

大成建設(株) 正員 ○ 原田 浩史
同 上 正員 木村 洋行
同 上 正員 亀村 勝美

1. まえがき

NATMによるトンネルなどにおいては、2次元平面ひずみ状態での有限要素法を用いて、地盤や構造物の安定性を検討することが多く行なわれている。NATMにおいては、支保の建込み時期の評価が重要であり、このため、地盤の変形の経時変化を推定することが重要となる。筆者らは見かけ上得られる経時変化はほとんどの場合、切羽の進行による3次元的效果によるものであると判断し、3次元弾性体中の素掘り状態の円形トンネルの有限要素解析を行ない、3次元的效果を2次元解析によって評価するための問題点を検討してきた。2次元解析において3次元的效果を考慮するために、一般に、等方等圧状態の無限弾性体中に素掘り状態で掘削された円形トンネルの坑壁の半径方向変位を正規化した特性曲線が用いられているが、現在までの研究によって、特性曲線に与える土被りの影響や、トンネル横断面内の地山内変位についての特性曲線がその面内で様でないことなどが明らかになった。¹⁾本研究では、切羽の存在による3次元的效果に注目し、その傾向を明らかにするとともに、2次元平面ひずみ状態での応力解放法による解析結果と比較することによって、2次元解析において3次元的效果を取り扱う場合の留意点について述べる。

2. トンネル切羽周辺の3次元応力状態と平面ひずみ応力状態

解析モデルは3次元解析、2次元平面ひずみ解析ともにトンネル土被りが1D(Dは円形トンネルの直径)と3Dの2ケースとし、地盤はポアソン比0.4, 単位体積重量 2.5 t/m^3 の均一な弾性体とした。

トンネル掘削による切羽周辺の応力の変動の傾向を見るために、3次元解析におけるトンネル掘削時の最大主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ と、初期応力状態での最大主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_0$ との比 $[(\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)_0]$ を求め、土被り1Dと3Dのそれぞれの場合についてトンネル軸方向断面内での分布を示したのが図-1、図-2である。いずれの場合も切羽先端、下端の隅角部付近で応力集中しており、切羽前方0.7D付近までは $(\sigma_1 - \sigma_3)$ の増加率が1.5以上となっている。また土被り1Dの場合には地表面の影響によって、分布がトンネル中心軸に対して上下非対称になっている。図-3、図-4には3次元解析および2次元解析における土被り3Dの場合について、トンネル天端要素と側壁要素の半径方向応力 σ_r 、接線方向応力 σ_θ 、トンネル軸方向応力 σ_z の初期応力に対する増加の割合を示してある。これらの図より、3次元解析においては各応力成分とも切羽面近傍で急激に変化しており、特にトンネル軸方向応力 σ_z についてその度合いが大きいことが分かる。また、接線方向応力 σ_θ が切羽直後で一瞬減少し、極小値を示してその後増大するという傾向が見られるがこれは注目すべきことである。これに対し、2次元解析結果では解析の仮定から σ_θ , σ_r とも単調に増減することになり、切羽の前後0.5D区間での増減の程度にはかなりの違いがある。しかし、切羽より2D以後では3次元解析結果とほぼ一致していることから、この部分では3次元モデルにおいても

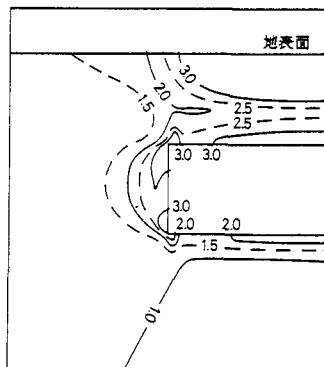


図-1; 最大主応力差比分布図
(3次元解析, 土被り1D)

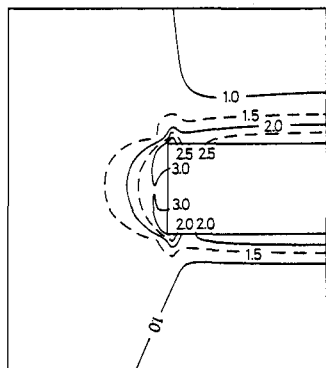


図-2; 最大主応力差比分布図
(3次元解析, 土被り3D)

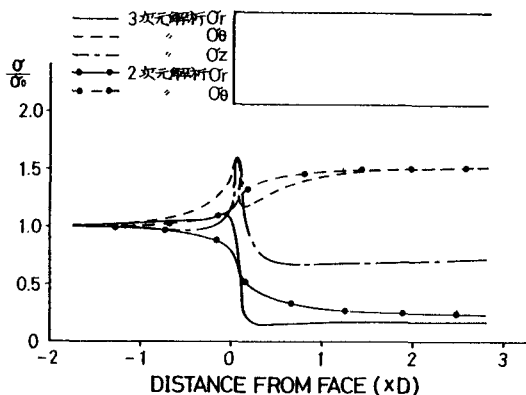


図-3; 各応力成分比分布図(土破り3D, 天端要素)

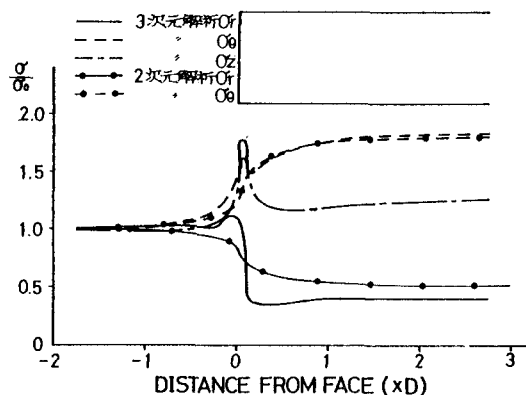


図-4; 各応力成分比分布図(土破り3D, 側壁要素)

平面ひずみ状態に近い状態になっていると推定できる。次に、これらの要素について最大せん断応力 $(\sigma_r - \sigma_\theta)/2$ の分布を示したものが図-5であるが、側壁要素については3次元解析と2次元解析とは比較的良好な近似を示している。しかし、天端要素については切羽の前後0.5Dの区間で両者の違いが大きく、特に前方0.5Dの区間においては全く逆の傾向を示している。このように、天端要素において2次元解析結果と3次元解析結果が大きく異なるのは、今回の解析において初期応力を $\sigma_\theta/\sigma_r \approx 0.67$ という条件で与えたためであり、初期応力の与え方によっては側壁要素にこの傾向が現われる場合もある。

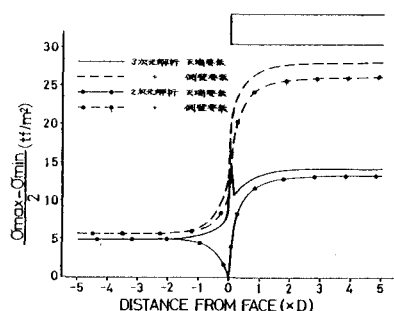


図-5; 最大せん断応力分布図(土破り3D)

図-3, 図-4に見られるように、3次元解析では、トンネル切羽直傍で軸方向応力 σ_r が急激に増大し、それに伴って最大せん断応力も増大する。このせん断応力の急激な増大は2次元解析では表現されていない。図-6には平均主応力を考慮してこれらの要素の応力履歴を示した。この図から、切羽の前後1Dの区間では3次元応力状態は2次元解析で得られる応力状態よりも危険な状態にあることが分かる。すなわち、切羽直傍での破壊の判定については2次元解析では正しく評価されないことになる。

3. まとめ

本研究により、トンネル切羽付近での3次元応力状態は非常に複雑であり、また、通常の応力解放法などの2次元解析ではこの応力状態を過小評価していることが明らかになった。今後、切羽の進行などの3次元的影響を考慮して2次元解析を行なう場合、特に非線形問題や弾塑性問題を扱うためには、3次元応力の効果を正しく評価するための十分な研究が必要である。

〈参考文献〉 1) 木村, 亀村, 原田, 里: 切羽の進行を考慮した

掘削の解析について, 第16回土工学研究発表会(1981)

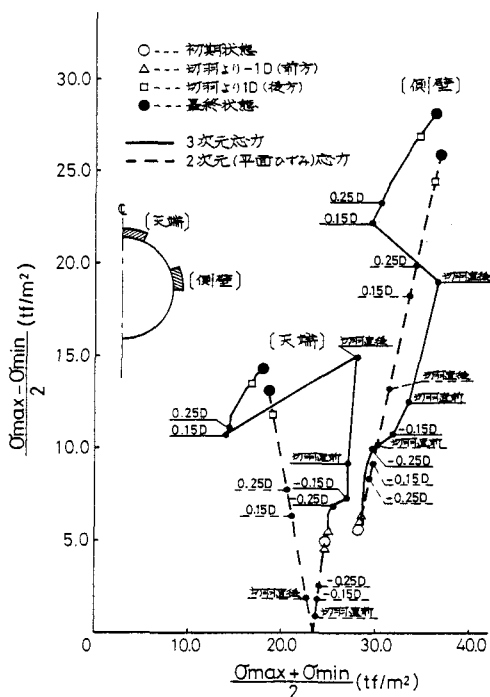


図-6; 応力履歴曲線