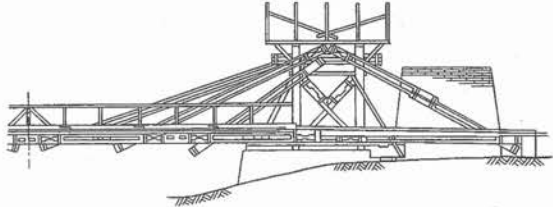


1. 概説

1.1 歴史と展望

1.1.1 斜張橋の歴史

斜張橋はこの数十年ほどの間に急速な発展を見た橋梁形式である。その起源は遠く古代にまで遡るが^{1,2)}、今日の斜張橋に類似した初期の例としては、1784年にスイスの Löscher により考案された木橋（最大支間長 32m， 図-1.1）を挙げることができよう^{3,4)}。この橋は、斜め引張材の配置がいわゆるファン形式の自定式構造で、下部工に水平反力が作用しないように考えられている。さらに側径間にあたる場所にカウンターウェイトを設けて橋梁全体のバランスをとっていることなど、近代斜張橋に見られる特徴を備えたものとなっている。

その後、1817年にはイギリスで Redpath と Brown により King's Meadow 橋（33m， 図-1.2）が架設された。この斜張橋は歩道橋で、斜め引張材にロープを使用し、塔は鋳鉄製となっている。さらに、フランスの Poyet やイギリスの Hatley らにより種々の斜張橋が考案されるようになったが^{3~5)}、この時期にはまた既設斜張橋の落橋事故が相ついで発生している。1818年に風による振動でケーブルの継手が切断して落橋した、イギリスの Tweed 河に架かる歩道橋（79m）や、1825年に群集荷重によりケーブルが切断して落橋したドイツの Saale 河に架かる斜張橋（78m， 図-1.3）がその例である。

これらの事故原因を調査したフランスの科学者 Navier は、斜張橋よりも吊橋の方が力学的に優れた橋梁形式であるとの結論を出している。これは、当時の技術レベルでは斜張橋形式のもつ高次の不静定量の解析が不可能であったことや、ケーブルの材料として信頼性のあるものが得られなかったことなどによるものと思われる。こうしたことから、斜張橋はその後一世紀におよぶ長い空白時期を迎えることになった。

19世紀前半のこのような斜張橋形式に対し、19世紀後半には吊橋と斜張橋の混合形式のものが多く架設

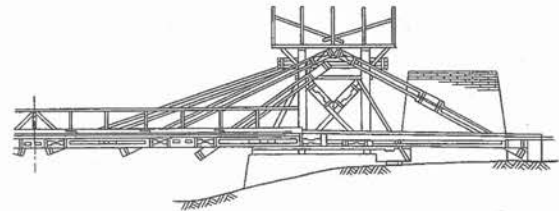


図-1.1 Löscher の木橋

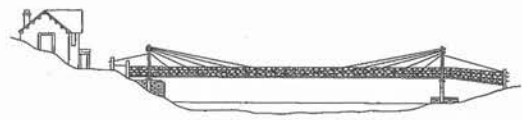


図-1.2 King's Meadow 橋

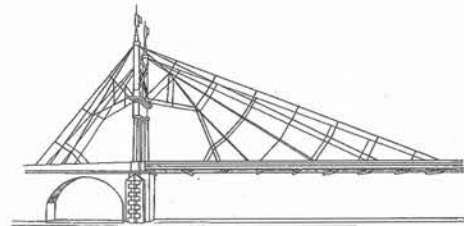


図-1.3 Saale 河の斜張橋



図-1.4 Albert 橋

（青木徹彦氏提供）

されるようになってきた。1873年にロンドンのThames河に架けられたAlbert橋(122m, 図-1.4)もそのような橋の1つである。同様な形式の橋としてシンガポールのCavenagh橋⁶⁾、チェコスロバキアのFranz-Joseph橋などがある。また吊橋として知られているアメリカのNiagara鉄道橋やBrooklyn橋なども主ケーブル以外に斜めケーブルを有しており、斜張橋の特性をも兼ね備えたもの⁴⁾となっている。

1.1.2 近代斜張橋の始まり(1950~60年代)

近代斜張橋の歴史はStrömsund橋に始まるとされている^{1~4)}。Strömsund橋(183m, 図-1.5)は1955年、スウェーデンのStröm海峡に架けられたものである。この橋はケーブルにロックドコイルロープを使用していること、架設は張出し工法によっていること、ケーブル定着部は架設時の張力導入作業を考慮した構造としていることなど、その後の斜張橋の規範となるものであった。つづいて、ドイツ国内においてTheodor-Heuss橋(260m)およびSeverin橋(302m, 図-1.6)が完成した。Theodor-Heuss橋はRhein河に架けられた最初の斜張橋である。これら2橋はいずれも鋼床版を採用して主構造の軽量化を図ったことにより支間の長大化に成功しており、Severin橋はその後1969年にドイツでKnie橋(319m)が完成するまでの10年間、斜張橋における最大支間長の記録を保持することとなる。1950年代にヨーロッパで完成した斜張橋は、いずれもドイツの技術によって架設されたもので、ケーブル段数の少ない2主桁形式という共通点をもっている。

わが国では、1958年に初めての斜張橋形式として勝瀬橋(128m)が建設された。勝瀬橋は旧橋の吊橋のコンクリート製塔・橋台・アンカレッジを再利用したものであり、アースアンカー式構造であるが、わが国最初の斜張橋として特筆されるものである。なお、勝瀬橋は2005年に新たな斜張橋に架け替えられた。

1960年代には、これらの実績に裏付けされた技術により、Rhein河を中心としたドイツ国内で多くの斜張橋が架設された。その構造形式も、1963年に完成したNorderelbe橋(172m)に始まる1面ケーブル形式と、1967年完成のFriedrich-Ebert橋(280m, 図-1.7)に始まるマルチケーブル形式とによって代表されるように、様々な景観的・構造的工夫がなされるようになった。1

面ケーブル形式の橋梁にはドイツのLeverkusen橋(280m)、Maxau橋(175m)、イギリスのWye橋(235m)、カナダのPapineau-Leblanc橋(240m)、わが国の摩耶大橋(139m)などがある。また、尾道大橋(215m)はわ

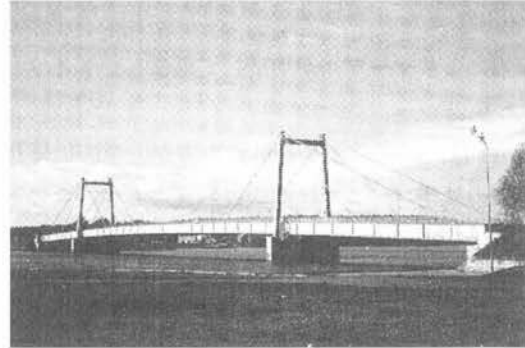


図-1.5 Strömsund 橋
(W.von.Olnhausen 氏提供)



図-1.6 Severin 橋
(青木徹彦氏提供)

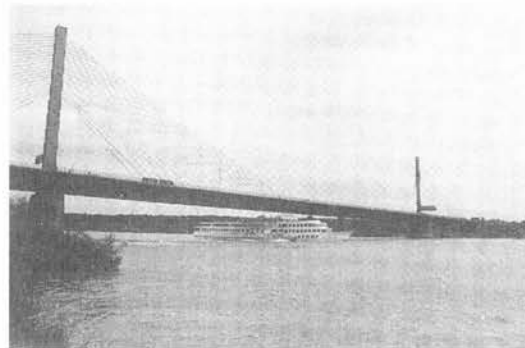
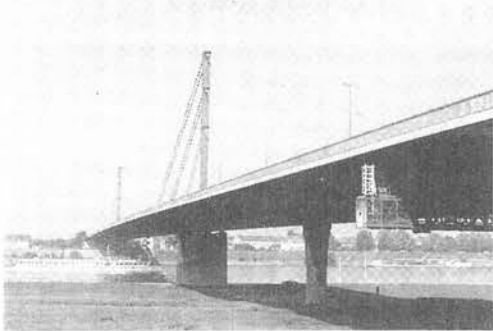


図-1.7 Friedrich-Ebert 橋



が国で200mを超える本格的な斜張橋として、耐風安定性や種々の実験を行って1968年に完成した。

この時期の斜張橋は、1本柱形式の塔、主桁はねじり剛性の大きい1箱桁で構成されている場合が多い。段数の少ないケーブル形式の斜張橋では、支間の長大化とともに必然的にケーブルの張力が大きくなり、そのため定着構造が大型化・複雑化して施工上の困難さを伴うこととなる。またケーブルが破損した場合の取り換え作業も非常に難しく、これらを解決するものとしてマルチケーブル形式の斜張橋が考え出された。Friedrich-Ebert橋はドイツのHomburgの設計による。

1.1.3 斜張橋の発展（1970～80年代）

1970年代には、斜張橋は支間長が200mから400m程度の中規模の橋梁形式として世界各地で建設されるようになった。ドイツのDuisburg-Neuenkamp橋（350m、-1.8）が1970年に建設され、その5年後にはフランスのSt. Nazaire橋（404m）が完成して、400mを越える最大支間長を持つ斜張橋が実現した。

このように斜張橋が長大化するにつれて、その耐風安定性に注意が向けられるようになってきた。フランスのSt. Nazaire橋、スペインのRande橋（400m）、わが国の石狩河口橋（160m）、かもめ大橋（240m）などにおいて、それぞれフェアリングなどによる耐風安定化対策が施された。また六甲大橋（220m）では、2本並列に配置したケーブルにウェイクギャロッピング現象が認められたため、ケーブルをロープで連結する制振対策がとられている。

一方、支間の長大化とともに、鋼とコンクリートのそれぞれの材料特性を生かした複合斜張橋も現われはじめた。最初の本格的な複合斜張橋は、1971年にドイツで完成したKurt-Schumacher橋（287m、-1.9）である。この橋は、径間比の関係から側径間の主桁をPC箱桁としたもので、主径間の鋼主桁との結合はスタッドジベルとPC鋼棒によっている。同時期の複合斜張橋としては、ほかに側径間の主桁と塔とをコンクリート構造としたドイツのDüsseldorf-Flehe橋（368m、-1.10）、塔のみをコンクリート構造としたRande橋やアルゼンチンのZarate-BrazoLargo橋（330m）、わが国の大和橋（83m）などが挙げられる。

この時期には、上記以外に、ドイツではKöhlbrand橋（325m）、Speyer橋（275m）、Oberkassel橋（258m）などが、またイギリスのErskine橋（305m）、チェコスロバキアのBratislava橋（303m）、オーストラリアのWest Gate橋（336m）、ユーゴスラビアのSave橋（254m）など、特徴ある斜張橋が多数架設された。また、わが国でも豊里大橋（216m）、荒川大橋（160m）、末広大橋（250m）、水郷大橋（179m）などが架設されている。この時

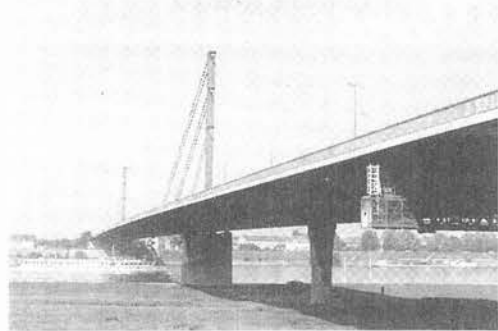


図-1.8 Duisburg-Neuenkamp 橋



図-1.9 Kurt-Schumacher 橋



図-1.10 Düsseldorf-Flehe 橋

期のわが国の斜張橋に見られる特徴として、ケーブルに平行線ケーブルの一種であるパラレルワイヤストランド (PWS) を使用したことが挙げられる。PWS は従来のロックドコイルロープあるいはスパイラルロープに比べて引張強さ、弾性係数がともに高いという利点があり、以後わが国の斜張橋に広く普及するようになった。1980 年代になると、大規模な斜張橋が世界各地で建設されるようになった。特にわが国では、名港西大橋 (405m)、櫃石島橋、岩黒島橋 (いずれも 420m)、横浜ベイブリッジ (460m, 図-1.11) が相ついで完成した。海外においても、1981 年のスウェーデンの Tjorn 橋 (366m)、ユーゴスラビアの Sloboda 橋 (351m)、アメリカの Luling 橋 (373m)、韓国の珍島橋 (344m)、カナダの Alex Fraser 橋 (465m)、タイの Rama IX 橋 (450m, 図-1.12) などの斜張橋が建設された。

これらの斜張橋の特徴として、その大多数がマルチケーブル形式であることおよび平行線ケーブルを使用していることが挙げられる。1970 年代にわが国の斜張橋で採用された PWS には機械的性質に優れている反面、現場での防食作業が煩雑となるため、わが国以外ではあまり使用されなかった。従来のケーブルに替わる新たなケーブル材料として、疲労強度の高いソケット

ト定着構造を持ち、直径 7mm の PC 鋼線を平行に束ねポリエチレン管に挿入して空隙にグラウト材を充填する平行線ケーブルが開発された。マルチケーブル形式の斜張橋の増加に伴い、このグラウトタイプの平行線ケーブルが用いられ、1978 年に Zarate-Brazo Largo 橋で使用されたのをはじめ、広く普及するようになった。その後、架設現地で全く防食処理を行わなくてもすむように、工場で亜鉛メッキ鋼線を束ねてポリエチレン被覆した被覆平行線ケーブルが開発された。1989 年に建設された横浜ベイブリッジにこのタイプが使用され、その後多くの長大斜張橋で使用されるようになった。

マルチケーブル形式を採用することにより生じる問題点もある。その中でも特に重要なことは風による振動問題であろう。マルチケーブル形式とすることによりケーブルは各段とも 1 本のストランドで構成が可能となるが、そのためケーブルの剛性が小さくなり振動が生じやすくなる。1980 年代の対策としては、ケーブル相互をロープで連結したり、ケーブルに直接ダンパーを取り付けるなどの方法により対処した事例が多い。

1.1.4 斜張橋の長大化 (1990 年代)

1990 年代になると、その規模もますます長大化し、適用範囲は従来、吊橋の領域と考えられていた 1000m の範囲に届こうとする大規模な斜張橋が建設されるようになった。

わが国では、生口橋 (490m)、東神戸大橋 (485m)、鶴見つばさ橋 (510m)、名港中央大橋 (590m, 図-1.13) などが次々と建設された⁵⁾。また、中国においても長大斜張橋が建設されるようになり、その代表例として、Yangpu 橋 (602m)、Xupu 橋 (590m)、Kap Shui Mun 橋 (430m) 等が挙げられる。1995 年に完成したフランスの Normandie 橋 (856m, 図-1.14) は、それまで最大であった Yangpu 橋の支間長を一挙に 250m 以上も更新し、



図-1.11 横浜ベイブリッジ



図-1.12 Rama IX 橋

その後の方向性を示す長大斜張橋形式となった。1999年には当時世界最長となる多々羅大橋（890m、図-1.15）が完成した。多々羅大橋⁶⁾の設計に際しては、全長30mの全体模型の耐荷力試験が実施され、全体構造の安定性が確認された。また、風洞試験の結果を踏まえて、主桁は鋼床版箱桁で両端にフェアリングを設けた扁平六角断面で、桁高・支間長比が1/330と極めてスレンダーな形状となった。

長大斜張橋形式の特徴として、中央径間は鋼製桁、側径間側にコンクリート構造を配置する複合形式が多く採用されている。これは、側径間に生じる負反力を軽減して中央径間の剛性の向上を図るためで、側径間の中間橋脚と併用される場合も多い。Normandie橋では、中央径間の塔近傍から側径間にかけてPC桁で構成されており、側径間には中間橋脚が設置された。多々羅大橋では側径間端部に中間橋脚が設置され、中間橋脚と端橋脚の間がPC桁となっている。

また、斜張橋ケーブルは支間長の増大に伴いケーブル長も約500mに長尺化し、モノストランドから成るマルチケーブル形式の斜張橋のケーブルには制振対策の問題がクローズアップされるようになった。斜張橋ケーブルの風による振動現象は、従来から知られている渦励振に加えて、降雨時に発生するレインバイブレーション、並列ケーブルに発生するウェイクギャロッピングなどが発生するようになり、マルチケーブル形式の斜張橋ケーブルの重要な課題として種々の対策が実施された。従来から採用されていたケーブル定着部近傍に減衰装置を設置する方法に加え、ケーブル自身で制振効果を持つ空力的対策に着目した制振対策の研究が進められた。Normandie橋ではスパイラル突起方式、東神戸大橋では平行突起方式、多々羅大橋ではインデント方式が採用された。

この時期には、イギリスで Queen Elizabeth II 橋（450m）、Second Severn 橋（456m）、ノルウェーで Helgeland 橋（425m）、Skarsundet 橋（530m）、インドの Second Hooghly 橋（457m）などが世界各地で建設された。

1.1.5 現代の斜張橋（2000年以降）

2000年代になり、支間長が1000mを超える斜張橋が実現するようになった。特に中国においては、2000年から2010年までに支間長600mを超える長大斜張橋が12橋完成している⁷⁾。2000年に Wuhan Baishazhou 橋（618m）、2001年に Nanjing No.2 橋（628m）、2005年に Nanjing No.3 橋（648m）が建設され、2008年には世界



図-1.13 名港中央大橋



図-1.14 Normandie 橋



図-1.15 多々羅大橋

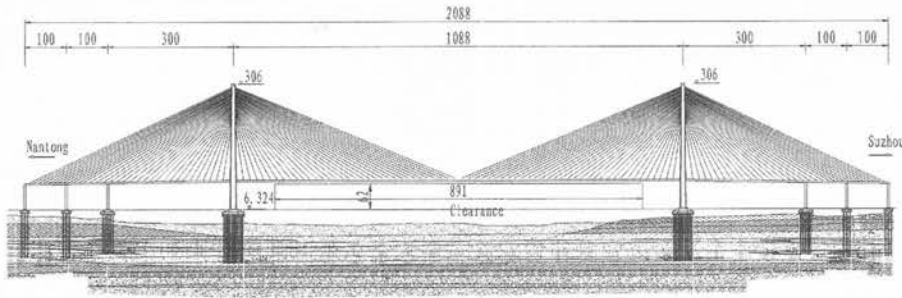


図-1.16 Sutong 橋

最大となる Sutong 橋 (1088m, 図-1.16) が完成した。2009 年には韓国の Incheon 橋 (800m), 中国の Shanghai 橋 (730m), Stonecutters 橋 (1018m) が完成した。また, 2010 年には中国の Edong 橋 (926m), Jingyue 橋 (816m) が完成する見込みである。

Sutong 橋⁸⁾は, 塔は逆 Y 型の RC 構造, 主桁は中央径間・側径間とも鋼製箱桁で側径間には中間橋脚が配置されており, ケーブルには被覆平行線ケーブルが用いられ, ケーブル表面には制振対策としてインデント方式が採用されている。Stonecutters 橋は, 塔は RC の単柱円形構造で, 塔の上部表面はステンレスで覆われ, 主桁はツインボックス形式が採用されるなどの特徴がある。ケーブルは Sutong 橋と同様で, 被覆平行線ケーブルに空力的対策 (インデントケーブル) が施されている。Sutong 橋や Stonecutters 橋では, 塔・主桁・ケーブルにセンサーを配置して風・地震等の影響をはじめ交通荷重のデータ等を計測して橋梁の挙動を観測するためのモニタリングシステムが導入されている。

わが国では 2004 年に美原大橋 (340m), 2005 年に女神大橋 (480m), 2009 年に銚子大橋 (192m), 鷹島肥前大橋 (400m) が建設され, わが国の技術協力でベトナムの Binh 橋 (260m), タイの Rama VIII 橋 (300m), Ring Road No.1 橋 (398m), エジプトの日本・エジプト友好橋 (404m) などが建設された。ヨーロッパにおいては, 2000 年にデンマークとスウェーデンを結ぶ海峡横断橋の中央部に Oresund 橋 (490m) が建設された。また, 多径間連続斜張橋も計画されるようになり, 2004 年にはギリシャで 5 径間連続斜張橋の Rion Antirion 橋 (286m + 3×560m + 286m), フランスでは 8 径間連続斜張橋の Millau 高架橋 (204m + 6×342m + 204m) が建設された。なお, この時期には現場施工型ストランドケーブルが使用されるようになり, 銚子大橋, 鷹島肥前大橋に採用された。

現在建設中の斜張橋としては, ロシアの Russky Island 橋 (1104m), アメリカの New Mississippi River 橋 (610m) が挙げられる。また, ドイツとデンマークを結ぶ Fehmarnbelt 連絡橋には連続斜張橋 (518m + 3×724m + 518m) が提案されている。

1.1.6 今後の展望

鋼斜張橋について, その最大支間長を竣工年毎にプロットすると図-1.17 のとおりである。

1950 年代以降斜張橋形式は著しく発展し, 現在の研究⁹⁾では斜張橋の最大支間は 2000m 程度まで適用可能と考えられている。1500m 級の超長大斜張橋の技術的課題として, 主桁の座屈安定性, 風荷重による面外方向の安定性の確保などが指摘されている。合理的な超長大斜張橋の実現に向けて, アースアンカー定着方式や斜張吊橋形式など構造面における様々な検討が行われている。

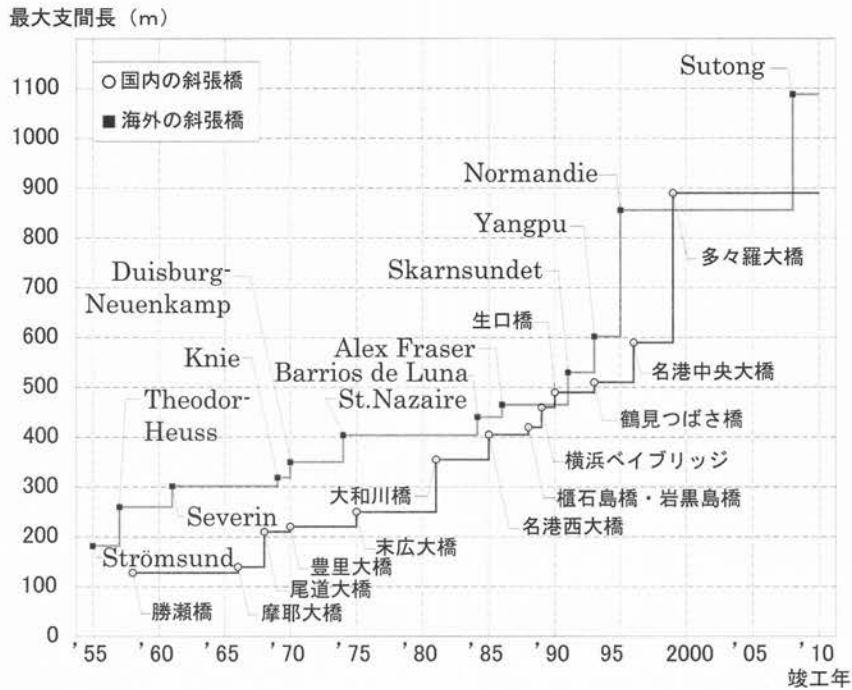


図-1.17 斜張橋支間長の変遷

また、材料面からのアプローチとして、炭素繊維ケーブル材の適用性なども研究¹⁰⁾されている。既に1990年代から繊維強化プラスチック材を用いた斜張橋が建設されており、イギリスの Aberfeldy 歩道橋 (63m)、デンマークの Heming 歩道橋¹¹⁾ (40m) では、主桁やケーブルにガラス繊維、アラミド繊維、炭素繊維が用いられた実績がある。アメリカでは、最先端の技術を活用した Gilman Advanced Technology 橋¹²⁾ (95m) が計画(図-1.18)されており、主桁、塔に炭素繊維材、ケーブルには部分的に炭素繊維材、アラミド繊維材が適用の予定である。これらの先端材料を利用して斜張橋の更なる発展が期待される。

また、世界各地で建設された斜張橋も既に40年を超えるようになり、維持管理は斜張橋分野においても今後取り組むべき大きな課題となっている。適切な維持管理を実施するために、モニタリングシステムの導入や情報データベースの構築が試みられており、今後の効率的な維持管理が望まれる。

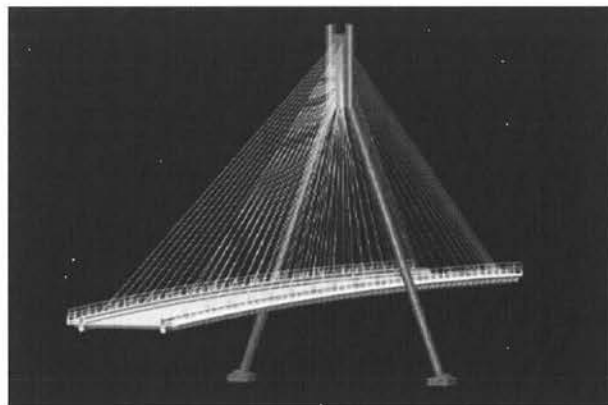


図-1.18 Gilman Advanced Technology 橋の完成予想図

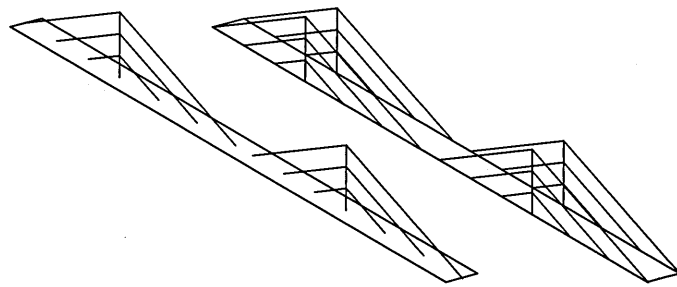
1.2 斜張橋の種類

斜張橋は主桁・塔・ケーブルで構成される極めて自由度の高い橋梁形式である。そのため、今日まで世界各地で建設された数多くの斜張橋の構造形式は実に多種多様なものとなっている。これらを系統だてて理解する手段として、ここでは斜張橋を主桁・塔・ケーブルの構造要素、使用材料および用途によって分類して説明するとともに、斜張橋形式を応用した橋梁についても言及する。

1.2.1 構造要素による分類^{1,13)}

(1) ケーブルの配置

ケーブルの張り方として、まず橋軸方向にみて分類すると、**図-1.19**に示すように1平面内に張る形式と2平面に分けて張る形式とがある。1面ケーブル形式の場合は外観が良いこと、車両走行時に解放感があること、橋脚の幅が狭くてすむことなどの利点があるが、中央分離帯を設けること、ねじり剛性の大きな箱断面主桁を用いることなどが前提条件となる。一方、2面ケーブル形式の場合は、主桁の両側に定着されたケーブルによってねじり変形に抵抗できるため、必ずしも箱断面主桁を用いる必要はない。しかし、ケーブル定着の関係から主桁の腹板をできるだけ外側に設けることが必要となり、そのため橋脚の幅が大きくなることや、2面のケーブルが錯綜して見えるため景観上、不利な点もある。長支間斜張橋では2面ケーブル形式とするのが一般である。



(a) 1面ケーブル (b) 2面ケーブル

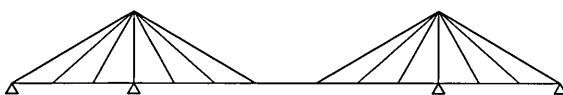
図-1.19 ケーブルの面数

つぎに、橋梁の側面から見てケーブルの張り方を分類すると**図-1.20**のようになる。その張り方の基本は、塔頂の橋軸方向の変形を抑えて橋体の剛性を確保するために、側径間のケーブルのうち少なくとも1本を主桁の端支点付近に定着することである。

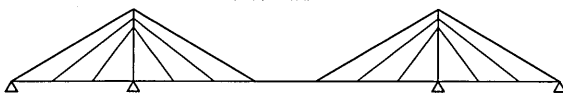
つぎに、橋梁の側面から見てケーブルの張り方を分類すると**図-1.20**のようになる。その張り方の基本は、塔頂の橋軸方向の変形を抑えて橋体の剛性を確保するために、側径間のケーブルのうち少なくとも1本を主桁の端支点付近に定着することである。

図-1.20の各形式のうち放射形式あるいはファン形式は、ハープ形式に比べてたわみ剛性が大きいこと、塔の曲げモーメントが小さくなることなどの利点があるため広く用いられている。ハープ形式は、2面ケーブル形式としても外観が良いという利点を有するほか、主桁の橋軸方向移動に対し拘束度が強いという特性がある。

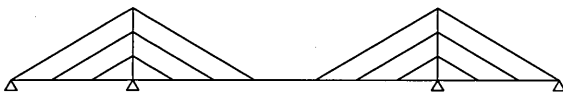
最後に、ケーブル段数により分類すると**図-1.21**のようになる。初期の斜張橋には外観上シンプルなケーブル段数の少ない形式が多い。これに対し最近ではマルチケーブル形式が多くなってきている。この形式の利点



(a) 放射形式

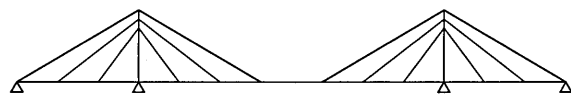


(b) ファン形式

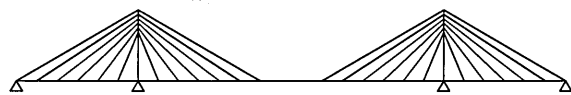


(c) ハープ形式

図-1.20 ケーブルの側面形状



(a) 段数の少ないケーブル形式



(b) マルチケーブル形式

図-1.21 ケーブルの段数

はケーブル1本あたりの張力が小さいことにある。逆に言えば、各ケーブルがロックドコイルロープ1本あるいは平行線ケーブル1ストランドですむ程度に段数を増やしたのがこの形式である。この場合、ケーブルの定着構造がきわめて簡単になること、仮ケーブルを用いずに張出し架設が可能となること、完成後のケーブルの補修や取り替えも容易に出来ることなどの利点がある。反面、ケーブル1本当たりの質量、剛性が小さいことによるケーブルの耐風安定性の問題や、架設時の張力管理などに注意が必要である。

(2) 主桁の断面形状

斜張橋に用いられている主桁の断面形状を、ケーブルの面数に対応させて分類すると図-1.22のようになる。図中の箱断面はすべて四角形で示したが、実際には耐風安定性を考慮して逆台形の箱断面を用いたり、箱断面の両側にフェアリングなどを設ける例もある。また張出し部についてはブラケットを方杖で支えたものも多くみられる。特に、橋梁の長大化によって、耐風安定性、ねじり剛性あるいは塔部の軸圧縮力に対して有利な箱桁形式の採用が増えつつある。

1面ケーブル形式の場合は、図中(a)～(c)に示すように、ねじり剛性の高い箱桁形式の主桁を用いることが前提である。これらのうち、通常は経済性を考えて張出し部を有する(a)の形式が用いられることが多い。(b)の形式は、箱桁とI桁が組み合わせられたものである。また(c)の形式は美観や耐風安定性を考慮して採用されている。なお、1面ケーブル形式にもかかわらず、主桁をI形断面の多主桁構造とした特殊な例も見られる。

2面ケーブル形式の場合、主桁断面は一般に図中(d)～(g)に示すものが適用される。2面ケーブル形式では、ケーブル自体で主桁のねじり変形を抑制することができるので、1面ケーブル形式の場合のように主桁に大きなねじり剛性を確保することは必ずしも必要ではない。したがって主桁の断面形状選択の自由度は高くなるが、通常は(e)または(f)の2主桁形式が採用されることが多い。(e)の形式は主桁に箱断面を用いたもので、実施例は最も多い。(f)は主桁にI断面を用いたもので合成2主桁構造を用いたものも見られる。このほか(d)のように主桁を1箱桁としたものは、耐風安定性および維持管理性の向上を目的としているケースが多い。(g)に示すI形断面多主桁構造は、事例としては比較的少ない。

以上はいずれも主桁を充腹桁形式としたものであるが、このほかに耐風安定性を確保するためや、ダブルデッキ構造とするために、主桁をトラス構造としたものもある。

(3) 塔の形状

塔の形状はケーブルの張り方に応じて図-1.23に示すように分類できる。

1面ケーブル形式の場合、塔は1本柱形式、A形、逆Y形形式が適用される。1本柱形式では中央分離帯幅が大きくなり、橋面積が増える欠点があるが橋脚の幅は小さくてすむ。A形形式はこの逆である。A形形式を用いる場合、中央の鉛直ケーブル面が塔の三角形の形状を分割するため走行者に不安定な印象を与えるという意見もある¹⁴⁾。施工実績は1本柱形式の方が多い。

2面ケーブル形式の場合、塔には1本柱形式、2本柱形式、門形(H形を含む)形式あるいはA形形式が適用される。2本柱形式は外観構造がシンプルで橋面上には解放感があるが、適用例は比較的少ない。2本柱を横梁で結んだのが門形形式で、2本柱形式に対して座屈安定度を増し、橋軸直角方向の剛性を大きくすることを

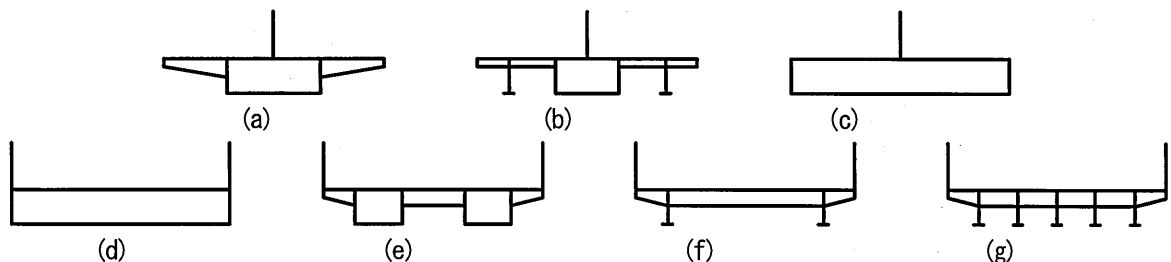


図-1.22 主桁の断面形状

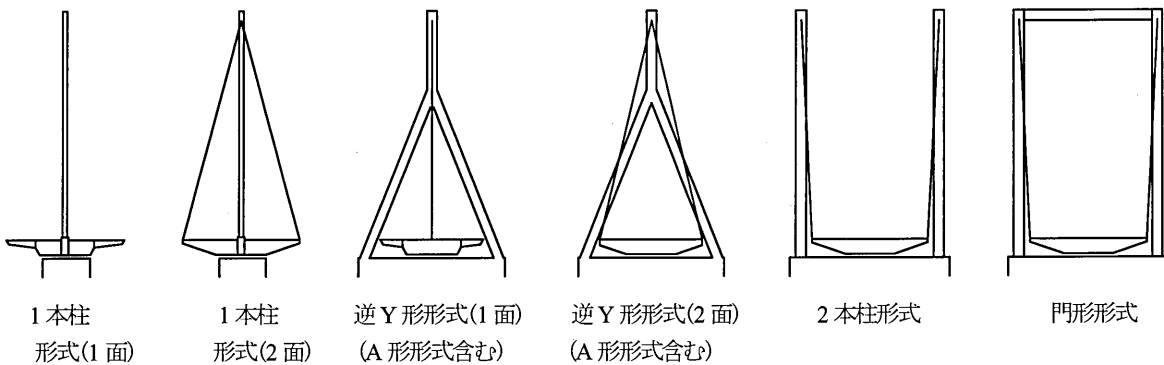


図-1.23 塔の形状

目的としている。また A 形形式を用いると主桁のねじり変形を小さくすることができ、耐風安定性の向上を図れる利点がある。

1.2.2 材料による分類

斜張橋をその構成材料によって分類すると図-1.24 のようになる。初期には全体を鋼構造とするのが主であったが、その後、鋼とコンクリートの特徴を活かして複合構造としたものが多く建設されている。斜張橋を鋼構造とするかコンクリート構造とするかは、その用途・自然条件・経済性・外観など様々な要件によって左右されると思われるが、構造形式が多様化する中で鋼とコンクリートのそれぞれの材料特性を十分に考慮し、力学的にも経済性の面でも優れた形式を選択するようにしなければならない。

1.2.3 用途による分類

斜張橋をその用途から分類すると図-1.25 のようになる。まず、道路鉄道併用橋は、路面電車などの小規模鉄道から本格的な高速鉄道まで対応した種々の形式がある。特に、後者には、ダブルデッキ構造とするためトラス形式が採用されることが多い。

鉄道専用橋は道路鉄道併用橋より実施例が少ない。その理由としては、同規模の他形式の橋梁に比べて剛性が低いため主桁のたわみや桁端の折れ角が大きくなることや、道路橋に比べて活荷重の割合が高いためケーブルの疲労耐久性が問題となることなどが挙げられる。

一方、斜張橋のもつ景観的効果を活用して歩道橋に適用した例は数多く見られ、わが国でも多くの実績がある。斜張橋形式の歩道橋はケーブルの張り方や塔の形状などに工夫を凝らして独創性に富んだシンボリックな構造物とすることにより、特に公園や遊園地などにおける空間の雰囲気づくりに役立つものである。このような形での歩道橋は今後とも増加するものと思われる。

その他の用途として斜張橋が水管橋などに利用される場合がある。

1.2.4 斜張形式を応用した橋梁・構造システム

上述した一般的な斜張橋のほかにも、合理的な斜張形式を橋梁や構造システムに応用されており、以下にその概要について述べる。

(1) エクストラドロード橋¹⁵⁾

エクストラドロード橋は、PC 箱桁橋の曲げモーメントを改善するために、中間支点上に低い塔を設置して、PC ケーブルを主桁の外部に大偏心させた構造形式である。外観は PC 斜張橋に似ているが、斜材の傾斜角度が

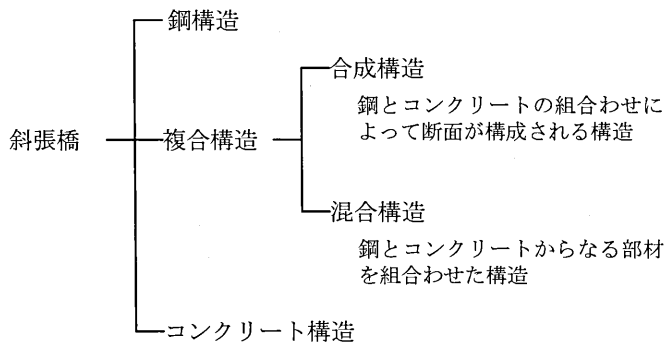


図-1.24 材料による分類

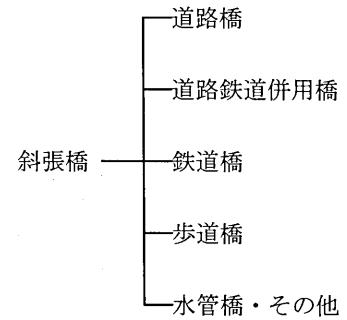


図-1.25 用途による分類

小さいため、力学的には、一般の桁橋に近く、斜張橋に比べ主桁の剛性が大きいことが特徴である。経済性の観点から、支間長 100~200m クラスで多くの実績がある。

(2)多径間連続斜張橋¹⁶⁾

多径間連続斜張橋としては、PC斜張橋の Maracaibo 橋をはじめ、鋼斜張橋では Ting Kau 橋、広島西大橋、Rion Antirion 橋、Millau 高架橋などが挙げられる。設計では多径間化に伴う剛性の低下に留意する必要がある、例えば、Ting Kau 橋では、図-1.26 に示すように中央塔の頂部から両側塔の主桁位置へ斜めにケーブルを張ることで剛性を高めている。

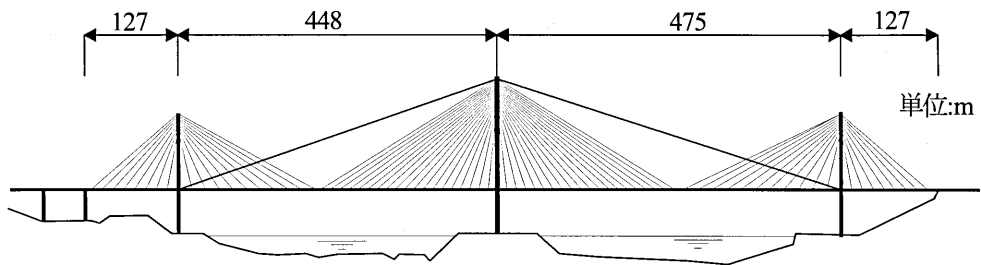


図-1.26 Ting Kau 橋における面内剛性の向上策

(3)異なる構造形式とのハイブリッド化

構造形式の合理化や、景観設計の観点から、異なる構造形式とのハイブリッド化が試みられている。吊橋と斜張橋を組み合わせた斜張吊橋は、斜張橋の黎明期に提案された形式¹⁷⁾である。実構造への適用は比較的最近になってからであり、1997年に Wujiang 橋¹⁸⁾ (288m) が、また、2003年にはなぎさ・ブリッジ¹⁹⁾ (110m) が建設されている。また、主桁の鉛直下方へ設置したストラットを介して斜めにケーブルを張った自定式桁構造(張弦桁と呼ばれることもある)と組み合わせた事例として、1997年に MIHO MUSEUM 橋²⁰⁾ (114m) が、また、1998年にはあゆみ橋²¹⁾ (79.5m) が建設されており、異なる構造形式との連続化より、景観設計にも配慮されている。

1.1 参考文献

- 1) 土木学会鋼構造委員会, 斜張橋資料集成, 1976
- 2) 土木学会鋼構造委員会, 鋼斜張橋—技術とその変遷, 1990
- 3) Podolny, W., and Scalzi, J., Construction and Design of Cable-Stayed Bridges, John Wiley & Sons, 1986
- 4) Walther, R., et al., Cable Stayed Bridges, Thomas Telford, London, 1988

- 5) 奥川淳志, 鈴木周一, 長大斜張橋の変遷, 橋梁と基礎, 1998
- 6) Honshu-Shikoku Bridge Authority, The Tatara Bridge, 1999
- 7) 楼庄鴻, 中国の最大支間長 400m 以上の橋梁, 橋梁—雑誌精選本 2004 年—2009 年, 2009
- 8) You,Q. et al., Sutong Bridge—A Cable-stayed Bridge with Main Span of 1088 Meters, 17th Congress of IABSE, Chicago, 2008
- 9) Gimsing,N., Evolution in span length of cable-stayed bridges, International Conference Bridge Engineering—challenge in the 21st century, 2006
- 10) 中村一史他, CFCC を用いた長大斜張橋の試設計と静的構造特性, 鋼構造年次論文報告集第 15 巻, 2007
- 11) 土木学会鋼構造委員会, ケーブルを使った合理化橋梁技術へのノウハウ, 2007
- 12) Zhao,L. et al., Preliminary Evaluation of the Hybrid Tube Bridge System, Final Test Report Submitted to California Department of Transportation under Contract No. 59AO032, 2000

1.2 参考文献

- 13) 小西一郎編: 鋼橋 設計編 II, 丸善, 1976.
- 14) F. Leonhardt, 訳・成井 信: 橋梁設計の発展, 土木施工, 1987.9
- 15) プレストレストコンクリート技術協会: PC 斜張橋・エクストラード橋設計施工規準 (案), 2000.11
- 16) Man-Chung Tang, 訳・春日昭夫: 多径間斜張橋, 橋梁と基礎, 1996.11
- 17) N. J. Gimsing, 監訳・伊藤學, 訳・藤野陽三, 長井正嗣, 杉山俊幸, 中村俊一: 吊形式橋梁 —計画と設計—, 建設図書, pp.19-20, 1990.4
- 18) Zhuanghong Lou, Zhengyu Yang: Cable-Stayed Bridges in China, IABSE Conference Cable-Supported Bridges - Challenging Technical Limits, Vol.84, 2001.
- 19) 佐藤 讓, 佐々木真一, 諸橋克敏, 鈴木宣政: なぎさ・ブリッジの施工と実橋載荷試験—PC 斜張橋と鋼吊橋のハイブリッド構造—, 橋梁と基礎, 2003.7
- 20) 坪内秀泰, 吉田 功, 恒川昌宏, 梅田 聡: MIHO MUSEUM BRIDGE の設計と施工, 橋梁と基礎, 1998.7
- 21) 清水政和, 竹内禰禮, 阿部 登, 近藤真一, 奥村一彦: あゆみ橋の設計と施工, 橋梁と基礎, 1999.7