

Handbook for Civil Engineers in China

中国

孙更生 朱照宏 孙 钧
杨祖东 江欢成 杨文渊 等编著



土木工程师

手册 中册

上海科学技术出版社

中国土木工程师手册

(中 册)

Handbook for Civil Engineers in China

(Volume Two)

孙更生 朱照宏 孙 钧 等编著
杨祖东 江欢成 杨文渊

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国土木工程师手册. 中册 / 孙更生等编著. —上海:
上海科学技术出版社, 2001. 11

ISBN 7-5323-5845-3

I. 中... II. 孙... III. 土木工程—技术手册

IV. TU-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 082662 号

上海科学技术出版社出版发行

(上海瑞金二路 450 号 邮政编码 200020)

上海新华印刷厂印刷 新华书店上海发行所经销

2001 年 11 月第 1 版 2001 年 11 月第 1 次印刷

开本 787×1092 1/16 印张 92 插页 4 字数 2177 千

印数 1—3 000 定价: 160.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,

请向本社出版科联系调换

目 录

(中 册)

第 九 篇	房屋结构	9.1 ~ 9.216
第 十 篇	特种工程结构	10.1 ~ 10.145
第十一篇	土力学与基础工程	11.1 ~ 11.334
第十二篇	隧道与地下工程	12.1 ~ 12.214
第十三篇	道路工程	13.1 ~ 13.208
第十四篇	交通工程	14.1 ~ 14.152
第十五篇	机场工程	15.1 ~ 15.89
第十六篇	铁道工程	16.1 ~ 16.104

Contents

(Volume Two)

Section 9	Building Structure	9.1 ~ 9.216
Section 10	Special Structure	10.1 ~ 10.145
Section 11	Soil Mechanics and Foundation Engineering	11.1 ~ 11.334
Section 12	Tunnel and Underground Engineering	12.1 ~ 12.214
Section 13	Highway Engineering	13.1 ~ 13.208
Section 14	Traffic Engineering	14.1 ~ 14.152
Section 15	Airport Engineering	15.1 ~ 15.89
Section 16	Railway Engineering	16.1 ~ 16.104

第十二篇 隧道与地下工程

孙 钧 中科院院士、同济大学教授

谢敬通 高级工程师、上海市民防办原副主任、
上海市民防协会副会长

杨镇夏 前上海铁道大学(现同济大学)教授

陆同寿 同济大学副教授

俞汝法 前上海铁道大学(现同济大学)高级工程师

俞锡桥 高级工程师、上海市人民防空科研所原总工程师

唐忠德 教授级高工、同济大学设计研究院岩土勘察分院院长

目 录

第一章 地下连续墙	12.5
第一节 稳定性分析	12.5
第二节 结构设计与计算	12.10
第三节 结构构造	12.16
第二章 盾构法施工工程	12.20
第一节 盾构最小覆土	12.20
第二节 盾构法装配式圆形衬砌的设计	12.21
第三节 盾构法施工	12.45
第四节 盾构施工时地面沉降的预测	12.52
第三章 顶管法施工工程	12.56
第一节 设计与计算	12.56
第二节 顶管法施工引起地层移动的分析 and 预测	12.63
第三节 顶管施工对周围环境的保护	12.65
第四章 沉井	12.70
第一节 沉井结构设计计算	12.70
第二节 沉井施工引起土体移动的分析	12.82
第五章 沉管隧道	12.87
第一节 沉管设计	12.87
第二节 沉埋管段制造	12.95
第三节 防水措施	12.96
第四节 管段沉没	12.99
第五节 沉管基础	12.104
第六章 地下人防工程	12.109
第一节 建筑	12.109
第二节 结构	12.120
第三节 采暖通风与空气调节	12.144
第四节 其他设计规定	12.158
第七章 山岭隧道(铁路与公路)	12.160
第一节 围岩分类与围岩压力	12.160
第二节 隧道位置的勘测与设计	12.165
第三节 洞口设计	12.167
第四节 隧道净空	12.174
第五节 喷锚支护设计(新奥法设计)	12.180

第六节 洞内附属建筑物	12.193
第七节 防水和排水	12.195
第八节 运营通风与照明	12.207
参考文献	12.214

第一章 地下连续墙

第一节 稳定性分析

地下连续墙首先应进行泥浆沟槽开挖过程中的稳定性分析,以使沟槽不坍塌,保证墙体的质量;当地下墙作为挡土结构需进行基坑开挖时,尚需进行基坑开挖过程中的稳定性分析。

一、泥浆沟槽的稳定分析

(一) 稳定系数法

对于地下水位在地表下 1m 左右、槽段长度为 6m 左右的地下墙工程,当符合式 (12-1-1) 计算公式时,槽壁为稳定。

$$N_s = \frac{HY - H'\gamma_e + q}{S_u} \leq 4 \quad (12-1-1)$$

式中 N_s ——稳定系数;

H, H' ——沟槽深度、泥浆液位深度(m);

γ, γ_e ——地层重度、泥浆重度(kN/m^3);

S_u, q ——地层不排水抗剪强度、地面超载(kN/m^2)。

(二) 考虑土拱效应的泥浆沟槽稳定分析法

对于地下水位与槽段长度不规则的工程应按本法进行稳定分析。

1. 基本假定

实际工程的沟槽是间隔式开挖的,根据实际沟槽的坍塌形状、模型试验的结果以及有限元计算结果,坍塌体的地表形状近似成半圆形,具有明显的土拱效应。因此本法的计算图式如图 12-1-1 所示。

2. 坍塌体极限平衡方程式

坍塌体极限平衡方程式见式(12-1-2),其适用条件为 $L \tan \alpha \leq 2h$ 。

$$\begin{aligned} & \tan(\alpha - \phi) \left[\frac{1}{8} \gamma' L^2 \left(\pi h - \frac{2}{3} L \tan \alpha \right) + \frac{\pi}{8} L^2 h_w \gamma_w + P - \frac{1}{2} C_1 L (\pi h - L \tan \alpha) \right] \\ & - \frac{\pi}{8} C_2 L^2 [\tan \alpha \cdot \tan(\alpha - \phi) + 1] = \frac{L}{2} [(\gamma_f - 1) h^2 \cdot \gamma_w + 2 h h_w \gamma_w - h_w^2 \gamma_w] \end{aligned} \quad (12-1-2)$$

式中 L ——槽段长度(m);

h ——槽深(假设泥浆液位与槽顶相平)(m);

α ——坍塌体底斜面与水平面的夹角(度);

P ——坍塌体范围内的外合力(kN);

C_1, C_2 ——分别为坍塌体垂直面上地层的粘聚力、坍塌体底斜面上地层的粘聚力(kN/m^2);

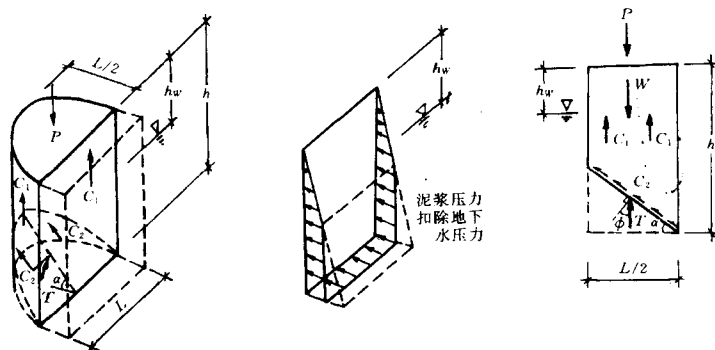


图 12-1-1 沟槽计算简图

ϕ 、 γ' ——分别为底斜面上地层的内摩擦角($^{\circ}$)、地层的浮重度(kN/m^3)；
 h_w 、 γ_w ——分别为地下水位(m)、水重度(kN/m^3)；
 γ_f ——泥浆重度(kN/m^3)。

3. 计算方法

式(12-1-2)中有两个未知数 α 、 γ_f ，一一对应成立。通过试算，其中 $\gamma_{f(\max)}$ 及其对应的 α 即为所求。

二、基坑稳定分析与墙体入土深度确定

1. 基坑失稳的几种主要形态(图 12-1-2)

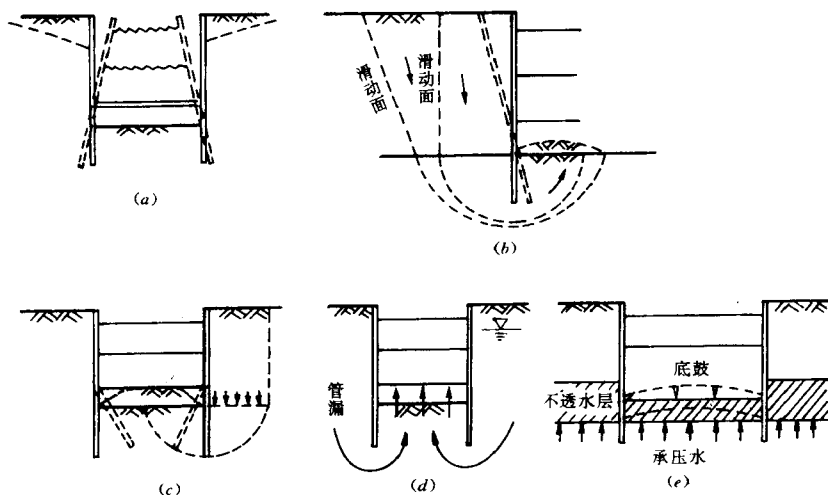


图 12-1-2 基坑失稳的几种形态

2. 基坑抗隆起的稳定条件确定入土深度

(1) 计及墙体极限弯矩的抗隆起法

此法假定土体沿墙底呈圆弧滑动面滑动,见图 12-1-3。AB、BC、CE 滑动面上地层的抗剪强度分别为

$$\tau'_z = (\gamma Z + q) K_a \tan \phi + C$$

$$\tau''_z = (q_f + \gamma D \sin \alpha) \sin^2 \alpha \tan \phi + (q_f + \gamma D \sin \alpha) \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot K_a \tan \phi + C$$

$$\tau'''_z = \gamma D \sin^3 \alpha \tan \phi + \gamma D \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha \cdot K_a \tan \phi + C$$

$$\text{滑动力矩} \quad M_s = \frac{1}{2} (\gamma H + q) D^2 \quad (12-1-3)$$

$$\begin{aligned} \text{抗滑动力矩} \quad M_r = & K_a \tan \phi \left[\left(\frac{\gamma H^2}{2} + qH \right) D + \frac{1}{2} q_f D^2 + \frac{2}{3} \gamma D^3 \right] \\ & + \tan \phi \left[\frac{\pi}{4} q_f D^2 + \frac{4}{3} \gamma D^3 \right] + C(HD + \pi D^2) + M_f \end{aligned} \quad (12-1-4)$$

式中 D ——墙体入土深度(m);

H ——基坑开挖深度(m);

q ——地表超载(kN/m²);

γ, C, ϕ ——分别为地层重度(kN/m³)、粘聚力(kN/m²)、内摩擦角(度), 当为不均质地层时, 可采用加权平均值。

$$q_f = \gamma H + q, (\text{kN/m}^2);$$

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right);$$

M_f ——基坑底面处墙体单位长度的极限抵抗弯矩(kN·m/m), 可采用该处的墙体设计弯矩。

$$\text{抗隆起的安全系数} \quad K_s = \frac{M_r}{M_s} \quad (12-1-5)$$

计算时可采用试算法选定入土深度 D , 安全系数 K_s 为最小时的入土深度即为所求的入土深度。为达到稳定条件, 必须满足 $K_s \geq 1.2 \sim 1.3$; 如需达到严格控制地表沉降要求, 应使 K_s 达到 1.5~2.0。

此法不适宜 $D/H < 0.3 \sim 0.4$ 及 $H < 5\text{m}$ 的场合。

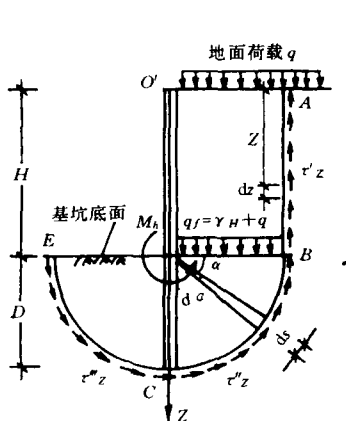


图 12-1-3 土体圆弧滑动

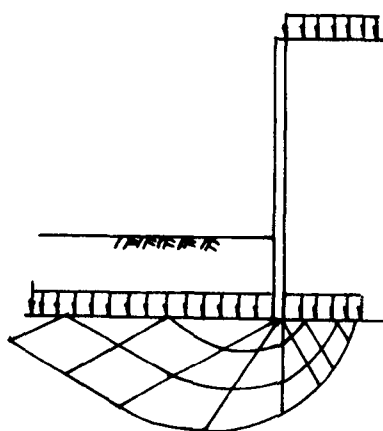


图 12-1-4 墙体滑动线

(2) 同时考虑 C, ϕ 的抗隆起法

此法将墙底面的平面作为基准面, 其滑动线形状如图 12-1-4 所示。

抗隆起的安全系数:

$$K_s = \frac{\gamma DN_q + CN_c}{\gamma(H + D) + q} \quad (12-1-6)$$

式中 D ——墙体入土深度(m);

H ——基坑开挖深度(m);

γ ——土体重度(kN/m^3);

C ——坑底土体的粘聚力(kN/m^2);

q ——地面超载(kN/m^2);

N_q 、 N_c ——分别为地基承载力的系数。

用 Prandtl 公式, N_q 、 N_c 分别为

$$\left. \begin{aligned} N_{qp} &= \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) e^{\pi \text{tg} \phi} \\ N_{cp} &= (N_{qp} - 1) \cdot \frac{1}{\text{tg} \phi} \end{aligned} \right\} \quad (12-1-7)$$

用 Terzaghi 公式为

$$\left. \begin{aligned} N_{qT} &= \frac{1}{2} \left[\frac{e^{\left(\frac{3}{4}\pi - \frac{\phi}{2}\right) \text{tg} \phi}}{\cos\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)} \right]^2 \\ N_{cT} &= (N_{qT} - 1) \cdot \frac{1}{\text{tg} \phi} \end{aligned} \right\} \quad (12-1-8)$$

当采用式(12-1-6)、(12-1-7)时,要求 $K_s \geq 1.20$;当采用式(12-1-6)、(12-1-8)时,要求 $K_s \geq 1.25$ 。

(3) 模拟试验研究经验公式

$$\frac{D}{H} = \frac{1}{\{0.08[\delta] + 2.33 + 0.00134\gamma H' - 0.051\gamma C^{-0.04} \cdot (\text{tg} \phi)^{-0.54}\}^2} \quad (12-1-9)$$

式中 D ——入土深度(m);

$[\delta]$ ——基坑(允许)向上位移量(cm),见表 12-1-1;

H' ——等代高度(m), $H' = \left(H + \frac{P}{\gamma}\right)$;

P ——地表超载(kN/m^2);

H ——开挖深度(m);

C 、 ϕ 、 γ ——分别为土体的粘聚力(kPa)、内摩擦角(度)、重度(kN/m^3)。

表 12-1-1 基坑(允许)向上位移量参考值

地表沉降控制要求	$[\delta]$ (cm)
一般	$(0.01)H$
较高	$(0.004 \sim 0.005)H$
很高	$(0.002)H$

(4) Caguot 验算基坑稳定性的公式

入土深度 D 的计算公式如下:

$$D = \frac{\gamma_1 h + q}{\gamma_2 K_p e^{\pi \lg \phi} - \gamma_1} \quad (12-1-10)$$

式中 γ_1, γ_2 ——分别为非开挖侧土的重度、基坑底以下土的重度(kN/m^3);

h ——基坑开挖深度(m);

q ——地表超载(kN/m^2);

ϕ ——土的内摩擦角(度);

K_p ——被动土压力系数。

3. 根据防止管涌的稳定条件确定入土深度

当基坑面以下的土为疏松的砂土层时,而且又作用着向上的渗透水压,需验算防止管涌的安全系数。较简便的验算公式如下。

当符合下式时,基坑不会发生管涌现象:

$$i < i_c K_s \quad (12-1-11)$$

式中 i ——动水坡度,可近似按下式计算: $i = \frac{h_w}{L}$;

h_w ——墙体内外面的水头差(m);

L ——产生水头损失的最短流线长度(m),由图 12-1-5,可得 $L = h_w + 2D$;

i_c ——极限动水坡度, $i_c = \frac{G_s - 1}{1 + e}$;

G_s ——土颗粒体积质量;

e ——土的孔隙比;

K_s ——安全系数,要求 $K_s \geq 1.5$ 。

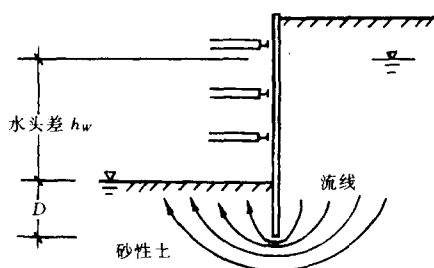


图 12-1-5 水头损失 L 计算

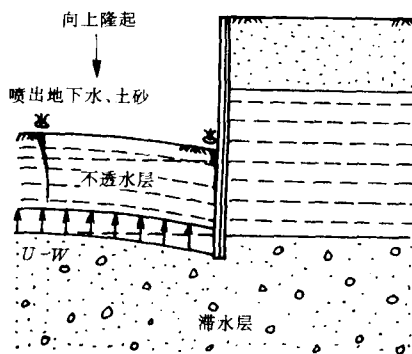
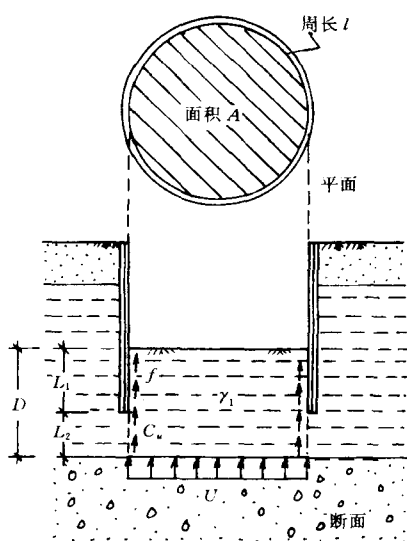


图 12-1-6 基坑失稳

4. 基底下有承压水层的基坑稳定

如果在基底下有不厚的不透水层,而且在不透水层下面是具有较大水压的滞水层,基坑易发生过大的隆起和喷出地下水或土砂,导致基坑失稳,如图 12-1-6 所示。由下式计算安全系数:

$$K_s = \frac{W}{U} \geq 1.2 \quad (12-1-12)$$

图 12-1-7 K_s 计算

式中 W ——基底下不透水层重量;

U ——滞水层水压;

K_s ——要求大于 1.2。

当不满足式(12-1-12)时,可考虑不透水地层与墙体的摩擦力和土体抗剪强度的作用。此时安全系数由下式计算(见图 12-1-7):

$$K_s = [\gamma DA + (fL_1 + C_u L_2)l]/U \quad (12-1-13)$$

式中 γ ——不透水层土层的重度;

A ——基坑面积;

f ——不透水层与墙体的摩阻力;

L_1 ——基底至墙底距离;

C_u ——不透水层土层的抗剪强度;

L_2 ——墙底至滞水层的距离;

l ——基坑的周长。

式(12-1-13)中的 K_s 可取为 1.2。

若还不能满足式(12-1-13),可采取以下措施:

- ① 用深井点降低滞水层水压;
- ② 用隔水挡墙隔断滞水层。

第二节 结构设计与计算

一、设计

地下墙的设计应保证在施工阶段和使用阶段具有足够的强度和刚度,以维护墙体的安全和保证对附近地基、有关结构物不产生有害的影响。

(一) 荷载计算

作用在地下墙上的荷载,主要是土压力和水压力。

地下墙用作各种基础结构或主体结构的一部分时,还必须考虑作用在地下墙上的各种其他荷载。

1. 地下墙土压力

计算地下墙侧面的土压力时,应根据结构与地基的位移情况以及所采取的施工措施等因素来确定。

(1) 主动土压力

应用于允许墙体有较大变形的情况,即无环境影响的情况。一般采用朗金主动土压力公式。

(2) 静止土压力

应用于有严格控制环境影响的场合,即要求尽量减小墙体变形的场合。此时要求采取严格减小变形的施工技术措施,包括对支撑施加较大的预加轴力。

静止土压力系数,宜由试验确定。当无试验条件时,也可采用经验公式 $K_0 = 1 - \sin\phi'$ 计算。 ϕ' 为土的有效内摩擦角。或选用以下经验数值:很软的粘土 ($N < 2$), $K_0 = 0.7$; 软粘土 ($2 \leq N < 4$), $K_0 = 0.6$; 中硬粘土 ($4 \leq N < 8$)、硬粘土 ($N \geq 8$)、砂, $K_0 = 0.5$ 。

(3) 地下墙插入部分的土压力

插入部分墙体两侧的土压力大小与墙体变位有关,开挖侧的最大值为被动土压力,墙背侧的最小值为主动土压力。为计算简便起见,取两侧土压力值具有同等斜率,因此两侧压力抵消后,仅剩下墙背侧矩形土压力图,见图 12-1-8。

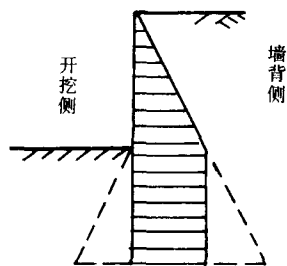


图 12-1-8 地下墙土压力

2. 地下墙水压力的计算

对于粘土地基,水压力与土压力合并计算,此时土压力计算公式中的地层重度取为天然重度。

对于砂土地基,一般把水压力与土压力分开计算。水压力取为静水压力,而在计算土压力时,取用地层的浮重度。

3. 地下墙用作基础结构时的荷载

一般情况下,它与作用在桩基础、沉井基础上的荷载相同。

(二) 地下墙与主体结构的结合方式

壁式地下墙可作为临时性的挡土结构,也可作为永久性结构的一部分。其构造型式可分为四种,见图 12-1-9。

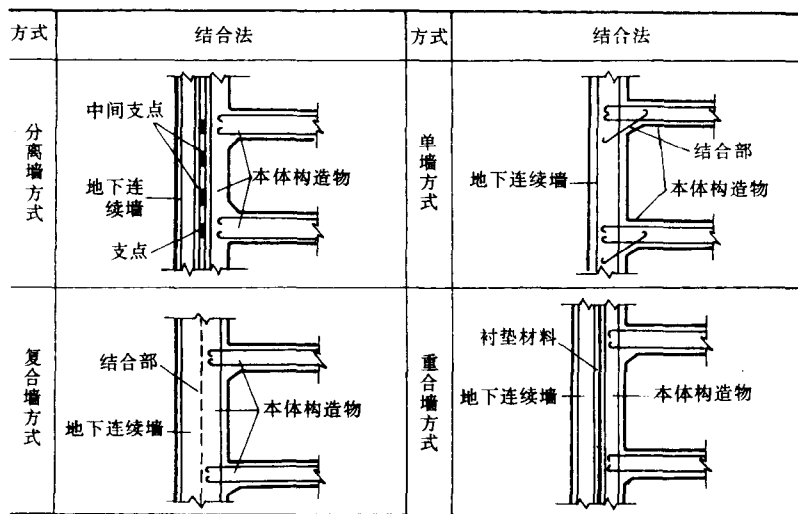


图 12-1-9 壁式地下墙构造

(三) 地下墙的有效厚度与保护层

有效厚度即设计厚度,根据不同的构造型式而定,见图 12-1-10。

$2b$ 约 10cm 左右。保护层厚度 a 约为 8cm 左右,但不小于 7cm。

(四) 材料

现浇地下墙混凝土强度等级不应低于 C20;预制地下墙混凝土不应低于 C30。

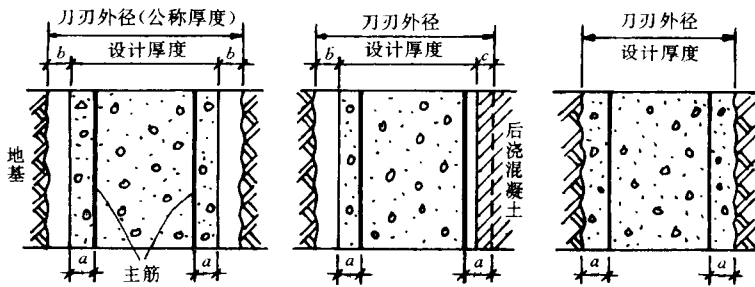


图 12-1-10 地下墙有效厚度

受力钢筋应采用Ⅱ级钢筋,直径不宜小于 16mm,不超过 32mm;构造钢筋可采用Ⅰ级钢筋,直径不宜小于 12mm;预制地下墙的构造钢筋直径不宜小于 10mm。

二、地下墙作为挡墙结构的计算

(一) 自立式挡土墙的简化算法

最大弯矩、入土深度、顶部位移按式(12-1-14)、式(12-1-15)、式(12-1-16)计算。

最大弯矩:

$$M_{\max} = -\frac{1}{2\beta} \sqrt{(S_0 + 2\beta M_0)^2 + S_0^2} \cdot \exp\left(-\arctg \frac{S_0}{S_0 + 2\beta M_0}\right) \quad (12-1-14)$$

产生最大弯矩点的深度:见图 12-1-11。

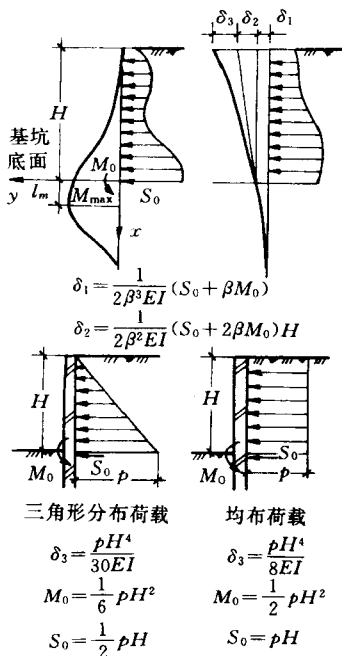


图 12-1-11 挡土墙简化计算

$$l_m = \frac{1}{\beta} \arctg\left(\frac{S_0}{S_0 + 2\beta M_0}\right) \quad (12-1-15)$$

地下墙的位移:

$$y = \frac{e^{-\beta x}}{2\beta^3 EI} [S_0 \cos \beta x + M_0 \beta (\cos \beta x - \sin \beta x)] \quad (12-1-16)$$

$$\text{式中 } \beta = \sqrt[4]{\frac{K_h \cdot B}{4EI}};$$

E ——地下墙的弹性模量(N/cm^2);

I ——墙宽 1m 的截面惯矩(cm^4);

K_h ——水平方向地基反力系数(N/cm^3);

B ——墙宽(cm)。

地下墙的顶部位移:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \quad (12-1-17)$$

式中 δ_1 ——基坑坑底处的位移;

δ_2 ——基坑坑底处的转角与 H 之乘积;

δ_3 ——地下墙作为悬臂梁时,在墙背土压力 P 作用下的挠度。

入土深度:

$$L > \pi/\beta \quad (12-1-18)$$

(二) 横撑式(或锚式)挡土墙的计算法