

乾燥収縮により初期変形を受けた免震建物の耐震性能の評価
—積層ゴム、鋼棒ダンパー、鉛ダンパーの組み合わせ—

正会員 ○島崎 和司

免震構造 乾燥収縮 耐震設計
振れ応答 残留変形

はじめに

RC 構造物はコンクリートの乾燥により部材に収縮変形が生じる。特に平面の大きな免震建物になるとその変形が大きくなり、構造性能に影響が出てくることも考えられる。免震建物は、地震のエネルギーの大部分を免震層で吸収するため、その影響を検討しておくことは設計において重要なことである。すでに、比較的パラメータの設定の容易な LRB を用いた建物の乾燥収縮による初期変形の影響については報告した¹⁾。本研究では、積層ゴムと鉛・鋼棒 2 種類のダンパーを用いた建物を対象とし、それらの比率と鉛ダンパーの初期応力の有無をパラメータとし、静的増分解析と地震応答解析により初期変形の影響を検討した。

解析モデルとパラメータ

解析モデルは前報¹⁾と同じとし、各階外周に 1m 幅のバルコニーを有する 8 階建て建物を想定し、図 1 に示したように上部構造は質量のみとして考え、スパン 8m の基礎梁フレームと免震装置にモデル化した。表 1 に免震装置の特性を示す。積層ゴムは、各柱下に 1 基ずつ配置し、外周部 600φ、内部 800φ とした。ダンパーの数は、上部構造の単位面積あたりの重量を 13kN/m²、免震層の設計変位 300mm 時のベースシア係数を 0.15 として算定した。ダンパー位置はパラメータを単純化するため柱間中央に配置し、鉛ダンパーは 2 個 1 組とした。モデル 2(鉛:鋼棒=2:1、設計変形時の耐力比では 1:1)における免震装置の配置例を図 1 中に示す。

解析パラメータは辺長比、鉛と鋼棒の比率(1:2, 2:1)と配置、初期変形の有無、鉛ダンパーのクリープを考慮して初期応力の有無とした。動的解析ではさらに入力地震動の種類、入力レベルをパラメータとした。

静的増分解析

初期変形により振れが発生すると考えられる右 45° 方向¹⁾に建物の重心位置で加力を行ない、積層ゴムとダンパー部材の瞬間剛性から偏心率を、両端部の Y 方向変位の差から振れ回転角を求めた。

図 2(上)はモデル 2 の鉛ダンパー内側配置の解析結果である。初期変形ではまだどのダンパーも降伏変位には達していない。水平力の増大に伴い初期変形の大きい左側鉛ダンパーから順に降伏し、偏心率が徐々に増大する。右側のダンパーの降伏が始まると偏心率は低下し、全鉛ダンパーが降伏したところで一度 0 になる。その後、左側の鋼棒ダンパーが全て降伏した時点でピークとなり、最終的に全ダンパーが降伏したところで偏心率が 0 となり、振れ回転角の増大も止まる。

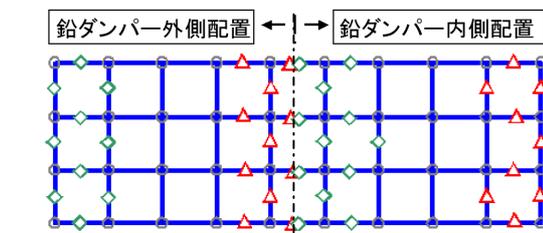
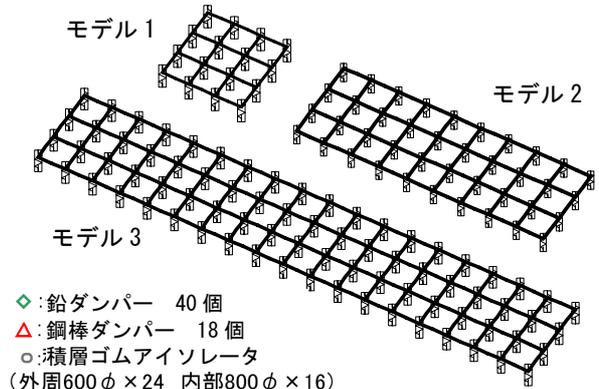


図 1 解析モデル

表 1 免震装置基本特性

免震装置	外径 (mm)	初期剛性 (KN/mm)	二次剛性 (KN/mm)	降伏せん断力 (kN)	降伏変位 (mm)	限界変位 (mm)
天然ゴム系積層ゴム	600φ	0.92	—	—	—	420
	800φ	1.23	—	—	—	—
鉛ダンパー	—	31.4	0.031	225	7	800
鋼棒ダンパー	—	9.31	0.26	392	42	700

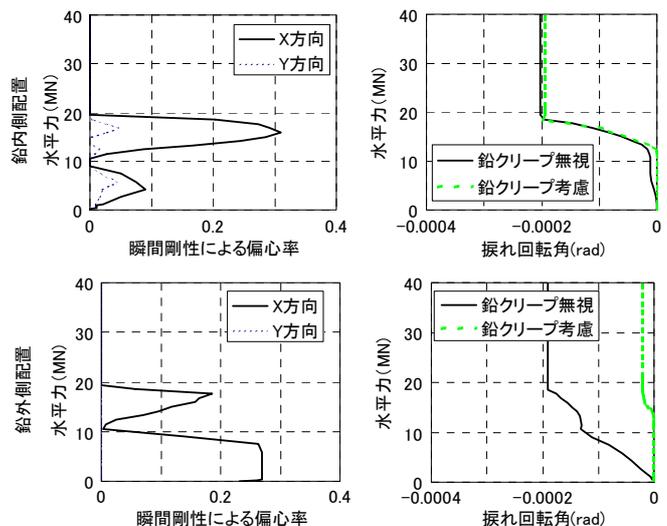


図 2 振れ回転角と偏心率の推移(モデル 2 鉛:鋼=1:2)

一方図 2(下)は鉛ダンパー外側配置のもので、鉛ダンパーは初期変形により降伏変位に達しており、加力により、左側は降伏後剛性、右側は除荷により弾性剛性となり、最初から偏心が生じている。その後、右側の鉛ダンパーも全て降伏した時点で偏心率は 0 に向かう。次に、左側の鋼棒ダンパーが降伏し始め、再び偏心率が增大し、最終的に全ダンパーが降伏したところで偏心率が 0 となる。

同図中に、鉛のクリープにより初期応力が生じないとして、鉛ダンパーの初期応力を 0 にしたものの振れ回転角の推移を薄い実線で示した。鉛ダンパー内側配置の場合は差が少ないが、鉛ダンパー外側配置の場合、偏心への影響がなくなるため、振れ回転角は小さく収まっている。

図 3 に鉛:鋼=1:2 のモデルの辺長比と最大振れ回転角の関係を示す。鉛内側配置の時は辺長比とともに振れ回転角が増大し、鉛外側配置の時は、鉛のクリープを考えない場合辺長比 3 の時が最も大きい。

地震応答解析

入力地震動は、El Centro NS、神戸 NS、八戸 EW の 3 種類を用い、最大入力速度をそれぞれ 50、150、500mm/s として 45° 方向に入力した。

図 4 はモデル 2 に El Centro NS を最大速度 50mm/s、500mm/s で入力したときの左右両端の積層ゴムの Y 方向変形関係を示したものである。最大速度 50mm/s では、鉛外モデルは、鉛ダンパーの剛性の差により振れが生じているが、鉛内モデルは鋼棒ダンパーが全て弾性範囲内にあるため振れは生じていない。最大速度が 500mm/s になると、全てのダンパーが降伏するため、若干の振れは生ずるもののダンパーの配置や比率による絶対量の違いは殆ど無くなる。

図 5 は El Centro NS 入力での辺長比と振れ回転角の関係を示したものである。最大速度 50mm/s のときは、鋼棒ダンパーは降伏しないため、鉛ダンパー外配置でどの辺長比でも振れ回転角は大きくなっている。500mm/s になると全ダンパーが降伏し、静的増分解析の結果と同様になっている。

図 6 はモデル 2 に最大速度が 500mm/s の 3 種の地震動を入力した時の、辺長比と振れ回転角の関係を示したものである。地震動の種類による顕著な差は見られない。

まとめ

本論では、積層ゴム、鋼棒ダンパー、鉛ダンパーの組み合わせによる免震建物の、コンクリートの乾燥収縮による初期変形が、建物の振れ応答に与える影響に関して検討を行なった。鉛ダンパーのクリープの考慮の有無により振れ性状が異なり、設計上考慮しておくことが必要と思われる。大事小事の耐震性能に与える影響は小さい。

本研究で使用したプログラム RESP-T (3次元立体構造物の静的・動的非線形解析プログラム) は、神奈川大学における文部科学省学術フロンティア・横浜市産官学共同研究総合プロジェクト「地震・台風災害の制御・低減に関する研究 (TEDCOM)」(研究代表者:大熊武司)によるものである。解析とデータの取りまとめは神奈川大学卒論生の阿部健太君による。ここに関係者及び卒論生に感謝します。

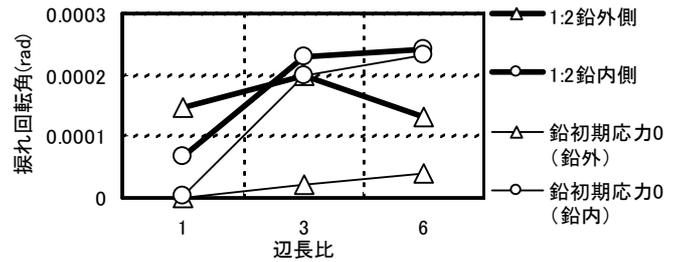
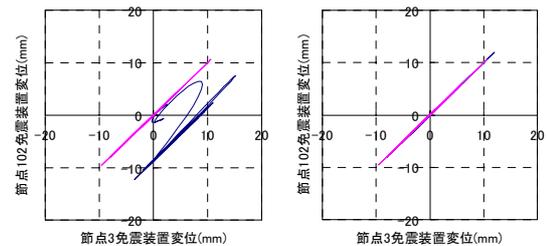
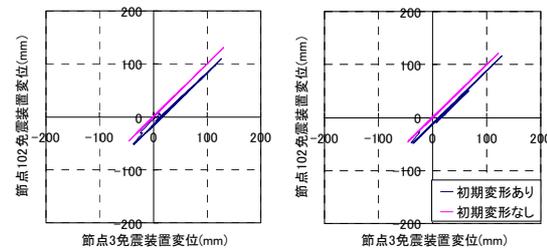


図 3 辺長比と振れ回転角の関係



(a) 最大速度 50mm/s



(b) 最大速度 500mm/s

図 4 端部免震装置 Y 方向変形関係 (El Centro NS)

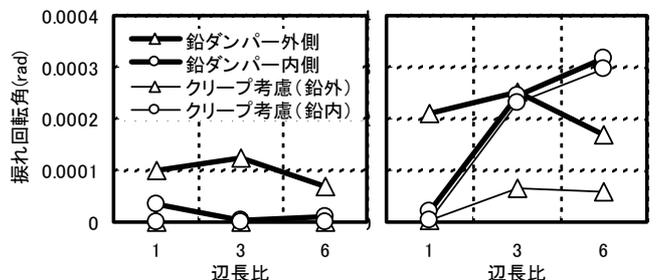
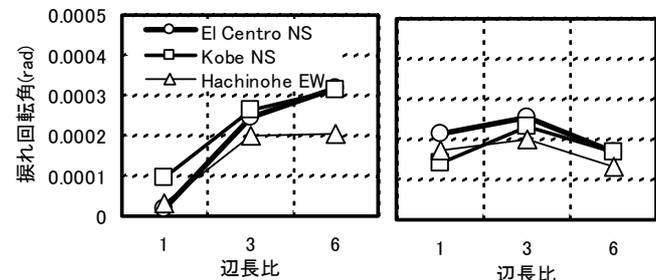


図 5 辺長比と振れ回転角の関係 (El Centro NS)



(a) 鉛:鋼棒=1:2 鉛内側 (b) 鉛:鋼棒=1:2 鉛外側

図 6 辺長比と振れ回転角の関係 (地震動による相違)

【参考文献】

- 1) 島崎和司:乾燥収縮により初期変形を受けた免震建物(LRB)の耐震性能の評価, 日本建築学会構造系論文集, No.554, pp.45~51, 2002.4