

養生条件が低炭素型セメントを用いたコンクリートの物質移動抵抗性に及ぼす影響

石川工業高等専門学校 学生会員 小山 花
石川工業高等専門学校 正会員 福留 和人
石川工業高等専門学校 正会員 津田 誠

1. 目的

著者らは、養生で達成されるセメントの水和を解析的に予測し、所要の性能を確保するための目標の水和率が得られるように養生計画を立案する手法を提案している¹⁾。カーボンニュートラルの達成にはセメントの低炭素化が必須であることから、養生条件が低炭素型セメントを用いたコンクリートの物質移動抵抗性に及ぼす影響を把握し、セメントの水和解析に基づく養生計画立案手法の低炭素型セメントへの適用性を検討した。

2. 実験概要

(1) 使用材料およびコンクリートの配合

表-1 にコンクリートの配合を示す。低炭素型セメントとして、高炉セメント C 種 (BC) および高炉スラグとフライアッシュを混合した三成分系のセメント (BBFAB) の 2 種類を用いた。BC は、普通ポルトランドセメント (密度 3.15g/cm³) に JIS A 6206 コンクリート用高炉スラグ微粉末 4000 (密度 2.89g/cm³, 比表面積 4310 cm²/g) を混合率 70%で混和材として用いた。BBFAB は、高炉セメント B 種 (高炉スラグ混合率: 42.5%, 密度 3.05 g/cm³) に JIS A 6201 コンクリート用フライアッシュのII種 (密度 2.26 g/cm³, 比表面積 4740 cm²/g) を混合率 15%で混和材として用いた。細骨材および粗骨材は、手取川産の川砂 (密度 2.57g/cm³) および川砂利 (密度 2.57g/cm³) を、混和剤は、AE 減水剤 (リグニンスルホン酸化合物) を用いた。

(2) 供試体および養生方法

供試体は、1 辺 20cm の立方体とし、材齢 24 時間に脱枠し、質量測定後ただちに水中養生 (20℃) を開始した。水中養生期間は、2, 7, 14, 28 日とし、養生終了後は、20℃, 湿度 60%RH の恒温恒湿槽に静置した。

(3) 測定項目・測定方法

水中養生中の水分供給挙動および水中養生終了後の水分逸散挙動を把握するために、養生中および養生終了後の供試体の質量を経時的に測定した。さらに、養生効果を把握するために、材齢 91 日において、側面 4 面 (鉛直面) の表層透気係数 (トレント法) を測定した。

(4) 解析概要

解析にはコンクリート材料性能プログラム DuCOM-SD を用いた。DuCOM-SD は構造物/部材表面から内部方向へ向かう 1 次元場における物質移動や温度変化を考慮し、水和進展・空想構造を連成して解析するものであり、部位ごとの水和率が追跡可能である。また、養生過程の含水状態の予測および、含水状態が水和進展に及ぼす影響を評価可能であるため、本研究で対象としている湿潤養生の影響を評価可能と考えられる。

3. 実験結果

図-1.2 に表層透気係数の結果を示す。図より、水中養生期間が長いほど表層透気係数が小さくなり、より緻密なコンクリートとなる。また、BC に比べ BBFAB は水セメント比が大きいほど養生期間が 2 日の時に特に表層透気係数が大きくなる傾向にあるがその他の養生日数の場合は BC とおおよそ同様の結果である。

表-1 コンクリートの配合

セメントの種類	水結合材比 W/B (%)	単位量 (kg/m ³)						
		水 W	セメント C	混和材 BFS	混和材 FA	細骨材 S	粗骨材 G	混和材 Ad.
BC	60	170	85	198	—	804	981	0.753
	50		102	238	—	750	989	0.905
	40		127	298	—	684	981	1.132
BBFAB	60	162	229	—	41	820	994	0.719
	50		275	—	49	761	1005	0.863
	40		344	—	61	696	997	1.078

キーワード 養生計画, 低炭素型セメント, 物質移動抵抗性, 水和解析, 表層透気係数, 水セメント比
連絡先 〒929-0392 石川県津幡町北中条 石川工業高等専門学校 環境都市工学科 TEL076-288-8165

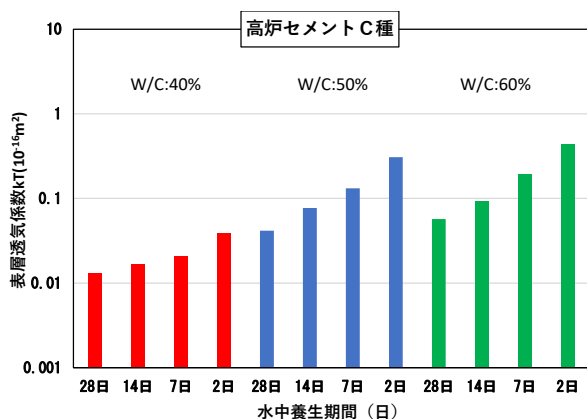


図-1 表層透気係数測定結果 (BC)

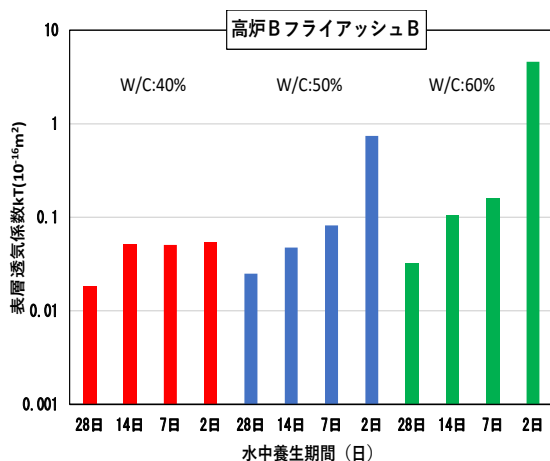


図-2 表層透気係数測定結果 (BBFAB)

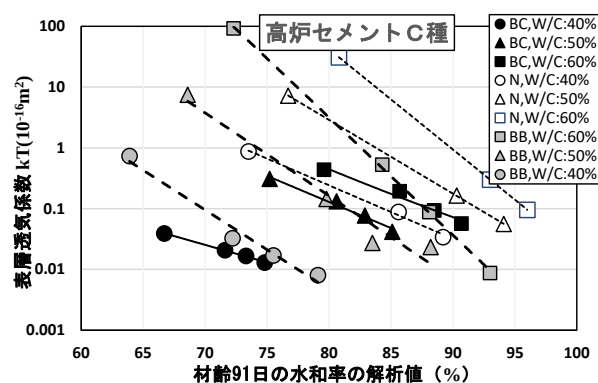


図-3 水和率の解析値と表層透気係数の関係 (BC)

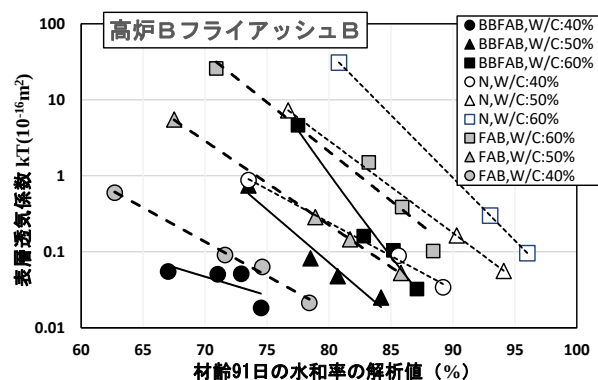
図-4 水和率の解析値と表層透気係数の関係
(RRFAR)

図-3.4 に材齢 91 日の水和率の解析値と表層透気係数の関係を示す. 比較のために, 既報^{2),3)}の普通ポルトランドセメント (普通セメント) および混合セメント B 種 (BB, FAB) の結果も併せて示した. 低炭素型セメントは, 普通セメント, BB, FAB と同様に表層透気係数と水和率の解析値には相関がみられた. 養生期間延長により水和率が上がるにつれて密実な内部組織となることから, 表層透気係数が低下する傾向にある. いずれのセメントの種類および水セメント比においても, 水和率と表層透気係数の対数は, 良好な直線関係にあり, 水和解析によって養生の効果を適切に評価できるものと考えられる. 表層透気係数の測定結果において, 水セメント比が大きいほど水中養生期間延長の効果が大きいことを示したが, 水和率との関係においても水セメント比が大きいほど直線の勾配が大きくなることが示されている. また, 水和率が高くなるほど表層透気係数は小さくなることも示されている. セメントの種類では, BB の勾配が大きくなっていることから, 養生期間延長による効果が大きいと考えられる. それぞれの表層透気係数の値を比較すると, いずれの低炭素型セメントとも BB より若干劣っているが, 普通セメントおよび FAB より小さくなっている. 以上から, 今回用いた低炭素型セメントは, 所要の養生期間を確保することによって良好な物質移動抵抗性を確保することが可能であることが確認できた.

謝辞: 本研究は, 科学研究費補助金 (基盤研究(C), 19K04563) によって実施した. ここに記して謝意を表す.

参考文献: 1) 福留和人, 齋藤淳: セメントの水和解析に基づく養生計画立案手法, コンクリート工学論文集, 第 32 巻, pp.35-47, 2021.3, 2) 福留和人, 山村准平, 帯刀香乃, 齋藤淳: 各種養生工法の水分供給保持性能がコンクリートの耐久性に及ぼす影響, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 20 巻, 2020.10, 3) 福留和人, 池上歩花, 千田桃大, 齋藤淳: 湿潤養生期間が混合セメント B 種を用いたコンクリートの物質移動抵抗性に及ぼす影響, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 22 巻, 2022.10