

大成建設(株) 正会員 岡本 晋
同 上 正会員 尾崎 大輔

State University of New York at Buffalo

M.C. Constantinou

同 上

P.C. Tsopelas

1.はじめに

現在、すべり支承とラバーデバイスを使用した橋梁用免震システムの振動特性を把握するため、模型振動実験を計画中である。本報では実験用模型を対象に実施した動的応答解析の結果を報告する。

2.すべり方式橋梁用免震システム

すべり現象は、①摩擦係数以上の地震力を上部工へ伝達しない。②固有周期がない。③履歴吸収エネルギーが大きい。等の特長がある。ただし、すべりを利用した免震構造では上・下部工間の地震時相対変位や残留変位が生じる傾向があり落橋防止装置が重要となる。本システムではこれらの特徴を考慮し、すべり支承とラバーデバイスを併用する。

1) すべり支承

すべり支承は上部工に固定したテフロン板と下部工に固定したステンレス板からなり、上部工反力を支持するとともにテフロン板とステンレス板との間にすべり現象が生じる構造である。

2) ラバーデバイス

図-1に示すように上部工に固定した高減衰天然ゴムからなるラバーブロックの中心に下部工に固定したアンカーバーを挿入する構造で、水平ばね機能と落橋防止機能を兼用している。

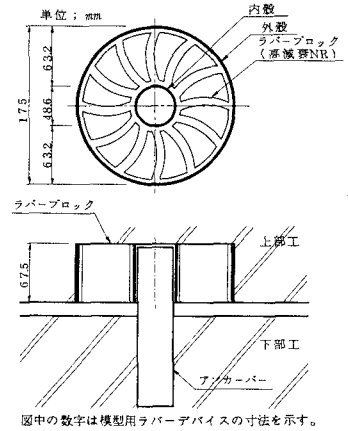


図-1 ラバーデバイス概要図

3.実験用模型の概要

実験用模型の概要を図-2に示す。模型は実物の1/4とし加速度と時間の相似率をそれぞれ1/1、1/2とする。また、すべり支承の摩擦係数は実物と一致させる。ラバーデバイスは実物で±200mmの相対変位を想定し外径を175mmとする。実験で使用するラバーデバイスの要素試験結果の一例を図-3に示す。相対変位40mm前後まではほぼ線形のばねで、40mmを越えると急激に反力が増加し落橋防止機能が發揮される。

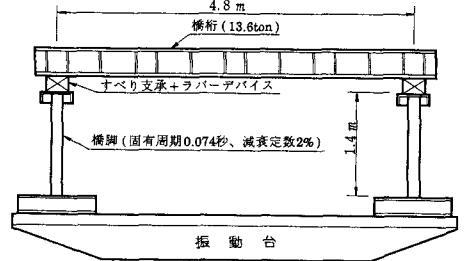


図-2 実験用模型の概要

4.解析方法

解析モデルを図-4に示す。橋脚は線形ばねとダッシュポットでモデル化し、橋脚~橋桁間はすべり現象とラバーデバイスの履歴復元力特性を表す非線形ばねでモデル化する。

1) すべり現象を表す非線形ばね

摩擦係数の速度依存性を考慮し履歴特性を表現できる式(1)とする¹⁾。

$$F_F = \mu(\dot{u}) \cdot W \cdot Z_F \tag{1}$$

ここに、 F_F :摩擦力、 μ :摩擦係数、 W :上部工の重量、 Z_F :履歴特性を表す無次元パラメータで式(2)の解、 u, \dot{u} :それぞれ橋脚~橋桁間の相対変位と相対速度を表す。

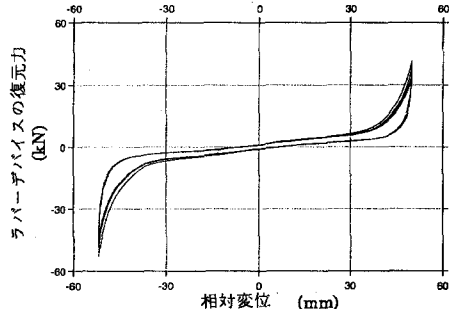


図-3 ラバーデバイスの要素試験結果

$$Y \cdot \ddot{Z} + \gamma \cdot |\dot{u}| \cdot Z \cdot |Z|^{\eta-1} + \beta \cdot \dot{u} \cdot |Z|^{\eta} - A \cdot \dot{u} = 0 \quad (2)$$

ここに、 A, β, γ, η は無次元定数で、 Y は降伏変位を表す。

2) ラバーデバイスの履歴復元力特性を表す非線形ばね

履歴曲線の骨格とふくらみを表す関数 F_S, F_D と式(2)の解として得られる履歴特性を表す無次元パラメータ Z_R を用い式(3)の形とする。

$$F_R = F_S(u) + F_D(u) \cdot Z_R \quad (3)$$

ここに、 F_R は復元力を表す。

橋梁各部の応答値は、各時間ステップ毎に運動方程式と式(2)を連立微分方程式として解くことにより算出する。入力波は2種地盤に対するレベル1およびレベル2の動的解析用入力地震動とする。

5. 解析結果

図-5に橋脚~橋桁間の相対変位と摩擦力・ラバーデバイス復元力の合力との関係を、図-6に応答値の時刻歴波形の一例を示す。また、表-1に最大摩擦係数を0.12とした場合と0.15とした場合の応答最大値を非免震のケースと比較して示す。

1) レベル1地震動入力

本システムを使用した場合、非免震に比べて橋桁の加速度が41%~48%に、橋脚のせん断力が47%~53%に減少する。

2) レベル2地震動入力

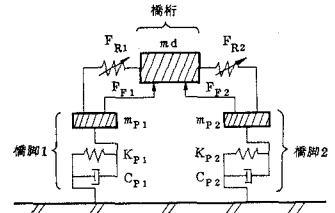
摩擦係数を0.12とした場合は非免震に比べて橋桁の加速度が75%に、橋脚のせん断力が69%に減少する。摩擦係数を0.15にするとラバーデバイスの復元力が52.4kNから18.4kNに急減し、橋桁の加速度と橋脚のせん断力は非免震の場合の約32%に減少する。

6. まとめ

すべり方式免震システムを有する橋梁の実験用模型の動的特性をばね~質点系モデルを用いて解析した結果、本システムの基本的振動特性が確認された。今後、模型振動実験を実施する予定である。なお、本研究は大成建設(株)とState University of New York at Buffaloの共同研究として実施したものである。

参考文献

1) A.Mokha, M.C.Constantinou and A.M.Reinhorn: TEFLON BEARINGS IN ASEISMIC BASE ISOLATION: EXPERIMENTAL STUDIES AND MATHEMATICAL MODELING, Technical Report NCEER-88-0038, 1988年12月



- $K_{P1,2}$: 橋脚の剛性を表す線形ばね
- $C_{P1,2}$: 橋脚の減衰特性を表すダッシュポット
- $m_{P1,2}$: 橋脚頭部の質量
- $F_{P1,2}$: すべり現象を表す非線形ばね
- $F_{R1,2}$: ラバーデバイスの履歴復元力特性を表す非線形ばね
- m_d : 橋桁の質量

図-4 解析モデル

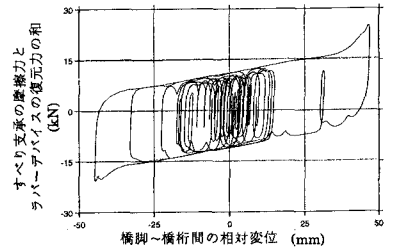


図-5 橋脚~橋桁間の履歴復元力特性 (地盤種別2, レベル2地震動入力, 最大摩擦係数0.15)

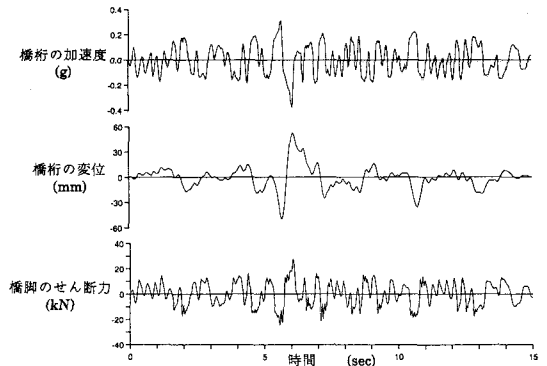


図-6 橋梁各部の応答値の一例 (地盤種別2, レベル2地震動入力, 最大摩擦係数0.15)

表-1 解析結果の比較

	レベル1地震動入力(入力加速度0.12g)			レベル2地震動入力(入力加速度0.43g)		
	非免震	免震 (摩擦係数0.12)	免震 (摩擦係数0.15)	非免震	免震 (摩擦係数0.12)	免震 (摩擦係数0.15)
橋桁の加速度(g)	0.31	0.13	0.15	1.16	0.87	0.37
橋脚~橋桁間の相対変位(mm)	-----	4.8	4.0	-----	54.2	47.0
摩擦力(kN)	-----	7.3	8.7	-----	8.0	10.0
ラバーデバイスの復元力(kN)	-----	1.8	1.7	-----	52.4	18.4
橋脚のせん断力(kN)	23.2	11.0	12.2	88.2	60.5	27.8