

鉄筋コンクリート造連層耐震壁架構の開発 その2 連層耐震壁を用いた高層建物の試設計

Development of RC Multi-story Shear Wall Structure Part 2 Seismic Design of High-rise RC Buildings

井川 望*1 村上 秀夫*1 浅井 純*2
 Nozomu Ikawa Hideo Murakami Jun Asai
 森清 宣貴*2 片岡 隆広*3 向後 智弘*3
 Nobuki Morikiyo Takahiro Kataoka Tomohiro Kougo

要旨

超高層鉄筋コンクリート造建物において、設計自由度の高い居住空間を創出するために、連層壁を主たる耐震要素とした構造形式を採用することは有力な手法である。前報（その1）において、連層耐震壁の曲げせん断実験を行い、その結果、安定した履歴性状を呈し、十分な靱性能を有していることを確認した。さらに、ファイバーモデルによる解析は、実験結果と良い対応を示すことを確認した。この結果をもとに、連層耐震壁架構を用いた建物としてセンターコアタイプ、板状タイプの2つの超高層集合住宅について試設計を行い、柱の少ないフレキシブルな空間を持つ建物を設計することができた。

キーワード：連層耐震壁 試設計 センターコアタイプ 板状タイプ

1. はじめに

超高層鉄筋コンクリート造建物の普及につれ、設計自由度の高い空間へのニーズが高まっている。このような自由度の高い居住空間を創出するため、連層壁を主たる耐震要素とした構造形式を採用することは有効な手段のひとつである。連層耐震壁架構の開発を目指し、前報（その1）¹⁾では、長方形断面とL形断面の連層耐震壁の曲げせん断実験を行い、変形角 1/50rad. まで安定した履歴性状を呈し、十分な靱性能を有していることを確認し、さらに、ファイバーモデルによる解析は、実験結果と良い対応を示すことを確認した。この結果をもとに、連層耐震壁架構として代表的な2つのタイプ（①センターコア部分に4つのL形断面耐震壁を集約したタワー状のセンターコアタイプ、②張間方向を長方形断面耐震壁とした板状タイプ）の建物の試設計を行った。本報告では、連層耐震壁架構の設計方針を示し、2つの設計例を報告する。

2. 連層耐震壁を用いた建物の設計方針

上部構造の設計は、設定したクライテリアを満足するように、図1に示す設計フローに従い、静的設計と動的設計を実施する。

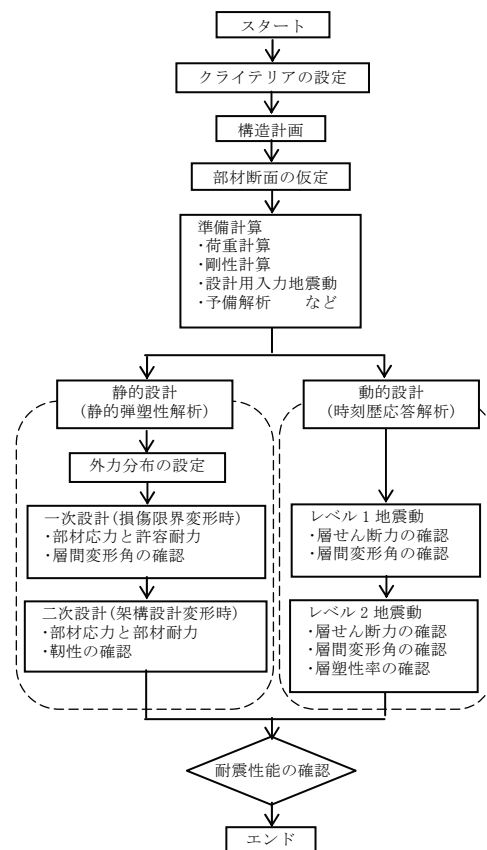


図1 設計フロー

*1 技術研究所 建築技術研究部門 *2 大阪本店 建築設計部 *3 東京本店 建築設計部

2.1 静的設計

2.1.1 クライテリア

表1に静的設計のクライテリア（概念）を示す。この概念に従い、具体的な目標値（部材の曲げ余裕率、せん断余裕率、塑性率、軸力比など）を設定する。

表1 静的設計のクライテリア

一次設計	層間変形角	1/200 以内
	柱・梁・耐震壁	許容耐力以内
二次設計	崩壊形	梁曲げ降伏先行型の全体崩壊形
	柱	降伏しない*1、脆性破壊しない
	梁	靱性確保、脆性破壊しない
	耐震壁・柱梁接合部	脆性破壊しない

*1 1階柱脚、最上階柱頭、引張柱の曲げ降伏は許容する。

2.1.2 設計外力

①一次設計（損傷限界変形時）

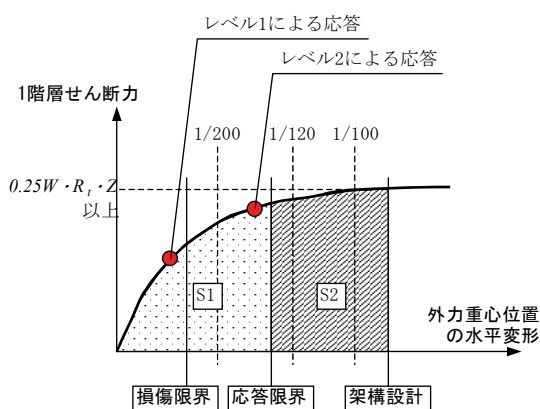
一次設計では、稀に発生する地震動に対して、建物の構造耐力上主要な部分が損傷しないことを確認する。

設計外力は、レベル1地震動による最大応答せん断力を包絡するよう、事前に実施した予備解析結果をもとに定める。本設計外力に対して、各部材応力が許容耐力以下であることを確認する。

②二次設計（架構設計変形時）

二次設計では、極めて稀に発生する地震動に対して、建物が倒壊・崩壊しないことを確認する。

建物の終局状態を想定する変形として、NewRC ガイドラインに倣い、図2に示す方法で架構設計変形を設定す



損傷限界変形	レベル1地震動に対する応答を包絡 レベル1地震動に対して最大層間変形角 1/200 以下
応答限界変形	レベル2地震動に対して最大層間変形角 1/100 以下 レベル2地震動に対して外力重心位置変形角 1/120 以下
架構設計変形	応答限界変形までの歪エネルギーに対し 2倍以上のエネルギー吸収能を確保 (S1≦S2) 外力重心位置変形角 1/100 以上

図2 架構設計変形の設定法

る。架構設計変形時において、表1の概念に基づき設定した目標値を満足することにより、大地震時においても建物が倒壊・崩壊しないと判断する。

2.1.3 応力解析

各部材を線材置換した立体フレームに架構をモデル化し、荷重増分法による弾塑性解析を行い、クライテリアを満足していることを確認する。解析方針を表2に示す。なお、使用プログラムはSNAP ver.4（株式会社システム）である。

連層耐震壁の解析モデルはファイバーモデルまたはMSモデルとする。これらは部材断面を多数の要素に分割することにより、曲げと軸方向の弾塑性性状を考慮するものである。L形断面耐震壁の要素分割を図3に示す。コンクリートの要素は、NewRC式により横補強筋による拘束効果を考慮して材料特性を設定する。L形断面耐震壁では、横補強筋量の違いによりコンクリートの材料特性を3種類（拘束部1、拘束部2、非拘束部）設定する。鉄筋の材料特性はバイリニアとする。柱についても耐震壁と同様なモデルを用いる。

表2 解析方針

解析方法	: 荷重増分法による弾塑性解析
解析対象	: 基礎梁から上の上部架構
解析条件	: 剛床仮定、支持条件はピン
考慮する部材変形	: 柱、壁 曲げ, せん断, 軸方向 梁 曲げ, せん断
梁の剛性評価	: 主筋考慮、スラブ効果考慮
柱・壁の剛性評価	: 主筋考慮
剛域の設定	: RC規準に準拠
梁の解析モデル	: 材端バネモデル (バネはトリリニア型で、履歴特性は武田モデル)
柱・壁の解析モデル	: ファイバーモデルまたはMSモデル

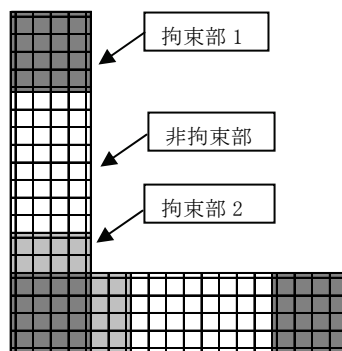


図3 L形断面耐震壁 コンクリートの要素分割

2.2 動的設計

2.2.1 クライテリア

表3に動的設計のクライテリアを示す。

表3 動的設計のクライテリア

	レベル1	レベル2
層せん断力	一次設計用せん断力以下	二次設計用せん断力以下
層間変形角	1/200 以下	1/100 以下
外力重心位置変形角	—	1/120 以下

2.2.2 設計用入力地震動

設計用入力地震動は、観測波3波（El Centro 1940 NS, Taft 1952 EW, Hachinohe 1968 NS）および告示波3波（Hachinohe 1968 NS, Tohoku 1978 NS, JMA-Kobe 1995 NS位相）の合計6波とする。

観測波は、最大速度を25cm/s（レベル1）、50cm/s（レベル2）に基準化したものを使用する。告示波は、工学的基盤の告示波スペクトルに基づいて作成された基盤3波に、表層地盤（厚さ20m、せん断波速度200m/sの粘性土）による増幅を考慮したものである。

2.2.3 応答解析

静的弾塑性解析で使用したモデルと同じモデルにより、立体弾塑性地震応答解析を行い、クライテリアを満足することを確認する。解析プログラムはSNAP ver.4（株構造システム）である。

3. センターコアタイプ建物の試設計

3.1 建物概要

エレベーターコアの周りに4つのL形断面の連層耐震壁を配置したセンターコアタイプ建物（30階建てRC造マンション）を試設計モデルとした。建物概要を表4に、基準階伏図、軸組図、解析モデルを図4,5,6に示す。

連層耐震壁間には壁の曲げ変形を抑制するために、X形配筋の境界梁を配置している。基礎は杭基礎とし、柱・連層耐震壁下に杭を配置している。連層耐震壁下には軸力が集中するが、マットスラブとすることで高軸力に対処している。

表4 建物概要

用途	共同住宅
階数	地上30階
高さ	建物高さ：99.25m 軒高：99.25m 階高：3.25m（1階のみ5.00m）
面積	建築面積：1,089m ² 延床面積：32,670m ²
構造種別	基礎構造：杭基礎（場所打ちコンクリート杭） 主体構造：鉄筋コンクリート造
架構形式	両方向：連層耐震壁＋ラーメン架構
使用材料	コンクリート：柱 Fc36～70 大梁 Fc30～48 耐震壁 Fc36～70 鉄筋：柱・梁主筋 SD345, SD390, SD490 耐震壁 SD345, SD390, SD490 せん断補強筋 SD295A, KSS785
部材断面	柱：800～1000×1000 大梁：570～900×900 （境界梁）900×1200 X形配筋 耐震壁：厚さ：900

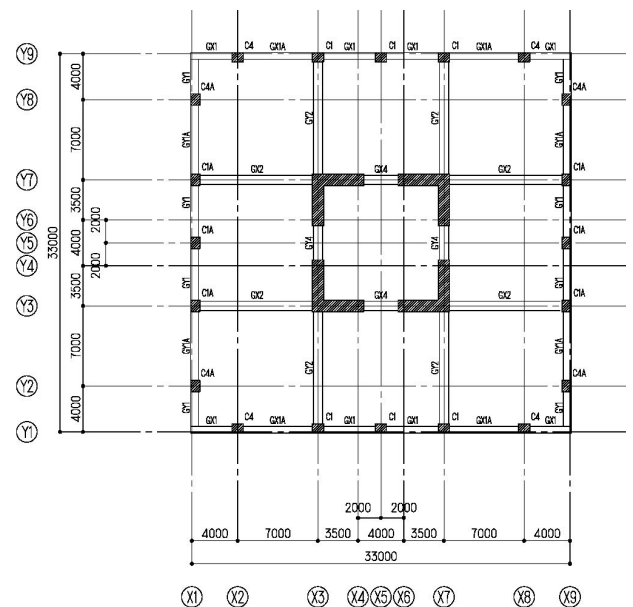


図4 基準階伏図

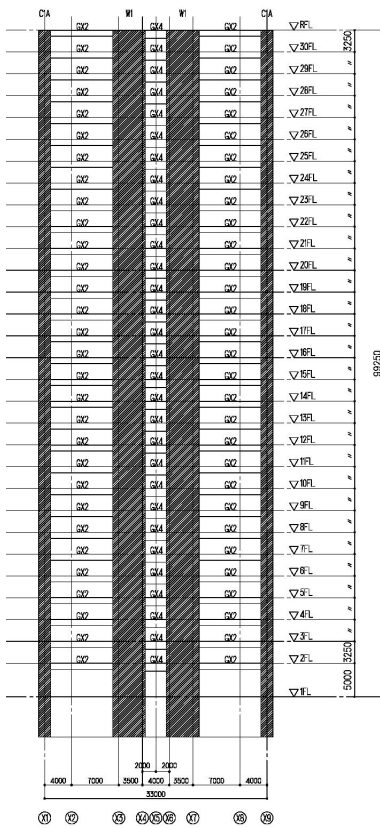


図5 軸組図

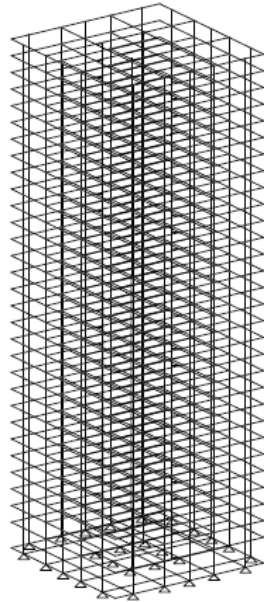


図6 解析モデル

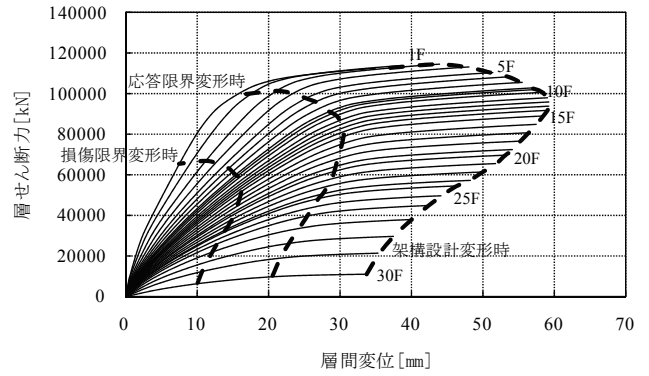


図8 各階層せん断力—層間変形関係

3.2.2 動的解析結果

表5に固有周期を示す。図9にレベル2での解析結果を示す。最大層間変形角はレベル1で1/211、レベル2で1/106、また、外力重心位置変形角は1/120とクライテリアを満足していることを確認した。

表5 固有周期(単位:秒)

	X, Y 方向
1次	1.93
2次	0.54
3次	0.27

3.2 解析結果

3.2.1 静的解析結果

各階の層間変形角分布を図7に、各階層せん断力—層間変形関係を図8に示す。一次、二次設計時の部材応力や変形角等がクライテリアを満足することを確認した。

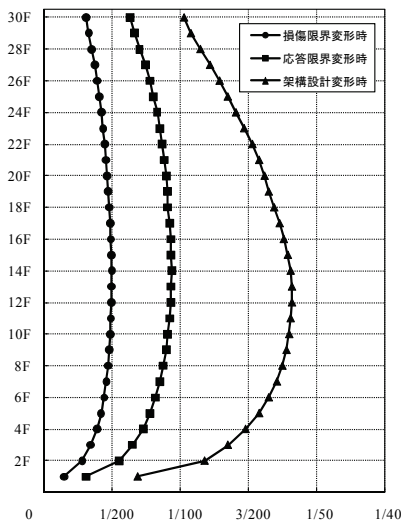
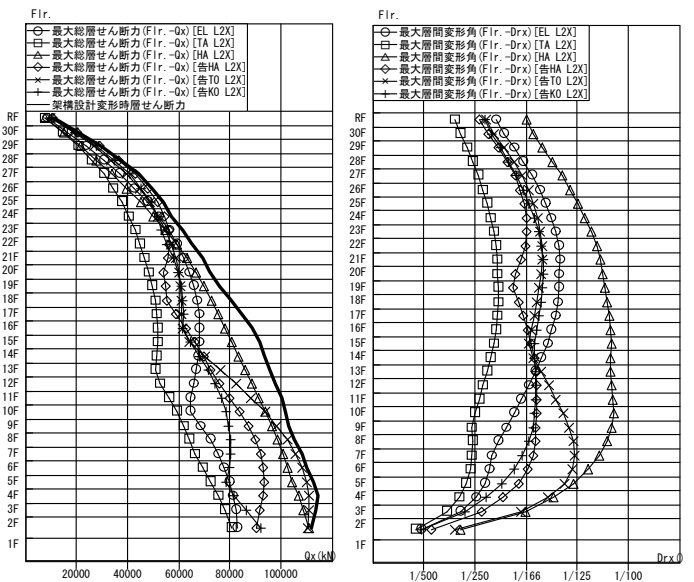


図7 各階の層間変形角



(a) 最大層せん断力 (b) 最大層間変形角
図9 レベル2 応答値

3.3 センターコアタイプ建物の試設計のまとめ

今回の試設計では同程度の集合住宅に比ベコンクリートボリュームがやや増加した。今後、連層耐震壁架構を用いた合理的な設計を行うため、ラーメン架構とのコスト比較

や耐震壁及び拘束部の長さ等の検討を行っていく予定である。

今回、境界梁はX形配筋で設計したが、制振装置を設置することも考えられる。

4. 板状タイプ建物の試設計

4.1 建物概要

張間方向に長方形断面の連層耐震壁を配置した板状タイプ建物（30階建てRC造マンション）を試設計モデルとした。建物概要を表6に、基準階伏図、軸組図を図10, 11に示す。

表6 建物概要

用途	共同住宅
階数	地上30階
高さ	建物高さ：97.3m
	軒高：97.3m
	階高：3.2m（1階のみ4.5m）
面積	建築面積：748m ²
	延床面積：22,440m ²
構造種別	基礎構造：杭基礎（場所打ちコンクリート杭） 主体構造：鉄筋コンクリート造
架構形式	張間方向：連層耐震壁＋ラーメン架構
	桁行方向：ラーメン架構
使用材料	コンクリート：柱 Fc30～60 大梁 Fc30～48 耐震壁 Fc30～60
	鉄筋：柱主筋 SD390, SD490, USD685 梁主筋 SD345, SD390, SD490 耐震壁 SD345, SD390, SD490, USD685 せん断補強筋 SD295A, KSS785
	部材断面 柱：850×850～1100×1100 大梁：550×1000 （境界梁）450～500×900 耐震壁：厚さ：450～550

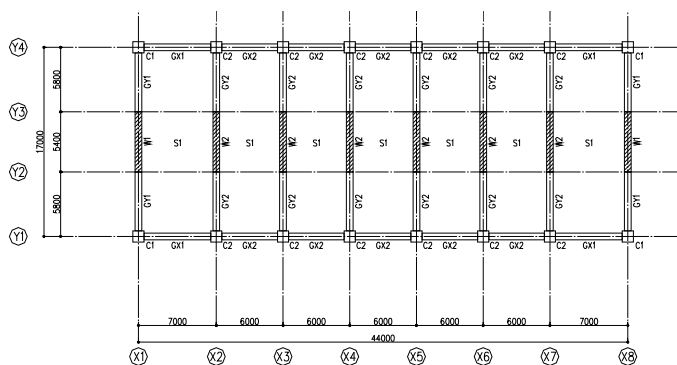


図10 基準階伏図

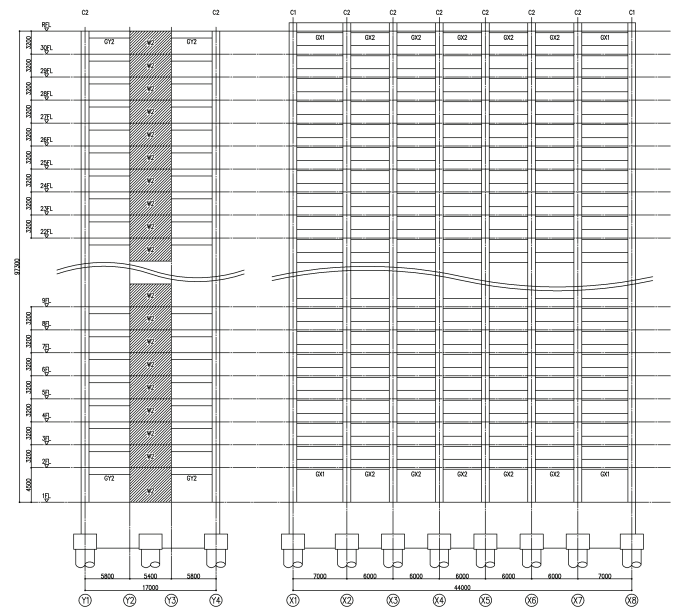


図11 軸組図

4.2 解析結果

4.2.1 静的解析結果

各階の層間変形角分布を図12に、各階層せん断力—層間変形関係を図13に示す。一次、二次設計時の部材応力や変形角等がクライテリアを満足することを確認した。

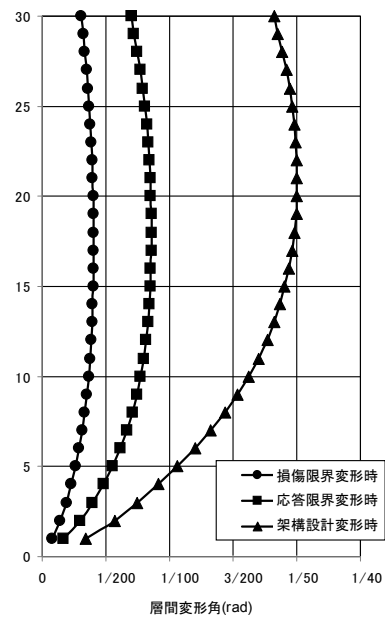


図12 各階の層間変形角（張間方向）

表 8 応答解析結果

		桁行方向	張間方向
レベル 1	層間変形角	1/212	1/247
レベル 2	層間変形角	1/116	1/126
	外力重心位置 変形角	1/137	1/148

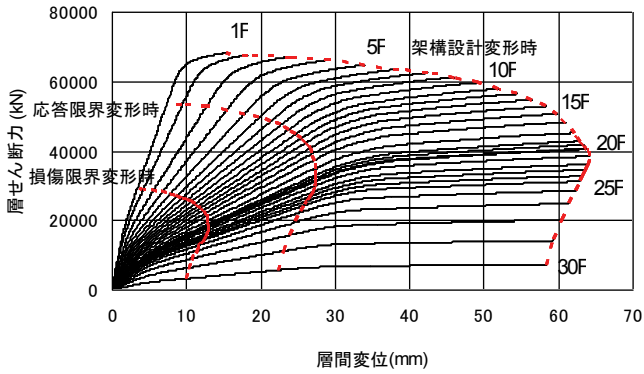


図 13 各階層せん断力—層間変形関係(張間方向)

4.2.2 動的解析結果

表 7 に固有周期を示す。図 14 にレベル 2 での解析結果を示す。表 8 に示すように、応答結果がクライテリアを満足していることを確認した。

表 7 固有周期(単位:秒)

	桁行方向	張間方向
1 次	2.22	1.98
2 次	0.77	0.58
3 次	0.45	0.28

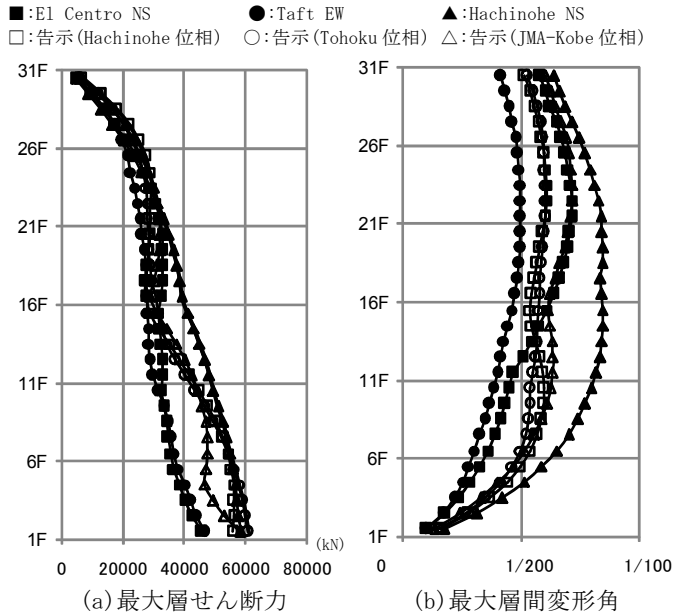


図 14 レベル 2 応答値(張間方向)

4.3 板状建物の試設計のまとめ

連層耐震壁架構とすることで、柱型や梁型の現れない室内空間を持つ建物を設計できた。

板状建物を高層化する場合、張間方向のアスペクト比が大きくなるため、地震時の応答変形がラーメン架構では過大になり、設計が困難になるが、連層耐震壁架構とすることで、変形を抑え、設計が可能となった。ただし、高層化に従い、桁行方向に関しても、地震時の応答変形が大きくなる。今回のモデルよりもさらに高層化する場合には、2つの耐震壁間に直交方向にも壁を設け H 形連層耐震壁とするなど、桁行方向についても連層耐震壁の適用を検討する必要があるものと思われる。

5. まとめ

連層耐震壁架構を用いた超高層建物の試設計として、センターコアタイプ、板状タイプの 2 つのタイプの建物の試設計を行った。

連層耐震壁架構とすることで、柱の少ないフレキシブルな空間を持つ建物を設計できた。なお、センターコアタイプの試設計では、同規模程度のラーメン構造に比べコンクリートボリュームがやや増加した。今後、実施物件への適用に向け、耐震壁及び拘束部の長さ等の検討やラーメン架構とのコスト比較を行っていく必要がある。

本研究は、「コア壁架構及び連層耐震壁架構に関する共同研究」(参加企業:鴻池組、五洋建設、銭高組、東亜建設工業、長谷工コーポレーション)の一環として行ったものである。共同研究において明治大学・平石久廣教授にご指導を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

1) 村上秀夫、井川望：鉄筋コンクリート造連層耐震壁架構の開発 その 1 構造性能に関する実験的研究、鴻池組技術研究報告 Vol.20、2010