



# 地盤構造物の構築における設計および工法選定に対する意思決定分析

佐藤, 毅

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2010-09-06

(Date of Publication)

2011-02-10

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙3129

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2003129>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏 名 佐藤 毅  
博士の専攻分野の名称 博士（工学）  
学 位 記 番 号 博ろ第 3129 号  
学位授与の要件 学位規則第 5 条第 2 項該当  
学位授与の日付 2010 年 9 月 6 日

【 学位論文題目 】

地盤構造物の構築における設計および工法選定に対する意思決定分析

審 査 委 員

主 査 教 授 飯塚 敦  
教 授 朝倉 康夫  
准教授 河井 克之  
教 授 澁谷 啓  
電気通信大学准教授 長江 剛志

氏名	佐藤毅		
論文題目	地盤構造物の構築における設計および工法選定に対する意思決定分析		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	飯塚 敦
	副査	教授	朝倉 康夫
	副査	教授	澁谷 啓
	副査	准教授	河井 克之
	副査	准教授	長江 剛志
要 旨			
<p>本研究は、地盤構造物の設計や施工方法、地盤改良工法などの選定を効率的に行うための意思決定手法に関して、不確実性を加味した分析手法を提案するものである。</p> <p>実務での設計や工法選定は、施工時のコスト(単価)や選定工法の施工段階での性能および長所・短所を考慮して行われることが多く、設計や選定工法などが、地盤構造物の破壊確率の変化やそれともなうライフサイクルコストにどの程度有効に作用するかについては、深く考慮されることが少ない。このような現象は、信頼性設計の導入によって解決されるはずであった。しかし、信頼性設計においても、地盤構造物設計や工法選定などが不確実で曖昧になってしまうような問題点があった。1つは、地盤調査結果から設定される地盤パラメータなど当てはめる客観的な確率分布と実地盤が有する真の確率分布の間に生じるギャップを考慮できない点であり、2つめは、実務上、地盤構造物のライフサイクルコストを設定するために必要な破壊確率が求まらない場合でも設計が行われており、その場合の工法選定などが非常に曖昧になってしまっている点である。</p> <p>提出論文では、信頼性設計における上記の問題点に対応するため、確率分布間のギャップや破壊確率を意思決定変数として捉え、それによって変化する設計断面やライフサイクルコストの関係から設計者や事業者が最終的な設計断面の設定を判断することができるフレームワークを構築している。さらに、そのフレームワークを適用事例に適用し、その有効性を実証している。</p> <p>すなわち、第1章では、研究背景と研究の目的および論文の構成を論じている。</p> <p>第2章では、信頼性設計の基本的考え方を定式化し、それを下に本論文で議論すべき信頼性設計の問題点を明示している。</p> <p>第3章は、確率分布の間に生じるギャップの問題についての対処方法を述べている。ここでは、任意の確率分布と真の確率分布の間のギャップを情報理論で用いられる2つの確率分布間の距離で表現し、その距離とライフサイクルコストの関係を示すことで、設計者や事業者が設計に関する意思決定を行えるフレームワークを提案している。</p> <p>第4章は、軟弱地盤上の盛土構築に関する地盤改良工法を適用例とし、地盤改良範囲設定に対して、第3章で述べたフレームワークの適用性を検証している。</p> <p>第5章は、地盤構造物の破壊確率が求まらない場合の問題に対する対処方法について述べている。ここでは、同定できない破壊確率を意思決定変数として捉え、破壊確率の変化とそれともなうライフサイクルコストの変化の関係を明示できるフレームワークを構築している。</p> <p>第6章は、中規模程度の陸上廃棄物処分場を想定し、廃棄物処分場の表面遮水構造の選定に対して、第5章で述べたフレームワークの有効性を検証している。</p> <p>第7章は、結論である。</p> <p>以上のように、本研究は、地盤構造物の設計や施工方法、地盤改良工法などの選定を効率的に行うための意思決定手法に関して、不確実性を加味した分析手法を提案するものであるものであり、地盤構造物の性能設計化の潮流の中で、設計および工法選定に対する意思決定について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、学位申請者の佐藤毅は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。</p>			

- ・特記事項 学位論文の内容に含まれる論文
- ・特許登録数 0件
- ・発表論文数 11編

発表論文の内訳は以下のようである。

#### 1. 査読付き論文

佐藤毅, 長江剛志, 林健二, 西田博文: 機能不全リスクとライフサイクルコストを考慮した陸上廃棄物処分場表面遮水工の選定, 土木学会論文集 C, Vol. 66, pp.100-114, 2010, No. 1

西田博文, 長江剛志, 佐藤毅, 林健二: ロバスト制御アプローチに基づく地盤改良工の信頼性設計, 土木学会論文集 C (投稿中)

西田博文, 長江剛志, 佐藤毅: 透水係数の信頼性を考慮した埋立地の性能設計アプローチ, 応用力学論文集, pp.1041-1049, 2006.9

T. Satoh, T. Akai, M. Kamon: The damage resistance of triple liner system against the local pressure on the uneven ground surface in the sea area landfill site, Proceeding of the 5th Korea-Japan Joint Seminar on Geoenvironmental Geoengineering, Seoul, Korea, pp.169-173, 2005

T. Satoh, T. Akai, M. Ishida, M. Kamon: The study of the durability about the triple liner system -The loading tests about slope hydraulic barrier function in the sea area landfill sites-, The 8th International Conference on Geosynthetics in Yokohama, pp.367-372, 18-22 September 2006

#### 2. 学会等の口頭発表

西田博文, 長江剛志, 佐藤毅, 林健二: ロバスト制御アプローチによる盛土安定対策についての検討 ロバスト制御アプローチによる盛土安定対策についての検討, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, pp.167-172, 2009.3

西田博文, 長江健志, 佐藤毅, 赤澤潤悟: 透水係数の不確実性を考慮した埋立地のライフサイクル設計に関する一考察, 第41回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.929-930, 2006.9

赤澤潤悟, 西田博文, 長江健志, 佐藤毅: 透水係数が埋立地のライフサイクル予測に及ぼす影響, 第41回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.927-928, 2006.9

佐藤毅, 長江剛志, 林健二, 西田博文: 破壊可能性を考慮したライフサイクルコスト最小化のための陸上廃棄物処分場の表面遮水構造選定, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, pp.161-165, 2009.3

佐藤毅, 長江剛志, 林健二, 西田博文: 破壊確率とライフサイクルコストによる陸上廃棄物処分場の表面遮水構造選定手法の提案, 第62回年次学術講演会概要集, 土木学会, pp.793-794, 2007.9

佐藤毅, 長江剛志, 林健二: 破壊確率を変数としたライフサイクルコストによる陸上廃棄物処分場の表面遮水工の優位性比較, 第63回年次学術講演会概要集, 土木学会, pp.773-774, 2008.9

以上.

(別紙様式3)

## 論文内容の要旨

氏名 佐藤 毅

### 論文題目 地盤構造物の構築における設計および工法選定に対する意思決定分析

本論文は、地盤構造物の設計や施工方法、地盤改良工法などの選定を効率的に行うための意思決定手法に関して、不確実性を加味した分析を行うことを目的とする。

実務での設計や工法選定は、施工時のコスト(単価)や選定工法の施工段階での性能および長所・短所を考慮して行われることが多く、設計や選定工法などが、地盤構造物の破壊確率の変化やそれともなうライフサイクルコストにどの程度有効に作用するかについては、深く考慮されることは少ない。このような現象は、信頼性設計の導入によって解決されるはずであった。しかし、信頼性設計においても、地盤構造物設計や工法選定などが不確実で曖昧になってしまうような問題点があった。1つ目の問題点は、地盤調査結果から設定する地盤パラメータなどに当てはめる客観的な確率分布と実地盤に近い状況を表す確率分布との間にギャップが生じる点である。さらに、このギャップは、信頼性設計においても常に含まれる可能性があり、その量が不明確であり、さらに、それを考慮に入れないまま設計が進められる点が問題である。2つ目の問題点は、設計において、地盤構造物のライフサイクルコストの算定に必要な破壊確率が求まらない点である。実務の上では、破壊確率が求まらない場合でも、設計が行われており、この場合の設計や工法選定は、曖昧な感覚で行われていると考えなくてはならない。

本論文では、信頼性設計におけるこれらの問題点に対応するため、確率分布間のギャップ量や破壊確率を意思決定変数として捉え、それによって変化する設計断面やライフサイクルコストの関係から設計者や事業者が最終的な設計断面の設定を決定することができるフレームワークを構築した。さらに、そのフレームワークの有効性を適用事例に当てはめて実証した。

本論文は、7章から構成されるが、その中で、論文の主題となる信頼性設計の2つの問題点に関して、第3章・第4章と第5章・第6章の2部構成でその対応方法と適用性を論じている。本論文の構成を以下に示す

第1章は、本論文の研究背景と研究の目的および論文の構成を述べる。ここでは、本論文の主題と議論の目的を明確にするため、設計や工法選定に含まれる事象を確実性と

不確実性に分類するとともに、不確実性を確率的状況とモデルリスク的状況および確率不明的状況に分類し、信頼性設計や本論文で議論する問題がどの状況に関連しているかを明示した。

第2章は、信頼性設計の基本的構造を定式化して説明した。さらに、本論文で議論すべき信頼性設計の問題点を定式化した信頼性設計の基本的構造から明確にした。

第3章は、状態変数を確率分布でモデル化する際の実際とのギャップを定量化する方法としてロバスト制御を導入することを述べた。ここでは、確率分布と実地盤の状態変数のパラ付きのギャップを情報理論で用いる相対エントロピーを導入し確率分布間の距離で表現した。さらに、この距離をリスク感度で数値化し、リスク感度と期待総費用の関係から、設計者や事業者が設計や工法選定において意思決定できるフレームワークを構築した。

第4章は、軟弱地盤上の盛土構築に関する地盤改良工法を事例にし、第3章で述べたロバスト制御を用いた意思決定のフレームワークに具体的な数値に当てはめを用いて実用性に関する検証を行った。その結果、本論文で提案したロバスト制御アプローチを用いた意思決定のフレームワークは、客観的確率分布に含まれるリスクや補償費の違いと改良幅などの工法選定の関係が把握でき、設計対象となる地盤構造物毎に最適な意思決定ができることが確認できた。

第5章は、破壊確率の求まらない場合の対応方法として、破損確率を同定するのではなく、破損確率を意思決定変数としてとらえる方法論の構築とそれともなうLCCの算定方法に関して述べた。本章では、破壊確率の求まらない代表的な地盤構造物として陸上廃棄物処分場の表面遮水工に着目し、この構造物に対して破壊確率を変数とした場合のLCC変動とそれともなう意思決定のフレームワークを提案した。

第6章は、仮想の陸上処分場を設定し、第5章で述べたフレームワークを試し、その実用性に関して検証した。その結果、破壊確率の変動によってLCCが敏感に変動する二重遮水構造の特性を把握することができ、二重遮水構造のLCCに対する安定性が高くないことを明示した。この事実は、法的に定められた最低限の仕様である二重遮水構造をコストのみに着目して選定していた事業者へ、遮水構造の選定に関するリスクを説明する十分な根拠となったといえる。さらに、このフレームワークによって、検知システムおよび自己修復システムの機能不全確率と遮水構造の破壊確率の関係を図化することが可能になり、破壊確率、機能不全確率を変数とした場合の各システムの導入の優位性を判定することができ、今まで曖昧に選定していた遮水構造を設計者や事業者が、破壊確率や機能不全確率をどの程度のリスクをもって享受するかによって選定すべき遮水構造を明確に意思決定することができることが確認できた。

第7章は、本論文の全体を通じての結論をまとめて記述するとともに今後の展望に関して述べた。