

部分モード制御制震法に関する研究

D.M. と粘性ダンパーを併用した制御法

Research on Response Control by Partial Mode Control System

A Method of Response Control using D.M. with Oil Damper

○呉非³, 古橋剛¹, 張柏²*Hi Go³, Takeshi Furuhashi¹, Haku Cho²

In this paper, we use the oil damper and D.M. to control the models the period of which is different, and determine the optimum damping that can make the response of the models to be better in different earthquakes.

1. はじめに

ダイナミック・マス(以降 D.M.)は構造物の高次モードの刺激関数をゼロ化する制御(以降モード制御)システムを構築することができる。現在、モード制御システムとして、完全モード制御システム¹⁾及び部分モード制御システム²⁾が提案されている。前者は全層に D.M.を設置しなければならないため現実的には難しい。一方、後者は数層に D.M.を設置し、2次～数次のモードを完全に制御できるので、必要デバイス量も少ないため、実現が容易なシステムである。

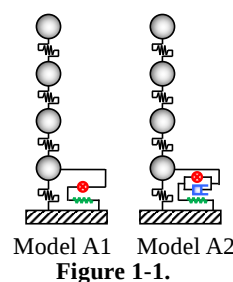
本研究では、高さによる周期の違う構造物を対象として、適切に D.M.を設置することで任意の複数のモードを完全に制御できる「部分モード制御」の考え方に粘性ダンパーを併用した制振システムを提案し、特性の違う地震動を入力して制震性能・効果について検証する。

2. 粘性ダンパーを併用した部分モード制御法

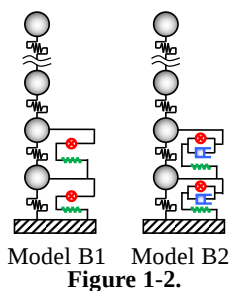
2-1. 検討モデル概要

固有周期が違う 4 つの基本モデルを用いて、付加する最適な粘性ダンパー量と D.M.量について検討する。全層の階高を 4000 mm, 質量は 1000 ton とし、剛性分布は 3 対 5 の台形分布とした。非制震時の 1 次固有周期は 0.5sec(4 質点)と 1.0sec(8 質点)と 3.0sec(24 質点)と 5.0sec(40 質点)の四つの基本モデルを設定した。構造減衰は瞬間剛性比例型で 1 次モードに 2%付与している。

各モデルの下部から 1/4 層まで D.M.を設置した。D.M.を設置したモデルはそれぞれ Figur 1-1~1-4 中の Model A1~ Model D1 に示している。D.M.の設置層に粘性ダンパーを並列設置したモデルはそれぞれ Figur 1-1~1-4 中の Model A2~Model D2 に示している。検討モデルの諸元と固有値解析結果は Table 1-1~1-8 に示している。基準となる D.M.量は高次モードのエネルギーを完全にゼロ化する理論式を用いて得たものである。粘性ダンパーに付加した基準となる減衰は、Figure 2 に示した共振曲線において、1 次モードに対して定点理論を利用した最適減衰を付加する。なお、最適減衰をある程度減らした減衰を「改良減衰」と定義する。ここでは取付け部剛性は無限大に設定している。



Model (0.5sec)



Model (1.0sec)

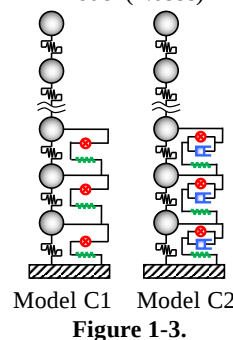


Figure 1-3.

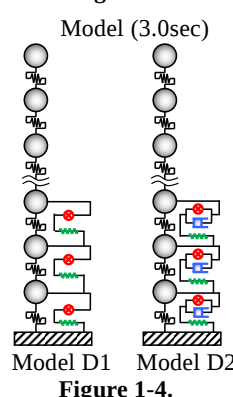


Figure 1-4.

Model (5.0sec)

Table 1-1. Model(0.5sec)

FL	階高 [mm]	質量 [ton]	初期剛性 [kN/mm]	D.M.量 [ton]	粘性減衰係数 [kN・s/mm]
4	4000	1000	900	—	—
3	4000	1000	1100	—	—
2	4000	1000	1300	—	—
1	4000	1000	1500	2385	100

Table 1-2. Analysis result(0.5sec)

Model A1			Model A2		
MODE	周期 [s]	減衰定数	MODE	周期 [s]	減衰定数
1次	0.53	0.02	1次	0.47	0.17
2次	0.25	0.04	2次	0.27	0.52
3次	0.15	0.07	3次	0.15	0.10
4次	0.11	0.10	4次	0.11	0.10

Table 1-3. Model (1.0sec)

FL	階高 [mm]	質量 [ton]	初期剛性 [kN/mm]	D.M.量 [ton]	粘性減衰係数 [kN・s/mm]
8	4000	1000	900	—	—
7	4000	1000	950	—	—
6	4000	1000	1000	—	—
5	4000	1000	1050	—	—
4	4000	1000	1100	5942	170
3	4000	1000	1150	—	—
2	4000	1000	1200	—	—
1	4000	1000	1250	8626	170

Table 1-4. Analysis result(1.0sec)

Model B1			Model B2		
MODE	周期 [s]	減衰定数	MODE	周期 [s]	減衰定数
1次	1.06	0.02	1次	0.94	0.21
2次	0.52	0.04	2次	0.52	0.53
3次	0.44	0.05	3次	0.47	0.94
4次	0.26	0.08	4次	0.27	0.12
5次	0.17	0.12	5次	0.17	0.13

Table 1-5. Model (3.0sec)

FL	階高 [mm]	質量 [ton]	初期剛性 [kN/mm]	D.M.量 [ton]	粘性減衰係数 [kN・s/mm]
24	4000	1000	900	—	—
23	4000	1000	910	—	—
22	4000	1000	920	—	—
21	4000	1000	930	—	—
20	4000	1000	940	59359	450
19	4000	1000	950	—	—
18	4000	1000	960	67272	450
17	4000	1000	970	—	—
16	4000	1000	980	75788	450

Table 1-6. Analysis result(3.0sec)

Model C1			Model C2		
MODE	周期 [s]	減衰定数	MODE	周期 [s]	減衰定数
1次	3.18	0.02	1次	2.84	0.22
2次	1.63	0.04	2次	1.76	1.00
3次	1.54	0.04	3次	1.59	0.82
4次	1.45	0.04	4次	1.51	0.51
5次	1.37	0.04	5次	1.50	0.88

Table 1-7. Model (5.0sec)

FL	階高 [mm]	質量 [ton]	初期剛性 [kN/mm]	D.M.量 [ton]	粘性減衰係数 [kN・s/mm]
40	4000	1000	900	—	—
39	4000	1000	905	—	—
38	4000	1000	910	—	—
37	4000	1000	915	—	—
36	4000	1000	920	180953	800
35	4000	1000	925	—	—
34	4000	1000	930	194581	800
33	4000	1000	935	—	—
32	4000	1000	940	208758	800

Table 1-8. Analysis result(5.0sec)

Model D1			Model D2		
MODE	周期 [s]	減衰定数	MODE	周期 [s]	減衰定数
1次	5.32	0.02	1次	4.62	0.23
2次	2.74	0.04	2次	3.88	1.00
3次	2.65	0.04	3次	3.52	1.00
4次	2.57	0.04	4次	2.90	0.94
5次	2.48	0.04	5次	2.66	0.90

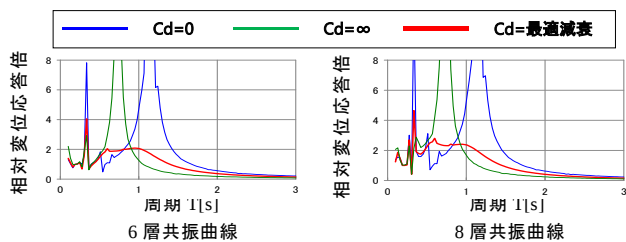


Figure 2. Response curve

2-2. 入力地震動

EL Centro 1940 NS (短周期地震動), BCJ-L2 (長周期地震動), 柏崎 2007 NS (パルス性地震動) の 3 波を, それぞれレベル 2 相当 ($v_{\max}=0.5\text{m/s}$) に基準化して用いる。

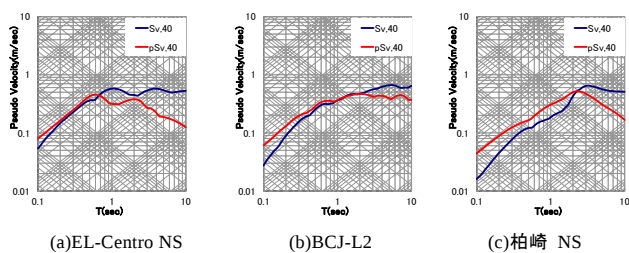


Figure 3. Response spectrum

2-3. 応答解析結果

各モデルの時刻歴応答解析結果図は Figure 4 に示すとおりである。これらの図は, 上段が絶対加速度で, 下段が層間変形角の解析結果であり入力地震動ごとに示している。

部分モード制御法のための設計より, 粘性ダンパーを併用した部分モード制御法の制震効果が優れていることが分かる。また, 共振曲線を利用した定点理論の最適減衰は最適応答が出ると限らないことが分かる。示している%は, 定点理論から算出した最適減衰と解析する際に使った減衰との割合である。Figure 4 の結果から見ると, 改良減衰の応答が一番好ましいとことが分かった。この改良減衰比を赤枠の中に示す。周期が長くなればなるほど定点理論から算出した最適減衰との差が大きくなることが分かる。入力地震動による違いとして, 長周期地震動は高い減衰値, パルス性地震動は低い減衰値の方が良い応答となることがわかる。

3. まとめ

本研究で得られた知見について以下に示す。

1. 粘性ダンパーを併用した部分モード制御制震法は, 従来の部分モード制御制震法より, さらに応答低減可能である。
2. 付加する粘性ダンパー量として, 定点理論から算出した最適減衰は地震動に対して最も良い応答が出ると限らないことを示した。

【参考文献】

- 1) 古橋剛, 石丸辰治: 慣性接続要素による多質点系の応答制御, 日本建築学会大会構造系論文集, No601. pp. 83-90, 2006. 03
- 2) 登坂遼太郎, 古橋剛: 入力エネルギーによる疑似モード制御システムの性能評価, 日本建築学会構造工学, No601. pp. 453-461, 2014. 3

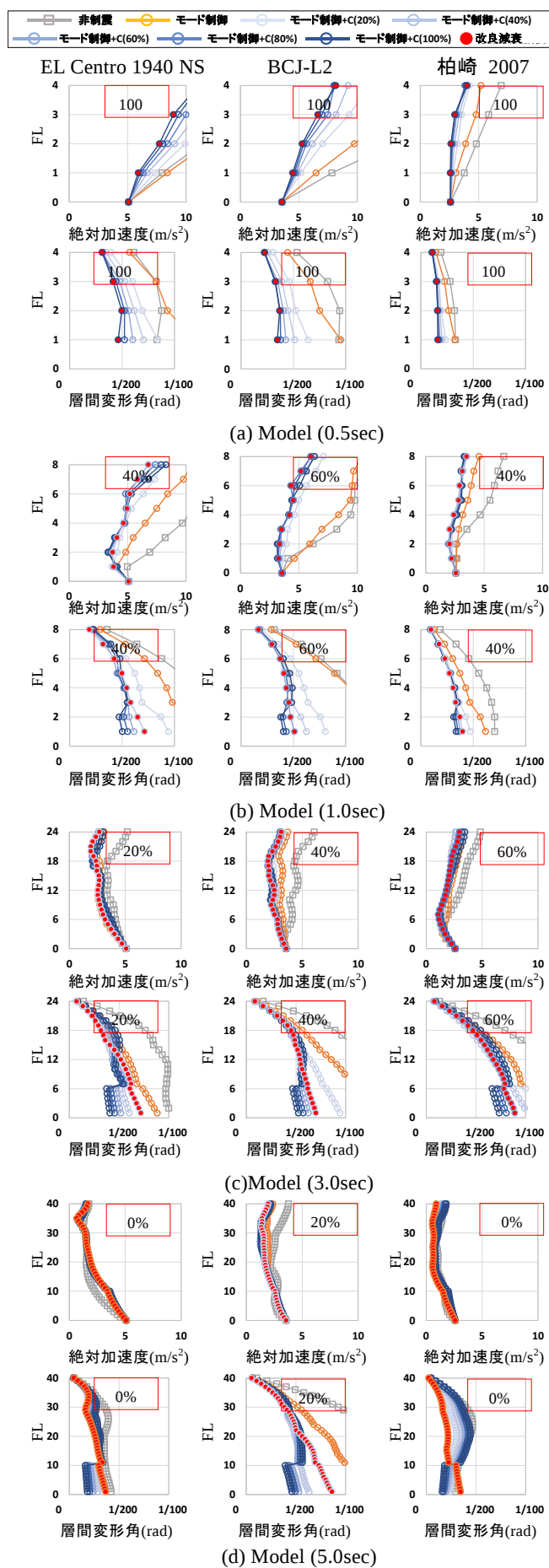


Figure 4. Response analysis