

5(3)81

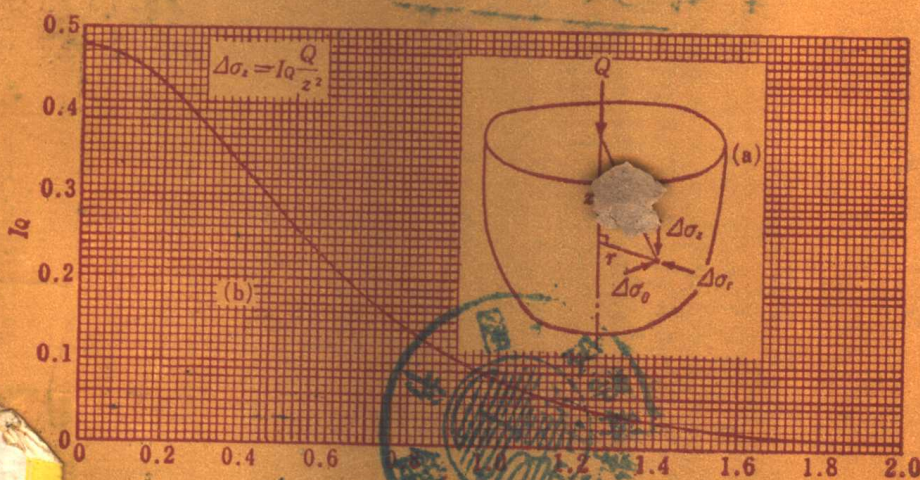
7/4064

704121

高等学校教学参考书

土 力 学

吉见吉昭
(日)
桥场友则



地质出版社

高等学校教学参考书

土 力 学

〔日〕 吉 见 吉 昭
桥 场 友 则

杨淑碧 张倬元 校
田春花 译 王士天

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本书为日本最近出版的“建筑综合练习丛书”中的一本，在约十万字的篇幅中，简明扼要地介绍了土力学的主要内容及重要概念。全书中强调了孔隙水压力、渗透压力、有效应力及应力路线。附有插图156幅、例题39、练习题38。突出特点是通过大量的例题和练习题加深对土力学基本知识的理解和取得运用理论解决实际问题的能力。对工程地质专业大专学生学习土力学是一本良好的习题课教材。也可作为工程地质、土力学及地基基础等专业技术人员的参考书。

地盘の力学

吉 见 吉 昭

桥 场 友 则

〔日〕 彰国社出版

土 力 学

〔日〕 吉见吉昭

桥场友则

杨淑碧 译 · 张倬元 校
田春花 王士天

地质矿产部教材编辑室编辑

责任编辑：于纯仁

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行 · 全国新华书店经售

开本：850×1168¹/₃₂ · 印张：5¹/₄ · 字数：134,000
1983年9月北京第一版 · 1983年9月北京第一次印刷
印数：1—4,950册 定价：0.75元
统一书号：15038·教164

译者序

本书为日本最近出版的“建筑综合练习丛书”中的一本，著者为东京工业大学教授吉见吉昭及麻省理工学院土木工程硕士桥场友则（建筑）事务所负责人桥场友则。

本书的突出特点是对土力学最主要课题的基本概念论述得极为简明扼要，通过大量的例题和练习题来理解基本知识和提高运用理论解决实际问题的能力。

全书共七章。第一章绪论；第二章土的组成和分类特征；第三章论述地基应力和静水压力，其中自重应力中强调了应力路线、孔隙水压力及有效应力、和静止土压力系数；第四章为土中水流及渗透压力，对成层地层内的水压力分布及渗透压力与有效应力的关系有较好的说明；第五章土的压缩性质及固结，强调了粘性土层的应力历史，对与地面沉降有关的粘性土层迅速受荷，及水位迅速降低情况下，土中应力及水压力的变化，固结屈伏应力与现有效应力的关系有较好的分析；第六章为土的抗剪强度，对不同历史的粘性土的应力路线和砂土的振动液化均有所分析；第七章为斜坡稳定性。全书约十万字但对土力学的基本内容重要概念均有所介绍，且附有插图156幅、例题39、练习题38，练习题均有答案，不失为学习土力学的一本良好的习题课教材。也可作为工程地质、土力学及地基基础等专业技术人员的参考书。

本书由成都地质学院工程地质教研室译。一、二、三、四章由杨淑碧译，张倬元校；五、六、七章由田金花译，王士天校。最后由张倬元同志校订。全书插图由季恒玉同志绘制。

由于我们水平有限，缺点和错误在所难免，欢迎同志们批评指正。

译者

1982.3.

AS 12/42

前 言

过去建筑物的规模受到一定限制，而且在建造大规模的建筑物时，有选择坚固的、排水好的地基的余地，所以，即使根据仅凭经验的承载力表进行基础设计，也不会发生什么大问题。但是，近来由于多种原因，与地基和基础有关的环境变得极其复杂而困难了，这些原因有：

（1）随着都市的密集化，利用软弱地基和丘陵地作为地基的机会增多了；

（2）与开挖相伴生的周围地基的沉降和打桩噪音等公害有关的要求逐渐严格了；

（3）由于地震时的砂基液化和地面沉降，长尺寸支撑桩的负摩擦的受害明显化了。要在这样的条件下能安全地、经济地进行开挖和基础设计与施工，就必须正确地了解地基和地下水的性质和性状，即必须学习土力学。

假如将基础的设计、施工比喻为临床医学，那么，土力学则相当于生理学、病理学。正如不知道人体生理、病理的人要作手术是危险的一样，不知道土力学的技术人员从事基础设计、施工也会带来危险。可以说建筑学的范围是相当广泛的，可是在建筑学科的教育计划中，土力学所占的比重确不能说是足够的。这就是当前的现状。

本书除了以建筑学科有关的学生为对象外，还以从事建筑基础的设计、施工的技术人员为对象，以求掌握土力学的基础知识为目的。为此，大胆地采取了限制论题的数量并详细地进行解释的方针。如果学习者能通读本书，通过解例题和问题来理解土力学的基础，掌握解决比较实用的问题的能力，则作者感到无比高兴。

承蒙竹中工务店技术研究所的远藤正明先生，埼玉大学的风

间秀彦先生，东京大学的陶野郁雄先生为本书提供了宝贵的照片，日本工业大学的桑原文夫先生对例题和问题的解答给予协助，对此深表感谢。

吉见吉昭

桥场友则

1976.10

目 录

第一章 绪论	1
1.1 土力学的特征	1
1.2 代号、术语和单位	1
1.3 岩土工程学的资料来源	5
第二章 土的组成和分类特征	7
2.1 土的组成和基本参数的定义	7
2.2 土的密度	9
2.3 临界含水率和稠度	11
2.4 粒径分布和骨架构造	12
第二章 练习题	17
第三章 地基中的应力和静水压力	19
3.1 应力的定义和种类	19
3.2 自重引起的土中应力	19
3.3 二次应力和莫尔圆	20
3.4 应力路线	26
3.5 孔隙水压力和有效应力	28
3.6 静止土压力(系数)	32
3.7 荷载引起的地基中应力	33
第三章 练习题	41
第四章 土中的水流和渗透水压力	47
4.1 土中的水流和水头	47
4.2 渗透系数和达尔西定律	48
4.3 成层土中的水压力分布	51
4.4 按流网解平面渗流问题	52
4.5 渗透水压力和有效应力	59
第四章 练习题	62
第五章 土的压缩性和固结	69
5.1 土的压缩和固结	69

5.2	粘性土的压缩特性	70
5.3	粘性土层的应力历史	76
5.4	粘性土层固结所引起的最终沉降量	76
5.5	固结理论	86
第五章 练习题		93
第六章 土的抗剪强度		98
6.1	抗剪强度与剪切试验	98
6.2	饱和粘性土的抗剪强度	105
6.3	非饱和粘性土的抗剪强度	114
6.4	砂质土的抗剪强度	115
6.5	饱和砂的液化	118
第六章 练习题		133
第七章 斜坡稳定		138
7.1	斜坡和安全系数	138
7.2	长斜坡的稳定	138
7.3	粘性土斜坡的圆弧滑动 ($\phi = 0$ 时)	142
7.4	均质土组成的斜坡的圆弧滑动	146
7.5	条分法计算稳定性	147
7.6	深开挖底板的隆起	150
第七章 练习题		153
参考文献		
索引		

第一章 绪 论

1.1 土力学的特征

土力学是由处理单元土的力学性质的材料力学部分和地基本身、或是由处理建筑物边值问题的结构力学部分所组成。土是由土颗粒组成的骨架构造和存在于颗粒孔隙间的孔隙流体所组成，与用于上部结构的固体材料相比有如下的特征。

(1) 颗粒间的孔隙是连续的，所以一般有透水性。

(2) 与骨架构造的压缩性相比，土颗粒本身和水的压缩性都小到可以忽略不计，所以要让孔隙充满水的饱和土发生体积变化，必须使孔隙水移动。

(3) 土中应力由骨架构造和孔隙流体来分担，就土的应力一应变关系来说，由于孔隙流体的粘性而产生了时间滞后。

(4) 剪断变形具有体积变化(剪胀)的性质。

就土颗粒和水组成的饱和土来说，已定量地弄清楚了骨架构造承担的有效应力与孔隙水压力之间的关系，而且还认为土的体积变化和抗剪强度与有效应力之间有极其强的相互关系。这个有效应力的概念已成为现代土力学的中心，与固体力学相比它已成为土力学的一大特征。

1.2 代号、术语和单位

本书使用的代号和术语尽可能根据《土质学术语解说集》(土质学会 1969)。最初出现代号的地方有定义，现将主要代号表示如下：

- A:** 断面积(L^2)⁽¹⁾; 斯肯普顿的孔隙压缩系数
a: 断面积(L^2)
 a_v : 压缩系数($F^{-1}L^2$)
B: 宽(L); 斯肯普顿的孔隙压缩系数
b: 宽(L)
 C_c : 压缩指数
c: 库仑内聚力
 $\bar{c}$: 与有效应力有关的内聚力(FL^{-2})
 C_d : 由排水试验求得的内聚力(FL^{-2})
 c_u : 非排水试验求得的与全应力有关的内聚力(FL^{-2})
 c_v : 固结系数(L^2T^{-1})
 c_w (添字): 排水系数
D: 粒径(L); 深度(L)
 D_r : 相对密度
d: 位移(L); 深度(L)
d (添字): 排水时的位移
E: 杨氏率(FL^{-2})
 E_s : 割线变形模量(FL^{-2})
e: 孔隙比
 e_0 : 初始孔隙比
F: 安全系数
g: 重力加速度(LT^{-2})
G: 土颗粒的比重
H: 水头(L); 高度(L)
 H_c : 斜坡极限高度(L)
h: 水头(L)
 h_e : 位置水头
 h_p : 压力水头(L)
 I_C : 稠度指数
 I_L : 液性指数
 I_p : 塑性指数
i: 水力梯度
 i_{cr} : 临界水力梯度
J: 渗透压力(F)
j: 每单位体积的渗透压力(FL^{-3})
 K_0 : 静止土压力系数
k: 渗透系数
L: 长度(L)
l: 长度(L)
M: 力矩(FL)
 m_v : 体积压缩模量($F^{-1}L^2$)
N: 数; 标准贯入试验的贯入击数
 N_c : 支撑力系数
 N_s : 稳定系数
n: 孔隙率
P: 力(F)
p: 压力(FL^{-2})
 p_c : 试件围压(FL^{-2})
 p_y : 压缩屈服应力(FL^{-2})
Q: 流量(L^3T^{-1}); 荷重(F)
q: 平面荷重(FL^{-2})

q_u : 单轴抗压强度 (FL^{-2})	w_f : 破坏时的含水率
R : 半径 (L)	w_L : 液限
r : 半径 (L)	w_p : 塑限
S_r : 饱和度	x, y, z : 直角坐标
S_i : 灵敏度	β : 斜坡倾角
s : 抗剪强度	γ : 土的密度 (FL^{-3})
s (添字): 固体部分的抗剪强度	γ' : 土在水中的密度 (FL^{-3})
s_r : 残余抗剪强度 (FL^{-2})	γ_d : 土的干密度 (FL^{-3})
T_v : 时间系数	γ_{sat} : 土的饱和密度 (FL^{-3})
t : 时间 (T)	γ_t : 土的湿密度 (FL^{-3})
U : 平均固结度	γ_w : 水的密度 (FL^{-3})
U_v : 均匀系数	ϵ : 应变
U_s : 固结度	θ : 角度
u : 剩余孔隙水压力 (FL^{-2})	ν : 泊松比
u (添字): 不排水时的剩余孔隙水压力	σ : 垂直应力 (FL^{-2})
u_f : 破坏时的剩余孔隙水压力	$\bar{\sigma}$: 有效应力 (FL^{-2})
u_w : 孔隙水压力 (FL^{-2})	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: 主应力 (FL^{-2})
V : 体积 (L^3)	τ : 剪应力 (FL^{-2})
v (添字): 孔隙; 垂直方向	τ_{ln} : 液化时的应力 (FL^{-2})
v_d : 流速 (LT^{-1})	ϕ : 内摩擦角
v_s : 渗透速度 (LT^{-1})	$\bar{\phi}$: 与有效应力有关的内摩擦角
W : 重量 (F)	ϕ_d : 由排水试验求得的内摩擦角
w : 含水率	ϕ_u : 不排水试验求得的与全应力有关的内摩擦角

再有, 此书原则上采用现有的米·千克·秒 (MKS) 单位制, 但近年来国际标准 (SI) 单位制 (三木1973) 也得到了广泛地采用, 现将其主要单位表示如下:

表 1—1 SI 单位的例子

	量	名 称	代 号
SI 基本单位	长 度	米	m
	质 量	千 克	kg
	时 间	秒	s
具有固有名称的 SI 单位	力	牛 顿	N
	压 力	帕 斯 卡	$p_a (=N/m^2)$
	频 率	赫 兹	H_z
辅助单位	平 面 角	弧 度	rad

表 1—2 SI 单位的换算

现用单位→SI 单位		SI 单位→现用单位	
t (力、重量)	9.80665 kN	kN	0.101972 t
kg (力、重量)	9.80665 N	N	0.101972 kg
t·m (力矩)	9.80665 kN·m	kN·m	0.101972 t·m
kg/cm ² (压力)	98.0665 kN/m ²	kN/m ²	0.010197 kg/cm ²
t/m ² (压力)	9.80665 kN/m ²	kN/m ²	0.101972 t/m ²

表 1—3 码磅单位的换算

现用单位→码磅单位		码磅单位→现用单位	
cm	0.39370079 英寸	英寸	2.54 cm
m	3.2808399 英尺	英尺	0.3048 m
kg	2.2046233 磅	磅	0.45359237 kg
t	1.1023113 吨 (美)	吨 (美)	0.907185 t
kg/cm ²	14.223 磅/平方英寸	磅/平方英寸	0.070307 kg/cm ²
kg/cm ²	1.029120422 吨(米)/平方英尺	吨(美)平方英尺	0.97170 kg/cm ²
t/m ²	204.8340844 磅/平方英尺	磅/平方英尺	0.004882 t/m ²
g/cm ³	0.016018463 磅/立方英尺	磅/立方英尺	62.427961 g/cm ³

另外, 现用单位和码磅单位的主要换算例子表示在上页表1—3中。

1.3 岩土工程学的资料来源

要想从为数很多的文献和情报资料中较快地检索过去作的研究和设计以及实测数据等, 在这种情况下以文献摘要或文献摘抄较为方便。在岩土工程学方面有下述的文献摘要。

(1) 土质工学文献摘要: 在土质工学会(东京都港区西新桥1—13—5)发行的《土质工学论文报告集》的卷末

(2) 岩土工程文献摘要(英文): 国际土力学及基础工程学会德国分会发行(购买者可与以下单位联系: Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, 35a Kron Prinzenstr., 43 Essen, Germany)。从1970年1月开始发行月刊。文献数目每月

表 1—4

分 支	刊 物 名 称	发 行 单 位
与土质工程学有关的	土和基础 土质工程学论文报告集	(社)土质工学会 (社)土质工学会
与建筑工程有关的	建筑研究所报告 建筑技术 建筑杂志 日本建筑学会论文集报告	建设省建筑研究所 (有)建筑技术 (社)日本建筑学会 (社)日本建筑学会
土木学会和与土木工程有关的	土木学会志 土木学会论文报告集 土木学会欧文论文集 土木研究所报告 港湾技术研究所报告	(社)土木学会 (社)土木学会 (社)土木学会 建设省土木研究所 运输省港湾技术研究所
除去有关系的协会以外的	施工技术 土木施工 施工 桥梁和基础 建设机械化	日刊工业新闻社 山海堂 彰国社 建设图书 日本建设机械化协会

144 篇。

(3) 岩土工程索引 (Geodex, 英文): Geodex International Inc., P. O. Box 385, Glen Ellen, California 95442, U. S. A 发行。到1969年为止已发行了7550 篇文献摘要。

岩土工程学文献摘要就国内的主要文献来说, 其中包含约 460字的摘要在内, 主要的检索对象文献表示在表 1—4 中。

除上述刊物外, 各大学、研究所等也发行许多文献。

第二章 土的组成和分类特征

2.1 土的组成和基本参数的定义

土力学中的土包含有粘土、砂、砾、风化岩、泥炭等。无机土是岩石风化作用的结果，有机土是生物的尸体经过化学作用和微生物作用的结果。

土是由土颗粒构成的骨架和其孔隙中的水和气体(一般为空气和水蒸汽)所组成(图 2—1)。土颗粒、水、气体之间的体积比和重量比，按如下定义

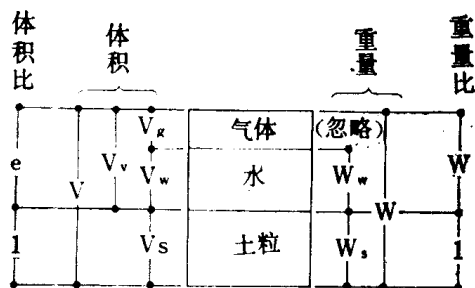


图 2—1 土的组成模式图

$$\text{孔隙比} = e = V_v / V_s \quad (2.1)$$

$$\text{孔隙率} = n = V_v / V \quad (\text{通常用 \% 表示}) \quad (2.2)$$

$$\text{饱和度} = S_r = V_w / V_v \quad (\text{通常用 \% 表示}) \quad (2.3)$$

$$\text{含水率} = w = W_w / W_s \quad (\text{通常用 \% 表示}) \quad (2.4)$$

由 (2.1) 式，(2.2) 式可以得出 e 和 n 的下述关系式：

$$e = \frac{n}{1-n}, \quad n = \frac{e}{1+e} \quad (2.5)$$

因为土粒密度是 W_s / V_s ，故其比重为：

$$\text{土颗粒的比重} = G = W_s / r_w V_s \quad (2.6)$$

式中， r_w 是水的密度。通常无机土的比重大约为 2.7，而有机土比这个值低得多。

由 (2.1)，(2.3)，(2.4)，(2.6) 式可以得到下述关系：

$$S_r e = w G \quad (2.7)$$

〔例题1〕 试述以饱和粘土试样求粘土天然孔隙比的实用方法。

〔解答〕 由于粘土透水性极低，所以一般方法是原封不动保持所采取的试样的天然含水率。对于饱和土 ($S_r=1$) 来说，按(2.7)式 $e=wG$ ，所以若知道含水率和土颗粒的比重，就可计算孔隙比。此方法的特点是用扰动试样（例如，标准贯入试验采样器所取的试样）所测得的 w 和 G 来计算，而没有必要直接测定试件的体积。如果只知 w ，假若是无机土，可假定 $G=2.7$ 进行计算，得到孔隙比的近似值。

〔例题2〕 将体积 800cm^3 ，重量 1500 克的土块，放入烘箱内，在 110°C 的条件下烘干到恒重时，其重量为 1200 克。土颗粒的比重是 2.7 ，试求下述值：

(1) 烘干前的含水率、孔隙比和饱和度

(2) 在不改变烘干前土块含水率的情况下，使土块压缩到饱和状态所必要的体积应变

〔解答〕

$$(1) \text{ 含水率} = w = \frac{(W - W_s)}{W_s} = \frac{1,500 - 1,200}{1,200}$$

$$= 0.250 = 25.0\%$$

$$\text{土颗粒的体积} = V_s = W_s / G r_w = \frac{1,200}{2.7} = 444.4 \text{cm}^3$$

$$\text{孔隙比} = e = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{800 - 444.4}{444.4} = 0.80$$

$$\text{饱和度} = S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{W_w / r_w}{e V_s} = \frac{300}{0.80 \times 444.4}$$

$$= 0.844 = 84.4\%$$

$$\text{或} \quad S_r = \frac{G w}{e} = \frac{2.70 \times 25.0\%}{0.80} = 84.4\%$$

(2) 假定只是气体占据的孔隙体积 V_g 才能压缩 (参照图 2—1)。因此，

$$V_g = V - V_s - V_w = 800 - 444.4 - 300 = 55.6 \text{cm}^3$$

$$\text{体积应变} = \frac{V_g}{V} = \frac{55.6}{800} = 0.0695 = 6.95\%$$

2.2 土的密度

土的单位重量（密度）表示如下：

$$\text{土的单位重量} = r = \frac{W}{V} = \frac{G + S_r e}{1 + e} r_w = \frac{1 + w}{(1/G) + (w/S_r)} r_w \quad (2.8)$$

因此，饱和度为100%的土（饱和土）的单位重量如下：

$$\text{饱和土单位重量} = r_{sat} = \frac{G + e}{1 + e} r_w = \frac{1 + w}{(1/G) + w} r_w \quad (2.9)$$

且只要设（2.8）式中 $S_r = 0$ ，就能由它求得以下表示的干密度：

$$\text{干密度} = r_d = \frac{G r_w}{1 + e} \quad (2.10)$$

干密度实际上也有用来表示干燥了的土的单位重量的场合，即使对于未干燥的土，仍然代表着单位体积中所含的固体部份的重量。有时也用以表示固结程度等情况。

与干密度相对应， $S_r > 0$ 的土的密度 γ 叫做湿密度，常用 γ 表示。

相对密度主要用于砂质土，定义如下：

$$\text{相对密度} = D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{r_{d\max}(r_d - r_{d\min})}{r_d(r_{d\max} - r_{d\min})} \quad (2.11)$$

式中， e 和 r_d 是某个状态下土的孔隙比和干密度， $e_{\max}$ 和 $r_{d\min}$ 是同一土试样在最松散装填状态下的孔隙比和干密度， $e_{\min}$ 和 $r_{d\max}$ 则是最密实装填状态下的孔隙比和干密度。

〔例题3〕 在关东亚粘土地基（ $e=4.00$ ， $S_r=80\%$ ， $G=2.80$ ）中开挖了纵、横、深度分别为1.0米的坑。当挖出的土中所含的水分蒸发掉一半时，再将此土回填于坑内且使饱和度达90%。问坑深的百分之多少能够被充填？

〔解答〕 被挖出前土的含水率和土颗粒体积分别如下：