

I-11 トンネル中柱の免震装置の等価な剛性に関する検討

徳島大学大学院 学生員 ○小浴優 徳島大学工学部 正会員 三神厚
徳島大学工学部 正会員 澤田勉

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震では、それまで比較的耐震性が高いとされてきたトンネル構造物が甚大な被害を受けた。常時の上載土圧を中柱で支持している開削工法では、中柱の破壊はトンネルの崩壊につながる。崩壊を防ぐ目的でトンネル中柱端部に免震装置を装着する方法が三神ら¹⁾によって提案されているが、装置のメカニズムが複雑である。そこで、本研究ではこの免震装置の回転及び水平方向に対する剛性が簡単な関数で表現される等価なばねに置き換えることを試みる。また、この装置の免震効果についても示す。

2. 免震装置モデル化の概要

免震装置を図-1に示す。この装置は、円弧状に窪ませた鋼板でゴムを左右から挟みつけた形状をしており、鉛直方向には堅く、回転に対してはフレキシブルかつ軸力依存性が小さいという特長を有する。この装置を適用した場合の解析にあたっては、そのメカニズムが十分わかっていないと性能の設計が困難であり、実務的に扱いにくい。そこで、各自由度の剛性を装置のパラメータである装置の高さ、幅、鋼板厚、くぼみ量からなる簡単な近似関数でモデル化することを試みる。

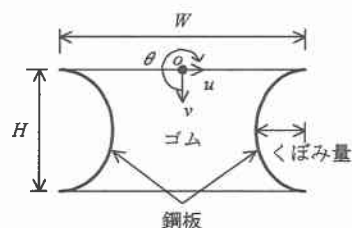


図-1 免震装置

3. 水平剛性に関する検討

免震装置の水平剛性とくぼみ量の関係についてゴム+鋼板、ゴムのみの2つの場合について検討した結果を示す(図-2)。免震装置の形状は $H=0.2(\text{m})$ 、 $W=0.4(\text{m})$ 、 $t_s=0.005(\text{m})$ とした。

くぼみの最大は、装置の高さの1/2である。くぼみが全くない状態ではゴム+鋼板の水平剛性は、ゴムのみの剛性 K_{H0} に一致し、くぼみが大きくなるにつれ、鋼板の影響が大きくなる。この鋼板の影響は、装置形状や板厚の関数であるから、くぼみがない状態のゴムのみの剛性 K_{H0} に、鋼板のみの剛性 K_{HSR} に装置の高さ、幅、鋼板厚による影響を付加した関数を加えて表現した。その結果、水平剛性に関する近似式は次のように求められた。

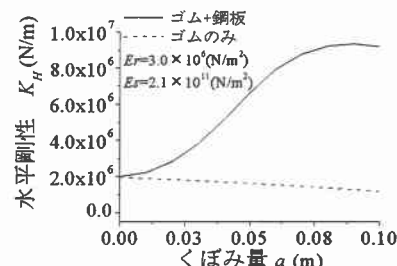


図-2 K_H と a の関係

$$K_H = K_{H0} + P_1 \cdot K_{HSR} \frac{HW}{t_s^2} \left(\frac{a}{H} \right)^{P_2} \quad (1)$$

ただし、 K_{H0} ：ゴムの水平剛性 ($a=0$ の時)、 K_{HSR} ：鋼板厚の水平剛性 ($a=a_{max}$ の時)

$P_1=6.95 \times 10^{-3}$ (定数)、 $P_2=2.040$ (定数)

4. 回転剛性に関する検討

図-3にゴム+鋼板の回転剛性及び鋼板のみの場合について示す。図からわかるように装置の回転剛性は、鋼板の影響が支配的である。ここで、あるくぼみ量に対する装置の回転剛性を鋼板のみの回転剛性 K_{RS} で除して無次元化した量を考え、それと無次元化くぼみ量 a/H の関係を H 、 W 、 t_s を変化させながら考察した。その結果、装置の回転剛性の近似式は次

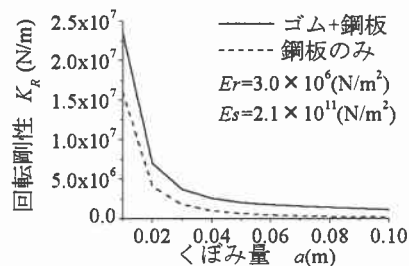


図-3 K_R と a の関係

のように求められた。

$$K_R = \frac{P_1 \cdot H \cdot W \cdot K_{RS}}{t_s^2} \cdot P_2^{\alpha/H} \quad (2)$$

ただし、 K_{RS} ：鋼板のみの回転剛性、 $P_1=7.4 \times 10^4$ (定数)、 $P_2=28.536$ (定数)

これら近似式を吟味するため、 $H=0.16 \sim 0.24$ (m)、 $W=0.32 \sim 0.6$ (m)、 $t_s=0.005, 0.1$ (m)、 $\alpha=0.016 \sim 0.12$ (m)の範囲で126のデータパターンを発生させ、FEMと(1)式または(2)式から求められる K_H および K_R の比較を行った(図-4,5)。水平剛性の場合の相関係数は $R=0.812$ 、回転剛性では $R=0.972$ であった。得られた近似式は概ね良好な解を与えることがわかる。

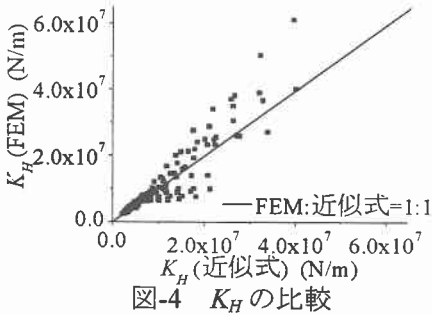


図-4 K_H の比較

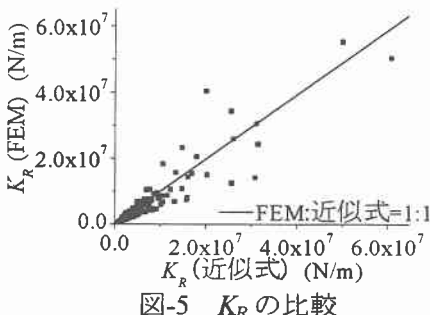


図-5 K_R の比較

5. 免震効果についての検討

免震効果を検討するため、トンネル躯体のみを取り出し、その底面を固定、上端左隅角部に水平力をかけた時のトンネル断面に生じる断面力分布を考える。せん断力図及びモーメント図をそれぞれ図-6,7に示す。また、変位図を図-8に示す。トンネル外周の断面力は内側を正とし、中柱部分については右側を正としている。ここで、免震装置の形状は、 $H=0.2$ (m)、 $W=0.4$ (m)、 $t_s=0.005$ (m)、 $\alpha=0.06$ (m)とした。せん断力及びモーメントについては、免震装置を用いた場合、中柱端部及び上床版に生じる断面力を低減させていることがわかるが、変位の値は大きくなる。

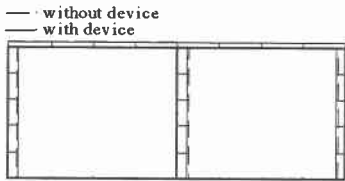


図-6 せん断力図

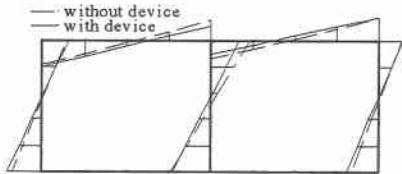


図-7 モーメント図

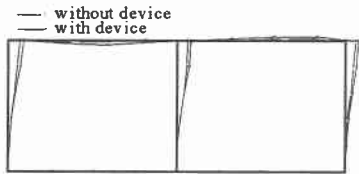


図-8 変位図

6. まとめ

免震装置の水平及び回転方向における剛性の等価なばねに関する検討の結果、それぞれ比較的良好な精度で近似式を得ることができた。また、装置を中柱端部に組み込んだ場合、中柱の断面力が約10～30%低減される効果があった。今後は、地盤-トンネルの全体系解析を行い、トンネル躯体に生じる断面力分布について検討する。また、免震装置の実験的検証も行う。

参考文献

(1) 三神厚・小長井一男・澤田勉：トンネル中柱の免震装置形状と各自由度における剛性の関係 土木学会論文 集 No.682/I-56,415-420,2001.7