

積層ゴム支承のすべり摩擦履歴特性と減衰効果

(株) 千代田コンサルタント 正会員 〇橋本 晃
九州産業大学 正会員 水田洋司
建設省 北九州国道工事事務所 百田国広
(株) 千代田コンサルタント 龍谷幸二

1. まえがき

積層ゴム支承を有するコンクリートけた橋において、すべり方式免震システムの可能性を確認するためにすべり支承の載荷実験を実施した。この時、すべり摩擦は支承上面とコンクリートけた下面との間で起ることを想定している。実験の内容は、コンクリート面の仕上げ状態、ゴム支承のせん断弾性係数、ゴム支承の面圧、積層ゴムの形状係数や載荷速度をパラメータとした静的載荷試験と動摩擦係数の繰り返し回数依存性を把握するための50サイクルの繰返し載荷試験である。また、本システムの有効性を確認するためにモデル橋梁の非線形時刻歴応答解析を行った。

2. 積層ゴム支承

対象とした積層ゴム支承の供試体は図-1に示すとおりゴム層厚が $t_e=19, 9, 6\text{mm}$ の1層ゴムを6mmと12mmの鋼製補強板で挟み、2mmのゴムで被服したものである。その形状寸法および特性値を表-1に示す。

表-1 供試体寸法

平面形状 $a \times b$ (mm)	300×300
形状係数 S (ゴム厚 t mm)	4 (19), 8 (9), 12 (6)
せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	0.6, 0.8, 1.0, 1.2

3. すべり摩擦履歴特性

実験は積層ゴム支承が上部構造の死荷重を支持した状態で地震時の水平変位を受けることを想定して実施した。供試体に鉛直荷重を作用させた状態で単調増加の水平変位を与えた場合と正弦波の水平変位を与えた場合の静止摩擦係数と動摩擦係数および履歴を求めた。

3. 1 試験条件・試験装置

試験装置(圧縮せん断試験)の模式図を図-2に示す。この試験装置を用いて、前記の供試体についてゴム支承の面圧、コンクリート面の仕上げ状態、載荷速度をパラメータとした単調載荷試験を行った。また、せん断弾性係数 $G_0=1.0\text{ N/mm}^2$ の供試体について振幅100mmの50回繰返し載荷試験を実施した。その試験条件を表-2に示す。

表-2 試験条件

面圧 P kN (N/mm ²)	270 (3.0), 450 (5.0), 720 (8.0)
コンクリート面の仕上	鋼製型枠, 木製型枠, ハケ仕上
載荷方法 (載荷速度 V)	単調載荷 (125mm/分, 250mm/分) 繰返し載荷 (0.1HZ, SIN波)

3. 2 実験結果

単調載荷試験から得られた動摩擦係数と支承の面圧との関係を図-3に示す。この図より、ゴム支承の面圧の増大に伴って動摩擦係数は減小する傾向が読み取れる。また、図-4より、最小動摩擦係数は木

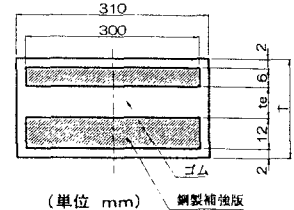


図-1 積層ゴム支承

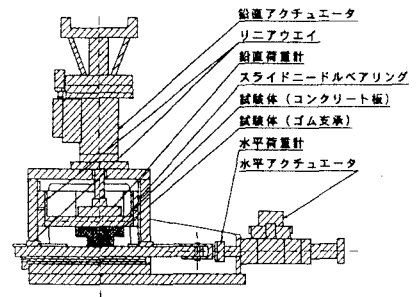
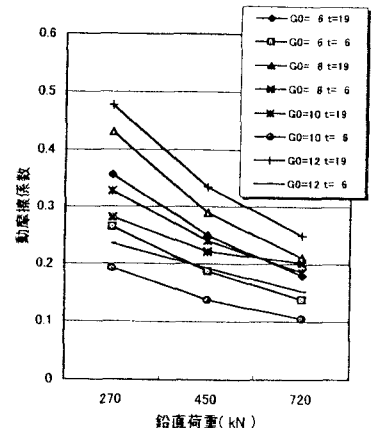


図-2 試験装置

図-3 動摩擦係数-面圧($V=125\text{mm/分}$)

製型枠の供試体で得られている。静止摩擦係数についても同様の傾向が得られた。繰返し載荷試験から得られた水平荷重と水平変位との履歴曲線を図-5に、繰返し回数の依存性を μ/μ_0 （動摩擦係数/初期動摩擦係数）で表したものを図-6に示す。

4. 履歴特性のモデル化

載荷試験から得られた結果を用いて積層ゴム支承のすべり摩擦履歴特性をバイリニア型の履歴曲線でモデル化する¹⁾。このとき、すべり開始時の水平力Hは動摩擦係数 μ と支承反力Rを用いて式(1)で表される。また、初期剛性と除荷勾配はゴム支承の水平バネ定数とする。

$$H = \mu \cdot R \tag{1}$$

木製型枠でせん断弾性係数 $G=1.0\text{ N/mm}^2$ 、形状係数 $S=4$ 、面圧 $P=450\text{ N}$ のゴム支承を用いた場合の初期動摩擦係数 μ は、試験結果より $\mu_0=0.31$ である。この時の動摩擦係数 μ は繰返し回数10回の $\mu/\mu_0=0.66$ を乗じて低減すると $\mu=0.20$ となる。

5. すべり摩擦減衰の効果

積層ゴム支承のすべり摩擦減衰の効果を確認するために、1基の下部構造とゴム支承およびそれが支持している上部構造からなるモデル橋梁を設定し、Ⅱ種地盤におけるタイプⅡ地震動での非線形時刻歴応答解析を行った。その数値計算モデルを図-7に示す。ここに橋脚断面形状は $4.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 、上部構造重量は $W=2555\text{ kN}$ で橋脚下端を固定として前述の履歴特性を有する積層ゴム支承を配置した。

表-3 非線形時刻歴応答解析結果

	すべり摩擦支承	弾性支承
上部構造の応答加速度(m/s^2)	4.002	13.600
上部構造の応答速度(m/s)	1.351	2.126
上部構造の応答変位(m)	0.551	0.442
橋脚基部の応答曲げモーメント($\text{kN}\cdot\text{m}$)	32 210	42 350
橋脚基部の応答曲率($1/\text{m}$)	0.00066	0.00758

非線形時刻歴応答解析結果を表-3に、橋脚基部の応答履歴を図-8に示す。すべり摩擦支承を設定したモデルでは、上部構造の応答加速度および応答速度は減少している。また、橋脚基部の応答曲げモーメントは支承に弾性支承を設定したモデルでは非線形域に達しているのに対し、すべり摩擦支承を設定したモデルではひびわれモーメントを超えているが降伏モーメントには達していない。ただし、上部構造の応答変位は増加している。

6. 結論

積層ゴム支承のすべり摩擦載荷実験を行い静止摩擦係数と動摩擦係数を測定した。これより、①支承の面圧の増大に伴って動摩擦係数は減少すること、②動摩擦係数は載荷の繰返し回数に依存性があること、が確認された。支承のすべり摩擦履歴特性をバイリニア型としたモデル橋梁の非線形時刻歴応答解析から、すべり方式免震システムの可能性を期待できる結果が得られた。今後、実橋への適用の可能性について研究する予定である。

参考文献 1) 伊津野 和行 他：機能分離型支承装置の動特性と設計手法に関する研究、土木学会論文集 No. 654/ I-52, 233-244, 2000. 7

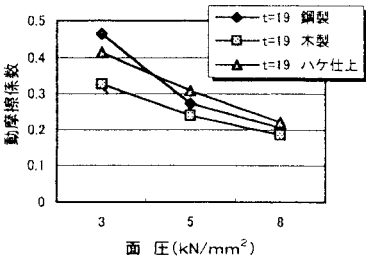


図-4 仕上げ方法と動摩擦係数

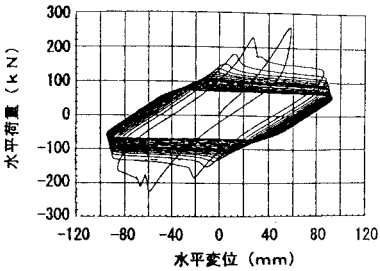


図-5 すべり摩擦履歴($t=19\text{ mm}$, $P=270\text{ kN}$)

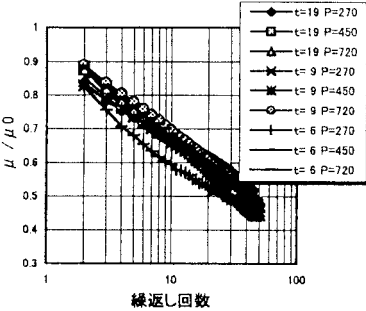


図-6 繰返し回数

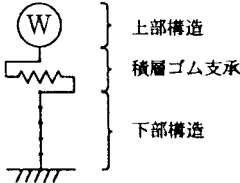


図-7 数値計算モデル

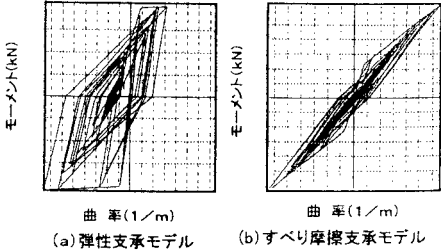


図-8 橋脚基部の応答履歴