

高風速域までを対象とした斜円柱の空力振動の特性

東京理科大学 正会員 ○木村 吉郎
 九州工業大学大学院(研究当時) 学生員 小川 祐介
 九州工業大学大学院 非会員 ローカムサイ チンダー
 九州工業大学 フェロー 久保 喜延
 九州工業大学大学院 正会員 加藤九州男

1. はじめに

実橋の斜張橋ケーブルで生じることがあると考えられている、高風速域の大振幅応答に対しては、例えば準定常空気力による定式化¹⁾や、カルマン渦に及ぼす軸方向流等の影響²⁾などについて論じられている。しかしそうした現象は、風洞実験では十分に再現されておらず、それが現象の十分な理解や現象への対策を困難にしていると思われる。そこで、50m/sを超えるような風速範囲までを対象として、偏角をもつ円柱の空力弾性振動の実験を実施してきた³⁾。本報では、より実現象に近い条件として模型質量を増やすとともに、新たに行った格子乱流中での応答特性を、簡易に求めた抗力係数と比較する形で示し、その特性を検討する。

2. 実験方法

円柱模型として、外径 $D=114\text{mm}$ の塩ビ管を用い、主流方向を含む鉛直面内の偏角 β が $30^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ の3種類とした。模型は、Figure 1 の側面図のように上下で支持した。支持装置の間隔(=模型の鉛直高さ)は 1180mm である。支持装置のエアベアリングにより、模型は低摩擦で主流直角および主流方向に移動可能であり、それぞれの方向にコイルバネで弾性支持されている。主流直角方向の動的な諸元を Table 1 に示す。用いた支持装置は、主流方向の質量が主流直角方向よりも 40kg 程度大きいものとなっているため、動的応答については、主流直角方向についてのみ着目している。模型質量は過去の実験³⁾の倍程度としたが、主流直角方向振動のスクルートン数 Sc は、実ケーブルに比べて、半分程度となっている。応答は、片振幅で $2D$ までの振幅について測定することができる。

実験には、住友重機械工業株式会社西条工場の回流風洞(測定部寸法が $2.0\text{m(W)} \times 3.0\text{m(H)} \times 15.0\text{m(L)}$)で風速範囲は $0.3 \sim 60\text{m/s}$)を用いた。円柱模型部分にのみ直接風が作用するように、支持装置の風上側には半円形または縮流のような形で風除けを設置している。また、過去の実験³⁾と同様に、 $w=420\text{mm}$ の導流板は、 $h=42\text{mm}$ だけ傾けて設置している。レーザー変位計からの出力は、 30Hz のローパスフィルターを通した後、 500Hz でサンプリングし、60秒間のデータについて標準偏差を求めて応答振幅とした。一様流と、乱れ強さ I_u が 4.6% および 10.4% の格子乱流中での実験を行った。

3. 応答実験結果

$\beta=30^\circ$ の主流直角方向の応答図に、抗力係数を重ね描きしたものを Figure 2(a)に示す。横軸は換算風速 $U_r (=U/Df_0)$ で示す。なお抗力係数は、主流方向の平均変位から簡易的に求めたもので、風速のケースが風速を上げた場合と下げた場合が交互になっていることが原因となって風速毎に変動している場合もある。乱流中において臨界 Re 数が低くなる傾向がわかる。

いずれの気流中においても測定範囲を超えるような大振幅応答が発現した。別途測定した励振力は、一様流中が最も大きく、 $I_u=10.4\%$ では最も小さかった。

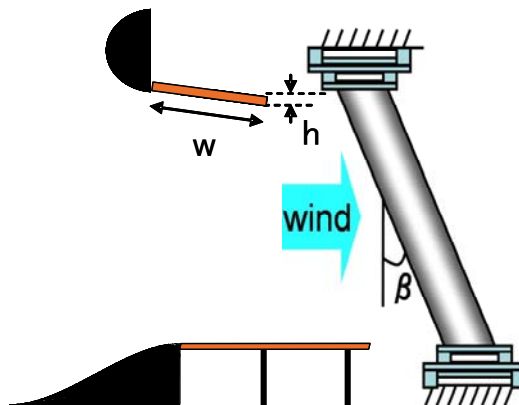
Figure 1 Skew angle β of the model (side view)

Table 1 Dynamic characteristics of the models

skew angle β	nat. freq. f_0	log. dec. δ	Sc
30°	0.99	0.0029 ~ 0.0035	9.8 ~ 11.8
40°	0.93	0.0028 ~ 0.0034	9.5 ~ 11.5
45°	0.89	0.0030 ~ 0.0035	9.9 ~ 11.5

キーワード 空力振動, 斜張橋ケーブル, 円柱, 風洞実験

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科 TEL 04-7123-1501

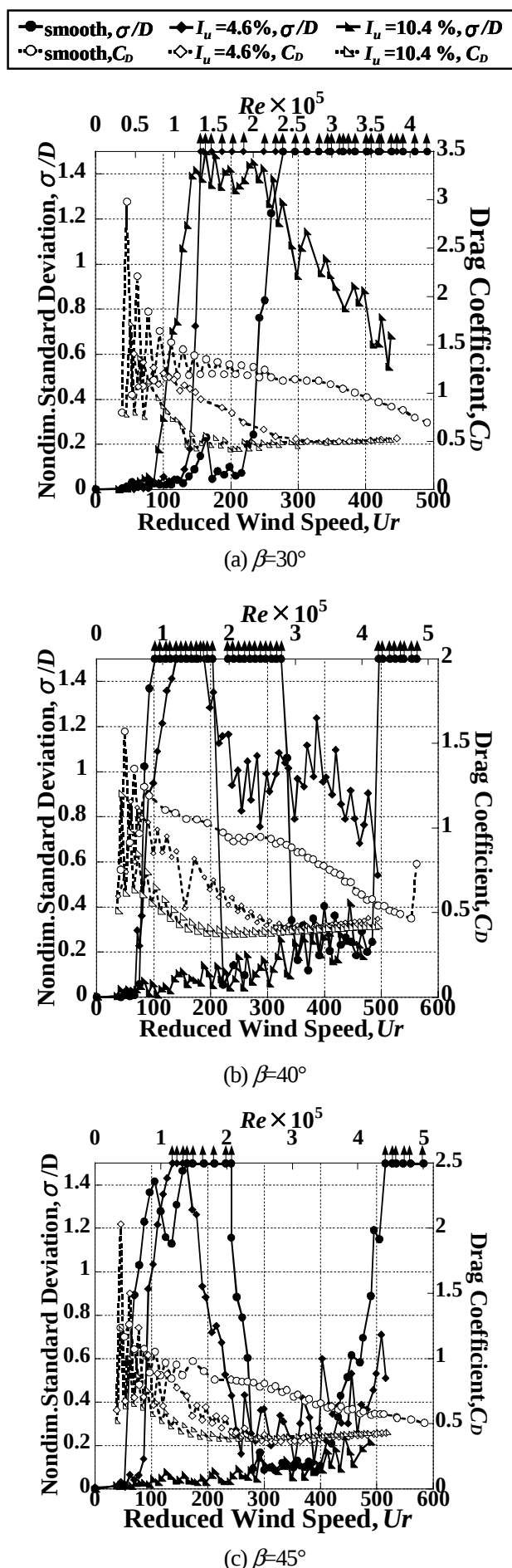
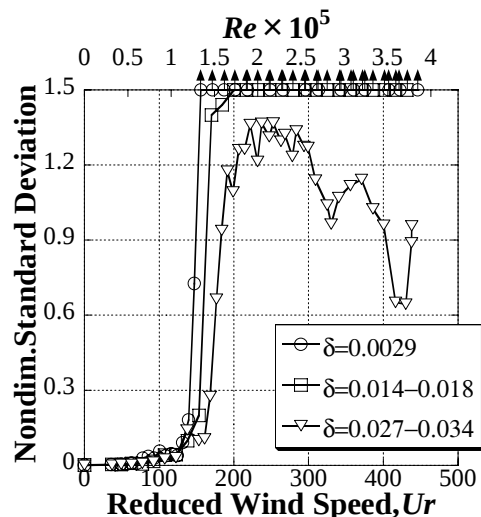


Figure 2 Model responses and drag coefficients

Figure 3 Response with various damping ($\beta=30^\circ$, $I_u=4.6\%$)

$\beta=40^\circ$, 45° の主流直角方向の応答と抗力係数を Figure 2(b)および(c)に示す．一様流中では，両ケースとも大振幅応答が発現した．一様流と $I_u=4.6\%$ ではほぼ同様の風速から大振幅の振動が発現し， $I_u=10.4\%$ では高風速域で比較的低振幅の不規則な応答のみが発現した．

応答の大きかった $\beta=30^\circ$ の， $I_u=4.6\%$ のケースに対しては，構造減衰を増やした場合の応答も測定した (Figure 3)．構造減衰はコイルばねに布テープを貼りつけて増やしたため，測定前後でその値は変化しており，幅を持つ値として示している．対数減衰率 δ を 0.014 程度まで増やしても，大振幅の応答が発現した．

4. まとめ

$\beta=30^\circ$ では，臨界 Re 数の順番と対応するような形で振動が発現したが，その他の偏角ではそのような対応は見られなかった．乱流中では応答が抑制される傾向があったが， $\beta=30^\circ$ の $I_u=4.6\%$ の乱流中では励振力の大きな大振幅応答が発現した．

謝辞

実験にあたっては，住友重機械エンジニアリングサービス (株) の浅井一浩氏およびコアの大橋義弘氏に大変お世話になったことを記して感謝したい．

参考文献

- 1) J.H.G. Macdonald, G.L. Larose, Two-degree-of-freedom inclined cable galloping, J. Wind Eng. Indust. Aero., Vol.96, Issue3, 2008.3, pp291-326.
- 2) M. Matsumoto et al., Dry galloping characteristics and its mechanism of inclined/yawed cables, Proc. 6th Int. Colloq. on Bluff Body Aerodyn. & Applications, 2008.7, pp265-268.
- 3) 木村他，斜円柱に発生する大振幅空力振動の実験と応答特性の検討，第 21 回風工学シンポジウム論文集，2010, pp.393-398.