

軸力、曲げ・せん断、及びねじりを同時に受けるRC部材の相関特性

九州大学大学院 フェロー 大塚久哲
 オリエンタル建設（株） 正会員 浦川洋介

九州大学大学院 学生会員 竹下永造
 九州大学大学院 学生会員 西 祐樹

1. 目的

近年、立地条件の制約等から、都市では橋軸直角方向に偏心した逆L字型のRC道路橋脚や、鉄筋コンクリート橋梁の長大化が目立つようになってきた。これらの構造物が地震力を受けた場合、部材には、曲げモーメントに加えてねじりモーメントが生じることになる。そのため、本研究では軸力、曲げ及びそれに伴うせん断、ねじりの複合荷重を受けるRC部材の耐震性能を把握し、その相関曲線や履歴復元力特性を得るために、RC正方形柱による模型供試体を制作して、軸力、曲げ・せん断、ねじりを同時に載荷し、交番載荷実験を行った。

2. 供試体概要及び検討ケース一覧

実験に用いた供試体の外形寸法を図-1に示す。断面は400×400(mm)の正方形断面とし、高さは1600(mm)である。各供試体の載荷条件及び強度特性を表-1に示す。パラメータは、軸力、帯鉄筋間隔、曲げとねじりの載荷比率とした。初期軸応力欄の「%」は、供試体の配合強度に対する載荷軸応力の百分率である。目標載荷比率 M_t / M_b (M_t : ねじりモーメント, M_b : 曲げモーメント) とは、同時載荷時の M_t と M_b の増加比率である。括弧で示している角度は、 $Tan^{-1}(M_t / M_b)$ の式により求めた。目標載荷比率の決定に関しては、精度のよい相関曲線を描くことが出来るような実験値を得るためにその値を決めた。

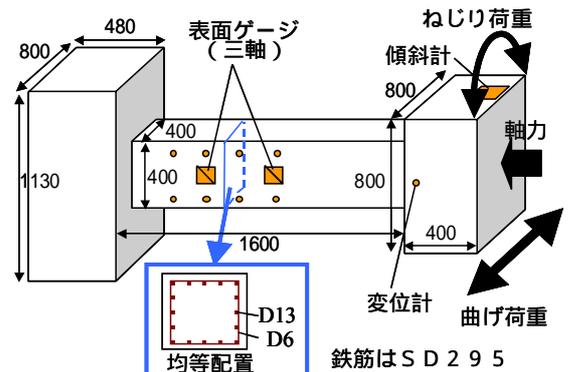


図-1 供試体概要（単位：mm）

表-1 検討ケース一覧

| No. | 初期軸応力 (Mpa : %) | 目標載荷比率 ($\angle M_t / \angle M_b$) | 配合強度 (N/mm ²) | 圧縮強度 (N/mm ²) | 引張強度 (N/mm ²) | 帯鉄筋間隔 (mm) |
|-----|-----------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| 1 | 0Mpa 0% | — (純ねじり) | 40 | 47.6 | 4.3 | 30 |
| 2 | 0Mpa 0% | 1.73 (60°) | 40 | 51.1 | 4.0 | 30 |
| 3 | 0Mpa 0% | 1.00 (45°) | 40 | 43.2 | 3.6 | 30 |
| 4 | 0Mpa 0% | 0.58 (30°) | 40 | 33.4 | 3.9 | 30 |
| 5 | 0Mpa 0% | — (純曲げ) | 40 | 32.8 | 2.8 | 30 |
| 6 | 4Mpa 10% | — (純ねじり) | 40 | 49.3 | 3.4 | 30 |
| 7 | 4Mpa 10% | 1.73 (60°) | 40 | 50.4 | 4.0 | 30 |
| 8 | 4Mpa 10% | 1.00 (45°) | 40 | 47.5 | 3.7 | 30 |
| 9 | 4Mpa 10% | 0.58 (30°) | 40 | 35.3 | 4.1 | 30 |
| 10 | 4Mpa 10% | — (純曲げ) | 40 | 40.6 | 2.9 | 30 |
| 11 | 4Mpa 10% | — (純ねじり) | 40 | 60.4 | 4.8 | 60 |
| 12 | 4Mpa 10% | 1.73 (60°) | 40 | 35.2 | 3.4 | 60 |
| 13 | 4Mpa 10% | 1.00 (45°) | 40 | 51.6 | 3.8 | 60 |
| 14 | 4Mpa 10% | 0.58 (30°) | 40 | 45.7 | 4.2 | 60 |
| 15 | 4Mpa 10% | — (純曲げ) | 40 | 41.1 | 3.3 | 60 |

3. 載荷方法

載荷は、降伏までは目標載荷比率を一定に保つことを目標に、曲げとねじりの変形量を各載荷ステップで調整して行った。降伏以降は、降伏時の変位量の倍数で交番載荷を行った。ねじり荷重の増分を曲げ荷重の増分に対して大きくとったものをねじり卓越型、また、その逆を曲げ卓越型、さらに、載荷比率が同じものを中間型と呼ぶ。例として、図-2にねじり卓越型載荷イメージ図を示す。

4. 実験結果

(1) 相関曲線(荷重レベル)

図-3~5に荷重レベルでの相関曲線を示す。ここで述べている荷重レベルとは、ねじりモーメントと供試体基部での曲げモーメントの実験値を各イベントに対しプロットしたものを意味している（ : 純曲げ, : 複合荷重, : 純ねじり）。ねじりと曲げの損傷が相互に影響しあって、純ねじり荷重や純曲げ荷重よりも複合時における各々の荷重が小さくなっているケースが多いが、軸力の比率が高く、帯鉄筋間隔が密である場合のねじり卓越型の最大耐力のように、単一荷重時の耐力を上回ることもある。

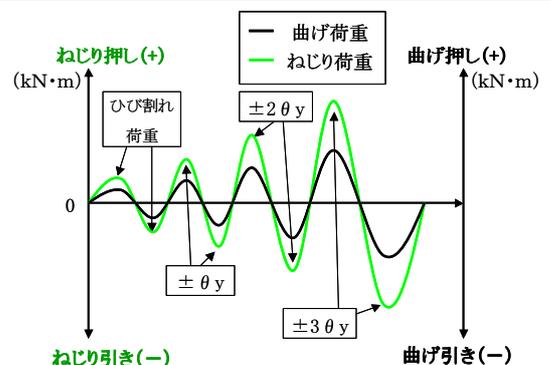


図-2 ねじり卓越型載荷イメージ図

キーワード 複合荷重, RC部材, 交番載荷, 相関曲線

連絡先 〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎6-10-1 092-642-3266

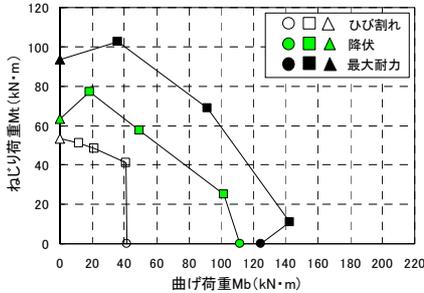


図-3 相関曲線
(軸力0%, 帯鉄筋間隔 30mm)

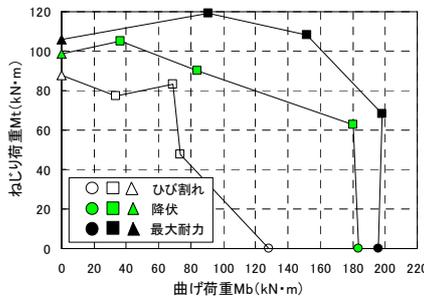


図-4 相関曲線
(軸力10%, 帯鉄筋間隔 30mm)

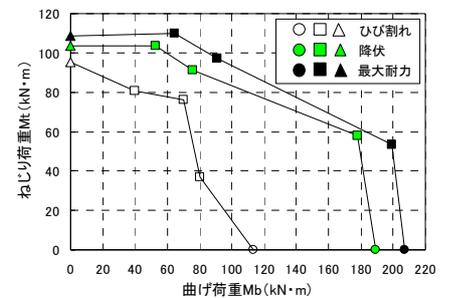


図-5 相関曲線
(軸力10%, 帯鉄筋間隔 60mm)

(2)検討ケースの比較（相関曲線：荷重レベル）

図-6~8にイベント毎の相関曲線を示す．イベントは、ひび割れ、降伏、最大耐力の3つをとった．パラメータは軸力と帯鉄筋間隔である．軸力の違いは灰色と黒色、帯鉄筋の違いは黒色と白色で示した．まず、軸力があると各イベントともに大きな相関曲線を描くことが分かる．これは、軸力の作用によって主鉄筋およびコンクリートに圧縮ひずみが生じ、このことが複合荷重載荷時に生じる引張ひずみの抑制につながり抵抗力が上がるためと考えられる．次に、降伏までは、帯鉄筋間隔は相関曲線にほとんど影響を及ぼさないことが分かる．一方終局時では、帯鉄筋間隔の影響が明瞭に見られ、帯鉄筋間隔 30mmの方がねじり耐力が大きくなっている．これは、降伏以前では、コンクリートと主鉄筋が主として荷重に抵抗するため、帯鉄筋の影響が見られず、降伏以降では、主鉄筋と帯鉄筋とで各荷重に抵抗するためであろう．

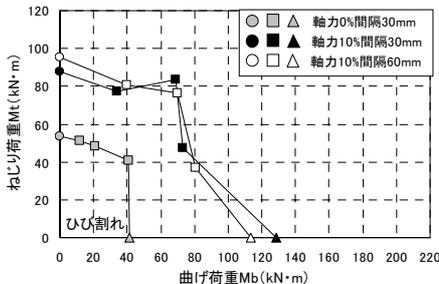


図-6 ひび割れ時の相関曲線

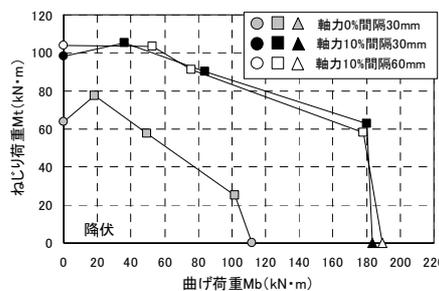


図-7 降伏時の相関曲線

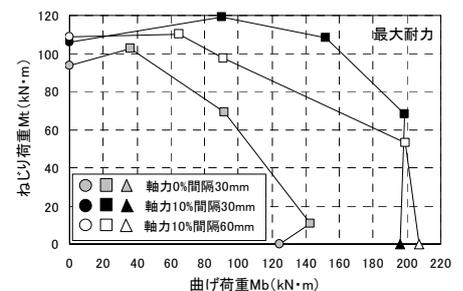


図-8 最大耐力時の相関曲線

(3) 正規化した相関曲線

図-9に正規化した相関曲線を示す．正規化に関しては、各実験値を材料試験強度を用いた理論値で除したものとした．純ねじりの理論値に関しては、ひび割れと最大耐力はコンクリート標準示方書¹⁾を使用し、

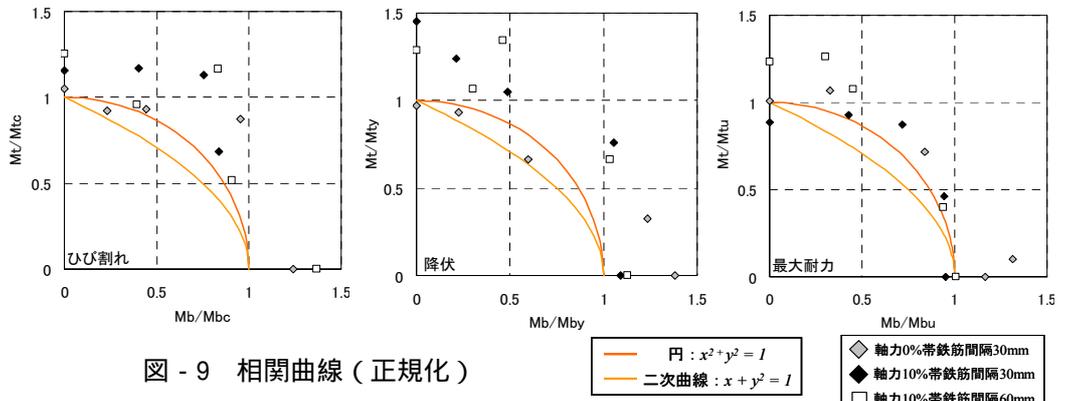


図-9 相関曲線（正規化）

降伏はひび割れ理論値の15%増しとした²⁾．純曲げの理論値に関しても、コンクリート標準示方書に準じて算出した．また、円と二次曲線はこれまでに提案されているねじりと曲げの相関曲線を表す．これらの図より、相関曲線は円形に近いが、大きさにおいて差異が生じていることがわかる．しかし、正規化された相関曲線は、軸力・帯鉄筋間隔の差によって区別できる程の顕著な差異は見られない．

5. まとめ

軸力、曲げ・せん断、及びねじりを同時に受けるRC部材の相関特性は、軸力が大きくなると、大きな相関曲線を描く．また、帯鉄筋間隔の影響は降伏以降に顕著に現れる．さらに、相関曲線を理論値によって正規化すると、軸力・帯鉄筋間隔の影響はほとんど無視できる程度となる．今後は、相関曲線を踏まえて、ねじり・曲げ同時載荷時の骨格曲線と復元力特性の評価方法を考察していく予定である．

<参考文献> 1)土木学会 2002年制定 コンクリート標準示方書【構造型態照査編】
2)大塚・王・高田・吉村 純ねじりを受けるRC部材の履歴特性に影響を及ぼすパラメータに関する実験的研究 土木学会論文集, 2003. 8