

港口工程结构设计算例

交通部第一航务工程勘察设计院 编

人民交通出版社

港口工程结构设计的算例

Gangkou Gongcheng Jiegou Sheji Suanli

交通部第一航务工程勘察设计院 编

人民交通出版社

一九九八年·北京

内 容 提 要

•本算例包括重力式码头、高桩码头、板桩码头和防波堤等8个计算例题。选题原则是以实际工程的设计为基础,虚拟了部分参数,计算时做了适当的典型化调整,重点突出以可靠度理论为基础以分项系数表达的概率极限状态设计方法,力求从总体上反映港口工程新规范的全貌。

本算例仅供工程技术人员学习、理解新规范,并按新规范进行工程设计时参考。

港口工程结构计算例

交通部第一航务工程勘察设计院 编

责任印制:张 凯 版式设计:刘晓方 责任校对:刘高彤

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京京华印刷制版厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:16.75 插页:5 字数:414千

1999年4月 第1版

2000年12月 第1版 第2次印刷

印数:3001-5000册 定价:60.00元

统一书号:15114·0225

编写人员名单

刘永绣	毕梦雄	王美茹	谢世楞	郭莲清	吴荔丹	冯仲武	赵晓岚
杨丽民	叶文	谢善文	丁恩荣	黄明俊	靳美瑞	赵冬梅	舒宁
国明光	邢迪	朱瑞珍	杨文彬	邹涌	刘彦忠	孙蕾	武蕾
李绮丽	靳庆杰	齐岳	刘静	李怡	朱子平	周庆文	刘进生
侯艳	冯芝芳	那丹红	马燕				

前 言

为方便工程技术人员正确理解和使用,按《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB50158-92)修订的《港口工程结构设计规范》,交通部组织第一航务工程勘察设计院编写了《港口工程结构设计算例》。本算例是在中交水运规划设计院,第一、二、三、四航务工程勘察设计院提交的码头、防波堤结构试设计实例的基础上,经筛选、补充、重新整理和计算形成的。

本算例包括重力式码头、高桩码头、板桩码头和防波堤等8个计算例题。选题原则是以实际工程的设计为基础,虚拟了部分参数,计算时做了适当的典型化调整,重点突出以可靠度理论为基础以分项系数表达的概率极限状态设计方法,力求从总体上反映港口工程新规范的全貌。

算例的编写侧重于反映规范规定的两种极限状态、3种设计状况和相应作用组合,计算深度只算到作用效应,计算内容方面比完整的工程设计计算书有所节略,当规范规定有几种计算方法可供选择时,算例仅采用了其中的一种,但并无推荐之意。

本算例仅供工程技术人员学习、理解新规范并按新规范进行工程设计时参考,不作为执行新规范的依据。本算例在编写过程中虽经编写组反复校核,但由于时间所限,难免有疏漏和错误,欢迎使用者提出宝贵意见。

目 录

第一章 重力式码头	1
第一节 方块码头	1
一、设计条件	1
二、作用的分类及计算	3
三、码头稳定性验算	29
四、基床和地基承载力验算	48
五、整体稳定验算	57
六、卸荷块体承载力计算	58
七、地基沉降	58
第二节 扶壁码头	60
一、设计条件	60
二、作用分类及计算	61
三、码头稳定性验算	72
四、扶壁构件的承载能力极限状态的计算	79
第三节 沉箱码头	82
一、设计条件	82
二、作用分类及计算	84
三、码头稳定性验算	100
四、沉箱结构内力计算	105
第二章 高桩码头	109
一、工程概述	109
二、设计条件	109
三、船舶荷载计算	114
四、面板计算	116
五、纵梁计算	121
六、横向排架计算	128
七、桩基计算	143
八、靠船构件计算	148
九、桩帽	149
十、岸坡稳定计算	151
第三章 板桩码头	157
第一节 钢板桩结构	157
一、工程概况	157
二、设计条件	157

三、作用效应组合	159
四、板桩墙计算	160
五、锚碇板计算	178
六、拉杆计算	186
七、整体稳定验算	188
第二节 地下连续墙结构	188
一、工程概况	188
二、基本设计条件	189
三、作用效应组合	191
四、板桩墙计算	192
五、锚碇板桩墙计算	206
六、拉杆计算	217
七、整体稳定验算	219
八、几点说明	220
第四章 防波堤	221
第一节 斜坡堤	221
一、设计条件	221
二、断面尺度的确定	221
三、护面块体稳定重量和护面层厚度	224
四、垫层块石的重量和厚度	225
五、堤前护底块石的稳定重量和厚度	225
六、胸墙的作用标准值计算及相应组合	225
七、胸墙的抗滑、抗倾稳定性计算	231
八、地基稳定性验算	232
九、地基沉降计算	239
第二节 沉箱式直立堤	240
一、设计条件	241
二、断面尺度的确定	241
三、直立堤作用标准值计算	241
四、直立堤稳定性验算	246
五、地基承载力验算	248
六、地基整体稳定性验算	253
七、地基沉降计算	255
八、堤前护底块石的稳定重量和厚度计算	257
九、沉箱吃水、干舷高度和浮游稳定计算	257

第一章 重力式码头

第一节 方块码头

一、设计条件

某工程为一座万吨级的商品汽车滚装码头。码头面顶高程为 5.50m,码头前沿水深为 -9.00m。码头结构断面如图 1-1-1 所示。

(一)设计船型

设计船型的船舶资料见表 1-1-1。

(二)结构安全等级

结构安全等级为二级。

(三)自然条件

1.设计水位

设计高水位:4.03m

设计低水位:0.26m

极端高水位:5.13m

极端低水位: - 1.34m

施工水位:2.0m

2.波浪要素

重现期 50 年, $H_{1\%}$ 波高值为:

设计高水位: $H_{1\%} = 1.665\text{m}$, $\bar{T} = 6.3\text{s}$

设计低水位: $H_{1\%} = 1.365\text{m}$, $\bar{T} = 6.3\text{s}$

极端高水位: $H_{1\%} = 1.715\text{m}$, $\bar{T} = 6.3\text{s}$

3.地质资料

土层分布及其物理力学指标见表 1-1-2 和表 1-1-3。

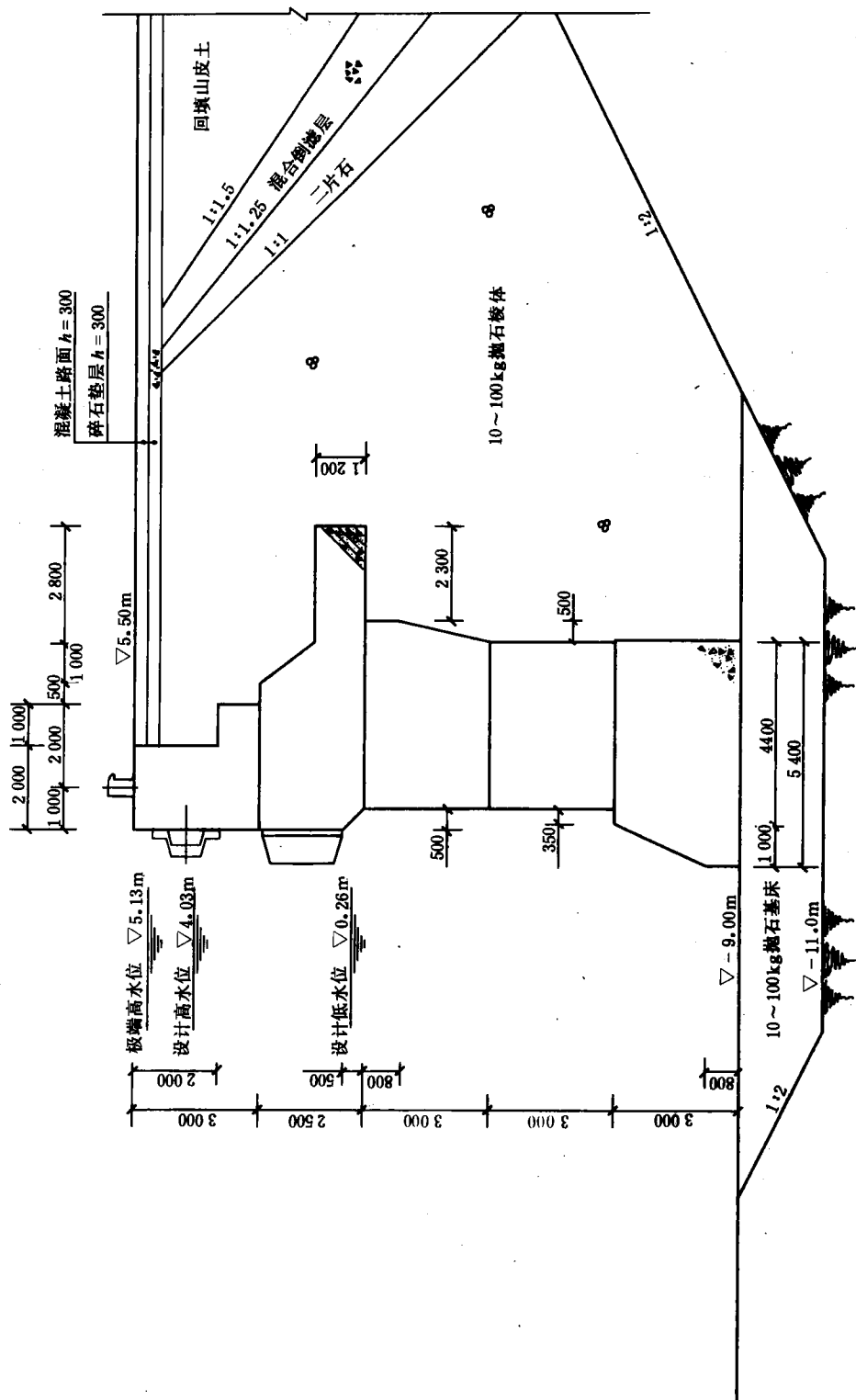
船舶资料 表 1-1-1

船长(m)	船宽(m)	型深(m)	船舶载重量 DW(t)
178	28	21	10 000.0

地质指标

表 1-1-2

名 称	分 布 标 高 (m)	重度标准值 (kN/m ³)	固 快		备 注
			φ	$c(\text{kPa})$	
淤泥质粘土	原泥面 - 2.6 ~ - 4.8	18.0	14°	4	
中 粗 砂	- 4.8 ~ - 9.0	18.0	33°	0	
粘 土	- 9.0 ~ - 14.6	18.9	26°	45	
粉质粘土 1	- 14.6 ~ - 18.2	19.03	16°	36	
粉质粘土 2	- 18.2 以下	18.8	21°	38	



$e-p$ 曲线表

表 1-1-3

p (kPa)		0.0	50	100	200	400	600
e	粘土	0.824	0.819	0.810	0.801	0.790	0.778
	粉质粘土 1	0.745	0.739	0.728	0.720	0.712	0.700
	粉质粘土 2	0.874	0.863	0.85	0.842	0.832	0.82

4. 地震设计烈度为 7 度

(四) 码头面荷载

堆存荷载: 当用于构件计算时: $q = 40\text{kPa}$

当用于整体计算时: $q = 30\text{kPa}$

(五) 材料指标

材料指标见表 1-1-4。

材 料 指 标

表 1-1-4

材 料 名 称	重 度 (kN/m^3)			内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$
	$\gamma_{\text{水上}}$	$\gamma_{\text{水下}}$	$\gamma_{\text{施}}$	
路面混凝土 C30	23	13		
钢筋混凝土卸荷块体 C30	24.5	14.5		
混凝土方块 C25	23	13		
混凝土胸墙 C30	23	13		
墙后回填 10 ~ 100kg 块石棱体	18	11	21	45

二、作用的分类及计算

(一) 结构自重力(永久作用)

自重力的计算图式见图 1-1-2。

1. 极端高水位情况

1) 自重力: 计算见表 1-1-5(以单宽 m 计)。

自重力计算结果(kN)

表 1-1-5

层 号	第一层	第二层	第三层	第四层	第五层
G_i	124.49	405.472	168.35	156.0	196.3
本层以上 ΣG_i	124.49	529.962	698.312	854.312	1050.612

2) 力臂: 计算见表 1-1-6。

力 臂 d_i 计 算 (m)

表 1-1-6

层 号 \ G_i d_i	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
第一层	1.471				
第二层	0.971	3.692			
第三层	0.971	3.692	2.162		
第四层	0.971	3.692	2.162	2.0	
第五层	2.321	5.042	3.512	3.35	2.872

注: d_i 为重心距计算面前趾的距离。

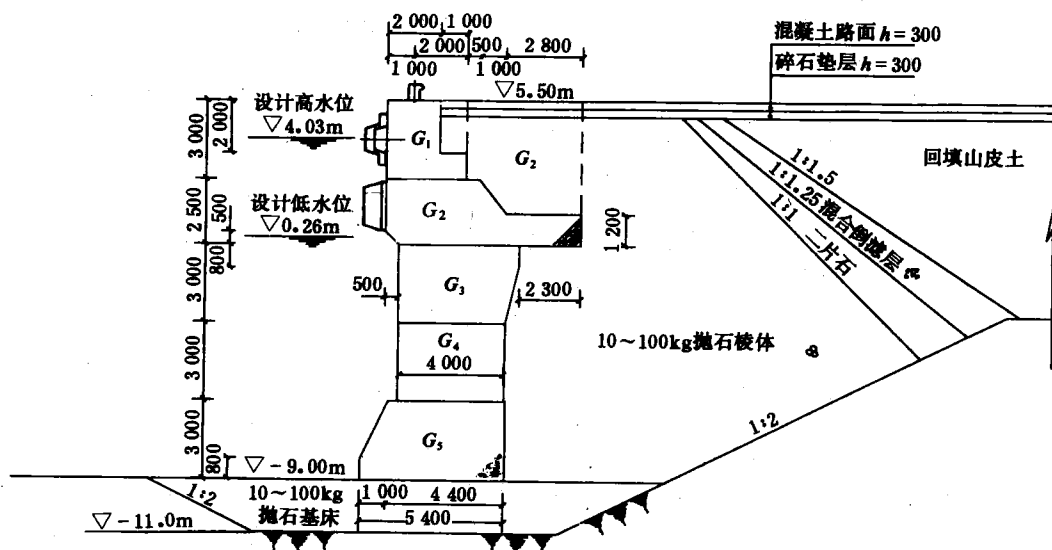


图 1-1-2 结构自重计算示意图(单位:mm)

3) 稳定力矩: $M_{Gi} = G_i \times d_i$, 计算结果见表 1-1-7。

力矩 M_{Gi} 计算结果 (kN·m)

表 1-1-7

层号 \ G_i	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	Σ
第一层	183.125					183.125
第二层	120.88	1 496.835				1 617.715
第三层	120.88	1 496.835	363.892			1 981.607
第四层	120.88	1 496.835	363.892	312.0		2 293.607
第五层	288.941	2 044.39	591.215	522.6	563.853	4 011.029

2. 设计高水位情况

1) 自重: 计算见表 1-1-8。

自重力计算结果 (kN)

表 1-1-8

层号	第一层	第二层	第三层	第四层	第五层
G_i	154.19	438.582	168.35	156.0	196.3
本层以上 ΣG_i	154.19	592.772	761.122	917.122	1 113.422

2) 力臂: 计算见表 1-1-9。

力臂 d_i 计算结果 (m)

表 1-1-9

层号 \ d_i	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
第一层	1.455				
第二层	0.955	3.764			
第三层	0.955	3.764	2.162		
第四层	0.955	3.764	2.162	2.0	
第五层	2.305	5.114	3.512	3.35	2.872

3)稳定力矩: $M_{Gi} = G_i \times d_i$, 计算结果见表 1-1-10。

力矩 M_{Gi} 计算结果(kN·m)

表 1-1-10

层号 \ G_i M_{Gi}	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	Σ
第一层	224.375					224.375
第二层	147.251	1 650.796				1 798.047
第三层	147.251	1 650.796	363.892			2 161.939
第四层	147.251	1 650.796	363.892	312.0		2 473.939
第五层	355.408	2 242.908	591.245	522.6	563.853	4 276.014

3. 设计低水位情况

1) 自重重力: 计算见表 1-1-11。

自重重力计算结果(kN)

表 1-1-11

层 号	第一层	第二层	第三层	第四层	第五层
G_i	198.5	634.0	168.35	156.0	196.3
本层以上 ΣG_i	198.5	832.5	1 000.6	1 156.6	1 352.9

2) 力臂: 计算见表 1-1-12。

力臂 d_i 计算结果(m)

表 1-1-12

层 号 \ G_i d_i	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
第一层	1.457				
第二层	0.957	3.649			
第三层	0.957	3.649	2.162		
第四层	0.957	3.649	2.162	2.0	
第五层	2.307	4.999	3.512	3.35	2.872

3) 稳定力矩 $M_{Gi} = G_i \times d_i$, 计算结果见表 1-1-13。

力矩 M_{Gi} 计算结果(kN·m)

表 1-1-13

层号 \ G_i M_{Gi}	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	Σ
第一层	289.25					289.25
第二层	189.965	2 312.72				2 502.685
第三层	189.965	2 312.72	363.892			2 866.577
第四层	189.965	2 312.72	363.892	312.0		3 178.577
第五层	457.940	3 168.116	591.245	522.6	563.853	5 303.754

(二) 波浪力(可变作用)

计算码头墙前波谷时的波浪压力及计算层底面的波浪浮托力标准值。

1. 极端高水位(5.13m)

$H_{1\%} = 1.715\text{m}, \bar{T} = 6.3\text{s}$

1) 确定波态: 按《海港水文规范》(JTJ213-98)表 8.1.1 确定。

$$d_1 = d = 5.13 + 9 = 14.13(\text{m})$$

$$\frac{d_1}{d} = 1 > \frac{2}{3}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}\sqrt{\frac{g}{d}} &= 6.3 \times \sqrt{\frac{9.81}{14.13}} \\ &= 5.25 < 8\end{aligned}$$

$$2H = 2 \times 1.715 = 3.43(\text{m}) < d$$

确定为立波。

2) 波浪压力强度:

$$L_0 = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} = \frac{9.81 \times 6.3^2}{2\pi} = 61.97(\text{m})$$

$$\frac{d}{L_0} = \frac{14.13}{61.97} = 0.2280$$

查附录 G 得: $\frac{d}{L} = 0.2489$

故 $L = 56.77\text{m}$

$$\text{又 } \frac{H}{L} = \frac{1.715}{56.77} = \frac{1}{33} < \frac{1}{30}$$

$$0.2 < \frac{d}{L} < 0.5$$

近似采用(JTJ213-98)规范 8.1.3.2 条计算:

水底处波浪压力强度按(8.1.3-7)式计算:

$$p'_d = \frac{\gamma H}{\text{ch} \frac{2\pi d}{L}} = \frac{10.25 \times 1.715}{\text{ch} \frac{2\pi \times 14.13}{56.77}} = 7.05(\text{kPa})$$

静水面处波浪压力为零。

静水面以下深度 $H - h_s$ 处波浪压力强度按(8.1.3-8)式计算:

$$p'_s = \gamma(H - h_s)$$

其中, 超高 h_s 按(8.1.3-1)式计算:

$$\begin{aligned}h_s &= \frac{\pi H^2}{L} \text{cth} \frac{2\pi d}{L} \\ &= \frac{\pi \times 1.715^2}{56.77} \text{cth} \frac{2\pi \times 14.13}{56.77} = 0.178(\text{m})\end{aligned}$$

则 $H - h_s = 1.715 - 0.178 = 1.537(\text{m})$

$$p'_s = 10.25 \times (1.715 - 0.178) = 15.75(\text{kPa})$$

波浪压力分布图见图 1-1-3a)。

3) 波浪作用的合力计算(以单宽 m 计):

(1) 水平合力的计算结果见表 1-1-14。

(2) 力臂 d_i 计算结果见表 1-1-15。

(3) 波浪压力产生的倾覆力矩 $M_{\text{PBi}} = P_{\text{Bi}} \times d_i$, 计算结果见表 1-1-16。

(4) 波浪浮托力 P'_u 及其产生的稳定力矩 M_{PBu} 。(P'_u 示意图见图 1-1-4), 计算结果见表 1-1-17。

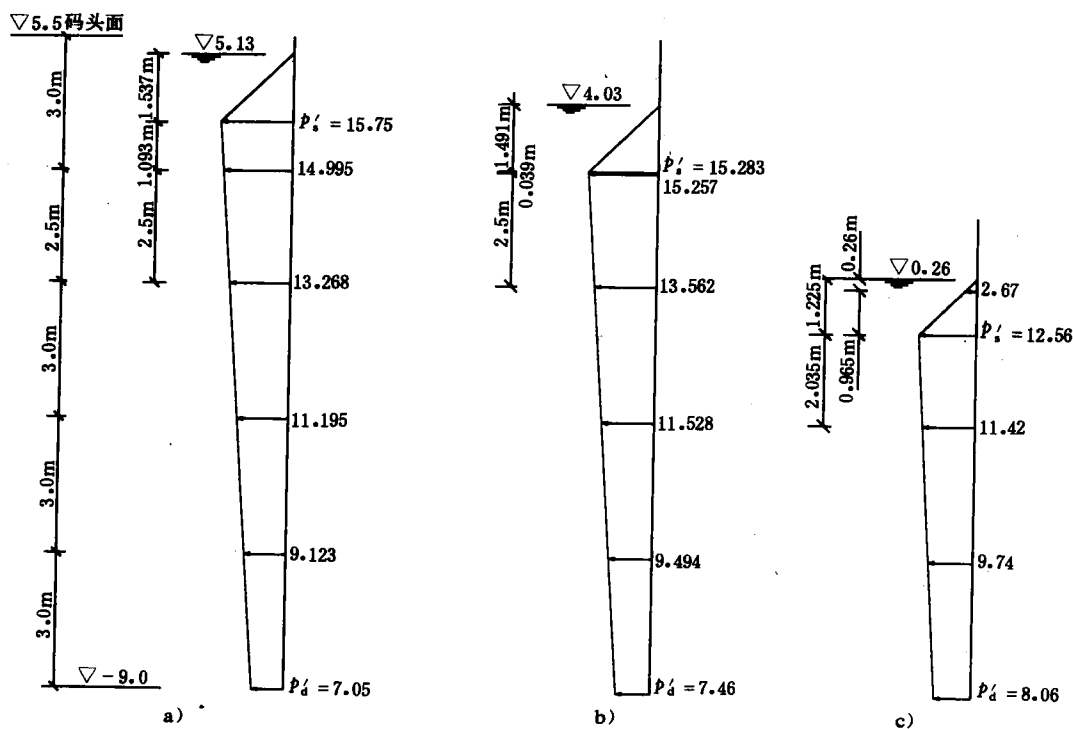


图 1-1-3 波浪压力分布图(单位:kPa,标高单位:m)
a)极端高水位;b)设计高水位;c)设计低水位

水平合力计算结果(kN)

表 1-1-14

层号	第一层	第二层	第三层	第四层	第五层
P_{Bi}	28.906	35.329	36.695	30.477	24.260
本层以上合力 ΣP_{Bi}	28.906	64.235	100.93	131.407	155.667

力臂 d_i 计算结果(m)

表 1-1-15

P_{B_i} 层号 d_i P_{B1} P_{B2} P_{B3} P_{B4} P_{B5}						P_{B_i} 层号 d_i P_{B1} P_{B2} P_{B3} P_{B4} P_{B5}					
第一层	0.992					第四层	9.492	7.275	4.542	1.551	
第二层	3.492	1.275				第五层	12.492	10.275	7.542	4.551	1.564
第三层	6.492	4.275	1.542								

M_{PBi} 计算结果(kN·m)

表 1-1-16

层号	M_{PBi}	P_{B1}	P_{B2}	P_{B3}	P_{B4}	P_{B5}	Σ
第一层		28.688					28.688
第二层		100.940	45.061				146.001
第三层		187.658	151.031	56.597			395.286
第四层		274.376	257.018	166.669	47.270		745.333
第五层		361.094	363.005	276.754	138.427	37.945	1177.225

P'_u 及 M_{Fbu} 计算结果

表 1-1-17

层 号	第一层	第二层	第三层	第四层	第五层
$P'_b(\text{kN/m})$	14.995	13.268	11.195	9.123	7.05
计算面底宽 b (m)	3.0	6.8	4.0	4.0	5.4
$P'_u = \frac{1}{2} b P'_b$ (kN)	22.493	45.111	22.39	18.246	19.035
合力作用点距计算面前趾的距离 $d = \frac{b}{3}$ (m)	1.0	2.267	1.333	1.333	1.8
$M_{Fbu} = P'_u \times d_i$ (kN·m)	22.493	102.252	29.853	24.328	34.263

2. 设计高水位(▽4.03m)

$$H_{1\%} = 1.665\text{m}, \bar{T} = 6.3\text{s}$$

1) 确定波态: 按(JTJ213-98)规范表 8.1.1 确定。

$$d_1 = d = 4.03 + 9 = 13.03(\text{m})$$

$$\frac{d_1}{d} > \frac{2}{3}$$

$$\bar{T} \sqrt{\frac{g}{d}} = 6.3 \times \sqrt{\frac{9.81}{13.03}} = 5.25 < 8$$

$$d > 2H$$

故为立波。

2) 波浪压力强度:

$$L_0 = 61.97\text{m}$$

$$\frac{d}{L_0} = \frac{13.03}{61.97} = 0.2103$$

查(JTJ213-98)规范附录 G 得: $\frac{d}{L} = 0.2338$

$$L = 55.72\text{m}$$

$$\frac{H}{L} = \frac{1.665}{55.72} = \frac{1}{33}$$

近似采用(JTJ213-98)规范 8.1.3.2 条计算波谷时波压力。

水底处波浪压力强度按(8.1.3-7)式计算:

$$p'_d = \frac{\gamma H}{\text{ch} \frac{2\pi d}{L}} = \frac{10.25 \times 1.665}{\text{ch} \left(\frac{2\pi \times 13.03}{55.72} \right)} = 7.46(\text{kPa})$$

静水面处:

$$p = 0$$

静水面以下:

$$H - h_s = 1.665 - 0.174 = 1.491(\text{m}) \text{ 处}$$

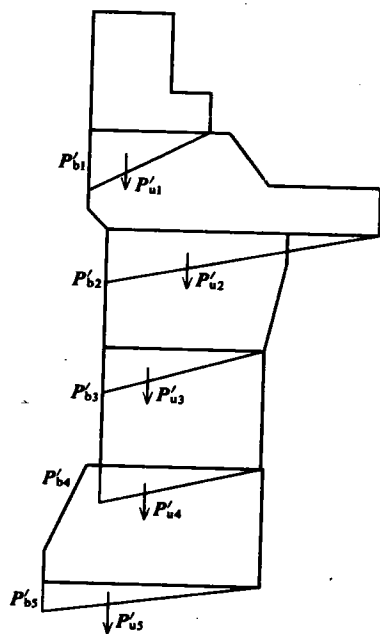


图 1-1-4 波浪浮托力 P'_u 示意图

$$h_s = \frac{\pi H^2}{L} \operatorname{cth} \frac{2\pi d}{L}$$

$$= \frac{\pi \times 1.665^2}{55.72} \times \operatorname{cth} \frac{2\pi \times 13.03}{55.72} = 0.174(\text{m})$$

$$P'_s = r(H - h_s) = 10.25 \times 1.491 = 15.283(\text{kPa})$$

波浪压力分布图见图 1-1-3b)。

3)波浪作用的合力计算(以单宽 m 计):

(1)水平合力的计算结果见表 1-1-18。

(2)力臂 d_i 计算结果见表 1-1-19。

(3)波浪压力产生的倾覆力矩 $M_{\text{PBi}} = P_{\text{Bi}} \times d_i$, 其计算结果见表 1-1-20。

(4)波浪浮托力 P'_u 及其产生的稳定力矩 M_{PBu} , 计算结果见表 1-1-21。

水平合力计算结果(kN)

表 1-1-18

层 号	第一层	第二层	第三层	第四层	第五层
P_{Bi}	11.989	36.024	37.635	31.533	25.431
本层以上合力 ΣP_{Bi}	11.989	48.013	85.648	117.181	142.612

力臂 d_i 计算结果(m)

表 1-1-19

P_{Bi} 层号	P_{B1}	P_{B2}	P_{B3}	P_{B4}	P_{B5}	P_{Bi} 层号	P_{B1}	P_{B2}	P_{B3}	P_{B4}	P_{B5}
第一层	0.51					第四层	9.01	7.275	4.541	1.548	
第二层	3.01	1.275				第五层	12.01	10.275	7.541	4.548	1.560
第三层	6.01	4.275	1.541								

M_{PBi} 计算结果(kN·m)

表 1-1-20

P_{Bi} 层号	M_{PBi}	P_{B1}	P_{B2}	P_{B3}	P_{B4}	P_{B5}	Σ
第一层		6.119					6.119
第二层		36.086	45.913				81.999
第三层		72.054	154.003	57.978			284.035
第四层		108.21	262.075	170.901	48.825		589.822
第五层		143.988	370.147	283.806	143.412	39.762	981.025

P'_u 及 M_{PBu} 计算结果

表 1-1-21

层 号	第一层	第二层	第三层	第四层	第五层
$P'_b(\text{kN/m})$	15.527	13.562	11.528	9.494	7.46
计算面底宽 b (m)	3.0	6.8	4.0	4.0	5.4
$P'_u = \frac{bP'_b}{2}$ (kN)	22.886	46.111	23.056	18.988	20.142
合力作用点距前趾的距离 $d = \frac{b}{3}$ (m)	1.0	2.267	1.333	1.333	1.8
$M_{\text{PBui}} = P'_{ui} \times d_i$ (kN·m)	22.886	104.518	30.741	25.317	36.256

3. 设计低水位(▽0.26)

$$H_{1\%} = 1.365\text{m}, \bar{T} = 6.3\text{s}$$

$$d_1 = d = 0.26 + 9 = 9.26(\text{m})$$

1) 确定波态:

$$\frac{d_1}{d} = 1 > \frac{2}{3}$$

$$\bar{T} \sqrt{\frac{g}{d}} = 6.3 \times \sqrt{\frac{9.81}{9.26}} = 6.48 < 8$$

墙前波态为立波。

2) 波浪压力强度:

$$L_0 = 61.97\text{m}$$

$$\frac{d}{L_0} = \frac{9.26}{61.97} = 0.1494$$

查(JTJ213-98)规范附录 G 得: $\frac{d}{L} = 0.1828$

$$L = \frac{9.26}{0.1828} = 50.65(\text{m})。$$

$$\frac{H}{L} = \frac{1.365}{50.65} = \frac{1}{37}$$

$$0.139 < \frac{d}{L} < 0.2$$

超高 h_s 按(JTJ213-98)规范(8.1.3-1)式计算:

$$\begin{aligned} h_s &= \frac{\pi H^2}{L} \operatorname{cth} \frac{2\pi d}{L} \\ &= \frac{\pi \times 1.365^2}{50.65} \operatorname{cth} \frac{2\pi \times 9.26}{50.65} = 0.14(\text{m}) \end{aligned}$$

波谷作用下的立波作用力按(JTJ213-98)规范 8.1.3.2 条计算。

水底处波浪压力强度按(8.1.3-7)式计算:

$$p'_d = \frac{\gamma H}{\operatorname{ch} \frac{2\pi d}{L}} = \frac{10.25 \times 1.365}{\operatorname{ch} \frac{2\pi \times 9.26}{50.65}} = 8.06(\text{kPa})$$

静水面处波浪压力强度 $p = 0$ 。

静水面以下深度 $H - h_s$ 处波浪压力强度按(8.1.3-8)式计算:

$$H - h_s = 1.365 - 0.14 = 1.225(\text{m})$$

$$p'_s = \gamma(H - h_s) = 10.25 \times 1.225 = 12.56(\text{kPa})$$

波浪压力分布图见图 1-1-3c)。

3) 波浪作用的合力计算(以单宽 m 计):

(1) 水平合力的计算结果见表 1-1-22。

(2) 力臂 d_i 计算结果见表 1-1-23。

(3) 波浪压力产生的倾覆力矩 $M_{\text{PBi}} = P_{\text{Bi}} \times d_i$, 计算结果见表 1-1-24。

(4) 波浪浮托力 P'_u 及其产生的稳定力矩 M_{PBu} , 计算结果见表 1-1-25。