

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 ○正員 中山 知明

〃

〃

正員 高塚 永志夫

〃

〃

山本 俊雄

1. はじめに

電電公社では、早強性レジンモルタルを現場打設してトンネルライニングを築造する小断面シールド工法（D1200-142）を開発し、実用化の見通しを得た。このレジンモルタルは、トンネルライニング用に新たに開発された材料であり、不飽和ポリエステル樹脂と骨材（砂・炭酸カルシウム）の混合物である。レジンモルタルは、硬化後に混練すると約30分で、供試体間げ強度120kg/cm²以上と達する。しかしながら、実物トンネルリングの強度は供試体強度の約75%であり、この強度低下の原因については、未解明である。¹⁾

本報告では、レジンモルタルをゼリー性材料として取扱ひ、ワイゲル理論によりリング強度低下の原因について考察し、供試体強度の分布からリング強度を推定する方法について論じた。

2. ワイゲル理論の推定

本報告では、所謂“ボイド説”に基づき、次の前提のもとに議論を進める。

- (1) ボイドの強度はワイゲル分布する。
- (2) 最弱ボイドの構造体強度を決定する。
- (3) リング内の応力分布はシェル理論に従い²⁾、リング厚さ方向には完全に均一である。

3. レジンモルタル強度の分布

仮定(1)より、レジンモルタル中のボイドの強度分布を下記のワイゲル分布で表わす。

$$F_0(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x}{\theta_0}\right)^m\right\}, \quad f_0(x) = \frac{dF_0}{dx} = \frac{m x^{m-1}}{\theta_0^m} \exp\left\{-\left(\frac{x}{\theta_0}\right)^m\right\} \quad (1)$$

但し、 x : ボイド強度, $f_0(x)$: 確率密度関数, θ_0, m : 分布パラメータ

ここで、単位体積当りのボイドの数を n とすると、体積 V の構造体中のボイドの数は $n \cdot V$ となる。仮定(2)より、この構造体の強度分布は n 個のボイドの最小値分布となるから、

$$F_n(x) = 1 - \{1 - F_0(x)\}^n = 1 - \exp\left\{-n \left(\frac{x}{\theta_0}\right)^m\right\} = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x}{\theta_0 \cdot (nV)^{1/m}}\right)^m\right\} \quad (2)$$

となり、構造体強度もやはりワイゲル分布となる。ここでワイゲル分布の性質より、構造体強度の平均値は、

$$\bar{x}_s = (n \cdot V)^{1/m} \cdot \theta_0 \cdot \Gamma(1 + 1/m) \quad (3)$$

但し、 $\Gamma(x)$: ガンマ関数

となる。この関係は、小柳らの実験結果により証明できる³⁾。

4. 強度分布パラメータの推定

実際に地下で築造したレジントンネルより採取した供試体（6×6×24cm）の間げ強度試験（JIS A 1184）結果より分布パラメータ（ θ_0, m ）を(2)式から推定すると次のとおりである⁴⁾。（図-1）

$$\theta_0 = (n \cdot V)^{1/m} \cdot \theta_0 = 270 \text{ kgf/cm}^2, \quad m = 6.4 \quad (4)$$

5. リング強度の推定

供試体間げ強度からリング強度を推定するためには、寸法効果の他、応力分布の差異も考慮する必要がある。（図-2）

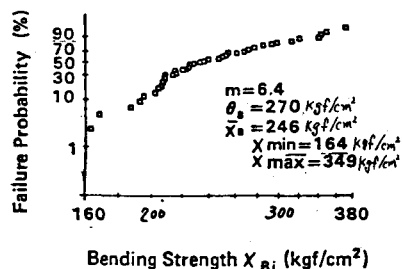


図-1 間げ供試体強度の分布

供試体曲げ強度の分布は(1)式から次のように導かれる。⁵⁾

$$F_b(x_b) = 1 - \exp\left\{-\frac{8bLl}{2(m+1)}\left(\frac{x_b}{\theta_0}\right)^m\right\} \quad (5)$$

また仮定(3)より、 $r > r_0$ 内の応力分布は次式で表わされる。(図-3)

$$\sigma(r, y) = \left\{-\frac{1}{2A} \sin y + \frac{t_0 R}{2I} (0.3183 - 0.5 \sin y)\right\} (y_0 - y)$$

$$\text{但し、} A = Lt_0, I = Lt_0^3/12 \quad (6)$$

よって $r > r_0$ 強度の分布は(6)式から次のように表わされる。

$$\ln(1 - F_R) = 1 - \int_V 8 \ln(1 - F_0) \cdot \sigma(r, y) dV$$

$$\therefore F_R(x_R) = 1 - \exp\left\{-\int_0^{r_1(1+\alpha \sin y)} \frac{dV}{2(1+\beta \sin y)} \cdot \frac{8RLt_0}{(m+1)} \left(\frac{x_R}{\theta_0}\right)^m\right\} \quad (7)$$

$$\text{但し、} \alpha = -\frac{\frac{1}{2A} + \frac{0.5t_0 R}{2I}}{0.3183 \frac{t_0 R}{2I}}, \beta = -\frac{\frac{0.5t_0 R}{2I}}{0.3183 \frac{t_0 R}{2I}}$$

$$\sigma(r, y) \Big|_{r=r_1, y=y_0} = 0, x_R = \sigma(r, y) \Big|_{r=r_0, y=y_0}$$

こゝで $m = 6.4$ より、

$$\int_0^{r_1(1+\alpha \sin y)} \frac{dV}{2(1+\beta \sin y)} dV = 4.8 \times 10^{-2} \quad (8)$$

以上より、供試体曲げ強度分布から、 $r > r_0$ 強度が次のように推定される。

$$F_R(x_R) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x_R}{\theta_R}\right)^m\right\} \quad (9)$$

但し、 $m = 6.4$

$$\theta_R = \left\{\frac{bLl}{4 \times 4.8 \times 10^{-2} RLt_0}\right\}^{1/m} = 160 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\therefore x_R = \frac{\theta_R}{\theta_0} \cdot \bar{x}_B = 0.59 \cdot \bar{x}_B \quad (10)$$

実験結果は図-4のとおりであり、種々のレジモルタル強度について(10)式とよく一致している。15%程度の誤差は、硬化係数比(所謂“水-セメント比”)の要因と推定しているためと考えられる。

6. まとめ

実物大トンネルのリング強度をフイェル理論を用いて、供試体曲げ強度から推定した。今後は、同一形状で硬化係数比の異なる供試体の強度試験により、レジモルタル強度の硬化係数比依存性を明らかにしたい。

参考文献

- 1) 高塚・中山“現場打設における単独性レジモルタル強度について”，土木学会年次学術講演概要集(58年)
- 2) S.P. Timoshenko・J.N. Goodier “THEORY OF ELASTICITY”
- 3) 小柳他“レジコンクリートの各種強度と供試体寸法の影響”，材料学会年次講演会集(56年)
- 4) 竹内“確率分布と統計解析”，日本規格協会
- 5) 横塚“材料強度学”，技報堂

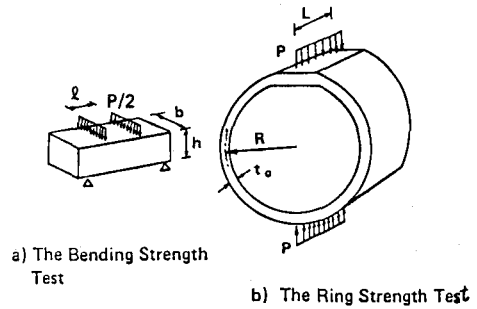


図-2 レジモルタル強度試験方法

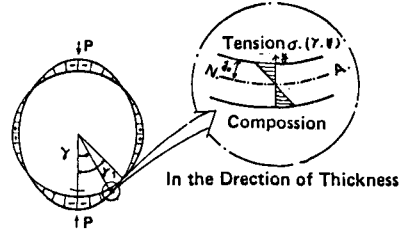


図-3 $r > r_0$ 内の応力分布

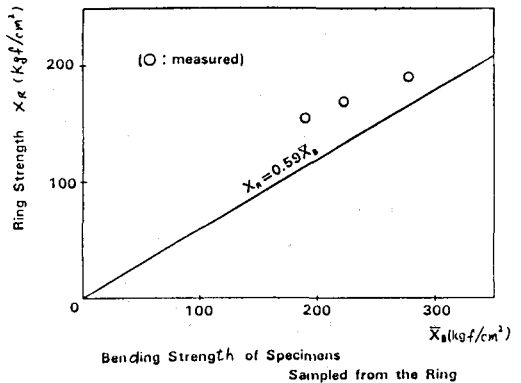


図-4 供試体曲げ強度と $r > r_0$ 強度の関係