



橋梁の歴史的変遷とその発達動向について(4) : 美学,力学,災害の史的変遷と発達上の問題点

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中村, 作太郎 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3681

橋梁の歴史的変遷とその発達動向について（４）

—— 美学，力学，災害の史的変遷と発達上の問題点 ——

中 村 作 太 郎

On the Historical Changes of Bridges and the Tendency of Their Progress (4)
The Historical Changes on the Aesthetics, the Mechanics and the Disasters
of Bridges and Some Problems on the Progress of Bridges

Sakutaro Nakamura

Abstract

The Present writer made the general investigations on the historical changes of the aesthetics, the mechanics and the disasters of bridges, and he discussed and stated in full on some problems in the development of bridges.

I. 橋梁の美学的変遷^{1)~9)}

1. 概 説

人類が橋を建造する際には、時代時代に適応した美の追求が行なわれており、原始時代より現代に至るまで、人類文化の発展・向上とともに進歩発達を重ねて来ている。すなわち、橋梁は重い荷重を支えるだけで満足されるものではなく、人間文化の発達向上にともなう、益々美的要素の完璧が要求されるようになった。

真の橋梁美は一般的構造美と同様に、単なる装飾のみによって得られるものではなく、美学上の法則、すなわちその重心の位置による美、曲線と直線との調和および比例の美、量の美、面の美、容積の美、内容表現の美、意匠様式手法の美などにより、総合的に創造され、しかも環境との調和を重視してはじめて成立つものである。

古代の橋梁美は天然自然の美しさと調和した全く簡素な自然の風景美と人間生活の密接な関係のある山野、河川、道路との温かみのある調和・連繫より生じているものと思われる。また中世および文芸復興時代の橋梁の美には、造型美と装飾美を加味するものが多くなり、人類の文化進展とともに橋梁に対する芸術的関心も著しく高まって来た。

これに対し、近世および現代における橋梁の美には、科学の進歩によって、力学的にみた美観と芸術の学問的分析から来る新しい美観ならびに、環境と景観の調和を体系づけた景観論的美観などが生れて来た。

2. 古代の橋梁

古代の橋梁には、三つの型式、すなわち木材を横に架け渡した桁橋構造、植物性の蔓や竹を編んで架け渡した吊橋構造、石材を弧状に疊築したアーチ橋構造があり、それぞれに独特の味わいのある違った美観が見出されている。

我国における木曾の棧橋（懸橋）は、和漢三才図絵に記録されているから相当古いものであるが、山腹の山道に調和した非常に面白味のある美観を呈し、また斐太風土記に記録されている飛弾の藤橋も原始吊橋として人類文化史を物語る素朴な美を示している。

中国とかチベット地方に竹で造った古い吊橋が残存しているが、これも原始吊橋の素朴な美を示している。

ヒマラヤ山脈地方に竹で造った古い吊橋が残存しているが、これも原始吊橋の素朴な美観を呈するもので、蘭印ジャバのセラジオ河に架けられた土人の造った竹の吊橋が原始人達の昔の生活を思い出させるのと比較対照され、大変面白く感ずる。

また石造アーチが古代において数多く架設されたことは周知のことであるが、ローマ時代テベレ河に架設されたカトロ・カピ橋（62 B. C）は側面が簡素に仕上げられ、その古色蒼然たる全容は我々に懷古の情と美をそそらずにはおかない。ローマの聖アンジェロ橋（134 B. C 架設のエリウス橋の本体）は剛健なる3径間アーチよりなり、壮大なる美のほかに後で修築されただけあって装飾美が加えられており、ロット橋（178 B. C）は古いだけあって、その形は簡素で力強さの感じさせられる美観を示している。

ローマ市郊外のクラウジウス帝の建設した水路橋（50）や南仏のガール水路橋（50）は、いずれもその古いアーチの美しさに偉大さを秘めて力強くそそり立っている。またスペインのセゴビヤにある「悪魔の橋」と呼ばれる水路橋もその偉大な美と奇巧に富んだデカメロンの伝説で大変著名である。

中国には古くから石造アーチが盛んに架設されたという歴史研究家がいるが、現存する石造アーチの大部分は中世のものと考えられ、古代のものと思われるものでも、殆んど何回となく改築または修築されたもので、最初から残っているものはきわめて少ない。その年代については明確でないが、一種独特の安定した美観を呈している。

3. 中世および文芸復興時代の橋梁

西欧におけるこの時代の橋梁は、造型美に多少の進歩を示したことと復興期において、レオナルド・ダ・ビンチ、アンドレア・パラディオ氏などの世界的芸術家達が橋梁の意匠に心血を注いだことなどによって特徴づけられる。

またローマ市郊外のノメンターノ橋は、封建戦国時代を反映して橋梁に要塞的防禦工を施したことで著名であり、どことなく勇壮な美観を感ずる。南仏アビニヨンの聖ベネゼの橋（1234～1237）は、ローヌ河に架けられ、現在は一部断橋となっているが、橋上に礼拝堂があり、宗

教的匂いと整然たる美観を示している。イタリアのフィレンツェ市にあるポンテ・ベツキョの橋(1355)は、古くローマ時代のものを修築したもので、橋上に商店が列をなし、一名「廊橋」とも称され、生活に直結した賑やかな美観を呈している。

イタリアのベネチア市のリアルト橋(1588)は、アントニオ・ダ・ポンテ氏の設計になる著名な廊橋であるが、橋面には急勾配の階段がつき、両側につけられた店舗の様相はベネチア共和国の全盛時代を偲ばせるような変った美しさを示している。それから、イタリアのフィレンツェ市のトリニタ橋(1566)は、バルトロメオ・アムマナーチ氏の設計になるもので、3個のアーチはクロイド型の美しい曲線を示し、その鮮かな美的効果から見て、全欧における興復期の橋梁中の芸術的最高傑作ということが出来ると思う。

また中国における石造アーチ橋には美観を呈するものが多く、中国江蘇省の呉県にある楓橋はその代表的なもので、蘇州の寒山寺を訪れるものが驢馬の背に乗って渡る橋であり、南北交通の要所にありながら塵埃にまみれた古色蒼然たる石造りのアーチで、その美観の優れている点では群を抜き、張継の詩によって有名になった橋である。

それから北京郊外の万寿山昆明湖の一部に架けられている駝背橋も中国風調豊かで実に美しく、四川省万県にある万州橋は橋上に屋根のある家屋をおいたところに特徴があり、蘇州城内の石造アーチ橋と同型の美観を示している。

また、水に恵まれた南中国の橋は、その型式こそ異なるけれども、その目的においては、イタリアのベニスやオランダあたりの水路橋と一脈相通ずるところがあり、石段を用いたところなど実に美しく興味深いものがある。

中国における上述の橋梁の架設年代はあまりはっきりしないが、西欧の中世紀に相当する時代のものと推定される。

日本におけるこの時代の芸術的橋梁の第一は、岩国の錦帯橋(1666)をあげることが出来ると思う。支間約23間の木造アーチ5連を有し、材料使用ならびに基礎工法的確さは驚歎に値し、周囲の地形や環境に調和した美観にはいうにいわれぬ味わいがある。また長崎の眼鏡橋(1671)は、中国より渡来の僧如定の手によるもので、その石造アーチの美しさは日本古来から橋形ではなく、その後九州西南地方に広まり、あとで江戸にも移入された。

そのほか、甲斐の猿橋(1226)は刎木橋としての国宝的存在であるだけに、溪谷と調和のとれた美観を呈しているし、日光神橋は766年「山菅^{やますげ}の蛇橋^{じゃばし}」として深砂大王が白雲に乗って現われて架設したといい伝えられているが、1636年東照宮鎮座後に山崎長兵衛がこの橋を架け、親子代々その改築に当って現在ある橋の漆ぬり仕上げを行ったもので、黒色の桁、朱色の高欄が緑杉や青苔と調和し、大谷川の清流を背景として、誠に簡素静厳なる日本の美観を示している。

また京都の三条大橋は1590年に架設されたが、洪水で数回破壊されている。柱頭の擬宝珠は

紫銅にして18個あり、当時の人達が虹橋と呼んだ通り日本独特の美観を呈している。そのほかに、京都の五条橋（別名五条勸進橋）、江戸の日本橋（1603架設説有力）は木橋独特の簡素な日本の美を示しているし、琉球沖縄における真玉橋は、石造アーチで豪放な美しさに異色を放っている。

更に水都ベニスの運河に架けられた San Giobbe, Rialto (1592) の両橋は、それぞれの特徴を有し、その形から見ても周囲の建築との釣合いも保たれ、誠に優美な橋であるし、同じベニスにある Ponte alla Paglia 橋（1360）は、その高欄の意匠に特徴を有し、見る者の目を楽しませてくれる。

4. 近世および現代の橋梁

近世における橋梁の目覚ましい発達、橋梁用材および橋梁理論の革命的な躍進を背景とし、18世紀に至り鉄材の進出と構造力学の進歩により、橋梁の型式は全く新しいものへと進展し、美的観点も中世紀末までのような簡単なものではなく、複雑さと難しさを加えるようになって来た。

また第2次世界大戦後科学の著しい進歩により、橋梁材料や耐荷力および破壊現象の吟味・検討が活発となり、経済設計と塑性理論の応用に発展し、種々新しい工法が生み出されるに至ったので、橋梁の美的要素も多面的となり、力学的美・科学的美のほか、景観の技術美の追求が行なわれるようになって来た。

パリに1900年架設されたアレキサンダー三世橋は、装飾の加えられた整然たる美観を示し、型式は古いけれども周辺との調和がよくとれている。またベルギーのツールネー橋は、鉄筋コンクリート造りのフィーレンデル型アーチ橋で、近代美を誇る名橋として数えられている。我国におけるフィーレンデル橋の例としては、東京の豊海橋があるけれども、支間が小さいのにややごつく、重苦しい感じとなっており、荘重美観はあるとしても、一考を要するところであろう。

アーチ橋では、1898年に架設された米国のナイアガラ瀑布大橋が偉大にして繊細なる美を示し、同じく1898年ドイツに架設されたボン橋は偉風堂々たる美観を呈し、また1899年フランスに架設された鉄道橋のピアウル陸橋は規模の大なる美観を与えている。次に我国における東京の永代橋、駒形橋などのアーチは、都会に調和した美しさを示し、隅田川を船で通る人達の目を喜ばせてくれる。

20世紀の橋梁では、経済性に富み軽快なる美を重視するようになり、ランガー桁型式の橋が好んで架けられるようになって来た。1929年ドイツのウーゼル河に架設された中央支間119.61mの複線鉄道橋がその代表的なものであり、軽快美を誇っている。

我国では、両国鉄道橋、天竜川橋梁、那珂川大橋、群馬大橋など数多くのランガー桁橋が架設され、山河の環境に調和した軽快美をあちこちに表示している。

大径間突桁橋として雄大な美を示しているものに、英国スコットランドのフォース橋があり、カナダのケベック橋もフォース橋よりは規模が幾分小さいが、やはり雄大な美観を与えている。

吊橋では、何といっても最大支間長の記録を長い間保持していた米国サンフランシスコの金門橋(1937 架設、中央支間長 1,280 m で現在世界第 3 位)を美観の第一位にあげることが出来ると思う。朝霧に霞むサンフランシスコ湾に跨る勇姿は、米国のシンボルともいわれる通り実に美しく、旅行者の目を楽しませてくれる。また米国ニューヨークに架けられたマンハッタン橋(1909)は、都会らしい繊細な感じの美観を示し、たわみ理論によって設計した近代吊橋の代表的な美的感覚を与えているということが出来る。米国には、このほかにも長径間吊橋が非常に多く、デラウェア橋における壮観なる美観は、一種独特の味わいがあり、見る者にすっきりした感じを与えてくれる。

長径間吊橋においては、周囲の環境により著しく異なった美観を呈するもので、美学的観点から充分研究して見る価値がある。

我国の吊橋では、東京の清洲橋の都会らしい近代美と九州の戸畑-若松間の若戸大橋(1963)の簡素ですっきりした都会的美と関門海峡に架けられた関門橋(1973)の雄大な美を比べて見ると、仲々簡単には優劣つけ難いが、支間 178 m + 712 m + 178 m の関門橋がやはり規模の大きいことも手伝って、周囲の環境に調和した柔軟性と雄大さとの融け合いから、最も優れた美観を醸す出しているといえよう。

可動橋では、英国ロンドンのタワー・ブリッジの壮観美、米国シカゴのバスキュール・ブリッジの動的美しさ、マルセイユ運搬吊橋の繊細美、東京勝鬃橋の壮観美、鴨緑江旋開橋の機械的美などをあげることが出来る。

鉄筋コンクリート橋では、フランスの Castelmoron 橋(1933)のスマートなアーチの美、同じくフランスの Saint-Pierre-Vauvray 橋(1923)の偉風堂々たるアーチと繊細な吊材との調和の美、米国のアーチとして著名な Intercity 橋の落ち着いた美観、フランスの鉄筋コンクリート・トラス橋として著名な Yonne 河橋(1931)の変った設計の美、同じくフランスの構桁橋の Luzancy 橋(1924)の吊橋を連想させるような真新しい美観、やはりフランスのフイーレンデル型の Pique 河橋(1931)の重厚で面白味のある美観、ウィーンのスルーな桁橋の Marien 橋(1953)のすっきりした簡素な美、ドイツの Donau Grossmehring 橋の同じように簡素ですっきりした桁橋の美などをあげることが出来る。また、我国の鉄筋コンクリート桁橋として著名な北海道の河西橋(1941)のスルーですっきりした長大橋梁の美にも素晴らしいものがある。

プレストレスト・コンクリート橋としては、ドイツの Rhein 河に架けられた Niebelungen 橋(1953)と同じくドイツ Mosel 河に架けられた Koblenz 橋(1954)のすっきりした荘重美、同じくドイツの Donau 河に架けられた Schweden 橋のスルーでスマートな美、我国の岡山県に架

けられた吉井川鉄道橋（1959）の同じくスルーでスマートな美観などをあげることが出来る。

また最近、ドイツには電弧溶接の近代鋼橋でスルーな橋が盛んに架設されるようになり、その近代美を誇っているが、更に高張力鋼を用いた繊細なランガー桁橋も架設され、ドイツの近代科学の生んだ美観を表示している。

そのほか、ヨーロッパに発達した桁橋構造の橋梁は、西ドイツを中心に開発され、その支間の長大化によって美観にも斬新的な感覚がとり入れられるようになって来た。ケーブルを併用した斜張橋の進歩は目覚しく、西ドイツにおけるケルンの Severin 橋の雄大で斬新的な美は旅行者の注目を集めるところである。そのほか、ヨーロッパには、最大支間 300 m 以上の Knie 橋（西ドイツ）、Duisburg-Neuemkamp 橋（西ドイツ）、Erskine 橋（イギリス）、チェコスロバキヤの斜張橋など、それぞれの環境に適合した美観を表示している。

また我国においても、西ドイツの発達に刺激されて斜張橋の架設が年々増加し、ほかの型式では見られない独特の美観を示し、益々支間の増大と美学的追求が望まれつつある。

鋼アーチ橋の長大化は、米国やカナダに発達し、New River 橋（アメリカ）、Kill van Kull 橋（アメリカ）、Portman 橋（カナダ）など支間 500 m 以上の偉風堂々たる勇姿を天空に横たえ、それぞれ独特の美観を示している。

我国における支間 150 m 以上のアーチ系鋼橋で特に美観を感じる橋には、西海橋（長崎県）、神戸大橋（神戸）、生浦橋（三重県）などがある。

鋼桁橋の最大支間 150 m 以上のものは我国に 5 橋あるが、1976 年に青森県八戸市に架設された八戸大橋は周囲の環境に調和し、明るく雄大なる美観を示している。

我国における木橋の図として、高欄附板橋之図と称するものは、その手法が科学的ではないけれども、一種独特の面白みを放っているほか、土橋の図、刎橋之図などもあり、設計図というよりも絵画に属する感じである。それから我国内に架けられた橋について、安藤広重氏（1798～1858）の画いた風景画があり、版画として現在も残っているが、その内容は素晴らしいものである。

また、ゴッホ氏の画いた風景画に、オレンジ式開橋の絵画が残っており、自然の風景との調和がよく現われ、仲々の美観を放っている。

世界最長支間の橋梁は、アメリカの Golden Gate 橋（1937）よりアメリカの Verrazano Narrows 橋（1964）に移り、現在ではつい最近架設されたイギリスの Humber 橋（1976）に移っている。Humber 橋に配列された斜吊材の美観は一種独特で、従来の垂直吊材のものよりも、斬新的でしかも安定性のある美観を示すものと思う。

長大支間のゲルバートラスとして著名な我国の港大橋（大阪）の天空に横たわる勇姿が、九州に架けられた天門橋（天草一号橋）とは全く異った美観を示しているのは、周囲の環境の違いから来ているものと思う。

長大支間の橋梁になればなるほど、周囲の環境との調和を積極的に取り入れ、景観論的技術美の追求が必要になって来るのである。

5. 橋梁の美的鑑賞

古代から現代までの世界中における諸橋の美観について総括的に鑑賞してみることにする。

先ず、我国における橋梁中、古いものでは、九州の鹿児島県にある石造アーチの美をあげることが出来ると思う。その一般的な特徴としては、単純で豪放なところにあると思うが、新緑の雨に煙る古橋の落着きと雅品とはこの種の中でも特に優れている。また洪水のため何回も流された岩国の有名な錦帯橋は、復元されて今なお特有の優雅な姿を披瀝しているが、木橋の美しさを如実に現わした一大傑作であろう。

イタリアのフローレンス(現在のフィレンツェ)のポンテ・ベツキョの橋は橋上に商店が並ぶ人間味豊かな珍しい美観を示し、モスターにおけるローマ橋は石造りのアーチで、空間に切る偉大なる虹に例えられて実に美しい。またベルギーの鉄筋コンクリート造りのファイレンデル型アーチ橋は、重厚な中に近代的美しさを感じさせるに充分であるし、ドイツのラーメン柱を有する電弧溶接のプレート・ガーダーは、近代橋梁としての代表的美しさを感じさせるものがあり、ベルギーのロンメル橋は、重厚になり勝ちなファイレンデル型鋼橋中で、スマートに造られた特別に美しい橋である。

更に、鋼アーチ橋には種々異なった美観を呈するものがあり、例えば吊材が糸のように細く繊細な美を示すもの、張出し式の鋼ガイドアーチ橋の男性的美、二重アーチ型の重複美、溪谷に架けられる上路式の鋼アーチ橋の山容水色の環境に融和せる調和美などを呈するもの、両翼を延ばすバランスド・アーチ橋の浮き出るようなすっきりした美を表現するものなどがある。またランガー系橋梁の軽快美、ニールセン系ローゼ橋またはランガー橋の斜吊材の繊細なる美観、斜張橋の力強さとスマートな勇姿の美、近代的吊橋の繊細なる美観と長大橋梁としての雄大美などをとりあげることが出来る。

米国サンフランシスコに架けられたゴールデンゲート橋の力学的美観と周囲の環境に調和した景観美は、この種長大支間吊橋の規範とすべきであろう。

橋梁の美観を材料により分類してみると、石造の荘重美、木造の簡素美、コンクリート造の重厚美、鋼構造の強剛美、特殊鋼構造の強靱美、軽金属構造の柔軟美などになるが、材料より生ずる美を更に合理的構造法により、構成美観を感じずるような構造物に造りあげて行かなければならない。ここに、人間の視覚を満足するような快感の得られる「構造美」が生れるわけである。

橋梁構造物の本質的な美しさは、科学・工学の進歩発達につれて、時間と経験によって変化して来るものであり、その時代時代によって我々に異なった感覚を与えるようになると考えられ、現時代においては、美観にも多分に科学的要素が含まれるようになりつつある。

すなわち、単なる絵画的構成の美、量の美、点の美、面の美、重心の美、比例の美、調和の美などに止まらず、力学上の合理的構成の美、安定の美、構成材料の科学的厳密性から生ずる美、宇宙の真理現象に対する融合調和の美などが考えられる。そのほか、環境への適合の美、周囲との調和の美、変化と統一の美、連続性と不連続性の美、多彩の美などが全体的美観を評価する上の重要な要素となるのである。

また、全体的美観を鑑賞するには、景観論的手法によって自然美との融和を図らなければならない。

次に、橋梁構造美について著者の作った俳句を掲載し、参考に供する。

橋梁構造美に関する俳句（14 句）

- 1) 春雨や吊橋霞む四方の山（春雨と橋の繊細な吊材との調和美）
- 2) そよ風に万寿の拱船通る（中国万寿山麓の石造アーチ橋の長閑な美）
- 3) 拱二重春の調べを奏でてる（新エルベ橋の二重ローゼと交響楽との対照美）
- 4) 溶接のラーメン橋に蟬の声（溶接の近代ラーメン橋と蟬の声との対照美）
- 5) 光弾性模型の桁や縞馬（光弾性写真の縞模様と南国の縞馬との対照美）
- 6) 赤とんぼフイーレンデールの桁に映ゆ（剛節近代橋と赤とんぼとの調和美）
- 7) 紅葉よ太鼓の橋へ影揺らせ（秋の岩国の自然環境と錦帯橋との調和美）
- 8) 山霧にバランスドアーチの翼浮ぶ（山霧と鳥の飛ぶ形をした橋との調和美）
- 9) X線橋の組織や朧月（橋のX線検査による写真の不完全さと朧月との対比感）
- 10) 驚進にランガートラスの肌寒し（ランガートラス鉄道橋の振動時の冷厳美）
- 11) 昭和橋赤とブリューの影淋し（新潟の昭和大桥の災害時における無慙感）
- 12) 斜張橋雪空高く雁の群（寒い雪空高く聳える斜張橋と雁の群との対照美）
- 13) 春の海ゲルバートラスに舟の影（ゲルバートラス橋と舟との調和美）
- 14) 除夜の鏡夢の架け橋渡り行く（大橋梁の夢の理想と時の流れとの調和美）

II. 橋梁の力学的変遷^{10)~13)}

橋梁力学の歴史的変遷を調べることは、橋梁の発達経路を知る上において絶対必要なことであり、材料力学および構造力学と関連しつつ発展して来た。

中世紀以前の構造物は工学的理論の背景を持たず、全く過去の貴い経験を母体として漸進的に発達したものであったが、17世紀頃から発達した力学の理論は、自然科学の一般的な進展にともない、橋梁その他構造物を理論的に取扱うことに非常な寄与をなし、18世紀を経て19世紀においては、力学が物理学者から工学者の手に移って構造力学の基礎が築き上げられたのである。

また、構造材料としてきわめて優秀なる構造用鋼および鉄筋コンクリートが市場に出現し、新しい構造型式が創造されることとなり、精緻巧妙を尽した応力解法が次々に発表され、いままでも考えもつかないような大構造物や大橋梁が地上に築造せられるようになったのである。

すなわち、その道程の一端を述べれば、応力と変形の問題はイタリーのガレリオ氏(1564~1642)の理論に端を発し、フック氏(イギリス)は1676年材料力学の根幹をなす応力とこれによって生ずる変形の問題を論じた。また1680年マリオット氏(イタリー)は始めて曲げ作用を受ける梁の理論について発表し、ダニエル・ベルヌイ、クウロン、ナビエ、コシイなどの諸氏の研究によって大成せられた。その後最も重要な問題の一つである長柱の安定に関しては、理論的には、オイラー氏(1757)の有名な長柱理論を第一とし、ヤング、ナビエ、ランキン、エンゲツサア、ジョンソンなどの諸氏の理論があり、実験では、ホツジキンソン(1840)、バウシंगाア、コンシデエル、テトマイア、カルマンなどの諸氏の卓越した研究が発表せられ、長柱強度の決定の基礎が確立せられるに至った。

トドハントアおよびウエスタアカアト両氏の著書によれば、構造物を一つの弾性体とみなし、これに作用する力と変形との関係について論ずる構造理論すなわち、「弾性理論」は1788年ラグランジュの説いた可能変形の原理によって輝かしい展開を示した。

またナビエ氏(フランス)は、1825年連続梁解法についてその基礎を発表したが、連続梁の問題はクラペイロン氏(フランス)の3連モーメントの定理(1857)によって一応大成するに至った。

弾性変形または不静定構造の余剰力を求めるに際し、変形によってなされる仕事に立脚する解法が広く用いられるが、これには可能変形に起因するものと実際仕事によるものとがあり、可能変形仕事の定理の実用化は、モール氏(ドイツ)が1874年に一般理論を提案したのに始まり、「マックスウェル—モールの解法」が発表され、簡明かつ巧妙なるミュウラア・プレスラウ氏(ドイツ)の解法によって大成せられた。実際仕事の原理は1833年に発表されたクラペイロン氏の定理に始まり、最小仕事の原理は1858年にメナブレア氏(イタリー)によって構造応力解析へと応用され、カステイリアノ氏(イタリー)のたてた定理によって完成した。

そのほか、マックスウェル氏(イギリス)によって唱えられた相反法則(1864)とモール氏によって提案された M/EI の弾性曲線の定理があり、これらの理論は大橋梁や大建築物の応力計算の基礎を形作った。また設計計算を簡易ならしめる便法の一つとして影響線の利用があり、1868年モールおよびウインクラア(ドイツ)の両氏によって提案された図式解法が、ペイラウヒ氏(ドイツ)によって「影響線解法」と名付けられ、ミュウラア・プレスラウ氏により各種構造物の応力解法として応用された。

更に応力およびたわみの解法に一捷徑を与えたものは、弾性荷重の利用があり、1889年ラント氏(ドイツ)によって提案された弾性荷重は、1890年代に至り、ミュウラア・プレスラウ氏

によって実用化せられた。これと同時に、1877年ウイリオ氏(フランス)により創始され、モール氏の改良した変形の図式解法があり、現在でも盛んに用いられている。

古い時代には木材、石材のみを主要の構造材料としていた橋梁は、19世紀の後半に至って構造成鉄の大量生産せられるに及んでトラス橋の時代を作り、ラティス・ガーダー、ホイップル・トラスなどが驚異的橋梁として登場したのであった。

しかし、ワーレン、プラットなどの剛結合トラス橋が各地に架設されるに及び、「剛結合せられたトラスの各部材に生ずる副応力は果してどの位になるか」の問題が構造技術界に一大波紋を与え、1887年ドイツのミュンヘン工科大学においてこれに対する論文を懸賞募集したのである。これに応募した諸論文中、第1位はマンデルラ氏の「格点の剛結合にともなう生ずべき単純トラスの二次応力計算」(1880)であって、この論文は現在においても精密解法の古典として厳存しているが、これに引続き、ミュウラア・プレスラウ、モールの両氏が実用解法を発表し、計算の便を与えている。

従来不静定構造の解法として利用されて来たカステリャノの定理、可能変形仕事による弾性方程式の何れも、弾性変形に際しなされる仕事に基礎をおき、反力、応力、モーメントなどを不静定未知量に選んでいるが、この副応力(二次応力)の解法に仕事を考慮せず、弾性変形にて生ずる撓度および撓角を不静定未知量とする法の優秀さが認められ、20世紀に入り鋼構造、鉄筋コンクリート構造の建造が盛んになるに及んで、ゲエテア(ドイツ)、マネエ(アメリカ)、ウイルソン(アメリカ)などの諸氏が、1915年~1918年間にモールの副応力解法を利用して、「撓角撓度法」なるラーメン理論を作りあげたのである。その後ラーメンの解決の研究は年々盛んとなり、デンマーク人オステンフェルド氏の変形法(1925)、米国人クロス氏のモーメント配分法(1932)などは近年における著名なる解法であり、モーメント配分法に続いて、鷹部屋福平博士、グリンタア氏の撓角分配法(1935)などがある。

また、サウスウェル氏のクロスの方法を一般化したリラクゼーション法(1935)、エフセン氏のオステンフェルド法の拡張(1940)のほか、1900年~1950年間に、ラーメン解析の逐次近似法を提案したチャリセーフ氏、アーチの弾性重心を考え出したクールマン氏、アーチの各種の解析法を提案したメルシュ、メラン、シュトラスナ等の諸氏がいる。

更に、フレシネ氏はアーチ頂部の仮設継目にジャッキを挿入することを提案し、ドイツシंगाー氏はタイのあるアーチについて、タイケーブルを緊張することにより死荷重およびコンクリートの収縮による曲げモーメントをかなり減らせることを示したし、リッター氏は吊橋補剛トラスの変形を考慮した解法を示し、ゴードール氏は吊橋の計算に影響線を利用する方法を提案し、ブライヒ氏は吊橋補剛トラスに級数法を応用し、アンマン、カルマン、ダン、ウドラフ等の諸氏は、タコマ・ナローズ橋の崩壊に関する報告書を出している。

1900年~1950年間の弾性論の発達には誠に目覚ましいものがあり、フエリックス・クライン、

ブランドル、フェツプル、バッハ、ナダイ、ソコロフスキー、マイネス、ヤコブセン、マイラー、サン・ブナン、ミッチェル、ノイバー、ライスナー、キルシュ、ワグナー、クロッターの諸氏のほか沢山の学者が輩出して、橋梁の弾性力学の分野に貢献している。すなわち、横倒れ座屈、膜相似法、せん断おくれ理論、二次元および三次元弾性問題とその応用、弾性近似解法とその応用、板と殻の曲げ理論、弾性安定問題、振動と衝撃問題などに関し、幅広く研究論文が発表されている。

そのほか、電子計算機の進歩により、マトリックス解法および有限要素法の発達に著しいものがあり、橋梁の応力解析に幅広く応用されるようになった。

第2次世界大戦後、新しい型式の橋梁として、プレストレスト・コンクリート桁、合成桁、合成格子桁、合成箱桁、鋼床板箱桁、曲線桁、曲線トラス、立体トラスなどの構造解析のほか、斜張橋、管桁橋、パイプトラス橋、プレストレスを導入した橋梁の応力解析法が開発され、各種の電子計算プログラムも開発されるに至った。

また、弾性設計法から漸次塑性設計法へと移行しつつあり、塑性理論による解析の進歩も見逃すことが出来ないし、耐震工学の発達により動的構造解析が活発に行なわれるようになった。

次に、橋梁の応力測定法の発達も計測機械の進歩により目覚ましいものがあり、電気抵抗線歪計および電気容量を用いる測定法のほか、光学系機器の利用、機械的測定法の改良、非破壊試験測定法、三次元光弾性実験法、ぜい性塗料法、モアレ法、繰返し疲労試験法などが次々に開発された。なお、弾性設計においても合理的な経済設計として各種の最適設計法が登場しつつある。

III. 橋梁災害の史的変遷^{3), 14)~20), 28)}

1. 概 説

橋梁は一般の建築物と異なり大空に架けられているから破壊または墜落する可能性が比較的多いと考えられる。しかし統計的に調べて見るとその危険率は割合に低く天災地変の場合を除けば、墜落や破壊事件は非常に少いのである。絶対的に堅牢とまではいえなくとも、100年に1回起るか起らぬかという程度の天災に対しても安全であるような強度を有する橋梁を架設することは、若し地盤が堅固であって工事予算が充分あれば、現代の橋梁技術をもってすれば必ずしも難事ではないと思う。しかしそのような堅牢な構造を地上の総ての橋に望むことは国の経済上到底出来ないことである。従って普通の橋梁は多少の差はあっても危険であり、その危険率は決して零ではない。例えば、急流河川に架けた昔の木橋は、大洪水に遇えば流失してしまうことを承知の上で架けているのである。

現代では、構造材料の許容強さ、荷重の大きさおよび載せ方、各部分の構造方法などの総ての重要事項を網羅した設計示方書が公定されており、普通の橋梁はこれに従って設計架設されているのであるが、それは普通に起り得べき種々の外力に対しては安全なのであって、異常な

風水や地震に対し絶対安全であるように建造されていないから、橋梁の墜落は絶無とはいえないのである。

橋梁の破壊、墜落は交通に支障を来すばかりでなく、人命に損傷を与えると重大なる社会問題を引き起すが、橋梁技術の面から見れば、破壊の原因が何であったか調査検討することとなり、その貴重なる資料は橋梁技術の進歩発達に多大の貢献を与えることにもなる。またその破壊現象の傾向は技術の進歩とともに変化して行くものと思われ、技術の進歩と破壊・墜落事件とは互いに歴史的に繰り返えされて行くのである。

2. 日本における橋梁の破壊・墜落事件

日本の河川はしばしば大洪水を引き起し、また時をおいては各地に大地震が突発し、流失破壊、崩壊、墜落する橋梁の総数は著しい数に上るであろう。

徳川時代に起った有名な橋梁墜落事件として、文化4年(1807)8月19日の永代橋事件をあげることが出来る。当日は深川八幡の祭礼で雑沓をきわめ、朝の午前10頃偉い人の船が橋の下を通るので交通は一時遮断し、半時間としてそれが解かれると群衆はなだれを打って橋上に殺到したところ、深川寄りの一個所で橋桁が折れて、橋上の人達は橋桁とともに墜落し、後方から続々と押しかける群衆は前へ前へと出たため、突き落された人達の数は一撃に及ぶと報告されているが、その直接原因は群衆の殺到による衝撃と解せられる。

それから地震による橋梁の被害としては、大正12年(1923)9月1日の関東大震災のものが超記録的である。この大地震は当日午前11時58分に突発し、東京帝大地震計の記録するところによれば、初期微動約14秒にして主要動に移行し、主要部は約4.5秒の後に振幅103耗、週期1.5秒を示し、その時の水平動加速度は800 mm/sec²すなわち、地球の重力加速度の約8%にも達した。その後振幅は増加して200耗内外に及んだが、同時に週期も増大して約3秒となり、揺れ方は大きくなったが緩やかに揺れ、加速度は減少したのであった。

この関東大震災における橋梁の被害は、東京、横浜両都市におけるもの次の通りであった。

東京、破壊道路橋数：675 震害：2.7% 火害：50.4%

横浜、" : 108 " : 40.0% " : 10.0%

神奈川県は震源地を背に控えているので県下一帯の震害は激甚をきわめ、県下の道路橋の総数1,253橋中、71%の被害率を有し、鉄道橋の惨事もまた言語に絶するものが多かった。

この関東大震災の結果、橋台・橋脚すなわち下部構造の損傷による被害が多かったので、1) 下部構造の基礎は深く、底面を拡大して顛倒を防ぐこと、2) 上下方向に鉄筋または鉄骨を入れて曲げ折れとせん断を防ぐことの二つの教訓が得られた。

また橋桁には何ら損傷がないのに、桁の支承部が橋台・橋脚から離脱して墜落したものがきわめて多かったので、耐震的な新設計としては、伸縮に対し可動的な支承でもある程度以上は滑動しないような固結的構造とする必要があるほか、地震動加速度を考慮に入れて各部分の設

計をする必要のあることが明らかにされた。

日本を襲った大地震の主なるものとそのMagnitude, 死者数をあげれば、表－１の通りになる。勿論表－１のほかにも多くの地震が我国を襲っているが、土木構造物に大きな被害を与えたものは上述の通りである。

関東大震災はマグニチュードにおいて最大ではないが、震源が京浜地方に接近していたため未曾有の被害を生じて、橋梁の破壊総数は7,397に達した。

福井地震では福井県下の死者数5,507人を出し、全壊家屋数33,271、半壊家屋数4,960に達し、負傷者19,628人を数えた。

これに対し、1968年6月16日新潟を襲った地震では全壊家屋数994、半壊家屋数7,460、死者25人、負傷者377人で、福井地震には遠く及ばなかったが、そのマグニチュードにおいては非常に大きかった。

また、1968年5月16日北海道、東北地方などを広く襲った十勝沖地震では、全壊家屋数676、半壊家屋数2,994、死者15,483人、負傷者52人、行方不明329人で、青森県周辺の被害に著しいものがあつた。

上述の地震の資料から橋梁に対する被害の傾向を纏めて見ると、橋梁の被害の大部分は下部構造にあるといってもよい位で、特に基礎の根入りの深さが支配的要素となっており、基礎の不完全などによる傾斜、地耐力の不足による不等沈下、水平地震動に基づく煉瓦積の目地や施工継手の切断、支承部の破損などが圧倒的に多い。

上部構造の水平方向の強度の不足しているものは、振りとか水平屈曲を受けた例もあるが、一般には上部構造自体が単独に大きな被害を受けたものは特別の場合を除けば少ない。その大半は下部構造の被害が上部構造に及んだもので、1952年の十勝沖地震では、道路橋の被害数128橋、鉄道橋の被害数94橋の中、道路橋では木橋、鉄道橋では鋼鈹桁橋がその被害の大部分を占めているが、架設橋梁の大半が木橋と鋼鈹桁橋よりなっている事実から考えれば、これも当然のことであろう。

新潟地震では新しい昭和大桥や駅前の跨線陸橋が落ち、八千代橋と古い万代橋が残ったことは注目に価する事実であろう。

表－１ 日本の各種地震とMagnitude, 死者数

年 月 日	名 称	Magnitude	死 者 数
1923・9・1	関 東	7.9	141,720
1927・3・7	北 丹 後	7.4	3,010
1930・11・26	北 伊 豆	7.0	259
1933・3・3	三 陸 沖	8.5	4,192
1935・7・11	静 岡	6.6	9
1939・5・1	男 鹿 半 島	6.6	29
1943・9・10	鳥 取	7.3	1,190
1944・12・7	東 南 海	8.3	998
1945・1・13	三 河	6.9	1,961
1946・12・21	南 海	8.1	1,330
1948・6・28	福 井	7.2	389
1949・12・26	今 市	6.5	15
1952・3・4	十 勝 沖	8.2	28
1952・3・7	能登半島沖	6.8	7
1955・10・19	秋田県北部 二ツ井	5.7	1
1961・2・2	長 岡	5.2	5
1961・8・19	北 美 濃	7.0	9
1964・6・16	新 潟	7.7	25
1968・5・16	十 勝 沖	7.9	15,483

また、橋脚や橋台と橋桁との接合部になる支承部の耐震設計については、特別の研究を要するものと思う。

1968年の十勝沖地震における道路橋の被害は、北海道では20橋程度で下部構造の軽微なものだけであったが、青森県では64橋で、上部構造の被害としては支承の沓部に多く発生したほか、主桁の移動、高欄の変形などがあったが、下部構造としては、橋台の変位とコンクリートの亀裂、沓下面のコンクリートにおけるせん断破壊などが多かった。これに対し鉄道橋の被害は盛土等に比べ軽微で、軟弱地盤に起因する水平変位、沈下、回転、亀裂が数橋の下部構造において生じたが、左程問題となるようなものはなかった。

それから、いずれの地震においても、被害橋梁の型式としては単純桁型式の橋が最も多く、ゲルバー桁、連続桁型式の橋の方が耐震的のように考えられる点もあるが、その架設数も少いし、基礎の良否に大きく関係する問題であるので、更に検討の余地はあるものと思う。いずれにしても、基礎地盤の良好なることが重要な要素であるので、この点をよく考慮することとその根入りを充分深くすることを忘れてはならない。

そのほか、我国における関東地震以前の地震について調べて見ると、新潟、山形地方の日本海岸において、文化元年(1804)山形県象潟^{きしかた}地震があり、壊家屋数5,500、死者数333人を出しており、文政11年(1828)には新潟県三条地震があり、全壊家屋数9,808、半壊家屋数7,276、焼失家屋数1,204、死者数1,443人を出している。

次に、我国における橋梁の風水害について調べて見ると、昭和9年(1934)9月21日中国・関西地方を襲った室戸颱風は、最低中心示度684mm、最高風速60m/secで、実に超記録的であり、風害の甚大なこと誠に疎然たるものがあり、校舎・工場などの建物および送電線・鉄塔のような鉄骨構造には幾多の崩壊損傷があった。幸い橋梁の上部構造には特筆すべき破壊はなかったことから見て、現在用いられている風荷重の規定および横桁の横方向剛性については、左程の問題はないように思われる。

しかるに、水害に至ってはこれと全く異なり、それも木橋の流失は止むをえないとしても永久橋梁の流失したものがあるのは重要問題である。

岡山地方を襲った大洪水の被害は最も大きく、その降雨量は旭川、高梁川の上流で5日間400mm/minを示し、各河川の洪水は記録的水位に達し、堤防や橋梁の設計規準にとっている最高水位をはるかに越し、驚くべき数の橋梁流失を生じたのである。この大洪水により、橋脚の河床地盤への根入りは従来安全であると考えられていたよりも深く入れること、殊に河底に岩盤のある場合には、単にその上におくことを止め、困難なる掘さくを敢行して深くその中に埋め込むべきことなどが教訓として得られた。

1964年の8月17日より19日にかけて、北陸、山陰地方に集中豪雨があり、石川、富山、新潟三県の被害は、死者数13人、家屋全半壊数124、島根、鳥取両県の被害は、死者数92人、行方

不明 9 人、家屋全半壊数 319 を出し、橋梁の流失、破壊も相当数に上っており、木橋においては特に著しかった。

そのほか、我国における暴風雨の数は数え切れないほどあり、年々橋梁の被害を見ているが、その中で伊勢湾台風は 1959 年に我国名古屋地方を襲い非常な被害を与えたことは特筆すべきことであり、強風による落橋などの事故も数箇所記録に残されている。

伊勢湾台風時の最高潮位 6.90 m に達し、死者数 5,200 人、三重、愛知両県下の流失家屋数 4,550、全壊家屋数 29,573 に達し、橋梁の流失 5,220 箇所となっている。

3. 諸外国における橋梁の破壊・墜落事件

(1) ティ橋墜落事件

19 世紀の後半においては、あらゆる技術に偉大なる発明が生れ、機械化文明の華が開き、巨大なる鍊鉄製トラス橋の出現があり、橋梁技術界としては一大発展をみたのであるが、いまだ経験が充分蓄積されておらず、そこには相当の失敗もあったわけで、ティ橋の墜落事件はまさにその一つであった。

英国スコットランドの東海岸には、二つの深い入江、すなわちティの入江とフォースの入江があり、鉄道はこの入江を迂回すればそれだけ余分の時間を要するので、1870 年エディンバラとダンディーを結ぶ一大鉄道橋の建設計画が北英鉄道会社の手により行なわれ、技師長には当時名声の高かったトーマス・ブーチが任命され、1877 年 9 月には、全長約 3 km に及ぶこの橋が誕生したのであった。橋桁は支間 60 m の鍊鉄製ラティスガーダーよりなり、85 径間が蜿蜒として続き、橋桁は海面から約 27 m の高さにあり、その容姿を雄大なること、英国の名橋たるのみならず、世界中の注目する橋となったのである。

それから 2 ヶ年を経た 1879 年、12 月 29 日（日）の午後、暗雲の低い北海にはみぞれ交りの強風が吹きすさび、狂瀾は橋脚の下半部を洗い、暮れかかった夜の帳とともに益々激しくなり、午後 7 時 15 分エディンバラ発の旅客列車はダンディーに向け出発したが、ダンディー駅には規定の時刻を過ぎても列車は到着しなかった。

翌朝、捜索隊が発見したところによると、橋の両端が折れて陸地と掛け離れ、また橋の真中付近数十径間は強風で海中に吹き飛ばされたのであった。

墜落の翌年 1880 年に北英鉄道会社は、第二のティ橋架設を計画し、多大な犠牲によって得た貴重な教訓を基として幾度も案を樹て直した後、旧橋より少し離れた個所に架設工事を行なった。橋脚基礎には特製拱形の隙間のある橋脚壁体を建造し、橋桁には当時実用化しつつあった構造用鋼を使用し、莊重かつ堅牢なる新ティ橋が 1887 年 6 月 20 日に開通した。

(2) クエベック橋墜落事件

19 世紀の末期すなわち、1880 年前後において、構造用鋼が安価に生産され鉄橋に代って鋼橋が登場することとなり、鋼橋に関する理論と実際の両面において著しい発達を遂げたが、丁度

この時期に北米カナダを横断する大幹線カナダ大北鉄道は、セントロオレンス河のクエベック市付近に、1902年に3径間のゲルバー型式の鋼トラス橋の架設を行なった。ペテイト型のトラスで、中央支間1,800呎(549 m)、吊桁径間640呎(195 m)の巨体は、フォース橋の中央支間を凌ぐこと90呎で、世界第一の巨大橋として橋梁界の注目を集めた。橋桁は片持式架設法によって架けられ、両側から延びた橋桁が中央で継ぎ合わされるのも間近に迫った時、1907年8月29日に両側から約800呎突出している桁の下側に奇怪な波状の座屈が生じ、鋼重量17,000 tに及ぶトラスは見る見る間に崩壊し、75人の作業者もろとも河底深く墜落してしまったのであった。

本橋の破壊原因は、鋼材を経済的に使用し過ぎたこと、すなわち鋼重量の不足にあったが、その主因は不弦材(圧縮材)の座屈現象にあり、すでに工事中より繊弱らしい兆候は見えていたと報告されている。数ヶ年に亘る研究・検討・討議の後に、第二クエベック橋の計画が完成し、1911年5月に新しく用意周到に設計されたK型トラスの再架設工事が開始され、1915年には竣工の予定であった。総鋼重量は旧橋の二倍半で、完全に組み立てた吊桁を台船に載せて現場まで曳航し、所定の位置で吊り上げる工法をとった。

1916年9月11日吊桁が水面上約30呎に吊り上げられた時、突然異様な音響とともに吊桁の一端は傾斜し、支間640呎の巨体は水柱をたてて河底に没してしまったが、主なる原因は支承部鋳鋼金物の不良にあり、これの割れたことに端を発したのである。

このように2回の椿事に会ったこの橋も、船上にステージを組む工法にて吊桁を慎重に突桁に取付け、1917年9月27日、17ヶ年を費して遂に完成したのである。この橋は現在でもその中央支間はゲルバートラス橋中世界最大の記録を保持しており、その形態も快適な近代的構造を示し、ニッケル鋼を用いたところに独特の特色がある。

(3) タコマ・ナロウス吊橋の墜落事件

1940年11月7日午前11時、北米シアトル市付近のタコマ・ナロウス吊橋が烈風のために墜落したことが報道されて世界中の注目を集めた。この橋は1940年7月に完成した当時で、支間長において世界第三位の吊橋であったが、主径間長2,800呎(800 m)の大橋梁である。

当日の最大風速19 m/sec程度で、昭和9年(1934)我国の大阪地方を襲った室戸颱風に比べれば、その $\frac{1}{2}$ にもかかわらず、この吊橋の動揺は意外に大きく、予てから技術嘱託員であったシアトル大学のファーカーソン教授が当日朝から現場観測をしていたとのことである。橋面の横方向の動揺は僅かに2呎であるのに対し、床の側端が上・下方向に最大28呎の動揺を示し、反転しながら動揺する傾向を呈していたとのことである。

この橋は、全体としては現代吊橋技術の最高を示す構造であり、設計には吊橋の世界的巨匠セイモイフが関係し、鋼材部分は斯界に著名なベスレーム製鋼会社、ケーブルは100年の歴史を有するレーブリング会社がそれぞれ担当したものである。

補剛桁としては、桁高僅か8呎の钣桁が用いられていたことは、従来の吊橋の設計と比較すると実に思い切った設計で、幅員39呎も支間2,800呎に比べれば、その幅が極端に狭く、自重も比較的軽かったことが注目されるのである。

1937年にゴールデンゲート橋が完成した以後は、補剛桁の剛性を極度に小さくする傾向にあったが、これは「撓度理論」に従えばこの程度の補剛桁の剛性で充分であるとの考えから出発したものである。

タコマ橋の破壊に関しては、アメリカにおいても色々意見が出て、聯成振動、自励振動による説明、フラッター現象、共鳴現象などによる解釈など、一応色々な意見が当時のENR誌上に報道されたが、結局明確なる説明が得られなかったのである。

我国においては、土木学会誌第28巻9号、第31巻2号などにおいて、平井敦氏がタコマ橋の振り振動に関する研究論文を発表し、揚力に基づくモーメントの影響はタコマ橋については、実用上殆んど無視出来るほどのもので、振り振動の不安定性の主要なる項は、風圧に基づく「振り座屈」であると論説しているが、このことは橋梁の設計上大いに注目を要する事項であると思う。

新タコマ橋の架設に先立ち、長さ100 ftの全径間模型(1/50の縮尺)について風洞実験がワシントン大学において行われ、その設計に当っては、補剛トラスの剛性が大幅に増加され、その慣性二次モーメントが旧タコマ橋の36倍とされている。

このようにして落橋後10年間を経た1950年に新タコマ橋が完成したが、モイセイフ氏は、大きな精神的打撃を受け、新タコマ吊橋の完成を見ずに世を去ったのは一大悲劇であった。なお、振れ剛性の重要性については、Fr. Bleichの理論的研究の結果、1949年に至り初めて認識された。

(4) その他の橋梁の破壊・墜落事件

上部構造の破壊原因となるものには、材料の不良・強度不足、溶接部の欠陥、温度差応力、座屈、風および地震による動力学的影響、脆性破壊、疲労問題、沓部の不安定性、構造法の不備など多種多様であるが、下部構造の破壊原因としては、基礎の不等沈下、風および地震などの動的荷重による傾斜、洪水・波浪などによる洗堀と基礎の不安定性などがあげられ、また下部構造の破壊・傾斜・流失が上部構造の破壊に間接的に繋がる場合が圧倒的に多い。

鑄鉄のAshtabula橋が強度不足のため1876年に破壊事故を起したアメリカの例のほか、ヨーロッパでも鑄鉄橋が破壊した例は多く、鍊鉄橋に切り換えられたのは、その後のことである。鋼に切り換えられたのは1880年代で、鋼橋は鋼の質の向上とともに歩んで来た。

次に溶接の発達により架設されたベルギーのHasselt橋、ドイツのZoo橋およびRüdersdorf橋(高張力鋼使用)が1938年に破壊事故を起したほか、ベルギーのHaccourt近くのAlbert Canalに架けられた二つのVierendeel橋のHerenthals Oolen橋およびKouille橋が、それぞれ

1940年1月19日と1月25日に破壊している。上述の溶接橋の破壊は、いずれも脆性破壊で、溶接部の脆性破壊に関する研究が次々に行われるようになったが、この問題はまだ充分な解明が出来ていない。

ベルギーの Hasselt 橋は全溶接の Vierendeel 橋として橋梁界の注目を集めた橋であるが、1938年5月14日午前8時20分に崩壊し、橋は三つの部分に分れて墜落している。

それからメルボルン市の Yarra 河に架けられた King Street 橋(長さ 996 m)の溶接部が 1962年7月10日破壊したのも全く同じ現象であった。

次に新時代の橋梁として架設された新ウীন・ドナウ橋の破損事故について述べる。

新ウীন・ドナウ橋は自動車専用道路橋(全長約 3 km)の一部で、支間長=120 m+210 m+82 mの連続桁型式の鋼床板箱桁橋であり、1969年11月6日に、キャンティレバー架設を行っていた桁橋の閉合作用を一応終ったが、その夜間に大音響とともに橋桁に座屈破損を生じたのである。

この事故原因を調査するため、Graz 工科大学の K. Sattler 教授、F. Resinger 教授および Berlin 工科大学の K. H. Roik 教授の3人が鑑定人となって検討した結果、温度差応力がこの座屈現象に大きく影響したものと判定された。

箱桁橋に関する破壊事故は、このほかにも各国にあり、我国における2級国道小樽江差線の桁石橋の落橋事件もいまから十数年前のことである。これは逆梯形の合成箱桁橋で、床版コンクリート打設中のことである。

そのほか、吊橋や斜張橋に関する破壊・墜落事件もかなり多く、その安定性が研究の対照となっている。

長径間の補剛吊橋では、落橋こそなくとも多少の事故・破損が架設工事中には多く、すでに設録には残されているところである。それから補剛トラス(または桁)のない原始吊橋についての落橋・破壊事故はかなり多く、支間が小さくとも風振動による問題は絶えない。我国における北海道の中川郡中川村に架設された神路大橋(無補剛吊橋、橋長 125 m、幅員 2.5 m)が 1963年3月23日に竣工し、約半年後には墜落している。これはケーブルアンカーのクリップの外れが直接原因となっている。

また、鉄筋コンクリート橋、鉄筋コンクリート床版の亀裂については、気象その他の環境条件による破壊と荷重による破壊があり、荷重によるものの中には疲労破壊の問題があり、色々と研究の余地がある。

斜張橋の破壊・墜落した例としては、Dryburgh-Abbey に架けられた斜張歩道橋(1818)および Nienburg の Saale 河に架けられた斜張鎖橋(1824)などが完成後間もなく落橋した事件を斜張橋の代表としてあげることが出来ると思う。

諸外国を襲った地震について調べて見ると、684年の東海、南海、西海諸道の大地震、856年

のギリシア Corinth の地震, 1037 年~1038 年支那を襲ったもの, 1057 年同じく支那に起った地震, 1158 年の小アジア地震, 1183 年のシリア地震, 1268 年の小アジア地震, 1303 年の支那の地震, 1556 年同じく支那を襲ったもの, 1622 年, 1654 年いずれも支那を襲ったもの, 1667 年カウカサスを襲ったもの, 1668 年支那に起きた地震と小アジアを襲ったものなどがある。また 1693 年, 1716 年ともイタリアを襲った地震, 1727 年ペルシヤに起きた地震, 1737 年のカムチャッカ地震, 1733 年~1739 年に支那を襲ったもの, 1746 年ペルーに起きた地震, 1751 年のチリ地震, 1755 年のペルシヤ地震, 1755 年のリスボン地震なども著名である。更に 1783 年のイタリア地震, 1797 年のエクワドル地震とベネズエラ地震, 1812 年のベネズエラ・コロンビア地震, 1822 年の小アジア地震とチリ地震, 1837 年のシリア地震, 1850 年の支那を襲ったものなどがある。また 1853 年のペルシヤ地震, 1868 年のボリビヤと北チリの地震, 1868 年のコロンビア・エクアドルの地震, 1875 年のコロンビア・エクアドルの地震, 1906 年の北カリフォルニア地震, 1908 年と 1915 年のイタリア地震, 1920 年と 1927 年の支那に起った地震などがあり, いずれもかなり大きなものばかりである。

その後, 1950 年以後にチリ, メキシコ, モロッコ, リビヤ, イランなどに頻繁に大地震が起き, 構造物にもかなりの被害を与えている。1963 年 7 月にはユーゴスラビアに大地震があり, スコピエ市が大きな被害を蒙っている。1964 年には台湾に地震がありかなりの被害に見舞われたほか, 世界各国にもかなりの地震が発生しているが, 割合被害の大きかったユーゴスラビア地震について, 近代構造物の被害状況を参考のためあげて見ることとする。煉瓦積構造では, 27.5%が損傷し, 15.5%の軽微損傷を受け, 鉄筋コンクリート骨組構造では, 2.1%の損傷, 2.7%の軽微損傷を生じ, 0.6%の無被害損傷を示している。これから見ても鉄筋コンクリート骨組構造は, 一応地震に対し非常に耐震的であることが明かとなった。ただし, 橋梁に対しては殆んど被害がなかったし, 同程度のほかの地震についても同じ傾向の見られることがほぼ認められるところである。

ユーゴスラビア地震のマグニチュードは 6.0 で, モロッコ, アガジールの地震とはほぼ同程度であり, 我国における関東地震の 7.9, 福井地震の 7.3, 新潟地震の 7.7 に比べればはるかに小さく, さすがに我国は地震国であることを再認識させられたところである。

前にも述べたように, 地震による被害は水害の場合と同様に, 下部構造に与えられる影響が大であるので, 基礎地盤の調査研究と下部構造の設計が直接問題となるのである。地震による下部構造の災害の大なる場合について調べて見ると, 地盤の軟弱なことが圧倒的に多く, このような地盤環境には上部構造を剛なものにしなければならない。堅牢な地盤環境に対しては, 鋼構造のタワーのような柔構造物の方が破壊力を減殺するといわれている。

IV. 橋梁の技術発達上の問題点^{21)~28)}

1. 橋梁の防災について

橋梁の受けた災害はその歴史の示すように非常に多いが、その原因を調べて見ると、その時代、地域、構造型式などによりかなり異なっている。

科学技術の発達した現代でも、まだまだ災害の数は多く未知・未開発の問題が多い。特に技術面で進歩途上にある未熟の段階では、盲点に落込み易く無慙に崩壊することが少なくない。

災害の原因を分類すると、洪水、波浪、地震、強風、温度変化その他の自然現象に起因するものと、戦時中の爆撃・爆破、交通車輛の衝突、重量超過車輛、火災その他の人為的原因によるものとなるが、技術上問題となる自然現象に起因するものについて考察してみる。

戦後我国の橋梁災害の大半を占めるものとしては、台風時の豪雨、集中豪雨、融雪などによって惹起される洪水時の基礎の洗掘と流木などの衝突を大きくとりあげることが出来るが、Niagara Clifton 橋の破壊例のように、融雪期の流水にも注意しなければならない。

洪水による災害防止は、構造工学上の問題というよりも寧ろ橋梁計画上の問題であって、河川の治水計画と密接な関係があるから、河川工学や基礎工学をも含めた総合的対策を必要とする。また万一橋が流失した場合をも考慮に入れ、仮橋の建設が出来るような準備も必要であろう。

また地震による災害としては、地震動の動力学的作用によるもの、地震時の砂質地盤の流動化など基礎地盤の崩壊によるもの、津浪、津浪で打上げられた船舶の衝突などがある。新潟地震の昭和大橋のように数種の原因が同時に作用する場合もあれば、1968年の十勝沖地震のように、橋台・橋脚の破損、支承部の損傷が大半を占める場合もある。この十勝沖地震では、マグニチュード7.8、震度4~6という新潟地震に匹敵する大きさのものであったのに、橋梁災害として大きいものは余り見られなかった。これはその地震の性格と構造物の建造された地域の地盤の硬軟、土質の性状によって著しく違って来ることを示すよい例であると思う。

上部構造の地震被害としては、関東大地震時の落橋には、橋軸直角方向に橋桁の投げ出されるものが多かったのに対し、最近の大地震においては、橋脚の地震時応答とも関連があると見え、橋軸方向に将棋倒しのような形で落橋するものが多いようである。

最近の地震被害の特徴は、耐震工学の進歩にともなって、上部構造だけの単独被害はかなり減少しており、地盤あるいは下部構造の破壊にともなう上部構造の被害が目立って来ている。また支承部が耐震上の弱点になっていることも現代橋梁の欠陥であり、新しい斬新的な脊の設計を開発して行かなければならないものと思う。

新潟地震の教訓により、多少の被害は受けたとしても落橋だけはしないように設計上の配慮をしておくことも大切であろう。

次に、強風による災害を調べて見ると、我国は世界でも有数の台風地帯であるにも拘わらず、橋梁の上部構造に与えられた被害は割合に少ない。例えば、伊勢湾台風が橋梁の上部構造に与えた被害は、10個所に満たない程度で、その大きいものでは吹き落された架設中のトラス橋、落橋した紀伊半島山中の人道吊橋、鉛直材の風琴振動で部材接合部にひびの入ったランガー橋位のものである。

世界的に見ると、何人といっても強風による上部構造の被害は吊橋に圧倒的に多く、無補剛または剛度不十分な古い型式の吊橋に生じている。例えば、スコットランドの Dryburgh Abbey 橋(1818)、英国の Berwick 橋(1820)、ドイツの Nassau 橋、フランスの Roche Bernard 橋(1840)、英国の Brighton Chain Pier 橋(1836)、アメリカの Wheeling 橋(1854)、英国の Menai Strait 橋(破壊)、アメリカの Niagara-Clifton 橋(1888)の落橋、破壊事件が著名である。その後 Tay 橋の事故が教訓となり、風圧に対する横抵抗の重要性が認識され、吊橋にも補剛トラスを付けるようになった。

その後、Brooklyn 橋、Golden Gate 橋、San Francisco-Oakland Bay 橋などの巨大な補剛トラス吊橋が完成し、吊橋の対風安定性については、一応問題はなくなったと考えられたが、1939年と1940年に、米国において補剛トラスの代りにプレートガーダーを用いた大径間吊橋が2橋(Bronx-Whitestone 橋、Tacoma Narrows 橋)完成し、話題を呼んだが、この2橋とも、開通直後から空気力学的不安定性を示し、Tacoma Narrows 橋の方はすでに述べた通り、開通後4ヶ月目に世界橋梁界の注目する中に落橋してしまった。

Whitestone 橋や Golden Gate 橋については、その後色々と研究を行なった結果、補強工事を行なったため、何んらの異状もなく今日に至っている。

最近、構造理論と解析手段の進歩、新構造材料の発達、新工法の開発により、橋は長大化するとともに剛性を減じており、吊橋以外にも風によって励振され易い橋が現われ始めている。橋の耐風安定性、特に動的安定性を増加させる方法には、橋桁の空気力学的特性の改善、剛性の増加、振動減衰能の増加の三つがあり、空気力学的特性の改善は最も有効な方法の一つであるが、現在のところでは、これに関する風洞模型実験を行ない、それぞれの橋につき検証する以外に方法はない。従ってこれらの橋の設計に当っては、風洞模型実験と経験による資料とによりその耐風安全性を確かめることが必要である。

その他の橋梁災害としては、溶接橋梁の脆性破壊、外力による鋼橋部材の座屈崩壊、鉄筋コンクリート橋の気象・環境条件による破壊、鋼橋および鉄筋コンクリート橋の疲労破壊、架設工事中的事故、その他思わぬ原因による事故など数え切れないが、材料力学および構造力学を応用しての力学的理論解析のほか、現象を追求する模型実験によって吟味検討して見る必要があるほか、架設・施工の段取りについても研究を要するし、現場における応力測定も重要な仕事となって来つつある。

鋼橋の脆性破壊の問題については、温度応力の影響について吟味しなければならないし、疲労破壊の問題については、溶接部を対照とする高サイクルおよび低サイクル疲労、腐蝕疲労、温度疲労などを分析する手法を研究すべきである。

それから、架設工事中の災害防止としては、架設・施工技術の改良・進歩に努力するとともに、架設・施工用機械の改良および検討のほか、安全工学の立場からも研究を進めなければならないと思う。

特に、最近のように橋梁専門家の間にも、特技の違う細分化された専門家が輩出されて来つつあるので、細分化の弊害のないように、設計・施工・架設・構造解析、模型実験などの総合技術の発揮出来るような技術陣の組織作りの検討が必要であろう。

また、現代における橋梁災害の特徴は古い時代の災害と違い、狭い視野を有する専門家の盲点によるものもあるから、その除去にも充分注意を払わなければならない。

2. 橋梁の技術的批判

橋梁の設計・施工に関する技術が生み出されるまでには、原始時代より現代に至るまでの度重なる史の変遷を経て発達して来ている。その形式の基本はアーチ橋、吊橋、桁橋の三つから始まっており、時代の進歩とともに、その組合わせ構造の橋が次々と開発され、現在に及んでいる。

またトラスの力学的理論が確立され、トラス系橋梁の著しい進歩・発達により、上記3形式の橋との組合わせ構造も直案され、ランガートラス橋、ローゼトラス橋、斜張トラス橋、ニールセン橋、トラス系吊橋などの構想も登場しつつあり、誠に興味深いものを感じる。

次に材料の面から橋の形式を考察するに、コンクリート橋では、鉄筋コンクリート、プレストレスト・コンクリートの材料力的特性が橋の形式を決定する重要な要素となっており、コンクリート自身が引張応力に無抵抗なこととその材料特性のきわめて複雑なことから、あまり複雑な形式の橋に利用することは適当でない。従ってアーチ橋と桁橋が圧倒的に多く、その応用とみられる板橋やラーメン橋も多数架設されており、コンクリート橋にはきわめて適合した形式であろう。

最近特に構造力学の発達、高張力鋼の開発、電子計算機の発達利用、溶接技術の進歩、プレストレス工法、架設技術の進歩など数え切れないほどの科学技術の発達によって、大きくその進路を左右されつつある。

最近床板と床組構造の立体化の思想が基本となった研究、すなわち平面形状と横断面形状を同時に満足する合成桁・箱桁・格子桁・鋼床板などの構造が直橋は勿論斜橋や曲線橋にも利用されるようになって来た。しかしこれらの構造法も完全なものではなく、いろいろと事故の生じた経過などからみて、その不完全性について吟味、研究してみなければならない。

また、長径間の橋梁については、タコマ橋の壁落事件以来、動力学的研究が盛んになったほ

か、世界各国とも海峡に架ける長径間橋梁の計画とその実現に熱を入れるようになり、斜張橋・長径間トラス橋・長径間アーチ橋などの研究が盛んに行なわれるようになり、架設された橋梁も沢山ある。

特に電子計算機プログラムの開発、計測法の進歩により、動力学的解析や風洞実験の研究がもっともっと積極的に行われなければならないし、破壊力学的研究も現象の追求の面で是非とも必要になって来る。

それから、橋梁の美学と計画に関する進歩・発達について考察すると、第二次世界大戦後におけるこの方面の斬新的な研究は非常に少なく、専ら旧来の延長程度の進展としか感じられなく、地域環境に調和した景観論的橋の計画と美的追求が切実に望まれるところである。

3. 橋梁の長大立体化について

(1) 概 説

人類の夢は橋梁についていえば、先ず第一にその長大化にあり、最大支間長の記録を更新することであり、第二にはバランスのとれた力学的美観を有することであろう。力学的美観を有することは、無駄な部材はなく、立体化されたバランスのとれたものであると思う。

すでに数十年前に、吊橋学者のスタインマン氏が人類の造る橋の到達出来る最大支間長を2,000 mであろうと予言したが、現在最早、イギリスのハルに1,410 mのHumber橋が1976年に架設され、今後益々その長大化の記録を更新しようとする機運が感じられるので、超高張力鋼の出現、構造力学の進歩、構造法の革新などを考慮に入れると、将来の最大支間長の限界は3,000 m級と考えてもよいのではなかろうか。

橋梁の長大化にともない、当然無駄のない立体構造法の開発が必要になって来るのは、建築構造物の巨大立体化にともなう吊り構造の応用の場合と似かよっている。

橋梁の長大化は各国において港湾・海峡を跨ぐ交通網の計画が立てられるようになったことから生じたもので、吊橋、斜張橋、突桁または連続アーチ橋、突桁または連続トラス橋、その他の組合わせ構造の橋梁がそれぞれの型式の最大支間記録を更新するように発展しつつある。

ここに、橋梁の長大化につれて、大変形による応力問題、対風および対震構造法の開発が必要となり、橋全体としての立体構造化と力学的合理性の吟味・検討などが必至のものとなりつつある。

(2) 長大吊橋の構造法と理論的進展

19世紀に入ってから発達した近代吊橋(補剛吊橋)は、Rankin, Rittler氏等により解析されたが、その後Müller-Breslau, Joseph Melan氏等の弾性理論解析へ進展し、Brooklyn Bridgeを初め数多くの吊橋の設計に輝かしい成果をあげた。しかし、20世紀に入り、支間200 m以上の吊橋では変形量が大きくなり、弾性理論の不適當なことが指摘され、Angustus Jay Dubois,

Josef Melan 両氏の提唱したたわみ理論 (Deflection theory) が登場し、L. S. Moisseiff 氏の採用により Manhattan Bridge の設計に応用された。アメリカでは、Golden Gate Bridge のほか数橋この理論により設計され、世界各国の吊橋の設計に利用されている。

その後、Tacoma Narrows Bridge の崩壊・墜落事件により、動的荷重を受ける吊橋の力学的研究が盛んとなり、耐風構造法に関する研究も行なわれるようになった。

一方たわみ理論の設計計算への応用解法としては、影響線解法、三角級数解法などが発達し、電子計算機の利用にともなって、 β -Loop 法なる実用計算法への進展した。

しかしたわみ理論の仮定も完全無欠ではなく、吊材の間隔が充分密で、しかも伸びのない一枚のケーブルと補剛構桁の間に張り渡されているという仮定で解析されることに批判的な考え方が登場して来たのである。すなわち、吊材の間隔を正当に評価し、吊材全体を膜と仮定することを止めて、一種のトラス構造として解析して行くこととなる。

A. G. Pugsley 氏の示した Flexibility Coefficients Method は膜理論否定への最初の試みであり、その後 D. M. Brotton, G. Arnold 両氏の提示した分配マトリックス法 (Distribution Matrix Method) も収斂の悪さのためあまり用いられず、T. J. Poskitt 氏は Newton-Rappson の反復法を採用した。また S. S. Tezcan 氏は分配マトリックスに対し本質的批判を行ない、大変形理論の立場より一層厳密な解法を提案したが、S. A. Saafan, T. Janiszewski の両氏もその理論を支持した。

そのほか最近における吊橋の動向としては、架設理論を考慮に入れた構造法とその解析が開発され、またプレストレス工法を用いた長径間吊橋の厳密計算法とその設計についての研究が進展しつつある。

(3) トラス系長大橋梁の構造法と理論的進展

吊橋に次ぐ長大橋梁には、支承構造よりすれば、ゲルバーおよび連続型式が用いられ、その構造型式としては、アーチおよび斜張橋型式が有利であり、しかもトラス系橋梁の構造法を採用するのが最も合理的であろう。

立体トラス橋の構造解析は、現在立体骨組構造物としてのマトリックス解法による方法と薄肉閉断面桁に置換しての曲げ振り構造解析による方法とに大別することが出来る。前者については、三次元剛滑節構造物の変形法による構造解析の汎用プログラムが開発されているが、立体構造物の規模が大きくなると計算機の記憶容量、計算時間の節約のため、色々な解法が考案されており、Spillers, Fenves, Withum, 成岡昌夫, 遠田良喜等の諸氏の貢献がある。また後者については、Wagner, Benscoter, Heilig, Vlasov 等の諸氏の流儀により立体トラス構造を等価板厚を有する薄肉閉断面桁に置換して曲げ振り理論を適用せんとするものであり、F. Bleich, Wansleben, Reingner, 奥村敏恵, 渡辺啓行等の諸氏の研究論文がある。また有限要素法による構造解析としての汎用プログラムも出来ており、Stuttgart 大学の Argyris 氏による ASKA, ス

イスとスウェーデン協同のSTRIPなどは有名である。小松定夫、西村宣男の両氏は対傾構のせん断変形を考慮に入れVlasov流儀の解析を行なっている。

非線形解析には有限要素法が盛んに用いられて、その効力を発揮しているが、トラス部材の応力が比例限度を超過した場合には、弾塑性解析には滑節および剛節トラスの弾塑性挙動を実験的研究と相俟って吟味して行かなければならない。

そのほか、長大トラスの動力的解析、疲労実験を初めとし、耐風・耐震構造としての鋼床板合成トラス橋の力学的研究などが有意義であると思う。

(4) 斜張橋およびアーチ橋の今後の発展

現在、世界中に架設されている斜張橋の最大支間長は404 mで、フランスのLoire河口に架けられたSt. Nazaire-St. Srevinin橋で、1975年に架設されている。

支間長5位までの平均は351 mとなり、ゲルバートラス橋やアーチ橋に比べればかなり下廻るけれども、年々増大しつつあり、トラス構造法の併用によれば、まだまだ支間の延長が期待出来、将来きわめて有望であろう。

これに対し、長大アーチ橋の歴史は古く、現在の最大支間長の橋は、カナダのバンクーバーに架設されているPortman橋(1964)で、支間長566 mである。支間長5位までの平均が495 mとなり、斜張橋の351 mよりかなり上廻る現状である。

最大支間長の増大には、斜張橋と同様に、トラス構造型式の併用が効果的であるほか、上路橋としての連続またはゲルバー型式の補剛アーチ橋が有望であろう。

また、バランスドアーチ型の連続逆ローゼ橋や連続フイーレンデール橋なども大型橋梁としては有望であると思うが、先ずその力学的研究から解明して行かなければならない。

4. 橋梁の技術的美観

(1) 緒言

橋梁に美を必要とするのは、橋梁が人間生活の必要上より建設されるから、審美的要素も具備しなければならないわけで、人間の文化、社会生活の進歩、発達につれて、技術的美観の価値判断も当然変って来るものと思う。

橋梁の技術美には、力学美、装飾美、造形美、景観美などがあり、これらが混然一体となって、総合的技術美を形成するものである。

(2) 力学美

橋梁の美はその力学的評価と無縁のものであるという考え方は妥当ではなく、力学上よりみた耐久性・安全性、力学上の合理性、力学経済性などがその美観に関与するという新しい考えに基づいて、橋梁美学の理論を展開しなければならない。

元来、橋梁力学はその力のつり合いを基として、その応力と歪を理論計算によって求めようとする学問であるから、各部材のバランスのとれた寸法と配列を定める手法こそ、力学的美観

を追求する「均衡美」の極致発見の鍵となるのではないでしょうか。

近代橋梁が構造力学の発達により、贅肉の無駄をはぶいた骨格構造として、大型立体化されつつある現在、中世紀以前の橋梁とは違ったダイナミックな美を表示していることに注目されたい。この大型橋梁の美観はそれぞれの部材の機能力を強調した空間形成の美であり、単なる自然美とは異なった「技術美」なる言葉でいい表わされる新しい分野の美意識である。力学が構造技術の基本となっている以上、力学的美観が「技術美」の基本となることは当然であろう。

(3) 装 飾 美

橋梁の表面や細部の形成における装飾美術については、建築の意匠と造形芸術に準じて美的効果のあるように工夫をしなければならない。

高欄は橋梁の一部であるが、橋全体の美観を左右することが多いから、その装飾についても充分な検討を加える必要がある。橋全体の形からみた美観に合致した高欄の形、構造を解び、それに相応しい装飾技術を開発しなければならない。

橋梁のような立体的の大型構造物は、すでに物質的ならびに力学的に充実した存在であるから、殊更にその外層に装飾文様を書きそえたり、その細部に構造上不要な装飾的形体を取りつける必要はない。橋梁構造の技術美は、機能力が構造形態に直観化されることにかかっているから、装飾的形式が技術の対象の内から発する合目的のものでなければ、美的効果の高揚されるものにならない。立体構造美に独特の価値を有するような飾飾方法を新しく開発して行くことこそ重要な課題であろう。

(4) 造 形 美

造形美観の発達は、建築における彫刻や絵画または映画の分野で著しく高揚されて来たが、橋梁のような大型立体構造物の造形美については、彫塑的、絵画的の要素が構築美の方向へ歩みよらなければ、生きた造形美として高揚出来ないと思う。すなわち、空間形式の美的比例の新しい法則を作り上げ、特異の美的感覚による造形美観の確立を図らなければならない。しかし、そと基本はやはり、プロポーション、シンメトリー、高揚と累積、リズム、線の調和、量の大きさなどの選定を重視し、「創造的综合」としての美の形成に努力しなければならない。

また造形美に対し、装飾の効果がどの程度寄与するかというと、個々の部分に装飾的意匠をこらすことにより、それらがすべて一つの有機的全体に積分されて全体美を作りあげるように工夫しなければ効果はあげられない。人体が適度の化粧をほどこすことにより、美的効果を増大出来るのと似かよっている。

(5) 景 観 美

橋梁は大なり、小なり野外に建造されるものであるから単独に存在すべき性質のものではなく、周囲の環境に支配されてそれらの背景と一緒に一つ一つの景観を形成すべきものである。

環境との調和適合性の美は、構造美としての重要な審美的要素であり、近代的都市橋梁に対

しては、それに適合した材料と様式を選定し、山村・原野に建造される橋梁に対しては、その風景美に調和適合した材料と様式を選定しなければならない。

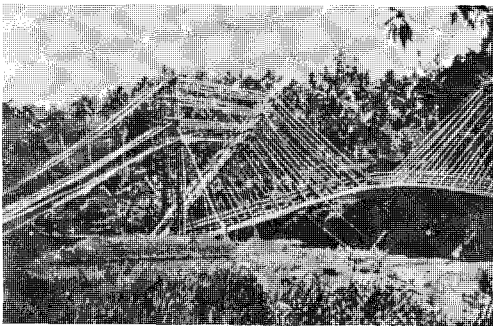
水平に横たわる橋梁が、自然界の三次元空間の中で、それ自身の美的条件を充足するだけでなく、その環境に適合・調和するには、風景美を主、技術美を従とする場合、風景美と技術美が半々に歩み寄る場合、技術美を主、風景美を従とする場合の三通りが考えられる。例えば、未開発の地域に架ける小径間の橋梁の場合は風景美が主で、開発の完成した都市に架ける大径間の橋梁の場合は技術美が主となり、両方の中間の場合には適性の比率で歩み寄らなければならない。

要するに、技術美としては、力学的美、装飾美、造形美、景観美のバランスのとれた橋梁美の創造に努力し、従来には見られないような新しい橋梁美観を新開発しなければならない。

5. 総 括

上述の防災と技術的批判を基として、合理的立体構造よりなる新しい長径間橋梁の型式を創造し、力学と美学の融合した極致を見出すことこそ我々に与えられた使命であろう。

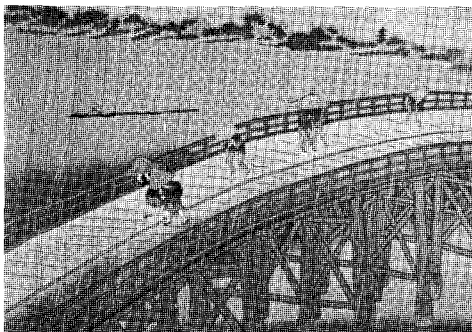
なお、本研究を纏めるに当り、研究報告(1)~(3)の参考文献のほか、下記参考文献に負うこと



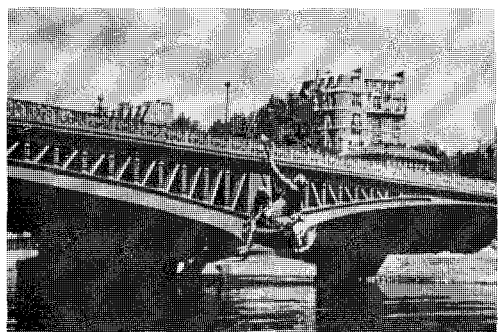
写真一 1 原始時代の自然美(竹の橋)



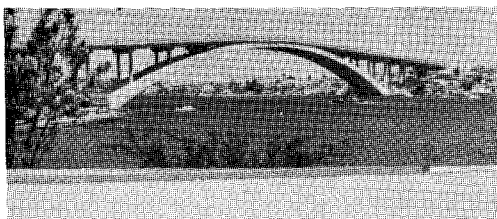
写真一 2 中国の風情美(中世の石造アーチ、楓橋)



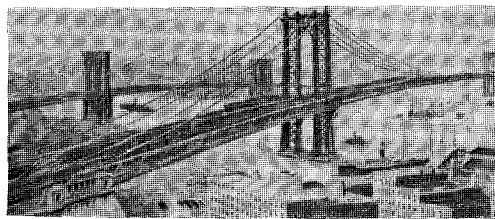
写真一 3 日本の風情美(広重の木版画)



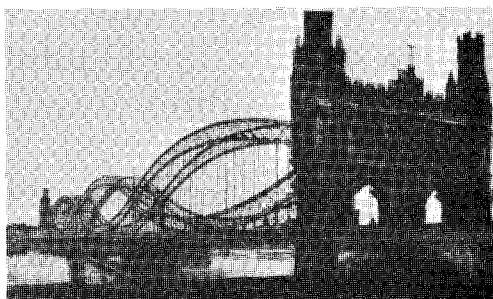
写真一 4 ミラボー橋の装飾美(フランス、パリ、1893)



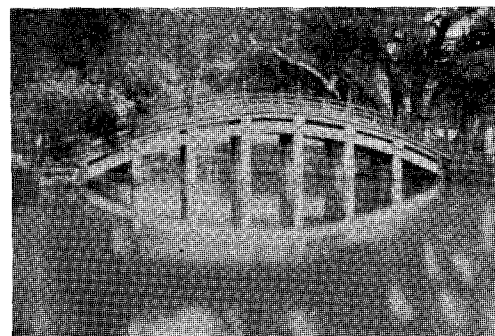
写真一5 グレイデスビル橋の雄大な構造美
(オーストラリア、シドニー、1964)



写真一6 マンハッタン橋の近代的繊細美
(アメリカ、ニューヨーク、1909)



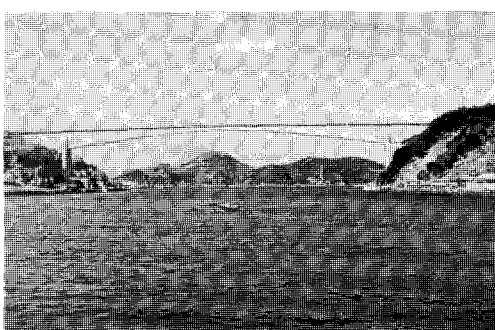
写真一7 エルベ橋の二重アーチ美
(ドイツ、ハンブルグ、1870)



写真一8 太鼓橋の環境調和美(日本、木・石造り)



写真一9 パル・チール橋の立体的安定美
(スイス、逆ランガー桁、1925)



写真一10 名護屋大橋の雄大美
(佐賀県、PC道路橋、1967)

多大であり、それぞれの著者に対し深く感謝の意を表する次第である。

写真一1～写真一10は、原始時代から現代に至るまでの橋梁の中、特殊な美観を呈すると考えられる10橋を選び、掲載したものである。

(昭和53年5月20日受理)

文 献

- 1) 鷹部屋福平：橋の美学，1～96 (1942)，アルス社。
- 2) 鷹部屋福平：世界橋梁写真設計図説，1～188 (1931)，正興館。
- 3) 成瀬勝武：橋，1～205 (1941)，河出書房。
- 4) 大野 練：大野橋梁汎論，142～162 (1932)，淀屋書店。
- 5) 来島 武，成瀬泰雄：世界の橋，1～265 (1968)，森北出版。
- 6) 日本道路協会：橋の美，1～110 (1977)，丸善 k.k.
- 7) 中村良夫：土木空間の造形，1～159 (1967)，技報堂。
- 8) 小柳武和，篠原修，田村幸久，中村良夫，樋口忠彦：土木工学大系 13 景観論，1～333 (1977)，彰国社。
- 9) 竹内敏雄：塔と橋，1～182 (1977)，弘文堂。
- 10) 成瀬勝武：弾性橋梁，96～98 (1953)，コロナ社。
- 11) 鷹部屋福平：構造力学 I，9～55 (1955)，彰国社。
- 12) S. P. テイモシエンコ著，最上武雄監訳，川口昌宏訳：材料力学史，1～415 (1974)，鹿島出版会。
- 13) 成岡昌夫：構造力学要論，1～24 (1974) 丸善 k.k.
- 14) 防災ハンドブック編集委員会：防災ハンドブック，1～955 (1964)，技報堂。
- 15) 亀井幸次郎：災害の構造学，1～136 (1969)，理工図書。
- 16) 岡 尚平：橋梁の各種事故例と対策，1～141 (1970)，理工図書。
- 17) 久田俊彦：カラム No. 10，62～66 (1964)，八幡製鉄 k.k.
- 18) 奥村敏恵：カラム No. 21，16～26 (1966)，八幡製鉄 k.k.
- 19) 横道英雄：カラム No. 21，28～33 (1966)，八幡製鉄 k.k.
- 20) 平井 敦：カラム No. 31，77 (1969)，八幡製鉄 k.k.
- 21) 小西一郎編：鋼橋 基礎編 I，1～626 (1977)，丸善 k.k.
- 22) 小西一郎編：鋼橋 基礎編 II，1～1,088 (1977)，丸善 k.k.
- 23) 小西一郎編：鋼橋 設計編 I，1～772 (1975)，丸善 k.k.
- 24) 小西三郎編：鋼橋 設計編 II，1～1,601 (1976)，丸善 k.k.
- 25) 横道英雄：コンクリート橋，1～646 (1962)，技報堂。
- 26) 横道英雄：鉄筋コンクリート橋，1～469 (1952)，技報堂。
- 27) 川田忠樹：長径間吊橋の理論と計算，1～204 (1969)，橋梁編纂会。
- 28) 伊藤鉦一，成岡昌夫：橋梁と基礎，5-12，39～44 (1971)，建設図書。