

軽質炭酸カルシウムと高炉スラグ微粉末を併用したモルタルの 流動性及び強度発現性に関する研究 (その3) 軽質炭酸カルシウムが水和反応に及ぼす影響と多変量解析 — G I 基金事業『CUCO』開発成果 —

(株)フローリック 正会員 ○西 祐宜 正会員 Rosyad Mohammad 正会員 松沢 友弘 正会員 高田 良章
鹿島建設(株) 正会員 向 俊成 正会員 取違 剛 正会員 関田 徹志

1. 目的

前報に引き続き、本報では軽質炭酸カルシウム(以下 EC)が水和反応に及ぼす影響を確認した。また、任意の配合条件でモルタルの圧縮強度を確認し、使用材料の組成比率が圧縮強度に及ぼす影響度合いを分析した。

2. 試験概要

使用材料はその1と同様である。表-1 にペーストの配合を示す。XRD リートベルト法にて、材齢 3, 7 日のエーライト(C_3S), ビーライト(C_2S), アルミネート相(C_3A), フェライト相(C_4AF), エトリンガイト(Ett), 水酸化カルシウム(CH), 炭酸カルシウム(CC), ヘミカーボネート(Hem), モノカーボネート(Mc), モノサルフェート(Ms)を定量した。90 μm 以下に粉碎した試料に α - Al_2O_3 を内割で 10mass%添加し測定試料とした。測定条件は、ターゲット:Cu-K α , 電圧/電流:45kV/40mA, 走査範囲:5 $^{\circ}$ ~65 $^{\circ}$, ステップ幅:0.03 $^{\circ}$ /step, 測定時間:0.36sec./step. 多変量解析に供したモルタルの配合は、容積比率で、水(W)(29.10vol.%), N(0.92~18.42vol.%), BFS(0.00~19.13vol.%), EC(0.00~4.72vol.%), S(45.52~51.47vol.%), 水結合材容積比(V_w/V_B)1.45~1.97. オブザベーション数は、条件に適合する任意の 32 配合, シリーズ I の 12 配合およびシリーズ III の 9 配合(LP 除), 計 53 配合である。養生条件はその2と同様の封緘養生であり、解析した材齢は 3, 7, 28 日である。

表-1 ペースト配合

No.	W/B	Unit Contents(ml/L)				
		W	C	BFS	EC	LP
N	1.58	612	388	0	0	0
BB	1.52	603	210	188	0	0
BC	1.48	597	113	289	0	0
N-EC	1.58	579	367	0	54	0
BB-EC	1.52	571	199	178	53	0
BC-EC	1.48	566	108	274	52	0
N-LP	1.58	582	369	0	0	49
BB-LP	1.51	573	200	179	0	48
BC-LP	1.48	569	108	275	0	48

3. 試験結果及び考察

3. 1 XRD により水和解析

図-1 に材齢と組成の関係、図-2 に水和物の経時変化を示す。簡易的な測定であり、非晶質および BFS は定量していない。BFS の混和により N の反応系は低減、CC の混和により GEL と BFS の組成自体は少なくなる。ただし、図-2 のように特定の水和物に着目すると、CC の混和により、Ms は消え、Ett は減少、Mc は増

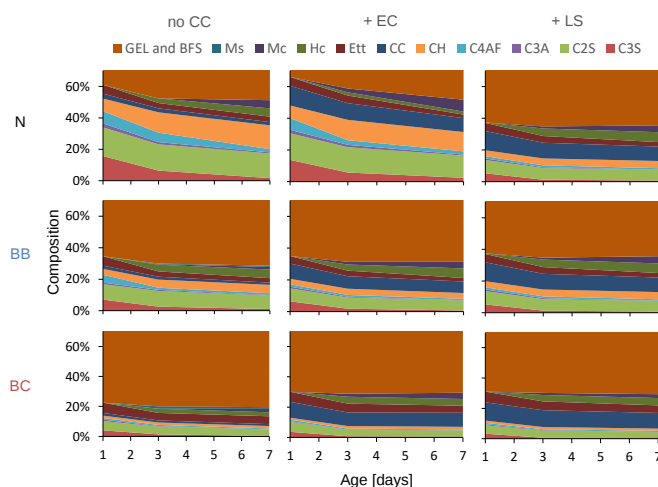


図-1 材齢と組成の関係

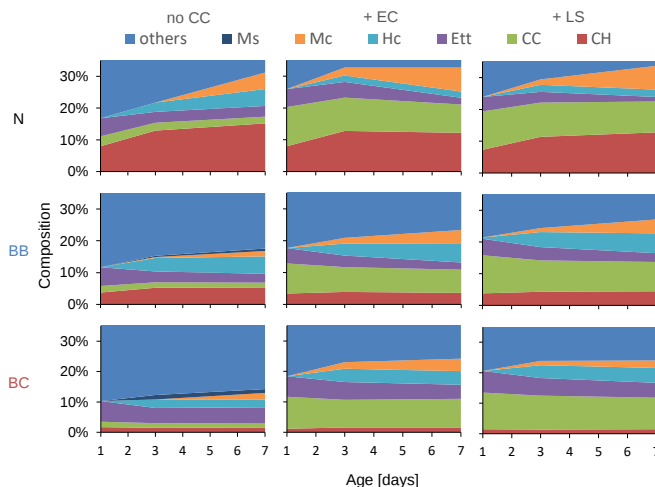
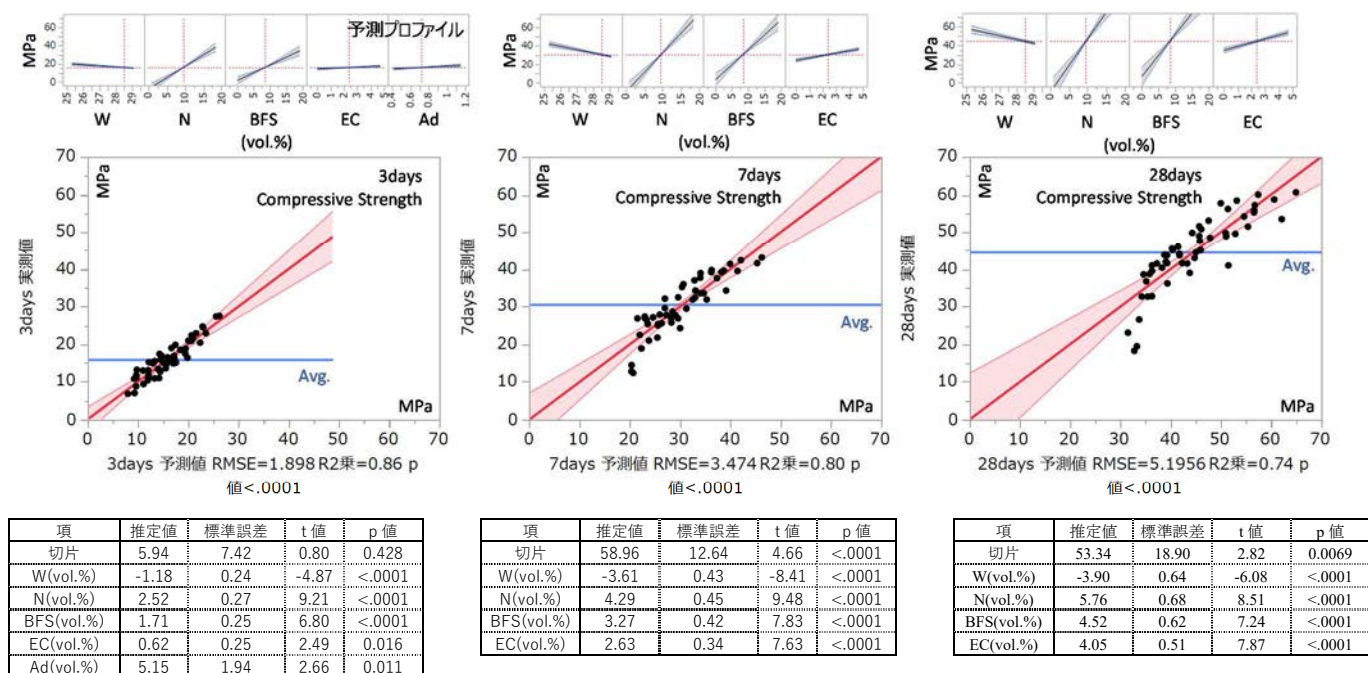


図-2 水和物の経時変化

キーワード CUCO, 軽質炭酸カルシウム, 高炉スラグ微粉末, 石灰石微粉末, 水和反応, 回帰分析
連絡先 〒300-2622 茨城県つくば市要 33-1
(株)フローリック 技術本部 コンクリート研究所 TEL029-877-1945



図－3 重回帰分析による実測値と予想値

加する。また、BFS の混和により Hc の生成量が増加する。一般的に CC 多量使用の系において強度が増進する一因にカーボネート系水和物が寄与しているといわれる。生成された Ett は C₄AF と反応しても Ms に留まらず CC 共存下では Mc, Hc を生成。結果として Ms 内の SO₄²⁻はフリーとなり、Ett または C-A-S-H の生成に進む。CC が存在するとこれらの反応を繰り返す、その 2 に示すような強度発現性を示したと推察される。

3. 2 多変量解析による

図－3 に重回帰分析による実測値と予想値を示す。

$$\sigma_{days} = \beta_0 + \beta_1 \cdot W_{vol\%} + \beta_2 \cdot N_{vol\%} + \beta_3 \cdot BFS_{vol\%} + \beta_4 \cdot EC_{vol\%} + \beta_5 \cdot Ad_{vol\%} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 $\beta_0 \sim \beta_5$ はそれぞれ対応する図－3 の推定値である。

図上部に各変数(因子)の強度予測トレースである予測プロファイル、図下部に重回帰分析の各項のパラメータ推定値を示す。材齢に関わらず線形モデルをあてはめた R² 乗値は高い。材齢 3 日の強度は化学混和剤添加量の影響が大きいので、モデルの確度のため項に含んだ。材齢 7 日以降は p 値が低いため、表－2 に -log₁₀(P 値)の対数値(有意度)で強度に及ぼす影響の程度を表した。材齢 7 日では W, N, 即ち W/C の有意度が大きい、この材齢でも BFS, EC の寄与は認められる。一方、材齢 28 日においては EC が二番目に高い有意度を示すに至る。強度発現に対し EC は、N または N+BFS と併用する条件下、圧縮強度に寄与する傾向が確認された。図－4 に N-EC, BFS-EC と圧縮強度の関係を示す。本図からも EC の効果は明白である。

4. まとめ

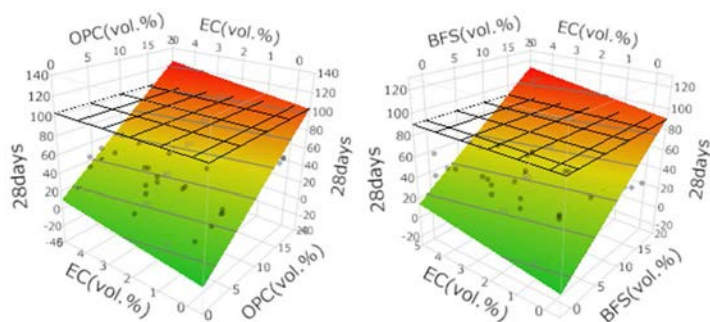
XRD の測定から、N+BFS+EC の系はポルトランドセメントおよび高炉セメントとは異なる水和プロセスを示し、この反応が強度発現に寄与していると考えられる。また、任意の配合で作成されたモルタルの強度試験結果の重回帰分析より、予測プロファイルや対数値からも EC の併用効果が認められる結果を得た。

謝辞

本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP21014) を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発で得られた成果である。

表－2 対数値

材齢 7 日		材齢 28 日	
要因	対数値	要因	対数値
N(vol.%)	11.855	N(vol.%)	10.425
W(vol.%)	10.273	EC(vol.%)	9.466
BFS(vol.%)	9.396	BFS(vol.%)	8.509
EC(vol.%)	9.093	W(vol.%)	6.725



図－4 N(OPC)-EC, BFS-ECと圧縮強度(材齢28日)