

特殊混凝土施工

[日] 櫻井纪朗 壺阪祐三 官坂庆男 合著
李德富译

水利电力出版社

特殊混凝土施工

[日] 櫻井纪朗 壺阪祐三 官坂庆男 合著
李德富译

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为日本《混凝土讲座》丛书(三册)中的第三册,其内容包括压浆混凝土、喷混凝土、轻骨料混凝土、以及水下、高强、超早强混凝土等六种特殊混凝土施工。本书将技术设计、材料性能、施工方法三者并重地结合起来进行阐述为该书的特点。它既介绍较为深入的理论,又介绍丰富的施工实例(资料),图文并茂;它代表日本七十年代这一技术领域的发展水平,有较多可为我们借鉴之处。本书可供水利水电、交通、冶金、煤炭、国防等建设部门从事设计、施工、管理等技术人员阅读及有关专业院校师生参考。

特殊コンクリートの施工
コンクリート・セミナー 3

桜井紀朗
壺阪祐三 合著
宮坂慶男
共立出版株式会社

昭和53年6月15日初版2刷発行
東京都

特殊混凝土施工

[日] 桜井紀朗 壺阪祐三 宮坂慶男 合著
李德富译

*

水利电力出版社出版
(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
水利电力印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 9.25印张 243千字
1985年3月第一版 1985年3月北京第一次印刷
印数00001—12510册 定价2.30元
书号 15143·5595

译 者 的 话

在读完本书之后，译者深感本书具有两个特点：一是本书代表了书中述及的六种特殊混凝土施工的日本七十年代技术水平，可为我们借鉴之处较多。例如在较深海中用压浆混凝土建造大型水下结构物的技术经验、海底十余公里长的青函隧洞使用喷混凝土施工的经验、用轻骨料建造百米跨度桥梁的技术经验、机械化、自动化的施工经验、各种新材料的应用等，有的已达世界当时最高水平。另一特点是本书的叙述方法深入浅出，既通过理论使人得到深入的本质认识，又通过丰富的实践资料给人以明确、具体、实用性很强的感性知识。它既能为研究人员提供启示和路线，又能为初、高级技术人员提供具体的设计、施工方法。它的读者面很宽。所以译者不顾自己的水平有限，仍愿借公余之暇译出本书，奉献给为祖国四化而努力的读者。

本书的出版，承蒙彭锡谦同志全文校对，伊宗海同志也提出了很好的改进意见，在此一并表示深切谢意。译者汲取了二位校者的正确意见，将本书又再度重新译过，并对译文在技术上负全责，然后经编辑审查，做为最后定稿。

译 者

1984年3月

序

随着材料及施工技术的进步以及社会环境的变化等，混凝土这种建筑材料的应用范围也正在迅速地扩展，出现了一些新的领域，如：在深水中修建大规模的混凝土结构物；紧接开挖裸露之后随即在容易崩塌的土石坡面上或隧洞的开挖面上迅即喷覆混凝土而不用模板；用人工轻骨料在软弱地基上修筑大型结构物；用高强度混凝土架设大跨度的混凝土梁等，现在也已经成为可能。

本书《混凝土讲座》之三，针对混凝土的这些特殊施工领域，以施工法为中心，叙述了工程质量、施工计划、施工管理、主要施工实例等。

本书第一章压浆混凝土施工，由櫻井纪朗编写。他曾在本州、四国两岛间联络桥的调查工作中，为了探索水下施工的可能性而主持过数次试验工程。第二章喷混凝土施工，由壺阪祐三编写。他曾主持过青函隧洞工程，具有在隧洞内喷混凝土工程的经验。第三章轻质、高强、水下、超早强混凝土，由国铁东京第一工程局结构设计事务所的宫阪庆男编写。他多年来一直承担着混凝土结构物的设计和施工。由于是这三人分别执笔，本书在体裁、表达方法等方面似有欠统一之处，但在其内容上却深入地刻画着每人各自的体验与见解，所以在读者诸君承担这些领域的施工时，本书若能成为读者的有效的指南则实为幸甚。

另外，在这些特殊的施工领域内，尚有很多地方处于不断发展的进程中，很难认为它已是臻于成熟的技术。正因为如此，被认为是进步很快、技术最新的东西迅速地变为陈旧的事也并不罕见。各位读者在担当实际工程任务时，希望搜集最新情报，在充分进行研讨的基础上，采用符合实际情况的最好方法，做出成绩来。

目 录

第一章 压浆混凝土施工

1.1 概述	1
1.2 压浆混凝土的质量	3
1.2.1 灌注砂浆的质量	3
1.2.2 压浆混凝土的质量	3
1.3 材料	14
1.3.1 水泥	14
1.3.2 掺和料	14
1.3.3 外加剂	14
1.3.4 细骨料	15
1.3.5 粗骨料	15
1.4 灌注砂浆配合比	17
1.4.1 灌注砂浆的性质	17
1.4.2 配制方法	28
1.5 灌注计划	40
1.5.1 计划的程序	40
1.5.2 制定计划时注意事项	40
1.5.3 灌注面积	48
1.5.4 灌注管布置间距	48
1.5.5 灌注砂浆上升速度	49
1.5.6 混凝土的接缝	52
1.5.7 砂浆的灌注方式	53
1.5.8 灌注温度与混凝土抗压强度的关系	55
1.5.9 砂浆特性与灌注条件的相互影响	56
1.5.10 特殊条件下的施工	56
1.6 施工机器	62
1.6.1 施工机器组成	62

1.6.2	砂浆搅拌厂设备	63
1.6.3	灌注设备	74
1.6.4	施工管理用的器械	77
1.6.5	污水处理装置	80
1.7	模板设计	85
1.7.1	模板的结构	85
1.7.2	防漏工程	88
1.7.3	作用于模板的侧压力	91
1.8	灌注施工	98
1.8.1	施工的概念	98
1.8.2	粗骨料的填充	98
1.8.3	砂浆的拌制	100
1.8.4	砂浆的灌注	104
1.8.5	管理试验	107

第二章 喷 混 凝 土 施 工

2.1	概述	116
2.1.1	喷混凝土施工法的分类及其特征	116
2.1.2	喷混凝土的应用	118
2.2	喷混凝土的计划与应用	119
2.2.1	喷混凝土的工程学性质	119
2.2.2	隧洞衬砌	133
2.2.3	混凝土结构物、砖石结构物等的补强	146
2.2.4	坡面保护	146
2.3	喷混凝土施工	151
2.3.1	材料	151
2.3.2	配合比	156
2.3.3	喷覆面的准备工作	162
2.3.4	计量、搅拌及输送	163
2.3.5	喷覆作业	164
2.3.6	养护	169
2.3.7	劳保护具及作业环境对策	169

2.3.8 质量检查与控制	170
2.3.9 设备和机械	170
参考文献	175

第三章 轻质、高强、水下、超早强混凝土

3.1 人工轻骨料混凝土	176
3.1.1 概述	176
3.1.2 施工	177
3.1.3 施工实例——日本国铁総武千线荒川西高架桥	194
3.2 高强度混凝土	220
3.2.1 概述	220
3.2.2 施工	222
3.2.3 施工实例	232
3.3 水下混凝土	252
3.3.1 概述	252
3.3.2 施工方法	254
3.3.3 混凝土配合比	260
3.3.4 施工实例（用混凝土泵的水下施工）	261
3.4 超早强混凝土	264
3.4.1 概述	264
3.4.2 施工注意事项	268
参考文献	285

第一章 压浆混凝土施工

1.1 概 述

所谓压浆混凝土 (Prepacked Concrete) 就是预先把粗骨料填入模板仓内, 再用特制砂浆注入粗骨料的空隙中而形成的混凝土。美国又称之为预填骨料混凝土 (Preplaced Aggregate Concrete)。

压浆混凝土施工法是压浆混凝土公司创建人路易斯 S. 威尔兹 (Louis S. Weltz) 设计出的一种叫做助灌剂的外加剂而将之实用化的一种施工法, 已有近40年的历史。这种施工法虽也用于隧洞回填、就地灌注桩、建筑物补修等方面, 但却有半数以上的工程量是用于水下混凝土方面。做为水下混凝土的施工法, 除压浆混凝土以外, 还有袋装混凝土法、导管法等, 与这些施工法相比, 压浆混凝土的施工可靠性高, 而且施工效率也非常高。因此, 它在水下混凝土施工中的应用范围也逐渐扩展起来; 在比较重要的水下结构物的施工中, 也积极地加以采用。从1954年到1957年间建设起来的马基纳克桥就是其中一个代表性例子, 该处的海下基础的施工最大水深为63米、混凝土量为35万立方米, 就是用这种方法施工的。日本用压浆混凝土进行施工, 大致也是从这个时候开始的, 并一直是以防波堤、干船坞等港湾建筑物的施工为中心发展起来的。而最近随着长跨度大桥建设的增加, 在这方面对此法的应用也在增加。这些施工例子有日本黑之瀬户大桥、大黑码头联络桥、荒川湾岸桥等。又如即将在本州四国两岛间的联络桥, 有60万立方米左右的海下混凝土也准备采用这种方法施工。

在这些工程施工的同时, 研究和革新上也有了进展。1966年

10月日本土木学会最初制定了《压浆混凝土的施工指南》，其后又在1974年9月进行改订，并将之合并到《昭和49年版混凝土标准规范》之内，以至今日。

在压浆混凝土中，由于是把与混凝土的总体积相等的虚方粗骨料装入模板之内，因而粗骨料的实方体积约占混凝土量的52~60%，其余40~48%的空隙被注入的砂浆填充。因此，压浆混凝土需在搅拌厂搅拌的时间约为普通混凝土的一半，而灌注的速度约为普通混凝土的两倍。这种特殊的材料组成，虽对混凝土的性质也产生影响，但与普通混凝土相比，并无多大差别。

砂浆的灌注，一般是通过设置在骨料内部的灌浆管进行。灌浆管的前端，最初是位于模板内的仓底，但随着砂浆的上升而将管上提。从管口流出的砂浆在管的周围形成圆锥形堆，浆液沿浆堆的倾斜坡面向四外扩展。在水下施工中，由于有比重两倍于水的砂浆楔子侵入骨料之中，骨料间隙中的水即被挤走，并全部为砂浆所代替。

灌浆时，粗骨料与砂浆的关系类似于输浆管路与在其中流动的液体的关系，即粗骨料与砂浆的关系除了要有作为混凝土材料的机能以外，还需要有作为管路与流体的机能。如果这两者的组合不恰当，就会使灌注的砂浆发生材料分离现象，有时也发生混凝土不完全硬化。因此，压浆混凝土的施工技术也可以说是“把正常的砂浆送到粗骨料中的技术”。

一般都认为，对压浆混凝土的施工，需要具备相当的经验，这是因为影响压浆混凝土质量的因素非常多。这些影响因素中有对灌注起积极作用而对混凝土质量起消极作用的、也有随时间的推移其效果也在变化的、或在各因素之间互相影响的。如果对这些复杂的关系没有充分的了解，就不能做出最好的设计和施工。因此，特别是在进行压浆混凝土施工的时候，必须充分理解设计和施工各阶段中影响混凝土的各种因素及其效果，并切实地控制它们，就极为重要。

1.2 压浆混凝土的质量

1.2.1 灌注砂浆的质量

在灌注砂浆中，一般除了波特兰水泥、砂、水之外，还含有粉煤灰、高炉矿渣、减水剂、膨胀剂等。将这些成分适当地配好，用专用的高速搅拌机拌和，即可制成砂浆。

要想得到所需质量的压浆混凝土，灌注的砂浆必须具备下列的性质：

①要在尚未凝固的状态下，具有能够圆滑地通过骨料空隙的流动性、能够顺畅地通过细微孔隙的渗透性；就是在灌注之后，在不妨碍后继砂浆顺畅地四处流动以前的一段时间内，也应一直保持着流动性。

②在输送灌注砂浆所经过的管路及模板内，材料的离析要少。

③砂浆注入粗骨料空隙之后，至硬化以前的一段时间内的泌水很少；在此期间还要有适当的膨胀。

④在硬化之后，要具有符合混凝土设计要求的抗压强度及其与粗骨料间的粘附力；还要有充分的耐久性及抗渗性。

作为灌注砂浆性质的定量显示手段，是稠度（流动度值）、泌水率、膨胀率、凝结时间、抗压强度等特性值。关于这些特性值将在后面详细叙述。

1.2.2 压浆混凝土的质量

（1）抗压强度 由于掺用了粉煤灰等掺和料，压浆混凝土抗压强度的增长要比普通混凝土慢，但其后期强度则增大，龄期三个月时就能够大致达到不掺用粉煤灰混凝土的强度。因此，压浆混凝土的抗压强度是按所用掺和料的种类、质量及所给予的养护条件等的不同而以28天龄期或91天龄期的抗压强度作为标准的。表1.1示出用标准试件进行试验而得出的压浆混凝土抗压强度与龄期的关系。这些关系与使用粉煤灰或矿渣水泥的普通混凝土

表 1.1

抗压强度与龄期的关系

水 泥	水泥:砂	水/水泥 (%)	龄 期		
			7 天	28天	91天
普通水泥	1:1	49.3	275(76)	360(100)	399(111)
粉煤灰水泥	1:0.25:1.25	48.4	193(64)	298(100)	403(134)
A 种矿渣水泥	1:1	51.5	198(56)	352(100)	425(120)

注 () 内的数字表示以 σ_{28} 为 100% 时各龄期的抗压强度百分比。

土相比, 几乎没有什么差别^①。

压浆混凝土的抗压强度与普通混凝土一样, 一般也是以按标准试验方法做出压浆混凝土试件的抗压强度来进行评价的。这种混凝土试件的抗压强度与所灌砂浆抗压强度之间的关系如图 1.1 所示, 是线性的比例关系。然而, 混凝土试件的抗压强度与施工实体的抗压强度并不一定一致。图 1.2 是将标准试件与从实体中取出的岩芯二者进行抗压强度试验的结果加以比较而得出的^②。如此图所示, 实际的混凝土施工实体, 要受到灌注砂浆的配合比、粗骨料的粒度、灌浆管的间距等灌注条件及施工等的影响。混凝土实体中抗压强度的波动范围较大, 一般来说是有小于标准试件抗压强度的趋势。

(2) 抗拉强度 普通混凝土的抗压强度与抗拉强度之比 (σ_t/σ_c), 约为 7~10%, 一般认为龄期增大则接近于 7%。压浆混凝土也有与此同样的关系, 这一点为图 1.3 所示的试验结果所

① 参见: 1) 粉煤灰小委员会, 《各种粉煤灰的共同试验报告》, 日本土木学会论文集第 68 号分册, 1960 年。2) 丸安隆和、小林一辅、阪本好史, 《矿渣水泥混凝土的研究》, 混凝土丛书, 第 25 号, 1970 年。

② 这是用 80mm~150mm 的碎石做成的 ($\phi 3m \times h 3m$, $\phi 3m \times h 6m$, $\phi 10m \times h 3m$) 大型试件, 于其中各埋入一根灌浆管灌注砂浆, 在试件上取出的 $\phi 450mm \times 900mm$ 岩芯, 将之与灌入 $\phi 150mm \times 300mm$ 标准试模中做出的混凝土试件抗压强度的比较。试验时的龄期为 200~600 天。岩芯的抗压强度要比标准试件的抗压强度为低 (河村泰次、太田孝、船越稔, 《在用大尺寸碎石做成的压浆混凝土中钻取大口径岩芯所做的抗压强度试验》, 1970 年日本土木学会年会学术讲演会)。

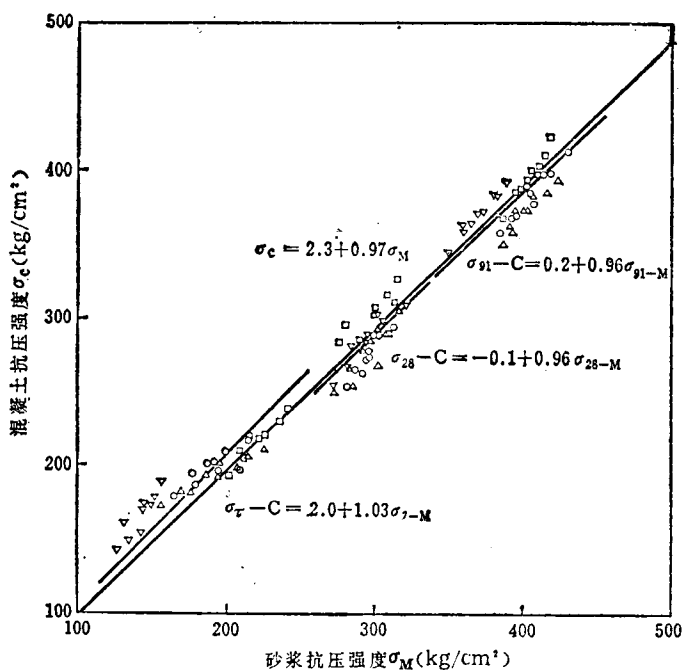


图 1.1 砂浆的抗压强度与混凝土抗压强度的关系

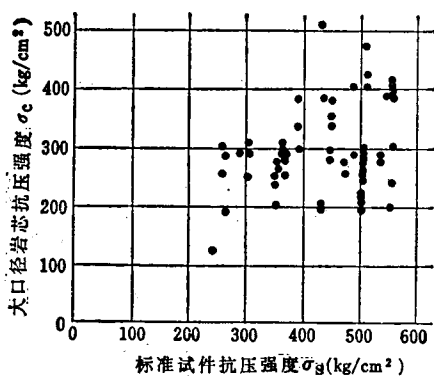


图 1.2 标准试件 ($\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$) 抗压强度与大口径岩芯 ($\phi 450\text{mm} \times 900\text{mm}$) 抗压强度的比较

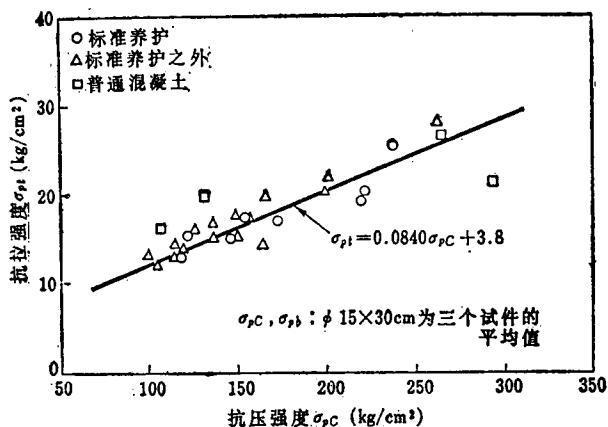


图 1.3 压浆混凝土的抗压强度与抗拉强度的关系

表 1.2 从结构物取出岩芯的抗拉强度

岩芯编号	混凝土岩芯的强度(kg/cm ²)					强度比
	抗 拉 强 度			抗 压 强 度		σ_t/σ_c
	龄 期 (天)	试 件 (cm×cm)	σ_t	龄 期 (天)	σ_c	(%)
4-B	667	$\phi 45 \times 76.2$	20.3	496	273	7.4
5-C	665	$\phi 45 \times 42.3$	15.0	619	291	5.1
7-2	644	$\phi 45 \times 57.6$	20.6	454	251	8.2
12-C	604	$\phi 45 \times 38.7$	29.3		301	9.7
16-C	488	$\phi 45 \times 38.8$	31.8	435	288	11.0
-D	487	$\phi 45 \times 35.6$	21.0	435	288	7.3
18-D	476	$\phi 45 \times 29.3$	14.9	402	300	5.0
19-2-D	455	$\phi 45 \times 37.3$	13.4	375	300以上	4.5*
-3-D	429	$\phi 45 \times 29.5$	15.2	387	300以上	5.1*
-E	429	$\phi 45 \times 37.9$	26.0	387	300以上	9.0*
-F	429	$\phi 45 \times 39.0$	20.5	387	300以上	6.8*
22-2-B	375	$\phi 45 \times 28.5$	20.6	375	300以上	6.8*
-1-C	385	$\phi 45 \times 49.5$	17.7	375	300以上	5.9*
23-5-C	353	$\phi 45 \times 57.6$	15.7	241	267	5.9

注 1. 抗压试验用岩芯试件尺寸约为 φ 45cm × 90cm,
2. 有 * 号的强度比(σ_t/σ_c)的数字是以抗压强度为 300kg/cm²而算出来的结果。

阐明^①。此外，一般也认为抗拉强度比抗压强度更容易受到材料性质及施工的影响，这种状况可从表 1.2 所示的例子中看出（表 1.2 是从实际施工的混凝土体中取出的岩芯做出的抗拉试验结果）。或许由于试件形状、尺寸的影响，使试验值的波动较大，但 σ_t/σ_c 大致在 4.5~11% 之间。

（3）弹性模量 按所使用材料的种类、干湿状态、测定方法等的不同，混凝土的抗压强度与静弹性模量的关系有相应的变化。就大约从 70 根压浆混凝土实体上取出的大口径岩芯进行试验而得出的结果来看，抗压强度为 200~300 公斤/厘米² 时，静弹性模量大致为 $2 \times 10^5 \sim 3 \times 10^5$ 公斤/厘米²。抗压强度 σ_c 与静弹性模量 E_c 的关系，据信可用 $E_c = 14500 \sim 16400 \sqrt{\sigma_c}$ 这样的关系式来表示^②。

（4）新老混凝土间的粘附强度 表 1.3、1.4 示出在水下施工的压浆混凝土的垂直接缝及水平接缝的强度试验结果。在这些表上可以看出接缝的强度因灌注接合的方法而异。水平接缝抗弯强度为无接缝时抗弯强度的 65~98%；此外，在垂直接缝方面，二者的抗弯强度的比值为 53~81%。这表示与在空气中灌注接合的普通混凝土的水平及垂直接缝的抗弯强度的试验值^③ 大致相同。

（5）与钢筋的粘附强度 在横断面高度较高的、用普通混凝土灌注的钢筋混凝土构件中，构件上部混凝土与钢筋的粘接强度，由于泌水的不良影响，要比构件下部混凝土与钢筋的粘结强度低得相当多；而在压浆混凝土中就不会发生这样显著的现象。这是因为泌水所引起砂浆的沉降被注入砂浆的膨胀作用效果所抑制，因此使钢筋、钢架或粗骨料的下部产生间隙的情况减少了的

① 赤塚雄三，《关于在港湾工程中压浆混凝土施工管理的基础研究》，混凝土丛书，第 19 号，1968 年 3 月。

② 河村泰次、太田孝、船越稔，《用在大尺寸碎石压浆混凝土上钻取的大口径岩芯所做的强度试验》，1970 年日本土木学会年度学术讲演会。

③ 国分正胤，《关于新旧混凝土灌注接缝的研究》，日本土木学会论文集第 8 号，1950 年。

表 1.3

垂直接缝的抗弯、抗剪强度

抗弯强度

试 验 编 号	接缝面的处理		新 旧 混凝土的 接合时 间	灌 注 砂 浆 (C:F:S=1:0.25:1.25)				抗压 强度	接缝试件	
				W/C + F	流下 时间	泌水率	膨胀率		抗弯 强度	强度比
				%	秒	%	%		kg/cm ² (28天龄期)	
B19	无 接 缝		24	47	19.0	2.2	4.2	319	33.3*	100
20	刷	无			18.4	1.4	3.5	324	17.5	53
21		有			18.4	—	—	332	27.1	81
22	毛	有,补强块体			18.0	—	—	327	31.2	94

抗 剪 强 度

试 验 编 号	接缝面的处理		新 旧 混凝土的 结 合 时 间	灌 注 砂 浆 (C:F:S=1:0.25:1.25)				抗压 强度	接缝试件	
				W/C + F	流下 时间	泌水率	膨胀率		抗剪 强度	强度比
				%	秒	%	%		kg/cm ² (28天龄期)	
S1	无 接 缝		24	47	18.8	2.8	4.8	319	28.3*	100
2	刷	无			18.0	1.8	4.0	321	17.9	63
3		有			18.0	2.0	4.5	346	22.2	78
4	毛	有,补强块体			18.4	2.3	5.4	335	25.1	89

- 注 1.使用材料:小野田普通水泥,东电粉煤灰,碎石(40~15),河砂(细度模数=1.81),外加剂A(水泥重×0.25%);
- 2.试件:抗弯、抗剪强度……20×20×68cm,抗压强度……φ15×30cm各三个;
- 3.加荷方法:抗弯强度……三等分点加荷,抗剪强度……按图5加荷法,有*者为标准强度;
- 4.本表引自原田、浅间、岩井等,《关于压浆混凝土施工中存在问题的实验研究》,铁道技术研究报告,1974年8月。

缘故。图1.4示出掺加膨胀率及膨胀时期均不相同的两种外加剂A与C的压浆混凝土及普通混凝土与平钢的粘结强度的试验结果。

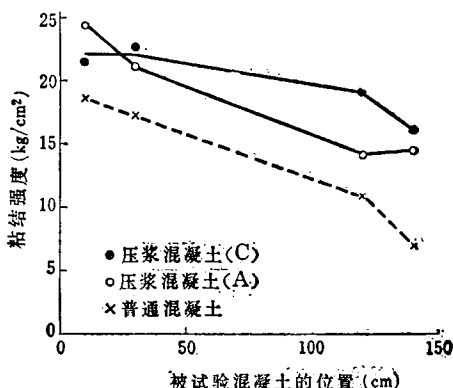


图 1.4 不同高度的压浆混凝土及普通混凝土与平钢的粘结强度

如图1.4所示（参见奥村忠彦，《关于压浆混凝土的基础研究》，东京大学工学部土木工程系论文集，1972年），压浆混凝土的粘结强度比普通混凝土要好得多，压浆混凝土与置于其中的平钢之间的粘结强度，尽管有泌水的影响，但仍为14.2~16.1公斤/厘米²，是与元钢的允许粘结应力值（日本混凝土标准规范）的1.6~1.8倍。

（6）抗渗性 可以认为压浆混凝土能够形成一种抗渗性高的混凝土，这是由于它具有掺用粉煤灰的火山灰效果和砂浆渗透性及膨胀效果的缘故。但是，由于有关抗渗性的资料较少，其效果似乎尚未充分搞清。按美国工程兵部队研究所的报告，据说从贫水泥的配制的龄期约二年半的压浆混凝土中，采出五个岩芯进行抗渗性试验的结果，其平均渗透系数为 12×10^{-6} 厘米/秒^①。图1.5示出了压浆混凝土上下部质量差别而进行的抗渗试验结果^②。由于龄期较短，因而渗透系数示出较大的数值；但却显著

① 《混凝土工程手册》（日本），朝仓书店，1965年。

② 岡村甫、奥村忠彦，《关于压浆混凝土上下部分质量的差别》，第25次年度学术讲演会，1970年。