

側線付円柱の制振効果について

九州工業大学 正員 ○加藤九州男

九州工業大学 正員 久保 喜延

1. まえがき---吊橋、斜張橋などの長大橋梁、高層ビル、タワー、煙突などの塔状構造物が、風の作用を受けると変形するのみならず振動することがしばしば経験される。これらの構造物、構造要素部材が自然風にさらされて振動する問題は、従来からなかったわけではないが、特に近年、構造物の長大化、高層化ならびに軽量化の傾向あるいは、材料・溶接技術の進歩にともなう可撓性の増大、構造減衰率の低下傾向が著しいことにより、検討すべき事例が多くなり、それらの制御を含む耐風設計が重要視されるようになってきている。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。

本研究では、雪国に設置される円柱構造物を対象としているため、積雪を考慮した制振法でなければならない。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抑制するものである。

そこで、考案したのがFig. 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、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、側線付円柱と呼ぶ）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。

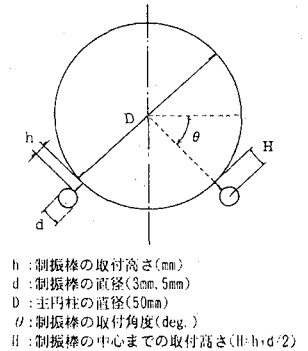


Fig. 1 側線付円柱模型

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、各ケースにおける振動諸元は、表1に示すとおりである。

実験ケースは以下のとおりである。

①実験ケース1・・・風の迎角 $\alpha = 0^\circ$ の場合で、表2に示すように制振棒を全長に取付、制振棒の取付位置 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は、Fig. 2に示す断面であった。この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。

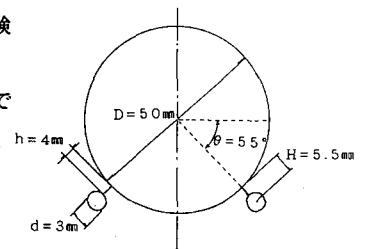


Fig. 2 ①の検討結果最も耐風性の優れた断面

表1 模型の振動諸元

	単独円柱	側線付円柱
長さ L [m]	0.900	0.900
直径 D [m]	0.050	0.050
質量 m [kgf·s ² /m]	0.1234	0.1250
振動数 f [Hz]	7.440	7.410
対数構造減衰率 δ	0.00156	0.00166

表2 全長に制振棒を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		

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を検討した。

3. 実験結果と考察

実験①の結果---Fig. 3は、迎角 $\alpha=0^\circ$ ，制振棒の取付位置 θ と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、側線付円柱の制振効果が約60%~20%に変化したことを意味している。Type Bの制振効果は、55%~80%であり、Type Cでは、62%~70%である。Type D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、側線付円柱は、制振棒の取付角度，サイズ比，取付高さ h 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---Fig. 4は、側線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空力減衰率と振幅の関係を示した例である。

紙面の都合上応答図は省くが、この側線付円柱は、渦励振域の応答振幅を小さくすることができる。空力減衰率について見ると、微小振幅 $2A/D=0.05$ での空力減衰率 $\delta a=-0.015$ 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 $C_{F1}=0.4 \sim 0.6$ と同じである。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、これ以上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、Fig. 2に示す断面である。この断面について、迎角 α と応答振幅の関係をFig. 5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、側線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 側線付円柱は、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 側線付円柱は、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、側線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。

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）

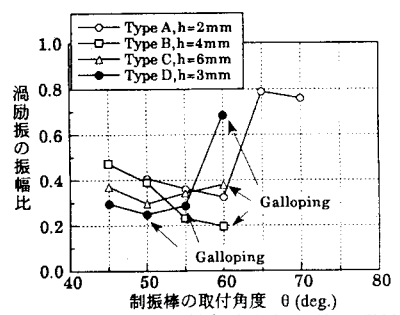


Fig. 3 制振棒の取付角度と振幅比の関係

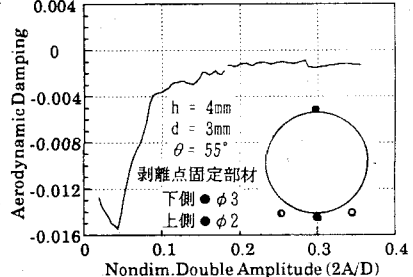


Fig. 4 剥離点を固定した空力減衰率

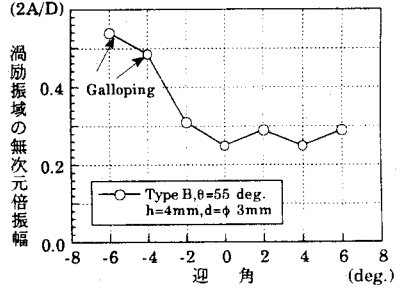


Fig. 5 迎角と最大振幅の関係