

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所

正員 伊藤和五郎

正員 ○近藤章司

東京電気通信局

正員 小島淳史

1. まえがき 電々公社では小断面シールド工法においてレジンモルタルを使用したトンネルライニングの現場打設方法を検討中である。レジンモルタルは図1に示すようにセメントコンクリートに比べて早期強度が得られるだけでなく、添加剤の量により硬化に至る時間を5～60分程度の範囲で調節できる利点があり、完全自動化による高速施工を目的とする小断面シールド工法の山留材料としては極めて有利な早強性材料である。このレジンモルタルによる現場打設の可能性を追求するために模型型枠等を利用して打設成型実験を行ってきたのでその中間結果を報告する。

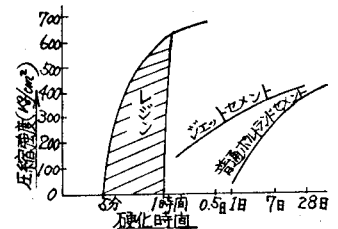


図1 レジンとセメントの比較

2. 材料と打設方法 ライニング材料を表1に、打設実験装置と打設成型プロセスをそれぞれ図2、図3に示す。打設方法で最も重要な点は、レジンモルタルの速硬化性を生かしつつ材料送給途

上での硬化を防止するため混合打設機を使用して型枠内打設口直前においてレジンモルタルと硬化剤を混合し連続的に混合打設することである。混合打設機にはスクリュミキサーまたはスタティックミキサーが考えられるが、混合部長が短くて済み小型化できるスクリュミキサーを使用した。スクリュミキサーの寸法は $\phi 45\text{mm} \times 180\text{mm}$ である。混合打設機の混合部は、打設終了後アセトンにより洗浄する。ライニング成型寸法は内径60cm、ライニング厚さ10cmである。材料配合はレジンモルタル重量比 $(G+F)/R=2$ および4を主に2～5について実験した。なおレジンモルタルの送給方法は空気圧送($p=2\sim3\text{kg/cm}^2$)により、脱型方法は内型枠を収縮させることなく油圧ジャッキによりライニングを引抜き脱型した。

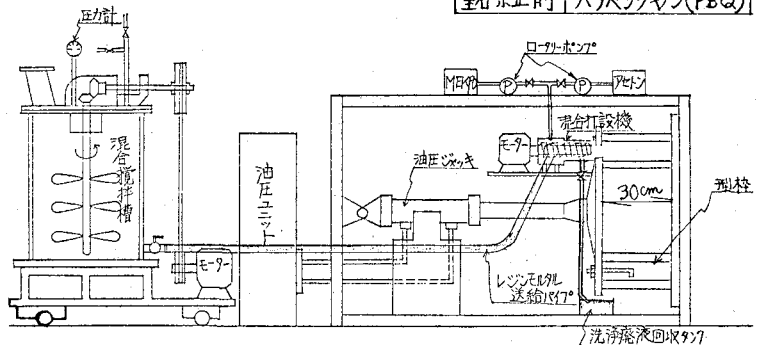


図2 打設実験装置

3. 実験結果と考察

3-1. 施工可使時間の調節 硬化促進補助剤による速硬化の価値を生かしつつ打設中の流動性を保持して必要な施工可使時間を得るために重合禁止剤を添加した場合の促進補助剤と重合禁止剤の添加量による流動停止時間は図4のとおりであり、

PBQ $\approx 0.03\text{phr}$, DMA $\approx 0.1\sim 0.2\text{phr}$ の添加量で5～10分の施工可使時間は充分とれることが判明した。

3-2. 硬化反応温度と強度 $(G+F)/R=2$ および4の場合の硬化反応温度の測定結果を図5に示す。レジンの軟化点(ガラス転移点)は90～100℃の間に存在し、図6でわかるように硬化温度が90℃以上の場合は著しい強度低下をきたす。よって $(G+F)/R$ を4程度にして高反応性の樹脂を使用し、硬化反応温度のピーク値を80～90℃以

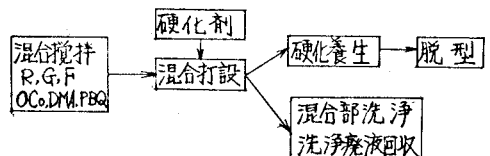


図3 打設成型プロセス

下に押し早期強度を得る必要があり。また常温の状態までライニング温度が低下するには数時間を要しトンネル内の温度低下対策を考慮する必要がある。

3.3. 脱型力について 硬化後ライニングを引抜いて脱型した場合の脱型長と脱型力の関係を図7に示す。脱型力はライニングの硬化収縮力、モルタルの付着力、型枠内面の粗度等により左右されるが、本型枠では初期脱型力として $20 \pm (1.5 \text{ kg/cm}^2)$ 以上必要となる場合があり、又脱型力の軽減のためステアリン酸を内部離型剤として 5 phr 添加したが硬化反応温度がステアリン酸の融点(69.3°C)を越えてもその効果はあまり期待できなかった。さらに図8でもわかるようにステアリン酸添加の場合は著しい強度低下をきたす。脱型力軽減のためには一つの方法としてテーパ付型枠を使用し、樹脂として低収縮型のものを使用することと考えられ、また内部離型剤も量を少なくし、2種類以上併用しその相乗効果をねらうべきであろう。

3.4. その他 成型ライニングにはクラウン部の空隙を除き、ジャンカー或いは大きな空隙の発生は発見されず、フランクの発生については低収縮型樹脂を使用した場合は全く発見されなかった。今後成型に関しては型枠内の空気抜き方法が最も重要な検討すべき事項である。また、混合打設機の混合部洗浄については、シフトを回転させたがりアセトンを注入することにより充分行えることが判明した。

4. あとがき 小断面シールド工法においてレジンモルタルをライニング材料として使用する場合、その目標施工条件は、ライニング寸法として(内径)/20cm $\times$ (径)/10cm $\times$ (打設長)50cm、打設時間として5~10分、打設後30分強度として圧縮強度: 約 250 kg/cm^2 、引張強度: 約 150 kg/cm^2 と設定し現在検討を進めている。今後の研究方針としては、実際のトンネル施工を考慮した、実物大の地上実験装置を設計試作し、材料の配合方法、レジンモルタルの運搬送給方法、空気抜きによるクラウン部の充てん方法、混合打設方法、打設目の強度、脱型方法等について検討し、材料面およびシステム面を確立していく予定である。最後に、本論文作成にあたり御指導および御協力をいただいた電電公社茨城通研の松浦、次田両氏に深く感謝いたします。

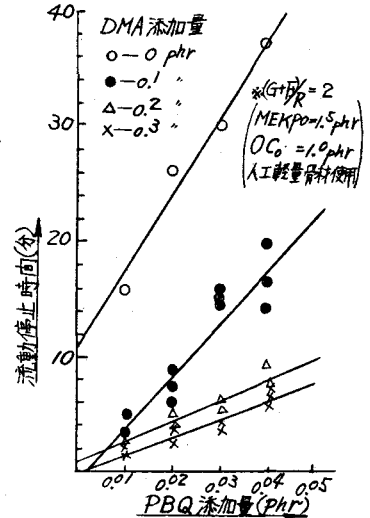


図4 重合禁止剤量と流動停止時間

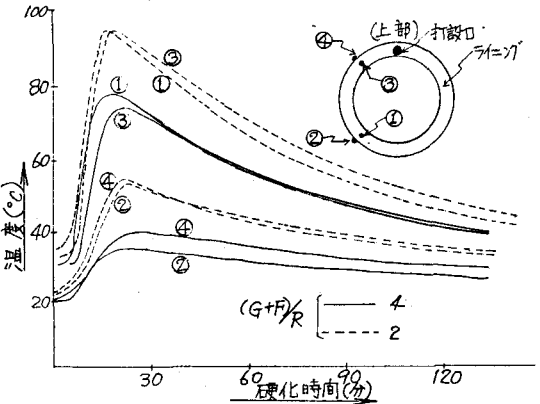


図5 硬化時間と硬化反応温度

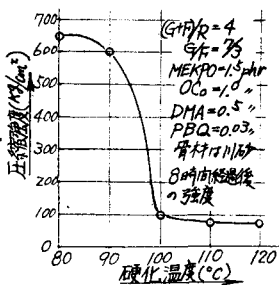


図6 硬化温度と圧縮強度

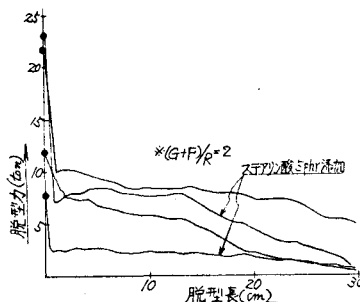


図7 脱型長と脱型力

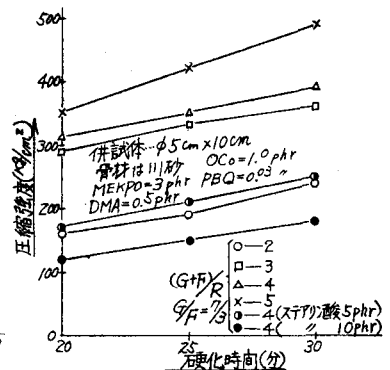


図8 配合と強度