

土的压实与沉陷

E. M. 庫普里亞諾夫 著

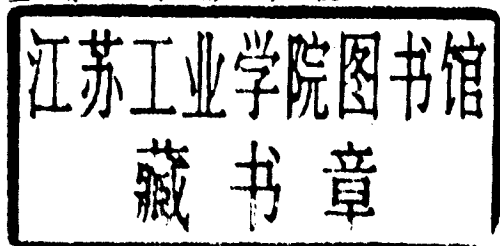
水利出版社

土的压实与沉降

E. M. 庫普里亞諾夫 著

談國本 汪珏 鄧隆銀 台建重 譯

鄭 宜 梁 陳 耀 曾 校



水利出版社

1957年8月

本書敘述了土的压实现所采用的施工方法及施工机械，以及推算不同時間內土的沉陷量的方法。

在說明土的加水振动压实现法时，作者对受振动的土体内的物理力学現象作了理論上的探討，并推導出一些公式，俾能獲得一些在实际工作中必需的解答。

本書可供施工与設計机构的工程技術人員参考。

土的压实现与沉陷

原書名 УПЛОТНЕНИЕ И ОСАДКИ ГРУНТОВ
原 著 者 Е.М. КУПРИЯНОВ
原出版处 ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИ-
ТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И АРХИ-
ТЕКТУРЕ
原出版年份 1954
譯 者 談國本 汪珏 鄭隆銀 台建重
出·版 者 水利出版社（北京和平門內北新華街 35 号）
北京市書刊出版業營業許可証出字第 080 号
印 刷 者 水利出版社印刷厂（北京西城成方街 13 号）
發 行 者 新華書店

128千字 787×1092 1/32开 5 7/8印張
1957年 8 月第一版 北京第一次印刷 印数 1——1,800
統一書号：15047.64 定价：（10）0.85元

目 錄

原序	1
引言	3
第一章 土的压实度与其物理力学性質的关系	5
第一節 土的結構与組成	5
第二節 土的基本特性	6
第三節 水对土的性質的影响	8
第四節 土的性質的鑒定	11
第五節 土的分类	16
第六節 測定土的物理性質的野外試驗方法	22
第七節 土的壓縮性	24
第八節 土的含水量对壓縮的影响	26
第九節 土的彈性变形和殘留变形	27
第二章 压实填土时獲得优良質量的主要条件	29
第一節 填土时土的相对密度、臨界含水量及最优含水量	29
第二節 滲透系数与土的密度	33
第三章 填土压实工作的施工組織与机械化	35
第一節 用运输工具运土及压实填土	35
第二節 压实填土的机械及其使用	38
第三節 施工	49
第四章 应用振动法振实填土	53
第一節 概論	53
第二節 振動器特性的确定	54
第三節 強迫振动时被振动物体的物理力学性質	57
第四節 关于深層或表層振动时物理力学現象的試驗資料	67
第五節 在被水飽和的砂中振动影响範圍的确定	75

第六節	被振实土体的影响範圍及振動器生產率的計算举例·····	85
第七節	加水振实填土的施工·····	89
第五章	土的沉陷·····	100
第一節	概論·····	100
第二節	由已知荷載求土的最終沉陷量的公式·····	103
第三節	考慮到沉陷过程的延續時間來確定土的沉陷量·····	105
第四節	土內压力的分布·····	132
第五節	干的或含水量小的土的沉陷時間的近似求定法·····	140
第六節	一些实用的資料·····	154
附錄	填方压实工作的檢查·····	167

原 序

建筑物的毀坏及变形多数是由于破坏了土的地基的强度所致。如果以填土做为建筑物的地基，則施工变得特別复雜，因为在这种情形下，必須同时解决两个問題：1. 确定底層原狀土可能發生的与允許的沉陷量；2. 确定填土的允許沉陷量。

用正确的施工方法適当地压实擾动土，可以獲得良好的質量，并節省建筑費用。

如果未擾动土地基的允許荷載与沉陷，是根据地質勘探資料，由設計机构或相当的科学研究机关确定的，則对填土地基來說，这些問題常常需要由施工机构在工地加以解决。此时，適當的压实填土，对獲得良好的工程質量具有决定性的意义。

我們國家的建設經驗以及科学研究所和一些学者的研究工作，使我們苏联在世界範圍內第一个解决了許多在不同建筑物中压实土体的现实問題。

在本書的第一版中，我們只叙述在工業及民用建筑物的建筑实践中經常發生的一些問題，并运用了我國在水工建設中有关压实土的大量經驗。

在該書中偏重于叙述用不同机械压实填土时 确定質量指标的实用方法及近似方法，并考慮了施工技术規程所允許的誤差。尤其是在叙述非粘性土的加水震动压实法时，作者

对于确定振动器的作用范围及其生产率给出了近似的解答。

在将本书修订再版时，作者考虑了读者对第一版的全部意见。

如所周知，压实土主要是为了使它具有较紧密的结构，以减少其沉陷。因此，本书对确定土的沉陷量及沉陷时间加以叙述应当认为是合适的。这些问题都在本书第五章内论述。

在确定饱和土随时间而变化的沉陷量时，作者应用了功勋科学家、技术科学博士 H.M. 格尔谢瓦诺夫教授的著作。

关于干土随时间而变化的沉陷量的问题，在技术上还没有得到解决。考虑到确定干土或含水量小的土的沉陷时间有着很大的实际意义，所以作者提出了这个问题的近似解法。

此外，在本书第二版中作了一些修正和补充，而且为使用本书方便起见，增添了一些新的例子。

因为在第二版中，除了土的压实外，还叙述了有关土的沉陷的问题，所以作者更改了书名（第一版书名为填土的压实）。

作者对技术科学硕士 H.M. 索科洛夫于本书最后校订时所提出的许多宝贵意见表示感谢。

引 言

大型水工建築物（這種建築物的土方工程量很大，同時須要進行大量土方的壓實作業）的建築經驗表明，正確地進行土的壓實工作，可以在保證達到較好的質量指標的條件下，大大地節省費用。下述例子足以說明這一點：當粘性土的相對含水量等於0.97時（以小数計），為了達到同樣的壓實效果所費的機械壓實的工作量，要比同樣的土在相對含水量等於0.70時大400倍。

施工質量對降低建築物的造價有很大的影響。好的工程質量可以保證建築物的強度及耐久性。建築物大都建築在天然地基上，因此整個建築物的強度及耐久性都決定於天然地基的強度及耐久性，所以這個問題的研究就引起了工程師與學者們的注意。

8000

8100

8200

8300

8400

8500

8600

8700

8800

8900

9000

9100

9200

9300

9400

9500

9600

9700

9800

9900

第一章 土的压实度与其物理力学性質的关系

第一節 土的結構与組成

任何建筑物的填土所用土料应在施工結束以后及建筑物使用期間不改变其性質。因此，填土工程不应采用有机生成的土或含有大量有机物的土。

在天然產狀的情况下，土由固体的、液体的及气体的顆粒所組成。这些顆粒的大小、形狀和性質决定着土的物理性質。土的建筑性質，在很大程度上取决于顆粒組成（即級配）。为了建筑的实用目的，土可按顆粒組成作簡單的分类，如表 1[●]。

表 1 土 的 分 类

土 的 种 类	直徑小于0.005公厘的粘土顆粒含量，按重量%計
砂	小于 3
砂 壤 土	3~10
壤 土	10~30
粘 土	大于30

● Н.А.崔托維奇，Механика грунтов，國立建筑出版社，1940。

粘土和壤土屬於粘性土類；砂和部分砂壤土屬於非粘性土類。粘性土具有微粒的結構，不因振動而搗實；對於這種情形的一部分解釋是由於這種土內毛細管力比非粘性土大得多。

各種不同的岩石所形成的土，其力學性質不一定是穩定的。尤其是頁岩、黃土、黃土類粘土作為填土料都是屬於不穩定的土；這些土的機械壓實不一定能達到最好的結果。

第二節 土的基本特性

為了鑑定壓實的填土的質量以及初步選擇壓實的方法，必須確定土的主要的物理性質。通常可以僅在野外測定土的物理性質，只有特殊重要的建築物才需要進行試驗室的研究。

利用試驗方法，應尽可能精確地測定土的三個特性：

G_{pyTTO} ——土的天然容重，以克/立方公分（噸/公方）計；

γ ——土固體顆粒的比重，以克/立方公分（噸/公方）計；

w ——土的天然含水量，以%計。

土的三個特性，很容易在野外測定：土的天然容重 G_{pyTTO} 等於所取土樣重量除以其體積； γ 值用比重瓶法測定；天然含水量 w （按重量計）系土的空隙中的水重與土的固體顆粒重之比（以%計）。

用試驗方法測定 G_{pyTTO} 及 w 的值後，可以用公式算出一些其他的特性：

ε ——孔隙比，表示土體內的孔隙體積與土的固體顆粒

体積之比；按下式計算：

$$\varepsilon = G_{\text{грунтто}} \frac{\gamma}{\gamma_{\text{с}} - 1} \left(\frac{w}{100} + 1 \right) - 1; \quad (1)$$

n ——孔隙度（隙度），土的孔隙体積与总体積之比，以%計：

$$n = 100 \frac{\varepsilon}{\varepsilon + 1}; \quad (2)$$

$G_{\text{нетто}}$ ——土（骨料）的干容重，即單位体積土中固體顆粒的重量，按下式計算：

$$G_{\text{нетто}} = \frac{G_{\text{грунтто}}}{\frac{w}{100} + 1}. \quad (3)$$

例[●]：用試驗方法求得下列原始資料：

比重 $\gamma = 2.7$ 克/立方公分；

土的天然容重 $G_{\text{грунтто}} = 2.19$ 克/立方公分；

天然含水量 $w = 16\%$ （按重量計）

按公式（1），（2）及（3）求得：

$$\varepsilon = \frac{2.7}{2.19} \times 1.16 - 1 = 0.43;$$

$$n = 100 \times \frac{0.43}{1.43} = 30\%;$$

$$G_{\text{нетто}} = \frac{2.19}{1.16} = 1.89.$$

假如土的孔隙完全被水充滿，則這樣的土稱為飽水土體[●]。在這種情況下，土的含水量（按重量計）以符號 w_m 來

-
- Н.М. 格尔謝瓦諾夫, Д.Е. 波利什, Теоретические основы механики грунтов и их практическое применение, 國立建筑出版社, 1948.
 - Н.М. 格尔謝瓦諾夫, Основы динамики грунтовой массы, 1937.

表示；天然含水量 w (按重量計) 与含水量 w_m (按重量計) 之比称为饱和度，或相对含水量。 w 与 w_m 的值都以土的固体顆粒重量的百分比表示。

砂的 w_m 数值达到 40%，而对于微粒的粘土可达到 600 或更大。

粘性土的稠度，可用下述几个状态的界限来表示：流性界限（塑性上限），即含水量 w_1 ，当此含水量稍为增加一点，土即呈流动状态；搓条界限或塑性界限（塑性下限）相当于能把土搓成綫条状时的極限含水量 w_2 ；在这种情况下，稍为减少一点水，土漿就不能搓成綫条状而被捻碎。

流性界限与塑性界限之差 ($w_1 - w_2$) 称为塑性指数；砂壤土的塑性指数为 0~7，壤土为 7~17，粘土大于 17。

第三節 水对土的性质影响

土的性质，特别是土的稳定性，取决于土中水的含量。例如，增加粘土的含水量就降低了顆粒之間的凝聚力，减少了內摩擦系数，有时还降低了土的承载能力。

在自然情况下，水(雨、雪)从大气中降到土內。在土体中的水可能为水气、吸附水、薄膜水、毛細管水与重力水，甚至为冰。茲提出在填土压实工作中必須考慮的一些指标。

根据土工建筑物的不同用途，有时必須得到完全不透水的防护物（如土壩、土堤），有时則盖面应当具有足够的透水性（如铁路填土、污水池、排水设备）。

不同的結構、顆粒組成及密度的土，有着不同程度的透水性。

为了尽可能的减小透水性，必須將填土压实，使其在使

用时的沉陷最小。在修建伊斯特里土壩时，在鋪盖斜牆和齒牆內的壤土几乎压实到完全不透水的程度；滲透系数小于0.0000A公分/秒。

如果对填土要求有很大的透水性，則滲透的数值由下述極限情况來決定：即水在土的孔隙中流动的速度，应不使得填土內的粉狀粘土顆粒被帶出。

在压实填土的各种方法中，如欲用最少的工作量來獲得質量良好的填土，則压实土时的含水量具有决定性的意义。例如，粘性土的含水量接近于饱水土体状态时，几乎是不能压实的；而这种土在最优含水量时就容易压实。用机械方法压实时，由于粘性土的含水量不同，所耗費的工作量可能差到几十甚至几百倍。

表2中所列为莫斯科运河施工时，对于粘性土的試驗实料。

表 2 粘性土的含水量不同时所耗費的工作量

压实程度	压实后土的干容重(公斤、公尺)	一公升所耗費的工作量	相对含水量	空气所占有的孔隙体积(%)	压实度(%)	工作耗費量(公斤、公尺)	与前一压实程度相比的增加数	压实度增加1%
I	1.53	2.84	0.62	16.82	100.0	—	—	—
II	1.61	4.28	0.69	12.47	105.2	1.44	0.27	
III	1.71	6.43	0.81	7.04	111.7	2.15	0.34	
VI	1.80	21.43	0.94	2.14	117.6	15.00	2.55	
V	1.82	160.00	0.97	0.85	118.9	138.57	106.54	

从表中可知，在臨界含水量（参看第二章），当饱和度为0.97时，要增加1%的压密度时，机械功的消耗量就需增加到400倍，即压实一公升土要增加106.54公斤-公尺的机械功。

因此，在施工时，粘性土的压实应力求在最优含水量时压密填土（即相对含水量在0.65~0.80范围内），以避免浪费资金。

在压实非粘性土时，含水量的影响也是很大的。按莫斯科运河施工时的资料，将砂质土的压实成果列于表3中。

表3 非粘性土的含水量不同时所耗费的工作量

压实 程度	压实后 的土壤 干容重	一公升所耗 费的工作量 (公斤、公尺)	相 对 含水量	空 气 所 占 有 的 孔 隙 体 积 (%)	压实度 (%)	工作耗费量 公斤、公尺	
						与前一压实 程度相比的 增 加 数	压实度增加 1 %
I	1.77	3.1	0.53	15.5	100.0	—	—
II	1.80	3.7	0.56	14.1	101.7	0.6	0.35
III	1.93	12.0	0.71	7.9	109.0	8.3	1.14
VI	2.00	81.4	0.82	4.5	113.0	59.4	17.98
V	2.03	166.4	0.86	3.1	114.7	85.0	50.00

砂在最优含水量范围内的饱和度为0.5~0.6之间。在这种相对含水量的情况下，能够很好并很快地压实砂质土。但是，因为用辘子辗压时当有一半的水渗出时才能得到应有的压实效果，所以没有必要把应当压实的填土用水浇注到饱和的程度。

因此，在进行压实时必须知道填土的相对含水量。在野外条件下很容易得到相对含水量的数值，因为只要用试验方法测定压实土的比重及容重就行了。例如，设 $\gamma = 2,400$ 公斤/立方公尺； $G_{\text{пртто}} = 1,500$ 公斤/立方公尺，则相对含水量或饱和度可用下式计算：

$$w = \frac{\gamma - G_{\text{пртто}}}{G_{\text{пртто}}} = \frac{2,400 - 1,500}{1,500} = 0.6. \quad (4) \bullet$$

● 此式有误（译注）。

第四節 土的性質的鑒定

在施工時，建築物的填土通常採用當地的土料填筑，並加以壓實，因此在施工時，必須考慮土的物理力學性質，以便為了獲得建築物的穩定而採取必要的措施。

足夠精確地確定土的顆粒組成，對土的性質的鑒定，具有重大的意義。在進行土的顆粒組成分析時，必須考慮到下面幾點：

(1) 含有大量淤泥或粉土顆粒的土在有水流時，甚至流速很小也易於變成流動狀態。

(2) 含有大量粉土及淤泥顆粒、並含有機物的土，不能用來建造大型的土工建築物。

黃土類土也不能用來建造大型土工建築物，因為黃土類土當浸水時就要失去穩定性及其原來的結構。按顆粒組成，黃土類土的特征是擁有大量的（大於50%）粉土顆粒（0.05~0.005公厘）和少量的粘土顆粒。

黃土類土的孔隙度的變化範圍自40%到50%或更大，土的顆粒比重為2.65~2.75克/立方公分，干容重為1.40~1.60克/立方公分。

在壓實填土時，孔隙度具有決定性的意義。通常土的天然孔隙度愈小，則壓實填土所需的功也就愈小。如上所述，孔隙度的大小用孔隙比的數值來表示。對具有彈性骨架的粘性土，其孔隙比就表示它在天然產狀情況下的密度。緊密的冰磧土或壤土的孔隙比為0.3~0.4，對於塑性粘土它大於0.6，流動的粘土則等於或大於0.9。

根據建築莫斯科運河的各种填土資料，把土的顆粒組成及其物理性質的主要指標列成下表（表4、5、6及7）作

表 4

冰碛壤土的組成及其主要的物理性質

土 的 名 称 (按 机 械 组 成)	颗 粒 组 成			物 理 性 质 的 主 要 指 标						
	礫石, 粒徑 大 于 0.3 公厘	砂, 粒徑 大 于 0.05-3.00 公 厘	粉土及淤泥, 粒徑 0.005-0.05 公 厘	粘土, 粒徑 小 于 0.005 公 厘	比 重 (克/立方公分)	重 土 的 干 容 重 (克/立方公分)	孔 隙 率 (%)	可 塑 性		渗 透 系 数 (公分/秒)
								塑性指数	流性界限	
輕 中 壤 土	3.1	44.4	39.4	12.8	2.72	1.93	27.0	19.8	37.0	17.2
	—	32.2	47.8	16.7	2.75	1.91	30.2	21.4	40.3	18.9
粒 狀 不 同 的 砂 壤 土	8.8	54.9	31.7	5.5	2.71	1.92	29.2	9.4	24.0	14.6
	捷 姆 帕 (ТЕМПА) 地 区									
粘 性 大 的 砂 壤 土	9.7	54.2	23.6	9.4	2.70	1.88	30.4	5.1	19.2	14.1
	3.4	29.0	50.2	18.5	2.70	1.84	31.8	21.8	39.6	17.8
粘 性 大 的 砂 壤 土	3.8	59.2	26.4	9.8	2.68	1.83	28.0	9.2	23.0	13.8
	0.6	31.3	50.1	17.8	2.70	1.84	32.0	19.7	38.3	18.6
粘 性 大 的 砂 壤 土	7.1	62.2	19.7	8.4	2.68	1.89	29.4	13.1	25.8	12.7
	4.2	60.1	23.4	13.1	2.68	1.83	32.8	25.8	48.3	22.5
粘 性 大 的 砂 壤 土	奥 列 夫 (ОРЕВСКИЙ) 地 区									
	东 部 地 区									
粘 性 大 的 砂 壤 土	南 部 地 区									
	奥 列 夫 (ОРЕВСКИЙ) 地 区									