

トンネル支保設計に用いる応力解放率の評価に関する考察

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 〇大隈周史

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、支保工と先受け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、応力解放率の算定法を検討する。

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_0)では、すでに最終変位量(u_{fin})の 20~30% 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。図-2 に示すように切羽前方では $p_e = \sigma_0$ 、切羽の近傍では $p_e = u_0/u_{fin} \cdot \sigma_0 = SRR \cdot \sigma_0$ 、また無支保の場合では最終的に $p_e = \sigma_0$ となると考えられる。

$$P_e = \sigma_0 - p_i \quad (1)$$

$$p_i = (1 - SRR) \cdot \sigma_0 = \left(1 - \frac{u(x)}{u_{fin}}\right) \sigma_0 \quad (2)$$

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、 σ_0 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_0 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. トンネル掘削シミュレーションモデリング

図-3 にモデル掘削シミュレーションに用いた解析モデルを示す。このモデルは、10m 幅の標準断面を持ち、奥行きに勾配を持たない水平トンネルとし、土被り H を変化させた。

地山の变形特性および土被りが応力解放率に及ぼす影響を明らかにするために周辺地山の变形係数(E)を 10MPa, 50MPa, 100MPa, ポアソン比(ν)を 0.2, 0.4、さらに土被り(H)を 10m, 20m, 50m, 100m と変化させ、トンネル掘削シミュレーションを行いトンネルの变形挙動を調べ、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。

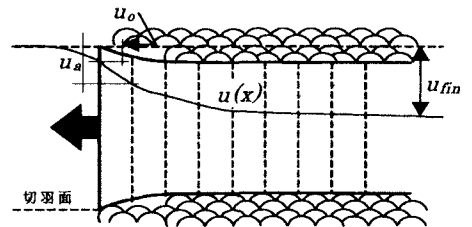


図-1 掘削に伴うトンネル天盤の沈下曲線

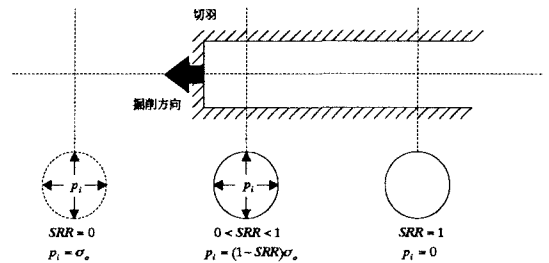


図-2 掘削に伴う内圧効果の変化

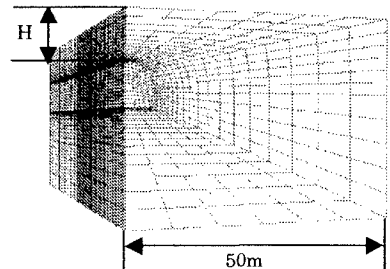


図-3 解析モデル

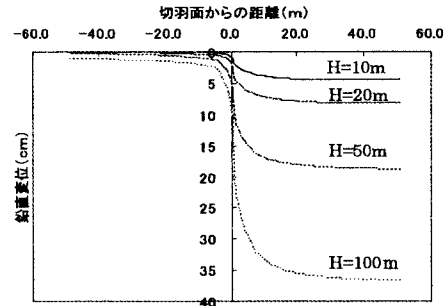
4. 解析結果と考察

図-4(a)からわかるように、トンネル天端部の鉛直変位は、土被りにほぼ比例して変位が生じている。一方、トンネル側壁部においては、土被りが大きくなると内空方向への変位が大きくなるが(図-4(b))、切羽面から1掘削サイクル遅れ付近に特異な変形挙動が見られた。応力解放率はトンネル天端部の応力解放率のような規則性は表れず、ポアソン比、土被りおよび変形係数に大きく支配されると考えられる。

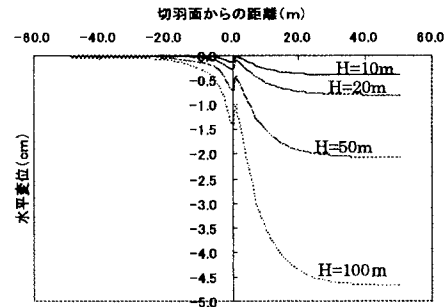
図-5 は解析的に得られた天端部での応力解放率の評価チャートである。ポアソン比が大きくなるとやや応力解放率も増加していることがわかる。しかし、変形係数の変化に対して、応力解放率の変化はあまり見られない。これは、ヤング率を変化させてもトンネル天端部の応力が同じであり、 u_a と u_{tm} の割合があまり変わらないために、ヤング率の変化にはほとんど影響されないためである。ただし応力解放率が土被りに依存し、土被りが大きくなると応力解放率も大きくなることがわかる。また、土被りの増加に対して、応力解放率の増加率が徐々に減少していることから、土被りがさらに増加すると、それに伴い応力解放率はある値に収束していくのではないかと考えられる。本解析では、土被りが 20m を超えると応力解放率が 50% を超える可能性があることを明らかにした。

5. おわりに

三次元掘削シミュレーションによる周辺地山の変形挙動の把握に基づき、二次元解析モデルに用いる応力解放率の算定と影響要素について考察を行うことができた。今後は、支保工を取り入れた三次元変形挙動解析と現在実務的に行われている二次元解析との比較を行い支保工の定量的評価を検討していく。



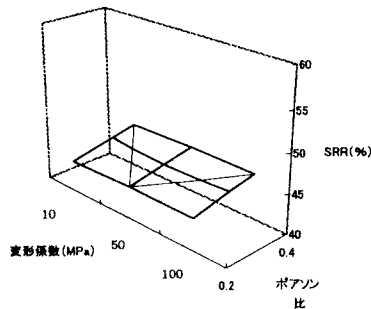
(a) 天端部鉛直変位



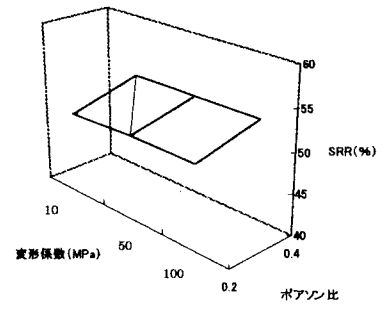
(b) 側壁部の水平変位

(内空方向を正とする)

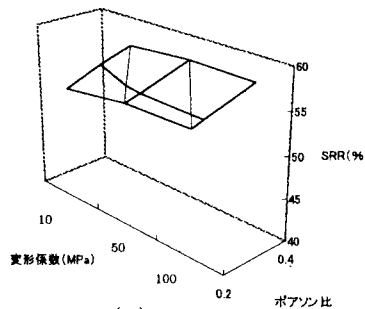
図-4 トンネル掘削に伴う地山の変形挙動 ($\nu=0.2$, $E=50\text{MPa}$)



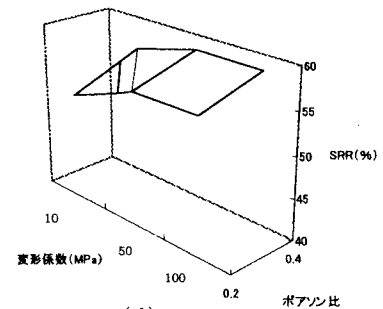
(a) H=10m



(b) H=20m



(c) H=50m



(d) H=100m

図-5 応力解放率の評価