

ゴム鋼併用型耐震緩衝装置の荷重-変位関係のモデル化

武蔵工業大学 正会員 皆川 勝
 (株)荏原製作所 正会員 藤谷 健
 武蔵工業大学 学生会員 高崎 太一

1. はじめに

本研究では落橋防止装置の緩衝材として、鋼管を用いることに着目し、その基礎特性を実験及び解析によって検討した。その結果、鋼管はエネルギー吸収効果、衝突力の低減効果が大きく、緩衝材として期待できることがわかった^{1),2)}。さらに免震橋に直方体ゴム又は鋼管を緩衝装置として設置した場合の効果を確認するために非線形応答解析を行ったところ、鋼管を単独で緩衝装置として用いると圧壊後の衝突力が急激に増大してしまう欠点の確認された³⁾。そこで、鋼管の圧壊近傍での過度の反力を抑えるために、ゴムと鋼管を併用した緩衝装置を考案し、静的圧縮試験により検討した。そして、鋼管の外側にゴム管を巻く形式の緩衝装置の有効性を示すと共に、その荷重-変位関係をゴム管及び鋼管の基本特性から推定するモデルを構築し、実験結果からその妥当性を検証した。

2. 実験概要

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ブレンゴム(硬度 60 ± 5)としている。図-1 に寸法及び形状を示す。図-2 に示すように万能試験機を用い静的圧縮試験を行った。測定にはレーザー変位計、荷重計を使用し、除荷後再び載荷を行った。また、比較のため鋼管のみの実験も行った。

3. 実験結果

図-3に実験より得られた荷重-変位関係を示す。図-3より、変形形状の推移は以下の3つに分けられる。(Phase Ⅰ)降伏まではゴムのみが変形しており、剛性は低い。(Phase Ⅱ)降伏時の変位はゴム厚にほぼ比例し、降伏荷重はゴム厚が厚いほど上昇している。また鋼管の降伏後の剛性もゴムの影響を受けて上昇する。(Phase Ⅲ)荷重250kN近傍で、鋼管は完全に圧壊するが、直方体形につぶれたゴムの圧縮変位の復元と再変形が生じる。図-4、図-5に荷重-吸収エネルギーの関係、変位-吸収エネルギーの関係を示す。図-4、図-5よりゴム鋼併用タイプは鋼管のみの場合と比べて初期からゴムによってエネルギーを吸収し、荷重値の上昇を抑制している。このことから、鋼管の外にゴムを巻いた形式の緩衝装置を、鋼管の高いエネルギー吸収性能を利用しつつ、載荷初期の鋼管の降伏や衝突力の増大を抑制し、更に、鋼管の圧壊後にもある程度のエネルギー吸収性能と耐衝撃性を保有できる新たな緩衝装置として提案する。

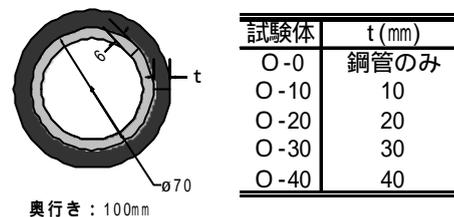


図-1 ゴム鋼併用型耐震緩衝装置の寸法及び形状

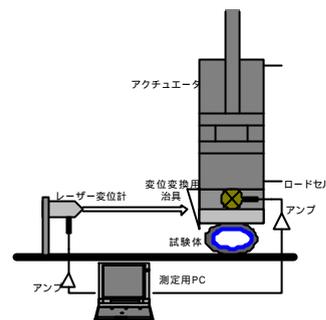


図-2 載荷装置概要

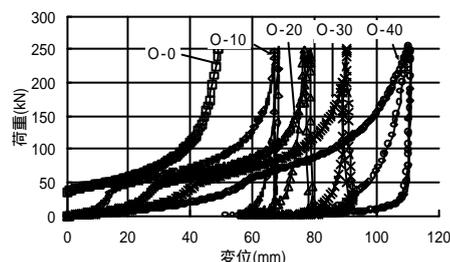


図-3 ゴム鋼併用型耐震緩衝装置の荷重-変位関係

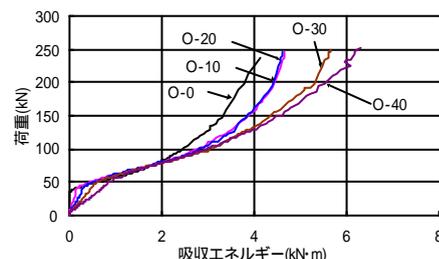


図-4 荷重-吸収エネルギー関係

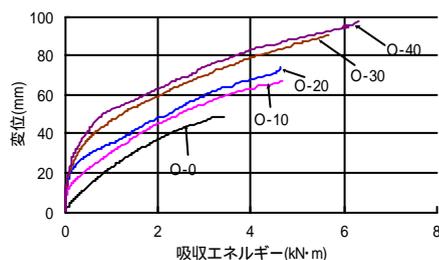


図-5 変位-吸収エネルギー関係

キーワード：緩衝装置、ゴム管、鋼管、桁衝撃、免震橋

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

4. 荷重-変位関係のモデル化とその検証

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と共に、その妥当性を検証した。

- 1) ゴム管の圧縮変形特性は、ゴム管の中に鋼柱を挿入した試験体の静的圧縮試験から得られ、応力-ひずみ関係は Mooney-Rivlin⁴⁾の式よりモデル化できる。(図-6)
- 2) ゴム管の曲げ特性は、ゴム管単体の静的圧縮試験から得られ、ゴム管内部がほぼ接触するまで若干の曲げ抵抗を示した後、ゴムは直方体に近い形となり、これの圧縮変形に移行する。ゴム管の曲げ抵抗によって見かけ上荷重は増加する。(図-7)
- 3) 鋼管の圧縮変形特性は、図-3 に示したように降伏後の荷重増加分と塑性変形関係が、ゴムと同様の傾向を示していることから、Mooney-Rivlin の式が適用できる。(図-8)
- 4) ゴムから鋼管へ伝達される力は、リングの公式⁵⁾より鋼管へ伝達される荷重が集中荷重から分布荷重と変わることにより見かけ上鋼管の降伏荷重が増加する。またゴム厚が増すほど、荷重分布範囲が広がるので鋼管の降伏荷重も増加しているのが図-3 よりわかる。
- 5) ほぼ直方体形状につぶれたゴムの圧縮変形特性はゴム管単体の静的圧縮試験の結果から、鋼管が圧壊した後の除荷時及び再載荷時のゴムの変形特性より評価する。ゴム管の内径の93%~98%程度まで変形した時点を目安として、応力-ひずみ関係を Mooney-Rivlin の式からモデル化できる。

載荷時の荷重-変位関係を1)~4)の関係を用いて予測し、除荷時と再載荷時の荷重-変位関係を5)より予測した。結果を図-9、図-10に示す。

5. おわりに

得られた結論を以下に示す。

- ・ ゴムを鋼管外側に巻くことで衝突力を低減しつつ、高いエネルギー吸収性能を発揮させることができることから、新たな形式の緩衝材として提案する。
- ・ ここで提案した緩衝材の荷重-変位関係を Mooney-Rivlin 式等をもとにしたモデルで精度良く予測することが可能であることを示した。

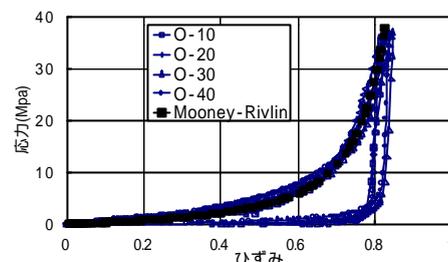


図-6 鋼柱を挿入したゴム管の
応力-ひずみ関係

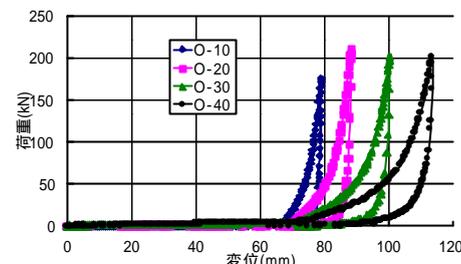


図-7 ゴム管単体の荷重-変位関係

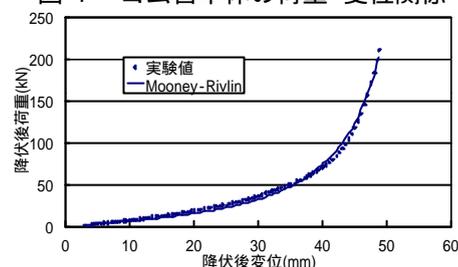


図-8 鋼管単体の
降伏荷重増加分-変位関係

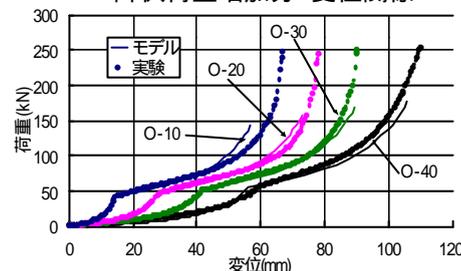


図-9 載荷時の荷重-変位関係の
予測値と実験値の比較

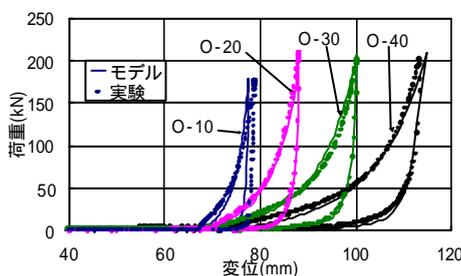


図-10 除荷時と再載荷時の
荷重-変位関係の予測値と実験値の比較

<参考文献>

- 1) 都築昭夫, 長嶋文雄, 中田宏治, 金子修, 大竹省吾: 鋼製緩衝材の荷重変形特性に関する実験的検討, 鋼構造年次論文報告集, 第7巻, pp.9-14, 1999.11.
- 2) 長嶋文雄, 皆川勝, 島田泰至, 寺尾圭史, 佐藤豪: 鋼製緩衝材の荷重変形特性に関する解析的検討, 鋼構造年次論文報告集, 第7巻, pp.15-22, 1999.11.
- 3) 皆川勝, 藤谷健, 高寄太一, 長嶋文雄: ゴム又は鋼管製緩衝装置を有する免震橋の地震時挙動に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, 第8巻, pp.163-170, 2000.11.
- 4) 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, Vol661/I-53, pp.71-83, 2000.10.
- 5) 土木学会: 構造力学公式集, pp.407-408, 1986.6.