

軸力とねじりの単調/交番荷重を受ける RC 柱部材の有限要素解析

九州大学工学部 学生会員 ○秦 逸平 九州大学工学部 学生会員 宇山 友理
九州大学大学院 フェロー 大塚 久哲

1. はじめに

本研究室では、これまで 2 次的なものとしてあまり重要視されていなかったねじりを受ける RC 部材の挙動に着目し、RC 柱部材を対象にねじり・曲げ・軸力の複合荷重正負交番荷重実験を行ってねじりの非線形特性を実験的に明らかにしてきた¹⁾。しかし、ねじりに関する解析的研究の例は少なく、特にねじりの交番荷重を受ける RC 部材の解析手法は確立されているとは言えないのが現状である。

そこで本研究では、これまで本研究室で行ってきた RC 柱部材への複合荷重載荷実験のうち、軸力とねじり荷重を与えた実験について 3 次元 FEM 解析を行ない、ねじりを受ける RC 柱の挙動を解析的に評価できることを示した。

2. 実験概要

実験供試体を図-1 に示す。柱部分は断面が $400 \times 400\text{mm}$ 、高さは 1600mm で、帯鉄筋は D6 を用い、主鉄筋は D13 を 16 本配置した。コンクリートの設計基準強度は全て 40N/mm^2 であるが、材齢等の関係で強度は供試体により異なっている。パラメーターは軸力(設計基準強度の 0,10%)と帯鉄筋間隔(ctc 30,60mm)で、ねじりの正負交番荷重、または単調漸増荷重を与える実験を行った。

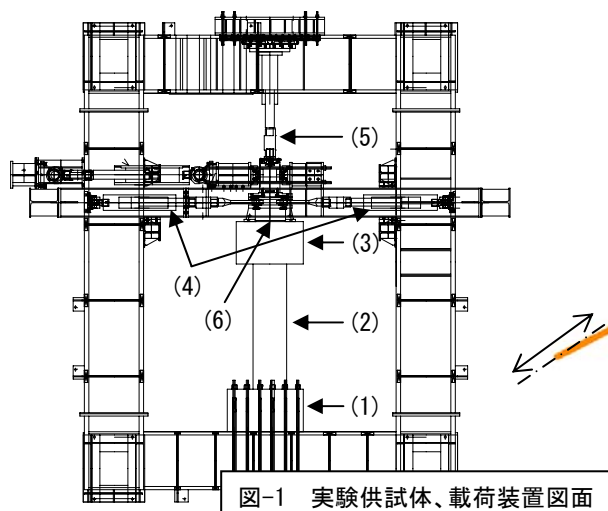


図-1 実験供試体、載荷装置図面

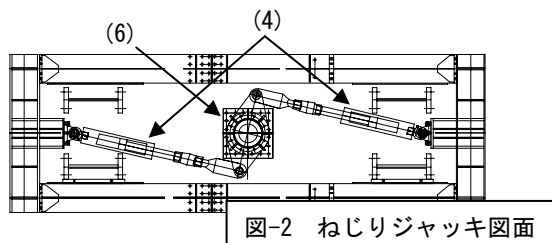


図-2 ねじりジャッキ図面

載荷では、まず所定の軸力を与え、その後ねじりの交番または単調載荷を行う。正負交番載荷では、各ループの最大ねじり角を降伏ねじり角の整数倍で与え、単調漸増載荷では 1 方向に徐々にねじり荷重を与えた。図-1, 2 にそれぞれ載荷装置とねじりジャッキの図面を示す。ねじり荷重は、頭部フーチングを固定した頭部固定用架台に 2 本のねじりジャッキで等しく荷重を加えることで与える。

3. 解析概要

解析には FEM 解析ソフト FINAL²⁾ を用いた。図-3 に ctc 30mm の解析モデルの全体図を示す。基部と頭部のフーチングは柱部分と同じ断面とし、頭部フーチングの上端から軸力の載荷点までは剛体でモデル化した。ねじり荷重を与えるために剛なトラス要素でねじりジャッキをモデル化した。鉄筋は実験供試体と同様に配置し、コンクリートと完全付着のトラス要素である。境界条件は基部フーチングの側面と底面、計 5 面の節点を固定とした。柱部分のコンクリート六面体要素に与えた特性を以下に示す。圧縮強度: 材料試験値、圧縮応力-ひずみ関係: 修正 Ahmad モデル、破壊条件: Ottosen の 4 パラメーターモデル、テンションステイフニング特性: 出雲らのモデル ($c=0.4$)、ひび割れ後のせん断伝達特性: Al-Mahaidi モデル

ねじり荷重は図-3 の鎖線上を自由にスライドするジャッキ端部に x 軸方向の荷重または強制変位を与えることで作用させた。交番載荷の解析では各ループの最大ねじり角が実験のねじり角と一致するような強制変位をジャッキ端部に与えた。

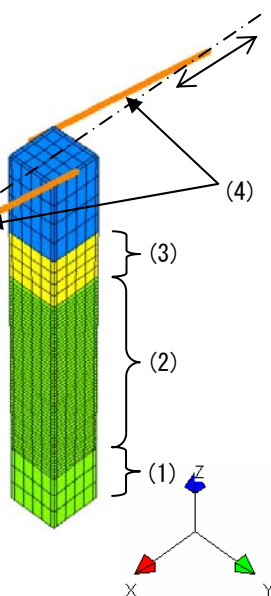


図-3 解析モデル図

図-1, 2, 3 の凡例

(1)	基部フーチング
(2)	柱部分
(3)	頭部フーチング
(4)	ねじりジャッキ
(5)	軸力ジャッキ
(6)	頭部固定用架台

表-1 検討ケース

ケース番号	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
载荷方法	正負交番				単調漸増
ctc (mm)	30		60		30
軸力 (%)	0	10	0	10	10
圧縮強度 (N/mm ²)	33.4	35.3	34.1	45.7	52.7

4. 検討ケース

表-1 に示す5ケースについて有限要素解析を行なった。ここではケース No.1, 2, 5 の結果を報告する。

5. 実験, 解析結果

5.1. 荷重 - 変位関係, 各イベント

図-4 にケース No.1,2,5 のねじりモーメント-ねじり角関係を示す。解析結果は安定に計算できたステップまでを示す。交番载荷解析は、実験値を概ね再現できている。軸力 0% のケースで初期剛性が実験値よりやや大きい、軸力 10% のケースの初期剛性は実験値とほぼ等しく、降伏耐力はすべてのケースで実験値とほぼ一致した。単調载荷解析は降伏までの実験での挙動を再現できるが、降伏以後の剛性が実験値より大きい。

解析と実験で確認されたイベント発生時のねじりモーメント Mt, ねじり角 θ を表-2 に示す。また、図-4 には解析と実験のイベント発生時点をそれぞれ◇と○で示した。ここで、(1)～(3)は解析のイベントで、(1):初ひび割れ、(2):帯鉄筋の内側までひび割れ進展、(3):断面中心までひび割れ進展を示し、(4)は実験のイベントで、ひび割れが初めて確認されたループの最大変位を示す。図-4 より、(1)で剛性がわずかに低下し、(2)でさらに剛性が低下、(3)でねじりに対する部材の降伏が確認できた。

5.2. ひび割れ図

軸力がない場合、ねじりを受ける RC 柱部材は部材軸方向に対し 45° をなすらせん状の斜めひび割れを生じる。交番载荷の場合は軸方向に対し±45° をなす斜めひび割れが交差して生じるが、解析でも軸方向に対し±45° をなす交差したひび割れを再現できた。

6. まとめ

3次元非線形有限要素解析によってねじりを受けるRC柱部材の挙動を概ね評価できた。降伏耐力は実験値とほぼ一致し、ねじりに対する部材の降伏は柱全体に生じたコンクリートのひび割れが断面中心まで進展することで起きることがわかった。また、ねじりを受ける部材に特徴的な斜めひび割れを解析で再現できた。

しかし、降伏以後の挙動などを正確に再現するには至っておらず、更なる解析精度の向上が必要である。

表-2 各イベント時のねじりモーメント, ねじり角

ケース 番号		No.1		No.2		No.5	
イベント		Mt kNm	θ rad	Mt kNm	θ rad	Mt kNm	θ rad
解析	(1)	29.0	0.0010	59.7	0.0021	69.5	0.0022
	(2)	49.0	0.0018	79.6	0.0029	94.2	0.0031
	(3)	58.2	0.0028	100.3	0.0052	117.5	0.0051
実験	(4)	53.5	0.0044	87.6	0.0042	96.8	0.0033

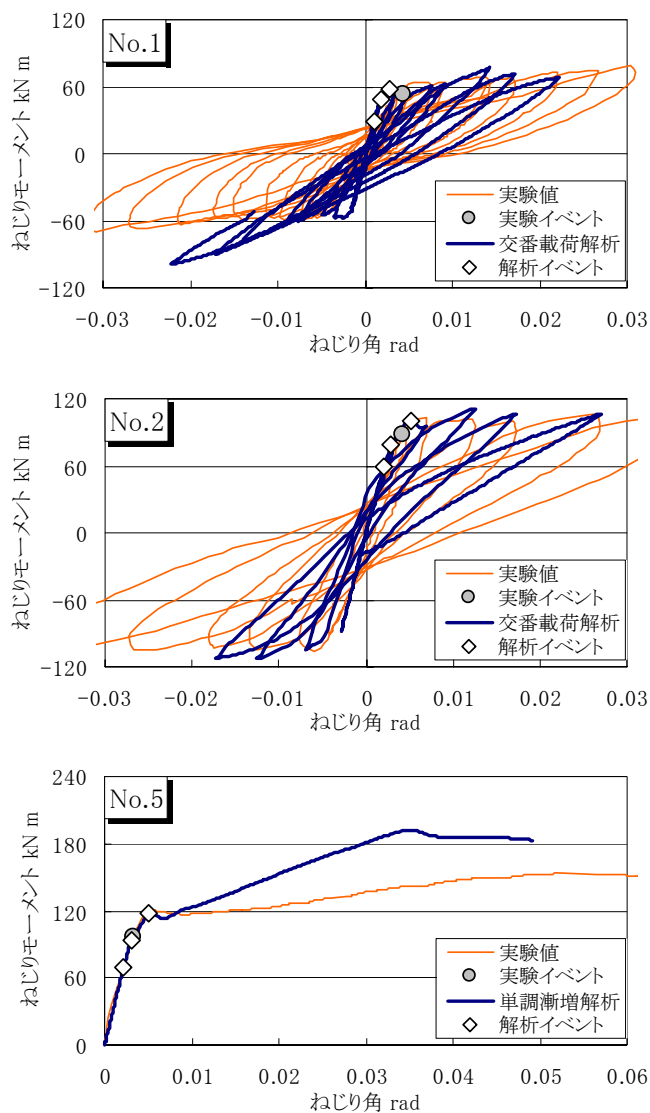


図-4 No. 1, 2, 5 のねじりモーメント - ねじり角関係

参考文献 1)九州大学 学位請求論文:浦川, ねじり・曲げ・軸力の複合荷重を受ける RC 柱部材の非線形挙動および相関特性に関する実験的研究 2)FEM 解析ソフト FINAL, (株)CRC ソリューションズ