

【討 議】

白石 成人 共著 “長大吊橋の架設時における耐風安定性
 白田 昭典 共著 “長大吊橋の架設時における耐風安定性
 酒井 甚一 共著 “長大吊橋の架設時における耐風安定性
 に関する一考察” への討議

(土木学会論文報告集第 250 号・1976 年 6 月掲載)

▶ 討議者 (Discussion)

伊 藤 学 (東京大学)

By Manabu Ito

橋梁であると建築物であるとを問わず、架設中の構造物はその構造形態が完成時と異なり、剛性も一般に低いなどのために、たとえ期間は短いとはいえ細心の注意を払わなければならないことは、過去におけるいくつかの事故例の教えるところである。この意味で、著者らが架設工法まで考慮した架設時の長大吊橋の耐風性を論じたことは高く評価されるべきであろう。

本論文においても指摘されたように、架設時の吊橋の耐風性に関する既往の検討例は少なく、本論文で引用された白木ら¹⁾ および筆者ら²⁾ による全橋模型風洞実験のほかには、筆者の知る限り、セバーン橋を対象として行われたイギリス国立物理研究所 (NPL) における Smith, I. P. の研究³⁾ を挙げるにとどまる。

この種の問題では一般的結論は導きにくいので、上記の既往の研究成果を参照しながら、本論文の内容に対する筆者の補足的見解を述べることにする。

(1) 本論文では、架設系ステップ 4 という、塔から中央径間に向かって支間長の約 1/4 の長さの桁を張り出した状態が最悪であるとしている。白木らの扱った例でもほぼ似た状況が得られており、これら両者 (図-14(a)) と異なる 図-14 (b) の架設順序を想定した NPL 報告でも、中央支間長の 1/4 弱の長さの桁が達した状態で最低の限界風速を与えている。しかし、どの段階で最低の限界風速を与えるかは、対象とする吊橋の構造形態、諸元などによって異なり、少数の例から経験的に予測することはむずかしい。ちなみに、筆者らの行った単径間吊橋模型の風洞実験では、図-14 (a) の架設順序のもとで閉合間近の状態において最低の限界風速を得た。

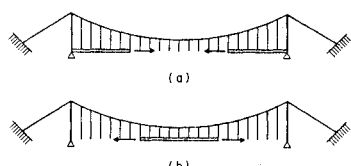


図-14 補剛桁の架設方向

(2) したがって、本論文の 図-8~11 に示されるように、架設段階の進捗に従って限界風速が単純に増大するか否かはいちがいに断定することはできないと思われる。これは前記白木らあるいは Smith による結果からもうかがえるところである。また、著者らの指摘するとおり、ねじりと曲げの固有振動数比が減少して 1 に近づくとも限界風速は低下するとはいえ、限界風速を決定するのは固有振動数比のみでないことは、固有振動数比がより低下する架設初期における限界風速がむしろ高くなる事実から明らかである。

(3) 本論文では二次元模型風洞実験によって三次元構造系である架設時の挙動を考察しているが、この風洞実験に際してどのような振動モード (対称、逆対称のいずれ) を対象としたのか記述されていない。ねじれと曲げの固有振動数比が低い対称モードを対象としたのではないと思われるが、ねじり固有振動数の値そのものは逆対称モードの方が低い場合もある。筆者らの実験²⁾ では、単径間吊橋模型ではあったが、完成系では対称モード、架設系では逆対称モードが支配的であったし、白木らの例¹⁾ では、架設初期段階では逆対称モード、架設後期段階では対称モードが低い限界風速を与えている。

一般には、対象断面に作用する非定常空気力と構造物の動力学的特性を知れば、フラッター限界風速を計算によって求めることは可能である。しかし、長径間吊橋のような構造物では、架設時には風の作用によって完成時とは異なる現象が発現することも十分予想されるので、できれば全体模型を用いた風洞実験による検証が望まれよう。

(4) 特定の架設段階についてみれば、その状態が持続する期間は長くはない。本論文では完成系と同じ設計風速 (図-7) に対して安全性の照査を行っているが、架設時の設計風速は完成系に対するより短い再現期間をとるのが至当である。本州四国連絡橋耐風設計基準(1976)によれば、架設時の設計風速は再現期間を 5 年程度とし、

完成系の 30% 減程度の値を用いてよいとしている。

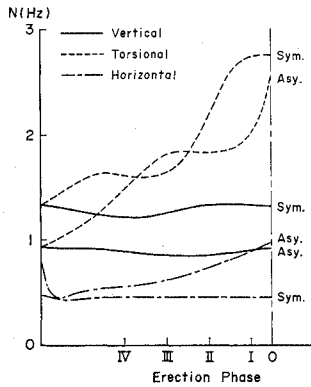


図-15 単径間吊橋模型の架設長と固有振動数の関係例^{2a)}
(支間長 1780 m の原型の 1/125 模型。横軸は 図-14 (a) の場合の架設長を示す。)

(5) 著者らは、将来の課題として、架設時の水平振動とたわみまたはねじれ振動との連成を示唆しているが、筆者らの経験によれば、図-15 にみるように、水平たわみ振動の固有振動数の架設段階による変化は鉛直たわみ振動と同様意外に小さく、したがって、全橋模型風洞実験に際して特に変わった現象は見られなかったことを付記する。

参考文献

- 1a) 白木万博・福沢 清・田中博喜・松井友二：長大つり橋補剛桁架設時の耐風安定性，三菱重工技報，Vol. 7, No. 7, 1970.12.
- 2a) Ito, M., M. Sugiyama and Y. Inagaki: Wind Effects on a Suspension Bridge during Erection, 東京大学工学部総合試験所年報第 33 卷，1974.
- 4) Smith, I. P.: The Aeroelastic Stability of the Severn Suspension Bridge, NPL Aero Rep. 1105, Dept. Scientific & Industrial Res. (UK), 1964.

▶回答者 (Closure) ————— 白石成人 (京都大学)・浦田昭典・酒井甚一郎 (日立造船(株))
By Naruhito Shiraiishi, Akisuke Urata and Jinichiro Sakai

著者らの論文に対し有意義など討議をいただき深く感謝いたします。

この論文は、長大吊橋の架設時における構造安定性を検討する目的から、今回その耐風性について実験的考察を行ったものであるが、これに対する討議者の見解は貴重な問題提起であると考えられる。討議の各項目について著者らの考え方を述べれば次のようである。

(1), (2) 長大吊橋の補剛桁の架設について、どのような架設状態が耐風性の立場からみて最も危険となるかは、討議者の指摘のようにその構造形式、たとえば補剛桁の断面特性、振動特性、ケーブルのタワーでの支持条件などによって異なるものと思われる。討議の中で指摘されているような架設方式で (図-14 (a)), 補剛桁の閉合間近において最低の限界風速が求められたことについて著者らは大きな関心を持っている。その一つは、本論において、架設ステップ 8 あるいは 9 (中央径間センターでの閉合直前) の耐風性が報告されておらず、架設ステップ 10 (閉合状態) との対比ができてない点および架設ステップ 4 (ほぼ 1/4 支間長架設した状態) との対比が行われていないことを指摘している点である。いま一つは伊藤、大竹、杉山の研究¹⁾で対象とした架設方式の中に、図-14 (a) のようなタワー側からの張り出しのほかにスパン中央部に補剛桁の一部が架設された状態 (図-14 (a), (b) の複合形式とも考えられる) が含まれている点である。特に前者について述べれば、文献 (1) では設定迎え角についての記述がないため、著者らの実験

結果と直接対比させて考察することはできないが、中央径間センターの閉合直前の耐風性が check point であることは本文 図-3 “架設長と固有振動数” の関係からも明らかである。しかし、本研究に関してはステップ 8 とステップ 4 の状態は振動数の特性から判断すればステップ 4 の方が危険側と考えられること、また、架設長の増大が耐風性に関する可能性などが挙げられよう。しかしながら、成田、横山²⁾の平戸大橋の架設時に対する耐風性の検討結果においても、スパン中央部の閉合直前において限界状態があることが述べられており、今後このような点についてもさらに詳細な検討が必要であることは討議者の指摘のとおりである。

(3) 本研究で対象とした振動モードは、本文 図-3, 図-4 に示す振動特性より、振動数比が低くかつ架設ステップに応じて求められるねじれ振動数が低い対称振動モードである。長大吊橋の耐風性を評価する場合、どのような振動モードについてそれを検討するかがきわめて重要であるが、この場合振動数比のみで議論できないのは当然である。たとえば、迎え角という因子についてみれば剝離フラッター発生の可能性が高く、断面形状ねじれ振動数が重要な関係パラメーターとして挙げられるべきであると著者らは考えている。また、長大吊橋の振動性状について、対称モードと、逆対称モードのいずれが耐風性の上で重要となるかは場合によって異なるのではないかと考えられる。しかしながら、総体的に逆対称モードが卓越する例は補剛桁の曲げ剛性が相対的に小さい

場合、また、単径間吊橋のようにケーブルの塔頂での拘束が大でかつタワーの剛性が大きい場合などにみられるが、対称モードをとるか逆対称モードをとるかは二次元模型実験では究極的には振動数比に帰着されるところである。この意味で、全体模型による風洞実験が望まれるところであるが、風洞の気流特性、模型の減衰性などの問題点について留意する必要がある。著者らの今回の研究での主たる目的は、こうした点を考慮して長大吊橋の架設時にいかなる断面構成が耐風性の立場から考えられるかを明らかにせんとしたものである。

(4) 架設時の設計風速をいかにとるべきかについては、再現期間の取り方の問題とも考えられるが、完成系に対して考えられる再現期間が100年あるいは50年という比較的長年月となっているのに対し、架設時についてきわめて短い期間を再現期間とすることの妥当性につ

いてはなお検討の余地があるのではないかと考えられる。もとより完成時と架設時とで同じ設計風速を考えることは現実性に乏しいことは否めないが、架設時の種々の構造 (a) 問題点を考慮するとき、設計風速の低減については慎重な配慮が必要であると考えられる。

今後、本四架橋が活発になるにつれて架設上の問題が多く発生し、現実の問題を今までの理論体系を背景として解決していかなければならず、さらに深く研究する次第である。

参 考 文 献

- 1) 伊藤・大竹・杉山：架設中の吊橋の耐風性，土木学会第29回年次学術講演会講演集，1974.10.
- 2) 成田・横山ほか：平戸大橋設計施工調査，耐風性調査報告書，土木研究所資料，第1102号，1975.12.