

曲げに対するねじり量が異なる RC 柱の破壊挙動と耐力の評価

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○大野又稔 中田裕喜 田所敏弥

1. はじめに

形状が不整形であったり、質量配置が不均等な鉄道 RC ラーメン高架橋柱には、地震により曲げモーメント、せん断力、ねじりモーメントが同時に作用する。土木学会コンクリート標準示方書 (以下、示方書)¹⁾では、曲げモーメントまたはせん断力が作用した場合のねじり耐力を算定するための相関関係が示されているが、ねじりモーメントによる破壊挙動には未解明な点も多い。そこで、三次元有限要素解析により、曲げに対するねじり量が異なる RC 柱部材の破壊挙動を把握し、ねじりモーメントが耐力に与える影響を定量的に評価することを目的とした。

2. 解析概要

図 1 に、解析対象とした RC 柱部材の断面図を示す。鉄道 RC ラーメン高架橋柱を模擬した実物大 RC 柱供試体に、曲げとねじりを同時に作用させた既往の実験²⁾を参考に、帯鉄筋比 $p_w=0.79\%$ の断面および帯鉄筋のない断面を解析対象とした。図 2 に示す通り、既往の実験²⁾と同じく、RC 柱部材の下部にフーチングを、上部に載荷部を配置した。フーチング下面を完全拘束とし、載荷部 2 点の変位 δ_1 , δ_2 の比を変化させることで、曲げに対するねじり量を変えた解析を実施した。

表 1 に、示方書¹⁾を参考に設定した、柱部材の主な解析モデルの概要を示す。柱部材は、鉄筋の配置状況により RC 要素と無筋要素に分け、既往の実験²⁾と同じ材料強度を設定した。フーチングおよび載荷部は弾性要素とした。ここで、コンクリートの引張強度は、収縮に起因する初期引張応力等の影響を考慮して、割裂引張強度の計算値の 0.7 倍とした。また、コンクリートのせん断伝達モデルは、ひび割れ幅の増加に伴いせん断剛性を低下させるモデルとして、Al-Mahaidi モデルを選定した。載荷ケースは、既往の実験²⁾と同じ鉛直力を導入後、 δ_1 , δ_2 の比が 1:1 (純曲げ) から -1:1 (純ねじり) までねじり量を変えた 10 ケースとし、一方向に漸増載荷した。なお、解析には、汎用の有限要素解析プログラム DIANA (ver.10.1) を使用した。

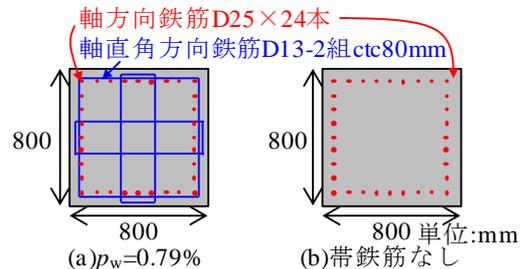


図 1 RC 柱モデル断面

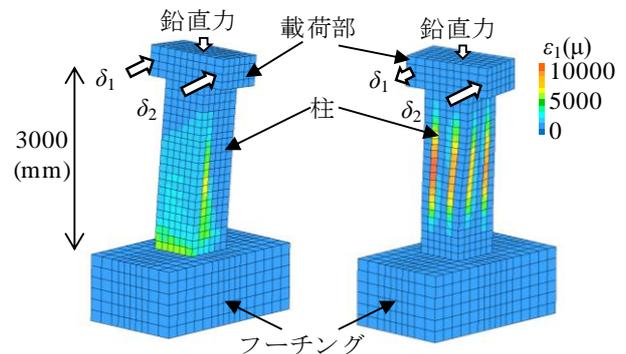


図 2 最大主ひずみ分布 ($p_w=0.79\%$, 最大水平荷重時)

表 1 主な解析モデルの概要(柱部材)

ひび割れモデル	分散ひび割れ (直交固定)
鉄筋モデル	分散鉄筋
コンクリート要素 (材料非線形)	
圧縮側	前川モデル ¹⁾
引張側	RC 要素: 引張硬化モデル ¹⁾ 無筋要素: 引張軟化モデル ¹⁾
せん断伝達	Al-mahaidi モデル
鉄筋要素 (材料非線形)	
応力-ひずみ	平均応力-平均ひずみ ¹⁾

3. 解析結果

図 3 および図 4 に、水平荷重 P —水平変位 δ 関係、ねじりモーメント M_t —ねじり角 θ 関係、ねじり耐力 M_{tu} と曲げ降伏耐力 M_y および曲げ耐力 M_u またはせん断耐力 V_u の相関を示す。なお、図 3 (c) には、軸方向鉄筋が降伏したときのせん断力 V_{my} との相関も示す。また、 $p_w=0.79\%$ の本モデルを用いて、 $\delta_1:\delta_2$ が 2.39:2.91 となる既往の実験²⁾を再現したケースについて、解析値と実験値を併せて示した。

図 3 (a) (b) より、 $p_w=0.79\%$ のねじり量が小さい場合、

キーワード: ねじり, 三次元有限要素解析, 鉄道 RC ラーメン高架橋柱

連絡先: 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7281

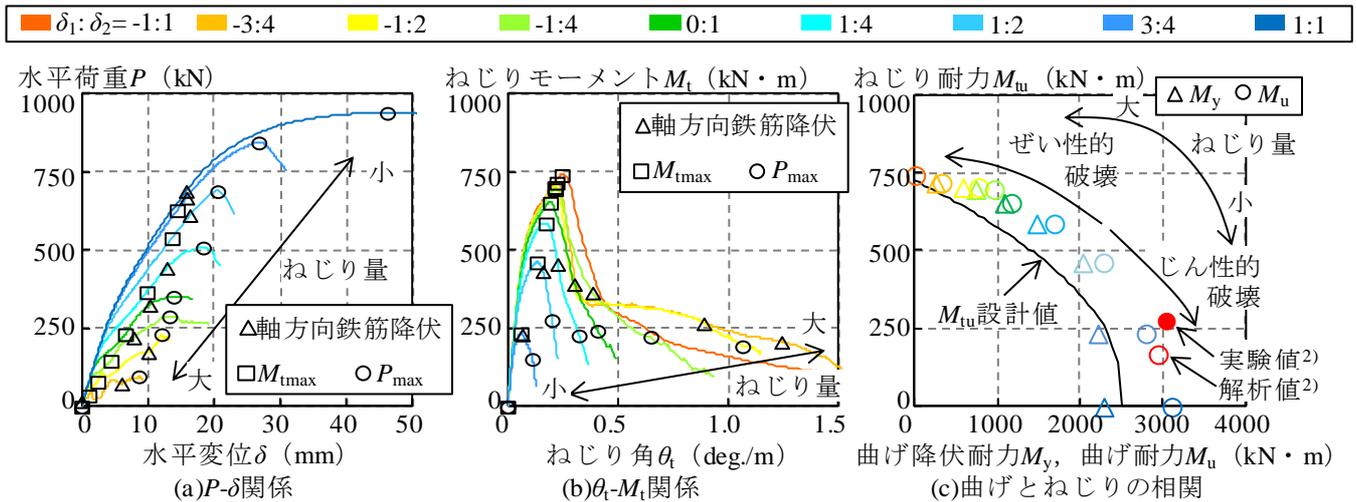


図3 帯鉄筋比 $p_w = 0.79\%$ の RC 柱部材におけるねじり量を変えた解析結果の比較

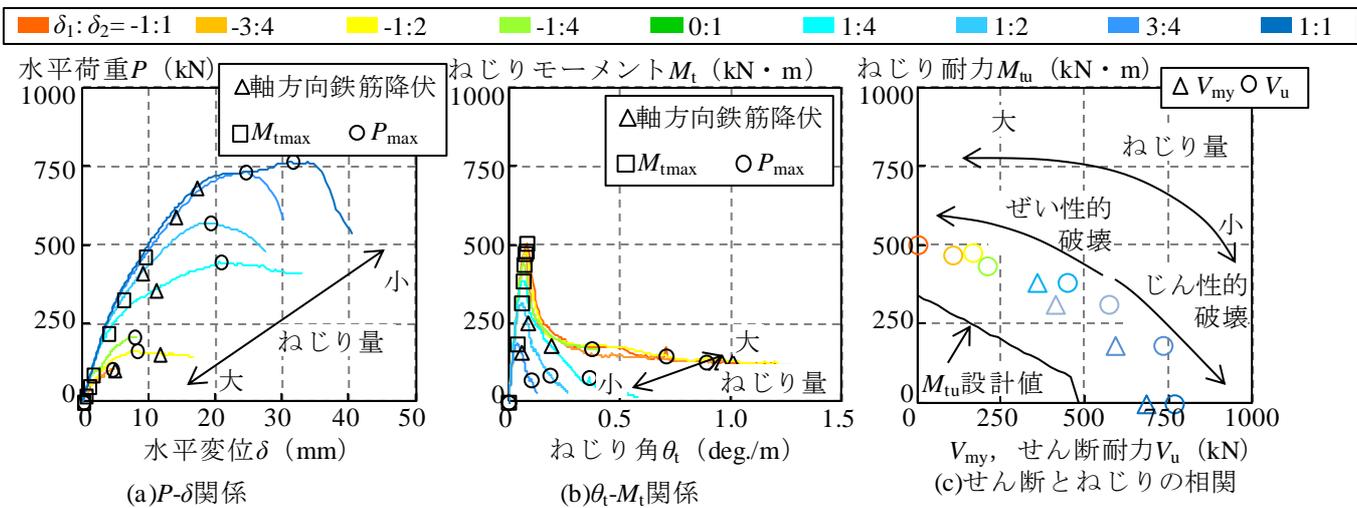


図4 帯鉄筋なしの RC 柱部材におけるねじり量を変えた解析結果の比較

柱基部の軸方向鉄筋が降伏してから、図2(a)のように、柱基部に曲げによる損傷が卓越して P_{max} となり、その後緩やかに荷重低下する、じん性的な破壊であった。一方、ねじり量が大きい場合、軸方向鉄筋が降伏することなく、図2(b)のように、柱高さ中央部にねじりによる損傷が卓越して P_{max} となり、ぜい性的な破壊となった。また、図3(c)より、 $p_w = 0.79\%$ では、ねじり量が大きくなるにつれて、 M_y と M_u の差が小さくなり、曲げによる損傷が卓越するじん性的な破壊から、ねじりによる損傷が卓越するぜい性的な破壊となることが分かった。また、示方書¹⁾における設計値と比較し、今回の解析値は設計耐力よりも大きくなることが分かった。

図4(a) (b)より、帯鉄筋なしでは、ねじり量が小さい場合、柱基部の軸方向鉄筋が降伏後、柱側面に斜めひび割れが生じるせん断破壊により P_{max} に達し、ねじり量が大きい場合は、軸方向鉄筋が降伏することなく P_{max} に達した。また、帯鉄筋なしでは、 $p_w = 0.79\%$ よりも小

さいねじり量において、軸方向鉄筋が降伏しないぜい性的な破壊となることが分かった。また、今回の解析値は設計耐力¹⁾よりも大きくなることが分かった。

4. おわりに

三次元有限要素解析により、曲げに対するねじり量が異なる鉄道 RC ラーメン高架橋柱部材では、ねじり量の増加に伴い、柱基部の曲げによる損傷が卓越するじん性的な破壊から、柱中央部のねじりによる損傷が卓越するぜい性的な破壊への変化することを把握し、ねじりモーメントによる耐力の低下を定量的に評価した。

参考文献

- 1)土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕，2013.3
- 2)田所敏弥，谷村幸裕，中田裕喜：ねじりと曲げを受けるラーメン高架橋柱の変形性能と地震被害，土木学会論文集 E2，Vol.68，No.3，2012