

令和 2 年 4 月 10 日現在

機関番号：31303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06652

研究課題名(和文) 建物の機能維持を目指した慣性質量効果を有する制振機構の実建物への適用に関する検証

研究課題名(英文) Investigation of the effectiveness of vibration control system equipped with inertia mass effect for building structures

研究代表者

船木 尚己 (Funaki, Naoki)

東北工業大学・工学部・教授

研究者番号：70347897

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、液流による内圧抵抗および慣性質量効果を利用して建物の応答低減と周期特性を容易に調整できる簡便な装置を考案し、実験と解析の両面から実建物への適用の可能性について検証した。具体的には、ダンパー単体による加振試験を行い、加振条件や液流の流路形状の違いがダンパーの発揮する慣性質量効果とエネルギー吸収能力に与える影響を確認した。試験結果に基づき、ダンパーの抵抗力特性を忠実に再現できる力学モデルを構築した。1層および3層骨組試験体による振動台加振試験を行い、地震時における建物の振動応答特性を把握した。時刻歴応答解析手法を構築し、比較的高い精度で実験結果を再現できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

提案した機構が、地震時に建物に入力したエネルギーを吸収するだけでなく、細い管を液体が高速で流れることにより発生する質量効果によって建物の周期特性を調整できることを確認した。それは、地震時における建物躯体の損傷を軽減するだけでなく、建物の機能を維持できることを意味する。従って、本機構を建物に導入することにより、地震後の社会活動が継続して行われることが可能となる。

研究成果の概要(英文)：We have been developing the new type of liquid damper having inertia mass effect by liquid flow in the narrow tube, and investigate the effectiveness of the damper based on test and analysis. Dynamic excitation tests on specimen dampers revealed the property of resisting force of the damper, which was composed of viscoelastic resistance of the sealing materials and inner pressure of the liquid flow, inertia mass effect through a narrow connecting pipe. It was verified that the analytical model for the resisting force constructed based on the excitation test results with enough accuracy. Also, reduced scale single and three-storied steel portal frame specimens were subjected to forced vibration tests on a shaking table and the test results were compared with the responses simulated by the time step integration program was implemented. Thus, the effect of the vibration control by the new damper was demonstrated and the validity of the response analysis program was proved.

研究分野：建築構造

キーワード：制振構造 振動制御 慣性質量 振動台加振試験 多層骨組 地震応答解析 液流ダンパー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地震時における建物の安全性を高いレベルで確保する制振構造は、これまでに国内外で多くの研究がなされ、すでに実用段階にある。しかしながら、近年、各地で多発している大規模地震では、建物に入力された地震エネルギーを制振機構で吸収するだけでは建物機能を維持するには十分でなかった事例も確認されている。そこで、質量効果を利用して建物の周期特性を調整し、建物に入力される地震エネルギーの軽減を試みた装置が提案されている。これらの研究の多くは、より大きな質量効果を得るために、ボールねじ等を用いた増幅機構により付加質量の増幅を図ろうとするものがほとんどであるが、これらの機構は構造が複雑であるため、導入の段階で、設置の精度やコスト高の問題が生じるものと考えられる。そこで、申請者はこれらの問題を解決するために、液流の往復運動時に発生する粘性抵抗と慣性力を建物の応答低減と周期特性の調整に利用した新たな機構（以降、慣性液流ダンパーとする。）を開発した（図1）。

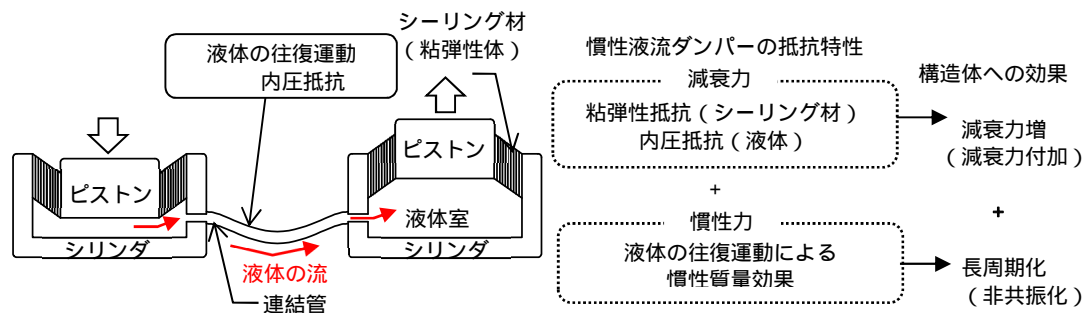


図1 慣性液流ダンパーの概念

2. 研究の目的

本研究は、新たに提案した慣性液流ダンパーの単体による要素実験と、本ダンパーを組み込んだ縮小骨組試験体を用いた振動台加振実験および時刻歴応答解析を行って得られた結果に基づき、本ダンパーの抵抗力特性と制振効果、および解析手法の妥当性について明らかにし、実建物への適用の可能性を検討する。

3. 研究の方法

(1) ダンパーの抵抗力特性について：慣性液流ダンパーの発揮する抵抗力と質量効果は、流路形状の違いにより変化する。そのため、動的アクチュエーターを用いて流路形状の異なる連結管を用いたダンパーの要素実験を実施し、得られた変位 抵抗力履歴ループ等から本ダンパーの基本的な抵抗力特性を明らかにする。

(2) ダンパーを有する制振骨組の振動応答特性について：ダンパーを組み込んだ1層および3層の縮小骨組試験体による振動台加振試験を実施し、ダンパーにより構造体に付加される減衰効果や周期の変化量等の基本的な振動特性と、実地震に対する制振効果を確認する。また、ダンパーの減衰効果を定量的に評価する手法についても考える。

(3) ダンパー抵抗力の力学モデルについて：慣性液流ダンパーを実建物に適用する場合、地震動に対して効率の良い応答低減効果を得るための最適設計手法を確立することが不可欠である。そのために、ダンパーの要素実験により得られた結果に基づき、液流による圧力抵抗と慣性質量効果を再現できる力学モデルを構築する。

(4) 制振骨組を対象とした時刻歴応答解析について：構築した力学モデルを組み込んだ離散時間系振動方程式を導き、時刻歴応答解析を行う。自作した解析プログラムによるシミュレーションの結果を、実験結果と比較することにより解析手法の妥当性を検証する。

4. 研究成果

(1) ダンパーの抵抗力特性について：ダンパー単体による正弦波加振試験を行い、得られた結果に基づき、本ダンパーの抵抗力特性について検証した。その結果、ダンパーの変位に対する抵抗力と内圧差の履歴ループは、歪みが小さく安定した履歴特性を示すことを確認した。また、流路形状の違いによる抵抗力等の変化についても、その傾向をとらえることができた。

(2) ダンパーを有する制振骨組の振動応答特性について：ダンパーを組み込んだ1層および3層の縮小骨組試験体による振動台加振試験を実施した。1層骨組試験体については、ダンパーが組み込まれた骨組の基本的な振動応答特性を確認するため、正弦波を入力した加振試験を行った。得られた共振曲線を図2に示す。これらの結果、ダンパーの発揮する粘性抵抗によって共振時における骨組の応答が低減することに加え、質量効果により骨組の固有振動数は小さくなることが確認できた。また、地震波加振試験を行って得られた結果に基づき、実地震に対するダンパーの応答抑制効果について検証した。入力波として、日本建築センターのBCJ-L1波（最大加速度：207.3cm/sec²）を採用した。図3のスペクトルに示すように、ダンパーが組み込まれた骨組の固有周期が入力波の卓越振動数領域に収まるように、入力波の時間軸を1/2に縮めたものを用いた。これらの結果より、ダンパーによる加速度応答の低減効果を確認した。また、図4に示すとおり、試験体の応答値を入力波の加速度応答スペクトルに重ね合わせて骨組の等価減衰定数 h_{eq} を求め、内圧抵抗による応答低減効果の影響について確認した。多層建物に対するダンパーの応答低減効果を確認するために、3層骨組試験体による振動台加振試験を行った。ここでは基本的な振動応答特性を把握する目的で正弦波により加振した。得られた結果を図5に示す。

これらの結果、1層骨組同様、多層骨組であってもダンパーによる応答低減および質量効果が発揮されることを確認した。しかしながら、モードの違いによってその効果に差異が生じることが明らかとなり、それぞれのモードに対する応答低減効果の評価については十分に検討できていないため、継続して検証を続けることとする。

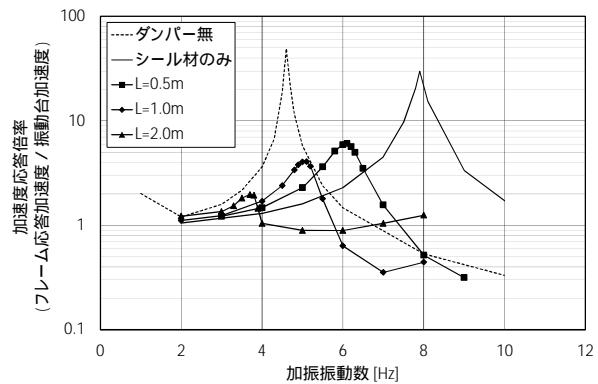


図2 共振曲線（1層骨組試験体）

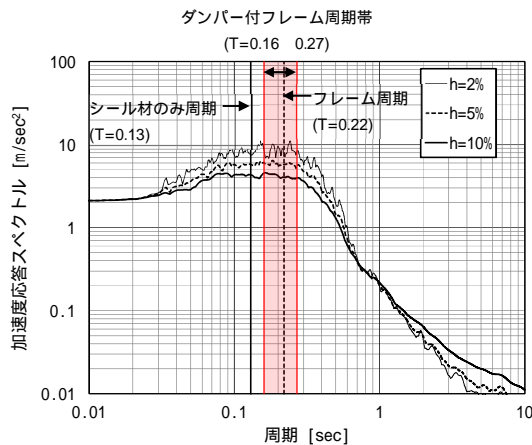


図3 入力波の加速度応答スペクトル

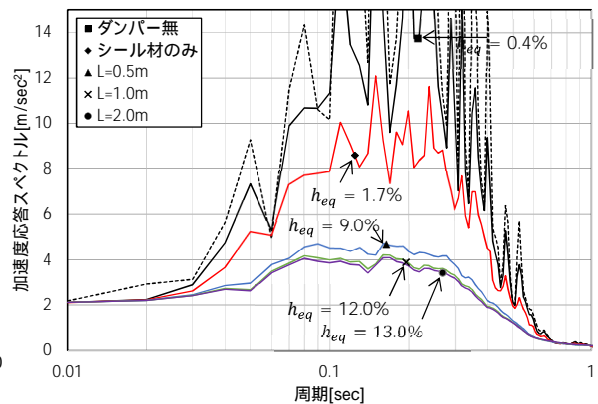


図4 加速度応答スペクトルと試験結果の対応

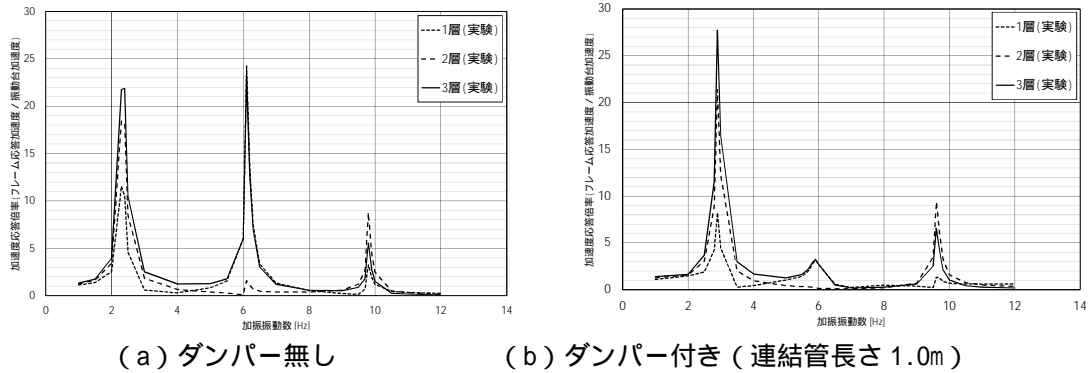


図5 共振曲線（3層骨組試験体）

(3) ダンパー抵抗力の力学モデルについて: ダンパーの要素実験により得られた結果に基づき、液流による圧力抵抗と慣性質量効果を精度よく再現できる力学モデルを構築した。シール材の抵抗力は、加振振幅および加振振動数の変化に対してループの傾きはほぼ一定であること、また、高振動数領域でごくわずかにエネルギー吸収能力を有することから、それを速度に比例する粘性減衰と仮定した。液流に起因する質量効果は、ピストンの有効断面積と連結管の流路断面積の比、連結管内の液体の質量をパラメータとした計算式を導いた。また、液流による圧力損失については、流路形状の変化や連結管内の摩擦抵抗を考慮し、図6に示すようなレイノルズ数と管摩擦係数の実験式を導き、内圧抵抗の計算式を構築した。これらの計算式に基づき、時間ステップ解析により算出した内圧差履歴ループの解析結果と実験結果を比較した一例を図7に示す。これらの結果、ここで構築した解析手法によって試験結果を比較的精度よく再現できることを確認した。

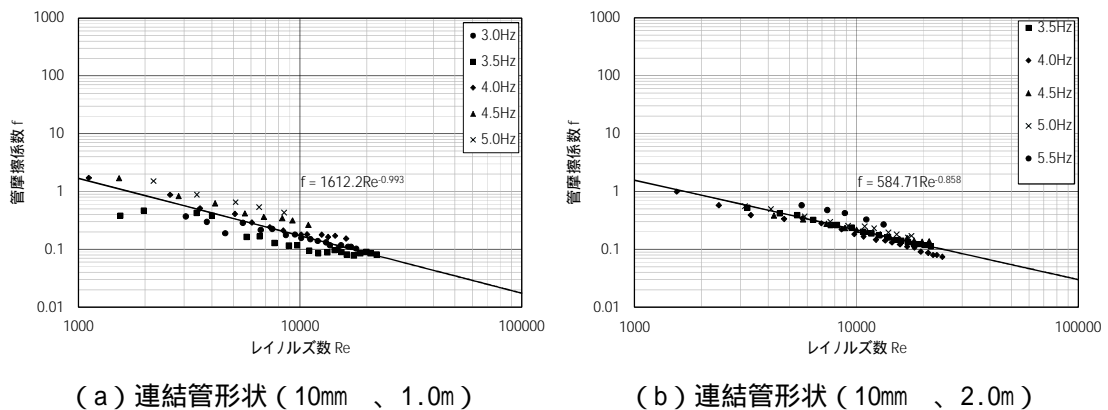


図6 管摩擦係数とレイノルズ数の関係

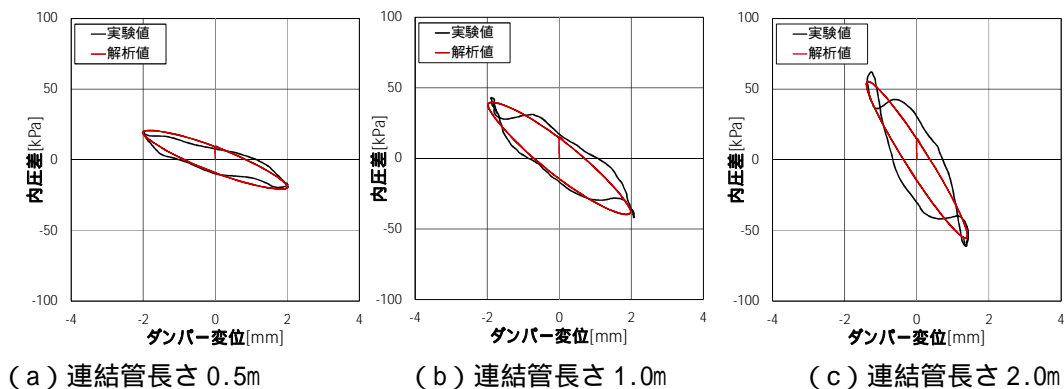


図7 解析結果と実験結果の比較（5.0Hz）

4) 制振骨組を対象とした時刻歴応答解析について：先に構築した力学モデルを組み込んだ離散時間系振動方程式を導き、1層および3層骨組試験体を対象とした時刻歴応答解析を行った。図8と図10に示すように、共振曲線については、ダンパーによる粘性抵抗と慣性質量効果による骨組の応答低減と周期変動を概ね精度良く再現できることを確認した。また、図9, 11に示したダンパー変位 抵抗力履歴ループ、変位 内圧差履歴ループにおいては、3層骨組試験体の実験結果と解析結果で変位に差がみられるものの、ここで示した解析手法により十分な精度で実験結果を再現できることを確認した。

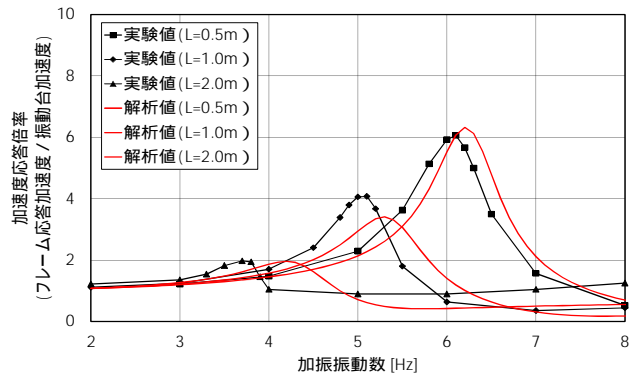
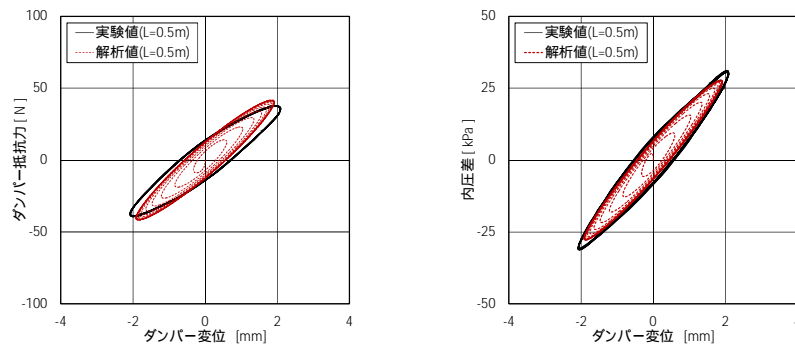


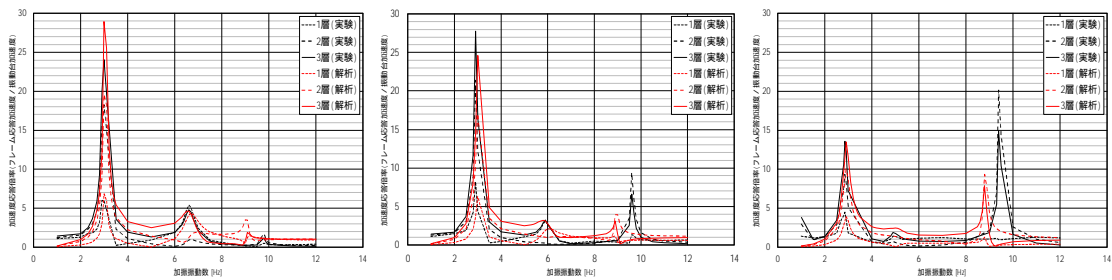
図8 1層骨組の解析結果と試験結果の比較（共振曲線）



(a) 変位 抵抗力履歴ループ

(b) 変位 内圧差履歴ループ

図9 1層骨組の解析結果と実験結果の比較（加振振動数：6.1Hz）

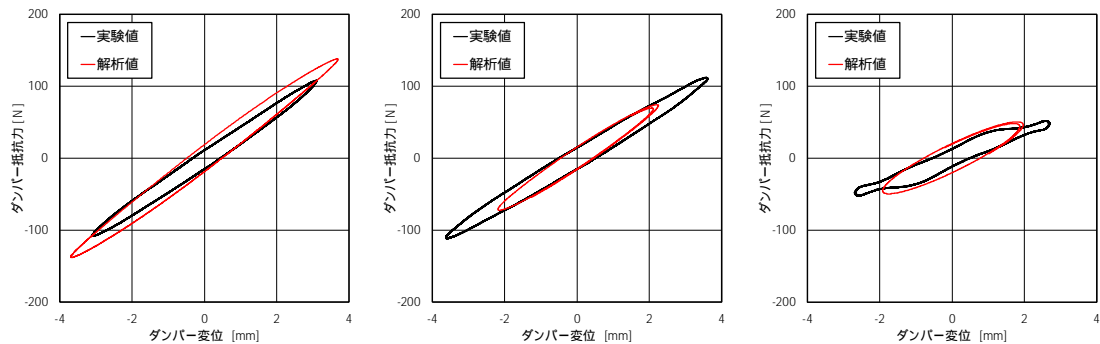


(a) 連結管長さ：0.5m

(b) 連結管長さ：1.0m

(c) 連結管長さ：2.0m

図10 3層骨組の解析結果と試験結果の比較（共振曲線）



(a) 連結管長さ：0.5m

(b) 連結管長さ：1.0m

(c) 連結管長さ：2.0m

図11 3層骨組の解析結果と試験結果の比較（変位 抵抗力履歴ループ：1次共振点）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 畑中友、船木尚己	4. 巻 63B
2. 論文標題 慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた1層フレーム試験体の振動応答特性	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 PP.205-211
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 畑中友、船木尚己、薛松濤
2. 発表標題 慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた1層フレーム試験体の振動応答特性
3. 学会等名 日本地震工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横田陽大、藤田智己、畑中友、船木尚己、飯藤將之
2. 発表標題 慣性質量効果を有する液流ダンパーを付加した1層フレーム試験体の振動台加振試験
3. 学会等名 日本自然災害学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 畑中友、船木尚己
2. 発表標題 慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた1層制振フレームの振動応答特性 その3 地震波加振試験および時刻歴応答解析
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 船木尚己、畑中友、薛松濤
2. 発表標題 東北地方太平洋沖地震を経験した制振建物の地震観測記録に基づく振動特性評価
3. 学会等名 日本自然災害学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 畑中友、藤田智己、船木尚己
2. 発表標題 慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた多層骨組の振動応答特性（その1）試験体概要と振動台加振試験
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田智己、畑中友、船木尚己
2. 発表標題 慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた多層骨組の振動応答特性（その2）時刻歴応答解析
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	藤田 智己 (Fujita Tomomi) (10552458)	仙台高等専門学校・総合工学科・准教授 (51303)	

