


(I -48) 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

○武蔵工業大学 学生会員 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 高寄 太一
 武蔵工業大学 非会員 渡辺 淳史

1. はじめに

皆川ら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、鋼管を単独で用いると圧壊後の衝突力が急激に増大してしまう欠点が確認された³⁾。しかし鋼管の外側にゴムを巻くことにより、鋼管の圧壊後も衝突力が抑えられることがわかった⁴⁾。本研究では、緩衝装置の鋼管の寸法を変化させ、それらの静的圧縮試験を行い緩衝装置の有効性を示す。ゴム管及び鋼管の基本特性から荷重・変位関係を推定するモデルを再構築し、実験結果からその妥当性を検証した。



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

単位(mm)

図-1 緩衝材の寸法及び

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。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。変位と荷重の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。

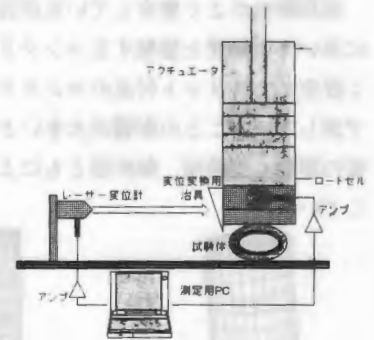


図-2 載荷装置の概要

3. 実験結果

図-3 に実験より得られた荷重・変位関係の一部を示す。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 に変位・吸収エネルギーの関係を示す。この図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されたものである。

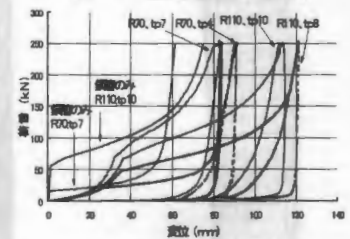


図-3 緩衝材の荷重・変位関係

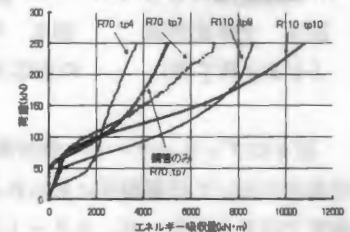


図-4 荷重・エネルギー吸収関係

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. 解析結果および考察

図3に実験で得られた交番載荷 $4\delta y$ までの水平荷重-変位曲線の包絡線と解析で得られた水平荷重-水平変位曲線の包絡線を示す。

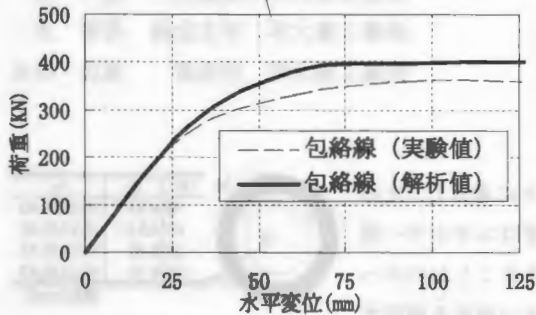


図3 荷重-変位曲線

初期剛性がよく整合している原因としては、解析において内鋼管と接触するコンクリートの剛性を低く設定し、スリット付近のコンクリートをバネ要素で表していることの影響が大きいと思われる。降伏後の挙動も実験値、解析値ともによく似た傾向を示している。

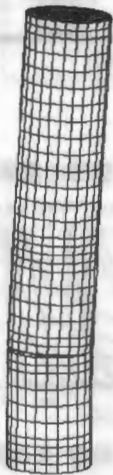


図4 全体変形図
($4\delta y$ 終了時)

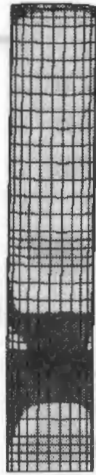


図5 外鋼管(圧縮側)
の主応力($4\delta y$ 終了時)

図4はプッシュオーバー解析後の変形図である。柱基部においては鋼製柱に見られるような座屈は外鋼管では見られないが、スリット近傍での変形は大きい。しかしながら、外鋼管スリット下側で円周方向のひずみが一部塑性域に入るものの、上側では塑性ひずみは観察されなかった。図5は外鋼管の主応力分布図を表している。外鋼管のスリット部に設け

たバネ要素により、スリット上部の応力を下部に伝達していることが観察できる。図6は内鋼管の変形図および塑性ひずみ分布である。内鋼管はスリットのある位置で大きく変形している。このため、塑性ひずみもその近傍に集中している。全体的な力学挙動は内鋼管とその周りのコンクリートの剛性に依存していることが分かる。

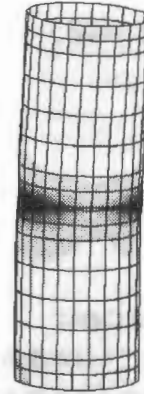


図6 内管の塑性ひずみ分布
充填鋼管柱の全体
($4\delta y$ 終了時)
変形が大きい割に

は、内鋼管の塑性ひずみがそれ程大きくならないことと損傷の大部分が内鋼管下端部のコンクリートであることから、柱の形状を元に戻し損傷したコンクリート部分に部分充填を施し、鋼板巻き付け等の補強を行えば、柱としての再利用が可能になると思われる。

5. まとめ

- ① 終局限界状態においては充填コンクリート鋼管の外鋼管は、ジャケット部より下部で若干塑性ひずみが見られるが、上部では塑性域まで達することはない、コンクリートが充填されていない鋼製柱で見られるような外鋼管全体の座屈現象は観察できなかった。このことよりジャケット継手部の十分な変形性能が確認できたものと思われる。
- ② 実験値と解析値の比較から、本論文で提案した解析モデルの妥当性についても確認できた。
- ③ 繰り返し挙動時の履歴曲線から判断する限り、ジャケット継手の損傷後の補修はコンクリートの再充填と鋼板あるいはFRPシートの巻き付けにより容易に行えると考えられる。

参考文献

- 1) 遠藤学史, 堀地紀行, 保坂鐵矢, 依田照彦: 充填鋼管ジャケット継手構造の静的挙動に関する数値解析的研究, 第28回関東支部技術研究会講演論文集, I-21, pp. 42-43, 2001.
- 2) 築嶋大輔, 野澤伸一郎, 鷹野秀明, 木下雅敏: コンクリート充填鋼管柱のソケット式接合部の耐力評価について, 土木学会第52回年次講演会, Vol. 224, pp. 448-449, 1997.

4. 荷重-変位関係のモデル化と検証

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-Rivlin** の式よりモデル化できる。(図-5)

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-6)

3) 鋼管の曲げ変形特性は、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** の式が適用できる。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-7)

4) ゴムから鋼管へ伝達される力は、リングの公式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ことを用いて評価した。ゴム厚が増すほど、荷重分布範囲が広がることから鋼管の降伏荷重も増加する。

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-8、図-9に示す。

5. 終わりに

皆川らが提案した荷重-変位モデルが種々の寸法の緩衝材に適用できるか検討した。その結果、伝達特性による荷重の増加の影響と再載荷時と除荷時のモデルについて一部表現できていないが、その他の特性については本論文で提案した修正モデルで十分表現できることを示した。

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) 皆川勝, 藤谷健: ゴム鋼併用型耐震緩衝装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.
- 5) 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, Vol.661/I-53, pp.71-83, 2000.10.
- 6) 土木学会: 構造力学公式集, pp.407-408, 1986.6.

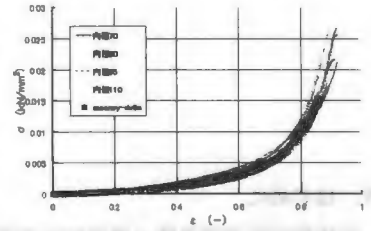


図-5 鋼柱を挿入したゴム管の応力-関係ひずみ

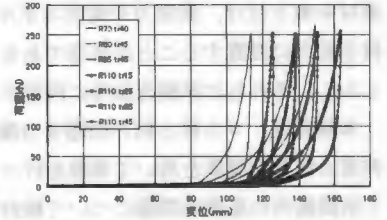


図-6 ゴム管の荷重-変位関係

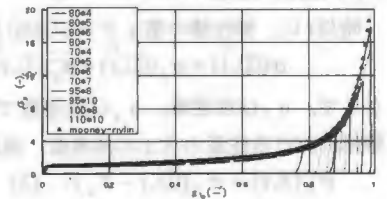


図-7 鋼管単体のモデル化

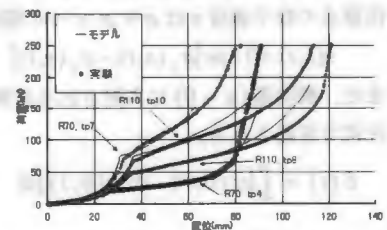


図-8 載荷時の荷重-変位関係の予測値と実験値の比較

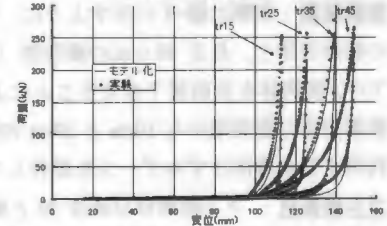


図-9 除荷・再載荷時の荷重-変位関係の予測値と実験値の比較