

現場におけるコンクリートの品質と ニューラルネットワークを用いた品質推定

Analysis of Quality of Concrete on Site Using Neural Network

魚 本 健 人*・大 矢 孝*・堤 知 明**

Taketo UOMOTO, Takashi OHYA and Tomoaki TSUTSUMI

1. はじめに

現場においては、骨材の表面水率をはじめとしてコンクリートの品質に大きく影響し、かつ変動を予測することが難しい要因が多数存在するため、練り上げたコンクリートの品質も変動する。また、その予測が困難であることから、事後管理が一般的な手法である。そこで本報告では、実際の現場で実験を行い、品質変動の現状を把握するとともに、ニューラルネットワークを利用した品質推定^{1),2)}、品質管理の可能性について検証を行った。

2. 実験概要

実験は、平成5年7月から8月に3m³練り2軸強制練りミキサを使用して行った。以下にその概要を示す。

2.1 同一バッチ内の品質のばらつき試験

1バッチ(3m³)内の品質のばらつきを調べるため全数試験を行った。コンクリートの配合を表1に、サンプリング項目および個数を表2にそれぞれ示す。なお、通常スランブは0.5cm単位で測定するが、今回は0.1cm単位で測った。これは以下の2つの実験においても同様とした。

2.2 バッチ間の品質のばらつき試験

表1に示した3配合について、その品質の日内変動を調べるため、1日に製造されたコンクリートの中から各30バッチサンプリングした。測定項目、個数を表2に示す。スランブ、空気量の測定は、配合1については試験者各3人2回ずつ、配合2、3は試験者各5人で1回ずつ行った。

2.3 異なる配合の品質試験

ニューラルネットワークに汎化性をもたせるためには広い範囲の学習データが必要であるので、通常製造されているものとは異なる13種類の配合についても実験を行った。

*東京大学生産技術研究所 第5部

**東京電力㈱

表1 配合

	配合条件		単体量 (kg/m ³)							混和剤
	W/ (C+F)	s/a	水	セメント	フライ アッシュ	細骨材		粗骨材		
						川砂	陸砂	川砂利	碎石	
1	50.1	32.1	167	268	66	—	558	1235	—	0.835
2	46.2	37.7	162	281	70	465	199	1149	—	0.878
3	47.6	41.5	169	284	71	506	217	745	317	0.888

表2 測定項目および回数

	バ ッ チ 数	1バッチ当たりの測定回数						
		表面 水率	消費 電力	材料 の計 量値	ス ラ ン ブ	空 気 量	圧 縮 強 度	単 位 容 積 重 量
同一バッチ内の品質のばらつき	3	1	1	1	30	30	90	30
同一配合間の品質のばらつき	9 0	1	1	1	5or6	6	3	6
異なる配合における品質調査	1 3	1	1	1	15	15	5or15	15

サンプリング個数は表2に示すとおりであり、試料は上記の実験と同様ミキサ車から採取した。スランブ、空気量の測定は試験者各5人で3回ずつ行った。

3. 実験結果

3.1 同一バッチ内のばらつき

1バッチ内の品質のばらつき試験のうち、結果の一例を図1に、結果のまとめを表3に示す。スランブ、空気量、圧縮強度のいずれもほぼ正規分布をしている。なお、詳細にデータを調べると試料採取から試験完了まで10~15分かかっているため、スランブロスが生じている可能性がある。スランブの変動係数は時間の経過とともに大きく、空気量のそれは小さくなった。圧縮強度については、練り混ぜ後の経過時間に関して特に顕著な傾向は見られなかった。

3.2 バッチ間の品質変動

配合1の結果の頻度分布を図2に示す。分布形はいずれも正規分布とはなっていないが、これは、現場では練り混ぜのようすをモニターで見ながら配合を微調整していることが原因であると考えられる。具体的には、スランブ

表3 測定結果まとめ

	配合	スランプ(cm)		空気量(%)		圧縮強度(kgf/cm ²)	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
同一バッチ内のばらつき	a	5.12	0.70	3.29	0.33	277.38	12.97
	b	9.16	1.03	3.68	0.46	295.42	15.00
	c	12.98	1.27	3.55	0.35	267.52	11.41
バッチ間のばらつき	1	13.70	2.05	5.46	0.21	238.80	17.22
	2	15.34	2.11	4.72	0.23	305.58	17.22
	3	15.96	1.61	4.86	0.19	305.26	12.07

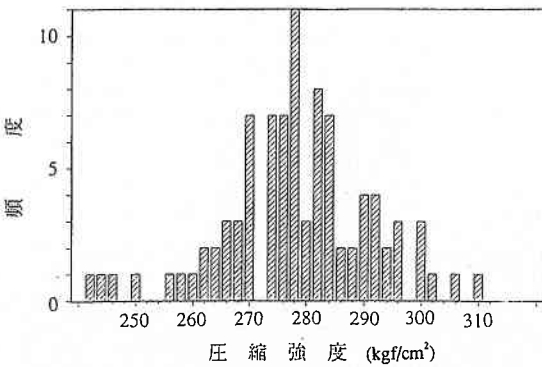
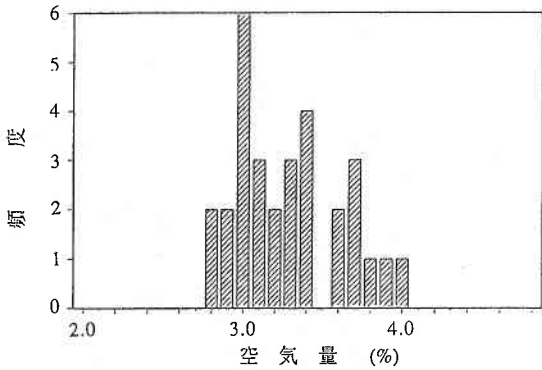
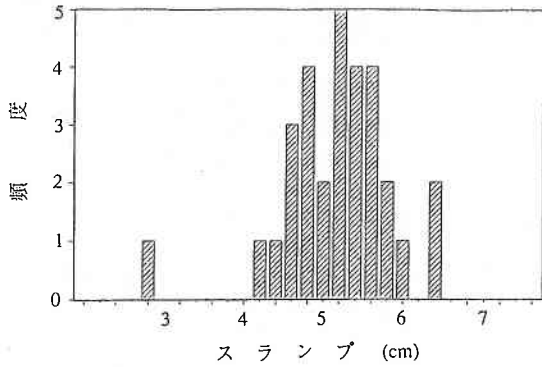


図1 同一バッチ内の品質のバラツキ

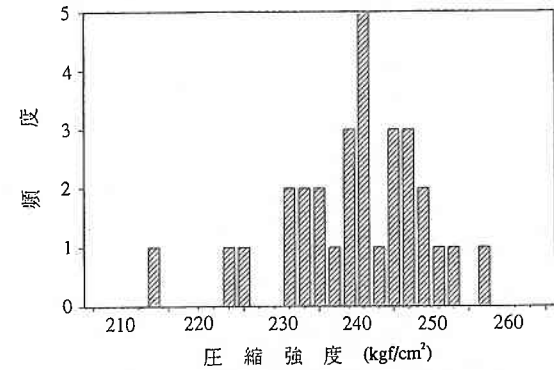
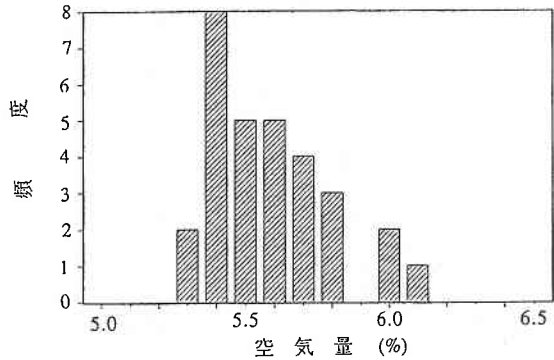
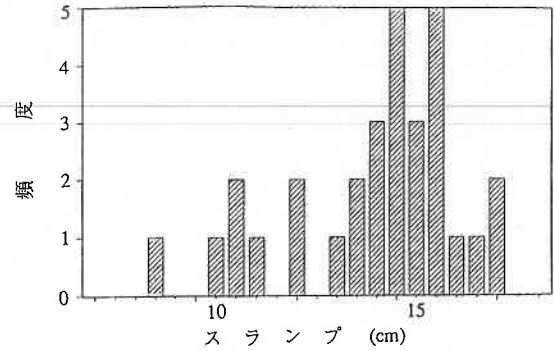


図2 同一バッチ間の品質のバラツキ (配合1)

が設定値より小さくなりそうな時には、W/C を一定に保ってはいるものの水の計量値を増やすなどの操作を行っているためである。図3は配合1のバッチ間の品質変動を表したものである。JISにはスランプ、空気量の品質特性

が規定されており、今回の配合に対してスランプは±2.5cmの許容範囲が、空気量には±1%の範囲が規定されている。空気量についてはすべてその範囲内に入っているが、スランプは規格外のものも見られた。

4. ニューラルネットワークによる品質推定

4.1 推定モデル

学習に使用したネットワークは3層フィードフォワード型のもので、ユニット数は入力層14個、中間層18個、出力層5個(表4)、各ユニットの入出力関数はシグモイド関数とし、学習アルゴリズムはバックプロパゲーション法と

研 究 速 報

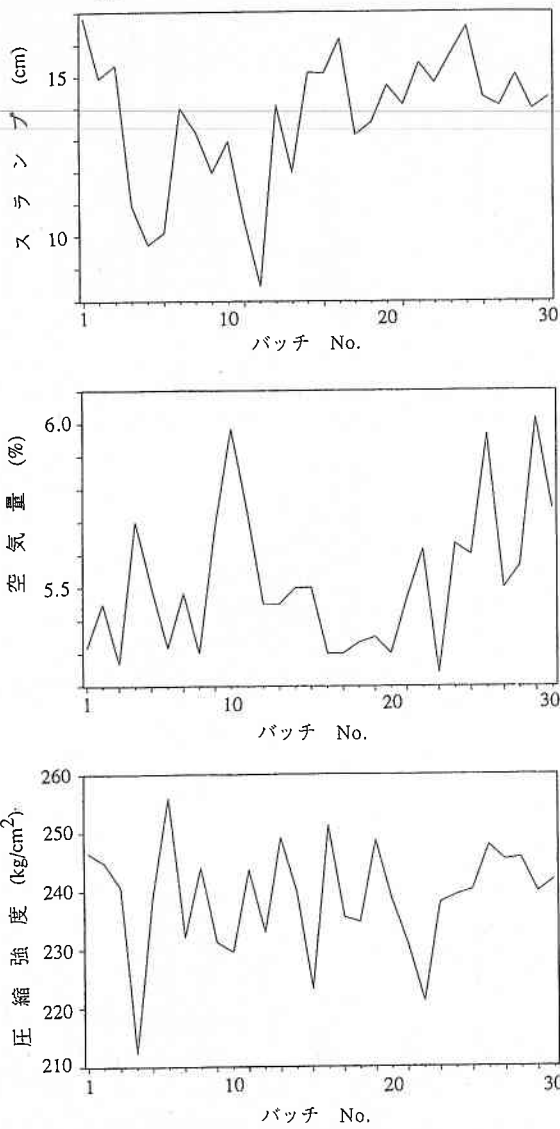


図3 バッチ間の品質のバラツキ (配合1)

した。

ネットワークの学習の前に、実験でサンプリングした106バッチのデータからデータに欠損のあるものと、測定誤差の大きいと思われるものを除いた。さらに、その86データの中からネットワークの検証用に6個のデータを除き、全80データにより学習を行った。スランプ、空気量などの各バッチ毎に複数回測定しているものはその平均値を学習データとした。なお、ここでは初期条件を変えて何度学習させても常に収束の悪いものを誤差の大きいデータとみなした。

4.2 結果と考察

100000回学習後の収束状況および未学習データに対する

表4 ネットワークの入出力因子

入力因子 (14ユニット)		出力因子 (5ユニット)
消費電力	全材料投入後の積算値 ラスト20秒の積算値 収束値 最大値	スランプ 空気量 圧縮強度 全骨材の表面水量 細骨材の表面水量
材料投入量 (重量)	水 セメント フライアッシュ 細骨材 (2種) 粗骨材 (3種) 減水剤 補助剤	

表5 収束状況と推定結果

	平均2乗誤差		相関係数	
	学習データ	未学習データ	学習データ	未学習データ
スランプ	0.384 (cm)	0.354	0.965	0.935
空気量	0.019 (%)	0.075	0.999	0.736
圧縮強度	74.8 (kgf/cm ²)	46.9	0.958	0.995
骨材の表面水量 (細+粗)	4.0 (kg/m ³)	7.1	0.984	0.946
骨材の表面水量 (細)	2.3 (kg/m ³)	4.1	0.987	0.977

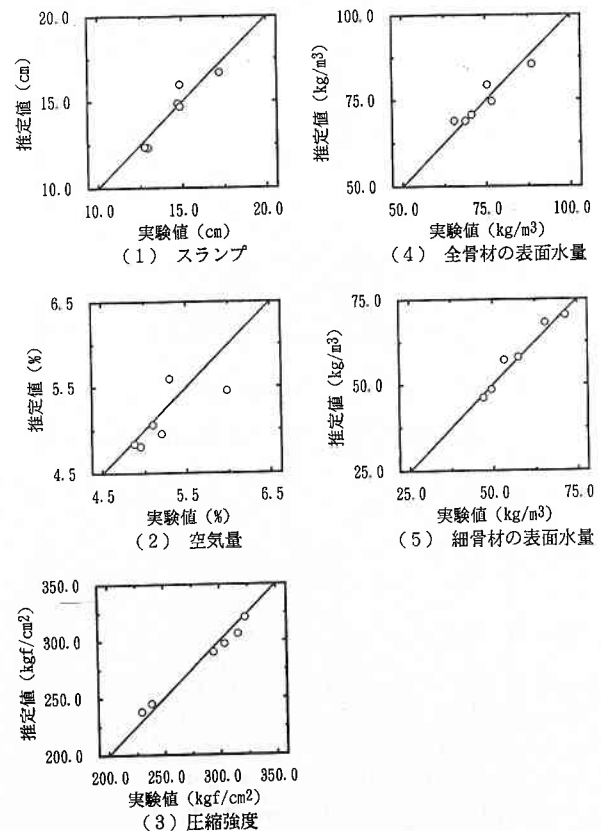


図4 推定結果

推定結果を表5と図4に示す。骨材の表面水量はコンクリート1m³当たりの量である。学習の収束状況は良好で、推定精度も空気量の相関係数が0.74とやや小さいことを除

いて非常によい。空気量の推定精度がやや悪いのは、その測定の本質上個人誤差の入る余地が大きく、また骨材の表面水の増減にともなう AE 剤の変動が大きく測定された品質特性値の変動も大きい (表 3) ために生じたものであると思われる。しかし、JIS では空気量の変動に $\pm 1\%$ を許容していることや図 3 で示した品質変動の現状を考えると、ここに示した推定精度であっても実用上十分であると思われる。また、骨材の表面水量についても推定値と実験値との間の相関がよく、このような現象的には非常にとらえにくい量についても精度よく推定できることが明らかとなった。

5. ま と め

コンクリートの練混ぜ過程は、現象が複雑で理論的な推定が難しく、また現場においては予測が困難な要因が多数存在するため高い精度で一定品質のコンクリートを製造することが難しい。事実、製造されたコンクリートの品質にかなりのばらつきが観察された。

ニューラルネットワークは、このような複雑で理論的には予測が難しい現象に対しても適用可能である。しかし、ネットワークの学習は教示値とその出力値 (推定値) との間の誤差を小さくするようにユニット間の結合の重みを変えていく操作であるので、学習後のネットワークの精度は

研究速報
学習データに大きく影響される。また、学習後のネットワークは入力因子から出力因子への写像関係を形成したものであるため、学習データの範囲から大きくはずれたものに対しては推定精度が落ちるなどの問題もある。このため、実用に際しては精度のよいデータをさらに多数収集する必要がある。

今後は学習後のネットワークをシミュレータとして利用し、各品質特性値に対する配合条件の変動の影響を算定することで、推定された品質が所要の品質と異なる場合にも配合の調整が行えるものと考えられる。

謝 辞

本実験を実施するにあたり、実験に携わっていただいた魚本研究室の皆様へ深く感謝いたします。また、解析にあたって浦環教授にご指導いただき深く感謝いたします。

(1993年11月25日受理)

参 考 文 献

- 1) 浦 環, 橋本秀紀: 生研セミナーテキスト, ニューラルネットワークの基礎と新しい展開, 1992. 7
- 2) 関口 司・魚本健人ほか: ニューラルネットワークを用いた実験データの分析に関する研究, 土木学会論文集, 1993. 2