九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

シラスとシラスコンクリート ： その特徴と実用化の現状

山口, 明伸
鹿児島大学大学院 理工学研究科 海洋土木工学専攻

https://hdl.handle.net/2324/20480

出版情報：建設物価. 1108, pp.20-23, 2012-02-01. 建設物価調査会
バージョン：
権利関係：

連載 素晴らしきコンクリート⑥

Wonderful Concrete

シラスとシラスコンクリート
～その特徴と実用化の現状～

鹿児島大学大学院 理工学研究科 海洋土木工学専攻　准教授　山口明伸

はじめに

シラスは，カルデラから高温のマグマが多量のガスを含んで噴出する際に，火山ガラスを主とする溶融物質の破片および粒子が高温のガス状態となって流下し，堆積，溶融してできた発泡状の物質，いわゆる火砕流堆積物の総称である。後述するように，溶岩や近年活発な活動を続けている桜島や新燃岳に地域住民が悩まされている火山灰とは異なる。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あり，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，4,000㎢に及ぶ範囲を覆い，900億ｔ以上ものシラスが堆積したといわれている。この広域に及ぶシラス地層は，農地としての利用価値が少ない上に，度々土砂災害を引き起こす厄介者として長年扱われてきた。しかしながら，このような膨大かつ未利用なシラスを，過疎化が進み産業が硬直化する南九州において資源として有効に活用できれば，地域の産業構造の変革と活性化に与えるインパクトは極めて大きい。特に，建設材料としての付加価値を付与できれば，採取地近傍での大量使用が可能となり，地域産業の活性化に直結することが期待される。

このような観点から，鹿児島大学の武若らは，1980年代半ばから，シラスを細骨材として使用したコンクリート（シラスコンクリート）の検討へ着手し，その適用可能性だけでなく，シラスを用いることによる利点をも見出すことになる。著者は，鹿児島大学に赴任した1998年から，シラスコンクリートの研究に加わったが，その頃には，環境保全の立場からの海砂の採取規制が厳しくなり，これまで海砂を主流として使用してきた南九州でもその代替骨材の確保が急務となっていた。これに対して鹿児島県では，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海砂の代替細骨材として利用するための検討を始めており，多くのモデル工事における実規模での検討結果を踏まえたその成果は「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，「マニュアル（案）」と称す）として2006年に制定，発刊されている[1)]。また，これに先立つ2003年には，シラスコンクリートの耐久性上の特徴を活かして，わが国最初のシラスコンクリートの本格的な実施工が，温泉地帯に建設される橋脚基礎構造物において実施されている。その後も，プレストレストコンクリートや高流動コンクリート，二次製品へと次々に適用が検討され，その利用範囲もさらに広がっている。これらの成果に基づき，2008年３月に制定された「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）」においても，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ていれば，マニュアル（案）を参考にしてシラスを細骨材として利用してよいことが示されることとなった[2)]。

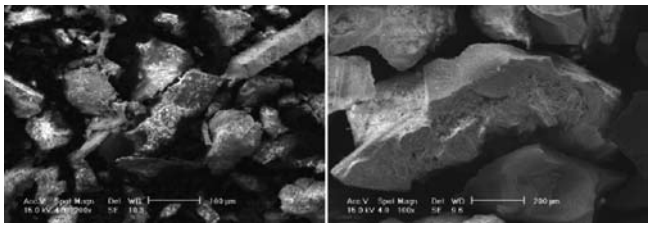
連載の第６回，第７回は，南九州のご当地コンクリートとしても徐々に認識されつつある，このシラスコンクリートを取り上げる。第６回では，マニュアル（案）の内容を踏まえたシラスとシラスコンクリートの主な特徴を，第７回では最近のシラスコンクリートの実用化への取り組みを中心に紹介したい。ちなみに，本連載の第４回「フライアッシュのコンクリートへの有効利用（その１）」で紹介されているローマ時代のコンクリートに用いられている火山灰（ポッツォーリの塵）も，南九州のシラスと同じ火砕流堆積物である。

細骨材としてのシラスの特徴

シラスは，溶岩や火山灰と異なる性質を持っており，堆積した状態では粒子同士が軽い固結状態にあるが，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（**写真１**）。

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10㎝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

写真１ シラス採取場と地山における固結状況



(a) 0.3~0.6㎜粒子　　(b) 0.15㎜以下粒子

写真２ シラス粒子の顕微鏡写真

寸法５㎜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0.15㎜以下の粒径のものが全体の20～40％，0.075㎜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と呼ばれる反応性が認められ，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，微粒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。

ただし，前記のように多量の微粉末が多量に含まれるだけでなく，**写真２**に見られるように粒子の形状も歪でしかも多孔質であることから，JISで定められた細骨材の各種物性試験方法を適用し難い。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している。**表１**は，マニュアル（案）に基づく方法により，鹿児島県内の36カ所から採取したシラス細骨材の物性値を測定した結果である[3)]。また，**表４**に示すシラスの化学組成の一例からは，シリカ含有量が全体の約70％程度あり，鉱物としては火山ガラスが全体の約60％を示す，という化学的な特徴が確認できる[4)]。

表１ シラス細骨材の諸物性とそのばらつき[3)]

	一般的な川砂	シラス		
		最少～最大	平均	標準偏差
表乾密度（g/㎤）	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の一次シラス

表２ 各種シラス骨材の化学組成[4)]

シラスの産地	加世田	志布志	垂水	横川
SiO_2	70.01	69.86	69.18	67.65
TiO_2	0.23	0.29	0.26	0.24
Al_2O_3	14.35	14.43	14.19	14.19
Fe_2O_3	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_2O	3.81	3.67	3.84	3.96
K_2O	3.82	2.65	3.45	3.73
P_2O_5	0.03	0.04	0.04	0.03
Ig.loss	2,26	1.95	1.89	1.93
火山ガラス含有量	66.2	59.0	58.6	…

シラスコンクリートの性能

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となる。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し，**表3**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一つである。

シラス細骨材自体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，コンクリート中でポゾラン反応を起こすことから，同一水セメント比の場合，材齢28日における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％低いが，材齢１年以降では同程度か若干高くなることが期待できる（**図1**参照）。

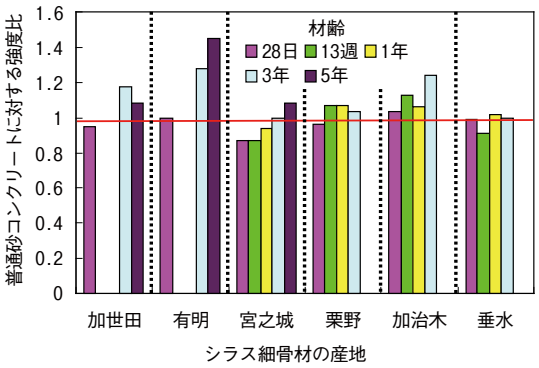


図1　シラスコンクリートと普通砂コンクリートの圧縮強度比の経時変化[4)]

また，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。その暴露５年までの途中経過を示した**図2**からも，シラスコンクリートが通常のコンクリートよりも塩分の浸透を抑制していることが認められる。また自然電位から判断されるコンクリート内部の鉄筋腐食状況も，通常のコンクリートでは既に腐食が開始している状況であっても健全な状態を保持していることが確認できる。

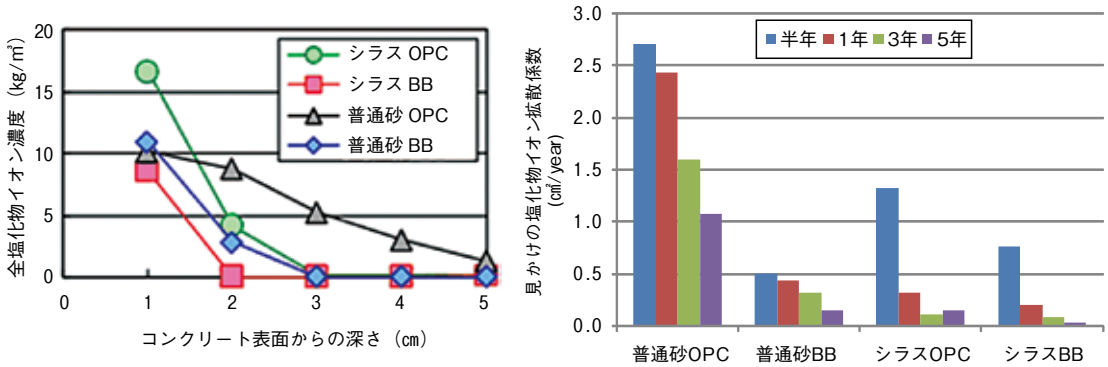
表3　シラスコンクリートの配合設計資料[1)]

骨材最大寸法（mm）	水セメント比（%）	空気量（%）	目標スランプ（cm）	細骨材率（%）	単位水量（kg/m³）
20	50	4.5	10.0	33	198
40				30	194

(1) この表は粗骨材を砕石とし，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/m³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	補正しない
	水セメント比50%未満	１％増減	３kg/m³増減
細骨材率１％の増減に対し		－	1.5kg/m³増減
実積率１％の増減に対し		補正しない	2.1kg/m³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/m³減



（a）コンクリート中の塩化物イオン濃度分布（暴露５年後）　（b）コンクリート塩化物イオン拡散係数の比較

図2　シラスコンクリートの塩化物イオン浸透状況（W/C＝50%，干満帯暴露）[5)]

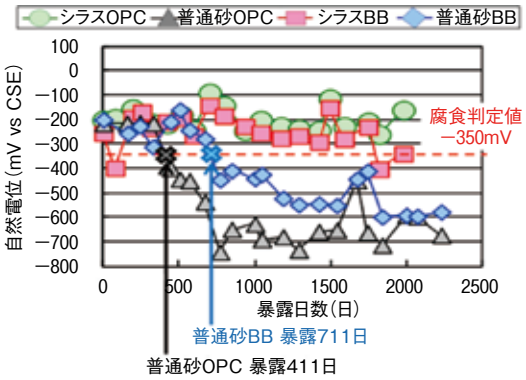


図 3　海洋暴露コンクリート中鉄筋の自然電位の経時変化（W/C=50%，干満帯暴露）[5)]

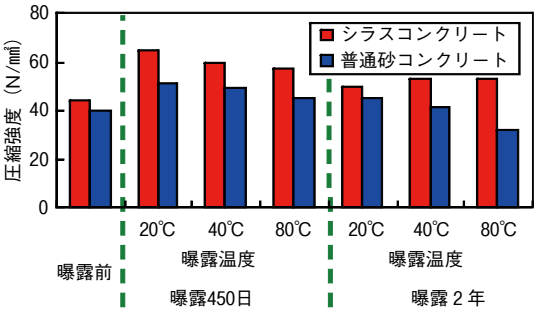


図 4　硫黄泉中に暴露されたコンクリートの圧縮強度[7)]

写真 3　$Na_2SO_4$10%水溶液中でのコンクリートの劣化状況[6)]

0%　25%　50%　75%　100%

細骨材におけるシラスの置換率

さらに，**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がわかる。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ら，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 4** 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，耐久性が高いことが確認できる。なお，シラスには60%近くの火山ガラスが含まれるため，アルカリ骨材反応が懸念される。実際に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」との結果が得られる。しかし，実際にコンクリートに混入した場合には膨張性を示さないことが確認されている。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。

【参考文献】

1) 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

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) 前田聡，武若耕司，山口明伸，渕田和樹：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

4) 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

5) 壽祐太朗，山口明伸，武若耕司，中島正志：長期モニタリングによる海洋コンクリート構造物の塩害耐久性評価，日本材料学会，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.11，22，2011.10

6) 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

7) 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