

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所の正員 高塚外志夫

正員 中山 知明

1. はじめに

電電公社では、シールド機に装備した型枠内に早強性レジンモルタルを現場打設しながら、内径 $\phi 200\text{mm}$ のトンネルを築造する小断面シールド工法の開発を進めている。この工法は、坑内作業の無人化と長距離施工を目標としていて、その実現のためにライニング材料、装置類の両面から検討を進めた結果、シールド工法システムとしての実用化の見通しが得られたので、一連の装置類の試作を行って、57年度に 10km の早強性レジンモルタル現場打設によるトンネル築造実験に成功した。本報告は、地下で現場打設された早強性レジンモルタルの強度についての調査結果を記したものである。なお、この小断面シールド工法の詳細については、従来から発表してきているので、ここでは省略する。

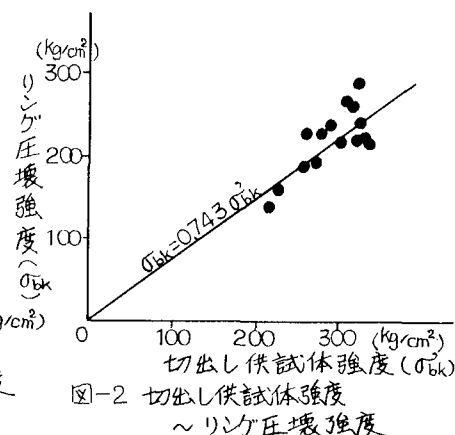
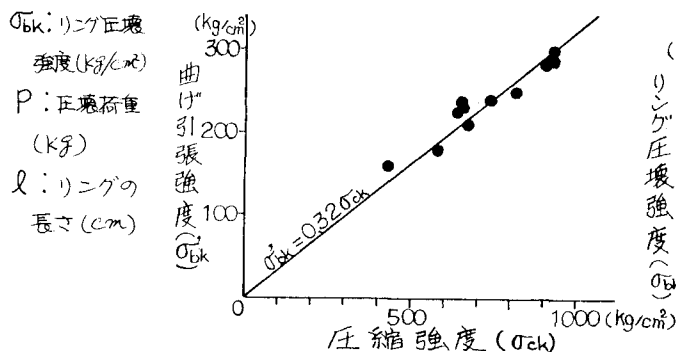
2. ライニング材料とその特性

ライニング材料には、この工法上の特色から、強度あるいは収縮性等の条件を満足するよう検討された。表-1に示すような配合の早強性レジンモルタルが使用されている。この早強性レジンモルタルは、硬化開始後30分で圧縮強度において $200(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 以上の強度発現をし、24時間後には最終強度の9割以上の強度発現を示す。図-1は、供試体を用いて強度を変化させた場合の圧縮強度と曲げ引張強度の関係を示したもので、互いに強い相関関係を有し、実験結果より曲げ引張強度は圧縮強度の約 2% とみることができ、又、図-2は実物大リングを地上で成型し、ヒューム管圧壊試験機を用いて、リング圧壊強度を求めた後、各リングから曲げ供試体をとり出し、曲げ引張強度試験を実施して、相互の強度関係を示したものである。両強度も相関関係を有し、この実験結果から、リング圧壊強度は供試体の曲げ引張強度の約 75% とみることができ、なお、リング圧壊強度は、リングに一点集中荷重及び自重が作用した場合に発生する曲げモーメント、軸力等から求めた計算式(1)による。

$$\sigma_{bk} = 1.241 \times P/l + 7.825 \quad (1)$$

表-1 早強性レジンモルタル配合表(1リットル)

	役 割	材 料 名	重量(kg)
	結 合 材	不飽和ポリエステル樹脂	100
	増 量 材	シラン処理砂 炭酸カルシウム	400
	硬 化 剤	メチルエチルケトンパーオキサイド	3.0
添 加 剤	硬化促進剤	オクチン酸 コバルト	1.5
	硬化促進補助剤	K ₂ S ₂ O ₈ -ジメチルアニリン	0.2
	発泡防止剤	P-スチロールカテコール	0.03~0.05
	分離防止剤	微粒子 無水シリカ	0.5 ~ 1.0



リニグ圧壊強度は曲げ引張強度に相当するが、供試体レベルで発現される強度より小さいのは、コンクリート材料でも問題になるスケーラ効果の影響によるものと考えられる。

図-3は地下で使用される実表型の混合打設機を使用して未硬化の早強性シジニモルタルと硬化剤がトラブルなく混合打設されたりニグから切り出しに曲げ供試体の強度分布であるが、変動係数は10%未満と小さい。これは、早強性シジニモルタルの硬化が化学反応であり、材料管理、配合制御がある程度の精度で管理されれば、成型品のばらつきは小さい事を示している。又、この強度分布を対数正規確率紙上にプロットすると図-4で示すように直線近似ができ、このシステムで製造される早強性シジニモルタル強度は、対数正規分布すると考えることができる。

3. 地下打設実験における早強性シジニモルタル強度

地下で現場打設されるライニグは、材料管理、配合管理をとり、更に硬化剤と配合制御をしながら打設され、壁厚の確認、発熱温度による硬化確認の厳格なチェック過程を経て地中に注される。地下打設実験によって築造された107m(2ノグリニグ)のトネルから、打設情報においてトラブルのなかったものを任意に選り、コアを採取して圧縮強度試験を実施した。その強度の分布は図-5に示すとおりで、変動係数は11%と比較的小さい。この強度分布を対数正規確率紙上にプロットすると曲げ引張強度同様に直線近似ができ、圧縮強度も対数正規分布するとみることが出来る。筆者らは、従来、ライニグ強度を評価する場合、曲げ引張強度で論ずるのが妥当であると考えて研究を進めてきているが、地下に打設したトネルから曲げ供試体を採取することは困難であるため、コア採取で得る圧縮強度と基にライニグ強度を評価してみる。圧縮強度が対数正規分布に従い、変動係数が10%程度である事を考慮して基準強度を95%の確率で実現可能な750 (kg/cm²)に設定すると、図-1、図-2の関係と利用してリニグ圧壊強度は178 (kg/cm²)と推定できる。この強度を(1)式を使って圧壊荷重に変換すると、 $L=1m$ として、 $P=13.75(t)$ になる。一般にφ1200mmの下水用推進ヒューム管の圧壊荷重は8.8(t/m)であるから、地下打設実験で築造されたトネルのライニグ強度は、ヒューム管と比較して、かなり大きいと推定できる。

4. おわりに

ライニグを現場打設で築造するミールドエ法においては、成型品の品質管理が重要である事は言うまでもなく、このエ法においてもモルタル製造、打設、硬化、成型の過程で厳格なチェックを行って製品管理と実施している。更には、非破壊検査による強度評価を試みているが、これらについては別稿で発表する予定である。

このエ法の実用化のために、更に地下現場打設の事例をふやしながる、強度、信頼性における調査を引き続き行って、新しいエ法としての実績を積み重ねてゆく予定である。

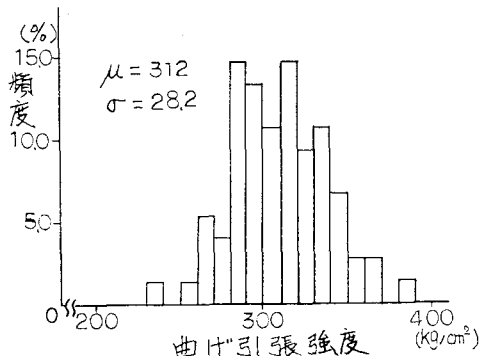


図-3 曲げ引張強度の分布

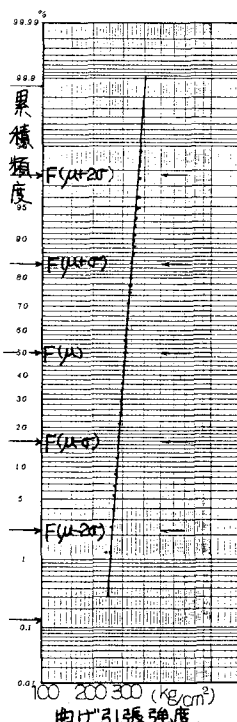


図-4 対数正規確率紙上の曲げ引張強度

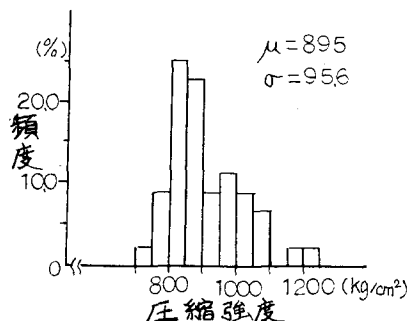


図-5 圧縮強度の分布