

I - 838

地盤との絶縁層を用いた地下構造物の免震技術

建設省土木研究所	正会員	長屋和宏
建設省土木研究所	正会員	大塚久哲
建設省土木研究所	正会員	星隈順一

1. まえがき

地下構造物は、地震時に生じる地盤変形に追従して動く特徴があるため、地下構造物の剛性を高めると、地震時の増分断面力は、その分大きくなってしまふ。特に、耐震設計上不利な条件下においては、従来の地震設計の考え方が有利とならない場合もある。そこで著者らは、地下構造物に対する免震技術を新たに開発することを目的として、その有効性について検討を行っている。ここで、対象としている免震技術とは、地下構造物とその周辺地盤との間に絶縁材(免震材)を介在させ地震時の周辺地盤の変形を伝達しにくくする工法であり、可撓性継手を用いた免震とは区別される。本報告は、シールドトンネルにする免震工法の提言を行うとともに、地盤条件の急変部を通過するシールドトンネルを例として、免震工法を採用した場合に得られる地震力の低減効果の解析結果について述べる。

2. 免震工法の検討

シールドトンネルに対する免震工法を施工性などの観点から調査した結果、現在のシールドトンネル掘削技術に免震工法に固有な技術開発をいくつか加えれば、以下に示されるような工法が適用可能であると考えられる。(図-1)

- (a) 免震区間で余堀厚を大きくとりセグメント施工と同時に免震材を裏込め注入していく方法
- (b) 袋注入式セグメントを用い、シールドマシン推進後、注入袋に免震材を注入する方法
- (c) RCセグメントとスチールセグメントのセグメント厚の差を活用して免震層を確保する方法
- (d) セグメントの外側に予め免震材を取り付けておく方法

3. 免震材の検討

シールドトンネルに対する免震工法では、免震材はシールドトンネル掘削と同時に施工されることになる。したがって、免震材としては、弾性係数などの力学的な条件と同時に、施工時に圧送可能であることが求められる。こうした観点も含めて、免震材として適用可能な材料を調査した結果、1つの例として従来管路などの止水材として用いられている材料が抽出された。そこで、止水材として利用されている幾つかの材料を取り上げ、その経済性や耐久性などの特性について評価した結果が表-1である。これより、既存の止水材を応用するならば、非ウレタン系溶液型の止水材が、シールドトンネルに対する免震材として適用可能であると考えられる。

4. 免震トンネルの耐震解析

解析対象としたシールドトンネルは、外径が5.1m(セグメント厚22.5cm、二次覆工厚20cm)であり、地盤条件は図-2に示す通りである。このトンネルは、耐震設計上注意が必要な沖積層($V_s < 100\text{cm/s}$)と洪積層($V_s > 200\text{cm/s}$)の境界点を通過している。耐震解析には応答変位法を適用し、免震層と地盤のばね定数比を1.0(非免震)、0.1、0.01、0.001とパラメトリックに変化させて解析を行った。ただし、地盤条件の変化の影響を考慮するため、地盤間に生じる地震時水平変位の相対差に相当する変位を強制変位として地盤ばねを介してトンネル本体に作用させた。なお、免震層は、地盤の沖積層と洪積層の境界点を跨ぐ100mの区間に設定した。

図-3および図-4は、ばね定数比が0.01とした時にトンネル本体に生じる軸力および曲げモーメントの分布を示したものである。免震層を設定することにより、地盤剛性の急変点で局所的に生じる断面力を効果的に低減できることがわかる。図-5は、ばね定数比と最大断面力の低減効率の関係を示したものである。これより、本解析条件下では、免震工法を採用することにより、地盤条件の急変点に生

じる断面力は、軸力で約40%、曲げモーメントで約25%低減できることがわかる。ただし、ばね定数比が0.001の場合の曲げモーメントの低減効率は、ばね定数比が0.01の場合よりも悪くなっている。これは、ばね定数比をあまりに小さく設定すると、最大断面力の発生位置が地盤条件の急変点から免震層と洪積層の境界点へと移行するためであり、免震効果を最大限に発揮させるためには、ばね定数比（免震層厚）を適切に設定することが重要と言える。

5. まとめ

シールドトンネルの免震工法に適用可能な施工法および免震材についていくつか例示した。また、免震トンネルの耐震性をケーススタディ的に検討した結果、免震層を適切に設定すれば、地震時に生じる断面力を効果的に低減できることを確認した。

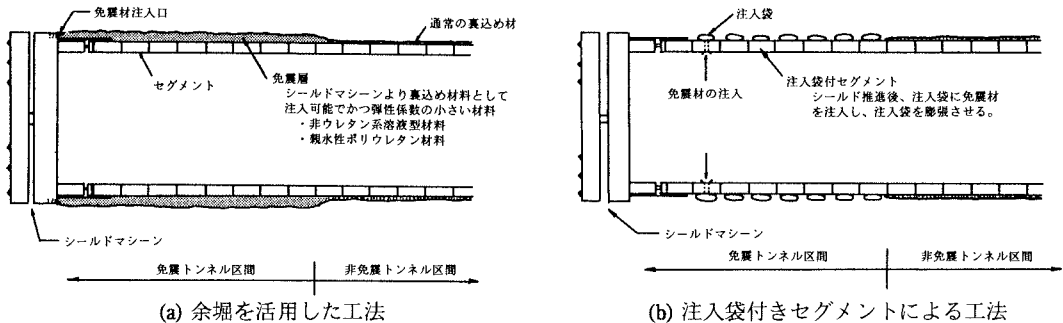


図-1 シールドトンネルの免震工法

表-1 適用可能な免震材

種 別	調結蜜蝋材	非ウレタン系溶液型 止水材	親水性ポリウレタン 止水材	ウレタン樹脂 (衝撃吸収材)
タイプ	2液	2液	1液	2液
用 途	地盤強度増強 止水	小口径下水管補修	シールド機内止水 小口径下水管補修	スネークフックや 精密機器の防振
強度(kgf/cm ²)	0.3	0.5	1.5	0.09~4.8
経 済 性	◎	○	△	×
経年体積変化	×	○	○	○
長期耐久性	○	○	△	○
総合評価	△	◎	△	△

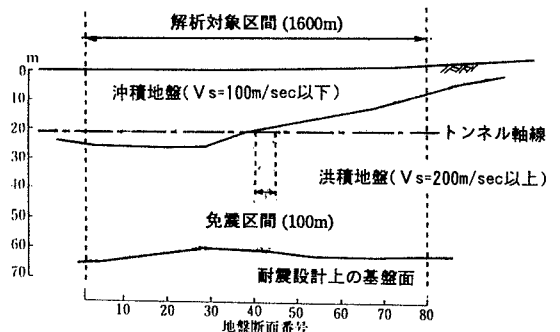


図-2 解析対象とした地盤条件

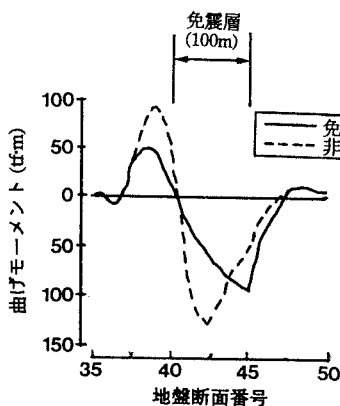


図-3 発生軸力分布

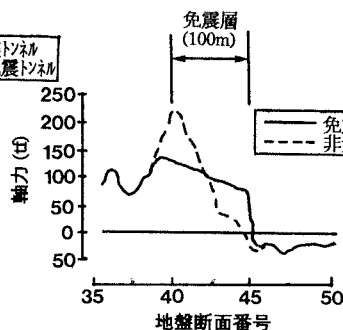


図-4 発生曲げモーメント分布

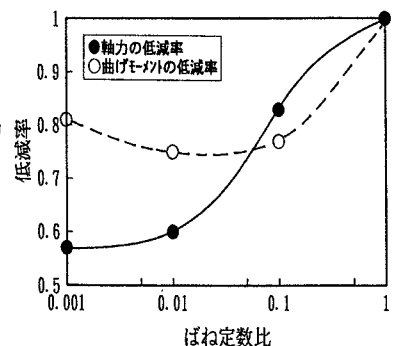


図-5 地震力の低減率