

積層ゴム支承の地震応答解析用レオロジーモデル
～せん断材料試験によるパラメータ同定～

(株)長谷工コーポレーション	○正会員	小島 康幸
埼玉大学	正会員	奥井 義昭
埼玉大学		市野 一樹
ゴム支承協会	正会員	今井 隆
(独)土木研究所寒地土木研究所	正会員	三田村 浩

1. はじめに

道路橋示方書に基づく橋梁の耐震設計における地震応答解析では、ゴム支承にはバイリニアモデルが一般的に用いられるが、ひずみ速度によらない現行のバイリニアモデルでは、ひずみ速度がゴム支承の剛性や減衰性能に及ぼす影響を、必ずしも正しくモデル化しているとはいえない状況にある。そこで本研究では、ゴム支承のひずみ速度依存挙動を再現することのできる、地震応答解析用レオロジーモデルを構築することを目的とし、高減衰ゴムの材料試験からゴム支承の挙動を推定することを検討した。

2. 提案するレオロジーモデル

本研究ではゴム支承を図1に示すレオロジーモデルとしてモデル化した。このモデルは3パラメータMaxwellモデルにスライダを並列に配したもので、最も単純な粘弾塑性モデルであるといえる。モデルの各要素における関係式は(1)～(4)式に示すものとし、スライダの降伏応力を τ_σ とした。Spring-A,Cは線形バネ、Spring-Bにはハードニングを考慮するために累乗関数を採用している。また、Dashpot-Dには、文献1)の非線形粘性モデルを簡略化したものを用いている。ここで、 $D_1, C_1, C_4, m, D_5, A, q, n, \tau_{cr}$ は材料定数である。

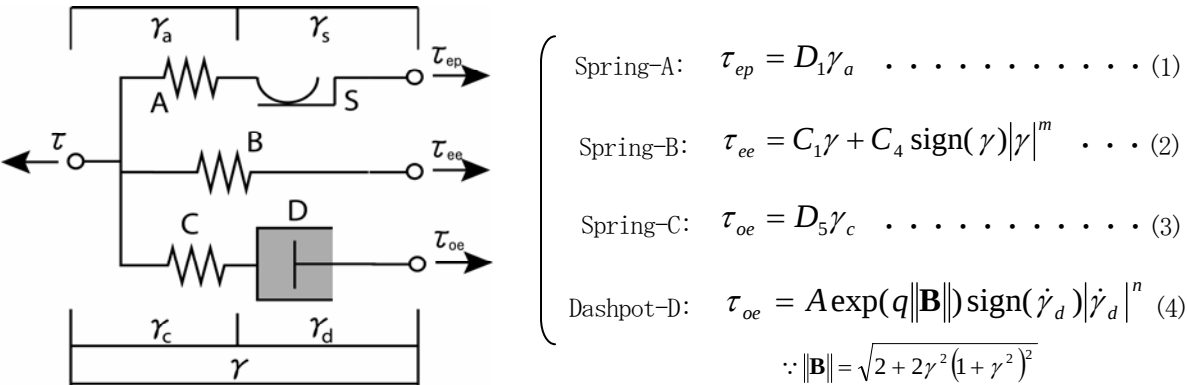


図1 レオロジーモデル

3. 材料試験によるゴム支承モデルパラメータの同定

モデルパラメータの同定は、図2に示すフローに基づいて行なった。パラメータ同定にはサイクリックゼーション試験(CR試験)、単調载荷試験(SS試験)、シンプルリラクゼーション試験(SR試験)の3試験を行なう必要がある。CR試験から、時間に依存しない平衡応答を得ることで、(1),(2)式のパラメータを得ることができる。SS試験から瞬時応答を得ることで、(3)式のパラメータを得ることができ、SR試験から(4)式のパラメータを算出する。パラメータ同定法については、文献2)に詳しい。ここでは、高減衰ゴムのせん断材料片による試験結果から、モデルパラメータの同定を行った。モデルパラメータの同定結果を表1に示す。

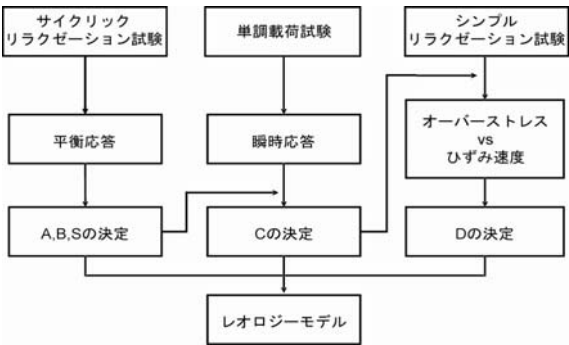


図2 パラメータ同定のフロー

表 1 パラメータ同定結果

D_1 (MPa)	C_1 (MPa)	C_4 (MPa)	m	D_5 (MPa)	τ_{cr} (MPa)	A (MPa)	q	n
3.38	0.296	0.0672	2.88	2.00	0.200	0.430	0.177	0.200

4. 同定したパラメータによる提案モデルの数値シミュレーション

同定したモデルパラメータを用いて、正弦波加振時のモデルの挙動を数値シミュレーションによって算出し、実際の積層ゴム支承、現行のバイリニアモデルの挙動とそれぞれ比較を行なった。比較に用いたゴム支承の試験データは、文献2)における条件で行なったものである。また、ここで比較に用いたバイリニアモデルは、文献3)におけるHDRの設計式から、設計最大ひずみ175%としてパラメータを算出した。

4.1 バイリニアモデルとの比較

図3に現行の耐震設計で用いられているバイリニアモデルと、提案するレオロジーモデルの挙動をプロットした。これを見ると、振動数0.5Hzでのレオロジーモデルの挙動において、最大ひずみ175%における応力値がバイリニアモデルとほぼ一致した。このバイリニアモデルは振動数0.5Hz、ひずみ振幅175%の正弦波加振データから決定された式によってパラメータを算出することを考えると、この結果は妥当な結果であるといえる。また、バイリニアモデルは弾塑性モデルであるために、異なる振動数においてもその挙動は変化しないが、提案するレオロジーモデルにおいては、加振する振動数を大きくしていくに従って、剛性が高くなることが確認できる。

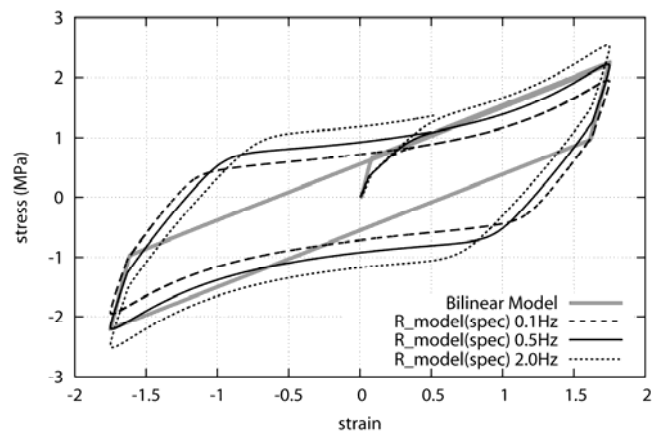


図3 バイリニアモデルとの比較

4.2 ゴム支承載荷試験との比較

図4にゴム支承載荷試験から得られた、実際のゴム支承(供試体ID:HDR-S2)との比較図を示す。これを見ると、せん断材料試験から得られたパラメータで、比較的良好に実際のゴム支承の挙動を表せていることがわかる。特に載荷過程においては、非常によく試験結果と一致する挙動を示すものの、除荷過程においては、提案するレオロジーモデルは応力を過小評価し、その結果等価減衰を過大評価する結果となっている。

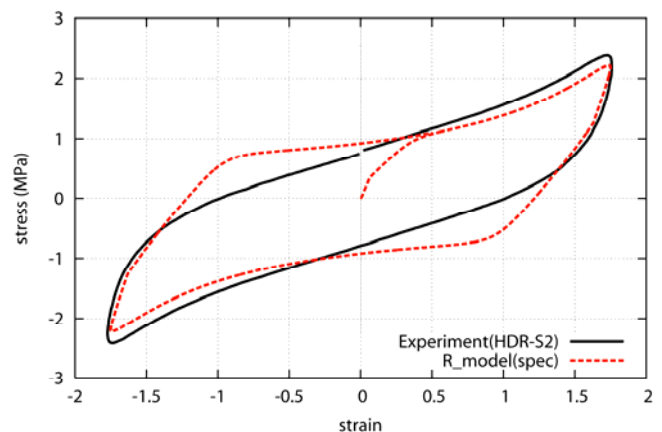


図4 ゴム支承載荷試験との比較

5. まとめ

積層ゴム支承の地震応答解析用レオロジーモデルとして粘弾塑性モデルを設定し、せん断材料試験からモデルパラメータの同定を行なった。実際の積層ゴム支承の挙動は、鋼板による拘束効果や、上載荷重などの影響があるために、せん断材料試験によって得られたゴム材料の挙動と一致するわけではないものと考えられる。しかしながら今回同定されたパラメータによって、比較的良好に積層ゴム支承の挙動を再現することができた。レオロジーモデルの試験データに合わない挙動については、今後修正を行っていく予定である。ゴム支承載荷試験データによるパラメータ同定と併せて検討を重ねる必要がある。

参考文献

- 1) 関田晶生他：高減衰ゴムの非線形粘性則の同定と有限ひずみ構成則でのシミュレーション，土木学会第61回年次学術講演概要集。
- 2) 奥井義昭他：ゴム支承を対象とした耐震設計用レオロジーモデル，土木学会北海道支部H18年度年次学術講演会概要集，2006。
- 3) (社)日本道路協会：道路橋支承便覧，2004