

# 高炉スラグ微粉末を用いた海水練コンクリートの強度発現性および中性化抵抗性に関する研究

九州大学 学生会員 室山 賢一

九州大学大学院 学生会員 Adiwijaya 正会員 濱田 秀則

正会員 佐川 康貴 正会員 山本 大介

## 1. はじめに

コンクリートの練混ぜ水に海水を用いた場合、Cl<sup>-</sup>による鉄筋の腐食促進が懸念されるため、一般的に練混ぜ水に用いられていない。その一方で、離島など水道水の入手が困難な地域においては材料費、輸送費の削減だけでなく輸送に伴うCO<sub>2</sub>発生も抑制できるため、海水を練混ぜ水に利用することが検討されている。本研究では、海水練りコンクリートの強度発現性および中性化抵抗性について、水道水練りコンクリートと比較することで検証した。

## 2. 実験概要

高炉スラグ微粉末にはCl<sup>-</sup>をフリーデル氏塩として固定化する能力が高いことが知られている。この作用により、海水練りコンクリート中に含まれるCl<sup>-</sup>が固定化され、埋設鉄筋の腐食が抑制されることが既往の研究で明らかになっている<sup>1)</sup>。しかし、高炉スラグ微粉末を含むコンクリートでは中性化に対する抵抗性が小さくなり、中性化により固定化されたCl<sup>-</sup>が再び拡散することが懸念される。また、拡散された塩化物イオンは中性化の及んでいない内部に濃縮されることも既往の研究で明らかになっている<sup>2)</sup>。これを踏まえ、海水練りコンクリートの圧縮強度試験および中性化試験を実施した。

表-1に使用材料を示す。海水は福岡県糸島市の海岸より採取し、コンクリートの練混ぜ水および養生水として用いた。表-2にコンクリートの示方配合を示す。水結合材比W/Bを40%、50%、60%の3水準とし、水道水練りと海水練りで合計6水準とした。結合材は、セメントに対して高炉スラグ微粉末を質量比で50%置換したのを用いた。配合名は「練混ぜ水-水結合材比」とし(記号は表-2を参照)、S40についてのみ高性能AE減水剤を使用した。供試体は圧縮強度試験ではφ100×200mmの円柱供試体とし材齢28日まで水道水養生、海水養生、気中養生の3種類の養生を室内(温度20℃、湿度60%)で行った。中性化促進試験では100×100×400mmの角柱供試体とし、室内(温度20℃、湿度60%)で28日まで気中養生を行った後、中性化促進試験機(温度20℃、湿度60%、CO<sub>2</sub>濃度5%)にて28日養生した。各養生条件にて圧縮強度は3体平均、中性化は2体とし、フェノールフタレイン水溶液を割裂面に吹きかけ、赤紫色に呈色した深さを中性化深さとして測定した。

表-1 使用材料

使用材料	記号	詳細
セメント	C	普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm <sup>3</sup> )
高炉スラグ微粉末	BFS	高炉スラグ微粉末4000(密度2.91g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	SS	海砂(密度2.56g/cm <sup>3</sup> ,吸水率1.61%)
粗骨材	G	砕石(密度2.77g/cm <sup>3</sup> ,吸水率0.71%)
水道水	T	水道水(密度1.00g/cm <sup>3</sup> )
海水	S	自然海水 (密度1.02g/cm <sup>3</sup> ,pH8.31,Cl量17.8g/l)

表-2 コンクリート示方配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							AE減水剤 (g/m <sup>3</sup> )	高性能AE減水剤 (g/m <sup>3</sup> )	AE剤 (ml/m <sup>3</sup> )	無水石膏	スランブ (cm)	空気量 (%)
			練混ぜ水W		結合材B		細骨材 SS	粗骨材							
			水道水T	海水S	セメント C	高炉スラグ BFS		G1	G2						
T 40	40	45	160	0	200	200	764	606	404	2000	0	769	6.80	10.5	4.0
T 50	50	45	160	0	160	160	800	648	432	1400	0	1077	5.44	12.0	4.5
T 60	60	45	160	0	133	133	814	646	431	833	0	1410	4.52	6.5	5.0
S 40	40	45	0	165	206	206	759	602	402	0	3708	792	7.00	8.0	5.1
S 50	50	45	0	165	165	165	797	645	430	1236	0	1109	5.61	5.0	4.0
S 60	60	45	0	165	138	138	811	644	429	944	0	1453	4.68	7.0	4.8

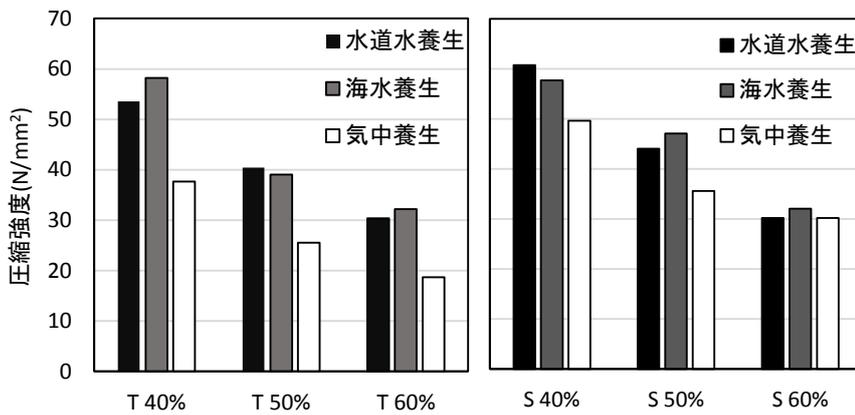


図-1 圧縮強度試験結果 (材齢 28 日)

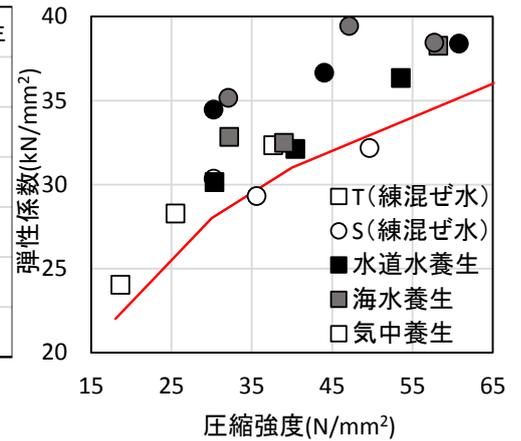


図-2 圧縮強度と静弾性係数の関係

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 圧縮強度試験結果

図-1 に水道水練りおよび海水練りにおける圧縮強度試験の結果を示す。これらの図から、水道水養生と海水養生の強度は、配合に関わらずほぼ同程度の値を示した。同じ W/B において水道水養生および海水養生の強度を比較した結果、大きな差は確認できなかった。その一方で、気中養生では海水練りの方が水道水練りよりも強度は大幅に増加した。この原因として、コンクリート内部の含水状態の違いが考えられたため、気中養生における含水比を求めた結果、表-3 に示す通りとなった。なお、含水率は測定後の試験体を破砕し、110℃で24時間乾燥させた前後の質量差から算出した。表より、同じ W/B では海水練りの方が水道水練りよりも含水率が大きいことが分かる。この結果は海水中の塩分によって水分の逸散が少なくなったため、コンクリート中の含水率に違いが生じ、圧縮強度に差が発生したと推察されるが、今後、更なる検討が必要である。また、図-2 に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。図中の実線はコンクリート標準示方書に示される関係を表したものである。水道水中および海水中で養生した海水練りコンクリートは静弾性係数のやや大きくなる傾向を示した。

表-3 含水率 (%)

練混ぜ水W	W/B	
	40	60
T	4.80	3.93
S	5.76	5.34

表-4 中性化速度係数 (mm/√週)

練混ぜ水W	W/B		
	40	50	60
T	7.00	11.25	14.25
S	4.75	7.25	9.25

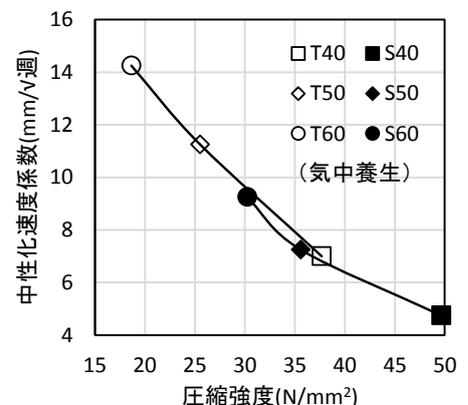


図-3 圧縮強度と中性化速度係数の関係

#### 3.2 中性化促進試験結果

$\sqrt{t}$  則を仮定し、中性化深さの測定結果から算出した中性化速度係数を表-4 示す。表より中性化速度係数は全ての W/B において海水練りの方が小さいことが分かる。図-3 に圧縮強度と中性化速度係数の関係を示す。この図より圧縮強度が大きいほど、中性化速度係数は小さくなることが分かる。また、圧縮強度と中性化速度係数の関係は本試験においては水道水練り、海水練りが一つの関係式で示された。

### 4. 結論

- (1) 圧縮強度試験の結果、気中養生において海水練りの方が水道水練りより強度が大きくなった。
- (2) 海水練りで水道水養生および海水養生をすると、静弾性係数が大きくなる傾向にあった。
- (3) 中性化への抵抗性は水道水練りよりも海水練りの方が高く、また W/B の小さい方が高くなる傾向を示した。

#### 参考文献

- 1) 大即信明：練混ぜ水に海水を用いた混合セメント中の鉄筋腐食に関する研究，平成 24 年度港湾空港建設技術サービセンタ報告書，pp.30-38，2013
- 2) 小林一輔：コンクリートの炭酸化に関する研究，土木学会論文集，No.433/V-15，pp.1-14，1991