

# 建設プロジェクトにおける地盤リスク評価に 関する一方策について

京都大学大学院 ○大津 宏康\*1  
電源開発株式会社 尾ノ井芳樹\*2  
建設技術研究所 李 圭太\*3  
京都大学大学院 大西 有三\*1

本研究は、建設プロジェクトにおける地下の地盤・岩盤の幾何学および力学的条件の不確実性に起因するリスク（以下地盤リスクと称する）に着目し、その評価方法および、対処方法について検討を加えるものである。従来より、地下工事を含む建設プロジェクトにおいて地盤リスクは、その建設コストおよび建設工期に影響を及ぼす重要なリスク要因の一つであるにも関わらず、これまでに十分な検討がなされているとはいえない。この理由は、日本では、地盤リスクによる変動は、原則的にはディープポケットを持つ公共団体等の発注者により負担されてきたため、そのリスクに対する基本概念が構築されにくかったものと推察される。しかし、公共投資を取り巻く環境の変化に伴い、従来のような地盤リスクについての対応は、本質的に変化せざるを得ないものと推察される。

このような背景から、本研究では、これまで理論的考察が充分にはなされていない地盤リスクについて、そのリスクが建設コストに及ぼす影響を評価するための基本的な考え方について示すと共に、実際の建設工事に対して、地盤リスク評価の一手法として地盤統計学を適用し、そのリスクを評価した簡易な事例についても示すものである。

【キーワード】地盤リスク、地盤統計学、建設契約

## 1. はじめに

地下工事を含む建設プロジェクトにおいて地下の地盤・岩盤の幾何学および力学的条件の不確実性に起因するリスク（以下地盤リスクと称する）は、その建設コストおよび建設工期に影響を及ぼす重要なリスク要因の一つであることはいうまでもない。このリスク要因については、これまでに十分な検討がなされているとはいえない。この理由については、従来の日本での建設契約では、地下リスクによる変動は、原則的にはディープポケットを持つ公共団体等の発注者により負担されてきたことによると推察される。すなわち、地下リスクのような予見することが困難なリスク要因に起因する設計変更は、数量精算や新工種単価設定がなされることで、請負者のリスクが基本的には回避されてきた。

しかし、筆者ら<sup>1)</sup>がこれまでの研究成果において指摘してきたように、公共投資を取り巻く環境が厳しくなる中で、従来のような地盤リスクについての対応は、以下のような要因により変化せざるを得ないと推察される。

- ① 建設プロジェクトへの非エンジニアの参画
- ② 建設プロジェクトの推進における、Multi（マルチ）から Single（シングル）への変化

前者の非エンジニアの参画とは、PFI によるインフラストラクチャーの調達方式の導入に伴い、工学を専門としない金融関係者（銀行・保険会社）に対して、建設コストの妥当性あるいは、そのコストに含まれる地盤リスクについて明示的な説明が必要となることを意味する。また、②の Multi から Single への変化とは、図-1 に示す金融工学におけるポートフォリオ理論<sup>2)</sup>の模式図を援用して、次のように解

\*1 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻 075-753-5128

\*2 電源開発株式会社新事業戦略室 03-3546-9623

\*3 建設技術研究所大阪支店環境都市部 06-6994-7872

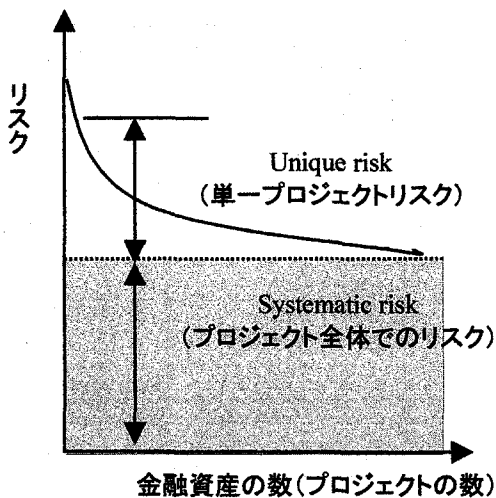


図-1 プロジェクト数とリスクの関係（模式図）

説が加えられる。

- 1) ポートフォリオ理論とは、図-1 に示すように、様々な金融商品を組み合わせることにより、単一の商品が有するリスク（Unique Risk）を回避し、金融商品全体が有するリスク（Systematic Risk）への対応を図るものである。
- 2) 図-1 に示す金融商品の数を、公共団体等の発注者が同時に有する建設プロジェクトの数と置き換えた場合には、従来のように多くの建設プロジェクトを同時に実施してきた場合には、発注者が被るリスクは結果的に Systematic Risk に相当するものであったと解釈される。これに対して、PFI でのオーナー会社は Single Purpose Company と呼ばれるように単一プロジェクトを扱う事、あるいは、今後公共団体等が発注するプロジェクト数が減少する事を想定すれば、地盤リスクを有するプロジェクトでは、図-1 に示す Unique Risk に曝される危険性が高くなるものと推察される。

なお、ポートフォリオ理論のリスクヘッジの基本概念は、金融商品の価格変動間の相関特性（あるいは共分散特性）を用いた数学的基礎理論に基づき構築されたものである。これに対して、各建設プロジェクト間の建設コストに関する相関特性について明確には算定することは困難であるが、建設プロジェクト数が減少する事により、Unique Risk に曝される危険性が高まるという基本的な枠組みを理解する上では有効であると推察される。

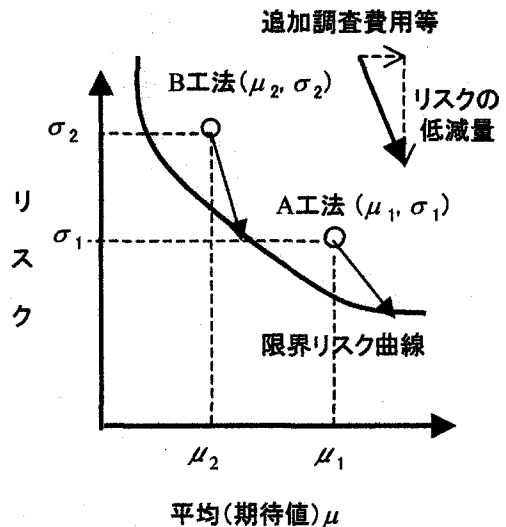


図-2 地盤リスク評価の模式図

このような背景から、本研究においては、地盤リスクの建設コストに及ぼす影響を評価するための基本的な考え方について示すと共に、実際の建設工事に対して、地盤リスク評価の一手法として地盤統計学を適用し、そのリスクを評価した簡易な事例についても示すものとする。

## 2. 地盤リスクの建設コストに及ぼす影響評価に関する基本概念

ここで、以下に地盤リスク評価に関する議論を行うために、リスクについての定義する。

従来工学分野では、古典的な工学分野でのリスクの定義に基づき、リスクを次式に示す期待値として定義されることが一般的であった<sup>3)</sup>。

$$R = P \times C \quad (1)$$

ここで、 $R$  はリスク、 $P$  は発生確率、 $C$  は帰結を表わす。

一方、金融工学分野では、リスクは式(1)に示す期待値からのはずれと定義されることが一般的であり、具体的には確率分布を表わす指標である標準偏差 $\sigma$ （あるいは分散 $\sigma^2$ ）、VaR（バリューアットリスク）<sup>4)</sup>等が用いられることが多い。

なお、本研究では、地盤リスクについては金融工学分野の定義に順ずるものとする。この定義の下で

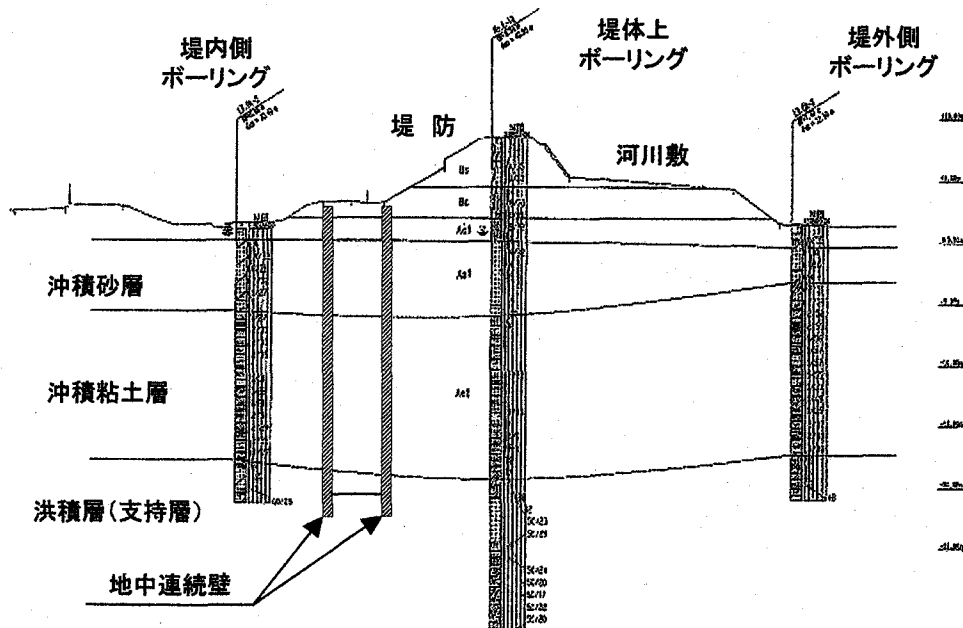


図-3 解析事例（河川堤防基礎地盤）

は、地盤リスクの建設コストに及ぼす影響を評価することは、地盤条件に含まれる不確実性を確率モデルにより表現し、その量に基づく建設コストの期待値周りのばらつきを確率量として算定する事に帰着する。この建設コストの期待値周りのばらつきが算定されたとした場合に、その評価結果は図-2に示すように模式的に表現される。同図に示すように、地盤条件に含まれる不確実性を考慮した場合に、適用する工法によって異なる建設コストの分布量は、リスク（標準偏差 $\sigma$ あるいはVaR）一期待値平面にプロットすることが可能となる。例えば、図-2に示すA工法およびB工法を、それぞれシールド工法および都市NATMとすれば、その意味が理解しやすいであろう。すなわち、シールド工法を適用した場合には、期待値は都市NATMに比較して大きいがそのリスクは小さい。逆に、都市NATMを適用した場合には、期待値は小さいがその想定されるリスクは大きくなるはずである。

ここで、従来の地盤リスクに起因する建設コストの妥当性に関する議論は、調査結果より設定される地盤条件を確定量としていることから、図-2のリスク一期待値平面においては、リスクを考慮しない期待値のみの議論であったことが明らかとなる。なお、この概念は、1.において述べたように発注者の扱うプロジェクト数が多く、結果的に図-1に示す

Systematic Riskのみが顕在化する場合には妥当なものであったと推察される。しかし、前述のように、プロジェクトの遂行状況が、Multi（マルチ）からSingle（シングル）への変化するに伴い、Unique Riskに曝される危険性が高まることから、地盤リスクに起因するコスト変動について、リスク一期待値平面において議論することの重要性が高くなる。

### 3. 地盤リスクの試算結果と考察

2.において述べた、地盤リスクに起因するコスト変動について、リスク一期待値平面において議論することの基本条件は、入力値となる地盤条件に含まれる不確実性を確率モデルにより表現することになる。本研究では、地盤条件に含まれる不確実性を評価するための一手法として、地盤統計学の一つであるKriging手法を適用し、その結果に基づき建設コストのばらつきについて試算した結果について示す。

#### (1) 試算条件

試算する事例は、図-3に示す河川堤防に近接して建設される地中連続壁の数量を、以下の設計条件に基づき算定するものである。

- ・地中連続壁の洪積層（支持層）への根入れ長:2m
- ・地中連続壁のパネル割:5m

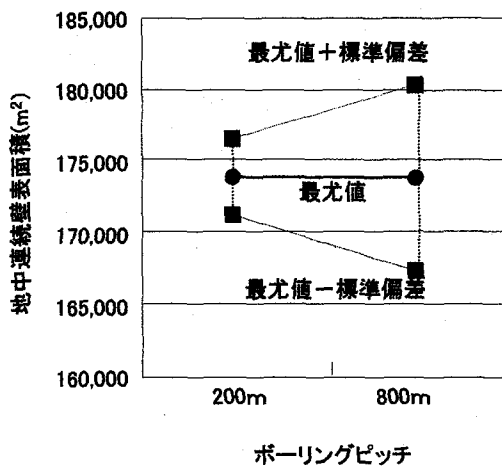


図-4 地中連続壁の試算結果

なお、洪積層の深度は、ボーリング間隔 200m および 800m のデータに基づく Kriging 解析結果を適用するが、その詳細には参考文献 5) を参照されたい。

## (2) 試算結果

(1) に示す試算条件に基づき算定した、地中連続壁の表面積（壁厚を掛ける事で、概算としての地中連続壁のコンクリート量・鉄筋量が算定可能となる量）の分布を図-4 に示す。同図には、Kriging 結果で得られる洪積層深度の、それぞれ最尤推定値および、最尤推定値±推定誤差標準偏差に対する算定結果を示した。同図に示すように、この事例では期待値に相当する最尤推定値周りのばらつき（リスク）は、それぞれ変動係数で 2~4% 程度極めて小さいこ

とが定量的に評価されることになる。

## 4. まとめ

本研究では、地盤リスクが建設コストに及ぼす影響を評価する手法について示すと共に、実際の建設工事に対して、地盤統計学を適用しそのリスクを評価した簡易な事例についても示した。

### 【参考文献】

- 1) Ohtsu, H. et. al: The Study on the Evaluation of Geotechnical Risk based on Geo-statistics Theory, Proc. of Probabilistics in GeoTechnics: Technical and Economic Risk Estimation, Graz, Austria, 2002.
- 2) 例えば, Milgrom, P. and Roberts, J., 奥野正寛他訳: 組織の経済学, NTT 出版, 1997.
- 3) Benjamin, J. R. and Cornell, A. A.: Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers, McGraw-Hill, pp. 578-580, 1970.
- 4) 山下智志: 市場リスクの計量化と VaR, 朝倉書店, 2000.
- 5) 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, 土木学会第 57 回年次学術講演会概要集 CS セッション, pp.263-264, 2002.

## A Study on Evaluation of Geotechnical Risk Involved in Construction Projects

Hiroyasu Ohtsu, Yoshiki Onoi, Lee Kyu Tei, Yuzo Ohnishi

It is well-known that unforeseeable geological condition, which is so-called geotechnical risk, is essentially one of the most serious risk factors, which causes not only cost overrun of construction projects, but also delay of the completion of projects. Under contract conditions such as re-measurement contract, owners will pay extra-costs associated with the change of geological condition, and contractors also will suffer the financial loss from delay of the completion of projects, which is not usually compensated by owners.

However, until now, discussions associated with the evaluation of geotechnical risk have not been made sufficiently in Japan. Consequently, the mature understanding associated with how both owners and contractors would rationally respond to geotechnical risk had not been created. The fact that a lot of construction projects have been carried out in Japan this past a few decade might have enabled to create the idea mentioned above.

From such viewpoints, this study proposes a basic methodology to cope with the risk associated with geological conditions, which could be accepted by all participants in construction projects. First, the applicability of geo-statistics theory as a methodology to evaluate geotechnical risk is discussed. In detail, by applying geo-statistics theory for geotechnical properties observed at boreholes around river embankment, the features of the spatial variation of geotechnical properties observed are discussed. Finally, the design risk of actual construction project, which is affected by the spatial variation of geotechnical properties, is discussed.