

京都大学工学部 正会員 山田 善一
 京都大学工学部 正会員 家村 浩和
 埼玉大学工学部 正会員 William Tamzo
 京都大学大学院 学生員 ○渡辺 典男

1. はじめに

最近になって、構造物の地震応答に基づく作用断面力を低減する手法として、免震構造が注目されている。建築分野では既に実用化が進められ、土木分野の橋梁構造物においても設計や建設が一部で開始されている。本研究では、免震支承としては、構造が比較的簡単で、施工も容易であると考えられる高減衰積層ゴム支承（HDR）を取り上げた。HDRに大変形を与えるとゴム特有の硬化現象（ハードニング現象）が現れ、復元力は変位とともに急激に増加する。このハードニング現象に注目し、新たな非線形履歴モデルを作成し、地震応答解析を行ったのでその結果を報告する。

2. ハードニング履歴モデル

静的載荷実験による変位-復元力の履歴曲線を図-1(a)に示す。せん断ひずみが125%までは紡錘型であるが200%になるとゴムのひずみ硬化により逆S字型となる。また、履歴ループより等価剛性 K_{eq} を求めた。これによるとせん断歪 $\gamma=125\%$ 付近から剛性が増加していることがわかった。このようなゴム特有のハードニング現象が、地震応答にどのような影響をもたらすのか検討するために、新たに非線形履歴モデルを作成した。

まず、ハードニング現象が生じている履歴復元力曲線をモデル化するにあたり、バイリニア型の復元力特性をベースとした。そして、ハードニング現象が生じている領域（以後、ハードニング領域と呼ぶ）をハードニング開始点及び新たな剛性を持つ2直線で表した。すなわち、このモデルは図-1のように、バイリニア型ばね構成する降伏点、1次剛性及び2次剛性とハードニング領域を構成するハードニング開始点、3次剛性及び4次剛性から成り立っている。以後、このモデルをハードニング履歴モデルと呼ぶことにする。これらのパラメーターは、静的載荷実験から得られた免震支承の履歴ループの中から最大のものを選び、履歴面積が等しくなるように設定した。

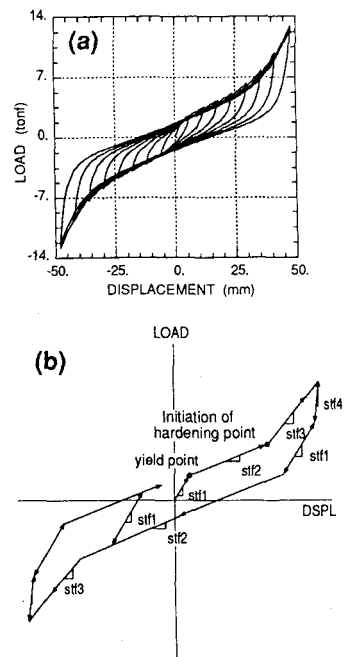


図-1 ハードニング履歴モデル

3. 解析及び結果

免震支承をハードニング履歴モデルで表示し、エルセントロ記録波及び八戸記録波を入力して、地震応答解析を行った。構造物のモデルは、1自由度で、等価固有周期は2secに設定した。なお、履歴減衰以外の減衰は粘性減衰により考慮しその減衰定数を1%とした。図-2は解析結

表-1 非線形動的解析による最大応答値と実験値との比較

入力地震波	最大入力加速度 (gal)	実験値		解析値	
		最大加速度 (gal)	最大変位 (mm)	最大加速度 (gal)	最大変位 (mm)
エルセントロ記録波	98	35.7	36.5	40.9(1.15)	36.9(1.01)
	118	56.4	45.3	65.3(1.16)	48.9(1.08)
八戸記録波	78	36.5	35.5	38.0(1.04)	35.5(1.00)
	108	67.9	47.8	62.1(0.91)	47.3(0.99)

()内は実験値との比である。

果とハイブリッド地震応答実験から得られた結果の相対応答変位、絶対応答加速度及び履歴復元力特性を同時に示したものである。また、最大応答値に着目して実験値と解析値を比較すると表-1のようになる。これによると、解析により求めた応答値は実験値をよく再現しており、最大応答値に注目すると、実験値に対して大部分が0.9倍から1.1倍の範囲に収まっていることがわかる。

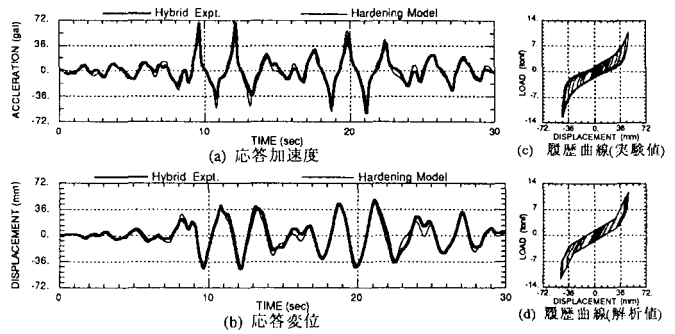


図-2 応答加速度、相対変位及び履歴復元力特性に対するハイブリッド実験値と解析値との比較（八戸記録波）

4. パラメトリック・スタディ

ハードニング履歴モデルにおいてハードニング開始点を1つのパラメーターとして扱い、エルセントロ記録波及び八戸記録波を入力して地震応答解析を行った。図-3はそれぞれのハードニング開始点における最大応答値をプロットしたものである。最大加速度は最大入力加速度で除し、最大変位は最大入力加速度を静的に载荷したときの構造物の応答変位で除した比で示した。比較のため、同図にハードニング現象が生じていない場合として、バイリニア型履歴モデルから得られた結果を示した。これによると、最大応答変位はハードニング開始点が遅れるとともに増加する傾向にあり、特に八戸記録波では構造物の固有周期が地震波の卓越周期付近に存在し、その傾向がいっそう顕著となっている。また、最大加速度応答は地震波により応答の様子が異なるが、ハードニング現象が生じないバイリニア型の履歴特性と比較して、大きくなる傾向が現れている。これは、入力した地震波の持つ応答特性と構造物の固有周期に影響されたものと考えられる。

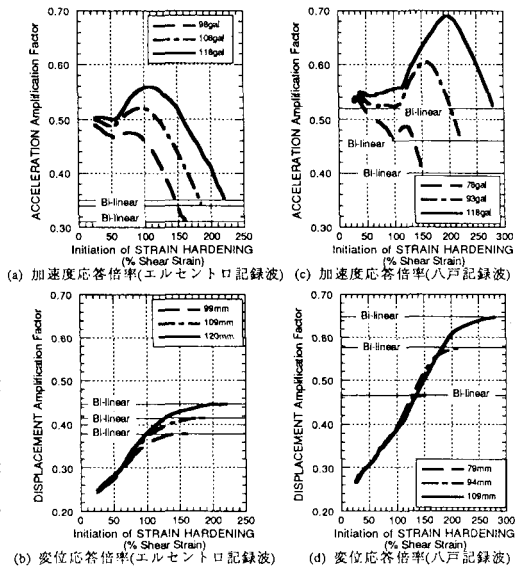


図-3 ハードニング開始点と最大応答値との関係

5. まとめ

1) ハードニング現象を考慮した非線形履歴モデルを作成した。この非線形履歴モデルを用いた動的解析により、高減衰積層ゴム支承を有する1自由度構造物の地震応答を精度よく再現することができる。2) ハードニング開始点を1つのパラメーターとしてパラメトリック・スタディを行った結果、構造物の最大応答は地震波の持つ応答特性と構造物の固有周期に影響されることがわかった。3) 長周期成分が卓越している地盤では、ハードニング現象が生ずると現象が生じていない場合と比較して、構造物の最大加速度に差はあまりなく最大相対変位は抑制され、更に、通常の変位抑制装置のように衝突による衝撃力がなく、ハードニング現象の効果は変位抑制装置としての機能を十分に兼ね備えていることがわかった。ハードニング現象の効果と通常の変位抑制装置と比較検討する予定である。

参考文献 1) 道路橋の免震システムの開発に関する共同研究報告書（その2）：建設省土木研究所

2) 山田善一、家村浩和 他：ハイブリッド地震応答載荷実験手法による高減衰ゴム支承の免震効果：構造工学論文集 Vol. 37 A：1991年3月