

I - B 62

長大吊橋の風による静的不安定現象とその解析手法に関する研究

横浜国立大学大学院 正会員 中村 崇嗣
 横浜国立大学 正会員 宮田 利雄
 横浜国立大学 正会員 山田 均

1. はじめに

中央支間長が2,000mを超える長大吊橋においては、耐風安定性の低下が種々の点で顕著となる。特にスパンの長大化により、吊橋全体系から見た補剛桁の鉛直剛性およびねじれ剛性は非常に小さくなる。この点を考慮し、旧来のスパン長の吊橋ではその発生風速が極めて高いとされた、静的不安定現象（横座屈、ダイバージェンス）の発生の可能性についての検討を行った。ここでスパンの長大化にともない、変位に対する非線形性の影響が強くなることから、最近ではこれを考慮した解析法が用いられるようになってきている。そこで従来用いられていた静的解析手法と比較することにより、解析条件の違いによる影響を検討した。

2. 解析手法について

吊橋の横座屈の可能性は平井ら¹⁾により指摘され、以後岡内ら²⁾による横座屈限界風速算定式が横座屈の照査に用いられてきた。さらには静的解析の手法の進歩により、様々な非線形性が取り込まれた解析が行われるようになってきている³⁾、⁴⁾など。そこで、図1に示す解析手法を用いてある吊橋モデルの静的解析を行った結果を図2に表す。図2より、低風速時における応答は線形・非線形の違いがほとんど見られないが、変位の非線形性の影響が強くなるにつれ応答の差は歴然とすることがわかる。また収束計算を不平衡力ではなく変位で行った場合⁵⁾は、多少安全側の解を与えるようである。

3. 解析モデルおよび三分力特性

解析モデルは2,000m超級のトラス補剛桁、全径間一箱桁およびスピンドルタイプ補剛桁を使用した。またトラス桁断面、一箱桁断面および並列二箱桁断面の三分力特性を図3に示す。図3より、箱桁断面では抗力が小さく、さほど強く受けない反面、揚力および空力モーメント係数の勾配が大きいことから、スパンの長大化により静的不安定現象の発生の危険性が懸念される。一方でトラス桁断面の場合には、抗力の影響が強く風荷重をダイレクトに受けることから、吊橋の各部材の応力レベルの安全性を検証する必要があると推測えられる。

4. 静的不安定現象および応力に関する照査

不平衡力の収束計算を取り入れた解析法による安定解析の結果を図4に示す。ここで、一箱桁およびスピンドル補剛桁吊橋モデルでは、スパンが長大化するにつれて現行の耐風設計基準に基づく設計風速を下回る危険性が高まることが明らかになった。またスパンの長大化にともなってねじれの固有振動数の低下の割合が小さくなるが、この傾向が静的解析の結果にも多少当てはまることから、静的安定性におけるねじれ剛性の寄与の影響は、フラッターよりも強く現れるのではないかとと思われる。次に岡内らによる横座屈限界風速算定式による解を図5に示すが、この式は荷重-変位関係を線形と仮定していることをはじめとする多くの仮定が用いられており、非線形性が強く現れる、より複雑な応答を示す超長大吊橋への適用に際しては疑問が残る。最後に最も風荷重の影響を強く受けるトラス補剛桁吊橋モデルの各部材に作用する応力から見た安全性について、図6に示す。今回は材料非線形の影響を考慮していないため、材料の降伏後の挙動をより厳密に追跡できない。しかし、全体的に見て応力に対する安全性は保たれているとみてよい。

5. まとめ

安定解析の精度の向上による解析手法の進歩により、従来より危険側の解を与えることがわかった。またスパンの長大化により、静的不安定現象の発生の危険性がかなり高まることがわかった。この対策として考えられる、ねじれ剛性の付加については、フラッターより多少効果的であるのではないかとと思われる。今後さらに様々なモデルを用い、また材料非線形の影響なども考慮しながら、より綿密な検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 平井敦：吊橋のねじり振動に対する安定性について、土木学会誌Vol.28、1942年
- 2) 岡内功：風洞実験による吊橋の耐風性に関する研究、pp.237-263、1967年12月
- 3) 謝・長井・山口・伊藤：自定、一部他定式長大斜張橋の静的耐風挙動、構造工学論文集、Vol.42A、1996年3月
- 4) 田平・志水・前田・岩本・長井・藤野：超長大吊橋の耐風安定化対策と暴風時における静的不安定問題、土木学会第52回年次学術講演会、Pp.118-119、キーワード：長大吊橋、静的不安定現象、弾性安定解析、幾何学的非線形性

〒240-8501 横浜市区保土ヶ谷区常盤台79-5 TEL 045-339-4042 FAX 045-331-1707

1997年9月 5) Boonyapinyo, Yamada, Miyata : Non-Linear Buckling Instability Analysis of Long-Span Cable-Stayed Bridges under Gravity and Wind Loads, Journal of Structural Engineering, Vol.40A, 199

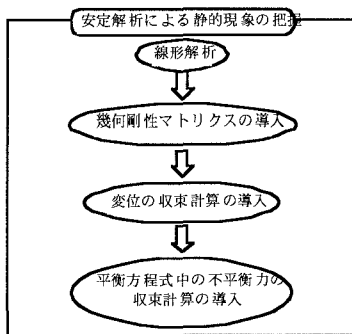


図1. 解析手法の発展

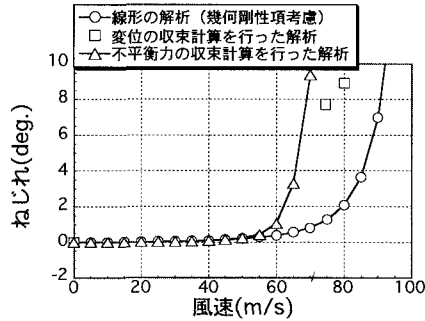


図2 解析手法の違いの影響

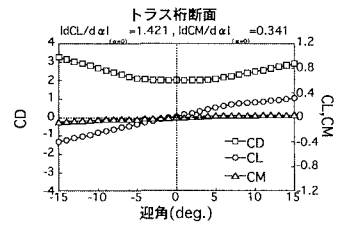
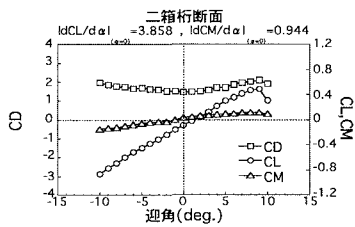
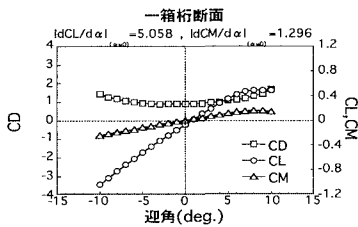


図3. 使用した補剛桁断面の三分力特性

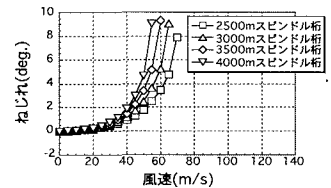
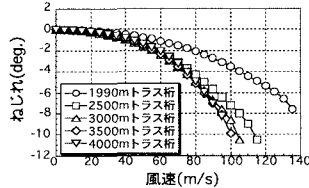
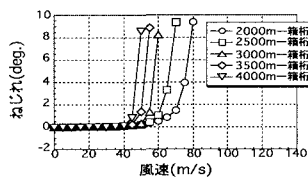


図4. 弾性安定解析結果

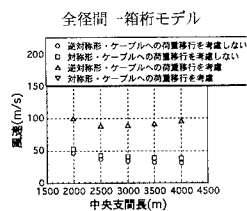


図5. 岡内式による横座屈限界風速

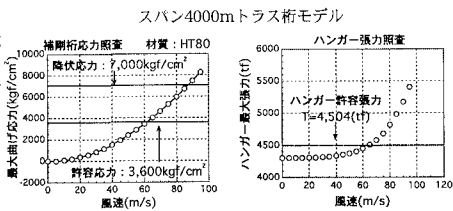


図6. トラス補剛桁吊橋モデルの応力照査