

不連続性岩盤での立坑掘削における突発湧水に対する先行ボーリング効果に関する研究

京都大学大学院工学研究科 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、岩盤の不均質性に起因する建設コスト変動が非常に大きくなると予想される。したがって、事前調査では予見できない地盤条件の出現に伴う建設コスト変動の不確実性に関する基本概念の構築が必要であると考えられる。

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、金融工学分野の手法を用いることにより、湧水対策コスト変動リスクの定量的評価手法を確立することを第一の目的としている。また、同手法で得られた突発湧水リスクコストを低減するための手法の構築についても検討を行う。具体的には、先行ボーリングによる止水・排水を想定し、二項分布モデルを採用することでリスクコスト低減効果を定量的に評価することを目的とする。

2. 突発湧水リスク評価手法の構築

2.1 湧水対策コストの算定

岩盤内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確率論的な不連続亀裂ネットワークモデルを作成する。それ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、ある湧水量に対応する対策費用、中断日数を設定した湧水対策シナリオを作成し、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。

2.2 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た突発湧水のリスク評価を行うにあたって、まず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-1に示すように、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、損害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のリスク指標としては、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) を採用する。本研究では図-1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。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、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。

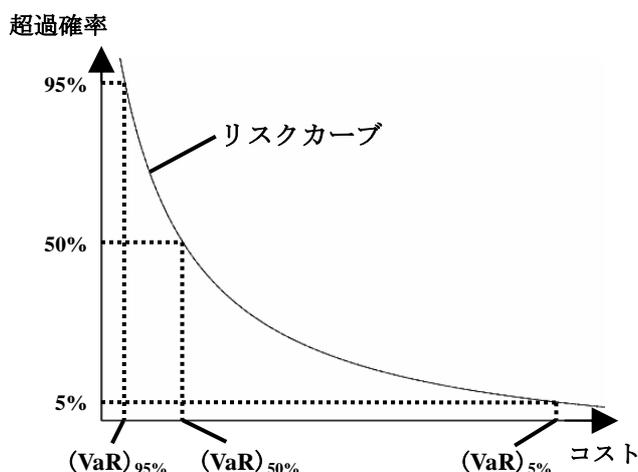


図-1. VaRとリスクカーブとの関係

キーワード：リスク，建設コスト，突発湧水，Value at Risk，リスク低減

連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科 Tel 075-753-5104

3. 先行調査によるリスクコスト低減手法の構築

3.1 先行ボーリングによるリスク低減

前章で提示された突発湧水リスクコストを低減するために、先行ボーリングによる止水・排水を想定する。本研究では、打設したボーリングに当たる亀裂からの湧水は全て止水・排水できるものと仮定し、それにより湧水対策費用を削減、および中断日数を短縮できるものとする。また、立坑掘削を複数段階に分割し、各期の先頭で先行ボーリングを行うかどうかを判断すると考える。そのために、DT(Decision Tree)とよばれる二項分布モデル¹⁾を採用する。図-2のように、1期から例えば100mごとに掘削終了のn期まで順に判断していくと、全 2^n パターンのボーリング打設モデルが作成される。

3.2 リスクコスト低減量のリスク評価

低減できる突発湧水リスクコストの算出方法は前章の通り $(VaR)_{5\%}$ を用いる。すなわち、考えられ得る最悪に近い形で大規模湧水が発生する事態を想定し、それによるリスクコストを低減するためにボーリングを打設すると考える。このようにして、全 2^n パターンのボーリング打設モデルにおいて、それぞれ「削減できる対策費用」および「短縮できる中断日数」を算出することができる。

このモデルにおけるボーリング打設本数 $k(=0,n)$ の内訳は ${}_nC_k$ 通りであり、それぞれリスクコスト低減量も同数だけ存在する。そこで、 $1\sim(n-1)$ 本におけるリスクコスト低減量の統計量を用いて、図-3のように $(n-1)$ 本のリスクカーブを作成することができる。また、得られたリスクカーブから前章と同じく VaR を算出することで、リスクコスト低減量のリスク評価を行うことができる。今回は投資効果におけるリスクを評価するため、 $(VaR)_{95\%}$ を用いる。す

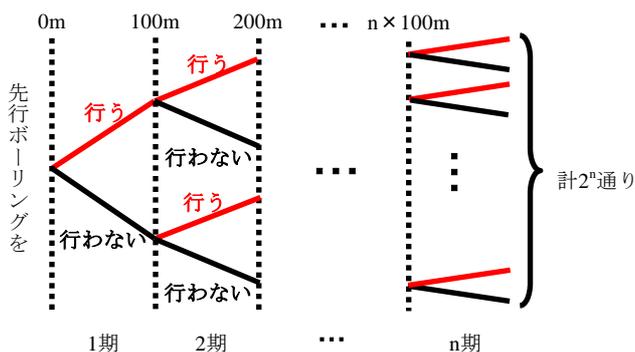


図-2. 二項分布モデル概念図

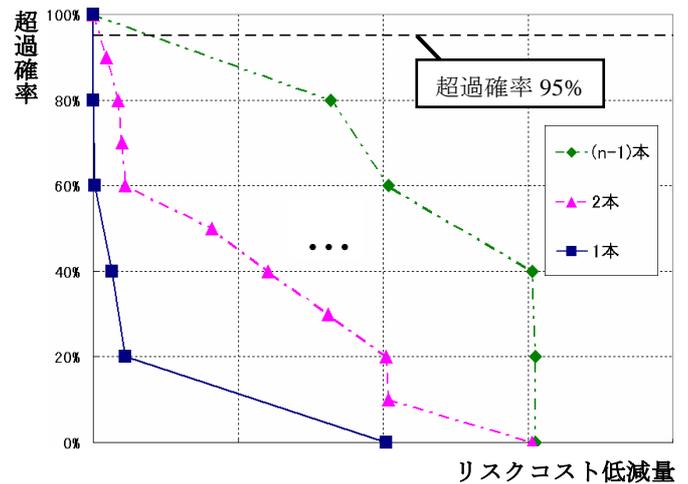


図-3. ボーリング打設本数ごとのリスクカーブ例

なわち、2.2 で示したように、前章の湧水対策コストに関しては極値指標として超過確率 5%の値である $(VaR)_{5\%}$ を用いているので、本章の投資効果に関しては超過確率 95%の値である $(VaR)_{95\%}$ 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。

4. まとめ

本研究では、まず不連続亀裂ネットワークモデルを用いた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、リスクカーブを用いてコスト変動を表現した。そしてリスク指標として $(VaR)_{5\%}$ 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。さらに、先行ボーリングによる止水・排水を想定した突発湧水リスクコスト低減効果の評価手法の構築を行った。具体的には、立坑掘削を複数段階に分割し、二項分布を適用することでボーリングの打設モデルを作成した。また、突発湧水リスク評価と同手法を用いることで、リスクコスト低減量の定量的リスク評価を行った。立坑掘削の実プロジェクトを取り上げることに伴い、これらの手法の適用性について検討を加えることができるものと考えられる。特にリスクコスト低減手法については、ボーリングの打設費用やそれに伴う工期遅延などの要素を考慮することで、実質的なリスクコスト低減量を定量的に評価できると考えられる。

参考文献

- 1) Ang, A.H. and Tang, W.H., 著, 伊藤學, 亀田弘行, 黒田勝彦, 藤野陽三, 共訳: 土木・建築のための確率・統計の応用, 丸善, 1988