

岐阜県八百津町「旅足〔たびそこ〕橋」について
我が国唯一のFlorianopolis橋型の吊橋

About TABISOKO Bridge at YAOZU-T. GIFU-Pre.

山 根 巖
By Iwao Yamane

概 要

旅足橋は、木曽川中流の岐阜県八百津町において、丸山ダム〔関西電力〕の設置に伴う補償代替道路として、木曽川支流旅足川の合流点に、1954年〔昭和29年〕に架設された「下路型単径間補剛トラス吊橋」である。支間114m、幅員4.5mで、支間の中央二分の一部分の補剛トラス上弦材を主ケーブルが兼用した、合理的な吊橋である。

この吊橋は、アメリカの吊橋の大家D. B. Steinman博士の設計により、1926年ブラジルに架設された南米最大の吊橋Florianopolis橋の型式を導入した特異な吊橋であり、世界で5橋架設されているが、我が国では唯一の型式である。

現在は、国道418号線のバス路線の一部として、地域交通の要となっているが、洪水防禦を目的とした新丸山ダム〔高さ122.5m〕の嵩上げ工事の為に、2002年〔平成14年〕には撤去の予定となっている。

ここでは、旅足橋のこの型式への選定の背景と、吊橋としての歴史的、技術的な意義を検討して報告する。

1. 旅足橋の建設事情

〔1〕 旅足橋は、図-1位置図に見るとおり、木曽川中流でV字型渓谷を成して、旅足川が木曽川に合流する位置の国道418号線に架設されている。

八百津町は、古くから木曽木材の集産地であり、木曽川水運の湊であった。

1889年〔明治22年〕に八百津町が成立し、1919年〔大正8年〕道路法が公布された当時、旅足橋は木曽川沿いの町道に架設されていたが、1923年府県道に、更に国道418号となって現在に至っている。

岐阜県加茂郡の川辺町から八百津町を通過して、山間部の集落を結び、東美濃の恵那市に至る幹線道路

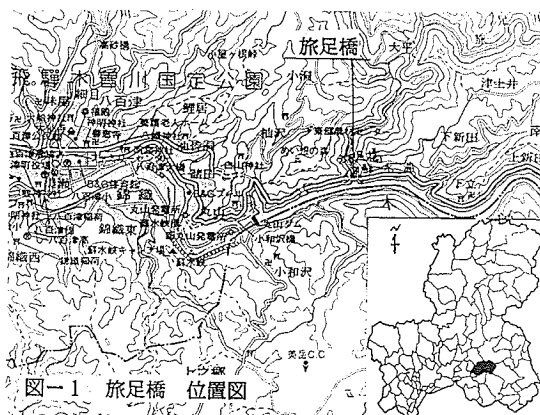


図-1 旅足橋 位置図

Keyword Florianopolis 橋型吊橋 Steinman 鈴木清一 笹戸松二
正会員 大日コンサルタント(株)

であり、バス路線である。

1910年〔明治43年〕の旅足橋は、図-2の位置で、写真-1に見る様な支間15mの方杖式の木橋が架設されていた¹。

後方に見える開側型RC固定アーチ橋は、名古屋電力〔後名古屋電灯〕が1911年に木曽川水系最初の八百津発電所を完成させた時の導水路橋で、1910年〔明治43〕に完成した。支間22m、幅員5mであり、現在水底に沈んでいて、見る事ができない。

〔2〕1944年〔昭和19年〕第二次世界大戦中の工業電力需要に応じて、国策会社「日本発送電」が、旅足橋下流約1kmに丸山ダムと発電所を建設する事となり、昭和20年中に完成する事を至上命令として工事を開始した。しかし、戦局悪化と人材や資材の不足のため工事は進まず、昭和20年5月には中止となった。

戦後の1949年6月に至り、産業復興と電力需要の急増の為にダム工事の再開が決定され、1951年には電力業界の再編成により、関西電力に引き継いで工事が進められ、1954年〔昭和29年〕に丸山水力発電所〔ダム高98.2m、出力125,000kw〕が完成した。

旅足橋は、丸山ダム建設の為に水没することとなり、県道の代替道路橋として改築が必要となった。

この橋の企画は、当時の岐阜県土木部長〔昭和21年から28年〕鈴木清一〔隅田川の清洲橋設計者〕であり²、設計は東大名誉教授の田中豊博士〔元震災復興局の橋梁課長〕の指導の下に、当時の橋梁係長の笹戸松二〔工博、岐阜県、日本道路公団、阪神高速道路公団、長岡技術科学大学〕が、若き日の情熱を注いで担当された橋である。

1953年〔昭和28年〕に着工して、翌年の8月に竣工したが、上部工の施工は、横河橋梁製作所であった。

〔3〕1954年12月の土木学会誌〔創立40周年記念号〕で、平井敦博士は「最近のわが国の鋼橋について」の論文の中で、旅足橋について、特殊な構造を有する吊橋として紹介されている。²〔写真-2〕²

また、同博士の著書において³「細かい点に注意がゆきとどいており、秀れた吊橋の一つである。」

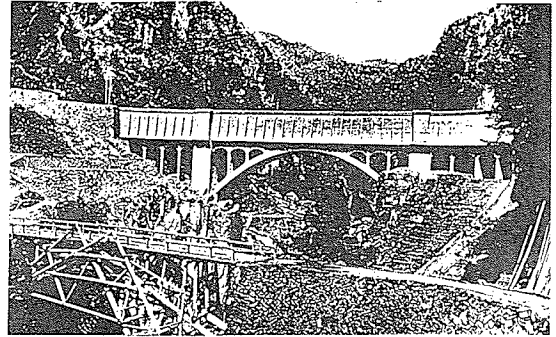


写真-1 明治時代の旅足橋〔1910年〕

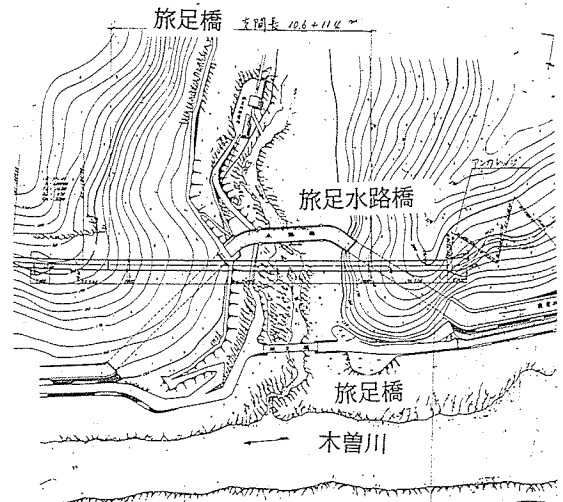


図-2 旅足橋 平面図〔1954年〕

として、主構造や、塔の他に吊金具の設計図まで、かなり詳細に紹介されている。³ 当時、平井博士は日本の吊橋建設全体を指導されており、先生の設計の考え方がかなり入っていると考えられる。

また日本土木史⁴「道路、道路橋」においても「施工時、ケーブルにプレテンションを与えて架設後の変形防止をはかった。」と記述されている。更に日本道路史⁵「技術編」では、「昭和29年に岐阜県に架けられた旅足橋は、戦後の大規模吊橋の最初とされている。…トラスの作用応力をケーブルに伝達される様に作られた非常に珍しい型式である。」と紹介されている。

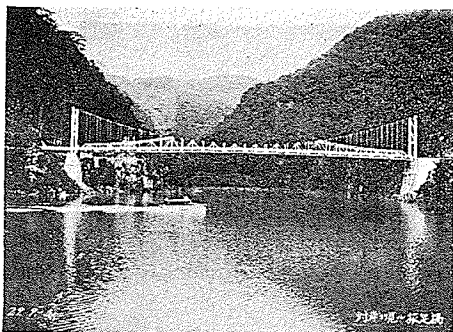


写真-2 完成時の旅足橋 [1954年]

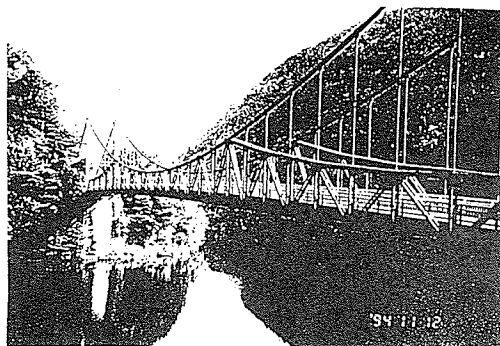


写真-3 現在の旅足橋 [a]

2. 旅足橋の諸元と構造上の特徴

[1] 諸元 [図-3、写真-3、4]

橋長 122.6m 有効幅員 4.5m

支間 114m+10.6m 型式

下路型単径間鋼補剛トラス吊橋 [フロリアノポリス橋型] + 鋼板桁

活荷重 2等橋 9t 床組 1等橋 13t

サグ 11.2m, サグ比 1/10

主構間隔 5.3m 揺動塔高 14.15m

主ケーブル 19本×径44mm (7本より線)

鋼重 本体 181t, ケーブル 63t

床版厚さ 17cm, 舗装厚さ 3cm

[2] 構造上の特徴

旅足橋の構造上の特徴を挙げると、

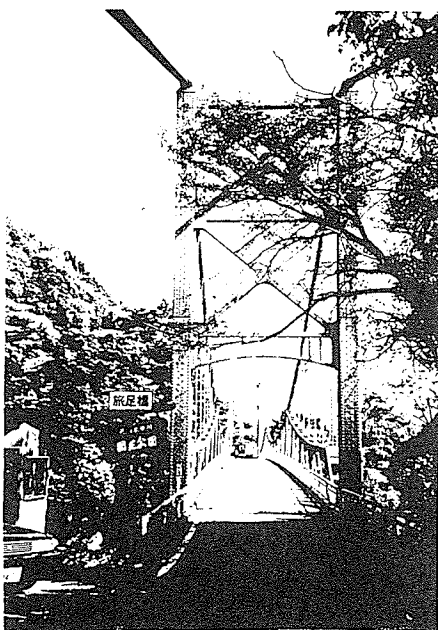


写真-4 現在の旅足橋 [b]

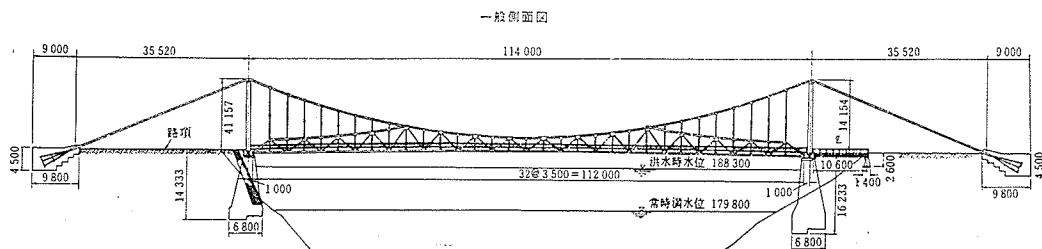


図-3 旅足橋 一般図

- ① 吊橋の補剛トラスの上弦材が、支間32格間の中央14格間で、主ケーブルが兼用しており、補剛トラス上弦材としての圧縮力と、主ケーブルの引張力が相殺される構造になっており、鋼重は減少する。
- ② 補剛トラスの構造高さが、曲げモーメントの最大値となる支間1/4点付近で最高の4.88m、支間中央では2.6mであり、曲げモーメントに応じたトラス高であり合理的である。〔写真-2〕³
- ③ 外国のFlorianopolis橋型の吊橋は、主ケーブルとしてアイバーチェーンを使用しているが、旅足橋ではストランドッド・ワイヤーケーブルを使用している。〔写真-6〕³
- ④ ケーブルと補剛トラス上弦材とは、一体化されており、耐風性や耐振性が良好で、振動し易い吊橋の欠点を補う効果が大きい。〔写真-3〕
- ⑤ ケーブルと補剛トラス上弦材とは、滑らない構造で固く結合されており、結合部金具は、左右からボルトで固く締付ける効果的な構造となっている。〔図-4〕³
- ⑥ 塔支間が比較的小さいので、構造の変形や耐久性を考慮して、揺動式門型鋼製塔を使用している。〔写真-4〕
- ⑦ 耐風性が高いので、当時、一般型式の吊橋で使用されていた対風ケーブルは設けられていないが、40年間以上も幾度か大きな台風を受けているが、今日まで被害は全く無い。
- ⑧ 垂直吊材には、丸鋼を使用し、ターンバックルが設けられていて、キャンバーの微調整が出来る構造となっている。
- ⑨ 主ケーブルと補剛トラスの描くゆるやかな線が、優雅な造形となっていて、飛驒川、木曽川国定公園内の「そすい峡」と呼ばれる溪谷美に良く調和している。

3. 旅足橋の型式選定の背景

〔1〕当時の我が国の吊橋

旅足橋が計画された1952年〔昭和27年〕頃の我が国の吊橋の状況は、藤井郁夫が本誌上で簡潔に記述している。⁶ 1945年までの吊橋技術は、1927年〔昭和2年〕に増田淳によって設計され架設された三好橋〔支間140m、下路型単径間補剛吊橋〕と、1928年〔昭和3年〕田中豊博士や

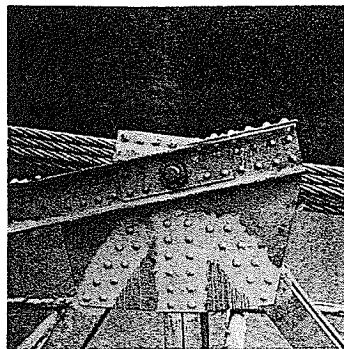


写真-5 ケーブルと上弦材との結合部

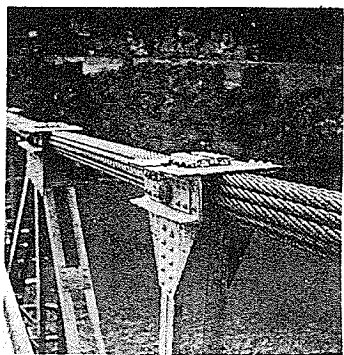


写真-6 ケーブルと補剛トラス

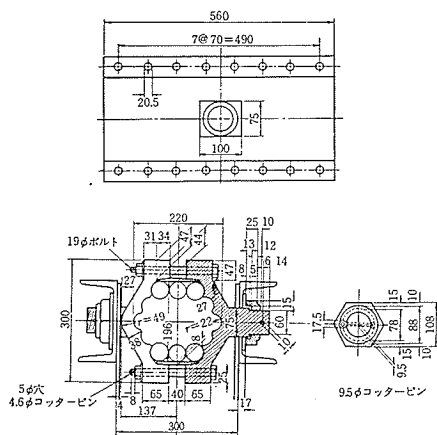


図-4 吊金具 詳細図

鈴木清一による清洲橋〔支間91.4m、自てい式吊橋〕を最後に、特記に値する吊橋は架設されてい

なかった。

吊橋の文献としては、三浦七郎博士が1932年〔昭和7年〕の著書⁷で欧米の吊橋技術について紹介しているが、ブラジルのフロリアノポリス橋〔1926年架設〕とアメリカのポイント・プレザント橋〔1928年架設〕についても触れており、下路型吊橋の代表として、三径間のフロリアノポリス型吊橋の図-5を示している。

また上記著書⁸の改訂として、1942年〔昭和17年〕には、アイバー・チェーン吊橋に使用されたアイバーについて論じており、フロリアノポリス橋でのアイバーについても詳しく紹介している。

戦後の1945年以後は、産業復興の為の電力確保と、洪水防禦事業とを統合した、米国のT. V. A〔テネシー渓谷開発公社〕の方式を導入した「河川総合開発事業」で、ダム建設が数多く行われ、水没道路付け替えの為、多数の橋梁が改築された。

ダムの貯水湖には、中支間の単径間吊橋が架設される事が多くその実例の一部を示すと、次の通り。⁹

〔数字は支間を示す〕

1953年谷瀬吊橋、奈良県十津川217

1953年鹿瀬橋、新潟県阿賀野川130

1954年田之倉橋、福島県只見川117

1954年旅足橋、岐阜県旅足川114

1956年原田橋、静岡県天竜川138.

1956年鷹巣橋、愛知県天竜川157

これらの型式は、旅足橋を除いて、いずれも中または上路型平行弦補剛トラスを有する単径間吊橋であった。

日本の吊橋技術は、欧米から大きく遅れ平井博士等による学術研究は進んでいるが実施される本格的な吊橋は、1962年〔昭和37年〕の若戸大橋〔支間367m〕の完成を待たなければならなかった。



図-5 下路型吊橋〔フロリアノポリス橋型〕

〔2〕 Florianopolis 橋

旅足橋は、Steinmanが提案してFlorianopolis橋型式と言われる、中小支間で合理的な型式を導入した旅足橋の原型をなす吊橋である。

この橋は、図-6に示す様に、ブラジルのサンタ・カタリーナ州の首都であり、本土から約450m離れたフロリアノポリス島にあるフロリアノポリス市と、本土との間に計画された橋である。⁹

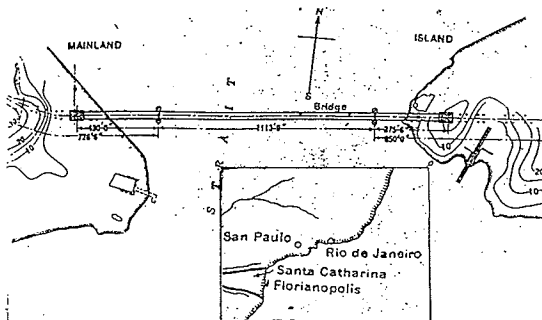
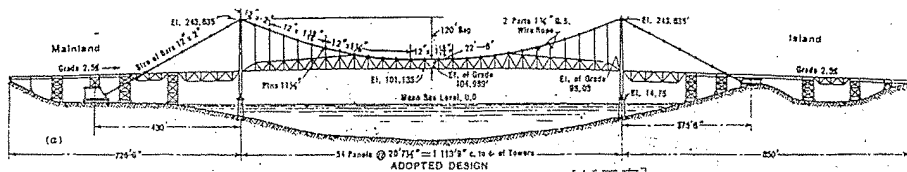


図-6 フロリアノポリス橋 位置図

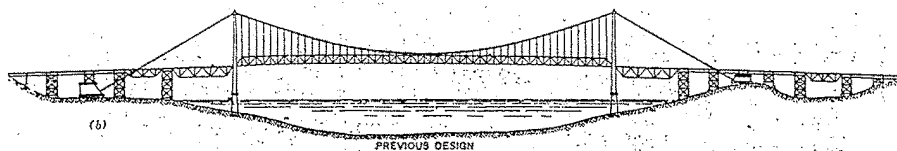
1920年より前に、電車軌道と道路の併用で、中央支間340mの橋梁条件で、欧米請負業者に設計付き競争入札が行われ図-7C案の鋼張出トラスを基本として、サンパウロの一般請負人が決定していた。

しかし、必要経費が予算額を超過しており工費の節減が大きな問題となっていた。1920年にこの請負業者は、Steinman等に働き掛けて、ワイヤー・ケーブルを使用した一般的な吊橋と、張出トラスの工費比較を依頼した。この時の比較案が図-7のB案であった。⁹

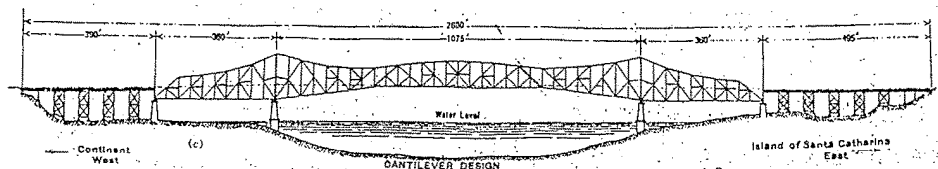
1922年に至り、アメリカ橋梁会社の技術者より、ワイヤー・ケーブルの代わりに、新しい熱調質型高張力鋼製のアイバーチェーンを使用する事が提案され、キャリアー・ケーブルによる架設が容易になり、安価になるとして、この提案が採用される事となった。⁹



フロリアノポリス橋 A-案 [実施設計採用案]



フロリアノポリス橋 B-案 [比較設計案]



フロリアノポリス橋 C-案 [設計付競争入札採用案]

図-7 フロリアノポリス橋 比較計画面

これ等の新技術の研究の結果、Steinmanより、支間の中央部1/2の部分で、アイバー・チェーンが補剛トラスの上弦材を兼用する図-7のA案を提案し、全体として最も経済的になるとして採用された。⁹

1922年に着工し、1926年に完成して現在も供用されている。図-8にて、横断面図を示す。

[写真-7] [写真-8]

1952年の吉町太郎一博士の著書¹⁰にも、Floriano Poliss橋の比較計画面が紹介されている。

この橋は、橋長815m、最大支間339m、車道幅8.5m、歩道幅2.7m、水道パイプを添加していた。この吊橋の特徴は、ケーブルに熱調質高張力炭素鋼製〔最小弾性限界5273kg/cm²、極限強度7382kg/cm²、最小伸び、5.545mの供試体で5%以上〕のアイバー・チェーンを使用した吊橋である。アイバーの許容応力度3515kg/cm²で

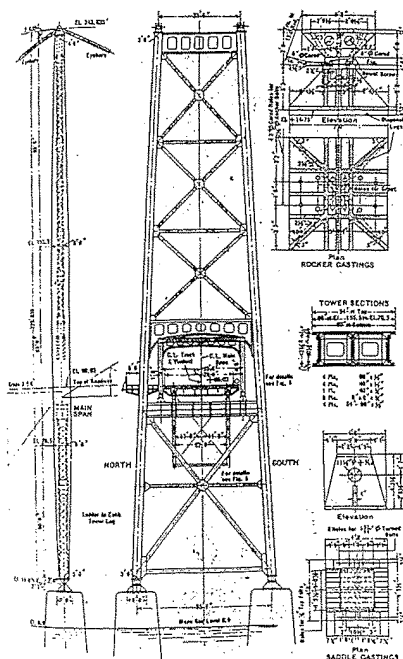


図-8 フロリアノポリス橋 横断面図

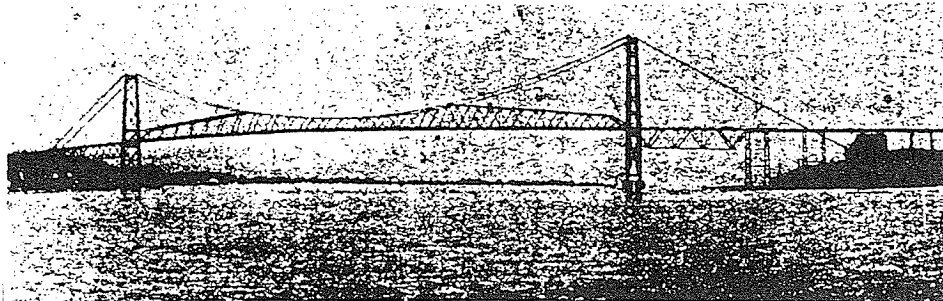


写真-8 フロリアノポリス橋 [完成時]

あり、アイバー・チェーン吊橋としては、世界最長の橋梁である。¹¹

単径間の補剛トラス上弦材は、支間の中央 $1/2$ がアイバー・チェーンと兼用になっていて、合理的で、有利となっている。

③補剛トラスの構造高さが、吊橋の曲げモーメントの最大となる支間 $1/4$ 点付近で最大となり、支間中央と支点上で最小となる曲線状となっていて、吊橋全体としての剛性が大きくなり、撓みが小さくなり、耐風、耐振動性が大きい。

④鋼製塔としては、下端に支承を設けて全米大陸で始めてロッキング型を使用した。

⑤全体的に補剛トラスと、チェーンの重量の減少の結果、平行弦補剛トラス吊橋と比較して鋼重は $2/3$ となり、橋の剛性は4倍となり、塔および、アンカレッジの材料が節減された。¹¹

⑥ゆるやかなアイバー・チェーン・ケーブルの曲線美と、 $1/4$ 点を最高点とする補剛トラスの成す簡素な曲線美により、全体として、優雅な橋梁景観を成している。

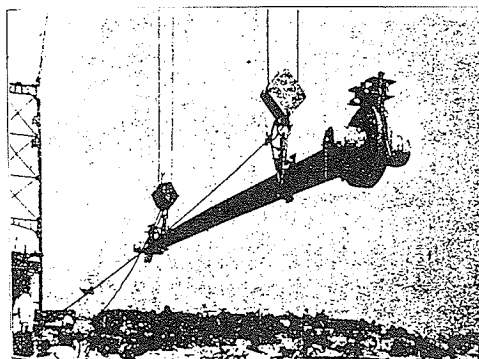


写真-7 フロリアノポリス橋
ピン付きアイバー・チェーン運搬架設中

[3] その他のFlorianopolis橋型の橋梁

1926年1月の米国土木学会[ASCE]でのSteinmanのFlorianopolis橋についての発表⁹に対して、L. S. Moisseiffを初め多くの欧米の橋梁技術者が討議に参加し、橋梁構造、施工方法及び景観について多くの意見を寄せている。これを見ると、当時は、Flor

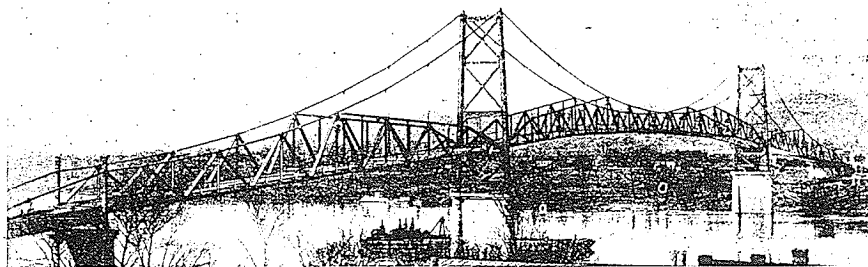


写真-9 ポイント・プレザント橋

Florianopolis 橋に対する関心が高かった事が推定される。

Florianopolis 橋型吊橋としては、この他に、米国西バージニア州、オハイオ河に架かる写真-9のPoint Pleasant 橋 [1928年、支間213m] と、同州オハイオ河に同一設計で架設された姉妹橋のSt. Mary 橋 [1929年、支間213m] がある。また、1936年には、オーストラリアのプリズベン河にIndoorpilly 橋 [支間183m] が架設されているが、その他には無い様である。

Point Pleasant 橋¹²は、中央径間213m、側径間115mで、ケーブルに熱調質型高張力鋼のアイバー・チェーンを使用し、中央径間中央部と、側径間側端で、支間の1/2ずつを、補剛トラス上弦材とチェーンとを兼用させた、Florianopolis 橋型式を最初に、米国で実施した橋である。設計は、バルチモアのコンサルタントであったが、銀色に塗装されていた為に、シルバー橋と略称されていた。この橋が有名なのは、1967年12月アイバー・チェーンの1つが、疲労によるぜい性及び延性破断のため落橋し、46人の死者を出した事である。¹³この事故があって始めて米国議会が取上げ、¹⁴1971年4月に法律に基づいて「国家橋梁台帳」の記録保存義務や、「橋梁点検計画」が実施される事となった。

なお、この橋は、1969年には下部工を再利用して、上部工はH型鋼を使用した張出しトラスとして架替えられている。¹⁵

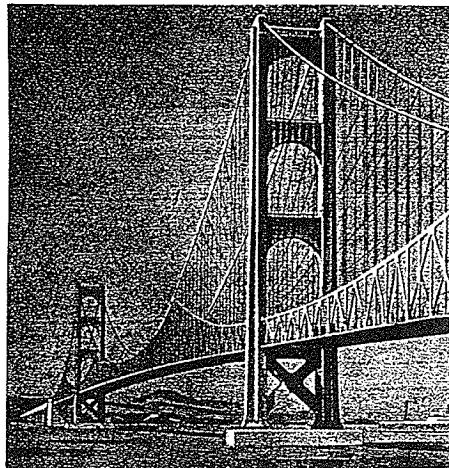


写真-10 Steinmanのメシナ海峡連絡橋案

論文にして発表した。¹⁶

メシナ海峡は、幅約3000m、水深約120m地震地帯、暴風地帯であり、海流も早く、架橋条件の極めて厳しい地点である。

Steinmanの案は、中央径間1524m、側径間732mの三径間連続下路型補剛トラスを有する吊橋であり、図-9にその一般図を示す。

鉄道を通す目的で、撓みによる勾配を1%以下とするため、中央径間1/4点のトラスの構造高さは支間の1/40の38mとし、補剛桁モーメントに応じて高さを変化させて、その上弦材の一部を主ケーブルと兼用させている。

更に剛性を高め、安定性を増すため、塔の剛性の不足を補うための逆方向のネガティブステイクープ

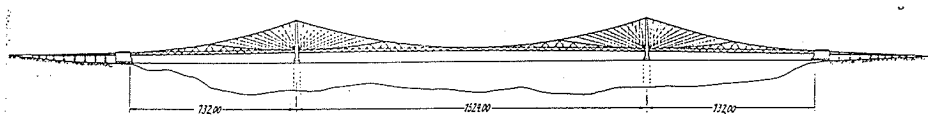


図-9 Steinmanのメシナ海峡連絡橋 一般図

[4] Steinman提案のメシナ海峡連絡橋

イタリア政府の機関が、1950年にシシリー島開発のため、本土との間のメシナ海峡に、道路と鉄道の併用橋の架設計画案を公募したが、それに対してSteinmanは、Florianopolis 橋型吊橋を発展させた新アイデアの吊橋を提案し、

ルを使用している。

結果として、写真-10の優美な造形の吊橋となっている。¹⁶ Niels Gimsing博士 [デンマーク工科大学] は著書で「1950年初頭の技術レベルでも、十分に架設可能な橋梁という点で、Messina海峡の連絡橋として、最初の最

も現実的な設計であると言える。」と評価されている。¹⁷

〔5〕旅足橋の型式選定の動機とMessina海峡連絡橋

旅足橋が計画された1952年〔昭和27年〕頃は、敗戦後間もない国力が疲弊した時期であったが産業復興を目ざして重点的にダム建設が進められ、水没道路の代替え道路や、橋梁が建設されていた。当時、この様な場合は、新型式の橋梁の試験場でもあり、現在から見ると規模は小さいが、吊橋を始め新型式のローゼ桁やアーチ橋等が架設され始めていた。

当時、岐阜県においては、急流河川の橋梁では、簡易吊橋が多かったが、台風、洪水等による落橋例もあって、吊橋は、風水や、振動に弱いと言う認識が有り、これ等に強い経済的な吊橋が、切実に求められていた。

一方、1951年3月Steinman博士は、前記論文の中で、Florianopolis橋型式の吊橋の耐風、耐振性と、経済性を強く主張していた。¹⁸

1952年、丸山ダムの付替道路の一部として旅足橋が計画され、清洲橋の設計者として吊橋に詳しい鈴木清一土木部長が、Steinmanの論文に目を止め、中小吊橋の試験的な試みとして、新型式の吊橋が企画されたと考えられる。

4. 旅足橋の技術的、歴史的評価

旅足橋についての技術的、及び歴史的な評価を試みると、次の通りである。

〔1〕技術的な意義

① 中小支間の吊橋として、合理的で、経済的なFlorianopolis橋型の新型吊橋を積極的に導入し、細部構造にも意を用いた設計をおこなった。この型式の吊橋としては、世界でもブラジル1橋、アメリカ2橋、オーストラリア1橋、日本1橋の合計5橋である。¹⁸

② Florianopolis橋型吊橋がアイバー・チェーン・ケーブルを採用しているのにたいして、旅足橋は、ワイヤー・ストランド・ケーブルを使用して、我が国独自の技術開発を試み、主ケーブルと補剛トラスとの結合部等細部に工夫を凝らして

設計している。

③ 旅足橋は、耐風、耐振性が良好で、耐風ケーブルがなくとも、幾度もの大台風にも耐え、バス路線の交通にも耐えて、今日までその重要な役割を果たしている。

④ 戦後の最初の小規模吊橋として、当時の吊橋技術の進歩に、大きく貢献している。

⑤ 主ケーブルと補剛トラスの成す優美な曲線美は、そすい峡の溪谷美と良く調和して、橋梁美の良き実例となっている。

一方では、Florianopolis橋型式がSteinmanの利点の強調にもかかわらず、その後発展しなかった理由として次の点が考えられる。

⑥ 戦後の橋梁技術の急速な進歩により、小規模支間の橋梁は、アーチやローゼ桁の橋梁型式が取って代わり、更に大きな支間では、斜張橋の時代となつて、Florianopolis橋型吊橋が採用されなかった。

⑦ この型式は、補剛トラスの剛性に注目したものであるが、大支間吊橋では、ケーブルが主構造であり補剛トラスの剛性はあまり問題とならないので、採用されない。

⑧ この型式は、道路と鉄道の併用吊橋として、撓み勾配や折角の減少を主目的とした型式であるが、道路、鉄道併用橋が少なくなっている。

〔2〕歴史的な評価

① 日本の国力が疲弊し、橋梁技術も停滞していた時代に、積極的に欧米先進技術を取り入れ、わが国の技術を生かし、創意工夫して建設された特異な吊橋である。

② 吊橋としての規模は、今日から見ると小さいが吊橋技術の進歩の上では、数々の試験的な試みを実施しており、その後の中小吊橋技術の発展の上では重要な役割を果たしている。

③ 景観上からの橋の造形は、当時は評価されてはいないが、今日では、溪谷美の中に見事に調和した優れた吊橋として評価されている。

④ 旅足橋は、国道418号線のバス路線として、今日まで40年以上も使用されており、地域交通では重要な役割を果たしている。

5. あとがき

岐阜県八百津町の旅足橋について、この形式が採用された歴史的背景と、技術的及び、歴史的意義を検討した。この橋は1954年の架設で、比較的歴史は新しいが、戦後の吊橋技術の発展の基となった橋の一つと考えられる。

最近地方では、林道や、遊歩道等で、簡易吊橋が架設されているが、耐風性、耐振性が良くしかも経済的な中小支間の吊橋として、Florianopolis橋の型式が採用されても良いと考えられる。

これまでの要旨を纏めると、

- ① 旅足橋はD. B. Steinman博士の開発したFlorianopolis橋の形式を導入したわが国唯一の吊橋であり、中小支間吊橋としての構造合理性と経済性を備える。
- ② 吊橋構造としては、耐風性や、耐振性が良く耐久性も充分であるが、その後の橋梁技術の急速な進歩により、中支間橋梁は、斜張橋の形式に取って代われ、世界での採用例は5橋に留まっている。
- ③ 旅足橋は、吊橋としての規模は小さいが、ストランド・ケーブルの採用や、吊橋の細部構造に創意を発揮して設計し、その後の中小吊橋の発展に重要な役割をはたした。
- ④ 供用開始から今日まで40年以上にわたり幾度もの大台風にも耐えて、地域交通の要として重要な役割を果たしている。
- ⑤ 橋梁の造形としては、ゆるやかな曲線の成す優美な外観が、渓谷美とも良く調和して、優れた景観を成している。

6. 謝辞

この報文作成に当たり、川田工業 川田忠樹氏等の御教示をいただいたので、最後ながら、感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1 「写真集、八百津」古田平一郎、横山佳雄
創文出版社 1985年
- 2 「土木学会誌第39巻12号」1954年12月
- 3 「鋼橋Ⅲ」平井敦、他技報堂1956年
- 4 「日本土木史昭和16～昭和40年」
土木学会、1973年p442

- 5 「日本道路史」日本道路協会1977年
p1045
- 6 「土木史研究第11巻」「日本の吊橋の変遷について」藤井郁夫、1991年
- 7 「鋼橋」三浦七郎、常磐書房1932年
- 8 「鋼橋下巻」三浦七郎、常磐書房
1942年p179
- 9 「THE EYEBAR CABLE SUSPENSION BRIDGE AT FLORIANOPOLIS, BRAZIL」by
D. B. Steinman and William G. Grove New York,
Jan. 1926
- 10 「鋼橋の理論と計算」吉町太郎一
石崎書店1952年
- 11 「Design of the Florianopolis Bridge」
D. B. Steinman ENGINEERING NEWS-RECORD
Vol. 93 Nov. 13. 1924
- 12 「An Eyebarsuspension Span For The Ohio River」Willson T.
Ballard ENGINEERING NEWS-RECORD June 1929
- 13 「橋梁と基礎」Vol. 30、太田孝二、深沢誠
「鋼構造物の削壊、破壊（その2）」
1996年2月
- 14 「MANUAL FOR MAINTENANCE INSPECTION OF BRIDGES」1978 AASHTO
- 15 「Civil Engineering-ASCE」Dec. 1969
- 16 「Der entwurf einer Brücke von Italien nach Sizilien mit der grossten Spannweite der Welt」
D. B. Steinman, DER STAHLBAU BERLIN März 1951
- 17 「CABLE SUPPORTED BRIDGES—CONCEPT AND DESIGN」Niels Gimsing 1983
「吊形式橋梁——計画と設計」監訳 伊藤学訳
藤野陽三、他 [株] 建設図書1990年4月