

分離低減剤を使用したSCコンクリートに関する研究（その1）

——SCコンクリートの基礎物性および水中コンクリートへの適用——

芳賀孝成 十河茂幸
三浦律彦 玉田信二

Studies on SC Concrete, Containing Segregation Controlling Admixture (Part 1)

——Properties of SC Concrete and Application to Underwater Concrete——

Takashige Haga Shigeyuki Sogo
Norihiko Miura Shinji Tamada

Abstract

The prepacked concrete method or the tremie method has been used for placing concrete under water, but quality loss of concrete because of segregation in water has been a problem. The authors developed a new admixture which controls segregation of concrete, named Segregation Controlling Admixture, and performed various tests regarding properties at early age and strength characteristics of concrete containing this admixture, called SC Concrete. As a result, it has been found that SC Concrete has high resistance to segregation, shows little strength loss and high fluidity in water, and so it has been recognized that SC Concrete is very useful for underwater concrete.

概要

水中コンクリートの施工法としてはプレパックド工法やトレミー工法などが一般的であるが、従来のコンクリートやモルタルでは材料分離による品質の低下が問題とされてきた。そこで、水中での分離を抑制する新しい混和剤（分離低減剤）を開発し、これを使用したコンクリート（SCコンクリート）の初期性状や強度特性などについて各種の試験を実施した。その結果、SCコンクリートは水中での分離が少なく強度低下が少ないこと、また水中での流動性が高いことなどから、水中コンクリートとして大変優れていることが認められた。

1. まえがき

我が国は島国であり河川も多いため、河川・港湾・海岸海洋などにおける建設工事も多く、それに伴い水中にコンクリートを打設する必要がある場合も多い。さらに、最近では長大橋や海底油田開発のための重力式プラットフォームといった新しい海洋構造物の需要が増えており、これに伴い水中コンクリート工事は今後とも増える傾向にある。

今までの水中コンクリート工事では、プレパックド工法やトレミー工法が一般によく用いられているが、これらの工法では、モルタルおよびコンクリートが水中で流

動する時に分離を生じ易く、品質の均一性や信頼性といった点で問題が残る。さらに、セメント分の流出により河川や海洋を汚染することになり、魚介類への影響も大きく、その対策に費やされる費用もかなりの額となる。

筆者らは、このようなコンクリートの分離性状に着目し、これを抑制する目的で研究を進めてきたが、このたび水中でもほとんど分離を生じないSCコンクリート（分離低減コンクリート：Segregation Controlled Concrete）の開発に成功した。本報告は、このSCコンクリートの製造方法およびその基礎性状について示すもので、さらに水中コンクリートへの適用性についても検討を加えたものである。

2. SC コンクリートの概念

2.1. 分離低減剤：SCA

コンクリートは一般にセメント、水、細骨材、粗骨材と混和材料から成る複合材料であり、これらの材料の比重や大きさが異なるため、材料分離が生じる。普通、静的な状態ではそれほど問題とならないが、自由落下高が大きかったり、過振動を受けたりすると分離する。とくに、水中で流動するとはげしい材料分離が生じる。このような分離を抑制するためにはセメントペーストの粘性を増すのが有効な方法と考えられる。そこで、セメントペーストの粘性を高め水中に打設してもコンクリートが分離しにくい新しい混和剤（分離低減剤：Segregation Controlling Admixture, 以下 SCA と略）を開発した。

この SCA は、一般にセルロースエーテルを主成分とするもので、水に溶解することによりその粘度を高める働きがある（図-1 を参照）。コンクリート中に SCA を混入するとセメントペーストの粘度が増加して、砂や砂利の分離を抑制する。写真-1 はその一例を示したもので、SCA を多量に添加したもの（写真右）では、水中で

50 cm 自由落下させても全く分離せず、水も透明のままである。普通コンクリート（写真左）では完全に分離して、水は著しく濁る。SCA を施工性を考慮した通常の使用量だけ添加したもの（写真中）では、水が多少濁るものの分離も少なく、良好なコンクリートが得られる。

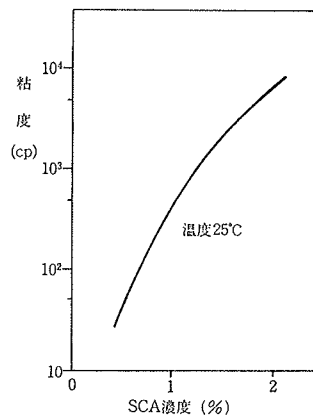


図-1 SCA 水溶液の濃度と粘度の関係
粘度計：B型回転粘度計 回転数：30rpm

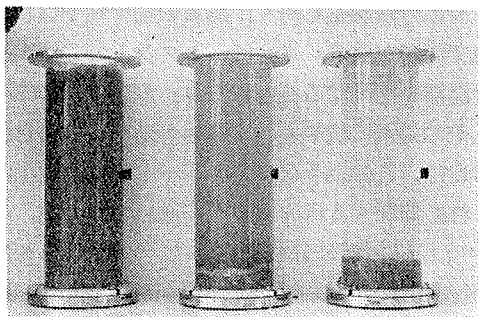


写真-1 SC コンクリートの水中非分離性試験

2.2. コンクリートの製造および施工方法

SC コンクリートの製造方法には、プラントにおいて SCA を添加して練上げる方法（プラント添加法）と、あらかじめプラントで練上げたコンクリートを現場まで運搬し、そこで SCA を添加して再攪拌する方法（現場添加法）とがある。また現場添加法にも、粉体の SCA を添加する方法（粉体添加法）と、スラリー状にした SCA を添加する方法（スラリー添加法）がある。ここでスラリー添加する場合には、スラリーを作るのに要する水量をあらかじめ差し引いて練上げておく必要がある。これらのいずれの添加法においても、SC コンクリートの製造・運搬・打設には一般の施設、機材を使用することができることが明らかになっている。

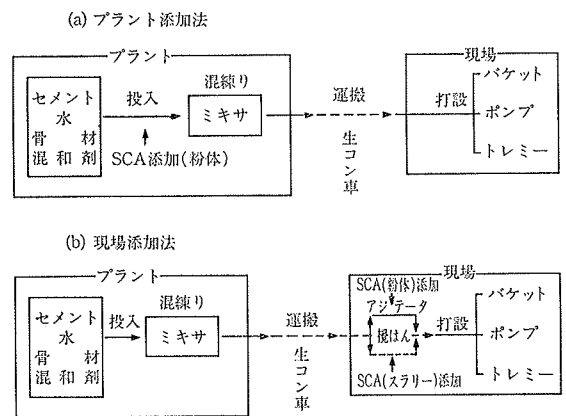


図-2 SC コンクリートの製造・運搬・打設

	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3,190cm ² /g (プレーン)
粗骨材	川砂利	富士川	2.64	最大寸法25mm, 粗粒率7.04, 吸水率0.86%
細骨材	山砂	木更津	2.57	粗粒率3.14, 吸水率1.55%
減水剤	(A)AE減水剤	P社製	1.25	主成分 リグニンスルホン酸塩+ポリオール複合体 高縮合トリアジン系化合物
	(B)高性能減水剤		1.13	
SCA	分離低減剤	S社製	みかけ0.30	水溶性非イオンセルロースエーテル

表-1 SC コンクリートの使用材料

配合	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				単位量 (ℓ/m ³)		
			W	C	S	G	SCA	減水剤A	減水剤B
A	56.7	40.0	170	300	735	1132	1.5~3.0	0.75	—
B	64.7	43.0	195	302	765	1037	1.5~3.0	0.755	—
C	43.0	40.0	193	450	662	1020	3.0	—	9.0
D	40.0	40.0	200	500	639	984	3.0	—	10.0

表-2 SC コンクリートの配合例

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コンクリートは粘性がかなり高いため、施工性を考慮するとかなり軟練りにする必要がある。このため、本実験では目標スランプを20~25cm程度とした。また、目標空気量は2~4%程度とした。実験で用いたコンクリート用材料の種類およびその特性値は表-1に示すとおりである。

表-2にSCコンクリートの配合の一例を示した。SCコンクリートは、SCAの添加量が多いほどその分離抵抗が大きくなるが、その反面、粘性の増加に伴い施工性が悪くなる。そのため、SCAの最適な添加量は、施工方法、要求されるコンクリートの品質、それに水質汚濁の許容値などによって決定する。なお、実験においては、SCAの添加量をC×0~1.0% (0~3.7 kg/m³)とした。

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いため、そのワーカビリティをスランプ値だけで判定することは難しい。また、普通コンクリートに比べてかなり軟練りになっているため、スランプ値の変化

も少ない。そこで、スランプ値、スランプフロー(スランプ試験後のコンクリートの拡がりを示す)、それにセルフレベリング曲線を用いて流動性状の比較を行なった。

コンクリートの混練りは強制練りミキサを用いて行ない、1分間の空練り(ドライミックス)後3分間の本練りとした。

図-3に示したのはスランプ値とスランプフローの関係で、添加量によらずかなり高い相関を示している。この図より、スランプ値24cm以上ではその変化が1~2cmと少ないのに対し、スランプフローでは5~10cmの変化が現われることから、この程度の軟練りコンクリートの流動性はスランプフローで管理した方がよいことが分かる。

単位水量とスランプフローの関係を図-4に示した。W/C, S/a, SCA添加量(セメントに対する重量百分率)が同じものでは、スランプフローは単位水量にほぼ比例して直線的に増加するのが分かる。

次に、比較的軟練りのSCコンクリートは、粘性が高いという特性のほかに、自重で平らになろうとする性質(以下セルフレベリング性という)を有している。一般に、SCコンクリートのスランプ試験を行なうと、写真-2に示すように時間とともにゆっくりと変形してゆき、1~3分後に静止して最終のスランプ値を示す。この時の時間とスランプ値の変化を測定して図示したのが図-5(セルフレベリング曲線という)である。この図からSCAの添加量の多いものほど粘性が高く、変形する速度が遅くて最終のスランプ値に達するまでの時間も長く

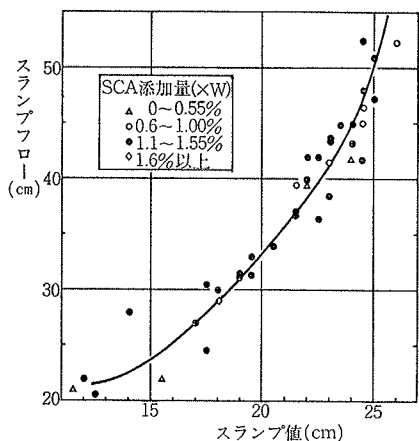


図-3 スランプ値とスランプフローの関係

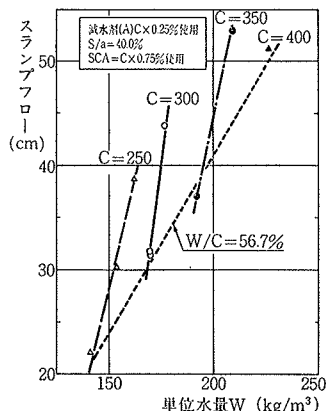
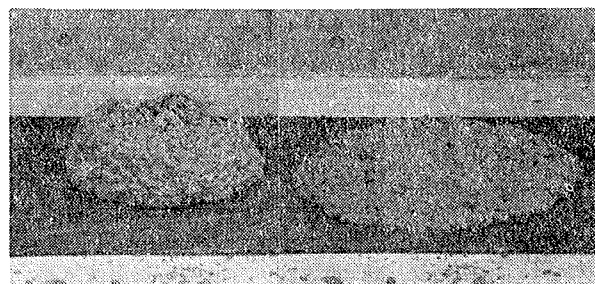


図-4 単位水量とスランプフローの関係



(a) コーン引抜き直後 (b) 約3分後
写真-2 スランプ値の変化

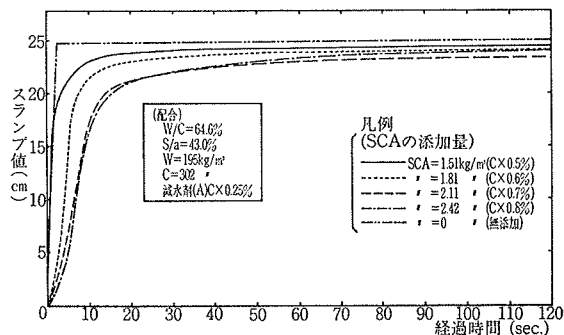
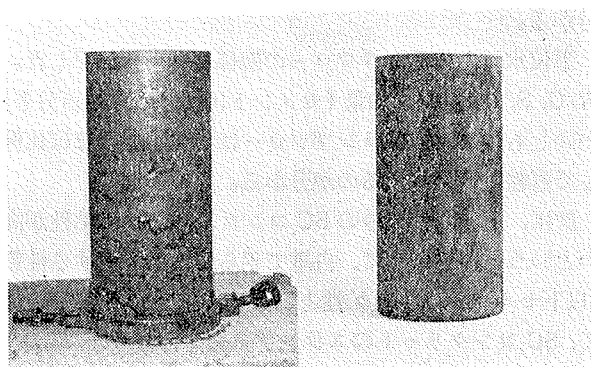


図-5 セルフレベリング曲線

なっているのが分かる。このように、スランプコーンを外してから静止するまでの時間を何らかの方法で測定すれば、コンクリートの粘性をある程度把握できる。

3.3. 分離抵抗性

SC コンクリートは、分離抵抗が大きいものほど、打設時に水中に溶出するセメント分が少なくなり、コンクリートの品質の低下や水質汚濁も少なくなる。写真-3は、水中を30cm自由落下させて打設したコンクリート供試体の分離状況を示したものである。普通コンクリート(a)では相当に分離しており、ペースト分の流出も著しいが、SCAをセメント量の0.8% (2.8 kg/cm³) 添加したSC コンクリート(b)では、材料分離は全く認められなかった。



(a) 普通コンクリート (b) SC コンクリート
写真-3 水中を30cm自由落下させて作成した供試体の状況

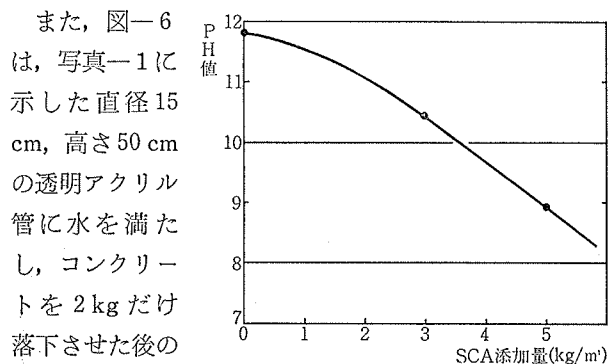


図-6 コンクリート自由落下後の水のpH値

また、図-6は、写真-1に示した直径15cm、高さ50cmの透明アクリル管に水を満たし、コンクリートを2kgだけ落下させた後の水のpH値を示したもので、SCAの添加量が多いものほどコンクリート打設時の水質汚濁が少なくなることを示している。

3.4. ブリージングおよび初期容積変化

図-7にSCAを添加したセメントペーストのブリージング試験の結果を示した。SCAを添加しないペーストでは、約3.9 cc/cm²のブリージング水が出てくるが、SCAをセメント量の0.1%だけ添加すると、その量は約半分になり、0.3%以上添加したものは全くブリージングが生じないことが分かる。これは、モルタルやコンクリートにおいても同様であることが実験により確認さ

れている。以上のことから、SC コンクリートは、ブリージングに伴う強度低下や打設後の高さ方向の品質変動、それに表面でのレイタンスの発生が少なくなると考えられる。

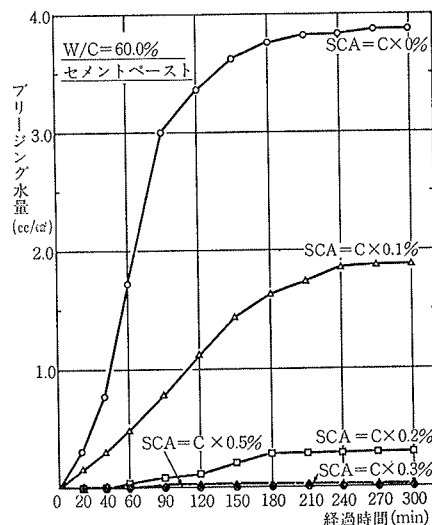


図-7 SCAを添加したセメントペーストのブリージング

次に、SC コンクリートの初期容積変化を調べる目的で、図-8に示すような装置を用いてコンクリート表面の沈下量を測定した。なお、型枠は直径60cmの円筒とし、壁面の影響をできるだけ少なくするようにした。この試験結果を図-9に示した。これより、SCA無添加のコンクリートに比べて、SCAをセメント量の0.1%添加したものでは約半分、0.5%添加したものでは約1/5の沈下ですむことが分かる。従って、SC コンクリートは普通コンクリートに比べて初期における容積変化が非常に少なくなり、その程度はSCAの添加量が多いものほど著しいことが分かる。

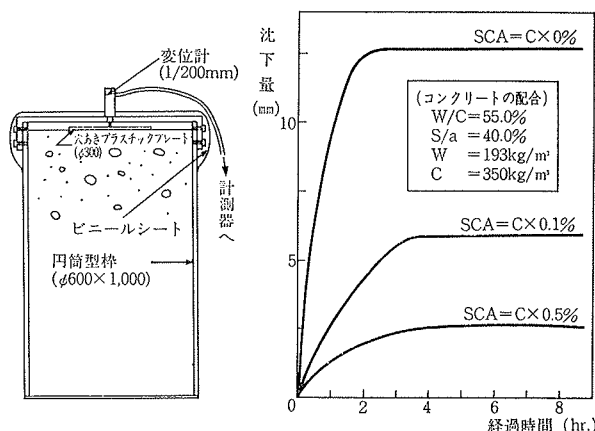


図-8 初期容積変化測定装置

図-9 SCコンクリートの初期容積変化

3.5. 凝結時間

SCAを添加したモルタルの凝結試験 (ASTM C-403)

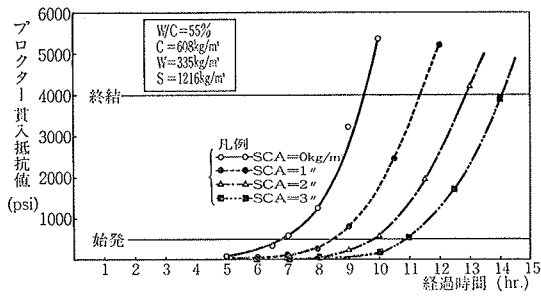


図-10 SCAの添加量と凝結時間の関係

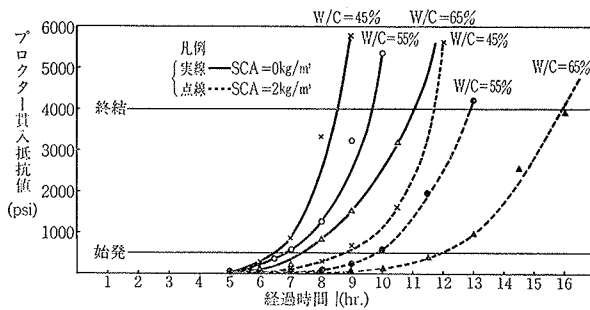


図-11 水セメント比と凝結時間の関係

の結果の一例を図-10, 11に示した。図-10は、同一配合でSCAの添加量のみ変化させた場合で、SCAの添加量が増加するほど凝結時間が遅れる傾向が認められる。図-11は、SCAの添加量が一定のもので水セメント比を変化させた場合で、無添加のものに対する凝結時間の遅れは、水セメント比が大きいものほど大きいことが分かる。

4. SCコンクリートの強度特性

4.1. SCコンクリートの圧縮強度

SCコンクリートの圧縮強度の発現状況の一例を図-12に示した。この結果より、SCコンクリートの圧縮強度は、材令3日以降のいずれの材令においても無添加のコンクリートの強度より少し大きくなっているのが分かる。しかも、SCAの添加量の多いものほど強度の増加が大きくなっていることから、前に示した凝結時間の遅れは強度発現に全く影響を及ぼさないことが分かる。

図-12で点線で示したのは、水中を30cm自由落下させて作成した供試体の圧縮強度(材令7日)で、その値はSCAの添加量にほぼ比例して大きくなっている。

4.2. SCコンクリートの弾性係数

図-13にSCコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係を示した。この結果より、SCコンクリートの静弾性係数は同一強度の普通コンクリートと比べて少し小さくなっているが、この理由は現在のところでは明らかになっていない。なお、両者の差は高強度のものほど小さくなる傾向がある。

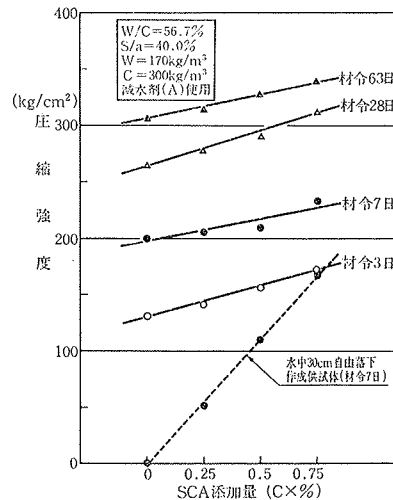


図-12 SCコンクリートの強度発現性状

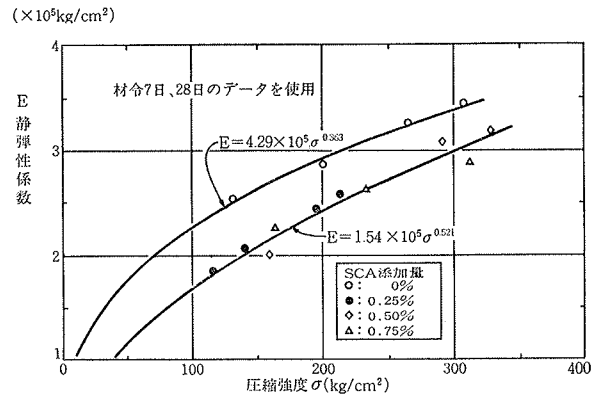


図-13 圧縮強度と静弾性係数の関係

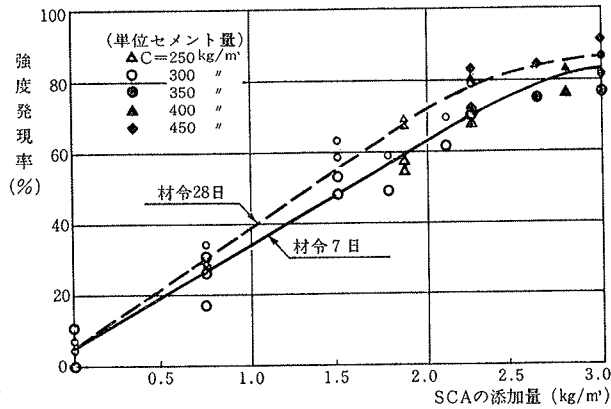
5. 水中コンクリートへの適用

5.1. SCコンクリートの水中打設における分離抵抗性

3章および4章で示したように、SCコンクリートはSCAの効果により分離抵抗が極めて大きくなっておりまた、SCAの添加量を変化させることでその抵抗性をコントロールすることができる。図-14はその一例として、分離抵抗性を水中30cm自由落下作成供試体の気中作成供試体に対する強度比(強度発現率と呼ぶ)で示したもので、この場合、強度から判定した分離抵抗性はSCAの添加量にほぼ比例して大きくなっているのが分かる。なお、この強度発現率は材令の経過に伴って若干増加する傾向が認められる。

SCコンクリートの水中打設方法としては、2章で示したように、トレミー打設、ポンプ打設、バケット打設などがあるが、実際の施工においては、いずれの場合もかなりの量を連続して打設するため、図-14の場合ほど厳しい条件とならない。これらの打設方法の内では、バケット打設が比較的図-14の試験条件に近くて最も厳しいものであり、次にポンプ打設、トレミー打設の順に条

件は緩くなる。したがって、SCAの添加量はこの順で少なくすることができる。



図一14 SCAの添加量と強度発現率の関係

5.2. SCコンクリートの施工性と配合設計

SCコンクリートは粘性が高いため、目標スランブは普通コンクリートの場合以上に大きくする必要があります。また、水中においては、気中の場合と違ってバイブレーター等による締固めが困難であるため、水中コンクリートとして使用する場合には、自重のみで水中を流動してゆくセルフレベリング性が必要となる。水中で流動する程度のコンクリートにするためには、スランブ値で23cm以上(スランブフローで40cm以上)にするとよい。このような点から、SCコンクリートの配合設計をする場合、単位水量は普通コンクリートより若干増す必要がある。ここで、SCコンクリートは水中打設に伴う品質低下が極めて少ないため、実際に打設するコンクリートの水セメント比は、品質低下分をあらかじめ割増してある普通コンクリートの場合より幾分大きくすることができる。従って、SCコンクリートの単位セメント量は、単位水量の増加に比例して増加することにはならず、結局、普通コンクリートと同程度以下に低減することができる。

なお、SCコンクリートの施工性を考える場合には、その打設方法、すなわちトレミー打設か、ポンプ打設か

あるいはバケット打設かを考慮しておかなければならない。その一つの目安として表一3に示すような値を確保するようにすれば、それぞれの場合で十分健全なコンクリートを、比較的容易に打設できると思われる。

S.C.C.の 状態	スランブ フロー	最終の スランブ	最適な打設方法
超かた練り	~25cm	~15cm	バケット打設
かた練り	25~35cm	15~21cm	バケット・ポンプ打設
普通練り	35~45cm	21~24cm	ポンプ・トレミー打設
やわ練り	45~55cm	24~26cm	ポンプ・トレミー打設
超やわ練り	55cm以上	26cm以上	トレミー打設

表一3 SCコンクリートのコンシテンシーと最適な打設方法

6. まとめ

これまでの試験結果から明らかのように、SCコンクリートを水中コンクリートとして使用した場合、従来のコンクリートに比較し、水中での分離が極めて少なく、流動性も極めて高い。また、ブリージングがほとんど生じないため、高さ方向の品質の変動や打継ぎ面でのレイタンス層の発生が少なくなる。以上のことから、新たに開発したSCコンクリートは、水中コンクリートとしての適用性が十分高いことが認められた。なお、SCコンクリートを幾つかの現場において水中に打設し、その施工性と品質の確認を行なっているが、これらについては次の機会に報告したいと考えている。

SCコンクリートを水中コンクリートとして適用してゆくためには、各種のセメントや海砂などを使用した場合の性状や、マスコンクリートにおける水和熱特性などについてさらに検討を加えなければならない。また、SCコンクリートのブリージングや体積変化が少ないという特徴を生かして、水中コンクリート以外にも、逆打ちコンクリートや無収縮グラウトなどへの適用も考えられるが、実施に先だって解決すべき問題点がいくつかある。今後これらについても研究を進めてゆく予定である。