

砕砂を用いたコンクリート活用の手引き

Ⅱ 資料編

令和 2 年 6 月

長崎県 土木部

目次

II. 資料編

1. 長崎におけるコンクリート細骨材（海砂）の代替材としての砕砂適用について……	II-1
1.1 コンクリートの骨材事情（細骨材事情）……	II-1
1.2 長崎における細骨材代替材として入手可能な細骨材……	II-5
1.3 長崎における海砂代替としての砕砂活用の取組み……	II-8
1.4 砕砂活用の可能性検討調査……	II-10
2. 県内の砕砂および砕砂を用いたコンクリートの特徴……	II-16
2.1 県内の砕砂および砕砂を用いたコンクリートの特徴……	II-16
2.2 県内砕砂の特徴を把握するためのコンクリート試験……	II-17
2.2.1 砕砂の物性試験……	II-17
2.2.2 コンクリート基本性状試験……	II-20
2.3 県内砕砂を海砂代替として活用するに於ける課題……	II-24
3. 本資料の適用範囲および砕砂の品質規格……	II-25
3.1 適用範囲……	II-25
3.2 砕砂に関する各種基準および規格……	II-26
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……	II-28
4.1 単位水量増加抑制の対策……	II-28
4.1.1 単位水量増加抑制の対策（減水対策）……	II-28
4.1.2 減水対策の根拠とした実験結果……	II-29
4.2 砕砂の使い方・管理手法（乾式砕砂の場合）……	II-33
4.2.1 砕砂細骨材の品質管理手法（品質管理目安）……	II-33
4.2.2 品質管理目安の根拠とした実験結果……	II-34
4.3 アルカリシリカ反応（ASR）の抑制対策……	II-42
4.3.1 アルカリシリカ反応の従来対策……	II-42
4.3.2 アルカリシリカ反応（ASR）の抑制対策……	II-44
4.3.3 ASR抑制対策の根拠とした実験結果……	II-45
5. 砕砂コンクリートの施工性確認（実機試験）……	II-49
5.1 予備試験（実機試験に用いる配合の検討）……	II-49

5.1.1	細骨材の品質	II-49
5.1.2	砕砂の混合割合およびフライアッシュ混和の影響	II-50
5.1.3	実機試験に用いる配合および諸性状	II-52
5.2	実機試験で分かった確認事項	II-54
5.2.1	実機試験の流れと確認事項	II-54
5.2.2	実機試験で分かったこと	II-55
5.3	実機試験で確認した内容の根拠となる試験結果	II-56
5.3.1	製造及び管理	II-56
5.3.2	シュート打設（フレッシュ性状ロス試験他）	II-57
5.3.3	大型ブロック供試体試験	II-62
5.3.4	ポンプ圧送性試験	II-65
5.3.5	仕上げ試験	II-68

II. 資料編

1. 長崎におけるコンクリート細骨材（海砂）の代替材としての砕砂適用について

1.1 コンクリートの骨材事情（細骨材事情）

日本の骨材供給構造の推移を図-1に示す。平成2年には9億トンを超えていたのが、その後減少し、現在は4億トン弱で推移している。この骨材の多くはコンクリート用である。ここで、コンクリート用骨材も昭和40年頃までは河川砂利（川砂）が主流であったものが河川管理の事情で採取規制等により、近年は砕石・砕砂に移行しており※、図からもこの傾向が認められる。海砂利（海砂）に関しては、平成12年以降、自然環境保護の観点から採取規制や禁止がなされるようになり、減少傾向にある。

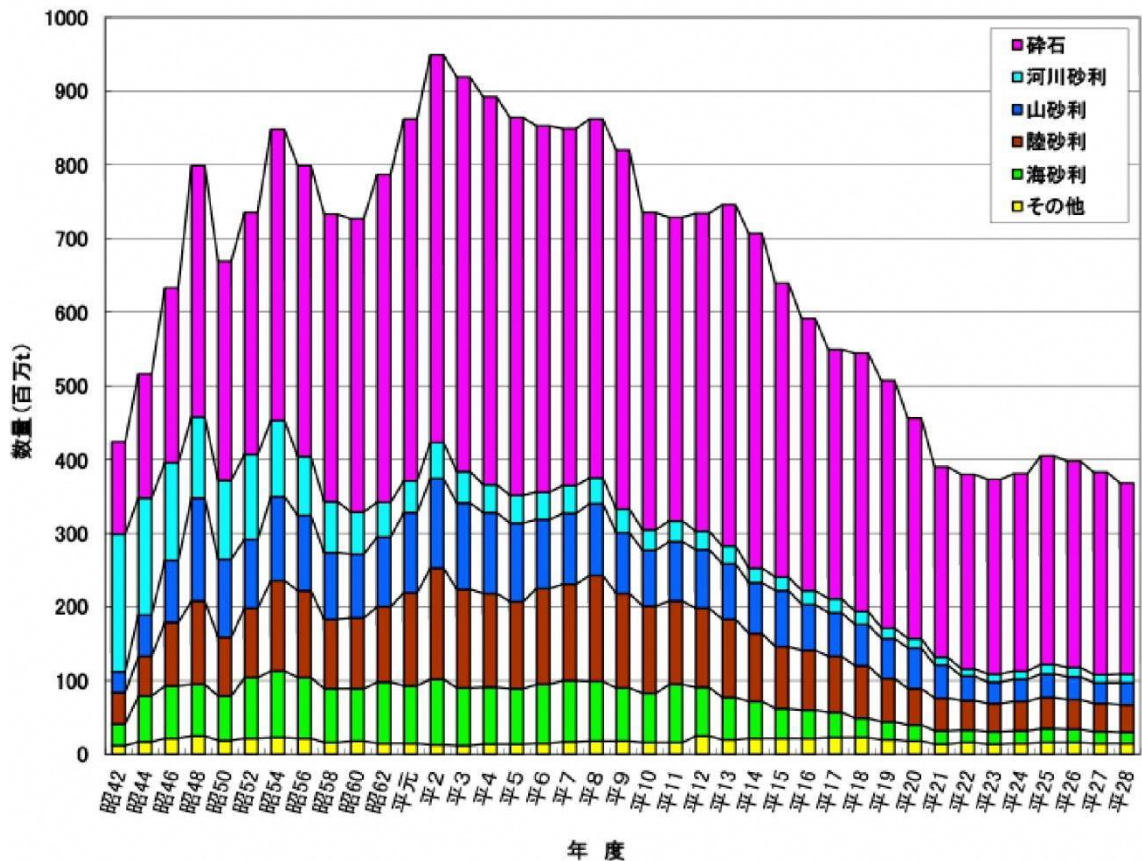


図-1.1 日本の骨材供給構造の推移

出典：日本砕石協会 HP より

※ 例えば、天然骨材資源の低品質化の現状と課題, 片平博・渡辺博志, コンクリート工学 Vol. 46, No. 5 平成20年5月号

長崎県では地形的・地質的な条件から建設工事の材料となるコンクリートに適した細骨材が陸域にない状態で、コンクリート構造物や道路等に利用されている細骨材の80%以上を海砂に依存している。一方で、長崎は水産産業の盛んな県であるため、海砂採取が水産資源や海域環境に与える影響に配慮し、海砂採取限度量を設定して、順次削減を行ってきた。具体的には、平成15年度の「長崎県海砂の採取に関する検討委員会」から始まり、平成20年度から「長崎県海砂採取限度量に関する検討委員会」が5年毎に開催され、段階的な海砂採取量の削減に取り組んでいる。

現状で建設需要等に対して、海砂の供給不足は生じていないが、今後、採取量の制約が進んだ場合、コンクリートの供給不足や質の低下を招く恐れがある。特に、海砂の品質について、昨今、県内の生コン関係者のヒアリング等からも、良質な海砂の枯渇で質の低下が言われている。

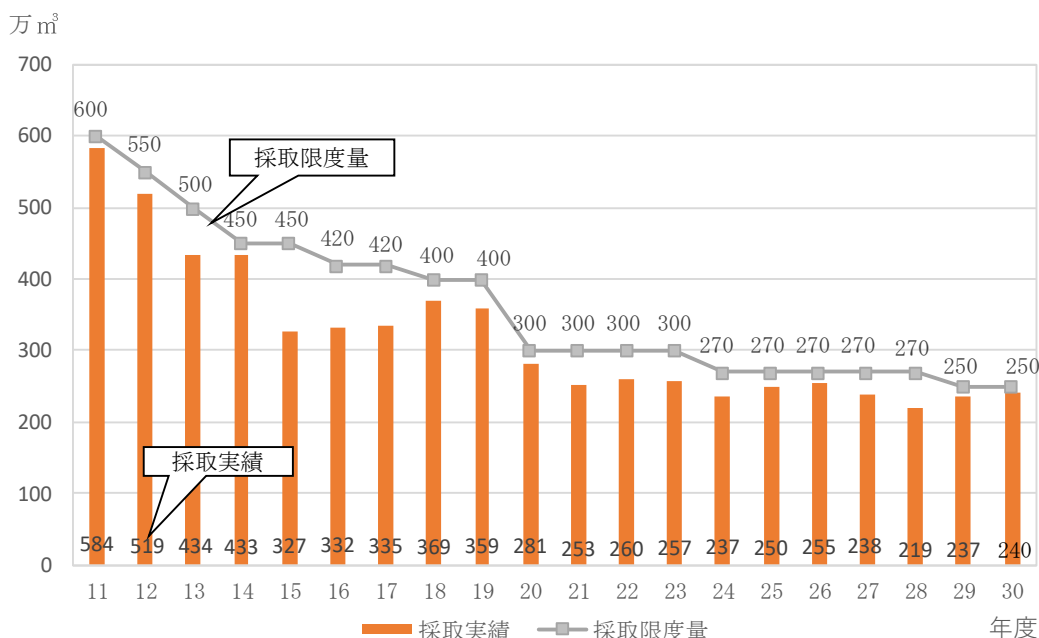


図-1.2 海砂採取限度量、採取実績の変遷^{※1)}

※1：長崎県海砂採取限度量に関する検討委員会資料より

こうした背景の中で、長崎県では海砂代替材の研究を平成26年より着手した。この一環で、全国的な細骨材の動向を把握するために、全国の都道府県の地方自治体、砕石関係者（日本砕石協会）および生コン関係者（生コンクリート工業組合）にアンケートをとり、33県から回答を得た。この結果の分析の一例を以下に示す。

(1) 全国で使用されるコンクリート細骨材の種類

全国におけるコンクリート細骨材の種類の整理結果を図-1.3に示す。細骨材として最も

使用されるものは砕砂であり、次いで山陸砂、海砂の順である。砕砂を使用する地域では、単独使用ではなく、山砂や陸砂および海砂との混合砂での使用が多い。また海砂を使用する地域は、西日本が多く、九州、四国が多い。

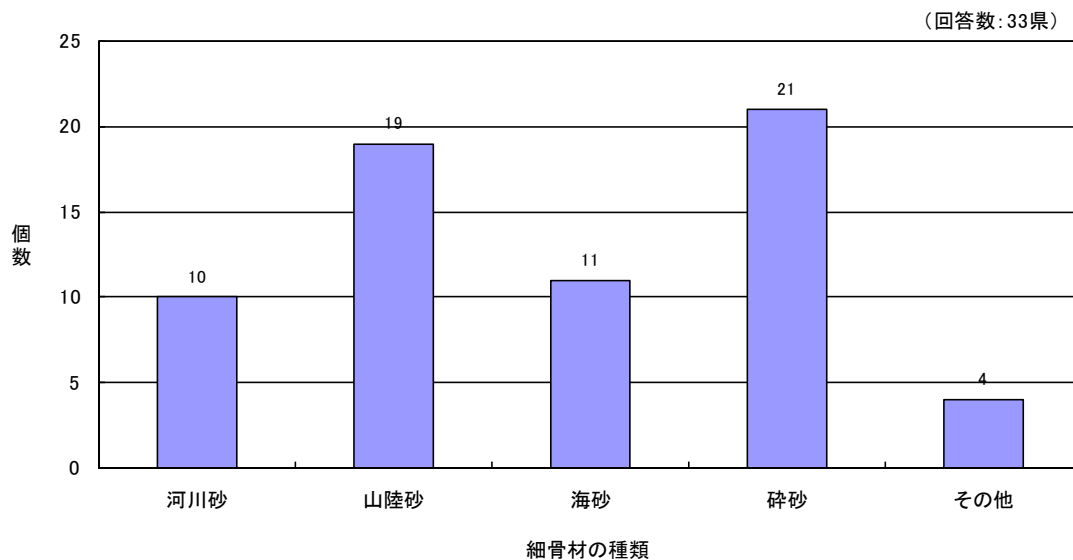


図-1.3 全国で使用される細骨材の種類

(2) 細骨材の調達と将来の見通し

全国における細骨材の調達状況について整理した結果を図-1.4 に示す。細骨材の調達状況は、「他県より一部調達」が49%となり、「大部分を調達する」の12%を含めると、60%以上で自県での調達ができている。

また、細骨材の将来的な確保見通しについて整理した結果を図-1.5 に示す。全体として、「将来的に代替材を検討する必要がある」と回答した県が46%となり、「問題ない」と回答した数の倍程度にも及び、細骨材代替材に関して関心が高いことがわかる。

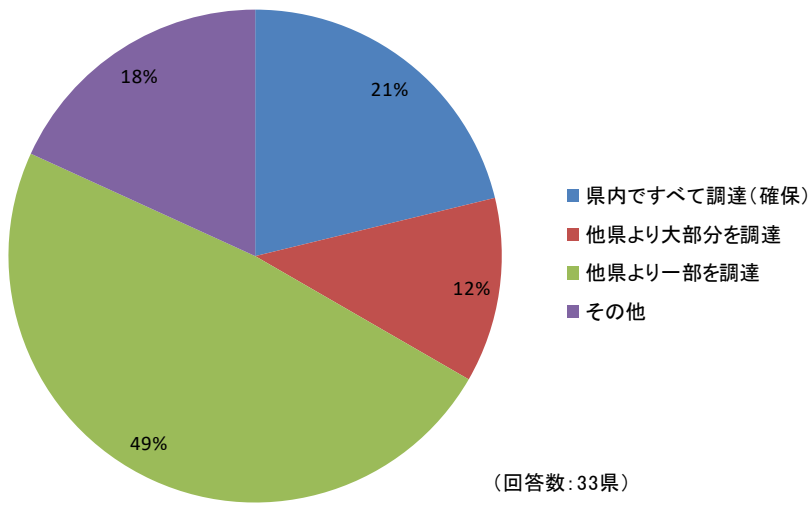


図-1.4 細骨材の調達状況

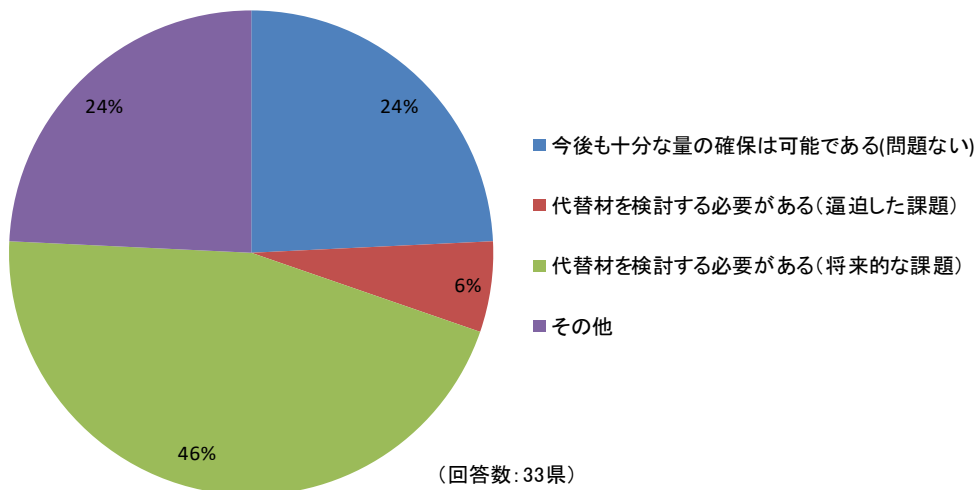


図-1.5 細骨材の将来的な確保見通し

1.2 長崎における細骨材代替材として入手可能な細骨材

(1) コンクリート細骨材の代替材の種類

天然骨材の採取規制が強化されつつある中で、特に海砂への依存度が高い西日本・九州では細骨材の不足が懸念され、細骨材の代替材への関心が高い。

国土交通省九州地方整備局制定の「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）」でも、天然砂の代替材について記載があり、九州で入手可能な細骨材を「砕砂」のほかに8種類規定している。主な代替材の概要を以下に示す。

「砕砂」

砕砂は、岩石をクラッシャなどで粉砕し、人工的に作った細骨材である。規格基準としては、JIS A 5005 と JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）にも定められている。

「高炉水砕スラグ細骨材」

高炉水砕スラグ細骨材は、製鉄業から高炉で銑鉄を製造する過程で発生する副産物である。規格基準としては、JIS A 5011-1 と JIS A 5308 にも定められている。

「コンクリート再生細骨材」

コンクリート再生細骨材は、コンクリート解体材を加工し、再びコンクリート用の細骨材として再利用したものである。規格基準としては、JIS A 5021「コンクリート用再生骨材H」に適合するものを標準としている。

「フライアッシュ」

フライアッシュは石炭火力発電所において副産される石炭灰である。規格基準としては、JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」でI種～IV種に分けて定められている。

「まさ土」

まさ土は、花崗岩が風化したもので、九州北部から中部にかけて広く分布するが、風化が進むと粘土化したものや脆弱化したものの量が増し、微粒分量も多くなるなど、風化度合いによって品質が異なる。まさ土用のJIS等の規格基準はない。

「シラス」

シラスは、南九州に大量に存在する火砕流堆積物であり、密度が小さく、吸水率は大きく、多量の微粉末を含んだJIS規格外のものである。

(2)長崎で入手可能な細骨材代替材

長崎県では、国土交通省九州地方整備局制定の指針（案）に示された細骨材の代替材8種類のうち、砕砂とフライアッシュが入手可能である。

このうちフライアッシュは代替材として供給性や経済性の面で効果が限定的であると判断し、砕砂を有望な代替材とした。

1) 長崎における細骨材代替材としての砕砂

砕砂について、表-1.1および図-1.6にあるように、県内4地区、長崎、県央、県南、県北で生産あるいは生産実績がある。県で行った採石業者へのアンケートや聞き取り調査からは、賦存量から製造可能年数が30年以上と長期で安定して確保でき、製造量も現在生産を休止している工場も含め、需要と採算性が確保されれば増産対応も可能であることを確認した。このため、現時点で生産量および安定供給の面で問題なく、価格も海砂と同程度で供給できることから、十分に海砂代替材として活用できると判断した。

表-1.1 調査対象の県内砕砂工場一覧

	工場地域	製造方式
①	県北	湿式
②		乾式
③		乾式
④	県央	湿式
⑤	長崎	乾式
⑥	県南	乾式

※ は過去に製造

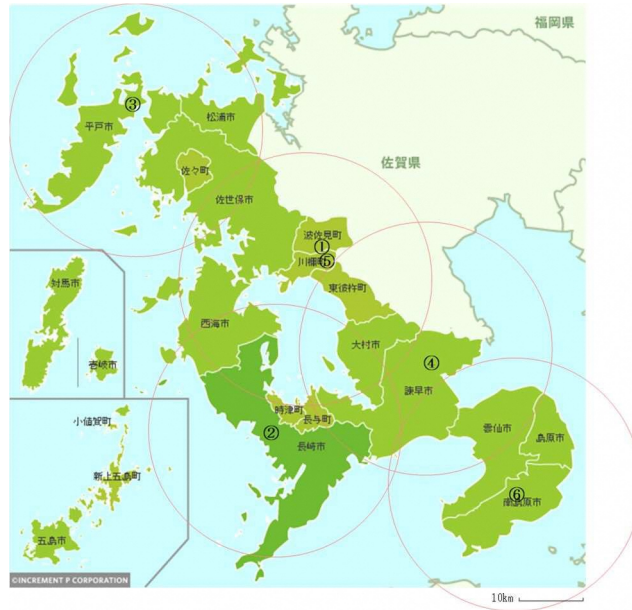


図-1.6 県内の砕砂工場位置

2) 長崎における細骨材代替材としてのフライアッシュ

フライアッシュについて、県内には石炭火力発電所があり（電源開発株式会社：松島火力発電所・松浦火力発電所、九州電力株式会社：松浦火力発電所）、入手可能な材料である。長崎県では、昨今の自然環境の保全や水産資源の保護に対する社会的な要請の高まりを受け、平成 20 年度に「フライアッシュ利用促進検討委員会」（以下、委員会）を設置し、産官学の協力体制の下、フライアッシュコンクリートの配合設計、フレッシュ性状、施工性などについて、パイロット工事などを通じた検証を行い、フライアッシュを細骨材一部に代替できることを確認した。

しかし、代替量的には細骨材中の容積換算で 10%以下と少ないこと、経済性の面でセメントよりも安価であるが海砂より高価であること、等の理由で海砂の採取削減に対する効果が限定的で、コスト面の懸念もあるため、細骨材代替として将来的には有効であるが現時点での活用は難しいと判断した。

1.3 長崎における海砂代替としての砕砂活用の取組み

長崎県では、砕砂のコンクリート用細骨材への活用について、図-1.7のような1~4の流れで検討し、マニュアル(手引き(案))の作成を行った。

また、主な課題に対する取組みについて、図-1.8のような流れで行った。

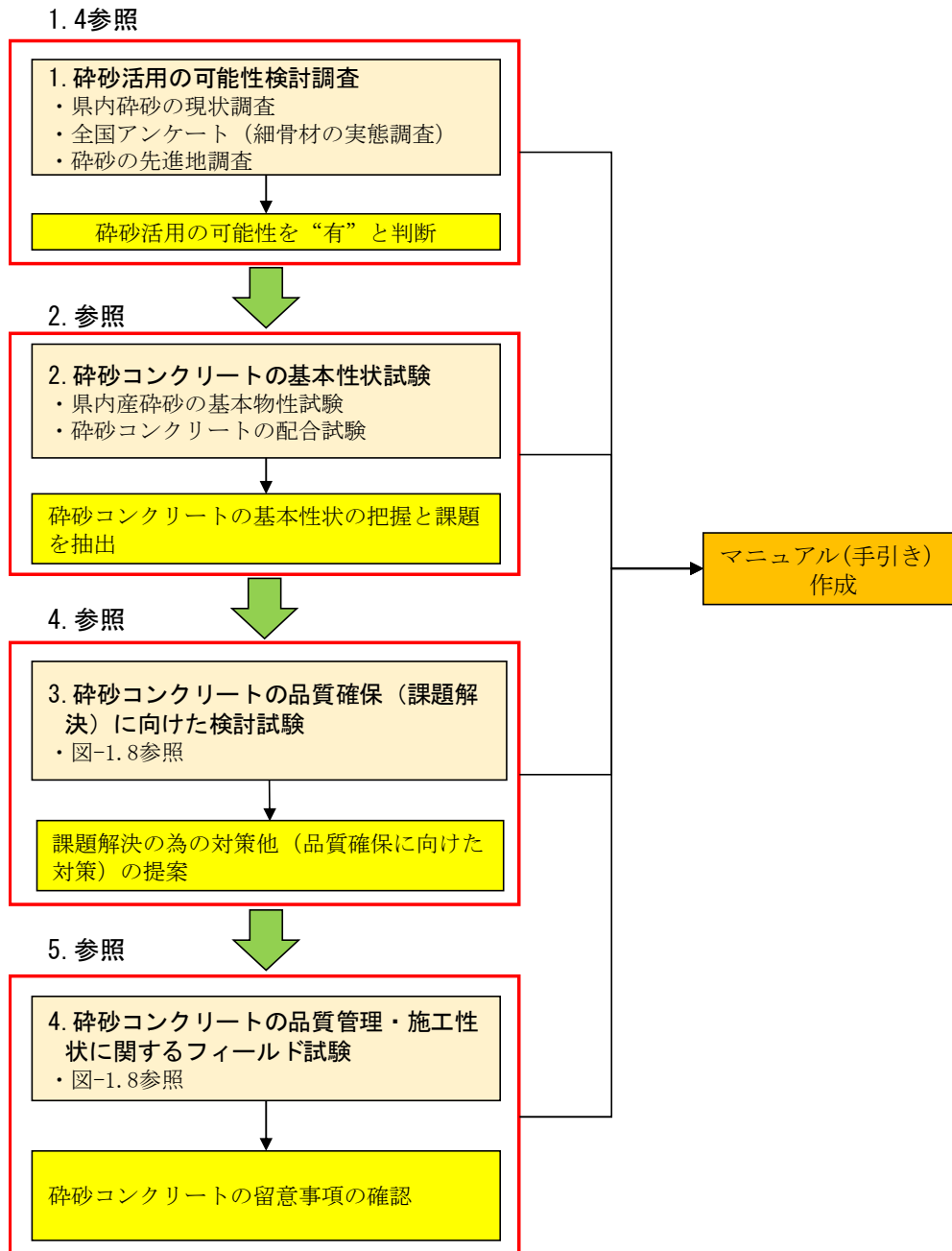


図-1.7 海砂代替としての砕砂を活用したコンクリートのマニュアル作成までの取組み

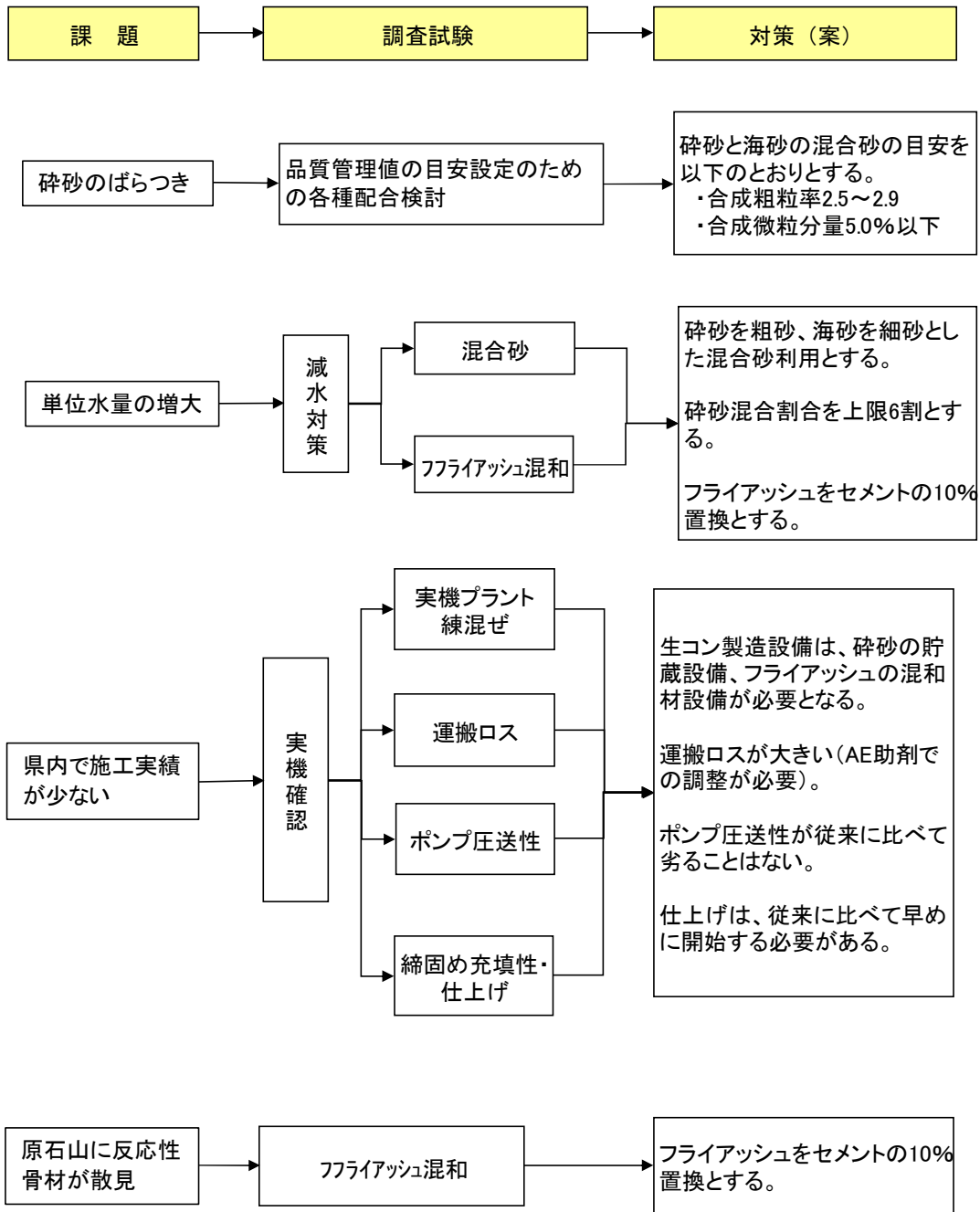


図-1.8 砕砂コンクリートの課題と対策検討の流れ

1.4 砕砂活用の可能性検討調査

(1) 県内砕砂の現状調査

1) 県内砕砂の現状

県内の砕砂製造の調査は、現在生産している工場 4 社に、近年まで砕砂を生産していた工場 2 社を含めて 6 社を対象に実施した。

この 6 社の製造方式について、2 社は、品質調整・管理に優れた湿式プラントであり、他は乾式プラントであった。このうち、湿式プラントの一家は、砕砂をコンクリート用細骨材としてすでに使用しており、砕砂の短所を改善するために摩砕処理工程で海砂に近づける工夫やフライアッシュを砕砂の一部に置換するなどしている。



写真-1.1 県内の砕砂工場の一例

2) 砕砂の供給

砕砂は、長崎市内をはじめ、県北、県央、県南と、県内広域で供給可能である。アンケートや聞き取り調査からは、需要の確保、採算価格の保証が得られれば、休止工場も含めて、生産量を増加させコンクリート細骨材へ供給することは可能との意見を得ている。

また、いずれの工場も砕砂製造に伴い副産される汚泥、石粉等の処理に対して苦慮している。

(3) 砕砂の品質

現在、砕砂を生産している工場の砕砂を写真-1.2 に、その品質一覧を表-1.2 に示す。県内砕砂の基本物性は、いずれも JIS A 5005 の基準を満足した。

ただし、アルカリシリカ反応性試験については、県内砕砂の原料が火成岩系の安山岩であり、いずれも化学法において 4 工場中 4 工場が「無害でない」と判定され、モルタルバー法で 4 工場中 3 工場が「無害」、1 社が「無害でない」と判断された。この評価について、JIS では化学法で「無害でない」と判定され、モルタルバー法で「無害」と判定された場合には、モルタルバー法の判定結果が優先されるため、ASR に対して無害と判定している。また、国土交通省の通達によれば「無害でない」と判断されたものでも、抑制効果のある混合セメント等を使用すれば（高炉セメント B 種等）、利用できることとされている。

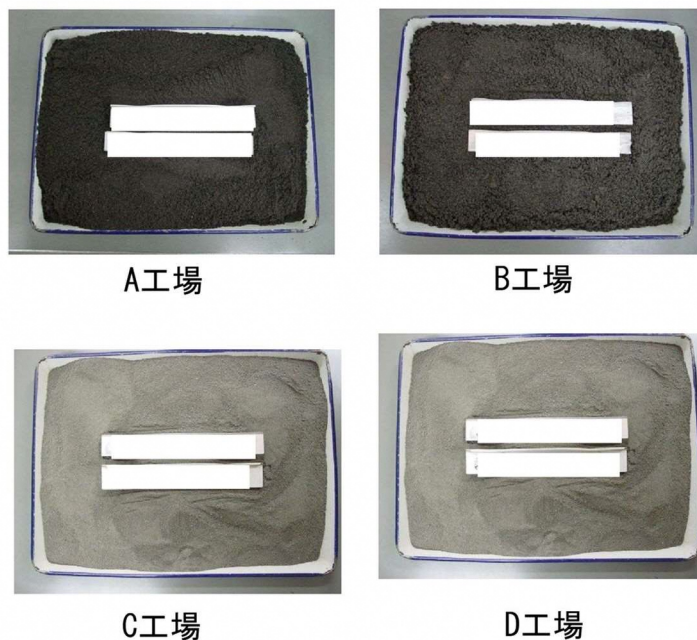


写真-1.2 県内の砕砂の状況

表-1.2 砕砂の品質一覧

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	購入者と製造業者によって定めた粗粒率に対し±0.15
表乾密度 (g/cm ³)	2.57	2.59	2.69	2.72	
絶乾密度 (g/cm ³)	2.51	2.52	2.64	2.66	2.5g/cm ³ 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	
実積率 (%)	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
アルカリシカ反応性 (モルタルパ-法)	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

(2) 全国アンケート

コンクリート細骨材の現況を調べるために実施した都道府県、採石関係者、生コンクリート関係者へのアンケート調査の結果を集約すると、以下のとおりとなる。

1) アンケート集計結果の総括

- ① コンクリート細骨材への砕砂利用は、高度経済成長期より広まり、現在は天然骨材に変わり全国で最も利用され、認知されている。
- ② 砕砂は細骨材の材料として、将来的（30年以上）にも安定して供給可能な材料である。
- ③ 砕砂の品質管理としては、JIS A 5005での基準が適用されている。
- ④ コンクリート砕砂の利用方法としては、天然骨材との混合利用（混合砂）が主流である。
- ⑤ 砕砂は製造方法（乾式、湿式）によって品質が異なり、製造方法・工程および管理によって品質の差異が大きい。
- ⑥ 砕砂を利用する場合、粒径、微粒分の管理が難しく、コンクリート製造および施工の各段階で留意すべき事項が生じる。
- ⑦ 特に、コンクリート製造段階で、砕砂入荷時の自主規制および表面水率の管理等に自主基準（ローカルルール）を設ける場合も多い。
- ⑧ 砕砂の原石山の確保について、法律面の制約が煩雑で、将来に亘って安定供給を図るために許認可関連の緩和が求められている（緑の破壊に対する抵抗がある為）。

2) 今後の課題

- ① 砕砂製造において副産されるスラッジ、微粉等の処理・有効利用の方策
- ② 原石山掘削に伴う環境に及ぼす影響の確認
- ③ 砕砂利用は、単独利用ではコンクリートの製造管理が難しく、海砂との混合利用の仕様（混合砂の割合）やフライアッシュ等の混和材との組み合わせ・配合等の方法の構築
- ④ 砕砂コンクリートの品質管理および流通システムの構築
- ⑤ アルカリシリカ骨材反応等に関する安全性の確認
- ⑥ 砕砂コンクリートを従来の海砂コンクリートと同様に扱うためには、留意事項等を把握（マニュアル等が必要）

(3) 細骨材代替材の先進事例の紹介

細骨材の代替材の取り組み事例を表-1.3に示す。

表-1.3 アンケート調査結果を基にした代替材検討の先進地

都道府県	代替材	根拠詳細
香川県	海砂→砕砂	平成12年に、香川県が中心となり、平成17年からの瀬戸内海の家砂採取全面禁止に対処するために「代替骨材技術検討会」委員会を開催し、コンクリート廃材、鉄鋼スラグおよび石炭灰等の副産物および海外砂、砕砂等を活用して海砂に代わる代替骨材の開発が検討された。この結果、品質、価格、供給量の各面で受験を満足する砕砂を海砂に代わる骨材として位置づけ、砕砂利用マニュアルが整備された。現在、香川県ではコンクリート用細骨材として、砕砂と海砂の混合砂を使用すべく、移行期間である。
広島県	海砂→砕砂	平成元年に、広島県生コンクリート工業組合が中心となり、瀬戸内海の家砂採取規制により、海砂が入荷しにくくなったことを背景に、「コンクリート用細骨材の安定供給に関する調査研究委員会」が発足し、現在、砕砂を主要なコンクリート用細骨材として使用している。
北海道	副産物利用	北海道生コンクリート工業組合（南北海道分会）が中心となり、地場の漁業関係の産業副産物である貝殻等(カキ、ホタテ類)をパウダー状とし、細骨材の一部に利用する取り組みを行っている。
和歌山県	副産物利用	和歌山県生コンクリート工業組合が中心となり、海砂の代わりに銅スラグ細骨材を利用する取り組みを行っている。

長崎県の実情を踏まえ、表-1.2のうち香川県の取り組みについて、この事情に詳しい香川生コンクリート協同組合へヒアリングを行った。

香川県では、瀬戸内海の家砂採取禁止に伴い、「代替骨材技術検討会」を設置して、海砂代替骨材について技術的な検討を行い、各種代替骨材の中から生産量、安定供給および地産地消の観点で、海砂代替材を砕砂としている。

以下に、聞き取り結果の詳細を整理する。

1) 代替骨材の取り組み方

- ・ 海砂代替骨材について検討会を産官学連携で取り組むことにより、各業界からの抵抗をなくしている。
- ・ 検討会では、砕砂利用の施工指針(案)を成果として作成することで、スムーズな海砂から砕砂への移行を図っている。
- ・ 海砂代替骨材の検討期間は、砕砂選定までに2年、施工指針(案)作成に3年の計5年をかけて検討している。
- ・ 海砂代替骨材の検討事項としては、代替材選定、鉱物試験、骨材需要調査、室内・実機コンクリート試験、耐久性試験、パイロット試験を行い、この結果を施工指針(案)と

して取りまとめている。

- ・ 施工指針(案)作成に伴う基礎試験(室内試験)は、大学、生コンの協力が重要であった。

2) 品質・価格面

- ・ 砕砂活用で作成した施工指針(案)は砕砂の100%代替に対応したものであるが、実際は、品質変動等に対応するため、砕砂6：海砂4の混合砂を基本としている。
- ・ 海砂は九州・山口より入荷している。
- ・ 全量砕砂利用(1本砂)は、品質変動に対応しづらい。
- ・ 砕砂は粒形が粗くなるとブリーディング量に、また微粒分量が多いと空気連行性確保やワーカビリティへの影響だけでなく表面水率等の管理にも影響を与えるため留意する必要がある。
- ・ 骨材製造時の凝集沈殿剤等が空気連行性に影響を与えることもあり、留意する必要がある。
- ・ 砕砂の変動を抑制するために、砕砂製造に力(時間、コスト)を入れるより、高機能AE減水剤、フライアッシュ等を活用して調整することが有効である。
- ・ 砕砂は鉍物面も注意する必要がある。
- ・ 砕砂を利用することによるコンクリート価格の変動はない。

3) その他

- ・ 瀬戸内で海砂を採取した業者は九州からの海砂供給の代理店となっている。
- ・ 海砂の利用状況について、コンクリート細骨材以外の農業、アスファルト等への影響も確認する必要がある。
- ・ サステナビリティをコンクリート評点に使う取り組み、県内産の材料利用(地産地消)を推奨している。

2. 県内の砕砂および砕砂を用いたコンクリートの特徴

2.1 県内の砕砂および砕砂を用いたコンクリートの特徴

2.2 節の結果等から確認できる特徴を以下に整理する。なお、砕砂コンクリートは細骨材に砕砂を 100%使用した場合である。

◆砕砂特徴

- ① 県内で入手可能な砕砂は、JIS A 5005 のコンクリート用砕砂に適合している。
- ② 砕砂は、海砂に比べて角ばり、微粒分量が多い。(特に乾式で顕著)
- ③ 入手可能な砕砂において、アルカリシリカ反応性において B 区分と判定されるものも多い。

◆配合特性

- ① 砕砂コンクリートの細骨材率の調整は、海砂コンクリートと同様に扱える。
- ② 砕砂製造の乾式と湿式を用いたコンクリートの単位水量に差異はない。
- ③ 砕砂コンクリートは、海砂コンクリートに比べて、単位水量が増加する。
- ④ 乾式砕砂を使用する場合、空気連行性確保の為に AE 剤量が増加傾向である。

◆フレッシュコンクリート性状

- ① 砕砂コンクリートは、海砂コンクリートと同様にスランプ、空気量の管理が可能である。
- ② 砕砂コンクリートは、海砂コンクリートに比べて、凝結時間が早まる傾向である。
- ③ 砕砂コンクリートは、海砂コンクリートに比べて、ブリーディング量が少ない傾向である。

◆硬化コンクリート性状

- ① 砕砂コンクリートの強度は、海砂コンクリートと同様に材齢と共に、強度が増進し、同様の管理が可能である。
- ② 砕砂コンクリートの静弾性係数（ヤング係数）と強度の関係は、海砂コンクリートと同様である。

2.2 県内砕砂の特徴を把握するためのコンクリート試験

2.2.1 砕砂の物性試験

砕砂は、一般に海砂等の天然材料に比べて、以下のことが言われる（写真-2.1 参照）

- ・ 微粒分量が多い（特に乾式で製造された場合）
- ・ 粒形が歪である（実積率が小さい）
- ・ 粗粒率が大きい（粗い）

県内の砕砂製造方式には湿式と乾式があり、全国的にコンクリート細骨材として使用する場合は湿式が多いが、長崎で製造される砕砂は乾式が多い。乾式で製造される砕砂は微粒分量(石粉)が多くなる傾向が言われる。

なお、砕石工場の聞き取りによれば、砕砂を細めで製造しようとするほど副産物の石粉が増え、品質の安定性に欠き、製造コストも増大するとのことであり、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とのことである。

県内で製造される砕砂の製造方式別のサンプル調査の例を表-2.2 と図-2.1 に示す。これより、以下のことが確認できる。

- ・ 乾式砕砂と湿式砕砂の粒度は、いずれも海砂に比べて粗い傾向にある。特に、空気連行性に影響すると言われる 0.3～0.6mm の粒度が海砂に比べて少ない。
- ・ 乾式砕砂と湿式砕砂の FM は、一般的な細骨材の範囲（2.5～2.9）にある。
- ・ 乾式砕砂と湿式砕砂の密度・吸水率は JIS A 5308 の基準をいずれも満足する。
- ・ 乾式砕砂と湿式砕砂の微粒分量は JIS A 5005 の基準をいずれも満足するものの、乾式砕砂は微粒分量が海砂に比べて多い。

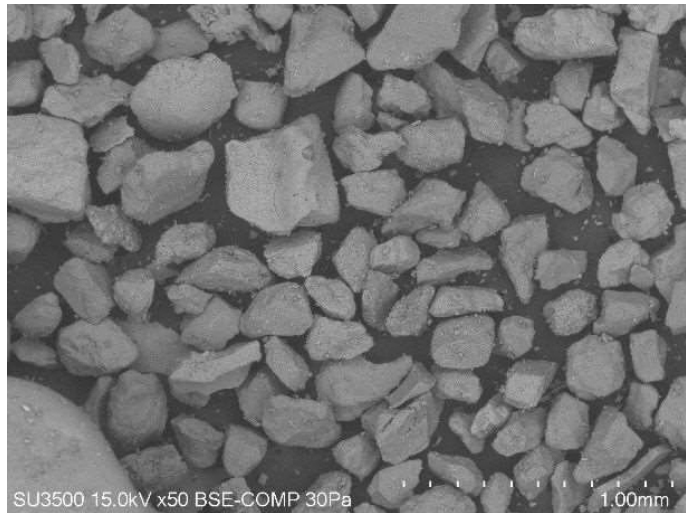
また、県内砕砂は、聞き取り調査等によれば、JIS A 5308 付属書 A（レディーミクストコンクリート用骨材）における表-2.1 の区分において B 区分とされる骨材も多いことが確認されている。

表-2.1 アルカリシリカ反応性による区分

区分	摘 要
A	アルカリシリカ反応性試験の結果が「無害」と判定されたもの。
B	アルカリシリカ反応性試験の結果が「無害でない」と判定されたもの、又はこの試験を行っていないもの。



目視写真

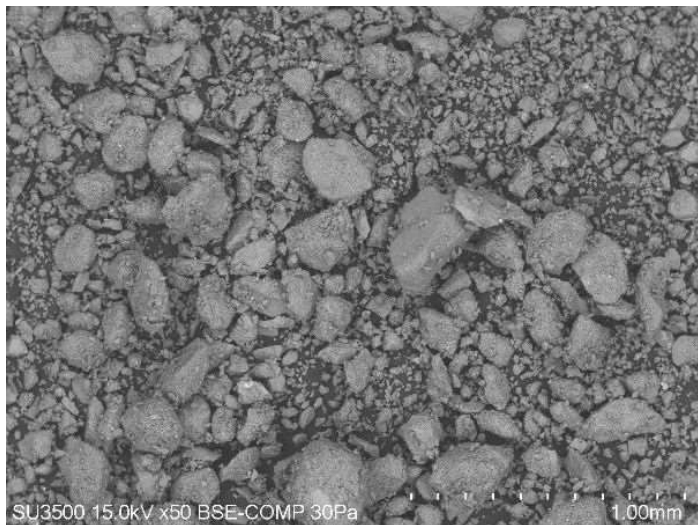


SEM画像

海砂



目視写真



SEM画像

砕砂

写真-2.1 海砂と砕砂の走行電子顕微鏡 (SEM) 写真

表-2.2 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 ³)	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

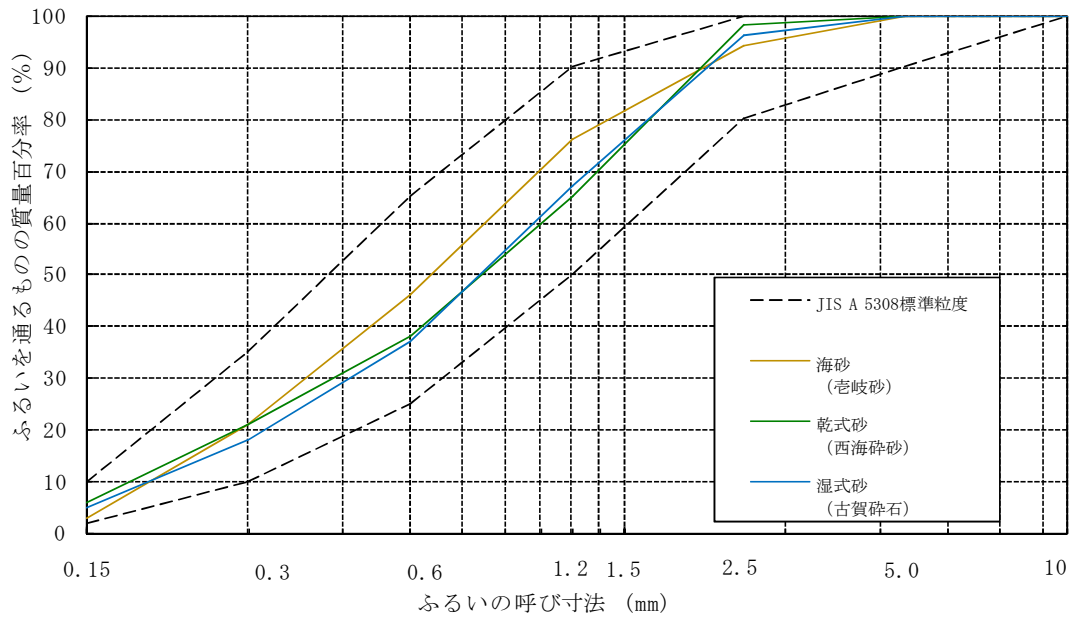


図-2.1 砕砂の粒度試験（一例）

2.2.2 コンクリート基本性状試験

(1) コンクリート試験

県内砕砂を細骨材として用いたコンクリート（砕砂コンクリート）の基本性状を把握するために、表-2.2 で示した細骨材（砕砂）を用いて、配合試験を実施し、配合特性、フレッシュコンクリート性状および硬化コンクリート性状について評価を行った。

配合の種類としては、表-2.3 に示すとおりで、細骨材を乾式と湿式の単一利用（100%）と海砂との混合砂とした。試験結果を表-2.5 と図-2.2～図-2.5 に示す。

なお、コンクリート配合の品質規定として、国土交通省が定める各規定値や土木学会コンクリート標準示方書において、単位水量が表-2.4 のように示されている。

表-2.3 砕砂コンクリートの基本性状試験のケース

配合名称	骨 材		結合材	配合設計条件				備 考
	粗骨材	細骨材		粗骨材の最大寸法 (mm)	水結合材比 (%)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	
DC	砕 石	乾式砕砂	高炉セメント B種	20	55	9±1	5.0±0.5	<ul style="list-style-type: none"> ●細骨材は長崎県内で製造される乾式、湿式の砕砂、比較用の海砂、及び混合砂とする。 ●混合砂の混合割合は、海砂代替として砕砂を採用した先進地（香川県）において、品質変動等に対応するため、砕砂6：海砂4の混合砂で使われる事例が多いとの調査結果を参考に設定する。 ●セメントは、公共工事で出荷の多い高炉セメントB種とする。 ●水セメント比は、各生コン工場での呼び強度24N/mm²程度を目指し、55%とする。 ●スランブの範囲は8～10cm、空気量の範囲は4.5%を標準と、通常見込む運搬ロスを考慮して設定する。
DMC		乾式砕砂と海砂の混合砂 ^{※1}						
WC		湿式砕砂						
WMC		湿式砕砂と海砂の混合砂 ^{※1}						
NC		海 砂						
WC参考		湿式砕砂				15±1 ^{※2}		
NC参考		海 砂						

※1：混合砂の割合： 砕砂：海砂＝6：4

※2：土木用でポンプ打設等で使用される範囲

表-2.4 コンクリート配合の規定値

項 目	条 件	規 定 値
単位水量 (W)	粗骨材の最大寸法 20～25mm	175 kg/m ³ 以下
	粗骨材の最大寸法 40mm	165 kg/m ³ 以下

表-2.5 配合試験結果

配合の種類	記号	細骨材の種類	混和剤の種類		粗骨材の最大寸法 (mm)	配合設計条件		水セメント比 (水結合材)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				フレッシュコンクリートの性状		外気温 (°C)	備考			
			※1) AE減水剤	AE剤		粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)			空気量 (%)	水 (W)	セメント (C)	細骨材 (S)	粗骨材 (G)	※2) AE減水剤 (g/m ³)			※3) AE剤 (g/m ³)	スランプ (cm)	空気量 (%)
普通コンクリート	NC	海砂							45.6	160	291	824	1041	17 (0.6%)	17 (1.5A)	10.0	5.0	18.0	19.0	—
乾式砕砂コンクリート	DC	乾式砕砂							44.4	170	309	818	1041	247 (0.8%)	99 (8.0A)	9.5	5.2	18.0	19.0	W : NCよりも10kg/m ³ 増。
乾式混合コンクリート	DMC	乾式混合砕砂	15L		20	9.0±1	5.0±0.5	55.0	45.0	165	300	824	1041	210 (0.7%)	54 (4.5A)	9.0	5.2	18.0	18.0	W : NCよりも5kg/m ³ 増。
湿式砕砂コンクリート	WC	湿式砕砂							44.4	170	309	782	1041	247 (0.8%)	19 (1.5A)	10.0	5.0	18.0	18.0	W : NCよりも10kg/m ³ 増。
湿式混合コンクリート	WMC	湿式混合砕砂							45.0	165	300	802	1041	210 (0.7%)	18 (1.5A)	9.5	5.2	18.0	18.0	W : NCよりも5kg/m ³ 増。
普通コンクリート (参考)	NC参考	海砂							47.2	172	313	828	985	188 (0.6%)	25 (2A)	19.0	5.1	18.0	18.0	—
湿式砕砂コンクリート (参考)	WC参考	湿式砕砂	15L		20	15.0±1	5.0±1	55.0	45.9	182	331	788	985	265 (0.8%)	13 (2A)	16.0	5.3	18.0	18.0	—

※1) : 混合砂の混合割合 砕砂 : 海砂 = 6 : 4
 ※2) : A E剤量(303A) = 単位セメント(結合材)量 × 0.002% × Aタイプ
 A E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) : A E減水剤量 = 単位セメント量 × 使用率%
 ※4) : 配合設計条件を外れたものを表す

(2)分析結果

砕砂コンクリートの基本性状で分かったことを以下に示す。

- ・ 砕砂の製造方式（乾式・湿式）の違いによる単位水量の差異は生じなかった。
- ・ 砕砂を用いたコンクリートは、製造方式、種類（単一砂、混合砂）に関わらず、海砂コンクリートに比べて単位水量が増加した。
- ・ 砕砂利用のうち、単一利用（DC・WC）は、混合砂利用（DC・WMC）に比べて単位水量が多い。
- ・ 砕砂コンクリートは、スランプ10cm以上では、規定値を外れる可能性が高い。
- ・ 砕砂コンクリートの細骨材率は、海砂コンクリートの調整と基本的に同じである。
- ・ AE減水剤（高機能AE減水剤）の使用量は、砕砂の製造方式、種類に関わらず、海砂利用と同等の管理が可能で、メーカーの使用率の範囲で調整できる。
- ・ AE剤量は、湿式は海砂と同等であるが、乾式は増加する傾向にある。
- ・ 砕砂コンクリートは、海砂コンクリートと比べて、ブリーディングは少なく、凝結は早い。
- ・ 砕砂コンクリートの強度は、海砂コンクリートと同様に材齢と共に強度が増進する。
- ・ 砕砂コンクリートの弾性係数は、海砂コンクリートと同じ特性を示す。

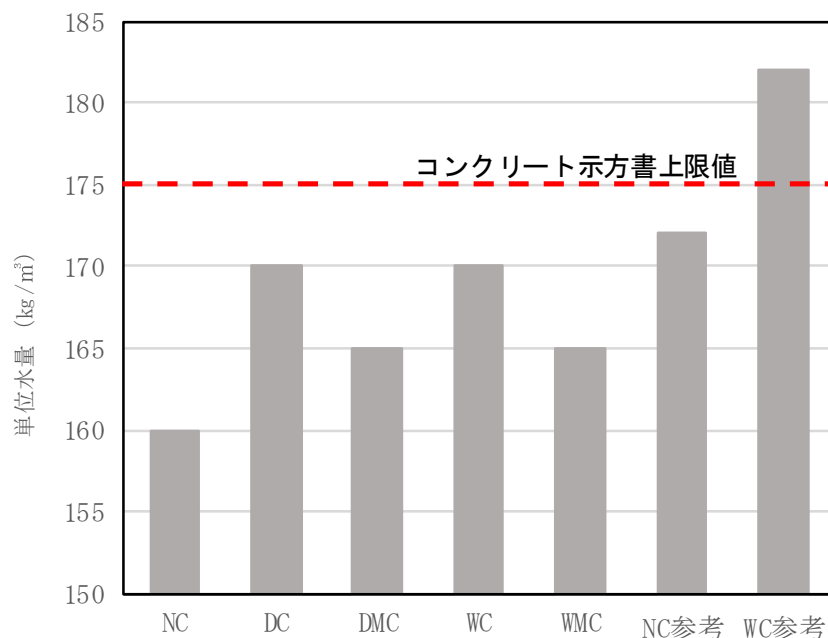


図-2.2 配合種類と単位水量の関係

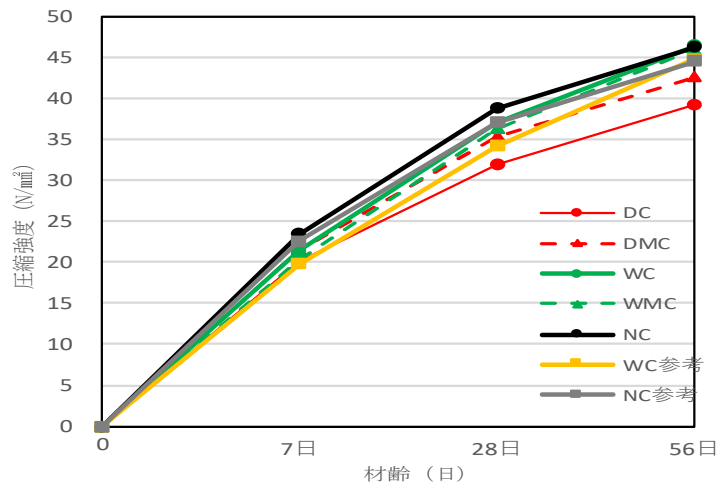


図-2.3 材齢と圧縮強度

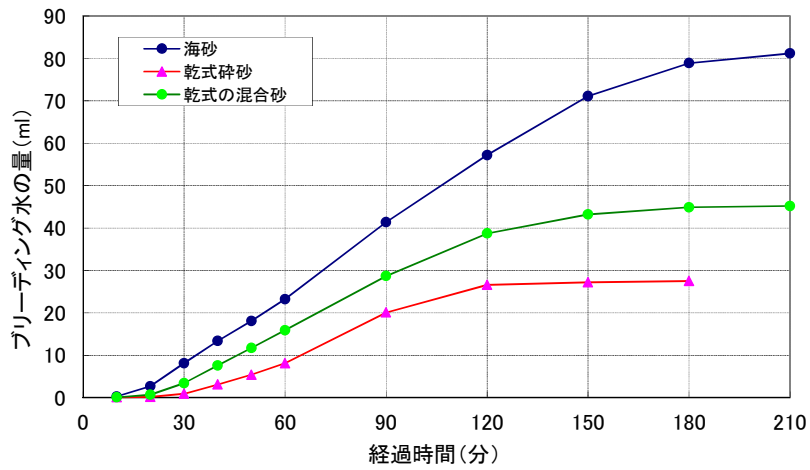


図-2.4 ブリーディング水量

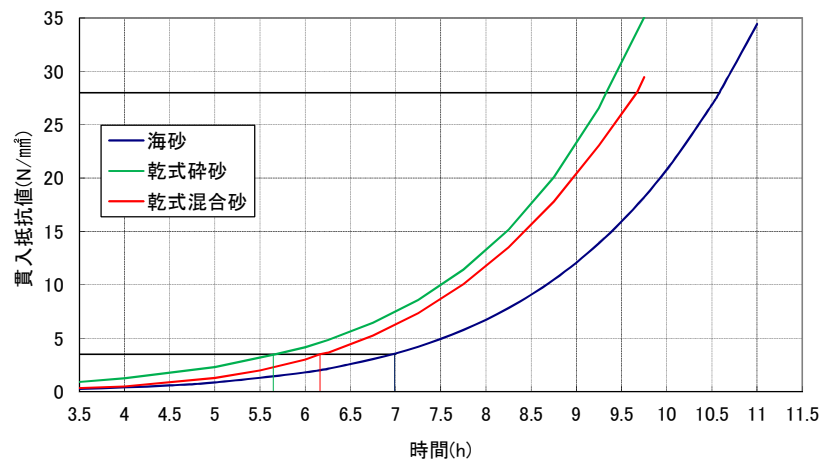


図-2.5 貫入抵抗値

2.3 県内砕砂を海砂代替として活用するに於ける課題

コンクリートに砕砂を海砂代替として活用するに於て、2.2の試験から確認される主な課題について、①～④に整理する。

① コンクリートの流動性の悪化を招く

砕砂は、岩石を機械で破砕したものであり、その形状は角ばり、粗粒率も大きい。一方、海砂は、海中で長い年月を掛けて削られているため、総じて「丸い」。そのため、コンクリートとして配合した場合、その流動性を損なうことが知られている。また、破砕時に付着、混入する微粉が、コンクリートの流動性を低下させると言われている。

② コンクリート中の単位水量を増加させて耐久性の低下を招く

①に関連するが、流動性の悪化は、工事において使用する際の支障となるため、端的な解消策として、「水を増やす」ことがある。しかし、コンクリート中の水分は、土木学会等において上限値（175kg/m³）が定められており、乾燥収縮への影響等も踏まえて耐久性の低下の一因にもなることから安易に増やすことはできない。

③ アルカリ骨材反応を起こす

コンクリート中のアルカリイオンが、砂や砂利に含まれる特定の鉱物（反応性骨材）と化学反応を起こし、異常膨張することで、コンクリートにひび割れを起こす現象を「アルカリ骨材反応」というが、長崎県内で産出する岩石は、この反応性骨材でB区分とされるものも見られる。

④ コンクリートの不均質化を招く

①、②に関連するが、砕砂は海砂に比べて品質的な特徴があり（粒形が粗く角ばり、微粒分量が多い）、砕砂コンクリートはブリーディング量や凝結時間が海砂コンクリートと異なるため、この特徴を踏まえた製造・施工管理をしなければコンクリートの不均質化で初期欠陥等を生じる可能性がある。

3. 本資料の適用範囲および砕砂の品質規格

3.1 適用範囲

- (1) 本資料は、長崎県内の公共工事に適用する。
- (2) 本資料は、耐久性を必要とする土木コンクリート構造物に対して砕砂を用いたコンクリートを適用するための方策の一案を示したものであり、「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）の標準型に従い、フライアッシュの 10%置換の結果をとりまとめた。

（解説）

(1) (2)について

本資料は、耐久性対策を必要とする土木コンクリートの工種を対象としている。長崎県建設工事共通仕様書（長崎県土木部、令和 2 年 4 月）では、コンクリートの耐久性向上対策として、鉄筋構造物では塩害、ASR の対策を、無筋構造物では ASR の対策を行うものとしている。具体的な適用工種は表-3.5 の通りである^{※1}。

表-3.1 耐久性対策を必要とする土木コンクリートの工種

	工種		工種
1	橋 台	8	水路（内幅 2 m以上）
2	橋 脚	9	護岸
3	杭類（場所打杭、井筒基礎等）	10	ダム及び堰
4	橋梁上部工（桁、床版、高欄等）	11	トンネル
5	擁壁工（高さ 1 m以上）	12	舗装
6	函渠工	13	その他重量構造物
7	樋門、樋管、水門		

※1：長崎県建設工事共通仕様書、令和 2 年 4 月、長崎県土木部」第 16 節 コンクリートの耐久性向上対策、5-16-1 適用工種、-共-5-23-

3.2 砕砂に関する各種基準および規格

コンクリートに使用する砂（細骨材）の品質規格値は、表-3.3 の通りである。砕砂をコンクリート細骨材として用いるには、国家規格として下記の JIS があり、団体規格として土木学会がある。

- ・ JIS A 5005（コンクリート用砕石及び砕砂）
- ・ JISA 5308 附属書 1（レディーミクストコンクリート用骨材）
- ・ 土木学会コンクリート標準示方書（施工編）

表-3.3 砂（細骨材）の品質規格

項目		規格値		
ふるい寸法		JIS A 5005	JIS A 5308	土木学会 示方書
粒度分布 (%)	10～5	100	100	100
	5～2.5	90～100	90～100	90～100
	2.5～1.2	80～100	80～100	80～100
	1.2～0.6	50～90	50～90	50～90
	0.6～0.3	25～65	25～65	25～65
	0.3～0.15	10～35	10～35	10～35
	0.15以下	2～15	2～10	2～10
絶乾密度 (g/cm ³)		2.5以上	2.5以上 [2.4以下]※1	2.5以上 [2.4以下]※1
吸水率 (%)		3.0以下	3.5以下 [4.0以下]※1	3.5以下 [4.0以下]※1
微粒分量 (%)		9.0以下	3.0以下 [5.0以下]※2	3.0以下 [5.0以下]※2
粒形判定実積率		54%以上	-	-

※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

近年のコンクリート細骨材は、良質な天然砂の枯渇や品質向上の観点から、複数の砂を混合して使用する混合砂の事例が増えている。具体的には、良質な海砂が枯渇して細粒化してコンクリートの単位水量の増加等の懸念が生じる中で、粒度分布を改善するため、粒度の細かい海砂を細砂として粒度の粗い砕砂を粗砂として混合して使用する場合がある。混合砂に要求される品質は、混合する砂（細骨材）の種類によって異なり、JIS A 5308 の附属書 A（レディーミクストコンクリート用骨材）では、次のように規定している。

①同一種類の骨材を混合して使用する場合

混合後の骨材の品質が、それぞれの骨材の規定に適合しなければならない。ただし、混合前の各骨材の絶乾密度、吸水率、安定性およびすりへり減量については、それぞれの骨材の規定に適合しなければならない。

②異種類の骨材を混合して使用する場合

混合前の骨材の品質が、塩化物量および粒度を除いて、それぞれの骨材の規定に適合しなければならない。なお、混合後の骨材の塩化物量および粒度については、骨材の種類ごとに細かく規定される。

JIS A 5308 では、骨材の種類を、碎石及び砕砂、スラグ骨材（溶融スラグ骨材を除く）、人工軽量骨材、コンクリート用再生骨材 H、砂利及び砂に分類し、異種類の骨材とは、例えば、「碎石及び砕砂」と「砂利及び砂」、「碎石及び砕砂」と「スラグ骨材」などの組み合わせを示す。

また、地域規格として、国土交通省九州地方整備局では「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）がある。コンクリート細骨材に関して、標準的なコンクリート用細骨材である天然骨材の代わりとして使用可能な材料が示されている（砕砂、高炉水砕スラグ、フライアッシュ、まさ土、コンクリート再生細骨材等）。これら代替材料を規定することで、良質な骨材資源の延命化や代替材料の利用技術の向上につながり、将来的な品質確保にもつながると考えている。砕砂の記載箇所を以下に抜粋する。

4.4.4.2 砕砂

細骨材として使用する砕砂の品質は、JIS A 5005 の規定に適合したものを標準とし、コンクリートの品質に悪影響を及ぼさないことが確認されたものを使用する。

【解説】 砕砂は、産地および製造ロットごとに品質の変動が大きいことが知られている。したがって、納入ロットごとに品質試験を実施し、その管理を適正に行う。

砕砂の産地によっては、アルカリシリカ反応性を示すものがある。したがって、これを反応性試験により確認する。

砕砂の中には微粒分を多く含んでいるものがある。微粒分が多く含まれる場合、JIS A 1109「細骨材の密度及び吸水率試験方法」に規定されているフローコーンによる方法では、表乾状態を適切に判断することが困難である。このような場合には、JIS A 1103「骨材の微粒分量試験方法」により 75 μm 以下の微粒分を取り除いたものを試料とし、フローコーンにより判定するとよい。

出典：「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）」P4-10