

鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB) に緩速繰返しせん断変形が及ぼす影響の評価

阪神高速道路株式会社 正会員 ○篠原聖二, 正会員 林訓裕, 正会員 足立幸郎
 オイレス工業株式会社 正会員 長弘健太, 正会員 河内山修
 京都大学防災研究所 正会員 五十嵐晃, 京都大学大学院 正会員 高橋良和

1. はじめに

高架橋への設置後17年が経過した鉛プラグ入り積層ゴム支承(以下, LRB)を取り出し切断して内部の状態を確認したところ, 鉛プラグにき裂や分断などの変状が確認された¹⁾. 当該高架橋はレベル2地震動に相当するような強い地震動は経験していないことから, LRBの鉛プラグの変状は何らかの常時の作用により生じたと考えられる. 常時の作用としては, 外気温の日変動や季節変動による, 上部構造の温度伸縮に伴う緩速の繰返しせん断変形の影響が考えられる. そこで本検討では, LRBの供試体に緩速繰返しせん断変形を与える試験を行い, き裂や分断等の鉛プラグの変状の再現と緩速繰返し変形の影響の評価を試みた.

2. 緩速繰返し変形試験の方法

供試体の形状を図-1に, 諸元を表-1に示す. 供試体の諸元は, 道路橋支承便覧²⁾(以下, 支承便覧と称す.)に規定されている条件を満足するように設定した. 試験条件を表-2に示す. 標準供試体(Case1)については, 作用させる最大せん断ひずみの大きさの影響を評価するために4.4%, 11%, 22%の3パターン(Case1-4.4%, 11%, 22%)を設定した. また, 鉛プラグに生じる圧縮力の影響を評価するため, 設計面圧はCase1と同じ6.0MPaのまま, 緩速試験中の面圧を0.6MPa(設計面圧の1/10)としたケース(Case2)を設定した. さらに, 当該高架橋では, LRBの鉛プラグの一部の外部への流出が確認されたことから¹⁾, 鉛プラグの充填量を標準供試体よりも予め減少させたケース(Case3)を設定した. 通常, ゴム支承に設ける鉛プラグ孔の体積を超える体積の鉛を鉛プラグとして充填するが, Case3については, 鉛プラグ孔相当の充填量に留めている.

LRBに正弦波パターンの正負繰返し変形を変位制御により与える載荷を行った. 加振周期は, 既往の研究³⁾におけるせん断応力とせん断ひずみ速度の関係から, 鉛プラグの変形が緩速の領域にあると考えられる1サイクル1時間の周期とした. 鉛プラグの状態確認は, 所定の載荷繰返し回数に達した供試体を載荷方向に平行に切断して目視で行った. 緩速繰返しせん断試験後のLRBのエネルギー吸収性能の変化の評価は, JIS K 6411-2012のせん断特性試験を参考にせん断ひずみ γ 175%の基本特性試験とせん断ひずみ γ 250%の地震時特性試験により行った. なお, エネルギー吸収性能は, 第5サイクルのせん断力-せん断ひずみの履歴ループの切片荷重により評価した.

3. 緩速繰返し変形特性の評価

緩速繰返し変形試験での繰返し回数と供試体切断面の鉛プラグの状態の関係を表-3に示す. せん断ひずみ振幅の大きさが鉛プラグへ与える影響の評価を目的とした標準試験(Case1-4.4%, 11%, 22%)では, せん断ひずみ γ 22%で10024回の繰返し載荷を行ったが, き裂の進展は認められなかった. 一方, Case2の設計面圧1/10供試体は, 790回加振した場合に初めて鉛プラグ

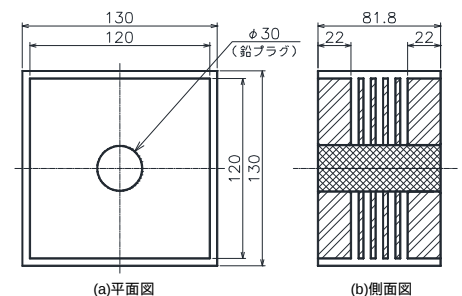


図-1 供試体の形状(単位: mm)

表-1 供試体の諸元

項目	単位	値
せん断弾性係数	MPa	1.0
設計寸法	mm	120 × 120
鉛プラグ径	mm	30
鉛プラグ本数	本	1
ゴム層厚	mm	25(5*5)
一次形状係数	-	6.0
二次形状係数	-	4.8

表-2 緩速繰返しせん断変形の試験条件

Case名	面圧 [MPa]	せん断ひずみ [%]	載荷速度 [mm/s]	せん断ひずみ速度 [%/s]	周期 [s]	備考
Case1-4.4%	6	4.4	0.002	0.01	3600	標準
Case1-11%	6	11	0.005	0.02	3600	標準
Case1-22%	6	22	0.01	0.04	3600	標準
Case2	0.6	22	0.01	0.04	3600	1/10面圧
Case3	6	22	0.01	0.04	3600	充填不足

キーワード 鉛プラグ入り積層ゴム支承, LRB, 鉛プラグ変状, 緩速繰返しせん断変形

連絡先 〒541-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3 阪神高速道路(株) 技術部 TEL06-6252-4583

表-3 緩速繰返しせん断変形の試験結果

Case名	Case1 (標準供試体)			Case2 (1/10面圧供試体)		Case3 (充填不足供試体)	
せん断ひずみ	4.4%	11%	22%	22%	22%	22%	22%
断面写真							
加振回数	3020回	3018回	10024回	790回	5001回	1152回	5021回
き裂の進展の有無	なし	なし	なし	あり	あり	あり	あり
分断の有無	なし	なし	なし	あり (1箇所)	あり (2箇所)	あり (1箇所)	あり (2箇所)
切片荷重の変化率			+12.5%	+13.4%	+1.2%	+3.9%	-1.0%

の分断が確認された。鋼板とゴム層の境界付近の鉛プラグ表面から分断が始まっており、円弧を描く様に分断していた。また、設計面圧1/10試験における最多回数の5001回の载荷を行った供試体では、上下鋼板部の対称な2箇所の位置に円弧状の分断を確認した。Case3の鉛プラグの充填量の少ない供試体は、1152回加振した場合に初めて鉛プラグの分断が確認された。また、Case3における最多回数の5021回の载荷を行った供試体でも、Case2同様、上下対称な2箇所の位置に分断を確認した。

標準供試体 (Case1) の鉛プラグは分断しなかったが、設計面圧1/10の供試体 (Case2) と充填不足の供試体 (Case3) の鉛プラグは分断した。鉛プラグ内の応力場の状態の相違がこの結果が生じた要因として考えられる。標準供試体の場合、6.0MPaの面圧作用により鉛プラグはせん断変形中も圧縮応力場が維持されるため、き裂が進展し難い状態であったと考えられる。これに対し、Case2の鉛プラグは面圧が0.6MPaと小さいため、Case3の鉛プラグは周囲に隙間があり十分な拘束効果が得られなかったため、共にせん断変形中に引張応力が生じやすい状態にあった可能性がある。

各供試体について、供試体の繰返し载荷回数に対する切片荷重の変化率を地震時特性試験により調査した結果を表-3にあわせて示す。また、各ケースを代表して、Case3の地震時特性試験時の水平力 - ひずみ関係を図-2に示す。ここで、地震時特性試験についてはJIS K 6411-2012に従い、全てのケースにおいて面圧6.0MPaを作用させた状態で実施した。地震時特性試験の結果、Case3供試体の5021回加振後において、切片荷重が未载荷状態から-1.0%の僅かな低下が見られたものの、その他の供試体については、未载荷の供試体の切片荷重を下回ることにはなかった。従って、面圧6.0MPaの条件下では鉛プラグの分断がLRBのエネルギー吸収性能に与える影響は小さいといえる。これは、面圧6.0MPaの条件下では、鉛プラグが破断していても圧縮力により鉛プラグの分断面が機械的に接着されるため、鉛プラグの分断の影響が小さくなったためと考えられる。一方、面圧が6.0MPaより小さい場合のエネルギー吸収性能は明らかになっていない。

4. まとめ

本検討で得られた主な知見を以下に示す。

- (1) 標準供試体の鉛プラグは分断しなかったが、設計面圧1/10および充填不足の供試体の鉛プラグは円弧状に分断した。
- (2) 標準供試体はせん断変形中も鉛プラグ内に面圧作用による圧縮応力場が形成されていたのに対して、設計面圧1/10および充填不足の供試体では、部分的に引張応力が発生していたためき裂が進展したと考えられる。
- (3) 面圧6.0MPaを与えた状態で地震時特性試験を行った結果、鉛プラグの分断がLRBのエネルギー吸収性能に与える影響は小さい。一方、面圧が6.0MPaより小さい状態でのエネルギー吸収性能については引き続き検討が必要と考えられる。

参考文献 1) 林ら：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(地震工学論文集第 33 巻),2014 . 2) (社法)日本道路協会：道路橋支承便覧，2004 . 3) W.H.Robinson：Lead-Rubber Hysteretic Bearings Suitable For Protecting Structures During Earthquakes,Earthquake Engineering And Structural Dynamics,VOL10,593-604,1982 .

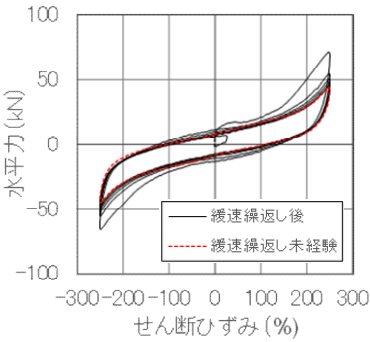


図-2 水平力 - ひずみ関係 (Case3)