

RC 柱部材の圧縮軟化特性に関する数値解析的検討

大阪市立大学大学院 ○学生会員 高井 由喜
大林組 正会員 中岡 健一

神戸市 正会員 倉本 亘
大阪市立大学大学院 正会員 鬼頭 宏明
大阪市立大学大学院 正会員 大内 一

1.はじめに

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。その具体的な手段として、現在、帯鉄筋や鋼管などを用いることで拘束効果を与えることが挙げられる。拘束効果は、断面形状によって異なり、円形ではコアコンクリート部全域に一樣であるが、角形断面においては断面内の位置によって異なることが知られている²⁾。しかし断面寸法や帯配筋と拘束領域の関係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、これらを実験のみで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。

ここでは、帯鉄筋間隔を変数とした角形 RC 部材の中心圧縮実験結果⁵⁾を対象に、水野らが提案する構成則モデル⁴⁾を有限要素法へ導入し、数値解析を行い、その適用性を検討した。

2. 解析概要

図-1 に実験供試体⁵⁾に対応する解析対象を示す。ここでは、その対称性を考慮し、図-1 の着色部の 1/8 を対象に 3 次元の有限要素解析モデルを図-2 のように構築した。断面平面は 150mm×150mm の正方形で、高さは帯鉄筋間隔 h の半分とした。また、実験供試体に準じ、それぞれ $h=60, 90, 150\text{mm}$ の 3 ケースを設定し、それぞれ S60, S90, S150 と名づけた。本解析では、コンクリートには 8 節点 6 面体要素、帯鉄筋には曲げを考慮できるように 2 節点梁要素(以下、梁要素)、主鉄筋には 2 節点トラス要素を用いた。なお、鉄筋とコンクリートの両要素は完全付着とし、主鉄筋の座屈は考慮していない。図-2 に要素分割例を示す。

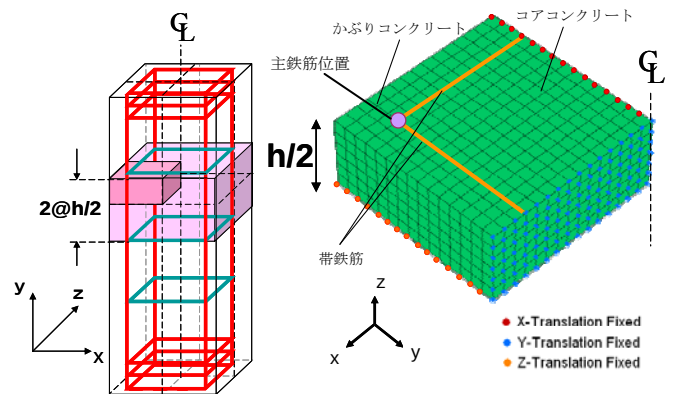


図-1 解析対象

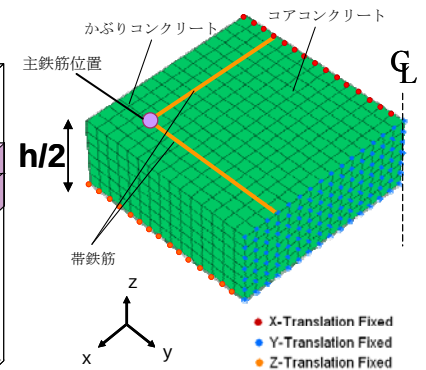


図-2 解析モデル

境界条件は図-2 に示す中心軸を含む y - z 面の境界面上全節点の x 軸方向変位と x - z 面上全節点の y 軸方向変位を拘束した。さらに x - y 底面では z 軸方向変位を拘束することで対象条件を与えた。载荷は x - y 頂面の全節点に鉛直方向(z 方向)に平均圧縮ひずみ量が 2%になるまで 500 ステップに分けて強制変位を与えた。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た水野ら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ものである。このモデルを既往の研究⁵⁾で設定したパラメータを用い、汎用ソフト FINAL99⁶⁾ にユーザーサブルーチンとして組み込んだ。なお、同ソフトで指標とされる応力空間で定式化された修正 Ahmad モデルと比較することで、本研究の構成則モデルの適用性を検証した。

キーワード 圧縮軟化, 材料非線形, ひずみ空間構成則, 拘束効果

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 TEL/FAX:06-66052723

3. 解析結果

図-3 に最大荷重 P_{max} の 80% 時の S-60 と S-90 の供試体上部にて目視確認できたひび割れ図を示す。そして、図-4 上段、下段に得られた圧縮荷重—平均圧縮ひずみ関係と実験結果⁵⁾の比較とコア部の圧縮応力—平均圧縮ひずみ関係をそれぞれ示す。同図上段より、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。S-60、S-150 の実験最大荷重はかぶりコンクリートの負担を無視した算定耐力 P^* とほぼ一致した。一方、S-90 はかぶりコンクリートの荷重負担を考慮した P に近い値を示した。その原因のひとつとして、図-3 より、かぶり部に長いひび割れが生じていた S-60 に比べて S-90 は小さなひび割れが多く、分散していた。そのため、S-60、S-150 のかぶり部が S-90 よりも耐力を保持せず、S-60、S-150 が算定耐力に達しなかったことが挙げられる。図-4 上段より、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。一方コア部では、図-4 下段より、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、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ことが示された。また、従来のモデルに比べ、ひずみ軟化を考慮した構成則モデルを用いた解析がより安定した解を得ることができる。ここでは、平均化したひずみを指標としたが、今後はひずみの局所化に対処するための代表体積⁷⁾の概念を導入した解析法へと展開したい。

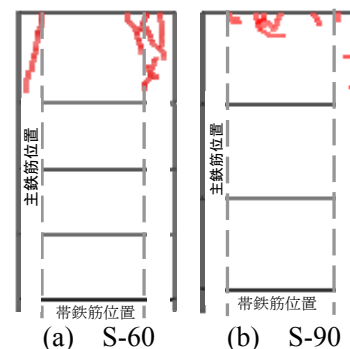


図-3

上端部のひび割れ図

($P=0.8P_{max}$)

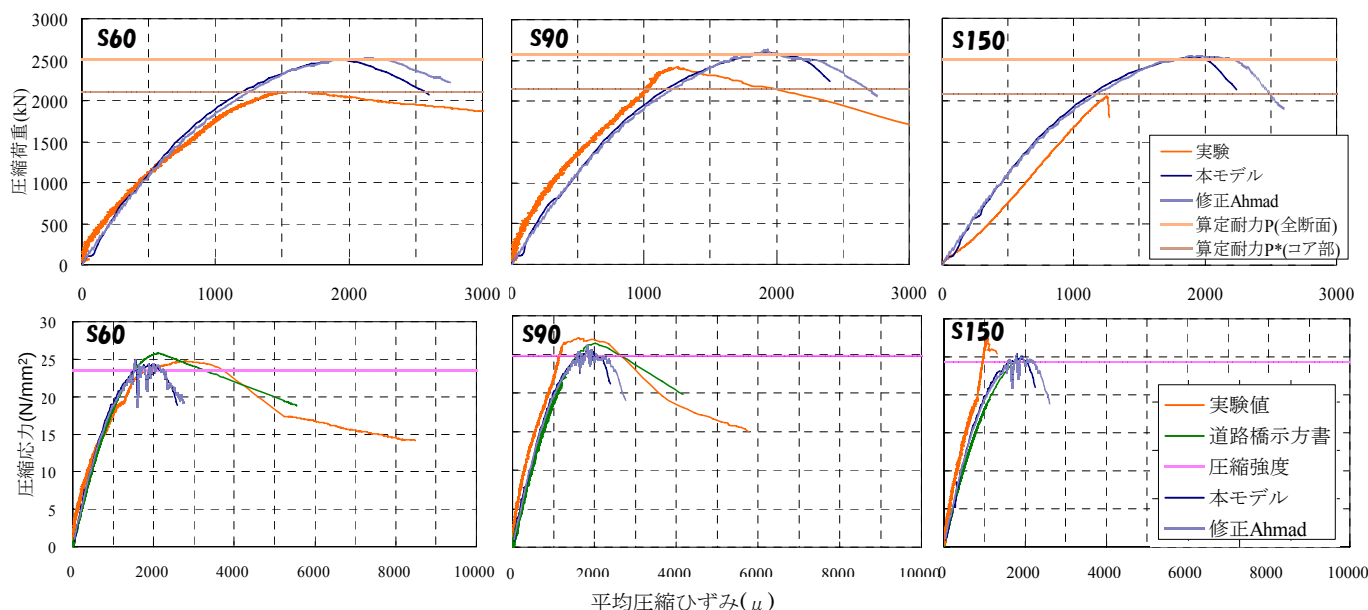


図-4 荷重—軸平均圧縮ひずみ関係(上段)：コア部の応力—平均圧縮ひずみ関係(下段)

4. まとめ

本研究の結果より、ひずみ空間で定式化した本モデルは拘束効果を帯鉄筋間隔に準じて軟化域を十分に表現でき、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，Vol.35, No.4, pp.3-11, 1997
- 4) 水野ほか：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) 倉本ほか：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 Vol.57A, pp.916-925, 2011.3
- 6) (株)CRC ソリューションズ：FINAL，2006
- 7) 三橋，六郷，国枝：コンクリートのひび割れと破壊の力学，技報堂，2010