

III-444 レジンモルタルリングの統計的手法による破壊強度推定

NTT筑波フィールド技術開発センタ 正員 近藤 章司 正員 渡辺 亮
正員 松崎 和美 正員 黒岩 正信

1. はじめに

NTTでは、早強性レジンモルタルを現場で打設し自動でトンネルライニングを築造する小断面シールド工法(ACEモールド200-M2工法)を実用化している。本システムの適用領域を拡大するためライニングの内径(現在1200mm)を拡張することを検討している。そこで、レジンモルタルの実物大リングを作成しリング載荷実験を行った所、曲げ管理供試体強度に比較してリング破壊強度が2~3割低かった。レジンモルタルを脆性材料としてとらえ破壊強度を統計的手法により推定した結果を報告する。

2. 実験概要

表-1に示す各TYPEのリングを2個ずつ作成し2週間空気養生後強度実験を行った。各リング毎に曲げ供試体を3個ずつ作成し同じく強度実験を行った。リング載荷は2点集中荷重を500kgfピッチで載荷、各ピッチ毎に歪みと直径変化量を測定した。

表-1 リング供試体
(TYPE 1は現行M2)

タイプ	内径(mm)	厚さ(mm)	形状
TYPE 1	1200	100	
TYPE 2	1350	100	
TYPE 3	1500	100	
TYPE 4	1350	150	
TYPE 5	1500	150	

(長さはすべて500mm)

3. 統計的手法を用いた根拠

早強性レジンモルタルが、1)、2)に示す性質を有することよりリング破壊強度の推定を最弱リンク概念を用いた統計的手法によって行う。

1) レジンモルタルは脆性破壊する。

レジンモルタルは初期ひびわれが破壊である。また、歪量が破壊するまで直線的に増加するので巨視的に見て脆性破壊といえる。

2) レジンモルタル曲げ供試体強度の分布はワイブル分布する。

曲げ供試体強度分布は相関係数0.98でワイブル分布に近似出来る。ワイブル確率紙より曲げ供試体強度確率密度関数 $F_b(x_b)$ は、(1)になる。

$$F_b(x_b) = 1 - \exp[-(x_b/\theta_b)^m] = 1 - \exp[-(x_b/357.8)^{8.39}] \quad (1)$$

θ_b ; 尺度パラメータ m ; 形状母数

4. 本手法に用いた仮定

- 1) レジンモルタルの破壊強度は構造物中の欠陥(介在物、ボイド、ミクロ・クラック等)強度によって決定され、構造物中の欠陥強度の分布はワイブル分布する。
- 2) レジンモルタルリング並びに曲げ供試体の破壊は曲げ引張が発生する部分で発生する。
- 3) レジンモルタルリングの断面力は曲がり梁の理論より双曲線分布する。

5. レジンモルタルリングの破壊強度の推定

仮定よりレジンモルタル中の欠陥強度の確率密度関数 $F_0(x)$ は(2)である。

$$F_0(x) = 1 - \exp[-(x/\theta_0)^m] \quad (2)$$

構造物の寸法、応力状態の差異を考慮するために単位体積中に含まれる欠陥数を a とし破壊する可能性のある部分の体積を V とすると構造物強度の確率密度関数 $F(x)$ は(3)となる。

$$\log[1-F(x)] = \int_V a \log[1-F_0(x)] dV = \int_V a [-aV(x/\theta_0)^m] dV \quad (3)$$

1) 曲げ供試体強度の推定⁽¹⁾

表皮曲げ応力を x_b とすると確率密度関数 $F_b(x_b)$ は

$$F_b(x_b) = 1 - \exp\left[-\frac{a V_b}{2(m+1)} \left(\frac{x_b}{\theta_0}\right)^m\right] \quad (V_b; \text{供試体体積}) \quad (4)$$

$$\text{平均値 } \overline{x_b} = \left(\frac{2(m+1)}{a V_b}\right)^{1/m} \cdot \theta_0 \Gamma(1/m + 1) \quad (5)$$

2) リング強度の推定

リング供試体の寸法及び応力分布を図-1に示す。仮定より断面内応力分布は(6)なる。

$$\sigma_y = \frac{M(y-e)}{A e (R-y)} + \frac{N}{A} \quad (e; \text{図心軸と中立軸のずれ量}) \quad (6)$$

(6)よりリング中の曲げ引張り応力が発生している範囲(図-4 斜線部分)が計算される。

$\theta = 0$, $y = t/2$ の応力を x_R とすると確率密度関数 $F_R(x_R)$ は

$$F_R(x_R) = 1 - \exp\left[-G(y, \theta) \cdot \left(\frac{x_R}{\theta_0}\right)^m\right] \quad (7)$$

$$G(y, \theta) = 4 \int_0^{\theta_1} \int_{y(\theta)}^{t/2} a \left[\frac{N(\theta) + \frac{M(\theta) + (y-e)}{e(R-y)}}{\frac{M_0(h/2-e)}{e(R-h/2)}} \right] L(R+y) dy d\theta \quad (8)$$

$$\overline{x_R} = \left(\frac{1}{G(y, \theta)}\right)^{1/m} \cdot \theta_0 \Gamma(1/m + 1) \quad (9)$$

(5), (9)並びに曲げ供試体強度分布より求めた形状母数 m より $\overline{x_R}/\overline{x_b}$ が求まる。表-2に推定結果を示す。推定結果は、実験値と近い値を示していると言える。また、(10)の関係から(11)よりリングの破壊確率を求めることが出来る。

$$\frac{\theta_R}{\theta_b} = \frac{\overline{x_R}}{\overline{x_b}} \quad (10) \quad F_R(x) = 1 - \exp\left[-(x/\theta_R)^m\right] \quad (11)$$

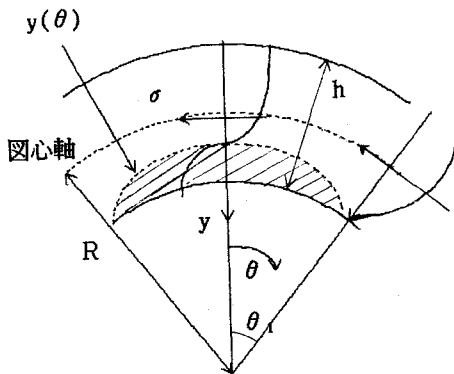


図-1 リング応力状態

表-2 推定結果

	$\frac{\overline{x_R}}{\overline{x_b}}$ ①	曲げ供試体強度 ②	①×② 推定強度	破壊時曲げ応力
TYPE 1-1	0.66	359.7	237.4	232.5
TYPE 1-2	0.66	329.2	217.3	183.4
TYPE 2-1	0.65	377.4	245.3	220.7
TYPE 2-2	0.65	352.5	229.1	217.8
TYPE 3-1	0.64	356.3	228.0	239.7
TYPE 3-2	0.64	283.4	181.4	191.8
TYPE 4-1	0.62	340.9	211.4	238.0
TYPE 4-2	0.62	354.7	219.9	202.0
TYPE 5-1	0.61	891.2	238.6	203.9
TYPE 5-2	0.61	282.6	172.4	193.4

6. まとめ

レジソマルタルリングの破壊強度はワイブル分布を用いた統計的手法によって推定出来ると言える。今後は、トンネルライニングの地山内における応力状態からレジソマルタルライニングの破壊強度並びに破壊確率を推定し設計に反映していきたいと考えている。

〔参考文献〕

- (1) 「強度の統計的取り扱い」 培風館 岡村 弘之 板垣 浩