

J R 西 日 本 正 員 ○松井精一 京都大学工学部 正 員 松本 勝
 京都大学工学部 正 員 白石成人 N K K 正 員 塩崎禎郎
 京 都 大 学 学 生 員 五十鈴川康浩

1. まえがき 近年、長大橋の建設の機会が増えてきているが、一般に支間長が長くなるに従って、橋梁は可撓性に富み固有振動数が低下すると共に構造減衰も小さくなり、動的耐風性に対する検討項目の重要度が増す。また橋梁に対する社会的期待度・重要度が増し、美観的にも優れたものになりたいという要求が生まれる。つまり長大橋には耐風的にも安定でさらに景観にも優れたものが求められているといえよう。そこで本研究では特に風の問題が重要になる吊橋について、主要なパラメーターであるサグ比(サグ/中央径間長)とサイドスパン比(側径間長/中央径間長)を取り上げ、その景観特性と耐風特性との関連について考察する。

2. 吊橋のサグ比と景観・耐風特性

〔景観特性〕サグ比は、実橋ではほぼ $1/12 \sim 1/9$ の値をとっている。ここではサグ比の違いによる実際の橋梁形態の見え方を検討するため、図1に示すように「見かけのサグ比」を定義する。図2は見かけのサグ比と α (橋軸方向と視線のなす角)との関係をグラフ化したものである。これから α が小さいほど見かけのサグ比の変化が大きいたことがわかる。すなわち橋の袂から見てみると、少し視点を移動しただけで橋の見え方が大きく変化する。これは α が小さいとき、実際のサグ比を推定することは難しいことを意味する。図3はサグ比の大きい $1/9$ の吊橋と、小さい $1/12$ の吊橋が見かけのサグ比が同じに見える例である。僅か α が 20° の差しかないことに注目すべきである。以上のことからサグ比の差は実際の橋の見え方にはあまり影響を与えないことが分かった。

〔構造特性〕ケーブル張力 Hw は、吊橋の剛性を支配する重要な因子でサグ f に反比例する。ゆえにサグ比を小さくすることが剛性を高めるのに有効であり風荷重による横たわみを抑制することができる。

〔耐風特性〕サグ比を大きくするとケーブル張力が小さくなるため、サグ比 $1/9$ $\alpha = 60^\circ$ 見かけのサグ比 $1/8$ ケーブル張力が支配的である桁の鉛直曲げ固有振動数が低下する。

このため桁の耐風性が問題となることがある。しかし耐風安定上重要な振れ固有振動数はサグ比が大きくなるとともに向上し、さらに連成フラッターの発生に關係する振動数比も大きくなる。これは振れフラッター、連成フラッターの発生風速が上がることを意味する。

：以上の考察から、サグ比においては耐風・構造両面を優先させて検討するのが望ましいといえる。

3. 吊橋のサイドスパン比と景観・耐風特性

〔景観特性〕サイドスパン比は、実橋ではほぼ $0.2 \sim 0.5$ の値をとっている。美の形式原理のsymmetryを用いると、主塔に対してケーブルが対称に張られているように見えることが、吊橋を美しく感じる条件の1つであると考えられる。その時のサイドスパン比は、およそ 0.5 である。しかしここでは他の視点で考えるため、 α (橋軸方向と視線のなす角)と L (橋中央までの距離)の2つの視点を表すパラメーターを用いる。サイドスパン比の違いによる形態の見え方を考える際に、手前の主塔の前後にできる2つの図形(主塔、

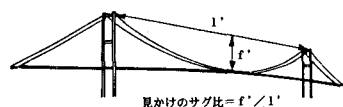


図1 見かけのサグ比の定義

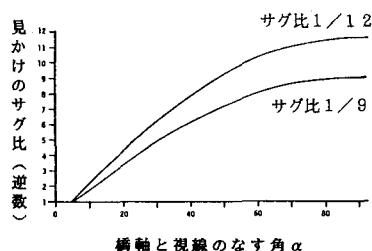


図2 見かけのサグ比と α の関係

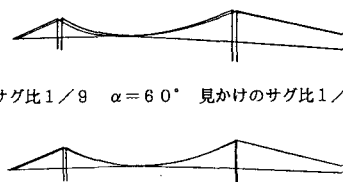


図3 見かけのサグ比が同じに見える例

ケーブル、補剛桁によって囲まれる三角形に近い形)に注目すると、この図形は透視上の見込む角で特徴付けられることが分かる(図4)。中央径間側の図形を見込む角度を a 、側径間側を b として考察すると、以下のことが分かった。①角度 $a <$ 角度 b のとき、側径間側の図形が大きく、サイドスパン比が大きく感じられる。また橋梁と視点の距離が近く雄大な印象を与える。②

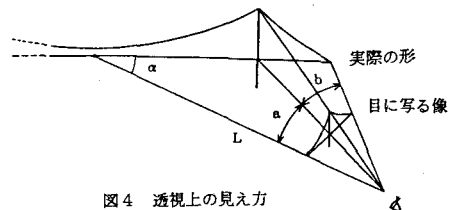


図4 透視上の見え方

角度 $a =$ 角度 b のとき、2つの図形は主塔に対して対称であり、美しく見える1つの要因となる。③角度 $a >$ 角度 b のとき、側径間側の図形が小さくサイドスパン比が小さく感じられる。また、ケーブルの角度が急になり吊橋の雄大さが失われる。

$\alpha = 20^\circ$ で距離を変化させた吊橋(サイドスパン比0.20, 0.31, 0.50)について図5に示す。さらに、 α と L を共に変えて形態を観察すると、サイドスパン比が0.5のときには橋軸直角方向の視点以外では、側径間の長さが強調された見え方をし、0.31程度では

距離	サイドスパン比 (0.20)	サイドスパン比 (0.31)	サイドスパン比 (0.50)
800	 $a = 16^\circ \quad b = 14.5^\circ$	 $a = 16^\circ \quad b = 26^\circ$	 $a = 16^\circ \quad b = 53^\circ$
1200	 $a = 8.5^\circ \quad b = 5.5^\circ$	 $a = 8.5^\circ \quad b = 9.5^\circ$	 $a = 8.5^\circ \quad b = 19^\circ$
1600	 $a = 6.0^\circ \quad b = 3.5^\circ$	 $a = 6.0^\circ \quad b = 5.5^\circ$	 $a = 6.0^\circ \quad b = 10.5^\circ$
2000	 $a = 4.5^\circ \quad b = 2.5^\circ$	 $a = 4.5^\circ \quad b = 4.0^\circ$	 $a = 4.5^\circ \quad b = 7.0^\circ$

図5 $\alpha = 20^\circ$ のとき距離を変えた場合のサイドスパン比による見え方

比較的多くの視点でケーブルが対称に張られているように見える。一方、サイドスパン比が0.2程度の橋は景観的に不利とされているが、橋の近くで α を小さくすれば、ケーブルが対称に張られて見える視点が存在する。また周辺地形によって見え方が影響を受け、図6のように両側に山並が迫る場合に比べて周辺が開けている場所ではサイドスパン比が大きく見える。これは図7のミュラー-リッの矢の錯視によるものと考えられる。

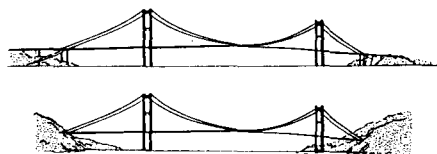


図6 周辺地形による見え方の違い

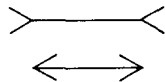


図7 ミュラー-リッの矢

〔構造特性〕変形の抑制効果はサイドスパン比を小さくすることが最も有効である。

これは側径間のサグがサイドスパン比の2乗に比例して小さくなり変形を抑制する

ものと考えられる。この側径間のサグが小さくなることは、当然橋の見え方にも影響を与え、ケーブルは主塔に対して中央径間側は滑らかな懸垂線、側径間側はほぼ直線となり、連続感に欠ける。またサイドスパンを小さくすると、ケーブルの傾斜角が大きくなり、ケーブル張力が増大するため、構造的にアンカレイジが大きくなってしまふ。吊橋を醜くする要因のひとつとしてサイドスパン比が小さいことが挙げられるが、サイドスパン比が小さくなるとアンカレイジが大きくなって更に橋全体が醜くなってしまふので注意が必要である。

〔耐風特性〕耐風的には、サイドスパン比を小さくすることによりねじれ対称1次振動数を向上でき、連成フラッター発現風速の向上が可能であると報告されている。

：以上の考察から、サイドスパン比においては、景観に与える影響が大きいため、構造、耐風、景観の3者を対等に、かつ慎重に考慮して設計することが望ましいといえる。

4. むすび 本研究では橋梁の設計において、視点の変化も考慮して橋の景観と耐風設計との関連について考察したが、施工性、経済性についても検討する必要があると思われる。

〔参考文献〕1) 米田昌弘、伊藤 学、"吊橋の曲げねじれフラッター発現風速に対する構造力学的要因の影響"、第9回風工学シンポジウム論文集、1986。

2) 土木学会編、"土木計画シリーズV 土木計画における総合化"、技報堂出版 1984

3) 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"