

药液灌注 材料的试验研究



陕西省科学技术情报研究所

药液灌注材料的试验研究

作者——蒔田实

(日本建设省土木研究所地质化学部研究室室长)

一、前言

我国的建筑工程逐年向大型发展,对工程施工的高速度、高效率要求日益迫切。为了在软弱和涌水地基的恶劣条件下确定合理而有效的施工方法,本文就是回答所要求的这一重要课题。从此观点着眼,建设省已作为综合技术的发展计划,正在推进对“地基改良新技术的发展”的研究。“药液灌注材料的试验研究”是作为这个研究计划的一环,在1975~1977年度已进行了三年的研究。

药液灌注法是直接、有效地改良地基的方法,因为也适用于比较简易的小规模工程,所以,近年来在市区为中心的土木工程方面已很盛行。可是,随着本方法的广泛使用,因药液对周围地基、地下水的污染问题而被指责。1974年在福冈县粕屋郡新宫町以药液对地下水的污染事故为由,制定了《关于建筑工程施工中药液注入法的暂定方针(1974年7月10日建设事务次官通知)》,以后的药液灌注工程是在该《暂定方针》基础上实行的。

《暂定方针》要求灌注须采用优质药液,因过去广泛使用的丙烯酰胺系药液,尿素系药液等已被禁止,以致许多工程发生困难,因此迫切要求代用上述药液的灌注用药液。药液灌注材料的发展研究,应尽量减少环境污染,并达到以新的药液灌注材料代替被禁用药液之目的。

这项研究是建设省土木研究所(财)委托国土开发技术研究中心根据双方共同协商进行的。该中心,不仅进行研究,还设有“药液灌注委员会(委员长三木五三郎、东京大学教授)”,并增加了对研究计划及研究成果的讨论。此外,尚有各种实验、系鹿岛建设(株)技术研究所及建设技术研究所分担进行的。

通过三年的研究,明确了所采用过的各种药液的基本性质和问题,也明确了水玻璃系药液能够使固结物强度更高,对环境影响更小,因而成为优良的固结药液。并且也找出了水玻璃系药液的新的掺合条件。(译者注:指各掺合药品的种类、浓度。)此外,作为本研究的成果之一,根据不同灌注目的、灌注对象选定适宜药液,而归纳了药液性质的标准试验法(草案),在此只介绍了本研究的概要,标准试验法(草案)从略。

二、关于制定药液灌注材料发展目标的研究

在第一年度的研究方面,为了明确过去曾广泛使用过的各种药液的基本性能,具体

制定对环境污染少的新的药液灌注材料的研究目标，而进行了研究。

1. 曾广泛使用过的各种药液的基本性能

作为过去曾被采用的代表性的药液（列于表—1），选定水玻璃系药液4种（在凝固过程中的粘度变化试验共10种），丙烯酰胺系药液1种，尿素系药液1种及尿烷系药液2种，为了明确这些药液的基本性能而进行了试验，得出表列结果。

再者，水玻璃系药液种类很多，这里以日本药液灌注协会进行的试验结果为基准，选定了代表性的药液。

1)、对地基的浸透性能：

药液向地基浸透时，以达到目的点后开始硬化为目的，故其浸透性是药液最重要的特性之一。药液是否容易浸透地基，依赖于药液粘度。关于各种药液之初期粘度及硬化过程中粘度变化的代表性试验结果，示于图—1。从该结果知道，丙烯酰胺系初期粘度

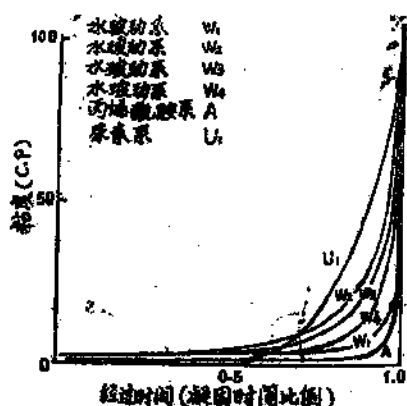


图-1 凝固过程中粘度变化(过去的各种药液)

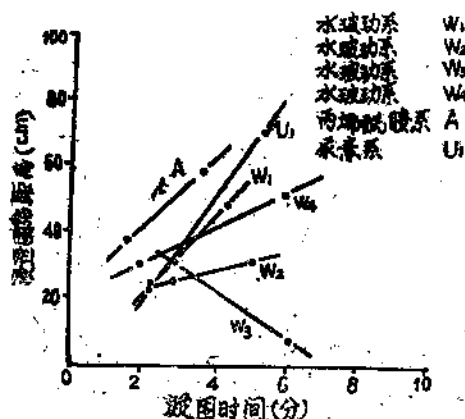


图-2 凝固砂的渗透固结距离(过去的各种药液)

于图—3。尿素系强度为5~13kg/cm²，除尿烷系外，一般浸透型的药液强度最大，适当地注入，可达到地基强化的目的。水玻璃系根据其不同种类，强度为1~6kg/cm²，由小到大幅度很宽。采用无机系的硬化剂，强度是1~3kg/cm²，比采用有机系硬化剂3

大致保持在最小的粘度1.3cp。由于接近凝固时，粘度急剧增大，在地基中的浸透性能良好。尿素系初期粘度为1.8cp，虽比丙烯酰胺系稍高，但在凝固过程中粘度是缓慢上升的。水玻璃系都是3.0cp，初期粘度都高，不同的药液在凝固过程中的粘度变化，开始时是缓慢地升高到接近凝固时就急骤增大。

图—2所示为砂模中的渗透试验结果；表示用1.5射击方式注入达到一定的灌注压力（1kg/cm²）时的浸透固结范围。从这个结果可知，丙烯酰胺浸透固结范围大，浸透性能优良。水玻璃的某种物体（W₂、W₃），即使把凝固时间增长，浸透固结范围不但不随其比例增大，反而比凝固时间短的浸透固结范围小了。这里，由于凝固时间不同，凝固变得不稳定，在凝固过程中所引起的一些折绉及筛状孔眼，说明了凝固的稳定性是大大地影响药液浸透性能。

2)、地基的强化特性：

药液注入地基所形成的固结物强度，是药液最重要的特性之一。对准标砂注入药液后所作出的胶结砂轴压试验，结果示

表—1 过去所用各种药液成分一覽表

药液名	记号	硬化剂・添加剂	备 考
水 玻 璃 系	W ₁	(KHCO ₃) 碳酸氢钾 (NaCl) 氯化钠 ((CH ₂) ₂ CO ₃) 乙二醇碳酸酯	
	W ₂	(H ₃ PO ₄) 磷酸 ((CHO) ₂) 乙二醛	
	W ₃	(NaAlO ₂) 粉末, 液状、铝酸钠	
	W ₄	(NaHCO ₂) 碳酸氢钠 (MgSO ₄ ·2H ₂ O) 硫酸镁	标准配比的固结过程粘度变化的测定
	W ₅	(H ₃ PO ₄) 磷酸 (Na ₅ P ₃ O ₁₀) 三巨磷酸钠	"
	W ₆	(NaHCO ₃) 碳酸氢钠 (CaCl ₂) 氯化钙	"
	W ₇	(NaHCO ₃) 碳酸氢钠 (K ₂ CO ₃) 碳酸钾	"
	W ₈	(NaHCO ₃) 碳酸氢钠 (C ₂ H ₄ (O(OCH ₃) ₂)) 乙二醇二醋酸酯	"
	W ₉	(MgSO ₄ ·2H ₂ O) 硫酸镁 (C ₆ H ₈ O ₇ ·H ₂ O) 枸橼酸 (柠檬酸)	"
	W ₁₀	(NaHC ₃) 碳酸氢钠 (C ₄ H ₈ O ₂) γ-丁内酯	
尿素系	U ₁	尿 素 (NaHSO ₄) 硫酸氢钠	
丙烯酸酯系	A ₁	DMAPN (NP) 过硫酸钠 (KF) 铁氰化钾	
尿 烷 系	B ₁	脱异氰酸盐的化合物与多元醇的予聚物 溶剂 (甲苯系)	实验安排上, 以容积为100加50%丙酮
	B ₂	脱异氰酸盐的化合物与多元醇的予聚物 溶剂 (酮系)	

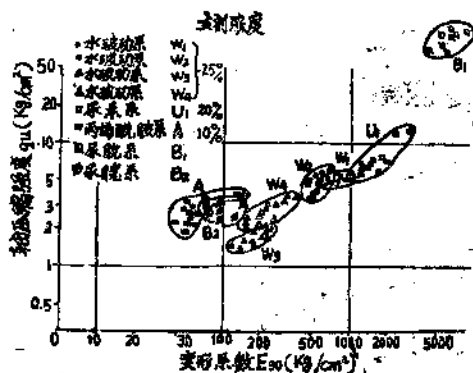


图-3 轴压缩强度和变形系数(过去的各种药液)

~6 kg/cm²要小。丙烯酸系是2~3 kg/cm²,虽与水玻璃系的强度同样小,但其变形系数最小,破坏时的应变最大,显示出最有弹力的特性。尿烷系疏水型的强度为50~80 kg/cm²,而亲水型则因药液的稀释比例的关系,强度发生变化,稀释50%后强度成为2~4 kg/cm²。

3)、注入时的固结性(收支):

向地下水流动不太大的地基中注入时,药液的一部分因被孔隙水稀释而不一定全部固结。为了不发生环境污染,也为了提高灌注效果,须尽量提高药液在地基中的固结性能。孔隙水完全静止时,药液实际流速是3厘米/秒,孔隙水流动时药液在地基中固结(收支)的代表性试验结果示于图-4。被注入的药液与孔隙水完全置换,固结时的固结物

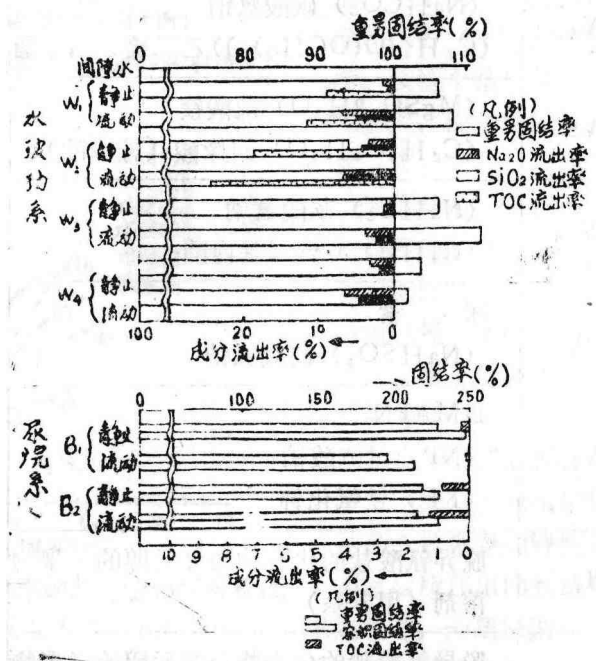


图-4 注入时之固结性(过去的各种药液)

重量与实际的固结物重量的比例用固结率表示。在实际中,药液并不被孔隙水完全置换,因那部分即使被孔隙水稀释,也还会固结,此外,在孔隙水流动时重量固结率曾超过100%,反而变得大起来。

表—2 高强度及中性水玻璃系药液和低福尔马林型尿素系药液的标准配比

		药液名	成 分	浓 度 (g/0.5L)	凝胶化时间 at 15°C(分)
高 强 度 水 玻 璃 系		W ₁₁	A 水玻璃JIS3号	495.6	2.55
			B 乙二醛	214.6	
			乙二醇碳酸酯	41.0	
		W ₁₂	A 水玻璃JIS3号	495.6	2.80
			B 乙二醛	214.6	
			乙二醇二醋酸酯	32.2	
		W ₁₃	A 水玻璃JIS3号	495.6	3.20
			B 乙二醛	214.6	
			γ-丁基内酯	33.7	
中 性 水 玻 璃 系	直 接 法	W ₁₄	A 水玻璃JIS3号	240.7	3.20
			B NaHSO ₄ ·H ₂ O硫酸氢钠 H ₃ PO ₄ 磷酸	90.0 5.0	
		W ₁₅	A 特殊水玻璃	290.6	2.90
			B NaHSO ₄ ·H ₂ O硫酸氢钠 H ₃ PO ₄ 磷酸	90.0 4.5	
	间 接 法	W ₁₆	A 特殊水玻璃	290.6	3.25
			B H ₂ SO ₄ 硫酸 KHCO ₃ 碳酸氢钾	43.8 17.1	
低福尔马 林 型 尿 素 系		U ₂	A 主剂	423.2	3.14
			B NaHSO ₄ ·H ₂ O硫酸氢钠	9.2	

对此,药液的成分,因在砂中不固结或者从孔隙水中流出的比例(成分流出率)大小,可认为是对药液注入量的固结率好坏的证明。但Na₂O、SiO₂和TOC则相当不同。TOC表示的值大,是因为砂中的有机物(腐植酸等)由于水玻璃的碱被溶解出来。虽然Na₂O和SiO₂表示的值大致相等,流出的数量都是从百分之几到10%,而孔隙水流动时表示的值都大。认为注入药液的固结率在孔隙水流动时变小了。尿烷系和水反应因产生CO₂气体,固结后的重量固结率与容积固结率之值极大,此外,TOC的流出率最大限度为1%,显然是很小。

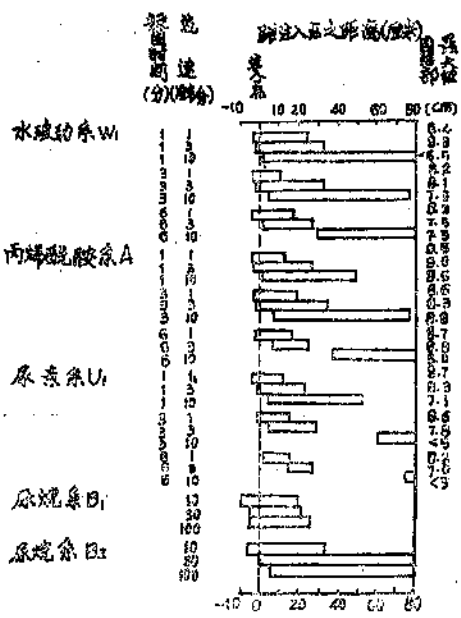


图-5 动水中之固结位置及形成(对时的各物浓度)

本实验中，未作尿素系及丙烯酸胺系的试验，有关灌注的固结性能文献中已阐明。此结果是与本实验在大致相同的条件下进行并与试验结果相互比较而得出的。

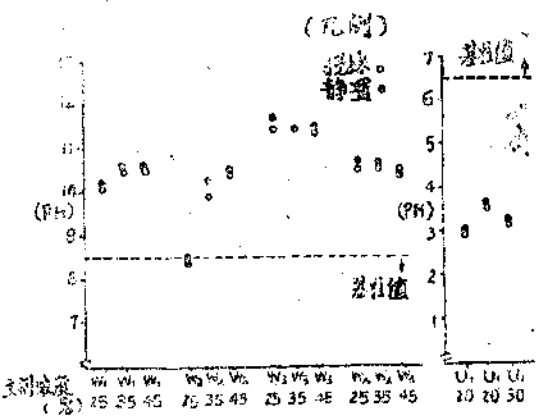


图-6 动水之固结水之PH值(过时的各物浓度)

建议采用：尿素系的 $HCHO$ 及 TOC 的流出率分别为19%、26%。丙烯酸胺系的丙烯酸胺单基物和 TOC 流出率分别是0.02~1.7%，0.5~2.3%。丙烯酸胺系与水玻璃系比较，前者在灌注时的固结性显然好。

4)、对动水的止水性：

药液也用于地基中流动地下水的止水目的。对于动水的止水性，也是药液的特性之一。图-5所示为动水、止水模型试验的代表性结果。根据这个结果，药液由注入点流入后，其固结受流动地下水的影响。此影响是水的流速越大，凝固的时间越长。正因为尿烷系和水一反应就固结，所以尽管地下水在非常激烈地流动着，也会在注入点附近固结。这清楚表明，用于止水是具有极大优越性的。

5)、固结物的再溶性：

固结物在地基中与地下水一接触，就使药液的部分成分在地下水中溶出。从对环境的影响及注入效果的持续性而言，是希望药液不由固结物中再溶出来。为了了解各种药液的固结物的再溶性，曾进行了固结物在水中的溶出试验。图-6所示为固结物 PH 值的代表性试验结果。该结果系最差情况下的结果，不表示在实际的地基中的再溶性，仅表示各种药液之溶解倾向。从该结果得知，水玻璃系药液固结物之浸渍液呈碱性($PH = 10 \sim 12$)，尿素系药液固结物的浸渍液呈酸性($PH = 3 \sim 4$)。在这方面，明确了丙烯酸胺系药液及尿烷系药液，对 PH 值并无大的影响。

2. 药液灌注材料研究目标的制定

从以上研究结果，在已使用过的各种药液里，明确了如下问题。水玻璃系药液，根据

硬化剂的不同种类,虽然固结土的强度变化为 $1\sim 6\text{ kg/cm}^2$,但不能达到代用尿素系药液那样的强度。从固结土溶出碱的问题,一般由于地基的缓冲作用,认为对环境的影响不太大,从环境条件、地基条件讲,决不是理想的。

丙烯酰胺系药液,在各种药液中浸透性最好,是从固结物溶出非常少的优良药液,但单基物是剧烈物质,在凝固时,一部分未反应的仍旧流出,这点尚存在问题。尿素系药液,浸透性也较好,固结土具有强度非常高的特点,是优良药液。但是,酸和福尔马林(译者注:即甲醛,防腐剂)从凝固时及凝固后的固结物中溶出,是个大缺点。尿烷系药液在流动水中固结,是很大的优点,是适用于紧急止水等特殊用途的药液。

因此,以对环境影响因素少的新的药液灌注材料的研究目标制定如下:

- a)、能制作高强度固结土的水玻璃系药液(轴压缩强度在 10 kg/cm^2 以上);
- b)、不溶出碱的水玻璃系药液;
- c)、不容出酸和福尔马林的尿素系药液;
- d)、不溶出单基物的丙烯酰胺系药液。

三、关于新的药液灌注材料基本性能的研究

作为对环境污染因素少的新的药液灌注材料,在制定的研究目标中,a)~c)达到目的的可能性大,也就是说:

①、作为高强度固结土的水玻璃系药液,从前年的实验结果明确,只有提高主剂水玻璃溶液的浓度,使用有机系硬化剂,才有可能增大固结土的强度。

②、关于不溶出碱的新的水玻璃系药液,已发展到许多种类,其中就有使碱含量降到最低的药液。

③、关于不溶出福尔马林和酸的尿素系药液,在分子薄浆协会的各团体进行了关于福尔马林和酸含量小的尿素系药液的试验研究,并作了很多种类的试制品。

因此,对于这些目标,究竟达到什么程度算完成了呢?同时药液能否保持其他物理力学性质呢?为了了解其基本性能而进行了实验。在实验中所采用药液的种类和掺合的标准,示于表一2。试制高强度固结土的药液(以下称“高强度水玻璃系药液”),以预备试验的结果作参考,采取对硬化剂水玻璃加碱和一个当量的乙醛酸为基本的掺合为例。不溶出碱的水玻璃系药液(以下称“中性水玻璃系药液”)大致区分为直接法(在水玻璃系药液中加入一个当量的碱使其凝固成为中性)。和间接法(在酸里缓慢加入一个当量的碱使其凝固成为中性)虽然现在研究的中性水玻璃系药液直接法有许多种类,但因其基本原理相同,所以在本实验中只抽出对凝固机构有直接关系的来掺合。关于尿素系药液在各种试验品里只举出福尔马林含量最少者为例。

1. 高强度水玻璃系药液

1)、研究目标的完成情况:

将标准砂用药液固结后的固结砂轴压缩强度示于图一7,假如主剂的水玻璃溶液浓度为35%,则得到 10 kg/cm^2 以上的强度,并明确了关于 W_{11} 、 W_{12} 、 W_{13} 的轴压缩强度大体能够达到研究目标。此外,主剂浓度如果为45%,则能得到 20 kg/cm^2 以上的压缩强度。

2)、其他性能:

如下面所述, 药液的其它基本性能, 与过去所用过的水玻璃系药液相比, 决不逊色。

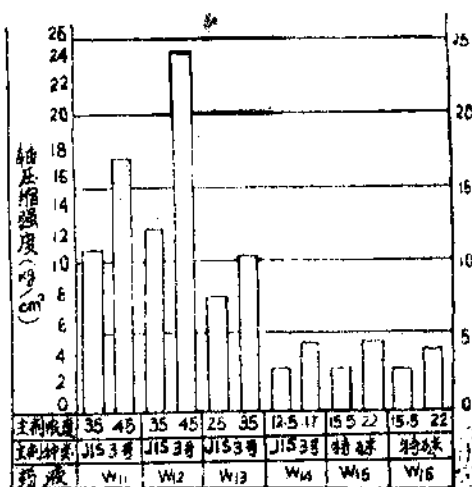


图-7 图结土强度(高强度及中性水玻璃系药液)

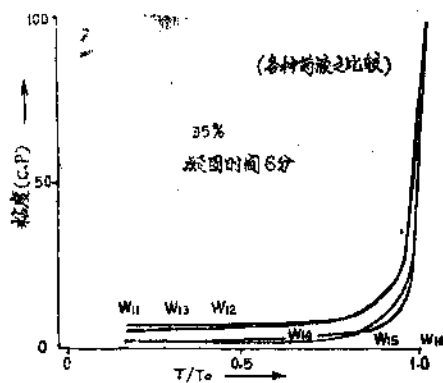


图-8 凝固曲线(粘度~时间)(高强度及中性水玻璃系药液)

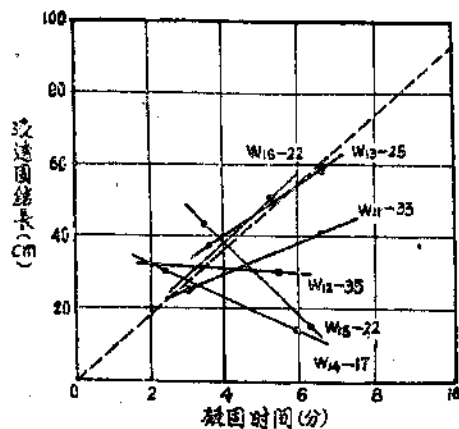


图-9 凝固时间与图结长度的关系(标准砂)

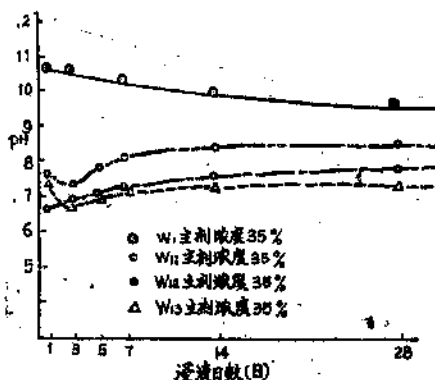


图-10 图结土浸渍水之PH(高强度水玻璃系药液)

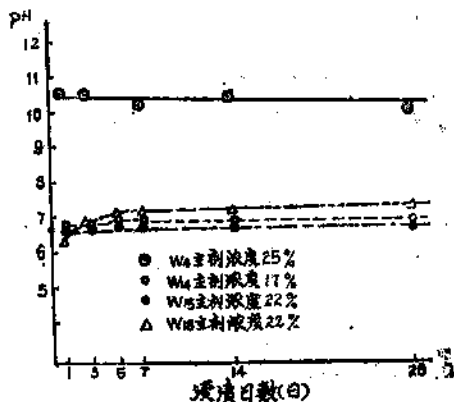


图-11 图结土浸渍水之PH(中性水玻璃系药液)

表—3 高强度及中性水玻璃系药液对密实砂之注入速度 (凝固时间6分)

药 液 (主剂浓度)	水的注入速度 V_1 (ml/min)	药剂的注入速度 V_2 (ml/min)	V_2/V_1
W_{11} (35%)	149	36.4	0.24
W_{12} (35%)	212	39.2	0.19
W_{13} (25%)	166	43.6	0.26
W_{13} (35%)	235	40.6	0.17
W_{13} (35%)	220	50.1	0.23
W_{14} (17%)	155	12.6	0.08
W_{15} (22%)	227	16.4	0.07
W_{15} (22%)	240	6.7	0.03
A (10%)	228	131.0	0.57

(a)、对地基的浸透性能:

主剂浓度为35%时凝固过程的粘度变化示于图—8。该结果,正因为主剂浓度高,以及保持了即将凝固时的初期粘度,所以浸透性不一定比预想的坏。用1.5 射击方式注入透水性较好(透水系数 10^{-2} cm/秒)的砂中,凝固时间和凝固范围如图—9 所示,除去 W_{12} 大致处于比例关系情况下,其他所示凝固的稳定性较好。另外,用一定的压力注入密实砂(透水系数 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/秒)时,注入速度如表—3 所示, W_{11} 、 W_{12} 、 W_{13} 所示的浸透性都没有比丙烯酰胺系的浸透性好。综合这些结果,对地基的浸透性与过去的水玻璃系药液相比决不逊色,索性明确列入浸透性好的种类。

(b)、固结物的再溶性:

固结土在水里浸渍时浸渍液的PH值如图—10所示,在7~8的范围内与过去的水玻璃系药液相比,盐基性碱的溶出极少,由水玻璃系药液形成高强度的固结土,同时使固结物成为中性也是能够达到目的的。

2. 中性水玻璃系药液

1)、研究目标的完成情况:

固结土在水中浸渍时浸渍液的PH值如图—11所示, W_{14} 、 W_{15} 、 W_{16} 都是7,完全能达到不溶出盐基性碱的目标。

2)、其他性能:

如下面所述,凝固的稳定性是比较担心的问题,但明显地具有与以前的水玻璃系药液大体相同的基本性能。

(a)、对地基的浸透性:

凝固过程的粘度变化如图—8所示,初期粘度也小,至凝固之前仍保持小的粘度,有预想的极好浸透性。可是,在疏松砂及密实砂中用1.5射击方式注入时的浸透试验,所得结果如图—9及表—3 所示。凝固的稳定性就差,用此法注入,浸透性不一定不好,从施工方法上应特别考虑这一点。

(b)、地基的强化特性

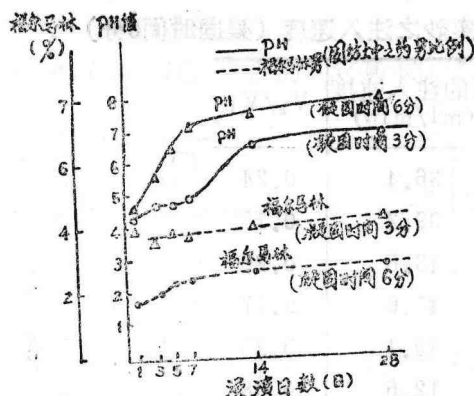


图-12 固结土浸渍液之PH值和福尔马林量 (低福尔马林型尿素系药液)

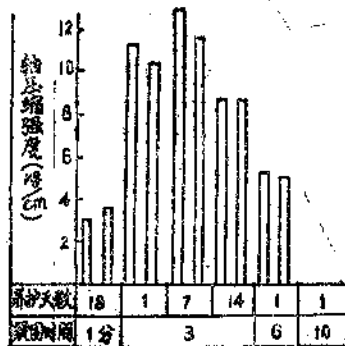


图-13 固结土的强度 (低福尔马林型尿素系药液)

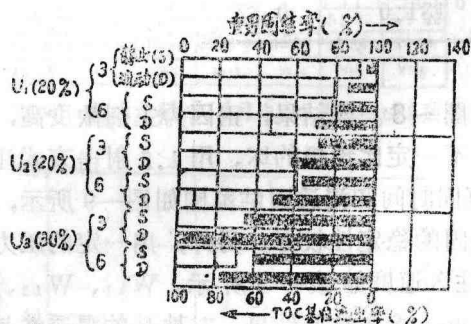


图-14 注入时的固结率和流出率 (低福尔马林型尿素系药液)

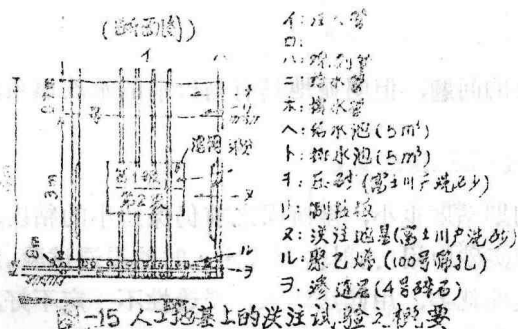
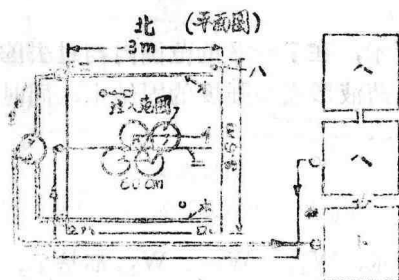


图-15 人工地基上的灌注试验之概要

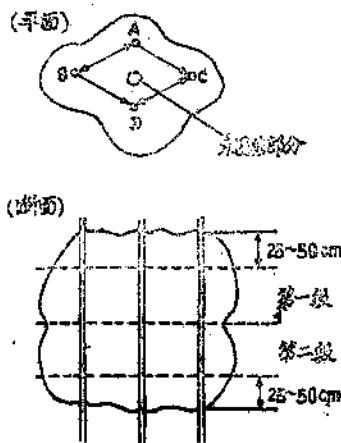


图-16 在坑槽内固结物之形状

将标准砂用药液固结后的固结砂轴压缩强度如图-7所示, 明显地具有与以前的水玻璃系药液大体相同的强度。

3. 低福尔马林型尿素系药液

1)、研究目标的完成情况:

固结土在水中浸渍时浸渍液的PH值和福尔马林量 (对使用药液量的比例), 如图-12所示, 与以前的尿素系药液 (PH 3—4, 福尔马林量 6~12%) 相比, 含量都变小了, 明显地达到了某种程度的目标。

2)、其他性能:

尿素系药液在形成高强度固结土这点上有其特长, 如下面所讲的, 以前的尿素系药

液的性能在强度这点上有大的损害。同时，注入时的固结性也极差，决不能作立用的药液，这仍是今后必需研究探讨的。

a)、地基的强化特性：

将标准砂用药液固结后的固结砂轴压缩强度如图—13所示，根据凝固时间的变化，凝固时间最短的和时间最长的轴压缩强度都显著地降低。

b)、注入时的固结率（收支）：

向砂中灌注药液量对固结物的比例（重量固结率）以及不固结的、由砂中或孔隙水中流出的药液成分的比例（TOC基准流出率），如图—14所示那样，固结率都差。

表—4 在人工地基注浆实验中使用药液的标准配比（每IL）

药液名		成 分	浓 度 (g/0.5L)
W _I	A	水玻璃JIS 3号	353.8
	B	NaCl氯化钠 乙二醇碳酸酯 KHCO ₃ 碳酸氢钾	9.0 21.0 21.6
W _{II} (25%)	A	水玻璃JIS 3号	353.8
	B	乙二醛（40%） 乙二醇碳酸酯	153.0 90.0
W _{III} (35%)	A	JIS 3号 水玻璃	495.3
	B	乙二醛（40%） 乙二醇碳酸酯	214.6 45.0
W _{IV}	A	水玻璃（特殊）	290.8
	B	NaHSO ₄ ·H ₂ O硫酸氢钠 H ₃ PO ₄ 磷酸	90.0 4.5
W _{IS}	A	水玻璃（特殊） H ₂ SO ₄ （70%）硫酸	290.6 65.0
	B	KHCO ₃ 碳酸氢钾	22.0
A	A	主剂 DMAPN	108.4 8.75
	B	K ₂ S ₂ O ₈ 硫代硫酸钾	5.0

4. 关于新的药液灌注材料实用性能的研究

对拟定的探讨目标有可能完成的。a)、高强度水玻璃系药液；b)、中性水玻璃系药液；c)、低福尔马林型尿素系药液，进行了有关其他基本性能的研究。结果，a)及b)都完全达到目标，药液的其他基本性能也和过去所用的水玻璃系药液相同甚至超过。那么，把这些药液用于实际工程灌注后得到的实用性能究竟如何？为了知道施工上到底存在哪些问题等等，在坑槽人工地基上进行了实际的灌注实验。用于实验的药液种类及掺合标准，列于表—4。

另外， W_1 及 A_1 代表过去曾用过的药液，以作比较对象。

(1) 人工地基和实验概要

如图—15所示，筑成长3m、宽3.5m、深4m的混凝土槽型（译者注：即混凝土框）人工地基，由间隔为60cm的4根注入管，用1.5射击方式注入药液，测出实际固结物的形状和重量以及固结土的强度。同时，为了弄清流向地基周围之药液所造成的污染影响，对槽的四角设置的监视孔进行了水质分析。

(2) 实验结果

1)、固结物的形状：

由四根注入管灌注后得到的固结物，形成大致如图—16的形状。因按A、B、C、D顺序灌注，在最后注入管D的外侧，鼓起形成大包状；在四根注入管的中央部分遗留

表—5 在人工地基中各种药液的固结物重量和重量固结率

药 液 名	W_1	$W_{11}(25\%)$	$W_{11}(35\%)$	W_{15}	W_{18}	A
注入药液量 (L)	558.3	414.1	388.2	366.6	380.7	419.4
固结物重量 (kg)	2,379.4*	3,181.9	3,225.7	3,488.7	3,127.0	3,255.7
重量固结率 (%)	91	154	167	195	165	132

* 因第一次实验中，固结土损坏，已不能完全收回。

表—6 在人工地基中各种药液固结物的单位体积重量和轴压缩强度

药 液 名		W_1	$W_{11}(25\%)$	$W_{11}(35\%)$	W_{15}	W_{18}	A
单位体积重量 (kg/cm ³)	平 均	—	2.12	2.12	2.05	2.09	2.01
	✓ 不偏分散	—	0.035	0.056	0.054	0.058	0.041
强 度 (kg/cm ²)	平 均	0.68	0.976	1.82	0.76	0.43	1.28
	✓ 不偏分散	0.236	0.47	0.73	0.28	0.21	0.391
	平 均	0.37~ 0.99	0.40~ 2.16	0.69~ 2.87	0.28~ 1.54	0.03~ 0.87	0.68~ 2.08

下部分未固结的地方。如果 W_{11} 、 W_{11} (25%和35%)及 A_1 比较均匀地注入, 注入的部分完全没有脉状。 W_{15} 及 W_{16} 在均匀注入之处则显示出脉状均质凝固的部分, 虽然地基条件完全相同但却形成脉状, 脉状的产生不单纯是由地基条件决定的, 而与药液的性质(凝固的不稳定性)有很大关系。

表—7 试模轴压缩强度比较

砂的种类		丰浦标准砂	富士川产洗砂		
药液名	孔隙率(%)	39	30	32.3	34.7
W_{11} (25%)	1		2.50	2.73	1.86
	2		2.66	2.78	1.98
W_{11} (35%)	1	10.55	4.97	4.58	5.05
	2	10.28	4.06	4.31	3.41
A	1	3.07	2.01	1.89	1.51
	2	2.16	2.60	1.70	1.82

2) 重量固结率:

各种药液固结物之重量及重量固结率如表—5所示。重量固结率比室内模型试验都变大。这是药液由于被孔隙水稀释而固结外, 未和砂中孔隙水完全置换, 残留某部分孔隙水之后固结的。特别是 W_{15} 及 W_{16} , 也许是因为凝固不稳定而重量固结率较大。此外, W_{15} 注入操作非常困难, 灌注管内每次凝固结束, 确保一定的凝固时间是非常困难的。

3) 凝固物的强度:

由固结物切出成型的供试验物体, 其试验结果如图—6所示。 W_{11} 、 W_{11} (25%及35%)与室内试验比较, 明显的只表示非常小的强度。因此, 采用富士川产的洗砂用于人工地基, 在与室内强度试验完全相同的条件下制成模型试体, 测定其强度。此结果, 如表—7所示, 在模型试体中, 用富士川的洗砂发现强度小; 砂的物理特征(形状、粘度等)对强度有大的影响。尽管如此, 高强度水玻璃系药液的 W_{11} (35%)相对地比其他药液所显示的强度大; 相反, 中性系的 W_{16} 的强度却变得非常小。再者, 与室内模型试体比较, 人工地基的固结物的强度小, 人工地基固结率相应更大了。实际地基固结物强度, 应考虑大大受到注入速度等注入条件及施工方法的影响。

4) 、周围地下水的影响:

人工地基四角监视孔的水质分析结果, 灌注药液对于监视孔的水几乎没有影响。

3. 实验结果汇总

在人工地基进行大规模试验的结果, 对高强度水玻璃系药液及中性水玻璃系药液的实用性, 得出结论如下:

1) 、高强度水玻璃系药液, 根据地基条件等, 室内试验虽未达到预想的强度, 但与其他水玻璃系药液相比相对讲有较大的强度, 不溶出碱、能均匀注入, 因此, 具有很

大的实用性。

2)、中性水玻璃的间接法不溶出碱,能形成比较均匀的固结物,但有部分的脉状产生,在实用时是属于施工上的问题;因此,有必要建立能够充分发挥药液性能的施工方法。中性水玻璃的直接法,本实验里与间接法得到大致相同的结果,但灌注操作非常困难;过去的1.5射击方式灌注,对实用注入施工法没有考虑,因而研究新的灌注技术是很必要的。

四、研究成果总结

总结以上成果,概括如下:

1.水玻璃系药液种类较多,性能的幅度也广。过去曾用过的水玻璃系药液,具有由固结物中溶出碱的性质;而本研究成果能得出不溶出碱的水玻璃系药液的掺合条件。此外,过去的水玻璃系药液对固结砂的轴压强度,最大限度是 6 kg/cm^2 ;本研究的成果,在得到 10 kg/cm^2 以上强度的固结物同时,得出了不溶出碱的水玻璃系药液的掺合条件。

2.丙烯酰胺系药液对地基的浸透性最好,凝固聚合反应率极高,从固结物再溶出单基物的量也少,因而对环境的影响也极少。可是,因药液的主剂丙烯酰胺单体是刺激物质,注入时阻止未反应部分流出的施工方法能否确立,以及这种药液能否使用,是必需选择的课题。

3.尿素系药液对地基的浸透性也比较好,是构成高强度固结物的优良药液;但最大的缺点是从固结物溶出酸和福尔马林。为了不溶出这些物质,进行了新的尿素系药液的试验研究;在现状中,虽然减少酸和福尔马林的溶出,但其结果使尿素系药液原来具有的特点大幅度减少,这是需要尔后进一步探讨研究的。

4.尿烷系药液虽对地基的浸透性差,但在动水中的固结物非常好,是适于紧急止水等特殊用途的药液。

五、结束语

药液灌注的施工法是很好的地基改良工程法之一,但对环境的影响这点还有很多问题,在药液灌注法的《暂定方针》里,到现在为止在性能方面被指定许可使用的只有水玻璃系药液。本研究的结果,与过去所使用的水玻璃系药液相比,发现了性能优良的新的水玻璃系药液的掺合条件,并了解了药液灌注材料的许多事实。

不过,实施不产生地下水污染、对环境有影响的药液灌注方法,选定适当的药液是必要的,而选定适合药液特性和地基条件的注入方法也是不可缺少的。关于药液灌注在1977年度就开始研究,总结施工方法的研究成果及本研究的结果,还期待建立新的药液灌注技术的实现。

作为本研究的共同研究者,国土开发研究中心有关诸君希望进一步进行研究,对本研究的计划及成果始终热心探讨的“药液灌注委员会”的委员、诸位干事,以及对承担实验的鹿岛建设技术研究所及建设技术研究所的有关诸君,表示深深的谢意!

译者:徐远芝

校者:黄礼顺 赵玉生

《药液灌注材料的试验研究》

· 内容简介 ·

本文系日本建设省土木研究所提出的地基药液灌注材料的试验研究报告。药液灌注在我国习惯称“化学灌浆”。方法简便易行，对于软弱或涌水的地基，由于灌注药液后产生的固结、止水作用，使地基条件迅速改善。因此成为地基改良工程中直接有效的方法。目前在很多国家被日益广泛采用。

文本对水玻璃系、丙烯酰胺系、尿素系及尿烷系等不同类型化学药液，进行了定性、定量的实际观测和试验，提出了不同性质药液的选配比例和防止地基及地下水污染的意见。因此，在我国实现“四化”过程中，对大量建筑工程的地基处理、改良、具有一定实用价值。

本文可供建筑工程的勘测、设计、施工人员及有关科技、教学工作者参考。

译者 徐远芝

译自日本《土木技术》1979年2月34卷第2号