

I - B 406

開削トンネル横断面の免震設計における免震材の配置方法

利エンタルコンサルツ 正 会 員 林 家祥
同 上 正 会 員 大竹 省吾
同 上 フェロー 田中 努

1. はじめに

地下構造物の横断面の耐震設計は従来、断面寸法や鉄筋量を増して断面抵抗を増大させる方法が採られてきたが、部材剛性の増加に伴い地震時増分断面力も増加させてしまった。しかし、地下構造物の周囲に周辺地盤の弾性係数よりも小さな免震層を設ける免震構造とすると地震時増分断面力の低減を図ることが可能となる。本研究は、開削トンネル横断面の免震設計を行う場合に、地震時増分断面力を低減させる効果的な免震材の配置方法について検討したものである。

横断方向地震時増分断面力の発生要因としては、地盤変位・周面せん断力・慣性力があるが、既往の研究より、矩形断面の場合には、周面せん断力が60～80%を占めることが分かっている¹⁾。一方、圧縮引張は剛で免震材のせん断剛性のみを低下させた場合には、地震時増分軸力の低下しか効果がないという結果が得られている²⁾。筆者らは、この原因をせん断剛性だけを低下させてもコーナー部で免震材の変形が拘束されるためではないかと考え、コーナー部に集中的に免震材を配置する方法を検討した。また、免震設計項目となる免震材の厚さと硬さの関係についても検討した。

2. 配置方法の検討内容

層厚30mの均一な硬質砂質地盤 ($G_o=5560\text{tf/m}^2$ 、 $\gamma=1.8\text{tf/m}^3$ 、 $\nu=0.45$) 中の2連ボックスカルバートを検討対象とし、コーナー部の厚さを中央部よりも厚くした図-1のケースを検討し、均一10cm厚さの基本ケースおよび非免震と比較した。なお、既往の研究により、側面のみ、側面と上面、全面配置の比較が行われ全面配置とするのが効果的であることが分かっているため²⁾、全面配置を基本とした。また、基本ケースのトンネルに作用する応力分布を確認し、各辺を4等分した両端の応力の大きい区間を中央に比べ厚くした。免震材は、剛性が地盤剛性の1/100に相当する $G_o=50\text{tf/m}^2$ ($\gamma=1.0\text{tf/m}^3$ 、 $\nu=0.3$) の材料を想定した。検討方法は、2次元FEMモデルに1次モードの地盤変位に対応した水平方向慣性力を与える地盤慣性力に基づく応答変位法³⁾によった。検討モデルは図-2とし、慣性力は速度応答スペクトル $S_v=0.24\text{m/s}$ より算定した。

3. 配置方法の検討結果

各ケースのトンネルの地震時増分曲げモーメント分布を図-3に、側壁の地震時増分最大曲げモーメントを表-1に示す。同図表より、ケース1は非免震の応答とほぼ等しく、トンネルに作用する応力の小さい部材中央部にも免震材を配置しないと免震効果が現れないことがわかる。また、免震材の厚さを変え、コーナー部のみを厚くすると免震効果は向上するが、その値は、基本ケースと大差はないことが分かった。

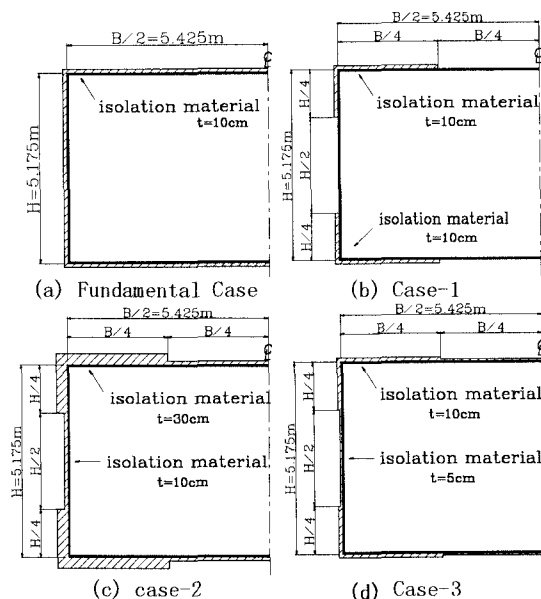
4. 免震材の厚さと硬さの関係の検討

層厚約30mの軟弱粘性土 ($G_o=3390\text{tf/m}^2$ 、 $\gamma=1.6\text{tf/m}^3$ 、 $\nu=0.49$) よりなる表層地盤中の土被り約5.5mの2連ボックスカルバート (B7.3m×H3.5m) を対象とし、免震材の厚さと剛性を変えた表-2のケースの地震時増分断面力を算定した。地震荷重は、耐震設計上の基盤面に「道路橋の耐震設計に関する資料 H9.3 日本道路協会」のTYPE II、1種地盤の波形の1/2が上昇波として入射した場合を想定し、前述の地盤慣性力に基づく応答変位法により解析を行った。部材の曲げ剛性は降伏剛性とし、免震材のポアソン比は0.46とした。検討結果は、表-2に合わせて示すとおりであり、免震材の厚さを $1/\alpha$ にすることと硬さを α 倍にすること

キーワード：開削トンネル、免震構造、免震設計、免震材配置、免震効果

〒213-0011 川崎市高津区久本3-5-7ニッセイ新溝の口ビル TEL:044-812-8815、FAX:044-812-8825

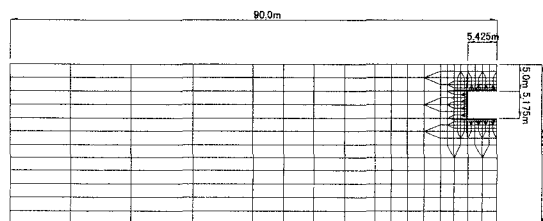
とは、ほぼ等価であることがわかる。したがって、免震材の設計では、免震材の厚さを固定して必要なパネ値を求めた後に、使用可能な免震材料の硬さと施工性・工費を勘案して製品と厚さを決定することができる。なお、免震材は20%程度までのせん断ひずみを与えた実験により、一部の材料を除いては剛性のひずみ依存性が小さいことが確認されているが、部材の厚さを極端に薄くしたために、これを越えるひずみが生じる場合には、材料試験による剛性の確認が必要である。



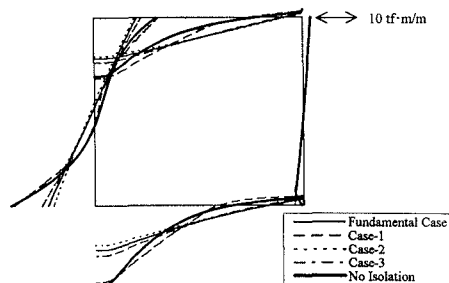
図－1 検討ケースの免震材配置

表－1 側壁の地震時増分最大曲げモーメント

	基本	ケース1	ケース2	ケース3	非免震
曲げモーメント ($\text{tf}\cdot\text{m}/\text{m}$)	12.2	21.1	10.8	13.8	21.9
比率	1.00	1.73	0.88	1.33	1.80



図－2 検討モデル



図－3 地震時増分曲げモーメント

表－2 免震材の厚さと硬さの関係

G/t	0.3	0.6		1.5		6.0	
G/tの比 α	基本	2		5		10	
せん断弾性係数 G(kgf/cm ²)	3	6	3	15	3	60	3
厚さ t(cm)	10	10	5	10	2	10	5
側壁部曲げモーメント M(tf・m)	8.9	① 10.5	② 10.4	① 12.2	② 11.9	① 13.5	② 13.2
①/②	—	1.01		1.03		1.02	

5. まとめ

本研究より、免震材はトンネル全周に配置しないと免震効果が現れないことと、免震材の厚さを換え、コーナー部のみを厚くしても免震効果は向上するが、その効果はあまり大きくないことが分かった。また、免震材の厚さ (t) と硬さ (G) にほぼ $k = GA/t$ の関係が成り立つので、免震材の設計では、必要なパネ値を求めた後に、製品と厚さを決定することができることがわかった。

本研究は、建設省土木研究所、(財)土木研究センター、民間17社による共同研究「地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発」の一環として実施したものである。ご指導ご討議頂いた関係各位に感謝致します。

参考文献

- 河西寛，嶋村貞夫，笹川基史，春海正和：免震層によるトンネル横断面の免震効果，第1回免震・制震コロキウム，1996.11
- 建設省土木研究所耐震研究室，(財)土木研究センター，他民間17社：地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発に関する共同研究報告書(その1)，pp.41-50およびpp.177-183，平成8年11月
- 田中努，橋義規，大塚久哲，星隈順一，村井和彦：地盤慣性力に基づく応答変位法を用いた地下構造物横断方向の耐震設計法，土木学会 第52回年次学術講演会，第I部門 pp.906-907，1997.9