第I部門

高速鉄道高架橋と走行列車の連成解析による耐震性能評価

神戸大学工学部	フェロー	川谷	充郎	神戸大学大学院	学生員	〇山口 将
神戸大学大学院	学生員	何	興文	神戸大学工学部	学生員	品川 恒平
(株)日建設計シビル	正 員	西山	誠治			

1. まえがき 1995 年 1 月 17 日の兵庫県南部地震では,様々な橋梁被害が起こった. これらの被害では 橋脚の損傷や倒壊を伴うものが多く,その大部分は RC 橋脚のせん断破壊あるいは曲げ破壊によるもの であった. このことから,橋脚の耐震性能の向上が図られているが,そのためには,まず現状の構造物 の耐震性能を評価することが必要となる.そこで本研究において,橋梁一走行列車一地震連成系の線形 動的応答解析手法¹⁾を用いて地震時に生じる橋脚の断面力求め,部材が有する耐力と比較して耐震性能 評価を試みる.

2. 解析手法 鉄筋コンクリートラーメン高 架橋3ブロックを有限要素で,また各車両を 水平方向運動も考慮する 15 自由度振動系に モデル化する. 橋梁のモデル図を Fig. 1 に示 す. 地震作用を慣性力項として,橋梁と車両 に作用させ,橋梁一走行列車一地震の連成系 の微分方程式をモード法により定式化し, Newmark-β法を用いて逐次積分を行い,構造 物の動的応答を求める. 各節点の変位が求ま れば,要素の剛性方程式から各節点に働く断 面力を算出することができる. なお,本研究 においては列車走行中に地震が発生する場合 の高架橋の耐震性能を評価するため,車両は 走行速度 270km/h とし,絶えず高架橋を走行 していると仮定する.

<u>3. 耐震性能評価手法</u> 部材のひび割れ曲げ モーメント耐力 *M_c*, 設計曲げモーメント耐力 *M_{ud}*, 設計せん断耐力 *V_{yd}*を算出し²⁾, 式 (1) を 満足するならば曲げ破壊形態,満足しないな らばせん断破壊形態とする.

V_{yd}h/M_{ud} > 1.0 ・・・(1) 連成振動解析から得られる部材の断面力と断 面耐力とを比較することにより,部材の耐震 性能の照査を行う.本研究においては列車走 行側であり張出部に近い橋脚L-1に着目し, せん断力による照査は,橋脚において最も帯 鉄筋間隔の大きい橋脚中央部,曲げモーメン トによる照査は橋脚基部において行う.耐震 性能照査手法のフローチャートを Fig. 2 に示 す.



Fig.1 Bridge model and measurement points



Mitsuo KAWATANI, Syo YAMAGUCHI, Xingwen HE, Kohei SHINAGAWA and Seiji NISHIYAMA



4. 入力地震波 入力する地震波は鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)³⁾で設定している L1 地震 波とする. Fig. 3 に水平方向の地震加速度波形とその応答スペクトルを示す. なお,鉛直方向において は,水平方向の地震加速度の 1/2 の値とする. なお,応答スペクトルに示す 0.455 秒は,橋梁水平 1 次 モードの固有周期である.

5. 解析結果 (1) 橋梁応答 橋梁走行側中央部の水平方向の加速度応答,フーリエスペクトルを Fig. 4 に示す.橋梁加速度が比較的大きくなっているが,地震波の応答スペクトルが橋梁水平1次モードの固 有周期 0.455sec (固有振動数 2.20Hz) 付近で大きい値を示しているためと考えられる.また,橋梁加速 度のフーリエスペクトルでも,その固有振動数で卓越していることが分かる. (2) 破壊形態の判定 破 壊形態を判定するため,式(1)に示す比率 *R* = *Vydh/Mud* を Fig. 5 に示す.この図より式(1) を満足してい るため,橋脚 L-1 の破壊形態は曲げ破壊形態であることが分かる. (3) 耐震性能評価 曲げモーメン トによる照査として橋脚基部における動的曲げモーメント *Mz*, ひび割れ曲げモーメント耐力 *Mc*, 設計 曲げモーメント耐力 *Mud* を Fig. 6 に示す.さらにせん断力による照査として橋脚中央部における動的せ ん断力 *Vy*,設計せん断耐力 *Vyd* を Fig. 7 に示す.曲げモーメントによる照査では,動的曲げモーメント がひび割れ曲げモーメントを超過していることから,ひび割れが発生することが分かる.また,12 秒付 近で最も大きな動的曲げモーメントが発生しているが,曲げ耐力にまでは至らない.さらにせん断力に よる照査においても,地震時に生じる動的せん断力がせん断耐力にまでは至らないことが分かる.

6. まとめ 照査結果より,今回用いた地震波においては,橋脚L-1は曲げ破壊形態であり,また,ひび 割れは生じるものの,破壊には至らないことが確認できた.しかし,上記した構造物の耐震性能評価結果 は,構造物が線形変形すると仮定した上での評価結果である.実際に部材の断面力がひび割れ耐力を超過 した場合,橋脚の剛性が変化することになる.構造物の耐震性能を正しく評価するためには,地震時にお ける構造物の非線形挙動を把握する必要があり,そのための連成振動解析手法の開発が急務である. 参考文献

- He, X., Kawatani, M., Sobukawa, R. and Nishiyama, S.: Dynamic response analysis of Shinkansen train-bridge interaction system subjected to seismic load, *Proc. of 4th International Conference on Current and Future Trends in Bridge Design, Construction and Maintenance*, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 1-12, 2005 (CD-ROM).
- 2) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物), 丸善, 2004.04.
- 3) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準·同解説(耐震設計),丸善,1999.10.