

セメントペーストおよびモルタルのアルカリ量推定に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 池田 隆徳 (独)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 正会員 濱田 秀則

1. はじめに

アルカリシリカ反応(以下 ASR)により劣化を生じたコンクリート構造物の診断において、建設当時のアルカリ量を推定することは非常に重要である。本研究は、アルカリ量の推定に関する基礎的検討として、セメントペーストおよびモルタルを対象とし、セメントのアルカリ量、骨材種類および抽出方法がアルカリ量の推定値に及ぼす影響について検討を行ったものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントには、JIS A 1146 に規定される普通ポルトランドセメント(密度 3.14g/cm^3 、比表面積 $3370\text{cm}^2/\text{g}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ 量 0.55%)を使用した。骨材には 4 種類の安山岩(An)および非反応性と考えられる石灰石(LS)を使用した。表-1 および表-2 に安山岩の化学成分および鉱物組合せを示す。An(B), An(C)は陽イオン交換反応を有する粘土鉱物のハロイサイトを含み、An(D)は反応性シリカ鉱物を含まないガラス質安山岩である。

2.2 配合および養生条件

セメントペーストの配合は、水セメント比 50%、セメントのアルカリ量を 0.55, 1.20, 2.40%とした。モルタルの配合は、水セメント比 50%、砂セメント比 2.25 とし、セメントのアルカリ量を 1.20%とした。セメントペーストおよびモルタルは、注水後 24 時間で脱型した後、温度 40°C の環境下で湿布養生(以下 C)を行った。また、セメントペーストについては、封緘養生(以下 S)の供試体も作製した。

表-1 骨材の化学成分 (mass%)

	Ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	total
An(A)	1.12	64.76	14.45	5.66	2.12	5.16	3.52	1.89	0.84	99.74
An(B)	0.61	57.54	15.94	7.88	3.97	6.89	2.83	1.50	0.67	98.12
An(C)	2.39	56.89	17.78	7.88	3.35	4.81	2.32	1.58	0.72	97.98
An(D)	1.34	57.71	16.33	7.80	2.88	7.60	3.01	1.64	1.12	99.80

表-2 骨材の鉱物組合せ

	qz	cr	tr	pl	pyx	cl	gl
An(A)	○	○	-	◎	◎	-	+
An(B)	◎	△	△	◎	△	+	+
An(C)	+	○	◎	◎	△	○	+
An(D)	△	-	-	◎	○	-	◎

含有量: ◎>○>△>+>-

qz: 石英, cr: クリストバライト, tr: トリディマイト, pl: 斜長石, pyx: 輝石, cl: 粘土鉱物, gl: 火山ガラス

2.3 試験項目

(1) アルカリ抽出試験

φ50×100mm の円柱供試体を作製し、所定の材齢にて粉砕し試料とした。「建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発」(総プロ法)に従い、アルカリ抽出試験を行った。また、総プロ法の抽出溶媒(40℃温水)との比較として、40℃の 1N HNO₃ による抽出も行った。抽出溶液の Na⁺および K⁺濃度は原子吸光光度計で測定した。測定したアルカリ量はセメントに対する mass% に換算した。

(2) モルタルの空隙水抽出および分析

φ50×100mm の円柱供試体を作製し、所定の材齢においてモルタルを圧搾し、空隙水を抽出した。抽出した空隙水について、ICP 発光分析により Na⁺, K⁺, Ca²⁺濃度を、中和滴定により OH⁻濃度を測定した。

(3) モルタルの膨張量試験

JIS A 1146(モルタルバー法)に準じて膨張量試験を行った。

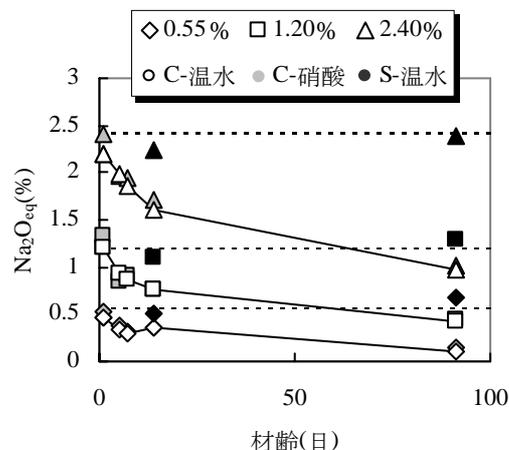


図-1 測定アルカリ量の経時変化 (セメントペースト, 形:測定アルカリ量, 色:抽出条件, 点線:初期アルカリ量)

3. 実験結果および考察

図-1にセメントペーストの測定アルカリ量($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$)の経時変化を示す。湿布養生(C)の場合、経時的にアルカリ量が減少した。一方、封緘養生(S)の場合、経時的な変化は認められない。よって、湿布養生では供試体から湿布へのアルカリの溶脱が生じているものと考えられる。また、抽出溶媒による違いは無視でき、温水抽出(総プロ法)により空隙水中のアルカリに加え、セメント水和物に固定されたアルカリも回収されたと考えられる。本研究の養生条件では、未水和セメントはほとんど無く、クリンカ鉱物中のアルカリの影響が無かったものと考えられる。

図-2および図-3に、温水および硝酸抽出のモルタルの測定アルカリ量の経時変化を示す。なお、図中の点線は初期のセメントアルカリ量(1.20%)を示している。また、LSは、硝酸を用いた際に、LSが溶解し、抽出溶液に影響を及ぼしている可能性がある。

セメントペーストとの結果と比較すると、抽出溶媒の違いにより測定アルカリ量が異なることが分かる。したがって、骨材がアルカリ量推定に何らかの影響を及ぼしているものと考えられるが、抽出溶媒による測定アルカリ量の違いの原因について詳細は不明であり、今後の検討が必要である。

また、An(A)およびAn(D)は、ほぼ同程度の測定アルカリ量を示しているが、JIS A 1146による材齢91日での膨張量は、0.4%および0.05%程度であり測定アルカリ量の傾向とは異なる。このことから、ASRゲルに固定されたアルカリが回収された可能性が示唆された。さらに、An(B)、An(C)は、ハロイサイトの陽イオン交換反応による初期からの急激な濃度減少が予想されたが、そのような傾向は認められなかった。したがって、本研究の範囲内では、陽イオン交換反応を有するハロイサイトがアルカリ量推定に及ぼす影響は小さいと推察される。

図-4にLSを使用したモルタルの空隙水中の各種イオン濃度の経時変化を示す。図より各種イオン濃度の経時的な低下が認められる。これは、湿布へのアルカリ溶脱の影響によるものと考えられる。このような外部へのアルカリ溶脱は、JIS A 1146(モルタルバー法)でも生じており、ASR膨張の過小評価につながる可能性も指摘されていることから、ASR判定試験に対する影響の検討が必要である。

今後、外来アルカリや骨材からのアルカリ溶出等による経時的なアルカリ量の増加の影響に関する定量評価によって、より精度の高いアルカリ量推定が可能となると言える。

4. 結論

- (1) 湿布養生を行った場合、空隙水中のアルカリが湿布へと溶脱した。
- (2) セメントペーストでは、抽出溶媒の違いによってアルカリ量推定値に大きな差はない。したがって、セメント水和物に固定されたアルカリも回収可能であると推察された。
- (3) 本研究の範囲内では、陽イオン交換反応を有するハロイサイトがアルカリ量推定に及ぼす影響は小さかった。

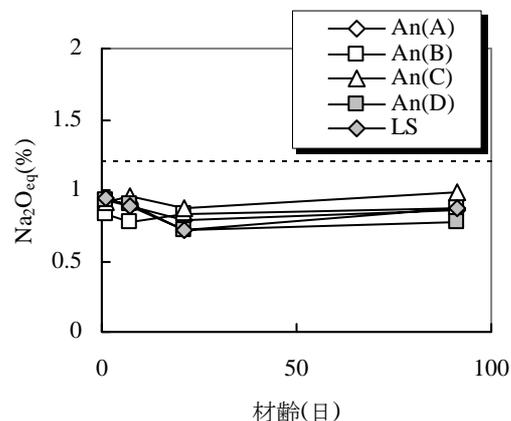


図-2 測定アルカリ量の経時変化 (モルタル-温水抽出)

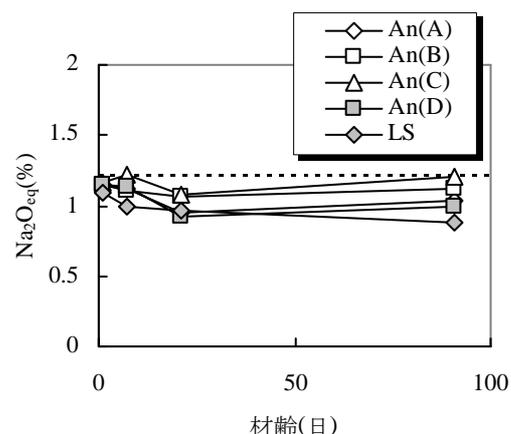


図-3 測定アルカリ量の経時変化 (モルタル-硝酸抽出)

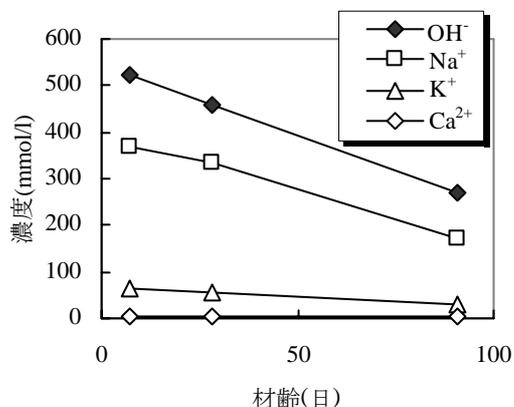


図-4 各種イオン濃度の経時変化