

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員・大木一夫  
木村幸男

## 1. まえがき

電電公社の小断面シールド(M-2)工法では、早硬化材料による自動ライニング方式を現在検討中であり、本方式は、未硬化状態を搬入されたレジコンモルタルと硬化剤をトンネル内のライニング型枠へ連続混合打設しその硬化を確認しに後、推進ジャッキにより脱型を行い、順次トンネルを築造するものである。

以上の点から、本方式において工事の円滑な進行と良質な品質管理を行うためには、ライニング型枠に打設されたレジコンモルタルの早期強度を型枠外側から非破壊で推定することが一つの重要な課題となっており、そのための測定法として超音波を利用した非破壊強度測定法の検討を行った結果、レジコンモルタル強度と超音波音速との相関がほぼ明らかとなった。

## 2. 材料および実験方法

レジコンモルタルの素材料及標準配合を表1に示す。

実験は以下の項目について行った。

## (1) 曲げ強度と音速との関係

i) レジコンモルタルは硬化時にラジカル重合反応による発熱を伴い、その発熱温度は形状・大きさ・冷却効果等により異なるため、発熱温度により強度と音速の相関が変わる可能性があることから、標準配合のものに型型前(ステアリン酸)を混入し、同一強度でも発熱温度の異なる4種類の供試体を作成し、硬化養生時の音速と曲げ強度を測定した。

ii) レジコンモルタルの組成上、Rと(G+F)の配合比および骨材の種類、強度と音速の相関に大きな影響を及ぼすと考えられるため、骨材種類と配合比をそれぞれ変えて硬化養生時の音速と曲げ強度を測定した。

## iii) トンネル現場で未硬化状態のレジコンモルタルと硬化剤を混合打設

することから混合比が安定に保たれない危険性がある。その影響を調べるため硬化剤の配合を変えて3種類の供試体について硬化養生時の音速と曲げ強度を測定した。また骨材の含水比を変えて同様の測定をした。以上の測定には、発熱温度測定(10×10×40 cm供試体)を除き4×4×16 cmの供試体を使用した。音速は市販のコンクリート試験機を使用して図1の方法で測定し、伝搬時間から算出し、送受信子間の大きさと供試体の大きさの整合のためテーパー治具を使用した。また、曲げ強度の測定はコンクリートの曲げ強度試験法に従い、供試体の発熱温度は熱電対を供試体の中央に埋込むことにより測定した。

## (2) 圧縮強度と音速との関係

脱型時に必要とされる圧縮強度と音速との関係は供試体により測定した。供試体には強度の幅を持たせるため標準配合にステアリン酸を混入し、10×10×40 cm 供試体からキャッピングのひねり抜きで抜き取った50×10 cmの円柱供試体を使用した。測定法は曲げ強度と音速との関係の場合と同様とした。

| 分類     | 素 材 料            | 標準配合     |
|--------|------------------|----------|
| 結合材(R) | 不飽和ポリエステル樹脂      | R: (G+F) |
| 骨 材(G) | W 砂              | = 1:4    |
| 硬化剤(F) | 安息酸カルシウム         | G: F: 3  |
| 硬化剤    | メタカクリル酸(MBA)     | 3 phr    |
| 硬化促進剤  | オクテ酸コバルト(OG)     | 2 phr    |
| 硬化遅延剤  | N,N-ジメチルアミン(DMA) | 0.3 phr  |
| 重合禁止剤  | ペラバンゼン(PBA)      | 0.03 phr |

表1 ライニング材料

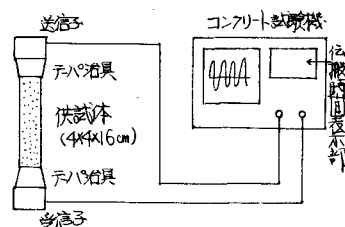


図1 超音波伝搬時間測定法

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 曲げ強度と音速との関係

##### i) 発熱温度による影響

実験結果を図2に示す。これより、発熱温度が異なっても強度と音速の間にはほぼ一定の相関があることがわかり、実用時において冷収縮効果等による発熱温度差が生じても測定上無視できることが判明した。

##### ii) 骨材の種類およびR:(G+F)配合比の影響

実験結果を図3に示す。得られた実験式・相関係数・ばらつきを表2に示す。これより、骨材は川砂・配合比は樹脂量・すなわち配合のほうが良い相関が得られることがわかった。また、川砂(1:4)と人工軽量骨材(1:2.5)および川砂(1:2.5)と人工軽量骨材(1:1.4)との相関が似ているのは、単位体積当りの樹脂量がそれぞれ0.42と0.44 g/cm<sup>3</sup>、0.54と0.59 g/cm<sup>3</sup>とほぼ等しいことによると考えられる。

##### iii) 硬化剤量および骨材含水比の影響

実験結果を図4に示す。これより、硬化剤量と骨材の含水比が変わっても強度と音速の相関にはほとんど影響がななく、 $F = aV^2 + bV + c$  式に集約できることが判明した。

$$F = 1.648V^2 - 57.335V + 526$$

F: 曲げ強度 (kg/cm<sup>2</sup>) V: 音速 (×10<sup>2</sup>m/sec)

#### (2) 圧縮強度と音速との関係

実験結果を図5に示す。測定値にかなりのバラツキがあるが曲げ強度の場合と同様計算機により二次式近似を行うと

$$F = 94.2V^2 - 4758V + 60575$$

F: 圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>) V: 音速 (×10<sup>2</sup>m/sec)

となる。しかし、所要の曲げ強度が得られる場合圧縮強度は十分所要値を満足することが実験により確認されていることと本実験による強度の推定精度を考慮すると、実用時の強度推定には曲げ強度を採用するのが適正との結論を得た。

#### 4. あとがき

供試体を使い、実験により、骨材種類および樹脂と(骨材+微粒充填材)の配合が変わる場合には強度と音速との相関が変化するが、発熱温度・硬化剤量・骨材含水比等によって強度と音速の相関はほとんど影響を受けないことが判明した。これより、超音波を利用した非破壊強度測定法はライン工場の配合品質管理の適正に行われれば場合には十分実用可能な方法であるとの見通しを得た。今後は、実装を中心とした検討を進める予定である。

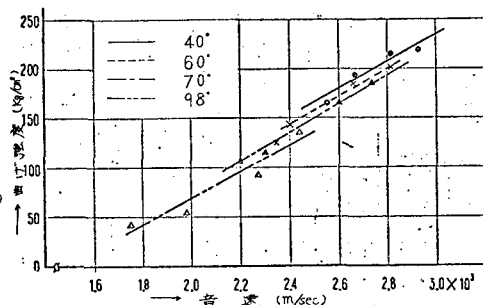


図2 発熱温度による曲げ強度と音速の関係

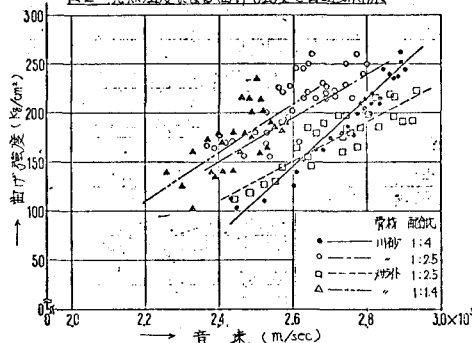


図3 骨材種別と配合比による曲げ強度と音速の関係

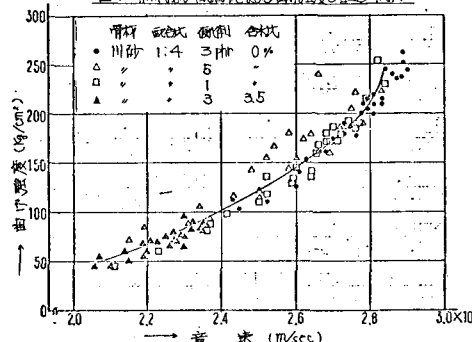


図4 硬化剤量配合比と含水比による曲げ強度と音速の関係

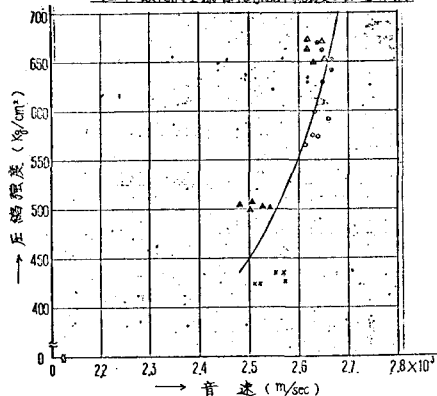


図5 圧縮強度と音速の関係

| 供試体            | 実験式                | 相関係数 (n=20) |
|----------------|--------------------|-------------|
| 川砂 (1:4)       | $F = 0.343V - 748$ | 0.94        |
| 川砂 (1:2.5)     | $F = 0.229V - 399$ | 0.75        |
| 人工軽量骨材 (1:2.5) | $F = 0.198V - 361$ | 0.88        |
| 人工軽量骨材 (1:1.4) | $F = 0.252V - 445$ | 0.66        |

表2 曲げ強度F (kg/cm<sup>2</sup>)と音速V (m/sec)の相関