K4-47

ED-02　分散相補連結制振にバネ要素を導入した場合の実験的性能評価

Experimental Evaluation of Distributed Complementary Connected Control Method with Spring Element

金澤 和樹,高橋 洋行,豊田 紘行,高野 崇弘,渡辺 亨, 背戸 一登
Kazuki Kanazawa,Hiroyuki Takahashi,Hiroyuki Toyoda
Takahiro Takano,Toru Watanabe,Kazuto Seto

In this paper, a novel combination of structures for connected-control mechanism (CCM) is presented. By coupling base-isolation and ordinary structures, the vibration suppression effect of CCM is expected to be expanded, while the stroke of base-isolation layer is hopefully suppressed. Experimental structures and CCM mechanism using magnetic dampers are built and excitation experiments are carried out. The effects of the numbers and locations of the dampers are examined. In study, springs are added to obtain further vibration suppression effect. Excitation experiments are carried out.

1. 緒言

日本は地震大国であり, 近年は免震建物の優れた性能が注目されている. しかし, 構造物を免震構造にすると固有周期が長周期側にシフトしてしまうため, 長周期地振動に共振し易くなることが問題となっている.

そこで「連結制振法」[(1), (2)]によって, 固有振動数が大きく異なる免振構造物と通常構造物を連結制振すれば, 免振建物は免振ストロークを増加させずに長周期地震時の共振を減衰させられ, 通常構造物は短周期地震時の応答を低減できると考えられる.

先行研究[(3)]では, 建物の連結部における応力集中を緩和するため, 相似則を用いて減衰力の小さいダンパを製作することで, 実物に与える影響を考慮し実験を行った. 以下の連結制振の定性的特徴が明らかになっている.

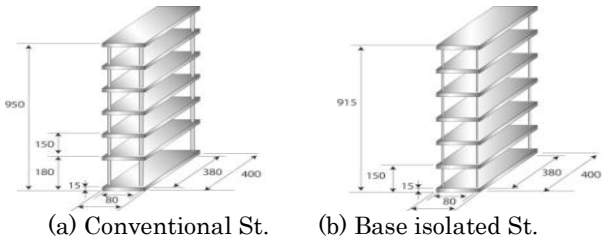
① 構造物の上部にダンパを取り付けた場合, 頭頂部の加速度は抑えられるが, 免震層の変位は大きくなる. 逆に, 造物の下部にダンパを取り付けた場合, 頭頂部の加速度は大きくなるが, 免震層の変位は抑えられる.

② ダンパを複数連結した場合, 制振効果は小さくなるが, 応力負荷も小さくなる.

本研究では, ダンパに加えてバネを用いることで, 免震層変位を抑えつつ, 制振性能の向上を試みる.

2. 制御対象構造物

本研究で用いる制御対象物構造物を Fig.1 及び Fig.2, それらの固有振動数を Table.1 に示す. 各構造物は 7 階層となっており, 在来建物を A 棟, 免震建物を B 棟とし, 柱径は共に 4[mm]とした. また, 免震建物の最下層には, 免震装置としてリニアスライドを構造物の中心に取り付け, 構造物の安定性を図るために両端にボールベアリングを取り付けた.



(a) Conventional St.　(b) Base isolated St.

Fig. 1 Schematic of controlled structures

Table.1 Natural frequencies of controlled structures

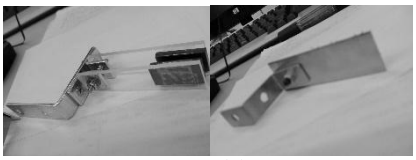
	1st bending mode
St.A	3.80[Hz]
St.B	2.15[Hz]

また, 実際の地震に近づけるために構造物の概観を水平加振方向に対し, 45° 傾けた場合の構造物を Fig.2 に示す.

Fig. 2 Controlled structures

3. 磁気ダンパ

本研究で用いる磁気ダンパを Fig.3 に示す. このダンパは減衰係数が極めて低いため多数のダンパとバネを用いることで減衰を試みる.



(a) Permanent magnets (b) Copper conductors

Fig.3 Magnetic Dampers

4. バネの選定

建物の制御力が圧縮方向に働いたときに起こり得る座屈を考慮し, 引張りバネを選択した. Fig.4 に選定したバネ AWA-70(バネ定数 k=78[N/m])の外観を示す. バネは Fig.6 に示すように片側を紐で結び圧縮時にはバネが作用しないようにした.

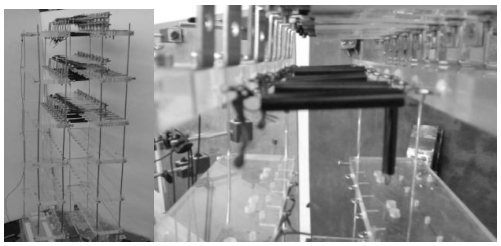


Fig.6　Springs

5. 入力地震波

2.1 の構造物に入力する地震波形として El Centro 地震波

と Kobe 地震波を用いる．ここでは，短周期地震により共振を起こす在来建物に合わせたものを A 波とし，長周期地震により共振を起こす免震建物に合わせたものを B 波とする．

6. 実験結果

6.1 周波数応答

制御対象構造物の頭頂部にインパルス入力を加えたときの頭頂部加速度の一次モードの応答を Table.2 に示す．

Table.2　1st bending mode

	St.A[Hz]	St.B[Hz]
非連結	44.01	41.7
ダンパ	26.9	25.5
ダンパ＆バネ	23.6	21.4

結果より，ダンパのみのときよりダンパとバネを設置したときの方が，応答が抑えられている．

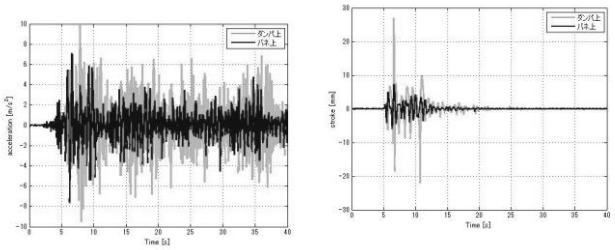
6.2 加振実験

本研究では、水平加振方向に対し主振動方向を 45 度回転させ、実際の地震に近い状況での有効性を立証する実験を行っている．実験手法としては、加振器から地震波を流し，頭頂部加速度と免震層変位を測定する．

6.2.1 ダンパのみの場合とダンパとバネを取付けた場合の比較

ダンパとバネを取付けた時の有用性を確認する為，ダンパのみを取付けたときと比較する．また，配置の影響を比較する為，ダンパやバネを上下に設置した．

Fig.7 に El Centro 地震波を流した時の通常構造物の頭頂部加速度の時刻歴応答と Kobe 地震波を流したときの，免震層変位の時刻歴応答を示す．また，Table.3 に頭頂部加速度のピーク値を，Table.4 に免震層変位のピーク値をそれぞれ示す．



Acceleration in El centro　　relative displacement in Kobe

Fig.7　Time responses of acceleration and Time responses of relative displacement

Table.3　Peak of acceleration

	Elcenピーク値[m/s^2]				Kobeピーク値[m/s^2]			
	A棟上部		B棟上部		A棟上部		B棟上部	
	A波	B波	A波	B波	A波	B波	A波	B波
非連結	13.26	12.20	12.60	13.62	29.69	25.18	39.71	43.08
ダンパ上	9.84	8.68	7.10	8.31	20.30	20.13	18.75	21.86
バネ上	7.55	9.73	6.96	6.65	18.93	17.64	17.34	17.96
ダンパ下	10.26	9.77	11.33	11.75	22.64	22.17	23.57	26.76
バネ下	10.02	9.64	10.59	11.49	21.18	19.22	22.17	21.72

Table.4　Peat of relative displacement

	最大値[mm]	
	El centro	Kobe
非連結	2.69	10.71
ダンパ上	4.41	26.86
バネ上	1.41	7.24
ダンパ下	1.36	3.69
バネ下	1.00	2.85

以上の結果より，ダンパのみの場合より，バネを取り付けた場合の方が頭頂部加速度，免震層変位，共に抑えられている．特に免震層変位は大幅な低減が出来ている．

6.2.2 応力の緩和を考慮したときの比較

実際のビルの許容応力に近づけるため，バネの本数を 3 本（頭頂部に 3 本，上から 3 段に 1 本ずつ）取付けた場合で比較する．Table.5 に加速度のピーク値をそれぞれ示す．また，Table.6 に免振層変位のピーク値をそれぞれ示す．

Table.5　Peak of acceleration

	Elcenピーク値[m/s^2]				Kobeピーク値[m/s^2]			
	A棟上部		B棟上部		A棟上部		B棟上部	
	A波	B波	A波	B波	A波	B波	A波	B波
3	8.48	9.27	13.19	12.59	22.32	23.63	26.23	25.30
1×3	9.35	9.13	12.77	13.00	25.47	22.56	28.61	27.42

Table.6　Peak of relative displacement

	最大値[mm]	
	El centro	Kobe
3	2.21	6.43
1×3	2.60	6.28

以上の結果より，応力を分散させた場合の方が，制振性能が低下する傾向にあることが確認できた．これは先行研究(4),(5)の定性的な傾向が同じである．

7. 結言

今回，新たにバネを導入することで，ダンパのみで連結制振するよりバネも用いた場合の方が良い制振効果を発揮することが確認できた．特に，ダンパのみの場合と比べて大幅に免振層変位が抑えられていることがわかった．これは，選定したバネの引張力による影響によるものである．

バネを用いた場合同士で比較すると，頭頂部にバネを集中させると頭頂部加速度は抑えられ，免振層変位はあまり抑えられていない．一方で，地面に近い層にバネを集中させると頭頂部加速度はあまり抑えられておらず，免振層変位が抑えられていたことからバネを取付けた場合でも頭頂部加速度と免振層変位にはトレードオフの関係があることが確認できた．

また，応力を分散させると制振効果が悪くなる傾向にあることがわかった．これは，ダンパを分散させた場合と定性的な傾向が酷似している．このことから，ダンパとバネで連結制振する際の構造指針が得られた．

以上の結果を踏まえ，今年度は，新たな方向性として 4 棟モデルを製作しこれに 2 方向連結制振を適用し，2 方向制振および捻り振動の抑制について検討する．さらに 4 棟実験モデルを製作し地震波記録波形を用いた加振実験を行い，実験的に制振効果を確認する．

8. 参考文献

1)Iwanami, K., Suzuki, K.(1993), Vibration Control Method of Parallel Structures Connected to Each Other with Damper and Spring, Trans. Of JSME, Ser. C, 59,2975-2980

2)Inada, S.(2008),Basic Research on Semi-Active Connected Control System Using MR Dampers to Improve Its Practicability. Nihon University, Tokyo, Japan, 2008, Master's Thesis.

3) Masudo M(2012), Research on Complementary Connected Control Method for Base-isolated and Conventional Structures utilizing Multi-storey connections.

4)江守一郎編：模型実験の理論と応用，技報堂,(1973), p.1-143.