

多等価直列相モデルによるRC曲げはりの寸法効果解析

清水建設技術研究所 正会員 長谷川 俊昭

1. はじめに

本研究は、コンクリートの非局所型構成則である多等価直列相モデル (MESPモデル)¹⁾ を組み込んだ汎用有限要素解析コード DIANAを用いて、鉄筋コンクリート曲げはりの寸法効果実験を解析し、考察を加えたものである。

2. 解析の概要および結果

本研究では、水町ら²⁾の鉄筋コンクリートはりの寸法効果試験体 A-S18, A-S34, A-S49 (有効高さ $d = 154, 308, 462$ mm) を解析対象として、有限要素寸法を相似的に拡大したメッシュ (図 - 1, 2, 3) を使用した解析ケースA1, A2, A3を実施した。解析はコンクリート要素に対してMESPモデルを用い、また主鉄筋の付着領域のコンクリートに対しては局所型構成則である一般化マイクロプレーンコンクリートモデル (EMPCモデル) を適用した。主鉄筋およびスターラップ筋は埋込み鉄筋モデルを用いてモデル化し、主鉄筋の上下一層までの要素を付着領域と仮定した。図 - 4 は本解析で使用した有限要素形状寸法に関してMESPモデルが表現する1軸圧縮構成関係の寸法効果を示したものである。このような非局所型構成則としてのMESPモデルの特性は既往の研究¹⁾で検証がなされている。図 - 5 は、付着領域のコンクリートに適用したEMPCモデルの1軸引張構成関係をShimaら³⁾の実験と比較したものであるが、EMPCモデルが鉄筋コンクリートの引張硬化特性を比較的良好に記述できることがわかる。本解析では、このEMPCモデルの引張硬化特性を考慮し主鉄筋の降伏強度を低減させて構成関係を設定した。図 - 6 は、本解析から得られた荷重 P - 相対変位 δ/l (δ : 荷重変位, l : 荷重スパン長) の関係を水町らの実験と比較したものである。本解析は、RCはりの非線形挙動を非常に良好にとらえ

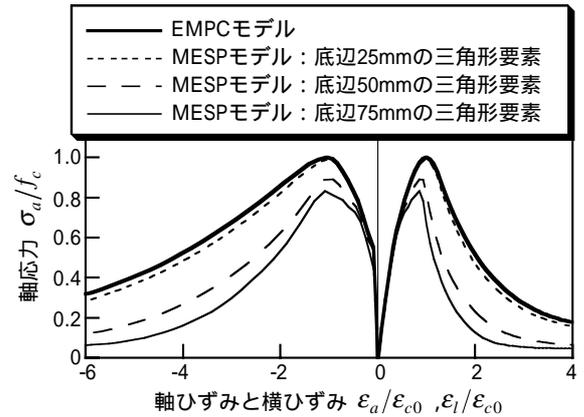


図 - 4 1軸圧縮構成関係の寸法効果

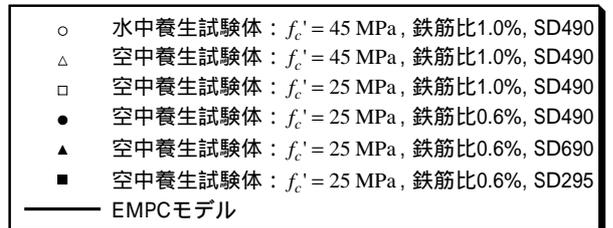


図 - 5 EMPCモデルの引張硬化特性

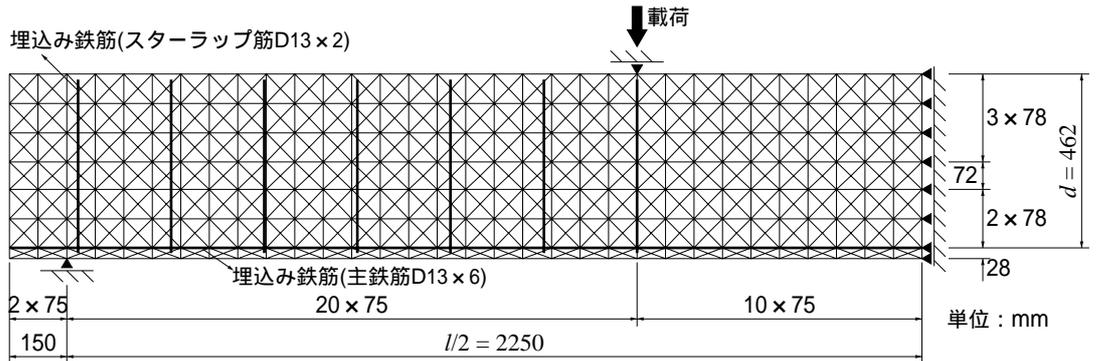


図 - 3 解析ケースA3

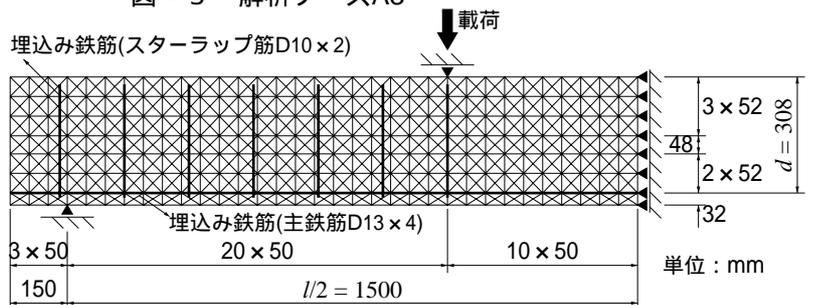


図 - 2 解析ケースA2

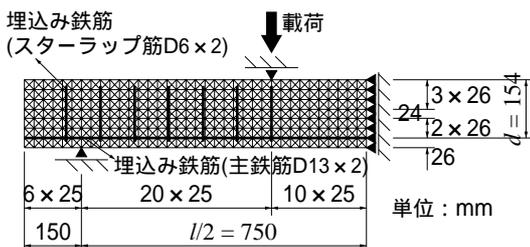


図 - 1 解析ケースA1

ており、解析の曲げ応答は実験結果とほとんど差異が認められないほどである。図 - 7 は、降伏強度 $f_y = 6M_f/bd^2$ と破壊強度 $f_f = 6M_f/bd^2$ を示したものであるが (b : はり幅), 本解析は f_y と f_f に関しては寸法効果が現れないという実験結果を良好に再現している。図 - 8 は、降伏耐力時、破壊時 (最大耐力時), 最大変位時における相対変位 δ_y/l , δ_f/l , δ_{max}/l と d の関係を示したものである。解析は、すべての d に関する δ_y/l および $d = 462$ mm の各変形能の実験値を概ね良好に予測できているが、 $d = 154$ mm の δ_f/l と δ_{max}/l をかなり過小に評価する結果となっている。すなわち本解析は、水町らの実験結果と相反することとなったが、RC曲げはりの破壊変形能に関する寸法効果は生じないというAlcaら⁴⁾の実験および主張と一致する結果となった。RC曲げはりの破壊変形能は、圧縮側コンクリートの軟化特性に敏感に影響を受けるため、解析においては実験で使用したコンクリートの圧縮軟化構成関係の非局所特性を十分にキャリブレーションする必要があると思われる。本解析では接線剛性マトリックスに非常に多くの負の対角項が発生し、多数の局所的極限点や分岐点を乗り越えながら非常に不安定な経路を進展していた。このような場合に真の極限点や構造安定性の限界点を解析的にとらえることはかなり難しいものと思われる。図 - 9 は、解析ケースA3の解が発散した直前の最終解析ステップにおける増分変形を示したものであり、はり上縁の要素において圧縮軟化破壊が局所化する傾向が見られた。図 - 10 は、解析ケースA3の最終解析ステップにおいて1軸引張強度時のひずみの10倍を越えた最大主ひずみ ϵ_1 をその直交方向にプロットし、ひび割れのひずみと方向を表わしたものである。本解析は曲げ引張領域の特徴的なひび割れやせん断ひび割れの局所化ならびにひび割れ間隔を良好に予測するのみならず、曲げ圧縮領域の圧縮割裂ひび割れも再現している。

3. まとめ

多等価直列相モデルを用いて鉄筋コンクリート曲げはりの破壊と変形能に関する寸法効果解析を実施した。本解析では対応する実験の破壊強度、曲げ応答、破壊性状などを概ね良好に再現することができたが、変形能に関する寸法効果は生じなかった。

3. まとめ

多等価直列相モデルを用いて鉄筋コンクリート曲げはりの破壊と変形能に関する寸法効果解析を実施した。本解析では対応する実験の破壊強度、曲げ応答、破壊性状などを概ね良好に再現することができたが、変形能に関する寸法効果は生じなかった。

[参考文献]

- 1) Hasegawa, T.: Multi equivalent series phase model for nonlocal constitutive relations of concrete, *Fracture Mechanics of Concrete Structures*, AEDIFICATIO Publishers, Germany, pp.1043-1054, 1998.
- 2) 水町実, 岩瀬裕之, 六郷恵哲, 小柳洽: RCはりの曲げ破壊における変形の局所化と寸法効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 2, pp.329-334, 1993.
- 3) Shima, H., Chou, L., and Okamura, H.: Micro and macro models for bond in reinforced concrete, *Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo (B)*, Vol. XXXIX, No. 2, 1987.
- 4) Alca, N., Alexander, S., and MacGregor, J.: Effect of size on flexural behavior of high-strength concrete beams, *ACI Structural Journal*, Vol. 94, No. 1, pp.59-67, 1997.

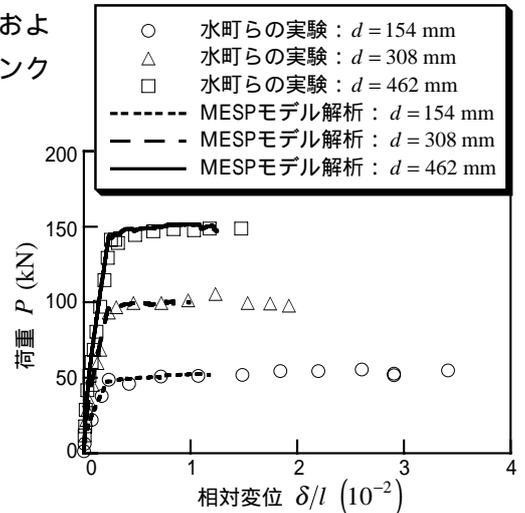


図 - 6 曲げ応答

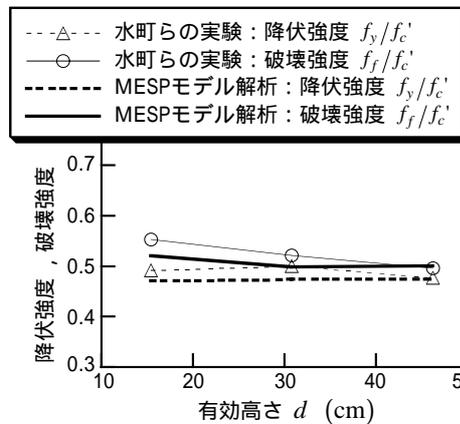


図 - 7 降伏強度と破壊強度

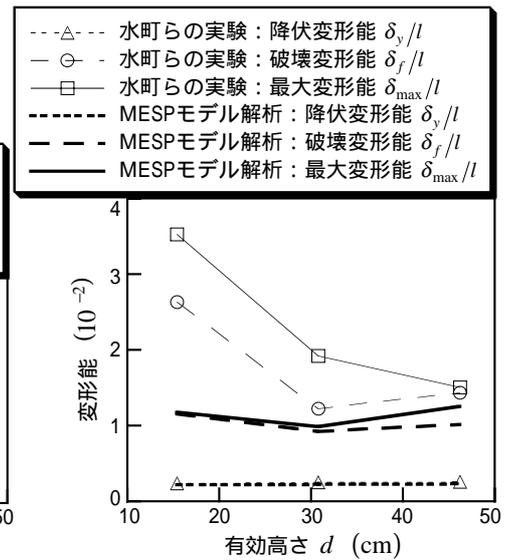


図 - 8 変形能

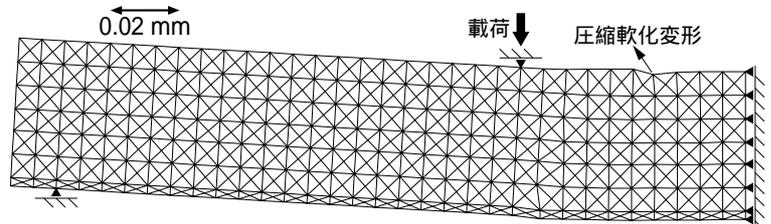


図 - 9 最終解析ステップの増分変形 ($d = 462$ mm)

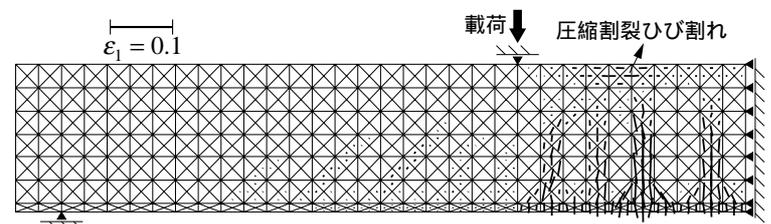


図 - 10 最終解析ステップのひび割れひずみ分布 ($d = 462$ mm)