

高強度ケーブル適用による長大吊橋の最適構造形式の検討

横浜国立大学 ○学生会員 中 麟太郎

横浜国立大学 正会員 勝地 弘

横浜国立大学 正会員 田村 洋

横浜国立大学 正会員 王 嘉奇

1. はじめに

明石海峡大橋で用いられた 1770MPa ケーブルを高強度化した 1960MPa ケーブルが開発され、これらを用いた新規長大吊橋建設が進んでいる。高強度ケーブルにより吊橋鋼重の削減・工期の短縮が期待できる。また、吊橋のサグ比・側径間比は総鋼重に影響を与えることがわかっている。これまで国内ではサグ比は 1/9.5～1/12.5、中央支間長が長いほど大きなサグ比が採用されてきた。側径間比は架橋地域の地理的特性により設定されている。従来ケーブルの吊橋ではサグ比（1/12～1/10 の範囲で）の増加に伴い単位ケーブル鋼重と単位全鋼重が減少すること、長大吊橋ではサグ比を大きくすることでケーブル鋼重が削減し吊橋全鋼重が減少することがわかっている¹⁾。以上の背景を踏まえ、高強度ケーブル利用時のサグ比・側径間比変化による力学的特性・動的特性・総鋼重の変化を想定し、1960MPa ケーブル時の最適構造形式について検討を行った。

2. 解析条件

本研究では、対象橋梁は全長 4000m の 3 径間連続吊橋を想定した (表 1)．解析モデルは汎用解析プログラムで立体骨組みモデルを作成し、ハンガーケーブル間隔はすべてのケースで 20m 一定とした．ケーブル・ハンガーはトラス部材、補剛桁は梁要素で作成し補剛桁の中心に極慣性モーメント・質点を与えた．吊橋のサグ比・側径間比を変化させて解析を行った．ケーブル形状は放物線を仮定し、以下に示す安全率と許容応力度を満たすように設計した (表 1)．安全率を 1770MPa は明石海峡大橋で用いられた 2.2, 1960MPa は今後の技術開発を見込んで 1.8 に設定した．主塔は橋軸方向・橋軸直角方向で等方断面とし、風荷重とケーブルの鉛直反力を考慮して設計している．

3. 1960MPa ケーブルを想定した活荷重載荷解析

活荷重による変形の変化を確認する為、桁中心に等価 L 荷重 (33.69kN/m) を載荷した。サグ比 1/10 の桁活荷重たわみ変位を側径間比ごとに示す (図 1)。1960MPa ケーブル利用時は変形量が増大していることが分かる。ケーブル自重が減少することで吊橋剛性が低下したことが原因として推測された。

表 1 吊橋諸元

形式		3 径間連続吊橋
全長		4000m
サグ比		1/8 1/9 1/10 1/11 1/12 1/14 1/16 1/20
側径間比		0.5 0.4 0.3 0.2
補剛桁	形式	箱桁
	桁幅	35.5m
	桁高	6.96m
	断面積	1.56m ²
	桁重量	219.5kN/m
ケーブル	安全率	許容応力度 (MPa)
1770MPa	2.2	804
1960MPa	1.8	1088

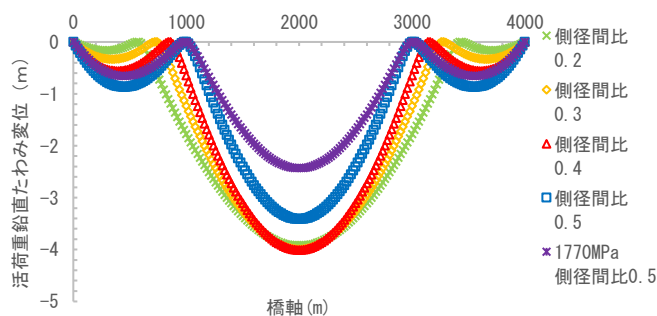


図 1 1960MPa ケーブル想定時の活荷重桁たわみ変位(サグ比 1/10)

キーワード 吊橋、構造最適化、高強度ケーブル、フラッター限界風速

連絡先 〒240-0067 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 7-9-7 横浜国立大学 TEL 045-339-4255

4. 固有振動数・ゼルベルク式によるフラッター風速の予測

側径間比 0.5 時の固有振動数，単位長さ重量，フラッター風速を示す（表 2，図 2）．本研究では，フラッター風速変化特性を把握する為，推定式であるゼルベルグ式を用いた．1960MPa ケーブル利用時のねじれ固有振動数は上昇し，鉛直固有振動数は低下した．ケーブル高強度化による自重変化に伴う剛性と極慣性モーメント変化による影響が相殺する為，フラッター風速に大きな変化が生じていないことが推定される．

表 2 固有振動数 (Hz)・単位鋼重(kN/m) (側径間比 0.5 の場合)

サグ比	水平	鉛直	ねじれ	単位鋼重
1/9(1960)	0.048	0.063	0.309	27.59
1/10(1960)	0.049	0.064	0.299	28.06
1/11(1960)	0.050	0.065	0.286	28.84
1/9(1770)	0.048	0.064	0.297	29.60
1/10(1770)	0.049	0.065	0.282	30.73
1/11(1770)	0.050	0.067	0.268	31.83

* 単位鋼重は補剛桁＋ケーブル重量

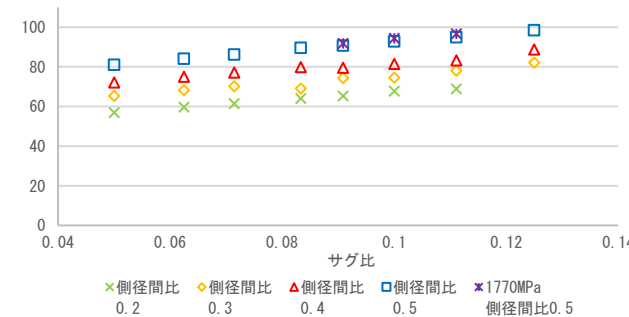


図 2 フラッター風速(m/s)

5. 鋼重算出

作成したモデルの鋼重を算出した．サグ比ごとのケーブル鋼重，全鋼重（主塔，ケーブル，ハンガー）を以下に示す．(図 3，図 4) 高強度ケーブルによりケーブル鋼重は削減されるが全鋼重については側径間比の影響が大きいことが分かった．各側径間比における全鋼重が最も小さいサグ比は 1/11，1/12，1/14 となる．サグ比 1/20～1/11 の範囲では既往研究と同様サグ比の減少に伴い全鋼重が減少することが分かった．

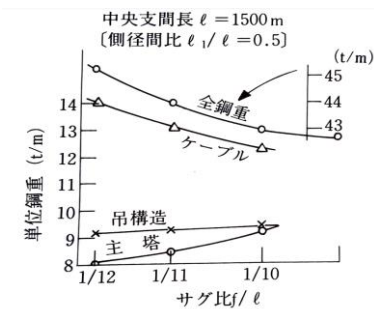


図 3 既往の鋼重とサグ比の関係調査結果¹⁾

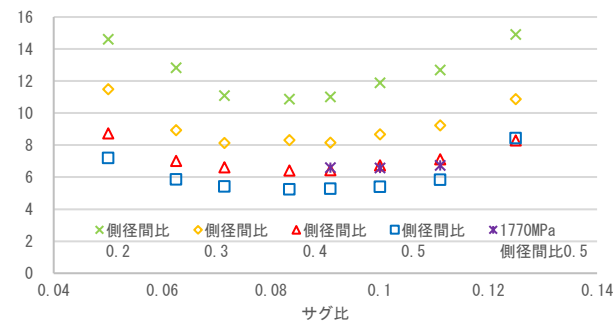


図 4 全鋼重(万 t)

6. まとめ

1960MPa ケーブルを用いた 4000m 級吊橋で鋼重が小さいサグ比は 1/11，1/12，1/14 と算出された．側径間比が大きいほど全鋼重が小さくなることが分かった．1/11 まではサグ比の増加によりケーブル鋼重が低減し全鋼重が減少するがその後はサグ比が大きくなると主塔鋼重増加の影響により全鋼重が増加することが分かった．また，ケーブル強度変化によるフラッター風速への影響は小さく，サグ比が大きいほどフラッター風速が高いことが分かった．今後の材料開発により他の部材の安全率低減・鋼重削減が期待でき，吊橋建設の経済性が高まることが予測される．

7. 参考文献

1) 吊橋の設計: 本州四国連絡橋公団第 2 管理局 1990

2) 日本製鉄株式会社. SteelinC | <https://www.nipponsteel.com/steelinc/product/xsteelia/environmental.html>

3) 長大吊形式橋梁の建設・維持管理一本州四国連絡橋から見た長大吊形式橋梁の技術一.建設図書 2022