

[1132] アルカリ骨材反応試験における添加アルカリの種類に関する検討

正会員 阿部 道彦 (建設省建築研究所)
 “ 友沢 史紀 (東京大学工学部)
 “ 田村 公一 (佐藤工業中央研究所)
 “ 真野 孝次 (建材試験センター)

1. はじめに

アルカリ骨材反応試験を行うときには、セメントのアルカリ量の調整のためモルタルやコンクリートにアルカリを添加することが多く、低アルカリのセメントを使用した場合などには、通常添加アルカリ量がセメントのアルカリ量を上回る。このため、添加アルカリの種類によっては、コンクリートの物性に悪影響を与えることが考えられる。表1は、昨年までの当論文集に発表されたアルカリ骨材反応に関するモルタルまたはコンクリートを使用した実験をその目的と添加アルカリの種類により整理したものである。これによると、骨材の反応性を検討する実験ではNaOHを添加することが多いが、補修や部材の実験ではNaClを添加する機会が多くなっており、実験の目的により添加アルカリの種類に明確な差が認められる。添加アルカリの種類が骨材の反応性に及ぼす影響についてはいくつかの実験^{1)~4)}が報告されているが、アルカリ骨材反応を生じたコンクリートの補修や部材耐力に関する検討を行う場合には、添加アルカリがコンクリートの物性を変化させていないことを確認しておくことが必要である。

本報告は、これまで筆者らが行ってきたアルカリ骨材反応に関する一連の実験において、添加アルカリの種類や量がコンクリートの特性に及ぼす影響について得られた結果をとりまとめたものである。

2. 検討に用いた実験

報告の検討に用いた実験を、表2に示す。実験Iは、モルタルにより流動性と圧縮強度に及ぼす添加アルカリの種類の影響を調べたもので、実験II~IVは、コンクリートによりNaOHの添加の影響を調べたものである。実験Vは、NaOHとNaClのほか、鉄筋を入れた試験にNaClを使用した場合の防錆を考慮し、NaNO₂についても検討した。

3. 実験方法

使用材料、調合および添加アルカリの種類と量を表3に示す。骨材の性質は、表4に示すとおりである。

実験Iではフロー試験と4×4×16cmの供試体による圧縮強度試験を行った。圧縮強度試験は、促進膨張試験⁶⁾後の供試体を20℃湿空中で養生し、材令2週で行った。

表1 既往の実験の検討項目と使用された添加アルカリの種類 (JCI年次講演会論文集より)

検討項目	骨材の反応性	混和剤	混和材	補修	部材	計
なし			1			1
NaOH	10		3	2		15
NaOH, NaCl	4	1	1	2		8
NaCl	2	1		5	3	11
NaOH, NaCl, CaCl ₂ , KOH	1					1
NaOH, KOH	1					1
NaOH, NaCl, Na ₂ SO ₄	1					1
不明				2		2
計	19	2	5	11	3	40

表2 検討に用いた実験

I	反応性骨材の簡易迅速試験法に関する実験
II	劣化進行に関する実験 (JCI共通試験第1次)
III	含水率の影響に関する予備実験
IV	劣化抑制に関する実験
V	劣化進行に関する実験 (JCI共通試験第2次)

表3 使用材料, 調合, 添加アルカリの種類と量

実験 No.	モルタル, コンクリートの 種別	使用材料				調合		添加 アルカリの 種類	アルカリ量						
		水	セ ト	細 骨材	粗 骨材	混和 剤	W/C		C	セメントに対する割合			コンクリートに対する量		
										セメント中	添加	合計	セメント中	添加	合計
I	モルタル	蒸	普	K	—	なし	50.0	583	7種類	0.48	2.02	2.50	2.80	11.78	14.58
II	コンクリート		通	珪砂	N, 8	なし	45.5	450	NaOH	0.80	0.70	1.50	3.84	3.15	6.75
III	"	留	ポ	"	K	AE剤	55.7	350	"	0.48	1.23	1.71	1.68	4.32	6.00
IV	"		ル	"	N, K	なし	"	"	"	0.48	1.45	1.93	1.68	5.07	6.75
V	"	水	ト	"	N, K	なし	"	"	3種類	0.97	0~	0.97~	3.40	0~	3.40
										1.03	2.00		3.60		~7.00

表4 使用骨材の性質

記号	種類	岩種	絶乾 比重	吸水率 (%)	化学法			モルタルバー法 (%)		
					Sc	Rc	判定	3ヶ月	6ヶ月	判定
N	砕石	砂岩	2.57	1.54	40	65	無害	0.004	0.006	無害
K	砕石	安山岩	2.54	2.82	572	172	潜在的有害	0.217	0.235	有害

珪砂と実験IIの反応性骨材8種類については、文献5) 参照

実験IIとIVでは10φ×20cmの供試体により4週水中養生後、動弾性係数・超音波速度を測定した後、圧縮強度と静弾性係数を測定した。実験IIIでは、10×10×40cmの供試体により、材令2週まで水中養生後、20℃60%R.H.の恒温恒湿室に保存し、乾燥収縮を測定した。実験Vでは、圧縮強度試験のほか、引張強度試験も実施した。ただし、アルカリの溶出をさけるため、材令4週まで封かん養生を行った。乾燥収縮試験は、材令1週まで水中養生後、実験IIIと同様に行った。水中養生には、凍結融解試験用のゴム袋を用い、養生水に溶出したアルカリ量を測定して、供試体に残存するアルカリ量を求めた。

4. 実験結果

4.1 フレッシュモルタルおよびコンクリートの流動性に及ぼす添加アルカリの種類および量の影響

図1は添加アルカリの種類がモルタルのフローに及ぼす影響を示したものである。この実験は、骨材との反応を促進するためアルカリの添加量をかなり多くしているが、Na₂CO₃を添加した場合には、モルタルの流動性が著しく悪くなった。また、NaOHやKOHのように水酸基OHをもつものは、他のアルカリに比べ若干流動性が悪くなった。

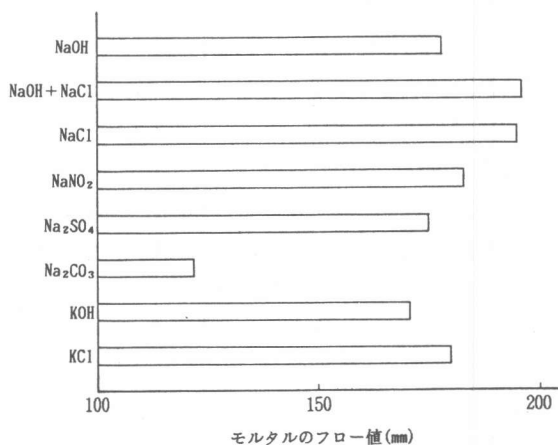


図1 モルタルの流動性に及ぼす添加アルカリの種類の影響

図2には、モルタルによる実験で若干流動性に対する影響のみられたNaOHについてコンクリートによる実験結果を示したものである。これによると、NaOHの添加によるコンクリートのスランプ低下はあまり明確には認められない。これは、モルタルの場合、添加アルカリ量が、セメントに対して2.02%であったのに対し、コンクリートの場合には、実験IVで1.45%、実験Vでは0~1.03%と小さかったことによる。このため、通常の実験においては、NaOHの添加によるコンクリートの流動性の低下は小さいと考えてよい。また、同時に検討したNaClやNaNO₂についても、添

加量 3.6 kg/m^3 までは流動性に対する影響がないといえる。

また、NaOHを添加した場合には添加量の増加とともに空気量は漸増する傾向を示したが、その増加量は、アルカリ量 1 kg/m^3 に対して 0.2% 程度であり、実用上問題は無いといえる。

4.2 モルタルおよびコンクリートの力学的性質に及ぼす添加アルカリの種類および量の影響

図3は、促進試験終了後材令2週目のモルタルの圧縮強度試験結果を示したものである。これによると、水酸基をもつアルカリ(NaOH, KOH)を添加した場合のモルタルの圧縮強度が、いずれもかなり小さい値を示した。これについては、膨張による影響も考えられたがほとんど膨張が認められない促進試験温度 60°C の場合にも強度低下が認められ、また、無害骨材を使用したモルタルの圧縮強度試験⁷⁾でもNaOHを添加した場合の圧縮強度がNaClを添加した場合の約 $1/3$ となっていることから、この強度低下は膨張に起因するものではないと考えられる。

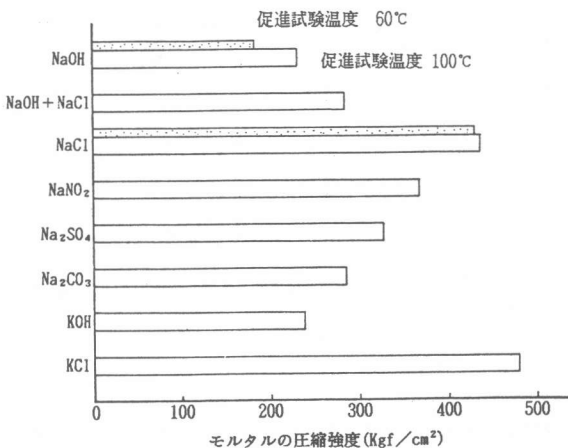


図3 モルタルの圧縮強度に及ぼす添加アルカリの種類の影響

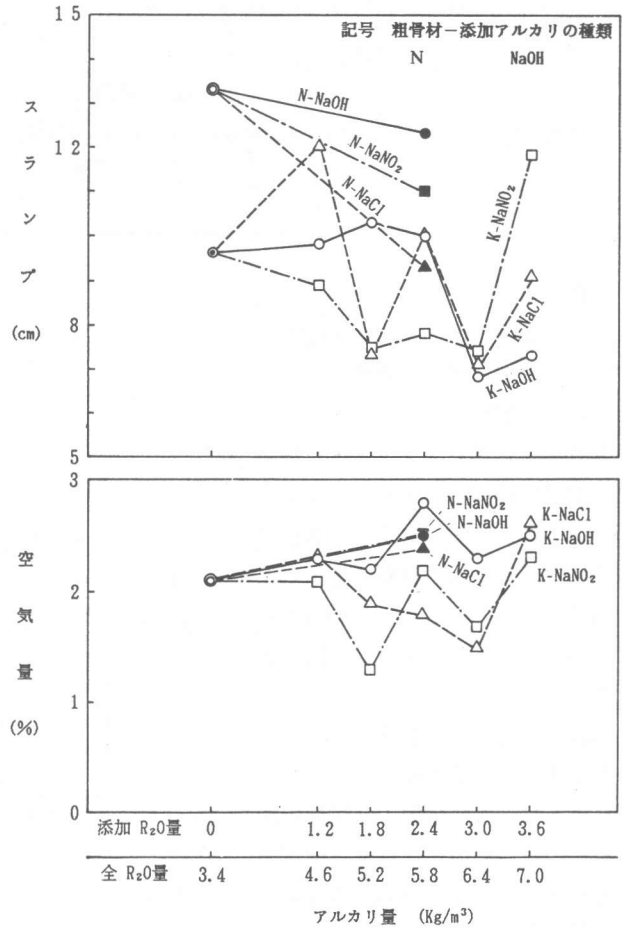


図2 フレッシュコンクリートの性質に及ぼす添加アルカリの影響

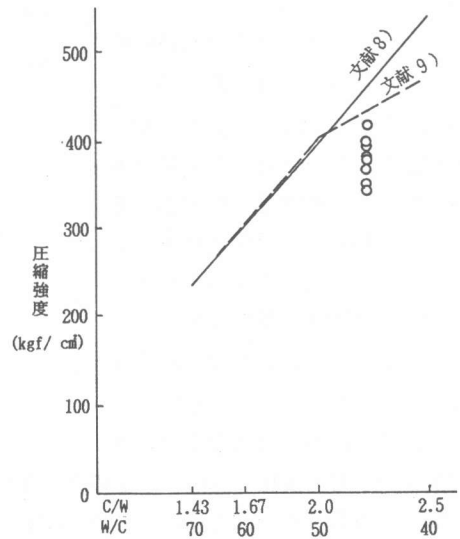


図4 NaOHを添加したコンクリートの圧縮強度

表5 フレッシュコンクリートの性状及びコンクリートの力学的性質 (実験IV)

粗骨材の種類	NaOHの添加量 R ₂ O (kg/m ³)	練上り温度 (°C)	スランプ (cm)	空気量(%)		圧縮強度 (kgf/cm ²)	静弾性係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	動弾性係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	超音波速度 (km/sec)
				圧力法	重量法				
非反応性 N	5.07	23.0	4.5	3.0	1.9	224	2.86	3.80	4.52
反応性 K	5.07	23.0	4.0	3.0	2.2	221	3.12	3.80	4.47
"	0	21.0	7.5	2.0	1.4	423	3.41	4.01	4.57

図4は、コンクリートの圧縮強度に及ぼすNaOHの添加の影響を示したもので、骨材の種類によらずNaOHを添加したコンクリートの圧縮強度は、水セメント比より推定される圧縮強度より小さくなっている。なお、図中に示した算定式の線は、いずれも砂利を使用した場合のものであるため、碎石を使用した場合の線はさらに上になることになる。

表5は実験IVの結果を示したものである。NaOHを添加したコンクリートは、空気量が1%程度増加しているものの圧縮強度の低下がきわめて著しい。一方、圧縮強度以外の力学的性質については圧縮強度の低下から推定されるほどの低下は認められない。

図5はコンクリートの圧縮強度に及ぼす添加アルカリの種類および量の影響を示したもので、NaOHを添加した場合には、添加量の増加につれて圧縮強度の低下が顕著となっている。引張強度においても、かなりばらつきは認められるもののほぼ同様の傾向があるといえる。この傾向は、骨材の反応性の有無にかかわらず認められるため、NaOHの添加による強度の低下はアルカリ骨材反応に起因するものではないといえる。

NaOH以外のアルカリを添加した場合にも圧縮強度のやや低下する場合が認められたが、その程

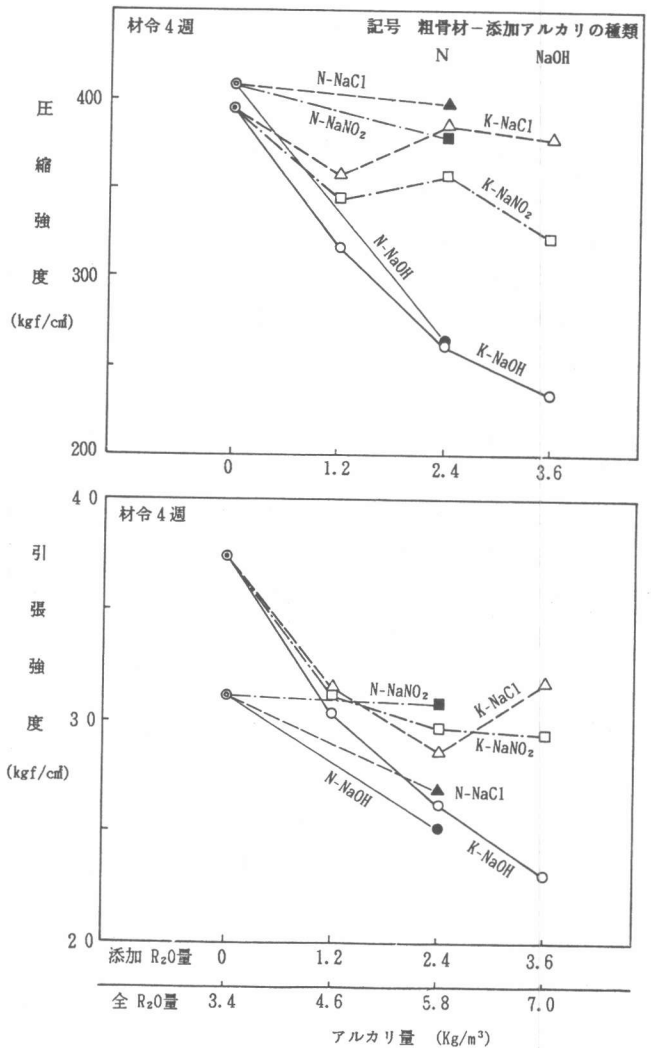


図5 コンクリートの強度に及ぼす添加アルカリの影響

度はNaOHの場合に比べて小さいといえる。

図6は、コンクリートの圧縮強度を最も低下させたNaOHを添加した場合について、他の力学的性質の低下を示したものであるが、引張強度以外の静弾性係数・動弾性係数および超音波速度の低下は、ほとんど認められず、このことからNaOHの添加による強度の低下はコンクリートの組織の破壊によるものではないといえる。また、NaClやNaNO₂を添加した場合にも、静弾性係数、動弾性係数および超音波速度の低下は認められなかった。

4.3 コンクリートの乾燥収縮に及ぼすアルカリの種類および量の影響

実験ⅢにおいてNaClを添加したコンクリートの乾燥収縮率は、保存期間6週においても 1×10^{-4} 未満で済ませて小さい値を示した。

図7は、各種アルカリを添加したコンクリートの保存期間13週の乾燥収縮率を示したものであるが、NaOHを添加した場合には、添加量に応じて乾燥収縮率が減少している。これに対し、NaClやNaNO₂を添加した場合には、乾燥収縮率の減少はほとんど認められなかった。

一方、重量減少率は、NaOHを添加したものが無添加のコンクリートに近い値を示し、むしろ、NaClやNaNO₂を添加した場合の方が、重量減少率は若干小さくなるという結果となった。

なお、表6は、水中養生によるコンクリート供試体からのアルカリの溶出を示したものであるが、6日間の水中養生により添加アルカリの種類および量によらず、いずれの供試体からも約10%程度のアルカリが溶出している。

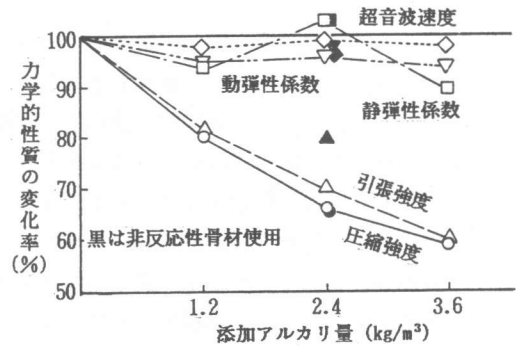


図6 NaOHの添加による力学的性質の変化

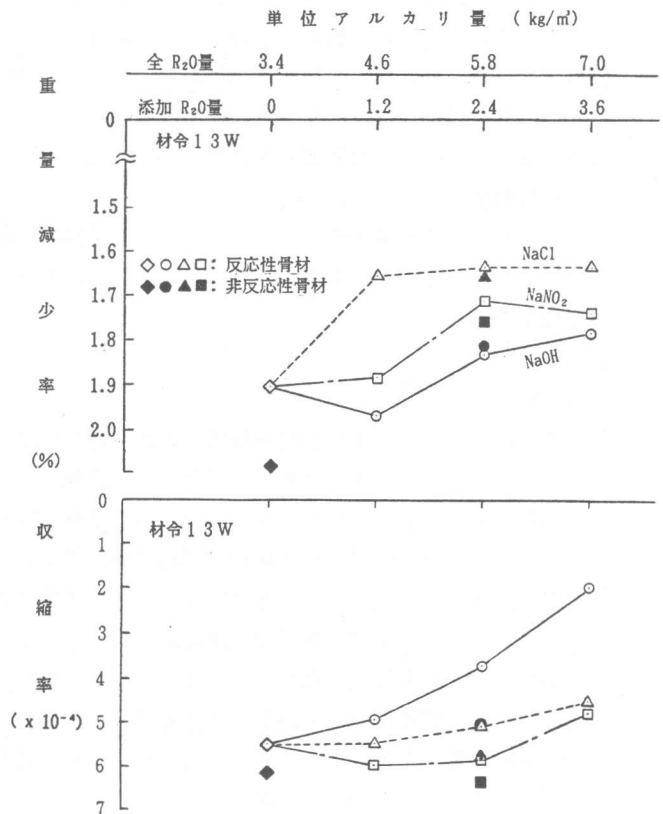


図7 コンクリートの乾燥収縮に及ぼす添加アルカリの影響

5. まとめ

アルカリ骨材反応に関して筆者らの行ってきた実験から、添加アルカリの種類および量が、モルタルやコンクリートの基礎的性状に及ぼす影響について検討した結果は次のようにまとめられる。

(1) Na_2CO_3 の添加はモルタルの流動性を著しく低下させる。 NaOH の添加もモルタルやコンクリートの流動性を低下させるが、通常の添加量の範囲（セメントに対して2%程度までの添加）ではあまり影響はない。

(2) NaOH の添加はコンクリートの空気量を増加させるが、通常の添加量の範囲では無視できる。

(3) NaOH の添加はコンクリートの圧縮強度を低下させる。 NaCl または NaNO_2 を添加した場合には強度低下はほとんどないか比較的小さい。

(4) NaOH の添加はコンクリートの乾燥収縮率を減少させる。 NaCl または NaNO_2 を添加した場合には、乾燥収縮率の減少はほとんどない。

これより、 NaOH の過剰添加はコンクリートの基礎的性状に影響を及ぼすことが判明した。このため、アルカリを添加する場合には、試験の目的を考慮して添加するアルカリの種類と量を決める必要があると考えられる。

〔参考文献〕

- 1) 中野錦一, 他3名: 反応性骨材の膨張に及ぼすアルカリ化合物の影響; セメント・コンクリート No. 446, Apr. 1984
- 2) 小林茂敏, 他3名: 各種アルカリがアルカリ骨材反応に及ぼす影響; コンクリート工学年次講演会講演論文集, 第7回, 1985
- 3) 立松英信, 他1名: アルカリ骨材反応生成物の特徴とコンクリートの劣化; コンクリート工学年次講演会講演論文集, 第9回, 1987
- 4) 小林一輔, 瀬野康弘: 骨材のアルカリ反応性の判定試験方法に関する研究 (I) -モルタルバー法 (ASTM C227)の検討-; 生産研究, 39巻12号, 1987
- 5) アルカリ骨材反応調査研究委員会: JCI アルカリ骨材反応調査研究委員会の活動状況; コンクリート工学, Vol. 24 No. 11, 1986. 11
- 6) 阿部道彦, 他4名: 骨材のアルカリ反応性の簡易迅速試験法に関する検討 (その1: 試験条件に関する検討); 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 1987. 10
- 7) 田村博, 他1名: GBR C促進法・自動反応促進装置の昇温・冷却時間に関する検討; 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 1987. 10
- 8) 日本建築学会混合セメント用法研究委員会: 混合セメントの用法に関する研究 (昭和37, 38年度共通試験) 1964
- 9) セメント協会: コンクリート専門委員会報告F16, 1966. 9

表6 水中養生によるアルカリの溶出

粗骨材の種類	添加アルカリの種類	全アルカリ量 (kg/m^3)	
		水中養生前	水中養生後
K	なし	3.40	3.10
	NaOH	4.60	4.18
	NaCl		4.18
	NaNO_2		4.21
	NaOH	5.80	5.25
	NaCl		5.27
	NaNO_2		5.26
	NaOH	7.00	6.31
	NaCl		6.25
NaNO_2	6.22		
N	なし	3.40	3.12
	NaOH	5.80	5.25
	NaCl		5.18
	NaNO_2		5.18