

台湾集集地震で被災した石圍橋の落橋要因分析

九州工業大学大学院

学生会員 手嶋康博

九州工業大学

正会員 幸左賢二

大日本コンサルタント(株)

正会員 田崎賢治

飛島建設(株)

正会員 池田隆明

1. はじめに

1999年9月21日、台湾南投県集集を震源とするM7.3の地震が発生し、多くの橋梁で甚大な被災が生じた¹⁾。本研究では、その中から石圍橋(写真-1)について着目し、損傷メカニズムを解析的に検討することとした。

2. 石圍橋の概要

被災した石圍橋は、図-1に示すように、上部構造はRC5主桁で、桁長は24~25m、幅員は12m、斜角が55°~85°であり、ゴムパット支承で支持されていた。支承形状は0.30m×0.40m、厚さ0.042mであった。

D3桁及びD6桁の落橋原因は、地盤変状に伴うP2橋脚の橋軸方向への回転により、桁長よりも橋脚天端間距離が広がったためと考えられる。

また、D5桁の落橋原因は、橋脚天端間距離が桁長よりも短くなっているにもかかわらず、落橋という甚大な損傷に至っていた。その落橋原因として、橋軸方向の地震動によりD4桁と玉突き衝突を引き起こし、D5桁がD4桁に押し出された場合と橋軸直角方向の桁回転によるものが考えられる。しかしながら、橋軸方向ではP1橋脚上でD4桁がほとんど残留変位を生じておらず、またP1橋脚上の支承が健全であることから、橋軸方向の慣性力によってD5桁が単純に押し出されて落橋したとは考えにくい。そこでD5桁の落橋原因を橋軸直角方向の桁回転によるものと仮定して検討を行なう。

3. D5桁の落橋に関する検討

(1) 解析方法

P2橋脚が橋軸直角方向へ4.8°回転することによって、D5桁も橋軸直角方向に0.75m変位し、回転することになる。そこで、強制変位解析を行ない、D5桁の回転に伴う橋軸方向への変位量を算出することとした。次に、地震動によるD5桁の橋軸直角方向への回転の検討は、動的解析によりシミュレーションすることとした。D5桁のフレームモデルと入力地震波形との関係を図-2に示す。

動的解析に用いる入力波形には、最も近い強震観測点であるTcu068波形を用い、石圍橋の橋軸方向がN40°W~N60°Wであることから、解析においても座標軸と橋軸方向が40°を成すようにし、二方向入力により解析を行なった。最大加速度はN-S成分で361.94Gal、E-W成分で501.60Galである。

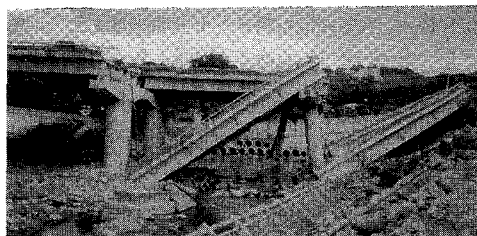


写真-1 石圍橋の被害状況

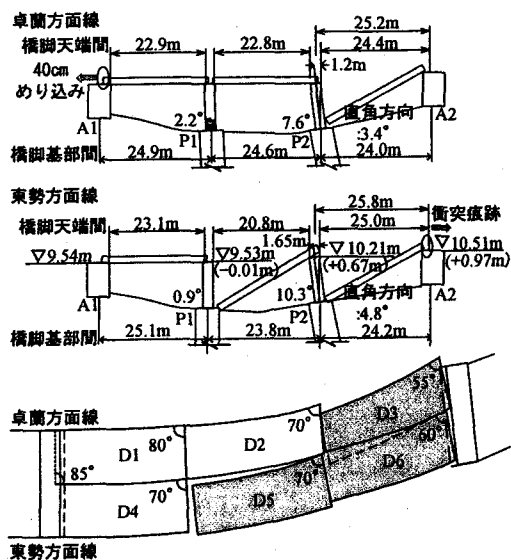


図-1 石圍橋の被害状況と測量結果

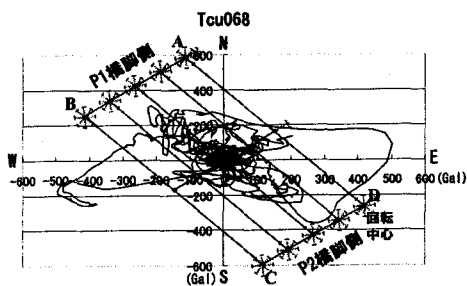


図-2 フレームモデルと入力地震波形

解析において、ゴムパット支承のせん断バネ定数は、既往の実験結果より算出することとした。支承の降伏耐力は、適正な摩擦係数 μ が定かでないことと、また既往の研究により桁回転挙動に大きく影響を及ぼすことから、パラメータとして 0.1~0.4 まで検討した。支承の骨格、履歴曲線は、降伏後に桁がゴム上を一定の摩擦力を伴いながら滑ることを再現するため、完全弾塑性型とした。さらに、桁の回転挙動に対して任意の方向に同一の抵抗特性を有するマルチシアスプリング (MSS) 要素を設定した。

D5 桁が落橋に至るかどうかの判定基準は、これらの変位を足し合わせて評価し、P1 橋脚側桁端中央部の水平変位が、橋軸方向に桁かかり長 0.75m 以上となる場合とする。

(2) 強制変位解析結果

図-3 に P2 橋脚の橋軸直角方向への回転に伴う D5 桁の回転変位を強制変位解析により算出した結果を示す。これによると、P2 橋脚が橋軸直角方向に 0.75m 回転することにより、D5 桁の桁端中央部は橋軸方向に 0.48m 変位した。したがって、P1 橋脚の桁かかり長が 0.75m であることから、地震動による桁回転で橋軸方向に残りの 0.27m 以上変位する場合に、D5 桁が落橋に至ると考えられる。

(3) 動的解析結果

表-1 に動的解析による D5 桁の P1 橋脚側端部中央の

最大水平変位を示す。これによると、ゴムパット支承の降伏耐力値 P_{By} が大きくなるにつれ、水平変位は徐々に小さくなるが、特に 0.1Rd から 0.2Rd の間で大きく異なる。また、橋軸方向の変位よりも橋軸直角方向の変位が卓越している。これは、入力地震波 Tcu068 波形において、N-S 方向成分よりも E-W 方向成分の方が最大加速度が大きく、橋軸直角方向に近似しているからである。

また、図-4 に P_{By} が 0.1Rd の場合の D5 桁の回転状況を示す。これによると、鉛直地震動等の影響を受け、支承の降伏耐力値が小さい場合、橋軸方向の最大水平変位は 0.41m となり、落橋条件である 0.27m に達することがわかる。この値は、D5 桁が落橋に至る水平変位の 1.5 倍の値であり、D5 桁が地震動による回転によって落橋に至った可能性が高いと考えられる。

4. まとめ

本論文中で設定した解析モデルに対して行なった解析の結果、以下のような結論を得た。

- (1) P2 橋脚の橋軸直角方向への回転により、D5 桁は回転挙動を示し、橋軸方向 (A2 橋台側) へ 0.48m 水平変位することが、強制変位解析により確認できた。
- (2) 鉛直地震動等の影響を受け、支承の降伏耐力値が小さい場合、地震動によって桁が橋軸直角方向へ回転することにより、桁は橋軸方向に変位し、落橋に至る可能性があることを動的解析により確認することができた。
- (3) D5 桁は、地盤変状に伴う P2 橋脚の橋軸直角方向への回転変位と地震動による複合的な作用により、桁回転に伴う橋軸方向の変位が桁かかり長を超え、落橋に至ったものと考えられる。

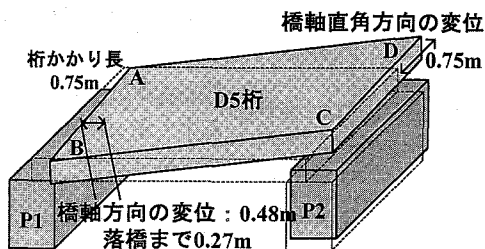


図-3 P2 橋脚の回転による D5 桁の回転

表-1 桁端中央部の最大水平変位

P_{By}	橋軸方向変位 (m)	橋軸直角方向変位 (m)
0.1Rd	0.41	1.90
0.2Rd	0.13	0.61
0.3Rd	0.12	0.55
0.4Rd	0.05	0.21

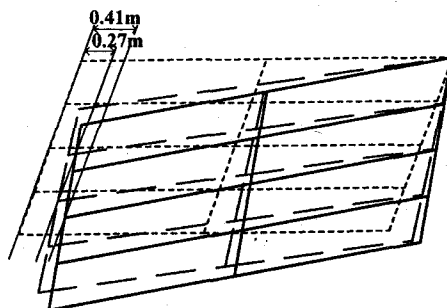


図-4 D5 桁の回転