

京都大学大学院	学生員	○大谷 純	京都大学工学研究科	フェロー	松本 勝
京都大学工学研究科	正会員	白土 博通	京都大学工学研究科	正会員	八木 知己
京都大学大学院	学生員	酒井 精一郎	京都大学工学部	学生員	岡田 太賀雄

1.はじめに 斜張橋ケーブルにおいて発生する空力振動現象のメカニズムの解明において、これまで風洞実験などにより多くの発生メカニズムが明らかになっているが、その振動現象を完全に説明できているとはいえない。特に風洞実験では自然風の乱れや降雨の状況を再現することは難しく、実橋観測では、交通への影響等で観測の自由度が制限される。本研究は屋外に大型傾斜ケーブル模型を設置して実際の気象条件の下で振動観測を実施したものであり、その観測結果、及びその空力振動現象における考察を報告する。

2.観測概要 観測は京都大学防災研究所附属潮岬風力実験所（和歌山県潮岬）で行った。使用した大型ケーブル模型は、ワイヤーケーブルを心材とし、ポリエチレンで被覆したアルミニウム管（直径 0.16m，長さ 0.5m）58 個を外形材とした，全長 30m の模型である（Fig.1 参照）。各外形材とワイヤーケーブルの定着点は一箇所であり，隙間は防食用ポリ塩化ビニール粘着テープで塞いであり，外形材の全体剛性への効果を抑えている。模型上端を西側（高さ 21m），下端を東側に設置し，鉛直方向に約 45° 傾斜させてある（Photo.1 参照）。振動応答は，地表面から高さ 2.8m の模型表面に設置した加速度計により検出し，風向及び風速は，模型の北東に位置する地表面から高さ 10m の位置に設けられた超音波風向風速計により計測した。また降水量は潮岬測候所のデータを使用した。Table 1 に，大型ケーブル模型の構造諸元を示す。なお面内振動とはケーブル模型と塔により形成される面内での振動であり，面外振動とはそれに垂直な面内での振動である。

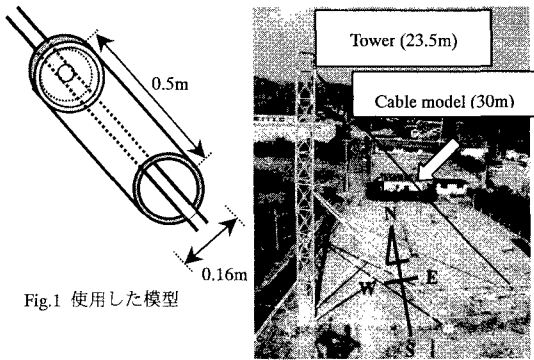


Fig.1 使用した模型

Photo.1 大型ケーブル模型の設置状況

cable length	30(m)
cable diameter	0.16(m)
mass per length	11.46(kg/m)

		in-plane	out-plane
	1st mode	0.78(Hz)	0.78(Hz)
	2nd mode	1.56(Hz)	1.56(Hz)
	3rd mode	2.34(Hz)	2.34(Hz)
	4th mode	3.12(Hz)	3.12(Hz)
log.damping decrement	2nd mode	0.0051	
Scruton number	2nd mode	3.81	

Table 1 大型ケーブル模型の構造諸元

3.観測結果 平成 13 年，8 月 21 日に台風 11 号が観測所付近を通過し，面外 1 次モードの卓越した激しい振動が観測された。Fig.2,3 に最も振動が顕著であった時間帯（20 分間）における面外加速度，面内加速度の時刻歴波形を示す。この時間帯の風向は ESE ～SE，平均風速は 13.2m/s，瞬間最大風速は 35.3m/s，乱れ強度 $I_u=40.8\%$ である。また，降水量は 37.0mm/h である。面外加速度データから面外 1 次モードを抽出し，模型中央点での振動応答に換算したものを Fig.4 に示す。その結果，最大倍振幅で 1.36m を記録しており，目視で確認した結果とほぼ等しいことが判明した。

この大振幅振動は降雨を伴う強風時に観測されたことから，レインバイブレーションの発生が考えられるが，従来から言われているレインバイブレーションはケーブルが風向に対して正姿勢で

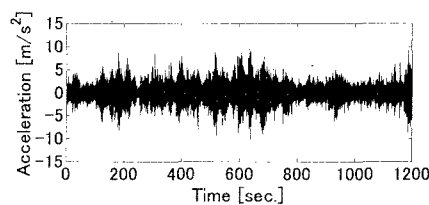


Fig.2 面外加速度の時刻歴波形

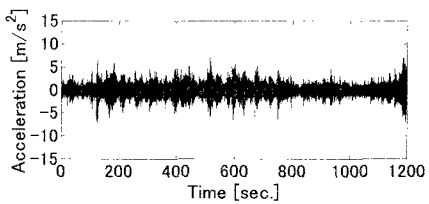


Fig.3 面内加速度の時刻歴波形

あるとき、上面水路が形成され、面内方向に振動することが知られている。本研究においては模型は風向に対して逆姿勢であり上面水路も確認されておらず、面外方向に振動している。また、過去に行われた屋外観測（大型ケーブル模型として直径 0.11m, 全長 30m の中空円柱パイプを使用）において、レインパイブレーションと考えられる振動応答が得られ、面内加速度のウェーブレット解析においてカルマン渦に対応した周波数成分が非正常に現れていることが指摘されている¹⁾ (Fig.5 参照)。しかし、今回観測された大振幅面外振動においては、カルマン渦に対応した周波数成分は現れておらず (Fig.6 参照)、従来から言われているレインパイブレーションとは振動性状に相違点が見られる。また、面外 1 次モードの周波数を無次元風速に換算すると $U/fD=120$ 付近となり、高風速渦励振が発生すると考えられる風速域の上限付近に相当することから、ギャロッピングの可能性も考えられる。

さらに準定常理論を用いてパフティング応答による振動振幅を評価したが、対数減衰率 δ を 0.01 と小さく設定しても振動振幅はここまで大きくはならず (Fig.4,7 参照)、また、振幅が大きい時間帯においては比較的定常的な振動性状を示したことから、パフティングの可能性は小さいものと考えられる。

4.風洞実験による考察 過去の研究²⁾において、一様流中において水平偏角 β を変化させて剛体円柱模型の自由振動実験を行っているが、 $\beta=25^\circ$ 以上では模型背後の軸方向流の影響が大きくなり、ギャロッピングが発生することが指摘されている (Fig.8 参照)。今回観測された振動が卓越した時間帯においては、実際の水平偏角 $\beta^*=37^\circ$ であることを考慮すると、この振動はギャロッピングであった可能性がある。しかし、乱れ強度が小さい ($I_u=4.8\%$) 気流中においてはギャロッピングは安定化されることが指摘されており³⁾、本観測における風の乱れ強度は $I_u=40.8\%$ であることから、乱れ強度が大きい場合においてもギャロッピングが発生するかどうかを風洞実験等により検討する必要がある。

5.まとめ 強風下で大振幅の応答が得られ、パフティングである可能性は小さいことが示されたが、高風速渦励振、ギャロッピング等のいずれの振動現象であるかの特定には至らなかった。今後、カルマン渦放出特性、風の乱れ等とギャロッピング、高風速渦励振等の振動現象との関係について風洞実験等を用いた詳細な検討が必要である。

参考文献 1) M.Matsumoto, H.Shirato, T.Yagi, M.Goto, S.Sakai, J.Ohya Field Observation of The Full-scale Wind-induced Cable Vibration, The 5th APCWE, Kyoto, 2001

2) 松本 勝, 白石成人, 白土博通, 平井滋登, 佐野祐一, 桂 一詞, 斜張橋ケーブルの Rain Vibration 発生機構における二つの要因についての考察, 第 11 回風工学シンポジウム論文集, 1990

3) 松本 勝, 白石成人, 白土博通, 平井滋登, 佐野祐一, 桂 一詞, 斜張橋ケーブルのレインパイブレーションの振動性状とそれに及ぼす乱流およびスクリーン数の影響, 第 11 回風工学シンポジウム論文集, 1990

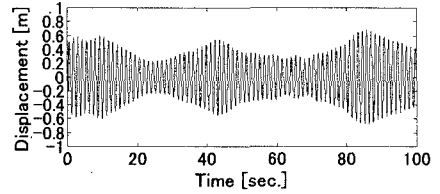


Fig.4 面外振動の時刻歴波形 (600~700sec)

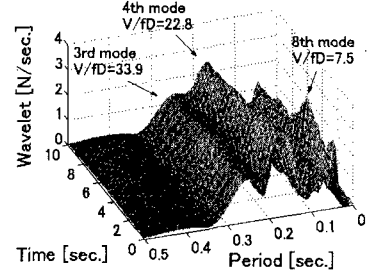


Fig.5 面内加速度のウェーブレット解析結果 (参考文献 1), 模型直径 0.11m, 長さ 30m)

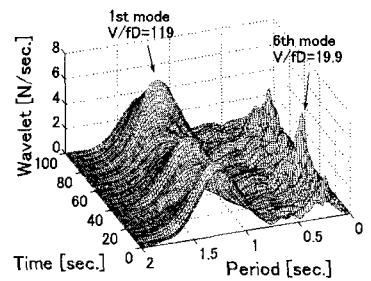


Fig.6 本観測における面外加速度のウェーブレット解析結果 (600~700sec)

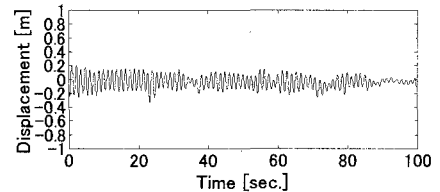


Fig.7 準定常理論を用いたパフティング応答解析結果 (面外 1 次モード, $\delta=0.01$, 600~700sec)

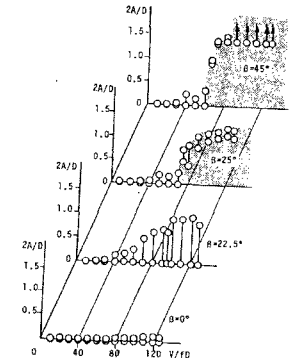


Fig.8 傾斜角を変化させた場合の剛体円柱模型の振動応答特性