

調査工事の投資対効果判定のための 調査価値評価に関する一考察

京都大学大学院 大津 宏康
電源開発(株) 尾ノ井 芳樹
京都大学大学院 ○足立 純

本研究では、地下構造物を含む建設プロジェクトに内在する地盤リスクを、設計段階の調査によって得られる限られた情報を基に、建設コストの変動幅を調査費用との関連として表現し評価することにより、事前に行われる調査費用とそれによって得られる情報の価値(value of information)について議論する。地盤リスクの算定には力学的要因に着目した地盤統計学を用いるが、地盤の力学的要因には岩盤等級などの離散値が用いられることが多いため、計測値を離散値として扱いその確率分布を推定するインディケータクリジングを用いている。さらには、実際のトンネル建設プロジェクトでの力学的地盤リスクが建設コストに及ぼす影響について同時に検証するとともに、それを設計段階で把握するための調査情報の利用とその価値を示し、この結果に基づいて調査工事の投資対効果についても検討を加える。

【キーワード】 geotechnical risk, indicator kriging, 情報の価値(value of information)

1. はじめに

近年、社会状況の変化等により建設プロジェクトの是非を問われる機会が非常に増えてきており、これまでの建設プロジェクトに対する姿勢の見直しが迫られている。ここで、建設プロジェクトを考える際に重要な問題として、投資(建設コスト)に対する効果という問題がある。ところが、これまでこの問題について一般的に議論されるのは、完成後の利用者からの収入予測に関する問題、つまりは効果の側面が主であった。しかし、投資対効果について議論をする際には、事前調査も含めた費用予測も重要な問題であると考ええる。

一方、地下工事を含む建設プロジェクトでは、基本的に見通すことのできない地下空間の地質条件がプロジェクト実施において支配的な要素となることがあり、結果的に建設コスト(費用)の変動にも大きな影響を与える。この地質条件の不確実性に対処するため各種の地質調査が実施されるが、事前調査において完全を求めることは実質的には困難であり、設計段階では、地質条件に関する不確実性を残した

まま、建設コスト(費用)の積算を行うこととなる。

一般に調査費と建設コストの精度はトレードオフと考えられているが、これまでのわが国の建設プロジェクトの契約方式やそれを取り巻く環境では、調査データから得られる情報が建設コストの変動に与える影響についてはあまり議論されてこなかった。

本研究では、建設プロジェクトの中でも、地質条件の不確実性(地盤リスク)に起因するコストオーバーラン(不確実性)を「リスク」と定義し、調査費用と建設コスト変動リスクの関係について議論する。すなわちある費用による調査情報が、より大きな建設コストの変動予測にレバレッジ効果のある影響を与えることに着目し、実際の建設プロジェクトにおいて地盤リスクが建設コストに与える影響および建設コスト変動幅と調査費の関係について解析結果を基に考察を行う。

2. 地盤リスクによる建設コスト変動の評価方法

(1) 調査データ

プロジェクトは計画策定、基本設計(F/S段階)、

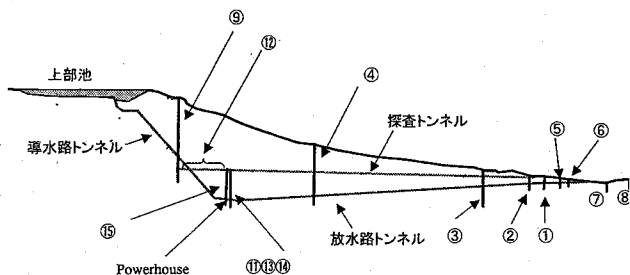


図-1 ボーリング孔配置図

詳細設計 (D/S 段階), 建設, 運用・保守の段階を経て実現される。今回評価対象とする設計時に行われた調査の代表的なものには、ボーリング調査、弾性波探査、比抵抗調査などがある。この中で直接的に地質状況について精度高く把握できるのはボーリング調査および先行施工トンネル (探査トンネル) であり、これによって当該地盤について幾つかの幾何学的・力学的情報を得ることができるが、本研究ではこの内、力学的情報を地盤全域の推定に用いる。これはトンネルなどの地下構造物の建設コストを算出する際には、施工領域における地山を性質によって数パターンに分類し、各分類に対してその支保パターンを定義することで建設コストを決定するためである。この岩盤分類法には国内外で用いられているものが数種あるが、本研究ではこの岩盤分類と一定の相関がある補助的なパラメータとして、世界でも採用されることの多い RMR 値¹⁾を用いている。

本研究で対象としたプロジェクトでは、図-1 のようなサイト全域に渡り、F/S 段階から D/D 段階までの間に表-1 のような順番でボーリングおよび探査トンネルが掘られている。

(2) 地盤統計学

地盤統計学は、調査によって得た情報から対象地盤の全体像を把握するための手法である。これまで、筆者らにより幾何学的情報を用いて地盤統計の 1 手法である Kriging によって地盤の幾何学的状況を推定し、そこから建設コストを推定する研究は行われてきた²⁾。本研究では地盤条件として力学的パラメータを用いることを前提とし、その力学的パラメータには岩盤分類を離散値として用いることとした。また岩盤分類は各調査項目について、経験に基づいて岩盤の状態を整理・分類し施工法と関連づけるための設計法であるため、調査する人間による個人差

表-1 調査実施段階と調査内容

調査実施段階	調査内容
F/S	ボーリング番号①～④
D/S ₁	ボーリング番号⑤～⑧
D/S ₂	探査トンネル (番号⑨～⑩)
D/S ₃	ボーリング番号⑪
D/S ₃	ボーリング番号⑫～⑭
D/D	ボーリング番号⑮

や誤差を含んでいる。そこで本研究では、この力学的パラメータの推定に対し、地盤統計学の手法のひとつである Indicator Kriging を用いる。

3) 力学的要因に起因する建設コスト変動リスクの評価方法

既報の研究成果³⁾にも一部提案しているが、本研究では先の図-1 に示した揚水式発電所の放水路トンネルにおいて、上記の Indicator Kriging を用いてトンネル各地点における RMR 値の確率分布を算定し、各地点の確率分布から以下の定義に基づき 3 種類の RMR 値を規定することで建設コストの最尤値、および変動幅を算出する。

- 確率分布の推定値を直線で結び、超過確率が 50% となる値を推定個所における最尤推定値とする。
- 最尤推定値周りのはずれ量に着目するため、各推定値に標準偏差を考慮した 2 種類の確率分布を加え、各確率分布について超過確率が 50% となる値を、それぞれ悲観的推定値、楽観的推定値とする。

これを基に既報しているように、最尤シナリオ、悲観的シナリオ、楽観的シナリオの 3 種類のシナリオごとに予測される建設コストを算出し、その変動幅をリスクとして評価する。これはこれまでの研究で示してきた標準偏差をリスクと考えるものとは多少異なる。というのも、本研究のように想定される建設コスト分布が正規分布としてモデル化されない場合には、最尤推定値周りのはずれ量を表す新たな指標が必要となるからである。

3. 調査情報の価値とその評価

このように、予測建設コストを不確実なものと考え、その建設コスト変動幅をリスクとして捉える場合には、H.H.Einstein も述べているように⁴⁾、建設

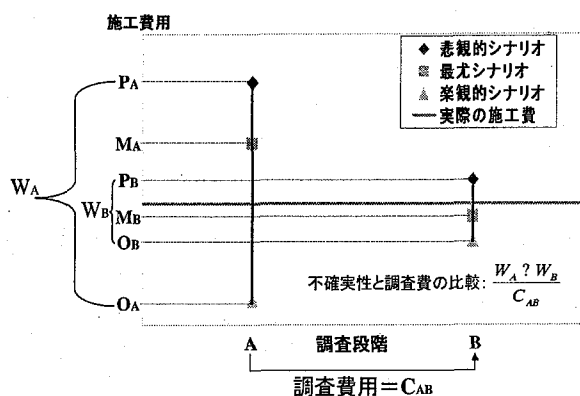


図-2 調査データの評価概念図

コストを期待値だけで評価するのではなく、その変動幅(分散)も合わせて評価することが重要となる。この観点から考えると、調査によって得られる情報が与える大きな価値の1つが、予測工事費のばらつき(分散)に関するデータであると言えよう。

この調査情報の価値判断のための手法として次のような考え方を提案する。地盤推定の結果から生ずる建設コストの変動幅が、調査の進展によって変化することをその調査データの価値と捉え、建設コスト変動幅の減少分とその間の調査費との比率で表現する。つまり、図-2に示すように、調査段階AとBにおいて、A、Bで推定する建設コストの変動幅を W_A 、 W_B とすれば、AとBとの間に行われた調査による変動幅減少分は $\Delta = W_A - W_B$ であらわせ、またこの間の調査費を C_{AB} とすれば、その比率は Δ / C_{AB} となる。これが一般的に1より大きい場合に、その調査には建設コストの変動リスクを低減するという観点からは十分な価値があったと言える。

4.実際のトンネル建設プロジェクトでの評価

1) 調査費用と建設コスト変動リスクの評価

先の建設コスト変動リスク評価方法に基づいて、揚水式発電所の放水路トンネルにおける調査費用と建設コスト変動幅の関係を図-3に示す。調査を行った場合に、建設コストの変動幅つまりリスクは本来減少するはずのものであり、その変動幅の縮減量が議論の対象となるはずである。しかし、実際図-3の結果のD/S1からD/S2間では、大幅なリスクの増大が生じている。このことを考えると、先の研究においても考察しているように³⁾、F/S、D/S1の段階においては、調査不足であり推定に用いた調査データ(サンプルデータ)の岩盤分類に関する分布が、場全体

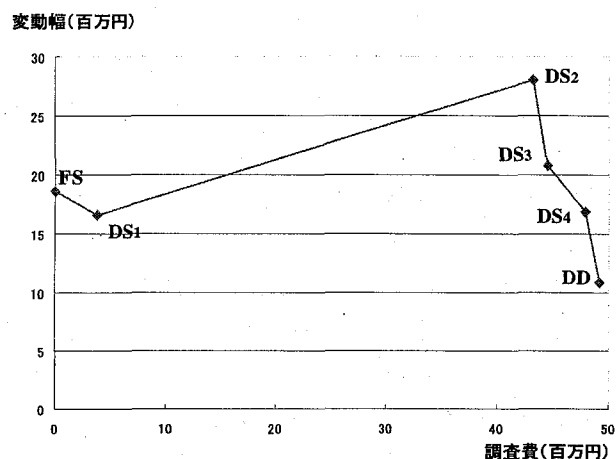


図-3 調査費と建設コストの変動幅

表-2 調査段階毎の変動幅縮減額/調査費増分の比率

調査段階	D/S1	D/S2	D/S3	D/S4	D/D
変動幅縮減額 調査費増分 (比率)	0.53	-0.29	5.62	1.16	4.70

の分布を表すには不十分であったと考えられる。これが、D/S2段階での調査横坑による大幅なデータの蓄積によって、その後の調査データとリスクの関係をより正確に表現することを可能にしていると考えられる。このことは次の調査データの価値を評価する際にも大きく影響を及ぼすものであると思われる。

2) 調査価値の評価結果

先に示した調査価値の評価方法に基づいてF/SからD/D段階までの調査を評価したものを表-2に示す。この結果D/S3,4とD/Dにおける調査は、建設コストの変動幅の縮減という観点からは価値を認めることができる。一方でD/S1,2段階での調査はこの視点ではあまり価値あるものだったとは言い難い。しかし、先のリスク評価のところでも述べたように、D/S1,2では共通して調査不十分の可能性はある。ただし、D/S2段階の調査については、図-3からも分かるように、調査費用自体が高額であり、これによりこの評価軸においては価値を生み出しにくくなっている。ただ調査横坑はそもそも最終的には排水トンネルとして永久構造物としての価値を有しているうえ、調査の観点からは地盤の力学的特性のほかにも、地山全体に対する湧水予測や断層の検出についても非常に有用なデータをもたらしており、この点で他のボーリングデータとは性格の異なるものであるため、一概に同じ評価軸で評価することの問題点

もあるものと考ええる。

一方で、調査価値を正當に評価できていると考える D/S3 から D/D までの調査についても、その価値には大きな差があった。ここでその違いについて検討を加えると、D/S4 における調査は調査位置が図-1 で言うところの発電所部分に偏った状態となっているため、トンネル工事でのコスト変動を測るという意味では、それほど有益な情報を与えているわけではないと考えられる。一方 D/S3 においては、ボーリング数は一本であるが、その調査価値は高くなっている。これは調査費用が相対的に小額であったのに対し、それまであまり調査がされていなかった発電所近くで初めて調査を行った事による調査データの価値が非常に高かったことを示しているといえるだろう。

まとめ

本研究は、これまで筆者らが行ってきた、地盤リスクによる建設コストの変動を評価するという観点から、コスト変動幅の大小に影響を及ぼす調査データの価値について、1 つの評価方法を提案し、実プロジェクトにおいてその調査価値を評価した。この結果得られた知見は以下のように要約できる。

- ① 変動幅の減少分を調査によって得られた 1 つの価値として、その調査の価値を評価できる。
- ② 調査情報が不十分、つまりはリスクが過小評価されている可能性のある点からリスクを正當に評価できる状況に移行する際には、調査によっ

てかえってリスクの増大ということが起こり得る。これにより情報の価値を評価することが困難となることがある。

- ③ 建設コスト算定という観点からは、調査はサイトに対し広く均等に行われることが理想である。今後は、調査段階においてこのような調査をどこにどのように行うことが大きな価値を生むかの事前評価手法の開発を進めると共に、建設コスト算定のための情報として重要な要素となる最尤な建設コストの推定（統計で言う期待値）のための調査データの価値を測ることも併せて取り組んでいきたい所存である。

【参考文献】

- 1) Bineciawski, Z.T.: Rock Mass Classification as a Design Aid in Tunneling, Tunnel & Tunneling, vol.20 No.7, pp19-22, 1988
- 2) 大津宏康, 尾ノ井芳樹, 大西有三, 李圭太: 金融光学理論に基づく地盤リスク評価に関する一考察, 土木学会論文集 No.742/VI-60, 101-113, 2003.9
- 3) 大津宏康, 大西有三, 高橋徹: 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, 平成 15 年度土木学会全国大会学術講演会講演概要集
- 4) H.H.Einstein: Risk and Risk Analysis in Rock Engineering, Tunneling&Underground Space Technology, Vol.11No.2, pp141-155, 1996

Considerations on Investigative Value Evaluation for ROI Assessment of Investigative Construction

By Hiroyasu OHTSU, Yoshiki Onoi, Jun Adachi

In this study, the costs of the prior investigations and the value of information obtained from the investigation is discussed in terms of geotechnical risk, one of the underlying risk factors in construction projects including underground structure. For this study, the fluctuation band of the estimated construction cost is expressed in terms of its relation to investigation cost. Geo-statistics are often used to calculate the geotechnical risks. However, since dispersed values such as rock classification are often used as ground's mechanical factors, indicator kringing to treat calculated values as dispersed values and estimate probability distribution is used in this study. We will also examine the influence geotechnical risks have on construction costs in the actual tunnel construction project. At the same time, we will indicate the value of utilizing the information obtained from the investigation in order to understand the risk at the design stage of the project.