

高強度軽量コンクリートを用いた柱部材の耐震性能に関する研究

正会員○金久保利之**

同 園部 泰寿*¹

同 広沢 雅也**

同 藤沢 正視** 同 折原 信吾**

1. はじめに 最近のウォーターフロント開発事業や建築物の高層化にともない、コンクリート系建築物の軽量化が要求されている。こうした中で、より高強度の人工軽量コンクリートの構造体への使用が可能になれば、軽量化にともなう構造上の利点を十分に活用できると思われる。そこで、本研究は設計基準強度が360kgf/cm²の高強度軽量コンクリート1種を用いた柱部材に焦点を当て、その耐震性能について実験的研究を行い、構造性能を明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要 試験体は15階程度の建物の中下層階の柱を想定した1/3縮小モデルとし、断面は25cm×25cm、M/QD、コンクリート種類、主筋量、帯筋量及び帯筋の配筋方法を主な変動因子とした。試験体は全13体でその諸元を表-1に、No.1試験体の配筋図を図-1に示す。No.6とNo.9に普通コンクリートを、その他の試験体には軽量コンクリートを用いた。使用材料の機械的性質を表-2及び表-3に示す。軽量コンクリートの粗骨材には最大径10mmの人工軽量骨材を、普通コンクリートの粗骨材には6号砕石を用いた。加力は図-2に示す建研式加力装置を用いて、一定軸力79tonf下で正負繰り返し載荷を行った。加力履歴は部材角でR=±1/200、±1/100、±1/50、±1/33でそれぞれ2回づつ繰り返し、その後R=1/20の加力を行うことを目標とし、急激な耐力低下を起こした時点で加力を終了した。計測は柱上下端間の水平変位量、鉛直変位量及び主筋と主な帯筋の歪度について行った。

3. 実験結果と考察 各試験体の剛性、諸ひびわれ発生荷重及び履歴特性を支配する主な項目を表-4に示す。同表を見ると、剛性及びひびわれ発生荷重ともにばらつきが多少見られるものの実験値が計算値を上回っており、コンクリート種類による差も余りなく、既存の計算式が軽量コンクリートにも適用できると思われる。部材の降伏がみられた試験体の降伏荷重と曲げ強度計算値の比は軽量コンクリ

表-1 試験体一覧

試験体名	共通事項	主筋	コンクリート種類	M/QD	軸力	帯筋	Pw (%)
No. 1	端部中央部	b=25cm D=25cm σy=3660 kg/cm ²	8-D13 Pg=1.63%	軽量	1.5	3-D4050 3-D8031 3-D6050 3-D8031	0.30 1.92 0.77 1.92
No. 2	端部中央部					2-D8033 2-D6033	1.20 0.78
No. 3				2.0		2-D8033 2-D4033 3-D8031	1.20 0.31 1.92
No. 4						4-U7.4034 2-D5.5062	1.68 0.31
No. 5						4-U7.4034 2-D5.5031	1.68 0.62
No. 6	端部中央部		普通			2-D6033 2-U5.1030	0.78 0.55
No. 7	端部中央部	12-D13 Pg=2.44%	軽量	1.5	79tonf (Fc/3)	4-U5.1060 2-U7.4030	0.55 1.15
No. 8	端部中央部	8-D13	普通	2.0		4-U7.4060	1.15
No. 9							
No. 10							
No. 11							
No. 12		12-D13	軽量	1.5			
No. 13							

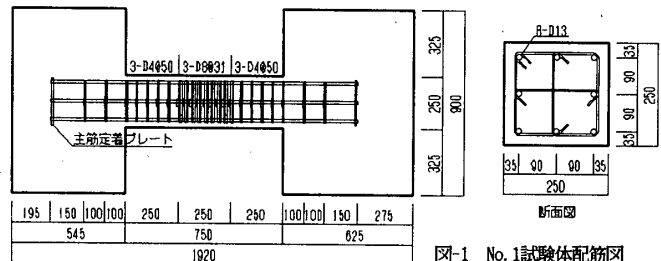


表-2 コンクリート材料強度

コンクリート種類	圧縮強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)	静弾性係数 (kgf/cm ²)	備考
軽量コンクリート	394	31.1	2.03×10 ⁵	No. 1, 2, 7, 8
軽量コンクリート	400	33.6	1.90×10 ⁵	No. 3~5, 10~13
普通コンクリート	400	34.4	2.38×10 ⁵	No. 6, 9

表-3 鉄筋材料強度

呼び名	降伏点 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	引張強さ (kgf/cm ²)	備考
D13	3660	1.83×10 ⁶	5310	主筋
D8	3600	1.78×10 ⁶	4820	
D6	2940	1.68×10 ⁶	4010	
D5.5	2130	1.92×10 ⁶	3110	帯筋
D4	2560	2.12×10 ⁶	3340	
U7.4	13510	1.96×10 ⁶	13990	
U5.1	13350	1.95×10 ⁶	14190	

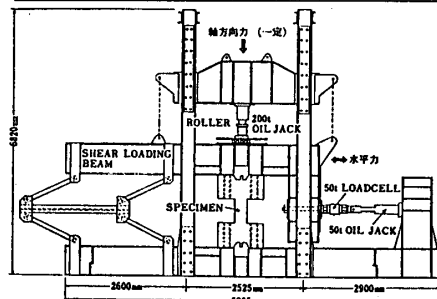


図-2 加力装置図

Study on Seismic Performance of High-Strength Light-Weight Concrete Columns

21254

KANAKUBO Toshiyuki et al.

表-4 実験結果

試験体	せん断 余裕度 C _{con}	付着 余裕度 C _{st}	弾性剛性 (tonf/cm)		降伏剛性 (tonf/cm)		曲げひびわれ 強度 (tonf)		曲げせん断ひび われ強度 (tonf)		せん断ひびわれ 強度 (tonf)		降伏荷重 (tonf)		最大荷重 (tonf)		限界変形 (mm)	破壊形式
			実験値	実/計	実験値	実/計	実験値	実/計	実験値	実/計	実験値	実/計	実験値	実/計	実験値	実/計		
No. 1	0.72	1.11	106.9	0.99	54.6	1.29	16.74	1.29	20.87	0.97	24.29	1.30	22.40	0.96	25.31	1.00	12.22 (1/61)	F→DT
No. 2	0.82	1.36	118.7	1.09	52.6	1.24	12.91	0.99	17.64	0.82	23.74	1.28	24.42	0.96	24.72	0.98	15.07 (1/50)	F→SC
No. 3	0.91	1.65	116.8	1.14	48.6	1.21	14.63	1.11	22.10	1.02	23.54	1.21	24.24	0.95	24.49	0.96	22.86 (1/33)	F→SC
No. 4	0.98	2.06	58.4	1.11	25.7	1.42	12.72	1.28	16.34	1.05	-	-	18.80	0.98	18.94	0.99	32.07 (1/31)	F→FC
No. 5	1.10	2.42	60.3	1.15	33.4	1.85	12.87	1.30	17.01	1.07	-	-	17.65	0.92	19.53	1.02	31.36 (1/32)	F→FC
No. 6	0.72	1.13	135.4	1.08	50.3	1.07	15.58	1.22	20.07	0.95	26.50	1.34	27.37	1.08	28.21	1.11	12.90 (1/58)	F→DT
No. 7	0.60	0.91	104.4	0.92	-	-	17.13	1.25	21.54	0.99	22.84	1.22	-	-	25.04	0.88	4.10 (1/183)	DT
No. 8	0.64	1.08	114.5	1.01	53.1	1.18	16.80	1.22	20.63	0.95	22.41	1.20	27.45	0.97	27.88	0.99	9.37 (1/80)	F→DT
No. 9	0.98	2.06	72.8	1.14	32.2	1.50	11.86	1.24	17.21	1.11	-	-	19.76	1.04	21.39	1.12	<49.91 (1/20)	F→FC
No. 10	0.84	1.05	122.2	1.14	66.4	1.53	16.01	1.15	23.96	1.08	21.65	1.11	25.10	0.88	25.69	0.90	22.69 (1/33)	F→BO
No. 11	0.84	1.00	112.6	1.05	59.0	1.36	13.05	0.93	20.07	0.90	26.20	1.34	26.82	0.94	28.51	1.00	<37.49 (1/20)	F→SC
No. 12	1.00	1.37	124.9	1.17	58.0	1.34	14.46	1.03	22.91	1.03	23.26	1.19	25.07	0.88	27.88	0.98	<37.48 (1/20)	F→FC
No. 13	1.00	1.27	114.0	1.34	58.0	1.34	12.26	0.88	20.12	0.91	28.25	1.45	25.40	0.89	31.72	1.12	<37.49 (1/20)	F→FC

計算式: 弾性剛性 $c_k = Q/\delta$ $\delta = \delta_s + \delta_c$ $\delta_s = Q \cdot L^3 / 12EI$ $\delta_c = \kappa \cdot Q \cdot L^3 / G \cdot A_c$ 剛性低下率 $c_{ay} = (0.043 + 1.65n \cdot pt + 0.043M/QD + 0.33\tau_o) \cdot (d/D)^2$ 降伏剛性 $c_{ky} = c_{ay} \cdot c_k$
 曲げひびわれ強度 $c_{Qbc} = c_{Mbc} / (L/2)$ $c_{Mbc} = 1.8 \sqrt{\sigma_s} \cdot 2e + N \cdot D/6$ 曲げせん断ひびわれ強度 $c_{Qbsc} = 0.265b \cdot d \sqrt{\sigma_s} + c_{Mbc} / (M/Q - d/2)$
 せん断ひびわれ強度 $c_{Qsc} = 0.168(4.04 - M/QD) \sqrt{\sigma_s} \cdot (\sigma_s + \sigma_o)$ 曲げ強度 $c_{Qmu} = (0.8at \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5N \cdot D(1 - N/(b \cdot D \cdot \sigma_s))) / (L/2)$ (主筋 8本試験体)
 $c_{Qmu} = (0.5ag \cdot \sigma_y \cdot gl \cdot D + 0.5ND(1 - N/(b \cdot D \cdot \sigma_s))) / (L/2)$ (主筋 12本試験体) せん断強度 $c_{Qsu} = [10.068Pt^{0.23}(\sigma_s + 180)] / (M/(Q \cdot d) + 0.12) + 2.7 \sqrt{P_w \cdot \sigma_w} + 0.1\sigma_o$ b-j
 付着割断強度 $c_{\tau bu} = c_{\tau co} + c_{\tau st}$ $c_{\tau co} = (0.4bi + 0.5) \sqrt{\sigma_s}$ $c_{\tau st} = ((20/Nt + 5Nu/Nt + 15Ns/Nt) P_w b \sqrt{\sigma_s}) / db$ 設計用付着応力度 $c_{\tau f} = db \cdot \Delta \sigma / \{4(L - D)\}$
 注: 各ひびわれ強度は正側、負側加力時に得られた値の平均、その他は正側加力時に得られた値 F: 曲げ降伏 DT: せん断斜張力破壊 SC: せん断圧縮破壊 FC: 曲げ破壊 BO: 付着割断破壊

ート試験体で平均0.93、普通コンクリート試験体で平均1.06となっており、軽量コンクリートが1割程度低い。これは、高軸力下においては部材の降伏がコンクリートの圧縮性状に大きく影響され、軽量コンクリート自体の脆性的な破壊性状に起因しているものと思われる。また、曲げ破壊、せん断圧縮破壊を起こした試験体の最大荷重は計算値に対して軽量コンクリート試験体では1.01、普通コンクリート試験体では1.12となっており降伏荷重と同様なことが言える。一方せん断余裕度と破壊形式を見ると、0.8以下でせん断斜張力破壊、0.8~1.0でせん断圧縮破壊、1.0以上で曲げ破壊となっている。

図-3に各試験体の荷重-変形曲線の包絡線を比較して示す。No.1とNo.6を比較すると前述のように荷重自体には差がみられるものの、包絡線の膨らみ方、変形能に大きな差はみられない。No.4とNo.9を見ると、R=

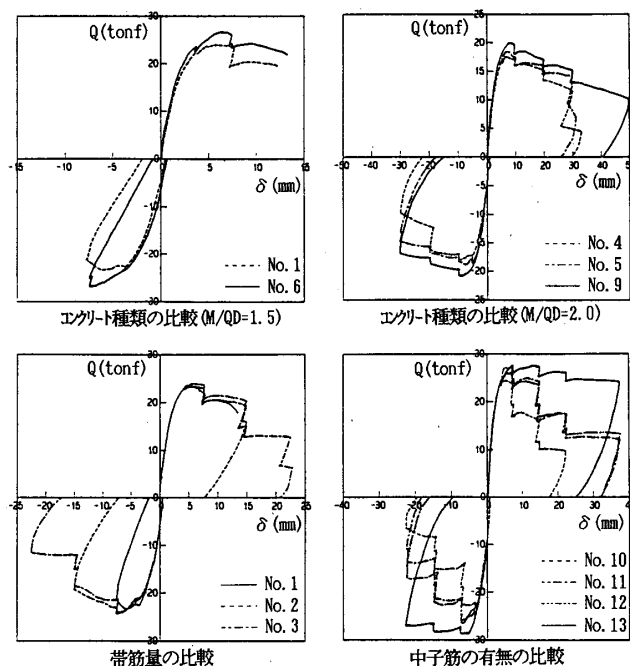


図-3 包絡線の比較

1/33(30mm)でNo.4の耐力低下が見られ、No.5はNo.4、No.9の1.5倍程の帯筋が配してあり、No.4と比較するとR=1/33で靱性の改善が見られるが、No.9と比較すると変形能が劣っている。今回実験に用いた試験体は帯筋が外周だけに配筋されていたので、中子筋を配筋する等の手だてを講じて、コンクリートの拘束効果を十分発揮できるような工夫をすれば変形能が改善されるものと思われる。No.1、2、3を見ると包絡線の形に違いは見られないが変形能はPwが大きくなるに従い良くなっている。No.10~No.13を見ると全試験体の変形能が良くなっており高強度鉄筋の効果がわかる。また、同じ帯筋量でも中子筋の有無による差を見ると包絡線に大きな差が見られ、中子筋による靱性能の向上がわかる。特にNo.13においてはPw=1.15%で中子筋が配筋してあり、R=1/20(37.5mm)まで耐力低下は全くなく非常に良好な靱性能を示した。

4. まとめ 軽量コンクリート試験体の剛性、ひびわれ強度には既存の計算式が適用でき、降伏強度及び最大荷重は普通コンクリートに比べ1割程度低い。また、曲げ破壊型の試験体の靱性能が普通コンクリートに比べ劣る傾向がみられるが、高強度鉄筋を使用する、中子筋を配筋する等の手だてを講じれば十分改善される。

〔謝辞〕本研究遂行にあたり、人工軽量骨材協会、日本メサライト工業(株)、日本セメント(株)、高周波熱錬(株)の御協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

*1筑波大学教授 *2同大学院生 *3建設省建築研究所 *4筑波技術短期大学助教授 *5清水建設(株)構造設計部