

異なる環境に設置した海水練りコンクリート中鉄筋の腐食傾向

鹿児島大学 学生会員 ○猿渡幸子
正会員 審良善和, 山口明伸, 小池賢太郎

1. 研究目的

離島をはじめとする真水の確保が難しい地域では、コンクリートの練混ぜ水を供給することが困難であるという問題がある。その対策として、練混ぜ水に海水を用いることが望まれている。しかし、海水を練混ぜ水として用いたコンクリート（以下、海水練りコンクリート）では、コンクリート中に鉄筋を埋設した場合に、塩害による鉄筋腐食の恐れがある。そこで、本研究では、既往の研究より塩害対策として有効なシラスを細骨材として用いることを考え、異なる環境に設置した海水練りコンクリート中鉄筋の腐食傾向を明らかにすることを目的に実験的検討を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

表-1 に海水練りコンクリートの配合を示す。セメントとして普通ポルトランドセメント、細骨材として普通砂（海砂）およびシラス（横川産）を、練混ぜ水として海水（鹿児島湾内）を使用した。表-2 に細骨材の密度および吸水率を示す。また、練混ぜ水に使用した海水のイオン量を表-3 に示す。水セメント比（W/C）

表-1 コンクリート配合

供試体種類	細骨材種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				AE減水剤 (L/m³)	高性能AE減水剤 (L/m³)	AE剤 (mL/m³)	消泡剤 (g/m³)
				W	C	S	G				
普通砂	海砂	50	44	175	350	759	993	3.15	-	-	28.00
シラス	シラス	50	35	198	396	497	1088	-	4.75	3.96	-

表-2 細骨材の密度、吸水率

	密度 (g/cm³)	吸水率 (%)
海砂	2.56	1.80
シラス	2.23	8.10

表-3 海水のイオン量

	単位 (mg/L)				
	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻
普通砂	9797	328	1094	425	15500
シラス	9521	322	1068	310	15029

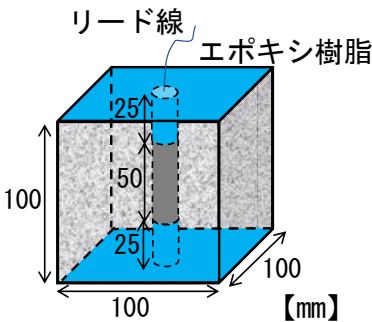


図-1 供試体形状

は 50%とし、目標スランプ値を 10±2.5cm、目標空気量を 4±1.5%となるように混和剤を用いて調整した。ここで、シラスは普通砂よりも単位水量が多くなるため、海水練りとした場合、初期塩化物イオン量はシラスが 3.0kg/m³、普通砂が 2.7kg/m³とシラスの方が多くなる。

暴露試験用供試体の形状を図-1 に示す。100×100×100mm の角柱供試体とした。供試体中央に黒皮を除去したφ16×100mm の丸鋼を設置し、鉄筋の中央部 50mm が試験面となるように鉄筋両端および供試体上下面をエポキシ樹脂で被覆した。なお、供試体は、打込み方向の違いも検討するため、鉄筋に対して垂直（横打ち）と平行（縦打ち）の 2 方向で打ち込んだ。養生は材齢 28 日まで封かんで養生した。

2.2 暴露試験

海上大気中、干満帯および室内の 3 環境に暴露した。暴露期間中は定期的に直線分極曲線を測定した。直線分極試験は、電位制御として、掃引速度を 20mV/min で自然電位から 300mV 程度分極させた。また、暴露 3, 11 ヶ月後に供試体を解体し、鉄筋の腐食面積率の測定を行った。腐食の原因を特定するため、細孔溶液の pH を溶出法により測定し、レーザー顕微鏡による形状測定も行った。なお、pH 測定用の溶出溶液は、コンクリート試験片を 150μm 以下に粉碎した粉末試料を用い、固液質量比 1:100 で蒸留水と混合したものを 1 時間攪拌し、20℃の室内で 24 時間静置した上澄み液を用いた。

キーワード 海水練りコンクリート, 鉄筋腐食, シラスコンクリート, 打込み方向, ブリーディング
連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学大学海洋土木工学プログラム

3. 結果および考察

3.1 暴露試験

図-2 に直線分極曲線より求めた腐食速度の経時変化を示す。腐食速度は表-4 により判定した。暴露環境の違いでは、干満帯の腐食速度が最も大きく、室内が最も小さい。いずれにしても、普通砂横打ちの干満帯暴露を除く全ての供試体の腐食速度は $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以下であり、「不活性もしくは極めて低速」の範囲で極めて小さい腐食速度であった。特に、室内は乾燥の影響を受け暴露 10 ヶ月以降は腐食が停止していると推察される。打ち込み方向の違いでは、横打ちの腐食速度が大きく、細骨材による違いでは、普通砂の腐食速度が大きくなる傾向にあった。また、普通砂横打ちの供試体の腐食速度は供試体の個体差が大きくなった。

図-3 に鉄筋の腐食面積率の経時変化を示す。縦打ちの供試体は腐食が確認されなかった。鉄筋周辺に欠陥が生じなかったことが影響していると考えられる。一方、横打ちの供試体に関しては、干満帯では普通砂に、海上大気中では普通砂およびシラスに、室内ではシラスに腐食が確認された。このことから、水の供給がある環境下で普通砂の腐食が進行し、一方、乾燥しやすい環境下でシラスの腐食が進行する傾向が認められる。シラスコンクリートは乾燥により酸素の侵入を容易にしたこと、ポズラン反応により pH が低下したことが原因であると考えられる。ここで、コンクリート内部の pH を測定したところ、シラスが $\text{pH}=12.0$ 、普通砂が $\text{pH}=12.1$ と、若干シラスの pH が小さい結果となった。これらが腐食に影響を及ぼしたのではないかと考えられる。ここで、腐食の発生位置について確認すると、写真-1 に示すように打設面に対して鉄筋の下面にのみ腐食が見られた。ただし、細骨材の違いによる錆の状態を比べてみると、腐食面積は同程度であったものの、シラスは非常に薄い黒錆が多く、一方で、普通砂は進行性のある赤錆が多い。このことから、シラスは普通砂よりも腐食の進行を抑制している可能性が高い。また、干満帯において腐食を抑制しているのはポズラン反応による内部が緻密化し遮塩性を高めていることが考えられる。

写真-2 に鉄筋周辺断面のレーザー顕微鏡分析の結果を示す。普通砂の鉄筋周りにはおよそ半周にわたりブリーディングによる空隙が形成されているのに対して、シラスはブリーディングによる空隙はなく、練混ぜ時に連行される気泡が鉄筋下面に残存している程度であった。これは、ほとんどブリーディングが生じないシラスコンクリートの特徴でもある。直線分極試験で見られた腐食速度のばらつきは、この鉄筋下面の空隙の影響を受けていると考えられる。また、横打ちで鉄筋下面に腐食が見られたことについても同様に鉄筋周りの空隙が腐食しやすい環境になったと考えられる。

4. まとめ

本研究では海水練りコンクリートの腐食について検討を行った。コンクリート内部の含水状態が異なることで、普通砂は屋外環境で、シラスは乾燥環境で腐食の進行が認められた。なお、シラスコンクリートはブリーディングの発生が小さく、物質透過抵抗性が高いため腐食の進行を抑制していると予想される。

参考文献

- 1) 松元慎吾：粒度調整した砕砂を用いたコンクリートのフレッシュ特性について，土木学会西部支部，2021

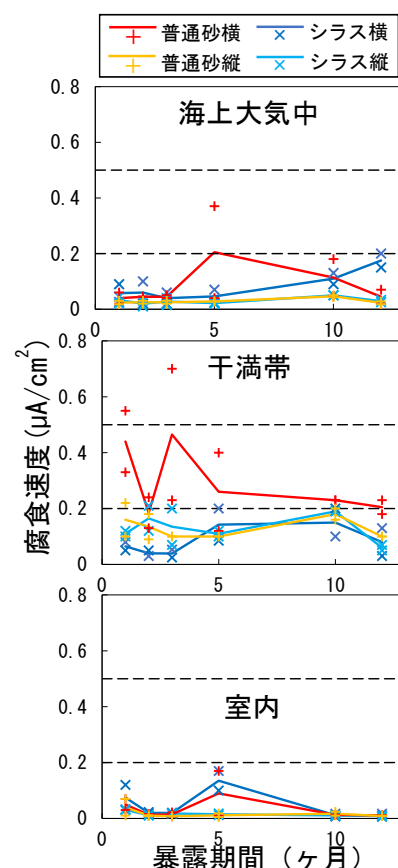


図-2 直線分極試験結果
表-4 腐食速度の判定基準

腐食電流 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	腐食速度
$<0.1 \sim 0.2$	不活性もしくは極めて低速
$0.2 \sim 0.5$	低～中速
$0.5 \sim 1.0$	中～高速

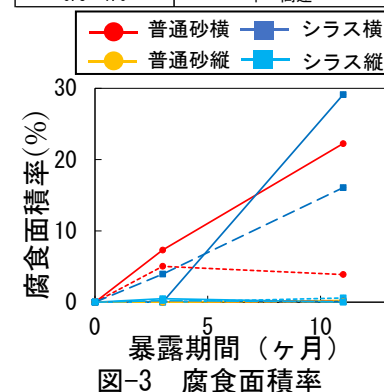


図-3 腐食面積率



写真-1 横打ちの腐食

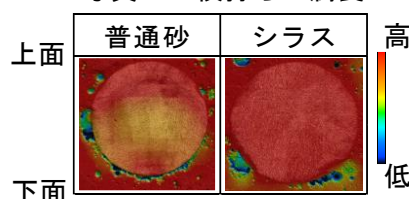


写真-2 横打ち供試体の断面