

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 -

大成建設（株） 正会員 本島貴之 井尻裕二

京都大学国際融合創造センター 正会員 大津宏康

核燃料サイクル開発機構 正会員 尾上博則 三枝博光 渡邊正

1. はじめに

深部岩盤中に地下施設を建設する上では、事前の調査により岩盤が有する水理学的・岩盤力学的不均質性が地下施設建設に及ぼす影響を評価することが重要である。筆者らは、地下施設建設に影響を及ぼす様々な要因の中から結晶質岩地域で最も重要と考えられる突発湧水に着目し、地下施設建設コストに対する突発湧水の影響を突発湧水リスクとして評価する手法を構築している¹⁾。本研究では、構築した突発湧水リスクの評価手法を用いて、岐阜県瑞浪市において核燃料サイクル開発機構が進めている超深地層研究所計画²⁾における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検討した。

2. 不連続亀裂ネットワークによる岩盤のモデル化および地下水流動解析

(1) 不連続亀裂ネットワークによる岩盤のモデル化：瑞浪超深地層研究所周辺地域では、中生代後期白亜紀の土岐花崗岩およびそれを覆う新第三紀の堆積岩が広く分布している。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中の地下水の流れが支配的であることが報告されている³⁾ため、本研究では解析対象領域を不連続亀裂ネットワーク解析コードFracManによってモデル化した¹⁾。調査によって透水性が把握されていない断層および亀裂の透水量係数は、原位置調査から得られたデータを対数正規分布に当てはめて統計量を推定し、個々の断層および亀裂に対して対数正規分布に従う乱数を用いて設定した。なお、解析の対象領域は瑞浪超深地層研究所を中心とする2km四方の領域である。

(2) データセットの設定：地質環境調査の進展に伴う情報量と深度1,000mの立坑掘削における突発湧水リスクの関係について検討するために、本研究では、立坑掘削前の地表からの調査研究予測段階における地質環境調査の調査ステップ²⁾に基づき、3

つのデータセットを設定し、それぞれに基づき算定される突発湧水リスクの比較検討を実施した。表1にデータセットおよび断層/亀裂のモデル

表1 データセットおよび断層/亀裂のモデル化方法の概要

データセット	調査項目	断層/亀裂のモデル化方法	
		決定論的断層	確率論的亀裂
データセット1	・ リニアメント調査 ・ 地表踏査 ・ 反射法弾性波探査	・ リニアメントおよび反射法で得られた断層 ・ 傾斜は、対象領域外のボーリングデータから推定し、透水性は確率論的に推定 ・ 透水性推定済みの断層本数：1本 / 29本	・ 対象領域外のボーリングデータから得られた亀裂の方向性 ・ 頻度分布は、リニアメントおよび反射法で得られた断層から推定
データセット2	・ 浅層ボーリング調査 ・ 既存ボーリング調査 (深度500m)	・ 浅層および深度500mまでのボーリング調査データに基づき、モデル化断層の位置、傾斜、透水性を修正 ・ 透水性推定済みの断層本数：12本 / 28本	・ 浅層および深度500mまでのボーリング調査データに基づき、方向性を修正
データセット3	・ 深層ボーリング調査 (深度1000～1300m)	・ 深層ボーリング調査データに基づき、モデル化断層の位置、傾斜、透水性を修正 ・ 透水性推定済みの断層本数：13本 / 29本	・ 深層ボーリング調査データに基づき、方向性を修正

化方法の概要をまとめる。

(3) 地下水流動解析：地下水流動解析には、岩盤のモデル化同様 FracMan を用いた。境界条件としては、上部境界は地下水位を地表面に固定した水頭固定境界、側方は静水圧の水頭固定境界とした。下部境界は不透水境界とした。また、立坑の掘削面は圧力水頭固定境界（大気圧固定境界）とした。解析においては、上記の各データセットに対して30回のリアライゼーションを行って、割れ目毎の立坑内への湧水量を算出した。

3. 突発湧水のリスク評価

(1) リスク評価手法：突発湧水リスクの評価にあたって、まず文献調査およびトンネル施工経験者へのヒアリ

キーワード：突発湧水，リスク，不連続亀裂ネットワーク

連絡先：〒509-6132 岐阜県瑞浪市寺河戸町山野内 1-64 電話：0572-66-2244，FAX：0572-66-2245

ングを行い、その結果に基づいて突発湧水に対する対策シナリオを策定した¹⁾(表 2)。その対策シナリオに基づき、各リアライゼーションに対する湧水割れ目本数と湧水対策コストを用いて立坑掘削に伴う突発湧水の対策コストを算定した。そして、リスク評価指標として、各データセットでの全リアライゼーションに対する期待値と標準偏差を算出するとともに(表 3)、期待値-標準偏差平面(図 1)およびリスクカーブを作成した(図 2)。リスクカーブは、各リアライゼーションにおける突発湧水の発生確率が等しいと仮定し、縦軸に超過確率を、横軸に超過確率に対するリアライゼーション毎の対策コストをプロットして作成した。さらに、そのリスクカーブを基に、金融工学においてリスクの定量的な評価に用いられている95%の信頼水準を越えて発生する損失額を表すVaR(95%)を求めた(表 4; 図 2の超過確率 5%での値)。

(2)リスク評価結果:表 3, 図 1 より, 地表からの調査の進展に伴って, 対策コストの期待値・標準偏差は共に減少している。データセット 1 とデータセット 2 の間で期待値が約 50%, 標準偏差が約 38%, データセット 2 とデータセット 3 の間では期待値が約 35%, 標準偏差が 18%の減少率を示す。特に, データセット 1 からデータセット 2 で期待値・標準偏差が大きく減少している。これは, データセット 1 とデータセット 2 の間において, 決定論的断層の透水性の情報量が大きく増加したことに起因しているためと考えられる。また, 各データセットにおける VaR(95%)を比較すると, 調査の進展に伴い対策コストの期待値・標準偏差と同様に VaR(95%)も減少している。さらに, 図 2 に示すリスクカーブの形状を見ると, 調査の進展によってリスクカーブの傾きが大きくなっており, 対策コストのばらつきが減少していることが読み取れる。以上より, 決定論的断層の情報量の増加に伴い, 立坑の突発湧水に対するリスクの絶対値およびばらつきがともに大きく低減することが明らかとなった。

4. まとめ

本研究では, 決定論的断層と確率論的断層とを組み合わせることで岩盤中の不連続構造をモデル化し, 情報量の増加と立坑の突発湧水リスクの関係に着目した分析を行った。その結果, 地質環境調査によって断層の情報を把握することにより, 立坑の突発湧水のリスクが大きく低減することを確認した。今後は, 地質環境調査の進展に伴う調査費用とリスクの増減の関係に着目した分析および効果的にリスクを低減させるために優先的に取得すべき地質環境情報の把握を目的とした感度解析的な検討を実施する。

参考文献 1)本島ほか: 突発湧水に対するリスク評価手法の構築, 地盤工学研究発表会投稿中。2)核燃料サイクル開発機構: 超深地層研究所 地層科学研究基本計画, JNC TN7410 2001-018, 2002。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。

表2 突発湧水対策シナリオ

対策シナリオ	湧水量 (m ³ /min)	対策コスト (百万円)	対策案
シナリオ1:被害無	~0.5	0	不要
シナリオ2:小被害	0.5~2.0	1	先進探査を実施
シナリオ3:中被害	2.0~5.0	10	非常排水設備の設置
			調査ボーリング 止水注入工
シナリオ4:大被害	5.0~	100	調査ボーリング
			大規模止水注入工 復旧工事

表 3 対策コスト算出結果(単位:百万円)

	データ セット 1	データ セット 2	データ セット 3
期待値	250	124	81
標準偏差	156	96	81

表 4 対策コストの VaR 算出結果(単位:百万円)

	データ セット 1	データ セット 2	データ セット 3
VaR(95%)	512	254	216

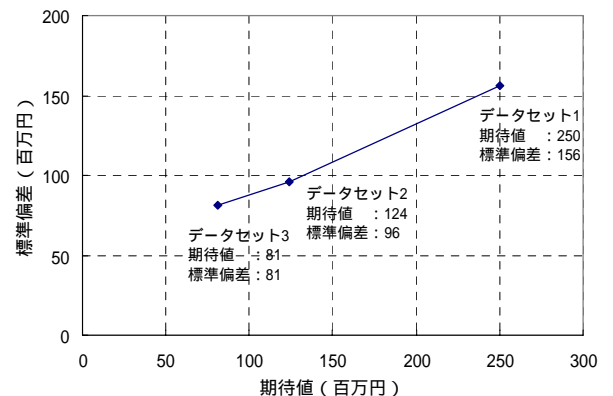


図 1 対策コストの期待値-標準偏差平面

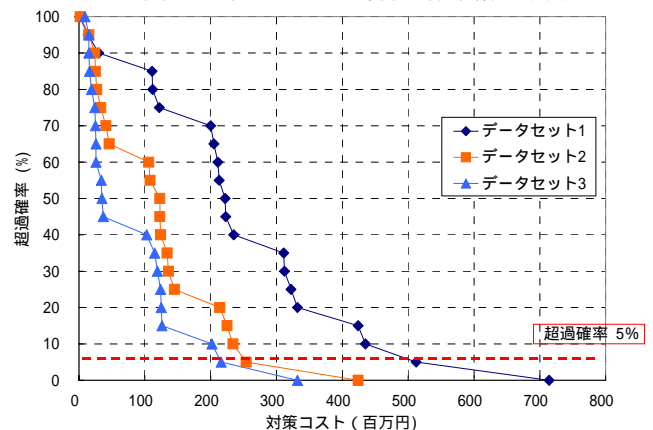


図 2 対策コストのリスクカーブ