

骨材のアルカリ吸収を考慮したコンクリート中の空隙水の OH 濃度に関する考察

九州大学大学院 学生会員 村上光樹 国立環境研究所 正会員 山田一夫
 港湾空港技術研究所 正会員 川端雄一郎 九州大学大学院 正会員 佐川康貴
 九州大学大学院 学生会員 俵積田新也 九州大学 学生会員 川上隆

表 1 使用材料

セメント : C	普通ポルトランドセメント 密度 : 3.16g/cm ³ , 比表面積 : 3360cm ² /g アルカリ量 Na ₂ O _{eq} : 0.55mass%
細骨材 : S	石灰石砕砂, 密度 : 2.68 g/cm ³
粗骨材 : G	石灰石砕石, 密度 : 2.68 g/cm ³
AE 減水剤	リグニンスルホン酸化合物と ポリオール複合体
水酸化ナトリウム	粒状特級試薬

1. はじめに

アルカリシリカ反応 (ASR) によるコンクリートの膨張性をコンクリートプリズム試験 (CPT) で調べる際、試験体からのアルカリ溶脱を防ぐため、試験体の空隙水と濃度が同等の NaOH 水溶液を含ませた不織布で試験体を被覆 (AW; Alkali Wrapping) する「AW-CPT」が提案されている¹⁾。しかし、一部の条件で不織布から試験体へアルカリが供給されることも確認されている²⁾。この原因として、コンクリート試験体中の骨材がアルカリを吸収し、試験体中の空隙水の OH 濃度が低下すること²⁾が考えられるが、AW に用いる NaOH 溶液の濃度設定については検討の余地が残る。本研究では、養生温度の異なるペーストにおける空隙水の OH 濃度を調べ、その結果から、骨材の吸着アルカリ量を考慮した場合のコンクリートにおける空隙の OH 濃度について考察した。

表 2 セメントの化学組成 (mass%)

ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
2.44	20.29	5.11	3.06	64.65	0.90	2.04
Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cl	計
0.33	0.34	0.28	0.47	0.09	0.023	100.0

表 3 コンクリートの配合

空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
			W	C	S	G	NaOH
4.5	50	45	160	320	837	1030	4.66

2. 実験概要

2.1 使用材料

表 1 に使用材料を示す。セメントは、表 2 に示す化学組成を持つ普通ポルトランドセメント (JIS R 5210) とした。練混ぜ水に NaOH を添加してセメントアルカリ量を調整した。

2.2 配合, 練混ぜおよび養生方法

ペーストの水セメント比 W/C は 50% とし、セメントのアルカリ量は、アルカリ量を調整しない 0.55mass% と、後述のコンクリートのアルカリ総量 5.5kg/m³ に相当する 1.72mass% の 2 ケースとした。練混ぜはモルタル用ミキサを用いて行い、ブリーディングが認められなくなった時点で φ50×100mm の型枠に入れ、封かん状態にして 20°C もしくは 60°C で 3 ヶ月間養生した。

コンクリートの配合は、表 3 に示す通りである。試験体寸法は、75×75×250mm の角柱とし、アルカリ総量 Na₂O_{eq} を 5.5kg/m³ (セメントのアルカリ量 1.72mass%) とした。骨材には石灰石砕砂、砕石を使用した。型枠への打込み後、20±2°C の恒温槽で 24 時間養生後、脱型した。続いて 20±2°C の水中に 30±5 分間浸漬させ、取り出して表面の水を拭き取り、NaOH 溶液を 50g 含ませた不織布で被覆し、ラップフィルムを巻き、60°C の恒温槽で 6 ヶ月間促進養生を行った。不織布に含ませる NaOH 溶液の濃度 (不織布 OH 濃度) を 0, 0.60, 1.33mol/L とした。

2.3 試験項目

表 4 に試験項目を示す。ペースト、コンクリートの空隙水の OH 濃度、コンクリート中の全アルカリ、水溶性アルカリ、不織布中のアルカリ濃度、石灰石の吸収アルカリ量 R_{agg} を測定した。ペースト、コンクリートの空隙水 OH 濃度は、圧搾抽出により採取した空隙水の Na⁺, K⁺ 濃度を原子吸光分光法により求め、空隙水中の Na⁺, K⁺ の対イオンは OH⁻ のみと仮定し求めた。コンクリートの圧搾抽出は、試験体から φ45×100mm のコアを採取した後に行った。コンクリート中の全アルカリ量は旧 JCS I-11-1981 「調合原料およびダストの化学分析方法」に準拠して測定した。コンクリート中の水溶性アルカリは、総プロ法に準拠して測定した。不織布中のアルカリ濃度は温水抽出 (80°C 温水 500mL に不織布を 6 時間浸漬) を 2 回行った後に塩酸抽出 (80°C 1M 塩酸 500mL に不織布を 6 時間浸漬) を 1 回行い採取した溶液に対し、原子吸光分光法により測定した。石灰石の吸収アルカリ量 R_{agg} は 0.2, 0.5, 1.0mol/L の NaOH 溶液 (60°C) に粒径 150~300μm の石灰石砕砂を 24 時

表 4 測定項目・測定方法

測定項目	サンプル採取方法	測定方法
コンクリート、ペーストの空隙水 OH 濃度	圧搾抽出	原子吸光分光
コンクリートの全アルカリ量	酸抽出	原子吸光分光
コンクリートの水溶性アルカリ	温水抽出 1 回	原子吸光分光
不織布中のアルカリ	温水抽出 2 回 塩酸抽出 1 回	原子吸光分光
石灰石骨材の吸収アルカリ量	石灰石を 60°C NaOH に浸漬	中和滴定

間浸漬した時の液相の OH⁻濃度を中和滴定により測定して NaOH 濃度の減少量 R_c を求め、R_c と液相の OH⁻濃度から分配比を求めた後、吸収量を計算した。なお、予備試験の結果、骨材粒径と浸漬時間の R_c への影響は無視しえるものであった。

3. 結果および考察

図 1 にペーストの空隙水の OH⁻濃度を示す。セメントのアルカリ量が多いほど、空隙水の OH⁻濃度も高くなった。20°C で養生した試験体よりも 60°C で養生した試験体の方が空隙水 OH⁻濃度が 20% 低く、養生温度による違いが生じた。本実験で作製したコンクリートは 60°C で養生しているため、以下の検討では 60°C の試験体の空隙水の OH⁻濃度で得られた式(1)を採用して考察を行う。

$$\text{空隙水のOH}^- \text{濃度 (mol/L)} = 0.60 \times \text{Na}_2\text{Oeq} + 0.14 \quad (1)$$

図 2 にコンクリート中のアルカリ総量を示す。コンクリート中のアルカリ量は、不織布の OH⁻濃度が高いほど高くなっていったが、全アルカリ量が全水準で初期アルカリ総量 5.5kg/m³ より低くなっていた。定期的に試験体の質量を測定する際にラップフィルムを交換する。このラップフィルムに付着していた溶液が損失したことが要因と考えられる。

図 3 に不織布中のアルカリ濃度を、表 5 に骨材の吸収アルカリ量 R_{agg} を OH⁻濃度に換算した結果を示す。OH⁻濃度は、以下の手順で換算した。まずコンクリート中の空隙水量とコンクリート中の骨材の吸収アルカリ量を推定する。空隙水量は、コンクリートと不織布で水溶性アルカリの濃度 (Na⁺_{eq}) が均衡していると仮定して、コンクリート中の水溶性アルカリの量 (図 2) が不織布中のアルカリ濃度 (図 3) になる水量を空隙水量として推定した。コンクリート中の骨材の吸収アルカリ量は、コンクリート中の空隙水の OH⁻濃度と骨材の分配比、単位骨材量から推定した。この推定した骨材の吸収アルカリ量を、推定した空隙水量を用いて OH⁻濃度に換算した。不織布の OH⁻濃度が高いほど不織布中のアルカリ濃度も高くなったが、コンクリート中の石灰石の吸収アルカリ量は 1.1kg/m³ と差はなかった。石灰石の吸収アルカリを OH⁻濃度に換算すると 0.2mol/L となり、本研究の範囲では、骨材の吸収アルカリにより空隙水の OH⁻濃度が 0.2mol/L 低下する可能性が考えられる。

コンクリート中の全アルカリ量 (図 2)、石灰石の吸収アルカリ量からコンクリートの空隙水の OH⁻濃度を推定した値と、実測値を図 4 に示す。骨材の吸収アルカリを考慮して OH⁻濃度を推定した際、推定値が実験値の差が 0.1mol/L と小さくなった。このことから、コンクリートの空隙水の OH⁻濃度は骨材により低下する可能性があると考えられる。

4. まとめ

空隙水の OH⁻濃度には、アルカリ総量の他に養生温度が影響を及ぼすことが示唆された。60°C 養生したペースト試験体の空隙水 OH⁻濃度の値から、石灰石骨材が吸着するアルカリ量を考慮してコンクリート試験体における空隙水の OH⁻濃度を推定した際、実際の値と近い値となり、コンクリートの空隙水の OH⁻濃度には骨材の吸収アルカリが影響すると考えられる。

参考文献

- 1) K. Yamada et al. : Importance of alkali-wrapping in concrete prism test, Proc. of 15th Int. Conf. Alkali Aggregate Reaction, 84, 2016
- 2) 村上光樹, 山田一夫, 川端雄一郎, 佐川康貴 : ASR 促進試験におけるアルカリラッピングの濃度の検討, 第 72 回セメント技術大会講演要旨, pp.224-225, 2018.5

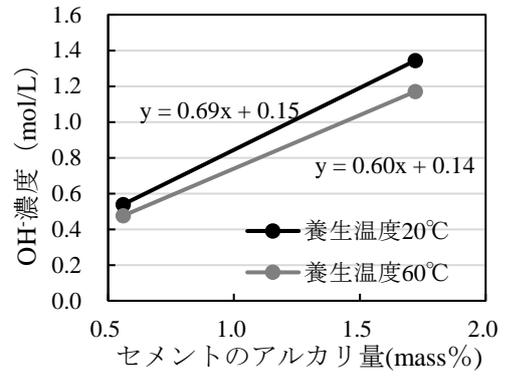


図 1 ペースト中の空隙水の OH⁻濃度

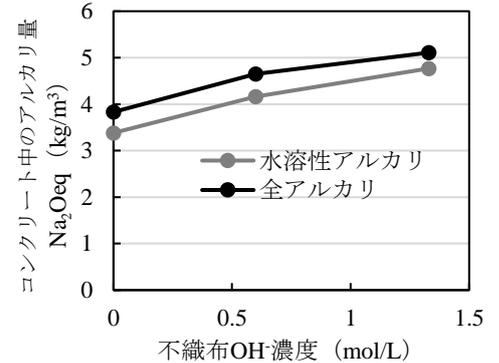


図 2 コンクリート中のアルカリ量

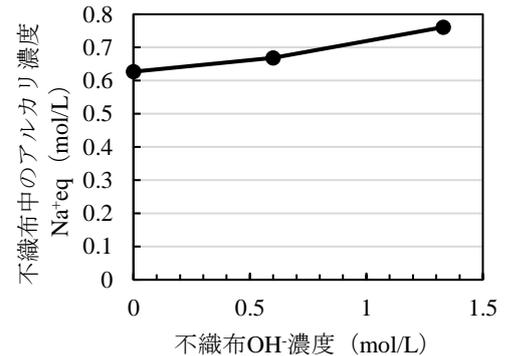


図 3 不織布中のアルカリ濃度

表 5 骨材の吸収アルカリ量 (R_{agg})

不織布 OH ⁻ 濃度 (mol/L)	R _{agg} (kg/m ³)	OH ⁻ 濃度 (mol/L)
0	1.11	0.22
0.60	1.13	0.22
1.33	1.15	0.22

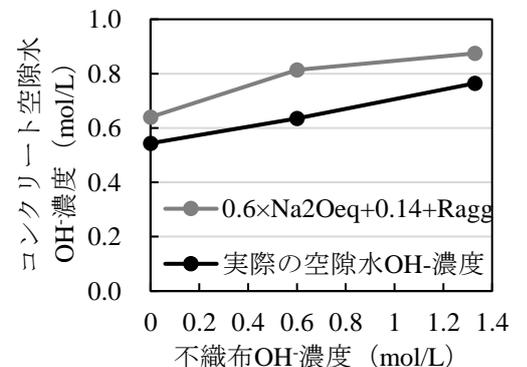


図 4 コンクリート中の空隙水 OH⁻濃度