

I-A 239

長大斜張橋のフラッター解析および特性に関する研究

群馬県	正員	塩原 賢
長岡技術科学大学	正員	長井 正嗣
名古屋工業大学	正員	岩本 政巳
東京大学	正員	藤野 陽三

1. まえがき

斜張橋は、近年益々長大化の傾向にあり、このような超長大斜張橋の実現にあたっては、静的、動的な耐風安定性を照査しておく必要がある。また、斜張橋の長大化に伴いケーブル数が増加するため、マルチケーブルシステムが長大斜張橋の振動特性に与える影響が大きいと考える。そこで本研究では1000mを超える長大斜張橋の完成系および架設系を対象に、ケーブル振動との連成を考慮したフラッター解析を行い、その特性を把握するとともに安全性の検討を行う。さらに、近似的にフラッター発振風速を求める Selberg の式より算出した値と本解析結果とを比較し、Selberg 式が1000mを超える長大斜張橋にも適用できるかどうかを検討する。

2. 解析方法

本振動解析は、薄肉理論に基礎を置いた骨組構造解析法による立体振動解析であり、初期断面力による剛性の低下を考慮するために線形化有限変位理論に基づく幾何剛性マトリックスを考慮している。桁および塔ははり要素として定式化している。ケーブルはトラス部材であり、サグによる幾何剛性を考慮している。そしてケーブルの拘束モードを用いた区分モード合成法を適用し、桁・ケーブル系の振動解析¹⁾を行っている。本研究では、以上の振動解析法に、桁およびケーブルに作用する非定常空気力を考慮し（桁の揚力、モーメントについては平板翼理論、桁の抗力およびケーブル空気力については準定常理論）、フラッター解析を行う。

本フラッター解析では解析の煩雑さと計算時間の短縮のために、全体系の固有振動モードを用いて振動方程式をモード座標系に変換するモーダル解析法を用いる²⁾。この方法を用いると採用モード数により解析結果に差異が生じるが、採用モード数を多くすることで解析結果が収束することが知られている。本研究では、収束した解析結果を得るために必要な採用モード数をモデルごとに特定し、特定された採用モード数を用いてフラッター解析を行う。

本研究で解析するモデルは、スパンが1400mの斜張橋の完成および架設系である（桁幅36m、桁高4.4m）。主桁の圧縮軸力による座屈耐力と設計風速以下の風荷重に対する面外の静的安定性は、別途検討を行い確保されている。架設系モデルは完成系の右半分を取り去った張出し状態であり、フレキシブルな系となっている。

フラッター解析結果の一例として、図-1に風速の上昇に伴う対数減衰率の変化を、図-2にフラッ

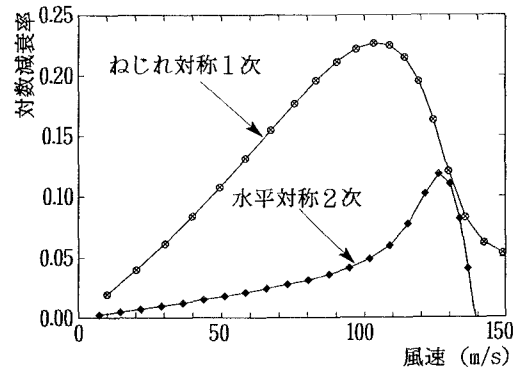


図-1 風速—対数減衰率曲線

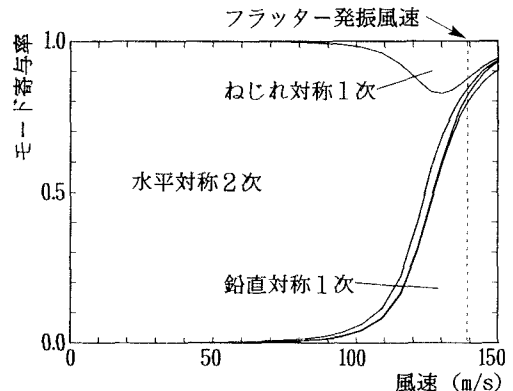


図-2 フラッターモードのモード奇与率

ター起点モードのモード寄与率を紹介する。このケースでは水平対称2次モードが起点モードである。同モードのモード寄与率は、無風次には水平対称2次成分が全体を占めているが、フラッター発振風速においては鉛直対称1次およびねじれ対称1次モード成分が卓越しており、曲げねじれフラッターと考えられる。

3. フラッター解析結果と考察

ケーブルが受ける非定常空気力は、減衰力として全体振動に影響を与える。特に本モデルのような多くのケーブルを持つ斜張橋では、その減衰効果は無視できないと考えられる。そこで、主桁のみに非定常空気力を作用させた解析結果（ケース1）と、主桁、ケーブルともに非定常空気力を作用させた解析結果（ケース2）とを比較し、ケーブルに作用する非定常空気力がフラッター特性に及ぼす影響を調べる。また斜張橋では、全体系の固有振動数とあるケーブルの固有振動数との比が1に近づけば、ケーブル振動と全体振動とが内部共振を起こし、そのケーブルはTMD（同調質量ダンパー）として減衰効果を発揮することが予想される³⁾。本モデルのような非常に多くのケーブルを持つ斜張橋では、ケーブルの固有振動数が広範囲におよぶためにケーブルシステムがMTMDとして全体振動の減衰力を増加させると考えられる。そこで局部ケーブル振動を考慮した解析（ケース3）を行い、ケーブルのTMDとしての効果がフラッター特性に与える影響を調べる。これらの解析結果を表一1および表一2に示す。完成、架設系ともケース1に対してケース2の方が若干フラッター発振風速が上昇する。また、ケース3ではさらにフラッター発振風速が上昇する。これより、マルチケーブルシステムを有する斜張橋では、ケーブル振動がフラッター発振風速を向上させることがわかる。また、この傾向は架設系で特に顕著である。

表一1 ケーブルがフラッター特性に及ぼす影響（1400m 完成系）

ケース	ケーブル空気力	局部ケーブル振動	フラッター風速(m/s)	起点モード
1	非考慮	非考慮	137.9	水平対称2次
2	考慮	非考慮	138.7	水平対称2次
3	考慮	考慮	140.7	———

表一2 ケーブルがフラッター特性に及ぼす影響（1400m 架設系）

ケース	ケーブル空気力	局部ケーブル振動	フラッター風速(m/s)	起点モード
1	非考慮	非考慮	117.5	鉛直3次
2	考慮	非考慮	119.3	鉛直3次
3	考慮	考慮	156.5	———

次に、Selberg 式と本解析結果とを比較した結果を表一3に示す。これによると、Selberg 式より算出した結果は本解析結果と比べて常に小さい。これより Selberg の簡易式は、1000m を超える斜張橋に対して安全側となることがわかる。

3. まとめ

マルチケーブルシステムを有する斜張橋では、ケーブル振動によるTMD効果により、ケーブル振動がフラッター発振風速を向上させることがわかった。この傾向は架設系において特に顕著であった。フラッター発振風速を求めるための簡易式である Selberg の式は、スパンが 1000m を超える長大斜張橋において、安全側の値を示すことがわかった。本解析によりもとめられたフラッター発振風速は、通常設定する設計風速（約70m/s）に対してかなり高いことがわかった。

参考文献 1) 長井、川畑、岸本、奥井、菊池：ケーブルにモード座標を用いた桁・ケーブル系の固有値および応答解析，構造工学論文集、Vol.38A，1992. 2) 岩本、藤野、長井：三次元有限要素モデルによる長大斜張橋のフラッター解析，土木学会第48回年次講演会，1993. 3) 藤野、孫、山口：マルチプルTMD・TLDの特性の把握，構造工学論文集、Vol.38A，1992.

表一3 Selberg 式との比較

	本解析結果 (m/s)	Selberg 式 (m/s)
完成系	137.9	117.5
架設系	119.3	81.0