

西日本旅客鉄道(株) 正員○寄田 悦夫 正員 田中 俊作  
 西日本旅客鉄道(株) 下田 譲二 三間谷将充

1. はじめに

平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災は土木・建築構造物に大きな被害をもたらした。JR西日本においても山陽新幹線、JR神戸線で高架橋が落橋するなど壊滅的な被害を受けた。今回は、落橋等により不通となった個所の復旧工事に合わせ運転再開に向け行った被災構造物の安全性確認検査の概要とその結果について報告する。

2. 被害の概要

表-1に各線区の被害箇所数を、表-2に各構造物の被災状況を示す。

3. 検査の概要

検査の手順は、まず復旧した構造物を衝撃振動試験により走行安全性の確認を行った後、実車走行試験により荷重載荷時の構造物変位応力測定を行い安全性を確認した。

3-1 衝撃振動試験

測定は、山陽新幹線、JR神戸線で290箇所において実施した。健全度判定基準は、健全箇所223箇所において予め衝撃振動試験を実施し、鉄道総研指導のもと策定した健全度の判定フローを図-1に示す。標準値算定式作成においては、健全箇所で行った衝撃振動試験により得られた測定値を基に固有振動数に影響を及ぼすと考えられる因子を相関分析で絞り込み、重回帰分析により作成を行った。表-3に標準値算定式を示す。健全度指標 $\kappa$ は、固有振動数解析モデルより0.7を基準とした。<sup>1)</sup>

3-2 変位・応力測定

列車荷重等により構造物が変形する量を測定し、走行安全上構造物に問題がないことを確認した。測定を実施した箇所数と測点の数量を表-4に示す。管理目標値は表-5の通り設定し測定値の管理を行った。<sup>2)</sup>

4. 測定結果

4-1 衝撃振動試験

山陽新幹線及びJR神戸線での測定結果を表-6に示す。健全度指標 $\kappa$ が0.7を下回る箇所はなくこの結果より、復旧構造物の再用部材に列車荷重の載荷が可能と判断した。

表-1 各線区の被害箇所数(箇所)

| 線名    | 橋りょう | 高架橋 | トンネル | 土工  | 停車場 | 合計  |
|-------|------|-----|------|-----|-----|-----|
| 山陽新幹線 | 14   | 38  | 2    | 8   | 1   | 63  |
| JR神戸線 | 46   | 16  | -    | 105 | 9   | 176 |
| JR宝塚線 | 19   | 4   | 1    | 33  | 1   | 58  |
| その他線区 | 0    | 1   | 0    | 0   | 0   | 1   |
| 合計    | 79   | 59  | 3    | 146 | 11  | 298 |

表-2 被害の特徴

| 構造物  | 部・位 | 被災状況                          |
|------|-----|-------------------------------|
| 橋りょう | 上部工 | 桁の損傷はほとんどなく、移動による番やアンカーボルトの破壊 |
|      | 下部工 | 橋脚の逃げによる基礎破壊や橋台の桁拘束による大きな水平変位 |
| 高架橋  | 柱   | 曲げ、せん断による破壊及びひび割れ             |
| トンネル | 覆工  | アーチ、製鉄コンクリートの亀裂、剥落、漏水の発生      |
| 土工   | 盛土  | 沈下や横移動による陥没、土質の割壊、構造物背面土の流出   |
| 停車場  | ホーム | 踏道沈下による変位不調、上屋の倒壊、盛土工式ホームの倒壊  |

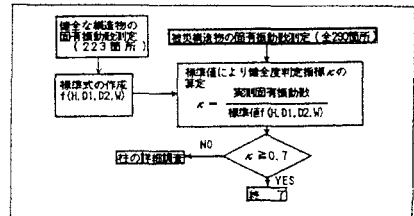


図-1 健全度判定フロー

表-3 標準値算定式

| 線区    | 構造物                      | 標準式                                    | 相関係数 |
|-------|--------------------------|--|------|
| 山陽新幹線 | 軌道橋                      | $f(H, D1, D2)$ H: 線高さ, D1: 柱高さ, D2: 軌高 | 0.70 |
|       | ラマン高架橋                   | $f(H, D1)$ H: 線高さ, D1: 柱高さ             | 0.72 |
| ラマン橋  | $f(H, W)$ H: 線高さ, W: 桁重量 | 0.74                                   |      |
| 宝塚線   | ラマン高架橋                   | $f(H, D1)$ H: 線高さ, D1: 柱高さ             | 0.84 |

表-4 高架橋等変位応力測定数

| 線区    | 測定箇所数 | たわみ |     |      |       | 軌道応力 | 鋼板応力 |
|-------|-------|-----|-----|------|-------|------|------|
|       |       | 上   | 下   | 水平変位 | 水平目違い |      |      |
| 山陽新幹線 | 測定箇所数 | 22  | 58  | 2    | 41    | 14   | 2    |
|       | 測点数   | 62  | 194 | 4    | 70    | 73   | 12   |
| JR神戸線 | 測定箇所数 | 10  | 10  | -    | 5     | 6    | 2    |
|       | 測点数   | 13  | 40  | -    | 5     | 20   | 4    |

表-5 管理目標値

| 測定項目  | 管理目標値                      |
|-------|----------------------------|
| たわみ   | 山陽新幹線 L/1800               |
|       | JR神戸線 L/800                |
| 沈下    | 2mm                        |
| 水平変位  | 2mm                        |
| 水平目違い | 2mm                        |
| 軌道応力  | 高架橋 400 kg/cm <sup>2</sup> |
|       | 桁 600 kg/cm <sup>2</sup>   |
| 鋼板応力  | 1500 kg/cm <sup>2</sup>    |

#### 4-2 変位応力測定

山陽新幹線での測定結果を図-2に示す。測定の結果は管理目標値を超える測定値はなかった。

測定の結果から、列車走行安全性は十分確保されていると判断した。

#### 5. 測定の一例

山陽新幹線 K高架橋

##### 5-1 状況

5-1-1 諸元；3径間RCラーメン高架橋  $\text{sp}\lambda = 8\text{m} \times 3$

場所打ち杭基礎形式

5-1-2 被害状況；R1 柱に大きなひび割れ

R2 柱躯体断面の破壊により高架橋及びC1落橋

##### 5-2 衝撃振動試験結果

5-2-1 健全度指標；衝撃振動試験の結果得られたR1、R2の固有振動数及び健全度指標 $\kappa$ の値を表-7に示す。測定値は、基準の0.7を上回り健全と判定した。

5-2-2 固有値解析；さらに、地盤バネ及び柱剛性EIを精査するため、衝撃振動試験で得られたR1での固有振動数及び振動モードに基づき固有値解析を試みた。<sup>3)</sup>固有値解析で求めた柱の曲げ剛性及び基礎のバネ定数を表-8に示す。

結果は、振動モードのシミュレーションにおいて地中梁に地盤バネを設定する方がよく振動モードが一致した

##### 5-3 変位・応力測定結果

落橋したR2を中心に6つの項目について、37の測点で測定を実施した。各測点での測定結果を表-9に示す。測定結果は、何れの測定値についても管理目標値に比べ問題となる値は記録されなかった。

#### 6. おわりに

衝撃振動試験及び実車走行による変位応力測定での結果から列車走行安全性は十分に確保されていると判断した。今回の測定により、衝撃振動試験の健全度指標に基づき判定を行うことで、復旧構造物の安全性を確認できることが実証できた。また、高架橋でも衝撃振動試験結果で得られた固有振動数及び振動モードに基づき固有値解析を行えば、基礎の支持状態がよく判ることが確認された。

運転再開に当たっては、低速(170km/h)で営業運転を再開し、列車荷重載荷時の変位応力測定で安全性を確認しながら段階的に速度向上を行った。現在も、落橋箇所静的な変位測定を行い運転再開後の構造物の管理を行っているところである。

今後は、運輸省の提言に基づいた耐震補強工事が実施されることになる、これまでに得られたデータを活用し防災強度の向上強化を有効的に行い安全且つ安定した輸送に貢献したいと考える。

#### <参考文献>

- 1) 鉄道総合技術研究所；ラーメン高架橋の健全度判定(案) 山陽新幹線及び東海道線 平成6年4月
- 2) 鉄道技術研究所編；鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物
- 3) 西村；ラーメン高架橋の健全度評価法の研究、鉄道総研報告、Vol 9、平成2年9月

表-6 衝撃振動試験結果

| 線区    | 健全度指標 $\kappa$ |      |      |
|-------|----------------|------|------|
|       | 最大値            | 平均値  | 最小値  |
| 山陽新幹線 | 1.69           | 0.96 | 0.71 |
| JR神戸線 | 1.68           | 0.96 | 0.71 |

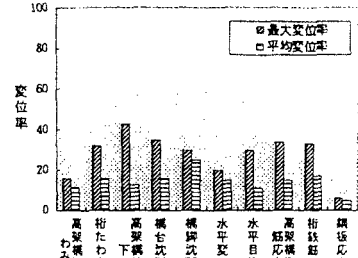


図-2 山陽新幹線変位応力測定結果

表-7 K高架橋測定値及び健全度指標

|                | R1   | R2   |
|----------------|------|------|
| 測定値            | 3.4  | 3.3  |
| 標準値            | 3.3  | 3.7  |
| 健全度指標 $\kappa$ | 1.03 | 0.89 |

表-8 K高架橋固有値解析結果

| 柱剛性EI       | 3.11×10 <sup>7</sup> tf・m <sup>2</sup> 倍率 2.1倍 |                             |                       |
|-------------|--|-----------------------------|-----------------------|
|             | 抗傾バネ   | 地中梁 (倍率)                    | 合計                    |
| 水平地盤バネ係数 Kh | 1.339×10 <sup>7</sup>                          | 0.500×10 <sup>7</sup> (0.1) | 0.633×10 <sup>7</sup> |
| 鉛直地盤バネ係数 Kv | 4.288×10 <sup>7</sup>                          | 1.756×10 <sup>7</sup> (8.0) | 1.799×10 <sup>7</sup> |
| 回転地盤バネ係数 Kθ | 7.580×10 <sup>7</sup>                          | 1.904×10 <sup>7</sup> (0.5) | 2.662×10 <sup>7</sup> |

表-9 K高架橋変位応力測定結果

|       | 管理目標値                 | 最大値 (変位率)                   | 平均値 (変位率)                  |
|-------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 変位量   | 2.0mm                 | 0.43mm (21.5)               | 0.07mm (3.6)               |
| たわみR2 | 4.4mm                 | 0.56mm (12.7)               | 0.12mm (2.7)               |
| たわみC1 | 2.3mm                 | 0.29mm (6.8)                | 0.10mm (3.0)               |
| 柱沈下   | 2.0mm                 | 0.32mm (16.0)               | 0.08mm (3.8)               |
| 水平変位  | 2.0mm                 | 0.28mm (14.0)               | 0.08mm (4.2)               |
| 橋脚変位  | 150kg/cm <sup>2</sup> | 72kg/cm <sup>2</sup> (4.8)  | 28kg/cm <sup>2</sup> (1.7) |
| 橋脚変位  | 800kg/cm <sup>2</sup> | 40kg/cm <sup>2</sup> (13.3) | 45kg/cm <sup>2</sup> (7.5) |

\*変位率=実測値/管理目標値×100