

## V-326

## 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

東京大学大学院 学生員 植松 敬治  
 東京大学 正会員 加藤 佳孝  
 鹿島建設（株） 正会員 田沢雄二郎  
 東京大学 F会員 魚本 健人

## 1. はじめに

NATM 工法の開発以来、トンネル工事において、吹付けコンクリートの重要性が増しており、現在その研究・開発が進んでいる。しかし、吹付けコンクリートは圧送した後圧縮空気によって壁面に吹き付けるという手順を踏むため、一般のコンクリートに比べ品質のばらつきが大きく、また、材料や配合及び施工条件がその品質にどのような影響を及ぼすのかについても明確になっておらず、特に実際の現場においては、その管理が非常に困難である。しかし、このような状況の中、吹付けコンクリートにおいて、配合条件や吹付け条件を統合的に考慮した配合設計手法が確立されていないのが現状である。

そこで本研究では、任意の配合条件、環境条件に応じた最適な配合設計手法を確立することを念頭に置き、各種要因及び施工方法が吹付けコンクリートの品質にどのような影響を与えるのか、実際のトンネル施工現場における実験データをもとにニューラルネットワークを用いて検討を行った。さらに、分散分析によるアプローチとの比較検討を行った。

## 2. ニューラルネットワーク

ニューラルネットワークの学習において、その精度は入力する因子に依存する。したがって、入力因子の選定に至っては注意を要する。すべての因子を入力するのではなく、配合条件・施工条件を的確に表現する最小限の因子を選択する必要がある。

本研究では、基本的には田沢が行った分散分析を基に、乾式・湿式のそれぞれの吹付け工法において、表-1 に示すような入出力因子を用いて学習することにした。今回、吹付け条件については適当な因子がなかったため用いていない。

乾式吹付け方法の場合の推定は、入力層5ユニット、中間層10ユニット、出力層1ユニット、また、湿式吹付け方法の場合は、入力層6ユニット、中間層10ユニット、出力層1ユニットである3層階層型ニューラルネットワークを用いて行った。

また、学習の終了条件は学習開始後の平均二乗誤差の和が  $1.0 \times 10^{-5}$  以下となったとき、もしくは、学習回数が100万回に達したときのいずれかとした。

## 3. 湿式吹付け工法

湿式吹付けコンクリート工法の場合の、リバウンド特性についてのニューラルネットワークによる感度解析

表-1 入出力因子

| 吹付け方法 | 入力因子    | 出力因子   |
|-------|---------|--------|
| 乾式吹付け | ポンプ送水   | リバウンド量 |
|       | 単位セメント量 |        |
|       | 細骨材粒度   | 圧縮強度   |
|       | 細骨材表面水量 |        |
|       | 急結剤量    |        |
| 湿式吹付け | Gmax    | リバウンド量 |
|       | W/C     |        |
|       | s/a     |        |
|       | 単位セメント量 | 圧縮強度   |
|       | 減水剤添加率  |        |
|       | 急結剤添加量  |        |

キーワード：ニューラルネットワーク、吹付けコンクリート、分散分析

連絡先：〒106 港区六本木 7-22-1 東京大学生産技術研究所 第五部 魚本研究室 Tel. 03-3402-6231 内(2543)

結果及び分散分析結果の一部を図-1 に示す。  
図からも分かるように、それぞれの入力因子において両者の傾向は良好な一致を示した。  
この理由としては、学習に用いたデータが 8 配合と少ないこと、また、入力因子の  $G_{max}$ 、 $W/C$ 、 $s/a$ 、単位セメント量の値の範囲が 2 水準しかないためであると考えられる。

リバウンド率は単位セメント量、 $W/C$ 、 $s/a$ 、がそれぞれ増加するに伴って減少し、 $G_{max}$ 、急結剤添加率が増加するに従って大きくなる傾向が見られる。

減水剤添加量の影響については、大きな変化が見られなかった。

#### 4. 乾式吹付け工法

ニューラルネットワークによる感度解析に置いては、分散分析との比較を行うため、入力因子すべてを敢えて数値ではなく表-2 に示すような 3 水準で表現した。

学習させた結果、学習回数が 100 万回を越えても平均二乗誤差の和が  $1.0 \times 10^{-5}$  以下に収束しなかったため、今回は感度解析結果と分散分析結果の示す傾向に食い違いが生じた。

#### 5. まとめ

吹付けコンクリートの品質に及ぼす各種要因の影響について、ニューラルネットワークによる感度解析及び分散分析によって検討を行ったところ、湿式吹付け工法の場合については双方とも同様な傾向が見られた。

乾式吹付け工法の場合、ニューラルネットワークによる学習がうまく収束しなかったが、その理由として材料特性を的確に表現すべき入力因子の数が十分でなかったこと、入力因子として吹付けの施工条件を表現する因子が得られず、配合条件のみで行ったことが考えられる。

今後は、施工条件を表現する要因を学習に取り入れ、フレッシュ性状との関連や混和材料の添加による影響などについてもさらに検討する必要がある。

#### 【参考文献】

- [1]大矢孝、魚本健人、堤知明：ニューラルネットワークを用いたコンクリートの製造管理システムに関する研究、土木学会論文集、No514/V-27. pp9-18. 1995. 5
- [2]小林裕二、魚本健人ほか：各種配合要因に伴う吹付けコンクリートの強度および空隙特性、日本コンクリート工学協会年次論文報告集（投稿中）
- [3]田沢雄二郎、トンネルの支保部材として用いる吹付けコンクリートの物性と施工法に関する研究、学位論文（東京都立大学）1996. 11

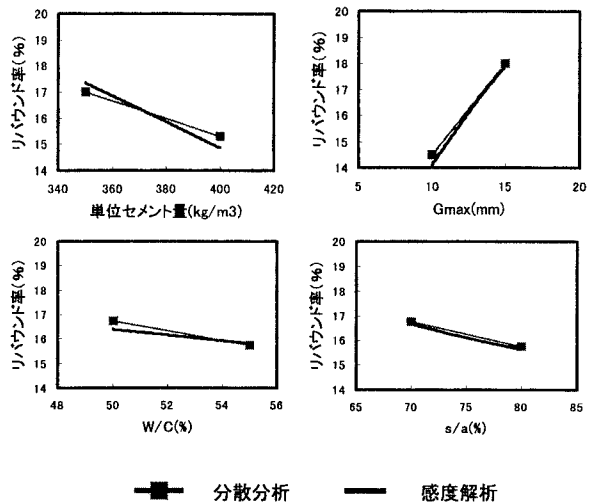


図-1 感度解析結果と分散分析結果

表-2 入力因子の水準

| 入力因子    | 水準1 | 水準2 | 水準3 |
|---------|-----|-----|-----|
| ポンプ送水量  | 少   | 中   | 多   |
| 単位セメント量 | 少   | 中   | 多   |
| 細骨材粒度   | 細目  | 中目  | 粗目  |
| 細骨材表面水量 | 乾燥  | 中   | 大   |
| 急結剤量    | 少   | 中   | 大   |