

履歴型ダンパー付ラーメン構造の地震応答性状
(柱梁耐力比・剛性比の高さ方向分布の影響)

桑原 進*1

応答解析 履歴型ダンパー エネルギー応答
魚骨形モデル 最大層間変形角

同 井上一朗*1

同 船木伸彦*1

1. 序 本報では履歴型ダンパー付ラーメン構造を対象とする。柱・梁をフレーム，履歴型ダンパーを構成する部分をダンパー系と称する。履歴型ダンパー付架構の地震応答性状は様々な要因について検討されている^{1)~3)}。本報では解析モデルに魚骨形モデル^{4),5)}を用いて，柱梁耐力比の違いが履歴型ダンパー付架構の地震応答性状に及ぼす影響について検討する。またダンパー付き架構では付加軸力による曲げ変形によって上層になるほど見かけのせん断剛性が低下する。この影響を想定した剛性比の高さ方向分布の影響についても併せて検討する。

2. 解析モデルと解析パラメータ 図1に*i*層の層せん断力 Q_i - 層間変形角 R_i 関係を示す。図中の β_i , k_i はそれぞれダンパー系の耐力分担率，ダンパー系とフレームの剛性比であり，次式で定義する。

$$\beta_i = {}_D Q_{yi} / Q_{ui} \quad , \quad k_i = K_{Di} / K_{Fi} \quad (1), (2)$$

*i*層の2次設計用層せん断力 Q_{ui} ・ 1次設計用層せん断力 Q_{ai} ・ 魚骨梁の初期降伏時に作用する層せん断力 Q_{yi} をそれぞれ次式で与える。

$$Q_{ui} = D_S {}_2 C_0 R_i A_i \alpha_i W_T \quad , \quad {}_2 C_0 = 1.0 \quad (3)$$

$$Q_{ai} = {}_1 C_0 R_i A_i \alpha_i W_T \quad , \quad {}_1 C_0 = 0.2 \quad (4)$$

$$Q_{yi} = C_1 R_i A_i \alpha_i W_T \quad , \quad C_1 = 0.2 \quad (5)$$

但し $A_i = 1 / \sqrt{\alpha_i}$, $\alpha_i = \sum_{j=i}^N w_j / W_T$, w_i は *i* 層の重量， W_T は全重量である。 R_i は第2種地盤を想定した振動特性係数であり， R_i の算出に用いる1次固有周期は固有値解析より算出する。また $D_S = 0.25$ とする。

魚骨形モデル^{4),5)}の復元力特性を特定するために以下の仮定を導入する。特定方法の詳細は文献6)で述べている。

- ・ 全体系の弾性剛性 K_i は Q_{ui} 作用時の各層の層間変形角が $1/200$ になるとして算定する。

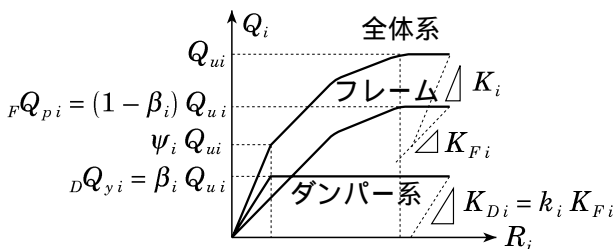


図1 *i*層の層せん断力 - 層間変形角関係

・ 弾性時の魚骨柱の曲げモーメント反曲点は部材中央とする。

解析パラメータとその他の諸元を以下に示す。

- ・ 層数 N : 6, 12
- ・ 柱梁耐力比 r_c : 1.0, 1.5
- ・ 等価剛性比 k^{eq} : 0.5, 1.0, 2.0
- ・ 剛性比 k の高さ方向分布 : 一定，線形に変化
- ・ ダンパー系の耐力分担率 β : (表1の通り)
- ・ 階高 : 400 cm
- ・ 弾性層間変形角に占める柱の変形の割合 γ : 0.5
- ・ 粘性減衰定数 (剛性比例型) : 0.02
- ・ 入力地震動 (最大速度 50 cm/s) :

NTTB3NS⁷⁾, El Centro NS, Taft EW, Yokohama⁸⁾ 等価剛性比 k^{eq} を次式で定義する³⁾。

$$k^{eq} = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^2 k_i / K_i)}{\sum_{i=1}^N (Q_i^2 / K_i)} \quad (6)$$

この k^{eq} を一定とし，剛性比の高さ方向分布が一定である場合と線形変化する場合を比較する。本解析では線形変化する場合の第 *i* 層の剛性比 k_i を次式で表す。

$$k_i = \rho_i k_1 \quad , \quad \rho_i = 1 - \frac{\rho_0}{N+1} (i-1) \quad (7), (8)$$

ただし $\rho_0 = 0.6$ ($N=6$) $\rho_0 = 0.8$ ($N=12$) とする。 β_i は高さ方向に一定とする。表1に示す β_{opt}^{eq} は定常応答時の等価粘性減衰を最大化する β であり，次式で得られる。

$$\beta_{opt}^{eq} = 1 - \frac{1}{\sqrt{k^{eq} + 1}} \quad (9)$$

3. 解析結果及び考察 図2はNTTB3NSによる12層骨組の応答解析結果であり，フレーム・ダンパー系・魚骨梁・魚骨柱の塑性吸収エネルギー E_p^F , E_p^D , E_p^B , E_p^C を縦軸に，ダンパー系の耐力分担率 β を横軸として示している。各エネルギー応答はそれぞれ損傷に寄与する入

表1 解析パラメータ

N	k^{eq}	β_{opt}^{eq} (%)	β (%)
12	0.50	18.4	0.0, 2.5, 5.0, 10.0, 14.2, 18.4, 25.8
6	0.50	18.4	0.0, 2.5, 5.0, 10.0, 14.2, 18.4, 25.8
12	1.00	29.3	0.0, 2.5, 5.0, 10.0, 19.6, 29.3, 39.6
6	1.00	29.3	0.0, 2.5, 5.0, 10.0, 19.6, 29.3, 39.6
12	2.00	42.3	0.0, 2.5, 5.0, 10.0, 26.1, 42.3, 54.5
6	2.00	42.3	0.0, 2.5, 5.0, 10.0, 26.1, 42.3, 54.5

The earthquake response of moment resisting frames combined with hysteretic dampers
(The influences of the distribution of the relative stiffness between the damper and the entire frame,
and of the strength ratio of the column to the beam)

KUWAHARA Susumu, INOUE Kazuo and FUNAKI Nobuhiko

力エネルギー E_{dm} で無次元化されている。層数・入力地震動によらず同様の結果が得られたので、ここでは NTTB3NS 12 層の結果のみを示す。

E_p^F, E_p^B, E_p^C は β について極小値を有しており、その値は k^{eq} が大きいほど小さい。一方 E_p^D は β について極大値を有する。極小値・極大値に近い値をとる β の範囲は k^{eq} が大きいほど広く、0.1 から β_{opt}^{eq} の範囲は極小値・極大値に近い値となっている。以上の傾向は、柱梁耐力比・剛性比の高さ方向分布に無関係である。

k^{eq} が同じであれば、剛性比の高さ方向分布とは無関係に $E_p^F, E_p^D, E_p^B, E_p^C$ の応答値はほぼ一致する。一方、柱梁耐力比の影響は E_p^B と E_p^C に現れる E_p^B と E_p^C の和で

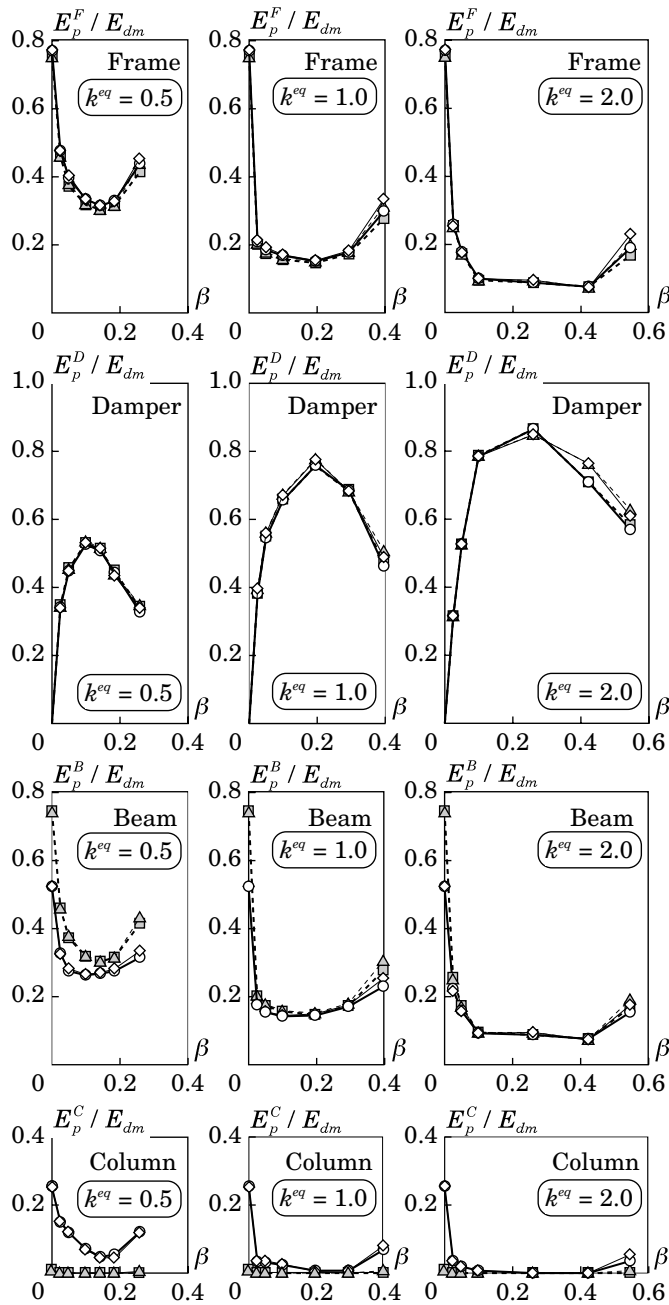


図2 各部の塑性吸収エネルギー (NTTB3NS, 12 層)

ある E_p^F の大きさは柱梁耐力比と無関係にほぼ一致するが、柱梁耐力比が 1.5 の場合は柱がほとんど塑性化しないため、柱梁耐力比が 1.0 の場合と比較すると柱と梁の塑性吸収エネルギーの比が異なる。

図3に最大層間変形角 R_{max} とダンパー系の耐力分担率 β の関係の一例を示す。 R_{max} についても β について極小値が存在しているが、入力地震波によっては明瞭な極小値が見受けられない場合もある。剛性比の高さ方向分布・柱梁耐力比による違いの影響はほとんど見られない。

図6は各層ダンパー系の塑性吸収エネルギー E_{pi}^D を E_{dm} で無次元化した値の高さ方向分布の一例を示す。 E_{pi}^D の高さ方向分布に柱梁耐力比の影響がほとんどないのに対し、剛性比の高さ方向分布が異なると E_{pi}^D の分布に差異が生じる。分担率 β が大きくなるほどこの傾向は強くなる。

4. 結 本報では魚骨形モデルを用いて、剛性比が層によって異なる場合や柱梁耐力比の違いが履歴型ダンパー付架構の地震応答に及ぼす影響について検討した。

謝辞 本研究は「社団法人鋼材倶楽部 建築鋼構造研究助成特別委員会」より研究助成を受けて行った。関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 井上一朗：履歴型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
- 2) 井上一朗，桑原進，多田元英，中島正愛：履歴型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) 小川厚治，井上一朗，小野聡子：柱・梁を弾性域に留める履歴ダンパー付架構の設計耐力（1質点系による考察），JSSC鋼構造論文集，Vol. 4, No. 17, 1998.3.
- 4) 加村久哉，小川厚治，井上一朗：鋼構造ラーメン骨組の魚骨形応答解析モデルへのモデル化について，日本建築学会近畿支部研究報告集，第38号構造系，1998.7.
- 5) 船木伸彦，加村久哉，桑原進，井上一朗：履歴型ダンパー付ラーメン架構の魚骨形モデル，日本建築学会近畿支部研究報告集，第38号構造系，1998.7.
- 6) 桑原進，井上一朗，船木伸彦：履歴型ダンパー付きラーメン構造の地震応答性状，日本建築学会近畿支部研究報告集，第38号構造系，1998.7.
- 7) 日本建築学会兵庫県南部地震特別研究委員会，特定研究課題 1-SWG1，日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会：1995年兵庫県南部地震強震記録資料集，pp.244, 1996.1
- 8) 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

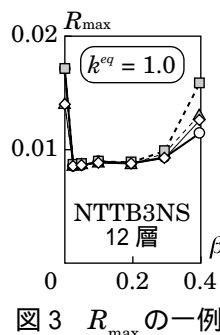


図3 R_{max} の一例

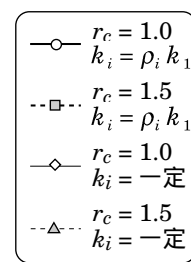


図2~4の凡例

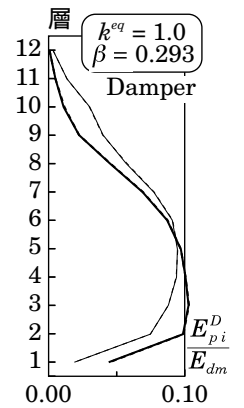


図4 E_{pi}^D の分布