

交通系统中等专业学校试用教材

# 土力学地基与基础

湖南省交通学校等四校 合编

人民交通出版社



交通系统中等专业学校试用教材

# 土力学地基与基础

(公路与桥梁专业用)

湖南省交通学校等四校 合编

人民交通出版社

## 内 容 提 要

全书共分十章，主要叙述土的力学性质，地基内应力的分布与沉降，土的强度与地基容许承载力，土压力与挡土墙，浅基础、桩基础和沉井基础等。可作为交通系统中等专业学校公路与桥梁专业试用教材，亦可供交通部门有关专业人员工作或业余学习参考。

# 土力学地基与基础

(用业专乘科已部公)

综合 湖南交通高等专科学校等四校

交通系统中等专业学校试用教材

## 土力学地基与基础

湖南省交通学校等四校 合编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

北京市西城区德外印刷厂印刷

开本：787×1092  $\frac{1}{16}$  印张：13.25 字数：330 千

1979年2月 第1版

1984年11月 第1版 第4次印刷

印数：25,801—39,400册 定价：1.10元

# 前 言

本书是根据交通系统中等专业学校汽车、公路专业教材座谈会拟定的《公路与桥梁专业》教学大纲(草案)编写的,作为中等专业学校公路与桥梁专业试用教材。

本书的内容包括土力学和地基基础两个主要部分,在内容安排上注意贯彻了少而精的原则,为了对基本原理阐述清楚,加深读者理解,不少章节都附了计算例题。

全书所采用的计算公式、数据和符号,主要是根据交通部颁布的《公路桥涵设计规范》<sup>①</sup>,并参考采用了近期的有关技术文献。

根据教育部的指示,全书计量单位都采用了国际单位制<sup>②</sup>。为了照顾习惯,使用《公路桥涵设计规范》中有关力的表值均未换成国际单位制,而仅注明乘以换算系数,例如:以吨/平方米为单位的表,在表头注明〔表值〕 $\times 9.8$ ,换算后的单位为千帕(KPa)。

全书由湖南省交通学校周应英主编。其中第一、二、三、四章周应英执笔,第五、十章由黑龙江省交通学校卢鸿执笔,第六、七、九章由湖北省公路工程学校李谦执笔,第八章由安徽省交通学校王经羲执笔;最后,由湖南省交通学校组织了审稿工作,参加的人员:赵星玄、熊一中等同志。

在编写过程中,湖南大学为本书初稿提供了许多宝贵意见。此外,同济大学、湖南省公路管理局、湖南省交通设计院、云南省第二工业学校、四川省交通学校、湖北省公路工程学校、浙江省交通学校等单位为本书初稿进行座谈讨论,提出许多建设性意见。在此,我们一并表示感谢!

由于编者的政治、业务水平有限,加之时间仓促,因此,书中的缺点和错误在所难免,热忱地希望使用单位和读者提出宝贵意见,以便再版时修改。

① 《公路桥涵设计规范》人民交通出版社,1975年出版。

② 本书所用到计量单位,见附录二。



# 目 录

<b>第一章 绪 论</b>	
§1-1 概述	1
§1-2 本课程的任务和学习方法	1
<b>第二章 地基中应力的计算</b>	2
§2-1 地基土的自重应力	2
§2-2 基础底面的应力分布 (接触压力)	4
§2-3 地基土中附加应力的计算	6
<b>第三章 地基沉降量的计算</b>	19
§3-1 概述	19
§3-2 室内压缩试验	19
§3-3 现场荷载试验	23
§3-4 沉降与时间关系的概念	25
§3-5 基础总沉降量的计算	26
<b>第四章 土的强度与地基容许承载力</b>	30
§4-1 概述	30
§4-2 土的抗剪强度	30
§4-3 极限平衡条件	33
§4-4 地基土的容许承载力	36
<b>第五章 土压力计算</b>	45
§5-1 概述	45
§5-2 朗金土压力理论和计算公式	47
§5-3 库伦土压力理论和计算公式	55
§5-4 有荷载作用下的库伦土压力计算	60
§5-5 复杂情况下土压力计算	64
<b>第六章 天然地基上的浅基础</b>	69
§6-1 概述	69
§6-2 天然地基上浅基础的类型	70
§6-3 天然地基上浅基础的埋置深度	71
§6-4 天然地基上刚性浅基础的设计与计算	72
§6-5 天然地基上浅基础施工	83
<b>第七章 人工地基</b>	96
§7-1 概述	96
§7-2 砂砾垫层的设计与施工	96
§7-3 砂桩加固地基的设计与施工	99

§7-4	其他加固地基的方法	100
§7-5	湿陷性黄土地基	101
<b>第八章</b>	<b>桩基础</b>	<b>102</b>
§8-1	桩与桩基础的主要类型及构造	102
§8-2	单桩的承载力	105
§8-3	低桩承台中桩的受力计算	114
§8-4	桩基础整体承载力的验算	114
§8-5	低桩承台基础设计与计算步骤	116
§8-6	高桩承台基础计算要点	121
§8-7	钢筋混凝土桩受弯时的强度验算	134
§8-8	桩基础施工	142
<b>第九章</b>	<b>沉井基础</b>	<b>155</b>
§9-1	概述	155
§9-2	沉井的类型和构造	156
§9-3	沉井施工	158
§9-4	沉井基础的设计与计算	165
<b>第十章</b>	<b>挡土墙</b>	<b>186</b>
§10-1	概述	186
§10-2	重力式挡土墙的构造	188
§10-3	重力式挡土墙设计与计算	190
附录一	土抗力计算	201
附录二	有关国际单位制的说明	206

# 第一章 绪 论

## §1-1 概 述

一般将建筑物的底部，即和地层相接触的部分称为基础。而将承受基础传来荷载的地层称为地基。如图1-1所示，车辆荷载和其他荷载，以及建筑物的自重等都由基础传给地基，因此，地基是全部荷载的支承者。公路的基础就是路基，如图1-2所示。

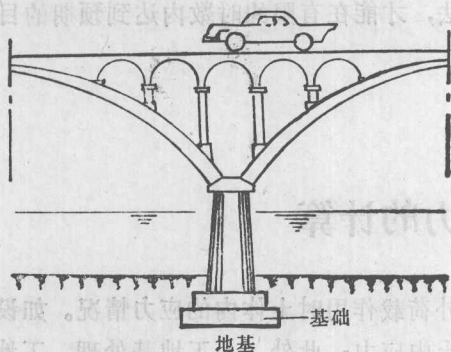


图 1-1

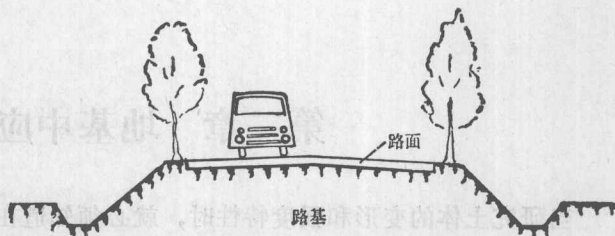


图 1-2

由上可知，基础是建筑物的重要部分。一个坚固、耐久、经济、安全、使用正常的建筑物，基础必定牢靠。而地基对基础又有直接影响，地基的好坏直接关系到建筑物的安危。既然设计基础要研究地基，而地基又是由土组成，那么就必须对土的物理性质、力学性质进行研究。所以本课程即为解决上述任务而设立的。

《土力学地基与基础》的内容包括二个主要部分，即土力学和基础部分。由于各课程间的分工，土的物理性质在《土质、地质与筑路材料》课内讲述，本课程土力学部分仅讲述土的力学性质，包括土中应力、应变、地基强度、土压力的基本理论和计算方法等。简言之，是研究土的变形和强度稳定问题。地基与基础部分，只介绍目前公路桥梁中常用的几种基础类型、设计计算原理，以及施工方法。另外，还介绍了重力式挡土墙。

无数事实证明：建筑工程的成功与否，很大程度上取决于地基和基础的设计与施工，有时甚至是成败的关键。因此，既然要搞好公路与桥梁的建设，就必须掌握土力学地基与基础方面的知识。而正确地认识这一点，将有助于为革命而钻研这门学科。

## §1-2 本课程的任务和学习方法

本课程的任务，在于使同学对土的工程性质有明确的认识，了解土力学原理及土的试验方法，并基本掌握一般地基和基础的分析方法、设计及施工方法。

本课程是一门以其他许多学科为基础的课程，其中主要的有工程地质与土质，理论力



学,材料力学,建筑力学和建筑材料等,因此,学习本课程一般应掌握这些学科的知识。另一方面,在本课程中学习到的知识,将在今后学习专业课和生产实践中得到进一步的运用和巩固。

学习本课程时,同学们应当记住,不仅要掌握基本理论知识,还要学会运用理论去解决实际问题。因为建筑物的地基问题实际上几乎无法找到一个完全相同的前例,许多实际问题都必须根据具体情况去解决。

本课程的另一特点是内容的全面性,从土的基本理论到基础的施工方法都要学习。这里面有理论,有实践,有设计方法和步骤。在有限的时数内,不可能对本课程所牵涉到的一切问题都深入钻研,尤其是属于某些基础理论课的,例如涉及到弹性理论方面的问题,在本课程中一般是直接应用它们的结论,指出其物理意义,不作理论上的推演或证明。同学们在学习时应当着重于了解物理概念,抓住重点,照顾全面,密切联系实际,而不要把注意力放在数学演算或钻到某一次要问题上去。注意这些学习方法,才能在有限的时数内达到预期的目的。

## 第二章 地基中应力的计算

当研究土体的变形和强度特性时,就必须知道在外荷载作用时土体内的应力情况。如设计基础时验算地基的承载力和沉降量,就首先要计算土中应力;此外,人工地基处理、工地荷载试验、地基土的勘察等都需要了解地基土中应力分布的规律。

地基土中应力按产生原因的不同分为二种,即自重应力和附加应力。由于土的自重所产生的应力称为自重应力;而由外部荷载引起的应力称为附加应力。

在实际应用中,如上所述的验算地基土的承载力,计算基础的沉降量等,其应力计算主要是竖向压应力,所以,以下均是介绍竖向应力的计算。

### §2-1 地基土的自重应力

在计算自重应力时,假定土体为半无限体,即土体在平面上和深度方向都是无限延伸的,那么计算地基中某点的自重应力,就可以取该点单位面积以上土柱的重量。如图 2-1 所示,因在该情况下,土柱重量除了传到底面积上以外,不能传递到相邻土柱面上去。同样道理,相邻土柱也不能将力传递过来。即土柱的四个竖直面都是对称面,而对称面上无剪应力作用,所以,所求点的自重应力即为该点以上土柱的重量。在所求点截取面积为  $\Delta A$ , 其上高度为  $h$  的土柱来进行分析, 则

$$\sigma_{h1} = \frac{h \times \Delta A \times \gamma}{\Delta A} = \gamma h \quad (2-1)$$

式中:  $\sigma_h$ ——所求点的自重应力;

$\gamma$ ——土的容重;①

$h$ ——所求点的深度。

①容重,又称重度,单位  $N/m^3$ ,但本书仍用“容重”一词。



实际上，地基大多数是成层的，各土层容重都不相同，因此各层下边界处自重应力为：

第一层底  $\sigma_{h1} = \gamma_1 h_1$

第二层底  $\sigma_{h2} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2$

第三层底  $\sigma_{h3} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3$

式中： $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ ——分别为第一、二、三土层的容重；

$h_1, h_2, h_3$ ——分别为第一、二、三土层的厚度

同理，第  $n$  层土下边界的自重应力则为：

$$\sigma_{hi} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_n h_n$$

为了书写简便起见，一般写成下式：

$$\sigma_{hi} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \quad (2-2)$$

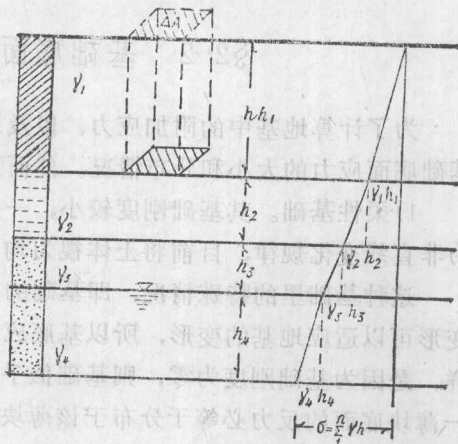


图2-1 土层剖面及自重应力线

当计算水下土体的自重应力时，若为透水性土（如砂性土，碎卵石等），则应考虑水的浮力作用，自重应力将减小，即此时土的容重应采用浮容重。若为非透水性土（如坚硬、硬塑状的粘性土，密致岩石等），则可不考虑水的浮力作用。若在二者之间的土，是否有水浮力作用不能判定时，可按不利情况来考虑。

将自重应力计算结果绘成如图 2-1 所示的分布线，它的纵座标（向下）表示深度，横坐标（向左）表示自重应力，将计算应力结果以一定的比例尺标在座标轴上，将所得各点连以直线，这点应力线即称为自重应力线。

分析土的自重应力分布曲线的变化规律，可以得出下面三点结论：

- 1) 土的自重应力分布曲线是一条折线，折点在土层交界处（当上下两土层容重不同时）；
- 2) 同一层土的自重应力按直线变化；
- 3) 自重应力随深度的增加而增大。

例题2-1：如图2-2所示的土层，求各指定深度处（即点1、2、3、4、5、6）的自重应力？

解 作用在各点处的自重应力可按式(2-1)和式(2-2)计算：

点1处  $\gamma h = 3.5 \times 9.3 = 32.6 \text{ KPa}$

点2处  $\gamma h_1 + \gamma h_2 = 32.6 + 1.8 \times 9.3 = 49.3 \text{ KPa}$

点3处  $49.3 + 1.8 \times 9.3 = 66.0 \text{ KPa}$

点4处  $66.0 + 2.4 \times 18.6 = 110.6 \text{ KPa}$

点5处  $110.6 + 2.4 \times 18.6 = 155.2 \text{ KPa}$

点6处  $155.2 + 2.4 \times 18.6 = 199.8 \text{ KPa}$

点7处  $199.8 + 2.4 \times 18.6 = 244.6 \text{ KPa}$   
( $2.5 \text{ kg/cm}^3$ )<sup>①</sup>

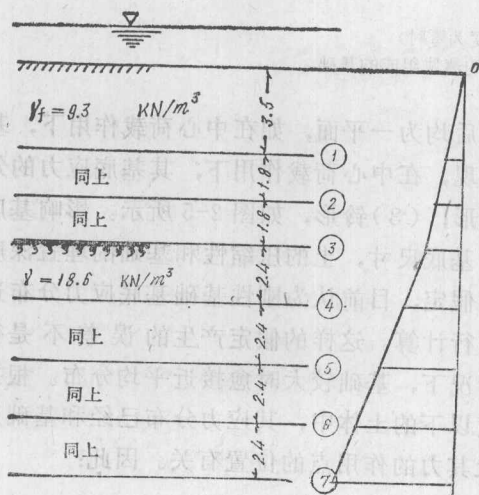


图 2-2  
尺寸单位：米

① 为便于读者将国际单位制与现存单位制对照，本书把算例中主要数据均换算为公制，并用括号加以括注。

## §2-2 基础底面的应力分布（接触压力）

为了计算地基中的附加应力，以及计算基础本身的结构，都必须首先确定在荷载作用下基础底面应力的分布和分布情况。然而这个问题很复杂，受许多因素的影响，如：

1) 柔性基础。其基础刚度较小，一般的钢筋混凝土基础即是这种基础，其基底应力分布为非直线变化规律，目前将土体视为均匀的弹性体，按弹性地基的梁和板计算。

— 这种基础里的特殊情况，即基础的抗弯刚度  $EI$  小到趋近零，当荷载作用之后，基础的变形可以适应地基的变形，所以基底应力分布与基础上的荷载分布形状相同。之所以会这样，是因为基础刚度为零，则基础似乎由无数个相互间没有摩擦力的微薄块体组成，由于每一薄块底面的反力必等于分布于该薄块上的荷载，因此，基底应力的大小和分布就与基础上的荷载情况相同，如图 2-3 所示。不过实际上这种基础极少，实用上路堤的底面，可以近似地视为这种基础。因此，计算路堤底面应力时，按荷载为路堤本身自重，其底面应力的大小与分布和荷载分布相同，如图 2-4 所示，成梯形分布。

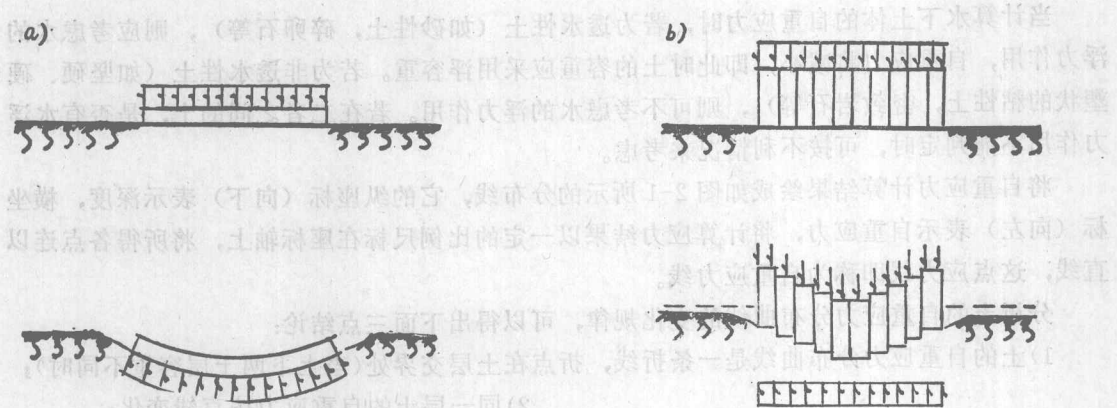


图2-3 柔性基础(刚度为零时)

a) 基础的荷载和变形；b) 设想的薄块组成的基础

2) 刚性基础。基础的刚度很大。基底在变形前后均为一平面，如在中心荷载作用下，基底各点沉降均相等。根据对这种基础实测的结果发现，在中心荷载作用下，其基底应力的分布形状可能有如下三种：(1) 马鞍形；(2) 抛物线形；(3) 铃形，如图 2-5 所示。影响基底应力分布形状的因素较多，例如：基底平均应力，基底尺寸，土的压缩性和基础的埋置深度等。在实际工作中，为了简化计算，不得不做一些假定，目前认为刚性基础基底应力分布近似地按直线规律变化，以便于利用材料力学公式进行计算。这样的假定产生的误差不是很大，因为桥涵的基础宽度都较大，在荷载不大的情况下，基础较大时愈接近平均分布。根据理论分析和实验证明，在超过基础宽度 1.5 倍深度以下的土体中，其应力分布已经和基础底面应力分布形状关系不大了，而仅与合力的大小及其力的作用点的位置有关。因此：

中心荷载时：

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{N}{a \times b} \quad (2-3)$$

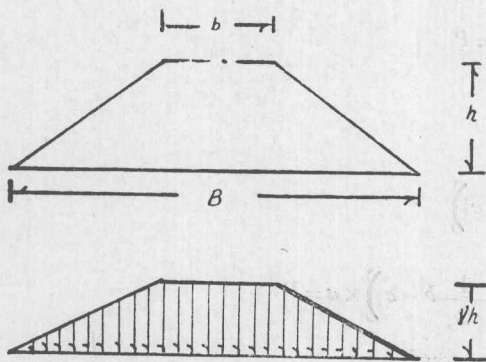


图2-4 路堤底面应力分布

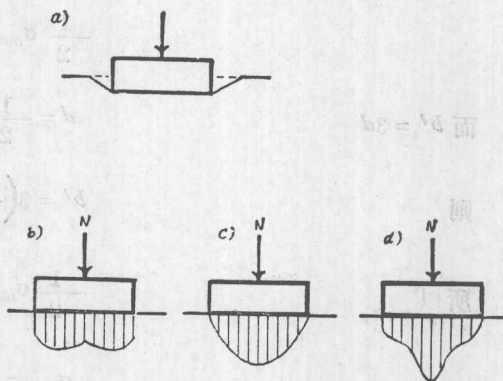


图2-5 刚性基础上土的变形和基底应力分布

a) 基底变形; b) 马鞍形; c) 抛物线形; d) 铃形

式中:  $N$ ——作用在基底中心的竖向荷载;

$A$ ——基础底面面积;

$a$ ——基础底面的长度;

$b$ ——基础底面的宽度。

偏心荷载时:

$$\sigma_{\max/\min} = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{P}{A} \pm \frac{Pe}{W} \quad (2-4)$$

式中:  $\sigma_{\max}$ ——基底边缘最大应力;

$\sigma_{\min}$ ——基底边缘最小应力;

$P$ ——作用在基底的竖向荷载;

$M$ ——作用在基底中心处的弯矩;

$W$ ——基础底面的截面抵抗矩。

由于长度为  $a$ 、宽度为  $b$  的矩形面积抵抗

$$\text{矩} W = \frac{ab^2}{6},$$

所以对矩形基础:

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} \left( 1 + \frac{6e}{b} \right) \quad (2-5)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{P}{A} \left( 1 - \frac{6e}{b} \right) \quad (2-6)$$

因此, 由力的平衡原理可知 (图2-6):

当  $e < \frac{b}{6}$  时, 则  $\sigma_{\max} > \sigma_{\text{平均}}$ ;  $\sigma_{\min} > 0$

当  $e = \frac{b}{6}$  时, 则  $\sigma_{\max} = 2\sigma_{\text{平均}}$ ;  $\sigma_{\min} = 0$

当偏心荷载的偏心距超过  $b/6$  时, 不能再按上式计算, 因为这时基础一边出现拉力, 但是, 实际上基底与土接触处受拉时而分开, 不可能存在拉力, 基底应力必定是重新分布。假定基底应力仍按三角形分布, 由力的平衡原理可得 (图2-6d):

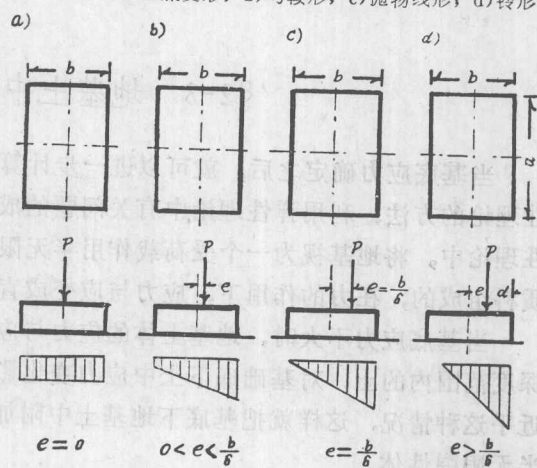


图2-6 简化计算基底应力分布图

a) 中心荷载; b) 偏心荷载; c) 偏心荷载; d) 偏心荷载



而  $b' = 3d$

则

所以

$$\frac{1}{2} \sigma_{\max} \times b' a = P$$

$$d = \frac{1}{2} b - e$$

$$b' = 3 \left( \frac{1}{2} b - e \right)$$

$$\frac{1}{2} \sigma_{\max} \times 3 \left( \frac{1}{2} b - e \right) \times a = P$$

$$\sigma_{\max} = \frac{2P}{3 \left( \frac{1}{2} b - e \right) a} \quad (2-7)$$

### §2-3 地基土中附加应力的计算

当基底应力确定之后，就可以进一步计算地基土中附加应力。附加应力的计算是采用弹性理论的方法，利用弹性理论中有关问题的成果，制成应用方便的图表供计算时使用。在弹性理论中，将地基视为一个受荷载作用半无限体，而这个半无限体是由各向性质相同的均匀质料组成的，在力的作用下，应力与应变成直线关系，这就是理想的弹性半无限体。

当基底应力不大时，地基土体的应力与应变大致成直线关系，当基础埋置不深时，这一深度范围内的土，对基础底下土中应力变化影响是不大的，公路桥梁的一些基础，如墩台都近乎这种情况，这样就把基底下地基土中附加应力的计算，简化成为一个荷载作用下理想的半无限弹性体。

然而，实际的地基土是弹性——粘性——塑性体，不是理想的弹性体。基础只要埋下就不是作用于半无限体的表面，而是体内。目前理论计算的结果与精密量测手段所取得的资料也是有差别的，这都说明土力学还有很多问题进一步研究。

#### 一、半无限弹性体表面作用集中荷载时竖向应力的计算

如图2-7所示，有一集中荷载  $P$  作用在半无限体表面，求解这种情况的半无限体内应力问题，已由布辛涅斯克在1885年得到解答，其竖向应力的计算公式为：

$$\sigma_z = \frac{3}{2\pi \left[ 1 + \left( \frac{r}{Z} \right)^2 \right]^{\frac{5}{2}}} \times \frac{P}{Z^2}$$

令

$$\alpha = \frac{3}{2\pi \left[ 1 + \left( \frac{r}{Z} \right)^2 \right]^{\frac{5}{2}}}$$

则

$$\sigma_z = \alpha \frac{P}{Z^2} \quad (2-8)$$

式中： $\alpha$ ——应力分布系数，系  $\frac{r}{Z}$  的函数，可由表 2-1 查得；

$Z$ ——应力所求点距表面的深度。

须注意，上式不适用于  $R=0$  处 ( $r=0, Z=0$ )，即荷载作用点处，因按上式计算该处的附加应力会无限大。

在实际生活中，理论上的集中荷载是不存在的。荷载总是要通过一定的面积传到地基中去，然而，研究它的意义在于使问题能够得到基本解答。当面积荷载分布是规则的情况下，可利用集中荷载进行积分的方法求出半无限体内应力；当荷载分布范围和大小变化都不规则时，可将荷载分布范围分成若干个小面积单元上的集中荷载，然后用总加法求出半无限体内任一点的应力。

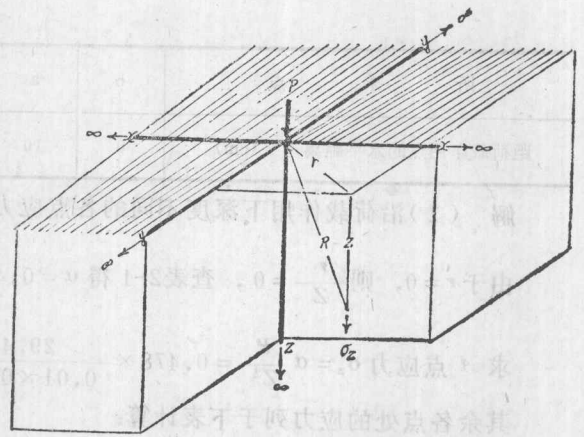


图2-7 集中荷载作用下竖向应力

集中荷载作用下竖向应力分布系数

表2-1

$r/z$	$\alpha$	$r/z$	$\alpha$
0.00	0.478	1.8	0.013
0.10	0.466	1.9	0.010
0.20	0.433	2.0	0.008
0.30	0.385	2.1	0.007
0.40	0.329	2.2	0.006
0.50	0.273	2.3	0.005
0.60	0.221	2.4	0.004
0.70	0.176	2.5	0.003
0.80	0.139	2.6	0.003
0.90	0.108	2.7	0.002
1.00	0.084	2.8	0.002
1.10	0.066	2.9	0.002
1.20	0.051	3.0	0.001
1.30	0.040	3.2	0.001
1.40	0.032	3.5	0.0007
1.50	0.025	4.0	0.0003
1.60	0.020	5.0	0.0001
1.70	0.016		

例题2-2：作用在土体表面上的集中荷载  $P=29.4$  千牛，试求：（1）沿集中荷载作用线下 A、B、C、D、E、F、G、H 各点的竖向应力；（2）距地面深度为  $Z=0.2$  米的 o、a、b、c、d、e 各点应力？以上各点位置见下表：

例题2-2表1

所求点	A	B	C	D	E	F	G	H
距地面深度 (cm)	1	7	14	28	42	56	112	168

例题2-2表 2

所 求 点	o	a	b	c	d	e	f	g
距荷载作用点的水平距离 (cm)	0	10	20	40	60	80	100	120

解 (1)沿荷载作用下深度不同的各点应力计算:

由于  $r=0$ , 则  $\frac{r}{Z}=0$ , 查表2-1 得  $\alpha=0.478$

$$\text{求 A 点应力 } \sigma_z = \alpha \frac{P}{Z^2} = 0.478 \times \frac{29.4}{0.01 \times 0.01} = 14.1 \times 10^4 \text{ KPa} (1439 \text{ kg/cm}^2)$$

其余各点处的应力列于下表计算:

例题2-2表 3

所 求 点	A	B	C	D	E	F	G	H
$\frac{r}{Z}$	0	0	0	0	0	0	0	0
Z (m)	0.01	0.07	0.14	0.28	0.42	0.56	1.12	1.68
$\alpha$	0.478	0.478	0.478	0.478	0.478	0.478	0.478	0.478
$\sigma_z = \alpha \frac{P}{Z^2}$ (KPa)	141000	2860	720	180	80	45	11	5

(2)距地面 0.2 米深水平层各点应力的计算:

$$\sigma_z = \alpha \times \frac{P}{Z^2} = \alpha \frac{29.4}{0.2 \times 0.2} = 7.35 \times 10^2 \alpha \text{ KPa} (7.5 \text{ kg/cm}^2)$$

由上式各点列表计算如下:

例题2-2表 4

所 求 点	o	a	b	c	d	e	f	g
$\frac{r}{Z}$	0	0.5	1	2	3	4	5	6
$\alpha$	0.478	0.273	0.084	0.008	0.001	0.0003	0.0001	太小
$\sigma = 735\alpha$ (KPa)	352	201	62	5.9	0.7	0.2	太小不计	不 计

将上二表结果绘成如图 2-8 所示的附加应力分布图。

附加应力分布的基本规律,从图 2-8 可以看到:在力  $P$  的作用线下,随着所求点位置愈深,应力愈小。这和自重应力随深度的增加而增大的规律相反;在某一深度的平面上,距力  $P$  作用线的水平距离愈远,附加应力也愈小。这个规律对自重应力的分布是不存在的,而自重应力在同一个深度的平面上都是一样的。以上二点都是土中附加应力分布的扩散现象,为了帮助理解这种附加应力分布的特点,现在通过一个简单的物理模型来说明。设想构成地基的土粒是一批直径相等的圆球,从剖面上来看,可以分层整齐地堆垒,如图 2-9 所示。设在第



一层沿垂直书面作用一线荷载  $P=1$ ，那末第二层支承的两个球各受力  $\frac{1}{2}$ （总共还是1，即上、下的力保持平衡）。同样，第三层的三个球支承第二层的二个球，除外边圆球只受第二层的力的一半（即  $\frac{1}{2}$  的一半，等于  $\frac{1}{4}$ ），中间的圆球承受二个圆球的各一半，即  $2 \times \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$ ，

这样依然是上层作用下来的压力与下层的支承反力保持静力平衡，依此类推，如图中所示，可求得以下各层应力的分布。

最后将最下层圆球所受的力按比例绘出。从图可以看出，它所显示的分布规律和前面例题 2-2 的图象是类似的。

除了上述用应力分布曲线表示外部荷载在地基产生附加应力的方法以外，尚有用等值曲线来表示附加应力全貌的方法，它是将附加应力值相同的各点连成曲线，如图 2-10 所示。由于形似灯泡，所以也有将其称为压力泡。曲线上所注数值，即为该等值线所经过的各点附加应力与基底应力的比值。

由等值曲线可以看出，对于方（圆）形基础在深度超出二倍宽度以外，应力都小于基底应力的 10%，即小到对沉降的影响可以略而不计的程度，这点对初步估计钻探深度和工地荷载试验都很重要。

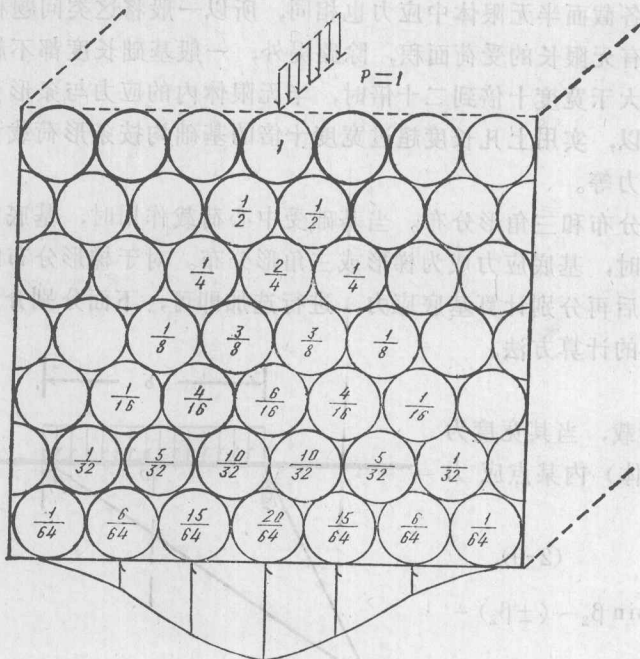


图 2-9 附加应力扩散示意图

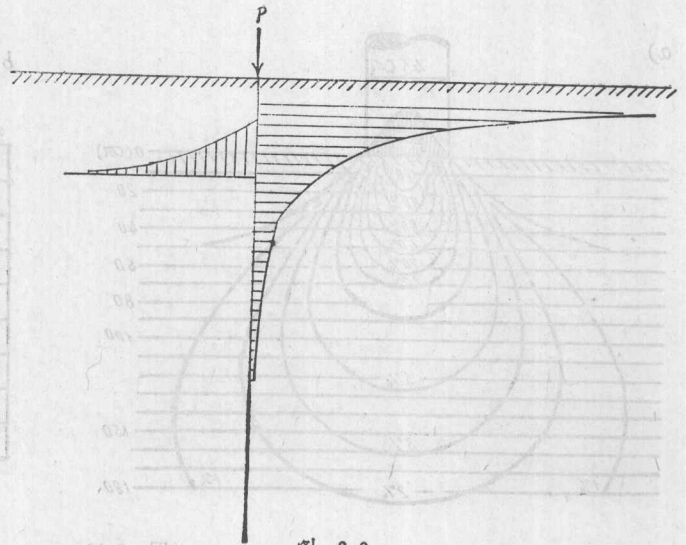


图 2-8

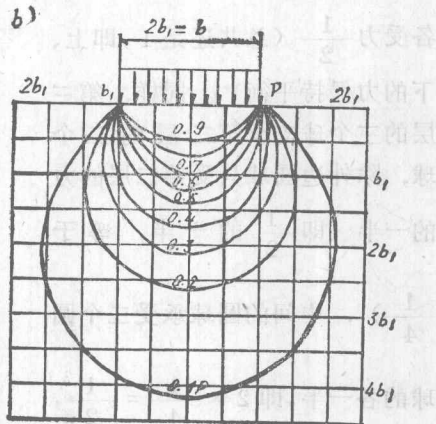
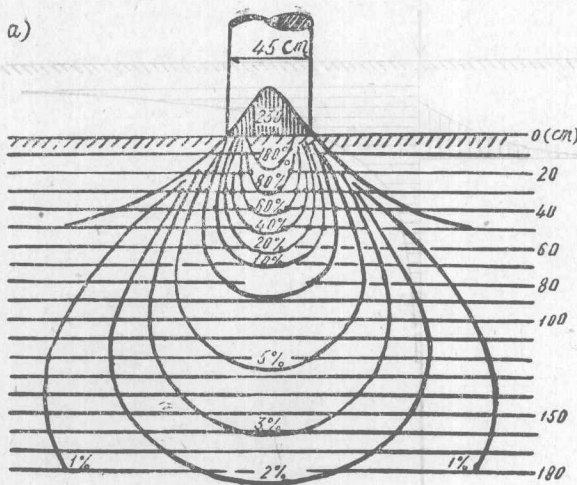


图 2-10  
a) 砂土内等压线——压力泡；b) 计算的方形均布面积荷载下土内等压线

## 二、条形荷载下附加应力的计算（平面问题）

在半无限弹性体表面上，作用着荷载具有一定的宽度，而且长度方向可以无限延伸的，并且沿长度方向的荷载大小保持不变，这种荷载称为条形荷载。换言之，沿长度方向各截面荷载均相同，那末沿长度方向各截面半无限体中应力也相同，所以一般将这类问题称为平面问题。但是，在实际工程中，没有无限长的受荷面积，除路堤外，一般基础长度都不超过宽度的几十倍。如果，当基础长度大于宽度十倍到二十倍时，半无限体内的应力与条形荷载长度无限长时的应力相差很小，所以，实用上凡长度超过宽度十倍的基础均按条形荷载计算，如挡土墙、墙基、坝基的地基应力等。

条形荷载分为两种：均匀分布和三角形分布。当基础受中心荷载作用时，基底应力是均匀分布的；当受偏心荷载作用时，基底应力成为梯形或三角形分布。对于梯形分布的荷载，又可以分为均布与三角形，然后再分别计算基底应力，进行迭加即可，下面分别介绍这二种荷载作用下的土体内附加应力的计算方法。

### 1. 均匀分布荷载

如图2-11所示均匀分布荷载，当其宽度为  $b$  时，计算半无限弹性体（土体）内某点应力（ $M$ 点），可按式进行：

$$\sigma = \alpha_s P_0 \quad (2-9)$$

$$\alpha_s = -\frac{1}{\pi} \left[ \beta_1 + \frac{1}{2} \sin \beta_2 - (\pm \beta_2) - \frac{1}{2} \sin (\pm 2\beta_2) \right]$$

式中： $P_0$ ——均匀分布荷载强度；

$\alpha_s$ ——应力分布系数，为  $\frac{z}{b}$ ， $\frac{x}{b}$  的函数，可查表 2-2。

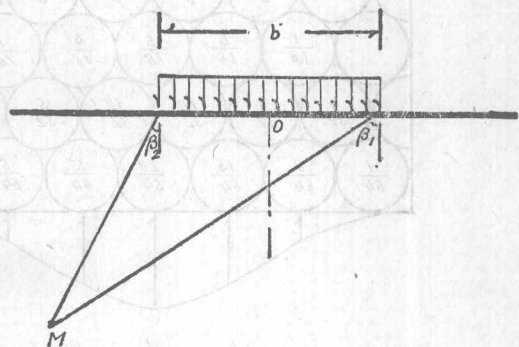


图 2-11

均布条形荷载下应力分布系数

表2-2

$\frac{z}{b}$ \ $\frac{x}{b}$	0	0.25	0.50	1.0	1.5	2.0
0	1.00	1.00	0.50	0	0	0
0.25	0.96	0.90	0.50	0.02	0	0
0.50	0.82	0.74	0.48	0.08	0.02	0
0.75	0.67	0.61	0.45	0.15	0.04	0.02
1.00	0.55	0.51	0.41	0.19	0.07	0.03
1.25	0.46	0.44	0.37	0.20	0.10	0.04
1.50	0.40	0.38	0.33	0.21	0.11	0.06
1.75	0.35	0.34	0.30	0.21	0.13	0.07
2.00	0.31	0.31	0.23	0.20	0.13	0.08
3.00	0.21	0.21	0.20	0.17	0.135	0.10
4.00	0.16	0.16	0.15	0.14	0.12	0.10
5.00	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.09
6.00	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	—

## 2. 三角形分布荷载

如图2-12所示三角形分布荷载，当荷载宽度为  $b$  时，求半无限弹性体内某一点应力 ( $M$  点) 时，可按下列式计算：

$$\sigma = \alpha_t \times P_0 \quad (2-10)$$

$$\alpha_t = \frac{Z}{\pi b} \left[ \sin^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_2 - \operatorname{tg} \beta_2 (\beta_1 + \frac{1}{2} \sin 2\beta_1 - \beta_2 - \frac{1}{2} \sin^2 \beta_2) \right]$$

式中： $P_0$ ——三角形分布荷载的峰值；

$\alpha_t$ ——三角形分布荷载下应力分布系数，它是  $\frac{Z}{b}$ ， $\frac{x}{b}$  的函数，可查表2-3。

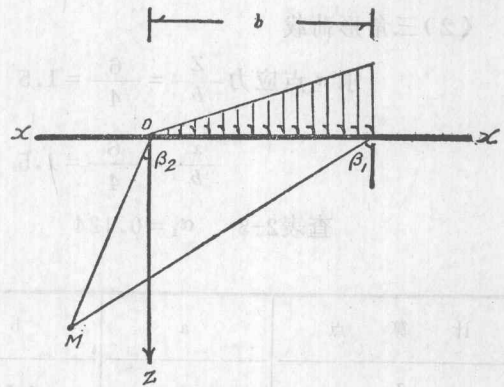


图 2-12

三角形分布荷载下应力分布系数

表2-3

$\frac{z}{b}$ \ $\frac{x}{b}$	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	0.25	0.50	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5
0.00	0	—	0	0	0.25	0.50	0.75	0.50	0	0	0
0.25	—	—	0.001	0.075	0.256	0.480	0.643	0.424	0.015	0.003	—
0.50	0.002	0.003	0.023	0.127	0.233	0.410	0.477	0.353	0.056	0.017	0.003
0.75	0.006	0.016	0.042	0.153	0.248	0.335	0.361	0.293	0.108	0.024	0.009
1.0	0.014	0.025	0.061	0.159	0.223	0.275	0.279	0.241	0.129	0.045	0.013
1.5	0.020	0.048	0.036	0.145	0.178	0.200	0.222	0.185	0.124	0.062	0.041
2.0	0.033	0.061	0.02	0.127	0.146	0.155	0.163	0.153	0.108	0.069	0.050
3.0	0.050	0.034	0.030	0.036	0.103	0.104	0.108	0.104	0.090	0.071	0.050
4.0	0.051	0.030	0.037	0.075	0.078	0.085	0.082	0.075	0.073	0.600	0.049
5.0	0.047	0.052	0.057	0.059	0.062	0.063	0.063	0.065	0.061	0.051	0.047
6.0	0.041	0.041	0.050	0.051	0.052	0.053	0.053	0.053	0.050	0.050	0.045