鉛プラグ入り積層ゴム支承の復元力特性のモデル化に関する研究

株式会社　アーク情報システム　正会員　○内藤 伸幸
熊本大学大学院　自然科学研究科　正会員　松田 泰治
オイレス工業　株式会社　正会員　宇野 裕惠
合同会社　防災構造工学研究所　フェロー会員　川神 雅秀

1.はじめに

現行基準では，免震橋梁の動的照査では、免震支承をバイリニアでモデル化している．しかし、LRB の実挙動復元力特性は最大経験ひずみに依存し（Mullins' 効果）さらにせん断ひずみが大きくなるとハードニングすることが確認されている．大規模地震を考慮する場合には，これらの復元力特性を考慮した動的挙動を確認しておくことが重要と考えられる．

本研究では, LRB の出荷時試験データに基づいた履歴モデルを提案し，従来のバイリニアと比較検討を行った．

2.試験データ

鉄道橋で設計された LRB（17 種類）合計 100 体の 150%および 250%繰り返し試験の結果より，トリリニア型の履歴を仮定して，耐力および剛性の整理を行った．表 1 に試験体形状および個数を示す.ここで, LRB のせん断弾性係数は全て G=1.0 N/mm² である．全て形状係数 S1 が 10 以上と大きく，純せん断に近い挙動となる．

表 1　試験体形状および個数

No.	種類	試験体数	橋軸方向 (mm)	直角方向 (mm)	ゴム層厚 (mm)	鉛プラグ径 (mm)	鉛プラグ (本)	S1	S2
1	□950x1000 H130	12	950	1000	130	140	4	8.76	7.31
2	□950x1000 H150	2	950	1000	150	140	4	9.11	6.33
3	□950x1000 H168	8	950	1000	168	140	4	10.85	5.65
4	□950x1000 H175	6	950	1000	175	140	4	9.11	5.43
5	□1000x1400 H100	4	1000	1400	100	140	4	11.15	10.00
6	□1050x1250 H130	2	1050	1250	130	195	4	9.98	8.08
7	□1050x1250 H168	4	1050	1250	168	195	4	12.35	6.25
8	□1050x1250 H175	2	1050	1250	175	195	4	10.37	6.00
9	□1250x1250 H112	8	1250	1250	112	180	4	10.43	11.16
10	□1350x1250 H96	4	1350	1250	96	180	4	12.71	13.02
11	□1350x1250 H120	6	1350	1250	120	180	4	10.16	10.42
12	□1450x1450 H87	8	1450	1450	87	210	4	11.68	16.67
13	□1600x2000 H90	2	1600	2000	90	300	4	13.51	17.78
14	□1650x1250 H90	10	1650	1250	90	210	4	11.06	13.89
15	□1750x1250 H108	12	1750	1250	108	210	4	12.65	11.57
16	□1750x1250 H120	6	1750	1250	120	210	4	11.38	10.42
17	□1750x1250 H130	4	1750	1250	130	210	4	13.13	9.62

試験結果から種類ごとに平均をとり、次の 5 つのパラメータを決定した．従来のバイリニアにおける第 2 剛性 G_2（2 ループ目以降±100%区間の回帰直線），ハードニング剛性 G_4（2 ループ目以降±200%以上の区間の回帰直線），除荷剛性 G_5（除荷区間の回帰直線）および 1 ループ目の切片応力 τ_1 と 2 ループ目以降の切片応力 τ_2．なお 1 ループ目の第 2 剛性 G_1 およびハードニング剛性 G_3 はそれぞれ 2 ループ目以降の G_2,G_4 と同じとし，初期剛性 G_0 は除荷剛性 G_5 と同じとした．

応力-ひずみで整理した試験結果の一部を 図 1 から図 3 に示す．

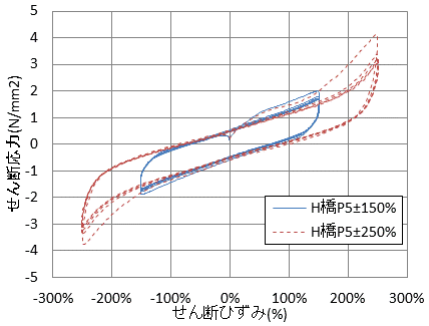

図 1 No.1 □950×1000 H130

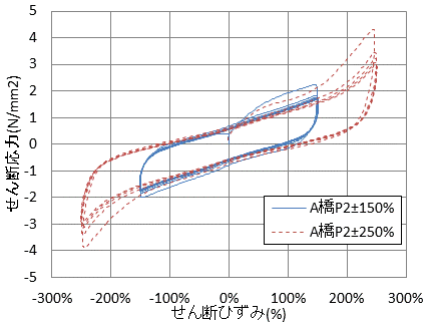

図 2 No.9 □1250×1250 H112

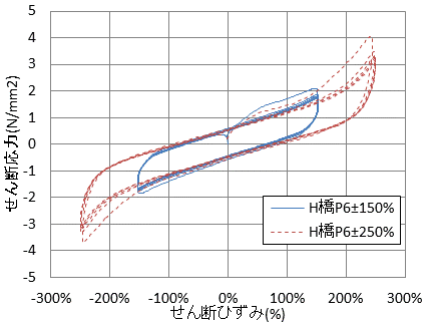

図 3 No.15 □1750×1250 H108

LRB, 免震支承, Mullins'効果, ハードニング, トリリニアモデル, 非線形動的解析
〒222-0033 横浜市港北区新横浜 3-22-17 岩崎学園 2 号館 8F・TEL 045-471-2711・FAX 045-471-2811

3.履歴モデル

試験結果から得られたパラメータより 図 4 に示す Double-Target 型トリリニアの履歴モデルを策定とした．1 ループ目の経路は A-B-C で，正負片側でもハードニングを経験して反転すると切片応力が τ_1 から τ_2 に低下し C-D-E と辿る．なおハードニングを起こすせん断ひずみは，正負それぞれ 1 ループ目が γ_1=150%，2 ループ目以降が γ_2=200%とした．負側は 1 ループ目なので D-E-F, .さらに反転して正側は 2 ループ目なので F-G-H となる．

またハードニングを経験せず反転した場合は 図 5 に示すように最大経験ひずみを超えると τ_1 のラインまで耐力が回復するものとした．[1)]

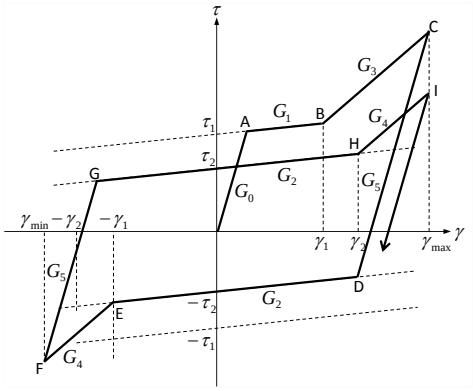

図 4 Double-Target 型トリリニアの骨格曲線

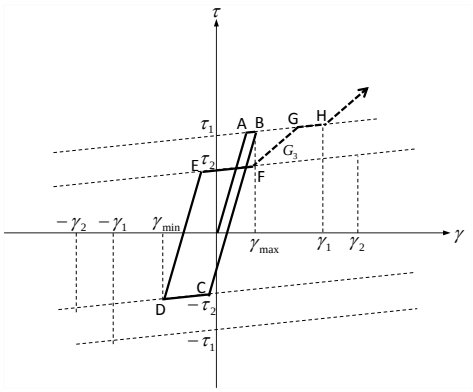

図 5 最大経験ひずみ依存による耐力回復

4.解析例

上記の履歴モデルを TDAPIII のユーザ非線形モデルとして組み込み，1 自由度系に強制変位を与え試験結果との比較を行ったものを 図 6 に示す．比較的少ないパラメータで試験結果を再現できた．固有周期約 1.0 秒の 1 質点系にタイプⅠ-Ⅰ-1 の地震波を入力した時刻歴応答解析の比較結果を 図 7 図 8 に示す．この例では，バイリニアに比べて Double-Target 型トリリニアでは，最大せん断ひずみが 0.7 倍，最大せん断応力が 1.2 倍，履歴吸収エネルギーが 1.3 倍となり，実橋に適用した場合に有意な差が現れると考えられる．

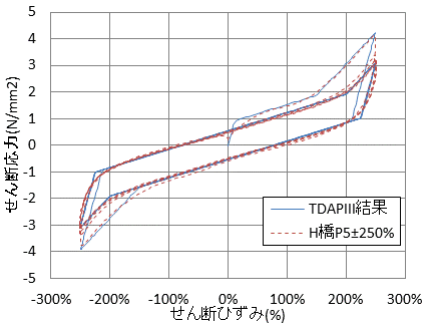

図 6 履歴確認

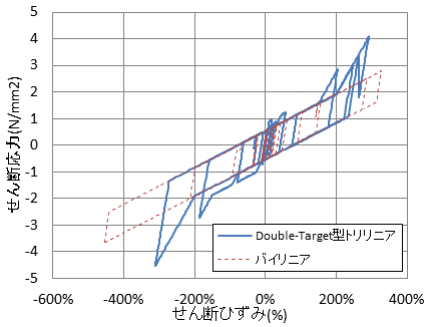

図 7 履歴比較

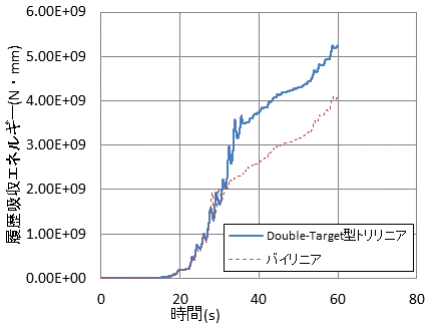

図 8 履歴吸収エネルギー比較

5.まとめ

LRB の出荷時試験データに基づく Double-Target 型トリリニアの履歴モデルを提案し，従来のバイリニアとの比較を行った．今回使用した試験データには，せん断ひずみを 50%-100%-150%と段階的に増加させた結果は含まれていないため耐力回復については，追加試験で挙動を確認し，履歴モデルに反映させる予定である．

本研究で使用したデータは独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構より提供いただいたものである．ここに記して謝意を表します．

参考文献

1) 大鳥靖樹，松田泰治，石田勝彦：改良型 Double Target モデルによる免震構造物の地震応答解析，日本建築学会大会学術講演梗概集(東海) 1994 年 9 月