

1. 緒言 流れの中に置かれたBluff Bodyの空力的静特性および動的挙動はその断面形状により大きく異なる。さらに鉄塔、橋梁など複数个の構造物で構成される場合、その空力特性は益々重要であるが、現象が複雑となり、パラメータの膨大さも手伝って、その研究例は少ない。そこで本研究では種々な相対的位置にある2矩形柱を固定した時の定常空気力および弾性支持した矩形柱の空力不安定による振動挙動を風洞実験により明らかにする。

2. 実験方法 風洞実験はまず、2個の矩形柱を種々な位置に固定し、周辺流れのストローハル数( $St$ 数)や矩形柱断面周りの圧力分布を測定し、定常空気力を求める。次に、矩形柱をコイルバネで弾性支持し、矩形柱間の相対的位置関係が弾性支持された矩形柱の振動挙動に与える影響を調べるため自由振動実験を行う。供試模型は断面辺長比  $B/H = 3 \sim 8$  の同一断面形状の2矩形柱を用いる。供試模型の流れと直角方向の高さ  $H$ 、流れ方向  $B$  の寸法は静止実験用として  $B/H = 3$  で  $(B, H) = (90, 30) \text{ mm}$ 、振動実験用模型はレイノルズ数( $Re$ 数)の影響も調べるため、 $H = 15, 30, 50 \text{ mm}$  の3種類の大きさの模型を用いる。また  $B/H = 6 \sim 8$  矩形柱は  $H = 30 \text{ mm}$  である。供試模型位置は直列配置(中心間距離:  $Y/H = 0$ )で、すきま間隔:  $S/H = 1 \sim 5$  の間で変える。下流側矩形柱を弾性支持の場合と上流側矩形柱を弾性支持した場合、そして くい違い配置( $Y/H = 0.5 \sim 2$ )では  $S/H = 1 \sim 5$ 、並列配置( $X/H = 0$ )で、 $Y/H = 1.5, 2$  にして振動2矩形柱の応答振幅  $\eta$  ( $H$  に対する%)およびねじれ角度  $\theta$  ( $^\circ$ ) を調べた。

### 3. 実験結果および考察

3・1 静止実験: 図1に  $Y/H = 0$  (直列配置)、図2に  $Y/H = 1$  (くい違い配置)の静止2矩形柱の  $St$  数の結果を示す。図(a)は2矩形柱中間域、(b)は2矩形柱下流域の隙間比  $S/H$  に対する  $St$  数を示す。図中、 $\blacktriangle$ ,  $\blacktriangledown$  は最も卓越する  $St$  数を表す。2矩形柱間の相互干渉が強い直列配置( $Y/H = 0$ )やくい違い配置のうち、 $Y/H = 0.5, 1$  の場合、後流域に複数の  $St$  数成分が認められる。その場合、振動実験において複数の発振領域が存在するものと予想される

### 3・2 振動実験

3・2・1 単独矩形柱: まず、単独矩形柱模型の大きさを変えて応答振動挙動に与える  $Re$  数の影響を調べる。図3、4にそれぞれ  $H = 15 \text{ mm}, 50 \text{ mm}$  の結果を示す。図(a)は無次元風速  $\bar{U} (=U/fH; U$  は一様流速、 $f$  は模型振動数)あるいは  $Re (=UH/\nu)$  数に対する矩形柱の応答振幅  $\eta$ ,  $\theta$  を、図(b)は後流  $St$  数を示す。図の  $Sc$  はScruton数を表す。図3の  $H = 15 \text{ mm}$  矩形柱の  $Re$  数範囲は  $Re = (0.4 \sim 7) \times 10^3$  で、比較的低い  $Re$  数域で  $St$  数値が複雑に変化する遷移  $Re$  数領域  $Re = (1 \sim 4) \times 10^3$  を含んでいる。図(a)の応答振幅  $\eta$ ,  $\theta$  では  $\bar{U} = 6$  付近に渦励振が認められ、 $\bar{U} = 45$  付近から大振幅の

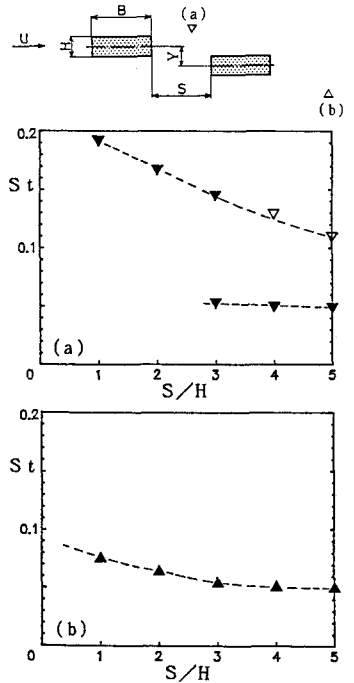


図1. 静止2矩形柱周辺の  $St$  数、直列配置 ( $Y/H = 0$ ) (a) 中間域、(b) 下流域

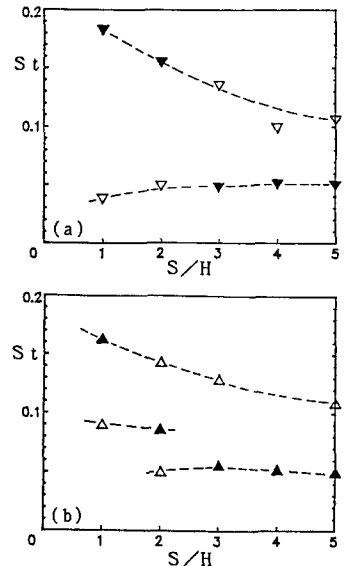


図2. 静止2矩形柱周辺の  $St$  数 くい違い配置 ( $Y/H = 1$ ) (a) 中間域、(b) 下流域

Gallopig 振動が発生し、 $\bar{U}=55$ からはねじれ振動が生ずる。 $\bar{U}=45$ 付近の振動は、完全剝離流れパターンの断面柱特有のGallopig 振動である。一方、図4の $H=50\text{mm}$ の場合、実験 $Re$ 数は $Re \geq 5 \times 10^3$ であり、各共振風速付近で渦励振、ねじれ振動が生じ、高風速域でねじれフラッターが生じている。単独 $B/H=3$ 矩形柱の振動挙動は $Re$ 数の影響が大きく、振動実験は流れパターンが安定な $Re$ 数範囲（ $Re \geq 5 \times 10^3$ ）で行う必要がある。

**3・2・2 複数矩形柱：**複数矩形柱の振動挙動の例として、図5に $Y/H=1, S/H=4$ の結果を示す。図(a)は振動矩形柱の応答振幅 $\eta, \theta$ を表わし、図(b)に下流域の $St$ 数の変化を示す。図(a)の $Y/H=1, S/H=4$ の矩形柱の場合、高・低風速域に2つの曲げモードとその中間域にねじれモードの発振領域がある。低風速側の応答振幅は鋭いピーク形状を呈し、高風速側のピークはかなり広帯域におよぶ形状を示す。

図(b)の2矩形柱下流域の卓越 $St$ 数はほぼ全域にわたり $St=0.12$ 成分が存在し、高風速域では $St=0.05$ 成分が卓越してくる。高・低発振領域とも、矩形柱振動とその後流渦が同期するLock-In現象が生じている。図6には、直列配置( $Y/H=0, S/H=4$ )で振動振幅がほぼ等しい $\bar{U}=10.1, 22.7$ の振動時における下流域( $X/H=4$ )の速度分布を示す。図(a)の低風速側振動時( $\bar{U}=10.1$ )の定常分 $\bar{u}/U$ 、変動分 $\tilde{u}/U$ の後流幅は共に狭く、周期的再付着流れで、図(b)に示す高風速時( $\bar{U}=22.7$ )で振動している場合、後流幅が広いことがわかる。

**4. 結論**  $B/H=3$ 矩形柱などの振動挙動は $Re$ 数の影響を強く受け、特に低 $Re$ 数域では完全剝離流れの振動挙動を呈する。また、複数矩形柱の振動挙動は矩形柱間の相対的位置によって異なり、複数個の特性を異にする発振領域がある。

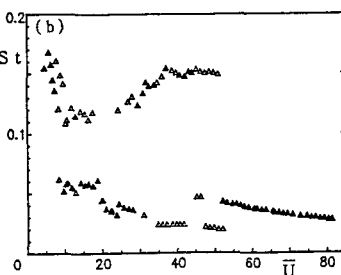
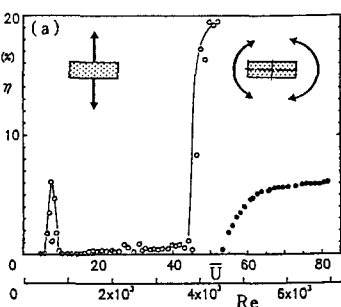


図3. 単独矩形柱の(a)応答振幅 $\eta, \theta$ 、(b)後流 $St$ 数 ( $B/H=3, H=15\text{mm}, Sc=22.73$ )

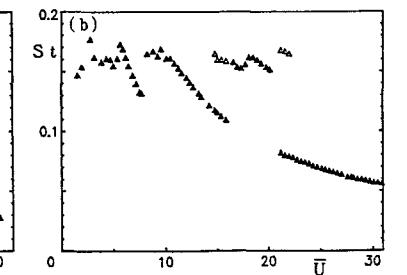
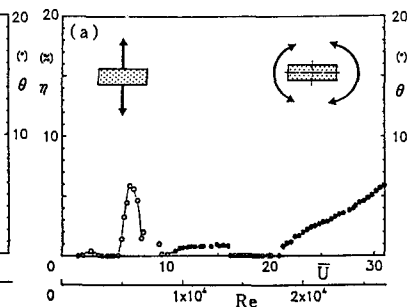


図4. 単独矩形柱の(a)応答振幅 $\eta, \theta$ 、(b)後流 $St$ 数 ( $B/H=3, H=50\text{mm}, Sc=6.24$ )

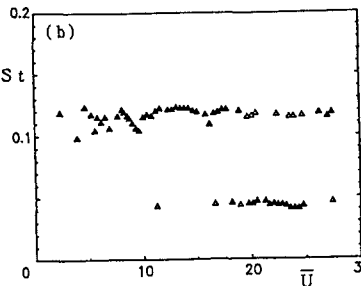
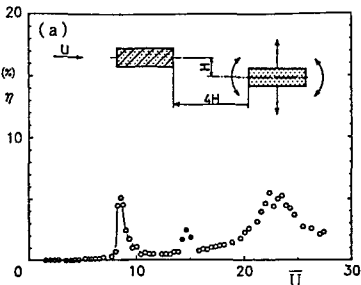


図5. くい違い配置( $Y/H=1, S/H=4$ )の振動2矩形柱の(a)応答振幅 $\eta, \theta$ 、(b)後流 $St$ 数 ( $B/H=3, H=50\text{mm}, Sc=6.24$ )

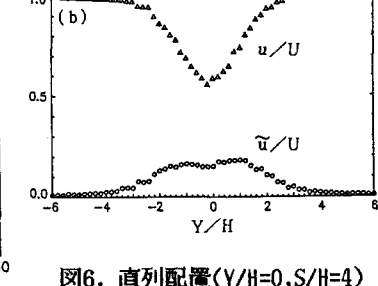
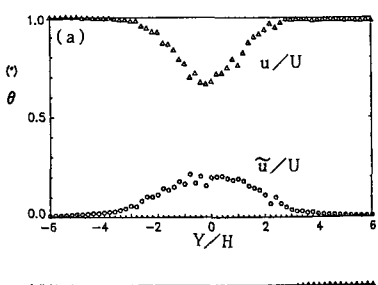


図6. 直列配置( $Y/H=0, S/H=4$ )の振動2矩形柱の後流( $X/H=4$ )の速度分布 ( $B/H=3, H=50\text{mm}, Sc=6.24$ ) (a) $\bar{U}=10.1$  (b) $\bar{U}=22.7$