

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	ウレタンフォーム素材で作成された断面辺長比 3 の空力振動角柱模型の捩れ強制加振実験
Title(English)	Forced torsional excitation test of an aero-elastic square prism with a cross-sectional side length ratio of 3 made of polyurethane foam
著者(和文)	山口雄大, 佐藤大樹, 丸山勇裕, 中川尚大, 長尾悠生, 田村哲郎
Authors(English)	Yudai Yamaguchi, Daiki Sato, Yusuke Maruyama, Naohiro Nakagawa, Yuki Nagao, Tetsuro Tamura
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 215-216
Citation(English)	, , , pp. 215-216
発行日 / Pub. date	2022, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

ウレタンフォーム素材で作成された断面辺長比3の空力振動角柱模型の振れ強制加振実験

空力振動模型 ウレタンフォーム 振動台実験
振れ固有振動数 振れ減衰定数

正会員 ○山口 雄大*1 正会員 佐藤 大樹*2
同 丸山 勇祐*3 同 中川 尚大*3
同 長尾 悠生*3 同 田村 哲郎*2

1. 緒言

建築技術の発展により、建築構造物の更なる長大化や軽量化が想定され、将来的にはより軽量で柔軟な連続体に近い振動挙動を示す構造物の空力振動の評価が必要となる可能性が考えられる。本研究では、そのような場合を想定した空力振動評価手法の確立を目的とした基礎的研究として、ウレタンフォームを空力振動模型の素材として用いることを試み、材料の物性や模型の曲げ振動性状について実験的に調べた結果を報告してきた¹⁾。一方で、断面辺長比3のウレタンフォーム角柱模型では、一様流での風洞実験を実施したところ、振れを伴う空力振動挙動が確認されたことから、当該模型の空力振動挙動の分析のためには、曲げ振動のみならず、振れ振動特性の把握も必要である。そこで、本報では、断面辺長比3のウレタンフォーム角柱模型の振れ振動の特性について、振動台を用いた振れ強制加振実験により調べた結果を報告する。

2. 振れ強制加振実験の概要

2.1 模型概要

本報で扱う模型の概略図と緒元を、図1と表1にそれぞれ示す。模型素材は市販の半硬質フォームで、密度は一般的な空力振動模型^{例えば2)}よりも小さい。断面の辺長比は3で、断面の短辺長さに対する模型の高さの比は6である。

2.2 振れ加振装置及び強制加振実験の概略

実験にあたり、図2に示す振れ加振装置を製作した。これは、てこクラック機構を利用したもので、モータを

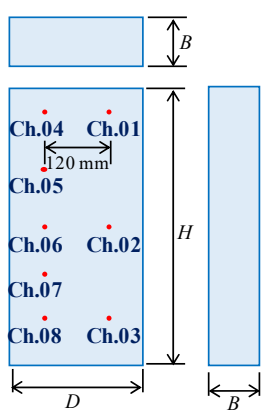


図1
模型の概略図

密度 [kg/m ³]	48.76
見附幅 B [mm]	80
奥行 D [mm]	240
高さ H [mm]	480

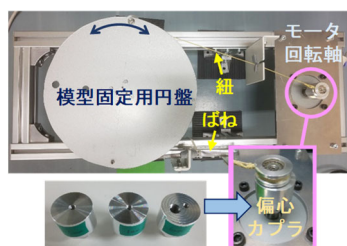


図2 振れ加振装置

定速回転させると、連結した円盤が正弦波で往復回転運動を行う。共振を抑制するため、連結部分は剛な棒ではなく軽量で強固な紐を用いており、円盤の復元力は、この紐及び別途円盤に取り付けたばねによって引張と圧縮を分担して負担させる仕組みとした。振動数はモータの回転速度で決まり、加振角は偏心カプラを取り換えることで調整できる。実験では、図3のように装置の円盤に模型を固定して基礎加振を行い、振れ応答変位を図1や図3に示す Ch.01~Ch.08 の8箇所の計測点においてレーザ変位計で計測した。また、円盤の回転角についても同様に計測した加振角は、0.19 deg., 0.38 deg., 2.29 deg.の3通りとし、加振範囲は1次モードが観測できる範囲とした。図4に1次共振点での模型の応答挙動の様子を示す。図4から、意図通りの振れ振動挙動を観測できたことが分かる。

3. 実験結果の評価と分析

3.1 周波数応答関数とカーブフィットの概要

本実験では、表2に示す、円断面弾性棒の振り理論を矩形断面に拡張した理論に基づく周波数応答関数を用いて、実験結果の評価を行った。具体的には、表2式(3)を実験で得られた模型の頂部計測点 (Ch.01 と Ch.04) の周波数応答振幅 (振れ角) のプロットにカーブフィットさせることで、1次の振れ固有振動数 F_1 と減衰定数 Γ_1 の同定を試みた。なお、周波数応答関数は比例減衰の導入により直交化を利用して導出しており、2次モード以降の打ち切りによる誤差を式(6)の剰余項により補正している。実験結果と前述の方法でフィッティングさせた理論カーブとの比較の一例を図5に示す。図から、理論カーブは実験のプロットの傾向をよく捉えており、表2の理論式を用いた振

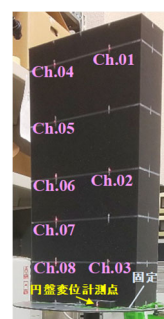


図3
セットアップ

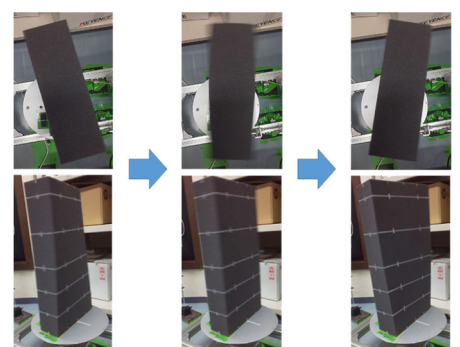


図4 共振点での挙動 (加振角 2.29 deg.)

Forced torsional excitation test of an aero-elastic square prism with a cross-sectional side length ratio of 3 made of polyurethane foam

YAMAGUCHI Yudai, SATO Daiki,
MARUYAMA Yusuke, NAKAGAWA Naohiro,
NAGAO Yuki, and TAMURA Tetsuro

表 2 調和基礎加振を受ける矩形断面弾性棒の捩れ振動理論

調和捩れ基礎加振を受ける弾性角柱の運動方程式	
$\rho J_p \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = GJ \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial z^2} - \rho I_p \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial t^2} \quad (1)$	
$X(z) = \sum_{n=1}^j B_n \Theta_n \left\{ \frac{1 - \kappa_n^2 (1 - 4\Gamma_n^2) - 2\Gamma_n \kappa_n^3 i}{(1 - \kappa_n^2)^2 + 4\Gamma_n^2 \kappa_n^2} \right\} + R(z) \quad (2)$	
$ X = \sqrt{X_{Re}^2 + X_{Im}^2} \quad (3) \quad \theta = \tan^{-1}(X_{Im}/X_{Re}) \quad (4)$	
$B_n = \frac{\rho J_p}{I_n} \int_0^H \Theta_n(z) dz \quad (5) \quad \Theta_n = C \sin \frac{2n-1}{2H} z \quad (6) \quad R(z) = 1 - \sum_{n=1}^j B_n \Theta_n \quad (7)$	
$\left\{ \begin{array}{l} X : X \text{の振幅 (捩れ角)成分} \quad \theta: X \text{の位相成分} \quad C: \text{定数} \quad B_n: \text{刺激係数} \\ \Theta_n: \text{固有モード} \quad n: \text{モードの次数} \quad I_n: \text{一般化慣性モーメント} \\ j: \text{対象とする上限モード} \quad R(z): \text{モード打ち切り補正項} \end{array} \right.$	

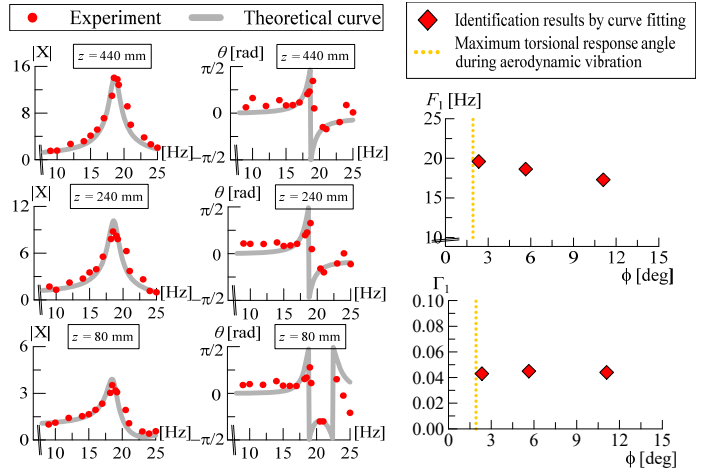


図 5 カーブフィットの一例 (加振角 0.39 deg.)

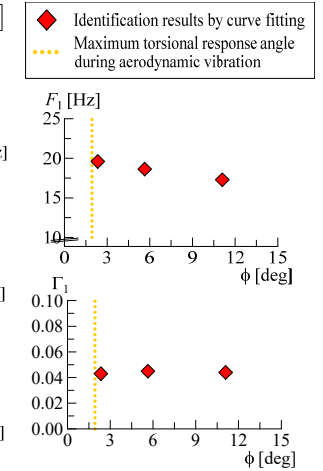


図 6 捩れ固有振動数 F_1 と捩れ減衰定数 Γ_1 の同定結果

れ振動性状のモデル化と評価は妥当であると考えられる。

3.2 模型の捩れ固有振動数及び捩れ減衰定数の同定結果

図 6 に、カーブフィットによる 1 次捩れ固有振動数 F_1 と減衰定数 Γ_1 の同定結果の比較を示す。図の横軸は、頂部計測点 (Ch.01 と Ch.04) における共振点での相対捩れ応答角を表している。図より、 F_1 は、捩れ応答角が大きくなるに従って低下する傾向にあることが見て取れる。一方で、 Γ_1 は、実験範囲内でほぼ一定であり、およそ 4.4 %程度の値であることが分かる。なお、この減衰の大きさは、曲げ振動実験で調べた曲げの減衰定数とほぼ同程度である¹⁾。一方で、曲げの減衰で確認された微小振幅域での振幅依存傾向¹⁾は、 Γ_1 には見られなかった。また、 F_1 の振幅 (捩れ角) 依存性は、曲げ固有振動数では見られなかった傾向である。この原因はまだ明らかにできていないが、材料的な性質によるものである可能性が考えられる。今後、材料のせん断試験を行うなどして、捩れ剛性あるいはポアソン比の特性について詳細に調べる必要がある。なお、図 6 の黄色の点線は、模型を短辺側が風受面となるよう風洞内に固定して一様流での空力振動実験を試みた際に観測された頂部計測点での空力振動応答の捩れ成分の最大値を参考として示したものであり、加振角 0.19 deg での実験の応答角とほぼ同じ結果となった。今後は、本実験での捩れの物性評価結果を踏まえながら、空力振動挙動の分析についても進めていきたい。

4. 結言

本報では、辺長比 3 のウレタンフォーム空力振動角柱模型の捩れ加振実験の概要と結果を報告した。今後は、曲げ振動との連成なども検討対象に加えると共に、空力振動挙動の分析と従来の空力振動モデルとの比較も行いながら、ウレタンフォームの柔軟構造物の空力振動モデルへの適用可能性について更に検討を進めたい。

謝辞

本稿は前田建設工業㈱と東京工業大学による共同研究の成果の一部をまとめたものであり、研究の一部は JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム (JPMJOP1723) によるものです。また、実験装置の製作にあたり、東京工科大学 余錦華教授並びに(有)シー・アイ・エス 安藤弘氏にご助力を賜りました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 山口雄大 他: 柔軟な発泡材料を用いた空力振動角柱模型の機械的性質及び曲げ振動特性について, 日本建築学会技術報告集, 第 28 巻, 第 69 号, pp. 609-614, 2022.6;
- 2) 天野輝久: 一様流中における三次元正四角柱の渦励振およびギャロッピングに及ぼす隅欠き・隅切りの効果, 日本建築学会構造系論文集, 第 60 巻, 第 478 号, pp. 63-69, 1995.12
- 3) SIMULA User Assistance 2017, ABAQUS,

http://lice0.int.t3.gsic.titech.ac.jp/abaqus/DassaultSystemes/SIMULIA2_017doc/English/DSSIMULIA_Established.htm

(Reference date 2022/ 03/ 03)

付録 FEM による周波数応答解析結果と矩形断面弾性棒理論に基づいた捩れ周波数応答関数 (表 2 式(2)) の比較

表 2 式(2)の周波数応答関数を、3次元弾性 FEM による捩れ周波数応答解析結果と比較した図を図 A に示す。なお、FEM 解析には汎用ソフト ABAQUS 2017³⁾を用い、モデルの要素は既報¹⁾と同様とした。理論と FEM 解析は同じパラメータとしている。図 A より、両者はずれがある部分もあるが、全体的によい一致を示しており、式(2)の周波数応答関数は、弾性角柱の捩れ振動を所定の精度で適切にモデル化できていると言える。

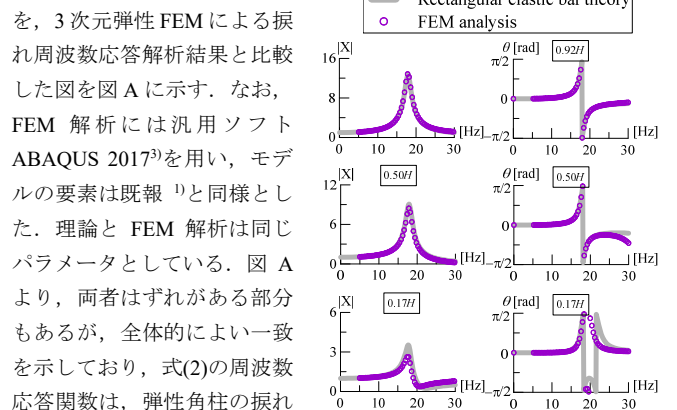


図 A 周波数応答関数の検証

(矩形断面弾性棒理論 vs 3次元弾性 FEM)

*1 元東京工業大学

*2 東京工業大学

*3 前田建設工業㈱

*1 Former Tokyo Institute of Technology

*2 Tokyo Institute of Technology

*3 Maeda Corporation