

氏名	若松 尚則
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工甲第 681 号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 24 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	水理地質に関わる意思決定支援ツールとしての階層分析手法の研究
論文審査委員	委員長 教授 渡辺 邦夫 委員 教授 桑野 二郎 委員 教授 風間 秀彦 委員 准教授 長田 昌彦 委員 准教授 深堀 清隆

論文の内容の要旨

現代は建設工事等を進める上で、地下水環境などの変化を念頭においた社会的な意思決定が不可避であり、そのための共通認識を関係者が持つことが必要となっている。このため、意思決定のプロセスとそれに使用した情報を関係者が共有し、環境変化と影響を客観的・明示的に評価するツールを整備するために、本研究では意思決定のための評価ツールである階層分析手法を取り上げ、その1つである ESL (Evidential Support Logic) を用いた水理地質問題への適用技術の整備を行った。

ESL は、評価対象事項を表す命題を頂点とした論拠の階層構造と、対象事項が支持・否定される確率によって、その確からしさを評価する手法である。論拠の構成やその関係を表すツリー構造と判断に用いた証拠が明示できることに加え、不確実性を確率によって表現できる点において、水理地質のような数多くの論拠に基づく判断を行う分野での客観的評価が期待できる。

本研究では初めに、ESL の基本的な算法と既存の主な適用事例をレビューし、現状把握と課題の整理を行った。その結果、この数年間に放射性廃棄物の地層処分分野を中心として利用が図られつつあるものの、実サイトにおける適用は極めて限られており、実サイトでの適用の試行を通してサイト固有の情報をモデルの構造・パラメータに反映する具体的な手順を示すことが必要であることが判明した。

この現状に基づき、2つの実サイトにおいて構造物の建設が地下水環境に与える影響の評価に着目して、ESL を用いた次のような評価解析を実施した。

- 1) 地下構造物建設の地下水への影響の評価事例では、水理地質情報・水利用状況・工事計画の情報に基づいて、建設に起因する地下水障害が生じないことをトップ命題としたロジックツリーを構築し、地下水障害が回避できるかどうかに関する第一次の評価を行った。さらに、追加調査および工事計画・工法の変更によって、地下水障害が回避できる確率が向上し、評価の不確実性を低減できることを、再評価により示した。

2) 地下水流動解析のための概念モデルの評価への適用の例では、地下水の流れに影響を与える水理特性の構成要素の1つである断層の数(断層が複数存在するかどうか)に関する評価を、ESLを用いて行った。この中では、地質情報の持つ空間的不完全さや不確実性の特徴を考慮した十分性のパラメータ設定上の留意点も示した。

これらの事例から、ESLが網羅性・客観性・柔軟性と不確実性の扱いを同時に備えたことにより有効なツールとなっていることが具体的に示された。特に、問題となる事項や情報の全体像を示すことに関してESLの適用の効果が大きいことが確認された。その一方で、特に十分性(論理構造の階層間の重み係数)のパラメータ設定が解析実施者の主観に依存しており、評価結果への影響があると考えられるため、客観的な設定方法の開発が課題であることが明確となった。

研究の次のテーマとして、十分性の値を設定するための手法の1つとして、多数の関係者の意見の分布に基づいて命題間の十分性の値を求める方法を提案し、パラメータ設定を試行した。ここでは、アンケートによって取得した仮想地区での工事の地下水影響の重大さについての回答の分布を既知データとし、トータルな水環境に対する井戸水・河川水・湿地環境等の個別要素の寄与度(下位命題ごとの十分性の値)を、線形式・非線形式における重み係数を遺伝的アルゴリズムにより解く方法により算出した。その結果、検討を行った仮想条件では、どの水環境要素が変化するかの場合設定によって十分性の算出値が異なることとなり、各要素の十分性は最も大きな値を示すケースでの値を採用すべきと考えられた。また要素ごとの十分性を求めるためには、各要素の値を求めるのに適したそれぞれのケース設定が必要であることがわかった。

もう1つのテーマは、階層プロセスモデルに入力する情報の品質向上のための技術の開発であり、代表的な水理地質指標である地下水位変動に着目し、地下水位変動パターンの分類や降雨を説明変数とした地下水位の統計的モデル化の手法を検討した。ここではまず、他の複数の井戸の地下水位変動データを説明変数とした線形回帰式により、回帰係数とモデル適合度を指標に井戸間の類似度を遺伝的アルゴリズムを用いて求め、水位変動データのみから井戸を分類する手法を提示した。岐阜県東濃地区の解析例では、この方法による井戸分類が地質条件や揚水の有無を反映していることと、降雨を説明変数とした場合も同様の分類となることから、地質(透水性)の違いに起因した降雨浸透特性の井戸ごとの違いや人為的攪乱の影響に関する情報が、この手法により得られる可能性が示された。

また、先行降雨をパラメータとして地下水位を説明する線形モデルの作成を行い、降雨の変動周期を考慮して説明変数の先行降雨を選択したモデルが地下水位変動をより再現できることと、回帰係数の構成や回帰式の定数項が帯水層深度や地質構造と調和的であることが示された。

ここで検討した地下水位変動モデルは、サイト調査初期などの情報の少ない段階において水理地質特性を分類・整理し、評価に用いる情報の品質を向上するために有用と考えられる。

これらのテーマの検討結果をもとに、階層プロセスモデルによる評価手法の今後の利用法を整理し、実用のための残された課題と解決の方針をまとめた。

論文の審査結果の要旨

廃棄物処分場やトンネル建設、建築物の基礎など地下工事を伴うプロジェクトにあたっては、環境に与える影響が懸念され、工事の開始に必要な住民の理解が得られにくい事が多い。本研究は、この問題を解決するにあたって、水理地質に関係する問題を取り上げ、階層分析手法の1つである Evidential Support Logic (ESL) の適用性を研究したものである。本論文では研究成果を下記の6章に分けて記述している。

第一章は本論文の導入部である。地下工事にあたって多様な意見を持つ専門家および住民の理解を得る事の重要性が述べられ、それを得るために用いられた従来の方法と問題点が整理されている。

第二章では、本論文で取り上げている階層型分析 ESL の理論と構造について従来の研究成果を併せて説明している。適用例はその多くが放射性廃棄物処分長期安全性評価に関係した物であり、例えば処分場周辺の長期気候変動評価、断層の活動性評価などが上げられている。従来の研究を検討した結果、まだ本手法は適用性や内在する意思決定パラメーターの推定法などに多くの研究すべき点がある事を指摘している。

第三章では、前章で指摘された問題の解決を実際の地下構造物建設に ESL を適用して研究している。まず取り上げた問題は、地下構造物建設によって生ずる地下水流動の変化であり、その発生の可能性が指摘されていたものであった。このため、地下水流動による環境変化が起こらない、あるいは生活の中で許容範囲であるという合意をどのように得るか、そのためにはどのような調査と解析および建設工事の変更をどの程度行うかが問題であった。このため、まずレベルの異なる命題よりなるロジックツリーを作製しそれに基づいて専門家や住民の意識を分析し、地下構造物深度、工事材料、工事中の地下水位低下工法の見直しが必要と判断した。次いで、断層が単一か複数に分岐しているかの判断に適用した。これらの研究から、ESL は意思決定プロセスの透明化と合理的な調査と解析計画立案および建設工事の変更などに極めて有効である事を示した。同時に、ロジックツリーの中で下位命題から上位命題に移行するプロセスと定量化に課題がある事を指摘した。

第四章では、前章で指摘された、上位命題と下位命題との関係の定量化をモデル的な事例を想定して検討している。想定した事例は、トンネル掘削による地表の河川水や低湿地への影響である。これについて多くの人にアンケートを行い、その結果を遺伝的アルゴリズムで解析する事により、下位命題と上位命題間の関係を定量評価した。結果として、この方法がその定量評価に有効である事を明らかにした。

第五章では、地下水情報の高度化とそれに基づいた意志決定の妥当性評価について記述している。地下水流動は地下水位観測によって評価されることが一般的である。そのため、地下工事の影響を受けやすい観測井のデータによって意思決定の妥当性を検証する事が必要となる。本章では降雨等による影響程度により地下水観測井を分類する研究を行なった。岐阜県瑞浪地域の12本の地下水観測井のデータを用い、降雨や他の井戸データとの相互関係を遺伝的アルゴリズムを用いて解析し、6種類に分類できる事を明らかにし、この手法が一般的であり、ESL 解析とその妥当性検証に不可欠である事を明らかにした。

第六章では、上記の研究結果を総合して ESL の一般的な地下工事に対する適用性と問題について整理している。本手法のメリットは、専門家や多くの人とロジックツリーという形で、関与する問題に関する情報の共有ができる事である。また、追加調査・解析や設計変更プロセスの透明性が図りうることである。これら事を研究成果に基づいて指摘した上で、適用すべき実際問題について考察を加え、ESL が水理地質に関わる意思決定ツールとして実用的であると結論付けている。

本論文は、理論的かつ地下工事における地下水障害や断層の形態評価などの丹念な実際例の検討に基づいて書き上げられたものである。また、意思決定プロセスにおけるパラメーター推定や地下水観測井区分に遺伝的アルゴリズムの利用を新たに提案して用いるなど新規性も高い。博士学位論文として十分な内容を持つと判定した。