

高耐久 RC 建築を目的とした高強度 RC 部材の可能性と優位性

準会員 ○ 中村 陽介*¹
正会員 島崎 和司*²
同 林 静雄*³

高耐久建築 高強度コンクリート 高強度鉄筋

1. 目的

従来、RC 部材は鉄筋 SD390 以下、コンクリートでは $18\text{N/mm}^2 \sim 24\text{N/mm}^2$ が多く用いられてきた。RC 造建物の耐久性向上には高強度コンクリートの利用が有効であると考えられる。そこで、本研究では「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説¹⁾」付録にある事務所建物(以下「計算例 1」)を例として高強度材料を利用した断面による構造計算を行い、1, 2 次設計及び経済面、施工面での利点・欠点を明確にすることを目的とした。

2. 概要

2.1 建物概要

図-1 に各階伏せ図を示す。建設地は東京近県、地盤は良質の固い関東ローム(第 2 種地盤)と想定する。

2.2 設計方針概要

- 1) 本計算は建築基準法・同施行令および関連告示、「鉄筋コンクリート構造計算規準¹⁾、資料集²⁾」に従って行う。
- 2) 基本的なことは「計算例 1」と同様とする。
- 3) 柱・梁主筋 D-22、横補強筋 D-10 とする。

2.3 使用材料、材料の許容応力度

コンクリート：普通コンクリート $F_c=60\text{N/mm}^2$

鉄筋：SD390 (D10 以上 D25 以下)

コンクリート・鉄筋の許容応力度は表-1 による

2.4 梁・柱・耐震壁断面の設計

柱・梁断面はコンクリート長期許容せん断応力度による比($0.74/1.10=0.6727$)から、67.3%以上のスケールで計画した。梁せいの最小値は使用上の支障が起こらないことを確認する必要条件 $D/l > 1/10^{(3)}$ (D :梁のせい、 l :梁の有効長さ)より定めた。梁幅の最小値は建物の柱・梁が内外ともコンクリート打放しのため 255mm(主筋 2-D22, 横補強筋 D10)とする。耐震壁の壁厚は遮音性・居住性を考え変更は行わなかった。表-2 に想定した部材断面を示す。これより許容応力度設計を行い、鉄筋量を定めた。

3. 保有水平耐力

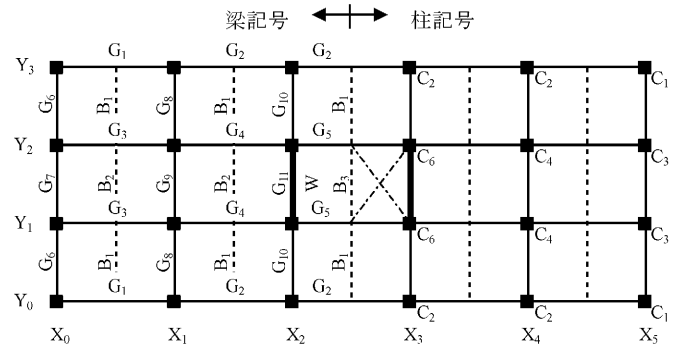
3.1 算定方針

材料強度は実降伏点強度を考慮し下記の値を用いる。

鉄筋:SD390 (D10 以上) $\sigma_y=390 \times 1.1=429\text{N/mm}^2$

コンクリート:F_c60 $F_c=60\text{N/mm}^2$

メカニズム状態の設定は柱と梁の曲げ終局モーメントの比較を行い、値の小さい方にヒンジができると想定し曲げモーメントの振り分けを行う。



記号 G:大梁 B:小梁 C:柱 W:耐震壁

図-1 各階伏せ図

表-1 鉄筋・コンクリートの許容応力度 (N/mm^2)

		基準強度 F	圧縮 $r.f_c$ f_c	引張 f_t	せん断 $w.f_t$ f_s	付着 f_a	
						曲げ材上端	その他
鉄筋 SD390	長	390	220	220	200	—	—
	短	390	390	390	390	—	—
コンクリート F _c 60	長	60	20	—	1.10	1.28	1.6
	短	60	40	—	1.65	1.92	2.4

表-2 部材断面

部材	記号		階	b (mm)	D (mm)	t (mm)	かぶり厚 (mm)
小梁	B		R~2	240	465	130	40
大梁	x	G ₁ ,G ₂	R, 3	255	700	130	50
			2	275	735		
		G ₃ ~G ₅	R	255	700	130	40
			3	255	740		
	y	G ₆ ,G ₇	2	295	780	130	40
			R, 3	255	590		
		G ₈ ~G ₁₁	2	280	635	130	40
			R, 3	240	590		
基礎梁	x,y	G	F	330	990	—	50
柱	x,y	C	3~1	500	500	—	50
耐震壁	v	W	3~1	—	—	200	40

壁の保有水平耐力は 1 階壁脚部の曲げ降伏、1 階壁のせん断破壊、基礎梁の回転で決まる水平力を比較し、その最小のものに基づいて定める。

構造特性係数 D_s はすべての部材を靱性のランク I で設計することを目標にして x 方向 $D_s=0.30$ 、y 方向 $D_s=0.35$ とし保有水平耐力の検定を行い、部材がランク I の条件に合致することを確認する。

3.2 終局状況と保有水平耐力

柱の降伏ヒンジは図-2(a)の崩壊形に示すように、x 方向は 1 階柱脚、3 階柱頭以外に 3 階柱脚、2 階柱頭・柱脚、一部 1 階柱頭にも降伏ヒンジが発生し、全体で 67%程度(1 階柱脚、3 階柱頭含む)となり、層崩壊が生じる恐れがある。

柱主筋を 3-D22 から 3-D25 に増大させれば終局時節点モーメントが増加し、図-2(b)に示すように x 方向加力 Y_1, Y_2 ラーメン C_4 柱の 2 階柱頭・柱脚にヒンジができるものの、ほぼ梁降伏型となる。

柱・梁のせん断終局強度は大野・荒川式 \min^4)を用い、検討の結果、全ての柱・梁において崩壊時せん断力がせん断終局強度以下となり曲げ破壊型であった。

主筋の終局付着強度は「鉄筋コンクリート造建物靱性保証型耐震設計指針・同解説⁵⁾」の式で算定した。コンクリート強度が高いため全ての梁で十分な余裕度を有した。

柱梁接合部のせん断強度は「靱性保証型耐震設計指針⁵⁾」の式で算定した。最上階柱梁接合部においてせん断余裕度の最小値が 1.03 となった。柱の最上階の柱せん断力効果を無視すれば、柱のせん断余裕度は 1.0 以下となる。また、図-2(b)のように柱への降伏ヒンジを考慮し柱主筋を増加した建物では図-3(a)のようにせん断余裕度の最小値が 1.0 以下となった。

コンクリート設計基準強度を $F_c=100\text{N/mm}^2$ まで増加すれば、図-3(b)のように余裕度の最小値は 1.16 以上となる。

耐震壁のせん断耐力は浮き上がり回転で決定され、せん断破壊する恐れはなく、建物の保有水平耐力は表-3 に示すように目標とした必要保有水平耐力に対してラーメン方向で 1.21 倍、耐震壁方向で 1.58 倍以上となり十分な余裕度を有していた。

4. 考察

経済面でみると高強度部材を用いることにより全体として鉄筋量約 87.8%、コンクリート量約 86.4%に減少した。本計算は柱・梁部材断面を 68.5%まで低下させたが、スラブ厚等が同じなのでこの程度の減少であった。

本計算では柱への降伏ヒンジ、柱梁接合部での問題により設計の変更を行う結果となった。理由として、 $D/I > 1/10^3$ のもとに断面を定めたため、梁せいに比べ、梁幅のバランスが悪くなりそれらの問題が起きたと考える。

長期変形を計算して変形量を制限以下に抑える断面を定めると R_{G1} で $B \times D = 315\text{mm} \times 610\text{mm}$ とできる。柱の降伏ヒンジは図-2(c)に示すように x 方向加力 Y_1, Y_2 ラーメン C_4 柱の 2 階柱頭、3 階柱脚にのみヒンジが生じ梁降伏型であった。柱梁接合部は図-3(c)に示すように、せん断余裕度の最小値が 1.09 となり、設計の変更なく柱への降伏ヒンジ、柱梁接合部の問題を解決できた。この場合、コンクリート量は「計算例 1」に比べ 89.7%、鉄筋量は 90.4%、柱・梁部材断面は 77.8%となった。

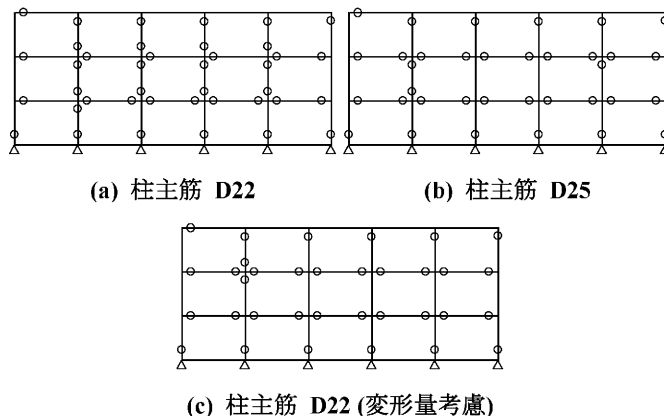


図-2 断面による崩壊形の違い Y_1, Y_2 ラーメン

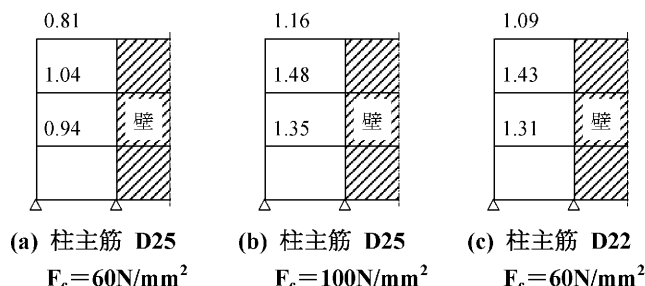


図-3 柱梁接合部のせん断余裕度 X_2, X_3 ラーメン

表-3 保有水平耐力

方向	階	ラーメン (kN)	壁 (kN)	保有水平 耐力 ΣQ_u (kN)	β_u	目標 D_s	必要保有 水平耐力 Q_{un} (kN)	余裕 度
x	3	3898	0	3898	—	0.30	1994	1.95
	2	4717	0	4717	—		3316	1.42
	1	5293	0	5293	—		4362	1.21
y	3	2604	1610	4214	0.38	0.35	2327	1.81
	2	2874	3220	6094	0.53		3868	1.58
	1	3675	4830	8505	0.57		5089	1.67

5. まとめ

高強度部材を用いて設計する際には、先に長期変形量を計算で求め必要断面を求め、終局強度、特に柱梁接合部耐力を考慮して断面を定め効率良く設計することが必要だと考える。

断面の減少に伴い、一部、定着板などの特別な定着を取らざるをえないが、耐久性の向上、柱・梁断面の減少、柱への降伏ヒンジ防止に対し有効に活用できる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1999
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算用資料集, 2001
- 3) 建築基準法施行令第 82 条第四号(H12.5.31 建設省告示第 1459 号)
- 4) 日本建築センター：建築物の構造関係技術基準解説書, 2001
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999

*1 神奈川大学工学建築学科

*2 神奈川大学工学部建築学科 助教授・工博

*3 東京工業大学 建築物理研究センター 教授・工博

Undergraduate student, Kanagawa University
Associate Professor, Kanagawa University, Dr. Eng
Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng