

RCディープビームの非対称せん断破壊に関する数値解析的検討

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、著者の研究¹⁾と同様に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)および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)を組み込んだ汎用有限要素解析コードDIANA(コンクリート構造物破壊解析システムFASCOS)を用いてRCディープビームに生じる非対称せん断破壊モードや寸法効果などを解析的に検討したものである。この解析問題は日本コンクリート工学協会の「コンクリートの破壊特性に関する試験方法の標準化のための共通試験」²⁾の課題3-4である。

2. 解析の概要および結果

本研究では、松尾ら²⁾のRCディープビーム試験体D200, D400, D600(有効高さ $d = 20, 40, 60$ cm)を解析対象として解析ケースA, B, Cを実施した。解析ケースB(図-1, 2, 3)ではウェブコンクリート部の有限要素寸法をほぼ相似的に拡大したメッシュを使用し、対称性を仮定せず全体構造モデルの解析を実施したが、解析ケースAでは対称性を仮定して解析ケースBの試験体の左半分のみを解析した。解析ケースC(図-3)は解析ケースBと同様に全体構造モデル解析であるが、 $d = 60$ cmの試験体について載荷板の回転と変形の影響を検討するために載荷板を中央の1節点で載荷した。鉄筋は埋込み鉄筋モデルを用いてモデル化し、引張鉄筋であるPC鋼棒の上下50mmまでの有限要素は付着層と考えて局所型のEMPCモデルを適用した。付着層以外のコンクリート部分に対しては非局所型のMESPモデルを用いた。図-4, 5, 6は、松尾らの実験と解析ケースA, BについてPC鋼棒位置の支承板中央変位に対するスパン中央変位の相対値 δ_R とせん断応力 $\tau (=V/bd)$ の関係を示したものである(V :せん断力, b :はり幅)。同図には支承板中央直上の変位に対する載荷板中央直下の変位の相対値 δ_P とせん断応力の関係も示されている。図-7は、解析ケースBの最大耐力 V_u 時における増分変形である。図-8では、解析ケースA3とB3に関して最大耐力後の $V = 2V_u/3$ 時における増分変形が比較されている。すべての解析ケースにおいて載荷板端部近傍のコンクリート要素にせん断圧縮破壊が局所化し最大耐力に至っている。解析ケースA2とA3では、局所化したせん断圧縮破壊領域が最大耐力後に下方へ進展し、さらにせん断

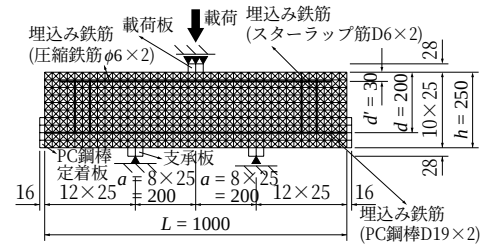


図-1 解析ケースB1 ($d = 20$ cm)

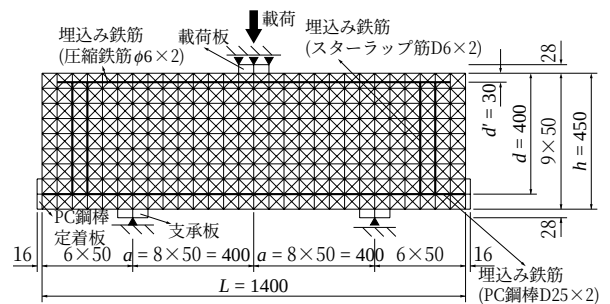


図-2 解析ケースB2 ($d = 40$ cm)

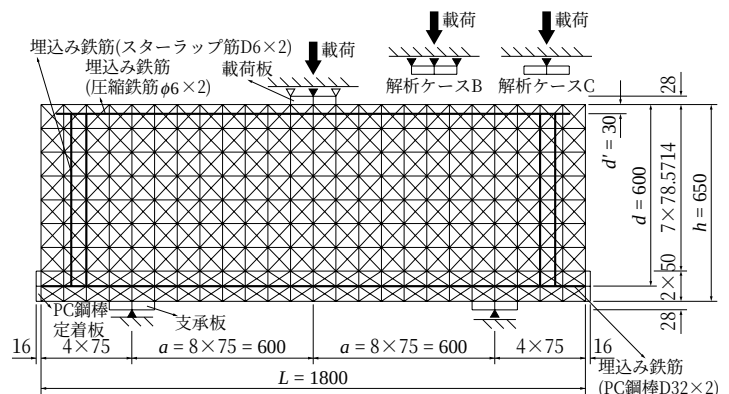


図-3 解析ケースB3, C3 ($d = 60$ cm)

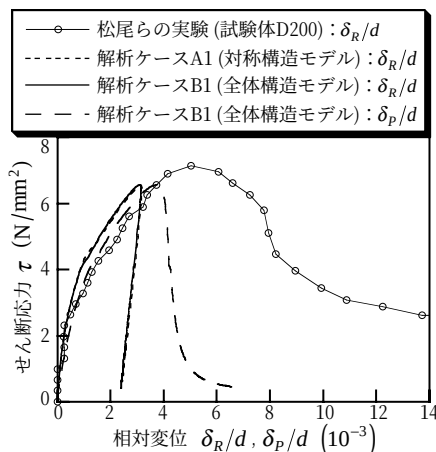


図-4 せん断応答 ($d = 20$ cm)

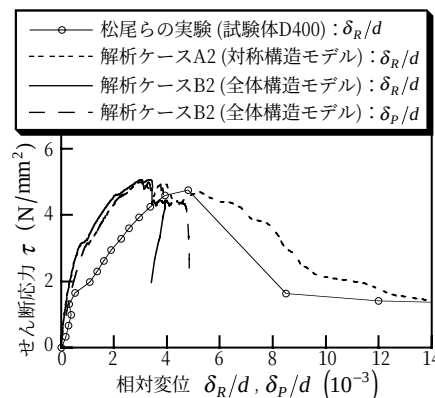


図-5 せん断応答 ($d = 40$ cm)

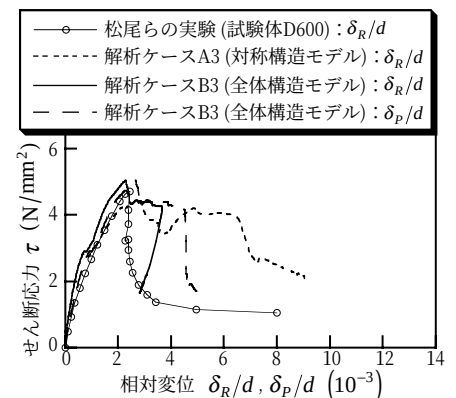
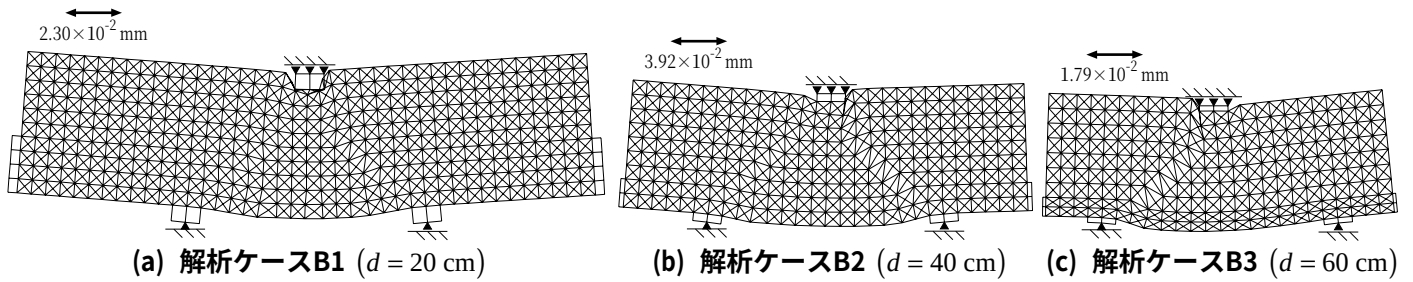


図-6 せん断応答 ($d = 60$ cm)

キーワード：多等価直列相モデル，鉄筋コンクリート，せん断ウェブ圧縮破壊，寸法効果，有限要素破壊解析
〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-5515 FAX 03-3820-5955

図-7 解析ケースBの最大耐力 V_u 時における増分変形

ひび割れにおけるずれ変形が大きい δ_R 応答にスナップバック挙動が見られない。しかし、その他の解析ケースの場合には、最大耐力後においても載荷板端部近傍のコンクリート要素および載荷板直下のコンクリート要素に破壊が局所化し、その他の領域で除荷変形が卓越するために δ_R 応答にスナップバック挙動が生じている。一方、 δ_p 応答に関してはすべての解析ケースにおいてスナップバック挙動が見られない。図-9は、最大耐力 V_u 時において1軸引張強度時のひずみの5倍を越えた最大主ひずみ ε_1 をプロットし、ひび割れのひずみと方向を表わしたものであるが、ひび割れ線の太さは最大主ひずみ値に比例させてあるのでひび割れ幅の大小の目安となる。載荷板端部近傍のコンクリート要素のひび割れ線は2軸圧縮-せん断応力状態で生じた圧縮損傷を示すものと考えられる。図-10²⁾は図-9(b)の解析ケースB2に対応する実験試験体D400の最終破壊状況を示したものであるが、これらの比較より本解析が実験のひび割れ性状を良好に再現していることがわかる。全体構造モデル解析である解析ケースB3の左スパンのせん断ひび割れが大きく進展した時点において対称破壊モードから非対称破壊モードへの明確な分岐が確認でき、解析ケースB3と対称構造モデル解析であるA3のせん断応答の乖離が始まっている。図-7と図-9より解析ケースB1の増分変形とひび割れ性状は左右のスパンでよく類似しているが、解析ケースB2およびB3の場合には左右のスパンで増分変形とひび割れ性状が大きく異なり非対称せん断破壊モードが強く現れている。すなわち試験体寸法が大きくなると左右スパンでのせん断破壊が対称に進行することなく非対称せん断破壊モードへの分岐が生じやすくなると考えられる。図-11は各解析ケースから得られたせん断強度 τ_u/f'_c ($=V_u/bdf'_c$) と d の関係を示したものである (f'_c : コンクリート圧縮強度)。著者の研究¹⁾と同様に本解析手法はRCディープビームのせん断強度に関する寸法効果を良好に再現できることがわかる。

3. まとめ

多等価直列相モデルと一般化マイクロブレンコンクリートモデルを用いた本解析手法はRCディープビームのせん断圧縮破壊、せん断ひび割れやそれらの局所化、非対称せん断破壊モード、せん断強度の寸法効果などをとらえることができた。対称構造モデル解析は、非対称せん断破壊モードを再現できないため、じん性能を過大評価する可能性があり十分な注意が必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 長谷川俊昭：多等価直列相モデルによるRCディープビームの寸法効果解析，土木学会第54回年次学術講演会講演概要集，第5部，pp.588-589，1999年。
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書，2001年5月。

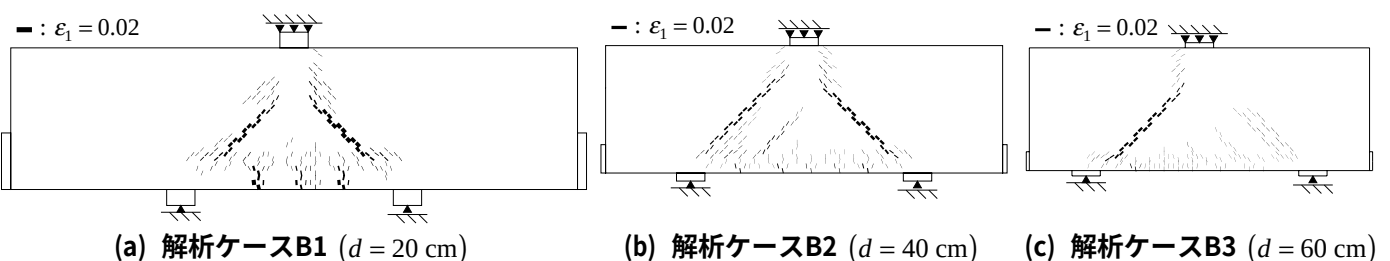
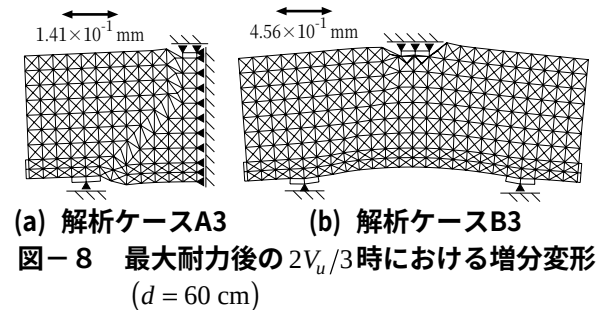
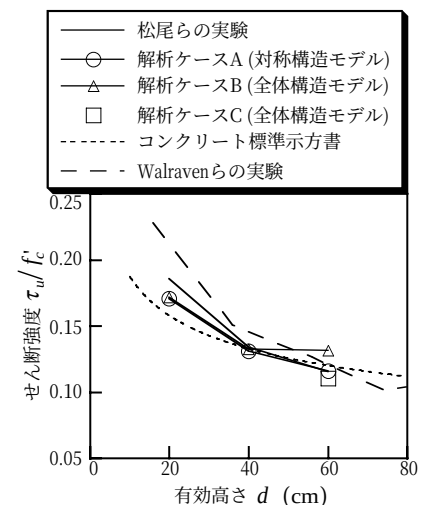
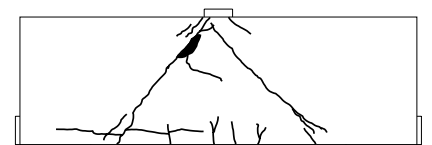
図-9 解析ケースBの最大耐力 V_u 時におけるひび割れひずみ分布図-8 最大耐力後の $2V_u/3$ 時における増分変形 ($d=60$ cm)

図-11 せん断強度の寸法効果

図-10 実験の最終破壊状況 ($d=40$ cm)