[新たな取組み]

新しい設計思想に基づく建築物設計例 (2)

ー高層ビルの損傷制御設計ー

田中 耕太郎（本店 建築設計第6部）
渡辺 律夫（本店 建築設計第6部）
後藤 憲司（本店 建築設計第6部）
小林 高志（本店 建築設計第6部）

1. まえがき

阪神・淡路大震災では地震力が現行の設計の想定をはるかに上回ったものであったため，多くの被害が生じた。その内 鋼構造建築物では倒壊は免れても梁が損傷して修復が難しかったり間仕切壁，外壁ＰＣ版の非構造部材の損傷のため，建物再使用に多くの時間と費用を要した場合が多かった。以上の反省から，今後の建物の設計は以下のようなことが求められていると考える。

1) 現行法規で規定されている以上の地震力に対して，建物重要度に応じて損傷を制御するとともに経済性に配慮した耐震安全性を高めること。

2) 震災時の修復をより容易なものとし，速やかに建物の機能を復旧させること。

以上を満足させる一設計方法として，制震ダンパーを用いた設計を実施した。その建物の設計概要について以下に述べる。

2. 制震ダンパー

制震ダンパーは建物の架構内にエネルギー吸収装置を組み込み，レベル１以下の中規模地震からその装置の一部を塑性化させ，その履歴吸収エネルギーにより減衰効果を発揮させて，建物の柱・梁の損傷を低減するものである。

今回設計で採用したエネルギー吸収装置はその形からＹ形ブレースダンパーと称するものでFig.1にその概要を示す。これはブレースの交点と梁との間にリンク材を挿入した偏心ブレースであり，耐震要素として水平耐力を分担するとともにリンク材の履歴エネルギーにより制震効果と入力低減効果を発揮するものである。リンク材部分はブレースにより変形が拘束されるため，建物の層間変形に対して部材変形角が拡大され，柱・梁に先行して降伏する。リンク材部分には降伏点強度が一定で変形能の大きい低降伏点鋼を用いた。

3. 構造概要

建物の概要は以下の通りである。

建築場所／岡山市，建物用途／事務所，

階数／地上　14階，延べ面積／約 15,000m^2

建物の平面および軸組の概要を Fig. 2 および Fig.3 に示す。構造種別は柱を充填鋼管コンクリート，梁を鉄骨とした構造でＹ形ブレースダンパーをＸ方向３箇所，Ｙ方向

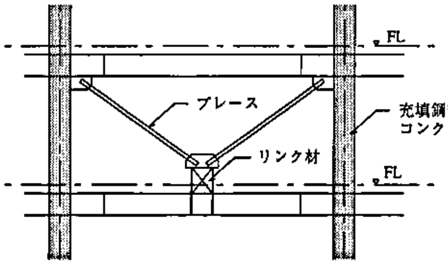

Fig.1　Y型ブレースダンパー
Y-Shaped Brace Damper

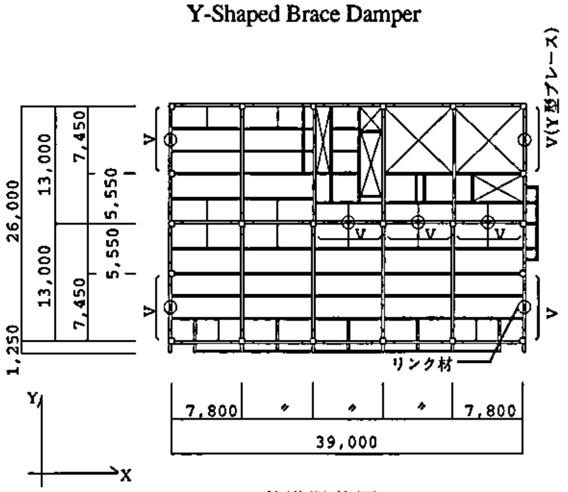

Fig. 2　基準階伏図
Typical Plan

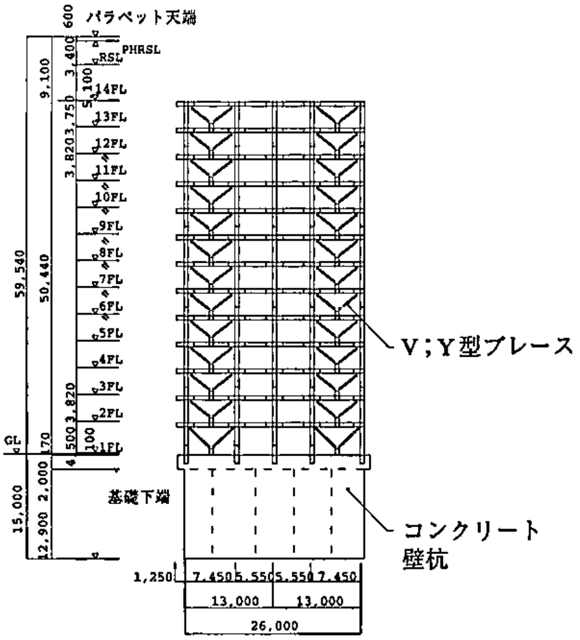

Fig. 3　軸組図
Typical Section

4箇所，配置した。配置に当たっては建築計画上，扉など開口との干渉回避のうえ，制震効果を高めるため，ラーメン架構との剛性比を検討するとともにリンク材が降伏後もねじれ振動を生じないなど，平面的かつ立面的にバランスを配慮して決定した。

4.　設計クライテリア

制震部材の採用により，従来の設計に比べ層間変形を抑え，非構造部材の損傷を防止する設計とした。また，レベル2においても梁に降伏ヒンジを生じないことを目標として地震時の変形・耐力に関する設計クライテリアを以下のように設定した。

1)　レベル1地震時（20cm/s）
　層間変形角≦1/200　ラーメン架構≦弾性限強度
2)　レベル2地震時（40cm/s）
　層間変形角≦1/150　ラーメン架構≦弾性限強度
　ダンパーの最大変形角（最大塑性率）
　　$\gamma \leq 4/100$　　（$\mu \leq 24$）
3)　過大入力地震時（63cm/s）
　層間変形角≦1/100　ラーメン架構≦保有水平耐力
　ダンパーの最大変形角（最大塑性率）
　　$\gamma \leq 8/100$　　（$\mu \leq 48$）

ここで，レベル1およびレベル2で採用した地震動は標準波形のエルセントロ波，タフト波，八戸波および兵庫県南部地震で計画地近くで記録された地域の特性を表す波である。また，制震部材の変形能の評価およびその塑性変形が大きい場合の架構全体としての挙動の安定性を検討するため，過大入力を設定することとし一次元重複反射理論により模擬地震動を作成した。なお，その工学的基盤に入力した波形は神戸大学で記録されたＮＳ方向の波形である。

5.　解析結果

(1)　固有値解析結果　　建物の固有周期（秒）は以下の通りである。

	X方向	Y方向
一次	1.66	1.60
二次	0.61	0.60

(2)　応答解析結果　　以下の各図に応答解析結果を示す。

Fig.4　レベル2最大応答層間変形角
Fig.5　レベル2降伏ヒンジの発生状況
Fig.6　レベル2エネルギー応答結果（タフト波）
Fig.7　等価減衰定数
Fig.8　過大入力時リンク材の荷重 - 変形履歴

各図に示すようにレベル2の層間変形角は最大で1/150であり，梁の降伏ヒンジの発生も1箇所のみで設計の目標を満足した。また，エネルギー応答による評価した減衰効果は入力レベルに比例して大きくなり，レベル2でおよそ減衰定数4％である。また，過大入力時のリンク材の部材角は最大でγ =3.3/100で十分健全である。また，リンク材の疲労寿命はManson-Coffin則にて評価したが，累積損傷度は十分小さく，疲労の問題はない。さらに，レベル1程度の地震に対して，リンク材の時刻歴せん断変形を求め，残留変形を検討した結果はFig.9に示す通りであり，大きなドリフトは生じなかった。レベル1では問題となるような塑性変形は全く残らないといえる。以上の検討に基づき，設計したY型ブレースダンパー部分の詳細をFig.10に示す。図に示すようにリンク材部分は取換え可能なディテールとしており，被災時にリンク材を新しくすれば建物の耐震性能は容易に復旧すると考えられる。

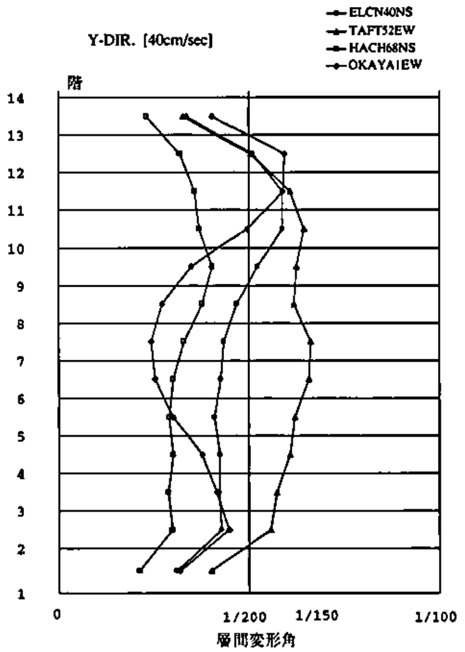

Fig. 4　レベル2最大応答層間変形角
Level 2 Maximum Response Story Deflection

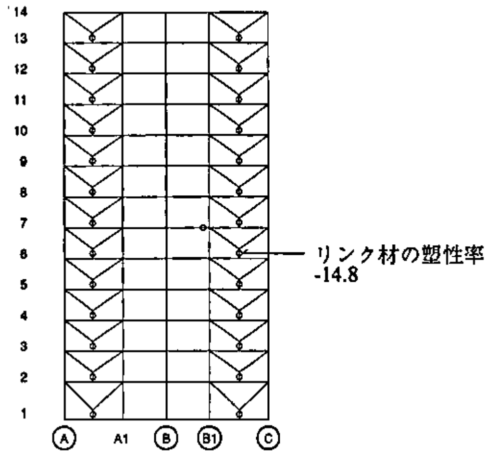

Fig. 5　レベル2降伏ヒンジの発生状況
Yield Hinge in Frame (Ductility Factor)

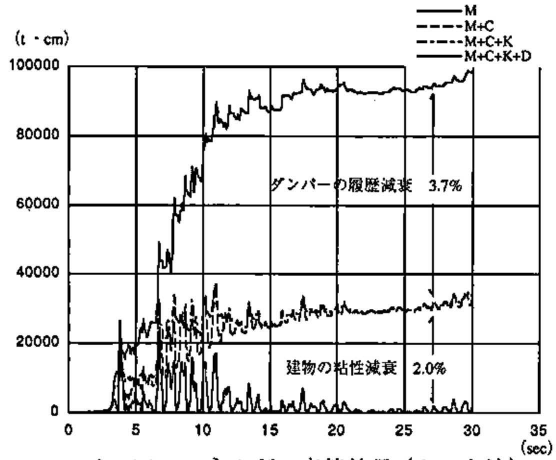

Fig. 6　レベル2エネルギー応答結果（タフト波）
Level 2 Energy Response　(Taft)

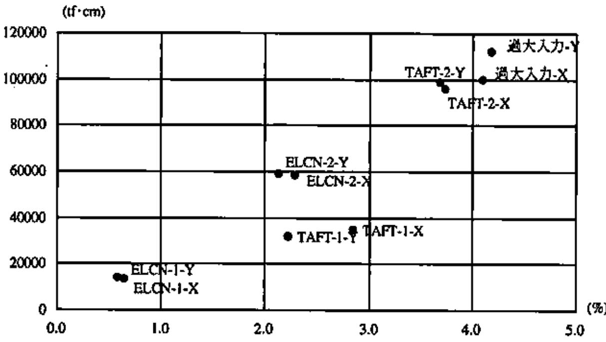

Fig. 7　等価減衰定数
Equivalent Damping Factor

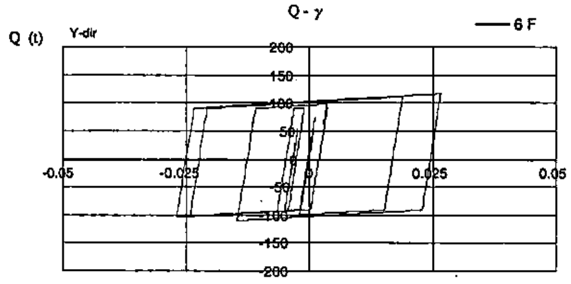

Fig. 8　過大入力時リング材の荷重-変形履歴
Load - Shear Deformation of the Member called "Link" at over Level 2 Earthquake

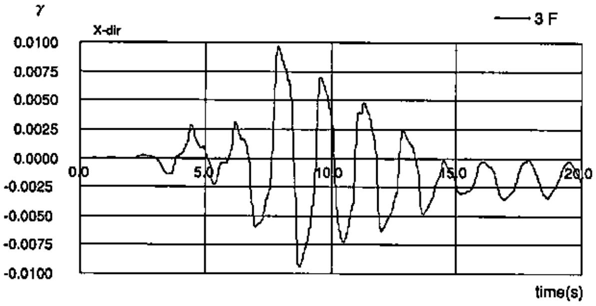

Fig. 9　リング材のせん断変形角の時刻歴
Time History of Shear Deformation

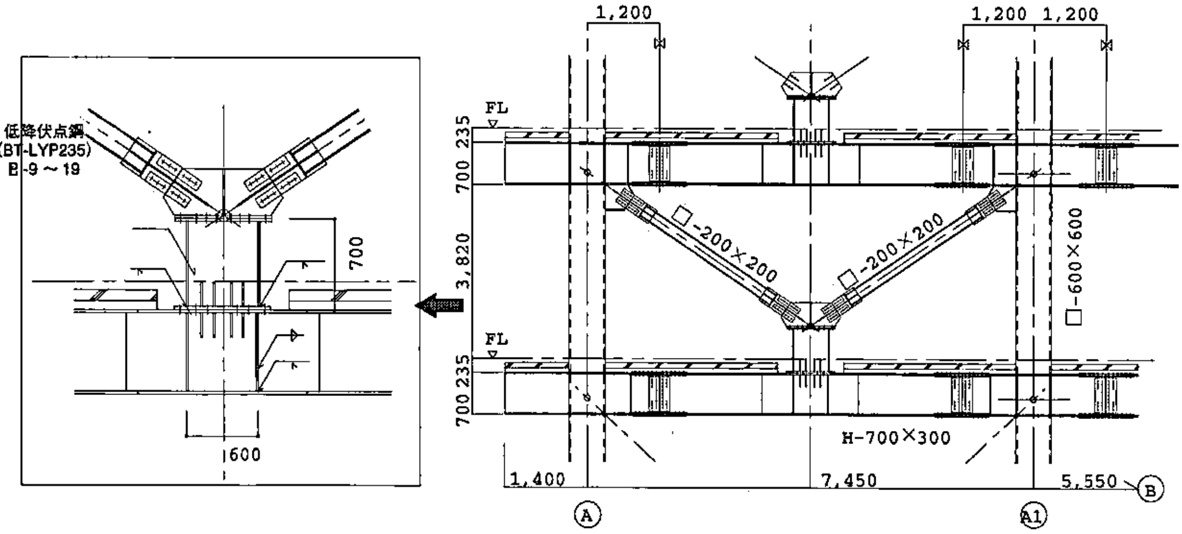

Fig. 10　Y型ブレースダンパー詳細図
Detail of Y-Shaped Brace Damper

6.　まとめ

(1)　制震効果　　建物にY形ブレースダンパーを組み込み，これが地震時に塑性化してエネルギーを吸収することによりラーメン架構部分の損傷がかなり小さく抑えられた。また，ダンパーは変形能が大きく，履歴エネルギーにより減衰効果を生じるため，地震レベルが大きくなればなるほど，効果が大きい。本設計の場合，レベル2で建物粘性減衰の約2倍の効果があった。

(2)　経済性　　制震効果を高め，付加価値が大きくなったにもかかわらず，構造数量は従来の同規模の建物に比べ，低減されており，経済性の向上も計られた。

以上より本設計は今後の耐震設計の一つの方向性を示すものと考える。