

積層ゴムすべり支承の履歴解析モデル

(株)構造計画研究所 正会員 金山 亨 荒木 秀朗
九州産業大学 フェロー 水田 洋司
(株)ビービーエム 正会員 田中 健司
(株)千代田コンサルタント 正会員 橋本 晃 龍谷 幸二

1. はじめに

積層ゴム支承を直接桁に接地させて、摩擦による抵抗力（摩擦抵抗力）を測定する実験を行った。摩擦抵抗力は積層ゴム支承の動摩擦係数の変化に対応しており、減衰効果もあることが知られている¹⁾。また、すべり支承のすべり摩擦実験結果から、動摩擦係数は面圧、材質、接地面の相対速度、すべり累積距離に依存している傾向をつかんだ。そこで、これらの値の中からすべり累積距離に着目して、摩擦抵抗力を算出するプログラムを作成し、実験結果との比較を行った。

2. 数値解析モデル

積層ゴムすべり支承の実験結果より、すべり支承の摩擦抵抗力は、支承にかかる面圧、支承表面と接地面との相対速度、接地面の材質に依存していることに着目した。また、ループを繰り返すことにより、摩擦抵抗力が徐々に低下して行く現象も確認された。上記の数値の中で、特にすべりが発生した後の摩擦抵抗力の低下に着目し、それをパラメータとして、すべり支承が動的挙動中に発生させる摩擦抵抗力を算出するサブルーチンを作成し、動的解析プログラムRESP-Tへの組み込みを行った。

組み込みにあたってはバネ要素ですべり支承の履歴モデルを表現するのではなく、運動方程式内で力として評価することにした。これは、すべり支承を完全バネ要素で表現する場合、そこで評価されるバネ剛性が剛性マトリクスに反映されることにより、固有周期が影響を受けることに加え、減衰をレーリー減衰で評価する場合にも影響を受けることになる。すなわち、固有周期と応答中の減衰が正しく評価されないため、全く違った振動モデルを解くことになる可能性があるからである。したがって、相対速度が発生した場合のみに力が発生するような要素を想定し、解析モデルを作成し、固有周期やレーリー減衰にはすべり支承が影響を与えないように考慮した。

$$M^{t+1} \ddot{U} + C^{t+1} \dot{U} + K^{t+1} U = {}^{t+1} R - {}^{t+1} F \quad \dots \dots (1)$$

式(1)は運動方程式に摩擦抵抗力を組み込んだ力の釣合い方程式である。Mは質量、Cは減衰、Kは剛性の各マトリクス、 \ddot{U} 、 \dot{U} 、Uは加速度、速度、変位ベクトルであり、 ${}^{t+1} R$ は外力、 ${}^{t+1} F$ は摩擦抵抗力を表している²⁾。図-1にすべり支承（摩擦）要素のモデルを、図-2に履歴ループの概念図を示す。

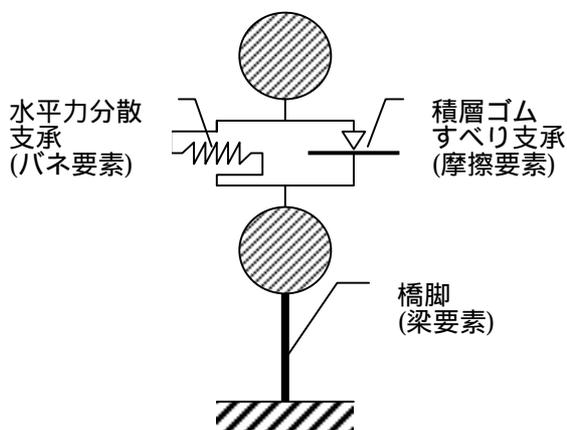


図-1. すべり支承（摩擦）要素モデル

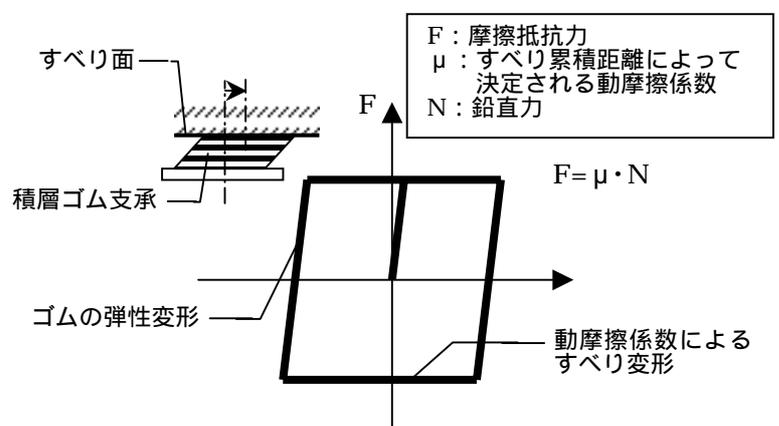


図-2. 履歴ループモデル

キーワード 積層ゴム支承，すべり支承，摩擦要素，履歴モデル，数値解析，減衰

連絡先 〒810-0041 福岡市中央区大名1丁目15番33号 (株)千代田コンサルタント TEL 092-752-1601

3. 提案モデルと実験結果との比較

定式化したプログラムを動的解析プログラムRESP-Tに組み込み、実験と同じ条件を与え履歴ループを比較した。図-3にその結果を示す。

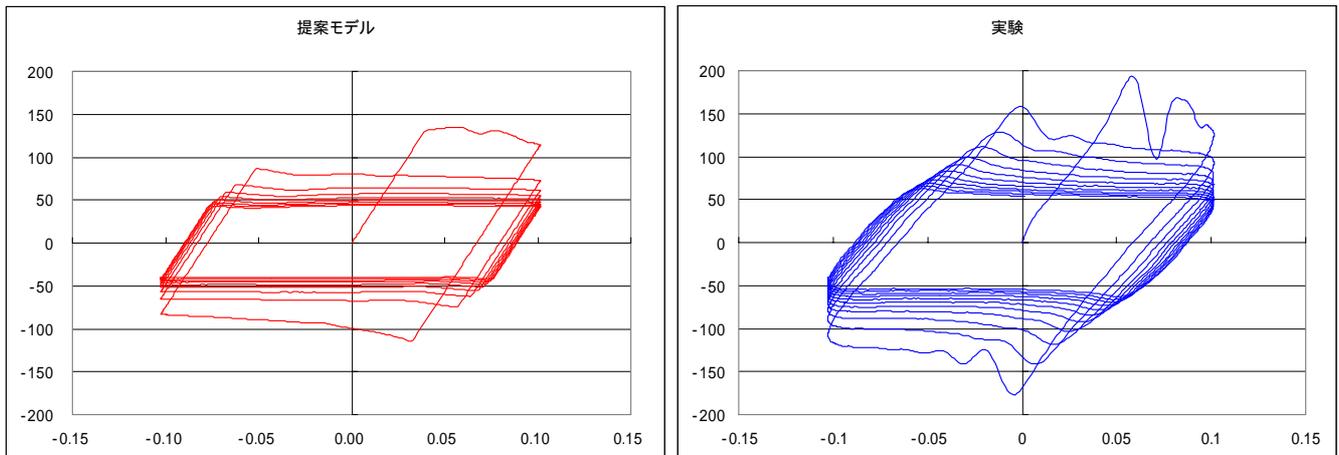


図-3 すべり支承履歴モデルと実験結果との比較

左が提案モデルでの解析結果，右が実験結果である．実験の条件は，面圧 5Mpa，速度 1Hz(400mm/s)で一定とした場合である．履歴ループは，平行四辺形を描くような形状である．平行四辺形の左右の斜度を持った挙動はゴム支承の弾性変形を表している．また，上下の平行な部分はゴム支承と接地面が互いに滑っている挙動を表している．実験結果から，実験開始時の摩擦抵抗力は大きく，その後，すべりを繰り返すにしたがって摩擦抵抗力が低下していることが判る．提案モデルと実験結果を比較すると，提案モデルはすべりを繰り返す事による摩擦抵抗力の低下を表現できていることが判る．また，すべりを十分に繰り返した後の摩擦抵抗力は，提案モデルと実験結果はほぼ同値であることが判る．ただし，実験開始時の摩擦抵抗力は提案モデルの方が小さく，また，履歴ループの初期段階では，提案モデルの方が摩擦抵抗力の低下が著しい．これは，接地面との相対速度が遅い場合には動摩擦係数は比較的高い数値を示すが，今回の提案モデルでは動摩擦係数の速度依存性を考慮していないことに起因していると考えられる．今後，面圧，材質および相対速度を考慮することにより，更に精度の高い摩擦抵抗力の算出が可能になると考えられる．

4. まとめ

本研究では積層ゴムすべり支承の実験結果から，その履歴特性を分析し，数値解析モデルを作成した．今回の検討により以下の結論を得た．

- ・ 積層ゴムすべり支承に発生する摩擦抵抗力の履歴解析モデルをすべり累積距離をパラメータとして作成し，動的解析プログラムへの組み込みを行った．
- ・ 積層ゴムすべり支承のモデル化はバネ要素ではなく，運動方程式に摩擦抵抗力の項として加える釣合い方程式で表現した．
- ・ 今回提案した履歴解析モデルを用いて実験結果と同様のモデルを解析し，お互いの履歴がよく一致していることを確認できた．

今後は，面圧，材質，相対速度と動摩擦係数の相関性についての検討を行っていく予定である．

参考文献

- 1) 水田，橋本：ゴムとコンクリートのすべり摩擦を利用したすべり支承とその減衰効果，構造工学論文集，Vol149A，pp.611～621，2003年3月
- 2) RESP-T 理論マニュアル，構造計画研究所