

ゴム支承の繰り返し履歴特性のモデル化

名古屋高速道路公社 正会員 ○前野裕文・森下宣明
 ゴム支承協会 正会員 山根義洋・竹ノ内勇
 ヤマト設計(株) 正会員 鄭 沂・坂本佳子

1. まえがき

橋梁システムの動的解析やそれを用いた設計において、地盤、橋脚、支承および上部構造の特性を的確に評価することは重要である。その中でもゴム支承の特性は全体挙動に大きな影響を与えている¹⁾。一般的には、ゴム支承の特性は実効せん断ひずみ175%での特性値を用いてリニアまたはバイリニアにモデル化されている。しかしながら、ゴム支承は実効せん断ひずみ前後から水平剛性が増加するハードニングが顕著であり、大規模地震時にはアイソレーターやダンパーの機能を発揮した後にストッパーとしての役割も果たすものと推測される。この履歴特性を正確に把握し適切に評価することにより、ゴム支承の変位だけでなく桁遊間や落橋防止装置の移動量等を精度よく予測でき併せて経済性の向上も図ることができると考えている。

本研究は、実験結果に基づいたトリリニア型のモデルを提案し、その適用性について検討したものである。

2. 供試体(実験)概要

供試体は、天然(NR)、高減衰(HDR)および鉛プラグ入り(LRB)ゴム支承のせん断弾性係数G12相当を用いた。表-1に供試体形状および個数を示す。実験方法は別報による。図-1に5波目の履歴曲線を応力

表-1 供試体形状および個数

供試体	平面形状(mm)	ゴム厚(mm)	層数	個数		
				NR	HDR	LRB
a	□1000	25	5	1	2	1
b	□700	17.5	5	-	1	2
c	□400	10	5	-	1	1

ひずみ関係で整理し、支承別に全供試体について重ねて描いたものを示す。破断時の強度やせん断ひずみはHDR, NR, LRBの順に大きく、履歴面積の大きさはLRB, HDR, NRの順となっている。いずれも同様のハードニングを示しており、HDRとLRBの結果では履歴特性に関して供試体寸法による有意差はないといえる。

3. モデル化

10波平均に相当する5波目の実験履歴曲線を用いて、ゴム支承のモデル化を行う。このモデルは、図-2に示すようなハードニングが考慮できるトリリニアモデル(骨格曲線の剛性がG1~G3)であり、せん断ひずみによって履歴曲線が変化する。あるせん断ひずみを受けたときの履歴曲線の決定は次のように行う。図-3はあるせん断ひずみのときの実験の履歴曲線とそれを近似的にモデル化したものである。まず、このモデルの履歴曲線は点対称であり、最大および最小ひずみを通る直線を等価せん断弾性係数 G_{eq} とする。第3象限側の履歴曲線に沿って接線を引き、この勾配を G_2 とする。次に、 G_{eq} 、 G_2 と履歴曲線で囲まれた面積 A_1 、 A_2 を求め、この面積と

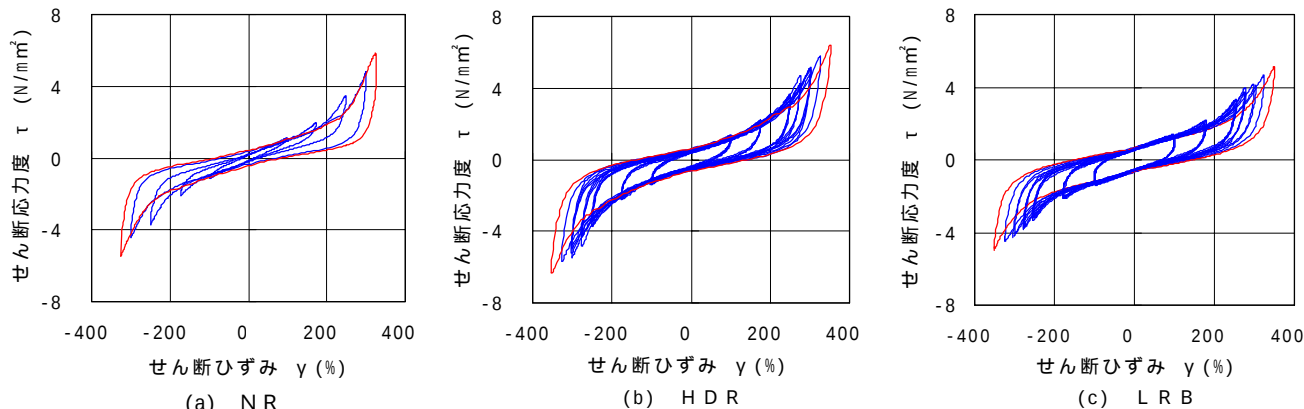


図-1 実験の履歴曲線

ゴム支承、免震支承、ハードニング、トリリニアモデル、動的解析

〒460-0002 名古屋市中区丸の内2-1-36 (NUP・フジサワ丸の内ビル)・TEL 052-223-3567・FAX 052-223-3574

表 - 2 特性パラメーター算出のための係数(G12)

支承の種別	a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3
免震ゴム支承	0.228	0.723	1.810	0.074	0.399	0.727
積層ゴム支承	0.207	0.533	1.470	0.033	0.167	0.289
支承の種別	C_1	d_1	d_2	d_3	e_1	
免震ゴム支承	0.875	0.125	0.675	1.34	0.500	
積層ゴム支承	0.875	0.082	0.485	1.15	0.600	

(注) ここでは HDR の係数を示す。

同じになるようにトリリニアモデルの履歴曲線の形を決める。これは、推定式(1)～(5)から計算される5つの特性パラメーターより決定できる。図-2に示すようなその他の特性 ($G_1 \sim G_3$ 剛性等)は幾何関係から算出ができる。

$$Y_1(Y_m) = c_1 Y_m \quad (1)$$

$$\tau_2(Y_m) = b_1 Y_m^3 - b_2 Y_m^2 + b_3 Y_m \quad (N/mm^2) \quad (2)$$

$$\tau_3(Y_m) = d_1 Y_m^3 - d_2 Y_m^2 + d_3 Y_m \quad (N/mm^2) \quad (3)$$

$$Y_3(Y_m) = e_1 Y_m \quad (4)$$

$$\tau_m(Y_m) = a_1 Y_m^3 - a_2 Y_m^2 + a_3 Y_m \quad (N/mm^2) \quad (5)$$

ここで、 Y_m は履歴の中で最大となるひずみであり、 a_i, b_i, c_i, d_i, e_i は表-2に示す係数である。

4.動的解析例

動的解析例は、多主鉄桁を免震ゴム支承を介して支持するII種地盤上の鋼製単柱橋脚とし、ここでの支承はHDRの特性値を用いた。入力地震動としてタイプ の標準波形3波を橋軸方向に作用させた。また、支承の履歴特性として一般的に設計に用いているバイリニア型の解析も行い、その結果を併せて示す。表-3および図-4は、ゴム支承の最大応答値とその応答履歴の一例である。両者とも入力地震波TYPE221の場合に最大応答値を示し、水平力はほぼ同程度であるがトリリニアの場合のせん断ひずみはバイリニアに比べ2割以上減少した。これより、ハードニングによる変位の抑制効果がある程度期待し得るといえる。一方、それに伴う固有周期の低下によって水平力の増加が見込まれるが、ハードニング領域の履歴面積は相当拡大しており、今回解析した範囲ではその減衰性能の増分が水平力低減に寄与しているものと思われる。

5.まとめ

- 1) ゴム支承のハードニング効果とせん断ひずみ依存性のトリリニアモデルの設定法を明らかにした。
- 2) このモデルにより橋梁システムの地震時挙動を精度よく予測し得る方向性を見出した。

しかし、今回の係数設定にあたってはゴム支承の寸法・供試体数も限られており、今後はより多くの実験結果を整理することによりゴム支承の特性を設定する予定である。なお、本実験の一部は愛知工業大学の耐震実験センターにおいて実施されたものであり、青木教授・鈴木助教授よりご指導を受けた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 足立幸郎, 運上茂樹: 免震支承のハードニング特性に着目した免震支承と橋脚に塑性化が生じる免震橋梁の地震応答特性に関する研究, 構造工学論文集Vol.47A, 2001.3。

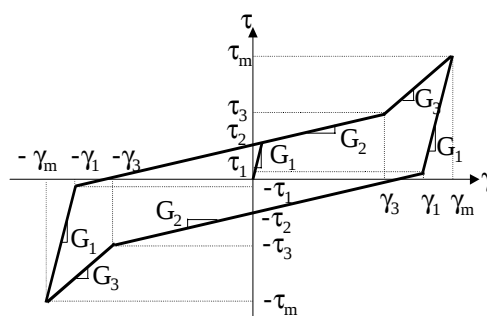
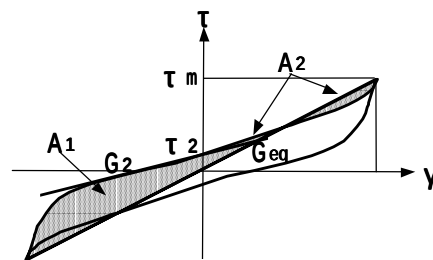
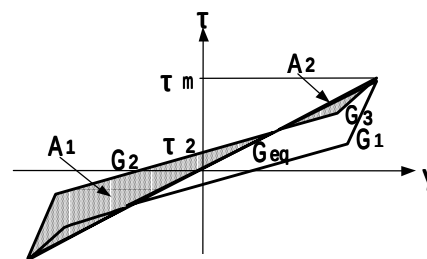


図 - 2 トリリニアモデルの骨格曲線



(a) 実験の履歴曲線



(b) 履歴曲線のモデル化

図 - 3 モデル化の概念図

表 - 3 免震ゴム支承の最大応答値

支承モデル	せん断ひずみ(%)	水平力(kN)
トリリニア (1)	279	1806
バイリニア (2)	380	1825
(1) / (2)	0.73	0.99

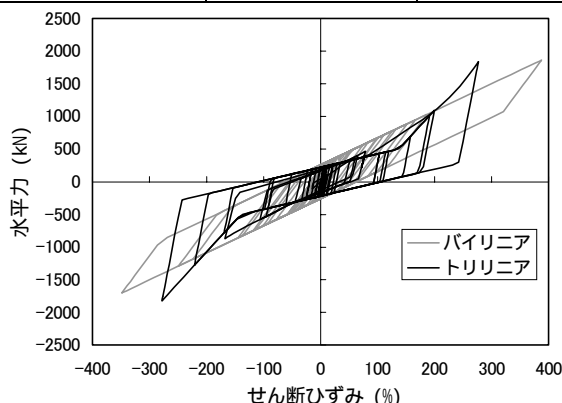


図 - 4 免震ゴム支承の応答履歴