

地基加固和防水药液 注浆设计施工手册

〈日〉 草野一人 编
邹崇富 师乃夫译
安鸿逵 校

中国铁道出版社

《铁道工程学报》丛书

序

灌注药液方法在日本正式使用以来，已二十余年，现已成为建筑工程中必不可少的方法。如果说，在隧道以及城市土木工程中，灌注药液方法控制工程工期、安全性和经济性并不过分。

因此，近来现场强烈希望灌注药液能从靠经验方法走向理论上的系统化。

鉴于这种情况，作者广泛搜集了最近的施工实例，适时地汇编总结而成本书。在此，谨向广大土木技术人员推荐。

日本国有铁道总工程师、工学

博士 高桥浩二

1983年5月

**地基加固和防水药液注浆
设计施工手册**

〔日〕草野一人 编

邹崇富 师乃夫 译

安 鸿 逵 校

中国铁道出版社《铁道工程学报丛书》

铁道部第一工程局印刷厂印刷

开本787×1092毫米 印张8.3 字数200千

1989年10月第一版 1989年10月第一次印刷

代号87—58

定价5.00元

重视推广注浆技术

灌注药液加固地基技术是国外广泛推行的卓有成效的新施工方法。在药液的种类、性质、灌注技术和适用范围等方面都发展很快。这项技术对加固地基有重要作用，已成为土建施工中不可缺少的一种重要手段。

在我国采用注浆技术是近几年发展起来的，在理论上实践上，还有许多问题要探讨和总结经验。通过本书的出版，希望引起重视研究注浆技术，以提高注浆技术水平。

本书所介绍的灌注药液技术，对我国当前土建工程中所遇到的加固地基、注浆堵水、处理不良地质隧道和地下工程等有一定的实用价值，从它的适用性、技术性、可靠性和经济性来看，可广泛推行。

本书的出版，对从事注浆技术的科研人员、设计和施工技术人员有一定的参考作用。

蒋才兴

前 言

灌注药液方法在日本正式使用以来，已二十余年。在此期间，有了很多的研究成果，在当前的建筑工程中，已作为重要的方法被广泛采用，而且今后还将进一步发展。

但在目前，由于对灌注药液的认识不足，以及灌注材料的选择与方法运用的不适当等原因，还存在着“灌注药液作用不大”等令人遗憾的说法。

的确，因注浆的机理复杂，从理论上难以弄清，参考文献又少，所以也有失败的例子。但根据包括经验性判断在内的适当计划和充分的施工管理，是能够取得预期效果的。这一点已被以往的施工结果所证实。

从最近的趋势来看，在城市土木工程中，灌注药液作为不可缺少的施工方法已成定论，今后必将大量采用。

在这种情况下，从安全性和经济性方面来看，合理的设计和适当的施工将成为这种方法的重要因素。

本书将在通俗地解释灌注药液方法理论的同时，通过列举大量施工实例，作为计划和设计人员，当然也作为现场担负施工的技术人员的指导书而编写的。

作者 1983年5月

目 录

第 1 章 总论	(1)
1—1 注浆工法的历史.....	(1)
1—2 灌注药液方法的现状.....	(5)
第 2 章 灌注药液方法的特点	(9)
2—1 灌注药液方法的特点.....	(9)
2—2 灌注药液的计划.....	(9)
2—3 地基内注浆材料的渗透特性.....	(11)
2—4 药液注浆后地基内药液渗透状况和地基的改 良.....	(13)
2—5 与灌注药液方法有关的因素分类.....	(16)
第 3 章 注浆理论和基本技术	(19)
3—1 注浆材料的渗透理论.....	(19)
3—1—1 悬浊液型注浆材料 (非稳定性注浆材料)	(19)
3—1—2 溶液型注浆材料.....	(21)
3—2 注浆方法的适用界限.....	(24)
3—2—1 J. C. King 的实验统计结果.....	(24)
3—2—2 F. Mohr 的研究.....	(26)
3—2—3 H. Jahde.....	(26)

3-2-4	R. H. Karol	(26)
3-2-5	C. Caron	(26)
3-2-6	美国氨基氰公司发表的成果	(30)
3-2-7	岛田·兼松发表的成果	(33)
3-2-8	有关各种灌注方法适用范围的资料	(34)
3-3	灌注土的力学特性	(37)
3-3-1	凝固土的强度增加机理	(37)
3-3-2	凝固土的强度	(41)
3-3-3	凝固土的无侧限压缩强度 (q_u) 和变形系数 (E_{s0})	(48)
3-3-4	凝固土的应力和应变	(52)
3-3-5	改良地基的N值	(54)
3-3-6	粘性土强度的增加	(55)
3-3-7	浸透性	(56)
3-4	地基性状和注浆技术	(58)
3-4-1	空洞充填注浆	(58)
3-4-2	往基岩龟裂中注浆	(59)
3-4-3	土颗粒孔隙的渗透注浆	(60)
3-4-4	地基内脉状注浆	(64)
3-4-5	各种土性混合地基的注浆	(65)
3-4-6	不同地质分界层的注浆	(66)
3-4-7	应急注浆 (紧急注浆)	(67)
3-4-8	有关注浆技术的各种问题	(69)
3-4-9	注浆方法的基本形式	(72)

第 4 章 药液的基本性质

(80)

4-1	注浆材料的分类	(80)
4-2	水玻璃的种类和性质	(83)
4-3	药液的固化机理	(87)
4-3-1	水泥系注浆材料	(87)
4-3-2	水玻璃-水泥系(悬浊水玻璃系)药液	(88)
4-3-3	水玻璃系药液	(91)
4-3-4	高分子系药液	(101)
4-4	药液的基本性质	(103)
4-4-1	浸透性	(103)
4-4-2	凝胶化的稳定性	(106)
4-4-3	凝固土的力学性质	(113)
第 5 章	事前调查	(115)
5-1	施工计划调查	(115)
5-1-1	地基条件调查	(115)
5-1-2	与其它工法的比较	(117)
5-1-3	主体工程的设计条件	(117)
5-1-4	施工条件	(117)
5-2	注浆设计调查	(117)
5-3	现场注浆试验	(122)
第 6 章	灌注药液工程的设计	(125)
6-1	设计顺序	(125)
6-1-1	采用灌注药液工程的确定	(125)
6-1-2	灌注药液工程的设计顺序	(125)

6-2	确定改良范围的标准图	(128)
6-2-1	确定改良范围的标准图	(128)
6-2-2	改良范围的计算方法	(137)
6-3	药液的选定	(159)
6-3-1	采用目的、改良效果和药液特性	(160)
6-3-2	其它条件	(162)
6-4	注浆工法的选定	(164)
6-4-1	注浆工法的分类	(165)
6-4-2	注浆工法概述	(165)
6-4-3	各种工法的比较	(175)
6-5	药液注浆量	(177)
6-6	注浆孔的布置	(182)
6-7	效果调查和实验	(183)
6-8	水质检查	(184)
第7章	施工	(186)
7-1	施工计划	(186)
7-2	注浆孔布置	(187)
7-3	注浆顺序	(187)
7-3-1	平面上的注浆顺序	(187)
7-3-2	深位上注浆顺序(立面注浆顺序)	(189)
7-4	注浆阶段长度	(193)
7-5	注浆材料	(194)
7-5-1	所用药液及其标准配合比、现场配合比	(194)
7-5-2	每个间隔注浆量和实施注浆量	(194)

7-6	作业方法	(197)
7-6-1	钻孔及设置注浆管作业	(197)
7-6-2	注浆作业方法	(197)
7-7	注浆设备	(208)
第 8 章	水质检查	(212)
8-1	水质检查标准	(212)
第 9 章	施工管理	(215)
9-1	技术管理	(215)
9-2	环境保护管理	(215)
9-3	注浆压力管理 (P-Q管理)	(216)
9-4	作业记录和观察记录	(221)
第10章	注浆效果的判断	(223)
10-1	用触探 (贯入试验) 测定改良范围的实例	(223)
10-2	用放射性同位素测定改良范围的实例	(224)
10-3	用弹性波探查测定改良范围的实例	(228)
10-4	利用电阻测定改良范围的实例	(230)
10-5	根据水头和漏出水量求遮水墙的平均渗透性的实例	(231)
10-6	采用现场渗透试验的测定渗透系数的实例	(233)
10-7	地基载荷试验的实例	(233)
10-8	路面下沉的测定实例	(233)

第11章 临时规定指南和有关法规	(239)
11-1 药液注浆工法和有关法规	(239)
11-2 临时规定指南及其说明	(243)
第12章 灌注药液工程施工实例	(261)
施工例—1 深基础工程的截水、强化注浆	(261)
施工例—2 隧道工程的截水、强化注浆	(263)
施工例—3 盾构工程的建筑物防护, 开挖面稳定 化注浆	(266)

第1章 总 论

1—1 注浆方法的历史

注浆方法，目前在许多建筑工程中，以加固地基或截水为目的，作为辅助方法已被广泛使用。

最初开始于十九世纪初叶，是法国的Berigny注入粘土和石灰制成的稀泥浆状不稳定性注浆材料，进行了堵塞大孔隙的试验。但只是用粘土等的泥浆，不能得到满意的结果。

其后，所用的注浆材料和注浆方法逐步得到改善，随着波特兰水泥的出现，进而开发了将水泥注入到基岩的裂缝与孔隙的技术，到了水坝建设盛行的二十世纪二十年代至三十年代，这种方法得到了飞跃的发展。在此过程中，以Lugeon试验著名的Lugeon教授的研究，对此法作出了重大的贡献。

但是，对冲积土或砂砾的注浆技术的研究，与往基岩内注浆技术的进步相比，还显得落后。采用往冲积土中注入水泥来改善渗透性之所以成为比较便宜的方法，是在1938年以A.Mayer的粘土注浆材料方案为转机，于1940年研究出来的粘土水泥系注浆材料。1950年进一步研制了活性水泥系注浆材料。

同时，以化学制品为基本材料的溶液型浆液的研究也取得了进展，自1866年以来就已开始使用水玻璃（硅酸钠），1887年由Jeziorsky发表了分别注入水玻璃和氯化钙的早期硅化法。该方法于1926年被Joosten采纳，就是今天为大家

所熟知的Joosten方法。一般常用37~38°B'e的水玻璃和35°B'e的氯化钙，在瞬时间内形成极为坚固的凝胶，使凝固土的无侧限抗压强度高达20~80kg/cm²，但因化学作用引起的变化极少。可是该法成本过高，而且对细砂层来讲，渗透困难，所以至今尚未普及。

1911年发表的Francois方法，为了改善水泥的渗透性，在注入水玻璃和硫酸铝的稀溶液之后，再注入水泥悬浊液。使用水玻璃和悬浊液的这种方法进而形成了以后的在水玻璃中加熟石灰的Rodio方法，和在水玻璃中注入与水泥起反应的澄清过的溶液的Jahde方法。

灌注水玻璃和反应剂的混合液，在经过一定时间使其进行凝胶化类型的浆液研究中，有1907年的Lemeire方法和Dumout方法。这两种都是利用盐酸，依靠阳离子量使水玻璃溶液缓慢地进行凝胶化的方法，但因生成的凝胶化物柔软无强度而未能实用化。但是，其原理已被Gayyard代之以碳酸氢钠、碳酸氢钾的化合物、氯化钠、次氯酸钠或次氯酸钠的混合物而得到实际应用。属于上述软质凝胶化注浆材料的研究，后来又得到发展。目前，酸类、金属盐类、铵盐类或碱系的各种反应剂已经开始使用，并成为今天的主流。

二十世纪五十年代开始以与Joosten方法的凝胶等强度为目标的硬质凝胶的研究，开发出Soletanche的醋酸乙脂，Nobel-Bozel研究所的乙二醛，DiamondAlkali公司的酰胺型，都是纯的或稍被稀释的水玻璃。使用的是不立即显示反应的有机物质的浆液。所获得的凝胶化物强度极大，在纯胶体中具有20kg/cm²左右的强度。在砂胶体中，具有30kg/cm²左右的强度。

除水玻璃外，将化学药品用为注浆材料，在1910年才取得专利，在纸浆废液中添加重铬酸盐得到的胶体，经过Smith（1952），由Caron（1961~1964）等开发研究过。这种凝胶体虽不及从水玻璃中所获取的硬质凝胶体那样坚硬，但作为注浆材料，已有足够的硬度。

此外，随着石油化学的发展，广泛使用有机树脂作为注浆材料。其中，最有名的是美国氨基氰公司研究的丙稀酰胺系树脂的AM-9。聚合AM-9是弱凝胶体，即使在其最大浓度的情况下，它的强度也低于 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 。但极富弹性。同时索列坦休公司的醛胺树脂，可用浓度大幅度地调节强度。

对这种有机树脂系注浆材料，日本研究开发的业绩显著。二十世纪六十年代，丙稀酰胺系、丙稀酸盐类、尿素树脂系或加水反应型的尿烷系等各种注浆材料已经达到实用化。

日本注浆方法的采用是1915年（大正14年），在长崎县松浦煤矿曾将灌注水泥用于开挖竖井时的截水中进行灌注水泥浆的。使用灌注水玻璃最早是用于丹那隧道的建设（1908~1934年）中。

而后对基岩的灌注水泥，在隧道或水坝建设工程方面被广泛采用，施工技术也取得显著进步。特别是随着微颗粒水泥的开发，在青函隧道的建设中起了极其重要的作用。但是，由于日本地层、地质复杂，只采用灌注水泥，往往还很难达到目的，近来也有灌注水泥和水玻璃系药液同时并用的情况。

作为使用水玻璃系药液的方法，有1950年由丸安、今冈

提出的利用铝酸钠（MI工法）的方案。在此前后，石川发表了利用重碳酸钠、氟砂（化）钠的方法。在1961年，樋口开发了使用水玻璃和水泥悬浊液的方法（LW工法），奠定了日本注浆方法的基础。前面两种是溶液型水玻璃系，后一种是悬浊型水玻璃系，已成为注浆法当今两大主流之源。其后的开发涉及面较广。目前，酸类、金属盐类及属于碱系的各种灌注材料均已实用化。

新的研究中，有让水玻璃和反应材在中性范围进行反应的灌注材（锚杆加固土技术）等。但这些灌注材都属于软质凝胶体。

在水玻璃系灌注材料中，属于硬质凝胶体的，都是用有机反应剂，其中有使用岛田的乙二醛及多价乙醇醋酸酯的方法。

上述有机树脂系的各种灌注材在六十年代被迅速采用。1968年在广岛县的灌注药液，被认为是造成井水污染事故的原因，1969年福冈县的井水污染引起了人身健康受害和环境公害等问题。同年7月由建设事务次官通告，对灌注药液材料的使用加以限制。目前，上述材料几乎已停止使用。

长期以来对注浆材料始终是为寻求更高的质量和渗透性而进行研究的，并已研究出多种注浆材料。自上述公害问题发生以来，尽管使用的注浆材料受到限制，但仍然在继续改善注浆工程的效果。从而，注浆施工法的重要性，日益被人们所重视。以往，灌注药液只注重所使用的注浆材料，施工方法几乎全是钻杆注入。后来，随着新的施工方法的开发研究，注浆材料与施工方法相互适应的方案已开始出现。其中之一是重视土颗粒间渗透的滤网注浆施工

法；其二是以改善钻杆注浆方法的地基内渗透不均匀性为目的，使用双重管钻杆的速凝性注浆材的注浆工法。另外为了兼容两者的特性，用双重管钻杆，曾尝试使用装有速凝性注浆和浸透性注浆两种材料的速凝填塞工法。这些方法和以往的灌注方法在技术上虽稍有不同，但最近利用高压将灌注材料喷注到地基内，切削地基，使其同土颗粒混合，达到凝固化或强化的高压喷射灌注方法已取得惊人的进展。

1—2 灌注药液方法的现状

以土质地基为对象的灌注药液方法，在日本最早是1954年在营团地下铁道池袋和茶之水间建设工程中，成功地应用了水玻璃系药液的MI方法。自这时起，灌注药液方法作为制止地下开挖中的涌水或突然出水的应急手段逐渐普及。

其后，在开挖前有计划地开始采用灌注药液的施工。从1970年开始，在截水、防止下沉等地基强化方面也被广泛使用。其中，悬浊型水玻璃系药液的LW的灌注方法，起了较大的作用。

日本灌注药液方法的历史约30年。正式被广泛使用是最近20年的事。表1—1是根据日本灌注药液协会（原日本LW协会，1964年设立）提供的水玻璃系药液按年度使用量，可详知其发展情况。

灌注方法在建设工程中的使用范围见表1—2。

水玻璃系药液材料分年度使用量 (KL) 表1-1

年 度	水 玻 璃 量						其它	合 计
	悬 蚀 型			溶 液 型				
	LW	其它	小计	无机	有机	小计		
1970	53,000		53,000			117,000	170,000	
1971	63,000		63,000			137,000	200,000	
1972	104,000		104,000			166,000	270,000	
1973	90,000		90,000			200,000	290,000	
1974	103,000		103,000			227,000	330,000	
1975	162,600	11,900	174,500	72,800	92,200	165,000	339,500	
1976	170,300	27,000	197,300	91,800	78,100	169,900	367,200	
1977	228,300	8,800	237,100	159,800	70,000	229,800	466,900	
1978	290,800	15,000	305,800	299,600	84,300	377,900	683,700	
1979	250,000	20,000	270,000	476,300	77,500	353,800	823,800	
1980	324,700	73,700	398,400	551,100	96,200	647,300	945,700	
1981	195,100	50,300	245,400	581,100	102,500	683,600	929,600	
							3,800	
							12,700	
							17,500	
							20,000	
							46,400	
							90,300	
							40,000	

(至1982年5月)