

東急建設(株) 技術研究所 正会員 ○広井恵二

〃 〃 西岡 哲
電算センター 徳丸精宏

1. はじめに

実験Ⅰシリーズとして固結度の低い地山を対象に、無支保、ロックボルト支保、ライニング支保およびロックボルトとライニングを併用した場合の支保効果についてすでに報告した。

本報では、実験Ⅰシリーズについて、ロックボルトと地山との付着性状を結合要素でモデル化し、地山のひずみ軟化を考慮した二次元弾塑性解析を行なったのでその結果と解析手法について報告する。

2. 模型実験概要

実験は二方向等圧載荷とし、トンネル軸方向の変位を拘束し、平面ひずみ状態としている。試験体の形状は、 1200mm (縦) $\times 1200\text{mm}$ (横) $\times 300\text{mm}$ (深さ)であり、トンネルは、直径 6m の円形トンネルを想定し相似比 $1/20$ で直径 30cm である。

表1に実験Ⅰシリーズの実験の種類と地山の特性値を示す。実験は、無支保、ロックボルト支保、ライニング支保、ロックボルトとライニングを併用した場合の4種類である。

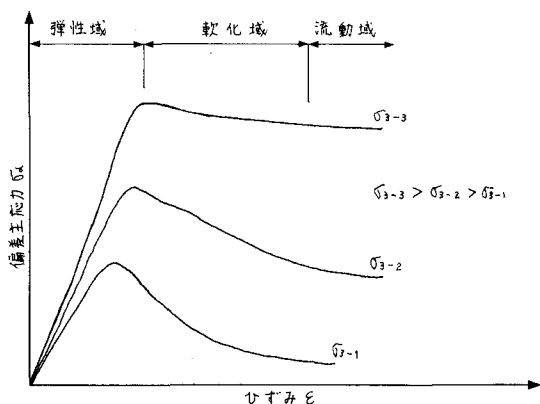


図1 三軸圧縮試験による応力～ひずみ曲線

3. 解析手法

トンネル周辺の地山が破壊後、どのような変形挙動を示すかを把握することは困難であるが図1に示す地山の三軸試験結果が一つの手がかりとなる。この図では、弾性域、軟化域、流動域の3つの領域に分かれており、 σ_3 が増加するほど残留強度が大きくなり、破壊後の負の傾斜もなだらかになっている。そこで、三軸試験結果で得られた応力～ひずみ関係をトンネル周辺の地山に適用し、解析を行なうに際して次のような仮定を設けた。

(1) 軟化現象の開始すなわち破壊強度 σ_p はモールクーロンの破壊規準に従い、流動開始後もモールクーロンの破壊規準に従うとする。

(2) 破壊後の軟化域では最小主応力 σ_3 一定で破壊強度から残留強度へと低下する。図2に、

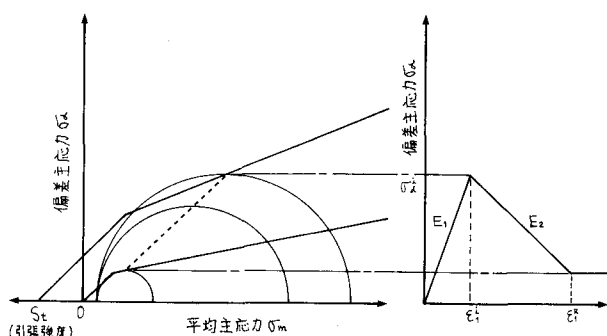


図2 ひずみ軟化の場合の応力～ひずみ関係

表1 実験の種類と地山特性

N0	支保状態	一軸圧縮強度 $\sigma_u(\text{Kg/cm}^2)$	弾性係数 $E_{50}(\text{Kg/cm}^2)$	粘着力 $C(\text{Kg/cm}^2)$	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$
1	無支保	2.60	357	0.93	19.1
2	ロックボルトのみ	2.92	512	1.10	18.2
3	ライニングのみ	2.20	194	0.89	10.5
4	ロックボルト+ライニング	1.68	234	0.68	7.4

ひずみ軟化の場合の応力～ひずみ関係を示す。

ロックボルトは、軸力のみを伝達する棒要素と結合要素より構成される。結合要素は互に直交する二つのバネ K_n 、 K_s よりなっている。地山とロックボルトとの付着性状はこの結合要素により表現され、地山とロックボルトが堅固に結合されている状態では $K_s \rightarrow \infty$ とし、滑る状態では $K_s \rightarrow 0$ とする。なお、今回はベアリングプレートモデル化はしていない。

4. 解析結果

今回の解析により次のことが判明した。図3に実験と解析による内空変位率 u/a を示す。

- (1) 内空変位率は、荷重が地山の一軸圧縮強度 σ_c の $1/2$ の範囲内では支保条件、解析手法の違いにかかわらず、実験結果と解析結果とは比較的良好な近似を示している。
- (2) 無支保とロックボルト支保の場合、荷重が地山の一軸圧縮強度 σ_c の $1/2$ を越えても、地山のひずみ軟化を考慮すれば、実験と解析による内空変位率は比較的良好く一致する。
- (3) ロックボルト支保の場合、内空変位率が5%以上になると、実験と解析結果は合わなくなる。
- (4) ライニング支保の場合、ライニングの強度劣化特性を突然劣化とし、ライニングの圧縮強度 σ_c を $1/2\sigma_c \sim 1/3\sigma_c$ に低く見積ることにより、解析と実験結果とが近似した結果を得た。
- (5) ロックボルトとライニングを併用した場合、解析では、ライニング破壊とともにロックボルト周辺地山に急激な破壊が生じロックボルトの効果が発揮されなかった。

5. おわりに

今回の解析により、実験Iシリーズの実験と解析結果とを近似することができた。しかし、ベアリングプレートのモデル化、地山の破壊領域が急激に拡大する場合のロックボルトの効果の表現方法などの問題点が残された。今後、これらの問題点を改善し、実験IIシリーズのロックボルトの支保効果の解析を詳しく行なう予定である。

参考文献

- 1) 広井・西岡・前田;「支保状態の違いによるトンネルの挙動に関する模型実験」 36回土木学会大会
- 2) 川本・石塚;「ひずみ軟化を考慮した岩盤掘削の解析」 土木学会論文報告集 8・1981

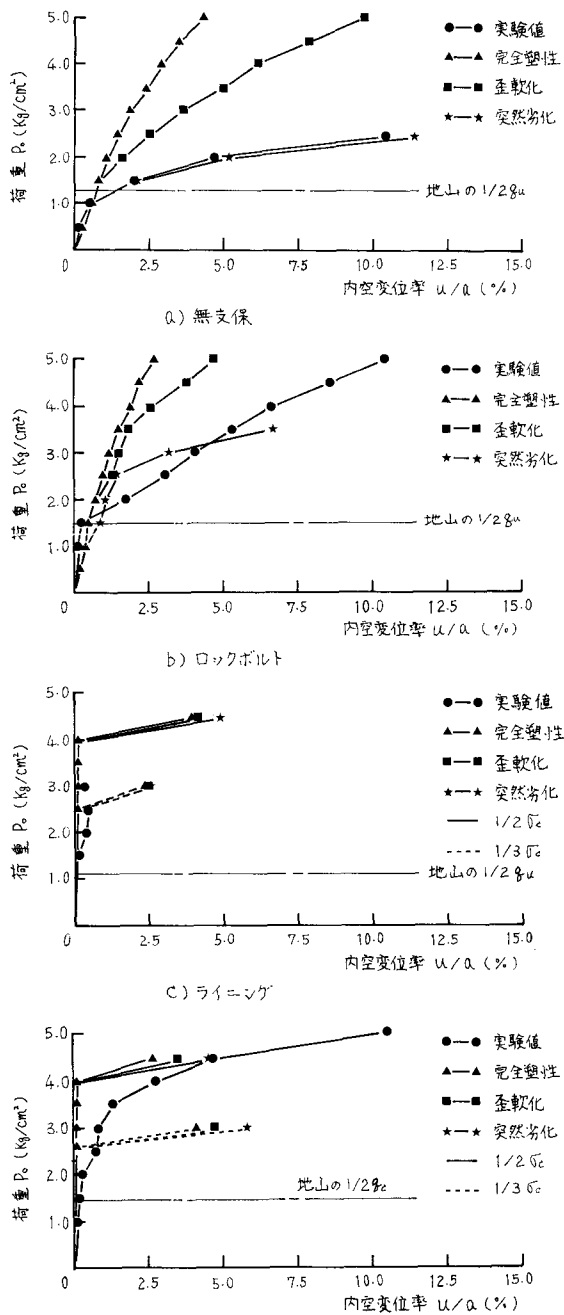


図3 実験と解析による $P_o \sim u/a$