

デュアルケーブル形式吊橋のガスト応答特性について

大阪大学大学院 学生員 ○織田敏彰
 (株)建設企画コンサルタント 正員 武 伸明
 大阪大学大学院 フェロー 西村宣男

1. まえがき 超長大吊橋では、支間の長大化に伴って柔構造化・低減衰化が進むためにフラッター発現風速が低下する。このため、高い耐風安定性を有する構造とせねばならず、これが超長大吊橋の設計に対してクリティカルな要因となる。西村らは、経済的かつ合理的な新構造形式としてデュアルケーブル形式吊橋を提唱し、複素固有値解析を用いたフラッター解析によって同形式吊橋が十分な耐風安定性を有することを確認している。デュアルケーブル形式吊橋は、補剛桁の下側に配置したサブケーブルからサブハンガーを介してプレストレスを導入することで付加的に高められるケーブル復元力に構造全体としてのねじり剛性を期待したものであり、有効プレストレス率を高めるためにサブケーブルには炭素繊維材を用いている。また、軽量化と極慣性モーメントの抑制を狙い、メインケーブルに関しても炭素繊維材を用いている。しかし、炭素繊維材の採用によって構造が軽量化するとガストの影響が大きくなることが考えられる。本研究では、超長大吊橋を対象としてガスト応答解析を行い、デュアルケーブル形式吊橋のガスト応答特性を調べる。

2. 超長大吊橋の試設計について ガスト応答解析の対象とする超長大吊橋は Table.1 に示すデュアルケーブル形式吊橋 2 種と従来形式吊橋 2 種の計 4 種である。従来形式吊橋は比較検討のために試設計されたもので、Type-SS が鋼ケーブルを用いた従来形式吊橋、Type-SC が炭素繊維ケーブルを用いた従来形式吊橋である。デュアルケーブル形式吊橋はプレストレスの影響を調べるために弱プレストレスの Type-DCa と強プレストレスの Type-DCb を設定する。総ての解析モデルは Selberg 式によってフラッター発現風速がフラッター照査風速として設定した 79m/sec に一致するように試設計されたものである。試設計時の基本条件を Table.2 に、従来形式およびデュアルケーブル形式の解析モデル形状を Fig.1 に示す。簡単のためにハンガーロープは 2~3 本をまとめてモデル化している。

各ケーブル材の機械的性質を Table.3 に示す。鋼ケーブルは、自重の増加による影響を低くするために将来の実用化を考慮して引張強度 2160N/mm²

Table.1 解析タイプとケーブル種別

解析タイプ	ケーブル材	ケーブルシステム	プレストレス
Type-SS	鋼線	従来形式	---
Type-SC	炭素繊維	従来形式	---
Type-DCa	炭素繊維	デュアルケーブル形式	14.7 kN/m
Type-DCb	炭素繊維	デュアルケーブル形式	53.9 kN/m

Table.2 超長大吊橋の基本条件

形式	単径間補剛箱桁吊橋
中央径間長	3,000 m
サグ比	1/10
ケーブル間隔	40 m
桁幅	46 m
桁高	8 m

Fig.3 ケーブルの機械的性質

使用材料	鋼ケーブル	炭素繊維ケーブル
引張強度 (N/mm ²)	2,160	2,060
弾性係数 (kN/mm ²)	196	147
単位体積重量 (t/m ³)	7.85	1.6
許容応力度 (N/mm ²)	980	686

Table.4 基本構造諸元

解析モデルタイプ	Type-SS	Type-SC	Type-DCa	Type-DCb
補剛桁	死荷重 (kN/m)	388.0	349.9	348.9
	極慣性モーメント (kN・m ² /m)	66,460	58,670	58,320
	面内曲げ剛性 (m ⁴)	35.6	31.4	31.3
	面外曲げ剛性 (m ⁴)	444.4	376.3	373.1
	ねじれ剛性 (m ⁴)	102.1	85.8	85.7
ケーブル	死荷重 (kN/m)	260.7	46.1	53.9
	極慣性モーメント (kN・m ² /m)	104,210	18,600	19,320

級のものとし、明石海峡大橋に準じて安全率 2.2 に設定する。新素材ケーブ

デュアルケーブル形式、超長大吊橋、ガスト応答

〒565 吹田市山田丘 2-1, phone 06-879-7598, fax 06-879-7601

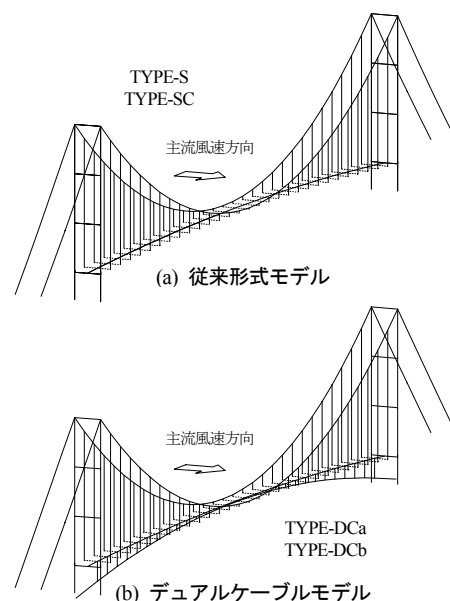


Fig.1 超長大吊橋の解析モデル

ルには、軽量かつ高強度、高弾性の繊維強化複合材料として実用化されている引張強度 2060N/mm^2 級の PAN 系の炭素繊維材を用いることとする。新素材ケーブルの安全率は、引張強度に対して 2.5 を確保することを基本とし、サドル部のケーブルの曲線状配置による引張強度の低下を見込んで、さらに安全率を 1.2 倍割り増した 3.0 に設定する。各解析モデルの基本構造諸元を Table.4 に示す。

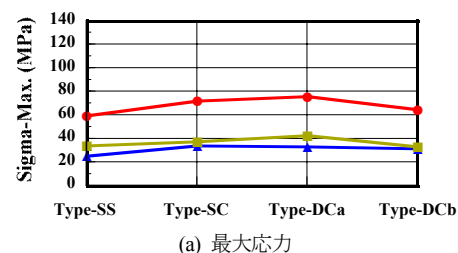
3. ガスト応答解析 ガスト応答解析は Table.5 に示すガスト応答諸元に従い行うものとする。基本風速は明石海峡大橋設計要領¹⁾に準じて 46m/sec とし、これに鉛直プロファイルを考慮して接近風の平均風速を与える。風の乱れは Karman 型を与える。乱れ強さは主流方向に 10%、鉛直方向に 5%とし、乱れスケールは主流方向に 167m、鉛直方向に 23m とする。また、空間相関は Davenport 式によって考慮し、ディケイファクターは設計要領に従い全ての方向に $k=8.0$ を与える。補剛桁の 3 分力係数に関しては、簡単のために過去に行われた来島第三大橋の風洞試験で得られた値を用いることとする。非定常空気にしても、来島第三大橋の風洞試験によって同定された値を用いることとする。ただし、抗力成分は同試験では考慮していないため、準定常表現で得られる値を与える。インディシャル応答関数に関しては、揚力および空力モーメントに *Küssner* 関数を与える。抗力成分は準定常過程であるとして考慮していない。構造減衰は設計要領に従い対数減衰率 0.02 とする。

4. 補剛桁に生じる部材軸方向応力 ガスト応答解析結果として、中央径間 L/20 断面および L/4 断面における最大部材軸方向応力を Fig.2 に示す。予備計算によって、L/20 点は面内曲げが最も大きくなる断面、L/4 点は面外曲げが最も大きくなる断面であることを確認している。L/20 断面では L/4 断面に比べて面内曲げによる部材軸方向応力の比重が大きくなっているが、本解析によると、それでも面外曲げ成分が大きくなっている。L/4 断面では面外曲げ成分が特に大きくなっており、超長大吊橋の断面設計においても抗力が支配的な荷重であることが分かる。同断面の最大応力では補剛桁の許容応力度 138Mpa を超えるケースが幾つか見られる。これより、超長大吊橋の設計に関しては、フラッターのみならずガスト応答もまた、大きな影響を及ぼす可能性があることが分かる。各解析モデルの比較により、ケーブルシステムを軽量化することで各部位に生じる応力が大きくなり、デュアルケーブルシステムを採用することでこれを抑制することができることが分かる。この効果はプレストレス量に依存する。

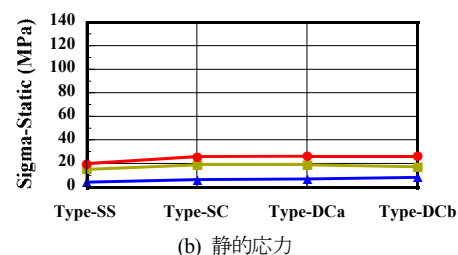
5. まとめ 超長大吊橋の設計においては、フラッターだけでなくガスト応答がクリティカルな問題となることを確認した。炭素繊維ケーブルを用いて軽量化することで補剛桁に生じる部材軸方向応力は大きくなるが、デュアルケーブルシステムを採用して適当なプレストレスを与えることで軽量化によるデメリットを抑制することができる。

Table.5 ガスト応答解析の解析諸元

ガスト応答解析諸元	本解析諸元	
設計基本風速	46 m/sec	: 明石海峡大橋に準ず
空気密度	0.120 kg/s ³ /m ⁴	
べき指数	1/7	
風速のパワースペクトル	Karman型	主流 : Lu=167m, Iu=10%
		鉛直 : Lw= 23m, Iw=5%
空間相関	Davenport式	: k=8.0
インディシャル応答関数	抗力	: 考慮せず
	揚力・空力モーメント	: Küssner関数
三分力係数	補剛桁	: 来島風洞試験結果
	主塔	: 0.818
	ケーブル・ハンガー	: 0.700
非定常空気力	抗力	: 準定常表現
	揚力・空力モーメント	: 来島風洞試験結果
構造減衰	対数	
有風時の骨組変形	考慮	

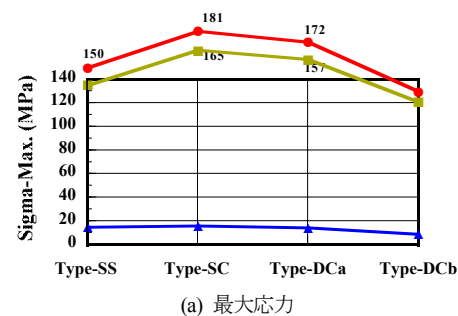


(a) 最大応力

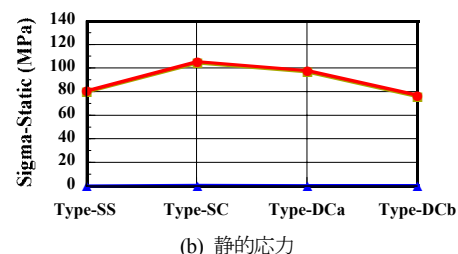


(b) 静的応力

Fig.2-1 最大部材軸方向応力 (L/20 断面)



(a) 最大応力



(b) 静的応力

Fig.2-2 最大部材軸方向応力 (L/4 断面)

【参考文献】1) 本州四国連絡橋公団：明石海峡大橋耐風設計要領・同解説，1990.2.