

慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた3層骨組の振動応答特性

(その1) ダンパーおよび実験の概要

仙台高専専攻科生 水間巧大

東北工業大学 船木尚己, 東北工業大学大学院 小嶋健太郎

仙台高専 飯藤将之, 藤田智己

1. はじめに

本稿は、東北工業大学において制振デバイスとして開発してきている慣性質量効果を有する液流ダンパーを多層フレームに組み込み、地震応答の低減効果を検討した結果をまとめたものである。液流ダンパーは一对のピストン・シリンダーと細長い連結管からなり、連結間に充填した液体が振動時に慣性質量効果を発揮することで構造物の長周期化と高減衰化をもたらし、地震応答低減を可能にすることができるものであり、これまで、液流ダンパー単体の特性やフレームモデルに組み込んだ検討を行ってきた¹⁾。本稿では、3層の縮小フレームに、連結間長さを3種類変化させ、更に、組み込む層を変えて検討した結果を示し、その1ではダンパーと実験の概要について、その2では実験結果と正弦波入力による応答解析結果を用いた周波数応答解析結果についてまとめる。

2. ダンパーの概要²⁾

液流ダンパーは一对のピストン・シリンダーを連結管でつないで構成する。ピストンを骨組の床に設置したバットレスに、シリンダーを骨組の上部床からの吊り下げた固定治具に固定し、骨組が水平方向に振動して層間変位が生じた際に移動するピストンにより、シリンダーに充填した液体を押し引きして、液体を連結管内に移動させて、慣性質量効果を発揮させるものである。液流ダンパーの概念と詳細を図1と図2に示す。

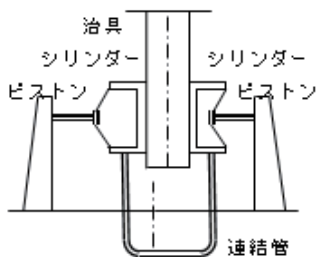


図1 ダンパーの概念図

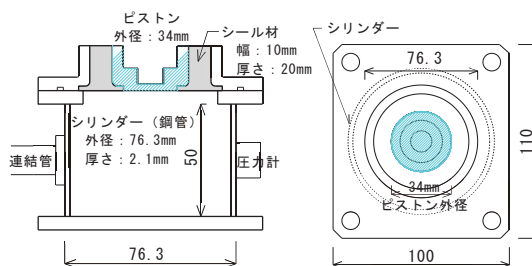


図2 ダンパーの詳細図

開発のために使っている縮小フレームに適用する液流ダンパーに用いるシリンダーは厚さ 2.1mm のステンレス製で、内径を 72.1mm で、深さを 50mm としている。ピストンはステンレス製で、外径 34mm としている。ピストンの外枠部分にはシール材（シリコンゴム）を充填し、液体が漏れることのないようにしている。ピストンの可動振幅は、おおよそ $0\pm 5\text{mm}$ である。連結管はステンレス製で、内径は 12mm である。連結間長さが長いほど、応答低減効果が大きくなるが、今回の実験では、連結間を長さ 0.5m, 1m, 2m の 3 種類用意した。

3. 試験体の概要

試験体の詳細を図 3 に、試験体ケースを表 1 に示す。3 層試験体であり、各層の階高を 500mm とし、各層フロアには、幅 500mm、奥行き 440mm、厚さ 8mm の鉄板を用いている。鉄板の質量は約 13.6kg である。柱には、幅 100mm、厚さ 4mm のアルミ板を用いており、1 本当たりの質量は約 0.5kg である。柱は各層 4 本とし、床と柱は、アングルとボルトを用いて接続している。ダンパーそのものの質量が約 4.9kg であり、バットレスとダンパー固定治具の重さを加えると、各層で質量の分布が不均一になるため、3 層上部の鉄板におもりを載せて調整している。結果として各層の質量は、3 層=23.5kg、2 層=28.7kg、1 層=34.9kg となっている。

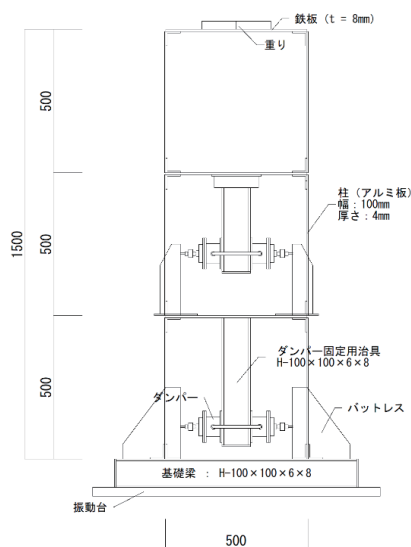


図 3 試験体詳細（単位：mm）

表 1 実験ケース

ケース	1 層	2 層	3 層
Case1	—	—	—
Case2	シール材※1	—	—
Case3	連結管 0.5m	—	—
Case4	連結管 1.0m	—	—
Case5	連結管 2.0m	—	—
Case6	シール材※1	シール材※1	—
Case7	連結管 0.5m	連結管 0.5m	—
Case8	連結管 1.0m	連結管 1.0m	—
Case9	連結管 2.0m	連結管 2.0m	—

※1：ダンパー内に液体が封入されていないもの

4. 実験の概要

加振実験のケースは、大枠、3 層ともダンパーのない場合、1 層のみにダンパーを取り付けた場合、1 層と 2 層にダンパーを取り付けた場合の 3 種類とする。ダンパーを取り付けた際に、シール材のみを施した場合と連結管長さを 3 種類変化させた場合の実験を行うため、表 1 に示すように、実験ケースは $1+(1+3)+(1+3)$ の全 9 ケースとなる。

各ケースについて、おおよそ 1~10Hz に入力周波数を変化させた正弦波加振とホワイトノイズ

を入力した加振を行った。加振には仙台高等専門学校・名取にある永久磁石振動台を用いた。加振機は SSV-125×3 台であり、約 1.5Hz 以上で 100kg 負荷時に 0.83G の加振が可能である。正弦波加振では、シール材が破損しないように、入力最大加速度の基準は 20～25gal とした。ホワイトノイズは、1/81.92～50Hz でのフーリエスペクトルをもとに作成し、振動保障を行ってからレベル調整をして入力した。

図 4 に示すように、計測項目は、振動台と各層の加速度，1 階の左右に取り付けたダンパーの荷重と内圧，2 階の左右に取り付けたダンパーの荷重と内圧，振動台の変位，1 階ダンパーの変形，2 階ダンパーの変形である。

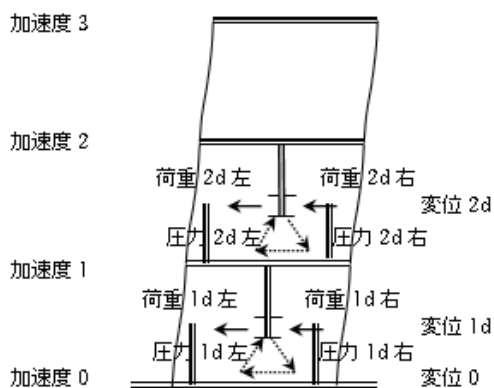


図 4 計測項目

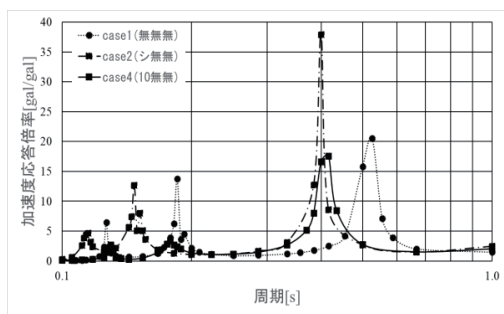


図 5 応答倍率(case1・2・4)

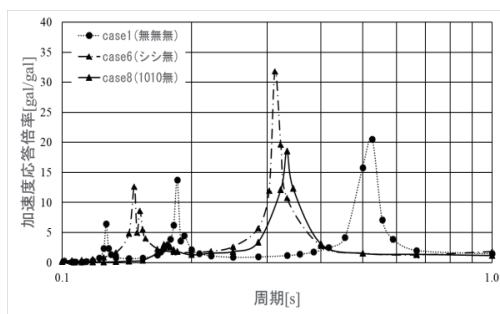


図 6 応答倍率(case1・6・8)

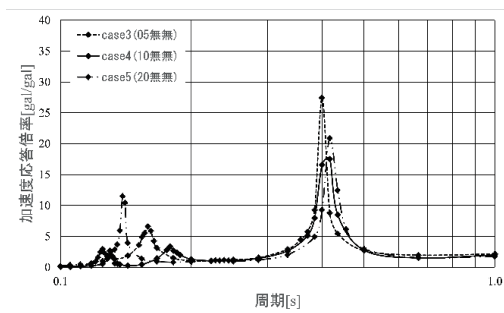


図 7 応答倍率(case3・4・5)

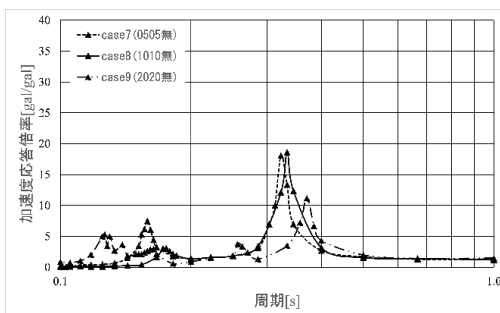


図 8 応答倍率(case7・8・9)

5. 実験結果

図 5 に case1・case2・case4 の応答倍率（3 層／台）を、図 6 に case1・case6・case8 の応答倍率（3 層／台）を示す。両者ともに 1・2・3 次のピークが計測されている。1 次だけ比較すると、どちらの場合でもフレームのみよりもダンパーを組み込んだフレームの固有周期は短くなっている。シール材のみのケースの応答倍率は高くなるが、水を充填することによって応答が低減されている。

1 層のみにダンパーを組み込んだケースの応答倍率を図 7 に、1・2 層にダンパーを組み込んだケースの応答倍率を図 8 に示す。また、各ケースの実験で得られた数値を表 2 に示す。1 次での周波数は、連結管長さを変化させても大きく変わりが無い結果となった。

共振周波数におけるシリンダー・連結管の内圧差-変位関係を図 9 と図 10 に示す。内圧差は、左ダンパーのシリンダー圧力と右ダンパーシリンダーの圧力の差である。1 層のみにダンパーを取り付けた case3~5 の結果が図 9、1・2 層にダンパーを取り付けた case7~9 の結果が図 10 である。図 9 と図 10 上段より、連結管長さを長くすることによって、履歴ループの面積が大きくなることが確認できた。一方、図 10 下段の 2 層にダンパーを組み込んだ場合には履歴ループの面積が小さくなっており、逆 S 字のような形となっている。1・2 層に組み込んだ場合に、1 層のダンパーの役割が大きいことが確認された。

続いて、共振周波数におけるダンパー荷重-変位関係を図 11 と図 12 に示す。ダンパー荷重は、左ダンパーの荷重と右ダンパーの荷重の差である。1 層のみにシール材やダンパーを組み込んだ case2~5 の結果が図 11、1・2 層にシール材やダンパーを組み込んだ case6~9 の結果が図 12 である。全ケースともダンパー荷重-変形関係は、ほぼ弾性の挙動を示していることが確認できた。連結管が長くなるにつれて、荷重の値が小さくなることも確認できた。

6. まとめ

制振デバイスとして開発してきている慣性質量効果を有する液流ダンパーを 3 層フレームに組み込み、振動台を用いて行った加振実験について、ダンパーの概要、実験計画、実験より得られた応答低減効果についてまとめた。

フレームのみの試験体にダンパーを取り付けることによって、シリンダーの剛性によって固有周期が短くなるが、シリンダー内に水を充填した場合に、固有周期を長くして、応答倍率が小さくなることを確認した。更に、連結管が長いほどシリンダー間の内圧差が大きくなり、液流抵抗が大きくなっていることを示した。1・2 層にダンパーを組み込むと、1 層の内圧差-変位関係が紡錘形となる一方で、2 層の内圧差-変位関係は逆 S 字もしくは線形に近く、1 層に組み込んだダンパーの寄与が高くなる傾向が得られた。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金・基盤研究(C)（課題番号：21K04617、研究代表者：藤田智己）の助成を受けて実施されました。ここに記して謝意を表します。

表2 実験結果 周波数と応答倍率

	ピーク周波数[Hz]			ピーク周期[s]			応答倍率		
	1次	2次	3次	1次	2次	3次	1次	2次	3次
Case1	1.9	5.4	7.9	0.53	0.19	0.13	20.5	13.8	6.5
Case2	2.5	6.8	8.7	0.40	0.15	0.11	40.1	11.4	9.3
Case3	2.5	6.3	8.0	0.40	0.16	0.13	27.4	6.6	2.9
Case4	2.4	5.6	7.7	0.42	0.18	0.13	17.5	3.4	2.7
Case5	2.4	4.2	7.2	0.42	0.27	0.14	20.9	1.2	11.5
Case6	3.2	6.8	n-obs	0.31	0.15	n-obs	31.8	12.6	n-obs
Case7	3.1	6.3	n-obs	0.32	0.16	n-obs	18.1	7.5	n-obs
Case8	3.0	5.7	13.5	0.33	0.18	0.07	18.6	3.1	4.0
Case9	2.7	3.9	7.9	0.37	0.26	0.13	11.3	3.8	5.5

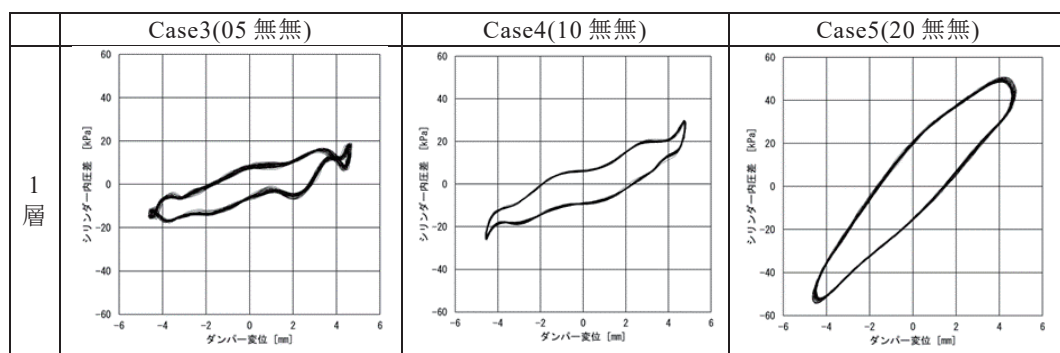


図9 内圧差-変位関係 (case3・4・5)

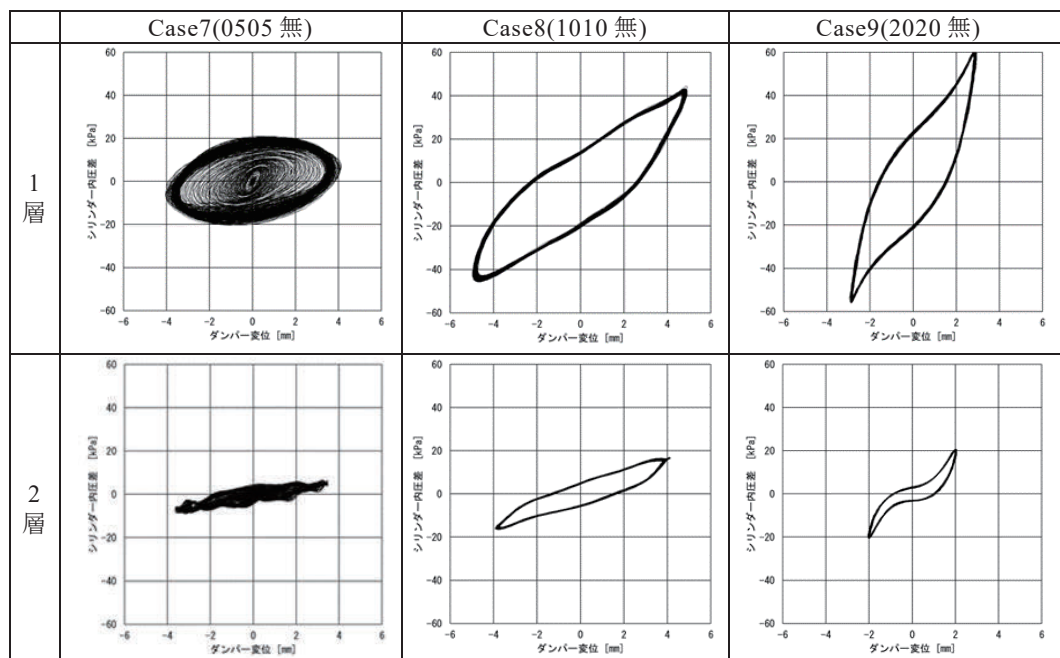


図10 内圧差-変位関係 (case7・8・9)

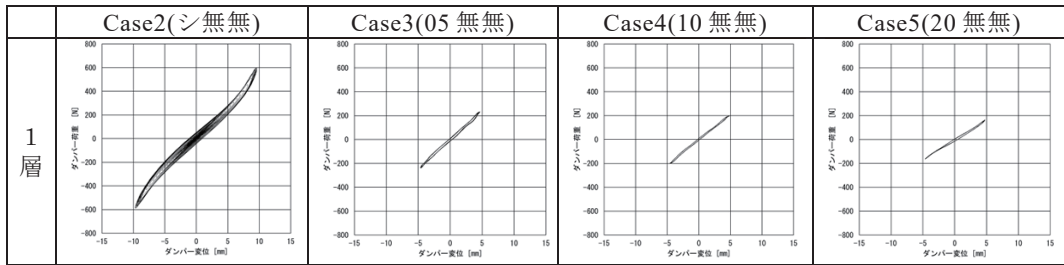


図 11 ダンパー荷重-変位関係 (case2・3・4・5)

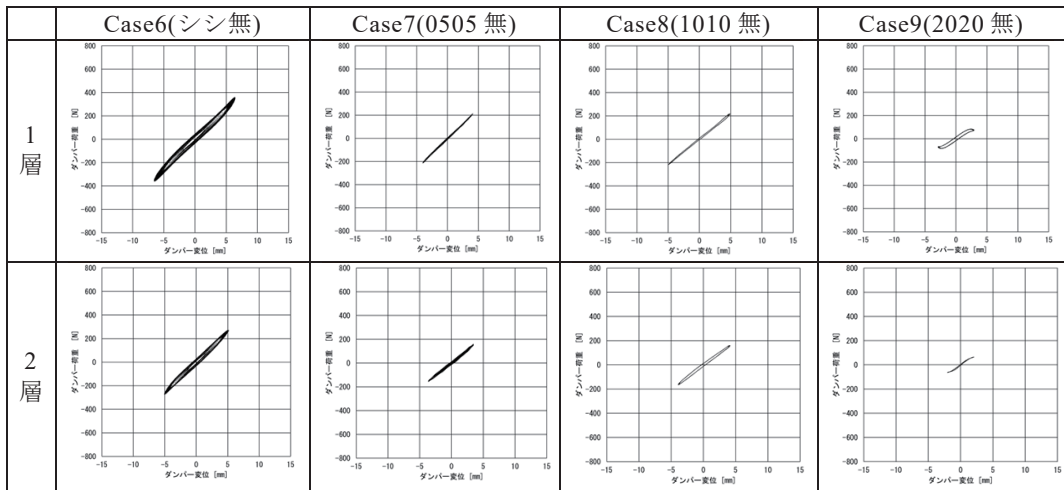


図 12 ダンパー荷重-変位関係 (case6・7・8・9)

参考文献

- 1) 畑中他：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，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.863-864 2020-09
- 2) 畑中友：慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた制振骨組の振動応答特性，東北工業大学博士学位論文，pp.8,12 2017-03