

# 鉛プラグ入り積層ゴムのリユースに関する基礎的研究

栗田研究室

4106064 野口 剛

4106077 本多 悠希

## 1. 研究背景と目的

建築関連分野のCO2排出量は全産業の約3割と大きい。環境負荷を考慮し、エネルギー消費を抑えた建築生産あり方が必要となってきた。建築部材のリユースは、消費エネルギー、CO2排出量の観点でリサイクルより負荷を低減できると考えられる。リユースを行うにあたっては、リユース部材の性能を適切に評価し、特に再加工の必要のない部材はそのままの形で用いることが望ましい。また、再加工の必要な部材に対しては指標を設け用途を特定する必要がある。

本論では、再加工の必要なく利用できるリユース部材の一例として、経年変化の少ない積層ゴムを取り上げる。その中でも、鉛プラグ入り積層ゴム（以下、LRB）は減衰機能を有し、単独で免震部材として使用でき、リユースへの利点が考えられる。そこで本研究では、LRBのリユースの可能性を検討するために、経年変化による水平復元力特性や地震に対する応答特性の変化を把握する。

## 2. 対象とする装置の構造と特徴

LRBは、図1、表1に示すような積層ゴムと鉛プラグの一体型免震装置である。内部鋼板の防錆、積層ゴムの酸素等に対する耐候性を考慮し、外周部に被覆ゴムが設けられている。

積層ゴムがせん断変形することにより、鉛プラグの全断面に塑性変形が起こる。鉛の塑性変形によるエネルギー吸収から、減衰機能を発揮し、復元力は、積層ゴムで負担される。

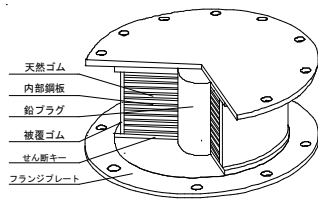


図1 LRBの構造

表1 LRBの構成材料

名称	材料
取り付けフランジ	SS400
外部鋼板	SS400
内部鋼板	SS400 相当品
ゴム	天然ゴム(G4以上)
鉛プラグ	Pb(99.99%以上)

## 3. LRBの基本特性

### 3.1 水平復元力特性

LRBの水平復元力特性は、製造元<sup>1),2)</sup>により、ゴムのせん断歪み依存性を考慮した修正バイリニア型で表わされている。骨格曲線と履歴曲線は、図2に示す降伏後剛性Kd、切片荷重Qd、初期剛性Kuの三つの条件を基にして定められる。

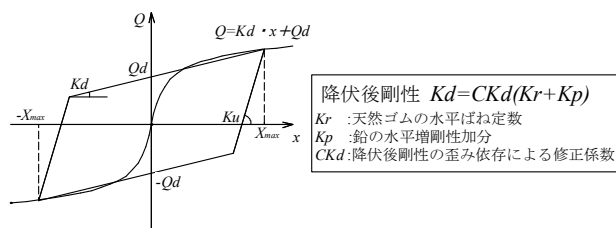


図2 修正バイリニア型復元力特性

### 3.2 経年変化

LRBは、経年変化の影響により剛性や変形能力に変化が現れる。鉛そのものは安定的な金属であることから、鉛は経年変化がなくエネルギー吸収能力は変化しないと仮定すると、経年変化の影響が生じるのは天然ゴムからなる積層ゴム部である(図3)。

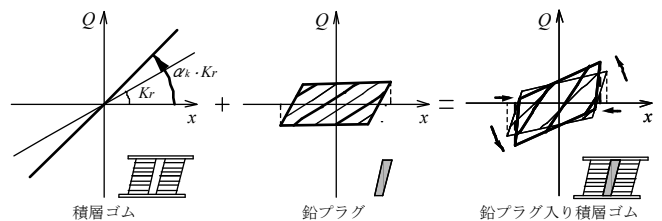


図3 LRBの復元力特性の経年変化

## 4. 経年変化を考慮したLRBのモデル化

経年変化を考慮したLRBの経年変化のモデル化を行うが、LRBの経年変化に関する資料が極めて少ない。そこで筆者らは、熱老化促進試験<sup>1)</sup>から得られた積層ゴムの経年変化の実験値からLRBの経年変化のモデル化を行う。

### 4.1 水平剛性の経年変化

積層ゴムには、長期の時間経過に伴い水平剛性が増加する傾向がある。図4に、実験結果<sup>1)</sup>から得られた積層ゴムの水平剛性の経年変化率(30、60年相当)を示す。その値から筆者らが求めた水平剛性の経年変化率 $\alpha_k$ は式(1)となる。

$$\alpha_k = 6.512 \times 10^{-3} \times t^{0.5850} + 1.0 \quad (t: \text{年数}) \quad (1)$$

また、LRBの天然ゴムが積層ゴムと同様に経年変化すると考えると、LRBの降伏後剛性Kdは式(2)で表される。

$$Kd = CKd(\alpha_k \cdot Kr + Kp) \quad (2)$$

### 4.2 せん断破壊特性の経年変化

積層ゴムのせん断破壊特性には、天然ゴムの経年変化によって長期の時間経過とともに低下する傾向がある。図4に、実験結果<sup>1)</sup>から得られたせん断破壊特性の経年変化率(30、60年相当)を示す。その値から筆者らが求めたせん断破壊特性の経年変化率 $\alpha_\gamma$ は式(3)となる。

$$\alpha_\gamma = -1.0 \times 10^{-4} \times t^{1.793} + 1.0 \quad (t: \text{年数}) \quad (3)$$

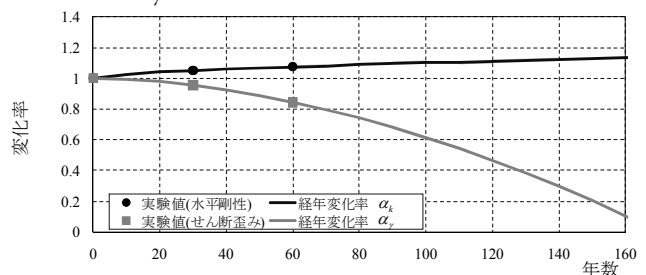


図4 特性の経年変化率

### 4.3 経年変化を考慮した水平復元力特性

図5に水平剛性の経年変化を考慮したせん断歪み100%、200%時の水平復元力特性(0、60、120年後)を、図6にせん断歪み100%時の等価剛性と等価減衰定数の変化率(0年基準)を示す。水平剛性が増加するため、160年後には等価剛性は8%程度増加し、等価減衰定数も相対的に7%程度低下する。

## 5. 経年による応答特性の変化

### 5.1 検討方法

4.3節で復元力特性のモデル化を行ったLRBを有する建物を、1質点系の簡易なモデル(図7)に置き換え、LRBの経年変化後の基本的な水平方向の応答特性について検討を行った。上部構造は剛体と仮定した。入力地震動は日本建築センター模擬波(BCJL2)を用いて、0~160年まで20年刻みで変化させて解析を行い、経年による応答の変化を比較した。

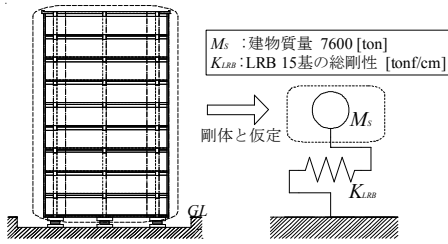


図7 モデル図

### 5.2 免震周期

図8にせん断歪み100%、200%時の免震周期の変化を示す。等価剛性は増加するため、免震周期は160年で0.1秒程度短くなるが、応答に与える影響は少ないと考えられる。

### 5.3 応答特性

図9に最大応答値の変化率(0年基準)を、図10に地震時の水平復元力特性を示す。周期が短くなるため、160年後には変位応答は4%程度減少し、加速度応答は6%程度増加する。また、水平復元力特性には経年変化の影響は殆ど見られない。

### 5.4 せん断破断特性

図11にBCJL2及び、地震動の不確定さを考慮しBCJL2を1.5倍した地震動を入力したときに得られる最大せん断歪みの変化を示す。LRBは初期状態ではせん断歪み400%を越える変形までは破断しないことが知られている<sup>1)</sup>。そこで0年における限界歪みを400%とし、4.2節で示した変化率 $\alpha_y$ を基に限界歪み曲線を求める。図11より、入力がBCJL2の時は、120年までは破断しないと考えられる。しかし入力がBCJL2の1.5倍の時、100年に達する前に限界歪みを超えてしまう。そのため、限界歪みに留意する必要がある。

## 6. 結論

天然ゴムの経年変化がLRBに及ぼす影響について検討した。水平復元力特性や地震に対する応答特性に殆ど変化は見られないが、せん断破断特性は徐々に低下する傾向を示す。リユースを行うにあたっては、せん断破断特性の経年変化を考慮した設計が必要となる。

### 参考文献

- 1)株式会社ブリヂストン;鉛プラグ挿入型積層ゴム支承技術資料 2008.7.25
- 2)オイレス工業株式会社;LRB技術資料 2000.6

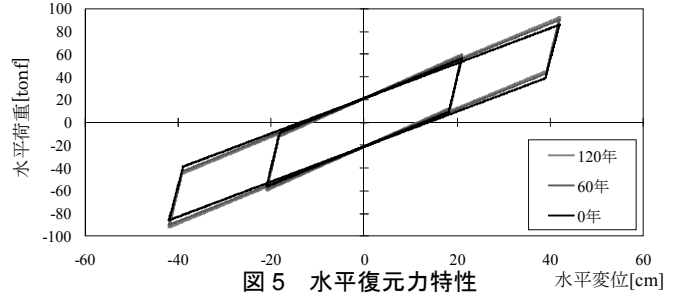


図5 水平復元力特性

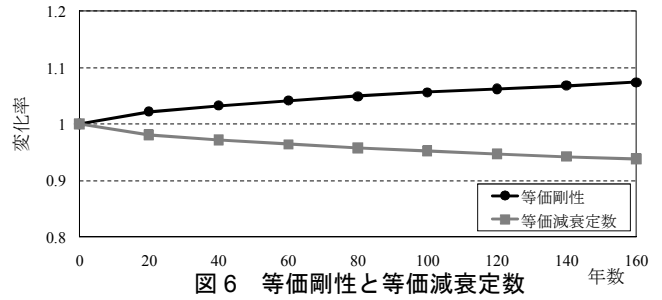


図6 等価剛性と等価減衰定数

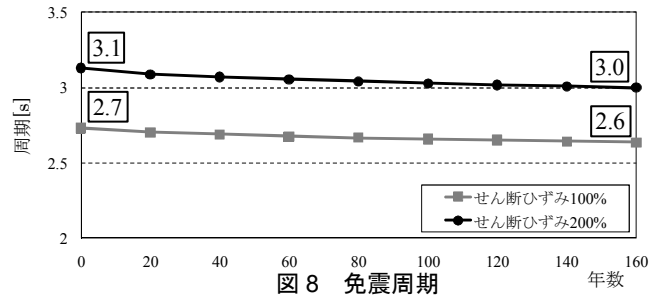


図8 免震周期

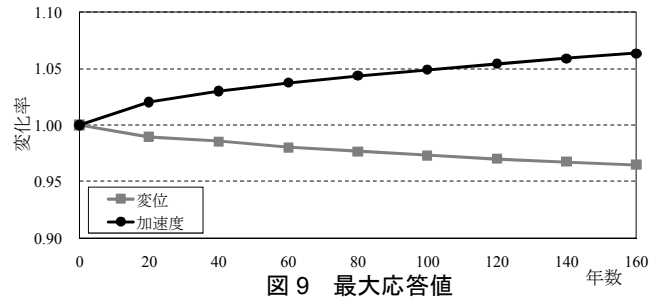


図9 最大応答値

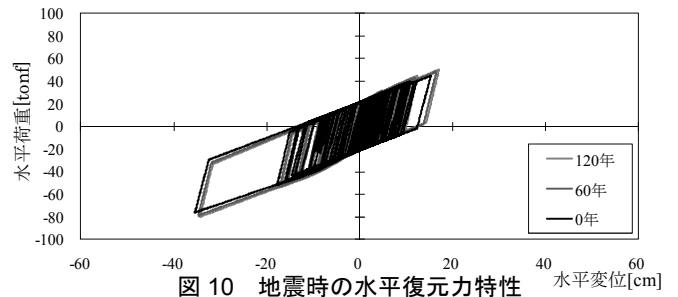


図10 地震時の水平復元力特性

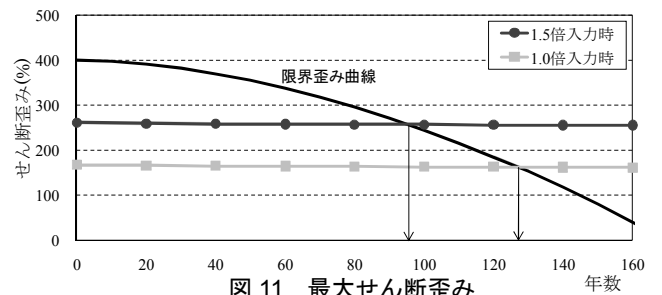


図11 最大せん断歪み