

軸力、曲げ・せん断、およびねじりを同時に受けるRC部材の履歴復元力特性

オリエンタル建設株式会社 第二技術部 正会員 工修 ○浦川 洋介
 九州大学大学院 工学研究院 建設デザイン部門 教授 正会員 工博 大塚 久哲
 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻 竹下 永造

1. はじめに

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製作して、軸力、曲げ・せん断、ねじりを同時に載荷する交番載荷実験を行った。その結果から、今回はねじりと曲げの挙動について、剛性低下率と等価減衰定数に着目し、考察を行った。

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400×400mmの正方形充実断面とし、高さは1600mmとした。各供試体の載荷条件及び材料強度を表-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、供試体の設計基準強度に対する載荷軸応力の百分率である。目標載荷比率 $\Delta M_t / \Delta M_b$ (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、 $\tan^{-1}(\Delta M_t / \Delta M_b)$ 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できるような実験値を得るためにその値を決定した¹⁾。

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ケースをねじり卓越型、また、その逆を曲げ卓越型、さらに、載荷比率が1.0のケースを中間型と呼ぶ。

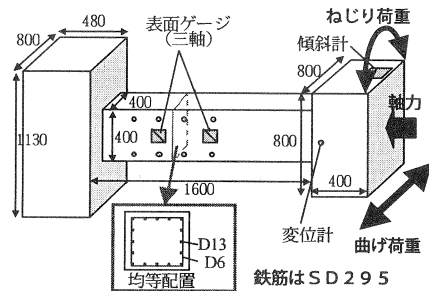


図-1 供試体概要 (単位: mm)

4. 実験結果

4.1 骨格曲線と剛性低下率

骨格曲線と剛性低下率の関係を図-2、図-3に示す。ここで、 GK/GK_0 , EI/EI_0 は、ねじり、曲げそれぞれの初期剛性 (実験値) に対する、履歴ループ毎の等価剛性の比であり、剛性低下率を表している。また、最大荷重は、各履歴ループにおける最大変形時に生じた荷重であり、骨格曲線を表している。さらに、 θ/θ_y 純ねじり、 δ/δ_y 純曲げは、複合荷重状態におけるねじりおよび曲げによる変形量を、それぞれ純ねじりおよび純曲げにおける降伏時の変形量で除した値である。白抜き点線

表-1 検討ケース一覧

No.	初期軸応力 (Mpa : %)	目標載荷比率 ($\Delta M_t / \Delta M_b$)	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		1.73 (60°)		51.1	4.0	
3		1.00 (45°)		43.2	3.6	
4		0.58 (30°)		33.4	3.9	
5		— (純曲げ)		32.8	2.8	
6	4Mpa 10%	— (純ねじり)	40	49.3	3.4	30
7		1.73 (60°)		50.4	4.0	
8		1.00 (45°)		47.5	3.7	
9		0.58 (30°)		35.3	4.1	
10		— (純曲げ)		40.6	2.9	
11		— (純ねじり)		60.4	4.8	60
12		1.73 (60°)		35.2	3.4	
13		1.00 (45°)		51.6	3.8	
14		0.58 (30°)		45.7	4.2	
15		— (純曲げ)		41.1	3.3	

で示したグラフについては、純ねじり、純曲げの結果であり、比較のため併記した。グラフは、左からねじり卓越型、中間型、曲げ卓越型の順で示しており、上段はねじり、下段は曲げに対する結果を示している。

まず、複合荷重状態のねじりについては、純ねじりに対して、ねじりの载荷比率が小さくなるにしたがい、小さいねじり変形で剛性が急激に低下しているのが分かるが、ねじり卓越型および中間型に比べ、曲げ卓越型でその影響が顕著であり、また、帯鉄筋間隔 30mm のケースの方が帯鉄筋間隔 60mm のケースに比べその影響が大きい結果となった。最大荷重についても、曲げ卓越型では著しく小さくなっている。

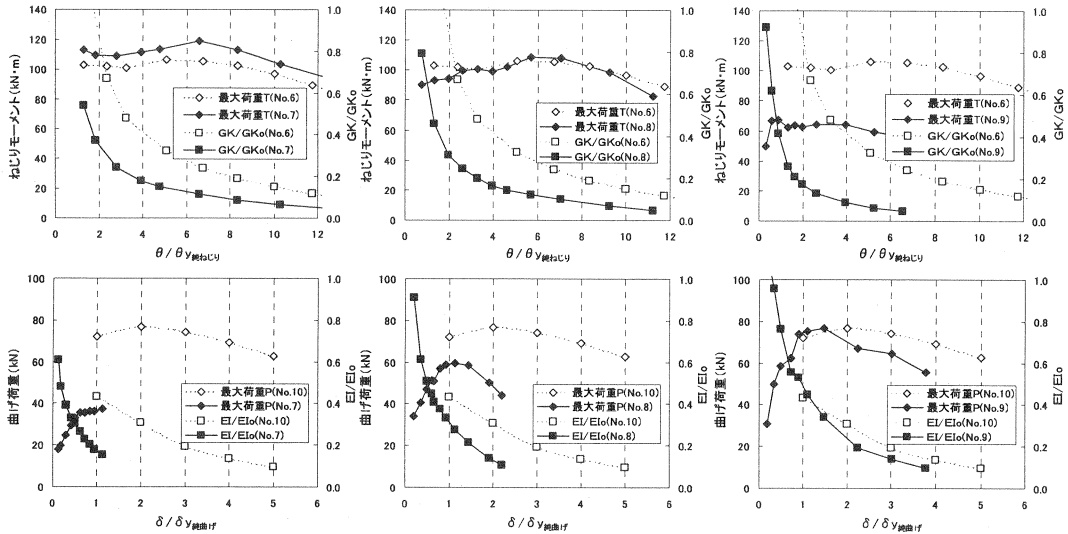


図-2 骨格曲線と剛性低下率 (上段：ねじり，下段：曲げ)

パラメータ：軸力 4.0N/mm²，帯鉄筋間隔 30mm

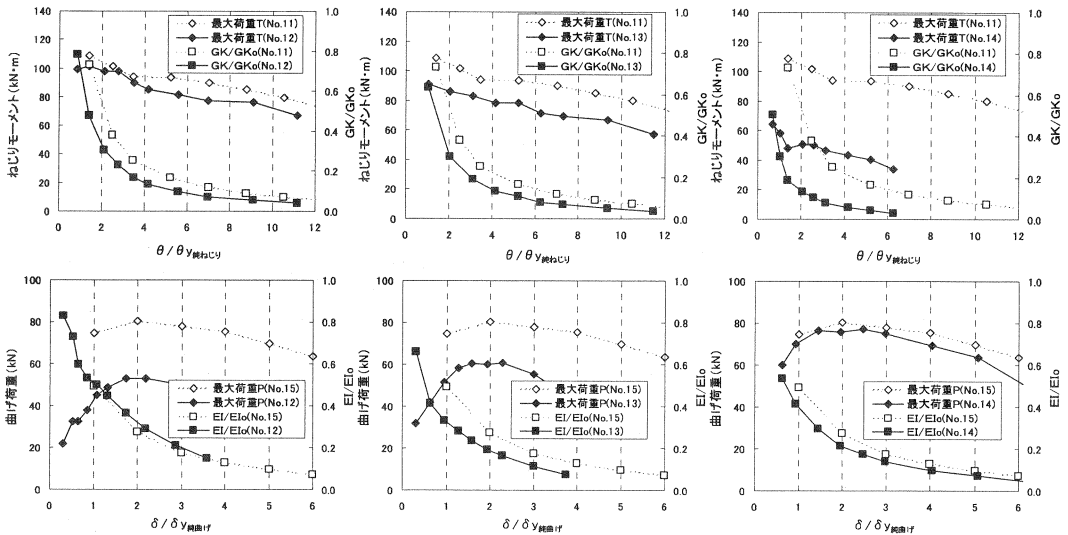


図-3 骨格曲線と剛性低下率 (上段：ねじり，下段：曲げ)

パラメータ：軸力 4.0N/mm²，帯鉄筋間隔 60mm

複合荷重状態における曲げについては、曲げ卓越型では、純曲げの挙動とほぼ同様であるのに対し、曲げの荷重比率が小さくなると、最大荷重は小さくなっている。剛性低下率については、帯鉄筋間隔 30mm のケースでは、曲げの荷重比率が小さくなるにしたがい、小さい変形で急激に剛性が低下しているが、帯鉄筋間隔 60mm のケースの剛性低下率は純曲げに比べそれほど変わらない。

これは、複合荷重状態においては、ねじり、曲げによる相互の影響により、それぞれの挙動に対して塑性化が早くなるためと考えられる。

4.2 剛性低下率と等価減衰定数

剛性低下率と等価減衰定数の関係を図-4, 5 に示す。グラフは、左からねじり卓越型, 中間型, 曲げ卓越型の順で示しており、上段はねじり, 下段は曲げに対する結果を示している。等価減衰定数は、複合荷重状態におけるねじり、曲げの各履歴ループより求めたものを示す。

純ねじりの等価減衰定数は、変形が進展してもほぼ一定の値であるのに対し、純曲げの等価減衰定数は、塑性化が進むにつれ次第に大きくなる特徴がある。このような変形と等価減衰定数との関係は、複合荷重状態においても、同様な傾向を示しているが、曲げ卓越型においては、変形とともにねじりの等価減衰定数が増加しており、純ねじりの場合とは異なる特徴を示す。ねじり卓越型および中間型でのねじりの等価減衰定数は、純ねじりの等価減衰定数とほぼ同程度であり、曲げ卓越型での曲げの等価減衰定数は、純曲げの等価減衰定数と同様の結果となっている。複合荷重状態における曲げの等価減衰定数は、一度減少した後値が増加する特徴があるが、変形が進むと、純曲げに比べ、同等かそれ以上となる傾向を示した。

また、軸力 4.0N/mm²、帯鉄筋間隔 60mm の方が、軸力 4.0N/mm²、帯鉄筋間隔 30mm に比べ、卓越しない荷重側の影響をあまり受けていないことが分かる。軸力 4.0N/mm²、帯鉄筋間隔 30mm のケースでは、ねじり卓越型において曲げによる変形が小さく、等価減衰定数が小さい範囲までの結果となっているが、これは曲げによるエネルギー吸収が大きくなる前に、ねじりによる損傷の進展によりエネルギー吸収が行われ、卓越しない側の曲げ荷重が急激に減少したことによると考えられる。

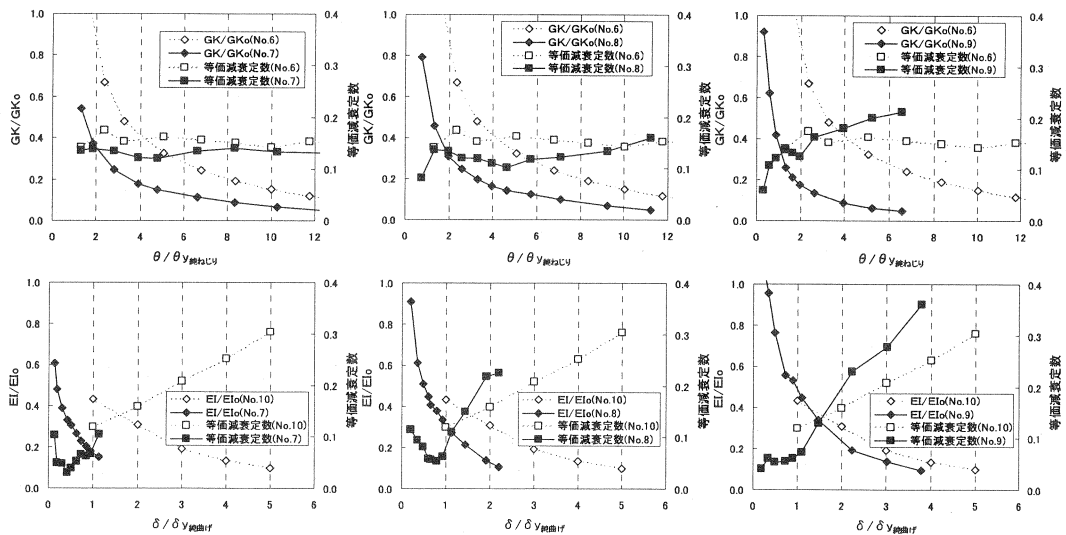


図-4 剛性低下率と等価減衰定数 (上段:ねじり, 下段:曲げ)

パラメータ: 軸力 4.0N/mm², 帯鉄筋間隔 30mm

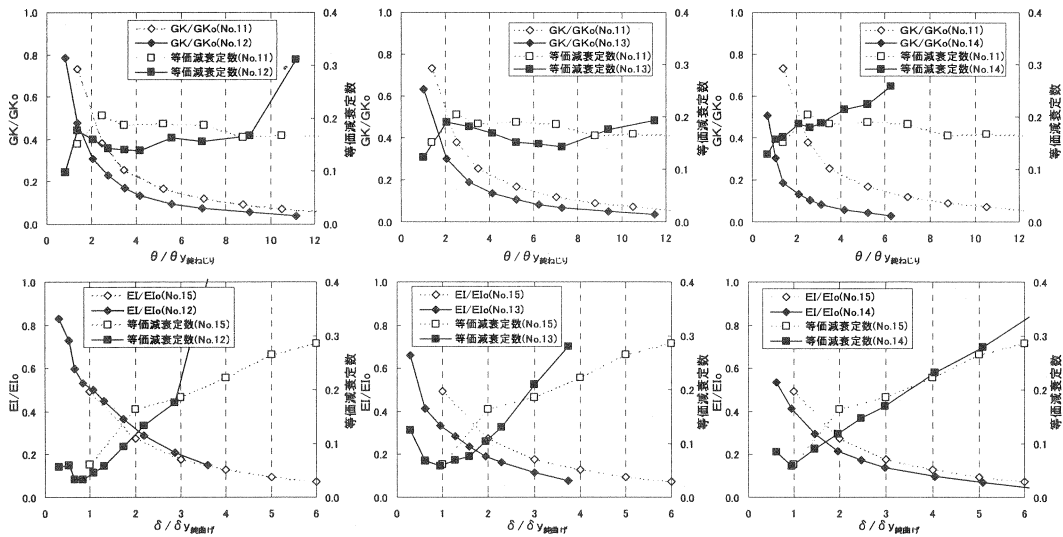


図-5 剛性低下率と等価減衰定数 (上段：ねじり，下段：曲げ)
 パラメータ：4.0N/mm²，帯鉄筋間隔 60mm

5. まとめ

軸力，曲げ・せん断，およびねじりを同時に受けるRC部材の履歴復元力特性について，剛性低下率と等価減衰定数に着目して考察を行った。これにより得られた結果を以下にまとめる。

- (1) ねじりおよび曲げの複合荷重状態においては，単一荷重状態（純曲げ，純ねじり）に比べ，小さい変形で剛性が低下する。これは，複合荷重状態においては，ねじり，曲げによる相互の影響により，どちらの挙動に対しても塑性化が早くなるためである。
- (2) 剛性低下率については，帯鉄筋間隔が小さい方が，小さい変形での剛性低下率が大きく，帯鉄筋間隔が大きい場合は，単一荷重状態に比べその影響は小さい。
- (3) ねじりの等価減衰定数は，塑性化後は変形が進展してもほぼ一定の値（10%～20%）であるのに対し，曲げでは，塑性化が進むにつれ等価減衰定数は大きくなる。曲げ卓越型におけるねじりの等価減衰定数は，変形とともに増加しており，純ねじりの場合とは異なる特徴を示す。

今後は，複合荷重状態における等価剛性および等価減衰定数の評価方法，曲げとねじりの相関関係等に対する検討を行うとともに，地震時のような交番荷重が作用する部材のねじり挙動が橋梁全体の耐震性能におよぼす影響についても検討を行う必要がある。

6. 参考文献

- 1) 大塚，竹下，浦川，西：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，第59回土木学会年次講演論文集，2004（掲載予定）。
- 2) 大塚，竹下，王堯，矢葺，角本，吉村：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.
- 3) 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.
- 4) 泉満明：ねじりと曲げを受けるコンクリート部材の終局強度と設計法，土木学会論文報告集 No.327, 1982.