T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	調和加振による超弾性三次元角柱模型の曲げ振動性状の評価 その2：振動台を用いた調和加振実験の概要
Title(English)	Evaluation of bending vibration characteristics on a 3D hyper-elastic square cylinder model by harmonic excitation Part2: Outline of harmonic excitation experiment using a shaking table
著者(和文)	長尾悠生, 山口雄大, 佐藤大樹, 中川尚大, 丸山勇祐, 田村哲郎
Authors(English)	Yuki Nagao, Yudai Yamaguchi, Daiki Sato, Naohiro Nakagawa, Yusuke Maruyama, Tetsuro Tamura
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 939-940
Citation(English)	, , , pp. 939-940
発行日 / Pub. date	2021, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

日本建築学会大会学術講演梗概集
（東海） 2021 年 9 月

調和加振による超弾性三次元角柱模型の曲げ振動性状の評価
その 2：振動台を用いた調和加振実験の概要

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

超弾性模型 調和加振 曲げ振動
振動台実験 連続体振動 高次モード

1. 緒言

本報は，超弾性三次元角柱模型（以降，模型）の空力振動実験 [1)]の適切な評価のため，調和加振により模型の曲げ振動性状を詳細に把握することを目的としている．本報その 1 では，調和加振実験の評価を行うため，連続体振動理論に基づいて線形伝達関数（周波数応答関数）を導出し，モード打ち切り誤差の補正に関して検証を行った．本報その 2 では，実際に空力振動実験 [1)]で観測された振幅レベルにおける模型の周波数応答特性を得ることを目的として実施した調和加振実験の概要について報告する．

2. 実験模型の概要

実験に用いる模型の諸元を Table1 に，模型の写真を Fig.1 に示す．この模型は既報 1)で空力振動実験に用いた模型の 1 つで，軟質ウレタンフォームから切り出して作成した辺長比 $D/B=1$，アスペクト比 $H/\sqrt{BD}=6$ の一様な正四角柱である．模型全体が柔らかく曲げ変形し，大変形後も原型回帰する超弾性の性質を有している．模型の一端は接着剤で剛な板に接着され，固定端となっている．Table1 に示す固有振動数と減衰定数は，既報 2)の自由振動実験での評価値である．既報 2)では，空力振動実験の結果を基にして振幅の区分を設け，その振幅区分ごとに固有振動数と減衰定数をアンサンブル平均して評価を行っている．Table1 に示している値は，その評価値のうち，共振風速下での風直交方向の応答の標準偏差に該当する振幅域での評価値である．

3. 実験装置の概要

実験装置の概略図を Fig.2 に示す．加振器の上に設置した振動テーブルに模型の底板を接着して固定しており，模型に大振幅を与えても底板が動いたり浮き上がったりしないことを確認している．加振器はサンエス製永久磁石振動加振器／起振器 SSV-125 を用いており，サンエス製デジタル振動制御装置 DSC40-SMART と，サンエス製電力増幅器 SVA-ST-1K に接続されている．加振の指令は機器に接続した PC を用いて与え，加振器の運動の制御は振動テーブル上に固定した加速度計で加速度を計測しながら行う仕組みである．なお，加振器は防振マットと防振テープにより防振対策を施しており，実験時に加振器自体が共振して動くことがないようにしている．Fig.3 に，模型の Y 面の測定点の概略図を示す．図に示す 8 点の測定点（Ch.01～Ch.08）で模型の定常応答を測定する．応答は，振動テーブル外に設置したレーザ変位計（キーエンス製 IL600）により電圧として計測され，変位に変換される．なお，振動テーブルの運動もレーザ変位計で測定する．

Table1 Parameters of the model

Material	Soft Urethane
Breadth B [m]	0.08
Depth D [m]	0.08
Height H [m]	0.48
Density ρ [kg/m^3]	15.8
Natural frequency f_1 [Hz]*	3.48 ~ 3.57
Damping ratio h_1*	0.022 ~ 0.055

*Values based on the free vibration tests in Reference 2)

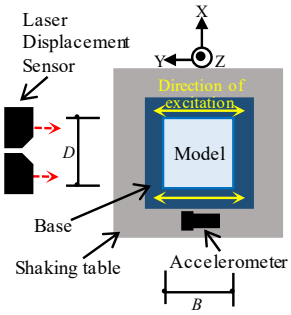


Fig.2 Experimental apparatus

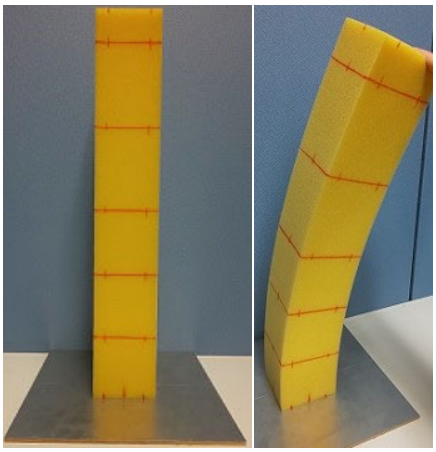


Fig.1 Pictures of the hyper-elastic square cylinder model made from soft urethane foam

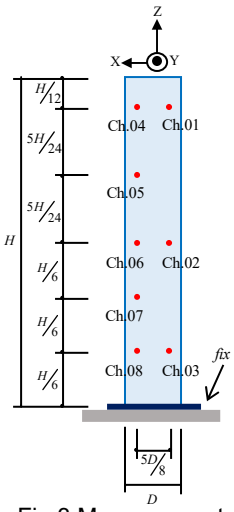


Fig.3 Measurement points on Y-plane

Table2 Amplitude and range of frequency of input wave

Target excitation amplitude a_0 [mm]	0.4	1	1.6	2.2	2.8
Target frequency range [Hz]	1 ~ 10	1 ~ 30	1 ~ 10	1 ~ 10	1 ~ 10

4. 実験方法と評価方法

本実験では，加振振動数と加振変位振幅を制御した調和型の水平加振力を発生させて模型の基礎励振を行う．加振振幅は Table2 に示す 5 通りとした．なお，本実験は，先述のように模型の空力振動特性の評価を行うために曲げ振動性状を把握することを目的としているため，空力振動実験 [1)]における模型の大変形時の応答振幅を実現できるよう考慮したうえで，振動台の性能を勘案して加振振

Evaluation of bending vibration characteristics on a 3D hyper-elastic square cylinder model by harmonic excitation
Part2: Outline of harmonic excitation experiment using a shaking table

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

幅を決定している．加振振動数の範囲は，1 次の共振点を観測できるような範囲（1 Hz ～ 10 Hz）とし，a_0 = 1.0 mm の場合のみ，2 次の共振点を観測できるよう，さらに高振動数域（1 Hz ～ 30 Hz）まで加振を行うこととした．測定は以下の手順で行う．

[1] 制御用 PC で目標の加振変位振幅と振動数を設定し，加振器を作動させる．

[2] 加振器が目標の変位と振動数に達し，模型の過渡応答が消えたことを確認してから，レーザ変位計により計測を開始する．

[3] 定常応答を 50 秒間計測したら終了する．

以上の手順を繰り返す．サンプリング周波数は 1000 Hz とし，加振振動数のステップ幅は，共振点付近では 0.1 Hz ～ 0.05 Hz，それ以外の箇所では 0.5 Hz とした．

以上の実験で得られた時刻歴応答波形（50000 プロット）から，加振振動数ごとに振幅と位相を算出する．振幅は，時刻歴応答波形の全てのピークの平均値とし，位相は，加振波形と模型の各測定点における応答波形のピークのずれから算出する．

5. 実験結果の概要

Fig.4 に，本実験で得られた 1 次の共振点付近の加振振動数と模型の応答振幅（z = 440 mm の 2 箇所の測定点（Ch.01 と Ch.04）における相対変位振幅の平均）の関係を加振振幅ごとにプロットで示す．各プロットと加振振幅の対応関係は凡例に示す通りである．また，図中に黄色と桃色で示した直線は，それぞれ既報 1)の空力振動実験における共振風速下での z = 440 mm の測定点の応答変位（風直交方向）の標準偏差と最大値を表している．この図から，本実験において，意図通りに空力振動実験における大変形領域と同レベル程度の応答振幅を実現できていることが分かる．

Fig.5 に，加振振幅 a_0 = 1.0 mm で加振した場合の z = 440 mm の測定点における周波数応答線図（絶対変位応答伝達率）を示す．図の左側の縦軸が振幅，右側の縦軸が加振波と応答波の位相差を表している．Fig.5 では，Fig.4 の 1 次の共振点に加えて 21 Hz 付近にも振幅の小さなピークが見られる．このピークに合わせて 180° の位相変化が起こっていることからも共振点であると判断でき，加振振幅 a_0 = 1.0 mm の実験において，意図通りに 2 次の共振点までを観測できたことが確認できる．

Fig.6 に，加振振幅 a_0 = 1.0 mm で，加振振動数が 3.5 Hz と 21.4 Hz の場合の応答波形の一部を示す．どちらの波形も定常的であり，また，測定点間で波形のピークの発生時刻に大きなずれがないことが確認できる．さらに，2 つの図では振幅の大小関係や正負が異なることから，振動モードが異なっていることが分かる．Fig.7(a)に，Fig.6 の

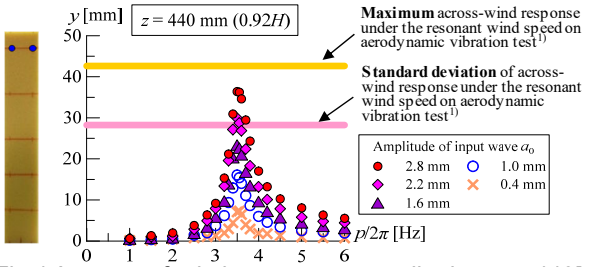


Fig.4 Average of relative response amplitude on z=440[mm] around the 1st resonant point

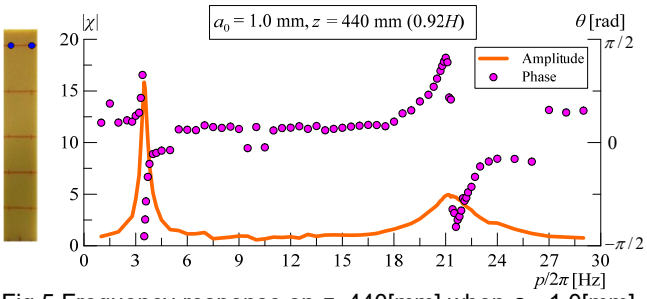


Fig.5 Frequency-response on z=440[mm] when a_0=1.0[mm] (Absolute displacement response transmissibility)

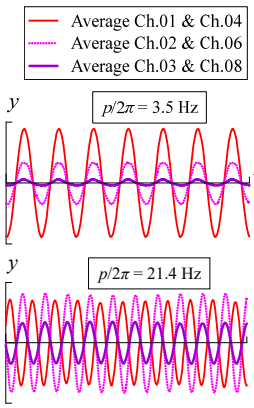
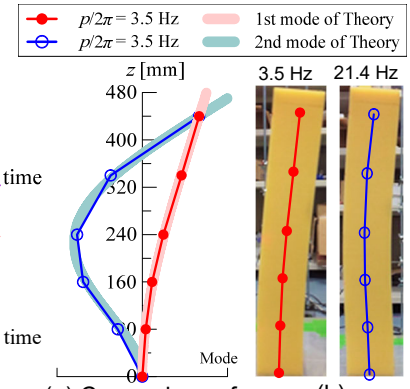


Fig.6 A part of time history (3.5 Hz and 21.4 Hz)



(a) Comparison of mode shapes between experiment and theory

(b) Deformation of the model in experiment

Fig.7 Mode shapes

2 つの振動数における模型の振動モードと，連続体の曲げ振動理論における 1 次モード形と 2 次モード形を示す．また，Fig.7(b)に，3.5 Hz と 21.4 Hz で加振を行っている時の模型の変形の様子を捉えた写真を示す．これらの図から，3.5 Hz での加振時は 1 次モード，21.4 Hz での加振時は 2 次モードで模型が振動しており，それぞれ理論の 1 次モード形と 2 次モード形によく一致していることが確認できる．

6. 結言

本報その 2 では，振動台を用いて超弾性三次元角柱模型の調和加振実験を行い，意図通りの結果が得られたことを確認した．本報その 3 では，本実験結果と本報その 1 で示した伝達関数の理論式のカーブフィットを行い，模型の固有振動数とモード減衰定数を評価することを試みる．（謝辞及び参考文献はその 3 にまとめて示す．）

*1 前田建設工業
*2 東京工業大学

*1 Maeda Corporation
*2 Tokyo Institute of Technology