

V-93

非破壊検査によるコンクリートの強度推定に関する一考察

佐藤工業 正会員 伊東 良浩
 東京大学 正会員 魚本 健人

1. はじめに

従来から行われている非破壊検査によるコンクリート強度推定手法は、基本的には外部から何らかの刺激をコンクリートに与え、得られた応答および配合条件などの説明変数と推定されるべきコンクリート強度との相関を重回帰分析などにより実験的に求めるものである。このような推定を行う際、使用材料、配合、養生方法、材齢などの条件が異なると得られる実験定数はかなり変動し、また広範囲のデータをまとめて取り扱うと推定精度は低いものになる可能性がある。これは物理的な関連性の不明確なものを一次多項式で連結していることによると考えられるが、この中から物理的な関連性を見いだすことは容易ではないと思われる。

本研究では既知のデータによるコンクリート強度推定の問題を最適化問題の一つととらえ、より精度の高い推定を行うため、最適化手法として柔軟性のあるニューラルネットワークを用いて、強度推定を行う場合に重要となる影響因子を把握し、非破壊検査による強度推定の妥当性を検討した。

2. 検討方法

ここで用いたニューラルネットワークは階層型ニューラルネットワークと呼ばれるもので、出力値は中間層を介して適当な重み付けで入力値と結合しているというモデルである。この出力値と実測値との差異が微小になるような重みが得られれば、入力値による実測値の推定が可能になる。またこの関係がわかれば、入力値が出力値に及ぼす影響を求めることができる。

検討に用いたデータは参考文献¹⁾付表2.3に記載されているもので、W/Cおよびスランプを変化させた場合のコンクリートの反発度、弾性波速度及び圧縮強度が材齢ごとに示されている。実験の概要は表-1に示すとおりである。これらのデータのうち圧縮強度を除くデータをニューラルネットワークに学習させ強度の推定を行った。そして、各入力データについて感度解析を行い、圧縮強度推定に及ぼす影響因子を抽出した。

3. 検討結果

参考文献¹⁾に示されている反発度と弾性波速度から圧縮強度を推定する式を前述のデータに適用して推定した圧縮強度と実測強度を比較したものが図-1である。また、同じデータについてW/C、スランプ、材齢、反発度、弾性波速度のすべてを入力データとしてニューラルネットワークにより推定した圧縮強度と実測強度を比較したものが図-2である。いずれの場合

表-1 実験の概要

粗骨材最大寸法	20mm
スランプの水準	12 18
W/Cの水準	50% 60% 70%
空気量	4%
供試体寸法	φ15cm×30cm
測定時材齢	7, 28, 91, 182, 364days
非破壊試験項目	シュミットハンマー試験 弾性波速度試験

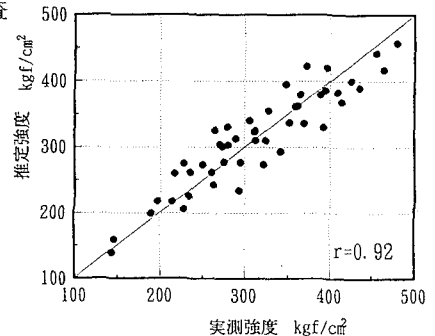


図-1 弾性波速度と反発度の複合法による推定強度と実測強度の比較（材齢7日～364日）

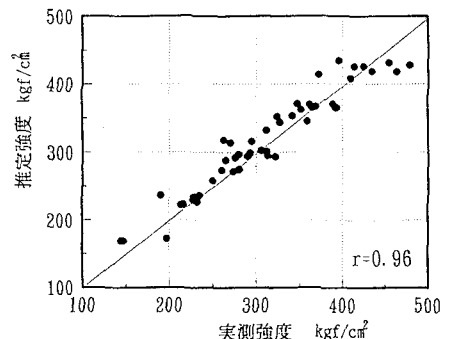


図-2 ニューラルネットワークによる推定強度と実測強度の比較（材齢7日～364日）

も相関係数は90%以上とかなり良い一致を示すが、ニューラルネットワークによるほうがW/C、スランプ、材齢を考慮していることもあり、推定精度が高くなっている。また、入力データが推定強度に及ぼす影響について感度解析を行い、表-2に示すように各入力データごとに規準値が1%だけ増加した場合の推定強度の変化量を求めた。この結果、W/Cおよび弾性波速度が推定強度に強く影響を及ぼすことがわかった。

次に、強度増進がほぼ完了した材齢91日以降のデータについて比較を行う。図-3は推定式¹⁾により求めた圧縮強度と実測強度を比較したものである。材齢91日以前のデータまで含めて推定した場合と比べて相関係数は低下している。一方、ニューラルネットワークにより推定した強度は、図-4に示すようにほぼ実測値に一致している。このとき推定値と実測値の誤差は最大でも24 kgf/cm²程度であった。

最も強度推定に影響を及ぼす因子を明らかにするため感度解析を行い、影響度の低い項目を順に除去しながら強度推定を行った。その経過を示すと表-3に示すようになり、最終的にはW/Cと弾性波速度が最も影響を及ぼす因子として残った。その時の推定強度と実測強度の相関係数は0.93であった。

強度に影響を及ぼす要因は重回帰分析結果（参考文献¹⁾付表2.4）によると、弾性波速度が最も大きく次に反発度とW/Cが同程度であった。一方、ニューラルネットワークを用いた場合は、W/Cが最も推定強度に影響を及ぼし、次に弾性波速度の影響が強いことがわかった。また、反発度は大きな影響因子とならないことが明らかとなった。

4. まとめ

ニューラルネットワークを用いてコンクリートの強度推定に影響する要因を抽出したところ、W/Cが最も大きな要因として得られ、これを用いることによって高い推定精度が得られた。

このことから、コンクリート強度を精度良く推定するには、単に非破壊試験結果だけでなく、何らかの方法で配合に関する情報を取り入れることが重要と思われる。

表-3 推定に用いたデータとその感度および相関係数

変数の数	W/C %	スランプ	材 齢 日	弾性波速度 km/s	反発度	相関係数
5	-4.51	-0.70	-0.02	3.34	-0.40	0.99
4	-4.32	-0.75	—	3.85	-0.34	0.98
3	-3.93	-0.75	—	4.22	—	0.98
2	-4.39	—	—	2.01	—	0.93

枠内：感度 kgf/cm²

表-2 各パラメータの規準値とその感度

	W/C %	スランプ	材 齢 日	弾性波速度 km/s	反発度
規準値	60	15	91	4.35	29
感度 kgf/cm ²	-3.52	-0.02	0.56	3.14	-0.05

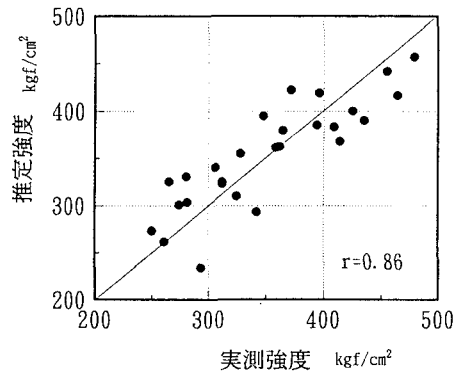


図-3 弾性波速度・反発度複合法による推定強度と実測強度の比較（材齢91日～364日）

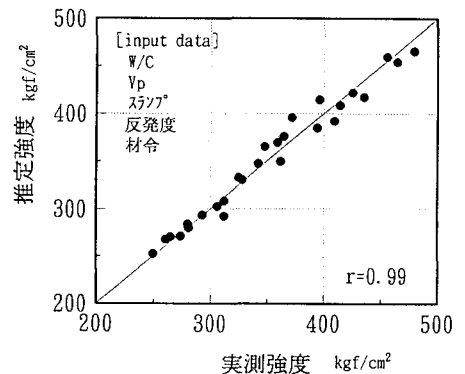


図-4 ニューラルネットワークによる推定強度と実測強度の比較（材齢91日～364日）

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：コンクリート強度推定のための非破壊検査マニュアル，1983. 2
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの非破壊試験法研究委員会報告書、1992. 3
- 3) 魚本健人・大矢孝・堤知明：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、生産研究、VOL. 46, NO. 3, pp206-209, 1994. 3