大面积边荷载作用下的地基附加应力计算

李清华,徐瑞兰,徐　如

(山东省水利勘测设计院,山东 济南　250013)

摘要:针对在大面积填土平台上构筑建筑物,平台填土成为建筑物基础的边荷载的情况,从工程实际出发,提出根据建筑物地基轮廓的形状将荷载分解、转化为适于现有规范公式的荷载,然后采用直接计算法或扣除法计算附加应力,同时推求出当附加荷载的作用范围超过建筑物基础轮廓尺寸的 6 倍时,可按 6 倍作用范围计算,其误差小于 0.5%,满足工程附加应力计算的精度要求.

关键词:大面积边荷载;平台填土;附加应力;计算方法

中图分类号:TV314　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1006-7647(2005)S1-0054-03

随着社会经济的发展,水利工程项目越来越多,工程占地矛盾日益突出.因此,水利工程选址必须考虑合理利用土地资源,尽量少占耕地.近几年来,山东省修建的水利工程大多利用了地势低洼、杂草丛生的非农业耕地或废弃的古河道、河湖的浅滩地域.水利工程既要满足调水供水要求,又要满足自身防洪要求,因此,结合开挖弃土修筑平台,在平台上构筑建筑物成为经济方案.但是,为满足水利枢纽工程总体布置要求、防洪要求和供水功能要求,出现了填土平台面积远远大于主体建筑物轮廓尺寸,填土高度大、建筑物基础开挖深的情况.大面积填土平台成为建筑物基础的边荷载,边荷载的作用不仅产生底板内力,而且产生地基附加应力影响地基的沉降变形,前者有成熟的计算方法,后者研究成果较少,往往被设计者忽视,影响建筑物的安全.为此,笔者以南水北调东线一期工程二级坝泵站工程为例,从工程实践出发,通过大量的计算比较,提出方便实用、精度满足工程要求的大面积边荷载作用下附加应力的计算思路和计算方法,便于同类建筑物的沉降变形计算.

1　地基附加应力

附加应力是由于建筑物的荷载作用在地基中产生的应力[1].建筑物荷载包括建筑物本身和建筑物以外的其他附加荷载两类.

1.1　建筑物产生的地基附加应力

建筑物附加应力就是建筑物自身荷载在地基中引起的应力增量.按照问题的性质,划分为空间问题和平面问题两大类型,皆有自身完整的计算方法.

1.2　边荷载产生的附加应力

边荷载即是建筑物基础轮廓以外的原地面上的堆载.该荷载产生的附加应力沿地基深度扩散,影响和改变建筑物基础的沉降变形和底板应力状态受力.该类问题规范中暂无明确的计算方法.笔者认为,计算边荷载附加应力的方法思路有 3 种:①将附加荷载在计算断面上按条形基础受竖向均布荷载作用考虑;②整个厂区及建筑物基底皆按矩形基础受竖向均布荷载作用考虑;③将附加荷载看作作用范围无穷大,采用扣除法计算边荷载产生的附加应力,即首先计算荷载对厂区的整体影响,然后扣除建筑物基础对应位置的附加荷载对地基的影响,从而计算出边荷载产生的附加应力.

2　实例分析

填筑平台一般为矩形,但其上兴建的建筑物有矩形有条带形,如独立一座楼房为矩形,水利工程中的泵站主厂房因具有引水渠、进水池、前池、出水池、出水渠等引水输水设施而为条带形.因此,地基附加应力计算方法也应有所不同.以南水北调东线一期工程二级坝泵站的主厂房为例计算边荷载产生的附加应力及边荷载作用范围与主厂房地基附加应力的关系.

2.1　工程概况

二级坝泵站是南水北调东线工程的第十级抽水泵站,位于南四湖中部的下级湖内.一期设计调水流

作者简介:李清华(1964—),女,山东寿光人,高级工程师,从事水工设计工作.

量为 125 m^3/s，二期再增加 125 m^3/s. 工程主要任务是将水从南四湖下级湖提至上级湖，实现南水北调东线工程的梯级调水目标.

二级坝站址处设计洪水位 36.7 m，校核洪水位 37.42 m，二级坝顶高程 38.2 m，现状下级湖内站址处地面高程约 33.0 m，大大低于洪水位. 为了便于工程管理同时减少泵站施工开挖引起的大量弃土占地，降低工程造价，将站区进行回填，抬高地面高程至 38.20 m，满足防洪要求. 厂区外轮廓尺寸一期确定为 480 m × 330 m，二期在一期的基础上继续东扩.

二级坝泵站主厂房前有进水池、引水渠，后有出水池、出水渠等引水输水设施，将填土平台分为左右两个条带形. 泵主厂房的底板底高程 20.80 m、基础轮廓尺寸为 56.6 m × 42.4 m. 原地面以上填土附加边荷载为 104 kPa. 选定主厂房基础中心点以下的地层为计算土层，计算深度按附加应力与自重应力之比 0.2 确定为 49.0 m.

2.2 按条形基础受竖向均布荷载作用计算附加应力

泵站主厂房顺水流向有输水工程，而垂直水流方向，主厂房底板两侧存在较大的边荷载，影响主厂房地基的沉降变形. 因此，边荷载对底板沉降影响的计算沿垂直于水流方向进行. 将边荷载看作条形基础上的竖向均布荷载，主厂房基底以下的任意计算点看作条形基础外的点，采用文献[2]中的条形基础受竖向均布荷载作用时的附加应力计算公式直接计算边荷载对主厂房地基产生的附加应力.

边荷载的作用范围为垂直于水流方向自主厂房基础中心点向外分别扩展 $2B$，$4B$，$6B$，$8B$，$10B$（B 为建筑物基础宽度），计算简图见图 1，计算结果见表 1.

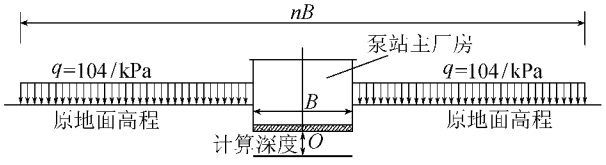


图 1 条形基础受竖向均匀荷载方法计算简图

表 1 条形边荷载作用范围对地基附加应力的影响

计算深度/m	附加应力/kPa				
	2B	4B	6B	8B	10B
17.5	5.882	6.892	7.003	7.031	7.041
24.5	11.570	14.057	14.351	14.425	14.452
31.5	17.134	21.755	22.354	22.508	22.564
38.5	21.678	28.914	29.952	30.227	30.328
49.0	26.169	37.739	39.686	40.226	40.428

注：荷载范围为 2B，4B，6B，8B，10B 时地基最大附加应力分别为 27.890 kPa，53.392 kPa，64.783 kPa，71.502 kPa，76.057 kPa，对应的计算深度分别为 90 m，110 m，140 m，170 m，190 m.

由表 1 可知：①随着边荷载作用范围的扩大，计算点处的附加应力值越来越大，但当边荷载的作用范围扩大到建筑物基础宽度的 6 倍时，趋于恒定值；②在相同的外荷载作用范围下，同一个铅直面上随着计算点深度的增加，附加应力值逐渐增加，且存在最大值；③边荷载作用范围越大，最大应力值的出现深度也越大；④按附加应力与自重应力之比 0.2 确定计算深度，一般小于最大应力值出现的深度，也就是说，附加应力计算是在逐渐增加的区间进行的.

2.3 按矩形基础受竖向均布荷载作用计算附加应力

整个厂区填土范围及建筑物（包括输水建筑物）基底皆按矩形基础受竖向均布荷载作用时角点下的附加应力计算. 采用文献[2]中矩形基础受竖向均布荷载作用时角点下的附加应力计算公式. 首先将填土荷载布满厂区，以泵站中心点 O 为角点，分为 Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ 4 个矩形荷载面，分别计算 O 点下的附加应力，进行叠加得 σ_1；其次将主厂房及前后输水工程的基底轮廓也以泵站中心点 O 为角点，分为 4 个矩形荷载面，荷载与前者的 4 个矩形荷载值分别相同，分别计算 O 点下的附加应力，进行叠加得 σ_2；最后，将 $\sigma_1 - \sigma_2$，求出 O 点下的实际附加应力值.

荷载的作用范围自主厂房基础中心点向外分别扩展 2B，4B，6B，8B，10B，计算结果见表 2.

表 2 矩形边荷载作用范围对地基附加应力的影响

计算深度/m	附加应力/kPa				
	2B	4B	6B	8B	10B
17.5	5.872	6.869	6.978	6.994	7.001
24.5	11.544	13.992	14.282	14.326	14.345
31.5	17.080	21.621	22.209	22.301	22.342
38.5	21.583	28.676	29.694	29.857	29.931
49.0	25.983	37.271	39.174	39.494	39.642

注：荷载范围为 2B，4B，6B，8B，10B 时地基最大附加应力分别为 27.030 kPa，49.977 kPa，58.283 kPa，58.850 kPa，59.401 kPa，对应的计算深度分别为 90 m，110 m，140 m，170 m，190 m.

由表 2 可得出与表 1 相同的规律，且两种计算方法的结果非常接近，差别率平均约 1.3%.

2.4 用扣除法计算附加应力

所谓扣除法是首先计算布满厂区的均布附加荷载对计算点产生的附加应力，然后扣除建筑物基础对应位置的附加荷载对计算点产生的附加应力，从而计算出计算点实际附加应力. 将二级坝泵站主厂房基础简化视为独立的矩形基础，无前后输水建筑物的影响. 采用文献[2]中矩形基础受竖向均布荷载作用时角点下的附加应力计算公式. 荷载的作用范围自主厂房基础中心点向外分别扩展 2B，4B，6B，8B，10B，试算近似看作无穷大的作用范围，计算结果见表 3.

分析表 3，可得出与表 1 和表 2 相同的变化规律，但与前两种方法得出的计算数值差别较大.

另外，计算布满厂区的均布附加荷载对计算点

表 3　附加荷载作用范围对地基附加应力的影响

计算深度/m	附加应力/kPa					
	2*B*	4*B*	6*B*	8*B*	10*B*	无穷大
17.5	14.087	16.932	17.261	17.344	17.373	17.405
24.5	24.205	30.797	31.652	31.873	31.953	32.039
31.5	31.668	43.122	44.819	45.272	45.439	45.619
38.5	35.850	52.592	55.443	56.236	56.534	56.859
49.0	37.364	61.569	66.647	68.161	68.747	69.403

产生的附加应力时,结果显示当附加荷载的作用范围扩大到建筑物基础宽度的 6 倍,同一铅直面上的附加应力值沿地基的深度衰减非常缓慢,附加应力值已趋于附加荷载数值.工程设计中,直接将附加荷载数值减去建筑物基础对应位置的附加荷载对计算点产生的附加应力,得出计算点实际附加应力.按此计算,精度满足工程设计要求,计算方法及过程简单.

2.5　3 种计算方法结果分析

a. 对表 1、表 2 中的计算数据进行分析比较得知,两种计算方法的计算结果相吻合,实际计算时可以根据实际情况采用计算方法简单的条形基础受竖向均布荷载时的计算公式.

b. 表 3 中的计算数据与表 1、表 2 相比,规律相同,数值差别较大,说明将二级坝泵站主厂房基础简化视为独立的矩形基础,不计前后输水建筑物的影响,计算误差较大.

c. 3 种计算方法结果表明:附加荷载的作用范围越大,计算误差越小.当作用范围为基础轮廓尺寸的 6 倍时,误差为 0.5%.

3　结　语

a. 大面积边荷载作用下的地基附加应力视建筑物地基轮廓的形状分为两类分别计算.若建筑物基础轮廓将附加荷载分为独立的两部分(如水利工程中的排灌站引水输水工程),可按条形基础受竖向均布荷载作用时的计算公式计算(本文中 2.2 计算法),也可按矩形基础受竖向均布荷载计算公式计算(本文中 2.3 计算法);若建筑物基础轮廓位于大面积附加荷载作用范围内的一部分,则按扣除法计算(本文中 2.4 计算法).

b. 当附加荷载的作用范围超过建筑物基础轮廓尺寸的 6 倍,可按 6 倍作用范围计算,误差小于 0.5%,满足工程附加应力计算的精度要求.

c. 扣除法计算中,荷载作用范围大于 6 倍基础宽度时,仅计算建筑物基础轮廓对应位置的附加应力,附加荷载数值减去建筑物基础轮廓对应位置的附加应力即可,计算既简单快捷又满足设计精度要求.

d. 附加荷载产生的地基附加应力计算后,即可按常规计算方法计算出建筑物基底压力产生的地基附加应力值,将所有附加应力计算结果叠加,求出计算点附加应力总值,按分层综合法计算建筑物的基础沉降变形,以便于确定基础处理方式及上部结构设计.

参考文献:

[1] 顾晓鲁,钱鸿缙,刘惠珊,等.地基与基础[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.

[2] SL265—2001,水闸设计规范[S].

(收稿日期:2005-01-05　编辑:骆超)

(上接第 53 页)

折线面基底地基应力分布计算方法的研究.

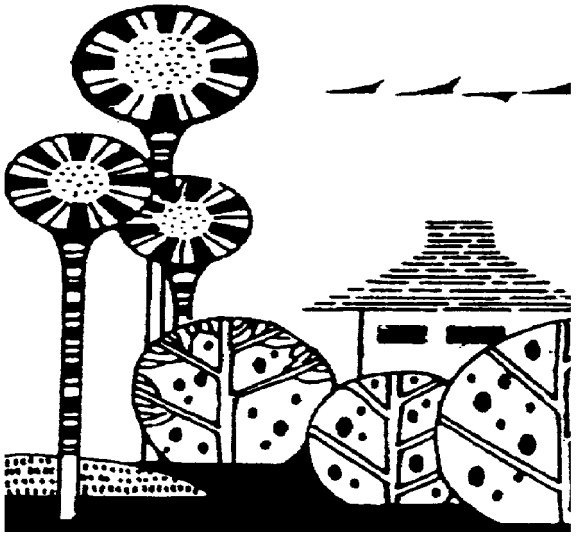
b. 在研究基底为折线平面的情况中,忽略了不平衡剪力传播的影响,但实际工程中不平衡剪力传播的影响不能忽略.为了得到更准确的建筑物折线面基底地基应力值,需要对不平衡剪力的传播做进一步研究.

参考文献:

[1] 陈胜宏.水工建筑物[M].北京:中国水利水电出版社,2004:12-13.

[2] 孙训方,方孝淑,关来泰.材料力学[M].北京:高等教育出版社,2000:16-22.

[3] 郭继武.郭瑶.地基基础[M].第 3 版.北京:清华大学出版社,2002:27-28.

[4] 单辉祖.材料力学[M].北京:高等教育出版社,1999:32-34.

(收稿日期:2005-01-20　编辑:高建群)