

鋼管の大変形を考慮したゴム鋼併用型耐震緩衝装置の荷重変位モデル

武蔵工業大学 学生会員 後藤 学 武蔵工業大学 学生会員 石黒 聡
 武蔵工業大学 正会員 皆川 勝 武蔵工業大学 学生会員 松島 祥子
 武蔵工業大学 正会員 佐藤 安雄 鹿島建設（株） 正会員 土井 雄司

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、橋梁に免震設計が積極的に採用されているが、免震橋では一般的に橋桁の変位が大きくなる。そのため、隣接桁間及び桁と橋台間に大きな衝撃が生じる恐れがある。そこで、桁の橋台間あるいは桁同士の間の変位を吸収するため大型の伸縮装置、もしくは落橋防止装置が必要となる。しかし、大型の伸縮装置を設置する事は多大なコスト増を招き、メンテナンス費用も増してしまうことから後者を設置することが望ましいと考えられる。本研究では落橋防止装置用緩衝材として、ゴムを併用した鋼管を用いることに着目した。鋼管は、エネルギー吸収効果が高く、さらにゴムを外側に巻くことにより鋼管が圧壊した後もゴムが緩衝材として機能し、過度の衝突力の増大を抑制し、繰返し衝突にも対応することが可能となると考えられる。小・中規模地震の変位に対しては、落橋防止装置用緩衝材の弾性範囲の変形で吸収させ、大規模地震の変位に対しては、緩衝材の損傷を許容し、降伏後の塑性変形によって桁の運動エネルギーを吸収させる。これにより、落橋防止構造及び橋梁における他の構成部材の損傷を防ぎ、かつ上部構造が桁かかり長に達するような運動を制限することができる。さらに、地震後には速やかに復旧できることから合理的といえる。皆川¹⁾らは、緩衝装置に静的載荷実験を施し、ゴム管及び鋼管の基本特性から推定する荷重変位関係のモデルを構築した。

2. 荷重-変位関係に影響する要因

ゴム鋼併用型耐震緩衝装置の荷重-変位関係に影響を与える要因は、以下の基本的特性である。

ゴム管の圧縮変形特性 ゴム管の曲げ変形特性
 鋼管の曲げ変形特性 ゴムから鋼管への力の伝達特性

3. 本研究の目的

皆川¹⁾らが構築したモデルでは、ゴム材料に対して用いられている応力ひずみ関係式である Mooney-Rivlin 式（以降、M-R 式）を鋼管の曲げ変形特性に援用している。しかし、M-R 式では、径厚比の小さい鋼管で誤差が生じ、さらに、力学的根拠が必ずしも明確でない。そこで、鋼管側部曲げモーメントに着目し、力学的観点から再構築した曲げ変形特性を用いて、ゴム鋼併用型耐震緩衝装置の荷重-変位関係モデルを改善することを目的とした。

4. 鋼管の曲げ変形特性モデルの改善

図-1 に鋼管の塑性変形、図-2 に鋼管の変形形状遷移イメージを示す。同図から、鋼管が塑性変形する際、荷重載荷盤と接する面を除いた左右側部を合

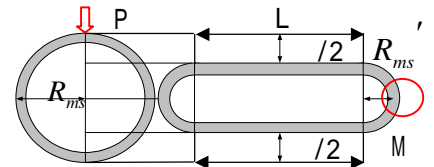


図 1 鋼管の塑性変形イメージ

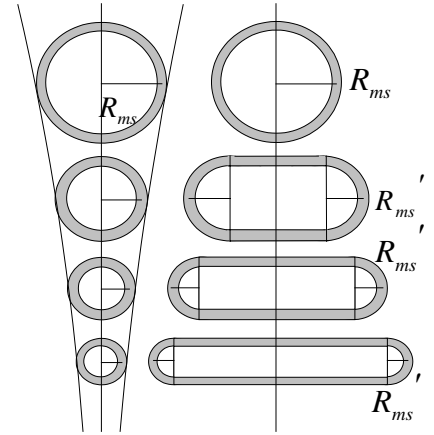


図 2 鋼管の変形形状遷移イメージ

R	tp		tr	
	4,5,6,7	10,20,30,40	10,20,30,40	15,25,35,45
70	4,5,6,7	10,20,30,40	10,20,30,40	15,25,35,45
80	4,5,6,7	15,25,35,45	15,25,35,45	15,25,35,45
95	8,10	15,25,35,45	15,25,35,45	15,25,35,45
110	8,10	15,25,35,45	15,25,35,45	15,25,35,45

単位 (mm)

図 3 緩衝材の寸法及び形状

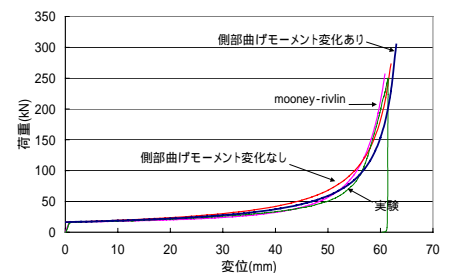


図 4 70×4 鋼管のみ荷重-変位関係

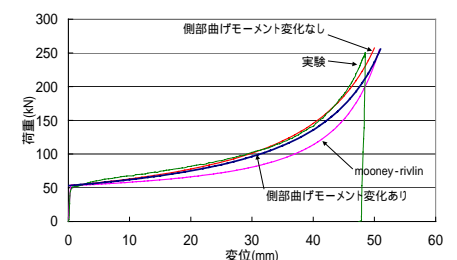


図 5 70×7 鋼管のみ荷重-変位関係

キーワード：緩衝装置、鋼管、ゴム管、桁衝撃、免震橋

連絡先：武蔵工業大学工学部都市基盤工学科 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 Tel&Fax：03-5707-2226

わせることによって、徐々に平均半径 R_{ms} が小さい鋼管に変遷していくと仮定する．これにより、荷重 P と変位 の関数として扱うことができ、鋼管の曲げ変形特性をモデル化することができると考えた．鋼管の上下部を荷重 P で载荷して塑性変形したときの側部曲げモーメントに着目し、リングの公式と断面係数 W を用い降伏荷重 P_y から降伏応力 σ_y を求める．次に、変位 の $1/2$ を平均半径 R_{ms} から引いた値を R_{ms}' とし、降伏応力 $\sigma_y = M_y / W$ とリングの公式 $M = 0.1817 P R_{ms}'$ 、断面係数 $W = t_p^2 H / 6$ (t_p : 鋼管厚、 H : 長さ) より次式を求めた．

$$P = \frac{\sigma_y t_p^2 H}{6 \times R_{ms}' \times 0.1817}, R_{ms}' = R_{ms} - \frac{\Delta}{2} \quad \dots (1)$$

式(1)より鋼管の荷重-変位関係を表現すると、厚い鋼管の場合は、良く近似できる．しかし、鋼管厚が小さくなると誤差が増大し、以前までのM-R式モデルの方が精度良く近似できる．薄い鋼管で誤差が大きくなる理由として、図-2で、荷重载荷盤と接する面の長さ L が増加すると側部曲げモーメントが徐々に $M = 0.5 P R_{ms}'$ に近づき、そのため、鋼管自体が弱くなっていることがあげられる．そこで、側面の曲げモーメントの影響と径厚比を考慮したモデルを次式のように作成した．

$$P = \frac{\sigma_y t_p^2 H}{6 \times R_{ms}' \times (0.1817 + M')} \quad R_{ms}' = R_{ms} - \frac{\Delta}{2}$$

$$M' = \frac{1}{700} * \frac{L}{t_p} \quad L = \frac{\Delta}{2} * \pi \quad \dots (2)$$

図-3に示した試験体の実験結果を用いて、式(1)、式(2)、M-R式より表現した鋼管の荷重-変位関係モデルを図-4、5に示す．式(2)は、式(1)に比べて実験値をより精度良く表現できた．また、管厚が小さい鋼管の荷重-変位関係においてもM-R式で表現したモデルと比べて、同程度の精度で近似できている．図-6、7の鋼管の変位-エネルギー吸収量関係についても、(2)式は、M-R式から表現したモデルに比べ実験値をより精度良く表現できることが判る．

5. ゴム鋼併用型耐震緩衝装置の荷重-変位関係への適用

図-8、9に改善した鋼管の曲げ変形特性を組み込んだゴム鋼併用型耐震緩衝装置の荷重-変位関係モデルとM-R式でのモデルを比較して示す．以前のモデルに比べ、改善したモデルの方が降伏後の変位に対し荷重が急激に立ち上がる付近までは、実験値を精度よく近似している．そして、図-9のように径厚比の小さい鋼管では、以前のモデルより精度が増していることが明らかである．図-10、11のエネルギー吸収量に関しても、M-R式で表現したモデルに比べ実験値をより精度良く表現している．

6. おわりに

本論文で提案した改善後の鋼管の曲げ変形特性を用いて、荷重-変位関係モデルの推定精度を向上することができた．

<参考文献>

- 1) 皆川勝, 藤谷健: ゴム鋼併用型耐震緩衝措置の開発に関する研究, 土木学会論文集, No.689/I-57, pp.343-353, 2001.10.

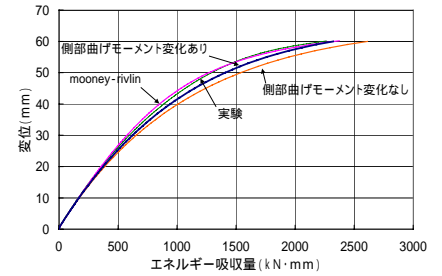


図 6 70×4 鋼管のみ変位-E 吸収関係

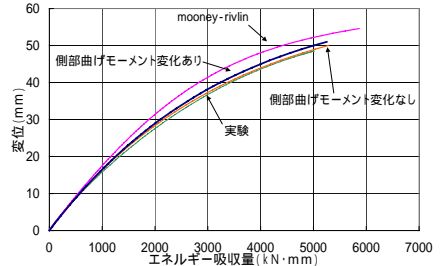


図 7 70×7 鋼管のみ変位-E 吸収関係

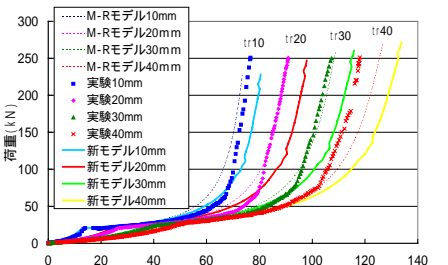


図 8 70×4 ゴム鋼荷重-変位関係

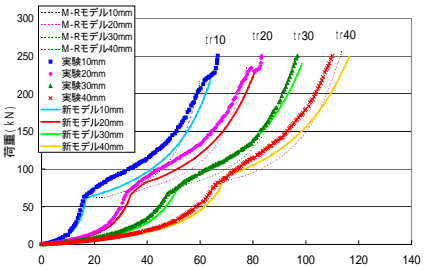


図 9 70×7 ゴム鋼荷重-変位関係

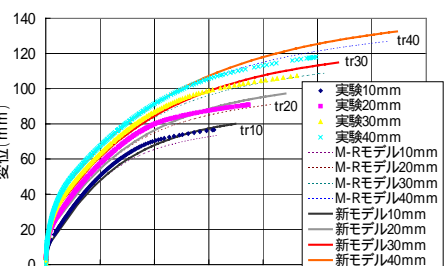


図 10 70×4 ゴム鋼・変位-E 吸収関係

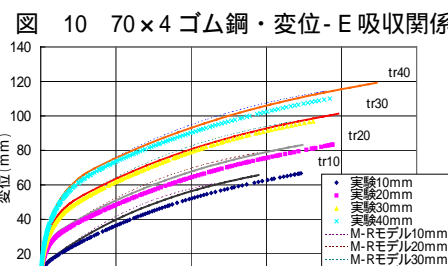


図 11 70×7 ゴム鋼・変位-E 吸収関係