

重回帰分析を用いた各種モルタルの強度特性に関する影響因子の評価 Evaluation of Factors Affecting Strength of Various Mortars Using Multiple Regression Analysis

○寺本祐大, 鈴木麻里子, 井上一哉

Yuta Teramoto, Mariko Suzuki and Kazuya Inoue

1. はじめに

室内試験で使用するセメント硬化体は, 供試体作製から養生方法まで JIS により規定されている. 一方, 海水養生したセメント硬化体に関する知見は少ない. そこで, 密度や水セメント比 (以下, W/C と示す), 養生方法の異なるモルタル供試体の曲げ, 圧縮試験を実施し, その結果を用いて重回帰分析を行い, 各条件が強度へ及ぼす影響を評価した.

2. 実験概要と結果

モルタル供試体は, 普通ポルトランドセメント, 細骨材 (硬質砂岩砕砂, 表乾密度 2.65 g/cm^3 , 吸水率 1.76% , 実積率 65.8% , 粗粒率 2.84), 水道水を使用し, $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ の三連型枠を用いて作製した. W/C は $40, 50, 60\%$ とし, 密度差は, モルタル充填時にテーブルバイブレーターの使用の有無で調整した. 養生は, 水道水もしくは人工海水を用いて $7, 28$ 日間行った. 曲げ試験, 圧縮試験は JIS R 5201 に則り実施した.

図 1, 図 2 に示すように密度および材齢の増加に伴い, 曲げ, 圧縮強度は増加する傾向がみられた. 一方, 養生方法に起因する強度差は判別が困難であった.

3. 重回帰分析

本研究は, 材齢 $7, 28$ 日の曲げ強度と圧縮強度を目的変数とした計 4 ケースについて重回帰分析を実施した. 説明変数は密度, W/C, 養生方法である. 養生方法の入力値は海水養生を 1 , 標準養生を 2 とした. 説明変数のスケールを統一し, 回帰式の係数同士を比較するため, 平均を 0 , 分散を 1 とする標準化を行った.

複数の説明変数同士が互いに高い相関関係にあり, 説明変数が分析結果に与える影響を正しく測定できない現象を多重共線性という. 多重共線性の有無を確認するため, 分散拡大要因 (VIF) を算出した. VIF は式 (1) より求められ, 10 以上であると多重共線性が生じている可能性が高い¹⁾.

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2} \quad (1)$$

ここに, R_j は, VIF を求めたい説明変数 x_i を目的

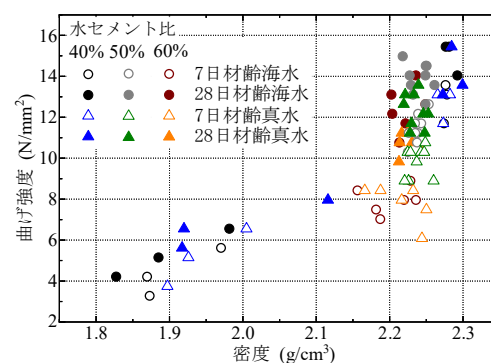


図 1 曲げ試験強度結果
Bending strength

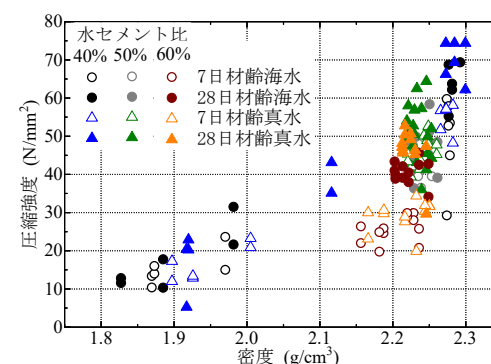


図 2 圧縮試験強度結果
Compressive strength

表 1 重回帰分析結果
Multiple regression analysis

	材齢	VIF			p 値			決定係数
		密度	養生方法	W/C	密度	養生方法	W/C	
曲げ	7	1.156	1.002	1.154	0.000	0.005	0.000	0.886
	28	1.160	1.160	1.157	0.000	0.000	0.003	0.885
圧縮	7	1.156	1.002	1.154	0.000	0.146	0.000	0.911
	28	1.160	1.003	1.160	0.000	0.008	0.003	0.889

変数とし、その他の説明変数により回帰した際の決定係数である。

重回帰分析から得られた結果は、回帰式の係数と p 値から評価した。 p 値とは、説明変数に有意性がない場合に偶然誤差が生じる確率のことである。すなわち、回帰式の係数が大きいほど、 p 値が小さいほど目的変数に対する影響が大きい。なお、本研究では、 p 値が 0.05 以下であれば、説明変数は有意であると判断する²⁾。

4. 分析結果

重回帰分析の結果を表 1 に示す、 VIF は 10 を上回らず、本分析では多重共線性の疑いはなかった。得られた回帰式を式(2)~(5)に示す。 y_{b7} 、 y_{b28} はそれぞれ 7、28 日材齢の曲げ強度、 y_{c7} 、 y_{c28} は 7、28 日材齢の圧縮強度を示し、 x_1 は密度、 x_2 は養生方法、 x_3 は W/C である。

$$y_{b7} = 0.994x_1 - 0.165x_2 - 0.487x_3 \quad (2) \quad y_{b28} = 0.973x_1 - 0.244x_2 - 0.185x_3 \quad (3)$$

$$y_{c7} = 0.994x_1 + 0.072x_2 - 0.569x_3 \quad (4) \quad y_{c28} = 0.993x_1 + 0.150x_2 - 0.384x_3 \quad (5)$$

式(2)~(5)に示すように、すべてのケースにおいて密度の回帰係数は大きく、表 1 に示すように、 p 値は 0 であるため、曲げ、圧縮強度に対する影響度は大きい。W/C は、材齢 28 日の曲げ強度を目的変数としたケース(y_{b28})を除き、密度に次いで影響度が大きかった。材齢 7 日の圧縮強度を目的変数としたケース(y_{c7})において、養生方法の p 値は 0.146 と大きく、回帰係数も小さかったため、優位性は認められなかった。式(2)、(3)より養生方法の係数は負を示した。養生方法が海水であれば、標準化したことにより x_2 には -0.988 が入力されるため、海水養生を実施した場合、曲げ強度は増加する。既往研究より、NaCl はセメントに含まれる C_3S の初期水和反応を促進すると報告されており³⁾、海水養生でも同様の反応が生じたと考えられる。また、決定係数は全ケースにおいて高く、各説明変数の重要度を正しく評価することができたといえる。

5. 結論

本研究では、モルタルの密度、W/C、養生方法が強度へ及ぼす影響を評価することを目的とし、曲げ、圧縮試験結果を用いて重回帰分析を実施した。その結果、密度は本研究にて入力した説明変数の中で最も大きい影響度を示した。また、海水養生は曲げ強度増加に寄与した。

参考文献

- 1) 小塩真司：SPSS と Amos による心理・調査データ解析第 2 版—因子分析・今日分散構造分析まで—，東京図書株式会社，112p，2014。
- 2) 大屋幸輔，各務和彦：基本演習統計学。新世社，109p，2012。
- 3) 酒井貴洋，山路徹，清宮理：海水および海砂を用いた自己充填型コンクリートの実用化に関する基礎的研究，土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造)，vol.72，No.3，196—213，2016。