

すべり方式免震基礎を有する 4 径間ラーメン橋の模型振動実験および数値解析

早稲田大学 学生会員 ○横井 康人

同上 フェロー 清宮 理

同上 正会員 安 同祥

1. 目的 免震構造は免震装置を用いて、構造系の固有周期を長くさせると同時に、大きな地震動のエネルギーを免震層に集中し、逸散させ、構造物への被害を低減しようとするものである。しかし、地震時の地盤変形が大きい軟弱地盤上に建設される橋梁の場合、従来の免震支承では、地盤変形に追従できず、地盤と共振が生じる可能性があり、免震支承は一般に適切ではない。そこで、本研究では、従来フーチングによって剛結された下部構造と基礎構造をフーチング部で分離し、その間にすべり材で形成される免震層を設け、レベル 2 のような強い地震力を受けたときに、分離部の相対変位によって地震エネルギーを逸散させる構造を提案した。基礎免震の基本的な力学性状や有効性については、単橋脚の模型実験や、数値解析により既に確認している。本文では、多径間からなる橋梁全体をモデル化した模型による振動実験と数値解析を実施し、本免震構造を適用したときの振動特性および耐震性について検証した。

2. 振動実験について 実験模型は杭径 $\phi 1200$ 、杭長 35.0m 程度の場所打ち杭基礎を有する橋長 100.0 m (4@25.0m) の 4 径間 P C ラーメン橋を対象橋梁とした。模型は端部を除いた中間のラーメン部分のみを考慮した。模型の相似比は 1/10 とし、密度及び加速度は 1:1 とする。主な相似比は表 - 1 に示す。模型の諸元はすべて相似比を満足させるのは困難なので、実物と模型の振動特性に着目し、従来の一体系に対して、上部構造・橋脚の質量 橋梁全体系の 1 次固有振動数 上部構造直角方向の曲げ剛性 最大応答加速度・変位が満足するように模型の諸元を設定した。上部工は H 鋼と鉄板で、橋脚は鉄筋コンク

表-1 相似比

物理量	単位	相似則	相似比	
長さ	m	L	λ	10^{-1}
質量	kg	M	λ^3	10^{-3}
時間	s	T	$\lambda^{0.5}$	$10^{-0.5}$
密度	kg/m^3	$M \cdot L^{-3}$	λ^0	1
加速度	m/s^2	$L \cdot T^{-2}$	λ^0	1
力	N	$M \cdot L \cdot T^{-2}$	λ^3	10^{-3}
モーメント	$\text{N} \cdot \text{m}$	$M \cdot L^2 \cdot T^{-2}$	λ^4	10^{-4}
変位	m	L	λ	10^{-1}
回転角	rad		λ^0	1
ひずみ			λ^0	1
応力度	N/m^2	$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$	λ	10^{-1}

リートで、それぞれモデル化した。杭基礎はその剛性のみに着目して、アルミ棒の断面、本数、長さ及び配置によって相似した。図-1 に実験模型の概要を示す。今回免震層には、すべり材としてガラスファイバー 20% 入り PTFE (テフロン) シートとした。テフロンはフーチングの下面と杭の受け台の上面に一枚ずつ貼り付け、すべり面はテフロンとテフロンからなる面とした。摩擦係数は 0.20 程度である。実験用波形は“道路橋示方書 耐震編”に示す種地盤のレベル 2 地震動のタイプ (内陸直下型) の中から最大加速度が最も大きい、1995 年兵庫県南部地震時ポートアイランド内地盤上において得た記録とした。図-2 に実験に用いた波形を示す。また、入力波形の時刻刻みは相似則によって調整し、振幅を 100Gal ピッチで段階的に最大値 619gal まで増加させて実験を行った。実験ケースは基礎フーチング部の構造を大きく分けて 一体構造 (従来型) すべり材を導入した構造 (免震構造) とし、従来の一体構造については、模型耐力の制約から入力波の振幅は 400Gal 程度までとした。

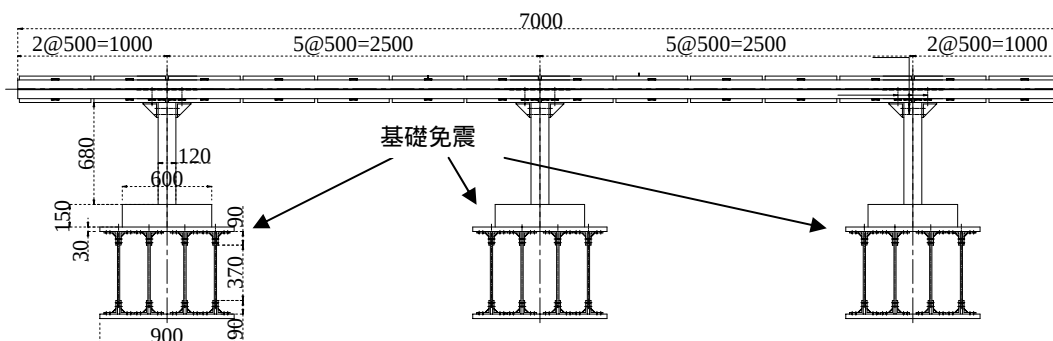


図-1 実験模型概要 (単位mm)

キーワード 基礎免震 軟弱地盤 模型振動実験 ラーメン橋

連絡先 〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1 51 号館 16-01 清宮研究室 電話番号(FAX):03-5286-3852

3．実験結果と解析結果 図-3、図-4に杭の断面力と橋脚基礎の応力の一例（いずれも橋軸直角方向）を示す．これからわかるように断面力を低減でき、大きな免震効果が確認できた．また、図-5、図-6に上部構造の応答加速度及びその振動特性（フーリエスペクトル）の一例を示す．図-5から免震構造を採用することで、入力地震動の最大値が非免震構造の1.58倍に増加したにも関わらず、0.32倍に低減された．また、図-6に示す様に免震構造では、免震層が滑り出すと、上部構造と下部構造の縁がきれ、復元力を持たないため、入力地震動とほぼ同じスペクトル特性を示しておりピークの振動数がほぼ一致している．また、入力地震動に対して、免震構造は殆ど増幅されていない．また、図-7、図-8に免震構造における上部構造の水平方向応答変位と応答加速度の実験結果と数値解析結果との比較を示す．応答変位、応答加速度とともに数値解析は実験結果をほぼ再現できた．

4．結論 免震構造では大きな水平変位及び残留変位が生じるが、その変位によって上部構造や下部構造に大きな断面力が生じることはなく、応答水平加速度を大きく低減できる．また、免震構造では構造

系の応答スペクトルは入力地震動のものと概ね一致する．これによって橋梁と地盤の共振が小さくなり、振動性状は支持地盤の性状にあまり依存しなくなる．また、実験結果はほぼ数値解析により再現でき、数値解析により、色々な地盤条件における橋梁の挙動をある程度推定することが可能である．総じて一般に種地盤などの軟弱地盤では免震構造の適用は推奨されていないが、すべり方式基礎免震構造により、構造と地盤との共振を免れることができ、レベル2地震動に対して変位量は増加するが橋梁の構造系を地震時に健全に保つことができることが判明した．

5．参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編, pp.305, 2002.3 2) 清宮理, 近藤岳史, 安同祥, 渡辺勉：3径間箱桁橋梁への基礎免震構造の適用性に関する検討, 構造工学論文集 Vol.51A, pp.657-668, 2005.3 3) 横井康人, 清宮理, 安同祥, 近藤岳史：すべり型免震基礎の4径間ラーメン橋への適用性についての検討, 構造工学論文集 Vol.52A, pp.357-364, 2006.3 4) 安同祥, 清宮理, 近藤岳史, 横井康人：すべり方式免震基礎を有する4径間ラーメン橋の模型振動実験, 構造工学論文集 Vol.52A, pp.565-572, 2006.3

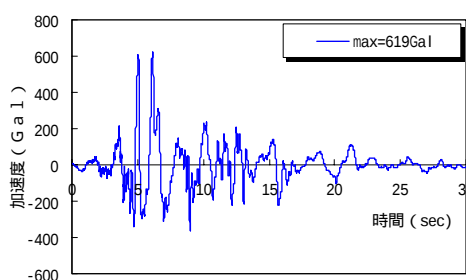


図-2 入力地震動

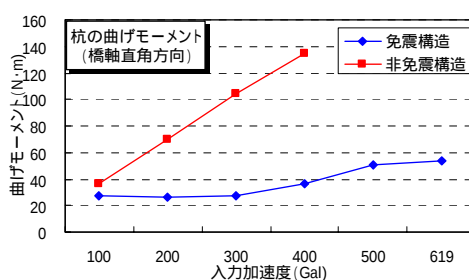


図-3 杭の曲げモーメント

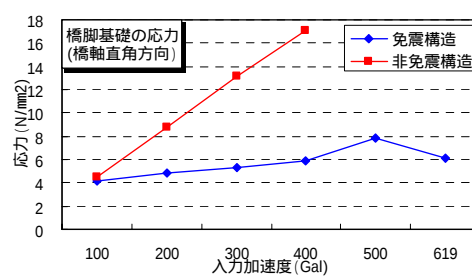


図-4 橋脚基礎の応力

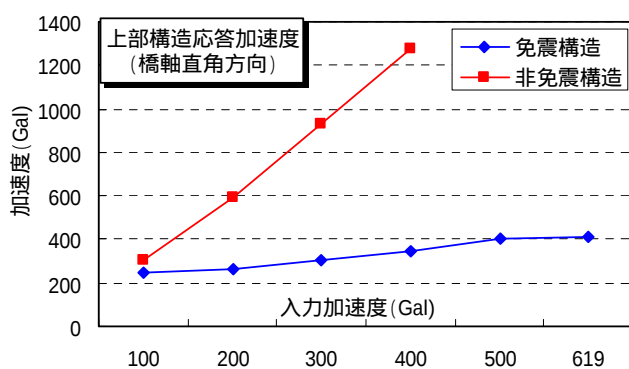


図-5 上部構造水平応答加速度

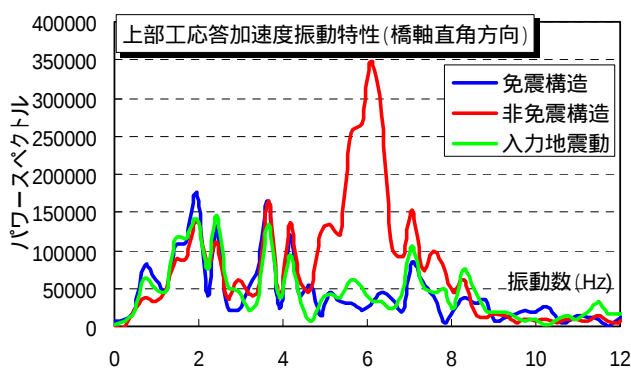


図-6 上部構造応答加速度スペクトル

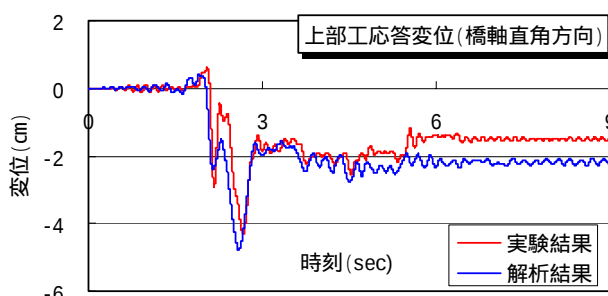


図-7 応答水平変位の実験と解析結果比較

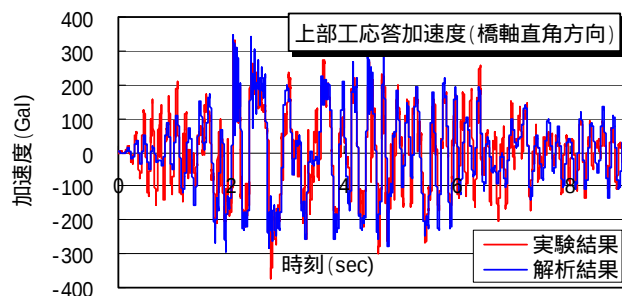


図-8 応答水平加速度の実験と解析結果の比較