

立命館大学 学生員 ○ 小川 悠、加藤 慎介

立命館大学 フェロー会員

岡本 享久

1. はじめに

1995 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震による数多くの土木構造物の崩壊は日本のみならず世界にも大きな衝撃を与えた。当時の写真を入手し、約 200 体の写真による観察を行ったところ、11%の写真については震災時の複雑な荷重条件において、曲げ破壊、曲げせん断破壊或いはせん断破壊だけではなく、ねじりが作用している可能性が見受けられた。よって、本研究では、地震と高架橋構造との相関により発生する「ねじり」が構造物に与える影響に着目し、複合断面力を受けた RC 部材の耐荷機構やひび割れ性状、内部破壊性状を実験及び、AE 解析を行い把握する。

2. 曲げ・せん断にねじりが同時に作用する RC の終局耐力とひび割れ性状

2.1 実験概要

供試体の概要を表-1 に示し、配筋図を図-1 に示す。岡本・李らの既往の研究成果^{1) 2)}より実験における曲げモーメントとねじりモーメントの比率（以下、 T/M ）は、以下の根拠より $T/M=0.42$ とした。これは、曲げ・せん断とねじりを同時に受ける場合で $T/M \geq 0.6$ では、純ねじり下で発生する「らせん状のひび割れ」と同様なひび割れが断面の全面に発生するが、この値以下の T/M では「らせん状のひび割れ」は発生しない。よって曲げ・せん断の影響とねじりの影響の両方が構造物に現れる $T/M=0.42$ と固定し荷重試験を実施した。尚、供試体名の M は曲げ、Q はせん断、T はねじり、PT は純ねじりを指す。

表-1 供試体概要

供試体名	上端鉄筋	後端鉄筋	腹鉄筋	主鉄筋比 %	腹鉄筋比 %	コンクリート圧縮強度 N/mm ²
MQ13	D22	D22	D10	1.48	0.32	54.2
PT13						53.9
MQT13						54.4

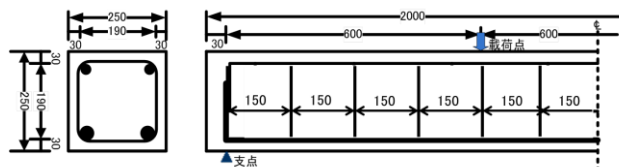


図-1 配筋図

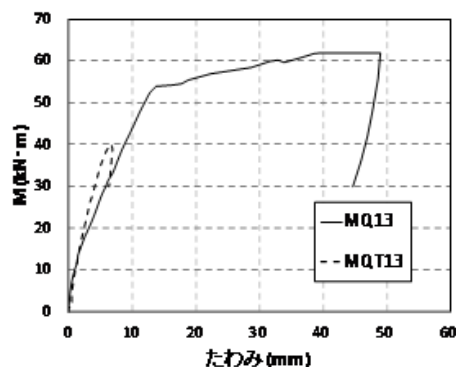


図-2 曲げモーメント M-たわみ関係

2.2 終局耐力

実験より得られた曲げモーメント-たわみ関係を図-2 に示す。MQ13 では終局耐力 $M=61.98(\text{kN} \cdot \text{m})$ で典型的な曲げ引張破壊をおこした。PT13 では終局耐力 $M=16.63(\text{kN} \cdot \text{m})$ でせん断破壊を起こした。それに比べ、MQT13 においては終局耐力 $M=40.14(\text{kN} \cdot \text{m})$ となり、ねじりの影響で耐力が約 35%低下し、脆性的なせん断破壊に移行した。これより、ねじりの作用は構造物の耐荷力に大きく影響することが認められた。

2.3 ひび割れ性状

図-3 に全供試体の終局状態のひび割れ図を示す。「曲げ・せん断」荷重に供した MQ13 は純曲げスパンに生じたひび割れが進展し、軸方向鉄筋降伏後に終局に至った。曲げ・せん断にねじりが同時に作用する RC はりのひび割れ性状は、せん断とねじりのそれぞれの主引張応力方向が重なる面で、斜めひび割れが極端に発達し、一方、主引張応力方向が直交し影響が相殺される面では、斜めひび割れは生じず曲げひび割れのみが発生した。これは「曲げ・せん断」荷重の MQ13 のひび割れと「純ねじり」荷重の PT13 のひび割れが重なる箇所と直交する箇所と同義である。この結果から、複合断面力の破壊は一般的なせん断破壊と違い、側面の両サイドのひび割れ性状が全く異なる特徴的な破壊をすることが示された。

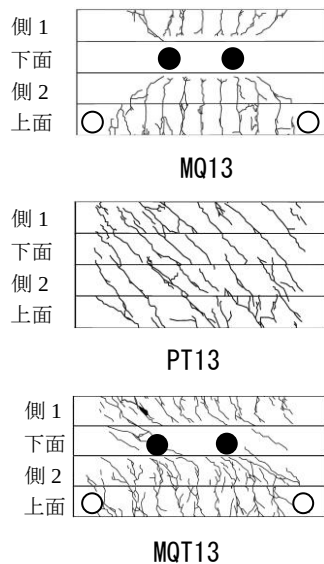


図-3 ひび割れ図(※支点:●, 載荷点:○)

3. 曲げ・せん断にねじりが同時に作用する RC の AE 解析による内部破壊性状の把握

3.1 実験概要

全供試体において、ひび割れ発生時に放出される弾性波を計測する AE センサーを側面に 4 箇所、上面に 2 箇所設置し、内部の破壊性状及び進展状況を確認する。

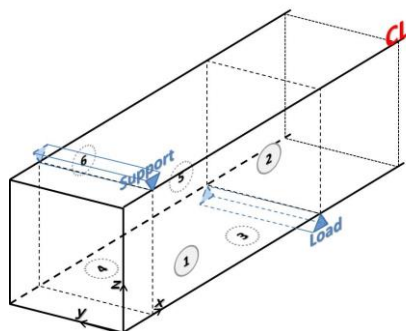


図-4 AE センサー設置図

3.2 ひび割れの分類および位置標定

ひび割れの分類は、引張力によってひび割れが発生する Tensile 型、界面のずれよりひび割れが発生する Shear 型およびその両特徴が混合して発生する Mix 型の 3 種類に分別した³⁾。初期ひび割れが発生する段階(A mode)、終局時の最大荷重の 1/3 に達した段階(B mode)の 2 段階に分けて内部破壊の進行状況を観察した。図-5、図-6、図-7 に各供試体の AE センサーによる位置標定を示す。

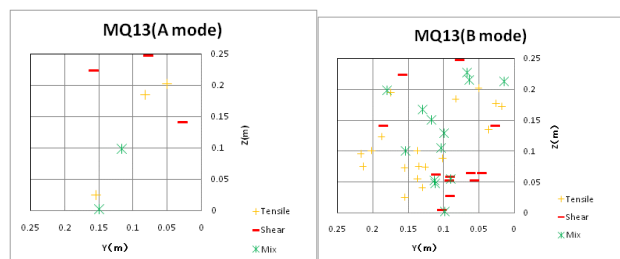


図-5 MQ13 Y-Z 断面

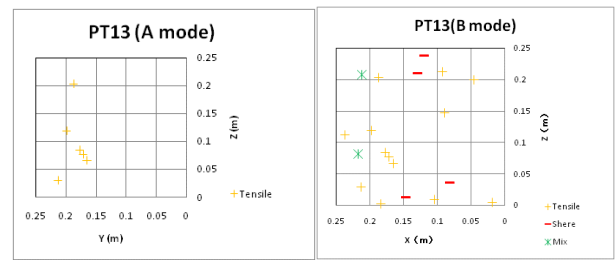


図-6 PT13 Y-Z 断面

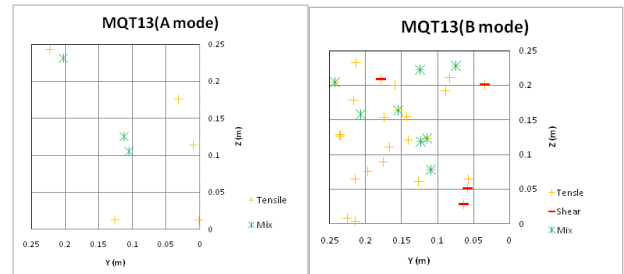


図-7 MQT13 Y-Z 断面

これより、「曲げせん断」破壊では初期の段階で最大引張縁の下面から中央に内部ひび割れが発現し、使用限界段階まで増加することが分かった。また、「純ねじり」破壊ではひび割れ発現の段階から使用限界段階までは、Tensile 型クラックが断面外周状のみに増加し、使用限界を超えると中央部にもひび割れが進展することが分かった。「複合断面力」による破壊では、ねじりの影響より初期ひび割れの段階では、断面外周から Tensile 型クラックが入りながら中央にもひび割れが発生してゆき、以後断面外周に Tensile 型クラックが増加しながら断面中央に向かって増加して行くことが分かった。

4. まとめ

本研究の範囲内で、得られた結果を以下に示す。

- (1) ねじりを含む複合断面力の破壊性状は、せん断とねじりの二つの主引張応力方向が重なる面で大きな斜めひび割れが進展し、その他の面ではひび割れが少ない「局所的な破壊」であることが実験的に確認できた。
- (2) AE 解析より「曲げ・せん断・ねじり破壊」は、初期は「純ねじり破壊」、中期以降は「曲げ・せん断破壊」と「純ねじり破壊」が共存する破壊であることがわかった。

5. 参考文献

- 1) 岡本 享久, 長滝 重義: 曲げ・せん断とねじりを同時に受ける鉄筋コンクリート部材の耐力と変形, 土木学会論文集, 第 360 号, V-3, 1985.8
- 2) 岡本 享久, 李 承漢, 長滝 重義: 鉄筋コンクリート部材のねじり耐荷機構に関する一考察, 土木学会論文集, 第 390 号, V-8, 1988.2
- 3) 川崎佑磨: アコースティック・エミッション法を用いた鉄筋コンクリート腐食ひび割れ機構の解明に関する研究: 熊本大学大学院自然科学研究科 学位論文 2012 年 3 月