

単純累加強度式による柱部材の挙動の推定に関する実験的研究

近 藤 崇^{*}・澤 田 知 之^{**}・能 町 純 雄^{***}

Study on estimation of behavioral beam column
with simple superposed strength equation.

Takashi KONDO, Tomoyuki SAWADA and Sumio G. NOMACHI

要 旨

コンクリートと PC 鋼棒に軸圧縮力を載荷した場合における荷重、ひずみ、荷重分担過程を計測し、単純累加強度式による理論値と実験値の比較を行い双方の挙動の推定を行うことを目的とした。単純累加強度式において、コンクリートの応力-ひずみ関係は Duffing 型モデルを用い、PC 鋼棒では弾性域、軟化域、降伏荷重載荷以降の各場合分けをした応力-ひずみ関係モデルとした。

Abstract

Comparing with Analysis results by means of simple superposed equation, Experimental behavior of a concrete member united with PC steel bar is estimated in this paper.

It is also described that Duffing type of stress-strain relationship is applied to the concrete member and Linear stress-strain relation is put to the PC steel bar divided into three ranges, that is to say elastic, softening and after yield load each other.

1. ま え が き

通常、柱部材の耐力の算定、評価を行う際にはコンクリート、鉄筋の応力-ひずみ関係のモデル化、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。また、実構造物において中心軸圧縮部材は殆ど存在せず、施工時など多少に関わらず偏心が生じているためこのことも考慮する必要がある。このように柱部材の耐力評価における解析は、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。

近年の研究において、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は数多く行われている。また、コンクリートの拘束効果による強度、ひずみ特性の研究も行われている。

ここで、RC 柱部材において軸方向鉄筋に異形

鉄筋を用いることによるコンクリートとの付着が発生するが両者が荷重を分担し抵抗するという観点から進められている研究は、殆どないものと思われる。

これまでに行った一連の実験結果より、性質の異なる 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。つまり、複合部材を荷重制御による圧縮実験を行った場合、部材全体において載荷荷重の増加は一定であるが、個々の材料に着目すれば、その分担する割合が一定とはならないことになる。これにより、2 部材の強度、断面積比の違いによって、圧縮時の挙動や破壊に至るまでの荷重-ひずみ関係の経路などが異なる可能性があると思われる。

本研究では、破壊緩和装置を用いた 2 部材の圧縮実験を行い、得られた結果とコンクリートの応力-ひずみ関係を Duffing 型応力-ひずみ関係、鋼材の応力-ひずみ関係を 3 つの場合分けを行った線形関係からなる単純累加強度式による解析結果との比較検討を行うことを目的とした。

* 助 手 環境都市工学科

** 教 授 環境都市工学科

*** 名誉教授 北海道大学

2. 理論および解析方法

本研究では、コンクリートの応力-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、柱部材としての荷重-ひずみ関係は、単純累加強度として式(3)のように求める。

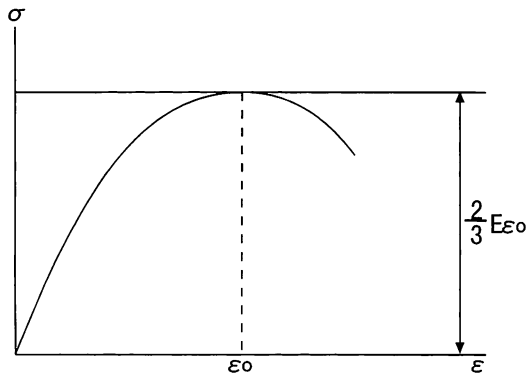


図1 Duffing型応力-ひずみ関係

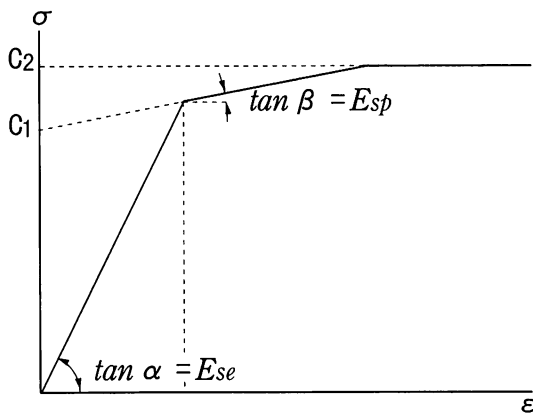


図2 PC鋼棒の応力-ひずみ関係

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

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

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

ここで、 ε_s : 鋼材のひずみ

ε_c : コンクリートのひずみ

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

ε_0 : コンクリートの最大応力発生時のひずみ

また、式(2)における添え字は、

se : 弾性域

sp : 軟化挙動時

syp : 降伏点以降

を示し、 C_1 、 C_2 はy切片である。

ここで、式(3)では $\varepsilon_c = \varepsilon_s$ としているが、今回の実験では $\varepsilon_c \neq \varepsilon_s$ となり、 $\Delta l_c = \Delta l_s$ となる。

そこで、式(4)の関係から式(5)が得られる。

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= \frac{\Delta l_c}{l_c} \\ \varepsilon_s &= \frac{\Delta l_s}{l_s} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 Δl_c : コンクリートの縮み

l_c : コンクリートの高さ

Δl_s : PC鋼棒の縮み

l_s : PC鋼棒の高さ

よって、

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_c l_c}{l_s} = \varepsilon_c \frac{l_c}{l_s} \quad (5)$$

となる。ここで、

$$h = \frac{l_c}{l_s} \quad (6)$$

として、式(3)を式(7)として解析を行った。

$$P_{rc} = A_c E_c (1 + pn) \left\{ \varepsilon - \frac{h \cdot \varepsilon}{h \cdot pn + 1} - \frac{\varepsilon^3}{3\varepsilon_0^2(1 + pn)} \right\} \quad (7)$$

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、 $\phi 100\text{mm} \times H200\text{mm}$ の円柱を用いた。荷重載荷は載荷容量200tfのアムスラー型万能試験機を使用し、荷重制御により行った。

破壊緩和装置は、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。今回の実験ではPC鋼棒に径を $\phi 26\text{mm}$ 、 $\phi 36\text{mm}$ の2種類を使用した。モルタル供試体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図4に示すように高さの中央に4枚ずつゲージを添付した。

破壊緩和装置内に、供試体、球座、ロードセルを図3のように設置する。そして、万能試験機加圧板間に破壊緩和装置を挿入し荷重载荷を行う。実験時にはモルタルおよびPC鋼棒のひずみをチェックし偏心荷重とならないように注意した。実験において、载荷速度は応力の増加が毎秒2400±200Nとする。圧縮応力は圧縮試験中に加えられた荷重を元断面積で除したものとして求める。

Duffing型応力-ひずみ関係において必要なパラメータである弾性係数Eは初期接線弾性係数と定義できるので、式(8)によって求める。

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon_{(\varepsilon=0)}}$$

(8)

ここで、E：初期接線弾性係数 (N/mm²)

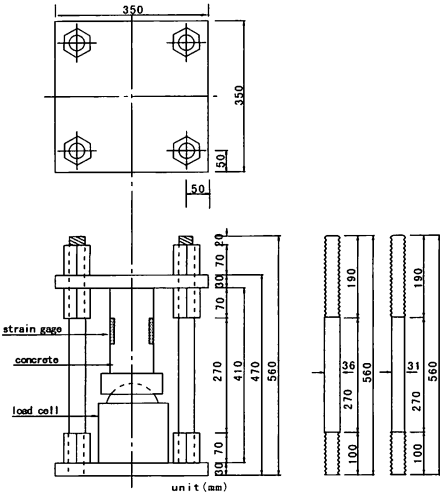


図3 破壊緩和装置

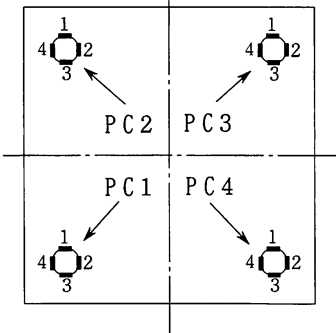


図4 PC鋼棒のひずみゲージ添付箇所

4. 実験結果および考察

破壊緩和装置の柱となっているPC鋼棒および

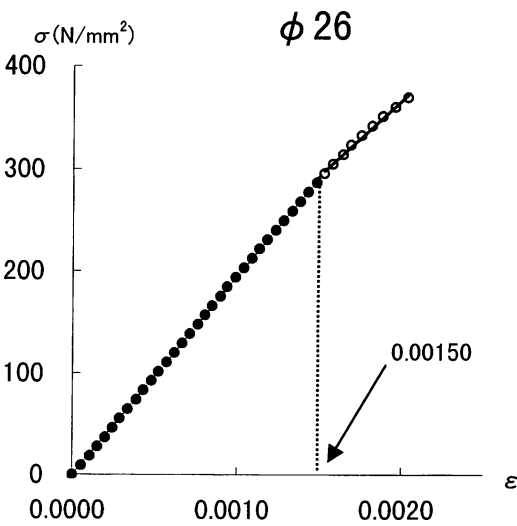


図5 PC鋼棒の圧縮実験結果(φ26mm)

表1 PC鋼棒の材料係数(φ26mm)

E_{se}	1.94×10^5	(N/mm ²)
E_{sp}	1.45×10^5	(N/mm ²)
y切片	76.000	(N/mm ²)

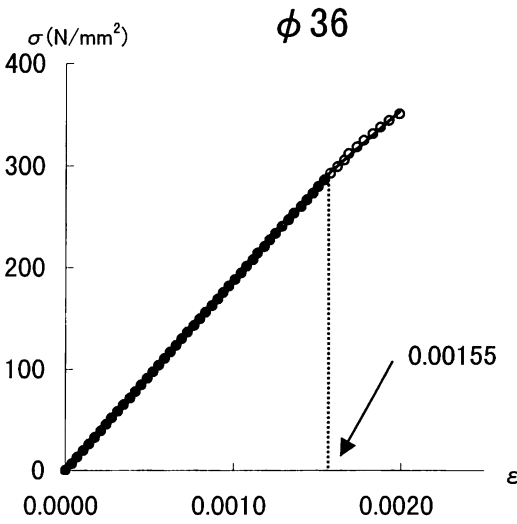


図6 PC鋼棒の圧縮実験結果(φ36mm)

表2 PC鋼棒の材料係数(φ36mm)

E_{se}	1.87×10^5	(N/mm ²)
E_{sp}	1.43×10^5	(N/mm ²)
y切片	68.473	(N/mm ²)

供試体として用いたモルタルの特性を得るため個々に圧縮実験を行うこととした。

PC鋼棒の圧縮実験の結果を図5, 6, 材料係

数を表1, 2に示す。この結果より, PC 鋼棒は径に関わらず弾性域, 軟化後の弾性係数および軟化開始点は, ほぼ同様の値を示していることがわかる。

次に, モルタルの単純圧縮実験の結果を図7に材料係数を表3に示す。実験結果より, 単純圧縮実験において実験値と Duffing 型応力-ひずみ関係による理論値は相似した関係を示している。

以上の実験結果より求められた個々の材料係数

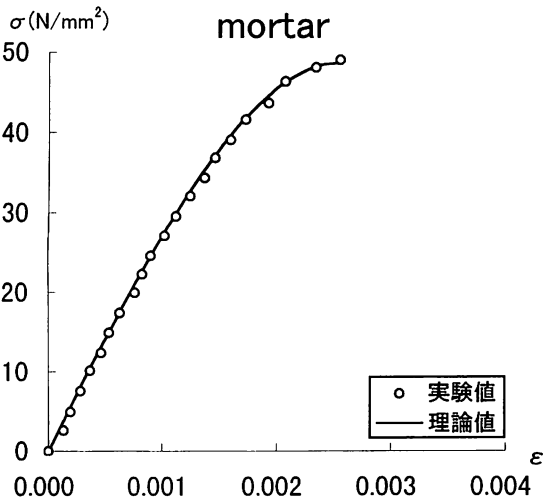


図7 モルタルの応力-ひずみ関係
(単純圧縮実験)

表3 モルタルの材料係数

最大応力 $\sigma_{max}(N/mm^2)$	49.500
弾性係数 $E(N/mm^2)$	2.7697×10^4
最大応力発生時のひずみ ε_0	0.00256

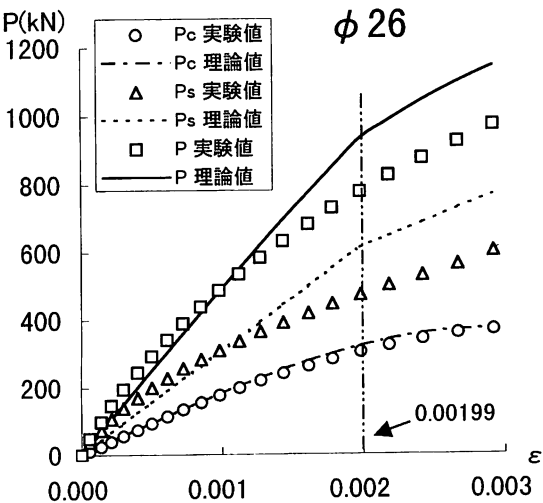


図8 単純累加強度式による解析結果
(PC 鋼棒 φ26mm)

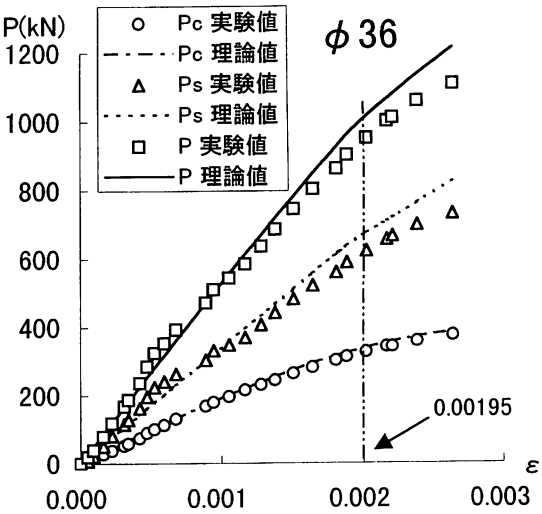


図9 単純累加強度式による解析結果
(PC 鋼棒 φ36mm)

を用いて破壊緩和装置を用いた圧縮実験を行い単純累加強度式による解析を行うこととした。

解析結果を図8, 9に示す。ここで, 破壊緩和装置のみで行った圧縮実験結果における PC 鋼棒の軟化開始点と解析結果における軟化開始点のひずみ値が異なっているのは, 2 節でも述べているように, 本実験においてモルタルと PC 鋼棒のひずみが異なることから, 解析結果ではモルタルのひずみ値を用いてプロットしているので, PC 鋼棒のひずみ値は高さ比よりモルタルのひずみ値に換算してプロットしたためである。

結果より, 実験値および理論値を比較すると, PC 鋼棒の軟化が早期に発生していることが確認された。実験結果より, PC 鋼棒の軟化発生箇所を求めると φ26mm の場合 $\varepsilon_c = 0.00070$ (換算後 $\varepsilon_c = 0.00091$) φ36mm の場合 $\varepsilon_c = 0.00060$ (換算後 $\varepsilon_c = 0.00078$) 付近であることが判明した。そこで, 実験結果より得られた PC 鋼棒の軟化開始点に沿うように解析した結果を図10, 11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。このことから, はじめに行った解析において実験値と理論値に生じている違いは, 部材の応力-ひずみ関係の仮定によるものではなく実験中に何らかの影響によるものであると推測できる。これまでに得られている実験結果を踏まえ考察すると実験の際に圧縮荷重が分担されることにより, 載荷速度の変化による影響, 両部材の断面積比, 弾性係数比や圧縮強度, 破壊形状による影響が双方に現れるためであると思われる。

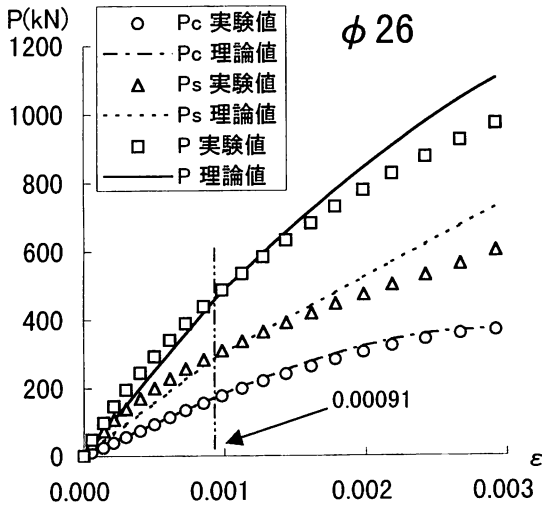


図10 軟化開始点変更後 (φ 26mm)

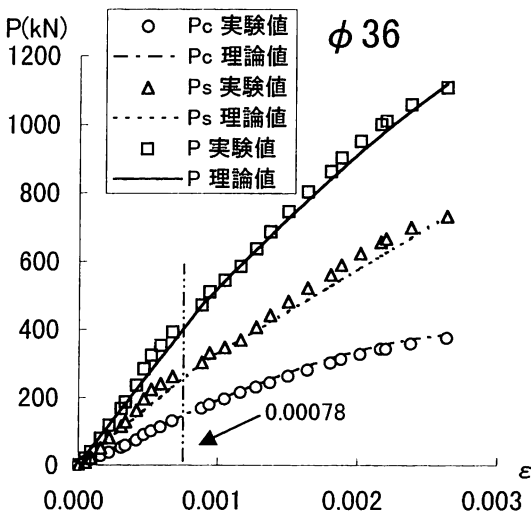


図11 軟化開始点変更後 (φ 36mm)

5. ま と め

前報における結果では荷重が両者に分担されることにより、コンクリートの載荷速度が低下し最大応力などの材料係数に影響が生じることを報告したが、今回の実験結果より PC 鋼棒においても影響が生じることが判明した。しかし、PC 鋼棒の軟化が早期に発生する原因は、載荷速度の変化によるものであるとも考えられるが、現段階では正確に把握するに至らなかった。これについては、今後も実験を行い解明する予定である。

本実験結果より、性質の異なる 2 部材に圧縮力を載荷した場合、荷重が分担されることにより両者が影響を受けることが判明した。今後、単純累

加強度式をこれらの影響を考慮したものに発展させることと共に両者の断面積比、弾性係数比などを変化させた実験を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 村田二郎・越川茂雄・富田嘉雄, コンクリートの応力-ひずみ曲線について, 土木学会第30回年次学術講演会講演概要集(V), pp195-196, 1975
- 2) 村田二郎・岩崎訓明, 新土木実験指導書, 技報堂出版, pp131-146, 1994
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 近藤崇・澤田知之・木田哲量・能町純雄, Duffing 型応力-ひずみ関係を有する非線形材料に関する実験的研究, 土木学会北海道支部論文報告集第53号(A), pp262-265, 1997
- 6) 近藤崇・澤田知之・木田哲量・能町純雄, 非線形特性を考慮した軸圧縮力を受ける RC 柱部材中におけるコンクリートの載荷速度に関する基礎実験, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集(1-A), pp162-163, 1997
- 7) 近藤崇・澤田知之・能町純雄・木田哲量, RC 柱部材の軸圧縮力に及ぼす載荷速度の影響について, 土木学会北海道支部論文報告集第54号(A), pp104-107, 1998
- 8) 近藤崇・澤田知之・木田哲量・能町純雄, RC 柱部材の圧縮強度と載荷速度に関する基礎実験, 苫小牧工業高等専門学校紀要第33号, pp137-142, 1998
- 9) 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(1-A), pp348-349, 1998

(平成10年11月30日受理)

