

4. 砕砂コンクリートの品質確保(各種課題の解決)に向けた対策

4.1 単位水量増加抑制の対策

砕砂を海砂代替として活用する場合、単位水量が増加する恐れがあるため、品質を確保するためには減水対策が要求される。

減水対策について、実験的検討を行い、各種減水対策を組合せることで所要の品質を確保できることを確認した。

4.1.1 単位水量増加抑制の対策（減水対策）

- (1) 砕砂を海砂と混合砂利用することで単位水量の増加を抑制する。
- (2) フライアッシュ混和によるボールベアリング効果を利用して、単位水量を低減する。
- (3) 必要に応じて、高性能 AE 減水剤を使用する。

解説

- (1) 混合砂は、砕砂を粗砂、海砂を細砂として混合する。これにより、砕砂の微粒分量等が単位水量の増加に与える影響を抑制する。混合割合等も含めた詳細は 5.1 節でも検討している。
- (2) フライアッシュは、混和することで、それ自体が球状な微粒子のため、ボールベアリング的作用での改質が期待され、高い減水効果が得られる。長崎県ではフライアッシュに関して「長崎県におけるフライアッシュコンクリート配合・製造及び施工指針（案）」（平成 27 年 1 月）を策定しており、このなかの「標準型」の仕様でセメントの 10%±2%置換を、後述するアルカリシリカ反応対策等も踏まえて適用する。
- (3) 高性能 AE 減水剤は、セメントに対する分散作用により流動性を改善させることで、副次的に高い減水効性が得られる。ただし、コンクリート単価の高騰につながる恐れがあるため、極力、(1)、(2)の組合せで減水対策を行い、これで対処できない場合は必要に応じて、使用するものとする。

4.1.2 減水対策の根拠とした実験結果

砕砂コンクリートの減水対策について実施した実験結果を以下に示す。

(1) 使用材料

産地（製造工場）が異なる2種類の砕砂（砕砂A、砕砂B）を利用した。砕砂の品質は以下の通りである。

- ・ 砕砂 (A, B) は、JIS の規格値を満足する範囲で、産地や工場が違えば差異が生じる。
- ・ 砕砂 (A, B) の粒度は、海砂と比べて、下に凸であり、粒径が粗い。

表-4.1 砕砂の基本物性値(一例)

試験項目		細骨材				
		評価基準	海砂	砕砂A	砕砂B	
粒度	粒度分布	JIS A 5308	標準粒度内	標準粒度範囲	標準粒度範囲	標準粒度範囲
	粗粒率	—	—	2.49	2.89	3.18
密度 (g/cm ³)	表乾	JIS A 5308	—	2.58	2.70	2.58
	絶乾		2.5[2.4]以上※1	2.55	2.63	2.51
吸水率 (%)	3.5[4.0]以下※1		1.38	2.59	2.76	
微粒分量 (%)	3.0[5.0]以下※2 (9.0以下) ※3		1.1	6.8	3.8	

※1：[]内の値は、購入者の承諾を得て採用する規格値

※2：[]内の値は、すり減りさようを受けない場合の規格値

※3：()内の値は、JIS A 5005の規格値

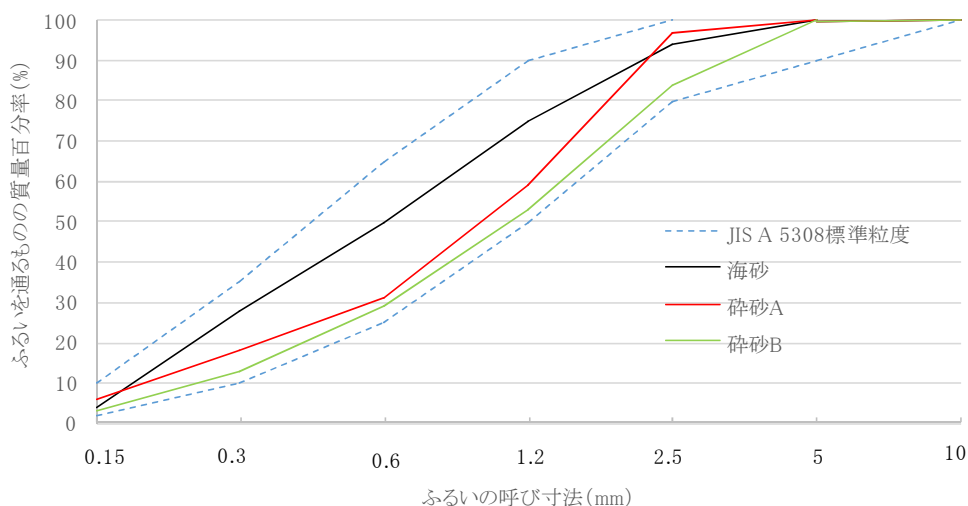


図-4.1 砕砂の粒度分布(一例)

(2) 配合試験

単位水量の増加に対する混合砂利用の効果とフライアッシュ (FA) 混和の効果と、表-4.2 の条件で検討した。

検討の結果、混合砂利用とフライアッシュの減少効果を確認した。

表-4.2 FAによる減水効果検討の配合条件

配合種類		使用材料						配合設計条件			
		細骨材		セメントの種類	フライアッシュ置換率 (%)	AE減水剤の種類	AE剤の種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント (水結合材) 比 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)
記号	説明	種類	混合割合 砕砂:海砂								
N	従来の海砂配合	海砂	0 : 10	高炉セメント B種	-	生コン工場 仕様 15L	生コン工場 仕様 マイクロエア 101A	20	55.0	9±1	5.0±0.5
B	砕砂の混合割合において実績が多い基本配合	砕砂	6 : 4		-						
PB	砕砂の混合割合を変更 (砕砂減) し、減水効果を期待した配合	砕砂	3 : 7		-						
B(FA)	FA混和による減水配合	砕砂	6 : 4		10						
PB(FA)	砕砂の混合割合を減らし、FA混和のダブルで減水効果を期待した配合	砕砂	3 : 7		10						
NB	s1の大きい建築を想定した海砂配合	海砂	0 : 10	普通ポルトランドセメント	-					18±1	
BB(FA)	建築配合 (NB-S) に対するFA混和による減水配合	砕砂	6 : 4		10						

表-4.3 FA混和による減水効果検討の示方配合結果

配合名称 記号	細骨材 種類 混合割合 最大寸法比	配合設計条件		コンクリートの配合					フラスコ内の性状			硬化コンクリート性状				静弾性係数 (kN/mm ²)		
		水セメント比	スランプ	空気量	単位水重量	単位セメント重量	単位FA重量	単位AE減水剤重量	スラブ	空気量	温度	プリング	7日 (σc7)	28日 (σc28)	56日 (σc56)	圧縮強度の伸び	28日 試験値	平均値
N-S	海砂 0 : 10			5.0 ± 0.5	162	295	207	24	9.3	4.9	18.0	104.5	21.2	35.1	41.6	1.66	32.2	31.1
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B-A	海砂 6 : 4			5.0 ± 0.5	165	300	210	48	9.3	5.5	18.0	55.0	19.7	33.9	43.1	1.72	28.9	28.8
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB-A	砕砂A 3 : 7			5.0 ± 0.5	162	295	207	18	8.1	4.6	18.0		21.7	37.7	45.2	1.72		
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B(FA)-A	砕砂A 6 : 4			5.0 ± 0.5	160	291	204	76	8.6	4.9	18.0	53.5	17.7	31.7	38.5	1.79	29.5	29.2
					29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
PB(FA)-A	砕砂A 3 : 7			5.0 ± 0.5	159	289	202	58	9.1	5.9	18.0		18	31.2	38.2	1.72		
					29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
B-B	海砂 6 : 4			5.0 ± 0.5	158	287	201	23	8.8	5.4	18.0	74.0	19.9	35.3	43.3	1.77	30.2	31.3
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB-B	砕砂B 3 : 7			5.0 ± 0.5	160	291	204	23	10.0	5.3	18.0		21.1	35.9	42.7	1.70		
					29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
B(FA)-B	砕砂A 6 : 4			5.0 ± 0.5	155	282	197	51	8.6	5.5	18.0	71.0	17.4	31.5	38.7	1.81	28.8	28.3
					28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
NB-S	海砂 0 : 10			5.0 ± 0.5	183	333	233	17	19.8	4.5	18.0		27.4	38.1	43.7	1.39		
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB(FA)-A	砕砂A 6 : 4			5.0 ± 0.5	181	327	229	65	19.4	5.7	18.0		21.9	30.6	37.9	1.42		
					33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33

※1：混合砂の混合割合 砕砂：海砂=6：4

※2）：AE減水剤重量=単位セメント重量×使用率%

※3）：AE減水剤(0.1A)=単位セメント(結合材)量×0.001%×Aタイプ

()内はAタイプを示す。

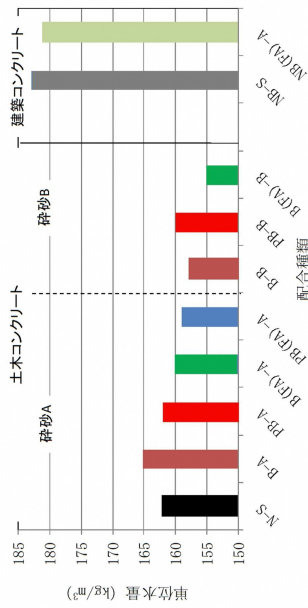


図-3 配合種類の単位水量の関係

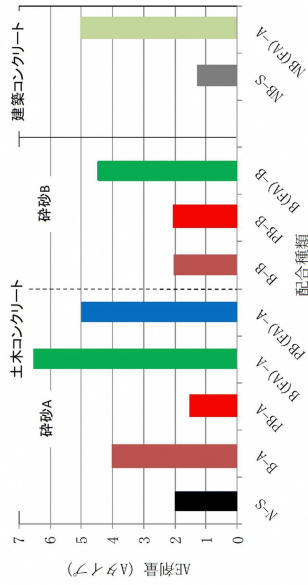


図-4 配合種類のAE剤量の関係

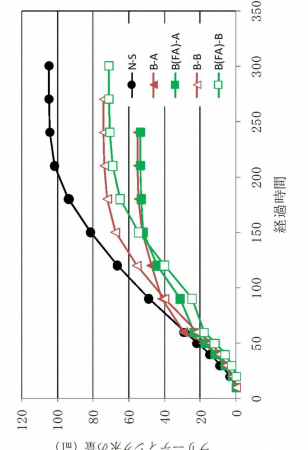


図-5 プリーディング試験結果

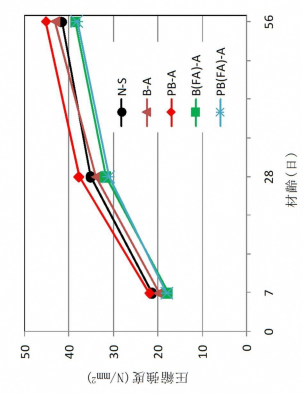


図-6 砕砂Bを用いた配合の強度特性

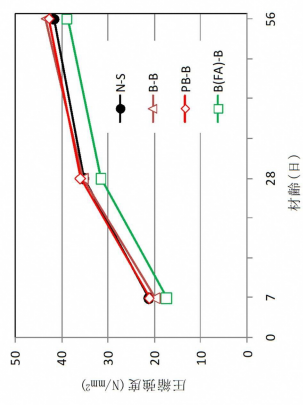


図-7 砕砂Bを用いた配合の強度特性

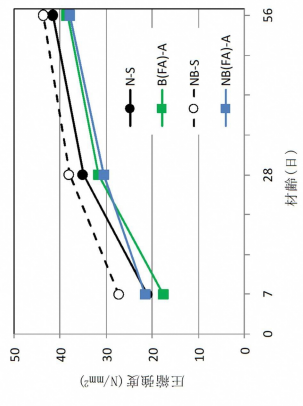


図-8 土木建築別の強度特性比較

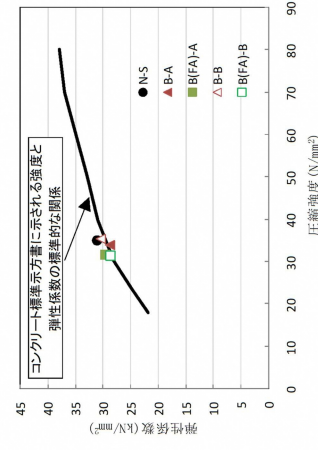


図-9 圧縮強度と静弾性係数の関係

4.2 砕砂の使い方・管理方法（乾式砕砂の場合）

4.2.1 砕砂細骨材の品質管理手法（品質管理目安）

- (1) 乾式砕砂を用いて従来コンクリートと同等のコンクリート性状を望む場合、海砂との混合砂で利用することが望ましい。（砕砂を粗砂、海砂を細砂とするのが望ましい）
- (2) 砕砂の混合砂利用において、砕砂の割合は6割までは良好な結果が得られている。
- (3) 砕砂の混合砂での合成粗粒率の目安は、2.5～2.9が望ましい。
- (4) 砕砂の混合砂での合成微粒分量の目安は、4%以下が望ましい。

解説

- (1) 砕砂を混合砂で利用することで、砕砂特有の性状を緩和することができる。また、昨今、良質な海砂の枯渇に伴ない砂が細くなっており、海砂の品質改善のためにも、砕砂を粗砂として混合することで、粒度バランスが改善される。
- (2) 従来の海砂コンクリートと遜色ない同等程度のフレッシュコンクリート性状を得るためには、実験的検討（5.1の実機試験に伴う混合割合の検討を参照）の結果より、砕砂の混合砂割合は最大6割程度までは問題なく適用できる可能性が高いことを確認した。なお、先行して海砂から砕砂利用に切り替えた四国地区、中国地区は、湿式砕砂を利用しているにも関わらず、配合特性や施工性を考慮して、砕砂と海砂の割合を6：4としていることが多いことを、アンケート調査で確認している。
- (3) 砕砂コンクリートの単位水量が海砂コンクリートと同等以下で、所要のコンクリート性状を得られ、またAE剤等が過度に増えない範囲を実験的検討で設定した目安である。
- (4) (3)と同様に実験的検討で設定した目標の目安である。

4.2.2 品質管理目安の根拠とした実験結果

(1) 目的

県内産の乾式砕砂を用いて、海砂との混合砂での品質目安を把握する目的で実験的検討を行った。

(2) 使用材料

砕砂は JIS A 5005 に準拠する範囲で粗、中、細の3種類を、海砂は従来利用される海砂（標準）と将来利用される可能性の海砂（細目）を用いて（写真-4.1、表-4.4、図-4.2 参照）、表-4.5 の混合砂を使用した。なお、砕砂の製造は、砕石工場の意見によれば、粗い方が製造管理はしやすくなる。

混合砂の品質結果を 表-4.5 と 図-4.3 に示す。

写真-4.1 細骨材の外観状況(一例)



表-4.4 細骨材の品質試験結果

種類	記号	密度 (g/cm ³)		吸水率 (%)	微粒分量 (%)
		絶乾	表乾燥		
海砂 (標準)	S1	2.54	2.58	1.35	0.90
海砂 (細目)	S1'	2.54	2.58	1.35	0.90
砕砂 (標準)	S2	2.66	2.70	1.62	6.00
砕砂 (粗目)	S3	2.66	2.70	1.62	4.50
砕砂 (細目)	S4	2.66	2.70	1.62	8.20

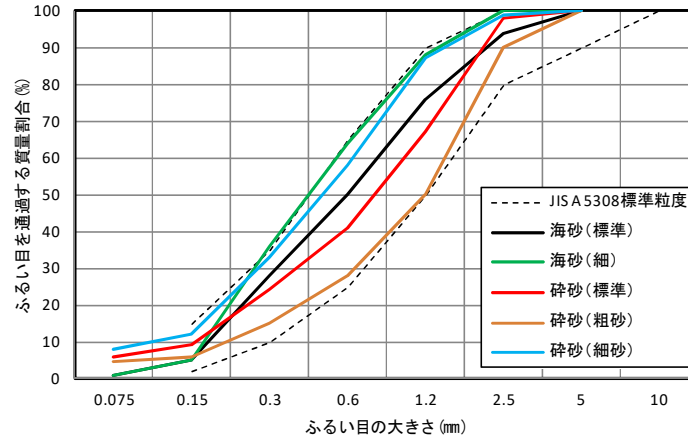


図-4.2 細骨材の粒度分布

表-4.5 混合砂の品質試験結果

種類		混合割合 海砂 : 砕砂	記号	密度 (g/cm ³)		吸水率 (%)	微粒分量 (%)
海砂	砕砂			絶乾	表乾燥		
海砂 (標準)	-	10 : 0	N	2.54	2.58	1.35	0.90
海砂 (標準)	砕砂 (標準)	4 : 6	N-CN	2.61	2.65	1.51	3.36
海砂 (標準)	砕砂 (粗目)	4 : 6	N-CR	2.61	2.65	1.51	3.06
海砂 (標準)	砕砂 (細目)	4 : 6	N-CD	2.61	2.65	1.51	5.28
海砂 (細目)	砕砂 (粗目)	4 : 6	ND-CR	2.61	2.65	1.51	3.06
海砂 (標準)	砕砂 (粗目)	7 : 3	N-CRA	2.58	2.62	1.43	1.98

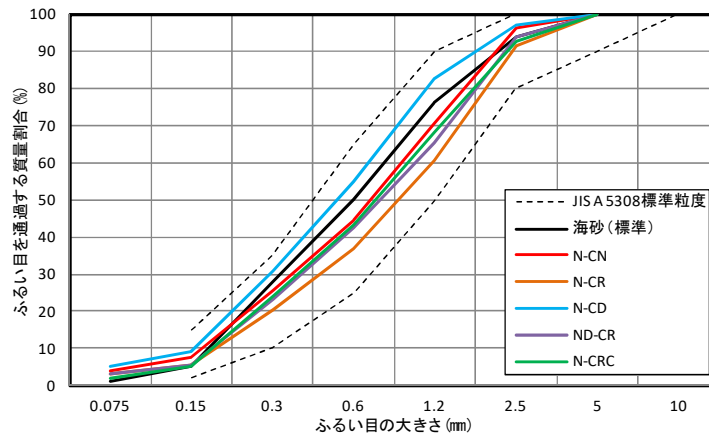


図-4.3 混合砂の粒度分布

(3) 配合試験

配合試験を表-4.6 のケースで実施した。

表-4.6 砕砂・混合砂の種類による効果検討の配合設計条件

配合名称	海砂種類	砕砂種類	混合割合	フライッシュ混和	配合の種類
P	海砂		0 : 10	0%	従来の海砂配合
N	海砂		0 : 10	10%	海砂配合にFAを混和した基準配合（ベース）
N-CN	海砂（標準）	砕砂（標準）	6 : 4	10%	砕砂（標準）の混合砂配合
N-CR	海砂（標準）	砕砂（粗）	6 : 4	10%	砕砂（粗）の混合砂配合
N-CD	海砂（標準）	砕砂（細）	6 : 4	10%	砕砂（細）の混合砂配合
ND-CR	海砂（細）	砕砂（粗）	6 : 4	10%	海砂（細）と砕砂（粗）の混合砂配合（将来的に海砂が細くなる傾向に対応した配合）
CN		砕砂（標準）	10 : 0	10%	砕砂（標準）の単独配合
CR		砕砂（粗）	10 : 0	10%	砕砂（粗）の単独配合
CD		砕砂（細）	10 : 0	10%	砕砂（粗）の単独配合
N-CRC	海砂（標準）	砕砂（粗）	3 : 7	10%	砕砂（粗）の混合砂配合の混合割合を変えた配合
N-CRA	海砂（標準）	砕砂（粗）	3 : 7	10%	N-CRCを基にした建築配合

表-4.7 砕砂・混合砂の種類による効果検討の配合試験結果

配合名 記号	説明	細骨材		セメント の種類	ファイバー 量率	AE剤 の種類	AE剤 の種別	骨材の 最大寸法 (mm)	配合設計条件		細骨材率 S/a (%)	単位水重 (kg/m ³)	コンクリートの配合		コンクリートの性状				備考				
		海砂 種類	砕砂 種類						混合割合	骨材 (水結合 材) 比			スランジ (mm)	空気重 (%)	単位水重 (kg/m ³)	単位骨材重 (kg/m ³)	単位骨材重 細骨材 (kg/m ³)	単位骨材重 粗骨材 (kg/m ³)		単位骨材重 AE剤 (kg/m ³)	スラブ 厚さ (mm)	空気重 (%)	練上がり 温度 (°C)
P	従来の海砂配合	海砂	砕砂	0:10	-						45.4	102	295	0	815	207	24	9.0	4.8	17.0	2310	17.0	
N	海砂配合にFAを混和した基礎配合 (ベース)	海砂	砕砂	0:10	10						45.4	160	291	291	815	204	47	9.5	5.0	17.0	2297	17.0	単位水重： Pより0.2kg/m ³ 減
N-CN	海砂に砕砂(細)を混和した配 合	海砂(標準)	砕砂(細)	6:4	10						44.1	162	296	30	808	207	95	8.0	4.7	17.0	2238	17.0	単位水重： Pより0.2kg/m ³ 増
N-CR	海砂に砕砂(粗)を混和した配 合	海砂(標準)	砕砂(粗)	6:4	10						44.7	162	296	30	819	207	95	8.5	5.5	17.0	2303	17.0	単位水重： P、N-CNと同等
N-CD	海砂(細)と砕砂(粗)を混和し た配合	海砂(標準)	砕砂(粗)	6:4	10						41.6	165	300	30	808	210	156	8.5	4.9	17.0	2238	17.0	単位水重： P、N-CN、N-CRより 0.3kg/m ³ 増
N-CR	海砂(細)と砕砂(粗)を混和し た配合 従来の海砂が細かくなる傾向に 対応した配合	海砂(細)	砕砂(粗)	6:4	10			20	55.0	9±1	44.1	162	296	30	808	207	95	10.0	5.5	17.0	2298	17.0	単位水重： P、N-CN、N-CRと同等
CN	砕砂(標準)のみを単独配合	砕砂(標準)	砕砂(粗)	10:0	10						43.0	164	298	30	802	209	143	7.5	4.5	17.0	2344	17.0	単位水重： Pより0.4kg/m ³ 増
CR	砕砂(粗)のみを単独配合	砕砂(粗)	砕砂(粗)	10:0	10						43.5	164	298	30	810	209	143	6.0	5.2	17.0	2330	17.0	単位水重： Pより0.4kg/m ³ 増
CD	砕砂(細)のみを単独配合	砕砂(細)	砕砂(粗)	10:0	10						40.6	170	309	31	744	216	237	8.0	5.2	17.0	2315	17.0	単位水重： Pより0.8kg/m ³ 増
N-CRC	海砂(標準)と砕砂(粗)を混和 した配合	海砂(標準)	砕砂(粗)	3:7	10						44.8	160	291	291	817	204	47	9.0	4.6	17.0	2303	17.0	単位水重： Pと同等
N-CRA	海砂の混合割合を単とした配合	海砂(標準)	砕砂(粗)	3:7	10						47.2	180	327	294	824	229	52	19.5	5.3	17.0	2285	17.0	単位水重： N-CRより0.2kg/m ³ 増

※1：混合砂の混合割合 砕砂：海砂=6:4
 ※2：A.E.海砂水重=単位セメント(混合材)重×0.002%×Aタイプ
 ※3：A.E.粗重(303)=単位セメント(混合材)重×0.002%×Aタイプ
 A.E.粗重(785)=単位セメント(混合材)重×0.003%×Aタイプ
 ()内はAタイプを示す。

表-4.8 各コンクリートのスランプ性状












<p>P</p> 	<p>N</p> 	<p>N-CN</p> 	<p>N-CR</p> 	<p>N-CD</p> 
<p>ND-CR</p> 	<p>CN</p> 	<p>CR</p> 	<p>CD</p> 	<p>N-CRC</p> 
<p>N-CRA</p>  <p>生コン関係者の意見(従来の海砂コンクリートと比較した意見) N: 従来コンクリート(P)と変わらない(適度な粘性があり、良好な性状) N-CN: 多少粗く感じるが従来コンクリートと遜色ない(慣れれば普通に使える可能性がある) N-CR: 多少粗く感じるが従来コンクリートと遜色ない(思ったほど悪くなく、施工性を見て判断が必要) N-CD: 粘性が強く、堅く感じる ND-CR: 全体的なバランスで現状の従来コンクリートよりも性状が良い CN: ジャンカ等が多くなりそう CR: ジャンカ等が多くなりそう、生コンでの利用は難しいのでは CD: 粘性が強く、ジャンカも多くなりそう、生コン利用は無理 N-CRC: 従来コンクリートと遜色ない(直ぐにでも使えるのではないか) N-CRA: 建築コンクリートとしても問題なく利用できそう</p>				

表-4.9 各コンクリートのスランプ比較表

	砕砂 (なし)	砕砂 (細)	砕砂 (標準)	砕砂 (粗)
海砂 (なし)	<p>※1 名称：OD 砕砂：海砂 = 10 : 0 W : 増 A E : 増 性状：不良 強度：良 評価：△</p>	<p>※1 名称：ON 砕砂：海砂 = 10 : 0 W : 増 A E : 増 性状：不良 強度：良 評価：△</p>	<p>※1 名称：CR 砕砂：海砂 = 10 : 0 W : 増 A E : 増 性状：不良 強度：良 評価：△</p>	<p>※1 名称：N-CR 砕砂：海砂 = 6 : 4 W : 同 A E : 標 性状：良 強度：良 評価：○</p>
海砂 (標準)	<p>名称：P (FAなし) 砕砂：海砂 = 0 : 10 W : - A E : - 性状：- 強度：- 評価：-</p> <p>※1 名称：N 砕砂：海砂 = 0 : 10 W : 減 A E : 標 性状：良 強度：良 評価：○</p>	<p>名称：N-OD 砕砂：海砂 = 6 : 4 W : 増 A E : 増 性状：不良 強度：良 評価：△</p>	<p>名称：N-ON 砕砂：海砂 = 6 : 4 W : 同 A E : 標 性状：良 強度：良 評価：○</p>	<p>※1 名称：N-CRC 砕砂：海砂 = 3 : 7 W : 減 A E : 標 性状：優 強度：良</p> <p>※1 名称：N-CRA 砕砂：海砂 = 3 : 7 W : 増 A E : 標 性状：良 強度：良</p>
海砂 (細)	<p>※1 名称：ND 砕砂：海砂 = 6 : 4 W : 同 A E : 標 性状：良 強度：良 評価：◎</p>			<p>※1 名称：ND-CR 砕砂：海砂 = 6 : 4 W : 同 A E : 標 性状：優 強度：良 評価：◎</p>

製造しやすい (砕砂)

今後増える
予備
(海砂)

Wは単位水量を示し、増・同・減は以下の通りとする。
 増：Pの単位水量と比べて増えている
 同：Pの単位水量と比べて同じ
 減：Pの単位水量と比べて減っている
 A EはA E助剤を示し、増・標は以下の通りとする。
 増：10A以上の添加量となる
 標：10A以下の添加量となる
 評価は生コン利用の可能性について、P、Nを標準とした場合の判定とする（室内試験であり、性状を優先）。

◎：P、Nと比べて同等以上に優れている
 ○：P、Nと比べて同等に優れる
 △：P、Nと同等に劣る場合、工夫が必要となる

性状は、スランプ・空気量が条件を満たすなかで、スランプ性状の専門家の意見をもとに以下の通りとする。
 不良：粘性増やジャンカのリスクがある
 良：P、Nと同等と判断される
 優：P、Nより良好と判断される
 強度は圧縮強度の発現性を示し、良・不良は以下の通りとする。
 良：P、Nと比べて同等に優れる
 不良：P、Nよりも劣る

(4) 分析結果

○砕砂を粗砂、海砂を細砂とした根拠

砕砂と海砂の混合砂を利用したコンクリートと、従来の海砂コンクリートの性状比較結果を表-4.10に示す。表より、細目の砕砂を配合した(N-CD)のみが、配合特性、フレッシュコンクリート性状で、従来の海砂コンクリートより劣る結果となった。

表-4.10 従来の海砂コンクリートと混合砂コンクリートの性状比較

検討項目	分析項目	海砂-砕砂 (粗目) N-CR	海砂-砕砂 (標準) N-CN	海砂-砕砂 (細目) N-CD
配合特性	単位水量	○ 同等	○ 同等	△ 増加
	細骨材率	○ 同等	○ 同等	△ 大差
	AE剂量	○ 同等	○ 同等	△ 超過
フレッシュコンクリート性状	スランプ性状	○ 同等	○ 同等	△ 不良
	単位容積質量	○ 同等	○ 同等	○ 同等
硬化コンクリート性状	圧縮強度	○ 同等	○ 同等	○ 同等
	静弾性係数	○ 同等	○ 同等	○ 同等

※ ○：従来（海砂）コンクリートと同じ、△：従来（海砂）コンクリートより劣る

○合成粗粒率 2.5~2.9%を目安とした根拠

合成粗粒率と単位水量の関係を図-4.4に、合成粗粒率と細骨材率の関係を図-4.5に示す。図中の最適範囲を目安とする。

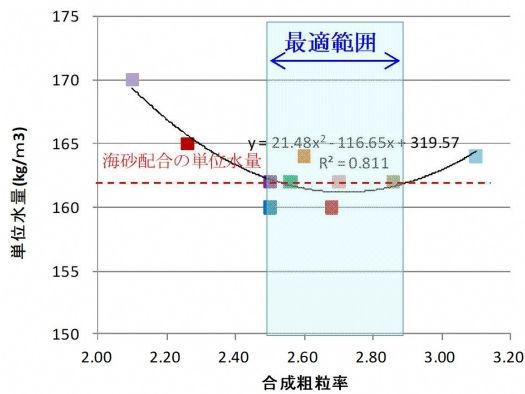


図-4.4 合成粗粒率と単位水量の関係

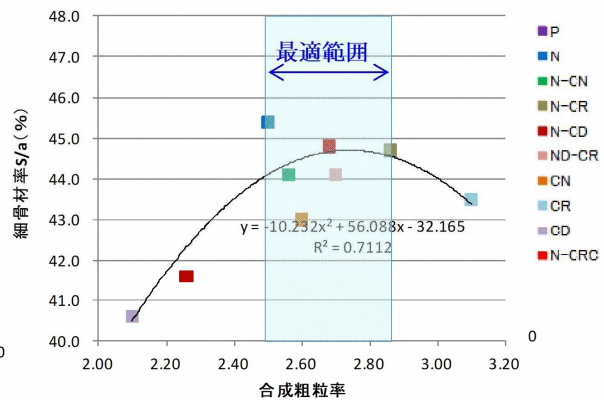


図-4.5 合成粗粒率と細骨材率の関係

※凡例の詳細

	砕砂 (なし)	砕砂 (細)	砕砂 (標準)	砕砂 (粗)
海砂 (なし)	/	CD (10:0)	CN (10:0)	CR (10:0)
海砂 (標準)	P (0:10)	N-CD (6:4)	N-CN (6:4)	N-CR (6:4)
	N (0:10)			N-CRC (3:7)
海砂 (細)	/	/	/	N-CRA (3:7)
	/	/	/	ND-CR (6:4)

○合成微粒分量 4%以下を目安とした根拠

合成微粒分と単位水量の関係と図-4.6に、合成微粒分とAE剤の関係を図-4.7に示す。単位水量が従来の海砂配合を越えない範囲、AE剤量の調整が煩雑にならない(10A以下)範囲を目安とした。

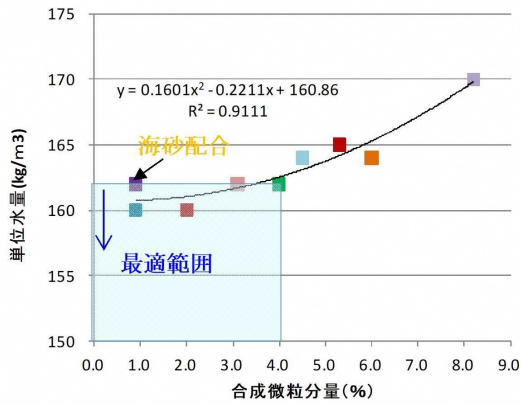


図-4.6 合成微粒分量と単位水量の関係

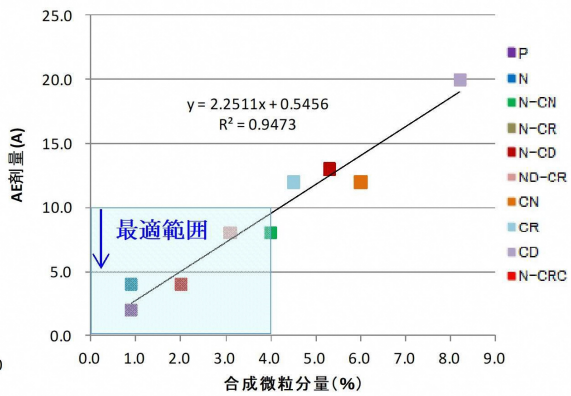


図-4.7 合成微粒分量とAE剤量の関係

※凡例の詳細

	砕砂 (なし)	砕砂 (細)	砕砂 (標準)	砕砂 (粗)
海砂 (なし)	/	CD (10:0)	CN (10:0)	CR (10:0)
海砂 (標準)	P (0:10)	N-CD (6:4)	N-CN (6:4)	N-CR (6:4)
	N (0:10)			N-CRC (3:7)
				N-CRA (3:7)
海砂 (細)	/	/	/	ND-CR (6:4)

○砕砂の粒度範囲の目安

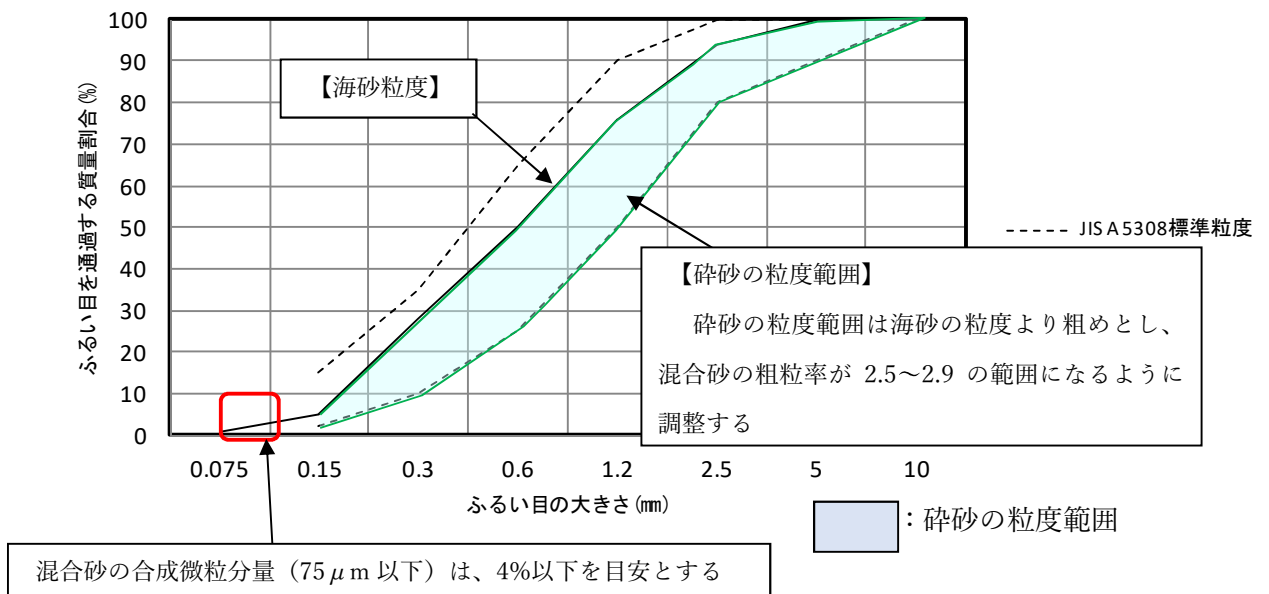


図-4.8 砕砂の粒度範囲の目安

4.3 アルカリシリカ反応（ASR）の抑制対策

4.3.1 アルカリシリカ反応の従来対策

長崎県で産出される骨材原料には反応性骨材が多く（B区分）、アルカリシリカ反応（ASR）を起こす懸念がある。ASRについて国交省の通達（表-4.11）によりコンクリート中のアルカリ総量の抑制、抑制効果のある混合セメント等を使用すれば利用可能である。一般に混合セメントとして高炉セメントB種が使われるが、鳥居らの報告によれば[※]、高炉セメントB種の高炉置換率は30～60%のものがあり、ASR抑制を目的とした場合の置換率は50%以上、強度発現を重視した場合は置換率40%以下となる。昨今は普通ポルトランドと高炉セメントB種で強度発現に明瞭な差異がないことを踏まえると置換率が40%以下の高炉B種も多く流通している可能性が高い。強度重視で高炉の置換率が小さく設定されていれば、高炉セメントB種を用いてもASRの抑制効果はなく、海岸や寒冷地のコンクリート構造物のように外部からのアルカリ供給がある場合にASRが助長される可能性もある。特に、長崎は広く海に接しているため、外部アルカリに留意する必要がある。

ASR抑制対策については、外部アルカリも踏まえた実験的検討を行い、抑制方法を提案した。

※アルカリシリカ反応に いかに対応するか《試験，診断と対策の課題》，鳥居和之，セメント・コンクリート（696），1-9，2005-02-10

表-4.11 アルカリ骨材反応に関する国土交通省の通達

アルカリ骨材反応抑制対策（土木・建築共通）

1. 適用範囲

国土交通省が建設する構造物に使用されるコンクリートおよびコンクリート工場製品に適用する。ただし、仮設構造物のように長期の耐久性を期待しなくともよいものは除く。

2. 抑制対策

構造物に使用するコンクリートは、アルカリ骨材反応を抑制するため、次の3つの対策の中のいずれか1つについて確認をとらなければならない。なお、土木構造物については2.1、2.2を優先する。

2.1 コンクリート中のアルカリ総量の抑制

アルカリ量が表示されたポルトランドセメント等を使用し、コンクリート1 m^3 に含まれるアルカリ総量をNa20換算で3.0kg以下にする。

2.2 抑制効果のある混合セメント等の使用

JIS R 5211 高炉セメントに適合する高炉セメント[B種またはC種]あるいはJIS R 5213 フライアッシュセメントに適合するフライアッシュセメント[B種またはC種]、もしくは混和材をポルトランドセメントに混入した結合材でアルカリ骨材反応抑制効果の確認されたものを使用する。

2.3 安全と認められる骨材の使用

骨材のアルカリシリカ反応性試験（化学法またはモルタルバー法）の結果で無害と確認された骨材を使用する。なお、海水または潮風の影響を受ける地域において、アルカリ骨材反応による損傷が構造物の安全性に重大な影響を及ぼすと考えられる場合（2.3の対策をとったものは除く）には、塩分の浸透を防止するための塗装等の措置を講ずることが望ましい。

注）試験方法は、JIS A 1145 骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（化学法）またはJIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の付属書7「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（化学法）」、JIS A 1146 骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）またはJIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の付属書8「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）」による。

4.3.2 アルカリシリカ反応（ASR）の抑制対策

反応性骨材を使うリスクがある場合、従来の混合セメントだけの対策では、高反応性を有する骨材や外部アルカリ供給がある場合、抑制効果が十分でない可能性もある。この予防対策としてフライアッシュ置換（セメント置換で10%以上）は有効である。

解説

フライアッシュによる ASR 抑制のメカニズムは、一般的に以下のことが言われている。

- ・ セメント置換により、コンクリート中のアルカリ総量が減る効果
- ・ フライアッシュのポゾラン反応により、コンクリートが密実になる効果
- ・ フライアッシュのポゾラン反応で、細孔溶液中のアルカリが消費される効果

本手引き(案)では、セメントに高炉セメント B 種を使うことを原則としているが、後述する ASR 抑制対策の検討結果例にも示すように、外部アルカリの供給等がある場合に、これだけでは十分な ASR の抑制とならない。しかし、これにフライアッシュをセメントで 10% 置換することで顕著な抑制が確認された。

また、フライアッシュの置換は、砕砂コンクリートのフレッシュコンクリート性状の安定の為にも寄与する（5.1 参照）。

4.3.3 ASR 抑制対策の根拠とした実験結果

ASR の抑制対策を提案するにあたり実施した実験結果を以下に示す。

(1) ASR の促進膨張試験における検討方法

細骨材に県内の反応性骨材「無害でない」を原料とした砕砂と海砂の混合砂（砕砂：海砂＝6：4）を用い、セメントに高炉セメント B 種を使った従来の配合（BB）と、BB 配合のセメントの 10%をフライアッシュで置換した配合（BB+FA10%内割）について、外部アルカリ（海水等）の影響を模擬した ASR の促進膨張試験（アルカリ溶液浸漬法、飽和 NaCl 溶液浸漬法）を実施し、ASR 抑制を評価した。

試験体は、反応性の高い砕砂を用いたコンクリートを練り混ぜ、これに NaCl を添加して供試体を作製し、ASR の促進膨張量試験を行った。NaCl 添加量は、配合に対して等価アルカリ量（ Na_2O 等量）で $+6.0\text{kg}/\text{m}^3$ とした（等価アルカリ量 $+6.0\text{kg}/\text{m}^3$ となるよう NaCl を添加することで、塩化物イオン量も $+5.0\text{kg}/\text{m}^3$ 以上添加された状態となる）。アルカリの添加は外割（配合には含めない）とし、練り混ぜ時に所定量計量した塩化ナトリウム（NaCl）を添加し、ミキサで混合する方法とした。

試験実施状況を写真-4.2 に、検討試験のフローを図-4.9 に、試験時の砕砂を用いた配合を表-4.12 に示す。



練りませ状況



供試体作製状況



コア採取状況



促進膨張量試験状況

写真-4.2 FA の ASR の抑制対策検討試験実施状況

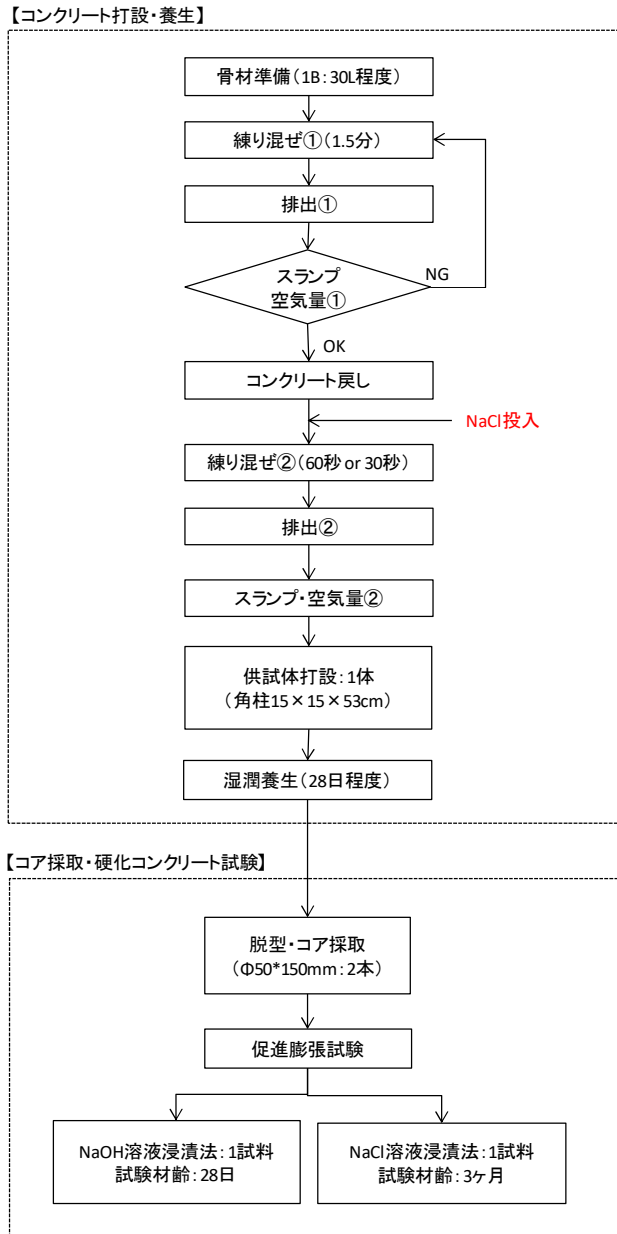


図-4.9 実施フロー

表-4.12 示方配合表

配合 No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								
			W	BB	FA	S1	S2	G	15L	MA101	NaCl
B-B	55.0	45.9	158	287	-	340	519	1044	2.01	0.574 (2.0A)	11.3
B(FA)-B	55.0	46.0	155	254	28	343	520	1044	1.97	0.564 (2.0A)	11.3

S1 砕砂、S2 海砂=6 : 4

(2) ASR の促進膨張量試験結果

① アルカリ溶液浸漬法（カナダ法）

アルカリ溶液浸漬法（カナダ法）の試験結果を表-4.13、図-4.10 に示す。BB（フライアッシュ無混和）は、参考基準の 0.1% に近い値を示し、最終材齢（4 週）においても右上がりの傾向が強く、無害（リスクがない）とは言い切れない。このため、有害な膨張を起こす懸念があると判断される。ただし、BB+FA10%内割は、最終材齢において、膨張率を BB の約半分程度に抑えられている。

表-4.13 促進膨張試験結果（アルカリ溶液浸漬法）

コア名	膨張率 (%)					
	1日	3日	7日	14日	21日	28日
BB	0.004	0.013	0.015	0.028	0.053	0.095
BB+FA10%内割	0.000	0.004	0.004	0.012	0.015	0.036

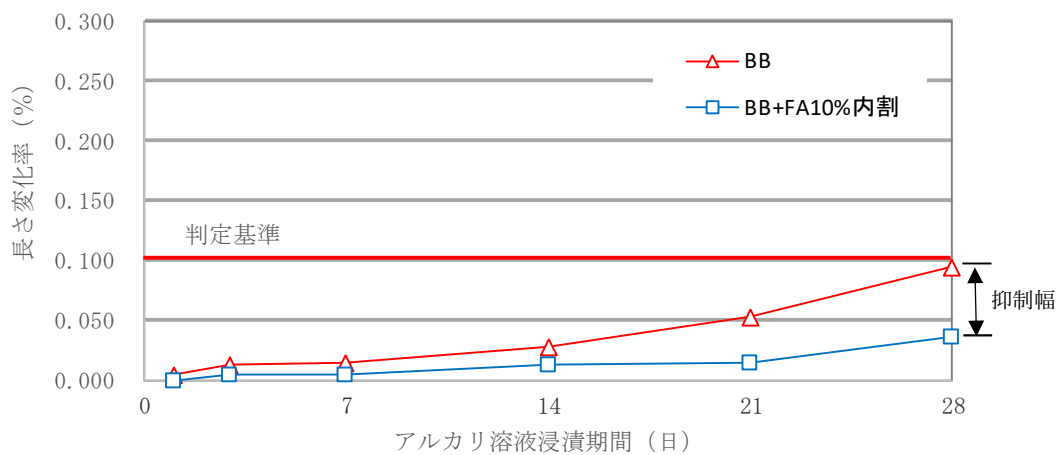


図-4.10 促進膨張試験結果（アルカリ溶液浸漬法）

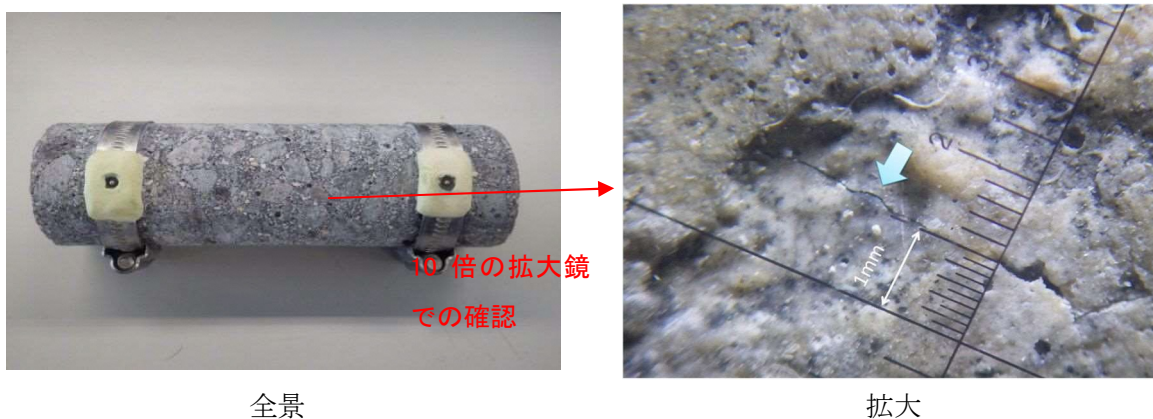


写真-4.3 促進膨張試験結果（カナダ法）の材齢 28 日後の BB の外観観察

② 飽和 NaCl 浸漬法（デンマーク法）

飽和 NaCl 浸漬法（デンマーク法）の試験結果を表-4.14、図-4.11 に示す。デンマーク法では、BB と BB-(FA)-B（フライアッシュ置換）は共に膨張率ほとんど変化が無く、懸念がない結果となった。

なお、デンマーク法で懸念がない結果となり、カナダ方のみで有害な判定となる場合、遅延型反応性骨材が使用されることが多い。

表-4.14 促進膨張試験結果（飽和 NaCl 溶液浸漬法）

コア名	膨張率 (%)														
	1日	3日	7日	14日	21日	28日	35日	42日	49日	56日	63日	70日	77日	84日	91日
BB	0.007	0.001	-0.002	-0.005	-0.005	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
BB+FA10%内割	0.01	0.006	0.002	-0.001	-0.003	-0.004	-0.003	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003

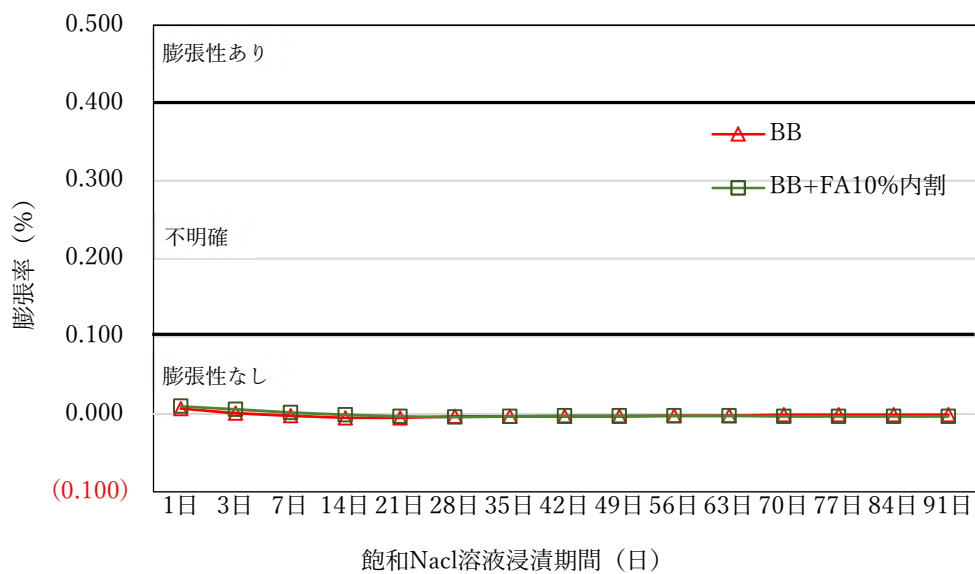


図-4.11 促進膨張試験結果（飽和 NaCl 溶液浸漬法）