

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：34315

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24860066

研究課題名(和文)ねじりを含む組合せ断面力を受けるRC部材のAE法による破壊機構解明と合理的な補強

研究課題名(英文)Fracture Behavior of RC Members Subjected to Torsion-Bending Shear Using the Acoustic Emission Method

研究代表者

川崎 佑磨(Kawasaki, Yuma)

立命館大学・理工学部・助教

研究者番号：90633222

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、兵庫県南部地震により破壊したRC橋脚を例にとり、当時あまり議論されていなかったねじりモーメント(以下、ねじりと略称する)の影響について再考し、その結果から震災を受けたこの種のRC部材の耐荷機構について考察を加えたものである。橋脚を想定したRC梁にねじりを含む複合断面力を載荷して、耐力、ひび割れ性状を見るとともに、AE(Acoustic Emission)法により内部での破壊進展度合いについて考察した。その結果、ねじりおよびねじりを含む複合断面力を受けるRC部材には特有の破壊メカニズムが存在することが分かった。

研究成果の概要(英文)：When the RC members were loaded by torsion-bending shear (composite sectional force), local cracks were found on one side while minor cracks were found on the opposite side. Also, if the RC members received composite sectional force, it is possible that the RC member would rapidly be broken. Therefore, the AE (acoustic emission) method was used to clarify the internal fracture behavior, internal fracture energy, and locations of cracking in RC members. For internal fractures in RC members loaded by pure torsion, the fractures progressed only in the outer circumference of the cross section until the web reinforcement yielded. Moreover, the pure torsion fracture and the bending shear fracture were the primary factors in controlling the internal fractures of RC members loaded by composite sectional force, before they reached one-third of the maximum strength.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：AE法 地震 RC部材 複合断面力 ひび割れ位置標定

1. 研究開始当初の背景

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。特に、阪神高速神戸線の倒壊は記憶に鮮明に残っているであろう。これらの被災したRC橋脚は、震災後ただちに有識者により、曲げ破壊、曲げせん断破壊或いはせん断破壊として分類された。我々は、この被災したRC橋脚について当時の写真を入手し、約200体の写真による観察を行った。その結果、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。その原因として、最初は地盤と地震波動の組み合わせから最弱位置の1本の橋脚が倒壊し、その影響が高架部とピルツ構造の橋脚でつながる隣接橋脚にねじりが作用し、次々と連鎖的に倒壊したものととも考えられる(写真-1)。



写真 1



写真 2

ねじりがコンクリート構造物に作用した場合、例えば、純ねじり条件下においては、独特の「らせん状のひび割れ」が部材の全面に生じる。「らせん状のひび割れ」の一部分は一般のせん断による斜めひび割れに類似したひび割れ性状(特にひび割れ角度)を示す。被災した阪神高速道路神戸線の橋脚において、このような「重なり合う面」(写真-2 右、写真-3 下)と「打ち消し合う面」(写真-2 左、写真-3 上)が見受けられる。

2. 研究の目的

上述のような特徴的なひび割れ性状を有するコンクリート構造物には、曲げ・せん断



写真 3

のみならずねじりも影響していると考えられ、構造物への震災後の復旧方法を考える上で、ねじりの影響を無視はできない。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を実験的に把握する。また、AE法を用いることで、内部のひび割れ発生時に放出される弾性波を計測し、得られた種々のパラメータを解析することにより、内部ひび割れの分類、位置標定および進展過程等を確認できる。これにより、従来あまり議論されていなかった「曲げ・せん断」、「純ねじり」および「曲げ・せん断・ねじり」による内部破壊性状の違いの確認を試みる。本研究は、上述の実験と内部破壊の解析の両面から、RC部材におけるねじりのメカニズムを把握することが目的である。

3. 研究の方法

供試体の概要を表-1に示し、配筋図を図-1に示す。

表 1

供試体名	腹鉄筋比 %	腹鉄筋本数	載荷条件	AE測定
MQ8	0.26	8	曲げ・せん断	無
MQT8			曲げ・せん断・ねじり	
MQT11	0.35	11	曲げ・せん断	
MQ13	0.38	13	純ねじり	有
PT13			曲げ・せん断	
MQT13			曲げ・せん断・ねじり	

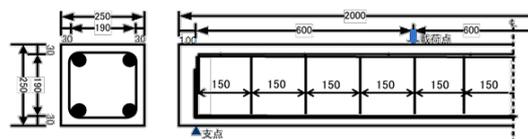


図 1

供試体は、全てに共通して断面寸法 250mm

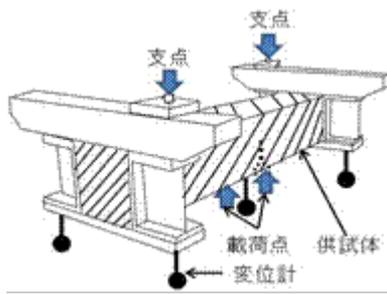


図 2

×250mm, スパン 1800mm, コンクリートかぶり 30mm とし, MQ8, MQT8 および MQT11 では上端軸筋および腹鉄筋に D10 を, 下端軸筋に D16 を, MQ13, PT13 および MQT13 では上端軸筋および下端軸筋に D22 を, 腹鉄筋に D10 を使用した。

載荷方法は MQ シリーズでは, 曲げスパン 600mm, せん断スパン 600mm として, 3 等分一方向載荷試験を行った。PT13 では供試体の端部ではり軸方向中心から垂直方向に偏心距離 250mm の位置で対称に載荷することによってねじりモーメントを作用させた。また, MQT シリーズは, 図-2 に示す方法により, 曲げスパン 600mm, せん断スパン 600mm とし, はり軸方向中心から垂直方向に偏心距離 250mm の位置に支点を設け, 対称に載荷することによって曲げ・せん断にねじりを同時に作用させる。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。すなわち, 岡本・李らの既往の研究成果 1)2) より曲げ・せん断とねじりを同時に受ける場合で T/M 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。よって本研究では写真判定の考察も参考にして, 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 と固定し載荷試験を実施した。また MQ13, PT13 および MQT13 については, 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 箇所設置した。

4. 研究成果

実験より得られた曲げモーメント-たわみ関係を図-3 に示す。曲げ・せん断載荷試験に供した MQ8 は終局耐力 $M=35.70(\text{kN}\cdot\text{m})$ で典型的な曲げ引張破壊であった。しかしながら, 同供試体に「ねじり」を含む複合断面力を載荷した MQT8 においては, 終局耐力 $M=19.80(\text{kN}\cdot\text{m})$ と約 45%の減少がみられ, ねじりとせん断の影響が共存するせん断破壊をおこした。さらに腹鉄筋量を増やした MQT11 においても, 終局耐力 $M=23.70(\text{kN}\cdot\text{m})$ と多少耐力が向上したものの MQT8 と同様のせん断破壊は免れなかった。MQ13 では終局耐力 $M=61.98(\text{kN}\cdot\text{m})$ で曲げ引張破壊をおこした。

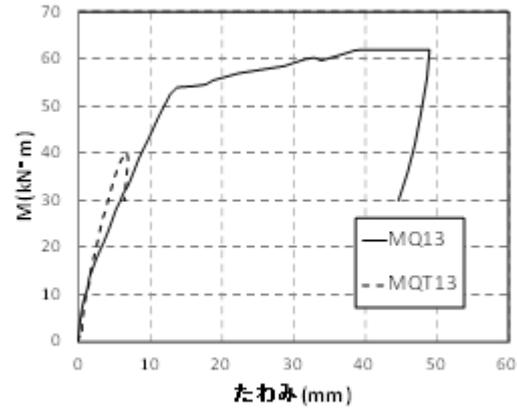
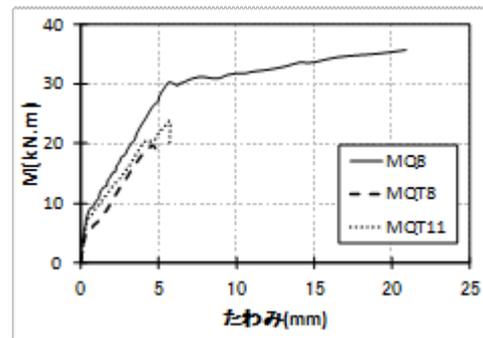


図 3

MQT13 においては終局耐力 $M=40.14(\text{kN}\cdot\text{m})$ となり, 上述の結果と同様に, 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。

これより以前から指摘されているように, ねじりの作用は構造物の耐力に大きく影響することが認められた。

ひび割れ観察からは, 「曲げ・せん断」載荷に供した MQ8 および 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・せん断およびねじり」の複合断面力載荷に供した 3 供試体において, MQT8 および MQT11 では, 側面 1・左側と側面 2・右側で斜めひび割れの発達による破壊を生じた(実線で囲んだ箇所)。一方で, その対称となる側面 1・右側と側面 2・左側には曲げひび割れが生じたが斜めひび割れは発達していない(破線で囲んだ箇所)。また, MQT13 においても側面 1・右側と側面 2・左側に斜めひび割れが見られるものの, ひび割れ幅も狭く, 損傷度は低い。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(side X)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(side Y)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」載荷の MQ シリーズのひび割れと「純ねじり」載荷の 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

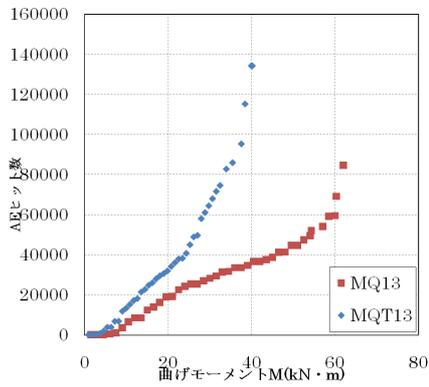


図 4

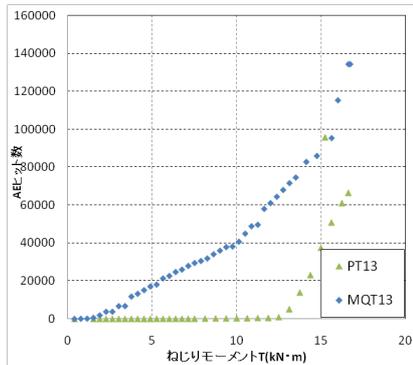


図 5

が示された。

AE 測定の対象供試体は、前章の MQ13, PT13 および MQT13 とする。MQ13 は「曲げ・せん断 載荷」、PT13 は「純ねじり 載荷」、MQT13 は「複 合断面力 載荷」に供した。

また全供試体に、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 箇所設置した。複合断面力を 載荷した供試体においてせん断スパンの side X と side Y でそれぞれ異なったひび割 れ性状が見られたため、せん断スパンに AE センサーを設置した。

ここでは AE センサーで測定された AE の Hit 数、荷重を解析し、各供試体の内部破壊 の特徴を把握していく。図-4 および図-5 に、 各供試体における AE の Hit 数と曲げモー メントまたはねじりモーメントの関係を示す。 MQ13 および MQT13 では、荷重初期の段階から AE の Hit 数が増加、すなわち、ひび割れが 発生している。MQ13 では、荷重中に初ひび割 れ発生が観察された 9.00(kN・m) 付近を境に AE の Hit 数が急激に増加していき、一定の割合 で増加して終局に至った。MQT13 では、初 ひび割れが観測された 5.00(kN・m) で AE の Hit 数が上昇し side X にひび割れが入った後に、 side Y に斜めひび割れが観測された 20.00(kN・m) を境に急激に破壊が進行して終 局に至った。PT13 では、斜めひび割れが多数 発生した 12.50(kN・m) を境に AE の Hit 数も 多くなり、16.60(kN・m) で終局に至った。 このことから、「純ねじり」が 載荷された RC 部材は初期の段階では内部にひび割れが 発生せず、急激に内部ひび割れが発生すること

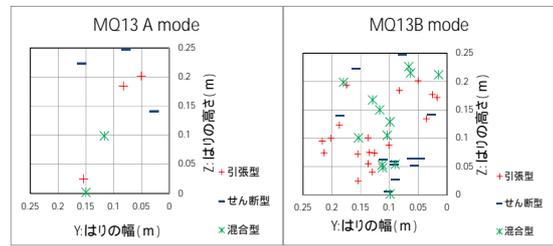


図 6

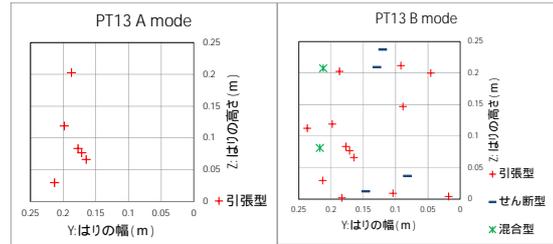


図 7

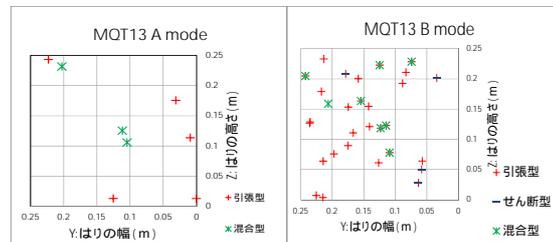


図 8

が分かる。「複合断面力」が加わる RC 部材は ねじりの影響を受け、「曲げ・せん断」が加わ る RC 部材と比べ早い段階で AE の Hit 数が 増加することが分かる。

位置標定において、初期ひび割れが発生す る段階を A mode、終局耐力の 1/3 の荷重段階 (使用限界段階) を B mode、終局段階を C mode とし 3 段階に分けて内部破壊の進行状況を観 察した。また、この 3 段階において、特に内 部ひび割れの変化が著しかった A mode およ び B mode の位置標定を前節より引張型、せん断型、混合型、に分類し図-6, 7 および図 -8 に示す。

A mode では、MQ13 と MQT13 では曲げモー メント 9.00(kN・m) と 4.50(kN・m) の、PT13 ではねじりモーメント 5.54(kN・m) の段階を 示している。MQ13 においては、引張縁 (z=0.25) から中央にかけて引張型、せん断型 クラックがのびていることがわかる。これは 実験の際に確認された曲げひび割れと同様 の傾向を示している。PT13 においては、表面 に初期ひび割れが入っているにも関わらず、 内部での破壊はあまり進行していないこと がわかる。これは、前章で述べたように断面 外周上から破壊が進行することを示してい る。MQT13 では side X に引張型クラックが 集中しており、せん断とねじりの主引張応力 方向が重なる面から破壊が進行しているこ とがわかる。また、z=0.25 の位置や断面中央 にクラックが入っているのは、曲げモーメントの影響である。

B mode においては、MQ13 と MQT13 ではそ

れぞれ曲げモーメント 30(kN・m)と 24.3(kN・m)の ,PT13 ではねじりモーメント 13.75(kN・m)の段階を示している。MQ13 では、断面中央側に引張型クラックおよび混合型クラックが急増していることが確認できる。一方、PT13 においては断面中央にクラックが確認できず、断面外周に沿うようにクラックが進行している。これより、ねじり破壊では断面外周からの破壊の進行が特徴づけられる。MQT13 では、断面中央の曲げひび割れや side Y のせん断ひび割れが進展している。この段階になると断面表面に多くのひび割れが確認され、side X において、斜めひび割れの幅が大きく開いていることも確認できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

1. Yu Ogawa, Yuma Kawasaki and Takahisa Okamoto: Fracture Behavior of RC Members Subjected to Torsion-Bending Shear Using the Acoustic Emission Method, J. of Construction and Building Materials, In press, 2014, 査読有.
2. 小川 悠・加藤 慎介・川崎 佑磨・岡本 享久: 曲げ・せん断にねじりが同時に作用する RC 部材の耐荷機構, コンクリート工学年次論文集, Vol. 35, pp. 637-642, 2013 年, 査読有.

[学会発表](計2件)

1. Yu Ogawa, Yuma Kawasaki and Takahisa Okamoto: Fracture Mechanism of RC Members subjected to Torsion-Bending-Shear by Acoustic Emission, Proc. of The 6th Kumamoto International Workshop on Fracture, Acoustic Emission and NDE in Concrete(KIFA6),2013 年 9 月 17 日,KKR ホテル(熊本県)
2. 小川 悠・加藤 慎介・川崎 佑磨・岡本 享久: 曲げ・せん断にねじりが同時に作用する RC 部材の耐荷機構, コンクリート工学年次大会 2013 ,名古屋国際会議場(愛知県), 2013 年 7 月 10 日 .

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

川崎 佑磨 (Kawasaki Yuma)

立命館大学・理工学部・助教

研究者番号: 90633222