

軸力、曲げ/せん断、及びねじりを同時に受ける RC 部材の相関曲線と等価剛性

九州大学大学院 工学府 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。しかしながら、ねじりを受けるRC部材の非線形履歴特性については、これまで知見が少なく、さらに、ねじりと曲げが同時に生じる場合、それぞれの骨格曲線を含めた復元力特性に及ぼす影響について考察を行ったものはほとんどない。

これらのことを踏まえ、著者らは、軸力、曲げ/せん断、及びねじりを同時に受けるRC部材の耐震性能を把握するため、RC橋脚を想定した模型供試体を制作し、交番載荷実験を行ってきた。本稿では、実験結果から、相関曲線と等価剛性に着目し考察を行った。

2.実験概要

実験に用いた供試体の外形寸法を図-1に示す。次に、表-1に各供試体の特性、載荷条件を示し、表-2、表-3に供試体使用材料の強度試験結果を示す。

3.実験結果

1) 正規化した相関曲線

相関曲線の正規化は、各供試体のコンクリート実強度を用い、純ねじり・純曲げの理論値を算出し、複合荷重時のイベント時の耐力をこの理論値で除すことによって行った。このため、コンクリート強度の違いを除去することが出来た。さらに、 x 軸、 y 軸上の点(純ねじり、純曲げ)に関しては、必ず 1.0 になるように平行移動し、それに合わせて各プロット点も同じ量だけ平行移動した。

図-2にひび割れ時の相関曲線を示す。図より、プロット点がばらついていることが分かるが、これは、ひび割れ目視で確認したことによる測定誤差だと考えられる。相関曲線としては、両軸の 1.0 を直線で結んで出来る相関関係式 $M_t/M_{tc} + M_b/M_{bc} = 1.0$ で下限値が抑えられていると考えてよい。帯鉄筋間隔の影響については、ねじり、曲げどちらも弾性域に近い範囲であることや、ひび割れ時の帯鉄筋ひずみが非常に小さいことより大きな影響はないと考えられる。

図-3に降伏時の相関曲線を示す。降伏時もプロット点がばらついているが、これは、変位制御で実験を行ったため、目標変形に到達する手前で降伏が生じている場合、降伏判定が不正確となることが影響したためと考えられる。相関曲線としては、ひび割れ時と同様の相関関係式 $M_t/M_{ty} + M_b/M_{by} = 1.0$ で下限値は抑えられている。帯鉄筋間隔の影響については、ねじり卓越型・中間型では、ねじり降伏段階では帯鉄筋降伏が生じていないこと、さらに、曲げ卓越型では、帯鉄筋ひずみが全断面において依然としてかなり小さい

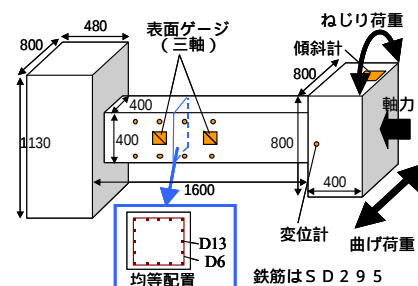


図-1 供試体概要(mm)

表-1 検討ケース一覧

No.	初期軸応力 (Mpa : %)		目標載荷比率 ($\angle Mt / \angle Mb$)	配合強度 (N/mm ²)	帯鉄筋間隔 (mm)		
1	2Mpa	5%	— (純ねじり)	40	30		
2			1.73 (60°)				
3			1.00 (45°)				
4			0.58 (30°)				
5	4Mpa	10%	— (純曲げ)			40	60
6			— (純ねじり)				
7			1.73 (60°)				
8			1.00 (45°)				
9	2Mpa	5%	0.58 (30°)	40	60		
10			— (純曲げ)				
11			— (純ねじり)				
12			1.73 (60°)				
13	4Mpa	10%	1.00 (45°)			40	60
14			0.58 (30°)				
15			— (純曲げ)				
16			— (純ねじり)				
17	2Mpa	5%	1.73 (60°)	40	60		
18			1.00 (45°)				
19			0.58 (30°)				
20			— (純曲げ)				

表-2 コンクリート材料試験結果

No.	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	静弾性係数 (N/mm^2)
1	6	31.9	3.4	22.8
2	62	50.6	3.9	32.3
3	19	45.4	3.2	27.2
4	41	54.0	3.9	33.9
5	31	51.6	3.5	31.8
6	11	35.3	4.1	23.9
7	32	49.3	3.4	30.1
8	33	50.4	4.0	35.5
9	49	47.5	3.7	31.6
10	6	40.6	2.9	24.6
11	10	34.8	3.4	23.0
12	26	48.0	3.5	29.8
13	20	47.9	4.0	33.2
14	18	41.5	3.3	31.5
15	15	46.5	3.6	33.8
16	15	45.7	4.2	27.3
17	38	60.4	4.8	36.6
18	27	35.2	3.4	30.0
19	37	51.6	3.8	31.0
20	6	41.1	3.3	26.2

表-3 鋼材材料試験結果

鋼材	降伏点 (N/mm^2)	降伏ひずみ ($\epsilon_y \times 10^{-6}$)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)
D6	322	1823	497	175
D13	340	1885	489	180

ことから、影響はほとんどない結果となった。

図-4 に最大耐力時の相関曲線を示す。まず、最大耐力時の相関関係は、ねじりが支配的な範囲では、プロット点が、 $M_t/M_{tu}=1.0$ 近傍に分布をしている個所がある。これは、純ねじりの場合、主鉄筋は降伏しないが、帯鉄筋が降伏することにより最大耐力に至っていたのに対し、ねじり卓越型・中間型の場合、主鉄筋と帯鉄筋が共に降伏した後に最大耐力に至っているためであると考え

られる。ねじりが卓越する応力状態を説明できるとされる立体トラス理論でも、鉄筋の応力状態により終局耐力が決定されるため、主鉄筋と帯鉄筋が共に降伏する複合時のねじり耐力の方が、純ねじり耐力より大きくなっている。帯鉄筋間隔の影響は、ねじりが卓越する範囲で顕著に現れており、 $M_t/M_{tu}=1.0$ を維持する分布の長さが帯鉄筋間隔 30mm に比べて、帯鉄筋間隔 60mm は短くなっている。これは、ねじりが支配的な範囲と曲げが支配的な範囲の境界が、帯鉄筋間隔によって異なることを意味している。相関曲線としては、放物線で表される相関関係式により下限値は抑えられて

2) 等価剛性－載荷比率

図-5、図-6 に等価剛性－載荷比率関係を示す。ここで、グラフの縦軸である $GK/GK_{t_pure_c}$ 、 $EI/EI_{b_pure_c}$ に関しては、軸力別の純ねじりまたは純曲げの初期剛性で除したことを表している。これによって、複合荷重状態における等価剛性が、純荷重状態における初期剛性の倍数で表されている。

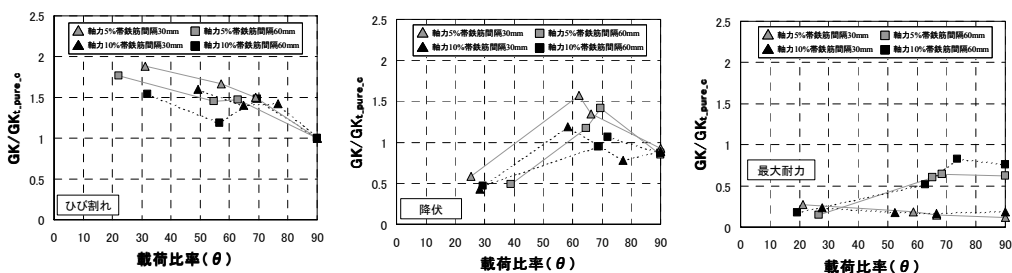


図-5 等価剛性－載荷比率関係(ねじり側, (左)ひび割れ, (中)降伏, (右)最大耐力)

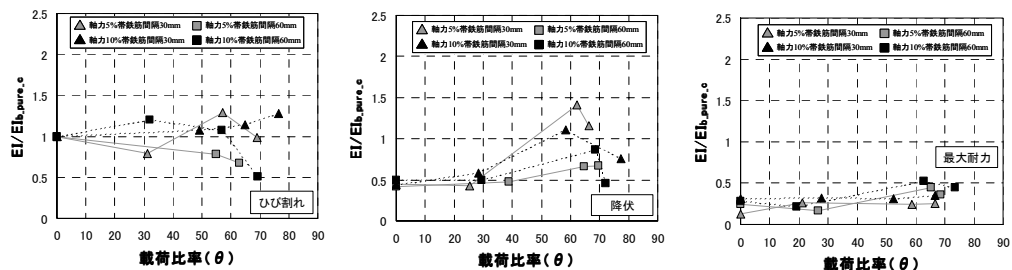


図-6 等価剛性－載荷比率関係(曲げ側, (左)ひび割れ, (中)降伏, (右)最大耐力)

ひび割れ、降伏時には、軸力や帯鉄筋間隔の影響は多少あるが、ほぼ同様の傾向が現れている。ひび割れ時には、ねじり側では全て 1 より大きく、曲げ側では 1 を中心に上下にばらついている。降伏時には、ねじり側では曲げ載荷の増加に伴い、一度上昇し、その後減少し、曲げ側ではねじり荷重の増加に伴い、縦軸の値が 0.5 付近からなだらかに上昇している。最大耐力時には、ねじり側で帯鉄筋間隔の影響が現れており、別の傾向をそれぞれ示している。しかし、曲げ側では、そのような傾向は見られず、ほぼ横ばいとなっている。これは、ねじり側では帯鉄筋の効果が最大耐力時に現れるが、曲げ側では帯鉄筋の効果が最大耐力時以前ではほとんど発揮されないことによるものと考えられる。

4.まとめ

軸力、曲げ/せん断、及びねじりを同時に受ける RC 部材に対して、ひび割れ、降伏、最大耐力の相関曲線を示した。また、帯鉄筋間隔による効果は最大耐力時のねじり側で大きく現れることを示した。今後は、等価剛性－載荷比率関係を定式化し、相関曲線式と関連させて、ねじり・曲げ同時載荷時の骨格曲線の評価を行う予定である。

参考文献 1) 軸力、曲げ及びねじりの複合荷重を受ける RC 部材の履歴復元力に関する実験的考察 土木学会地震工学論文集 2003.10

2) 軸力、曲げおよびねじりを同時に受ける RC 部材の挙動に関する研究 構造工学論文集 2005.3

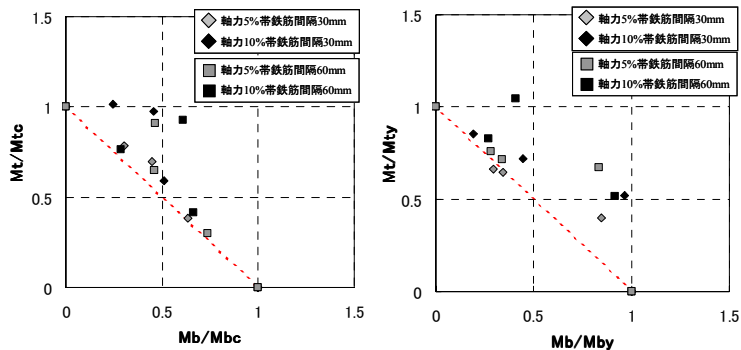


図-2 ひび割れ時の相関曲線

図-3 降伏時の相関曲線

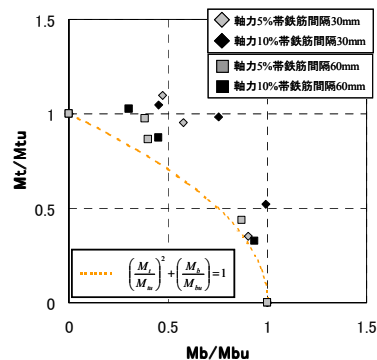


図-4 最大耐力時の相関曲線