

南四湖节制闸扩建工程地基液化压密注浆材料试验

方元龙 孙立平 徐小松

(淮河水利委员会沂沭泗水利管理局,江苏 徐州 221009)

摘要 南四湖二级坝第三节制闸扩建工程地基有液化的可能,根据勘探资料,对可液化地基的加固方法进行了比较,通过灌浆加固后取样的水泥含量、无侧限抗压试验等对比研究,对纯水泥浆和水泥与黏土等 4 种不同配合比灌浆材料的可行性进行了研究,推荐了实际工程加固的施工工艺参数。工程实施情况表明,选择的灌浆材料是可行的。

关键词 地基液化;灌浆;水泥;无侧限抗压试验

中图分类号:TV223.3+4 文献标识码:A 文章编号:1006-764X(2007)04-0074-03

Experimental study on grouting materials for liquefied ground consolidation in Nansihu floodgate extension project//FANG Yuan-long, SUN Li-ping, XU Xiao-song(Water Conservancy Administration of Yi-Shu-Si River Basin of the Huaihe River Commission, Xuzhou 221009, China)

Abstract :In consideration of the fact that ground liquefaction might occur in the second floodgate extension project of Nansihu grade- II dam, the consolidation methods for the liquefiable ground were compared based on the investigated data. By cement content and unconfined compression tests on samples after grouting consolidation, a feasibility study was performed on 4 kinds of grouting materials, such as pure cement mortar, cement and clay, etc. with different mixing ratios, and rational construction parameters were recommended. The results show that the recommended grouting materials are feasible.

Key words :ground liquefaction; grouting; cement; unconfined compression test

南四湖二级坝第二节制闸是 20 世纪 60 年代兴建的中大型水利枢纽工程,现根据防洪、水运和公路交通的需要进行扩建改造。

根据勘探报告,闸基下伏地层中的③层含土砾质中粗砂的黏粒含量偏低,标准贯入击数低于地震液化标准贯入击数临界值^[1],在地震基本烈度Ⅶ条件下有产生地震液化的可能性,具体见表 1。拟定的地基液化处理方案为采用分割围封的方法处理闸地基液化,并在局部采用压密注浆处理,以改善其抗液化性能,同时提高地基承载力。

表 1 闸基砂性土液化判别

钻孔 编号	贯入 深度/m	水位/ m	黏粒质量 分数/%	N_0	$N_{cr}/$ 击	$N_{63.5}/$ 击	液化 判别
ZK4	6.2	0	13.6	6	4.2	11.0	不液化
ZK5	6.1	0	4.4	6	7.5	7.0	液 化
ZK7	5.6	0	7.4	6	5.6	5.0	液 化
ZK8	5.1	0	7.4	6	5.4	8.0	不液化
ZK9	5.1	0	3.1	6	8.3	10.0	不液化
ZK12	5.4	0	5.9	6	6.2	13.0	不液化
ZK12	6.4	0	5.9	6	6.6	15.0	不液化

1 注浆的可行性

1.1 压密注浆材料的选择

注浆材料的选择是压密注浆施工的关键问题。

注浆工程中所用的材料由主剂(原材料)、溶剂(水或其他溶剂)或添加外加剂混合而成。由于注浆的目的是为了提高土体抗液化的性能,根据地质钻探资料和试验资料以及现场施工的实际情况,注浆材料可以选择水泥浆、水泥黏土浆、水泥黏土浆加外加剂等浆液。

根据工程的实际情况,取 4 种不同配合比的注浆材料进行试验研究,配合比方案见表 2。

表 2 注浆材料试验配合比

试验 方案	注浆 材料	注浆材料 质量配合比	水 灰 比	浆液 总质量/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$)	注浆 试验孔 孔号	试验 区域
方案一	纯水泥	1.0	0.5	55	1~5	ZK7 附近
方案二	水泥+ 黏土	0.8:0.2	0.5	65	6~10	ZK7 附近
方案三	水泥+ 黏土	0.4:0.6	0.48	75	11~15	ZK5 附近
方案四	水泥+ 黏土+ 水玻璃	0.4:0.6: 0.012	0.48	75	16~20	ZK5 附近

1.2 试验孔及取土孔布置

每种浆液材料做 5 孔注浆试验孔,总共 20 个注浆试验孔。试验孔之间的距离为 4.0 m,以保证各个试验孔不相互影响。由于工期较紧,在注浆试验开

始后,高压摆喷围封施工同时进行,对注浆试验孔产生一定的影响,其中第3、8、11、16号注浆试验孔由于和高压摆喷围封孔相重合而受到较大影响。

在注浆试验完成后,为了了解注浆在液化地基土层的分布,在每个试验点旁边钻孔取样,土样主要取埋深为4~6m的③层含土砾质中粗砂,即可液化土层,取样孔的间距分别为0.6m、1.2m、2.0m,少量试验孔还在距离试验孔4.0m处钻孔取样,取样后做物理力学性质试验和动力三轴试验。同时为了便于对比,将距离注浆孔5.0m以外的土体视为不受注浆施工影响的区域,在此区域内取得不受注浆影响的原状土样,做相应的物理力学性质试验及动力三轴试验。

1.3 压密注浆方案对比试验方法

在注浆试验后,注浆主要对地基土中③层含土砾质中粗砂产生影响,因此对此土层注浆前后的物理力学性质进行了对比试验,同时,为了验证水泥浆注浆的有效性,还做了土样的水泥质量分数试验。

依据GB/T 50123—1999《土工试验方法标准》^[2],对二级坝第二节制闸地基压密注浆试验后的土样进行了物理、力学参数检测。主要试验项目有相对密度试验、密度试验、含水率试验、无侧限抗压强度试验、含泥率试验等。另外,考虑到水泥浆对土颗粒有胶结作用,从而对土体颗粒的分布产生影响,还对土样中的氧化钙(CaO)质量分数进行测定,采用GB/T 1574—1995《煤灰成分分析方法》^[3]进行试验,并通过相应的计算,得到土样中水泥质量分数,由此得到土体中黏粒质量分数的变化规律,氧化钙质量分数的测量主要是对水泥用量较多的方案一和方案二来进行。

相对密度试验采用比重瓶法测定。密度用环刀法测定,对于水泥质量分数较高、强度较大的土样,无法用环刀切取土样测定密度,则直接从土样筒内取出土样,测定土样的高度和直径,计算密度。含水率用烘干法在105~110℃温度下烘8h以上测定。

无侧限抗压强度试验所用试样有两种,一是直接用整筒样(直径8cm、高20cm左右)做试验,试验之前试样上下面作处理打平;二是对水泥质量分数较小且水泥凝固时间较短的试样,拆开后,试样不能成形,这时,先用环刀测定密度,然后将相应土样按测得的密度重新击实成直径3.91cm、高8cm的试样用于试验;另外还进行了室内制备龄期7d和28d的饱和样及干样的无侧限抗压强度试验,采用原状土配5%水泥的方法制样,直径3.91cm,高度8cm。

含泥率测定方法如下:称取一定质量的土样,烘干得到干土质量,再用水洗,将土洗掉,过0.075mm筛,烘干,测得残余砂的质量,由此可以得到失去土的质量。所失土的质量与原干土质量之比即为土样的含泥率。

水泥质量分数由土样中氧化钙(CaO)质量分数的试验结果推算得到。

1.4 试验结果及分析

在注浆之前,土体为砂土,可以认为土样中不含游离的钙,因此氧化钙试验中得到的钙元素可以认为是由于水泥浆的注入而产生的。现场注浆试验后所取土样的室内氧化钙质量分数测定试验结果如表3所示。根据氧化钙在水泥中所占比例,则由试验所得到的氧化钙质量分数就可以推算到土样中的水泥质量分数。由文献[4]可知,普通硅酸盐水泥中氧化钙质量分数一般为60%,因此根据氧化钙试验的结果,可以氧化钙质量分数除以60%来计算土样中的水泥质量分数。

表3 土样中氧化钙质量分数试验结果					
试样编号	距灌浆孔距离/m	氧化钙质量分数/%	试样编号	距灌浆孔距离/m	氧化钙质量分数/%
1-1	0.6	9.19	7-1	0.6	2.11
1-2	1.2	3.80	7-2	1.2	3.71
1-3	2.0	1.88	7-3	2.0	2.02
1-4	4.0	2.94	10-4	4.0	1.91

土体中的水泥及黏粒质量分数沿水平距离的变化试验中,土体中的水泥质量分数是根据氧化钙质量分数除以60%计算得到的,土体中黏粒质量分数是根据水泥质量分数与初始的黏粒质量分数(即表1中ZK7钻孔的黏粒质量分数)相加得到的。结果表明(见图1和图2),方案一中,土体中的水泥质量分数以及黏粒质量分数基本上随着到注浆孔水平距离的增大而减小,只是在距离注浆孔4.0m的位置,水

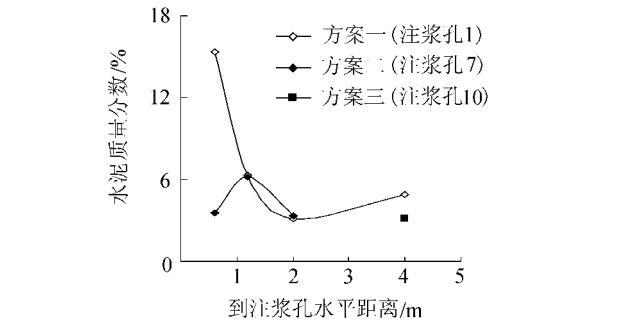


图1 注浆后土体中水泥质量分数沿水平距离的变化

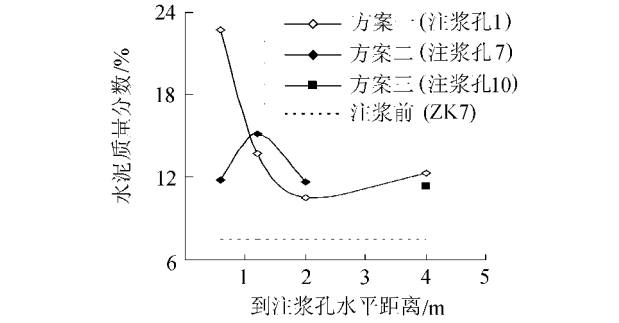
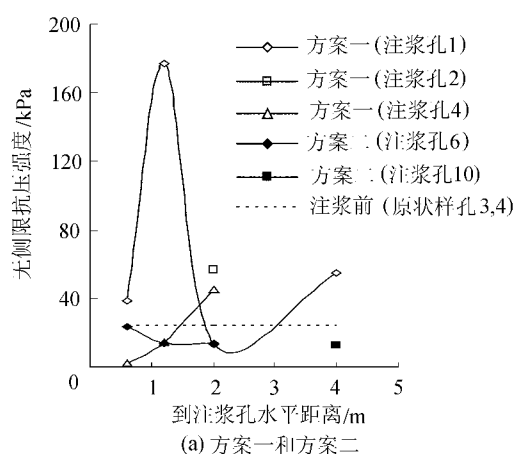


图2 注浆后土体中黏粒质量分数沿水平距离的变化

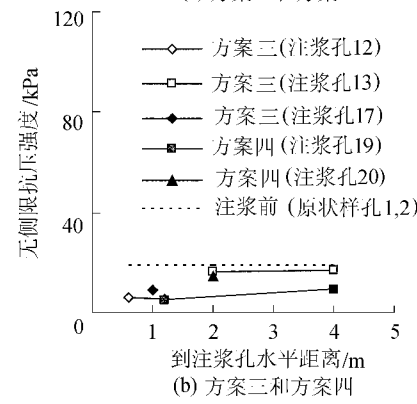
泥质量分数及黏粒质量分数稍有增加。方案二中,土体中的水泥质量分数以及黏粒质量分数随着水平距离变化规律较为复杂,水泥及黏粒质量分数最大值在距离注浆孔 1.2 m 处,而其他区域内的水泥及黏粒质量分数的变化不大。两种方案的结果表明,纯水泥浆的注入与水泥黏土浆的注入相比,能够更好地增加可液化土体的水泥质量分数和黏粒质量分数。

根据注浆后土体中小于 0.075 mm 的土颗粒(粉粒)质量分数与注浆孔水平距离的试验结果可知,在注浆之后,土体中的粉粒质量分数变化比较复杂。所有方案中,土体中的粉粒质量分数与注浆前相比均有明显的降低,说明浆液中水泥的加入使得土体当中的细颗粒产生胶结。

根据注浆后 28 d 土体无侧限抗压强度沿水平距离的变化试验结果可知(图 3),在 ZK7 附近,方案一中,土体的无侧限抗压强度总体上有较大提高,在距离注浆孔 0.6 m 和 1.2 m 的区域内,土体无侧限抗压强度提高相对较大,而在距离注浆孔 2.0 m 和 4.0 m 的区域内,土体无侧限抗压强度提高相对较小。方案二中,土体的无侧限抗压强度总体上均比注浆前有所降低。在 ZK5 附近,方案三和方案四中,土体无侧限抗压强度比注浆前稍微降低。这可能是由于各种方案中水泥与黏土质量分数的不同所导致的。



(a) 方案一和方案二



(b) 方案三和方案四

图 3 注浆后 28 d 土体无侧限抗压强度沿水平距离的变化
水泥浆的注入应该会提高土体的无侧限抗压强度

度,黏土浆液的掺入会对土体无侧限抗压强度产生较大影响。虽然在注浆压力的作用下土体的无侧限抗压强度会减小,但纯水泥浆的凝结时间最短,因此在注浆 28 d 后土体的无侧限抗压强度就得到了较大提高,平均的无侧限抗压强度为 50.2 kPa,为原有强度的 2.1 倍。而随着黏土浆液掺入量的增加,注入浆液和原有土体颗粒之间的凝结时间也会增加,在注浆 28 d 后,掺有黏土浆液的注浆方案试验区域内的土体无侧限抗压强度都没有能够得到明显的恢复和提高,而水玻璃的掺入对土体无侧限抗压强度的影响较小。

2 初步结论

综上所述,采用压密注浆方法来处理闸基中含土砾质中粗砂层,可以改善土体的物理力学特性,砂土层的湿密度、干密度都有一定程度的提高,同时土体的无侧限抗压强度也可以得到一定的提高。

从 4 个方案的对比分析中可以看出,采用纯水泥浆液的施工方案具有以下优点:①短时间内土体无侧限抗压强度得到了较大提高,这能很好地解决施工工期紧迫的问题;②可灌性强,与其他方案相比,水泥质量分数沿水平距离分布较为均匀;③纯水泥浆注浆后,土体的湿密度和干密度均有所提高。另外考虑到现场施工中纯水泥浆的施工相对较为简单,因此在压密注浆的施工方案中采用纯水泥浆方案。具体施工参数如下:

a. 浆液的配合比。考虑到工程工期安排较紧的实际情况,建议采用 32.5R(原标准为 425 号)硅酸盐水泥制成的水泥浆,水灰比取 0.5,不需要添加水玻璃。

b. 注浆指标。注浆施工压力取 0.2 ~ 0.3 MPa,终注压力为 0.8 MPa。

c. 注浆成孔工艺。采用钻孔套管护壁灌浆,边钻孔边打入护壁套管,直至预定的灌浆深度,接着下入灌浆管,然后拔套管灌注第一灌浆段,再用同样的方法灌注第二段及其余各段,直至孔顶。

d. 注浆孔的深度、间距和平面布置形式。根据试验结果分析,建议注浆孔的深度取 7.5 m,间距取 2.0 m,平面上采用等边三角形布置,即保证每个注浆孔的有效处理范围为 1.0 m。

参考文献:

[1] GB/T 50287—1999 水利水电工程地质勘探规范[S].
[2] GB/T 50123—1999 土工试验方法标准[S].
[3] GB/T 1574—1995 煤灰成分分析方法[S].
[4] 吴科如,张雄.建筑材料[M].上海:同济大学出版社,1996.

(收稿日期 2006-04-30 编辑:熊水斌)