

第 III 部門

不連続性岩盤での立坑掘削における突発湧水リスク評価に関する研究

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○酒井 悠
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大津 宏康

1. はじめに

トンネルに代表される地下構造物の建設工事においては、事前調査段階で把握された地盤の水理地質構造や力学的特性を基に建設コストが積算される。そのため、施工段階において予見されていない地盤条件が出現した場合、建設コストの変動が非常に大きくなると予想される。

本研究では地下構造物として立坑を例に挙げ、岩盤中における断層や亀裂等の不連続構造が立坑の掘削途中に露出することで生じる突発湧水に着目する。そして、この「低頻度かつ重大」な事象の発生に伴う湧水対策コスト変動リスクの評価手法を確立することを主目的としている。具体的には、モンテカルロシミュレーションにより得られた湧水対策コスト変動をリスクカーブ¹⁾で表現し、その変動を表す指標として Value at Risk²⁾を採用する。

2. 突発湧水リスク評価手法の構築

2.1 不連続亀裂ネットワークモデルの構築

岩盤中の不連続構造を表現するために、原位置調査により得られた亀裂情報をパラメータとして与えた不連続亀裂ネットワークモデル³⁾を作成する。本研究では、事前調査により走向、傾斜などの構造および水理特性が推定されている断層・亀裂は決定論的にモデル化する(以下、決定論的亀裂と称する)。その他の不連続構造は、事前調査結果により算出された統計量に基づいて確率論的にモデル化する(以下、確率論的亀裂と称する)。図-1 に概念図を示す。

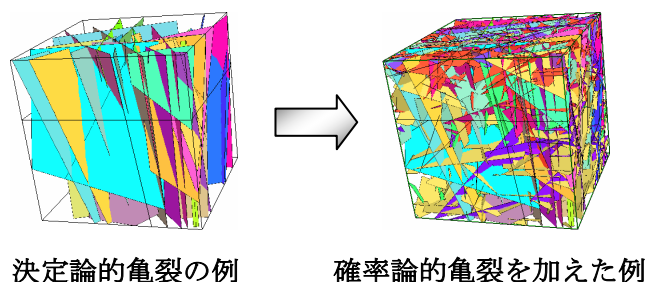


図-1. 不連続亀裂ネットワークの一例

2.2 湧水対策コストの算定

前節で作成した不連続亀裂ネットワークを用いて地下水流動解析を行い、立坑に露出する亀裂からの湧水量を測定する。そして、得られた湧水量から湧水対策コストを算出するために、湧水量に閾値を設ける。すなわち、ある湧水量に対応する湧水対策費用、中断日数を設定した湧水対策シナリオを作成し、本研究ではこれを立坑に露出する亀裂1本ごとに適用することで湧水対策コストを算出する。

不連続亀裂ネットワークはリアライゼーションごとに乱数を用いて作成されるため、そこから導出される湧水対策コストにも不確実性が生じる。ここで、モンテカルロシミュレーションにより複数回の解析を行うことで、湧水対策コストの変動を統計的に扱うことが可能となる。その模式図を図-2に示す。

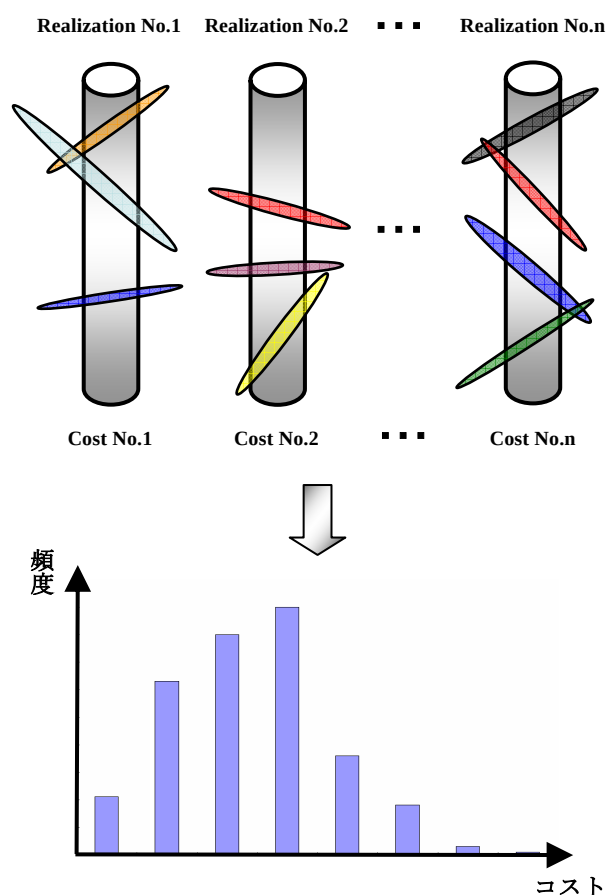


図-2. 湧水対策コストの統計量算出

2.3 突発湧水のリスク評価

前節で得られた湧水対策コストの統計量を用いて、突発湧水のリスク評価を行う。リスク評価手順として、まずモンテカルロシミュレーションにより得られた湧水対策コスト変動をリスクカーブで表現する。リスクカーブとは金融工学分野で用いられているリスク表現方法のひとつであり、図-3に示すように、一般的に横軸にコスト、縦軸に超過確率を設定する。リスクカーブの特徴として、損害額とその発生確率の関係を定量的に表すことができると共に、損失額が変動する様子を視覚的にも理解しやすい点が挙げられる。

湧水対策コスト変動を表す指標としては、リスクカーブと共に金融工学分野で用いられている Value at Risk(以下、VaR と称する)を用いる。本研究では図-3に示すように、超過確率 $x\%$ を想定した場合のコストに対応する値を $(\text{VaR})_{x\%}$ と定義する。例えば、 $(\text{VaR})_{5\%}$ が 100[百万円]である場合、湧水対策コストが 100[百万円]を超える確率が 5%であることを示している。

今回対象とする突発湧水は「低頻度かつ重大」な事象であるため、期待値や標準偏差といった指標では、大規模湧水が発生しないという高頻度の楽観的シナリオが主として結果に反映されることから、突発湧水発生リスクを適切に表現できない可能性が高い。そこで、本研究では湧水対策コストのリスク指標として超過確率 5%の値である $(\text{VaR})_{5\%}$ を採用することで、「考えられ得る最悪に近い結果」を表現する。このようにリスクを極値指標として定義することにより、立坑掘削における突発湧水という偶発的事象の発生に対応すべき費用および日数を、定量的に提示することが可能となる。

3. まとめ

本研究では、不連続亀裂ネットワークモデルにより岩盤中の不連続構造を表現し、モンテカルロシミュレーションにより湧水対策コストの統計量を算出した。それらの統計量を基にリスクカーブを用いて湧水対策コスト変動を表現し、リスク指標として $(\text{VaR})_{5\%}$ を採用することで突発湧水リスクの定量的評価を行った。立坑掘削の実プロジェクトを取り上げることにより、これらの手法の適用性について議

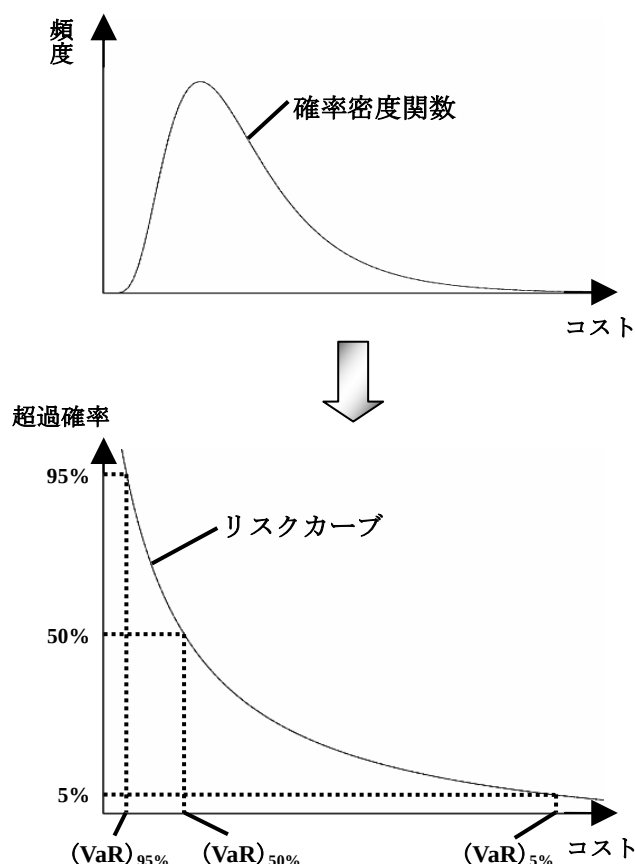


図-3. VaRとリスクカーブとの関係

論することができるものとする。また、決定論的亀裂のデータ更新に伴う突発湧水リスクコストの低減量を確認することで、原位置における事前調査の費用対効果についても考察を加えることができる。さらに、金融工学分野の手法を用いてリスク評価を行うことから、工学を専門としない投資家や金融関係者とのリスクコミュニケーションを図ることも可能となるであろう。

参考文献

- 1) 大津宏康, 尾ノ井芳樹, 大西有三, 足立純: PFIプロジェクトの地盤に起因する建設コスト変動評価に関する研究, 土木学会論文集, No.777/VI-65, pp.175-186, 2004
- 2) 山下智志: 市場リスクの計量化と VaR, 朝倉書店, 2000
- 3) 井尻裕二, 澤田淳, 坂本和彦, 内田雅大, 石黒勝彦, 梅木博之, 大西有三: 割れ目ネットワークモデルによる水理特性に及ぼす割れ目スケール効果の影響, 土木学会論文集, No.694/III-57, pp.179-194, 2004