

自重折扣法在坞式底板设计中的应用探讨

陈璐

刘永强

12
41-43

(江苏省交通规划设计院 南京 210005) (河海大学国际工商学院 南京 210098)

U641.31

U641.2

摘要 结合江苏省土基上的船闸工程实例,介绍目前工程上对设置临时施工宽缝的坞式结构底板所采用的内力计算方法——自重折扣法,并从地基的压缩变形、荷载的作用方式、基础梁的柔性指数等方面分析了自重折扣法的理论依据,从设计工作实际和原型实验结果两方面指出了自重折扣法的局限性,并着重对自重折减系数的取值进行探讨,提出了建议的取值范围: $\xi_1 = 0.3 \sim 0.9$, $\xi_2 = 0.2 \sim 0.4$,且 $\xi_1/\xi_2 > 1$ 。

关键词 软土地基;船闸;坞式结构;底板;施工宽缝;自重折减系数;自重折扣法

江苏省土基上的船闸大量采用了钢筋混凝土坞式结构,其底板为受力最复杂的部位。整体坞式结构底板的计算方法以弹性地基上的基础梁算法为主,地基模型多采用半无限大弹性地基或有限压缩层地基。自80年代起,江苏船闸工程中的坞式结构普遍采用了设置临时性施工宽缝的工艺,即“墩底分浇,预留宽缝,后期封合”的措施(下文简称分缝施工),以改善底板的受力情况,使得新建船闸底板有效地避免了老闸在施工完建期所普遍存在的纵向裂缝。实践证明,分缝施工可以明显地减少底板的跨中负弯矩,预防底板开裂。因此,如仍沿用整体浇筑的底板的计算方法来计算分缝施工的底板,显然是不确切的。

近年来已经出现了考虑土体固结过程的粘弹性地基上的基础梁算法和考虑混凝土徐变特性的计算程序,但因有关参数难以确定而未能推广。为了使结构经济合理,工程上目前采用对自重进行折减的简化方法来减少底板的计算内力。这种算法有一定的理论依据,计算工作量比起整体浇筑的底板也增加不多,但其自重折减系数的合理选取一直是设计中的难点。

本文结合工程实例,从地基的压缩变形、荷载的作用方式、基础梁柔性指数等几方面谈一谈对自重折扣法的认识,并提出建议,供设计、施工和科研工作参考。

1 自重折扣法简介

所谓自重折扣法,就是封缝前和封缝后分别对结构自重和回填土重进行不同程度的折减,然后将封缝前后底板的内力相叠加。封缝前,边墩(边墙)及

边底板的重量被视为中底板的边荷载;其它方面的计算原理仍与整体浇筑的底板相同。

假定封缝前的边墩(边墙)自重、底板自重、回填土重的折减系数分别为 ξ_1, ξ_2, ξ_3 ;封缝后的边墩(边墙)自重、底板自重、封缝前已回填的土重、封缝后回填的土重的折减系数分别为 ρ_1, ρ_2, ρ_3 和 ρ_4 。对于非负的系数 $\xi_i (i=1,2,3)$ 和 $\rho_i (i=1,2,3,4)$,一般规定:① $\xi_1 + \rho_1 = 1.0$;② $\xi_2 + \rho_2 = 1.0$;③ $\rho_3 \leq 1.0$;④ $\xi_3 = \rho_4 = 1.0$ 。

2 自重折扣法的理论依据

自重折扣法所体现的是对诸多因素模糊化综合考虑的思想。笔者认为,分缝施工之所以使底板的受力得以改善,主要原因有以下几方面。

2.1 地基的压缩变形

坞式结构的边墩(边墙)及其上建筑物(如机房、控制楼等)的重量之和通常远大于底板的自重,而基坑排水使地下水位线呈现为中间高两边低的马鞍形,加之边墩(边墙)后的回填土对边墩(边墙)有负摩擦,因此,底板下的地基就会产生不均匀的压缩变形,使周边底板的沉降大于中间底板。随着地下水位的上升,地基又会发生不同程度的回弹,通常中底板下的地基回弹量较大,地基的不均匀沉降与回弹,是底板工作条件恶化的重要原因。如采用分缝施工的措施,在边墩前趾附近预留施工宽缝,让边底板和中底板相对独立,两者仅在施工宽缝处以钢筋相连,允许其产生一定的变位,待地基固结到一定程度,沉降相对稳定后,再浇筑宽缝处的混凝土,将底板联结成

整体,则减小了底板因地基形变而承受的附加应力。

与粘土地基相比,粉砂土或亚砂土地基渗透性强,固结速度快,在封缝前就能完成大部分沉降量,因而采用分缝施工法效果更佳,所以对于砂性土,通常 ξ_1, ξ_2 可取较高值,而 ρ_3 可取较低值。

2.2 荷载的作用方式

坞式结构的底板通常视为弹性地基上的基础梁,其内力与荷载的作用方式密切相关。整体浇筑的底板、边墩(边墙)及边底板自重一般是作为梁上荷载,使地基作用在基础梁上的反力很大;而分缝施工的底板在封缝前,可近似地假设中底板为等刚度基础梁,边墩(边墙)和边底板自重相当于中底板的边载,引起的中底板下地基反力则小得多。

下面对近年来京杭运河增扩建船闸的坞式闸首中较具代表性的某人字门型船闸下闸首作些分析。

该船闸口门宽 23 m, 闸室长 230 m, 槛上水深 5 m, 闸门型式为钢制平板人字门, 地基土质为亚粘土, 设计最大水头为 6 m; 下闸首采用钢筋混凝土坞式结构, 纵向长度 28.7 m, 横向总宽 42.2 m, 结构总高 16.7 m, 底板中心厚 2.8 m, 假定地基为理想弹性体, 用日莫契金链杆法求解地基反力, 从而求解出梁的内力。地基的压缩模量采用值为 $E_0 = 30 \text{ MPa}$, 泊松比采用值为 $\mu_0 = 0.30$ 。计算简图示于图 1, 计算结果列于表 1。

表 1 施工期间底板跨中弯矩对比

荷 载	整体浇筑的底板		分缝施工的底板(封缝前)	
	跨中弯矩 $M/(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_i/\%$	跨中弯矩 $M/(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_i/\%$
边底板自重	-1204.2	22.37	-472.2	38.25
边墩自重	-3223.8	59.88	-687.8	55.71
回填土重	-956.2	17.76	-74.6	6.04
$M = \sum M_i$	-5384.2		-1234.6	

注:为便于对比,上述计算未计入水平荷载和中底板自重,而且边底板自重、边墩自重和回填土重均取其实际重量,未作折减。

由表 1 可以看出:边墩及边底板的自重是引起跨中负弯矩的重要原因。按照上述近似假定,分缝施工的底板在宽缝封合前,边墩及边底板自重作为中

底板边载而产生的跨中负弯矩仅占整体浇筑底板的 22.93%。

2.3 基础梁柔性指数的变化

如果采用葛尔布诺夫-白沙道夫法求解基础梁,按柔性指数对梁进行分类,则京杭运河上大多数船闸底板均属于短梁,其柔性指数越小,由边荷载引起的跨中弯矩越大(负弯矩的绝对值越小)。因此,临时施工宽缝的设置使底板在封缝前断为左、中、右三段,各梁段柔性指数比合在一起时明显降低,这对减小中间底板的跨中负弯矩的绝对值是有利的。上述下闸首封缝前,假定它的中间底板的高度不变而宽度在 3 m 至 23 m 范围内变化,则中间底板宽度、跨中负弯矩和柔性指数间的关系见表 2。

表 2 跨中负弯矩与基础梁柔性指数的关系

中间底板宽度/m	基础梁的柔性指数	边荷载引起的底板跨中弯矩/($\text{kN}\cdot\text{m}$)
23	6.395	-1090.60
21	4.868	-720.32
19	3.605	-482.96
17	2.582	-319.36
15	1.774	-204.81
13	1.155	-125.22
11	0.700	-71.33
9	0.383	-36.50
7	0.180	-15.67
5	0.066	-4.82
3	0.014	-0.50

注:为便于对比,上述计算未计入水平荷载,而且边底板自重、边墩自重和回填土重均取其实际重量,未作折减。

柔性指数是确定宽缝位置的重要参数,由表 2 可见,对于本闸,当中间底板的宽度接近口门宽度(23 m)时,柔性指数和跨中负弯矩的变化幅度都较大,因而宽缝通常设在边墩前趾附近。

应当指出:首先,封合宽缝前,连接中、边底板的横向钢筋是底板受力筋,其直径较大,排列紧密,能够传递部分内力尤其是剪力,而将中底板作为独立的地基梁来看待只是一种极端的情况;其次,封合宽缝后,边墩(边墙)和边底板的自重仍会对连成整体的底板有所作用,而且此时底板的柔性指数已提高,

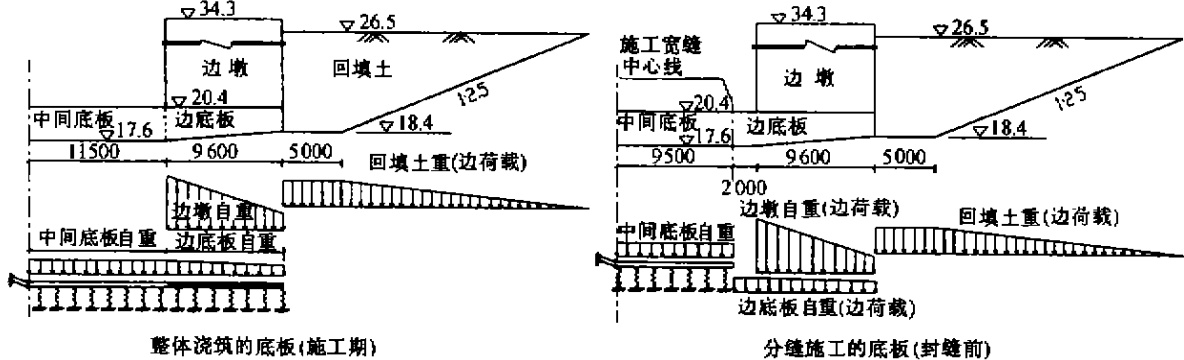


图 1 内力计算简图

只是地基的固结变化、混凝土的徐变影响等使这种作用有所削弱。所以,自重折扣法中系数 ρ_1, ρ_2, ρ_3 一般不宜取为零。

3 自重折扣法的局限性

3.1 折减系数的选取

为减少跨中负弯矩的绝对值,设计者希望在封缝前尽可能大地完成边墩(边墙)混凝土和墙后回填土工程量,并且有足够的时间让地基沉降固结,但安排施工工期时还必须对场地排水难度、边墩(边墙)独立稳定性以及作业进度等综合考虑,权衡利弊。因此,自重折减系数类似于多变量的复合函数,很难判断其取值。可以看出,虽然有若干约束条件, $\xi_1, \xi_2, \rho_1, \rho_2, \rho_3$ 的取值仍带有较大随意性。

值得注意的是,笔者在研究有关船闸设计资料时发现:如果折减系数取用不当,会导致跨中负弯矩的绝对值大于整体浇筑底板的。

仍以上述下闸首为例,试算高水运用期不同折减系数所对应的底板跨中弯矩,特征段选取中间段,计算结果示于表 3。

由表 3 可以得出如下结论:① ξ_1 不变时(则边墩自重为恒值), ξ_2 越大则跨中弯矩的绝对值越大;② ξ_2 不变时(则底板自重为恒值), ξ_1 越小则跨中弯矩的绝对值越大;③ ξ_1 及 ξ_2 与底板跨中弯矩呈线性关系。

事实上,在 ξ_3, ρ_3, ρ_4 确定后,影响跨中弯矩 M 的因素只有 ξ_1, ξ_2 两个;根据表 3 计算数据建立二元线性回归模型,并用最小二乘法进行参数估计,则有正规方程组:

$$\begin{cases} 2\beta_0 + \sum \xi_{i1} \cdot \beta_1 + \sum \xi_{i2} \cdot \beta_2 = \sum M_i \\ \sum \xi_{i1} \cdot \beta_0 + \sum \xi_{i1}^2 \cdot \beta_1 + \sum \xi_{i1} \xi_{i2} \cdot \beta_2 = \sum \xi_{i1} M_i \\ \sum \xi_{i2} \cdot \beta_0 + \sum \xi_{i1} \xi_{i2} \cdot \beta_1 + \sum \xi_{i2}^2 \cdot \beta_2 = \sum \xi_{i2} M_i \end{cases}$$

表 3 自重折减系数与底板跨中弯矩的关系

ξ_2	$M/(\text{kN} \cdot \text{m})$								
	$\xi=0.1$	$\xi=0.2$	$\xi=0.3$	$\xi=0.4$	$\xi=0.5$	$\xi=0.6$	$\xi=0.7$	$\xi=0.8$	$\xi=0.9$
0.1	-8119.671	-7866.055	-7612.440	-7358.824	-7105.210	-6851.594	-6597.979	-6344.364	-6090.748
0.2	-8388.724	-8135.108	-7881.493	-7627.885	-7374.263	-7120.656	-6867.032	-6613.417	-6359.802
0.3	-8657.777	-8404.161	-8150.546	-7896.931	-7643.316	-7389.706	-7136.085	-6882.469	-6628.855
0.4	-8926.830	-8673.214	-8419.606	-8165.991	-7912.376	-7658.753	-7405.138	-7151.530	-6897.908
0.5	-9195.883	-8942.267	-8688.653	-8435.040	-8181.429	-7927.806	-7674.191	-7420.576	-7166.969
0.6	-9464.936	-9211.320	-8957.706	-8704.090	-8450.477	-8196.859	-7943.244	-7689.637	-7436.014
0.7	-9733.989	-9480.374	-9226.759	-8973.143	-8719.528	-8465.912	-8212.304	-7958.682	-7705.067
0.8	-10003.040	-9749.427	-9495.852	-9242.196	-8988.581	-8734.965	-8481.351	-8227.735	-7974.120
0.9	-10272.100	-10018.480	-9764.865	-9511.140	-9257.634	-9004.018	-8750.404	-8496.788	-8243.173

注:① $\xi_3=1.0, \rho_3=0.7, \rho_4=1.0$;②如果底板采用整体浇筑法,则跨中弯矩 $M=-8104.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$;③弯矩值以底板下部受拉为正。

$$(i=1,2) \quad (1)$$

解得:

$$\begin{cases} \beta_0 \approx -8104 \\ \beta_1 \approx 2536 \\ \beta_2 \approx -2691 \end{cases}$$

σ^2 的无偏估计值为 0.024

所以跨中弯矩与自重折减系数近似有如下关系式:

$$M = 2536\xi_1 - 2691\xi_2 - 8104 \quad (2)$$

当 $\xi_1 = \xi_2 = 0$ 时, $M = -8104 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 这就是整体浇筑的底板跨中弯矩;当取 $\xi_1/\xi_2 \leq 1$ 时,计算出的跨中弯矩绝对值都大于整体浇筑的底板,显然与理论分析和实际观测所得出的结论是相悖的。

因此,根据笔者的设计经验,除上述有关规定外,对于江苏土基上的大多数船闸,建议 ξ_1 取 0.3~0.9, ξ_2 取 0.2~0.4, 且 $\xi_1/\xi_2 > 1$ 。

3.2 实测的钢筋应力分布规律

原型观测表明:封缝前边墩(墙)与边底板的自重以及墙后回填土的筑高会促使边墩后仰,使宽缝部位的连续钢筋产生很大的拉应力,其中底板顶层钢筋在该处的拉应力峰值甚至大于完建期跨中位置的拉应力值。宽缝钢筋所受的预拉作用必然对宽缝封合后底板钢筋应力的分布规律产生影响。而自重打折的简化方法所算出的底板顶层钢筋最大拉应力总是出现在跨中,且逐步向宽缝递减,说明该法未对上述影响加以考虑。

4 结 语

自重折扣法作为计算分缝施工坞式底板的一种简化方法,具有一定的科学性和实用性,但其理论仍待进一步完善。了解施工宽缝改善底板内力的原理,不仅有助于合理地选择自重折减系数,而且有助于合理地安排施工工序和工程进度,使底板受力朝有利的方向发展。

(收稿日期:1999-04-01 编辑:张志琴)