

(株)熊谷組 正会員 ○小林正宏 (株)熊谷組 岡本達也  
 (株)熊谷組 正会員 粕田金一 信越化学工業(株) 福田 健  
 (株)熊谷組 正会員 鈴木猛康 信越化学工業(株) 池野正行

1. はじめに

シールドトンネルのテールポイドに免震材料を注入して形成する免震層は、トンネル軸方向の断面力を大きく低減させ、大きな免震効果を発揮することが確認されている<sup>1)</sup>。筆者らは、免震材料としてシリコン系免震材を開発し、その動的特性や配合、充填性について実験的検討を行ってきた<sup>2),3)</sup>。本稿ではまず、裏込め材と同様な早期流動停止を図るために実施した塑性調整剤の開発、ならびに施工性や経済性の向上を目的としたシリコン系免震材の改良について述べる。次に、新たに開発した材料を用いた免震施工システムを示す。さらに、免震施工システムの検証を目的として実施した模型注入実験について述べ、シリコン系免震材による免震施工が可能であることを示すものである。

2. シリコン系免震材料の開発

これまでに開発したシリコン系免震材は、シリコンポリマー(主材:粘度1.5Pa・s)に充填材を配合したA液に、B液(硬化剤:粘度0.75Pa・s)を加えると常温で硬化するもので、両液を約1時間で流動停止するよう配合したものを用いてきた。しかし、この材料をそのまま注入すると、テールポイド外に逸散して天端部が未充填となり、地盤沈下を起こすケースも見られる。このような問題に対し、通常の裏込め注入では、塑性調整剤を注入直前に混入し、注入時の流動性を損なわずに限定範囲だけに注入にする方法を採用していることから、シリコン系免震材用の塑性調整剤を開発した。また、現場の施工時期や施工設備および経済性にも配慮した材料配合を実現するため、従来材料のA液に含まれている充填材に代わり、より安価な市販のフライアッシュ(FA)を増量材として主材、硬化剤と現地混合する方法も検討した。

開発した塑性調整剤は、特殊ポリオキシアルキレン化合物であり、塑性調整剤の酸素原子と主材に予め混入させておいた微粉シリカの水酸基との水素結合により増粘性、チキソトロピー性を発現する材料である。

表-1にFAと塑性調整剤を屋内で混合したシリコン系免震材の性状を示す。なお、表中のFAの添加量は主材100に対する重量比を示しており、主材と硬化剤の重量配合比は従来と同じ配合に、塑性調整剤の添加量は、増粘効果を最も発揮する配合としている。表より、FA添加量の増加に伴い、混合直後の粘性、およびJIS硬度が大きくなることがわかる。粘性に関しては、FA添加量120の材料でも十分ポンプ圧送可能であるが、FAの混合による増粘効果が顕著に現れる範囲であり、特に低温下での使用は難しいと思われる。

表-1 フライアッシュ(FA)および塑性調整剤を混合したシリコン系免震材の性状

FA添加量 <sup>1)</sup> [-]	75	100	110	120	
粘度(5℃) <sup>2)</sup> [Pa・s]	主材+硬化剤+FA	3.5	5.0	8.0	11.0
	上記+塑性調整剤	20.0	27.5	未測定	未測定
JIS硬度 <sup>3)</sup> [-]	37	40	未測定	未測定	
伸び [%]	120	100	未測定	未測定	
比重 [-]	1.30	1.36	未測定	未測定	

注<sup>1)</sup>:主材100に対する重量比 注<sup>2)</sup>:ビ'スコスタ-VT-04(リオン(株)製)  
 注<sup>3)</sup>:養生1日後、JIS硬度計(JIS K 6301)で測定

図-1にFA添加量100として室内で配合したシリコン系免震材の粘性の経時変化を示す。図より、塑性調整剤を混合した場合は、混合直後の粘度が5.0Pa・sから27.5Pa・sまで増粘し、硬化時間も速くなることがわかる。また、増粘したシリコン系免震材は、かきまぜ等の外力により再び流動性を示すことを確認した。

以上の結果より、現状ではFA添加量100の配合が最適であることがわかった。なお、増量材として市販粘土も試みたが、硬化を若干抑制する傾向を示し、従来材料より硬化速度が遅くなることがわかった。

3. 1.5ショット型免震施工システムの開発

シールドトンネルの裏込め部に注入するシリコン系免震材は、免震材料としての機能は勿論、裏込め材として地山を保持する機能が要求される。この要求を満たすためには、充填後に速やかに硬化する材料を、テールポイドへ完全に充填できる施工システムで

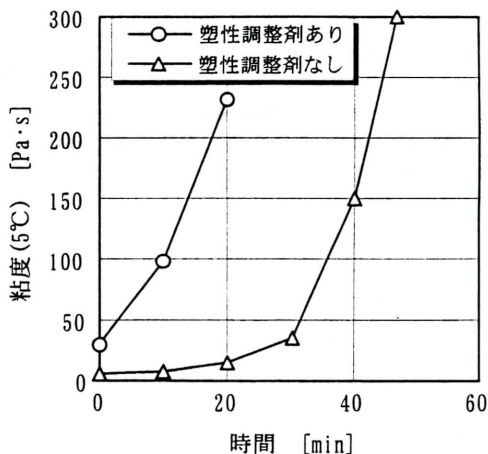


図-1 塑性調整剤を混合した免震材の粘性経時変化 (FA/硬化材/塑性調整剤/主材=100/15.5/5.0/100)

Construction of a Seismic Isolation Layer for Shield-driven Tunnels by the Silicone-based Material

Masahiro KOBAYASHI, Kinichi KASUDA, Takeyasu SUZUKI, Tathuya OKAMOTO (Kumagai Gumi Co., LTD.)  
 Takeshi FUKUDA, Masayuki IKENO (Shin-Etsu Chemical Co., LTD.)

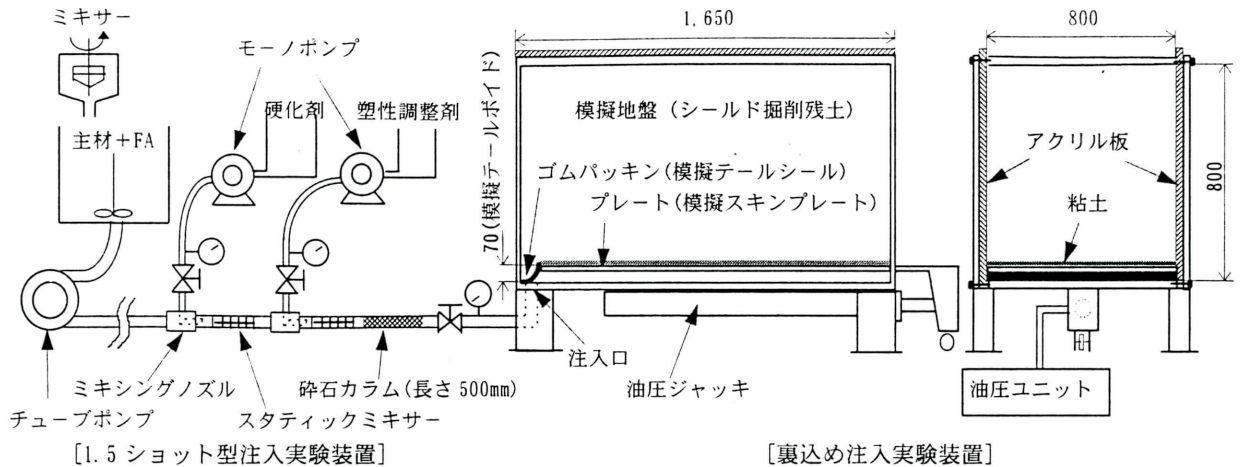


図-2 模型注入実験装置の構成

注入する必要がある。そこで筆者らは、主材とフライアッシュを予め現地混合し、注入先端部の直前で硬化剤、塑性調整剤を混合する 1.5 ショット型免震施工システムを提案し、注入装置を試作した。

#### 4. 施工システム検証のための模型注入実験

1.5 ショット型注入装置を試作し、模型注入実験で検証した。図-2 に試験装置の構成を示す。

裏込め注入実験装置は、長さ 1,650mm、幅 800mm、高さ 800mm の実験土槽の底部の上方 70mm に幅 800mm のプレートを配したものであり、プレート引抜くことにより発生するテールポイドに、端部の注入口から免震材を注入する。油圧ユニットは、引抜き速度が調節でき、プレートを 1,050mm まで引抜くことができる。また、実験土槽の側面から材料がテールポイドに充填する状況が目視できるようにアクリル板を設置している。

1.5 ショット型注入装置は、ミキサー以外は裏込め注入に用いる装置を組み合わせたもので、ミキサーで混合した主材と FA をチューブポンプで定量吐出した後、注入先端付近のミキシングノズルから硬化剤、塑性調整剤の順にモノポンプで定量吐出し、スタティックミキサー、砕石カラムで十分混合させて注入する。

シリコン系免震材の配合は、重量比で主材/FA/硬化剤/塑性調整剤 = 100/100/15.5/5.0 とした。表-2 に本実験の注入条件を示す。なお、プレートを引き始めてゴムパッキングが注入口を通過する数秒間は、注入できないため、100mm 引抜くまでは注入率を 150% に上げて注入した。

注入中はシリコン系免震材は空隙を生じることもなく充填され、模擬地盤の沈下も認められなかった。また、注入後の各材料タンクの残液量から求めた重量配合比は、設定配合とほぼ同等であった。さらに、注入翌日に注入状況を観察した結果、写真-1 に示すような幅 800mm、長さ 700mm、

表-2 模型注入実験の注入条件

ストローク長[mm]	700
テールポイド量[cm <sup>3</sup> ]	3920
注入率 [%]	150(0~100mm) 110(100~700mm)
設計注入量[cm <sup>3</sup> ]	4540cm <sup>3</sup>
引抜き速度[cm/分]	35
設計吐出量[cm <sup>3</sup> /分]	2940(0~100mm) 2160(100~700mm)

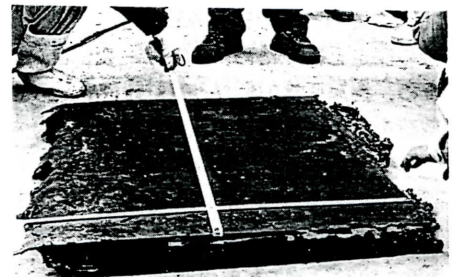


写真-1 注入翌日に実験土槽から取り出したシリコン系免震材の硬化体

厚み 75mm の均一硬化したシリコン免震材が採取でき、その JIS 硬度は屋内配合材料と同等の 41 であった。

本実験では、硬化剤と塑性調整剤を注入直前に混合する 3 系統の 1.5 ショット型注入システムを採用したが、双方の材料を混合しても安定した性状を示すことを確認しており、裏込め注入と同様、2 系統の 1.5 ショット注入が可能である。

#### 5. まとめ

シリコン系免震材の施工性、経済性の向上を目的とした材料開発を実施し、裏込め注入と同様の施工システムによる注入が可能となった。また、実施工を目的として開発した 1.5 ショット型免震施工システムによる注入が模型注入実験で検証できた。なお、本研究は、建設省土木研究所、(財)土木研究センターと民間 17 社による官民共同研究「地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発」の一環として行われたものである。

#### 参考文献

- 1) 鈴木、田村：シールドトンネルの免震構造とその免震効果の評価方法の提案、土木学会論文集、No. 525/ I -33. pp. 275-285. 1995.
- 2) 田中、他：トンネル免震材としてのシリコン系材料の物性の検討、土木学会第 50 回年次学術講演会講演概要集、pp. 1672-1673. 1995.
- 3) 鈴木、他：都市トンネルの免震構造のためのシリコン系材料に関する実験的検討、土木学会論文集、No. 534/VI-30. pp. 69-78. 1996.