

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所

正員 藪田 哲 郎

辻 村 健

正員 森 光 武 則

1. はじめに

電電公社茨城電気通信研究所では、レジソモルタルを現場打設することにより、2通信用トンネルを築造する小断面シールド工法の実用化を進めている。本工法も実用化するには、現場打設したレジソモルタルの強度保証の研究が不可欠である。本報告は、レジソモルタルの破壊メカニズムの観点から検討を加えたいので、レジソモルタルの強度は樹脂含有率により、大きく左右されることを明らかにしている。

2. 実験方法

実験に用いたレジソモルタルの組成は、結合剤として不飽和ポリエステル樹脂を用い、増量剤として砂および微粒子炭酸カルシウムを用いた。また、今回の実験では、結合剤と増量剤の配合比を変化させてコントロールを用い、樹脂含有率の観点から検討を進めた。

上記試料の破壊強度は、トンネル材料として用いたために、トンネル強度の主要要素である曲げ強度で評価を行った。曲げ試験は図1に示す方法を用い、負荷速度は1mm/minで試験を進めた。試験時の試料の上面および下面にストレーンゲージを貼り、各々の位置のひずみを測定した。曲げ強度  $\sigma_b$  は、破断時の荷重  $P$  を用いて、次の式で求めた。

$$\sigma_b = Pl / b h^2 \quad (1)$$

ただし、 $l$  : 図1に示すスパン、 $b$  : 破断面の幅、 $h$  : 破断面の高さである。

また、試料のセメント係数は、破断ひずみを  $\epsilon_{max}$  とした場合、次の式で求めた。

$$E_t = \sigma_b / \epsilon_{max} \quad (2)$$

さらに、空気含有率は、実測密度と空気を含有しない場合の理論密度の比較から求めた。

3. 実験結果

図2に樹脂含有率と曲げ強度の関係を示す。この図に示すように、レジソモルタルは樹脂含有率の変化により、曲げ強度が変化し、次に示す4つの領域に分類される。(1)樹脂含有率が10%以下の極端に強度が劣化する領域(図中(I))、(2)樹脂含有率が増加するに従って強度が向上する領域(図中(II))、(3)樹脂含有率の変化しても強度が変化しない領域(図中(III))、(4)樹脂含有率が増加すると強度が低下する領域(図中(IV))が存在する。

また、図3に樹脂含有率と空気含有率の関係、図4に樹脂含有率と破断ひずみの関係、図5に樹脂含有率とセメント係数の関係を示す。

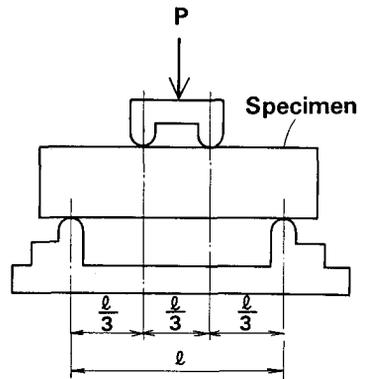


図1. 曲げ試験方法

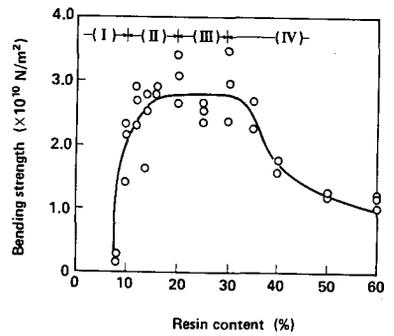


図2. 樹脂含有率と曲げ強度の関係

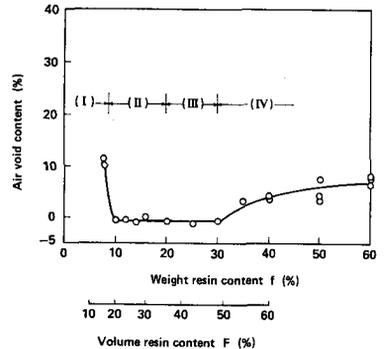


図3. 樹脂含有率と空気含有率の関係

これらの図から示すように、それぞれの特性も、領域(Ⅰ)、(Ⅱ)、(Ⅲ)、(Ⅳ)で異なる挙動を示している。このように、領域によって破壊パターンが異なることが予想され、次章で破壊メカニズムの観点から考察を加える。

#### 4. 考察

曲げ強度は図2に示すように、領域(Ⅰ)、(Ⅱ)で大幅に強度が低下する。これは、図3に空気含有率と領域の関係を示すか、領域(Ⅰ)、(Ⅱ)で空気含有率が大きくなり、レジシモルタル中の砂のボイドが混在していると考えられる。領域(Ⅲ)で急激に空気含有率が上昇するが、これは、材料<sup>(4)</sup>が検討しているように、樹脂の含有率が小さい範囲では、増量材の空隙に完全に樹脂が充填できず、空隙が残る下りと考えられる。この場合は、図5のセカント係数が示すように、大幅にセカント係数も低下する。また、領域(Ⅳ)でも空隙が存在するが、これは樹脂含有率が大きくなると、レジシモルタルの製造時に樹脂中の空隙が混入し、ボイドが混在する下りによる。これらのボイドのため、領域(Ⅳ)では大幅に強度が低下することを推定できる。

また、領域(Ⅳ)、(Ⅴ)の曲げ強度の大きい領域での破壊現象は、砂等の増量材の破壊が支配要因と考えられ、破断時の砂の崩れについて検討を行う。図4のレジシモルタルの破断ひずみを図とすると、増量材の破断ひずみ $\epsilon_{a1}$ は、近似的に式(3)で示される。

$$\epsilon_a = \bar{\epsilon} \cdot E_r / \{ E_f F + E_r (1 - F) \} \quad (3)$$

ここで、 $E_r$ 、 $E_f$ ：増量材、樹脂のヤング率、 $F$ ：樹脂の含有率である。

式(3)の推定式を用いて、図4の破断ひずみを図5の増量材の破断ひずみ $\epsilon_{a1}$ を求めた結果を図6に示す。藤井<sup>(4)</sup>は、レジシモルタル中の砂の破断ひずみの実験式を得ており、計算値として図6に示すが、実験値と計算値の両者はほぼ一致し、増量材中の砂の破壊によって、レジシモルタルの破壊が起ると考えられる。また、図4および図5のセカント係数の変化にも示すように、領域(Ⅲ)と(Ⅳ)の境界では顕著な変化を示しており、破壊現象が異なる差を生じているものと考えられる。これは、増量材と樹脂の界面でのハリ離れによる破壊現象が生じているものと予想され、今後の検討課題である。

#### 5. まとめ

レジシモルタルの破壊メカニズムを樹脂含有率の観点から検討を加え、樹脂含有率の変化に従って破壊メカニズムが4つのパターンに分類できることを明らかにした。特に、樹脂含有率が10%以下および30%以上で強度が劣化するが、これはレジシモルタル中に混在する空隙の影響によるものと考えられる。今後は樹脂含有率10~30%の領域における破壊メカニズムの検討を進めようとしている。終りに、日映御指書頂く、電二公社茨城電気通信研究所山岸室長に感謝する。

(参考文献) (1) H. Tsunoda, International Symposium Underground Works Man Environment, Warsaw (1983) (2) 岡田他, 材料 16, No. 67 (1967), (3) 松浦, 材料, Vol. 26, No. 27 (1977), (4) 藤井他, 機研論 No. 820-2 (1984) (5) 村井, 接着, Vol. 7, No. 607 (1963) (6) 藤井他, 材料, Vol. 26, No. 290 (1977)

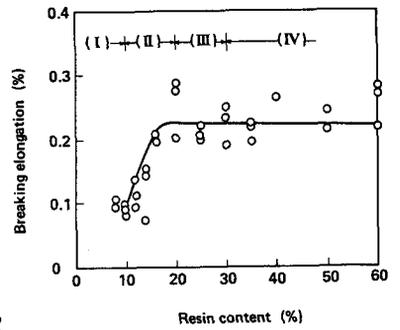


図4. 樹脂含有率と破断ひずみの関係

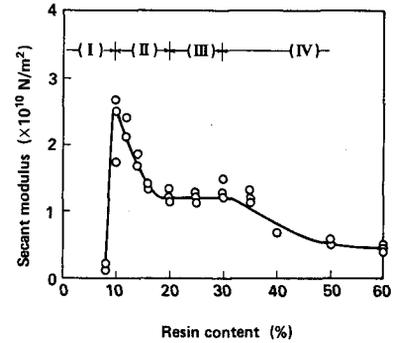


図5. 樹脂含有率とセカント係数の関係

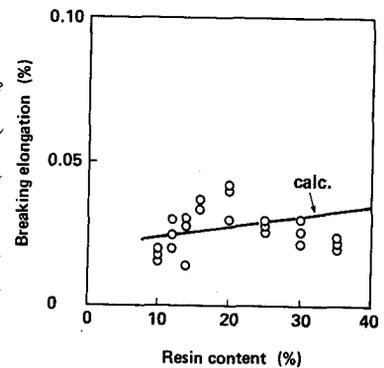


図6. 樹脂含有率と砂の破断ひずみの関係