

角柱の背後に位置する円柱の空力振動特性に関する研究

徳島大学大学院 学生員 ○片山 真文 徳島大学工学部 フェロー 宇都宮 英彦
 徳島大学工学部 正員 長尾 文明 徳島大学工学部 正員 野田 稔

1.はじめに ウェークギャロッピングの発生原因は,上流側円柱の後流であることはよく知られている.しかし,円柱の剥離点はレイノルズ数の影響を受けている.本研究では,上流側円柱を単なる後流発生源とみなし,レイノルズ数の影響を除くために上流側円柱を角柱に置き換え,下流側円柱の2自由度ばね支持応答実験および,角柱後流の風速分布の測定を行った.そして,角柱の寸法や角柱と円柱の鉛直方向の相対変位(以下偏心(記号: e)と記す)が後流側円柱の応答に及ぼす影響について検討した.

2.実験概要 実験には,押し込み式 N.P.L 型風洞(測定胴部: $0.9\text{m} \times 1.5\text{m} \times 4\text{m}$)を使用した. Fig.1 に示すように,角柱の剥離点から直径 $D=40\text{mm}$ の円柱中心までの距離を水平距離: c として直列に配置した.また下流側円柱を上方に移動させて偏心量: e を与えた.下流側円柱の振動は,デジタルビデオカメラと変位計で水平変位,鉛直変位を測定した.角柱後流の風速分布については,X型熱線風速計を用いて主流・鉛直成分を測定した.

3.実験結果 (1) 寸法の変化の影響 Fig.2 に上流側に辺長比 $b/d=1$ の角柱を設置し寸法を変化させた場合の V - A 図を示す.角柱と円柱の水平間隔は $c/D=3$ とし,角柱の厚み d を $d/D=0.075$ から 1.25 の範囲で変化させた. $d/D=0.075, 0.125$ では寸法の増加に伴い応答量は増加し,発振風速は減少している.しかし $d/D=0.25$ からの応答は不安定なリミットサイクルを有するハードフラッタータイプの応答特性を示し,このリミットサイクルは寸法の増加に伴い減少した.さらに,一番大きいもの($d/D=1.25$)は振動しなかった.

(2) 偏心量の影響 上流側に辺長比 $b/d=1$ の角柱を設置し偏心量の影響を検討した. $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ の角柱を設置した時の鉛直方向および水平方向の応答を Fig.3 に示す.偏心量 $e/D=0.15$ 以下では偏心の影響はほとんどない.しかし,偏心量 $e/D=0.20$ 以上に偏心量が増加すると発振風速の増加や,不安定なリミットサイクルが観測され,振幅は偏心させない時よりも大きくなった.さらに水平方向に大きな振幅が測定された.次に $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ の角柱を設置した時の鉛直方向および水平方向の応答を Fig.4 に示す.偏心させない場合($e/D=0$)ではハードフラッターのような応答を示すが,偏心量 $e/D=0.2, 0.4$ では振動しなかった.しかし,偏心量が $e/D=0.6$ 以上になると再び振動が発現し,偏心量 $e/D=0.6, 0.8$ はハードフラッターのような応答,偏心量 $e/D=1.0, 1.2$ はソフトフラッターのような応答になる.また偏心量が増加すると,水平方向の応答も顕著となる.

(3) 水平間隔の影響 下流側円柱の応答は上流側角柱の厚み d も関連していると考え,振幅・風速をそれぞれ $2Y/d$, V/fd と無次元化し,水平間隔 c/d が等しい場合の応答を検討した. $c/d=24, 12, 3.5$ と変化させた時の結果を Fig.5 に示す. $c/d=24$ では $d/D=0.075, 0.125, 0.25$ の間で発振風速,振幅が共にほぼ一致している.しかし $c/d=12$ の場合は $d/D=0.125, 0.25$ では発振風速や振幅がある程度一致しているが, $d/D=0.5$ では振動しておらず,他の2つとは異なる応答を示している. $c/d=3.5$ の場合は $d/D=0.5, 0.75, 1.0$ の時で振幅がある程度一致し,共にハードフラッターのような応答を示している.よって c/d が等しい場合の下流側円柱の応答は, $d/D=0.075, 0.125, 0.25$ と, $d/D=0.5, 0.75, 1.0$ の2つのグループが存在し,それぞれのグループ同士は振幅・風速に $2Y/d$, V/fd を用いて整理できると考えられる.

(4) 角柱後流と円柱の振動特性との関係 角柱の剥離点からの水平距離 c/d を $2 \sim 120$ で変化させ,それぞれの水平距離で,鉛直方向に $y/d=\pm 12$ の風速をX型熱線プローブにより測定した.ここで風速が一定になるまで回復しているところを角柱後流幅として,モデル化を行った.さらにその結果を用いて直列配置($e/D=0$)における2自由度ばね支持応答実験で得られた振幅や発振風速との関係を考察した.ここでは応答実験でソフトフラッターやハードフラッターのような応答を示したものをソフト型・ハード型と表記する.まず振幅は, Fig.6 に示す通り振幅を d で角柱後流幅を D で無次元化したものとの間に高い相関関係がある.また発振

キーワード 角柱後流, 下流側円柱の振動, 直列配置, 偏心

徳島大学工学部建設工学科風工学研究室 〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1 TEL/FAX 088-656-7323

風速は, Fig.7(a)に示す通り, 発振風速と角柱後流幅を共に d で無次元化したものとの間に高い相関関係がある. しかし Fig.7(b)から分かるように角柱後流の幅を d で無次元化したものでは, ソフト型とハード型の違いを明確に言えない. よって Fig.8 のように角柱後流の幅を D で無次元化したときの発現タイプの分布を見ると, 角柱後流の幅 W/D が1より小さい場合にはソフト型, 1より大きくなるとハード型の応答になることが分かる. よって, 下流側円柱の振幅は, 振幅を d で角柱後流の幅を D で無次元化することにより, 発振風速は風速と角柱後流の幅を d で無次元化することにより推定できる. さらに不安定性については, $W/D < 1$ でソフトフラッター型, $W/D > 1$ でハードフラッター型となる.

4. まとめ 下流側円柱がどの風速で発振しどのような振動応答を示すかは, 角柱後流の幅や角柱と円柱の相対的位置関係によって決定される. また偏心によっても振動応答は変化する. さらに偏心量が大きくなるとそれに伴い水平方向の応答が大きくなる.

<参考文献>

- 1) F. Nagao et. al., 'Aerodynamic Properties for Closely Spaced Triple Circular Cylinders' 5th APCWE, Kyoto, pp.149-152, 2001.
- 2) 宇都宮英彦 他, '角柱後流の作用による円柱の空力振動特性に関する研究', 第17回風工学シンポジウム論文集, pp.309-314, 2002.

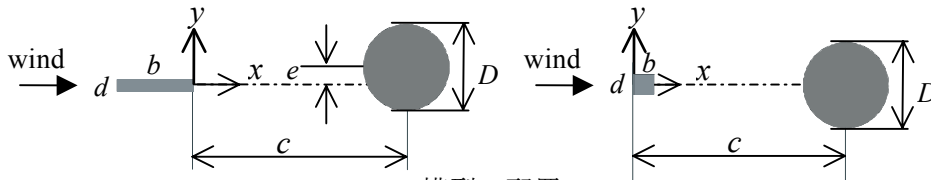


Fig.1 模型の配置

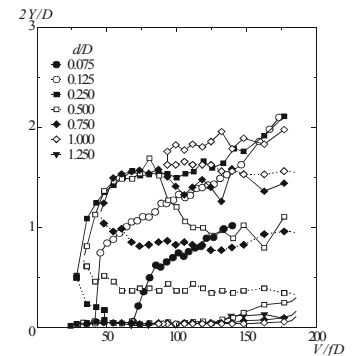
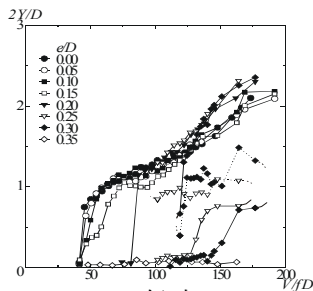
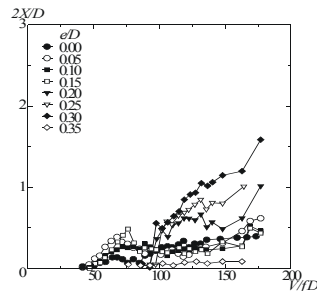


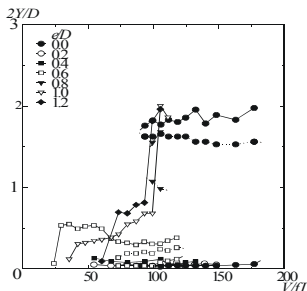
Fig.2 辺長比1の角柱設置時の振動応答



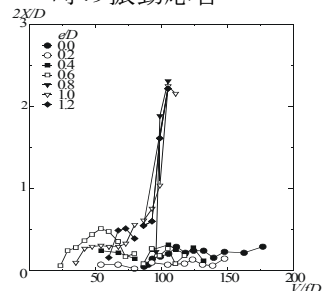
(a)鉛直



(b)水平



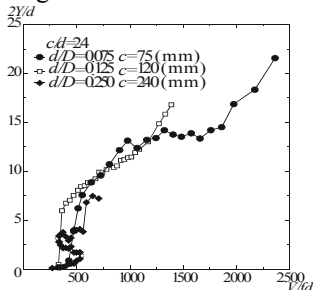
(a)鉛直



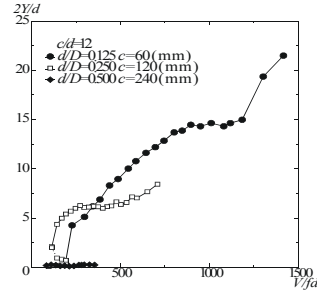
(b)水平

Fig.3 5mm×5mm 角柱を設置したときの偏心量の影響

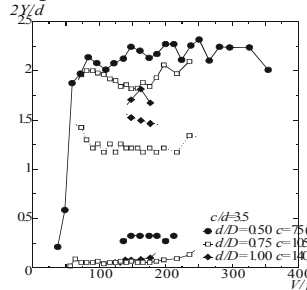
Fig.4 40mm×40mm 角柱設置したときの偏心量の影響



(a) $c/d=24$

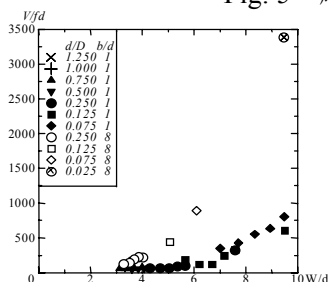


(b) $c/d=12$

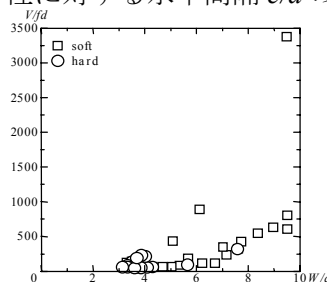


(c) $c/d=3.5$

Fig.5 応答特性に対する水平間隔 c/d の影響



(a) 各角柱断面での分類



(b) ソフト・ハード型での分類

Fig.7 d で無次元化された発振風速と角柱後流幅の関係

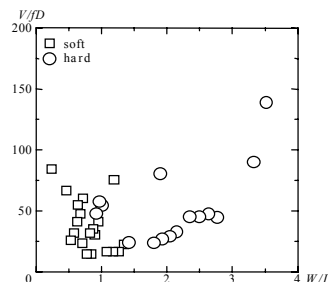


Fig.8 D で無次元化された発振風速と角柱後流幅の関係における発現タイプの分布