

日本電信電話公社	茨城電気通信研究所	正員	○	中	西	信	輔
〃	〃	正員		中	野	勇	介
〃	研究開発本部			松	浦	武	利

1. まえがき

電電公社では、通信土木工事の高能率化、環境への適応、経済化を目的として、通信ケーブルを最大40条まで収容できる内径1.2mのトンネルを築造する小断面シールド工法(D1200-M2)の開発を進めている。本工法では、長距離掘進及び坑内作業の無人化を可能とするため、トンネルライニングを早強性レジンコンクリートの現場打設で築造することを最大の特徴としている。本報告では、筑波電気通信建設技術開発センター内で実施した現場試験工事におけるライニング打設制御結果について述べる。

2. ライニング打設システム概要

ライニング打設システムは、発進立坑上に設置した材料アラント、トンネル内で材料を運搬する材料運搬車、シールド機内に設けられた混合打設装置と型枠装置及びこれらをつなぐ連結装置から成っている。装置構成の概要を図1に示す。

また、現場試験で使用した早強性レジンコンクリートの材料配合を表1に示す。

材料プラントでは、硬化剤を除く樹脂、骨材等を混練し、立坑内の材料運搬車のレジンタンク内に投入する。材料運搬車にはこの他に硬化液、洗浄液を搭載し、牽引車と連結してトンネル内を走行する。材料運搬車に搭載したライニング材料は連結装置を介して、レジンコンプレッサによるエア圧送によって、硬化液はポンプによって、それぞれ別個に混合打設機へ送給される。混合打設機内では、レジンと硬化液とを連続的に混合し型枠内へ打設する。1リング($l=50\text{cm}$)打設終了後には直ちに打設機内を洗浄する。一方、型枠内のレジンとは約10分後に硬化を開始し、30分後には所要の強度を発揮する。ライニングが強度発現し、推進ジャッキで硬化したライニングを反力としてシールド機を前進させることにより、レジンコンクリートトンネルが地盤内に形成される。打設工程のフロー並びに各工程での制御監視項目を図2に示す。ここでは、現場試験工事

表1 ライニング材料配合

材 料 名	重量配合
液 不飽和ポリエステル樹脂	100

① レジンの送給特性、② 硬化液の配合比制御、③ 型枠内充填検知制御の結果について報告する。

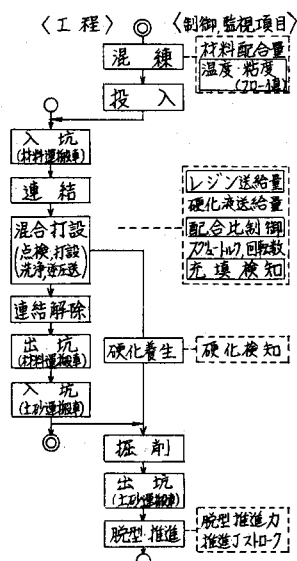


図2 ラーニング打設工程と制御項目

表1 ライニング材料配合

材 料 名		重量配合比
液 状 レ ジ ン	不飽和ポリエステル樹脂	100
	添加剤 硬化促進剤	1.5phr
	分離防止剤	0.75phr
	骨材 砂(粒度3mm以下)	280
	炭酸カルシウム	120
硬 化 剤		30±10phr

(注) phr; 樹脂に対する重量百分率

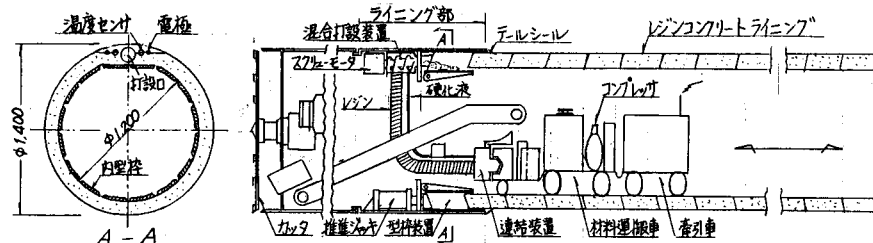
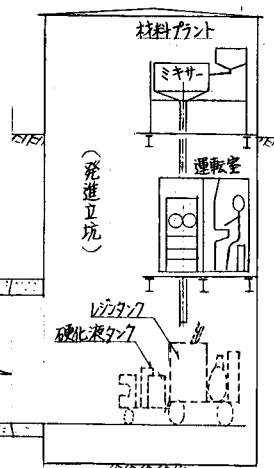


図1 ライニング打設システム概要図

骨材の保温等により、温度管理を行っている。また、レジンの粘度測定には一般の回転型粘度計を使用できないため、現場での取扱い及びデータ収集の容易なフロ・コーン方式を採用し、レジン落下時間（フロー値）によって粘性を評価した。（写真1）レジン温度とフロー値の結果を図3に示す。また、フロー値と混合打設時のレジン送給流量との関係を図4に示す。混合打設装置の性能及び打設時間の条件から、送給流量は40～80 kg/minとすることが好ましく、この送給流量を確保するためには、フロー値を120秒以内、温度としては25℃以上を必要とすることがわかった。

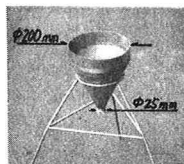


写真1 レジン用フロ・コーン

4. 硬化液配合比制御

打設工程では、液状レジンと硬化液とを定められた配合比で連続的に混合するため、コンピュータによる配合比制御を行っている。これは、本工法のレジンコンフリートが、工法上の要求条件である ①超早強性、②硬化時の低収縮性を発揮するためには、硬化液の配合比を一定の範囲内（3.0±1.0 phr）にする必要があるためである。本システムでは、レジン送給重量を20秒毎に計測し、その時の送給流量に合わせて硬化液の流量を変化させるフィードバック制御方式を行っている。現場試験工事では、目標配合比を3.0と3.5、制御のきき値を±0.5と±1.0の計4ケースで実施した。1打設工程内での配合比制御の例を図5に示す。いずれも目標配合比の範囲内に納まっていることがわかるが、平均値では、目標配合比を3.5に設定した方が良いことがわかる。これは、打設の経過とともにレジン送給流量が上昇する傾向があるため、目標値を3.0に設定すると、配合比制御のきき値が低くなるため、平均値が低下して不満足になるものと考えられる。

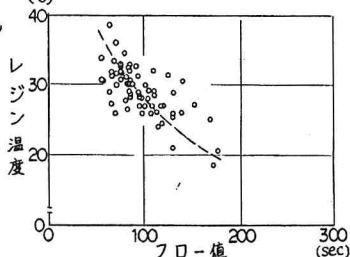


図3 レジンの温度特性

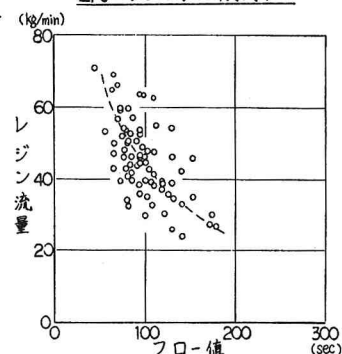


図4 レジンの流量特性

5. 充填検知制御

打設工程の最後には、型枠内のレジンが規定のレベル以上まで充填されたことを検知して打設を終了し、次の洗浄工程へ移る必要がある。充填検知には、温度センサと電極とを組合せ、水とレジンとを識別して検知する方式をとっている。現場試験では、ほとんど温度による検知が行われたため、ここでは温度降下による充填検知制御結果について述べる。レジン液面がセンサに接触すると温度降下が始まるが、この時の温度降下率 α (°C/sec) とその継続時間 ΔT (sec) をパラメータとして充填検知の判断を行っている。（図6参照）現場試験の中で得られた打設記録（67例）で、充填後10秒間の α と ΔT の発生率を図7に示す。電気的ノイズ等に起因する温度変化による誤充填検知を防ぐためには、 α と ΔT の設定を大きくすることが好ましい。（図7の矢印方向）その中で、測定例の全ケースで確実に検知できる設定値は、図7から $\alpha = 0.3$ (°C/sec) $\Delta T = 4$ (sec) が最も良いことが判明した。

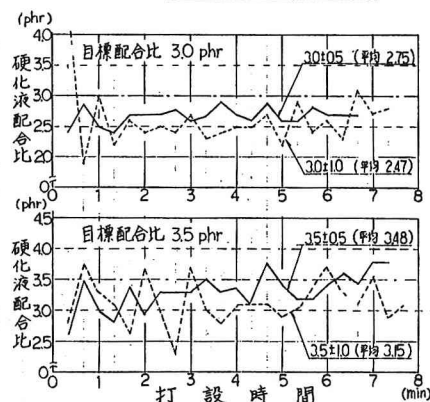


図5 硬化液配合比制御結果(例)

6. あとがき

本工法のライニング打設システムは、現場試験でその実用化の見過しか得られたため、一般公道下での掘進工事を行う予定である。

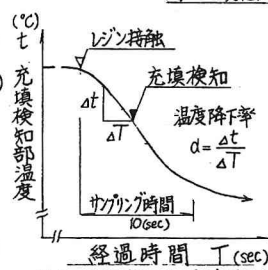


図6 温度降下による充填検知

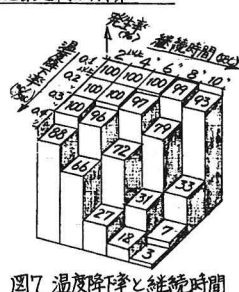


図7 温度降下率と継続時間