

景観・構造・耐風特性からみた斜張橋の形態に関する研究

ON THE GEOMETRICAL SHAPE OF CABLE-STAYED BRIDGES FROM THE POINT OF AESTHETICS, STRUCTURAL
STATICS AND DYNAMICS AND AERODYNAMICS

松本 勝* 石崎 浩** 塩崎禎郎*** 下土居秀樹**** 白土博通***** 白石成人*****

By Masaru MATSUMOTO, Hiroshi ISHIZAKI, Yoshio SHIOZAKI,
Hideki SHIMODOI, Hiromichi SHIRATO and Naruhito SHIRAISHI

A number of cable-stayed bridges, generally with the advantage of structural elegance, have been constructed in Japan. Since the cable-stayed bridges are in general flexible structures, the consideration of their aerodynamic stability is one of major design factors. In addition, the aesthetics should be also payed attention. In this study, the stay-cable arrangement, geometries of towers and main girders and their overall proportion are mainly discussed from the point of aesthetics, structural statics and dynamics and aerodynamics.

1. はじめに

近年、わが国では経済的なゆとりと橋梁技術の発展により長大橋梁の建設の機会が増えてきた。特に、斜張橋は構造的な美しさから、長大橋のみならず、中径間程度の橋梁にも採用される機会が多くなっている。一般に、斜張橋は可撓性に富む柔構造物であり、設計の際に耐風安定性に対する検討が非常に重要となってくる。橋のデザインを優先させて設計したため、風による有害な振動が生じたり、耐風性の向上のために取り付けられた部材が景観を損ねているなど、景観設計と耐風設計が互いに密接な関係にあるケースがみられる。したがって、設計の初期の段階から斜張橋の構造・耐風・景観特性の関連について十分に把握したうえでデザインを行うことが望まれる。

本研究では、斜張橋の主塔、ケーブル、主桁、さらに全体形状について造形や形態に関する考え方をういて景観特性を論議し、それぞれの形態に対し構造・耐風特性の検討を行った¹⁾。

-
- * 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)
 ** 阪神高速道路公団甲子園工事事務所 (〒663 西宮市浜甲子園4-1-58)
 *** 京都大学大学院 工学研究科交通土木工学専攻修士課程 (〒606 京都市左京区吉田本町)
 **** 川崎重工業(株)鉄構事業部橋梁技術総括部技術部 (〒673 明石市川崎町1-1)
 ***** 工博 京都大学助手 工学部土木工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)
 ***** 工博 京都大学教授 工学部土木工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)

2. 主塔

斜張橋の主塔は、吊橋のように塔頂部にケーブル反力が集中しないこともあり、主塔形状の選択の自由度は吊橋よりも大きいといえよう。そのため、主塔形状としてはH型（吊橋に見られるような門型も含む）、A型（△型、逆Y型、ダイヤモンド型）、1本柱など様々な塔形状が用いられている。

2.1 H型主塔

H型主塔は平行線による協調的なイメージを持ち、両側に張られたケーブルにより空間を分節する。図1に示す諸形態について景觀・構造・耐風特性について考察する。なお、ここで用いる形態論^{*)}について表1に整理して示す²⁾。

注^{*)} ここでは「かたち」に対する基本的な考え方（造形、心理、デザイン分野等）を便宜上、形態論としてまとめて用いた

景觀特性 図1(a), (b)に関して形態論①より、

（主塔幅/主塔高）の値が小さいほど、上昇感が感じられ、軽快な印象を与える。図1(b)～(d)は水平材の取り付け位置の違いであるが、(d)のように下方に取り付けて塔頂部を開放することにより鉛直方向に無限に伸びる力が感じられる。ただ、主塔の持つ安定感の側面からみると(b), (c)のほうが有利である。また、図1(e)のように曲線部材を用いると、形態論②より曲線部材に視線が集まり注目度が高まる。従って、シンボル性をもたせることができる。

構造特性 図1(a), (b)に関して通常的主塔幅/主塔高比（1/10程度以上の範囲）においては主塔幅が大きくなるにつれて、塔面内の曲げ変形に対する水平材の拘束効果の低下がおり、塔面内曲げ剛性は低下する。一方、水平材および隅角部の設計応力は軽減される。塔面外曲げ振動（同相モード）については影響を受けないが、塔の振れ振動（逆相曲げモード）については振動数が低下する。図1(b)～(d)に関して、塔面内曲げ剛性の確保という面からは(c), (d)のようなH型塔のほうが有利となる。また、水平材の設置位置としては、図1(c)のようにある程度上方に設置するのが剛性を高める上で有効である。図1(b)～(d)について面内水平等分布荷重による変位と塔柱モーメントを図2¹⁾に示す。図1(d), (e)のように水平材をかなり下に設置し、大きな自由突出柱部を設けた場合には風による振動やケーブル振動との共振などの動的挙動について問題にならないよう配慮が求められる。

耐風特性 図1(a), (b)に関して2本の柱の間隔 W と柱の奥行き寸法 D の比 W/D により、さらに W/D と B/D （断面比）の対応によっても空力的振動特性が変化する。図1(b)～(d)に関して振動モードが変化するることによって空力的振動特性が変化する。あまり下方に水平材を配置する場合には、逆相モードでの塔面内振動数が急激に低下するため空力振動の発生について注意が必要である。図1(e)のように、曲線部材を用いた場合、断面寸法の増加にともない風荷重は多少増加する。

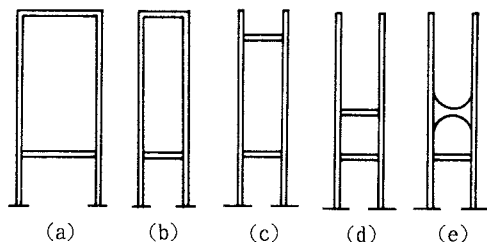
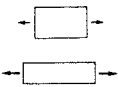
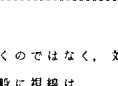
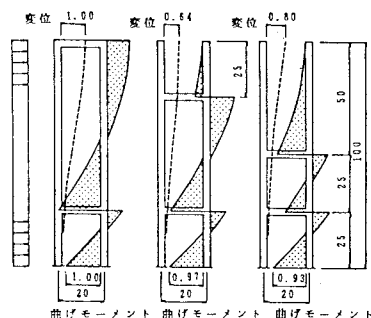


図1 H型主塔の諸形態

表1 形態論① ②

形態論① 長方形の持つ方向性 長方形の断面辺長比（横辺/縦辺）が大きいほど横方向に働く力が大きくなる ³⁾ 。 	
形態論② 注目される部分 人間がものを観察するときは視線は漠然と動くのではなく、対象のある部分をかなり規則的になぞっている。一般に視線は、 I. 不規則な部分（一様性を欠く部分）、II. 図形の角、III. 明暗の境界線に集中する ⁴⁾ 。 	



本図では、塔柱と水平材は同じ断面とし、断面積と断面二次モーメントの比を $0.5(\text{m}^2/\text{m}^4)$ としている。

図2 面内水平等分布荷重による変位と塔柱モーメント

2. 2 A型主塔

A型主塔は、鋭角的な三角形によって視覚的緊張を生み鋭いイメージを与える。図3に示す諸形態について景観・構造・耐風特性について考察する。なお、ここで用いる形態論について表2に整理して示す²⁾。

景観特性 図3(a), (b)に関して形態論③より、塔部の角度が鋭角になるほど、折れ線の方角性が強調されるため上昇感が得られ、軽快な印象を受ける。さらに、図3(c)のように主桁より下の部分を絞り込むことにより、形態論④より上昇感が感じられる。ただ、図3(d), (e)のように主桁より下の部分の絞り込みによって生じる折れ線の方角が、主桁の方角と明らかに異なる場合、バランスが欠けて見える。特に図3(e)のように、絞り込みすぎて接地面が小さいと転倒してしまいそうな印象を受ける。図3(f)のように塔頂部に鉛直部分を設けて逆Y形にすることにより、鉛直方向成分が強調され上昇感が得られる。

構造特性 A型主塔とH型主塔を比較すると、構造力学的にはA型のほうが合理的であると言われている。A型主塔の利点としては、塔面内方向の水平荷重による塔基部モーメントなどの断面力の軽減がはかれること、塔面内の曲げ剛性が高くなること等が挙げられる。さらに、2面吊りのケーブルを採用する場合、ケーブル面が横断面方向にトラスを形成することにより、系の振れ剛性の増加が図られる。図3(a), (b)に関して、塔基部での塔柱間隔を大きくするにつれ、塔面内方向の水平荷重による塔基部モーメントなど、断面力の軽減が図れるとともに塔面内曲げ剛性は増加する。また、塔面外方向への曲げに対する塔頂のねじり剛性の寄与により、塔面外曲げ剛性についても増加する傾向にある。図4¹⁾にA型主塔の脚の開き角の違いによる曲げモーメント比率と最大水平変位比率の変化の様子を示す。図3(c)~(e)のように塔下部での塔柱間隔を絞り込むことにより、基礎工寸法の決定のための自由度が大きくなるため、基礎工の設計の最適化が図れる。しかしながら、塔間隔の絞り込みの増加に伴い、塔断面力の軽減あるいは塔面内曲げ剛性の増加といったA型主塔の利点が損なわれることになる。図3(f)のように、塔高を一定として塔頂部に適当な長さの鉛直部材を設けた逆Y型の形状にすることも、塔柱断面力の軽減および塔面内曲げ剛性の増加を図るうえで有効となる。図3(b), (c), (f)および門型の主塔について面内水平等分布荷重による変位ならびに塔柱モーメント特性を比較したものを図5¹⁾に示す。

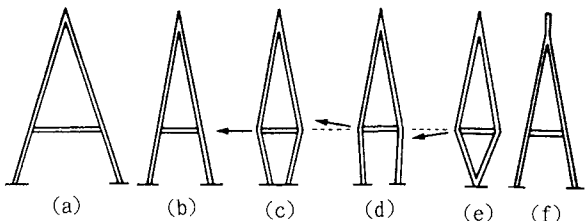


図3 A型主塔の諸形態

表2 形態論③④

形態論③ 折れ線 折れ線のもつ方向性は内角の2等分線方向である。また内角が鋭角になるほどその方向性は強くなる⁵⁾。	
形態論④ ひし形の持つ方向性 ひし形には、右図のように上下に押しつぶす力が働くため縦方向に伸びる力が感じられる。	

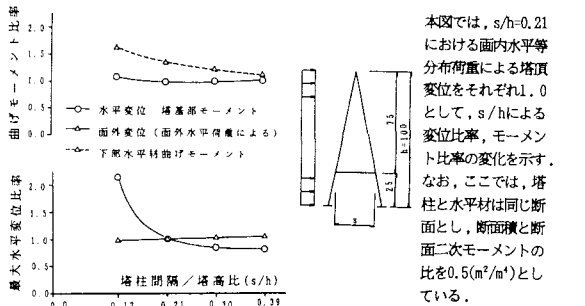


図4 A型主塔の脚の開き角の違いによる曲げモーメント比率と最大水平変位比率の変化

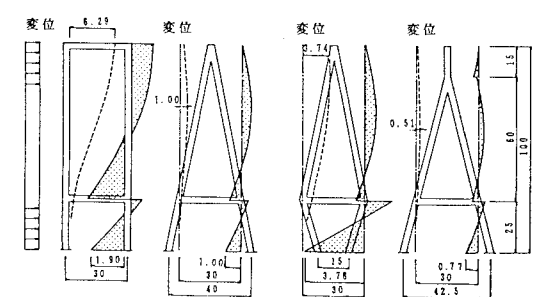


図5 面内水平等分布荷重による変位と塔柱モーメント

本図では、塔柱と水平材は同じ断面とし、断面積と断面二次モーメントの比を $0.5(\text{m}^2/\text{m}^4)$ としている。

耐風特性 A型主塔は空力的に3次元性の影響が強く現れるため、3次元模型を用いた風洞実験など、耐風性の評価に工夫が必要となる。図3(f)のような逆Y型主塔において、あまり長い突出部材を設けると、その部材におけるギャロッピングなどの空力振動の発生が問題になる可能性がある。

2. 3 部材断面形状

主塔に用いられる断面の形状は、微妙な違いでも耐風安定性に大きな影響を及ぼす。その制振対策として用いられる、隅切り(図6(a))、面取り(図6(b))について考察する。

景観特性 隅切りを行うことにより、縦方向にはっきりとした線があらわれ、鋭いイメージが得られる。また、陰影により鉛直方向が強調され上昇感が得られる。一方、断面の角をおとし丸みをもたせ、表面どうしの連続感を強調することにより、柔らかいイメージになる²⁾。

構造特性 塔柱の断面形状は耐風特性、景観特性において大きな影響を与えるが、力学的な構造特性に対してはさほど顕著な影響は与えないものと思われる。ただ、二軸曲げ作用下でのコーナー・ストレスの軽減という面からは有利となる。

耐風特性 最適の隅切りサイズや面取り形状は塔柱断面の断面比 B/D (流れ方向奥行き/見附幅)により異なるが、隅切りの場合、図7に示すような主塔見附幅の $2/18$ 程度が最適とされる例が報告されている⁶⁾。なお、このような隅切りを耐風対策として用いる場合、図8に示すようにレイノルズ数により制振効果が大きく変化することが知られており、風洞実験で制振効果を確認する場合には充分高い実験レイノルズ数域を確保することが必要である⁷⁾。

3. ケーブル

ケーブル面数やケーブル段数、さらにケーブルの張り渡し形状は、いうまでもなく斜張橋の景観・構造・耐風特性に大きな影響を与える。

3. 1 1面吊りと2面吊り

景観特性 2面吊りの方がヴォリュームによる豊かさが感じられるが、ケーブルの張り方や視点により錯綜して見えることがある。この錯綜を防ぐため、ケーブル本数を増やし面構成にすること等が考えられる。一方、1面吊りはすっきりとした景観になる(図9)。

構造特性 ケーブルの面数に関して、1面吊りは2面吊りよりもケーブル1段当たりの張力が大きくなるため、ケーブル径は太くなる。また、これに伴って、ケーブルの定着構造の規模も大きく複雑となる。このため、1面吊りケーブルにおいては1段のケーブルを複数のケーブルで構成し(ツインケーブル)、ケーブル1本あたりの張力の軽減が図られる場合も多い。1面吊りケーブルの特徴としては、この他、主桁の捩れ変形に対してケーブルが拘束効果をもたないため、系全体としての桁の捩れ剛性は小さくなることが挙げられる。さらに、ケーブルを中央分離帯部に設置する関係上、大きな中央分離帯幅を必要とするため、橋梁幅員が多少大きくなる傾向にある。

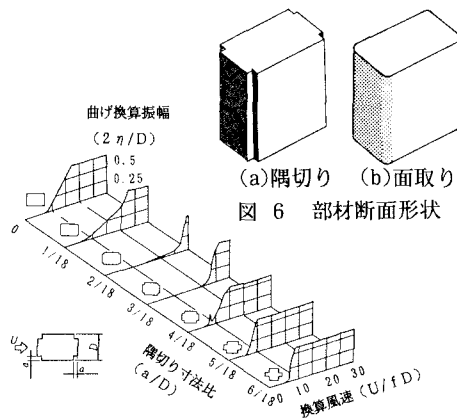


図7 隅切りサイズによる応答変化

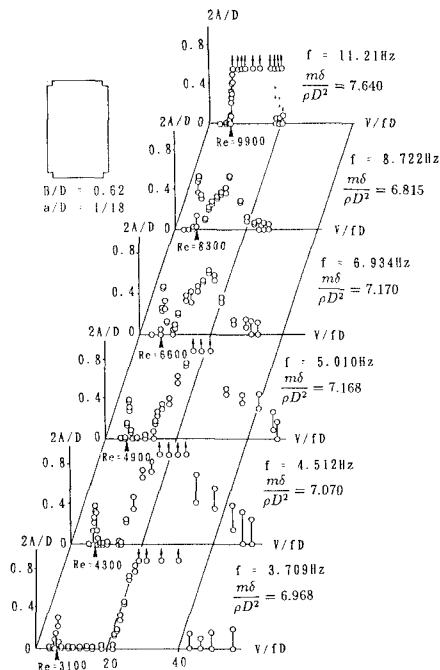


図8 レイノルズ数による隅切り断面の応答変化

耐風特性 1面吊りの場合、桁の捩れ剛性が小さくなるため、空力的な桁の捩れ振動の問題が生じる可能性がある。また、ツインケーブルにするとウェイクギャロッピングが問題になることがある。

3.2 ケーブル段数

景観特性 形態論⑤（表3）より、ケーブル段数が多くなるにつれ、面構成として捉えられる。また、桁と主塔の異なる2方向を、ケーブルによる面がバランスよく融合させている。一方、段数の少ないケーブルはシンプルな印象を与える（図9）。

構造特性 ケーブル段数に関して、特に近年においては、ケーブルを多段に配置したマルチケーブル形式が多く採用されている。その利点としては、ケーブル段数を多くすることにより、ケーブル1本当りの張力が小さくできるため、ケーブル径は小さくなり、定着部の構造設計も容易となる。また、主桁の曲げモーメント分布をより平滑化することが可能となり、主桁断面の軽減を図ることができ、張り出し架設時における架設時応力の軽減につながるため、架設面での対応も容易となる。さらに、将来の維持・補修においては、ケーブルの取り替えが容易となることなどが挙げられる。一方、架設時におけるケーブルの張力管理等、架設精度管理は多少煩雑となるが、構造解析技術が発達した現在において、それが特に問題となることはない。

耐風特性 ケーブル径や被覆材の材質によって、レインバイブレーション特性は変化する。特に、マルチケーブルの場合には、ケーブル径が100～200mm程度となりレインバイブレーションの発現の可能性は高くなる。その耐風対策には、ケーブル定着部近傍にダンパーを設置し構造減衰を図る方法や、ケーブル間をワイヤーで連結し剛性を高めるなどの機械的対策と、ケーブル断面に突起を設け水路や軸方向流の形成を制御する空力的対策が考案され、それぞれ実橋に適用されている。なお、ダンパーの設置やワイヤーによる連結はケーブル面の美観を損ねないような配慮が求められる。また、ケーブル、桁、主塔の振動共振や相互干渉（空力干渉も含めて）の問題も留意しておく必要がある。

3.3 ファンとハーブ

景観特性 ケーブルの配置方法において、形態論⑥（表4）より、ハーブ形式は平行線で構成されているため静的で安定した印象を受ける。一方、ファン形式は平行線に方向性を与えたことにより動的で快適なリズムが感じられる（図10）。

構造特性 ファン形式の場合、ハーブ形式に比べ下段側のケーブルではより鉛直に近い角度で主桁を弾性支持できるため、構造力学的には合理的となる。また、このため、主桁の作用軸力は軽減され系全体としてのたわみ剛性は高くなる。主桁側でのケーブル定着区間を同じとした場合ハーブ形式では塔のより下方までケーブルが定着されるため、ファン形式に比べ塔の有効座屈長が短くなり座屈耐荷力は増加する。全支点において橋軸方向への変位の拘束のないような構造形式では、桁の橋軸方向への変位に対する拘束効果の大きいハーブ形式に比べ、ファン形式とするほうがより長周期となり、地震力が軽減される。

耐風特性 ファン形式では、ケーブルによって勾配が異なるため、レインバイブレーションに対する空力

表3 形態論⑤

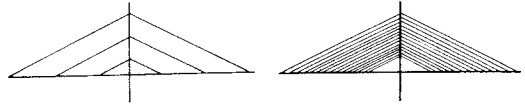
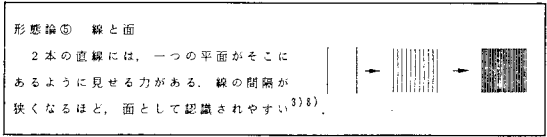


図9 段数の少ないケーブルとマルチケーブル

表4 形態論⑥

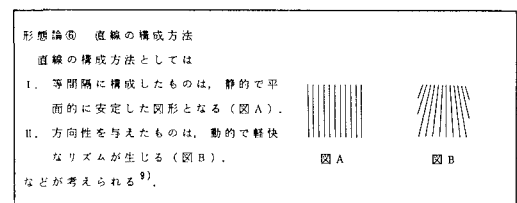


図10 ファン形式とハーブ形式

的な応答感度は個々のケーブルによって異り、留意が求められる。

4. 主桁

景観特性 ボックス桁は桁厚か薄く、神経質で敏感、女性的、軽快などのイメージがある。一方、トラス桁は力強く、男性的、鋭敏さに欠けるが安定感はある（図11）。

構造特性 トラス桁は、ボックス桁に比べ桁高を大きくとることができるため、特に主桁の振れ剛性を確保するという面で有利となる。ただ、ボックス桁に比べ風荷重が増加するため、支間の増加に伴い、主桁断面が風荷重により決定されるなど、風荷重に対する設計がより重要となる。

耐風特性 ボックス桁は、風荷重は小さくなるが、渦励振などの空力振動の発生に注意する必要がある、対策として桁断面の偏平化やフェアリング、ウィンドノーズなどの設置が必要となる場合が多い。一方、トラス桁は僅かな部材配置の違いによって、空力振動特性が変化する。フラッター対策としては路面へのグレーチングの設置などが有効となる。以上のような付加構造物の設置の際、景観に与える影響を十分考慮する必要がある。

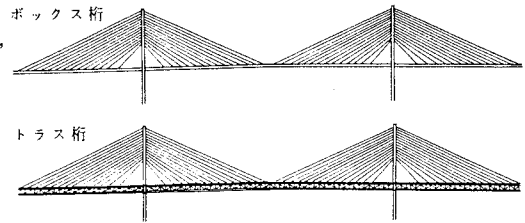


図 11 ボックス桁とトラス桁

5. 全体形状

ここまで、主塔、ケーブル、主桁という個々の構造要素について考察してきたが、その3つの組み合わせ方によりイメージの異なる橋梁形態となる。そこで、主要な比率であるサイドスパン比、（塔高／スパン）比、クリアランス比について考察する。

5. 1 サイドスパン比

景観特性 形態論⑦（表5）より主塔に対してケーブルが左右対称に張られているとき、美しく感じる。斜張橋の場合主桁の中央部分に無支保部分がある場合が多く一概に決められないがサイドスパン比は0.4～0.5位のときバランスがとれて見える（図12）。サイドスパン比が小さくなりすぎると、ケーブルによって形成される折れ線の方角性と主塔の方角が一致しないため視覚的に不安定に感じる（形態論③）。

構造特性 中央径間長を同じとした場合、側径間長を短くすることにより系全体としての鉛直曲げ剛性は増加する。このため、側径間長が長い場合には、曲げ剛性を高めるため、側径間の中間部に鉛直変形抑制用の橋脚を設ける場合もある。一方、側径間長が短くなるにつれ、側径間側ケーブルに対してより大きな導入張力が必要となる。

耐風特性 ケーブルの勾配、長さ等が変化することによって空力的振動特性が変化する。

5. 2（塔高[＊]／スパン）比

景観特性 最上段に張られるケーブルが主桁となす角度が小さいほど（（塔高／スパン）比が小さいほど）水平方向に伸びる力が感じられ、角度が大きくなるにつれ鉛直方向の力が強調される（図13）。

構造特性 ファン形式における最適な（塔高／スパン）比は0.15～0.20、ハープ形式におけるそれは0.20～0.25といわれている。（塔高／スパン）比が増加するにつれ、ケーブルの作用効率も高くなり、系全体としての鉛直曲げ剛性も増加する。

表 5 形態論⑦

形態論⑦ 美の形式原理 対称（Symmetry）

ある対称の美観を決定する条件を、そのものの意味および内容と切り離して、形式だけについて見た場合、これを美の形式原理という。その中のひとつに、対称（Symmetry）が挙げられる¹⁰⁾。

サイドスパン比

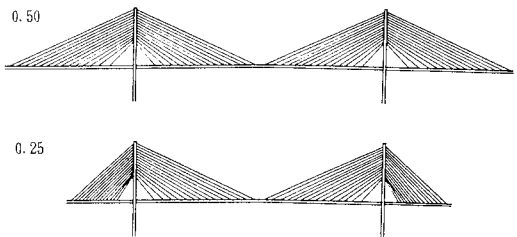


図 12 サイドスパン比

耐風特性 塔が高くなるほど、その耐風性が重要になる。また、ケーブルの勾配、長さ等が変化することによって空力的振動特性が変化する。

注^{*)} 塔高は主塔の主桁から塔頂までの高さ

5. 3 クリアランス比 (桁下高／全塔高^{**)})

景観特性 主桁の通る位置が高くなると、重心が高くなり安定感を欠く。また、低すぎると、軽快さ、躍動感に欠ける印象を受ける。目安の値として黄金比 (路面から塔頂までの高さ：桁下高が8：5のときのクリアランス比) 0.38付近のとき、バランスがとれて見える (図14)。

構造特性 クリアランスの増加にともない、橋軸および橋軸直角方向への振動は長周期化するため、耐震設計の面からは有利となる。

耐風特性 自然風は、上空ほど乱れが小さく、風速は大きくなる特性があり、クリアランス比が大きくなるほど風荷重が大きくなり空力的振動の発現可能性も大きくなる。一方、桁下空間が狭くなると、地表面の影響を受け、空力的振動特性が変化する。

注^{**)} 全塔高は主塔の地表面から塔頂までの高さ

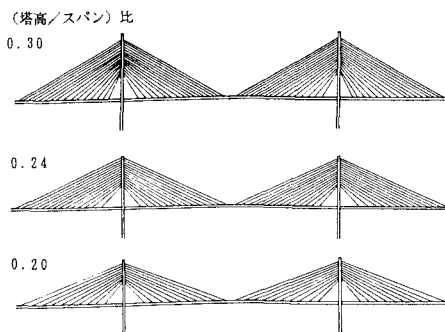


図13 (塔高／スパン) 比

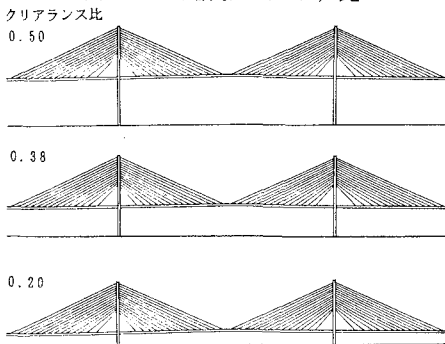


図14 クリアランス比

6. 実橋への適用

ここではユニークな構造美を持つスペインのRio Ebro橋 (図15)、設計の初期の段階から景観・構造・耐風の3者の関連が検討されてきた東神戸大橋 (図16) を取り上げ、景観・構造・耐風特性の考察を行う。

6. 1 Rio Ebro橋

景観特性 この橋梁は2径間非対称橋梁であるが、傾いた主塔の方向性とケーブルによる折れ線方向性一致しておりバランスが取れて見える。また、主塔から3方向へ張りだしたケーブルは35段で面構成をなしていること等、景観上有利な条件を兼ね備えている。

構造特性 主径間は中央1面吊り (ツインケーブル)、バックステーは分離2面吊り構造となっている。全体の釣合はコンクリートカウンターウェイトに定着されたバックステーにより確保されている。主桁はリブ付床版を有するプレキャスト2室箱桁で、斜材間隔は3mと密に配置されている。

耐風特性 2面のバックステーケーブルは、主塔の橋軸直角方向の剛性を増加させ、耐風性を安定化させる効果がある。

6. 2 東神戸大橋

景観特性 主塔は力学的な合理性と景観上の観点から水平材をやや低い位置に取付けることにより鉛直方向に伸びる力を感じさせ、さらに水平材にアーチ形状を用いることにより注目度の高い形態となっている。また、2面吊りであるためケーブルの錯綜の少ないハープ形式を採用している。主桁は鉛直材のないワーレントラス形式が採用されシンプルでリズムカルな印象を与えている。

構造特性 主桁の橋軸方向の支持条件は、全支点において可動とし、ケーブルを介して弾性固定としている。そのため橋軸方向への振動の固有周期が長くなり橋梁に作用する地震力が軽減され、塔断面や基礎の寸法を小さくすることが可能となった。これにともない、主桁の橋軸方向水平移動量が非常に大きくなることを避

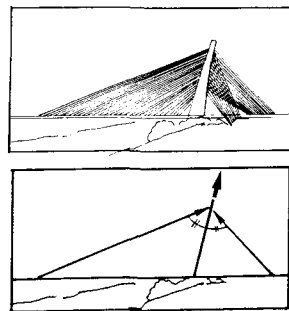


図15 Rio Ebro 橋

けるため、ケーブル配置はハープ形状とした。

耐風特性 主塔の水平材を低く配置することにより生じる塔面内のギャロッピングを隅切りにより対処（隅切り率2/18）している。このことにより陰影が生じ鉛直方向が強調され景観的にも好影響を与えている。ケーブルはレインパイプレーションの発生を抑制するため表面に多数の平行突起を設けたケーブルを用いている。主桁は主構と床組とを一体化した剛性トラスを用いたため効力係数は1.3と小さな値となっている。

7. むすび

従来、橋梁景観に関して多くの研究が行われ、その成果が発表されてきた。ただ、橋梁を設計する場合、景観面のみの検討では成されないのは言うまでもない。そこで本研究では、景観特性をより実際の設計に役立たせるため、橋梁の持つ様々な形態について景観・構造・耐風の3つの側面から検討を行った。また、景観特性の論議においては、橋梁の持つ幾何学形態に着目し、形態論の適用というかたちで考察を行った。このことは、主観で漠然と論議されがちな景観問題により説得力を持たせるためには有効な手法と思われる。今後は、景観面の論議を深めるとともに、施工性、経済性など他の設計条件についても検討していく必要がある。

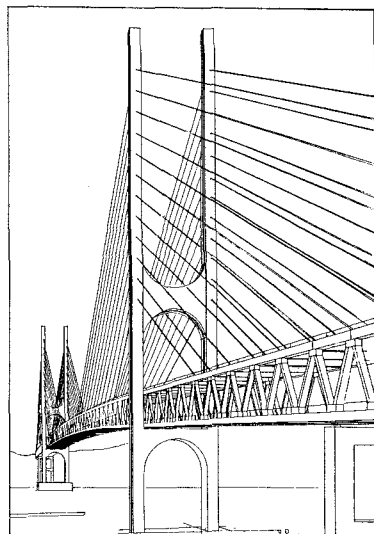


図 16 東神戸大橋

謝辞

本研究は土木学会関西支部共同研究グループ「耐風・構造特性および景観からみた橋梁の幾何学形態に関する研究」において、筆者等（西Bサブ委員会）の担当した平成3年度の研究成果「橋梁デザインの基礎概念とその応用」の中の「形態論からみた吊橋構造の景観評価とその構造・耐風特性」から、斜張橋に関する部分について加筆修正を行い論文にまとめたものである。ここに西Bサブ委員の方々に深く感謝の意を表するとともに、本研究に対して御意見を頂いた研究グループの委員の皆様から心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 土木学会関西支部共同研究グループ、「耐風・構造特性および景観からみた橋梁の幾何学形態に関する研究」平成3年度報告書、1992.6
- 2) 塩崎慎郎、松本 勝、白石成人、黒石浩介、土木学会第47回年次学術講演会論文集、「造形論の橋梁景観への適用に関する研究」、1992.9
- 3) フランソワ・K. フン著 太田邦夫訳、「建築のかたちと空間をデザインする」、彰国社、1987.
- 4) 高橋研究室編、「かたちのデータファイル」、彰国社、1984.
- 5) 馬場雄二、「ペーシングデザイン」、タグ・エイト社、1967.
- 6) Shiraishi, N., Watsumoto, M., Shirato, H. and Ishizaki, H., "On Aerodynamic Stability Effect for Bluff Rectangular Cylinders by Their Corner-Cut", Advances in Wind Engineering, Part 1, 1988.
- 7) 松本 勝、白石成人、白土博通、桂 一詞、西崎孝之、「隅切り矩形断面のレイノルズ数効果に関する研究」、構造工学論文集, Vol. 38A, 1992. 3
- 8) カザンスキー著 西田秀穂、「点・線・面」、美術出版社、1959.
- 9) 小林重順、「造形構成の心理」、タグ・エイト社、1978.
- 10) 小林盛太、「建築美を科学する」、彰国社、1991.

(1992年9月21日受付)