

三峡二期围堰风化砂推填过程的模型研究*

燕 琳 李世海

(中国科学院力学研究所,北京 100080)

摘 要 三峡二期围堰堰体材料参数是影响防渗墙变形的主要因素,其中风化砂的密度和级配变化对确定材料参数有直接影响,本文以三峡二期围堰为背景,通过量纲分析,实验模拟了围堰的推填过程,结果表明,风化砂在坡面上的滑动速度非常缓慢,在推填过程中发生的自然筛分不利于围堰的后期排水固结,此外振动还可导致水中砂体的自然休止角下降。

关键词 风化砂,围堰,散体,级配

中图法分类号: TU432 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-3152(2002)04-0040-03

1 前言

七五期间国内先后有多家单位对三峡二期围堰的应力应变进行数值分析,计算结果表明^[1],防渗墙的变形主要取决于堰体的变形。作为主要的堰体材料,风化砂的密度和级配变化对整个堰体材料参数有直接影响,为此,长江科学院^[2,3]在七五期间对二期围堰填料特性进行了广泛和深入的研究,取得了大量的研究成果,对确定堰体的基本力学参数有重要意义。另一方面,由于围堰是以陆上推填方式构筑而成,研究围堰形成过程中不同深度的风化砂颗粒密度及级配变化,对确定堰体材料参数也是一个值得慎重考虑的问题。

本文通过试验模拟了围堰的推填过程,观察比较了有水和无水推填的差异,以及振动对自然休止角的影响。试验结果表明,砂体颗粒在斜面上运动时,较粗的颗粒向坡底运动较快,细颗粒砂运动的慢一些,结果导致细颗粒的砂更多地滞留于围堰上部,这一结果不利于围堰的后期排水固结,另一方面,水介质对砂体滑动的影响主要表现在水增加了滑动的阻力,降低了砂体的滑落速度,此外,振动还会导致水中砂体自然休止角的下降。

2 试验原理与试验装置

松散体的强度是通过颗粒间的摩擦体现出来的,一旦在运动过程中主动力超过它的摩擦力,散体就会像流体一样流动起来。此时散体所受主动力仍是重力,而阻力就是颗粒间的摩擦力,这两种力在满足几何相似条件下也是相似的。因此,在无水状态下,只需满足几何相似条件就可以保证模拟的运动状况相似。当散体滑动是在水中进行时,除了上述两种力外,散体滑动还要受到水的粘性阻力,用量纲分析的方法,此时独立的物理量分别有:表示滑动散体尺寸的长度 L 与高度 H,散体的密度 ρ_s 及颗粒尺度 d、散体的内摩擦系数 f 以及重力加速度 g,水的密度 ρ_w 和粘性系数 μ 。根据 定理,这 8 个独立变量可以得到 5 个无量纲量,即:

$$f, \frac{\rho_s}{\rho_w}, \frac{H}{L}, \frac{d}{L}, \frac{\rho_s H^2}{\mu \sqrt{L}}$$

其中, 项反映的是摩擦力与重力相似, 项反映几何相似, 项反映重力与粘性力之比。可以看出,在实际围堰尺度下, 项的值很大,约为 $10^3 \sim 10^4$,说明重力与粘性力相比占主导地位,这样,在模拟试验中,可以忽略粘性力的影响。

实验按几何比例 1:100 模拟三峡二期围堰风化砂的推填过程,试验装置如图 1 所示:

箱体尺寸为 1.2 × 0.6 × 0.2m³,模拟坝高 60 米,实际推填每车方量约为 3 ~ 5m³,每断面推砂量

* 收稿日期:2002 - 04 - 10

约为 $2 \times 5\text{m}^3$, 则按比例设计模型试验中堆填盒尺寸为 $0.16 \times 0.05 \times 0.02\text{m}^3$ 。

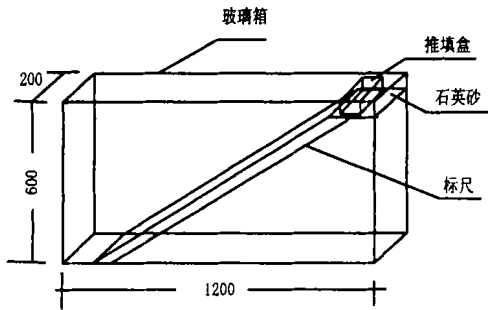


图 1 试验装置 (单位: mm)

试验中用普通建筑工业用石英砂替代风化石, 取平均级配作为原状砂级配, 见表 1。

表 1 原状砂级配

粒径(注)	>200	200~50	50~28	28~10	10~5	<5
第一组	12.4	13.9	34.5	28.6	8.7	2.0
第二组	7.6	20.4	40.4	25.7	4.6	1.3
第三组	10.1	15.2	40.1	27.6	5.6	1.5
平均	10.0	16.5	38.3	27.3	6.3	1.6

注: 粒径单位 0.01mm。

3 试验结果与分析

3.1 松散砂的滑动过程及现象

无水情况: 在试验过程中, 我们发现, 按照相似条件每一次的推填方量并不能使砂体每次都滑到底, 而是以每次推填后的一次次后方推动而最后落底的, 这一过程通过摄像机记录了下来。表 2 纪录的是每次推填砂体头部停止时所处的位置, 整个坡面从上到下全长约 105cm。砂体的滑动有一定的规律性, 总是在推填一定量后才完成一次到底滑动。我们认为, 砂砾料的摩擦休止角在某一范围内有一极大值和极小值, 在坡面角度处在休止角的极小值时, 砂体滑到一定距离便停止了, 使坡面角度略有提高, 以后每次推填都使原坡面角逐渐增加, 直至达到砂体的最大休止角时, 砂体强度整体上都丧失, 大量砂体一次到达坡底。用水涂染料将部分砂染色后作试验的结果表明, 围堰的形成是在坡面上一层一层叠积而成的, 如图 2 所示。

有水情况: 滑动过程与无水时相近, 但滑动较无水情况时更为缓慢, 近似蠕动。这一现象说明, 水介质对滑动砂体产生的附加阻力使砂体的滑动速度大

大下降, 却并未改变砂体总的运动形式。

表 2 坡面滑动距离测量 单位: cm

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
试验 1	50	76	68	61	35	到底			
试验 2	83	75	95	67	65	56	到底		
试验 3	76	63	95	67	53	55	35	48	到底

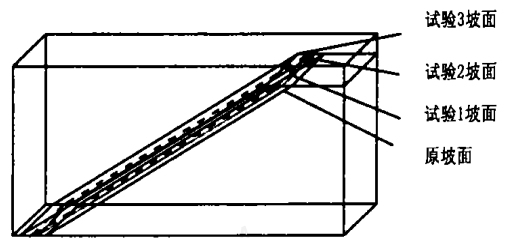


图 2 推填滑动成层坡面示意图

3.2 松散砂休止角的测定

在无水的条件下, 以满足相似率的方量每次从坡最上部将砂倒下, 每隔一定高度测量一次, 分别两次用 H/L 和 L/P 测定砂体的自然休止角, 即:

$$\tan \theta = H/L \tag{1}$$

$$\cos \theta = L/P$$

其中 P 为坡面长度, 两次休止角分别为 34.4° 和 33.9° 。

用同样的方法测量有水情况下的自然休止角表明, 无扰动的情况下的休止角为 31.4° , 比无水条件下低约 3° 。敲击试验箱侧壁使箱体产生微小振动, 可见坡面上的砂砾产生下滑, 坡角逐渐降低, 至一定程度后基本稳定, 此时水下坡角为 24.7° , 降幅达 6.7° , 说明振动会导致坡角较大幅度的降低。在三峡二期围堰抛填风化石密度的离心机实验中^[2], 随着转速的提高, 水下坡角由 33.0° 降至 27.0° , 而转速的增加只改变模拟的相似比, 水下坡角在这一过程中不应改变或降低, 因此我们认为, 产生这一现象的原因是由于离心机运转过程中存在的振动。

3.3 松散砂滑动过程中的级配变化

在试验中我们还观察到, 通过推填形成的围堰上下层颗粒的级配明显不同, 为此在无水条件下我们在上、中、下三个位置上取样分析, 结果见表 3 和表 4。令 W_i 为本试验用砂砾料某一粒级的重量百分比, W_i' 为推填后某一层面上该粒级的重量百分比, 令:

$$I_i = |W_i - W_i'| \tag{2}$$

为该层面上的级配变化率。从表 3 和表 4 可以看出, 砂砾料在 $0.28 \sim 0.5\text{mm}$ 范围内的级配变化率可

达 20%, 两次试验中表层粒径小于 0.1mm 的颗粒重量百分比分别为 14.3% 和 10.9%, 而同一参数在底层只有 0.6% 和 0.5%。这说明, 砂砾颗粒在坡面上运动快慢不一, 上部滞留了更多的细小颗粒, 而大部分的大、中等颗粒砂落在底层, 改变了原有的级

配, 形成了推填过程中的自然筛分现象。

在有水条件下, 水的阻力对细小颗粒的作用更突出, 这种自然筛分现象将更明显, 其直接后果就是细砂层在上部的集中减弱了围堰风化砂的排水性能, 增加了固结难度, 降低了风化砂的密实度。

表 3 抛填风化砂的级配沿高度分配(第一组)

粒径(mm)		>2.0	0.5~2.0	0.28~0.5	0.1~0.28	0.05~0.1	<0.05
高度	W_i	10.6	11.8	32.3	31.0	11.6	2.7
H=58cm	I_i	0.6	-4.7	-6.0	3.7	5.3	1.1
高度	W_i	16.7	8.5	29.9	33.3	9.7	1.8
H=40cm	I_i	6.7	-8.0	-8.4	6.0	3.4	0.2
高度	W_i	12.5	9.5	39.6	34.2	3.4	0.6
H=28cm	I_i	2.5	-7.0	1.3	6.9	-2.9	-1.0
高度	W_i	6.6	17.4	57.2	18.3	0.4	0.2
H=12cm	I_i	-3.4	0.9	18.9	-9.0	-5.9	-1.4

表 4 抛填风化砂的级配沿高度分配(第二组)

粒径(mm)		>2.0	0.5~2.0	0.28~0.5	0.1~0.28	0.05~0.1	<0.05
高度	W_i	10.8	14.4	35.5	28.5	8.3	2.6
H=58cm	I_i	0.8	-2.1	-2.8	1.2	2.0	1.0
高度	W_i	14.9	6.7	27.8	37.0	11.2	2.3
H=40cm	I_i	4.9	-9.8	-10.5	9.7	4.9	0.7
高度	W_i	10.9	8.2	42.0	36.0	2.4	0.4
H=28cm	I_i	0.9	-7.0	3.7	8.7	-3.9	-1.2
高度	W_i	5.6	15.2	59.0	19.7	0.3	0.2
H=12cm	I_i	-4.4	-1.3	20.7	-7.6	-6.0	-1.4

4 结论

本滑动模型试验的结果提示我们, 在确定推填风化砂物理力学参数时应注意以下问题:

(1) 相比于围堰尺寸, 每车的推填方量很小, 且水中推填风化砂在坡面上的滑动速度非常缓慢, 近似于准静态堆积, 说明风化砂在推填初始形成的自然密度与坝高无关, 影响围堰密度分布的因素是后期重力荷载及其排水固结, 因此静态离心机模拟高度试验^[2]完全可以模拟这一过程。

(2) 风化砂在推填的滑动过程中出现自然筛分现象, 造成上、下层围堰风化砂级配再分配, 下层围堰集中了大量中等颗粒级砂粒, 该粒级级配变化率可达 20%, 而细小颗粒更多地滞留于围堰上部, 不利于围堰的后期排水固结, 因此在确定围堰的土工参数时应充分考虑这一因素, 在不同层面上选用适

当的参数, 才能保证围堰的受力分析可靠。

(3) 风化砂的水下坡角较干砂状态小, 在振动作用下可产生部分液化, 砂粒沿坡面滑动, 使坡角下降, 试验中经反复振动, 水下坡角可由 31.4° 降至 24.7°。七. 五攻关离心机水下坡角试验中, 坡角随转速的增加而由 33° 降至 27°, 说明在离心机运转过程中存在振动, 因此消除离心机运转过程中的振动是实现动态离心机真实模拟的前提。

参 考 文 献

- 1 包承纲. 三峡围堰建设中若干关键技术问题的解决. 中国三峡建设[J]. 1999, (5): 32~36.
- 2 长江科学院. 三峡工程二期围堰填料特性研究. 长江科学院研究报告, 1990, 9.
- 3 程展林. 三峡二期围堰填料的力学参数及其补充试验[J]. 长江科学院院报, 1994, (7): 26~30.

载力与静载试验单桩承载力相差 30%。因此,我们说单桩承载力应以试验为准,对桩长和桩径的确定应以静载试验进行调整。各地区应根据本地区土质情况积累经验,提出适宜的调整和修正经验系数。如忽视这一点将会带来难以预料的损失,越来越多的工程实践证明,由于中国地域广阔,规范中所给出的桩周侧摩阻力标准值及桩端承载力标准值不能较为准确的反映当地实际情况,误差较大。因此,建议设计人员要重视本地区的单桩静载试验报告,推算出当地的经验修正系数,以便设计更趋于合理。

5 结语

随着我国经济的飞速发展,科学事业春天的到来,建筑业将逐步走向世界,因此对工程设计施工的

适用与安全要求越来越高,数字化的概率将取代经验式的统计,设计将越来越接近于实际,想信本文能引起设计人员在桩型与工艺的选取中认真仔细的对建筑结构类型、荷载性质、桩的使用功能,不同的地区土性、桩端持力层、地下水位、施工环境、施工机械设备等因素综合分析,合理选用较适宜的桩型和工艺,以达到加快工程建设速度、节约投资、确保工程质量之目的。

参 考 文 献

- [1] . 建筑桩基技术规范 JGJ94 - 95[S]. 中国建筑工业出版社出版.
- [2] 一级注册结构工程师专业考试复习教程[M]. 中国建筑工业出版社 1998 年第一版.

Affecting Factors on the Analysis and Selection of Pile Type and Technology

Ma Fuqiang

(Zhoukou Municipal Plan and Construction Design and Inst. ,Henan 466001 ,China)

Abstract Through analyzing and discussing of factors affecting the selection of pile type and technology ,such factors depending on the structure type ,loading property ,function of pile ,subgrade condition ,soil of bearing struatum ,underground water level. construction equipments and experience ,pile materials and supply conditions etc. were discussed. Rational choice of pile type and technology ,to a great extent ,affects the engineering safty and economy.

Key words pile type ,bearing capacity ,technology ,quality

上接第 42 页

Experimental Simulation of Filling Weathered Sand in Three Gorges Second Stage Cofferdam

Yan Lin Li Shihai

(Instiute of Mechanics , Chinese Academy of Science , Beijing 100080)

Abstract Parameter of weathered sand is the main factor affecting anti - seepage wall distortion in Three Gorges second stage cofferdam. Weathered sand 's density and grade distribution are related directly to its physical and mechanical parameters. This paper , based on Three Gorges second stage cofferdam and through dimension less analysis , experimentally simulates the filling process of weathering sand. The results show that slip velocity of weathering sand along slope is very slow. And weathering sand naturally sieves in the process of filling which is not beneficial to the drainage and concretion. In addition , vibration causes the decrease of snad natural angle of repose in water.

Key words weathered sand , experimental simulation , TGP