

1. はじめに

地下構造物の外周に免震層を形成する免震構造は、立坑接合部への適用では 10m 程度の免震区間で十分大きな免震効果を得ることができ、従来の代表的な地震対策である可撓セグメントの採用と比べ施工コストは同等以下で、さらに信頼性が高いため、費用対効果の点で有望である。しかし、地盤条件急変部への適用では、100m に達するような長い免震区間長が要求されるため施工コストが高くなり、実構造物への採用は現実的とはいえないのが実状である。

免震層による免震構造が厚みを持った免震層のせん断変形によるのに対して、滑り型免震構造では、構造物表面の滑動塗料の滑りによって地盤ひずみを吸収する。滑り型免震構造は、シールドセグメントや開削トンネルの外周面に予め滑動塗料を塗布し、地震時にこの面で滑りを発生させて裏込め材や埋め戻し材と構造物とを絶縁する (isolate) ことによって、地下構造物の地震時安全性を高める新しい免震構造である。図 1, 2 に示すように、免震層と滑り型を併用することで、信頼性が高くかつ低コストな免震構造構築が可能となる。

本稿では、シールドトンネルへの滑り型免震構造の適用を目的として、水性エマルジョン型のシリコーン系滑動塗料を開発し、開発した塗料を用いた性能を評価したので、その結果について報告する

2. 実験概要

10cm 角のコンクリートブロック表面にシリコーン系滑動塗料を塗布した後、その外側に 10cm 厚で裏込め材を打設後水中養生を行い、シールドトンネルのセグメントと裏込め材を模擬した供試体を作成した。図 3 に示す 2 軸せん断試験装置を用いて 0.2 N/mm^2 の鉛直応力を載荷しつつ供試体にせん断変形を与えた。写真 1 は、その実験状況である。計測項目は、軸力、せん断力およびせん断変位とした。

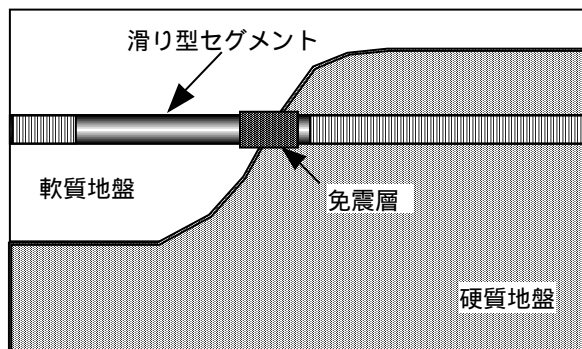


図 1 地盤条件急変部への適用例

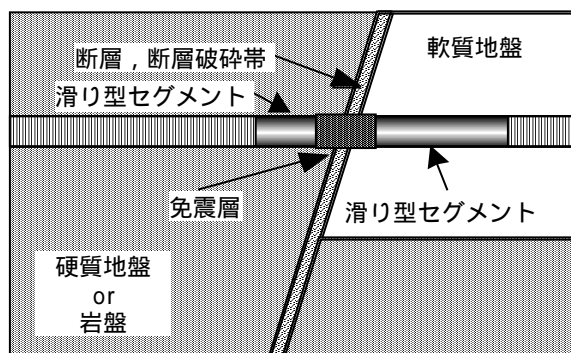


図 2 断層破碎帯への適用例

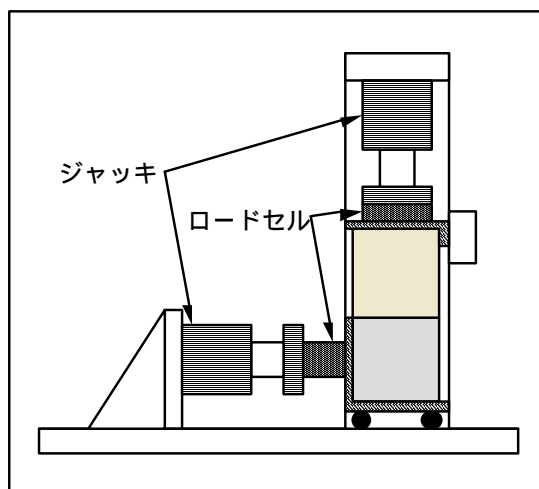


図 3 実験装置側面図

3. 実験結果と滑動メカニズム

写真2は、実験終了後の供試体の接着面で、コンクリートと裏込め材に分離した状況を示している。コンクリート表面に塗布した塗料膜は全て裏込め材側に付着しており、コンクリート表面は水潤状態で白く反射して見える。また、塗料膜の表面を触ると白い充填剤が浮き出てきた。したがって、滑り型免震構造の滑動メカニズムは以下のように説明できる。水性エマルジョン型のシリコン系塗料が界面活性剤の効果等で裏込め材側から水分を取り込んでコンクリート表面と塗料膜の間に水と充填材からなる低摩擦の滑り面を形成する。この面では、水を潤滑剤とした充填材のベアリング効果が発揮され、低摩擦で滑りが発生する。

図4は、滑動塗料を塗布した供試体とコンクリートに樹脂をコーティングして表面を平滑に仕上げた供試体に関する実験結果の比較を示したものである。せん断応力は、塗料を塗布した供試体では、約 0.05 N/mm^2 で滑動面の最大静止摩擦力を上回って滑りが発生し、その後はせん断応力は徐々に低下して約 0.02 N/mm^2 の一定値となる。この滑動は実験装置の構造が許す限り可能であるが、せん断変位が 10 mm に達した時点で実験終了した。一方、平滑仕上げした供試体では、接合面において滑りは全く発生することなく、裏込め材のせん断変形が発生し、最終的に裏込め材のせん断破壊に至った。

4. まとめ

滑り型免震構造のシールドトンネルへの適用を想定した実験結果より、低摩擦で滑動可能な水溶エマルジョン型のシリコン系塗料を開発した。また選定した滑動塗料による滑動メカニズムを解明することができた。なお、コンクリート表面の平滑度や硬度を変化

させる数種類の塗料を塗布して同様な実験を実施したが、すべてのケースで裏込め材のせん断破壊に至り、接合面で滑動が発生することはなかった。

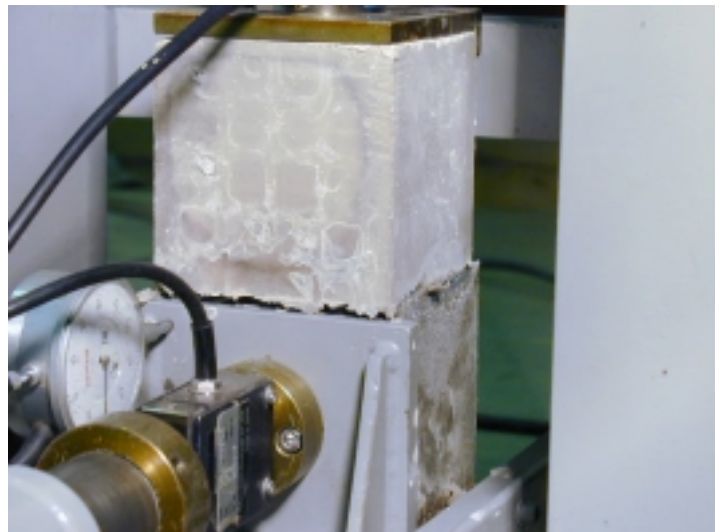


写真1 実験状況



写真2 実験後の滑動面の状況

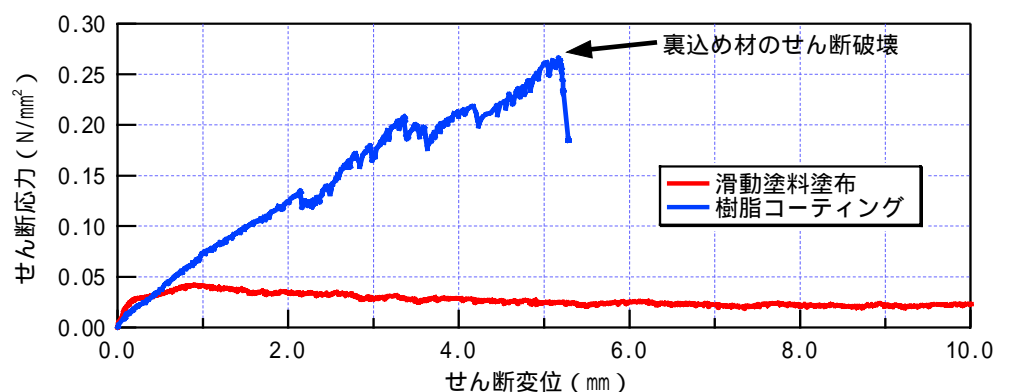


図4 せん断力試験による滑動効果の検証