

[2067] 軽量気泡コンクリートを用いた壁式構造部材の曲げ・せん断強度

正会員 石橋 一彦 (千葉工業大学建築学科)

正会員 ○林 暁光 (哈爾濱工業大学建築系)

1. はじめに

軽量気泡コンクリートと呼ばれるものの内、比重が 1.1 で圧縮強度が 90kg/cm^2 程度のものは文献 1) によると比重および圧縮強度が比較的大きく、3 階建以上の住宅の場所打の構造材料として設計し易い性能を有すると考えられる。この種の材料を用いた建物は壁式構造であり、耐震設計は主として壁量に支配されるが、耐震壁を結ぶ境界梁や壁の長さが短くて壁柱とみなされる部材が一部含まれるので保有耐力算定のためには、これらの部材の曲げおよびせん断強度の確認が必要である。そこで 3 階建の試設計を文献 3) の軽量気泡コンクリートを用いた壁式構造の設計要項に則って行い試験体を作製した。文献 2) にも触れられているように、低強度のコンクリートには高強度の異形鉄筋を用いることが有効ではないが、本研究では限界点を捜すため SD 30 材で設計し、試験体ではさらに SD 35 材相当の鉄筋を主筋として使用した。本研究の目的は比較的高強度の軽量気泡コンクリートを用いた梁や壁柱の曲げおよびせん断の加力実験を行いその終局強度に関する設計式を得ることである。

2. 使用材料

試験体に用いたコンクリートは 3 種類で軽量粗骨材を使用した軽量気泡コンクリート (SLWC)、粗骨材を使用しない軽量気泡コンクリート (SLWM) および普通コンクリート (NC) である。前 2 者は三菱鉱業セメント株式会社中央研究所の実験室で調合と混練と打設が行われ、後者はレミコン車を利用して、同所で打設された。軽量気泡コンクリートの主な調合を表 1 に示す。

表-1 軽量気泡コンクリートの調合

種別	起泡剤 (セメント重量比)	空気量 VOL %	セメント kg/m^3	水 kg/m^3	細骨材 kg/m^3	粗骨材 kg/m^3
SLWC	0.5 %	17 %	390	156	263	396
SLWM	0.6 %	19 %	750	300	189	0

表-2 コンクリートの力学的性質

コンクリート	対応する試験体名	試験体数	かさ比重 kg/m^3	圧縮強度 kg/cm^2	引張強度 kg/cm^2	弾性係数 t/cm^2	ポアソン比
NC	CN 24	49	2.228	206	17.3	302	0.16
	BN 29						
SLWC	CC 16	59	1.110	100	8.5	59	0.18
	CC 24	62	1.110	97	9.4	63	0.22
	BC 48	35	1.118	93	6.8	86	0.14
SLWM	CP 16	47	1.217	80	10.2	63	0.22
	CP 24	58	1.218	97	9.0	63	0.23
	BP 48	41	1.217	108	5.0	58	0.21

試験体と同一条件の現場気中養生のテストピースの圧縮試験および割裂試験を行った結果をコンクリートの力学的性質として表 2 に示す。

本実験に使用した鉄筋の力学的性質を表 3 に示す。

3. 試験体

各試験体は 3 階建を想定した設計例を元にして、壁柱として選んだ巾×成×クリアスパンが $20\text{cm} \times 65\text{cm} \times 200\text{cm}$ の部材と境界梁として選んだ巾×成×クリアスパンが $20\text{cm} \times 65\text{cm} \times 160\text{cm}$ の部材を対象として実大の大きさで作製された。試験体としては後に述べる逆対称せん断応力を与えるためクリアスパンの両外側に断面の大きい区間 ($20\text{cm} \times 120\text{cm}$) を設け全長を 430cm にした。

壁柱と梁の試験体の各シリーズに対して、コンクリート材料および補強筋の効果を比較するた

表-3 鉄筋の力学的性質

鉄筋径	降伏点 kg/cm^2	引張強度 kg/cm^2	伸び率 %	弾性係数 t/cm^2
D 6	3450	5030	21.8	1780
D 10	3610	5680	18.7	1844
D 13	3890	6310	15.8	1957

なお、降伏変形の定義が理論的にも実験的にも困難であることを考慮して従来の実験結果を参考にして、試験体の部材角が 1/200 となったときを降伏変形と定義して各試験体で統一した。

測定及び調査は、たわみなどの変形、鉄筋のひずみ、ひびわれの発生状況の観察について行った。図-4 に示すように壁柱及び梁の変形はクリアスパンの部材角とクリアスパン両端の回転角を測定した。前者は、両方の剛域区間の回転角差として計測し、後者は付け根から 10cm 離れた点の変形を測定することによって求めた。

各試験体の曲げ補強筋及びせん断補強筋の歪みをワイヤーストレインゲージを貼付して測定することによって、補強効果や定着状態を調べた。

各試験体にマジックで発生したひびわれをコンクリート表面に荷重の正負及び繰返し回数を含む荷重段階がわかるように記入し、実験後整理して破壊状況の検討資料とした。

5 実験結果

5. 1 実験結果概要：表-6 および表-7 に実験の結果を総合して示した。ここで表に示す荷重と部材角は図-5 に示す Q と R である。

5. 2 荷重-変形曲線：図-6 に試験体のクリアスパンに作用するせん断力 Q と剛域区間の相対部材角 R の関係を示す。図中曲げ降伏点とあるのは引張り鉄筋が降伏歪みに達したことをストレインゲージの測定値によって確認した点であり、最終段階とあるのは耐力が初めて半減したサイクルの最大変形点を示す。

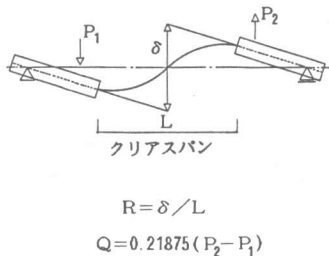


図-5 部材角 R とせん断力 Q

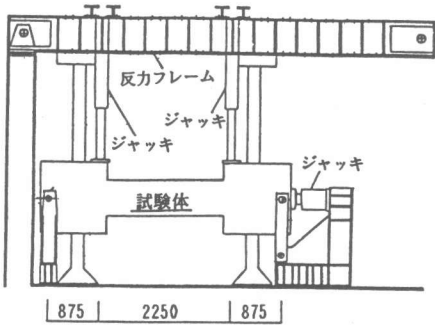


図-3 加力装置

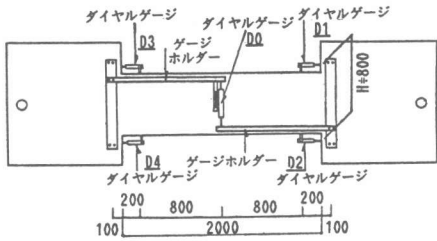


図-4 変形測定

表-6 柱の実験結果概要

試験体名	降伏荷重 (t)	最大荷重 (t)	最終段階荷重 (t)	最終段階の部材角	破壊原因
CN 2 4	12.00 -8.03	14.12 -12.09	6.54 -9.81	0.030 -0.030	端部に曲げ破壊が集中し、主筋が破壊した。
CC 2 4	-8.83	11.14 - 9.67	3.93 -2.80	0.028 -0.013	端部に曲げ破壊が集中した。
CP 2 4	10.01 -9.94	11.51 -11.21	5.30 -2.66	0.031 -0.029	端部に曲げ破壊が集中した。
CC 1 6	10.11 -8.52	11.10 -10.49	5.04 -7.79	0.028 -0.020	端部に曲げせん断破壊が集中し、軸方向耐力を失った
CP 1 6	10.05 -9.01	11.04 -10.21	4.17 -5.86	0.022 -0.020	端部に曲げせん断破壊が集中し、軸方向耐力を失った

表-7 梁の実験結果概要

試験体名	降伏荷重 (t)	最大荷重 (t)	最終段階荷重 (t)	最終段階の部材角	破壊原因
BN 2 9	16.05 -13.05	17.70 -16.51	5.79 -4.68	0.036 -0.046	端部にせん断破壊が集中し、試験体が分離した。
BC 4 8	14.08 -12.15	15.84 -14.94	7.61 -9.14	0.034 -0.030	端部にせん断破壊が生じかぶりコンクリートが大きくはくらかした。
BP 4 8	14.04 -11.11	15.58 -14.87	8.97 -6.96	0.030 -0.030	端部にせん断破壊が生じかぶりコンクリートが大きくはくらかした。

5. 3 破壊状況：試験終了後の破壊状況を写真-1 によって示す。

CN24の場合はクリアスパンの端部に曲げ破壊が集中して生じた。コンクリートの圧壊ではくらくが生じると耐力が半減し、主筋が座屈と伸びを繰返すことによって破断し、耐力を完全に失った。

CC24、CP24の場合はクリアスパンの端部に曲げ破壊が集中して生じた。せん断ひびわれは両側端部に生じ、片側ではコンクリートのはくらくが生じると同時に曲げ耐力を低減させた。

CC16、CP16の場合はクリアスパンの端部に曲げせん断破壊が集中して生じた。コンクリートのはくらくが生じると同時にせん断ひびわれに沿って軸方向力によるずれが生じて耐力を失った。

BN29の場合はクリアスパンの端部にせん断破壊が集中して生じた。部材角が 0.03 以上では、せん断破壊が進行して耐力を失った。

BC48の場合はクリアスパンの端部にせん断破壊が生じた。せん断ひびわれは全体に生じて、かぶりコンクリートが広範囲にはくらくして耐力が半減した。

BP48の場合はクリアスパンの端部にせん断破壊が生じた。せん断ひびわれはBC48よりも細かく生じて、かぶりコンクリートが広範囲にはくらくして耐力が半減した。

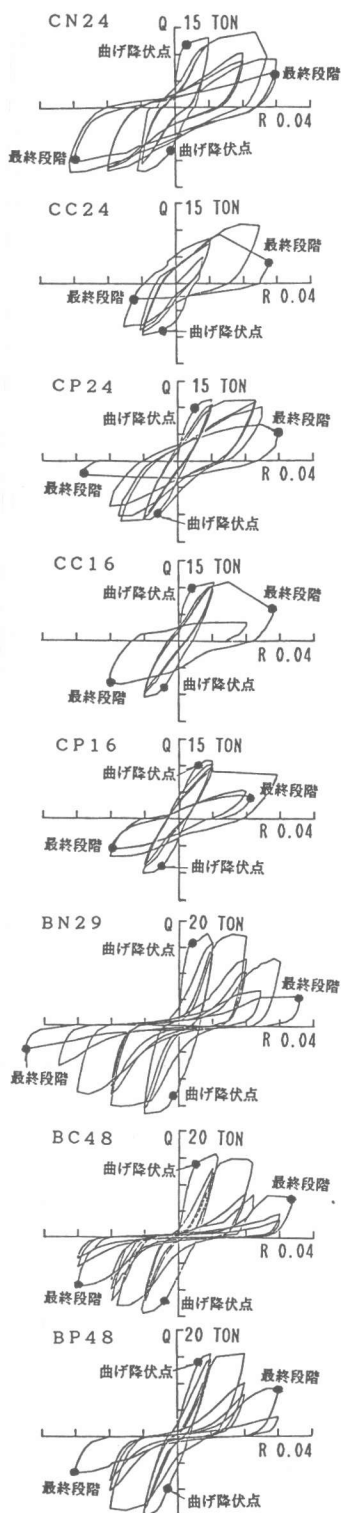


図-6 荷重-変形曲線

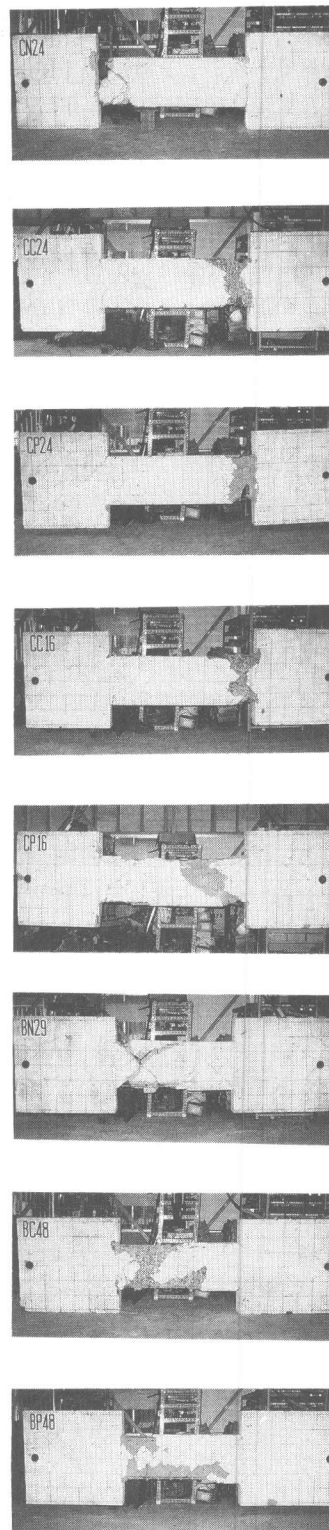


写真-1 破壊状況

6. 終局強度の考察

6. 1 曲げ終局強度： 実験に供した軽量気泡コンクリートの応力度 (σ) と歪み度 (ϵ) 関係は、テストピースの圧縮強度試験結果より、図-7に示す例のように最大応力点までは大体直線であることが確かめられた。最大応力点以降は急激な破壊が生じたため歪み度の測定が不可能となったが、頂点付近の σ - ϵ 曲線の形から推察してある程度急な下り勾配ではなかったと思われる。これらの σ - ϵ 関係は梅村博士の e 関数とはかなり異なっている。

ここで仮に下り勾配の係数を $\alpha = 2$ として、実験試験体のクリアスパン端部の曲げモーメント (M) と回転角 (θ) の関係を、図-8の応力、歪みの仮定を用いて解析し実験値と比較した。普通コンクリート使用のCN 24と軽量気泡コンクリート使用のCC 16の場合の M - θ 関係を図-9に示す。同図のY点は実験および解析で引張鉄筋が降伏する点であり、U点は解析で曲げモーメントが最大になる点である。

Y点の割線剛性はCN 24では計算値と実験値がよく一致するが、CC 16の場合計算値に較べて実験値は小さい。軽量気泡コンクリートの場合、主筋の定着強度に対して十分な定着長があっても付着すべりの変形が大きく剛性が低下する傾向があると考えられる。U点は解析上は図中の有限な領域にあるが、実験では鉄筋の歪み硬化による強度上昇や中間の補助筋の影響を受けて大変形の領域に移動したと考えられる。

一方図-8中に定義された G と前記の α は以下のような条件下で図-10の関係がある。 G_0 と G_1 はコンクリート合力を最大にする値で、 G_0 は鉄筋を全く無視して応力分布形だけを考慮した場合、 G_1 は単筋梁とした場合の値である。 G_u はCC 16の複筋と軸方向力を考慮して試験体の曲げ終局強度を α について解析した時の値である。

$\alpha = 2$ とすると $G_u = 1.2$ 程度となったが、従来の普通コンクリートの場合の曲げによる終局歪み ϵ_u は 0.003~0.005とされていることと、軽量気泡コンクリートの場合にも曲げ終局強度は α に関して殆ど変化しない解析結果を考慮すると、 $\alpha = 0.5$ 、 $G_u = 1.6$ と仮定する方が妥当性があると考えられる。この仮定に基づいて図-8の定義のようなコンクリートの等価長方形応力分布の形状係数を求めると $K_1 = 0.778$ 、 $K_2 = 0.389$ 、 $K_3 = 0.811$ となる。

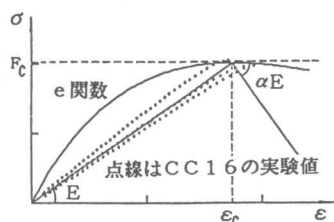


図-7 σ - ϵ 曲線

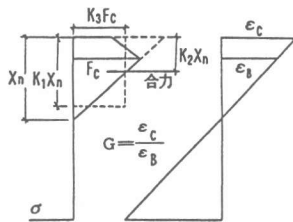


図-8 断面の応力-歪み関係

- b 矩形断面の巾
- X_n 中立軸距離
- F_c コンクリートの圧縮強度
- ϵ_c 圧縮縁の歪み度
- ϵ_B 圧縮強度時歪み度
- G ϵ_B に対する ϵ_c の比

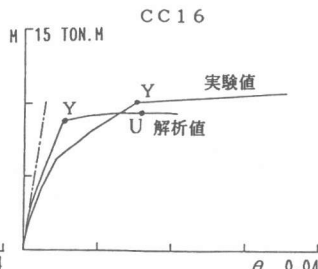
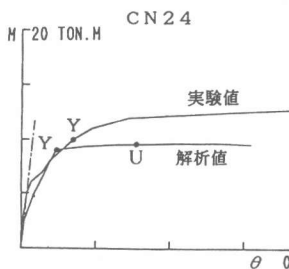


図-9 M - θ 関係

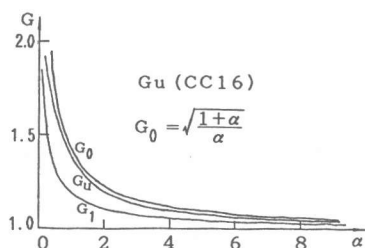


図-10 G - α 関係

