

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員 森光 武則

‘ ‘ ‘ 数田 哲郎

‘ ‘ ‘ 辻村 健

1. まえがき

電電公社では、小断面シールド工法(D1200 M2)の研究実用化を進めている⁽¹⁾。本工法は早強性レジンコンクリートの現場打設を大きな特徴としており、信頼性の高いレジンコンクリートの用装とその強度特性に関する研究が必要であった⁽²⁾。本報告は、これらの研究の一環としてレジンコンクリートの組成と機械特性の関係を明らかにするもので、密度、ヤング率を介して、音速から不飽和ポリエステル樹脂(以下、単にレジンと略す)の含有率を求める算出式とその実験結果について述べている。

2. レジン含有率と密度

早強性レジンコンクリートは、結合材としてレジン、増量材として砂および炭酸カルシウムを用いており、これらが主材料となっている。本実験では、レジンと増量材の配合比を種々変えた試料を用いた。なお、増量材の砂と炭酸カルシウムの配合比は重量比で約2:1である。さて、レジンコンクリートの密度 ρ は、レジンの密度 ρ_r 、増量材の密度 ρ_a およびレジンコンクリート中のレジン含有率(体積比) f とから、次式で求められる。

$$\rho = \rho_r f + \rho_a (1 - f) \quad (1)$$

図-1にレジン含有率が変化した場合のレジンコンクリートの密度の変化の割合を示す。ただし、 $\rho_r = 1.1 \text{ g/cm}^3$, $\rho_a = 2.5 \text{ g/cm}^3$ である。式(1)による計算値と実験値はよく一致している。レジン含有率が0.2以下および0.5以上で、実験値が計算値より小さくなるのは、増量材の間に空隙が生じたためであることが認められた。

3. レジン含有率と密度

レジンコンクリートのヤング率をレジンと増量材のヤング率から求めるために、レジンコンクリートの構造モデルを図-2のように考えた。したがって、引張り荷重に対しては、図-3のような力学モデルを考える。すなわち単位長さの立方体のレジンコンクリートを想定し、長さ l の立方体の増量材がレジンで囲まれていると仮定する。このレジンコンクリートに作用する張力を P 、そのうち、レジンに作用する張力を P_r 、増量材に作用する張力を P_a とすると、以下の関係が成り立つ。

まず、レジン含有率 f の定義から

$$l^3 = 1 - f \quad (2)$$

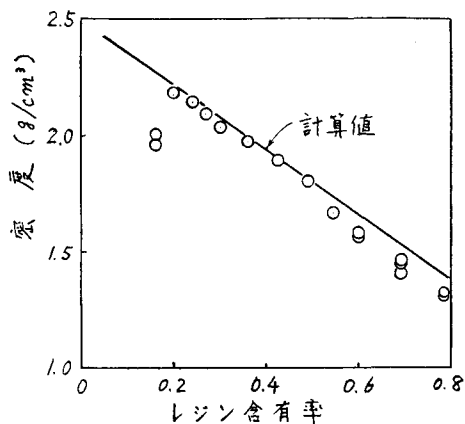


図-1 レジン含有率と密度の関係

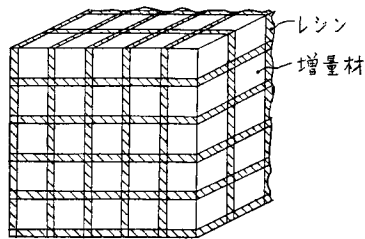


図-2 レジンコンクリートの構造モデル

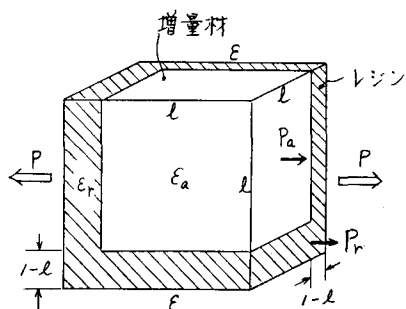


図-3 レジンコンクリートの力学モデル

また、明らかに

$$P = P_r + P_a \quad (3)$$

$$P_r = E_r \cdot A_r \cdot \varepsilon = E_r (1-l^2) \varepsilon \quad (4)$$

$$P_a = E_a l^2 \varepsilon_a = E_r l^2 \varepsilon_r \quad (5)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_a \cdot l + \varepsilon_r (1-l) \quad (6)$$

ここに、記号はそれぞれ以下に示すとおりである。

E_r, E_a : レジンおよび増量材のヤング率

ε : レジンコンフリートの伸びひずみ

ε_r : 張力方向に対して増量材と直列位置にあるレジンの伸びひずみ

ε_a : 増量材の伸びひずみ

A_r : レジンの断面積

これらの関係からレジンコンフリートのヤング率を求めると

$$E = \frac{P}{\varepsilon} = \frac{E_a \cdot E_r \cdot l^2}{E_r \cdot l + E_a(1-l)} + E_r (1-l^2) \quad (7)$$

を得る。レジンコンフリートの曲げ試験結果からセカント係数

(曲げ強度/破壊ひずみ)をヤング率とみなして得た実測値と

式(7)による計算値を図-4に示す。ただし、 $E_r = 4.0 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$

$E_a = 6.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ である。実測値と計算値はほぼ一致

している。レジン含有率が大きくなると実測値が計算値より

小さくなっているのは、レジンの量が多くなると脆性的でなく

なるため、セカント係数がヤング率より小さくなることによる

ものと思われる。

4. レジン含有率と音速

固体中を伝搬する音速 C は

$$C = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (8)$$

で与えられる。式(8)および式(7)を式(8)に代入すると、

$$C = \sqrt{\frac{1-\nu}{\{P_r f + P_a(1-f)\}(1+\nu)(1-2\nu)}} \left\{ \frac{E_a E_r l^2}{E_r l + E_a(1-l)} + E_r (1-l^2) \right\} \quad (9)$$

ただし、式(2)より $l = (1-f)^{1/2}$ である。ここで ν はポアソン比であり、レジンコンフリートの場合、レジン

含有率に関係なく約0.26である。したがって、式(9)により、レジン含有率 f から音速 C を計算すること

ができる。図-5にレジン含有率と音速の関係を示す。音速は2MHzの超音波を用いて測定した。実測値と

式(9)より求めた計算値はよく一致しており、音速を測定することによりレジン含有率を知ることが可能となっ

た。

5. まとめ

小断面シールド工法(D/200 M)に用いる早強性レジンコンフリートの組成と密度、ヤング率および音速の関係を理論的、実験的に明らかにした。

文献) (1) H. Toruoka, International Symposium Underground Works Man Environment, Warsaw (1983). (2) 数田 伸, 機構論 No. 840-2 (1983)

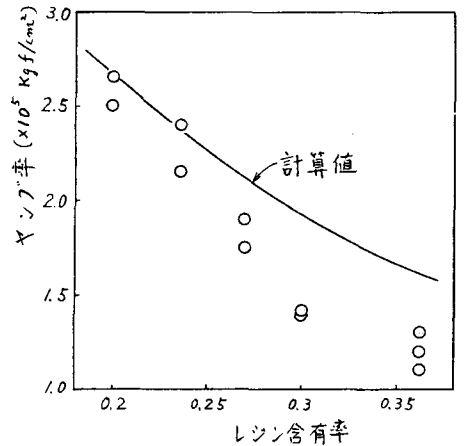


図-4 レジン含有率とヤング率の関係

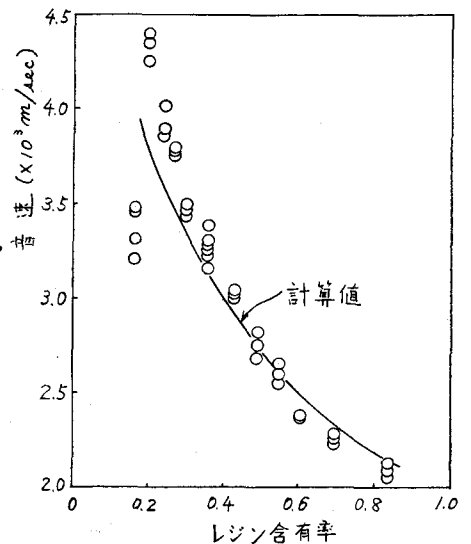


図-5 レジン含有率と音速の関係