

## 鋼材ダンパーを用いた耐震設計手法に関する研究 —その2 鋼材ダンパーを用いた建物のシミュレーション解析—

磯貝 哲也 \* 清水 欽也 \*  
潤上 勝志 \* 坪崎 裕幸 \*\*  
田村 良治 \*

### 要　旨

現行の設計法で設計された建物は、大地震終了後には建物の再使用が不可能となることがある。そこで、建物の耐震安全性向上の手段として、大地震終了後に建物の再使用を可能にすることを目的に建物内に構造材料として低降伏点の鋼材を使用したダンパーを組み込み、大地震時にはこの鋼材ダンパーで地震エネルギーを吸収させることによって主体構造は弾性範囲に止め、地震終了時には鋼材ダンパーを損傷状態に応じて取り替える設計法が提案されている。本研究開発は、鋼材ダンパーを用いた設計法とそれを用いた応答解析結果について検討したものである。その結果、鋼材ダンパーで地震エネルギーを吸収することによって応答の低減が図られ、かつ、主体構造の断面の縮小も可能であることがわかった。

### 1. はじめに

現行の基準法に基づいて耐震設計された建物が耐用年限中に1度発生するかしないかの大地震動を受けた場合、基準法(2次設計)では、柱やはり等の骨組み(以下、主体構造という)が塑性変形することで地震エネルギーを吸収し、人命を確保するように耐震設計されている。しかし、阪神・淡路大震災に見られるように過大な塑性変形を受けた建物では人命の確保はされるものの軽微な補修程度で建物を再使用することは困難な状況となることがある。そこで、建物用途によっては大地震終了後に、軽微な補修程度で建物の再使用を可能とするような耐震設計法として、大地震時においても建物の主体構造を弾性範囲に收め、地震動によるエネルギーは別途建物内に設置した耐震部材に吸収させる耐震設計法が提唱されている<sup>1)~3)</sup>。その例としては免震構造が挙げられ、数多くの免震構造の建物が設計されている。しかしながら、免震構造は特に低層で剛な建物(特にRC造)には非常に有効であるが、免震層が別途必要になること、かつその層で地震エネルギーの大半を吸収させるため免震装置の変形量も大きくなるために、基礎免震の場合には建物周囲に大きなクリアランスが必要になる。また、長周期の成分が卓越する地震動を受けた場合(軟弱地盤で起こる可能性がある)では免震効果が十分に発揮されないことも起こり得る。

そこで、本研究開発では鉄骨構造を対象に建物各層で地震エネルギーを吸収させるデバイスとして、履歴安定性の良い鋼材のせん断変形を利用した地震エネルギー吸収装置(以下、鋼材ダンパーという)の設計法を検討するものである。鋼材ダンパーに使用する材料は、

その<sup>1)</sup>で使用した低降伏点鋼材を採用する。この低降伏点鋼は、一般の鋼材に比べて、降伏点が低く(降伏点強度  $1tf/cm^2 = 98N/mm^2$ )、伸びが大きく、また履歴安定性が良いという特徴を持っている。

本報告では、2章で建物に付加する最適な鋼材ダンパー数量を求めるために建物の剛性とその層に設置すべき鋼材ダンパー数量をパラメータとした予備的な応答解析を行う。3章で鋼材ダンパーをフレームに組み込んだときの主体構造の変形量と鋼材ダンパーの変形量との関係を把握し、鋼材ダンパーの取付け部分を含めた層間バネとしての復元力特性を求める。4章では鋼材ダンパーを付加する建物概要と応答解析のモデル及び解析結果について述べる。

### 2. 鋼材ダンパーの数量の算出

建物に付加する鋼材ダンパーの数量は、建物全体の吸収エネルギー量と鋼材ダンパーの吸収エネルギー量とのバランスから応答を最小限にするような最適な鋼材ダンパー数量が存在する。しかしながら、建物の使用目的から鋼材ダンパーの設置可能なスペースや供給される鋼材の板厚などの制約から必ずしも最適な鋼材ダンパー数量を設定することは困難である。ここでは鋼材ダンパーの降伏耐力及び主体構造の初期剛性をパラメータとした応答計算を行い建物内に組み込む鋼材ダンパーの適切な数量を決定する。

#### 2. 1 解析条件

パラメータ  $\alpha$  は、表-1に示すように(鋼材ダンパーの降伏耐力  $Q_y 1$ ) / (建物の全重量  $W$ ) とし、0.0 ~ 0.05までの間で変化させた。さらに主体構造の初期剛性比

\* 技術研究所 \*\* 東京支店

数量は、1階のダンパーがせん断降伏する時に主体構造のみの1階の1次設計用層せん断力の2割程度の層せん断力を1階のダンパーが負担するように定め、2階から上のダンパー数量は、1階のダンパー数量を設計用せん断力に比例させて設定した。case 3の主体構造の断面の縮小方法は、case 1の各柱の長期負担軸力を参考に、柱、梁とも断面の縮小を図った。

減衰は、主体構造のみの1次固有周期に対して2%とし、初期剛性比例として与えた。入力地震動は、BCJ-L1、及びBCJ-L2の原波<sup>5)</sup>を使用した。入力地震動の時刻歴波形を図-6(a)および図-6(b)に示す。

表-4 解析モデルの種類

解析モデルの種類	ダンパー	備考
case1	なし	基準法を満足した純ラーメンの建物(鋼材ダンパーなし)
case2	あり	case1の建物に鋼材ダンパーを組み入れた建物
case3	あり	case1の建物の柱、梁断面を縮小させた建物にcase2と同じにダンパーを組み入れた建物

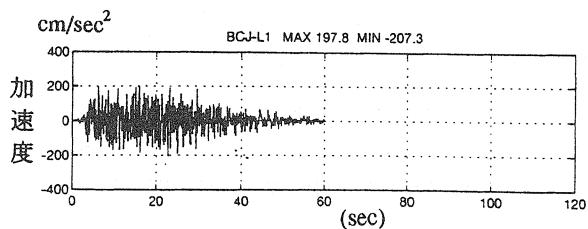


図-6 (a) 入力地震動波形 (BCJ-L1)

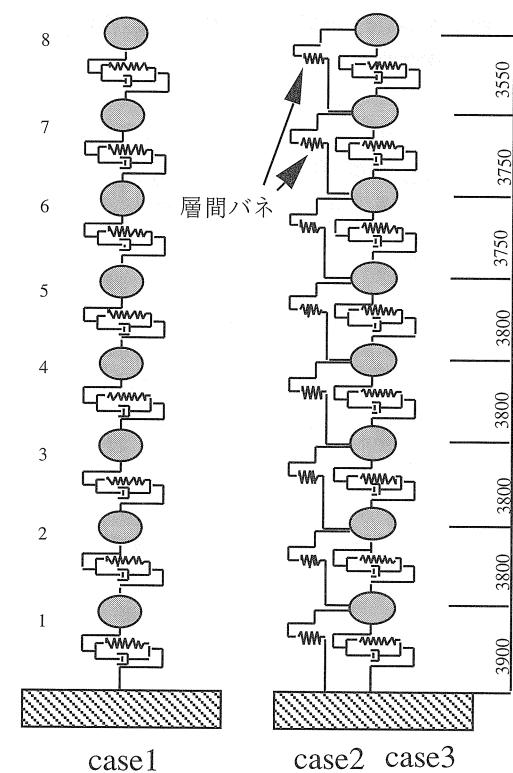


図-5 解析モデル

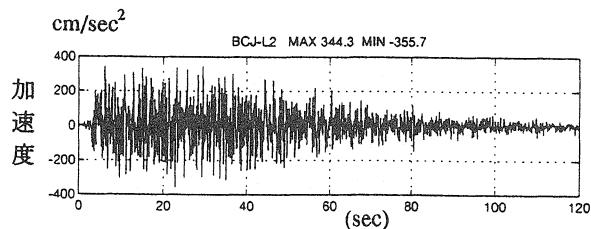


図-6 (b) 入力地震動波形 (BCJ-L2)

図-6 入力地震動

表-5 case 2 の復元力特性の諸元

階数	主体構造 初期剛性 (t/cm)	ダンパー				
		初期剛性 (t/cm)	第一折点 Qy1 (ton)	第二勾配 初期剛性に 対する 剛性低下率	第二折点 Qy2 (ton)	第三勾配 初期剛性に 対する 剛性低下率
8	73.34	73.83	25.06	0.208	57.57	0.177
7	79.77	105.26	28.76	0.180	80.64	0.126
6	83.33	133.61	33.64	0.121	87.84	0.110
5	84.44	156.86	39.00	0.086	90.19	0.082
4	98.48	183.51	39.36	0.085	96.31	0.073
3	111.31	214.45	43.20	0.062	91.02	0.054
2	124.81	260.74	47.09	0.050	91.38	0.049
1	267.00	441.33	50.19	0.048	85.97	0.036

(1tonf=9.8kN)

## 4.3 固有値解析結果

表-4の解析モデルの種類による固有値解析結果を表-6に示す。

case 2 は case 1 に比べ鋼材ダンパーを入れることによって建物全体の剛性が上がり 1 次固有周期が短くなっている。また、case 3 は主体構造の剛性を縮小させたため、case 2 に比べ 1 次固有周期が長くなっている。

表-6 各解析モデルの種類毎の固有値解析結果

単位(秒)

固有周期 解析モデル	1 次	2 次	3 次
case1	1.23	0.43	0.27
case2	0.74	0.27	0.17
case3	0.82	0.31	0.19

## 4.4 応答解析結果

最大応答解析結果を図-7(a)、(b)および、図-8(a)、(b)に示す。レベル1、レベル2とも鋼材ダンパーを入れることによって表-3に示す耐震設計目標値を満足している。さらに、鋼材ダンパーの影響を検討するためにレベル2の地震動のcase 1に対するcase 2及びcase 1に対するcase 3の最大応答値の割合を図-9に示す。図-9より主体構造の断面を縮小することによって応答性状は良くなっている。各ケースごとのエネルギー比較を図-10(a)から(c)及び表-7に示す。鋼材ダンパーの負担割合は、主体構造の断面が縮小するほど鋼材ダンパー部分のエネルギー吸収割合が大きくなっている。

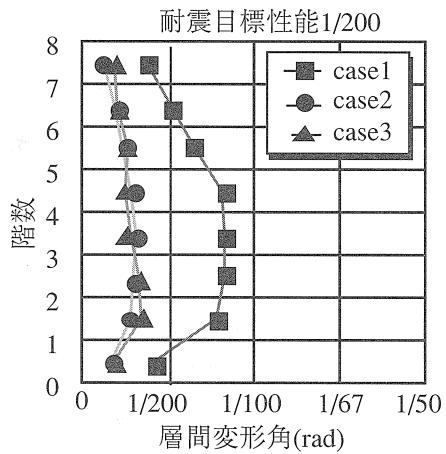


図-7 (a) 最大応答層間変形角

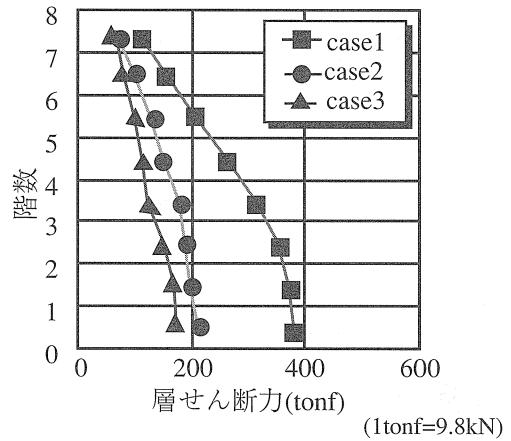


図-7 (b) 最大応答せん断力

図-7 レベル1の応答解析結果

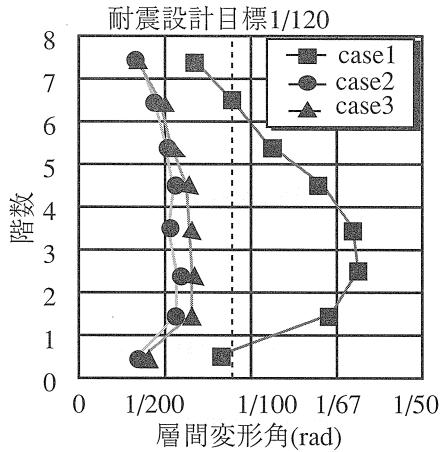


図-8 (a) 最大応答層間変形角

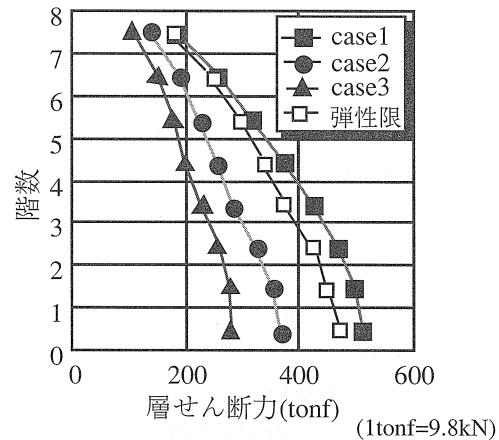


図-8 (b) 最大応答せん断力

図-8 レベル2の応答解析結果

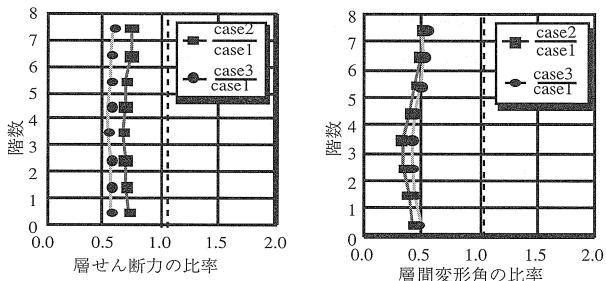


図-9 (a) 応答層せん断力の  
比率比較 (レベル2)  
図-9 (b) 層間変形角の比率  
比較 (レベル2)

図-9 応答解析の比較

表-7 エネルギーの分担比率

解析の種類	総入力エネルギーの比率	総入力エネルギーに対する主フレームおよびダンパー部分の最大値の比較比率	
		主フレーム	ダンパー
case1	1.0	0.37	—
case2	0.84	0.03	0.85
case3	0.76	0.02	0.87

## 5.まとめ

今回のシミュレーション結果より以下のことがわかった。(1)建物内に鋼材ダンパーを組み込むことによって地震終了後も主フレームを弾性に保たせることができる。(2)鋼材ダンパーの効果は、主フレームの断面を縮小させることによって効果があがる。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、ご指導をいただきました東京工業大学教授、和田章博士に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 「耐震設計の一つの新しい方向」シンポジウム実行委員会：耐震設計の一つの新しい方向、1995.10
- 日本建築学会：鋼構造新素材の利用技術、pp.65-85、1997.1
- 松岡祐一ほか：被害レベル制御構造に関する研究(その1～2)耐震部材の降伏せん断力レベルと地震応答の関係、日本建築学会大会講演梗概集、pp.143-144、1995.8
- 渕上他：鋼材ダンパーを用いた耐震設計手法に関する研究 その1 鋼材ダンパーの基本性能実験、五洋建設技術年報、Vol.27、1997
- 建設省建築研究所、(財)日本建築センター：設計用入力地震動作成手法技術指針(案)、1992.3
- 鈴木康正他：せん断降伏型履歴減衰装置を組み込んだ多層骨組の地震応答性状、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.801-802、1996.9

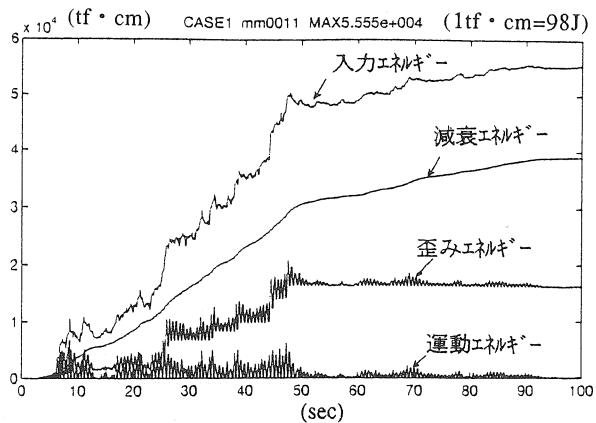


図-10 (a) case1 のエネルギー比較 (レベル2)

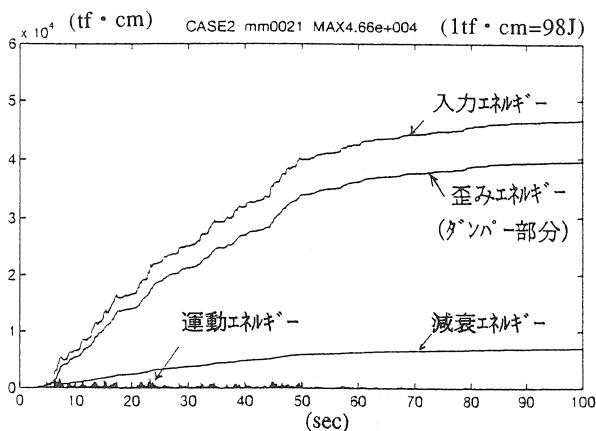


図-10 (b) case2 のエネルギー比較 (レベル2)

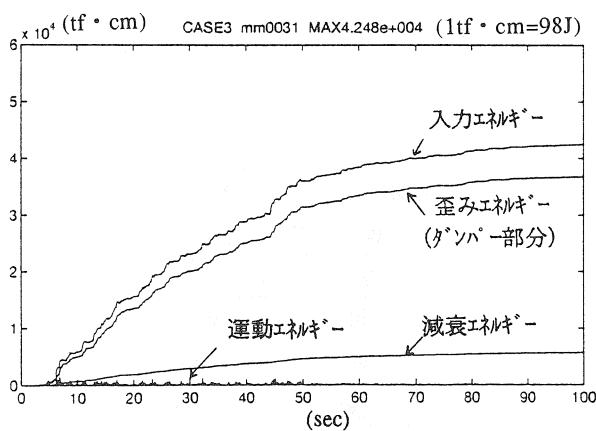


図-10 (c) case3 のエネルギー比較 (レベル2)

図-10 各ケース毎のエネルギー比較