

I - 9 衝撃的載荷重を受ける免震支承を有する橋脚模型の動的挙動について

パシフィックコンサルタンツ フェロ - 会員 林 亜紀夫
 北海道道路管理技術センター 正会員 小山田 欣裕
 北海道開発局開発土木研究所 正会員 谷本 俊充
 北海道開発局開発土木研究所 正会員 中井 健司

1. はじめに

橋梁に免震装置を用い、地震時慣性力の低減を行う事例が増えつつあり、耐震性向上の目的に有効と考えられている。地震動の条件としては、兵庫県南部地震の経験から、構造物の直近あるいは直下に震源を有する地震は、発生頻度は低いが構造物に大きな被害を与えることが、知られるようになった¹⁾。海溝付近のプレート境界に震源を有する地震とは異なるこの種類の地震動は、最大加速度が大きく、短い周期の成分を多く含んでいるなどの特徴を有していることが報告されている²⁾。一方、免震装置による慣性力の低減は、履歴減衰などエネルギー吸収の效果を利用して、構造の自由振動および共振を低減することによって得られるとされており、定常的な入力に対する効果が確認されているが³⁾、衝撃的な入力に対する効果に関しては課題を残している。したがって、内陸直下型地震に見られるような衝撃的な地震動に対しても免震装置が十分に有効な効果を発揮するか否かを確認することが必要である。このような視点から、免震装置と橋脚柱で構成する模型供試体に衝撃的載荷重を与え、挙動を観測する実験を行ったので、結果を報告する。

2. 免震装置および橋脚模型

本実験で用いた免震装置は、図-1に示す鋼製支承および図-2に示す鉛プラグ入り積層ゴム支承である。図-3a)に鉛プラグ入り積層ゴム支承の履歴曲線の概念図、図-3b)に鋼製支承の履歴曲線の概念図を示す。鉛プラグ入り積層ゴム支承など積層ゴム支承を基本構造とする種類の免震装置は、ゴムの弾性を利用して構造を柔軟化し、鉛プラグなどの履歴減衰を利用してエネルギー吸収を図るが、寒冷条件下においてゴムが硬化し、等価剛性が増加することから、設計上の配慮が必要とされている^{4) 5) 6)}。一方、鋼製支承は、幾何学的形状と摩擦を利用して鉛直力を水平方向復元力に変換することを作動原理としており、その特性は中央可動部の曲率半径と厚さおよび摺動部の摩擦係数から決定される^{7) 8) 9)}。ので、基本的には温度変化による復元力特性の変化がない。

免震装置の減衰性能は、図-3に示した履歴曲線の荷重軸の切片 Q_d によって大きく影響を受けるが、 Q_d の値は、鉛プラグ入り積層ゴム支承では鉛プラグの降伏強度、鋼製支承では主に摺動面の静摩擦によって決まる^{7) 8) 9) 10)}。

橋脚柱部分の供試体は、図-4に示す鉄筋コンクリート壁式橋脚を用いた。予め行った静的水平載荷試験による水平力 - 変位関係を図-5に示す。図中には、道路橋示方書 V 耐震設計編に規定される方法によって計算した $P - \delta$ 関係を重ねて示している。

免震装置の Q_d や橋脚柱 $P - \delta$ 関係の P_y の値は、これ以下の水平力に対しては線形で剛な復元力特性を示し、これ以上の水平力が働く範囲では非線形で柔軟化の効果が得られる境界の値であり、トリガー値としても理解されるが、免震装置を橋梁に設置した場合には、トリガー値 Q_d を有する免震装置とトリガー値 P_y を有する橋脚柱が直列に配置される。このことから、 Q_d / P_y の比率と入力地震動の特性の関係が、免震効果と橋脚柱に発生する塑性率を決定する大きな要因となる。

On a behavior of bridge models with seismic isolation devices under an impact load by Yoshihiro OYAMADA, Toshimitsu TANIMOTO, Kenji NAKAI and Akio HAYASHI

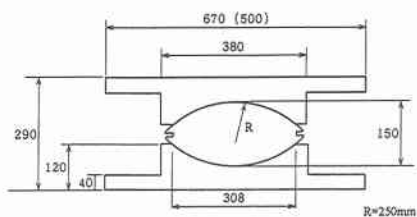


図-1 鋼製支承断面図

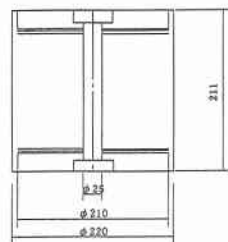
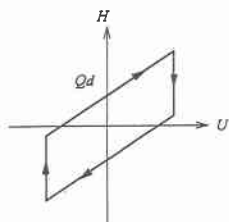
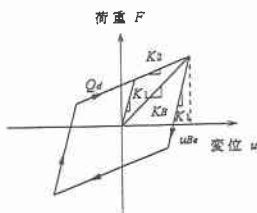


図-2 鉛プラグ入り積層ゴム支承断面図

ゴム層
2mm 厚×56 層
 $G=6\text{Kg}/\text{cm}^2$
鉛プラグ
 $\phi 25\text{mm}$



a) 鋼製支承



b) 鉛プラグ入り積層ゴム支承

図-3 免震装置の履歴曲線概念図

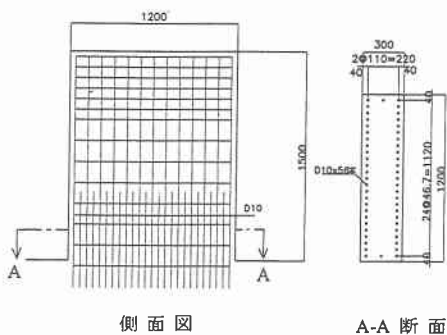


図-4 橋脚柱部分の供試体

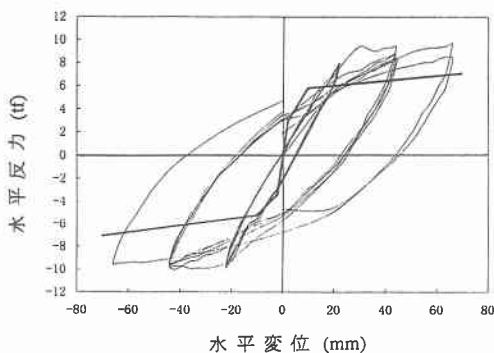


図-5 橋脚柱の水平力 - 変位関係

3. 載荷試験装置

図-6に載荷試験装置概念図を示す。上部構造の質量に相当する(1)ウエイト(10t)、それを支える位置にある(2)免震装置および(3)橋脚柱を供試体とし、(4)の台車上に設置している。台車がレール上で、図中の右方から(5)ゴムばねにより、左方から(6)牽引ロッドによって引っ張られた状態で実験を開始し、図中の(7)解法器部分が切り離されると台車はゴムばねの張力によって右方へ加速され、図中(8)のストッパーで急激に停止する。台車の加速移動距離は、先に行った試験の結果を参考に、免震装置を用いないで載荷した場合にウエイト部分の加速度最大応答値が約1.0Gを越えることを目安に、50cmを基本とした。また、(8)のストッパー部分には50mm厚のゴム板および50mm厚のE.P.S.板2枚を緩衝材として挟み込んでいる。上部構造の質量に相当するウエイト部分は回転拘束治具によって図中の面内方向の回転を拘束している。台車上に設置した供試体の挙動をおおまかに説明すると、レール上を走行する間に約20cm/secの速度まで加速され、ストッパー位置で停止した後は、供試体および台車で構成される構造系の固有振動特性にしたがった自由振動に移る。

4. 実験結果

上部構造の質量に相当するウエイト部分、橋脚柱頂部、台車部分の水平方向加速度時刻歴を図-7、図-8、図-9に、台車先端ストッパー部分のロードセルで測定された反力を図-10に示す。

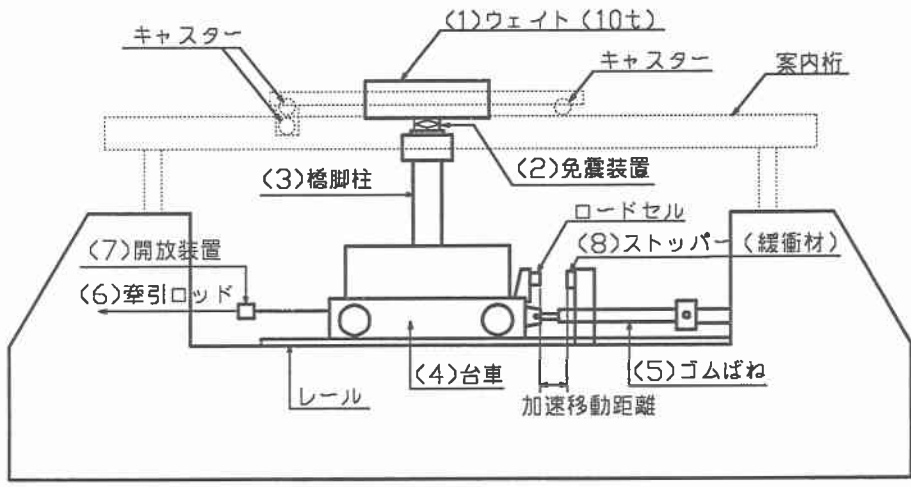
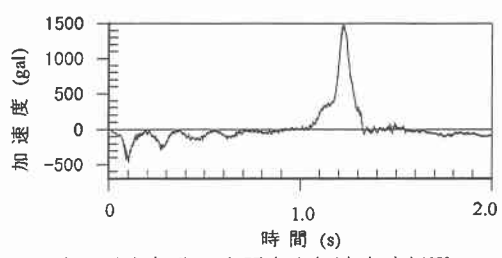
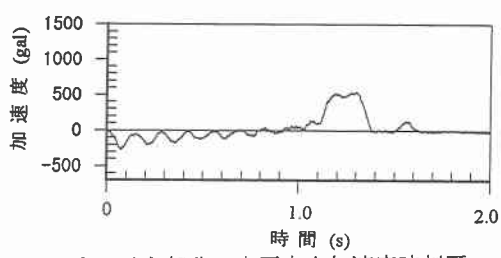


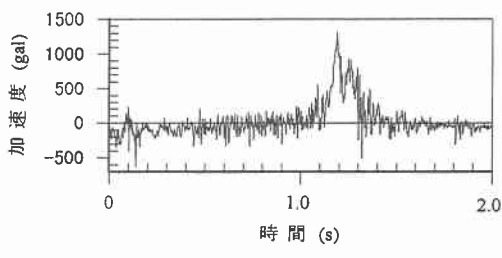
図-6 載荷試験装置概念図



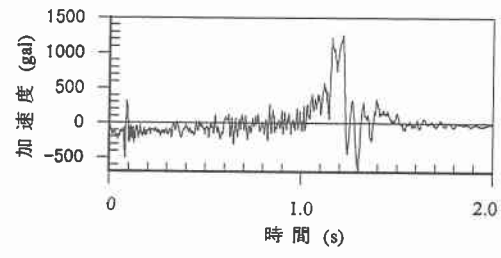
a) ウェイト部分の水平方向加速度時刻歴



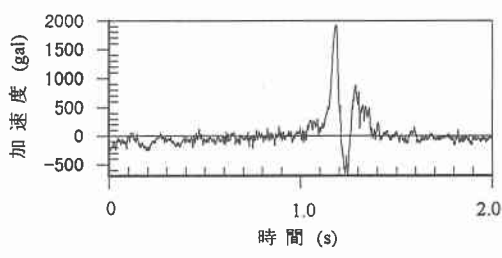
a) ウェイト部分の水平方向加速度時刻歴



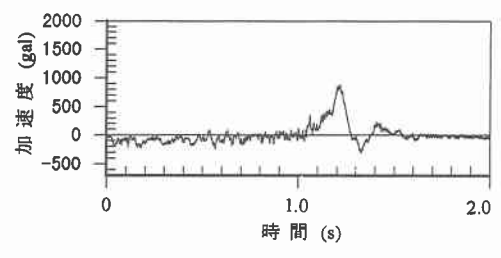
b) 橋脚柱頂部の水平方向加速度時刻歴



b) 橋脚柱頂部の水平方向加速度時刻歴



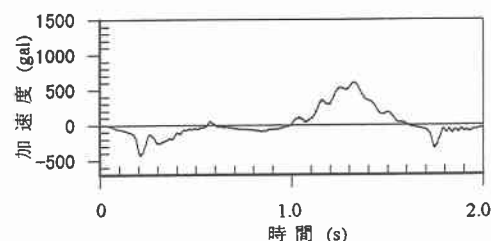
c) 台車部分の水平方向加速度時刻歴



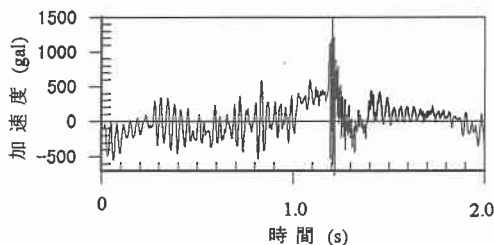
c) 台車部分の水平方向加速度時刻歴

図-7 非免震時の挙動

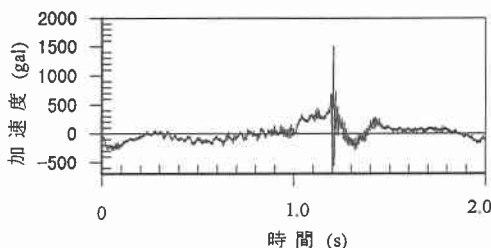
図-8 鋼製免震支承使用時の挙動



a) ウェイト部分の水平方向加速度時刻歴



b) 橋脚柱頂部の水平方向加速度時刻歴



c) 台車部分の水平方向加速度時刻歴

図-9 鉛プラグ入りゴム支承使用時の挙動

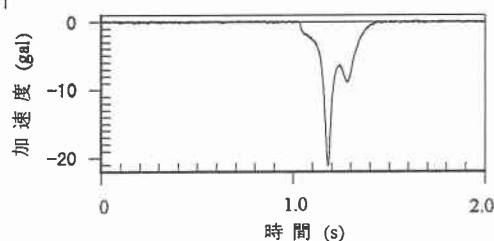


図-10 ロードセル反力時刻歴（非免震）

図-10から、台車は約 1.0 秒間走行した後ロードセル部分で緩衝材に衝突し、一度反発した後もう一度衝突したことがわかる。非免震のケースでは、二度目の衝突の時点でウェイト部分に 1490gal の最大加速度が発生している。鋼製免震支承のケースでは、ウェイト部分の加速度が抑制され、539gal に止まり、鉛プラグ入りゴム支承のケースでも同様に 611gal に止まっている。また、橋脚柱頂部の加速度最大値については、免震と非免震との間に大きな差はない。

5. 結論

鋼製免震支承および鉛プラグ入りゴム支承は、本実験で行ったような衝撃的载荷においても上部構造の慣性力を低減する効果を発揮することがわかった。橋脚柱の応力に大きな影響を与える要素は上部構造の慣性力であり、設計上の利点につながると考えることができる。

参考文献

- 例えば、土木学会：阪神大震災震害調査緊急報告会資料，1995。
- 例えば、五十嵐俊一：直下型地震動のエネルギー特性と破壊力について，阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集（土木学会），pp.37～44,1996。
- 例えば、越峠雅博、山田親文、大塚久哲、運上茂樹、長屋和宏：高減衰ゴムを用いた減衰装置の制振効果に関する模型振動台実験，第1回免震・制振コロキウム講演論文集（土木学会耐震工学委員会），pp.185～191,1996。
- 林亜紀夫、西弘明、谷本俊充、佐藤昌志：寒冷地における耐震性向上を目指した橋梁構造に関する考察，土木学会北海道支部講演論文集第52号（A），pp.184～189,1996。
- 小山田欣裕、佐藤昌志、谷本俊充、林亜紀夫：低温域における橋梁免震装置の実験的研究，土木学会構造工学論文集，Vol.42A-Ⅱ，pp.707～714,1996。
- 林亜紀夫、西弘明、谷本俊充、佐藤昌志：低温下における硬化を考慮した免震橋梁の特性値に関する考察，土木学会第51回年次学術講演会，pp.74～75,1996。
- 小山田欣裕、佐藤昌志、谷本俊充、別所俊彦：寒冷地域の気象条件を配慮した鋼製免震支承の開発，土木学会北海道支部講演論文集第52号（A），pp.190～193,1996.2。
- 別所俊彦、小山田欣裕、佐藤昌志、谷本俊充，幾何学的特性を用いた免震支承の開発，土木学会第51回年次学術講演会，pp.114～115,1996.9。
- 小山田欣裕、佐藤昌志、谷本俊充、別所俊彦：幾何学特性を利用した免震装置の開発，土木学会第1回免震・制震コロキウム講演論文集，pp.269～274,1996。
- 建設省土木研究所他28社：道路橋の免震設計法マニュアル（案），官民連帯共同研究 道路橋の免震構造システムの開発報告書，1992。