

PTFE と鋼の摩擦を利用する免震装置の動的特性

北海道開発局 開発土木研究所 構造研究室	正 員	三田村 浩
北海道開発局 開発土木研究所 構造研究室	正 員	池田 憲二
パシフィックコンサルタンツ(株)	○フェロー	林 亜紀夫
パシフィックコンサルタンツ(株)	正 員	小杉 貴之

1. はじめに

著者らは PTFE(polytetrafluoroethylene) と鋼の摩擦を利用する免震支承の特性を調べ、免震装置としての有効性を検証して来た¹⁾。これまでに、式(1)～式(4)に示す構成方程式を提案した。

$$\begin{aligned}
 H &= V \cdot \tan(\alpha \pm r) & (1) & \quad \text{ここに,} \\
 C &= \frac{t}{R} & (2) & \quad H: \text{免震装置の水平方向反力, } V: \text{鉛直力} \\
 \alpha &= \sin^{-1} \frac{U}{R(2-C)} & (3) & \quad \alpha: \text{回転子の角度, } U: \text{免震装置の変位} \\
 r &= \sin^{-1} \frac{C}{(2-C)\sqrt{1+m^2}} & (4) & \quad C: \text{式(3)による形状係数で回転子の厚さ } t \text{ と回転子の曲率半径 } R \text{ の比} \\
 & & & \quad \mu: \text{PTFE と鋼の摩擦係数である。}
 \end{aligned}$$

これまでに $C=0.6$ の供試体を用いた振動実験を行ったが、免震設計上の必要から、この形状係数を $C=0.6$ 以外の値に設定する場合が想定される。そこで、形状係数 C の値が変化してもこれまでに提案して来た構成方程式が適用可能かを確認することが必要と考えた。

本論文では $C=0.1$ として、これまでの供試体よりも大きい曲率半径 R を有する供試体による載荷実験を行って、その動的復元力特性を調べた結果を報告する。

2. 実験方法

実験の加振状況を図-1 に示す。免震装置に大変形を与えるために、アクチュエーターによって上部構造を直接駆動している。免震装置基部から加振した場合の上部構造の応答変位時刻歴予測値を動的解析によって求めたものを制御信号としてアクチュエーターに与えた。

波形のケースは、正弦波、0.1 Hz ~ 10 Hz の範囲で均等な成分を持つホワイトノイズ、地震時保有水平耐力法の照査に用いる標準波を用意した。

3. 実験結果と考察

水平力時刻歴で上部構造を直接に加振した場合の運動方程式は、式(5)のように表現される。

$$M \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + F_B = F_I \quad (5)$$

ここに、 M は上部構造の質量、 x は上部構造の変位、 F_B は免震装置の水平反力である。

解析は、式(1)～式(4)に示した構成方程式を基に誘導したバイリニアモデルを用いて、1 質点 1 自由度のモデルを想定して動的解析を行った。

実験を行った載荷ケースの各々について、摩擦係数 μ を変化させながら解析を行い、実験値を最も良く再現する摩擦係数 μ の値を求めた。動的解析によって求めた上部構造挙動と免震装置の復元力—変位関係を実験値と比較して図-2 に示す。

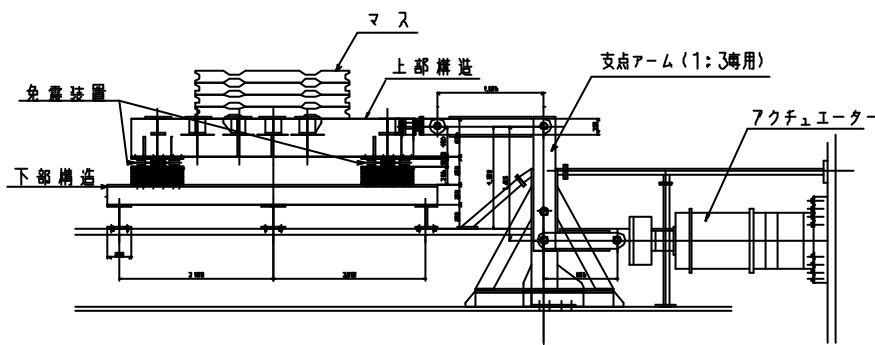


図-1 載荷状況

キーワード 地震, 耐震, 免震, 橋梁, 実験, 摩擦

連絡先 東京都新宿区西新宿 2-7-1 TEL 03-3344-0447 FAX 03-3344-1365

図-2 に示すように、免震装置の変位時刻歴および免震装置の復元力—変位関係履歴曲線は、実験値に良く一致させることができた。このことから、これまでに提案して来た構成方程式を適用できると考えた。

構成方程式に適用する摩擦係数 μ を変化させながら行った解析の各ケースにおいて、最終的に収束した μ の値を表-1 に示す。

すべての実験ケースにて、摩擦係数 μ は約 0.17 を示している。今回の実験用供試体として用いた免震装置の PTFE 面圧は 2.9MPa 程度であって、やや低い設定となっている。

PTFE の摩擦係数は面圧の影響を受け、面圧が低い場合には摩擦係数が高くなる傾向を持つことが知られている。文献 2) などの面圧—摩擦係数関係では、面圧が 20MPa 程度の時に摩擦係数は 0.1、1.0MPa 程度の時には 0.14 となることが報告されている。

今回の実験による摩擦係数 $\mu = 0.17$ の結果は、これら既報の結果とも整合する。

また、文献 2) などに報告されている面圧—摩擦係数関係を参考に、面圧が 15～20MPa 程度となる実橋梁の免震支承の摩擦係数は約 0.1 になると考えられる。

4. まとめ

PTFE と鋼の摩擦を利用する免震装置を開発し、形状係数 $C = 0.6$ の供試体を用いた载荷実験によって、その復元力特性を調べてきた。本論文では、形状係数 $C = 0.1$ (回転子の曲率半径 $R = 57.0\text{cm}$ 、回転子の厚さ $t = 5.7\text{cm}$) の場合について実験を行い、シミュレーション解析によって構成方程式の適用性を調べた。

その結果わかったことは次の通りである。

C が非常に小さい場合であってもこれまでに提案して来た構成方程式によって復元力特性を予測することができる。

構成方程式に適用すべき摩擦係数 μ を、今回の実験から推定すると約 0.17 である。

PTFE の摩擦係数が面圧の影響を受けることを考慮すると、実橋の免震装置が受ける面圧 15～20MPa のもとでは摩擦係数は約 0.1 になると考えられる。

参考文献 1) 三田村 浩, 池田 憲二, 林 亜紀夫, 別所 俊彦: PTFE と鋼の摩擦を利用する免震装置の開発, 土木学会第 2 回免震・制震コロキウム講演論文集, pp.165～172, 2000.11.

2) 玉木, 小川, 河, 鶴野, 比志島, 「摩擦減衰型免震装置の摩擦特性に関する実験的検討」, 鋼構造年次論文報告集, pp.89-94, Vol.7, 1999.11

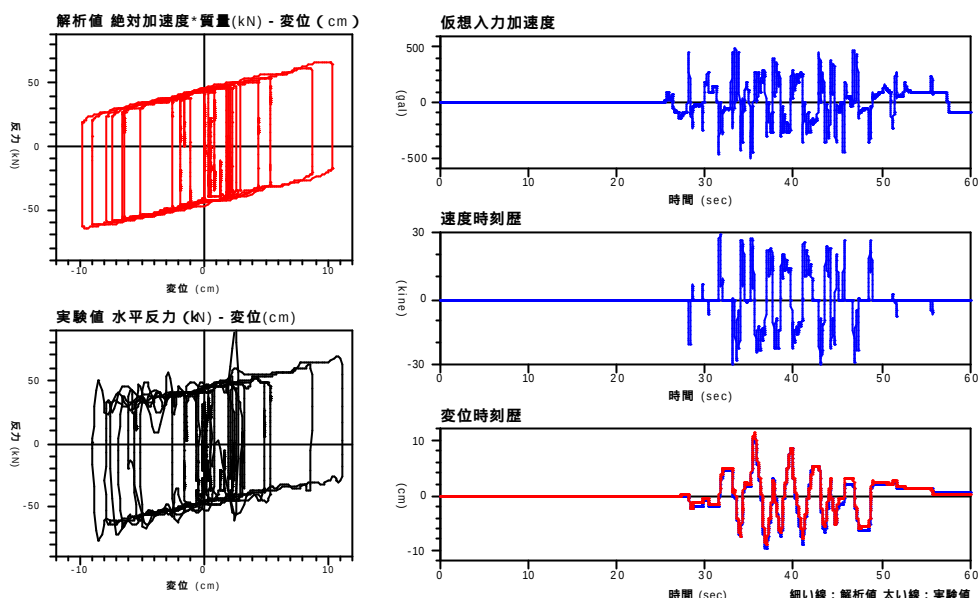


図-2 実験値と解析値の比較 (Type 温根沼記録地震波)

表-1 実験ケースの解析で収束した摩擦係数

	载荷パターン	入力波形	上部構造最大振幅	摩擦係数
1	記録地震波 TYPE 地震動	温根沼大橋波形	動的応答値 (180.9mm)	0.1696
				0.1717
				0.1737
2	TYPE 地震動	JR鷹取駅波形	動的応答値 (150.0mm)	0.1798
				0.1820
				0.1820