

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と応答評価法の提案

Research on Response Control by Partial Mode Control System

A Method of Response Control using D.M. with Oil damper and Proposals of Response Evaluation

○谷 太郎¹,古橋 剛²

Taro Tani¹, Takeshi Furuhashi²

Abstract : The research of the study on partial mode vibration control system. In this study observe various models every number of seconds D.M and viscous dampers what kind of influence does a function have, again I studied it how it was efficient to use.

1. はじめに

本研究では、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について検証する。本研究では従来の応答解析結果を一つの数値に換算し、簡易的に応答評価できる方法を提案する。

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

固有周期の違う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4000mm、質量は1000tonとし、剛性分布は約3対5の台形分布とした。非制震時の1次固有周期は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。

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^[2]を用いて得たものである。1次モードに対して定點理論を利用した最適減衰を付加する。その最適減衰はダンパーに減衰を無限大(Cd=∞)に付加した共振曲線とダンパーに減衰ゼロ(Cd=0)の共振曲線が交わる定點と呼ばれる点で最大応答倍率となるように、試行錯誤的に減衰係数を付加して設定する。

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 (レベル2)。

表 2-2-1 input seismic motion

earthquake	acceleration [cm/s ²]	speed [cm/s]	displacement [cm]
EL-Centro 1940 NS	507.77	50.00	17.17
BCJ-L2	355.66	53.37	42.76
Kashiwazaki 2007 NS	258.70	50.00	23.34

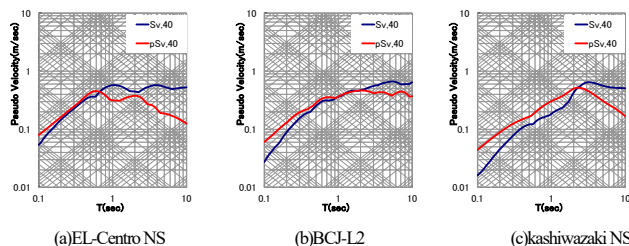


図 2-2-1 response spectrum

2-3. 応答解析結果

結果としては構造物の周期が長くなるほど最適改良減衰が下がっていくことが分かる。最適減衰の割合を下げていく中で一番好ましい応答と判断した値を最適改良減衰とする。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。設計する際の最適改良減衰には、0.5sec モデルは最適減衰の100%、1.0sec モデルは最適減衰の60%、3.0sec モデルは40%、5.0sec モデルは最適減衰の20%で設計した方が良いと考える。

2-4. 刺激関数図の再検討

1.0sec モデルを抽出し、変位刺激関数、速度刺激関数、加速度刺激関数を用いて構造物の制震性能について検討する。ここでは、各刺激関数の実数部のみ示している。絶対加速度の刺激関数は以下の計算式で算出した。

$$M \ddot{x} + K x = -M \ddot{y}$$

$$-(\ddot{x} + \ddot{y}) = M^{-1} K x$$

ここで

$$x = \sum \beta_i r_i q_i, \quad \ddot{x} = \sum \beta_i r_i \ddot{q}_i, \quad \ddot{y} = \sum \beta_i r_i$$

$$- \beta_i r_i (\ddot{q}_i + \ddot{y}) = M^{-1} K \beta_i r_i q_i$$

(2-4-1)

$M^{-1} K \beta_i r_i$: i次モードの刺激関数 q_i : 基準座標応答

\ddot{y} : 地動加速度

M: 質量マトリクス

K: 剛性マトリクス

2-5. 検討結果

以上より粘性ダンパーを併用した部分モード制御法をまとめると下記のとおりとなる。

- I 構造物の下部から1/4~1/3層までD.M.を設置。部分モード制御理論式で適当D.M.量を算出。
- II D.M.設置層に粘性ダンパーを付加する。定點理論から求めた最適減衰を与える。
- III 構造物の固有周期で定點理論の最適減衰を減らし、最適改良減衰を決める。
- IV 上層のD.M.量を微調整する。

3. 応答評価法

提案する応答評価法は構造物の制震性能を評価するため、構造物の応答値に点数を付け、従来の応答解析結果を数値に換算する方法である。評価関数 E の計算式は下記のとおりとなる。

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n A_i E_i \cdot D_i E_i}{n} \quad (3-1-1)$$

$$A_i \leq 3.61 \quad A_i E_i = 1.88 \cdot A_i, \quad A_i > 3.61 \quad A_i E_i = e^{(0.28A_i+0.92)}$$

$$D_i \leq 0.72 \quad D_i E_i = 9.42 \cdot D_i, \quad D_i > 0.72 \quad D_i E_i = e^{(1.39D_i+0.92)}$$

ここで、 A_i = i 層の加速度[m/s²], D_i = i 層の層間変形角×100

$A_i E_i$ = i 層の加速度の評価値, n =建物の全階数

$D_i E_i$ = i 層の層間変形角の評価値, i =階数

3-2. 応答評価法の有効性の確認

提案応答評価法を用いて、公表された応答値を評価した。制震構造物の評価関数は50点前後とし、30点以下であれば優れている制振構造となる。図 3-2-1(b)に示すとおり免震構造物は20点前後とし、10点以下であれば優れている免震構造となる。

1.0sec モデルを抽出して、評価法を用いて評価してみた。目視で判断した良い応答を青い枠に付け、応答評価法で判断した良い応答地域を赤く塗りつぶした。応答評価法と目視で判断した最適な応答とよく合っていることが分かる。

表 3-2-1 evaluation function(1.0secmodel)

Input seismic motion	Non seismic	Modal contro C(0%)	Modal contro C(20%)	Modal contro C(40%)	Modal contro C(60%)	Modal contro C(80%)	Modal contro C(100%)
EL-Centro 1940 NS	373.70	146.38	62.39	41.91	40.06	42.19	44.91
BCH2	249.32	212.42	48.80	33.25	28.86	28.18	29.43
Kashiwazaki 2007 NS	43.53	21.93	13.81	11.91	11.99	12.02	11.92

4. まとめ

- 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。
- ③ 構造物の固有周期によって最適改良減衰を定めてD.M.量を微調整することでさらに応答低減可能である。
- ④ 構造物の制震性能に点数を付ける応答評価法を提案し、本評価法の有効性を確認した。

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. 03