

足力的平衡而不满足力矩平衡的方法,其计算成果与 β 值十分敏感。

表2 采用陆军工程师团法,在不同的 β 值情况下的安全系数

Table 2 Factors of safety with different values of β obtained by the method of U. S. Army, Corps of Engineers

$\beta/(\circ)$	F
0.0	1.051
1.01	1.068
5.0	1.144
10.0	1.247
15.0	1.369
20.0	1.520

Duncan(1996)教授在最近的一篇关于边坡稳定分析当代水平报告中曾指出^[5]:“仅使用静力平衡的方法的结果对所假定的条间力方向极为敏感,条间力假定不合适将导致安全系数严重偏离正确值。”本例证实了这一点。

在文献[6]中,笔者介绍了小浪底泄水建筑物出口边坡的稳定分析成果。安全系数在 $\beta=5^\circ$ 时为1.213,而在 $\beta=35^\circ$ 时为1.786。可见工程实践多次证实了这一论点。

对本工程实例的分析说明在边坡稳定分析中,使用严格的极限平衡分析方法,对于提高边坡设计水平是十分有意义的。

参考文献

- 1 U. S. Army Corps of Engineers. Stability of slopes and foundations, Engineering manual, Viscsburg, Miss, 1967
- 2 Morgenstern N R, Price V. The analysis of the stability of general slip surface, Geotechnique, 1965, **15**(1): 79~ 93
- 3 Chen Zuyu, Morgenstern N R. Extensions to the generalized method of slices for stability analysis, Canadian Geotechnical Journal, 1983, **20**(1): 104~ 119
- 4 Spancer E. A method of analysis of embankments assuming parallel inter-slice forces. Geotechnique, 1967, **17**(1): 11~ 26
- 5 Duncan J M. State of the art: Limit equilibrium and finite element analysis of slopes. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, 1996, **122**(7): 577~ 596
- 6 黄河小浪底水利枢纽进出口高边坡施工期稳定性研究和加固技术. 水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院等. 1998

对“怀洪新河某堤段滑坡前的稳定分析与滑坡后的验证”讨论的答复

葛孝椿

(安徽省水利科学研究所, 蚌埠, 233000)

感谢朱大勇、陈祖煜两位教授对“怀洪新河某堤段滑坡前的稳定分析与滑坡后的验证”一文(以下简称“原文”)的讨论。下面就有关问题进行答复。

1 原文的复合滑动面分析方法符合规范规定*

原文的复合滑动面稳定分析结果及安全系数最小滑动面的主要参数都是1993年某堤段发生滑坡前按原文所述方法计算得出的。当时尚无堤防工程设计规范,因而根据碾压式土石坝规范^[1]有关条款分析。1998年10月,中华人民共和国国家标准:《堤防工程设计规范》^[2]在长江洪水后不久发布。根据该规范8.2.4条规定:“土堤抗滑稳定可采用瑞典圆弧法。当堤基存在较薄软弱土层时,宜采用改良圆弧法。土堤抗滑稳定计算应符合附录F的规定……”。根据该规范附录F图F.0.2及式(F.0.2-1)(F.0.2-2)不难看出,原文分析方法与规范规定的方法完全一致。由于原文所述的淤泥层 $\varphi_u=0$,代入规范式(F.0.2-2)后,式(F.0.2-1)就是原文公式 $F=(P_v+c_uL)/P_a$ 。原文所述复合滑动面分析方法就是规范的改良圆弧法。

对于工程实际问题,一般情况下应按规范要求处理;对于质量检测部门更应如此。

2 强度指标的精度应与稳定分析方法一致

原文提到“滑坡前的稳定分析与滑坡后的观测结果相吻合的主要原因在于分析采用的土层划分和各土层计算指标(尤其

是淤泥层的强度指标)与实际情况较接近”。这里讲的较接近是在勘察范围那么大的情况下就设计规范对施工期稳定分析要求而言。如果用这种强度指标以及所确定的淤泥层厚度,采用再严格的方法分析也很难得到安全系数为1左右就使稳定处于极限状态的结果。

首先,计算指标是滑坡前半年多按规范验算施工期稳定要求测得的,均针对总应力法用偏于安全的快剪强度指标,又不可能考虑半年多填土加载固结作用会使强度提高(淤泥层薄,填土含水量较低)和填土的挤压作用会使淤泥层厚度减少。

其次,淤泥层强度和层厚无论在水平方向还是垂直方向都不均匀,因而作了近似处理:垂直方向取小值平均值,水平方向取平均值,淤泥层厚也取平均值(详见原文第2节)。

第三,取得强度指标的主要勘测横断面与首先出现裂缝的横断面相差13m,相对于数公里长的堤段而言是相当小;但是根据原文参考文献[1]说明,相距13m的两断面强度指标与淤泥层厚也不尽相同。

规范中对强度指标的有关规定是与规范规定的分析方法和安全系数相一致,充分考虑了“堤防工程堤线长,地质勘探工作不可能做得像土坝那样详细,试验资料的代表性也有限,施

* 到稿日期:1999-04-23

表 1 堤顶高程 16.8 m 的安全系数 F 与 X 关系

Table 1 Relationship between the safety F and X with levee crown elevation of 16.8 m

X/m		30	32	35	37	37.5	38	38.5	39	39.15	40	41.5	42.5	43.5	44.5	45.5	47
F	方法 1	1.015	0.960	0.895	0.837	0.826	0.820	0.814	0.813	0.808	0.812	0.829	0.852	0.878	0.892	0.907	0.926
	方法 2	1.002	0.983	0.946	0.912	0.907	0.901	0.896	0.896	0.898	0.901	0.911	0.917	0.931	0.940	0.948	0.959

土工样不一定符合设计要求,施工质量又不易控制,河堤工程运用时还存在受河水冲刷引起塌坡的可能^[2]等等特点。

3 安全系数 1.05 已达到施工期安全要求

该堤段滑坡前稳定分析采用的安全系数是根据碾压式土石坝设计规范^[1]套用 IV 级坝标准确定。由该规范表 7.3.8 得出施工期最小稳定安全系数允许值为 1.05。以后发布的《小型水利水电工程碾压式土石坝设计导则》^[4]表 7.2.2 也规定最小安全系数允许值为 1.05。两篇讨论对施工期情况分析结果,最小安全系数均大于 1.05,那么施工期稳定安全,不会发生滑坡;然而,实际情况并非如此。

根据原文图 4 所示,滑坡引起堤顶裂缝是弧形;裂缝观测说明, # 3 缝弧线顶点正是位于最早出现裂缝的稳定最不利横断面上,在该断面两侧稳定安全系数将大于稳定最不利断面的安全系数(按平面问题分析),离最不利断面愈远,安全系数就愈大。由于受到相邻断面抗滑作用影响,稳定最不利断面滑动的可能性将会减少。只有按空间问题分析才能反映这种情况。因此,如果用原文表 2 的强度指标和表 1 的淤泥层厚度按平面问题分析的稳定安全系数在 1 左右乃至大于 1 便不会发生规模如此大的滑坡。

4 规范的规定是长期工程实践的结果

碾压式土石坝设计规范^[1]的编制说明第 7.3.1 条指出,稳定计算常常决定断面和结构形式,该规范的有关“主要包括抗剪强度、计算方法和安全系数的选用等三个方面,而且彼此间有着相互联系,构成相当复杂的各种情况,因此虽然已有长期的实践和不断改进,但在很大程度上仍带有半经验的性质,需要一定的经验和判断”。

在一些规范中对不同的计算方法规定了不同的最小安全系数。例如碾压式土石坝设计规范^[1]第 7.3.8 条规定均质坝,厚斜墙及厚心墙坝可采用不计条块间作用力的瑞典圆弧法,其最小安全系数按该规范表 7.3.8 确定;第 7.3.9 条又规定,对 I, II 级高中坝,除了要按瑞典法计算外,应同时用计及条块间作用力的方法(如简化毕肖普法或其他严格方法)计算,但最小安全系数要比表 7.3.8 中的规定提高 10%。在火电厂灰坝设中也有类似规定^[5]。因此,不应当对不同计算方法的计算结果不经分析均套用同一的安全系数标准。

5 堤顶高程 16.80 m 时的稳定分析结果

朱教授在讨论中提出原文未给出滑坡时的安全系数,的确是个缺憾。原文未给出滑坡时的安全系数的原因在于滑坡时间及稳定最不利断面位置均难以预测,因而滑坡前不久的指标及淤泥层厚度均无法测得;滑坡后,由于淤泥层变形很大,其强度与层厚已面目全非,也无法测得。但是,如果仍用原文表 1 与表 2 的结果,仅将堤顶高程由 17.47 m 改为滑坡时高程 16.80 m 进行计算,则十分方便,计算的主要结果见表 1 与图 1 中方法 1 的数值及曲线。其中最危险滑动面的有关参数为:圆弧部分滑

弧圆心坐标: $X_0=34.77\text{ m}$, $Y_0=6.33\text{ m}$, 半径 $R=7.69\text{ m}$, 滑弧与堤顶交点坐标为: $X=42.45\text{ m}$, $Y=5.92\text{ m}$ 。从以上分析可知,堤顶高程从 17.47 m 减为 16.80 m 时,稳定安全系数从 0.706 提高为 0.808。

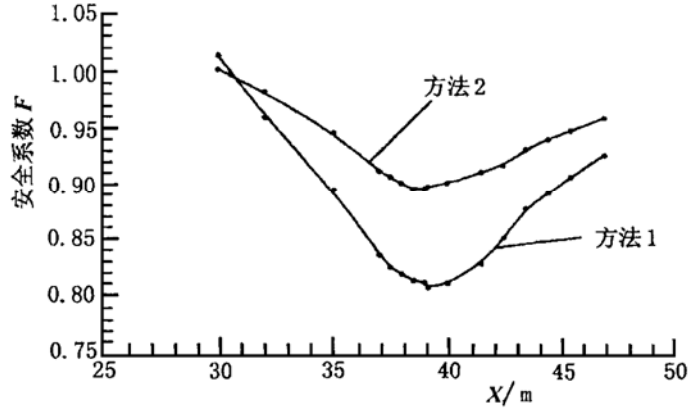


图 1 堤顶高程 16.8 m 的稳定安全系数与 x 关系曲线

Fig. 1 Relation curves between the safety factor F and X with levee crown elevation of 16.8 m

陈教授在讨论中提到原文方法安全系数的定义不明确,为此,改编了计算程序,采用 $P_a = P_p + c_u L + W \tan \varphi_u$, 将 P_a 中所有滑动力(或滑动力矩)均乘以安全系数 F 。在程序中通过上式解出 F , 然后搜索最小 F 。这样计算的主要结果示于表 1 与图 1 中方法 2 的数值和曲线。其中最危险滑动面有关参数为:圆弧部分圆心坐标为 $X_0=34.00\text{ m}$, $Y_0=6.47\text{ m}$, 半径 $R=7.88\text{ m}$, 滑弧与堤顶交点坐标为 $X=41.86\text{ m}$, $Y=5.92\text{ m}$, 最小安全系数 $F=0.896$ 。比较两种方法的计算结果可见,最危险滑动面位置及其几何参数变化很小,但是最小安全系数由第一种方法的 0.808 变为第二种方法的 0.896。

原文方法对圆弧部分也可按简化毕肖普法处理条间作用力,限于篇幅不再赘述。总之,计算方法、计算指标和安全系数是不可分割的整体,并且在工程实践中不断加以改进与完善。

参 考 文 献

- 1 碾压式土石坝设计规范 SDJ 218- 84. 电力工业标准汇编, 水电卷水工上册. 北京: 水利电力出版社, 1995. 499~ 577
- 2 堤防工程设计规范 GB 50286- 98. 北京: 中国计划出版社, 1998. 28~ 29, 91~ 92
- 3 碾压式土石坝设计规范 SDJ 218- 84 修改和补充规定. 电力工业标准汇编(水电卷, 水工上册). 北京: 水利电力出版社, 1995
- 4 小型水利水电工程碾压式土石坝设计导则 SL 189- 96. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 24~ 26
- 5 火力发电厂灰渣筑坝设计技术规定 DL/T 5045- 95. 北京: 中国电力出版社, 1996. 24~ 25