

履歴型ダンパー付きラーメン構造の損傷量

桑原 進*1

応答解析 履歴型ダンパー 累積塑性変形倍率
等価 1 質点系 適正分担率

同 井上一朗*1
同 小川厚治*2

1. 序

本論では層せん断耐力を与えて設計した履歴型ダンパー付き長方形ラーメン架構が入力地震動によってどの程度の損傷を受けるのかを数値計算結果より提示する。以下では柱・梁で構成されるラーメン部分をフレーム、履歴型ダンパーを構成する部分をダンパー系と称する。

2. 応答解析条件

解析対象として以下のような N 層骨組を設定する。

- (1) 各層の重量 w ・階高 h ・ダンパー系とフレームの剛性比 k ・ダンパー系の層せん断力分担率 β が等しい。
- (2) 1 次設計用層せん断力に対する各層の層間変形角は等しい。
- (3) 柱の伸縮による曲げ変形は無視できる。

図 1 に i 層の層せん断力 Q_i - 層間変位 δ_i 関係を示す。フレームとダンパー系は各々完全弾塑性型の復元力特性を有する。 i 層の層せん断耐力 Q_{ui} は次式で与えられる。

$$Q_{ui} = {}_2C_B A_i \alpha_i W_T \quad (1)$$

$${}_2C_B = D_S Z R_t {}_2C_0 \quad (2)$$

ただし $A_i = 1/\sqrt{\alpha_i}$, $\alpha_i = \sum_{j=i}^N w_j / W_T$ w_i は i 層の重量, W_T は全重量である。 ${}_2C_B$ は 2 次設計用のベースシャー係数, $C_0 = 1.0$, $Z = 1.0$, R_t は第 2 種地盤を想定して算出される R_t の算出に用いられる固有周期 T は $T = 0.03Nh$ (N : 層数, h : 階高 (単位 m)) から求める。系全体の剛性 K_i は 1 次設計用層せん断力 (${}_1C_0 = 0.2$) 作用時の各層の層間変形角がそれぞれ $1/200$ となるように設定する。ダンパー系とフレームの剛性比 k を次式で定義する。

$$k = K_{Di} / K_{Fi} \quad (3)$$

解析パラメータを以下に示す。

層数 N : 5, 10, 20

剛性比 k : 0.5, 1.0, 2.0

D_S 値は 0.25, 階高 h は 4m とする。入力地震動は Yokohama^[1], NTTB3EW, El Centro NS の 3 波であり, それぞれの解析時間は 40, 20, 30 秒とする。入力地震動の入力レベルは, 損傷に寄与するエネルギーの速度換算値 V_{dm} が各解析で一定値となるように収斂計算により決定する。 V_H は 150, 225, 300 cm/sec の 3 種とする。 $V_{dm} = 150$ cm/sec は第 2 種地盤の設計用入力レベルを想定したものである。

上記の N 層骨組を全重量 W_T ・1 次固有周期 T が等しく, 図 2 に示す層せん断力 Q - 層間変位 δ 関係を有する等価 1 質点系に置換^[2]して応答解析をする。また多質点系応答解析をし, 等価 1 質点系の応答値と比較する。減衰特性は 1 次, 2 次モードともに粘性減衰定数 0.01 の Rayleigh 型とする。

3. 等価 1 質点系の応答解析結果

応答結果には地震動の相違による大きな差異がみられないので, 以下では主として Yokohama による応答結果を示す。

図 3 にフレームの累積塑性変形倍率 η_F とダンパー系の耐力分担率 β の関係を示す。図中の点線は次式で得られるダンパー系の適正分担率 β_{opt} ^[3]を示す。

$$\beta_{opt} = 1 - 1/\sqrt{k+1} \quad (6)$$

η_F は β に対して極小値を有し, β_{opt} の近傍で最小となる。この η_F の最小値を与える β は V_{dm} のレベルに無関係である。 η_F の極小値はラーメン構造 ($\beta = 0$) と比較すると著しく小さく, 極小値の近傍では β の変動に対する η_F の変動は小さい。剛性比 k が大きくなると η_F は小さくなり, β の変動に対して η_F が鈍感になる範囲も広がる。図 4 に $\beta = \beta_{opt}$ の時の η_F を示す。横軸は V_{dm} と地震動の種類で分類し, 縦軸は η_F を示す。第 2 種地盤の設計用入力レベル ($V_{dm} = 150$ cm/sec) では, 適正履歴ダンパーを組み込めばフレームは塑性化しないか, 塑性化しても累積塑性変形倍率で 2 程度に留まっている。 $V_{dm} = 300$ cm/sec の入力レベルでも適正履歴ダンパーを組み込めばフレームの累積塑性変形倍率は 4 ~ 15 程度に留まる。

図 5 には最大層間変形角応答 R_{max} と β の関係を示す。図中の点線は図 3 と同様に β_{opt} を示す。 R_{max} は履歴ダ

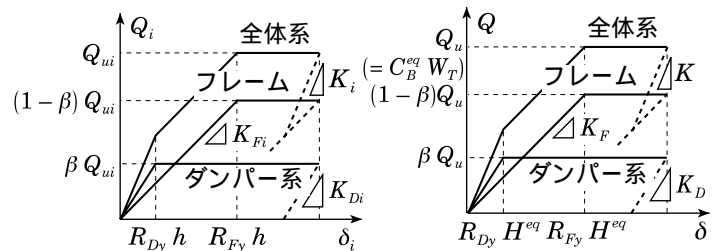


図1 i 層の $Q_i - \delta_i$ 関係

図2 等価 1 質点系の $Q - \delta$ 関係

Damage of moment resisting frames combined with hysteretic dampers

ンパーにより低減され、 β_{opt} 近傍で最小値になる傾向がうかがえるが、その低減率は η_F のそれと比較すると小さく、 β によらずほぼ一定になる場合もある。また、最小値は剛性比によらずほぼ一定である。図6に $\beta = \beta_{opt}$ の時の R_{max} を示す。横軸は図4と同様であり、縦軸は R_{max} を示す。 $V_{dm} = 150 \text{ cm/sec}$ の入力レベルでは、適正なダンパーを組み込んだ場合、 R_{max} は1/100以下となっている。

4. 多質点系応答値と等価1質点系応答値の比較

図7左図・中図にはそれぞれ損傷に寄与するエネルギー E_{dm} で無次元化したフレーム・ダンパー系の履歴吸収エネルギー $E_{Fp} \cdot E_{Dp}$ の応答値を示す。図中のプロットされたものが多質点系、実線・破線が等価1質点系の応答結果である。多質点系と等価1質点系のエネルギー応答値はほぼ一致する。図7右図では、多質点系の最大層間変形角 R_{max} と次式で定義する $\overline{R_{max}}$ をそれぞれ、

$$\overline{R_{max}} = \frac{\sum_{j=1}^N R_{maxj} Q_{maxj}}{\sum_{j=1}^N Q_{maxj}} \quad (10)$$

実線・破線は等価1質点系の応答結果である。等価1質点系の R_{max} は多質点系の $\overline{R_{max}}$ と良い対応を示すが、

R_{max} とは大きな差異を示す場合がある。これはフレームが塑性化し系の剛性が0となるため、多質点系の R_{max} の高さ方向分布にばらつきが生じるためである。

5. 結論

以上の数値解析より得られた結果を要約する。

- 1) フレームの累積塑性変形倍率はダンパー系の適正分担率の近傍で最小となり、この最小値を与えるダンパー系の耐力分担率は地震入力レベルに無関係である。
- 2) 第2種地盤を想定した設計用入力レベルでは、適正な履歴ダンパーを組み込んだフレームの累積塑性変形倍率は2程度に留まる。
- 3) 等価1質点系のエネルギー応答は多質点系の応答値とほぼ一致する。

[謝辞]

本研究は、(社)日本鋼構造協会鋼構造新設計法小委員会(主査:高梨晃一教授)の活動の一貫としておこなったものである。

[参考文献]

- [1] 横浜市構造建築物耐震指導基準策定委員会: 振動応答解析マニュアル, 付-2 横浜標準波の作成
- [2] 井上一朗, 桑原進, 多田元英, 中島正愛: 履歴ダンパーを用いた架構の地震応答と設計耐力, 鋼構造論文集, 第3巻第11号, 1996.9.
- [3] 井上一朗: 履歴ダンパーを用いた耐震設計, シンポジウム「耐震設計の一つの新しい方向」, 1995年10月, pp.95-111

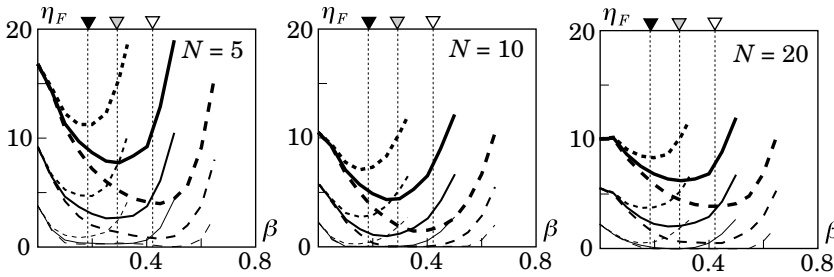


図3 フレームの累積塑性変形倍率 (yokohama)

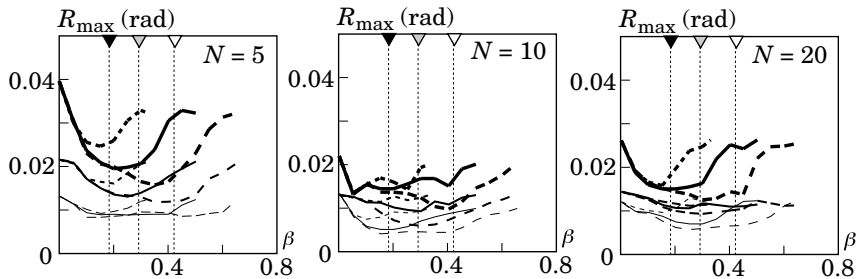


図5 最大層間変形角 (yokohama)

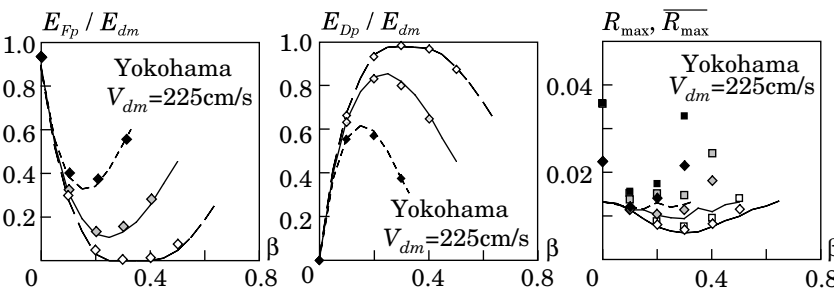


図7 等価1質点系と多質点系の解析結果比較

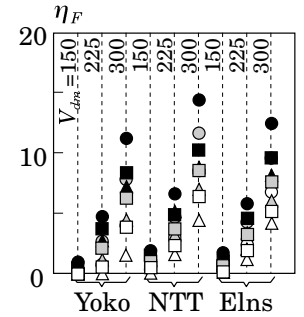


図4 η_F ($\beta = \beta_{opt}$)

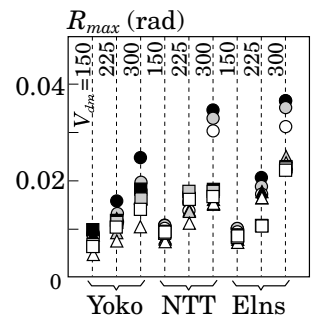


図6 R_{max} ($\beta = \beta_{opt}$)

*1 大阪大学工学部建築工学科
*2 熊本大学工学部環境システム工学科

Dept. of Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Osaka Univ.
Dept. of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kumamoto Univ.