

ゴム鋼併用型耐震緩衝装置の荷重-変位関係のモデル化更新

武蔵工業大学 学生会員 石黒 聡 鹿島建設（株） 正会員 土井 雄司
 武蔵工業大学 正会員 皆川 勝 武蔵工業大学 学生会員 村田 昌祥
 武蔵工業大学 正会員 佐藤 安雄 武蔵工業大学 横内 良昭

1. はじめに

皆川らは落橋防止装置の緩衝材としてゴム管と鋼管を併用することに着目し、高いエネルギー吸収性能や衝撃荷重の低減効果、繰り返し衝突に対する安定した緩衝性が得られると考え、限定的な適用範囲ではあるが荷重-変位関係を予測できるモデルを構築した^{1),2)}。

本研究では緩衝装置をより柔軟に設計できるように、緩衝装置に用いるゴム管及び鋼管の寸法を変化させてパラメトリックに実験を行い、精度良く荷重-変位関係を推定できるモデルを再構築した。これにより、緩衝装置が有するエネルギー吸収量、衝突力の低減効果や衝撃緩衝効果をあらかじめ把握でき、また、緩衝装置の衝撃緩和効果を動的解析で検証する際に緩衝材の荷重-変位関係を精巧に再現することが可能となる。

2. 実験方法

本研究で想定しているゴム鋼併用型耐震緩衝装置は、鋼管の外側にゴム管を巻いた形式の緩衝装置であり、鋼管の材質はSTKM13A、ゴムの材質はクロロプレンゴム(硬度 60±5)としている。図-1 に寸法及び形状を示す。

万能試験機を用いた静的圧縮試験を行い、変位と荷重の測定にはレーザー変位計、荷重計を使用した。

3. 荷重-変位関係のモデル化とその検証

ゴム鋼併用の緩衝装置の荷重-変位関係に影響を与える要因としては、以下に示す5つが挙げられる。これらの基礎的特性より、提案した緩衝装置の荷重-変位関係をモデル化する。

1) ゴム管の圧縮変形特性 ゴムの厚さ方向の圧縮変形である。文献²⁾と同じであるため、概説のみとする。ただし、Mooney-Rivlinの式³⁾において材料定数をゴム厚が最小で管としての曲げ抵抗がほとんどないと考えられる。内径 110mm、ゴム厚 15mm の試験体について最小二乗法を適用して算出したパラメータを使用した。(図-2)

2) ゴム管の曲げ変形特性 荷重載荷段階でゴム管側部が示す曲げ抵抗である。本特性ではゴム管内部がほぼ接触するまでの変位を考えている。得られた結果を図-3に示す。同図より、それぞれの直線がほぼ同一直線上にあることから、 $\sigma_r = 3.2 \cdot \varepsilon_r$ とゴム管の曲げ変形特性をモデル化することとした。 σ_r はゴム管の曲げ応力、 ε_r はひずみ（ゴム管内部がほぼ接触するまでの範囲）である。ここで、厚さの薄いゴムほどバラツキがあり、モデルの精度が悪く見える。これは、ロードセルの分解能が粗く、剛性の低い試験体においてはバラツキが生じてしまうことによるものであり、影響は大きくないと考える。

3) 鋼管の曲げ変形特性 鋼管の降伏後の無次元荷重とひずみの関係がゴムと同様の傾向を示していることから、Mooney-Rivlinの式³⁾が援用できる。無次元荷重の算定は、曲げ応力を降伏応力で除することにより得られる。図-4より実験結果を一見良く近似できていることがわかる。しかし、図-5に示すように、鋼管の強度が高くなり過ぎる

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

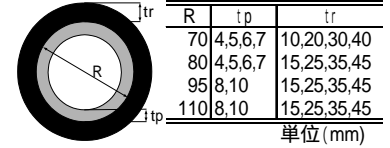


図-1 緩衝材の寸法及び形

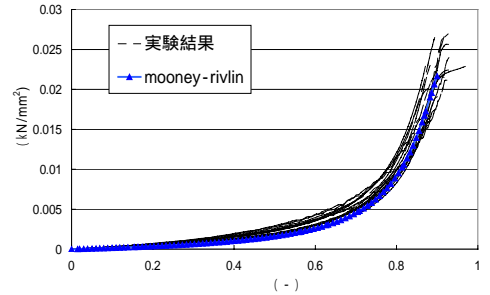


図-2 鋼柱を挿入したゴム管の

応力-ひずみ関係

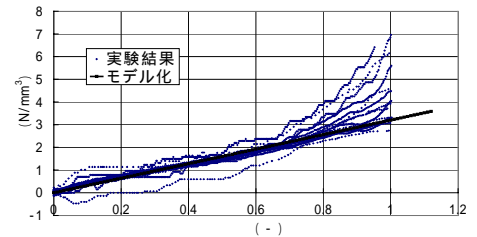


図-3 ゴム管単体の無次元荷重-ひ

ずみ関係

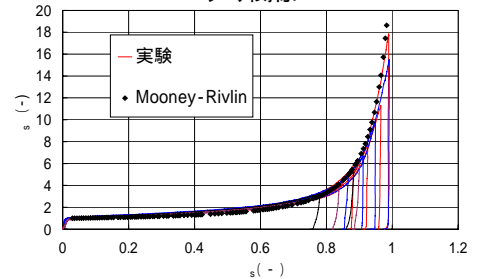


図-4 鋼管の無次元荷重-ひずみ

関係

と降伏付近に違いが生じていることが分かる．比較的強度の鋼管については精度よくモデル化できていることが検証されたが、それ以外の部分については今後の検討課題といえる．

4) ゴムから鋼管の伝達力 外側のゴム管に載荷された荷重が内部の鋼管に伝達される際に力は分布する．そのことから鋼管の曲げ変形特性に影響が生じ、ゴム管が厚くなるほど降伏荷重が上昇するという現象が生じる．この現象を把握するため、皆川らは分布特性を線形荷重であると仮定してモデルを作成していたが、鋼管の寸法を種々変化させた緩衝材に適用したところ、精度が著しく低下した．そこで、本研究では荷重の分布特性を以下の実験及び解析によって厳密に測定し、モデルを再構築した．

伝達力の測定には、超低圧用、低圧用、中圧用の三種類の感圧紙を使用し、分布幅を感圧紙の発色状況から特定し、力の大きさを色の濃淡のデジタル処理により算出した．測定結果と、図-6に示す皆川らの分布幅予測モデルで算出される分布幅との相関図から分布幅予測モデルの妥当性は検証された．本モデルは式(1)により表すことができる．

分布幅の特定には超低圧用の感圧紙による測定結果を用いている．図-7に示すように頂上部での圧力の大小に関わらず分布端では同じ圧力レベルで発色する．つまり、頂上部で大きな圧力が作用する試験体と頂上部で小さな圧力しか作用しない試験体では、分布端で示す発色による圧力の大きさの重要度が異なることになる．そこで、式(1)の伝達荷重分布角度 α_t を式(2)によって補正した．

$$\alpha_t = \cos^{-1} \frac{R_0 - \frac{\Delta}{2}}{R_0} \dots(1) \quad \alpha' = \alpha_t \frac{0.6}{\varepsilon} \dots(2)$$

ここで、 Δ はゴムのひずみ量である．本式は、ひずみが大きくなると全体の圧力が高くなることを考慮し、分布幅を調整する式である．

鋼管の円周方向に遷移する圧力と \sin^2 の式をそれぞれの分布端で揃え、照らし合わせることで分布形状は \sin^2 の式で表現できることが分かる．(図-8)

5) ほぼ直方体につぶれたゴムの圧縮変形特性 文献2)と同じである．

4. 結論

載荷時の荷重-変位関係を 1)~4)の関係を用いて予測し、結果を図-9に示す．修正した荷重-変位モデルの妥当性を検証したところ、鋼管が降伏するまでの精度はかなり上昇することが分かった．また、その後の挙動についても、鋼管の強度が比較的小さい試験体に限り誤差を小さくできることが分かった．以上のことから、再構築した荷重-変位モデルの妥当性は検証され、ゴム及び鋼管の基本特性から荷重-変位関係を推定できることが示された．

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.
 2)土井雄司, 皆川勝: ゴム鋼併用型耐震緩衝装置の荷重-変位モデルの適用性検証. 第 29 回関東支部技術研究発表会公演概要集, p92-93, 2002.3. 3)潤田久也, 川島一彦, 庄司学, 須藤千秋: 高面圧を受ける直方体ゴム製耐震緩衝装置の圧縮特性の推定法に関する研究, 土木学会論文集, No.661/I-53, pp.71-83, 2000.10.

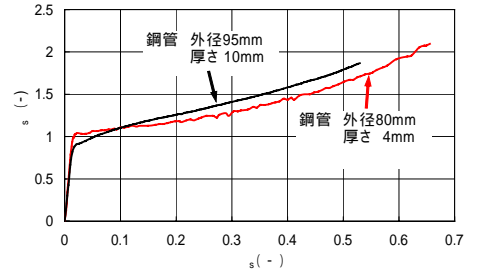


図-5 降伏現象の違い

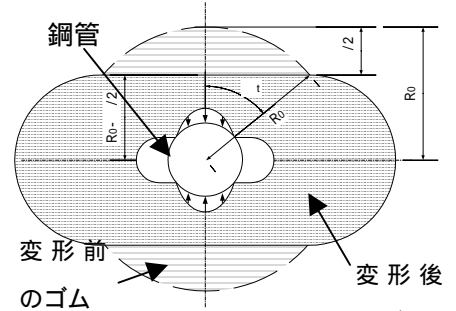


図-6 分布幅予測モデルのゴム

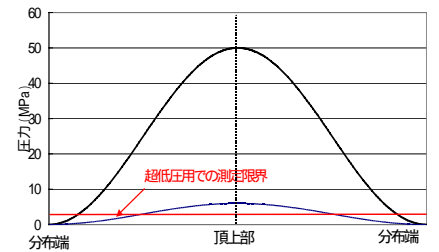


図-7 分布端での発色の違い

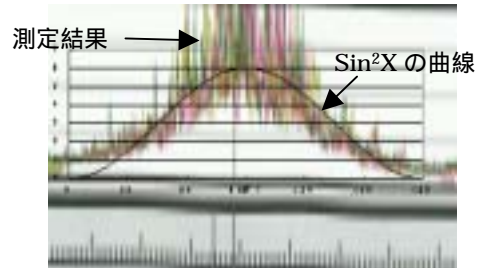


図-8 分布形状の比較

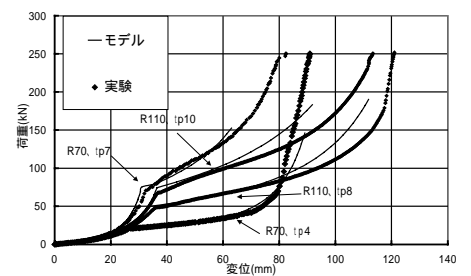


図-9 載荷時の荷重-変位関係の予測値と実験値の比較