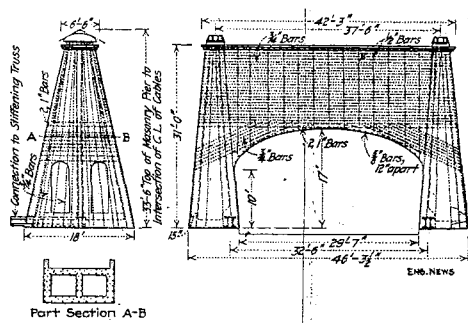


図-14 米国ニューベリポート橋塔柱構造図
(1913年)¹³⁾

ニーブレイスを強化した構造であったと見られる。

こうして勝山橋は我が国一般の下路式吊橋と異なり、上弦材の挫屈や横倒れが防止され、近接景観がすつきりして良好な外観となり、耐風性も向上する米国流の独自の設計をしていたと推定される。

主ケーブルと吊材との連結構造の詳細は不明ではあるが、写真-16で見る通りバンド型である事は明瞭である。(写真-16)

勝山橋は県道でもあるので、美濃橋と同様に活荷重は内務省の定めた坪当たり400貫(453kg/m²)の基準に依っていると見られる。

6. まとめ

(1) 岐阜県の廃案橋は明治40年頃に欧米の近代的吊橋技術を導入して、県庁土木技術者が設計し、廃案となった木塔を有する鉄線釣橋の代表例を述べた。

本橋は鉄線釣橋と呼んでいるが、構造は三本槽の木塔を有する木鉄混用補剛トラスの吊橋である。ただし補剛トラスの吊橋としての設計々算はしていない。

主ケーブルは全死活荷重を負担して、張力は近似拋物線と仮定して計算し、片側錬鉄8番線305條を8本のストランド・ケーブルを使用して、安全率3.5としている。塔頂は鉄板で補強しているが、サドルはない。

主ケーブルと吊材との連結は「ループ型」で吊材端部は鉄線で巻き固めている。

岐阜県ではこうした簡易な設計の木鉄混用補剛吊橋が、可成架設されていた様である。

(2) 三重県の明治43年架設の荻原橋は、鋼塔を有する木鉄混用補剛トラスの吊橋である。

補剛トラスは吊橋として全死活荷重を負担する設計になっておる。主ケーブルの張力は全死活荷重を負担し、拋物線として近似計算して、安全率は4としている。主ケーブルと吊材の連結は「ループ型」で、端部は鉄線で巻き固めている。塔柱は欧米風の洗練された形体の鋼塔であり、塔頂には鑄鉄製のサドルが設置されているが防水への考慮はない。

吊橋の設計計算は主ケーブルの変形を無視した初等力学的な設計であった。

(3) 岐阜県の大正5年(1916)年架設の美濃橋は、鉄筋コンクリート構造の塔柱及び擁壁を有する鋼補剛トラスの吊橋である。荻原橋の木鉄混用補剛トラスの構造を、耐久性と荷重増大のため鋼補剛トラスに置換た構造である。主ケーブルと吊材との連結も「ループ型」であり、端部はクリップで締めている。

塔柱は鉄筋コンクリート構造で、2本の角柱の間を薄い壁構造で連結した米国のニューバリーポート橋を参考にした可能性はある。橋台はコンクリートの直接基礎と見られ、表面玉石張り擁壁で保護されている。附近の自然環境や河川の状況に配慮した優れた設計である。

美濃橋は木塔の木鉄混用補剛吊橋から、鋼塔や鉄筋コンクリート塔の鋼補剛トラスの吊橋へと、我が国の近代的吊橋が弾性論期の完成を迎える過渡期の吊橋と位置付けられる。

なお美濃橋の設計の担当者は、各種資料から京都帝大 大藤高彦教授の指導による岐阜県道路技師仲野雄介と見られる。

(4) 福井県に1915(大正4)年に架設された勝山橋は、鋼塔を有する鋼補剛トラスの本格的吊橋で、米国で橋梁技術を研鑽した関場茂樹の設計で架設された。

その特徴は下路型補剛トラスの上弦材が横方向の面外挫屈に弱いので、上弦材と垂直材を強化し、垂直材と床桁とを結合するニーブレイス材を強化した事である。

これにより横方向の剛性が強化されて耐風性が増大し、外面に突出した斜材も必要がなくなり、外観もよくなる米国流の設計であった。主ケーブルと吊材との連結構造も、米国流のバンド型が採用されている。

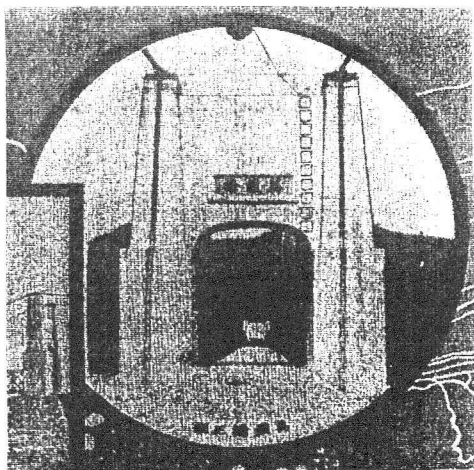
この吊橋は我が国の従来の一般的な近代的吊橋構造から抜け出し、米国流の独自の構造を採用した事である。

(5) 以上明治中期から大正期にかけて、欧米の近代的吊橋技術を導入してきた我が国の吊橋が、どの様に変遷したかを4橋の代表例を挙げて述べた。

しかし、明治中期以前の我が国の伝統的吊橋が、欧米吊橋技術を導入して、どの様に変遷していたかの状況は不明な点が多い。これ等の状況は今後の調査研究が必要である。

7. 補遺

最近入手した資料によれば、²³⁾ 建築家永瀬狂三(東京帝大建築科、明治39年卒)の建築写真集に美濃橋の全体写真や、塔柱の写真-17が示されている。美濃橋の設計が行われた1914(大正3)年当時に、永瀬狂三は京都帝大の本部建築課に勤務し、大学本館や、工学部土木工学教室本館(煉瓦造、1917年竣功)等の建築を担当していた。²³⁾



明治大正期には都市の重要橋梁では、建築家に修景を依頼した例は多いが、美濃橋は岐阜県が重要視していた橋であり、修景を建築家に依頼していたと考えられる。

塔柱のコンクリート表面がベージュ色に塗装されて、美しく保全されている様は、土木構造物としては特異な事である。仲野雄介は大藤高彦教授を通じて、永瀬王三に塔柱等の修景を依頼したものと見られる。

写真-17 建築家永瀬王三の建築写真集にある、美濃橋の塔柱写真²³⁾

8. 参考文献

- 1) 藤井郁夫編「橋梁史年表」(財)海洋架橋調査会、平成4年9月。
- 2) 川田忠樹「吊橋の文化史」技報堂、81頁、87頁、1981年11月。
- 3) 美並村教育委員会「美並村史、通史下巻」美並村、昭和59年3月。
- 4) 仲野雄介「土木工事設計資料(図譜之巻)」郁文堂本店、大正2年1月。
- 5) 仲野雄介「土木工事設計資料(説明之巻)」郁文堂本店、大正2年9月。
- 6) 岩井藤太郎「木鉄混合長三百十尺の吊橋、荻原橋の設計」土木建築工学、第1巻3号、1頁、大正3年3月。
- 7) 吉町太郎「鋼橋の理論と計算(第2版)」石崎書店、611頁、昭和32年1月。
- 8) 服部英雄「三重県紳士録」三重県紳士録編纂会、3頁、大正4年5月。
- 9) 創立六十年記念事業会「京都大学工学部土木教室六十年史」114頁、306頁、147頁、昭和32年6月。
- 10) 美濃市「美濃市史、通史編下巻」昭和55年7月。
- 11) (森下伊治)「美濃橋」「岐阜県近代化遺産建造物等総合調査報告書」岐阜県教育委員会指導部文化課、126頁、1995年。
- 12) 鈴木圭「美濃橋 — 日本に現存する最古の近代的吊橋」土木学会、Vol.87、2002.4。
- 13) Edard C. Sherman "The Reconstruction of the old chain Bridge at Newburyport Mass. " Engineering News、Vol170、No13、Sept. 25、1913。
- 14) 市原三三「ふるさとの思い出写真集、美濃」(株)国書刊行会、昭和57年3月。
- 15) 増本敏三郎「名古屋商工業案内」名古屋商工業会議所、68頁、119頁、大正4年11月。
- 16) 内閣文庫「職員録(乙)」印刷局、大正5年1月。
- 17) 上野英治「鉄筋混凝土橋梁」仲野雄介、昭和3年3月。
- 18) 井上隆根京都帝大卒業論文、TaKa Inouye "Design of Suspension-Bridge Minobashi" June 1916
- 19) (社)日本橋梁協会「日本の橋(増訂版)」朝倉書店、71頁、1994年6月。
- 20) 勝山市役所「勝山市史、第3巻近代・現代」141頁、平成4年3月。
- 21) 石畝弘之、加藤守「目で見える奥越、高志の100年」(株)郷土出版、94頁、1993年11月。
- 22) 勝山市役所「図説、勝山市史」318頁、平成9年3月。
- 23) 水野信太郎他2名「美濃市の近代化と永瀬王三について(岐阜県美濃市の近代化遺産 その3)」日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)1467頁、1993年9月。