

水库蓄水浸没区现场浅层平板试验分析

路荭枫<sup>1</sup>, 赵健<sup>2</sup>, 郭昕<sup>2</sup>

(1.湖南省水运建设投资集团有限公司, 湖南 长沙 410001; 2.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:** 通过在衡南县土谷塘航电枢纽工程浸没区开展现场浅层平板试验, 对该区域自然状态及浸没后的地基承载力进行对比分析, 得到浸没区地基承载力衰变幅度, 并根据试验结果对周边其他浸没区的地基承载力进行预测, 为该地区工程设计和稳定性分析提供力学参数, 指导该工程浸没区结构物设计与施工。

**关键词:** 公路; 库区; 浸没区; 浅层平板试验; 地基承载力

**中图分类号:** U418.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2019)01-0093-03

库区蓄水后, 周边地区水位上升明显且地基含水率大大提高, 将使库岸边缘建筑物地基中土粒联结作用减弱进而引发结构性破坏, 表现出明显的湿陷性, 基础承载能力也大大下降, 不利于结构物的稳定。地基承载力是结构物设计的重要参数, 也是保证结构物稳定的重要条件, 地基承载力取值不准会对土体稳定性造成不良影响, 同一地区若地层、地貌有所区别, 则对地基承载力的需求也不同。

平板静载试验是测定岩土体承载力和变形特性的原位测试方法, 具有直观、准确、可靠等优点, 被广泛应用于地基勘察中。它通过模拟建筑物地基受荷条件, 根据荷载—沉降关系曲线确定地基允许承载力, 计算土的变形模量, 研究土的压力与变形特征。该文对衡南县土谷塘航电枢纽工程浸没区开展现场

浅层平板试验, 分析浸水前后地基承载力变化及变形模量与回弹模量的衰变规律。

1 工程概况

土谷塘航电枢纽位于湘江中游衡南县境内的云集镇(左岸)和向阳镇(右岸)。土谷塘水库蓄水前, 水位最大涨幅为 8 m; 建成蓄水后, 常年水位抬高, 会使库周边岸坡土体软化, 土体物理力学强度显著降低, 对于周边建设标准不高的建筑物稳定性有显著的不良影响。该区域主要分布有粉质黏土及红砂岩土, 现场取土及试验结果显示: 黄褐色粉质黏土为高液限土; 红砂岩中 2~5 及 5~10 mm 质量占总质量的 53%, 属红砂岩碎石土。对 2 种土体进行抗剪强度试验与压缩试验, 试验结果见表 1。

表 1 2 种土体的物理力学参数

土体类型	含水率/%	干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	液限/%	塑限/%	塑性指数	颗粒密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
粉质黏土	13.89	1.769	37.1	20.4	16.7	2.706
红砂岩碎石土	10.12	—	31.1	21.7	9.4	2.761

2 平板载荷试验原理及试验方案

平板载荷试验通过在一定尺寸承载板上逐级施加外荷载观测地基在荷载作用下的沉降变形规律, 通过分析地基沉降变形或回弹变形与时间的关系, 评价地基承载力并计算地基变形模量和回弹模量, 进而预测地基沉降量。通过该试验, 可得到库区周边浸水前后的精确地基承载力, 确定浸水前后土基回弹模量变化情况及承载力衰减程度, 进而对其他浸没区浸没后地基承载力进行预测, 为浸没区地基

承载力取值提供参考。试验步骤为砌砖垛挖试坑→安装千斤顶→架设载荷承台→加载荷→安装检验用仪表→检验测试→整理检验资料→评定检验结果。试验方案见表 2。

浅层平板荷载试验按刚性平板作用于均质土各向同性半无限弹性介质表面考虑, 由弹性理论得:

$$E_0 = I_0 (1 - \mu^2) \frac{pd}{s} \tag{1}$$

$$E = \frac{\pi pd}{4l} (1 - \mu^2) \tag{2}$$

表2 平板载荷试验方案

试验编号	试验内容
试验 1	恒载(自然状态下直接施加 200 kPa 荷载)
试验 2	恒载(浸水 1 d 后直接施加 200 kPa 荷载)
试验 3	逐级加载(自然状态下,0—100—150—200—300—400—600 kPa 逐级加载,直至破坏)
试验 4	逐级加载(浸水 1 d 后,0—100—150—200—300—400—600 kPa 逐级加载,直至破坏)
试验 5	自然状态下加载过程:0—50—0—100—0—200—0—300—0—400—0—600—0 kPa
试验 6	浸水状态下加载过程:0—50—0—100—0—200—0—300—0—400—0—600—0 kPa

注:浸水状态为在周边水槽内加水,时间为 2 d。

式中: $E_0$ 为荷载试验的变形模量(无侧限,MPa); $I_0$ 为刚性承载板形状系数,圆形板取 0.785; $\mu$ 为土的泊松比,砂石土取 0.30,粉质黏土取 0.38; $p$ 为  $p-s$  曲线线性段承载板下单位面积的压力(kPa); $d$ 为承载板直径,采用直径为 30 cm 的圆形钢板; $s$ 为与  $p$  对应的沉降量(mm); $E$ 为回弹模量(kPa); $l$ 为相应于单位压力的回弹变形(cm)。

### 3 试验结果分析

图 1 为自然状态和浸水状态下逐级加载时的  $p-s$  曲线,图 2 为两种状态下恒载作用下的  $t-s$  曲线,图 3 为两种状态下荷载与回弹变形曲线。

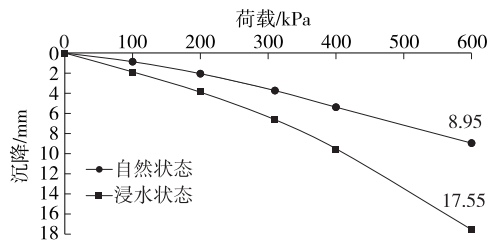


图1 自然状态和浸水状态下逐级加载时的  $p-s$  曲线

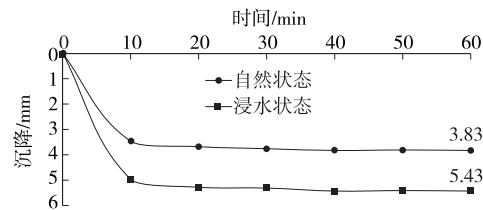


图2 自然状态和浸水状态下恒载作用下的  $t-s$  曲线

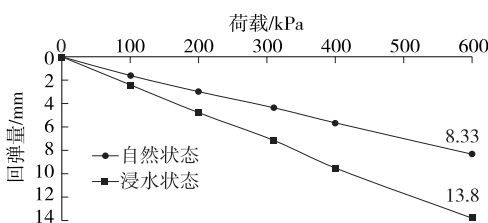


图3 自然状态和浸水状态下单位压力-回弹变形曲线

由图 1 可知:1) 自然状态下地基在荷载达到 400 kPa 前  $p-s$  曲线呈近似直线,荷载达到 600 kPa 时曲线下降趋势比之前稍大,但未达到其极限承载力。从曲线变化趋势来看,其极限承载力为 900~1 100 kPa。地基承载力容许值一般通过极限承载力除以一个安全系数或取  $p-s$  曲线上临塑荷载(比例界限荷载)来确定,因该试验未达到地基极限承载力,采取一种新方法确定地基承载力。该方法通过压板试验确定土的强度指标和变形参数,利用切线模量法计算地基的  $p-s$  曲线,由  $p-s$  曲线根据强度安全和沉降控制确定地基承载力,取双曲线形式对压板试验数据进行拟合,得  $b=0.001\ 85$ ,则自然条件下地基承载力  $P_u=1/b=1/0.001\ 85=540.5$  kPa。2) 浸水状态下地基极限承载力约为 700 kPa,降幅约 30%。从沉降量分析,600 kPa 时湿滑变形量约 8.6 mm,若发生在普通房屋中可能造成裂缝,影响房屋结构的稳定性。此时地基承载力约 310 kPa,比自然状态下承载力下降 42.6%。由式(1)计算得到自然状态下土基变形模量为 15.74 MPa,浸水状态下约 8.51 MPa,降幅为 45.9%,与承载力降幅大致相同。

由图 2 可知:2 种状态下趋于稳定的时间均为 60 min。结合图 1,荷载越大,其趋于稳定的时间越长,不良状态下趋于稳定的时间比自然状态下长;浸水状态和自然状态下的沉降量均小于 6 mm,承载力较好,沉降值为 1.5~1.6 mm。

根据现场试验结果及式(1),计算得到该区域建筑地基的变形模量为 15.74 MPa,结合现场情况并预留部分富余,以确保结构物安全,在后续计算中该区域变形模量推荐使用值为 12 MPa。同理,浸水后变形模量计算值为 8.51 MPa,后续计算中推荐使用值为 6.5 MPa。

根据图 3,按式(2)计算,自然状态下回弹模量为 132 MPa,浸水状态下回弹模量为 83 MPa。后续计算中,建筑地基回弹模量自然状态下取 118 MPa、浸水状态下取 69 MPa。

4 蓄水后各浸没区地基承载力预测

出于试验的操作性及便利程度考虑,对其他浸没区进行标准贯入试验,分析确定其地基承载力。各区域试验结果见表 3。

表 3 土质类型及标准贯入试验击数

区域	击数/次			试验 次数/次
	黏土	粉质黏土	平均值	
唐家河	13	—	13	1
石塘	14、12、14、10	—	12.5	4
堡口	—	—	—	—
满金桥	—	10	10	1

根据文献[6],修正系数随深度增加而减小,承载力随击打次数增加而增大。修正后结果见表 4。

表 4 修正后结果

区域	击数/ 次	深度/ m	修正 系数	平均击 数/次	承载力/kPa
唐家河	13	<2.0	1.00	13.0	510
	14	2.5	0.99		
石塘	12	2.5	0.99	12.4	495
	14	2.5	0.99		
	10	2.1	0.99		
满金桥	10	<2.0	1.00	10.0	400

将表 4 所示修正结果与之前进行的浅层平板载荷试验结果对比,平板载荷试验所得承载力比标准贯入试验所得承载力略高,但相差不大。平板载荷试验测得的浸水前后的承载力降幅为 36%~43%,结合当地土质的密实程度(标准贯入试验击数越多越密实),得表 5 所示各浸没区承载力预测值。

由表 5 可知:满金桥地区浸水后承载力与自然状态下地基承载力相比下降 35%~42.5%,且其自然状态下承载力仅为石塘地区的 80%;唐家河地区降幅为 35%~41%。石塘、堡口、满金桥地区的土质类型及土体密实程度相差不大,降幅相当,但由于自然状态下承载力有区别,浸水后衰减值差别较大。

表 5 浸水后不同区域地基承载力预测 kPa

区域	自然状态 下承载力	浸水后 承载力	区域	自然状态 下承载力	浸水后 承载力
唐家河	510	300~330	堡口	500	297~325
石塘	500	297~325	满金桥	400	230~260

注:表中数据为基于标准贯入试验平均击数的预测值,选取时要根据具体情况具体分析,出于安全考虑,建议取较小值。

若不对此进行研究,则满金桥地区的房屋设计取值存在偏差,可能对结构物的稳定性造成不良影响,产生安全隐患。

5 结论

(1) 土谷塘水库新华村周边地基自然状态下的变形模量为 15.74 MPa,浸水后变形模量为 8.51 MPa,降幅 45.9%;自然状态下承载力为 540 kPa,浸水后为 310 kPa,降幅 42.6%;自然状态下地基回弹模量为 118 MPa,浸水后为 69 MPa,降幅 41.5%。

(2) 对其他浸没区浸水后地基承载力进行预测,堡口、石塘地区浸水后地基承载力范围相同,降幅也基本一致,为 35%~40.6%,堡口地区的承载力取值可参考石塘地区已知数据;满金桥地区在地理位置、土质情况等方面与前二者相当,但自然承载力较小,需单独测定,降幅与石塘地区基本一致。

参考文献:

[1] 赵健,李尚贤,王文韬.水库蓄水对周边建筑物地基沉降的影响[J].长沙理工大学学报:自然科学版,2015,12(4).

[2] 支喜兰.黄土地区公路路基地基承载力评价方法研究[D].西安:长安大学,2006.

[3] 张豫川,辛明静,王亚军.堆载法对浅层平板载荷试验的影响[J].长安大学学报:自然科学版,2013,33(3).

[4] 张勇,王军东.路基  $K_{30}$  平板荷载试验中强度—沉降( $\sigma-s$ )曲线类型的探讨[J].铁道建筑,2006(6).

[5] GB 50007—2011,建筑地基基础设计规范[S].

[6] 牛立军,赵子雪.浅层平板载荷试验在土基中的应用研究[J].山东交通科技,2009(5).

[7] 王喜顺,王唯存,张文博.浅层平板载荷试验在确定地基承载力中的应用[J].吉林地质,2012,31(4).

[8] 杨光华,姜燕,张玉成,等.确定地基承载力的新方法[J].岩土工程学报,2014,36(4).