

V-40

曲げねじり荷重下のコンクリート部材の剛性と変形挙動

北海道大学大学院 学生員 野崎 悟
北海道大学工学部 石田 文宣
北海道大学工学部 正会員 志村 和紀
北海道大学工学部 フェロー員 佐伯 昇

1. はじめに

近年大型海洋構造物などにおいてコンクリート部材のねじりの研究が行われている。実際の建造物においては一般に、ねじり荷重が加わる時は併せて曲げ荷重、さらにはせん断と言った複数の荷重が同時に働く場合が多い。そのため、複数の荷重状態が同時に働く場合の部材の剛性、及び耐力の変化についての検討が必要となってくる。しかし、現在までにこのような組み合わせ荷重について理論的な解析を行った例はあまり多くはない。示方書においても実験から経験的に決定されているのみである。そこで、曲げとねじりの2つの荷重が同時に働く場合について実験を行い、併せて理論的にその変形挙動の解析を行った。

2. 実験概要

供試体は中実矩形断面を用いた。供試体の寸法及び配筋については全ての供試体を通して同一であり、図-1に示すように、高さ30cm、幅20cm、全長200cm、かぶりは2cm、横方向鉄筋の間隔は10cmとした。鉄筋は軸方向鉄筋、横方向鉄筋共にD10(降伏点:3458kgf/cm²)を使用した。載荷試験については静的試験とし、ねじり荷重と曲げ荷重を同時に載荷する。試験装置の概要は図-2に示すとおりである。支間長は165cmとし、曲げ荷重載荷点は両支点から42.5cmの2点でスパンを80cmとした。ねじり荷重は、一端をトルクに対して固定し、他端に接続したドラムを回転させることにより載荷した。曲げ荷重は、2点に同一の荷重を載荷することにより載荷点間でせん断応力が発生しないものとした。ねじり角、曲率は傾斜計を載荷側と固定側の2ヶ所に距離を取って設置し、その値及び傾斜計間の距離より求めた。

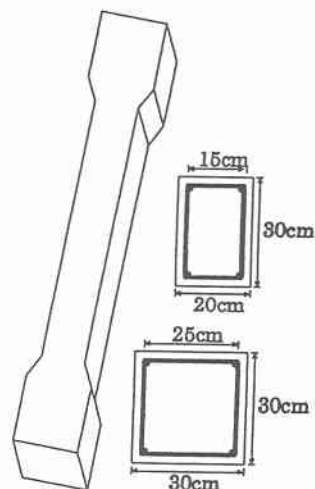


図-1 供試体の全体像及び断面図

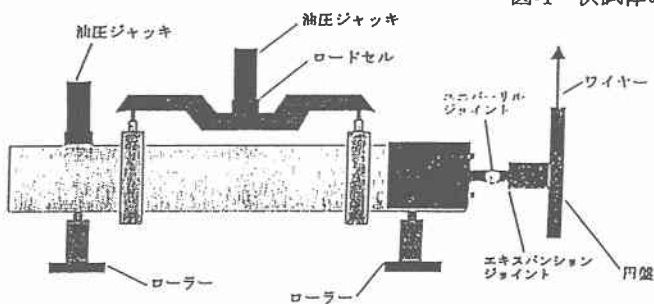


図-2 実験装置

Study on Behavior of Rigidity and Deformation of Reinforced Concrete Beams under Bending and Torsion

by Satoru Nozaki, Fuminori Ishida, Kazunori Shimura, Noboru Saeki

以上の方法を用いた上で、トルクと曲げモーメントの比を変化させ7回の実験を行った。各供試体のT/M及びコンクリート強度諸元を以下の表に示す。

表.1

供試体名	BT95-1	BT95-2	BT95-3	BT95-4	BT95-5	BT96-2	BT96-3
圧縮強度 (kgf/cm ²)	321	318	406	291	307	336	402
引張強度 (kgf/cm ²)	24.8	28.7	24.2	21.1	23.9	24.4	27.8
弾性係数 (10 ⁵ kgf/cm ²)	2.39	2.34	2.64	2.46	2.62	2.47	2.77
T/M	∞	1.0	2.0	0	0.5	1.5	0.2

3. 解析概要

(1) 純ねじり解析

R C 平板モデルにおける釣り合い条件及び適合条件から、ブレットのねじり理論を用いて解析を行った。
鉄筋の応力－ひずみ関係は図-3(a)に示すようにバイ・リニア型とした。コンクリートの圧縮応力－ひずみ関係は図3(b)に示すように2次放物線とし、終局ひずみを0.0035とした。また、圧縮コンクリートは圧縮－引張の2軸応力下にあるため、Collinsの低減係数を用いた。コンクリートの引張応力－ひずみ関係は図-3(c)に示すようにTension Stiffeningを考慮し、塑性変形部と軟化部を有したモデルを用いた。

解析は、2分法による繰返し計算を用いた。また、せん断ひずみの増加に伴う有効かぶりの変化を考慮した。1)

(2) 純曲げ解析

曲げについては通常の曲げ理論に基づく力の釣り合い式により中立軸位置を求め、曲げモーメントを算出した。コンクリートの圧縮応力－ひずみ関係は図-3(a)のものをを用いた。引張応力については、コンクリートは引張応力を一切受け持たず、その分を鉄筋が受け持つものとして鉄筋の引張応力－ひずみ関係を修正した(図-3(d))。2)

(3) ねじり－曲げの組合せ応力解析

ねじりと曲げの組合せ応力の解析は、上記の純ねじりおよび曲げ解析をもとに、以下の手順により行なった。

- ①純ねじりの主応力方向に生ずるひずみを与える。
- ②純ねじり解析を行なう。
- ③ねじりによる軸方向ひずみを求め、曲げによる軸方向ひずみを仮定し、加える。
- ④コンクリートおよび鉄筋の応力を③で得られたひずみを基に算出する。
- ⑤曲げによる応力を④で得られた応力から分離する。
- ⑥曲げモーメントを算出し、トルク／曲げモーメント比を計算し、所要の値になっているか照査し、異なっていれば③に戻り、曲げによるひずみを仮定し直す。
- ⑦ねじり解析におけるコンクリートの圧縮主応力あるいは曲げ解析における圧縮縁コンクリートの軸方向ひずみが終局ひずみになるまで①

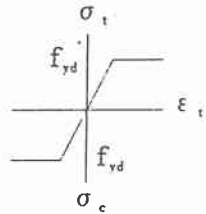


図-3(a) 鉄筋の応力－ひずみ関係

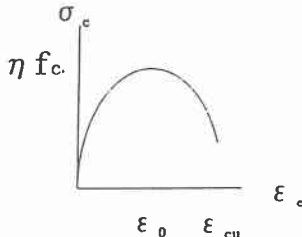


図-3(b) コンクリートの圧縮応力－ひずみ関係

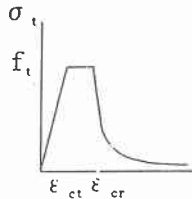


図-3(c) コンクリートの引張応力－ひずみ関係

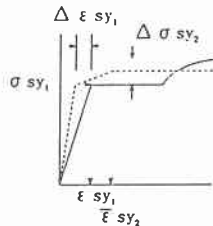


図-3(d) 鉄筋の引張応力－ひずみ関係

～⑥を繰り返す。

4. 実験結果

実験及び解析によって得られた結果を図-4(a),(b)に示す。

実験結果より、ほぼ全ての供試体においてねじり、曲げともに剛性、耐力の低下が伺える。これは互いの荷重による変形の影響を受けていると思われる。ひび割れ発生以前では剛性の低下はほとんど見られないが、これはひび割れ発生以前ではコンクリート、鉄筋共にはほぼ線形な応力-ひずみ関係にあるためと思われる。

次に、 T/M が 1 以上の場合ひび割れ発生直後も多少荷重の増加が見られるのに対し、 T/M が 1 以下の場合においてはひび割れ発生直後から荷重がほとんど横這いとなる。これは、ひび割れが発生したことにより引張部のひずみが著しく増加したため、全体としてせん断ひずみが著しく増加し、ねじれ変形の進行が急激になったためと思われる。その変形の進行に伴い、ひび割れの進展や鉄筋の降伏等が純ねじりよりも早い荷重段階で起こるため、結果として最大耐力の低下を引き起したと考えられる。これに対し曲げの場合はひび割れ発生後の挙動について、ねじりの場合ほど顕著な差は見られない。

最大耐力については、曲げの 1 例を除いてどちらもほぼ順当な値の低下を示していると思われる。各荷重比間の耐力の変化のしかたは、ねじりが大きい場合は急激であり、曲げが大きい場合は比較的穏やかに変化していると思われる。

ここで、先に例外と述べた BT95-5($T/M=0.2$)について、ひび割れ発生荷重、最大耐力共に向上しているのはねじりにより軸方向に拘束が与えられる点が関係していると考えられる。今回の結果を特異としないなら、仕様書等に T/M が 0.2 以下の場合はねじりの影響は考慮しなくても良いと書かれている点は安全側の評価であり、妥当評価であると思える。

以上のことより、部材に曲げとねじりが同時に働く場合、特にひび割れ発生後における剛性、耐力について明確に相互に影響があると断言してよいと思う。ひび割れ発生以前においては早い荷重段階で弾性領域の終点まで変形するのでひび割れ発生荷重は小さくなるが、剛性の低下はほとんどないようである。また、曲げ変形はねじりに対して比較的鈍感であり、ねじり変形は曲げに対して比較的敏感であると言えよう。

5. 解析結果

実験結果と解析結果を比較すれば、図-5(a)に示すように、曲げモーメント-曲率関係については概ね評価できるものと思われるが、解析値は変動している。これは、繰返し計算の収束条件を幾分大きく設定しているためと考えられる。収束条件を厳しくすると、計算が振動してしまい、解が得られなかった。また、トルク-ねじり角関係については、塑性的な性状を示す点以前は評

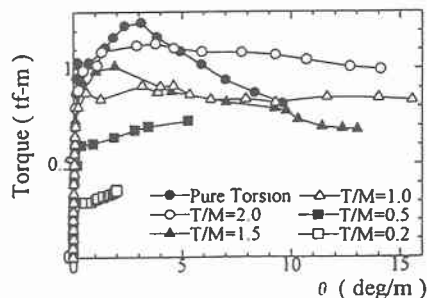


図-4(a) トルク-ねじれ率関係

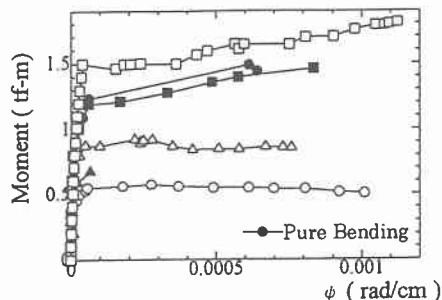


図-4(b) モーメント-曲率関係

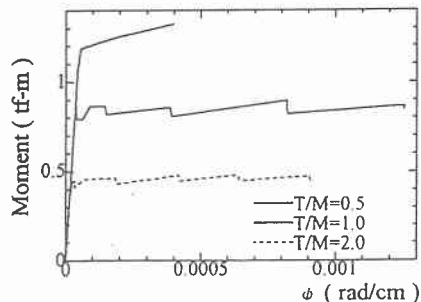


図-5(a) モーメント-曲率関係

価できるが、それ以降の変形が解析に現れなかった。これは、解析の順序として、最初に純ねじりを作用させた後に曲げを作用させるため、材料の剛性の高い初期の部分がねじりを分担し、それ以降の塑性的な低剛性部が曲げを分担するためである。これを解消するためにはねじりと曲げが同時に作用するような解析手法を用いる必要があるが、釣り合い条件および適合条件が相当に複雑になるとと思われる。

6. まとめ

今回の実験より、曲げねじり荷重下のコンクリート部材の剛性と変形挙動について得られた結果は以下のとおりである。

(1) 弾性領域については、曲げ－ねじり荷重の組み合わせに伴う剛性の低下はほとんど見られないようであった。

(2) 塑性領域については、曲げ－ねじり荷重の組み合わせに伴う剛性の低下は双方で見られたが、変化の度合いはねじりの方で比較的顕著に現れたようである。

(3) ひび割れ発生荷重および体力については、トルク、曲げモーメントの双方で低下している。ただしトルク－曲げモーメント比 (T/M) が 0.2 である **BT95-5** のように T/M が低い場合に曲げ耐力が純曲げを多上回る場合もあり、検討の余地があると思われる。

(4) 解析については、曲げ－ねじりの組み合わせ荷重下の曲げモーメント－曲率関係については今回用いた手法で概ね評価できると思えるが、トルク－ねじり率関係については不十分であり、荷重の増加、剛性の低下などの取扱い方のよりいっそうの工夫が必要である。

(参考文献)

- 1) 志村 和紀、佐伯 昇：純ねじりを受ける RC 部材の有効かぶりの評価、土木学会台 50 回年次学術講演会 (平成 7 年 9 月)
- 2) 志村 和紀、佐伯 昇、藤田 嘉夫：剛性効果を考慮した鉄筋コンクリート桁の変形、セメント技術年報 42 (昭和 63 年) p.527～530