

論文

[1010] 特殊水中コンクリートの高強度・マスコンクリートへの適用性に関する研究

正会員 ○福留和人 (間組技術研究所)
清水洋次 (間組技術開発部)
下田努 (間組土木設計部)
正会員 宮野一也 (間組技術研究所)

1. まえがき

近年、構造物の大型化が進む中で、大深度・大壁厚の超大型地下連続壁のように水中あるいは泥水中で高強度のマスコンクリート構造物を構築する必要性が生じている。これらの構造物は、従来に比べて高強度で発熱量の少ないコンクリートが要求される。そこで本研究では、水中での流動性、充填性および材料分離抵抗性に優れた特殊水中コンクリートに注目し、高強度・マスコンクリート構造物への適用性について検討した。

本研究では、低発熱型のセメントを用いた高強度特殊水中コンクリートの高強度・マスコンクリートへの適用性を確認するための実験を種々行なった。本報では、今回得られた結果と若干の考察について述べる。

2. 実験概要

2.1 使用材料

実験に使用した材料の一覧を表-1に示す。

表-1 使用材料

種類	備考
セメント	普通ポルトランドセメント 比重=3.16, 比表面積=3260 cm ² /g
	中庸熱ポルトランドセメント 比重=3.21, 比表面積=3200 cm ² /g
混和材	高炉スラグ微粉末 比重=2.89, 比表面積=4870 cm ² /g
細骨材	海砂 (岡山日比産) 比重=2.55, F.M = 2.67, 吸水率=2.01%
粗骨材	砕石 (兵庫県家島産) 比重=2.64, F.M = 6.57, 吸水率=0.76% G _{max} = 20 mm
混和剤	A E 減水剤 リグニンとポリオール系の複合体
	特殊混和剤 セルロース系高分子化合物
	高性能減水剤 高縮合トリアジン系化合物
	流動化剤 メラミンスルホン酸系化合物
急結剤 アミンシリケート	

2.2 コンクリートの配合

実験に用いた特殊水中コンクリートの配合を表-2に示す。ここで、セメントは、中庸熱ポルトランドセメント、混和材としては、高炉スラグ微粉末を用いた。なお高炉スラグ微粉末の添加率は、セメントの内割りで60%とした。また、比較のために、同程度の強度を有する通常の流動化コンクリート (表-3

表-2 特殊水中コンクリートの配合

コンクリートの種類	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	特殊混和剤	高性能減水剤 (g)	流動化剤 (g)	A E 減水剤 (g)
SF45	45	4	38	40	192	505	612	951	1.00	11.62	—	5.05
SF50	50	4	38	40	192	505	612	951	1.00	12.63	—	5.05
SF55	55	4	38	40	192	505	612	951	1.00	17.68	—	5.05

*低発熱セメント, [SF50]: 基本配合

), 以下普通コンクリートと呼ぶ) についても同様の実験を行なった。

ここで、施工性を検討するためにスランブおよびスランブフローをそれぞれ3段階設定した。

2.3 コンクリートの練りまぜおよび供試体作製方法

コンクリートの練りまぜには容量100 lの2軸強制練りミキサを用いた。

付着強度用供試体は、図-1に示すように塩化ビニール製の模擬トレミーを用いて打設した。

表-3 普通コンクリートの配合

コンクリートの種類	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	特殊混和剤	高性能減水剤 (g)	流動化剤 (g)	A E 減水剤 (g)
SL17	17	4	38	40	192	505	620	963	—	—	1.52	5.30
SL20	20	4	38	40	192	505	620	963	—	—	2.78	5.30
SL23	23	4	38	40	192	505	620	963	—	—	4.04	5.30

*普通ポルトランドセメント, [SL20]: 基本配合

2.4 試験項目および試験方法

表-4に試験項目および試験方法を示す。

ここで、泥水とは、ベントナイト安定液であり、その混合比率は、ベントナイト1%、ポリマー0.3%、分散剤0.3%である。

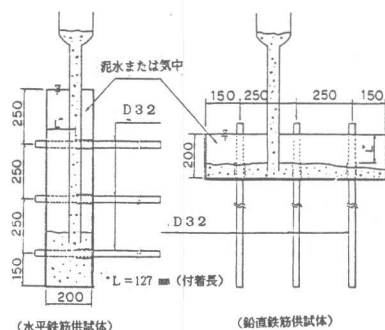


図-1 附着強度供試体作製方法

3. 試験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリート

(1) 水中分離抵抗性

濁度については、普通コンクリート：1300~1700 ppmに対し、特殊水中コンクリート：500~600ppm、また、pHについても1程度低減しており、水中分離抵抗性がかなり改善される。

(2) 充填性

特殊水中コンクリートは、清水中の場合、高低差が11~25mmであり、普通コンクリートの67~329mmに比べてかなり良好な充填性を有している。特に、スランブ17,20cmの充填性が非常に悪く、投入側から流入側へのコンクリートの移動量を高低差から計算するとそれぞれ16および9%とかなり少ない。一方、泥水中についても、特殊水中コンクリートの場合、30%のコンクリートが移動しているのに対し、普通コンクリートの場合、投入側で自立したままでコンクリートの移動はまったく見られなかった。

投入側と流入側の粗骨材率の比較も、普通コンクリートの場合、流入側の粗骨材比率が低下しており、移動時に粗骨材とモルタル部の分離が生じていることがわかる。

(3) 流動性

今回、それぞれのコンクリートの流動性状を、流動距離と流動時間を測定することによって比較した。表からわかるように、普通コンクリートの場合、流動は短時間で終了し、その流動距離も

60cmであるのに対し、特殊水中コンクリートの場合、長時間で徐々に流動し最終的には、先端の100cmまで流動しており

表-4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランブ	JIS A 1101
スランブフロー	特殊水中コンクリートマニュアル ¹⁾ に準拠
空気量	JIS A 1128
水中分離抵抗性(濁度, pH)	特殊水中コンクリートマニュアル ¹⁾ に準拠
充填性(ボックス試験)(清水中および泥水中(SF20, SL20))	特殊水中コンクリートマニュアル ¹⁾ に準拠、さらに10分後の各ボックスの粗骨材率を測定(SF50, SL20)
流動性(SF50, SL20)	1:2の勾配をもつ20cm(W)×20cm(H)×150cm(H)のU字形流路の上端部50cmに設置したコンクリートの流動距離と流動時間を測定する。
ブリージング率(SF50, SL20)	JIS A 1123
断熱温度上昇(SF50, SL20)	小型簡易断熱温度上昇測定器(発熱炉φ=1.0×1.0×1.0mの中心部に30gのコンクリートを設置し、コンクリート中心、端部、発熱スチロール外面、外気温の計4点を打取後8日間測定)
圧縮強度(気中, 水中, 泥水中(SF50, SL20)作製、 $\sigma_{T,28,0.01}$)	JIS A 1108(水中供試体作製方法は、特殊水中コンクリートマニュアル ¹⁾ に準拠)
引張強度(気中, 水中, 泥水中(SF50, SL20)作製、 σ_{TS})	JIS A 1108(水中供試体作製方法は、圧縮強度と同様)
附着強度(SH50, SL20 気中、泥水中作製、材令28日)	原則として「引張試験による鉄筋とコンクリートの附着強度試験」(JIS案, コンクリート工学1985年3月に掲載)による。3.2.4により作製した供試体を切断して試験に供する。水平鉄筋, 上, 中, 下3種類および鉛直鉄筋。供試体寸法20cmの立方体, D32使用。

表-5 フレッシュコンクリート試験結果

コンクリート種類	配合	スランブおよびスランブフロー(cm)	空気量(%)	水中分離抵抗性		ブリージング率(%)	充填性						流動性			
				濁度(ppm)	pH		清水中		泥水中		流動時間(sec)	流動距離(cm)				
							5分後(mm)	10分後(mm)	粗骨材率(%)投入側	粗骨材率(%)流入側			5分後(mm)	10分後(mm)	粗骨材率(%)投入側	粗骨材率(%)流入側
特殊水水中コンクリート	SF4.5	46.8	3.0	526	11.2	—	24	24	—	—	—	—	—	—	—	—
	SF5.0	$\bar{x}=50.8$	$\bar{y}=4.1$	579	11.2	0.00	25	22	42.6	44.7	170	165	41.0	42.2	133	100
	SF5.5	54.3	3.1	589	11.2	—	14	11	—	—	—	—	—	—	—	—
普通コンクリート	SL1.7	17.2	4.4	1352	11.8	—	275	275	—	—	—	—	—	—	—	—
	SL2.0	$\bar{x}=20.6$	$\bar{y}=3.2$	1319	12.0	4.12	335	329	49.6	46.1	375	375	42.2	—	11	60
	SL2.3	22.8	3.6	1897	12.1	—	73	87	—	—	—	—	—	—	—	—

その流動性の違いが確認できた。

(4) フリージング

普通コンクリートは、4.12%のフリージングが発生したが、特殊水中コンクリートは、まったく生じなかった。

3. 2 断熱温度上昇

温度上昇量は、断熱材の中にコンクリートを設置して内部の温度を測定するという方法で測定しており、完全な断熱状態ではない。したがって、温度上昇量の絶対値は、断熱状態より小さく、また、最高温度到達時間の影響を受けるため必ずしも厳密な比較はできないが、おおよその傾向は把握できる。今回の測定結果では、普通コンクリートの温度上昇量55.2℃に対し、低発熱特殊水中コンクリートは38.6℃で約30%の温度上昇量の低減となっている。

3. 3 硬化コンクリート

(1) 圧縮強度および引張強度

圧縮強度および引張強度試験結果を図-3~5に示す。

まず、圧縮強度の場合、気中作製供試体強度については、材令7, 28日までは普通コンクリートの方が高くなっているが、材令91日ではほぼ同等な強度となっている。その強度も560~640 kgf/cm²と高く、設計基準強度420 kgf/cm²程度の高強度なコンクリートへの適用が可能であると言える。

一方、水中作製供試体強度および泥水中作製供試体強度については、明確な差が現れている。すなわち、特殊水中コンクリートの場合、気中強度の60~91%の強度を有するのに対し、普通コンクリートの場合、10~17%とかなり低減している。

引張強度についても、気中作製供試体強度については、特殊水中コンクリートと普通コンクリートの差はほとんどないが、水中および泥水中作製供試体については、普通コンクリートの強度低下が大きくなっており、圧縮強度と同様の結果となっている。

以上のように、特殊水中コンクリートは、普通コンクリートに比べて水中に打設した時の品質の信頼性をかなり改善できると言える。

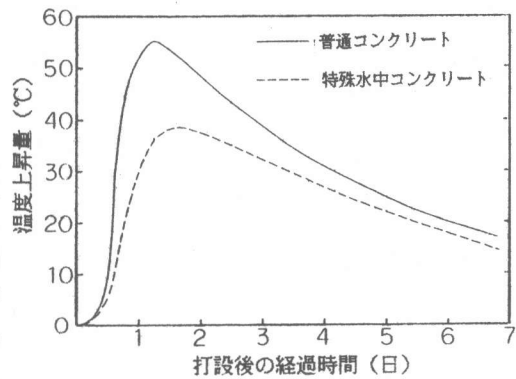


図-2 断熱温度上昇試験結果

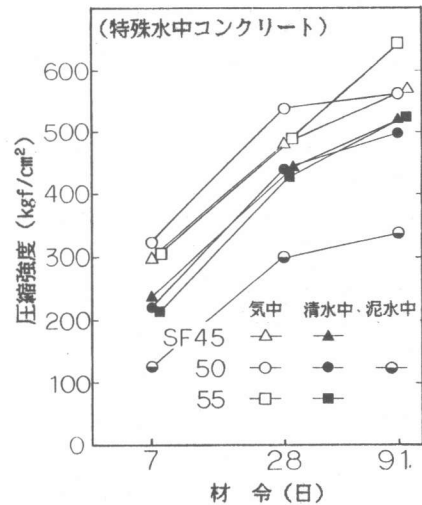


図-3 圧縮強度試験結果(1)

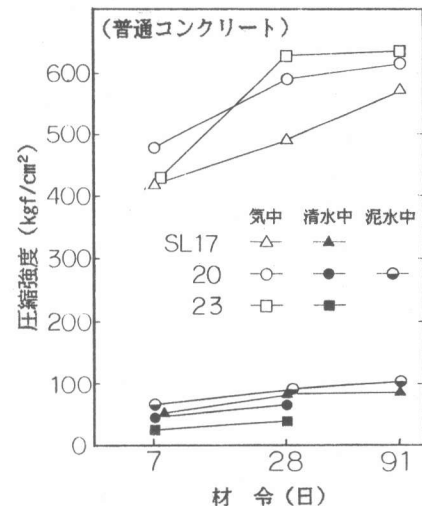


図-4 圧縮強度試験結果(2)

(2) 附着強度

図-6, 7に附着応力-すべり関係を示す。

図からわかるように、気中作製供試体については特殊水中コンクリートの場合は、水平鉄筋の上中下および鉛直鉄筋の差がほとんどないのに対し、普通コンクリートの場合は、水平鉄筋の上段の附着強度が小さくなっている。これは、ブリージングによる影響が現れたものと考えられる。

泥水中作製供試体については、特殊水中コンクリートおよび普通コンクリートとも附着強度の低下が見られ、その低下率は、普通コンクリートの方が大きくなっている。特に附着応力-すべり関係からもわかるように、普通コンクリートの場合は、特殊水中コンクリートに比べて低応力時（0～50 kgf/cm²）のすべり量が大きくなっている。すなわち、附着すべりに対する抵抗性の低下は、特殊水中コンクリートの方が、普通コンクリートに比べて小さいと言える。これは普通コンクリートの方が特殊水中コンクリートに比べて鉄筋回りへの充填性が劣っているためだと考えられる。

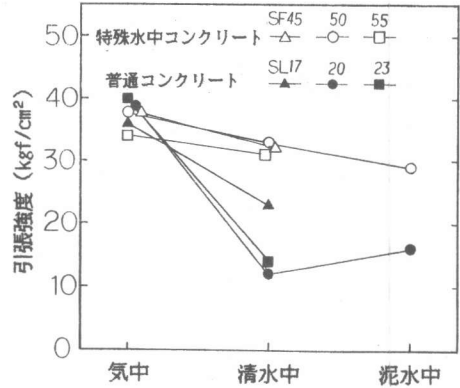


図-5 引張強度試験結果

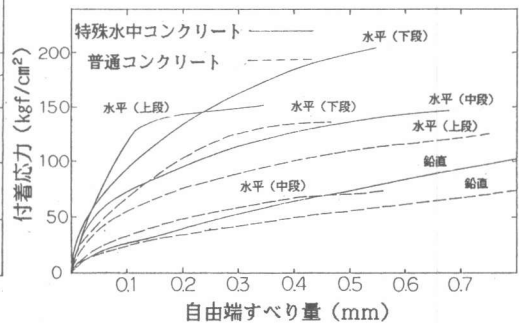
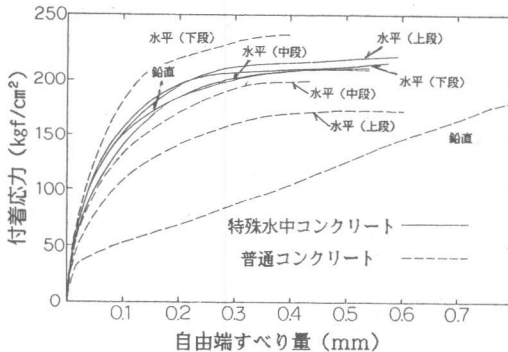


図-6 附着応力-すべり関係（気中作製）

図-7 附着応力-すべり関係（泥水中作製）

4. まとめ

今回の実験の結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 特殊水中コンクリートは、充填性・流動性に優れており、普通コンクリートに比べて、施工性を改善することができる。
- (2) 中庸熱ポルトランドセメントに60%の高炉スラグを添加した低発熱セメントを用いることによって、普通ポルトランドセメントの場合より温度上昇量をおおむね30%低減できる。
- (3) 本実験で使用した特殊水中コンクリートは、材令91日で560～640 kgf/cm²の強度が得られており、設計基準強度420 kgf/cm²程度の高品質なコンクリートへの適用が可能である。
また、水中に打設したときの品質の信頼性は、普通コンクリートよりかなり改善できる
- (4) 泥水中に打設した場合の鉄筋の附着すべりに対する抵抗性の低下は、特殊水中コンクリートの方が普通コンクリートに比べて小さい。

参考文献

- 1) 特殊水中コンクリートマニュアル（設計・施工）：（財）沿岸開発技術研究センター，（財）漁港漁村建設技術研究所，1986年