

曲げ・せん断とねじりを同時に受ける RC 部材の耐荷力とかぶりの破壊性状

立命館大学 学生会員 柳田 龍平
立命館大学 学生会員 近藤 克紀
立命館大学 正会員 岡本 享久

1. はじめに

地震時に供用中の RC 部材にねじりが働く場合は、ねじりのみでなく曲げ・せん断が同時に作用する場合が一般的である。本研究では、純ねじり下で起こる「かぶりの破壊現象」の有無を、曲げ・せん断・ねじりが同時に作用する RC 供試体を対象に確認し、その破壊性状を明らかにするとともに、FEM 解析によって部材に作用するねじりと曲げの比率を変化させ、ねじりの影響による耐荷力の変化を確認した。

2. 曲げせん断とねじりの複合断面力載荷実験の概要

これまでに、純ねじりを受ける比較的過鉄筋な状態にある RC 部材においては、コアとかぶりが剥離することが確認されている¹⁾。しかし、ねじりのみでなく曲げ・せん断も同時に作用する場合、そのかぶりの挙動を確認した事例はほとんど無い。そこで、主鉄筋比を変化させ 2 種の RC 供試体を作製し、両供試体について腹部かぶりコンクリートの挙動を確認するため載荷実験を行った。供試体には断面の各位置（断面中央から 50, 70, 90, 110mm）にモールドゲージを設置し、横断面深さ方向のひずみ分布を測定した。表-1 に供試体概要、図-1 に供試体 MQT0.78 の配筋図を示す。断面寸法はいずれも 250×250mm、スパンは 1800mm とした。

表-1 供試体の概要

供試体名	かぶり	f_c	主鉄筋比	腹鉄筋比	軸鉄筋	腹鉄筋	載荷条件
	mm	N/mm ²	%	%			
MQT0.78	30	21.2	0.78	0.38	D16	D10	曲げ/せん断/ねじり
MQT1.55		22.4	1.55		D22		

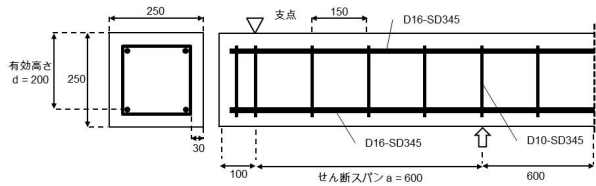


図-1 MQT0.78の配筋図（単位：mm）

3. 複合断面力載荷実験の結果

1) 終局耐力と破壊性状

曲げモーメント M と部材中央点のたわみ δ との関係を図-2 に示す。MQT0.78 においては、軸方向鉄筋が降伏した後に延性的にたわみが増大していく曲げ引張破壊となり、一方、MQT1.55 においては軸方向鉄筋降伏の前にせん断とねじりの主引張応力方向が一致するスパンにおいて腹鉄筋が降伏し、最大耐力後に急激に耐力が低下する脆性的なせん断破壊モードとなった。

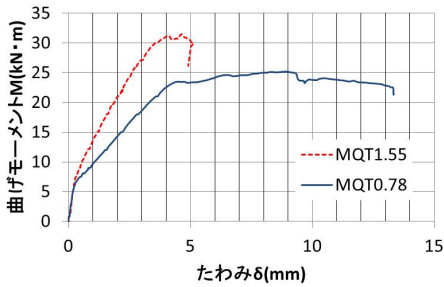


図-2 曲げモーメント M-たわみ δ 関係

2) かぶりの破壊性状

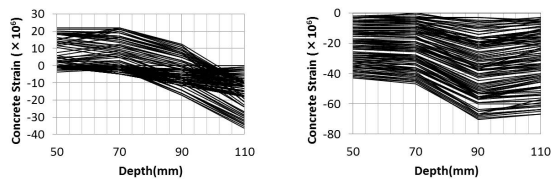
斜めひび割れ発生まで測定したひずみ分布をそれぞれ図-3、図-4に示す。なお、せん断とねじりの主応力方向が一致し双方の影響が重なり合うせん断スパン（以下、重合面）およびせん断とねじりの主応力方向が直交し双方の影響が打ち消しあうせん断スパン（以下、打消面）においてひずみ分布が異なることが考えられたため、各スパンに埋め込みゲージを設置した。

図より、打消面においては、コア部分は引張側に、かぶり部分は圧縮側に分布しており、鉄筋位置の深さ 80mm から 100mm 付近においてひずみがおおよそゼロとなる。一方の顕著な斜めひび割れが卓越した重合面においては、概ね連続的に圧縮ひずみが分布しており、引張ひずみは生じていない。すなわち、打消面においては曲げによるせん断の主ひずみ方向とねじりによる主ひずみ方向が直交するため、コア部分は曲げによる

キーワード RC 部材, 曲げ・せん断・ねじり, かぶり, 地震, FEM 解析

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学研究科 TEL077-561-3374

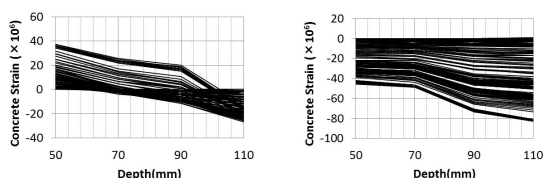
せん断の影響により引張側に、かぶり部分ではねじりの影響でひずみが圧縮側となり、かぶりが剥離する。一方、重合面においてはせん断とねじりの主応力方向が一致するため、コアとかぶりは概ね一体的に破壊が進行し、かぶりの剥離は生じない。したがって、 $T/M=0.4$ と曲げが主体となる载荷条件にありながらも、部材全面に生じるねじりの影響によって、部材の一部においては純ねじりが生じる場合と同様に、かぶりがプッシュオフされる状態になるといえる。



a) 打消面

b) 重合面

図-3 断面深さ方向のひずみ分布図 (MQT0.78)



a) 打消面

b) 重合面

図-4 断面深さ方向のひずみ分布図 (MQT1.55)

4. FEM解析による検討

1) 解析概要

载荷試験結果をFEMを用いて再現し、部材に生じるねじりと曲げの割合の変化がかぶりの破壊に与える影響について検討した。具体的には、ねじりモーメント T と曲げモーメント M の比率 T/M を変化させることで作用するねじりの割合を変化させ、ねじりと部材の耐力力および破壊性状について考察した。

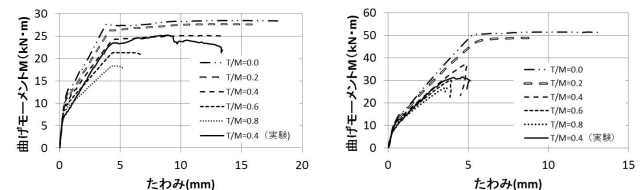
解析の対象は、前述のMQT0.78とMQT1.55とした。解析で使用したソフトは、汎用のFEM解析ソフト：ATENAである。コンクリートおよび载荷治具は、いずれも8節点アイソパラメトリック要素でモデル化し、载荷点や支点において実現象と異なる応力集中が発生する可能性があるため、载荷板も併せてモデル化した。なお、鉄筋は埋め込み式離散鉄筋として定義し、コンクリートと鉄筋は完全付着状態にあると仮定した。また、ひび割れモデルは固定ひび割れモデルを設定した。

T/M に関しては、支点の位置を変え、ねじりアーム長を変化させることで、 $T/M=0,0.2,0.4,0.6,0.8$ の5ケー

スを設定した。なお、 $T/M=0.4$ のケースは実験と同様のアーム長である。

2) 解析結果

図-5に解析により得られた各供試体の曲げモーメント M - たわみ δ の関係をそれぞれ示す。図より、 T/M が大きくなるに従い耐力および変形性能が低下し、MQT1.55においては、 T/M が大きくなるに従って、主筋降伏先行の曲げ破壊型から腹鉄筋降伏先行のせん断破壊型に移行した。



(a) MQT0.78

(b) MQT1.55

図-5 曲げモーメント M - たわみ δ 関係

以上のように、RC部材を対象に、 T/M を変数として曲げ・せん断・ねじりを同時に作用させる解析を行い、部材の耐力力および破壊形式を観察すると、本研究の $T/M=0$ から 0.8 までの範囲に関しては、曲げ引張破壊とねじりと曲げ・せん断の組み合わせ断面力によるせん断破壊に分類されることが確認された。またその際、 T/M が大きくなり、ねじりの影響が大きくなるに伴い耐力力は低下し、変形性能が低下する。

まとめ

曲げ・せん断・ねじりの複合断面力が作用するRC部材の耐力と破壊性状を確認し、本研究の範囲において以下の結論を得た。

- 1) 曲げ・せん断・ねじりを受ける部材は、純ねじりが作用する場合と同様にかぶりの剥離を生じることが明らかとなった。特に、せん断とねじりの主応力方向が直交するせん断スパンで剥離が進行する。
- 2) ねじりと曲げの比率 T/M を変数として実施したFEM解析より、 T/M は耐力力と変形性能に影響を与え、 T/M が大きくなると曲げ破壊型からせん断破壊型に破壊形式が変化することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 岡本享久, 李承漢, 長瀧重義: 鉄筋コンクリート部材のねじり耐力機構に関する一考察, 土木学会論文集, 第390号, V-8, pp.179-188, 1988.2