

九州工業大学 正員 ○ 久保喜延

九州工業大学 正員 加藤九州男

1. まえがき 長大橋梁の設計において、提案された橋梁断面が風の作用によって振動を生ずる可能性があるか否かの判定を設計当初にすることができれば、断面選定において大きな助けとなる。この目安が、提案断面の空力弾性振動がどの程度の風速で発生するかということ、即ち発振風速がどの程度であるかということである。現段階でこの判定を正確に行なおうとすると、特定の断面の特定の現象に限られるのが実状である。円柱・箱型断面柱・H型断面柱等のようなBluff-bodyの曲げ振動における渦励振の発振風速および平板状断面柱の曲げ振れフラッターなどの発振風速はある程度の精度で推定可能である。しかしながら、一般の橋梁断面では空力弾性振動の発生メカニズムが十分に解明されていないこともあって、この発振風速の推定はかなり困難である。この発振風速の推定を可能にすることを目的として、著者等は橋梁断面を単純化した断面であると同時に、曲げ振動および振れ振動が共に発生する断面である偏平H型断面柱を対象として実験的研究を行って来ている。中村等は、H型断面柱および箱型断面柱を用いて、これらに生ずる渦励振はエッチトーン現象とみることができるとしている。観点を変えれば、これらのエッチトーン現象とみなされるBluff-bodyの空力弾性振動は、Bluff-bodyの前縁から剝離した渦の流下パターンの差による現象としても理解できるとの立場に立って、著者等は研究を進めて来ている。本研究では動的表面圧力分布の測定から物体表面を流下する渦の分布状況を推定し、これを渦の発生振動数をもとにした無次元量であるストローハル数と関係づけて発振風速の推定法を検討している。

2. 応答と発振風速 本研究に用いている模型はFig.1に示すようにウェブ長 $B=280\text{mm}$ とした偏平H型断面柱で、前縁および後縁フランジの高さをそれぞれ変更できるようにしたものである。また、ウェブ表面上には表面圧力を測定するための圧力測定孔が9点設けられている。この系の固有振動数は振れ振動数 $F_T=10.0\text{Hz}$ (10.6Hz --- 1自由度系の場合)、曲げ振動数 $F_B=5.25\text{Hz}$ で、対数構造減衰率はそれぞれの振動モードに対して $\delta_T=0.0032$ 、 $\delta_B=0.0072$ である。Fig.2は前縁フランジ高 $h_1=42\text{mm}$ ($h_1/B=0.15$)、後縁フランジ高 $h_2=56\text{mm}$ ($h_2/B=0.20$)とした断面 H-15-20のたわみ(曲げ)振動および振れ振動の応答図である。これによると、たわみ振動の発振風速は $V=1.25\text{m/s}$ および $V=2.5\text{m/s}$ となっており、振れ振動の発振風速は $V=3.1\text{m/s}$ および $V=7.4\text{m/s}$ となっている。また、ウェブ長を代表長としたストローハル数は $St=0.59$

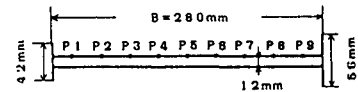


Fig.1 供試模型

である。ストローハル数から推定される渦励振の発振風速は、たわみ振動の場合は $V=2.5\text{m/s}$ となって高風速側の発振風速とは一致するが、低風速側の発振風速の説明はできない。また、振れ振動について見ると、ストローハル数から推定される発振風速は $V=5.05\text{m/s}$ となり、応答実験結果とはかなりかけ離れたものとなっている。すなわち、振れ振動の場合はストローハル数の定義からその発振風速を単純に推定することが困難であることを裏付けている。しかしながら、この空力弾性振動は物体上に発生している渦の働きによるものであることは確かであると考えられるから、物体上に分

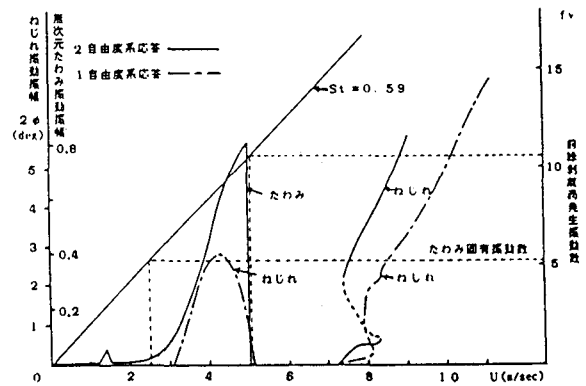


Fig.2 H-15-20断面柱の空力弾性応答図

布している渦の配置を検討することによりこの発振風速との関係を見い出せるはずである。そのために表面圧力分布の測定を行い、変位波形を時間の基準にとって、各測点の変位に対する圧力の位相差を求めた。この位相差の分布図から、著者等が提案してきている渦の配置を知る方法を用いて各振動状態における渦の分布状況について考察すると以下ようになる。

3.発振風速の推定式 渦分布の特性を述べると、振動時にウェブ上に分布する渦間距離の半分を ℓ とした場合、 m を整数とすると、たわみ振動時にはウェブ長 B との関係がほぼ $B=2 \cdot m \cdot \ell$ となっており、捩れ振動時には $B=(2 \cdot m - 1) \cdot \ell$ となっている。これをストローハル数と関係づけて発振風速 V_0 の推定式を作ると次式のようにになる。

$$V_0 = f \cdot B / S_t \cdot n \quad V_c: \text{発振風速} \quad f: \text{固有振動数} \quad B: \text{代表長} \quad S_t: \text{ストローハル数}$$

$$n = 0.5 \cdot (2 \cdot m) \quad \text{----} \quad \text{たわみ振動に対して} \quad n = 0.5 \cdot (2 \cdot m - 1) \quad \text{---} \quad \text{捩れ振動に対して}$$

Fig.2に示した場合の空力弾性振動の発振風速の推定を行うと、Table-1のようになる。これによると、捩れ振動の $m=1$ 以外の場合、すなわちフラッターを除いたものについては実験値と推定値とはほぼ一致しており、上式による推定が妥当であることを裏付けている。またフランジ高がウェブ長のそれぞれ10%, 15%, 20%, 25%であるH-10-10、H-15-15、H-20-20、H-25-25の各偏平H型断面柱の捩れ振動の応答結果がFig.3である。これらに対して上式で推定した発振風速値と実験値とを比較すると、Table-2のようになり、H-15-20の場合程の精度ではないが、10%程度の誤差での推定が可能となっている。また、上記の推定式によると捩れ振動においても曲げ振動においても m に対応して無限個の振動が発生する可能性が有ることを示唆しているが、低風速域になればなるほど作用空気力もそれだけ小さくなるため、 m の大きい風速域では振動は発生しにくくなる。現実的には $m=1, 2$ が主に発生すると考えられる。Fig.4は模型重量が極端に軽い状態で、後縁形状が空力弾性振動におよぼす影響について検討したものの結果である。これによると、 $m=3$ に対応する捩れ振動の発生を見ることができ、本推定式の一つ裏付けとなるであろう。

4.まとめ 偏平H型断面を用いて、表面圧力分布の位相差から物体表面上における渦の分布を推定することにより、発振風速の推定を行ったところ、提案式によって渦励振域における発振風速の推定がかなりの精度で行えることがわかった。しかしながら、フラッター域についての推定にはさらに詳しい検討が必要である。特に、不安定ナリミットサイクルを有するフラッターの特性に対する考察を加えることが、フラッター域の発振風速推定の鍵となると考えられる。この点に着目した研究を今後進めて行くつもりである。

Table 1 発振風速の比較(H-15-20)(m/s) Table 2 ねじれ振動の発振風速($m=2$)(m/s)

振動	m	推定式	実験値
たわみ	1	2.5	2.5
振動	2	1.3	1.3
ねじれ	1	9.5	7.9
振動	2	3.16	3.1

断面の種類	推定式	実験値
H-10-10	---	3.45
H-15-15	3.14	2.80
H-20-20	3.27	2.95
H-25-25	3.06	2.60

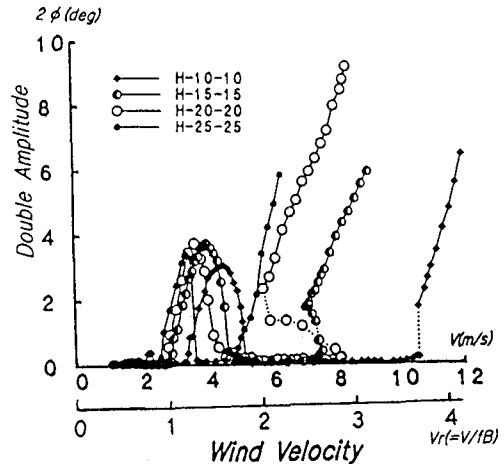


Fig.3 種々の偏平H型断面の応答

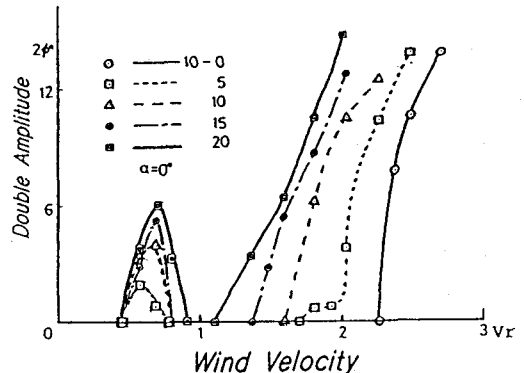


Fig.4 軽い模型による偏平H型断面の応答