

斜円柱に発生する空力振動の風洞実験

東京理科大学大学院
東京理科大学理工学部
東京理科大学理工学部
独立行政法人 労働安全衛生総合研究所

学生員 〇笹川 一磨
非会員 野村 智弘
フェロー 木村 吉郎
正会員 大幢 勝利

1. 序論

斜張橋の単独ケーブルに生じる空力振動現象には、代表的なものとして、ケーブル背後に形成されるカルマン渦の発生周期とケーブルの流れ直角方向の振動数が一致する共振現象である「カルマン渦励振」と、降雨時に発生する「レインバイブレーション」がある．ところが、近年、無降雨時に「カルマン渦励振」以上の風速で大振幅の振動が観測されている．この大振幅振動に関連して、実験が行われてきたが、現象の再現性は良くない．同様の現象は一般の円柱部材で発現する可能性もあり、本研究では、それを実験で再現することを目的とした．

2. 実験方法

実験は、独立行政法人労働安全衛生総合研究所の回流式風洞（測定部寸法：2.0m×2.3m、風速範囲：0.25m/s～25.0m/s）を用いて行った．円柱模型は、外径 D=114mm の塩ビ管を用い、内側のアルミパイプで剛性を確保し、長さは1.3m、質量は約 5kg である．模型は図 1、2 に示す様に風路内に主流方向を含む鉛直面内に、偏角が 30°となるように、風路の天井と床にコイルバネを介して支持している．引張バネの片端には、順に、ターンバックル、板ばね、固定金具を直列につないでいる．板ばねにはひずみゲージを貼付し、主として伸びひずみを測定した．バネの諸元を表 1 に示す．引張バネの長さは無風時に模型が 30°となる様に静的な釣り合いを考えて設計した．

振動観測はビデオカメラと板ばねの伸びひずみにより簡易的に行った．ビデオカメラは円柱模型の風下側に設置し、振動の様子を観察した．

3. 応答実験結果

模型の振幅は、板ばねの伸びひずみと線形関係ではなかったもので、模型の振動はビデオカメラの動画から簡易的に求めた．方法としては、PC 上で動画をコマ送りし、画面上の振幅と円柱模型の径を測り、実物の円柱模型の径と比を取ること

ことで振幅を求めた．ただし、ひずみゲージから得られた振動

キーワード 雨なし振動, 斜張橋ケーブル, ドライギャロッピング, レインバイブレーション, 渦励振

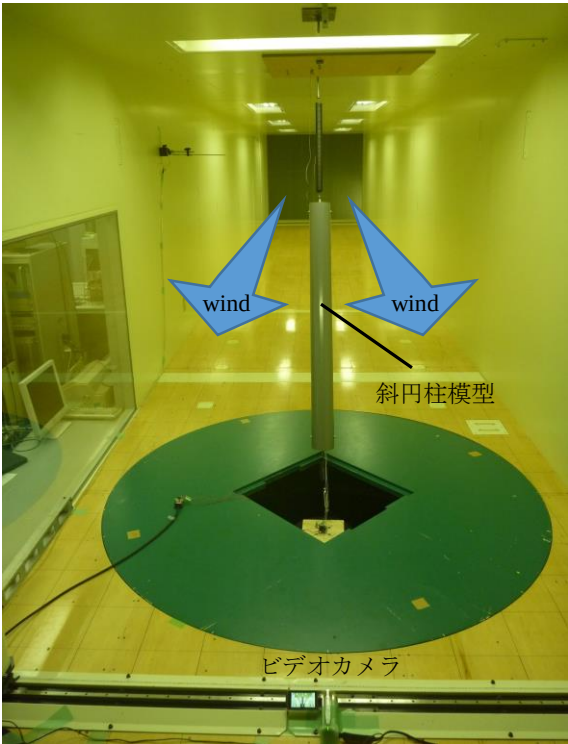


図 1 模型概要

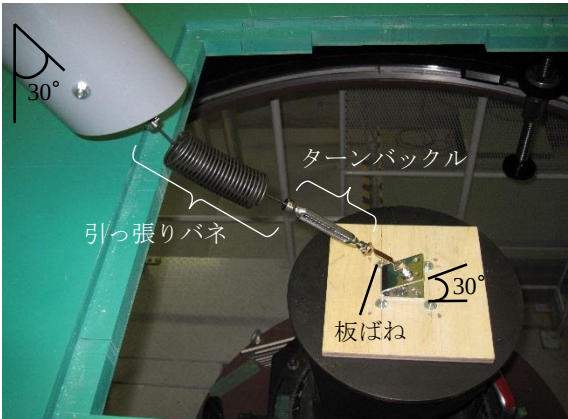


図 2 模型支持部

表 1 バネの諸元

引張バネ(上)		引張バネ(下)	
自然長 [mm]	バネ定数k [N/mm]	自然長 [mm]	バネ定数k [N/mm]
543	0.587	149	0.482

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橋梁研究室

数は模型の振動数と対応していると考え、模型の固有振動数とした。後述する、りん青銅製の板ばねでは、1.00～4.23[Hz]、ステンレス製の板ばねでは、0.93～1.13[Hz]となった。

振動応答の結果を表2に示す。振幅は、片振幅ではなく、全振幅で表記している。大振幅の振動は何秒その振動が続いたかも示す。それ以外の特に秒数を明記していない振動は、数秒～20秒の間振動している。また、全ての振動にローリングが見られた。ローリングとは、模型を流下方向から正面に見た時に、模型が左右に振動する際、振動とともにそれぞれ時計・反時計周りに回転する現象を指している。11/19では板ばねはりん青銅製を使用していたが、疲労破壊しやすかったため、11/22からはステンレス製を使用している。前述したように、固有振動数はそれぞれ大きく異なっているため、11/19と11/22～12/20とでは異なる現象を捉えている可能性があることに留意されたい。また12/10からは円柱後方にタフトを装着して流れを観察した。

11/19の結果では、5～11m/sの振幅は変わらず、それ以上の風速では、風速の増加とともに振幅も増加した。11/22の結果では、11/19と同じ風速域において、同じ振幅が得られた。11/25の結果では、風速の増加とともに振幅も増加したものの、11/19の同じ風速における振幅とは値が異なる。また風速17m/sにおいて、大振幅の振動が見られた。12/13では、風速が21m/s以上の風速では、全振幅で2D以上の振動が見られた。ローリングによって励振力が働き、振幅を大きくしているのではないかと考え、15、16、18、20m/sの風速において、手で模型をローリング振動が生じるように加振してみたが、振動は大きくならず、加振する前の状態に戻った。12/16、17の結果では、風速が20m/sの時に初めて全振幅が約2Dの振動が見られ、風速13～17m/sの振幅にも違いが見られる。12/20の結果では、いずれも風速が21～22m/sの時に大振幅の振動が見られたものの、振幅の大きさや、風速が変化した時の振幅の変化が異なる。

4. まとめ

本研究では、斜円柱の空力振動の再現を試みた。得られた知見は以下の通りである。

- 1) 風速が21[m/s]を超えると、全振幅で2D以上の振動が発生することが多かった。
- 2) 本研究で得られた応答は再現性が悪く、その原因を明らかにしていく必要がある。

表2 振動応答結果

日付	風速 [m/s]	測定 時間 [min]	観察された現象
11/19	5～11	5	全振幅0.27Dの振動
	12	5	全振幅0.30Dの振動
	13	5	全振幅0.35Dの振動
	14	5	全振幅0.65Dの振動
	15	5	全振幅0.68Dの振動
11/22	5～10	5	全振幅0.27Dの振動
11/25	11, 12	5	全振幅0.14Dの振動
	13	5	全振幅0.22Dの振動
	14	5	全振幅0.16D
	15	5	全振幅0.27Dの振動
	16	5	全振幅0.73Dの振動
	17	3	全振幅1.1D以上の振動、 模型保護のため測定中止
12/10	10	5	全振幅0.19Dの振動
	5	5	全振幅0.14Dの振動
	5	5	全振幅0.14Dの振動
12/13	21	1	全振幅2.0Dの振動[1min]
	24.6	1	全振幅3.5Dの振動[1min]
	5	2.5	全振幅0.18Dの振動
	15	2.5	わざとローリングさせても 振動せず
	17	2.5	全振幅0.11Dの振動
	18	2.5	わざとローリングさせても 振動せず
	16	2.5	わざとローリングさせても 振動せず
	24.5	3	全振幅2.7Dの振動[1min]
	20	3	わざとローリングさせても 振動せず
	23.7	5	全振幅1.3Dの振動[10s], 一度模型を手で止めても 同じ振幅で振動が発生
	23.7	5	全振幅2.8Dの振動
	23.7	5	全振幅3.0Dの振動[90s]の後, 全振幅0.1Dの振動に
12/16	10, 11	5	全振幅0.14Dの振動
	12	5	全振幅0.18Dの振動
	13	5	全振幅0.35Dの振動
	14	5	全振幅0.43Dの振動
	15	5	全振幅0.30Dの振動
	16	5	全振幅0.38Dの振動
	17	5	全振幅0.48Dの振動
	18	5	全振幅0.38Dの振動
12/17	19	5	全振幅0.60Dの振動
	19.5	5	全振幅0.50Dの振動
	19.6	5	全振幅0.4Dの振動
	20	5	全振幅1.5Dの振動
	20	5	全振幅2.0Dの振動[5min]
12/20	18.3～	5	風速22.0[m/s]時に 全振幅2.3Dの振動
	20～	5	風速21.4[m/s]時に 全振幅2.3Dの振動[10s], 風速を上げると治まる
	20～	5	風速21.2[m/s]時に 全振幅1.8Dの振動[1min]
	20.8～	5	風速22.0[m/s]時に 全振幅2.6Dの振動[50s]
	20.8～	5	風速21.7[m/s]時に 全振幅1.7Dの振動[1min30s], 風速を22.0[m/s]まで 上げると治まる