

圧縮軸力を受ける鉄筋コンクリート部材の軟化特性に関する研究

構造及びコンクリート工学分野 倉本 亘

Abstract

鉄筋コンクリート(以下, RC と称す)構造部材の変形性能を向上させるために, 帯鉄筋を適切に配置し, 曲げ圧縮部の靱性を増大することは重要である. 本研究では帯鉄筋配置間隔をパラメータとした RC 柱模型の中心圧縮載荷実験を行った. そして実験結果より, 主鉄筋及びかぶりコンクリートそれぞれの負担荷重の推定方法を示し, 全荷重との差としてコアコンクリートの軸圧縮力を推定し, コアコンクリートの軟化域までの応力ひずみ関係を示した. 一方, 数値解析により, 主鉄筋座屈がかぶりコンクリートの軸圧縮力負担分に大きな影響を及ぼすことをまず示した. さらに, ひずみ空間において定義された塑性ひずみ増分理論で定式化された構成則を用いて有限要素解析を行い, 従来の構成則と比較することで, ひずみ空間の意義とこの構成則モデルの有用性及び汎用性を示した.

1. はじめに

平成7年に発生した兵庫県南部地震以降, 構造物に適切な耐震性を確保するため, 鉄筋コンクリート(以下, RC と称す)柱部材の変形性能の向上が求められるようになった¹⁾. RC 柱部材の変形性能を向上させるためには, 曲げ圧縮部コンクリートの靱性を増大することが有効である. 側方膨張を拘束する具体的な手段として, 現在, 帯鉄筋やコンクリート充填鋼管部材などがある. これらを用いることで拘束効果が向上する(図-1). 拘束効果は, 図-2のように断面形状によって異なり, 角形断面においては, その隅角部, 側部, またコア中央部など断面内の位置によって異なることが知られている²⁾が, 寸法や配筋を因子とした拘束領域の拡がりは明瞭にされていない. さらには, かぶりコンクリートは主鉄筋座屈の影響を受けるため, プレーンコンクリートの挙動とは異なる.

しかし, これらを実験的に明らかにすることは困難であり, コアコンクリートの平均的な挙動として取り扱っているのが現状である¹⁾. かぶりコンクリートを含め,

拘束効果を厳密に評価できれば配筋構造細目にも合理的な根拠を与えることができる. そのためには解析的アプローチが有用であると考えられる.

解析的アプローチとして弾塑性構成則に関する研究はこれまでに種々の試みがなされており³⁾, ひずみ空間において定義された塑性増分理論で定式化された構成則モデルが有用であることが知られている.

本研究では, 拘束筋に通常用いられる異形鉄筋を使用し, 拘束圧の違いによる RC 柱部材の軟化挙動を把握するため, 帯鉄筋体積比をパラメータとした中心圧縮模型実験を行い, 全体挙動と着目する拘束効果に深く関与する帯鉄筋の挙動を明らかにしようとするものである. 加えて主鉄筋の挙動及び座屈の影響を受けるかぶりコンクリートの挙動や圧縮力負担を推定する. その後, 帯鉄筋で拘束されたコンクリート(以下, コア部)の応力ひずみ関係を明らかにしようとするものである.

また, 本研究では水野らが提案する構成則モデル⁴⁾を有限要素法へ組み込み, 実験結果を対象に, 拘束を受けるコンクリート部材の解析を行い, その汎用性の確認

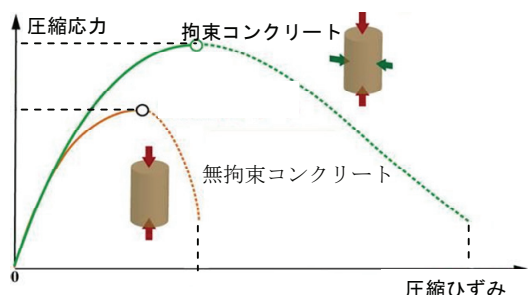
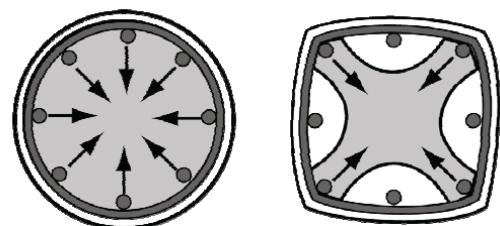


図-1 応力ひずみ関係



(a) 円形断面 (b) 角形断面

図-2 拘束効果(灰色が拘束領域)

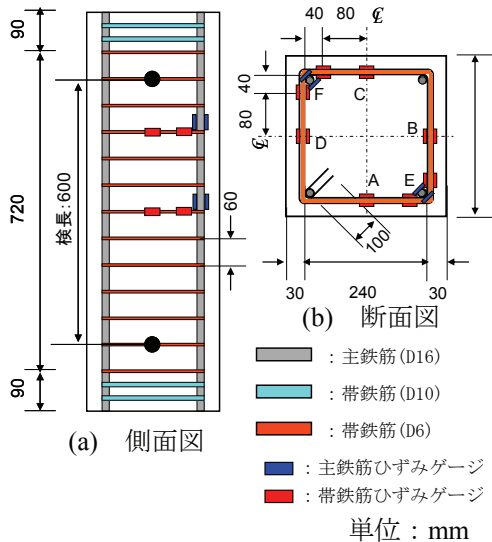


図-3 配筋図(S-60)

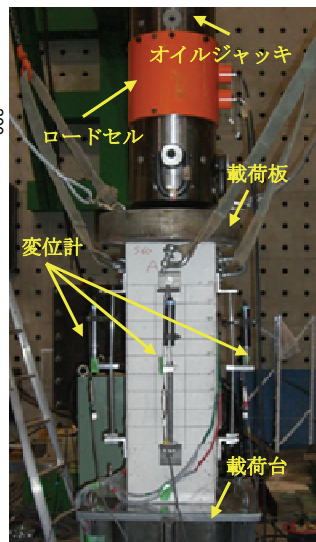


図-4 荷重装置概略図

表-1 供試体一覧

供試体名	寸法(mm)	帯鉄筋間隔 s (mm)	帯鉄筋体積比 ρ_s (%)
S-60	300×300×900	60	0.88
S-90		90	0.59
S-150		150	0.35

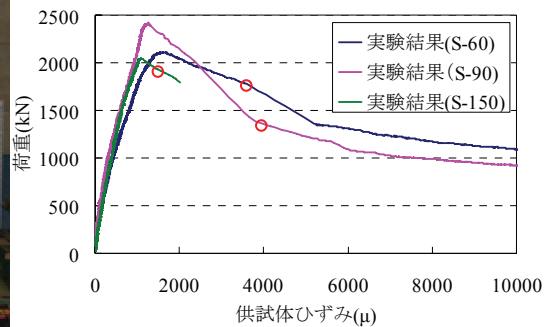


図-5 荷重ひずみ関係

を行う。更に、汎用モデル⁵⁾と比較し、ひずみ空間で定式化した構成則の有用性及び汎用性を検証する。

2. 圧縮荷重実験

2.1 実験概要

拘束圧の違いによる軟化挙動の比較を行うため、帯鉄筋間隔 s をパラメータとして正方形断面 RC 柱模型の中心圧縮実験を行った。供試体一覧を表-1に示す。供試体名は S-○の形で表記しており、○は帯鉄筋間隔(mm)を表している。図-3に示すように、主鉄筋には D16、帯鉄筋には D6 を使用した。供試体の対称性を考慮し、供試体上部と中央部の鉄筋にひずみゲージを貼付し、鉄筋の挙動を観察した(図-3(b))。供試体端面では、荷重板との間の摩擦がコンクリートの圧縮強度に影響を及ぼすことが知られている⁶⁾が、本研究では供試体の鉛直軸と荷重板との接触面とが直角するように研磨し、供試体と荷重板との間には摩擦を除去する例えば、テフロンシート等は挿入していない。しかし、図-3のように上下端を帯鉄筋よりも太径の D10 を用いて補強し、境界条件の影響を小さくするとともに、破壊が柱端部に集中しないようにした。

荷重は、最大容量 5000kN、ストローク長 800mm の試験機を用い、図-4に示すように、供試体の 4 側面に取り付けた変位計の平均変位の出力により制御した。本研究では標準的なテストピースの直径と高さの比が 1 : 2 であることから検長を 600mm とした。本研究で設定した検長は局所破壊が起こりうる範囲を包括する長さであり、観察により得られた局所破壊領域長さを用いることで一般化されると考えられる。しかし、局所破壊領域長さの決定は困難である⁷⁾ため、本研究では測定された変位を検長で割って供試体の軸方向のひずみとした。以降、このひずみを供試体ひずみと呼ぶ。

表-2 最大荷重と算定耐力

供試体名	最大荷重 (実験値) P_{max} (kN)	算定耐力 (全断面) P (kN)	算定耐力 (コア部) P^* (kN)	P_{max}/P	P_{max}/P^*
S-60	2108	2505	2103	0.84	1.00
S-90	2414	2575	2151	0.94	1.12
S-150	2042	2494	2078	0.82	0.98

2.2 実験結果

図-5に荷重ひずみ関係を示す。図中の赤丸は後述する。表-2に耐力の比較を示す。式(1)は最大耐力の算定において全断面を考慮し、式(2)は最大荷重時にて、かぶり部が剥離している様子が見受けられたため、かぶり部を除いたコア部のみを考慮したものである。

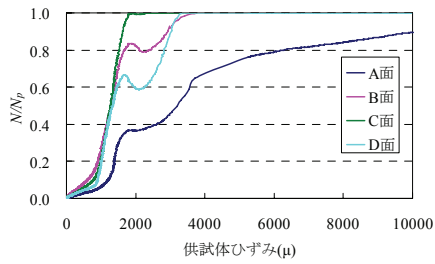
$$P = \sigma_{core} A_{core} + \sigma_{sy} A_{sl} + \sigma_{cover} A_{cover} \quad (1)$$

$$P^* = \sigma_{core} A_{core} + \sigma_{sy} A_{sl} \quad (2)$$

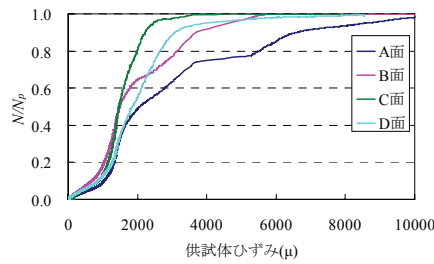
ここで、 σ_{core} : コア部の応力(N/mm²)、 A_{core} : コア部の断面積(mm²)、 σ_{sy} : 主鉄筋の降伏強度(N/mm²)、 A_{sl} : 主鉄筋の総断面積(mm²)、 σ_{cover} : かぶり部の応力(N/mm²)、 A_{cover} : かぶり部の断面積(mm²)であり、 σ_{core} は道路橋示方書¹⁾のものを準用した。

表-2 より最大荷重はコア部のみの算定耐力 P^* にほぼ一致した。ただし S-90 はひび割れが分散しており、他の 2 体よりもかぶり部が耐力を保持したため、荷重増加につながったと考えられる。

図-6(a)に帯鉄筋の中央部の軸力ひずみ関係、(b)に中央部の曲げひずみ関係、(c)に端部の軸力ひずみ関係、(d)に端部の曲げひずみ関係を示す。なお、(a)、(c)は縦軸には N (実験値から算出)と N_p (降伏軸力)との比、(b)、(d)縦軸には M (実験値から算出)と M_p (全塑性モーメント)との比をとって無次元化した。ひずみは図-5 と一致さ



(a) 軸力ひずみ関係



(c) 軸力ひずみ関係

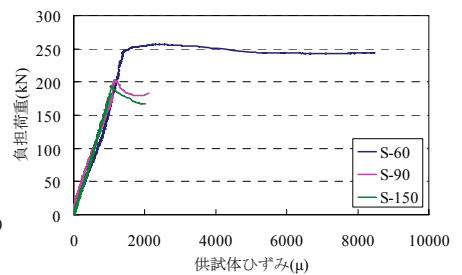
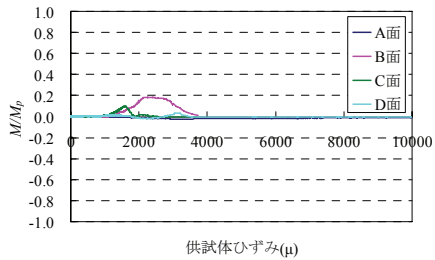
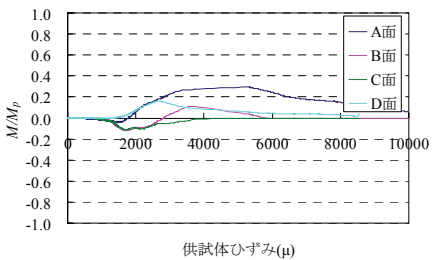


図-8 主鉄筋の荷重ひずみ関係



(b) 曲げモーメントひずみ関係



(d) 曲げモーメントひずみ関係

図-6 帯鉄筋(S-60)

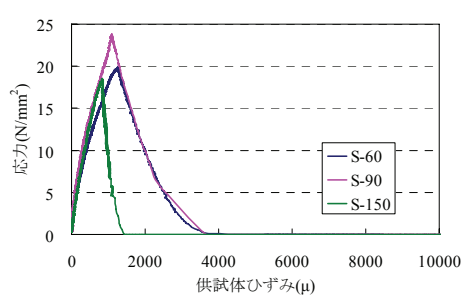


図-9 かぶり部の応力ひずみ関係

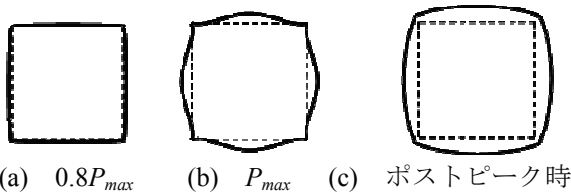


図-7 推定される帯鉄筋の変形図

せた. 図-6より, 曲げが増加し始める最大荷重の約80%程度からコア部の側方への膨張が始まり, それ以前は中央部及び隅角部ともに軸力の増加は小さく, 曲げはほとんど作用していなかった. その後の最大荷重時には, 中央部では軸力が急増する. 一方, 隅角部では中央部へ引っ張られるように軸力が働き, 負の曲げが生じた. 更に, 最大荷重以降はコア部の急激な側方膨張に伴い, 中央部及び隅角部ともに引張軸力が増加し, 中央部の降伏後, 隅角部も全断面降伏に達したと考えられる. 以上から推定される帯鉄筋の面内変形の様子を段階毎に図-7に示す.

主鉄筋は帯鉄筋と同様に, 図-3(a)の位置でのひずみ測定値から軸力を算出し, 主鉄筋の負担荷重とした. 図-8に主鉄筋の負担荷重ひずみ関係を示す.

かぶり部の負担荷重は最大荷重に到達するまではコア部と一体となって荷重を負担し, その後は主鉄筋の外側への座屈により押し出され, 徐々に負担荷重分が小さくなるとした. 上昇域は式(3), (4)で, 下降域は最大荷重到達点をかぶりコンクリートの負担荷重が減少し始める点と仮定し, 浮き上がりが目視により確認された点(図-5 中赤丸)をかぶり部の見かけの終局ひずみと定める. この間を2次曲線変化しながら荷重低下すると仮定した. 図-9にかぶり部の応力ひずみ関係を示し, これにかぶり部の断面積をかけて負担荷重とした.

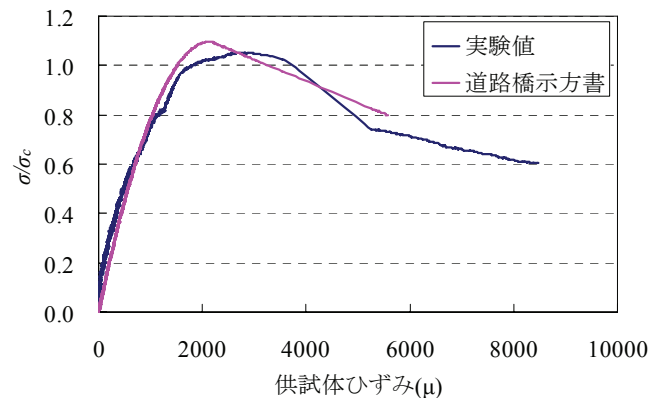


図-10 推定されるコア部の応力ひずみ関係(S-60)

$$P_c = P_{ex} - P_{rebar} \quad (3)$$

$$P_{cover} = P_c \left[\frac{A_{cover}}{(A_{core} + A_{cover})} \right] \quad (4)$$

ここで, P_c : コンクリート負担荷重(kN), P_{ex} : 実験荷重(kN), P_{rebar} : 主鉄筋負担荷重(kN), P_{cover} : かぶりコンクリート負担荷重(kN), A_{core} : コア部の断面積(mm²), A_{cover} : かぶりコンクリートの断面積(mm²)である.

実験結果から主鉄筋及びかぶり部の負担荷重を引くことでコア部の負担荷重を求め, それをコア部の断面積で除することでコア部の応力とした. 以下にその算定式を示す.

$$P_{core} = P_{ex} - P_{rebar} - P_{cover} \quad (5)$$

$$\sigma_{core} = P_{core} / A_{core} \quad (6)$$

ここで, P_{core} : コア部の荷重(kN), σ_{core} : コア部の応力(N/mm²)である.

上述の手法の妥当性を検討するため, コア部の応力ひずみ関係を設計用値¹⁾と比較した(図-10). なお, 図-10の縦軸は一軸圧縮強度で無次元化した.

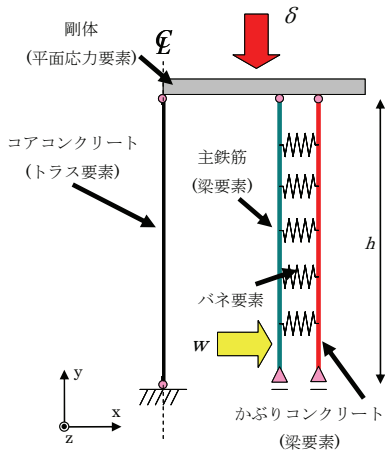


図-11 はりとトラス要素によるマクロモデル

図-10 より、両応力ひずみ関係の整合性が認められた。最大応力は、設計値よりも増加率は小さく、最大応力到達ひずみは設計値に比べ約 1.5 倍大きくなった。ポストピーク域では実験値、設計値ともに同様の挙動を示した。他の供試体では、S-90 は設計値と同様の挙動を示したが、S-150 はピーク後の測定値が不十分であったため、ピーク後の挙動を評価することができなかった。

以上より、推定したコア部の応力ひずみ関係は道路橋示方書が提示するものと対応しており、ここで示した手法の妥当性が認められた。

3. 解析による評価

3.1 はりとトラス要素によるマクロモデル

3.1.1 解析概要

解析モデルは図-11 に示すモデルを用いた。解析パラメータは表-3 に示すように主鉄筋の中央たわみである。解析 A は初期不整量に規定値¹⁾を与えて単純支持柱の軸方向一軸圧縮解析をした予備解析の結果であり、解析 B は主鉄筋の応力ひずみ関係が実験に対応するよう中央たわみを変化させて同様の予備解析から得られた結果である。材料構成則はコンクリートには修正 Ahmad モデル、鉄筋には完全弾塑性モデルとした。また主鉄筋とかぶり部の間に水平力のみを伝える接合要素を挿入し、主鉄筋によるかぶり部の押し出しを再現した。载荷は、モデル上端全節点に y 方向に強制変位(圧縮)を与えた。材料定数は実験時のものを用いた。

3.1.2 解析結果

図-12 にかぶり部の応力ひずみ関係、図-13 に主鉄筋の応力ひずみ関係を示す。図-13 より、主鉄筋の剛性は実験に比べ緩やかに低下する傾向がみられた。また、解析 A では実験時に得られた応力ほど負担しないという結果となった。かぶり部は、図-12 より、解析 B で

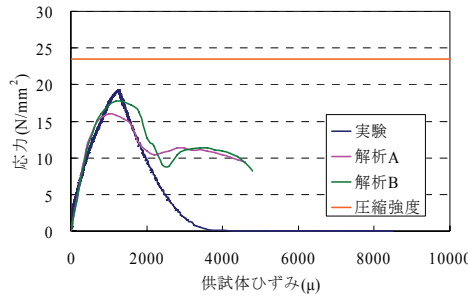


図-12 かぶり部の応力ひずみ関係

表-3 解析パラメータ

	中央たわみ量		
	S-60	S-90	S-150
解析A	2.30	5.40	11.99
解析B	1.50	4.00	11.00

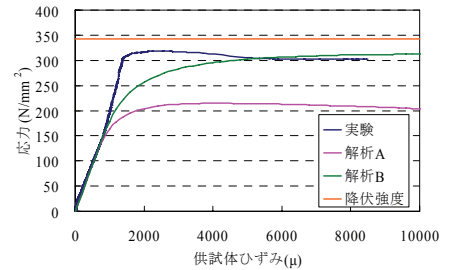


図-13 主鉄筋の応力ひずみ関係

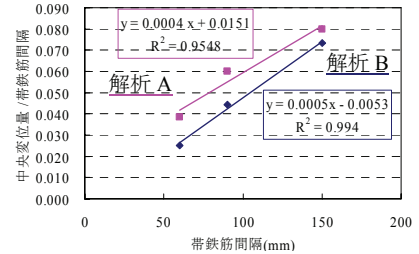


図-14 中央たわみ量と帯鉄筋間隔の関係

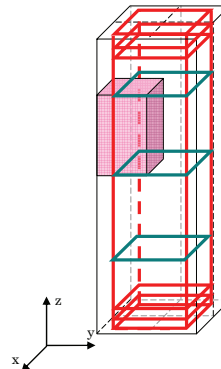


図-15 供試体概略図

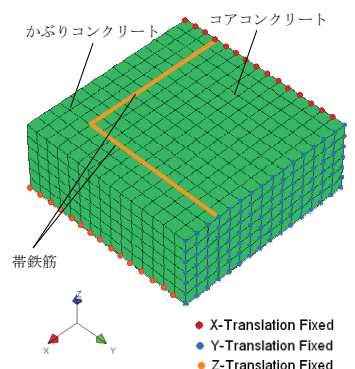


図-16 3次元モデル

は解析 A に比べ最大応力及び応力の軟化勾配ともに実験との整合性が見られた。図-14 に帯鉄筋間隔と中央たわみ量の関係を示す。図-14 より、帯鉄筋間隔の増加に伴い、中央たわみ量が線形で増加する結果を得た。また青線から求めた中央変位量を用いて解析を行う方が、実験結果を良好に評価できることが示された。

以上から、先に仮定したかぶり部の応力ひずみ関係の妥当性が示され、主鉄筋の押し出しによるかぶり部の応力低下が確認された。また鉄筋の座屈解析は初期不整量に対して非常に敏感に反応することが示された。

3.2 3次元モデル

3.2.1 解析概要

解析モデルは図-15 に示す供試体の一部を図-16 に示すようにモデル化した。解析パラメータは帯鉄筋間隔とした。マクロモデルと同様に、解析 A は規定値、解析 B は実験値に対応した中央たわみ量を用いて行った解析である。材料構成則はコンクリートは修正 Ahmad モデル、鉄筋は完全弾塑性モデルとした。図-16 のようにモデルに境界条件を与えることで対称性を満たしている。载荷は、モデル上端全節点に z 方向に強制変位

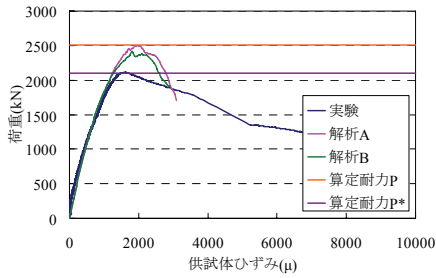


図-17 荷重ひずみ関係(S-60)

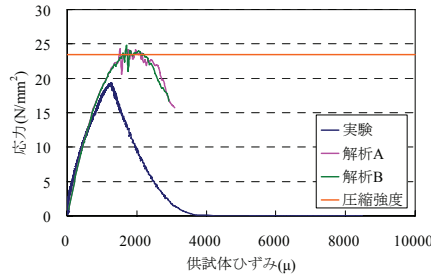


図-18 かぶり部の応力ひずみ関係 (S-60)

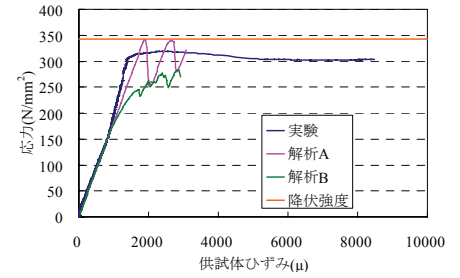


図-19 主鉄筋の応力ひずみ関係 (S-60)

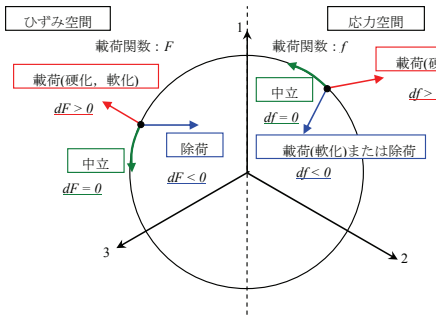


図-20 応力状態判定の相違

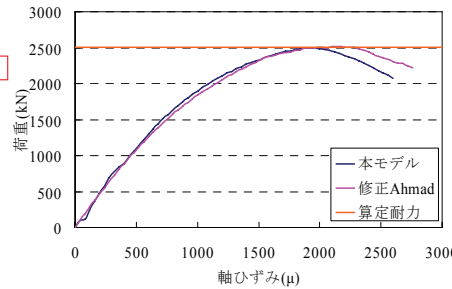


図-21 荷重ひずみ関係(S-60)

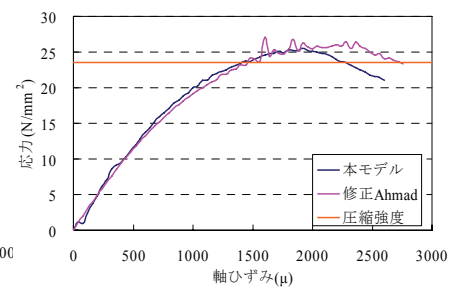


図-22 コア部の応力ひずみ関係 (S-60)

(圧縮)を与えた。

3.2.2 解析結果

図-17に荷重ひずみ関係、図-18にかぶり部、図-19に主鉄筋の応力ひずみ関係を示す。

図-17より、解析の最大荷重はかぶり部を含む算定耐力 P (式(1)参照)まで増加し、その後荷重低下が見られた。解析 A, B はともに、剛性に実験との整合性が見られたが、最大荷重は増加し、ポストピークでは急激な荷重低下となった。図-19より、解析 B の主鉄筋の応力は実験値よりも小さくなったが、その影響がかぶり部の応力ひずみ関係に反映されなかった(図-18)。その結果、全体の荷重ひずみ関係の荷重低下に影響を及ぼさなかったと考えられる。

以上から、全体挙動である荷重ひずみ関係には主鉄筋座屈による荷重低下よりもかぶり部の荷重低下が大きな影響を及ぼすことが示された。

4. ひずみ軟化解析

4.1 構成則モデル

本研究で用いた構成則モデルは、1977年に Lade が提案した構成則を基礎として、水野ら⁴⁾によりコンクリートの引張成分を考慮し、ひずみ空間において定式化された、ひずみ軟化を考慮できる構成則モデルである。応力空間とひずみ空間での荷重関数をそれぞれ f , F とすると、次式が書ける。

$$df = \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} d\sigma_{ij} \quad dF = \frac{\partial F}{\partial \varepsilon_{ij}} d\varepsilon_{ij} \quad (7)$$

式(7)で示す応力空間での荷重関数の増分 df は図-20で示すように、応力空間で弾塑性挙動を表すと、軟化は除荷と同一の式で判定する。一方ひずみ空間では、このような矛盾を生じなくなり、解析上有利となる。

本研究で用いる荷重関数 F と塑性ポテンシャル関数 G を以下に示す。

$$F = (\overline{AI_1} + a)^3 - \left[27 + f_p \left(\frac{P_a}{\overline{AI_1} + a} \right)^m \right] \left[\frac{(\overline{AI_1} + a)^3}{27} - \frac{1}{3} (\overline{AI_1} + a) \overline{BJ_2} + \overline{CJ_3} \right] = 0 \quad (8)$$

$$G = (\overline{AI_1} + a)^3 - \left[27 + \eta_2 \left(\frac{P_a}{\overline{AI_1} + a} \right)^m \right] \left[\frac{(\overline{AI_1} + a)^3}{27} - \frac{1}{3} (\overline{AI_1} + a) \overline{BJ_2} + \overline{CJ_3} \right] = 0$$

ここで、式中のパラメータは以下のようになる。

m : 降伏曲面の曲率. $m > 0$ のとき鐘型, $m = 0$ のとき円錐型, $m < 0$ のとき開口が広がる形

P_a : 大気圧

a : 静水圧軸上での引張方向への移動量 ($a > 0$)

f_p : 硬化及び軟化を示すパラメータ

$\overline{I_1}$: ひずみの第1不変量

$\overline{J_2}, \overline{J_3}$: 偏差ひずみの第2, 第3不変量

\overline{A} : $\overline{A} = 3K$ (K : 体積弾性係数)

\overline{B} : $\overline{B} = 4\mu^2$ (μ : せん断弾性係数)

\overline{C} : $\overline{C} = 8\mu^3$

本研究では、先立って行なった検討⁸⁾により得られたこれらのパラメータを用い、関連流動則を用い $F = G$ とし、この荷重関数を汎用ソフト FINAL99⁵⁾ にユーザーサブルーチンとして組み込み、先の3次元モデルを用いて有限要素解析を行なった。また、等価一軸の概念を用いて記述された従来モデル(修正 Ahmad モデル⁹⁾)と比較することで、本研究で用いたモデルの汎用性を確認した。

4.2 解析概要

本解析のモデル、境界条件、材料定数、載荷方法は3.2.1 のマイクロモデルと同じである。ただし、主鉄筋には2 節点トラス要素を用いて座屈を考慮していない。これは3.2.1 と同様の条件で解析を行なったが、ポストピーク以降の解を得ることができないケースが生じたため、不安定計算の一因である座屈を考慮せずに行ったからである。従って、実験結果との比較は本研究では行っていない。

4.3 解析結果

図-21 に荷重ひずみ関係、図-22 にコア部の応力ひずみ関係を示す。

図-21 より、本モデルは最大荷重以前では修正 Ahmad と同じ挙動を示し、算定耐力まで増加する傾向が見られた。しかし、修正 Ahmad モデルよりも早期に最大荷重に到達した。ポストピーク域では、両モデルで同様の挙動を示した。一方コア部では、図-22 より、本モデルは一軸圧縮強度よりも最大応力が上昇し、軟化勾配も修正 Ahmad モデルよりも顕著に表われた。また、本モデルはより安定した解が得られた。

以上の結果より、本研究で提案するモデルは拘束効果を表現することができ、十分に構成則として利用できる。また、従来のモデルよりも安定した解を得ることができる。ただし、本モデルは要素が3 軸圧縮状態にあるときのみ適用できるため、水平力を受ける柱部材の解析には注意が必要である。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に列記する。

- ・帯鉄筋の測定値から各載荷段階における帯鉄筋の面内変形状態を明らかにし、コアコンクリートへの拘束状態について言及した。
- ・主鉄筋とかぶり部の軸圧縮力負担を算定し、実験より得られた全荷重との差としてコア部の軸圧縮力を算

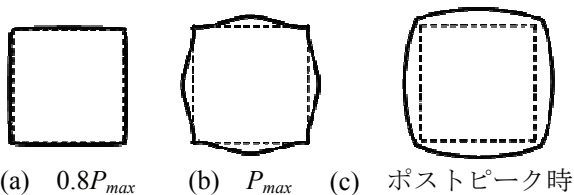
定し、断面積で除することで軟化域を含むコア部の応力ひずみ関係を示し、既往の設計資料との整合性を検証した。

- ・はりとトラス要素を用いた解析より、主鉄筋の中央変位量が座屈及びかぶり部の軸圧縮力負担分に大きな影響を与えることが明らかとなった。
- ・3次元解析結果より、また、同時にかぶり部の軸圧縮力負担分が全体挙動に大きく影響を及ぼすことも明らかにした。
- ・ひずみ空間で定式化した本モデルは拘束効果を十分に表現でき、従来のモデルよりも安定した解を得ることができることが示された。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2002
- 2) 市之瀬敏勝：鉄筋コンクリート構造，共立出版株式会社，2003
- 3) 佐藤良一：連続体コンクリートの構成則，コンクリート工学論文集，Vol.35，No.4，pp.3-11，1997
- 4) 水野英二，畑中重光：塑性理論によるコンクリートの圧縮軟化特性のモデル化，コンクリート工学論文集，Vol.2，No.2，pp.85-95，1991
- 5) (株)CRC ソリューションズ：FINAL，2006
- 6) 川村満紀：土木材料学，森北出版株式会社，2006
- 7) 星隈順一，川島一彦，長屋和宏：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の応力-ひずみ関係，土木学会論文集，No.520/V-28，pp.1-11，1995
- 8) 倉本亘：ひずみ軟化型材料の弾塑性構成則に関する一考察，大阪市立大学工学部都市基盤工学科卒業論文，2009
- 9) 長沼一洋：三軸圧縮下のコンクリートの応力ひずみ関係，日本建築学会構造系論文集，No.474，pp.163-170，1995

◆討議 [吉中 進 先生]



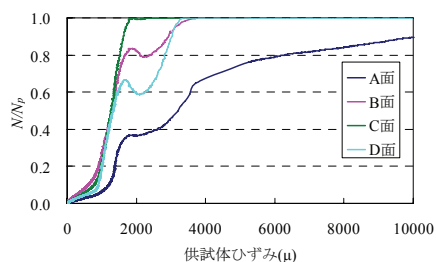
(a) $0.8P_{max}$ (b) P_{max} (c) ポストピーク時

図-A 推定される帯鉄筋の変形図

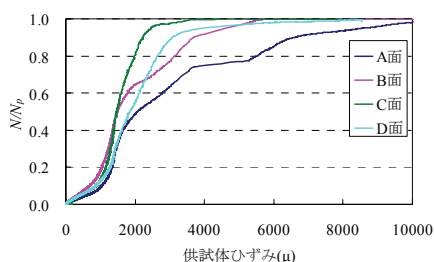
- ① この図-A はどのひずみから得られた結果なのか？
- ② 帯鉄筋はかぶりコンクリートで拘束されているのではないのか？その影響は？

◆回答：

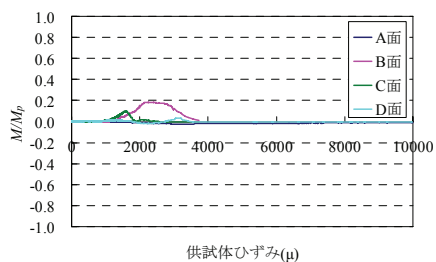
- ① 図-B(b), 図-B(d)の曲げモーメントひずみ関係より帯鉄筋の挙動を推定しました. 図-C より, 最大荷重の80%時(図-C 中青丸), 最大荷重時(図-C 中黄丸), ポストピーク時(図-C 中赤丸)の段階にて検証しました. 中央部では, 図-B(b)より最大荷重近傍で曲げモーメントの増加が見られた. 端部では最大荷重近傍で負の曲げモーメントが生じ, ポストピーク域では正の曲げモーメントが見られた. よって, 図-A のような挙動と推定しました.
- ② 帯鉄筋の外側にかぶりコンクリートがあるため, 帯鉄筋にはご指摘の通り拘束圧を受けています. しかし, 本研究では実験時に主鉄筋によるかぶり



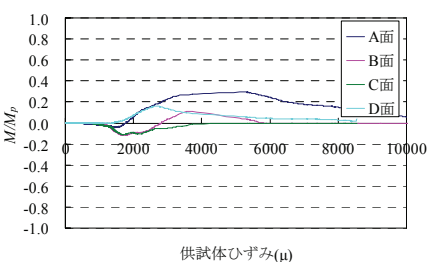
(a) 軸力ひずみ関係(中央部)



(c) 軸力ひずみ関係(端部)



(b) 曲げモーメントひずみ関係(中央部)



(d) 曲げモーメントひずみ関係(端部)

図-B 帯鉄筋(S-60)

コンクリートの押し出しがあると考えており, 帯鉄筋が動き出す最大荷重近傍ではかぶりコンクリートの拘束圧はかかっていないものとして, 挙動を推定しました.

◆討議 [谷口 与史也 先生]

- ① 流動則はどうしているのか？
- ② ひずみの履歴はどのように変化しているのかの確認は行っているのか？
- ③ 偏心圧縮や水平力が作用する柱部材においてもその構成則は適用できるのか？

◆回答：

- ① 流動則には載荷関数と塑性ポテンシャル関数が等しいと考える関連流動則を用いています.
- ② 本研究では, ひずみの履歴挙動の確認は行っていません. しかし, 従来のモデルでは, 応力空間で定式化された構成則であり, 本研究ではひずみ空間で定式化された構成側を用いました. 図-D より, ポストピーク域において本研究の構成則モデルの方が安定した解が得られました. よって, 本研究のひずみ空間で定式化された構成則モデルの有用性が認められました.
- ③ 現段階では, 3軸圧縮応力状態にあるときのみルーチンを通る構成則となっているため, 偏心圧縮や水平力が作用する柱部材には適用できません. しかし, 上記のような応力状態にも適用可能であると考えており, 今後の課題と言えます.

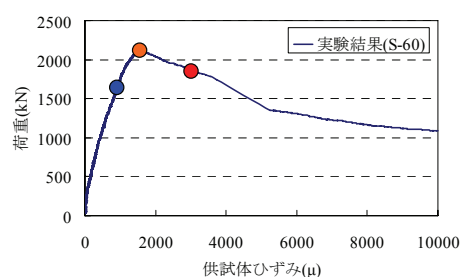


図-C 荷重ひずみ関係(S-60)

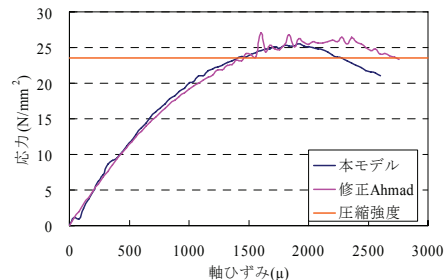


図-D コア部の応力ひずみ関係(S-60)

◆討議 [大内 一 先生]

この研究で用いている構成則モデルを使ったものと、従来の構成則モデルを使ったものとは、構成則以外に条件は変えているのか？

◆回答：本研究では、構成則モデル以外のステップ数や収束計算方法は両者で一致させています。

◆討議 [松村 政秀 先生]

① 図-E の荷重ひずみ関係はなぜ載せているのか？

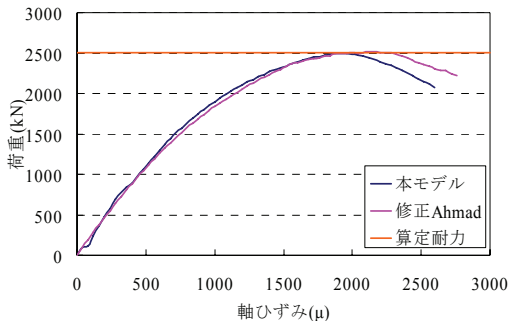


図-E 荷重ひずみ関係(S-60)

② 図-E の本モデルの荷重上昇時にふくらみが見られるのはなぜか？

◆回答：

① 本研究の構成則モデルの検証のために、実験供試体を参考に解析モデルを構築し、最大荷重が算定耐力まで上昇したことを示したく、載せました。図-Eより、本研究の構成則モデル及び解析モデルの妥当性が示されました。

② 本研究の構成則モデルでは、剛性を負剛性で定義しているため、荷重低下時は安定した解を得ることができますが、荷重上昇時は不安定計算となることがしばしば見受けられました。上昇時は载荷の方法を変えるなど、今後の課題として考えています。