

B-1

RCS 構造の柱の復元力特性が地震時のひずみエネルギー分布に与える影響についての基礎的研究
The Effect of Hysteresis Characteristics of RCS Structure Columns on Strain Energy Distribution under Earthquakes

○澤木琉偉¹, 石鍋雄一郎²
*Rui Sawaki¹, Yuichiro Ishinabe²

Abstract: This study investigates the effect of hysteresis characteristics of columns on strain energy distribution for the purpose of applying the energy balance method in structures composed of RC columns-S beams. The parameters are the ratio of the stiffness of the damper to the stiffness of the structure, the rate of stiffness reduction at yield of the columns, and the strength distribution.

1. はじめに

本研究では、RCS 構造におけるエネルギー法の適用を目的として、柱の復元力特性が地震時のエネルギー分布特性に与える影響を検討する。

2. 解析概要

解析モデルは倉庫建築を想定し、文献[1]を参考に構築した5層の魚骨モデルである (Figure 1)。履歴型ダンパーが各層に配置されている。部材の剛性 (柱は剛域非考慮の $K = 6EI/L$) および剛域 l_r 、ヒンジ位置 l_h 、耐力、柱梁耐力比は Table 1 に示す。 l_r と l_h は上段に柱頭、下段に柱脚の値を示す。せん断変形は考慮しない。

解析には SNAP Ver.8 を用い、魚骨梁とダンパーの復元力特性は Figure 2、主架構のみの Q- δ 関係 (規準化重量 α_i の平方根 $\sqrt{\alpha_i}$ に比例する層せん断力分布 ($\sqrt{\alpha}$ 分布) の第 4, 5 層のせん断力を増大させた分布で増分解析) を Figure 3 に示す。

パラメータは主架構の剛性に対するダンパーの剛性比 k 、柱の降伏時剛性低下率 α_y ^[2]、強度分布である。

k は 0.4, 1.2 とする。ダンパーの耐力分担率は、 $k=0.4$ では 0.11, $k=1.2$ では 0.23 である。柱の曲げの復元力特性は bilinear (M_c は無視) 二次剛性比 0.001) および武田モデルとし、武田モデルにおいて降伏時剛性低下率 α_y を 0.6, 文献[2]を参考に各層で異なる値 (Table 1) とする (以降、このケースを $\alpha_y=0.25$ と表記)。武田モデルにおいて、内側ループからの除荷剛性に乗じる係数は 0.7, 降伏後の除荷剛性に乗じる指数は 0.4 とする。

強度分布は第 1 層柱のひび割れ耐力および降伏耐力を Table 1 の値から 20%低下させたケースも解析し、損傷分布の変化に復元力特性が与える影響を把握する。

入力地震動は Table 2 に示す。時刻歴応答解析はひずみエネルギーの継続時間中の最大値がエネルギー法における極稀地震時に建築物に入力されるエネルギー (速度換算 1.65m/s) と同等 ($\pm 5\%$ 以内) になるように加速度に倍率を乗じる。地震動入力後に 20 秒間自由振

動させ、弾性ひずみエネルギーを収束させ、解析終了とする。減衰は初期剛性比例型とし、ダンパーを除いて、柱と梁に共通で 1 次減衰定数 2%とした。

3. 解析結果

Figure 4 にダンパーを含む架構全体に対する主架構の 5 層合計の吸収ひずみエネルギー (解析終了時の値、以

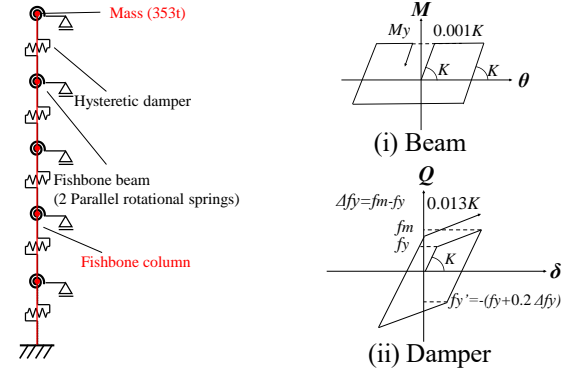


Figure 1. Model diagram Figure 2. Hysteresis characteristics

Table 1 Property of members

Story	Fishbone column						Story	Fishbone beam 1		Fishbone beam 2	
	K_c (kNm/rad)	l_r (mm)	l_h (mm)	M_c (kNm)	M_y (kNm)	α_y		K (kNm/rad)	M_{y1} (kNm)	K (kNm/rad)	M_{y2} (kNm)
5	9.42×10^6	0.0	396	2996	12227	0.19	5	2.06×10^6	2996	6.87×10^5	12227
4	9.42×10^6	0.0	396	3813	14244	0.20	4	2.06×10^6	3813	6.87×10^5	14244
3	1.03×10^7	0.0	450	4552	16158	0.22	3	3.36×10^6	4552	1.12×10^6	16158
2	1.08×10^7	0.0	450	5258	16515	0.24	2	3.36×10^6	5258	1.12×10^6	16515
1	1.08×10^7	0.0	450	6076	18021	0.25	1	3.36×10^6	6076	1.12×10^6	18021

beam-column strength ratio						
floor	R	5	4	3	2	1
	-	1.57	1.25	1.35	1.42	-

Table 2 Input motion

Input motion	Year	Duration
El Centro NS	1940	53.74sec
Hachinohe EW	1968	35.99sec
JMA Kobe NS	1995	39.98sec

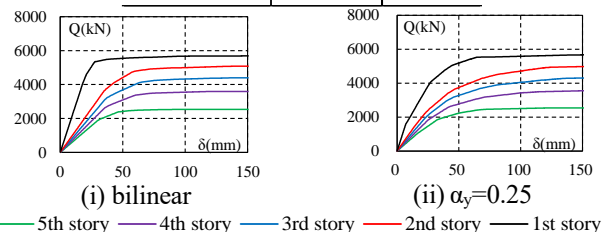


Figure 3. Story shear-relative story displacement relationship

1: 日大理工・院 (前)・建築 2: 日大短大・教員・建築

下同じ) 負担割合を示す. $k=0.4$ の場合, bilinear および $\alpha_y=0.6$ の各地震波の平均値はそれぞれ 0.38, 0.38 で差異は小さいが, $\alpha_y=0.25$ の平均値は 0.31 である.

Figure 5 に主架構のひずみエネルギー (以下, エネルギーと表記) が大きい $k=0.4$ の場合の各層のエネルギー吸収量を示す. Frame は各層が負担する柱および \sqrt{a} 分布に基づく層せん断力の比で上下層に分割した梁のエネルギーの和で, Beam は当該層上部の梁である. α_y が小さくなると, 柱は 5 層合計のエネルギー量が大きくなり, 梁の 5 層合計のエネルギー量は小さくなっている. 柱については, 第 1 層以外でもひび割れによってエネルギーが増大している. また, bilinear (bili) は第 1 層柱のみでエネルギー吸収するが, そのエネルギーは武田モデルより大きい場合もある.

ダンパーについては, α_y が小さくなると, 5 層合計のエネルギー量がやや大きくなる傾向がある. 各層の負担割合については復元力特性による差異は小さかった.

Figure 6 に各層のダンパーの平均累積塑性変形倍率 $\bar{\eta}$ (1式) と塑性変形倍率 μ の比 $\bar{\eta}/\mu$ を示す.

$$\bar{\eta} = E_d / 2Q_d \delta_d \quad (1)$$

E_d はダンパーのエネルギー吸収量, Q_d はダンパーの降伏耐力, δ_d はダンパーの降伏変位である.

復元力特性によって $\bar{\eta}/\mu$ の大小関係に定性的な傾向は見られなかった.

Figure 7 に $k=0.4$ の場合の第 1 層柱の耐力低減の有無による第 1 層のエネルギー吸収の比較を示す. 第 1 層耐力の低減時, ダンパーおよび柱の第 1 層のエネルギー吸収量が大きくなるが, $\alpha_y=0.25$ の場合の柱は耐力低減の影響は小さい. Table 3 に耐力低減前後の第 1 層柱脚の曲げ塑性率 (My 時を基準) を示す. $\alpha_y=0.25$ の場合, 耐力低減時でも 1.0 程度の値である. 梁は第 1 層耐力低減時に 5 層合計のエネルギー量が減り, 第 1 層上部梁の負担割合が大きくなる傾向があり, 復元力特性によらず変動は小さかった.

4. まとめ

本研究では, 柱の復元力特性が地震時のエネルギー分布特性に与える影響について基礎的な考察を行った. 今後は基礎梁の影響を考慮した検討を行う方針である.

5. 参考文献

- [1] 小川厚治 ほか:「鋼構造ラーメン骨組の魚骨形地震応答解析モデル」, 日本建築学会構造系論文集, 第 521 号, pp.119-126, 1999 年 7 月
- [2] 国土交通省国土技術政策総合研究所 ほか編:「2020 版建築物の構造関係技術基準解説書」, 第 1 版, 全国官報販売協同組合, 2020 年 9 月

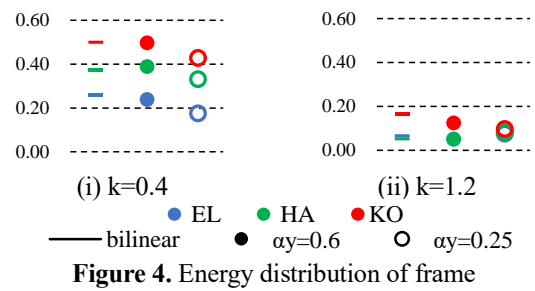


Figure 4. Energy distribution of frame

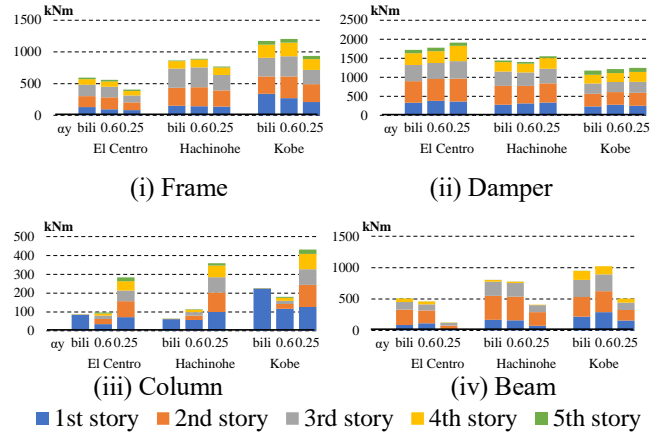


Figure 5. Absorbed strain energy of each story

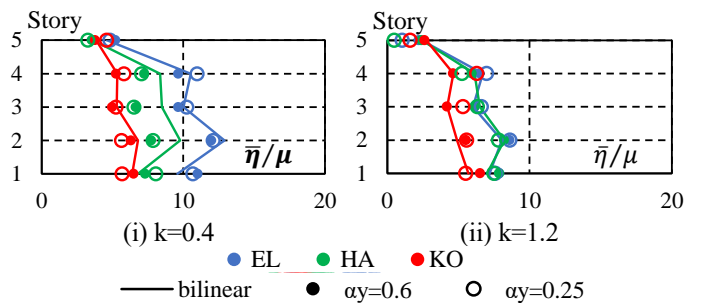


Figure 6. $\bar{\eta}/\mu$ of damper of each story

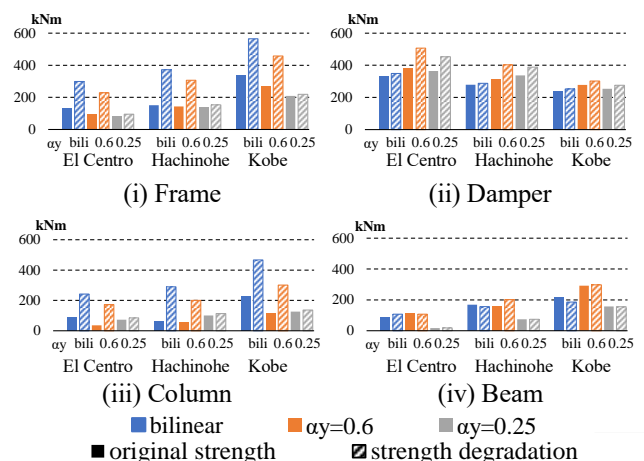


Figure 7. Comparison of absorbed strain energy between original strength and strength degradation

Table 3. Ductility factor of 1st column base

hysteresis characteristic	original strength			1st story strength degradation		
	El Centro	Hachinohe	Kobe	El Centro	Hachinohe	Kobe
bilinear	2.09	2.49	2.19	4.25	4.76	4.12
$\alpha_y=0.6$	1.23	1.56	1.63	2.42	3.07	2.69
$\alpha_y=0.25$	0.63	0.74	0.78	0.90	1.05	1.10