

[12] 分離低減剤を用いた水中コンクリートに関する研究

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 〇三浦律彦 (大林組技術研究所)

玉田信二 (大林組技術研究所)

1. ま え が き

我が国では、河川、港湾、海洋などにおける建設工事も多く、水中にコンクリートを打設する必要が生じる場合も多い。さらに、最近では海上橋や海底備蓄施設といった新しい海洋構造物の需要が増えており、地下連続壁の用途拡大なども含めて、水中コンクリート工事は今後とも増える傾向にある。今までの工事では、プレキャスト工法やトレミー工法が一般に用いられているが、これらの工法ではモルタルやコンクリートが水中で流動する時に分離が生じて品質が損われることも多く、セメント分の流出による水質汚染なども問題となり易い。

筆者らは、このようなコンクリートの分離性状の改善を目的として分離低減剤を開発し、それを使用したコンクリートが水中で流動してもほとんど分離せず水中コンクリート工事に最適なものと考え、各種の研究を進めてきた。本報告は、この分離低減剤を用いたコンクリートの各種初期性状や強度特性について実験的に検討を加えたもので、さらに、施工性把握の目的で行なった現場実験の結果についても若干の考察を加えた。

2. 分離低減剤：SCA

コンクリートはセメント、水、細骨材、粗骨材と混和材料から成る複合材料であり、各材料の比重や粒子径が異なるため、運搬・締固め時に大きな振動を受けたり、打設時の落下高が高かったりすると材料分離が生じる。特に、水中で流動する場合や流水の作用を受ける場合には著しく分離し、セメント分が水中に流出することになる。このような材料分離を抑制するには、結合材であるセメントペーストの粘性を増すのが有効な手段と思われる¹⁾。本研究で用いた分離低減剤 (Segregation Controlling Admixture, 以下SCAと略)はセルローズエーテルを主成分とするもので、水に溶解すると図-1に示すように濃度に応じて粘性が増加する。SCAを添加したコンクリート (以下SCコンクリートと略)では添加量に応じてペーストの粘性が増加し、直接水中に打設してもセメントや砂や砂利の分離が生じにくくなる。

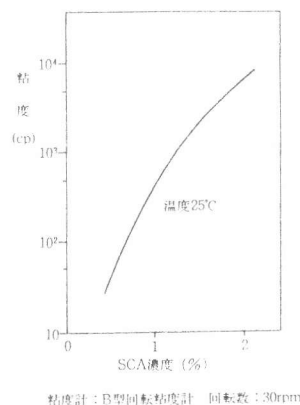


図-1 SCA水溶液の粘度発現

3. SCコンクリートの初期性状

3.1 使用材料および配合

SCコンクリートはかなり粘性が高いため、施工性を考慮すると普通コンクリートよりも軟練りにする必要がある。そこで、本実験では目標スランブを2.0~2.5cm、目標空気量を2~4%とした。また、使用材料は表-1に示すとおりである。

SCコンクリートの配合は、単位セメント量が250~500kg/m³、水セメント比が40~65%、細骨材率が35~45%の範囲内で目標スランブになるように定めた。また、SC

表-1 使用材料の種類と特性

種 類	製 造 元 (産地)	比 重	その他の特性
セメント	普通ポルトランドセメント C社製	3.16	比表面積3,100m ² /kg (ブレンジ)
粗骨材	河砂 富士川	2.64	最大粒径25mm, 粗砂率7.04% 吸水率0.86%
細骨材	山砂 木更津	2.57	粗砂率3.14, 吸水率1.55%
減水剤	VAE減水剤	1.25	主成分 ポリグリセロール重合体 高縮合トリアジン系化合物 水溶性非イオンセルローズエーテル
	HR高性能減水剤	1.13	
SCA	分離低減剤 S社製	0.30	分

表-2 コンクリートの配合例

配合	W/C (%)	S/o (%)	単 位 量 (kg/m ³)					(L/m ³) 減水剤A
			W	C	S	G	SCA	
A	56.7	40.0	170	300	735	1132	1.5~3.0	0.750
B	55.0	40.0	193	350	701	1072	1.0~5.0	0.875
C	48.1	45.0	178	370	772	973	0	0.925
D	54.1	40.0	200	370	687	1074	1.3, 2.6	0.925
E	57.0	37.4	228	400	606	1057	2.8	1.000

Aの添加量は $0 \sim 5 \text{ kg/m}^3$ ($C \times 0 \sim 1.0\%$)とした。配合の一例を表-2に示した。このうちC, D, Eはポンプ圧送実験に用いたものである。

3.2 流動性状

SCコンクリートは普通コンクリートに比べて著しく粘性が高く、さらに軟練りになっているため、スランプのみでワーカビリティを判定するのは難しい²⁾。そこで、ここではスランプフローおよびセルフレベリング曲線を用いて比較を行なった。なお、それ以外にもDINのスプレッド試験やフローコンからの落下時間の測定なども行なっているが、本報告では省略する。

図-3に示すように、 W/C , S/a , SCAの添加率(対セメント重量%)が同じものでは、スランプフローは W にほぼ比例して直線的に増加し、スランプフローを 5 cm 増加させるには W を約 15 kg/m^3 増やせばよいことが分る。また、単位セメント量, S/a , SCAの添加率が同じものでは、スランプフローを 5 cm 増加させるには W を約 $4 \sim 6 \text{ kg/m}^3$ だけ増やせばよい。なお、スランプフロー $30 \sim 50 \text{ cm}$ はスランプで $18 \sim 25 \text{ cm}$ 程度に相当する²⁾。

ところで、SCコンクリートは軟練りで粘性が高いため、自重でゆっくりと変形して平らになろうとする性質(以下セルフレベリング性と呼ぶ)がある。スランプ試験を行なうと写真-1に示すように徐々に広がってゆき、 $1 \sim 3$ 分後に静止して最終のスランプを示す。この時のスランプの変化を測定し、経過時間との関係で示したのが図-4のセルフレベリング曲線である。この結果より、SCAの添加量の多いものほど粘性が高くて変形する速度も遅く、静止するまでの時間も長くなるのが分る。また、最終スランプも少し小さくなる。

3.3 水中分離抵抗性

写真-2は、直径 15 cm ,高さ 50 cm の透明円筒管に水を満たして約 2 kg のコンクリートを少しずつ落下させた後の状況を示すもので、SCAの添加量は左から $0, 3, 5 \text{ kg/m}^3$ と多くなっている。左側の普通コンクリートでは完全に分離して水が著しく濁っているのに対し、右側の高粘性SCコンクリートでは全く分離せず、水も透明のままである。中央は施工性を考慮した通常の添加量のSCコンクリートで、水は多少濁るものの良好なコンクリートが得られている。図-5はコンクリート落下後の水のPHを示したもので、SCAの添加

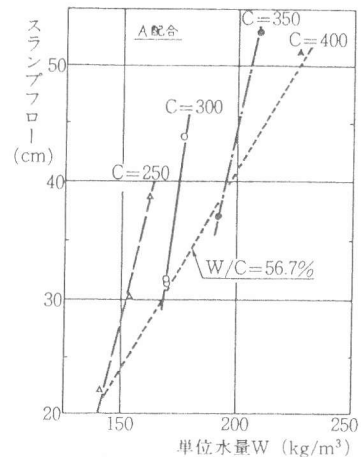


図-3 単位水量とスランプフローの関係

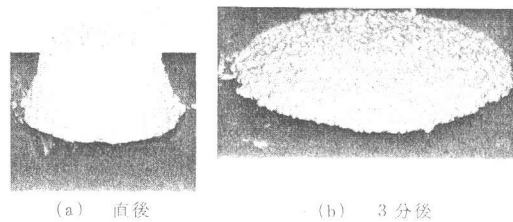


写真-1 SCコンクリートのスランプ試験の状況

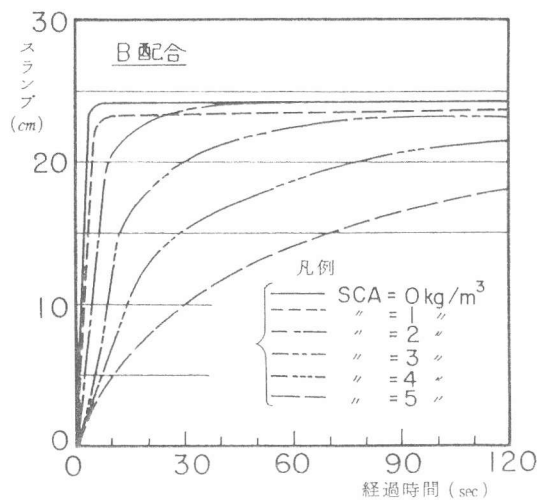


図-4 セルフレベリング曲線

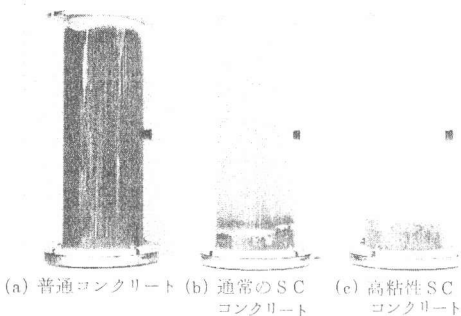


写真-2 水中分離抵抗性試験

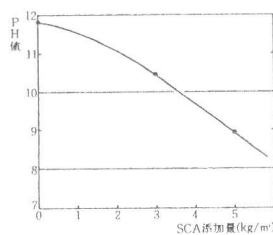


図-5 コンクリート落下後の水のPH

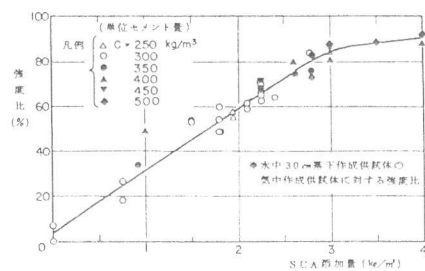


図-6 強度比で見た水中落下時の分離抵抗性

量の多いものほどセメント分の流出による水質汚染も少ないことが示されている。

図-6は、写真-2と同様の方法で水中を30cm落下させて作成した供試体の気中作成供試体に対する強度比で分離抵抗性を調べたものである。SCAの添加量が 3 kg/m^3 程度までは添加量にほぼ比例して強度比も増加しており、水中落下時の分離抵抗性がSCAの添加量でほぼ一義的に定まることが分かる。

3.4 ブリージング性状

SCコンクリートは、SCAの添加量の増加に伴い保水性が向上するため、ブリージングはほとんど生じない。図-7はセメントペーストのブリージング試験結果を示したもので、SCAをセメント量の0.1%添加しただけでブリージング水量は半減し、0.3%以上添加したものはブリージングはほとんど生じていない。コンクリートでも、SCAを 1 kg/m^3 以上添加したものはブリージングは認められなかった。その結果、ブリージングに伴う強度低下や局所的品質変動、初期の体積変化²⁾なども少なくなり、品質の高いコンクリートが得られる。

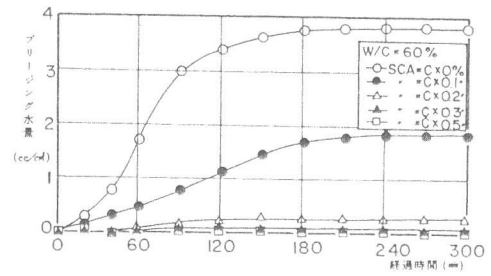


図-7 SCAを添加したセメントペーストのブリージング

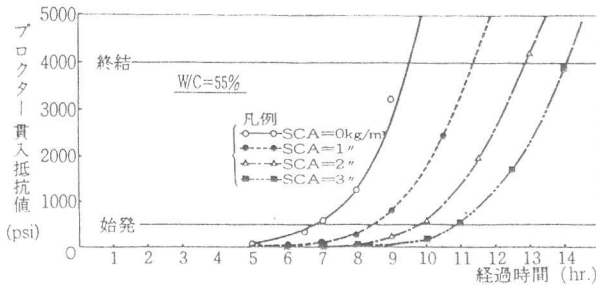


図-8 SCAを添加したモルタルの凝結性状(その1)

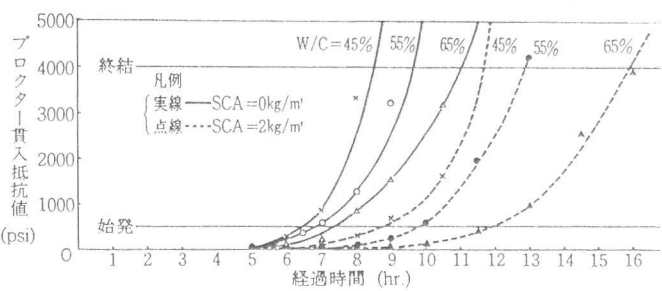


図-9 SCAを添加したモルタルの凝結性状(その2)

3.5 凝結時間

図-8に示すように、SCコンクリートの凝結時間はSCAの添加量の増加に伴い遅れる。また、図-9に示すように、その遅れはW/Cの大きいものほど著しい。通常の添加量($1\sim 3\text{ kg/m}^3$)ではその遅れは4~6時間程度であるが、遅延剤を用いた場合と異なり、始発から終結までの時間はほとんど変わらない。そのため、初期強度に対する影響はほとんどなく、逆に施工上のトラブル防止に対して有利となる。

4. SCコンクリートの各種強度特性

4.1 圧縮強度および静弾性係数

SCコンクリートの圧縮強度の発現状況の一例を図-10に示す。SCコンクリートの圧縮強度は、材令3日以降ではどの材令においても普通コンクリートと同等以上となっており、前述した凝結時間の遅れの悪影響はほとんどないことが分かる。また、SCコンクリートの強度発現は材令28日までが著しく、それ以降の強度増は普通コンクリートより少なくなるようである。

図-11は圧縮強度と静弾性係数の関係を示したもので、SCコンクリートの静弾性係数の値は、同じ強度の普通コンクリートと比べて少し小さいことが認められる。この傾向は若材令時の低強度において著しいが、長期材令(91日)ではほぼ等しい値になるようである。

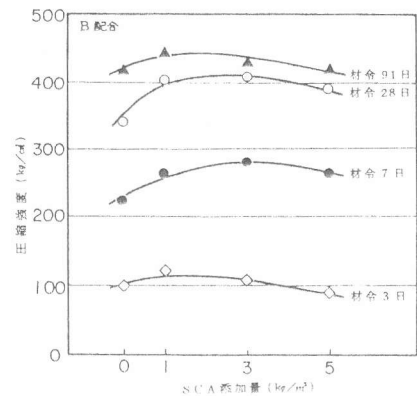


図-10 SCAの添加量と圧縮強度の関係

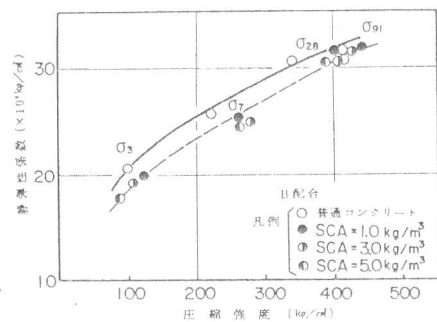


図-11 圧縮強度と静弾性係数の関係

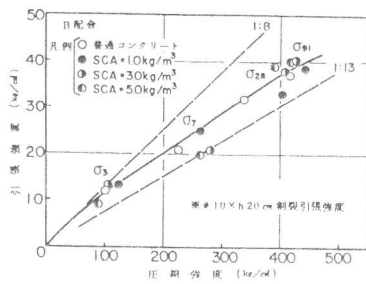


図-12 圧縮強度と引張強度の関係

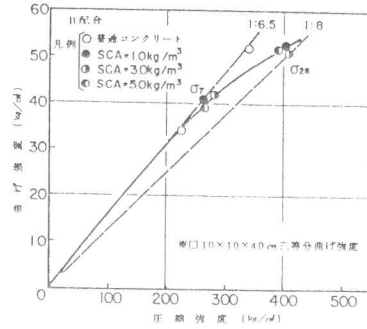


図-13 圧縮強度と曲げ強度の関係

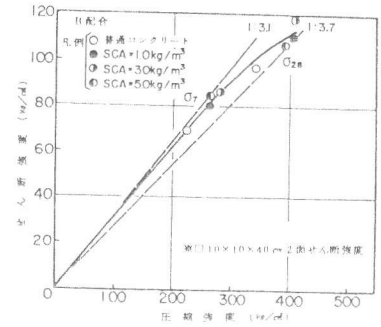


図-14 圧縮強度とせん断強度の関係

4.2 その他の強度特性

図-12, 13, 14はC配合のコンクリートについて求めた圧縮強度と引張強度, 曲げ強度, せん断強度の関係を示したものである。S Cコンクリートの引張強度, 曲げ強度, せん断強度は, 同じ配合の普通コンクリートと比べて少し大きくなるが, 圧縮強度に対する強度比で見ると普通コンクリートとほぼ同程度の値となる。すなわち, 圧縮強度に対し引張強度は1/8~1/13, 曲げ強度は1/6.5~1/8, せん断強度は1/3.1~1/3.7程度であった。

5. S Cコンクリートの施工性の検討

5.1 混練り時のミキサに作用する負荷

S Cコンクリートは混練り時に直ちに粘性を発揮するため, ミキサに働く負荷は, S C Aの添加量の増加に伴い大きくなる。表-3はある現場の生コンプラントでミキサ負荷を測定した結果の一例で, 負荷の大きさを混練り時の最大電流の平均値で示した。ほぼ同じスランプの普通コンクリート (No. 2) に比べて, S C Aを1.5 kg/m³添加したもの (No. 1) では約25%, 2.6 kg/m³添加したもの (No. 3, No. 4) では約35%の負荷の増加が認められる。しかし, 通常のミキサは硬練りのコンクリート (例えばNo. 5) も混練りできるように設計されており, この程度の増加は実用上問題となるものではない。

5.2 ポンプ圧送性

S Cコンクリートのポンプ圧送性を把握する目的で, 直線部が約70mの配管圧送を行ない管内圧の分布を測定した。その結果を図-15に示した。これは比較的低い吐出量 (15 m³/h程度) で圧送した場合の一例で, 普通コンクリートに比べてS Cコンクリートでは, 直線部の圧力損失が2~2.6倍, ビストン前面圧が2~3倍の値となっており, 粘性の増加に伴う管内抵抗の増大が認められる。吐出量を上げると, 粘性の高いものほど圧力損失やビストン前面圧の増加が著しくなることから, S Cコンクリートのポンプ圧送には比較的低い吐出量 (20 m³/h程度以下) での圧送が適当と思われる。

6. まとめ

- (1) コンクリートの水中での分離抵抗性を高めるにはS C Aの添加が非常に効果的である。
 - (2) S Cコンクリートは粘性が高いため, 作業性を考えるとかなり軟練りに (Wを多く) する必要がある。
 - (3) S Cコンクリートは凝結が少し遅れるもののブリーディングは生じず, 強度発現性も優れている。
 - (4) S Cコンクリートは粘性が高いため, 混練り時やポンプ圧送時の負荷は大きくなるが, コンクリートの配合やS C Aの添加量を適当に選定することにより, 従来の機材を用いても十分に施工できる。
- (参考文献) 1.立畑, 岩倉ほか:セルローズ系保水剤を用いた~, 七技年報36(昭57年) 2.芳賀, 十河ほか:分離低減剤を使用したS Cコンクリート(その1), 大林組技術研究所報No.28(昭59年2月) 3.玉田, 三浦ほか:分離低減剤を用いたコンクリートの~, 七技大会(昭59年5月)

表-3 混練り時のミキサ負荷の測定結果

No.	コンクリートの配合				ミキサ 混練り時間 (分)	混練り時の 平均最大電流 (A)	練上り時のフレッシュ性状			
	Ct(kg/m³)	W/C(%)	S(a%)	SCA(kg/m³)			スランプ 高さ(cm)	スランプ 径(cm)	空気量 率(%)	含水 率(%)
1	298	64.5	43.0	1.50	1.7	110~115	22.5	37.0	5.8	31.0
2	298	64.5	43.0	0	1.5	80	25.0	48.0	3.5	32.0
3	400	49.0	41.0	2.60	1.7	120~125	22.5	36.5	4.2	32.5
4	400	49.0	41.0	2.60	1.7	118~120	23.5	40.0	4.1	33.0
5	307	54.7	43.0	0	1.5	125~130	8.0	21.0	3.5	34.5

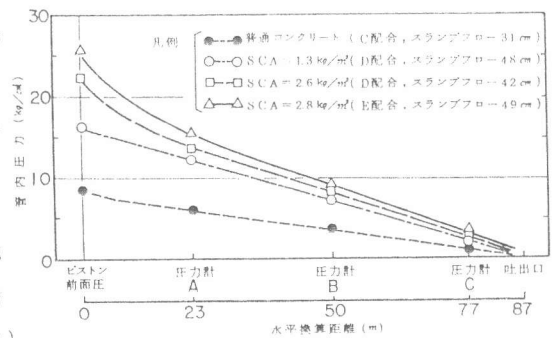


図-15 ポンプ圧送試験における管内圧の測定結果