

〔日〕日本沿岸开发技术研究中心

〔日〕渔港渔村建设技术研究所

刘希和 于凤琴 译

田广墅 赫连惠德 审校

水下不分散混凝土 设计与施工 指南

水利电力出版社



86.168
9400032

水下不分散混凝土 设计与施工指南

〔日〕日本沿岸开发技术研究中心

〔日〕渔港渔村建设技术研究所

刘希和 于凤琴 译

田广墅 赫连惠德 审校

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书综合了日本国多家公司各自开发的水下不分散混凝土技术，统一了专业用语、技术标准、设计依据和施工规定，是技术人员的必备手册，也是世界上不多见的水下不分散混凝土综合参考书。

本书较系统地介绍了水下不分散混凝土从原材料配合、拌制、运输、浇筑、养护，以及质量管理和设计概论等，同时也列举了一些工程实例及设计、施工、管理等方面的有关技术标准。

本书可供有关专业设计、施工、科研和教学等人员参考。

財団法人 沿岸開発技術研究センター

財団法人 漁港漁村建設技術研究所

特殊水中コンクリート・マニュアル

(設計・施工)

山海堂 昭和61年12月(1986)

水下不分散混凝土设计与施工指南

〔日〕日本沿岸开发技术研究中心

〔日〕漁港漁村建設技術研究所

刘希和 于凤琴 译

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 7.75印张 172千字

1993年2月第一版 1993年2月北京第一次印刷

印数 0001—4000册

ISBN 7-120-01728-4/TV·617

定价 6.10 元

译 校 前 言

水下不分散混凝土是原德意志联邦共和国于1974年研制、1977年推广的一项新的水下混凝土施工技术。一些国外学者誉之为“划时代的混凝土”、“开辟水下混凝土施工史的新纪元”。1980年日本在引进德意志联邦共和国技术基础上研制成功首例絮凝剂并开始推广应用。至本书定稿时止,6年内日本开发出10种絮凝剂,施工水下不分散混凝土14万 m^3 ,取得明显的技术进步和良好的经济效益。

本书由日本沿岸开发技术研究中心和渔港渔村建设技术研究所会同有关大学、运输省、水产厅、8个絮凝剂厂家、10个施工企业组成的水下不分散混凝土调查委员会,于1984年10月起对日本的水下不分散混凝土现状进行全面调查,后经一年半的反复研讨,于1986年11月完稿。本书综合了日本多家公司各自开发的水下不分散混凝土技术,统一了专业用语、技术标准、设计依据和施工规定,是技术人员的必备手册,也是国际上唯一的一本水下不分散混凝土综合参考书。调查委员会声明:本书只适用于0.3~0.5m水中落差的正常施工条件,不适于大落差、高流速、大体积水下混凝土。

我国自1986年研制成功首例絮凝剂,1987年开始推广应用以来,也在开发和应用领域取得显著的进展。中国石油天然气总公司工程技术研究所与有关单位合作已研制成功丙烯系列和纤维素系列絮凝剂,并会同有关部门进行了8.5m水中落差、近赤道区海洋条件、15~40MPa强度等水下工程建设。这种絮凝剂技术已转让给石家庄市正定县混凝土外加剂厂。我们认为:水下混凝土依然是难度很大的水下工程技术,水下不分散混凝土还有很多工作要做。为此,我们把日本友人赠给中国石油天然气总公司水下不分散混凝土考察组的这本手册译出,供有关教学、科研、设计和施工人员参考。希望这本书能对我国水下不分散混凝土的开发和应用起到借鉴和推动作用。

由于我们水平有限,特别是国内的技术资料很少,译文中肯定有不妥之处,敬希指正。

译 者

1990年4月

目 录

译 校 前 言

第一章 总 则	(1)
1.1 概 要	(1)
1.2 适用范围	(2)
1.3 术语定义	(2)
1.4 符 号	(3)
第二章 水下不分散混凝土的性质	(5)
2.1 新拌混凝土的性质	(5)
2.2 硬化混凝土的性质	(13)
2.3 对水质的影响	(19)
第三章 材 料	(20)
3.1 概 要	(20)
3.2 材 料	(20)
3.3 材料的储存	(23)
第四章 配合比	(25)
4.1 概 要	(25)
4.2 混凝土的配合比	(26)
第五章 计量及搅拌	(33)
5.1 概 要	(33)
5.2 计 量	(33)
5.3 搅 拌	(34)
第六章 运输及浇灌	(36)
6.1 概 要	(36)
6.2 运 输	(36)
6.3 浇 灌	(39)
第七章 养护及模板	(45)
7.1 概 要	(45)
7.2 养 护	(45)
7.3 模 板	(45)
第八章 混凝土的质量管理及检验	(48)
8.1 概 要	(48)
8.2 混凝土的质量管理	(48)
8.3 混凝土的质量检验	(48)
第九章 设计概论	(50)
9.1 概 要	(50)

9.2	极限状态设计法	(51)
9.3	容许应力设计法	(53)
9.4	构造细则	(56)
9.5	设计常数	(56)
第十章	因材施用	(63)
10.1	概要	(63)
10.2	水下不分散混凝土的特点和分类	(63)
10.3	按材料特点开发新用途	(63)
附录 I	水下不分散混凝土的检验	(75)
附录 II	水下不分散混凝土外加剂的质量标准 (草案)	(83)
附录 III	施工举例	(89)
JIS	标准资料	(100)
JIS A 1138	—1975实验室混凝土试料的制备方法	(100)
JIS A 1115	—1975新拌混凝土的取样方法	(101)
JIS A 1132	—1976混凝土强度试块的制作方法	(103)
JIS A 1101	—1975混凝土坍落度的试验方法	(108)
JIS A 1112	—1975新拌混凝土的水洗分析试验方法	(109)
JIS A 1116	—1975新拌混凝土容重的检验方法及空气含量的检验方法 (重量法)	(112)
JIS A 1128	—1975新拌混凝土空气含量的压力检验方法 (气压法)	(114)

第一章 总 则

1.1 概要

以前,水下浇灌混凝土质量的好坏,主要取决于施工的优劣,关键是尽量隔断混凝土与水的接触。为此,在施工计划阶段,需要根据经验进行周密地探讨,同时也要进行严格的施工管理。

以前所采用的水下混凝土的施工方法如图1.1所示,大致分为空气中搅拌的普通混凝土水下浇灌法和预填骨料压浆混凝土施工法。前者又分为袋装、开底箱、混凝土泵及混凝土导管等方法。

近年来,在这些原有水下混凝土浇灌技术的基础上,又对其浇灌机具进行了各种改进和开发,出现了KDT施工法等特殊浇灌方法。但水下不分散混凝土却与上述系列有完全不同的特点,它着眼于混凝土本身性质的改善,也就是在尚未硬化状态下即使受到水的冲刷也不能使材料分散,并能在水下形成优质、均匀的混凝土。

该水下不分散混凝土,仍可使用目前所采用的浇灌设备,通过调整混凝土配合比使其在水中自由落下,因此,可以简化施工、缩短工期。

此种混凝土除了具有水下抗分散性好的优点以外,还具有优良的流动性和填充性。利用上述特点,可进行大面积薄壁水下混凝土施工、钢筋混凝土构件等高质量水下构筑物的施工、要求防止水质污染的施工、抢险救灾等紧急工程,以及难以应用普通水下混凝土进行施工的地方。

水下不分散混凝土,自从1980年在日本应用以来,根据其特点进行了广泛使用,其施工实例也逐年增加。但在粘稠性及流动性等性质方面,不如普通混凝土好处理。因此,在配合比、搅拌及施工过程中必须格外注意。

图1.2所示的是影响水下不分散混凝土质量的因素。特别是与普通混凝土相比,可以看出其配合比、搅拌、浇灌条件等影响质量的有关因素必须予以考虑。

基于上述事项,本指南对每一项都以达到优质水下不分散混凝土施工为目的,经过研

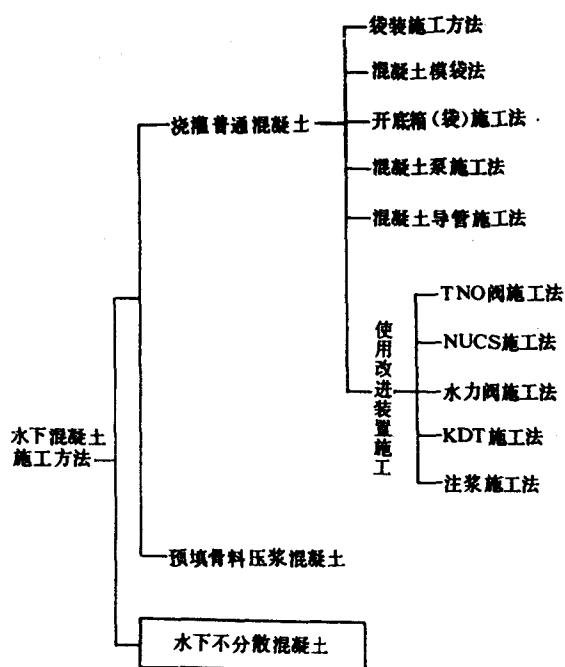


图 1.1 水下混凝土施工方法

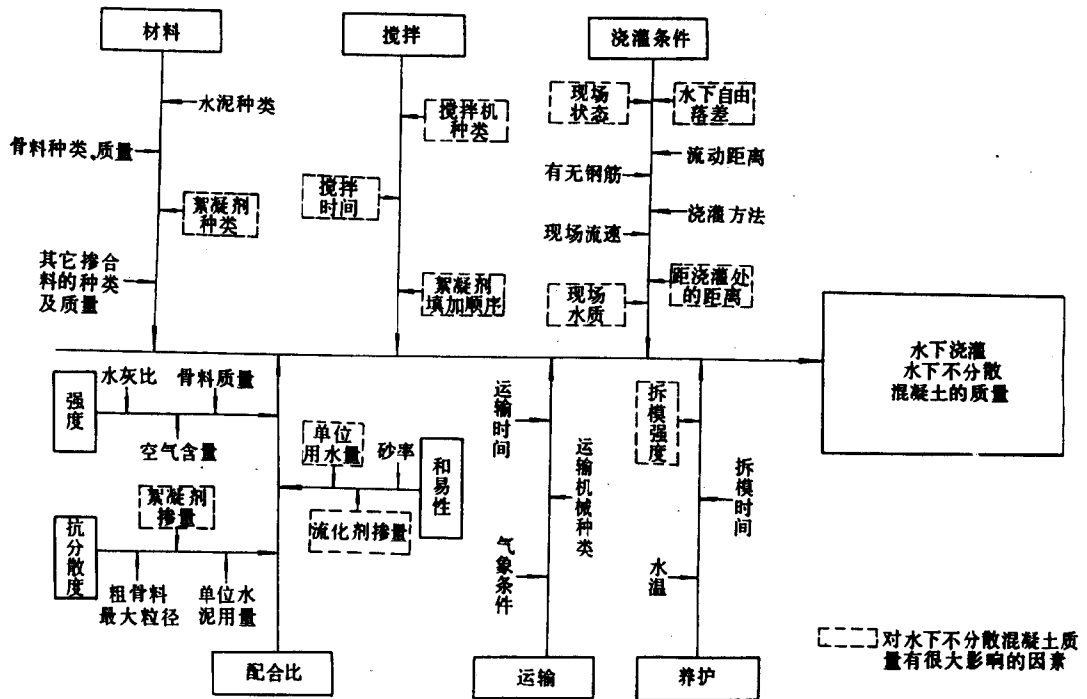


图 1.2 影响水下不分散混凝土质量的因素

讨总结成书。

1.2 适用范围

本指南适用于使用水下不分散混凝土的构筑物的设计与施工。在水中自由落下施工的情况下，落下距离以30～50cm为标准，如果落下距离超过上述标准，应另作考虑。另外，还原则上规定在静水状态下进行浇灌，如果在动水状态下浇灌也应另作考虑。

向砂浆及水泥浆掺入絮凝剂时，亦可参照本指南。

本指南未涉及的其它事项，原则上遵照日本土木学会混凝土标准规范。

1.3 术语定义

本指南采用的术语定义如下：

1. 水下不分散混凝土外加剂（絮凝剂）

指加入水下浇灌的混凝土内，使混凝土具有粘稠性，从而抑制水下施工时水泥和骨料分散的外加剂。

2. 水下不分散混凝土

指掺加絮凝剂后具有水下抗分散性的混凝土。

3. 流化剂

指加在预拌混凝土内，将其搅拌，以增加流动性为主要目的的外加剂。

4. 调凝剂

为调整水泥凝结时间而加入的外加剂。

5. 粘稠性

指即使是在水下，混凝土的成分也不分散的粘滞性。

6. 自流平性

特指流动性极佳，混凝土向平面扩展和形成水平表面的性质。

7. 水下抗分散性

指即使受到水的冲洗作用，水泥与骨料仍难以分散的性质。

8. 填充性

指具有靠自重流入窄小空隙或模板边角并填充至密实状态的性质。

9. 坍扩度

表示混凝土流动性的指标（按JISA1101混凝土坍落度试验的混凝土扩展度）。

10. 扩展度

表示混凝土流动性的指标（按DIN1048进行试验的混凝土扩展度）。

11. 水中自由落差

浇灌水下不分散混凝土时，从浇灌口排出的混凝土到达浇灌处的水中落下距离。

12. 水中制作试块

指在水中使水下不分散混凝土自由落下制成的试块。

13. 在空气中制作试块

指按JIS A1132标准所制成的试块。

1.4 符号

符号代表意义列于表1.1。

表 1.1 符 号 说 明

符 号	说 明	符 号	说 明
f'_A	在空气中制成试块的抗压强度 (MPa)	E	弹性模量 (MPa)
f'_w	水下制作试块的抗压强度 (MPa)	ρ	混凝土的容重 (kg/m^3)
C	单位水泥用量 (kg/m^3)	γ	试验数据对理论值的相关系数
W	单位用水量 (kg/m^3)	f'_{ct}	混凝土设计强度 (MPa)
W/C	水灰比 (%)	f'_t	配合强度 (如果是水下不分散混凝土，指在水下的强度; MPa)
s/a	砂 率 (%)	V_s	单位细骨料体积 ($1/\text{m}^3$)
f'_n	n 日材料龄期 ($n=7, 28, \dots$ 等材料龄期) 的抗压强度 (MPa)	V_g	单位粗骨料体积 ($1/\text{m}^3$)
S/C	砂灰比 (重量比)	$H_{1/3}$	有效波高 (m)
f_b	混凝土抗弯强度 (MPa)	c	保护层厚度 (cm)
f'_c	水下不分散混凝土的抗压强度 (MPa)	W_s	容许裂缝宽度 (cm)
f_{bo}	混凝土与钢筋的粘结强度 (MPa)	S_e	构件上产生的截面内力
f_t	混凝土的拉伸强度，直接抗拉、裂拉试验的强度 (MPa)	σ_{se}	由于截面内力 S_e 、钢筋产生应力增量 (MPa)

续表

符 号	说 明	符 号	说 明
σ_{pe}	由于截面内力 S_p , 预应力钢筋产生的应力增量 (MPa)	E_c	混凝土的弹性模量 (MPa)
k_1, k_2	计算裂缝宽度的系数	σ_{ca}	容许压应力、弯曲拉伸应力等混凝土容许应力 (MPa)
c_s	钢筋间距	A_s	受压面积 (cm ²)
ϕ	钢筋直径	A	分布面积 (cm ²)
ε'_{cs}	为考虑混凝土干缩、徐变引起增加裂缝宽度的数值	σ_{sa}	钢筋的容许拉伸应力 (MPa)
S_p	永久荷载引起的截面内力	ε'_{cc}	混凝土压缩徐变应变
S_r	可变荷载引起的截面内力	ϕ	混凝土的徐变系数
E_s	钢筋的弹性模量 (MPa)	σ'_{cp}	计算徐变时起作用的应力 (MPa)
		V	变异系数

第二章 水下不分散混凝土的性质

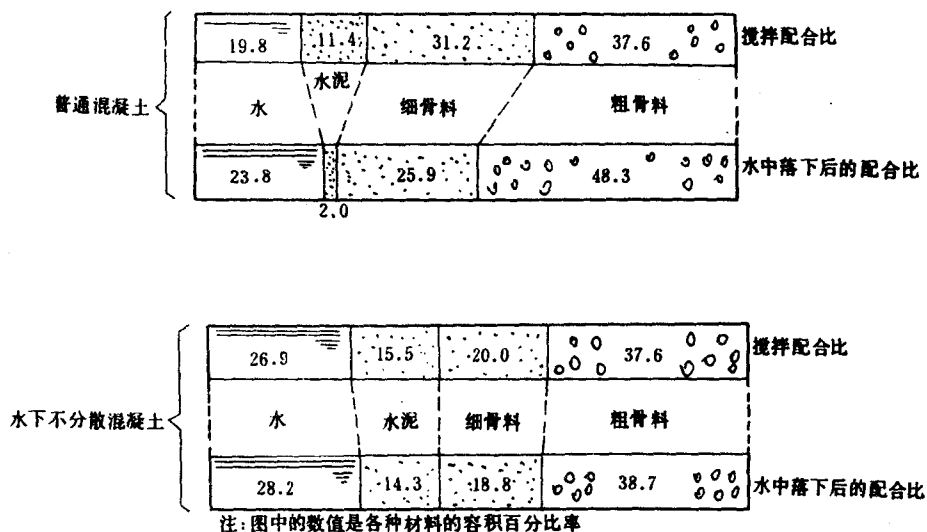
2.1 新拌混凝土的性质

新拌水下不分散混凝土性质与普通混凝土相比具有以下特点：即使受到水的冲刷作用仍具有优良的抗分散性；粘稠，富于塑性，具有优良的自流平性和填充性；很少产生泌水或浮浆；凝结特性，采用纤维素系列絮凝剂的混凝土缓凝，采用丙烯系列絮凝剂的混凝土，其凝结时间不变；混凝土泵送阻力增大。

1. 水下不分散混凝土的抗分散性

所谓的水下不分散混凝土，就是掺入以纤维素系列或丙烯系列水溶性高分子物质为主要成分的絮凝剂而形成的混凝土。絮凝剂具有粘稠作用，即使是在水中自由落下，也很少出现由于水洗作用而引起材料分散现象。

图2.1所示的是60cm水中自由落下的水下不分散混凝土与普通混凝土的水筛试验结



配 合 比 表

	粗 骨 料 最大粒径 (mm)	空气含 量范围 (%)	水灰比 W/C (%)	砂率 s/a (%)	单 位 用 量 (kg/m ³)						
					水 W	水泥 C	细骨料 S	粗骨料 G	附 加 材 料		
									聚凝剂	流化剂	引气减水剂
普 通 混 凝 土	20		55	45.3	198	360	811	996			
水下不分散混凝土	20		55	34.7	269	489	520	996	2.7		

图 2.1 60cm水中自由落下不分散混凝土与普通混凝土的水筛分析试验结果

果。从中可以看出，水下不分散混凝土极少出现水泥流失现象，即使是水中自由落下也基本不会出现配合比的变化。

为此，如图2.2及表2.1所示，如果掺入适量的絮凝剂，与空气中制作的试块相比，水中落下所制成的试块的抗压强度比非常高。从图2.3可以看出，即使是在水下发生水平流动，也可得到均匀的混凝土。

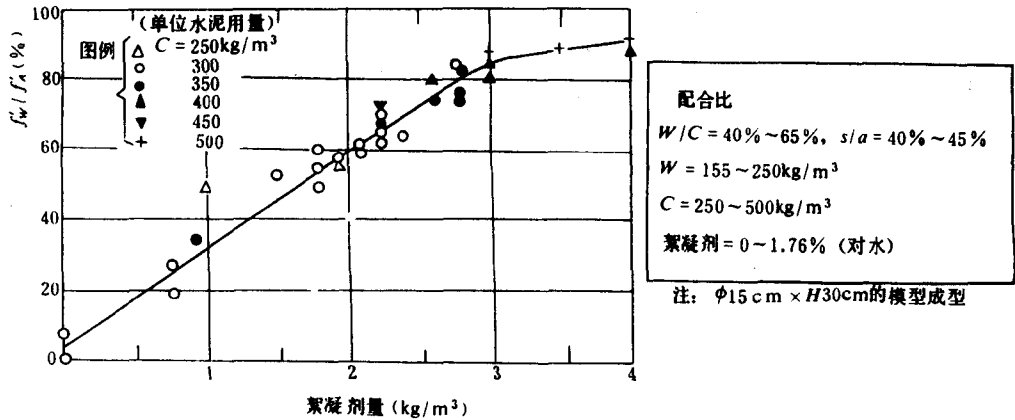


图 2.2 30cm水中自由落下的水下试块与空气中制成试块抗压强度的关系

表 2.1 60~90cm水中自由落下制成试体的样芯试验强度 (MPa)

	龄 期 (d)	序 号	空气中制成的试块 f'_a	水下制成的试块 f'_w	样 芯	
					水深 60cm	水深 90cm
水下不分散混凝土	14	1	24.1	19.6	21.7	18.7
		2	23.2	20.6	20.6	18.1
		3	23.8	19.9	20.0	19.5
		平 均	23.7	20.0	21.1	18.6
		f'_w/f'_a	100	84.3	88.8	78.9
	82	1	29.9	27.6	27.6	25.7
		2	31.2	27.0	28.0	25.0
		3	31.6	26.5	26.5	27.2
		平 均	30.9	27.0	27.4	26.0
		f'_w/f'_a	100	87.3	88.6	84.1

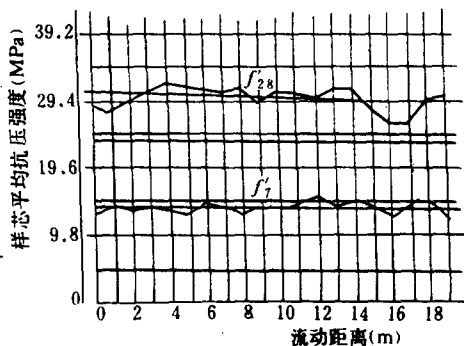
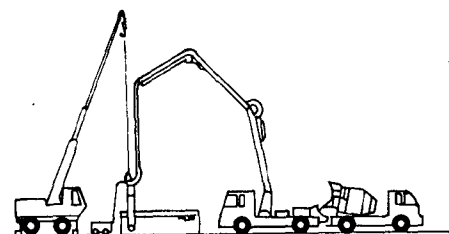
注：制作水下试体时，在大型水槽（ $B1.0 \times L4.0 \times H2.0\text{m}$ ）内放置 $B0.3 \times L3.6 \times H0.3\text{m}$ 模型，利用混凝土导管以 60、90cm 落下，并成型。

如图 2.4 所示，水下不分散混凝土与普通水下混凝土相比，其水泥等的流失率少，可控制浊度及 pH 值上升，并且有防止水质污染和浑浊的特点。

另外，以前所采用的水下混凝土，由于施工方法和施工条件的原因，其质量波动较大。表 2.2 所示的是实际施工的例子，标准试块强度与样芯试块的抗压强度比率在很大范围内不一致。

配合比表

粗骨料 最大粒径 (mm)	空气含 量范围 (%)	水灰比 W/C (%)	砂 率 s/a (%)	单 位 用 量 (kg/m ³)						
				水 W	水泥 C	细骨料 S	粗骨料 G	附 加 材 料		
								聚凝剂	流化剂	掺合料
25		50.8	40.4	210	429	642	965	2.5	8(l/m ³)	



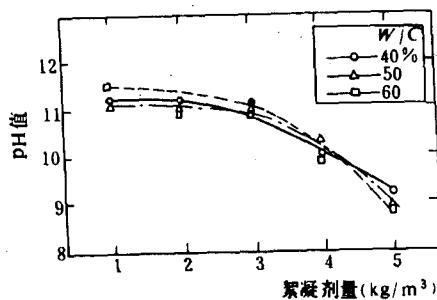
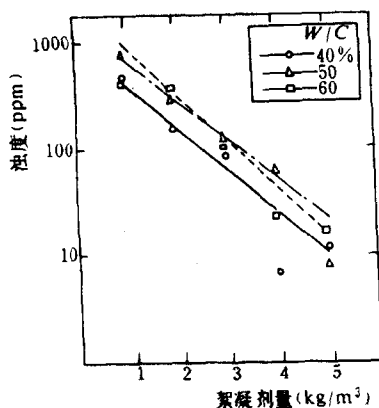
注: 使用B种高炉水泥, 聚凝剂中含减水剂

配合比表

粗骨料 最大粒径 (mm)	砂 率 s/a (%)	坍扩度 (cm)	空气含 量范围 (%)	水灰比 W/C (%)	单 位 用 量						
					水 W	水 泥 C	细骨料 S	粗骨料 G	附 加 材 料		
									聚凝剂	流化剂	引 气 减水剂
20	42	50		42	190	430	691	991	8.6		

注: 使用B种高炉水泥, 聚凝剂中含减水剂。

图 2.3 采用长距离(约18m)流动实验的水下不分散混凝土均匀性



注: 试验方法在 $\phi 30 \times 50$ cm 水槽内, 从水面自由落下3L混凝土, 60秒后测量上部水的 pH 值及浊度

配合条件
 $W/C = 40, 50\%$ 时 $W = 200\text{kg/m}^3$
 60% 时 192kg/m^3

图 2.4 50cm 水中自由落下时的浊度及 pH 值测定结果

表 2.2

用混凝土导管及混凝土泵浇灌普通水下混凝土的抗压强度

分 类		导 管 混 凝 土							混 凝 土 泵			
施 工 地 名		吉里渔港 护 岸	名 洗 港 防 波 堤	桃 子 港 第 2 码 头 岸 壁	西宫木材 港 水 闸	沉井底板 混 凝 土	厚田港 防 坡 堤	厚田港 驳 船 头	函馆港	宇部港一 9.0m岸壁	三菱金属 直岛冶炼 厂 岸 壁	
配 合 比	粗骨料最大粒径 (mm)	40	40~60	40	40	25	50	50	25	30		
	坍 落 度 (cm)	14~16	12~18	13~18	16~20	12~18	15~18	15~18	19	18~20		
	W/C (%)	48	55~57	43	41	49	75	75	52	55		
	s/a (%)	37	37~39	41	33	43	33	33	46	43		
	单 位 用 量 (kg/m ³)	W	176	193~200	159	152	183	262	262	180	150~178	
		C	370	350 ^③	370	374	370	350 ^④	350 ^④	346	272~ 323 ^⑥	
		S	718	740~670	772	579	751	520 ^⑤	520 ^⑤	840	815~787	
		G	1174	1150~ 1160 ^②	1115	1220	1006 ^②	1040 ^⑤	1040 ^⑤	990	1062~1020	
	外加剂		达累克斯 0.20~0.18	PO.NO 5LA 0.25	PO.NO 5LA 4.2	PO.NO.8 0.93				达累克斯 0.20		
	施工水深 (m)	-2.0	-3.0 ~ +1.6	-6.5~ -0.6	-4.0~ -2.0	-26				-11~+2	-10.0~ +1.5	
标准试块 f' 28 (MPa)	30.4	25.9~26.9	37.3	37.1	33.8	96~ 17.6	9.8~ 12.9	16.7				
样 芯	试块形状 (cm)	φ10×20	约φ17×33	φ10×9.5	φ10×20	φ15×30					φ12.5	
	龄 期 (d)	89	122~162	28	190	149	28	28	28		28	
	f' (MPa)	37.1	26.0~32.0	18.7	23.3	34.1	8.0~ 11.9 ^⑦	5.2~ 8.6 ^⑦	9.0 ^⑦	19.4~25.7	23.7~29.4	
强度比①样芯试块/ 标准试块 (%)		103	89~192	50	50	91	68~76	49~67	54			

① 取芯时的抗压强度比(样芯强度/标准试块强度)。取芯试验时的标准试块强度为估计值。

② 使用碎石。

③ 使用早强波特兰水泥。

④ 含 50% 早强波特兰水泥。

⑤ 按体积比配合 (1:3:6) 得出的估计值。

⑥ 填加 17%~48% 粉煤灰。

⑦ 进行海底成型现场养护的试块。

另外, 在水平流动的过程中与水混合, 导致如图 2.5 所示的强度降低, 由于分散产生水泥流失层, 也出现表 2.3 所示的取不出样芯的问题。

2. 水下不分散混凝土的自流平性、填充性、流动性

由于絮凝剂的粘稠性, 使其富于塑性, 显示出与普通混凝土不同的流动性。

关于后者, 提起坍落度试验筒之后, 在 4~5min 内仍然慢慢变形。如果是在普通流动性的范围之内, 最终坍落度为 23~26cm, 具有优良自流平性。

表 2.3

几种方法施工的水下混凝土强度与水泥流失层数

方法名称	调查对象 地 点 (处)	单位水泥 用 量 (kg/m ³)	水 灰 比 (%)	取芯长度 (m)	样芯平均 抗压强度 (MPa)	样芯发现的水 泥 流 失 层 数 (层)	样芯每 1m 长 的 流 失 层 数 (层)
混凝土导管法	8	325~400	48~52	21	(40.6~53.2)	4	0.19
混凝土泵送法	5	360~375	46	6	(34.8~40.4)	0.5	0.08
闭口吊罐法	4	325~400	46~52	2.26	(39.8~43.7)	12	1.92

由于具有以上的优良流动性，在密布的钢筋之间、骨架及模板的缝隙也可靠自重填充，具有优良的填充性。

从上述性质来看，水下不分散混凝土的流动性指标，如采用以前的坍落度显然是不妥的，应采用坍扩度或扩展度。图2.6示出了坍落度与坍扩度及扩展度的关系。从该图来看，坍扩度及扩展度的流动性指标要比坍落度的精度高。

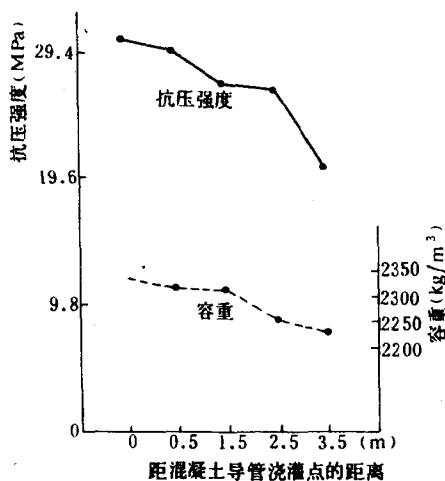


图 2.5 浇灌普通混凝土时水平流动对强度及容重的影响

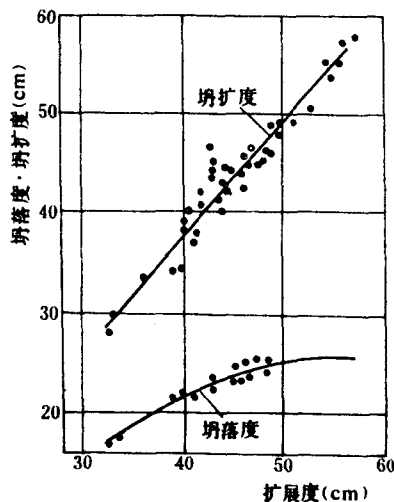


图 2.6 坍落度、坍扩度与扩展度的关系

流动度的损失，如图2.7所示，水下不分散混凝土比普通混凝土小。

另外，关于水下不分散混凝土的和易性，坍落度即使是20cm以上，其粘稠性也很高。因此，上述坍落度与普通混凝土相比有很大差异，坍扩度在40cm以下时相当于低流动性，40~50cm时为中流动性，50cm以上时为高流动性。

3. 水下不分散混凝土的泌水和浮浆特性

掺入絮凝剂后，可提高混凝土的保水性，基本不会出现泌水现象。

另外，如图2.8所示，达到不产生泌水的絮凝剂掺量要比为达到一般的水下抗分离性所需的量少一些。

4. 水下不分散混凝土的凝结特性

含有絮凝剂的混凝土，其凝结特性因纤维素系列和丙烯系列而有所不同。

掺入纤维素系列的絮凝剂时，水下不分散混凝土的凝结速度较普通混凝土为慢，随着掺入量的增加及养护温度的下降将变得更慢。从图2.9可以看出，如果增加絮凝剂的掺入量，水下不分散砂浆的凝结（终凝）时间将延迟约5h。图2.10也如此，与普通混凝土相比，在相同条件下仍延长约5h。另外，从图2.10还可以看出养护温度的下降对缓凝有很大影响。

一般来说，掺入纤维素系列絮凝剂，在相同条件下，比普通混凝土缓凝约5~10h。与此相反，当掺入图2.11所示的丙烯系列的絮凝剂时，其凝结特性与普通混凝土基本相同。在同时使用引气减水剂及流化剂的情况下，也会出现缓凝现象。

无论上述任何情况，只要使用调凝剂都可控制凝结时间。

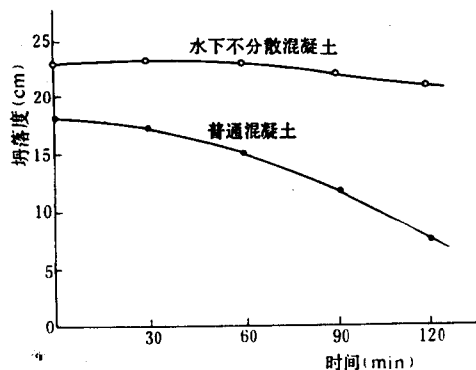


图 2.7 坍落度的时间损失例

配 合 比 表

混凝土种类	粗骨料最大粒径 (mm)	坍落度扩展度 (cm)	空气含量范围 (%)	水灰比 W/C	砂率 s/a	单 位 用 量 (kg/m ³)						
						水 W	水泥 C	细骨料 S	粗骨料 G	附 加 材 料		
										聚凝剂	流化剂	引水气减剂
普通混凝土	20	15±2.5	4±1	50	45.2	195	390	737	960			0.975
水下不分散混凝土	20	40~45	4±1	50	45.2	195	390	737	960	2.34	7.80	0.975

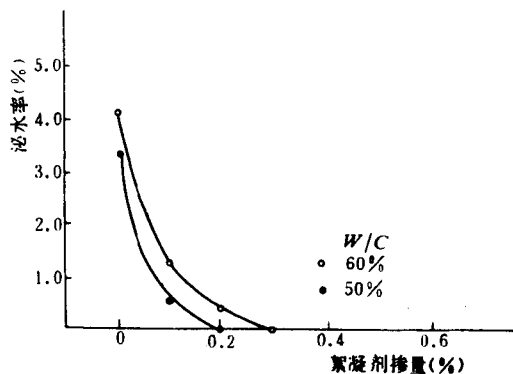


图 2.8 减凝剂掺量与泌水率的关系

配 合 比 表

水灰比 (%)	砂灰比 S/C	单位用量 (kg/m³)				流动性 (cm)
		水 W	水泥 C	砂 S	减凝剂	
50	1	412	825	826	0~1.65	29.2~26.5
60	2	352	587	1174	0~1.76	27.2~23.6

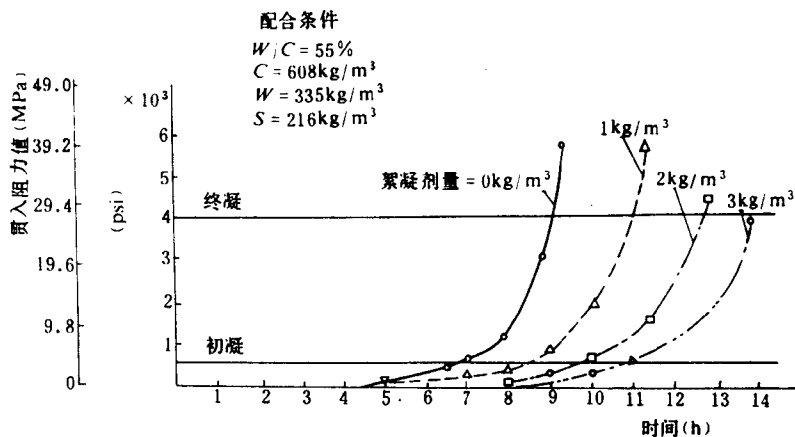
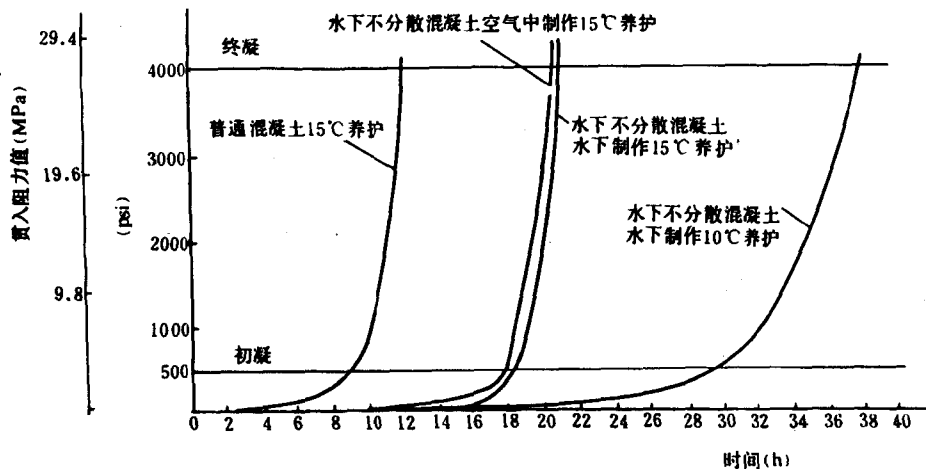


图 2.9 纤维素系列减凝剂掺入量与凝结时间的关系

5. 水下不分散混凝土泵送阻力

水下不分散混凝土富有粘稠性，与普通混凝土相比，其泵送阻力将增加 1~2 倍左右，如图 2.12 及图 2.13 所示。

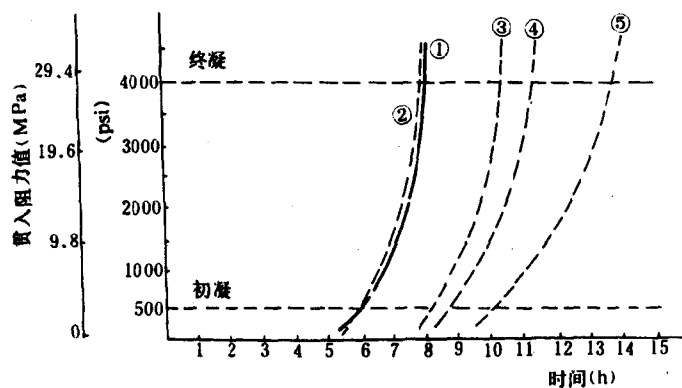


注：水下制作试块：抗折试模（10×10×40cm）水中落差为20cm（到达试模底）

配合比表

混凝土种类	粗骨料最大粒径 (mm)	坍落度扩展度 (cm)	水灰比 W/C (%)	砂率 s/a (%)	单位用量 (kg/m ³)						
					水 W	水泥 C	细骨料 S	粗骨料 G	附加材料		
									泵凝剂	流化剂	引气减水剂
普通混凝土	25	13		41.4	170	378	727	1027			0.945
水下不分散混凝土	25	40		39.0	200	476	629	965	2.5	(L/m ³)	

图 2.10 纤维素系列水下不分散混凝土的温度与凝结时间的关系



外加剂掺量

实验 No	泵凝剂掺量 (对C%)	引气减水剂掺量 (对C%)	流化剂掺量 (对C%)	坍扩度 (cm)
①				
②	0.8			33×33
③	0.8	1.0		35×40
④	0.8	1.0	1.0	44×47
⑤	0.8	1.0	2.0	51×51

配合比表

粗骨料最大粒径 (mm)	水灰比 (%)	砂率 s/a (%)	单位用量						
			水 W	水泥 C	细骨料 S	粗骨料 G	附加材料		
							泵凝剂	流化剂	引气减水剂
25	53	40	235	440	612	931	参照上表		

图 2.11 掺入丙烯系列泵凝剂时的凝结特征