

大規模水中構造物に適用する水中不分離性コンクリートの研究

THE STUDY OF ANTIWASHOUT UNDERWATER CONCRETE
FOR LARGE UNDERWATER STRUCTURES

平野 茂*・中川良隆**・中平 淳***・大友 健****

By Shigeru HIRANO, Yoshitaka NAKAGAWA, Jun NAKAHIRA and Takeshi OHTOMO

Antiwashout underwater concrete is recently used due to the demand for speedy marine construction work of large structures.

Antiwashout underwater concrete was also used for the construction of foundation for the main towers of the Akashi Kaikyo Bridge and its excellent properties have been verified. The antiwashout underwater concrete, for large-scale pouring, must retain its consistency for long hours, have low heat of hydration and stable placing properties.

This study clarifies the effect of aggregate, sand, cement, and admixture on the flowability and setting time of concrete, and a better mixing method was developed to improve the quality of the antiwashout underwater concrete.

Keywords: antiwashout underwater concrete, admixture, flowability

1. 序 論

水中不分離性コンクリートは、混和剤として混入した粘調剤の作用によりコンクリートの構成材料が粘着され、フレッシュコンクリートの状態で周りの水から洗い作用を受けても分離しにくい特性をもっている。また、セルフレベリング性より、自重で平滑に仕上がる特性をもっている。

近年、わが国における建設工事の大型化、大深度化、急速化および合理化の要請から、水中コンクリートが多量に使用されるようになり、特に水中不分離性コンクリートは、その優れた特性、信頼性により明石海峡大橋主塔基礎等重要な大規模水中構造物に使用されている。

明石海峡大橋主塔基礎のような大規模水中構造物を、水中不分離性コンクリートにより施工する場合、一般の構造物と大きく異なるのは以下の点である。

- ① 広い面積を限られた数の打設管で打設するため、コンクリートに長距離流動性が要求される。
- ② マスコンクリートとなるため、セメントの水和熱による温度応力が問題となる。
- ③ 多量のコンクリートを安定した品質で製造、打設する設備が必要なこと。

一般に水中コンクリートを大規模打設する場合、a) 高流動性（大きなスランプフローをもつ、たとえばスランプフロー 50 cm 以上）のコンクリートを、b) 短時間で打設することが望ましい。しかし、水中不分離性コンクリートに高流動性を具備させるために、単位水量を大きくしていくと、分離抵抗性、強度の問題が発生する。

この問題を克服するには、水中不分離性混和剤量、セメント量を増やせば良いが、その場合②の問題が発生する。したがってセメントの低発熱化、プレクーリングの実施が必要となる。

一方、多量のコンクリートを短時間で打設するには、コンクリートの製造、打設設備を大規模にする必要があり、経済性の面から制限がある。そこで、コンクリートを長い時間を掛けて（製造、圧送能力の制限）、長距離流動（打設設備の数の制限）させる必要がある。すなわち①の問題が発生する。したがってコンクリートは長時間の流動性の保持、流動に伴う材料分離、品質変動が少

* 正会員 本州四国連絡橋公団垂水工務事務所技術課長
(〒655 神戸市垂水区平磯 1-1-66)

** 正会員 明石海峡大橋 3P 下部工大成・間・佐藤・東洋・日本国土共同企業体所長 (〒655 神戸市垂水区平磯 3-1-50)

*** 正会員 明石海峡大橋 3P 下部工大成・間・佐藤・東洋・日本国土共同企業体 (同上)

**** 正会員 大成建設(株)技術研究所 (〒245 横浜市戸塚区名瀬町 344-1)

ないことが要求される。

また、実施工においては③に示すように安定した品質のコンクリートを製造、打設できる設備を作る必要がある。

本研究の目的は以上の問題点を解決することであり、具体的には以下の2点である。

- ① 低発熱、混合セメントを使用した水中不分離性コンクリートの流動性、凝結等の性質に及ぼす構成材料および配合の影響を明らかにする。
- ② 水中不分離性コンクリートは、水中不分離性混和剤を分散させるため、通常、空練りをするので普通コンクリートよりも練りませ時間が長い。また、この際、骨材に表面水がある場合、団粒状になり練上りコンクリートの品質が安定しないことがある。したがって、練りませ時間が短く安定した品質のコンクリートが製造できる新しい練りませ方法の開発。

本研究に対応する既往の研究としては、水中不分離性コンクリートの流動性について田沢ら¹⁾が、練上りスランプフローに及ぼすコンクリート構成材料の影響について検討をしている。しかし、流動性の長時間保持および凝結の関係についての研究は、なされていない。

練りませ方法については、松井ら²⁾が連続練りミキサーで水中不分離性混和剤のプレミックスセメントが有効であること、および、宮野ら³⁾がベースコンクリートへの水中不分離性混和剤、流動化剤の添加時期によりフレッシュコンクリートの性状があまり変化しないことを明らかにしている。しかし、練りませ方法による品質の変動について十分検討されているわけではない。

ここでは本研究の成果をもとに施工した明石海峡大橋3P主塔基礎の水中コンクリート工事についても紹介する。

2. 水中不分離性コンクリートの品質に関する研究

(1) 概要

水中不分離性混和剤として水溶性セルロースエーテルを使用する水中不分離性コンクリートは凝結遅延することが知られている。水溶性セルロースエーテルは非イオン性で一般にメチルセルロース(以下MCと略す)とよばれている。図-1に分子式を示す。分子の平均的長さは約1 μ m、太さは約0.001 μ mの長鎖状高分子で、セメント粒子等に吸着するとともに、粒子間隙に存在し、水溶液粘度を高めるものと考えられている。この粘性と凝結遅延性が流動性の長時間保持をもたらしていると考えられる。MCの存在により練りませ時の材料の投入順序、練りませ時間が、コンクリートの品質に大きく影響する。水中不分離性コンクリートの以上の特徴をふま

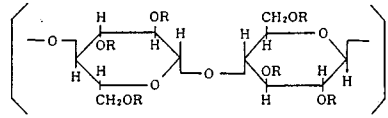


図-1 セルロース系水中不分離性混和剤の化学構造式

表-1 水中不分離性コンクリートの現場配合および要求品質

最大粗骨材寸法(mm)	水結合材率(%)	細骨材率(%)	単 位 量 (kg/m ³)				単 位 量 (t/m ³)		
			水	結合材	細骨材	粗骨材	水中不分離性混和剤	流動化剤	AE減水剤
20	67	40	213	320	648	1006	2.3	標準値	標準値

結合材：三成分系セメント
 スランプフロー：52.5±2.5cm(8時間保持)、空気量：5%以下
 設計基準強度：f_{ck}=190kgf/cm²(水中、材令91日)、水中強度比 0.8以上
 凝結始発時間：30時間程度以内、水中分離抵抗性 SS<150mg/g、pH<12
 塩素イオン濃度：0.06kg/m³以下、耐熱温度上昇量 30℃以下(耐熱温度上昇試験機による)

表-2 検討項目および実験内容

検 討 項 目	実 験 内 容
I 構成材料及び配合が水中不分離性コンクリートの凝結、流動性の長時間保持に及ぼす影響	
i) 構成材料の産地等材料の違いが凝結及び流動性の長時間保持に及ぼす影響	・結合材として高炉スラグ微粉末、フライアッシュの産地を変えた場合、細骨材として海砂、川砂を使用した場合の凝結、流動性の長時間保持について検討した。(実験シリーズ①)
ii) 結合材の品質、混合比率が凝結及び流動性の長時間保持に及ぼす影響	・結合材のどの様な品質が、凝結、流動性の長時間保持に影響を与えるかを調査する為、結合材の物理的性質の測定を行った。(実験シリーズ②) ・セメント単体、高炉セメント、フライアッシュセメント、三成分系セメントについて混合比率を変えたもの15種類について凝結、流動性の長時間保持について検討し混合比率の影響について調査した。(実験シリーズ③)
iii) 細骨材の品質及び表面水が凝結及び流動性の長時間保持に及ぼす影響	・細骨材として海砂を供した場合と、川砂を供した場合に於いて凝結、流動性の長時間保持に大きな差異がある事を解明する為、微粒分の量と質を変化させた場合及びF _M を変えた場合の影響について検討した。(実験シリーズ④) ・通常混練の場合、細骨材の表面が濡れた状態で練りすると、水中不分離性混和剤が団粒になり付着する現象が認められるので、細骨材の表面水がコンクリートの性質に及ぼす影響について検討した。 検討ケースとして(水中不分離性混和剤を細骨材に及ぼす、結合材にプレミックス)×(パン型強制ミキサー、水平二輪強制ミキサー)の4ケースで差異を明らかにした。(実験シリーズ⑤)
iv) 粗骨材粒度が凝結及び流動性の長時間保持に及ぼす影響	・粗骨材の粒度が凝結、流動性の長時間保持に及ぼす影響について5種類検討した。(実験シリーズ⑥)
v) 混和剤が凝結及び流動性の長時間保持に及ぼす影響	・混和剤(AE減水剤、流動化剤)の使用量が凝結、流動性の長時間保持に及ぼす影響について検討した。(実験シリーズ⑦)
II 練りませ方法が水中不分離性コンクリートの品質に及ぼす影響	
vi) 練りませ方法の影響	・水中不分離性混和剤の投入方法、空練りの有無、本練り時間がコンクリートの性質に及ぼす影響について検討した。(実験シリーズ⑧) ・本練り時間を一定として練りませ方法(通常、プレミックス、トリプル)がコンクリートの性質に及ぼす影響について検討した。(実験シリーズ⑨) ・空練り時間或いは、モルタル練り時間を一定として練りませ方法(通常、プレミックス、トリプル)がコンクリートの性質に及ぼす影響について検討した。(実験シリーズ⑩) ・トリプル混練に於ける水の分割投入がモルタル、コンクリートの性質に及ぼす影響について検討した。(実験シリーズ⑪)

え、序論で述べた①、②について検討した。

検討にあたり、大規模水中コンクリートに適用する水中不分離性コンクリートの仕様例として、明石海峡大橋3P主塔基礎の水中コンクリートの現場配合と、要求品質を表-1に示す。

(2) 実験内容

(1)で述べた2つの検討項目の実験内容を表-2に示す。また、それぞれの実験シリーズを表-3に示す。

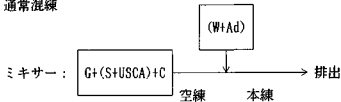
ここで、水中不分離性コンクリートの流動性はスランプフローで評価する。すなわち、練上りの流動性は分離しない範囲でスランプフローが大きい方が良い。流動性の長時間保持はスランプフローの経時低下量が少ないの

表—3 実験シリーズ

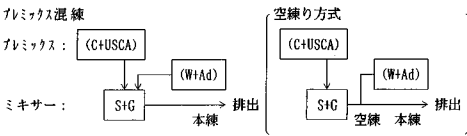
実験要因	結合材種類 *1	混合比率 P:BS:FA *1	W/C (%)	S/a (%)	単位重量 (kg/m ³) *1				単位重量 (c×k)			練りませ方法 *3			*2	概要	
					C	W	S	G	USCA	S.P.	Adad	方法	USCA	空練り			本練り
実験シリーズ① 使用材料の品質	OP0 BS-a, BS-b FA-A, FA-B	30:40:30	65	40	328	213	635	984	2.5	1.0	0.25	通常	砂混入	60S	180S (25S)5S SF投入	パン	AE調整剤 (GA)を使用
実験シリーズ② 結合材物理的性質																	BS, Sの物理 的性質の測定
実験シリーズ③ 結合材混合比率	MW6:BS6:FA6	15種類	65	40	320	208	645- 673	1002- 1044	2.3	1.0	0.125	トリプル	砂混入		(25S) 45S	二軸	1次水量0.8
実験シリーズ④ 細骨材の粒度、微粒分 ④微粒分 ④微粒分	MP1:BS3:FA1	30:40:30	68	40	320	219	640	982	2.3	1.0	0.25	通常	砂混入	30S	90S	二軸	
	MP4:BS5:FA4	25:40:35	65	40	320	208	650	1021	2.3	1.0	0.15	トリプル	砂混入		(25S) 45S	二軸	1次水量0.8
実験シリーズ⑤ 細骨材の表面水	MP1:BS1:FA1	27:40:33	66	40	320	210	640	994	2.3	1.0	0.25	通常	砂混入	60S	120S	パン	
	MP1:BS3:FA1	30:40:30	68	40	320	219	640	982	2.3	1.0	0.25	通常	砂混入	30S	90S	二軸	
実験シリーズ⑥ 粗骨材の粒度	MW6:BS6:FA6	25:45:30	65	40	320	208	650	1013 粒度違い 5種類	2.3	1.0	0.125	トリプル	砂混入		(25S) 45S	二軸	1次水量0.8
実験シリーズ⑦ 混和剤の使用量	MP1:BS1:FA1	27:40:33	66	40	320	210	640	994	2.3	1.0	2.0 0.0~0.4	通常	砂混入	60S	120S	パン	
実験シリーズ⑧ ・水中不分離性混和 剤の投入方法 ・空練りの有無 ・本練り時間	MP1:BS3:FA1	30:40:30	68	40	320	219	630	984	2.3	1.0	0.25	砂混入	0.15S	25-90S	二軸		
												通常	砂混入	0.15S	25-90S		
実験シリーズ⑨ ・練りませ方法 (通 常・プレミックス、 トリプル) ・練水時間一定	OP1:BS3:FA1	20:50:30	67	40	320	215	633	990	2.3	1.0	0.25	通常	砂混入	15S	75S	二軸	
												砂混入	0	75S			
実験シリーズ⑩ ・練りませ方法 (通 常・プレミックス、 トリプル) ・本練り時間	OP1:BS3:FA1	20:50:30	67	40	320	215	633	990	2.3	1.0	0.25	通常	砂混入	30	25-90S	二軸	
												トリプル	0	25-75S			
実験シリーズ⑪ ・トリプル混練 ・練りませの分別 投入	MP4:BS5:FA4	25:40:35	65	40	320	208	650	1021	2.3	1.0	0.15	トリプル	砂混入		(25S) 45S	二軸	1次水量 0.25~1.0
															(35S) 55S		

*1凡例
OP 普通ポルトランドセメント P ポルトランドセメント G 骨骨材
WP 中熱ポルトランドセメント C 結合材 USCA 水中不分離性混和剤
BS 高炉スラグ微粉末 W 練りませ水 S.P. 流動化剤
FA フライアッシュ S 細骨材 Adad AE減水剤
*2 〇 パン、1軸(強制) 100ℓ (40ℓ/バッチ)、二軸:長仕二軸強制 100ℓ (70ℓ/バッチ)
*3 本練り時間で () はモルタル練り時間

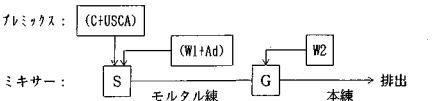
① 通常混練



② プレミックス混練



③ トリプル混練



C: 結合材, USCA: 水中不分離性混和材, S: 細骨材, G: 粗骨材
W: 混練水, W1: 一次水, W2: 二次水, Ad: 混和剤

図—2 水中不分離性コンクリートの練りませ方法

が良く、8~17時間後の低下量で評価した。凝結特性については、凝結始発時間で評価し、流動性の長時間保持が得られる範囲で始発時間が早い方が良い。

(3) 練りませ方法および試験方法

練りませ方法については、図—2に示す3つの方法に

ついて実施した。

コンクリートの試験は主に、スランプフロー、凝結始発時間、圧縮強度の測定を行い、その方法はJISあるいは、水中不分離性コンクリートマニュアルによった。コンクリート構成材料の物性試験はJISによった。

(4) 実験結果および考察

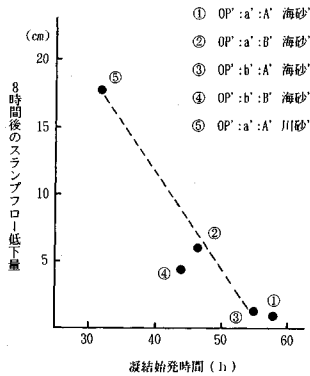
a) 構成材料の産地等材料の違いが凝結および流動性の長時間保持に及ぼす影響 (実験シリーズ①)

結合材として、三成系系セメントを使用し、セメントのロット2種 (表、図中では記号OP0, OP2で示す。以下結合材の種類はすべて記号を用いる)、高炉スラグ微粉末2種 (a, b)、フライアッシュ6種 (A, B, C, D, E, F) を組み合わせた9ケースの配合について、凝結特性を調査した。各検討材料の組合せ、およびこれによる水中不分離性コンクリートの凝結始発時間の測定値を表—4に示す。配合①~⑨の凝結始発時間は、使用する材料の組合せにより29.5~52.5時間の間で変化している。

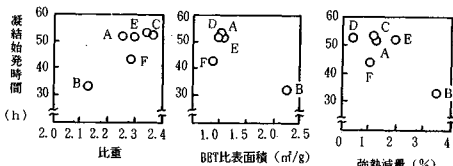
凝結始発時間に大きな差異を示したフライアッシュAとB、海砂と川砂および参考として凝結始発時間では大きな相違のない高炉スラグ微粉末aとbのロット違い (a', b') (A', B') (海砂', 川砂') を使用して水中

表一4 材料の組合せによる凝結始発時間の変化

配合番号	材料の組合せ				凝結始発時間 (hr)
	C	BS	FA	S	
①	OP0	a	A	海砂	51.0
②	OP2	a	A	"	38.0
③	OP0	a	B	"	32.5
④	OP0	a	C	"	52.5
⑤	OP0	a	D	"	52.0
⑥	OP0	a	E	"	51.5
⑦	OP0	a	F	"	43.0
⑧	OP0	b	A	"	47.5
⑨	OP0	a	A	川砂	29.5



図一3 コンクリート構成材料の種類と凝結流動性の長時間保持との関係



図一4 フライアッシュの物理的性質と凝結始発時間の関係

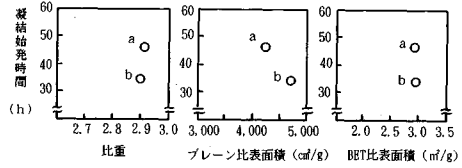
不分離性コンクリートの凝結始発時間、練上りスランプローおよびスランプローの経時変化を測定し、凝結特性と流動性の長時間保持の関係を検討した。その結果を図一3に示す。

これらから、凝結が早いものは流動性の長時間保持が悪い傾向を示している。以上の結果より、特にフライアッシュ、細骨材の種類の違いにより、凝結特性および流動性の長時間保持性が大きく異なることが明らかである。

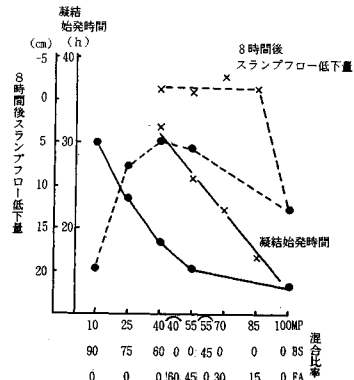
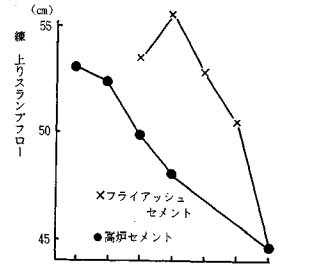
b) 結合材の品質、混合比率が凝結および流動性の長時間保持に及ぼす影響 (実験シリーズ②)

① 結合材の品質について

③ コンクリートとしたときに凝結遅延の程度を小さくするフライアッシュBは、図一4に示すように比重が小さくBET比表面積、強熱減量大きい。電子顕微鏡による観察では、フライアッシュBは、不定形で凸



図一5 高炉スラグ微粉末の物理的性質と凝結始発時間の関係



図一6 二成分系セメントの結合材の混合比率と凝結、流動性の長時間保持の関係

凹がある粒子が多く、他のフライアッシュのSEM像にみられる球状粒子の表面構造とは大きく異なっている。

⑥ コンクリートとしたときに凝結遅延の程度が小さくなる高炉スラグ微粉末bは、図一5に示すように比重およびBET比表面積はaと同等であるが、ブレン比表面積はaよりも大きい。また、bはその形状が一様ではなく、ざらざらした表面を有しているのに対して、aは、形状がまるみを帯びており表面は滑らかになっている。

② 結合材の混合比率について

④ 二成分系混合セメント (実験シリーズ③)

図一6に示すように、二成分系混合セメントは(MP:BS=10:90)を除いてセメント単味に比較して、練上り時の流動性および流非性の長時間保持に優れている。フライアッシュ置換は高炉スラグ微粉末置換に比較して同じ置換率の範囲では練上り時の流動性および流動性の長時間保持に優れている。凝結始発時間は、同じ置換率の範囲ではフライアッシュ置換が高炉スラグ微粉末置換より遅れる。また、両セメントとも置換率が大きく

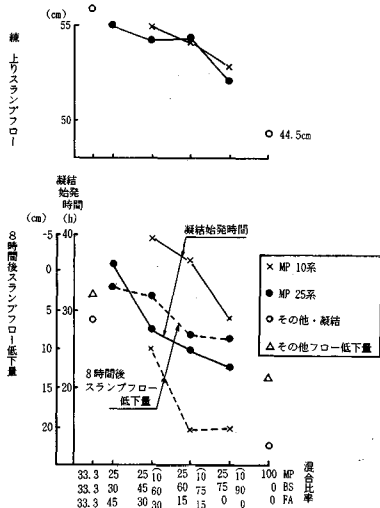


図-7 三成分系セメントの結合材の混合比率と凝結、流動性の長時間保持の関係

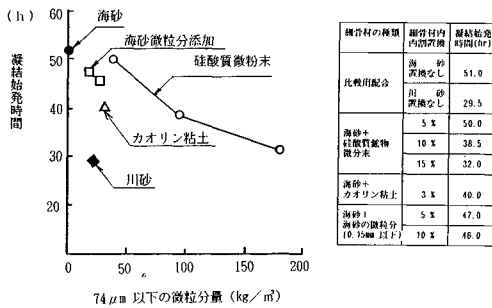


図-8 細骨材の微粒分量と凝結始発時間の関係

なるほど凝結始発時間は遅れる。練上り時流動性と流動性の長時間保持には最適な置換率があり、実験範囲で、フライアッシュ置換は45%、高炉スラグ微粉末置換は60%程度の置換率が最適である。

⑥ 三成分系混合セメント

図-7に示すように、三成分系混合セメントはセメント単味に比較して、練上り時の流動性および流動性の長時間保持に優れている。

中庸熟ポルトランドセメントを25%混入したMP25系と10%混入したMP10系はフライアッシュ混入比率が同じなら練上りの流動性はあまり変わらない。しかし、フライアッシュ混入比率が同じならMP25系はMP10系に比較して流動性の長時間保持に優れており、かつ凝結始発時間が早い。三成分系混合セメントは、フライアッシュ混入比率が大きくなるほど凝結始発時間が遅れ、流動性の長時間保持性が良くなる。

⑦ 細骨材の品質および表面水が凝結および流動性の長時間保持に及ぼす影響

① 細骨材の品質 (実験シリーズ④)

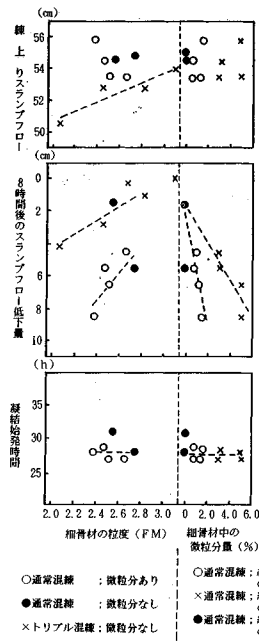


図-9 細骨材の粒度および微粒分量がフレッシュコンクリートの性質に及ぼす影響

実験④-⑥の結果を示した図-8より微粒分量が多くなるほど、凝結始発時間が早くなる傾向はどの材料についてもみとめられるが、川砂を使用した場合が一番早い。粘土鉱物であるカオリンで置換すれば、少量で凝結始発時間が早くなることから、凝結遅延の程度は混入する鉱物の組成にも影響を受けるものと考えられる。

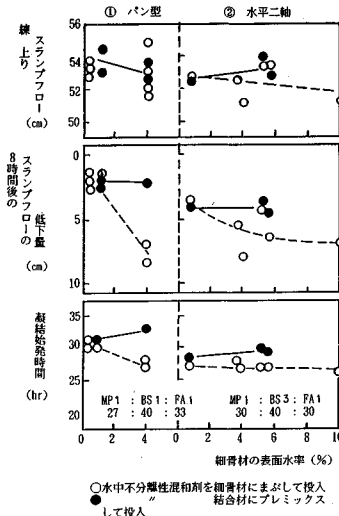
X線回折による定性分析によれば、使用した海砂は白雲母、石英が主体であるが、川砂には粘土鉱物である緑泥石が含まれており、この影響により凝結が早くなっていることが考えられる。細骨材が水中不離性コンクリートの凝結特性に及ぼす影響については、物理的、化学的の両面があるものと推察される。

図-9よりFMが小さいほど、また細骨材中の微粒分量が多いほどスランプフローの低下量が大きくなる傾向が認められる。

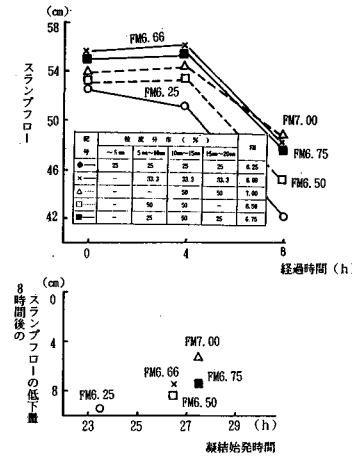
凝結始発時間については、細骨材中に含まれる微粒分量が多いほど凝結始発時間が早くなる傾向にあるが、この実験の範囲では、その差は3時間程度であり、細骨材の微粒分の及ぼす影響は、スランプフローの低下現象に、より顕著に現われるものと考えられる。

② 細骨材の表面水の影響 (実験シリーズ⑤)

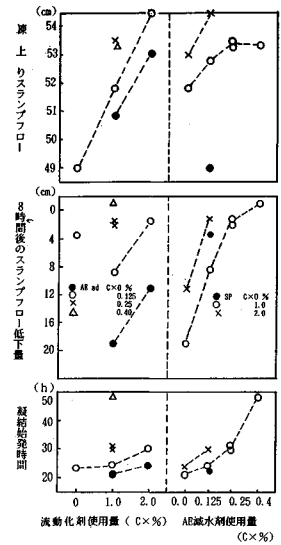
図-10に示すように表面水のある細骨材に水中不離性混和剤をまぶして投入した場合は、表乾の細骨材の場合に比較して練上りのスランプフローのばらつきが大きく、スランプフローの低下量が大きい。



図一〇 細骨材の表面水率および水中不分離性混和剤の投入方法がフレッシュコンクリートの性質に及ぼす影響



図一〇 粗骨材粒度と凝結始発時間、スランプフローの関係



図一二 混和剤の使用量がフレッシュコンクリートの特性に及ぼす影響

水中不分離性混和剤を結合材にプレミックスして投入した場合、スランプフロー、凝結始発時間に関して細骨材の表面水の影響は少ない。したがって水中不分離性混和剤を結合材にプレミックスする方法はコンクリートの品質安定に有効である。

d) 粗骨材粒度が凝結および流動性の長時間保持に及ぼす影響 (実験シリーズ⑥)

図一〇に示すように粗骨材粒度が細かいと練上りスランプフローが小さく、スランプフローの長時間保持能力が低く、凝結始発時間が早い。

e) 混和剤が凝結および流動性の長時間保持に及ぼす影響 (実験シリーズ⑦)

図一二に示すように練上りスランプフローの改善には流動化剤、スランプフローの長時間保持にはAE減水剤が有効である。

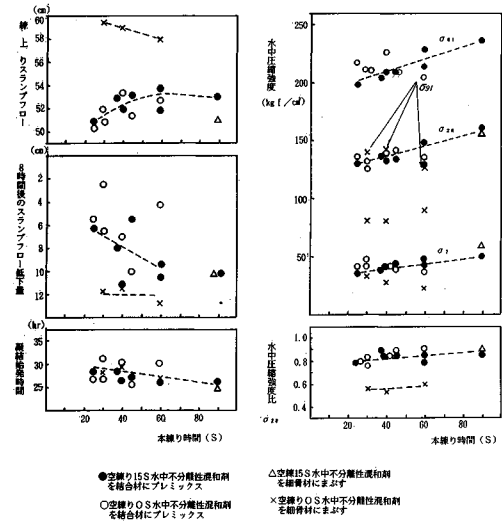
スランプフローの長時間保持能力はAE減水剤の使用量が多くなるほど良くなるが、凝結始発時間も遅くなる。

f) 練りませ方法の影響

① 水中不分離性混和剤の投入方法と空練りの有無、本練り時間がコンクリートの性質に及ぼす影響 (実験シリーズ⑧, 図一三参照)

i) 通常混練

空練りをしないと材料分離が生じる。すなわち、練上り時の見掛けのスランプフローは大きくなる。これは水中不分離性混和剤がコンクリート中に均等に分散しないことにより、必要な増粘効果が得られないためと考えられる。この場合水中不分離性混和剤が有効に作用していないのでスランプフローの低下量が大きくなる。また水



図一三 練りませ時間および水中不分離性混和剤の投入方法がコンクリートの性質に及ぼす影響

中圧縮強度も小さくなる。練りませ時間を長くした場合でも改善の傾向は認められない。空練りを15秒程度でも行えばスランプフローの8時間後の低下量の改善は、約2cm程度であるが、水中圧縮強度および水中/気中圧縮強度比が大幅に改善される。

ii) プレミックス混練

空練りをしなくても材料の分離は生じず、空練りをした場合とほぼ同様なフレッシュコンクリートの特性および強度となる。ただしパッチ間でのばらつきが空練りをしたものに比較して若干大きい。

水中不分離性混和剤をプレミックスし空練りを実施し

場合、本練り時間とコンクリートの性質の間には次の関係が認められる。

本練り時間を長くすると、

- 練上りのスランプフローが大きくなる。ただし、60秒を過ぎると頭打ちとなる。
- スランプフローの低下量が大きくなる。
- 凝結が促進される。
- 強度が増進する。

iii) 水中不分離性混和剤の投入方法の比較

c) の②でプレミックス混練は、細骨材に表面水のある場合、通常混練に比較してスランプフローの長時間保持が良いことを明らかにした。また、図-13でプレミックス混練は若干ばらつきがあるが空練りをしなくても良い品質のコンクリートが得られることを明らかにした。

したがって、プレミックス混練は通常混練より短い練りませ時間で安定したコンクリートを作る可能性がある。

② 練りませ方法（通常、プレミックス、トリプル）がコンクリートの性質に及ぼす影響

i) 接水後の練りませ時間（75秒）を一定にした実験⑨の結果を示した図-14からプレミックス混練およびトリプル混練は通常混練に比較して練上りスランプフローが1~2cm大きく、8時間後のスランプフローの低下量は逆に4~6cm小さいことがわかる。しかし、水中圧縮強度については、練りませ方法による差異は少ないことから、接水後の練りませ時間が一定の場合、練りませ方法による影響は、スランプフローに及ぶものと思われる。ここではトリプル混練が優れている。

ii) 各練りませ方法で、練りませ時間を変化させた実験⑩の結果を示した図-15から以下のことがわかる。

- 練上りスランプフローは通常混練はばらつきが多く、プレミックス混練では、実験⑧図-13で示したのと同様、本練り時間が長くなるとスランプフローの大きさは頭打ちの傾向がある。一方、トリプル混練では、モルタル練り時間一定で、本練り時間を変化させた(A)および本練り時間一定で、モルタル練り時間を変化させた(B)とも練りませ時間が長くなると練上りスランプフローは大きくなる。この結果から、トリプル混練およびプレミックス混練が通常混練に比較して優れているといえる。

• スランプフローの長時間保持については、10時間後のスランプフローの低下量で示すが、通常混練では練りませ時間とともに増大するが、プレミックス混練、トリプル混練では減少している。この結果から、トリプル混練および、プレミックス混練が通常混練に比較して優れているといえる。

- 凝結始発時間については、通常混練では練りませ時

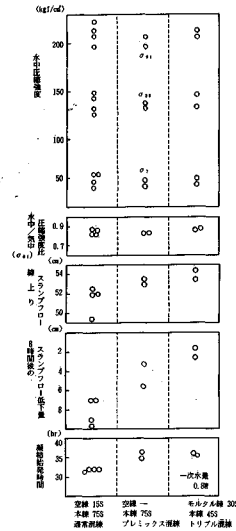


図-14 混練方法がコンクリートの性質に及ぼす影響

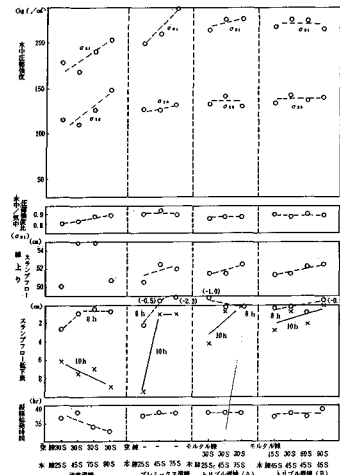


図-15 混練方法と本練り時間およびモルタル練り時間がコンクリートの性質に及ぼす影響

間とともに、凝結始発時間は短くなるが、プレミックス混練、トリプル混練ではあまり変化しない。

- 水中圧縮強度については、通常混練およびプレミックス混練は、練りませ時間が長くなると強度が増進するが、トリプル混練はあまり変わらない。強度は、通常混練<プレミックス混練≦トリプル混練となっている。

• 水中/気中圧縮強度比については、通常混練は、練りませ時間が長くなると大きくなるが、プレミックス、トリプル混練は練りませ時間にあまり依存していない。

以上、i), ii) に示すようにトリプル混練およびプレミックス混練は、通常混練に比較して短時間の練りませで流動性の長時間保持が良いコンクリートが得られ

る。また、トリプル混練で得られたコンクリートの品質は安定しており、図-13に示すプレミックス混練で得られるコンクリートのようにはばらつきがない。したがって、トリプル混練は他の練りませ方法に比較して短時間で、流動性の長時間保持の良い、安定した品質のコンクリートが得られる。

③ 練りませ水の分割投入がモルタルおよびコンクリートの性質に及ぼす影響を検討した実験⑨および⑩の結果を示した図-16から以下のことがわかる。

- ・練りませ水の分割投入については、モルタルは $W_1/W = 0.5 \sim 0.8$ 、コンクリートは $W_1/W = 0.8 \sim 1.0$ の近傍で練りませ水の低下量が極小となっている。
- ・スランプフローの低下量については、モルタルは $W_1/W = 0.75 \sim 1.0$ 、コンクリートは $W_1/W = 0.75 \sim 0.9$ の近傍で練りませ水の低下量は極小となる。
- ・水中圧縮強度、水中/気中圧縮強度比は、モルタル、コンクリートともに $0.5 \sim 0.9$ の近傍で極大値となっている。

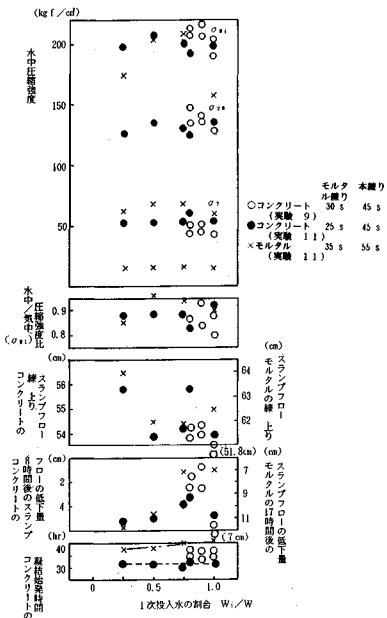


図-16 練りませ水の分割投入がモルタルコンクリートの性質に及ぼす影響

いる。

・凝結始発時間は1次投入水量によらない。

練りませ水の分割投入効果は、モルタルを硬練りにし、練りませ初期における練りませ効率を向上させ、水中不分離性混和剤-結合材-細骨材の接水時の分散効率を高める意味があるものと推察される。

すなわち、通常、水中分離性コンクリートは単位水量が多いため、モルタル分はきわめて軟練りであるためミキサーの羽根がモルタルに与えるせん断摩擦力およびモルタル中の細骨材相互のせん断摩擦力が小さい。ここで練りませ水を分割して投入することにより硬練りとし、せん断摩擦力を増すことができ、短時間に練りませができるものと思われる。

したがって、 $W_1/W = 0.25$ および 1.0 近傍では練りませ効率が不良のため、練りませのスランプフローが不安定で、スランプフローの長時間保持、強度の発現が悪いものと思われる。

3. 本研究の実施例（明石海峡大橋 3P 主塔基礎水中コンクリート工事）

(1) 概要

本研究成果を実施工に適用した事例として、明石海峡大橋 3P 主塔基礎水中コンクリート工事を紹介する。

主たる適用項目は以下の2点である。

① 流動性の長時間保持を得るために良質なコンクリート構成材料の選定

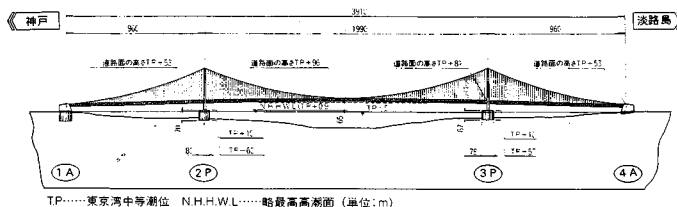
② 練りませ方式としてトリプル混練方式の採用

(2) 3P 主塔基礎水中コンクリート（水中不分離性コンクリート）の施工法

明石海峡大橋は図-17に示すように、橋長 3910 m、中央支間長 1990 m、3 径間 2 ヒンジ補剛トラス形式の世界最長の吊橋である。

主塔基礎の施工法としては、支持地盤まで掘削した後、鋼ケーソンを設置し、中詰コンクリートを打設して基礎を構築する設置ケーソン工法である。

淡路側の主塔基礎である 3P の水中コンクリートの型枠となる鋼製ケーソンは図-18に示すように直径 78 m、高さ 62 m で、2 重壁構造となっている。内側の直径 54 m の内核部は、TP-57 m より TP-10 m まで約



TP……東京湾中等潮位 N.H.H.WL……略最高潮面 (単位:m)

図-17 明石海峡大橋計画図

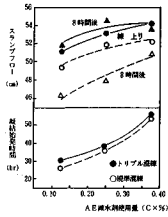


図-19 AE減水剤(POZ, No. 70) 使用量とスランプフローおよび凝結始発時間の関係

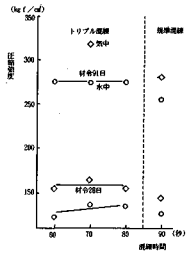


図-20 練りませ方法, 練りませ時間と 圧縮強度の関係

リートポンプ(予備2台を含む), φ200 圧送管, 分岐弁, 打設管, 打設管先端監視用テレビカメラ, 打設管引揚装置, 打継目処理設備, 濁水処理設備を設置した。

c) 資材台船

海水の淡水化装置, 清水, 濁水の貯蔵, 濁水処理設備, 資機材の貯蔵設備を有する12000t台船で8本のチェーンによりケーソン西側に係留した。

(5) 水中不分離性コンクリートの品質

a) 試験練

本工事に先立ち, 平成元年12月に600m³の試験打設を行いコンクリートの品質の確認を行った。この試験で規準混練(空練り20s, 本練り70s)とトリプル混練(モルタル練り25s, 本練り45s)の比較を行った。この結果は以下に述べるとおりであり, トリプル混練が在来の空練り方式(規準混練)に比較して短い練りませ時間にもかかわらず優れた品質が得られる事が確認できた。

① フレッシュコンクリートの性状

AE減水剤量を変化させ, スランプフローの経時変化と凝結始発時間を調査した。図-19から, 凝結始発時間は練りませ方法による差異はみられないが, スランプフローの保持はトリプル混練が良い結果を得た。

② 強度

練りませ時間を変えて強度の比較を行ったのが, 図-20である。トリプル混練の方が若干強度が高い。

b) 本工事

平成2年4月22日~24日に打設した, 第7回打設時の練り品質状況を図-21に示す。サンドスタビライザーを使用することで, 砂の表面水率は処理前平均4.8%, 標準偏差0.74%から処理後はおのおの3.3%, 0.18%と安定している。コンクリートのスランプフローは練り平均53.8cm, 標準偏差0.70cmから, 8時間後はおのおの51.7cm, 0.97cmと安定しており, 本研究の適用による良質なコンクリート材料の採用, トリプル混練の採用に合わせて, サンドスタビライザーの使用が好結果をもたらしたと思われる。

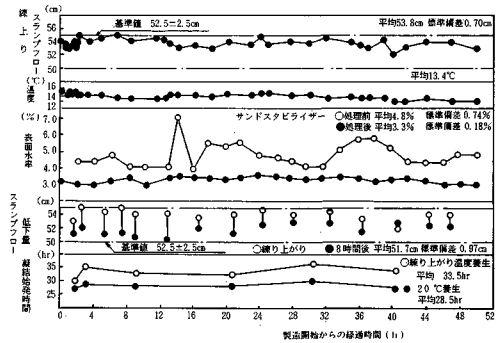


図-21 コンクリートの品質(第7回コンクリート打設, H 2. 4. 22~24)

4. あとがき

この研究の成果を以下に列記する。

- (1) 水中不分離性コンクリートの流動性の長時間保持および, 凝結特性は, コンクリートの構成材料であるフライアッシュ, 細骨材の品質に特に影響を受ける。
- (2) 練りませ方法の違いで水中不分離性コンクリートの品質が変化し, 今回提案したトリプル混練方式では, 短い練りませ時間で流動性の良い安定したコンクリートが得られた。

今後, ますます, この種のコンクリートが時代の要請とともに使用されていくものと思われる。われわれの研究がその一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 田沢ほか: 骨材および混和剤の種類が水中不分離性コンクリートの流動性および強度に及ぼす影響, 水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集, 1990年8月。
- 2) 松井ほか: 特殊水中コンクリートの製造方法に関する実験, 土木学会第42回年次学術講演会, 1987年9月。
- 3) 宮野ほか: 練りませ手順が特殊水中コンクリートの特性に及ぼす影響, 土木学会第42回年次学術講演会, 1987年9月。
- 4) 大友・松岡・中川・中平: 特殊水中コンクリートの凝結特性に及ぼす材料の影響に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集11-1, 1989年。
- 5) 中川・大友・中平・松岡: 低発熱高流動性特殊水中コンクリートに関する研究, コンクリート工学論文集, 第1号, 第1巻, 1990年1月。
- 6) 坂本・平野・中川・山田・白木: コンクリートプラント台船「海神」による明石海峡大橋3P主塔基礎水中コンクリートの施工, 建設の機械化, 1990年6月。
- 7) 中川・大友・中平・松岡: 水中不分離性コンクリートの品質, 特に分離抵抗性と凝結, 流動性の長時間保持に関する研究, 水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集, 1990年8月。

(1990. 12. 10・受付)