

4. 浅所トンネル対象とした数値解析例

図-3 に FEM 解析モデルを示す. トンネル半径 $a=5\text{m}$, ヤング率 $E=150\text{MPa}$, ポアソン比 $\nu=0.49$, 単位体積重量 $\gamma=24\text{kN/m}^3$, せん断抵抗角 $\phi=30^\circ$ とする. 掘削の進行は円孔内部の応力解放でモデル化し, 応力解放率 $\lambda=(\sigma_0-\sigma_{ra})/\sigma_0 \times 100(\%)$ で表現する. 図-4 は $h/a=2$ とする式(2)と解析解の比較である, 例えば, $c/\gamma a=0.2$ に注目すれば, 応力解放率 78%で塑性円が地表面に接して極限状態と判断しているが, 有限要素解析では 75%を超えると地盤は不安定化することが示されている. 式(2)は, 無限体を対象として得られていること, 塑性領域を円形としていること, などが差の主因と理解される. なお, $\bar{\sigma}_{ra}/\gamma h < 0$ は空洞が自立することを意味する. 前述したように, ここまでの解析では, 支保の設置時期, 剛性, 支保-地盤間接触条件等が含まれていない. そこで, 解放率が 75%未満例えば 73%で支保を設置する解析例を示す. 図-5 に円孔壁面に複合材をはり要素(緑実線)として設置したモデルを示す. はり要素構成節点は地盤要素節点を兼ねる, つまり支保と地盤の接面では半径方向, 周方向とも相対変位は生じない設定とした. 図-6 は SS と SC を複合材とするモデル化を示している. 図中の s で示している区間を基本単位として複合材の特性 E_{eq} , t_{eq} は式(3)で求められる.

$$E_{eq} = \frac{n(D_{SS} + D_{SC})}{t_{eq} \cdot b}, \quad t_{eq} = \sqrt{\frac{12(K_{SS} + K_{SC})}{D_{SS} + D_{SC}}} \quad (3)$$

なお, 平面応力では $D=EA, K=EI$, 平面ひずみでは $D=EA/(1-\nu^2), K=EI/(1-\nu^2)$ である. 本報告では, ヤング率 $E_{eq}=7554(\text{MPa})$, 厚さ $t_{eq}=0.21(\text{m})$ として用いている. 概念図として示した図-2 に対する解析結果を図-7 に示す. この図では, 支保単独の特性(図-2 の赤線)は描かれず, (図-2 で B^m に対応する)解放率 73%の点より分岐する内空圧-円孔表面変位の関係が得られる. 分岐点以降では, 地山要素と支保工を表現するはり要素が, 空洞部で解放される応力を協働して負担していることになる.

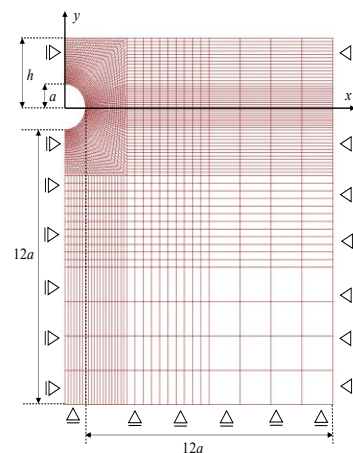


図-3 有限要素(FEM)解析モデル

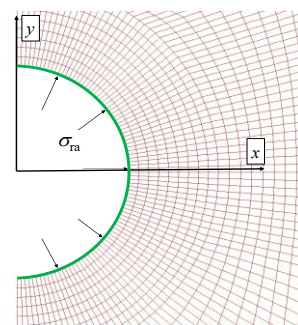


図-5 複合材の FEM 解析モデル

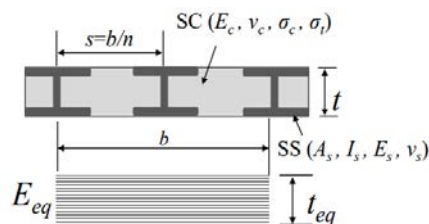


図-6 SC と SS の複合材へのモデル化²⁾

5. おわりに

支保工を表現するはり要素と地山を表現するソリッド要素の接合条件, ロックボルトの効果の定式化, そして円孔表面変位と切羽距離との関係等に研究を進めていきたいと考えている.

参考文献

- 1) 小川金時他: 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集 pp.305-310,2020.
- 2) 箱崎宥哉他: 第 56 回地盤工学研究発表会, pp.12-7-1-12,2021.
- 3) 土木学会: トンネル標準示方書, [共通編]・同解説 / [山岳工法編]・同解説, pp.66-79, 2016.

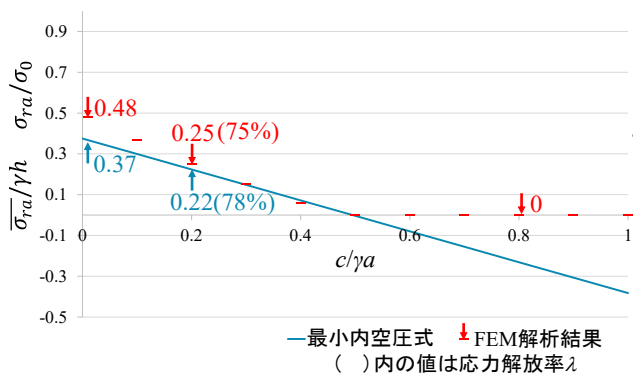


図-4 FEM 解析と最小内空圧式(2)との比較結果($h/a=2$)

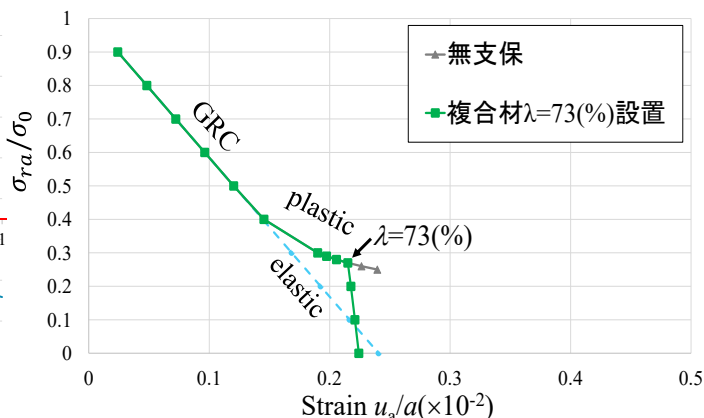


図-7 地山特性曲線($c/\gamma a=0.2$)