

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 高塚 外志夫

1. ま え が き

電電公社では通信用ケーブルを最大40条まで収容できる小口径トンネルを、早強性レジンモルタルの現場打設により、マシード工法（M-2）の開発を進めている。本工法では、シールド機械に装備した混合打設機により、レジンモルタルと硬化剤とを混合し、ライニング型枠装置の中に打設して内径120cm、厚さ10cm、長さ50cmのトンネルを連続的に成形して掘進してゆく。本工法の概要を図-1に示す。このトンネルが構造物として所定の寸法（厚さ）および強度を有しているかどうかを確認するためには、レジンモルタルトンネルに対する非破壊検査を行う必要がある。本報告では、このレジンモルタルに対する非破壊検査法として超音波法を用いる場合の、音波の最適周波数ならびにライニング厚計測の可能性についての検討内容を述べる。

2. 本工法における非破壊検査の位置づけ

本シールド工法のライニングに使用しているレジンモルタル材料の配合を表-1に示す。このレジンモルタルで成形した内径120cmのトンネルが土圧等の荷重に耐えるためには、安全率=4で設計すると厚さ10cmの断面形状となる。ライニングの一般部の厚さは型枠装置により、常に10cmとなり、天井部においてもモルタル打設時の充填検知システムによって12cm以上を確保するようになっている。しかしながら、万一型枠内に土砂等が流入した場合などにはライニングの厚さが不足し、トンネルとしての強度が期待できなくなる恐れがある。このため打設後にライニング厚を確認することが必要である。一方、現場でモルタルと硬化剤とを混合打設するため、成形したライニングの強度を検査する必要もある。これらを非破壊で検査する手法としては、超音波を用いる方法が有効である。一般にコンクリートの強度推定に使われている超音波法では、透過法による伝播速度の計測が行われているが、本工法に超音波法を用いる場合、トンネルが地盤内に構築されているためこのトンネル内面からの探査に限られる。したがって、本工法に用いる超音波は、厚さ10cmのレジンモルタルの中を伝播するとともに、測定方法としてトンネルの内面から超音波を入射させてトンネル外面からの反射波をとらえるという反射法によるものでなければならない。

表-1 早強性レジンモルタル材料配合

種 類	材 料	配合比
結 合 材	不飽和ポリエステル樹脂	100
骨 材 1	砂（粒径3mm以下）	280
骨 材 2	炭酸カルシウム	120
硬 化 剤	メチルエチルケトンパーオキサイド	3.0 phr
硬化促進剤	オクテン酸コバロト	1.5 phr
硬化促進補助剤	N-Nジメチルアニリン	0.5 phr
重合禁止剤	P-77ブチルカテコール	0.02 phr
分離防止剤	アエロジル	0.5 phr
消 泡 剤	カルボン酸アミド	0.05 phr

（注）phr；樹脂に対する重量百分率

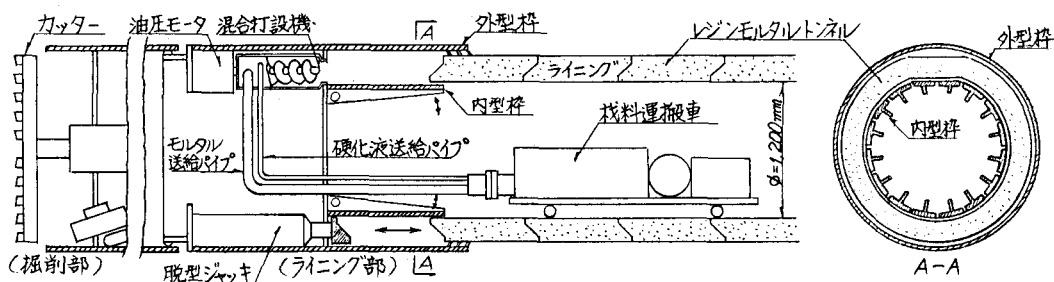


図-1 小断面シールド工法（M-2）概要図

3. 超音波周波数の選定

一般に超音波が材料の中を伝播する時、コンクリートやモルタルのように結晶粒の大きな材料では周波数が高い程音波の散乱減衰が激しくなり、反射波を得にくくなる。一方、周波数が低くなると分解能が低下し、反射波の立上り部を的確に読みとることができなくなる。したがって、このレジンモルタルに超音波を適用する場合に適切な音波の周波数を知る必要がある。そこで、共振周波数の異なる探触子（音波の送受信子）を用いて実験を行った。実験では市販の超音波探傷器を用いて、直接接触型の一探触子法によるパルス反射法を行った。探触子の周波数として、0.5, 1, 2, 5 MHzを用意し、厚さ 10 cm のレジンモルタル供試体における反射波をとらえた。なお、探触子とレジンモルタルとの接触面にはグリセリンを塗布した。

写真-1(a)~(d)は、各周波数の探触子においてブラウン管に表示された反射波の状況である。画面左端の波は送信波であり、右側に現われているのが反射波である。この結果からわかるように、5 MHz では反射波をほとんど得ることができず、探傷器の感度を上げると林状エコーが発生し反射波との判別が困難となる。一方、0.5 MHz では反射波の立上り部が不明確である。

1 MHz と 2 MHz では、明確な反射波が得られているとともに両者の間にはほとんど差がない。従って、超音波で本レジンモルタルの 10 cm 厚での反射波を得るためには、周波数 1~2 MHz の音波が適切であることが判った。

4. ライニングの厚さ計測

超音波法によるライニング厚さ計測の可能性を検討するため、地上で打設したライニングに対して内面からライニングの各位置における厚さを計測した。写真-2 はトンネル内で計測している場面である。探触子の周波数には 1 MHz を用いた。なお、このときの基準としてライニング側面を 10 cm としこれとの比によって厚さを求めた。（土砂等が流入した場合でも側面は常に 10 cm を確保できるように） 図-2 は超音波による測定結果と実測値を示したものであり、超音波による測定値が良く一致し、超音波による厚さ計測が可能であることが判った。

5. あとがき

今回の検討によって、超音波を用いてレジンモルタルトンネルの非破壊検査を行う場合の最適周波数なうがに厚さ計測の可能性が判明した。今後は強度の推定に対して、他の検査法と合わせ超音波法を検討してゆく予定である。



写真-2 ライニング厚を測定している場面

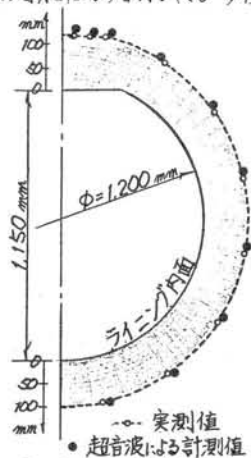


図-2 ライニング厚の測定例

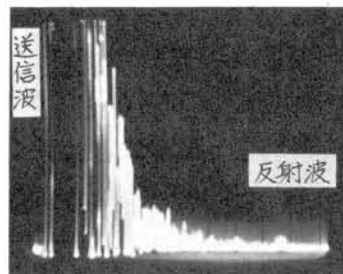


写真-1(a) 周波数 5 MHz

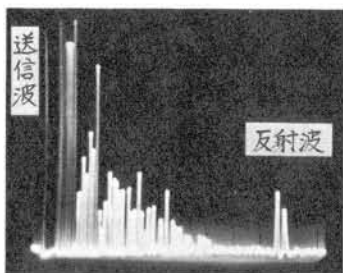


写真-1(b) 周波数 2 MHz

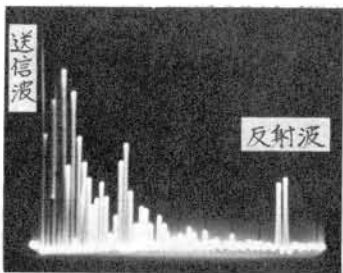


写真-1(c) 周波数 1 MHz

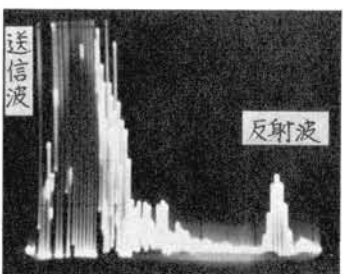


写真-1(d) 周波数 0.5 MHz