

拘束圧の影響を考慮したひずみ軟化型弾粘塑性モデルによる軟岩地盤地下空洞掘削時の
長期挙動のシミュレーション

東電設計（株） 正会員○大森剛志 東 均 宇野晴彦
東京電力（株） 正会員 西野隆之 兵藤英明
岐阜大学 正会員 張 鋒 八嶋 厚

1. はじめに

一般的に、軟岩はひずみ軟化特性を示し、かつ時間と拘束圧の依存性を有する材料である。このような地盤における地下空洞の掘削、空洞維持（放置）、埋め戻しおよび再冠水などの一連プロセスにおいて、地盤内部に存在する過剰間隙水圧は変化し、それにより有効応力に大きな影響を及ぼすものと考えられる。本研究では、著者らが提案したひずみ軟化、ダイレイタンスー特性および時間依存性と拘束圧依存性を表現できる改良した足立－岡モデル¹⁾に基づいた土－水連成 FEM 解析を用いて、モデル軟岩地盤における地下空洞掘削時の長期挙動のシミュレーションを行った。

2. 解析条件

本研究で用いた改良した足立－岡モデルでは、材料のパラメータを各 step における最小主応力 σ_3 に依存させた。当モデルの詳細については、文献を¹⁾参考にされたい。

解析に用いた材料パラメータを Table.1 に示す。また、解析に用いた有限要素メッシュを Fig.1 に示す。解析では、深度 25m における直径 5m の円形空洞の掘削を 1 日（1,000step）で行い、その後 10 年間（26,280step）放置し、充填物を 3 日（1,000step）で埋め戻し、充填物の埋設開始と同時に再冠水が始まるものと仮定し、その後、100 年間（262,800step）放置した。変位境界条件は、側面を鉛直ローラー、底面を固定境界とした。初期応力は、側圧係数を $K_0=1.0$ とし、深さ方向に土被りを考慮して設定した。水理境界条件については、左側の境界で地下水面を地表面上で固定し、初期水圧分布は静水圧分布とした。そして、空洞掘削と同時に空洞壁面の排水条件を考え、空洞壁面の水圧を 0 とした。その後の放置時間内では、水圧条件は変化させず、充填物埋設開始と同時に再冠水が始まるように空洞壁面の排水条件を取り除いた。

キーワード：軟岩地盤、地下空洞、連成解析、長期挙動、再冠水
〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 東電設計株式会社 土木技術部

Table.1 Material parameter

γ_t (tf/m ³)	1.75	k (m/s)	2.5×10^{-9}
G_0 (MPa)	300.0	a	0.959
ν	0.125	p_b (MPa)	1.50
τ (min.)	2.30×10^4	p_0 (MPa)	0.1
σ_{mb} (MPa)	7.00	S	-0.9
b_0 (Mpa)	0.71	ξ	0.58
M_f^*	1.66	ξ_2	-1.0
M_m	1.26	β	0.58

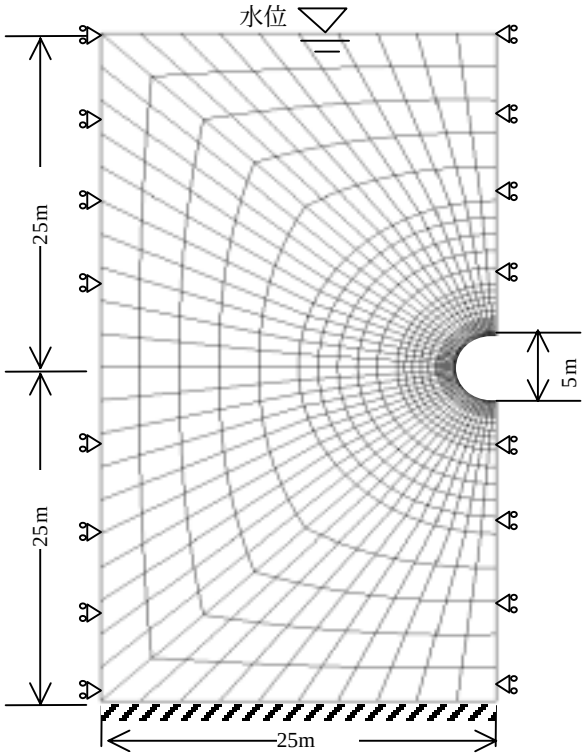


Fig.1 有限要素メッシュ

3. 解析結果

Fig.2 には、空洞壁面の 708 要素の掘削から、その後の放置期間および充填物埋設完了までの各応力成分の経時変化挙動を示す。図中の WP は水圧を示す。図によれば、掘削開始から水圧が下がり始め、約 2 時間後の

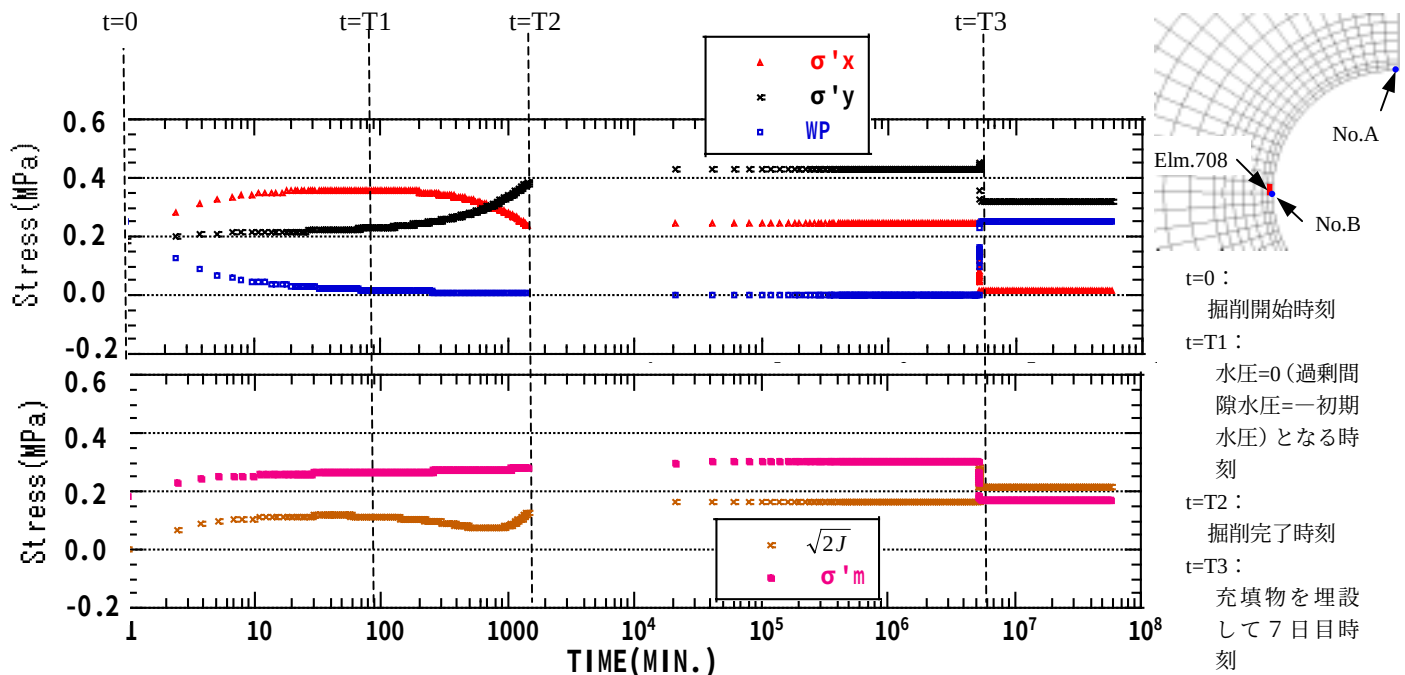


Fig.2 708 要素応力の経時変化

($t=T1$) には、 $WP=0$ 近傍まで減少する。これによって、初期水圧とほぼ等しい値だけ、負の過剰間隙水圧が発生し、法線方向有効応力 σ'_x 、周方向有効応力 σ'_y および平均有効応力 σ'_m が増加する。その後、掘削完了 ($t=T2$) までの間、 σ'_x は減少し、 σ'_y は増加する。この間のせん断応力 $\sqrt{2J}$ は、ある程度減少してから再び増加する挙動を示す。水圧が 0 になるのは、放置後、約 23 日間 (33000 分間) 経過した時点である。その後、充填物を埋設するまで、各応力成分はほとんど変化していない。そして、充填物埋設開始時点で、再冠水が始まるため、充填物を埋設して 7 日目 ($t=T3$) に WP および σ'_m が掘削前の初期状態 (初期水圧 = 0.25MPa、初期平均有効応力 $\sigma'_{m0}=0.18\text{MPa}$) に戻り、水圧変化に伴い σ'_x 、 σ'_y ともに減少する。また、再冠水後の $\sqrt{2J}$ は、掘削放置期間の値より若干大きくなっている。したがって、この解析では、空洞の長期挙動は、掘削放置期間よりも再冠水期間の方が空洞壁面で大きな偏差応力を有する結果となった。

Fig.3 には、天端(A 点)および側壁(B 点)の法線方向の変位経時変化の比較を示す。上述した空洞周辺の応力、水圧変化の影響を受け、空洞法線方向の変位は、掘削に伴って、空洞中心に向かって増加するが、A 点の変位量は B 点の 2 倍程度の値となる。掘削完了から約 23 日間放置した時点 (壁面の水圧が 0 になった時) の法線方向変位量は、B 点では、掘削完了時の約 2/3 程度

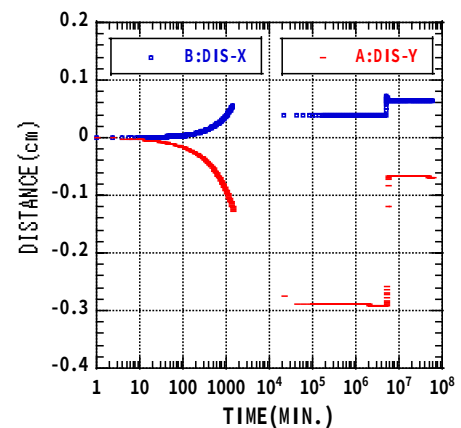


Fig.3 法線方向変位の経時変化

まで減少し、A 点では、掘削完了時の約 2 倍まで増加している。それ以降、充填物を埋設するまで、両節点の変位は変化しない。そして、再冠水完了後、両節点の変位は A 点では、ほぼ掘削完了時の値まで戻り、B 点では、A 点と同程度の値となる。

4. まとめ

以上より、空洞の長期挙動の安全性に関しては、応力的には再冠水時に空洞壁面で大きな偏差応力を発生し、変形量では、掘削後の放置期間に過大な天端沈下が発生する結果が得られた。

参考文献

- 1) 東 均、田坂嘉章、宇野晴彦、西野隆之、兵藤英明、張 鋒、八嶋 厚：変形・破壊挙動に及ぼす拘束圧の効果とひずみ軟化型弾粘塑性構成式の改良。土木学会 平成 14 年度全国大会投稿中。