

水泥搅拌桩浆喷法与干喷法的比较

李 刚 张留俊 蔡 宁 王福胜

(中交第一公路勘察设计研究院科研试验检测中心 陕西西安 710068)

摘 要 课题组采用南通、天津、连云港等处的软土, 进行水泥搅拌桩浆喷法与干喷法的配合比试验研究, 说明了水泥土在不同水灰比条件下的差异, 可在实际施工中使用, 根据不同的地质条件选定不同的施工方法及不同的水灰比。

关键词 水泥土 浆喷法 干喷法 水灰比 配合比试验 强度

水泥搅拌法分为水泥浆搅拌法和水泥粉搅拌法两种方法, 国内把水泥浆搅拌法又称为深搅桩, 水泥粉搅拌法俗称粉喷桩。粉喷桩由于不再向地基中注入附加水分, 反而能吸收周围软土中的水分, 因而加固后地基的初期强度高, 特别适用于含水量高的软土。但是该法施工质量不易控制, 特别是目前国产的粉喷桩机械只能保证 10 m 以内, 超过 10 m 时由于压力不够, 所以 10 m 以下掺灰量不能保证。而深搅桩是把水泥浆液直接注入土中, 容易搅拌均匀, 成桩质量较好, 适用于处理较深的软土。两种方法各有利弊, 为了给水泥搅拌桩的设计和施工提供经验, 课题组进行了水泥土浆喷法和干喷法的对比试验。

试验采用了南通三角洲相软土。南通软土一般为淤泥质低液限土, 颗粒组成相对较粗。该软土含水量较小, 约 30 % ~ 39 %, 呈软塑状。

鉴于该软土含水量相对较小, 如果采用粉喷桩(干喷法), 土体中没有足够的水使水泥粉湿润掺合及固化, 在实际施工中, 成桩效果会较差。所以设计采用了浆喷法的水泥搅拌桩。为了研究低含水量软土的规律性, 课题组进行了以下研究工作: (1) 水泥土浆喷法与干喷法的比较试验; (2) 浆喷法掺加外掺剂与不掺外掺剂的比较; (3) 水泥土浆喷法水灰比 0.5 与水灰比 0.4 的比较。配合比试验采用普通 32.5 级水泥, 掺灰数量分别采用 10 %、15 % 和 18 %, 外掺剂采用掺 2 % 木质素, 试验龄期分别采用 7d、28d 和 90d, 试验结果见表 1 与图 1、图 2、图 3。

1 低含水量软土浆喷法与干喷法的比较

表 1 南通软土配合比试验成果汇总表

方法	掺灰数量			无侧限抗压强度/MPa		
	水泥/%	减水剂/‰	水灰比	R_7	R_{28}	R_{90}
干喷法	10			0.27	0.95	1.70
浆喷法	10		0.5	0.18	0.67	1.30
浆喷法	10	2	0.5	0.12	0.70	1.05
浆喷法	10	2	0.4	0.18	0.64	1.30
干喷法	15			0.32	1.43	2.31
浆喷法	15		0.5	0.21	1.10	2.50
浆喷法	15	2	0.5	0.20	1.12	2.30
浆喷法	15	2	0.4	0.30	1.29	2.10
干喷法	18			0.62	1.95	3.48
浆喷法	18		0.5	0.31	1.85	3.00
浆喷法	18	2	0.5	0.25	1.68	3.50
浆喷法	18	2	0.4	0.21	1.78	3.40

试验结果表明

(1) 该水泥搅拌桩的设计桩体强度为 R_{28} 不小于 0.8MPa, 根据配合比试验结果, 实际施工掺灰数量应控制在 10 % ~ 15 % 之间, 建议采用 12 %

为宜。

(2) 从比较中可以看到: 对于低含水量软土来说, 和干喷法相比, 水泥土浆喷法在 7d 和 28d 的无侧限抗压强度较低, 但到 90d 时浆喷法强度基

本与干喷法相近似,甚至浆喷法 90d 的强度还略大于干喷法。说明了在浆喷法中,水泥和土得到充分的搅拌,可以充分地发挥了水泥的作用。由于土中水分充分,易溶于水的水化物游离出来,水泥颗粒

继续发生水化反应生成凝胶体,从而增加土的粘结力。而干喷法土中自由水较少,就会有部分水泥颗粒不能水化,不能起固化剂的作用,而影响桩的强度。

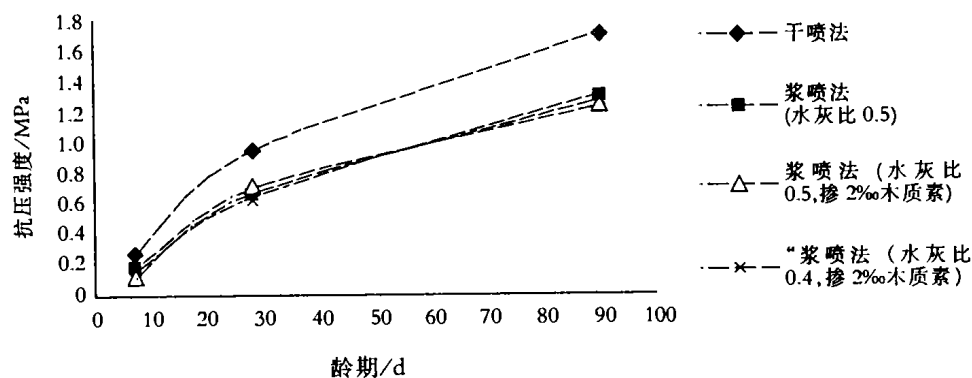


图 1 水泥石浆喷法与干喷法比较 (南通软土掺灰量 10%)

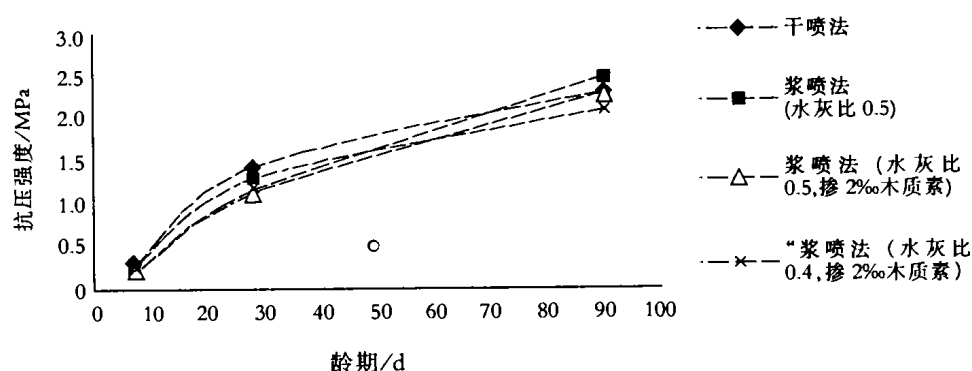


图 2 水泥石浆喷法与干喷法比较 (南通软土掺灰量 15%)

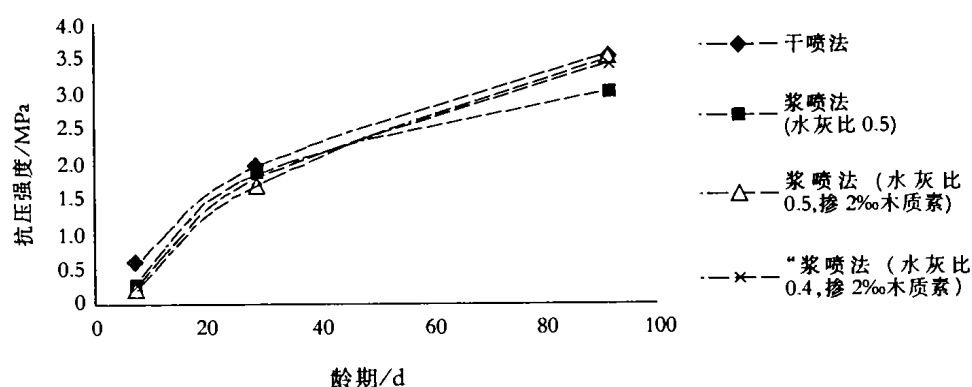


图 3 水泥石浆喷法与干喷法比较 (南通软土掺灰量 18%)

(3) 浆喷法水灰比采用 0.4 与 0.5, 其强度相差不大, 可以根据实际施工的需要掌握。

(4) 采用掺 2‰木质素的方法, 效果不太明显, 实际施工中可以考虑其它外掺剂。

2 一般软土随着水灰比变化的水泥石强度变化规律

试验采用了连云港和天津等两处滨海相软土做为一般软土的代表 (区别于低含水量软土), 其天然含水量约 55% ~ 78%, 为淤泥和淤泥质高液限黏土, 呈流塑状。

鉴于该两种软土含水量较大, 一般施工都会采用干喷法, 为了比较, 课题组同时进行了浆喷法的对比试验, 并且采用了 0.5 和 0.8 两个水灰比试验

结果如表 2 和图 4、图 5、图 6、图 7、图 8、图 9。

表 2 一般软土水泥土强度的变化规律表

水泥土状况	龄 期 /d	水 灰 比				
		0	0.5		0.8	
		强度 /MPa	强度 /MPa	强度降 低/%	强度 /MPa	强度降 低/%
天津土 掺灰量 10%	7	0.60	0.48	0.20	0.42	0.30
	28	1.12	1.00	0.11	0.88	0.21
	90	1.96	1.50	0.23	1.20	0.28
天津土 掺灰量 15%	7	0.71	0.68	0.04	0.55	0.22
	28	1.64	1.26	0.23	1.04	0.36
	90	2.19	1.96	0.10	1.48	0.32
天津土 掺灰量 18%	7	1.05	0.82	0.22	0.68	0.35
	28	1.92	1.57	0.22	1.33	0.31
	90	3.22	2.50	0.02	1.96	0.39
连云港土 掺灰量 10%	7	0.50	0.49	0.02	0.47	0.06
	28	1.12	1.10	0.02	1.01	0.10
	90	1.91	1.58	0.17	1.53	0.20
连云港土 掺灰量 15%	7	0.82	0.81	0.01	0.41	0.50
	28	1.96	1.84	0.06	1.03	0.47
	90	3.33	3.21	0.04	1.88	0.43
连云港土 掺灰量 18%	7	1.28	0.59	0.53	0.57	0.55
	28	2.72	1.52	0.44	1.26	0.53
	90	4.65	2.25	0.51	2.06	0.55

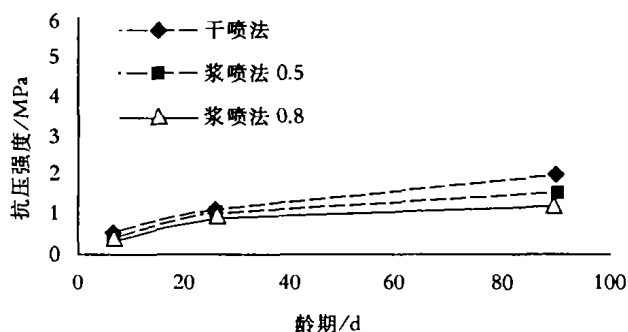


图 4 水灰比对水泥土强度的影响 (天津软土掺灰量 10%)

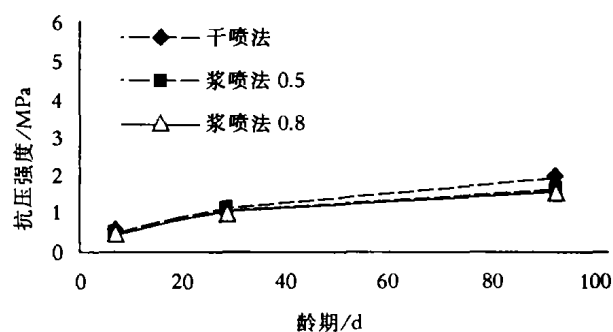


图 7 水灰比对水泥土强度的影响 (连云港软土掺灰量 10%)

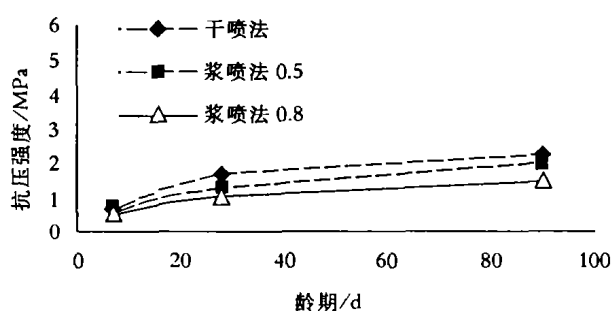


图 5 水灰比对水泥土强度的影响 (天津软土掺灰量 15%)

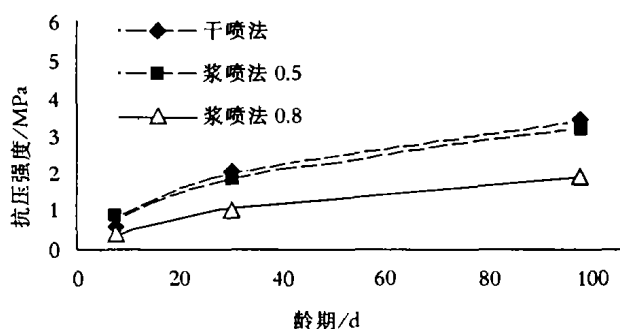


图 8 水灰比对水泥土强度的影响 (连云港软土掺灰量 15%)

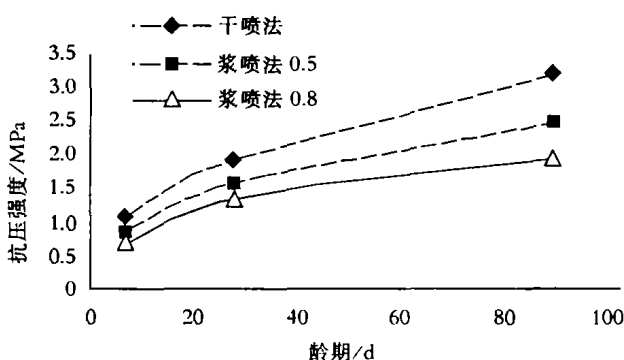


图 6 水灰比对水泥土强度的影响 (天津软土掺灰量 18%)

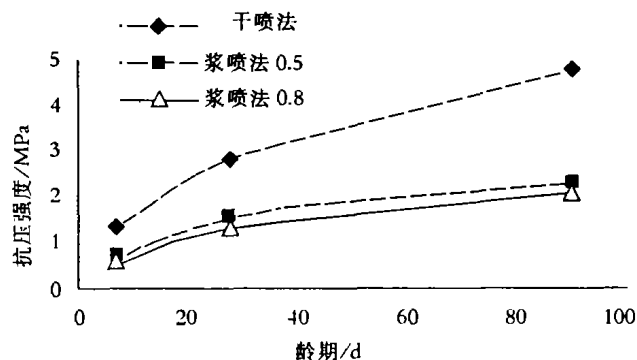


图 9 水灰比对水泥土强度的影响 (连云港软土掺灰量 18%)

比较试验说明,一般软土地区,浆喷法的水泥 喷法平均降低约 35 %。
土强度小于干喷法,降低比例:浆喷法水灰比 0.5 浆喷法中采用不同水灰比后,水泥土中的含水
的强度比干喷法平均降低约 16 %;水灰比 0.8 比干 量、密度及孔隙比均发生变化,见表 3。

表 3 不同水灰比的水泥土物理力学性质的变化表 (连云港软土)

试验条件		含水量 /%	密度 / (kN · m ⁻³)	比重 (加权值)	孔隙比	7d 强度 /MPa
干喷法 (掺灰量 10%)		57.3	16.6	2.773	1.60	
干喷法 (掺灰量 15%)		57.0		2.787	1.61	
干喷法 (掺灰量 18%)		55.7		2.795	1.62	
浆喷法 (掺灰量 10%)	水灰比 0.5	70.1	15.8	2.773	1.98	0.67
	水灰比 0.8	76.1	15.6	2.773	2.11	0.60
	水灰比 1.0	79.1	15.5	2.773	2.20	0.46
浆喷法 (掺灰量 15%)	水灰比 0.5	58.9	15.7	2.787	1.81	1.18
	水灰比 0.8	64.2	15.7	2.787	1.88	1.00
	水灰比 1.0	64.8	15.6	2.787	1.96	0.76
浆喷法 (掺灰量 18%)	水灰比 0.5	56.2	15.9	2.795	1.75	
	水灰比 0.8	63.4	15.6	2.795	1.92	
	水灰比 1.0	65.9	15.4	2.795	2.01	

从表中可以看出,随着浆喷法水灰比的增加,含水量逐渐增大,密度减小,孔隙比逐渐增大,导致水泥土强度减小。所以在实际施工中,水灰比应小一点,但是水灰比过小,将导致施工困难,施工中水灰比的取值应由试验确定。

同时,在水泥土成型到脱模成桩过程中,没有发生由于水灰比过大而引起的过大的体缩现象。说明在实际施工的浆喷过程中,一般不会发生沉桩现象。

尽管一般软土浆喷法的强度低于干喷法的强度,但也应看到,设计的水泥搅拌桩桩体强度一般约 0.8 MPa,试验表明,水泥土强度远远大于 0.8 MPa,即使掺灰量用 10 %,其强度也大于设计值,还是可以满足设计值要求的。同时必须强调的是,在实际施工中,浆喷法的搅拌要比干喷法的搅拌均匀的多,而搅拌是否均匀直接关系到桩的强度,对这一因素必须充分估计到。

3 水灰比

水泥搅拌土的水灰比是指在水泥搅拌桩中加水量与掺灰量的重量比,实际是浆喷法在搅拌前水泥浆的水灰比。由于软土中本身含有大量的水分,浆喷法在水泥土中存在的水灰比要比水泥浆中的水灰比大得多,同时,在干喷法虽然没有加水,但在干喷法的水泥土中实际也存在一个“水灰比”,我们在研究干喷法与浆喷法的关系时,引进一个“水泥土水灰比”,以区别前一个“水泥浆中水灰比”的概念。

令:

w 表示软土天然含水量;

m_1 表示湿土重;

C 表示掺灰量;

B 表示水泥浆的水灰比(按 0.5 计)。

则水泥土的水灰比可按(1)式计算。

$$\begin{aligned} \text{水泥土的水灰比} &= \frac{\text{水重}}{\text{灰重}} \\ &= \frac{B \times (m_1 \times C) + \frac{0.01 \times w \times m_1}{1 + 0.01 \times w}}{m_1 \times C} \\ &= B + \frac{0.01 \times w}{C \times (1 + 0.01 \times w)} \quad (1) \end{aligned}$$

福建、连云港、南通、天津四处软土不同掺灰量的水泥浆水灰比与水泥土水灰比见表 4。

从表 4 可以看出:一般浆喷法水灰比取 0.5,但实际水泥土的水灰比远大于该值。随着掺灰量的增加,水泥土的水灰比在逐渐减小。

由施工实践得知,浆喷法的优点在于(1)水泥能够充分水化,在施工中,能够充分发挥水泥的作用;(2)施工质量易于控制和保证;(3)可以进行较深的桩的施工。尽管水泥土试验的结论认为,浆喷法的强度低于干喷法的强度,但是也应看到,上述结论是在室内水泥土同样充分搅拌均匀的条件下得到的,而大量施工实践证明浆喷比粉喷搅拌得更均匀,所以喷浆与喷粉相比,其水泥的利用率更高,这一点足以抵消浆喷法增加水分引起水泥土强度的降低,由于以上原因,应该尽量推崇使用浆喷法,象以上试验的四种软土,水泥土试验表明均可采用浆喷法(最

槽式挡墙在京九线 下穿立交引道工程中的应用设计

李锁平

(铁道第一勘察设计院地路处 甘肃兰州 730000)

摘 要 槽式挡墙是一种新型轻型的支挡结构,能够将路基挡护工程和地基防渗处理有机地融合于一体的整体结构,能有效地提高路面的结构强度和延长路面的使用寿命,具有进一步推广的价值。

关键词 应用条件 设计标准 发展趋势

京九铁路龙东段增建二线的工程建设中,将原平交道口全部封闭改为立交工程。陈江镇堤塘村道口和谢岗镇谢岗围村道口地处经济繁华区,地理位置特殊,经铁路部门与两地方政府多次协商达成共识。二者要求共同点:下穿立交通过铁路路基,机动车道与非机动车道分离,路面混凝土硬化,设泵站抽排水,加强路基、路面防水及安全防护工作。针对地方政府及建设指挥部的要求,经技术论证分析,槽式挡土墙是比较合理、可行的支挡防护形式。

1 槽式挡墙应用条件

槽式挡墙由立臂和底板两部分构成的整体结

构,两侧立臂通过底板相互作用及本身的抗剪性能来维持两侧的受力平衡。它是将路基支挡工程与路面结构防渗处理工程相结合的有效措施,主要应用于地势平缓(或低洼)、降水量较大、地下水位较高、地基承载力较低、挡护高度不大(一般低于6.0 m)、石料来源比较困难的下穿立交路基挡护工程中。K2282+982、K2297+136两处立交工程地处断陷盆地及山麓河湖冲积平原区,地势平缓,地下水位较高,属亚热带海洋性季风气候,雨量充沛,年平均降雨量达1 720.2~1 943.6 mm;引道路路基下挖达5 m之多,地基土层均为砂黏土,黏性较大,承载力较低($\sigma_0 = 150$ kPa);而铁路两侧均为经济区,石料运距较远;机动车道与非机动车道

大含水量达77.5%),所以,我们认为,除含水量特别大的软土(大于70%),一般应优先考虑浆喷法。

表4 “水灰比”与“实际水灰比”比较表

掺灰形式	水泥土的水灰比分类	福建软土 $w = 70.6\%$	连云港软土 $w = 77.5\%$	南通软土 $w = 36.7\%$	天津软土 $w = 60.7\%$
干喷法 (掺灰量 10%)	水泥浆的水灰比	0	0	0	0
	水泥土实际水灰比	4.1	4.4	2.6	3.8
浆喷法 (掺灰量 10%)	水泥浆的水灰比	0.5	0.5	0.5	0.5
	水泥土实际水灰比	4.6	4.9	3.1	4.3
干喷法 (掺灰量 15%)	水泥浆的水灰比	0	0	0	0
	水泥土实际水灰比	2.8	2.9	1.8	2.5
浆喷法 (掺灰量 15%)	水泥浆的水灰比	0.5	0.5	0.5	0.5
	水泥土实际水灰比	3.3	3.4	2.3	3.0
干喷法 (掺灰量 18%)	水泥浆的水灰比	0	0	0	0
	水泥土实际水灰比	2.3	2.4	1.5	2.1
浆喷法 (掺灰量 18%)	水泥浆的水灰比	0.5	0.5	0.5	0.5
	水泥土实际水灰比	2.8	2.9	2.0	2.6