

人工軽量骨材コンクリートの応力-ひずみ関係に関する研究

九州大学大学院 正会員 Ha Ngoc Tuan 九州大学大学院 フェロー 大塚久哲
 国土交通省 正会員 光武孝弘 (株)長大 正会員 秋元 泰
 建設業協会九州支部 正会員 吉村 徹 九州大学大学院 正会員 矢葺 亘

1. はじめに

人工軽量骨材コンクリートを利用すると、(1)慣性力低減による構造物全体としての耐震性の向上、(2)基礎構造の縮小化などに利点を有するため、工期短縮・経済性向上となるものと期待されている。ただし、それらの利点を十分発揮し、かつ耐震安全性を確保するためにはコンクリート材料としての基礎物性値の把握が必要である。そこで本研究では、部材のモデル化および耐震性能評価を行うために必要な、拘束効果を考慮した軽量コンクリートの応力-ひずみ曲線の提案を行った。

2. 実験概要と実験結果

(1) シリンダー実験

本研究では、膨張頁岩系の人工軽量骨材(粗骨材)を利用したコンクリートを使用した。配合強度20, 30, 40N/mm²の3種類のテストシリンダーを対象とし、実験を行った。表-1に示すように実強度はすべて、配合強度を上回っている。また引張強度は圧縮強度の1/17から1/18であった。ヤング係数は同強度の一般的な普通コンクリートの約60%であった。また表-2および図-1に圧縮強度-ヤング係数に関する実験結果を示す。図-1より、圧縮強度とヤング係数には、以下のような関係があることが明らかになった。

$$E_c = 0.15f'_c + 12.64 \quad (1)$$

E_c : 軽量コンクリートヤング係数(kN/mm²)

f'_c : 軽量コンクリート圧縮強度(N/mm²)

(2) 中心軸圧縮実験

a) 実験概要

供試体一覧を表-3に示す。主鉄筋SD295D6の8本を配置した20x20cm正方形断面を有する高さ60cmの柱とした。帯鉄筋(SD295D6)間隔を変えた6ケース(普通コンクリートは3ケース)(体積比 $s_s = 0\% \sim 2.51\%$)について荷重とひずみを計測した。配合強度40N/mm²に対する合計6体の軽量コンクリートをDシリーズ、3体の普通コンクリートをEシリーズ、同様に配合強度30N/mm²に対して、FシリーズとGシリーズと呼ぶ。5000kN圧縮試験機を使用し、荷重は変位制御による単調一軸圧縮とし、荷重速度は毎分0.1mmとした。

b) 実験結果

図-2,3のD,EシリーズとF,Gシリーズの実験結果を通して、次のことが分かった。軽量コンクリートは普通コンクリートと比較して、横拘束筋による最大応力時のひずみの増加が少ない。強度が

表-1 シリンダー試験結果

| 配合強度 (N/mm ²) | 圧縮強度 (N/mm ²) | 引張強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (x10 ⁴ N/mm ²) | 単位質量 (kg/m ³) |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---|---------------------------|
| 20 | 30 | | 1.7 | |
| 30 | 43.81 | 2.48 | 1.83 | 1910 |
| 40 | 54.35 | 2.99 | 2.03 | 1910 |

表-2 ヤング係数実験結果

| セメント | W/C | 圧縮強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (kN/mm ²) |
|------|-----|---------------------------|-----------------------------|
| 早強 | 30 | 54.1 | 20.7 |
| | 35 | 52.8 | 20.4 |
| | 40 | 43.8 | 18.3 |
| 普通 | 40 | 48.6 | 20.4 |
| | 45 | 41.4 | 19 |
| | 50 | 37 | 18.8 |
| 低熱 | 40 | 42.4 | 19 |
| | 45 | 40 | 18.9 |
| | 50 | 27.2 | 16.4 |

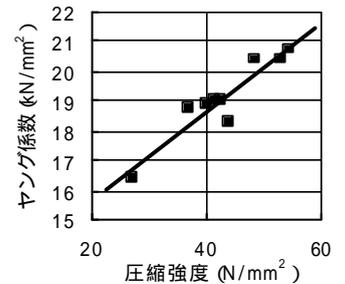


図-1 圧縮強度 ヤング係数関係

表-3 中心軸圧縮実験供試体一覧

| 供試体名前 | 断面形状 高さ (cm) | コンクリート | | 帯鉄筋 | | | |
|-------|-----------------|--------|------------------------------------|---------------|-----------------------------|---------|-------------|
| | | 種類 | 無拘束強度 (配合強度) (kN/mm ²) | 記号 直径 (mm) | s_y (kN/mm ²) | 間隔 (mm) | 体積比 s (%) |
| D1 | 20x20 50 | 軽量 | 54.66 (40) | SD295 D6 | 344 | 30 | 2.51 |
| D2 | | | | | | 45 | 1.81 |
| D3 | | | | | | 60 | 1.15 |
| D4 | | | | | | 90 | 0.69 |
| D5 | | | | | | 120 | 0.46 |
| D6 | | | | | | 450 | 0.00 |
| E1 | 20x20 50 | 普通 | 39.87 (40) | SD295 D6 | 344 | 45 | 1.81 |
| E2 | | | | | | 60 | 1.15 |
| E3 | | | | | | 90 | 0.69 |
| F1 | 20x20 50 | 軽量 | 37.12 (30) | SD295 D6 | 344 | 30 | 2.51 |
| F2 | | | | | | 45 | 1.81 |
| F3 | | | | | | 60 | 1.15 |
| F4 | | | | | | 90 | 0.69 |
| F5 | | | | | | 120 | 0.46 |
| F6 | | | | | | 450 | 0.00 |
| G1 | 20x20 50 | 普通 | 29.10 (30) | SD295 D6 | 344 | 45 | 1.81 |
| G2 | | | | | | 60 | 1.15 |
| G3 | | | | | | 90 | 0.69 |

キーワード 軽量コンクリート, 中心軸圧縮実験, 応力-ひずみ, 耐震安全性

連絡線 〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学大学院建設システム工学専 TEL.092-642-3268

下がれば最大応力時のひずみが小さくなる。上昇領域で
 - 曲線は直線に近い。さらに目視より、体積比 s_s が1.1%までの軽量コンクリート供試体は最大応力度に達した後、脆性的な破壊をし、 s_s が1.8%-2.5%の供試体も、普通コンクリートの供試体と比較すると破壊の速度が速い。

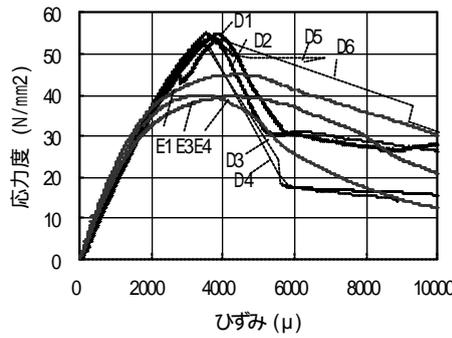


図 2 応力 ひずみ曲線(40N/mm²)

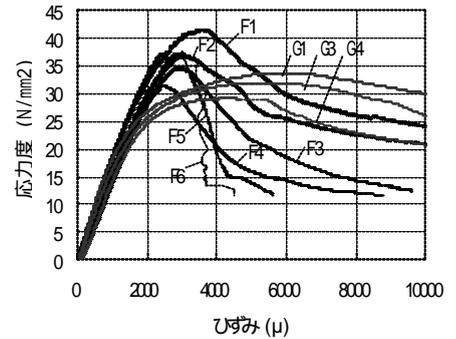


図 3 応力 ひずみ曲線(30N/mm²)

3. 応力 - ひずみ曲線のモデル化

現在、道路橋示方書¹⁾においては、応力-ひずみ曲線を次式で表している。

$$f_c = E_c e_c \left\{ 1 - \frac{1}{n} \left[\frac{e_c}{e_{cc}} \right]^{n-1} \right\} \quad (0 < e_c < e_{cc}) \quad (2)$$

$$f_c = f_{cc} - E_{des} (e_c - e_{cc}) \quad (e_c > e_{cc}) \quad (3)$$

ここに、 $n = \frac{E_c e_{cc}}{E_c e_{cc} - f_{cc}}$ 、 $e_{cu} = e_{cc} + \frac{f_{cc}}{2E_{des}}$

f_{cc} : 最大圧縮応力 (N/mm²)、 e_{cu} : 最大応力時のひずみ、 e_{cc} : 終局ひずみ、 E_c : ヤング係数 (N/mm²)
 本研究もこの手法を参考に、式中の f_{cc} 、 e_{cc} および E_{des} と横拘束鉄筋の効果との関係を、実験結果の回帰分析より提案した。図 - 4 ~ 6 に f_{cc} 、 e_{cc} および E_{des} と拘束効果との関係の実験結果を示す。 f_{c0} を無筋供試体強度、 s_{sy} を帯鉄筋体積比とすれば、これらの関係は次式のように表すことができる。また式(6a)と式(6b)はそれぞれ配合強度40kN/mm²と30kN/mm²の供試体の下降領域の勾配に対応する。

$$f_{cc} = 0.945 f_{c0} + 0.43 r_s s_{sy} \quad (4) \quad E_{des} = 15786 - 662130 \frac{r_s s_{sy}}{s_{ck}^2} \quad (6a)$$

$$e_{cc} = 6.229 \times 10^{-5} f_{c0} + \frac{0.00453 r_s s_{sy}}{f_{c0}} \quad (5) \quad E_{des} = 11673 - 1267200 \frac{r_s s_{sy}}{s_{ck}^2} \quad (6b)$$

4. 既往モデルとの比較とまとめ

図 - 7および図 - 8に実験結果と本提案式(道示式(星隈²⁾)、Kent and Park³⁾式の比較を示す。 f_{cc} 、 e_{cc} 、 E_{des} 等の算出に、普通コンクリートのパラメータを用いた道示式、Kent and Park式は実験値との差が大きいが、提案式は実験結果を精度よく表現している。本研究で道路橋示方書を参考に横拘束筋による拘束効果を考慮した軽量コンクリートの応力 - ひずみモデルを提案した。提案式は実験結果を精度よく表現できた。また下降領域に関しては実験に則

した形で配合強度別に E_{des} を提案した。ただし、先述の脆性的な破壊特性を考慮し、終局点の決定には注意を要する。
 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説：V 耐震設計編，1996年12月
- 2) 星隈，川島，長屋：鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査に用いるコンクリート応力-ひずみ関係：土木学会論文集 No. 520/V-28, 1-11, 1995. 8
- 3) Kent, D.C and Park, R.: Flexural member with confined concrete, J. Struct. Div., ASCE, Vol. 97, No. 7, pp1969-1990, 1971
- 4) 大塚，塚原，中尾，左東：人工軽量骨材を用いた高強度軽量コンクリートのポンプ圧送性に関する検討：土木学会論文集 Vol. 41, No. 12, 2003. 12

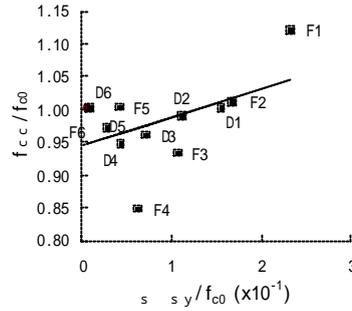


図 4 最大応力 - 拘束効果関係

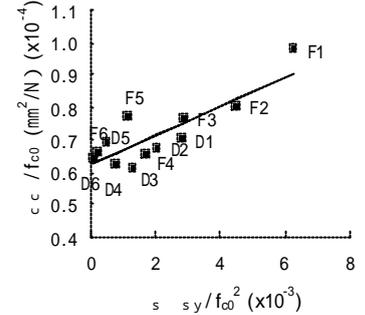


図 5 最大応力時点のひずみ - 拘束効果関係

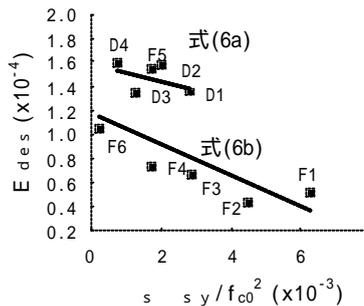


図 6 下降勾配 - 拘束効果関係

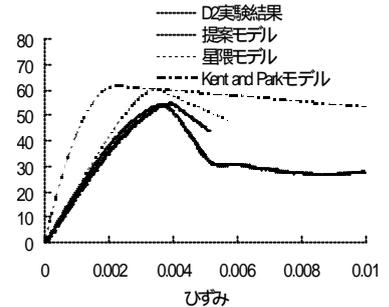


図 7 既往のモデルと比較 (D2 供試体)

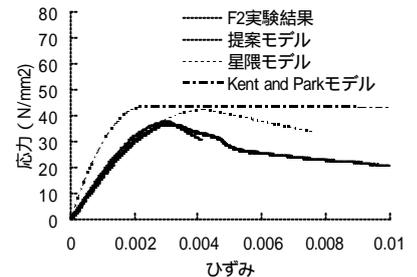


図 8 既往モデルと比較 (F2 供試体)