

中央導坑先進工法適用時の2次元解析における応力解放率に関する一考察

(一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 正会員 ○井野 裕輝
 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 正会員 真下 英人

1. はじめに

地山強度が小さく、トンネル掘削時に大変位が発生する地山においては、支保工に発生する変位および応力を低減させることを目的として、導坑を掘削した後、本坑の拡幅を行う中央導坑先進工法が適用される場合がある。先進導坑の効果の一つとして、導坑掘削により本坑拡幅時におけるトンネル周辺の地山応力を低減させることが挙げられ、適用に際しては支保工を設置する時の変位の評価が重要となる。トンネル掘削時の挙動は、切羽の進行とともに変化する3次元の現象であるが、変位予測や支保構造の検討には、応力解放率を用いることにより2次元の問題として近似した2次元解析が適用される場合がある。応力解放率は、施工実績から経験的に定めていることが多いが、中央導坑先進工法を用いた場合の応力解放率の値については十分な知見が得られていないため、FEMを用いた2次元と3次元解析の比較を行い、設定方法の検討を行った。

2. 応力解放率設定の考え方

トンネルの挙動を2次元問題として捉えた場合、トンネルの安定点は図-1に示すような地山特性曲線と支保工特性曲線との交点として得られ、支保工設置時の変位(先行変位)は、それまでに解放された支保圧の大きさによって決まる。2次元解析では、この解放される支保圧を図-2に示すような応力解放率 α 、 β として与えるため、3次元解析で得られた先行変位を与えるように応力解放率を設定すれば、2次元解析と3次元解析の地山特性曲線が同一の場合は、3次元解析と同一の結果が2次元解析により得られることになる。地山が弾性体の場合は、地山特性曲線における変位と支保圧の関係は線形となるため、応力解放率は先行変位と支保圧ゼロの変位の比率としても求まるが、塑性化する場合は非線形となるため、変位の比率により求めることはできない。このため、地山が塑性化する場合は、先行変位が発生するときの支保圧に着目して求めることとし

た。具体的には、導坑掘削時の応力解放率 α は、図-3に示すような3次元解析から得られた先行変位 δ_{p1} に対応する導坑壁面の地山特性曲線上の支保圧 P_{p1} を求め、 $\alpha=(P_0-P_{p1})/P_0$ (P_0 :初期圧)とし、本坑拡幅時の応力解放率 β は、3次元解析から得られた導坑掘削時の収束変位 δ_{m2} 、本坑拡幅時の先行変位 δ_{m3} に対応する地山特性曲線上の支保圧 P_{m2} 、 P_{m3} を求め、 $\beta=(P_{m2}-P_{m3})/P_{m2}$ とした。

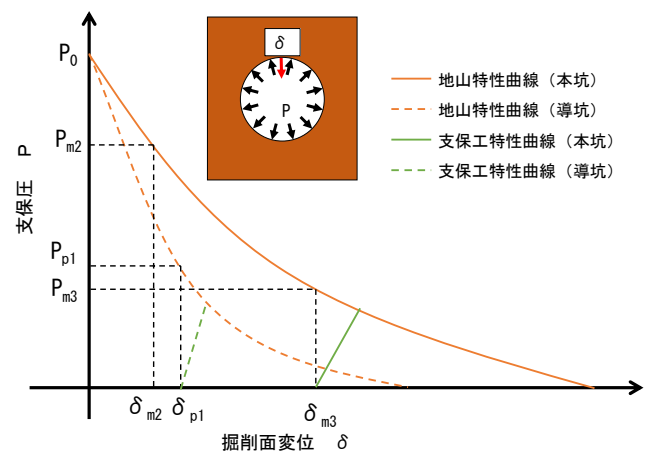


図-1 2次元問題におけるトンネルの安定点

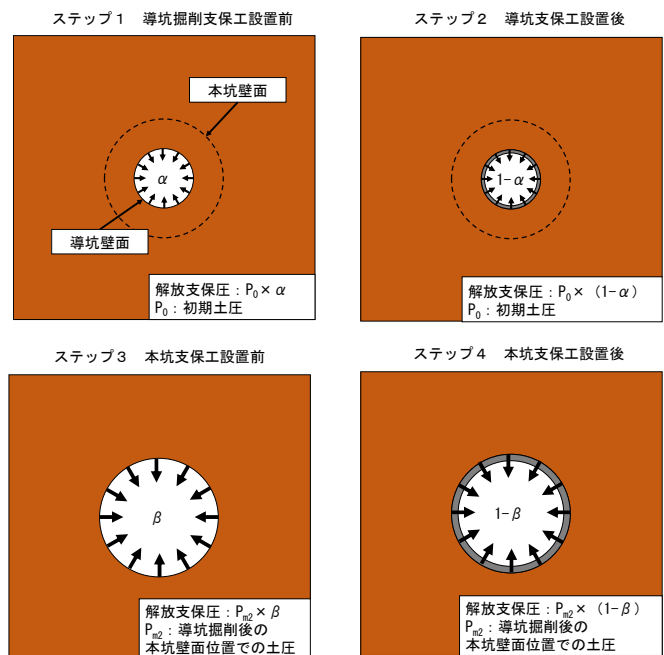


図-2 2次元解析の解析ステップ

キーワード 中央導坑先進掘削工法、2次元FEM解析、応力解放率、先行変位

連絡先 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 TEL0545-35-0212

3. 解析概要

3次元解析で使用したモデルを図-4に示す。解析では、導坑の掘削半径3.7m、支保工厚40cm、本坑の掘削半径7.6m、支保工厚115cmの円形断面トンネルを対象とした。境界条件は、トンネルが含まれない外周面を自由、含まれる側面をローラー境界とした。初期応力状態は側圧係数を1とし、土圧として土被り約300m相当の7.2MPaを各要素に与えた。解析物性値を表-1に示す。地山はMohr-Coulombの破壊規準に従う弾完全塑性体とし、支保工は吹付けコンクリートを想定して、弾性係数 E_c は剛性の影響を調べるために2通りに変化させた。掘削は一掘進長1mの全断面掘削とし、支保工は一間違れで設置した。

4. 応力開放率の算定結果

解析結果を図-5に示す。導坑掘削時の応力解放率 α と本坑掘削時の応力解放率 β は図-6を用いて算出すると $E_c=6,000\text{MPa}$ の場合は $\alpha=35\%$ 、 $\beta=25\%$ 、 $E_c=600\text{MPa}$ の場合は $\alpha=54\%$ 、 $\beta=42\%$ となった。なお、変位量に着目して α 、 β を算出すると $E_c=6,000\text{MPa}$ の場合は $\alpha=30\%$ 、 $\beta=20\%$ 、 $E_c=600\text{MPa}$ の場合は $\alpha=45\%$ 、 $\beta=33\%$ となる。 α 、 β を用いた2次元解析は3次元解析と概ね一致しているが、支保工の剛性が小さい場合は導坑掘削後、本坑掘削後の収束変位に若干の差が見られる。その要因としては、2次元解析は平面ひずみ状態を仮定しているが、3次元解析は切羽が進行して変位が収束するまでの過程において縦断方向に変形が生じるため、地山が塑性化した場合は2次元解析と3次元解析では地山特性曲線に差が生じ、支保工の剛性が小さい場合はその影響が現れたことが考えられる。また、 α 、 β ともに支保工の剛性によって値が異なるとともに、 α と β にも差が見られることから、実務においては支保構造や地山特性に応じた α 、 β の設定が必要と言える。

5. まとめ

地山が塑性化する場合も、3次元解析から得られた先行変位に対応する地山特性曲線の支保圧に着目して応力解放率を設定すれば、2次元解析はトンネルの3次元挙動を概ね再現できることが明らかとなった。したがって、本稿で設定したような応力解放率を用いれば2次元解析でも、先進導坑の効果や支保工の変位、応力を検討することは可能であると考えられる。今後は、地山の剛性、強度、支保工の剛性、導坑の大きさなどが応力解放率に及ぼす影響について検討を行う予定である。

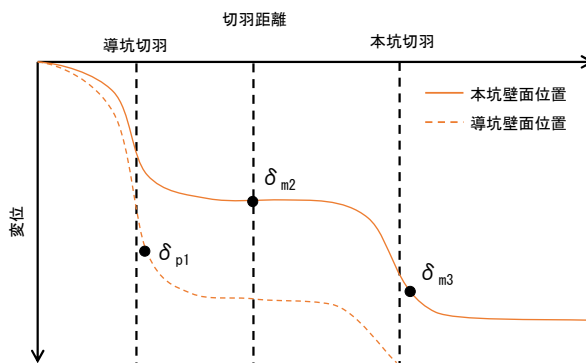


図-3 3次元解析結果イメージ

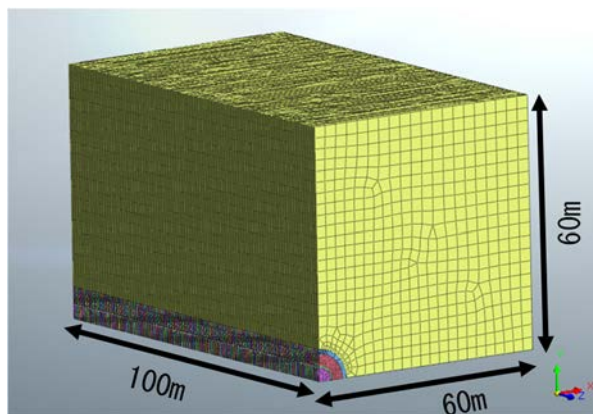


図-4 3次元解析モデル

表-1 解析物性値

地山	変形係数	150MPa	粘着力	2.9MPa
	内部摩擦角	10°	ポアソン比	0.49
支保工	弾性係数	6,000MPa, 600MPa		

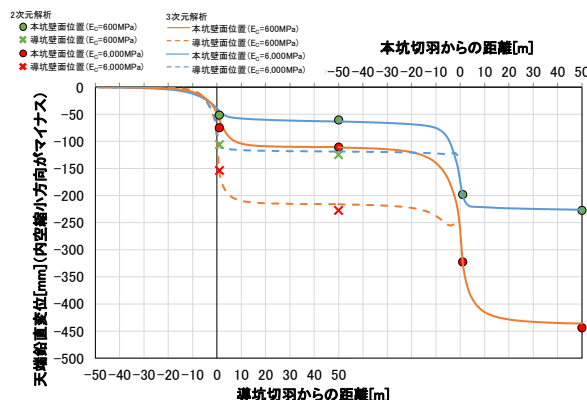


図-5 2次元と3次元解析結果の比較

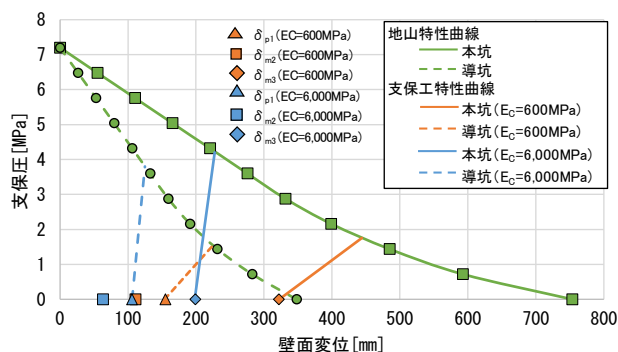


図-6 応力解放率の算出に用いた地山特性曲線