

鹿島建設 正会員 森 健  
 佐賀大学 正会員 石橋 孝治  
 東京大学 正会員 大嶋 孝二

### 1. はじめに

トンネルの安全かつ合理的な建設を行うためには、地山の初期応力を正しく評価する必要があり、アコースティック・エミッション (A E) のカイザー効果を利用する方法が提案されている。A Eによる岩石の応力履歴の推定を試みた研究はこれまでにいくつかあるが、応力履歴が弾性域内の場合に限られており、塑性域内については応力履歴の推定方法が提案されているにすぎなかった。ところが、三次元応力下におかれている現実の岩石は、拘束応力が小さい場合、ピーク強度に達した後必ず軟化現象を呈するので、同一応力レベルにあっても弾性域内で平衡を保っていた場合と塑性域に達していた場合とが考えられ、両者の区別を明確にできるようにしておかねばならない。本研究は、三次元トンネル模型実験を行うことにより、塑性域に達していた供試体入手し、先の応力履歴の推定方法 (次節で詳述する) の検証を行ったものである。

### 2. 応力履歴の推定方法

A E発生率が急増する点と応力一ひずみ曲線の位置関係より、応力履歴が推定される。すなわち、

- ①弾性域で平衡を保っていた場合 A Eは応力一ひずみ曲線のピーク以前で急増し、その時の応力が先行応力である。
- ②塑性域で平衡を保っていた場合 A Eは応力一ひずみ曲線のピーク付近または以後に急増し、その時のひずみが先行ひずみである。先行応力は、A E試験時の応力一ひずみ曲線上もしくはピーク方向に延長した曲線上において、先行ひずみに対応する応力である。

なお、この方法は、一軸圧縮試験機を用いて載荷・除荷を繰り返した結果得られたものであり、三次元応力下においては、弾性域の場合しか検証されていない。

### 3. 実験

模型地山供試体の材料として、粒状化した発砲スチロールを混入したセメントモルタルを使用した。発砲スチロールは、強度の低下に対し弾性係数を低下させ、相似則を満足させるためのものである。設計強度は10 kg/cm<sup>2</sup>とする。

初期地圧を与えるための載荷は、静的破砕剤の膨脹圧を利用し、側圧を作用させることにより行った。また、膨脹圧が50 kg/cm<sup>2</sup>に達するのを待ち、トンネルの掘削過程をシュミレートした (図1参照)。その後、拘束を解除し、供試体の随所からコアを抜き、A E試験を行った。

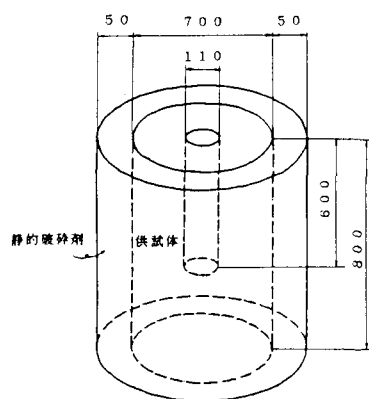


図1. 実験の概要

#### 4. 結果

##### ① A E発生状況と応力-ひずみ曲線の関係

応力-ひずみ曲線と A E 計数総数の関係の一例を図 2 に示す。なお、A E 計数総数とは一定のしきい値を越えた A E 事象の累計値である。図 2 を見ると、応力-ひずみ曲線のピーク付近で A E 計数総数曲線の傾きが増大していることがわかる。これは、模型地山がすでに塑性域に達していたことを示しており、また、A E 試験時の強度が著しく低いことから、供試体は軟化域を越えて残留域に達していたものと考えられる。これらは、設計強度  $10\text{kg}/\text{cm}^2$  に対して  $50\text{kg}/\text{cm}^2$  の載荷を行った事実と符合する。以上より、塑性域に達した地山についても A E 法が適用可能であることが検証された。

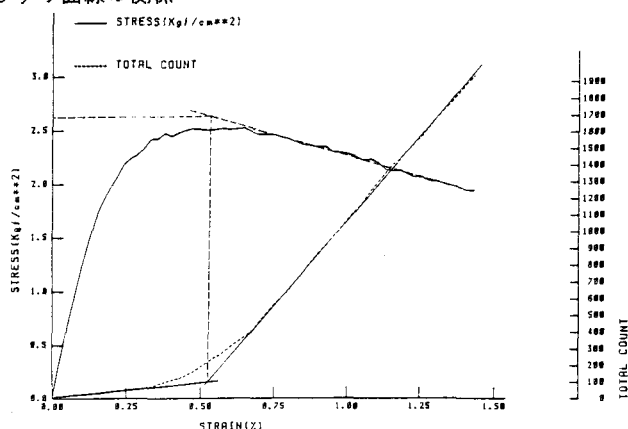


図 2 応力-ひずみ曲線と A E 計数総数の関係の一例

② 応力の推定値について  
図 3 は供試体の様々な位置について推定した応力値（接線方向応力）のトンネル軸方向分布を示したものである。応力は未掘削部分で最大値をとり、切羽から 10cm 以上離れたとほぼ一定値になることがうかがえる。これは、未掘削部分が完全な三次元拘束状態にあるのに対し、掘削部分では拘束が緩み、応力集中により塑性化が一層進んでいるために低い応力値を示すものと考えられる。すなわち、初期応力の時点で塑性域に達していた地山内にトンネルを掘削した場合にも、切羽の拘束効果は期待でき、その範囲はおおよそトンネル直径分（本実験では直径 11cm）だけ切羽から後退した所までである。

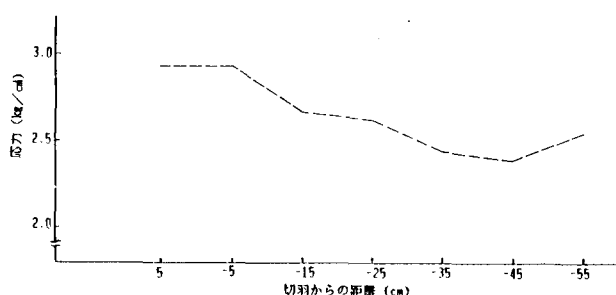


図 3 A E 法で推定した応力のトンネル軸方向分布

#### 5. 今後の課題

本研究では、供試体はすでに残留域に達していたものと推測されたが、静的破砕剤に改良を加え最大載荷荷重をコントロールし、供試体のピーク強度付近で載荷を終了すれば、弾性域と塑性域の差異がさらにはっきりとし、有意義な所見が得られるであろう。