3 次元有限要素法による 1 室中空断面柱に対する純ねじり交番載荷実験の再現性

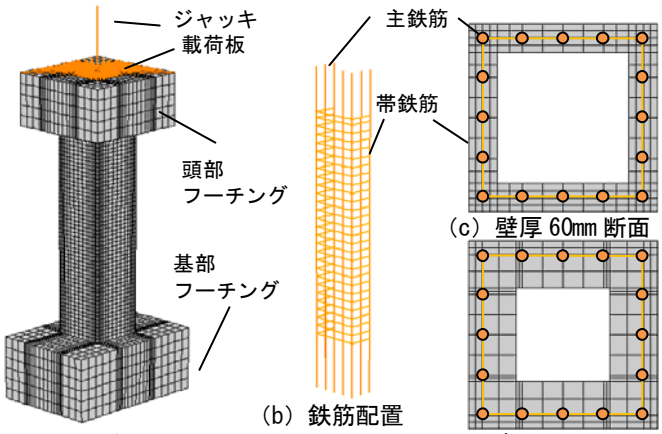
九州大学大学院　学生会員　○服部　匡洋　　九州大学大学院　フェロー　大塚　久哲
九州大学大学院　正会員　崔　準祜

1．目的

これまで，中実 [1]及び 1 室中空断面を有する柱部材を対象に，壁厚と帯鉄筋間隔を変化させた純ねじり実験を実施し，ねじり耐震性能について明らかにしてきた．本検討では，中空断面に対するねじり骨格曲線の提案を目的とし，実験供試体を模擬した解析モデルを作成し，3 次元有限要素解析の再現性を把握した．さらに，解析により得られたひび割れ分布及びイベント到達状況から，本断面柱の破壊メカニズムについて詳細に考察した．

2．解析モデル概要及び検討ケース

解析モデル概要を**図-1**，検討ケースを**表-1**，イベント耐力の比較を**表-2** に示す．**表-1** に示すように，本検討では壁厚と帯鉄筋間隔をパラメータとし，壁厚 60mm と 100mm，帯鉄筋間隔 30mm と 60mm の計 4 体に対して再現解析を実施した．汎用解析ソフト FINAL を使用し，**図-1** に示すように，コンクリートはソリッド要素，主鉄筋及び帯鉄筋はトラス要素，頭部フーチング上端の載荷板とジャッキを剛梁要素でモデル化した．材料特性は**表-1** の材料試験結果を使用した．コンクリートの構成則は，かぶりコンクリートにはかぶりコンクリートモデルを，コアコンクリートには修正 Ahmad モデル [2]を使用した．解析における軸力については，軸応力比がどの検討ケースにおいても設計基準強度の 10%となるように調整し，ジャッキ天端に軸力を与えた．また，ジャッキ天端に強制的に回転変位を与えることで，ねじりモーメントを載荷した．



(a) モデル全体図　(b) 鉄筋配置（片面）　(c) 壁厚 60mm 断面　(d) 壁厚 100mm 断面

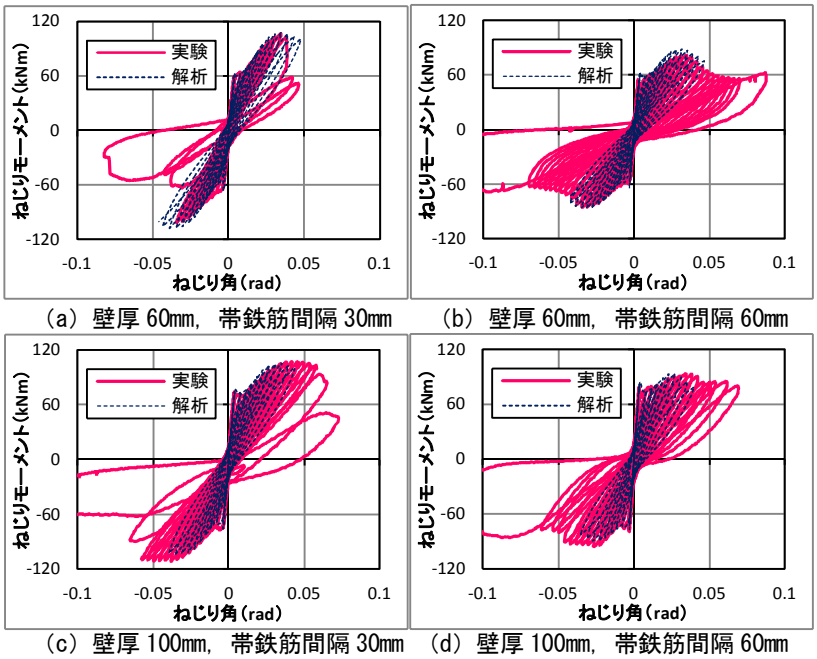
図-1　解析モデル概要

表-1　検討ケース

パラメータ	No.1	No.2	No.3	No.4
軸応力比（%）	10	10	10	10
壁厚（mm）	60	60	100	100
帯鉄筋間隔（mm）	30	60	30	60
圧縮強度（N/mm^2）	60.3	61.6	57.4	68.7
ヤング率（N/mm^2）	27800	27100	25100	28800
引張強度（N/mm^2）	3.5	3.6	3.4	3.9
主鉄筋比(%)	2.48	2.48	1.69	1.69
帯鉄筋体積比（%）	1.88	0.94	1.28	0.64

表-2　イベント耐力の比較

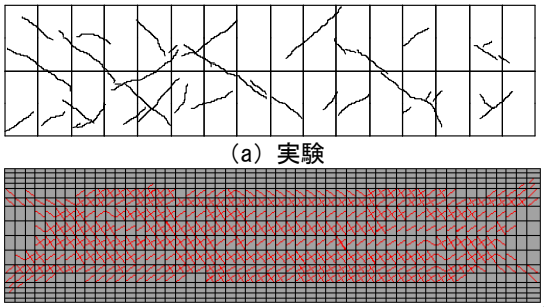
イベント耐力		No.1	No.2	No.3	No.4
ひび割れ（kNm）	実験	33.7	34.2	39.3	47.9
	解析	53.4	54.0	61.6	69.4
部材降伏（kNm）	実験	59.8	53.9	72.1	79.0
	解析	63.0	60.6	76.7	84.8
最大（kNm）	実験	106.6	80.7	107.0	90.7
	解析	108.0	88.3	105.5	93.6



(a) 壁厚 60mm，帯鉄筋間隔 30mm　(b) 壁厚 60mm，帯鉄筋間隔 60mm
(c) 壁厚 100mm，帯鉄筋間隔 30mm　(d) 壁厚 100mm，帯鉄筋間隔 60mm

図-2　履歴曲線の実験結果と解析結果の比較

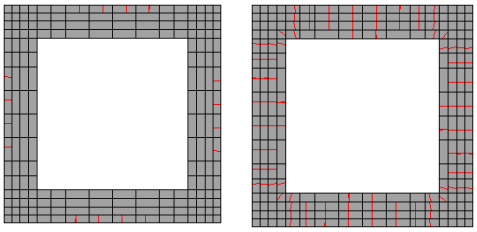
キーワード　ねじり交番載荷，RC 中空断面，有限要素法，壁厚，帯鉄筋間隔，破壊メカニズム
連絡先　〒819-0389　福岡県福岡市西区元岡 744 W2-1101　TEL 092-802-3374



（a）実験

（b）解析

図-3　部材降伏時のひび割れ状況の比較（No. 1）



（a）ひび割れ　　（b）部材降伏

図-4　解析におけるひび割れ進展状況（No. 1）

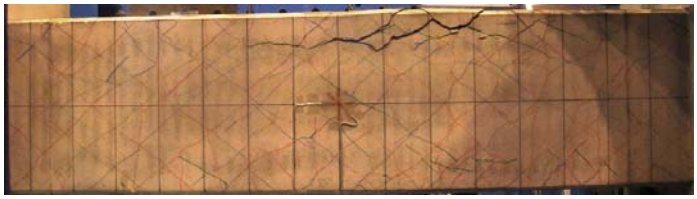
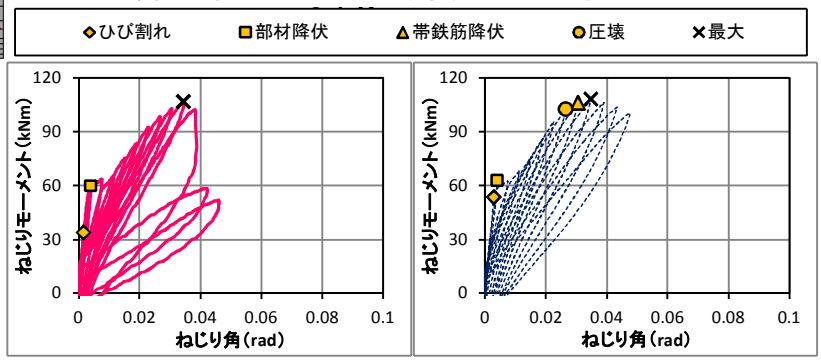


写真-1　最大耐力付近の主鉄筋軸方向ひび割れ（No. 1）



（a）実験　　（b）解析

図-5　イベント到達状況及び履歴曲線の比較（No. 1）

３．有限要素解析の再現性

表-2 及び**図-2** に示すねじり履歴曲線より，実験値と解析値を比較する．ここで，**図-2 の**解析結果は計算が安定して行われた時点のものである．ひび割れ耐力の解析値は実験値に比べ非常に大きい．これは，解析において，頭部，基部フーチングによるそり拘束の影響が小さく評価されたためと考えられる．また，部材降伏耐力は壁厚の影響が，最大耐力については帯鉄筋間隔の影響が大きいことが実験結果より考察されるが，解析でも同様の傾向を示しており，部材降伏及び最大耐力に対する再現性は良好であるといえる．ここで，部材降伏点とはねじり剛性が急激に低下する点を指す．**図-2** より初期剛性や部材降伏後の剛性も比較的精度よく再現したが，最大耐力後の靭性を再現するには至らなかった．これは，実験においては最大耐力付近で**写真-1** に示す付着割裂ひび割れと思われる主鉄筋軸方向のひび割れが確認されたが，解析ではコンクリートと鉄筋の付着を完全固定としているためと考えられる．したがって，解析において靭性を精度良く表現するには付着すべりの詳細なモデル化が必要であると考えられる．さらに，**図-3** に示す部材降伏時のひび割れ状況を比較すると，ひび割れの断面辺中央での発生及びひび割れ角度は実験を良好に再現した．

４．FEM 解析による破壊メカニズムに関する考察

中実断面に対する純ねじり実験及び解析 [1]より，部材降伏はひび割れが中央まで到達した時点で発生することが確認された．本稿では，壁厚 60mm，帯鉄筋間隔 30mm の No.1 に着目すると，**図-4** より中空断面の場合でも，部材降伏が発生した際にひび割れが中空内面まで到達していることがわかる．

また，最大耐力に着目すると，実験においては，主鉄筋，帯鉄筋ともに降伏が確認されず，**図-5(a)** に示すように最大耐力後に急激に耐力が低下したため，コンクリートの圧壊が先行した破壊を呈したと推測した．一方，**図-5（b）** に示す解析におけるイベント到達状況より，No.1 ではコンクリートの圧壊と帯鉄筋降伏がともに確認されたが，コンクリートの圧壊が先行して発生し，最大耐力に到達していた．これは，実験に対する考察とも一致する．

以上より，壁厚が薄いと主鉄筋比や帯鉄筋体積比が大きくとも，コンクリートの圧壊に伴う脆性的な破壊を示す場合があり，靭性の観点から十分な壁厚を確保することが望ましいといえる．

５．結論

3 次元有限要素法による 1 室中空断面柱に対する純ねじり交番載荷解析を実施した．有限要素解析により，最大耐力までのねじり履歴曲線及びイベント到達を良好に再現できることを確認した．

参考文献

1) 大塚・秦・宇山：純ねじり荷重を受ける RC 部材の三次元非線形有限要素解析，構造工学論文集 A，Vol.55A，pp1048-1057，2009.

2) 長沼：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.