

2026年7月17日(金)

(一財)港湾空港総合技術センター 研究開発助成 成果報告会

火砕流堆積物を用いた海水練りコンクリートの 港湾構造物への適用に関する基礎的研究

助成番号：令和7年2月25日付 第15-5号

九州大学大学院

工学研究院 社会基盤部門

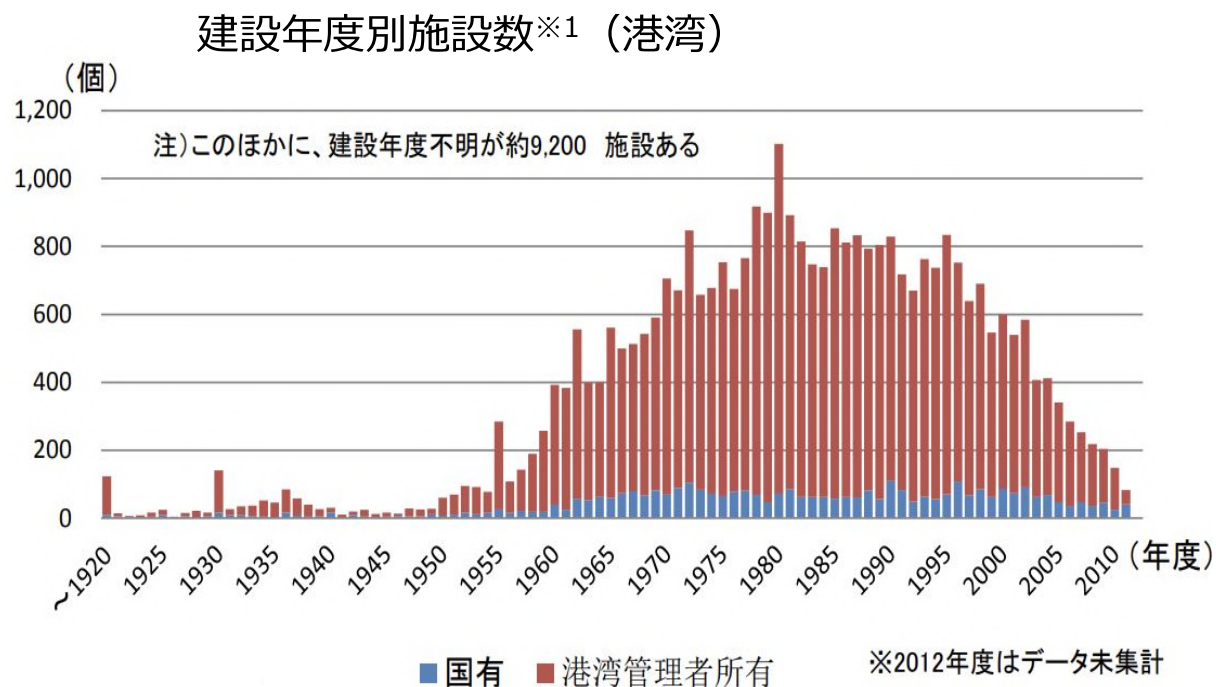
助教 福永 隆之



九州大学

1. 港湾構造物のストック数の増加

港湾構造物のストック数の増加



高度経済成長期以降に整備された港湾施設は、建設後50年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる。

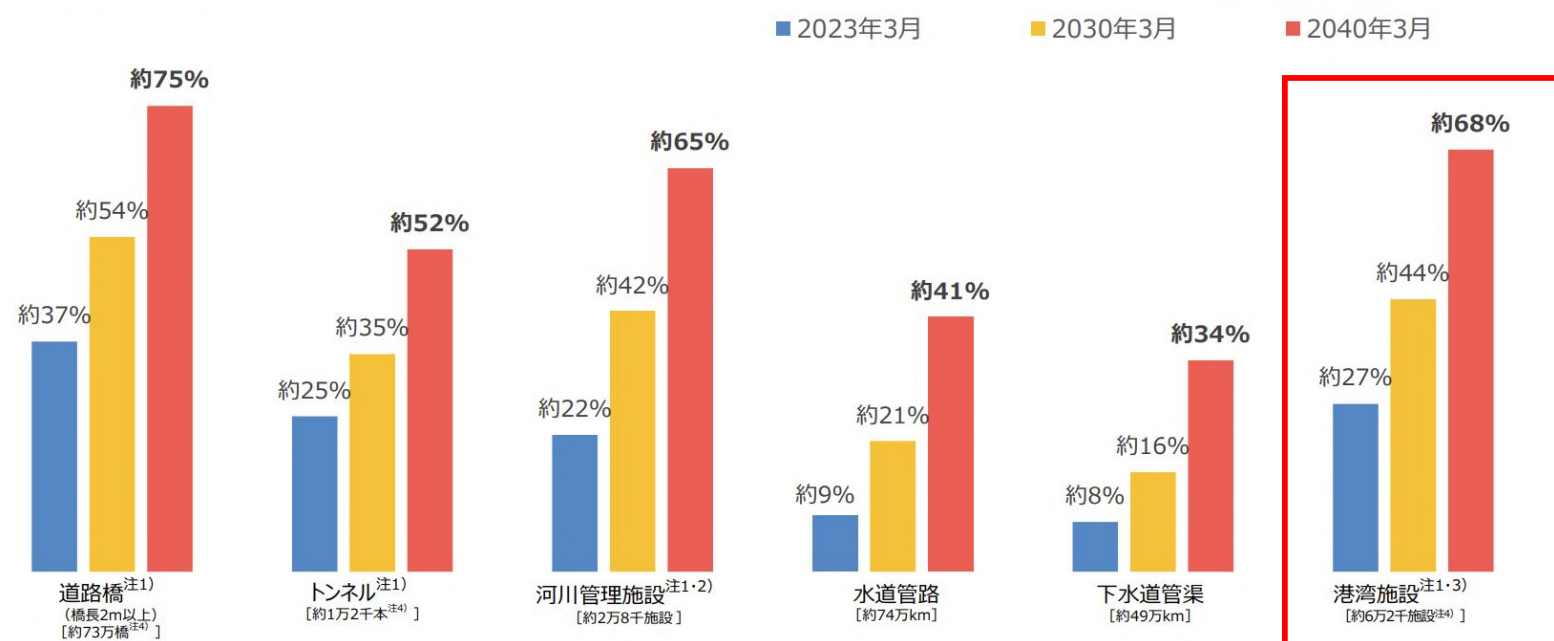
これらのコンクリート構造物に対して劣化診断し、補修・新設・廃止などの対応が必要である。

※1_国土交通省：社会資本の老朽化対策情報ポータルサイト インフラメンテナンス情報より

1. 港湾構造物のストック数の増加

港湾構造物のストック数の増加

建設後50年以上経過する社会資本の割合(2023年3月時点)※1



高度経済成長期以降に整備された港湾施設は、建設後50年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる。

これらのコンクリート構造物に対して劣化診断し、補修・新設・廃止などの対応が必要である。

※1_国土交通省：社会資本の老朽化対策情報ポータルサイト インフラメンテナンス情報より

1. 離島地域の維持管理に関する課題

全国の離島数…14,125島(R4年1月時点の電子国土基本図を用いて国土地理院が計数)

- ・九州・沖縄に存在する離島数…3,908島 (長崎1,479島(全国1位), 鹿児島1,256島(全国3位))
- ・有人離島でも九州・沖縄は多い (長崎51島(全国1位), 沖縄39島(全国2位), 鹿児島28島(全国4位)) ¹⁾

離島における問題

- ・離島において淡水の確保は生活するうえで重要
- ・鹿児島県には、サンゴが隆起してできた島が多数あり、特に淡水の確保が難しい。

離島や過疎化地域における問題

少子高齢化や財源的な理由により、コンクリートプラント自体の運営もできなくなっている。

インフラ維持のため、簡易プラントを設置しての維持工事が考えられ、海岸線に近い地域では、海水を使いこなす必要性が高いと考えられる。

1. 練混ぜ水に海水を用いた海水コンクリート

練混ぜ水に海水を用いた海水練りコンクリートの特徴¹⁾

- ・ 初期強度の向上
- ・ 鉄筋コンクリート中の鋼材の腐食が懸念される

鉄筋コンクリートの練混ぜ水に海水を利用するには、高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材を活用しないといけない

※日本コンクリート工学会：コンクリート分野における海水にの有効研究委員会報告書より

利用できる産業副産物の減少

CO₂排出量を減少するために、

- ・ 製鉄所では、高炉から電炉を用いた製鉄方法へ
- ・ 石炭由来の火力発電所の減少

海水練りコンクリートを活用するためには、高炉スラグ微粉末やフライアッシュ以外の代替材料が必要となる。

日本経済新聞

朝刊・夕刊 LIVE Myニュース

トップ 速報 オピニオン 経済 政治 ビジネス 金融 マーケット マネーのまなび テック 国際 スポーツ 社会

日鉄、30年までに国内に大型電炉 脱炭素へ生産見直し

ビジネス
2021年3月30日 18:41

📌 保存

📧 📧 📧 📧 📧 📧

日本製鉄は30日、2030年までに鉄スクラップを原料とする大型の電炉を国内につくる方針を明らかにした。鉄鉱石と石炭由来のコークスを使う高炉に比べ、電炉は製造時の二酸化炭素（CO₂）排出量が4分の1に減る。コークスの代わりに水素を使う生産技術も研究し、生産体制を脱炭素時代にあわせて見直す。

※<https://www.nikkei.com/article/DGXZQODZ301BE0Q1A330C2000000/>

1. 火山堆積物を利用したコンクリート

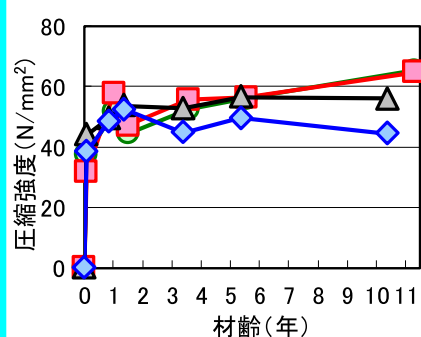
九州地方には、17の活火山が存在し、様々な年代でそれぞれ噴火を起こしている。活火山によっては、定期的に火砕流堆積物が発生しており、これらの堆積物を上手に活用できれば、資源不足に対応できる可能性が高い。



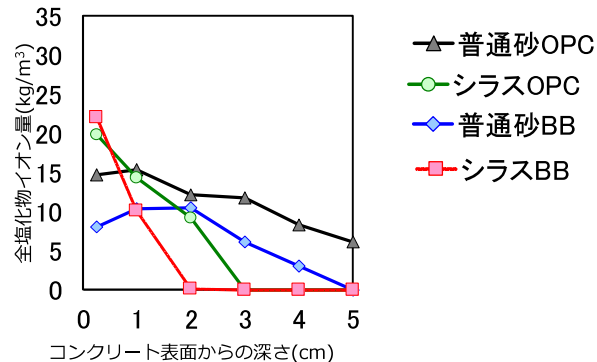
火砕流堆積物の活用例

南九州に堆積するシラスを細骨材として利用したシラスコンクリートとして実用化

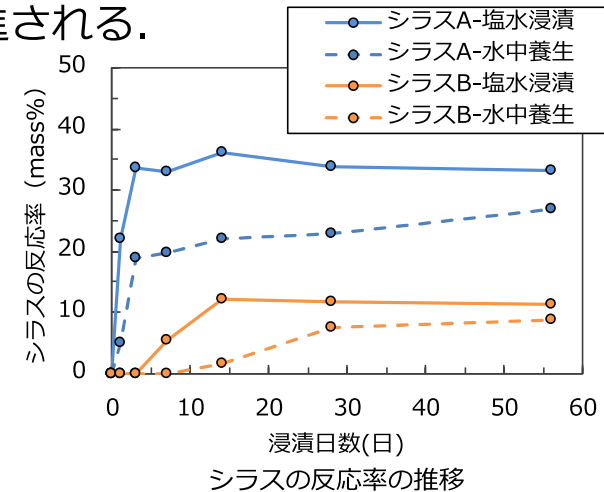
- ・ 初期強度は低いですが、強度は長期的に増加する。
- ・ 海洋環境下で優れた遮塩性能を有する。
- ・ シラスを混和した試験体を塩水に浸漬するとシラスの反応率が促進される。



海洋環境に暴露したコンクリートの圧縮強度¹⁾



海洋暴露10年における塩化物イオンの浸透性状 (W/C=60%)¹⁾



1: 里山永光, 武若耕司ら: 干満帯に長期暴露したシラスコンクリートの耐久性評価, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.775-780, 2017

2. 目的

南九州に堆積するシラスに着目

- ・ シラスコンクリートは、塩害抵抗性に優れる
 - ・ シラスは、海水環境下で反応が促進する
- 
- ・ 海水練りコンクリートとシラスは親和性が高いと考えられる.
 - ・ 実際の海水練りシラスコンクリートに関する研究は報告されていない.

海水と火山堆積物を組合せた建設材料の物性や反応性を明らかにして、港湾構造物へ活用できるか検討する.

2. 検討項目

0. 研究に使用するシラスについて（選定）
1. 火山堆性積物を**細骨材**として用いた海水練りコンクリートの物性に関する検討
2. 鉄筋を埋設した海水練りシラスコンクリートの鉄筋の腐食性状に関する検討

2. 検討項目

0. 研究に使用するシラスについて（選定）

1. 火山堆性積物を細骨材として用いた海水練りコンクリートの物性に関する検討
2. 鉄筋を埋設した海水練りシラスコンクリートの鉄筋の腐食性状に関する検討

2. シラスについて

南九州には複数のカルデラがあり、様々な年代で、それぞれ噴火を起こしていることが明らかになっている。

カルデラから火砕流が発生し、シラスが形成

火砕流堆積物のシラス

南九州に存在するシラスの堆積量・・・750億 m^3

地域の特色であるシラスを産業に利用することが望まれている

シラスの特徴

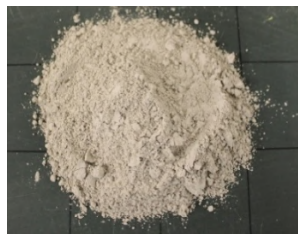
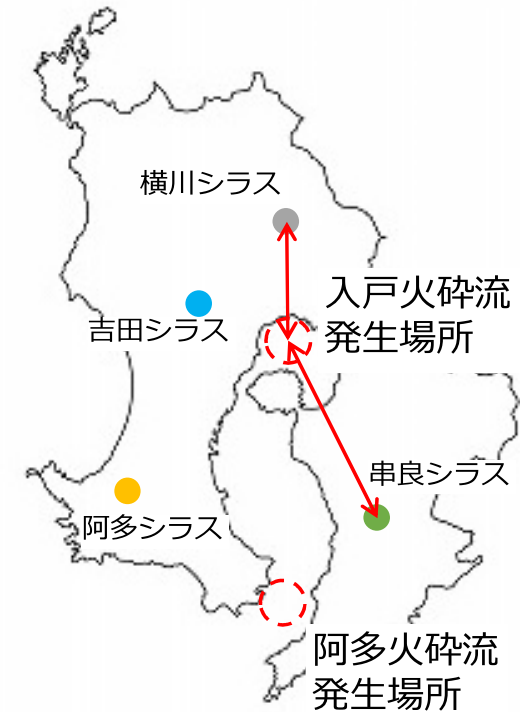
- ・主成分は、 SiO_2 （約70%）・ Al_2O_3 （約15%）であり、ポゾラン活性を有する
- ・吸水率が高い・密度が低い・細粒分が多い



2. シラスについて

火砕流の発生年代，火砕流の発生場所からの距離，堆積環境等によって，火山堆積物の物性が異なる。

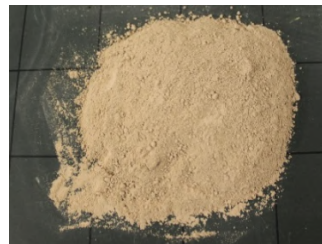
シラスの名称	堆積時期 (火砕流の種類)	堆積地 (推定)	絶乾密度 (g/cm ³)
串良シラス	3万年前 入戸火砕流	陸地	2.49
横川シラス		陸地	2.48
阿多シラス	10万年前 阿多火砕流	陸地	2.44
吉田シラス	50万年前 (国分層群由来)	湖や川	2.32



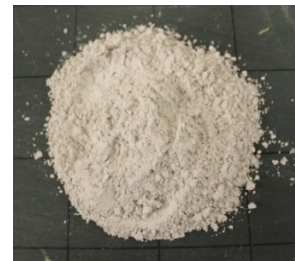
串良シラス



横川シラス



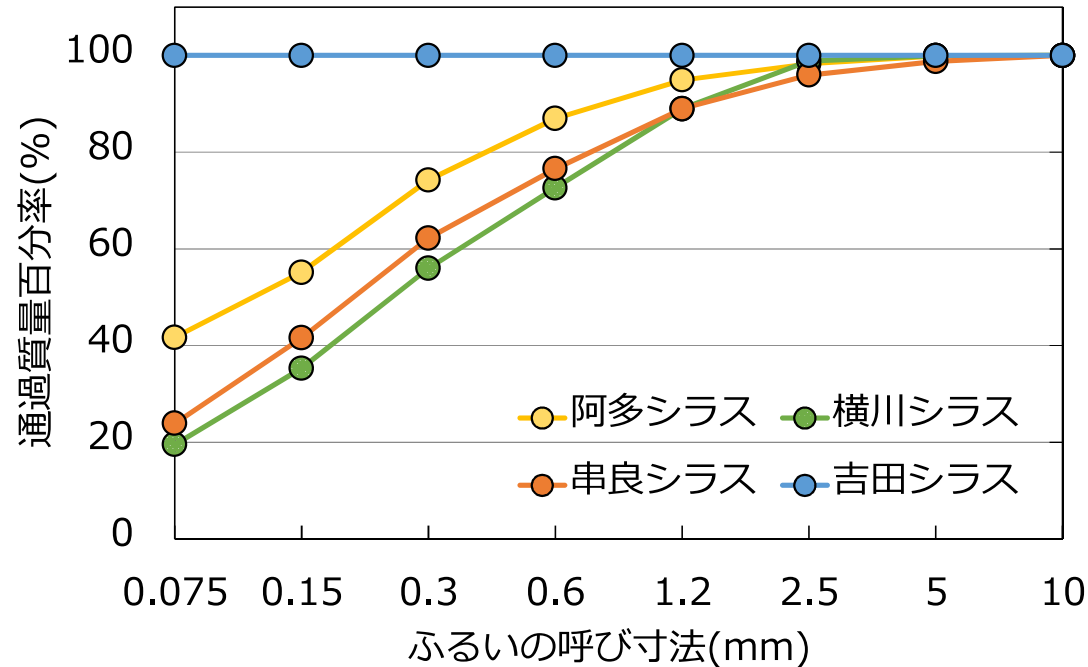
阿多シラス



吉田シラス

2. シラスの粒度分布

各シラスのふるい分け試験による粒度分布



- ・ 吉田シラスは、全粒径が75 μ m以下である。
- ・ 阿多シラスは、150 μ m以下が50%以上含まれる。
- ・ 全シラスにおいて、150 μ m以下の微粒分を多く含む

2. シラスの粒度分布

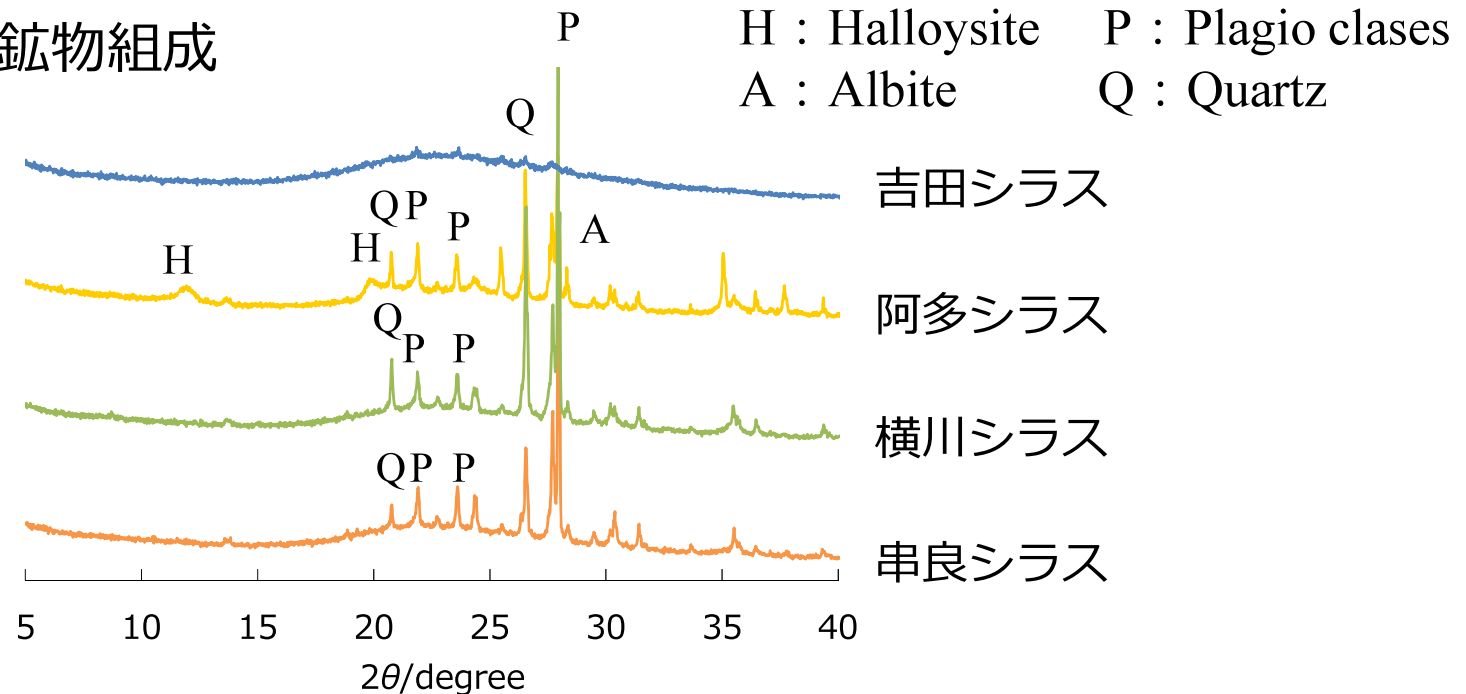
XRFによる化学組成

シラスの名称	化学組成 (mass%)					非結晶質の割合 (mass%)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	
串良シラス	70.2	14.2	4.5	4.4	4.2	65.6
横川シラス	64.2	11.1	9.9	3.7	6.5	54.8
阿多シラス	64.9	20.2	3.5	5.9	3.2	58.5
吉田シラス	72.9	12.7	3.2	3.6	5.2	94.6

- すべてのシラスの主成分はSiO₂である
- 入戸火砕流由来の串良シラスと横川シラスは化学組成に大きな差は見られない
- 阿多シラスは他のシラスと比較してAl₂O₃多く含んでいる．他のシラスよりも堆積時期が早かったためだと考えられる

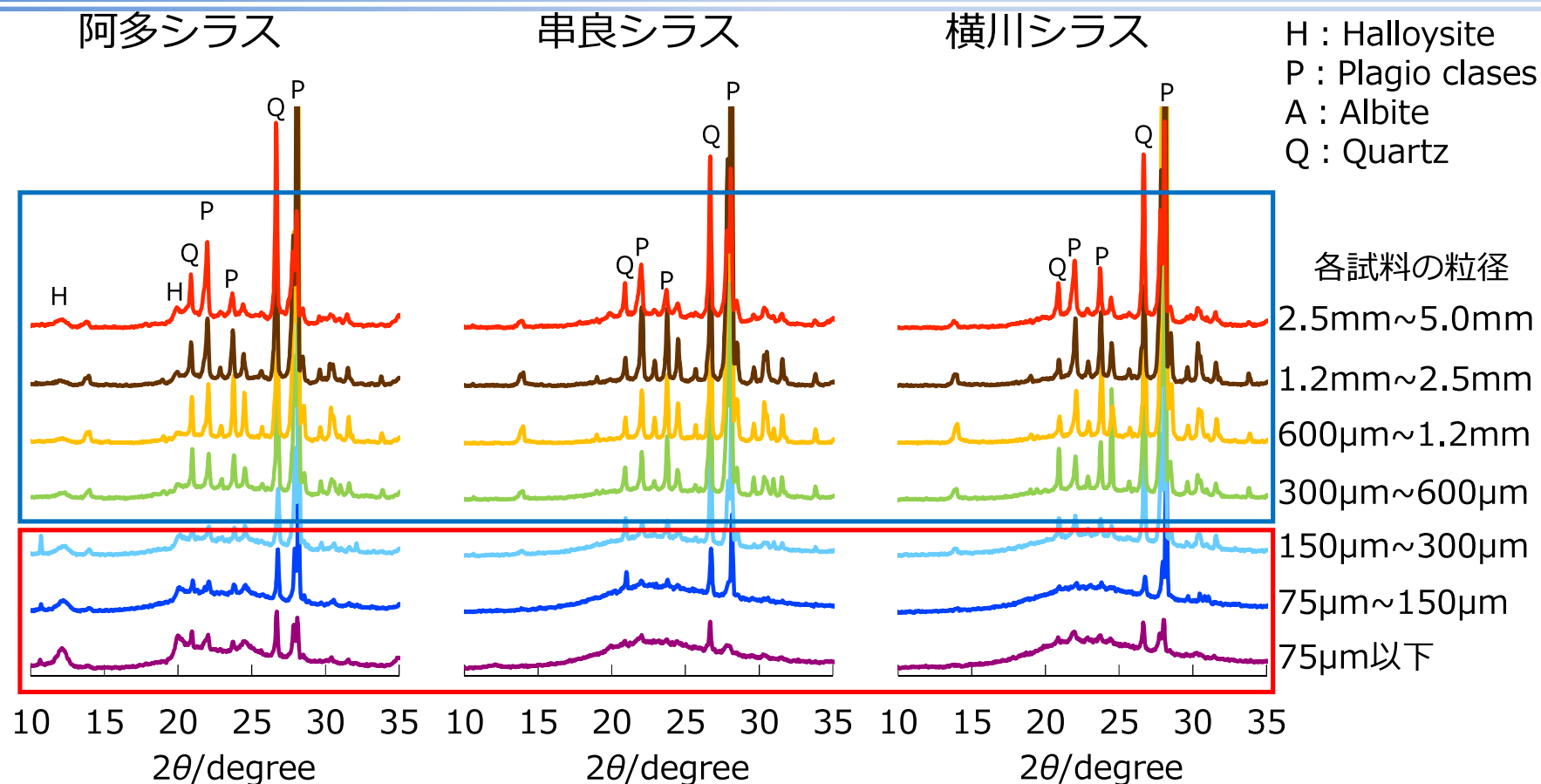
2. 各シラスの鉱物組成

XRDによる鉱物組成



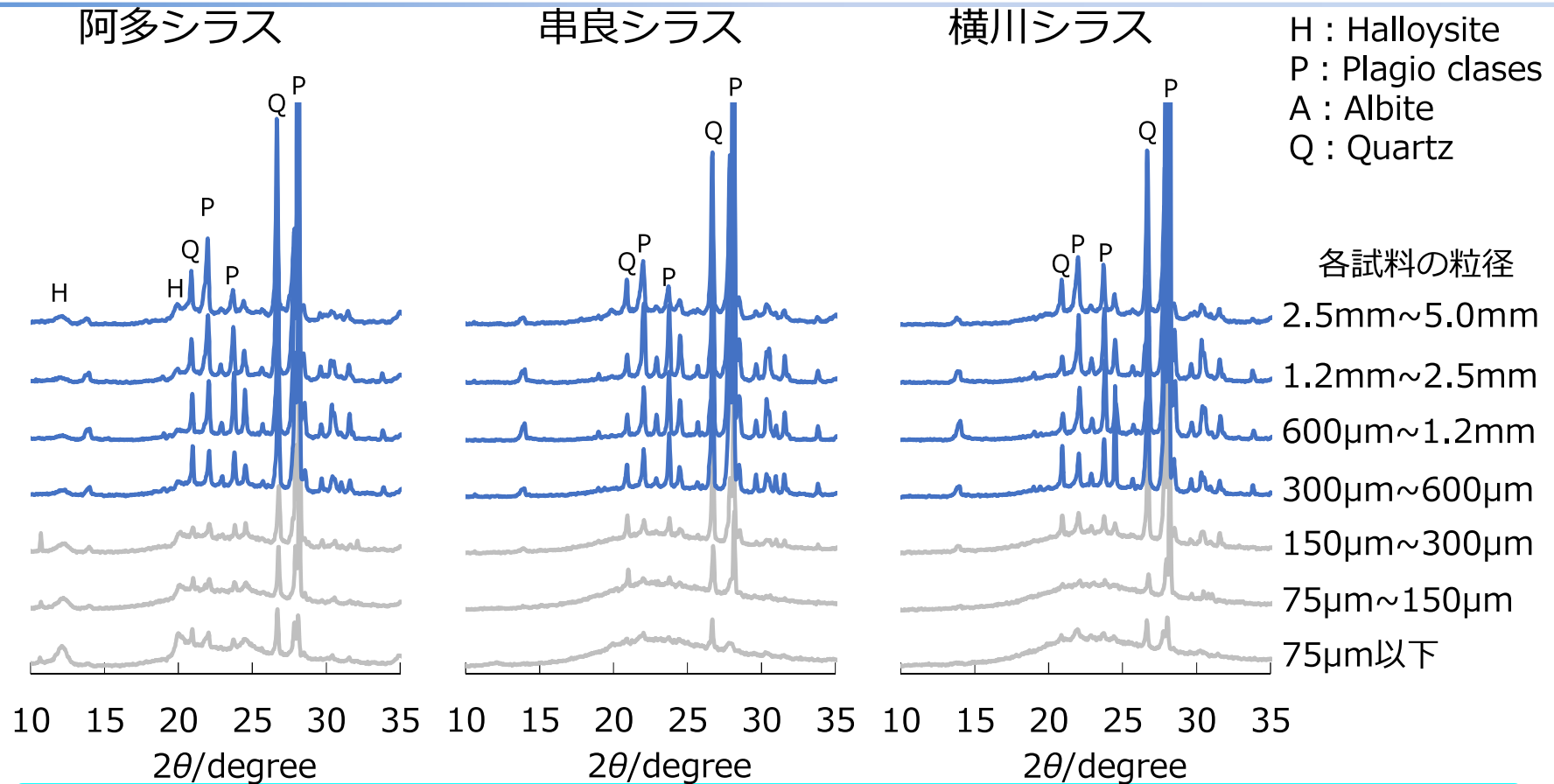
- 吉田シラスは非結晶質で構成されている。
- 吉田シラス以外のシラスは、石英、斜長石類およびガラス質を含んでいる
- 阿多シラスは粘土鉱物であるハロイサイトを含んでいる。これは、斜長石類が風化し変質したことにより、生成されたと考えられる
- 入戸火砕流由来のシラスは、ピークの高さに差があるものの、構成している鉱物は同じである

2. 各シラスの粒径ごとの鉱物組成



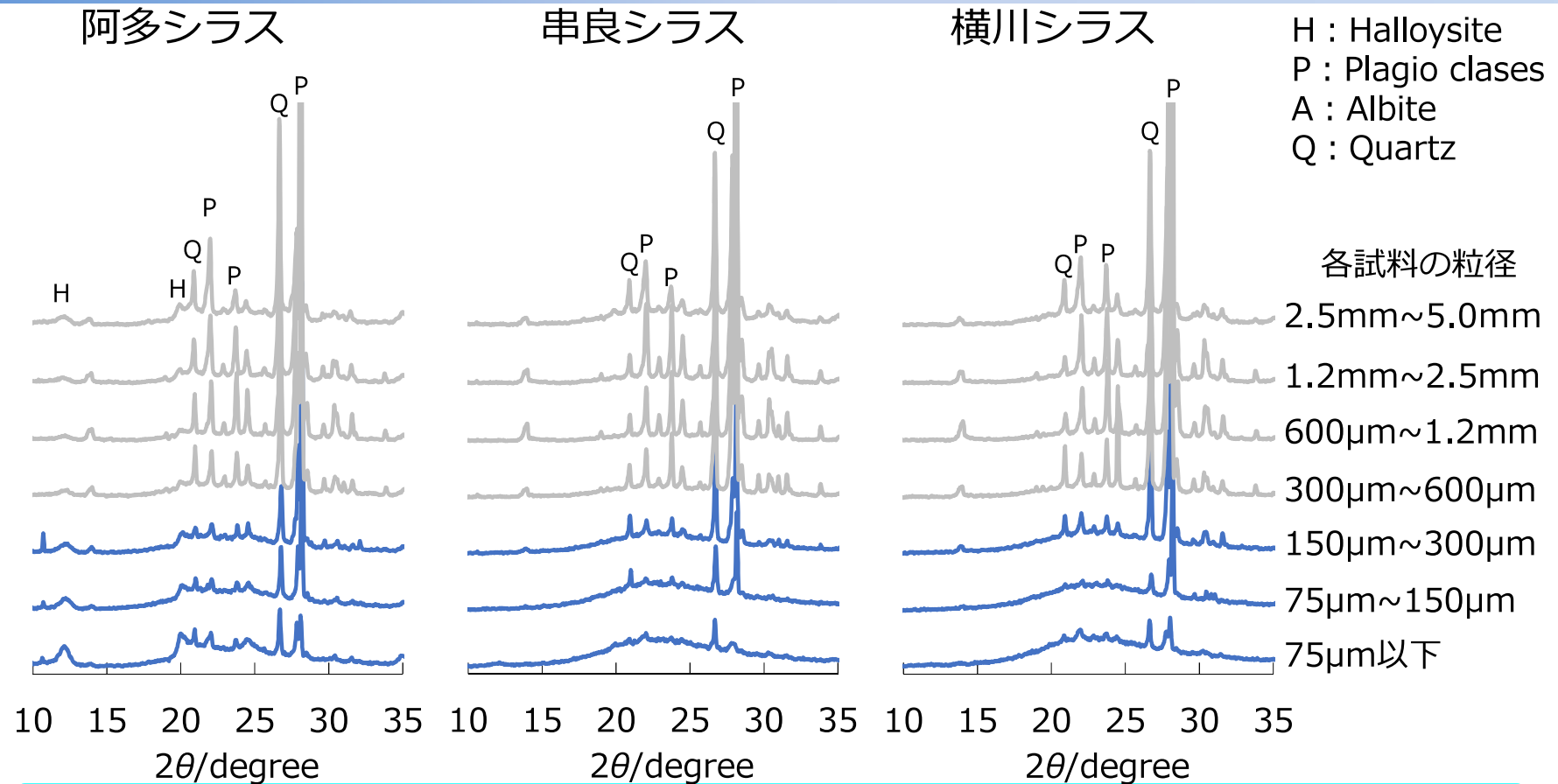
各シラスともシラスの粒径が300μmを境に2パターンに分けられる

2. 各シラスの粒径ごとの鉱物組成



シラスの粒径が大きいほど、石英や斜長石類の結晶質などのピークが多く確認できる
主に細骨材の役割

2. 各シラスの粒径ごとの鉱物組成



- ・ 串良シラスおよび横川シラスは、粒径が小さくなると斜長石類のピークが小さくなり、非結晶質特有のハローが確認できる。

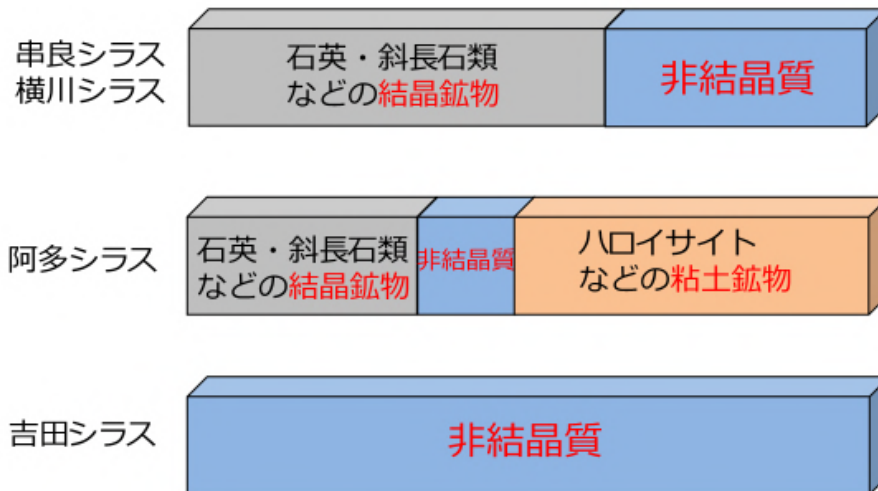
→主に混和材の役割

2. 各シラスの粒径ごとの鉱物組成

シラスには、石英・斜長石類などの結晶鉱物，ガラス質のような非結晶質，斜長石類が風化したハロイサイトなどの粘土鉱物が含まれる。

粒径によって大まかに分類できる。

- ・ 結晶鉱物は，粒径が $300\mu\text{m}$ 以上であり，骨材として機能する。
- ・ 非晶質は，粒径が $300\mu\text{m}$ 以下であり，混和材として機能する。



本研究では，

- ・ 混和材として活用できる吉田シラス
 - ・ 細骨材として利用できる横川シラス
- の2種類のシラスを用いて研究を行う。

3. 検討項目

0. 研究に使用するシラスについて（選定）
1. 火山堆性積物を**細骨材**として用いた海水練りコンクリートの物性に関する検討
2. 鉄筋を埋設した海水練りシラスコンクリートの鉄筋の腐食性状に関する検討

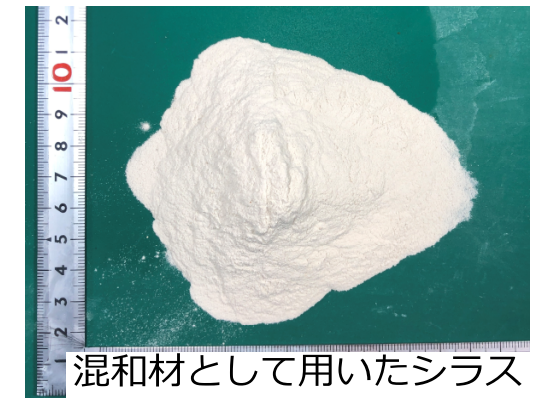
3. 使用材料・配合

材料	種別	密度 (g/cm ³)	備考
結合材	普通セメント	3.16	—
細骨材	シラス	2.16	横川産, 吸水率5.81%, 微粒分 20.1%
練混ぜ水	水道水		上水道水
	海水		福岡県糸島市沿岸で採取



海水の成分(ppm)

採水日	Cl ⁻	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺
2021.6	17203	12047	2504	1278	296	303



3. 配合・測定項目

モルタル供試体の配合

供試体種類 (練混ぜ水－結合材種類)	W/C	S/C	単位量(kg/m ³)			
			W		C	S
			淡水	海水	セメント	シラス
海水－OPC	0.5	1.24	359		726	902
淡水－OPC				363	718	893

※砂セメント比は一般的なシラスコンクリートの配合から粗骨材部を取り除いた配合

※高性能AE減水剤の添加量は、モルタルフローが180mmとなるように添加

※養生方法

材齢1日から28日までは封かん養生を実施。材齢28日以降は、封かん養生、気中養生、海水養生を実施

試験項目

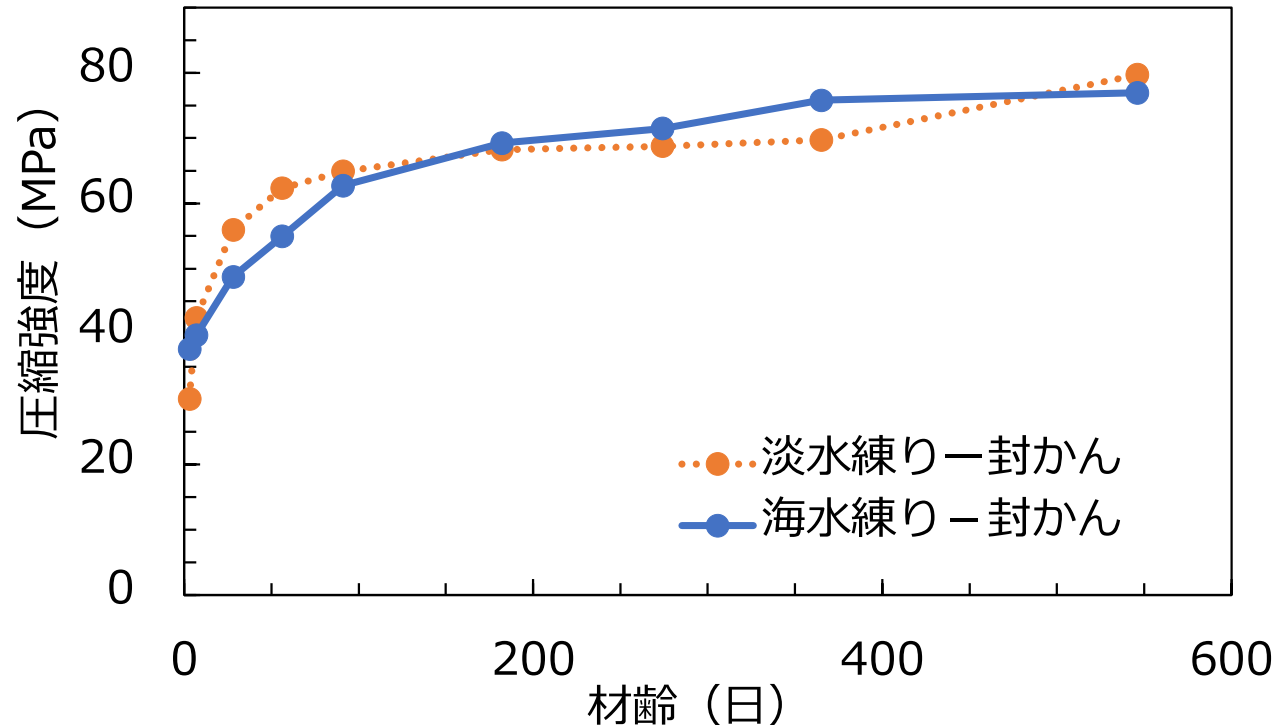
○ モルタル供試体

- ・ 圧縮強度試験
- ・ 空隙量分布

○ ペースト供試体

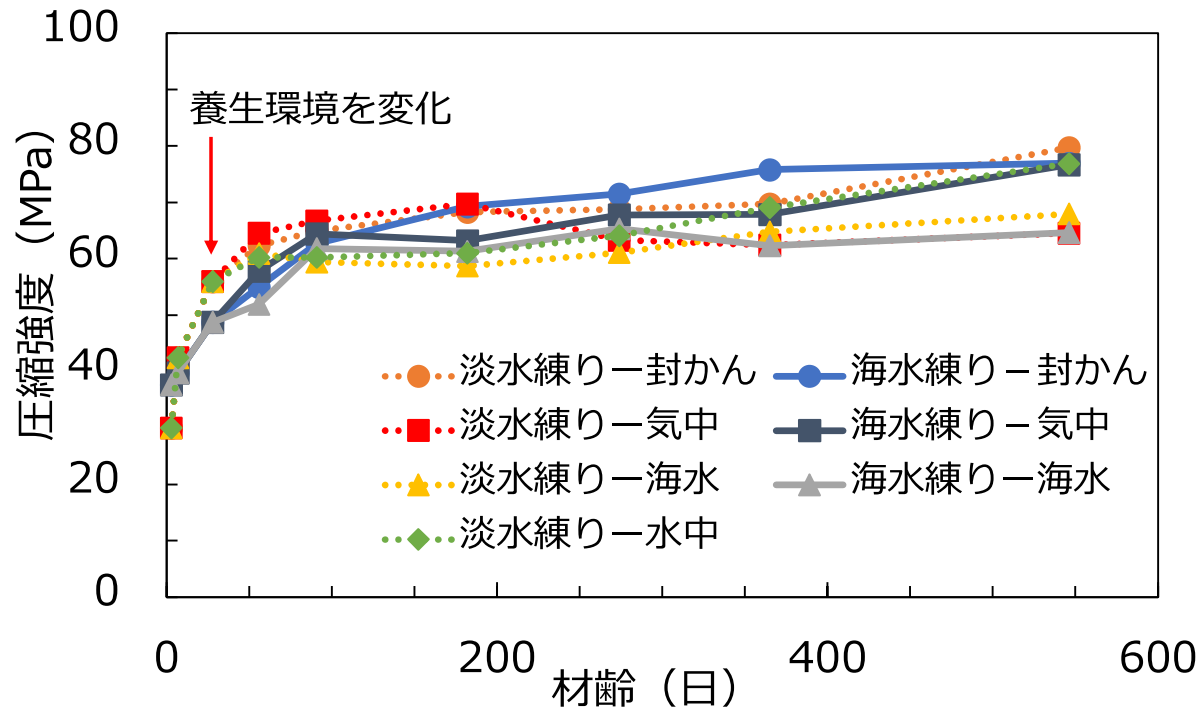
- ・ 水酸化カルシウム量、シラスの反応率

3. 圧縮強度試験_練混ぜ水の違い



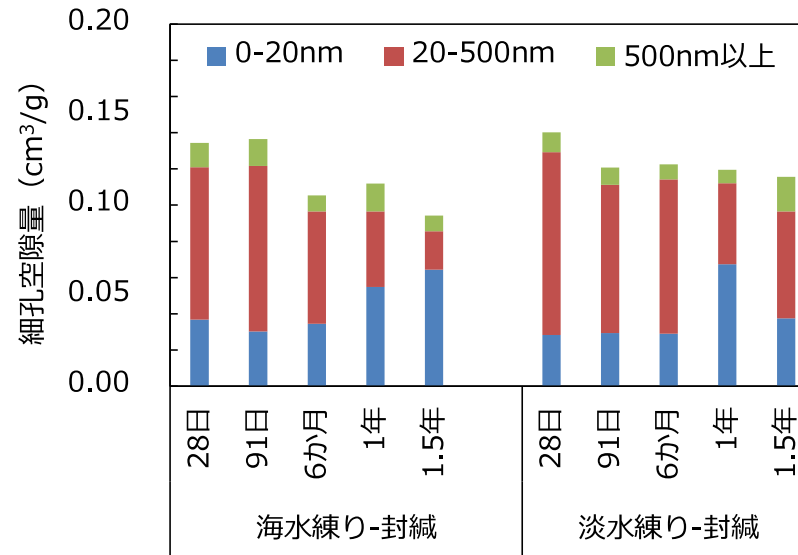
- ・ 材齢7日までは、海水練りの方が強度が高い。
- ・ 海水練りは7日以降の圧縮強度の伸びは、小さいが継続的に強度が増加している。

3. 圧縮強度試験



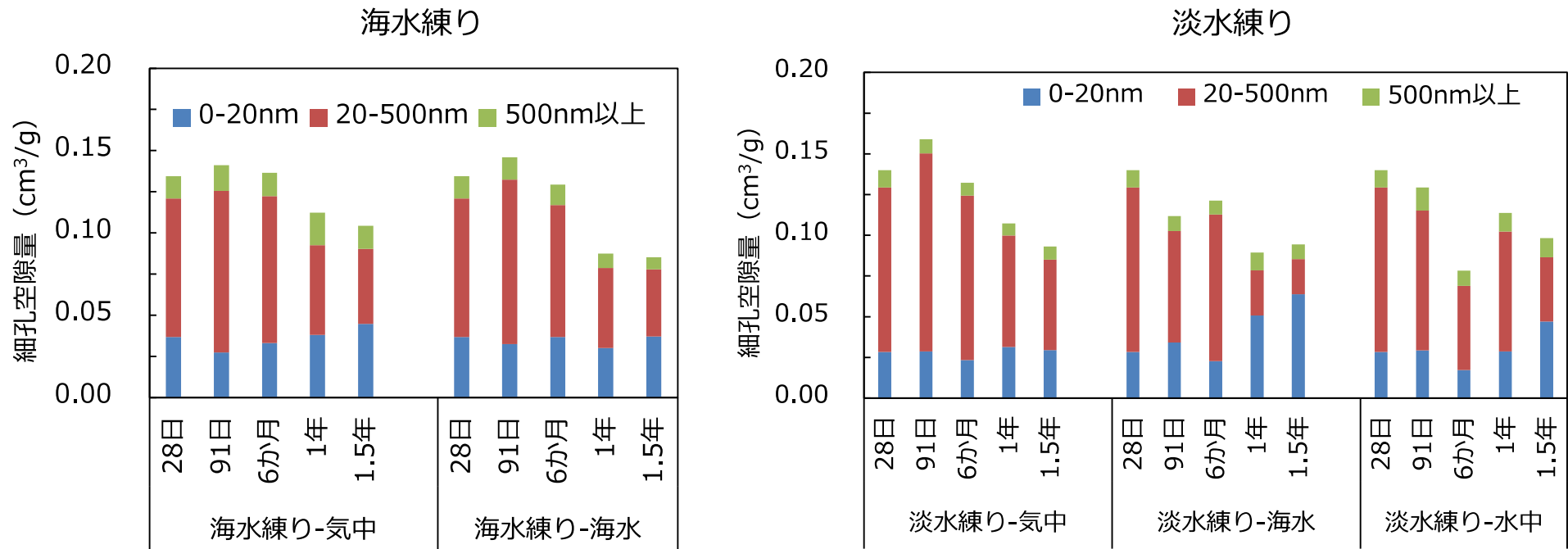
- ・ 海水養生では強度が低下する.
- ・ 封かん養生を実施したモルタルの圧縮強度は, 向上し続けている.
- ・ 海水練りの圧縮強度は淡水練りと大きな差はない.

3. 細孔径分布_練混ぜ水の違い



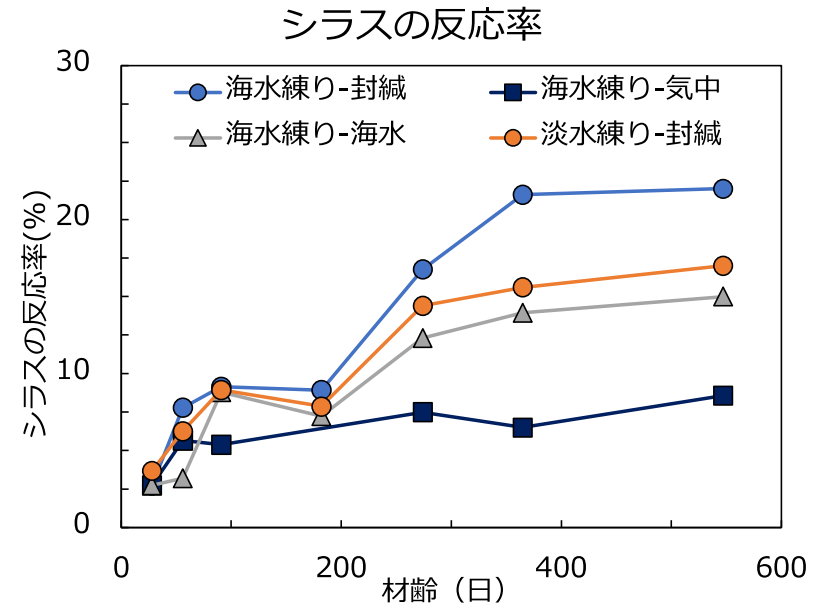
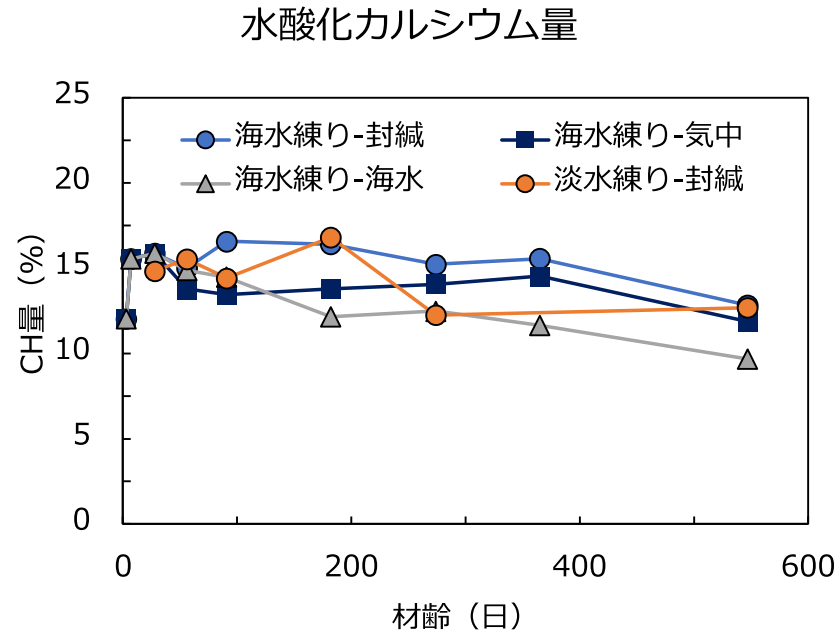
- 全体的に、粗大な空隙が減少し、緻密な空隙が増加している。
- 海水練りでは、材齢91日以降、細孔径20nm以下の空隙が増加し、細孔径20~500nmの空隙が減少した。

3. 細孔径分布_養生条件の違い



- ・ 海水練り・淡水練りともに、粗大な空隙が減少し、緻密な空隙が増加している。
- ・ 海水に養生するより気中に養生したほうが空隙量は増加傾向である。

3. 細孔径分布_養生条件の違い



- CH含有量は、材齢28日までに増加する。その後、材齢6か月まで増加傾向にあり、以降停滞した。
- シラスを混和した場合、材齢28日以降徐々にCH含有量が低下する傾向がみられた。シラスの反応率は材齢とともに増加しており、ポゾラン反応により、CHが消費されたと考えられる。
また、海水養生の材齢28日以降のCH含有量の減少は顕著であり、海水に Ca^{2+} が溶脱したと考えられる。
- 気中養生での反応率は、封緘、海水養生に対して低く、乾燥しやすい環境かつ炭酸化によるCHの消費により、十分に反応が進行しなかった可能性がある。

3. 検討項目

- 0. 研究に使用するシラスについて（選定）
- 1. 火山堆性積物を細骨材として用いた海水練りコンクリートの物性に関する検討
- 2. 鉄筋を埋設した海水練りシラスコンクリートの鉄筋の腐食性状に関する検討

3. 配合・測定項目

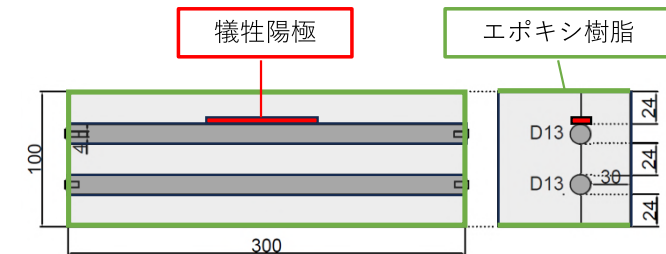
コンクリートの配合

供試体種類 (練混ぜ水－結合材種類)	W/C	S/C	単位量(kg/m ³)				
			W		C	S	G
			淡水	海水	セメント	シラス	石灰石碎石
海水－OPC	0.5	1.24	198		396	482	1115
淡水－OPC				198	396	478	1104

○高性能AE減水剤，AE剤の添加量は，スランプ
12±2.5cm，空気量 4.5±1.5%を満たす量とした．

○養生方法

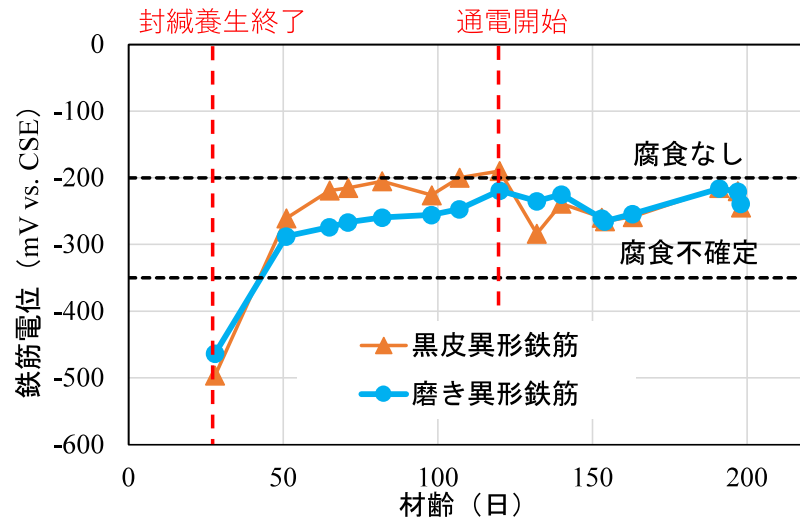
打設後28日間練混ぜ水と同種類の水で湿布養生，材齢28
日以降，室内で気中養生



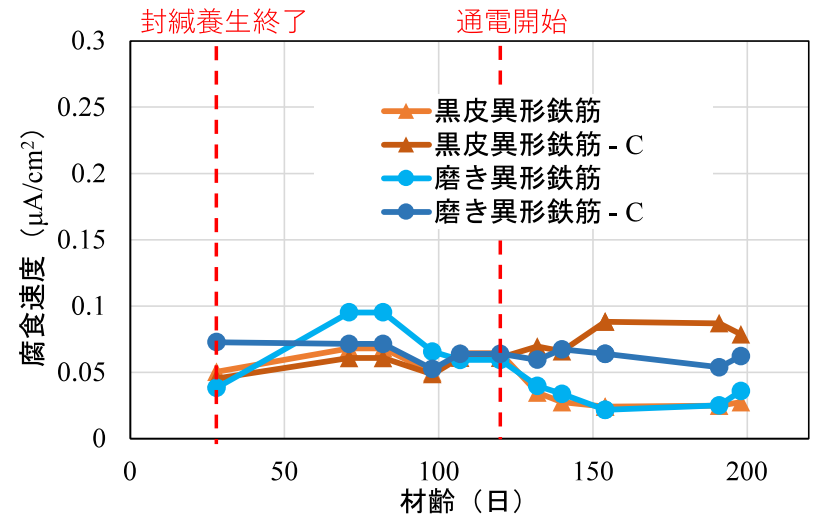
- ・ 自然電位の測定
- ・ ターフェル直線外挿法による腐食速度

3. 試験体の鉄筋電位・腐食速度

防食供試体の鉄筋電位の経時変化



腐食速度の経時変化



※無防食は末尾に「-C」

- ・ コンクリートの水和反応の進行に伴い、鉄筋表面の不動態化が進行し、電位は安定した。
- ・ 防食供試体は、通電開始後、鉄筋の種類によらず、電位は緩やかに貴側に移行し、腐食速度が低下した。腐食速度は $0.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 未満であり、腐食なしの判定である。
 - 乾燥しやすい環境においても犠牲陽極方式電気防食は有効であると考えられる。

4. まとめ

まとめ

- ・海水練りシラスコンクリートは、材齢1年経過後もすべての養生条件で強度が増加している。ただし、養生条件により圧縮強度に多少の差は出る。
- ・シラスのポゾラン反応は、海水練りによって促進されている。一方気中養生では、試験体内部の水分がなくなることにより、反応の進行が抑制される。
- ・腐食が進行する乾燥しやすい気中養生においても腐食速度ともに腐食無しの判定が得られた。

今後の課題

- ・長期材齢における各種データ（強度、細孔径分布、反応率、鋼材の腐食性状等）の取得
- ・他の火砕流堆積物での検討