

8. 再生骨材の試験方法

8.1 審議の経緯

本年度は、本 WG で独自の会合を持つことは行わず、WG 1、WG 2、WG 3 の活動の中で、課題となっている下記の問題について試験を行った。

- ・再生骨材のアルカリシリカ骨材反応と抑制手法について
- ・再生骨材中のアルカリ量試験方法について
- ・再生骨材中の塩素量試験方法について

以下、実施した試験の内容と結果を報告する。

8.2 再生骨材のアルカリシリカ骨材反応と抑制手法に関する試験

8.2.1 試験目的

本試験は、再生骨材コンクリートに対するアルカリシリカ反応性抑制効果を確認することを目的に、高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートバー試験を実施したものである。なお本試験は、「土木学会 コンクリート委員会 電力施設解体コンクリート利用検討小委員会」で実施中であった同目的の試験を補完する形で実施し、両者のデータを共有することで抑制手法の精度の向上を目指したものである。試験の内容は、以下のものである。

- 1) 骨材調整：再生粗骨材・再生細骨材の表乾状態調整
- 2) コンクリートの配合調整：9 ケース
- 3) コンクリートバー法供試体作製：9 ケース
- 4) コンクリートバー法試験：9 ケース

8.2.2 使用材料

(1) セメント

(社)セメント協会製 研究用普通ポルトランドセメントを使用した。

(2) 高炉スラグ微粉末

新日鐵高炉セメント(株)製 高炉スラグ微粉末 4000 を使用した。

(3) 細骨材

反応性再生細骨材：「土木学会 コンクリート委員会 電力施設解体コンクリート利用検討小委員会」で作製した再生細骨材。

非反応性再生細骨材：「土木学会 コンクリート委員会 電力施設解体コンクリート利用検討小委員会」で作製した再生細骨材。

(4) 粗骨材

反応性再生粗骨材：「土木学会 コンクリート委員会 電力施設解体コンクリート利用検討小委員会」で作製した再生粗骨材。

(5) 混和剤

混和剤は、(株)エヌエムビー製 A E 減水剤標準形「ポゾリス No. 7 0」、空気量調整剤として同社製の「マイクロエア 7 7 5 S」および「マイクロエア 4 0 4」を使用した。

(6) 練混ぜ水

練混ぜ水は、上水道水を使用した。

8.2.3 試験方法

(1) 練混ぜ

コンクリートの練混ぜは、JIS A 8603-1994「コンクリートミキサ」に規定されている強制練りミキサ（水平二軸型：55ℓ）を用いた。練混ぜ手順は下記に示す。

再生粗骨材＋再生細骨材＋結合材（セメント＋高炉スラグ微粉末）

↓ 15秒

水＋混和剤

↓ 90秒

排出（スランプ・空気量確認）

再生粗骨材＋再生細骨材＋結合材（セメント＋高炉スラグ微粉末）

↓ 15秒

水＋混和剤

↓ 90秒

顆粒水酸化ナトリウム添加

↓ 90秒

排出（供試体作製）

（２）スランプ

スランプ試験は、JIS A 1101:1998「コンクリートのスランプ試験方法」によって行った。

（３）空気量

空気量は、JIS A 1128:1999「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）」によって行った。

（４）コンクリート温度

ひずみ温度計を使用した。

（５）供試体作製

圧縮強度試験用供試体およびコンクリートのアルカリシリカ反応性判定試験用供試体は、各配合ともφ10×20cmの円柱供試体及び10×10×40cmの角柱供試体を JIS A 1132:1999「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」により作製した。

（６）試験方法

圧縮強度試験は、JIS A 1108:1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」によって行った。

アルカリシリカ反応性試験は、JCI-AAR-3:1987「コンクリートのアルカリシリカ反応性判定試験方法（案）」によって行った。

8.2.4 試験ケースならびに配合条件

(1) 試験ケース

試験ケースを表 8.2.1 に示した。

なお、表中には参考として「土木学会 コンクリート委員会 電力施設解体コンクリート利用検討小委員会」の試験ケースも併記した。

表 8.2.1 試験ケースコンクリートバー

ケース No.	混和材種別	混和材内割 置換比率 (%)	N a ₂ O 当量 (kg／m ³)		骨材種別	
			添加量	全量* ₂		
6	B	4 0	2.4* ₁	5.9	粗骨材：反応性 1 0 0 % 細骨材：非反応性 1 0 0 %	
		4 5	2.4	5.9		
		5 0	2.4* ₁	5.8		
11		4 0	0.0	5.7	粗骨材：反応性 1 0 0 % 細骨材：反応性 1 0 0 %	
				6.9		
				8.1		
			0.0	5.7		
				6.9		
			0.0	5.6		
				6.8		
				8.0		
			5 5	2.4		7.9
			6 0	2.4		7.8

* 1:「土木学会 コンクリート委員会 電力施設解体コンクリート利用検討小委員会」の試験ケース

* 2:再生骨材の付着モルタル中のアルカリが全部溶出したとして、Na₂O 当量を算出。なお、算出に当っては、再生骨材のアルカリ量測定試験方法が確立されていないことから、以下に示す算出式・仮定値を用いた。

$$R_l = C_R \times (R_c / 100) + G_a \times (M_a / 100) \times R_a + S_a \times R_a + S_n \times R_n + R_t$$

ここに、

R_l = 供試体のアルカリ総量 (kg/m³)

C_R = 供試体作製時の単位セメント量 (kg/m³)

R_c = 供試体作製に用いたセメントの全アルカリ量 (0.47%)

G_a = 供試体作製時の「無害でない」単位再生粗骨材量 (kg/m³)

M_a = 「無害でない」再生粗骨材のモルタル付着率 (40%)

R_a = 「無害でない」原コンクリートのモルタル中の Na₂O 当量 (0.0045 kg/kg)

S_a = 供試体作製時の「無害でない」単位再生細骨材量 (kg/m³)

R_n = 「無害」原コンクリートのモルタル中のアルカリ量 (0.0015 kg/kg)

S_n = 供試体作製時の「無害」単位再生細骨材量 (kg/m³)

R_t = 供試体作製時の添加 Na₂O 当量 (2.4 kg/m³)

(2) 配合条件

下記の配合条件で供試体作製配合を決定した。

- ①粗骨材最大寸法 20 mm、
- ②スランプの範囲 12 ± 1 cm、
- ③空気量の範囲 4.5 ± 1 %
- ④水結合材比 55 %、
- ⑤細骨材率 46 %

8.2.5 試験結果

再生骨材コンクリート作製における室内配合試験結果に基づく配合表を表 8.2.2 に、配合試験結果を表 8.2.3 に、長さ変化試験結果を表 8.2.4 ならびに図 8.2.1, 8.2.2 に示した。

なお、図中には参考として「土木学会 コンクリート委員会 電力施設解体コンクリート利用検討小委員会」の試験結果も併記した。

表 8.2.2 配合表

試験ケースNo.	単位量 (kg/m ³)							
	水	結合材		細骨材	粗骨材	混和剤 (C*)		
		セメント	高炉スラグ微粉末			A E 減水剤	A E 剤	消泡剤
6-B-45	160	160	131	721	906	0.44	0.000	0.0016
11-B-40	160	175	116	727	907	0.50	0.000	0.0050
11-B-45	160	160	131	727	906	0.50	0.000	0.0040
11-B-55	160	131	160	726	905	0.50	0.000	0.0030
11-B-60	160	116	175	726	905	0.50	0.000	0.0020

表 8.2.3 再生骨材コンクリート作製における室内配合試験結果ならびに圧縮強度

試験ケースNo.	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	圧縮強度 (材齢 28 日) (N/mm ²)
6-B-45-2.4	13.5	4.2	23.6	32.6
11-B-40-0.0	11.0	4.1	24.1	33.4
11-B-40-1.2	11.0	4.1	24.1	33.3
11-B-45-0.0	11.0	3.3	24.0	33.7
11-B-45-1.2	11.0	3.3	24.0	34.9
11-B-50-0.0	10.5	3.4	24.4	32.2
11-B-50-1.2	10.5	3.4	24.4	34.1
11-B-55-2.4	10.5	3.8	23.6	31.2
11-B-60-2.4	10.0	3.5	24.0	30.2

表 8.2.4 コンクリートバー試験結果

試験ケースNo.	測定材齢別長さ変化率 (%)					
	1 ヶ月	2 ヶ月	3 ヶ月	4 ヶ月	5 ヶ月	6 ヶ月
6-B-45-2.4	-0.001	-0.002	0.000	-0.002	-0.001	-0.001
11-B-40-0.0	0.007	0.006	0.011	0.008	0.008	0.008
11-B-40-1.2	0.006	0.006	0.010	0.008	0.008	0.008
11-B-45-0.0	0.002	0.001	0.004	0.001	0.001	0.001
11-B-45-1.2	0.007	0.004	0.010	0.008	0.008	0.008
11-B-50-0.0	0.003	0.000	0.003	0.001	0.001	0.002
11-B-50-1.2	0.008	0.004	0.008	0.006	0.006	0.006
11-B-55-2.4	0.004	0.003	0.006	0.006	0.007	0.007
11-B-60-2.4	0.003	0.002	0.003	0.005	0.006	0.006

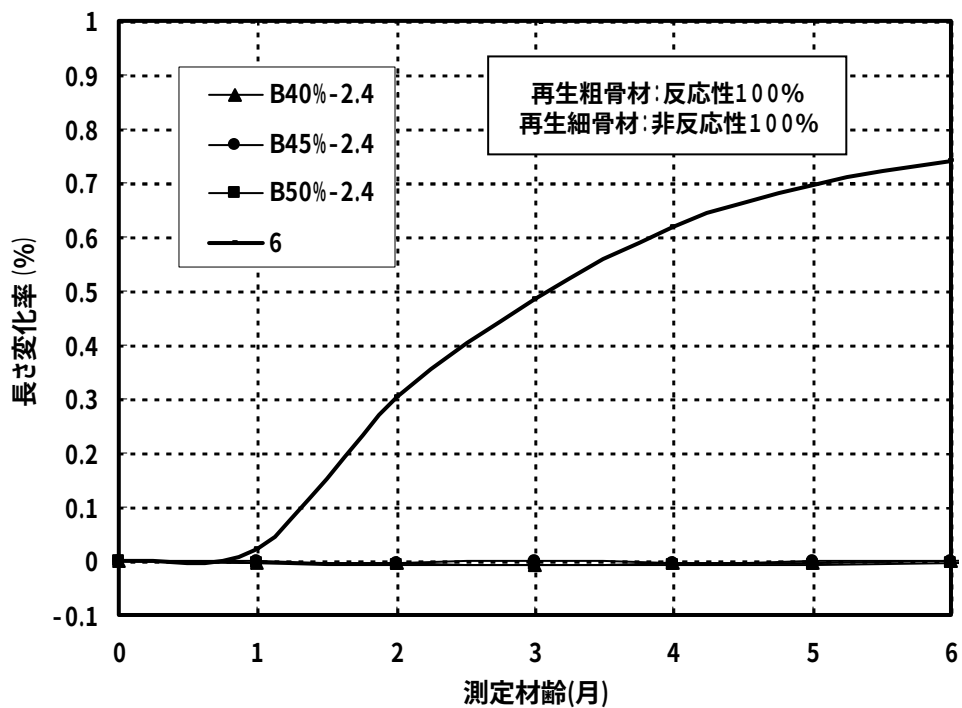


図 8.2.1 コンクリートバー試験

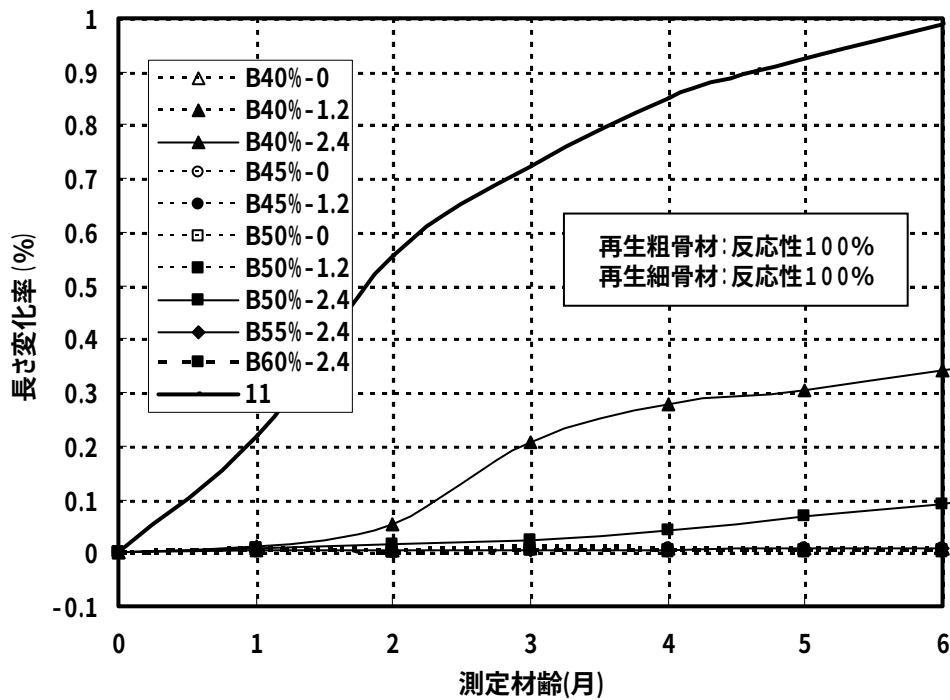


図 8.2.2 コンクリートバー試験

8.2.6 まとめ

試験結果から以下に記述する内容が明確となった。

〔再生粗骨材：反応性 1 0 0 %、再生細骨材：非反応性 1 0 0 % のケース〕

- ①高炉スラグ微粉末を混和材として用いない場合は、過度な膨張量を示す。
- ②高炉スラグ微粉末を混和材として、内割で結合材の 4 0 % 以上置換することにより、膨張を抑制することができる。

〔再生粗骨材：反応性 1 0 0 %、再生細骨材：反応性 1 0 0 % のケース〕

- ①高炉スラグ微粉末を混和材として用いない場合は、過度な膨張量を示す。
- ②高炉スラグ微粉末を混和材として、内割で結合材の 4 0 % 置換しても、膨張を抑制することができない。
- ③高炉スラグ微粉末を混和材として、内割で結合材の 5 0 % 以上置換することにより、膨張を抑制することができる。
- ④但し、5 0 % 置換の場合は、長期的に膨張する可能性がある。
- ⑤判断基準を上回る膨張を示す試験ケースにおいても、添加アルカリ量を Na_2O 当量で 1. 2 kg / m^3 減少することにより膨張を抑制することが出来る。

8.3 再生骨材中のアルカリ量に関する試験

8.3.1 試験目的

再生骨材中のアルカリ含有量を測定する方法を開発することを目的として、以下の4段階で検討した。

I. 実機製造された再生骨材を用いた検討

8.2 で使用した再生骨材を試料として、試料の粒の大きさ、アルカリ溶出溶媒 (HCl 水溶液) の濃度、固液比、溶解処理時間の影響を検討した。

II. 150 μ m 全通に微粉碎した試製再生骨材試料を用いた検討

8.2 で使用した再生骨材試料のアルカリ量の測定値は、原コンクリートからのアルカリ含有量の計算値より少なかった。そこで、アルカリ含有量が既知の試製再生骨材を試料として、試験手順の妥当性を確認すると共に、原骨材から溶出するアルカリ量による測定誤差を把握し、この誤差を補正する方法を検討した。

III. 有姿 (5mm 全通) の試製再生細骨材試料を用いた検討

原骨材から溶出するアルカリ量による測定誤差は無視できない大きさであることが判明した。この影響を小さくすることを目的として、分析試料の粒の大きさを大きくすると共に、低濃度のアルカリ溶出溶液を用いることの有効性を検討した。

IV. 有姿の試製再生粗骨材試料を用いた検討

試製再生細骨材で妥当性が確認された試験方法について、再生粗骨材への適用性を検討した。

V. 市販再生骨材によるアルカリ量調査

再生骨材「L」は原骨材を特定することがほとんどできないため、アルカリ骨材反応性を区分「B」とする場合がほとんどとなる。したがって、再生骨材「L」中のアルカリ金属量の把握が必要であるため、市販の再生骨材中のアルカリ金属量を調査した。

再生骨材中のアルカリ含有量の測定方法を検討した結果、以下の内容が明らかとなった。

また、得られた結果に基づき、**〔添付資料〕**として、「再生骨材中のアルカリ含有量の測定方法」を提案した。

1) 試料の粒の大きさ

試料は「有姿」の状態で使用することが適している。

2) アルカリ溶出溶媒

アルカリを溶出する溶媒は、塩酸 (1+100) が適している。

3) アルカリ溶出処理の終了判定基準

アルカリ溶出処理の終了は、繰り返しアルカリ溶出処理における溶出アルカリ量の増加分が一定の値 (換算アルカリ量が 0.02%) 以下となった時とする。

8.3.2 実機製造された再生骨材を用いた検討

8.3.2.1 目的

再生骨材中のアルカリ含有量を測定するため、近畿コンクリート株式会社で実際に製造された再生骨材を試料として、試験方法を検討した。

8.3.2.2 試験方法

(1) 試料の粉碎

ジョークラッシャーで再生骨材を 5 mm 全通に粗粉碎した。必要に応じて、5 mm 全通に粗粉碎した再生骨材を、振動ミルで 150 μ m 全通に微粉碎した。

(2) 再生骨材中のアルカリ含有量の測定

表 1 の試験水準に従い、所定の粒度に調製した再生骨材の所定量を量り取ってビーカーに入れ、セメント協会 コンクリートの配合推定方法（コンクリート委員会報告 F-18 および F-23）に準拠し、所定濃度の塩酸と所定の固液比で混合後、20 分間攪拌した。ろ液を分取し、原子吸光光度法で溶出した Na_2O 、 K_2O を定量し、換算アルカリ量 ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{aq}} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \times \text{K}_2\text{O}$) を算出した。

また、不溶解残渣をろつばに入れて 1000℃で強熱し、不溶解分を定量した。

なお、原粗骨材および原細骨材に対しても、同様の試験を実施した。

8.3.2.3 試験結果

表 8.3.1 に試験結果を示す。

表 8.3.1 試験結果

水準 No.	前処理方法					試料	再生骨材に対するアルカリ量 (wt%)		
	試料の粒 の大きさ	塩酸 濃度	試料量 (g)	溶媒量 (ml)	処理 時間		Na_2O	K_2O	R_2O
①	150 μ m 全通	1+100	1	250	20 分	G1	0.106	0.081	0.159
						G2	0.110	0.083	0.165
						S	0.249	0.096	0.312
②	5mm 粗砕	1+100	50	500	20 分	G1	0.049	0.037	0.073
						G2	0.044	0.031	0.064
						S	0.134	0.042	0.162
③	5mm 粗砕	1+10	50	500	20 分	G1	0.068	0.059	0.107
④	5mm 粗砕	1+100	25	500	20 分	G2	0.052	0.045	0.082
						S	0.135	0.034	0.157
⑤	150 μ m 全通	1+100	1	250	20 分	原粗骨材	0.116	0.067	0.160
						原細骨材	0.062	0.043	0.090

8.3.2.4 原コンクリートのペースト部分に含まれるアルカリ量の算定

分析結果の妥当性を評価するため、原コンクリート中の配合よりセメントペースト（セメント+水）に対するアルカリの質量割合の理論値を求めた。なお、原コンクリート中の水分の一部は乾燥によって蒸発していることが予想された。打設されたコンクリートは 4m³ のブロックであることから比較的

その影響は小さいと推測されたが、実際に蒸発した量は不明であった。そのため、①水分の蒸発がない場合、および、②単位水量の内、セメント質量の 40%に相当する水分が結合水としてコンクリートに固定され、残りが蒸発した場合の 2 ケースについて算定を行った。

表 8.3.2 原コンクリートのペースト部分に含まれるアルカリ量

項目		記号	①水分の 蒸発なし	②結合水が $C \times 0.4$	計算式
単位量 (kg/m ³)	水	W	176	176	
	セメント	C	320	320	
	細骨材	S	839	839	
	粗骨材	G	989	989	
蒸発した水量 (kg/m ³)		W_c		48	$W - C \times 0.4$
ペースト量 (kg/m ³)		P		448	$W + C - W_c$
ペーストに対するアルカリ量理論値 (wt%)		A_p	1.21	1.34	$6/P \times 100$

8.3.2.5 原骨材量、ペースト量の割合

試料の水準①の方法による不溶残分及び原骨材の不溶残分より試料中の原骨材量を求め、全体を 100 として差し引いた値をペースト量（セメント+結合水）とした。これに 8.3.2.4 で求めたペーストのアルカリ量理論値を乗じ、ペースト量から求まる理論上の再生骨材に対するアルカリ量を求めた。なお原骨材の不溶残分には粗骨材、細骨材の平均を用いた。

表 8.3.3 原骨材料、ペースト量の割合

項目		記号	G1	G2	S	計算式
試料の不溶残分 (%)		I_x	79.29	81.59	63.07	
原骨材の不溶残分 (%)	粗骨材	I_G	95.73	95.73	95.73	
	細骨材	I_S	97.54	97.54	97.54	
	平均	I_A	96.64	96.64	96.64	$(I_G + I_S)/2$
試料中の原骨材量 (%)		A_x	82.0	84.4	65.3	$I_x/I_A \times 100$
試料中のペースト量 (%)		P_x	18.0	15.6	34.7	$100 - A_x$
ペースト量から 算出 される再生骨材 中の 理論アルカリ量 注) (%)	$A_p = 1.21$		0.218	0.189	0.420	$A_p \times P_x / 100$
	$A_p = 1.34$		0.241	0.209	0.465	

8.3.2.6 結果について

結果を表 8.3.4 にまとめた。

表 8.3.4 試験結果まとめ

水準 No.	前処理方法					試料	再生骨材に対するアルカリ量 (wt%)		
	試料の粒 の大きさ	塩酸 濃度	試料量 (g)	溶媒量 (ml)	処理 時間		Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O
理論	水分の 蒸発が ない 場合					G1			0.218
						G2			0.189
						S			0.420
①	150 μm 全通	1+100	1	250	20 分	G1	0.106	0.081	0.159
						G2	0.110	0.083	0.165
						S	0.249	0.096	0.312
②	5mm 粗碎	1+100	50	500	20 分	G1	0.049	0.037	0.073
						G2	0.044	0.031	0.064
						S	0.134	0.042	0.162
③	5mm 粗碎	1+10	50	500	20 分	G1	0.068	0.059	0.107
④	5mm 粗碎	1+100	25	500	20 分	G2	0.052	0.045	0.082
						S	0.135	0.034	0.157
⑤	150 μm 全通	1+100	1	250	20 分	原粗骨材	0.116	0.067	0.160
						原細骨材	0.062	0.043	0.090

1) 分析結果を表 8.3.4 の再生骨材のアルカリ含有量測定値ペースト量から算出される理論アルカリ量と比較すると、いずれの前処理方法でも分析結果は理論値に比べて小さい値となった。この原因として、定量方法による影響の他、原コンクリートの製造から分析試料の作製までの間に含まれていたアルカリ量が減少した可能性が考えられた。

2) 水準②及び④は、試料量-溶媒比が異なっており、そのほかの条件は同一であった。これらの結果を比較すると、顕著な差は認められなかった。このことより、溶媒に対する試料量が多い水準②でも溶媒は飽和には至っていないと考えられた。

したがって、これらの分析結果が水準①でのアルカリ量よりも少ないことについては、試料径が大きいため、セメントペーストの溶解が十分ではないことが原因として考えられた。

3) 水準⑤の結果より、原骨材の種類によっては今回の方法でアルカリを定量した場合、ペースト部分に含まれるものの他に骨材から溶出するアルカリ量が加算して多量に定量される可能性がある。

8.3.2.7 残された検討課題

5mm 粗碎試料では溶解時間が 20 分ではペースト部分の溶解が不十分である。前処理時間を長くして分析を行い、ペーストの全量が溶解する時間を確認する必要がある。

また、今回使用した再生骨材試料は原コンクリートよりもアルカリ量が少なくなっている可能性が

示唆された。このため、外部との物質の受給がないコンクリートから再生骨材を作製し、これを用いて行った分析結果より各種前処理方法での分析精度の検証を行う必要があると考えられた。

8.3.2.8 結論

- 1) 8.2 で用いた再生骨材のアルカリ量の測定値は、原コンクリートからのアルカリ含有量の計算値より少なかった。
このため、外部との物質の受給がないコンクリートから再生骨材を作製し、これを用いて行った分析結果より各種前処理方法での分析精度の検証を行う必要がある。
- 2) 5mm 粗砕試料では塩酸(1+100)による溶解時間が20分ではペースト部分の溶解が不十分であった。処理時間を長くして、ペーストの全量が溶解する時間を確認する必要がある。
- 3) 今回の方法でアルカリを定量した場合、原骨材の種類によっては、ペースト部分に含まれるものの他に骨材から溶出するアルカリが多量に定量される可能性が考えられた。

8.3.3 150 μ m 全通に微粉碎した試製再生骨材試料を用いた検討

8.3.3.1 目的

再生骨材中のアルカリ含有量を測定するため、アルカリ含有量が既知の試製再生骨材を試料として、試験方法を検討した。

8.3.3.2 原コンクリートの作製と再生骨材試料の作製

(1) 使用材料

表 8.3.5 使用材量のアルカリ量 (%)

		Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	0.14	0.27	0.32	これと併せて R ₂ O 量が 6kg/m ³ となるよう、NaOH 水溶液で調整した
細骨材	アルカリ量が少ないもの	0.01	0.06	0.05	
粗骨材	①アルカリ量が多いもの	0.00	0.33	0.23	K ₂ O が多い
	②アルカリ量が少ないもの	0.02	0.04	0.05	

[注] セメントは JIS R 5202 による含有量、

骨材は後述する 8.3.3.3 (2) の手法に基づき測定した原骨材のアルカリ溶出量

$$R_2O = Na_2O + 0.658 \times K_2O$$

(2) 配合

表 8.3.6 の配合に従い、粗骨材の種類ごとに W/C= 55%、AE 剤を C×0.4%、アルカリ総量を 6kg/m³ のコンクリートを作製した。セメント及び混和剤でのアルカリ不足分は水酸化ナトリウム水溶液で補填した。

表 8.3.6 再生骨材作製用コンクリートの配合

		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
コンクリート	単位量 (kg/m ³)	176	320	805	970	1.28
粗骨材 1	密度 (g/cm ³)	1.00	3.15	2.58	2.65	
コンクリート	単位量 (kg/m ³)	176	320	805	926	1.28
粗骨材 2	密度 (g/cm ³)	1.00	3.15	2.58	2.53	

(3) 練混ぜ及び供試体の作製

粗骨材の種類ごとに $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体を作製した。

供試体 1 本ごとにコンクリートの練混ぜを行いその全量を簡易型枠に投入して成形した。成形後ラップで型枠上面を密封して水分の蒸発を防いだ。

(4) 養生

成形後 24 時間 20℃試験室内に静置した後、型枠ごと 60℃恒温槽内に投入し、4 日間封緘養生を行った。また、成形直後及び養生後に質量を測定し、養生中に水分の逸散がないことを確認した。

養生期間終了後、コンクリート供試体を脱型した。

(5) 再生骨材試料の作製

供試体をジョークラッシャーで 5mm 以下に粗粉碎して、質量を測定した。その後 105℃の乾燥機内で 24 時間加熱し、質量減少率を測定した。

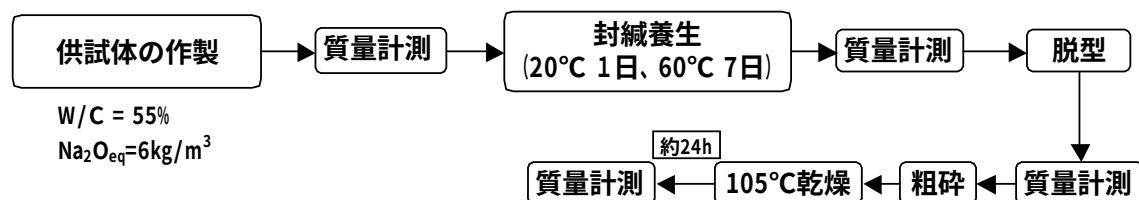


図 8.3.1 試製再生骨材の作製手順

8.3.3.3 再生骨材中のアルカリ含有量の測定方法

(1) 粗粉碎

ジョークラッシャーで再生骨材を 5 mm 全通に粗粉碎した後、二等分した。

これによって、再生骨材中の原骨材の周囲に存在するセメントペーストが露わになり、後述する原骨材の洗い出しが容易になると共に、試料の取り扱いもたやすくなった。

(2) 再生骨材中のアルカリ含有量の測定

5 mm 全通に粗粉碎した再生骨材を、振動ミルで 150 μm 全通に微粉碎した。この 1g を量り取ってビーカーに入れ、セメント協会 コンクリートの配合推定方法（コンクリート委員会報告 F-18 および F-23）に準拠し、塩酸(1+100)と固液比 1:250 で混合後、20 分間攪拌した。ろ液を分取し、原子吸光

光度法で溶出した Na_2O 、 K_2O を定量し、換算アルカリ量 ($R_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \times \text{K}_2\text{O}$) を算出した。
また、不溶解残渣をろつぽに入れて 1000°C で強熱し、不溶解分を定量した。

(3) 再生骨材中の原骨材の洗い出しと原骨材のアルカリ含有量の測定

再生骨材中のアルカリ含有量を測定中に、再生骨材中の原骨材からアルカリが溶出し、測定誤差となる。そこで、再生骨材中の原骨材を洗い出して回収して、原骨材のアルカリ溶出量を定量し、補正した。

原骨材を洗い出す条件が厳しい場合、洗い出し中に原骨材からアルカリが溶出してしまう。一方、原骨材を洗い出す条件が緩い場合、洗い出し後の原骨材に付着したセメントペーストが残ってしまう。そこで、以下の2水準の洗い出し条件を検討した。

- 1) 塩酸(1+1) 500ml 1時間
- 2) 塩酸(1+100) 650ml 24時間

5mm全通に粗粉碎した再生骨材を、100g 量り取って三角フラスコに入れ、所定濃度の塩酸の所定量と混合した。所定時間攪拌した後、溶け残った骨材を回収し、流水でよく洗浄した後、 105°C で乾燥した。

得られた骨材を全量が $150\mu\text{m}$ ふるいを通過するまで振動ミルで微粉碎した。

操作 8.3.3.3(2) と同様に、 $150\mu\text{m}$ 全通に微粉碎した原骨材試料から 1g を量り取ってビーカーに入れ、塩酸(1+100) 250ml と混合した。20 分間攪拌した後濾過を行い、ろ液に溶出したアルカリ量を測定した。また、不溶解残渣をろつぽに入れて 1000°C で強熱し、不溶解分を定量した。

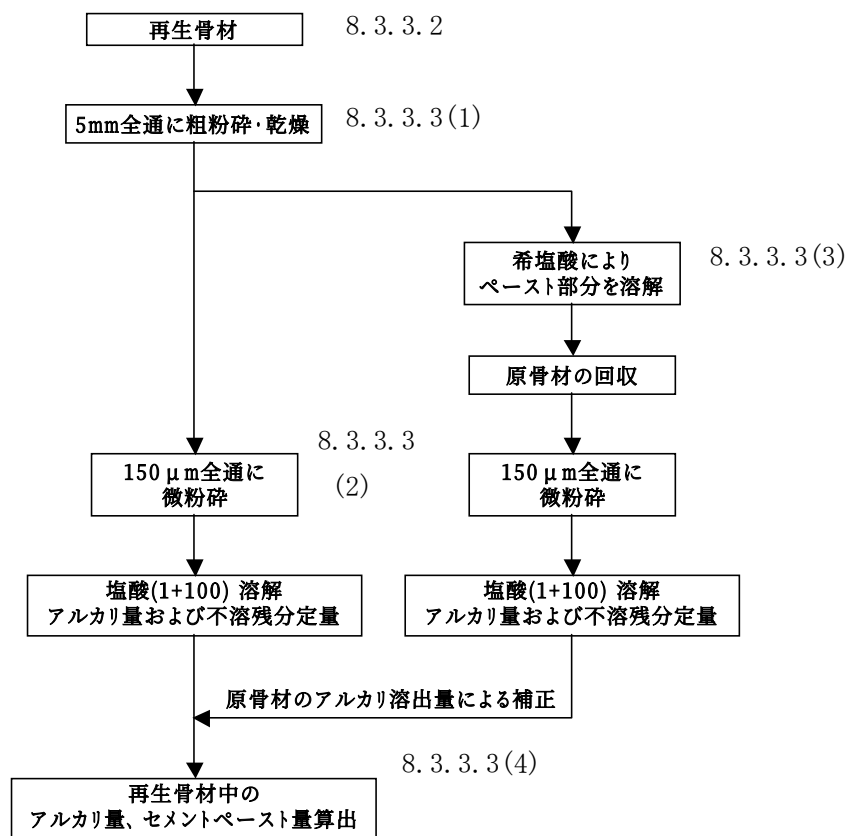


図 8.3.2 再生骨材中のアルカリ含有量の測定手順

(4) 再生骨材中のアルカリ含有量の算定（原骨材のアルカリ溶出量による補正）

再生骨材のアルカリ量から再生骨材中の原骨材のアルカリ溶出量を差し引き、再生骨材中のアルカリ含有量を算定した。

（再生骨材中のアルカリ含有量）

$$= (\text{再生骨材のアルカリ量}) - (\text{再生骨材中の原骨材量}) \times (\text{原骨材のアルカリ溶出量})$$

8.3.3.4 結果

試験結果を表 8.3.8 および表 8.3.9 に示し、表 8.3.7 にまとめた。

1) アルカリ溶出量が少ない原骨材を使用した試製再生骨材（粗骨材 2）について、原骨材によるアルカリ溶出量を補正せずにアルカリ含有量（ R_2O_c 、 $V-R_2O_c$ ）を測定した結果（6.3kg/m³）は、コンクリートの配合で設計されたアルカリ含有量（6.0kg/m³）とほぼ一致した。

しかしながら、原骨材の洗い出し条件に関わらず、原骨材のアルカリ溶出量を補正した結果（4.4kg/m³）は、設計されたアルカリ含有量（6.0kg/m³）と比較して約 1.6kg/m³ 少なかった。

2) アルカリ溶出量が多い原骨材を使用した試製再生骨材（粗骨材 1）について、原骨材のアルカリ溶出量を補正せずにアルカリ含有量（ R_2O_c 、 $V-R_2O_c$ ）を測定した結果（9.0kg/m³）は、コンクリートの配合で設計されたアルカリ含有量（6.0kg/m³）より多く、骨材のアルカリ溶出が分析結果に与える影響は無視できないことが判明した。

また、希塩酸で洗い出した原骨材のアルカリ溶出量を補正した結果は、設計されたアルカリ含有量（6.0kg/m³）と比較して、塩酸(1+1)を用いた場合（5.7kg/m³）、約 0.3kg/m³ の差しかなく、比較的良く一致した。一方、塩酸(1+100)を用いた場合の洗い出した原骨材のアルカリ溶出量（4.2kg/m³）が塩酸(1+1)を用いた場合（3.3kg/m³）よりも多くなったため、塩酸(1+100)を用いた場合の再生骨材のアルカリ含有量（4.8kg/m³）は、約 1.2kg/m³ も誤差が生じた。

3) 希塩酸で洗い出した原骨材のアルカリ溶出量を補正する方法は、アルカリ溶出量が異なる原骨材に対して異なる精度の再生骨材中のアルカリ量を与えた。これは、アルカリ溶出量が異なる原骨材を含む再生骨材からペースト分を除去する条件（塩酸濃度や処理時間など、8.3.3.3(3) 参照）

表 8.3.7 試験結果

水準 No.	8.3.3.3(3) 原骨材の洗い出し方法					試料	換算アルカリ量 R_2O (wt%)		
	試料の粒の大きさ	塩酸濃度	試料量 (g)	溶媒量 (ml)	処理時間		再生骨材	原骨材で補正後	理論
(1)	5mm	1+1	100	500	1 時間	粗骨材1	0.43 (9.0)	0.27 (5.7)	0.29 (6.0)
(2)	5mm	1+100	100	650	24 時間	粗骨材1	0.43 (9.0)	0.23 (4.8)	0.29 (6.0)
(1)	5mm	1+1	100	500	1 時間	粗骨材2	0.30 (6.3)	0.21 (4.4)	0.29 (6.0)
(2)	5mm	1+100	100	650	24 時間	粗骨材2	0.30 (6.3)	0.21 (4.4)	0.29 (6.0)

[注] () 内は単位容積あたり換算量 (kg/cm³)

が原骨材に何らかの影響を与え、再生骨材中のアルカリ量の推定精度低下につながった可能性が考えられた。

また、多様な原骨材が含まれる実際の再生骨材においては、骨材の岩種によって（あるいは岩石を構成する鉱物組成によって）、150 μ m 全通試料の塩酸に対する溶解の度合いが異なることが伺えた。これによって、再生骨材中のアルカリ量の推定精度が、試料間で異なってくると推定され、洗い出した原骨材のアルカリ溶出量を補正する方法には限界があると考えられた。

8.3.3.5 結論

- 1) 今回検討した再生骨材中のアルカリ含有量の測定手順を図-8.3.2に示す。
- 2) 再生骨材中の原骨材から溶出するアルカリ量（以下、原骨材のアルカリ溶出量）は、再生骨材中のアルカリ含有量を測定する場合の誤差要因となる。再生骨材中から酸溶液で洗い出した原骨材のアルカリ溶出量を補正することによって、この影響の一部を取り除くことができるが、かなりの誤差が生じた。

表 8.3.8 塩酸(1+1)による洗い出し原骨材での再生骨材のアルカリ量補正結果

項目	単位	記号	粗骨材1	粗骨材2	計算式
再生骨材 不溶残分	(%)	$Insol_{RG}$	77.90	79.40	測定値
再生骨材のアルカリ量	(%)	R_2O_C	0.43	0.30	測定値
全原骨材 洗い出し後の不溶残分	(%)	$Insol_{Ag}$	96.92	97.87	測定値
洗い出し原骨材のアルカリ量	(%)	R_2O_{Ag}	0.19	0.11	測定値
再生骨材中の骨材量	(%)	m_G	80.38	81.13	$insol_{RG}/(Insol_{Ag}/100)$
再生骨材のアルカリ量中の 原骨材によるアルカリ量	(%)	R_2O_{Ag-C}	0.16	0.09	$R_2O_{Ag} \times (m_G/100)$
原骨材によるアルカリ量を補正 した再生骨材のアルカリ量	(%)	R_2O_{C-Ag}	0.27	0.21	$R_2O_C - R_2O_{Ag-C}$
配合による再生骨材のアルカリ量	(%)	R_2O_P	0.29	0.29	$(V - R_2O_P / M_S) \times 100$
105°C乾燥重量	(g)	m_S	3300	3248	測定値
供試体体積	(L)	V_S	1.57	1.57	$\Phi 10 \times 20$ cm
105°C単位容積質量	(kg/m ³)	M_S	2101	2068	m_S / V_S
単位容積当りの再生骨材の アルカリ量	(kg/m ³)	$V - R_2O_C$	9.0	6.3	$M_S \times (R_2O_C / 100)$
単位容積当りの再生骨材のアル カリ量中の原骨材によるアルカリ量	(kg/m ³)	$V - R_2O_{Ag-C}$	3.3	1.9	$M_S \times (R_2O_{Ag-C} / 100)$
単位容積当りの原骨材による アルカリ量を補正した再生骨材の アルカリ量	(kg/m ³)	$V - R_2O_{C-Ag}$	5.7	4.4	$M_S \times (R_2O_{C-Ag} / 100)$
配合設計量	(kg/m ³)	$V - R_2O_P$	6.0	6.0	
配合設計量との差	(kg/m ³)		▲ 0.3	▲ 1.6	$V - R_2O_{C-Ag} - V - R_2O_P$

表 8.3.9 塩酸(1+100)による洗い出し原骨材での再生骨材のアルカリ量補正結果

項目	単位	記号	粗骨材1	粗骨材2	計算式
再生骨材 不溶残分	(%)	$Insol_{RG}$	77.90	79.40	測定値
再生骨材のアルカリ量	(%)	R_2O_C	0.43	0.30	測定値
全原骨材 洗い出し後の不溶残分	(%)	$Insol_{Ag}$	95.04	97.30	測定値
洗い出し原骨材のアルカリ量	(%)	R_2O_{Ag}	0.25	0.11	測定値
再生骨材中の骨材量	(%)	m_G	81.97	81.60	$insol_{RG}/(insol_{Ag}/100)$
再生骨材のアルカリ量中の 原骨材によるアルカリ量	(%)	R_2O_{Ag-C}	0.20	0.09	$R_2O_{Ag} \times (m_G/100)$
原骨材によるアルカリ量を補正した 再生骨材のアルカリ量	(%)	R_2O_{C-Ag}	0.23	0.21	$R_2O_C - R_2O_{Ag-C}$
配合による再生骨材のアルカリ量	(%)	R_2O_P	0.29	0.29	$(V - R_2O_P / M_S) \times 100$
105°C乾燥重量	(g)	m_S	3300	3248	測定値
供試体体積	(L)	V_S	1.57	1.57	$\Phi 10 \times 20\text{cm}$
105°C単位容積質量	(kg/m ³)	M_S	2101	2068	m_S/V_S
単位容積当りの再生骨材のアルカリ量	(kg/m ³)	$V - R_2O_C$	9.0	6.3	$M_S \times (R_2O_C/100)$
単位容積当りの再生骨材のアルカリ量 中の原骨材によるアルカリ量	(kg/m ³)	$V - R_2O_{Ag-C}$	4.2	1.9	$M_S \times (R_2O_{Ag-C}/100)$
単位容積当りの原骨材によるアルカリ 量を補正した再生骨材のアルカリ量	(kg/m ³)	$V - R_2O_{C-Ag}$	4.8	4.4	$M_S \times (R_2O_{C-Ag}/100)$
配合設計量	(kg/m ³)	$V - R_2O_P$	6.0	6.0	
配合設計量との差	(kg/m ³)		▲ 1.2	▲ 1.6	$V - R_2O_{C-Ag} - V - R_2O_P$

8.3.4 有姿（5mm 全通）の試製再生細骨材試料を用いた検討

8.3.4.1 概要

これまでの実験では、再生骨材を 150 μm 以下に微粉碎してアルカリ量の測定を行ったが、原骨材のアルカリ溶出量を補正しない場合には理論値に対して正の誤差を生じた。これは、試料の径が小さいためセメント水和物の他に原骨材の一部が溶解している影響と推定された。そこで、再生骨材中から酸溶液で原骨材を洗い出して補正を行ったところ、原骨材のアルカリ溶出量が多い場合にはほぼ妥当な値となったが、原骨材からのアルカリ溶出量が少ない場合、負の誤差がやや大きくなった。

そのため、① 分析試料の粉碎を有姿の細骨材と同等の粒度（5mm 全通）までで抑えることと、② 塩酸濃度を希薄にすることによって、原骨材の溶解を抑えることを検討し、これらの条件の妥当性について評価を行った。

8.3.4.2 試験方法

（1）再生骨材試料

8.3.3 と同じ配合のコンクリートより試製再生骨材を作製した。すなわち、1m³あたり 6kg のアルカリ (R₂O) を含むコンクリートを破碎して再生骨材試料とした。この試製再生骨材は、粗骨材からのアルカリの溶出量の影響を確認するため、骨材自身からのアルカリ溶出量が多いもの、及び少ないものの 2 種類を作製した。

表 8.3.10 使用材量のアルカリ量 (%)

		Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	0.14	0.27	0.32	これと併せて R ₂ O 量が 6kg/m ³ となるよう、NaOH 水溶液で調整した
細骨材	アルカリ量が少ないもの	0.01	0.06	0.05	
粗骨材	①アルカリ量が多いもの	0.00	0.33	0.23	K ₂ O が多い
	②アルカリ量が少ないもの	0.02	0.04	0.05	

[注] セメントは JIS R 5202 による含有量、骨材は溶出量

$$R_2O = Na_2O + 0.658 \times K_2O$$

(2) 再生骨材中のアルカリ含有量の測定方法

1) 有姿の試製再生細骨材試料の塩酸(1+1)による溶解 (図 8.3.3)

有姿の試製再生細骨材試料を 100g 量り取って三角フラスコに入れ、塩酸(1+1) ⁽¹⁾ 500ml と混合した。3 時間攪拌した後、5 種 B の濾紙を用いて濾過を行い、ろ液に溶出したアルカリ量を測定した。
また、濾紙上に残った不溶分は回収して流水でよく洗浄し、105℃で乾燥した後質量を計測し、次にこれを三角フラスコに戻して再度溶出を行い、溶け残りのセメントペーストの存在が認められなくなるまで溶出を繰り返した。

注 1) 試薬特級の塩酸（濃度約 35%）を容積比で 1 : 1 の割合で純水と混合したもの。

2) 有姿の試製再生細骨材試料の塩酸(1+100)による溶解 (図 8.3.3)

塩酸濃度がアルカリの溶出量に与える影響を比較するため、前項と同様に有姿の試製再生細骨材試料を用い、塩酸(1+100)による溶出を行った。試料 100 g に対して塩酸(1+100) 650ml と混合させ、24 時間攪拌した後 5 種 B の濾紙を用いて濾過を行い、ろ液に溶出したアルカリ量を測定した。
また、濾紙上に残った不溶分は回収して流水でよく洗浄し、105℃で乾燥した後質量を測定し、次にこれを三角フラスコに戻して再度溶出を行い、溶け残りのセメントペーストの存在が認められなくなるまで溶出を繰り返した。

8.3.4.3 結果

試験結果を表 8.3.11 にまとめた。

(1) 有姿 (5mm 全通) の試製再生細骨材試料の塩酸(1+1) による溶解

試験結果を表 8.3.12 にまとめた。

①原骨材からのアルカリ溶出量が少ない場合にはほぼ妥当なアルカリ量となったが、原骨材からのアルカリ溶出量が多い場合に正の誤差がやや大きくなった。

②いずれの粗骨材を用いた場合でも K₂O 量が理論値よりも多くなった。これより、ペースト部分の他に原骨材の一部が溶解したことが推測された。

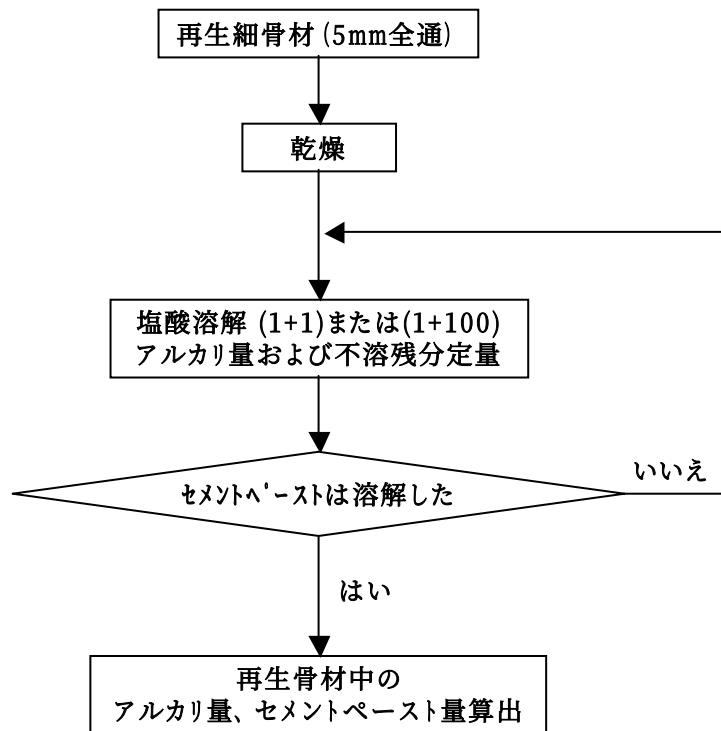


図 8.3.3 有姿（5mm 全通）の試製再生細骨材試料中のアルカリ含有量の測定手順

（２）有姿（5mm 全通）の試製再生細骨材試料の塩酸(1+100)による溶解

試験結果を表 8.3.13 にまとめた。

- ①溶出アルカリ量は、アルカリ溶出量の多い原骨材を用いた試料が 6.5 kg/m^3 、アルカリ溶出量が少ない原骨材の試料は 5.8 kg/m^3 となり、いずれの試料も理論値（ 6 kg/m^3 ）に比較的近い値となった。
- ② K_2O 量が理論値よりも若干多くなったことより原骨材の一部が溶解したことが考えられるが、（１）に比べてその影響は小さかった。
- ③この水準では塩酸濃度が薄いためペースト部分の溶解が不十分となりやすいことが考えられるが、いずれの粗骨材を用いた場合も Na_2O 量は 8.3.4.2(1) の水準（塩酸(1+1)による溶解）とほぼ同等となった。

このことより、塩酸(1+100) を用いた場合、24 時間の振とうでペースト部分のほとんどが溶解していると考えられた。

8.3.4.4 結論

- 1) 有姿（5mm 全通）の試製再生細骨材を塩酸(1+1)と固液比 1:5 で 3 時間混合・溶解した場合、特にアルカリ溶出量の多い原骨材を用いた試料において、正の誤差がやや大きくなり、ペースト部分の他に原骨材の一部が溶解したことが推測された。
- 2) 有姿（5mm 全通）の試製再生細骨材を塩酸(1+100)と固液比 1:6.5 で混合・溶解を繰り返した場合、24 時間でペースト部分のほとんどが溶解し、かつ、アルカリ溶出量の多い原骨材を用いた試料においても、理論値（ 6 kg/m^3 ）に比較的近い値となった。

表 8.3.11 試験結果

水準 No.	前処理方法					試料	再生骨材に対するアルカリ量 (wt%)		
	試料の粒 の大きさ	塩酸 濃度	試料量 (g)	溶媒量 (ml)	処理 時間		Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O
理論						粗骨材1	0.26	0.04	0.29 (6.0)
(1)	5mm	1+1	100	500	3 時間	粗骨材1	0.24	0.13	0.33 (6.9)
(2)	5mm	1+100	100	650	24 時間	粗骨材1	0.24	0.11	0.31 (6.5)
理論						粗骨材2	0.26	0.04	0.29 (6.0)
(1)	5mm	1+1	100	500	3 時間	粗骨材2	0.23	0.06	0.27 (5.6)
(2)	5mm	1+100	100	650	24 時間	粗骨材2	0.24	0.06	0.28 (5.8)

[注] () 内は単位容積あたり換算量 (kg/cm³)

表 8.3.12 試製再生細骨材のアルカリ量 試験結果 (塩酸(1+1) による溶解)

項目		単位	記号	粗骨材 1	粗骨材 2	計算式
再生骨材のアルカリ量	Na ₂ O	(%)	Na_2O_C	0.24	0.23	測定値
	K ₂ O	(%)	K_2O_C	0.13	0.06	測定値
	R ₂ O	(%)	R_2O_C	0.33	0.27	$Na_2O_C + K_2O_C \times 0.658$
ペースト部分のみが溶解した ときの理論アルカリ量	Na ₂ O	(%)	Na_2O_p	0.26	0.26	(配合より計算)
	K ₂ O	(%)	K_2O_p	0.04	0.04	(配合より計算)
	R ₂ O	(%)	R_2O_p	0.29	0.29	$Na_2O_p + K_2O_p \times 0.658$
絶乾単位容積質量		(kg/m ³)	M_s	2101	2068	
単位容積当りの再生骨材のアルカリ量		(kg/m ³)	$V-R_2O_C$	6.9	5.6	$M_s \times (R_2O_C/100)$
配合設計量		(kg/m ³)	$V-R_2O_p$	6.0	6.0	
配合設計量との差		(kg/m ³)		+ 0.9	▲ 0.4	$V-R_2O_C - V-R_2O_p$

表 8.3.13 試製再生細骨材のアルカリ量 試験結果 (塩酸(1+100) による溶解)

項目		単位	記号	粗骨材 1	粗骨材 2	計算式
再生骨材のアルカリ量	Na ₂ O	(%)	Na_2O_C	0.24	0.24	測定値
	K ₂ O	(%)	K_2O_C	0.11	0.06	測定値
	R ₂ O	(%)	R_2O_C	0.31	0.28	$Na_2O_C + K_2O_C \times 0.658$
ペースト部分のみが溶解した ときの理論アルカリ量	Na ₂ O	(%)	Na_2O_p	0.26	0.26	(配合より計算)
	K ₂ O	(%)	K_2O_p	0.04	0.04	(配合より計算)
	R ₂ O	(%)	R_2O_p	0.29	0.29	$Na_2O_p + K_2O_p \times 0.658$
絶乾単位容積質量		(kg/m ³)	M_s	2101	2068	
単位容積当りの再生骨材のアルカリ量		(kg/m ³)	$V-R_2O_C$	6.5	5.8	$M_s \times (R_2O_C/100)$
配合設計量		(kg/m ³)	$V-R_2O_p$	6.0	6.0	
配合設計量との差		(kg/m ³)		+ 0.5	▲ 0.2	$V-R_2O_C - V-R_2O_p$

8.3.5 有姿の試製再生粗骨材試料を用いた検討

8.3.5.1 概要

8.3.4において、有姿（5mm全通）の試製再生細骨材に対して、塩酸(1+100)と固液比1:6.5で混合・溶解を繰り返すことによって、ほぼ理論値に近いアルカリ量が得られることを確認した。

そこで、有姿の試製再生粗骨材に対して、同様の測定方法の適用性を検討した。

8.3.5.2 試験方法

8.3.4と同様の方法で試製再生粗骨材のアルカリ含有量を測定した。ただし、粗骨材では細骨材と比較して試料の不均一性が大きくなると予想されたため、JIS A 1102 骨材のふるいわけ試験を参考に、細骨材では100gであった使用する試料量を、粗骨材では500gに増量して測定した。

試製再生骨材2種類のうち、アルカリ含有量が少ない原粗骨材②を使用した「粗骨材2」は、原骨材のアルカリ溶出量が少ないため、再生骨材のアルカリ含有量の測定値が、配合から計算される理論値とほぼ等しくなる。このため、今回目的とした分析方法の適用性の検討には、不適切な試料と判断された。したがって、今回の測定方法の検討には、「粗骨材1」のみを試料として用いた。

8.3.5.3 結果

試験結果を表 8.3.14 にまとめた。

今回は24時間の溶解処理を繰り返した。

有姿の試製再生粗骨材においても、24時間の溶解処理を2回繰り返すことによってペースト部分のほとんどが溶解したことを目視で確認した。また、アルカリ溶出量の多い原骨材を用いた試料においても、理論値（6kg/m³）に比較的近い値（5.7kg/m³）となった。

これによって、有姿の試製再生粗骨材に対しても、本測定方法が適用できることが確認された。

表 8.3.14 試製再生粗骨材1のアルカリ量 試験結果（塩酸(1+100)による溶解）

項目		単位	記号	1回目	2回目	計算式
再生骨材のアルカリ量	Na ₂ O	(%)	Na_2O_c	0.22	0.24	測定値
	K ₂ O	(%)	K_2O_c	0.04	0.05	測定値
	R ₂ O	(%)	R_2O_c	0.25	0.27	$Na_2O_c + K_2O_c \times 0.658$
ペースト部分のみが溶解したときの理論アルカリ量	Na ₂ O	(%)	Na_2O_p	0.26	0.26	(配合より計算)
	K ₂ O	(%)	K_2O_p	0.04	0.04	(配合より計算)
	R ₂ O	(%)	R_2O_p	0.29	0.29	$Na_2O_p + K_2O_p \times 0.658$
絶乾単位容積質量		(kg/m ³)	M_s	2101	2101	
単位容積当りの再生骨材のアルカリ量		(kg/m ³)	$V-R_2O_c$	5.3	5.7	$M_s \times (R_2O_c/100)$
配合設計量		(kg/m ³)	$V-R_2O_p$	6.0	6.0	
配合設計量との差		(kg/m ³)		▲ 0.5	▲ 0.3	$V-R_2O_c - V-R_2O_p$

8.3.5.4 結論

- 1) 有姿の試製再生粗骨材を塩酸(1+100)と固液比 1:6.5 で混合・溶解を繰り返した場合、24 時間の溶解処理を 2 回繰り返すことによってペースト部分のほとんどが溶解し、かつ、アルカリ溶出量の多い原骨材を用いた試料においても、理論値 (6kg/m³) に比較的近い値となった。
- 2) 有姿の試製再生粗骨材に対しても、本測定方法が適用できることが確認された。

8.3.6 市販再生骨材によるアルカリ量調査

8.3.6.1 目的

再生骨材「L」は原骨材を特定することがほとんどできないため、アルカリ骨材反応性を区分「B」とする場合はほとんどとなる。したがって、再生骨材「L」中のアルカリ金属量の把握が必要であるため、市販の再生骨材中のアルカリ金属量を調査した。

8.3.6.2 試験方法

(1) 調査対象の骨材

測定した市販の再生骨材「L」に相当する試料を表-8.3.15 に示す。

- 1) 骨材の種類 全 2 種類 ① 細骨材、② 粗骨材
- 2) メーカー 全 2 メーカー ① A
② B
- 3) 試料採取日 全 5 日 2004 年 9 月 3 日から 10 月 13 日の間

(2) 再生骨材中のアルカリ金属量測定方法

試験方法を、[添付資料] 再生骨材中のアルカリ金属量の測定方法(案) に示す。

8.3.6.3 調査結果

表-8.3.16 から表-8.3.18 に試験結果を示す。

なお、ペースト量は、以下の式を用いて算出した。

$$\begin{aligned} (\text{ペースト量}\%) &= 100 - (\text{不溶残分}\%) = 100 \times (\text{付着ペースト質量}) \div \text{再生骨材質量} \\ &= 100 \times (\text{付着ペースト質量}) \div (\text{原骨材質量} + \text{付着ペースト質量}) \end{aligned}$$

再生骨材中のアルカリ金属量は、おおむね、細骨材で 0.10~0.16 (Na₂O_{eq} 質量%)、粗骨材で 0.06~0.08 (Na₂O_{eq} 質量%) であった。

細骨材については、メーカー間の相違が認められた。これは、再生骨材中の付着セメントペースト量に起因すると推定された。

表－8.3.15 再生骨材中のアルカリ金属の溶出量定量結果（溶出１回目）

試料の詳細		
骨材の 区分	メーカー	採取日
細骨材	A	2004/9/8
		2004/9/15
		2004/9/22
		2004/9/29
		2004/10/6
		2004/10/13
	B	2004/9/3
		2004/9/10
		2004/9/17
		2004/9/24
		2004/10/1
		2004/10/7
粗骨材	A	2004/9/8
		2004/9/15
		2004/9/22
		2004/9/29
		2004/10/6
		2004/10/13
	B	2004/9/3
		2004/9/10
		2004/9/17
		2004/9/24
		2004/10/1
		2004/10/7

表－8.3.16 再生骨材中のアルカリ金属の溶出量定量結果（溶出１回目）

試料の詳細			再生骨材のアルカリ金属の溶出量定量結果 (試験1回目)																	
骨材の 区分	メーカー	採取日	溶出24時間						溶出48時間						溶出72時間					
			不溶残分 (%)	Na ₂ O(%)	K ₂ O(%)	Na ₂ O _{eq} (wt%)	ℳ-スト量 (%)	ℳ-ストに対す るNa ₂ O _{eq} (%)	不溶残分 (%)	Na ₂ O(%)	K ₂ O(%)	Na ₂ O _{eq} (wt%)	ℳ-スト量 (%)	ℳ-ストに対す るNa ₂ O _{eq} (%)	不溶残分 (%)	Na ₂ O(%)	K ₂ O(%)	Na ₂ O _{eq} (wt%)	ℳ-スト量 (%)	ℳ-ストに対す るNa ₂ O _{eq} (%)
細骨材	A	2004/9/8	68.5	0.09	0.08	0.14	31.5	0.44	66.2	0.10	0.09	0.16	33.8	0.47						
		2004/9/15	71.4	0.08	0.08	0.13	28.6	0.46	67.4	0.09	0.09	0.15	32.6	0.46						
		2004/9/22	77.6	0.08	0.06	0.12	22.4	0.54	70.4	0.10	0.09	0.16	29.6	0.54	68.7	0.10	0.10	0.17	31.3	0.54
		2004/9/29	69.4	0.07	0.07	0.12	30.6	0.39	66.9	0.08	0.08	0.13	33.1	0.39						
		2004/10/6	66.6	0.06	0.06	0.10	33.4	0.30	63.9	0.07	0.07	0.12	36.1	0.33						
		2004/10/13	66.2	0.05	0.06	0.09	33.8	0.27	53.3	0.06	0.08	0.11	46.7	0.24						
	B	2004/9/3	75.6	0.07	0.06	0.11	24.4	0.45	74.3	0.08	0.07	0.13	25.7	0.51						
		2004/9/10	75.9	0.05	0.06	0.09	24.1	0.37	72.8	0.06	0.07	0.11	27.2	0.40						
		2004/9/17	74.0	0.05	0.07	0.10	26.0	0.38	72.9	0.05	0.07	0.10	27.1	0.37						
		2004/9/24	76.7	0.05	0.07	0.10	23.3	0.43	75.9	0.05	0.08	0.10	24.1	0.41						
		2004/10/1	74.9	0.06	0.07	0.11	25.1	0.44	74.1	0.06	0.08	0.11	25.9	0.42						
		2004/10/7	78.1	0.04	0.06	0.08	21.9	0.37	76.5	0.05	0.07	0.10	23.5	0.43						
粗骨材	A	2004/9/8	78.3	0.03	0.03	0.05	21.7	0.23	73.0	0.04	0.04	0.07	27.0	0.26						
		2004/9/15	74.9	0.04	0.05	0.07	25.1	0.28	72.1	0.05	0.06	0.09	27.9	0.32						
		2004/9/22	76.3	0.05	0.05	0.08	23.7	0.34	74.0	0.06	0.06	0.10	26.0	0.38						
		2004/9/29	79.7	0.05	0.04	0.08	20.3	0.39	77.5	0.06	0.05	0.09	22.5	0.40						
		2004/10/6	84.0	0.03	0.03	0.05	16.0	0.31	79.1	0.04	0.04	0.07	20.9	0.33						
		2004/10/13	61.4	0.03	0.03	0.05	38.6	0.13	56.8	0.04	0.05	0.07	43.2	0.16						
	B	2004/9/3	92.3	0.02	0.03	0.04	7.7	0.52	89.7	0.03	0.04	0.06	10.3	0.58						
		2004/9/10	86.5	0.03	0.03	0.05	13.5	0.37	83.0	0.04	0.04	0.07	17.0	0.41						
		2004/9/17	84.3	0.03	0.03	0.05	15.7	0.32	81.2	0.04	0.05	0.07	18.8	0.37						
		2004/9/24	86.9	0.04	0.04	0.07	13.1	0.53	85.3	0.05	0.05	0.08	14.7	0.54						
		2004/10/1	81.0	0.03	0.04	0.06	19.0	0.32	80.1	0.04	0.05	0.07	19.9	0.35						
		2004/10/7	85.3	0.03	0.03	0.05	14.7	0.34	82.2	0.03	0.04	0.06	17.8	0.34						

表－8.3.17 再生骨材中のアルカリ金属の溶出量定量結果（溶出２回目）

試料の詳細			再生骨材のアルカリ金属の溶出量定量結果 (試験2回目)																	
骨材の 区分	メーカー	採取日	溶出24時間						溶出48時間						溶出72時間					
			不溶残分 (%)	Na ₂ O(%)	K ₂ O(%)	Na ₂ O _{eq} (wt%)	ヘー スト量 (%)	ヘー ストに対す るNa ₂ O _{eq} (%)	不溶残分 (%)	Na ₂ O(%)	K ₂ O(%)	Na ₂ O _{eq} (wt%)	ヘー スト量 (%)	ヘー ストに対す るNa ₂ O _{eq} (%)	不溶残分 (%)	Na ₂ O(%)	K ₂ O(%)	Na ₂ O _{eq} (wt%)	ヘー スト量 (%)	ヘー ストに対す るNa ₂ O _{eq} (%)
細骨材	A	2004/9/8	67.8	0.09	0.08	0.14	32.2	0.43	65.3	0.09	0.10	0.16	34.7	0.46						
		2004/9/15	71.0	0.09	0.09	0.15	29.0	0.52	67.5	0.10	0.10	0.17	32.5	0.52						
		2004/9/22	70.0	0.09	0.09	0.15	30.0	0.50	66.6	0.10	0.11	0.17	33.4	0.51						
		2004/9/29	74.3	0.07	0.06	0.11	25.7	0.43	67.5	0.08	0.08	0.13	32.5	0.40						
		2004/10/6	73.0	0.06	0.05	0.09	27.0	0.33	66.7	0.07	0.07	0.12	33.3	0.36	65.9	0.07	0.07	0.12	34.1	0.35
		2004/10/13	68.9	0.06	0.05	0.09	31.1	0.29	54.0	0.07	0.07	0.12	46.0	0.26	52.8	0.07	0.07	0.12	47.2	0.25
	B	2004/9/3	73.9	0.05	0.06	0.09	26.1	0.34	72.8	0.06	0.07	0.11	27.2	0.40						
		2004/9/10	75.5	0.06	0.07	0.11	24.5	0.45	74.6	0.07	0.08	0.12	25.4	0.47						
		2004/9/17	73.4	0.06	0.07	0.11	26.6	0.41	72.5	0.07	0.08	0.12	27.5	0.44						
		2004/9/24	75.9	0.06	0.06	0.10	24.1	0.41	74.6	0.06	0.07	0.11	25.4	0.43						
		2004/10/1	84.2	0.05	0.06	0.09	15.8	0.57	78.2	0.06	0.07	0.11	21.8	0.50						
		2004/10/7	79.1	0.04	0.06	0.08	20.9	0.38	77.9	0.05	0.07	0.10	22.1	0.45						
粗骨材	A	2004/9/8	85.3	0.03	0.04	0.06	14.7	0.41	83.2	0.05	0.05	0.08	16.8	0.48						
		2004/9/15	76.2	0.04	0.04	0.07	23.8	0.29	72.9	0.05	0.05	0.08	27.1	0.30						
		2004/9/22	73.1	0.03	0.03	0.05	26.9	0.19	67.5	0.04	0.05	0.07	32.5	0.22						
		2004/9/29	79.9	0.04	0.04	0.07	20.1	0.35	77.4	0.05	0.05	0.08	22.6	0.35						
		2004/10/6	75.1	0.02	0.02	0.03	24.9	0.12	71.6	0.03	0.03	0.05	28.4	0.18						
		2004/10/13	60.5	0.03	0.03	0.05	39.5	0.13	49.1	0.04	0.04	0.07	50.9	0.14						
	B	2004/9/3	85.3	0.03	0.03	0.05	14.7	0.34	82.2	0.04	0.05	0.07	17.8	0.39						
		2004/9/10	89.0	0.03	0.04	0.06	11.0	0.55	86.0	0.04	0.05	0.07	14.0	0.50						
		2004/9/17	82.9	0.03	0.03	0.05	17.1	0.29	78.5	0.04	0.05	0.07	21.5	0.33						
		2004/9/24	83.6	0.03	0.03	0.05	16.4	0.30	81.1	0.04	0.04	0.07	18.9	0.37						
		2004/10/1	84.3	0.04	0.04	0.07	15.7	0.45	81.9	0.05	0.05	0.08	18.1	0.44						
		2004/10/7	90.6	0.02	0.03	0.04	9.4	0.43	89.4	0.02	0.04	0.05	10.6	0.47						

表－8.3.18 再生骨材中のアルカリ金属の溶出量測定結果 まとめ

試料の詳細			アルカリ金属の溶出量 収束値															
骨材の 区分	メーカー	採取日	試験1回目						試験2回目						平均			
			不溶残分 (%)	Na ₂ O(%)	K ₂ O(%)	Na ₂ O _{eq} (wt%)	ℳ-ス量 (%)	ℳ-ストに対す るNa ₂ O _{eq} (%)	不溶残分 (%)	Na ₂ O(%)	K ₂ O(%)	Na ₂ O _{eq} (wt%)	ℳ-ス量 (%)	ℳ-ストに対す るNa ₂ O _{eq} (%)	不溶残分 (%)	Na ₂ O _{eq} (wt%)	ℳ-ス量 (%)	ℳ-ストに対す るNa ₂ O _{eq} (%)
細骨材	A	2004/9/8	66.2	0.10	0.09	0.16	33.8	0.47	65.3	0.09	0.10	0.16	34.7	0.46	65.8	0.16	34.2	0.47
		2004/9/15	67.4	0.09	0.09	0.15	32.6	0.46	67.5	0.10	0.10	0.17	32.5	0.52	67.4	0.16	32.6	0.49
		2004/9/22	68.7	0.10	0.10	0.17	31.3	0.54	66.6	0.10	0.11	0.17	33.4	0.51	67.6	0.17	32.4	0.52
		2004/9/29	66.9	0.08	0.08	0.13	33.1	0.39	67.5	0.08	0.08	0.13	32.5	0.40	67.2	0.13	32.8	0.40
		2004/10/6	63.9	0.07	0.07	0.12	36.1	0.33	65.9	0.07	0.07	0.12	34.1	0.35	64.9	0.12	35.1	0.34
		2004/10/13	53.3	0.06	0.08	0.11	46.7	0.24	52.8	0.07	0.07	0.12	47.2	0.25	53.0	0.12	47.0	0.26
	B	2004/9/3	74.3	0.08	0.07	0.13	25.7	0.51	72.8	0.06	0.07	0.11	27.2	0.40	73.6	0.12	26.4	0.45
		2004/9/10	72.8	0.06	0.07	0.11	27.2	0.40	74.6	0.07	0.08	0.12	25.4	0.47	73.7	0.12	26.3	0.44
		2004/9/17	72.9	0.05	0.07	0.10	27.1	0.37	72.5	0.07	0.08	0.12	27.5	0.44	72.7	0.11	27.3	0.40
		2004/9/24	75.9	0.05	0.08	0.10	24.1	0.41	74.6	0.06	0.07	0.11	25.4	0.43	75.2	0.10	24.8	0.40
		2004/10/1	74.1	0.06	0.08	0.11	25.9	0.42	78.2	0.06	0.07	0.11	21.8	0.50	76.2	0.11	23.8	0.46
		2004/10/7	76.5	0.05	0.07	0.10	23.5	0.43	77.9	0.05	0.07	0.10	22.1	0.45	77.2	0.10	22.8	0.44
粗骨材	A	2004/9/8	73.0	0.04	0.04	0.07	27.0	0.26	83.2	0.05	0.05	0.08	16.8	0.48	78.1	0.08	21.9	0.37
		2004/9/15	72.1	0.05	0.06	0.09	27.9	0.32	72.9	0.05	0.05	0.08	27.1	0.30	72.5	0.08	27.5	0.29
		2004/9/22	74.0	0.06	0.06	0.10	26.0	0.38	67.5	0.04	0.05	0.07	32.5	0.22	70.8	0.08	29.2	0.27
		2004/9/29	77.5	0.06	0.05	0.09	22.5	0.40	77.4	0.05	0.05	0.08	22.6	0.35	77.4	0.08	22.6	0.35
		2004/10/6	79.1	0.04	0.04	0.07	20.9	0.33	71.6	0.03	0.03	0.05	28.4	0.18	75.4	0.06	24.6	0.24
		2004/10/13	56.8	0.04	0.05	0.07	43.2	0.16	49.1	0.04	0.04	0.07	50.9	0.14	53.0	0.07	47.0	0.15
	B	2004/9/3	89.7	0.03	0.04	0.06	10.3	0.58	82.2	0.04	0.05	0.07	17.8	0.39	86.0	0.06	14.0	0.43
		2004/9/10	83.0	0.04	0.04	0.07	17.0	0.41	86.0	0.04	0.05	0.07	14.0	0.50	84.5	0.07	15.5	0.45
		2004/9/17	81.2	0.04	0.05	0.07	18.8	0.37	78.5	0.04	0.05	0.07	21.5	0.33	79.8	0.07	20.2	0.35
		2004/9/24	85.3	0.05	0.05	0.08	14.7	0.54	81.1	0.04	0.04	0.07	18.9	0.37	83.2	0.08	16.8	0.48
		2004/10/1	80.1	0.04	0.05	0.07	19.9	0.35	81.9	0.05	0.05	0.08	18.1	0.44	81.0	0.08	19.0	0.42
		2004/10/7	82.2	0.03	0.04	0.06	17.8	0.34	89.4	0.02	0.04	0.05	10.6	0.47	85.8	0.06	14.2	0.42

8.4 再生骨材中の塩素量に関する試験

8.4.1 試験目的

本試験では、比較的モルタル分の多い再生骨材を製造し、再生骨材中の塩化物イオン量試験方法について以下に示す JIS 試験方法を参考にしながら試験を実施し、その試験方法の信頼性、運用性について検討した。

- ①JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」
- ②JIS A 1154 附属書 2（参考）「硬化コンクリート中に含まれる温水抽出塩化物イオンの分析方法」
- ③JIS A 5002「構造用人工軽量骨材」 5. 塩化物試験方法

8.4.2 再生骨材の製造

（１）使用材料

- ・セメント：塩化物イオン量が既知の OPC を用意した。
- ・原骨材：塩酸、硝酸におかされない骨材として硬質砂岩碎石を粗骨材として、また陸砂を細骨材として用意した。

（２）原コンクリートの製造

（１）の原骨材を用い、水セメント比等の調合条件を一定にし、NaCl を 3 水準（0, 500g, 1000g/m³）で添加したコンクリートを製造した。製造した原コンクリートの調合概略を表-1 に示す。

なお、調合は WC：55%とし、目標スランプ 18cm±2cm に収まるよう試練りを行って単位水量および細骨材率を決定した。

NaCl は、練混ぜ水に混ぜることで原コンクリート中に混入している。

表-1 原コンクリートの調合概略

試験体 記号	水セメント比 (%)	塩化ナトリウム添加量 (g/m ³)	減水剤 添加率 (C×%)	空気量 調整剤 添加率 (C×%)	細骨材率 (%)	単位 水量 (kg/m ³)	絶対容積 (L/m ³)			単位量 (kg/m ³)		
							セメント	細骨材	粗骨材	セメント	細骨材	粗骨材
Nn-1000	55	1000	0.25	0.0080	44	175	101	301	383	318	783	1004
Nn-500	55	500	0.25	0.0080	44	175	101	301	383	318	783	1004
Nn-0	55	0	0.25	0.0080	44	175	101	301	383	318	783	1004

原コンクリートのスランプおよび空気量を表-2 に示す。

表-2 原コンクリートのフレッシュ性状

コンクリート記号	スランプ	空気量
Nn-1000	17.5cm	4.7%
Nn-500	17.0cm	4.6%
Nn-0	18.5cm	4.9%

また、得られた原コンクリートの4週圧縮強度を表-3に示す。

表-3 原コンクリートの圧縮強度（材齢4週）

試験体記号	試験材齢	試験時 単容質 (kg/l)	平均値 (kg/l)	圧縮強度 (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)	ヤング係数 ×10 ⁴ (N/mm ²)	平均値 ×10 ⁴ (N/mm ²)
Nn-0-C1	4週	2.29	2.29	27.9	28.4	2.97	2.83
Nn-0-C2		2.28		27.6		2.86	
Nn-0-C3		2.29		29.7		2.67	
Nn-500-C1	4週	2.27	2.28	26.2	27.0	2.64	2.77
Nn-500-C2		2.27		27.4		2.68	
Nn-500-C3		2.29		27.2		2.99	
Nn-1000-C1	4週	2.27	2.29	20.4	26.2	2.77	2.72
Nn-1000-C2		2.29		28.9		2.79	
Nn-1000-C3		2.29		29.3		2.61	

（3）再生骨材の製造

（2）で製造したコンクリートを材齢4週まで養生（1週水中 以後気中）した後、破砕機（ジョークラッシャー）を用いて再生細・粗骨材を製造した。得られた再生骨材の物性を表-4に示す。

表-4 再生骨材の物性

	試料記号	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	実積率 (%)	単位容積質 量(kg/l)
粗骨材	RNn-0	2.35	2.21	6.49	57.6	1.27
	RNn-500	2.34	2.20	6.69	57.6	1.27
	RNn-1000	2.35	2.20	6.53	56.6	1.25
細骨材	rNn-0	2.20	1.96	12.15	66.6	1.31
	rNn-500	2.19	1.95	12.09	66.9	1.31
	rNn-1000	2.21	1.97	12.11	65.2	1.29

試料記号は以下のとおりである。

- ・ RNn-0：NaCl 無添加の原コンクリートから得られた再生粗骨材
- ・ RNn-500：NaCl を 500g/m³ 添加した原コンクリートから得られた再生粗骨材
- ・ RNn-1000：NaCl を 1000g/m³ 添加した原コンクリートから得られた再生粗骨材
- ・ rNn-0：NaCl 無添加の原コンクリートから得られた再生細骨材
- ・ rNn-500：NaCl を 500g/m³ 添加した原コンクリートから得られた再生細骨材
- ・ rNn-1000：NaCl を 1000g/m³ 添加した原コンクリートから得られた再生細骨材

8.4.3 試験方法

再生骨材中の塩化物量測定について、以下の3通りの方法により算定を試みた。

(1) JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準じた方法

- ・分析試料は再生骨材を高性能ミルにより 0.15mm以下に微粉碎したものをを用いた。
- ・試料は化学天秤を用いて乾いたビーカーに 10g を 0.01g の桁まではかりとり、時計皿で蓋をした。
- ・試料に硝酸 (1+6) 70ml をビーカーの縁から徐々に加えた。激しい反応が終わったら溶液をかき混ぜて小さく切り取った pH 試験紙を入れて pH3 以下であることを確かめた。
- ・時計皿で覆ったまま 30 分マグネティックスターラーによりかき混ぜた。その後、ビーカーを加熱し 5 分間煮沸して塩化物イオンを抽出した後、常温まで冷却した。このとき、時計皿に付着した水滴はビーカーに戻す。
- ・ガラス漏斗 (内径 75mm、ろ紙 5 種 B15cm)を用いてビーカーにろ過し、不溶分をろ過洗浄し、ろ液を作成した。
- ・採取したろ液に蒸留水を加え約 120ml に調整し、自動電位差滴定装置を用いて塩化物イオンを測定した。

(2) JIS A 1154 附属書 2 (参考)「硬化コンクリート中に含まれる温水抽出塩化物イオンの分析方法」に準じた方法

- ・分析試料は再生骨材を高性能ミルにより 0.15mm以下に微粉碎したものをを用いた。
- ・試料は化学天秤を用いて乾いたビーカーに 10g を 0.01g の桁まではかりとり、時計皿で蓋をした。
- ・試料及び器具を 50℃に温め、50℃の温水を 50ml 加え、30 分間 50±1℃に保ったままマグネティックスターラーによりかき混ぜ、塩化物イオンを抽出した。その後、温度を保ったまま 5 分間静置し粒子を沈殿させた。
- ・ガラス漏斗 (内径 75mm、ろ紙 5 種 B15cm)を用いてビーカーにろ過し、不溶分をろ過洗浄し、ろ液を作成した。
- ・採取したろ液に蒸留水を加え約 120ml に調整し、自動電位差滴定装置を用いて塩化物イオンを測定した。

(3) JIS A 5002「構造用人工軽量骨材」 5. 塩化物試験方法に準じた方法

- ・分析試料は有姿の再生粗骨材及び再生細骨材を用いた。
- ・試料は電子はかりを用いて、広口瓶に 500g を 0.1g の桁まではかりとった。
- ・広口瓶の中の試料に蒸留水 500ml を注ぎ、蓋をして 24 時間静置した。その後、約 5 分間隔で 3 回転倒振とうを繰り返し、塩化物を抽出した。
- ・しばらく静置した後、上澄液 50ml をホールピペットで三角フラスコとり、クロム酸カリウム指示薬を 1ml 加えた。次に、0.1mol/L 硝酸銀溶液で滴定し振り混ぜても赤色が消えなくなった時を終点とし、そのときの消費量を A(ml)とした。

なお、再生骨材中の付着ペースト分の相違によって試験結果が変わるため、別途試料を用いて不要残分量を測定し、再生骨材中の付着ペースト量を求めた。

8.4.4 試験結果および検討

(1) JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」による結果および検討

JIS A 1154 の方法に準じて試料を作成し、塩化物イオン量を電位差滴定法により求めた試験結果を表-5, 6 に示す。

表-5 JIS A 1154 による再生骨材中の塩素イオン濃度測定結果（再生粗骨材）

項目	単位	Rn-0			Rn-500			Rn-1000		
		1回目	2回目	平均値	1回目	2回目	平均値	1回目	2回目	平均値
再生骨材 不溶残分	(%)	78.9	75.1	77.0	77.2	78.5	77.9	81.6	77.6	79.6
再生骨材の塩素イオン濃度	(%)	0.0034	0.0034	0.0034	0.0190	0.0186	0.0188	0.0272	0.0283	0.0278
再生骨材中のペースト率	(%)	21.1	24.9	23.0	22.8	21.5	22.2	18.4	22.4	20.4
再生骨材中のペーストに占める塩素イオン濃度	(%)	0.0161	0.0137	0.0148	0.0833	0.0865	0.0849	0.1478	0.1263	0.1360

表-6 JIS A 1154 による再生骨材中の塩素イオン濃度測定結果（再生細骨材）

項目	単位	rNn-0			rNn-500			rNn-1000		
		1回目	2回目	平均値	1回目	2回目	平均値	1回目	2回目	平均値
再生骨材 不溶残分	(%)	63.4	66.8	65.1	64.5	63.9	64.2	62.7	66.9	64.8
再生骨材の塩素イオン濃度	(%)	0.0047	0.0054	0.0051	0.0315	0.0308	0.0312	0.0513	0.0504	0.0509
再生骨材中のペースト率	(%)	36.6	33.2	34.9	35.5	36.1	35.8	37.3	33.1	35.2
再生骨材中のペーストに占める塩素イオン濃度	(%)	0.0128	0.0163	0.0145	0.0887	0.0853	0.0870	0.1375	0.1523	0.1445

本実験では、再生骨材に含まれる塩素イオン濃度は、原骨材を含めて微粉碎して算出した。その際に不溶残分が生じるが、この質量を測定しなかった。よって、表-5, 6 中に出てくる不溶残分は、別途試料を採取し、再生骨材を塩酸により溶解させた結果である。すなわち、塩素イオン濃度を測定した試料と不溶残分を測定した試料とは同一のものでなく、表-5, 6 中にある再生骨材中のペーストに占める塩素イオン濃度は厳密な測定値とはいえないことに注意が必要である。

本研究の目的は、試験方法の信頼性を検討することであり、理論上の値である原コンクリート中の塩素イオン濃度と測定した再生骨材中の塩素イオン濃度を比較する。この場合、原コンクリート中のペーストに占める塩素イオン濃度と再生骨材中のペーストに占める塩素イオン濃度と比較することとする。なお、このとき以下のような仮定をした。

- ・原骨材の不溶残分はゼロとする。
- ・原コンクリートにおいてセメント量の 40%が結合水としてコンクリートに固定され、残りの水分が蒸発したものとする。

表-7 再生骨材および原コンクリート中のペーストに占める塩素イオン濃度の比較

項目	単位	記号	RNn-0	RNn-500	RNn-1000	rNn-0	rNn-500	rNn-1000	計算式
			平均値	平均値	平均値	平均値	平均値	平均値	
再生骨材 不溶残分	(%)		77.0	77.9	79.6	65.1	64.2	64.8	測定値
再生骨材の塩素イオン濃度	(%)	Cl-ag	0.0034	0.0188	0.0278	0.0051	0.0312	0.0509	測定値
再生骨材中のペースト率	(%)	Cl-p	23.0	22.2	20.4	34.9	35.8	35.2	測定値
再生骨材中のペーストに占める塩素イオン濃度	(%)	Cl-ep	0.0148	0.0849	0.1360	0.0145	0.0870	0.1445	Cl-ag/Cl-p
セメント量	kg/m ³	Cw	318.0	318.0	318.0	318.0	318.0	318.0	調合
セメントに含まれるCl率	%	Cl-o	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	測定値
セメントからのCl量	kg/m ³	Cl-cw	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Cw×Cl-o
添加したNaCl量	kg/m ³	A-n	0.0	0.5	1.0	0.0	0.5	1.0	調合
添加したCl量	kg/m ³	A-cl	0.0	0.3	0.6	0.0	0.3	0.6	A-n×(Cl/NaCl)
原コンクリート中の塩素イオン量	kg/m ³	Cl-rc	0.0	0.4	0.7	0.0	0.4	0.7	Cl-cw+A-cl
原コンクリート中のペースト量	kg/m ³	A-p	445.2	445.2	445.2	445.2	445.2	445.2	仮定値
原コンクリート中のペーストに占める塩素イオン濃度	(%)	Cl-cp	0.0107	0.0789	0.1470	0.0107	0.0789	0.1470	Cl-rc/A-p
誤差 (理論値-測定値)	(%)	Cl-cp	-0.0041	-0.0060	0.0110	-0.0038	-0.0081	0.0026	Cl-cp-Cl-ep

RNn-0 と rNn-0, RNn-500 と rNn-500 および RNn-1000 と rNn-1000 は、それぞれ同一の原コンクリートから作製されたものであり、理論上は、再生骨材中のペーストに占める塩素イオン濃度は、それぞれ一致するはずである。実測定値をみると、RNn-0 と rNn-0 の差は 0.0003%, RNn-500 と rNn-500 の差は 0.0021%, RNn-1000 と rNn-1000 の差は 0.0084% となっており、NaCl を 1000g/m³ 添加したもののデータのバラツキが大きくなっているが、他は比較的良く一致している。

一方、調合から算出した理論上の原コンクリート中のペーストに占める塩素イオン濃度を実測値と比較すると、-0.0081～+0.0110 の範囲内の誤差が生じている。このような誤差が生じたのは、原コンクリート中のペーストに占める塩素イオン濃度の算出において、蒸発した水分を仮定したことと、再生骨材中の付着ペースト率を求める不溶残分の試験方法が塩素イオン濃度を測定した試料と異なったためと考えられる。

再生骨材は粒子ごとに付着するペーストの割合は異なるため、JIS A 1154 に定められた 10g の試料量で適切かどうか、また、試験回数等を検討する必要がある。

(2) JIS A 1154 附属書 2 「硬化コンクリート中に含まれる温水抽出塩化物イオンの分析方法」による結果および検討

JIS A 1154 の試験方法は、再生骨材中のペースト分を完全に溶解させてしまう方法であるため、試験結果の信頼性はかなり高い。しかしながら、この方法は試験の煩雑さや試験に時間が掛かってしまうことが難点である。そこで、比較的簡易な JIS A 1154 附属書 2 の試験方法を検討した。

実験結果の比較を表-8 に示す。

JIS A 1154 附属書 2 の試験結果を見ると、温水中で抽出される塩化物量は、JIS A 1154 の 50%程度であることが分かる。一部に 30%のものもあるが、これは塩化物量が極端に少ないものであるためと推察される。

表-8 JIS A 1154 と同附属書の試験結果の相違

	RNn-0	RNn-500	RNn-1000	rNn-0	rNn-500	rNn-1000
1154の試験結果	0.003	0.019	0.028	0.005	0.031	0.051
1154附属書2の試験結果	0.0017	0.011	0.0136	0.0016	0.01555	0.0213
試験結果の比率	50.0	58.5	49.0	31.7	49.9	41.9

本実験結果は試験 2 回の平均値であり、1) と同様に再生骨材のバラツキとの関係で結果が変動する可能性が高く、適正な試験回数について検討が必要であろう。

(3) JIS A 5002「構造用人工軽量骨材」 5. 塩化物試験方法に準じた方法

試験方法の簡便化を考慮し、JIS A 5002 に準じて塩化物試験を実施した。
実験結果を表-9 に示す。

表-9 JIS A 1154 と JIS A 5002 の試験結果の相違

	RNn-0	RNn-500	RNn-1000	rNn-0	rNn-500	rNn-1000
1154の試験結果	0.003	0.019	0.028	0.005	0.031	0.051
5002の試験結果	0.0016	0.0067	0.0095	0.0015	0.0079	0.0129
試験結果の比率	47.1	35.6	34.2	29.7	25.4	25.4

JIS A 5002 の試験結果を見ると、24 時間と抽出時間は長いが温度が 20℃と低いため、JIS A 1154 附属書 2 よりもさらに抽出される塩化物量は、JIS A 1154 よりも小さい。JIS A 1154 との比でみると 1/4～1/3 程度しか抽出していない。

8.4.5 まとめ

本実験をまとめると大要以下のことがいえる。

- ・ JIS A 1154 の試験方法によって得られる塩分量が最も信頼できるが、再生骨材中のペースト付着率によって試験結果が変動するため、試験回数や試料の量について検討が必要と思われる。
- ・ JIS A 1154 附属書 2 の試験方法は簡便であるが、再生骨材中の塩化物が全て溶出することはないため、種々の再生骨材によって更に実験を行い、標準的な溶出割合を定めないと、再生骨材の塩化物含有量試験方法として用いることができない。
- ・ JIS A 5002 の試験方法も簡便であるが、再生骨材中の塩化物の溶出量はかなり低い。また、JIS A 1154 附属書 2 の試験方法と同様に、多様な再生骨材によって更に実験を行い、標準的な溶出割合を定めないと、再生骨材の塩化物含有量試験方法として用いることができない。

8.5 まとめと JIS 案への反映について

再生骨材のアルカリシリカ骨材反応と抑制手法については 8.2.6 に示す試験結果をもとに、再生骨材 L の JIS 原案に対策法を記述した。

再生骨材中のアルカリ量試験方法については、JIS 原案とするにはデータが不十分であると判断した。試験法は、添付資料として次頁に示す。

再生骨材中の塩素量試験方法についても、JIS 原案とするにはデータが不十分であると判断した。

再生骨材中のアルカリ含有量測定方法(案)

1. 試料の採取

試料は試験しようとするロットを代表するように採取し、有姿のまま分析に使用する。

分析に使用する試料の量は以下の通りとする。

試料分取器または四分法など適切な縮分方法によって、ほぼ所定量の試料を採取する。

(1) 再生粗骨材の場合 500g を 2 回採取

(2) 再生細骨材の場合 100g を 2 回採取

2. 試料の乾燥

採取した有姿の再生粗骨材を、105℃で 24 時間以上、一定質量となるまで乾燥させる。乾燥した後、試料は室温まで冷却させる。

3. 再生骨材中のアルカリ含有量の測定

- (1) 乾燥させた有姿の再生粗骨材 500g (再生細骨材の場合は 100g) を量り取って、プラスチック製またはガラス製容器に入れ、塩酸 (1+100) ⁽¹⁾ と固液比 1:70 で混合後、攪拌する。所定の時間後、5 種 B のろ紙を用いて不溶解残渣と塩酸溶液をろ別する。不溶解残渣は蒸留水でよく洗浄する。不溶解残渣は 105℃で 12 時間以上、一定質量となるまで乾燥した後、質量を測定する。ろ液は分取して、原子吸光光度法で溶出した Na₂O、K₂O を定量し、換算アルカリ量 (Na₂O_{aq} = Na₂O + 0.658×K₂O) を算出する。

注⁽¹⁾ 試薬特級の塩酸 (濃度約 35%) を容積比で 1:100 の割合で純水と混合したもの。

- (2) 不溶解残渣の全量を、再び、プラスチック製またはガラス製容器に入れ、新しい塩酸 (1+100) を用いて、操作 (1) を行う。
- (3) 換算アルカリ量が所定量以下となるまで、操作 (2) を繰り返す。
所定量は、例えば、「0.02%以下」など、測定精度を考慮して、定めるべきである。
- (4) 再生骨材中のアルカリ含有量は、次の式によって算出する。

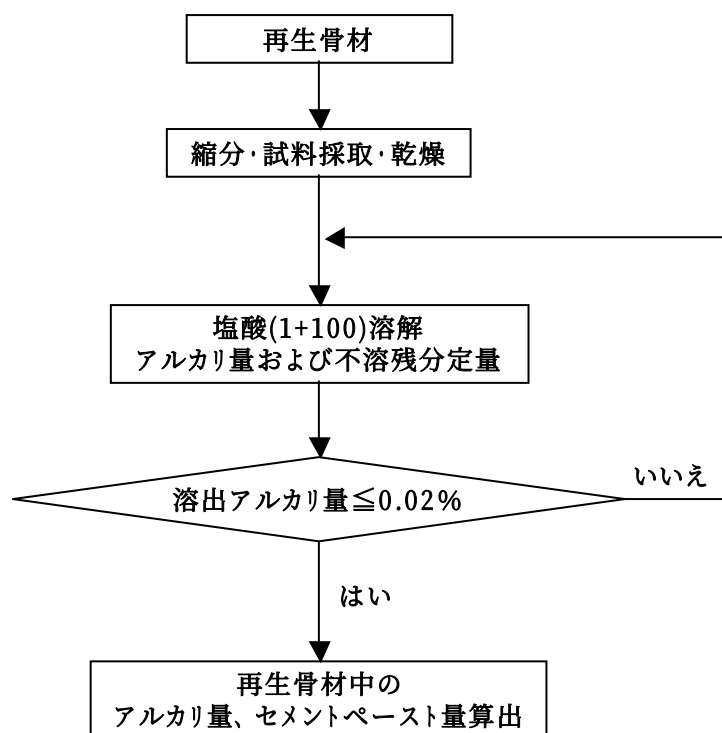
$$\text{Na}_2\text{O} = (\text{各溶解時の Na}_2\text{O 量の和}) \div (\text{試料の質量}) \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{K}_2\text{O} = (\text{各溶解時の K}_2\text{O 量の和}) \div (\text{試料の質量}) \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{換算アルカリ量 (Na}_2\text{O}_{\text{aq}}) = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \times \text{K}_2\text{O} \quad (\%)$$

- (5) 再生骨材中のセメントペースト量は、次の式によって算出する。

$$\text{セメントペースト量} = 100 - (\text{不溶解残渣の質量}) \div (\text{試料の質量}) \times 100 \quad (\%)$$



付図1 再生骨材中のアルカリ含有量の測定手順

再生骨材中のアルカリ量に関する試験の状況写真



付写真 1 試験前の試料



付写真 2 試料-塩酸(1+100)溶液の振とう



付写真 3 試料溶液の遠心分離



付写真 4 試料溶液のろ過



付写真 5 回収した不溶残分



付写真 6 不溶残分の 105℃乾燥



付写真 7 乾燥後の不溶残分



付写真 8 原子吸光分光分析装置による
ろ液中の Na, K の定量