

AI による砂防ソイルセメントの配合シミュレーションについて

株式会社インボックス ○小林瑞穂 秋山祥克 深見文哉 岡崎並子

1 はじめに

近年、砂防ソイルセメント工法は建設残土および災害発生土の有効活用や工期短縮等を目的に、砂防事業での活用の幅を広げてきている。この砂防ソイルセメント工法はコンクリートと同様にセメントの水和反応による硬化によって強度が得られる。¹⁾ しかし、砂防ソイルセメント工法はコンクリートとは異なり、母材に土砂を用いることから発現強度にばらつきが生じるため、適切な配合設計を行うには技術が必要となる。

そこで筆者らは、砂防ソイルセメントの配合設計を容易にすべく、ソイルセメント配合試験 AI（以降、「配合試験 AI」と称す）を開発した。本報告は、配合試験 AI の計算結果と従来の配合試験結果を比較し、配合試験 AI の計算精度について考察した、深見らによる報告（以降、「既報告」と称す）²⁾ の第 2 報である。

2 配合試験 AI について

配合試験は「3 セメント量」×「3 含水比」の 9 ケースを標準として実施している。そこで配合試験 AI の目的変数は「9 ケースの材齢 28 日圧縮強度結果」とした。説明変数は配合試験の「セメント量」、「含水比」、「材齢 7 日圧縮試験結果」とした。なお、配合試験 AI のアルゴリズムには Extremely Randomized Trees を使用した。³⁾ 本報告では、既報告よりデータを 200 個程度増加させ、3200 個以上のモデルデータから成る配合試験 AI を用いた。

本報告では既報告と同様に、説明変数の材齢 7 日圧縮試験結果は 1 または 3 個のデータとした。材齢 7 日圧縮試験結果の 1 または 3 個のデータのとり方は図-1 に示す通りである。既報告に倣い、配合試験 AI に説明変数の 1 つとして材齢 7 日圧縮試験結果を 1 個用いた場合を「1 データ AI 結果」、3 個用いた場合を「3 データ AI 結果」と称することとする。配合試験 AI のモデル精度評価のために、モデル内部で交差検証を行うが、検証結果の相関係数は $R=0.90$ 、 0.95 （1 データ AI 結果、3 データ AI 結果）となり、既報告とほぼ変わらないという結果となった。

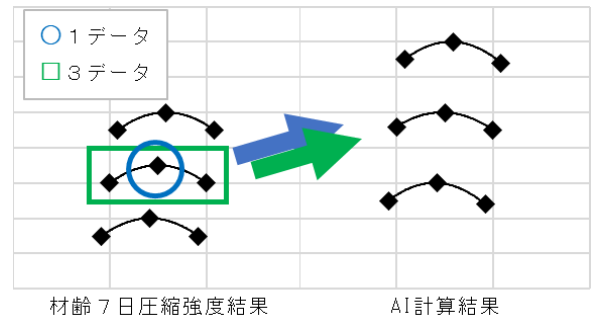


図-1 材齢 7 日圧縮試験結果のデータのとり方

3 検証結果

本報告では、実際に行った 40 件の配合試験の材齢 7 日圧縮試験結果を検証データとして配合試験 AI に計算させた。この試験結果は全国各地から採取された土砂を用いた配合試験の結果であり、ランダムサンプリングしたものである。

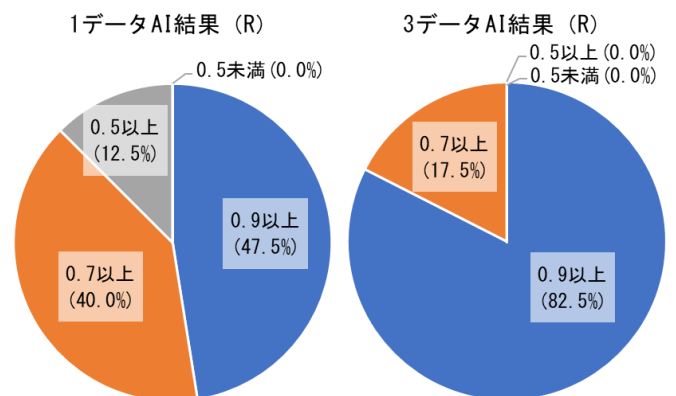


図-2 検証データと配合試験材齢 28 日の相関係数

配合試験 AI による計算結果は、実際の材齢 28 日圧縮試験結果に対して相関係数は 1 データ AI 結果では $R=0.626 \sim 0.990$ 、3 データ AI 結果では $R=0.858 \sim 0.995$ となった。一般に相関係数は 0.4 以上で相関があるとされ、0.7 以上で高い相関があると考えられている。したがって、今回の計算結果は相関があると判断される。

また、図-2 は検証データと配合試験材齢 28 日圧縮強度結果の相関係数の円グラフであるが、検証データのうち $R=0.7$ 以上となった割合は 1 データ AI 結果では

87.5%、3データ AI 結果では 100%となったことから、高い相関がある結果が得られたと言える。

4 検証データの詳細検証

3章にて、各検証データの1データ AI 結果および3データ AI 結果の相関係数が判明した。これらは相関があると判断されたが、1データ AI 結果で $R=0.626$ 、3データ AI 結果で $R=0.858$ と比較的相関の低いデータがあることが分かった。この $R=0.626$ 、 0.858 の2種のデータが実施工時に影響があるか検証した。

実施工では、配合試験結果判明後に含水比の幅を持たせた示方配合を決定する。砂防堰堤内部材の要求強度は 3.0N/mm^2 、この時の配合強度は 4.5N/mm^2 が一般的であることから、この配合強度 4.5N/mm^2 を満たす示方配合が配合試験材齢28日強度試験結果と配合試験 AI による推定材齢28日計算値を用いた場合に差が生じるかを確認した。なお、含水比幅は $3.0\sim 4.0\%$ とすることが一般的であるが、ここでは含水比幅は 4.0% とした。図-3および図-4は $R=0.626$ 、 0.858 のデータにて示方配合を設定した時の推定下限強度である。黒のラインで実際の配合試験結果、青のラインで配合試験 AI の計算結果、赤のラインで配合強度 4.5N/mm^2 を示した。これらのグラフから配合強度 4.5N/mm^2 を満たす示方配合を設定する場合、この配合試験結果と配合試験 AI 計算結果では示方配合の最適セメント量に差はなく、同程度となることが分かった。従って、配合試験 AI を用いて示方配合を設定しても、実際の配合試験結果とあまり差が表れず、問題なく示方配合を設定することが可能であると判断される。

5 まとめ

本報告は、既報告に続き、配合試験 AI の計算結果と従来の配合試験結果を比較し、配合試験 AI の計算精度について考察した。本報告での考察の結果を以下にまとめる。

- 1) 配合試験 AI に用いたモデルデータの相関係数は、 $R=0.90$ 、 0.95 （1データ AI 結果、3データ AI 結果）となり、既報告とほぼ変わらなかった。
- 2) 実際に行った40件の配合試験結果を用いて、材齢28日の実測値と配合試験 AI 計算値を比較したが、これらには相関があると判断された。
- 3) 40件の配合試験結果のうち、最も相関が低いとされたデータにて一般的な砂防堰堤の要求品質を

満たす示方配合を設定した場合、実測値と AI 計算値ではあまり差はなく、問題なく示方配合を設定することが可能であると判断された。

モデル内部の交差検証による相関係数は非常に高いものであったが、今回検証に用いた配合試験データによる相関係数は比較的低くなるものも存在した。今後はより活用しやすい配合試験 AI となるように、相関の低くなるパターンなどについて検証していきたいと考える。

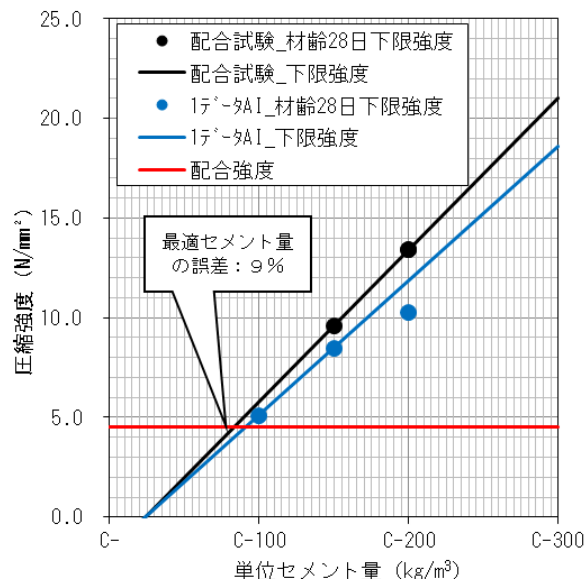


図-3 1データ AI 結果 相関最下ケース ($R=0.626$)

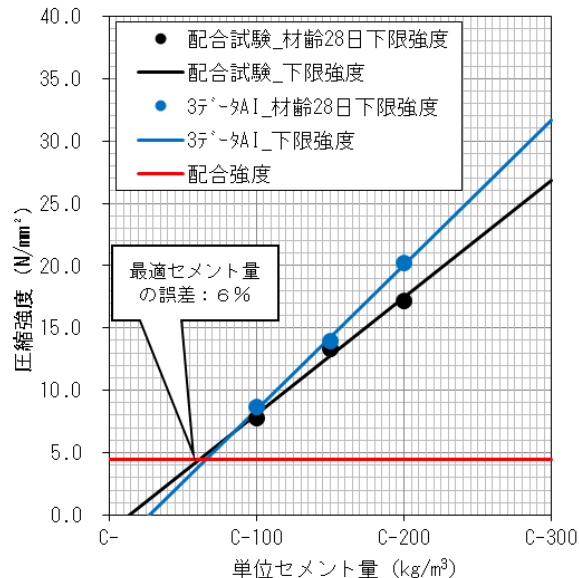


図-4 3データ AI 結果 相関最下ケース ($R=0.858$)

参考文献

- 1) (一財) 砂防・地すべり技術センター：砂防ソイルセメント施工便覧 平成28年版
- 2) 深見文哉ら：砂防ソイルセメント配合試験 AI について、令和5年度砂防学会研究発表会概要集
- 3) Pierre Geurtsら：Extremely randomized trees, Mach Learn (2006) 63 : 3-42