

I-329

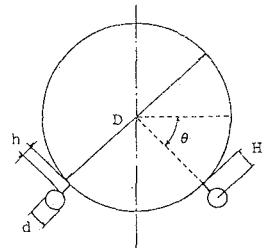
剥離点制御による円柱の空力制振法

九州工業大学工学部 正会員 ○加藤九州男
 九州工業大学工学部 正会員 久保 喜延
 川崎製鉄株式会社 正会員 中村 聖三
 住友金属工業株式会社 正会員 松久 茂

1. まえがき 耐風制振策には、構造剛性・質量・構造減衰率などを増加する方法と、空力的手段である断面形状の変化により流体力を減少させる方法が用いられる。本研究は、東北地方に設置される大型円柱構造物を対象としている。円柱まわりの流れの制御法としては、境界層制御および後流の制御の二つに大別される。すなわち、境界層制御は円柱表面の剥離点に影響を与えるものであり、後流制御は後流の発生および広がりを抑制するものである。そこで、考案したのが図1に示すもので、これは比較的小さい丸棒（以後、制振棒と呼ぶ）により、主円柱の剥離点を変化させ円柱まわりの流れおよびその後流の制御を行うものである。この制振棒を取付けた円柱（以後、制振棒付円柱と呼ぶ）を対象とし、どのような取付位置および配置等が耐風安定上好ましいかを二次元模型実験により検討した。

2. 実験概要 実験には、九州工業大学建設工学教室付属の空力弾性試験用風洞（測定断面1070×1070mm）を用いた。この風洞内に模型（主円柱：アルミパイプ製、制振棒：木製）を鉛直曲げ1自由度振動系にコイルバネで支持し、自由振動法による応答実験と渦励振域やギャロッピング域での空力減衰の測定を行った。

なお、各実験における振動諸元は、表1に示す。表2に示すケースに対して、実験を行った。



h: 制振棒の取付高さ (mm)
 d: 制振棒の直径 (3mm, 5mm)
 D: 主円柱の直径 (50mm)
 θ : 制振棒の取付角度 (deg.)
 H: 制振棒の中心までの取付高さ
 ($H=h+d/2$)

図1 制振棒付円柱

①実験ケース1 表3に示すように制振棒を全長両側に取付、制振棒の取付角度 θ をパラメータとし、制振棒の部材寸法dと制振棒の取付高さhを変化させて耐風性を検討した。

②実験ケース2 ①の検討結果で耐風性に最も優れていた断面について、制振棒の取付位置を $\theta=55^\circ$ に固定し、この制振棒の制振効果を見るため、制振棒の長さや配置を変化させると共に剥離点を固定するために上下に部材を加えた場合や千鳥配置などによる耐風性の検討を行った。

③実験ケース3 ①②の検討結果で最も優れた断面について、迎角の変化による耐風性の検討を行った。

表1 模型の振動諸元

	単独円柱	制振棒付円柱
長さ L [m]	0.900	0.900
直径 D [m]	0.050	0.050
質量 m [kg]	0.1234	0.1250
固有振動数 f_g	7.440	7.410
対数構造減衰率 δ	0.00156	0.00166

3. 実験結果と考察

実験①の結果 図2は、迎角 $\alpha=0^\circ$ 、制振棒の取付角度 θ と渦励振域の振幅比の関係を示している。この振幅比とは、渦励振の最大振幅を単独円柱の渦励振の最大振幅値 $2A/D=1.08$ で除したものである。また、ギャロッピングと表示しているのは、ギャロッピングが発現した断面である。制振棒の直径 $d=3\text{mm}$ で、制振棒の取付高さ $h=2\text{mm}, 4\text{mm}, 6\text{mm}$ と変え実験を行ったのが、Type A, Type B, Type Cである。Type Aは、制振棒の取付角度 $50^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ の範囲では、振幅比 $0.40 \sim 0.32$ と小さくなり、 $\theta \leq 65^\circ$ では、振幅比 0.8 程度に増大する。このことは、制振棒付円柱の制振効果が約 $60\% \sim 20\%$ に変化したことを意味している。Type Bの制振効果は、 $55\% \sim 80\%$ であり、Type Cでは、 $62\% \sim 70\%$ である。Type D

表2 実験ケース

実験ケース	検討項目
①	制振棒の取付位置
②	制振棒の長さ、配置
③	迎角の変化

表3 制振棒を全長両側に取付けた場合

実験ケース	h (mm)	d (mm)	D (mm)	d/D	H/D	θ (deg.)					
Type A	2	3	50	0.06	0.07	50	55	60	65	70	
Type B	4	3	50	0.06	0.11	45	50	55	60		
Type C	6	3	50	0.06	0.15	45	50	55	60		
Type D	3	5	50	0.10	0.11	45	50	55	60		

は、制振棒の取付高さ $h=3\text{mm}$ 、制振棒の部材寸法 $d=\phi 5\text{mm}$ である。
制振棒と 主円柱のサイズ比 $d/D=10\%$ であり、制振棒の取付角度 $45^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$ の範囲では、振幅比0.3程度であり、 $\theta=60^\circ$ では振幅比約0.7である。 $50^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ の範囲では、ギャロッピングが発生している。

このことは、制振棒付円柱は、制振棒の取付角度、サイズ比、取付高さの相対的な配置の位置関係が耐風制振効果に鋭敏であることを示している。

実験②の結果 図3は、制振棒付円柱の制振棒の取付位置を $\theta=55^\circ$ に固定し、制振棒の長さを変え、剥離点を固定するために上下に部材を加えた場合の(a)は応答図で、(b)は空力減衰率と振幅の関係を示した例である。この制振棒付円柱は、渦励振域の応答振幅を小さくすることができるとともに渦励振域の風速域も小さくなる。空力減衰率について見ると、微小振幅 $2A/D=0.05$ の空力減衰率 $\delta a=-0.015$ であり、このときの変動空気力係数は $C_{F1}=0.42$ と大きく、これは、単独円柱の変動空気力係数 $C_{F1}=0.4\sim 0.6$ と同等である。よって、この断面は風作用下で渦励振を生じ易く、微小振幅での空力特性は単独円柱と同じである。他にも色々な配置について検討したが、実験①で得られた以上の安定な特性を有する断面形状を得ることができなかった。

実験③の結果 これまでに検討した結果、耐風性が最も優れていた断面は、Type B、取付角度 $\theta=55^\circ$ 、制振棒の取付高さ $h=4\text{mm}$ の断面である。この断面について、迎角 α と応答振幅の関係を図4に示す。この結果によると、迎角 $-2^\circ \leq \alpha \leq 6^\circ$ の範囲において最大振幅は、迎角 $\alpha=-2^\circ$ の場合であり、その振幅は無次元倍振幅 $2A/D=0.32$ である。他の迎角の場合はこれ以下で、単独円柱に比べて応答振幅は約1/3程度に小さくなっている。一方、迎角 $\alpha \leq -4^\circ$ では、渦励振の応答振幅が $2A/D=0.48$ と大きくなると共に、ギャロッピングが発生している。このことは、制振棒の取付位置 θ が、制振棒付円柱の剥離点制御に重要な因子であると考えられる。

4. まとめ 以上の結果をまとめると、次のようになる。

- ① 制振棒付円柱は、制振棒の適当な配置により、渦励振の抑制にかなりの効果を有する。
 - ② 制振棒付円柱は、制振棒の部材寸法 d 、取付高さ h 、取付角度 θ などの相対的な位置関係の違いにより、渦励振の応答振幅に大きな差があり、ギャロッピングが発現する場合もあるので、これらの配置の位置決定には細心の注意が必要である。
- 以上より、制振棒付円柱の剥離点制御が耐風安定性向上に有効であることが判明したが、主円柱の表面の圧力分布の測定や円柱まわりの流れの測定などを行うことにより、このメカニズムについて、さらに検討を加える予定である。

なお、本研究は、石油資源開発 新潟～仙台間ガスパイプライン建設工事の研究テーマとして行った。

《参考文献》 久保、三代：並列円柱の制振法に関する一試案，土木学会西部支部講演概要集（1985.2）

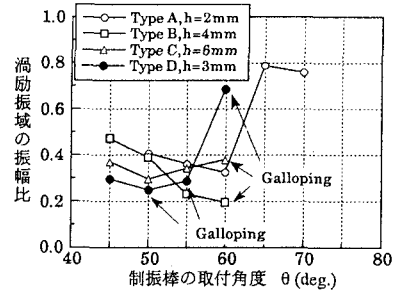
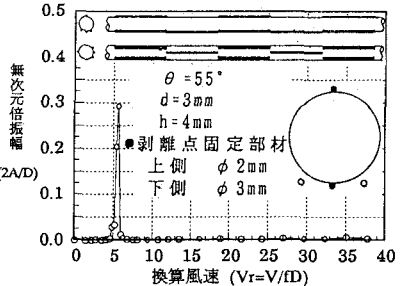
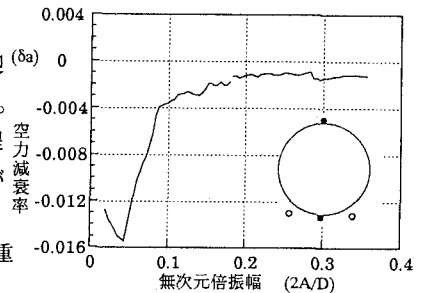


図2 制振棒の取付角度と渦励振域の振幅比の関係



(a) 応答図



(b) 渦励振域の空力減衰率

図3 剥離点を固定した場合

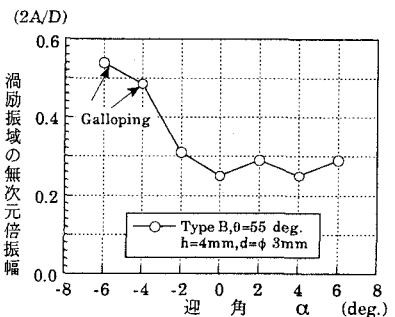


図4 迎角と渦励振の最大振幅