

## 突発湧水に対するリスク評価・管理手法の構築（その2）

## —観測水位を指標とした立坑掘削時における突発湧水リスクの管理手法について—

大成建設（株） 正会員 ○本島貴之 井尻裕二  
 日本原子力研究開発機構 正会員 尾上博則 三枝博光 渡邊正  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大津宏康

## 1. はじめに

これまでに、土被りの大きい山岳トンネルにおいては、地下水圧が非常に高いために突発湧水による被害が数多く報告されている<sup>例え1)</sup>。特に、高レベル放射性廃棄物地層処分においては、処分場の深度が300m以上の大深度を対象としているため、建設時の湧水に対するリスク管理は非常に重要な課題の1つである。そこで、筆者らは、亀裂性岩盤中の大深度立坑における湧水のリスク管理手法を構築することを目的として、日本原子力研究開発機構が岐阜県瑞浪市において建設を進めている瑞浪超深地層研究所周辺で得られる情報を利用して、情報量の増加に伴うリスクの低減効果について検討を行い、岩盤中の割れ目に関する情報がリスク低減に有効であることを示すとともに、調査の費用対リスク低減効果を考慮したリスク管理手法を提案した<sup>2)</sup>。本研究では、立坑内への湧水量は、立坑周辺の地下水位の影響を大きく受けると考えられることから、地下水位が立坑内への湧水に及ぼす影響を確率論的に評価し、地下水位データをリスク管理に用いる手法について提案する。

## 2. 割れ目ネットワークモデルによる水理地質構造のモデル化および地下水流動解析

瑞浪超深地層研究所周辺地域には後期白亜紀の基盤花崗岩（土岐花崗岩）とそれを覆う新第三紀の堆積岩（瑞浪層群・瀬戸層群）が分布している。既存調査によると花崗岩だけでなく堆積岩においても割れ目が地下水の流れを規制する構造であることが報告されている<sup>3)</sup>ため、本研究では割れ目ネットワーク（以下、DFN）を用いて、立坑を中心とした東西400m×南北400m×深度方向500mの解析領域を対象として花崗岩および堆積岩ともに割れ目系岩盤としてモデル化を行った。

(1) DFNによる水理地質構造のモデル化：水理地質構造をDFNでモデル化する際には、既存調査によって構造（走向・傾斜）が推定されている比較的大規模な断層は決定論的にモデル化し、それ以外の割れ目は確率論的にモデル化した。確率論的にモデル化する割れ目は、原位置調査結果に基づいて割れ目の方向性から3つの割れ目群に分類し、各割れ目群に対して割れ目の方向分布（走向・傾斜）、半径分布、頻度分布、中心位置分布、透水量係数分布を設定した。表1に割れ目特性パラメータの設定値を示す。

(2) 地下水流動解析：地下水流動解析の境界条件は、側方境界は静水圧の水頭固定境界、下部境界は不透水境界、上部境界は立坑掘削の進展に伴う地下水位の低下を表現するために自由境界とした。立坑の掘削面は圧力水頭固定境界（大気圧固定境界）とし、立坑掘削の進展を表現するために、立坑の切羽を深度300m地点まで1.3m毎に逐次低下させて地下水流動解析を行った。

表1 割れ目特性パラメータ設定値

特性	決定論的断層	確率論的割れ目
(中心)位置分布	調査結果	Baecher 分布
方向分布	調査結果	Bingham 分布
半径分布	調査結果	べき乗分布 $f(r) = \frac{b-1}{r_{min}} \left( \frac{r_{min}}{r} \right)^b, r \geq r_{min}$ $b$ : べき乗指数, $r_{min}$ : 最小亀裂半径, $r$ : 亀裂半径
頻度分布	調査結果	3次元密度 $0.02\text{m}^2/\text{m}^3$
透水量係数分布	既知: 調査結果	—
	未知: 調査結果を集計 (対数正規分布; 対数平均-5.87, 標準偏差 1.56)	—

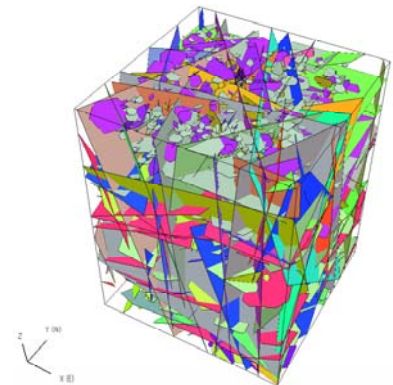


図1 DFNモデル

キーワード 大深度立坑, 湧水, リスク管理, 割れ目ネットワークモデル

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿センタービル 大成建設(株)原子力本部 TEL 03-5381-5315

設定したパラメータ値に基づき DFN モデルを 90 回作成し(一例: 図 1)立坑内への湧水量を算出した. 同時に立坑周辺の地下水位と湧水量との関係を把握するために立坑から約 110m 離れた地点にある地下水位観測孔での全水頭も記録した.

**3. 立坑内への湧水量解析結果**

(1) 解析結果の取りまとめ手法: 決定論的にモデル化した断層が立坑と交差する掘削深度 270m 付近に着目して結果を取りまとめた. モンテカルロシミュレーションによって発生させた複数の DFN モデルに対する地下水流動解析結果を統計的に処理し, 掘削進展による湧水量増加と全水頭減少の傾向をまとめた. また, 地下水位を突発湧水のリスク管理指標として適用可能かどうか確認することを念頭に, 決定論的断層との交差位置から 10m 手前での全水頭と湧水量の関係について整理した.

(2) 掘削に伴う湧水量と全水頭の変動: 立坑切羽の進行に伴う湧水量および全水頭の変動を把握するため, 決定論的断層との交差位置からの相対距離と湧水量と全水頭の平均値の変動比を整理した(図 2, 図 3). ここで変動比とは切羽との相対距離±3D (D: 立坑の直径) 位置での算出値によって正規化した値である. 整理した結果, 湧水量は切羽の進行に伴い増加し, 全水頭は減少する傾向が確認できる. また, 切羽前後の±0.2D 付近では湧水量, 全水頭ともに不連続的に急激な変化が生じている.

(3) 地下水位と湧水量の関係: 決定論的断層と交差する 10m 手前の時点での地下水位観測孔における全水頭と, 断層交差位置前後 10m の区間で生じる湧水量変動の最大値の関係を整理した(図 4). 全水頭を 10m 毎の区間に分割し, その区間に対応する湧水量変動値の統計量を算出した. 統計量を整理した結果, 全水頭と湧水量の間に正の相関関係があるという結果となった.

**4. まとめ**

本研究では, 既存調査によりその構造が推定されている比較的規模の大きい断層を決定論的に, その他の割れ目を確率論的にモデル化した DFN モデルを用いて立坑近傍にある観測孔での地下水位が立坑掘削時の湧水量に及ぼす影響を確率論的に評価した. その結果, 立坑径の 2 倍の距離から立坑に近づくにつれて, また観測孔の地下水位が高いほど, 決定論的にモデル化した断層からの湧水量が大きくなり, 湧水リスクも増大することがわかった. したがって, 調査で既に確認されている比較的規模の大きい断層近傍ほど, また立坑周辺の地下水位が立坑の掘削深度と比べて高いほど, ボーリング等による水抜きまたはグラウト等による止水により湧水リスクの低減を図ることが重要であることがわかった. 今後は, 立坑の掘削とともに得られる地下水位および湧水量のデータを基に評価モデルを更新し, 湧水リスクの管理手法を構築していく予定である.

**参考文献** 1)大島洋志: 毎分 23t の異常湧水に挑む, トンネルと地下, pp.12-21, 1973. 2)本島ほか: 地質環境調査の進展に伴う情報量と立坑掘削時の突発湧水リスクの関係について —瑞浪超深地層研究所立坑掘削を例として—, 土木工学会年次講演会, 2005. 3)井尻ほか: 我が国の岩盤の水理特性について, JNC TN8400 99-090, 1999.

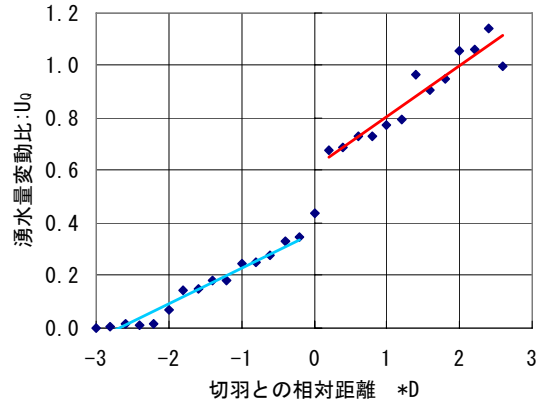


図 2 切羽からの相対距離と湧水量変動比

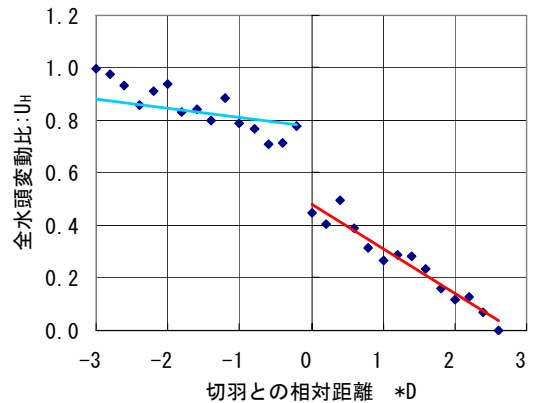


図 3 切羽からの相対距離と全水頭変動比

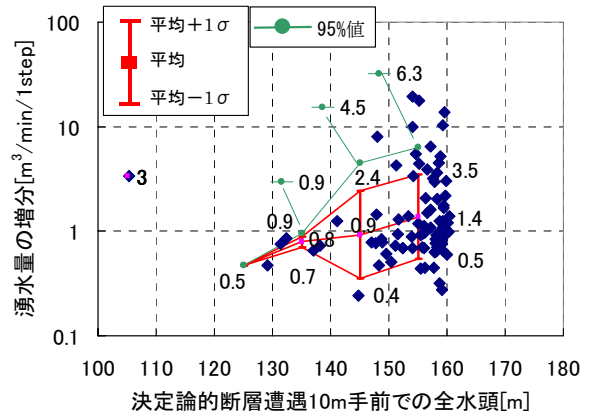


図 4 断層交差位置付近の全水頭と湧水量の関係