

## 回転振動する矩形柱の流力振動応答特性と制御\*

(第2報, 流力振動制御)

高井和紀<sup>\*1</sup>, 坂本弘志<sup>\*2</sup>, 小畑芳弘<sup>\*3</sup>Response Characteristics and Suppression of Flow-Induced  
Vibrations of Rectangular Prisms with Rotary Oscillation  
(2nd Report, Suppression of Flow-Induced Vibration)Kazunori TAKAI<sup>\*4</sup>, Hiroshi SAKAMOTO and Yoshihiro OBATA<sup>\*\*</sup>Department of Mechanical Engineering, Kitami Institute of Technology,  
165 Koen-cho, Kitami-shi, Hokkaido, 090-8507 Japan

The present study was experimentally investigated on suppression and characteristics of flow-induced vibrations of rectangular prisms with various width-to-height ratios. In the previous report, the response characteristics and generation mechanism of flow-induced vibrations of rotary oscillating rectangular prisms were examined. The present report was made on the suppression of flow-induced vibrations of the rectangular prisms with rotary oscillation. As a result of previous paper, it can be seemed that the prevention of rolling up the shear layer separating from the leading edge of the rectangular prism is the most effective for suppressing flow-induced vibrations of it. In this study, we therefore attempted to prevent the rolling up of the shear layer by the following three method: placement of a small normal plate at upstream of the prism, attachment of four perforated normal plates on upper and lower side surface, and attachment of triangle fairings on front and rear surface. Important results from the present study were that (i) the generation of low-speed and high-speed torsion flutter were completely suppressed by a normal plate placed at upstream of the prisms, (ii) the generation of vortex excitation was completely suppressed by four perforated plates attached to upper and lower side surface, (iii) the generation of low-speed and high-speed torsion flutter were completely suppressed by triangle fairing attached to front and rear surface, and (iv) vortex excitation newly generated at the different reduced velocity  $U_r$  when a normal plate or fairings was set up was completely suppressed by increasing from the threshold value of the reduced mass-damping factor  $Cn$ .

**Key Words:** Suppression, Rectangular Prism, Flow-Induced Vibrations, Rotary Oscillation, Normal Plate, Perforated Plate, Triangle Fairing

## 1. 結 論

本研究は、回転振動する矩形柱において発現する流力振動の応答特性の解明と制御を目的として行っているものである。前報<sup>(1)</sup>では、回転振動(ねじり振動)する矩形柱の辺長比  $B/H$  ( $B$ : 矩形柱の流れ方向の幅,  $H$ : 流れと直角方向の幅) を 0.3~8.6 の範囲で種々変化させ、流力振動応答特性とその発現機構を詳細に調べ、辺長比  $B/H$  の相違に基づいて発現する流力振動は、6つのパターンに分類されることを明らかにした。本報は、回転振動する矩形柱の流力振動の制御を目的とし、実験的研究を行ったものである。矩形柱に発現する流

力振動の制御に関しての研究は比較的少ないが、その中で注目すべき幾つかの研究報告がある。矩形柱の表面上にリブ、あるいは平板を取り付けて、流れと直角方向に振動するギャロッピングの発現の抑制を行った Naudascher らの研究<sup>(2)</sup>、隅角部を隅欠き・隅切りすることによって、流力振動を抑制した天野<sup>(3)</sup>、白石ら<sup>(4)</sup> および南條ら<sup>(5)</sup> の研究、隅角部にローターを取り付け、それらを回転させることによって流力振動の制御を行った Munshi ら<sup>(6)</sup> の研究がある。しかしながら、いずれの場合も矩形柱に発現する流力振動を完全に防止するまでには至っていない。とくに矩形柱に発現する限定振動(振動が収束する)である低風速励振、およびうず励振の発現はある程度抑制されるが、発散振動である高風速励振の発現は、ほとんど抑制されていない。前報において矩形柱に発現する流力振動は、その前縁からはく離するせん断層の巻き上がり挙動によって支配されることを、フローパターン並びに矩形柱表面上

\* 原稿受付 2003年10月2日。

<sup>\*1</sup> 正員、北見工業大学工学部(〒090-8507 北見市公園町165)。<sup>\*2</sup> 正員、フェロー、北見工業大学工学部。<sup>\*3</sup> 北見工業大学工学部。

E-mail: takai@mech.kitami-it.ac.jp

の圧力分布の測定結果に基づいて明らかにした。その結果、流力振動の発現を抑制するには、矩形柱の前縁からはく離するせん断層の巻き上がりを防止することが極めて有効であることを見出した。

本報は、前報で得られた結果に基づいて、矩形柱の前縁からはく離するせん断層の巻き上がりを抑制し、流力振動の発現の防止を図ったものである。はく離せん断層の具体的な制御に当たっては、つぎに示す3つの方法を採用して行った。1つは、前報においても一部実施した、矩形柱前方に小さな垂直平板を設置して、近寄り流れを制御することによってはく離せん断層の巻き上がりを抑制する方法、1つは、矩形柱の側面の上下面の前縁、および後縁付近に有孔板を垂直にそれぞれ設置して、はく離せん断層の発達を抑制する方法、そしてもう1つは、矩形柱の前面および後面に三角形形状を有するフェアリングを取り付け、はく離せん断層の発生を抑制する方法である。これら3つの制御手法を適用した場合における、矩形柱に発現する流力振動応答特性を詳細に調べ、各制御手法の有効性の検討を行ったものである。あわせて矩形柱周辺のフローパターンの観測結果に基づいて、制御時におけるはく離せん断層の挙動、並びに後流うず特性を調べ、制御のメカニズムについて明らかにした。

## 2. 実験装置および方法

実験に当たっては、前報<sup>(1)</sup>と同様の断面  $1.2\text{ m} \times 0.3\text{ m}$ 、長さ  $2.5\text{ m}$  の測定部を有する環流形風洞、および幅  $0.3\text{ m}$ 、深さ  $0.4\text{ m}$ 、長さ  $2.0\text{ m}$  の測定部を有する回流水路を用いた。環流形風洞は、自由振動実験に基づく矩形柱の流力振動特性の評価、回流水路は、流れの可視化観測を行うに当たって使用した。流力振動特性を求めた自由振動実験における矩形柱は、前報と同じく  $H = 100\text{ mm}$  (流れと直角方向の幅) 一定とし、辺長比  $B/H$  を  $0.3 \sim 8.6$  の範囲で変化させた。また矩形柱の奥行

き寸法は、風洞測定部幅と同一としてある。供試矩形柱は図1に示すように、その回転軸 (矩形柱の中心軸) に取り付けたアームを4本のコイルバネで固定し、自由に回転振動ができるようになっている。実験に当たっては、換算流速  $U_r [= U_0 / (f_c \cdot H)]$ 、 $U_0$ : 主流の速度、 $f_c$ : 矩形柱の固有振動数、および換算減衰パラメータ  $C_n [= (I \delta) / (\rho B^4)]$ 、 $I$ : 矩形柱の単位長さ当たりの慣性モーメント、 $\delta$ : 対数減衰率、 $\rho$ : 流体の密度] を種々変化させて行った。 $C_n$  の変化は、電磁ダンパによって対数減衰率  $\delta$  を変えることによって行った。なお、風洞を用いた自由振動実験におけるレイノルズ数  $Re (= U_0 H / \nu)$  は、 $6.6 \times 10^3 \sim 9.9 \times 10^4$  の範囲であった。なお風洞測定部高さ  $s$  と矩形柱の幅  $H$  との比、すなわち閉そく比は  $8.3\%$  であるが、それに関する補正は行っていない。

矩形柱に発現する流力振動の制御に当たっては、図2に示す3通りの方法を採用して行った。1つは、図2(a)に示す矩形柱の前方に垂直平板を設置する方法、1つは、(b)に示す矩形柱側面の上下面に対称的位置に、それぞれ2つの有孔板を垂直に設置する方法、そして1つは、(c)に示す矩形柱前面および後面に、三角形形状を有するフェアリングを設置する方法である。矩形柱前方に設置した垂直平板は、これまでの報告<sup>(1)</sup>の場合と同様に、大きさを  $w/H = 0.3$  ( $w$ : 垂直平板の幅)、設置位置を  $s/H = 1.25$  ( $s$ : 矩形柱前面からの距離) とした。矩形柱側面に設置した有孔板は、有孔率  $a$ 、高さ  $h$  および位置  $b$  (前縁および後縁からの距離) を種々変化させて、最も流力振動防止に効果のあった有孔率  $a = 50\%$ 、高さ  $h/H = 0.5$ 、および設置位置  $b/H = 0.2$  とした。また矩形柱前面および後面に設置した三角形形状フェアリングは、矩形柱の流力振動防止に効果があるとされている先端角  $70^\circ$  のものとした<sup>(9)</sup>。制御時、あるいは無制御時における矩形柱周辺の流れの観測に当たっては、断面  $0.3\text{ m} \times 0.4\text{ m}$ 、長さ  $2.0\text{ m}$  の測定部を

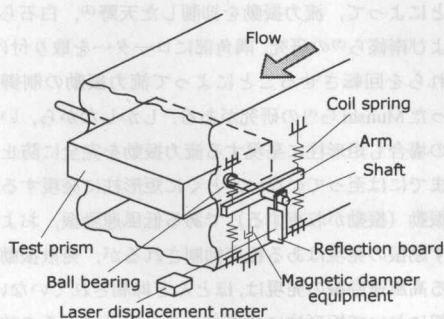


Fig.1 View of free-vibration equipment.

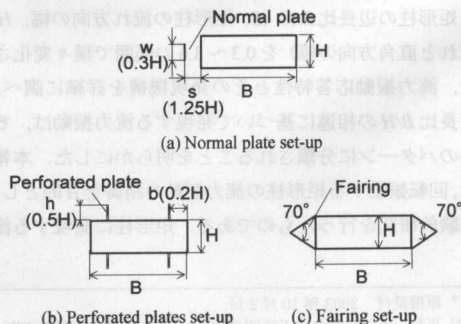


Fig.2 Control method.

有する回流形水路を用い、ウラン色素並びに水素気泡を用いることによって行った。なお可視化観測実験に当たっては、主流の速度を $0.8 \sim 1.0 \text{ cm/s}$ とした。その時のレイノルズ数は $250 \sim 400$ の範囲であり、風洞実験におけるそれとはかなり異なっている。しかし、両者でのはく離せん断層、前縁はく離うずおよび後流うずは、いずれも乱流化するために、流れの定性的評価を行ううえでは問題ないものとして実施した。

### 3. 結果および考察

#### 3. 1 矩形柱前方に設置した垂直平板による制御

3. 1. 1 流力振動の制御 前報<sup>(1)</sup>で明らかにしたように、矩形柱に発現する低風速励振、うず励振および高風速励振の3つの流力振動の発現状況は、辺長比 $B/H$ の相違によって6つのパターンに分類される。表1は各パターンで発現する流力振動のタイプと、その時の辺長比 $B/H$ の範囲を示したものである。本報ではこのように分類された各パターンでの代表させた辺長比を有する矩形柱に関して、垂直平板、有孔板およびフェアリングを設置したときの流力振動性状を調べ、それらによる制御効果を明らかにするものである。

図3は垂直平板を設置した時に発現する流力振動性状を示したものである。なお垂直平板の設置位置 $s$  (矩形柱前面からの距離)、および幅 $w$ は、これまでの報告<sup>(1)</sup>のと同じく、 $s/H=1.25$ 、および大きさ $w/H=0.3$ とした。まず辺長比 $B/H < 1.2$ でのパターン1 (無制御時では限定振動であるうず励振のみが発現) に属する $B/H=1.0$ では、図6に示すフローパターンから明らかなように、垂直平板によって矩形柱前縁からはく離するせん断層の巻き上がりが防止されるために、カルマンうず列の形成が抑制され、無制御時で発現するうず励振は完全に防止されている。しかし側面に再付着したはく離せん断層は、再び後縁からはく離し、後方に新たなカルマンうず列を形成するために、無制御時とは異なる

る $U_r$ の位置で、微小ながらうず励振の発現が認められる。辺長比 $1.2 \leq B/H < 1.7$ でのパターン2 (無制御時では発散するうず励振が発現) に属する $B/H=1.5$ では、同じく矩形柱前縁からはく離せん断層の巻き上がりが防止されるために、カルマンうず列の形成が抑制され、無制御時のうず励振の発現は完全に防止されている。辺長比 $1.7 \leq B/H < 2.7$ でのパターン3 (無制御時では低風速励振と高風速励振の2つが発現) に属する $B/H=2.0$ では、矩形柱の前縁からはく離するせん断層の一部の側面への交互の再付着によって生ずる低風速励振、並びに後方へ大きく巻き上がるはく離せん断層によって生ずる高風速励振の発現は、はく離せん断層の巻き上がりが防止されるために、完全に抑制されている。しかし無制御時とは異なる $U_r$ の位置で、極めて小さいうず励振が新たに発現している。辺長比 $2.7 \leq B/H < 3.7$ でのパターン4 (無制御時では低風速励振、うず励振および高風速励振の3つが発現) に属する $B/H=3.0$ では、無制御時で発現する前縁はく離うずによって生ずる低風速励振、およびはく離せん断層の後方への巻き上がりによって生ずる高風速励振、並びにうず励振の3つの流力振動の発現は、完全に防止されている。しかし無制御時の場合と異なる周波数を持ったカルマ

Table 1. Classification of generated flow-induced vibration in change of  $B/H$  (○: occurrence, —: no occurrence).

Pattern	$B/H$	Vortex excitation	Low-speed torsion flutter	High-speed torsion flutter
1	$B/H < 1.2$	○ (convergence)	—	—
2	$1.2 \leq B/H < 1.7$	○ (divergence)	—	—
3	$1.7 \leq B/H < 2.7$	—	○ (convergence)	○ (divergence)
4	$2.7 \leq B/H < 3.7$	○ (convergence)	○ (convergence)	○ (divergence)
5	$3.7 \leq B/H < 6.0$	—	○ (convergence)	○ (divergence)
6	$B/H \geq 6.0$	○ (convergence)	—	○ (divergence)

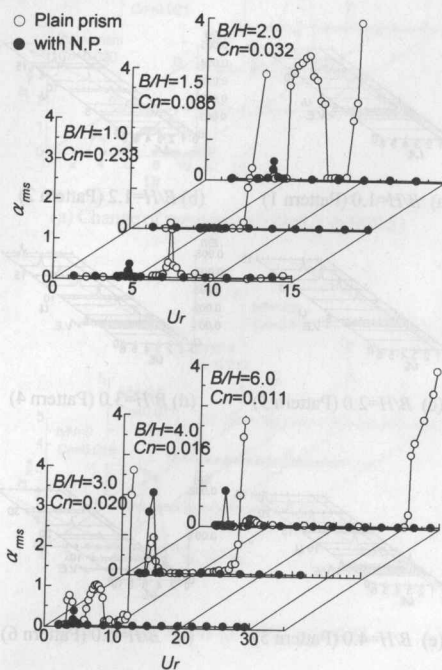


Fig.3 Response characteristics of rectangular prism when a normal plate (N.P.) is placed at upstream of the prism.

ンうず列が形成されるために、新たな  $U_r$  の位置でうず励振が発現している。辺長比  $3.7 \leq B/H < 6.0$  のパターン5 (無制御時では低風速励振と高風速励振の2つが発現) に属する  $B/H=4.0$  では、同じく2つの流力振動の発現は完全に防止されている。しかし、うず励振が新たな  $U_r$  の位置に発現している。辺長比  $B/H \geq 6.0$  のパターン6 (無制御時ではうず励振と高風速励振の2つが発現) に属する  $B/H=6.0$  では、無制御時で発現するうず励振および高風速励振の発現は完全に防止されている。しかし新たな  $U_r$  の位置で同じくうず励振が発現している。

以上述べたように矩形柱の前方に設置した垂直平板は、無制御時で発現する前縁はく離うずに基づく低風速励振、はく離せん断層の後方への大きな巻き上がりに基づく高風速励振、そしてカルマンうず列に基づくうず励振の発現を完全に防止できる。とくに前報で明らかにした換算減衰パラメータ  $C_n$  を大きくしても、発現が抑制されない発散振動である高風速励振が、垂直平板を用いることによって、完全に防止できることは極めて注目される。しかし垂直平板を設置した場合には、はく離せん断層の矩形柱側面への再付着が生じ、後縁から再びはく離するために、新たなカルマンうず列が形成される。その結果、無制御時とは異なる  $U_r$  の

位置で新たにうず励振が発現する。図4は、垂直平板を設置した場合における矩形柱後方の  $x=10H, y=1.1H$  の位置に設置した熱線プローブによって検出された、変動速度のスペクトル分布を示したものである。いずれの場合もピーク値を有し、無制御時の場合とは異なる周波数を有するカルマンうず列の形成が認められる。しかし図に示すように新たに形成されるカルマンうず列に基づく速度変動のエネルギーレベルは小さく、かつ発現するうず励振の規模は極めて小さいものであることから、流力振動を支配する換算減衰パラメータ  $C_n$  を大きくすることによって、その発現を容易に抑制できる。図5は垂直平板を設置した場合に新たに発現するうず励振を防止する  $C_n$  の値を示したものである。図に示す結果に基づいて算出される、式(1)に示す  $C_n$  の値より大きくすることによって、垂直平板を設置した場合に新たに発現するうず励振は完全に防止できることになる。

$$\left. \begin{aligned} C_n &\geq 1.415 \times (B/H)^{-2.780} & (B/H \leq 2.0) \\ C_n &\geq 1.540 \times (B/H)^{-1.589} & (B/H > 2.0) \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

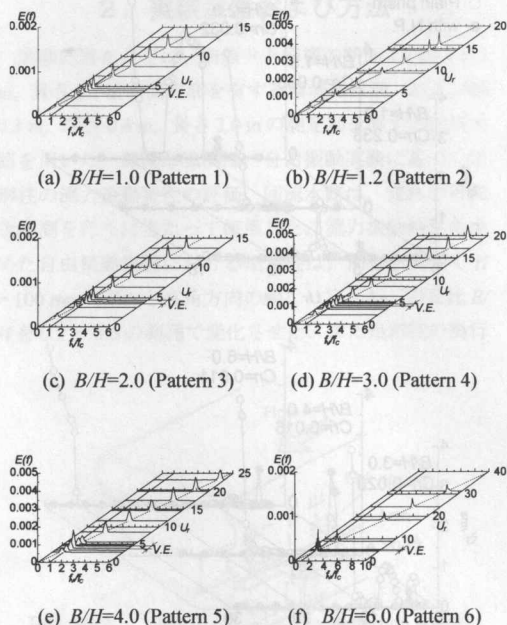


Fig.4 Power spectrum of fluctuating velocity in wake behind rectangular prism with normal plate (V.E.: vortex excitation).

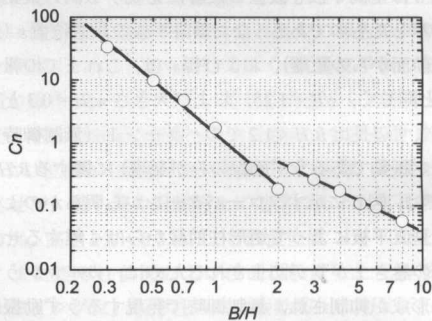


Fig.5 Values of  $C_n$  required to suppress vortex excitation when a normal plate is placed.

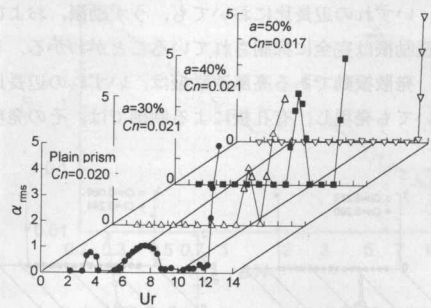
3. 1. 2 制御時のフローパターン 図6は、垂直平板による制御時における矩形柱周辺のフローパターン、および新たに発現するうず励振時のフローパターンの可視化観測結果を示したものである。あわせて無制御時における可視化観測結果を比較のために示してある。また図中に示す結果は、表1に示す各パターンを代表させた、辺長比  $B/H$  が1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 および6.0について示してある。なおパターン2は、発現するうず励振が収束するか発散するかの違いで、パターン1と基本的には同一である。うず励振のみが発現するパターン1に属する辺長比  $B/H=1.0$  の矩形柱に

においては、その前方に設置した垂直平板によって、前縁からはく離するせん断層の交互の巻き上がりは完全に防止されている。その結果、無制御時に発現したうず励振は防止されることになる。しかし図に示すように、側面に再付着した流れが後縁から再びはく離し、カルマンうず列が形成されるために、新たな $U_r$ でうず励振が発現することになる。同じくパターン2ではパターン1と同様に、無制御の場合とは放出周波数が異なるカルマンうず列が形成され、新たな $U_r$ でうず励振が発現することになる。つぎに低風速励振、および高風速励振が発現するパターン3に属する辺長比 $B/H=2.0$ の矩形柱においては、前縁からはく離せん断層の巻き上がりは防止されている。そのため2つの流力振動の発現が抑制されることになる。しかし後縁からはく離せん断層の交互の巻き上がりに基づくカルマンうず列が明りょうに形成されている。その結果新たな換算風速 $U_r$ の位置でうず励振が発現することになる。さらに低風速励振、うず励振および高風速励振が発現するパターン4に属する辺長比 $B/H=3.0$ の矩形柱では、パターン3の場合と同様に、矩形柱前縁からはく離せん断層の巻き上がりが抑制されるために、それに基づいて発現する低風速励振、うず励振および高風速励振の発現は防止される。しかし無制御時におけるカルマンうず列の巻き上がりに比べてかなり小さくなるが、カルマンうず列が明りょうに形成されている。このような新たなカルマンうず列の形成によって、無制御時の場合と異なる換算風速 $U_r$ の位置でうず励振が発現することになる。また低風速励振と高風速励振が発現するパターン5に属する辺長比 $B/H=4.0$ の矩形柱では、はく離せん断層の巻き上がりが抑制されるために、2

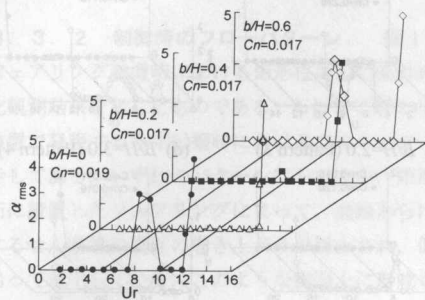
つの流力振動の発現は防止される。しかし図に示すようにカルマンうず列が形成されるために、うず励振が新たに発現することになる。最後にうず励振と高風速励振が発現するパターン6に属する辺長比 $B/H=6.0$ の矩形柱では、同じく前縁からはく離せん断層の巻き上がりが抑制されるために、2つの流力振動の発現は防止されることになる。

### 3. 2 矩形柱側面に設置した有孔板による制御

3. 2. 1 流力振動の制御 前節で述べた垂直平板による制御方法は、近寄り流れを制御することによって、矩形柱前縁からはく離するせん断層を間接的に制御し、流力振動の発現を抑制するものである。本節で述べる矩形柱の両側面に有孔板を設置する制御手法は、矩形柱前縁からはく離するせん断層の巻き上がりを直接制御し、その発達を防止して流力振動の発現を抑制しようとするものである。有孔板による制御効果は、有孔率 $a$ 、設置位置 $b/H$  ( $b$ : 矩形柱前縁および後縁からの距離)、および高さ $h/H$  ( $h$ : 有孔板の高さ)



(a) Change of porosity  $a$  ( $h/H=0.5$ ,  $b/H=0.2$ ).



(b) Change of  $b/H$  ( $a=50\%$ ,  $h/H=0.5$ ).

$B/H$	Plain prism	Prism with a normal plate	
	Stationary	Stationary	Vibration (V.E.)
1.0 (Pattern 1)			
1.5 (Pattern 2)			
2.0 (Pattern 3)			
3.0 (Pattern 4)			
4.0 (Pattern 5)			
6.0 (Pattern 6)			

Fig.6 Visualized flow patterns of rectangular prism with a normal plate.

Fig.7 Response characteristics of rectangular prisms when four perforated plates are placed at side surfaces of the prism with  $B/H=3.0$ .

によって支配される。本報告では、これら3つのパラメータを種々変化させ、流力振動の抑制に最も効果の高いものを見出した。図7は、辺長比  $B/H=3.0$  の矩形柱に関して、有孔率  $a$  および設置位置  $b/H$  を変化させた場合の発現する流力振動性状を示したものである。図(a)から明らかなように、有孔率  $a=50\%$  の場合において、無制御時に発現する低風速励振、およびうず励振は完全に抑制されている。また設置位置  $b/H$  に関しては、図(b)に示すように、 $b/H=0.2$  において、同じく低風速励振およびうず励振は完全に抑制されている。さらに有孔板の高さ  $h$  については、結果は省略するが、 $h/H=0.5$  のにおいて同じく2つの流力振動は最も抑制されたことから、結果的に最適値として  $a=50\%$ 、 $b/H=0.2$  および  $h/H=0.5$  なる値を有する有孔板を本論文では採用することとした。

図8は、高さ  $h/H=0.5$ 、設置位置  $b/H=0.2$ 、および有孔率  $a=50\%$  なる有孔板を側面の上面、および下面のそれぞれ2箇所の対称の位置に設置した場合の表1に示す、各パターンを代表させた6種類の辺長比  $B/H$  に関して、発現する流力振動応答特性を示したものである。いずれの辺長比においても、うず励振、および低風速励振は完全に抑制されていることがわかる。しかし、発散振動である高風速励振は、いずれの辺長比においても発現し、有孔板による制御では、その発現

を抑制することができないことがわかる。とくに無制御時における辺長比  $B/H$  が1.0 (パターン1) では、発現が認められない高風速励振が有孔板を設置することによって、逆に発現している。したがって、有孔板による制御は、低風速励振およびうず励振の発現を抑制する上では有効な手法であるが、高風速励振の発現は防止できないものと判断される。

**3. 2. 2 制御時のフローパターン** 図9は、有孔板を設置した時の矩形柱周辺の流れの可視化観測結果を示したものである。あわせて高風速励振発現時のフローパターンも示してある。なお有孔板は流力振動特性の評価の場合と同様に、有孔率  $a=50\%$ 、高さ  $h/H=0.5$ 、設置位置  $b/H=0.2$  としてある。いずれのパターンにおいても、矩形柱前縁からはく離せん断層は、有孔板によって拡散されるために、うず度の集中が阻害され、矩形柱後方での巻き上がりは防止されている。またパターン3～5において、前縁はく離うずの形成も有孔板によって阻止されている。このように前縁はく離うず、あるいはカルマンうず列の形成が阻止されることによって、それらによるうず励振、並びに低風速励振の発現が完全に抑制されることとなる。しかし高風速励振発現時では、図に示すように矩形柱前縁からはく離するせん断層は、交互に大きく巻き上がるために、それが発現することとなる。このように矩形柱の側面に設置した有孔板は、うず励振および低風速励

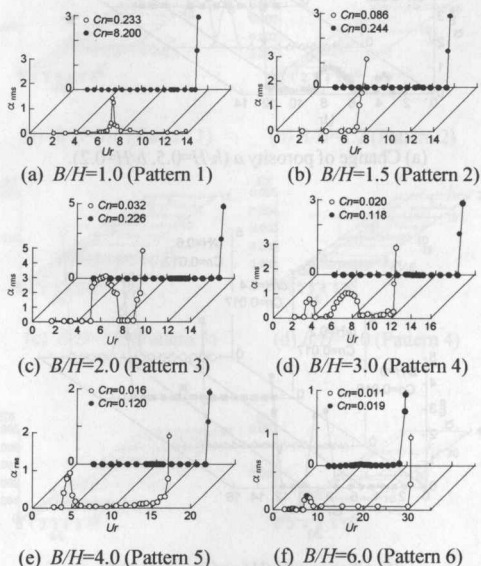


Fig.8 Response characteristics of rectangular prisms when four perforated plates (P.P.) are placed at side surfaces of the prism (○ Plain prism, ● With P.P.).

$B/H$	Stationary	Vibration (H.T.F.)
1.0 (Pattern 1)		
1.5 (Pattern 2)		
2.0 (Pattern 3)		
3.0 (Pattern 4)		
4.0 (Pattern 5)		
6.0 (Pattern 6)		

Fig.9 Visualized flow patterns of rectangular prism with perforated plate (H.T.F.: High-speed torsion flutter).

振の発現を抑制することができるが、高風速励振の発現を阻止することはできないことが、フローパターン

### 3.3 矩形柱前面および後面に設置したフェアリングによる制御

3.3.1 流力振動の制御 矩形柱の前面および後面に三角形形状のフェアリングを設置し、流力振動の発現を防止する手法はこれまでも行われている<sup>(8),(9)</sup>。しかし対象とした矩形柱は、箱形状の橋桁を想定しているために、辺長比がかなり大きなものであり、辺長比の小さい場合も含めたその相連による制御の効果に関してはほとんど不明である。本報告では、表1に示す分類された各パターンを代表させた6種類の辺長比を有する矩形柱に関して、フェアリングによる制御効果を調べた。図10は、三角形形状フェアリングを設置した時の流力振動応答特性を示したものである。無制御時で発現した発散振動である高風速励振、並びに限定振動である低風速励振、およびうず励振の発現は完全に抑制されていることがわかる。またいずれの辺長比においても、限定振動であるうず励振が新たな $U_r$ の位置で発現するが、その発現は換算減衰パラメータ $C_n$ を

大きくすることによって、完全に抑制することができる。このように三角形形状フェアリングは、発現する高風速励振および低風速励振を完全に抑制できること、並びに特定できる換算減衰パラメータ $C_n$ を採用することによって、新たな $U_r$ の位置で発現するうず励振も抑制できることから、垂直平板と同様に、極めてすぐれた制御手法であると判断できる。図11は三角形形状フェアリングを設置した場合、新たに発現するうず励振を防止できる $C_n$ の値を示したものである。図に示す結果に基づいて算出される、式(2)に示す $C_n$ の値より大きくすることによって、三角形形状フェアリングを設置した場合に発現するうず励振は完全に防止できることになる。

$$\left. \begin{aligned} C_n &\geq 0.855 \times (B/H)^{-2.56} & (B/H \leq 1.5) \\ C_n &\geq 0.124 \times (B/H)^{2.17} & (1.5 < B/H \leq 2.4) \\ C_n &\geq 5.23 \times (B/H)^{-2.04} & (B/H > 2.4) \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

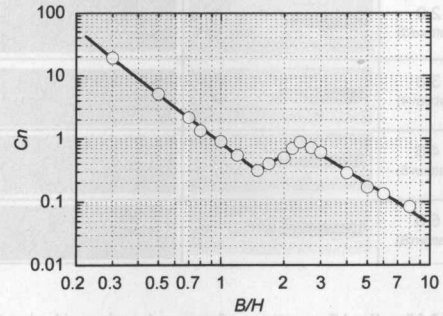


Fig.11 Values of  $C_n$  required to suppress vortex excitation when triangle fairings are placed.

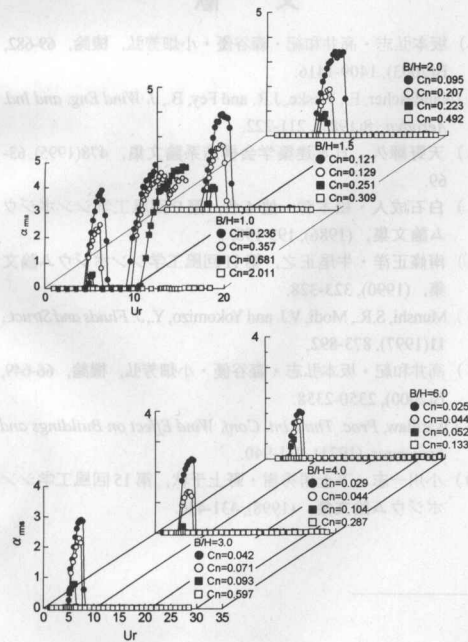


Fig.10 Response characteristics of rectangular prisms with triangle fairings.

3.3.2 制御時のフローパターン 図12は、フェアリング設置時における矩形柱周辺の流れの可視化観測結果を示したものである。あわせて新たな $U_r$ の位置で発現するうず励振時におけるフローパターンを示してある。いずれのパターンにおいても、矩形柱前面に設置したフェアリングによって、前縁からはく離するせん断層の交互の巻き上がりが阻止され、側面に沿って流下している。このような側面上に形成される前縁はく離せず、並びに交互に大きく巻き上がるはく離せん断層の形成が阻止されることによって、低風速励振および高風速励振の発現が抑制されることになる。しかし、矩形柱側面に沿う流れは、後縁からはく離し、矩形柱後方で交互に巻き上がり、カルマンうず列が形成されるために、それによるうず励振が新たに発現す

ることとなる。しかし  $B/H=1.0$  で発現する発散振動も含めて、発現するうず励振は、換算減衰パラメータ  $C_n$  を大きくすることによって、容易にその発現を抑制できる。このように矩形柱前面に取り付けたフェアリングは、前縁はく離うず並びに交互に大きく巻き上がるはく離せん断層を抑制するために、無制御時で発現した低風速励振、うず励振、並びに高風速励振のいずれの発現も完全に阻止される。ただ後面に取り付けたフェアリングは、後縁からはく離せん断層の巻き上がり位置を後退させ発現するうず励振を弱くするが、矩形柱周辺の流れの制御に対しては、顕著な効果はない。

B/H	Stationary	Vibration (V.E.)
1.0 (Pattern 1)		
1.5 (Pattern 2)		
2.0 (Pattern 3)		
3.0 (Pattern 4)		
4.0 (Pattern 5)		
6.0 (Pattern 6)		

Fig.12 Visualized flow patterns of rectangular prism with triangle fairings.

#### 4. 結 論

本研究は回転振動する矩形柱の流力振動の制御に関して、実験的研究を行ったものである。流力振動の制御に当たっては、矩形柱の前方に垂直平板を設置する方法、矩形柱側面の上下面の対称の位置に4枚の有孔板を設置する方法、および矩形柱の前後面に三角形形状フェアリングを設置する方法の3つの手法を採用して行った。その結果以下に示す結論を得た。

(1) 矩形柱前方に垂直平板を設置した場合には、矩形柱の前縁からはく離するせん断層の巻き上がりが抑制されるために、無制御時で発現する低風速励振、うず励振および高風速励振の3つの流力振動の発現は完全に防止される。

(2) 垂直平板による制御の場合には、無制御時における換算流速  $U_r$  と異なる位置で新たにうず励振が発現する。しかし発現するうず励振は、本研究で評価した換算減衰パラメータ  $C_n$  よりも大きくすることによって完全に防止される。

(3) 有孔板を側面に設置した場合には、低風速励振およびうず励振の発現は完全に防止される。しかし高風速励振は、いずれの辺長比においてもその発現は防止されない。

(4) 三角形形状フェアリングを矩形柱前後面に設置した場合には、無制御時で発現する低風速励振、うず励振および高風速励振の発現は完全に防止される。また垂直平板の場合と同様に、うず励振が新たな  $U_r$  の位置で発現するが、換算減衰パラメータ  $C_n$  を変化させることによって、その発現を完全に防止できる。

(5) 各制御手法での流力振動の発現を防止する換算減衰パラメータ  $C_n$  は、かなり普遍的なものであり、実際の矩形柱構造物を設計する上で貴重な資料となる。

#### 文 献

- (1) 坂本弘志・高井和紀・森谷優・小畑芳弘, 機論, 69-682, B(2003), 1409-1416.
- (2) Naudascher, E., Weske, J.R. and Fey, B., *J. Wind Eng. and Ind. Aerodyn.*, 8(1981), 211-222.
- (3) 天野輝久, 日本建築学会構造系論文集, 478(1995), 63-69.
- (4) 白石成人・松本勝・他4名, 第9回風工学シンポジウム論文集, (1986), 193-198.
- (5) 南條正洋・牛尾正之, 第11回風工学シンポジウム論文集, (1990), 323-328.
- (6) Munshi, S.R., Modi, V.J. and Yokomizo, Y., *J. Fluids and Struct.*, 11(1997), 873-892.
- (7) 高井和紀・坂本弘志・森谷優・小畑芳弘, 機論, 66-649, B(2000), 2350-2358.
- (8) Wardlaw, *Proc. Third Int. Conf. Wind Effect on Buildings and Structures*, (1971), 931-940.
- (9) 小川一志・下土居秀樹・野上千秋, 第15回風工学シンポジウム論文集, (1998), 431-436.