

トンネル施工における予見できない地盤条件の出現に伴う プロジェクトリスク評価手法に関する研究

京都大学大学院 正会員 大津 宏康
京都大学大学院 正会員 大西 有三
東日本旅客鉄道（株） 正会員 高橋 徹

1. はじめに

建設プロジェクトは、多くの不確定要素が複雑な関係で存在し、他の業種のプロジェクトに比べ、損益発生の可能性が高い。中でも、影響の大きい要因の一つに予見できない地盤条件の変動がある。これは発生頻度も比較的高く、大幅なコスト変動へ直結する可能性がある。それに関わらず、限られた調査情報を基に地盤全体の物性を推定する必要があり、ここに地盤・岩盤の不確実性が発生する所以がある。

ところで、施工費用は積算によって求められた値のみで評価されるため、プロジェクトに関する施工費用の不確実性について評価される事はなかった。今後、限られた財源内でのプロジェクト遂行が予想され、従来のように発注者に財務体力があるとは限らない状況が想定される。その状況下で、プロジェクトコストの不確実性の把握は急務であり重要である。つまり、コストオーバーランをリスクと捉えるプロジェクトマネジメントを行い、その評価において不確実性を把握する指標を用いる事が必要となる。

そこで、本研究では地盤条件の変動によるコスト変動を把握するために、統計学的アプローチを行う。その一手法として本研究では地盤統計学の補間手法の一つである kriging indicator kriging へ注目し、地盤内の空間的分布推定を行い、コストの変動幅としてリスクを評価する手法を提案するものである。

2. リスク評価手法

本研究では、プロジェクトリスクを「予見出来ない地盤条件の出現に伴うコストオーバーラン」とし、評価手法として、金融工学における評価指標である期待値と標準偏差（あるいはそれに準ずる表現）による評価手法¹⁾を提案する。なお、得られた期待値を「最適シナリオ」、期待値+標準偏差を「楽観的シナリオ」、期待値-標準偏差を「悲観的シナリオ」と位置付ける。

具体的には、地盤リスクの建設コストに及ぼす影響評価を地盤条件の不確実性に関して確率モデルにより表現し、悲観的シナリオ-楽観的シナリオの建設コストの変動幅をリスクとし求める。この変動幅と推定された最適シナリオによる建設コストの関係を模式的に表すと図-1 のようになる。

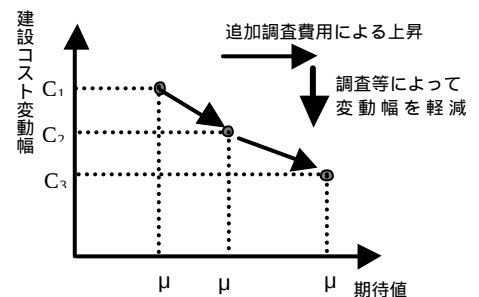


図-1 地盤リスク評価の模式図

3. 地盤条件の変動に関する評価

トンネル施工では、計画段階での設計・費用推定は予想された岩盤分類に基づき行われている。そこで、最終的に推定すべき地質条件は、岩盤分類である。ところが、岩盤分類は、最も広範囲に、なおかつ取得情報量の多い地質情報であるが、数値情報でない場合が多い。そこで、幾何学的条件、力学的条件の2点に分けて考慮する事とした。そこで、本研究では、各岩盤の標高について、岩種以外の岩盤分類を表現する RMR 値とした。

本研究では、地質条件を調査情報により得られた情報を基に統計的な推定を行う。そこで、地盤統計学の一手法である kriging¹⁾を、表-1 を用いて閾値を設定し、数値情報化を行い、岩盤分類より地盤の物性値推定を indicator kriging¹⁾を適用する。なお、kriging については次式で表される。なお、kriging は既知の情報を加重平均して、数学的に最適な重み λ_{i0} を与える手法である。

$$Z_0^* = \sum_{i=1}^n \lambda_{i0} Z_i \quad (\text{式 1})$$

$$E[Z_0^* - Z_0] = 0 \quad (\text{式 2})$$

$$s^2 = E[(Z_0^* - Z_0)^2] \rightarrow \min \quad (\text{式 3})$$

表-1 岩盤分類選定における幾何学的・力学的条件

岩盤等級	岩種	RMR 値
SS1	砂岩	60 以上
SS2	砂岩	50? 60
SS3	砂岩	50 以下
ST1	シルト岩	50? 60
ST2	シルト岩	40? 50
ST3	シルト岩	40 以下

キーワード プロジェクトリスク 地盤リスク、地盤統計学

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都市環境工学専攻ジオフロント環境工学専攻 075-753-5129

また、indicator kriging は、(式1)をインディケータ変換

$$I(x; z_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } z(x) \leq z_k \\ 0 & \text{if } z(x) > z_k \end{cases} \quad (\text{式4})$$

に置き換えたものであり、0と1でkrigingを行うことにより、得られた値を出現確率と捉えることができる。

4. 実プロジェクトにおけるリスク評価

本研究ではトンネル構造物として、海外の揚水式発電所の放水路トンネルにおいて前述の手法の検証を行った。

このトンネルは全長1430m、Feasibility Study(以下、FS)からDetailed Design(以下DD)まで調査実施時期に応じて6段階に分け、ボーリング、探査トンネルからの情報を基に地質条件の推定を行った。なお、ボーリングからは岩盤の岩種はシルト岩層と砂岩層がある事、地質技術者によって作成された岩盤分類が情報として得られている。また、探査トンネルのRMR値も判明している。

前述の手法を用い、幾何学的不確実性と力学的不確実性に関し、地盤の推定を行う。なお、力学的情報の解析には、幾何学的情報の解析によって得られた層境を用いて、各層内において解析を行った。これは砂岩層とシルト岩層の物性値が大きな変化が予想されるためである。

さらにこの結果より、各施工段階において推定された各シナリオによる施工費用を示す(図-2)。なお、この図における黒い縦線がリスクである。

これを基に、図-1に準ずる「リスク-最適シナリオ平面」上に結果を示すと図-3のようになる。統計学による評価を考える際、この図に示す変化は、表-2に示した理由によるものと考えられ、図-3の変動幅の変化理由に関する概念図を図-4に示す。従って、この事を考えると、FS、DS1までは調査不足でなおかつ想定していた地質条件が悪かった事を意味する。そして、DS2~DDの段階は、リスク評価できる程度の調査量が満たされている事が言える。さらにこの平面上での議論により、各施工段階におけるコスト変動する可能性の大小について把握することができ、地質調査の不足についても判定できる。

5. まとめ

本研究は、予見できない地盤条件の出現に伴うリスク評価を客観的、なおかつ統計的に行う手法を提案し、地質調査を行うことによって得られる価値を示した。

リスクが過小評価されている状態は、推定された建設コストがリスク以上に大きく変動する可能性を秘めている。これは、プロジェクトの財務的成功を図る上では致命的になるため、リスク過小評価状態であるかを十分見極め、ある程度の規模の調査を行い、この状態から脱却する必要がある。

参考文献

- 1) 大津宏康、大西有三、高橋徹、黄瀬周作：建設プロジェクトにおける地下リスクの評価に関する研究、土木学会57回年次学術講演会概要集、CS5-013、2002。
- 2) 田近久和：地盤統計学に基づく不均質な岩盤透水特性に関する研究、京都大学修士論文、1998。

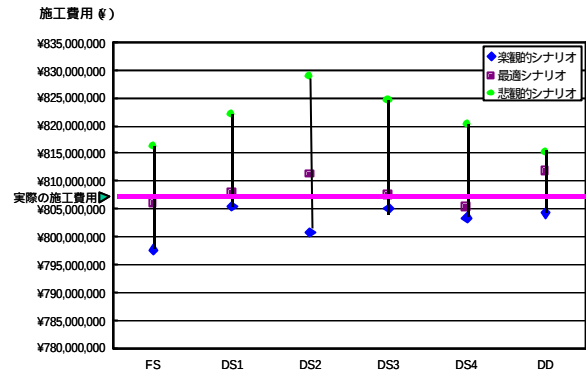


図-2 推定された建設コスト

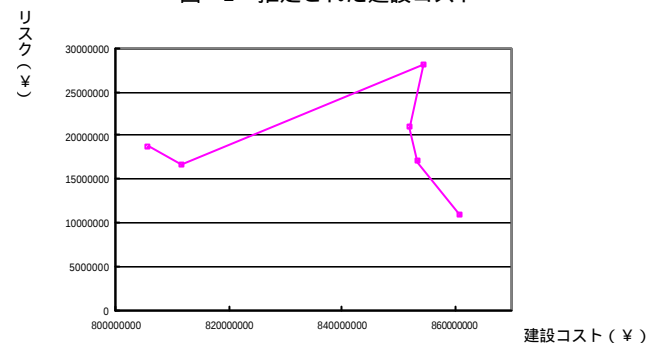


図-3 建設コストと建設コストの変動幅

表-2 変動幅の変化理由

現象	理由
変動幅大	想定していた地質条件分布から大きく外れる地質条件が出現→調査不足、追加調査の必要性大、 リスクを過小評価
変動幅小	想定していた地質条件分布の範囲内の地質条件が出現→リスク評価可能
期待値増加	想定していた地質条件分布の期待値よりも条件の悪い地質の出現
期待値減少	想定していた地質条件分布の期待値よりも条件の良い地質の出現

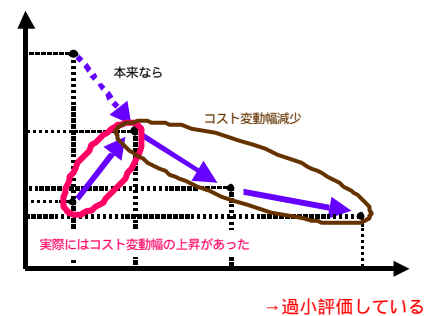


図-4 リスクの変動理由に関する概念図