

立命館大学 学生員 ○柳田龍平
立命館大学院 学生員 加藤慎介
立命館大学 フェロー会員 岡本享久

1. 研究の背景と目的

兵庫県南部地震による阪神高速道路の RC 製橋脚の被害観測から、ねじりモーメント(以下、「ねじり」と呼称)を含む複合断面力の作用が被害をより大きくしたことが推測された。しかし、ねじりを含む複合断面力下の RC 構造物の解析手法には未解明な部分も見受けられ、実際に被災した構造物を対象とした解析例は少ない。これまでの RC 構造物の設計では、ねじりの作用が想定される場合、その影響を二次的に抑えるよう設計段階で工夫するが多かった。巨大地震ではねじりの影響は無視できず、建設、復旧および維持管理コスト面から、ねじりが RC 構造物の耐荷挙動に及ぼす影響を定量的に把握することは大いに有利に働く。

本研究では、地震被害を受けた実在の RC 橋脚を対象に「ねじりと曲げ・せん断が同時作用下にある RC 構造物の有限要素法 (FEM) 解析」を実施し、被災橋脚の耐荷挙動をはじめ示方書の基準などに考察を加えた。

2. 既往の研究成果

RC 部材に曲げ・せん断とねじりを同時に作用させた実験から、①ねじりの影響により部材のせん断耐力が低下し、曲げ破壊から脆性的なせん断破壊に移行する可能性がある。②同一部材にせん断力とねじりによるそれぞれの主引張応力が同一方向で重なる面と垂直方向で相殺する面が併存する。③特に、主引張応力が重なる面では応力が集中し斜めひび割れ進展が顕著となる。

3. 解析概要

FEM 解析により、兵庫県南部地震で被災した阪神高速神戸線 62 番 RC 橋脚を解析した。設計図に基づき対象とした橋脚をモデル化した。その際、橋脚の詳細部分まで忠実に再現した。配筋された鉄筋の詳細を表 1 に、解析にて実施した加力方法は、図 1 に示すように「曲げ・せん断 (MQ)」、「純ねじり (PT)」、「曲げ・せん断・ねじり (MQT)」の 3 種の荷重条件下で解析を行った。コンクリートの設計基準強度は 25.5MPa と設定し、配置された異形鉄筋とコンクリート間の付着は「完全付

着状態」と仮定した。なお、橋脚の基礎部分は剛体と仮定した。

表 1 定義した鉄筋

番号	直径	長さ(m)	本数(本)	材質	用途
C1	Dφ 35	14.74	225	SD295A	軸筋
C2	Dφ 16	10.52	42	SD295A	腹鉄筋
C3	Dφ 16	9.89	42	SD295A	腹鉄筋
C4	Dφ 16	9.26	42	SD295A	腹鉄筋

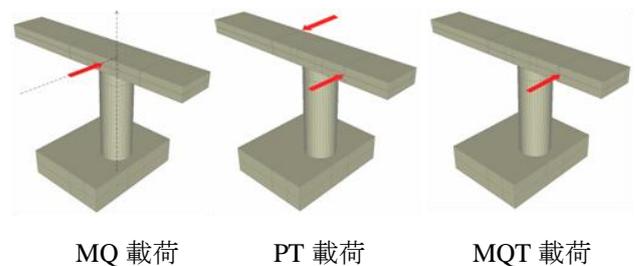


図 1 荷重方法

4. 解析結果

3 種の加力条件での橋脚の終局耐力、ひび割れ・主ひずみ分布図を FEM にて求めた。表 2 は各加力条件における橋脚の終局時の曲げモーメント、ねじりモーメントと破壊モードを示し、図 2 は MQ、MQT での作用曲げ(M)とたわみ(δ)の関係を、図 3 は PT、MQT の作用ねじり(T)とねじり角(φ)の関係を示す。

表 2 終局耐力と破壊モード

	T/M	終局耐力	終局耐力	破壊モード
		M(kN・m)	T(kN・m)	
MQ		80937.66		曲げ引張型
MQT	0.25	26713.04	6678.26	せん断型
PT			15354.32	ねじり型

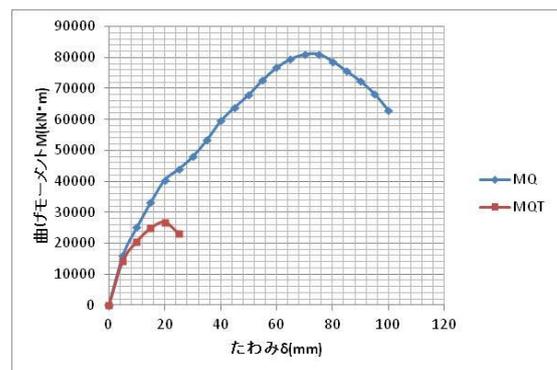


図 2 M-δ 関係

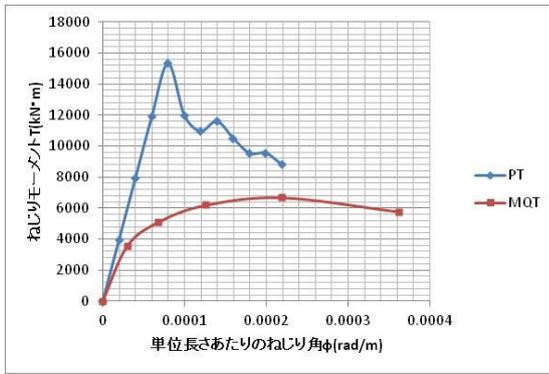
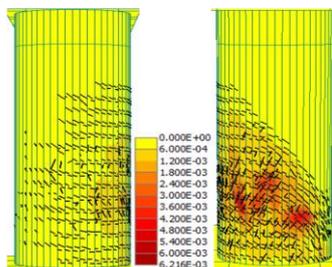


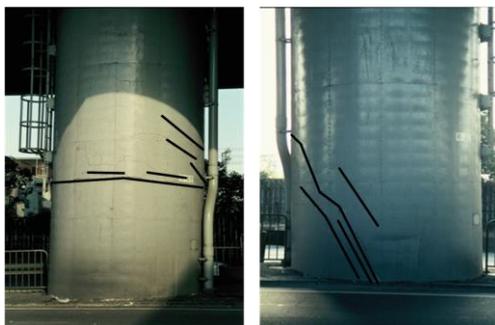
図3 T-φ関係

表2および図2から、MQTとMQの比較、すなわちねじりの存在($T/M=0.25$)により、曲げ終局耐力が約33%まで低下した。また、図3よりPT载荷(純ねじり)では最大ねじり耐力に到達後、ねじり耐力は急激に下降した。示方書で示す「ねじり補強鉄筋を有する場合の終局ねじり耐力」から、軸方向鉄筋および横方向鉄筋の受け持つせん断力は、それぞれ $q_l=195$ 、 $q_w=6032$ と算定され、 $q_w/q_l=31$ 倍となった。本橋脚の配筋状態は軸方向鉄筋量に比べ横方向鉄筋量が極めて少ない構造であり、ねじりの作用には効率が大変悪い構造であった。すなわち、阪神高速62番橋脚においては、地震時にねじりが発生する場合には、十分にねじりに対し耐力を発揮することが難しい設計であった。さらに、主ひずみ・ひび割れ分布(図4)を見ると、ねじりとせん断の主引張応力が重なる面と相殺する面での分布性状に偏りが見られる。重なる側面1において主ひずみ分布が集中



側面2 側面1

図4 主ひずみ・ひび割れ分布図



側面2 側面1

写真1 被災後の62番RC橋脚

しているが、打ち消される側面2においてはわずかしこ認められない。実橋脚においても、既往の実験成果と同様に破壊性状の対称性が確認された。

5. 被災橋脚の破壊性状との比較

図4の解析結果と、62番橋脚の被災後の写真1を比較する。すなわち、「側面2」における解析結果と写真において、共に水平方向に進展し曲げに類似するひび割れと水平に近いが幾分傾斜したひび割れが生じており、解析と実際が極めて類似した破壊性状となった。また、その対称面となる「側面1」の解析結果と写真から、橋脚下部から左上に進展するひび割れ幅の大きな斜めひび割れが見られた。この卓越した斜めひび割れの発生も解析にて実現象を追従できた。今回の解析では被災橋脚をほぼ完全にモデル化できたといえる。

6. 結論

本研究の範囲内で以下の結論が得られた。

- (1) 実際の橋脚を対象とし解析から求めたM- δ 関係およびT- ϕ 関係より、T/Mが0.25と曲げ作用がねじり作用より卓越する場合でも、ねじりの作用により曲げ耐力が約30%まで低下することが分かった。
- (2) 純ねじりを受けると仮定して解析した結果より、ねじり補強鉄筋、すなわち「軸方向鉄筋」と「横方向鉄筋」がバランスよく配筋されていない場合には、少ない方の鉄筋量の影響を受け、最大耐力到達後、急激にねじり耐力が低下する場合がある。
- (3) 実際の橋脚を対象に、ねじりの影響に配慮した本研究の解析は、震災した橋脚のひび割れ性状、すなわち、ひび割れの位置、方向、同一橋脚の対称の位置にある両側面での破壊性状を忠実に再現できた。このことから、複合断面力として曲げ・せん断・ねじりが同時に実際の橋脚に作用したことが分かり、兵庫県南部地震において、対象とした阪神高速神戸線62番RC橋脚にはねじりの影響があったことが判明した。

【謝辞】

実験実施において立命館大学理工学部環境マテリアル研究室の皆様の支援を受けた。特に、小川悠氏には紙面を借り、篤く御礼申し上げる。

【参考文献】

- 1) 2007年制定 土木学会コンクリート標準示方書
[設計編：本編]