

软基上的乌伦古河渡槽基础设计与施工

范振环 ,肖发光 ,范仕杰

(黄河水利委员会河南黄河工程局 ,河南 郑州 450016)

摘要 通过对软基上的乌伦古河渡槽基础与施工方法介绍 ,分析了第三系软弱泥质砂岩、砂岩在饱和状态和重载作用下的基础力学变化特性 ,并通过对地基载荷实验的研究 ,提出了相应的设计理论和施工方法 .实践表明 ,该设计、施工方法能有效解决软基上渡槽地基的载重问题 .

关键词 渡槽 ;软基 ;基础设计 ;施工方法

中图分类号 :TU471 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2002)07-0051-03

乌伦古河渡槽是新疆供水工程总干渠上的一座跨越乌伦古河的大(2)型主要输水建筑物 ,总长为 254 m(包括进出口渐变段、连接段及消能段) .其中槽身段长 100 m ,共 5 跨 ,每跨单长 20 m ,为单箱双槽并排布置的单预应力结构 .设计流量为 105 m³/s ,校核流量为 120 m³/s ,设计纵坡 1/700 ,过流断面尺寸为 2×(4 m×4.8 m) .

槽身的下部支承结构分别为跨中三柱式槽墩和两岸扶壁式槽台两种 .最大支承高度 20.85 m .槽墩、台基础均为扩大板式条形基础 ,最大埋深 10.5 m .基础均置于第三系软弱泥质砂岩、砂岩的弱风化岩层上 ,其允许基本承载力为 0.35 MPa .渡槽按 2 级水工建筑物设计 ,地震设计烈度为 6 度 .

为了解软基在重载作用下的承载力情况 ,要求对开挖后的建基面进行原位载荷试验 .根据力学试验指标 ,进一步确定建基面的深度 .施工时槽墩、台基础采用大开挖 ,但由于地下水位过高 ,基坑内又增设排水设施及集水井 ,基底铺薄层混凝土保护 ,待基础施工完成后 ,利用浇筑槽身时填筑的土胎模作为垂直外荷重载对软弱地基进行施压 ,加快地基的压缩稳定 ,以减小工后地基沉降 ,提高地基承载力 .

1 基础岩体的物理力学性质

为便于施工导流 ,缩短工期 ,乌伦古河渡槽槽址

选在右岸阶地上 .该处地下水位埋深 0.8~1.2 m ,覆盖层厚 4.6~6.8 m ,表层为腐殖土 ,其下为冲积含砾细砂 ,结构松散 .再下为砂砾石层 ,结构中等密实 ,为强透水层 .下覆基岩岩性为第三系始~渐新统泥质砂岩、砂岩 .该类岩体为渡槽基础的持力面 .

1.1 钻孔岩芯试验

根据乌伦古河渡槽槽址处的钻孔岩芯试验 ,主要物理力学指标见表 1 .其中强风化层 4.8~6.3 m ,岩体风化破碎 ,呈散体结构 ,属中~高压缩岩土 .弱风化层 5.1 m ,属中~低压缩岩土 ,其允许基本承载力为 0.35 MPa .新鲜基岩属中~低压缩岩土 ,其允许基本承载力为 0.40 MPa .基岩为弱胶结 ,其抗压强度烘干为 0.84~3.52 MPa ,浸水为 0.065~0.15 MPa .这类基岩的主要特点是 :遇水易软化 ,暴露易崩塌 ,其软化系数在 0.04~0.12 之间 .

1.2 物探测试成果

根据乌伦古河渡槽段物探测试 ,其渡槽基岩持力层物探测试成果见表 2 .基岩表层 0.7~1.2 m 厚为应力释放层 .从表 2 中各测试指标成果看 ,基岩胶结性差 ,为极软岩 .

1.3 载荷试验成果

为进一步复核在重载作用下的软基承载力情况 ,设计时分别对 5 跨渡槽的 6 个支墩基面进行了 7 组物理力学试验 .并选择了具有代表性的 1 号、2

表 1 基础岩芯测试的主要物理力学指标

岩 层	干密度	含水量/%	湿密度	抗剪强度		压缩系数	压缩模量	烘干变模	烘干弹模
	$\rho_d/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$		$\rho/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\varphi/(\text{^\circ})$	a_{v1-3}/MPa	E_s/MPa	E/GPa	E_e/GPa
强风化层	15.6	27.75	19.9	55	21	0.215	8.24		
弱风化层	17.2~18.3	8.65~20.4	19.9~20.7	27~42	24~26	0.12~0.19	11.7~13.2	0.22	0.37
新鲜基岩	17.8~19.2	13.1~13.9	20.3~21.7	33~75	26~27	0.08~0.125	13.2~17.5	0.27~0.54	0.54~0.57

注 :表中抗剪强度为基岩饱和状态下的固结快剪试验成果 .

号、5号墩基面作为试验面进行了现场原位载荷试验.试验结果见表3.

试验结果表明:1号和5号基础承载力较为接近,2号基础承载力略高.主要反映在1号和5号基础面施压后其沉降量在同一垂直压力600kPa时略高于2号基础.经分析,其主要原因是原位试验场地的周边地下水渗漏对试验面的影响.1号和5号基础试验面由于地下渗水不易排出的影响而处于饱和状态.由于基岩本身具有遇水易软化的特性,因此,施压后承载力略低于2号基础.试验结果见图1~3.

2 基础设计

渡槽支承基础结构形式是根据建基面软弱基岩的承载力要求进行设计的.在设计方案比选论证过程中,提出了地基灌浆加固、桩基础、板式条形基础等多种方案.在充分考虑了地质、水文、施工、投资等综合因素后,最终确定了渡槽基础采用板式条形基础形式.这种基础形式的特点是充分利用了载荷,单位面积上压力小,受压较为均匀,是解决该地质、水文条件下软基载重问题的较优方案.

2.1 板式条形基础设计

根据河道中刷深度计算,局部冲刷线高程为590m.结合试验及计算成果,确定板式条形基础底高程在585m至586.186m之间,即弱风化软岩层中.槽墩、台基础尺寸(长×宽×高)分别为16.5m×

6.2m×3.0m和16.5m×14.0m×3.5m.

按规范中地基反力计算公式($\sigma = \sum P/B \pm 6 \sum M/BL^2$)进行各荷载组合计算,结合最不利荷载组合工况,槽墩、台产生的最大压应力分别为 $\sigma_{\max} = 0.145\text{ MPa}$ 和 0.509 MPa .

2.2 地基承载力验算分析

a. 地基承载力规范公式验算.因渡槽基础宽度 $B > 2\text{ m}$,埋置深度 $H > 4\text{ m}$,则可采用《铁路桥涵设计规范》中地基承载力经验修正公式进行验算($H/B \leq 4$),验算结果见表4.其槽墩、台底的地基允许承载力 $[\sigma]$ 大于槽墩、台产生的最大压应力 $\sigma_{\max}$,满足地基承载力要求.此算法适于计算非岩石类地基土的地基承载力,这与本文地基有一定的差别.

表4 地基承载力计算结果

计算方法	承载力/MPa	计算方法或试验	承载力/MPa
规范经验公式	0.609~0.702	软弱岩石公式	0.611~0.802
汉森公式	0.446~0.711	原位载荷试验	0.58~0.70
太沙基公式	0.698~0.941		

b. 汉森理论计算公式验算.由于槽墩、台基础的 L/B (长/宽) ≤ 5 ,属扩大板式条形基础.考虑基础形状和荷载倾斜的影响,采用汉森理论极限承载力计算公式进行验算.验算结果见表4.其承载力大于槽墩、台产生的最大压应力 $\sigma_{\max}$,这表明槽墩、台地基均能满足地基承载力要求.此算法考虑因素比较多,较适合于 D/B_e (埋深/有效宽度) < 1 的情况.

表2 基岩物探测试成果

岩层	纵波波速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	横波波速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	动弹模量/ 10^3 MPa	剪切模量/ 10^3 MPa	变形模量/ 10^3 MPa	泊松比
应力释放层	1200~1600	210~258	0.25~0.37	0.083~0.126	0.45~0.954	
完整基岩	1875~2200	320~387	0.58~0.84	0.195~0.285	2.21~4.45	0.48~0.49

表3 基岩特性

天然孔隙比 e	天然饱和度 /%	渗透系数 $K/(10^{-5}\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1})$	抗剪强度		比例界限压力 P_0/kPa	极限载荷压力 P_a/kPa
			c/kPa	$\varphi/(^\circ)$		
0.414~0.508	79.2~95.2	0.69~8.3	22~59	30~34	580~700	800~1000

注:表中抗剪强度为饱和状态下固结快剪试验成果.

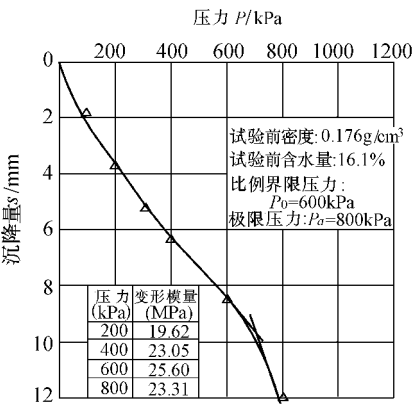


图1 渡槽1号基础载荷试验
 $s \sim P$ 关系曲线

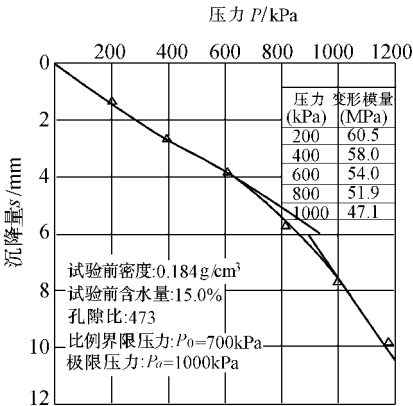


图2 渡槽2号基础载荷试验
 $s \sim P$ 关系曲线

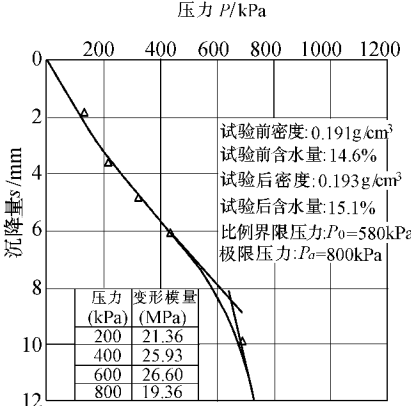


图3 渡槽5号基础载荷试验
 $s \sim P$ 关系曲线

c. 太沙基理论计算公式验算. 当地基土比较密实, 受轴心垂直荷载作用的条形基础, 土的应力~应变关系曲线出现明显的转折情况, 可采用太沙基理论极限承载力计算公式进行验算. 本设计考虑了槽墩、台置于第三系泥质砂岩、砂岩上, 同时考虑扩大板式条形基础受轴心垂直荷载作用, 并结合渡槽基础载荷试验成果, 采用太沙基理论进行验算, 验算结果见表 4. 其承载力大于槽墩、台产生的最大压应力 $\sigma_{\max}$, 这表明槽墩、台地基均能满足地基承载力要求. 此算法考虑了地基土因素的影响, 较适合于条形基础.

d. 软弱岩石允许承载力计算公式验算. 对于几乎无节理的软弱岩石, 其中允许承载力可以采用 Bell 公式进行验算. 本设计考虑了槽墩、台底的基岩为弱风化泥质砂岩、砂岩, 计算中基岩密度按浮密度计. 验算结果见表 4. 其承载力大于槽墩、台产生的最大压力 $\sigma_{\max}$. 这表明槽墩、台地基均可满足地基承载力要求. 此算法考虑岩基因素的影响, 而该地基为弱风化基岩, 尚有一定的区别.

e. 原位载荷试验验算. 从渡槽 1 号、2 号、5 号基础载荷试验的 $s \sim P$ 关系曲线可以看出, 在同一垂直压力 0.60 MPa 时 1 号、5 号基础的沉降量略高于 2 号基础, 说明试验条件虽有差别, 但沉降量仍很小. 基础压缩较小, 应属中~低压缩岩土. 1 号、2 号、5 号基础进行原位载荷试验的结果: 其比例界限值分别为 0.60 MPa, 0.70 MPa, 0.58 MPa. 可以看出, 1 号、5 号基础承载力比较接近, 2 号基础承载力略高. 主要原因是试验时, 2 号基础饱和度只有 82%, 1 号、5 号基础则处于完全饱和状态, 但其比例界限值均大于槽墩、台产生的最大压应力 $\sigma_{\max}$, 这表明能满足地基承载力要求.

综上所述, 因各理论都有其相应边界条件和设计依据, 从而造成它们计算和试验的结果不尽相同. 但在设计中采取了与边界条件相适应的措施, 使得各结果都能满足本次设计要求. 这也说明了各计算公式的合理性及适应性, 也为今后类似工程问题的解决提供了可参考的设计方法.

3 基础施工

乌伦古河为游荡性河床. 现代河床宽为 60 m, 河水深 1~2 m. 该河段纵坡为 0.0738%, 河谷两岸为发育宽阔而较平坦的一级阶地. 渡槽槽址位于乌伦古河“S”形弯道的右岸阶地上, 河岸地面高程为 598.7 m 左右. 渡槽基础施工的围堰设计标准为重现期 10 年, 设计流量为 $373 \text{ m}^3/\text{s}$. 施工中, 由于渡槽地基基坑紧靠河道边, 上部覆盖层为强透水的砂砾石, 下部为遇水极易软化的第三纪泥质砂岩、砂岩. 为解决渡槽基础施工时免受地下水对地基的浸蚀影响, 满足设计基础承载力要求, 采取了以下措施:

a. 加宽围堰并在其上游铺设防渗土工膜, 目的是延长渗径, 减少渗漏量.

b. 在开挖过程中放缓基坑边坡, 并用木桩、砂袋给以加固. 同时加强基坑四周的排水措施, 布设排水沟、集水井并及时抽水, 以避免地下水对地基的浸蚀.

c. 当基坑开挖到设计高程后, 立即铺设一层 10 cm 厚细粒混凝土, 以避免基岩风化.

d. 待基础浇筑完成达到设计强度后, 回填级配良好的砂砾石并进行碾压.

e. 利用浇筑槽身时填筑的土胎模作为垂直外荷载对软弱地基进行预压, 加快地基的压缩稳定, 以期减小地基变形, 减小墩、台间的不均匀沉降, 提高地基承载力.

渡槽下部施工顺序为: 测量施线→基坑开挖→垫层混凝土→条形基础→墩柱→盖梁. 墩柱盖梁施工流程为: 测量定位→混凝土凿毛→钢筋绑扎→立模板→混凝土浇筑→养护.

扶壁挡墙混凝土方量大, 洪水期的排水严重困扰施工. 由于排水困难, 土方开挖时在底部留下 80 cm, 待进行垫层混凝土浇筑时开挖, 边开挖边进行垫层混凝土浇筑, 保证垫层混凝土和新鲜且不扰动的基岩接触.

钢筋施工: 为保证钢筋质量, 钢筋施工分两阶段. 底板钢筋及插筋和底板以上部分钢筋. 混凝土浇筑: 泵送混凝土, 采用吊桶和溜槽相结合使混凝土直接进入仓位, 均匀浇筑.

4 结 语

乌伦古河渡槽基础设计和施工的特点是: 渡槽基底基岩为软弱岩石, 长期处于饱和状态, 地基基本允许承载力相对较低, 地基承受外荷载较大. 对于软基重问题采用了多种计算理论和计算方法进行全面分析, 同时又综合考虑了各种相关因素的影响. 该工程于 1998 年 9 月开工兴建, 2000 年 7 月竣工. 同年 8 月试通水运行, 是目前国内建成的过流能力最大的渡槽之一. 迄今已建成运行 2 年多, 情况良好.

(收稿日期 2002-09-03 编辑: 马敏峰)

(上接第 50 页) 不彻底. 另外在爆填施工过程中往往会在两侧形成数米厚淤泥鼓包, 在两侧加抛块石前应挖除, 否则在两侧抛填中间会夹有淤泥, 成为堤身稳定的隐患.

d. 由于软土(一般为淤泥类土)在不同地方的性质存在差异, 应根据现场的具体情况设计爆炸参数, 必要时应进行爆炸试验确定. 同时应加强前期的勘探工作, 对堤基土的性质和厚度分布应充分查明, 这样有利于参照对比, 设计合理的爆炸参数.

(收稿日期 2002-10-16 编辑: 熊水斌)