

III-35

小断面シールド工法（ACEモール1200-M2）の拡張ライニング特性について

NTT筑波フィールド技術開発センタ

正員 平野 浩治・正員 近藤 章司

正員 松崎 和美・渡辺 亮

1. はじめに

NTTでは早強性レジンモルタルを現場で自動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（ACEモール1200-M2）を開発し、既に実用化して現場施工を実施している。現行のM2工法はライニング内径1200mm、厚さ100mmのシステムであるが、今後、M2工法の適用領域を拡大するためライニング内径を拡大したシステムを検討している。本報告では、拡張ライニングについてリング強度実験とレジンモルタル硬化特性実験を実施したのでここに報告する。

2. レジンモルタル特性

M2工法で使用しているレジンモルタルの特長はライニング硬化時のひびわれを防止する低収縮性、硬化時間を短縮する早強性、酸・アルカリに対する長期耐久性を有していることである。

材料強度も最終強度で圧縮強度900kgf/cm²、曲げ引張強度300kgf/cm²、引張強度100kgf/cm²と非常に高強度な材料である。レジンモルタル配合を表1に示す。

表1 レジンモルタル配合表

種 類	材 質	用量(kgf)
結合材	不飽和ポリエステル樹脂	100
増量材	砂	280
	炭酸カルシウム	120
分離防止材	アエロジル	1.0
硬化材	メチル・エチル・クトン・パーオキシド	3.0

3. 拡張ライニング実験

(1) 実験方法

表2に示す各内径、厚さをもつリング供試体を作成し、2週間空気養生する。リング強度実験は図1のように集中荷重を500kgfピッチで載荷し、各ピッチごとにひずみと直径変化量を測定する。なお、推進用ヒューム管（一種管、内径1200mm、厚さ115mm、長さ1000mm）の破壊実験も実施し、レジンモルタルと比較する。また、硬化特性実験は供試体作成時に熱電対ゲージをレジンモルタルに埋込んでモルタル硬化熱を測定する。

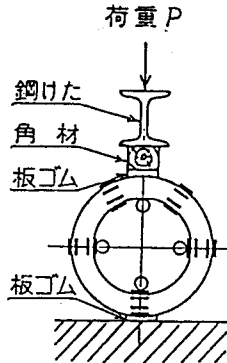


図1 リング強度実験載荷方法

表2 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)

(2) リング強度実験結果と考察

レジンモルタルはヒューム管と違い、初期ひびわれ荷重まで弾性体として挙動し、全破壊荷重が初期ひびわれ荷重よりも小さいので初期ひびわれ荷重を破壊荷重とする。表3にレジンモルタルの破壊荷重（初期ひびわれ荷重）とヒューム管の初期ひびわれ荷重、圧壊荷重を示す。この表からヒューム管内径と等しいTYPE 1の破壊荷重はヒューム管の初期ひびわれ荷重の約2倍で、ヒューム管の圧壊荷重とほぼ同等の値を示している。

表3 リング破壊荷重 (tf/m)

		ひび割れ荷重	圧壊荷重
T Y P E	1 - 1	18.0	----
	1 - 2	14.2	----
	2 - 1	15.2	----
	2 - 2	15.0	----
	3 - 1	15.0	----
	3 - 2	12.0	----
	4 - 1	35.0	----
	4 - 2	29.7	----
	5 - 1	27.4	----
	5 - 2	26.0	----
ヒ ュ ー ム 管			
N O 1		8.0	17.3
N O 2		7.0	17.4

また、TYPE 3, 5について荷重5000kgfのときの曲げモーメント図と荷重～変形曲線を図2, 図3に示す。なお、この場合の理論曲線は剛性一様リングに集中荷重を作用させたもので、実験値はひずみ分布をリング厚さ方向に双曲線分布とした。曲げモーメントは全てのTYPEで理論値と実験値が一致しており、径や実験回数によるばらつきがなくレジンモルタルが均一材料であることがわかる。荷重～変形曲線ではTYPE 4, 5は厚さが一定であり、理論値と実験値が一致しているが、TYPE 1, 2, 3は天端部が150mmで厚いため剛性が高くなり、実験値が小さくなっている。

なお、 $E = 1.4 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ である。

(3) ライニング硬化性実験結果と考察

実験結果、径の違い（打設量の違い）とレジンモルタル硬化反応終了時間（最高発熱温度発現時間）との相関関係はなかった。しかし、初期材料温度 t_0 と最高発熱温度発現時間 $T_{\max}$ の間には次の相関式が得られた。（図4参照）

$$T_{\max} = -1.7 t_0 + 80.2$$

この結果、脱型・推進時間は径の違い（打設量の違い）には影響されず、初期材料温度の管理が重要であると言える。

図5にライニング打設からの硬化熱上昇曲線の例を示す。

4. 拡張ライニングの適用土被り

図6に拡張ライニング（内径1500mm）の土被りと最大曲げ引張応力の関係を示す。

レジンモルタルの曲げ引張強度は約300kgf/cm²であり、長期安全率3および4の場合の許容曲げ引張応力は図の通りである。なお、荷重は全土圧荷重とし、荷重条件を最も厳しくするため地下水圧は考慮していない。 λ は側方土圧係数である。

現行の設計では長期安全率を4としているが、今回の実験結果によれば他のECL工法と同様に長期安全率を3としても差支えないことから、土質条件や荷重条件によっては小断面トンネルとして土被り50m程度まで適用できる。

5. おわりに

本実験結果はM2工法の適用領域を拡大する拡張システムを検討する上で非常に有益であった。今後は高深度領域への適用を目指したマシンシステムを検討する予定である。

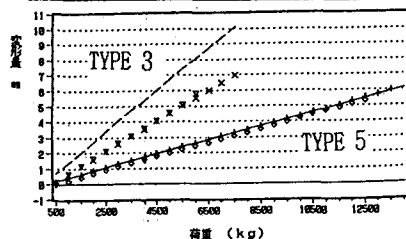
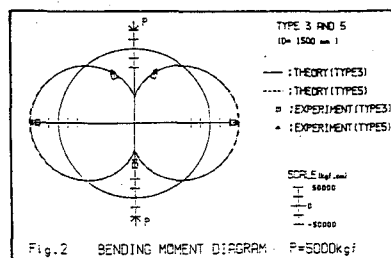


図3 荷重～変形曲線（鉛直方向）

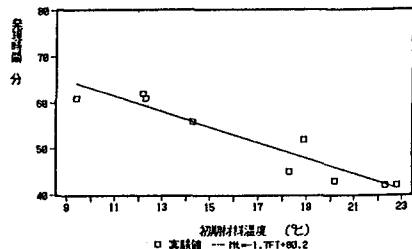


図4 初期材料温度と最高発熱温度発現時間の相関

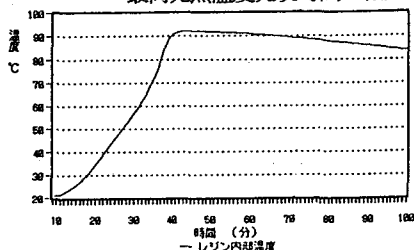


図5 硬化熱上昇曲線（TYPE 5）

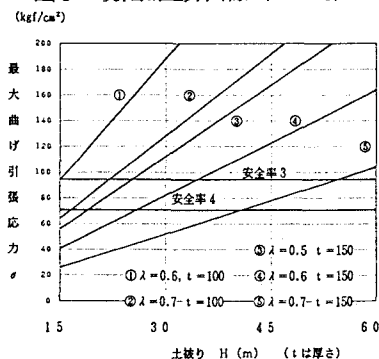


図6 拡張ライニング（内径1500mm）の土被りと最大曲げ引張応力の関係