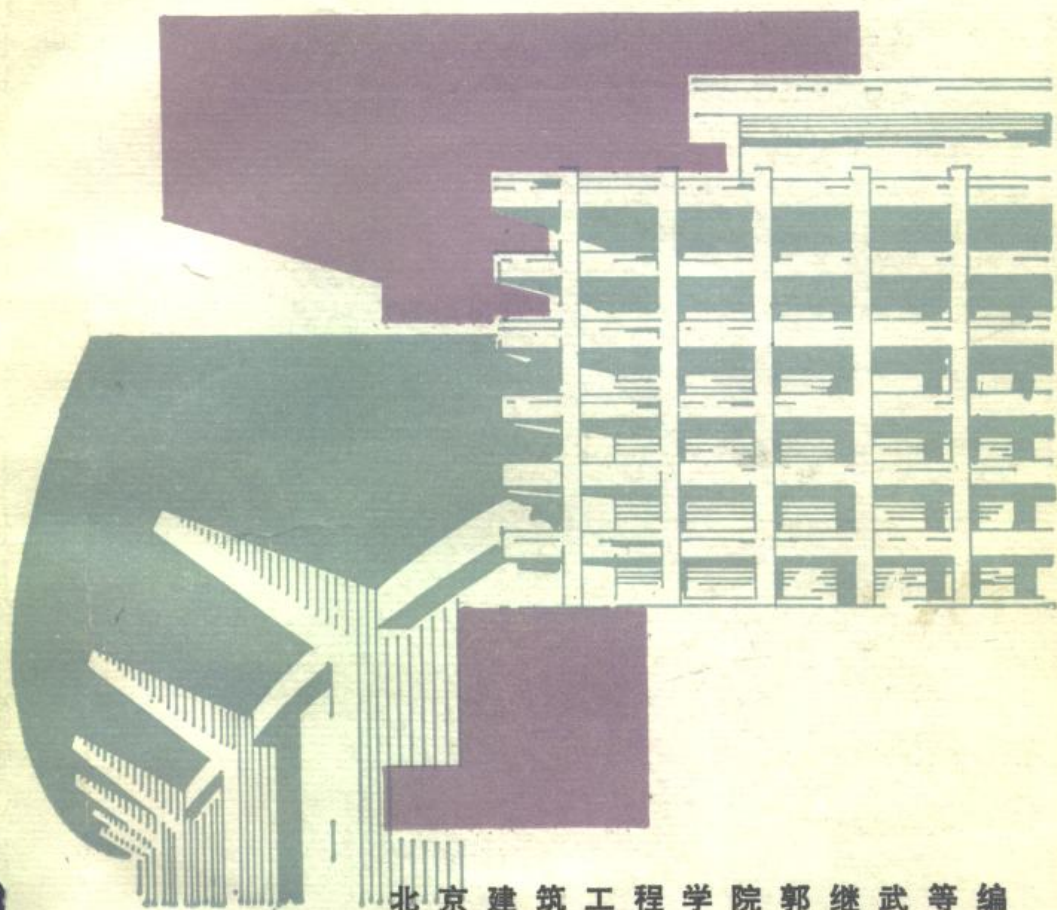


建筑结构基本知识丛书



北京建筑工程学院郭继武等编

房屋地基基础

中国建筑工业出版社

建筑结构基本知识丛书

房屋地基基础

(第二版)

北京建筑工程学院 郭继武 等编

中国建筑工业出版社

本书是《建筑结构基本知识丛书》(第二版)之一,主要介绍房屋地基与基础的设计。书中叙述了地基土的物理力学性质和容许承载力的确定、地基中应力的计算和地基设计原则;重点介绍了墙下条形基础和柱下单独基础以及桩基础的设计与计算;还对基槽检验、地基变形计算、局部软弱地基的处理措施等作了简要说明,并附有计算图表和实例。

这套《建筑结构基本知识丛书》包括建筑力学、建筑结构和构件计算等方面的基本知识,按专题分册出版,每册力求重点突出,并有一定的独立性,以便读者根据需要选读。第二版对原丛书各册的内容作了某些补充或修改。

本书可供具有初中以上文化水平的基本建设战线职工和青年自学参考,也可作为职工培训用书。

* * *

参加本书第一版编写工作的有郭继武(第一、二、三、四、五、七、八章)、倪吉昌(第六章)和诸葛瑞清(第九章),最后由郭继武定稿。本书第二版由郭继武改写。

建筑结构基本知识丛书

房屋地基基础

(第二版)

北京建筑工程学院 郭继武 等编

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 7⁹/₁₆ 字数: 170千字

1982年3月第二版 1986年12月第四次印刷

印数: 250,901—271,650册 定价: 0.95元

统一书号: 15040·4188

目 录

第一章	概述	1
第二章	地基土的物理性质、分类和容许承载力	4
2-1	地基土的物理性质	4
2-2	地基土的分类	11
2-3	地基土的容许承载力	17
第三章	地基中应力的计算	24
3-1	基础底面应力的计算	24
3-2	地基中应力的计算	30
第四章	建筑物地基的计算原则	49
4-1	地基计算的基本原理	49
4-2	地基变形的分类	50
4-3	地基容许变形值	52
4-4	地基计算的分类	53
第五章	天然地基上基础设计	57
5-1	地基基础的设计步骤	57
5-2	基础的类型	58
5-3	基础埋置深度的确定	69
5-4	基础底面尺寸的确定	76
5-5	基础剖面尺寸的确定	113
第六章	基槽检验与地基的局部处理	145
6-1	基槽检验	145
6-2	地基的局部处理	150
6-3	地基处理实例	157

第七章	地基变形的计算	162
7-1	土的压缩性	162
7-2	地基压缩层	167
7-3	地基变形的计算	168
第八章	软弱地基	175
8-1	一般要求	175
8-2	建筑措施	176
8-3	结构措施	179
8-4	软弱地基的处理	183
第九章	桩基的设计与计算	189
9-1	桩的功能和种类	189
9-2	单桩垂直容许承载力的确定	191
9-3	桩群垂直容许承载力	201
9-4	单桩水平容许承载力的确定	204
9-5	桩承台的设计与计算	210
9-6	桩基设计的步骤	218

第一章 概 述

万丈高楼平地起，任何建筑物都要建造在土层(或岩石)上面。土受到压力后就要产生压缩变形，其压缩程度比其它一些建筑材料(如砖、混凝土)大得多。为了控制建筑物的下沉和保证它的稳定，就需要将建筑物与土接触部分的底面积适当扩大，也就是要比柱和墙身的横断面尺寸大一些，以减小建筑物与土的接触面积上的压强。我们将建筑物埋在地面以下的这一部分叫做基础，而将承受由基础传来荷载的土层叫做地基。

图 1-1 是房屋的荷载通过基础传给地基的示意图。从图中可以看出，屋顶荷载由屋架传给墙，再传给基础；楼面荷载由楼板传给梁，再由梁传给墙和柱，再传给基础。最后，全部荷载包括墙、柱自重在内都由基础传给地基。

由上可知，基础是建筑物极其重要的组成部分，所以，没有一个坚固耐久的基础，上部结构^①就是建造得再结实，也是要出问题的。因此，为了保证建筑物的安全和必需的使用年限，基础应当具有足够的强度和耐久性。地基虽不是建筑物的组成部分，但是它的好坏却直接影响整个建筑物的安危。如有的工程，由于对地基了解不够或处理得不好，结果房屋建成后，地基变形超过了容许值，造成房屋下沉和墙身严重开裂。所以，我们在设计地基基础时要保证地基基础有足够的安全度。除此之外，还要使设计符合经济合理、技术

① 建筑物在地面以上的部分通常叫做上部结构。

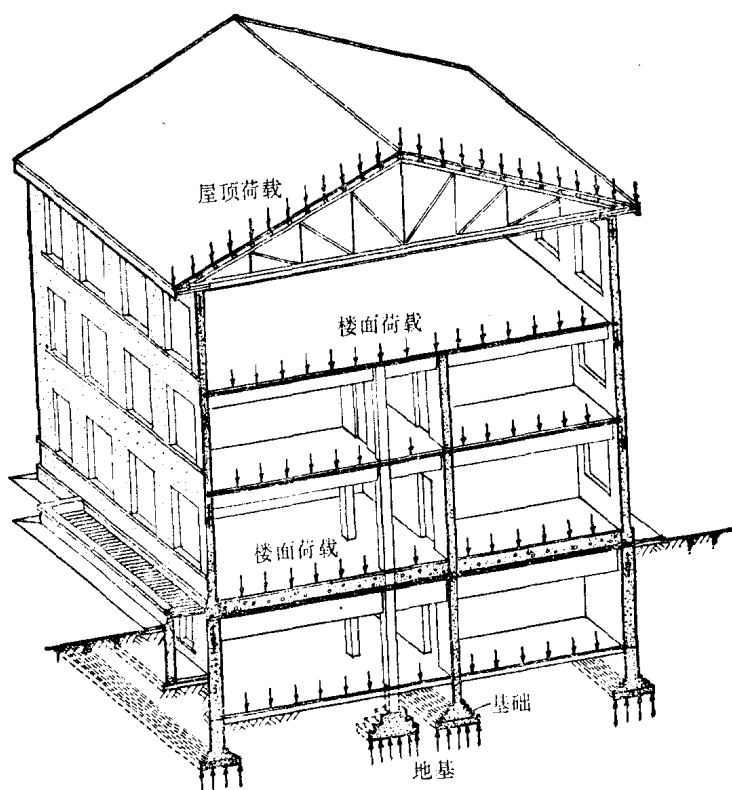


图 1-1 房屋荷载传递示意图

先进和便于施工的要求。

设计地基基础前，需要进行充分的调查研究，掌握必要的设计资料。一方面，必须彻底查清地基土质好坏，承载力大小，土层分布是否均匀，地下水位高低，地下水对基础材料有无侵蚀作用，有无软弱土层，软弱土层厚度和位置怎样，有无暗塘、池塘以及有无溶洞、古井、古墓、垃圾坑等；另一方面，必须彻底弄清楚建筑物的使用要求，荷载大

小, 荷载分布是否均匀, 有无振动设备, 振动大小, 建筑物地基容许变形值等情况。根据这两方面情况, 按照安全可靠、经济合理、技术先进、便于施工的原则, 结合上部结构的具体情况, 考虑上部结构同地基的相互影响, 全面分析, 权衡利弊, 最后拟出地基基础的设计方案, 作出正确的设计。

为了多快好省地完成国家的基本建设任务, 我们从事基本建设工作的同志, 需要知道一些地基基础的知识。我们编写这本小册子的目的, 就在于向读者扼要地介绍一些地基基础的设计和计算原理。书中重点叙述了土的物理和力学性质、天然地基上的基础和桩基础的设计、地基中应力和变形。同时, 对验槽和地基的局部处理、软弱地基也作了简要的介绍。为了帮助读者更好地掌握这些基础知识, 还由浅入深地选编了一些计算实例和计算图表。由于篇幅的限制, 对湿陷性黄土、膨胀土等特种土的地基设计, 本书未作介绍。

这本小册子中的一些内容, 是参照我国《工业与民用建筑地基基础设计规范》TJ7—74(试行)①(以下简称《地基基础设计规范》)和《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程》JGJ4—80②等编写的。这些规范和规程是根据我国近三十年来的基本建设经验和科学研究成果制定的; 是进行地基基础设计和计算的依据。书中所介绍的一些实例及经验多是取材于北京地区, 可能有些局限性, 仅供各地参考。

“入门既不难, 深造也是办得到的”, 只要我们坚持实践、认识、再实践、再认识的辩证唯物论的认识论, 为社会主义建设努力学习技术, 刻苦钻研, 就一定能掌握地基基础这门知识。

① 中国建筑工业出版社, 1974年出版。

② 中国建筑工业出版社, 1981年出版。

第二章 地基土的物理性质、 分类和容许承载力

2-1 地基土的物理性质

任何建筑物都要建造在土层上面，因此，建筑物基础的设计是和地基土分不开的。由于地基土的种类很多，土层分布情况又十分复杂，所以设计一栋建筑物的地基基础时，就需要在建筑场地进行勘察，进行原位测试或采取土样进行试验，确定土的物理及力学性质，以使所设计的基础能满足安全可靠，经济合理，技术先进，便于施工的要求。

土不象钢、木、混凝土等建筑材料那样坚实，而是一种散粒的物体。在土颗粒之间有许多孔隙，通常在这些孔隙中有气体（一般是空气）也有液体（一般是水）。所以，在一般情况下，土是由固体的颗粒、水和空气三部分组成。这三部分之间的比例不是固定不变的，而是随着周围的条件而变化。例如，当地下水位上升时，原来在地下水位以上的地基土中水的含量就要增加。土中的颗粒、水和空气相互的比例不同，便反应着土处于各种不同的状态：稍湿或很湿、密实或松散，而它们对于评定土的物理和力学性质有很重要的意义。因此，为了研究土的物理性质，就要掌握土的三个组成部分间的比例关系。

为了便于说明和计算,用图2-1表示土的三个组成部分,并采用下列符号:

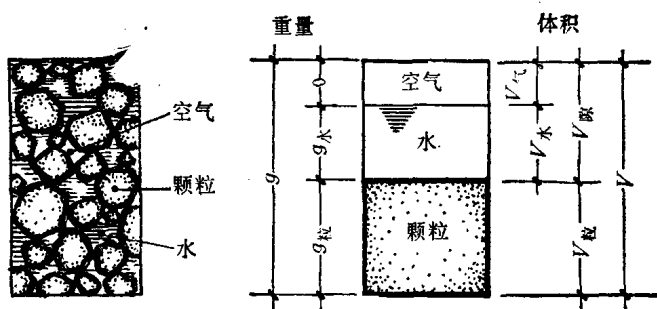


图 2-1 土的三个组成部分示意图

g ——土的总体重量;

$g_{\text{粒}}$ ——土中颗粒的重量;

$g_{\text{水}}$ ——土中水的重量;

V ——土的总体积;

$V_{\text{粒}}$ ——土中颗粒的体积;

$V_{\text{气}}$ ——土中空气的体积;

$V_{\text{水}}$ ——土中水所占的体积;

$V_{\text{隙}}$ ——土中孔隙的体积。

(1) 天然容重: 土在天然状态下单位体积的重量, 用符号 γ 表示, 单位是吨/米³或克/厘米³。

$$\gamma = \frac{g}{V} \quad (2-1)$$

土的天然容重随着土的颗粒组成、孔隙多少和水分含量而不同, 一般土的天然容重为1.6~2.2吨/米³。

(2) 天然含水量: 土在天然状态下土中水的重量与颗粒重量之比的百分率, 用符号 w 表示:

$$w = \frac{g_{\text{水}}}{g_{\text{粒}}} 100\% \quad (2-2)$$

(3) 比重：土颗粒单位体积的重量与水在 4℃ 时的单位体积重量 γ_w 之比 ($\gamma_w = 1$ 克/厘米³)，用符号 G 表示。

$$G = \frac{g_{\text{粒}}}{V_{\text{粒}}} \cdot \frac{1}{\gamma_w} \quad (2-3)$$

一般土的比重为 2.65~2.75。

上面三个物理指标是直接由实验方法确定的，通常叫做实验指标。已知这三个指标，就可以用公式算出下面几个物理指标。

(4) 干容重：单位体积内颗粒的重量，用符号 γ_d 表示。

$$\gamma_d = \frac{g_{\text{粒}}}{V} \quad (2-4)$$

干容重愈大，表示土愈密实，在填土夯实时，常以土的干容重来控制土的夯实标准。例如：房心填土和基础回填土夯实后的干容重要求为 1.50~1.65 克/厘米³。

如果已知土的容重 γ 和含水量 w ，就可以按下式算出干容重，即：

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (2-5)$$

现将公式 (2-5) 推证如下：

$$\gamma_d = \frac{g_{\text{粒}}}{V} = \frac{g_{\text{粒}}}{V} \cdot \frac{g}{g} = \frac{\frac{g}{V}}{\frac{g}{g_{\text{粒}}}} = \frac{\gamma}{\frac{g_{\text{粒}} + g_{\text{水}}}{g_{\text{粒}}}} = \frac{\gamma}{1+w}$$

(5) 孔隙比：土中孔隙体积与颗粒体积之比，用符号 e 表示。

① 式中含水量 w 以小数代入。

$$e = \frac{V_{\text{隙}}}{V_{\text{粒}}} \quad (2-6)$$

孔隙比还可以按下面公式进行计算：

$$e = \frac{G\gamma_w(1+w)}{\gamma} - 1 \quad (2-7)$$

根据上面所介绍的物理指标定义，公式(2-7)是这样推导出来的：

$$\begin{aligned} e &= \frac{V_{\text{隙}}}{V_{\text{粒}}} = \frac{V - V_{\text{粒}}}{V_{\text{粒}}} \cdot \frac{g_{\text{粒}}}{g_{\text{粒}}} = G\gamma_w \left(\frac{V}{g_{\text{粒}}} - \frac{V_{\text{粒}}}{g_{\text{粒}}} \right) \\ &= G\gamma_w \left(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{G\gamma_w} \right) = \frac{G\gamma_w}{\gamma_d} - 1 \end{aligned}$$

将公式(2-5)代入上式就得到公式(2-7)。

式中 γ_w ——单位体积的水重，通常按 1 克/厘米³ 计算。

孔隙比也是表示土的密实程度的一个物理指标，由公式(2-6)知道，孔隙比是两个体积之比，它不象干容重 γ_d 与土的比重有关，所以，用孔隙比表示土的密实程度比用干容重表示要更好一些。但由于干容重可以通过试验指标经过简单计算就可以得出，所以在填土夯实时，仍采用干容重作为夯实标准的指标。

(6) 饱和度：土中水的体积与孔隙体积的比，用符号 S_r 表示。

$$S_r = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{隙}}} 100\% \quad (2-8)$$

饱和度亦可按下式计算：

$$S_r = \frac{wG}{e} \quad (2-9)$$

公式(2-9)是这样推导出来的：

$$S_r = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{隙}}} = \frac{g_{\text{水}}/\gamma_w}{V_{\text{隙}}} \cdot \frac{V_{\text{粒}}}{V_{\text{粒}}} = \frac{g_{\text{水}}G}{e} \cdot \frac{1}{g_{\text{粒}}} = \frac{wG}{e}$$

饱和度是衡量砂土潮湿程度的一个指标。如孔隙完全被水充满，即当 $V_w = V_v$ 时，则 $S_r = 100\%$ ，这种土叫做饱和土（《地基基础设计规范》规定 $S_r \geq 80\%$ 就认为是饱和的）。另外饱和度的大小还可以说明土的可能的压实程度，例如对于 $S_r = 100\%$ 的饱和土，就不可能再把它夯实。所以在基础施工中遇到饱和土就不要再夯实了。因为在这种情况下不但夯不实，反而破坏了土的天然结构，降低了地基的强度。在工地有时遇到夯不实的“橡皮土”就是这个道理。

这里顺便说一下，含水量虽然也是表示土的潮湿程度的一个指标，但它不如用饱和度 S_r 表示直观，所以在衡量砂土的潮湿程度时，用饱和度而不用含水量。

粘性土的含水量对土所处的状态影响很大，随着含水量的增加，土逐渐从固体状态经过塑性状态①而变为流动状态（图 2-2），土所处的状态不同，它的强度也就不同。下面我们就来研究不同状态转变时的含水量，这个含水量也就是分界含水量。

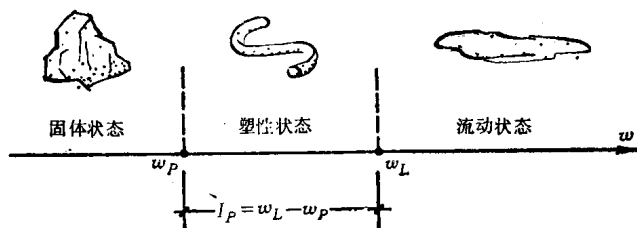


图 2-2 粘性土的状态

- ① 塑性状态是指这样一种状态：土在外力作用下，可以变成一定的形状而不产生裂纹，当外力取消以后，能继续保持所得的形状。例如做面条时合好的白面就处于塑性状态，玉米面就不具有塑性状态，因为当做成一定形状时，常出现裂纹。

(7) 塑限：当土由固体状态变到塑性状态时的分界含水量叫做塑限，用符号 w_p 表示。

塑限是这样测定的：在土内加适量的水，拌合均匀以后，在毛玻璃板上用手搓成土条，当土条搓到直径为3毫米时，恰好开始断裂（图2-3），这时土的含水量就是塑限。

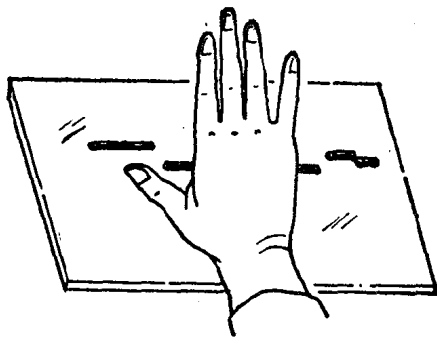


图 2-3 塑限试验

(8) 液限：当土由塑性状态变到流动状态时的分界含水量叫做液限，用符号 w_L 表示。

液限是用图2-4所示的液限仪来测定的。测定时先在杯内装满调成糊状的土样，并刮平表面，然后将圆锥体放在土样表面中心，让它在自重作用下徐徐沉入土中，如果圆锥体在15秒钟内恰好沉入土样中10毫米（也就是圆锥体上的刻线刚好与土样表面齐平），这时土的含水量就是液限。

(9) 塑性指数：液限与塑限之差叫做塑性指数，用符号 I_p 表示。

$$I_p = w_L - w_p \quad (2-10)$$

塑性指数以百分率的绝对数字来表示。塑性指数的数值主要与土内所含粘土颗粒（土颗粒直径小于或等于0.005毫

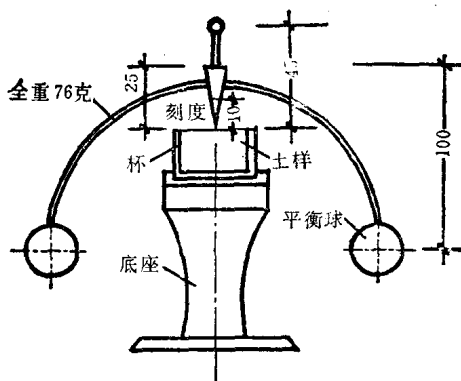


图 2-4 锥式液限仪
(单位: 毫米)

米的, 叫粘土颗粒) 的多少有关。如果土中含粘土颗粒愈多, 则其塑性指数就愈大, 表示土处于塑性状态的含水量范围也就愈大。因此, 工程上常以塑性指数来划分很细的砂土和粘性土的界限和确定粘性土的名称。

(10) 液性指数: 天然含水量与塑限之差除以塑性指数, 用符号 I_L 表示。

$$I_L = \frac{w - w_P}{I_P} \quad (2-11)$$

液性指数是表示粘性土的软硬程度的一个物理指标, 例如当 $w \leq w_P$, 即 $I_L \leq 0$ 时, 表示土处于坚硬状态; 若 $w > w_L$, 即 $I_L > 1$, 则表示土处于流塑状态。

以上所讲的物理指标是地基土的最基本的指标。通常只有知道了这些指标以后, 才能确定地基土的承载能力, 进而设计地基和基础, 可见, 深刻地理解这些指标的意义, 是很重要的。

2-2 地基土的分类

大家知道，土的颗粒直径大大小小是很不相同的。有的大于200毫米；有的小于0.005毫米。实践证明，土颗粒的直径不同，它的物理和力学性质也就不同。如粗颗粒砂土的承载能力几乎与土的含水量无关；而细颗粒的粘性土的承载能力却随含水量的增加而急剧降低。因此，要正确地评定土的物理和力学性质，合理地选择地基基础设计方案，就首先必须对地基土进行分类。

在《地基基础设计规范》中，将地基土分为以下五大类：

(1) 岩石：在自然状态下颗粒间牢固连接，呈整体的或具有节理裂隙的岩体。

(2) 碎石土：粒径大于2毫米的颗粒含量超过全重50%的土。碎石土根据粒径大小和占全重的百分率不同，又分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾六种(表2-1)。

(3) 砂土：粒径大于2毫米的颗粒含量小于或等于全重50%，干燥时呈松散状态，无塑性或微有塑性(塑性指数 $I_p \leq 3$)的土。

砂土根据粒径大小和占全重的百分率不同，又分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂五种(表2-2)。

在表2-1和表2-2中所指的土颗粒在干燥时占全部重量的百分率，是用筛分法并经计算得到的。所谓筛分法就是将所要分析的土样放进一套标准筛中(每套共计五个筛子，筛孔分别为20、2、0.5、0.25和0.1毫米，另外有一个底盘)，当筛子振动时，大小不同的土粒就被划分开来，直径大于20毫米的颗粒留在最上面的筛子里，直径小于0.1毫米的颗粒通

碎石土的分类

表 2-1

土的名称	颗粒形状	土的颗粒在干燥时占全部重量的%
漂石	圆形及亚圆形为主	粒径大于200毫米的颗粒超过全重50%
块石	棱角形为主	
卵石	圆形及亚圆形为主	粒径大于20毫米的颗粒超过全重50%
碎石	棱角形为主	
圆砾	圆形及亚圆形为主	粒径大于2毫米的颗粒超过全重50%
角砾	棱角形为主	

注：定名时应根据表中粒径分组由大到小以最先符合者确定。

砂土的分类

表 2-2

土的名称	土的颗粒在干燥时占全部重量的%
砾砂	粒径大于2毫米的颗粒占全重25~50%
粗砂	粒径大于0.5毫米的颗粒超过全重50%
中砂	粒径大于0.25毫米的颗粒超过全重50%
细砂	粒径大于0.10毫米的颗粒超过全重75%
粉砂	粒径大于0.10毫米的颗粒不超过全重75%

注：定名时应根据表中粒径分组由大到小以最先符合者确定。

过各层筛子，最后落到底盘里，留在每个筛子里的土重除以总重量再乘以100%，就得到各种直径的颗粒占全部土重的百分率。这里要注意，不能以每个筛里的颗粒占全部土重的百分率按表2-1或表2-2来确定土的名称，因为在这两个表中土的颗粒在干燥时占全部重量的百分率一栏内，指的是大于某种粒径的颗粒占全部土重的百分率，所以还要算出大于某种粒径占全部土重的百分率，然后再去查表。