

中小地震時における免震橋の地震時特性に関する考察

小山田欣裕¹・谷本 俊充²・佐藤昌志³・林亜紀夫⁴

¹正会員 工修 北海道道路管理技術センター (〒060 札幌市北区北7条西2丁目)

²正会員 工修 北海道開発局 開発土木研究所 (〒062 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

³正会員 工博 北海道開発局 開発土木研究所 (〒062 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

⁴F会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 総合研究所 (〒206 東京都多摩市関戸1-7-5)

温根沼大橋は、主径間部に支間 140.0m のニールセン系ローゼ桁を有する橋長 456.0m の橋梁であるが、鉛プラグ入り積層ゴム支承を有する側径間の 4 径間連続鋼鈑桁部が完成した時点で、1994 年 10 月 4 日に北海道東方沖地震 M8.1、 Δ = 約 100Km を受け、橋梁各部と地盤の挙動を測定することができた。この地震は、震度法の設計において想定している地震強度に相当する影響を与えたと考えられる。本論文では、この地震の本震と前震の記録をもとに、構造系内の伝達特性を分析した。

Key Words : seismic-isolation, earthquake protective design, earthquake record

1. 温根沼大橋の概要

温根沼大橋は、橋長 456.0m、主径間は支間 140.0m のニールセン系ローゼ桁であるが、図-1に示すように、支間 4 @ 25.0m の連続鋼鈑桁による側径間部は免震装置である鉛プラグ入りゴム支承を用いている。免震支承は橋軸方向にのみ動く構造とされ、橋軸直角方向の動きは、サイドブロックによって拘束されており、橋軸方向のみに免震の効果が働く構造である。

免震装置の等価剛性は変位量によって異なるので、固有周期は、文献 1) に規定される震度法による値と地震時保有水平耐力法による値が異なる。免震装置による長周期化と履歴減衰の効果による慣性力の低減を見込んだ計算において、震度法では、免震装置の変位は 3.7cm、橋の固有周期は 0.92sec であり、

地震時保有水平耐力法タイプ I では、免震装置の変位は 15.0cm、橋の固有周期は 1.18sec である。

2. 強震記録

図-1に示す側径間部には、上部構造、橋脚頂部、地盤 (-1.5m)、地盤 (-17m) に強震計が設置されており、橋軸方向、橋軸直角方向および鉛直方向の加速度を測定している。

1994 年には、主径間が架設されないで、免震支承採用区間のみが竣工した状態で北海道東方沖地震が発生し、10月4日本震および8月31日前震の測定記録が得られた^{2) 3)}。本震はM 8.1 前震はM 6.4 であり、震央はほぼ同位置で、深さは本震が約 30Km、前震が約 90Km とされている。図-2に橋梁各部の加速度測定値の最大値の分布を示す。図-2を

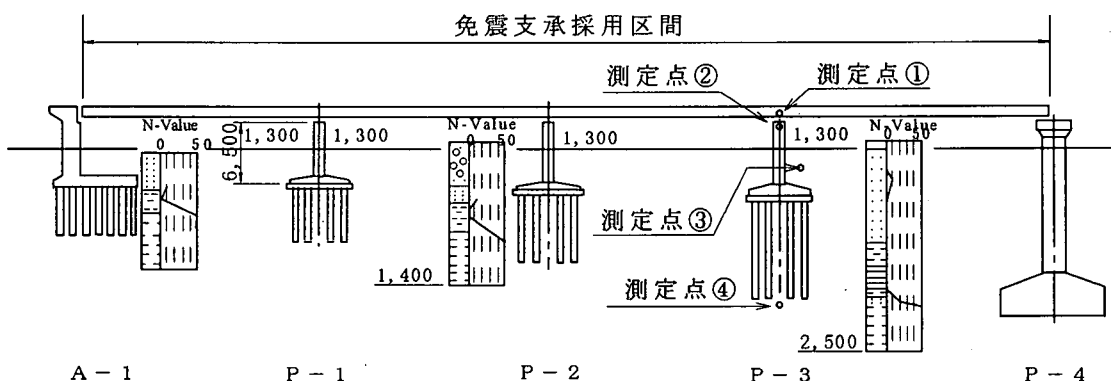
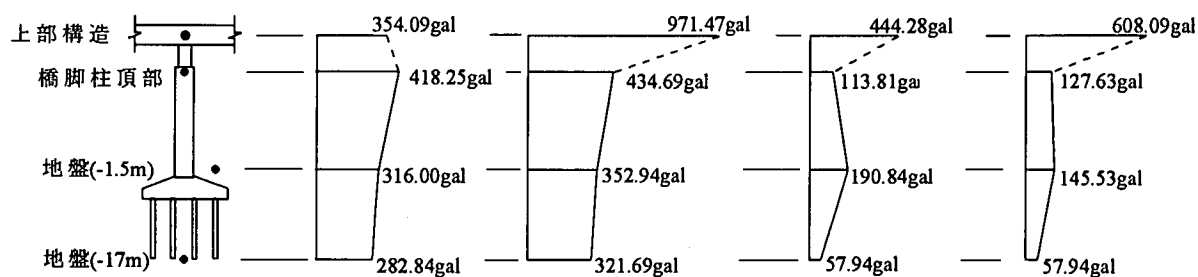


図-1 地震動測定時の橋梁形状および測定点位置

見ると、本震では、免震装置が働く橋軸方向の値が橋軸直角方向の値より低く、わずかではあるが前震においてもその傾向が見られる。また、本震の橋軸方向記録では、上部構造の加速度値が橋脚柱頂部より小さい。

図-3、図-4には加速度時刻歴波形を示す。10月4日の本震の地震動は、継続時間が非常に長く、8月31日の前震の地震動継続時間は比較的短い。



a) 測定位置 b) 本震 (橋軸方向) c) 本震 (橋軸直角方向) d) 前震 (橋軸方向) e) 前震 (橋軸直角方向)
図-2 1994年北海道東方沖地震による橋梁各部の加速度測定値の最大値の分布

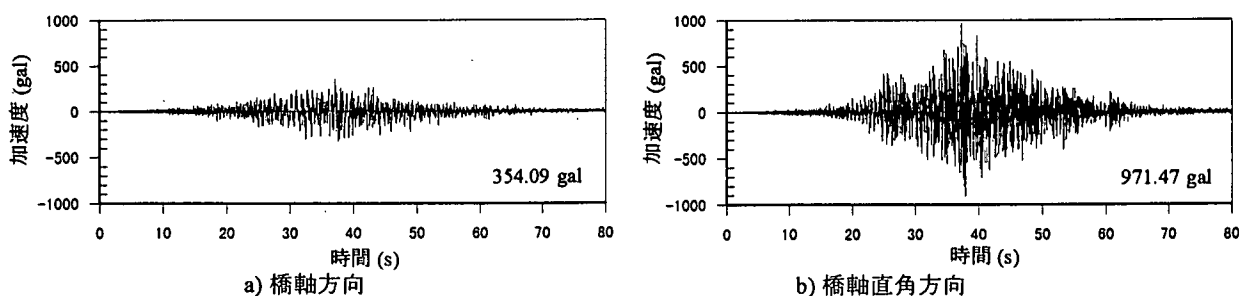


図-3 上部構造の加速度時刻歴 (10月4日 本震)

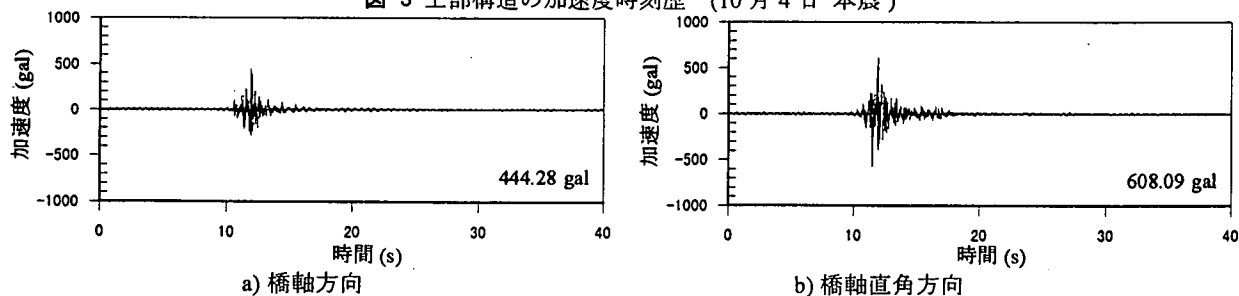


図-4 上部構造の加速度時刻歴 (8月31日 前震)

3. 強震記録の分析

上部構造、橋脚柱頂部、および地盤 (-1.5m) で測定された加速度時刻歴をもとに、フーリエスペクトルを求め、図-5～8に示す。図-5～8には、上部構造のフーリエスペクトルと地盤 (-1.5m) のフーリエスペクトルとの比を振動数毎に求め、伝達率として示している。伝達率は、構造系内部における増幅の程度と振動数の関係を表現しており、図上のピークは、基礎と地盤の関係をばねとして表現し、構造部分を地盤と切り離してモデル化した場合に得られる固有振動数に相当すると考えられる。

(1) 橋軸方向の挙動と橋軸直角方向の挙動の比較

本橋の免震装置は、橋軸直角方向の動きをサイド

ブロックによって拘束されているので、橋軸方向にのみ動く構造である。上部構造加速度時刻歴の最大値は、免震装置の可動方向である橋軸方向の値が橋軸直角方向の値より小さく、免震の効果が認められるが、図-5～8で、振動数特性の視点から見ると次の傾向が見られる。

(10月4日の本震)

- ① まず、橋軸方向について、図-5 a) で上部構造フーリエスペクトルを見ると、1.16Hz (0.86sec) に顕著なピークがあり、図-5 d) で上部構造 / 地盤 (-1.5m) の伝達率を見ると、1.12Hz (0.89sec) に顕著なピークがある。
- ② これに対して、橋軸直角方向について、図-6 a) で上部構造フーリエスペクトルを見ると、1Hz

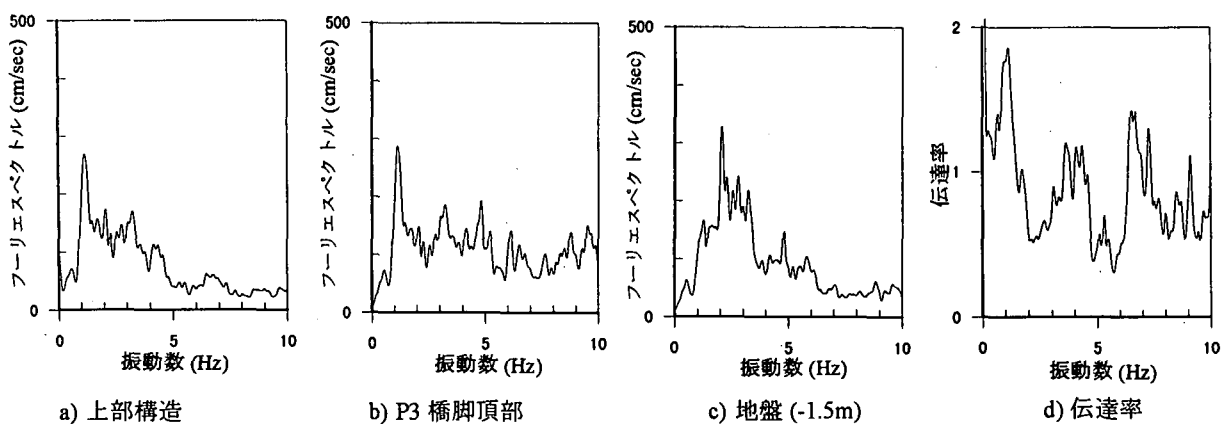


図-5 フーリエスペクトルと伝達率(10月4日 本震 橋軸方向)

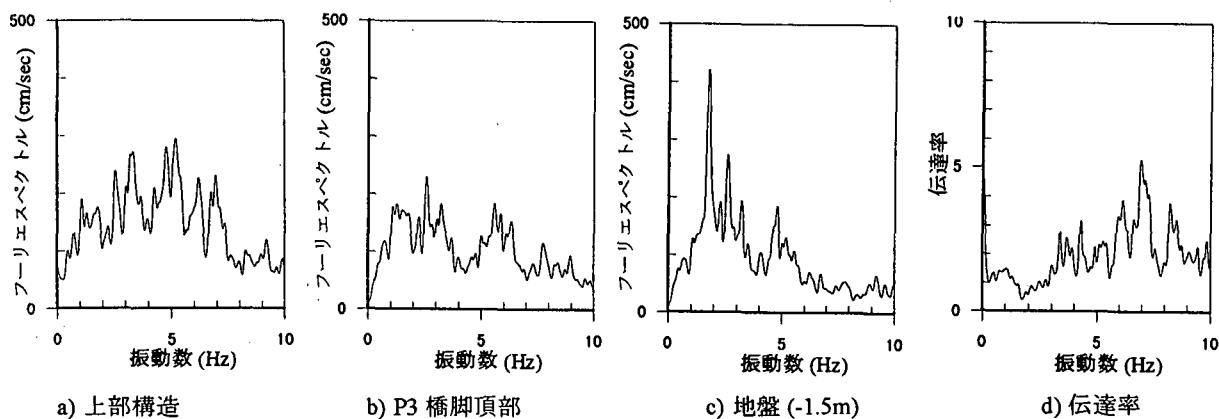


図-6 フーリエスペクトルと伝達率(10月4日 本震 橋軸直角方向)

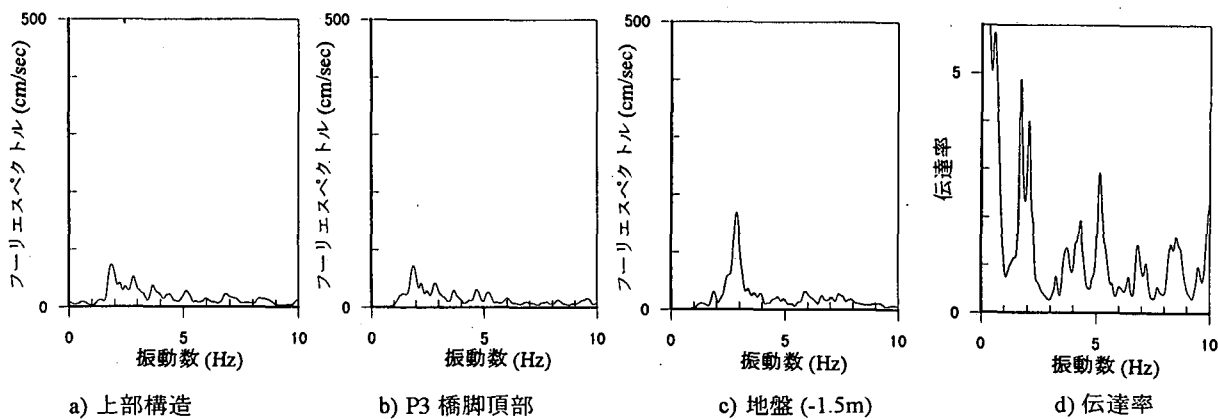


図-7 フーリエスペクトルと伝達率(8月31日 前震 橋軸方向)

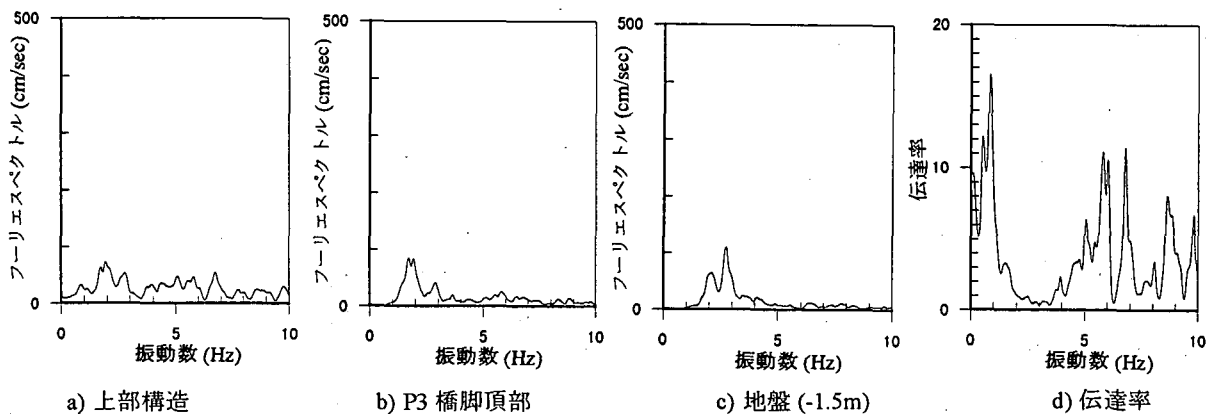


図-8 フーリエスペクトルと伝達率(8月31日 前震 橋軸直角方向)

付近のピークはそれ程高くなく、むしろ 5.20Hz(0.19sec)に最大のピークがあり、図-6 d)に示す上部構造/地盤 (-1.5m)の伝達率にも、6.94Hz(0.14sec)に最大のピークがある。

(8月31日の前震)

③まず、橋軸方向について、図-7 a)で、上部構造フーリエスペクトルを見ると、1.86Hz (0.54sec)に顕著なピークがある。図-7 d)で上部構造/地盤 (-1.5m)の伝達率では、1.0Hz以下の部分に最大のピークがあるものの、上部構造フーリエスペクトルには顕著な成分が見られないので無視することにし、それ以上の部分を見ると、1.69Hz (0.59sec)に顕著なピークがある。

④これに対して、橋軸直角方向について、図-8 a)で上部構造フーリエスペクトルを見ると、1Hz付近のピークはそれ程高くない。図-8 d)に示す上部構造/地盤 (-1.5m)の伝達率について1.0Hz以上の部分を見ると、7.0Hz (0.14sec)に顕著なピークが見られる。

以上の点から、橋軸方向については、本震で1.1Hz (0.91sec)付近、前震で1.7Hz (0.59sec)付近に増幅の顕著な部分があり、これが橋軸方向の挙動に関わる固有振動数に相当すると考えられる。

橋軸直角方向については、本震と前震ともに7.0Hz (0.14sec)付近に増幅の顕著な部分があり、橋軸直角方向の挙動に関わる固有振動数に相当すると考えられる。

(2)本震と前震の比較

①地盤加速度の最大値や、フーリエスペクトルを見る限りでは、前震は本震より小さかったと考えられるが、前震の橋軸方向加速度最大値は本震の値より大きい。しかし、0Hz～10Hzの範囲のフーリエスペクトルを見ると、前震の値は本震の値より小さく、前震の加速度の最大値は非常に高い振動数成分に起因すると考えられる。

②また、前震においては、上部構造の加速度最大値が橋脚柱頂部の値より大きく、免震装置部分を介して加速度が増幅しているように見える。この点についても0Hz～10Hzの範囲のフーリエスペクトルを見ると、上部構造と橋脚柱頂部の間に大きな差はない。このことと、上記②に示したことから、前震の加速度最大値は構造の耐力に関わる振動数成分より高い振動数成分に起因すると考えられる。

②前震のピークから推定される固有振動数が、本

震による値よりも短いのは、免震装置、および基礎と地盤の関係に関わる剛性のひずみ依存性によるものとして理解できる。

4. 考察と結論

この地震に際して、本橋の免震装置がどの程度効果を発揮したかについて、免震装置の可動方向である橋軸方向の挙動と、橋軸直角方向の挙動を比較する検討を行った。その結果として次の点が明らかになった。

①本震における上部構造加速度最大値を見ると、橋軸方向の値が橋軸直角方向の値より低い。また、前震においても、わずかではあるが同様の傾向が見られる。

②本震の橋軸方向記録では、上部構造の加速度値が橋脚柱頂部の値より小さい傾向が見られる。

③本橋の免震装置は橋軸方向にのみ相対変位を許す構造であり、従って橋軸方向にのみ免震の効果が期待できる構造であることと考え合わせると、少なくとも本震の橋軸方向においては、免震による慣性力低減があったように見える。

④上部構造フーリエスペクトル、および上部構造/地盤 (-1.5m)の伝達率を見ると、橋軸方向については1Hz付近に、橋軸直角方向については7Hz付近にピークが見られる。このことから、橋軸方向の挙動に関わる固有振動数は橋軸直角方向の挙動に関わる固有振動数より低く、免震装置の可動方向である橋軸方向に対して、構造系の剛性が低い(柔軟)であることがわかる。

これらの点から本橋は、免震装置の可動方向である橋軸方向の挙動に関して、長周期化の効果があり、慣性力低減が得られたと考えられる。しかし、免震装置の剛性は変位量に依存するものであり、免震装置に発生した変位に関わる検討が必要であるが、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，1996年12月。
- 2) 北海道開発局開発土木研究所：平成6年北海道東方沖地震速報，1994年11月。
- 3) 小山田欣裕，谷本俊充，佐藤昌志，林亜紀夫：免震橋の地震時挙動について温根沼大橋における事例，土木学会第1回免震・制震コロキウム講演論文集，PP.39～46，1996年11月。