

引張特性を考慮した橋梁用積層ゴム支承の鉛直方向地震応答に関する一考察

東京工業大学都市地震工学センター

正会員 ○飯山かほり

東京工業大学総合理工学研究科

正会員 大町 達夫

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震以降、橋梁には多くのゴム支承が用いられるようになった。一般に積層ゴム支承は水平方向に高いアイソレータ機能、また圧縮方向には高い耐荷重性能を有するが、大きな引張荷重を受けたあとの性能については十分には明らかにされていない。このため、免震設計以外のゴム支承に対しては、許容引張応力度を定めた上で引張力をゴムで抵抗させている。ところで、この引張力を動的に算定する場合は通常圧縮剛性を用いているが、実際のゴム支承では圧縮側と引張側では抵抗特性が異なる。本稿では、この抵抗特性の違いが支承の鉛直応答反力に及ぼす影響を数値計算により検討した。

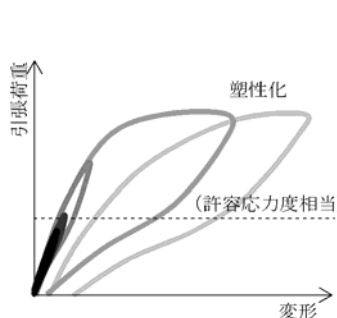
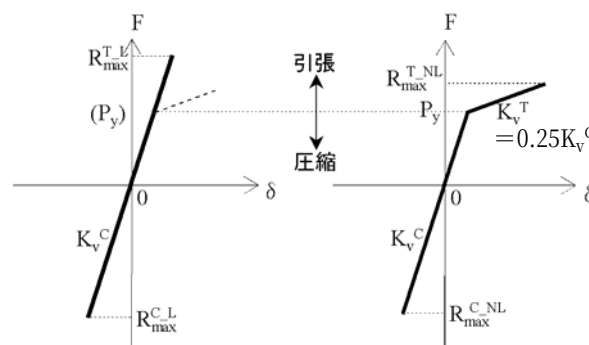
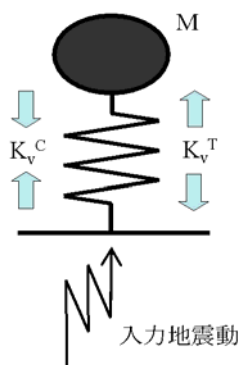
図-1 引張試験結果例
(引張荷重—変形関係)(a) 線形モデル (b) 非線形モデル
図-2 鉛直剛性モデル

図-3 解析モデル

表-1 入力地震動

グループ -番号	年月日/地震名、観測地 (K-net の場合は観測地記号)	最大加速度 (gal)
I -1	95/01/17 兵庫県南部, JR 鷹取駅構内	290
I -2	07/04/15 MIE004 (K-net)	323
I -3	03/09/26 HKD091 (K-net)	325
I -4	95/01/17 兵庫県南部, 神戸海洋気象台	332
I -5	95/01/17 兵庫県南部, 東神戸大橋地盤	395
I -6	00/10/06 TTR007 (K-net)	404
II -1	07/03/25 ISK005 (K-net)	556
II -2	I -2 記録×2 (加速度振幅のみ2倍)	645
II -3	I -3 記録×2 (加速度振幅のみ2倍)	650
II -4	I -6 記録×2 (加速度振幅のみ2倍)	808
II -5	04/10/23 NIG019 (K-net)	820
II -6	03/05/26 MYG011 (K-net)	825

2. 引張特性を考慮した鉛直剛性モデルによる検討

積層ゴム支承の引張特性としては NR, HDR, SPR に対する引張試験から得られた結果¹⁾を参考とし、剛性モデルを仮定した。この試験では、1辺 350mm 角、ゴム厚 11mm×5 層、中間鋼板 3.2mm×4 枚、上下鋼板 32mm×2 枚の支承に対して最大 500kN 程度の引張荷重を静的に載荷している。試験結果から、支承の種類によらず荷重—変形関係は 図-1 に示すように、引張荷重が大きくなると著しく塑性化するが、引張荷重が小さい範囲ではおおむね弾性的な挙動を示す傾向が見られ、このときの引張剛性 K_v^T は圧縮剛性 K_v^C の 2～3 割程度であった。これをふまえ、本稿では線形の動的解析で考慮する (図-2(a)) に対して 図-2(b) のような鉛直剛性モデルを仮定し、2つのモデルの応答の違いを数値解析により確認した。ただし、この試験では支承形状の違いや動的な荷重に対する応答特性などは明らかにされていないため、本モデルが全てのゴム支承に対し有効であるかどうかは不明である。解析は 1 質点系 1 自由度モデルとし、入力には表-1 に示す 12 種類の内陸型地震の鉛直動を用いた (図-3)。等価粘性減衰定数 h は、1% とした。図-2(b) の折れ点 P_y は質点の重量に相当する荷重 Mg (g は重力加速度) を表す。また、ここではモデル固有周期 T_0 は $2\pi\sqrt{M/K_v^C}$ より算出される値を指す。

3. 解析結果

I -4 地震入力 ($T_0 = 0.2$ 秒) に対する応答例を 図-4 に示す。このケースでは線形モデルと非線形モデルの応答には大きく差が生じ、非線形モデルでは若干の長周期化が生じている (図-4(b))。

キーワード 積層ゴム支承, 引張特性, 動的解析, 鉛直動, 非対称非線形

連絡先 〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 東京工業大学都市地震工学センター TEL 045-924-5103

ここで、すべての入力地震動に対して T_0 を変化させて同様の計算を行い、①線形モデルの最大圧縮反力②非線形モデルの最大圧縮反力③線形モデルの最大引張反力④非線形モデルの最大引張反力(例:図-4(a))を求め、

各モデルの比率を、最大圧縮反力比 $\gamma_c = ②/①$ 、最大引張反力比 $\gamma_t = ④/③$ としてプロットした結果を図-5に示す。同図より、非線形モデルの圧縮反力は線形モデルよりも増大し(図-5(a))、逆に引張反力は減少する傾向がみられる(図-5(b))。ただし、入力によっては γ_c が2を、また γ_t が1を超えるような場合もある。

次に、線形モデルによる引張応答の大きさが γ_c および γ_t の増減に及ぼす影響を確認するために、線形応答超過比として

$$\xi = R_{\max}^L / P_y$$

($R_{\max}^L$:線形モデルの最大引張反力)を導入し、これを図-5の横軸として表した結果を図-6に示す。図-6(a)より、 γ_c は $\xi > 1.2$ の範囲でばらつきが大きくなるが、 $\xi \leq 1.2$ の範囲ではほぼ1、すなわち両モデルの最大圧縮反力は同程度となることがわかる。同様に図-6(b)より、 γ_t は $\xi > 1.3$ の範囲でばらつきが大きくなるが、 $\xi \leq 1.3$ の範囲では両モデルの最大引張反力はエネルギー一定則の関係とほぼ一致することがわかる。なお、減衰定数が大きくなるとこのばらつきは小さくなり、非線形モデルの応答はより安定する傾向にある。

4. まとめ

引張時の支承剛性低下を考慮した非線形モデルの最大応答反力は、生じる引張反力が比較的小さければ線形モデルの最大応答反力から予測でき、その値は圧縮反力では線形モデルと同程度、引張反力では線形モデルより小さくなる。一方、生じる引張反力が大きく非線形の度合いが強くなる場合は、応答のばらつきも大きくなるため、線形モデルによる推定は困難となる。実際の構造物においては、鉛直動に起因する支承鉛直応答は上部構造の振動性状によって大きく異なる。また、構造によっては水平動に起因する支承鉛直応答が増大する場合もあるため、今後はより詳細なモデルによる検証が必要である。

参考文献

1) 鶴野, 炭村, 金井: 各種ゴム支承の引張条件下における水平特性に関する研究 土木学会論文集 2003年 No.190

