

鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB) に見られた変状の発生メカニズムの検討

オイレス工業株式会社 正会員 ○長弘健太, 正会員 河内山修
 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
 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と称す。）に、写真-1に示すように積層ゴム上面と側面からの鉛突出等の変状が確認された。当該LRBを取り出した後に試験が行われ、その後に切断した断面の観察により、鉛突出に伴う鉛量の減少や鉛プラグの分断が確認された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、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などの、常時の作用により生じたと考えられる。当該LRBは鋼鈑桁において鋼製支承から取替え設置されたもので、図-1(1)に示すように、桁のフランジ幅が狭く、ソールプレートがフランジ幅に合わせられている。鉛プラグ上面の未覆蓋部が露出した状態でソールプレートを介して上載荷重を支持することにより、鉛プラグに作用する荷重分布が不均一になったことが、鉛プラグ上面の露出部からの鉛の突出の原因と考えられる。また、図-1(2)に示すように、当該LRBは縁端距離（鉛プラグ中心から積層ゴム側面までの距離）が現在一般的な $1.5d$ （ d は鉛プラグ直径）を下回る $1.0d$ であり、積層ゴム支承がせん断変形を受けると縁端距離が短く拘束力が相対的に小さい方向へ鉛が押し出される。この過程が繰り返され、最終的に鉛がゴム層を破り側面からの突出に至ったものと考えられる。

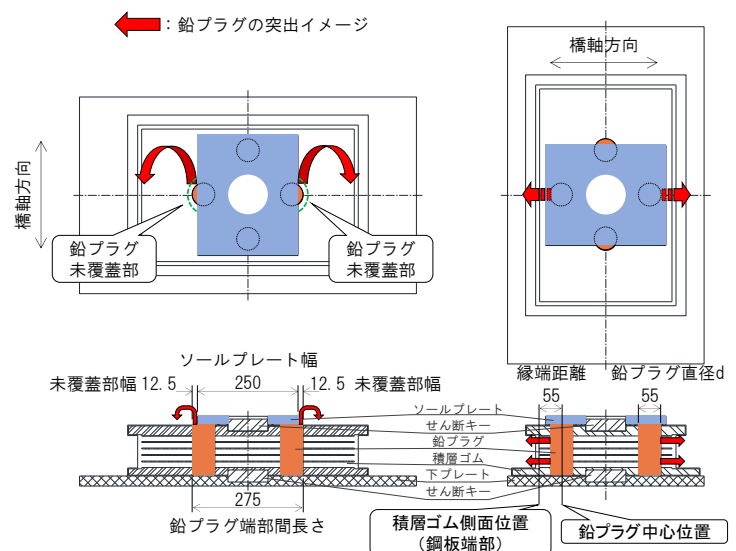
鉛の突出については上記の理由が考えられるが、切断面観察により確認された鉛プラグの分断については、メカニズムは未解明である。LRBのエネルギー吸収性能は主に鉛プラグの塑性変形により得られるため、これらの変状により構造系の減衰性能が損なわれる懸念がある。したがって、その原因の解明と影響の評価は重要な課題である。本検討では、その一環として緩速繰返し載荷を経験したLRB供試体の鉛の状態とエネルギー吸収性能の変化の実験的な確認を行った。

2. LRB縮小体による緩速繰返し載荷試験方法

供試体の形状を図-2に、諸元を表-1に示す。供試体は、道路橋支承便覧²⁾に規定されている条件を満足するように設定した。鉛の充填は、設計面圧（ここでは面圧6MPa）載荷時に設計性能を発揮するように設定した。試験条件を表-2に示す。緩速繰返し載荷試験では、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



写真-1 LRB の変状

写真-2 現地から取り出したLRBの切断面¹⁾

(1) 上面からの鉛突出

(2) 側面からの鉛突出

図-1 鉛突出メカニズム

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、鉛充填後と基本特性試験のみ行った緩速繰返し未経験と緩速繰返し载荷10024回経験後の3ケースについて、载荷方向に平行に切断し行った。エネルギー吸収性能は、地震時特性試験の第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。

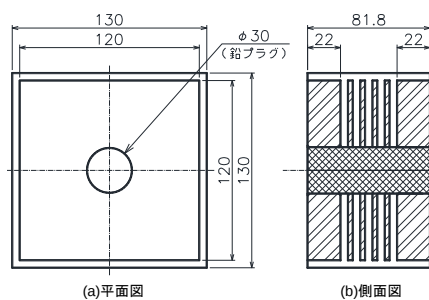


図-2 供試体の形状 (単位: mm)

表-1 供試体の諸元

項目	単位	値
LRB の設計面圧	MPa	6.0
ゴムのせん断弾性係数	MPa	1.0
設計寸法	mm×mm	120×120
鉛プラグ穴径	mm	30
鉛プラグ本数	本	1
ゴム総厚	mm	25 (5×5)
一次形状係数	—	6.0
二次形状係数	—	4.8
縁端距離	—	2d

表-2 試験条件

試験 No.	試験内容	面圧 σ (MPa)	せん断ひずみ γ (%)	速度 (mm/s)	せん断ひずみ速度 (%/s)	周期 (s)	回数 (回)
1	基本特性試験	6	175	15	60	18	6
2	緩速繰返し試験	6	22	0.01	0.04	3600	任意
3	地震時特性試験	6	250	196	785	2	6

表-3 試験結果

試験項目	試験ケース	鉛充填後	緩速繰返し载荷前 (基本特性試験後)	緩速繰返し载荷後
	実施試験内容 (数字は表-2の試験 No.)	—	(鉛状態) 1→切断 (性能) 1→3	(鉛状態) 1→2→切断 (性能) 1→2→1→3
鉛状態	断面写真			
	詳細写真			—
	詳細写真による観察	キズなし	鋼板角部付近にわずかなキズあり	—
	鉛プラグの分断の有無	なし	なし	なし
エネルギー吸収性能	緩速繰返し载荷経験回数	—	—	10024 回
	切片荷重の変化率	—	0%	+12.5%
エネルギー吸収性能	緩速繰返し载荷経験回数	—	0 回	10064 回

3. 緩速繰返し変形特性の評価

各条件における鉛プラグの状態と得られたエネルギー吸収性能を表-3に示す。図-3には緩速繰返し载荷を10064回経験した供試体の地震時特性試験により得られた履歴ループと緩速繰返し载荷未経験の供試体の地震時特性試験の第5サイクルの履歴ループを併せて示す。また、履歴ループから得られたエネルギー吸収性能を図-4に示す。

表-3より、鉛の状態については、積層ゴムに鉛を充填後切断したLRBの鉛プラグには見られなかったわずかなキズが基本特性試験実施後の鉛プラグの内部鋼板角部付近に見られた。しかし、基本特性試験後に緩速繰返し変形を10024回経験した場合においても、鉛プラグのキズの進展や分断は見られなかった。鉛プラグの分断が確認された供用下にあったLRBには、鉛の突出や不均一な荷重分布等があったことから、鉛プラグの分断発生メカニズムについては、これらの影響について検討が必要であると考えられる。図-3より、緩速繰返し载荷を10064回経験した後のエネルギー吸収性能は、緩速繰返し载荷未経験の場合に対し12.5%増加し、10064回の緩速繰返し载荷を受けても低下していなかった。

4. まとめ

道路橋支承便覧に規定されている条件を満足するよう製作した LRB 供試体に、面圧 6MPa でせん断ひずみ γ 22% の 10000 回を超える緩速繰返し変形を与える試験を行ったが、この試験条件では鉛プラグの分断やエネルギー吸収性能の低下は観察されなかった。

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, 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 & Structural Dynamics, Vol.10, 593-604,1982.

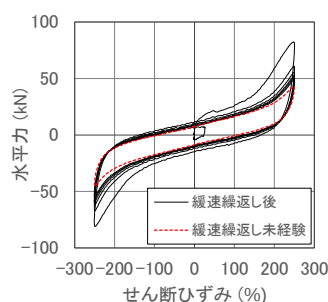


図-3 地震時特性試験の履歴ループ (緩速繰返し载荷回数 10064 回)

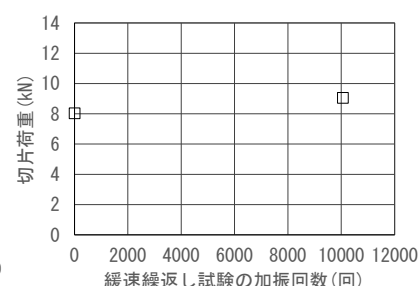


図-4 地震時特性試験のエネルギー吸収性能