

文章编号:1001-4179(2013)20-0010-03

膨胀土地基膨胀变形量计算中修正系数的研究

张家柱

(水利部淮河水利委员会 水利科学研究院,安徽 蚌埠 233000)

摘要:为了确定某建筑场地区域内地基膨胀变形量计算中的修正系数 φ_e ,通过模拟实际基础原型浸水条件,展开膨胀土的膨胀试验,得到了土层在不同深度处的实测膨胀变形量值。将其与相同起始含水率条件下由地基土的室内有荷载膨胀率试验曲线计算出的土层膨胀变形量值之间建立对应关系。最终得出该膨胀土地基膨胀变形量的修正系数 φ_e 及其修正公式。利用该试验成果,可为准确计算工程实际的膨胀变形量提供依据。

关键词:膨胀土地基;原型试验;膨胀变形量;修正系数

中图分类号: TU43 文献标志码: A

按照《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87的规定:地基土的膨胀变形量计算采用室内有荷载膨胀率试验中的膨胀率参数 δ_{epi} 进行计算后,再对计算结果进行修正,最终得到膨胀量^[1]。修正系数 φ_e 的大小直接影响膨胀变形量。为此,针对某建筑场地冲积、洪积成类膨胀土的情况,对该区域的修正系数 φ_e 进行研究,以期能得到比较符合实际情况的膨胀变形量,从而有针对性地采取工程措施。该区域的地层岩性特征可描述为:第①层为褐黄至深褐色黄黏土,层厚度1.5~2.0 m,呈可塑-硬可塑状态,有明显的小孔隙及网状裂隙,上部含氧化铁,下部含直径1~3 mm的细粒铁锰结核;第②层为灰黄至深黄色黏土,层厚度约1.5 m,呈硬可塑状态,与上层土的交界面上含有直径在3~8 mm的粗粒铁锰结核,少量钙质结核,土体内部有近似垂直方向分布的光滑裂隙面,裂隙面附近分布有渐变过度的灰色-灰白色黏土,裂隙面上有擦痕及条痕。

1 现场浸水膨胀变形量试验

1.1 试验项目内容

(1) 测定不同荷载下土的膨胀变形量。结合该区域建筑物的实际情况,研究采用的压板为钢筋混凝土板,施加在压板上的压重荷载等级为7.5, 25, 50, 100

kPa四组。

(2) 测定不同深度、不同压应力作用下土层的膨胀变形量。在压板下设置观测标分层观测,观测深度分别为0.5, 1.0, 1.5 m。

(3) 在与现场浸水膨胀试验相同的起始含水率条件下,对压板下不同深度处的原状土样进行室内有荷载膨胀率试验。

1.2 试验布置

(1) 为尽量减少各承压板之间的干扰,并便于试验操作与变形观测,试验坑为长方形,尺寸2.5 m × 10 m。在试坑内按单行等距布置4块承压板,各块压板之间的间距1.5 m,在距压板两边侧外0.5 m处各设一条浸水沟,采用先钻孔后开挖的方法把钻孔上段串接起来形成浸水沟,钻孔直径11.0 cm,间距20 cm,浸水孔深度2.5 m。孔内和水沟内充填瓜子片与碎石,以保证孔与孔壁的透水性^[1]。

(2) 试坑内4块承压板的尺寸为50 cm × 50 cm、厚30 cm,采用C20混凝土现浇,上下各配双向4Φ8钢筋。每块压板中心及两边侧下分别设不同深度的三个观测点,观测深度各为0.5, 1.0, 1.5 m。

1.3 膨胀变形量的观测

(1) 在A、B、C、D四块压板上分别施加荷载依次为7.5, 25, 50, 100 kPa,加荷后在每块压板的压缩变形

收稿日期:2013-06-18

作者简介:张家柱,男,高级工程师,主要从事地基处理技术、水库大坝安全评价、岩土工程试验研究工作。E-mail: anhuijz@

163.com

稳定后,开始浸水并观测压板及分层测点的膨胀上升量。开始阶段每日观测 1 次,之后逐步减少到 10 ~ 15 d 观测一次,直到相对稳定。

(2) 各观测点的膨胀量用钢尺和精密水准仪观测^[1],水准基点自身变形量应平均不大于 ± 3 mm。

2 试验成果及对比分析

2.1 现场浸水膨胀变形量观测成果

经过近 1 a 的观测,实测出各压板下不同深度处土的稳定膨胀变形量,结果见表 1。由表 1 的实测结果计算得出的分层膨胀率结果见表 2。

表 1 各压板下分层膨胀变形量实测成果

分层/m	压板 A(7.5kPa)		压板 B(25kPa)		压板 C(50kPa)		压板 D(100kPa)	
	膨胀量/mm	本层/mm	膨胀量/mm	本层/mm	膨胀量/mm	本层/mm	膨胀量/mm	本层/mm
压板上	25.81		16.76		11.35		15.92	
		11.07		2.61		-1.39		-0.97
0.5m	14.74		14.15		12.74		16.89	
		4.27		3.77		4.11		3.49
1.0m	10.47		10.38		8.63		13.40	
		1.85		2.66		2.73		2.60
1.5m	8.62		7.72		5.90		10.80	
0~1.0m		15.34		6.38		2.72		2.52
0~1.5m		17.19		9.04		5.45		5.12
0~4.0m		25.81		16.76		11.35		15.92

表 2 各压板下分层膨胀率

分层/m	压板 A(7.5kPa)		压板 B(25kPa)		压板 C(50kPa)		压板 D(100kPa)	
	应力/kPa	膨胀率/%	应力/kPa	膨胀率/%	应力/kPa	膨胀率/%	应力/kPa	膨胀率/%
0~0.5m	10.25	2.21	22.5	0.52	40.0	-0.28	75.0	-0.19
0.5~1.0m	16.35	0.85	19.5	0.75	24.0	0.82	33.0	0.70
1.0~1.5m	25.54	0.37	26.8	0.53	28.6	0.55	32.2	0.52

2.2 原状土样的室内有荷载膨胀率试验

现场浸水膨胀试验前,在试验场地上取 8 个原状土样进行室内有荷载膨胀率试验^[2],试验最大加载为 150 kPa,分 4 个等级逐次退荷到零,并测出各级荷载下的膨胀量稳定值,结果见表 3。

表 3 原状土样膨胀率试验成果

土层	土样深度/m	ω_p /%	ω_L /%	δ_{ef} /%	含水率/%		膨胀率/%				
					试验前	试验后	0kPa	25kPa	50kPa	100kPa	150kPa
4-1	1.0~1.3	25.5	53.9	73	24.9	28.3	3.84	1.29	0.67	0.12	-0.23
4-2	1.5~1.8	24.7	44.6	58	19.7	23.2	4.48	1.92	1.34	0.82	0.34
4-3	2.0~2.3	18.5	42.3	57	18.7	22.2	5.38	1.97	1.26	0.68	0.18
4-4	3.0~3.3	21.2	48.5	75	22.3	24.6	3.44	1.39	0.78	0.13	-0.19
5-1	1.0~1.3	26.1	48.1	58	25.2	26.9	1.57	0.15	0.27	-0.04	-0.84
5-2	1.7~2.0	23.7	46.6	62	22.2	25.6	3.12	0.98	0.50	0.03	-0.37
5-3	2.0~2.3	20.6	44.0	51	20.8	24.1	2.99	1.33	0.82	0.28	0.08
5-4	2.5~2.8	21.6	48.8	66	22.3	24.2	4.13	1.14	0.56	0.04	-0.40

2.3 成果分析

尽管现场浸水膨胀试验与室内试验都是在充分浸水的条件下进行的,但它们的受力条件与膨胀变形性质有很大的差异。现场试验与基础工作的实际条件较接近,地基上受附加压力作用是随深度递减的,附加压力集中在上层,土体膨胀属于三向性质。室内试验试件薄,高度仅为 20 mm,外有环刀限制,受力后上下分布一致,土体膨胀属于三向膨胀的单向反映,因此测得的膨胀量高于现场。现场实测资料和室内试验资料的对比分析结果可归纳如下。

(1) 根据表 2、表 3 的试验结果分别绘制现场及室内试验应力 - 膨胀率 ($p \sim \delta_{ep}$) 曲线^[2](图 1,2)。图 1 是根据不同荷载作用下 4 块压板下不同深度的土层上所得数据绘制而成,由于压板荷载不够大,各层土的受力区间主要集中在 20 ~ 40 kPa,各点的离散程度相对较大,但仍反映了一定的趋势。室内试验采用浸水前原状土试样的试验结果(图 2),曲线的代表性较好。现场试验成果与室内试验成果的曲线具有较明显的相似性,都反映出随着荷载增大土的膨胀率降低的对应关系。在 50 kPa 之前,现场和室内试验的膨胀率降低的幅度较大,之后则降低幅度较小。

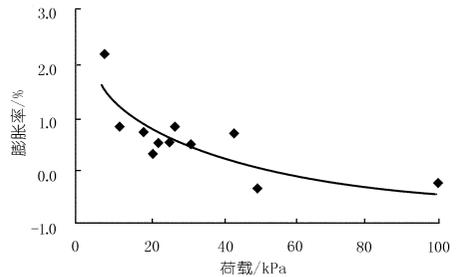


图 1 现场试验应力与膨胀率关系曲线

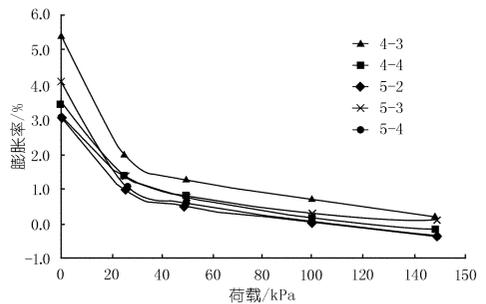


图 2 原状土样试验应力与膨胀率关系曲线

(2) 现场与室内试验的应力 - 膨胀率 ($p \sim \delta_{ep}$) 曲线还反映出,当压应力增大到某一限度时,膨胀率均会出现负值,对应于曲线与横坐标的交点,习惯上称之为最大膨胀力(反映膨胀土释放的最大膨胀势能的指标),但由于现场浸水和室内试验土体受力条件不同,因此曲线上出现负膨胀率的物理意义也不同。室内试验,试样高度仅为直径的 1/3,试件受压后土内应力上

下均匀分布,当外加压力达到最大膨胀力时试件整体产生再压密状态。现场试验由于压板下观测深度较大,为压板宽度的3倍以上,而土中附加应力是随深度衰减的,对于方形压板来说,受荷后压板下相当于压板宽度二分之一深度的表层土,附加应力可为压板总附加应力70%以上,因此很薄的这层土浸水后容易产生再压密下沉,致使实测到0~0.5 m深度的膨胀率出现负值。由此可知室内 $p \sim \delta_{ep}$ 曲线上得出的最大膨胀力应比现场原位试验得出的大,而现场试验曲线上比室内试验曲线较早出现负膨胀率是仅代表压板下很薄的那层土的情况。

(3) 比较图1、图2,现场试验曲线位置比室内曲线低,说明当用室内成果计算土层的膨胀量要比实测的结果大。

3 修正系数 φ_e 的确定及修正计算公式

(1) 按照室内膨胀率试验曲线的计算成果,本次研究时膨胀土地地基土的起始含水率在18.3%~24.6%。根据图2,取 $p \sim \delta_{ep}$ 曲线上对应现场试验压板下分层土实际承受压力值(自重应力与附加应力之和)的膨胀率,代入公式 $S_{计算} = \sum_{i=1}^n \delta_{epi} h_i$ 计算出各压板下每一土层的膨胀变形量,结果见表4。为便于分析与比较,将每块压板下各分层土的实测膨胀变形量也列于表4中对应的位置。

表4 每块压板下的膨胀变形量分层观测值与理论计算值结果

分层/m	压板 A(7.5kPa)		压板 B(25kPa)		压板 C(50kPa)		压板 D(100kPa)	
	$\sum \delta_{epi} h_i$ / 实测值 / mm	mm	$\sum \delta_{epi} h_i$ / 实测值 / mm	mm	$\sum \delta_{epi} h_i$ / 实测值 / mm	mm	$\sum \delta_{epi} h_i$ / 实测值 / mm	mm
0~1.50	22.57	17.19	18.08	9.04	14.88	5.45	12.88	5.12
0.5~1.50	13.52	6.12	11.89	6.43	10.88	6.84	11.77	6.09
1.5~4.0	25.34	8.62	14.89	7.72	14.71	5.90	24.63	10.80
0~4.0	47.91	25.81	32.97	16.76	29.59	11.35	37.51	15.92

(2) 膨胀变形量数据分析和处理。以室内试验计算出的膨胀变形量为 $S_{计算}$,以现场试验观测出的土层膨胀变形量为 $S_{实测}$ 。根据表4中 $S_{计算}$ 和 $S_{实测}$ 的数据,作出 $S_{计算}$ 和 $S_{实测}$ 的散点分布如图3所示。

由图3建立如下数学模型^[3],设数据对是 (x_i, y_i) ($i = 1, 2, 3, \dots, m$), 权函数是 $\omega_0(x)$; 函数系 $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots, \varphi_n(x)$ 是关于点集 x_0, x_1, \dots, x_m 线性无关的,若在集合 $\varphi = \text{span}\{\varphi_0(x), \varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots, \varphi_n(x)\}$ 中有函数 $s^*(x) = \sum_{j=0}^m a_j \varphi_j(x)$ 。用 $s^*(x)$ 逼近数据对 (x_i, y_i) ($i = 1, 2, 3, \dots, m$)时,能使 $\|Y - S^*\|_2^2 = \min \|Y - S^*\|_2^2 =$

$\min \omega(x_i) [y_i - \sum_{j=0}^m a_j \varphi_j(x)]^2$ 成立,则称 s^* 是数据对 (x_i, y_i) ($i = 1, 2, 3, \dots, m$)在 φ 中的最小二乘拟合多项式。由于每个土样和压板观测的试验条件及数据分析完全相同,故可令权函数 $\omega_i = 1$ 。从图3可以观察到 $S_{计算}$ 和 $S_{实测}$ 值之间有良好的线性关系,故可设 $\{\varphi_i(x)\}$ 为正交代数多项式序列 $\{1, x\}$,即

$$s^*(x) = \sum_{j=0}^m a_j \varphi_j(x) = a_0 + a_1 x \quad (1)$$

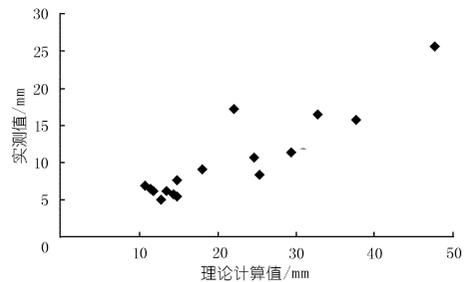


图3 土层膨胀量计算值与实测值关系散点

把表4的膨胀变形量理论计算值 $S_{计算}$ 与实际观测值 $S_{实测}$ 代入并经计算得出系数: $a_0 = -0.20, a_1 = 0.49$ 。所以最小二乘拟合一次式为: $s^*(x) = 0.49x - 0.20$,即 $S_{实测} = 0.49S_{计算} - 0.20$ 。

因此,由上述分析计算可知,该地区膨胀变形量修正计算公式可以表达为:

$$S_e = \varphi_e (\sum_{i=1}^n \delta_{epi} h_i) - b \quad (2)$$

式中, S_e 为地基修正后的膨胀变形量,mm; φ_e 为计算膨胀变形量的修正系数,该区域场地为 $\varphi_e = 0.49$; b 为回归计算系数,该区域场地为 $b = 0.20$; δ_{epi} 为基础底面下第 i 层土在该层土平均自重应力与平均附加应力之和作用下的膨胀率,由室内试验确定; h_i 为第 i 层土的计算厚度,mm; n 为自基础底面至计算深度内所划分的土层数,计算深度应根据大气影响深度确定,有浸水可能时,可按浸水影响深度确定。

参考文献:

[1] GBJ112-87 膨胀土地建筑技术规范[S]. 北京:中国计划出版社,1989.
 [2] GB/T50123-1999 土工试验方法标准[S]. 北京:中国计划出版社,1999.
 [3] 王淑云,方保铭,王如云. 数值分析方法[M]. 南京:河海大学出版社,1996.

(编辑:赵凤超)

级水库的发展状态,采用分区域的联合洪水预报模型进行洪水调度,能满足该流域的防洪需求。经多次模拟验证,初步得到以下结论。

(1) 在开展梯级水库洪水调度过程中,通过分区洪水模型预测天然来水过程,并对梯级水库进行系统分析、分区域控制,既保证了联合调度的科学有效性,又可根据实际情况迅速满足某一地区的洪水预报需求,防洪应用效果较好。

(2) 河道和水库洪水演进函数、模型众多,根据流域产汇流特性及河道水库特征选择适宜的预报方法尤其关键。计算过程中各区域单元运算需根据实际情况的变化选择合理的计算参数和计算模型,形成一套适合本流域的预报模型组合。

(3) 越是开发完善的流域,防洪目标越多,其梯级水库联合防洪实施过程中计算量越大。

采用分区洪水预报模式模拟梯级洪水的效果与各预报单元的物理参数方案、模拟区域、采用的资料、边界方案的选取有很大关系。从系统建设的角度来看,该模型对目前各梯级水电站联合防洪调度及自动化系统建设有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 赖良魁. 河网水力数值模拟的追赶法模型的应用[J]. 东北水利水电, 2001, (10): 35-37.
- [2] 周建军, 王连祥, 林秉南. 明渠不恒定分离流数值模拟及试验验证[J]. 水动力学研究与进展(A辑), 1993, 8(1): 28-34.
- [3] 郭建萍. 泰勒级数在数值法中的应用[J]. 华北矿业高等专科学校学报, 2001, 3(3): 35-36.
- [4] 郭丽君, 赵超. 马斯京根模型参数抗差估计方法风险分析[J]. 水电能源科学, 2012, 30(3): 58-60.

(编辑: 胡旭东)

Flood control operation of cascade reservoirs on Dadu River based on partition hydrological model

WANG Fuzhi^{1,2}, MA Guangwen¹, TAO Chunhua², ZHAO Fei³

(1. College of Water Resource & Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610064, China; 2. Control Center of Dadu River Cascade Hydropower Stations, Chengdu 610041, China; 3. School of Energy and Environment, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: Operation of cascade reservoirs for flood control often involves a wide range, and higher accuracy forecast is required for each flood control points at the same time. Starting from the characteristics of watershed hydrology and hydraulics and referring the concept of finite element method, we simplify the calculation of target flood as a series of regional flood calculation, then compose target flood by the calculated regional floods through iteration. For the river basin where cascade reservoirs have been constructed, we can divide the basin as some sub-basins and select the suitable hydrological model for each sub-basins to improve flood forecast accuracy of sub-basins and obtain more accuracy forecast result of target flood.

Key words: hydrological forecasting; flood control operation; partition hydrological model; cascade reservoirs of Dadu River

(上接第 12 页)

Study on correction coefficient in expansion value calculation of expansive soil foundation

ZHANG Jiazhu

(Water Resources Research Institute, Huaihe River Water Resources Commission, Bengbu 233000, China)

Abstract: To obtain the correction coefficient for expansion value calculation of expansive soil foundation in a construction site, expansion test was carried out by simulating the in-situ soil moisture condition in the foundation, and the expansion values in different foundation depth were measured. This measured values and the calculated values by loading expansion ratio curve under the same initial soil moisture rate are compared, and their relation is established. Finally, the correction coefficient and correction formula for the expansion soil in construction site are proposed. The study results provide valuable references for calculating expansion values accurately.

Key words: expansive soil foundation; in-situ test; expansion value; correction coefficient