

鉛プラグ入り積層ゴム支承の経年劣化による減衰性能低下モデル

オイレス工業 (株) 正会員 ○東出 知大 京都大学防災研究所 正会員 五十嵐 晃  
 埼玉大学理工学研究科 正会員 党 紀 阪神高速道路(株) 正会員 足立 幸郎  
 阪神高速道路 (株) 正会員 林 訓裕

1. はじめに

実橋において 17 年間使用され取り出された鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB) の残存性能を載荷試験により検討したところ、経年劣化によるとみられる LRB の減衰性能の低下が判明している。対象となった支承を切断し内部を観察した結果、全ての鉛プラグにおいて破断や砂利化等の変状が確認され、一部の鉛プラグには鉛の酸化現象が見られた。本研究では、LRB の鉛プラグの劣化をモデル化した 3 次元有限要素解析により、鉛プラグの劣化が履歴復元力特性に与える影響の評価および性能低下のメカニズムの検討を行った。

2. 解析モデル

非線形汎用構造解析プログラムである Marc Mentat (ver.2013.0.0) を用いて 3 次元有限要素解析を行った。実際の LRB では鉛プラグが 4 本配置されているが、本解析では図 1 に示すように鉛プラグを 1 本とし、対称面で 2 分割した簡易化モデルを用いる。実支承との面積比を乗じることで、算出結果の比較が可能となる。観察された切断面や鉛プラグの劣化の状況を基に、図 2 に示す 3 種類の劣化モデルを作成した。

3. 解析手順

図 3 に示すように、鉛直方向に死荷重反力相当の面圧を与えた状態で繰り返しせん断変形を与えた解析を行う。残存性能確認試験の履歴復元力特性との比較のため、せん断ひずみの振幅を 70% とした。

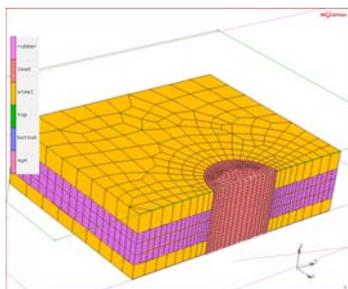
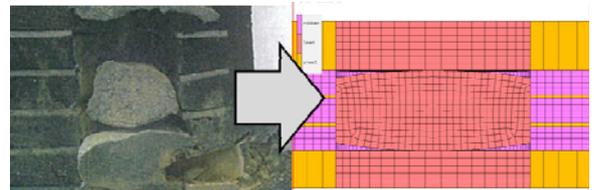
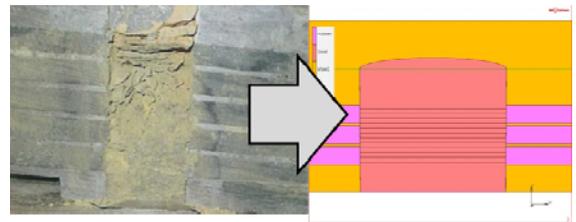


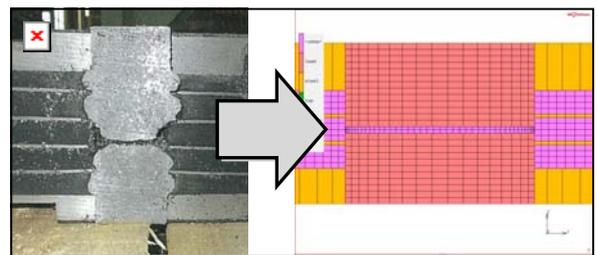
図 1 モデル化 (基本モデル)



(a) 鉛塊モデル



(b) 鉛層状モデル



(c) 鉛切断モデル

図 2 劣化モデル

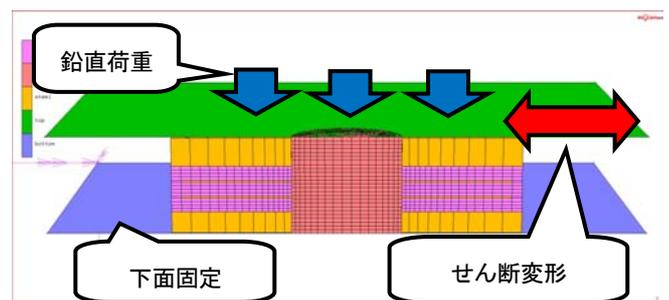


図 3 解析手順

4. 材料モデル

ゴム材料には、次式の Yeoh モデルを用いた。

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{30}(I_1 - 3)^3 \quad (1)$$

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \quad (2)$$

キーワード LRB, 鉛プラグ劣化, 弾塑性解析, 接触解析, 減衰性能

連絡先 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所 TEL0774-38-4135

ここに  $I_1$  はひずみ不変量,  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  は主方向の伸長比である. ゴム試料の単軸引張試験の結果をフィッティングし, 材料定数を表 1 のように決定した.

表 1 Yeoh モデルの材料定数

	$C_{10}$	$C_{20}$	$C_{30}$
	MPa	MPa	MPa
基本モデル	0.403	0.0177	$-5.66 \times 10^{-5}$
劣化モデル	0.476	0.0247	$-1.29 \times 10^{-4}$

鋼板はヤング率 200GPa, ポアソン比 0.3 の弾性体とする. 鉛は等方硬化の等方弾塑性体とし, 加工硬化を表す材料モデルは, 相当塑性ひずみ  $\bar{\epsilon}^p$  と相当塑性応力  $\bar{\sigma}$  (MPa) を用いて, 次式で表す<sup>1)</sup>.

$$\bar{\sigma} = 4.3 + 9.14 \{1.0 - \exp(-11.48 \bar{\epsilon}^p)\} \quad (3)$$

要素間の接触部は接触解析で考慮し, ゴムと鉛の摩擦係数を 2.0, 鉛同士および鉛と鋼板の摩擦係数を 0.52 とした.

5. 解析結果

LRB の復元力特性の設計値と劣化を考慮しない基本モデルの解析結果を図 4 に示す. 等価剛性および等価減衰定数の誤差は 5%程度であり, 基本モデルは LRB の特性を適切に表しているといえる.

図 5, 図 6 に, 各劣化モデルと載荷試験との比較を示す. 鉛塊モデルは, 塊状の鉛の上下面での摩擦を伴う滑りが生じており, 鉛のせん断変形による減衰性能が発揮されていない挙動となった. 鉛層状モデルは鉛同士に生じる摩擦により, 性能試験の履歴曲線に近い復元力特性が得られた. 鉛切断モデルではせん断開始時に鉛の切断部分が接触せず, 減衰性能がほとんど発揮されなかった. 表 2 に各モデルおよび性能試験の力学特性を示す.

いずれのモデルにおいても, 基本モデルに比べて減衰性能が低下しており, 鉛プラグの割れや切断によるせん断抵抗力の低下や LRB の減衰性能が低減を表現している. 試験時の LRB に生じた現象をより詳細に再現するためには, さらに解析モデルの精緻化を検討する必要がある.

参考文献

- 1) 松田昭博, 矢花修一, Rene de Borst : 鉛を用いた免震・制振デバイスにおける減衰特性の数値シミュレーション, 電力中央研究所報告, N04014, 2004.

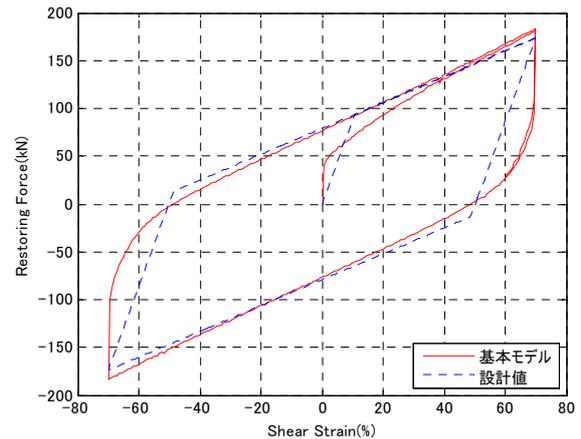


図 4 基本モデルの履歴曲線

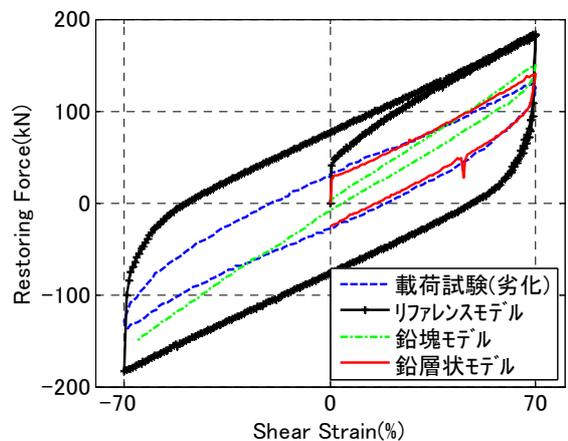


図 5 鉛塊, 鉛層状モデルの履歴曲線

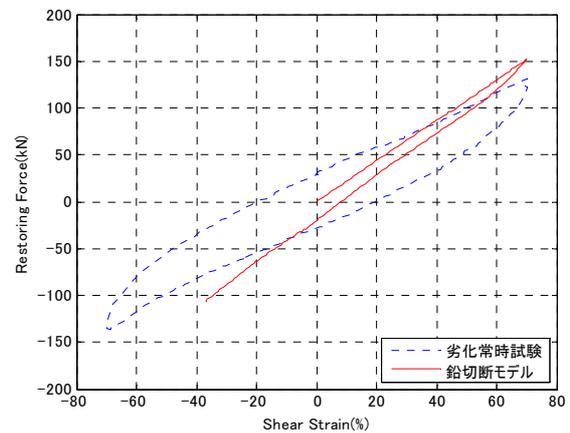


図 6 鉛切断モデルの履歴曲線

表 2 各劣化モデルの力学特性

特性値		鉛塊	鉛層状	鉛切断	試験
等価剛性	kN/mm	3.07	2.88	3.10	2.77
等価減衰定数		0.035	0.112	0.081	0.114
切片荷重	kN	8.42	26.0	19.8	28.3