

日本道路公団 紫桃 孝一郎、中園 明広、中尾 信裕
鹿 島 正会員 ○三浦一彦、清水保明、砂坂善雄、伊東祐之

1. はじめに

兵庫県南部地震により被災した日本道路公団中国自動車道宝塚高架橋の復旧設計にあたり、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に関わる仕様」¹⁾（以下、復旧仕様）の規定に従い動的解析を実施し、補強後の本橋梁が兵庫県南部地震レベルの地震に余裕を持って耐えられる構造であることを確認した。本橋梁は5径間連続中空床版橋梁群であるが、当初、上部工の水平力は中央の2橋脚に伝える2支承が固定化された構造であった。これを、復旧にあたり被害の程度により中央4支承の固定化または免震化のいずれかの構造に変更を行った。本解析では、中国自動車道の他の高架橋の耐震診断・耐震補強に先駆けて行われたことから、こうした支承条件の変更の効果の確認、及び応答スペクトル法と弾塑性応答解析の2つの動的解析手法の比較検討による応答スペクトル法の有効性の確認を主眼においた。

2. 入力地震動

入力地震動は、復旧仕様に準じ兵庫県南部地震で観測された地震波のなかで、地表面での最大加速度を記録した神戸海洋気象台での観測波（NS成分）を用いた。

3. 解析モデル及び解析手法

本橋梁の解析にあたり、5径間連続の中空床版橋を3次元骨組みモデルとした。図-1に中央4支承を免震化したケースについて、P5～P10間のモデル図を示す。表-1に示すように、主桁は線形部材、免震支承²⁾、橋脚は解析手法によりそれぞれ線形、あるいは非線形部材とし、基礎及び地盤は質点と線形バネでモデル化した。隣接橋の影響については、橋軸直角方向の解析時のみ主桁重量を集中重量として考慮した。減衰定数は、応答スペクトル法については道路橋示方書³⁾に規定されている値を用い、弾塑性応答解析においてはレイリー減衰を用い、レイリー減衰の係数は、1次及び2次モードで5%となるように設定した。弾塑性応答解析プログラムは、鹿島が開発した複合非線形フレーム解析システム（SLAP）⁴⁾を用いた。

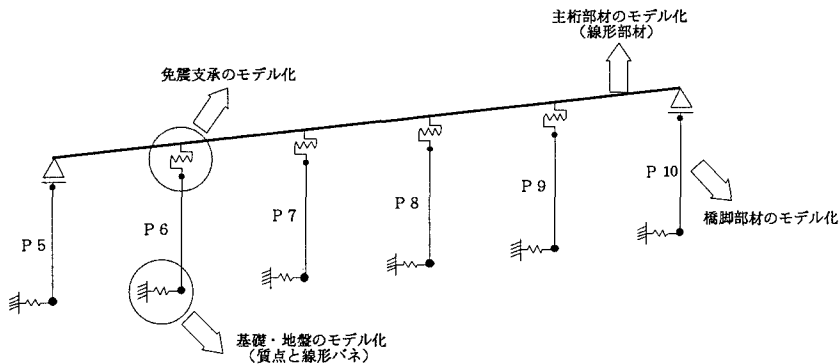


図-1 3次元骨組み構造モデル（橋軸方向）

表-1 解析法と剛性、減衰の設定

構造部材	応答スペクトル法		弾塑性応答解析	
	剛性	減衰	剛性	減衰
主桁	線形	3%	線形	レイリー減衰
支承（免震）	等価剛性（線形）	等価減衰13%	バイリニア型非線形	レイリー減衰
（固定）	固定	—	固定	レイリー減衰
橋脚	等価剛性（線形）	5%	トリリニア型非線形	レイリー減衰
基礎/地盤	線形バネ	20%	線形バネ	レイリー減衰

4. 解析結果と考察

固有値解析の結果を表-2に示す。中央4支承を固定化（4点固定）したケースに較べ、免震化した場合、免震沓の減衰性能による効果に加え固有周期は長周期化され、応答スペクトル値（応答加速度）は大幅に小さくなっており、免震化の効果が大きいことが確認された。

次に、応答スペクトル法及び弾塑性応答解析で得られた最大応答値をP9橋脚を例として表-3に示す。表-3は、応答値の大きい橋軸方向入力の場合の値である。応答スペクトル法については得られた応答変位をエネルギー一定則を用いて弾塑性応答変位に変換したものを、弾塑性応答解析では得られた最大応答曲率を示している。安全性の照査に用いる許容変位 δ_a 及び許容曲率 ϕ_a は、道路橋示方書を参考にして、降伏時変位 δ_y 、終局時変位 δ_u あるいは降伏時曲率 ϕ_y 、終局時曲率 ϕ_u を用いてそれぞれ下式のように定めた。

$$\delta_a = \delta_y + \frac{(\delta_u - \delta_y)}{1.5}, \quad \phi_a = \phi_y + \frac{(\phi_u - \phi_y)}{1.5}$$

応答スペクトル法を用いた場合、許容変位14.6cmに対し4点固定で12.4cm、免震で4.89cmの最大応答変位を、弾塑性応答解析を用いた場合、許容曲率0.0138(1/m)に対し4点固定で0.0098(1/m)、免震で0.0048(1/m)の最大応答曲率を得た。中央4支承を免震化したケースのみならず固定化したケースについても、地震力が分散され橋脚及び上部工が安全であることが確認された。

最後に、応答スペクトル法による最大応答変位と弾塑性応答解析による最大応答変位の比較を図-2に示す。応答スペクトル法の結果と弾塑性応答解析の結果はほぼ等しいことが伺える。他の橋脚についても概ね同様の結果が得られており、今回対象とした橋梁に関しては応答スペクトル法が十分有効であることが確認された。

また、免震支承の変位は、設計変位を若干上回るものとなったが破断変位に対しては十分余裕があることが確認され、安全であると判断した。

5. おわりに

今回の解析により多点固定化および免震化による耐震安全性の向上が可能であること、更に、免震化した方が多点固定化した場合より有効であることが確認された。また、応答スペクトル法とエネルギー一定則を用いることにより、橋脚の弾塑性応答を求める方法が橋脚の安全性の確認に十分有効であることが示唆された。

参考文献

- 1) 建設省道路局：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様、平成7年2月27日。
- 2) 土木研究センター：道路橋の免震設計法マニュアル（案）、平成4年10月。
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、平成2年2月。
- 4) 沖見、右近：複合非線形フレーム解析システムの開発、土木学会誌1995年1月号。

表-2 固有値解析結果

支承条件	入力方向	1次固有周期 (s)	応答スペクトル値 (加速度、Gal)
4点固定	橋軸方向	0.54	1381
	橋軸直角方向	0.35	1958
免震	橋軸方向	1.15	796
	橋軸直角方向	0.52	1510

表-3 安全性照査結果の例 (P9)

支承条件	解析	最大応答	許容値	判定
4点固定	応答スペクトル法	12.4(cm)	14.6(cm)	O.K
	弾塑性応答解析	0.0098(1/m)	0.0138(1/m)	O.K
免震	応答スペクトル法	4.89(cm)	14.6(cm)	O.K
	弾塑性応答解析	0.0048(1/m)	0.0138(1/m)	O.K

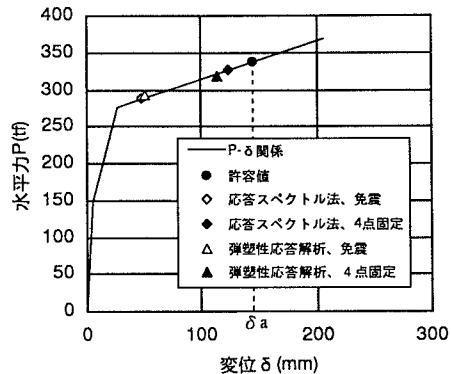


図-2 応答スペクトル法と弾塑性応答解析による最大応答変位の比較 (P9)