

特殊水中コンクリートの性質と海洋工事への適用性

㈱大林組技術研究所 正会員 芳賀 孝成
㈱大林組技術研究所 正会員 十河 茂幸
㈱大林組技術研究所 正会員 玉田 信二
㈱大林組技術研究所 正会員 ○渡辺 朗

1. まえがき

大型海洋工事の増加に伴い、所要の品質を確保でき、かつ水質汚濁を抑制できる水中コンクリートの施工がますます要求されるようになってきた。そこで筆者らは、この要求を満足する特殊水中コンクリートを開発した。本報告では、開発に際して行なってきた室内実験による特殊水中コンクリートの基礎物性の一部と、屋外実験における流動性および実工事への適用例について述べる。

2. 特殊水中コンクリートの基礎物性

2.1 分離低減剤の増粘効果

特殊水中コンクリートは、一般のコンクリートに分離低減剤（以下 SCA と称す）を添加して練上げたコンクリートである。特殊水中コンクリートが独特の粘性を有し、水中での材料分離に対する抵抗性を示す機構は、SCA の増粘効果によるものである。すなわち図-1 に示すように、SCA の主成分であるセルローズエーテルが骨材やセメント粒子に吸着して、粒子間の結合

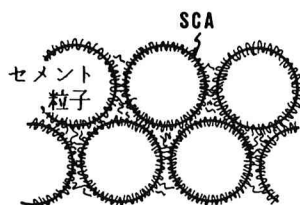
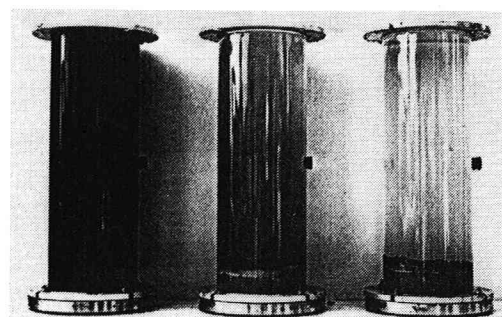


図-1 SCA の増粘効果

力が高まることにより増粘効果が発揮される。

SCA を添加したコンクリートを水中に自由落下させた時の状況を写真-1 に示す。SCA 添加量の増加に伴い、材料分離が著しく抑制されることがわかる。



SCA = 0 kg/m³ 2.0kg/m³ 4.0kg/m³

写真-1 コンクリートの水中落下比較

2.2 まだ固まらない特殊水中コンクリートの性質

(1) ワーカビリチー

特殊水中コンクリートはSCA 添加量の増加に伴ない粘性が増し、図-2 に示すようにスランプフローは小さくなる。なお普通コンクリートの場合、主にスランプによりワーカビリチーを判断するが、特殊水中コンクリートの場合、通常のスランプの範囲は20cm以上であるため、スランプよりも主にスランプフローによりワーカビリチーを判定する。

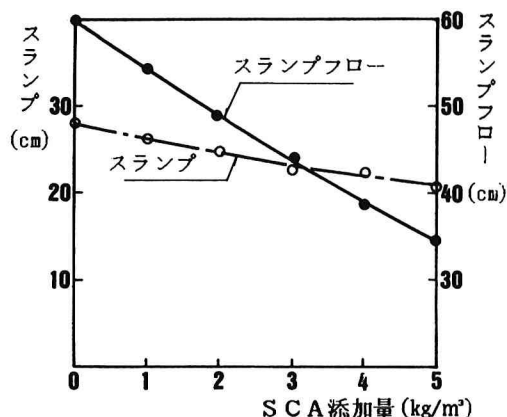


図-2 SCA 添加量とワーカビリチーの関係

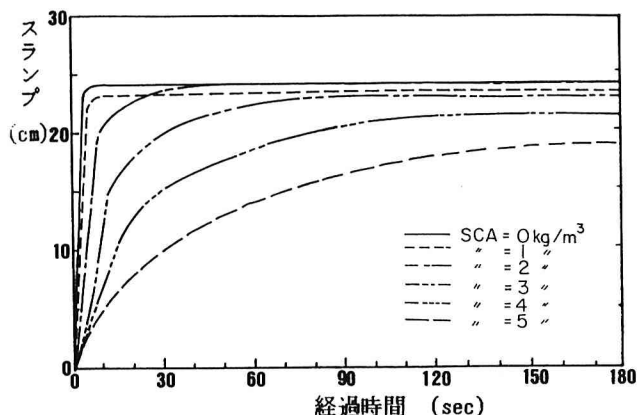


図-3 セルフレベリング性状

(2) セルフレベリング性

特殊水中コンクリートは自重で平らになるようセルフレベリング性に優れている。コンクリートのセルフレベリング性は、一般にスランプコーンを引上げた後のスランプの経時変化を測定して判定する。図-3に SCA 添加量を変えたコンクリートのスランプの経時変化を示す。SCA 添加量の多いものほど最終スランプに達するまでの時間が長くなる。

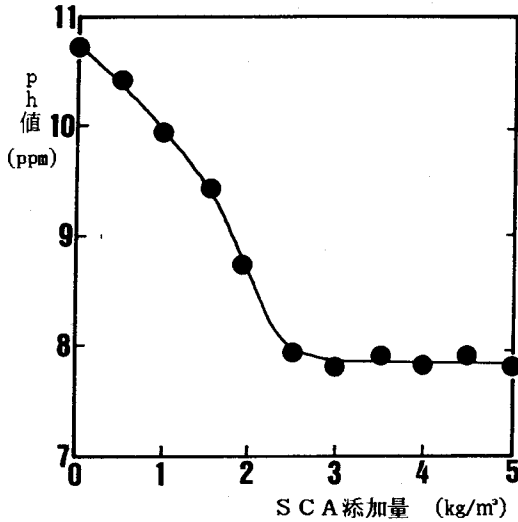


図-4 けん濁液の p_h 値

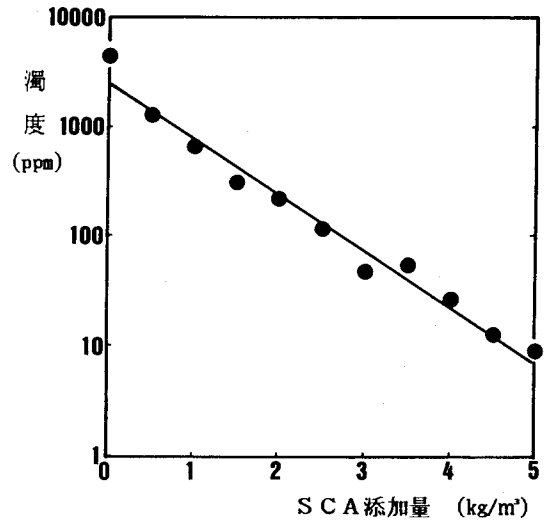


図-5 けん濁液の濁度

(3) 分離抵抗性

特殊水中コンクリートの材料分離に対する抵抗性は、コンクリートを水中に自由落下させた時のけん濁液から調べることができる。この方法は 800ccの水を入れたビーカーにコンクリート試料を10等分以上に分割投入し、3分間静置後、上水を採取して p_h 値および濁度を測定する方法である。試験結果を図-4, 図-5に示す。

p_h 値は、SCA 添加量 2.5kg/m³まで、添加量の増加に伴って減少するが、それ以降は一定となる。濁度は、SCA 添加量の増加に比例して著しく減少する。

(4) ブリージング

SCA 添加量を変えたセメントペーストのブリージング試験結果を図-6に示す。SCA をセメント量の 0.3%以上添加するとブリージングは殆んど発生しなくなる。なお、コンクリートの場合セメント量の 0.3%は、約1.0kg/m³程度の添加量に相当する。

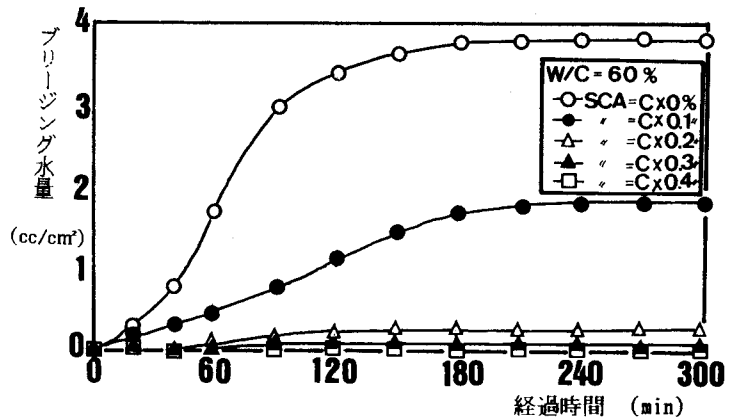


図-6 ブリージング性状

(5) 凝結性状

SCA 添加量を変えたモルタルの凝結試験結果を図-7に示す。SCA 添加量の増加に伴い凝結は遅れるが、始発から終結に至るまでの時間はほぼ等しい。普通コンクリートの場合、凝結の遅れはブリージング量を増加させ、硬化後の品質に悪影響を与えることが多いが、特殊水中コンクリートの場合、ブリージングが殆んど発生しないことから、凝結の遅れはむしろ打設時のハンドリングタイムを長くできる点で有利であると考えられる。

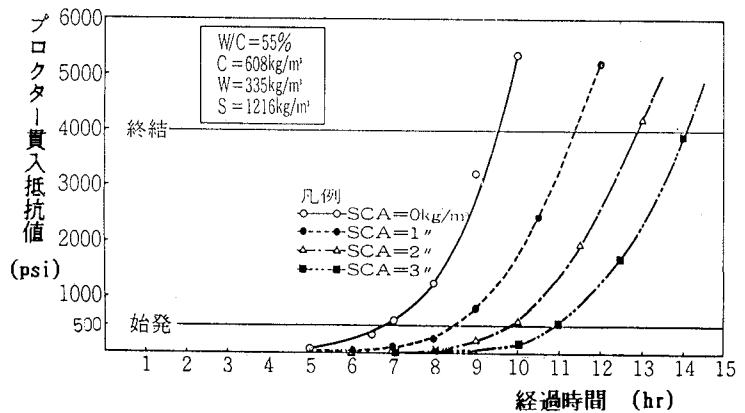


図-7 凝結性状

2.3 硬化した特殊水中コンクリートの性質

SCA 添加量と気中作成供試体および水中作成供試体の圧縮強度の関係を図-8に示す。水中作成供試体は、水槽内の型枠中心より20cm上の高さまで水を張り、水面からコンクリートを10等分以上で分割投入し、木づちで叩いて作成した。SCA を 2.0kg/m^3 以上添加すれば、気中作成供試体の圧縮強度に対する水中作成供試体の圧縮強度は80%以上となる。また特殊水中コンクリートの、圧縮強度と引張強度、曲げ強度、せん断強度の関係を図-9、図-10、図-11に示す。圧縮強度に対する引張強度、曲げ強度、せん断強度の比は、それぞれ $1/10 \sim 1/13$ 、 $1/6 \sim 1/8$ 、 $1/3 \sim 1/4$ 程度であり、これらは普通コンクリートの場合と同等である。

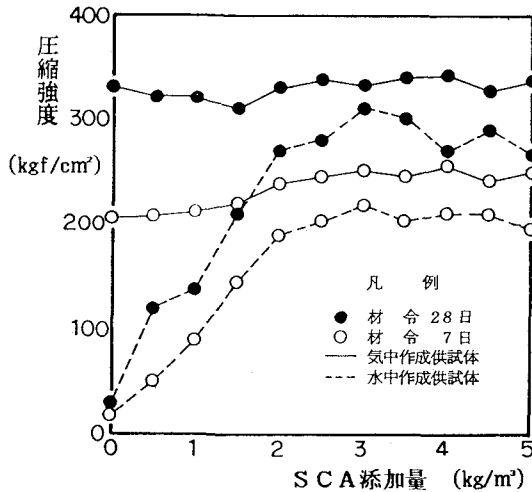


図-8 SCA添加量と圧縮強度の関係

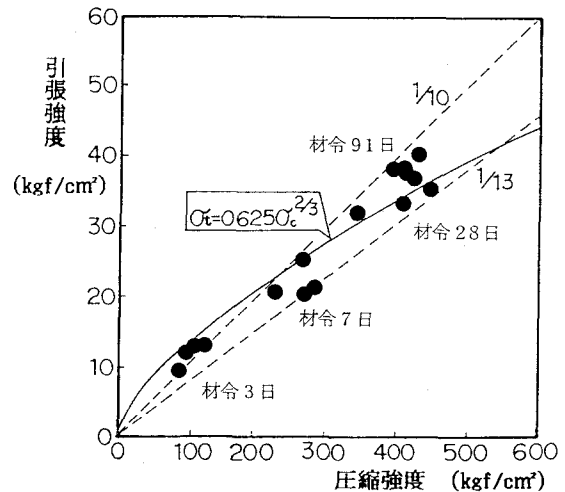


図-9 圧縮強度と引張強度の関係

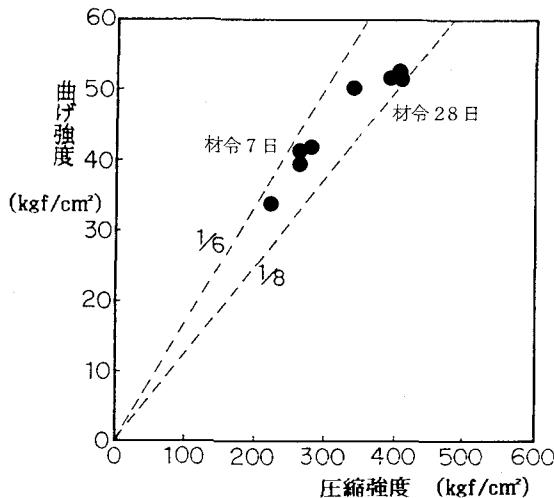


図-10 圧縮強度と曲げ強度の関係

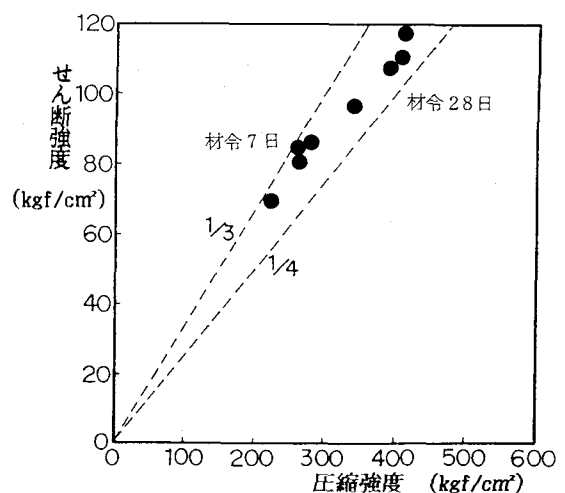


図-11 圧縮強度とせん断強度の関係

3. 特殊水中コンクリートの施工性

3.1 流動方向を鉄筋で妨げた場合の流動性と分離抵抗性

(1) 実験概要

普通コンクリートおよび特殊水中コンクリートの流動性と材料分離に対する抵抗性を、流動方向を鉄筋で妨げた型枠内にコンクリートを流しこみ比較した。

実験に用いた型枠の形状寸法を図-12に示す。普通コンクリートおよび特殊水中コンクリートの配合を表-1に示す。コンクリートは1方向に流しこみ、自然流動停止後パイププレートにより再流動させた。硬化後、試験体の各ブロックにおいて水平方向にコアを上下2段抜き取り、圧縮強度、静弾性係数、粗骨材数等を調べた。

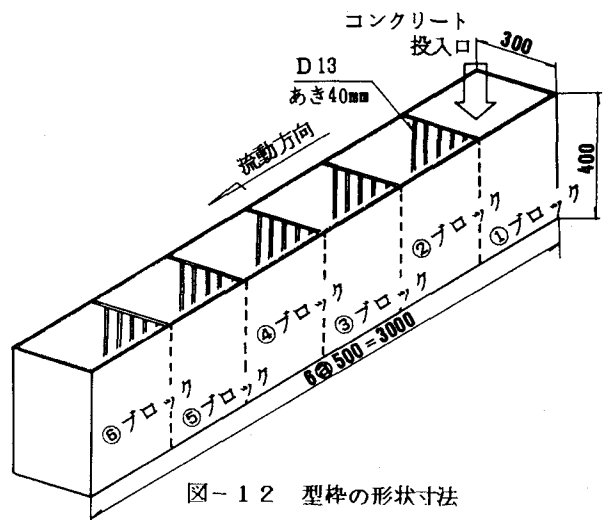


図-12 型枠の形状寸法

(2) 実験結果

コンクリートの自然流動停止時およびバイブレータ流動後の天端高を図-13に示す。なお自然流動停止時の天端を破線で、バイブ

表-1 配 合

No	ケ ー ス	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					AE 減水剤	高性能 減水剤
				W	C	S	G	SCA		
1	普通コンクリート スランプ18cm	50	45	170	340	795	995	—	C×0.25 %	—
2	特殊水中コンクリート スンプフロ-50cm		40	230	460	605	929	3.0		

レータ流動後の天端を実線で表示した。普通コンクリートは、打設後直ちに自然流動が停止し、その流動距離も短かった。またバイブレータ流動後の天端は鉄筋位置で不連続となった。一方特殊水中コンクリートの自然流動距離は長く、バイブレータ流動後の天端も殆んど水平であった。コアの品質を、標準供試体の試験値を100とした場合に対する割合で図-14、図-15、図-16に示す。普通コンクリートについては、圧縮強度の変動は小さかったものの流動に伴う粗骨材量の減少が顕著で、そのため静弾性係数が低下した。またバイブレータの使用により、試験体の上下間で品質の差が生じた。しかし特殊水中コンクリートについては、流動方向、上下方向とも品質の変化は殆んどなく、試験体はほぼ均一な状態であるとみなされた。

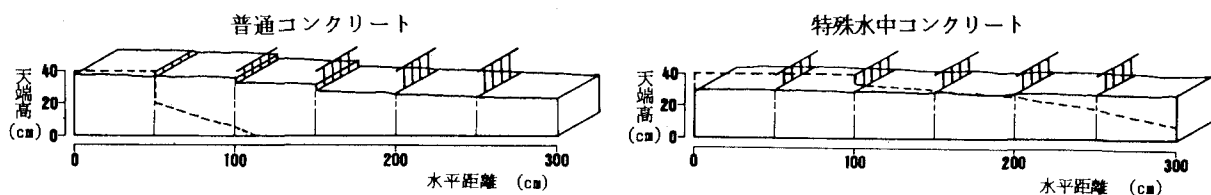


図-13 コンクリート天端高

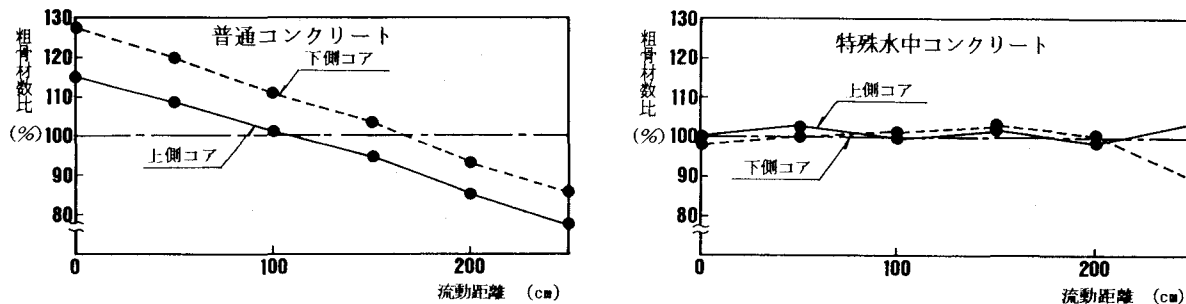


図-14 流動距離と粗骨材数比の関係

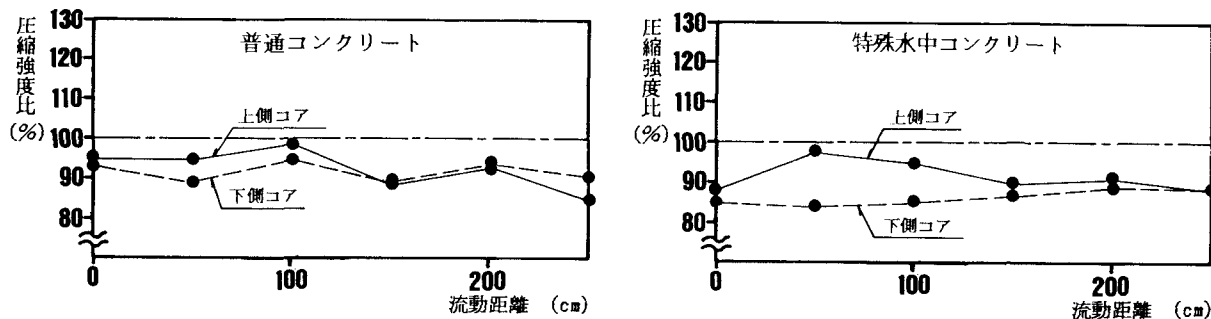


図-15 流動距離と圧縮強度比の関係

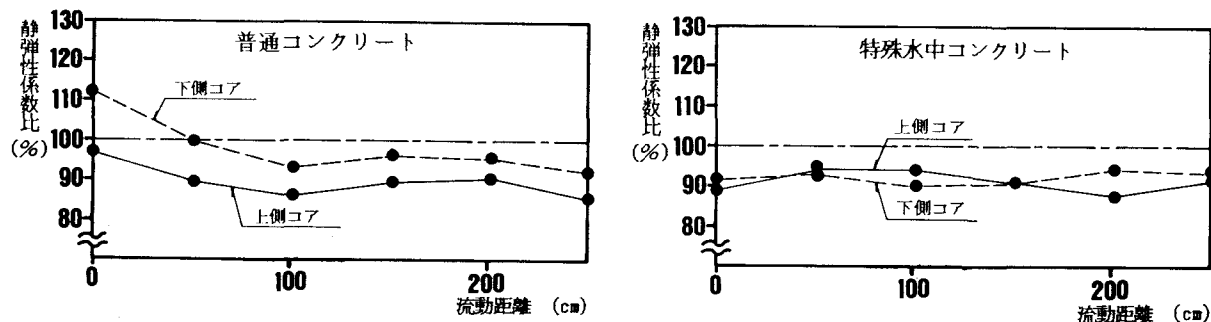


図-16 流動距離と静弾性係数比の関係

3.2 長距離流動させた場合の品質変動

(1) 実験概要

図-17に示すような幅50cm、高さ90cm、長さ15mの型枠内にスランプローとSCA添加量を変えた特殊水中コンクリートをポンプ車により打設し、一方

向に長距離流動させた場合の品質変動について調べた。コンクリートの配合を表-2に示す。品質変動は、硬化後、試験体の流動方向1.5m間隔で水平方向にコアを採取して調べた。

表-2 配 合

No	ケース	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					AE 減水剤	高性能 減水剤
				W	C	S	G	SCA		
1	スランプロー55cm SCA 2.3kg/m ³	55	40	200	364	673	1033	2.3	C×0.25 %	C×0.2%
2	スランプロー60cm SCA 2.3kg/m ³			215	391	649	995			
3	スランプロー60cm SCA 2.8kg/m ³			225	409	632	970	2.8		

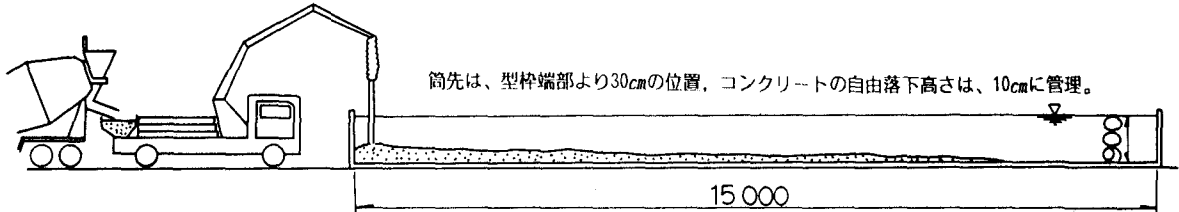


図-17 打設要領

(2) 実験結果

流動距離とコアの単位容積重量、圧縮強度、静弾性係数の関係を図-18、図-19、図-20に示す。配合No.1では流動距離10m付近から、配合No.2では流動距離10m~13m付近から単位容積重量、圧縮強度、静弾性係数が低下した。これらは流動による粗骨材量の減少によるものと考えられる。しかし配合No.3では流動距離に伴う品質の変動は小さく、スランプローとSCA添加量を増加させることによって、品質低下を抑えるとともに長距離流動させることが可能であるとみなされた。

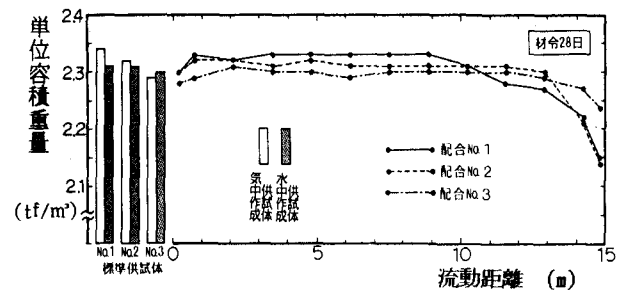


図-18 流動距離と単位容積重量の関係

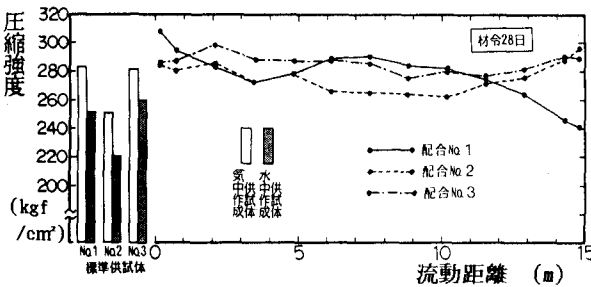


図-19 流動距離と圧縮強度の関係

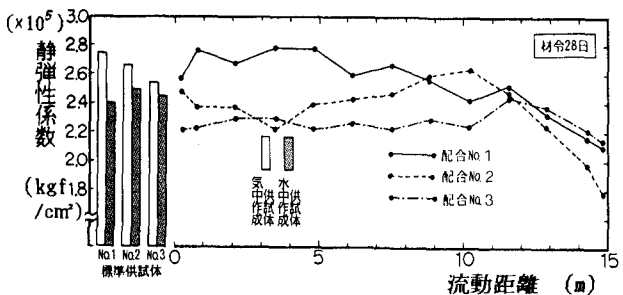


図-20 流動距離と静弾性係数の関係

4. 特殊水中コンクリートの施工

4.1 プレパックドコンクリート工法との比較

海洋構造物を施工する場合の、プレパックドコンクリート工法と特殊水中コンクリートのトレミー打設工法との施工性、品質等の対比を表-3に示す。工期、工費は両工法でほぼ同等であると考えられるが、特殊水中コンクリートのトレミー打設工法は、作業中断がない点で有利であり信頼性が高いと考えられる。

表-3 プレパックドコンクリート工法と

特殊水中コンクリートのトレミー打設工法との比較

項 目	プレパックドコンクリート工法	特殊水中コンクリートのトレミー打設工法
施工設備	・モルタルプラント船が必要である(コンクリートプラント船の改造等が必要である) ・注入管、検知管が必要であり建込み間隔が狭い	・現有のコンクリートプラント船を使用する ・トレミー管の建込み間隔を広くできる
施工性	・注入管が多数必要であるため段取替が多い ・強硬で清浄な粗骨材を用いる必要がある ・モルタル注入時は作業を中断できない	・1本のトレミー管が分担する打設面積を広くできる ・普通コンクリートの材料にSCAを添加して練り混ぜる ・水中での打設が可能であるため作業時間に応じた打設ができる
品 質	・粗骨材中でのモルタルの流下速度が速いと材料分離を起こす ・天端部分での品質低下が生じる	・広範囲に打設しても安定した品質が得られる

4.2 現場適用例

(1) 水路床版工事

図-21に示す水路RC床版を締切りを行わずに特殊水中コンクリートによって施工した。コンクリートのスランプフローは40cm，SCA添加量は $2.6\text{kg}/\text{m}^3$ である。特殊水中コンクリートは広範囲にかつ薄く打設されたが、施工後の調査の結果、どの部分も所要の強度が得られていることが確認された。

(2) 船台補修工事

図-22に示す船台下部の洗堀された部分に特殊水中コンクリートを打設した。コンクリートのスランプフローは50cm，SCA添加量は $2.8\text{kg}/\text{m}^3$ である。施工の結果、水質汚濁も殆んどなく目標強度を得ることができた。また配管距離約70mmの圧送打設であったが、圧送は何ら支障なく行なうことができた。

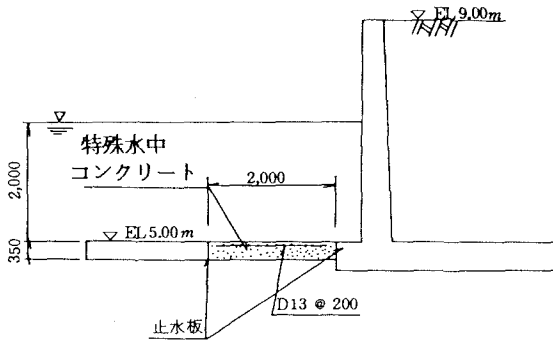


図-21 水路床版工事

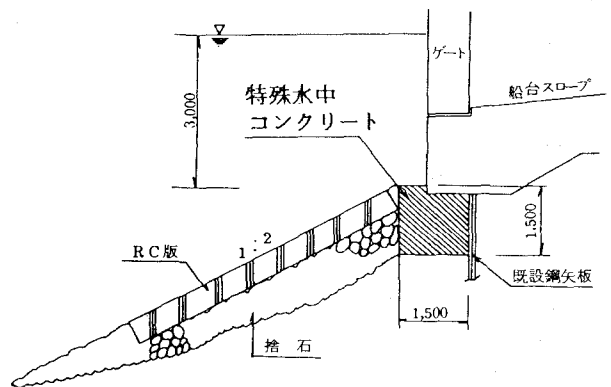


図-22 船台改修工事

(3) 橋梁基礎工事

図-23に示す設置ケーソン工法による橋梁下部工の、基礎コンクリートおよび鋼枠内の中詰コンクリートとして、厳しい水質汚濁防止と作業時間の制限から特殊水中コンクリートを打設した。コンクリートのスランプフローは45cm，SCA添加量は、基礎コンクリートについては $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ ，中詰コンクリートについては $2.0\text{kg}/\text{m}^3$ とした。施工の結果、周辺環境に対する問題もなく、かつ所要の品質を確保することができた。なお特殊水中コンクリートの打設時には、流動状況を把握するため潜水夫によりコンクリート天端高の測定を行ったが、その結果、表-4に示すように流動勾配は $1/10 \sim 1/20$ 程度であった。

5. まとめ

特殊水中コンクリートの性質を列挙すると次の通りである。

- ・粘性が高く、直接水中に落下させても材料分離しないため、水質汚濁をかなり抑制できる。
- ・セルフレベリング性に富み、コンクリート面は平滑になる。
- ・ブリージングがないため、水中での打継ぎや鉄筋等との付着状態が良好である。
- ・狭い鉄筋間でも容易に流動し、かつ流動に伴う材料分離も少ない。
- ・スランプフローとSCA添加量を増加させることにより、品質の変動を抑えて長距離流動させることができる。

これらの性質を有しているため、大型海洋構造物など広範囲にコンクリートを打設する工事においては、特殊水中コンクリートの適用性は非常に大きいと判断される。

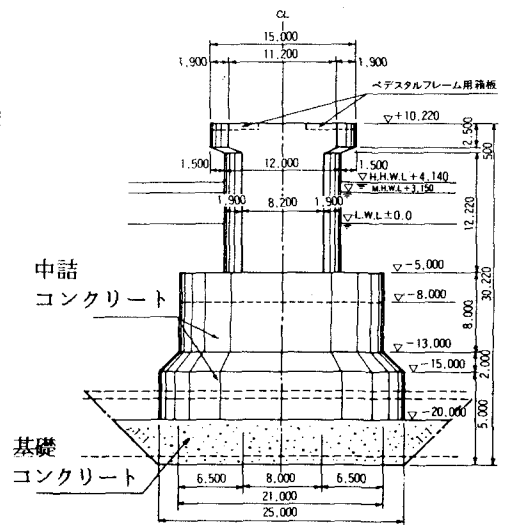


図-23 橋梁基礎工事

表-4 打設時の流動勾配

水深 (m)	SCA (kg/m^3)	流動勾配		
		1	2	平均
24.5	3	1/17	1/7	1/12
18.0	2	1/12	1/8	1/10
10.5		1/20	1/12	1/18

今後さらに屋外実験ならびに実施工でのデータを収集し、合理的な特殊水中コンクリートの配合設計法の確立と施工法の改善を行なってゆきたい。