

海水練りセメント硬化体の初期強度増進効果に関する実験的検討

五洋建設(株)	正会員	○酒井 貴洋	BASF ジャパン(株)	正会員	馬場 勇介
東亜建設工業(株)	正会員	田中 亮一	東洋建設(株)	フェロー	佐野 清史
港湾空港技術研究所	正会員	山路 徹	早稲田大学	フェロー	清宮 理

1. はじめに

著者らは、海水や海砂を用いた場合でも優れたセメント分散性能を発揮する新規混和剤およびそれを用いた自己充填型コンクリートを開発し、これまでフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの諸特性について検討を重ねてきた¹⁾。海水を練混ぜ水として用いたコンクリートの初期強度増進効果については古くから報告されているが²⁾、そのメカニズムについては十分に明らかにされていない。このため本稿では海水練りセメント硬化体に特有である初期強度の増進メカニズムについて実験的検討を行い、過去の知見を参考として考察を行った。

2. 実験概要

2.1 セメントペーストの水和発熱速度

海水に含有する各成分がセメントの初期水和反応に及ぼす影響を検討するため、普通ポルトランドセメントを用いたセメントペーストの水和発熱速度の測定を行った。測定には、コンダクションカロリメータを用い、セメントペーストの水セメント比(W/C)は45.0%、反応温度は20.0℃とした。試験水準を表-1に示す。試薬には、海水の主成分であるNaCl、MgCl₂、CaCl₂、KClおよびNa₂SO₄のそれぞれを用いた。なお海水の主成分のうち約70%はNaClであることから、海水がセメントの水和反応や硬化性状に及ぼす影響は、このNaClが支配的であると仮定した。そこで本研究では、NaClを海水と同濃度に調整した系について検討すると共に、ごく僅かではあるが海水に含有しているイオン類Mg²⁺、Ca²⁺、K⁺、SO₄²⁻がセメントの水和反応に及ぼす影響について検討を行った。NaClの添加量は、ASTM D 1141 - 98 (2003)「Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water」(表-2)を参考にし、24.53 g / 練混ぜ水1Lとした。また、Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、K⁺といった陽イオン類が諸性状に及ぼす影響を検討するため、NaClと同量のCl⁻量となるよう、MgCl₂、CaCl₂、KClをそれぞれ添加した系について実施した。さらに、Cl⁻やSO₄²⁻などの陰イオンが諸性状に及ぼす影響についても検討するため、NaClと同量のNa⁺量となる様にNa₂SO₄を添加した系についても併せて実施した。

2.2 モルタルの圧縮強度および細孔径分布

表-1と同様の試験水準で、モルタルの圧縮強度(材齢1, 3日)および水銀圧入式ポロシメータによる細孔径分布(材齢3日)の測定を行った。セメントには市販の普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm³)を、細骨材には大井川水系陸砂(密度: 2.58g/cm³)を用いた。モルタル配合はW/C=45.0%、S/C=2.2、供試体はφ5 cm × 10 cmとし、所定材齢まで20℃で封かん養生した。

キーワード 海水、海水練りセメント硬化体、初期強度、水和発熱速度、細孔径分布

連絡先 〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1 五洋建設(株)技術研究所 TEL 0287-39-2109

表-1 試験水準

No.	種類 (記号)	試薬の添加量 (g/練混ぜ水 1L)		
		添加量	Cl ⁻	Na ⁺
1	無添加(PL)	-	-	-
2	NaCl	24.53	14.88	9.65
3	MgCl ₂	19.98	14.88	-
4	CaCl ₂	23.29	14.88	-
5	KCl	31.29	14.88	-
6	Na ₂ SO ₄	29.81	-	9.65

表-2 人工海水の主成分と濃度

化合物	濃度 (g / L)
NaCl	24.53
MgCl ₂	5.20
Na ₂ SO ₄	4.09
CaCl ₂	1.16
KCl	0.695
NaHCO ₃	0.201
KBr	0.101
H ₃ BO ₃	0.027
SrCl ₂	0.025
NaF	0.003

3. 実験結果

3.1 セメントペーストの水和発熱速度

水和発熱速度の測定結果を図-1に示す。NaClを海水と同濃度に調整した系では、無添加PLと比較して注水後の反応の停滞している誘導期が短縮し、その後の発熱速度が加速度的に高まる加速期への移行が早まっている。また、加速期から減速期に移行する発熱速度が最大となるピークの時間が早まり、またピーク時の発熱速度も高くなっている。これはNaClによってC₃Sの初期水和反応が促進されたことを示すものである。また、NaClとKClは同様の傾向を示し、アルカリ金属であるNa⁺、K⁺がセメントの初期水和反応に及ぼす影響には優位な差は認められなかった。一方、アルカリ土類金属であるMg²⁺、Ca²⁺の系ではさらに誘導期が短縮し、加速期への移行やピークの時間が早まり、またピーク時の発熱速度もさらに高くなっている。この傾向はとくにCa²⁺で顕著であった。これは、従来から知られているCa²⁺がセメントの水和を促進するとの既往の研究³⁾と傾向が一致した。

3.2 モルタルの圧縮強度および細孔径分布

圧縮強度の試験結果を図-2に示す。NaClのケースではPLと比較して、材齢1日で62%、材齢3日で32%圧縮強度が増大し、初期材齢ほどその傾向が顕著であった。一方、その他の系でも初期強度増進効果が認められたが、海水中的実際の含有量は極微量であるため、海水による初期強度増進効果は、その成分の大半を占めるNaClが支配的であると推察される。こうしたNaClの傾向は、海水を用いた既往の結果²⁾と概ね一致した。図-3および図-4にそれぞれ材齢3日の細孔径分布および総細孔容積を示す。NaClのケースでは、無添加PLと比較して、ピーク径やピーク高さが細かい側にシフトしており、組織が緻密化されている傾向にあった。また、KClやCaCl₂についても同様の傾向であった。一方、MgCl₂およびNa₂SO₄はPLよりもピーク径はやや細かい側にシフトはするが、ピークの高さはさほど変化しておらず、組織がやや粗大なままの状態であり、総細孔容積と図-2に示す圧縮強度には相関関係が認められた。

4. まとめ

海水の主成分であるNaClによって、セメントの水和反応が促進され、組織が緻密化されることでセメント硬化体の初期強度が増進することがわかった。また、Ca²⁺、K⁺も水和を促進し組織を緻密化する効果はあるものの、海水中的の含有量は極微量であるため、海水による初期強度増進は、NaClの影響が支配的であると考えられた。

本検討は、早稲田大学清宮研究室、五洋建設(株)、東亜建設工業(株)、東洋建設(株)、BASF ジャパン(株)の共同研究として実施したものである。

参考文献 1) 例えば 竹中 寛, 内藤英晴, 羽瀨貴士, 清宮 理: 海水および海砂を用いた自己充てん型コンクリートの基礎特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1912-1917, 2012.6 2) コンクリート分野における海水の有効利用に関する研究委員会報告書, 公益社団法人日本コンクリート工学会, 2014.09 3) 例えば 笠井順一: セメント化学概論(その4), コンクリート工学, Vol.22, No.2, pp.50-55, 1984.02

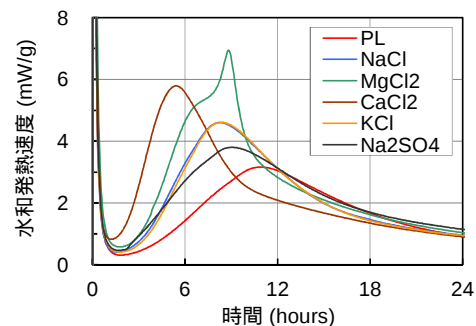


図-1 水和発熱速度

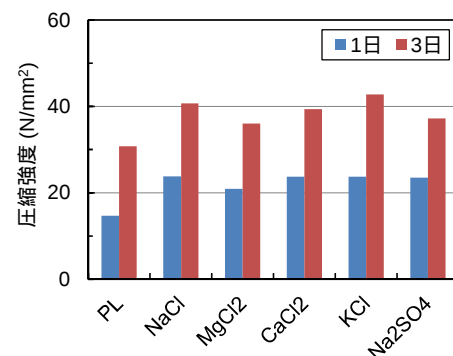


図-2 圧縮強度試験結果

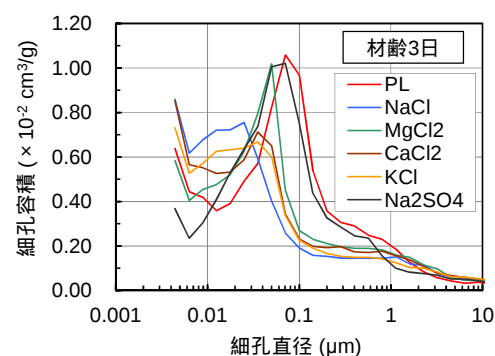


図-3 細孔径分布

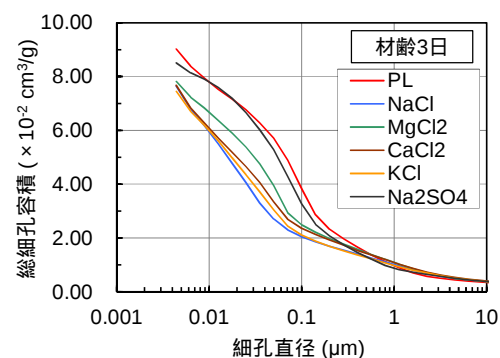


図-4 総細孔容積