

疲労劣化した鉛プラグ入り積層ゴムのせん断耐荷性能に関する解析的研究

愛知工業大学 学生会員 ○町田 視瑠
愛知工業大学 正会員 宗本 理
愛知工業大学 正会員 鈴木 森晶

1. はじめに

鉛プラグ入り積層ゴム(以下, LRB と称す)は, 構造物の自重に加えて, ゴムの柔軟性により地震エネルギーの伝達を低減する免振構造となっており, 橋脚の支承に多く使用されている. しかし, ゴムは長期間の使用と劣悪な環境による疲労で劣化しやすいという特性を持つが, LRB に用いるゴムの耐用年数が明確になっていない. そのため, 疲労による劣化が LRB のせん断耐荷性能に及ぼす影響について把握する必要がある. 劣化後の LRB に関する既往の実験に対する知見は少なく, 数値解析に必要な材料試験が行われている数も少ないのが現状である. そこで本研究では, 疲労による劣化で硬化したゴムに着目する. そして, ゴムは複雑な挙動をするため, 既往の研究より単純な引張試験だけではなく, 一軸固定二軸引張試験と単純せん断試験からゴムの材料特性を模擬する. 次に, 前述の材料特性を入力した劣化前後の LRB の解析結果を実験値と比較することで, 提案した材料特性の妥当性を検討する.

2. ゴムの材料試験に関する解析

ゴムの材料試験結果の求め方に関するフローを図-1, 単軸引張試験の公称応力-公称ひずみのグラフを図-2 に示す. 既往の研究と異なり, 対象とする LRB のゴムでは, 劣化前後でせん断弾性係数を求める材料試験が行われているため, せん断弾性係数の 1/2 とされる Neo-Hookean 則の材料定数を上記の材料試験の情報を用いて 0.420MPa と求めた. 同様の方法で, 劣化後の材料定数は 0.475MPa とした. そこで, 劣化前後の単軸引張試験に関する既往の研究を参考に他の材料試験も同様に变化すると仮定する. 図-1 に示すように, 上記の材料定数を用いた解析と非線形 CAE 協会の Neo-Hookean 則での材料試験結果の勾配の差を図-2 の①, ②のように求めることで, 材料試験結果を作成する. 作成した材料試験結果から劣化前後の LRB に用いられたゴムの材料定数を求めた.

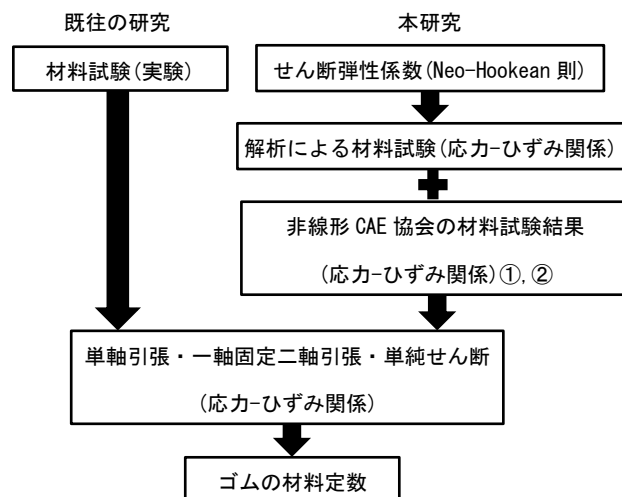


図-1 材料定数の求め方

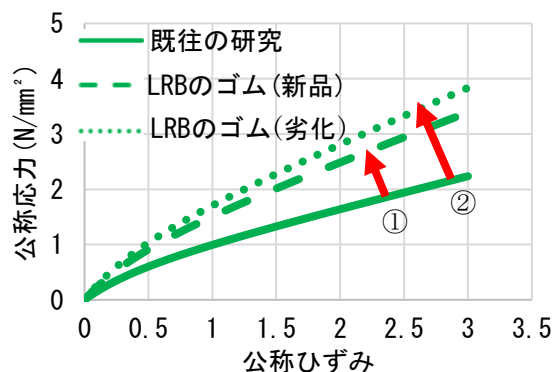


図-2 単軸引張試験の公称応力-公称ひずみ関係

3. 鉛プラグ入り積層ゴムの解析

3.1 解析対象

林らの研究¹⁾で用いられた LRB を対象に解析を行う. 供試体概要図を図-3 に示す. 対象とする支承は, 阪神高速道路で 17 年間供用された LRB である. そして, ゴムの層厚は 70mm であり, 地震エネルギー減衰を目的とする鉛プラグ 4 本が配置されている. 鋼材は降伏応力 245MPa, ヤング率 206000MPa, ポアソン比 0.30 であり, 鉛は降伏応力 8.30MPa, ヤング率 16000MPa, ポアソン比 0.41 であった.

キーワード LRB, 疲労劣化, FEM

連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247 愛知工業大学 TEL(0565)48-8121

3.2 解析概要

LRBの解析モデルを図-4に示す。対称性を考慮し対象面を設け1/2モデルとする。剛体面とゴム、ゴムと上下鋼板、ゴムと内部鋼板を接着接触で表現し、鉛とほかの材料は接触で表現した。境界条件は、下面を完全固定とし上面の上部に制御接点を設け、X軸方向に強制変位280mm、Y軸方向に集中荷重500kNを与えて解析を行った。鋼板と鉛の材料特性はVon-Misesの降伏条件を適用し、鋼板はバイリニア型モデルとして、降伏後には初期剛性の1/100の剛性で硬化するモデルを用いた。そして、鉛はトリリニア型モデルとし、塑性域において最大降伏応力以降の3次勾配は最大応力点で頭打ちとした。劣化した鉛プラグの表現として、既往の研究より上下鋼板とゴムの境目で三つに分けて、内部の鉛を一回り小さいモデルとすることで破断と変形を簡潔に表現した。ゴムの材料特性は2での材料試験結果を用いた。

3.3 解析結果

LRBの解析結果を図-5、最大せん断ひずみに関するコンター図を図-6に示す。劣化前については本研究で求めた材料定数を用いた解析結果がせん断ひずみ300%まで実験値と大きな違いがない。そのため、新品なゴムに対しては本研究における材料定数の算出法が有用であることを確認した。劣化後は鉛の劣化による変形を考慮することで、一次剛性は実験に近い傾向であった。そのため、劣化後の鉛の変形がLRBのせん断耐荷性能に及ぼす影響は小さくないことがわかる。図-6から劣化後の鉛がゴムと内部鋼板に干渉していないだけでなく、破断によって拘束されてないため、鉛の変形が小さく、劣化後のLRBの勾配が低下した。そのため、劣化による鉛の変形を考慮することでLRBの挙動は実験に近づくことが確認できた。しかし、二次剛性は大きく異なる。鉛の劣化による変形は考慮しており、実験での劣化前後で二次剛性が大きく変化していることから、求めたゴムの材料定数が異なることが考えられる。そのため、今後は劣化後のゴムの材料定数の模擬方法と劣化後の鉛がLRBのせん断耐荷性能に及ぼす影響について検討する必要がある。

4. おわりに

本研究では、劣化前後のLRBに用いられたゴムの材料試験結果を作成した。その結果、劣化前のゴムに対しては有用性が確認できたが、劣化後は二次剛性が大きく異なることからゴムの材料試験である一軸固定二軸引

張試験と単純せん断試験を行う必要がある。さらに、鉛による影響も小さくないことから鉛の劣化がLRBに対して及ぼす影響を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 林訓裕, 足立幸郎, 甲元克明, ハツ元仁, 五十嵐晃, 党紀, 東出知大: 経年劣化した鉛プラグ入り積層ゴム支承の残存性能に関する実験的検証, 土木学会論文集A1, Vol. 70, No. 4, I_1032-I_1042, 2014

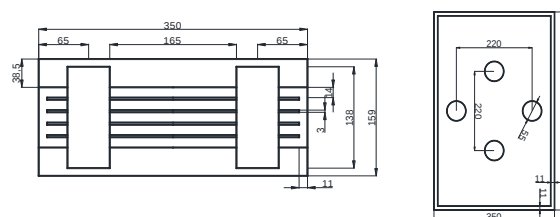


図-3 LRBの断面図(単位:mm)

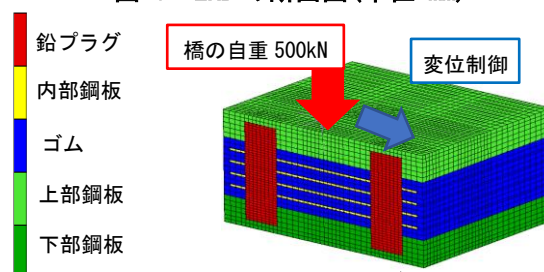


図-4 LRBの解析モデル

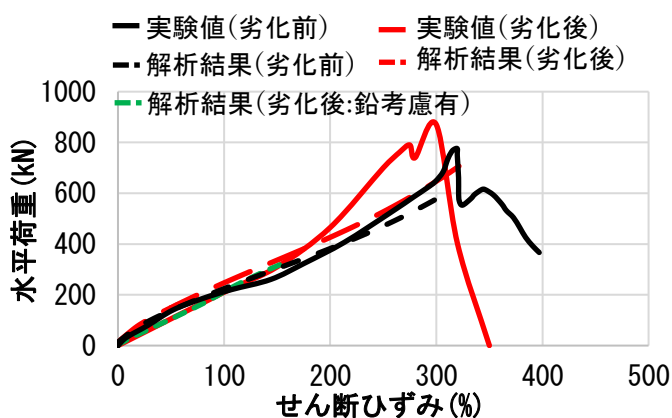


図-5 LRBの水平荷重-せん断ひずみ関係

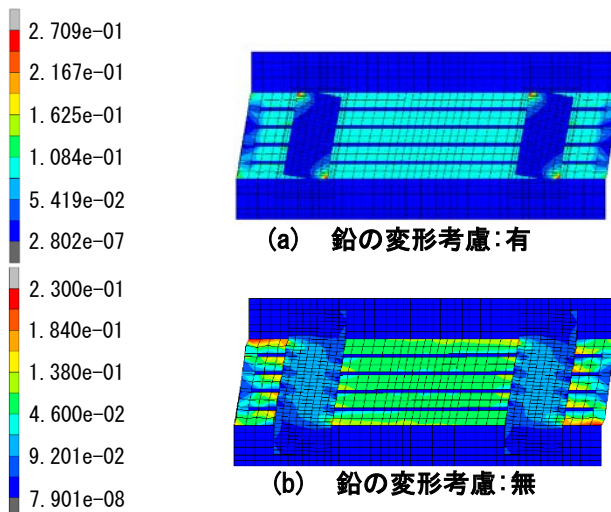


図-6 最大せん断ひずみに関するコンター図