



PLAXIS 在防波堤稳定计算中的应用

路卫卫

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 采用有限元强度折减法进行防波堤稳定计算, 并在计算中充分考虑施工步骤对于稳定计算的影响。分析孔隙水压力及有效应力随时间的变化以及对防波堤稳定性的影响。结果表明, PLAXIS 可以应用在软基防波堤稳定性计算中, 对实际工程计算具有指导意义。

关键词: 防波堤; 边坡稳定性; 软土; PLAXIS

中图分类号: O 653; TP 72

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)04-0040-03

Application of PLAXIS in stability calculation of breakwater

LU Wei-wei

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: The strength deduction FEM method is applied to the stability calculation of breakwater, and influence of construction procedure is taken into account in the calculation. The changing of excess pore pressure and effective stress and related influence on the breakwater stability is analyzed. The result shows that PLAXIS could be adopted in the stability calculation of breakwater on deep soft clay, and it gives a direction to the engineering calculation.

Key words: breakwater; slope stability; soft clay; PLAXIS

防波堤稳定性分析一般采用极限平衡法, 本文采用有限元强度折减法进行计算。

之前其他研究者证明, 强度折减法对于边坡稳定计算同样具有准确性^[1]。

深厚软土地基上建设防波堤一般需要进行开挖换填或软基处理等措施。本文研究通过精细化控制施工过程来控制边坡稳定性, 以达到节约项目投资的目的。

根据某国外项目工程实例, 用 PLAXIS 进行深厚软土地基上的防波堤稳定计算, 并分析超孔隙水压力变化对于边坡稳定的影响。

1 工程实例计算

某国外工程防波堤项目, 具体资料如下:

防波堤类型: 斜坡式防波堤;

堤心石: 10 ~ 100 kg 块石;

护面块体: 1 ~ 3 t 块石;

地质: 上层为 20 m 左右厚度的粉质黏土软土

层, 下层为硬砂层。其中软土层从上到下可细分: A2-1 层、A2-2 层和 A2-3 层。泥面高程: -6.8 m。

1.1 PLAXIS 模型的建立

防波堤模型采用二维模型。二维模型可以在精度上满足要求。

模型中, 堤心石和护面块石采用排水性材料, 软土层和硬砂层采用不透水性材料。

土体参数: 根据欧洲岩土工程设计规范 Eurocode7^[2] 中第 3 种分项系数设计方法^[3] A2 + M3 + R3, (A 代表荷载分项系数, M 代表岩土材料分项系数, R 代表抗力分项系数), 剪切强度参数需要进行折减, 公式如下:

$$\begin{cases} \phi'_i = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi'}{1.25} \right) \\ c'_i = \frac{c'}{1.25} \\ c_{du} = \frac{c_u}{1.4} \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期: 2013-07-15

作者简介: 路卫卫 (1981—), 男, 工程师, 从事港口工程设计工作。

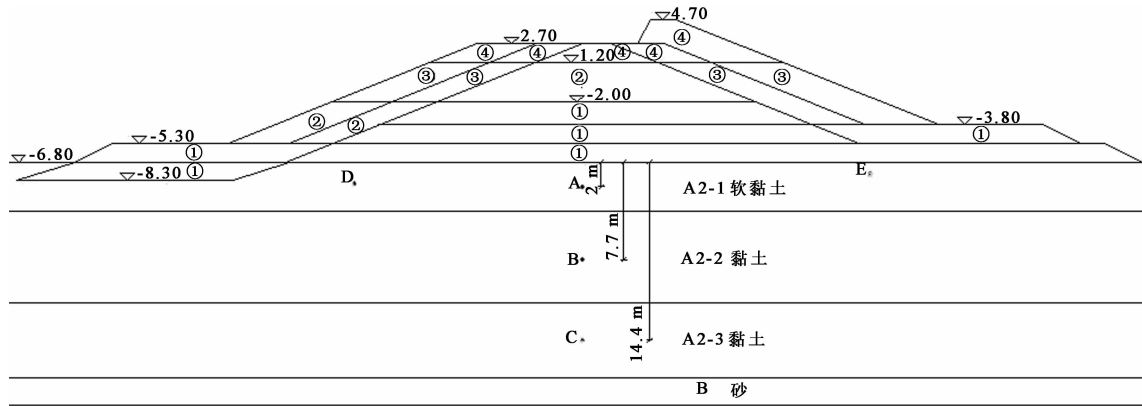


图 1 防波堤断面

经过折减后的土体输入参数见表 1。

表 1 经过折减后的土体输入参数

土层	材料类型	γ	K_0	E_{ref}/MPa	c'_d	ϕ'_d	ν	$K_h/(m \times d^{-1})$	K_v
石料	排水	17.0	0.40	10	4.0	36	0.25	864	288
A2-1 层	不排水	18.0	0.70	4	2.4	22	0.35	1.73×10^{-4}	5.76×10^{-5}
A2-2 层	不排水	18.5	0.65	4	2.4	23	0.35	4.32×10^{-4}	1.44×10^{-4}
A2-3 层	不排水	19.0	0.65	5	1.6	27	0.35	4.32×10^{-3}	1.44×10^{-3}
沙层	不排水	18.5	0.60	18	0.8	32	0.35	4.32×10^{-2}	1.44×10^{-2}

在计算中采用有效强度指标。

由于地质资料的有限性，例如缺少三轴压缩试验应力应变曲线等，土体模型暂时采用相对简单的摩尔库伦模型。地质资料详细时，可以采用 H-S 土体硬化模型。H-S 土体硬化模型能进行更全面的变形分析并考虑更多的因素，例如前期固结压力等。

采用有限元分析，在软件中，程序通过折减 $c'-\phi'$ ，当边坡不稳定时，程序将输出边坡稳定安全系数。

防波堤结构模型如图 2 所示。

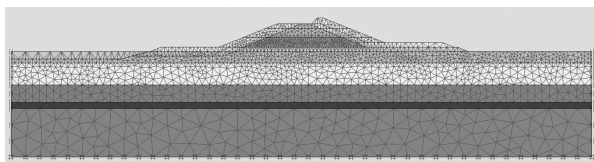


图 2 防波堤模型

1.2 荷载施加

经过计算，假如堤心石一次推填至设计顶高程，防波堤将会失稳。因此需要进行分步骤施工，并严格控制各步骤之间的时间间隔，调整出最经济合适的施工步骤控制方案。

经过不断试算得出最合适的施工荷载步骤：

1) 抛填 1 层碎石垫层，厚度约 1.5 m，抛填完成后顶高程为 -5.3 m。并抛填堤心石顶高程至 -2.0 m。防波堤左侧做块石压脚（图 3）。

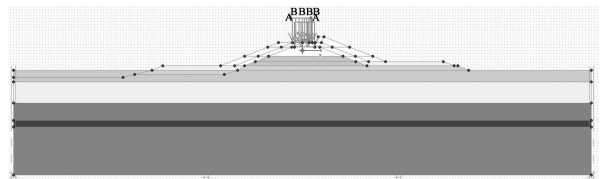


图 3 第 1 施工步

2) 以上第 1 施工步完成后，需要等待至少 45 d 才能实行第 2 施工步（图 4）：抛填部分堤心石，顶高程到 1.2 m。

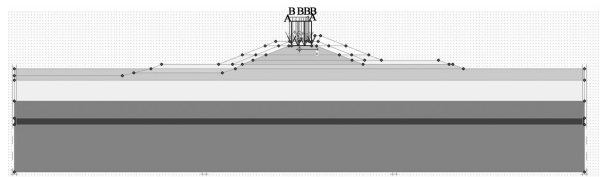


图 4 第 2 施工步

3) 完成第 2 施工步后，即可开始第 3 施工步（图 5）：挖除防波堤左侧块石压脚，并抛填护面垫层及护面块体至顶高程 1.2 m。

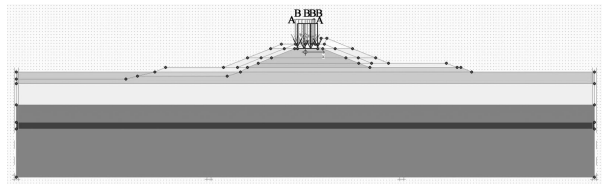


图5 第3施工步

4) 第3施工步完成后, 需要等待 60 d。才能进行第4施工步(图6): 抛填堤心石至设计顶高程 2.7 m。并立即抛填护面垫层及护面块石至设计顶高程。并施加施工荷载。其中陆地侧护面顶高程为 2.7 m, 海侧护面顶高程为 4.7 m。

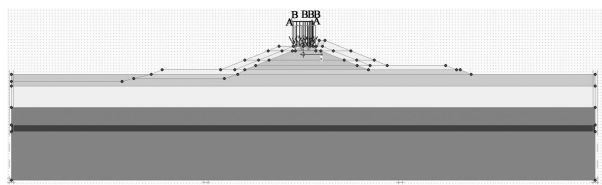


图6 第4施工步

在软件中, 定义不同的荷载步时, 要分别选取改荷载步中相应的防波堤单元, 并施加施工荷载。计算过程中, 上一步的荷载计算结果将自动作为下一步计算的基础。

1.3 边坡稳定计算结果

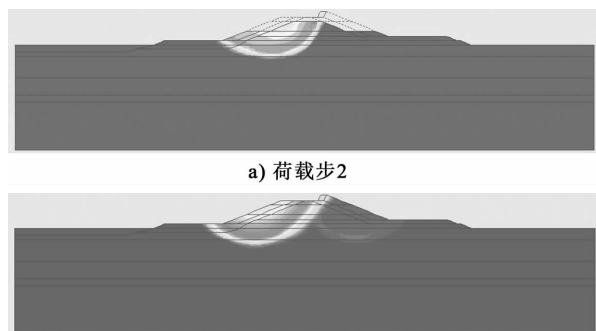
根据采用的 Eurocode7 第3种设计方法规定, 土体参数进行折减后, 边坡稳定系数大于 1 即可。

以上施工步中, 最危险的工况为第2荷载步和第4荷载步。表2列出了该2种工况的抗滑稳定安全系数。另外, 施工完成后, 几年后施工固结完全完成后的抗滑稳定安全系数也一并列出。

表2 抗滑稳定系数

施工步	第2步	第4步	最终固结完成后
安全系数	1.167	1.130	1.671

抗滑稳定计算结果见图7。



a) 荷载步2

b) 荷载步4

图7 抗滑稳定计算结果

1.4 施工期超孔隙水压力监测

超孔隙水压力的消散直接影响边坡的稳定性。PLAXIS 软件在计算时已经考虑了空隙水压力的消散和土体固结问题。不同施工步的加载, 以及时间间隔的考虑, 使得在加载下一步前, 土体固结, 剪切强度增加。

防波堤下方土层孔隙水压力监测。在计算过程中, 在每层软土中提取一个点的超孔隙水压力。确保超孔隙水压力不大于附加荷载应力的 1/2。监测点的布置如图1中的 A, B, C 共3点。

堤脚孔隙水压力监测。施工期间, 即便堤脚部分没有附加荷载, 但是由于边坡滑动趋势引起堤脚空隙水压力增加, 有效应力降低。为了保证稳定性, 需要控制, 施工期间堤脚土层竖向有效应力不小于施工前初始竖向有效应力的 1/2。监测点的布置如图1中的 D, E 共2点。

图8为 A, B, C 共3点超孔隙水压力与 1/2 附加荷载对比; 图9为 D, E 共2点竖向有效应力对比。

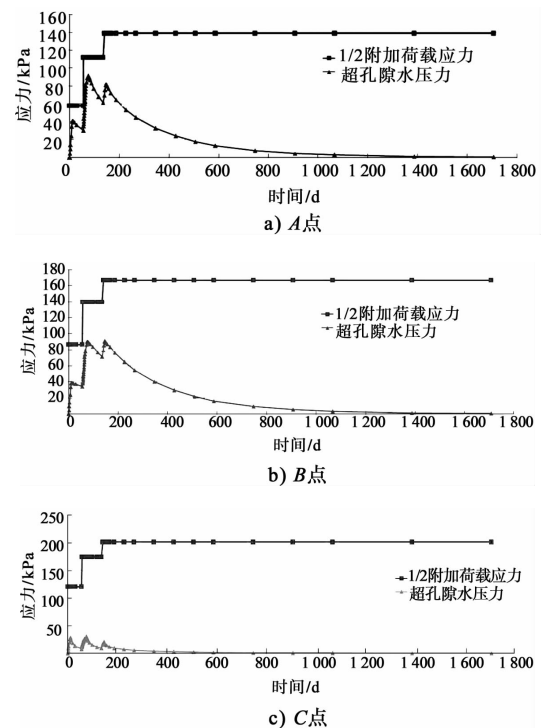


图8 超孔隙水压力与 1/2 附加荷载对比

以上计算结果表明, 超孔隙水压力小于附加荷载的 1/2, 且施工期间竖向有效应力大于初始有效竖向应力的 1/2。防波堤是稳定的。

(下转第 62 页)