

フライアッシュ混合モルタルの圧縮強度を用いた無作為抽出法の評価

Evaluation of semi-random sampling system with compressive strength of mortar utilizing fly ash

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 吉田勇介 (Yusuke Yoshida)

北海道大学工学院環境フィールド工学部門 学生員 馬勝馳 (Shengchi Ma)

北海道大学工学院環境フィールド工学部門 学生員 オボン・ジョエル (Joel Opon)

北海道大学工学院環境フィールド工学部門 正員 ヘンリー・マイケル (Michael Henry)

1. はじめに

コンクリートは今や社会基盤構造物にとって必須の建設材料である。しかしながら、セメント産業における二酸化炭素排出や環境負荷というのは、現在深刻化している地球温暖化に少なからず影響している。環境負荷低減のための一般的な方法として、混和材の置換によるセメント使用量の抑制が挙げられる。このように、要求性能やコスト、環境負荷といった観点からサステナビリティを考慮したコンクリートを作るにあたり最適な配合の検討は重要である。既往の研究で用いられている配合決定の方法では水粉対比、フライアッシュ置換率といった数値は規則的に決められた値であることが多く、実際にその配合から圧縮強度や耐久性、二酸化炭素排出量などを調査している。しかしながら、それらのデータを統計モデルにしたときに、先に述べた観点を考慮し数値解析的に検討された最適配合は正確性や信頼性を欠く部分があり、新たに多くの実験を行なって事実確認をする必要がある。そこで新たな配合決定の方法として無作為抽出法というのが挙げられる。この手法は、可能な限り少ない標本数で広い範囲の標本を等しい確立で抽出することができる。そのため、少ない実験回数で得た実験データを用いて統計モデルから広範囲の数値解析が行なうことができる。したがって、コンクリート産業において将来的に要求性能やコスト、環境負荷などの観点を考慮し、可能な限り少ない実験回数で最適配合の検討を行う1つの手段として期待できる。

2. 概要

本研究では無作為抽出法の有用性の評価を行なう。そこで、無作為抽出法によりフライアッシュⅡ種を用いたモルタルの配合を水粉対比(W/B)0.3から0.5、フライアッシュ置換率(FA/B)0から50(%)の範囲で9種類決定し、それぞれの圧縮強度を調べ、モデル化を行う。その際、過去のフライアッシュⅡ種を使用したコンクリートの圧縮強度の実験データを用いて作られたモデルと比較する。また、モデルから算出される回帰式を用いて水粉体比とフライアッシュ置換率から求められる圧縮強度を予測値として、過去のデータの実測値との比較を行

う。

2.1 使用材料

本研究で使用した材料は、普通ポルトランドセメント(密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$)とフライアッシュⅡ種(JIS A 6021Ⅱ種適合品)(密度 $2.30\text{g}/\text{cm}^3$)、新ひだか産静内川の砂($2.71\text{g}/\text{cm}^3$)、ポリカルボン酸系の超高強度コンクリート用高性能減水剤(密度 $1.03\sim 1.11\text{g}/\text{cm}^3$)である。

2.2 モルタル供試体

本研究で作成したモルタルは、JIS R 5201に準拠しスランプ試験を行い、 $19\pm 2\text{cm}$ をスランプフローの基準値としたが、どの配合もこの基準値内に収まっており、フレッシュ性状は十分といえる。またそのモルタルを使い $4\text{cm}\times 4\text{cm}\times 4\text{cm}$ の供試体を作成した。

2.3 圧縮強度試験

今回、圧縮強度試験においては、万能試験機を使用した。圧縮強度は最大荷重を供試体の断面積で割った値とした。

3. モデルの作成

モデルの作成において応答曲面法を使用した。この手法は、可能な限り少ない測定データを用いて最適解を求めるための数学的・統計的組み合わせ手法であり、説明変数と目的変数から得られる応答曲面モデルを2次元あるいは3次元に視覚化できる。今回、説明変数に水粉体比(W/B)とフライアッシュ置換率(FA/B)を用い、目的変数に材齢28日目の圧縮強度(CS)を用いた。

4. 結果と考察

4.1 応答曲面モデル

図-1に無作為抽出法を用いて配合決定されたモルタル供試体の圧縮強度の応答曲面モデルを示す。このモデルの決定係数は $R^2=0.9403$ であり、本研究の実測値に近いモデルであると考えられる。図の通り標本が広範囲に分布しており、このモデル自体は過去のデータを用いて作成されたコンクリートの圧縮強度の応答曲面モデル(図-2)と似たような圧縮強度の分布を示していることが見て取れた。

4.2 回帰式による圧縮強度の予測値と実測値の比較

既往の研究の水粉対比 $W/B=0.5$ 、フライアッシュ置換率 $FA/B=0, 15, 45$ (%) を用いたモルタル供試体の圧縮強度の実測値をプロットしその回帰直線と応答曲面モデルの回帰式から算出した圧縮強度の予測値の直線を比較した(図-3)。図から見られるように、それぞれの値は大きく異なるものの直線の傾向はほぼ類似している。同様に、水粉対比 $W/B=0.5$ とフライアッシュ置換率 $FA/B=0, 20, 60, 70$ (%) を用いたコンクリート供試体の圧縮強度の実測値をプロットしその回帰直線とモデルの回帰式から算出した圧縮強度の予測値の直線を比較した(図-4)。こちらも、それぞれの値は大きく異なるものの直線の傾向はほぼ類似している。

4.3 考察と展望

以上のことから、無作為抽出法を用いることで、少ない実験回数でも要求性能を満たす最適配合の分布が明らかになることや、異なるフライアッシュ置換率、あるいは設定範囲より高いフライアッシュ置換率であってもモルタルやコンクリートの性能の傾向が予測でき、広い範囲で最適配合の検討を行うことが可能であると考えられる。しかしながら、本研究では決定係数の高さ、応答曲面モデルの数値分布の類似した傾向、予測値と実測値の回帰直線の類似した傾向からのみ無作為抽出法の評価を行っており、定量的な評価は行うことができてはいない。したがって、今回算出した回帰式は直接的に水粉体比とフライアッシュ置換率から実際の圧縮強度を予測するものではない。実際に圧縮強度を決定する要因はこの2つのみではなく、骨材の種類や性質、養生温度といった要因も関連してくる。そのため、その他の要因を考慮し標本数を増やして無作為抽出を行うことでモデルと回帰式の信頼性や正確性を上げる必要がある。

5. 結論

本研究では以下のような結論が得られた。まず、無作為抽出を用いて少ない配合数で、既往の研究データから作成された応答曲面モデルと近い傾向のモデルが得られた。また、モデルから算出された回帰式を用いて求められる圧縮強度の予測値の直線は実測値の回帰直線と類似した傾向を持つことが判明した。

6. 参考文献

- 1) 山内翼、オボン・ジョエル、ヘンリー・マイケル：混和材を使用したコンクリートの基礎物性・環境負荷のバランスに関する研究、平成 29 年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第 74 号
- 2) 上野敦、國府勝郎、宇治公隆、小野聖久：養生温度および置換率がフライアッシュの反応性に及ぼす影響、コンクリート工学会年次論文集、Vol. 28、No. 1、2006

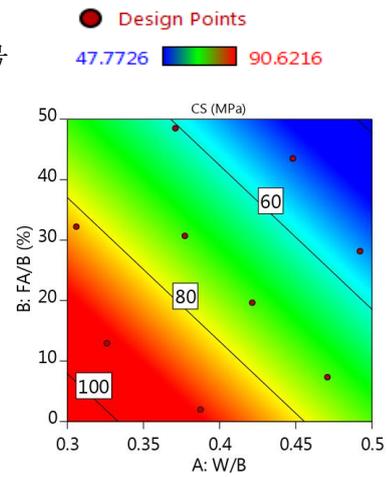


図-1. モルタル供試体の圧縮強度の応答曲面モデル

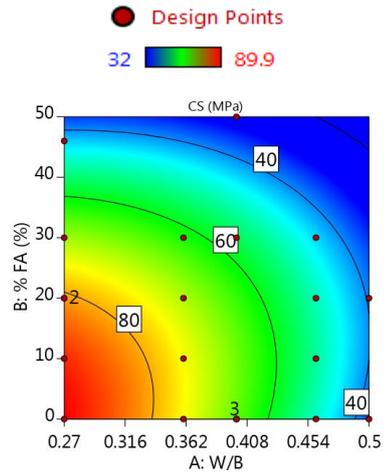


図-2. コンクリート供試体の圧縮強度の応答曲面モデル

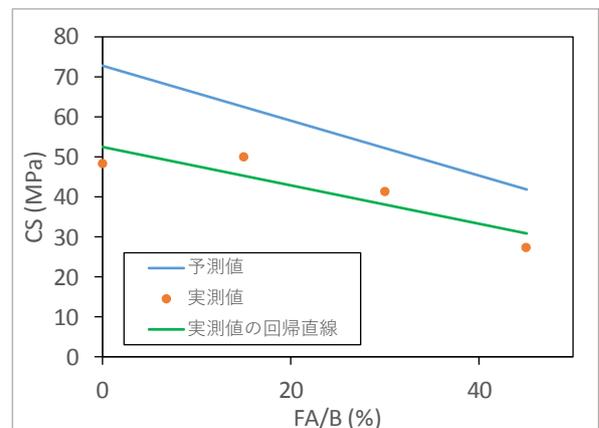


図-3. モルタル供試体の圧縮強度の予測値と実測値

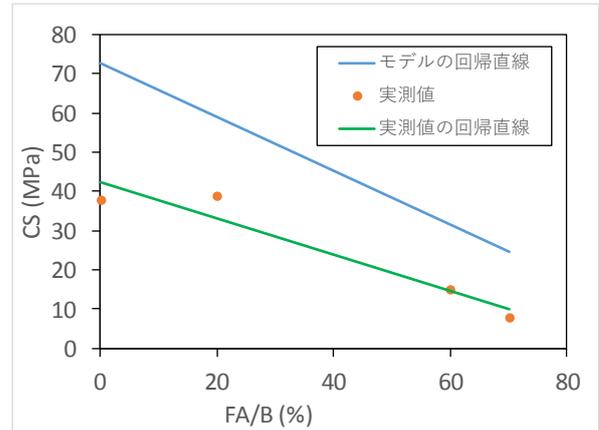


図-4. モルタル供試体の圧縮強度の予測値とコンクリート供試体の圧縮強度の実測値