

FEA による三室中空断面 RC 部材のねじりと曲げの相関曲線の提案

九州大学大学院 学生会員 ○新田直也 九州大学大学院 フェロー 大塚久哲
九州大学大学院 学生会員 服部匡洋 九州大学大学院 正会員 梶田幸秀

1. 目的

既往研究¹⁾より、RC 部材に軸力、曲げせん断に加えて、ねじりモーメントが作用すると、それぞれが単独に作用した場合と比較して耐力が低下することが知られている。しかし、一般的な地震応答解析においては、このねじりと曲げの相関関係は考慮されていない。このため、本研究室では既設 RC アーチ橋のアーチリブ部材を模擬した三室箱桁断面 RC 供試体に対するねじりと曲げの正負交番载荷実験²⁾を実施し、ねじりと曲げの相関関係を確認してきた。本研究では、有限要素法を用いて、実験のシミュレーション解析を行い、実験の再現性を確認したうえで、その解析モデルを用いたパラメトリック解析により、ねじりと曲げの相関関係の定式化を実施した。

2.1 正負交番载荷実験に対するシミュレーション解析

供試体の柱部は、三室中空を有する断面形状である。柱端部における局部破壊を避けるため、柱上下端にフーチングを設けた。頭部フーチングを载荷装置に固定し、軸応力(8.0 N/mm²: コンクリートの設計基準強度を 40N/mm² より、軸応力比 20%)、ねじり、曲げ荷重を作用させる。実験ケースを表-1 に示す。実験パラメータは载荷比率(φ)である。载荷比率とは、部材に曲げとねじりが同時に作用した場合に、どちらの荷重が卓越しているかを定量的に表すパラメータであり、 \tan^{-1}

($\Delta Mt / \Delta Mb$) の式で定義した (ΔMt : ねじりモーメントの増加分、 ΔMb : 曲げモーメントの増加分)。これは、载荷比率が 90°(純ねじり)に近づくほどねじりが卓越し(以下、ねじり卓越)、0°(純曲げ)に近づくほど曲げが卓越している(以下、曲げ卓越)ことを意味する。供試体に所定の軸力を载荷した後、それを一定に保持した状態で、頭部フーチングにねじり変位角制御、曲げ変位制御を行うことで正負交番载荷を行う。

有限要素解析モデルを図-1 に示す。有限要素解析ソフト FINAL を使用し、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载荷板とジャッキ(载荷装置)を剛梁要素でモデル化した。コンクリート及び鉄筋の材料特性は実験の材料試験の値を使用した。载荷方法は、基部フーチング底面を固定し、载荷装置天端に鉛直荷重、強制水平変位、強制回転変位を与えることで、初期軸力、曲げモーメント、ねじりモーメントを载荷した。表-1 に示す 4 ケースの実験に対して、シミュレーション解析を実施した。

2.2 実験と解析の比較

複合载荷実験とそのシミュレーション解析より得た、ねじり降伏時、曲げ降伏時のねじりモーメント、曲げモーメントを図-2 に示す。ねじり降伏はねじり剛性が急激に低下する点、曲げ降伏は主鉄筋が降伏する点を降伏と定義しており、別々のイベントとしている。図-2 より、ねじり降伏時、曲げ降伏時共に、ねじりモーメント、曲げモーメントを精度良く再現できた。

2.3 ねじり降伏、曲げ降伏相関曲線の定式化

2.1 の解析モデルを使用し、ねじりと曲げの相関曲線を作成する。ねじりと曲げの相関曲線とは、ねじり降伏、曲げ降伏時のねじりモーメント、曲げモーメントを各载荷比率に応じてプロットすることで作成した。材料強度

表-1 実験検討ケース

検討ケース	载荷状態	载荷比率 φ(°)	コンクリート			鉄筋(D6・SD295A)	
			圧縮強度(N/mm ²)	引張強度(N/mm ²)	ヤング率(kN/mm ²)	降伏応力(N/mm ²)	ヤング率(kN/mm ²)
1	純ねじり	90	52.4	3.3	24.8	507	200
2	ねじり卓越	83	61.9	4.4	29.0	480	189
3	曲げ卓越	55	39.9	3.6	20.8	507	200
4	純曲げ	0	62.5	4.0	27.7	480	189

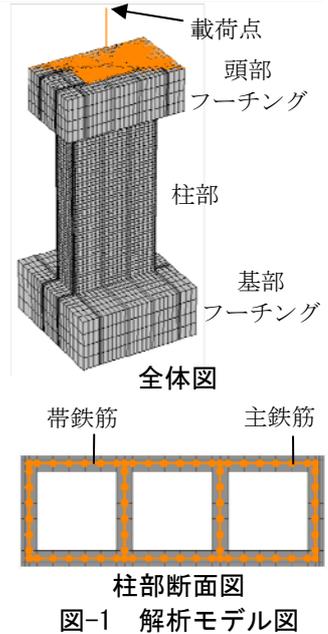
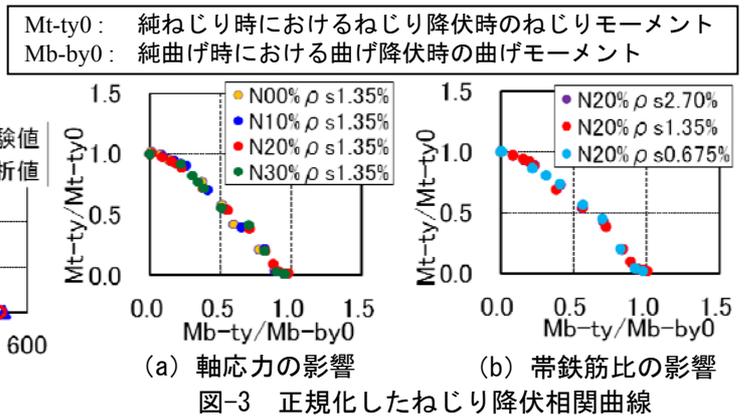
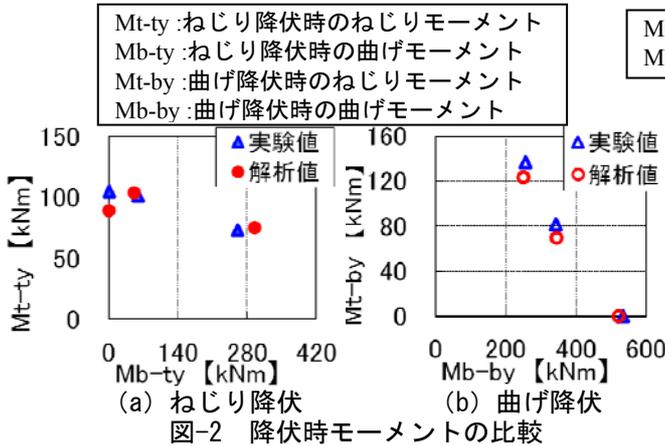


図-1 解析モデル図

キーワード ねじりと曲げの相関曲線 有限要素解析 三室箱桁断面 RC 供試体 相関曲線の定式化

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 092-802-3377



を統一して、荷重比率のみを変化させた解析を実施した。ねじりと曲げの相関曲線を作成する解析モデルのケースとして、標準ケース（軸応力比 $N=20\%$ 、帯鉄筋比 $\rho_s=1.35\%$ ）から軸応力を 0, 10, 30%へ変化させたケース、帯鉄筋比を 2.70, 0.675%と変化したケースの計 6 種類のモデルで解析を行う。

解析より得たねじり降伏相関曲線を図-3に、曲げ降伏相関曲線を図-4に示す。ここでは、ねじり降伏、曲げ降伏相関曲線の形状を比較するため、純荷重時の降伏耐力が 1.0 となるように、複合荷重時のねじり耐力、曲げ耐力を純荷重時の降伏耐力によって除して、正規化している。図-3より、軸応力と帯鉄筋比が正規化したねじり降伏相関曲線に与える影響は小さい。そのため、標準ケースのねじり降伏相関曲線を最小二乗法により、2次曲線で近似して以下のように定式化した。

$$\text{ねじり降伏相関曲線 } M_{t-ty} / M_{t-ty0} = -0.7174 (M_{b-ty} / M_{b-by0})^2 - 0.4010 (M_{b-ty} / M_{b-by0}) + 1$$

図-4より、曲げ降伏相関曲線は、ねじりが大きく卓越する領域（領域II）とそれ以外（領域I）とで傾向が異なる。当初、曲げ降伏は主鉄筋降伏点と定義していたが、ねじりが大きく卓越するケースでは、主鉄筋が降伏する前に、コンクリートの圧縮破壊により、曲げ剛性が低下した。このケースが領域IIに該当する。そのため、曲げ降伏相関曲線は、領域Iを二次曲線で近似することで定式化した後、領域IIの M_{t-by} / M_{t-ty0} の値を定式化することで曲げ降伏相関曲線を作成した。図-4より、領域Iに関しては、軸応力の影響を受けず、帯鉄筋比の影響のみを受けるため、帯鉄筋比 ρ_s をパラメータとして最小二乗法により2次曲線で以下のように定式化した。

$$\text{曲げ降伏相関曲線：領域I } M_{t-by} / M_{t-ty0} = - (0.1829 \rho_s + 1.4032) \{ (M_{b-by} / M_{b-by0})^2 - 1 \}$$

また、領域IIに関しては、軸応力が大きいほど、帯鉄筋比が小さいほど M_{t-by} / M_{t-ty0} の値が小さくなる。よって、軸応力比 N と帯鉄筋比 ρ_s をパラメータとして、標準ケースにおける M_{t-by} / M_{t-ty0} の値 1.268 からの変化率で以下のように定式化を行う。

$$\text{曲げ降伏相関曲線：領域II } M_{t-by} / M_{t-ty0} = 1.268 - 2.182 (N - 0.2) + 0.3245 (\rho_s - 1.35)$$

3. 結論

有限要素法を用いたねじりと曲げの正負交番荷重実験に対するシミュレーション解析により、降伏時のねじり、曲げモーメントを精度よく再現できた。また、パラメトリック解析により、軸応力比、帯鉄筋比の影響を考慮したねじり降伏、曲げ降伏相関曲線を定式化した。

参考文献

- 1) 大塚久哲, 竹下永造, 浦川洋介: 軸力、曲げ/せん断及びねじりの複合荷重を同時に受ける RC 部材の耐震性能と相関特性, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.123-139, 2005.
- 2) 筈島隆司, 大塚久哲, 福永靖雄, 山崎智彦: 曲げとねじりを受ける 3 室中空断面 RC 部材の力学特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.691-696, 2010.