

外96-15

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

土木工学におけるニューラル
ネットワークの応用技術に
関する研究

申請者

安田 登
NOBORU YASUDA

1996年7月

土木工学における評価技術は、計画、設計、施工、維持管理、補修、更新の各段階に分けて考えることが出来る。これらの各段階において意思決定を行うための情報や意思決定自体のプロセスには多くの不確実性が含まれ、実際の意思決定は必ずしも定量的な判断に基づいていない場合が多い。これらの不確実性を大別すると、本質的にランダムな不確実性と、人間の主観、認識、思考過程などに含まれる曖昧さに起因している不確実性とに分類できる。工学的に扱われる問題は、非常に確かな事象と非常に複雑で取り扱いが困難な事象の間に存在しており、問題の解法としては、含まれる不確実性の性質により適切なものを選択する必要がある。

不確実性を考慮しない問題は、確定論的な定理・法則が単純にあてはまる。一方、不確実性を考慮する問題は、物理モデルが有る場合と物理モデルが無い場合、さらにその中間的領域として物理モデルが不明または作成が困難な問題に分類される。

確定論的事象は、定理や法則の公式を直接用いる伝統的な手法により説明される。物理モデルが存在する場合については、基本的にランダムな事象であるため、確率統計的手法やそれを基礎とする信頼性理論などの援用が可能である。しかし、物理モデルが不明確な問題は、ランダムネスとは異なる不確実性を有しているため、従来の手法の適用が難しい。この種の問題に対しては、ニューラルネットワークを始め、ファジィ理論、遺伝的アルゴリズムなどの新しい手法が有効である。

不確実性に関する定量化が最も進んでいるのは設計の分野である。設計における安全性の照査では、材料強度のばらつきや荷重の期待値を確率統計的手法を用いて定量化する試みが行われており、設計基準類にも反映されている。一方、意思決定のための評価や施工・維持管理に関しては、物理モデルが不明確な問題に該当するものが多く、設計と同様な確率統計的手法を用いることはできず、不確実性の定量化は困難である。構造物のライフサイクル全般を通じて見ると、実験や実測で得られたデータを合理的な方法で取り入れることが可能な設計に比べて、施工や維持管理は過去の事例を参考にした経験的な尺度で決められている部分が多い。不確実性の扱い方という面では、全体的なバランスを欠いていると言わざるを得ない。

本研究の目的は、土木工学における不確実性に関して、物理的なモデル化が困難な各種問題に対し、ニューラルネットワークを適用することにより、従来定量化が困難であった領域に関しても問題の解決が可能であることを提示することにある。さらに、実際の施工や実際に供用している構造物に対する適用性を考え、ニューラルネットワークが実用的な手法であることを立証することも目的の一つである。

本論文は9章からなっており、各章の概要は以下のとおりである。

第一章は序論であり、本研究の背景、目的ならびに必要性について述べ、不確実性の問題を含む土木工学の評価技術には、ニューラルネットワークによる支援システムが有効であることを示した。

第二章はニューラルネットワークの理論であり、ニューラルネットワークの基本

的な理論背景を明らかにし、統計的手法で用いられている従来の線形回帰との違いを述べた。さらに、実際の問題に適用する場合に必要な各種パラメータの設定方法に関して、具体的な事例や簡単な計算例を示すことにより、アルゴリズムの実際を整理・詳述した。また、ニューラルネットワークを利用した感度解析の方法を述べ、システムが認識したパターンを視覚的に理解するとともに、感度を定量的に表すことにより、対象とするモデルの分析も可能であることを示した。

第三章は既往の研究と本研究の位置づけをまとめたものであり、既往の研究の現状を探索し、応用事例に於ける傾向と範囲を示した。その結果、ニューラルネットワークを適用して、従来モデル化が困難であった問題の解決への糸口を見いだすことの可能性が明らかにされている。土木工学でのニューラルネットワークの応用事例も多岐に亘っており、その有効性が認められる適用範囲は、広範囲であることが示された。しかしながら、その多くは研究レベルでのニューラルネットワークの適用の可能性を示唆した段階に留まり、実用化段階の研究例は少なく、本研究のように実構造物や実際の工事への適用を念頭に置いた研究はさらに少ない。ニューラルネットワークを用いた手法の実用化を念頭に置いた場合には、実際に取得されたデータやニューラルネットワークの推定結果を、実用的な観点から評価する必要があり、実施工や実構造物での検証を行う必要があることを指摘している。

第四章は地熱資源評価への応用であり、各種地表面調査で得られるデータを用いて地下深部の温度や地熱有望度をニューラルネットワークを用いて評価するシステムを構築し、従来、専門家が経験的知識に基づき行ってきた評価を再現するとともに、各種調査項目が地熱有望度に与える影響を分析することにより、経験的知識の検証を試みた。その結果、現在入手可能な学習データの中に地熱資源の有望な坑井のデータが不足しているため、有望地点を直接選定することは難しいが、有望でない地点を棄却して候補地点の絞り込みを行うには有効であることを示した。さらに、感度解析の結果より、従来専門家の知識をもとにした経験則と必ずしも一致しない場合もあり、経験則の適用範囲を再検討する必要があることを明らかにした。

第五章は緑化されたコンクリート擁壁の景観評価の逆解析への応用であり、景観に対する人間の主観的評価である総合的な景観の良否を決定する要因について、ニューラルネットワークを利用した感度解析により、個別の景観評価項目の逆解析を試みた。その結果、周辺環境との調和や表面テクスチャーなどの項目が、最も総合的景観に影響を与えていていることが明らかとなり、既往の研究成果とも一致することが明らかとなった。さらに、植栽範囲や樹木の密度など物理的尺度への変換が容易な項目が必ずしも景観評価を支配していないことも明らかとなった。

第六章は岩盤グラウト注入効果推定への応用であり、ダム基礎や湛水池周辺の風化岩盤の透水性を低減するために行われる止水グラウチングを対象に、地質やグラウト注入量などから、ニューラルネットワークを利用して、透水性の低減効果を推

定するシステムの構築を試みた。その結果、グラウト注入量の増加に伴いルジオン値が指数的に低下する反面、深度が深くなるにつれてその関係が希薄になるなど、経験豊富な専門技術者の知見とも一致し、従来専門技術者の経験に依存していたグラウチング施工の補完的役割として、実用的に有効な手法であることを示した。

第七章はダムコンクリートの練混ぜ品質推定への応用であり、水分量が少なく品質管理が困難なダム用超硬練りコンクリートに対し、配合条件とミキサの消費電力などから、ニューラルネットワークを利用して、VC値を推定するシステムを構築した。さらに、同システムを用いて推定誤差の分析を行うとともに実際のバッチャープラントへの適用を図った。その結果、ニューラルネットワークを利用した新しい品質推定手法により、リアルタイムで練混ぜ終了直後のVC値を精度良く推定し得ることが明らかとなった。

第八章はコンクリート構造物の劣化評価への応用であり、従来点検技術者の経験的知識に基づき総合的に判定されていた劣化レベルを、ニューラルネットワークにより客観的な評価基準を構築するための分析を行った。具体的には、目視点検結果をもとに補修の要否を判断するため、ひびわれ幅などの点検項目を選定し、劣化レベルを推定するシステムを構築した。その結果、経験豊富な点検技術者と同レベルの推定が可能であることが示され、各要因に対する感度解析結果から主観的であると考えられていた点検技術者の思考過程を明らかにすることができた。

第九章では、本研究で得られた結論をまとめている。

第四章から第八章までの適用事例に共通した課題をまとめると、技術者の経験に依存することが多い評価技術は、従来の統計的手法などではその定量的評価が困難であった。さらに、評価尺度となるパラメータの推定や逆解析を実際の土木工学を対象に行う際、物理モデルを介した分析方法は、特に、複雑で非線形性の強い問題の場合や情報が不足している場合などにおいては、工学的に著しく非効率となることが多い。これらの課題を解決する効率的な手法が、現在実務で求められている。

本研究は、各章で示したように、現時点で得られる知見や情報をもとにした評価技術として、最も有効な手法の一つであるニューラルネットワークを実務問題に応用し、土木工学において本手法は有効であることを示した。しかし、土木工学では、一般に取り扱う問題の複雑さに比べてデータ量が不足していることや対象とする構造物の重要度が高いことなどの点に特徴が見られるので、構築したシステムがブラックボックス化してしまうニューラルネットワークの推定結果のみをそのまま適用することはできない。この問題を解決するために、ニューラルネットワークを用いた感度解析手法を利用し、システムの妥当性を検証する手法を示した。

このように、土木工学の多岐に亘る応用事例を通じて、ニューラルネットワークが実務問題を評価する上で効率的であり、適用対象を適切に選定すれば、極めて有効な手法であることを結論として示すことができた。