

JTJ

中华人民共和国行业标准 **JTJ 250—98**

港口工程地基规范

Code for Soil Foundations of Port Engineering

1998—04—20 发布 1999—06—01 实施

中华人民共和国交通部发布

交通部关于发布 《港口工程地基规范》的通知

交基发[1998]213号

各省、自治区、直辖市交通厅(局、委、办),部属及双重领导企事业单位:

由我部组织天津港湾工程研究所等单位修订的《港口工程地基规范》,业经审查,现批准为强制性行业标准,编号为 JTJ250—98,自1999年6月1日起施行。《地基规范》(JTJ219—87)同时废止。

本规范的管理和出版组织工作由部基建管理司负责,具体解释工作由天津港湾工程研究所负责。

中华人民共和国交通部
一九九八年四月二十日

前　　言

1978年制定的《港口工程地基规范》，1987年经少量修改纳入《港口工程技术规范（1987）》合订本。执行该规范十几年来，对促进港口工程建设发挥了重要作用。

近年来，随着水运及港口建设的发展，筑港技术无论在理论上和实践中都得到迅速发展，出现了许多科研成果和新技术、新工艺、新材料。原规范已不适合当前港口建设的需要，尽快修订原规范势在必行。为此，交通部于1990～1995年组织天津港湾工程研究所等单位修订原规范，总结经验并开展试验研究。尤其是在制定《港口工程结构可靠度设计统一标准》（以下简称《统标》）和贯彻《统标》修订规范过程中对地基可靠度及风化岩特性等进行研究、开展了调查、收集资料、概率统计分析、可靠度计算分析和编制计算机程序等项工作。使得本次修订规范既总结了国内经验，吸收了部分国外先进技术，又实现了向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的转轨和与国际标准《结构可靠度总原则》（ISO2394）的接轨。

本规范共分8章、12个附录并附有条文说明。1996年9月11日通过部审，本次修订主要内容有：全面修订岩土分类，增加风化岩全风化岩分档，对淤泥性土增加流泥和浮泥分档；采用新的抗剪强度指标统计方法（简化相关法）；地基验算采用了以分项系数表达的极限状态设计表达式；采用新的极限平衡理论公式代替原规范地基承载力验算公式；提出了采用固结快剪指标，考虑条间力的计算模式验算边坡稳定的分项系数；对软基处理增加、补充了多项技术先进，并具有港工特色的加固方法；根据边坡稳定可靠度分析、实际工程码头变形和广泛征求意见，取消了原规范关于

高桩码头岸坡稳定验算中“应计入桩的抗滑作用”的规定。

本规范修订主要依据为：现行国家标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50158)和《建筑地基基础设计规范》(GBJ—7)、国家现行行业标准《建筑地基处理技术规范》(JGJ—79)和《水运工程建设标准编写规定》(JTJ—200)等。

本规范由天津港湾工程研究所负责解释，在执行中发现的问题和意见请及时函告，以便今后修订时参考。

本规范如有部分修订，其内容将在《水运工程标准与造价管理信息》上刊登。

目 次

1	总则	7
2	符号	8
3	岩石分类	10
3.1	岩的分类	10
3.2	土的分类	11
4	地基承载力	16
4.1	一般规定	16
4.2	地基承载力验算	18
4.3	保证与提高地基承载力的措施	23
5	土坡和地基稳定	25
5.1	一般规定	25
5.2	抗剪强度计算指标	25
5.3	土坡和地基稳定的验算	26
5.4	抗力分项系数	29
5.5	保证土坡稳定的措施	30
6	地基沉降	32
6.1	一般规定	32
6.2	地基最终沉降量计算	32
6.3	适应与减少地基沉降的措施	34
7	软基处理	35
7.1	一般规定	35
7.2	换填砂垫层法	37
7.3	堆载预压法	39
7.4	真空预压法	44

7.5 真空预压联合堆载预压法	45
7.6 轻型真空井点法	46
7.7 强夯法	47
7.8 振冲置换法	49
7.9 振冲密实法	52
7.10 水上深层水泥搅拌法	54
8 现场观测	59
附录 A 岩石分类	60
附录 B 花岗岩不同风化程度物理力学指标参考值	63
附录 C 碎石土密实度野外鉴别	65
附录 D 岩土基本变量的概率分布及统计参数的近似 确定方法	66
附录 E 查表法验算地基承载力	70
附录 F 地基承载力系数表	73
附录 G 非圆弧滑动面抗滑稳定计算法	79
附录 H 考虑侧面摩阻的抗滑稳定计算法	85
附录 J 地基垂直附加应力系数图表	86
附录 K 用分级加荷实测沉降过程线推算固结系数的 方法	94
附录 L 平均固结线计算表	97
附录 M 本规范用词用语说明	100
附加说明 本规范主编单位、参加单位和主要起草人 名单	101

1 总 则

1.0.1 为保证港口工程建筑物地基及软基处理工程,在设计基准期内具有足够的可靠性,满足技术先进、经济合理、安全可靠和耐久适用等要求,遵循现行国家标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB50158)的规定,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于港口工程建筑物地基及软基处理的设计与施工。干船坞、船台、滑道、船闸等建筑物可参照使用。

本规范不适用于黄土、红粘土、冻土和膨胀土等特殊地基。

1.0.3 地基的设计、施工,应考虑地基土的变异性,准确划分土层单元体。对较厚土层,注意区分亚层;变异性较大的土层,要分析原因;对取样困难的土层,应进行现场测试。尤应查明对建筑物可靠性影响较大的软弱夹层、倾斜岩面、岩溶、地下水状态、滑坡体、被掩埋的古河道、古冲沟、河床坡度及不同季节受冲、淤影响而引起边坡坡度的变化等。

1.0.4 港内工业与民用建筑地基应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GBJ7)执行。铁路路基应按现行行业标准《铁路路基设计规范》(TB1)及《铁路桥涵设计规范》(TB2)执行。港内道路按现行行业标准《港口道路、堆场铺面设计与施工规范》(JTJ—296)执行。

2 符 号

A_e ——基础的有效面积
 B ——基础宽度
 B_e ——基础的有效受压宽度
 B'_{e} ——条形基础抛石基床底面处的有效受压宽度
 B'_{re} ——矩形基础抛石基床底面处的有效受压宽度
 c ——粘聚力
 c_d ——粘聚力设计值
 c_h ——水平固结系数
 c_k ——粘聚力标准值
 c_v ——垂直固结系数
 c' ——有效剪粘聚力
 D ——基础埋深
 d_1 ——抛石基床厚度
 d_2 ——砂垫层厚度
 F'_{k} ——有抛石基床或垫层情况的地基极限承载力的竖向分力
标准值
 $[f_d]$ ——查表得到的地基承载力设计值
 I_L ——液性指数
 I_p ——塑性指数
 K ——渗透系数
 L ——基础长度
 L'_{re} ——矩形基础抛石基床底面处的有效受压长度
 M_{Rk} ——抗滑力短标准值

M_{sd} ——滑动力矩设计值
 m_B ——基础宽度的承载力修正系数
 m_D ——基础埋深的承载力修正系数
 N ——标准贯入击数
 S_i ——第 i 级荷载作用下的最终沉降量
 S_r ——饱和度
 S_{uk} ——不排水抗剪强度标准值
 ΔS_{uk} ——抗剪强度增量标准值
 $S_{d\infty}$ ——地基最终沉降量设计值
 T_h ——径向时间因数
 T_v ——垂直向时间因数
 U_r ——地基的径向平均固结度
 U_z ——地基的竖向平均固结度
 U_{rz} ——瞬时加载时地基的平均总固结度
 U'_{rz} ——分级加载时地基的平均总固结度
 u ——孔隙水压力
 V'_{d} ——作用于抛石基床底面上竖向合力的设计值
 w ——天然含水率
 w_L ——液限
 w_p ——塑限
 γ ——重度
 δ ——合力作用线与垂线间的夹角
 δ' ——抛石基床底面合力作用线与垂线间的夹角
 σ_c ——地基自重压力
 τ_f ——抗剪强度
 φ ——内摩擦角
 φ_{cq} ——固结快剪内摩擦角
 φ_d ——内摩擦角设计值
 φ_k ——内摩擦角标准值
 φ' ——有效剪内摩擦角

3 岩土分类

3.1 岩的分类

3.1.1 岩体应为天然埋藏条件下,由岩块组成的,通常含有一种以上结构面的地质体。

3.1.2 岩体根据岩石的质量指标(RQD)应按表 3.1.2 分类。

岩体按岩石质量指标(RQD)分类 表 3.1.2

岩体分类	RQD(%)	岩体分类	RQD(%)
很好	>90	差	25~50
好	75~90	很差	<25
中等	50~75		

注:RQD指钻孔中用 N型(75mm)双层单动金刚石钻头钻进获取的等于和大于 10cm 的岩芯段长度之和与岩芯总长度之比,以百分数表示。

3.1.3 岩石应为天然形成的有一定联结强度的矿物与岩屑集合体,一般指单个的岩石块体。

3.1.4 岩石按成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。

3.1.5 岩石根据强度可按附录 A 中表 A.0.1 分为硬质岩石和软质岩石。

3.1.6 岩石按软化系数 k_R 可分为软化岩石($k_R \leq 0.75$)和不软化岩石($k_R > 0.75$)。

注:(k_R 为饱和状态与风干状态的岩石单轴极限抗压强度之比。

3.1.7 岩石、岩体根据风化程度应分为未风化、微风化、中等风化、强风化和全风化。硬质岩和软质岩的风化程度可分别按附录 A 中表 A. 0.2 和表 A. 0.3 确定。

3.1.8 对中小型工程且无试验资料时花岗岩不同风化程度的物

理力学性指标参考值可按附录 B 选用。

3.2 土的分类

3.2.1 作为建筑物场地和地基的土可分为碎石土、砂土、粉土、粘性土和填土。

3.2.2 碎石土应为粒径大于 2mm 的颗粒含量超过总质量 50% 的土,根据颗粒级配及形状按表 3.2.2 定名。碎石土的密实度可按本规范附录 C 执行。

碎石土分类 表 3.2.2

土的名称	颗粒形状	颗粒级配
漂石 块石	圆形、亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 200mm 的颗粒超过总质量 50%
卵石 碎石	圆形、亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 20mm 的颗粒超过总质量 50%
圆砾 角砾	圆形、亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 2mm 的颗粒超过总质量 50%

注:定名时应根据粒径分组由大到小以最先符合者确定。

3.2.3 砂土应为粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过总质量 50%、粒径大于 0.075mm 的颗粒超过总质量 50% 的土。根据颗粒级配应按表 3.2.3 定名。

砂土分类 表 3.2.3

土的名称	粒组含量
砾砂	粒径大于 2mm 的颗粒占总质量 25%~50%
粗砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒超过总质量 50%
中砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒超过总质量 50%
细砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过总质量 85%
粉砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过总质量 50%

注:定名时根据粒径分组由大到小以最先符合者确定。

3.2.4 砂土颗粒组成特征应根据土的不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_s 定名。

数 C_c 确定，并应按下列规定判别。

3.2.4.1 不均匀系数 C_u 按下式计算：

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3.2.4-1)$$

式中 d_{60} ——在土的粒径分布曲线上的某粒径，小于该粒径的土粒质量为总土粒质量的 60%；

d_{10} ——在土的粒径分布曲线上的某粒径，小于该粒径的土粒质量为总土粒质量的 10%；

3.2.4.2 曲率系数 C_c 按下式计算：

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} d_{60}} \quad (3.2.4-2)$$

式中 d_{30} ——在土的粒径分布曲线上的某粒径，小于该粒径的土粒质量为总土粒质量的 30%。

3.2.4.3 当不均匀系数 C_u 大于等于 5 和曲率系数 C_c 等于 1 ~3 时，为级配良好的砂。

3.2.5 砂土的密实度可根据标准贯入击数 N ，按表 3.2.5 判定。

砂土的密实度 表 3.2.5

击数 N	密实度	击数 N	密实度
$N \leq 4$	极松	$15 < N \leq 30$	中密
$4 < N \leq 10$	松散	$30 < N \leq 50$	密实
$10 < N \leq 15$	精密	$N > 50$	极密实

3.2.6 粉土系指塑性指数小于或等于 10，粘粒含量 M_c 大于或等于 3%，小于 15% 的土，可按表 3.2.6 分为粘质粉土和砂质粉土。

粉土的分类 表 3.2.6

土的名称	粘粒含量 $M_c(%)$	土的名称	粘粒含量 $M_c(%)$
粘质粉土	$10 \leq M_c < 15$	砂质粉土	$3 \leq M_c < 10$

注：粘粒，系指粒径小于 0.005mm 的颗粒。

3.2.7 粘性土系指塑性指数 I_p 大于 10 的土，应按表 3.2.7 分为粘土、粉质粘土。

粘性土的分类

表 3.2.7

土的名称	塑性指数 I_p	土的名称	塑性指数 I_p
粘土	$I_p > 17$	粉质粘土	$10 < I_p \leq 17$

注:塑性指数的液限值应用 76g 圆锥仪沉入土中 10mm 测定。

3.2.8 粘性土的状态根据液性指数 I_L 可按表 3.2.8 确定。

粘性土的状态

表 3.2.8

状态	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑
液性指数 I_L	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1$	$I_L > 1$

3.2.9 粘性土的天然状态可根据标准贯入击数 N 按表 3.2.9 确定。

粘性土的天然状态

表 3.2.9

击数 N	天然状态	击数 N	天然状态
< 2	很软	$8 \sim 15$	硬
$2 \sim 4$	软	$15 \sim 30$	坚硬
$4 \sim 8$	中等		

3.2.10 对中小型工程且无试验资料时,粘性土的无侧限抗压强度 q_u 可根据标准贯入击数 N 按表 3.2.10 估算。

粘性土的无侧限抗压强度

表 3.2.10

击数 N	估算无侧限抗压强度 q_u (kPa)
< 2	< 25
$2 \sim 4$	$25 \sim 50$
$4 \sim 8$	$50 \sim 100$
$8 \sim 15$	$100 \sim 200$
$15 \sim 30$	$200 \sim 400$

3.2.11 淤泥性土系为在静水或缓慢的流水环境中沉积,经生物化学作用形成,其天然含水率大于液限、孔隙比大于 1.0 的粘性土,可按表 3.2.11 分为淤泥质土、淤泥、流泥和浮泥,其中淤泥质土应根据塑性指数 I_p 再划分为淤泥质粘土或淤泥质粉质粘土。

淤泥性土的分类

表 3.2.11

名称	指标	孔隙比 e	含水率 $W(\%)$	名称	指标	孔隙比 e	含水率 $W(\%)$
淤泥质土		$1.0 < e < 1.5$	$36 < W < 55$	流泥			$85 \leq W < 150$
淤泥		$1.5 \leq e < 2.4$	$55 \leq W < 85$	浮泥			$W \geq 150$

3.2.12 饱和状态的淤泥性土可根据天然含水率按下式确定其重度。

$$\gamma = \frac{G(1+0.01W)}{1+G0.01W} \gamma_w \quad (3.2.12)$$

式中 γ —土的重度(kN/m^3);

W —天然含水率(%);

G —土粒的相对密度;

γ_w —水的重度(kN/m^3)。

3.2.13 混合土系指粗细粒两类土呈混杂状态存在,具有颗粒级配不连续,中间粒组颗粒含量极少,级配曲线中间段极为平缓等特征的土。定名时,将主要土类列在名称前部,次要土类列在名称后部,中间以“混”字连结。

3.2.14 混合土按其成因和不同土类的含量可分为:淤泥混砂、砂混淤泥、粘性土混砂或碎石。

3.2.14.1 淤泥混砂、砂混淤泥属海陆混合相沉积的一种特殊土,土质极为松软。定名时,当淤泥含量超过总质量的 30% 为淤泥混砂;淤泥含量超过总质量的 10%,小于或等于总质量的 30% 为砂混淤泥。这类土的承载力不应以物理性指标做为评价和计算依据,而应以力学性指标或现场原位测试方法确定。

3.2.14.2 粘性土混砂或碎石,属残积、坡积、洪积等成因形成的土。定名时当粘性土含量超过总质量的 40% 为粘性土混砂或碎石,粘性土的含量大于 10%,小于或等于总质量的 40% 为砂或碎石混粘性土。其强度宜用现场测试方法测定,粘性土的锥沉量 h 和液性指数 I_L 也应做为确定混合土强度的依据之一。

3.2.15 层状构造土系指两类不同的土层相间成韵律沉积,具有

明显层状构造特征的土,定名时应将厚层土列在名称前部,薄层土列在名称后部,根据其成因和两类土层的厚度比可分为互层土、夹层土、间层土。上述三种土的渗透性、压缩性、力学强度等具有各向异性的特点,应结合工程要求进行专门评价分析。

3.2.15.1 互层土:三角洲、河漫滩冲积成因的土,其特征具有交错互层构造、两类土层厚度相差不大、厚度比一般大于1/3,如“粘土粉砂互层”。

3.2.15.2 夹层土:河流下游河漫滩冲积土,其特征具有夹层构造、两类土层厚度相差较大、厚度比为1/3~1/10,如“粘土夹粉砂层”。

3.2.15.3 间层土:湖泊、滨海相沉积的土,具有很厚的粘性土夹有非常薄的粉砂,厚度比小于1/10,如“粘土间薄层粉砂”。

3.2.16 花岗岩残积土系指花岗岩全风化的产物,其中大于2mm的颗粒混杂于粘性土之中,具有孔隙比较大、液性指数较小、压缩性较低、遇水崩解等特点。

花岗岩残积土可根据其大于2mm的颗粒含量(%)按表3.2.16分为砾质粘性土、砂质粘性土和粘性土。

花岗岩残积土分类 表3.2.16

土的名称	>2mm颗粒含量(%)
砾质粘性土	>20
砂质粘性土	5~20
粘性土	<5

3.2.17 填土系指由人类活动而堆积的土,根据其物质组成和堆填方式可分为冲填土、素填土和杂填土:

(1) **冲填土:**由水力冲填砂土、粉土或粘性土而形成的填土;

(2) **素填土:**由碎石土、砂土、粉土、粘性土等组成的填土,经分层压实者称为压实填土;

(3) **杂填土:**含有建筑垃圾、工业废料、生活垃圾等杂物的填土。

对上述三种填土,应根据工程需要专门研究其物理力学性质。

4 地基承载力

4.1 一般规定

4.1.1 验算地基承载力,应考虑作用于基础底面的合力偏心距 e 和倾斜率 $\operatorname{tg} \delta$ 的影响。倾斜率 $\operatorname{tg} \delta$ 或 $\operatorname{tg} \delta'$ 应按下列公式确定:

(1) 无抛石基床情况:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{H_k}{V_k} \quad (4.1.1-1)$$

(2) 有抛石基床情况:

$$\operatorname{tg} \delta' = \frac{H'_k}{V'_k} \quad (4.1.1-2)$$

式中 H_k ——作用于基础底面上平行于基础短边的水平合力标准值(以 H_{kB} 表示)或平行于基础长边的水平合力标准值(以 H_{kL} 表示),对重力式码头为墙底面以上土压力的水平分力及其他水平力(如水压力和系缆力等)合力的标准值(kN);

H'_k ——作用于抛石基床底面上平行于基础短边的水平合力(kN)标准值(以 H_{kB} 表示)或平行于基础长边的水平合力(kN)标准值(以 H_{kL} 表示)。对重力式码头:当无波浪力作用时,可取 H'_k 近似等于 $V'_k \operatorname{tg} \delta$, $\operatorname{tg} \delta' = \operatorname{tg} \delta$;当有波浪力作用时, H'_k 宜按 H_k 及基床厚度范围内的主动土压力之和确定。对直立式防波堤,可取 $H'_k = H_k$ 。

V'_k ——作用于抛石基床底面上的竖向合力的标准值(kN),对重力式码头 V'_k 包括作用于墙底面以上的竖向合力标准值 V_k 及抛石基床底面处有效面积或有效宽度范围内的抛石体自重力标准值。有效面积和有效宽度按第 4.1.4 条确定;

V_k ——作用于墙底面或基础底面上的竖向合力的标准值(kN)。

4.1.2 对重力式码头与防波堤,抛石基床顶面及底面的最大压力、最小压力和合力偏心矩的确定,应按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTJ290)和《防波堤设计与施工规范》(JTJ298)等有关规定执行。

4.1.3 当基础形状为矩形、条形以外的其他形状时,可按下列原则化为相当的矩形:

- (1) 基础底面的重心不变;
- (2) 两个主轴的方向不变;
- (3) 面积相等;
- (4) 长宽比接近。

4.1.4 当作用于基础底面的合力为偏心时,应根据偏心矩将基础面积或宽度化为中心受荷的有效面积(对矩形基础)或有效宽度(对条形基础)。对有抛石基床的港口工程建筑物基础,以抛石基床底面作为基础底面,该基础底面的有效面积或有效宽度应按下列公式计算:

(1) 对矩形基础:

$$A_e = B'_{re} L'_{re} = (B'_{rl} - 2e'_{B})(L'_{rl} - 2e'_{L}) \quad (4.1.4-1)$$

$$B'_{re} = (B'_{rl} - 2e'_{B}), L'_{re} = (L'_{rl} - 2e'_{L}) \quad (4.1.4-2)$$

$$B'_{rl} = B_{rl} + 2d_1, L'_{rl} = L_{rl} + 2d_1 \quad (4.1.4-3)$$

式中 A_e ——基础的有效面积(m^2);

d_1 ——抛石基床厚度(m);

B_{rl}, L_{rl} ——分别为矩形基础墙底面处的实际受压宽度(m)和长度(m),应根据墙底合力作用点与墙前趾的距离 ξ 按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》的有关规定确定;

B'_{rl}, L'_{rl} ——分别为矩形基础墙底面扩散至抛石基床底面处的受压宽度(m)和长度(m);

B'_{re} 、 L'_{re} ——分别为矩形基础墙底面扩散至抛石基床底面处的有效受压宽度(m)和长度(m)；

e'_{B} 、 e'_{L} ——分别为作用于矩形基础抛石基床底面上的合力标准值(包括抛石基床重量)在 B'_{re} 和 L'_{re} 方向的偏心矩(m)。

(2) 对条形基础($L'_{re}/B'_{re} \geq 10$)：

$$B'_{e} = B'_1 - 2e' \quad (4.1.4-4)$$

$$B'_1 = B_1 + 2d_1 \quad (4.1.4-5)$$

式中 B'_{e} ——条形基础抛石基床底面处的有效受压宽度(m)；

B'_1 ——条形基础抛石基床底面处的受压宽度(m)；

B_1 ——墙底面的实际受压宽度(m),应按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》的有关规定确定；

e' ——抛石基床底面合力标准值的偏心距(m),应按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》的有关规定确定。

4.1.5 验算地基承载力时,对不计波浪力的建筑物应取极端低水位;对计入波浪力的建筑物应取水位与波浪力作用的最不利组合。

4.1.6 验算地基承载力时,所需岩土基本变量(如重度 γ 和抗剪强度指标 c , φ 等)的概率分布及统计参数,可按附录 D 确定,其中土的抗剪强度指标统计方法,宜用简化相关法,各土层具有代表性的基本变量统计件数应不少于 6 件。

4.2 地基承载力验算

4.2.1 地基承载力应按第 4.2.2 条规定的极限状态设计表达式验算,尚应结合原位测试和实践经验综合确定,对非粘性土地基的小型建筑物及安全等级为三级的建筑物可按附录 E 确定。

4.2.2 地基承载力的验算应满足以下极限状态设计表达式。

4.2.2.1 无抛石基床情况按下式计算：

$$V_d \leq \frac{1}{\gamma_R} F_k \quad (4.2.2-1)$$

4.2.2.2 有抛石基床情况按下式计算：

$$V'_d \leq \frac{1}{\gamma_R} F'_k \quad (4.2.2-2)$$

式中 V'_d ——作用于抛石基床底面上竖向合力的设计值(kN)；

V_d ——作用于墙底面或基础底面上竖向合力的设计值
(kN)；

γ_R ——抗力分项系数；
 F'_k ——为有抛石基床或垫层情况的地基极限承载力的竖向
分力标准值(kN)；

F_k ——为无抛石基床或垫层情况的地基极限承载力的竖向
分力标准值(kN)。

4.2.2.3 抗力分项系数应按下列规定确定：

采用固结快剪强度指标 γ_R 的取值范围为 2.0~3.0, 对安全
等级为 I 、 II 级的建筑物取较高值, 安全等级为 III 级的建筑物取
较低值; 以粘性土为主的地基取较高值; 以砂土为主的地基取较低
值; 基床较厚取高值。

4.2.2.4 当抛石基床下有砂垫层时: V'_d 用 V''_d 代替, V''_d 包括
 V'_d 及砂垫层底有效受压宽度 B'_e 范围内的砂垫层自重力设计值;
 F'_k 用 F''_k 代替, 计算 F'_k 时对应的有效受压宽度为 B'_e , B'_e 按本
规范第 7.2.2 条的规定确定。

4.2.3 对于 V'_d 应根据条形基础或矩形基础范围内结构所受的
竖向作用或作用效应进行计算:

$$V'_d = \gamma_s V'_k = \gamma_G \sum_{i=1}^m C_{Gi} G_{ik} + \gamma_Q \sum_{j=1}^n C_{Qj} Q_{jk} \quad (4.2.3-1)$$

$$V'_k = \sum_{i=1}^m C_{Gi} G_{ik} + \sum_{j=1}^n C_{Qj} Q_{jk} \quad (4.2.3-2)$$

式中 γ_s ——综合分项系数, γ_s 可取 1.0;

γ_G 、 γ_Q ——分别为永久作用和可变作用分项系数, 均可取 1.0;

Q_{jk} ——第 j 个可变作用的标准值(kPa)；
 C_{Qj} ——第 j 个可变作用的作用效应系数；
 G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值(kPa)，如结构自重力标准值及土压力竖向分力标准值，其中重度标准值可取均值，土压力竖向分力的标准值按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》的有关规定取值；
 C_{Gi} ——第 i 个永久作用的作用效应系数。

4.2.4 地基极限承载力的竖向分力标准值 F'_{ik} 应根据基础形状分别确定。

4.2.5 对矩形基础 F'_{ik} 应按下列公式计算：

4.2.5.1 当 $\varphi > 0$ 且 $\delta' > \varphi$ 时：

$$F'_{ik} = \begin{cases} A_e \left[\frac{1}{2} \gamma_k B'_{re} N_{\gamma B} S_{\gamma B} + q_k N_{qB} S_{qB} + c_k N_{cB} S_{cB} \right] \\ A_e \left[\frac{1}{2} \gamma_k L'_{re} N_{\gamma L} S_{\gamma L} + q_k N_{qL} S_{qL} + c_k N_{cL} S_{cL} \right] \end{cases} \quad (4.2.5-1)$$

式(4.2.5-1)等号右边中括号内的三项计算结果，均采用上、下两式各项对应比较的小值。

式中 A_e ——基础的有效面积(m^2)；

γ_k ——基础面以下土的重度标准值(kN/m^3)，可取均值，水下用浮重度；

$B'_{re} L'_{re}$ ——分别为基础的有效宽度和长度(m)；

q_k ——墙前基础底面以上边载的标准值(kPa)；

c_k ——粘聚力标准值(kPa)；

N_c, N_q, N_γ ——为地基处于极限平衡状态下的承载力系数，其中包含了 $\varphi > 0$ 情况下荷载倾斜的影响，例如计算平行短边破坏时用 $N_{\gamma B}, N_{cB}, N_{qB}$ ；

S_c, S_q, S_γ ——与基础形状有关的形状系数。

4.2.5.2 当 $\varphi = 0$ 时

$$F'_{ik} = \begin{cases} A_e [\pi + 2) S_{ik} (1 + S_{cb}^a + d_{cb}^a - i_{cb}^a) + q_k] \\ A_e [\pi + 2) S_{ik} (1 + S_{cl}^a + d_{cl}^a - i_{cl}^a) + q_k] \end{cases} \quad (4.2.5-2)$$

式中 S_c^a ——与基础形状有关的形状系数；

d_c^a ——与基础埋深有关的深度系数；

i_c^a ——与合力倾斜率有关的倾斜系数；

S_{ik} ——地基土的不排水抗剪强度标准值(kPa)。

4.2.5.3 承载力系数 N_c 、 N_q 、 N_y 直接按下列式计算或查附录 F 的地基承载力系数表：

$$N_c = \operatorname{ctg} \varphi_k \left\{ e^{\operatorname{tg} \varphi_k \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \frac{\varphi_k}{2})} \frac{1 + \sin \varphi_k \sin (2\alpha - \varphi_k)}{1 + \sin \varphi_k} e^{-(\frac{1}{2}\pi + \varphi_k - 2\alpha) \operatorname{tg} \varphi_k} - 1 \right\} \quad (4.2.5-3)$$

$$N_q = N_c \operatorname{tg} \varphi_k + 1 \quad (4.2.5-4)$$

α 应满足下式要求：

$$\operatorname{tg}(\alpha - \frac{\varphi_k}{2}) = \frac{\sqrt{1 - \operatorname{tg} \delta \operatorname{ctg} \varphi_k}^2 - \operatorname{tg} \delta'}{1 + \frac{\operatorname{tg} \delta'}{\sin \varphi_k}} \quad (4.2.5-5)$$

$$N_y = f(\lambda, \operatorname{tg} \varphi_k, \operatorname{tg} \delta') \cong 1.25(N_q + 0.28 + \operatorname{tg} \delta') \operatorname{tg}[\varphi_k - 0.72 \delta' (0.9455 + 0.55 \operatorname{tg} \delta')] \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1 + 0.8[\operatorname{tg} \varphi_k - 0.7(1 - \operatorname{tg} \delta')] + \operatorname{tg} \varphi_k - \operatorname{tg} \delta'} \lambda} \right] \quad (4.2.5-6)$$

式中 $\operatorname{tg} \delta'$ ——作用于抛石基床底面合力的倾斜率；

φ_k ——内摩擦角标准值(°)；

λ ——与 N_y 有关的承载力因子。

4.2.5.4 承载力因子 λ 可按下列公式计算：

(1) 当计算平行短边破坏时：

$$\lambda = \frac{\gamma_k B'_{re}}{c_k + q_k \tan \varphi_k} \quad (4.2.5-7)$$

(2) 当计算平行长边破坏时：

$$\lambda = \frac{\gamma_k L'_{re}}{c_k + q_k \tan \varphi_k} \quad (4.2.5-8)$$

4.2.5.5 形状系数的第二下标 B 、 L 分别表示平行 B 、 L 方向发生破坏,上标 a 代表 $\varphi=0$ 情况,形状系数按下列公式计算:

$$S_{aB} = 1 - \frac{B'_{re}}{3L'_{re}} \quad (4.2.5-9)$$

$$S_{aL} = 1 - \frac{L'_{re}}{3L'_{re}} \quad (4.2.5-10)$$

$$S_{qB} = 1 + \frac{B'_{re}}{3L'_{re}} \sin \varphi_k \quad (4.2.5-11)$$

$$S_{qL} = 1 + \frac{L'_{re}}{3L'_{re}} \sin \varphi_k \quad (4.2.5-12)$$

$$S_{cB} = 1 + \frac{B'_{re}}{3L'_{re}} \sin \varphi_k \frac{Nq}{Nq-1} \quad (4.2.5-13)$$

$$S_{cL} = 1 + \frac{L'_{re}}{3L'_{re}} \sin \varphi_k \frac{Nq}{Nq-1} \quad (4.2.5-14)$$

$$S_{cb}^a = 0.2 i_{cb}^a \frac{B'_{re}}{L'_{re}} \quad (4.2.5-15)$$

$$S_{cl}^a = 0.2 i_{cl}^a \frac{L'_{re}}{B'_{re}} \quad (4.2.5-16)$$

4.2.5.6 当 $\varphi=0$ 时,深度系数的第二下标 B 、 L 分别表示平行 B 、 L 方向发生破坏,深度系数按下列公式计算:

$$d_{cb}^a = 0.4 \frac{D}{B'_{re}} \quad (4.2.5-17)$$

$$d_{cl}^a = 0.4 \frac{D}{L'_{re}} \quad (4.2.5-18)$$

4.2.5.7 当 $\varphi=0$ 时,倾斜系数的第二下标 B 、 L 分别表示平行 B 、 L 方向发生破坏,倾斜系数按下列公式计算:

$$i_{cb}^a = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H'_{kb}}{A_e S_{uk}}} \quad (4.2.5-19)$$

$$i_{\text{CL}}^a = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H'_{\text{KL}}}{A_e S_{\text{uk}}}} \quad (4.2.5-20)$$

4.2.6 对条形基础 F'_{k} 应按下列公式计算：

(1) 当 $\varphi > 0$, 且 $\delta' < \varphi$ 时：

$$F'_{\text{k}} = B'_{\text{e}} \left(\frac{1}{2} \gamma_{\text{k}} B'_{\text{e}} N_{\text{yB}} + c_{\text{k}} N_{\text{cB}} + q_{\text{k}} N_{\text{qB}} \right) \quad (4.2.6-1)$$

注：在用式(4.2.5-7)计算 λ 时，用 B'_{e} 代替 B'_{re} 。

(2) 当 $\varphi = 0$ 时：

$$F_{\text{k}} = B'_{\text{e}} \left[(\pi + 2) S_{\text{uk}} (1 + d_{\text{cB}}^a - i_{\text{cB}}^a) + q_{\text{k}} \right] \quad (4.2.6-2)$$

注：当计算深度系数 d_{cB}^a 时用 B'_{e} 代替 B'_{re} ，计算倾斜系数 i_{cB}^a 时用 B'_{e} 代替 A_{e} 。

4.2.7 对持久状况，验算短暂状况下地基承载力时，宜用固结快剪强度指标。对于饱和软粘土，验算短暂状况下地基承载力时，宜用不排水抗剪强度指标。

4.2.8 若受力层由多层土组成，各土层的抗剪强度指标相差不大，竖向抗力标准值 F'_{k} 可用按土层厚度加权平均抗剪强度指标和加权平均重度计算。若各土层的抗剪强度指标相差较大，仍可用上述方法计算 F'_{k} ， γ_{k} 宜取高值。

4.2.8.1 确定加权平均的抗剪强度指标和重度时，受力层的最大深度 Z_{max} 可按下式计算：

$$Z_{\text{max}} = B'_{\text{e}} e^{\varepsilon \text{tg}\varphi_{\text{k}}} (\sin \varepsilon) e^{-\frac{0.87 \lambda^{0.75}}{4.8 + \lambda^{0.75}}} \quad (4.2.8-1)$$

$$\varepsilon = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{\text{k}}}{2} - \frac{\delta'}{2} - \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{\sin \delta'}{\sin \varphi_{\text{k}}} \right) \quad (4.2.8-2)$$

4.2.8 计算时先假定 Z_{max} ，根据假定的 Z_{max} 及各土层厚度计算加权平均 c_{k} 、 φ_{k} 、 γ_{k} 代入式(4.2.8-1)计算 Z_{max} ，直至计算与假定的 Z_{max} 基本相等为止。对于矩形基础，式中的 B'_{e} 应为 B'_{re} 或 L'_{re} ， δ' 、 λ 应根据平行短边或长边破坏分别按第 4.1.1 和 4.2.5 条规定计算。

4.3 保证与提高地基承载力的措施

4.3.1 当地基承载力不满足设计要求时,可采取下列措施:

- (1) 减小水平力和合力的偏心距;
- (2) 增加基础宽度;
- (3) 增加边载或基础埋深;
- (4) 增加抛石基床厚度;
- (5) 适当放慢加荷速率;
- (6) 加固地基。

4.3.2 对于土基,开挖时应减少扰动,以防承载力降低。对于开挖暴露后承载力易于降低的岩基,在开挖后应立即浇筑垫层或采取其它保护措施。

5 土坡和地基稳定

5.1 一般规定

5.1.1 本章适用于主要由欠压密、正常压密以及压密比小于 4 的粘性土组成的土坡和地基。

注:压密比为先期固结压力与现有上覆土重压力之比。

5.1.2 根据地质条件和土的物理力学指标基本相同的原则,将场地划分为若干区段,统计土性指标进行稳定验算。

5.1.3 对于持久状况的土坡和地基的稳定性,应按极端低水位进行验算。对有波浪力作用的直立式防波堤,应考虑不同水位与波浪力的最不利组合。

施工过程中如可能出现较大的水头差、较大的临时超载、较陡的挖方边坡等不利情况,应按短暂状况验算其稳定性。其对应的水位,应视施工具体情况和有关规范的规定确定。打桩前应验算打桩时的岸坡稳定性。

注:如水位有骤降情况,宜考虑骤降对土坡稳定的影响。

5.1.4 验算土坡和地基稳定性时确定所需岩土基本变量如重度和土的抗剪强度指标 c 、 φ 等的概率分布及统计参数和土的抗剪强度指标统计方法应按 4.1.6 条执行;

5.2 抗剪强度计算指标

5.2.1 根据土质和工程实际情况,宜选用固结快剪、十字板剪和无侧限试验测定抗剪强度指标,有条件时可采用三轴不排水剪和有效剪试验测定抗剪强度指标。直剪快剪不宜采用。

5.2.2 验算土坡稳定时,对于开挖区,宜采用卸荷条件下进行试

验的抗剪强度指标。

5.2.3 各土层的抗剪强度指标每层土不应少于 6 件;对稳定起控制作用的土层,宜取 10 件;填土及表层土不宜少于 6 件。

5.3 土坡和地基稳定的验算

5.3.1 对土坡和条形基础的地基稳定计算,可按平面问题考虑,宜采用圆弧滑动面计算。有软土夹层和倾斜岩面等情况时,尚宜采用非圆弧滑动面计算。计算方法可采用总应力法或有效应力法。

5.3.2 对不同情况的土坡和地基的稳定性验算,其危险滑弧均应满足以下极限状态设计表达式:

$$M_{sd} \leq \frac{1}{\gamma_R} M_{Rk} \quad (5.3.2-1)$$

式中 M_{sd} 、 M_{Rk} ——分别为作用于危险滑弧面上滑动力矩的设计值($\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$)和抗滑力矩的标准值($\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$);
 γ_R ——抗力分项系数。

5.3.2.1 对于持久状况土的抗剪强度宜采用固结快剪指标,式(5.3.2-1)中的 M_{Rk} 、 M_{sd} 直接下列公式计算(计算图示见图 5.3.2):

$$M_{Rk} = R \sum \frac{c_{ki} b_i + (q_{ki} b_i + W_{ki} - u_{ki} b_i) \tan \varphi_{ki}}{\cos \alpha_i + \sin \alpha_i \tan \varphi_{ki}} \frac{1}{\gamma_R} \quad (5.3.2-2)$$

$$M_{sd} = \gamma_s \left[\sum R (q_{ki} b_i + W_{ki}) \sin \alpha_i \right] + M_p \quad (5.3.2-3)$$

式中 R ——滑弧半径(m);
 γ_s ——综合分项系数,可取 1.0;
 W_{ki} ——属永久作用,为第 i 土条的重力标准值(kN/m),可取均值,零压线以下用浮重度计算;当有渗流时:极端低水位以上零压线以下用饱和重度计算滑动力矩设计值 M_{sd} ;
 u_{ki} ——第 i 土条滑动面上水头超过零压线以上的孔隙水压

力标准值(kPa),可取均值;

M_p ——其它原因,如作用于直立式防波堤的波浪力标准值

引起的滑动力矩(kN·m/m);

q_{ki} ——为第 i 土条顶面作用的可变作用的标准值(kN/m²),

应按现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTJ215)采

用;

b_i ——第 i 土条宽度(m);

α_i ——第 i 土条的滑弧中点切线与水平线的夹角(°);

φ_{ki} 、 c_{ki} ——分别为第 i 土条滑动面上的固结快剪内摩擦角(°)和

粘聚力(kPa)标准值,可取均值。

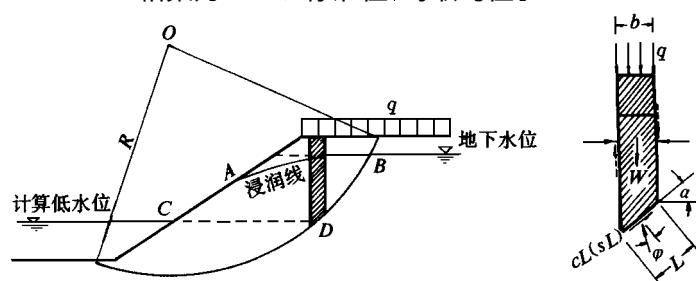


图 5.3.2 圆弧滑动稳定计算示意图

5.3.2.2 当有条件时, φ_{ki} 、 c_{ki} 可用有效强度指标标准值(可取均值) φ'_{ki} 、 c'_{ki} 代替。有效强度指标一般用量测孔隙水压力的三轴固结不排水剪试验测定,也可用直剪仪进行慢剪试验测定。其抗滑力矩标准值可按下式计算:

$$M_{Rk} = R \sum \frac{c'_{ki} b_i + (q_{ki} b_i + W_{ki} - u_{ki} b_i) \tan \varphi'_{ki}}{\cos \alpha_i + \sin \alpha_i \tan \varphi'_{ki} \frac{1}{\gamma_R}} \quad (5.3.2-4)$$

5.3.2.3 当采用简单条分法验算边坡和地基稳定时,其抗滑力矩标准值可按下式计算:

$$M_{Rk} = R [\sum c_{ki} L_i + \sum (q_{ki} b_i + W_{ki}) \cos \alpha_i \tan \varphi_i] \quad (5.3.2-5)$$

5.3.2.4 当采用总强度,如十字板强度或三轴不排水剪强度时,其抗滑力矩标准值可按以下公式计算:

$$M_{Rk} = R \sum S_{uki} L_i \quad (5.3.2-6)$$

$$L_i = \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \quad (5.3.2-7)$$

式中 S_{uki} —— 第 i 土条滑动面上十字板强度标准值或其它总强度标准值 (kPa)，标准值可取均值；
 L_i —— 第 i 土条对应弧长 (m)。

5.3.2.5 应验算各种可能出现的短暂状况：

该状况下的抗滑力矩标准值可用式(5.3.2-6)、(5.3.2-4)或(5.3.2-5)计算，滑动力矩设计值可用(5.3.2-3)计算。

5.3.3 非圆弧滑动面抗滑稳定验算可按附录 G 计算。对于滑动面形状，根据具体情况可采用直线、折线、直线与圆弧的组合线或其它形状的曲线。按附录 G 计算的最小抗力分项系数 γ_R 应符合表 5.4.1 中的取值范围。

5.3.4 对于各设计状况，稳定计算采用的强度指标、计算公式及各种计算情况的说明可按表 5.3.4 采用。

各种计算情况采用的抗剪强度指标 表 5.3.4

设计状况	强度指标及适用条件		M_{Rk} 及 M_d 计算公式	说 明
	强度指标	适用条件		
持 久 状 况	固结快剪(直剪)	宜采用	(5.3.2-2) 及 (5.3.2-3)	q 引起的抗滑力矩(抗力)可全部或部分采用，视土体在 q 作用下的固结程度而定； q 引起的滑动力矩(作用效应)应全部计入
	十字板剪或无侧限抗压强度指标		(5.3.2-5) 及 (5.3.2-3)	需考虑因土体固结引起的强度增长，强度增长计算方法见第 7.3.15 条
	有效剪	有条件时采用	(5.3.2-4) 及 (5.3.2-3)	孔隙水压力采用与计算情况相应数值
	三轴不排水剪		(5.3.2-6) 及 (5.3.2-3)	需考虑因土体固结引起的强度增长，强度增长计算方法见第 7.3.15 条

设计状况	强度指标及适用条件		M_{Rk} 及 M_{sd} 计算公式	说 明
	强度指标	适用条件		
短 暂 状 况	十字板剪或无侧限抗压强度指标	宜采用	(5.3.2—6) 及 (5.3.2—3)	
	有效剪	有条件时采用	(5.3.2—4) 及 (5.3.2—3)	孔隙水压力采用与计算情况相应数值
	三轴不排水剪	有条件时采用	(5.3.2—6) 及 (5.3.2—3)	
	快剪(直剪)	有条件时采用	(5.3.2—5) 及 (5.3.2—3)	

注:按非圆弧滑动面计算时,采用本表相应的强度指标。

5.3.5 对有桩的土坡和地基,在稳定计算中,可不计人桩的抗滑作用。

5.3.6 计算有波浪力作用的直立式建筑物地基稳定时,应计人波浪力的作用,斜坡式不考虑波浪力的作用。

5.3.7 板桩码头,通常只计算滑动面通过桩尖时的稳定性。如桩尖下有软土层,尚应验算滑动面通过软土层时的稳定性。

5.3.8 当验算局部有较大荷载、滑动范围受限制或局部有软土层的局部范围的稳定性时,可计人滑动体侧面摩阻对抗滑力矩标准值 M_{Rk} 的影响,计算的抗力最小分项系数 γ_R 应满足本标准表 5.4.1 中 γ_R 的取值范围。计算方法可按附录 H 计算。

5.4 抗力分项系数

5.4.1 对持久状况,应综合考虑强度指标的可靠程度、结构安全等级和地区经验等因素,计算的最小抗力分项系数 γ_R 应满足表 5.4.1 的规定。

对短暂状况,如施工期的稳定性,计算的最小抗力分项系数 γ_R 宜取表 5.4.1 中的低值,但验算打桩岸坡的稳定性,宜取较高值。

最小抗力分项系数 表 5.4.1

强度指标	采用计算公式	γ_R	说明
固结快剪(直剪)	5.3.2—2; 粘性土坡	1.2~1.4	同表 5.3.4
	5.3.2—3 其它土坡	1.3~1.5	
	5.3.2—5; 5.3.2—3	1.1~1.3	
有效剪	5.3.2—4; 5.3.2—3	1.3~1.5	
十字板剪 无侧限抗压强度 三轴不排水剪	5.3.2—6; 5.3.2—3	1.1~1.3	
快剪(直剪)	5.3.2—5; 5.3.2—3	根据经验取值	

5.4.2 当拟建工程附近有滑坡,且两处土层和土质基本相同,土坡高度及坡度相近时,当已查明滑坡时的各项条件,则可用对比计算方法设计拟建工程的土坡。拟建工程土坡的 M_{Rk}/M_{sd} 应比曾有滑坡的 M_{Rk}/M_{sd} 增大 20%~30%。

5.4.3 如拟建工程附近有与设计土坡坡度相同或较陡的稳定坡,两处土层和土质基本相同,且稳定坡计算的 M_{Rk}/M_{sd} 小于表 5.4.1 中 γ_R 的低值,则可用对比计算方法设计拟建工程的土坡。拟建工程土坡的 γ_R 应稍大于现有稳定坡的 γ_R 。

5.5 保证土坡稳定的措施

5.5.1 设计时应提出保证土坡稳定的施工措施,施工时应采用有利于土坡稳定的施工方法和施工程序。

5.5.2 设计过程中,若初步采用的土坡稳定性不足,应根据具体情况进 行比较,选用合理措施,如放缓坡度、铺排水垫层、铺设土工织物夹筋、打设竖向排水通道、设置减载平台和分期施加荷载等,以保证施工期和使用期的土坡稳定。

5.5.3 施工期土坡的稳定性不足,应采取增加稳定的临时性措施,必须在施工中加强观测,以便及时发现可能出现的失稳迹象。当出现失稳迹象时,应及时采取应急措施,如削坡、坡脚压载、坡顶减载、井点排水、防滑板桩等。

5.5.4 对软土,特别是灵敏度较高的软土,应放慢加荷速率,以防失稳。

5.5.5 在坡顶或岸壁后吹填土时,应采用有效的排水措施,以防产生过大的水头差。基坑底部如有承压水影响稳定时,应采取临时降压措施。

5.5.6 堆放弃土应离坡肩一定距离,堆载不宜过高,并应考虑堆载产生的超孔隙水压力的不利作用。

5.5.7 土坡应按设计要求开挖。当坡脚可能被冲刷时,应采取防护措施。

5.5.8 为减小打桩震动对岸坡稳定的影响,宜采取重锤低击、间隔跳打、低频锤击、低潮停打等措施。如有两个桩架同时打桩,应相隔一定距离。有条件时,可采用静压法沉桩。

6 地基沉降

6.1 一般规定

6.1.1 本章适用于计算由建筑物自重和外荷载引起的地基沉降，不适用于计算大面积地下水位下降、地震等特殊原因引起的沉降。

对建筑物地基为岩石、碎石土、密实的砂土和第四纪晚更新世 Q_3 及其以前沉积的粘性土，可不进行沉降计算。

6.1.2 根据地质条件、土层的压缩性、建筑物断面和荷载均基本相同的原则，将地基划分为若干区段。每一区段选取代表性断面作为计算断面。在每一计算断面内，一般选取基础两端及中点作为计算点。

6.1.3 应只计算持久状况长期组合下的地基最终沉降量。在作用组合中，永久作用应采用标准值，可变作用应采用准永久值，水位宜用设计低水位，有边载时应考虑边载。

6.1.4 在地基沉降计算中，可变作用仅考虑堆货荷载。堆货荷载准永久值系数采用 0.6。全部作用分项系数均采用 1.0。

6.1.5 当需要计算地基的沉降过程时，可按第 7 章的有关规定执行。

6.1.6 验算地基沉降时，确定所需的岩土基本变量如重度 γ 孔隙比 e 等的概率分布及统计参数，应按附录 D 执行。各土层具有代表性的基本变量统计件数应不少于 6 件。

6.2 地基最终沉降量计算

6.2.1 在地基内任一点的垂直附加应力(图 6.2.1)标准值为基底垂直附加压力、基底水平力和边载所引起的垂直附加应力标准之

和。

6.2.1.1 基底垂直附加压力的设计值为基底压力设计值与基底面上自原地面算起的自重压力设计值之差。

6.2.1.2 基底水平力设计值可按均布考虑。

6.2.1.3 边载设计值,当其分布范围超过自基底边缘算起的5倍基底宽度时,可按5倍计,不足5倍时,应按实际分布范围计。

各种作用引起的垂直附加应力标准值可按附录J计算。

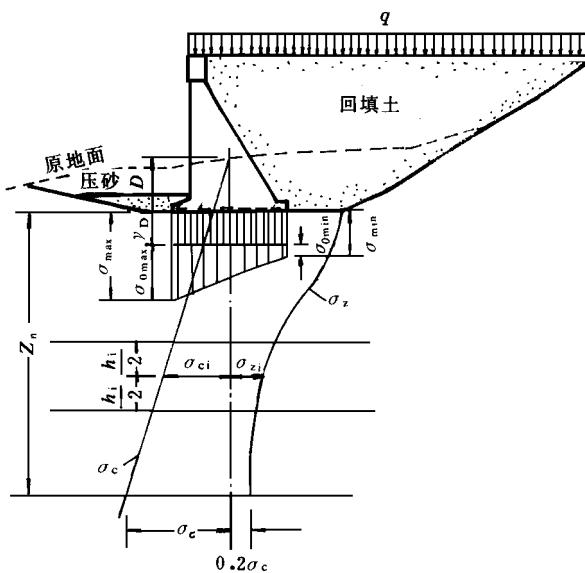


图 6.2.1 沉降计算示意图

D—基础埋深

γ—土的重度

σ—基底压力

σ₀—基底垂直附加压力

τ—基底水平力

σ_c—由原地面算起的土的自重压力;

σ₂—地基内某一点的垂直附加压力

6.2.2 地基最终沉降量可按式(6.2.2)计算,也可用实测沉降过
程线推算。

$$S_{d\infty} = m_s \sum \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} h_i \quad (6.2.2)$$

式中 $S_{\text{d}\infty}$ ——地基最终沉降量设计值(cm)；
 h_i ——第 i 层土的厚度(cm)；
 e_{1i} 、 e_{2i} ——分别为第 i 层土受到平均自重压力设计值(σ_{cdi})和平均最终压力设计值($\sigma_{\text{cdi}} + \sigma_{\text{zdi}}$)压缩稳定时的孔隙比设计值,可取均值；
 σ_{cdi} ——第 i 层土顶面与底面的地基自重压力平均值的设计值(kPa)；
 σ_{zdi} ——第 i 层土顶面与底面的地基垂直附加应力平均值的设计值(kPa)，
 m_s ——经验修正系数,按地区经验选取。

6.2.3 地基压缩层的计算深度 Z_n 宜符合下式要求：

$$\sigma_z = 0.2 \sigma_c \quad (6.2.3)$$

式中 σ_z —— Z_n 处地基垂直附加应力设计值(kPa)；
 σ_c ——处地基自重压力设计值(kPa)。

如按式(6.2.3)确定后的计算深度下有软土层时,尚应继续往下计算。

6.2.4 地基最终沉降量设计值应满足下式要求：

$$S_{\text{d}\infty} \leq [S] \quad (6.2.4)$$

式中 $[S]$ ——建筑物的沉降量限值(cm),按有关建筑物的现行规范规定执行；
 $S_{\text{d}\infty}$ ——建筑物地基最终沉降量设计值(cm)。

6.3 适应与减小地基沉降的措施

6.3.1 若地基沉降量设计值大于沉降量限值,宜采取下列措施：

- (1) 结构构造方面:设置沉降缝、采用轻型结构、回填轻质材料和调整基础平面尺寸或埋深等；
- (2) 施工方面:调整施工程序与进度等；
- (3) 地基处理方面:采用真空预压、堆载预压和换填砂垫层等方法。

7 软基处理

7.1 一般规定

7.1.1 软基处理方法应根据土质条件,包括回填或冲填条件、建筑物类型及适应变形能力、施工能力与经验、材料来源、施工期限和加固费用等因素经综合分析比较选定,必要时也可选择两种或多种地基处理方法联合应用。港口工程中常用的软基处理的主要方法可按表 7.1.1 选用。

7.1.2 进行地基处理,若对周围环境或建筑物产生不利影响时,应进行分析和计算。有危害时,应采取防护措施或采用合适的软基处理方法。

软基处理的主要方法 表 7.1.1

软基处理的主要方法		适 用 土 质 情 况	适 用 建 筑 物 情 况
换 填 土	换填砂垫层	换填软土厚度一般不大于 $4m$	码头防波堤等
	土工织物(包括格栅、网络)垫层法	一般软土地基,增加抗滑稳定性,匀化地基沉降	适应变形能力强的防波堤等建筑物
	爆破排淤填石法	适于有下卧硬层的厚度一般为 $4m\sim 12m$ 的淤泥、淤泥质土	适用于防波堤、护岸等建筑物。对软土较深厚工程,需经试验才能确定施工工艺
	抛石挤淤	淤泥或流泥厚度一般小于 $3m$	

续上表

软基处理的主要方法		适用土质情况	适用建筑物情况
排水固结法	堆(加)载预压法	设置排水砂垫层 淤泥、淤泥质土等浅层 软土加固,最大固结排水 距离一般小于5m 设置竖向排水体 较深厚的淤泥、淤泥质 土、冲填土等饱和粘土地 基,但不适于泥炭土	码头后方堆场、仓库、 利用软土人工造陆、人工 岛、油罐、道路,以及工民 建等建筑物地基加固。 真空预压及真空预压联 合堆载预压尤其适于超 软土地基加固
	真空预压法	设置竖向排水体 适用土质同堆载预压 法,还需具备能形成(包 括采取密封措施)稳定的 负压边界条件	
	真空预压联合堆载预压法	设置竖向排水体 适用情况同真空预压, 用于设计荷载大于 $80 kPa$ 的情况	
轻型真空井点法		渗透系数 $1 \times 10^{-4} cm/s$ ~ $1 \times 10^{-7} cm/s$ 的土层	加固基坑边坡、基坑沉降 水
强夯法		松软的碎石土、砂土、低 饱和度的粉土和粘性土	码头堆场、道路及其它 港工及工民建地基
振冲法	振冲置换法	抗剪强度不宜小于 $30 kPa$ 的粘性土、粉土和 人工填土地基	堆场道路及其它港工 及工民建地基
	振冲密实法	砂土、低塑性粉土地基	
深层搅拌法		淤泥、淤泥质土和含水 量较高且地基承载力不 大于 $120 kPa$ 的粘性土地 基	水(海)上重力式水工 建筑物地基及陆上港工 及工民建地基

注:①土工织物垫层法,按现行行业标准《水运工程土工布应用设计与施工规程》

(JTJ/T239)采用;

②爆破排淤填石法,按现行行业标准《爆破法处理水下软基技术规程》(JTJ/T258)采用。

7.1.3 根据所选软基处理方法,所需土性指标可按下列规定确定。

7.1.3.1 当采用堆载预压法、真空预压法、真空预压联合堆载

预压法等,应着重取得土的现场渗透系数、固结系数、天然压密状态、现场十字板强度及灵敏度、砂夹层和砂透镜体的分布情况。尤其对真空预压法及真空预压联合堆载预压法,应查明相对透水层和地下水位置及承压水性质、有无补给水源、表层透气性等。

7.1.3.2 对于固结系数,宜用现场渗透试验与室内压缩试验的结果计算确定,或利用已有的沉降资料按附录K推算,当有足够的试验件数时也可用室内固结试验确定。

对水平向和垂直向渗透性相差较大的土层,宜分别测定水平向和垂直向固结系数。

7.1.4 对重要的或大型工程,对已选定的地基处理方法,宜在有代表性的场地上进行相应的现场试验或试验性施工,并进行必要的测试,以检验设计参数和处理效果,指导全场的设计和施工,如达不到设计要求,应查明原因,采取措施或修改设计。

对于采用排水固结法加固后的软土地基,在满足稳定和沉降要求的条件下,按照本规范第4章进行地基承载力验算时,若采用不排水抗剪强度指标, γ_R 可酌情降低。

7.1.5 施工中应进行质量控制和监测,并做好记录,出现异常情况及时解决。

7.1.6 施工过程中应有取得监理资格的专人或专门机构负责质量监理,施工过程中及施工结束后应进行工程质量检验。

7.2 换填砂垫层法

7.2.1 换填砂垫层的砂料,宜采用级配良好、并不含杂质的中粗砂。

7.2.2 对于条形基础,换填砂垫层的厚度 d_2 ,可根据砂垫层底面处地基土的承载力确定,应符合式(7.2.2-1)的要求。用试算法求出使式(7.2.2-1)两端相等的 d_2 值,即为所需的最小厚度(见图7.2.2)。砂垫层的宽度应大于砂垫层底面的受压宽度 B' 。

$$\sigma_d \leq \frac{F'_k}{B'_e \gamma_R} \quad (7.2.2-1)$$

$$\sigma_d = \left[\frac{\sigma'_{max} + \sigma'_{min}}{2B'_e} + \gamma_2 d_2 \right] \gamma \sigma \quad (7.2.2-2)$$

$$B''_e = B'' - 2e'' \quad (7.2.2-3)$$

$$B'' = B'_1 + 1.15d_2 \quad (7.2.2-4)$$

$$B'_1 = B_1 + 2d_1 \quad (7.2.2.5)$$

$$e'' = \frac{B''(\sigma'_{max} - \sigma'_{min})}{6(\sigma'_{max} + \sigma'_{min})} \quad (7.2.2-6)$$

$$\sigma'_{max} = \frac{B'_1 \sigma'_{max}}{B''} + \gamma_2 d_2 \quad (7.2.2-7)$$

$$\sigma'_{min} = \frac{B'_1 \sigma'_{min}}{B''} + \gamma_2 d_2 \quad (7.2.2-8)$$

式中 σ_d ——作用于砂垫层底面,单位有效宽度的平均压力设计值(kPa);

F''_k ——砂垫层底面处纵向单位宽度上地基极限承载力的竖向分力的标准值(kN/m),按第4章有关公式计算;

γ_R ——抗力分项系数,不宜小于3.0;

B''_e ——砂垫层底面的有效受压宽度(m);

γ_σ —— σ_d 的综合分项系数,取1.0;

B'' ——砂垫层底面的受压宽度(m);

B_1 ——抛石基床底面上的受压宽度(m),按第4章第4.1.4条的有关规定确定;

B_1 ——墙底面的实际受压宽度(m),按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》的有关规定确定;

e'' ——砂垫层底面合力标准值的偏心距(m);

γ_2 ——砂垫层的重度标准值(kN/m³),水下取浮重度;

d_1 ——抛石基床厚度(m);

d_2 ——砂垫层的厚度(m);

σ'_{max} ——砂垫层顶面(抛石基床底面)的最大压力标准值(kPa),按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》的有关规定计算;

σ'_{min} ——砂垫层顶面(抛石基床底面)的最小压力标准值(kPa),按现行行业标准《重力式码头设计与施工规

和。

6.2.1.1 基底垂直附加压力的设计值为基底压力设计值与基底面上自原地面算起的自重压力设计值之差。

6.2.1.2 基底水平力设计值可按均布考虑。

6.2.1.3 边载设计值,当其分布范围超过自基底边缘算起的5倍基底宽度时,可按5倍计,不足5倍时,应按实际分布范围计。

各种作用引起的垂直附加应力标准值可按附录 J 计算。

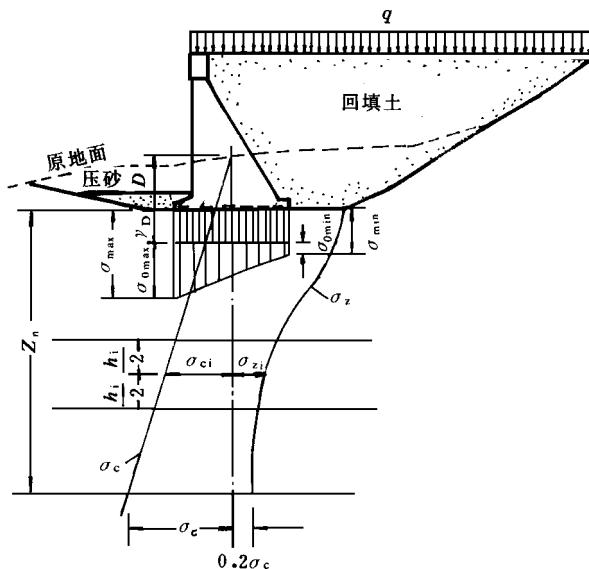


图 6.2.1 沉降计算示意图

D—基础埋深

γ -土的重度

σ —基底压力

σ_0 —基底垂直附加压力

τ—基底水平力

σ_c —由原地面算起的土的自重压力;

σ_0 —地基内某一点的垂直附加压力

6.2.2 地基最终沉降量可按式(6.2.2)计算,也可用实测沉降过程线推算。

$$S_{d\infty} = m_s \sum \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} h_i \quad (6.2.2)$$

下,其固结速率能满足工期要求,此时可只设置排水砂垫层,进行堆载预压。排水砂垫层的厚度,陆上不宜小于0.5m,水下不宜小于1m。

7.3.2 排水砂垫层的砂料,宜采用含泥量小于5%的中砂或粗砂。

7.3.3 水下排水砂垫层的施工,按第7.2.5条的规定执行。

7.3.4 当软土厚度较大时,应设置竖向排水体(包括普通砂井、袋砂井或塑料排水板)进行堆载预压设计。设计内容应满足以下要求:

- (1) 选择竖向排水体的型式,确定其断面尺寸、间距、排列方式和深度;
- (2) 确定加载数量、范围、速率、预压或分级预压时间;
- (3) 计算地基固结度、强度增长、抗滑稳定和变形等。

7.3.5 预压荷载大小应根据设计要求确定,通常取建筑物或堆场的基底压力作为预压荷载。实际施加的荷载,包括预压荷载和由于地面标高不够或因预压沉降使预压后地表低于设计地面高程而回填或补填的土重。当在设计荷载下,在规定时间内不满足残余沉降要求时,应采用超载预压,其预压荷载应通过试算确定。

加载范围应大于建筑物基础外缘所包围的范围。

加载速率应与地基土的强度增长相适应,在加载各阶段应进行地基稳定验算以确保工程安全。

7.3.6 竖向排水体长度主要取决于工程要求和土层情况:软土不厚时,砂井可打穿整个软土层;软土较深厚时,应根据稳定或沉降要求确定;对以地基稳定性控制的工程,竖向排水体深度至少应超过最危险滑动面2m;软土层中如有砂夹层或砂透镜体应予利用,以缩减竖向排水体长度和数量。

7.3.7 竖向排水体间距主要取决于所要求的固结时间。对普通砂井,一般采用2m~3m,对袋砂井或塑料排水板一般采用1m~1.5m,对高灵敏度粘土,宜取较大值。

7.3.8 对于竖向排水体直径:普通砂井,水下一般用30cm~

40 cm, 陆上可小于 30 cm; 袋砂井一般用 7 cm; 对塑料排水板一般宽度为 10 cm, 厚度为 3 mm~4 mm, 其当量换算直径 D_p , 可按下式计算:

$$D_p = \alpha \frac{2(b + \delta_0)}{\pi} \quad (7.3.8)$$

式中 D_p —塑料排水板当量换算直径;

α —换算系数, 无试验资料时可取 $\alpha = 0.75 \sim 1.0$;

b —塑料排水板宽;

δ_0 —塑料排水板厚度。

7.3.9 竖向排水体的最大间距可用井径比控制: 普通砂井, 井径比不宜大于 10; 袋砂井或塑料排水板井径比不宜大于 25; 井径比用符号 n 表示并应按下式计算:

$$n = \frac{d_e}{d_w}$$

式中 d_e —竖向排水体的等效排水圆柱体直径(cm);

d_w —竖向排水体直径(cm)。

7.3.10 竖向排水体的平面布置可采用等边三角形或正方形, d_e 和砂井间距 S 的关系按下列规定取用:

$$\text{等边三角形布置} \quad d_e = 1.05S \quad (7.3.10-1)$$

$$\text{正方形布置} \quad d_e = 1.128S \quad (7.3.10-2)$$

7.3.11 竖向排水体顶面上应铺设排水砂垫层, 以连通各砂井。若砂料不足, 在干施工情况下, 可用砂沟代替砂垫层。砂垫层的砂料质量及厚度应符合第 7.3.1 条和 7.3.2 条的规定。

7.3.12 瞬时加载条件下, 地基的竖向平均固结度 U_z 和辐射向平均固结度 U_r , 可按附录 L 确定。

7.3.13 瞬时加载条件下, 砂井地基的平均总固结度 U_{rz} 可按下列公式计算:

$$U_{rz} = 1 - (1 - U_z)(1 - U_r) \quad (7.3.13-1)$$

$$U_z = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{\pi^2}{4H^2} t} \quad (7.3.13-2)$$

$$U_r = 1 - e^{-\frac{8C_h}{F(n)} \frac{t}{t_r^2}} \quad (7.3.13-3)$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \quad (7.3.13-4)$$

式中 U_z ——竖向平均固结度；

U_r ——径向平均固结度；

C_v ——垂直固结系数(cm^2/s)；

C_h ——水平向固结系数；(cm^2/s)；

$F(n)$ ——与 n 有关的函数；

t ——固结时间(s)；

H ——不排水面至排水面的竖向距离(cm)。对双面排水，

H 为土层厚度之半；对单面排水， H 为土层厚度。

注：①砂井加固范围内各区的计算条件不同时，宜分别计算平均总固结度；

②对防波堤和重力式码头，计算施工期(短暂状况)的固结沉降时，宜采用该时期的平均水位；计算持久状况的固结沉降时，宜采用设计低水位。

7.3.14 分级加载条件下，砂井地基在 t 时的平均总固结度 U'_{rz} (见图 7.3.14) 可按下式计算：

$$U'_{rz} = \sum_{i=1}^m U_{rz(i-t-\frac{T_i^0+T_i^f}{2})} \frac{S_i}{\sum S_i} \quad (7.3.14)$$

式中 $U_{rz(i-t-\frac{T_i^0+T_i^f}{2})}$ ——瞬时加载条件下，第 i 级荷载 t 时的平均总固结度；

T_i^0 ——第 i 级加载的起始时间(d)；

T_i^f ——第 i 级加载终了时间(d)，当计算加载期间的固结度时， T_i^f 应改为 t ；

S_i ——第 i 级荷载作用下地基的最终沉降量(cm)，当计算加载期间的固结度时，式(7.3.14)中，分子 S_i 应改为 ΔS_i ， ΔS_i 为对应于 t 时的荷载 ΔP_i 作用下的最终沉降量；

m ——加荷级数。

7.3.15 对于正常压密的粘性土，加载过程中强度增量的标准值 ΔS_{uk} (kPa) 可按下式计算：

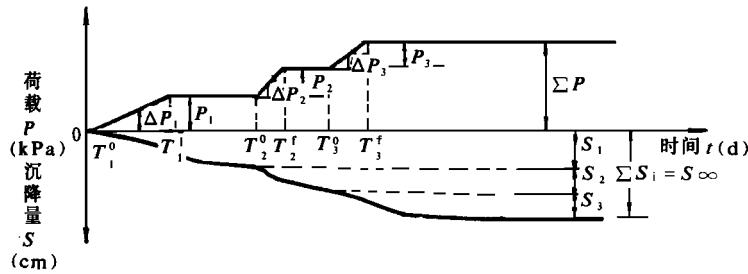


图 7.3.14 分级加载固结过程示意图

$$\Delta S_{uk} = U \sigma_{zk} \operatorname{tg} \varphi_{cq} \quad (7.3.15)$$

式中 U ——平均总固结度,有砂井时, $U = U_z$ 或 $U = U'_{z'}$, 无砂井时, $U = U_z$ 或 $U = U'_{z'}$, $U'_{z'}$ 系分级加载条件下, 地基竖向平均固结度;
 σ_{zk} ——地基垂直附加压力标准值(kPa);
 φ_{cq} ——固结快剪内摩擦角标准值($^{\circ}$), 可取均值。

7.3.16 竖向排水体的施工机具应根据其不同类型选用。

在刚刚吹填(水力冲填)不久的软土或超软土上打设竖向排水体时可在软土面上铺设荆芭(或竹芭)砂石垫层, 使用轻型打设机打设袋砂井或塑料排水板。

7.3.17 排水砂井所用砂料宜用中粗砂, 含泥量应小于 3%。塑料排水板应符合设计提出的质量要求。

7.3.18 砂井灌砂时, 砂柱不得中断, 若有中断, 则应补打; 砂井的灌砂率对于套管法砂井不得小于计算值的 85%, 对于袋装砂井不得小于 95%。

袋砂井打设前, 砂袋宜用干砂灌制, 应达到密实状态, 砂袋入井下沉时不得发生扭结, 缩径或断裂现象。

袋砂井打设后, 至少应露出砂垫层顶面 50 cm。

7.3.19 塑料排水板施工质量应符合现行行业标准《塑料排水板施工规程》(JTJ/T256)的有关规定。

7.3.20 施工时, 宜根据设计要求加载, 包括分级加载, 通过水平

位移和垂直位移控制加载速率。控制标准如下：

- (1) 边桩水平位移每昼夜应小于 5 mm ；
- (2) 基底的中心沉降每昼夜应小于 10 mm 。

注：若加固的地基土很软且深厚，上述标准可适当放宽。

7.3.21 为检验施工质量和预压效果，地基预压前应在地表设置沉降盘，埋设孔隙水压力仪，分层沉降仪等。在预压期间应及时整理变形与时间，孔隙水压力与时间关系曲线。推算地基的最终沉降，确定不同时间的固结度和相应的沉降，以分析加固效果并为确定卸载时间提供依据。

7.3.22 对以地基稳定为控制因素的重要工程，应在预压区内选择代表性位置预留孔位，在加载不同阶段进行十字板强度试验和钻取土样进行室内土工试验，验算地基的抗滑稳定性。

7.3.23 预压后的地基应进行十字板强度试验和室内土工试验，以检验加固效果。

7.4 真空预压法

7.4.1 采用真空预压法加固地基必须设置竖向排水体。设计内容应满足下列要求：

- (1) 选择竖向排水体的型式，确定其间距、排列方式和深度；
- (2) 预压区面积和分块，要求达到的膜下真空度和土层固结度；
- (3) 真空预压下和建筑物荷载下的地基沉降计算，预压后的强度增长计算等。

7.4.2 对于表层存在良好透气层(透水层)及在处理范围内有透水层时，应采取有效措施切断透气层和透水层。当软土层底以下有透水层时，砂井不应打穿软土层，并应留有足够的软土层厚度，以保证竖向排水体中的负压条件。

7.4.3 砂井或塑料排水板的间距、排列方式、深度，按第 7.3.6～7.3.10 条的有关规定确定。土体固结度和强度增长的计算按第 7.3.12～7.3.15 条的有关规定执行。

7.4.4 膜下真空度应稳定地维持在 80 kPa 以上。在此压力下的预压效果相当于 80 kPa 堆载预压, 真空预压需要达到的固结度宜大于 80%, 具体视工程加固要求而定。

7.4.5 真空预压的施工工艺应符合下列规定:

- (1) 铺设砂垫层厚度应均匀, 表面应整平; 砂垫层厚度及砂料要求按第 7.3.1 和 7.3.2 条的规定执行;
- (2) 在砂垫层中沿水平方向埋设滤水管, 在预压过程中滤水管能适应地基变形;
- (3) 采用的密封膜应满足施工和当地气候条件要求, 密封膜周边及表面应采取挖沟填埋、沿周边筑埝、埝内膜上覆水等处理措施;
- (4) 当加固区周边或表层土有透水层或透气层时, 应采用密封墙将其封闭;
- (5) 安装抽气设备, 联接抽气管道, 真空泵的设置应根据预压区大小、真空泵的功率以及工程经验确定。

7.4.6 在满足真空度要求(符合本规范第 7.4.4 条规定)的条件下, 应连续抽气, 当沉降稳定后, 方可停泵卸载。真空预压的沉降稳定标准为: 实测地面沉降速率连续 $5\text{ d} \sim 10\text{ d}$ 平均沉降量小于或等于 2 mm/d 。

7.4.7 真空预压法的质量检测及检验, 除按第 7.3.21~7.3.23 条的有关规定执行外, 尚应测量泵上及膜下真空度, 并应在真空预压加固区边缘埋设测斜仪, 测量土体沿深度的侧向位移。

7.5 真空预压联合堆载预压法

7.5.1 当所需预压荷载大于 80 kPa 时, 应在真空预压抽真空的同时再施加定量的堆载。

7.5.2 实施真空预压和在联合堆载施加过程中及施加后, 必须始终稳定地维持设计真空度。

7.5.3 对一般软粘土, 当膜下真空度稳定地达到 80 kPa 后, 抽真空 10 d 左右可进行上部堆载施工, 即边抽真空, 边堆载, 荷载可

以连续施加。对高含水率的淤泥性土,当膜下真空度稳定地达到80kPa后,一般抽真空20d~30d左右可进行堆载施工。荷载大时可分级施加,分级级数通过稳定计算确定。

7.5.4 在进行上部堆载之前,必须在密封膜上铺设防护层,保护密封膜的气密性。防护层可采用编织布或无纺布等,其上铺设10cm~30cm厚的砂垫层,然后再行堆载。

7.5.5 堆载时宜采用轻型运输工具,并不得损坏密封膜。

7.5.6 除上述规定外,尚应遵照第7.3节和7.4节的有关规定。

7.5.7 在进行上部堆载施工时,应密切观察膜下真空度的变化,发现漏气,应及时处理。

7.5.8 真空预压联合堆载预压法的质量检验应遵照第7.4.7条的规定执行。

7.6 轻型真空井点法

7.6.1 土层的渗透系数和井点的影响半径,可由现场试验确定或采用经验数据。

7.6.2 根据土质情况、加固区的大小和形状以及降水深度要求,选择适当的井点布置方案,井点可以布置成环形或线形等。当要求的降深不超过5.0m时,宜用一级井点,超过时,宜用多级井点。

井管的外径一般为3.8cm~5.0cm。井点间距,可由现场试验确定,宜为0.8m~2.0m。

7.6.3 由降水而产生的预压荷载 Δp 可按下式计算

$$\Delta p = \alpha \gamma_w Z \quad (7.6.3)$$

式中 γ_w ——水的重度(kN/m³);

α ——与饱和度有关的系数,可取0.9~1.0;

Z——降水深度(m)。

7.6.4 计算在井点作用下的土坡和地基稳定时,应按第5.3.2条的有关规定执行。

7.6.5 井管下端滤管的长度宜为1m~2m,滤孔面积应占滤管表面积的20%~25%,滤管外包两层滤网及棕皮,以防止滤管被堵

塞。

7.6.6 井点的管路系统应密封,严防漏气。

7.6.7 在粘性土中宜采用水冲法沉设井点,滤管以下应有50cm以上的垫底砂,井管周围的砂滤层厚度应均匀。砂滤层的砂料宜使用粗砂。井孔表层周围应以粘土捣实封口,封土长度不应小于1m。

7.6.8 井点运转过程中,应进行观测。观测项目主要有:沉降、水位移、抽水量和各土层的零压线。有条件时,宜检验土层强度增量。若坡顶或坡面出现裂缝。应分析原因并观测裂缝的发展情况。

7.7 强 夯 法

7.7.1 夯前勘察除应进行常规勘察试验项目外,尚应根据土质特点和工程要求,选择适于检验强夯效果的原位测试或其它试验项目。

7.7.2 根据工程要求选择锤重和落距,可用下式验算强夯有效深度:

$$H \approx \alpha \sqrt{\frac{M_h}{10}} \quad (7.7.2)$$

式中 H —有效深度(m);

M —锤重(kN);

h —落距(m);

α —经验系数,一般采用0.4~0.7,具体数值可通过试验确定。

7.7.3 夯点可采用正方形或梅花形排列布置,间距宜为5m~9m。对于处理深度较深或单击夯击能较大的工程,宜取较大值。

7.7.4 单点夯击击数应根据现场试验中得到的最佳夯击能确定,且宜同时满足最后两击的平均夯沉量不大于5cm,当单击夯击能较大时不大于10cm。

7.7.5 夯击遍数应根据地基土的性质确定,一般情况下可采用2

~3遍。下一遍夯点应选在上一遍已夯点间隙,最后再以低能量满夯一遍.对于渗透性弱的细粒土,夯击遍数可适当增加.。

7.7.6 两遍之间的间歇时间视土质而定,对于透水性差的土,两遍之间的间歇时间由超静水压力消散快慢控制,宜为1~4周,对于碎石土及砂土等易于排水的土可连续夯击。

7.7.7 强夯施工的各项参数宜通过现场试验确定。

7.7.8 强夯处理范围应大于建筑物基础范围。每边超出基础外缘宽度应为设计处理深度的1/2~2/3,并不宜小于3m。

7.7.9 当地下水位较高,夯坑底积水影响施工时,宜采用挖排水沟或采用人工降低地下水位以及铺垫厚度为0.5m~2.0m的砂石垫层等措施,夯坑或场地内积水时应及时排除。

7.7.10 当强夯施工振动对邻近建筑物或设备产生有害影响时,应采取防振或隔振措施。

7.7.11 强夯施工应按强夯试验确定的施工参数进行,每夯完一遍应用推土机将夯坑填平,普测场地的平均高程用以计算夯沉量。

7.7.12 强夯施工宜符合下列规定:

(1) 强夯机械宜采用带有自动脱钩装置的履带式起重机等设备,并应采取安全措施,防止落锤时,机架倾覆;

(2) 每次夯击前后应测量锤顶高程,若发现因坑底倾斜而造成夯锤歪斜时,应及时将坑底整平;

(3) 完成全部夯击遍数后,最后用低能量满夯,将场地表层松土夯实。

7.7.13 施工过程中应对各项参数及施工情况进行详细记录。

7.7.14 强夯施工过程中的检测应符合下列规定:

(1) 开夯前应检查夯锤重和落距,以确保单击夯击能量符合设计要求;

(2) 在每遍夯击前,应对夯点放线进行复核,夯完后检查夯坑位置,发现偏位或漏夯应及时补夯;

(3) 按设计要求检查每个夯点的夯击次数和每击的夯沉量。

7.7.15 强夯施工中必须及时检查强夯施工过程中的各项测试数

据和施工记录,不符合设计要求时应补夯或采取其它有效措施。

7.7.16 强夯施工结束后应间隔一定时间方能对强夯效果进行检验。对碎石土和砂土地基,其间隔时间可取1~2周;低饱和度的粉土和粘性土地基可取2~4周。

7.7.17 质量检验的项目根据土质情况及工程设计要求确定。每个建筑物的检验点宜不少于三处,对大面积区域检验点的数量、深度和位置按工程设计的要求确定。

7.8 振冲置换法

7.8.1 处理范围应根据建筑物基础结构型式、受力特点及建筑物的重要性和场地条件确定,宜在基础外缘扩大1~2排桩,对可液化地基,考虑基础周围土层液化对建筑物的危害,应在基础外缘扩大2~4排桩。

7.8.2 桩位布置形式应根据处理面积和基础形式确定。处理面积较大,宜用等边三角形布置;对独立长条形基础及其它基础,宜用正方形、矩形或等腰三角形布置。

7.8.3 桩的间距应根据荷载大小和原土的抗剪强度确定,可选用1.5m~2.5m。荷载大或原土强度低时,宜取较小间距;反之,宜取较大间距。对桩端未达相对硬层的短桩,应取小间距。

7.8.4 桩长的确定:当软弱土层较薄时,桩应穿过软弱土层至相对硬层;当软弱土层深厚,应按建筑物地基的变形允许值确定。桩长不宜短于4m。当为可液化的地基时,桩长应满足抗震要求。

7.8.5 桩体材料:应优先采用含泥量不大的碎石,结合当地材料来源也可用卵石、角砾、圆砾等硬质材料。材料的最大粒径不宜大于80mm。对碎石,常用的粒径为20mm~50mm。

7.8.6 桩的直径:可按每根桩所用的填料量计算,宜采用0.8m~1.2m。

7.8.7 复合地基承载力和变形计算可按现行国家行业标准《建筑地基处理技术规范》(JGJ79)的有关规定执行。

7.8.8 对采用振冲置换法加固土坡的抗滑稳定分析应按第5章

有关规定执行,所需复合土层的抗剪强度标准值可按下列公式(图7.8.8)确定:

$$S_{spk} = (1 - m)S_{uk} + mS_{pk}\cos\alpha \quad (7.8.8-1)$$

$$S_{pk} = p_z \operatorname{tg}\varphi_p \cos\alpha \quad (7.8.8-2)$$

$$p_z = \gamma_p Z + \mu_p \sigma_z \quad (7.8.8-3)$$

$$\mu_p = \frac{n}{1 + (n-1)m} \quad (7.8.8-4)$$

$$m = \frac{d_e^2}{d_e^2} \quad (7.8.8-5)$$

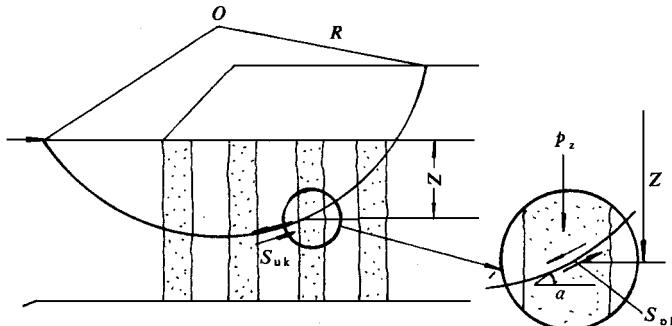


图 7.8.8 复合地基抗滑稳定计算示意图

式中 S_{spk} —复合地基的抗剪强度标准值(kPa);
 S_{pk} —桩体抗剪强度标准值(kPa);
 α —滑弧切线与水平线夹角($^\circ$),见图 7.8.8;
 S_{uk} —桩间土的不排水抗剪强度标准值(kPa),可取现场
 十字板强度平均值;
 p_z —作用于滑动面上的竖向应力(kPa);
 γ_p —桩体重度标准值,水下用浮重度(kN/m^3);
 Z —桩顶至滑弧上计算点的垂直距离(m);
 μ_p —应力集中系数;
 σ_z —桩顶平面上的荷载引起的计算点垂直附加应力标
 准值(kPa),可按一般弹性理论计算;

m ——面积置换率；
 d ——桩的直径(m)；
 d_e ——等效影响圆直径(m),桩位等边三角形布置, d_e 应取 1.05 倍桩的间距; 桩位正方形布置, d_e 应取 1.13 倍桩的间距；
 n ——桩土应力比,无实测资料时可取 2~4,原土强度低取大值,原土强度高取小值。

7.8.9 振冲施工可用功率为 $30 kW \sim 75 kW$ 的振冲器。在已有建筑物邻近施工时,宜用功率较小的振冲器,水上施工宜用功率较大的振冲器,施工中应严格检查振冲器的绝缘性能。

7.8.10 水上制桩,应采用带有施工平台的专用船舶,将陆上施工机具移至施工船舶的施工平台上。海上制桩定位,应根据离岸距离,选择合理的定位方法。

7.8.11 成孔贯入时水泵水压可用 $400 kPa \sim 600 kPa$,水量可用 $2001/min \sim 4001/min$ 。使振冲器徐徐沉入土中的最终深度,宜为设计处理深度以上 $0.3 m \sim 0.5 m$; 振冲器在沉入每批填料中振密时,电流必须超过规定的密实电流,若达不到规定值,应向孔内继续加填料振密,使其达到规定的密实电流。记录每一深度的最终电流量和填料量以及留振时间。

水上振冲施工工艺与陆上基本相同,由于施工船舶受水深及风浪影响,振冲和投料系统必须有导向装置,如联接振冲器与起重机的刚性导杆以及保证向水底振冲孔中准确投料的投料导管及护筒。

7.8.12 施工过程中,各段桩体的密实电流、填料量和留振时间均应符合设计规定。这些规定应通过现场成桩试验确定。

7.8.13 严禁将泥水直接排入下水道或河流中造成公害。

7.8.14 在桩体全部制完成后,应将桩体顶部的松散桩体挖除或用碾压等方法使之密实,随后铺设 $30 cm \sim 50 cm$ 厚的碎石垫层并压实,然后在上面做基础。对海上振冲桩,顶部松散层不易挖除,应在其上抛 $1 m \sim 2 m$ 碎石,水下夯实。

7.8.15 应及时检查振冲施工质量和各项施工记录,如有漏孔或不符合规定的桩或振冲点,应补孔或采取有效的补救措施。

7.8.16 振冲施工结束后,应间隔一定时间才能进行质量检验。

对粘性土地基,间隔时间可取3~4周,对粉土地基,可取2~3周。

7.8.17 振冲桩的施工质量可用单桩载荷试验检验。试验应采用圆形压板,其直径应与桩的直径相等,可按每200~400根桩随机抽取一根进行检验,但总数不得少于3根。

对粉土层中的振冲桩,除用单桩载荷试验检验外,尚可用标准贯入或静力触探等试验对桩间土进行处理前后的对比检验。

7.8.18 对大型的、重要的或场地复杂的工程应进行复合地基的处理效果检验。检验方法宜用单桩复合地基载荷试验或多桩复合地基载荷试验。检验点应选择在有代表性的或土质较差的地段,检验点数量可按处理面积大小取3~4组。

对水上大型、重要工程,其检验方法除用现场取土室内试验、十字板、标准贯入、动力触探检验桩间土及桩身强度外,有条件时尚宜做水底复合地基载荷试验,检验处理效果。

7.9 振冲密实法

7.9.1 对于粉细砂地基宜采用加填料的振密工艺,对于中粗砂地基可用不加填料的振密方法。

7.9.2 处理范围:应大于建筑物基础范围,在建筑物基础外缘每边放宽不得少于5m。

7.9.3 处理深度:当可液化土层不厚时,振冲深度应穿透整个可液化土层;当可液化土层较厚时,振冲深度应满足地基强度、变形及抗震处理深度的要求。

7.9.4 振冲点宜按等边三角形或正方形布置,其间距应根据土的颗粒组成、要求达到的密实程度、地下水位和振冲器功率等有关因素,在1.8m~2.5m范围内选取,并应通过现场试验验证后确定。

7.9.5 当需填料时,每一振冲点所需的填料量应根据地基土要求达到的密实程度和振冲点间距,宜通过现场试验确定。

7.9.6 填料宜用质地坚硬的碎石、卵石、角砾、圆砾、砾砂、粗砂等硬质材料,粒径宜小于5cm。

7.9.7 复合地基的承载力标准值应按现场复合地基载荷试验确定,也可用单桩和桩间土的载荷试验确定。

7.9.8 振冲密实处理地基的变形计算,应按现行国家行业标准《建筑地基处理技术规范》的有关规定执行。

7.9.9 加填料的振冲密实施工宜采用以下工艺:成孔贯入时水压和水量可按第7.8.11条的规定控制,振冲器下沉速率宜控制在每分钟约1m~2m范围内,达到设计处理深度后,应将水压和水量降至孔口有一定量回水且无大量细颗粒带出的程度,将填料堆于护筒周围;填料应在振冲器振动下依靠自重沿护筒周壁下沉至孔底,在电流升高到规定的控制值后,应将振冲器上提0.3m~0.5m;如此反复进行,至全孔完成;记录各深度的最终电流值、填料量等。

7.9.10 不加填料的振冲密实施工工艺与加填料的大体相同。使振冲器沉至设计处理深度,留振至电流稳定地大于规定值后,将振冲器上提0.3m~0.5m。如此重复进行,至完成全孔处理。在中粗砂层中施工时,如遇振冲器不能贯入,可增设辅助水管,加快下沉速率。

7.9.11 加填料的振冲密实桩的质量检验应按第7.8.15条、第7.8.17条及第7.8.18条的有关规定执行。对砂土地基尚可用标准贯入或静力触探试验进行检验。

7.9.12 对不加填料的振冲密实法处理的砂土地基,宜用标准贯入、动力触探等试验方法检验处理效果。检验点应选择在有代表性的或地基土质较差的地段,并位于振冲点围成的单元形心处。检

验点数量可按每 100~200 个振冲点选择 1 孔, 总数不得少于 3 孔。

7.10 水上深层水泥搅拌法

7.10.1 确定加固方案前, 除进行常规勘探和室内物理力学指标试验外, 尚应对拟加固区土质和水域环境进行如下调查与试验:

7.10.1.1 应逐层做标准贯入等试验, 查明加固区土层分布和软土层厚度、拟加固深度范围内有无硬夹层。尽量查明妨碍搅拌施工的孤石及异物等。经上述调查后, 若施工中仍遇有异常或发现异物, 应由有关方面另行商定解决。

7.10.1.2 对现场水质进行调查。查明 PH 值、易溶盐、海水污染程度和原因以及对水泥搅拌体的侵蚀性等。

7.10.1.3 对海底土特性进行调查分析, 应进行逐层土的化学分析和矿物组成分析。查明拟加固土的腐植质含量、土的 PH 值, 有机质含量及活化反应特性, 以判定在该地区实施深层水泥搅拌法的有效程度, 供选择水泥品种和确定掺量。

7.10.2 设计前应采用拟加固区现场的取土和当地水进行不同水灰比、不同水泥品种和掺量、不同外掺剂和不同龄期的试验, 为设计选择合适的配合比提供依据。水泥掺入比宜为 7%~15%。

外掺剂宜选择早强、缓凝和减水的材料, 并应避免污染环境。若施工需要, 可加入消泡剂。

7.10.3 试验室加固土强度标准值(q_u)宜取 90d 龄期的试块无侧限抗压强度。当工期较长, 全部荷载需较长时间才能施加完成时, 设计采用的加固土强度标准值可取大于 90d 龄期强度。

7.10.4 采用水上深层水泥搅拌法处理重力式防波堤、码头和护岸等地基时, 可采用块式或壁式加固体。

7.10.5 采用块式着底型(加固至下卧硬层)加固地基的设计, 应进行整体稳定验算和加固体强度验算。对壁式加固体应增加对未加固土挤出的验算。当加固体座落于软弱层上或中间持力层上, 且持力层下有软土层时, 尚应验算地基沉降和加固体的位移。

7.10.6 整体稳定验算包括两部分:先将加固体视为建筑物基础,验算加固体以上重力式结构的抗倾、抗滑及基床应力等;再将重力式结构与加固体视为整体,验算抗倾、抗滑、地基承载力、圆弧滑动等项目。

7.10.7 验算加固体强度时,其强度的设计值,按下列公式确定:

(1) 加固体抗压强度的设计值宜按下式确定:

$$\sigma_{cad} = \frac{1}{\gamma_R} q_{uck} = \frac{1}{\gamma_R} \bar{q}_{uf} \quad (7.10.7-1)$$

式中 σ_{cad} ——加固体抗压强度设计值(kPa);

q_{uck} ——加固体抗压强度标准值(kPa);可取现场无侧限抗压强度的平均值 \bar{q}_{uf}

\bar{q}_{uf} ——加固体现场无侧限抗压强度平均值(kPa);当用海上大型专用深层搅拌船组施工时,可取 \bar{q}_{uf} 等于与现场相同配比的室内无侧限抗压强度平均值 \bar{q}_{uf} 采用小型船机施工时可取 \bar{q}_{uf} 等于 $\frac{1}{2} \bar{q}_{uf}$;

γ_R ——抗力分项系数,对于水上深层水泥搅拌法施工的加固体, γ_R 取 5.0。

(2) 加固体抗剪强度设计值宜按下式确定:

$$\tau_{ad} = \frac{1}{2} \sigma_{cad} \quad (7.10.7-2)$$

式中 τ_{ad} ——加固体抗剪强度设计值(kPa)。

(3) 加固体抗拉强度设计值宜按下式确定:

$$\sigma_{cad} = 0.15 \sigma_{cad} \leq 0.2 \text{ (kPa)} \quad (7.10.7-3)$$

式中 σ_{cad} ——加固体抗拉强度设计值(kPa)。

(4) 对加固体进行强度验算时,可将加固体视为弹性体进行计算,其内部剪应力和拉应力分别满足式(7.10.7-2)和(7.10.7-3)确定的设计值 τ_{ad} 和设计值 σ_{lad} 。

7.10.8 采用壁式加固时,对未加固土应进行挤出验算(见图 7.10.8),验算时假定不同的计算深度 D_i 反复计算,使按式(7.10.8)

计算的最小抗力分项系数 γ_R 值应大于或等于 1.2, 考虑地震时最小抗力分项系数 γ_R 应大于 1.0。 $\gamma_R =$

$$\frac{2(L_s + D_i)C_u B + P'_p}{(P'_a + 0.25K_h \gamma_2 B D_i L_s + h_\omega \gamma_\omega D_i L_s) \gamma_s} \quad (7.10.8)$$

式中 L_s ——短壁厚度(m);

D_i ——计算深度, 即从短壁底面到假定的挤出土体底面的竖向距离(m);

C_u —— D_i 范围内未加固土的平均抗剪强度(kPa);

γ_2 ——未加固土的饱和重度(kN/m³);

γ_s ——综合分项系数, 可取 1.0;

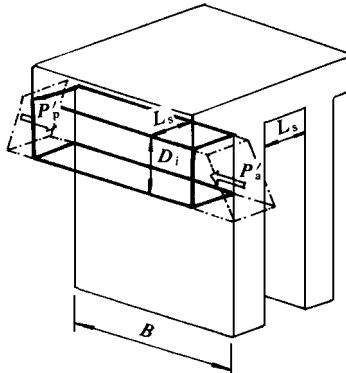


图 7.10.8 壁间未加固土挤出验
算示意图

B ——加固体宽度(m);

K_h ——水平地震系数, 按现行行业标准《水运工程抗震设计
规范》的规定取用;

h_ω ——剩余地下水头(m);

γ_ω ——水的重度(kN/m³);

P'_a 、 P'_p ——分别为 D_i 范围内作用于长壁间未加固土两端的主
动土压力合力标准值和被动土压力合力标准值。

注: 为了防止未加固土的侧向挤出, 可在加固土体的临水侧采用全部长壁封闭。
封闭的厚度视加固体宽度和受力条件由设计确定。

7.10.9 水上深层水泥搅拌施工应采用专用作业船组进行。搅拌船的最大加固深度、搅拌机功率和作业效率应满足工程条件。在风力 6 级以下, 浪高 0.5 m 以内时应能昼夜连续作业。

搅拌船应有自动定位系统, 平面定位允许偏差为土 5 cm。搅

拌船应有自动调控系统,对作业船进行纵倾和横倾调平,并对主要施工参数进行调控和逐桩自动记录。

7.10.10 水上水泥深层搅拌法加固地基的施工,应在建筑物轴线

方向上分区进行,其分区长度应与其上部建筑物的分段相对应。

7.10.11 施工前应挖泥到可满足施工船舶进行操作的水深或挖至加固土顶面标高。

7.10.12 水上深层水泥搅拌施工前,宜及早进行现场试验性施工,并应满足下列要求,

7.10.12.1 现场试验性施工应能检验选用施工船组的性能和室内配合比试验的适用性,确定正式施工作业的技术参数。

7.10.12.2 现场试验性施工应在靠近正式工程处进行。该处应有1~2个有完整的且具有代表性的钻孔资料。

7.10.12.3 当设计采用着底型加固体时,应结合钻探资料,在试验施工中确定搅拌头到达持力层时的搅拌处理机扭矩值。

7.10.13 施工中应使用经室内配合试验确定的合格水泥,并在施工中应进行复验。水上水泥深层搅拌宜采用散装水泥。

7.10.14 水上深层水泥搅拌施工的输浆工艺宜符合下列规定:

(1) **贯入输浆:**当搅拌翼达到设计加固起始高程时,搅拌翼边搅拌土体边开始输浆,到达设计底标高后,停止贯入,继续搅拌输浆时间 t_1 然后停止输浆,边搅拌边提升搅拌翼直至离开泥面;

(2) **提升输浆:**先预搅拌贯入至设计底标高,停止贯入,继续搅拌并开始输浆,输浆时间为 t_2 ,然后边提升搅拌翼边输浆至设计加固顶标高,停止输浆,继续搅拌提升至搅拌翼出泥面;

(3) **输浆方式、贯入、提升速度、搅拌翼转速及 t_1 、 t_2 等参数**均通过现场试验确定。

7.10.15 加固地基后,对高于设计基床底标高以上的隆起土原则上应予挖除。当隆起土的底部强度满足设计要求时,允许部分残留,但应保证其上抛石基床的厚度不小于 50 cm~100 cm。

挖除隆起土应根据施工经验采用适宜的挖泥船进行。

隆起土的高度可按注入水泥浆的体积进行估算。

7.10.16 每组搅拌桩的成桩过程都应有全部技术参数的完整记录,施工中应随时检查。施工单位应分区整理提供各区的质量指标,并作为工程验收的依据。

7.10.17 全部工程或区段工程完工后,应由工程监理工程师指定区域,进行搅拌后 90 d 或 120 d、180 d 加固体强度的现场钻孔取芯检验。

钻孔检验可用直孔法及斜孔法,直孔用以检验逐层土加固后的强度,斜孔用以检验相邻搅拌桩间的搭接质量。钻孔取样宜采用水上钻探平台进行。芯样应逐层取出,每延米至少制一个试块,测定无侧限抗压强度,其平均值应不小于设计要求的加固体现场无侧限抗压强度平均值 \bar{q}'_{sf} 。

钻孔取样,与强度试验应制定严格的操作规程,避免因设备及操作因素对加固体强度作出过低的评价。

对着底式加固体,可通过钻孔取样或钻孔内标准贯入试验判断加固体是否到达持力层。

7.10.18 地基加固后,在上部结构施工和后方回填过程中以及工程开始使用后一定时期内,应在上部结构和加固体内埋设测斜仪、沉降仪,设置平面位移和沉降观测点,对建筑物和加固体的沉降、位移及倾斜等进行观测。

8 现场观测

8.0.1 港工建筑物,在施工及使用期间应进行系统的定期观测,及时发现异常现象,以便采取补救措施,防止发生事故。

8.0.2 在设计文件中,应根据具体情况提出观测要求。各类建筑物的主要观测项目按表 8.0.2 选用。

各类建筑物地基的主要观测项目 表 8.0.2

建筑 物	观 测 项 目						
	表 面 位 移	土 体 深 层 位 移	地 基 沉 降	土 体 孔 隙 水 压 力	结 构 物 变 形 和 倾 斜	土 体 裂 缝 开 展	土 压 力
重力式码头	++		++		++	+	+
高桩码头	++	+	++	+	+	+	
板桩码头	++	+	+	+	+	+	+
斜坡码头	++		+			+	+
防 波 堤	+		+	+		+	
护 岸	+					+	

注:++表示应进行;+表示宜进行。

8.0.3 对于采用加固措施的软土地基,除按第 8.0.2 条和第 7 章软基处理进行观测外,施工时应在规定地点预留钻孔位置,进行加固效果检验。

8.0.4 各项观测应从施工开始时进行,同时记录荷载、水位和天气等有关情况。

附录 A 岩石分类

A.0.1 岩石根据强度按表 A.0.1 分为硬质岩石和软质岩石。

岩石按强度的划分

表 A.0.1

类别	亚类	强度 (MPa)	代表性岩石
硬质岩石	极硬岩石	>60	花岗岩、流纹岩、闪长岩、安山岩、辉长岩、玄武岩、辉缘岩、伟晶岩、煌斑岩、硅质砂岩或砾岩、石灰岩、白云岩、片麻岩、石英岩、石英云母片岩、硅质板岩等
	次硬岩石	30~60	
软质岩石	次软岩石	5~30	粘土岩、页岩、粘土质胶结的砂岩或砾岩、泥灰岩、火山凝灰岩、粘土质板岩、千枚岩、云母片岩、绿泥石片岩等
	极软岩石	<5	

注:强度系指新鲜岩块的单轴饱和抗压强度。

A.0.2 硬质岩石、岩体风化程度的划分,可按表 A.0.2 确定。

A.0.3 软质岩石、岩体风化程度的划分,可按表 A.0.3 确定。

硬质岩石体风化程度划分

表 A.0.2

风化等级	特征描述	岩体声波测试		岩石点荷载测试		岩体回声仪测试		标贯击数N	说 明
		V_p (km/s)	K_V	$I_{s(50)}$ (MPa)	K_I	r	K_r		
I 未风化	岩质新鲜未受风化	>5.0	1.0	>8.0	1.0	>50	1.0		V_p —岩体纵波速； K_V —波速风化折减系数，为风化岩体 V_p 之比； $I_{s(50)}$ —岩石点荷载强度指数； K_I —点荷载风化折减系数，为风化岩石 $I_{s(50)}$ 与新鲜岩石 $I_{s(50)}$ 之比； r —回弹值； K_r —回弹值
II 微风化	岩石的断面保持未风化状态，仅沿节理面有铁锰质渲染或易风化矿物略有风化迹象，岩体完整性好	4.0 ~ 5.0	0.8 ~ 1.0	5.0 ~ 8.0	0.63 ~ 1.0	40 ~ 50	0.8 ~ 1.0		
III 中等风化	岩石的颜色变浅，矿物风化变质较轻，光泽变暗，暗色矿物周边及裂隙附近常有褐色浸染现象，并可出现少量次生矿物； 岩体裂隙较发育，沿裂隙面风化较明显，岩体完整性较差，可被切割成30cm~50cm的块体，手锤不易击碎，开挖需爆破，岩心钻方可钻进	2.5 ~ 4.0	0.5 ~ 0.8	2.0 ~ 5.0	0.25 ~ 0.63	30 ~ 40	0.6 ~ 0.8		
IV 强风化	岩石的颜色一般变浅，常有暗褐色铁锰质渲染；大部分矿物严重风化变质，失去光泽，有的已变为粘土矿物，原岩结构构造清晰，岩块可用折断； 岩体风化程度常不均一，有风化程度不同的岩块夹杂其中，裂隙发育，可将岩体切割成2cm~30cm的块体，呈干砌块石或球状，沿裂隙面风化严重，块球体核心风化轻微，具明显的不均一性，原岩结构面对岩体稳定有明显影响，敲击或开挖常沿节理面破裂成岩块，镐、撬棍可挖，坚硬部分需爆破	1.0 ~ 2.5	0.2 ~ 0.5	0.1 ~ 2.0	0.013 ~ 0.25	12 ~ 30	0.24 ~ 0.6	>50	
V 全风化	岩石中除石英等耐蚀矿物外，大部风化为次生矿物，原岩结构形态仍保存，并可具有微弱的联结力，块体可用手捏碎，碎后呈松散土夹砂砾状或粘性土状，浸水易崩解。 岩石一般风化较均一，可含少量风化较轻的岩块或球体，已具土的特性，可残存有原岩体中的结构面，并可影响岩体的稳定性，扰动后强度降低，锹镐可挖，干钻可钻进	0.5 ~ 1.0	0.1 ~ 0.2	<0.1	<0.013	<12	<0.24	30 ~ 50	风化折减系数，为风化岩体 r 与新鲜岩体 r 之比； N—标准贯入击数比；

软质岩石岩体风化程度划分

表 A.0.3

风化等级	风化程度	特征描述	岩体纵波速		标贯击数 <i>N</i>	说明
			<i>V_p</i> (km/s)	<i>K_v</i>		
I	未风化	岩质新鲜,未受风化	>4.0	1.0		符号 <i>V_p</i> 、 <i>K_v</i> 、 <i>N</i> 意义同附表 A.0.2
II	微风化	基本上保持新鲜岩体状态,仅沿裂隙面稍有风化迹象,常有铁锰质渲染或矿物略有风化,颜色变浅,有少量裂隙切割,岩体完整性好	3.0 ~ 4.0	0.75 ~ 1.0		
III	中等风化	矿物风化变质较轻,结构构造部分破坏,岩体裂隙较发育,将岩体切割成30cm~50cm的岩块,沿裂隙面风化严重,常成土状,锤击易碎,用镐难挖掘,岩心钻方可钻进	1.5 ~ 3.0	0.38 ~ 0.75	>50	
IV	强风化	除少量石英等耐蚀矿物外大部显著风化变异,常含较多的粘土矿物,结构构造已大部破坏,岩体风化裂隙发育,完整性极差,被切割成碎块,干时用手可折断或捏碎,浸水可软化崩解,用镐、锹可挖掘,干钻可钻进	0.7 ~ 1.5	0.18 ~ 0.38	30~50	
V	全风化	少量石英等耐蚀矿物保持不变,其他矿物均风化变异,常含大量粘土矿物,结构构造已基本破坏,但层理、片理仍可辨认,并有微弱的残余结构强度,岩体呈泥土状,用手可捏碎,锹镐易挖掘,干钻可钻进	0.3 ~ 0.7	0.1 ~ 0.18	15~30	

附录 B 花岗岩不同风化程度物理力学指标参考值

花岗岩不同风化程度物理力学指标参考值

表 B

风化程度	统计项目	相对密度	重度 γ (KN/m ³)	吸水率 w (%)	孔隙率 n (%)	抗压强度		弹性模量 E (GPa)	变形模量 E_o (GPa)	泊松比 μ	抗剪断强度		纵波速 V_p (km/s)	点荷载强度 $I_{s(50)}$ (MPa)	回弹值 r
						R_c (MPa)	R_o (MPa)				G' (MPa)	φ' (°)			
I 未风化	均值	2.70	26.7	0.25	1.57	170.00	136.30	57.73	53.57	0.21	2.28	51.15	5.25	7.54	58.38
	最小值	2.64	25.8	0.07	0.73	121.20	99.80	34.10	25.40	0.09	1.02	38.20	4.95	6.16	55.07
	最大值	2.79	28.2	0.42	2.60	217.90	173.00	84.30	76.30	0.33	4.84	62.24	5.70	10.10	60.90
II 微风化	均值	2.70	26.5	0.35	2.19	129.00	102.21	44.15	36.90	0.22	1.74	51.76	4.63	5.96	52.10
	最小值	2.63	25.5	0.07	1.31	86.70	52.50	27.00	14.70	0.13	0.38	33.02	3.84	5.17	46.40
	最大值	2.78	28.2	0.71	3.15	190.50	147.00	69.16	67.40	0.30	4.00	63.32	5.15	8.21	57.80

续上表

风化程度	统计项目	相对密度	重度 γ (KN/m ³)	吸水率 w (%)	孔隙率 n (%)	抗压强度		弹性模量 E (GPa)	变形模量 E ₀ (GPa)	泊松比 μ	抗剪断强度		纵波速 V _P (km/s)	点荷载强度 I _{s(50)} (MPa)	回弹值 r			
						R _c (MPa)	R _o (MPa)				G' (MPa)	φ' (°)						
						2.70	26.2	0.80	4.88	83.85	58.66	29.13	19.87	0.26	1.62	51.45	2.95	3.86
Ⅲ 中等风化	均值	2.62	24.8	0.13	1.83	27.20	24.00	7.20	7.02	0.18	0.29	37.95	2.09	1.22	31.80			
	最小值	2.77	27.5	1.98	7.12	122.20	89.30	54.8	44.00	0.42	3.29	62.73	4.00	6.00	47.00			
	最大值																	
Ⅳ 强风化	均值	2.67	22.8	2.5	18.70	33.96	24.17	8.68	4.01	0.30	0.69	39.33	1.67	0.57	20.87			
	最小值	2.61	18.3	0.68	6.00	6.86	5.90	4.90	1.68	0.19	0.20	30.96	0.86	0.20	16.00			
	最大值	2.74	25.8	4.52	42.50	70.50	52.40	15.00	5.90	0.42	1.94	46.90	2.50	1.11	25.00			
Ⅴ 全风化	均值	2.67	18.2	16.27	40.40			3.25	0.28		0.16	35.00	0.68	0.032	9.70			
	最小值	2.61	14.9	2.30	26.62			0.26	0.02		0.02	26.00	0.31	0.009	6.80			
	最大值	2.69	21.9	21.9	46.55			5.99	0.84		0.49	45.00	0.87	0.063	12.70			

*注 全风化岩吸水率系天然含水率

附录 C 碎石土密实度野外鉴别

碎石土密实度野外鉴别方法 表 C

密实度	骨架颗粒及充填物状态	开挖情况	钻进情况
密实	骨架颗粒含量大于总质量的70%，呈交错排列，连续接触；或只有部分骨架颗粒连续接触，但充填物呈密实状或坚硬状态	锹镐挖掘困难，用撬棍方法松动，井壁一般较稳定	钻进极困难，冲击钻进时，钻杆、吊锤跳动剧烈，壁较稳定
中密	骨架颗粒含量等于总质量的60%~70%，呈交错排列，大部分连续接触，充填物包裹部分骨架颗粒，且呈中密状态或硬塑状态	锹镐可挖掘，井壁有掉块现象，从井臂取出大颗粒后，能保持颗粒凹面形状	钻进较难，冲击钻探时，钻杆、吊锤跳动不剧烈，孔壁有坍塌现象
稍密	骨架颗粒含量小于总质量的60%，排列混乱，大部分不接触，充填物包裹大部分骨架颗粒，且呈疏松状态或可塑状态	锹可以挖掘，井壁易坍塌，从井壁取出大颗粒后，砂性土立即塌落	钻进较容易，冲击钻探时，钻杆稍有跳动，孔壁易坍塌

附录 D 岩土基本变量的概率分布及统计参数的近似确定方法

D.0.1 在进行样本统计分析前,首先应根据由工程地质勘察确定的不同地质单元体,把属于不同母体的子样区别开来,然后进行统计分析。

D.0.2 岩土基本变量包括物理性指标和力学性指标。

D.0.3 基本变量的概率分布,应根据样本数据和估计的样本特征参数进行不同分布的拟合优度检验,得出合适的分布。

经多项工程检验,除固结系数、压缩系数外,其余物理力学指标,可选择为正态分布。 c 和 φ 应考虑相关。

D.0.4 基本变量分布参数的确定方法

除土的抗剪强度指标 c 、 φ 外,其余基本变量 x 的统计参数根据其样本数据($x_1 x_2 \dots x_n$),可按下列公式计算:

(1) 平均值按下式计算:

$$\mu_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (D.0.4-1)$$

式中 μ_x ——平均值;

n ——样本试验件数;

x_i ——样本数据。

(2) 标准差按下式计算:

$$\sigma_x = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (D.0.4.2)$$

式中 σ_x ——标准差。

(3) 变异系数按下式计算：

$$\delta_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \quad (\text{D.0.4-3})$$

式中 δ_x —— 变异系数。

D.0.5 土的抗剪强度指标统计参数可按下列方法确定：

D.0.5.1 简化相关法即 τ 平均法：

(1) 抗剪强度指标 $\text{tg}\varphi$ 或 φ 、 c 的平均值按下列公式计算：

$$\mu_{\text{tg}\varphi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{tg}\varphi_i \quad (\text{D.0.5-1})$$

式中 $\mu_{\text{tg}\varphi}$ —— $\text{tg}\varphi$ 的平均值；

φ_i —— 每一组试验的内摩擦角 φ 的回归值($^\circ$)；

n —— 试验组数 ($i = 1 \sim n$)。

$$\mu_\varphi = \arctg(\mu_{\text{tg}\varphi}) \quad (\text{D.0.5-2})$$

式中 μ_φ —— 内摩擦角 φ 的平均值($^\circ$)。

$$\text{tg}\varphi_i = \frac{\sum_{j=1}^k (p_j - \mu_p) \tau_{ij}}{\sum_{j=1}^k (p_j - \mu_p)^2} \quad (\text{D.0.5-3})$$

式中 k —— 每一组试验的垂直压力级数 ($j = 1 \sim k$)；

μ_p —— 每一组试验的各级垂直压力 P_j ($j = 1 \sim k$) 的平均值 (kPa)。

$$\varphi_i = \arctg \frac{\sum_{j=1}^k (p_j - \mu_p) \tau_{ij}}{\sum_{j=1}^k (p_j - \mu_p)^2} \quad (\text{D.0.5-4})$$

$$\mu_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (\text{D.0.5-5})$$

$$c_i = \mu_{\tau_i} - \mu_p \text{tg}\varphi_i \quad (\text{D.0.5-6})$$

式中 μ_c —— 粘聚力的平均值 (kPa)；

c_i —— 每一组试验的粘聚力的回归值 (kPa)；

μ_{τ_i} —— 每一组试验 ($i = 1 \sim n$) 各级压力 ($j = 1 \sim k$) 下抗剪强度 τ_{ij} 的平均值 (kPa)。

$$\mu_p = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k p_j \quad (D.0.5-7)$$

$$\mu_{\tau_i} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \tau_{ij} \quad (D.0.5-8)$$

(2) 抗剪强度指标 c 和 $\operatorname{tg}\varphi$ 标准差按下式计算：

$$\sigma_{\operatorname{tg}\varphi} = \sqrt{\frac{1}{\Delta} \left[k \sum_{j=1}^k (p_j^2 \sigma_{\tau_{ij}}^2) - \sum_{j=1}^k p_j^2 \sum_{i=1}^k \sigma_{\tau_{ij}}^2 \right]} \quad (D.0.5-9)$$

$$\Delta = k \sum_{j=1}^k (p_j^4 - (\sum_{j=1}^k p_j^2)^2) \quad (D.0.5-10)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i + p_i \operatorname{tg}\varphi_i - \mu_c - p_i \mu_{\operatorname{tg}\varphi})^2} \quad (D.0.5-11)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sigma_{\tau_{ij}}^2 - \frac{1}{k} (\sum_{j=1}^k p_j^2) \sigma_{\operatorname{tg}\varphi}^2} \quad (D.0.5-12)$$

$$\sigma_{\varphi} = \frac{180}{\pi} \sigma_{\operatorname{tg}\varphi} \cos^2 \mu_{\varphi} \quad (D.0.5-13)$$

式中 σ_c ——粘聚力 c 的标准差(kPa)

σ_{φ} ——内摩擦角 φ 的标准差(°)。

D.0.5.2 正交变换法按下列公式计算：

(1) 将抗剪强度指标 c 和 $\operatorname{tg}\varphi$ 作如下变换：

$$c = c' + p_s \operatorname{tg}\varphi \quad (D.0.5-14)$$

$$p_s = \gamma \frac{\sigma_c}{\sigma_{\operatorname{tg}\varphi}} \quad (D.0.5-15)$$

$$c' = c - p_s \operatorname{tg}\varphi \quad (D.0.5-16)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - \mu_c)^2} \quad (D.0.5-17)$$

$$\sigma_{\operatorname{tg}\varphi} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\operatorname{tg}\varphi_i - \mu_{\operatorname{tg}\varphi})^2} \quad (D.0.5-18)$$

式中 $\sigma_c, \sigma_{\operatorname{tg}\varphi}$ ——分别为用传统法求得的 c 和 $\operatorname{tg}\varphi$ 的标准差。

(2) γ 为 c 和 $\operatorname{tg}\varphi$ 的相关系数, 按下式计算：

$$\gamma = \frac{\operatorname{COV}(c, \operatorname{tg}\varphi)}{\sigma_c, \sigma_{\operatorname{tg}\varphi}} \quad (D.0.5-19)$$

(3) c 和 $\operatorname{tg}\varphi$ 的协方差 $\operatorname{COV}(c, \operatorname{tg}\varphi)$, 按下式计算：

$$\text{COV}(c, \text{tg}\varphi) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - \mu_c)(\text{tg}\varphi_i - \mu_{\text{tg}\varphi})$$

(D.0.5—20)

(4) c' 和 $\text{tg}\varphi$ 统计参数按下式计算：

c' 和 $\text{tg}\varphi$ 平均值按下式计算：

$$\mu'_c = \mu_c - p_s \mu_{\text{tg}\varphi} \quad (D.0.5—21)$$

式中 μ_c 按(D.0.5—5)计算；

$\mu_{\text{tg}\varphi}$ 按式(D.0.5—1)式计算。

c' 的标准差 σ_c 按下式计算：

$$\sigma'_c = \sigma_c \sqrt{1 - \gamma^2} \quad (D.0.5—22)$$

式中： σ_c 用式(D.0.5—18)计算。

D.0.5.3 计算地基承载力及边坡稳定量， c 和 $\text{tg}\varphi$ 的标准值 c_k 和 φ_k ，按下式计算：

$$c_k = \mu_c \quad (D.0.5—23)$$

$$\varphi_k = \mu_{\varphi} \quad (D.0.5—24)$$

附录 E 查表法验算地基承载力

E.0.1 当基础有效宽度小于或等于3m、基础埋深为0.5m~1.5m时,地基承载力设计值根据岩石和土的野外特征、密实度或标准贯入击数可分别按第E.0.2~E.0.4条确定。表中数值允许内插。

E.0.2 岩石地基的承载力设计值可按表E.0.2确定。

岩石承载力设计值 $[f_d]$ (kPa) 表E.0.2

风化 岩石 程度 类别	微风化	中等风化	强风化	全风化
硬质岩石	2500~4000	1000~2500	500~1000	200~500
软质岩石	1000~1500	500~1000	200~500	—

注:①强风化岩石改变埋藏条件后,如强度降低,宜按降低程度选用较低值;当受倾斜荷载时,其承载力设计值应进行专门研究;

②微风化硬质岩石的承载力设计值如选用大于4000kPa时应进行专门研究;

③全风化软质岩石的承载力设计值应按土考虑。

E.0.3 碎石土地基承载力设计值可参照表E.0.3确定。

碎石土承载力设计值 $[f_d]$ (kPa) 表E.0.3

密实度 $\text{tg}\delta$	密 实			中 密			稍 密		
土名	0	0.2	0.4	0	0.2	0.4	0	0.2	0.4
卵石	800~	640~	288~	500~	400~	180~	300~	240~	108~
	1000	840	360	800	640	288	500	400	180
碎石	700~	560~	252~	400~	320~	144~	250~	200~	90~
	900	720	324	700	560	252	400	320	144

续上表

密实度 tg δ	密 实			中 密			稍 密		
	0	0.2	0.4	0	0.2	0.4	0	0.2	0.4
圆砾	500~ 700	400~ 560	180~ 252	300~ 500	240~ 400	108~ 180	200~ 300	160~ 240	72~ 108
角砾	400~ 600	320~ 480	144~ 216	250~ 400	200~ 320	90~ 144	200~ 250	160~ 200	72~ 90

注:①表中数值适用于骨架颗粒空隙全部由中砂、粗砂或液性指数 $I_L \leq 0.25$ 的粘性土所填充;

②当粗颗粒为中等风化或强风化时,可按风化程度适当降低承载力设计值;
当颗粒间呈半胶结状时,可适当提高承载力设计值。

E.0.4 砂土地基的承载力设计值可参照表 E.0.4 确定。

砂土承载力设计值 $[f_d]$ (kPa) 表 E.0.4

土类 tg δ	N	50~ 30	30~ 15	15~ 10	土类 tg δ	N	50~ 30	30~ 15	15~10
		0	340~ 250	250~ 180			0	340~ 250	250~ 180
中粗砂	0.2	400~ 272	272~ 200	200~ 144	粉细砂	0.2	272~ 200	200~ 144	144~ 112
	0.4	180~ 122	122~ 90	90~ 65		0.4	122~ 90	90~ 65	65~ 50

E.0.5 当基础有效宽度大于 3m 或基础埋深大于 1.5m 时,由表 E.0.2~E.0.4 查得的承载力设计值,应按下式进行修正。

$$f'_d = [f_d] + m_B \gamma_1 (B'_e - 3) + m_D \gamma_2 (D - 1.5) \quad (E.0.5)$$

式中 f'_d ——修正后地基承载力设计值(kPa);

$[f_d]$ ——按各表查得的地基承载力设计值(kPa);

γ_1 ——基础底面下土的重度,水下用浮重度(kN/m³);

γ_2 ——基础底面以上土的加权平均重度,水下用浮重度(kN/m³);

m_B ——基础宽度的承载力修正系数;

m_B ——基础埋深的承载力修正系数；
 B'_e ——基础有效宽度(m),当宽度小于3m时,取3m;大于8m时,取8m;
 D ——基础埋深(m),当埋深小于1.5m时,取1.5m。

E.0.6 基础宽度的承载力修正系数和基础埋深的承载力修正系数可采用表 E.0.6 中的数值。

基础宽度和埋深的承载力修正系数 m_B 、 m_D 表 E.0.6

土类		tg δ					
		0		0.2		0.4	
		m_B	m_D	m_B	m_D	m_B	m_D
砂土	细砂、粉砂	2.0	3.0	1.6	2.5	0.6	1.2
	砾砂、粗砂、中砂	4.0	5.0	3.5	4.5	1.8	2.4
碎石土		5.0	6.0	4.0	5.0	1.8	2.4

注:微风化、中等风化岩石不修正;强风化岩石的修正系数按相近的土类采用。

E.0.7 按基础的有效面积或有效宽度计算垂直平均压力设计值 σ_d (kPa)。 σ_d 应根据基础形状分别符合下式要求。

(1)矩形基础:

$$\sigma_d = \frac{V'_d}{A_e} \leq f'_d \quad (\text{E.0.6})$$

(2)条形基础:

$$\sigma_d = \frac{V'_d}{B'_e} \leq f'_d \quad (\text{E.0.7})$$

式中 σ_d ——作用于基础底面,单位有效面积的平均压力设计值(kPa);

V'_d ——作用于抛石基床底面上竖向合力的设计值(kPa)。

附录 F 地基承载力系数表

承 载 力 系 数 N_c

表 F.1

φ	N_c	$\operatorname{tg} \delta = 0$	$\operatorname{tg} \delta = 0.1$	$\operatorname{tg} \delta = 0.2$	$\operatorname{tg} \delta = 0.3$	$\operatorname{tg} \delta = 0.4$
2°	5.632					
4°	6.185					
6°	6.813	3.581				
8°	7.527	5.202				
10°	8.345	6.254				
12°	9.285	7.244	4.091			
14°	10.370	8.281	5.573			
16°	11.631	9.420	6.789			
18°	13.104	10.706	8.009	4.751		
20°	14.835	12.182	9.323	6.227		
22°	16.883	13.900	10.790	7.616	3.652	
24°	19.324	15.919	12.469	9.085	5.633	
26°	22.254	18.317	14.424	10.719	7.194	
28°	25.803	21.192	16.731	12.590	8.811	
30°	30.140	24.672	19.488	14.779	10.606	
32°	35.490	28.972	22.822	17.381	12.671	
34°	42.164	34.187	26.900	20.520	15.106	
36°	50.585	40.765	31.949	24.358	18.031	
38°	61.352	49.094	38.278	29.116	21.604	
40°	75.313	59.789	46.321	35.097	26.038	

承载力系数 N_y ($\operatorname{tg} \delta = 0.0$)

表 F.2

$\frac{N_y}{\phi}$	0.5	1	2	3	4	5	7	9	11	13	15	20	25	30	40	60	80	100
2°	0.152	0.154	0.153	0.151	0.149	0.148	0.144	0.141	0.138	0.136	0.134	0.129	0.125	0.121	0.115	0.107	0.101	0.097
4°	0.348	0.349	0.343	0.335	0.328	0.322	0.311	0.302	0.294	0.287	0.281	0.268	0.258	0.250	0.237	0.219	0.206	0.196
6°	0.598	0.597	0.580	0.564	0.549	0.537	0.515	0.497	0.483	0.470	0.459	0.437	0.420	0.406	0.386	0.357	0.338	0.324
8°	0.918	0.912	0.880	0.851	0.826	0.805	0.770	0.742	0.719	0.699	0.683	0.650	0.625	0.605	0.575	0.535	0.510	0.492
10°	1.329	1.314	1.262	1.215	1.177	1.144	1.092	1.051	1.018	0.991	0.967	0.922	0.888	0.861	0.821	0.768	0.735	0.712
12°	1.857	1.830	1.748	1.678	1.623	1.577	1.503	1.447	1.402	1.365	1.333	1.272	1.227	1.192	1.140	1.073	1.031	1.003
14°	2.538	2.493	2.372	2.273	2.195	2.131	2.030	1.955	1.895	1.846	1.805	1.726	1.657	1.622	1.557	1.473	1.421	1.385
16°	3.421	3.350	3.175	3.039	2.932	2.845	2.712	2.612	2.534	2.471	2.418	2.316	2.243	2.196	2.104	1.999	1.935	1.890
18°	4.569	4.461	4.216	4.030	3.886	3.772	3.597	3.468	3.368	3.286	3.219	3.090	2.997	2.926	2.824	2.694	2.614	2.559
20°	6.071	5.911	5.573	5.322	5.132	4.981	4.754	4.588	4.460	4.357	4.272	4.110	3.994	3.895	3.777	3.617	3.518	3.449
22°	8.049	7.816	7.353	7.019	6.768	6.572	6.279	6.067	5.904	5.773	5.666	5.463	5.317	5.206	5.047	4.847	4.724	4.638
24°	10.673	10.336	9.706	9.262	8.934	8.679	8.302	8.031	7.824	7.660	7.524	7.269	7.086	6.948	6.749	6.500	6.345	6.237
26°	14.178	13.698	12.843	12.255	11.826	11.495	11.010	10.664	10.402	10.192	10.022	9.701	9.472	9.302	9.048	8.734	8.538	8.398
28°	18.911	18.225	17.065	16.286	15.724	15.295	14.669	14.227	13.893	13.628	13.412	13.005	12.716	12.501	12.180	11.779	11.526	11.344
30°	25.364	24.384	22.807	21.772	21.035	20.475	19.667	18.099	18.671	18.334	18.058	17.540	17.179	16.897	16.486	15.969	15.636	15.392
32°	34.262	32.859	30.708	29.328	28.356	27.623	26.572	25.839	25.2878	24.854	24.499	23.846	23.370	23.006	22.473	21.791	21.343	21.010
34°	46.690	44.672	41.720	39.869	38.580	37.615	36.239	34.5284	34.568	34.005	33.546	32.695	32.075	31.599	30.894	29.976	29.358	28.888
36°	64.296	61.375	57.294	54.791	53.067	51.785	49.968	48.712	47.773	47.034	46.450	45.309	44.488	43.852	42.901	41.632	40.753	40.069
38°	89.636	85.369	79.677	76.260	73.932	72.211	69.785	68.113	66.865	65.907	65.099	63.571	62.461	61.594	60.276	58.468	57.177	56.147
40°	126.758	120.459	112.428	107.711	104.529	102.191	98.9907	96.650	94.998	93.661	92.564	90.475	88.940	87.724	85.843	83.181	81.216	79.614

承载力系数 N_y ($\operatorname{tg} \delta = 0.1$)

表 F.3

$\frac{N_y}{\phi}$	0.5	1	2	3	4	5	7	9	11	13	15	20	25	30	40	60	80	100
6°	0.163	0.166	0.166	0.165	0.164	0.163	0.161	0.159	0.158	0.156	0.155	0.153	0.150	0.148	0.145	0.141	0.138	0.135
8°	0.425	0.427	0.420	0.412	0.405	0.398	0.387	0.377	0.369	0.362	0.356	0.343	0.333	0.325	0.313	0.297	0.285	0.276
10°	0.728	0.727	0.708	0.689	0.673	0.659	0.635	0.616	0.600	0.587	0.575	0.552	0.535	0.521	0.500	0.472	0.453	0.440
12°	1.111	1.104	1.067	1.034	1.005	0.981	0.942	0.911	0.886	0.865	0.847	0.812	0.787	0.766	0.735	0.694	0.668	0.650
14°	1.602	1.585	1.523	1.470	1.426	1.389	1.331	1.286	1.250	1.220	1.195	1.145	1.108	1.079	1.037	0.983	0.949	0.925
16°	2.236	2.205	2.109	2.029	1.965	1.912	1.829	1.766	1.716	1.675	1.641	1.574	1.525	1.487	1.431	1.361	1.317	1.286
18°	3.060	3.006	2.864	2.749	2.659	2.586	2.472	2.387	2.320	2.266	2.220	2.132	2.069	2.019	1.947	1.858	1.802	1.763
20°	4.135	4.050	3.844	3.685	3.561	3.461	3.309	3.196	3.109	3.037	2.978	2.865	2.783	2.720	2.628	2.515	2.445	2.396
22°	5.547	5.416	5.125	4.907	4.740	4.607	4.606	4.259	4.145	4.053	3.977	3.836	3.727	3.648	3.532	3.389	3.301	3.239
24°	7.413	7.217	6.812	6.516	6.293	6.117	5.854	5.663	5.516	5.398	5.301	5.117	4.985	4.884	4.741	4.559	4.448	4.370
26°	9.898	9.608	9.049	8.651	8.355	8.124	7.782	7.536	7.347	7.197	7.073	6.839	6.672	6.545	6.364	6.135	5.994	5.895
28°	13.234	12.813	12.044	11.511	11.120	10.817	10.372	10.055	9.813	9.621	9.463	9.167	8.955	8.794	8.564	8.274	8.094	7.965
30°	17.755	17.146	16.092	15.375	14.862	14.465	13.887	13.477	13.167	12.921	12.720	12.342	12.073	11.873	11.574	11.203	10.968	10.800
32°	23.954	23.072	21.624	20.667	19.983	19.462	18.709	18.179	17.779	17.463	17.204	16.720	16.382	16.118	15.734	15.251	14.941	14.716
34°	32.550	31.270	29.277	27.990	27.080	26.393	25.407	24.717	24.198	23.790	23.456	22.830	22.392	22.049	21.548	20.908	20.490	20.180
36°	44.631	42.768	40.008	38.267	37.051	36.140	34.839	33.934	38.257	32.723	32.287	31.481	30.894	30.443	29.777	28.911	28.331	27.891
38°	61.867	59.138	55.287	52.914	51.276	50.056	48.326	47.128	46.233	45.528	44.971	43.882	43.100	42.494	41.590	40.387	39.557	38.913
40°	86.872	82.837	77.415	74.149	71.920	70.271	67.943	66.338	65.139	64.219	63.443	61.976	60.912	60.081	58.820	57.094	55.866	54.890

承载力系数 N_y ($\operatorname{tg} \delta = 0.2$)

表 F.4

$\frac{N_y}{\phi}$	0.5	1	2	3	4	5	7	9	11	13	15	20	25	30	40	60	80	100
12°	0.373	0.375	0.373	0.369	0.365	0.362	0.355	0.350	0.345	0.341	0.338	0.331	0.325	0.321	0.314	0.304	0.297	0.292
14°	0.743	0.745	0.729	0.714	0.700	0.687	0.667	0.650	0.637	0.625	0.615	0.596	0.581	0.569	0.551	0.527	0.512	0.501
16°	1.185	1.181	1.147	1.114	1.087	1.064	1.027	0.997	0.973	0.953	0.936	0.903	0.878	0.859	0.830	0.792	0.769	0.752
18°	1.749	1.735	1.673	1.619	1.574	1.537	1.478	1.433	1.397	1.367	1.341	1.292	1.256	1.227	1.186	1.133	1.100	1.077
20°	2.481	2.451	2.350	2.267	2.199	2.144	2.058	1.993	1.942	1.899	1.864	1.796	1.746	1.707	1.650	1.580	1.535	1.505
22°	3.439	3.384	3.231	3.108	3.012	2.933	2.813	2.723	2.653	2.595	2.548	2.456	2.339	2.333	2.263	2.171	2.113	2.073
24°	4.703	4.611	4.385	4.211	4.076	3.969	3.804	3.683	3.589	3.513	3.450	3.329	3.242	3.175	3.078	2.959	2.885	2.833
26°	6.381	6.236	5.911	5.669	5.484	5.338	5.118	4.957	4.833	4.733	4.651	4.494	4.332	4.296	4.171	4.018	3.923	3.856
28°	8.628	8.405	7.946	7.612	7.362	7.166	6.874	6.662	6.500	6.371	6.264	6.062	5.917	5.807	5.649	5.451	5.329	5.243
30°	11.664	11.328	10.682	10.227	9.891	9.630	9.244	8.967	8.756	8.588	8.450	8.190	8.004	7.863	7.661	7.407	7.249	7.137
32°	15.805	15.303	14.402	13.784	13.333	12.985	12.477	12.116	11.841	11.624	11.445	11.110	10.871	10.689	10.429	10.100	9.893	9.745
34°	21.512	20.772	19.516	18.675	18.071	17.609	16.938	14.466	16.108	15.826	15.596	15.161	14.852	14.622	14.278	13.847	13.572	13.372
36°	29.485	28.390	26.636	25.491	24.678	24.063	23.176	22.554	22.087	21.717	21.416	20.850	20.455	20.145	19.694	19.119	18.746	18.470
38°	40.776	39.153	36.692	35.126	34.028	33.203	32.022	31.199	30.582	30.096	29.699	28.965	28.431	28.021	27.416	26.634	26.114	25.720
40°	57.019	54.599	51.124	48.967	47.472	46.357	44.771	43.673	42.851	42.203	41.692	40.693	39.975	39.421	38.595	37.501	36.752	36.173

承载力系数 N_y ($\operatorname{tg} \delta = 0.3$)

表 F.5

$\frac{N_y}{\phi}$	0.5	1	2	3	4	5	7	9	11	13	15	20	25	30	40	60	80	100
18°	0.657	0.663	0.655	0.645	0.636	0.628	0.614	0.603	0.594	0.586	0.579	0.566	0.555	0.547	0.534	0.518	0.507	0.500
20°	1.164	1.165	1.137	1.110	1.086	1.066	1.034	1.9008	0.987	0.970	0.955	0.926	0.905	0.888	0.862	0.830	0.810	0.795
22°	1.795	1.786	1.729	1.678	1.636	1.601	1.545	1.502	1.468	1.440	1.416	1.370	1.335	1.309	1.270	1.220	1.190	1.168
24°	2.617	2.591	2.493	2.410	2.343	2.289	2.203	2.139	2.088	2.046	2.011	1.944	1.895	1.857	1.801	1.7632	1.689	1.659
26°	3.704	3.652	3.495	3.369	3.270	3.190	3.064	2.975	2.9034	2.845	2.796	2.703	2.636	2.584	2.509	2.416	2.357	2.318
28°	5.156	5.063	4.825	4.641	4.500	4.386	4.214	4.088	3.989	3.910	3.845	3.720	3.629	3.560	3.460	3.337	3.260	3.207
30°	7.113	6.959	6.608	6.346	6.148	5.991	5.755	5.584	5.452	5.347	5.259	5.093	4.975	4.884	4.752	4.591	4.490	4.420
32°	9.775	9.529	9.021	8.654	8.380	8.166	7.848	7.619	7.443	7.303	7.188	6.970	6.815	6.696	6.527	6.313	6.181	6.088
34°	13.434	13.052	12.324	11.814	11.439	11.148	10.721	10.416	10.184	9.999	9.847	9.562	9.359	9.204	8.982	8.702	8.527	8.402
36°	18.522	17.935	16.897	16.191	15.679	15.286	14.713	14.308	14.001	13.758	13.558	13.184	12.917	12.719	12.423	12.052	11.817	11.648
38°	25.680	24.793	23.315	22.337	21.639	21.107	20.338	19.798	19.391	19.069	18.806	18.312	17.967	17.697	17.304	16.806	16.485	16.248
40°	35.915	34.566	32.458	31.100	30.142	29.420	28.384	27.660	27.116	26.688	26.337	25.691	25.219	24.858	24.327	23.645	23.193	22.854

承载力系数 N_y ($\operatorname{tg} \delta = 0.4$)

表 F.5

$\frac{N_y}{\phi}$	0.5	1	2	3	4	5	7	9	11	13	15	20	25	30	40	60	80	100
22°	0.465	0.474	0.476	0.474	0.471	0.469	0.465	0.461	0.458	0.456	0.453	0.449	0.445	0.442	0.438	0.431	0.427	0.424
24°	1.087	1.093	1.073	1.052	1.034	1.018	0.991	0.971	0.953	0.939	0.927	0.904	0.886	0.872	0.851	0.825	0.808	0.796
26°	1.787	1.784	1.734	1.688	1.649	1.617	1.565	1.526	1.495	1.469	1.447	1.404	1.372	1.348	1.312	1.267	1.238	1.219
28°	2.699	2.679	2.585	2.504	2.439	2.386	2.303	2.240	2.190	2.150	2.116	2.051	2.003	1.966	1.912	1.845	1.804	1.775
30°	3.920	3.872	3.714	3.587	3.486	3.405	3.280	3.188	3.115	3.057	3.008	2.914	2.846	2.794	2.719	2.626	2.567	2.527
32°	5.578	5.484	5.236	5.043	4.895	4.777	4.598	4.467	4.365	4.282	4.216	4.087	3.994	3.923	3.819	3.693	3.613	3.558
34°	7.851	7.688	7.310	7.029	6.817	6.649	6.399	6.217	6.078	5.966	5.874	5.699	5.573	5.478	5.339	5.169	5.062	4.988
36°	11.004	10.733	10.171	9.768	9.496	9.235	8.890	8.642	8.452	8.301	8.177	7.942	7.775	7.647	7.465	7.235	7.091	6.989
38°	15.429	14.993	14.168	13.596	13.177	12.854	12.381	12.044	11.788	11.585	11.418	11.105	10.881	10.711	10.467	10.153	9.963	9.823
40°	21.726	21.034	19.831	19.021	18.437	17.992	17.344	16.887	16.542	16.268	16.045	15.625	15.326	15.103	14.769	14.348	14.078	13.881

附录 G 非圆弧滑动面抗滑稳定 计算法

G.0.1 非圆弧滑动面抗滑稳定可按下列公式计算：

$$\gamma_R = \frac{\sum_a^b \tau_f \Delta x (1 + \tan 2\alpha)}{E_a - E_b + \sum_a^b [\Delta H + (p + t) \Delta x \tan \alpha]} \quad (G.0.1-1)$$

$$\tau = \frac{\tau_f}{\gamma_R} = \frac{1}{\gamma_R} [c + (\sigma - u) \tan \varphi] \quad (G.0.1-2)$$

$$\sigma = p + t - \tau \tan \alpha \quad (G.0.1-3)$$

$$T = -E \tan \alpha + h_t \frac{dE}{dx} - Z_H \frac{dH}{dx} \quad (G.0.1-4)$$

$$\Delta E = \Delta H + (p + t) \Delta x \tan \alpha - \tau \Delta x (1 + \tan^2 \alpha) \quad (G.0.1-5)$$

$$\sum_a^b \Delta E = E_b - E_a = \sum_a^b [\Delta H + (p + t) \Delta x \tan \alpha] - \sum_a^b \tau \Delta x (1 + \tan^2 \alpha) \quad (G.0.1-6)$$

$$p = \gamma Z + q + \frac{\Delta V}{\Delta x} \quad (G.0.1-7)$$

$$t = \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (G.1.0-8)$$

式中 γ_R ——抗力分项系数；

τ_f ——抗剪强度(kPa)；

Δx ——土条宽度(m)；

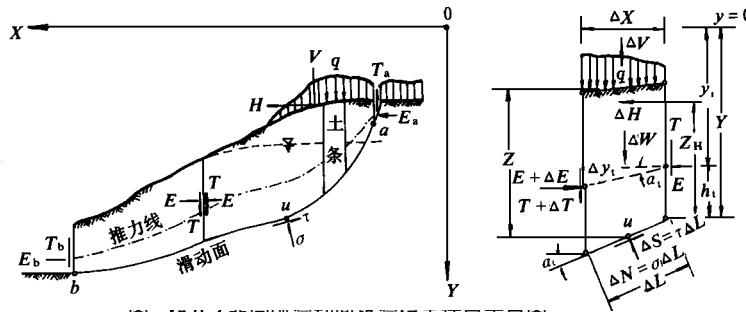
E_a —— $x = a$ 处的水平力(kN/m)；

E_b —— $x = b$ 处的水平力(kN/m)；

ΔH ——作用于土条的水平线荷载(kN/m)；

p ——土条单位宽度上的总垂直力(kPa)；

t ——土条单位宽度的侧面剪力的增量(kPa)；
 c ——粘聚力(kPa)；
 φ ——内摩擦角($^\circ$)；
 τ ——作用于土条底面的剪应力(kPa)；
 σ ——作用于土条底面的法向应力(kPa)；
 u ——土条底面的孔隙水压力(kPa)；
 T ——土条侧面的剪力(kN/m)；
 ΔT ——土条侧面的剪力增量(kN/m)；
 E ——土条侧面的法向力(kN/m)；
 ΔE ——土条侧面的法向力增量(kN/m)；
 α ——土条底面中点切线与水平线的夹角($^\circ$)；
 α_t ——土条两侧 E 作用点连线与水平线的夹角($^\circ$)；
 h_t —— E 作用点离土条底的距离(m)；
 Z_H —— ΔH 作用点离土条底的距离(m)；
 γ ——土的重度(kN/m³)；
 Z ——土条高度(m)；
 q ——作用于土条顶面的均布荷载(kPa)；
 ΔV ——作用于土条顶面的垂直线荷载(kN/m)。



G.0.2 为计算方便,第 G.0.1 条所列公式可按图 G.0.2 所示作出如下缩减:

(1) 公式缩减采用如下假设：

$$A = \gamma_f \Delta x (1 + \tan^2 \alpha) \quad (G.0.2-1)$$

$$B = \Delta H + (p + t) \Delta x \tan \alpha \quad (G.0.2-2)$$

代入式G.0.1-1)得

$$\gamma_R = \frac{\sum_a^b A}{E_a - E_b + \sum_a^b B} \quad (G.0.2-3)$$

(2) 又设：

$$A' = [c + (p + t - u) \tan \varphi] \Delta x \quad (G.0.2-4)$$

$$n_d = \frac{1 + (\frac{1}{\gamma_R} \tan \varphi \tan \alpha)}{1 + \tan^2 \alpha} \quad (G.0.2-6)$$

于是：

$$A = \frac{A'}{n_d} \quad (G.0.2-6)$$

将式(G.0.2-1)、(G.0.2-2)代入(G.0.1-5)得：

$$\Delta E = B - \frac{A}{\gamma_R} \quad (G.0.2-7)$$

G.0.3 计算步骤如下：

根据具体情况选择不同的滑动面,将每一滑动面划分为若干土条,可按表 G.0.3 计算分项系数,求出最危险滑动面和最小分项系数。

G.0.4 分项系数应符合以下要求：

计算的抗力最小分项系数 γ_R 宜符合本规范表 5.4.1 条抗力最小分项系数 γ_R 的取值范围。

G.0.5 计算说明：

(一) 基本数据

表 G.0.3 中的(1)~(8)各值均为已知值。

(二) 假设 $t=0$,计算 γ_{R0}

(9) $B_0 = \Delta H + p \Delta x \tan \alpha$

$$(10) A'_0 = [c + (p - u) \operatorname{tg} \varphi] \Delta x$$

非圆弧滑动面稳定计算

表 G.0.3

土 条 编 号	基 本 数 �据								设 $t=0$, 计算 γ_{R0}			
	(1) $\operatorname{tg} \alpha$	(2) ΔX	(3) p	(4) u	(5) c	(6) $\operatorname{tg} \varphi$	(7) ΔH	(8) Z_H	(9) B_0	(10) A'_0	(11) n_{d0}	(12) A_0
1												
.....												
n												
合计	—	—	—	—	—	—	—	$\sum B_0 =$	$\sum A'_0 =$	$\sum \gamma'_{R0} =$	$\sum A_0 =$	
	(13) $\gamma_{R0} = \frac{\sum A_0}{E_a - E_b + \sum B_0} =$											

续上表

土 条 编 号	计 算 t_1								t = t_1 , 计算 γ_{R1}				
	(14) ΔE_0	(15) ΔE_0	(16) $\frac{dE_0}{dx}$	(17) $\frac{dH}{dx}$	(18) h_t	(19) $\operatorname{tg} a_t$	(20) T_1	(21) ΔT_1	(22) t_1	(23) B_1	(24) A'_1	(25) n_{d1}	(26) A_1
1	E_a	—	—	—			T_a						
.....													
n	E_b	—	—	—			T_b						
合计	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sum B_1 =$	$\sum A'_1 =$	$\sum \gamma'_{R1} =$	$\sum A_1 =$
	(27) $\gamma_{R1} = \frac{\sum A_1}{E_a - E_b + \sum B_1} =$												

续上表

土 条 编 号	计 算 t_2								t = t_2 , 计算 γ_{R2}				
	(28) ΔE_1	(29) ΔE_1	(30) $\frac{dE_1}{dx}$	(31) $\frac{dH}{dx}$	(32) h_t	(33) $\operatorname{tg} a_t$	(34) T_2	(35) ΔT_2	(36) t_2	(37) B_2	(38) A'_2	(39) n_{d2}	(40) A_2
1	E_a	—	—	—			T_a						
.....													
n	E_b	—	—	—			T_b						
合计	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sum B_2 =$	$\sum A'_2 =$	$\sum \gamma'_{R2} =$	$\sum A_2 =$
	(41) $\gamma_{R2} = \frac{\sum A_2}{E_a - E_b + \sum B_2} =$												

$$(11) \text{ 先假定 } \gamma'_{R0} \approx \frac{\sum A'_0}{\sum B_0}$$

$$n_{d0} = \frac{1 + \frac{1}{\gamma_{R0}} \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

$$(12) A_0 = \frac{A'_0}{n_{d0}}$$

(13) 计算得 γ_{R0} 。如 γ_{R0} 相差超过 5%，应重新假设 γ_{R0} ，按 (11)~(13) 重复计算 γ_{R0} 。

当不考虑条间力时， γ_{R0} 即为计算的分项系数 γ_R 。当考虑条间力时，仍需按表继续计算。

(三) 计算 t_1

$$(14) \Delta E_0 = B_0 - \frac{A_0}{\gamma_{R0}}$$

(15) $(E_0)_{0,1} = E_a, (E_0)_{n-1,n} = E_b$ 均为已知值。

$$(E_0)_{i,i+1} = (E_0)_{i-1,i} + (\Delta E_0)_i$$

$$(16) \left(\frac{dE_0}{dx} \right)_{i,i+1} \approx \frac{(\Delta E_0)_i + (\Delta E_0)_{i+1}}{\Delta x_i + \Delta x_{i+1}}$$

$$(17) \left(\frac{dH}{dx} \right)_{i,i+1} \approx \frac{\Delta H_i + \Delta H_{i+1}}{\Delta x_i + \Delta x_{i+1}}$$

(18)、(19) 假定 E_0 作用点的高度 h_t ，一般情况下可取 $h_t = \frac{Z}{3}$ ，参阅图 G.0.2 计算 $\operatorname{tg} \alpha_t$ 。

(20) $(T_1)_{0,1} = T_a, (T_1)_{n-1,n} = T_b$ 均为已知值，其余：

$$T_1 = -E_0 \operatorname{tg} \alpha_t + h_t \frac{dE_0}{dx} - Z_H \frac{dH}{dx}$$

$$(21) (\Delta T_1)_i = (T_1)_{i,i+1} - (T_1)_{i-1,i}$$

$$(22) t_1 = \frac{\Delta T_1}{\Delta x}$$

(四) $t = t_1$ ，计算 γ_{R1} ；

$$(23) B_1 = \Delta H + (p + t_1) \Delta x \operatorname{tg} \alpha$$

$$(24) A'_1 = [c + (p + t_1 - u) \operatorname{tg} \varphi] \Delta x$$

(25) ~ (27) 的计算基本同 (11) ~ (13)，仅各数据的脚标需

作相应改变,即将脚标为 0 者改为 1。

γ_{R1} 与 γ'_{R1} 相差不应超过 5%, 否则需重新假定 γ_{R1} , 按(25) ~ (27) 重复计算 γ_{R1} 。

(五) 计算 t_2

(28) ~ (36) 的计算基本同(14) ~ (22), 仅各数据的脚标需作相应的改变。

(六) $t=t_2$, 计算 γ_{R2}

(37) ~ (41) 的计算基本同(23) ~ (27) 仅各数据的脚标需作相应的改变。

如 γ_{R2} 与 γ_{R1} 相差不超过 0.01, γ_{R2} 即为计算的该断面的分项系数。否则, 应按(28) ~ (41) 继续计算 t_3, γ_{R3}, \dots , 直至算得的 γ_R 与上一次 γ_R 相差不超过 0.01 时为止。

附录 H 考虑侧面摩阻的抗滑稳定计算法

H.0.1 对如图 H.0.1 所示的粘性土土坡, 考虑侧面摩阻的抗滑稳定分项系数 γ'_R 按下式计算:

$$\gamma'_R = \gamma_R \left(1 + \frac{A}{2L_s L_f} \right) \quad (\text{H.0.1})$$

式中 γ'_R ——考虑侧面摩阻的分项系数;

γ_R ——按平面问题求出的危险滑弧的分项系数;

A ——滑动体两侧面积之和(m^2);

L_s ——滑弧长度(m);

L_f ——滑动体长度(m), 指局部较大荷载区段、滑动受限制区段或有软土层区段的长度。

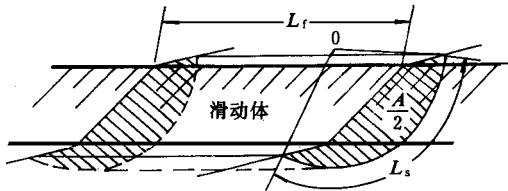
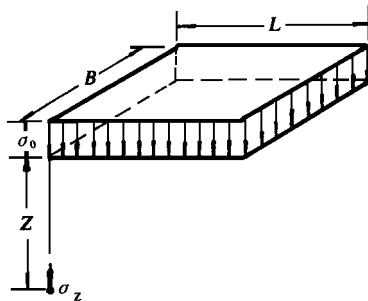


图 H.0.1 考虑侧面摩阻的稳定计算示意图

注: 图中 0 为计算的危险滑弧的圆心

附录 J 地基垂直附加应力系数图表



$$\sigma_z = K_c \sigma_0$$

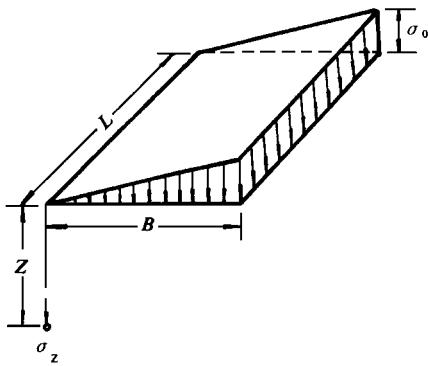
矩形面上均布垂直荷载作用下角点下的附加应力系数 K_c

表 J.1

$m = \frac{L}{B}$	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	10.0
$m = \frac{Z}{B}$	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
0.0	0.250	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249
0.2	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249
0.4	0.240	0.242	0.243	0.243	0.244	0.244	0.244	0.244	0.244	0.244	0.244
0.6	0.223	0.228	0.230	0.232	0.232	0.233	0.234	0.234	0.234	0.234	0.234
0.8	0.200	0.208	0.212	0.215	0.217	0.218	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220
1.0	0.175	0.185	0.191	0.196	0.198	0.200	0.203	0.204	0.204	0.205	0.205
1.2	0.152	0.163	0.171	0.176	0.179	0.182	0.187	0.188	0.189	0.189	0.189
1.4	0.131	0.142	0.151	0.157	0.161	0.164	0.171	0.173	0.174	0.174	0.174

续上表

$m = \frac{L}{B}$	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	10.0
$m = \frac{Z}{B}$											
1.6	0.112	0.124	0.133	0.140	0.145	0.148	0.157	0.159	0.160	0.160	0.160
1.8	0.097	0.108	0.177	0.124	0.129	0.133	0.143	0.146	0.147	0.148	0.148
2.0	0.084	0.095	0.103	0.110	0.116	0.120	0.131	0.135	0.136	0.137	0.137
2.2	0.073	0.083	0.092	0.098	0.104	0.108	0.121	0.125	0.126	0.127	0.128
2.4	0.064	0.073	0.081	0.088	0.093	0.098	0.111	0.116	0.118	0.118	0.119
2.6	0.057	0.065	0.073	0.079	0.084	0.0879	0.102	0.107	0.110	0.111	0.112
2.8	0.050	0.058	0.065	0.071	0.076	0.081	0.094	0.100	0.102	0.104	0.105
3.0	0.045	0.052	0.058	0.064	0.069	0.073	0.087	0.093	0.096	0.097	0.099
3.2	0.040	0.047	0.053	0.058	0.063	0.067	0.081	0.087	0.090	0.092	0.093
3.4	0.036	0.042	0.048	0.053	0.057	0.061	0.075	0.081	0.085	0.086	0.088
3.6	0.033	0.038	0.043	0.048	0.052	0.056	0.069	0.076	0.080	0.082	0.084
3.8	0.030	0.035	0.040	0.044	0.048	0.052	0.065	0.072	0.075	0.077	0.080
4.0	0.027	0.032	0.036	0.040	0.044	0.047	0.060	0.067	0.071	0.073	0.076
4.2	0.025	0.029	0.033	0.037	0.041	0.044	0.056	0.063	0.067	0.070	0.072
4.4	0.023	0.027	0.031	0.034	0.038	0.041	0.053	0.060	0.064	0.066	0.069
4.6	0.021	0.025	0.028	0.032	0.035	0.038	0.049	0.056	0.061	0.063	0.066
4.8	0.019	0.023	0.026	0.029	0.032	0.035	0.046	0.053	0.058	0.060	0.064
5.0	0.018	0.021	0.024	0.027	0.030	0.033	0.044	0.050	0.055	0.057	0.061
6.0	0.013	0.015	0.017	0.020	0.022	0.024	0.033	0.039	0.043	0.046	0.051
7.0	0.009	0.011	0.013	0.015	0.016	0.018	0.025	0.031	0.035	0.038	0.043
8.0	0.007	0.009	0.010	0.011	0.013	0.014	0.020	0.025	0.028	0.031	0.037
9.0	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.016	0.020	0.024	0.026	0.032
10.0	0.005	0.006	0.007	0.007	0.008	0.009	0.013	0.017	0.020	0.022	0.028

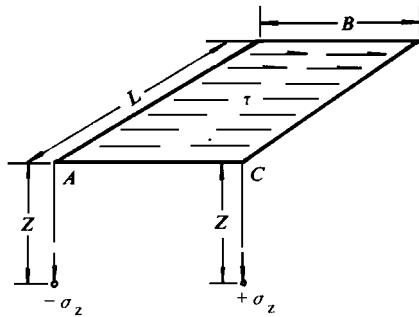


$$\sigma_z = K'_1 \sigma_0$$

矩形面上三角形分布垂直荷载作用下角点下的附加应力系数 K'_1

表 J.2

$m = \frac{L}{B}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0
$m = \frac{Z}{B}$	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.2	0.022	0.022	0.030	0.030	0.030	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
0.4	0.027	0.042	0.049	0.052	0.053	0.054	0.054	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
0.6	0.026	0.045	0.056	0.062	0.065	0.067	0.068	0.069	0.069	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070
0.8	0.023	0.042	0.055	0.064	0.069	0.072	0.074	0.075	0.076	0.076	0.077	0.078	0.078	0.078	0.078
1.0	0.020	0.039	0.051	0.060	0.067	0.071	0.074	0.075	0.077	0.077	0.079	0.079	0.080	0.080	0.080
1.2	0.017	0.032	0.045	0.055	0.062	0.068	0.070	0.072	0.074	0.075	0.077	0.078	0.078	0.078	0.078
1.4	0.015	0.028	0.039	0.048	0.055	0.061	0.064	0.067	0.069	0.071	0.074	0.075	0.075	0.075	0.075
1.6	0.012	0.024	0.034	0.042	0.049	0.055	0.059	0.062	0.064	0.066	0.067	0.071	0.071	0.072	0.072
1.8	0.011	0.020	0.029	0.037	0.041	0.048	0.053	0.055	0.058	0.060	0.065	0.067	0.067	0.068	0.068
2.0	0.009	0.018	0.026	0.032	0.038	0.043	0.047	0.051	0.053	0.055	0.056	0.062	0.063	0.064	0.064
2.5	0.006	0.013	0.018	0.024	0.028	0.033	0.036	0.039	0.042	0.044	0.050	0.053	0.054	0.055	0.055
3.0	0.005	0.009	0.014	0.018	0.021	0.025	0.028	0.031	0.033	0.035	0.042	0.045	0.047	0.048	0.048
5.0	0.002	0.004	0.005	0.007	0.009	0.010	0.012	0.014	0.015	0.016	0.021	0.025	0.028	0.030	0.030
7.0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.009	0.012	0.015	0.019	0.020	0.021
10.0	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005	0.007	0.008	0.011	0.013	0.014

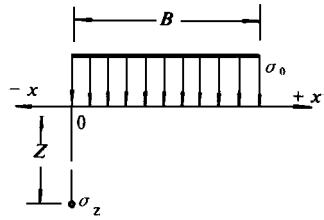


$$\sigma_z = \mp K_h (A \text{点下} \quad C \text{点下})$$

矩形面上均布水平荷载作用下角点下的附加应力系数 K'_h

表 J.3

$m = \frac{L}{B}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0
$m = \frac{Z}{B}$	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
0.0	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
0.2	0.111	0.140	0.148	0.151	0.152	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153
0.4	0.067	0.105	0.122	0.129	0.133	0.135	0.136	0.136	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137
0.6	0.043	0.075	0.093	0.104	0.109	0.112	0.114	0.115	0.116	0.116	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117
0.8	0.029	0.053	0.069	0.080	0.086	0.090	0.092	0.094	0.095	0.096	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097
1.0	0.020	0.038	0.051	0.060	0.067	0.071	0.074	0.075	0.076	0.077	0.079	0.079	0.080	0.080	0.080
1.2	0.014	0.027	0.038	0.046	0.051	0.055	0.059	0.060	0.062	0.062	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065
1.4	0.010	0.020	0.028	0.035	0.040	0.043	0.046	0.048	0.049	0.051	0.053	0.053	0.054	0.054	0.054
1.6	0.008	0.015	0.021	0.027	0.031	0.034	0.037	0.039	0.040	0.041	0.044	0.044	0.045	0.045	0.045
1.8	0.006	0.011	0.017	0.021	0.024	0.027	0.029	0.031	0.033	0.034	0.036	0.037	0.037	0.038	0.038
2.0	0.005	0.009	0.013	0.016	0.019	0.022	0.024	0.025	0.027	0.028	0.030	0.031	0.032	0.032	0.032
2.5	0.003	0.005	0.007	0.009	0.011	0.013	0.015	0.016	0.017	0.018	0.020	0.021	0.022	0.022	0.022
3.0	0.002	0.003	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	0.014	0.015	0.016	0.016	0.016
5.0	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006	0.006
7.0	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003
10.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

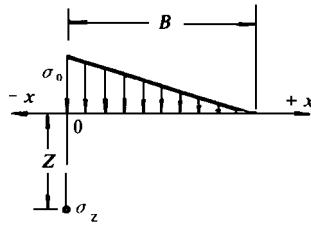


$$\sigma_z = K_s \sigma_0$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{m}{n} + \frac{mn}{n_2 + m_2} \right] - \operatorname{arctg} \frac{m-1}{n} - \frac{(m-1)n}{(m-1)^2 + n^2}$$

条形面上匀布垂直荷载作用下的附加应力系数 K_s 表 J.4

$m = \frac{x}{B}$	+0.25	0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.5	-0.8	-1.0	-2.0	-3.0
$m = \frac{Z}{B}$	+0.5									
0.01	0.999	0.999	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.1	0.997	0.988	0.499	0.091	0.020	0.006	0.002	0.001	0.000	0.000
0.2	0.978	0.936	0.498	0.225	0.090	0.039	0.011	0.003	0.002	0.000
0.4	0.881	0.797	0.489	0.338	0.218	0.138	0.056	0.019	0.010	0.001
0.6	0.756	0.679	0.468	0.371	0.283	0.209	0.111	0.046	0.026	0.044
0.8	0.642	0.586	0.440	0.373	0.307	0.247	0.155	0.080	0.048	0.008
1.0	0.549	0.511	0.409	0.360	0.312	0.265	0.186	0.105	0.070	0.013
1.2	0.478	0.450	0.375	0.342	0.305	0.269	0.202	0.126	0.091	0.020
1.4	0.420	0.401	0.348	0.322	0.293	0.264	0.210	0.142	0.108	0.028
2.0	0.306	0.293	0.275	0.263	0.249	0.235	0.205	0.160	0.134	0.051
3.0	0.208	0.206	0.198	0.194	0.188	0.183	0.171	0.151	0.136	0.075
4.0	0.160	0.158	0.153	0.151	0.149	0.146	0.140	0.129	0.122	0.081
5.0	0.126	0.125	0.124	0.123	0.122	0.120	0.117	0.111	0.107	0.082
6.0	0.106	0.106	0.104	0.103	0.103	0.102	0.100	0.096	0.093	0.077



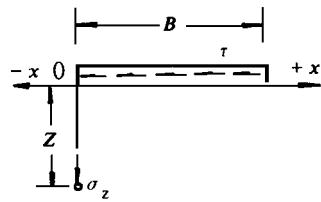
$$\sigma_z = K_t \lambda \sigma_0$$

$$K_t = \frac{1}{\pi} \left[(m-1) \operatorname{arctg} \frac{m}{m-1} (m-1) \operatorname{arctg} \frac{n}{m} + \frac{mn}{m^2 + n^2} \right]$$

条形面上三角形分布垂直荷载作用下的附加应力系数 K_t

表 J.5

$m = \frac{x}{B}$	-0.5	-0.25	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25
$m = \frac{Z}{B}$								
0.01	0.000	0.000	0.497	0.750	0.500	0.249	0.008	0.000
0.1	0.002	0.010	0.468	0.737	0.498	0.251	0.032	0.002
0.2	0.009	0.050	0.437	0.682	0.489	0.255	0.061	0.009
0.4	0.043	0.137	0.379	0.534	0.441	0.263	0.110	0.036
0.6	0.080	0.177	0.328	0.421	0.378	0.258	0.140	0.066
0.8	0.106	0.188	0.285	0.343	0.321	0.243	0.155	0.089
1.0	0.121	0.184	0.250	0.286	0.275	0.224	0.159	0.104
1.2	0.126	0.176	0.221	0.246	0.239	0.204	0.154	0.111
1.4	0.127	0.165	0.198	0.215	0.210	0.186	0.151	0.114
2.0	0.115	0.134	0.147	0.155	0.153	0.143	0.127	0.108
3.0	0.191	0.098	0.102	0.105	0.104	0.101	0.096	0.088
4.0	0.074	0.076	0.078	0.079	0.079	0.077	0.075	0.072
5.0	0.060	0.062	0.063	0.063	0.063	0.063	0.061	0.060
6.0	0.051	0.052	0.053	0.053	0.053	0.052	0.052	0.051



$$\sigma_z = K_h \tau$$

$$K_h = -\frac{1}{\pi} \left[\frac{n^2}{(m-1)^2 + n^2} - \frac{n^2}{m^2 + n^2} \right]$$

条形面上均布水平荷载作用下的附加应力系数 K_h 表 J.6

$m = \frac{z}{B}$	-0.5	-0.25	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25
$m = \frac{Z}{B}$	0	0.001	0.318	0.001	0	-0.001	-0.318	-0.001
0.01	0	0.001	0.318	0.001	0	-0.001	-0.318	-0.001
0.1	0.011	0.042	0.315	0.039	0	-0.039	-0.315	-0.042
0.2	0.038	0.116	0.306	0.103	0	-0.103	-0.306	-0.116
0.4	0.103	0.199	0.274	0.159	0	-0.159	-0.274	-0.199
0.6	0.144	0.212	0.234	0.147	0	-0.147	-0.234	-0.212
0.8	0.158	0.197	0.194	0.121	0	-0.121	-0.194	-0.197
1.0	0.157	0.175	0.159	0.096	0	-0.096	-0.159	-0.175
1.2	0.147	0.153	0.131	0.078	0	-0.078	-0.131	-0.153
1.4	0.133	0.132	0.108	0.061	0	-0.061	-0.108	-0.132
2.0	0.096	0.085	0.064	0.034	0	-0.034	-0.064	-0.085
3.0	0.055	0.045	0.032	0.017	0	-0.017	-0.032	-0.045
4.0	0.034	0.027	0.019	0.010	0	-0.010	-0.019	-0.027
5.0	0.023	0.018	0.012	0.006	0	-0.006	-0.012	-0.018
6.0	0.017	0.012	0.009	0.004	0	-0.004	-0.009	-0.012

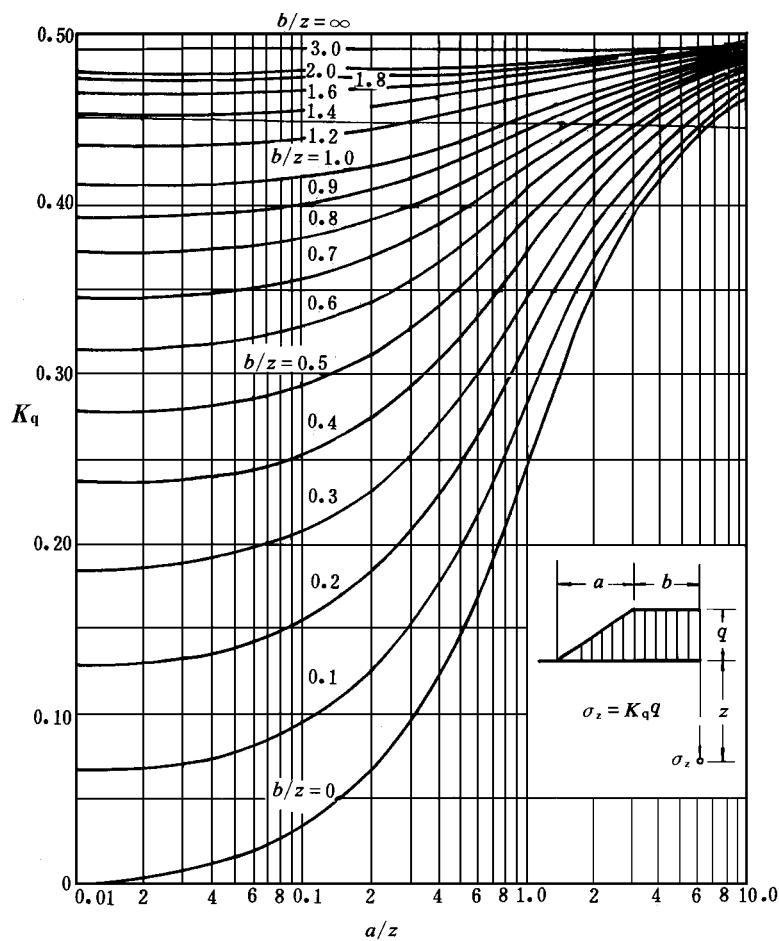


图 J 条形面上梯形分布垂直荷载作用下的附加应力系数 K_q

附录 K 用分级加荷实测沉降过程线推算固结系数的方法

K.0.1 先确定总荷载 $\sum P$ 作用下的最终沉降量 $S_{\text{d}\infty}$ 。 $S_{\text{d}\infty}$ 有实测值时用实测值, 无实测值时用经验方法推算。

K.0.2 按关系式(K.0.2)将图 K.0.2(a)中的 $S \sim t$ 曲线化为 $\bar{U}' \sim t$ 曲线, 见图 K.0.2(b), \bar{U}' 为对应于 $\sum P$ 的固结度。

$$\bar{U}' = \frac{S_t}{S_{\text{d}\infty}} \quad (\text{K.0.2})$$

K.0.3 按下式(K.0.3—1)和式(K.0.3—2), 将 \bar{U}' 化为瞬时加荷情况下的固结度 \bar{U} , 绘 $\bar{U} \sim t$ 曲线, 见图 K.0.2(c)。

$$t < T_i^0 \text{ 时} \quad \bar{U} = \bar{U}' \frac{\sum S_i}{S_1} \quad (\text{K.0.3—1})$$

$$t > T_i^0 \text{ 时} \quad \bar{U} = \left[\bar{U}' - \sum_i^n \bar{U} \left(t - \frac{T_i^0 + T_i^f}{2} \right) \frac{S_i}{\sum S_i} \right] \frac{\sum S_i}{S_1} \quad (\text{K.0.3—2})$$

式中 S_i ——第 i 级荷载作用下的最终沉降量(cm), 计算加荷期间的固结度时, S_i 变改为 ΔS_i , ΔS_i 为对应于 t 时的荷载 ΔP_i 作用下的最终沉降量;

S_1 ——第 1 级荷载作用下的最终沉降量(cm);

T_i^0 ——第 i 级加荷的起始时间(d);

T_i^f ——第 i 级加荷的终了时间(d), 计算加荷期间的固结度时, T_i^f 应改为 t 。

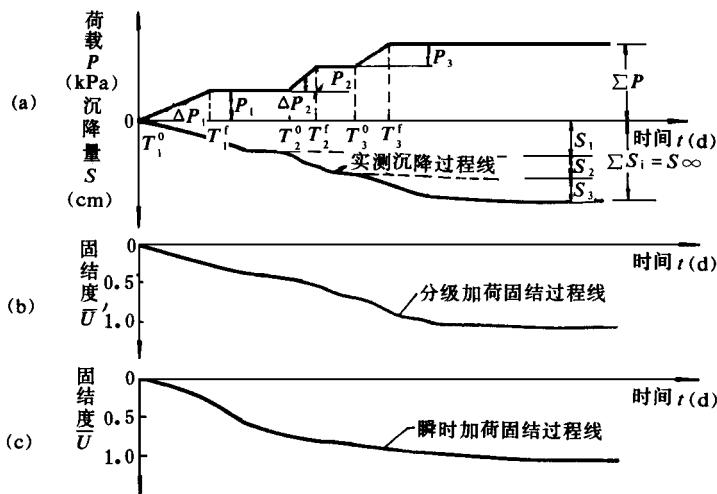


图 K.0.2 固结过程示意图

(a) 分级加荷下荷载 P 与实测沉降 S 过程线;
 (b) 分级加荷下平均固结度 \bar{U} 与时间 t 过程线;
 (c) 瞬时加荷下平均固结度 \bar{U} 与时间 t 过程线。

K.0.4 根据固结理论公式作 \bar{U} 、 C_v 或 C_h 、 t 的关系线。以径向固结情况为例, 即按公式(K.0.4)或按附录 L 表 L.0.1—2 作 \bar{U} 、 C_h 、 t 的关系线, 如图 K.0.4 所示。

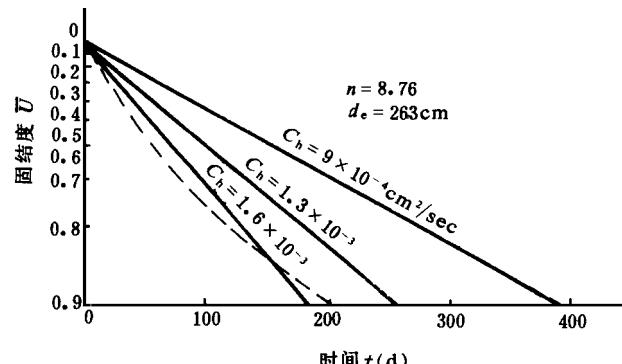


图 K.0.4 \bar{U} 、 C_h 、 t 关系线示意图

$$\bar{U}_r = 1 - e^{-\frac{8C_h}{F(n)d_e^2}t} \quad (K.0.4)$$

K.0.5 将 $\bar{U} \sim t$ 曲线画在 \bar{U} 、 C_v 、(C_h)、 t 关系线图上(如图 K.0.4 中的虚线), 经过比较, 定出固结系数(如图 K.0.4), 根据虚线的位置定出 C_h 约为 $1.6 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ 。

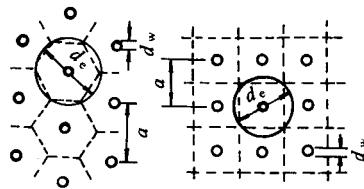
附录 L 平均固结度计算表

L.0.1 地基的竖向和径向平均固结度可按表 L.0.1—1 和表 L.0.1—2 确定。

竖向平均固结度 \bar{U}_z 表 L.0.1—1

γ_{ob}	T_v	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.049	0.100	0.154	0.217	0.29	0.38	0.50	0.66	0.95	
0.2	0.027	0.073	0.126	0.186	0.26	0.35	0.46	0.63	0.92	
0.4	0.016	0.056	0.106	0.164	0.24	0.33	0.44	0.60	0.90	
0.6	0.012	0.042	0.092	0.148	0.22	0.31	0.42	0.58	0.88	
0.8	0.010	0.036	0.070	0.134	0.20	0.29	0.41	0.57	0.86	
1.0	0.008	0.031	0.071	0.126	0.20	0.29	0.40	0.56	0.85	
1.5	0.006	0.024	0.058	0.107	0.17	0.26	0.38	0.54	0.83	
2	0.005	0.019	0.050	0.095	0.16	0.24	0.36	0.52	0.81	
3	0.004	0.016	0.041	0.082	0.14	0.22	0.34	0.50	0.79	
4	0.004	0.014	0.040	0.080	0.13	0.21	0.33	0.49	0.78	
5	0.003	0.013	0.034	0.099	0.12	0.20	0.32	0.48	0.77	
7	0.003	0.012	0.030	0.065	0.12	0.19	0.31	0.47	0.76	
10	0.003	0.011	0.028	0.060	0.11	0.18	0.30	0.46	0.75	
20	0.003	0.010	0.026	0.060	0.11	0.17	0.29	0.45	0.74	
∞	0.002	0.009	0.024	0.048	0.09	0.16	0.28	0.44	0.73	

注: γ_{ob} 为排水面应力与不透水面应力之比。



径向平均固结度 \bar{U}_r 表 L.0.1—2

$n \backslash T_h$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
4	0.010	0.021	0.033	0.048	0.064	0.085	0.112	0.150	0.214
5	0.012	0.026	0.041	0.059	0.080	0.107	0.139	0.187	0.268
6	0.014	0.031	0.049	0.070	0.095	0.126	0.165	0.221	0.316
7	0.016	0.036	0.055	0.079	0.107	0.142	0.186	0.249	0.356
8	0.018	0.038	0.061	0.088	0.118	0.157	0.206	0.276	0.395
9	0.020	0.042	0.066	0.095	0.129	0.171	0.223	0.300	0.423
10	0.021	0.044	0.070	0.100	0.131	0.180	0.236	0.316	0.453
11	0.022	0.047	0.075	0.107	0.145	0.192	0.252	0.338	0.482
12	0.023	0.049	0.078	0.112	0.151	0.201	0.263	0.353	0.505
13	0.024	0.051	0.081	0.116	0.157	0.208	0.273	0.366	0.524
14	0.022	0.053	0.085	0.122	0.164	0.218	0.286	0.383	0.548
15	0.026	0.055	0.088	0.126	0.171	0.226	0.297	0.397	0.567
16	0.027	0.057	0.091	0.130	0.176	0.233	0.306	0.409	0.586
17	0.028	0.058	0.093	0.134	0.181	0.240	0.315	0.421	0.603
18	0.028	0.060	0.096	0.137	0.186	0.246	0.324	0.433	0.619
19	0.029	0.061	0.098	0.141	0.191	0.252	0.332	0.443	0.634
20	0.030	0.063	0.100	0.144	0.195	0.258	0.339	0.453	0.649
21	0.030	0.064	0.103	0.147	0.199	0.264	0.346	0.463	0.663
22	0.031	0.065	0.105	0.150	0.203	0.269	0.353	0.472	0.676
23	0.032	0.067	0.107	0.153	0.207	0.274	0.360	0.481	0.688
24	0.032	0.068	0.109	0.155	0.211	0.279	0.366	0.490	0.701
25	0.033	0.069	0.110	0.158	0.214	0.283	0.372	0.498	0.712

注:井径比 $n = \frac{d_e}{d_w}$, d_e 、 d_w 符号意义见本规范第 7.3.9 条的有关规定。

L.0.2 确定平均固结度时的时间因素可按下列公式计算：

$$T_w = \frac{C_v}{H^2} t \quad (\text{L.0.2-1})$$

$$T_h = \frac{C_h}{d_e^2} t \quad (\text{L.0.2-2})$$

式中 T_v 、 T_h ——分别为竖向固结时间因素和径向固结时间因素；其余符号意义见本规范第 7.3.9 条和 7.3.13 条的有关规定。

附录 M 本规范用词用语说明

M.0.1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

(1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 对表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”或“可”;

反面词采用“不宜”。

M.0.2 条文中指定应按其它有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

本规范主编单位、参加单位
和主要起草人名单

主 编 单 位:天津港湾工程研究所

参 加 单 位:天津大学

中交水运规划设计院

交通部第一航务工程勘察设计院

武汉水利电力大学

交通部第二航务工程勘察设计院

交通部第三航务工程勘察设计院

交通部第四航务工程勘察设计院

南京水利科学研究院

主要起草人名单:孙万禾 陈 环

(以下按姓氏笔画为序)

申伯熙 刘翼熊 张忠恕 张美燕

张萼芳 俞季民 黄传志 郭怀志

梁之劲 崔冠英 詹 明 何开胜