

矩形断面柱の表面圧力特性と応答特性

九州工業大学 学生員 三河克己
九州工業大学 正 員 久保喜延
九州工業大学 学生員 広中忠孝

1. まえがき 橋梁断面に生じる空力弾性振動の発生機構解明のために、著者等は基本断面であるH型および矩形断面柱を用いて検討を重ねてきた¹⁾²⁾。それらの実験的考察から、物体振動に伴って物体の前縁より剥離した渦が存在するところで、最大の負圧が働くとなると、そのフローパターンの違いで断面に作用する力の分布が変化し、渦励振現象におけるたわみ振動および捩れ振動が生じることを導いた。そこで、今回は捩れ1自由度振動応答実験において、捩れ中心を断面中心から上下流に偏心させた場合、物体振動の影響によって励振現象がどのように変化するのか、その起因となる物体表面上の流れの特性を調べることにした。

2. 実験方法 風洞は、測定断面 1070×1070mm の空力弾性試験用風洞を使用した。供試体は、 $B/D=6$ (断面幅: $B=300\text{mm}$, 断面高: $D=50\text{mm}$) の矩形断面柱で、表面に圧力孔を10個埋め込んだものを用いた。

応答実験は、捩れ1自由度系およびたわみ1自由度系で行った。捩れ1自由度系の実験において、図-1に示したように、支持点を①(これを実験①とする)、②、③、④、⑤点と移動させ、模型が水平に設置できるようにカウンターウェイトでバランスをとると共に、極慣性モーメントが一致するようにした。また、支持点を断面中心にした実験③において、強制加振実験で非常圧力測定を行った。加振振動数は4Hz、加振振幅は $2\phi=1^\circ$ (捩れ振動実験)、 $2A=1\text{mm}$ (たわみ振動実験) とした。

3. 実験結果と考察 実験③のたわみ1自由度および捩れ1自由度振動応答を換算風速 ($V_r=V/fD$) で表現したものを図-2に示す。従来より報告されている V_{cr} (共振風速)、 $V_{cr}/2$ でたわみ渦励振が発生しており、たわみ振動と捩れ振動が交互に現われることが分かる。そこで、応答が出現している風速域において圧力測定より求めた振動変位のピークと非常圧力のピークとの位相差特性を図-3に示す。横軸は、前縁から圧力測定点までの距離を模型幅で割った値で表し、前縁の位相差を零とした。この分布図より、前縁剥離渦が後縁に達するまでに、 $V_r=6$ では2周期(720°)、 $V_r=6.5$ では1.5周期(540°)、 $V_r=12$ では1周期(360°)、 $V_r=30$ では0.5周期(180°)要していることが分かる。そこで、剥離渦のフローパターンを推定すると、図-4のようになる。

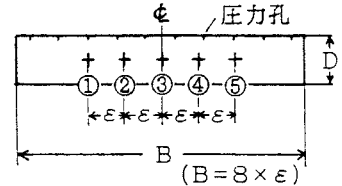


図-1 供試体断面図と捩れ中心位置

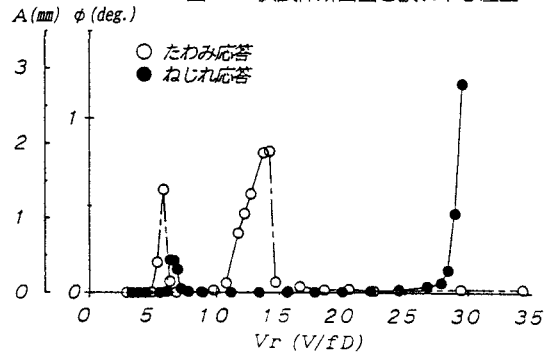


図-2 空力弾性振動応答

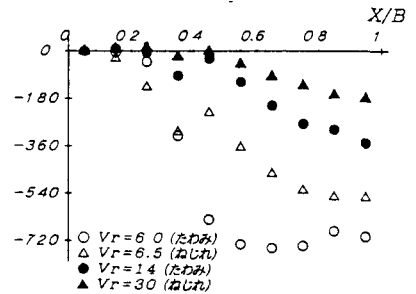


図-3 圧力測定より求めた位相差分布

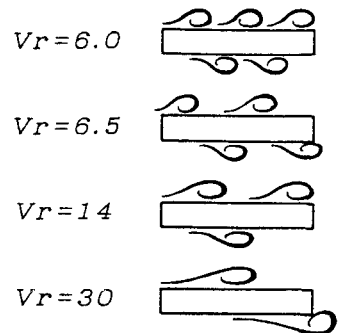


図-4 推定フローパターン

ここで、振れ中心を偏心させた応答実験 ϕ (deg.) の結果を図-5に示す。

まず、実験②では、振れ渦励振応答は、実験③の応答と同じ風速域 ($Vr=5$ 付近) から発振している。しかし、振動振幅は実験③の応答と比べ約2倍と大きくなっている。これは、全実験パターンを通して最大値をとる。また、フラッターは実験③のものに比べ発振風速域は低風速側に移っている。

実験①では、振れ渦励振応答は、やはり、実験③の応答と同じ風速域から発振している。

振幅も実験③の応答と比べると大きくなっている。フラッターは実験②よりも、さらに低い風速域から発振していることが分かる。

実験④では、振れ渦励振は出現しない。フラッターは、実験③よりも高風速域から発振している。

実験⑤では、振れ渦励振とフラッターは出現しない。

これらの結果から、位相差分布より求めたフローパターンをふまえて考察すると、振れ渦励振は、実験①, ②, ③で発振風速が変化してないことから、振れ中心を変化させてもフローパターンは、同じ風速域で大差はないと考えられる。また、振れ中心を上流側に移動させると、振れ渦励振の振幅が大きくなることと、下流側に移動させた実験④, ⑤における振れ渦励振、実験⑤におけるフラッターが出現しなかったことについては、前縁側の渦よりも後縁側の渦の方が振動を励起するエネルギーが大きく、支配的であると考え、実験①, ②では、支持点までの距離が長くなり作用するモーメントが大きくなることで振幅が増大することとして現われ、実験④, ⑤では、逆に支持点までの距離が小さくなり作用するモーメントは微弱になって、実験④ではフラッターを、実験⑤では振れ渦励振とフラッターを励起するまでに至らなかったと考えられる。また、振れ中心が上流側に移るに従い、フラッターの発振風速が低くなるのは、発振風速付近のフローパターンと支承点との位置関係が深く関係していると思われる。実験③のフラッター発振風速付近 ($Vr=25$) の位相分布は図-6であり、そのときのフローパターンは図-7のように推定される。この渦による負圧の作用点と振れ中心との位置関係よりフラッターが発振すると考えると、振れ中心を上流側に移動させると、同様の位置関係になるには、より低い風速域になることが分かる。

4. まとめ 振れ中心を偏心させたことによる応答変化について、圧力測定による位相特性から求めたフローパターンより考察を加えた。その結果、確かに応答の変化がみられ、空力弾性振動は、表面上の渦のフローパターンに大きく影響をうけること、また、前縁側よりも後縁側の渦の方が、振動励起に対して重要な役割をもつことが分かった。今回は、瞬間時のフローパターンのみで結論づけたが、今後振れ中心を変化させたときの非定常圧力測定を行い、その圧力変化をも含めた考えが必要だと思われる。

5. 参考文献 1) 久保, 宮地: 偏平H断面柱のフラッターメカニズムに関する研究, 土木学会第39回年次学術講演会概要集. 2) 久保, 三河: 流れの可視化による構造断面柱の表面流れに関する考察, 土木学会第45回年次学術講演会概要集.

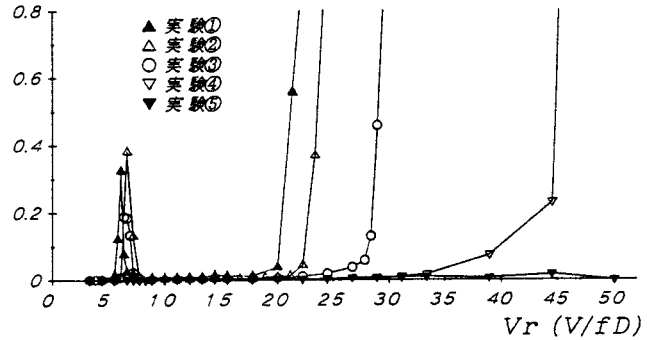


図-5 振れ中心の変化による応答特性

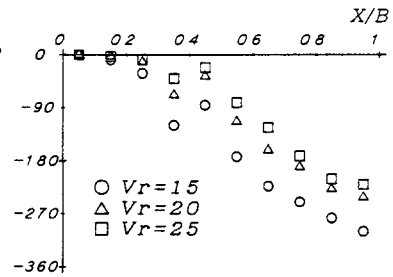


図-6 フラッター発振域の位相差分布

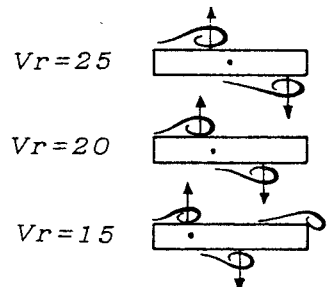


図-7 フラッター発振域のフローパターン