

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員 山川喜弘
 " " 正員 鈴木修造
 " " 〇正員 山崎正美

1. まえがき 電電公社では小断面シールド工法において、レジンモルタルの現場打設によるトンネルライニング工法を検討中である。レジンモルタルはセメントコンクリートに比べて格段に早く強度が得られるだけでなく、添加剤の量により施工可成時間を5~60分程度の範囲で比較的自由に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有望視されている。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脱型試験、リング載荷試験を行ってきたのでその中間結果を前回に引き続き報告する。

2. レジンモルタル自動ライニングシステムの概要 立坑内でかくはん混合された未硬化のレジンモルタル材料は材料運搬車でトンネル内に搬入され、シールド機内の混合打設機で硬化剤と混合され、型枠内に連続打設されライニングを形成する。ライニング硬化後にシールド機はこれに反力を取り、脱型動作と掘削を同時に行いながら前進する。その概要を図1に示す。

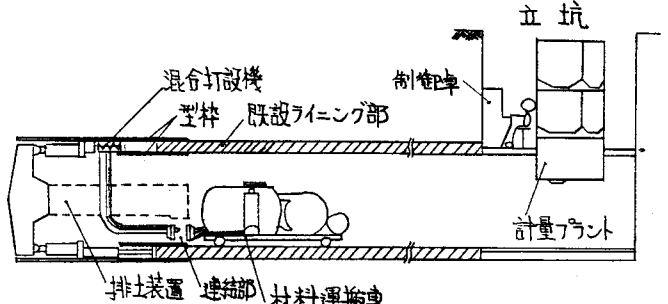


図-1 レジンモルタル自動ライニングシステム

当研究所では本システムの材料送給・混合系の実物大実験装置を試作し、諸特性を検討中である。

3. ライニングの強度計算 本工法はトンネル内径1.2m(ケーブル40条用)で土被り5m程度以内を適用領域としているために、室内実験で得られた表1に示す強度特性を基に土木学会シールド工法基針における荷重条件で剛性一様なリングとして計算した結果、肉厚10mmあれば十分な耐荷力があることがわかった。なお、安全率はレジンブロックマンホール(電電公社規格)及び無筋コンクリートを参考にしてとした。

表-1 強度特性

硬化時間(分)	30
圧縮強度(N/cm ²)	250以上
曲げ強度(N/cm ²)	150以上

4. 脱型試験 レジンモルタルのライニング成形は振動・締固めを行わない「注型法」によってほぼ所定のライニングを成形できる見通しが得られたので実物の1/5大の寸法の模型型枠を作成して押し抜き脱型試験を行った。使用したライニング材料を表2に、試験装置を図2に示す。

表-2 ライニング材料

分類	素材料	配合
結合材(R)	不飽和ポリエステル樹脂	R:(G+F) =1:4
骨材(G)	川砂	G:F=7:3
微細珪石(F)	炭酸カルシウム	
硬化剤	メチルメタクリレート(MEKPO)	3 phr
硬化促進剤	オクテン酸コバルト(OC _o)	2 phr
硬化促進補助剤	N,N-ジメチルアミン(DMA)	0.3 phr
重合禁止剤	パラベンゾキノン	0.03 phr

4.1. 試験方法 図2の装置において、中央部分の型枠に打設したレジンモルタルを上部加圧リングによって下部スパーサへ押し抜くことにより脱型し、その最大脱型力を測定した。なお、下部スパーサの着脱によって内型枠、外型枠個々の脱型力も測定できるように配慮した。載荷速度は2~3ton/分とした。使用した型枠は内面を中仕上げ切削した鋼製型枠であり、内型枠は並仕上げ、仕上げ切削したものとしてPEコーティング、テフロンコーティングの4種類とした。

4.2. 試験結果 (1)材令と最大脱型力…硬化剤混入時を硬化の始発点とし、脱型試験時までの経過時間を材令と

すれば材令と最大脱型力との関係は図3のようになる。図3において材令が短い程最大脱型力は小さく、このことからライニングが最大脱型力に対して十分な耐荷力を有するまで硬化した時点で脱型したらいよいことが判る。(2)型枠種別と最大脱型力…最大脱型力は外型枠、内型枠別々の最大脱型力の測定結果によると、ライニングを押し抜きするため、ライニングは型枠面に押しつけられ、さらに外型枠部分の最大脱型力が大であった。この原因としては、(ア)図4に示すように脱型時の材料の温度が高いために型枠より熱膨張率の大きいライニングが膨張して外型枠に密着していること。(イ)外型枠の接触面積が内型枠より大きいこと。などが考えられ、この結果は別の実験により求めた鋼棒の押し抜き脱型による単位面積当りの付着力に外型枠の表面積を乗じた値とよく一致していることから判る。又、4種類の内型枠を使用した脱型力の測定結果によると、表面をコーティングした型枠では脱型力を格段に小さくできることから、外型枠についても型枠を耐摩耗性のコーティング材でコーティングすれば脱型力はかなり軽減できると考えられる。

5. リング曲げ試験 本工法におけるライニング材は鉄筋等の補強筋の挿入が困難であり、無筋構造となるが、予想される外圧に対して十分な強度を有することを確認するために、 ϕ の脱型試験で脱型したリングを使用してリング曲げ試験を実施した。

5-1 試験方法 試験はアムスラー試験機により相対する2点集中荷重とし、クラウン部の線応力度の増加が毎分8~10% σ となるように荷重し、クラック発生時の荷重を求めた。試験時刻は図1においてライニングシェルド機から攻け出て土圧の影響を受けると考えられる時刻、材令90分で行った。又、同一ロットから採取した $4x4x16$ cmの供試体で3等分点曲げ試験を同一材令で実施した。荷重速度は2mm/minとした。

5-2 試験結果 リング曲げ試験による応力は平均150kg/cm²であった。これは3等分点曲げ試験結果による値(平均27.1kg/cm²)の70%程度である。これは表1の値を満足しているものの、強度が30%低下しており、その原因としては、(ア)リング状に成形することによる内部応力の影響、(イ)脱型時の影響等が考えられるが、今後実物大リング(内径20cm×長さ50m)等を使用して更に詳細に原因を究明していく考えである。

6. あとがき 模型型枠による脱型試験、リング曲げ試験により次の事が明らかになった。

- (1) 最大脱型力は材令が早い程小さく、外型枠表面をコーティング処理すればさらに小さくなる。
- (2) ライニングはリング強度としてほぼ所定の設計値を満足している。

以上より小断面シェルド自動ライニング材料としての見通しが得られたために、今後は実物大の型枠により更に詳細に問題点を詰めていく予定である。

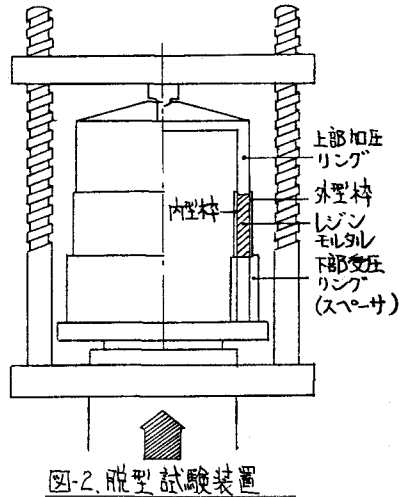


図2 脱型試験装置

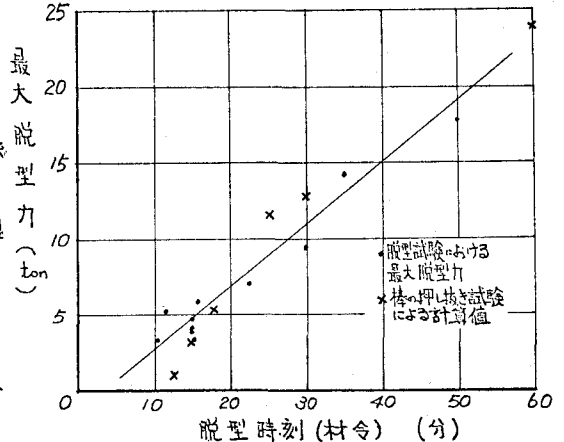


図3 脱型時刻と最大脱型力

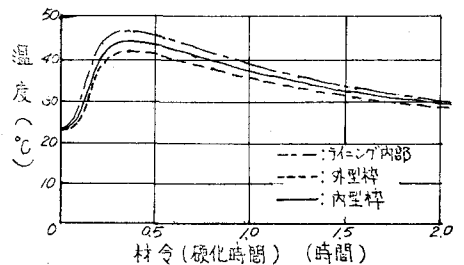


図4 材令と温度