

実測記録に基づく免震橋梁の地震応答解析

大住道生¹・運上茂樹²

¹正会員 工修 建設省土木研究所耐震研究室 (〒305-0804茨城県つくば市旭1番地)

²正会員 工博 建設省土木研究所耐震研究室 (〒305-0804茨城県つくば市旭1番地)

近年我国における免震橋の施工実績は増加してきており、実際の免震橋において地震記録が観測されるなど、その有効性が検証されつつある。本論では超多径間連続免震橋において観測された地震記録を用いて免震橋の地震時振動特性を分析するとともに、モデル橋のシミュレーション解析を行い、免震橋の地震時振動特性について観測記録との比較を行った。

Key words : Menshin bridge, seismic isolation, strong motion records, simulation analysis

1. 序論

近年我国における免震橋の施工実績は増加してきており、実際の免震橋において地震記録が観測されるなど、その有効性が検証されつつある^{1)~3)}。

本論では超多径間連続免震橋の地中、地表、フーチング、橋脚天端、桁の各点に設置した加速度計、および免震支承に設置した変位計の観測記録が得られたため、これを用いて免震橋の地震時振動特性を分析するとともに、地表の加速度記録を用いてモデル橋のシミュレーション解析を行い、これにより得られた免震橋の地震時振動特性と観測記録から求めた免震橋の地震時振動特性とを比較した。

2. 観測条件

(1) 検討対象橋の概要

本論において対象とした橋は、静岡県田方郡にある超多径間連続免震橋である大仁高架橋⁴⁾である。大仁高架橋は3つの高架橋が連続する多径間連続高架橋であるが、本論ではこのうちPC29径間連続中空床板橋である2号橋を中心に検討を行った。これらの免震橋の諸元を表-1に示す。

図-1に観測装置の設置状況を示す。感震器は同図に示すように、地中基盤、地表地盤、フーチング、橋脚天端、上部構造に合計25点、75チャンネル配置されている。また、免震支承の相対変位を観測する変位計が2点、3チャンネル配置されている。

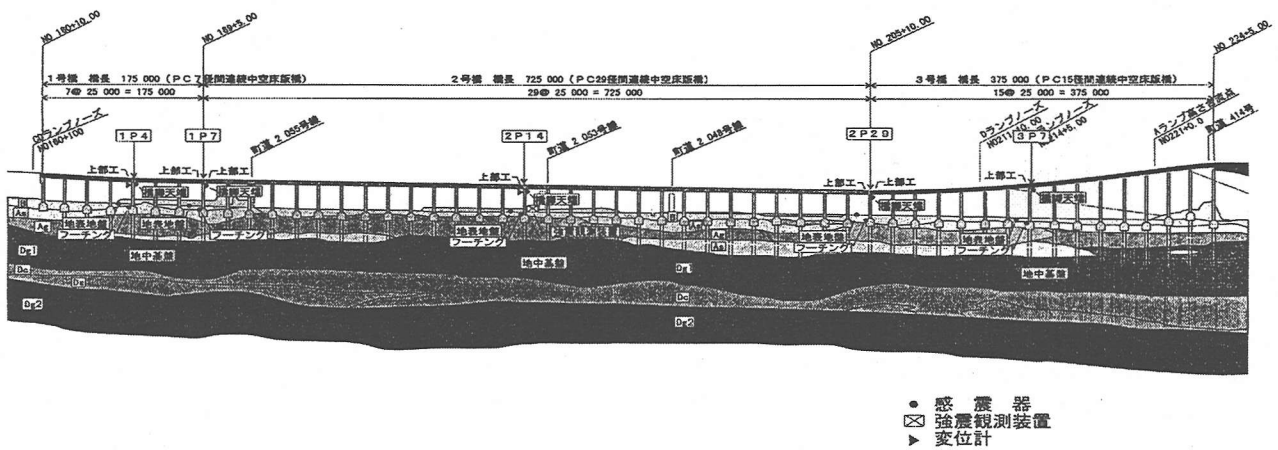


図-1 観測装置の設置状況

表-1 検討対象橋の諸元

| | | |
|--------------|--------------|--------------|
| 橋種 | PC 連続中空床板橋 | |
| 橋長、連続 径間数 | 1号橋 | 175m、7 径間連続 |
| | 2号橋 | 725m、29 径間連続 |
| | 3号橋 | 375m、15 径間連続 |
| 支承 | 鉛プラグ入り積層ゴム支承 | |
| 橋脚 | RC 橋脚 | |
| 基礎 | 場所打ち杭 | |
| 耐震設計上の地盤種別 | II 種地盤 | |

(2) 観測記録

本論において対象とした地震は、マグニチュード 5.7、震源深さ 3km 程度、震央と対象橋との距離が 20km 程度の地震である。地表面における加速度は最大 71.4cm/s^2 である。

3. 観測記録による免震橋の地震応答特性

一連の超多径間連続免震橋の地中、地表、フーチング、橋脚天端、桁の各点に設置した加速度計、および免震支承に設置した変位計の観測記録を用いて、免震橋の地震時振動特性を分析した。

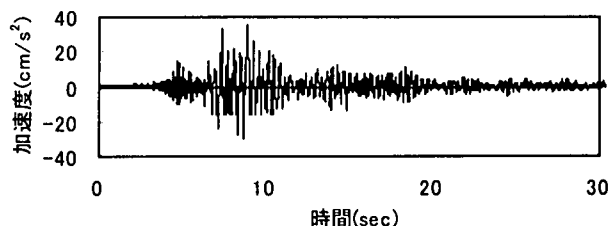
(1) 地震動の伝達特性

実地震動に対する本免震橋の振動特性を検討することを目的に、2号橋の中間支点部となる 2P14 橋脚地点の地表、フーチング、橋脚天端、上部構造の観測記録から、各観測点の振動の伝達特性を調べた。

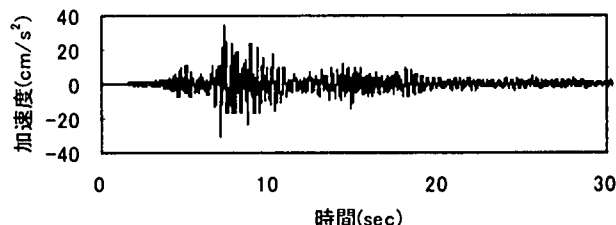
図-2 に 2P14 橋脚における各観測点の橋軸方向加速度記録を示す。地表では最大加速度が 69.38cm/s^2 であるが、フーチングでは最大加速度 28.88cm/s^2 と半分以下になっている。橋脚天端の応答はフーチングより若干大きい。上部構造の応答は橋脚天端の応答とほぼ等しく、上部構造の応答を低減する免震効果が発揮されていない。これは、本検討で対象とした地震動の強度が小さいことにより、免震支承の応答変位が最大 0.7mm 程度と小さく、免震支承の 1 次剛性の範囲での応答をしているためと考えられる。

(2) 振動モードの検討

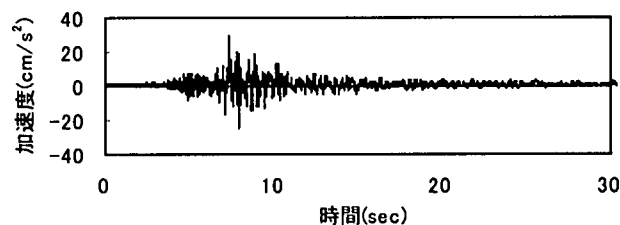
次に、2号橋について上部構造の振動モードを確認するために、地表面で観測された地震動に対する伝達関数を調べ、上部構造の卓越振動数を求めた。一例として図-3 に 2P14 橋軸方向の伝達関数を示す。伝達関数の基準としては、橋軸方向には連続区間の中間付近である 2P14 橋脚の地震動、橋軸直角方向には振動が観測された各橋脚の地表面の地震動を使用した。この結果得られた振動モードの模式図を図-4 に示す。



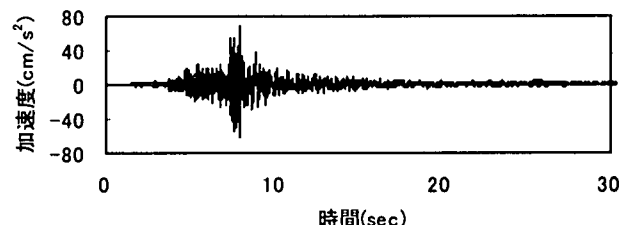
(a) 上部構造



(b) 橋脚天端



(c) フーチング



(d) 地表

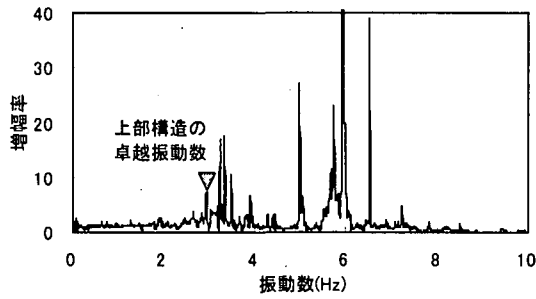
図-2 観測記録による上部構造の橋軸方向応答変位

4. モデル橋のシミュレーション解析

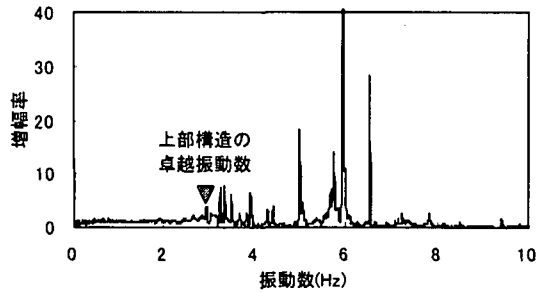
実橋で観測された加速度応答記録を再現することを目的に、2号橋を 3 次元骨組モデルとして、時刻歴応答解析を行った。

(1) 解析条件

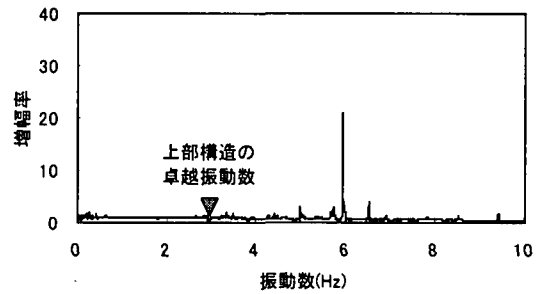
解析モデルは図-5 に示すように 3 次元骨組モデルとし、2号橋に隣接する 1,3 号橋を 1 つの質点にモデル化した。解析条件は入力地震動が最大で 70cm/s^2 と小さいことから、表-2 に示すように各部材を線形でモデル化した。ここで、免震支承の剛性は 2P14 で観測された支承の変位の最大値とそのとき支承に作用した慣性力から



(a) 2P14 地表に対する 2P14 上部構造の伝達関数



(b) 2P14 地表に対する 2P14 橋脚天端の伝達関数



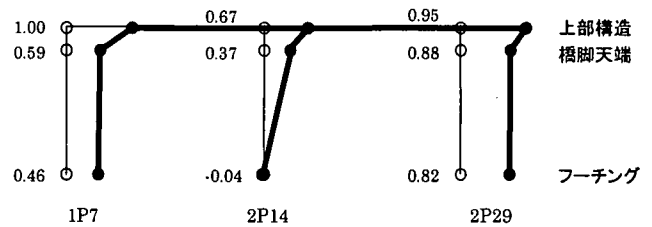
(c) 2P14 地表に対する 2P14 フーチングの伝達関数

図-3 観測点間の伝達関数 (橋軸方向 $f=2.942\text{Hz}$)

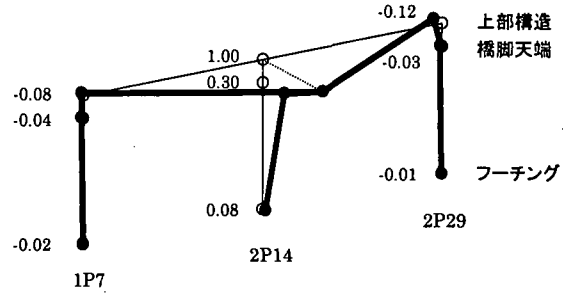
求めたものに 0.7 を乗じた有効剛性を、基礎の地盤バネは実橋の 1 スパンを用いて行った振動実験⁵⁾により求められた地盤バネ値を用いた。減衰定数は各部材とも塑性化しないことから、上部構造、橋脚、フーチング、支承を 0.05、地盤を振動実験から得られた 0.24 とした。入力地震動は地盤条件を考慮して 1P7、2P1~2P3 を 1P7 で観測された地震動、2P4~2P24 を 2P14 で観測された地震動、2P25~2P29 を 2P29 で観測された地震動とした。

表-2 解析条件

| | |
|-------|-----------------|
| 上部構造 | 線形部材 |
| | 減衰定数: 0.05 |
| 免震支承 | 線形部材 (実測値の有効剛性) |
| | 減衰定数: 0.05 |
| 橋脚 | 線形部材 |
| | 減衰定数: 0.05 |
| 基礎・地盤 | 地盤作用を線形バネ (実験値) |
| | 減衰定数: 0.24 |



(a) 橋軸方向 ($f=2.942\text{ Hz}$)



(b) 橋軸直角方向 ($f=3.467\text{ Hz}$)

図-4 観測記録による 2 号橋の振動モード

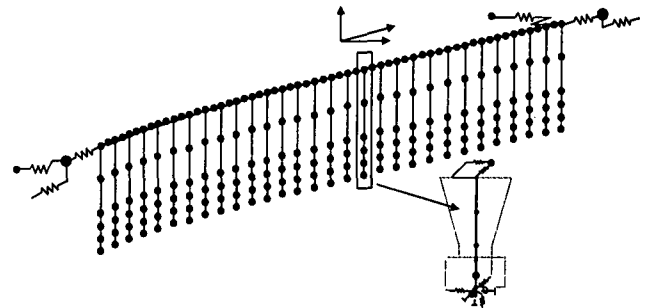
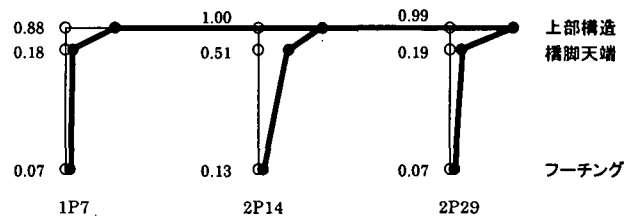
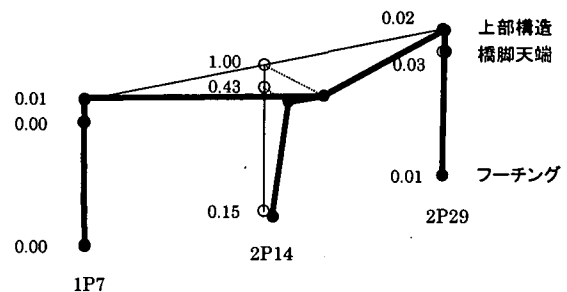


図-5 解析モデル



(a) 橋軸方向 ($f=2.902\text{ Hz}$)



(b) 橋軸直角方向 ($f=3.092\text{ Hz}$)

図-6 解析による 2 号橋の振動モード

(2) 解析結果

2号橋の固有値解析の結果、橋軸方向の固有振動数の観測値が2.942(Hz)であったのに対して解析値は2.902(Hz)、橋軸直角方向の固有振動数の観測値が3.467(Hz)であったのに対して解析値は3.092(Hz)であり、両者の差は10%程度と比較的よくあっている。また図-6に示すように、解析による振動モードは、図-4に示した観測によるものと比較的よくあっている。

次に2号橋の各部材の観測による応答変位と解析による応答変位を図-7に示す。これらの図から、橋軸方向については位相、最大変位が比較的よくあっていることが分かる。また、橋軸直角方向には位相は比較的よくあっているが、最大値は解析値の方が大きい。この原因としては、入力地震動を3種類に集約して入力していること、各部材の減衰定数の設定が小さいことが考えられる。

5. 結論

実測記録をもとに、超多径間免震橋の地震応答分析、およびシミュレーション解析を行った結果、以下のような結論を得た。

- ①本論において対象とした実地震動による応答では、免震支承による免震効果は確認できなかったが、これは、入力地震動が小さかったことにより支承の応答変位が小さかったためである。
- ②シミュレーション解析の結果、観測記録と解析結果の各部材の時刻歴応答変位は、橋軸直角方向の応答変位振幅を除いて比較的よく一致した。

謝辞：本検討を行うに当たり、貴重なデータを提供して下さった静岡県土木部国道室に対し、この場を借りて深く感謝します。

参考文献

- 1) 大塚久哲, 運上茂樹, 西原史和: 実測記録に基づく山あげ大橋(免震橋)の地震時振動特性, 土木技術資料, 1996.3
- 2) 山之内宏安, 吉田純司, 藤野陽三, 阿部雅人: 実測記録に基づく山あげ大橋の免震性能評価, 第53回土木学会年次学術講演会概要集1-B, 1998.10
- 3) 堀松正芳, 小松郁夫, 佐々木伸幸, 中谷真二: 免震支承を用いた松の浜工区鋼桁の振動実験および動的応答解析, 橋梁と基礎, 1994.4
- 4) 小野田隆夫, 増井明弘, 山下幹夫: 超多径間連続免震橋梁大仁高架橋, 橋梁, 1995.6
- 5) 安藤祐副, 榊原正彦, 山野辺慎一, 大保直人: 免震橋(大仁高架2号橋)の実橋振動実験, 橋梁と基礎, 1999.1

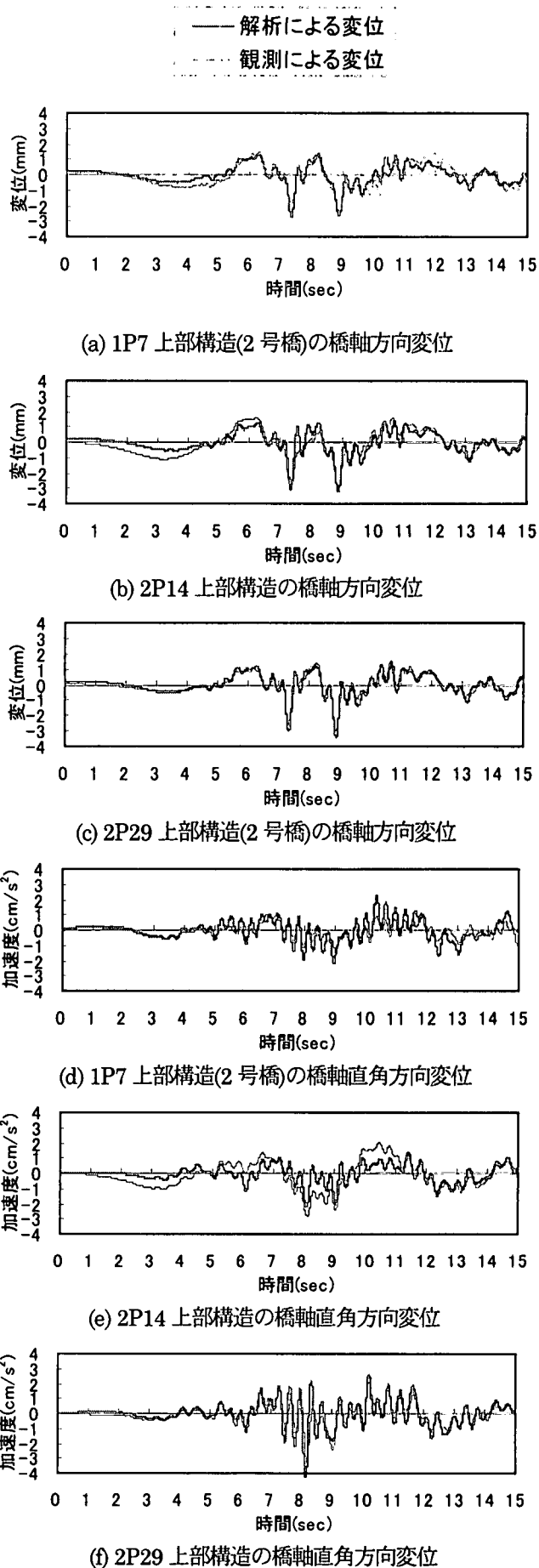


図-7 観測による応答変位と解析による応答変位の比較