

第VI部門

亀裂性岩盤における突発湧水の発生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 ○坂井 一雄
 京都大学国際融合創造センター 正会員 大津 宏康

1. はじめに

高度経済成長期、主に公共事業の発注者となる国や地方自治体が十分な財源を持ち、建設プロジェクトにおける多少のコスト変動を負担することは容易であった。しかし近年、国や地方自治体の抱える赤字は膨大なものとなり、コストの観点から公共事業の全てのプロセスを見直すコスト構造改革の推進が求められている。さらに、PFI(Project Finance Initiative)方式のような民間資本の導入が進み、建設プロジェクトに内在する不確実要因に基づくコスト変動への意識が高まっている。

そのような背景の中で、本研究はコスト変動を引き起こす不確実要因の中でも、事前の調査では予測することの出来ない地盤条件の出現に着目した。そして、その中でも、亀裂や断層といった岩盤不連続構造において、トンネル掘削に伴って発生する突発的な湧水が建設コストに与える影響を定量的に評価する手法の構築を目的とする。この評価手法に金融工学分野で用いられるリスク評価手法を適用する。この金融工学理論の援用によって、非エンジニアに対しても意思決定のツールとして、リスクを提案することができる。ここで、リスクとは、期待値からの外れ量として定義する。

2. 突発湧水のリスク評価手法の構築

2.1 湧水対策コストの推定について

亀裂や断層といった不連続構造が卓越する岩盤においてトンネルを掘削する場合には、その不連続構造から発生する突発湧水が、湧水対策を施すということを通して、建設コストに影響を与える事は実際に報告されており、事前の調査で、亀裂の位置、湧水量を正確に推定すること必要である。しかし、トンネル全長にわたって、それらの情報を得ることは費用や時間の制約上不可能である。つまり、限られた条件で得られた地盤情報は不確実性要因を含んでおり、その地盤情報によって推定したコストは不

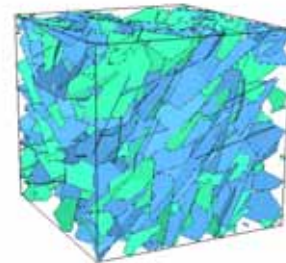


図1 確率論的 DFN モデル

確実なものとなる。このため、湧水対策コストをモンテカルロシミュレーションにより算定し、コストを確率量として表現する。その方法として、本研究では確率論的 DFN モデルを用いて亀裂からトンネル内に発生する湧水量の推定を行い、その湧水量に閾値を与える事によって湧水対策コストを算出する。

2.2 確率論的 DFN モデルの構築とコスト推定

確率論的 DFN モデルは対象とする岩盤のリニアメントデータや BTV データなどから亀裂密度、亀裂方向性分布などの亀裂パラメータを算出し、それらを基に構築される。図1にモデル図を示す。このように発生させた確率論的 DFN モデルに対し、境界条件を設定し、地下水流動解析を行うことによって、トンネル表面に露頭すると想定される亀裂から発生する湧水量の推定を行う。そして、亀裂毎に表1に示すような湧水量の閾値と湧水対策コストに照らし合わせ、亀裂のクラス分類を行う。さらに、図2のような概念図を考え、式(1)に示すようにトンネル全長での湧水対策コストを算出する。

$$C_{total} = 2 \times C_2 + C_3 + C_4 \quad (1)$$

ここに、 C_{total} はトンネル全長の湧水対策コストとする。この一連の流れをモンテカルロシミュレーションによって最適な回数だけ行う事で、 C_{total} を確率量として求める。

表1 亀裂湧水量の閾値と湧水対策費(例)

	亀裂湧水量(m ³ /min)	対策費
class1	0.0~1.5	C ₁
class2	1.5~3.0	C ₂
class3	3.0~5.0	C ₃
class4	5.0~	C ₄

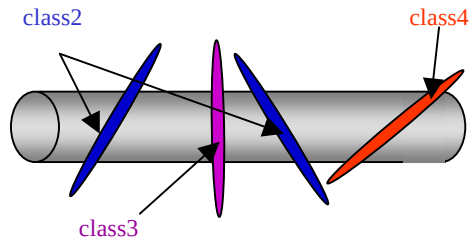


図2 トンネル全長の湧水対策コスト算定(例)

2.3 リスク評価手法

2.2 において確率量として算出された湧水対策コストを視覚的に表現する手法として、本研究では図3で表わすリスクカーブを用いる。リスクカーブとは、金融工学で用いられるコストと超過確率の関係を表わすものである。

リスクカーブを使ったリスク評価手法としては、大津ら¹⁾が提案するボラティリティに加えて、VaR(Value at Risk)を用いる。ここで、ボラティリティとは平均変動量まわりの変動特性を表わす指標である。またVaRとは、超過確率x%に対応する損失に対応する値を(VaR)_{x%}として表わすものである。以下にそれぞれの評価指標を定式化し、図3にイメージ図を示す。

$$V(\%) = \frac{R}{C_{0.5}} \times 100$$

ボラティリティ $R = \text{Max}[R_u, R_d]$ (2)

$$R_u = C_{0.5} - C_{0.9}$$

$$R_d = C_{0.1} - C_{0.5}$$

ここに、Vはボラティリティを表わす。Rはコスト変動リスクを表わしC_{0.1}、C_{0.5}、C_{0.9}、はそれぞれ超過確率0.1、0.5、0.9に対するコストを表わす。またC_{0.5}を湧水対策コスト中央値とする。

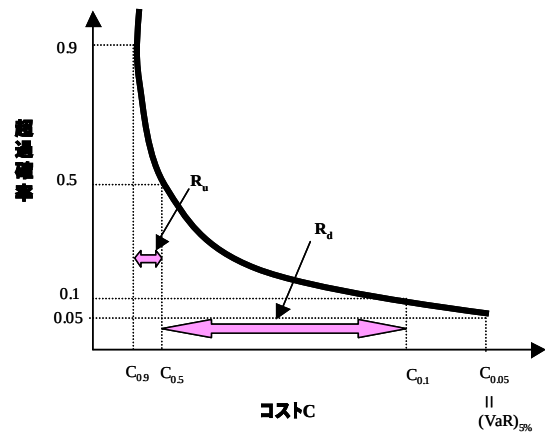


図3 リスクカーブとリスク評価手法

$$\text{VaR} \quad (VaR)_{5\%} = C_{0.05} \quad (3)$$

ここに、C_{0.05}は超過確率5%におけるコストを表わす。

ボラティリティによって、対象とするサイトにおける湧水対策コストのC_{0.5}（中央値）からどの程度外れるのかを評価でき、(VaR)_{5%}によって、湧水対策コストに対応する資金をどの程度準備しておけば十分であるか、ということを定量的に評価することができる。

3. まとめ

ボラティリティやVaRを用いることによって、湧水対策コスト変動リスクを定量的に評価することができ、事業者や出資者に対し突発湧水に関するリスクの提示を行うことができる。さらに、別の地盤条件に起因するリスクの定量化についても検討していく事により、建設プロジェクトにおけるコスト変動に関して、事業者への説明責任をより果たせるものと考えている。

参考文献

1)大津宏康, 尾ノ井茂樹, 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,