

論文

[2059] 高層 RC 壁式ラーメン構造の弾塑性地震応答解析

正会員 ○和泉 信之 (戸田建設建築設計統轄部)

正会員 芳村 学 (東京都立大学工学部)

1. はじめに

中高層RC造集合住宅の構法の一つとして、桁行方向が偏平な壁柱と梁からなる壁式ラーメン架構、梁間方向が連層独立耐力壁から構成される「壁式ラーメン構造」に関する研究が、官学民共同体制によるHFW(高層壁式ラーメン構造)プロジェクトとして実施されている。

本研究は、このプロジェクトの一環として、15階建以下の平立面が整形な標準的な集合住宅の桁行方向を構成するRC壁式ラーメン架構を対象にして、弾塑性地震応答解析を行い、保有水平耐力値と地震時応答等の関連について検討したものである。

2. 検討方法

2.1 検討項目

建物の階数による地震時応答の差違を考慮するため、4階・6階・8階・11階・15階建の壁柱と梁からなる簡略化された架構モデルを用いて、大地震(最大速度50cm/S相当)を想定して、以下の項目について検討する。

①地震時応答を目標値(層間変形角1/100, 部材塑性率〔梁4.0, 壁柱2.0〕程度)以下とするために必要な保有水平耐力値

②保有水平耐力値に応じた壁柱のせん断力のメカニズム時せん断力に対する動的な割り増し率

2.2 対象建物の設定

(1) 壁柱モデルと部材断面

11HFW指針〔1〕で適用対象としている整形な標準的な壁式ラーメン住宅(図1)は、桁行スパンが多く、内柱の断面・配筋が同一である例が多いので、建物全体の耐震性能は内柱1本の解析から概ね推定できる。そこで壁柱1本と連なる梁を取り出し、壁柱モデル(図2)とする。表1に建物諸元、表2に部材断面一覧を示す。

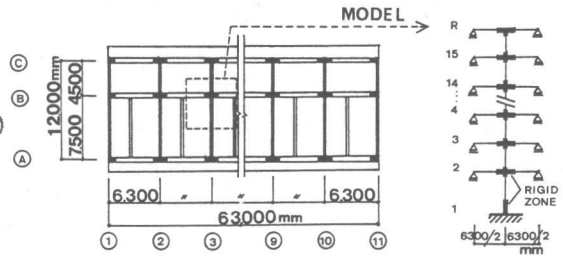


図1. 整形な集合住宅平面 図2. 壁柱モデル

表2. 壁柱・梁断面, 床平均重量一覧

表1. 建物諸元

スパン長	桁行6.3 m	梁間12m
階高	梁下2.0 m	
構面数	2 構面 4, 6, 8 階	
	(桁行) 3 構面 11, 15階	
壁柱率	11HFW指針〔1〕の最低値の1.1~1.2倍	
壁柱	2 構面 1/19.2	
負担面積	3 構面 1/28.8	

	4階建		6階建		8階建		11階建		15階建						
階	壁柱	梁	壁柱	梁	壁柱	梁	壁柱	梁	壁柱	梁					
4	30	30	6	40	40	8	45	45	11	40	40	15	55	55	
3	140	65	1.155	140	65	1.157	160	65	1.1510	160	65	1.1513	160	65	1.15
2	35	35	4	45	45	6	50	50	9	45	45	12	60	60	
1	140	70	3	140	70	5	160	70	8	160	70	10	160	70	1.20
			2	50	50	4	55	55	7	50	50	9	65	65	
			1	140	70	1.203	160	70	1.206	160	70	1.207	160	75	
						2	60	60	5	55	55	6	70	70	
						1	160	75	4	160	70	4	160	75	1.25
									3	55	55	3	75	75	
									1	160	75	1.251	160	80	1.30

〔注記〕
 ①単位: cm, t/m²
 ②部材断面: 上段は幅, 下段はせいを示す。
 ③階: 上下階の範囲を示す。

2) 保有水平耐力値 CB

壁柱モデルの崩壊機構は、梁端部・1階壁柱柱脚降伏の梁降伏型全体崩壊形とし、崩壊機構時の1階の保有層せん断力係数に相当する保有水平耐力値CB（以下CB値と呼ぶ）は、壁柱モデルの階数に応じて、8階建以下は0.30, 0.35, 0.40, 11階建以上は0.25, 0.30, 0.35の3種類の値を設定する。各階の保有水平耐力分布は建設省告示第1793号によるA_i分布とする。

(3) 壁柱・梁耐力

壁柱の耐力はCB値に関らず一定とし、梁の耐力をCB値に応じて変えるものとする。

梁耐力に見合う引張主筋比の高さ方向の分布を壁柱モデルの階数に応じて図3に示す。梁耐力の高さ方向の分布はA_i分布による地震力に対する弾性応力に比例して決める。

1階壁柱の柱脚耐力は、長期軸力・最低主筋比0.8%から求め、その他の壁柱の柱頭・柱脚は降伏しないものとする。

2.3 弾塑性地震応答解析

(1) 解析モデル

図2に示すように、壁柱・梁は線材置換し、曲げ・せん断・剛域を考慮する。剛域は部材せいとし、1階柱脚は固定とする。

(2) 部材モデル

一般のRC構造の弾塑性解析によく使用されているように、壁柱・梁の部材モデルとして材端塑性回転バネ法を用い復元力モデルとしてD-Triモデル(図4)〔2〕を用いる。ひびわれモーメントM_c、降伏モーメントM_y、降伏点割線剛性低下率α_yの計算式、数値は表3による。(記号の定義は文献〔1〕を参照されたい。)

(3) 地震応答解析

解析に用いた地震波は、エルセントロNS波と宮城県沖地震東北大学NS波(表4)である。入力加速度は最大速度50cm/S相当の値〔3〕とする。

壁柱モデルの固有周期を表5に示す。

数値積分はNewmarkのβ法(β=0.25)による。時間間隔は1/200秒とする。

減衰は瞬間剛性比例型の内部粘性減衰系とし、弾性1次固有周期に対する減衰定数を3%とする。

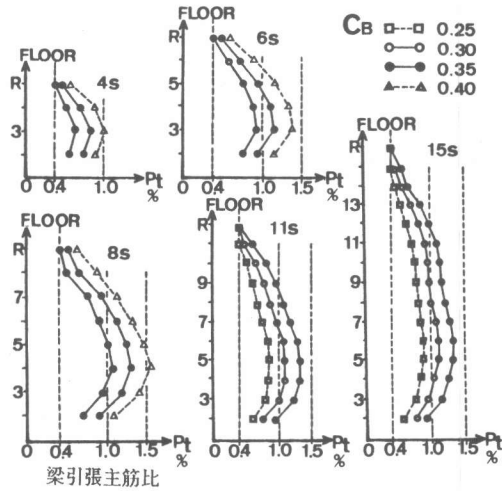


図3. 梁引張主筋比

表3. 耐力計算式・諸数値

梁	$M_c = 1.8x \sqrt{F_c x Z_e}$ $M_y = 0.9x \sum A_t x \sigma_{yxd}$ $\alpha_y = 0.3 \quad \alpha_3 = 0.001$
壁柱	$M_c = 1.8x \sqrt{F_c x Z} + N_x D / 6$ $M_y = 0.9x A_t x \sigma_{yxd} + 0.45 x A_{w x} \sigma_{w y x} D + 0.45 x N_x D$ $\alpha_y = 0.2 \quad \alpha_3 = 0.001$

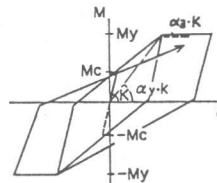


図4. D-Triモデル

表4. 入力地震波一覧

入力地震波	最大加速度	解析時間
EL CENTRO 1940 NS	511gal (1.50)	10秒
TH030-1FL 1978 NS	354gal (1.37)	20秒

()内は原波形に対する倍率を示す。

表5. 壁柱モデルの弾性固有周期 (秒)

階	4階	6階	8階	11階	15階
1次	0.281	0.366	0.403	0.479	0.546
2次	0.084	0.117	0.134	0.165	0.193
3次	0.041	0.061	0.071	0.091	0.112

3. 検討結果

3. 1 保有水平耐力値CB と最大応答変形

階数とCB値の違いによる地震時応答の差を比較するため、総階数を縦軸に、最大応答値を横軸にとり、CB値ごとに結んだ図(CB関係図)を示す。また各壁柱モデルのCB値0.35における応答値の最大値を各階数ごとに記した図により、応答値の高さ方向の分布を検討する。

(1) 層間変形角

図5に最大層間変形角、図7に頂部変形角のCB関係図を示す。頂部変形角はR階床の最大水平変位を階高の総和で除した値である。

CB値による最大層間変形角の差は8階建以上では小さいが、6階建以下では大きい。11階建以上ではCB値0.25としても層間変形角は1/100以下であるのに対し、6階建以下ではCB値0.40としても、最大層間変形角は1/100以上である。

図6に示すCB値0.35における各階層間変形角の最大値の高さ方向の分布を見ると、6階建以下では上階が、8階建以上では中間階が他の階に比べて大きい。

頂部変形角は層間変形角と同様の傾向があるが、CB値が0.35以上あれば階数によらず1/100以下である。

(2) 梁塑性率

図8に各階最大梁塑性率の平均値のCB関係図を示す。6階建以上では、CB値が0.35以上あれば、梁塑性率の平均値は4.0以下である。11階建以上では、CB値が0.30以上あれば、ほぼ全階で梁塑性率が4.0以下である。層間変形角に比べCB値による差があるが、これは本論文では α_y を一定としているので、梁耐力が大きくなれば降伏回転角が大きくなり、同一応答回転角に対する梁塑性率が小さくなるためである。

梁塑性率の高さ方向の分布(図9)は層間変形角の分布と似ているが、上階の梁塑性率が他階に比べ大きい。これは梁耐力の高さ方向分布を地震時弾性応力に比例させたので、上階の耐力値が実施例に比べ小さいためである。耐力分布を修正すれば、上階の梁塑性率を小さくし、均等化することができる。

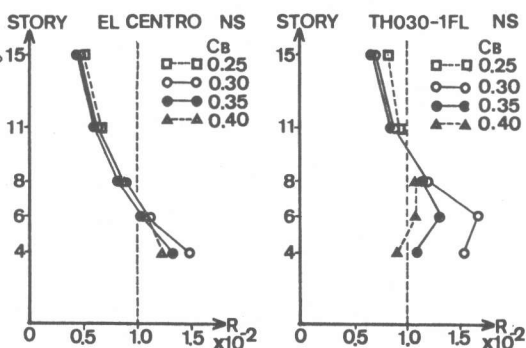


図5. 最大層間変形角のCB関係図

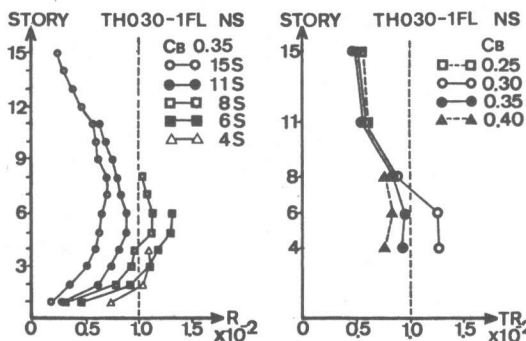


図6. 層間変形角の分布 図7. 頂部変形角のCB関係図

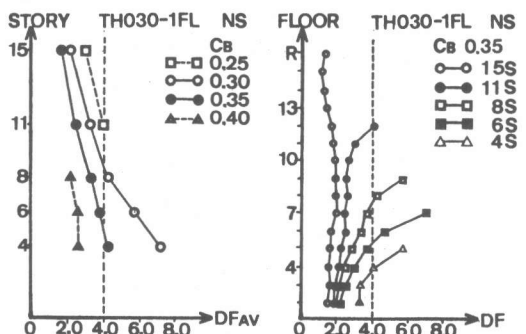


図8. 梁平均塑性率のCB関係図 図9. 梁塑性率の分布図

(3) 1階壁柱柱脚塑性率

図10に1階壁柱柱脚塑性率のCB関係図を示す。11階建以上では、1階柱脚は降伏していないが、8階建以下は降伏している。4階建では、1階柱脚塑性率は2.0程度である。1階柱脚耐力はCB値に関らず一定値としているので、梁塑性率に比べ、柱脚塑性率のCB値による違いは明確でない。

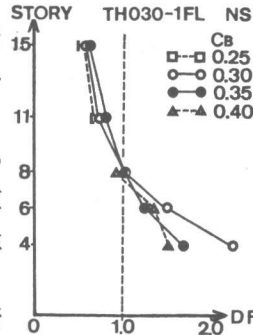


図10. 1階壁柱柱脚塑性率のCB関係図

3.2 保有水平耐力値CBと壁柱のせん断力の動的な割り増し率

壁柱の最大応答せん断力を、CB値相当のメカニズム時せん断力で除した値を壁柱のせん断力の動的な割り増し率とする。

3.1と同様にせん断力の動的な割り増し率のCB関係図を図11に示す。

CB値が小さくなると、せん断力の割り増し率は大きくなる。また階数が多くなれば、同じCB値でも、割り増し率は小さくなる傾向がある。CB値0.35では、せん断力の動的な割り増し率は、8階建以上は1.4以下、11階建以上は1.2以下である。

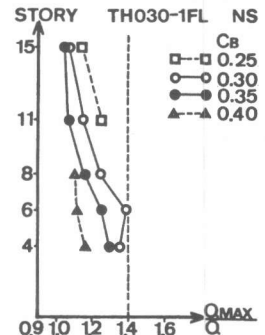


図11. せん断力の割り増し率のCB関係図

図12にせん断力の割り増し率の高さ方向の分布を示す。割り増し率は階数が多い場合、各階ともほぼ均等であるが、階数が少なくなれば、上階で大きくなる傾向がある。

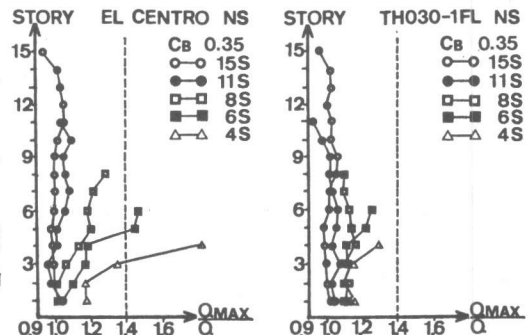


図12. せん断力の割り増し率の分布図

4. まとめ

11HFW指针对象とする整形な集合住宅は、大地震（最大速度50cm/S相当）を想定した場合、

①RC壁式ラーメン架構の応答変形を過大な値にしない（層間変形角1/100、部材塑性率〔梁4.0、壁柱2.0〕程度以下）ためには、保有水平耐力値（CB）として11階建までは指針通り0.35以上確保した方がよい。12階建以上では指針より0.05程度低減してよい。

②壁柱のせん断力の外力分布の変動による動的な割り増し率は、CB値が0.35の場合、8階建以上は1.4以下であり、11階建以上では、1.2以下である。12階建以上では壁柱のせん断強度上の余力を低減できる可能性が大きい。

なお、外柱や指針の対象外の不整形な建物については検討が必要である。

〔謝辞〕 本研究にあたり、小谷俊介 東京大学助教授をはじめ、日本建築センターHFWプロジェクト解析サブWGの諸先生方に御指導を賜り、ここに厚く謝意を表します。

〔参考文献〕

- (1) 中高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート設計・施工指針, 同技術資料: 日本建築センター
- (2) 芳村 学他: 鉄筋コンクリート造実大7層建物の弾塑性解析と1質点置換による仮動的実験手法, 日本建築学会構造系論文報告集第372号 昭和62年2月, PP55~PP64
- (3) 高層建築物の動的解析用地震動について: ビルディングレター '86. 6 PP49~PP50