

川崎重工業 正会員 小川一志
川崎重工業 正会員 下土居秀樹

川崎重工業 正会員 橋本靖智
川崎重工業 正会員 磯江 暁

1. まえがき 紀淡海峡や東京湾口においては中央径間長が明石海峡大橋を越える超長大吊橋が検討されている。このような超長大吊橋になると、風の作用力の増大に対して橋の抵抗力が相対的に低下するため、耐風安定性をいかに確保するかが最重要課題の一つとなる。その対応策としては、桁形状を工夫して風の作用力を小さくすることや橋全体の剛性を高めて風の作用力に対する抵抗力を高めること等が考えられる。ここでは、中央径間長2,500mの超長大吊橋を対象に、補剛桁は風荷重の小さい流線形箱桁とし、部分的にはフラッタ安定性の良い2箱桁(中央開口部を有する流線形箱桁¹⁾)とした案について検討した。さらに、橋全体のねじれ抵抗力を高めるために、ケーブル間隔の絞り込みやハンガーの斜め配置²⁾さらにクロスハンガーの設置といったケーブルシステムの効果について検討した。

2. 解析対象とする超長大吊橋の概要 解析対象とする超長大吊橋の全体図を図1に示すが、中央径間長2,500mの3径間2ヒンジ吊橋とした。ケーブル許容応力は明石海峡大橋と同じ82,000tf/m²とし、ケーブルサグ比は1/9とした。ケーブルの断面積は1.9m²/Br、重量は16tf/m/Brとした。補剛桁の諸元を表1に示す。

3. 解析ケース ケーブル間隔に着目した解析ケースとして、ケーブル間隔35.5m(CASE1-1)とケーブル間隔なし(CASE1-2)の各ケースを表2に、桁、ケーブル、ハンガーの配置を図2に示す。ここでは、桁は1箱桁とした。次に、2箱桁の採用に着目した解析ケースを表3と図3に示す。塔の近傍(図1の区間(B))には1箱桁を、中央径間中央部および橋端部(図1の区間(A))には2箱桁を配置した。比較のために全橋にわたって2箱桁としたケース(CASE2-4)も解析した。2箱桁を連結する横桁の鉛直剛性は、死荷重と活荷重の組み合わせで決定された横桁の断面に基づくものを「通常」と記述し、横桁の剛性が「通常」の10倍と100倍のケースの解析を実施して2箱桁のねじれ剛性に及ぼす影響を調べた。さらに、図4のように中央径間1/4点と3/4点にクロスハンガーと連結材を設置して、ねじれ振動に対するクロスハンガーの効果を調べた。

4. 解析結果 各ケースの鉛直たわみ対称1次モードとねじれ対称1次モードの振動数とそれらのモードから求まる等価質量と等価極慣性モーメントを表4と表5に示す。ケーブル間隔なしとした場合(CASE1-2)は、鉛直たわみ振動数は変化ないが、ねじれ振動数は高くなり、極慣性モーメントは大きくなっている。これは、ハンガーの斜め配置によるハンガーの拘束及びケーブルの横たわみ連成が効いていると考えられる。全橋2箱桁の場合(CASE2-4)は、全橋1箱桁の場合(CASE1-1)に比べてねじれ振動数が高くなっているが、これは2箱桁ではケーブル間隔が7mに狭められてケーブルによる極慣性モーメントが小さくなっていることと、2箱桁を連結する横桁が有効に働いて補剛桁全体のねじれ剛性の低下を防いでいることが原因と思われる。1箱桁と2箱桁を組み合わせた場合(CASE2-1)、ねじれ振動数は全橋2箱桁の場合より若干高くなっている。ここで、2箱桁を連結する横桁の鉛直剛性が桁全体のねじれ剛性に及ぼす程度を調べてみると(CASE2-2~CASE2-4)、解析に用いた「通常」の横桁の剛性以上にしてもほとんど影響ないことが確かめられた。なお、クロスハンガーを用いると(CASE3-1)、ねじれ振動数は高くなり、極慣性モーメントは大きくなっている。これはケーブルなしの場合と同様にハンガーの拘束及びケーブルの横たわみ連成が効いていると考えられる。

5. あとがき 本研究では、特に超長大吊橋のモデルとして、2箱桁と1箱桁を組合せた補剛桁を想定し、それにケーブル間隔を絞ってハンガーを斜め配置しクロスハンガーを用いた効果を調べたが、このようなケーブルシステムの方法により、橋全体のねじれ抵抗力を高めることができる目処をつけることができた。今後、空気力を用いた3次元フラッタ解析により総合的に橋全体の耐風安定性を検証していく予定である。

【参考文献】1)多田,小川,松田;開口部のある流線形箱桁断面の空力特性およびその改善策,風工学シンポジウム 1986 2)小川,下土居,磯江,橋本;新形式の超長大吊橋の振動特性に関する一考察,風工学会年次発表,1995

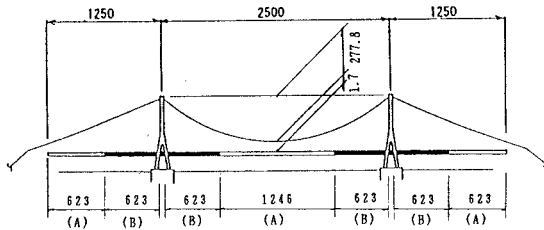


図1 解析対象超長大吊橋（単位：m）

表2 ケーブル間隔に着目した場合の解析ケース

ケース名	桁断面形状	ケーブル間隔
CASE1-1	1箱桁断面	35.5m
CASE1-2	1箱桁断面	なし

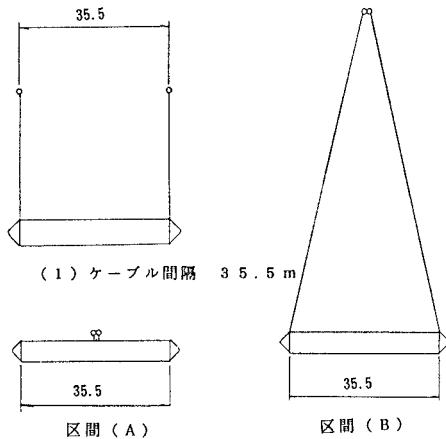


図2 ケーブル間隔に着目した場合の断面図

表4 鉛直たわみ1次及びねじれ1次モードの固有振動数（Hz）

解析ケース	たわみ1次	ねじれ1次	ねじれ1次 (横たわみ連成)
CASE1-1	0.0530	0.1361	0.1567
CASE1-2	0.0532	0.2479	0.1450
CASE2-1	0.0553	0.1882	0.1481
CASE2-2	0.0551	0.1883	0.1481
CASE2-3	0.0552	0.1880	0.1480
CASE2-4	0.0532	0.1740	0.1487
CASE3-1	0.0549	0.2202	0.1485

表5 等価質量（t・s²/m）及び等価極慣性モーメント（t・m・s²/m）

解析ケース	等価質量 (たわみ1次)	等価極慣性 モーメント (ねじれ1次)
CASE1-1	4.0	1405.9
CASE1-2	4.0	1821.2
CASE2-1	4.6	833.2
CASE2-2	4.6	831.8
CASE2-3	4.6	836.7
CASE2-4	4.5	947.8
CASE3-1	4.6	8650.7

表1 補剛桁諸元

	1箱桁断面	2箱桁断面
箱桁高	6.0m	6.0m
重量	23.0t	28.0t
極慣性モーメント	2800t・m ² /m	5100t・m ² /m
断面積	1.289m ²	1.289m ²
鉛直断面2次モーメント	9.523m ⁴	9.523m ⁴
水平断面2次モーメント	133.333m ⁴	248.218m ⁴
ねじり定数	19.810m ⁴	17.333m ⁴

表3 2箱桁断面を採用した解析ケース

ケース名	桁断面形状	横桁鉛直剛性
CASE2-1	1及び2箱桁断面	通常
CASE2-2	1及び2箱桁断面	通常×10
CASE2-3	1及び2箱桁断面	通常×100
CASE2-4	2箱桁断面	通常
CASE3-1	1及び2箱桁断面	通常

注) CASE3-1はクロスハンガー有り

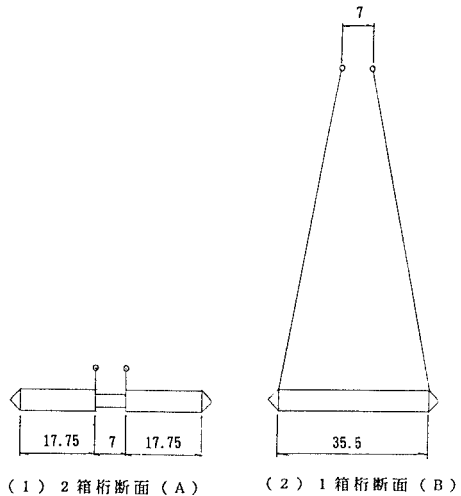


図3 2箱桁断面を採用した場合の断面図

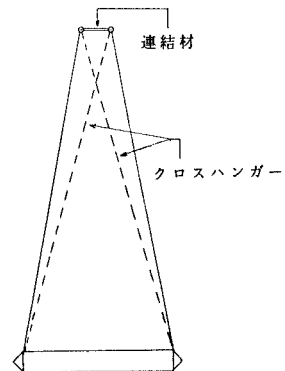


図4 クロスハンガー取り付け部