

超高強度構造材からなるRC柱・はりの破壊特性と高じん性化に関する研究

浅野工学専門学校 正会員 ○殿廣 泰史
浅野工学専門学校 正会員 加藤 直樹
関東学院大学 増田 泰之
防衛大学校 正会員 加藤 清志

1. まえがき

近年の巨大地震に伴う鉛直および水平方向の2,000 gal 超というキラーパルスは、社会基盤構造物に甚大被害を生起させている。このような外部からの想定外のエネルギーを多く吸収し、材料の衝撃強さを知る重要な物性値がひずみエネルギーである。本報では高品質材料を用い、高耐久的持続可能な構造物構築の基本を確立することを目的としている。

2. 使用材料の特性

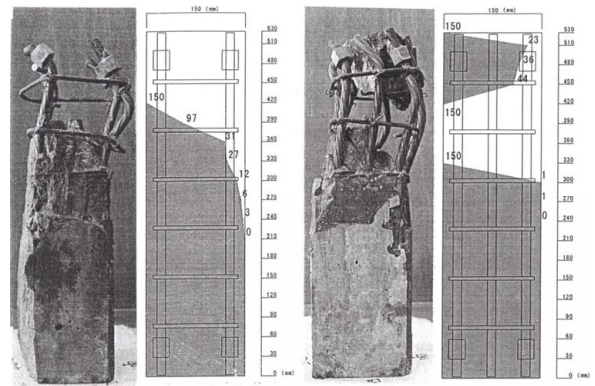
2.1 超高強度コンクリートの概要 粗骨材最大寸法は20 mm, W/C=13%, $s/a=40\%$; 以下は単位量で、特殊混和剤 16.436 kg, W=152.6 kg, C=1,174 kg, S=434.7 kg, G=655.0 kg とした。供試体寸法は150×150×530 (mm); 柱・はりモデルは各6体, 計12体; 管理供試体は $\phi 100 \times 200$ (mm), 28 日圧縮強度は6本の平均126 N/mm²である。

2.2 鉄筋かご 主筋はすべて SBPD 1275 / 1420, U13; 帯筋は同上で U6。ピッチは図5に示す拘束カテゴリの中拘束の75 mm とした。主筋本数は4本 ($p=2.22\% \geq \min.0.8\%$) と8本 ($p=4.44\% \leq \max.6\%$) の2ケースである (図1, 2)。

3. 柱・はりモデルの破壊特性

3.1 測定法 万能圧縮試験機は3,000 kN で、載荷重の検出は内部油圧により、測定データは4秒ごとひずみ・変位等はすべてデータロガーに収録した。超高強度コンクリートの爆裂状況はハイスピードカメラ (3,200 コマ/s) で動画記録した。

3.2 柱・はりモデルの破壊状況の例 図1 (a), (b)は主筋4本, 8本の場合の一例で、それぞれ破壊のデジタル表示を併記した。柱の場合、帯筋ピッチが同一であるので、主筋量の増加による格子効果が大きい。よって、主筋座屈の態様を異にし、じん性に影響を及ぼす。はりに関しては、支点近傍のせん断が



(a) 4 U13 の例 (b) 8 U13 の例

図1 柱破壊モードの例

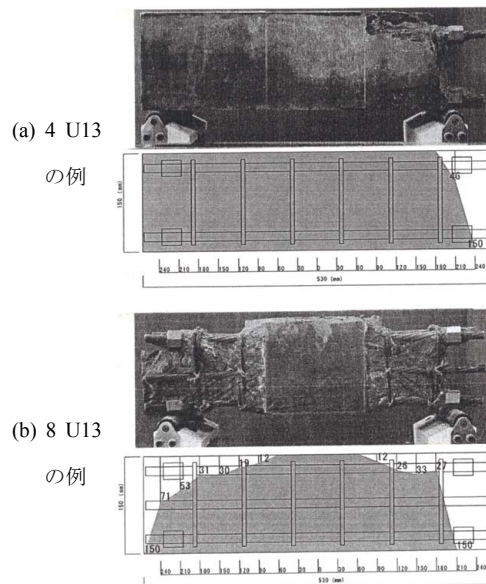


図2 はり破壊モードの例

卓越している。主筋4U13 はぜい性破壊的であるが、8U13 ではかぶりがはく落してもコアRC柱に再生し抵抗する特性をもつ (図2)。

4. 主筋座屈に関する考察

4.1 RC柱と主鉄筋の挙動 図3, 4にそれぞれ4U13, 8U13のRC柱と主鉄筋の載荷に伴う変形挙動を示す。いずれも最大耐力点まで線形的に挙動し、顕著な塑性変形なしに瞬時にしてコンクリート要素が爆裂し、耐力の50%程度まで急速に低下する。主筋は柱モデルの耐力まで弾力的であること、その後は

キーワード 高性能材料, RC柱, RCはり, 格子効果, ひずみエネルギー, 高じん性

連絡先 〒220-0073 横浜市神奈川区子安台1-3-1 浅野工学専門学校 TEL:045-421-0403 FAX:045-431-9724

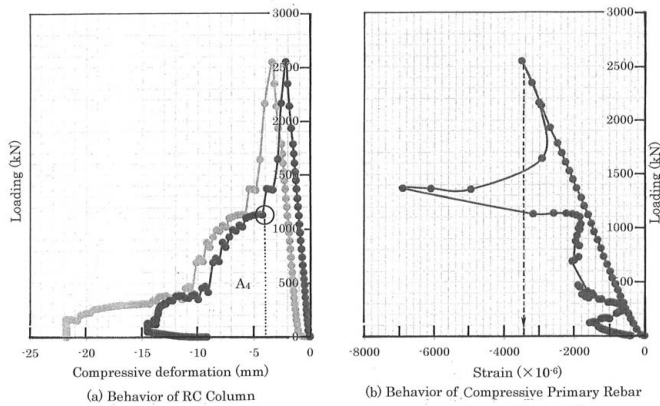


図3 高強度RC柱の格子効果 (4 U13 : p=2.22%).

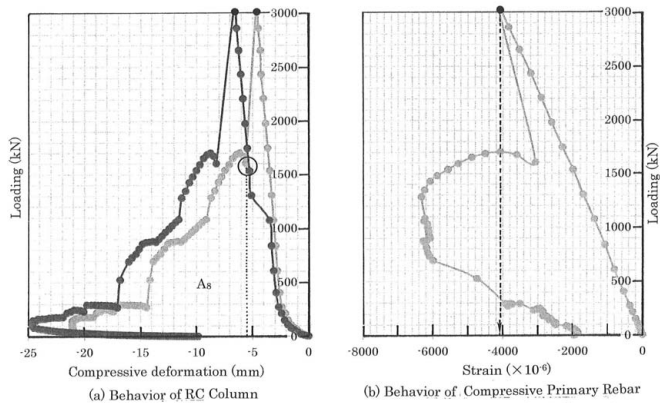


図4 高強度RC柱の格子効果 (8 U13 : p=4.44%).

鉄筋かごで拘束された残存コンクリートの変形挙動に依存する。柱の全吸収エネルギーは弾性と塑性変形ひずみエネルギーとの和である。図3, 4の塑性変形ひずみエネルギー量 A_4 , A_8 (○印以降) 量の多いほど危機管理上有利で、補強筋の格子効果による。

4.2 主筋座屈に関する考察 図5にオイラー座屈理論による (a)一端固定・他端自由, (b)両端回転端, (c)両端固定端に関し、座屈応力(σ_k)ータイバーピッチ(ℓ)との関係を、また横拘束のカテゴリーを併記した。座屈応力の一般式は $\sigma_k = n\pi^2 E (k/\ell)^2$ {ここに、 n は (a) 1/4, (b) 1, (c) 4に対応。 ℓ/k : 細長比, k : 二次半径}。[Case 1] 主筋量最少の場合 ($p=2.22\% \geq \min. 0.8\%$) 図1(a)で柱頭部の主筋は約 700 N/mm²で座屈し、図5で、点@700 N/mm²・ピッチ点①75 mmとの交点◎は「一端固定・他端自由」のケースにほぼ一致している。他の交点ピッチに合理性がない。[Case 2] 主筋量最大の場合 ($p=4.44\% \leq \max. 6\%$) 図1(b)は主筋8本のRC柱モデルに関し、破壊モードおよび欠損のデジタル表示である。図4より主筋座屈応力は $\sigma_k = 820 \text{ N/mm}^2$ ($\ll \sigma_y = 1,275 \text{ N/mm}^2$)。同図(a)で2ピッチ $\ell = 2 \times 75 = 150 \text{ (mm)}$ (中間拘束タイバーは鋭角フック付きであるが、コアコン

クリートのポアソン効果により膨張圧で緩み、図1(b)の破壊モードを示した。)で、図5の座屈応力 $\sigma_k = 820 \text{ N/mm}^2$ 点◎とピッチ150 mm 点①との交点①は、「両端回転端(ヒンジ)」

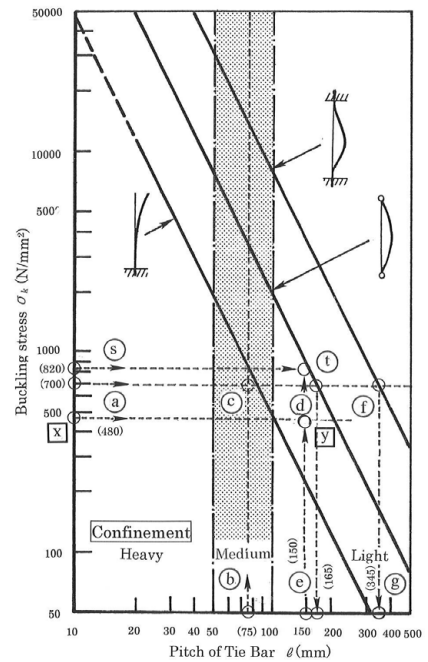


図5 RC柱の主筋の座屈モード推定図との座屈モードと一致している。理論的には「両端固定端」であるが、図6に示す爆裂型コンクリートの部材中では組織の緩み (Loosening)から「擬回転端」となる。以上からタイバーはらせん筋や剛性継手が望まれる。



図6 柱の爆裂状況

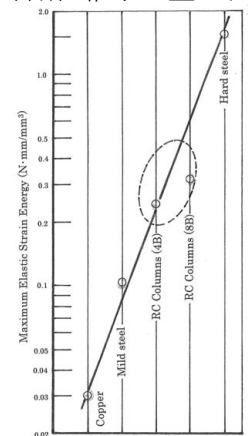


図7 構造材料の最大弾性ひずみエネルギーと弾性限度との関係

5. ひずみエネルギーに関する考察 (図3, 4参照)

5.1 柱モデル 弾性ひずみエネルギーは $\epsilon A_4 = 0.235$, $\epsilon A_8 = 0.314 \text{ (N} \cdot \text{mm/mm}^3)$; 塑性 pA は対数的に強度増に比例し、本例のRC柱は軟・硬鋼の中間にある。塑性ひずみを加味すると $\bar{A}_8/\bar{A}_4 = 20,563/11,956 \text{ (kN} \cdot \text{mm)} = 1.72$

5.2 はりモデル 図2で曲げ耐力が十分でも、支点せん断力に対し重拘束を必要とする。全曲げひずみエネルギー $\bar{b}\bar{A}$ は $\bar{b}\bar{A}_8/\bar{b}\bar{A}_4 = 8,863/4,956 \text{ (kN} \cdot \text{mm)} = 1.70$

6. 結論

柱・はりとも主筋・帯筋の格子効果、超高強度材料の使用は吸収エネルギー向上のため最重要である。