震災復興のためのコンクリート技術開発

研究代表者　清宮　理
（創造理工学部　社会環境工学科　教授）

１．研究課題

先般の大震災のように，陸･海路の輸送手段が大きな被害を受けた沿岸地域においては，緊急復旧工事に要する材料の調達や作業員の確保が課題となる．このような条件下でコンクリートを製造・施工する場合，できるかぎり施工場所の近傍で調達可能な海水や未洗浄の海砂などの材料を使用すること，コンクリートの構成材料の種類を最小限に抑え，容易に製造できること，また，自己充填性を有するコンクリートを使用し，締固め作業を省力化することで施工速度を向上することなどが求められる．構成材料のうち，練混ぜ水として海水を用いたコンクリートについては，従来から多くの研究がなされているが，強度および流動性に与える影響については未だ未解明の部分が多い．また，上記のように製造や施工効率の向上についても考慮する場合，海水や海砂を使用することに加え，より少ない構成材料でコンクリートに自己充填性を付与することが有効と考えられる．塩分を含む骨材、海水を使用したコンクリートの基本的力学特性を把握し、コンクリート製造工場がなく良質な骨材、水などない施工環境でのコンクリート製造について検討する。このような環境で製作されたコンクリートが良好な力学性状および長期間耐久性があるか暴露試験など各種試験で把握する。

2.　主な研究成果

モルタルの圧縮強度試験結果を**図-1** 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，初期材齢ほどセメントの水和が促進される傾向が認められた．一方，材齢の進行に伴い，その増大率は低下し，材齢 7 日で 3%，材齢 25 日では 0.7%となった. 材齢 28 日では両者は同程度か，淡水の方が若干大きい値を示すている．海水の成分の影響として、NaCl と KCl の比較では，初期水和の段階や材齢 1 日までは Na^+, K^+に差異は認められなかったが，KCl の圧縮強度は材齢 3～25 日において，NaCl や PL よりも上回る傾向にあ

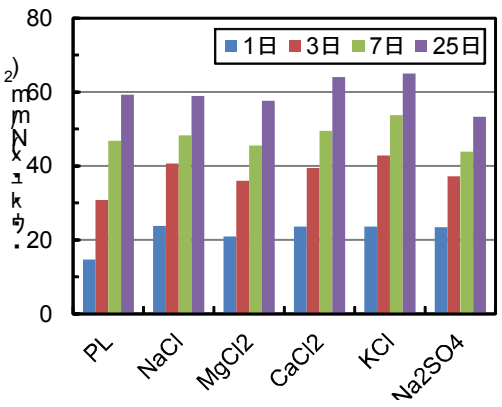

図-1　圧縮強度試験結果

った．また，初期水和発熱量が高かった $CaCl_2$ については，Ca^{2+}の効果により材齢 25 日まで継続して強度が増大したが，$MgCl_2$ は材齢 7 日以降 PL よりも下回った．Na_2SO_4 は，何れの材齢においても NaCl の圧縮強度を下回る傾向にあり，Cl^-は SO_4^{2-}よりも圧縮強度を増大させる効果が高いことが確認できた．以下に主要な結論を示す。

(1) 海水を練混ぜ水として用いたセメント硬化体の初期強度増進効果は，海水の主成分である NaCl の影響が支配的であり，これによって C_3S の初期水和反応が促進されること，また海水を用いないものと比較して，形成された硬化体組織が緻密となる効果が認められた．

(2) 化学混和剤を使用しない場合では，海水と同等の NaCl 濃度では流動性は低下しないが，ポリカルボン酸系混和剤を使用した海水練りコンクリートでは，無機イオン（特に Cl^-イオン）の影響により流動性が低下する傾向が確認された．

(3) 新たに開発した塩分含有用増粘剤一液型高性能 AE 減水剤（新規混和剤）を用いることにより，Cl^-イオンを多く含む海水や海砂を使用した場合でも，優れた流動性と自己充填性を得ることができる．

(4) 新規混和剤を用いたコンクリートは，従来の高流動コンクリートに比べて粘性が小さく，適度な材料分離抵抗性を有するため，ポンパビリティが良好で，打込み作業時の流動速度が速くなり，施工の効率化が期待できる．

(5) 海水や海砂を用いた場合，上水道水や陸砂を用いた場合に比べて初期材齢（特に 3～7 日前後）での強度発現性が向上し，圧縮強度，割裂引張強度および曲げ強度が大きくなった．3 ヶ月を経過するとこれらの諸量はほぼ同程度となった．

(6) 圧縮強度と静弾性係数および割裂引張強度の関係では，塩化物イオンの含有に伴う影響は認められなかった．ただし，静弾性係数に関しては既往の推定式よりやや低めの値となった．

(7) コンクリートの打込み温度が 20℃と 35℃とで各種性状に大きな差異は無く，高温においても所定の性能を保有していた．

(8) 海水や海砂を使用したコンクリートの乾燥収縮は，上水道水や陸砂を用いたコンクリートと同等であるが，上水道水や陸砂を用いた場合に比べて初期材齢における強度発現性が向上するため，初期ひび割れに対する抵抗性の向上が期待できる．

(9) 海水や海砂を用いた場合，終局温度上昇量は上水道や陸砂を用いた場合とほぼ変わらないが，温度上昇速度は早くなった．また，熱膨張係数は上水道水や陸砂を用いたコンクリートに比べて若干大きくなった．

3. 共同研究者

山路　徹　（港湾空港技術研究所材料研究チームチームリーダー早稲田大学客員教授）
佐野　清史（東洋建設株式会社 技術本部　早稲田大学客員教授）
末岡　英二（東洋建設株式会社　美浦研究所長（工博））
内 藤 英晴　（五洋建設株式会社　（工博）早稲田大学客員教授）
羽渕　貴士　（東亜建設工業(株)技術研究開発センター（工博）早稲田大学客員教授）
安　同祥　　（早稲田大学　理工学術院　　客員教授）

4. 研究業績

1) 竹中寛、末岡英二、佐野清史、清宮理：海水および海砂を用いた自己充填型コンクリートへのフライアッシュの適用性、コンクリート工学年次論文集、Vol.37,No.1、2015.7、pp.1453-1458
2) 酒井貴洋、山路徹、清宮理：海水および海砂を用いた自己充填型コンクリートの実用化に関する基礎的研究、土木学会論文集,2015.
3) 末岡英二、竹中寛、酒井貴洋、田中亮一、山路徹、清宮理：海水・海砂を用いた自己充填コンクリートへのフライアッシュ適用の効果、第5回コンクリート技術大会(盛岡)、2015.10、
4) 酒井貴洋、竹中寛、田中亮一、小山広光、山路 徹、清宮 理：海水および海砂を用いた自己充填型コンクリートの基礎特性、コンクリート工学Vol.5,3No.12、2015.12、pp.1038-1045
5)Takashi Habuchi、Yuichiro Kawabata、Naoya Kawamura、Ryouichi Tanaka、Jun Kutsuna、Toru Yamaji and Osamu Kiyomiya：Study on ASR Expansion and its Suppressing Measures of Self-compacting Concrete using Sea Water、15th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction、2015.5
6) Hiroshi Takenaka、Takahiro Sakai、Hiromitsu Koyama、Toru Yamaji and Osamu Kiyomiya：Fundamental Properties of Self-Compacting Concrete Using Sea water and Sea Sand、International Conference on the Regeneration and Conservation of Concrete Structures (RCCS)、2015
7) Takahiro Sakai、Hiroshi Takenaka、Ryoichi Tanaka、Toru Yamaji、and Osamu Kiyomiya：Characteristics and Applicability to Underwater Concrete of Self-Compacting Concrete Using Sea Water and Sea Sand、International Conference on the Regeneration and Conservation of Concrete Structures (RCCS)、2015
8) Takashi HABUCHI、Toru YAMAJI、Ryoichi TANAKA、Takahiro SAKAI、Takumi SAWADA、Yoshikazu AKIRA、Kiyofumi SANO and Osamu KIYOMIYA：SITE INVESTIGATION AND CORROSION PREVENTION CAPACITY OF CONCRETE USING SEA WATER AND UNW ASHED SEA SAND、International Conference on the Regeneration and Conservation of Concrete Structures (RCCS)、2015

5. 研究活動の課題と展望

海水や海砂を使用した自己充填型コンクリートは，無筋コンクリートに適用する場合には各種性状を考慮して有効な活用が期待できるが，塩分を多量に含むことから，鉄筋コンクリートに適用する場合には，エポキシ樹脂塗装鉄筋やステンレス鉄筋を併用するなど耐久性への配慮が必須と考えられ，今後の検討課題としたい.