

近畿大学理工学部	正会員	久武 勝保
(株)地崎工業	正会員	渋谷 卓
(株)奥村組土木興業	正会員	笠屋 廉裕
近畿大学大学院	学生会員	○ 溝淵 宏祐

1. はじめに

従来のトンネル設計・施工においてNATM工法が広く用いられているが経験的技術に頼ることが多く、しばし予想外の事故が発生する場合がある。軟岩地山でのトンネル挙動は、応力-ひずみ関係の非線形性、拘束圧の依存性、ひずみ増加にともなう体積変化などの影響を受ける事が知られており、トンネルを安全に設計・施工するためには、トンネル周辺地山の力学特性を適確に表現する力学モデルを用いる必要がある。そこで本研究では、軟岩トンネルを模擬した模型実験を行い、その結果と体積変化及び非線形応力-ひずみ特性等を考慮した二次元非線形理論解析の結果との比較により考察を加えた。

2. 模型実験の特徴

本実験は、Fig. 1に示すように①軟岩地山を模擬した貧配合セメントモルタルの中央に、トンネルとなる水を満たしたゴム袋を埋設する。②地山に油圧ジャッキで外圧を与える。それに対してゴム袋内の体積が変化しないようにコンプレッサーで内圧をかけていき所定の圧力に達したところを初期応力状態とする。③ゴム袋内の圧力を減少していくことにより、トンネル掘削をシミュレートする。ゴム袋からの排水量を測定しトンネル壁面変位に換算する¹⁾。地山材料は、トンネルの掘削により壁面変位が多く発生するように強度の低いものを使用した。なお、Case 2についてはCase 1より強度の低いものを使用した。また、同配合のセメントモルタルを別養生したものを用い、3軸圧縮試験を行った。

3. 理論解析

トンネル中心から距離 r の点における半径方向変位の理論解²⁾ u は式 (1) のとおりである。

$$u = \frac{3}{2\sqrt{2}(Q_1^2 - 3Q_1 + 3)} \frac{\tau_{oct. r}}{R_f \cdot G_i} r \cdot a \quad (1)$$

$$\alpha = \left(\frac{r_i}{r} \right)^{2-Q_1} \left[\exp \left\{ \frac{2R_f(2-Q_1)}{m \cdot \sigma_c} \left(\sqrt{p_i \cdot m \cdot \sigma_c + s \cdot \sigma_c^2} - \sqrt{p_i \cdot m \cdot \sigma_c + s \cdot \sigma_c^2} \right) \right\} - 1 \right]$$

p_i : 内圧, G_i : 初期接線せん断弾性係数, $\tau_{oct. r}$: 測定される最大応力(八面体せん断応力)である。また、別養生供試体での3軸圧縮試験結果より得られた各パラメーターを表-1に示す。

Masayasu HISATAKE, Taku SIBUYA, Hiroyuki KASAYA, Kousuku MIZOBUTI

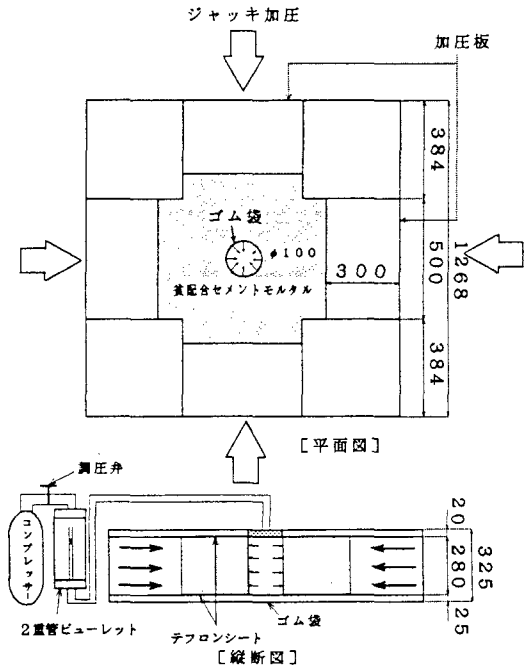


Fig. 1 模型実験装置の断面図 (単位 mm)

表－１ 実験より求められた解析パラメーター

	case 1	case 2
トンネル半径 (r i)	5. 0 (c m)	5. 0 (c m)
強度パラメーター (m)	27. 56	45. 29
強度パラメーター (s)	1. 0	1. 0
一軸圧縮強度 (σc)	0. 69 (kgf/cm ²)	0. 22 (kgf/cm ²)
初期応力 (p)	4. 0 (kgf/cm ²)	4. 0 (kgf/cm ²)
$\sigma c/p$	0. 17	0. 055
$G i / r o c t . f$	112. 10	133. 83
非線形パラメーター (Rf)	0. 894	0. 959
体積減少係数 (Q1)	0. 252	0. 192

4. 実験の結果及び考察

実験結果をFig. 2に示す。縦軸をトンネルの壁面変位、横軸をゴム袋の内圧としている。実測値、解析値共に内圧4000～1000gf/cm²の間では変位発生における非線形性は弱いが、内圧が1000gf/cm²以下になると急激な変位の増加がみられる。また、Case 1とCase 2を比べるとCase 2の地山強度比 $\sigma c/p$ が小さいため壁面変位が多く生じている。しかしCase 2の $\sigma c/p$ がCase 1のそれの約1/3と非常に小さい事を考えると、Case 1に対して約25%のCase 2の変位増加率はあまり大きくないと思われる。解析において体積変化を考慮した結果としてない結果を比較するとは両者ともにほぼ似た挙動を示しているが、体積変化を考慮してない方で変位が若干多く発生している。Fig. 2に示すようにCase 1、Case 2ともに実測値と解析値はほぼ同様な挙動を示しているのが確認できる。

5. 結論

- (1) トンネル内の内圧が減少すると共に、発生変位の非線形性が強くなる。
- (2) 今回の実験に関しては地山強度比の差のわりに変位増加率はさほど大きくなかったと思われる。
- (3) 地山の応力－ひずみ関係の非線形性、拘束圧の依存性、体積変化などの考慮により、軟岩トンネルの変位発生特性を解析によりある程度表現できるのではないかとと思われる。

参考文献

- 1) 梨本, 高森, 今田: 「孔内除荷模型実験による地山特性曲線とトンネルの最適設計」, 土木学会論文集 No. 444/VI-16, pp41～48, 1992. 3
- 2) 渋谷, 久武: 「軟岩トンネルの膨張特性に関する模型実験」, 土木学会第49回年次学術講演概要集, 第3部, pp1322～1323, 平成6年9月

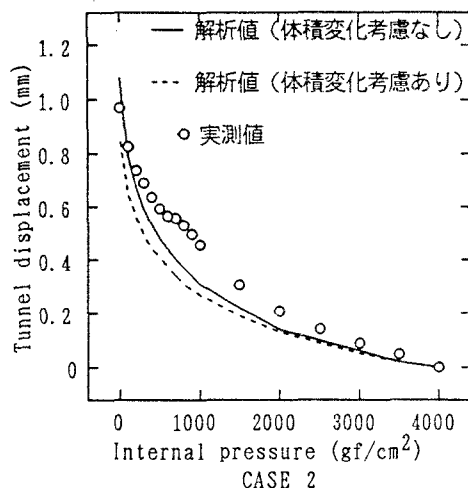
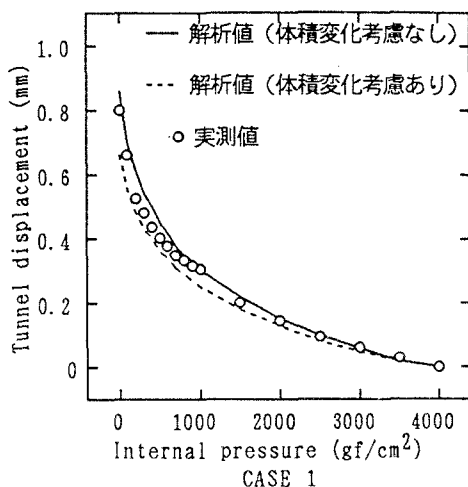


Fig. 2 内圧と壁面変位の関係