

軸力、曲げ及びねじりの複合応力状態におけるRC部材の相関特性に関する研究

九州大学 工学部 学生会員 ○白石昭寿
九州大学 工学部 学生会員 竹下永造

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

1. はじめに

近年、立地条件の制約等から、橋軸直角方向に偏心した逆L字型のRC道路橋脚などが、また一方では橋梁の長大化に伴いRCアーチ橋など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ため、ねじりモーメントの作用を適切に考慮しなければならない。さらに、ねじりと曲げが作用する場合、載荷状態が純ねじりから純曲げモーメントに変化するとともに、RC部材の破壊モードは異なることが分かっているが、その境界点を実験的に判断したものは少ない。従って本研究では、軸力、曲げ及びねじりの複合応力状態におけるRC部材の相関特性において、ねじりが支配的な範囲と曲げが支配的な範囲の境界付近に着目し、一般的なRC橋脚をモデルとした模型供試体を制作し、曲げとねじりに関する交番載荷実験を行った。

2. 実験概要

(1) 供試体諸元

寸法、及び計測機器の位置を図-1に示す。さらに、既往の実験における検討ケース一覧を表-1に、新たに行った実験における検討ケース一覧を表-2に示す。ここで既往の実験における表-1の載荷比率に関しては、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と呼ぶこととした。さらに、載荷比率が同じものを中間型と呼ぶこととした。表-2に関しては、中間型と曲げ卓越型の間としたものを境界型と呼ぶこととした。

(2) 載荷方法

載荷は、降伏まで載荷割合(前述の目標載荷比率のこと)を一定に保つことを目標に、曲げ、ねじりの変形量を各載荷ステップで調整し行った。降伏以降は、降伏時の変位量の倍数で交番載荷を行った。また、例として、図-3にねじり卓越型載荷イメージ図を示す。この図に見られるように、制御した変位量は卓越するモーメント荷重による変位量である。

3. 境界の定義と境界点の探索方法

既往の研究によると、ねじりが支配的な範囲とは、終局時に部材の全面にひび割れが発生する状態であり、曲げが支配的な範囲とは、曲げによる圧縮応力により部材の一面にひび割れが発生しない状態を言う。それぞれの状態を最外縁に位置する主鉄筋で示した図-4を示す。図-4より、最外縁に位置する主鉄筋に対し、ねじりによる引張応力を曲げによる圧縮応力が相殺した状態が、ねじりが支配的な範囲と曲げが支配的な範囲の境界となることが分かるであろう。

境界の探索方法として、主鉄筋ひずみによる判断、帯鉄筋降伏による判断、ねじりの最大耐力と曲げの最大耐力による判断の三つの方法で行った。

を提案した理由は、純ねじりでは帯鉄筋降伏により最大耐力に到ることが分かっており、そこで、ねじり載荷比率の減少に伴い、帯鉄筋降伏が発生しなくなる載荷比率が境界状態ではないかと考えたためである。

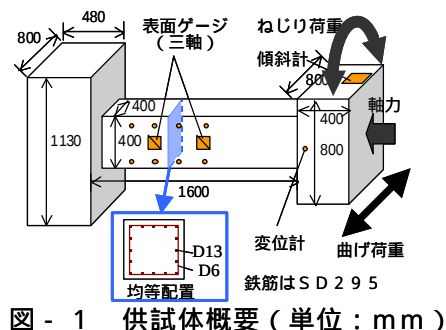


図-1 供試体概要 (単位: mm)

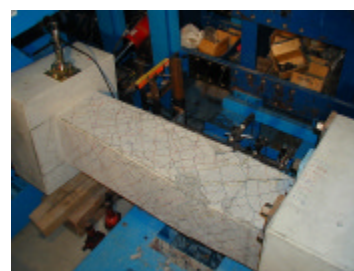


図-2 載荷状況

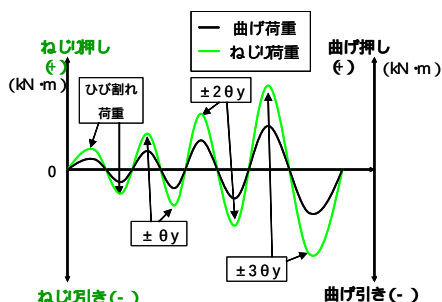


図-3 ねじり卓越型載荷イメージ

表-1 検討ケース一覧 (既往実験)

No.	初期軸力 (Mpa: %)	目標載荷比率 (Mt/ Mb)	配合強度 (N/mm ²)	帯鉄筋間隔 (mm)	No.	初期軸力 (Mpa: %)	目標載荷比率 (Mt/ Mb)	配合強度 (N/mm ²)	帯鉄筋間隔 (mm)
1	0	— (純ねじり)	—	—	16	— (純ねじり)	—	—	—
2	0	1.73 (60°)	—	—	17	1.73 (60°)	—	—	—
3	0	1.00 (45°)	—	—	18	1.00 (45°)	—	—	—
4	0	0.58 (30°)	—	—	19	0.58 (30°)	—	—	—
5	— (純曲げ)	—	—	—	20	— (純曲げ)	—	—	—
6	— (純ねじり)	—	—	—	21	— (純ねじり)	—	—	—
7	1.73 (60°)	—	—	—	22	1.73 (60°)	—	—	—
8	1.00 (45°)	—	—	—	23	1.00 (45°)	—	—	—
9	0.58 (30°)	—	—	—	24	0.58 (30°)	—	—	—
10	— (純曲げ)	—	—	—	25	— (純曲げ)	—	—	—
11	— (純ねじり)	—	—	—					
12	1.73 (60°)	—	—	—					
13	1.00 (45°)	—	—	—					
14	0.58 (30°)	—	—	—					
15	— (純曲げ)	—	—	—					

表-2 検討ケース一覧 (新規実験)

No.	初期軸力 (Mpa: %)	目標載荷比率 (Mt/ Mb)	配合強度 (N/mm ²)	帯鉄筋間隔 (mm)
26	0	0%	—	—
27	2	5%	—	—
28	4	10%	—	—
29	2	5%	—	—
30	4	10%	—	—

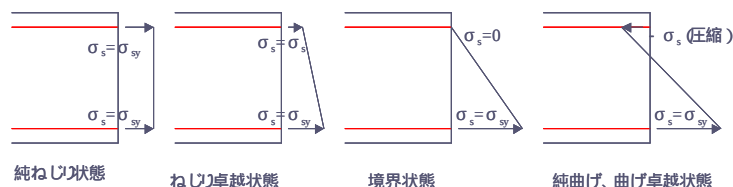


図-4 鉄筋応力図

を提案した理由は、境界状態ではねじの最大耐力と曲げの最大耐力が同時に発生するところと考えたためである。

4. 実験結果

(1) ひび割れ図

図 - 5 に左から順にねじ卓越型、中間型、境界型、曲げ卓越型のひび割れ図を示す。ねじ卓越型、中間型には全面にクロスするようなひび割れが入っているのが分かる。曲げ卓越型では基部側が激しく壊れるだけで全面にクロスするようなひびが入っていない。その中間付近が境界だと考えられるので境界型付近に境界があるのではないかと考えられる。

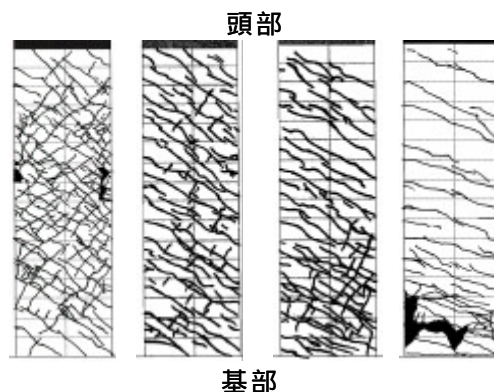


図 - 5 ひび割れ図

(2) 主鉄筋ひずみによる判断の場合、図 - 4 に示す通り境界状態では $\sigma_s = 0$ となる。 $\sigma = E \varepsilon$ より、 $\varepsilon = 0$ のとき境界状態であると考えられる。よって

主鉄筋が降伏した後にひずみが 0 となる場所を探した。但し、図 - 4 が軸力が 0 でかつ、交番荷重ではない状態で考えられているので、残留ひずみを考慮しなくてはならない。よってねじによる引張応力を曲げによる圧縮応力が打ち消していると考えられるところ、つまり、ねじ角が 0 (rad) のところとループの端のひずみの差が小さいところを探索した。その時のループの一例を図 - 6 に示す。図 - 6 からループの左端で引張応力を圧縮応力が打ち消している様子が分かる。また結果を図 - 7 ~ 図 - 11 に示す。図 - 7 は左から順に純ねじ型、ねじ卓越型、中間型、境界型、曲げ卓越型、純曲げ型の最大耐力の相関曲線であり、主鉄筋での境界点ではないかと思われる点に原点から実線を引いた。この結果から、境界は帯鉄筋間隔に大きく左右され、帯鉄筋間隔が小さい時は境界はねじ側に寄り、帯鉄筋間隔が大きい時は境界は曲げ側に寄る結果となっている。

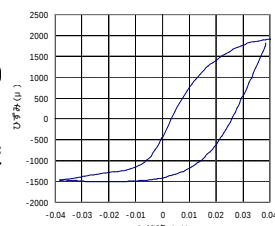


図 - 6 No. 28 のひずみのループ

(3) 帯鉄筋降伏による判断の場合、帯鉄筋が降伏する時はねじが支配的な範囲、降伏しない時は曲げが支配的な範囲として、帯鉄筋が降伏する限界のところを探索した。その結果を図 - 7 ~ 図 - 11 に示す。帯鉄筋での境界点ではないかと思われる点に原点から破線を引いた。実線と重なるところは実線のみとしている。軸力 0%, $c/t \leq 30$ の時には帯鉄筋が降伏していなかったため判断が出来なかったが、他の場合の時で見ると、(2)と同様帯鉄筋間隔に依存している結果となった。

(4) ねじの最大耐力と曲げの最大耐力による判断では、ねじと曲げが同時に最大耐力を迎えるところを探索したいが、同時に迎えているところが少ないので、ねじの最大耐力と曲げの最大耐力をそれぞれ探索することにした。その結果を図 - 7 ~ 図 - 11 に示す。凡例に記載してある中間型と境界型とは曲げ荷重が最大の時の点である。軸力 10%, $c/t \leq 30$ の中間型のときにねじ荷重と曲げ荷重が同時に最大を迎えているが、他の場合ではグラフからみて分かる通り、ねじ荷重が最大のところと曲げ荷重が最大のところは大きくずれており、ここから境界を判断するのは難しい。

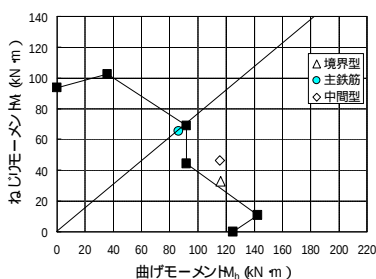


図 - 7 軸力、0% c/t ≤ 30

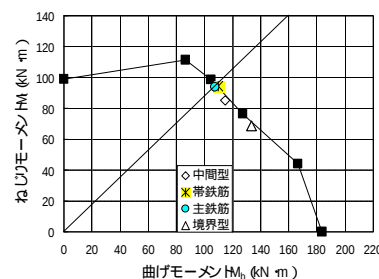


図 - 8 軸力、5% c/t ≤ 30

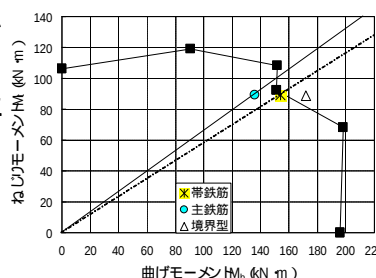


図 - 9 軸力 10%, c/t ≤ 30

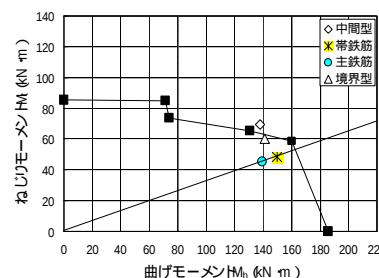


図 - 10 軸力 5%, c/t ≤ 60

5. まとめ

主鉄筋ひずみから判断した境界と帯鉄筋降伏から判断した境界は大体同じようなところに出ている。そして

どちらにも言えることは、軸力にはあまり影響されず、帯鉄筋間隔に大きく影響されるといふことである。帯鉄筋間隔が小さい時は曲げが支配的な範囲が大きく、帯鉄筋間隔が大きい時はねじが支配的な範囲が大きいということがわかる。ねじの最大耐力と曲げの最大耐力からでは、同時に最大を迎えている場合が少なく、また、それぞれが大きくずれて出たりしているので今のところ明確な境界を見つけ出すことが困難である。これについては今後研究を進めていきたい。

[参考文献]1) 泉満明著 「ねじと曲げを受けるコンクリート部材の終局強度と設計法」 1982. 土木学会論文報告集 No.327

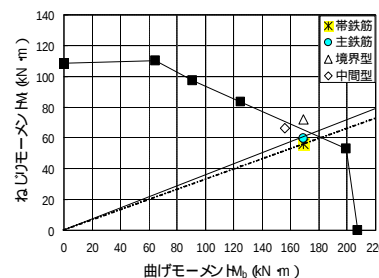


図 - 11 軸力 10%, c/t ≤ 60