

K4-44

ED-2 相似則を用いて実建物との対応を考慮した連結制振の実験的研究

Experimental Study on Connected Control Method Taking Account of Low of Similarity with Real Building

渡辺研究室

豊田紘行 高野嵩弘 秋田倫幸 渡辺亨 背戸一登

Watanabe Lab

Toyoda Hiroyuki Takano Takahiro Akita Tomoyuki Watanabe Toru Seto Kazuto

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 this experiment the low of similarity is introduced to correspond to realistic buildings.

1. 緒言

日本は地震大国であり、近年の都市直下型大地震による被害は甚大であるため、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、長周期地震動に共振しやす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やすことなく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。

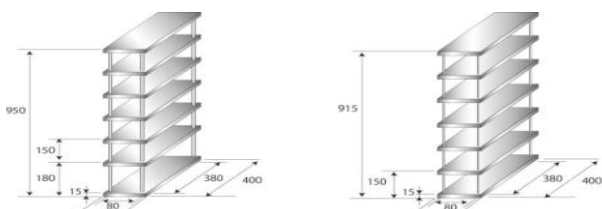
先行研究⁽³⁾では以下の連結制振の定性的特徴が明らかになっている。

- 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、構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2点連結した場合、制振効果は大きいですが、応力負荷も大きくなる。逆に、ダンパをマルチ連結した場合、制振効果は小さくなるが、応力負荷も小さくなる。

しかし、先行研究の実験に用いていたダンパを実スケールで考えると、取り付け位置の応力負荷が大きく、実用的ではないと考えられるため、今回新たに相似則の考えを取り入れて実スケールに対応したダンパを実験に用いることにする。

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	3.24[Hz]
St.B	2.40[Hz]

また、実際の地震に近づく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. 相似則

3.1 想定する構造物との相似関係

本研究では各相似則に基づきダンパの設計を行うため、実際にダンパが使われている構造物として日本大学駿河台校舎5号館を比較対象とする。Table.1 に想定する構造物と実験模型のパラメータを示す。

Table.2 Comparison the Parameter Structure with Model

	Assumed Structure	Experimental Structure
Height [m]	30	0.9
Area [m ²]	555	0.04
Weight [kg]	6.7×10 ⁷	5.5
Natural Frequency [Hz]	1.67	4.36

Table. 2 の重量の比較から力の相似比⁽⁴⁾を導き、実構造物に使用されているダンパを実験模型のスケールで再現する。

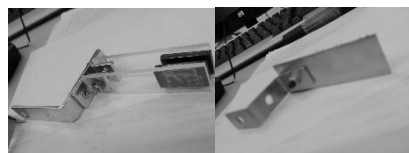
実際の構造物に使用されているダンパは

$$F_{real} = 10[tf] \approx 100Q[N]$$

であり、力の相似比が1/10⁷であるため、模型に用いるダンパの許容耐力は

$$F_{model} = 100Q[N] \times \frac{1}{10^7} = 10^{-4}[N]$$

が適当である。計算結果に基づき製作したダンパの減衰係数は先行研究の役1/50となり、制振効果の大幅な低下が予想される。そこで、本研究ではダンパを分散して多数配置することで、応力負荷を分散しつつ、制振効果を高めることを目指す。Fig. 3 に新たに製作したダンパを示す。



(a) Permanent magnets (b) Copper conductors

Fig.3 Magnetic Dampers

4. 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。

5. 実験結果

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。実験は非連結、マルチ 10、マルチ 20、マルチ 30 の 4 種類で行う。ここでマルチ 10 とは最上階にダンパを 10 個付けた状態で、マルチ 20、マルチ 30 も同様である。

実験の手法としては、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した。各実験結果から代表して Fig. 4 に非連結時とマルチ 20 時の頭頂部加速度の時刻歴応答, Table. 2 に各ピーク値の結果を示す。

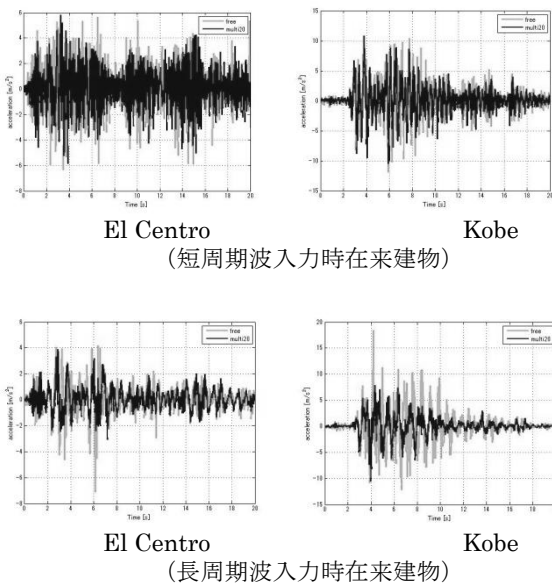


Fig. 4 Time responses of acceleration

Table.2 Peak of acceleration

	ピーク値[m/s ²](El Centro)				ピーク値[m/s ²](Kobe)			
	A棟頂上部		B棟頂上部		A棟頂上部		B棟頂上部	
	A波	B波	A波	B波	A波	B波	A波	B波
非連結	6.35	5.69	6.78	7.12	11.86	10.53	14.49	18.40
マルチ10	5.49	5.32	3.88	4.37	11.25	10.00	11.28	11.76
マルチ20	5.86	5.13	3.71	3.91	10.85	10.29	9.08	10.52
マルチ30	5.84	6.19	4.19	4.09	9.90	10.08	10.01	8.97

以上の結果より、El Centro 波、Kobe 波両波における、A波を入力した場合のA棟頭頂部、B波を入力した場合のB棟頭頂部の加速度のピーク値が減少していることが示された。また、非連結とマルチ連結を比較するとマルチ連結時に頭頂部の加速度を抑えることができているため、ダンパが機能していることが確認できる。次に各実験結果から代表して Fig. 5 に非連結時とマルチ 20 の免震層変位の時刻歴応答, Table. 3 に各ピーク値の結果を示す。

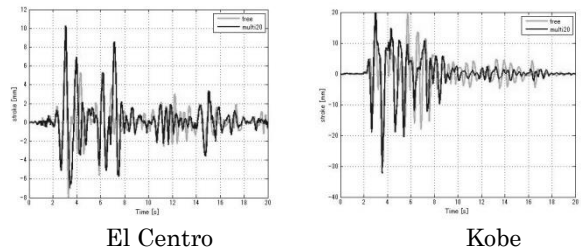


Fig. 6 Time responses of relative displacement

Table.3 Peak of relative displacement

	最大値 (mm)	
	El Centro	Kobe
非連結	7.98	28.45
マルチ10	8.73	28.44
マルチ20	10.27	32.16
マルチ30	12.13	33.4

以上の結果より、頭頂部加速度は連結制振をした方のピーク値が下がったが、免震層の相対変位は大きくなっていることがわかる。また、各マルチ連結で比較すると、マルチ 10、マルチ 20、マルチ 30 とダンパを増やしていくほどに免震層の変位が大きくなっていることが分かった。

6. 結言

今回、実験に使用するダンパを相似則に基づき新たに製作し、その性能を検証した。実験結果より、非連結時とマルチ連結時を比較すると、頭頂部加速度は全ての場合においてマルチ連結することで抑えることができている。

また、免震層の変位はマルチ連結することで大きくなっている。これは今回マルチ 10 からマルチ 30 までダンパを取り付けた際、上の階から取り付けたため、免震層は抑えられなかったと考えられる。

以上 2 点は前年度までの実験結果と比較すると、絶対的な制振効果は低下しているが、定性的な傾向が一致している。従って、新たに製作したダンパは前年度と比較すると減衰力は極めて低いが、正常に機能していることが確認できた。また、先行研究で示された傾向は実際的なパラメータでも同様であることが確認された。

Table. 2 から、連結時に通常構造物より免震構造物に制振効果がより強く表れている傾向が見られた。

今年度の課題として、変位が増大してしまったことと通常構造物の加速度があまり抑えられなかったことが挙げられた。よって、今後、定点理論に基づく最適調整を行い、新たにバネを設計し、このバネとダンパを組み合わせて同様の実験を行い、制振性能を検証する。

7. 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.