

論文 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

西山 理子*1・武若 耕司*2・佐伯 貢*3・山口 明伸*4

要旨: シラスの細骨材としての有効活用の一方法として, 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ついて検討をした。その結果, まず, その配合設計では, 普通砂 100% 使用コンクリートとシラス 100%使用コンクリートの両者の配合をもとに, 細骨材中のシラスの混合割合に応じて両者の単位水量や細骨材率を線形補間することで混合使用コンクリートの配合設計が可能であることを確認した。また, 混合使用が強度へ及ぼす大きな影響は少ないが, 静弾性係数はシラスの使用量増加に伴い低下すること, 耐久性においては, 耐硫酸塩性や塩分浸透抑制効果が高く, その効果はシラスの使用量で異なることを確認できた。

キーワード: シラス, 細骨材, 配合設計, 力学的特性, 中性化抵抗性, 耐硫酸塩性, 塩分拡散性

1. はじめに

近年の骨材不足の対策として, 鹿児島県では細骨材の全てに火砕流堆積物であるシラスを使用して作製したコンクリート(以下, このコンクリートをシラスコンクリートと称す)の実用化に関する検討が行われている。その結果として, シラスコンクリートは, 一般的なコンクリート(以下, 普通砂コンクリートと称す)と比較すると酸性環境下や海洋環境下での耐久性が格段に優れていることが確認されており^{1), 2)}, この特性を活かし, 鹿児島県では温泉地帯に建設中の橋脚基礎などで適用されはじめている。

しかし, シラスの細骨材としての利用は現在のところそれほど多くはない。その理由としては, シラスコンクリートと普通砂コンクリートを比較すると, 同一のコンシステンシーを得るための単位水量が1割程度増加することや³⁾, シラスの採取場所により, その物性に大きく差が生じるため, シラスを細骨材として用いる場合には, 普通砂コンクリートに比べ品質管理が難しいことなどが挙げられる。

そこで本研究では, これらの問題を解消し, シラスの細骨材としての更なる有効活用を目的と

して, シラスと普通砂を混合使用したコンクリート(以下, このコンクリートをシラス混合コンクリートと称す)を考え^{4), 5)}, そのフレッシュ性状, 力学的特性および耐久性について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

今回の検討では, セメントに普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種, 細骨材にシラス(鹿児島県横川産)および海砂, 粗骨材に 2005 砕石を使用した。なお, シラスは地山から採取し, 5mm のふるいを通すもの全てを細骨材として用いた。使用骨材の主な物性を表-1 に示す。

2.2 検討内容

本研究では, まず, 水セメント比(以下, W/C と称す), 単位水量, 骨材最大寸法(以下, Gmax と称す), セメントの種類ならびにシラスと普通

表-1 使用骨材の物性

| | 表乾密度 (g/cm ³) | 吸水率 (%) | F. M. | 微粒 分量(%) | 実積率 (%) |
|--------|------------------------------|------------|-------|-------------|------------|
| シラス | 2. 21 | 5. 71 | 1. 52 | 20. 5 | 50. 6 |
| 海砂 | 2. 55 | 2. 48 | 2. 47 | 0. 96 | - |
| 2005砕石 | 2. 66 | 0. 78 | 6. 61 | 0. 8 | 58. 0 |

*1 鹿児島大学大学院 理工学研究科海洋土木工学専攻 (正会員)

*2 鹿児島大学 工学部海洋土木工学科教授 工博 (正会員)

*3 鹿児島生コンクリート協同組合

*4 鹿児島大学 工学部海洋土木工学科助手 博士(工学) (正会員)

表-2 実験の要因と水準

| 要因 | 水準 |
|-------------|--------------------|
| シラス混合率(%) | 0, 25, 50, 75, 100 |
| W/C(%) | 50, 60, 70 |
| セメントの種類 | 普通, 高炉B種 |
| Gmax(mm) | 20 |
| 目標スランプ値(cm) | 10±1 |
| 目標空気量(%) | 2±1 |

表-3 環境条件および試験内容

| | 環境条件 | 試験内容 | |
|-------|---|-----------------------------|---------|
| 力学的特性 | 水中養生 | 圧縮強度試験 引張強度試験 静弾性係数試験 | |
| | | 屋外暴露 | 中性化深さ測定 |
| 耐久性 | 硫酸塩水溶液浸せき (10%Na ₂ SO ₄ 水溶液) | 相対動弾性係数 測定 | |
| | 海水浸せき | 全Cl ⁻ 量測定 | |

砂の混合割合(以下, 細骨材中に占めるシラスの容積割合をシラス混合率と称す)などを変えてコンクリートを製造し, そのスランプ試験および空気

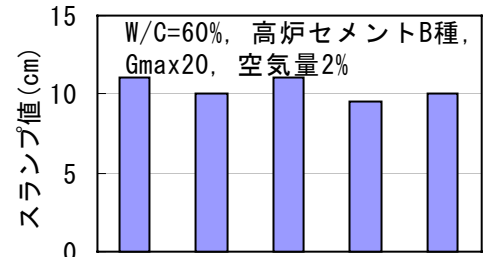


写真-1 各暴露状況

量試験の結果によりフレッシュ性状を検討して, シラス混合コンクリートの配合設計資料を作成した。なお, スランプ試験および空気量試験は, それぞれ JIS A 1101, JIS A 1128 に準じて行った。

その後, この配合設計資料に基づき, 表-2 に示す実験要因と水準で作製したコンクリートについて, 表-3 に示す試験内容で, シラス混合コンクリートの力学的特性ならびに耐久性について検討を行った。力学的特性の検討では, 圧縮強度試験, 引張強度試験および静弾性係数試験を行った。これらの試験は, それぞれ JIS A 1108, JIS A 1113, JIS A 1149 に準じて行った。また, 耐久性の検討としては, 屋外, 10%Na₂SO₄ 水溶液中および海水中の 3 環境に暴露した供試体について(写真-1 に各暴露状況を示す), 圧縮強度試験および静弾性係数試験を行うと同時に, 中性化深さ測定, 相対動弾性係数測定および全塩化物イオン量測定を行った。なお, 中性化深さの測定は, JIS A 1152 (フェノールフタレイン法), 全塩化物イオン量の測定は, JSCE-G573-2003 に準じて行い, 相対動弾性係数は, 超音波測定器で弾性波伝播速度を測定することにより求めた。

試験に用いた供試体は, 力学的特性の検討用として, 圧縮強度試験および静弾性係数試験に φ10×20cm, 引張強度試験に φ15×20cm 円柱供試体を, 耐久性の検討用としては, φ10×20cm



| シラス混合率(%) | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|
| 単位水量(kg/m ³) | 185 | 196 | 206 | 218 | 230 |
| 細骨材率(%) | 42.6 | 40.9 | 39.1 | 37.1 | 34.9 |

図-1 各シラス混合率におけるスランプ値の比較

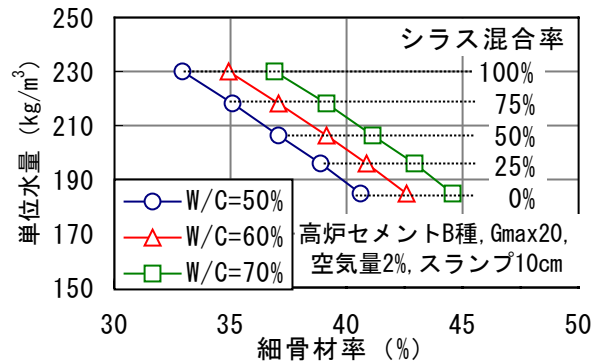


図-2 シラス混合率を変えた場合における単位水量と細骨材率の関係

円柱供試体を使用し, 所定の材齢においてそれぞれの試験を実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの性状

シラス混合率がコンクリートの配合に与える影響について検討を行うため, 本研究では, まず, シラス混合率が変化した場合におけるコンク

リートの配合設計は、同一 W/C、同一スランプ値のシラス混合率 0%(普通砂コンクリート)と 100%(シラスコンクリート)の配合を基準とし、それぞれの配合条件をシラス混合率によって線形補間することにより設定できると仮定した。

一例として、W/C=60%、Gmax20mm、目標空気量 2%、目標スランプ値 10±1cm として配合を定めた高炉セメント B 種使用コンクリートのスランプ試験結果を図-1 に示す。この結果、シラス混合率で単位水量と細骨材率を線形補正することで、目標とする流動性(スランプ値 10±1cm)を持った良好なコンクリートを作製できることが明らかとなり、このことから、シラス混合コンクリートの配合にあたっては、上記した仮定が成り立つことが確認できた。

図-2 には、この結果をもとにシラス混合コンクリートを製造する際の配合補正方法の一例を示す。なお、表-2 に示す配合条件に追加し、目標スランプ値が 8cm および 12cm、目標空気量が 4%の場合についても検討を行ったが、これらの場合においてもシラス混合率による線形補間での配合設計が可能であることも確認した。

3.2 力学的特性

(1) 圧縮強度

図-3 には、水中養生材齢 28 日のコンクリートの圧縮強度とシラス混合率の関係をとりまとめて示した。

この結果、少なくとも材齢 28 日時点においては、セメントの種類および W/C が同じであった場合、シラス混合率と圧縮強度の間に特定できる傾向は認められなかった。また、シラス混合コンクリートの圧縮強度に及ぼすセメントの種類や W/C の影響については、ばらつきはあるものの、普通砂コンクリートの場合とほぼ同様であると見なされた。

図-4 には、水中養生のシラス混合コンクリートにおける圧縮強度の経時変化の一例を示す。既往の研究結果同様⁶⁾、シラスがポゾラン反応性を示す物質であることから、普通砂コンクリートに比べ、シラスコンクリートの長期材齢における強

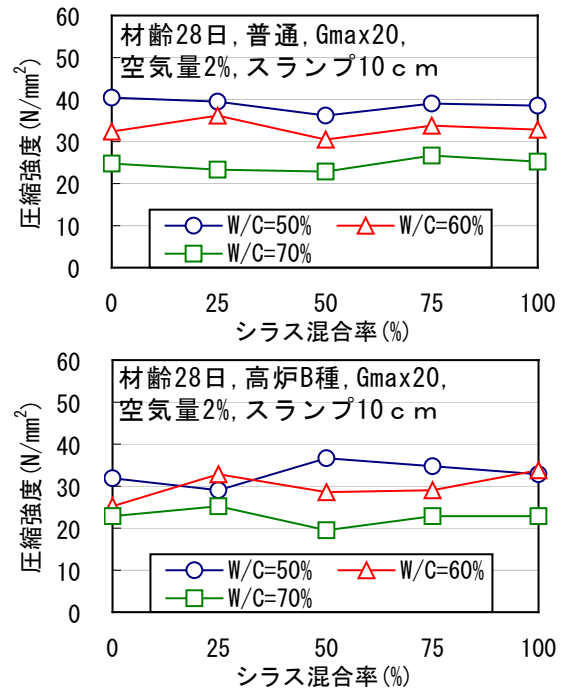


図-3 圧縮強度とシラス混合率の関係

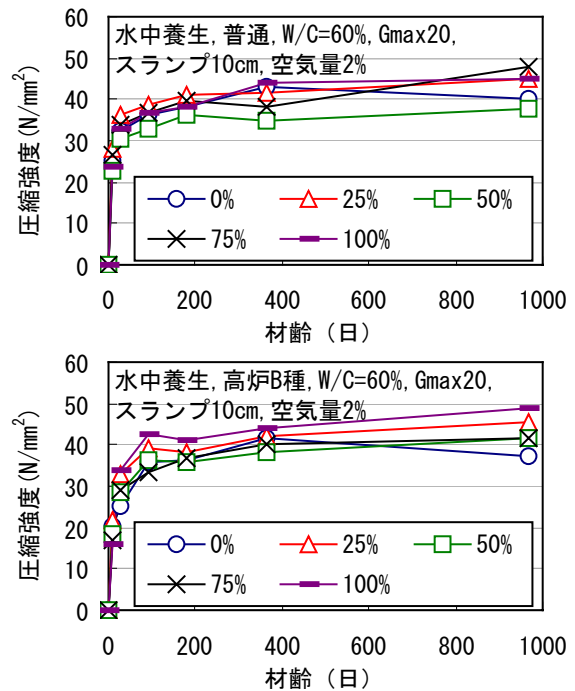


図-4 圧縮強度の経時変化

度発現が高いことが確認された。同様に、シラス混合コンクリートにおいても、全体的には材齢に伴う強度の伸びは普通砂コンクリートよりも大きくなる状況が認められた。これまでのところ、シラス混合率と強度の伸びとの関係は明確ではないものの、少なくとも長期強度においては、上記の 28 日強度の場合とは異なり、シラスの混合により明らかに強度が増加すると考えられた。

(2) 引張強度

図-5には、水中養生材齢28日の引張強度とシラス混合率の関係をとりまとめて示す。

引張強度についても、若干のばらつきはあるものの、セメントの種類とW/Cが同一の条件においては、シラス混合率に関わらず同程度の引張強度を示しており、シラス混合率の違いによる引張強度の明確な相違は確認されなかった。なお、シラス混合コンクリートの引張強度の経時変化については、材齢3年目までの範囲においては圧縮強度における傾向とほぼ同様であった。

(3) 静弾性係数

図-6に、水中養生材齢28日の静弾性係数とシラス混合率の関係をとりまとめて示す。

これより、セメントの種類やW/Cの如何に関わらず、シラス混合率の増加に伴い、静弾性係数は低下する傾向が確認された。これは、シラスがポーラスな物質であることから、普通砂と比較すると圧縮力を受けた場合の変形量が大きくなり、シラス混合率の増加によりシラス混合コンクリートの静弾性係数も低下傾向を示すと考えられた。

図-7には、静弾性係数の経時変化の一例を示す。これより、シラス混合率の如何に関わらず、いずれのコンクリートでも材齢に伴う静弾性係数の伸びが確認されたが、長期材齢においてもシラス混合率の増加に伴う静弾性係数の低下傾向は保持されたままの状態であった。

3.3 耐久性

(1) 屋外暴露環境における性状

図-8には、約1年間屋外暴露を行った供試体の中性化とシラス混合率の関係をW/Cごとに示す。

これより、高W/Cほど中性化しやすいものの、同一W/Cで比較してみると、いずれのW/Cにおいても若干のばらつきは認められるが、普通砂コンクリートよりもシラス混合コンクリートの中性化速度は同等か若干遅いことが認められた。

また、図-9には、屋外暴露を行った供試体の圧縮強度の経時変化の一例を示す。この結果、

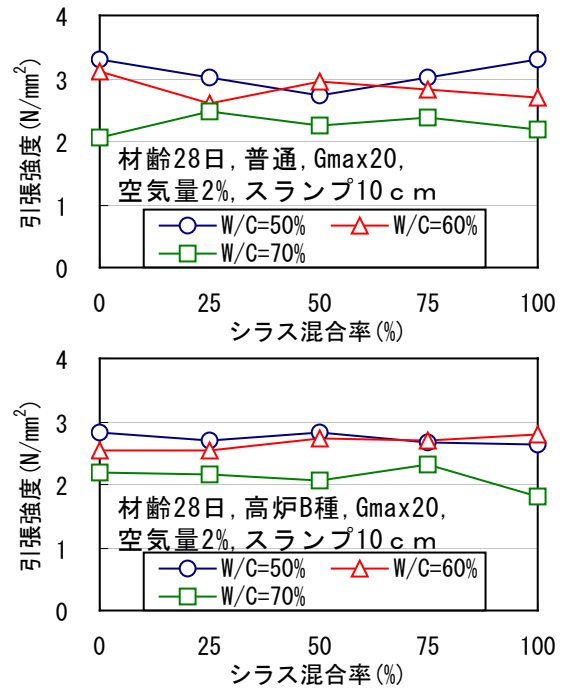


図-5 引張強度とシラス混合率の関係

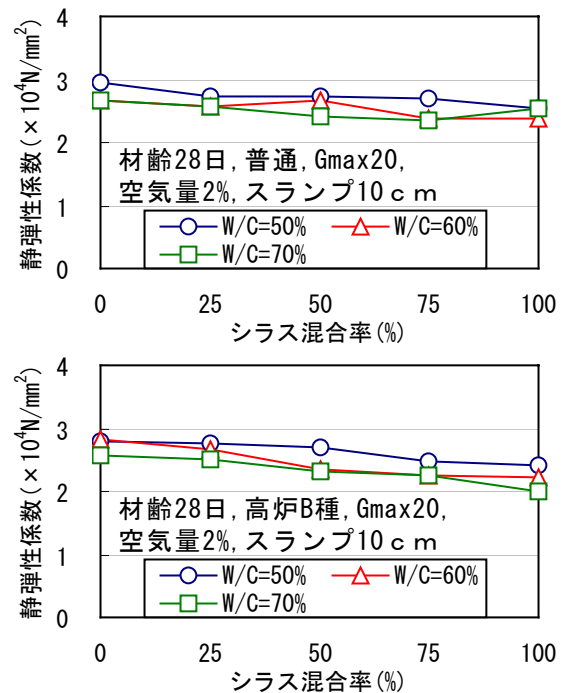


図-6 静弾性係数とシラス混合率の関係

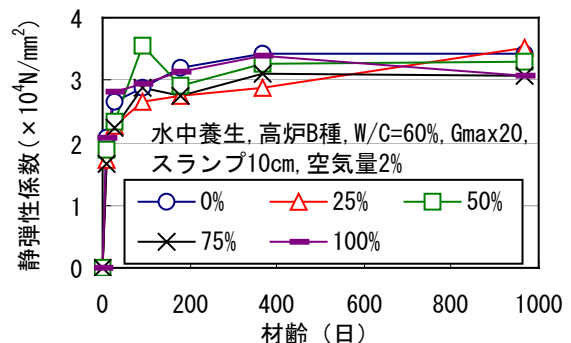


図-7 静弾性係数の経時変化

シラスコンクリートでは、屋外暴露環境においても長期強度の増加が認められたものの、シラス混合コンクリートについては、シラス混合率の如何に関わらず、材齢 3 年までの範囲の圧縮強度は普通砂コンクリートと同程度にとどまり、水中養生の場合に認められたような長期材齢におけるシラス混合の場合の優位性は明確には認められなかった。

(2) 硫酸塩水溶液浸せき環境における性状

写真-2 に、約 2 年半 10%Na₂SO₄ 水溶液浸せきを行った供試体の表面状況の一例を示す。シラス混合率が大きくなるにつれ、硫酸塩の影響により供試体上下部に生じる欠損範囲が明らかに小さくなることを確認できる。

また、図-10 には、コンクリートの相対動弾性係数の経時変化の一例を、図-11 には、浸せき材齢 2 年半の圧縮強度とシラス混合率の関係の一例をそれぞれ示す。

シラス混合率 100%のいわゆるシラスコンクリートでは相対動弾性係数の低下は浸せき材齢 2 年半までの間で全く認められなかった。一方、シラス混合コンクリートでは、材齢 1 年程度までは相対動弾性係数の明確な低下は認められなかったが、その後は徐々に低下する傾向にあった。それでもその程度は、普通砂コンクリートに比べると小さく、シラス混合の有無により、その程度に明らかな差が確認された。また、圧縮強度の傾向からは、シラス混合率が大きくなるに従って圧縮強度も高い値を示しており、これらの結果を総合すると、シラスを細骨材の一部にでも使用することで耐硫酸塩性は向上すると考えられた。

(3) 海水浸せき環境における性状

図-12 には、一例として W/C=60%のシラス混合コンクリートにおいて、約 1 年間海水浸せきを行った供試体の全塩化物イオン量の測定結果を示す。

これより、シラスを使用することで、コンクリート中に浸透する全塩化物イオン量は減少する傾向にあることが確認できた。特に、シラス

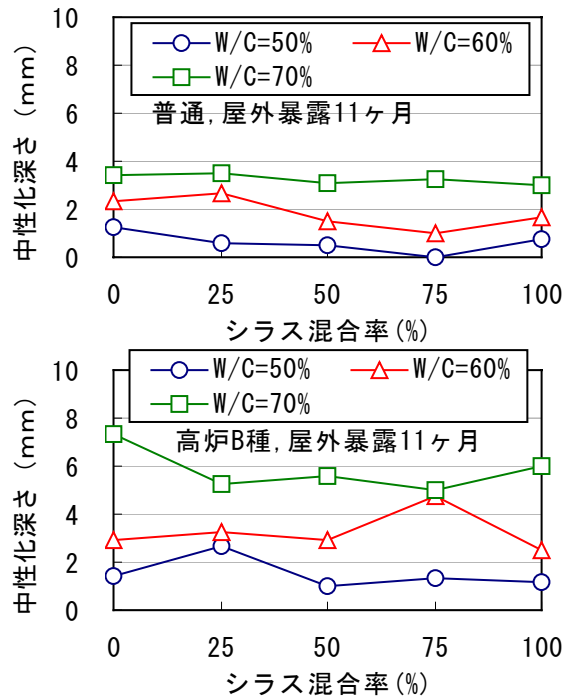


図-8 中性化深さとシラス混合率の関係

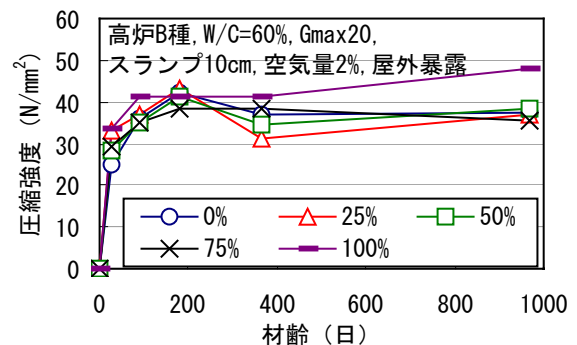


図-9 屋外暴露における圧縮強度の経時変化

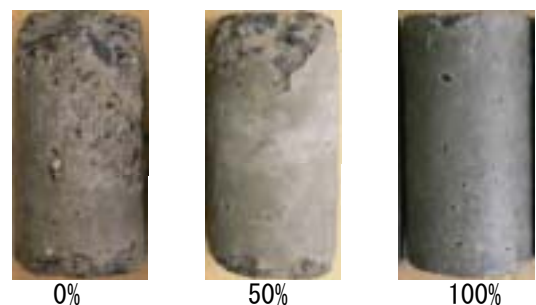


写真-2 硫酸塩水溶液浸せき供試体外観 (数字はシラス混合率を示す)

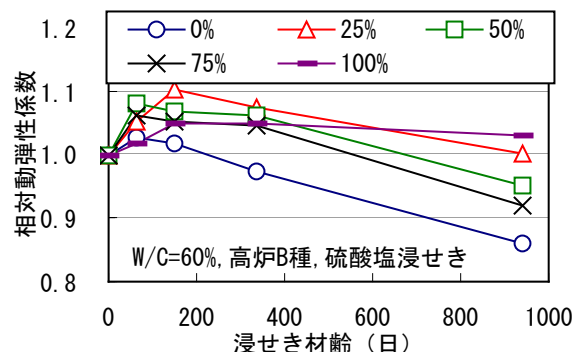


図-10 相対動弾性係数の経時変化

コンクリート供試体においては、側面からの深さが 1.5cm より深い位置では、浸せき材齢 11 ヶ月までのところ、塩化物イオン量はほとんど確認されなかった。また、シラス混合率 50%の場合においてもコンクリート中の全塩化物イオン量は、混合率 0%の場合の半分以下となっている。このように、シラスの使用による塩分浸透抑制効果は、今回の検討において明確に表れており、また、その効果はシラスの使用量が増えるほど大きくなるものと考えられた。

4. まとめ

本研究では、細骨材にシラスと普通砂を混合使用したシラス混合コンクリートのフレッシュ性状、力学的特性および耐久性について検討を行い、以下の知見が得られた。

(1) シラス混合コンクリートの配合設計において単位水量と細骨材率を決定する場合には、同一 W/C および同一スランプ値の普通砂コンクリートとシラスコンクリートの単位水量と細骨材率を基準として、それぞれをシラス混合率で線形補間することにより設定することが可能である。

(2) 水中養生のコンクリートにおいて、材齢 28 日の時点の圧縮強度および引張強度はシラス混合率の影響を大きくは受けず、普通砂コンクリートとほぼ同程度であった。一方、長期材齢においては、シラスのポズラン反応性によってシラス混合コンクリートの材齢 1 年以降の強度の伸びが確認され、普通砂コンクリートの強度よりも大きくなった。しかし、静弾性係数は、材齢に関わらずシラス混合率の増加に伴い若干小さくなる傾向を示した。

(3) 屋外暴露供試体における中性化深さは、材齢 1 年までのところ、シラス混合率が増加するに従って、幾分小さくなる傾向にあった。また、硫酸塩水溶液浸せき環境および海水浸せき環境においては、シラスの使用による耐硫酸塩性、塩分浸透抑制効果が明確に認められ、これらの効果はシラスの使用量が増えるに従って大きくなることが確認された。

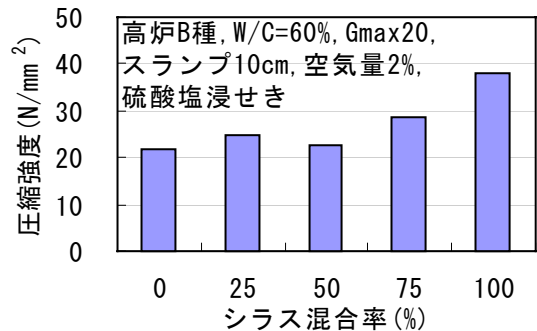


図-11 圧縮強度とシリラス混合率の関係

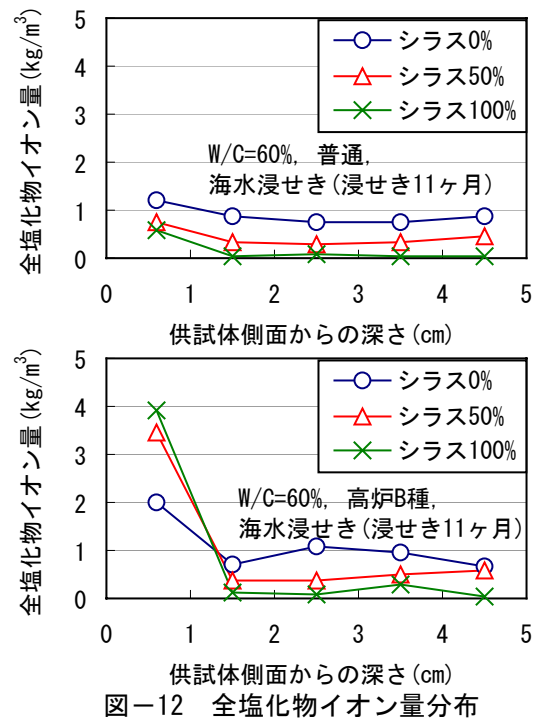


図-12 全塩化物イオン量分布

参考文献

- 1) 武若耕司, 川俣孝治: しらすコンクリートの長期強度特性および耐久性について, 第 45 回セメント技術大会講演集, pp.544-549, 1991
- 2) 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検討, コンクリート工学年次論文集, vol.26, No.1, pp.681-686, 2004
- 3) 武若耕司, 松本進, 川俣孝治: しらすのコンクリート用細骨材への利用に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, vol.9, No.1, pp.7-12, 1989
- 4) 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したコンクリートの配合と力学的特性に関する実験的検討, 土木学会西部支部研究発表会概要集, V-32, pp. 474-478, 2004. 3
- 5) 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耐久性に関する検討, 土木学会西部支部研究発表会概要集, V-23, pp. 799-800, 2005. 3
- 6) 樺山圭輔, 武若耕司, 中重朗: コンクリート用混和材としてのしらすの利用可能性に関する実験的研究, 土木学会第 49 回年次学術講演会概要集, V-200, pp.400-401, 1994