コンクリートのスケーリング劣化に関する要因感度解析

神戸市立高専　正会員　高科豊

1. はじめに

コンクリート凍結融解試験方法(JIS　A1148-2010)に準拠したスケーリング損傷（質量減少）は，様々な実験要因に影響される。凍結防止剤の種類，塗布条件，挿入鉄筋の存在の有無，鉄筋量，養生条件，試験までの準備等，多くの要因の影響が存在する。

またそれらは複合的にスケーリング損傷の様相に関与する。**写真－１**は，実験条件の異なる供試体の損傷の様相の一例を示したものである。**写真－２**は供試体寸法によるスケーリング損傷の相違を示したものである。

本研究は，コンクリートに関するスケーリングの損傷要因について，ニューラルネットワークによる実験感度解析を行うことによって，非線形的に要因間の因果的な関係を考慮し，その影響度を明らかにすることである。

上記試験法は，コンクリート構造物の耐凍害性を直接的に評価したり，また耐用年数を予測したものでないが，凍害深さを間接的に評価・検討するため試験法の一つとして,我が国では十分定着している。

また感度解析は，階層型ニューラルネットワークを用いる。ネットワークは，入力情報（実験条件等）を与え，入力層と出力層と中間層（隠れ層）の３層の各ニューロンの結びつきにより要因の因果関係を効率的に説明できるものと考える。

得られた実験結果が網羅される最適ネットワーク構成（ウエイト値，バイアス値）から，各要因感度を検討することで，実験結果からの様々な整理知見を実験計画全体から明示できる。

2.　階層型ニューラルネットワークにおける実験要因からのスケーリングの学習

2.1 スケーリングの学習

スケーリング損傷を受ける実験供試体を凍結融解試験から実施し，実験結果の学習・解析を行った。

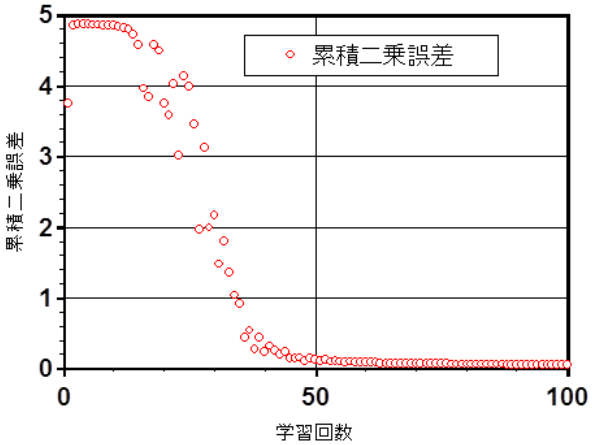
図－１に，実験結果の累積二乗誤差からみた学習過程の収束の様子を示す。学習回数５０回程度で，実験結果や各条件を階層型ニューラルネットワークは合理的に学習できる。

様々な実験条件のスケーリング結果を学習させることにより,実験値とネットワーク計算の推論から，その影響を定量的に把握かつ検証できる。

図－２には，ネットワーク学習後の推論計算値とスケーリング実験値との対比を示し，相関性をみることから，すべての実験結果の整合的な照査を行うことができる。

また仮想上の条件下における実験結果の大きさを推論的に再現できる。

写真－1　スケーリング損傷様相の一例



図－１　累積二乗誤差からみた学習収束の様子

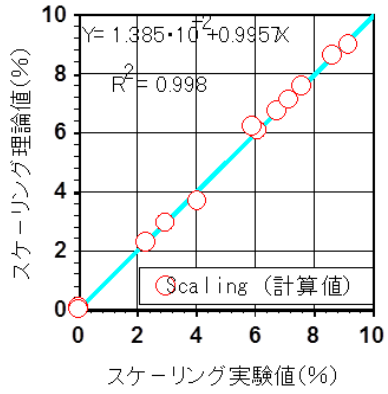
キーワード：スケーリング，感度解析
連絡先 E-mail：takashin@kobe-kosen.ac.jp

写真－２　供試体寸法によるスケーリング損傷相違

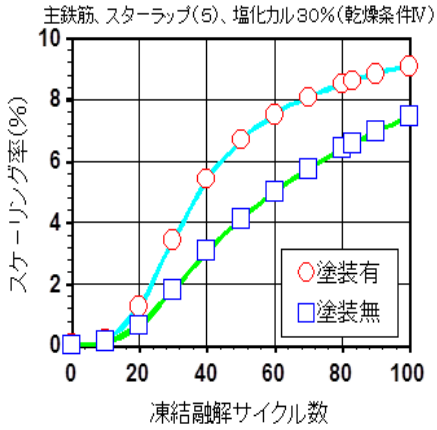
2.2 スケーリング実験の推論的考察

例えばスケーリング実験において，簡易防水塗装を半面域に実施した実験としない実験がある。**図－３**に示す通り，他の実験条件をすべて同じ条件にし，塗装条件の有無の影響だけで，推論的に凍結融解劣化とスケーリング率の関係やその挙動を予測できる。部分的な塗装は過去の実験からも，水分の蓄積及び局所的に集中化することから，凍結融解によるスケーリング劣化が促進することを報告した。ネットワーク計算の利点は，様々な実験条件で実施した結果から，塗装の有無条件の影響のみにおいて整理できることにある。

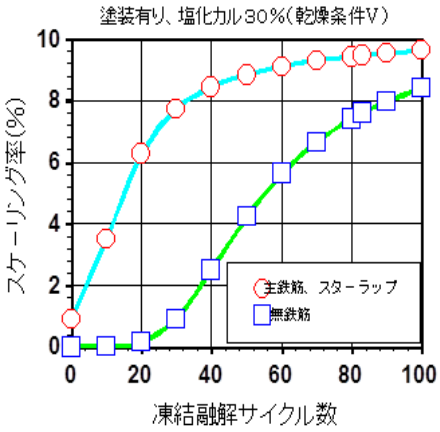
図－４には，実験供試体に主鉄筋やスターラップの存在がスケーリングに与える影響を示す。鉄筋をコンクリートに挿入することは，力学的貢献に大きく寄与する。しかし，コンクリートの毛細管空隙中の水分量は凍結融解過程の収縮・膨張挙動の中で，鉄筋が大きく影響を与えるものと考える。挿入鉄筋は，収縮・膨張の挙動の中で，拘束的障害を起こすことが劣化の促進になるものと考える。感度解析結果からも，初期段階から、鉄筋の存在が，スケーリングを進行・促進させることが分かる。



図－２　スケーリング実験のネットワーク学習



図－３　塗装条件の有無とスケーリング率の関係



図－４　鉄筋のスケーリングに与える影響

3. まとめ

防水塗装を行う場合，水分の空間的な蓄積効果のため，凍結融解のスケーリングは大きくなる場合がある。挿入鉄筋は毛細管空隙内の水分量による凍結融解の収縮・膨張に対する拘束的な障害を起こし，スケーリングを促進する場合がある。

謝辞:本研究は，JSPS 科研費　24510241 の研究助成を受けたものです。