

3 本集合円柱の空力振動に対する突起プレートの制振効果について

日立造船 正会員 ○和田 浩行
ニチゾウテック 正会員 畑中 章秀

日立造船

本間 真

1. はじめに

近年、景観を考慮したデザインの構造物が数多く建設されている。その中で、3本集合円柱の構造物には空力不安定振動が発生することが懸念される。しかし、3本集合円柱の一体構造としての空力振動については、ほとんど報告がなされていない。

本報告では、高さ 100m、固有振動数 0.89Hz の 3 本集合円柱構造物を想定し、基本的な空力特性を把握すること、および空力対策の検討を行うことを目的として、ばね支持実験を実施した。以下、実験の詳細について述べる。

2. 実験概要

実験に使用した風洞は幅 1.0m×高さ 1.5m×長さ 6.0m の測定風路を有するエッフェル型風洞である。集合円柱模型は図 1 に示すように直径 $D=80\text{mm}$ の円柱を正三角形に配置し、その直径 D と円柱中心間隔 L の比 (L/D) を 2.0, 2.5, 3.0 と変化させた。実機の立体骨組モデルを用いた固有振動解析から対象となる曲げ 1 次振動モードを確認し、図 2 に示すように、風向に対し 3 つの構造軸を定義した。構造軸方向に振動するように、部分模型を鉛直 1 自由度支持し、風向直角方向の空力振動の発生を確認した。ばね支持実験状況を図 3、実験模型の諸元を表 1 に示す。なお、一様流と格子乱流中(乱れ強さ約 8%)で実験を実施したが、一様流と乱流でピーク振幅が同程度であったため、本論文では乱流中のデータのみ掲載する。また、後述のとおり、基本断面では各構造軸において顕著な渦励振が発現することが分かったために、ヘリカルストレイク¹⁾のように全風向ではなく、各構造軸の風向において、カルマン渦の放出を乱すように突起プレートを配置する対策を考えた。そこで、ヘリカルストレイクの適用事例を参考として、図 2 に示すように円柱表面に高さ 0.1D の突起プレートを設置した。以下、突起プレート付断面を対策断面と称す。

3. 実験結果

図 4, 5 に基本断面と対策断面の風速応答図を示す。図の横軸は円柱単体の直径 D を代表径とする無次元風速である。

(1) 基本断面

いずれの構造軸においても無次元風速 $U/fD=5$ 付近(レイノルズ数 $Re \approx 1.4 \times 10^4$)でピーク応答が発現しているが、これは円柱単体のカルマン渦放出に起因した渦励振と考えられる。以下、3 本集合円柱特有の現象について述べる。

図 4(b)より、構造軸 2・ $L/D=2.0$ では 2 つの風速域で渦励振が発現している。小林ら²⁾の研究によると 2 つの円柱が流れ方向に並列配置された円柱 ($L/D=2.0 \sim 5.0$) において、ストローハル数 St が 0.15 から 0.2 へ変化しており、 L/D に応じて並列円柱から単円柱の空力特性に変化することが報告されている。構造軸 2 では円柱①, ②が並列に配置されており、 $L/D=2.0$, $St=0.15$ とすると発現風速 U/fD は 6.7 となり、高風速側の渦励振の発現風速とほぼ一致する。構造軸 2・

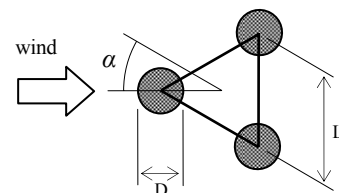


図1 基本断面(対策なし)

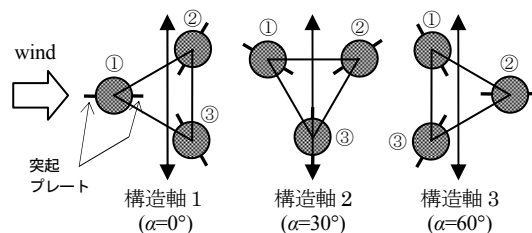


図2 構造軸の定義

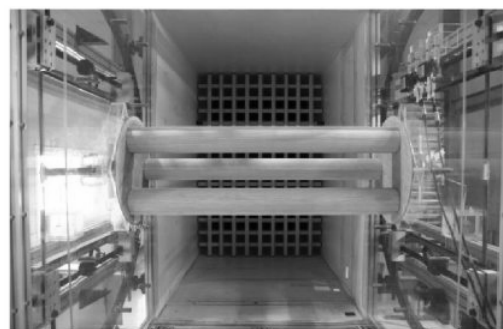
図3 ばね支持実験状況($L/D=2.5$)

表1 実験模型諸元

L/D	2.0	2.5	3.0
等価質量 m [kg/m]	2.715	2.715	2.715
減衰定数 ζ	0.005	0.005	0.005
固有振動数 f [Hz]	6.48	6.36	6.33
気流条件	乱流 (乱れ強さ $\approx 8\%$)		
表面状態	粗度なし		

キーワード：渦励振，集合円柱，突起プレート，空力対策

連絡先：〒559-8559 大阪府大阪市住之江区南港北 1-7-89 TEL06-6569-7057

$L/D=2.0$ では並列円柱と単円柱の空力特性を有しており, L/D を大きくすると並列円柱から, 単円柱の空力特性に変化するのではないかと推察される.

図 4(c)の構造軸 3・ $L/D=2.0$ では $U/fD=10\sim13$ で大きな振幅の渦励振が発現している. 崔³⁾は正三角形配置($\alpha=60^\circ$)の $L/D=2.0$ において, 上流側円柱(①又は③)で $St=0.44$, 下流側円柱②で $St=0.1$ の存在を報告している. $St=0.1$ の無次元風速 U/fD は 10 であり, 上述の渦励振発現風速に近いことから, 下流側円柱②からの渦放出が全体の渦励振を励起していると考えられる.

(2) 対策断面

$L/D=2.0$ では, すべての構造軸に対して基本断面より振幅が小さくなっている. しかし, $L/D=2.5, 3.0$ では基本断面と同程度の渦励振が発現している. これより, L/D が 2.0 より大きくなるに従い突起プレートによる応答低減効果が著しく低下する傾向があることが分かる. 以下, 3 本集合円柱特有の現象について述べる.

図 5(b)の構造軸 2・ $L/D=2.5, 3.0$ では 2 つの風速域で渦励振が発現している. 基本断面と同様に, 並列円柱と単円柱の 2 つの空力特性を有していると推測される. L/D を大きくしても突起プレートにより, 並列円柱の空力特性が維持されるものと考えられる. 図 5(c)の構造軸 3・ $L/D=2.0$ では $U/fD=13\sim15$ で発現している渦励振に対しては突起プレートの制振効果は小さい. 基本断面と同様に下流側円柱②が全体の渦励振を励起しているとする, 突起プレートは剥離点を制御する位置に設置されていないため, 制振効果が十分発揮されなかったものと考えられる. なお, 構造軸 1・ $L/D=2.5$ において $U/fD=10\sim17$ で応答振幅が大きくなる傾向が認められるが, 詳細は不明であり, 今後の課題である.

4. まとめ

本論文では, 3 本集合円柱の一体構造としての空力特性を把握するために, 円柱間距離を変化させた場合の風向直角方向振動について検討した. その結果, 単円柱のみならず並列円柱特有の渦励振の発生が認められた. また, 円柱表面に高さ $0.1D$ の突起プレートを設置する空力対策を検討した. 本対策は $L/D=2.0$ においては有効であるが, $L/D=2.0$ を超えると制振効果が著しく低下することが分かった. 今後, 突起高さやより最適な配置に対する検討が必要である.

最後に, 本実験の遂行にあたり T.E.Solution 社の Kim 氏に多くの協力を得た. ここに感謝の意を表する.

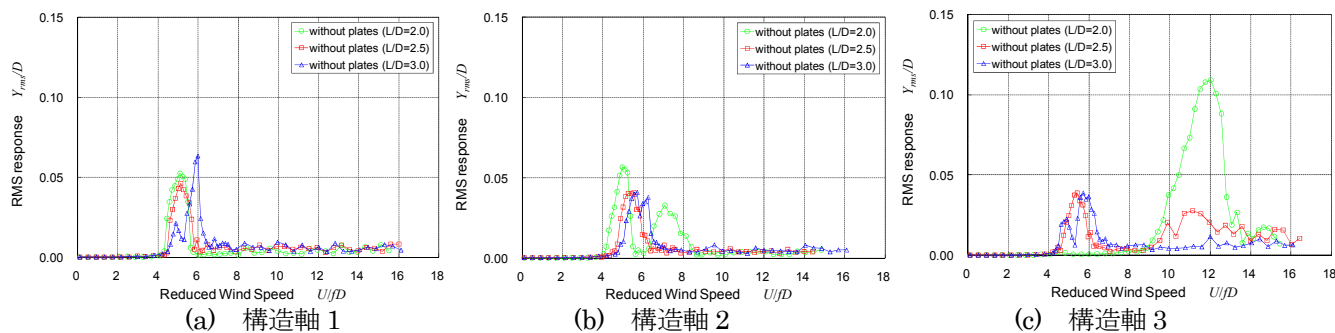


図 4 風速応答図(基本断面)

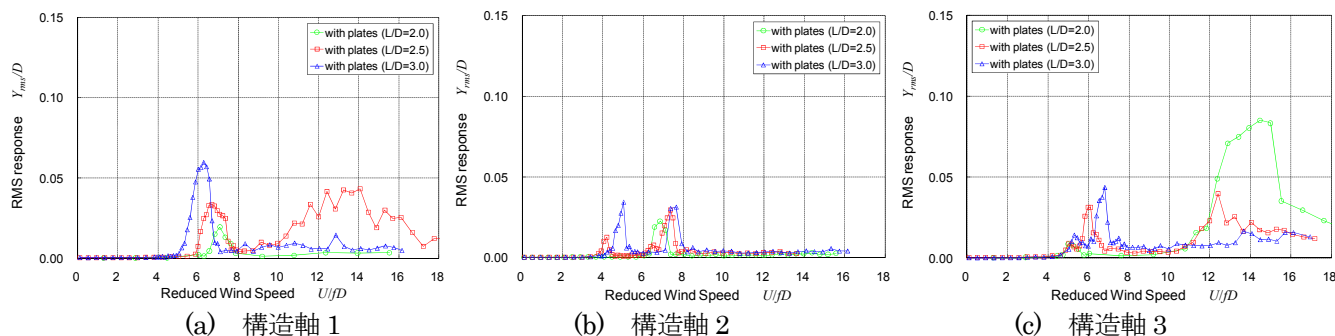


図 5 風速応答図(対策断面)

参考文献

- 1) CICIND : Model Code for Steel Chimneys with Commentaries, Revision-1999
- 2) 小林敏雄他: 近接する円柱群・正方形柱群に作用する流体力の研究, 日本機械工学会, 42 巻 357 号, 1976.5
- 3) 崔暢根, 金潤石: 近接 3 本円柱の空気力学的挙動について—下流側円柱の挙動を対象として—, 日本風工学会誌, 第 51 号.1992.5