

台湾集集地震における長庚橋の被害要因分析

九州工業大学大学院
大日本コンサルタント(株)学生会員 手嶋康博
正会員 田崎賢治九州工業大学
建設技術研究所正会員 幸左賢二
正会員 鈴木直人

1. はじめに

1999年9月21日、台湾において台湾中部を震源（震源深さ6.99km）とするM7.6の地震が発生した。台湾集集地震において被害を受けた橋脚の中で、長庚橋は断層が確認されていないに関わらず、桁が橋台にめり込み、桁2連が落橋に至る特徴的な被害を受けていた（図-1参照）。そこで現地での調査結果¹⁾及び入手した竣工図をもとに、損傷メカニズムを解析的に推定した。

2. 対象橋脚の構造諸元

入手した竣工図をもとに長庚橋の一般構造図を図-2に示す。基礎は直径が約6mのケーソン基礎であり、橋脚については橋脚高さ5~8mであり、重量1852KN、上部工重量6713KNのRC単柱構造である。橋脚断面は小判型の5.0m×2.0m、主鉄筋D35が12.5（cm）ピッチで110本（主鉄筋比1.1%）、帯鉄筋はD16が30（cm）ピッチ（帯鉄筋比0.2%）で中間帯鉄筋は6本配筋されている。また、パラベットについては、13.0m×0.4m、主鉄筋φ13が20.0（cm）ピッチで2列配筋されている。

3. 動的解析条件

解析フレームモデルを図-3に示す。柱部における曲げの非線形特性は、平成8年道路橋示方書に準じてひび割れを考慮したトリリニア型、パラベットには降伏曲げモーメントよりバイリニア型の曲げモーメント-曲率関係を与えた。梁部・フーチング部・桁部は剛体とし、基礎部には仮想部材を設定し、水平・鉛直・回転バネを設定した。ゴムパット支承、橋台背面土バネは非線形バネ特性を仮定して与えた。そのモデルは地震動により支承・橋台が破壊された後、桁が滑るような挙動を起こすものとして降伏耐力に到達するまでは初期剛性により弾性挙動を示し、到達後は塑性変形するように第2剛性 K_2 を $0.001K_1$ としたスリップ型バイリニアモデルとした。橋台背面土の挙動に関しては、実験や解析による検討がまだ十分に行なわれていないことから、算出方法としてCaltransの実験式²⁾、受働土圧強度式^{3) 4)}の2種類の方法を用いることにした。各バネモデル及びバネ定数値を図-4、表-1に示す。

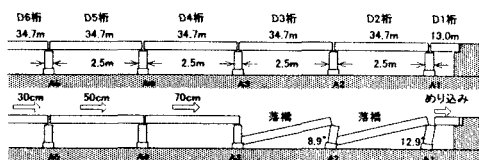


図-1 長庚橋損傷状況図

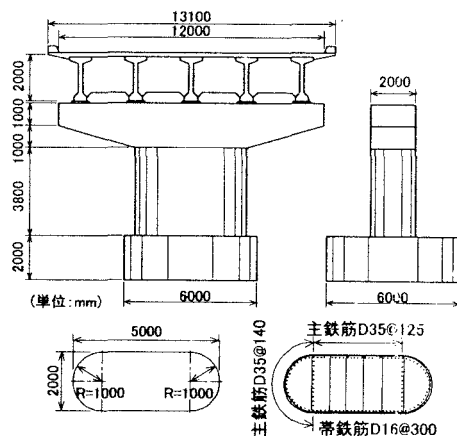


図-2 一般構造図

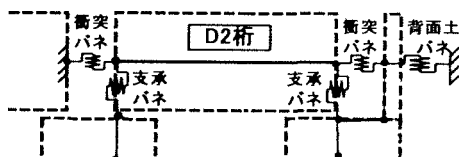


図-3 解析モデル

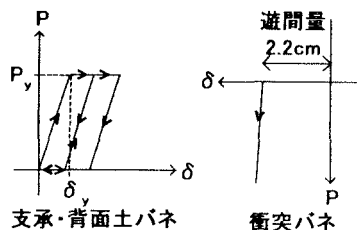


図-4 各バネモデル図

4. 動的解析結果

表-2に各ケースごとの最大水平変位を示す。Case1、Case2のどちらの背面土バネにも、その耐力値を超える水平力が作用しており、桁端部の最大水平変位はCase1で約15cm、Case2で約46cmとなり、桁が橋台にめり込む現象が起こることがわかる。

図-5に衝突バネに作用する水平力、図-6にパラベットの時刻歴水平変位を示す。図-5からわかるように、桁～橋台間で衝突が何度も起こっており、図-7に示すように背面土の降伏耐力値を超えるような衝突が繰り返されると、パラベットが徐々に橋台背面にめり込んでいく(図-6参照)。初期段階では、桁は遊間量2.2cmの橋台間と隣接桁間でしか変位できないが、背面土が塑性域に入ると橋台側に変位できる領域が生じる。変位できる領域が徐々に増えていくと隣接桁と桁は衝突はしなくなり、橋台側のみで変位が卓越していくような挙動になることがわかった。また、残留変位については、Case1で約14cm、Case2で約40cmと損傷状況のように桁が橋台にめり込んだままの状態となることが確認できた。

Case1とCase2との解析における差は、背面土圧バネのバネ定数だけであり、結果として桁端部の水平変位がCase2はCase1の約3倍の値となる。これはCase2の受働土圧により求められた耐力値が3218(KN)と、Case1の耐力値の約1/3しかないためだと考えられる。このように背面土の設定が桁の挙動や、パラベットのめり込みに大きな影響を及ぼす。しかしながら、現在の設計手法においては、橋台背面土や衝突の影響を考慮した設計は確立されていないのが現状であり、これらについて正確に評価する必要があると考えられる。

5. まとめ

橋台背面土を非線形スリップバネモデルとしたCase1、Case2では、桁と橋台が幾度も衝突を繰り返すことで、パラベットの残留水平変位が12cm、44cmとなるような結果となり、橋台背面土へのめり込み現象を再現できた。背面土バネの定数や衝突によってパラベットの背面土へのめり込み量が大きく異なることから、これらについて正確に評価する必要があると考えられる。

参考文献

- 九州工業大学：1999年9月21日台湾集集地震橋梁被害調査報告書、2000。4。
- Caltrans：Section 8 Seismic Analysis of Bridge Structure, Bridge Design Practice October, 1995。
- 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、Ⅳ下部構造編、1996。12。
- 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、Ⅴ耐震設計編、1996。12。

表-1 各バネ定数値

	初期剛性(KN/m)	降伏耐力(KN)
支承バネ	14373	2009
背面土バネ (Caltrans)	1222000	9620
背面土バネ (受働土圧)	1421186	3218
衝突バネ	2891000	—

表-2 各ケースの最大水平変位

	背面土 バネモデル	桁端部	橋脚天端	パラベット	支承	背面土
Case1	Caltrans	-3.09	15.09	0.18	12.37	塑性 塑性
Case2	受働土圧	-3.25	46.28	0.21	44.05	塑性 塑性

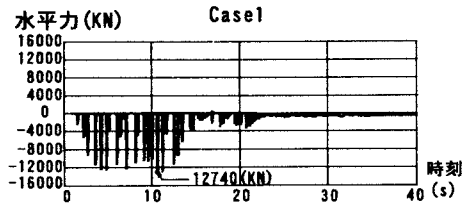


図-5 衝突バネに作用する水平力

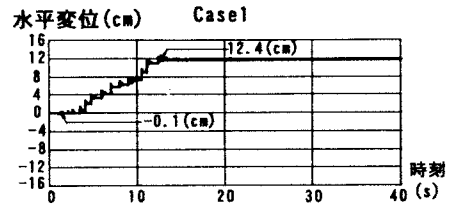


図-6 パラベットの水平変位 (Case1)

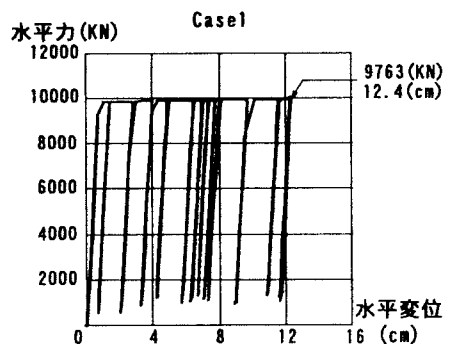


図-7 背面土バネの水平力—変位 (Case1)