

III-B 100 3次元有限要素法による長尺先受け工の地山安定効果に関する検討

（株）大林組技術研究所 正会員 杉江茂彦

同上 正会員 吉岡尚也

1. はじめに

高速自動車道網の拡充にともない、3車線以上の幅員をもつ大断面トンネルが、NATMでさかんに施工されてきている。これにともない、土被りが浅い未固結な地山での安定性の確保、都市部での既設構造物への悪影響の回避を目的に、10mを越えるような長尺先受け工の採用が増えている。本研究では3次元FEM（解析コード：GRASP-3D¹⁾）によるトンネルの掘削解析で長尺先受け工による地山安定効果を調べたので報告する。なお長尺先受け工による地山変形の抑制効果については既報^{2), 3)}で述べている。

2. 解析方法

土被りが浅く未固結な地山での大断面トンネルの上半掘削を想定し、長尺先受け工、掘削工ならびに支保工の施工過程を逐次考慮した。有限要素メッシュとトンネル横断面の形状を図-1に示す。

2.1 地山のモデル化

初期地山応力は湿潤密度 $\gamma_t=2.0\text{t/m}^3$ 、静止土圧係数 $K_0=0.43$ とした自重計算からもとめた。地山物性は地山強度比（一軸圧縮強度 q_u と初期土被り圧の比） $C_f=1.0$ とし、剛性 $E=300q_u$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とした。地山要素の降伏判定には、Drucker-Pragerの降伏条件を用い、降伏後の要素の剛性を10分の1に低下させ、ポアソン比を $\nu=0.49$ とした。地山の内部摩擦角は $\phi=20^\circ$ とし、粘着力 C は $C=q_u/2\tan(45^\circ+\phi/2)$ よりもとめた。地盤改良部の要素については $E=10\text{万tf/m}^2$ の弾性体とした。

2.2 補強工のモデル化

長尺先受け工には、打設長さ12m、厚さ30cmのソイルセメントを想定し、弾性体のソリッド要素を用いた。設置位置は図-1(b)に示すとおりであり、トンネル掘進方向のラップ長を4mとした。

また弾性ソリッド要素の剛性を $E=10\text{万tf/m}^2$ 、ポアソン比を $\nu=0.3$ とした。ラップ部の剛性には先の値を2倍して用いた。支保工については、厚さ25cmの吹付けコンクリートとH-250（トンネル軸方向1mピッチ）の鋼製支保工を想定し、弾性体シェル要素でモデル化した。ここで、吹付けコンクリートと鋼製支保工の両者の曲げ剛性（EI）を合成して評価した剛性 $E=200\text{万tf/m}^2$ とポアソン比を $\nu=0.2$ を用いた。

3. 長尺先受け工による地山安定効果

天端位置（図-1(b)のT位置）の地山応力パスを図-2に示す。縦軸にせん断応力のパラメータ $\sqrt{J_2}$ を、横軸に平均応力 p をとっている。ともに掘削前の平均応力 p_0 で除した値である。 J_2 は偏差応力 S_{ij} の各成分の2乗を総和して1/2を乗じてもとまる値であり、せん断応力を一般化して表したものである。先ず、図-2(a)で、長尺先受け工がある場合（先受け工+支保工）とない場合（支保工のみ）を比較してみる。 $\sqrt{J_2}$ と p は切羽

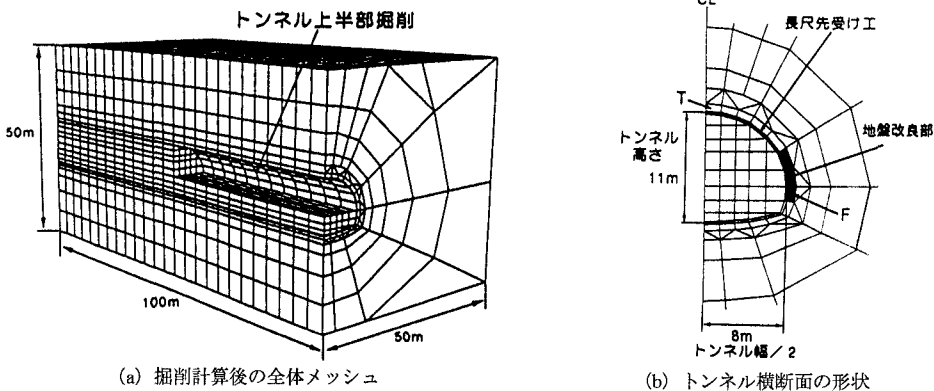
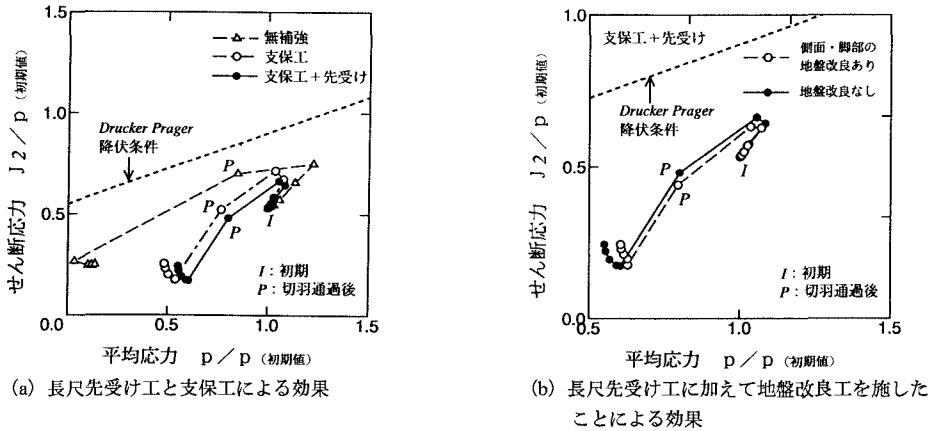
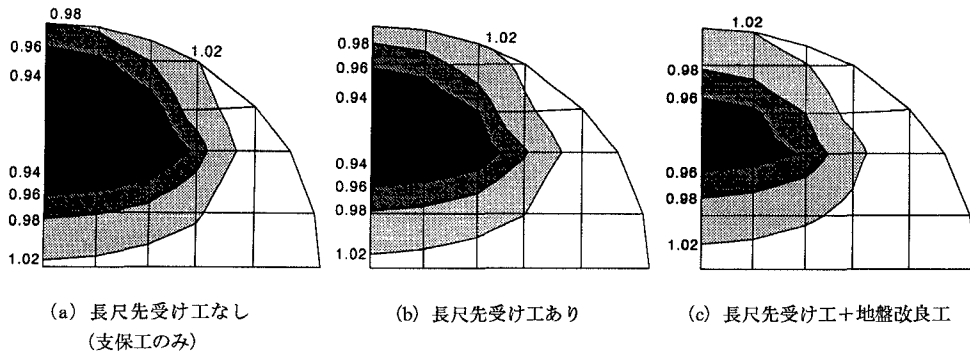


図-1 有限要素メッシュ



図一2 トンネル天端部の地山応力パス



図一3 切羽の局所安全率 (LSF) コンター

の接近とともに増加し、通過直前でピークを示す。その後切羽の通過で急激に減少し、ある値に落ちついている。このような地山応力の変化のしかたは補強の仕様によらず同様である。しかし応力パスの位置には差がある。先受け工ありのケースでは $\sqrt{J_2}$ が小さく抑えられているのに加え、 p の減少が小さい。このためにパスが降伏条件の線からより離れた位置にあり、先受け工が天端地山の安定向上に効いている。長尺先受け工に加えて、上半の側部と脚部（図一1 (b) のF位置）に地盤改良を模擬した結果を図一2 (b) に示す。わずかではあるが、地盤改良によって、天端地山の応力パスはさらに下方にシフトしている。

図一3に切羽部の局所安全率 (LSF) コンターを示す。LSFの計算にはMohr-Coulombの破壊規準を用いた。本結果では局所安全率 (LSF) 1以下の範囲が広がっているが、天端付近を中心に長尺先受け工による安全率の向上がみられる。また長尺先受け工に加えて側部と脚部に地盤改良を模擬したことで、切羽部の安全率がさらに大きく向上している。

4. おわりに

土被りが浅く未固結な地山での大断面トンネルの上半掘削を想定し、長尺先受け工による地山の安定効果を3次元FEM解析で調べた。主な結果は以下である。1) トンネル天端部と切羽部の地山で長尺先受け工による安定性の向上がみられる。2) 上半脚部では先受け工を介して大きな地山荷重が作用する。長尺先受け工の採用では、地山の安定効果を発揮させる上で、脚部の支持力確保が重要であり、地盤改良工の併用が有効である。

参考文献

- 1) 杉江茂彦・飯塚敦・太田秀樹：3次元土/水連成FEMにおける種々の離散化と計算精度・効率、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、第18巻、pp.33-38,1994
- 2) 杉江茂彦・吉岡尚也・藤原紀夫：大断面トンネルの周辺地山の3次元挙動解析、第27回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、1996
- 3) 杉江茂彦・吉岡尚也・藤原紀夫：3次元有限要素法による長尺先受け工の変形抑制効果に関する検討、第31回地盤工学研究発表会講演集、1996