

三次元掘削解析に基づくトンネル応力解放率の設定に関する考察

長崎大学工学部 正会員 棚橋由彦 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
日本道路公団技術部 正会員 海瀬忍 長崎大学工学部 学生員 大隈周史

1 はじめに

トンネルの力学的挙動を評価するためには、地形の影響と切羽の支保効果から本来三次元解析を行うべきであるが、多大な労力や計算時間を必要とすることから三次元的な影響を擬似的に二次元場で表現するモデル化手法が提案され、応力解放率を用いることにより切羽の進行効果を表現することになる。支保パターンの効果を検証するためにこのような手法が実務的にも用いられているが、応力解放率は過去の設計事例などを参考にして経験的に決定するのが現状であると思われる。

本研究は、数値解析手法に基づく合理的支保設計を目指すために、地山の力学的特性および初期応力状態を忠実に考慮した三次元数値解析を実施することにより、地山の变形特性、支保工による応力分担の変化および土被りが地山の变形挙動と応力解放率に及ぼす影響を明らかにし、二次元解析における応力解放率の設定法を提案する。

2 応力解放率の定義

図-1 に示すように、トンネル地山変位の測定データを分析すると、切羽面位置 (u_o) では、すでに最終変位量 (u_{fin}) の 20~40% 以上が生じていることがわかる。

トンネルの掘削により掘削壁面をトンネル中心に引きずり込むような力を掘削外力 (P_e) として、それは地山変位の変化傾向から推定できると考える。切羽前方では $p_e = 0$ 、切羽の近傍では $p_e = u_o / u_{fin} \cdot s_o = SRR \cdot s_o$ 、また無支保の場合では最終的に $p_e = s_o$ となると考えられる。

ここで、 p_i はトンネル壁面にかかる内圧、 P_e は掘削外力、 s_o は初期地山応力、 SRR は応力解放率、 $u(x)$ はトンネル天盤沈下量、 u_o を切羽面での先行変位、 u_{fin} は無支保でのトンネル天盤最終沈下量、 u_a は切羽面から 1 掘削サイクル遅れ時点の変位である。

3 解析ケース

地山状況の違いによる応力解放率の変化を解明するために地山の变形係数 (E)、ポアソン比 (ν) および土被り (H) を変化させながら、三次元数値解析法を用いたトンネル掘削シミュレーションを実施し、トンネルの挙動を調べ、切羽面から 1 掘削サイクル遅れでの応力解放率を算定する。

解析ケースは、三次元解析では、 E を 10MPa、50MPa、100MPa、また ν を 0.2、0.4、 H を 10m、20m、50m、100m と設定し計 24 ケースの弾性解析と弾塑性解析を行った。なお、弾塑性解析では

Mohr-Coulomb 破壊規準に従って行う。また、 $\nu = 0.2$ 、 $E = 100$ MPa、 $H = 20$ m での弾塑性解析では支

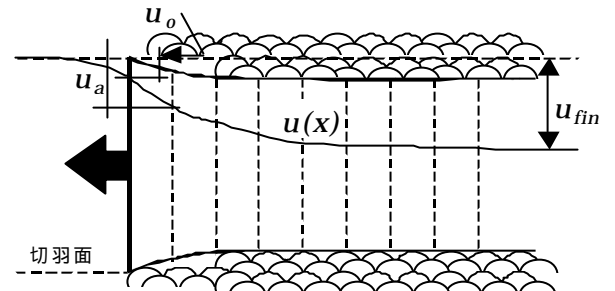
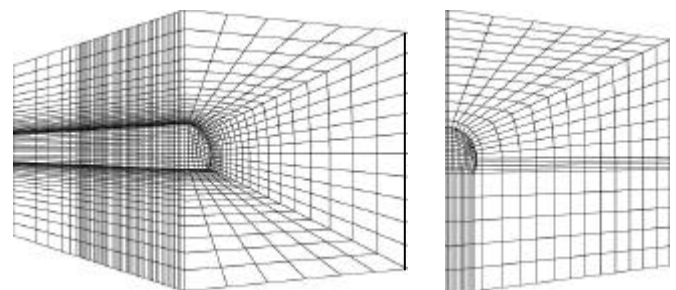


図-1 掘削に伴うトンネル天盤の沈下曲線

$$P_e = S_o - p_i \quad (1)$$

$$p_i = (1 - SRR) \cdot s_o = \left(1 - \frac{u(x)}{u_{fin}}\right) s_o \quad (2)$$



(a)三次元モデル

(b)二次元モデル

図-2 解析モデル

キーワード：応力解放率，支保効果，三次元数値解析，二次元

連絡先：〒852 - 8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部 TEL (095)843 - 7229 FAX(095)848 - 3624

保工を打設し解析を行う。支保パターンは、日本道路公団の道路トンネルにおける標準支保パターン例にあるDクラスの地山における標準支保パターンを用いる。

さらに、すべての解析ケースにおいて応力解放率を30、40、50、60、100%（支保工を打設するケースでは40、50、60、100%）と設定し二次元解析を行う。その結果を、それぞれの三次元解析結果と比較し、変位結果の相違の確認および、応力解放率の設定法について検討を行う。

4 結果と考察

(1) 三次元解析の結果

図-3、4 に解析結果の一例として掘削に伴う地山変位、図-5 に解析的に得られた天盤部での応力解放率の評価チャートを示す。

変形係数の変化に対して、応力解放率の変化はあまり見られない。これは、変形係数を変化させてもトンネル天端部の応力が同じであり、 u_a と u_{fin} の割合があまり変わらず、変形係数の変化にはほとんど影響されないためである。ただし、応力解放率が土被りに依存し、土被りが大きくなると応力解放率も大きくなるのがわかる。また、土被りの増加に対して、応力解放率の増加率が徐々に減少していることから、土被りがさらに増加すると、それに伴い応力解放率はある値に収束していくのではないかと考えられる。

(2) 二次元解析の結果と三次元解析の結果の比較

二次元解析と三次元解析の解析結果を比較すると、二次元解析において応力を30~40%解放した時のトンネル天盤部の鉛直変位が三次元解析結果と近くなった。これにより、トンネル天端部において、応力解放率は二次元解析結果と三次元解析との間に10~15%ほど差があることがわかった。これは、二次元解析では切羽前方の拘束効果が表現できていないためと考えられる。支保工を打設したケースでの二次元解析の結果は、三次元解析の結果を大きく上回るものになった。支保工を打設することにより切羽前方の拘束効果に加え、切羽後方の支保効果もあらわれ、二次元解析と三次元解析の結果に大きな差が生じたと考えられる。

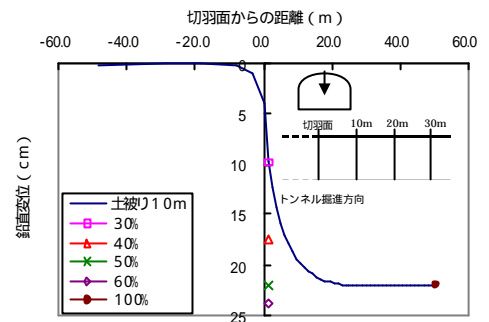
5 おわりに

種々の地山条件で二次元と三次元で掘削解析の比較を行った結果、以下の知見を得た。

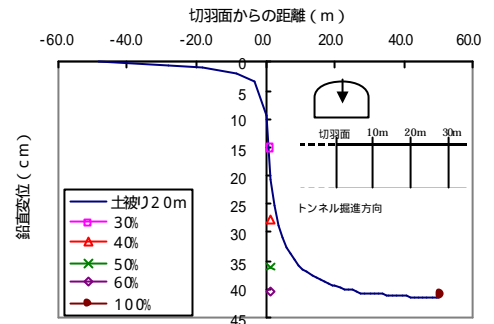
応力解放率は土被りに依存し、土被りの増加に伴いある値に収束する。

切羽前方の拘束効果により、二次元解析では実際の地山変位を大きく評価する恐れがある。

支保工の打設が応力解放率に大きく影響を及ぼす。変形係数と土被りによって応力解放率を予測評価することができた。



〔(%)は二次元モデルでの応力解放率〕
 図-3 掘削に伴う地山変位
 ($\nu=0.2, E=100 \text{ MPa}$, 弾性解析, 無支保)



〔(%)は二次元モデルでの応力解放率〕
 図-4 掘削に伴う地山変位
 ($\nu=0.2, E=100 \text{ MPa}$, 弾塑性解析, 支保有)

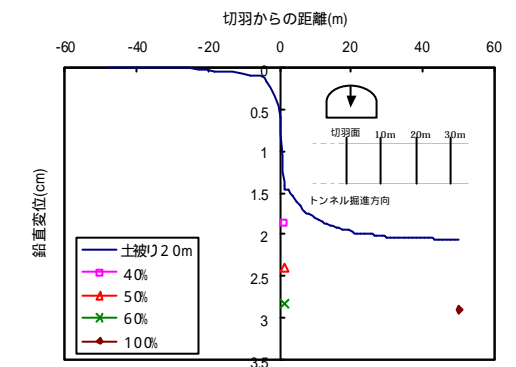


図-5 応力解放率の評価チャート