

形状復元力を利用した地下構造物中柱用免震装置の復元力特性

熊谷組技術研究所	正会員	金子 誉
熊谷組技術研究所	正会員	鈴木 猛康
住友ゴム工業	正会員	松本 達治
日本大学土木工学科	フェロー	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

筆者らは、地下構造物の中柱に適用する免震装置として、偏心を伴う常時鉛直荷重の支持性能、大地震時の変位吸収性能に優れ、かつコンパクトな装置を開発している。これまでに、数値解析を実施して免震装置の回転剛性に関する要求性能を明らかにしており、今回、縮小模型を用いた2軸載荷実験を行って、所期の性能を満足していることを確認したので以下に報告する。

2. 免震装置の回転剛性に関する要求性能

既報¹⁾では、幅約20m、高さ約8mの3心円シールドトンネルの中柱を対象とし、回転剛性の小さな免震装置を中柱上下端に設置することを想定して、L2地震動を対象とした数値解析を実施した。解析結果の一例として、免震装置の回転剛性とせん断力の低減効果の関係を図-1に再掲する。剛結のケースを基準として、中柱およびカモメ部のせん断力をそれぞれ1/5、1/2に低減することを目標とすれば、単位延長当りの免震装置の回転剛性を20,000 kN・m/rad/m以下にすべきとの結論であった。

次に、今回、2軸載荷試験²⁾を実施するにあたり対象とした中柱の諸元を表-1に示す。5mピッチで中柱を建込むことを想定しているため、免震装置の回転剛性に関する要求性能は「100,000 kN・m/rad以下」となる。なお、実験は1/6スケール模型を用いて実施しており、軸力、せん断力、および曲げモーメントの相似率はそれぞれ1/36、1/36、1/216である。

3. 免震装置による形状復元力

実験を実施した免震装置の構造は図-2に示す通りであり、このような免震装置を設置した中柱には形状復元力が図-3の模式図で示されるように発生する。図は中柱が一定軸力Pを支持しながら、せん断力Sを受けて相対変位uが生じた時のモーメントの釣合い状態を示している。すなわち、相対変位に相当する中柱の変形角 $\theta = u/H_0$ を免震装置で吸収しているが、その際に軸力Pの作用位置が上下で L_H だけシフトして、その偶力による復元モーメント $M_R = P \cdot L_H$ が中柱に生じるので、これと釣合うだけの転倒モーメント $M_0 = S \cdot L_V$ を与えるべくせん断力を加力することとなる。

4. 模型実験から得られた回転剛性

図-4は1/6スケール模型を用いた実験結果²⁾から、上記の相似率にしたがって実大サイズの免震装置の回転剛性へ換算した結果を示したものである。プロトタイプの場合(P=6,000kN、 $H_C=3.0m$ 、 $\theta=1/50$)の回転剛性は約1,400 kN・m/radであり、要求性能100,000 kN・m/radの1/70以下であって十分に性能を満足している。実験では、プロトタイプと同じ寸法の模型($H_C=3.0m$)で軸力Pや変形角 θ を変化させた9ケースについて行っており図-4に白抜きマークでプロットしている。軸力を大きくするほど免震装置の回転剛性は大きくなっており、形状復元力の特性がよく現われている。また、中柱の変形角を大きくするほど回転剛性は小さくなっている。これは、免震装置の変位吸収をスムーズに行なえるように支持壁と受圧板の硬度を意図的に変えているので、相対的に軟らかな受圧板側に弾塑性変形が生じるためである。

さらに、中柱の高さをプロトタイプの1/2としたケースについても、軸力と変形角を変化させた6ケース

キーワード： 地下構造物，中柱用免震装置，形状復元力，回転剛性

連絡先：〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪1043，電話 0298-47-7505，FAX 0298-47-7480

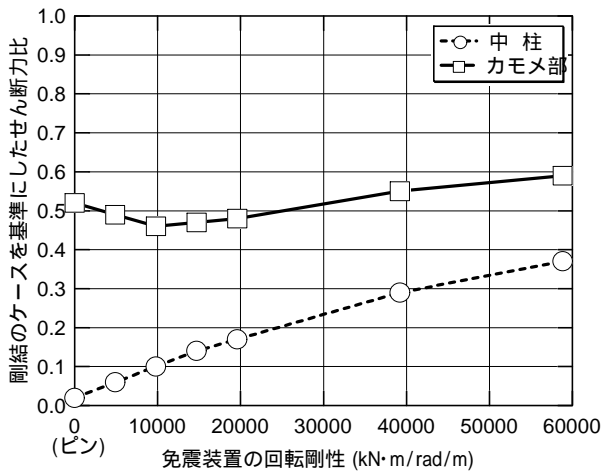


図 - 1 免震装置の回転剛性とせん断力低減効果¹⁾

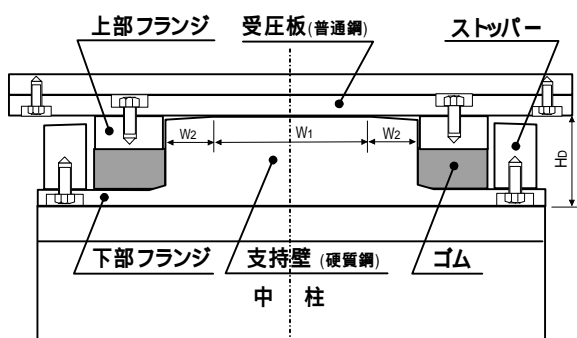


図 - 2 免震装置の構造と代表寸法

の実験を行っており図 - 4 に黒塗りマークでプロットしている。軸力と変形角が同じプロトタイプのケースと比較すると、柱高さを 1/2 とすることで免震装置の回転剛性は2~3 倍になっている。しかし、全ての実験ケースのうちで回転剛性が最も大きなケース ($P=10,000\text{kN}$ 、 $H_C=1.5\text{m}$ 、 $\theta=1/50$) でもただか 5,500 $\text{kN} \cdot \text{m/rad}$ であり、要求性能値の約 1/18 と十分な性能が得られている。これを図 - 1 にあてはめれば横軸は1,100 $\text{kN} \cdot \text{m/rad/m}$ であり、耐震解析において免震装置部分を完全なピン結合でモデル化しても数%以下の精度で地震時増分断面力を算定できるといえる。

5. まとめ

形状復元力を利用した地下構造物の中柱用免震装置の縮小模型を用いた2軸載荷試験を実施した結果、免震装置の回転剛性は実大サイズ換算で要求性能値の「100,000 $\text{kN} \cdot \text{m/rad}$ 以下」を十分に満足していることが確認できた。

参考文献

- 金子・鈴木・鄭・勝川・田村・小長井：複円形シールドトンネルの中柱に用いる免震装置の回転剛性に関する解析的検討，第34回地盤工学研究発表会，pp.1717-1718，1999。
- 松本・鈴木・金子：形状復元力を利用した地下構造物中柱用免震装置の性能確認実験，第55回年次講演会第 部門，2000

表 - 1 検討対象とした中柱・免震装置の諸元

中柱間隔		5 m	
中柱軸力 P		(10,000 kN) 6,000 kN (3,000 kN)	
中柱+免震装置の高さ H_0		3.000 m (1.500 m)	
装置高さ H_D		90 mm	
装置平面部幅 W_1		100 mm	
変形角 θ		1/50 (1/40,1/30)	
括弧内の数値は載荷実験のパラメータ			

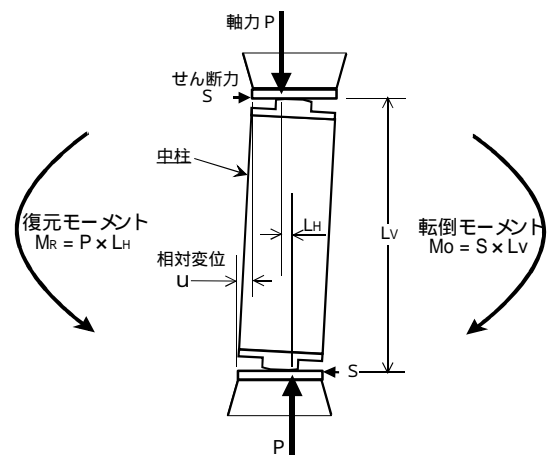


図 - 3 形状復元力の概念図

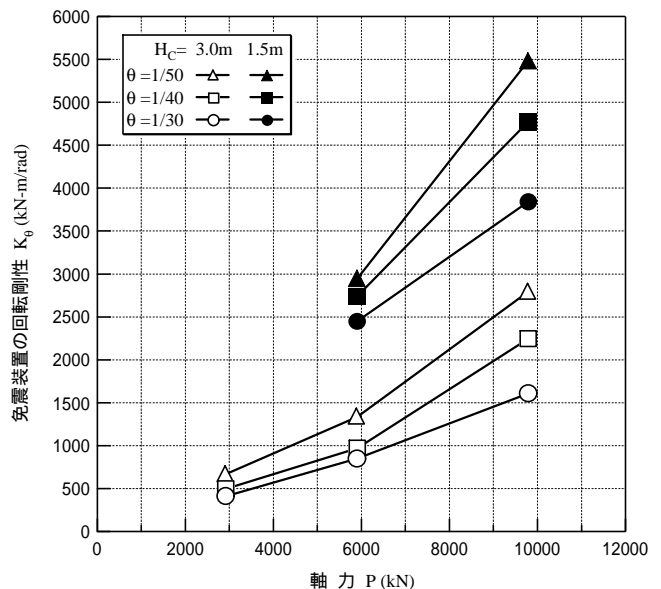


図 - 4 実験結果から換算した実大免震装置の回転剛