

(株) 銭高組 正員 〇久保 常雄

“ “ 井田 隆久

“ “ 水内 寿一

1. まえがき

NATM工法は、吹付けコンクリート、ロックボルト、可縮支保工を合理的に組合せることにより、従来工法では施工困難な地山においてもトンネル掘削を可能にしている。NATM工法の特徴の一つとして、各種の計測を実施しながら施工を進めることにより、計測結果を最適な支保工設計にフィードバックさせることがあげられる。しかしながら設計の際の基本となる各種支保工の作用効果について明確にされているとは言い難い。

本報告はロックボルトの作用効果を膨張モルタルを用いた模型実験により解明することを目的として実施した予備実験の結果について報告するものである。

2. 実験概略

これまでロックボルトの作用効果を解明する実験として、落し戸を利用する方法、モデル模型地山に加力する方法などが報告されている。モデル地山に加力する方法は、外力により模型地山を変形させその時のロックボルトの作用効果について検討したものである。今回計画した実験はモデル地山として膨張材を混入した膨張モルタルを用いた。膨張モルタルは打設後 半日～1日経過すると膨張を開始する性質を有しており、この性質を利用してトンネル模型を変形せしめ、当初の目的を達しようとする実験である。実験装置を図-1に示す。モデル地盤の特性を確認するためにロックボルトは挿入していない。端部の拘束はφ914.4, t12 mmの鋼管を使用し、トンネル模型の内空はφ210 mmである。

モデル地盤の厚さは100 mmとし、計測はトンネル内空変位(カンナレバー型変位計)、鋼管周方向歪(歪ゲージ)、モデル地盤内の軸方向、周方向歪(埋込み型ゲージ、形状 13×9×30 mm)である。

モデル地盤の膨張モルタルの配合を表-1に示す。試験Aは標準配合の場合、試験Bは早強セメントを使用した配合の場合、試験Cはベントナイトを混入した低強度配合の場合であり、膨張材は各配合ともに、70 kg/m³である。膨張モルタルの強度は拘束状態によって異なるが、コンクリート標準供試体用モールドで拘束養生した供試体での一軸強度(σ_3)、ヤング率(E)を表-1に示す。赤字の3, 7は経過日数である。

試験Cは強度、ヤング率ともに低い値となっており、試験結果にもこの影響が大きくでている。

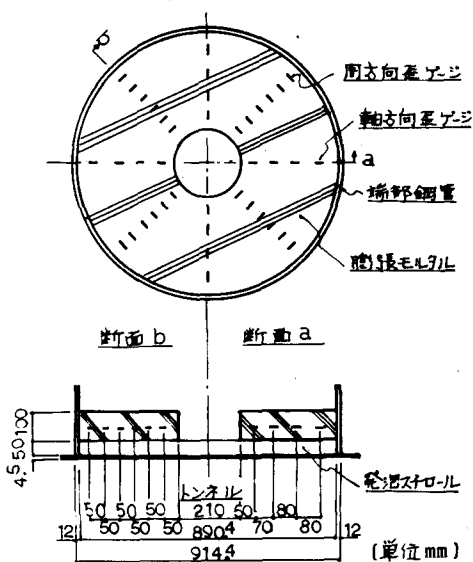


図-1 試験装置

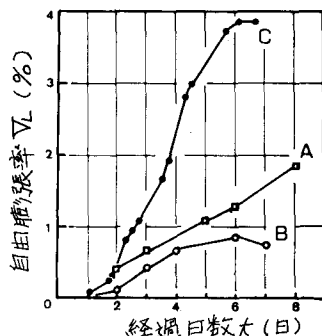


図-2 VL～t

表-1

	配合 kg/m ³					強度、ヤング率 kg/cm ²			
	水	セメント	膨張材	砂	合計	σ_3	σ_7	E_3	E_7
試験A	309	264	70	1504	0	32	62	11000	17000
・ B	314	228	70	1757	0	30	87	14000	34000
・ C	475	164	70	1012	95	2	9	380	1800

3. 試験結果

3-1. 膨張特性

□40×40×160 mm 試料での自由膨張率(V_L)の経時変化を図-2に示す。横軸の経過日数(t)はモルタル打設からの日数である。(以下同様) 膨張は7日~10日程度で終了する。この時、無拘束の場合、膨張率が約1%を越えると亀裂状のき裂が発生する。

3-2. 内空変位

内空変位の計測結果を図-3に示す。変形は自由膨張とはほぼ似た傾向で進行する。変形量(U_a)は配合により大きく異なり、実験Cでは半径(a)との比 $U_a/a \approx 1.8\%$ に及ぶが、実験A, Bでは0.7, 0.4%程度である。実験Cでは変形が約1%程度で圧縮破壊と思われるクラックが観察され、経時変化とともに壁面から周辺に広がる。

3-3. モデル地盤内の歪分布

実験Bで計測された軸方向歪(ϵ_r)の時間経過を図-4に示す。この歪は膨張モルタルが膨張する時にモデル地盤に発生する“見かけ歪”であり、トンネル壁面から離れるに従い早期に収束する性質を示している。この傾向は円周方向歪(ϵ_θ)についても同様である。

3-4. モデル地盤に加える“相当外力”

環部拘束鋼管の歪計測から、鋼管に作用している荷重を求めたのが図-5である。モルタルの膨張と共に鋼管に作用する荷重は増加し、7日で約25 kg/cm²の“相当外力(σ_c)”がモデル地盤に外力として加わされていることになる。

4. 結果の検討

モデル地盤内の(推定)応力分布と歪分布を図-6に示す。(実験B、経過日数 $t=7$ 日) 実験Bの歪計測結果によると“見かけ歪”は非常に大きな値で発生しており、壁面の近傍では 2000×10^{-6} 以上の“見かけ引張歪”が発生していると推定される。また鋼管歪の計測結果から推定した壁面付近の応力は最大50 kg/cm²程度と思われ、一週強度 $\sigma_T = 87 \text{ kg/cm}^2$ からみて破壊はしていないと推定される。実験Cの低強度配合の場合は、あらかじめ破壊によるものと思われるクラックが壁面付近に同心円上に発生した。

5. まとめ

膨張モルタルを使用したトンネル模型実験の結果より、大きな“見かけ歪”が発生し、壁面付近の破壊は材料特性に依存するという性質が得られた。さらに膨張モルタルの膨張特性は、地山の膨潤特性に似た性状を示しているものと思われる。今後、このモデル地盤内にロックボルトを挿入した本実験を計画しているが、“見かけ歪”、内空変位の増大に対してロックボルトが抵抗すると考えられ、ロックボルトの作用効果を解明するための実験として有効であろう。

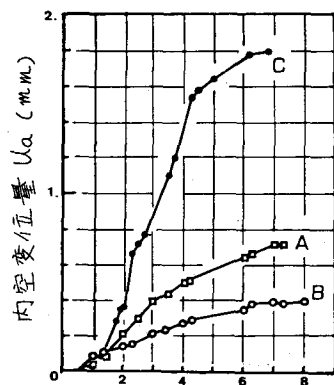


図-3 $U_a \sim t$

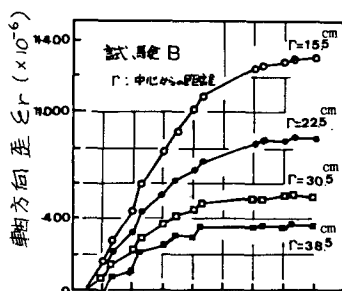


図-4 $\epsilon_r \sim t$

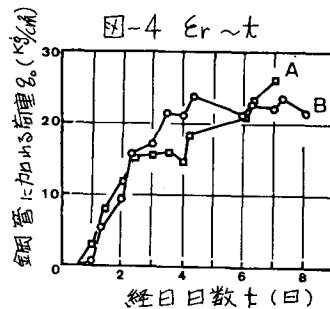


図-5 $\sigma_c \sim t$

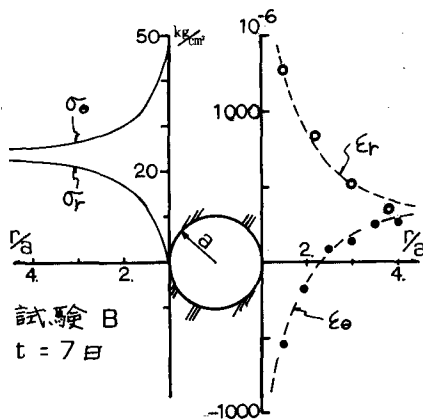


図-6 応力、歪分布