

鉄道総合技術研究所 正会員 渡辺忠朋
 鉄道総合技術研究所 正会員 佐藤 勉
 鉄道総合技術研究所 正会員 谷村幸裕

1. はじめに

兵庫県南部地震により、鉄道構造物を含め、道路、港湾構造物、家屋・ビル等の建築物など多数の構造物が甚大な被害を受けた。鉄道構造物では、山陽新幹線で8橋が落橋するなど、神戸を中心として数多く被災した。

構造物が地震力を受けた場合、その構造特性や配筋状況により様々な損傷を受け、それらは構造物にどのような地震力が作用したかを推定する上で、有益な情報となる。

そこで、RCラーメン高架橋の被害調査結果をもとに、地震力の推定を試みた。以下に、その概要を示す。

2. 検討対象構造物

検討対象構造物は、山陽新幹線および在来鉄道高架橋とした。新幹線構造物については、落橋等の大きな損傷を受けた高架橋およびその周辺高架橋に着目した。在来鉄道高架橋については、被害が集中して発生したJR東海道線住吉～灘間の高架橋、三宮駅付近高架橋、阪急神戸線西宮北口～夙川間高架橋および阪神本線の架道橋に着目した。

3. 被害分類

検討対象構造物の被災直後の現地調査および写真等から被害状況を損傷の主たるモード、程度および主たる方向（橋軸方向および橋軸直角方向）を分類した。

被害の分類の概念を表1に示す。

表1 被害の分類の概念

被害の分類	
SA	柱のせん断破壊パターンで、落橋高架橋の多くはこのタイプである。
SB	せん断により柱に斜め方向のひび割れが生じ、かぶりコンクリートの剥落、内部コンクリートもかなりの亀裂を生じる損傷パターンで、崩壊には至らなかったものの、かなりの損傷レベルである。
SC	せん断により柱に幅の広い斜め方向のひび割れが生じる損傷パターンで、中程度の損傷レベルである。
SD	せん断により柱に幅の狭い斜め方向のひび割れが生じる損傷パターンで、比較的軽微な損傷レベルである。
MB	曲げにより柱の上部または下部に曲げひび割れが生じ、その後繰返しによりかぶりコンクリートが剥落し、軸方向鉄筋の一部が変形する損傷パターンで、かなりの損傷レベルである。
MC	曲げにより柱の上部または下部に曲げひび割れが生じ、かぶりコンクリートも一部剥落する中程度の損傷レベルである。
MD	曲げにより柱の上部または下部に幅の狭い曲げひび割れ生じる程度の比較的軽微な損傷レベルである。

4. 地震力の推定

4.1 推定方法

地震力は、現行の鉄道コンクリート構造物の耐震設計の考え方¹⁾に準拠し、構造物の被災状況から応答塑性率を推定し求めた構造物の弾性応答時の水平震度（以下、応答換算弾性水平震度という）と定義する。

応答換算弾性水平震度の推定は以下に示す仮定および方法によった。

①RC部材の変形性能に関する仮定

せん断破壊先行の構造物は、せん断破壊時の水平震度までのエネルギー吸収性能を保有するとし、曲げ降伏先行の構造物は、計算で得られる変形性能²⁾を保有すると仮定した。

②応答塑性率の推定

表2 被害状況と応答塑性率の関係

被害の分類	応答塑性率 (μ_r)
MB'	$\mu_r = \mu$
MB	$\mu_r = 3/4 \cdot \mu \geq 1.0$
MC	$\mu_r = 1/2 \cdot \mu \geq 1.0$
MD	$\mu_r = 1/4 \cdot \mu \geq 1.0$

被害状況と応答塑性率の関係は、構造物のじん性率をもとに表2に示すように仮定した。

なお、表1で観察による被害分類MBのうち、スラブ・梁等の沈下が生じていたものはMB'として区分した。

③応答換算弾性水平震度の推定

曲げ降伏先行の構造物は計算で得られる変形性能を保有し、構造物の地震時エネルギー吸収には、ニューマークのエネルギー一定則が成立するとした。

応答換算弾性水平震度 $K_{e,r}$ は、被害状況から推定した応答塑性率を用いて次式で求めた（図1）。

$$K_{e,r} = (2\mu_r - 1)^{1/2} K_h(M_y)$$

- ここに、 $K_{e,r}$: 応答換算弾性水平震度
- $K_h(M_y)$: 曲げ降伏時の水平震度
- μ_r : 応答塑性率

なお、曲げ降伏時の水平震度の算定は、RCラーメン高架橋を骨組み構造とした静的線形解析結果から算定し、曲げ降伏耐力の算定には検討対象構造物の材料試験結果を用いた。

④地震力の推定

以上の方法により、地震力の最大値の推定は、解析による損傷パターンが曲げ降伏先行の構造物の損傷の程度を考慮した応答換算弾性水平震度をもとに、また地震力の最小値の推定は、せん断破壊先行の構造物の応答換算弾性水平震度（ $K_h(V_r)$:構造物がせん断耐力する時点の水平震度）をもとに行う。

4.2 推定結果

等価固有周期と応答換算弾性水平震度との関係を図2に示す。

等価固有周期が、0.3~0.7秒の範囲で応答換算弾性水平震度が大きな値となっており、本検討の範囲では1.5程度となった。

5. あとがき

被災構造物から地震力の推定を、現行の構造物の設計手法を用いて試みた。その結果、鉄道構造物の多くが保有している固有周期領域で、応答換算弾性水平震度1.5程度の値が得られた。

今後、これらの検討結果をもとに、兵庫県南部地震による構造物の入力地震動の検証を行っていく予定である。

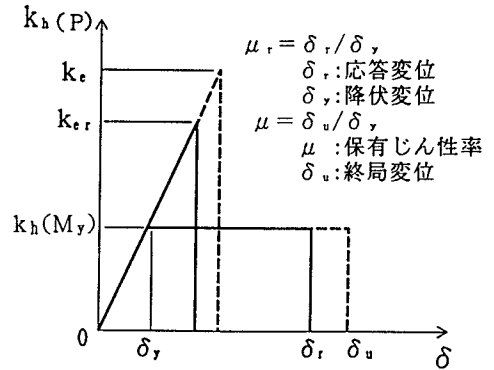


図1 換算水平震度と被害状況の例

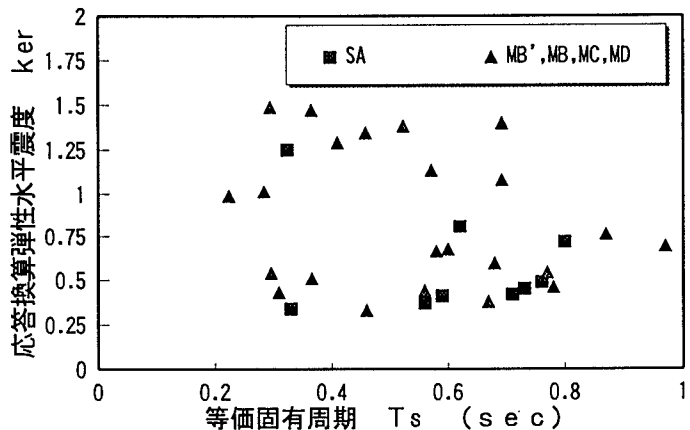


図2 固有周期と換算弾性水平震度との関係

[参考文献]

- 1) 丸善：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物） 鉄道総合技術研究所編，平成4年10月
- 2) 石橋，吉野：鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形能力に関する研究，土木学会論文集，第390号V-8，pp. 57~66