

論文 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

竹中 寛^{*1}・内藤 英晴^{*2}・羽瀧 貴士^{*3}・清宮 理^{*4}

要旨：本研究では、練混ぜ水や細骨材として海水や海砂を使用した自己充てん型コンクリートの開発を目的として、海水や海砂を用いたコンクリートに優れた流動性と適度な粘性を付与できる新規混和剤を開発し、それを用いたフレッシュコンクリートや硬化コンクリートの基礎特性を確認した。その結果、コンクリート用材料として海水や海砂を用いた場合においても、新規混和剤を使用することにより、優れた流動性と適度な材料分離抵抗性を有する自己充てん型コンクリートを製造することができ、上水道水や陸砂を用いた自己充てん型コンクリートと同等以上の基礎特性を示すことがわかった。

キーワード：海水、海砂、自己充てん型コンクリート、高性能 AE 減水剤

1. はじめに

国内外の離島や沿岸部での港湾工事においては、過酷な施工環境であったり、陸上および海上のアクセスが悪い地域も多く、上水道水や骨材などの材料調達や、建設労働者の確保が困難な場合がある。また、今回の東日本大震災のように、陸・海路など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し打ち込む場合、できるかぎり施工場所の近傍で調達可能な海水や海砂（除塩を行っていないものを含む）などの材料を使用すること、最小限の種類の構成材料でシンプル且つコンパクトに製造できること、さらには締固めなどの人力作業を伴う打込み時の工程を省力化し、施工速度を向上することが求められる。海水を用いたコンクリートについては、従来から研究がなされている^{1),2),3),4)}が、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、コンクリートに少ない構成材料で自己充てん性を付与することが有効と考えられる。しかしながら、従来の高流動コンクリートは、粘性が高くポンプ圧送時の負荷が増加すること、仕上げ作業が困難になること、フライアッシュや高炉スラグ微粉末などの混和材や増粘剤を添加するため、構成材料の種類が多くなることなどの課題を抱えている。また、材料に海水や海砂を用いた場合は、高い流動性を発揮しにくい傾向がある。

そこで、著者らは上記の課題を改善すべく、海水および海砂を用いた場合でも優れた流動性を確保し、且つ低粘性な特長を付与できる塩分含有増粘剤一液型高性能 AE 減水剤の検討を行い、この混和剤を用いたフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの基礎特性を確認した。

2. 塩分を含有する配合に適した混和剤の開発

低粘性な高流動コンクリート用混和剤として、既に増粘剤一液型高性能 AE 減水剤⁵⁾（以下、既存混和剤と称す）が開発されている。この混和剤は、ポリカルボン酸エーテル化合物と増粘性高分子化合物の複合体であり、混和材や増粘剤などの複数の材料を併用せずに、コンクリートに優れた流動性を付与できるという特長を有する。しかしながら、塩分を多量に含有する海水や海砂と併用した場合はコンクリートの流動性が発揮しにくくなり、所要の流動性を付与するため混和剤を過剰に添加する必要があった。混和剤の過剰な添加は、コンクリートの材料費が増加することや、コンクリートの凝結時間を遅延させるなどの弊害をもたらす。そこで、著者らは既存混和剤に対し、セメント粒子の分散性を向上するための改良を加え、海水や海砂と併用した場合でもコンクリートの流動性の低下が少ない増粘剤一液型高性能 AE 減水剤（以下、新規混和剤と称す）を開発した。

スランプフローを 600mm にするために要する既存混和剤と新規混和剤の添加率を図-1 に示す。上水道水および陸砂を用いたコンクリート（後述する配合（OC）参照）の場合、所要の流動性を得るための添加率は、既存混和剤と新規混和剤では大きな相違は認められなかった。一方、海水および海砂を用いたコンクリート（後述する配合（SW-SS）参照）の場合、既存混和剤の添加率はセメント質量の 3.5%であったのに対し、新規混和剤は 1.7%と添加率を半分に抑えることができた。

以上のように、既存混和剤に改良を加えた新規混和剤の、塩分を含有するコンクリートにおける優位性が認められたため、この新規混和剤を海水や海砂を用いた自己充てん型コンクリート用混和剤として用い、基礎特性を確認した。

*1 東洋建設（株） 美浦研究所 主任研究員 博(工) (正会員)

*2 五洋建設（株） 技術研究所 部長 博(工) (正会員)

*3 東亜建設工業（株） 技術研究開発センター 新材料・リニューアル技術グループリーダー 博(工) (正会員)

*4 早稲田大学 創造理工学部 社会環境工学科 教授 工博 (正会員)

3. 試験概要

3.1 配合および使用材料

コンクリートの配合を表-1 に示す。配合は練混ぜ水に上水道水、細骨材に陸砂を使用した基本配合 (OC) に加え、練混ぜ水に海水、細骨材に海砂を使用した配合 (SW-SS) と、練混ぜ水に海水、細骨材に陸砂を使用した配合 (SW-LS) の3水準とし、それぞれ標準温度 (20℃) と高温 (35℃) の環境条件下で試験を行った。コンクリートの水セメント比は 45%, 単位粗骨材絶対容積は $0.330\text{m}^3/\text{m}^3$ で一定とし、スランプフローが $600\pm 50\text{mm}$ の範囲になるよう、単位水量および混和剤の添加率を調整した。また、35℃の高温環境の場合、全ての配合で時間経過に伴い流動性が急激に低下したため、流動性の経時保持性の向上を目的として、一部の配合 (SW-SS) で流動性保持剤を併用した。各配合の塩化物イオン量 (理論値) は、表中に併記したとおりである。

コンクリートの使用材料を表-2 に示す。練混ぜ水に用いた海水は相模湾で採水したものであり、海水中に質量比で 1.80% の塩化物イオンを含有していた。海水の成分を表-3 に示す。海砂には除塩処理を施していない状態のものを使用しており、塩化物イオン量は質量比で 0.187% であった。また、一部の配合に使用した流動性保持剤は、本研究において新たに開発したポリカルボン酸系のものであり、強い減水効果は示さないものの、流動性の経時保持性に優れるところにその特徴がある。

3.2 試験項目および方法

コンクリートの試験項目の一覧を表-4 に示す。スランプフローは、練混ぜ完了後に試験を行った後、試料を

静置した状態で、最長 90 分まで 500mm 到達時間 (T500) および停止時間 (Tstop) の経時変化を確認した。また、硬化性状 (圧縮強度、静弾性係数、割裂引張強度) を確認する供試体は、材齢 1 日まで練混ぜ時と同じ温度環境下で封かん養生を行った後に脱型し、その後も同じ温度の水中において所定の材齢まで養生を行った。

4. コンクリートの基礎特性

4.1 フレッシュコンクリートの性状

(1) 流動性

練混ぜ完了後からの経過時間とスランプフローの関係を図-2 に示す。20℃と 35℃の何れの環境においても、全ての配合で練混ぜ完了後のスランプフローが 600mm 以上となり、優れた流動性を有することが認められた。20℃の環境においては、その後、海水と海砂を使用した配合 (SW-SS) で 90 分、基本配合 (OC) と海水と陸砂を使用した配合 (SW-LS) で 60 分程度まではスランプフ

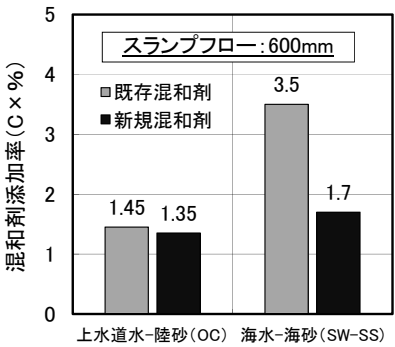


図-1 スランプフロー600mm の混和剤添加率

表-1 コンクリートの配合

No.	記号	目標 スランプ フロー (mm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位粗 骨材絶対 容積 (m^3/m^3)	単位量 (kg/m^3)						混和剤		環境温度 (℃)	塩化物 イオン量 (kg/m^3)
							W1	W2	C	S1	S2	G	Ad1 (C×%)	Ad2 (C×%)		
1	OC	600	4.5	45	49.7	0.330	175	—	389	848	—	878	1.45	—	20 35	0.05
2	SW-SS				48.4		—	185	411	—	825	878	1.75	— 1.00※	20 35	
3	SW-LS				49.7		—	175	389	848	—	878	1.65	—	20 35	

※スランプフロー試験, U形充てん試験のみ

表-2 使用材料

材料名	記号	種類	物理的・化学的性質
練混ぜ水	W1	上水道水	
	W2	海水 (相模湾, 茅ヶ崎海岸)	表-3参照
セメント	C	高炉セメントB種	密度 $3.04\text{g}/\text{cm}^3$
細骨材	S1	陸砂 (大井川水系)	表乾密度 $2.60\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率1.86%, 粗粒率2.66
	S2	海砂 (東村新川沖産, 除塩前)	表乾密度 $2.66\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率2.00%, 粗粒率2.37, 塩化物イオン量0.187%
粗骨材	G	硬質砂岩砕石 (青梅産)	表乾密度 $2.66\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率0.58%, 最大寸法20mm
混和剤	Ad1	塩分含有用増粘剤-1液型高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物と増粘性高分子化合物の複合体
	Ad2	流動性保持剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物

表-3 海水の成分

密度 [20℃] (g/cm ³)	pH [20℃]	固形分濃度 [105℃, 3hr] (%)			
1.025	8.0	3.48			
各種イオンの含有量 (%)					
Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺
1.80	0.23	1.08	0.03	0.05	0.12

表－4 試験項目および方法

試験項目	試験方法	試験条件等
スランプフロー・時間	JIS A 1150	測定時期：練混ぜ完了後0, 30, 60, 90分 フロー時間：500mmフロー到達時，フロー停止時
充てん高さ・時間	JSCE-F 511	流動障害：R2 充てん時間：充てん停止時
ブリーディング	JIS A 1123	
加圧ブリーディング	JSCE-F 502	
凝結時間	JIS A 1147	
圧縮強度	JIS A 1108	養生条件：20℃または35℃水中養生 試験材齢：1, 3, 7, 28日
静弾性係数	JIS A 1149	試験材齢：7, 28日
割裂引張強度	JIS A 1113	同上

ローの目標値（600±50mm）を維持することができた。海水と海砂を使用した配合（SW-SS）が、時間の経過に伴うスランプフローの低下が他の配合に比べて小さいのは、本研究で使用了海砂の粗粒率が小さく、他の配合に比べて単位水量や単位セメント量を多くする必要があり、結果的に単位容積あたりの混和剤の添加量が最も多くなったことが要因と考えられる。一方、35℃の高温環境においては、練混ぜ完了後 30 分でスランプフローが大きく低下する傾向を示したが、流動性保持剤を添加した海水と海砂を使用した配合（SW-SS）は 90 分間目標値を満足しており、高温環境下においても、流動性保持剤を併用することでコンクリートの流動性を長時間にわたって維持できることが明らかとなった。

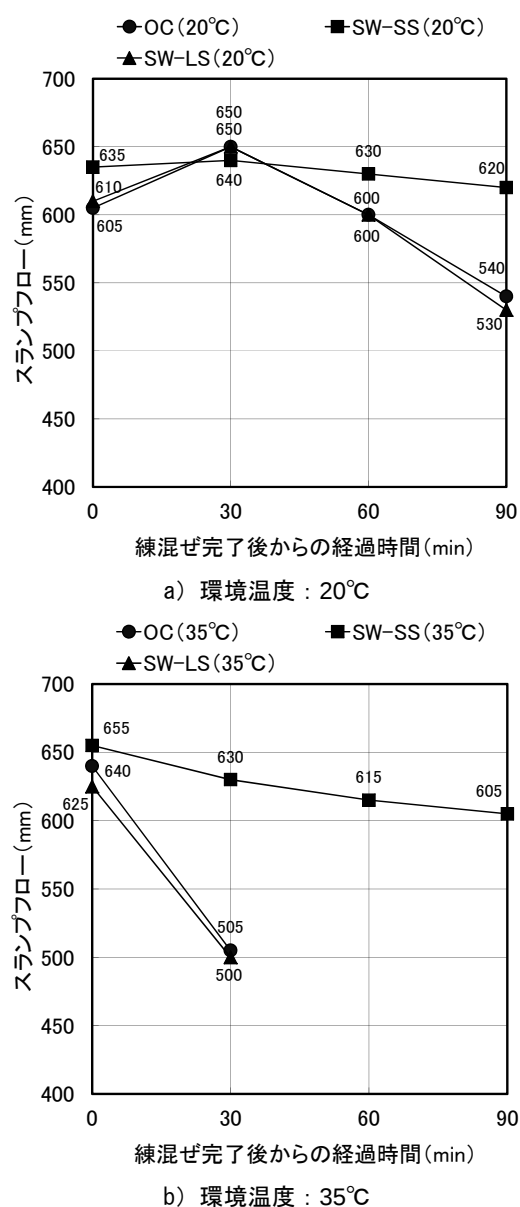
練混ぜ完了後の 500mm フロー到達時間と停止時間を図－3 に示す。本研究で検討した配合については、20℃と 35℃の何れの環境においても結果にほとんど差はみられず、500mm フロー到達時間は 3～5 秒程度、フロー停止時間は 30～40 秒程度であった。これらの結果を図に併記した従来の増粘剤系の高流動コンクリート（既往の実験結果⁵⁾）と比較すると、500mm フロー到達時間、フロー停止時間はともに早まり、特にフロー停止時間については 20 秒程度短縮した。コンクリートの流動時間の短縮は、打込みに要する時間の削減に繋がるため、施工効率の向上の観点からは有利であるといえる。

(2) 自己充てん性

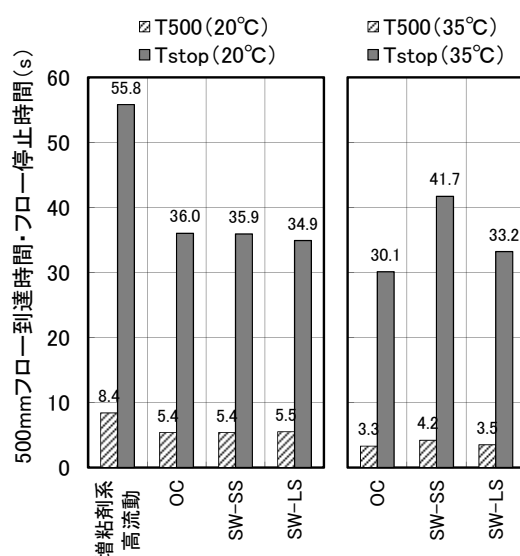
U 形充てん試験における、充てん高さおよび充てん時間を図－4、図－5 に示す。海水や海砂を用いた配合を含む全ての配合で充てん高さは 300mm 以上の値を示し、高流動コンクリート施工指針（土木学会）のランク 2 相当の自己充てん性を有することが認められた。また、35℃の環境の場合、20℃の環境に比べて充てん時間が短く、SW-SS および SW-LS では充てん高さが大きくなっているが、これは、図－3 に示すように、環境温度の上昇に伴いコンクリートの粘性（500mm フロー到達時間）が小さくなったためであると推察される。

(3) 材料分離抵抗性

本研究で検討した全ての配合で、35℃の環境におい



図－2 経過時間とスランプフローの関係



図－3 スランプフロー時間

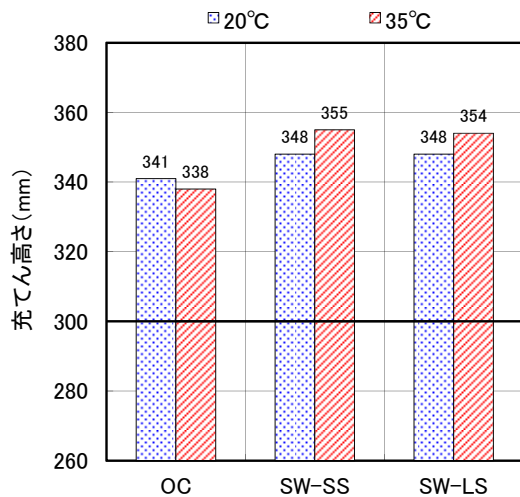


図-4 充てん高さ

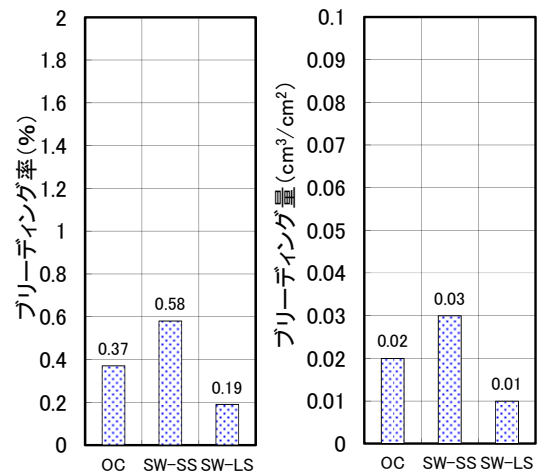


図-6 ブリーディング率・ブリーディング量 (20°C)

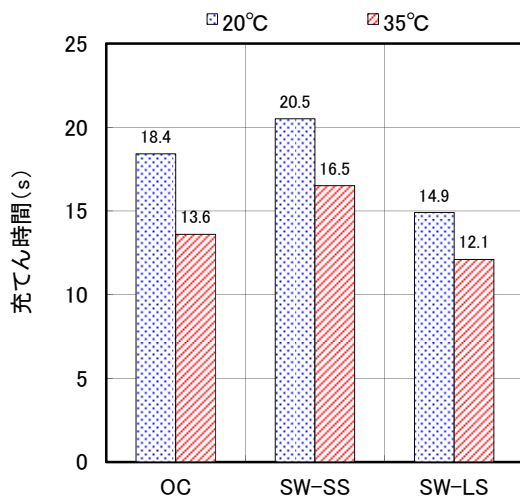


図-5 充てん時間

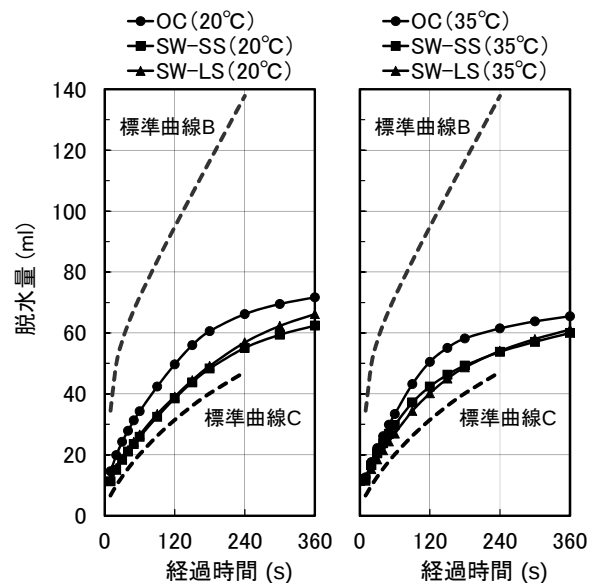


図-7 経過時間と脱水量の関係

ではブリーディングが確認されなかったが、20°Cの環境においては若干認められた。20°Cの環境におけるブリーディング率およびブリーディング量を図-6に示す。最もブリーディングが多かったのは海水と海砂を使用した配合 (SW-SS) であり、ブリーディング率は0.6%程度、ブリーディング量は $0.03\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 程度であった。上記の配合が他の配合に比べてブリーディングが多くなっているのは、単位水量の多いことが要因であると考えられる。

加圧ブリーディング試験における、加圧後の経過時間と脱水量の関係を図-7に示す。20°Cと35°Cの何れの環境においても、海水や海砂を使用した配合 (SW-SS, SW-LS) は、基本配合 (OC) に比べて若干単位時間あたりの脱水量が少なくなる傾向を示しているが、ともにコンクリートのポンプ施工指針 (土木学会) の標準曲線 B と C の間に入ることから、ポンパビリティは良好であると判断できる。

従来の自己充てん性を有する高流動コンクリートは

非常に粘性が大きく、一般的にブリーディングは非常に少ない。そのため、ポンプ圧送時の負荷が増加すること、上面の仕上げ作業が困難になることが課題となっていたが、本研究における自己充てん型コンクリートについては、ポンプ圧送や仕上げ作業が容易となり、施工効率の向上が期待できる。

(4) 凝結特性

凝結時間を図-8に示す。35°Cの環境の場合には、配合の違いによる凝結時間の差異はほとんど認められなかったが、20°Cの環境の場合、海水や海砂を使用した配合 (SW-SS, SW-LS) は、基本配合 (OC) に比べて凝結時間が早まり、始発時間で1時間程度、終結時間で1.5時間程度短縮した。既往の研究¹⁾によると、海水を用いてコンクリート製造した場合、塩化ナトリウムなどにより凝結が促進されることが示唆されており、本研究においても同様の傾向を示したものと推察される。施工に必要な

な流動性を確保した上での凝結時間の短縮は、早期脱型などの観点から、施工上有利と考えられる。

4.2 硬化コンクリートの性状

(1) 強度発現性

材齢と圧縮強度の関係を図-9 に示す。環境温度によって強度発現性は異なるが、海水や海砂を使用した配合（SW-SS, SW-LS）のほうが、基本配合（OC）に比べて初期材齢における圧縮強度が大きくなった。両者の圧縮強度の乖離は、20℃の環境の場合は材齢7日、35℃の環境の場合は材齢1日で最も大きくなり、海水や海砂を使用することで、基本配合（OC）の圧縮強度に比べてそれぞれ4割、7割程度増加する傾向がみられた。なお、いずれの温度の場合も、材齢の経過に伴い圧縮強度の差異は小さくなり、材齢7～28日ではほぼ同程度の値を示した。これらの結果からも、前節で述べたように、コンクリート中に塩化ナトリウムなどが含有することで、硬化が促進されることが明らかとなった。

(2) 静弾性係数の特性

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-10 に示す。図中に併記した推定式は、圧縮強度の試験結果から、既往の文献^{6),7)}に示されている式(1)を用いて算定した。

$$E_e = \alpha \cdot f'_c{}^\beta / 10^3 \quad (1)$$

ここに、 E_e ：静弾性係数（kN/mm²）

f'_c ：圧縮強度（試験値）（N/mm²）

α ：4,700（JSCE），6,300（JCI）

β ：0.5（JSCE），0.45（JCI）

海水や海砂を使用した配合（SW-SS, SW-LS）と基本配合（OC）に差異はみられず、塩化物イオンの有無による影響は認められなかった。また、本研究における試験結果は、JSCE の係数を用いた推定式よりやや小さい値を示した。

(3) 割裂引張強度の特性

圧縮強度と割裂引張強度の関係を図-11 に示す。図中に併記した推定式は、静弾性係数と同様に、既往の文献^{6),7)}に示されている式(2)を用いて算定した。

$$f_t = \alpha \cdot f'_c{}^\beta \quad (2)$$

ここに、 f_t ：引張強度（N/mm²）

f'_c ：圧縮強度（試験値）（N/mm²）

α ：0.23（JSCE①），0.44（JSCE②），0.13（JCI）

β ：2/3（JSCE①），0.5（JSCE②），0.85（JCI）

圧縮強度と割裂引張強度の関係についても、塩化物イオンの有無による影響は認められず、JCI の係数を用いた推定式に近似する傾向を示した。

5. まとめ

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について検討した結果、以下の事項が明らかと

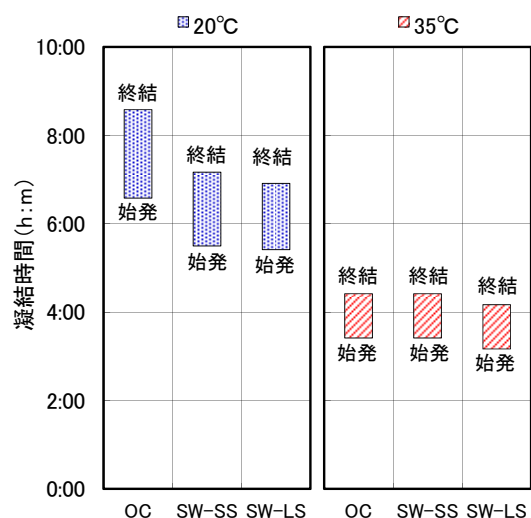
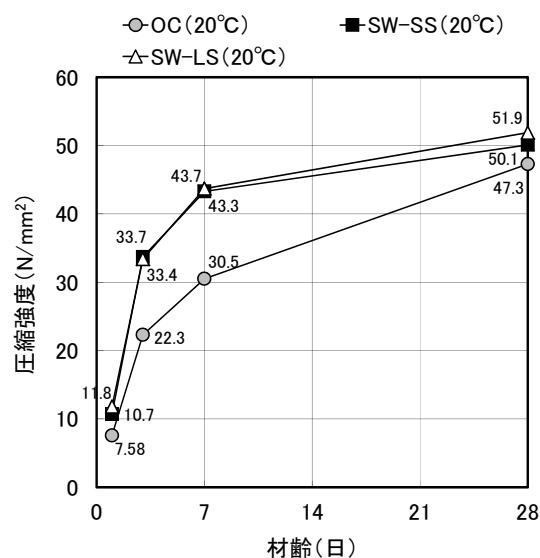
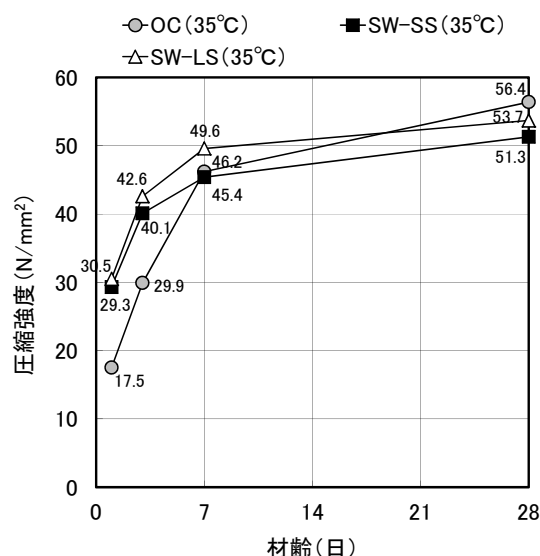


図-8 凝結時間



a) 環境温度：20℃



b) 環境温度：35℃

図-9 材齢と圧縮強度の関係

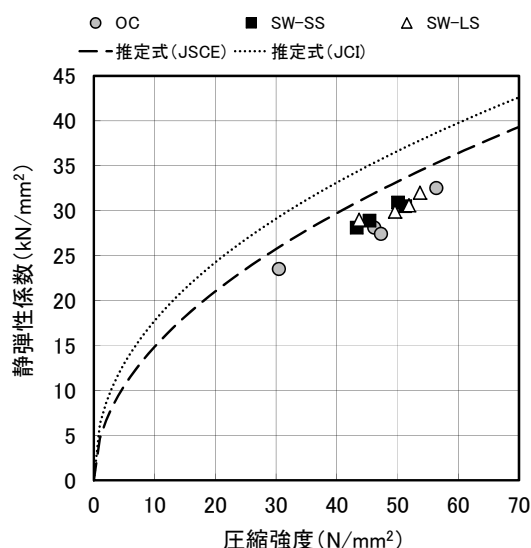


図-10 圧縮強度と静弾性係数の関係

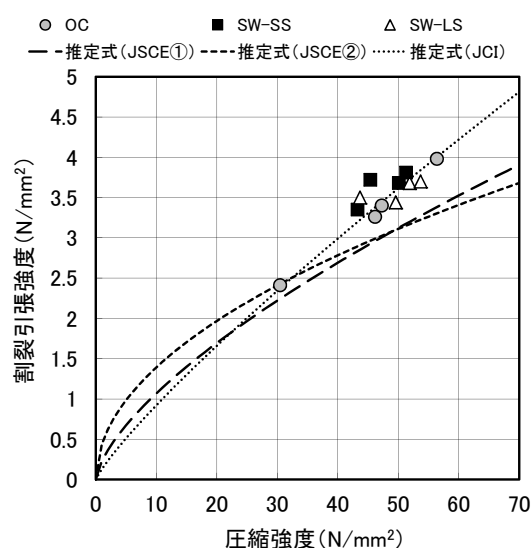


図-11 圧縮強度と割裂引張強度の関係

なった。

- (1) 新たに開発した塩分含有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、コンクリートに海水や海砂を使用した場合でも、優れた流動性と自己充てん性を得ることができる。
- (2) 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、上面の仕上げ作業が容易であるなど、施工効率の向上が期待できる。
- (3) コンクリートに海水や海砂を用いることにより、上水道水や陸砂を用いた場合に比べて初期材齢（3～7日）における強度発現性が向上する。
- (4) 圧縮強度と静弾性係数および割裂引張強度の関係は、練混ぜ水や骨材の種類を問わず一様な相関を示し、塩化物イオンの含有に伴う影響は認められなかった。また、既往の推定式に近似するため、これらの式を用いることで、圧縮強度から静弾性係数や割裂引張強度をおおよそ推定できる。

以上の海水や海砂を使用した自己充てん型コンクリートの基礎特性においては、既往の研究⁸⁾と同様、無筋コンクリートへの適用については問題ないといえる。ただし、塩分を多量に含むため、鉄筋コンクリートとして適用する場合は、ステンレス鉄筋を併用するなど、耐久性への配慮が必要である。

なお、本研究は、早稲田大学、五洋建設㈱、東亜建

設工業㈱、東洋建設㈱および BASF ポズリス㈱により、共同で実施したものである。

参考文献

- 1) 柳場重正, 川村満紀, 山田祐定, 高桑二郎: 練り混ぜ水に海水を使用したコンクリートの諸性質について, 材料, Vol.24, No.260, pp.425-431, 1975.5
- 2) 関 博, 大即信明, 堀井義一: 海水練りコンクリートならびに残留ひび割れが鉄筋の腐食におよぼす影響について (5 年結果報告), 港湾技研資料, No.237, 1976.6
- 3) 森 好生, 大即信明, 下沢 治: 海水練りコンクリートの耐海水性試験, 港湾技研資料, No.378, 1981.6
- 4) 福手 勤, 山本邦夫, 濱田秀則: 海水を練り混ぜ水とした海洋コンクリートの耐久性に関する研究, 港湾技術研究所報告, Vol.29, No.3, pp.57-94, 1990.9
- 5) 馬場勇介, 菅俣 匠, 松倉隼人, 矢口 稔: 新規な増粘剤一液型高性能 AE 減水剤を使用した低粘性高流動コンクリートの基本特性, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.66, No.5, pp.1143-1144, 2011.9
- 6) 土木学会: コンクリート標準示方書【設計編】, 2007
- 7) コンクリート工学協会: マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, 2008
- 8) 山路徹, 審良善和, 小林浩之, 濱田秀則: 海洋環境下における高炉およびフライアッシュセメントを用いたコンクリートの長期強度特性, 混和材を積極的に使用するコンクリートに関するシンポジウム論文集, pp.133-138, 2011.12