

第VI部門

不連続性岩盤における突発湧水リスク評価手法の事後評価への適用に関する研究

京都大学工学部地球工学科	学生員	○堀田	洋平
京都大学大学院工学研究科	正会員	大津	宏康
大成建設(株)	正会員	本島	貴之
(独)原子力機構	正会員	尾上	博則

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設計および建設コストの積算が実施される。そのため、施工段階において予見されていない断層などの不連続構造や軟弱な地盤条件が出現した場合、当初の設計条件では構造物の性能が満足されず、対策コストが発生する。このため、この対策コストは何らかの統計学手法を用いて事前に推定する必要がある¹⁾。

本研究では岩盤内における立坑掘削を例に挙げ、断層や亀裂等の不連続構造が立坑に遭遇することで発生する突発湧水に着目する。この突発湧水の発生に伴う湧水対策コストに関わる変動リスクを突発湧水リスクとし、定量的に評価する手法を提案する。

2. 突発湧水リスク評価手法の概要

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を作成する。本研究では、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比較的大規模な断層や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)。この決定論的亀裂のみをモデル化するものを基本モデルとする。また、その他の比較的小規模な不連続構造は、調査結果により算出された形状や水理特性などに関する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)。基本モデルに確率論的亀裂を加えたものを複合モデルとする。図-1に概念図を示す。

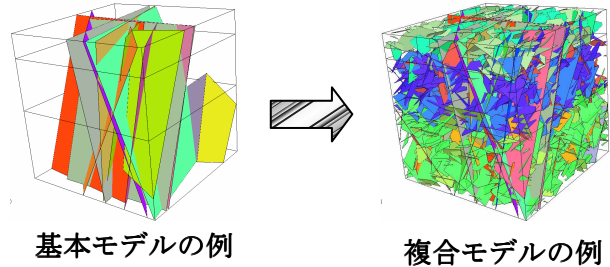


図-1. 不連続亀裂ネットワークの一例

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、立坑に遭遇する亀裂から発生する湧水量を算出する。次に、ある湧水量に対応する湧水対策コストを設定した湧水対策シナリオを作成し、それを立坑に遭遇する各亀裂からの湧水量に適用することで湧水対策コストを算定する。これらの流れをモンテカルロシミュレーションにより複数回実施することで、湧水対策コストの変動を統計的に扱う。その模式図を図-2に示す。

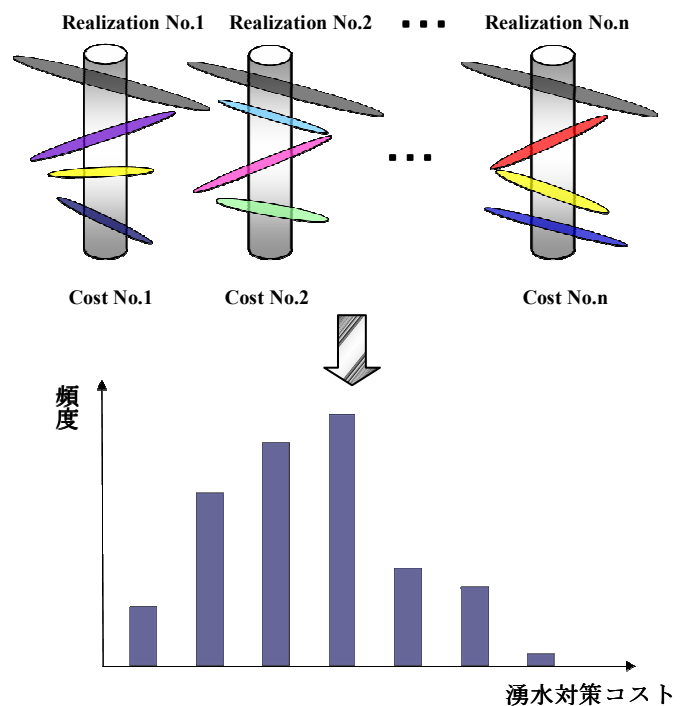


図-2. 湧水対策コストの統計量算出

2.3 突発湧水リスク評価

前節で得られた湧水対策コストの統計量をリスクカーブ²⁾を用いて表現する。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、縦軸に超過確率、横軸にコストをとる。

突発湧水リスクを表すリスク評価指標としては、同じく金融工学分野で用いられている Value at Risk³⁾(以下、VaR と称する)を用いる。図-3 にリスクカーブと VaR の関係を示す。本研究では超過確率 $x\%$ に相当するコストを $(\text{VaR})_{x\%}$ と表現する。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。

一般に、工学分野におけるリスクは期待値と定義されており、本研究で取り扱うような低頻度かつ重大事象である突発湧水をリスク評価の対象とした場合、高頻度で大規模湧水が発生しないといった場合と同じ評価結果となり、突発湧水リスクを適切に表現できない可能性が高い。それに対して、金融工学分野におけるリスクは期待値(平均値)からのはずれ量、または極値指標として定義されている。このことから勘案して、本研究では、リスク評価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、保守的なシナリオに基づいたリスク評価を行うこととした。

3. 突発湧水リスク手法の事後評価への適用

2. で考案した突発湧水リスク評価手法は、実際のプロジェクトの調査段階あるいは設計段階などの事前評価を対象としている。しかし、工学的な関心はあくまで、事前に推定された対策コストが施工終了時点で確定する実際の対策コストとどの程度整合性があるかということである。

本研究では、調査段階ごとに推定される湧水対策コストの実際の湧水対策コストからのはずれ量を乖離量とし、次式により定義する。

$$D_i = C_i - C_A \quad (1)$$

ただし、 D_i は乖離量、 C_A は実際の湧水対策コスト、 C_i は調査段階ごとに推定される湧水対策コストを表すものとする。

以上に述べた定義に従って事後評価を行うことで、調査の進行に伴う乖離量の変動を定量的に評価

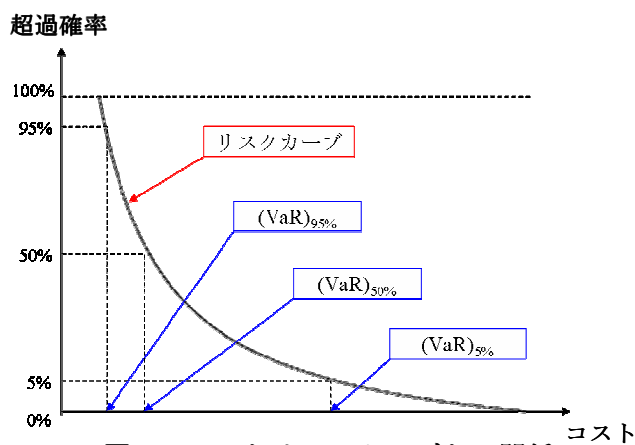


図-3. VaRとリスクカーブとの関係

することが可能と考えられる。

4. まとめ

本研究では、不連続亀裂ネットワークモデルを作成し、地下水流動解析を行うことにより湧水対策コストを算定すると共に、それらの過程をモンテカルロシミュレーションにより湧水対策コストを統計量として扱い、リスクカーブを用いてその変動を表現し、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を定量的に評価する手法を提案した。

また、リスク評価手法の妥当性を検証するために、調査段階ごとに推定される湧水対策コストの実際の湧水対策コストからのはずれ量を乖離量と定義することにより、調査の進行に伴う乖離量の変動を定量的に評価する手法を提案した。このような評価手法は、プロジェクトにおいて、どの調査段階で事前調査を終えるのが最適であったか、という課題についても検討を加えることができると考えられる。

参考文献

- 1) 大津宏康, 大西有三, 浜田信彦, 境亮祐: 地盤統計学手法を用いた建設コスト推定方法の事後評価への適用, 土木学会論文集, 2007, (掲載決定済)
- 2) 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
- 3) 山下智志: 市場リスクの計量化と VaR, 朝倉書店, 2000