

# 論文 海水および海砂を用いた高流動コンクリートの諸特性

竹中 寛<sup>\*1</sup>・末岡 英二<sup>\*2</sup>・小山 広光<sup>\*3</sup>・清宮 理<sup>\*4</sup>

**要旨:** 著者らは、海水、未洗浄の海砂および特殊混和剤を使用した自己充填型高流動コンクリートを開発し、これまでその諸特性について報告した。本研究では、当該コンクリートの用途の拡大を図り、加振併用型高流動コンクリート、いわゆる中流動コンクリートとしての適用性や、混和材にフライアッシュを用いた自己充填型高流動コンクリートの特性について検討を行った。その結果、海水や海砂を使用した場合でも、従来に比べて粉体量を低減した中流動コンクリートの製造が可能であること、フライアッシュを用いた自己充填型高流動コンクリートの初期材齢における強度低下は、海水や海砂を使用することで抑制できることなどを明らかにした。

**キーワード:** 海水、海砂、高流動コンクリート、自己充填、中流動、フライアッシュ

## 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、過酷な施工環境となる場合や、陸上や海上のアクセスが悪く、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、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高流動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。

海水練り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<sup>1)5)</sup>。しかしながら、高流動コンクリートについて検討された事例はほとんどみられない。これは、練混ぜ水に海水を使用する場合、海水中に含まれる無機イオン（主に塩化物イオン）が混和剤の分散性に

影響を及ぼし、コンクリートに優れた流動性を付与することが困難であることなども一因と考えられる<sup>6)</sup>。

高流動コンクリートは、その流動性によって自己充填型と加振併用型に大別される<sup>7)</sup>。著者らは、海水や海砂を用いた場合でも無機イオンの影響を受けにくい特殊混和剤、およびそれを用いた、従来の高流動コンクリートに比べて低粘性な特長を有する自己充填型高流動コンクリート（以下、自己充填コンクリートと称す）を開発し、これまでその諸性状について検討を行ってきた<sup>8)</sup>。本稿では、当該コンクリートの更なる用途拡大を図り、比較的強度な構造物にも活用すべく、加振併用型高流動コンクリート（以下、中流動コンクリートと称す）への適用性や、初期材齢における強度発現の低下が懸念されるフライアッシュを用いた自己充填コンクリートの特性について検討した結果を述べる。

## 2. 試験概要

### 2.1 コンクリートの配合および使用材料

コンクリートの配合は表-1 に示とおりであり、コン

表-1 コンクリートの配合

No.	記号	スランブ フロー (mm)	空気量 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位粗 骨材絶 対容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								混和剤 Ad (C×%)	塩化物 イオン量 (kg/m <sup>3</sup> )
							W1	W2	C1	C2	FA	S1	S2	G		
1	H-BB-SS	600 ±100	4.5 ±1.5	45	48.4	0.330	185	—	411	—	—	825	—	878	1.75	4.90
2	H-BB-TL						—	175	389	—	—	—	848	878	1.45	0.05
3	H-N-SS						185	—	—	411	—	825	—	873	2.10	4.82
4	H-N-F-SS						185	—	—	275	136	783	—	873	1.17	4.73
5	H-N-TL						—	175	—	389	—	—	840	873	1.30	0.05
6	H-N-F-TL						—	175	—	261	128	—	802	873	0.81	0.03
7	M-BB-SS	500		55	48.4	0.350	175	—	318	—	—	862	—	930	1.35	4.70
8	M-BB-TL	±100			52.0	0.328	—	170	309	—	—	—	912	870	0.80	0.04

\*1 東洋建設（株） 美浦研究所 主任研究員 博(工) (正会員)

\*2 東洋建設（株） 美浦研究所 所長 博(工) (正会員)

\*3 BASF ジャパン（株） 建設化学品事業部技術開発センター (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)

クリートの種類を自己充填コンクリート（記号 H, W/B=45%）と中流動コンクリート（記号 M, W/B=55%）の 2 水準、セメントの種類を高炉セメント B 種（記号 BB）と普通ポルトランドセメント（記号 N）の 2 水準、また、練混ぜ水と細骨材の組合せを、海水・未洗浄の海砂（記号 SS）と水道水・陸砂（記号 TL）の 2 水準で検討した。さらに、自己充填コンクリートについては、普通ポルトランドセメントを用いた場合のみフライアッシュを内割りで 33%（質量比）置換した配合についても検討を行った。なお、練混ぜ時の雰囲気温度は、何れも 20℃とした。

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、海中には質量比で 1.76%の塩化物イオンを含有していた。なお、海水の成分は表-3 に示すとおりである。また、海砂は未洗浄のものを使用し、塩化物イオン量は質量比で 0.187%であった。混和剤は、前章で述べた特殊混和剤（増粘剤一液型高性能 AE 減水剤）を使用した。

## 2.2 試験項目および方法

コンクリートの試験項目および方法は表-4 に示すとおりであり、配合ごとに表-5 の一覧表の項目を実施した。スランプフローの加振変形量は、整置状態でフロー試験を行ったコンクリートに 10 秒間の振動を付与し、その前後のフロー値の差から求めた。コンクリートの長さ・質量変化率および圧縮強度の供試体は、材齢 1 日まで 20℃の環境下で封かん養生を行った後に脱型し、標準水中養生を行った。なお、長さ・質量変化率の供試体は材齢 7 日に基長を測定し、ダイヤルゲージ法により計測を行った。ひび割れ抵抗性を確認するための拘束供試体は、型枠を脱型する材齢 7 日まで上面の湿布養生を行い、脱型後、拘束形鋼に設置したワイヤストレインゲージにより、コンクリートに生じるひずみを計測した。また、コンクリートの自己収縮は、自己収縮研究委員会報告書（日本コンクリート工学会）に示す試験方法に準拠し、埋め込み型ひずみ計を用いて計測を行った。

## 3. 試験結果および考察

### 3.1 フレッシュコンクリートの特性

#### (1) 流動性

表-1 に示す何れの配合も、練混ぜ後 60 分以上はスランプフローの目標値（自己充填：600±100mm、中流動：500±100mm）を保持した。また、中流動コンクリートは図-1 に示すとおり、海水・海砂（SS）、水道水・陸砂（TL）の何れについても、加振変形量が NEXCO の中流

表-2 使用材料

使用材料	記号	種類、物理的・化学的性質（代表値）
練混ぜ水	W1	海水 (Sea Water; 相模湾より採水), 表-3参照
	W2	水道水 (Tap Water)
セメント	C1	高炉セメントB種, 密度:3.04g/cm <sup>3</sup>
	C2	普通ポルトランドセメント, 密度:3.16g/cm <sup>3</sup>
混和材	FA	フライアッシュ II 種, 密度2.31g/cm <sup>3</sup> 密度, 強熱減量2.3%
細骨材	S1	海砂 (Sea Sand; 東村新川沖産, 除塩前), 表乾密度2.62g/cm <sup>3</sup>
	S2	陸砂 (Land Sand; 大井川水系), 表乾密度2.60g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	G	硬質砂岩砕石 (青梅産), 表乾密度2.66g/cm <sup>3</sup> , 吸水率0.58%, 最大寸法20mm
混和剤	Ad	特殊混和剤 (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)

表-3 海水の成分

密度 [20℃] (g/cm <sup>3</sup> )	pH [20℃]	固形分濃度 [105℃, 3hr] (%)			
1.024	8.2	3.96			
各種イオンの含有量 (%)					
Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>+</sup>
1.76	0.34	1.08	0.04	0.04	0.12

表-4 試験方法および項目

試験項目	試験方法	試験条件など
スランプフロー	JIS A 1150	
加振変形量	加振フロー装置による	中流動覆工コンクリートの加振変形および充填性試験方法 (NEXCO) に準拠
U形充填高さ	JSCE-F 511	流動障害: 配合No.1~6 (R2), 配合No.7, 8 (障害なし)
ブリーディング率	JIS A 1123	
加圧ブリーディング	JSCE-F 502	
凝結時間	JIS A 1147	
長さ・質量変化率	JIS A 1129	乾燥開始材齢: 7日 養生条件: 標準水中養生 (材齢1~7日)
乾燥収縮ひずみ (拘束)	JIS A 1151	試験体数: 3体/配合
自己収縮	埋込型ひずみ計による	自己収縮研究委員会報告書 (JCI) の試験方法に準拠
圧縮強度	JIS A 1108	養生条件: 標準水中養生 試験材齢: 1, 3, 7, 28, 182日

表-5 実施試験の一覧

No.	記号	スランプ フロー	加振 変形量	充填 高さ	ブリーディ ング率	加圧ブリー ディング	凝結 時間	長さ 変化率	拘束 ひずみ	自己 収縮	圧縮 強度
1	H-BB-SS	○	—	○	○	○	○	○	○	○	○
2	H-BB-TL	○	—	○	○	—	○	○	○	○	○
3	H-N-SS	○	—	○	—	—	○	—	—	—	○
4	H-N-F30-SS	○	—	○	—	—	○	—	—	—	○
5	H-N-TL	○	—	○	—	—	○	—	—	—	○
6	H-N-F30-TL	○	—	○	—	—	○	—	—	—	○
7	M-BB-SS	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○
8	M-BB-TL	○	○	○	—	—	—	○	—	—	○

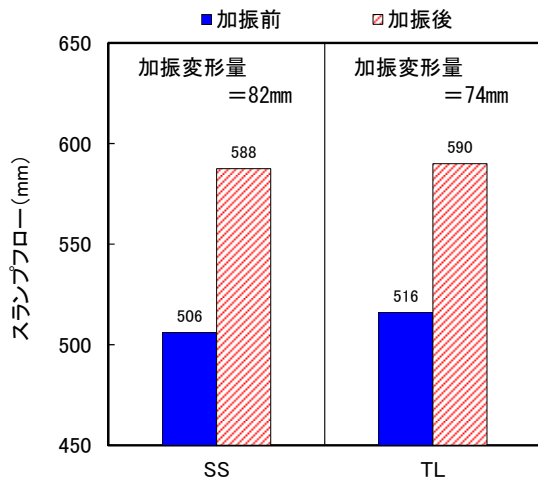


図-1 加振変形量

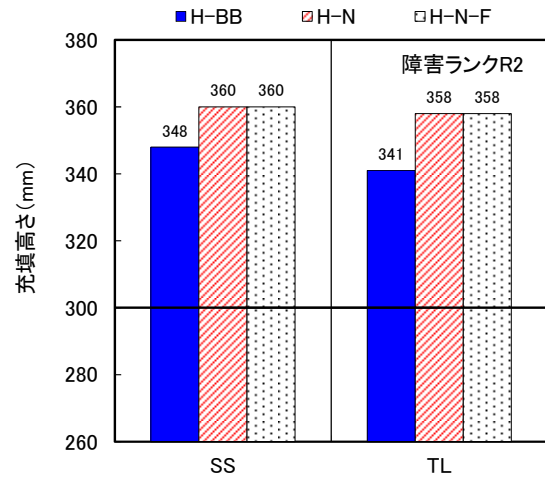


図-2 自己充填コンクリートの充填高さ

動覆工コンクリートの基準<sup>9)</sup>である100±30mmを満足し、従来の中流動コンクリート<sup>9),10)</sup>に比べて少ない粉体量でも所要の性状を確保できることが示唆された。

## (2) 自己充填性

U形充填試験における、自己充填および中流動コンクリートの充填高さをそれぞれ図-2、図-3に示す。自己充填コンクリートについては、セメント、練混ぜ水および細骨材の種類や、フライアッシュの置換の有無を問わず、全ての配合で充填高さ(障害R2)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)<sup>7)</sup>のランク2相当の自己充填性を有することが認められた。一方、中流動コンクリートについても、NEXCOの中流動覆工コンクリートの基準<sup>9)</sup>である280mm以上(障害なし)を十分に満足することがわかった。

## (3) 材料分離抵抗性

セメントに高炉セメントB種を用いた自己充填および中流動コンクリートのブリーディング率を図-4に示す。自己充填コンクリートのブリーディング率は、海水・海砂(SS)を用いた場合0.6%程度であり、水道水・陸砂(TL)の場合に比べて若干大きくなったが、これは、所要のワーカビリティを得るための単位水量が後者に比べて多かったことが要因と考えられる。一方、中流動コンクリートのブリーディング率は、海水・海砂を用いた場合(M-BB-SS)に1.4%となり、自己充填コンクリート(H-BB-SS)に比べて大きくなった。これは、中流動コンクリートの場合、自己充填コンクリートに比べて水結合材比が大きいこと、混和剤の使用量が少なくなるため、増粘効果が軽減したことなどが要因であると推察される。

高炉セメントB種を用いた自己充填および中流動コンクリートの加圧ブリーディング試験における、加圧時の経過時間と脱水量の関係を図-5に示す。自己充填コンクリート(H-BB-SS)は、中流動コンクリート(M-BB-SS)

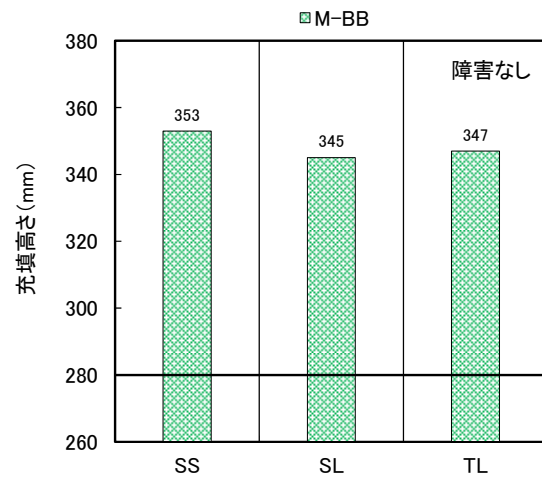


図-3 中流動コンクリートの充填高さ

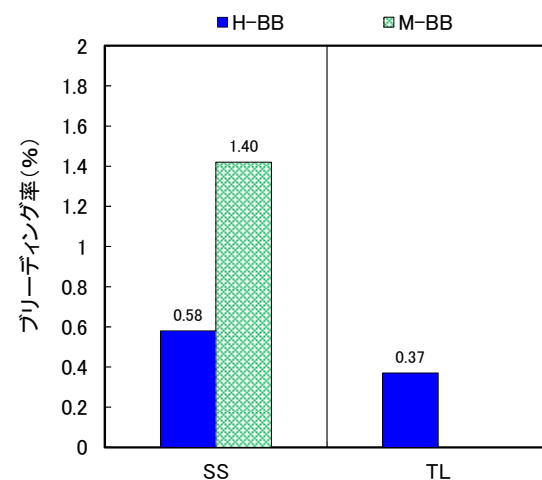


図-4 ブリーディング率

に比べて脱水量が少なくなる傾向を示しているが、何れもコンクリートのポンプ施工指針(土木学会)<sup>11)</sup>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。従来の高流動コンクリートは粘性が大きく、ポンプ圧送時の負荷が大きくなる傾向にあっ

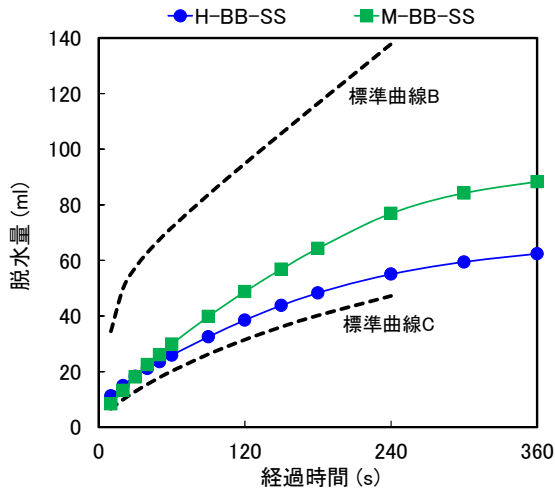


図-5 加圧ブリーディング試験における脱水量

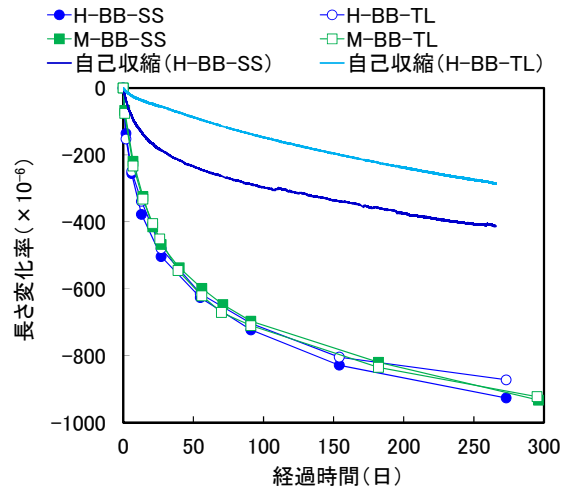


図-7 長さ変化率の経時変化

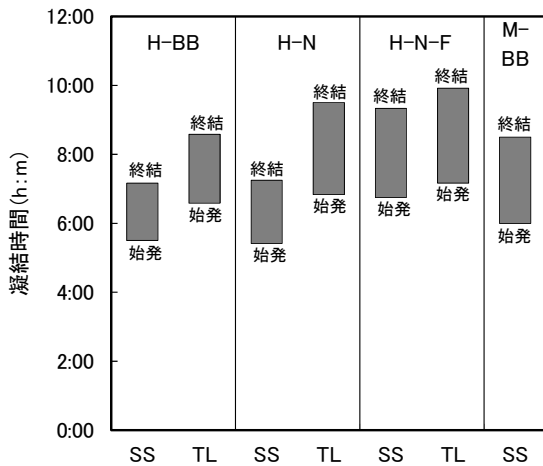


図-6 凝結時間

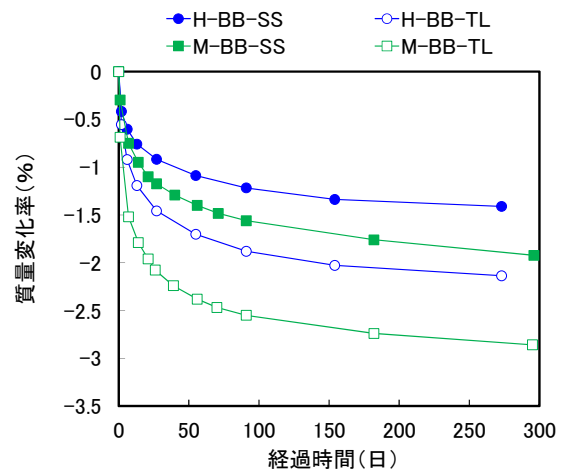


図-8 質量変化率の経時変化

たが、本研究で検討したコンクリートについては比較的粘性が小さいため、施工効率の向上が期待できる。

#### (4) 凝結特性

コンクリートの凝結時間を図-6に示す。自己充填コンクリートの配合において、海水・海砂を用いた場合(H-BB-SS)は水道水・陸砂を用いた場合(H-BB-TL)に比べて水和の促進効果が認められ、高炉セメントB種を使用した配合で1時間程度、普通ポルトランドセメントを使用した配合で1.5時間程度始発時間が速くなった。既往の研究<sup>1)</sup>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。一方、フライアッシュを置換した配合(H-N-F-SS, TL)では、その効果は0.5時間程度と小さくはなったものの、海水・海砂を用いることにより、フライアッシュを置換していない水道水・陸砂を

用いた配合(H-N-TL)と同等程度の凝結時間となることわかった。今後は、強熱減量の大きいJIS規格外品など、品質の異なるフライアッシュを用いた場合の影響についても検討したい。また、中流動コンクリートについては、自己充填コンクリートに比べて水粉体比が10%大きい配合としたため、始発時間で0.5時間程度、終結時間で1.5時間程度遅延した。

### 3.2 硬化コンクリートの特性

#### (1) 乾燥収縮

自己充填および中流動コンクリートの長さ変化率の経時変化を図-7に、質量変化率の経時変化を図-8に示す。コンクリートの長さ変化率は、配合の違いによる差異がほとんどみられなかったが、図-7に併記するとおり、自己収縮は海水・海砂を用いた場合(H-BB-SS)のほうが水道水・陸砂を用いた場合(H-BB-TL)に比べて大きくなる傾向があるため、長さ変化率から自己収縮を

減じた値，すなわち乾燥に起因する収縮量は海水・海砂を用いた場合のほうが小さかったといえる。一方質量変化率は，何れのコンクリートも水道水・陸砂を用いた場合(H-BB-TL)に比べ，海水・海砂を用いた場合(H-BB-SS)のほうが小さく，また，中流動コンクリートに比べて水粉体比が小さい自己充填コンクリートのほうが小さくなる傾向を示し，塩分を多く含むほど，水粉体比が小さくなるほど質量変化率は小さくなるといえる。なお，塩分を多く含むコンクリートの質量変化率が小さい要因としては，塩分の混入に伴い水和が促進され，組織が緻密化したためであると推察される。

### (2) ひび割れ抵抗性

拘束試験により乾燥収縮ひび割れが発生した時点における，自己充填および中流動コンクリートの収縮応力強度比と割裂引張強度の経時変化を図-9に示す。なお，収縮応力強度比とはコンクリートの割裂引張強度に対する収縮応力の比であり，ひび割れ発生時の割裂引張強度は，材齢7日および28日の割裂引張強度から得られた対数近似式を用いて算定し，収縮応力は，ワイヤストレインゲージにより計測した拘束形鋼のひずみから，コンクリートと形鋼にはたらく力のつりあい関係をもとに算定した。本検討で得られた試験結果では，コンクリートにひび割れが生じた時点の収縮応力強度比は0.5~0.8程度であった。また，ひび割れが発生した時期について，自己充填コンクリートでは，水道水・陸砂を用いた場合(H-BB-TL)に比べ，海水・海砂を用いた場合(H-BB-SS)のほうが遅くなる傾向を示し，海水・海砂を用いた中流動コンクリート(M-BB-SS)は，水粉体比が大きいにもかかわらず水道水・陸砂を用いた自己充填コンクリート(H-BB-TL)と同等程度であった。このような傾向は，同図に併記する割裂引張強度の差異が影響したものと考えられる。つまり，海水・海砂を用いた自己充填コンクリートは，水道水・陸砂を用いた自己充填コンクリートや海水・海砂を用いた中流動コンクリートに比べ，初期材齢における割裂引張強度が大きかったため，ひび割れの発生時期が最も遅くなったものと推察される。以上の結果より，海水や海砂を使用した場合，長さ変化率における差異は認められなかったものの，乾燥収縮ひび割れへの抵抗性は向上する可能性のあることが示唆された。

### (3) 圧縮強度

各材齢におけるコンクリートの圧縮強度を図-10，図-11示す。図-10より，本研究で検討したコンクリートは，セメントの種類やコンクリートの種類(水粉体比)を問わず，海水・海砂を用いた場合(SS)，水道水・陸砂を用いた場合(TL)に比べて初期材齢(3，7日)の圧縮強度の発現性が高くなることが認められ，材齢7日における強度の増加率は，自己充填コンクリート(H-BB)

で43%，中流動コンクリート(M-BB)で57%であった。このような初期材齢における強度の増加は，前述したコンクリート中に塩化ナトリウムが含有されることで硬化

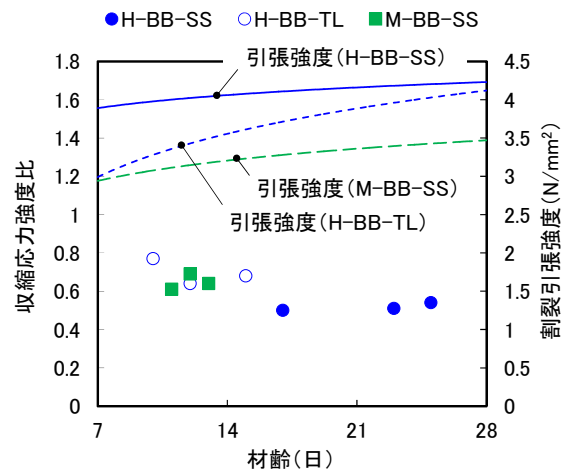


図-9 収縮応力強度比および割裂引張強度

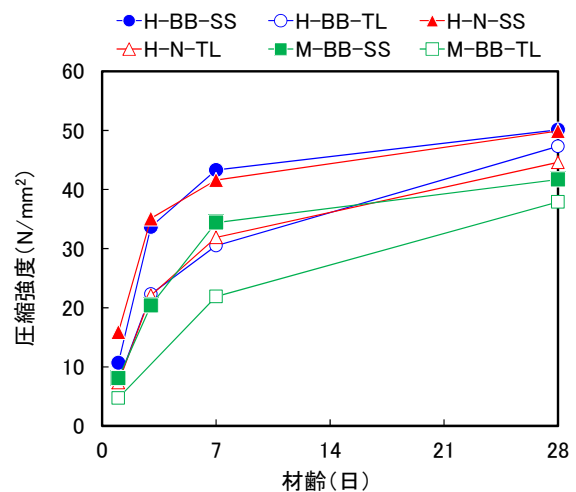


図-10 自己充填・中流動コンクリートの圧縮強度

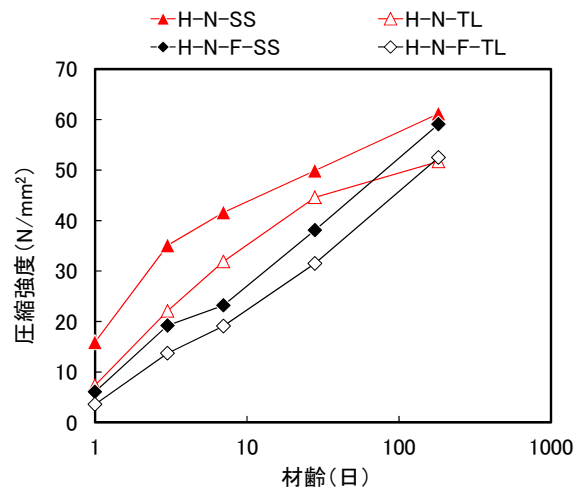


図-11 フライアッシュの置換が圧縮強度に及ぼす影響

が促進されるとの既往知見<sup>1)</sup>とも合致する。また、図-11より、水道水・陸砂を用いた自己充填コンクリート(H-N-TL)は、フライアッシュを置換した場合(H-N-F-TL)、材齢28日までの間の圧縮強度が30~50%程度低下したが、海水・海砂を用いる(H-N-F-BB)ことで無置換の場合(H-N-TL)に近似する傾向を示し、材齢3日まではほぼ同等程度となることがわかった。さらに、海水・海砂を用いた場合は、長期材齢における強度増進も著しく、材齢182日にはフライアッシュを置換していない海水・海砂を用いた配合(H-N-SS)と同等の圧縮強度となることが認められ、海水や海砂を用いることにより、既往の知見<sup>12)</sup>と同様、セメントの水和のみならずポゾラン反応も助長する可能性が示唆された。

#### 4. まとめ

海水および海砂を用いた高流動コンクリートの諸特性について検討した結果、以下の事項が明らかとなった。

- (1) 練混ぜ水と細骨材の組合せが海水・海砂、水道水・陸砂の何れの場合においても、無機イオンの混入に伴うセメントの分散性の低下を抑制しうる特殊混和剤を用いた中流動コンクリートは、従来の中流動コンクリートに比べて少ない粉体量でも所要の流動性や自己充填性を確保することができる。
- (2) 上記の特殊混和剤を使用したコンクリートは、従来のコンクリートに比べて粘性が小さいため、ポンパビリティが良好となることが期待できる。
- (3) 中流動コンクリートの乾燥に起因する質量損失は、自己充填コンクリートと同様、水道水・陸砂を用いた場合に比べて小さくなり、コンクリートの組織が緻密になることが示唆された。
- (4) 中流動コンクリートのひび割れ抵抗性は、水粉体比が10%小さい水道水・陸砂を用いた自己充填コンクリートと同等程度であった。
- (5) セメントの種類やコンクリートの種類(水粉体比)を問わず、水道水・陸砂を用いた場合に比べて初期材齢の圧縮強度の発現性が高くなり、材齢7日における強度は、自己充填コンクリートで4割程度、中流動コンクリートで6割程度増加する。
- (6) フライアッシュの置換に伴う凝結時間の遅延や、初期材齢における圧縮強度の低下を抑制できるとともに、長期的な強度も増加する。

なお、本研究は、早稲田大学清宮研究室、(独)港湾空港技術研究所、五洋建設(株)、東亜建設工業(株)、東洋建設(株)およびBASFジャパン(株)により、共同で実施したものである。

#### 参考文献

- 1) 榎場重正, 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) 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
- 6) 鈴木哲郎, 清宮理, 山路徹, 竹中寛, 酒井貴洋, 田中亮一: 海水・海砂を用いた自己充填コンクリート用高性能 AE 減水剤(増粘剤一液タイプ)の開発, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.67, No.5, pp.1181-1182, 2012.9
- 7) 土木学会: 高流動コンクリートの配合設計・施工指針[2012年版], コンクリートライブラリー136, 2012.6
- 8) 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填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
- 9) 東日本高速道路株式会社ほか: トンネル施工管理要領(本工編)
- 10) 沿岸開発技術研究センター: 鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を対象とした加振併用型充てんコンクリートマニュアル, 沿岸開発技術ライブラリーNo.20, 2004.2
- 11) 土木学会: コンクリートのポンプ施工指針[2012年版], コンクリートライブラリー135, 2012.6
- 12) 福留和人, 石川嘉崇, 大即信明, 西田孝弘: フライアッシュを高置換したコンクリートの強度発現に及ぼすNaClの効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.187-192, 2013.6