

長大斜張橋の強風時横ねじり座屈特性に及ぼすケーブルの弛緩の影響

東京都立大学大学院 学生員 紺野 誠・平野 和志

東京都立大学 正会員 中村 一史・前田 研一・成田 信之

長岡技術科学大学 正会員 林 正

1. まえがき 斜張橋の長大化を進める上では、十分な耐風安定性を確保することが最重要課題であり、強風時の横ねじり座屈特性を検討できる解析手法が提案され、種々検討されている¹⁾。本研究は、この解析手法を中央径間長 1,000m の長大斜張橋の試設計例を対象とした解析モデルを用いて、クリティカルとなる風速まで適用し、現行の基準における設計風荷重と対比させるとともに、横ねじり座屈特性に及ぼすケーブル弛緩の影響の検討および耐風安定性向上のための一方策の提案を行ったものである。

2. 静的風荷重解析の照査手法 よりクリティカルな風速を与える風荷重解析における照査手法として、文献 1) では対象となる風速(風荷重)に関して主桁の 3 分力特性を考慮し、釣り合い系をとる手法が提案されているが、実務的なレベルまでは確立されていない。そこで、ここでは従来から用いられている主桁に対象とする風速相当の抗力のみを与える手法を解法-1、および空力モーメントのみを与える手法を解法-2 とし、また、主桁断面の 3 分力特性を考慮した文献 1) による手法を解法-3 として、これら 3 つの異なる解法を用いた数値計算を行って、比較検討した。なお、現行の基準における設計風荷重の概念に相当するものが解法-1 であるが本四基準²⁾で用いられている補正係数等は考慮しないこととした。解法-2 はねじり発散解析(divergence analysis)、解法-3 は横ねじり座屈解析(lateral-torsional buckling analysis)にそれぞれ対応し、主桁のねじり変形に対して 3 分力特性に適合するように収束計算を行う手法である。

3. 解析モデルと解析条件 解析対象には、中央径間長 1,000m の試設計例³⁾を参考に表-1 の断面諸元を有し、斜張橋特有の設計条件を満足する立体有限変位解析モデル(図-1)を作成した。主桁の 3 分力特性は、ほぼ同様な流線形箱桁の断面形状である名港大橋の風洞実験データ(図-2)⁴⁾を用いた。また、ケーブルの弛緩を考慮するために全段ケーブルを 4 等分割したリンクケーブルモデルと弛緩を考慮しない直線ケーブルモデルを作成した。さらに、耐風安定化策の一方策として、図-3 に示すような補助ケーブルシステムを採用しこれをレーシングケーブルと呼ぶことにする。これら 3 つのモデルと上述の解法を組み合わせ、基本風速を 40m/s から 10m/s ステップごとに、原則的に解が発散するまで弾性有限変位解析で数値計算を行った。解法-3 では急激な発散現象がみられたため発散直前は 1m/s ステップで計算した。

表-1 断面諸元

	主桁	主塔
A(m ²)	1.58	1.24 ~ 3.30
J(m ⁴)	6.4	12.0 ~ 20.0
Iy(m ⁴)	150	10.20 ~ 24.40
Iz(m ⁴)	2.66	11.99 ~ 45.22
E(t/m)	21000000	21000000
G(t/m)	8100000	8100000
ケーブル		
A(m ²)	0.006278 ~ 0.01343	
E(t/m)	20000000	

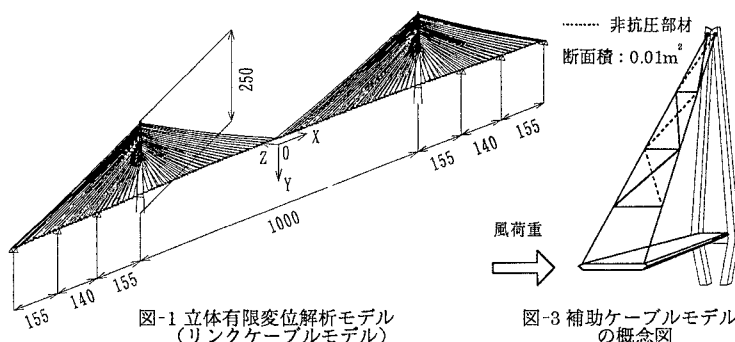


図-1 立体有限変位解析モデル(リンクケーブルモデル)

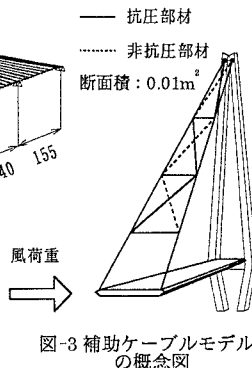


図-3 補助ケーブルモデルの概念図

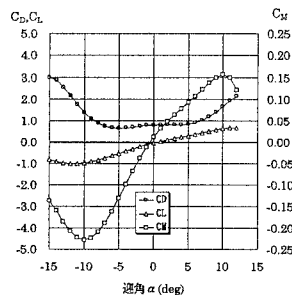


図-2 対象とした 3 分力係数(名港西大橋)

長大斜張橋, 限界風速, 設計風荷重, 横ねじり座屈解析, ねじり発散解析

〒 192-03 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL 0426-77-1111 FAX 0426-77-2772

〒 940-21 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL 0258-46-6000 FAX 0258-47-0019

4.解析結果とその考察 解析結果の一部として、図-4 に中央径間中央部の主桁ねじり角を、図-5 に中央径間中央部の主桁面外変位を図-6 に中央径間中央部の主桁鉛直変位を示す。

図-4 より、直線ケーブルモデルの解法-1,2 では基本風速 200m/s においても解は発散せず、ねじり回転量も小さい。また、解法-3 によれば、直線ケーブルモデルでも 185m/s で発散し、リンクケーブルモデルでは 100m/s を越えると急激にねじり角が増大し 118m/s で発散した。なお、図中の波線部は発散した解である。

図-5 より、解法-2 では全体的に変位量が小さくなるものの、解法-1,3 では変形挙動に関してケーブルモデルの差異は見られず、むしろ限界風速に差異が現れ、直線ケーブルモデルの方が同解法において限界風速が上昇することがわかる。解法-1 のリンクケーブルモデルでは 150m/s を越えると急激に変位は増加するが、解法-1 ではねじり変形に伴う 3 分力の釣り合いをとっていないためであると考えられる。

図-6 より、解法-1,2 の直線ケーブルモデルは主桁を押し下げる方向に、それ以外では持ち上げる方向に変位し、また、解法-1 のリンクケーブルモデル以外は限界風速に差異はあるが、最大 10m 程度の変位である。

さらに、耐風安定化策として最上段ケーブルから 8 段目までレーシングケーブルを取り付けた場合の解析結果をそれぞれ図-4 ～ 6 に併記した。これより、補助ケーブルシステムを採用した場合、解法-3 のリンクケーブルモデルに比して、限界風速が 118m/s から 132 m/s へ上昇し、また、図-7 に示す基本風速 110m/s 時の主塔および最上段ケーブルの面外挙動とあわせて見れば、主桁のねじり角および鉛直変位を低減する効果のあることがわかる。一方、表-2 の基本風速 132m/s 時における補助ケーブルの取り付け段数による効果より、各変位量が最小となる 8 段取り付けの場合が最も効果的であるといえる。

5.あとがき 以上の結果より、強風時には主桁のねじり変形依存性が大きくなることおよびケーブルの面外弛緩の影響が無視できないことを示唆でき、面外弛緩の抑制効果をねらった補助ケーブルシステムの採用によって耐風安定性の向上を確認できた。なお、この規模の斜張橋での限界風速は非現実的なものであるが、スパンがより長大化した場合、限界風速は十分な照査対象の風速域に入ってくることが予想され、限界風速と照査風速のギャップを埋める一方策として補助ケーブルシステムの適用の可能性があるものと思われる。

【参考文献】1) V.Boonyapinyo, H. Yamada, and T. Miyata: Nonlinear buckling instability analysis of long-span cable-stayed bridges under displacement-dependent wind load, Journal of Structural Engineering, Vol.39A, 1993.3. 2) 本州四国連絡橋公団: 耐風設計基準・同解説, 1976. 3) 星埜・宮田: 長大斜張橋(支間1,000m)の試設計, 橋梁と基礎, 1990.2.

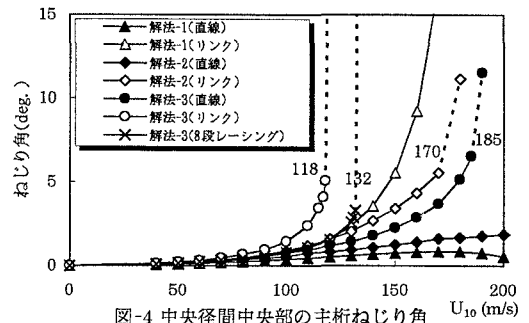


図-4 中央径間中央部の主桁ねじり角

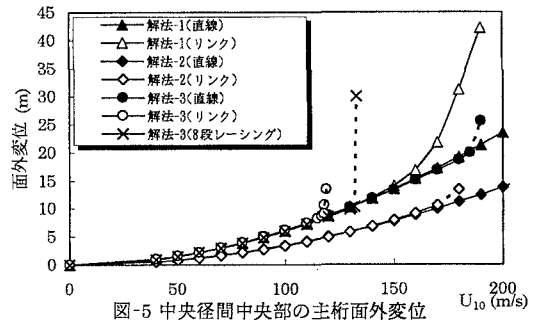


図-5 中央径間中央部の主桁面外変位

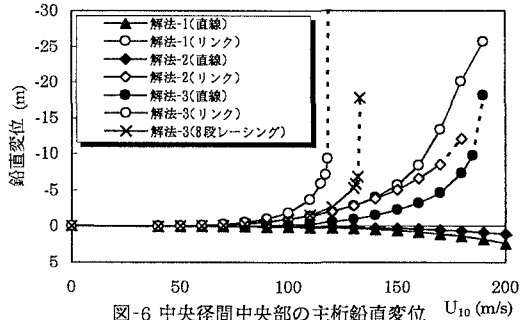


図-6 中央径間中央部の主桁鉛直変位

表-2 補助ケーブルの取り付け段数による効果

取り付け段数	ねじり角(deg)	面外変位(m)	面内変位(m)
8段	3.3	10.344	-6.855
16段	3.8	10.401	-7.803
24段(全段)	3.8	10.361	-7.972

中央径間中央部の主桁に着目(U_{10} :132m/s)

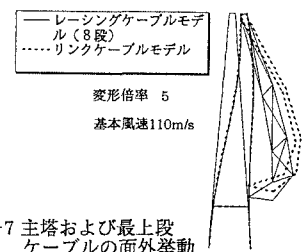


図-7 主塔および最上段ケーブルの面外挙動