

振り子支持形式を用いた斜円柱模型の雨なし振動の再現を目指した風洞実験

東京理科大学大学院 学生会員 ○石井 誉大
東京理科大学 フェロー 木村 吉郎

東京理科大学大学院(研究当時) 非会員 原尾 勇輝
労働安全衛生総合研究所 正会員 大幡 勝利

1. はじめに

斜張橋ケーブルに生じる空力振動のうち、「雨なし振動」については必ずしも再現性が十分ではなく、その発現メカニズムも必ずしも明らかではない。そこで本研究では、アスペクト比等で無理はあるものの斜円柱模型を用いた風洞実験を行い、雨なし振動の特性解明を試みた。

2. 実験方法

実験は、労働安全衛生総合研究所所有の回流式風洞(測定部高さ2.0m, 幅2.3m, 長さ17m)で行った。斜円柱模型は、本体が塩ビ管(外径:267mm, 全長:1583mm)の上下端部にアルミ製の半球カバー(直径:267mm)を被せた剛体模型で質量は60.4kgである。従って、アスペクト比は5.9, 閉塞率は9.0%で、やや無理をした実験となっている。模型本体から伸ばした中心軸の両先端に振り子のワイヤーの下端をそれぞれ取り付けた。振り子ワイヤーの長さは0.954mとしたが、固定端の高さを違えることで、模型には軸直角方向から偏角 30° の風が作用するように支持した。また模型には、長さ5.2mの流れ止めを振り子ワイヤー取り付け装置にて設置した。実験ではレーザー変位計での主流直角方向の変位計測と、模型下流側よりビデオカメラで撮影した動画での振動観察を行った。応答測定は、風速2~17m/sにおいて1m/sずつ風速を上げていき、応答が落ち着いてから1風速につき18~65秒間程度測定した。実験ケースは、模型そのまま(ノーマルタイプ)の他に、ゴムによる摩擦で減衰を付加した減衰付加タイプ2種類(天然ゴムタイプとEPDM(エチレンプロピレンジエンゴム)タイプ)、ならびに塩ビ管部にCR押し出しスポンジを螺旋状に取付け角 27° で巻きつけたスパイラルタイプ3種類(スパイラル2本タイプ, スパイラル4本タイプ, スパイラル12本タイプ)とした。各ケースの固有振動数と減衰定数の平均値を表1に示す。

3. 実験結果

図3にノーマルタイプの応答の標準偏差と振動数を示す。測定ごとにばらつきはあるものの概ね再現性は良好で、応答は風速9m/sと14m/s付近で大きくなり、それ以上の風速では測定できなかった。振動数も風速9m/sおよび14m/s付近で高くなり、それぞれ0.57Hz付近, 0.62Hz付近となった。振幅の大きい風速9m/s及び14m/sでは模型落下防止用に設置したワイヤーが伸びきることがあったこと、または空気力による剛性付加等が原因として考えられるが詳細は不明である。図4には各ケースの応答の風速ごとの平均値を示す。減衰付加やスパイラルの設置により応答は小さくなっているが、高風速時の応答は十分に抑制されているとはいえない。既往の研究¹⁾では、スパイラル12本において抗力の低減効果と共にカルマン渦放出が抑制され雨なし振動の発現が危惧されており、本実験の結果と整合するが、さらに検討が必要と考えている。図5(a)にノーマルタイプの風速12m/sにおける応答の時刻歴を示す。時刻26~35s付近, 35~46s付近, 48~55s付近等でそれぞれ振動の中立位置が片側へ寄る挙動が見られており、斜円柱の片側のみで剥離—再付着—再剥離

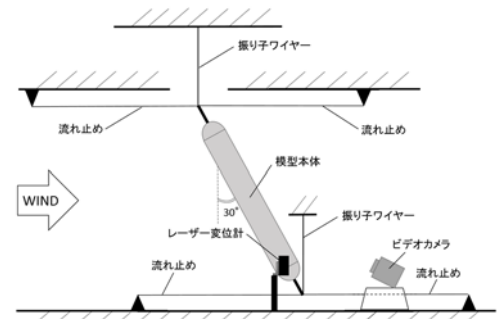


図1 斜円柱模型設置概略図



図2 ノーマルタイプ(下流側より)

キーワード 雨なし振動, Dry Inclined Cable Galloping, 風洞実験, 臨界レイノルズ数

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学土木工学科橋梁研究室 TEL04-7124-1501

が起こっていたものと考えられる．この現象は臨界 Re 数領域付近で発生するとされているが，本実験の斜円柱模型の風速 12m/s における Re 数は 2.1×10^5 である．図 5(b)にノーマルタイプの風速 9m/s，図 5(c)にノーマルタイプの風速 14m/s における応答の時刻歴をそれぞれ示す．振幅は風速 9m/s では 150～215mm 程度，風速 14m/s では 180～220mm 程度と大きいが，風速 9m/s における本実験の斜円柱模型の Re 数は 1.6×10^5 と臨界 Re 数以下であり，Dry Inclined Cable Galloping であるとは考えにくい．また，レーザー変位計の測定範囲を超えてしまったが風速 15m/s においても振幅は 200mm を超えた．

4. 結論

閉塞率やアスペクト比についてやや無理をした実験であったが，雨なし振動をある程度再現性のある形で実験できたと考えている．斜円柱の臨界 Re 数は一般的に 3×10^5 とされており，特に風速 9m/s 付近の振動は臨界 Re 数以下で発現しており，そのメカニズムの解明も必要と考えられる．

参考文献

1) 八木知己 他：表面形状を考慮した斜張橋ケーブルの抗力低減と空力安定化に関する研究，第 21 回風工学シンポジウム論文集，P263－268，2010 年

表 1 各ケースの固有振動数及び減衰定数の平均値

ケース	ノーマル	天然ゴム	EPDM	スパイラル		
				2本	4本	12本
固有振動数(Hz)	0.495	0.497	0.497	0.495	0.500	0.499
対数減衰率	0.00642	－	0.01010	0.00639	0.00684	0.00773

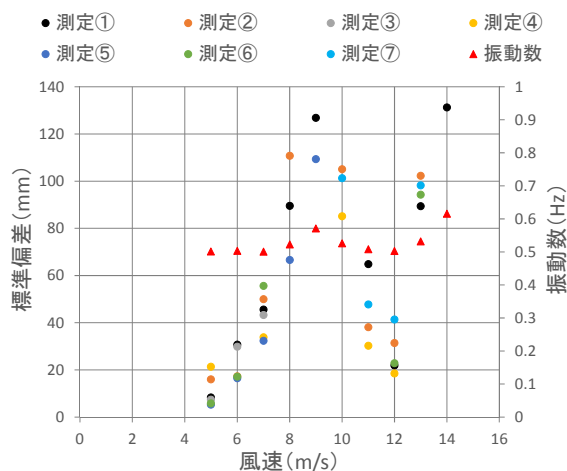


図 3 ノーマルタイプの応答と振動数

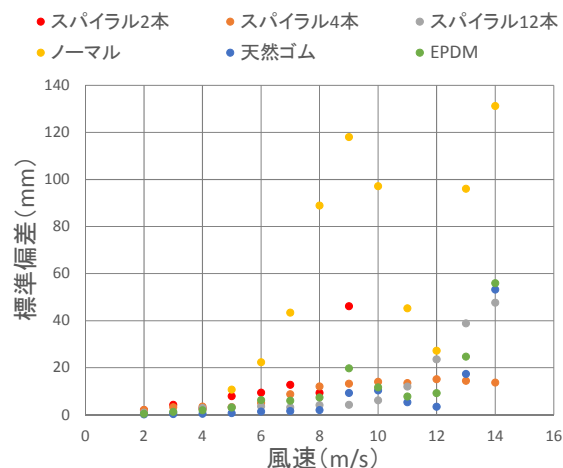
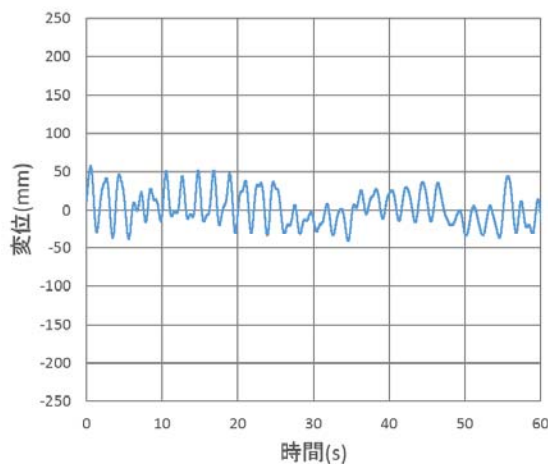
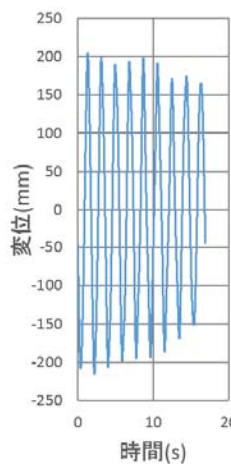


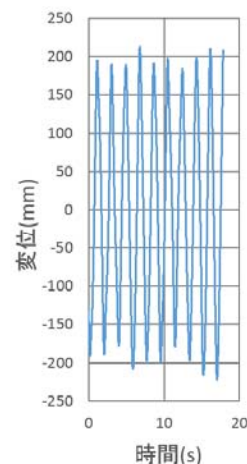
図 4 各タイプの風速ごとの標準偏差の平均値



(a)風速 12m/s



(b)風速 9m/s



(c)風速 14m/s

図 5 各風速におけるノーマルタイプの時刻歴応答