

地下空洞周辺岩盤を対象とした浸透流解析における境界条件設定方法に関する提案

核燃料サイクル開発機構 正会員 磯原 昇、松井 祐哉、三枝 博光
 ハザマ 正会員 今井 久、雨宮 清

1. はじめに

飽和状態の岩盤に地下空洞を掘削する際には、空洞内への湧水、蒸発等の地下水流出により空洞周辺には図1に示すような不飽和領域が発生する可能性がある¹⁾。この不飽和領域の発生は、例えばエネルギー備蓄等の地下施設を計画する際には水封性能に影響を与える等の問題がある。このため掘削に伴う不飽和領域の発生可能性やその広がりを事前に予測することが望まれるが、従来このような観点での解析はあまり実施されていない。

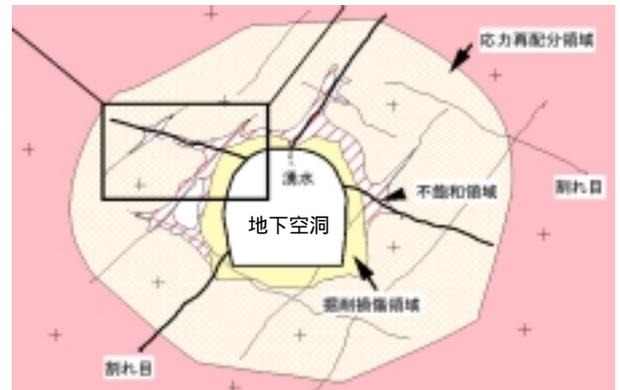
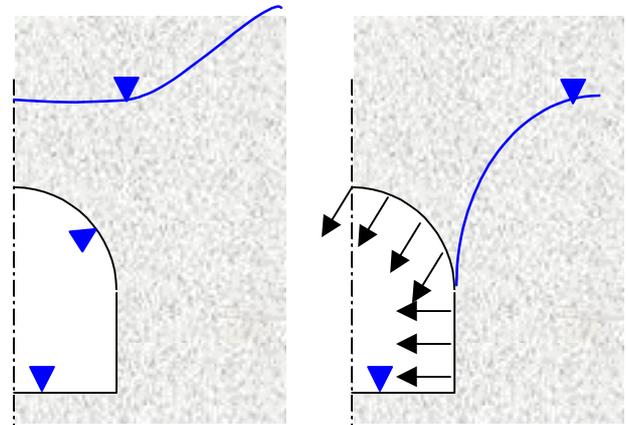


図 1 空洞周辺の不飽和領域のイメージ

ここでは、空洞掘削直後からの空洞への地下水流出と、その結果生じる空洞周辺の不飽和領域の発生可能性やその広がりを、既存の地下水浸透流解析コードを用いて連続的に解析しうる方法を提案する。



(a) 自由浸出境界 (b) 定流量境界

2. 地下空洞周辺の境界条件

従来の浸透流解析では、地下空洞周辺の境界条件としては、図2に示す(a)自由浸出条件(飽和の場合は大気圧に等しいとする水圧固定条件、不飽和時には不透水条件)あるいは(b)流量固定条件、として取扱っていた。前者は地下水面下の岩盤に空洞を設置した場合には解析上不飽和領域が生じない。後者は設定する流量によっては不飽和領域の発生およびその広がりを表現することはできるが、空洞掘削後の地下水流出量の経時変化を考慮することはできない。

図 2 従来の境界条件設定

空洞壁面からの地下水流出量の経時変化イメージを図3に示す。掘削直後は空洞背面に掘削前の水圧が残っているため空洞へ向かう動水勾配も大きく、湧水量も大きいと考えられる。しかし時間経過に伴って背面水位の低下に伴い、湧水量は徐々に低減(Step 1)する。透水係数が大きく背面から十分な水の供給のある場合(Type -)は空洞背面水位分布で最終的な地下水流出量が規定される。透水係数が小さく背面からの十分な水分の供給がない場合(Type -)は、地下水流出の形態は時間経過に伴い、背面水圧による湧水(Step 1)より壁面からの蒸発という状態(Step 2)に遷移する。この状態では空洞周辺に不飽和領域が広がるものと考えられる。蒸発量は、空洞背面の水位分布よりも空洞壁面近傍の諸条件(空洞内の風速、気温、湿度)で決まる。これらのことから、不飽和領域の発生とその広がり、

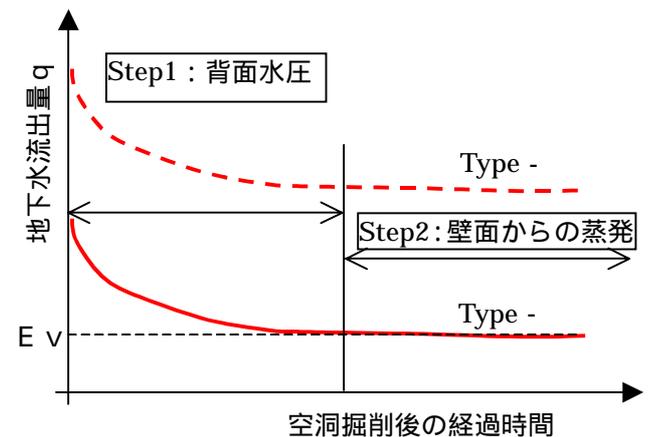


図 3 空洞掘削後の空洞内地下水流出量の経時変化

および地下水流出量の経時変化を表現するためには、空洞壁面の境界条件は、その可能蒸発量に基づき設定すべきものと考えられる。具体的には下記のように示される。

- Ev = q : 流出量 水圧 (= 大気圧) 固定境界条件
- Ev > q : 流出量 流量固定境界条件

ここで、Ev : 可能蒸発量 (坑道内の気温, 送風条件により決まる), q : 浸出量 (壁面を大気圧とした際の流出量) である。具体的解析手順を以下に示す。

- (1) 水圧 (= 大気圧) 固定条件として流出量を算定
- (2) 流出量と可能蒸発量と比較
- (3) 流出量が可能蒸発量よりも大きい場合 (箇所) は水圧 (= 大気圧) 固定境界条件
- (4) 流出量が可能蒸発量よりも小さい場合 (箇所) は流量固定境界条件 (= 可能蒸発量)
- (5) 上記境界条件を設定しなおし、再計算
- (6) 上記(2)から(5)を繰り返し収束するまで実施

3. 解析事例

解析は図 4 に示す土被り 150m、直径 3m の坑道を想定し、坑道を中心とする水平方向片側 150m、鉛直方向 250m の矩形の鉛直 2 次元断面を設定した。飽和透水係数は全領域均一として $1.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ 、飽和体積含水率 0.15、初期地下水位を地表面下 20m、坑道壁面からの可能蒸発量は $2 \text{mg/m}^2/\text{s}$ と設定し、掘削により坑道部が大気解放された時点からの非定常解析を実施した。図 5 に解析結果として、坑壁から水平方向に各 0.0, 0.3, 0.8, 1.5, 2.5m の奥行きにおける圧力水頭、体積含水率と坑内への地下水流出量の経時変化を示す。今回設定した境界条件によって、坑道周辺に壁面近傍から順次不飽和領域が広がる状況がよく表現されているといえる。

4. まとめ

可能蒸発量を指標として境界条件を設定する方法を提案するとともに、この方法を適用して、空洞周辺岩盤への不飽和領域の広がりや地下水流出量の経時変化を既存の浸透流解析コードを用いて計算できることを確認した。可能蒸発量は、空洞内の温度、湿度、風速等の条件から与えられると考えられるが、空洞壁面からの蒸発量計測機器も開発²⁾されており、実際の蒸発量を解析に組み込むことも可能と考えられる。今後は原位置での蒸発量を計測し、本手法を実際の現場に適用して解析手法の適用性を確認したいと考える。

【参考文献】

- 1) 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ 分冊 1 わが国の地質環境 JNC TN1400 99-021 pp. 126- 142,1999
- 2) 渡辺邦夫他：蒸発量計測によるトンネル壁面からの湧水量の測定 - (その 2) - 現場計測, 応用地質, Vol.31, No.1, pp1-11, 1990

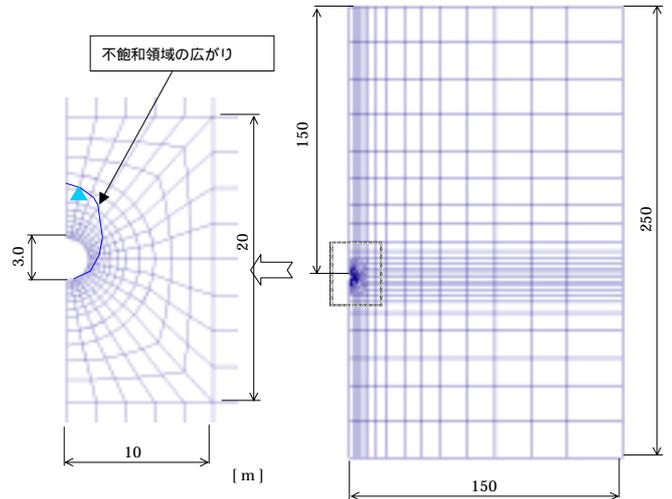


図 4 解析モデル概要

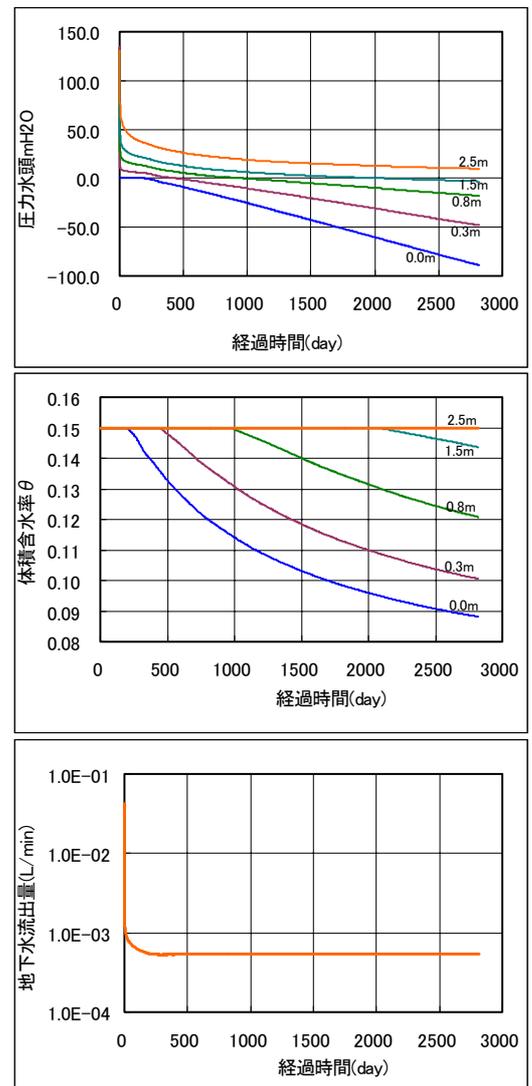


図 - 5 解析結果