

I-26 角柱後流内の円柱に作用する励振力に関する研究

徳島大学大学院 学生員 ○郡 崇志

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

ショーボンド建設株式会社 片山 真文

1.はじめに 斜長橋ケーブル等に見られる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ために風洞実験では問題が生じる。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表面圧力測定実験を行った。そして、下流側円柱周辺の流れ場の推定を行い、角柱後流内の円柱に作用する励振力について検討した。

2.実験概要 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間隔 c として並列に配置した。また、角柱を鉛直上向きに移動させて偏心量 e を与えた。下流側円柱の振動は変位計で鉛直変位、水平変位を測定した。圧力測定については、Fig.2に示すような下流側円柱模型を用いて振動中のばね支持円柱の表面圧力を測定した。円周上に 10° ピッチで設けた36点の圧力孔を配置し、10mm離れた位置に 5° ずらして同様に圧力孔を配置する。圧力孔は直径1mmであり、圧力孔からビニールチューブを介して微風圧計測装置(共和電業株式会社製)に圧力は伝わる。なお、本実験は徳島大学工学部多目的風洞(閉断面押し込み式エッフェル型風洞：測定胴部 $1.0 \times 1.5 \times 4\text{m}$ 測定風速 $1\text{m/s} \sim 21\text{m/s}$)を使用した。

3.実験結果 (1)寸法変化による影響 Fig.3に上流側に辺長比 $b/d=1$ の正方形柱を設置し寸法を変化させた場合の $V\text{-}A$ 図を示す。正方形柱と円柱との水平間隔を $c/D=3$ とし、正方形柱の厚み d を $d/D=1/8$ から1の範囲で変化させた。 $d/D=1/8, 1/4$ では、寸法の増加に伴い応答が大きくなり、発振風速は低風速側へ移る。また、ソフトフラッター型のような応答を示している。しかし、 $d/D=1/2$ からの応答は不安定なりミットサイクルを有するハードフラッター型のような応答を示すようになり、寸法の増加に伴い応答は大きくなる。

(2)水平間隔による影響 下流側円柱の応答は上流側正方形柱の厚み d に起因すると考え、換算風速 U/fd と無次元倍振幅 $2Y/d$ を用いて、特性パラメータ c/d が等しい場合の応答を検討した。 $c/d=6, 12, 24$ と変化した場合の結果をFig.4に示す。 $c/d=6$ の場合、 $d/D=1/2$ においてのみ円柱が振動しており、 $d/D=3/4, 1$ では振動していない。また、 $c/d=12$ の場合においても同様に、 $d/D=1/4$ においてのみ円柱が振動しており、 $d/D=1/2, 3/4$ では振動していない。しかし、 $c/d=24$ の場合において、 $d/D=1/8, 1/4$ は両方とも振動しており、発振風速および振幅はほぼ一致していると考えられる。よって、 c/d が等しい場合の円柱の応答は、 d/D が $1/4$ より小さいものであれば換算風速 U/fd と無次元倍振幅 $2Y/d$ を用いて、整理できる可能性がある。

(3) 偏心による影響 上流側に水平間隔を $c/D=3$ で設置した正方形柱を偏心させた場合の影響を検討した。 $d/D=3/4$ の正方形柱を設置した時の鉛直方向・水平方向の応答をFig.5を示す。偏心量 $e/D=0.4$ までは不安定なりミットサイクルを有するハードフラッター型のような応答が現れるが、偏心量 $e/D=0.6$ 以上になるとソフトフラッター型のような応答が現れるようになる。また、水平方向の応答は偏心量 $e/D=1.2$ で小さくなるものの、偏心量が増加するとともに鉛直方向の応答に比べ、水平方向の応答が顕著となる。そして、偏心量 $e/D=2.4$ になると加振を行っても円柱は鉛直方向・水平方向ともに応答は現れなかった。よって、偏心量 $e/D=2.4$ では円柱の中心がウェークの外側に位置していると考えられる。

(4)下流側円柱周辺の流れ場の推定 上流側に水平間隔 $c/D=3$ で正方形柱を設置し、下流側円柱が定常振幅を示している時の円柱の表面圧力を測定した。そして、円柱の鉛直変位とそれに伴う揚力係数の関係について検討を行った。Fig.6に $d/D=1/4$ の正方形柱を設置した場合の鉛直変位と揚力係数の関係を示す。これより、円柱の鉛直変位に対する揚力の位相差は 155° から 165° ほど進んでおり、この位相差が励振力として作用していると考えられる。また、Fig.7に鉛直変位と揚力係数の時系列データを示す。円柱が中立位置か

ら上昇・下降する時にギャップフローのスイッチングによる揚力が逆方向に作用するような明瞭な揚力変動が存在しており、1周期の中に2回の急激な揚力変動があることが分かる。

4.まとめ 角柱背後にある下流側円柱の空力振動は、角柱後流の幅の影響を受けており、下流側円柱がどの風速で発振し、どのような空力振動応答を示すかは、角柱の寸法および配置位置によって決定される。また、定常振幅時において、下流側円柱の励振力は、ギャップフローのスイッチングとそれに伴う鉛直変位に対する揚力の位相差によって生じていると考えられる。

<参考文献>

1) 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.

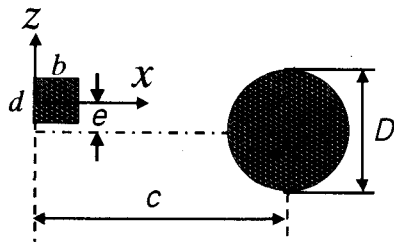


Fig.1 模型配置

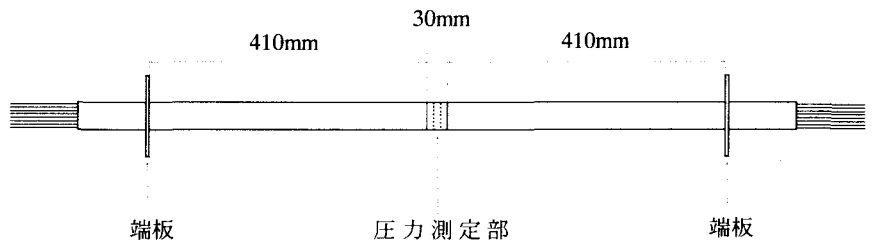


Fig.2 下流側円柱模型

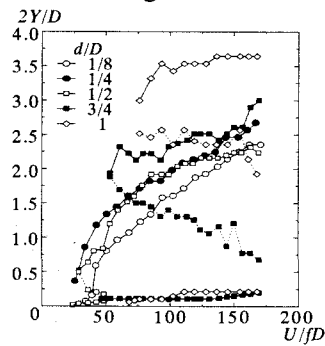
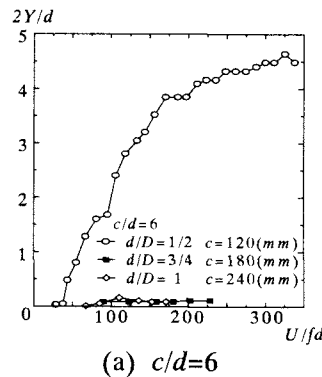
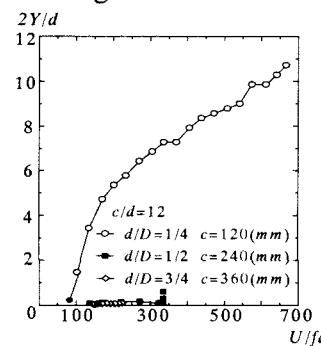


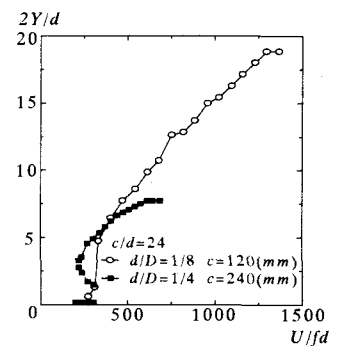
Fig.3 正方形柱設置時の空力振動応答



(a) $c/d=6$

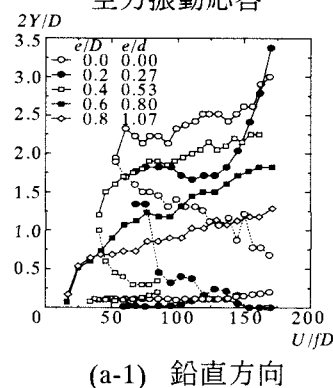


(b) $c/d=12$

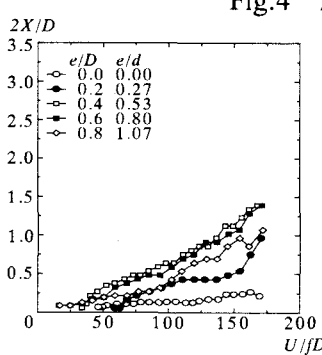


(c) $c/d=24$

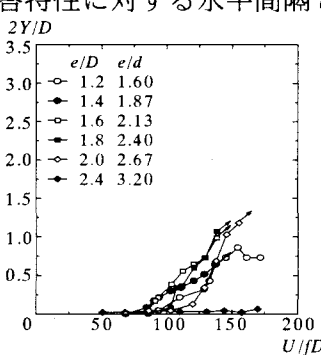
Fig.4 応答特性に対する水平間隔 c/d の影響



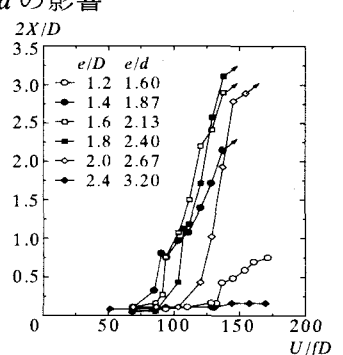
(a-1) 鉛直方向



(b-1) 水平方向

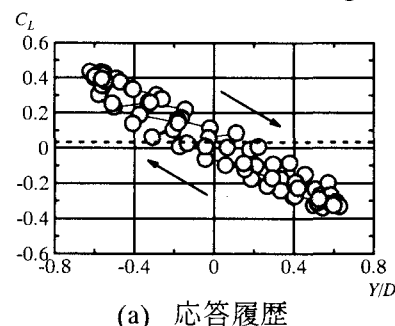


(a-2) 鉛直方向

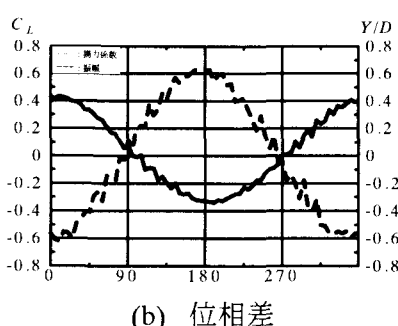


(b-2) 水平方向

Fig.5 $d/D=3/4$ の正方形柱を設置した場合の偏心量の影響



(a) 応答履歴



(b) 位相差

Fig.6 $d/D=1/4$ の正方形柱設置時の鉛直変位と揚力係数の関係

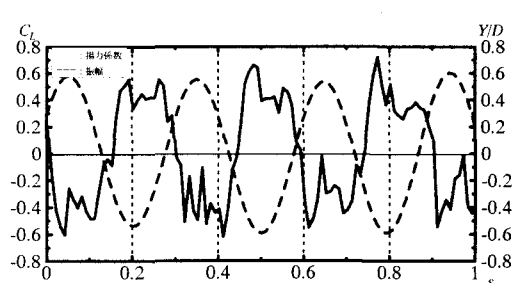


Fig.7 $d/D=1/4$ の正方形柱設置時の鉛直変位と揚力係数の時系列データ