

エポキシ含浸ガラス繊維シートで巻き補強した
コンクリート柱の圧縮性状

正会員 ○ 北山和宏 *1
同 小山明男 *2
同 豊田浩一 *3

(その2) 実験結果の検討

(その1) に続いて実験結果を検討した。

1. ガラス繊維シートの横ひずみ ガラス繊維シートの横ひずみの進展状態を図1に示す。図中の点Aは初期弾性範囲で最大圧縮強度の約2/3応力時、点Bは軸ひずみが0.2%の時(円柱の剛性変化時、角柱の最大圧縮強度時にほぼ対応)、点Cは円柱では最大圧縮強度時、角柱では初期ひびわれ時、点Dは最終的なシート破断時をそれぞれ示す。円柱・角柱ともに点B(無補強のコンクリートの最大圧縮強度時)までは横ひずみは小さく円柱では0.1%程度、角柱では0.15~0.2%程度であり、無補強試験体の横ひずみと同程度かそれより若干小さい値であった。それ以降軸ひずみの増加とともに横ひずみが急増し、コンクリートの膨張とともにガラス繊維シートが拘束機能を大いに発揮したと言える。試験体上部の横ひずみが大きくなったのはコンクリートを縦打ちしたため上部のコンクリート強度の方が低くなり、損傷が集中したためと考える。

圧縮軸ひずみとガラス繊維シートの横ひずみとの関係を図2に示す。補強量が増えるに従って同一横ひずみ時の軸ひずみは大きくなった。この性状はフープ筋や炭素繊維で横補強した場合と同じである。同一軸ひずみ時の横ひずみは円柱よりも角柱のほうが大きかった。これは円柱のシートの拘束効果がより有効に作用していることを示す。

最終的にガラス繊維が破断する時の横ひずみは円柱では1.4~2.1%、角柱では1.8~2.0%であり、円柱・角柱ともにガラス繊維が単独で破断する時のひずみ範囲にあった。

2. 圧縮強度の評価 フープ筋などで横拘束したRC柱の圧縮強度評価式を準用して、ガラス繊維シートを巻いたコンクリート柱の圧縮強度を評価した。巻き補強柱の圧縮強度を無補強コンクリート柱の圧縮強度で除した圧縮強度増大率 λ_e を用いた。円柱にはManderら[1]の提案する式(1)を、角柱にはParkら[2]の提案する式(2)を使用した。

$$\lambda_e = 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94f'_l}{f'_c} - \frac{2f'_l}{f'_c}} - 1.254 \dots (1)$$

$$\lambda_e = 1 + \frac{\rho_s \cdot f_{yh}}{f'_c} \dots (2)$$

ここで、 f'_l : 有効拘束応力度で $f'_l = \frac{1}{2} k_e \rho_s f_{yh}$ 、 k_e : 有

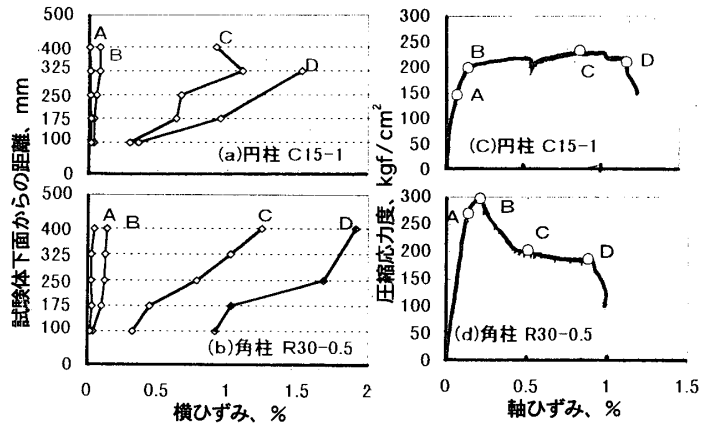


図1 ガラス繊維シートの横ひずみ分布

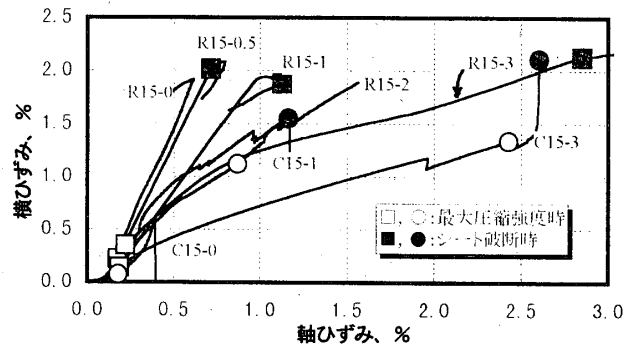


図2 シート横ひずみ-圧縮軸ひずみ関係

効係数で0.95とする、 ρ_s : 補強体積比、 f_{yh} : 拘束筋の降伏強度、 f'_c : 無補強コンクリート柱の圧縮強度、である。両式を本実験に適用するために、 f_{yh} として最大圧縮強度時のガラス繊維シートの横ひずみ測定値に弾性係数を乗じて求めた存在応力を代入した。その結果と実験値とを図3に示す。円柱の最大圧縮強度時のガラス繊維シート横ひずみは1.1~1.6%と大きいため、Manderらの計算値は実験値を1.1~1.5倍過大評価した。これに対し角柱の最大圧縮強度時のガラス繊維シート横ひずみは0.14~0.35%であり円柱と比較すると小さいため、コンクリート強度や断面の大きさにかかわらず計算値と実験値とはほぼ一致した。

3. ガラス繊維シート破断時の軸ひずみの評価

中心軸圧縮を受けるRC柱の横補強筋が破断するときの軸ひずみを定量的に評価した研究は少なく、RC角柱を対象としたScottら[3]およびコンクリート円柱を扱った中塚[4]がある。しかしガラス繊維シートは破断時まで弾性挙

動するのに対し、両研究は降伏現象をとまなう鉄筋による拘束効果を対象とし、さらに使用した実験変数の範囲に適用が限定されるため、ガラス繊維シートを巻き付けた場合には使用できない。Manderら[1]はスパイラル筋を巻いたコンクリート円柱による中心圧縮実験において、スパイラル筋の破断時に鉄筋およびコンクリートが吸収するエネルギーを等置することにより拘束筋破断時の軸ひずみを求める方法を示した。Priestleyら[5]はManderらの考え方を使用して合成材料破断時の軸ひずみを陽な形で評価した。そこで簡単のためPriestleyらの提案式(3)および(4)を使用して、軸方向終局ひずみ ϵ_{cu} （繊維シートが破断して圧縮応力が急激に低下する時の軸ひずみ）を評価した。

$$\text{円柱: } \epsilon_{cu} = 0.004 + \frac{2.5\rho_s f_{uj} \epsilon_{uj}}{f'_{cc}} \dots (3)$$

$$\text{角柱: } \epsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.25\rho_s f_{uj} \epsilon_{uj}}{f'_{cc}} \dots (4)$$

ここで、 f_{uj} : ガラス繊維の破断強度、 ϵ_{uj} : ガラス繊維破断時引張りひずみ、 f'_{cc} : ガラス繊維シートで巻き補強したコンクリート柱の測定圧縮強度、である。補強設計での使用を想定し、破断強度 f_{uj} は材料試験による平均値から標準偏差の3倍を引いた値(14000 kgf/cm²)とし、破断ひずみ ϵ_{uj} は破断強度 f_{uj} を弾性係数で除して1.65%とした。

軸方向終局ひずみ ϵ_{cu} の実験値とPriestleyらの方法による計算値とを図4に示す。円柱の1巻きでは実験値は計算値の60%程度に留まり、Priestleyらの方法は危険側の評価となった。円柱の3巻きおよび角柱ではコンクリート強度、寸法に関係なく計算値と実験値とがほぼ一致した。これより角柱についてはPriestleyらの計算式を用いてガラス繊維シート破断時の軸方向終局ひずみを適切に評価できる。ただし断面が400×400mmの大きい角柱では1巻きおよび3巻きの計算値が実験値よりもそれぞれ11%および7%大きくなったため、Priestleyらの計算式を実大の角柱に用いた場合には危険側の評価となる可能性がある。

4. まとめ (1) ガラス繊維シート破断時の横ひずみはシート単独の破断ひずみ(1.7~2.1%)とほぼ同じであった。(2) Manderらの提案する円柱の圧縮強度増大率は実験値を1.1~1.5倍過大評価した。Parkらの提案する角柱の圧縮強度増大率にガラス繊維の実応力を用いることで実験結果を適切に評価できた。(3) Priestleyらの方法によって求めた軸方向終局ひずみは円柱では補強量が少ないときに実験結果を過大に評価したが、それ以外の円柱および角柱で

は実験結果とほぼ一致した。

謝辞 本研究は昭和高分子(株)との共同研究である。ご助言を賜った青山博之東京大学名誉教授、細川洋治博士(前田建設工業)、大田勤氏(堀江建築工学研究所)、前田匡樹横浜国立大学助教授に深謝する。

参考文献 [1] Mander, J.B., M.J.N. Priestley and R. Park: Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol.114, No.8, August, 1988, pp.1804-1826. [2] Park, R., M.J.N. Priestley and W.D. Gill: Ductility of Square-Confined Concrete Columns, ASCE, Journal of the Structural Division, Vol.108, No. ST4, April, 1982, pp.929-950. [3] Scott, B.D., R. Park and M.J.N. Priestley: Stress-Strain Behavior of Concrete Confined by Overlapping Hoops at Low and High Strain Rates, ACI Journal, Jan.-Feb., 1982, pp.13-27. [4] 中塚 佑: コンクリートの応力度-ひずみ度特性とコンクリート曲げ部材の終局域特性に関する基礎的研究、大阪大学学位論文、1988年。 [5] M.J.N. Priestley, F. Seible and G.M. Calvi: Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, Inc., 1996.

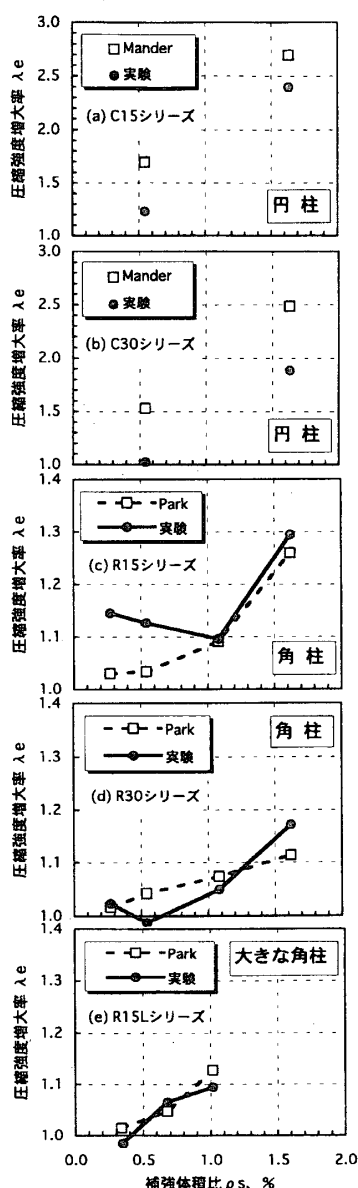


図3 圧縮強度増大率 λ_e

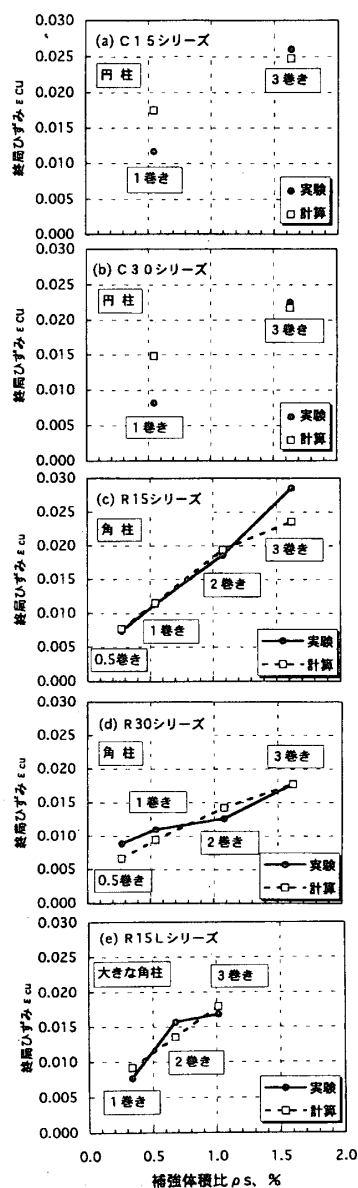


図4 軸方向終局ひずみ ϵ_{cu}

*1 東京都立大学大学院工学研究科助教授・工博
*2 東京都立大学大学院工学研究科助手・工修
*3 森ビル・工修

*1 Associate Professor, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University, Dr.Eng.
*2 Research Associate, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University, Ms.Eng.
*3 Mori Building, Ms.Eng.