

I - 8

斜 張 橋 の 美 観 に つ い て

(株) 北日本ソイル研究所 正員 中村作太郎

1. まえがき

斜張橋の原理は簡単で、長いスパンの橋を架けるのに桁の曲げ剛性が足りないため、途中にてケーブルで吊り、これを助けようというのである。もつと古くから架けられてもよかったと思うが、構造解析や材料面の発達がおくれたため、架設の方もおくれてしまったのである。

イギリス、ドイツを中心として発達し、19世紀以前にかなりの数の斜張橋が登上したが、20世紀の前半には架設の実例がなく、全く忘れられかけていた。しかし、その景観美の優れていることが再認識され、1950年以降に続々と架設されるようになった。斜張橋の架けられなくなつた原因は、Dryburgh—Abbeyに架けられた斜張歩道橋 (1818), NienburgのSaale河に架設された斜張鎖橋 (1824) などが完成後間もなく落橋したことにあつた。その失敗は構造上の知識の不足、力学上の不理解、引張材の強度不足、架設時の応力調整・たわみ規制などに関する知識の不足等が原因とみられている。

しかし、20世紀の後半に至り、西ドイツにおける斜張橋の研究が活発となり、西ドイツ、イギリス、その他の諸外国および我国において、続々と架設されるようになった。このように斜張橋が再認識されるようになったのは、ロックドコイルや平行素線索等の引張材料としての進歩、電子計算機の発達による多次元不静定構造の精密解析の可能になつたこと、力学上からみて中大径間の形式に適合していること、構造の軽快さと優美さが現代人の美的感覚にマッチしていること等によるものと思う。しかも本格的な吊橋に比べ、はるかに軽快な景観力学美と力学的経済性とを共有する点が、科学技術的ロマンの生じる起因であると思う。今後ますます各種の斜張橋が創造され、景観力学的美の進歩することを期待するものである。

2. 斜張橋の架設現況とその審美^{1)~11)}

世界中に架けられている斜張橋の現況は、スパンの大きい順に並べてみると、表-1, 2のとおりとなり、年々そのスパンは延長されつつある。

図-1 は、我国の大阪に架けられた「かもめ大橋」で、西ドイツの「フリードリツヒ・エバート橋」を見習つただけあつて、その繊細、秀麗なる景観美には感嘆させられる。図-2 の「ラマ9世橋」は、タイのバンコックに架けられた長スパンの斜張橋で、東南アジア的景観美とその規模の大きさに魅せられる。

また、図-3 は、我国の横浜に架けられた世界最大のスパンを誇る「横浜ベイブリッジ」で、その本格的な大型斜張橋の景観美が周囲の景色と相まって期待される。図-4 は、大阪に架設の「安治川橋」であり、図-5 は、イラクのパクダートに架けられた「アダミヤ橋」である。前者は多ケーブル斜張橋、後者は単ケーブル斜張橋で、その対比が非常に面白い。

また、図-6は我国の名古屋に架けられた最大スパン 405mの「名港西大橋」で、図-7は最大スパン 87.5m に過ぎない大阪の「川崎橋」である。この大スパンと小スパンの斜張橋の対比は、周囲の地形、景色とも関連し、非常に興味の深いところである。

On the Beautiful Sight of the Cable Stayed Bridge
by Sakutaro NAKAMURA

表-1 世界の長大斜張橋(既設・着工)

順番	橋名	所在地および概要	最大スパン (m)	完成年
1)	横浜ベイブリッジ	日本の横浜	460	着工
2)	Second Hooghly 橋	インド	457	着工
3)	ラマ9世橋	タイのバンコック	450	1987
4)	岩黒島橋	日本の香川県	420	着工
5)	檀石島橋	日本の香川県	420	着工
6)	名港西大橋	日本の名古屋	405	着工
7)	St. Nazaire 橋	フランスのLoire河の河口	404	1975
8)	Rande 橋	スペイン	401	1978
9)	Luling 橋	アメリカ	376	1982
10)	Dusseldorf-Flebe 橋	西ドイツ	368	1982
11)	Askerofjord 橋	スウェーデン	366	1981
12)	大和川橋	日本の大阪	355	1981
13)	Duisburg -Nenenkamp 橋	西ドイツのデュースブルグ	350	1970
14)	安治川橋	日本の大阪	350	着工
15)	Brazo Largo 橋	アルゼンチン	340	1972
16)	West Gate 橋	オーストラリアのメルボルン	336	1970
17)	Köhl brand 橋	西ドイツのハンブルグ	325	1974
18)	Knie 橋	西ドイツのデュッセルドルフ	320	1969
19)	Erskine 橋	スコットランド	305	1970
20)	Severin 橋	西ドイツのケルン	302	1960
21)	Wadi Kuff 橋	リビア(コンクリート橋)	287	1971
22)	Tiel River 橋	オランダ(コンクリート橋)	267	1973

表-2 世界の斜張橋(最大スパン250m以下、既設・着工)

順番	橋名	所在地および概要	最大スパン (m)	完成年
23)	末広大橋	日本の徳島県	250	1975
24)	Pio Parana 橋	アルゼンチンのリオデジャネイロ (コンクリート橋)	245	1973
25)	かもめ大橋	日本の大阪	240	1975
26)	南港南埠頭橋	日本の大阪	240	1975
27)	弥栄大橋	日本の広島県~山口県	240	1987
28)	Maracaibo 橋	ベネズエラのマテカイボ湖辺 (コンクリート橋)	235	1962
29)	六甲大橋	日本の神戸	220	1976
30)	かつしかハープ橋	日本の東京	220	1986
31)	豊理大橋	日本の大阪	216	1970
32)	尾道大橋	日本の広島県	215	1968
33)	Polcevera 橋	イタリアのジェノバ (コンクリート橋)	208	1965
34)	水郷大橋	日本の千葉県~茨城県	179	1976
35)	大島埠頭橋	日本の横浜	165	1974
36)	荒川大橋	日本の東京	160	1971
37)	石狩河口橋	日本の北海道	160	1972
38)	秩父橋	日本の名古屋	153	1984
39)	でんでん大橋	日本の札幌	112	1981
40)	新綾部大橋	日本の京都	110	1987
41)	高梨大橋	日本の島根県	100	1984
42)	松ヶ山橋	日本の神奈川県	96.60	1978
43)	川橋	日本の大阪	87.50	1978
44)	新門司大橋	日本の長門県	74.40	1987

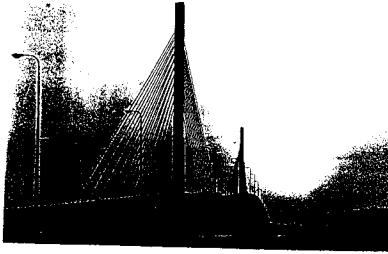


図-1 かもめ大橋, 最大スパン240m, 1975(大阪)

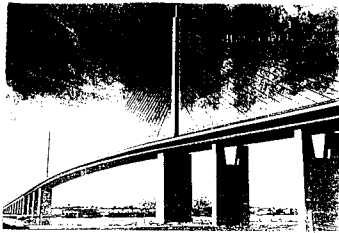
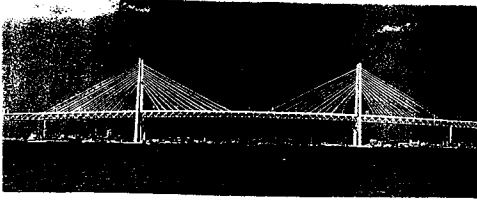
図-2 ラマ9世橋, 最大スパン450m, 1987
(タイのバンコック)

図-3 横浜ベイブリッジ, 最大スパン460m, 施工中(横浜)

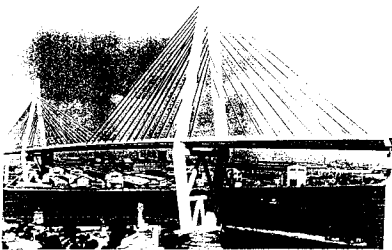


図-4 安治川橋, 最大スパン350m, 施工中(大阪)

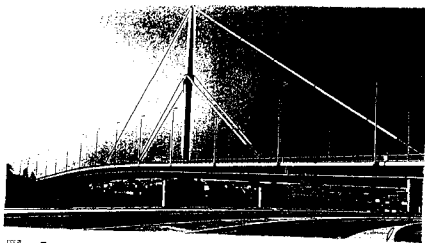
図-5 アダミヤ橋, 最大スパン182.5m, 1983(イラク
のパグダート)

図-8は、我国の札幌に架けられた「でんでん大橋」で、豊平川に架けた数少ない斜張橋としてその価値は高い。小スパンではあるが、注目の景観美が得られている。図-9は、本四児島～坂出ルートに架けられた420mのスパンを誇る「石島橋」で、吊橋の景観美との対比が素晴らしく、近代科学技術美の粋といえると思う。

図-10は、我国の東京に架けられた「かつしかハーブ橋」で、多ケーブル斜張曲線橋として、周辺の街並の景観に融け込んでいる。

また、図-11はアメリカに架けられた「Luling橋」で、大スパンの部類に入り、整然たる景観美を呈している。図-12, 13は、どちらも西ドイツの「Knie橋」と「Severin橋」で、最大スパンそれぞれ320m, 302mの長大な部類に入っている。またその景観美は、デュツセルドルフとケルンの街並によく調和がとれている。

図-14, 15, 16は、我国の神戸、秩父、京都府に架けられた「六甲大橋」、「秩父橋」、「新綾部大橋」

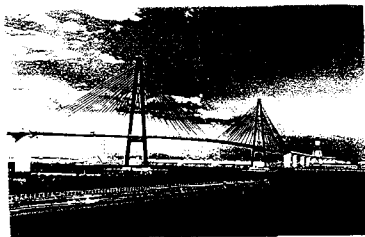


図-6 名港西大橋, 最大スパン405m, 1984 (愛知県の名古屋周辺)

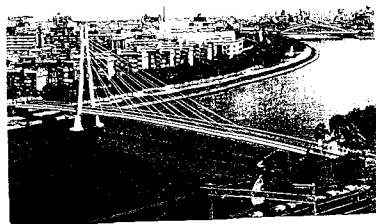


図-7 川崎橋, 最大スパン87.50m, 1978 (大阪)

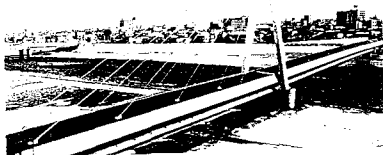


図-8 でんでん大橋, 最大スパン112m, 1981 (札幌)

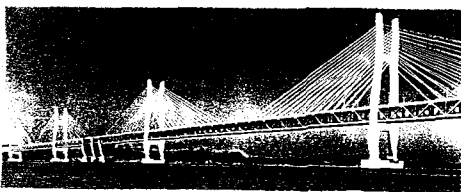


図-9 石島橋, 最大スパン420m, 1987 (本四児島～坂出ルート)

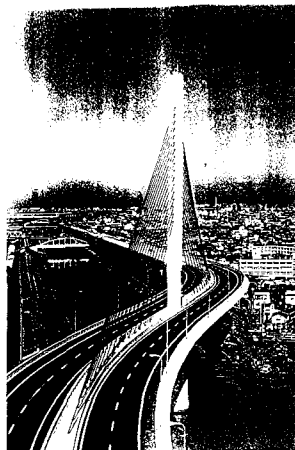


図-10 かつしかハーブ橋, 最大スパン220m, 1986 (東京)

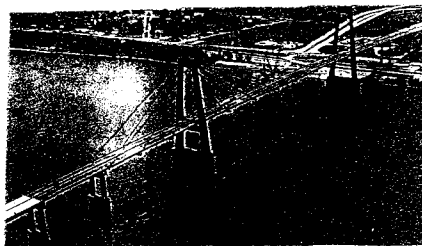


図-11 Luling 橋, 最大スパン378m, 1982 (アメリカ)

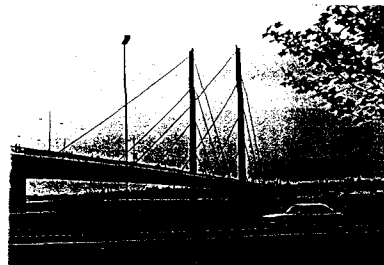


図-12 Knie 橋, 最大スパン320m, 1969 (西ドイツのデュツセルドルフ)

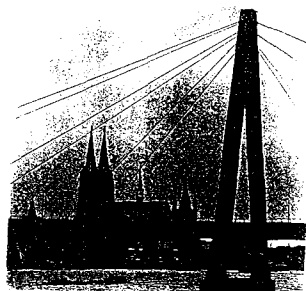


図-13 Severin 橋, 最大スパン: 320m, 1960 (西ドイツのケルン)

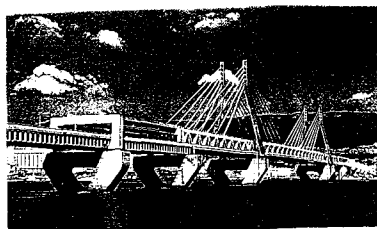


図-14 六甲大橋, 最大スパン220m, 1976 (神戸)

で、中小スパンではあるが、それぞれ周辺の環境に調和した整然たる美観を呈している。

3. 斜張橋の歴史と景観^{1), 6)}

直線状の斜索を用いた鉄桁は、19世紀になつてイギリスにおいて初めて架設されたが、1908年に刊行された Chr. Mehrrens の著書「鉄道橋梁」および Haseler の著書「鉄橋」には、Kettenbrücke nach Faustus Verantius (1617, 斜張鎖橋)、Kings-Meadow-Brücke (1817, 斜張索橋)、Brücke Bauart (1821, 斜張索橋)、Kettenbrücke Bauart Hatley (1840, 斜張索橋)、Brücke übre den Manchester Schiffschiffskanal (斜張索橋)、Schrägseilbrücke Bauart Gisclard-Arnodin (斜張索橋)、Fährbrücke in Nantes (1903, 斜張橋) などが紹介されている。

1818年に架けられた斜張歩道橋と1824年に架設された斜張鎖橋の二橋が崩落したことが原因となり、斜張橋の空白時代が続いた。

その後20世紀に入り、西ドイツ、イギリスなどにおいて、斜張橋に関する研究が活発となり、ヨーロッパおよび東南アジアにおいても、盛んに長スパンの斜張橋が架けられるようになった。

斜張橋は、本格的な吊橋に比べ力学的安定性がよく、その精密解析も可能となつたため、西ドイツ、イギリスを発祥地として世界中に架けられるようになりつつある。しかもその景観力学的な美観の点において、繊細、秀麗なる特性を有するため、スパンの延長とともに、美学的研究も行われるようになって来た。

図-17は、イギリスのSt. Albart橋で、歴史的斜張橋の名残りとして著名である。また、図-18は西ドイツのテオドルホイス橋で、デユツセルドルフ・ノルト橋とも呼ばれ、

ライン川に架けられた斜張橋中、最も古く、1958年に完成している。この橋は、1955年完成のスウエーデンのシウトロームズント橋とともに、近代斜張橋の原典とされている。

図-19は、西ドイツの第2メイン橋で、フランクフルト市郊外に、PC斜張橋としてユニークな美観を誇っている。多数の平行に張られたケーブル、音叉を連想させる塔の形状など、光と影の効果の中に、独特の構造美観を創り出している。

図-20は、西ドイツのクルト・シューマツヘル橋で、

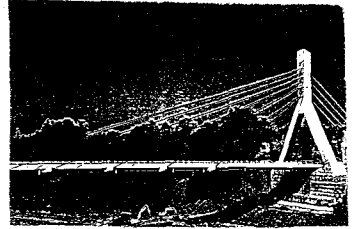


図-15 秩父橋、最大スパン151.9m、1985
(埼玉県秩父市)

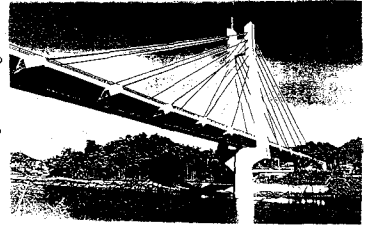


図-16 新大塚橋、最大スパン110m、1987
(東京都)

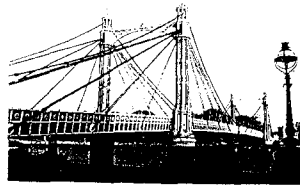


図-17 St. Albart 橋 (イギリス)

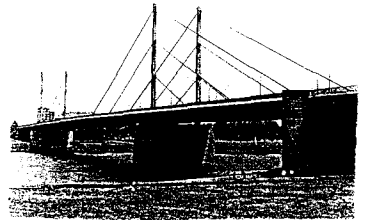


図-18 テオドルホイス (西ドイツ)

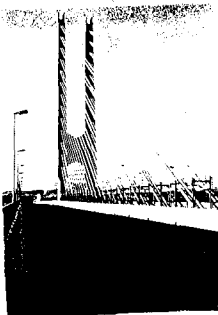


図-19 第2メイン橋 (西ドイツ)



図-20 クルト・シューマツヘル橋 (西ドイツ)

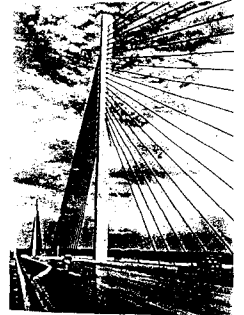


図-21 フリードリッヒ・エバート橋 (西ドイツ)

マンハイム市内の工場で市街地の建物に接するようにライン川を跨いでいる。このため、遠方から本橋を望むことは難しいが、中央の電車軌道敷を跨いで建てられたA型の塔は、そのスレンダーさとともに、橋面空間を独特な構造に創りあげている。図-21は、西ドイツのフリードリッヒ・エバート橋で、ポン・ノルト橋とも呼ばれ、ライン川の緑の堤防に映えたマルティ型といわれる多くのケーブルが、ヨツトの帆か琴の絃を連想させて素晴らしく美しい。

4. ケーブルおよび塔の種類と力学的美観¹⁾

斜張橋の景観性は、ケーブルと塔が支配的であり、塔の形状、位置、ケーブルの張り方、けた断面の選択などが非常に重要である。

ケーブルの配置方法は多種多様であり、次のように分けることが出来る。図-22は、(a) ケーブルの配置方法の種類(1面ケーブル、2面ケーブル)、(b) 横方向からみた場合の種類(放射形式、平行形式、1本ケーブル、多ケーブル、その他)、(c) 塔の種類(単柱式、門型、A型)を示している。

また、塔の配置としては、1) 対称 2) 非対称 3) その他(斜めに配置する方法など)がある。そのほか、桁の断面形状もケーブルや塔ほどではないが、斜張橋の景観性に重要な影響を与えるので、検討を要する。このように、斜張橋の設計においては、他の橋梁形式に比べ、複雑な景観性をわきまえて、総合判断によつて美観の優れた構造形式を選ばなければならない。

ケーブルの配置方法としては、1面ケーブルの場合には、放射形式、平行形式のどちらも景観上の差異はほとんどないが、2面ケーブルになると、放射形式では、みる角度によつては、ケーブルが複雑に交差してわずらわしくみえることがある。塔が高くなればなるほど、その傾向が増して来るのである。

特に、橋梁空間を構成する各要因の選択を間違えると、著しくみずばらしい橋となつてしまうこともあるのが、斜張橋の特色であるから注意を要する。

1959年に、西ドイツのケルンに架けられたセベリン橋は、ケルン市の象徴として著名な左岸側の大寺院とのバランスをとり、A型塔を右岸側に非対称に立て、独創的美観を得たことで有名である。その主スパン長300mを越え、長大斜張橋としてのダイナミックな量感と美観は抜群である。

我国の大阪に架けられたかもめ大橋は、日本で初めて多ケーブル形式を彩用した斜張橋で、繊細な美観を与えている。また、札幌市の豊平川に架設のでんでん大橋、ミュンヘン大橋(建設中)も多ケーブル形式の斜張橋で、そのユニークな美観は札幌の街に近代的ロマンを与えることとなる。

斜張橋の発祥の地西ドイツのクニー橋は、きわめてユニークな塔を有し、異彩の美観を放っている。その塔の高さ100mに及び、非対称の主スパン319mをダイナミックに吊りあげている。スパンが大きいので2面ケーブルを採用しているが、ケーブルの張り方は平行形式とし、ケーブルの交差することをさけている。

また、西ドイツのフランクフルト市郊外に架設の第2メイン橋は、PC斜張橋の鉄道併用橋である。PC斜張橋は、鋼斜張橋、吊橋などに比べ、そのたわみがきわめて小さく、鉄道橋としても優れた特

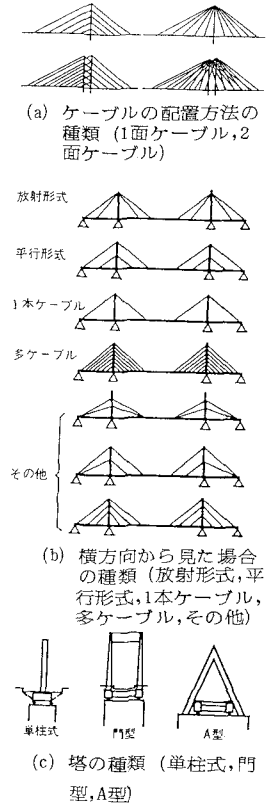


図-22 ケーブルの配置方法と塔の種類

性を有している。この橋は、多数の平行に張られたケーブル、ユニークな塔の形状などにより、独特の構造美観を創り出している。

5. あとがき^{6),7),12)}

斜張橋は、最近発祥地の西ドイツ、イギリスを起点として、世界各国に架けられるようになり、東南アジアおよび日本においても盛んに架けられるようになった。斜張橋は、本格的な吊橋に比べ、構造力学的解析がはつきりしており、力学的安定性のある繊細な美観を有する橋として脚光を浴びつつある。その軽快でユニークな美は、現代人のセンスにマッチしているからであろう。また、斜張橋は高強度のケーブルを用いた合理的橋梁とし、高精度の応力調整にも対応出来るようになりつつある。特に、架設形状管理として立体的挙動の測定も吟味・研究されるようになった。

例えば、我国においても神崎川県塔之沢周辺の鶴翁橋（ $l=43m$ ）、広島県因島市の生口橋（ $l=490$ ）、神戸市の東神戸大橋（ $l=485m$ ）、埼玉県戸田市の幸魂橋（ $l=381.525m$ ）、横浜市の鶴見航路橋（ $l=510m$ ）などが、新しい架設形状管理のもとで架設されつつある。

このように斜張橋は、設計・施工の高度化とともに、近代的繊細美観の面でも優秀な橋であり、今後に期待するところが大きい。

その美観については、三次元にとどまらず、四次元およびそれ以上の美の追求と新しい形式の創造に力を注がなければなるまい。

また夢の斜張橋としては、アメリカの南サンフランシスコ湾に架ける大型の斜張橋（ $l=396m$ ）、アラスカのバラノフ島に架設予定の大型斜張橋、ソビエトのKiev橋（ $l=300m$ ）、アメリカ～ソビエト間のBearing海峡に架設計画のInter Continental Peace 橋（ $l=1,000m$ ）、スペインのGibraltar海峡橋（浮き橋脚利用の橋）などがある。

なお、本研究論文を取りまとめるに当たり、下記文献に負うところ大きく、その著者、発行機関に対し、深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) (社)日本道路協会： 橋の美（道路橋景観便覧），日本道路協会（1977）。
- 2) (社)土木学会： 橋（1969～1970），（1972～1973），（1973～1974），（1974～1975），（1976～1977），（1977～1978），（1978～1979），（1979～1980），（1980～1981），（1981～1982），（1982～1983），（1983～1984），（1984～1985），（1985～1986），（1986～1987），（1987～1988）。
- 3) (社)日本橋梁建設協会： 橋と景観，同協会（1988）。
- 4) (社)土木学会構造工学委員会： 美しい橋のデザインマニュアル，土木学会（1982）。
- 5) (社)日本橋梁建設協会： 日本の橋，朝倉書店（1985）。
- 6) 中村作太郎： 室蘭港架橋計画試案について（3）—斜張橋—土木学会北海道支部論文報告集（1974）。
- 7) トビー工業（株）： 鶴翁橋の架設形状管理，斜張橋の施工実績（1990）。
- 8) 中村作太郎： 土木構造物の新構造美観論（個人出版）（1990）。
- 9) 中村作太郎： 橋梁の歴史的変遷とその発達動向，蘭岳会（退官記念出版）（1981）。
- 10) 中村作太郎： 室蘭港白鳥大橋の地域環境的美観論，土木学会第38回年次学術講演会講演概要集（1983）。
- 11) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会： 北海道鋼道路橋写真集（昭和47年～昭和50年），（1977）。
- 12) 宮崎巽二，石原慶一： 4次元グラフィクス（高次元CGへの道），朝倉書店（1989）。