

風荷重により水平変形した吊橋のフラッター解析について

九工大 学生員○榊 一平 九工大 正 員 山口栄輝
 九工大 学生員 長尾悠太郎 九工大 正 員 久保喜延

1. はじめに

現在、海峡横断プロジェクトなどにおいて、明石海峡大橋を上回るスパンの超長大橋梁が計画されている。スパンが増加すると、固有振動数が低下し曲げねじれ連成フラッターの発振風速が低下するため、このような超長大吊橋においてはフラッター特性の把握が重要な課題となる。

フラッター発生時にはその発振風速に応じた風荷重が作用しており、柔構造化した長大吊橋はかなりの大きさの水平変形を伴うものである。したがって、この変形の影響を考慮したフラッター解析により発振風速を求める必要がある。そこで、立体骨組フラッター解析法を風荷重により水平変形した吊橋系に適用し、このような状態でのフラッター解析を行った。

2. 解析方法

2.1 解析モデル

対象とした解析モデルは図1に示すような主径間長 2000 m, サグ比 1/10 の単径間吊橋, 3 径間吊橋および 4 径間吊橋で、側径間長は既往吊橋の平均値である主径間長 3 分の 1 程度に設定している。主桁形式は図2に示すような箱桁を想定し、桁高 7m, 桁幅 40.9m, 空気力係数 $C_D=0.75$, $C_L=-0.35$, $C_M=-0.02$ と仮定した。ここで、主塔の構造諸元については明石海峡大橋のものを参照し、全ての主塔を同一の諸元に設定した。

2.2 解析手法

吊橋を立体骨組モデルに置き換え有限要素法で離散化し、直接法による立体骨組フラッター解析¹⁾を行う。なお、解析の簡略化を考えて構造減衰項は省略している。また、主桁に作用する非定常空気力には平板翼の空気力を用いることとし、全てのモデルで同一の空気力を作用させた。

フラッター解析において風荷重による水平変形の影響を考慮する場合には、従来の完成形状における剛性マトリクス K の代わりに水平変形後の剛性マトリクス K' を用いて、立体骨組フラッター解析を行うことになる。しかしながら、この K' は風速の二乗に比例する風荷重による変形後の座標と部材力によって決定される。したがって、図3に示すように風荷重を求める際に仮定した風速 V と、変形後の剛性マトリクス K' を用いたフラッター解析によって求められる発振風速 V_{cr} とが一致するまで収束計算を繰り返すこととなる。

なお、吊橋への静的な風荷重の载荷は主ケーブル、ハンガー、主塔については抗力のみを、主桁については図2の空気力係数による三分力を作用させるものとし、三分力の迎角による変化は考慮していない。

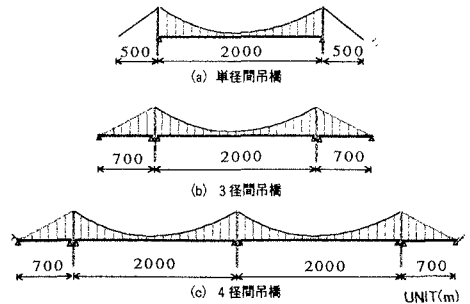


図1 解析対象モデル

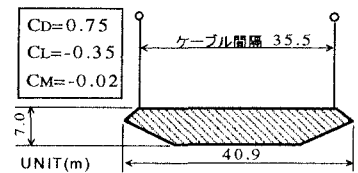


図2 主桁断面

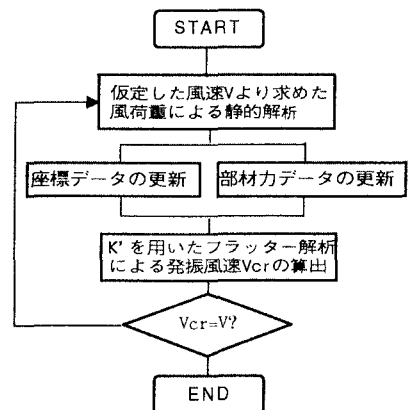


図3. 風荷重による水平変形を考慮したフラッター解析

3. 解析結果および考察

風荷重による水平変形を無視した場合、考慮した場合のフラッター解析より得られたそれぞれの発振風速を表1に示す。また、フラッターモードについては水平変形を無視した場合のもののみを図4に示す。

3. 1 それぞれの吊橋のフラッター特性

水平変形を無視したフラッター解析結果について、それぞれの吊橋のフラッター特性を比較する。まず、図4(a)の単径間吊橋のフラッターモードを見ると、鉛直対称2次とねじれ対称1次の連成モードとなっている。ここで、フラッターモードの鉛直成分が対称1次になっていないのは、単径間吊橋ではバックステイによる拘束が強いことに起因すると考えられる。また、図4(b)の3径間吊橋のフラッターモードは、鉛直対称1次とねじれ対称1次が連成した形となり、図4(c)の4径間吊橋では中央塔がねじれ変形することにより吊橋全体としては鉛直、ねじれ共に逆対称モードとなっている。

一方、フラッター発振風速は単径間吊橋で 72.4m/s、3径間吊橋で 91.9m/s、4径間吊橋で 71.9m/s と、単径間吊橋、4径間吊橋の方が 20m/s 程度低くなり、耐フラッター性において同一主径間長の3径間吊橋より不利になる場合があることが分かった。

3. 2 水平変形がフラッター特性に及ぼす影響

表1の結果より、風荷重による水平変形を考慮することによるフラッター発振風速の変化は 2 m/s 以下であった。また、フラッターモードについても水平変形を考慮した場合と、水平変形を無視した場合(図4)とで良く似た形状のものであったため、水平変形がフラッター特性に与える影響は小さいといえる。

いずれのモデルについても風荷重による主桁の最大水平変位は 10m 前後となった(表2)。しかし、明石海峡大橋の場合、設計基準風速 60m/s において水平変位が 30m 程度発生するとの報告もある。したがって、比較的大きな水平変位が生じる吊橋系について、この変形を考慮したフラッター解析を実施して、水平変形がフラッター特性に与える影響についても検討する必要があると思われる。

4. まとめ

同一主径間長の吊橋でも径間数が異なると、そのフラッター特性も大きく異なることが分かった。また、本研究で対象とした吊橋ではフラッター解析に風荷重による水平変形を考慮しても、これがフラッター特性に与える影響は小さいことが分かった。参考文献 1) 宮田利雄ほか：立体骨組解析法による横たわみしたトラス補剛吊橋の曲げねじれフラッター解析,土木学会論文集,第 404 号/I-11, pp267-275,1989.4.

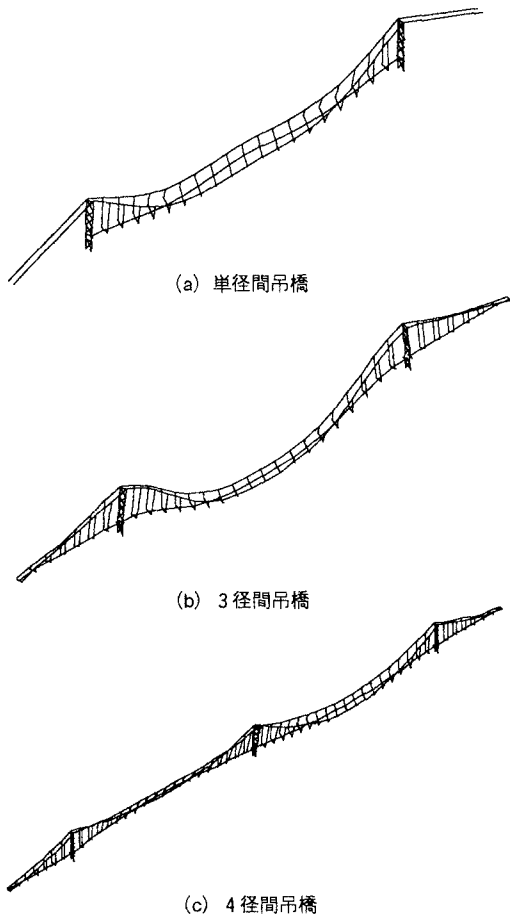


図4. 水平変形を無視した場合のフラッターモード

表1. フラッター発振風速の比較

	変形無視 V_{cr1} (m/s)	変形考慮 V_{cr2} (m/s)	$V_{cr2}-V_{cr1}$ (m/s)
単径間吊橋	72.4	72.9	+0.5
3径間吊橋	91.9	90.2	-1.7
4径間吊橋	71.9	71.7	-0.2

表2. 風荷重作用時の主桁最大変位

	水平変位 (m)	鉛直変位 (m)
単径間吊橋	8.5	-1.7
3径間吊橋	11.8	-3.8
4径間吊橋	7.9	-2.3