

# 砕砂を用いたコンクリート活用の手引き

## I 本編

令和 2 年 6 月

長崎県 土木部



## まえがき

長崎県では、コンクリート用細骨材のほとんどを海砂に依存していますが、水産資源の保護及び自然環境の保護の調和の立場から、海砂採取限度量に関する検討委員会を開催し、専門家からの提言を元に、平成12年度以降、採取量の制限を行っています。

この提言のなかでは、採取量の制限のほかに、砕砂をコンクリート用細骨材として活用するための県における具体的な検討を行うことが期待され、また、実効性のあるマニュアルを作成することにより、県発注工事における砕砂の活用を可能とすることが求められました。

これを契機に、産学と連携しながら、平成26年度から平成30年度まで、各業界のアンケート、砕砂の材料試験や生コンの練り混ぜ試験、生コンプラントを用いての実機試験と検討を行い、一定のデータを集めることができました。令和元年度には、そのなかで得られた結果を、「砕砂を用いたコンクリート活用の手引書（案）作成検討委員会（以下、委員会）」に委託し、本手引書の案として、精査、取りまとめをいただきました。本手引書は、長崎県が、委員会で作成いただいた案の内容を吟味し、公益に資する為に公表するものです。

本手引書の1点目の特徴は、砕砂と海砂をブレンドして混合砂として使用している点です。砕砂のみ使用した配合では、コンクリートの性状が従来のものと大きく異なり、扱いが極端に難しくなるため、混合砂でのデータの収集、取りまとめを行っています。

2点目の特徴は、コンクリートの性能について、将来の維持管理を考慮した内容となっている点です。平成27年1月策定の「長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造及び施工指針」に沿ってフライアッシュを併用することにより、アルカリ骨材反応や塩害に対する耐久性の高いコンクリートとすることができることをデータにより示しています。

なお、本手引書は、今回の検討で使用した材料、製造設備等の条件のもとで得られた結果を一例として示すものであり、本手引書によらない配合や他の方法での砕砂の使用を制限するものではなく、今後のパイロット工事や研究データ、市場での実績等の蓄積を踏まえて、改訂されうるものです。

最後に、本手引書に携わっていただいた関係各位に心から感謝申し上げます。

検討を始めた当初には、砕砂は、その扱いの難しさから代替材としての実用化は不可能であろうという意見もありましたが、ご協力いただいた生コン製造者と砕砂製造者の工夫と技術力に助けられ従来のコンクリートと遜色ない品質のデータを集めることができました。

また、委員会において、将来の維持管理を考慮した手引書の案を作成していただいたことにより、トータルコストの縮減や予算の有効活用にも繋がるものと考えております。

本手引書が、限りある資源の有効な活用と、耐久性の高い良質なコンクリート構造物の発展に寄与し、持続可能な社会の構築に繋がることを期待します。

令和2年6月

長崎県土木部長 奥田 秀樹



長崎県では現在、インフラの整備に欠かせない建設資材である砂のほとんどを海砂に頼っている。しかしながら、昨今の自然環境の保全や水産資源の保護といった社会的な要請が高まる中、平成 20 年度から、5 年おきに開催されている「長崎県海砂採取限度量に関する検討委員会」からの提言を受け、段階的に海砂の採取量を制限してきた。その一方で、海砂に替わる県内で調達可能な資材の検討を行い、砕砂が有望な代替材料の一つとして選定されており、砕砂の積極的な活用が望まれていた。

他方で、近年、各種環境条件で使用されるコンクリート構造物は、長期的に性能を發揮するための耐久設計と施工時の品質確保が要求され、さらにはライフサイクルコストを踏まえた維持管理に配慮した設計・施工が求められている。

本手引き書(案)は、上記のような背景のもと、長崎県における砕砂の活用方法について、材料選定・配合設計から施工までを取りまとめたものである。取りまとめにあたっては、従来の海砂コンクリートと比較して品質低下を招くことなく、同等以上の品質・性能を確保することを前提に、維持管理を念頭においた上で、耐久性と品質の観点から検討した。本手引き書(案)が、長崎県内の公共工事において有効に活用され、海砂の代替材としてはもちろん、限りある資源として、海砂と砕砂との調和を図りながら、良質なコンクリート構造物を持続的に構築していかなければならないとの認識を促進させる一助となることを願っている。

一方、砕砂と同様に、海砂の代替材料の候補として挙げられたフライアッシュについては、平成 20 年度に設置された「フライアッシュ利用促進検討委員会」において、細骨材の一部に代替できることが確認されている。しかしながら、海砂代替としての適用よりもセメントの内割りとして用いた方が、品質・耐久性の面で良好な利用方法であることがわかり、「長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造及び施工指針」(平成 27 年 1 月、長崎県土木部)では、セメントの内割り材料として取りまとめられている。

上記指針は、本手引き書(案)とも関連しており、両者併せて大いに活用していただきたい。また、今後、従来の海砂も採取量の規制だけでなく、その低品位化への対処も必要となり、耐久設計・品質確保問題が改めてクローズアップされることが予想される。その場合、本手引き書(案)が、海砂の低品質化や様々な代替骨材の検討資料として活用されることを期待したい。

最後に、本手引き書(案)の作成にご協力頂いた関係各位に深く謝意を表する。

令和 2 年 3 月

砕砂を用いたコンクリート活用の手引き(案)作成検討委員会  
会長 原田 哲夫



# 砕砂を用いたコンクリート活用の手引き（案）作成検討委員会

## 委員構成

（令和元年度）

会長 原田 哲夫（長崎大学大学院）

## 委員

添田 政司（福岡大学大学院）

佐々木 謙二（長崎大学大学院）

山北 賢二（国土交通省九州地方整備局

田代 益庸（国土交通省九州地方整備局

長崎河川国道事務所）

長崎港湾・空港整備事務所）

松本 成一（長崎県）

鳴神 慎一郎（長崎県）

松尾 貴志（長崎県）

# 目次

## I. 本編

1. はじめに	I-1
2. 本手引きの適用範囲	I-2
3. 砕砂を用いたコンクリートの特性	I-3
3.1 砕砂の基本的な特徴	I-3
3.2 砕砂の物理・化学的性質	I-5
3.3 砕砂の混合砂利用	I-7
3.4 砕砂を用いたコンクリートの配合特性	I-10
3.5 フレッシュコンクリート性状	I-12
3.6 硬化コンクリート性状	I-15
4. 耐久性照査（設計段階）の留意点	I-17
4.1 ASR 発生の要因と可能性	I-17
4.2 ASR 抑制対策	I-20
4.3 塩害発生の可能性	I-21
4.4 塩害対策	I-22
5. 施工性能（施工段階）の留意点	I-23
5.1 製造	I-23
5.2 運搬・打込み・締固めおよび仕上げ	I-24
6. 海砂代替としての砕砂活用の留意点・確認事項	I-31

## I. 本編

### 1. はじめに

長崎県では、コンクリート構造物に使用される細骨材のほとんどを海砂に依存しているが、図-1.1にあるように平成11年以降、採取量が削減されてきた。今後、さらに削減が進んだ場合、コンクリートの供給不足や質の低下が懸念される。インフラ整備に欠かすことのできないコンクリートの安定供給は、持続可能な社会の構築のためにも重要である。本手引きは、従来のコンクリートと同等の品質確保を目指し、県内で地産される砕砂を海砂代替材として活用できないか検討した結果を取りまとめたものである。

また、平成17年に「公共工事の品質確保の促進に関する法律(品確法)」が施行され、公共工事における品質の確保が求められている。一方で、限られた予算内で維持管理を行うことも求められる。このため、長期の品質確保が重要になることから、耐久性に優れた設計、施工が必要となっている。本手引きでは、耐久性に配慮した設計について検討した結果と、現場での施工性について記載したものである。

本手引きで取り扱うコンクリートは、コンクリート標準示方書に準拠されるものであり、レディーミクストコンクリートはJIS A 5308に規定されるものである。また、同示方書により、レディーミクストコンクリート工場はJIS認証品を製造する工場のうち、全国生コンクリート品質管理監査会議から(適)マークを承認された工場から選定しなければならない。(発注者の仕様書により例外を設けている場合もある。)

さらに、プレキャストコンクリート製品においても同様の品質確保が必要であり、本手引きを活用されたい。

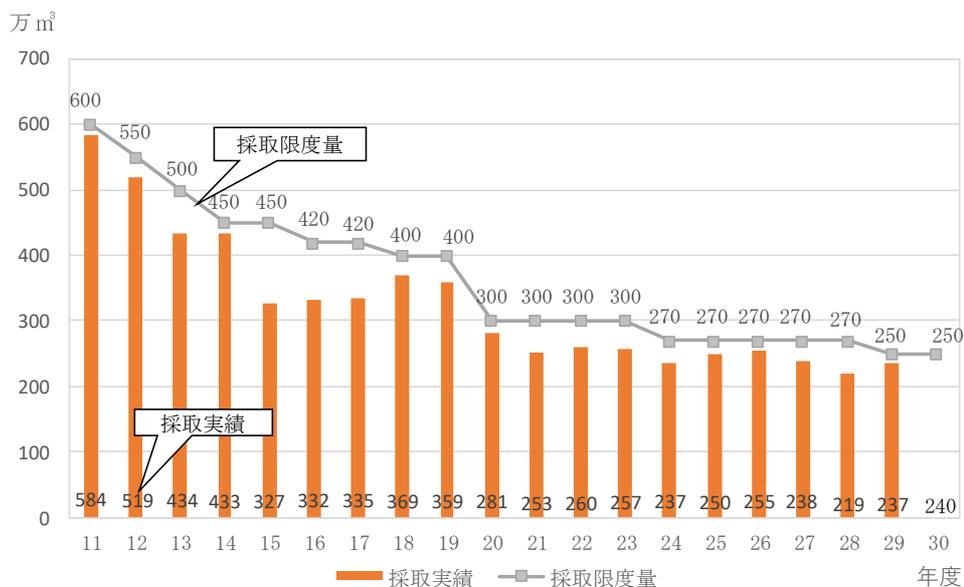


図-1.1 海砂採取限度量、採取実績の変遷※1)

※1：長崎県海砂採取限度量に関する検討委員会資料より

## 2. 本手引きの適用範囲

本手引きの適用範囲は、長崎県内の公共工事に適用する。

本手引きでは、耐久性を必要とする土木コンクリート構造物を対象に、砕砂を用いる場合の配合、製造及び施工の一案を示した。

なお、耐久性の向上については「長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造及び施工指針」（平成 27 年 1 月、長崎県土木部）によりフライアッシュの効果が述べられている。本手引きの耐久性に関する検討は、この指針の標準型に従い、セメントの 10% をフライアッシュに置換した配合で実験した結果を取りまとめたものである。

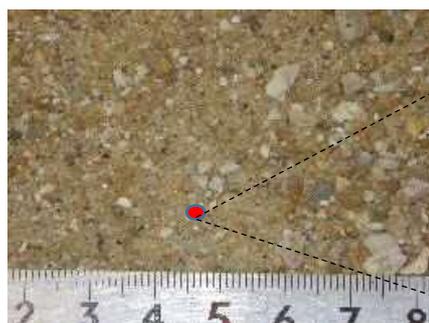
### 3. 砕砂を用いたコンクリートの特性

#### 3.1 砕砂の基本的な特徴

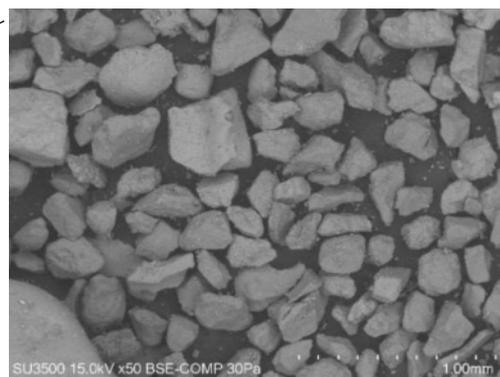
県内で製造される砕砂は、JIS A 5005（砕砂の規格）に適合し、コンクリート細骨材としての JIS A 5308 付属書 A（生コンの規格）にも適合したものが入手できる。ただし、砕砂は海砂に比べて以下の①～④の特徴がある。

- ① 微粒分量が多い(特に乾式で製造された場合)
- ② 粒形が歪である(実績率が小さい)
- ③ 粗粒率大きい(粗い)
- ④ 地域的に反応性骨材が原料となることが多い(I-5、I-18)

また、県内砕砂の製造方式は、乾式、湿式のいずれもあり、乾式が多い。乾式と湿式で製造される砕砂の物性値、粒度の試験結果の一例を表-3.1、図-3.1 に示す。また、乾式砕砂の顕微鏡写真を写真-3.1 に示す。乾式は、湿式に比べて、微粒分量が多いのがわかる。



目視写真

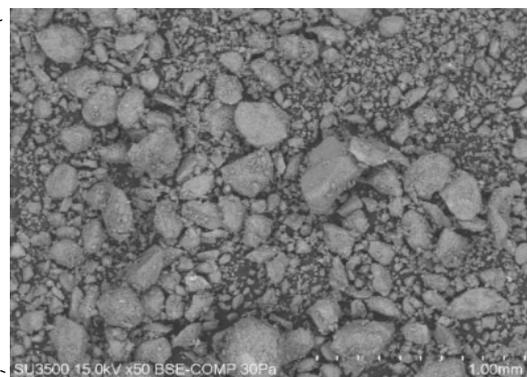


SEM 画像

海砂



目視写真



SEM 画像

砕砂（乾式）

写真-3.1 海砂と砕砂の目視・顕微鏡写真

表-3.1 砕砂の物性試験結果（一例）

試験項目		細骨材				
		評価基準		乾式砂	湿式砂	海砂
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	—	—	2.72	2.77	2.60
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	表乾	JIS A 5308	—	2.70	2.58	2.58
	絶乾		2.5[2.4]以上※1	2.63	2.51	2.55
吸水率 (%)	3.5[4.0]以下※1		2.59	2.76	1.38	
微粒分量 (%)	3.0[5.0]以下※2 (9.0以下) ※3		6.8	3.8	1.1	

※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、すり減り作用を受けない場合の規格値  
 ※3：（ ）内の値は、JIS A 5005の規格値

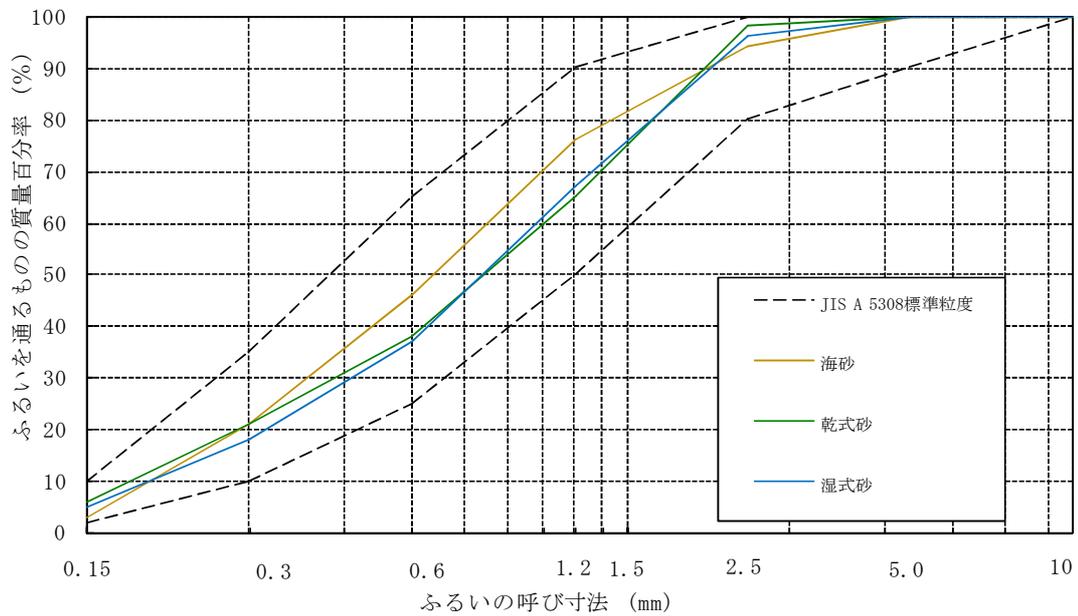


図-3.1 砕砂の粒度試験（一例）

## 3.2 砕砂の物理・化学的性質

### 3.2.1 物理・化学的特性

県内で入手可能な砕砂をサンプリングし、物理・化学的性質を確認した結果を表-3.2に示す。物性値は、JIS A 5005 の規格値を全て満足するものの、配合設計に影響を及ぼすFMや微粒分量のばらつきが大きい。また、アルカリ反応性試験では化学法でいずれも「無害」となり、モルタルバー法で1工場が「無害でない(0.1%以上)」となった。ASRの判定方法は、化学法とモルタルバー法の組合わせで行い、判定結果が異なる場合はモルタルバー法を優先して判定する。この結果、D工場を除けば、全て「無害」となる

なお、JIS A 5308 の附属書B(規定)「アルカリシリカ反応抑制対策の方法」では、アルカリシリカ反応抑制対策として次に示す3種類を規定している。

①コンクリート中のアルカリ総量を規制する抑制対策

[アルカリ総量を 3.0kg/m<sup>3</sup>以下に規制]

②アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメントなどを使用する抑制対策

[高炉セメントB種若しくはC種、フライアッシュB種若しくはC種を使用。高炉セメント微粉末又はフライアッシュを抑制効果があると確認された単位量で使用]

③安全と認められる骨材を使用する抑制対策

[区分Aの骨材(“無害”と判定された骨材)の使用]

表-3.2 県内砕砂の物理・化学的性質試験結果

項目	A工場	B工場	C工場	D工場	JIS規格値	
ふるい分け(FM)	2.88	3.09	2.61	2.82		
表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.57	2.59	2.69	2.72	—	
絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.51	2.52	2.64	2.66	2.5g/cm <sup>3</sup> 以上	
吸水率 (%)	2.58	2.52	2.14	2.32	3.0%以下	
微粒分量 (%)	3.5	6.5	8.0	7.4	9.0%以下(すりへりを受ける場合5.0%以下)	
粒径判定実積率 (%)	57.6	57.7	56.9	54.7	54%以上	
単位容積質量 (kg/L)	1.61	1.63	1.78	1.73	—	
実績率 (%)	64.0	64.7	67.5	64.9	—	
安定性 (%)	0.7	0.6	0.8	0.7	10%以下	
モルタルフロー (cm)	167	174	171	160	—	
アルカリシリカ反応性 (化学法)	判定	無害でない	無害でない	無害でない	無害でない	—
	S c	564	579	517	389	—
	R c	196	180	137	106	—
アルカリシリカ反応性 (モルタルバー法)	判定	無害	無害	無害	無害でない	—
	2W	0.004	0.004	0.008	0.006	—
	4W	0.006	0.008	0.016	0.014	—
	8W	0.010	0.012	0.027	0.152	—
	13W	0.011	0.014	0.035	0.292	—
	26W	0.013	0.015	0.040	0.318	—

### 3.2.2 ASR 化学法の課題

新北九州空港連絡橋委員会報告書（平成 17 年 3 月、新北九州空港連絡橋設計施工委員会）では、化学法で「無害でない」、モルタルバー法で「無害」と判定された場合でも、ASR のリスクが高い場合があることを明らかとしている。表-3.2 の結果も、同様に 4 工場のうち 3 工場で、化学法で「無害でない」と判定され、モルタルバー法が優先されるために、結果として「無害」と判定されている。

既往の引用文献の結果の一部を以下に示す。これは、化学法で「無害でない」と判定された 4 試料と「無害」と判断された 1 試料の計 5 試料で、モルタルバー法において JIS の規定の試験方法 ( $R_2O=1.2\%$ 、通常) と高アルカリ環境を想定した  $R_2O=2.0\%$  の場合で ASR の判定試験を行った結果である。これより、モルタルバー法で「無害」と判定されたものも、高アルカリ環境下では  $0.1\%$  以上となり、異常膨張を起こす。このため、通常環境に構築される構造物であれば問題ないが、外部から浸透する塩化物等の高アルカリ環境になることが想定される場合、ASR 防止対策を講ずる必要を示されている。

長崎においても、海岸線沿いで海水作用や潮風的作用を受けやすい地域は広く存在し、また地形的に平地が少なく、急傾斜地や山間部が多いため、冬季に凍結防止剤が散布される地域も多いため、外部アルカリ供給による高アルカリ環境下となる地域も広く存在する。このため、一概に「無害」と判断することはできない。

表 6 骨材の岩種および化学法試験結果

試料番号	試料名	岩種	産地	Sc (mmol/L)	Rc (mmol/L)	判定
1	砕石	菱輝緑岩	A	33	39	無害
2	砕石	硬質砂岩	B	68	52	無害でない
3	砕石	石英斑岩	C	44	82	無害
		硬質砂岩				
4	砕石	石英斑岩	C	49	90	無害
5	砕石	硬質砂岩	C	123	46	無害でない
6	海砂	—	D	24	104	無害
7	砕石	石英斑岩	C	60	97	無害
		硬質砂岩				
8	砕石	硬質砂岩	E	132	39	無害でない
9	砕石	硬質砂岩	F	41	55	無害
10	海砂	—	G	19	52	無害
11	砕石	硬質砂岩	F	39	51	無害
12	砕石	硬質砂岩	E	87	54	無害でない
13	砕石	硬質砂岩	E	33	43	無害
14	砕石	石灰石	H	3	6	無害
15	砕石	花崗岩	I	10	33	無害

表 7 モルタルバー法試験結果

試料番号	岩種	産地	膨張率(%)		判定
			$R_2O=1.2\%$	$R_2O=2.0\%$	
2	硬質砂岩	B	0.022	0.144	無害
5	硬質砂岩	C	0.024	0.240	無害
8	硬質砂岩	E	0.026	0.376	無害
11	硬質砂岩	F	0.023	0.257	無害
12	硬質砂岩	E	0.025	0.057	無害

※新北九州空港連絡橋委員会報告書（平成 17 年 3 月、新北九州空港連絡橋設計施工委員会）P117

### 3.3 砕砂の混合砂利用

砕砂は、工場で製造され、JIS A 5005 を満足する範囲でばらつきの少ないものを選定することが重要となる。同一工場で JIS の範囲内で粗目、標準、細目に製造した砕砂(表-3.3)の物性試験結果と粒度分布を、表-3.4 と図-3.2 に示す。

砕砂を海砂代替として 100%使用した場合、従来の海砂コンクリートに対して単位水量が増加する(表-3.7、図-3.4)。このため、本手引きでは砕砂と海砂を混合砂として利用することとした。この砕砂と海砂の混合割合は、海砂コンクリートと同等の性能を有することを目的に上限を 6 割とした。

砕砂と海砂の混合砂の物性値と粒度分布の結果を表-3.5 と図-3.3 に示す。

砕砂を混合砂利用とすることで、物性・粒度を海砂に近づけることが出来ている。また、砕砂(細目)を海砂と混合利用した場合、JIS A 5308 付属書 A の微粒分量規格値(5.0%以下)を外れている。これより、混合砂のうち、砕砂を粗砂に、海砂を細砂とし、砕砂は JIS の規格値の中で粗目を選定することが望ましいことが確認できる。砕砂の製造は、JIS の範囲内で粗目、標準、細目で調整可能である。砕砂は細く作る程、副産物の石粉が増え(微粒分量増大)、品質の安定性に欠き、製造コストも増大する。このため、可能な限り粗い砕砂を利用することで品質とコストの安定に繋がる。また、配合試験の結果をもとに分析すると、砕砂の混合砂の合成粗粒率と合成微粒分量の目安を、2.5~2.9 と 4%以下\*とすることで、従来のコンクリートと同等のフレッシュコンクリート性状が得られる。

表-3.3 細骨材の外観写真

	海砂(標準)	砕砂(粗)	砕砂(標準)	砕砂(細)
粗粒率	FM=2.5	FM=3.1	FM=2.6	FM=2.1
全景				
詳細				

※：目安として 4%以下を目標と出来れば、砕砂を用いたコンクリートの単位水量は従来の海砂コンクリートに対して同等以下に抑制することも可能となる。

表-3.4 砕砂の基本物性試験結果

試験項目		細骨材					
		評価基準	海砂(標準)	砕砂(標準)	砕砂(粗目)	砕砂(細目)	
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	標準粒度範囲
	粗粒率	—	—	2.47	2.61	3.11	2.11
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	表乾	JIS A 5308	—	2.58	2.70	2.70	2.70
	絶乾		2.5[2.4]以上※1	2.54	2.66	2.66	2.66
吸水率 (%)		JIS A 5308	3.5[4.0]以下※1	1.35	1.62	1.62	1.62
微粒分量 (%)			3.0[5.0]以下※2 (9.0以下) ※3	0.9	6.0	4.5	8.2

※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、すり減り作用を受けない場合の規格値

※3: ( )内の値は、JIS A 5005の規格値

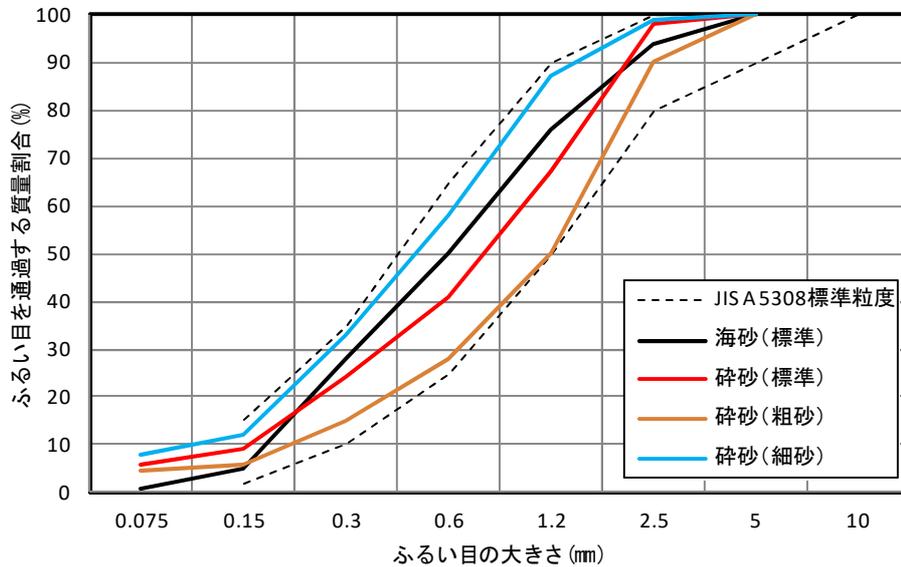


図-3.2 砕砂の粒度分布

表-3.5 混合砂の基本物性試験結果

試験項目		細骨材						
		評価基準	N-CN 砕砂(標準) 海砂(標準) 6:4	N-CR 砕砂(粗目) 海砂(標準) 6:4	N-CD 砕砂(細目) 海砂(標準) 6:4	ND-CR 砕砂(粗目) 海砂(細目) 6:4	N-CRC 砕砂(粗目) 海砂(標準) 3:7	
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	標準粒度範囲	標準粒度範囲
	粗粒率	—	—	2.55	2.85	2.25	2.69	2.66
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	表乾	JIS A 5308	—	2.65	2.65	2.65	2.65	2.62
	絶乾		2.5[2.4]以上※1	2.61	2.61	2.61	2.61	2.58
吸水率 (%)	3.5[4.0]以下※1		1.51	1.51	1.51	1.51	1.43	
微粒分量 (%)	3.0[5.0]以下※2 (9.0以下) ※3		3.96	3.06	5.28	3.06	1.98	

※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、すり減り作用を受けない場合の規格値  
 ※3: ( )内の値は、JIS A 5005の規格値

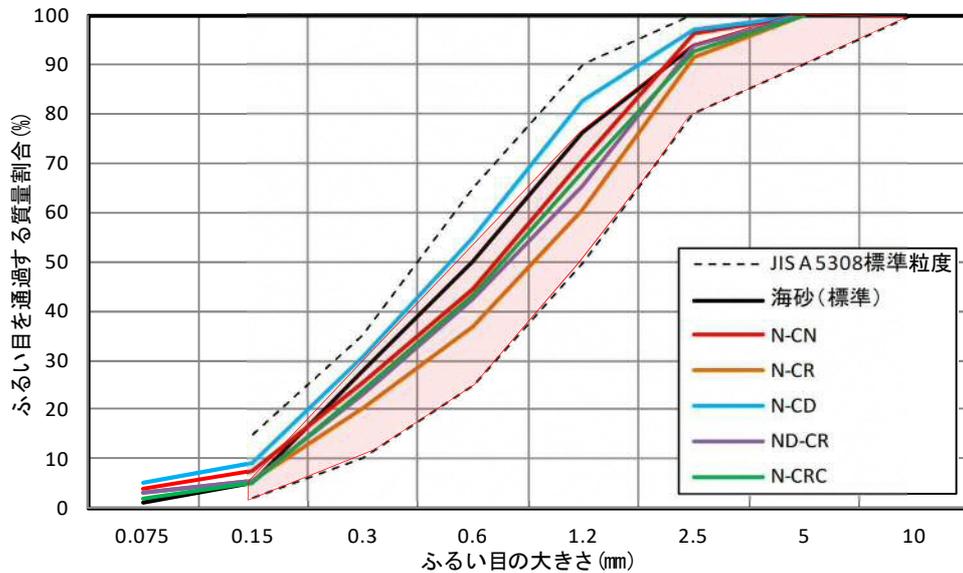


図-3.3 混合砂の粒度分布

※: 表-3.5 と図-3.3 より、近年海砂が細くなるなかで、砕砂(細目)との混合砂では微留分が多くなり、JIS A 5308 の基準から外れ、また従来の海砂(標準)よりも粒度分布が上側の範囲に位置すれば単位水量が増える可能性がある。このため、砕砂の粒度範囲は海砂の粒度より粗めとし、混合砂の粗粒率が2.5~2.9の範囲になるように設定するのが望ましい(赤い枠の範囲が良好な範囲)。

### 3.4 砕砂を用いたコンクリートの配合特性

コンクリートの配合は、耐久性の確保や材料分離を抑制するために、所要のワーカビリティが得られる範囲で単位水量をできるだけ少なくするように定められている。配合に関する規定値は、土木工事設計要領（令和元年7月、九州地方整備局）、土木工事共通仕様書（令和元年5月、九州地方整備局）およびコンクリート標準示方書【施工編】（2017年制定、土木学会）、長崎県建設工事共通仕様書（平成30年1月、長崎県）において、表-3.6の通りである。

砕砂を用いたコンクリートの配合試験結果を表-3.7と図-3.4に示す。

砕砂を用いたコンクリートは、従来の海砂コンクリートに比べて、単位水量が増加する傾向にあり、スランプの設定によっては単位水量の規定値を外れる可能性もある。また、歪な砕砂（角張った砕砂）が多くなるとコンクリート自体が粗々しく材料分離が生じやすくなり、ワーカビリティを確保するための配合調整が難しくなる。

このように砕砂を用いたコンクリートにおいて、海砂コンクリートと同等の品質を確保するためには単位水量を同等程度に抑制するだけでなく、プラスティシティー\*を確保するためにも荒々しさを改善する必要がある。

表-3.6 配合に関する規定値

項目	条件	規定値
水結合材比 (W/B) ※B=C+FA	鉄筋コンクリート	55%以下
	無筋コンクリート	60%以下
単位水量	粗骨材の最大寸法 20~25 mm	175 kg/m <sup>3</sup> 以下
	粗骨材の最大寸法 40 mm	165 kg/m <sup>3</sup> 以下

※ B：結合材 C：セメント FA：フライアッシュ

※：プラスティシティーとは、容易に型に詰めることができ、型を取ったときにゆっくりと変形を生じるが崩れたり材料分離を生じたりすることのないような性質。

表-3.7 砕砂を用いたコンクリートの配合試験結果

配合の種類	細骨材の種類	配合設計条件			水セメント (水結合材) 比 (%)	細骨材率  S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
		粗骨材の 最大寸法  (mm)	スランブ  (cm)	空気量  (%)			水  W	セメント  C	細骨材  S	粗骨材  G	混和剤	
											※2) AE 減水剤 (g/m <sup>3</sup> )	※3) AE剤 (g/m <sup>3</sup> )
普通 コンクリート	海砂	20	9.0±1	5.0±0.5	55.0	45.6	160	291	824	1041	175 (0.6%)	17 (1.5A)
乾式砕砂 コンクリート	乾式 砕砂					44.4	170	309	818	1041	247 (0.8%)	99 (8.0A)
乾式混合 コンクリート	乾式 混合砂					45.0	165	300	824	1041	210 (0.7%)	54 (4.5A)
湿式砕砂 コンクリート	湿式 砕砂					44.4	170	309	782	1041	247 (0.8%)	19 (1.5A)
湿式混合 コンクリート	湿式 混合砂					45.0	165	300	802	1041	210 (0.7%)	18 (1.5A)

- ※1) : 混合砂の混合割合 砕砂 : 海砂 = 6 : 4  
 ※2) : AE 剤量(303A) = 単位セメント(結合材)量 × 0.002% × Aタイプ  
 AE 剤量(785) = 単位セメント(結合材)量 × 0.004% × Aタイプ  
 ( )内はAタイプを示す。  
 ※3) : AE 減水剤量 = 単位セメント量 × 使用率%

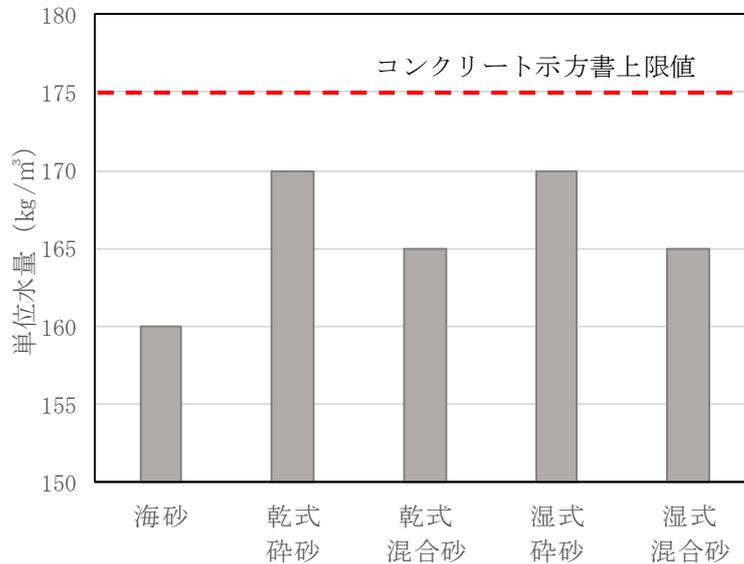


図-3.4 砕砂を用いたコンクリートの配合と単位水量の関係

### 3.5 フレッシュコンクリート性状

#### 3.5.1 スランプ・空気量

砕砂を用いたコンクリートのフレッシュコンクリート性状について、従来の海砂コンクリートと同様にスランプと空気量の管理が可能である。

砕砂と海砂の種類を変えた混合砂を用いたコンクリートの配合結果とスランプの比較を表-3.8と表-3.9に示す。

砕砂を用いた配合は従来配合（P）に対して、CD配合を除きいずれも過度な単位水量の増加は認められない。これはフライアッシュ混和による単位水量の抑制効果と判断される。また、CD配合から、フライアッシュによる改善効果は、細骨材の粗々さの程度によっては限界があることが分かる。

スランプの性状について、砕砂100%の配合の場合、砕砂が粗くなるとコンクリートが粗々しくプラスティシティーが低下傾向になる。海砂との混合砂の配合は、砕砂（細）との組み合わせを除き、従来の海砂配合と同等な状態が得られることが確認される。

表-3.8 混合砂を用いた配合試験結果

記号	細骨材				配合設計条件				コンクリート配合		フレッシュコンクリートの性状			
	砕砂	海砂	混合割合	フライアッシュ置換率	粗骨材最大寸法	水セメント（水結合材）比	スランプ	空気量	細骨材率	単位水量	スランプ	空気量	単位容積質量	
														(%)
P		海砂(標準)	0:10	-						45.4	162	9.0	4.8	2310
N		海砂(標準)	0:10	10						45.4	160	9.5	5.0	2297
N-CN	砕砂(標準)	海砂(標準)	6:4	10						44.1	162	8.0	4.7	2326
N-CR	砕砂(粗)	海砂(標準)	6:4	10						44.7	162	8.5	5.5	2303
N-CD	砕砂(細)	海砂(標準)	6:4	10						41.6	165	8.5	4.9	2326
ND-CR	砕砂(粗)	海砂(細)	6:4	10	20	55.0	9±1	5.0±1.0		44.1	162	10.0	5.5	2298
CN	砕砂(標準)		10:0	10						43.0	164	7.5	4.5	2344
CR	砕砂(粗)		10:0	10						43.5	164	6.0	5.2	2330
CD	砕砂(細)		10:0	10						40.6	170	8.0	5.2	2315
N-CRC	砕砂(粗)	海砂(標準)	3:7	10						44.8	160	9.0	4.6	2303
N-CRA	砕砂(粗)	海砂(標準)	3:7	10			18±1			47.2	180	19.5	5.3	2285

※：混合砂配合の評価として、最も良好な組合せは□であり、次いで□となった。これらは、従来の海砂配合（P）と同等以上に取り扱えるものと判断する。

表-3.9 各コンクリートのスランプ比較表

製造しやすい(砕砂)

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

今後増える  
予想  
(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: 10 A以上の添加量となる
- 標: 10 A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と比べて同等に扱える
- △: P、Nと同等に扱う場合、工夫が必要となる

性状は、スランプ・空気量が条件を満足するなかで、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と比べて同等に扱える
- 不良: P、Nよりも劣る

### 3.5.2 ブリーディング・凝結

砕砂を用いたコンクリートのブリーディングと凝結の試験結果を図-3.5と図-3.6に示す。砕砂を用いたコンクリートは、従来の海砂コンクリートに比べて、ブリーディング量が少なく、凝結時間が速い特徴を有している。

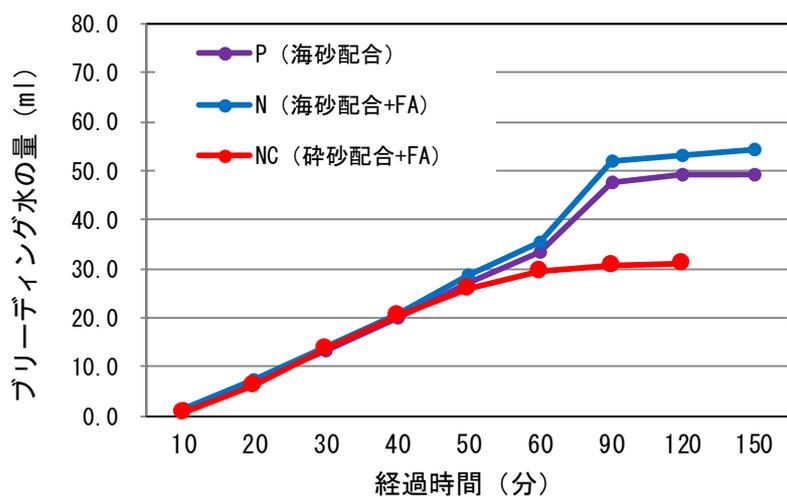


図-3.5 砕砂を用いたコンクリートのブリーディング試験結果

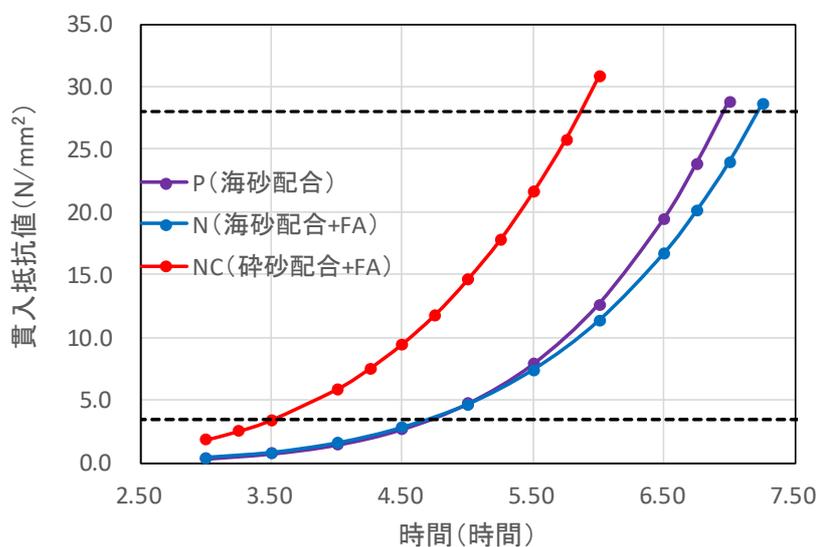


図-3.6 砕砂を用いたコンクリートの凝結試験結果

### 3.6 硬化コンクリート性状

砕砂を用いたコンクリートの硬化コンクリート性状試験結果を、表-3.10と図-3.7、図-3.8に示す。配合の詳細はI-14に示す通りである。砕砂を用いたコンクリートはいずれも海砂コンクリートと同様に材齢とともに強度増加が認められる。ただし、本手引きにおける砕砂を用いたコンクリートは、フライアッシュのセメント10%置換であるため、海砂コンクリートに比べて材齢初期の強度（7日強度）が海砂コンクリートに比べて若干低下している。これはフライアッシュにおけるポゾラン反応はセメントの水和反応に比べて初期の強度発現が緩慢であることが影響したものであり、長期的には水和反応よりも強度増進が期待できるため、問題となるものではない。なお、強度発現の調整は水結合材比で可能であり、海砂コンクリートと初期強度も合わせるならば水結合材比を1~3%小さくすることで同等の強度確保が得られる<sup>※1</sup>。また、砕砂を用いたコンクリートの静弾性係数と強度の関係は、コンクリート標準示方書の関係式上にあり、従来の海砂コンクリートと同じ関係にあることが確認できる。

※1：「長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造及び施工指針」（平成27年1月、長崎県土木部）の標準型を参照

表-3.10 混合砂を用いたコンクリートの硬化コンクリート試験結果

記号	細骨材			フライアッシュ 置換率 (%)	配合設計条件				硬化コンクリートの性状			
	砕砂	海砂	混合 割合		粗骨材 最大寸法 (mm)	水セメント (水結合 材)比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )			静弾性係数
									材齢 7日	材齢 28日	材齢 56日	材齢 28日 (kN/mm <sup>2</sup> )
P		海砂 (標準)	0:10	-	20	55.0	9±1	5.0±1.0	22.9	38.3	45.4	29.6
N		海砂 (標準)	0:10	10					20.3	33.7	40.5	30.1
N-CN	砕砂 (標準)	海砂 (標準)	6:4	10					18.6	33.5	41.3	28.6
N-CR	砕砂 (粗)	海砂 (標準)	6:4	10					18.8	33.9	42.7	28.0
N-CD	砕砂 (細)	海砂 (標準)	6:4	10					19.1	35.1	43.0	27.7
ND-CR	砕砂 (粗)	海砂 (細)	6:4	10					17.6	32.8	40.3	28.3
CN	砕砂 (標準)		10:0	10					16.9	32.4	40.5	-
CR	砕砂 (粗)		10:0	10					17.0	34.7	43.2	-
CD	砕砂 (細)		10:0	10					16.7	33.0	41.6	-
N-CRC	砕砂 (粗)	海砂 (標準)	3:7	10					18.2	33.9	41.6	-
N-CRA	砕砂 (粗)	海砂 (標準)	3:7	10					18±1	23.6	34.9	40.8

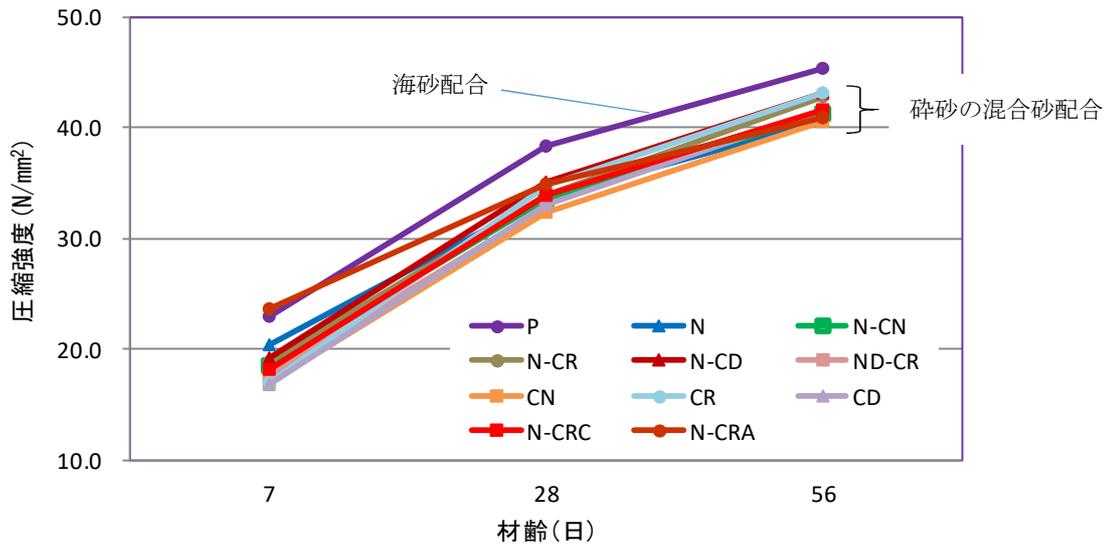


図-3.7 材齢と圧縮強度の関係

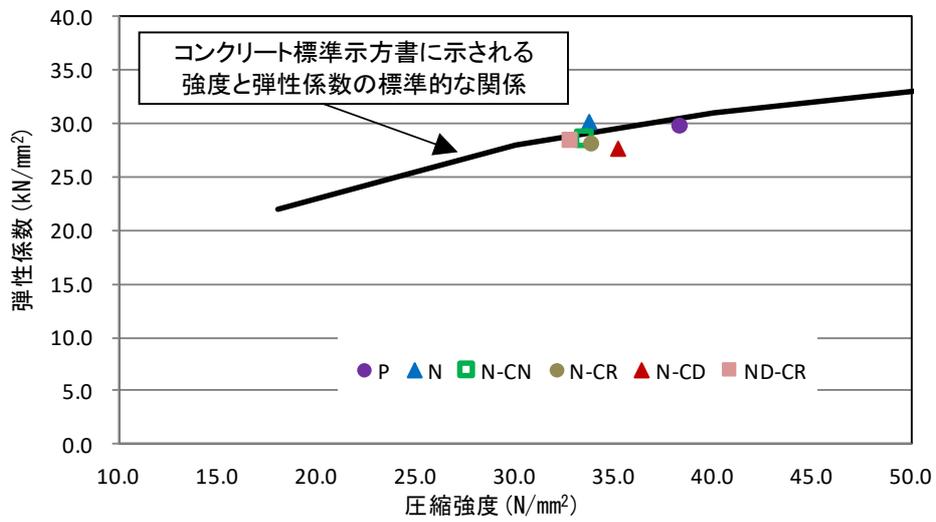


図-3.8 圧縮強度と静弾性係数の関係

#### 4. 耐久性照査(設計段階)の留意点

長崎県で認められるコンクリート劣化のうち、地域特性を踏まえて ASR と塩害について耐久性照査の留意点について記載する。

ASR と塩害について、この節では県内での発生の可能性を踏まえて留意点を示している。ASR の発生箇所は、塩害環境下での複合劣化的に生じているものも多い。設計者は、コンクリート構造物が塩害地域に構築される場合には、特に留意する必要がある、発注者と十分協議しなければならない。

#### 4.1 ASR 発生の要因と可能性

##### 4.1.1 ASR の発生要因

ASR (アルカリシリカ反応) は、骨材に含まれる反応性珪物がコンクリート中の高 pH の空隙水に溶解して ASR ゲルを生成し、異常膨張を起こす現象であり、**図-4.1** に示すように反応性珪物とアルカリおよび水の全てが存在しなければ発生しない。

九州地区の既設構造物において ASR による劣化事例が散見され、維持管理上の問題となっている<sup>※1</sup>。**図-4.2** は九州地区における反応性骨材の分布推定図であるが、長崎県でも ASR の発生要因となる反応性骨材が広く分布している。特に、ASR の抑制対策を実施しても、外来アルカリが供給されるような環境下では抑制効果に限界があり、対策を講じても発症する恐れがあるため、使用環境を考慮した適切な方策が求められる。

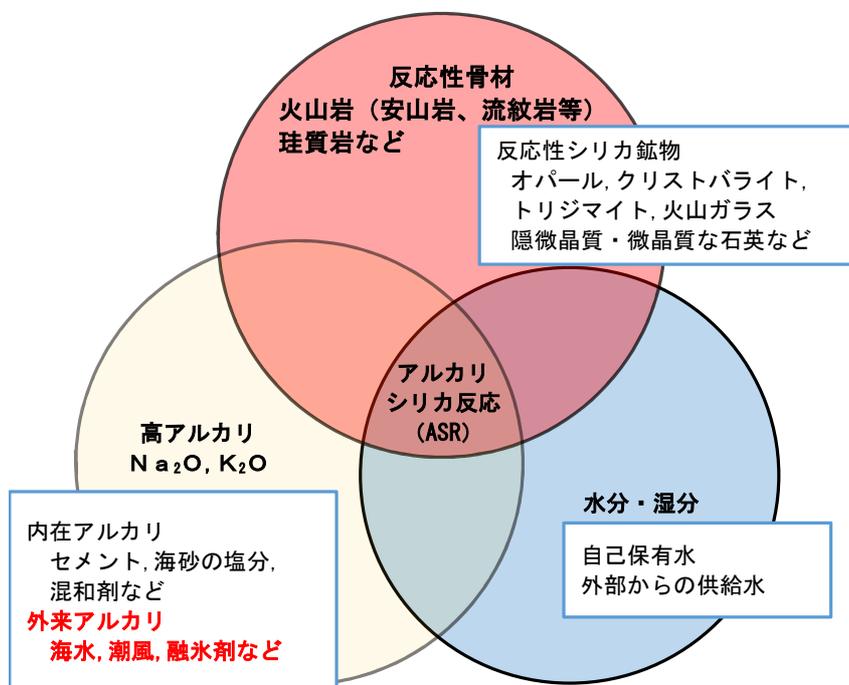


図-4.1 ASR の発生条件

※1: 九州地区における土木コンクリート構造物設計・施工指針 (案)、国土交通省九州地方整備局

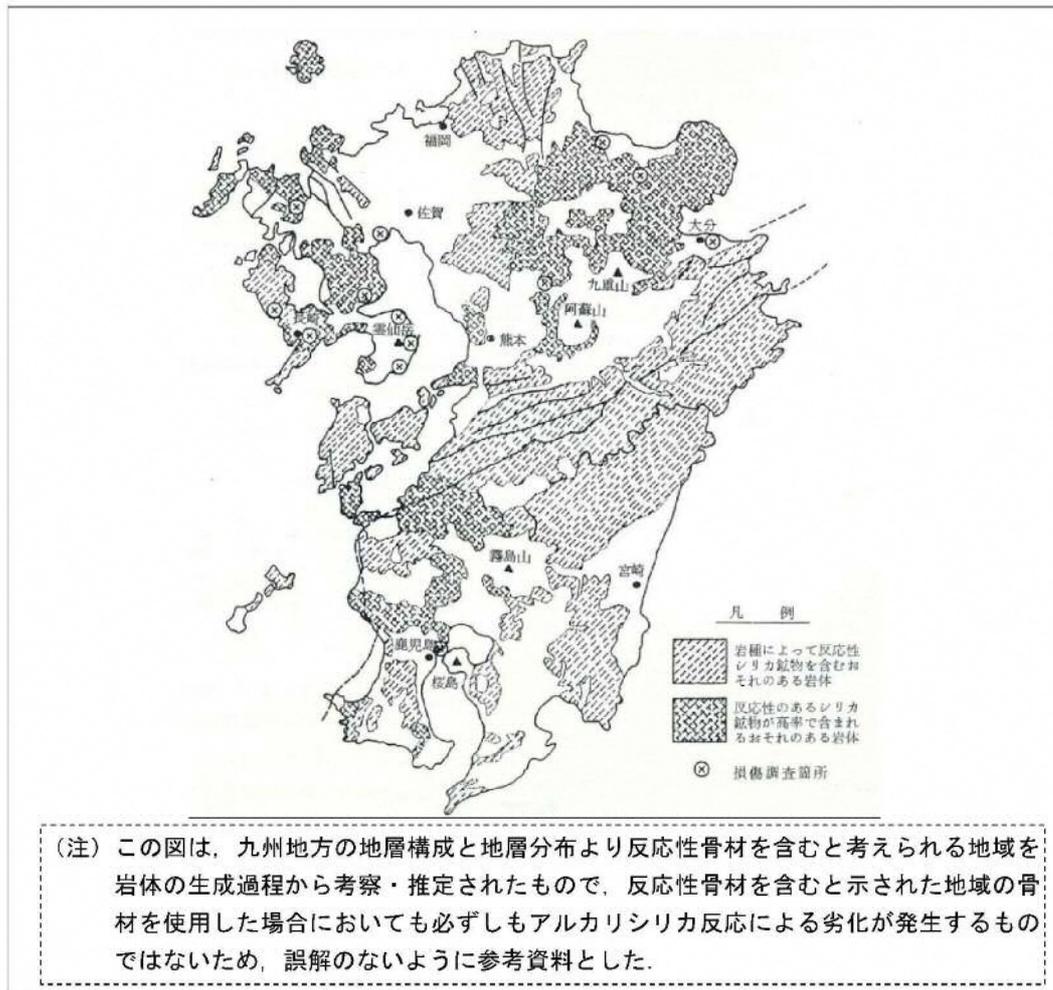


図-4.2 九州地方における反応性骨材の分布推定図※1

※1：九州地区における土木コンクリート構造物設計・施工指針（案）手引書（案）、国土交通省九州地方整備局、P15

#### 4.1.2 ASR 発生の可能性

長崎県の「橋梁補修・補強マニュアル参考資料（案）」（長崎県土木部 道路維持課、平成 21 年 4 月）での橋梁を対象とした調査結果によれば、ASR 発生による損傷橋梁について、表-4.1 のとおり整理されている。

ASR 橋梁の割合は、県全体で約 7%あり、全体傾向として塩害と複合した損傷が見られることも記載されている。

また、表-4.2 より、ASR の対策実績率は 30%で、ASR 対策後の再劣化事例が多く、その再劣化率は 77%にもなっている。

表-4.1 ASR による損傷橋梁※1

事務所名	ASR橋数	点検橋数	ASR橋割合
長崎土木事務所	10	108	9.3%
大瀬戸土木事務所	6	44	13.6%
島原振興局	8	82	9.8%
諫早土木事務所	6	60	10.0%
県北振興局	1	128	0.8%
田平土木事務所	4	44	9.1%
五島地方局	3	41	7.3%
上五島土木事務所	1	17	5.9%
壱岐地方局	0	9	0.0%
対馬地方局	1	57	1.8%
上県土木出張所	2	31	6.5%
合計	42	621	6.8%

表-4.2 対策実績※1

	橋数	要観察	不要	現・再劣化	割合
対策完了	13	—	—	10	76.9%
未対策	27	19	8	—	70.4%
対策予定	2	—	—	—	
合計	42			29	69.0%

以上のことから、県内において ASR 発生の可能性はあり、発生すると長期的に維持管理コストがかかる可能性もある。反応性骨材「無害でない」を使用する場合は設計段階で ASR 抑制対策が必須である。また、「無害」と判断される骨材であっても（I-6）、火成岩系の骨材を用いる場合で、かつ外来アルカリが供給される環境下の構造物を設計する場合、同様に ASR 発生の可能性があるため使用環境を考慮した適切な方策を検討しなければならない。

※1：橋梁補修・補強マニュアル参考資料（案）」（長崎県土木部 道路維持課、平成 21 年 4 月）、PP25～PP30

## 4.2 ASR 抑制対策

「九州地区における土木コンクリート構造物設計・施工指針（案）」（令和元年9月、国土交通省九州地方整備局）では、ASRの抑制対策として、①コンクリート中のアルカリ総量の抑制、②混合セメントの使用が挙げられている（I-5）。ただし、高い反応性を有する骨材の場合や外部アルカリの供給がある場合には、混合セメントだけでは抑制効果が十分でない可能性も指摘されている。そのため、使用環境を考慮した適切な方策をとるように記載されているが、具体的な方策は示されていない。ここで、以下にフライアッシュを用いたASR抑制対策について述べる。

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種を使った場合（B-B）と、B-B配合のセメントの10%をフライアッシュで置換した場合（B(FA)-B）<sup>※1</sup>について、外来アルカリを模擬したNaClを添加したコンクリートで促進膨張試験を実施した。この結果を図-4.3に示す。図より、高炉セメントB種だけでは、判定基準内であるものの増加傾向が顕著で十分なASRの抑制が認められないが、フライアッシュを10%置換すると、顕著な抑制が期待できることが確認された。

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

これより、高炉セメントB種とフライアッシュを使用することの相互効果で、高いASR抑制効果が得られたものと判断される。

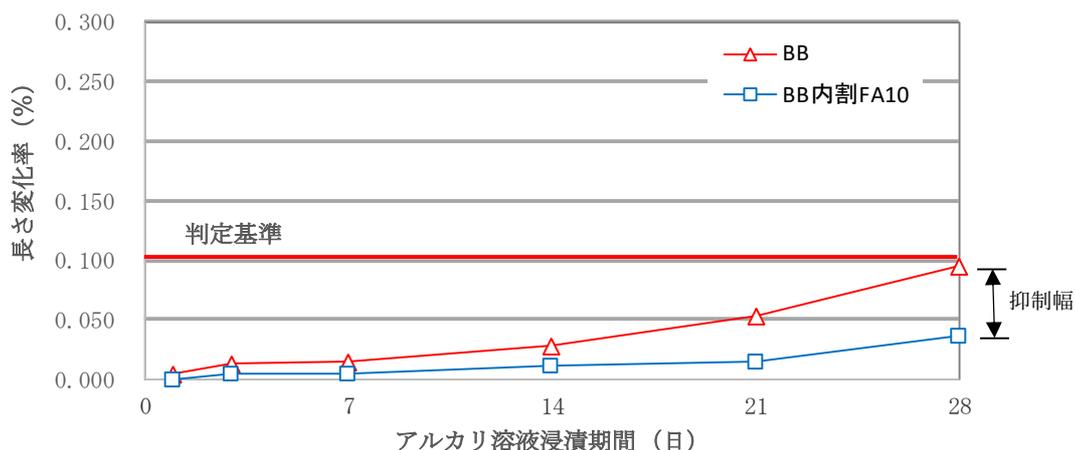


図-4.3 促進膨張試験結果（アルカリ溶液浸漬法）

※1：「長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造及び施工指針」（平成27年1月、長崎県土木部）に示される標準型に準拠した配合

### 4.3 塩害発生の可能性

長崎県の「橋梁補修・補強マニュアル参考資料（案）」（長崎県土木部 道路維持課、平成 21 年 4 月）での橋梁を対象とした調査結果によれば、塩害発生による損傷橋梁について、「道路橋の塩害対策指針(S59)」に基づき、以下のように海岸線からの距離で分類し、橋梁全体の健全度として整理されている。この対象橋梁数と健全度の分布を表-4.3 と図-4.4 に示す。

塩害区分 1 : 海上

塩害区分 2 : 海岸線から 100m まで

塩害区分 3 : 100m をこえて 200m まで

なお、海岸線から 200m 以上の区域を便宜上「塩害区分 4」とする。

塩害対策区分毎に、長崎県全体を海岸線からの距離によって分類すると、海岸に近いほど健全度が高い橋梁が少なく、健全度が劣る橋梁が多くなる傾向となっている。ただし、塩害対策区分 4 でも健全度が劣る橋梁が一定数存在する。

以上のことから、塩害は、海岸に近いほど発生の可能性が高いが、そこに限らず広い範囲で可能性がある。このため、設計段階で予防保全的に、塩害対策を講じることは有効である。

表-4.3 対象橋梁数<sup>※1</sup>

(単位:橋)

各事務所の管理橋梁数と塩害対策区分	計	1	2	3	4
		海上	～100m	～200m	200m超
長崎土木事務所	108	3	22	13	70
大瀬戸土木事務所	44	30	3	0	11
島原振興局建設部	82	0	47	7	28
諫早土木事務所	60	1	4	2	53
県北振興局建設部	128	11	5	3	109
県北振興局田平土木事務所	44	6	12	2	24
五島地方局建設部	41	2	9	4	26
上五島土木事務所	17	10	0	1	6
杵岐地方局建設部	9	2	0	0	7
対馬地方局建設部	57	2	9	1	45
上県土木出張所	31	0	9	1	21
合計	621	67	120	34	400

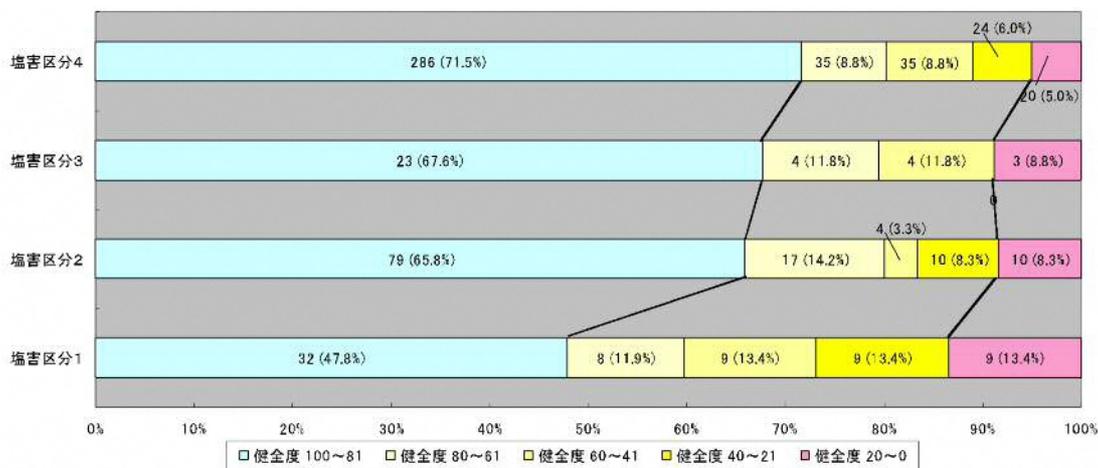


図-4.4 塩害対策区分と健全度の分布<sup>※1</sup>

※1: 橋梁補修・補強マニュアル参考資料（案）」（長崎県土木部 道路維持課、平成 21 年 4 月）、PP17～PP24

#### 4.4 塩害対策

塩害対策は、かぶりも重要となるが、一般的に水セメント比（水結合材比）0.55 以下のコンクリートを使用することが基本である。ただし、水セメント比を低下させると温度ひび割れリスクが高くなり、これを避けるために高性能 AE 減水剤等を使えばコストが増す。また、コンクリート表面塗装やエポキシ鉄筋等の使用もあるが、同様にコスト増大に繋がる。土木用コンクリートに多く使われる高炉セメント B 種は、普通ポルトランドセメントよりも高い遮塩性を期待できるが、外来からの塩分浸透の抑制には限界がある。

一方、セメントの 10% をフライアッシュで置換すれば<sup>※1</sup>、前項の ASR とともに塩害対策としても効果が期待できる。写真-4.1 は平成 24 年パイロット工事として施工された消波ブロックで、フライアッシュ無混合の BB とフライアッシュ混合の BB+FA が海岸部に暴露されている。この消波ブロックから材齢 5.3 年時にコア採取し、全塩化物イオン濃度を計測した結果が図-4.5 である<sup>※2</sup>。いずれの箇所においても、フライアッシュ混合によって塩化物の浸透が顕著に抑えられている。

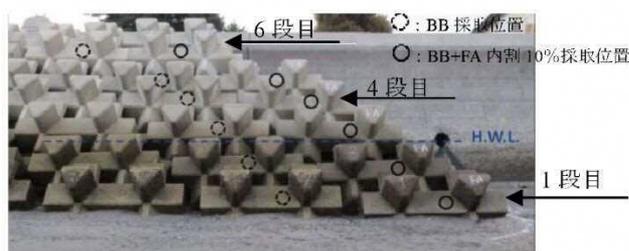


写真-4.1 パイロット工事で製造した消波ブロック

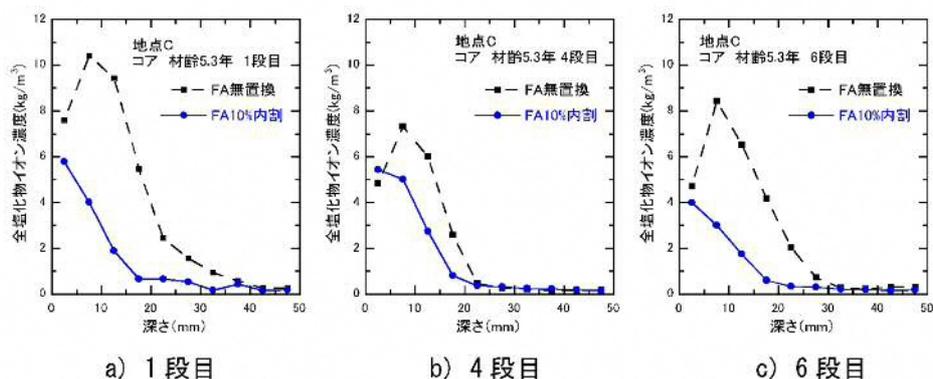


図-4.5 全塩化物イオン濃度分布

※1：「長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造及び施工指針」（平成 27 年 1 月、長崎県土木部）に示される標準型に準拠した配合

※2：中山大誠，佐々木謙二，原田哲夫：高炉セメントコンクリートの耐久性に及ぼすフライアッシュ混合の影響，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol. 18，pp. 701-706，2018. 10

## 5. 施工性能(施工段階)の留意点

### 5.1 製造

実機試験を通じて確認された事項を以下に示す。

- ・ 砕砂は微粒分が多く骨材ストック設備や生コンプラントの細骨材のヘッドビンの中でばらつきが生じる傾向が確認され、表面水率の変動しやすい傾向にある。このため、従来の海砂と同じ表面水率の管理では試験頻度が少ない可能性が高い。
- ・ 乾式砕砂を用いて従来の海砂コンクリートと同様のコンクリート品質を確保するために、混合砂利用も有効な方法の一つである。この場合は、細骨材のヘッドビンは砕砂と海砂の2種類が必要になる。
- ・ 砕砂を用いたコンクリートの場合、微粒分や歪な粒度の影響を改善するためにフライアッシュ混和も有効な方法の一つである。この場合は、フライアッシュの計量と貯蔵のための設備が必要になる。

## 5.2 運搬・打込み・締固めおよび仕上げ

実機試験を通じて、運搬、打ち込み締固めおよび仕上げについて確認した。

### 5.2.1 実機試験の配合

実機試験は、シュート打設とポンプ打設の2種類実施した。配合設計の考え方は、以下の通りとした。

- ・練混ぜから荷卸しまでを30分と想定した運搬ロスを考慮する。
- ・シュート配合とポンプ配合は、スランブをそれぞれ10±2.5cm、12±2.5cmとする。
- ・海砂コンクリート（海砂配合）は、従来の生コン工場で使用されている配合とする。
- ・砕砂を用いたコンクリート（砕砂配合）は、砕砂と海砂の混合割合6：4とした混合砂で、フライアッシュをセメントの10%置換した配合※1とする。

表-5.1 シュート打設配合

名称	試験内容	W/C (W/B)	スランブ	骨材寸法	配合表 (kg/m <sup>3</sup> )										混合割合 砕砂：海砂
		(%)	(cm)	(mm)	W/C	W/B	細骨材率	セメント	フライアッシュ	水	海砂	砕砂	粗骨材	AE減水剤	
海砂配合	経時変化	55	10	20	55%	-	45.8%	302	-	166	812	-	972	2.42	0:10
砕砂配合 (混合砂配合)		55	10	20	-	55%	44.3%	272	30	166	324	480	996	2.42	6:4

表-5.2 ポンプ打設配合

名称	試験内容	W/C (W/B)	スランブ	骨材寸法	配合表 (kg/m <sup>3</sup> )										混合割合 砕砂：海砂
		(%)	(cm)	(mm)	W/C	W/B	細骨材率	セメント	フライアッシュ	水	海砂	砕砂	粗骨材	AE減水剤	
海砂配合	ポンプ 圧送性	55	12	20	55%	-	45.8%	308	-	169	807	-	965	2.46	0:10
砕砂配合 (混合砂配合)		55	12	20	-	55%	44.2%	277	31	169	319	477	988	2.46	6:4

※1：「長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造及び施工指針」（平成27年1月、長崎県土木部）に示される標準型に準拠した配合

## 5.2.2 運搬

運搬試験は、シュート用の配合で練上げたコンクリートをアジテーター車に積込み、所定の時間にスランプと空気量を測定した。JIS に規定された運搬時間の限度は 1.5 時間以内である。測定結果を図-5.1 に示す。

- ・ 砕砂配合は、海砂配合と同様に経過時間とともに、スランプ、空気量が低下する（ロスが生じる）。
- ・ 砕砂配合は、製造時に海砂と同程度のロスを見越していたが、経過時間 30 分までの初期にスランプ、空気量とも急激にロスが大きくなり（砕砂配合のスランプロスは海砂配合の 3 倍程度）、経過時間 60 分ではスランプの設定範囲を外れた。
- ・ ただし、砕砂配合の経過時間 30 分以降のスランプロスの低下傾向は、海砂配合と差異がない。

これにより、砕砂配合の運搬ロスについて、荷卸し時のコンクリートの性状を適切に保つためには、運搬から施工までの間のスランプロス、空気量ロスを考慮して、製造時の目標値を海砂配合より大きめの値に設定（より軟らかく）する必要がある。しかし、空気量については、砕砂の微粒分量とフライアッシュの組合せ次第では調整が難しい場合も想定される。この場合、砕砂の混合割合を低下させるか、もしくは打設現場が非凍害地域であれば、協議により空気量  $4.5 \pm 1.5\%$  を  $3.5 \pm 1.5\%$  に変更することができる<sup>※1</sup>。

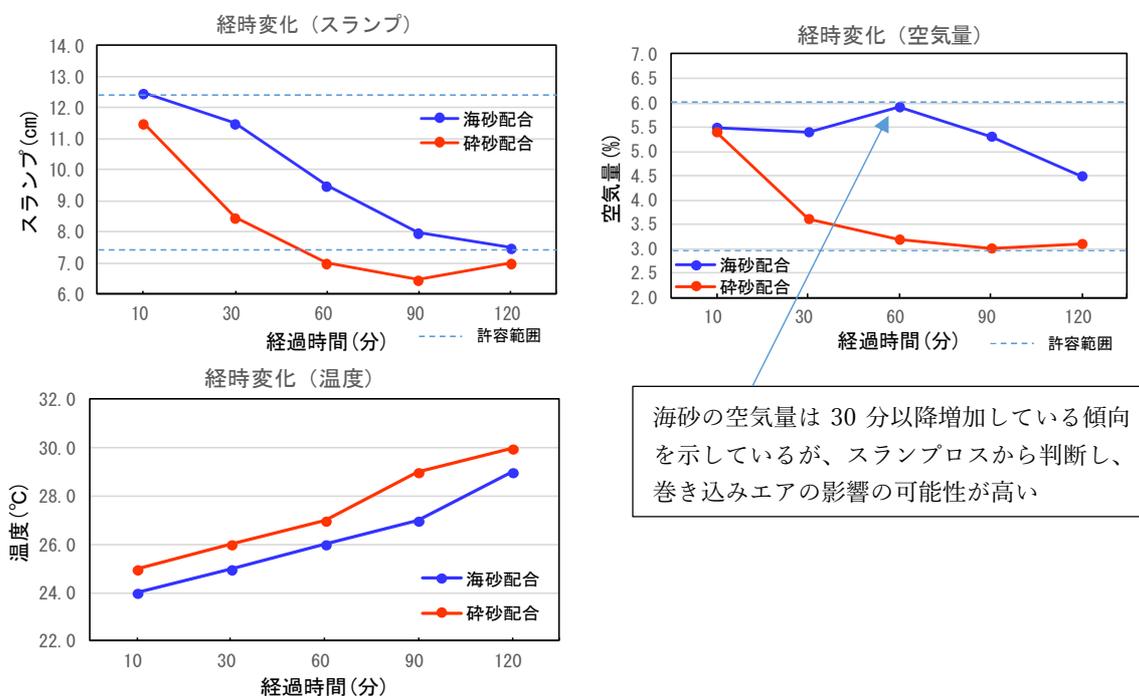


図-5.1 フレッシュコンクリート性状の経時変化

※1：「九州地区における土木コンクリート構造物設計・施工指針（案）」（平成 26 年 4 月、国土交通省九州地方整備局）、P4-18、「4.5.3 空気量」参照

### 5.2.3 打込み

#### (1) シュート打設

シュート打設の打込み試験では、大型ブロック供試体を3層のリフトに分けて、締固め時間を一律として、10分後、60分後および90分後に打設を行なった。締固め状況は、材齢28日後のコア採取による充填性確認と圧縮強度試験で評価した。この結果を写真-5.1と図-5.2に示す。

- ・ 砕砂配合は、60分経過後にスランプが目標範囲を外れたにも関わらず、打設時の締固め性状が海砂配合と差異がない（FA置換によるボールベアリング効果で適度な分散性で流動性を改善し、作業性の低下を抑えたものと推察される）。
- ・ 砕砂配合、海砂配合とも打設時間に関わらず同等の充填性を確保している。
- ・ 材齢28日のブロックコアの圧縮強度は、砕砂配合と海砂配合に大差なく、砕砂は標準養生の供試体強度に対して同等以上の結果となり、海砂配合は60分、90分経過後がこれを下回っている。

このため、砕砂を用いたコンクリートにおいては、フライアッシュを混和することで、砕砂の粗々しさや材料分離抵抗性を改善させた可能性がある。



写真-5.1 充填状況確認（経時変化別）

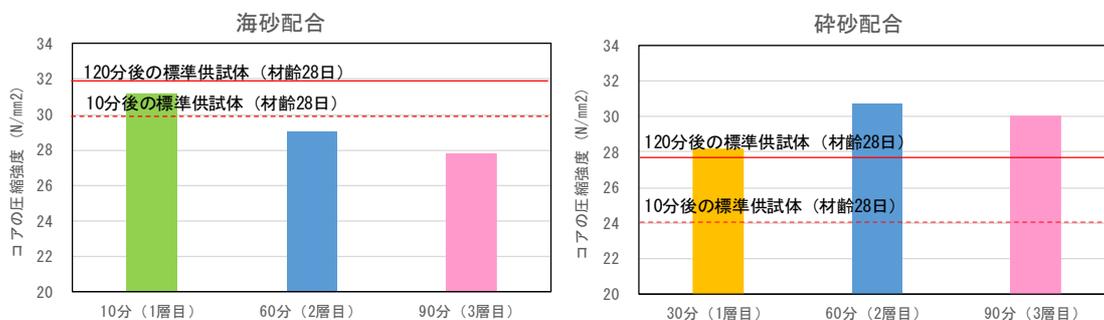


図-5.2 ブロックコア供試体と標準供試体の強度比較

## (2) ポンプ打設

ポンプ打設の打込み試験では、土間コンクリートをポンプ車より圧送管を通して、ポンプ施工した。出荷時間から0分、20分および40分の時点で運搬ロスがフレッシュコンクリート性状に与える影響を確認した。なお、圧送配管は47mで、曲がり管を3箇所設け、配管圧力を5箇所で測定した。(図-5.3参照)

ポンプ圧送試験の結果を表-5.3、表-5.4、図-5.4に示す。これより得られる結果を以下に整理する。

- ・ ポンプ圧送前後の荷卸しと筒先のフレッシュコンクリートの差について、海砂配合がばらつきも含め大きいのに対して、砕砂配合はほとんどない。
- ・ 管内圧力は、各測定時間(0分、20分、40分)とも、スランプ値が砕砂配合の方が小さいにも関わらず、海砂配合と同等かやや小さい(※砕砂配合の20分は海砂配合よりも大きい)、これはポンプ弁の調整繰返しの影響)。
- ・ 特に、砕砂配合は経過40分で、荷下し時のスランプ値が所定(12±2.5cm)の範囲外にも関わらず管内圧力は海砂配合と同等である。

以上の結果、ポンプ打設における砕砂配合は、混合砂利用やフライアッシュを混和することで、砕砂の品質上のリスク(粒形の悪さや微粒分量が多いことによる材料分離や流動性が劣るリスクが高いこと)が抑制され、海砂配合と同等以上のポンプ圧送性の確保が可能であることを確認した。

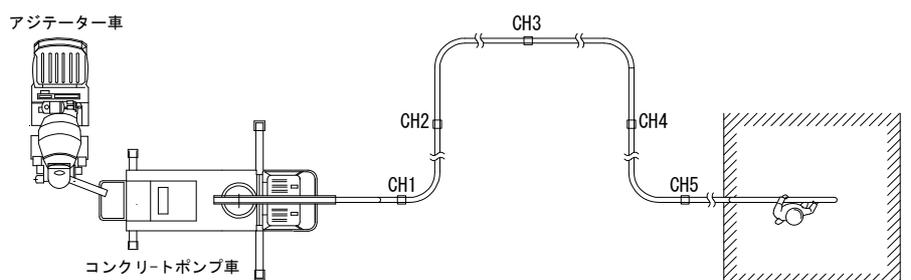


図-5.3 ポンプ圧送性試験測定概要図

表-5.3 海砂配合のフレッシュ性状経時変化

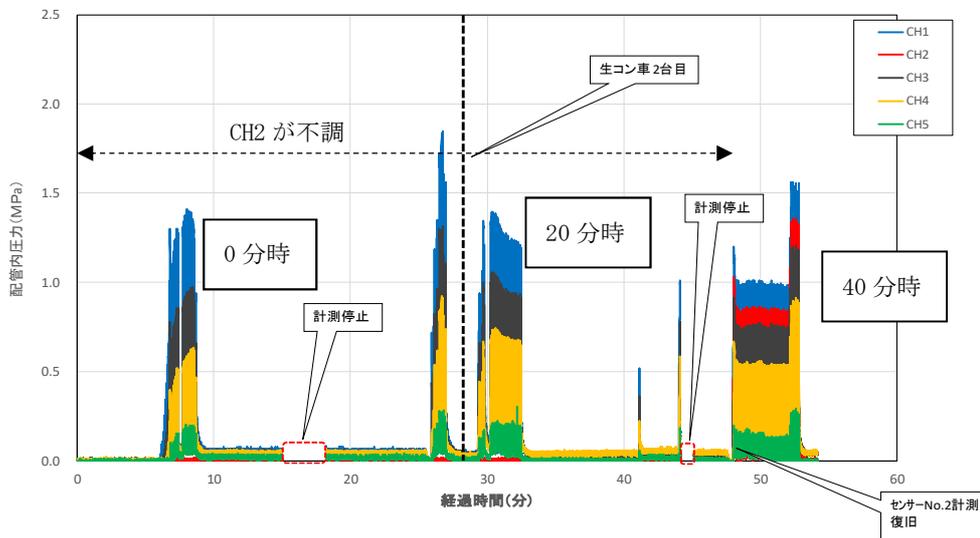
経過時間 (分)	スランプ		空気量		C温度	
	荷卸	筒先	荷卸	筒先	荷卸	筒先
0	13.5	13.5	5.2	5.2	24.0	24.0
20	12.0	9.0	5.3	5.3	24.0	25.0
40	12.5	11.5	5.7	4.7	24.0	25.0

砕砂配合はフレッシュ性状が所要の範囲(スランプ  $12 \pm 2.5$ cm、空気量  $4.5 \pm 1.5$ %)を外れているのに対して、海砂配合は所要の範囲にある。

表-5.4 砕砂配合のフレッシュ性状経時変化

経過時間 (分)	スランプ		空気量		C温度	
	荷卸	筒先	荷卸	筒先	荷卸	筒先
0	12.5	12.5	4.9	4.9	24.0	24.0
20	10.5	9.5	4.1	4.5	25.0	26.0
40	8.5	8.0	3.7	4.0	25.0	26.0

海砂コンクリート圧送試験



砕砂コンクリート圧送試験

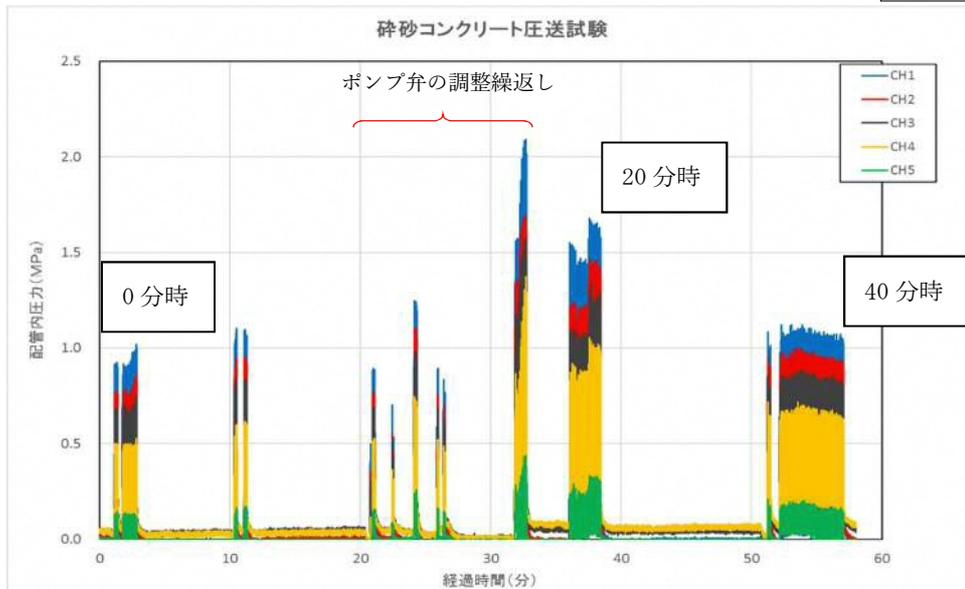


図-5.4 ポンプ圧送時におけるセンサー毎の管内圧力計測結果

#### 5.2.4 仕上げ

仕上げの確認試験としては、大型ブロックと土間コンクリートについて仕上げを左官職人のコテ仕上げにより行った。仕上げ結果を写真-5.2～写真-5.4に示す。

左官職人からの砕砂配合に関する聞き取り結果を以下に示す。

##### 左官職人からの（仕上げ後）コメント

- ・ 砕砂配合は、見た目はやりにくく見えたが、変わらないかむしろ良い。
- ・ 砕砂配合は木コテでやるとつき易く（目がたちやすく）、海砂配合は仕上げ時間次第であるが、沈む感じでやりにくいことがある（砕砂配合は海砂配合に比べて2時間早く仕上げを行え、待ち時間が少なく、作業時間の短縮に繋がる）。

上記のように、作業性については、砕砂配合の仕上げが海砂配合に比べて、良好な意見が得られた。この要因について、砕砂配合はコンクリートとして粗く見えるものの、フライアッシュを混和することで、ボールベアリング効果で左官のしやすさに繋がったと推察される。また、ブリーディング量が少ないこと、凝結が早いことの影響が当初より懸念されたが、逆に、このフライアッシュのボールベアリング効果がブリーディング水の代わりにコンクリート表面に仕上げに必要な滑らかさを付与し、凝結が早いことは作業開始時間を早められるメリットとなった可能性がある。

仕上げ面の性状は、打設工法での違いはなく、いずれも良好であった。色差的には、打設直後、砕砂配合が海砂配合よりも若干黒っぽく見えたが、硬化後には相違は見られない。また、土間コンクリートでは晴天、降雨での見た目の違いも確認したが、砕砂配合と海砂配合に仕上げ上の差異は確認されなかった。

このように、砕砂配合は混合砂利用とフライアッシュを混和することにより品質改善がなされ、ブリーディング量が少なく、凝結が早いという特徴をつかめば、従来のコンクリートよりも1.5～2時間早く仕上げを開始可能で、これが利点になることも確認された。



写真-5.2 大型ブロック供試体の仕上げ状況

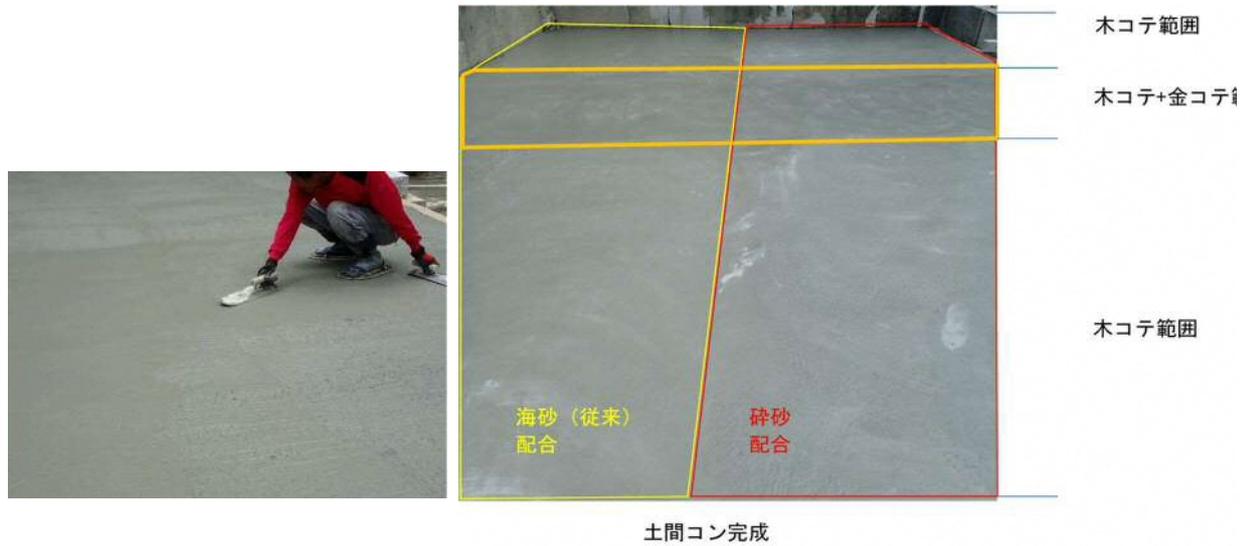
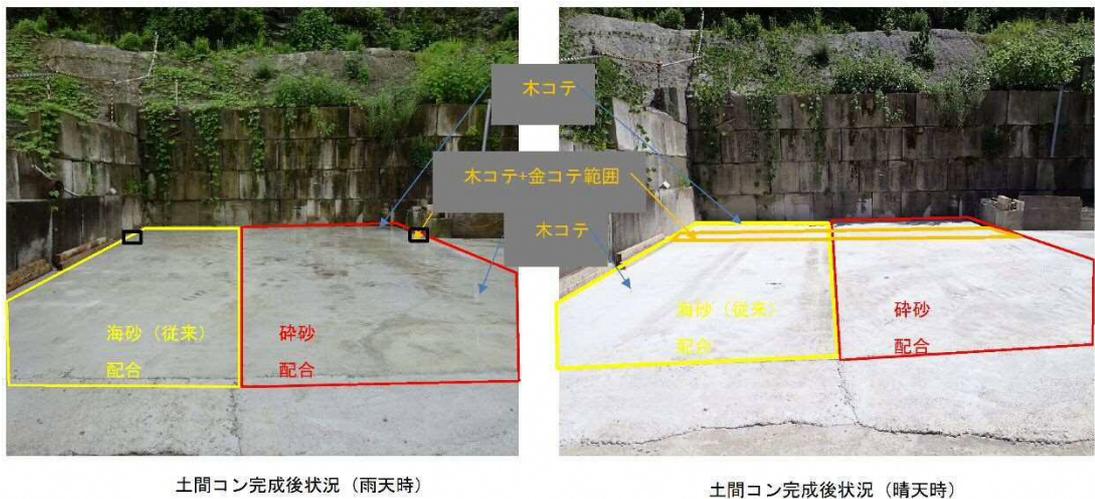


写真-5.3 土間コンクリートの仕上げ状況



土間コン完成後状況 (雨天時)

土間コン完成後状況 (晴天時)

写真-5.4 土間コンクリートの供用後の状況

## 6. 海砂代替としての砕砂活用の留意点・確認事項

砕砂を用いたコンクリートについて、従来の海砂コンクリートと同等の品質を確保するためのポイントとなる点を表-6.1に整理する。

表-6.1 砕砂を海砂代替として用いるためのポイント

項目	確認事項	資料編の参考章
一般	本手引きの適用範囲は、長崎県内の公共工事に適用するもので、耐久性を必要とする土木コンクリートへの適用方策の一策である。	3.1参照
材料	砕砂はJIS A5005に準拠したものを使用する。	1.2参照
	県内砕砂は、乾式、湿式とも利用できる。 (※長崎では乾式砕砂が現状で主体、全国では湿式が主体)	2.2参照
	砕砂を粗砂、海砂を細砂とした混合砂で良好な結果を得た。	4.2参照
	砕砂と海砂の合成粗粒率の目安を2.5~2.9とすることで良好な結果を得た。	4.2参照
	砕砂と海砂の合成微粒分量を5%以下とすることで良好な結果を得た。(目安として4%以下を目標)	4.2参照
配合設計	単位水量の低減に対して、フライアッシュのセメント10%置換で良好な結果を得た。	3.1参照 4.1~4.3参照
	砕砂の海砂との混合砂砂利用で、砕砂の混合割合6割で良好な結果を得た。	4.2参照 5.1参照
	単位水量の低減が必要な場合、必要に応じて高性能AE減水剤を使用することも有効である	4.1参照
フレッシュコンクリート性状	ブリーディング量が少なく、凝結時間が早いため、仕上げは早めに行う必要がある。	2.2参照 5.1参照
硬化コンクリート性状	砕砂を用いたコンクリートにフライアッシュを混和した場合、その影響で初期強度発現が遅延する可能性もあり、必要に応じて水結合材比を1~2%小さくする。	4.1参照
耐久性	地域的に反応性骨材が多いためASRの抑制対策、また、海岸構造物や凍結防止剤を散布する地域の塩害の予防対策を立てる場合、フライアッシュのセメント10%置換は有効である。	4.3参照
製造	フライアッシュを混和する場合、混和材(FA)利用のための設備(計量・貯蔵等)が必要となる。	5.3参照
	砕砂の混合砂利用の場合、専用の貯蔵設備・ビンが必要となる。	5.3参照
	砕砂の表面水率の試験頻度は、微粒分が多いために海砂よりも増やす必要がある。	5.3参照
運搬・打込み・締固めおよび仕上げ	製造時のフレッシュコンクリート性状(スランプ、空気量)のロスが大きめに見込む必要がある。なお、空気量については、非凍害地域では、協議により設定値を小さくするなどの対策も有り得る。	5.3参照
	ブリーディング量が少なく、凝結時間が早いため、仕上げは早めに行う必要がある。	5.3参照