

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員 広瀬孝司
 “ 九州電気通信局 正員 橋本 広
 “ 山形電気通信部 阿部洋一

1. まえがき

電電公社では、内径1200mmの小断面シールド工法のトンネルライニング施工法として、高速施工が可能で早強性材料（レジンモルタル）の現場打設を検討中である。本工法は、レジンモルタルをトンネル先端部まで運搬し、そこに硬化液を混合して型枠内に打設・成形するものであり、レジンモルタルの硬化後、脱型ジャッキを伸ばし型枠装置を前方にスライドさせることにより脱型し、地中にトンネルを築造する工法である。

本工法では、型枠内で硬化したレジンモルタルが、型枠内張材と付着し、脱型の際、大きな脱型力を必要とすることになる。また成形したライニングは型枠と密着した状態にあるため、型枠の剛性が高いと曲線施工が困難となる。本報告は、脱型力及び曲線施工性について、実物大地上実験の結果を、まとめたものである。

2. 型枠装置及び実験の概要

型枠装置の概要を図1に示す。使用したレジンモルタルは、不飽和ポリエステル樹脂を結合剤とし、骨材（砂十炭酸カルシウム）との比が1：4のものである。そして、硬化液と混合後、45分間でトンネルライニングとして必要な強度に達する。実物大地上実験では、1回の打設で成形されるライニング寸法は120×10×50cm（内径×厚さ×打設長）であり、型枠装置を地上に固定したガイドレールに添って曲進させ、連続的にライニングを成形した。（写真1、2参照）

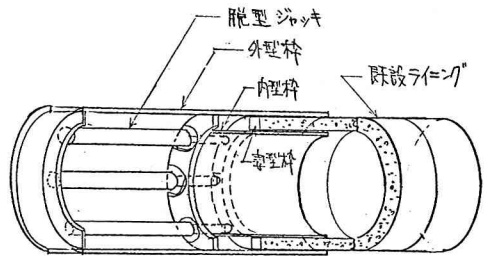


図1. 型枠装置の概要

3. 脱型力について

3-1. 型枠内張材の選定 型枠内張材は当初、鉄製としたが脱型力が大きくなり脱型ジャッキの奥装が問題となる。このため、前回の報告を述べたように、型枠内張材にレジンモルタルとの付着力の小さい材料を用いて脱型力の低減を図ることとした。内張材としては、曲線施工時の変形特性、奥装方法の難易、耐薬品性などの条件からフッ素樹脂とフッ素ゴムを選定したが、その付着力試験結果を表1に示す。これらの材料は鉄製に比べて付着力が非常に小さいため、脱型力の軽減には有効であることが分かった。

3-2. 実物大リングの脱型力測定実験結果 実験に使用した外型枠内張材の構造を表2に示した。図2は脱型長（型枠とライニングの相対変位量）と脱型ジャッキ推力の測定結果である。鉄製及びフッ素ゴムでの最大推力は、内張材とモルタルが剥離する瞬間に表われ、そ

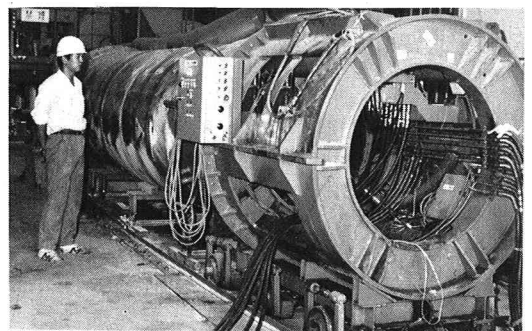


写真1, 2. 型枠装置及びライニング

の後の推力は大巾に減少するが、フッ素樹脂では付着力が小さいために、顕著なピークは見えず、鉄製に比べ脱型力が $1/5$ 程度と大巾に低減された。一方、フッ素ゴムは鉄製より脱型力は小さいものの、寸法効果及び拘束条件の違いのため、供試体の付着力試験の結果と異なり、大巾な脱型力低減はななかった。

4. 曲線施工について

4-1. 型枠内張構造 レジン材料は一般的に硬化収縮するが、リング成形のための膨張性を付与してありライニングは硬化後も型枠に密着した状態にある。したがって、型枠は曲線施工の際、既設ライニングと相対折れ角がとれる構造とする必要がある。内型枠は収縮構造とすることにより対応可能であるが、外型枠では適度の弾性を持つため、表2に示すように外型枠内張材にゴム材を入れることとした。

4-2. 実物大リングによる曲線施工実験結果 図3にトンネルの曲率半径と脱型力の関係を示した。曲率半径50mの場合、直線施工に比べて、脱型力の増加はフッ素ゴムでは、20t程度と幾分大きい。フッ素樹脂では2t程度と小さく問題はない。また、既設ライニングに発生する曲げ応力を表面いずみゲージで測定したところ、最大10kg/cm²程度であり、既設ライニングは曲線部でも強度的に十分耐えることが明らかになった。

5. フッ素樹脂の耐摩耗性について

外型枠内張材は脱型時、ライニングと摩擦するので、耐摩耗を確認するため、図4に示す装置によりフッ素樹脂コーティング鉄板の摩擦試験を行った。上載荷重は樹脂の膨張力及び曲線施工時のライニングからの曲げ反力を考慮して0.65kg/cm²とし、ジャッキのしゅう動速度は、10cm/min、フッ素コーティング厚さは0.5mmである。実験ではフッ素樹脂コーティングの摩耗による脱型力の変化を測定した。図5に、しゅう動延長距離と脱型力の関係を示した。これより、フッ素樹脂は初期に20%程度脱型力が増加するが、コーティング厚さが0.5mm程度あれば、1000m以上の施工が出来る。

6. あとがき

以上の実験結果から、脱型力低減策として型枠内張材にフッ素樹脂コーティングを行い、また、曲線施工性の向上策として、内型枠に収縮構造を設けると併し外型枠内張材にゴム材を入れるのは有効であることが明らかとなった。今後は、地下においてトンネルライニング実験を行い、実用化を進めよう予定である。

表1. レジンモルタルとの付着力

試験方法 材質	引抜応力(kg/cm ²) 比率		押抜応力(kg/cm ²) 比率	
	値	比率	値	比率
SS41	40.80	1	4.3	1
フッ素樹脂	0.53	$1/5$	0.8	$1/5$
フッ素ゴム	0.13	$1/314$	0.2	$1/23$

表2. 外型枠内張材の構造

内張材	鉄製	フッ素樹脂	フッ素ゴム
構造			
	A: ステンプレート B: ゴム材 C: 圧延鋼板 D: フッ素樹脂		

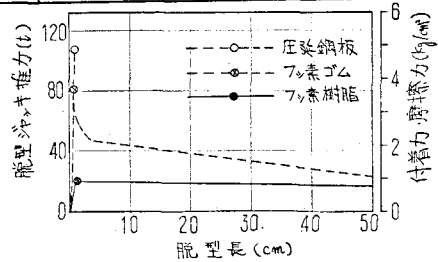


図2. 脱型長と脱型力との関係(直線施工)

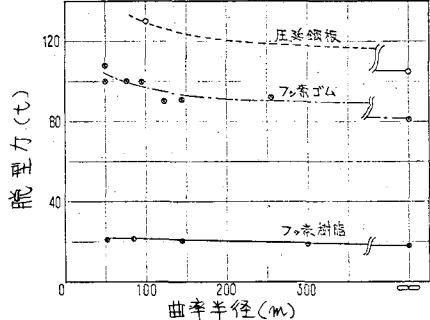


図3. トンネルの曲率半径と脱型力の関係
(レジンモルタル底面 50×50cm)

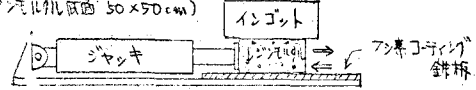


図4 摩耗試験装置

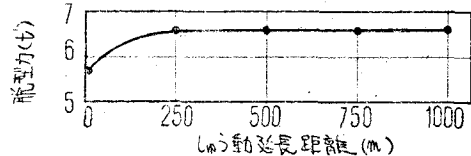


図5. しゅう動延長距離と脱型力