

超弾性柔要素部材を用いた次世代制震構造システムに関する研究
(その 19 無損傷構造建物の解析結果)

New Generation Energy Dissipation Structural System using Super-Elastic Member

Part19. Analysis Results of Damage Free Building

○黒澤諒¹, 竹内健一², 波田雅也², 北嶋圭二³, 中西三和³, 安達洋³

Ryo Kurosawa¹, Kenichi Takeuchi², Masaya Hada², Keiji Kitajima³, Mitsukazu Nakanishi³, Hiromi Adachi³

This paper shows the analysis results of damage free building and the effectiveness of evaluation method by equivalent SDOF system as a seismic performance evaluation.

1. はじめに

本報では、前報(その 18)で概要を示した無損傷構造建物の解析結果について述べる。また、損傷制御設計された各々の多層建物の応答値が縮約 1 自由度系にて評価可能であることを示し、耐震性能評価手法として縮約 1 自由度系での評価方法が有効であることを示す。

2. 解析諸元

解析は、静的増分解析、応答解析ともに、平面フレームモデルとし、桁方向のみを対象として行う。内部粘性減衰は純ラーメン構造、次世代制震 K_w+K_d ともに主架構に対し、初期剛性比例型とし減衰定数は 5%とした。Table1 に入力地震動諸元を示す。入力地震動は告示波 4 波¹⁾とした。Table2 に復元力特性を、Fig.1 に部材のモデル化を示す。各部材のモデル化は、柱梁部材は材端剛塑性ばねモデル(次世代建物の柱は材端ピンモデル)、連層耐震壁は柱置換モデルとし、超弾性部材は支点ばねにモデル化した。

3. 解析結果

(a) 固有値解析結果 Table3 に各建物の弾性 1 次固有周期を示す。次世代非制震 K_w の周期は、目標周期と解析周期が概ね対応していることが確認できる。

(b) 静的荷重増分解析結果 Fig.2 に、各建物の各階の層せん断力-層間変位関係を示す。図には、いずれかの層が目標変形に達した時点の各層の変形分布とその時のベースシア係数を示している。純ラーメン構造では、各層の変形分布にばらつきが見られるのに対し、次世代非制震 K_w では連層耐震壁の効果により変形分布が概ね一様になっていることが確認できる。また、次世代制震 K_w+K_d のベースシア係数は、純ラーメン構造と同程度の値であり、耐力が低く抑えられていることが確認できる。

(c) 時刻歴応答解析結果 Fig.3 に時刻歴応答解析より得られた各層の最大応答値を示す。まず、最大応答層間変形角は、純ラーメン構造のすべての建物でばらつきが見られ、また、1/50rad 程度の大きな値になって

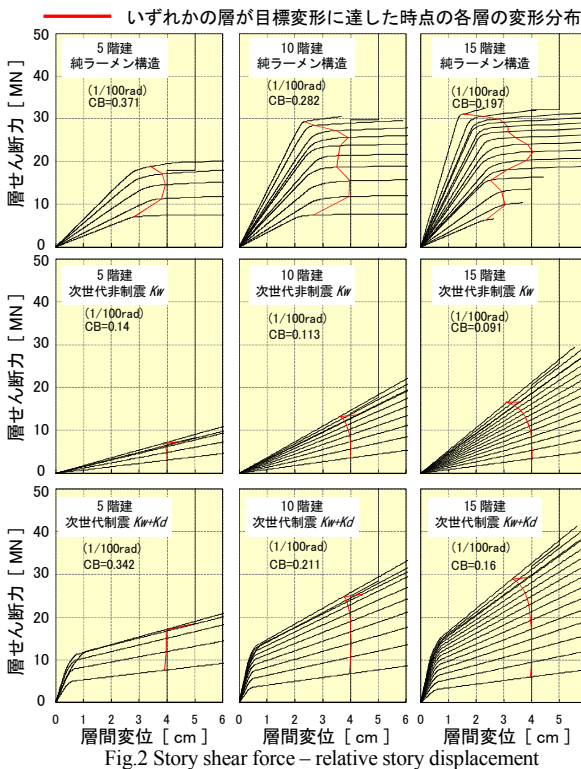
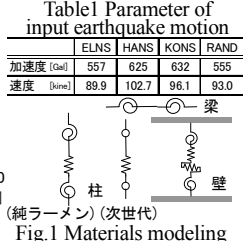
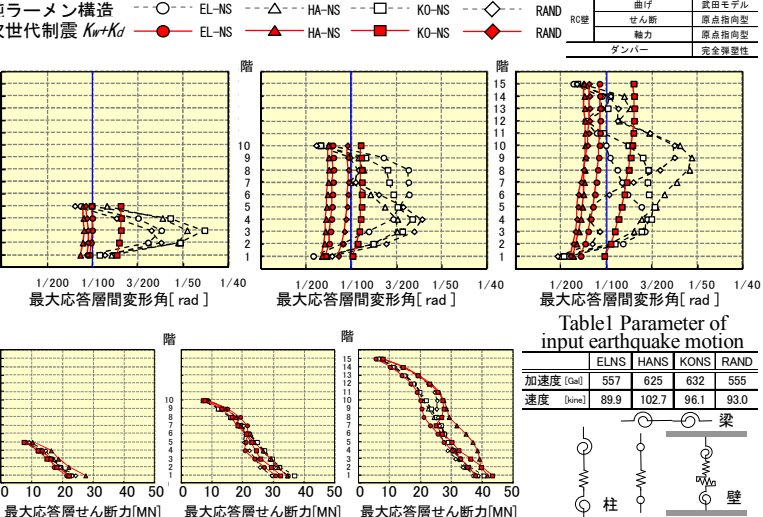


Table3 Natural period [sec]

	5階	10階	15階
純ラーメン構造 解析周期	1.00	1.41	1.84
次世代非制震 K_w 目標周期	1.73	2.35	2.87
次世代非制震 K_w 解析周期	1.83	2.65	3.41
次世代制震 K_w+K_d 解析周期	0.55	0.91	1.38

Table2 Restoring force characteristic

部材	復元力特性	
S梁	バイリニア	
S柱	曲げ(純ラーメン)	バイリニア
	せん断(純ラーメン)	弾性
R0壁	曲げ	バイリニア
	せん断	層元指向型
R1壁	せん断	層元指向型
	曲げ	弾性
ダンパー	完全弾塑性	



1 : 株式会社オムニ設計 2 : 青木あすなろ建設株式会社 3 : 日大理工・教員・海建

いる。一方、次世代制震 K_w+K_d では、連層耐震壁の効果により、各層の最大応答層間変形角がほぼ一様となり、概ね目標変形以内に収まっていることが確認できる。また、次世代制震 K_w+K_d の最大応答層せん断力は、高次モードの影響による極端な応答の上昇は見られず、純ラーメン構造と概ね同程度の値となっている。

4. 縮約 1 自由度系における応答評価

耐震性能評価手法として縮約 1 自由度系での評価方法が有効であることを示すことを目的に、次の 3 つの方法で、縮約 1 自由度系における応答評価を行う。

(a) 静的評価手法による応答評価方法 次世代制震構造建物の設計の過程において、等価 1 自由度系で求めたダンパー剛性等の各特性値を用いて、最大応答値の静的評価¹⁾を行う。最大応答変位 δ_{max} は、 $(1/\delta_{max})$ に関する二次方程式(式(1))の解¹⁾として得た。

$$\frac{1}{\delta_{max}} = \frac{1}{Sd} + 0.8 \times \left(\frac{10}{1.25\pi} \right) \left(\frac{K_d}{K_w} \right) \left(\frac{\delta_{dy}}{Sd} \right) \left\{ \frac{1}{\delta_{max}} - \delta_{dy} \left(\frac{1}{\delta_{max}} \right)^2 \right\} \dots (1)$$

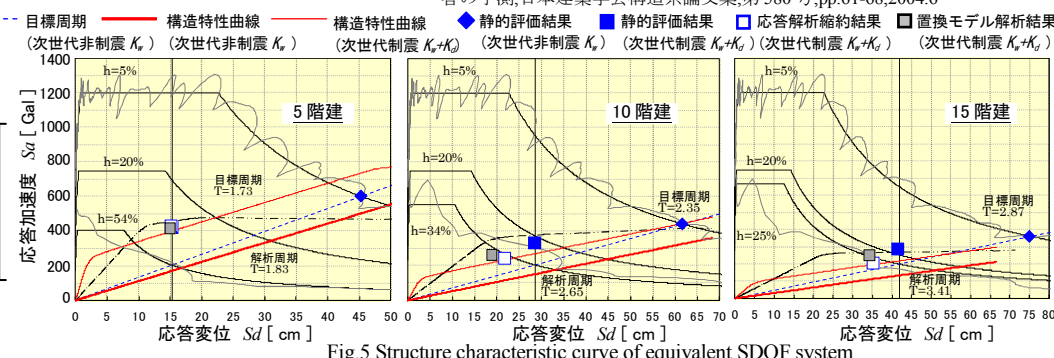
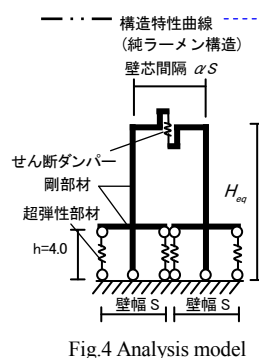
ここで、 δ_{dy} : ダンパー降伏変位

(b) 置換モデルを用いた応答評価方法 Fig.4 に本建物を置換した解析モデルを示す。解析は、平面フレームモデルとし、連層耐震壁とせん断伝達部材は剛体と仮定して、連層耐震壁を剛な線材に置換し、壁脚部はピン接合とした。超弾性部材は弾性軸ばね、各層のせん断ダンパーは 1 本の弾塑性せん断ばねでモデル化した。建物質量は等価高さ位置に集中させ、入力地震動は Table1 の地震波を用いた。なお、入力諸元は次世代制震構造建物の設計の過程において、等価 1 自由度系で求めたダンパー剛性等の各特性値を用いた。

(c) 時刻歴応答解析結果を縮約した応答評価方法 応答解析結果は、モーダルアナリシス²⁾の考えから導いた式(2)、(3)を用いて等価 1 自由度系に縮約する。なお、1 次モードの固有ベクトルは、最大応答時における変形分布を 1 次モードの固有ベクトルと仮定した³⁾。

$${}_1q_0 = \frac{\{ {}_1u_i \}^T [M] \{ \delta_i \}}{\{ {}_1u_i \}^T [M] \{ {}_1u_i \}} \beta \dots (2) \quad ({}_1\ddot{q}_0 + \ddot{y}_0) = \frac{\{ {}_1u_i \}^T [M] \{ \delta_i + \ddot{y}_0 \}}{\{ {}_1u_i \}^T [M] \{ {}_1u_i \}} \beta \dots (3)$$

ここで、 ${}_1u_i$: i 層の 1 次固有ベクトル、 β : 1 次の刺激係数、
T : 転置、 \ddot{y}_0 : 入力加速度、 δ_i : i 層の相対加速度、[M] : 質量マトリクス



(d) 応答評価結果 Fig.5 に、最大応答値の静的評価結果、置換モデルの応答解析の最大応答値(4波平均)、時刻歴応答解析結果を縮約した最大応答値(4波平均)および静的増分解析結果を等価 1 自由度系に縮約した構造特性曲線を $Sa-Sd$ スペクトル上に示している。また、5%減衰と必要減衰のスペクトル(4波平均)、目標周期を示す直線も合わせて示している。まず、構造特性曲線より、次世代非制震 K_w の周期は、目標周期の直線に概ね対応していること、次世代非制震 K_w および次世代制震 K_w+K_d とともに目標変形レベルで、連層耐震壁架構が弾性範囲内に収まっていることより、超弾性部材の剛性の設定方法および壁厚の設定方法が妥当であるといえる。また、解析周期は目標変形時の耐力が $Sa=200Gal$ 程度となる周期であり、目標とした任意の耐力で損傷制御設計が行われたことが確認できる。さらに、目標変形時の純ラーメン構造と次世代制震 K_w+K_d の構造特性曲線の比較から、本設計により次世代制震 K_w+K_d の耐力は、純ラーメン構造と同程度の低い耐力で設計可能であることが確認できる。次に、図中のプロットを比較すると、静的評価結果、置換モデルの応答解析結果、応答解析縮約結果が概ね良く対応していることから、耐震性能評価手法として縮約 1 自由度系での評価方法が有効であるといえる。

5. まとめ

以上、本研究で得られた知見を以下にまとめる。
 ・次世代制震構造建物は、柱の柱頭柱脚をピン接合とし、連層耐震壁架構によって任意の周期と耐力を設定することにより、純ラーメン構造と同程度の低い耐力に抑えた損傷制御設計が可能である。
 ・5階・10階・15階建ての最大応答値の静的評価結果、置換モデルの応答解析結果、応答解析縮約結果の比較から、耐震性能評価手法として縮約 1 自由度系での評価方法が有効である。

【参考文献】

- 1)北嶋圭二ほか：超弾性要素部材を組み込んだ次世代制震構造システムの研究開発(その 1~16),日本建築学会大会学術講演梗概集,B-2,pp.825-828,2007.8, pp.611-618,2008.9, pp.481-486,2009.8, pp.521-526,2010.9, pp.751-758,2011.8
- 2)柴田明徳：最新 耐震構造解析 第2版,森北出版,pp79,2007.6
- 3)倉本洋：多層建築物における等価 1 自由度系の地震応答特性と高次モード応答の予測,日本建築学会構造系論文集,第 580 号,pp.61-68,2004.6