

(一財) 港湾空港総合技術センター
令和6年度 研究開発助成 成果報告書

助成番号 : 令和 6 年 2 月 21 日付 第 18- 4 号

研究開発項目 : (8) 港湾, 海岸, 空港及び海洋施設の建設・維持管理
に関するもの

火山堆積物を用いた海水練りコンクリートの
港湾構造物への適応に関する基礎的研究

令和 7 年 4 月 30 日

九州大学

助成研究者氏名 福永隆之

目次

1. はじめに	1
2. 既往の研究	2
2.1 はじめに	2
2.2 シラスについて	2
2.3 シラス細骨材について	2
2.4 シラスコンクリートについて	3
2.4.1 シラスコンクリートの圧縮強度について	3
2.4.2 シラスコンクリートの遮塩性能について	4
2.5 海水の有効利用に関する既往の研究	6
2.5.1 建設材料における海水利用の概要 ⁷⁾	6
2.5.2 海水練り OPC の強度特性	6
2.5.3 フライアッシュに海水を用いた場合の反応性および物性に及ぼす影響	7
2.6 まとめ	9
3. ペースト供試体での検討	10
3.1 はじめに	10
3.2 実験概要	10
3.2.1 使用材料	10
3.2.2 供試体概要	11
3.2.3 測定項目	12
3.3 実験結果および考察	15
(1) シラスの反応性	15
(2) 試験体の内部構造について	16
3.4 3章のまとめ	18
4. モルタル供試体での検討	19
4.1 はじめに	19
4.2 実験概要	19
4.2.1 使用材料	19
4.2.2 供試体作製方法	19
4.2.3 供試体概要	20
4.2.4 圧縮強度試験	21
4.3 実験結果と考察	22
4.4 現時点での4章のまとめ	24
5. まとめ	25
5.1 現時点でのまとめ	25
5.2 今後の課題	25

1. はじめに

島国である日本は 993 の港湾を有しており、その多くはコンクリート構造物である。港湾は、国民生活と産業活動を支える重要な物流生産基盤である。そのため、これらのコンクリート構造物の維持管理は重要である。

近年、離島や過疎化地域において、少子高齢化や財政的な理由により、コンクリートプラント自体の運営が確保できなくなっている現状である。その結果、その地域のインフラ維持のためには都度、簡易プラント等を設置しての維持工事も考えられ、その場合に海岸線に近い地域では海水も使いこなす必要性が考えられる。

また、日本は離島を多く有しており、その中でも九州地方は長崎県や鹿児島県など多くの離島を有する地域である。離島における淡水の確保は生活するうえで重要である。特に、九州地方における離島は、サンゴ礁が隆起してできた島が多数あり、淡水の確保が難しい。そのため、地域によっては、人の健康や生活の必要なところのみ水利用し、それ以外の産業では、海水を利用せざるを得ない状況となってきた。

前述したようにコンクリートの練混ぜ水に海水を用いる技術の開発は、重要である。しかし、海水を練混ぜ水に使用した研究は、強度などの物理的性質を報告する研究が主であり、海水を用いた際のセメントの反応性や地域の素材を用いた検討はなされていない。加えて、海水練りの研究では、高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの副産物を用いた研究が主である。しかし、CO₂ 排出削減の観点から、高炉の閉鎖や石炭火力発電所の減少により、これら混和材の生産量が低下し、将来的に混和材の確保が難しくなる可能性がある。そのため、これらの代替材料が望まれている。

代替材料の一つの答えとして火山堆積物の活用が挙げられる。日本は、111 もの活火山を有しており、その年代で噴火を起こしている。これらの材料は、フライアッシュと同との性質を有しているが、あまり活用されていないのが現状である。そのため、これらの材料を活用する技術が今後必要になってくる

そこで本研究の目的は、港湾構造物を対象とした、火山堆積物と海水を組合せたコンクリートの活用方法の提案である。具体的には、火山堆積物をもちいた海水練りコンクリートを作製し、(1)火砕流堆積物を用いた海水練りの特性把握、(2)海水練りコンクリートの耐久性の定量評価および最終目標の(3)火砕流堆積物と海水を用いた環境低負荷型建設材料の提案を実施する。

2. 既往の研究

2.1 はじめに

本章では、シラスの一般的な性質ならびにシラスおよび海水の建設材料への利用に関する既往の研究や報告について調査および整理を行い、シラスおよび海水を建設材料に使用することになった経緯や建設材料への活用方法および課題について提示する。

2.2 シラスについて

南九州には多数のカルデラが存在する。カルデラの存在は、同じような大規模噴火と火砕流の発生が起こってきたことを示している。南九州でシラス台地をつくる火山性堆積物の大部分は、約 3 万年前に鹿児島県最奥部の始良カルデラで起きた大きな噴火で噴出したものであり、学術的には入戸火砕流と呼ばれている¹⁾。この入戸火砕流は、鹿児島県広域に分布しており、現在の鹿児島県の大地を形成している。

堆積したシラスの山の代表的な写真を図 2.1 に示す。図より、シラスの山は全体的に白色である。シラスの由来は、鹿児島県で軽石を含む白色の火山灰砂層の堆積物に対して用いられた「白砂」または「白洲」である。シラスは、火山ガラスを主とする熔融物質の破片および粒子が弱く溶結したものである²⁾。シラスの組成の大部分は火山ガラスで約 80%含まれており、他には石英や斜長石が含まれている²⁾。また、シラスは空隙の多い大小の軽石を多量に含んでいる。一般的な砂には火山ガラスや軽石は含まれていないため、シラスは砂とは明らかに異なる物質である。



図 0.1 シラスの山

2.3 シラス細骨材について

粒状のシラスを細骨材として使用するコンクリート（以下、シラスコンクリートと呼ぶ）では、5mm のふるいを通過するシラス粒子は、0.15mm 以下の細粒分も含めてすべて用いることにしており、これをシラス細骨材と定義³⁾している。図 2.2 にシラスの粒度分布を示す。図より、シラス中には 0.15mm 以下の粒径のものが全体の 40%に達するものもあり、0.075mm 以下の微粒分も 15~25%含まれている。このようにシラスには微粒分が多く含ま

れている。表 2.1 に一般的なシラスの特性を示す⁴⁾。表より、シラスの表乾密度は川砂と比べて2割ほど小さく、吸水率は産地によってバラツキが大きく、川砂と比較して、概ね2～4倍大きいことがわかる。

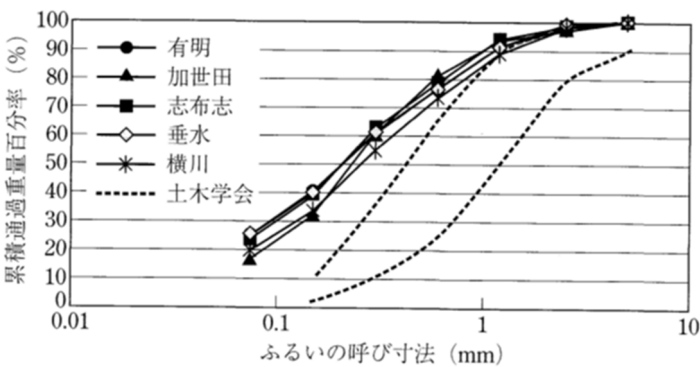


図 0.2 シラスの粒度分布

表 0.1 シラスの物性

	一般的な 川砂	シラス		
		最少～最大	平均	標準偏差
表乾密度 (g/cm ³)	2.5～2.7	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

2.4 シラスコンクリートについて

2.4.1 シラスコンクリートの圧縮強度について

シラス細骨材は、川砂と比較して軽量かつ脆弱な材料であるが、一方、コンクリート中でシラス中の微粒分がポゾラン反応する。図 2.3 に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を示す⁵⁾。図より、圧縮強度は同一水セメント比である場合、初期の材齢では普通砂コンクリートと比較して0 から 15%程度低い。しかし、材齢1年では同程度で、3年以降ではシラスコンクリートの圧縮強度の方が大きいという結果が報告されている⁵⁾。

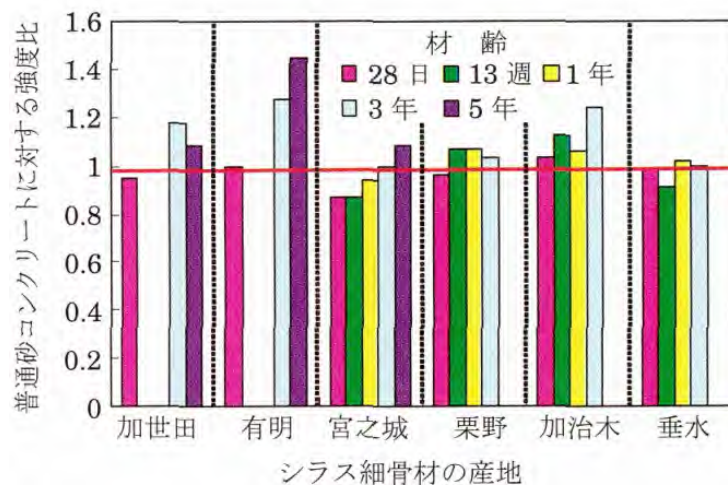


図 0.3 シラスコンクリートと普通砂コンクリートの圧縮強度比の経時変化⁵⁾

2.4.2 シラスコンクリートの遮塩性能について

里山らは、シラスコンクリートを用いた供試体を作製し、海洋環境下での長期暴露を実施し、暴露開始10年目の経過を報告⁶⁾している。図 2.4 に示すように、シラスコンクリートは高炉セメントを使用したコンクリートよりも高い遮塩性を有しており、シラス OPC はいずれの W/C においても深さ 3cm より深いところでは塩化物イオンの浸透はほとんど見られない。また、シラスコンクリートは表面付近の塩分濃度が普通砂コンクリートよりも高いが、これはシラスがポゾラン反応を起こすことによってコンクリートの組織が緻密化され、塩化物イオンがコンクリート内部まで浸透せず、実質的には、シラスコンクリートでは表層部で塩分の浸透がほぼ止まっていることになる。図 2.5 は暴露 3, 5, 10 年時の見かけの拡散係数と W/C の関係を配合ごとにまとめたもので、そのときの表面塩化物イオン濃度を図 2.6 に示す。シラスコンクリートはいずれの W/C においても同程度の拡散係数であり、W/C にかかわらず高い遮塩性を有しており、W/C が高い配合の方がよりポゾラン反応を起こし緻密化していると報告している。また、表面塩化物イオン濃度は、暴露期間が長期になるにつれて普通砂コンクリート、シラスコンクリートいずれも配合によるばらつきが少なくなっていることが確認できる。図 2.7 にひび割れ発生までの期間の予測を示す。ひび割れ発生までの期間の予測を行い、OPC では進展期までを約 3.6 倍、高炉セメント B 種では加速期までを約 1.7 倍までひび割れ発生の期間を延長できると報告している。

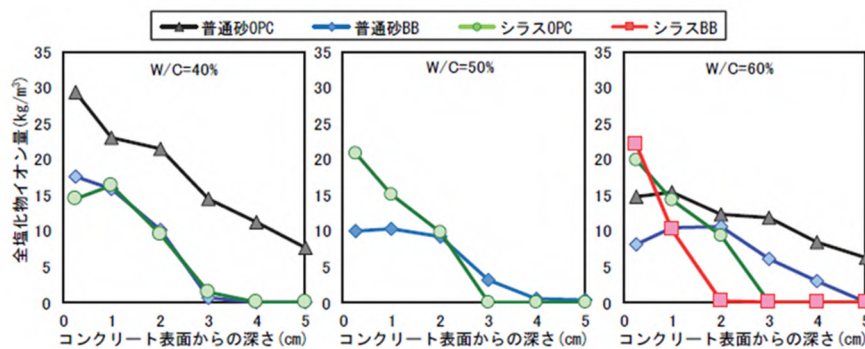


図 0.4 海洋環境下に 10 年暴露したコンクリートの全塩化物イオン量分布⁶⁾

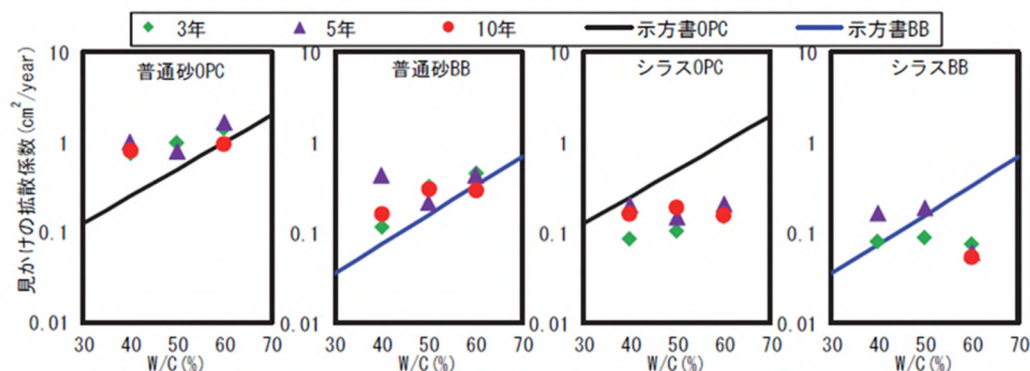


図 0.5 海洋環境下に 10 年暴露したコンクリートの見かけの拡散係数⁶⁾

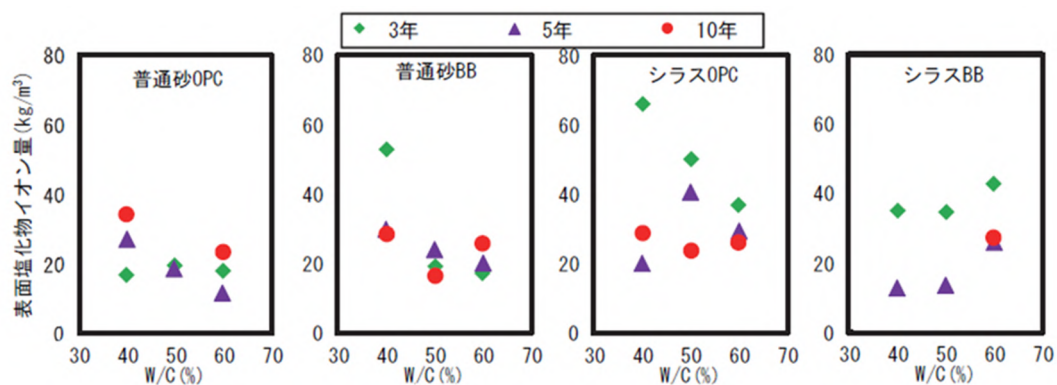


図 0.6 海洋環境下に 10 年暴露したコンクリートの表面塩化物イオン濃度⁶⁾

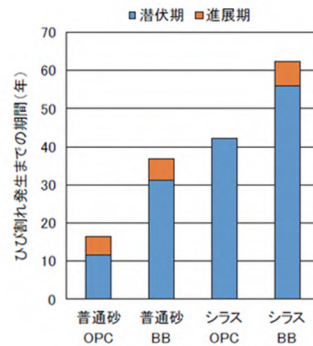


図 0.7 ひび割れ発生までの期間の予測⁶⁾

2.5 海水の有効利用に関する既往の研究

2.5.1 建設材料における海水利用の概要⁷⁾

コンクリート材料における練混ぜ水および養生水に海水を淡水の代替材料として用いることは、世界的な人口増加や急激な都市化による将来的な飲用水不足への解決や、水道設備のない遠隔離島での施工、東日本大震災のような激甚災害発生時の緊急工事、上水道設備が未整備の発展途上国における沿岸部の土木事業など淡水の供給が困難となる場合の解決策の一つとして期待されている。無筋コンクリートの材料として海水を用いることは特に不都合がないことが報告されており、また既に民間により高性能なコンクリートの材料としての研究・実用も進められている。ただし、海水練りコンクリートは、コンクリート体積当たり約 3kg/m^3 の塩化物イオン量となり鉄筋腐食の懸念から、日本を含む各国の基準値を超えており鉄筋コンクリートの練混ぜ水としての利用は現状認められていない。しかし、コンクリート構造物の設計法が「仕様規定型」から「性能照査型」へと移行しつつある中で、今後は性能照査型の考えに合致した海水利用の在り方を考えていくことが望まれる。性能照査型においては「施工中および設計耐用期間中、構造物の性能が、要求性能を満足していることを確認することを原則とする」ということであり、海水利用のコンクリートにおいてもこの原則に従えばいいと考えられる。そのため、現行の大部分の基準・規格では海水利用のコンクリートの適用は制限されているのが実態であるが、性能照査を適用することにより、海水利用のコンクリートの性能を正しく評価した上で実構造物に適用していくことが可能になると考えられている。

2.5.2 海水練り OPC の強度特性

池部⁸⁾は、各種セメントを用い JIS R 5201 に準じて圧縮強度、曲げ強度を評価している。材齢 3 日までの圧縮強度および曲げ強度は海水を用いた場合のほうが淡水よりも大きくなるが、材齢の進行に伴い、材齢 7 日ではその差が小さくなり、あるいは中には下回ったものもあり、材齢 28 日では、ほとんどが淡水よりも下回っている。同様に、明石ら⁹⁾も、材齢 7 日までは淡水モルタルよりも海水モルタルのほうが大きい曲げ・圧縮強度を示すが、材齢 28 日では両社は同程度か、淡水モルタルのほうが大きい値をしますとしてい

る。また、竹田ら¹⁰⁾のW/C=50%のモルタルによる試験結果でも、OPCを用いた条件では、材齢7日の圧縮強度は、上水道水と海水による差異はほとんどないが、材齢28日では海水のほうが小さくなることが示されている(図-2.8)。

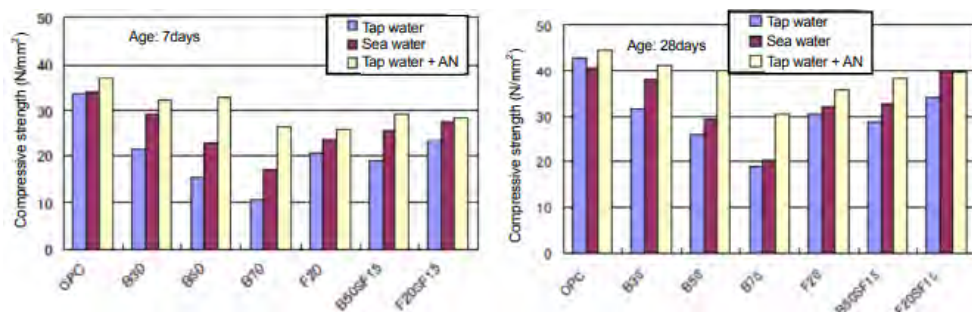


図-2.8 圧縮強度¹⁰⁾

2.5.3 フライアッシュに海水を用いた場合の反応性および物性に及ぼす影響

2.5.3.1 反応機構に及ぼす影響

フライアッシュ(以下 FA)の水和反応機構に及ぼす影響に関して、斎藤ら¹¹⁾は、FA に関して蒸留水(DW)と海水練り(DW)したセメントペースト供試体を作製し、セメント中の各種クリンカーの反応性状、相組成(水和生成物)変化に及ぼす影響を関連付けて考察している。図-2.9 に FA 置換率 20%の供試体(FA20)における FA 反応率の経時変化を、図-2.10 に FA 供試体における相組成の中で、特にアルミネートフェライト系水和物量に着目し、その経時変化を示す。これらから、FA に対する海水練りが及ぼす影響は、FA 反応率を促進させる効果を報告している。

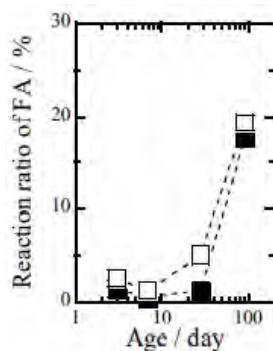


図-2.9 FA の反応率に及ぼす SW の影響¹¹⁾

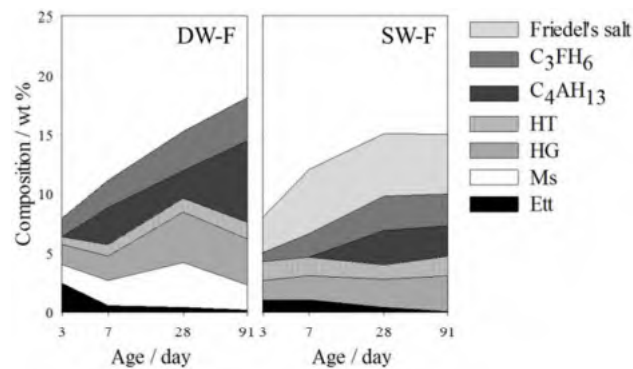


図-2.10 FA20 における水和生成物の相組成¹¹⁾

また，水和生成物に関しても，OPC や BFS を混和した供試体と同様の傾向が見られ，エトリンガイト生成量の減少とモノサルフェートの Friedel 氏塩への変化が生じていると報告されている。同様の報告は，福留ら¹⁰⁾によっても示されており，海水練りに限らず海水養生を実施した場合でも，主要なアルミネートフェライト系水和物として Friedel 氏塩が生成されることが報告されている。

2.5.3.2 圧縮強度特性

図 2-11 に FA 置換率と NaCl 添加と無添加の圧縮強度の比の関係を示す¹²⁾。FA 置換率 30% までは，圧縮強度比は，0.8～0.9 であり，NaCl 添加による改善効果は見られないが，FA 置換率の増加とともに圧縮強度比は大きくなる傾向が見られる。特に，FA 置換率 70% では，材齢の経過とともに NaCl 添加の効果が大きくなり，材齢 28～91 日では，圧縮強度比 1.7～1.8 と顕著な圧縮強度改善効果が見られている。

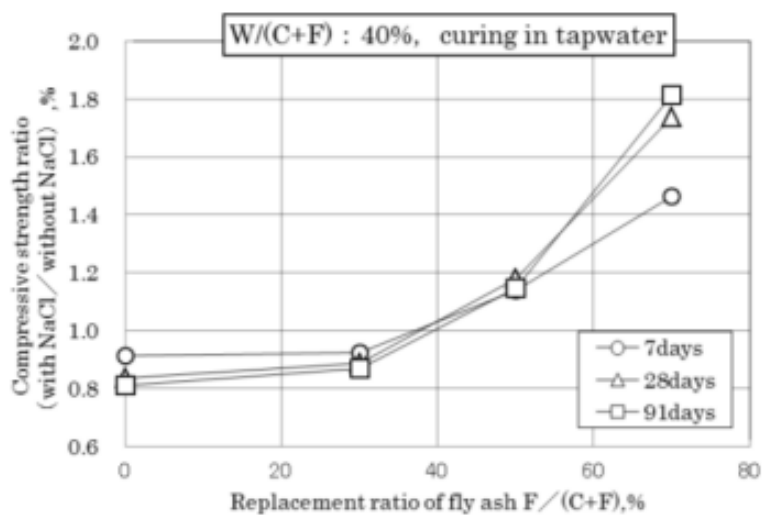


図-2.11 圧縮強度比に及ぼすフライアッシュの置換率の影響¹²⁾

2.6 まとめ

これまでに紹介した事例にあるように、シラスを建設材料にするために多くの検討がなされてきた。同時に、海水の建設材料への有効利用に関する研究もおこなわれてきた。これらの研究から、海水とシラスの建設材料への同時利用の可能性が伺える。しかしこれまで、シラスと天然の海水を組み合わせた場合の反応性や強度特性についての研究は行われていない。そこで本研究では、以上の点にも着目して検討を行った。

【参考文献】

- 1) 横山勝三：シラス学—九州南部の巨大火砕流堆積物，古今書院，2003
- 2) 大庭昇：シラス（その1），粉体工学誌，No.13，No.7，pp.387-395，1976
- 3) 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
- 4) 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諸物性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.28，No.1，pp.2069-2074，2006
- 5) 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.2，2007
- 6) 里山永光，武若耕司，山口明伸，審良善和：干満帯に長期暴露した供試体によるシラスコンクリートの耐久性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.775-780，2017
- 7) 大即信明，濱田秀則ほか：委員会報告書 コンクリート分野における海水の有効利用研究委員会報告書，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，2014
- 8) 池部緑：各種セメントの淡水，海水練り比較試験，セメント・コンクリート，No.146，pp.16-22，1959
- 9) 明石外世樹，山路文夫，道清吉美，日高邦彦：海水モルタルの性状に関する基礎的研究，セメント技術年報，Vol.19，pp.233-236，1965
- 10) 竹田宣典，石関嘉一，青木茂，大即信明：海水を使用したコンクリートの強度および水密性の向上効果，土木瓦解第66回年次学術講演会講演概要集，第V部門，pp.581-582，2011
- 11) 斎藤豪，菊池道生，多田直央，佐伯竜彦：海水練りセメントペースト供試体中の水和反応解析，無機マテリアル（2014）
- 12) 福留和人，石川嘉崇，大即信明，西田孝弘：セメント技術大会講演要旨集，64，2014

3. ペースト供試体での検討

3.1 はじめに

建設材料への海水の利用方法としては、練混ぜ水、養生水、清掃用水などがあげられる。本章では、海水を練混ぜ水として利用した場合のシラスの反応性および、内部構造への影響について検討することを目的とし、シラスを混和材として使用した海水練りセメントペーストを作製し、各種実験を実施した。

3.2 実験概要

3.2.1 使用材料

本実験で使用した材料を、表-3.1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント(以下 OPC)を用いた。練り混ぜ水には、水道水と福岡県糸島市の芥屋漁港で採取した海水を使用した。表 3-2 に本実験で使用した海水の成分を示す。また、混和材として、吉田シラスを用いた。吉田シラスは、約 50 万年前に発生した国分群層由来だと推測されており、湖や川などに直接堆積したものである。そのため、発生した火砕流が堆積した際、火砕流が急冷され約 95%が非晶質で構成されており、シラスの中で最もボゾラン反応を起こしやすいとされている。本実験で使用した吉田シラスを写真-3.1 に示す。

表-3.1 使用材料

使用材料	種別	密度 (g/cm ³)
結合材	普通ポルトランド	3.16
練混ぜ水	水道水	1.00
	海水	1.03

表-3.2 本実験で使用した海水の成分

種類	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄
濃度 (mg/l)	12047	303	1278	296	17203	2504

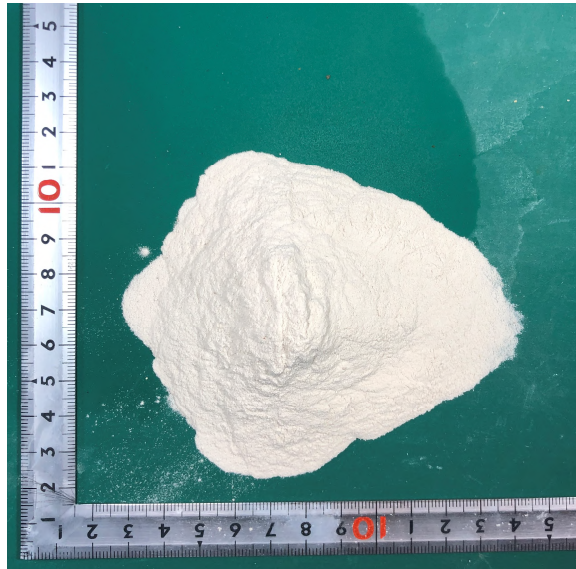


写真-3.1 使用した吉田シラス

3.2.2 供試体概要

各種検討を行うため、ペースト供試体を作製した。配合および各種条件、並びにそれらに対応する供試体名を表-3.3に示す。水結合材比を0.5とし、海水および水道水を練混ぜ水として用いた。結合材としてOPC単味およびOPCにシラスを内割で20%混和したものを使用した。練混ぜ後、ブリーディングが無くなるまで練返しを行い、ブリーディングが確認できなくなった後、寸法10×10×80mmの型枠に打設し、上面に封を施した。打設24時間後に脱型を行い、所定の材齢まで各種養生を実施した。写真-3.2に封かん養生の様子を示す。所定の材齢に達した供試体は、湿式カッターで5mm角の大きさになるように切り出し、試験片とした。試験片は、アセトンに浸漬させた状態で1時間真空暴気させ、その後アセトンを入れ替え、同様に24時間真空暴気させ、試験片内に含まれる水分を除去し供試体中の水和を停止させた。

表-3.3 配合および条件と供試体名

供試体名	シラス置換率	練混ぜ水	養生方法
N-SS	0	海水	海水養生
N-SF	0	海水	封かん養生
N-FF	0	水道水	封かん養生
S-SS	20	海水	海水養生
S-SF	20	海水	封かん養生
S-FF	20	水道水	封かん養生



写真-3.2 封かん養生をした供試体

3.2.3 測定項目

(1) 水酸化カルシウム生成量

ディスクミルを用いて試験片を呼び径 150 μ m 以下に粉砕処理した試料に対し，リガク製の示差熱-熱重量同時測定装置，Thermo Plus EVO2 TG-DTA8122(写真-3.3)を用いて，示差熱分析(TG-DTA)を行い，400～490℃の減量を水酸化カルシウム(以下 CH)による減量とみなし，無水物換算した含有率を算出した。また，同じ練混ぜ水および養生条件の OPC 単味の供試体とシラス 20%混和の供試体の CH 含有率を用いて式-(2) よりシラスによる CH 消費量を算出した。



写真-3.3 使用した示差熱-熱重量同時測定装置

$$\frac{(OPC単味の供試体のCH含有率) \times 0.8 - (\text{シラス} 20\% \text{混和の供試体のCH含有率})}{100} \quad (2)$$

(2) シラスの反応率の算出

ペースト供試体中のシラスの反応率を求めるために、大沢ら¹⁾によって提案された塩酸および、炭酸ナトリウム溶液を用いた選択溶解法により定量した。具体的には、150 μm 以下に粉碎した試験片を RH11%で乾燥させ、選択溶解法に用いる試料を調整した。調整した試料約 1g を遠沈管に入れ、2mol/L の塩酸を 30mL 加えた後、60 $^{\circ}\text{C}$ のウォータースバス内で定期的に振り混ぜながら 15 分間保持した(写真-3.4)。その後、遠心分離機により固液分離し上澄み液を捨てた。残った固相に対して温水洗浄を行い、同様に遠心分離操作を行い、上澄み液を捨てる操作を 3 回繰り返した。次に、5% の炭酸ナトリウム水溶液を 30mL 加え、80 $^{\circ}\text{C}$ のウォータースバス内で定期的に振り混ぜながら 20 分間保持した。その後は先ほどと同様に遠心分離操作、温水洗浄を行った。その後、不溶残分をろ過し(写真-3.5)、105 $^{\circ}\text{C}$ に設定した乾燥機の中で一日乾燥させ、不溶残分量を測定し、下記の式(1)により反応率を求めた。なお、ここで求まるシラスの反応率とは、混和したシラスがすべて反応すると仮定したときに算出される反応率である。そのため、反応しない物質がシラス中に含有されていた場合、シラスの反応率は 100%にはならない。

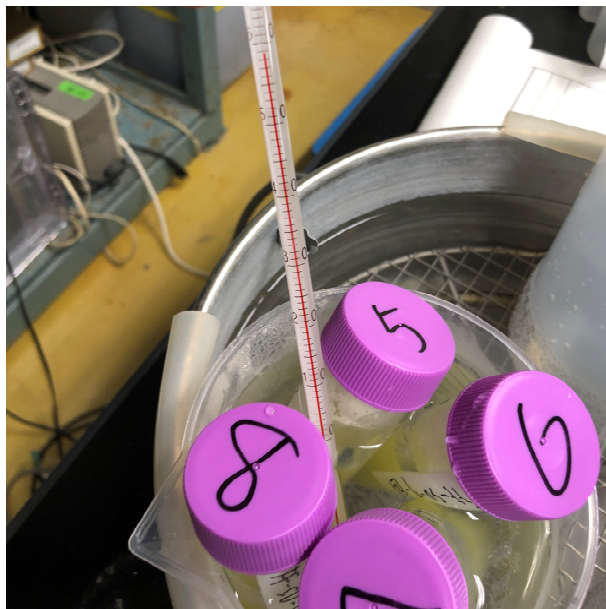


写真-3.4 ウォータースバス内に
15 分間保持した様子



写真-3.5 不溶残分のろ過方法

$$a = 100 - \frac{X(100 - Ig')}{mk_1k_2(100 - Ig)} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 a : シラスの反応率 (%)

X : 不溶残分量 (g)

m : 試料量 (g)

Ig : 水和試料の強熱減量 (%)

Ig' : 不溶残分の強熱減量 (%)

k_1 : シラスの置換率 (－)

k_2 : シラスのみの不溶残分量 (－)

(3) 水銀圧入式ポロシメータによる細孔空隙の測定

島津製作所の水銀圧入式ポロシメータ，AutoPoreIIIを用いて，ペースト供試体の細孔空隙の測定を行った。ポロシメータとは，水銀の大きな表面張力およびほとんどの物質に対する濡れの悪さという性質を利用し，測定する試料の周りを水銀で充填して圧力をかけ，試料の細孔に圧入した水銀量および圧力から，平均細孔径を求める装置である。すなわち，最も基本的な測定値は圧力およびその圧力下における水銀の圧入容積の 2 つであり，圧力から細孔直径を，圧入容積から細孔容積を算出した。

測定のために，凍結乾燥機を用いて，試験片を -40°C ， 20Pa の環境で 2 日間乾燥させた。その後，水銀圧入式試験機で細孔径と細孔量の関係を求めた。

3.3 実験結果および考察

(1) シラスの反応性

ペースト供試体中の CH 含有率の推移を図-3.1 に示す。なお、図中の点線は、OPC (N シリーズ) の CH 量を 0.8 倍した値である。OPC (図中の点線) の CH 量に着目すると、海水養生以外の供試体中の CH 量は増加することを確認した。これは、材齢の進行によりセメントの水和反応が進行し、CH 量が増加していると推察される。一方で、海水中では、CH 量が低下している。これは、海水中に Ca^{2+} が溶出していると考えられる。これらの現象は、既往の報告と一致する。次に、シラスの CH 量に着目すると、どの暴露環境でも OPC の CH 量よりも低くなっていることが確認できる。これより、シラスを混和することにより、CH が反応していると推察できる。

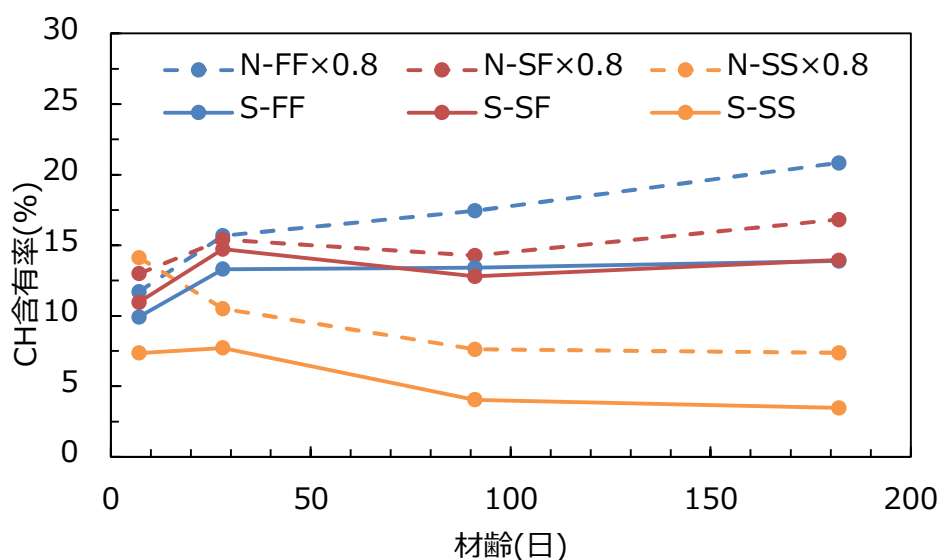


図-3.1 CH 含有率の推移

図-3.2 に選択溶解法により求めた海水練りシラス 20%混和と淡水練りシラス 20%混和におけるシラスの反応率の推移を示す。材齢の経過に伴い、どちらの供試体についても、反応率が増加した。しかし、海水練りによるシラスの反応率の増加は本研究におけるシラスの反応率試験では確認することができなかった。引き続き測定する必要がある。

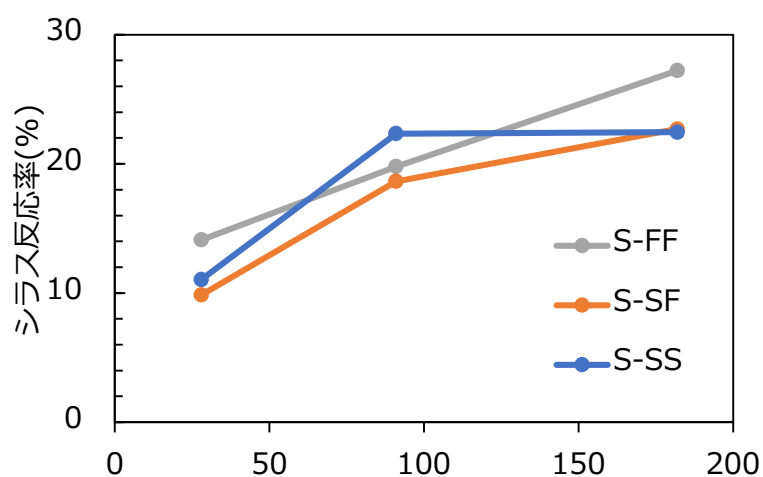


図-3.2 材齢 28 日におけるシリカの反応率

(2) 試験体の内部構造について

図-3.3 から図-3.5 に各材齢におけるペースト供試体中の累積空隙量を示す。図より，材齢 7 日では練混ぜ水によらず OPC 単味よりもシリカ 20%混和の総空隙量の方が多くなった。これは，シリカを 20%混和することによって供試体に含まれる OPC 量が OPC 単味の供試体よりも少ないからだと推察する。材齢 28 日では，海水に養生した供試体以外の試験体の細孔空隙量は，低下する傾向を得た。これらの傾向は材齢 91 日においても同様である。これは，OPC の水和の進行に伴い，試験体内部の空隙量が減少したと推察できる。一方，海水に曝露した供試体の累積空隙量は，低下せずに増加する傾向を示す。これは，前述したように CH などのセメント水和物が海水に溶脱したことにより，空隙量が増加したと考えられる。

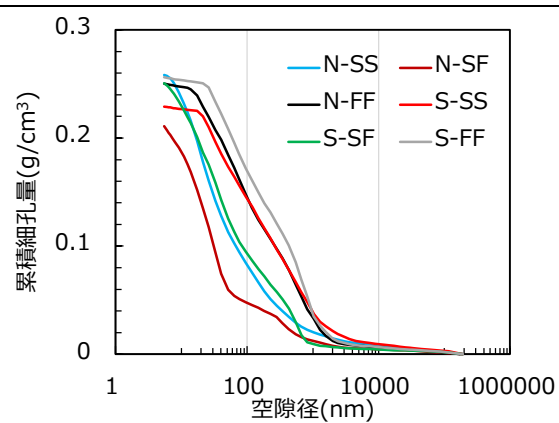


图-3.3 材齡 7 日 累積細孔量

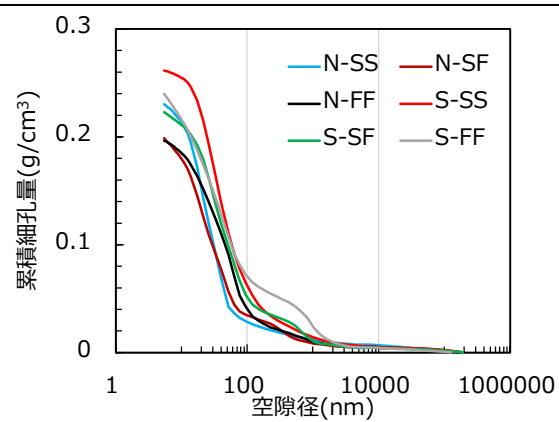


图-3.4 材齡 28 日 累積空隙量

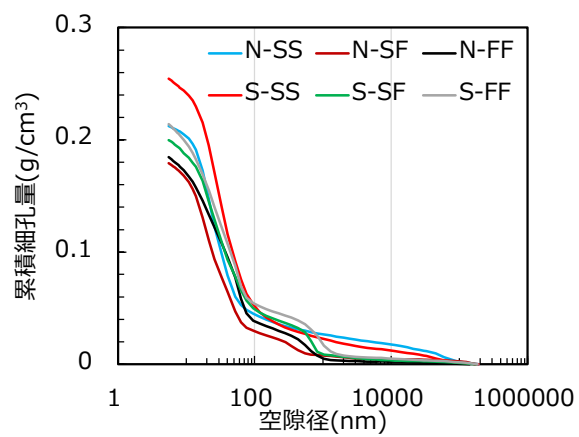


图-3.5 材齡 91 日 累積空隙量

3.4 3章のまとめ

本章では、練混ぜ水に海水を用いた際のシラスの反応性について、シラスと海水を用いたペースト供試体を作製し、化学分析を実施した。その結果、シラスを混和した配合は、養生条件にかかわらず、CH の減少を確認した。加えて、シラスの反応率が増加していることから、シラスがポゾラン反応をしていると推察される。しかし、反応率は、低いことから長期的な観察が必要である。

【参考文献】

- 1) 大沢栄也，坂井悦郎，大門正機：フライアッシュセメント系水和におけるフライアッシュの反応率，セメント・コンクリート論文集, No.53, pp.96-101, 1999

4. モルタル供試体での検討

4.1 はじめに

これまで、海水を練混ぜ水および養生水として利用した際の反応性や内部構造への影響について検討を行ってきた。本章では圧縮強度への影響について検討するため、非晶質が約20%含まれている横川シラスを用いて海水で練ったモルタルを作製し、封かん養生または海水養生を施し、圧縮強度の測定を行った。

4.2 実験概要

4.2.1 使用材料

本実験で使用した材料を、表-5.1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント（以下、OPC）を用いた。練混ぜ水には、水道水と福岡県糸島市の芥屋漁港で採取した海水を使用した。使用した海水の成分は表-3.1 のとおりである。細骨材には、海砂と横川シラスを用いた。また、混和剤にはポリカルボン酸ポリマー系の高性能 AE 減水剤（チューポール HP-8）を使用した。

表-4.1 使用材料

使用材料	種別	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
結合材	普通ポルトランドセメント	3.16	-
練混ぜ水	水道水	1.00	-
	海水	1.03	-
細骨材	横川シラス	2.16	5.81

4.2.2 供試体作製方法

練混ぜは写真-5.1 に示す揺動式 OM ミキサを用いて行った。練混ぜ方法を図-5.1 に示す。まず、セメントと水をミキサに投入し、低速で 30 秒練り混ぜた。次に、ミキサを一旦停止させて細骨材を投入し、低速で 30 秒間練り混ぜた。その後、掻き落としを行いながら 90 秒間休止させ、休止が終わり次第、高速で 90 秒間練り混ぜた。練混ぜ終了後、φ5×10cm の型枠に打設した。



写真-4.1 使用した揺動式 OM ミキサ

4.2.3 供試体概要

本実験で用いたモルタルの配合，打設時のフロー値および供試体名を表-5.2 に示す。配合は，既往の研究で報告されているシラスコンクリートの配合から粗骨材を取り除いた配合となっている。混和剤の添加量は，目標フロー値である 180 を満たすように設定した。供試体の種類および養生条件を表-3 に示す。養生条件について，材齢 28 日まで封緘養生を行った。その後，実環境での暴露条件に応じて，各供試体に封緘養生（20℃），気中養生（外気温），海水養生（20℃），水中養生（20℃）を行い，養生に使用する水は 2 週間おきに全量を入れ替えた。

表-4.2 モルタル供試体の配合

W/C	S/C	単位量 (kg/m ³)			目標フロー値
		W	C	S	
0.5	1.24	359	718	892	180±5

表-4.3 養生条件

供試体	記号	養生条件	
		1～28 日	28 日以降
モルタル	S-SF	封かん	封かん
	S-SA		気中
	S-SS		海水
	S-FF		封かん
	S-FA		気中
	S-FS		海水
	S-SW		水中

4.2.4 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、JIS A 1108 に準拠して行った²⁾。封かん養生の供試体は、試験 24 時間前に脱型し、海水養生の供試体については 24 時間前に海水から取り出し、供試体上面の研磨を行った(写真-4.3)。研磨終了後、 $20\pm1^{\circ}\text{C}$ の室内に 24 時間静置した。その後、圧縮強度試験を行った(写真-4.4)。



写真-4.3 供試体研磨の様子



写真-4.4 圧縮強度試験の様子

4.3 実験結果と考察

図-4.1 に淡水練りシラスモルタルの圧縮強度の推移を示す。図より、封かん養生と気中養生では、材齢の経過とともに強度の増加が確認できる。一方、水中養生と海水養生では、材齢 56 日以降、圧縮強度の増加は、確認できていない。今後も経過を確認する必要がある。

図-4.2 に海水練りシラスモルタルの圧縮強度の推移を示す。図より、封かん養生では、強度の増進を確認している。一方、気中養生ならびに海水養生では、強度の低下を確認した。

図-4.3 に淡水練りと海水練りの強度の比較をした図を示す。図より、海水練りを実施した供試体では、初期強度が向上するが、その後の強度の増加は淡水練りの供試体の方が大きい。しかし、養生方法によって材齢 91 日以降も増加し続けており、材齢半年では、海水練り供試体の強度が一番高い。そのため、今後も継続して測定する必要がある。

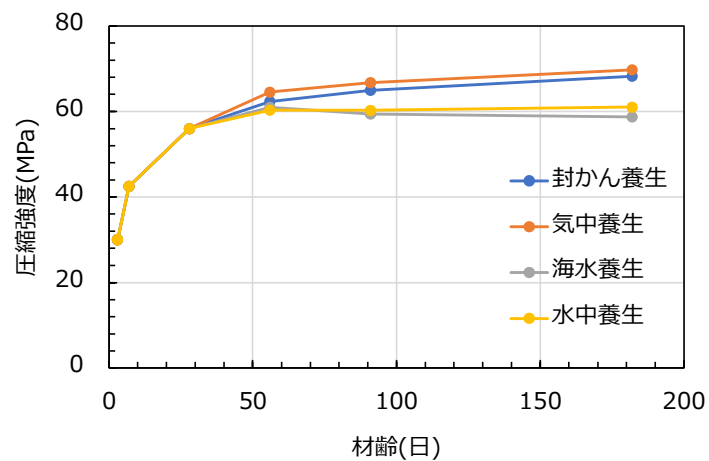


図-4.1 淡水練りモルタルの圧縮強度の推移

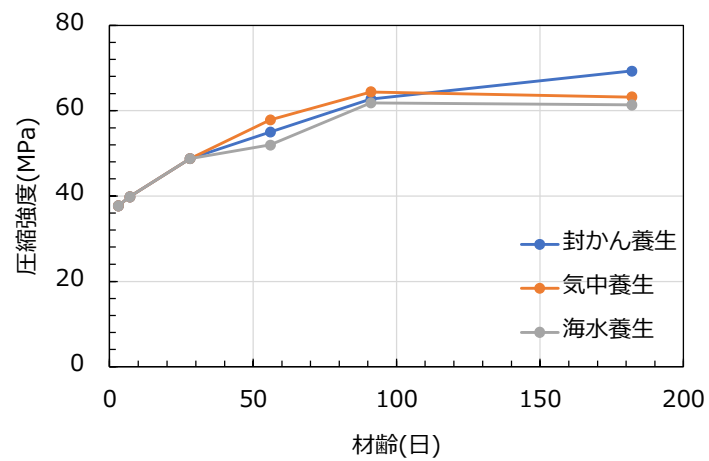


図-4.2 海水練りモルタルの圧縮強度の推移

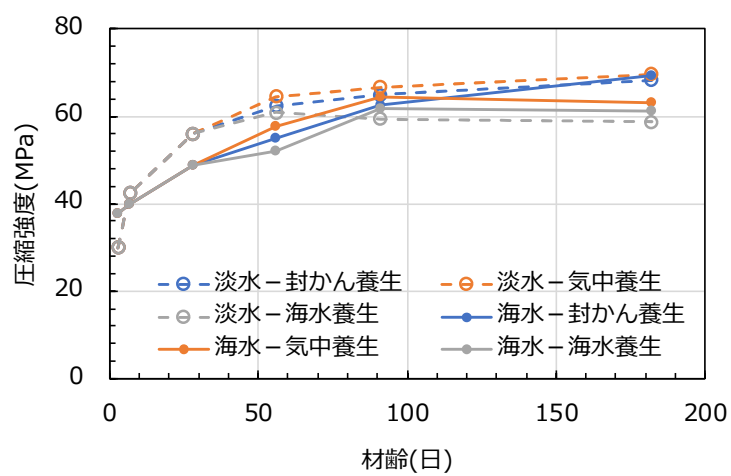


図-4.3 圧縮強度の比較

4.4 現時点での4章のまとめ

本章では、細骨材にシラスを用いた海水練りモルタルを作製し、強度を測定した。現時点では、材齢7日までは、海水の影響によりOPCが促進され、圧縮強度が増加したと推察される。これは、3章のペースト供試体の結果と一致する。材齢7日以降は、海水練りの強度増進は、淡水練りの強度増加よりも低いですが、時間をかけて強度が増加し続け、材齢半年で、淡水練りと同等の強度を得ている。養生条件によって、強度の増加に差が出ているため、今後も継続的に測定する必要がある。

【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) コンクリートの圧縮試験方法（JIS A 1108）

5. まとめ

5.1 現時点でのまとめ

海水を用いることにより、OPC の反応が促進され圧縮強度が向上することが確認できた。しかし、それ以降の強度の伸びは淡水練りの試験体の圧縮強度と比較して緩やかな傾向になることを確認した。

また、養生条件（暴露条件）により、圧縮強度の伸びに差が出てきており、海水練りの封かん養生では、今後も強度が増加する傾向を得た。

5.2 今後の課題

前述したように、淡水練り・海水練りの試験体は、継続的に強度が増加しているため、今後も継続的に測定する必要がある。また、鉄筋を埋設したコンクリートを作製し、コンクリート中の鉄筋の性状を観察する必要がある。