

ねじりを含む複合断面力下にある RC 部材の有限要素法解析

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。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・せん断が同時作用する RC 部材の有限要素法解析」を実施し被災橋脚の耐荷挙動と示方書の基準などに考察を加えた。

2. 既往の研究成果⁽¹⁾

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場合がある。(2)同一部材にせん断力とねじりによる各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

(1)室内実験：既往の载荷実験⁽¹⁾と同様の物性・载荷条件の下で有限要素法(FEM)解析を実施した。解析対象とした供試体は図 1 のような寸法と配筋状態にある解析モデルを定義した。

(2)実橋脚解析：室内実験で解析精度を検証したのち、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。その場合の配筋状態は表 1 に、解析上の加力方法は図 2 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 種の载荷条件である。橋脚のコンクリート強度を付帯資料より 25.5MPa と仮定し、配置された異形鉄筋とコンクリート間の付着すべりを考慮し、橋脚基礎部分を剛体と仮定して解析を実施した。

表 1 実橋脚に使用されていた鉄筋

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

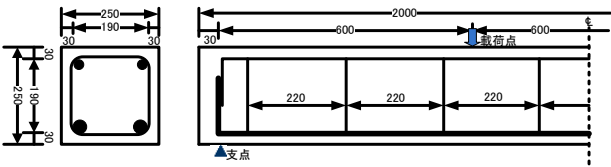


図 1 室内実験で用いた RC の寸法と配筋状態

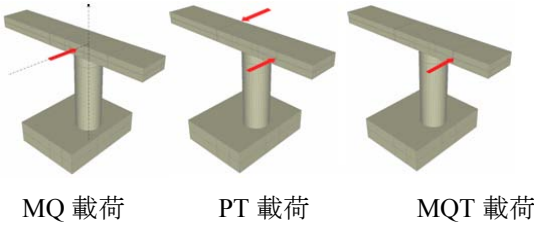


図 2 载荷方法

4. 室内実験を対象とした解析結果

室内実験を対象として MQ・MQT の 2 種の加力条件下における载荷解析結果を図 3 に示す。なお、供試体名の末尾の数字は腹鉄筋の本数を表す。この結果から、曲げ・せん断にねじりが同時に作用する解析にて実験結果を精度よく予測することができた。

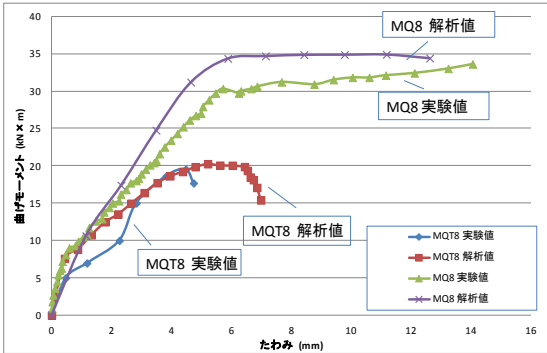


図 3 実験供試体解析結果

5. 実橋脚解析結果

実橋脚を対象として 3 種の加力条件下で解析し、終局耐力、ひび割れおよび主ひずみ分布を求めた。表 2 はそれぞれの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 4 は MQ、MQT での作用曲げ(M)とたわみ(δ)の関係を、図 5 は PT、MQT の作用ねじり(T)とねじり角(φ)

キーワード 兵庫県南部地震 ねじり 複合断面力 RC 橋脚 FEM 解析 rv0007hk@ed.ritsumei.ac.jp

〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1 丁目 1-1 立命館大学イーストウイング 2F 環境材料研究室 077-561-2617

の関係を示す。表2および図4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5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。

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

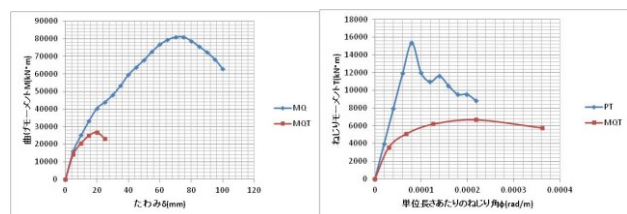


図4 M- δ 関係

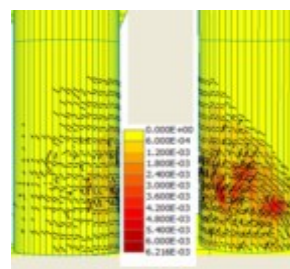
図5 T- ϕ 関係

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、本橋脚の軸方向鉄筋および横方向鉄筋の受け持つせん断流は、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悪い構造であった。すなわち、阪神高速神戸線 62 番 RC 橋脚においては、地震時にねじりが発生する場合に、十分にねじりに対して耐力を発揮することが難しい設計であった。加えて、主ひずみ・ひび割れ分布(図6)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その分布性状に偏りが見られる。重なる側面2において主ひずみ分布が集中しているが、打ち消される側面1においてはわずかしき認められない。実橋脚においても、既往の実験成果と同様にねじりの作用による破壊性状の対称性が確認された。

6. 被災橋脚の破壊性状との比較

図6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1」における解析結果と写真において、共に水平方向に進展する「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、解析と実際の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2」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。



側面1

側面2

図6 主ひずみ・ひび割れ分布図



側面1

側面2

写真1 被災後の62番RC橋脚

7. 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て解析から求めた 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。
- (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。

【参考文献】

- (1) 前田祐助, 加藤慎介, 岡本享久: 曲げ・せん断にねじりが同時に作用する RC 部材の破壊性状に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, 2012