

## 1. まえがき

最近、我が国においてもNATM (New Austrian Tunneling Method) の施工法が注目されている。この工法は従来の鋼支保工に代わりロックボルトと吹付けコンクリートを主支保とする工法であり、軟硬岩ばかりでなく膨張性地山、軟弱な地山に対しても優れた実績を残している。しかし実際の設計、施工においては多くの課題が残されており、特にロックボルトの支保効果については過去の施工実績などから経験的に判断されているのが現状であり、理論解析、模型実験、現場計測などにより研究が進められている段階である。

本論文はこのNATMにおけるロックボルトの支保効果を解明する目的で膨張モルタルを用いてトンネル内空と変形させ、この時のロックボルトの有無による変形性状を比較した模型実験の結果について報告する。

## 2. 実験方法

トンネル模型を図-1に示す。模型地山材料は膨張材 (CSA 20#) を混入したベントナイトモルタルである。配合を表-1に示す。

膨張モルタルの自己膨張力を端部の鋼管で拘束することにより、外部から加力することなしにトンネル内空 (φ210 mm) を変形させる。この時の壁面のロックボルトの有無による変形性状の相違を比較する。

使用したロックボルトはφ2.5 mmの黄銅製のネジ切りボルトであり、地山内への定着長は100 mmとした。実験はすべて同一配合で実施し、ボルトの打設密度も変化した。ボルトの配置状況を表-2に示す。測定項目はトンネル内空変位 (1/1000 mm変位計)、拘束鋼管の周方向歪 (歪ゲージ)、膨張モルタルの自由膨張量 (1/100 mmダイヤルゲージ) であり、計測はモルタル打設1日経過後から開始し4時間毎に自動計測した。材料強度はφ100 h 200 mm供試体による軸圧縮試験で確認した。実験終了後 (7~8日経過後) に地山ボルトの簡易引抜き試験を実施した。実験中は散水養生である。

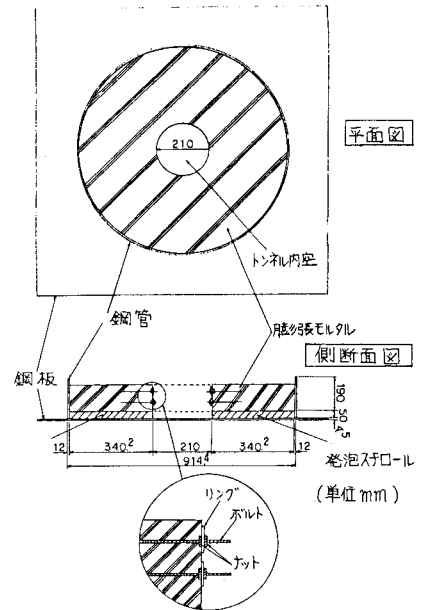


図-1 トンネル模型装置図

表-1 地山材料配合表

| 配合 (Kg/m³) |      |     |      |        |
|------------|------|-----|------|--------|
| 水          | セメント | 膨張材 | 砂    | ベントナイト |
| 475        | 164  | 70  | 1012 | 95     |

表-2 ボルト配置状況表

|             | 周方向<br>角度(°) | 軸方向<br>本数(本) | 全本数<br>(本) | 打設密度<br>(本/cm²) |
|-------------|--------------|--------------|------------|-----------------|
| B-1         | 30           | 3            | 36         | 1/22            |
| B-2         | 20           | 4            | 72         | 1/11            |
| B-3         | 25.7         | 4            | 56         | 1/14            |
| B-4         | 15           | 4            | 96         | 1/8.6           |
| B-5         | 20           | 4            | 72         | 1/11            |
| N-1<br>~N-5 |              |              |            | 0               |

## 3. 結果の検討

### 3-1. ボルトの有無による比較

図-2に自由膨張率  $V_L$  (%) と内空変位  $U_a$  (mm) の関係を示す。この図から

(1) ボルトなしの場合、 $V_L \sim U_a$  の関係は直線的な変化を示すのに対して、ボルト有りの場合は収束線的な変化を示す。

例えば  $V_L \geq 2.0\%$  以上では

ボルトなしの場合  $U_a/V_L \div 0.38 \text{ mm}/(\%)$

ボルト有りの場合  $U_a/V_L \div 0.29 \text{ mm}/(\%)$

となっており、ボルトの有無により変形性状には明らかな差が見られる。しかし変形の初期においては B-2 (●印) を除き、 $U_a$  の

大小には差があるもののボルトの有無による差は見られない。

- (2)  $V_L = 4.0\%$  の臭の内空変位  $U_a$  の発生量を比較してみる。  
 $U_a \geq 1.6 \text{ mm}$  5例 ----- ボルト有り 2例, なし 3例  
 $U_a < 1.6 \text{ mm}$  4例 ----- ボルト有り 2例, なし 2例  
 という具合になりボルトの有無による  $U_a$  の発生量の大小には差が見られない。この理由としては、変形初期 ( $V_L = 1\%$  以下) での  $U_a$  のばらつきが大きすぎるためにそれ以降での変形性状には差があるにも関わらず  $U_a$  の絶対値の比較が困難になっているものと考えられる。

そこで  $V_L = 1\%$  以降の内空変位の増加量で比較してみる。図-3は  $V_L = 1\%$  の臭の内空変位を0としてそれ以降の増分を  $U_a^*$  (以下増加内空変位と呼ぶ) として整理したものである。この図によると

- (3) 増加内空変位  $U_a^*$  はボルトにより制御されることがわかる。

例えば  $V_L = 4\%$  の臭における  $U_a^*$  を比較すると

$U_a^* \geq 1.0 \text{ mm}$  5例 ----- ボルト有り 0例, なし 5例

$U_a^* < 1.0 \text{ mm}$  4例 ----- ボルト有り 4例, なし 0例

### 3-2 ボルト打設密度 $n$ の差による比較

図-4にボルト打設密度  $n$  ( $\#/\text{cm}^2$ ) の差による変位の比較を示す。(a)は  $V_L \geq 2.0\%$  以降の変位増分  $U_a/V_L$ , (b)は  $V_L = 4\%$  の臭の内空変位  $U_a$ , (c)は同じく  $V_L = 4\%$  の臭の増加内空変位  $U_a^*$  を示したものである。これらの図から

- (4) 変位増分  $U_a/V_L$ , 増加内空変位  $U_a^*$  に関してはボルトの有無による差は見られるもののボルト打設密度  $n$  の差による相互の差は明確でない。内空変位  $U_a$  についても同様である。

- (5) 実験終了後の模型地山のボルトの簡易引抜き試験によると、ボルト打設密度  $n$  が大きくなるとボルトの引抜き耐力が増大する傾向が確認された。

## 4. まとめ

本実験によるボルトの支保効果として次のことが確認された。

- (1) ボルト有りの場合、変形は緩かに進行する。(変位抑止効果)  
 ボルトなしの場合、変形は直線的に進行する。  
 (2) ボルト有りの場合での打設密度の差による変形の抑止効果については明確にされなかったが、打設密度が大きいとボルトの引抜き抵抗が増大し、地山保護効果に影響を与える。

最後に本実験を実施するにあたり協力していただいた日本大学学生小林久希君に感謝の意を表します。

参考文献の 大久保, 井田, 水内「膨張制御用非圧入型模型実験」土木学会第35回年次学術講演会

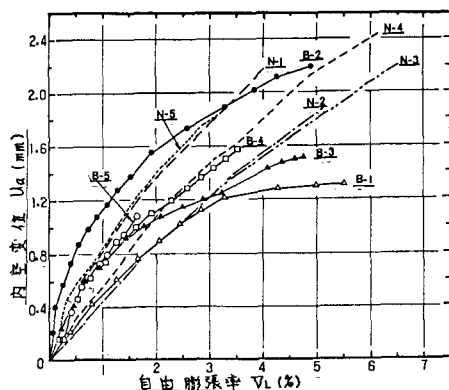


図-2  $V_L \sim U_a$  の関係

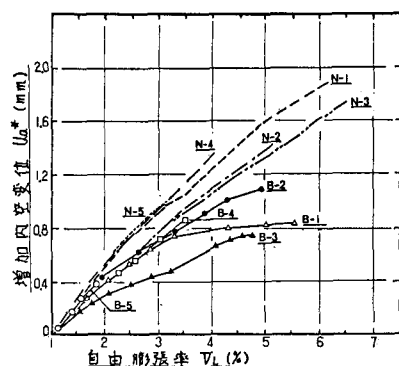


図-3  $V_L \sim U_a^*$  の関係

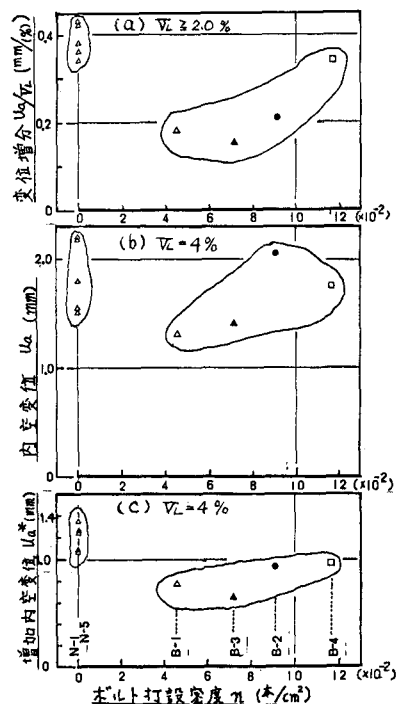


図-4  $n \sim U_a/V_L, U_a, U_a^*$  の関係