

滑動塗料の動的滑り性能検証試験

中央復建コンサルタンツ 正会員 勝川 藤太
 中央復建コンサルタンツ 正会員 鈴木 猛康
 熊谷組技術研究所 正会員 北原 陽一

1. はじめに

滑り型免震構造¹⁾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する等して、躯体と裏込め材や埋め戻し材の境界面で低摩擦の滑りを発生させ、地震時に構造物を地盤変位から絶縁することで地下構造物の大地震時安全性を高める新しい免震構造である。筆者等は、既に滑動塗料を開発し、その静的な滑り性能を確認すると共に、滑動メカニズムも解明している²⁾。また、数値解析により、滑り型免震構造の滑り面で必要とされる摩擦係数についての検討も行っている¹⁾。本稿では、滑動塗料の動的物性を測定するために実施した繰返し中空ねじりせん断試験と、この結果に基づいた滑動塗料の動的滑り性能の検証結果について述べる。

2. 滑り型免震構造の動的性能検証実験

(1) 実験概要

供試体のサイズは、一般的に繰返し中空ねじりせん断試験で用いる供試体と同サイズの外径 100mm、内径 60mm、高さ 100mm であるが、セグメントリングと裏込め材の境界面を模擬するために、下から 70mm をモルタル、その上 30mm を裏込め材とした。写真 1 に供試体を示す。

滑動塗料には、静的ブロックせん断試験の結果²⁾に基づいて、高軸圧でも塗料自体の塑性変形を抑制すること主眼に置いて材料配合を調整した、塗料 No.1 ~ No.3 の 3 種類の水性エマルジョン型シリコン系塗料を用いた。塗料 No.1 の供試体は 1 体、塗料 No.2 と No.3 の供試体はそれぞれ 2 体で、合計 5 体の供試体を作成した。

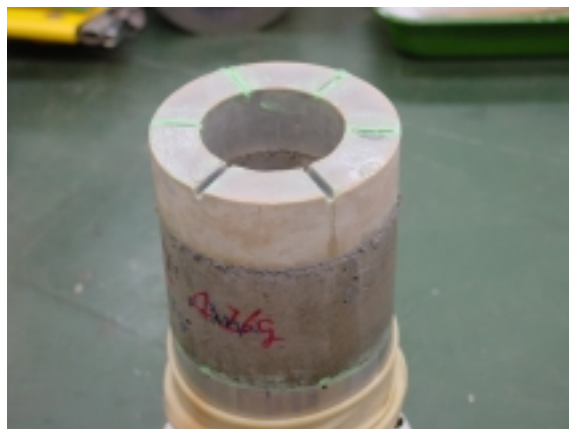


写真 1 中空ねじりせん断試験供試体

この供試体の作成では、はじめに、専用で作成した型枠にモルタルを高さ 70mm まで打設、脱型、1 ヶ月間水中養生、恒温室での乾燥を行ってモルタルリングを作成し、次に、このモルタルリング表面に滑動塗料を塗布して乾燥させ、再度型枠にセットし、その上面に 30mm 厚で裏込め材を打設、脱型、1 ヶ月間の水中養生を行った。なお、乾燥後の滑動塗料の膜厚は約 0.3mm である。本供試体は土に比べて硬いことから、実験に際しては、載荷装置上下面に在る固定金具と供試体がうまく噛み合うように、供試体の上下面に予め固定金具に対応した溝を刻んだ上で、供試体を載荷装置にセットした。

実験は、非排水条件とし、一定振幅の正弦波 3 波を、中、大振幅の 2 ケースについてそれぞれ、変位制御により載荷振動数 1.0Hz で繰り返し載荷した。ここで、大振幅は、実際に発生が想定される滑り量と載荷装置の能力を勘案し、15mm 程度とした。一方、中振幅は 9mm 程度である。有効拘束圧は $0.049\text{N/mm}^2 \sim 0.441\text{N/mm}^2$ まで 0.049N/mm^2 刻みで変化させた。ただし、塗料 No.1 と No.2 の供試体については、摩擦力による載荷装置への負荷がどの程度であるか把握できていなかったため、安全を考え、塗料 No.1 の供試体については有効拘束圧 0.147N/mm^2 まで、塗料 No.2 の供試体については有効拘束圧 0.196N/mm^2 までの実験ケースとした。

キーワード：免震構造・滑り・塗料・地下構造物・検証実験

連絡先：東京都中央区日本橋大伝馬町 2-11 イワサキ第 2 ビル; TEL 03-3669-1648; FAX 03-3662-3653

(2) 実験結果

図1は、供試体にメンブレンを装着し、有効拘束圧 0.147N/mm^2 で中振幅載荷した実験ケースにおけるせん断応力とせん断変位の関係を、塗料 No.1 ~ No.3 について示したものである。いずれの滑動塗料も、摩擦型の履歴曲線を描いている。塗料 No.1 では、履歴曲線の中心が若干原点からずれているものの、いずれの履歴曲線も似た形状をしており、動摩擦係数に対する滑動塗料の材料配合の違いによる影響は小さいと考えられる。また、最大静止摩擦力は動摩擦力に比して大きい、滑り面においては、地震時初期の比較的小さな地盤変位応答時に最大静止摩擦力に達すると考えられるので、主要動では動摩擦力を考慮すれば良く、設計においては動摩擦係数を適用することが可能であると言える。

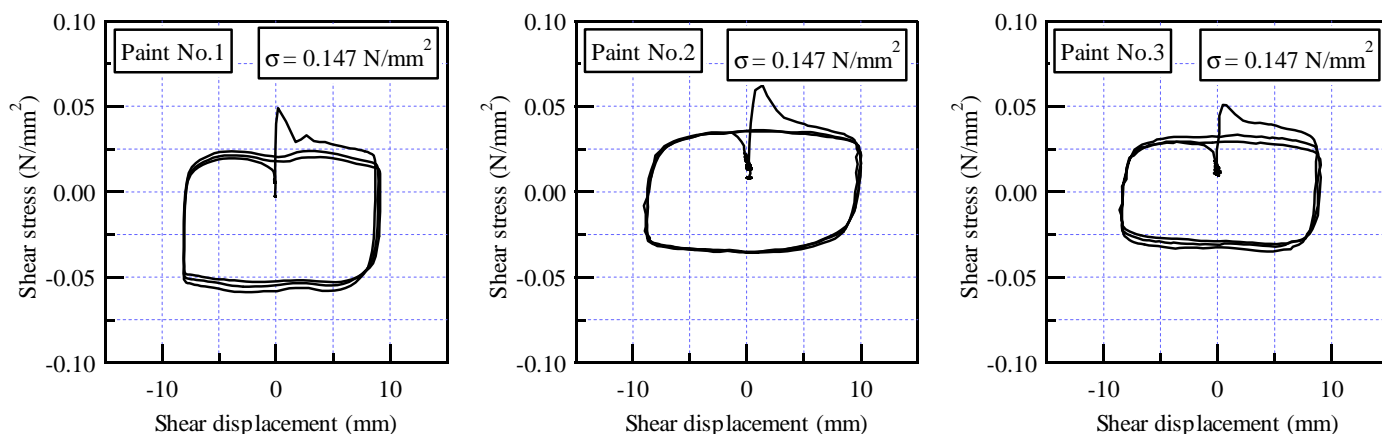


図1 滑動塗料の材料配合の違いによるせん断応力 - せん断変位関係への影響

図2は、得られたすべての実験ケースの動摩擦係数 μ と有効拘束圧の関係性をプロットしてまとめたものである。この図からも、滑動塗料の材料配合の違いによる動摩擦係数への影響に大きな差は認められない。動摩擦係数は、 0.049N/mm^2 の有効拘束圧下ではばらつくものの、 0.098N/mm^2 以上ではばらつきも小さく、有効拘束圧の上昇と共に低下して行き、 0.294N/mm^2 以上はほぼ一定値の 0.15 と見なすことができる。

これまでに実施した数値解析¹⁾によれば、動摩擦係数が 0.3 以下であれば滑り型免震構造は免震層と同等以上の免震効果が期待できるため、有効拘束圧 0.098N/mm^2 以上では、開発した塗料が免震構造として十分な滑り性能を有していると言える。これは、トンネルの設置深度で言えば 15m 以上となる。特に塗料 No.3 では、 0.441N/mm^2 の有効拘束圧下においても安定した滑り性能を実証しており 50m を越えるような大深度のトンネルへも滑り型免震構造が適用可能であることを示している。

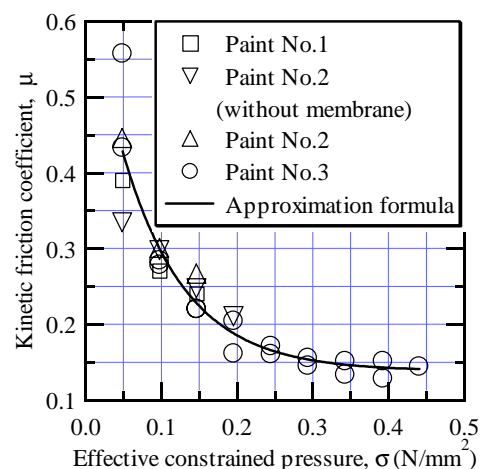


図2 動摩擦係数の有効拘束圧依存性

3. まとめ

本検証実験より得られた結論を以下にまとめる。

- (1)滑動塗料の材料配合の違いによる動的滑り性能への影響は小さい。
- (2)動摩擦係数は有効拘束圧の上昇に伴い徐々に低下し、 0.294N/mm^2 以上はほぼ一定値の 0.15 となる。
- (3)有効拘束圧 0.098N/mm^2 以上において、滑動塗料は免震層と同等以上の免震効果を期待できる。

参考文献

- 1) 鈴木猛康, 勝川藤太: 滑動塗料を用いた地下構造物の免震構造, 土木学会, 第2回免震・制震コロキウム講演論文集, pp311-318, 2000.11.
- 2) 勝川藤太, 鈴木猛康: 滑動塗料を塗布したセグメントの滑り性能検証実験, 土木学会, 第55回年次学術講演会, I-B491, 2000.9.