

各種急結剤を用いた吹付けコンクリートの ニューラルネットワークによる品質推定

Quality estimation of shotcrete by Neural Network using various accelerating agent

西村 繭果*・魚本 健人**

Mayuka NISHIMURA and Taketo UOMOTO

1. はじめに

吹付けコンクリートの硬化後の品質は、配合条件や吹付け施工条件など、様々な因子の影響を受けるため、その品質管理は非常に困難なものとなっている¹⁾。そこでこのような数式化や定式化が困難な問題の解決に適しているニューラルネットワークを用いて、吹付けコンクリートの品質を推定する研究が行われている²⁾。本研究では、近年多様化する急結剤の種類に対応させた品質推定モデルを構築するために、入力因子の選定について検討を行った。

2. ニューラルネットワークのモデル構築

2.1 ニューラルネットワークの概要

ニューラルネットワークは、図1に示すように全ての入力因子を総合的に評価して推定結果を出力する解析手法である。ニューラルネットワークでは、実際に推定を行う前に既知のデータを用いて繰り返し情報を与えて、正しい答えが出るように学習を行う。このように構築されたニューラルネットワークを用いて、条件を入力してその結果を推定するものである。

2.2 急結剤の種類による影響

近年の開発により吹付けコンクリートに用いられる急結剤の種類は増えており、急結剤の種類が吹付けコンクリートの品質に大きな影響を及ぼすことが明らかとなっている³⁾。そのため、ニューラルネットワークにおける品質推定を行う場合に、急結剤の種類による影響を反映させたモデル構築を行う必要が生じる。そこで本研究では、急結剤の性質を表す指標を入力因子に加えて、5種類の急結剤を使用した実験データについての品質推定モデルの構築を検討した。

各急結剤の性質を表す指標（急結剤特性値）としては、土木学会基準（JSCE-D 102-1986）に準ずる急結剤の試験

成績値である凝結始発時間、凝結終結時間、24時間圧縮強度、28日無混入との強度比の4項目を用いた。使用したデータに用いられているA～Eの5種類の急結剤の各試験成績値は表1のとおりである。

2.3 主成分分析による前処理

急結剤に関する情報をニューラルネットワークの入力因子として有意なものとするために、急結剤特性値と急結剤添加率に関して前処理を行うモデルについて検討した。

前処理としては主成分分析を用いた。主成分分析は、いくつかの変量を、互いに独立な総合特性値で表して情報の縮約を行う多変量解析手法の一つである。急結剤に関する情報を主成分分析し、得られた主成分得点の寄与率を考慮して、上位のものをニューラルネットワークの入力項目とした。

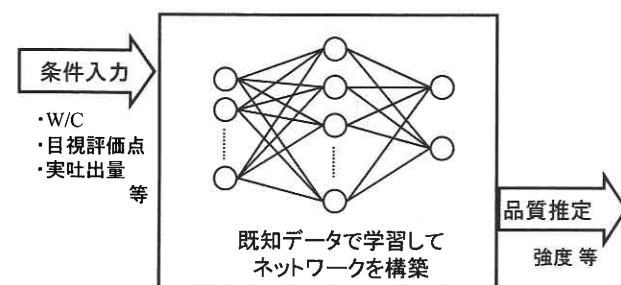


図1 ニューラルネットワークの概要

表1 使用データの急結剤試験成績値

急結剤種類	試験項目 性状	凝結始発	凝結凍結	24時間	28日無混入	使用データ	
		時間 (秒)	時間 (秒)	圧縮強度 (N/mm ²)	との強度比	学習	検証
A	粉体 カルシウム サルフォアルミニート系	30.0	80.0	14.1	0.81	18	2
B	粉体 カルシウム アルミニート系	53.0	165.0	17.6	1.14	6	0
C	粉体 カルシウム アルミニート系	60.0	450.0	10.8	0.95	3	0
D	液状 水溶性アルミニウム塩	180.0	660.0	14.8	0.92	2	1
E	液状 水溶性アルミニウム塩	90.0	420.0	10.5	0.93	2	0

*東京大学生産技術研究所 第5部

**東京大学国際・産学共同研究センター

研 究 速 報

2.4 品質推定モデル

本研究では急結剤に関する入力項目を変えた4つの品質推定モデル(従来モデル, モデル1~3)を構築し, その推定精度を比較した. 各モデルの概要は図2に示す.

従来モデル²⁾は, 急結剤の性質に関する指標を入力せずに急結剤添加率のみを入力項目としたもので, 急結剤の種類の影響を考慮していないモデルである. モデル1では, 急結剤添加率のほかに, 急結剤特性値を前処理せずに直接ニューラルネットワークの入力項目とした. モデル2とモデル3では, 主成分分析による前処理を行ったものを入力項目とした. モデル2では, 急結剤特性値の4項目を主成分分析(A)し, その結果の第3主成分までの得点を入力項目とした. モデル3では, 二段階の前処理を行った. モデル2で行った急結剤特性値についての主成分分析(A)の結果である3主成分得点に, 急結剤添加率を加えた4項目を再度主成分分析(B)し, その結果の第4主成分までの得点を入力項目とした. モデル2, 3で行った主成分分析(A)及び(B)の結果は表2のとおりである.

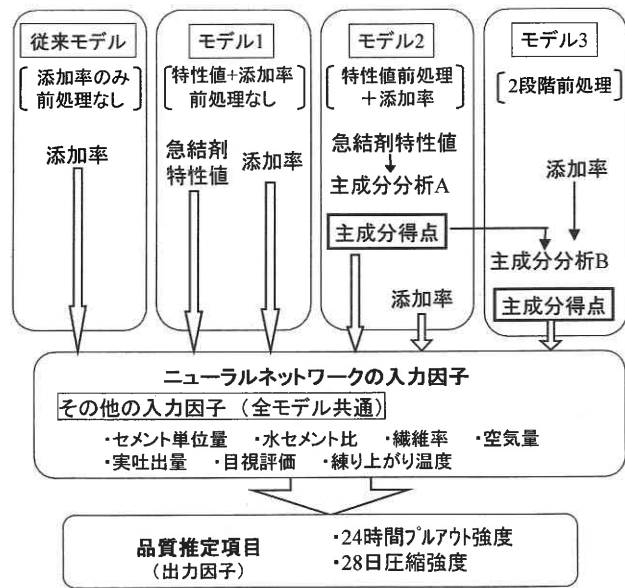


図2 品質推定モデルの概要

表2 主成分分析の結果

主成分	主成分分析 A				主成分分析 B			
	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
寄与率 (%)	48.47	42.97	8.15	0.41	25.49	25.47	25.11	23.93
累積寄与率 (%)	48.47	91.44	99.59	100.00	25.49	50.95	76.07	100.00
入力項目	・凝結始発時間 ・凝結終結時間 ・24時間圧縮強度 ・28日無混入との強度比				・主成分分析 A の第1主成分 ・主成分分析 A の第2主成分 ・主成分分析 A の第3主成分 ・急結剤添加率			

急結剤以外のニューラルネットワークの入力項目は全モデル共通で, 水セメント比をはじめとする7項目とした. 品質推定項目は, 24時間プルアウト強度と28日圧縮強度の2項目とした.

ニューラルネットワークは, 入力層, 中間層, 出力層の3層階層型とし, 学習データの収束条件は平均誤差が3%以下となったときとした.

まず, 各モデルについて5種類の急結剤を使用したデータを用いて学習させ, ニューラルネットワークを構築する. 構築された各モデルの精度の検証には, 学習に使用していないデータを用いて品質推定を行い, その推定値と実測値である教示値との誤差によって評価した.

3. 品質推定の結果

各モデルによる推定の結果を図3に示す. 24時間プルアウト強度及び28日圧縮強度において, 急結剤の性質に関する指標を入力していない従来モデルでは, 平均誤差が各23.8%, 28.3%であり, ネットワークによる品質推定

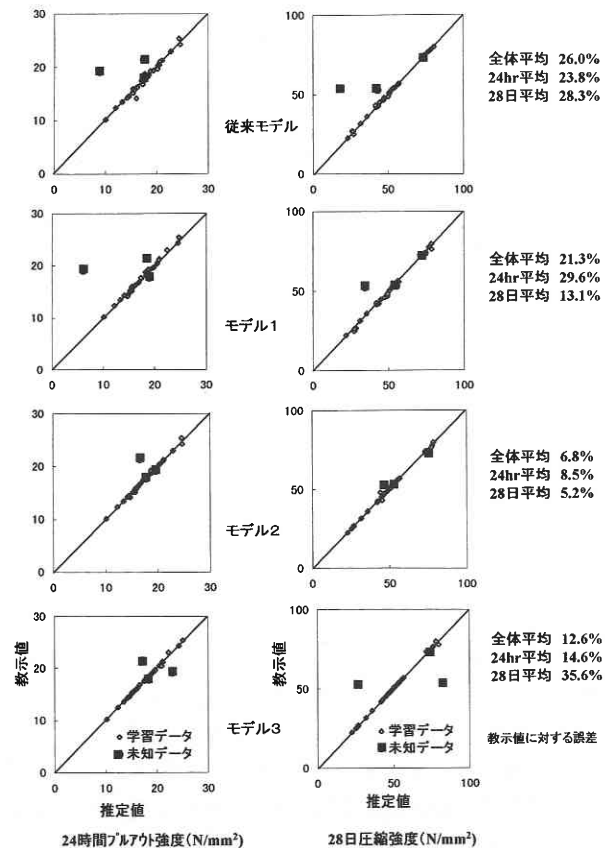


図3 各モデルによる推定結果

が適切に行われていないことが分かる。また急結剤特性成績値を前処理をせずに入力したモデル 1 では、28 日圧縮強度は平均誤差 13.1% と従来モデルより精度よく推定しているが、24 時間プリアウト強度では同 29.6% と従来モデルより精度が低下していることが分かる。

前処理を行ったモデル 2, 3 については、24 時間プリアウト強度については平均誤差が各 8.5%, 14.6% と従来モデルよりも推定精度が向上しているが、28 日圧縮強度において両者の差が認められた。すなわち、モデル 2 では平均誤差 5.2% で 2 つの出力項目について精度の高い推定が行われているが、モデル 3 については 28 日圧縮強度で平均誤差 35.6% と著しく低下しており、適切な推定が行われないことが分かった。

以上の結果より、急結剤に関する入力項目とその前処理の方法が推定精度に影響を及ぼすことが明らかとなった。本研究で検討した 4 つのモデルの中では、急結剤特性値を

主成分分析した結果と添加率とを別々にニューラルネットワークに入力したモデル 2 において、適切に吹付けコンクリートの品質推定を行えることが明らかとなった。

4. 品質推定の例

ニューラルネットワークによる吹付けコンクリートの品質推定モデルを検討した結果、最も精度よく推定できるモデル 2 を用いて品質推定の例として、急結剤の種類と添加率が強度に及ぼす影響について推定結果を示す。ここでは、学習データ数の十分な急結剤 A 及び B について品質推定を行った。図 4 に急結剤添加率と 24 時間プリアウト強度及び 28 日圧縮強度の推定結果のグラフを示す。図中に示されている実測値は添加率以外の条件（配合条件、吹付け条件等）はそれぞれ異なるものである。また推定では他の条件は一定とし、急結剤添加率についてのみ条件を変えてニューラルネットワークの出力を行ったものである。

この結果より、24 時間プリアウト強度では急結剤種類による強度の差は小さいものの、28 日圧縮強度においては急結剤 A と B とで著しい差が生じることが明らかとなった。また添加率による影響については、24 時間プリアウト強度において、急結剤 A では添加率の増加に伴って強度が低下するのに対して、急結剤 B では強度が増大しており、急結剤種類によって傾向が異なることが明らかとなった。

5. ま と め

本研究により得られた結果を以下に示す。

- (1) 様々な種類の急結剤を使用した実験データについても、急結剤の性質を表す指標を入力因子に加えることにより、ニューラルネットワークによる品質推定の可能性を見出した。
- (2) ニューラルネットワークの入力項目の前処理として、主成分分析による情報の縮約が有効であることが明らかとなった。
- (3) 急結剤に関するデータのの前処理の方法が品質推定の精度に影響を及ぼすことが明らかとなった。

今後は急結剤だけでなく、吹付け前のコンクリートのフレッシュ性状や吹付け条件など他の条件についても、段階ごとの適切な前処理を検討し、全体として精度の高いモデル構築を行う必要がある。

謝 辞

本研究費の一部は日本道路公団からの受託研究費であることを付記する。

(1999 年 10 月 8 日受理)

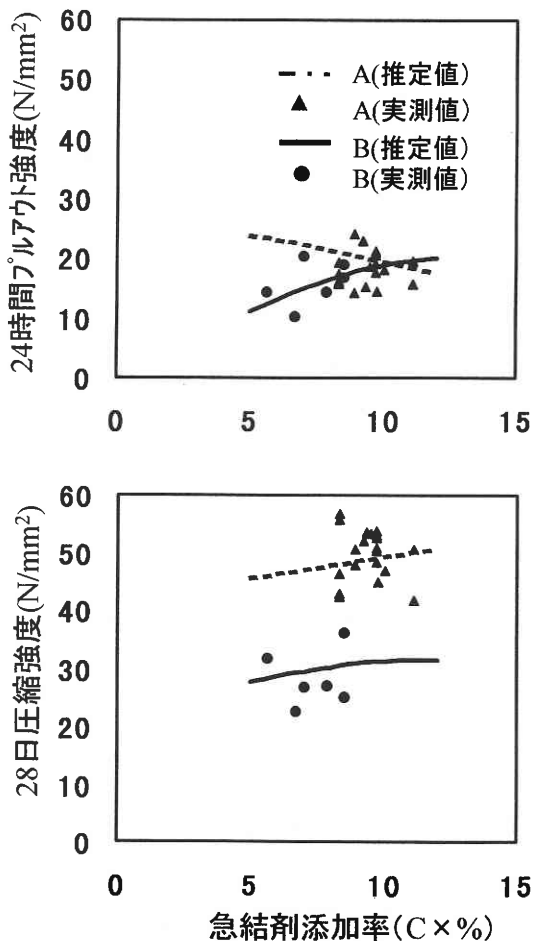


図 4 急結剤種類と添加率が強度に及ぼす影響

参 考 文 献

- 1) 西村繭果ほか：各種急結剤を用いた吹付けコンクリートの品質推定に関する基礎的研究，土木学会第 55 回 年次学術講演会講演概要集，第 5 部，pp964-965,1999.
- 2) 植松敬治ほか：ニューラルネットワークを用いた吹付けコンクリートの品質推定：コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20, No.2, pp1177-1182, 1998.
- 3) 酒井芳文ほか：急結剤の種類および添加量が吹付けコンクリートの品質に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集 Vol.20, No.2, pp1141-1146, 1998.