

模型実験による軟岩トンネルの発生変位について

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的確に表現する力学モデルを用いる必要がある。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、トンネル掘削をシュミレートする。ゴム袋からの排水量を2重管ビューレットで測定しトンネル壁面変位に換算する¹⁾。トンネル掘削による壁面変位を多く発生させるために地山材料は強度の低いものを使用した。また、Case 2についてはCase 1より強度の低いものを使用した。同配合のセメントモルタルを別養生したものを用い、三軸圧縮試験を行った。

3. 実験結果と考察

Fig. 2は、模型実験装置内の試料を再現するため、別養生供試体を三軸圧縮試験機で、模型実験と同じ初期応力を側圧として与えた後、任意の側圧に低下させ試験を行った結果である。拘束圧の増加にともない強度が大きくなっているのが見られる。また、同一ひずみにおける接線勾配は増加しており、応力-ひずみ曲線は強い非線形性を示している。この現象を考えると、トンネル壁面付近では拘束圧が低いから壁面から遠ざかるにつれ拘束圧が大きくなる。このことから、軟岩トンネルの挙動を把握するにはトンネル壁面付近の応力-ひずみ特性のみから把握する事はできないと言える。即ち、一軸圧縮強度のみを唯一の力学パラメータとする地山強度比によって、Fig. 2の様

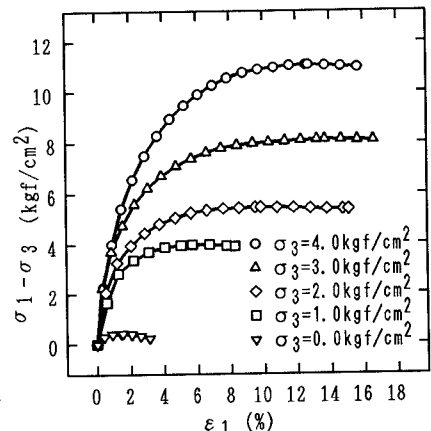
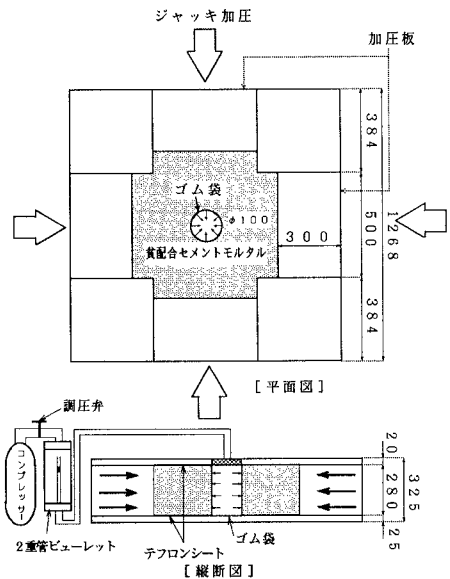


Fig. 2 三軸圧縮試験結果

な力学特性を有する軟岩トンネルの挙動を推定するには多くの誤差が含まれると考えられる。この三軸圧縮試験結果より求められるパラメータの値をT a b. 1に示す。これらパラメータを用い半径方向の理論変位式²⁾で得られた結果と、2. の③で求められる実測値をF i g. 3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。掘削に対応するトンネル壁面圧力の減少にともなって、壁面変位は増加するが、4 0 0 0 gf/cm²～1 0 0 0 gf/cm²の間では変位発生が小さいため5 0 0 gf/cm²ずつ減圧し、1 0 0 0 gf/cm²～0 gf/cm²の間は、1 0 0 gf/cm²ずつ減圧して実験を行った。実測値、解析値共に内圧4 0 0 0～1 0 0 0 gf/cm²の間では変位発生における非線形性は弱いが、内圧が1 0 0 0 gf/cm²以下になると急激な変位増加がみられた。実験後、模型実験装置を分解するとトンネル壁面が降伏したように縦方向のせん断面が見られた。おそらく内圧が1 0 0 0 gf/cm²以下での急激な変位の発生がトンネルの崩壊に結びつくと思われる。また、C a s e 1とC a s e 2を比べるとC a s e 2の地山強度比 σ_c/p が小さいため壁面変位が多く生じている。しかし、C a s e 2の σ_c/p がC a s e 1のその約1/3と非常に小さい事を考えると、C a s e 1に対して約25%のC a s e 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。F i g. 3に示すようにC a s e 1、C a s e 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) 今回の実験に関してはトンネル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結果が得られた。
- (2) また、地山強度比の差の割に発生変位の差はさほどなかった。
- (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定量的に表現できるのではないと思われる。

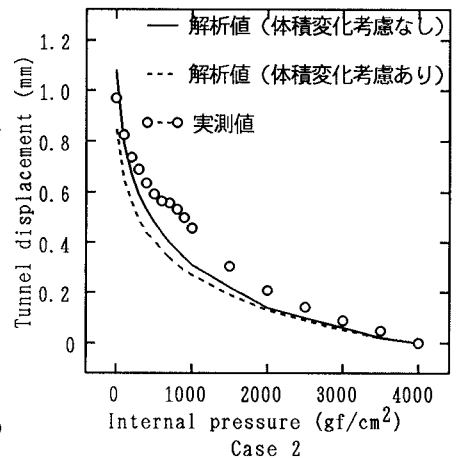
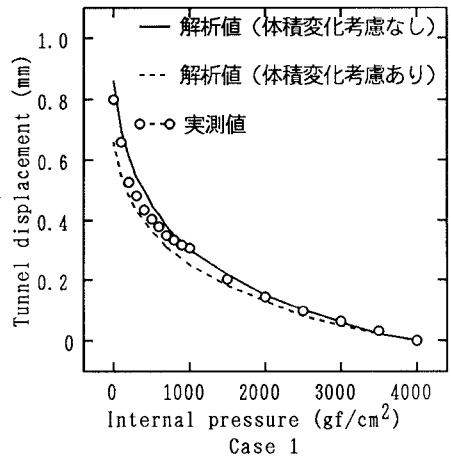
参考文献

- 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, pp 41～48, 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

T a b. 1 解析パラメータ

	Case 1	Case 2
トンネル半径 (r _i)	5.0 (cm)	5.0 (cm)
強度パラメータ (m)	27.56	45.29
強度パラメータ (s)	1.0	1.0
一軸圧縮強度 (σ_c)	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)
σ_c/p	0.17	0.055
$G_i/\tau_{oct.f}$	112.10	133.83
非線形パラメータ (Rf)	0.894	0.959
体積減少係数 (QI)	0.252	0.192

G_i : 初期接線せん断弾性係数, $\tau_{oct.f}$: 測定される最大応力 (八面体せん断応力)



F i g. 3 内圧と壁面変位の関係