

関西電力 正員 竹中 秀夫
 東京大学 正員 藤野 陽三
 東京大学 正員 伊藤 学

1. はじめに 吊橋補剛桁が風圧により横座屈する可能性について平井ら¹⁾が指摘し、現在本州四国連絡橋耐風設計指針においても、この現象に対する照査を行うことが要求されている。これまで吊橋の横座屈の照査は、岡内ら²⁾の横座屈に関する限界風速算出式が使われてきた。しかしこれにより算出される従来の吊橋の限界風速はかなりの高風速であり、特に設計上問題はなかった。ところが箱形補剛桁を有する吊橋において、横座屈限界風速が設計照査風速を下回ることがあるという結果が最近報告されている。そこで本研究では、風圧による吊橋の変形特性を明らかにし、さらに岡内らの横座屈限界風速算出式の検証を解析的な立場から行った。

2. 解析方法 薄肉断面部材に対する幾何学的非線形性を考慮した剛性方程式を、長谷川ら³⁾が陽な形で求めており、今回これを有限要素解析プログラムに組み込んだ。そして風荷重を漸次増加させ、つまりは荷重増分法による荷重-変位関係を求めた。横座屈に関して問題となるのはスパン長の長い主径間であるから、解析では主径間のみを対象した。吊橋

表1a 補剛桁の諸元

諸元	箱形補剛桁	トラス補剛桁
スパン長 l (m)	1990	1990
伸び剛性 EA (t)	1.016×10^7	1.016×10^7
ねじれ剛性 GJ (t m ²)	1.300×10^8	1.748×10^8
水平方向曲げ剛性 $E I_{yy}$ (t m ²)	4.020×10^9	6.289×10^9
鉛直方向曲げ剛性 $E I_{zz}$ (t m ²)	1.300×10^9	4.512×10^9
曲げねじれ剛性 $E I_{\omega\omega}$ (t m ⁴)	1.126×10^{10}	2.023×10^{11}
せん断中心位置	ハンガー取付位置	図心より下方へ3.05m
重量 (t/m)	27.19	28.26
投影面積 (m ² /m)	33.00 (床面積)	6.823

3. 箱形補剛桁を有する吊橋の弾性安定性と横

座屈限界風速

箱形補剛桁はトラス補剛桁に比べ迎角に対する揚力係数および空力モーメント係数の勾配が大きく、このため風に迎角が生じるあるいはねじれ変形により相対的に迎角を生じると、急激に補剛桁に作用する揚力と空力モーメントは増大する。表1の諸元をもつものについて解析した結果のうち支間中央部でのねじれ角を図1に示す。このとき揚力係数の勾配 $s = 1.5$ 、空力モーメント係数の勾配 s_t を $0 \sim 2.0$ と変化させた。図1から明らかに横座屈現象の発生が確認できる。この風速-変位曲線の漸近線が限界風速を示すが、ここではねじれ角が 0.1 ラジアン (約 5.7°) 生じたときの風速をもって仮の限界風速とする。一方岡内が線形化した撓度理論より求めた吊橋の横座屈条件式をもとに、空力モーメント係数の勾配が変化したときの限界風速を図2に示し、先の結果と比較する。空力モーメント係数の勾配が小さいときには岡内の式から求ま

表1b ケーブルの諸元

諸元	箱形補剛桁	トラス補剛桁
伸び剛性 EA (t)	1.731×10^7	1.823×10^7
重量 (t/m)	7.64	8.14
投影面積 (m ² /m)	1.764	1.118
抗力係数 C_d	0.7	1.0
サグ比 f/l	$1/8.5$	$1/8.5$

る限界風速は危険側の値を与えるが、これは現実的でない高風速域であることからこの領域での差は特に問題とならない。逆に空力モーメント係数が大きく限界風速が低下する領域では、岡内の式による限界風速は安全側になり、また有限要素解析の結果ともよく一致している。

4. トラス補剛桁を有する吊橋の弾性安定性と横座屈

限界風速 次にトラス補剛桁を有する吊橋について同様の解析を行った。用いた諸元は表1に示す。解析結果は図3である。揚力係数の勾配 $s = 1.5$ 、空力モーメント係数の勾配 s_t を $0 \sim 0.06$ と変化させたが、これによる変形の差はほとんどなく、明らかに横座屈現象とわかる挙動を示す前に、解が発散傾向を示しこれ以上の挙動の追跡ができなかった。この原因として考えられることは、箱形補剛桁と違い作用する三分力のうち抗力が卓越し、揚力、空力モーメントについてはその絶対値が小さいことはもとより、それぞれの係数の勾配も小さい。このため変形が進んでも揚力、空力モーメントともにあまり増加せず、座屈モードが誘導され難いためこのような挙動を示したものと思われる。

5. まとめ

- 1) 揚力と空力モーメントを大きく受ける箱形補剛桁を有する吊橋については、横座屈現象発生の危険性があり、さらにこれを有限要素法により解析することができた。
- 2) 岡内の横座屈に関する限界風速算出式より求まる限界風速は、特に設計照査上問題となるような風速域にあるときは、有限要素解析の結果とよく一致した。
- 3) 箱形補剛桁に比べ空力特性の優れているトラス補剛桁においては、横座屈に関する限界風速は極めて高い。

参考文献

- 1) 平井敦、鋼橋Ⅲ；昭和31年12月、技報堂
- 2) 岡内功、根本紘一、吊橋の風圧による横座屈について；第22回土木学会年次講演会概要集、昭和43年
- 3) Akio Hasegawa、他、A CONCISE AND EXPLICIT FORMULATION OF OUT-OF-PLANE INSTABILITY OF THIN-WALLED MEMBERS；土木学会論文集、第356号、1985年4月

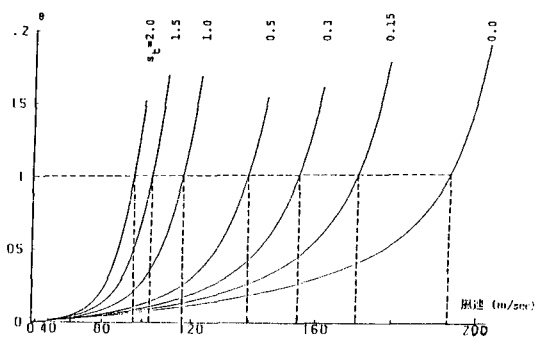


図1 箱形補剛桁を有する吊橋の桁中央部ねじれ角との関係 ($s = 1.5$)

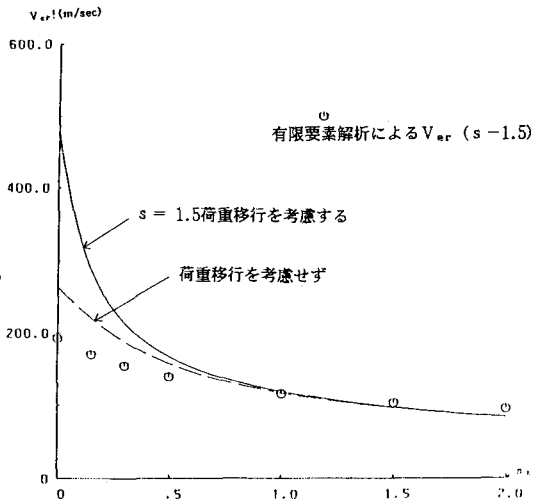


図2 空力モーメント係数の勾配による横座屈限界風速の変化

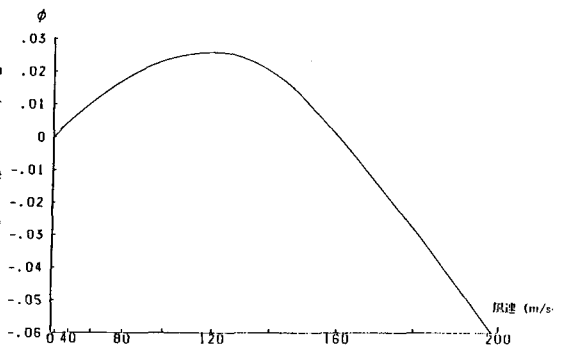


図4-9 トラス補剛桁を有する吊橋の風速と支間中央部での変形
(上図：ねじれ角 下図：ねじれ角)

図3 トラス補剛桁を有する吊橋の風速と支間中央部でのねじれ角 θ