

フジタ工業技術研究所 正員 ○門田 俊一
同 上 正員 石井 武美

1. はじめに

堅岩部に帯状に存在する断層などの弱岩部をトンネル切羽が通過する際に生ずる、いわゆる“せりもち”現象が最近問題となっている。この種の問題では、切羽の進行を考慮した三次元的な応力・変形解析が必要であり、二次元問題として取り扱いは不可能である。解析の経済性を考慮して、切羽の進行効果を近似的にとり入れることにより、二次元問題として扱う方法が提案されているが、この種の問題への適用は不適当であると思われる。

今回は、地山をモール・クーロンの破壊規準に従う弾塑性体と仮定することにより三次元弾塑性解析を実施し、弱岩部でのせりもち現象の解明を試みた結果を報告する。

2. 解析モデル、および、解析方法

使用した有限要素は、経済性を考慮し節点数を少なくするために、図-1

に示すような20節点アイソパラメトリック要素を用いた。解析モデルは、図-2に示すように、対称性を考慮して半円柱状とし、トンネル（直径 $D=6\text{m}$ ）中心より半径30m部分を56要素392節点に分割した。境界条件は、解析領域外周部を完全固定とし、トンネル鉋直中心線上は x 方向のみ固定した。初期地圧は、土被りをトンネル中心より100mとし、 σ_{x0} については、応力を評価するガウスポイントの土被りに単位体積重量を乗じたもの、 σ_{x0} 、 σ_{y0} については、側圧係数 K_0 を0.5とし、 $\sigma_{x0} = \sigma_{y0} = K_0 \sigma_{z0}$ とした。

解析方法は、一掘削長をトンネル直径 D とする全断面逐次掘削解析とし、掘削相当力は、要素を取り除くことにより生ずる解放力を評価した。また、弾塑性解析手法は、Zienkiewicz¹⁾が行なっている初期応力法に準じている。解析ケースは、CASE-1として、堅岩部のみの場合の逐次掘削解析、CASE-2として、堅岩部中4ステップ目にトンネル軸と垂直に交わる長さ D の弱岩部のせりもち現象をみるための逐次掘削解析とし、両CASEとも5ステップ計算した。

なお、解析に用いた堅岩部・弱岩部の材料定数は、表-1に示すとおりである。

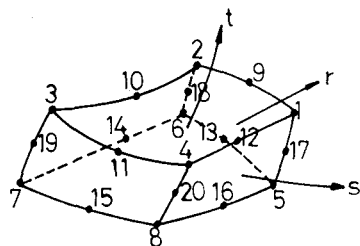


図-1 使用要素

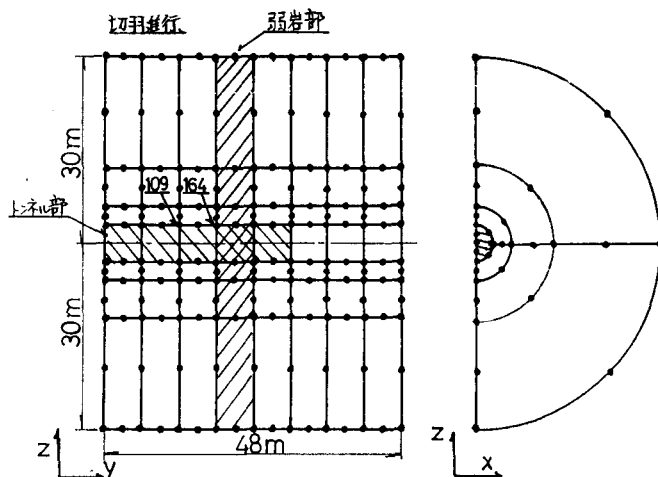


図-2 解析モデル

表-1 材料定数

	堅岩部	弱岩部
ヤング率 (tf/m ²)	50000	10000
ポアソン比	0.3	0.2
単位体積重量 (tf/m ³)	2.5	2.5
粘着力 (tf/m ²)	20	10
内部摩擦角 (°)	30	20

3. 解析結果、および、考察

解析結果の内、ここは主として変形に関して述べ、塑性域の進展状況、応力の変化状況等については別途報告する。

まず、図-3に示したのが、図-2中109で示している節点の切羽進行に伴う鉛直変位変化である。図中には、数多く報告されている同様な鉛直変位実測データとともに、安定時全変位量を20mmとして正規化した場合の一般化曲線も同時に示した。両曲線の比較から、本解析方法による計算結果は、ほぼ実測と一致しているものと思われる。

つぎに、弱岩部が存在する場合、堅岩部のみの場合と比較して、切羽進行に伴う鉛直変位変化にどのような相違があるのかを調べるために示したのが図-4である。図中には、図-2中164で示している節点の鉛直変位変化が、CASE-1, 2の両者に対して示してある。この図より、弱岩部が存在する場合、変位の絶対量は増加するものの、堅岩部のみの場合と同様に、切羽通過後2Dの地点にてほぼ安定状態となることが理解できる。

最後に、弱岩部のセリもちの程度を調べるために示したのが図-5である。ここで、切羽通過後ほぼ安定状態にある地点は、平面ひずみ状態として評価するという近似を用い、CASE-2の弱岩部の変位と、弱岩部の材料定数を用いた平面ひずみ弾塑性解による変位と比較すれば、セリもちの程度を検討することが可能であると思われる。図-5には、CASE-2の節点164, 179, 209の鉛直変位、弱岩部の材料定数を用いた平面ひずみ弾塑性解によるクラウン部鉛直変位が、CASE-1の堅岩部より成る場合の安定状態にある地点での鉛直変位とともに示してある。この図の比較から、長さ α がトンネル直径D程度、 β が、トンネル軸線に垂直に交わる弱岩部のセリもちは期待できるとと思われる。

4. おわりに

弱岩部のセリもち現象と詳細に検討するためには、弱岩部の長さ、変形特性、トンネルとの交差角等も変化させることによるパラメトリックな解析が必要であると思われる。今回は、弱岩部の長さ α がトンネル直径Dの場合、および、交差角がトンネル軸線と垂直である場合のみの報告にとどめたが、更に種々のケースについて解析を進めている。

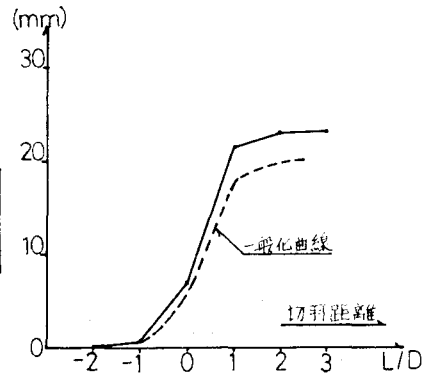


図-3 節点109の鉛直変位変化

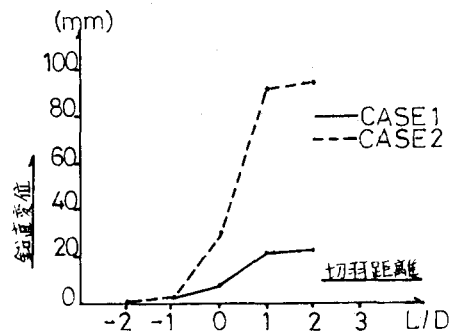


図-4 節点164の鉛直変位変化

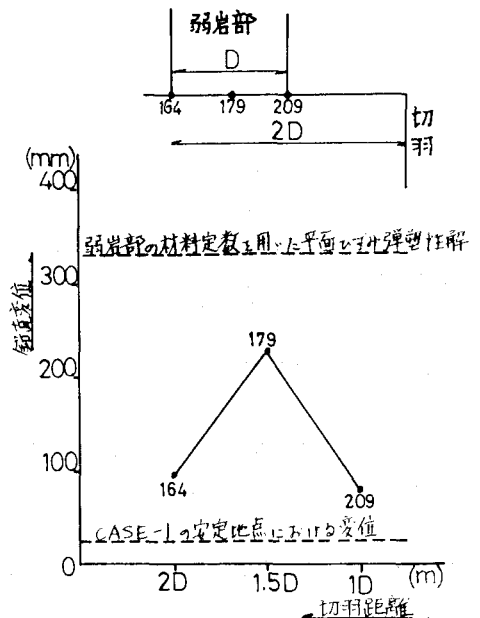


図-5 弱岩部の鉛直変位比較

(参考文献)

- 1) O.C. Zienkiewicz; Elast-plastic solutions of engineering problems. Initial stress finite element approach, Int. J. num. Mech. Engng, 1. 75-100 (1969)