

滑動と回転を利用した地下構造物中柱用免震装置の性能確認実験

東海ゴム工業産業資材事業部 正会員 山田 博
 熊谷組技術研究所 正会員 鈴木 猛康、金子 誉
 日本大学土木工学科 フェロー会員 田村 重四郎
 東京大学生産技術研究所 正会員 小長井 一男

1 はじめに

地下構造物の中柱の破壊は致命的な破壊モードを導くため、地下構造物の地震時安全性を確保するためには中柱の健全性の確保が不可欠である¹⁾。筆者らは、適度な回転剛性を中柱上下端に与えることで、構造物の地震時断面力をピン構造と同等に低減できること²⁾、ならびに中柱上下端を完全にピン構造とするのではなく、中柱の転倒モーメントに相当する復元モーメントを付与することが、地下構造物の中柱用免震装置として極めて重要であることを示し、このような機能を有する中柱用免震装置を提案してきた³⁾。本稿では、筆者らが開発した滑動と回転を利用したピン構造型の免震装置について性能確認実験を実施したので、その結果を報告するものである。なお、褶動面の滑動ならびに回転変形に関する性能確認実験は既に実施、報告済みであるので³⁾、復元部材の性能確認実験に焦点を当てて報告する。

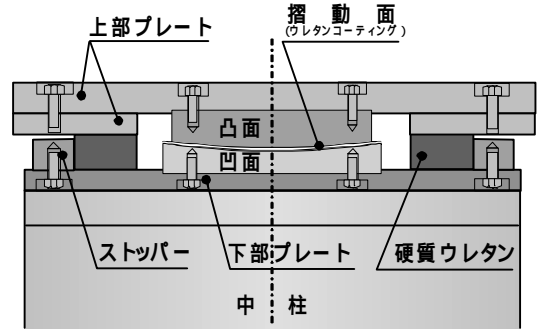


図 - 1 滑動と回転を利用した免震装置

2 装置の概要

図 - 1 に装置の構造を模式的に示す。本装置は、中柱上下端に設置する装置である。ウレタンゴムの薄いフィルムでコーティングされた金属曲面（褶動面）の滑動と回転によって、変位吸収を可能にしている。ある程度の軸力が作用すれば、褶動面の摩擦は極めて小さいため、中柱上下端の相対変位に伴って、装置は滑動と回転変形を呈するとともに、褶動面の両側に配置した硬質ウレタン製の復元部材の圧縮変形に応じた復元モーメントが発生する。図 - 2 は、水平面を保持しながら水平方向に u だけ中柱を強制変形させた際に、免震装置に発生する滑動と回転を模式的に示したものである。図のように、褶動面において滑りが発生すれば、2つの免震装置滑動面の円中心を結ぶ直線上の位置に中柱の中心線が移動するため、免震装置の滑動と回転は、図のように一義的に決まる。

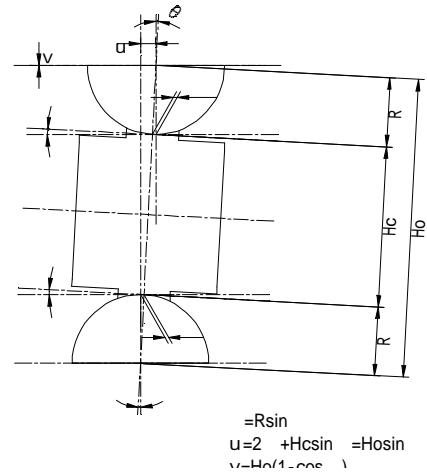


図 - 2 滑動・回転併用の免震装置の変形状態

3 性能確認実験の方法と結果

地下鉄駅舎に採用する程度の中柱を想定し、1/2スケールの免震装置ならびに中柱模型を試作した。ただし、中柱の長さは、加力装置の制限から、実寸法の約1/6に相当する350mmとした。復元部材は寸法が幅40mm、長さ181mm、高さ20mmであり、上層10mmが硬度Hs95の硬質ウレタン、下層がSS400の鋼板の2層構造で構成されている。なお復元部材は、下層が下部プレートと水平方向に固定され、上層はウレタン面に滑動剤を塗布して上部プレートと水平方向に移動できるよう配置されている。

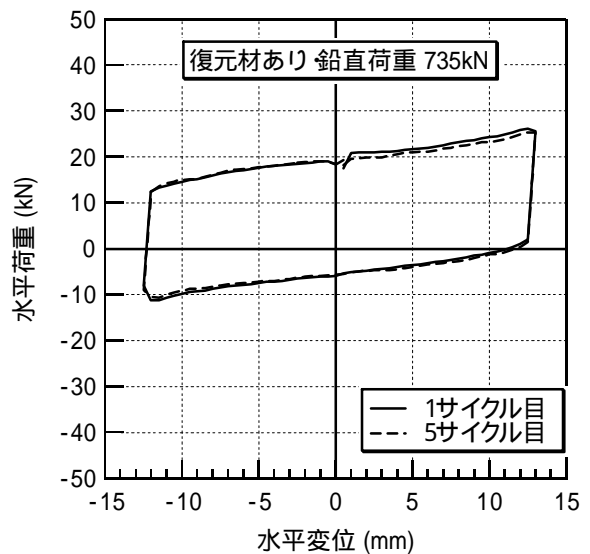


図 - 3 水平荷重～水平変位履歴特性

キーワード：地下構造物、中柱、免震装置、実験

連絡先：〒485-8550 愛知県小牧市3丁目1番地、Tel:0568-77-2137, Fax:0568-73-4160

この模型に対して、鉛直荷重を作用させながら水平変位を振幅1.3mm、載荷速度1mm/secで5サイクル強制的に作用させたときの水平変位、鉛直変位ならびに水平荷重を測定した。なお、載荷ケースは、鉛直荷重を490kN(50tf)、735kN(75tf)、1470kN(150tf)、1960kN(200tf)、2450kN(250tf)の5種類変化させた5ケースと復元部材を除いた装置を用いて2450kN(250tf)の鉛直荷重を作用させたケースの合計6ケースである。

図-3に鉛直荷重735kNのケースについて水平荷重～水平変位の履歴関係を示す。図中の実線は1サイクル目の履歴、破線は5サイクル目の履歴を示している。図のように、典型的な摩擦型支承の履歴が得られている。わずかながら右肩あがりの傾きを有していることから、転倒モーメントをわずかに上回る復元モーメントが得られていることがわかる。

4. 考察

実験より得られた水平荷重～水平変位特性の5サイクル目の履歴に関し、正のy切片と負のy切片との差の1/2を免震装置1基当たりの摩擦力 S_F とし、この摩擦力を鉛直荷重との関係でまとめ図-4に示した。図のように、復元部材ありの5ケースの実験結果はほぼ直線上に分布している。復元部材のないケースでは、得られた摩擦力に復元部材の底面における滑動の影響が含まれていないので、純粋な褶動面の摩擦力が得られている。復元部材ありのケースとなしのケースの差はわずかであり、復元部材の影響は小さいことがわかる。

一方、各実験ケースにおける5サイクル目の履歴の傾きを求め、作用させた鉛直荷重との関係を図-5にまとめた。図のように、軸力が1700kNを超える領域では、履歴の勾配が負となり、中柱に対して転倒方向のモーメントが作用することになるが、復元部材のないケースにおける幾何学形状に起因する純粋な転倒モーメントと比較すれば、負の勾配は圧倒的に小さいことがわかる。図中の復元部材なしのケースでの負の勾配 K_0 が、この純粋な転倒モーメントに相当する勾配であり、これと復元部材ありとの差が、復元部材によって得られた正の勾配 K_R である。したがって、ウレタン部材の材質と厚みを調整することにより、転倒モーメントを打ち消すだけの復元モーメントを付与することが十分可能であることが示された。

5. まとめ

滑動と回転を利用したピン構造型の中柱用免震装置に関し、復元部材の性能確認を目的とした載荷実験を実施した。その結果、復元部材の褶動摩擦は小さく、中柱の転倒モーメントに相当する復元モーメントを、硬質ウレタンの物性と厚みを調整することで、付与できることが検証できた。

参考文献

- 1) Suzuki, T.: Damages of urban tunnels due to the Southern Hyogo Earthquake of January 17, 1995 and the evaluation of seismic isolation effect, CD-ROM of the 11WCEE, Acapulco, Mexico, 1996.
- 2) 金子他：複円形シールドトンネルの中柱免震装置の要求性能に関する考察，トンネル工学研究論文・報告集，pp.63-70，1998．
- 3) 鈴木他：地下構造物中柱免震装置の基礎実験、第25回地震工学研究発表会、pp.749-752, 1999.

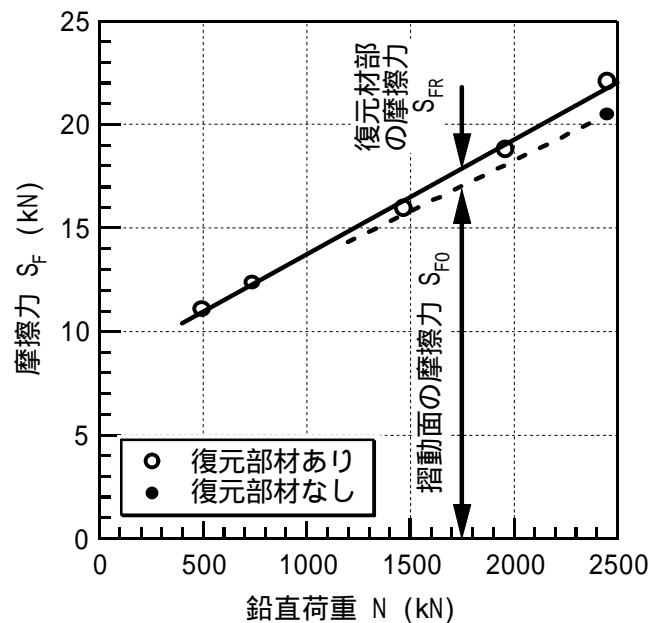


図-4 免震装置の摩擦力と鉛直荷重の関係

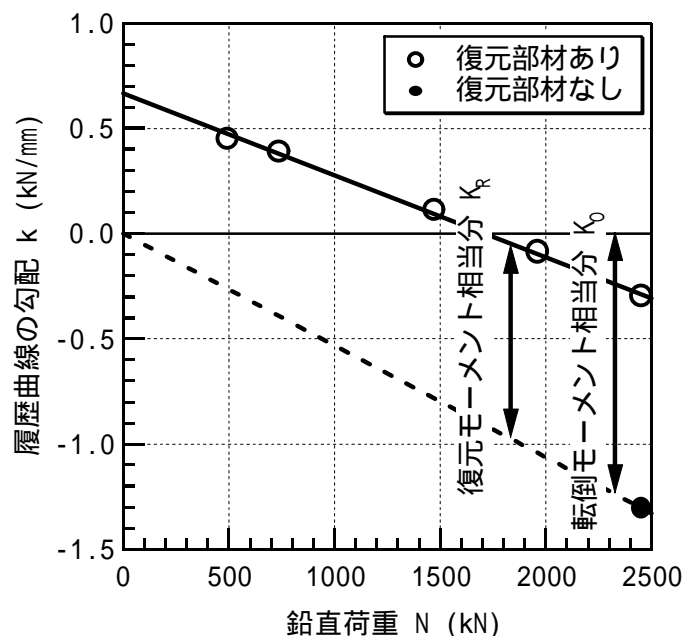


図-5 履歴の勾配と鉛直荷重との関係