

## 九州地区で検討中の

## コンクリート用細骨材の代替素材について

—シラスの利用を中心として—

鹿児島大学 大学院理工学研究科 武若 耕 司

## 1. はじめに

大きな河川が少ない西日本では、これまで細骨材として海砂の使用割合が著しく高かったが、瀬戸内海における海砂採集の全面規制をはじめ、近海での海砂の大量採取も難しい状況となり、天然の砂に代わる新たな細骨材の開発・利用についての検討が進められている。このような中、国土交通省九州地方整備局では、九州地区におけるコンクリート構造物建設の今後の在り方を検討するため、2002年に「九州地区長寿命コンクリート構造物検討委員会」を設置し、その検討項目の1つとして、九州地区で発生する低品位・代替骨材の土木コンクリート構造物への適用性について検討を開始した。その成果は、2005年の試行案<sup>1)</sup>を経て、2008年3月に「九州地区における土木コンクリート構造物の設計施工指針（案）」（以下、「指針（案）」と称す）中に盛り込まれるに至った<sup>2)</sup>。

また、この骨材資源に関する問題は、九州各県でも独自の検討を余儀なくされた。鹿児島県は、2001年に「シラスコンクリート検討委員会」を設置し、南九州に大量に堆積するシラスを代替細骨材として利用するための検討を開始した。そして、その成果として2006年に「シラスを細骨材として用いるコンクリートの設計施工マニュアル（案）」（以下、「鹿児島県版マニュアル（案）」と称す）が制定された<sup>3) 4)</sup>。

本文では、まず、九州地方整備局で実施された調査結果を基に、九州地区で細骨材として検討がなされている代替資源について概説し、次に、既に実用化されているシラスについて、その骨材としての品質およびこれを使用したコンクリートの性能と鹿児島県における施工への取組みを紹介する。

## 2. 九州地区における細骨材の代替素材について

## 2.1 概要

国土交通省九州地方整備局制定の指針（案）では、天然砂の代替として九州で入手可能な細骨材を、砕砂のほかに、「高炉水砕スラグ細骨材」、「フェロニッケルスラグ細骨材」、「銅スラグ細骨材」、「コンクリート再生細骨材」、「フライアッシュ」、「まさ土」および「シラス」の8種類と規定した。このうち、骨材として

JISで規定されていないフライアッシュとまさ土について以下に概説する。なお、シラスについては3.で別途詳述する。

## 2.2 フライアッシュ

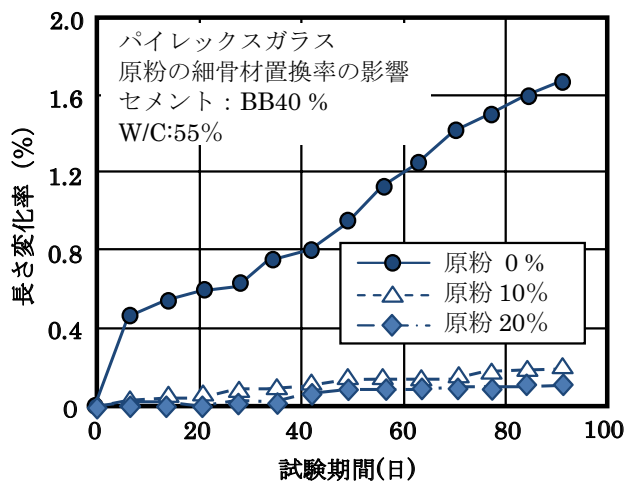
指針（案）では、フライアッシュを混和材としてだけでなく、細骨材の代替材料としても規定しており、コンクリートの品質に悪影響を及ぼさないことが確認されたものについては、20%を上限として、通常の細骨材に置換して使用できるとしている。また、その際の注意点については、以下のように記載されている。

- ①フライアッシュは、JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」で規定するⅠ種、Ⅱ種、Ⅲ種およびⅣ種に適合したものをを用いることを原則とする。
- ②九州地区で発生するフライアッシュには、数%の未燃カーボンが含まれることから、AE剤による空気連行性などへの影響をあらかじめ確認するとともに、品質の変動の少ないものを用いる。
- ③フライアッシュの細骨材置換率が増加するほど凝結時間の遅延が顕著に表れる傾向にあるため、事前に施工するコンクリートのブリーディング終了時間や凝結時間を把握し、施工計画に適切に反映させる。

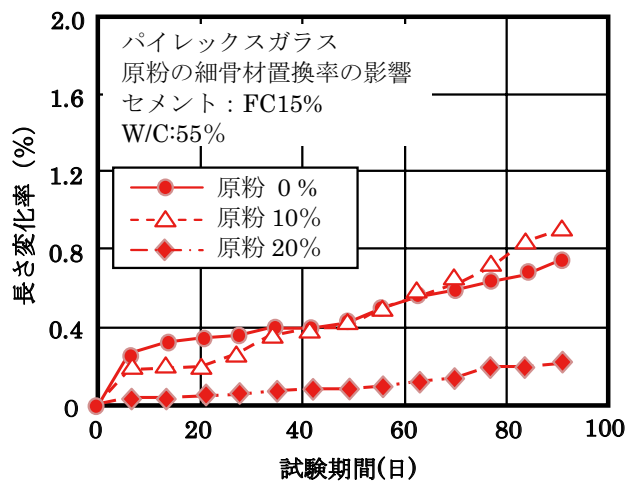
なお、指針（案）では時期尚早として見送られたが、指針試案の段階では、海砂や砕砂の一部をフライアッシュ原粉で置換した場合についても検討がなされ、長期強度の増進、アルカリ骨材反応の抑制（図-1参照）および塩化物イオン浸透抑制等に寄与することを確認している<sup>1)</sup>。

## 2.3 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、微粒分も多くなるなど、風化度合いによってその品質は異なる。このため、指針（案）では、JIS A 5005中のコンクリート用砕砂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を確認したものを使用するとしている。



(a) 高炉スラグセメント使用の場合



(b) フライアッシュセメント使用の場合

図-1 フライアッシュ原粉で細骨材の一部を置換したモルタルバーによるアルカリ骨材反応性試験結果<sup>1)</sup>  
(試験方法: デンマーク法)

表-1 まさ土の物性値の一例<sup>1)</sup>

産地	熊本・南関		福岡 犀川	佐賀 養母田
	A	B		
粗粒率	2.74	2.56	3.04	3.03
表乾密度 (g/c m <sup>3</sup> )	2.56	2.57	2.60	2.56
絶乾密度 (g/c m <sup>3</sup> )	2.51	2.53	2.57	2.52
吸水率 (%)	1.87	1.55	1.19	1.79
単位容積質量 (kg/L)	1.58	1.57	1.60	1.55
実績率 (%)	62.9	62.1	62.3	61.4
微粒分量 (%)	1.3	3.1	5.2	7.4
粘土塊量 (%)	0.2	0.5	0.1	1.5
有機不純物	良	良	良	良
塩分量 (%)	0.0003	0.0002	0.0000	0.0001
安定性 (%)	14.4	5.1	9.6	24.0
アル骨反応性 (化学法)	無害	無害	無害	無害

表-2 まさ土を使用したコンクリートの配合例<sup>1)</sup>

産地	s/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	AE剤 (A) *	備考
南関	45.5	179	3.25	A:B=1:1 で混合使用
犀川	44.5	193	4.75	5mm以上粒径カット
養母田	40.0	203	8.50	—

\* : 1 A は AE 剤 100 倍希釈液をセメント 1kg 対して 2cc 添加した量に相当

水洗いなどによって微粒分を除去すれば天然砂の代替品として十分に利用可能であるとの報告もあり<sup>5)</sup>、また、まさ土と天然砂を混合して用いることにより、まさ土を単独で使用した場合よりもコンクリートの単位水量低減や品質の安定が図れる。表-1 および表-2 に九州地区のまさ土の物性ならびにこれを細骨材として使用したコンクリートの配合例を示す<sup>1)</sup>。

### 3. シラスのコンクリート用細骨材としての利用

#### 3.1 概要

九州地方整備局の指針(案)では、シラスの細骨材としての利用については、事前に試験を行うとともに、過去の実績などを考慮することによって、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している。また、シラスを細骨材として使用する際の留意点などについては、鹿児島県が制定したマニュアル(案)を参考とするとよいとしている。そこで、このマニュアル(案)の内容にこれまでの研究成果と実用実績を加えて、シラスおよびシラスを細骨材として用いた「シラスコンクリート」について示す。

#### 3.2 細骨材としてのシラスの特徴

##### (1) シラスとは

シラスは、南九州に大量に存在する火砕流堆積物の総称である。火砕流とは、高温のガスを含んだマグマが火口から高速で地表を流れ下るもので、最近の例としては、1991年に長崎県雲仙普賢岳で発生したものが有名である。その普賢岳での発生量の50万倍近い火砕流が、今から2~10万年前に南九州で発生し、4,000km<sup>2</sup>に及ぶ範囲を覆い、900億t以上のシラ



写真-1 シラス採取場と地山における固結状況

スが堆積した。

シラスは、溶岩とはその性質を異とするが、火山灰とも異なり、堆積したシラスの粒子同士は軽い固結状態にある(写真-1)。しかし、これを一度乱すと砂あるいはシルト状の物質となり固結力は完全に失われる。

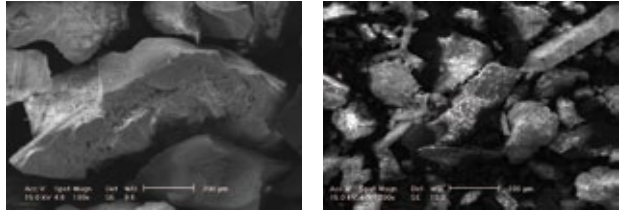
## (2) シラス細骨材とは

乱した状態のシラスには、ミクロンオーダーの微粒子から数10cmにも及ぶ軽石塊までが含まれているが、マニュアル(案)では、このうち、呼び寸法5mmの網ふるいに留まるものを除去したものをシラス細骨材と称している。このため、シラス細骨材中には0.15mm以下の粒径のものが全体の20~40%、0.075mm以下に限定しても10~30%含まれる。これらの微細粒分は、フレッシュコンクリートの流動性を阻害し、単位水量の増大を招くことは明らかである。その一方で、シラスの微細粒分にはポゾラン活性が認められ、硬化コンクリートの品質改善への寄与が期待できる。加えて、微細分を除去しないことでエネルギーやコストが削減でき、廃棄物も出ないことから、マニュアル(案)では、あえて微細粒分を除去しないでシラスを使用することとしている。

## (3) シラス細骨材の品質

上記のように、シラス細骨材には0.15mm以下の微粉末が多量に含まれ、また、写真-2に見られるように粒子が角ばっておりしかも多孔質であるため、JISで定められた細骨材の各種物性試験方法が、必ずしもこの材料の特徴にあったものとはいえないことが明らかとなった。そこで、マニュアル(案)では、必要に応じてシラス細骨材独自の物性試験方法を規定することにした。

例えば、シラス細骨材の密度・吸水率試験において骨材の表乾状態を測定する際、JIS A 1109に規定された円錐型フローコーン(図-2(a))を用いると、



(a) 0.3~0.6mm粒子 (b) 0.15mm以下粒子

写真-2 シラス粒子の顕微鏡写真

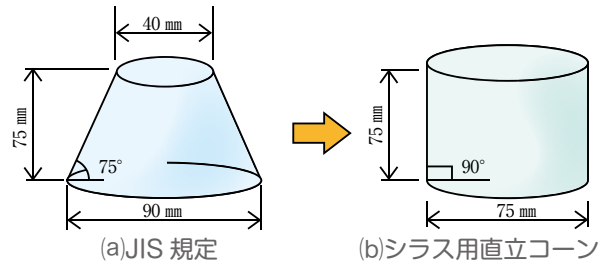


図-2 表乾状態判定用フローコーンの形状<sup>3)</sup>

明らかに乾き過ぎの状態を表乾状態と判定することから<sup>6)</sup>、シラスの表乾状態判定には、図-2(b)に示す側面を鉛直としたコーンを用いることとし、この方法を標準化した。マニュアル(案)では、その他にも、「試料の採取方法」、「ふるい分け試験方法」あるいは「含水率試験方法及び含水率に基づく表面水率試験方法」について、シラス細骨材特有の方法を規定している。

表-3には、以上の方法を用い、鹿児島県内の36か所から採取したシラス細骨材の物性値を測定した結果を取りまとめて示す<sup>7)</sup>。

表-3 シラス細骨材の諸物性とそのばらつき<sup>7)</sup>

	一般的な川砂	シラス		
		最小~最大	平均	標準偏差
表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.5~2.65	2.1~2.3	2.18	0.04
吸水率 (%)	1~3	2.5~11.3	4.97	1.61
粗粒率 (%)	2~3.5	1.1~2.1	1.46	0.21
実積率 (%)	55~65	47~64	55.1	3.36
微粒分量 (%)	~5	16~28	23.8	4.27

※シラスは全て入戸火砕流起源一次

また、表-4には、シラスの化学組成の一例を示す<sup>8)</sup>。その特徴は、以下の通りである。

- ① シリカ含有量が全体の約70%
  - ② 鉱物としては火山ガラスが全体の約60%
- 一般に、シリカ含有量が60%を超えるものにはポゾラン反応を起こすものが多く、シラスにおいてもこのポゾラン反応性を確認している<sup>9)</sup>。

表-4 各種シラス骨材の化学組成<sup>8)</sup>  
(単位：%)

シラスの産地	加世田	志布志	垂水	横川
SiO <sub>2</sub>	70.01	69.86	69.18	67.65
TiO <sub>2</sub>	0.23	0.29	0.26	0.24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.35	14.43	14.19	14.19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.27	2.68	2.92	2.47
MnO	0.07	0.07	0.07	0.06
MgO	0.51	0.61	0.71	0.71
CaO	2.64	2.47	3.23	2.58
Na <sub>2</sub> O	3.81	3.67	3.84	3.96
K <sub>2</sub> O	3.82	2.65	3.45	3.73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.04	0.04	0.03
lg.loss	2.26	1.95	1.89	1.93
火山ガラス含有量	66.2	59.0	58.6	--

表-5 シラスコンクリートの配合設計資料<sup>3)</sup>

骨材最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	目標スランプ (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )
20	50	4.5	10.0	33	198
40				30	194

- (1)この表は粗骨材を碎石とし、細骨材として実積率55.1%のシラスを使用した場合のものである。  
 (2)使用材料またはコンクリートの品質が(1)の条件と相違する場合には、上記の表の値を下記により補正する。

区 分	細骨材率の補正	単位水量の補正
スランプ1cmの増減に対し	補正しない	3kg/m <sup>3</sup> 増減
水セメント比5%の増減に対し	水セメント比50%以上	1%増減
	水セメント比50%未満	3kg/m <sup>3</sup> 増減
細骨材率1%の増減に対し	—	1.5kg/m <sup>3</sup> 増減
実積率1%の増減に対し	補正しない	2.1kg/m <sup>3</sup> 増減
普通ポルトランドセメントから高炉セメントB種に変えた場合	補正しない	2kg/m <sup>3</sup> 減

### 3.3 シラスコンクリートの性能

マニュアル(案)ではシラスコンクリートについて、「細骨材の全てにシラス細骨材を用いるコンクリート」と定義している。また、このほかに、細骨材として普通砂とシラス細骨材を混合して用いる「シラス混合コンクリート」についても規定しているが、以下では、シラスコンクリートについて、その特徴を示す。

#### (1) シラスコンクリートの配合

シラス細骨材には微粒分が多いことや粒子形状が歪であることから、普通砂を用いたコンクリートと同様の配合でシラスコンクリートの施工性を確保することは困難である。特に、単位水量の著しい増大は避けられない。このため、マニュアル(案)では、シラスコンクリートの製造に高性能AE減水剤あるいはこれと同等の性能をもつ減水剤を用いることを原則と

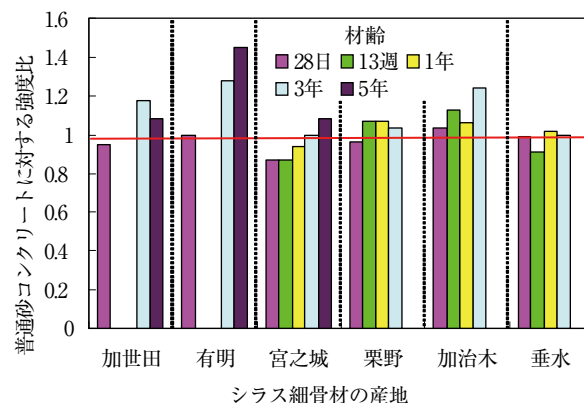


図-3 シラスコンクリートと普通砂コンクリートの圧縮強度比の経時変化<sup>8)</sup>

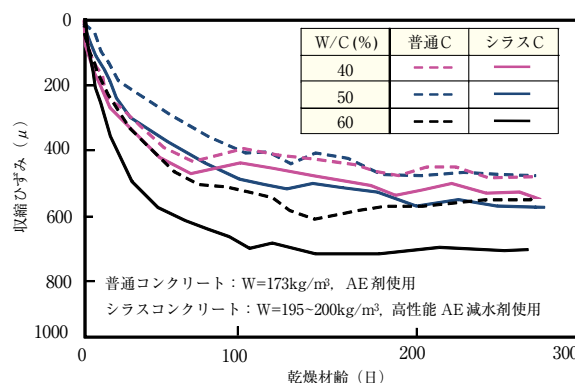


図-4 乾燥収縮特性の比較<sup>10)</sup>

し、表-5に示すシラスコンクリートの配合設計資料を提示している。なお、細骨材率が普通砂使用の場合より10%ほど小さいこともシラスコンクリートの配合の特徴の1つである。

#### (2) シラスコンクリートの物理的特性

シラス細骨材は、普通砂に比べて軽量かつ脆弱な材料であるが、その一方で、コンクリート中でボゾラン反応を起こす<sup>9)</sup>。このような材料を細骨材としたシラスコンクリートの物理的特性には以下のような特徴がある。

- ①同一水セメント比の場合、材齢28日初期強度は普通砂を使用したコンクリートに比べて0~15%低い、材齢1年以降では同程度か若干高い(図-3参照)<sup>8)</sup>。ただし、ヤング係数は、材齢の如何にかかわらず同一強度の普通砂コンクリートと比較して10~15%程度小さい。
- ②高性能AE減水剤を使用しても、一般のコンクリートに比べて単位水量はかなり高いが、実用的な水セメント比の範囲では、同一強度の普通コンクリートの乾燥収縮量の10%程度の増大にとどまり(図-4参照)、また拘束時の収縮ひび割れ発生時間は、普通コンクリートと大差ない<sup>10)</sup>。

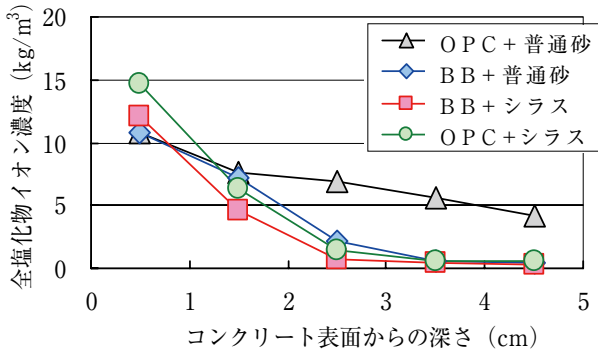


図-5 a) コンクリート中の塩化物イオン濃度分布 (暴露4.5年後)

■ 暴露1.5年時 □ 暴露3年時 ■ 暴露4.5年時

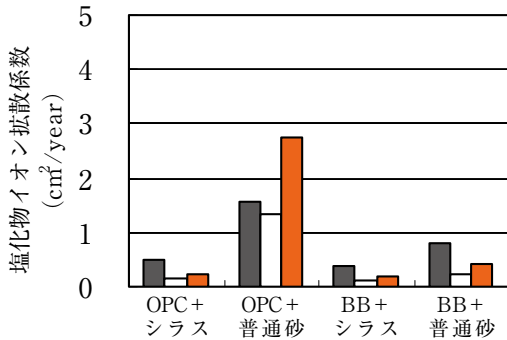


図-5 b) コンクリート塩化物イオン拡散係数の比較

図-5 シラスコンクリート中の塩化物イオン浸透状況<sup>11)</sup>  
(W/C=50%、干満帯暴露)

### (3) シラスコンクリートの耐久性

シラスコンクリートの特徴として、以下のように過酷環境下における耐久性が優れている点があげられる。

①シラスコンクリートは塩化物イオン浸透に対する抵抗性が極めて高いことから、マニュアル(案)では、設計時に構造物の塩害抵抗性を検討する際に用いる塩化物イオン拡散係数は、高炉セメントなどを使用した場合に準じて設定してよいとしている。国土交通省九州地方整備局鹿児島港湾空港工事事務所と鹿児島大学は、共同してシラスコンクリートの海洋構造物への実用化を目指し、2005年から10年間の海洋暴露実験を実施している。その途中経過を示した図-5および図-6からも、シラスコンクリートが高炉セメントを使用したコンクリートと同等あるいはそれ以上に高い塩害抵抗性を示すことが確認できる<sup>11)</sup>。

②写真-3は、細骨材中のシラス置換率を変えて作製したコンクリートの硫酸塩劣化抵抗性の相違を示している。この結果から、シラス置換率が増加するに従って明確にコンクリートの硫酸塩劣化抵抗性は高くなることわかる。このような性能は水セメント比の如何にかかわらず見られることか

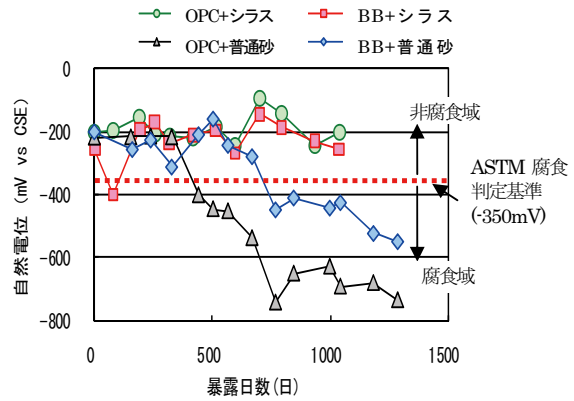


図-6 海洋暴露コンクリート中鉄筋の自然電位の経時変化<sup>11)</sup> (W/C=50%、干満帯暴露)

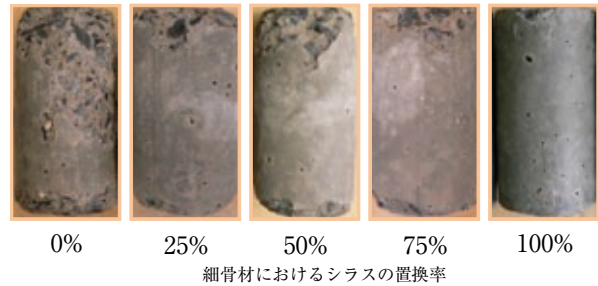


写真-3 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10%水溶液中のコンクリートの劣化状況<sup>12)</sup>

ら<sup>12)</sup>、マニュアル(案)では、シラスコンクリートについては、水セメント比の如何によらず耐硫酸塩性に対する性能照査を省略できるとしている。また、図-7に示すように、高温の温泉環境でもシラスコンクリートの強度低下は普通コンクリート程著しくはなく、耐久性が高い<sup>13)</sup>。

③シラス中には60%近くの火山ガラスが含まれるため、シラス自身のアルカリ骨材反応性を化学法で調べると「無害でない」との結果を得る。しかし、モルタルバー法では、採取地の違いや微粒分混入の如何にかかわらず全てのシラスで膨張性を示さない。そればかりか、粗骨材に反応性骨材が混入された場合、シラスコンクリートは普通コンクリートに比べて粗骨材の反応を抑制する効果が認められる<sup>14)</sup>。

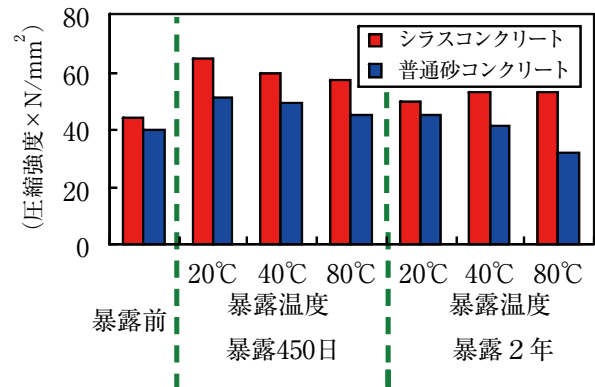


図-7 硫黄泉中に暴露されたコンクリートの圧縮強度<sup>13)</sup>

### 3.4 シラスコンクリートの実用化事例

鹿児島県では、1998年から2003年まで6年間に、延べ16事務所管轄の22工事でコンクリートの一部にシラスコンクリートを用いたモデル工事を実施し<sup>15)</sup>、これらの工事の結果をマニュアル(案)の内容に反映させた。なお、中にはすでに施工後10年以上を経過するものもあるが、シラスコンクリートを使用した躯体に特に大きな問題は生じていない。2006年のマニュアル(案)が発刊以降は、これに基づいた試行工事が行われるとともに、二次製品へのシラスコンクリートの普及を促す意味で、県発注の工事に使用する間知ブロックや車歩道境界ブロックでは、シラスコンクリートで製造されたものが使用されるケースも増えてきた(写真-4)。

また、シラスコンクリートの耐久性上の特徴を生かし、鹿児島県が発注した温泉環境下の橋梁基礎工事には2002年からシラスコンクリートが適用されている。この橋梁の橋台および橋脚が建設される場所の地盤には、pH=2~3で硫酸イオン濃度の高い場所が点在するとともに、地温は、地下10m以深で100℃を超えるところがあることも確認されている。この環境に、2008年までの間に図-8に示す4基の橋脚が建設され、その深礎杭基礎工(杭径:8



写真-4 シラスコンクリート間知ブロック

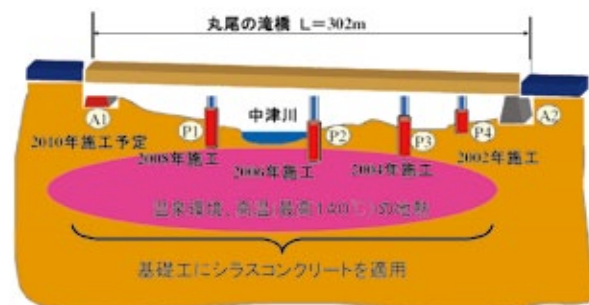


図-8 シラスコンクリートを橋脚基礎に利用した橋梁の概要<sup>16)</sup>

~10m、杭長:20~25m)に合計で約5000m<sup>3</sup>のシラスコンクリートが施工された。

P1橋脚基礎工事に使用したシラスコンクリートの配合を表-6に示す。いずれの橋脚においても、あらかじめ杭周辺の地盤を40℃以下に冷却したうえでコンクリートを打設することにしたが、それでも若材齢時での温度ひび割れの発生と高温環境での長期の温度発現性について懸念があったため、事前に杭基礎断面の1/2試験体を用いて検討を行った<sup>17)</sup>。その結果、両者に対して良好な性状を示した低熱ポルトラン

表-6 P3橋脚基礎に施工されたシラスコンクリートの配合<sup>17)</sup>

セメントの種類	目標スランプ値(cm)	目標空気量(%)	Gmax(mm)	W/C(%)	S/a(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				SP*(%)
						W	C	S	G	
低熱	11	4.5	40	50	33	195	390	464	1126	0.80

\*:高性能AE減水剤は、セメント+粒径0.075mm以下のシラス微粉末に対して混入



写真-5 温泉環境橋脚基礎へのシラスコンクリートの施工状況



写真-6 高流動シラスコンクリートの施工実験<sup>18)</sup>

表-7 A1橋脚基礎に施工予定の高流動シラスコンクリートの配合<sup>18)</sup>

セメントの種類	目標フロー値(cm)	目標充填高さ(cm)	目標空気量(%)	Gmax(mm)	W/C(%)	S/a(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					SP(%)
							W	C	S	3-5砂	G	
低熱	65	30	3.0	20	45	51	190	422	578	172	831	1.7

\*:高性能減水剤は、セメント+粒径0.075mm以下のシラス微粉末に対して混入 \*\* : 粒径3~5mmの砕砂

ドセメントを用いたシラスコンクリートを施工することにした。

製造されたシラスコンクリートは、ポンプ圧送性に問題はなく、写真-5 (b) に示すように吐出先でのコンクリートの状態も良好であった。また、シラスコンクリートは、単位水量が通常のコンクリートに比べてかなり多いにもかかわらず、保水性が高いためにブリーディング量は少なく、全体的に施工のしやすい状況にあった。

なお、2010年に施工予定のA1橋台基礎については、杭径が2mと小さく、内部での締固め作業が困難なため、高流動シラスコンクリートを施工することになった<sup>18)</sup>。事前検討を行った高流動シラスコンクリートの配合を表-7に示す。また、杭を模擬した型枠を用いた施工実験の状況を写真-6に示す。シラスコンクリートの配合(表-6)との比較でもわかるように、シラスコンクリートの場合には、使用材料はほぼ同じで、配合のみを変更だけで高流動化することができるという特徴がある。

#### 4. あとがき

コンクリートは社会資本整備において欠くことのできない資材である。この資材の特徴は、強度や耐久性に優れるだけでなく、安価でいついかなるところでも供給が可能なことである。しかし、その材料である骨材についてみると、コンクリート用として良質な天然骨材の国内での安定的な供給の確保は困難となりつつあり、天然骨材の代替となる材料の確保は急務である。

本文では、九州地区において特に問題となっている細骨材について、今後有効利用が期待される素材に絞って解説した。特に、南九州で実用化が進められているシラスの利用は、従来の概念では低品質とみなされていた素材を使用しても、適用環境によっては普通コンクリートより品質の優れた「最適品」になり得ることを明らかにした。

未来の世代の生存を保障するため、我々には自然と人間を共存させる環境の創造と保存、すなわち「持続可能な開発」の責務がある。そして、この責務を果たすためには、骨材資源もまた、コンクリートが建設材料として利用され続ける限り、確実に未来に引き継いでいかなければならない。九州地区における骨材資源確保の取り組みが、そのための一助となれば幸いである。

#### <参考文献>

- 1) 国土交通省九州地方整備局：九州地区における土木コンクリート構造物の設計・施工指針試行(案)、2005
- 2) 国土交通省九州地方整備局：九州地区における土木コンクリート構造物の設計・施工指針(案)、2008
- 3) 鹿児島県土木部：【2005年制定】シラスを細骨材として用いるコンクリートの設計施工マニュアル(案)、2006
- 4) 武若耕司：シラスコンクリートの特徴-鹿児島県制定マニュアルの内容を基にして-、コンクリート工学、Vol.45、No.2、pp.16-23、2007
- 5) 例えば、愛媛県：愛媛県骨材対策委員会報告書、2002
- 6) 竹内一真、武若耕司、奥地栄祐、山口明伸：細骨材の表乾判定試験方法に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.25、No.1、pp.77-82、2003
- 7) 前田 聡、武若耕司、山口明伸、淵田和樹：コンクリート用細骨材のシラスの特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.28、No.1、pp.2069-2074、2006
- 8) 武若耕司：シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状、コンクリート工学、Vol.42、No.3、pp.38-47、2004
- 9) 武若耕司：しらすを利用したコンクリート用混和材の開発に関する研究、材料、Vol.48、No.11、pp.1300-1307、1999
- 10) 小出美佐都、武若耕司、山口明伸、二河瑞規：シラスコンクリートの収縮特性に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.1、pp.535-540、2009
- 11) 山口明伸、武若耕司：海洋環境下におけるシラスコンクリートの耐久性、第36回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、pp.57-62、2009
- 12) 西山理子、武若耕司、佐伯 貢、山口明伸：シラスと普通砂を混合使用したコンクリートの諸性質に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.28、No.1、pp.125-130、2006
- 13) 森高康行、武若耕司、山口明伸、多々良勇貴：温泉環境下に暴露したシラスコンクリート中の劣化モニタリングに関する実験的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.1、pp.2071-2076、2009
- 14) 武若耕司：しらすの利用によるアルカリ骨材反応抑制の可能性について、土木学会第45回年次学術講演会、V-241、pp.508-509、1990
- 15) 鹿児島県シラスコンクリート検討委員会：平成14年度シラスコンクリートモデル事業実施結果報告書、2003
- 16) 武若耕司、清川秀樹、奥地栄祐、立山幸雄：シラスコンクリートの施工性能評価、土木学会西部支部研究発表会、V-23、pp.508-509、2003
- 17) 奥地栄祐、武若耕司、清川秀樹、中尾好幸：高温環境下へのシラスコンクリートの適用に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.26、No.1、pp.681-686、2004
- 18) (財)先端建設技術センター：平成20年度一般国道223号丸尾の滝橋施工技術検討委員会報告書、2009