

I-A 210

2 箱桁／1 箱桁を併用した超長大吊橋の開発（その 2：フラッタ特性）

川崎重工 正員 下土居秀樹

同上 正員 小川 一志

同上 正員 野上 千秋

1 はじめに

紀淡海峡架橋計画をはじめとする将来の海峡横断プロジェクトの実現のためには、経済性に優れた橋梁形式の選定とともに、耐風性、特にフラッタ特性に優れた構造形式の開発が必要となる。このうち、前者の観点からは、トラス補剛吊橋に比べ鋼重の軽減が期待できる箱桁形式の吊橋の採用が適切と考えられるが、支間長が 2000m を超える超長大橋に対しては、従来型の流線型箱桁形式吊橋により十分なフラッタ安定性を確保することは困難となることが予想される。筆者らは、箱桁形式の超長大吊橋に対し、従来型の 1 箱桁断面に比べてフラッタ特性の向上が期待できる、幅員中央に開口部を有する 2 箱桁断面を適用し、一方で、これに伴う道路幅員の増加による主塔柱間隔の増加を避けるため、塔付き部の補剛桁としては 1 箱桁断面を併用した新形式吊橋の可能性について検討を行ってきた¹⁾。本報告は、この 2 箱桁／1 箱桁を併用した超長大吊橋のフラッタ特性について、二次元剛体模型を用いた風洞試験により 2 箱桁断面と 1 箱桁断面の空力特性の把握を行うとともに、多自由度フラッタ解析の手法を用いて解析的な検討を行った結果について報告するものである。

2 2 箱桁断面と 1 箱桁断面の空力特性の比較

風洞試験では、2 箱桁および 1 箱桁の補剛桁断面として、図-1 に示すような 6 車線相当の幅員を有する桁断面を想定し、縮尺 1/70 の二次元剛体模型を用いて、曲げねじれ 2 自由度のバネ支持試験によるフラッタ応答特性の把握、自由振動法による非定常空気力の計測、ならびに三分力天秤を用いた定常空気力の計測を行った。このうち、2 自由度バネ支持試験においては、別途実施した橋長 5000m (主径間 2500m) の 2 箱桁／1 箱桁併用形式吊橋に対する固有振動解析結果²⁾をもとに、表-1 に示すような振動条件を想定した。また、迎角については、風荷重による静的変形特性として、桁の回転変位が負迎角側となる傾向にあることを考慮し、 $\alpha=0^\circ$ 、 -3° の 2 迎角を対象とした。2 自由度バネ支持試験により得られた、曲げねじれ連成モードの応答対数減衰率と風速との対応について図-2 に示すが、この結果についてまとめれば次のようである。

① 1 箱桁断面の $\alpha=0^\circ$ においては、実橋換算風速 50m/s 付近でフラッタが発生し、 $\alpha=-3^\circ$ でのフラッタ限界風速はさらに 45m/s 付近まで低下する。②これに対して 2 箱桁断面 $\alpha=0^\circ$ でのフラッタ限界風速は 67m/s と、1 箱桁に比べて 30% 以上上昇し、 $\alpha=-3^\circ$ でもその顕著な低下はみられない。③この 2 箱桁断面のフラッタ限界風速は、Selberg 式によって評価される平板翼断面に対するフラッタ限界風速（ただし、桁幅としては、1 箱桁形式におけるケーブル間隔 35.5m を想定）に比べても 5% 程度高い風速となっている。

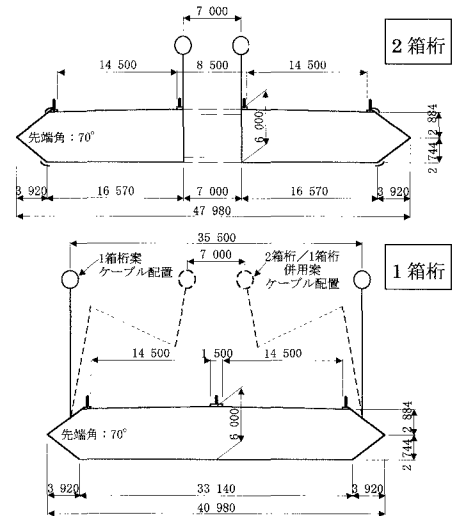


図-1 2 箱桁および 1 箱桁断面

表-1 二次元バネ支持試験条件

		試験条件：縮尺 1/70		
		実橋想定値	目標値	模型値
固有振動数	曲げ	0.053 Hz	0.752 Hz	1.015 Hz
	ねじれ	0.155 Hz	2.200 Hz	2.223 Hz
	振動数比	2.92	2.92	2.19
	等価質量	4.00 tf・m/s ²	0.816 kgf・s ² /m	0.816 kgf・s ² /m
質量	等価慣性	1287.6 tf・m・s ²	0.0536 kgf・m・s ²	0.0536 kgf・m・s ²
	減衰			
減衰	曲げ	$\delta=0.02$	$\delta=0.02$	$\delta=0.02$
	ねじれ	$\delta=0.02$	$\delta=0.02$	$\delta=0.02$

3 2箱桁／1箱桁併用吊橋のフラッタ特性

2箱桁と1箱桁を併用した超長大吊橋のフラッタ特性に関しては、バネ支持された二次元剛体模型を用い、自由振動法により評価した非定常空気力係数を用いた多自由度フラッタ解析により検討を行った。なお、フラッタ解析手法としてはモード組合せ法とし、解析においては、補剛桁とケーブルに作用する準定常抗力の影響についても考慮した。本検討において対象とした2箱桁／1箱桁併用形式吊橋は、主径間2500m＋側径間1250mの3径間2ヒンジ吊橋であり、ケーブル間隔は2箱桁の開口幅に合わせて7.0mとし、両主塔より主径間ならびに側径間側の各々625mの区間を1箱桁（ハンガー定着間隔35.5m）、残りの区間を2箱桁（ハンガー定着間隔7.0m）とした構造系を想定した。また、ケーブル間隔を35.5mとして全区間にわたり1箱桁形式とした1箱桁吊橋案、ケーブル間隔を7.0mとして全区間にわたり2箱桁形式とした2箱桁吊橋案についても併せて解析を行い、各々のフラッタ特性の比較を行った。なお、本解析においては迎角として $\alpha=0^\circ$ を対象とし、風荷重による静的変形に伴う桁の回転変位の影響については考慮しないものとした。表-2には、各形式案における固有振動特性ならびにフラッタ解析により得られたフラッタ限界風速の比較を示す。この結果より、①ケーブル間隔を7.0mとした2箱桁形式では、従来の1箱桁形式に比べ、ねじれ最低次モードに関する固有振動数の低下と等価極慣性モーメントの減少がみられる。このため、桁断面についてのフラッタ特性の向上は期待できるにもかかわらず、フラッタ限界風速としては1箱桁形式のそれとほぼ同様の値となっている。②2箱桁／1箱桁併用形式における、ねじれ最低次モードの固有振動数は1箱桁形式とほぼ同様となるが、等価極慣性モーメントについては約70%の増加がみられる。このため、桁断面のフラッタ特性の向上に加えて、この質量効果の増加の影響によりフラッタ特性は大幅に向上し、フラッタモードの組合せとして、曲げとねじれ各最低次モードのみを考慮した場合のフラッタ限界風速は、1箱桁形式に比べて50%以上上昇している。また、その他のモードの組合せについても考慮した場合には、さらにフラッタ特性は向上する傾向がみられる。

4 考察およびまとめ

超長大橋の建設に際して重要な課題となるフラッタ安定性の向上に関し、フラッタ特性に優れた2箱桁と経済性に優れた1箱桁とを併用し、これに応じたケーブル配置を採用することによって、従来の1箱桁形式吊橋に比べてフラッタ特性を大幅に向上できる可能性が示された。一方で、支間の増大に伴って、風荷重による桁の静的変形、特に高風速下での桁の回転変形の増加が予想されるため、今後は、高迎角のもとでのフラッタ安定性、さらには風荷重による桁の回転変形の低減方法などについても検討が必要と考えられる。なお、本検討は、建設省土木研究所、本州四国連絡橋公団、(財)土木研究センターおよび民間企業8社からなる『耐風性および経済性に優れた超長大橋の開発に関する共同研究』の一環として実施したものである。

参考文献

- 1)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，第50回土木学会年次学術講演会，1995
- 2)小川，橋本，岸田：2箱桁／1箱桁を併用した超長大吊橋の開発(その1：構造特性)，第51回土木学会年次学術講演会，1996

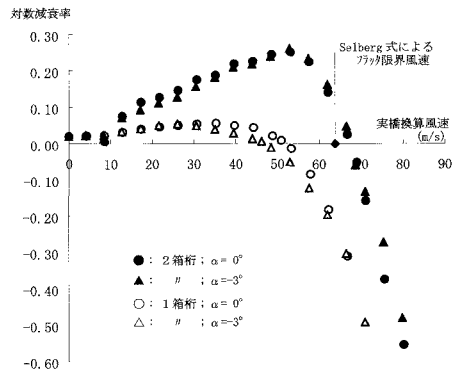


図-2 2箱桁と1箱桁断面のフラッタ特性の比較

表-2 各形式のフラッタ特性の比較

ケーブル間隔	35.5m	7.0m		
補剛桁	1箱桁	2箱桁	2箱／1箱桁	
曲げ最低次モード*				
固有振動数	Hz	0.053	0.053	0.053
等価質量	tf・s ² /m/m	3.548	4.175	4.003
ねじれ最低次モード*				
固有振動数	Hz	0.151	0.134	0.153
等価極慣性	tf・m・s ² /m	754.9	563.5	1287.6
曲げねじれ振動数比		2.849	2.528	2.887
フラッタ限界風速（α=0°）				(m/s)
曲げ最低次+ねじれ最低次モード*		51.2	52.0	78.6
1～30次モード組合せ		51.3	55.0	89.1