経年劣化免震ゴム支承の耐震性能評価に関する解析的検討

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

1．はじめに

ゴム支承の経年劣化損傷の耐震性能影響評価及び維持管理手法の確立を目的として，実橋から取出した鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB)のせん断載荷試験を行い，等価剛性及び等価減衰等の特性値を得た[1]．これらを用いて支承部の非線形バネのパラメータを同定し，簡易なモデルで表現した橋梁系の地震応答解析及び漸増動的解析(IDA)により，経年劣化LRBを有する高架橋のL2地震動による応答特性と耐震性能を評価する．

2．解析モデル

支承の劣化が橋梁系の耐震性能に与える影響を検討するため，**図-1**のような下部構造の弾塑性変形を考慮した2質点系(2DOF)モデルを用いて解析を行う．2質点系モデルでは支承及び橋脚の橋軸方向変形を考慮し，それぞれ非線形バネで表現する．LRBは1支承線あたり5基，計110基(桁端橋脚5基×2，中間橋脚10基×10)設置されており，死荷重条件での面圧(2.6MPa)，支承面積(350mm×550mm)より，上部工質量5,390tの質点を支持している．支承部の履歴復元力特性は，実支承のL2性能試験により得られた履歴復元力曲線[1]より，高ひずみ域のハードニングを考慮したトリリニアモデルとして設定した．試験結果とモデルを**図-2**に示す．トリリニアモデルの非線形パラメータは最適化手法KH法により同定した．得られたパラメータを**表-1**に示す．橋脚の自由度節点に与える質量は橋脚11本分の質量の合計(4,574t)とし，非線形履歴復元力モデルとして除荷剛性漸減型のCloughバイリニアモデルを適用する．

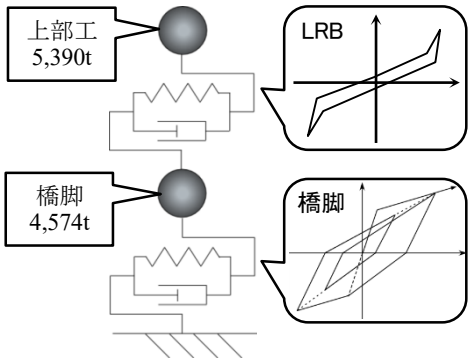

図-1　2質点系モデル

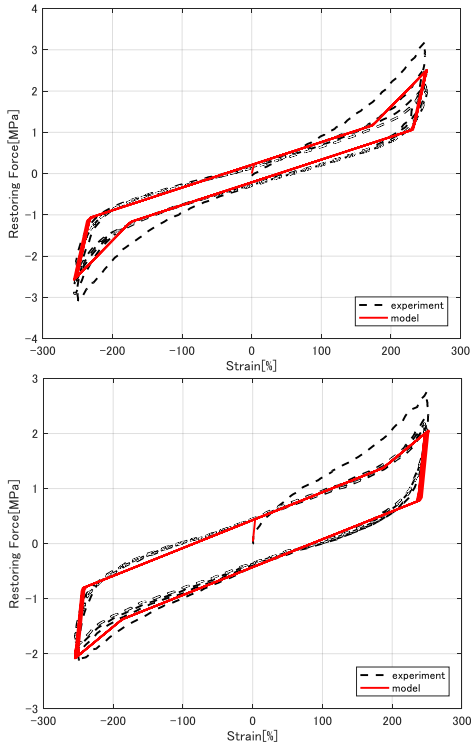

図-2　LRB履歴曲線モデル化
（上：劣化，下：リファレンス）

表-1　LRBモデルパラメータ

支承1基 パラメータ	解析モデル	
	劣化支承	ﾘﾌｧﾚﾝｽ支承
切片荷重 Q_d (kN)	44.0	85.7
等価剛性 K_{eq} (kN/mm)	2.23	2.06
等価減衰定数 h_{eq}	0.066	0.137
二次剛性比 α	0.0729	0.0400
三次剛性比 β	0.228	0.0826
ﾊｰﾄﾞﾆﾝｸﾞひずみ (%)	174	187

3．動的応答解析

H24道路橋示方書におけるL2地震動の標準加速度波形計18波を入力地震動として，非線形時刻歴動的応答解析を行った．**図-3**はII種地盤の地震波(T2-II-3)に対する復元力履歴の結果を劣化支承，リファレンス支承で比較したものである．劣化支承はハードニング効果により応力が増加しており，この影響で橋脚の応答も大きくなり，許容塑性率μ_a=8.08に近い応答を示している．全ての入力地震波に対して，支承の応答せん断ひずみ及び橋脚の応答塑性率の最大値を比較した結果を**図-4**に示す．支承の応答せん断ひずみは全入力地震動に対し劣化支承の応答が大きく，一部は許容ひずみ(250%)を超過している．橋脚の応答塑性率は劣化支承の方が相対的に大きく，Type IIのIII種地盤では橋脚の許容塑性率を超過するケースも見られた．一方，支承破断ひずみ(劣化：274%，リファレンス：329%［いずれも実験値[1]］)及び橋脚終局塑性率(μ_u=11.6)までは至っておらず，地震後の耐震性能については所定の性能を確保していると言うことができる．

キーワード　鉛プラグ入り積層ゴム支承，経年劣化，耐震性能評価，漸増動的解析，フラジリティ
連絡先　〒552-0006　大阪市港区石田３－１－２５　阪神高速道路(株)大阪管理局　ＴＥＬ06-6576-3881

4．IDA による耐震性能評価

既設構造物の残存耐震性能は，余寿命期間内での地震損傷リスクと有効活用の両者を考慮して設定された要求性能を満たすことを確認する必要がある．この耐震性能評価にあたって不可欠な情報であるフラジリティ，すなわち特定の地震動強さと破壊確率の関係を得る．構造物の地震時の損傷確率を解析するための有効な手法として，漸増動的解析(IDA) [2)]を適用した．K-NET，PEER，JMA の地震動観測記録データ計 100 波を用いて得た劣化 LRB 及び橋脚の全 IDA 曲線を図-5 に示す．これらより，劣化 LRB が破断に至る前に，橋脚が終局となるケースが多いと読み取れる．

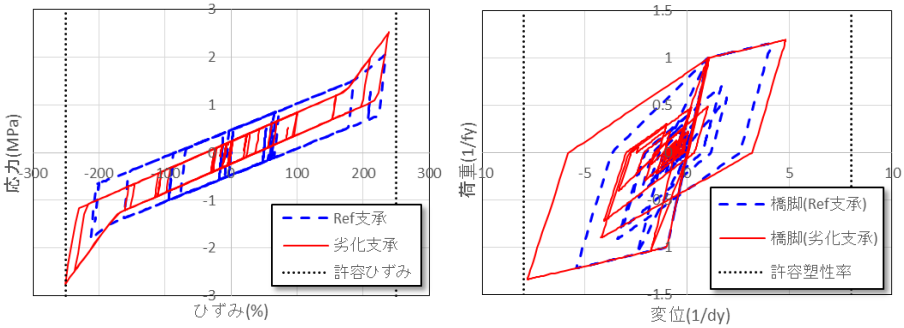

図-3　履歴曲線の比較（左：支承，右：橋脚）

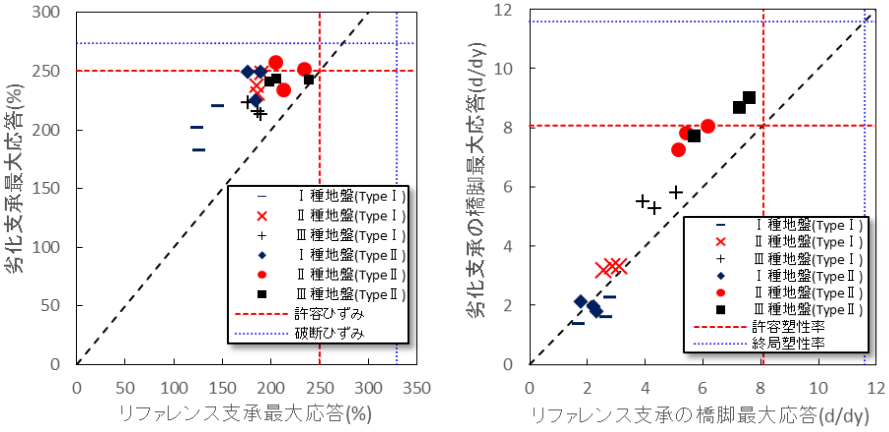

図-4　最大応答値の比較（左：支承，右：橋脚）

各々の地震波に対して得られた IDA 曲線を用い，ある PGV において橋脚の終局変位または支承の破断に至ったケースの数の全体数に対する比を計算し，これをその地震動強さにおける構造物の破壊確率とする．PGV と破壊確率の関係をプロットしたフラジリティカーブを図-6 に示す．劣化 LRB は 140kine 付近から，橋脚は 160kine 付近からの破壊確率が発生し，PGV の増加とともに確率は上昇している．しかしながら，劣化 LRB は破壊確率 0.23 で頭打ちとなっている．これより橋脚の終局状態が劣化 LRB の破断に先行することが相対的に多く，LRB の経年劣化の影響が大きくないことを示すフラジリティカーブが得られたと言える．

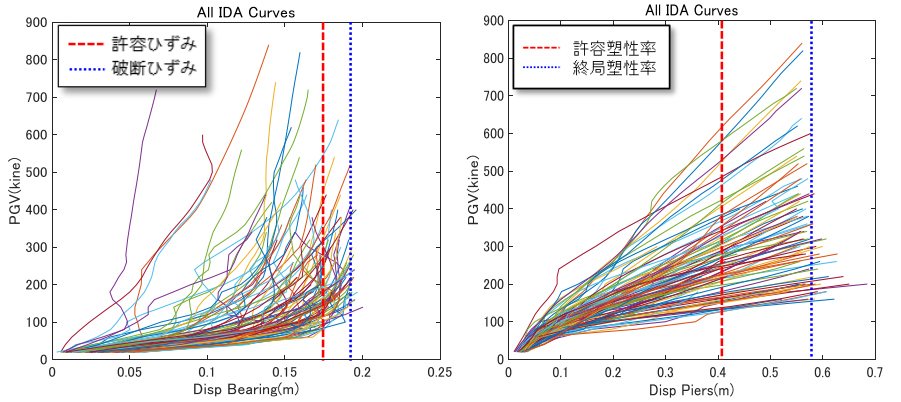

図-5　劣化 LRB モデルの場合の全入力波の IDA 曲線（左：支承，右：橋脚）

5．おわりに

経年劣化 LRB の耐震性能を評価するため，ハードニングを考慮したトリリニアモデルを用いた非線形時刻歴応答解析を行い，IDA を適用しフラジリティカーブを導出した．今後は地震リスク解析を実施し，劣化 LRB を有する橋梁系における地震損失レベル等を評価していく予定である．

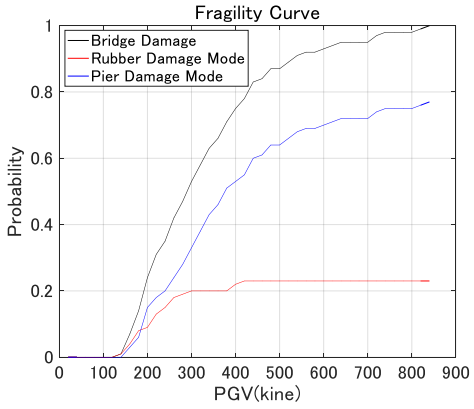

図-6　フラジリティカーブ

参考文献

1) 林ほか：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, pp.I_1032-I_1042, 2014.

2) Vamvatsikos, D., et al.: Incremental Dynamic Analysis, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.31, Issue 3, pp.491-514, 2002.