

I-48

 $\sigma - \varepsilon$ 関係の異なる非結合部材の圧縮時の挙動について

苫小牧高専 正員 近藤 崇

苫小牧高専 正員 澤田 知之

正員 能町 純雄

1. はじめに

柱部材の耐力の算定, 評価を行う際にコンクリート, 鉄筋の応力-ひずみ関係のモデル化, 偏心軸圧縮力による曲げモーメント, 軸力-曲げモーメント, 曲率-曲げモーメントの関係など様々な状態に対する検討を行っている. この様に柱部材の耐力評価における解析には複雑な要素が含まれており, 多くの研究者によって耐力式の検討や評価方法が検討されている. また, 部材中の軸方向鉄筋比を変化させて行った実験, 帯鉄筋スパイラル筋の数, 巻き数或いは形状を変えて実験を行ったもの, コンクリートの拘束効果による強度および, ひずみ特性の研究も行われている.

既に行った筆者らの報告¹⁾では, 応力-ひずみ関係の異なる2部材に同時に圧縮力を載荷した場合, 両者の荷重分担は一定とはならず, 時間と共に変化するという結果が得られている. これにより, 2部材の強度, 断面積比の違いによって, 独立で行った圧縮時の挙動や破壊に至るまでの荷重-ひずみ関係の経路や破壊状況などと異なる可能性があると思われる. 本研究は, モルタルおよび PC 鋼棒の2部材を使用した圧縮実験を行い, 個々に行った実験結果より得られた材料係数を用いた単純累加強度式による解析結果と同時に圧縮力を載荷した際の挙動を計測し得られた結果を比較し, 2種類の実験の載荷時における荷重-ひずみ関係, 材料係数, および PC 鋼棒の軟化開始点の変化などの検討について報告するものである.

2. 理論および解析方法

本研究では, モルタルの応力-ひずみ関係を図1, 式(1)に示す3次の非線形構成式である Duffing 型応力-ひずみ関係とし, PC 鋼棒の応力-ひずみ関係は, 弾性域・軟化域・降伏荷重以降の3つに場合分けをした図2, 式(2)として解析を行う. また, 複合部材とした場合の荷重-ひずみ関係は, 単純累加強度式として式(3)より求める.

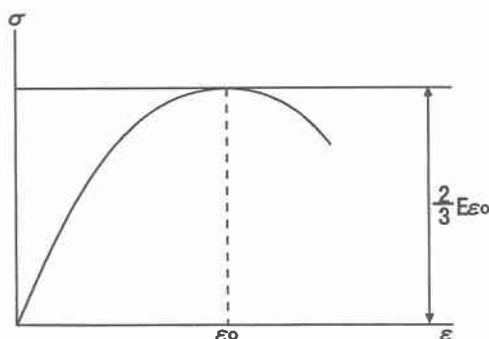


図-1 Duffing型応力-ひずみ関係

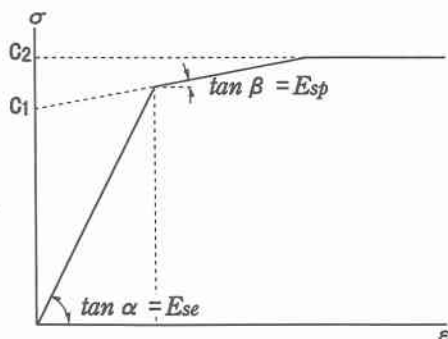


図-2 PC鋼棒の応力-ひずみ関係

Study on Behavior of Non-unite Members with Different Stress-Strain Relation on Compressive Load.
by Takashi KONDO, Tomoyuki SAWADA and Sumio G.NOMACHI

$$\sigma_c = E_c \left(\varepsilon_c - \frac{\varepsilon_c^3}{3\varepsilon_0^2} \right) \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{se} &= E_{se} \cdot \varepsilon_{se} \\ \sigma_{sp} &= E_{sp} \cdot \varepsilon_{sp} + C_1 \\ \sigma_{symp} &= E_{symp} \cdot \varepsilon_{symp} + C_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$P_{rc} = A_c E_c (1 + pn) \left\{ \varepsilon - \frac{\varepsilon^3}{3\varepsilon_0^2 (1 + pn)} \right\} \quad (3)$$

ここで、 $pn = \frac{A_s}{A_c} \cdot \frac{E_s}{E_c}$ 、 ε_c ：コンクリートのひずみ、 ε_0 ：コンクリートの最大応力発生時のひずみ、

A_s ：鋼材の断面積、 A_c ：コンクリートの断面積、 E_s ：鋼材の弾性係数、 E_c ：コンクリートの弾性係数、また、式(2)における添え字は、 se ：弾性域、 sp ：軟化挙動時、 $symp$ ：降伏点以降を示し、 C_1 ：軟化挙動時の y 切片、 C_2 ：降伏点以降の y 切片である。

また、今回行った実験では $\varepsilon_c \neq \varepsilon_s$ であり $\Delta l_c = \Delta l_s$ となることより式(3)を式(4)として解析を行った。

$$P_{rc} = A_c E_c (1 + pn) \left\{ \varepsilon - \frac{h \cdot \varepsilon}{h \cdot pn + 1} - \frac{\varepsilon^3}{3\varepsilon_0^2 (1 + pn)} \right\} \quad (4)$$

ここで、 $h = \frac{l_c}{l_s}$ 、 l_c ：コンクリートの高さ、 l_s ：PC鋼棒の高さ

3. 実験方法

使用した供試体は、 $w/c=50\%$ 、養生日数 28 日間のモルタルとし、 $\phi 100\text{mm} \times \text{H}200\text{mm}$ の円柱体とした。荷重載荷は載荷容量 200tf の圧縮試験機を使用し、荷重制御により行った。実験において載荷荷重は、試験機からの荷重増加を毎秒 $2400 \pm 200\text{N}$ とした。

破壊緩衝装置は、図 3 に示した形状である。この装置は、上下の鋼製載荷板および 4 本の PC 鋼棒からなる檻状のものである。実験において PC 鋼棒の径を $\phi 26\text{mm}$ 、 $\phi 36\text{mm}$ の 2 種類を使用した。モルタルには高さの中央でひずみゲージを縦方向・横方向それぞれ裏表 2 枚ずつ、PC 鋼棒には、縦方向のひずみ測定用に高さの中央に 4 枚ずつゲージを添付した。

破壊緩衝装置内に供試体、球座、ロードセルを設置する。そして、万能試験機加圧板間に破壊緩衝装置を挿入し荷重載荷を行う。

本実験では、上記の実験以外に解析および挙動の検討のために、1)モルタルの単純圧縮実験、2)直径高さ比 1:2 で切り取った PC 鋼棒の圧縮実験、3)破壊緩衝装置の圧縮実験も行った。

4. 実験結果および考察

単純圧縮実験結果によるモルタルの応力-ひずみ関係を図 4；材料係数を表 1、破壊緩衝装置の柱

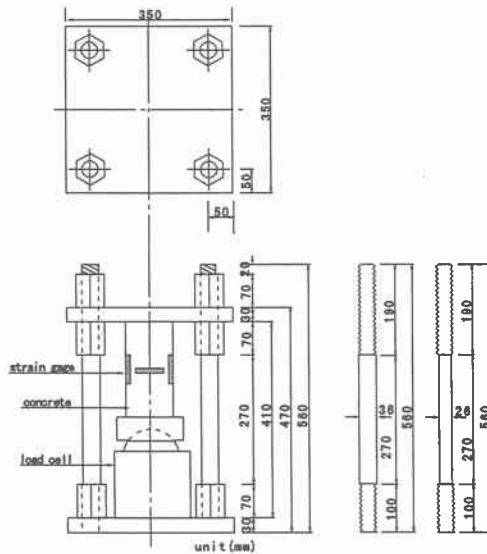


図 3 破壊緩衝装置

部分に用いた PC 鋼棒を $\phi 36\text{mm} \times \text{H72mm}$ で切り取り行った圧縮実験の結果を図 5，材料係数を表 2 に示す。図 4 より，これまでに行った実験結果同様実験値と理論値は相似的な関係を示している。図 5 より，PC 鋼棒の弾性域における弾性係数は，土木学会で示しているモデル化した応力-ひずみ関係²⁾と同様に圧縮時においても $E = 2.0 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$

($= 1.96 \times 10^5 \text{N/mm}^2$) に近い値となった。また，モデルでは PC 鋼棒の軟化開始点は $\epsilon = 0.0075$ 付近より発生し $\epsilon = 0.0015$ で降伏となるのに対し，実験結果では $\epsilon = 0.002$ 付近で軟化開始を示し， $\epsilon = 0.004$ を越えて

も降伏とはならなかった。これは，モデルが引張に対するものであるためであると考えられる。

破壊緩和装置のみで行った圧縮実験より得られた PC 鋼棒の結果を図 6 (a)，(b)，材料係数を表 3 に示す。図 6 より，PC 鋼棒の応力-ひずみ関係は，径に関わらず同様の形状を示している。図中の矢印および数値は軟化開始点を示している。図 5 と比較すると軟化開始点および軟化挙動時の弾性係数が大きく異なる結果となった。しかし， $\phi 16, 21, 31$ の 3 種類で行った結果においても同様の結果が得られていることから，破壊緩和装置のみで行った PC 鋼棒の材料係数は表 3 のようになるものと考えられるが原因についての検討は今後の課題とする。

破壊緩和装置の PC 鋼棒の径を変化させて行ったモルタルの圧縮実験より行った単純累加強度式による解析結果を図 7 に示す。図 7 において，矢印および数値は PC 鋼棒の軟化開始点を示す。ここで，軟化開始点の数値が図 6 に示した値と異なるのは図 7 において横軸はモルタルのひずみとしているため，PC 鋼棒のひずみは高さの関係から換算してプロットしたためである。この結果より，PC 鋼棒の軟化開始点が，単独で行った圧縮実験結果より早期に発生していることが確認された。実験結果より

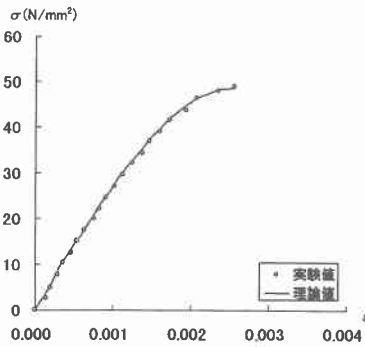


図 4 応力-ひずみ関係 (モルタル)

表 1 モルタルの材料係数

w/c	0.4	0.5
$\sigma_{max}(\text{N/mm}^2)$	55.800	49.500
$E(\text{N/mm}^2)$	2.949×10^4	2.770×10^4
ϵ_0	0.00290	0.00256

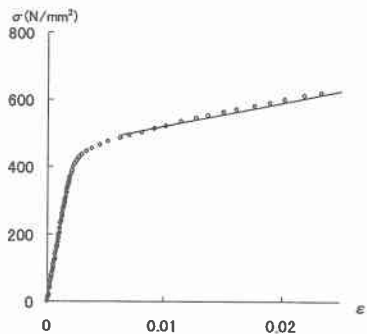
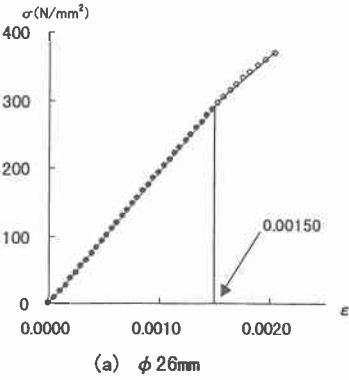


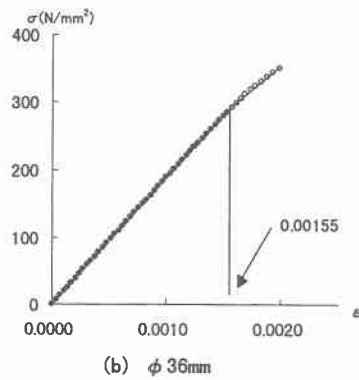
図 5 PC鋼棒の応力-ひずみ関係

表 2 PC鋼棒の材料係数

$E_{se}(\text{N/mm}^2)$	1.93×10^5
$E_{sp}(\text{N/mm}^2)$	0.70×10^5
y切片	449.96



(a) $\phi 26\text{mm}$



(b) $\phi 36\text{mm}$

図 6 PC鋼棒の応力-ひずみ関係

表 3 PC鋼棒の材料係数

PC 鋼棒の径	$\phi 26\text{mm}$	$\phi 36\text{mm}$
$E_{se}(\text{N/mm}^2)$	1.94×10^5	1.87×10^5
$E_{sp}(\text{N/mm}^2)$	1.45×10^5	1.43×10^5
y切片	76.000	68.473

得られた PC 鋼棒の軟化開始点に沿うように解析を行った結果を図 8 に示す。これにより、実験値と理論値は相似した関係を示した。

図 9、表 4 にモルタルの材料係数の変化を示す。この図より、最大応力および弾性係数は単純圧縮実験の結果より小さな値を示している。逆に、最大応力発生時のひずみは大きくなっている。これは、1)実験の際に試験機からの荷重が双方に分担されるために生じたもの、2)PC 鋼棒の径およびモルタルの強度等起因するものであると考えられる。しかし、現段階では実験数が少ないため増加・減少の割合などについては更に、検討が必要である。

5. まとめ

本実験結果より、 $\sigma - \epsilon$ 関係の異なる PC 鋼棒とモルタルに圧縮荷重を載荷すると単純圧縮実験より得られた結果と異なる挙動を示した。今後の課題として、実験数を増やすと共に、更に PC 鋼棒の径、モルタル・コンクリートの強度や性質を変化させた実験を行い挙動の変化の推定を進める予定である。

参考文献

- 1) Zdenek P. Bazant, Wei-Hwa Gu and K.T. Faber, Softening Reversal and Other Effects of a Change in Loading Rate on Fracture of Concrete, ACI Materials Journal, pp3-9, 1995
- 2) 例えば、小林和夫、コンクリート構造学、森北出版株式会社、1994
- 3) 星隈順一、川島一彦、長屋和宏、大型模型を用いた拘束コンクリート柱の圧縮載荷実験と応力-ひずみ特性の分析、土木技術資料 37-7, pp32-37, 1995
- 4) 近藤崇・澤田知之・能町純雄、単純累加強度式による柱部材の挙動の推定について、土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集 (I-A), pp348-349, 1998

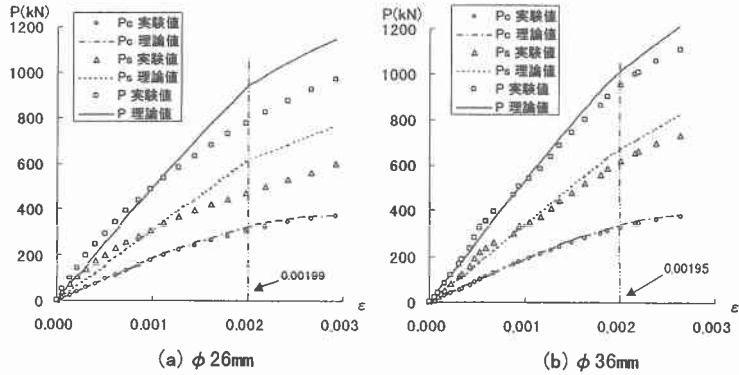


図 7 単純累加強度式による解析結果

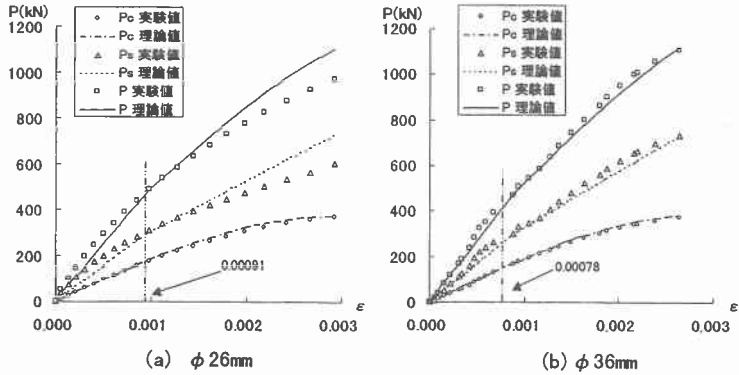


図 8 単純累加強度式による解析結果 (変更後)

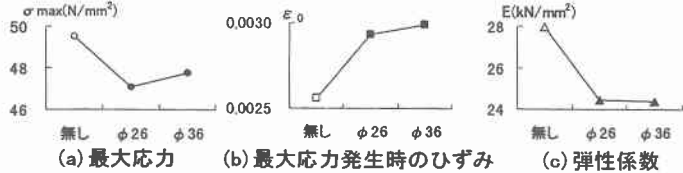


図 9 モルタルの材料係数の変化

表 4 モルタルの材料係数の変化

PC 鋼棒の径	σ_{max} (N/mm ²)	ϵ_0	E (N/mm ²)
無し	49.500	0.00256	27967
φ26mm	47.079	0.00293	24450
φ36mm	47.779	0.00299	24362