

土力学问题

Н. Н. 馬斯洛夫 等著

建筑工程出版社

土 力 学 問 題

李 仁 柄 譯

建 筑 工 程 出 版 社 出 版

• 1 9 5 9 •

內容提要 本集登載了榮獲劳动紅旗勳章的列宁格勒建筑工程学院“地基与基础”教研室教师們的科学論文。所載論文研討了土力学的各种問題，如砂的稳定性条件、天然坡度角的測定法及其試驗所需的 振动仪器，还叙述了多层房屋基础的沉陷、关于泥炭的抗剪强度、防止形成深淵的豎向排水法、石膏溶滤性的實驗室研究等問題。这对从事該方面 工作的工作人員都是有幫助的。

原本說明

書 名 НАУЧНЫЕ ТРУДЫ выпуск 18
ВОПРОСЫ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ
著 者 Н.Н.Маслов И Т.Д.
出 版 者 Государственное издательство литературы по
строительству и архитектуре
出版地点 及 年 份 Ленинград 1954 Москва

土 力 学 問 題

李仁柄 譯

1959年3月第1版	1959年3月第1次印刷	3,260册
850×1168 • $\frac{1}{32}$ • 150千字 • 印張 $6\frac{5}{8}$ • 定价(11) 0.97元		
建筑工程出版社印刷厂印刷 • 新华書店发行 • 書号: 1336		

建筑工程出版社出版(北京市西郊百万庄)

(北京市書刊出版业营业許可証出字第052号)

原 序

近年来，列宁格勒建筑工程学院“地基与基础”教研组的科学小组曾研究了饱和松砂或石膏岩上水工建筑物、高压压缩性地基上大型房屋的建筑以及矿化土与泥炭的研究方法等有关的问题。

本论文集目的就是介绍科学上及工程技术上的评论和从这些著作中所完成的某些成果。

馬斯洛夫(Н.Н.Маслов)教授的論文“饱和砂的动力稳定性的条件”说明一个很重要的关于这种砂土突然失去稳定性的本质的问题。该文所注意到的正说明了新建立的饱和砂的动力稳定性渗透理论的基本原理。

研究工作需要进行多次重复试验。实验研究能看出现象的本质并可作为估计此种砂土稳定性的理论根据。可以证明，在动土作用下饱和砂失去稳定性是与砂土中此时抗剪强度的力量被削弱有关，所提出的理论根据在实验中得到了满意的证明。

在納烏門科(В.Г.Науменко)助教的論文“測定砂的天然坡度角的新方法”中叙述了该文作者所研究的独创的仪器，也说明了仪器使用的方法。

在奧列哈諾維奇(К.А.Олехнович)的論文“試驗饱和砂的动力稳定性的振动装置和振动仪器”中说明了试验所用的设备。使用这些装置和设备就可保证进行试验研究饱和砂动力稳定性，特别是试验确定失去该稳定性的参数。

軟弱地基上建筑重型多层房屋是基础工程中最重要的问题之一。在这方面軟弱地基上所建造的房屋沉降观测资料就具有极大的价值。

在科学技术候补博士达尔馬托夫(Б.И.Далматов)的論文

中，列出一所多层房屋的沉降观测的结果。沉降、沉降不均匀性以及结构功用的分析，均表明了在地基上兴建重型房屋具有十分可能性。

科学技术候补博士莫拉列斯庫尔（Н.Н. Морарескул）的论文发表后，解决了研究泥炭抗剪强度的某些问题。大家知道，在苏联泥炭埋藏甚广。在沼泽地区上进行建筑必须开挖基坑，坑坡稳定性在显著的程度上是与泥炭抗剪强度有关。根据一系列的试验，作者求出剪切时泥炭变形的性质以及其他各种关系。

在波里索夫（В.И. Борисов）的论文中叙述了设置竖向排水沟作为防止形成深淵的方法，在防止减小路基强度方面这个方法给出了良好的结果。

在溶滤了的石膏岩上建造水工建筑物需研究溶滤过程，并要拟定出保证此建筑物稳定的措施。納烏門科助教的论文给出实验室研究石膏溶滤性的方法，这个方法是根据研究溶滤现象本质而求得的，论文中还列出了试验研究的结果。

可以利用该文作者所得到的关系以预测建造在石膏岩上水工建筑物地基中的溶滤过程。

伊瓦諾夫（Л.В. Иванов）副教授在自己的著作中分析了土的建筑性质的研究和评价方法的某些问题。对于某种冰积层需要研究其物理力学性质方面各向异性的问题，也需研究这些岩土的成分、状态以及力学性质间的相互关系。所提出的一系列问题说明了研究和评价土建筑性质方法的先决前提，使其更能完全符合于天然情况和建筑工程实践上的要求。

应当指出，所有这些著作对从事基础工程和土力学方面的科学工作者及工程师均有极大的意义。

目 录

原 序

- 一、饱和砂的动力稳定性的条件…………… 馬斯洛夫 (1)
- 二、測定砂的天然坡度角的新方法…………… 納烏門科 (86)
- 三、試驗飽和砂的动力稳定性的振动装置及振动
 仪器…………… 奧列哈諾維奇 (96)
- 四、多层建筑物基础的沉陷…………… 达尔馬托夫 (114)
- 五、关于泥炭的抗剪强度…………… 莫拉列斯庫尔 (126)
- 六、防止形成深淵的豎向排水法…………… 波里索夫 (135)
- 七、石膏溶滤性的試驗室研究…………… 納烏門科 (142)
- 八、关于研究与評價冰积土块状建筑性質的不均匀性和
 方法…………… 伊瓦諾夫 (158)

一、飽和砂的动力穩定性的条件

科学技术博士 馬斯洛夫教授

緒 論

关于水工結構物地基及土工結構物斜坡的飽和砂穩定性的問題長期以来，始終为施工、設計以及科学研究机关所特別注意。

在很厚的砂积土层上，苏联兴建了許多最大的水工結構物，这个問題就显得更有意义。同时在許多情况下，兴建大规模的結構物时需用砂土作成土坝及土堰。同时由于在砂层中常常設計和建造深的槽坑及長距离的許多运河，因而产生了許多問題。当开挖深槽坑特别是在露天开挖矿物时，常常发生这些类似的問題。近年来在河岸及河谷地区的高堤上火車通过时所产生的几种损坏情况以及实践所指出的均表明了所研究的問題在铁路建筑工程方面是相当的重要。很显然，在保証机器基础所必要的稳定性方面，这个問題也有极大价值，因为某种动力作用能影响到地基的土。当然，对高級地震区域上的結構物或建造某种結構物时，所研究的問題更显得異常重要。

虽然这个問題是高度的迫切需要解决，但至目前为止，飽和砂稳定性破坏的条件，仍然有待我們来研究。

为了估計飽和砂稳定性，当时国外專家所提出的关于“砂的临界孔隙率”的概念的极限理論受到了苏联学者和專家們的严重批評。

同时他們也提出了某些新的假設和新的結論〔弗洛林（В.А. Флорин）教授，戈尔德什騰（М.Н. Гольштейн）教授，馬斯洛夫教授等〕。苏联科学院科学技术通訊院士蓋尔謝瓦諾夫（Н.М. Герсеванов）提出了并研究了关于飽和砂稳定性破坏条件的學說，

因而它就得到了显著的发展。

本文所述的研究是在1951—1953年完成的，它发展了远在1935年按馬斯洛夫教授的假設而提出的“飽和砂穩定性動力破壞的滲透理論”。作者這一理論研究結果，曾提出了相應的公式以確定各種不同情況下飽和砂土穩定性的條件。確定該砂穩定性的程度的理論證據當然是和它的穩定性天然破壞的本身相聯系的。

所提出的公式關係曾得到試驗證明，得到了良好的結果，但很可惜的是試驗僅是在實驗室的情況下進行的。

進一步的研究必然是廣泛地進行野外試驗和野外觀測，若不如是，則問題的研究就不可能認為是完善的。現在已經開始了這項工作。本文中所列出的數據是根據試驗求得的，這些試驗是由馬斯洛夫教授指導下，在列寧格勒建築工程學院“地基與基礎”教研室的實驗室內及全蘇水利科學研究院以及它的莫斯科分院的實驗室內進行的。莫斯科分院和列寧格勒建築工程學院並訂有合同聯系。

這些試驗是由研究員科學技術副博士耶爾紹夫(В.А.Ершов)(試驗室主任)，納烏門科助教，奧列哈諾維奇工程師，齊霍朱羅夫(Л.А.Тихомиров)，霍赫洛夫(Ю.П.Хохлов)(列寧格勒建築工程學院)以及科爾尼列夫(П.К.Корнильев)工程師和技術員米克拉謝維奇(Л.Е.Миклашевич)(全蘇水利科學研究院)等所進行的，他們在安裝和進行試驗時表現了高度的創造性和天才。

在1953年，工程師特里丰—雅科夫尔(Д.А.Трифон-Яковли)及魯登科(В.И.Руденко)都參加了本文的研究工作。

I. 問題的理論

1. 飽和砂穩定性動力破壞的滲透理論的基本原理

情況 A 動力作用強度沿着砂層總厚度保持不變。早在1935年，當研究由砂所筑成的一個大型土壩上部斜坡破壞原因的問題時，馬斯洛夫教授就提出了“飽和砂穩定性動力破壞的滲透理論”的原理。

作者正是根據砂的組成和狀態（粗顆粒、透水性、均質性及孔隙率）以及對建築物有影響的動力作用強度（但對建築物無破壞影響）來確定飽和砂土坡穩定性破壞的原因，同時曾企圖以數量方式來評價這種強度（加速度約 250公厘/秒^2 ）。在這裡認為飽和砂土穩定性的破壞有下列各點原因。

當砂層受到振動時其中所產生的慣性力作用下，平衡狀態的砂的顆粒由於自重影響使顆粒尽可能處於最低位置。這一過程便使得砂隨著孔隙率的減小而密實。飽和砂隨著它的孔隙體積的減小，此時砂土中將發生某些剩餘的水，而這種水按滲流方式流至自由表面。在此情況下，砂層中會產生砂粒懸浮的反壓力。最後結果，這一情況就降低了砂層中所作用的摩擦力，在某種程度上也降低了它的穩定性。在砂粒全部懸浮情況下，由於水的滲流上升影響，則砂的抗剪強度可以降低到另。此時砂就變為一種類似的膠質液體，並呈流動狀態（稀釋現象）。這個假設給1951—1953年繼續的理論研究和試驗檢定奠定了基礎。

首先應當指出，如同我們研究所表明的那樣，在沒有全部稀釋的砂土中，即在砂的顆粒僅部分懸浮和砂土中抗剪強度僅部分削弱的情況下，如其穩定性安全系數不太大時，則地基中或結構物土坡中飽和砂土穩定性的破壞就完全有可能。

當砂處於任意的懸浮狀態時（表明砂在開始、中間及末了的

全部稀釋情況)，必須找出確定砂的穩定性的程度的方法。

为了使所提出的假設有理論上的根據，曾利用了較小斷面的測壓管進行過多次重複試驗，以便發現現象的本質并觀測飽和砂隨氣壓而變化的動力狀況。開始時試驗是在高至70公分的器皿中進行試驗，以後這些試驗是在200公分高度的器皿中重複進行（參閱後面各節）。砂上作用的動力是用振動計（振幅、頻率、加速度）測定所有振動部分的振動力及具有一定力量（降落重物、測力計）的冲击力而形成的。

在這試驗以前，須規定一系列的試驗方法〔在水下裝置砂成最松狀態（無空氣）的方法，測壓計讀數的校正，測壓計杆端大小的影響等〕。

最後所進行的試驗，其目的就是確定測壓計構造對其度數的可能影響。可以預料得到：由於測壓管裝有水，使得水的體積必然要消失一些，所以對於測壓計的讀數就能歪曲實際狀態。試驗是用各種不同的動力強度和直徑為1.4及8公厘的測壓計而進行的（圖1）。這些試驗（僅有部分試驗結果繪在該圖上）均證明了：即使利用8公厘的直徑的管也能得到滿意的結果。如果使用1.4公厘直徑的管進行一切試驗，可以保證得到更可靠的結果。根據各個不同的測壓計管端（圖2）所作試驗的某些試驗結果均繪在圖3上。可以看出在該情況下，在相當程度上保證能夠準確觀測清楚，這與管端體積和形式無關。

“滲透理論”的基本原理可用最新的方式來說明，現在我們來看一下圖4。首先研究單次課題中最簡單的情況，即 H 厚度的砂土層在它的所有各點上均受到同樣強度的振動的情況。如同我們在後面所看到的一樣，這種情況不但相應於地震現象，而且也和高度的強度動力一樣。利用孔隙率 n_0 所表示的砂的原始緊密度，沿着整個土層為一常數。在動力作用影響下（振動）砂的顆粒相互發生變位，并移至新的位置，保證了帶有孔隙率 n_0 的砂處於較緊密的狀態。新狀態的砂中所剩餘的孔隙水的數量由於它有不可壓縮性，因而就由砂層中力向露天表面即向着上面流

出, 产生了具有一定坡度 I_z (即水力坡度——譯者) 的渗流, 这种坡度随不同的水平面与其离开表面深度 Z 的大小而有所不同。

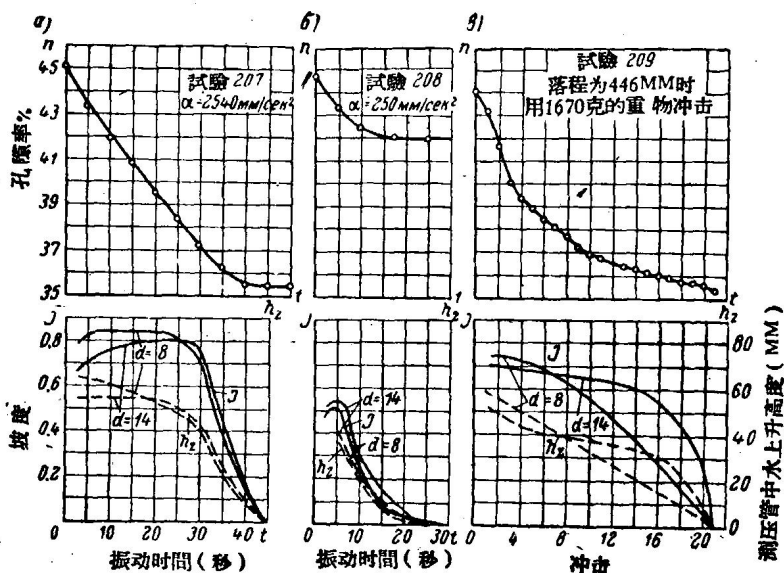


图 1 在不同的动力情况下管的直径为1.4及8公厘时 测压管中水上升高度 (h_z)、砂的孔隙 (n) 及坡度 (I)



图 2 进行试验时所利用的测压管管端

坡度 I_z 随着接近表面而增加, 这一条件就可保证孔隙中水产生剩余 (动力的) 水头 h_z , 对于不同的水平面这种水头也是不同的,

在砂层地基中它具有最大的数值, 在露天表面 ($Z=0$) 上可降落到另。坡度最大可能的数值 (临界的) 用已知的条件 (1) 确定:

$$I_{kp} = \frac{1}{\Delta} [(\gamma_0 - \Delta)(1 - n)] \quad (1)$$

式中 Δ —— 水的容重;
 γ_0 —— 砂颗粒的比重;

n —— 砂的孔隙率。

I_{kp} 通常是接近于 1。

这个条件也就是动力水头 $h_{max} = Z$ 的临界的极限值。当 $I_z = I_{kp}$ 时砂颗粒已经全部悬浮, 其间内摩擦力完全消失。只有在这条件下砂才可进入稀释状态 (悬液)。

在所有 $I_z < I_{kp}$ 其他数值时, 砂颗粒仅有部分发生悬浮, 内摩擦力仅部分消失。在一般情况下, 除了上面所述的条件外, 距离表面某一深度 Z 的 h_z 及 I_z 两值还取决于砂的组成和砂的性质, 它的原始紧

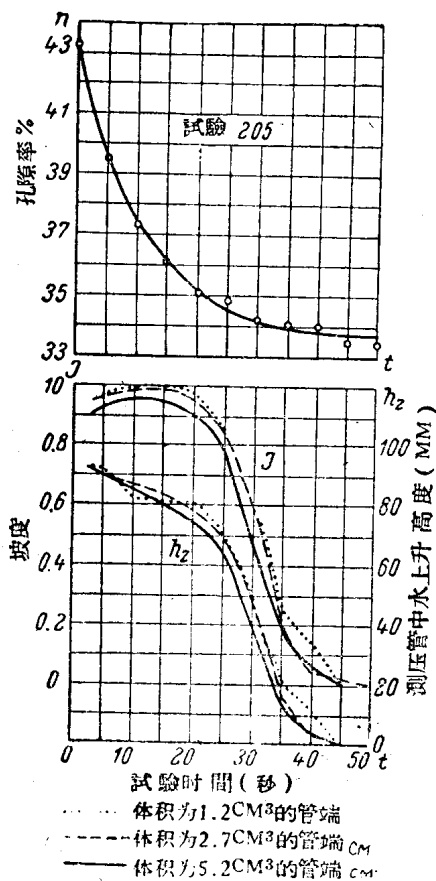


图 3 最大振动速度为 2540 公厘/秒²时, 饱和细粒砂 (调斯特罗列兹基砂) 的孔隙率、坡度及在具有不同管端的测压管中水的上升高度

- a) 点线—管端体积为 1.2 公分³
 b) 虚线—管端体积为 2.7 公分³
 c) 实线—管端体积为 5.2 公分³

密状态 (n_0)、动力作用的强度 (振幅 A 、频率或周期及振动运动的加速度 α) 以及砂层的厚度 H , 在同一动力强度延續作用过程中, 砂可繼續得到密实 (n_t)。随着砂的紧密性的增高, 动力水头 h_z 及坡度 I_z 的值就从某一时间起开始降低。但在砂的密实过渡期间内都有一定的 h_z 及 I_z 的值与它某种紧密状态 (n_t) 相适应, 它们均小于其原始数值。所以在这些情况下可以完全避免砂的稀釋现象。同时在砂密实期间 h_z 及 I_z 均不等于另, 这就証明此时砂的顆粒出現部分悬浮。由于抗剪强度稍有降低, 因而它的稳定性也只出現部分消失。在該动力强度作用下紧密封砂的极限值 h_z 及 I_z 均降至为另。在这情况下可以避免砂的动力状态。我們知道, 松疏砂中如无凝聚力时 ($C = 0$), 在靜力情况下則其抗剪强度能用下列的关系来表示:

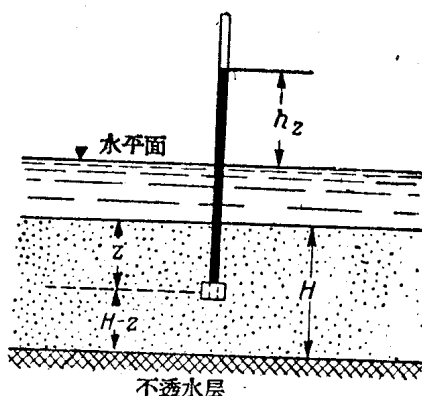


图 4 計算图

$$S_{cm} = P_{cm} \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

式中 P_{cm} ——靜力情况下的主应力 (压应力); φ ——砂的内摩擦角。

当动力作用时, 根据我們所研究的理論, 由于主应力降至新的数值 P_{dyn} , 所以我們認為也降低了砂的抗剪强度。在这情况下, 由于砂层中产生反压力的結果, 我們能以下列关系式表示砂

的抗剪强度:

$$S_{\partial uu} P_{\partial uu} \operatorname{tg} \varphi_0. \quad (3)$$

如果我们知道动力作用于砂上时, 其中孔隙被水充满, 并产生了动力水头 h_z , 则按下式就能轻易找到主应力 $P_{\partial uu}$:

$$P_{\partial uu} = P_{cm} - \Delta \cdot h_z. \quad (4)$$

式中 Δ ——水的容重; h_z ——离开砂层表面深度 Z 处所作用的动力水头。公式中最后一项 Δh_z 等于 Z 处水平面上所作用的反应力。如考虑到公式 (4), 我们可把关系式 (3) 写成这样的形式:

$$S_{\partial uu} = (P_{cm} - \Delta h_z) \operatorname{tg} \varphi_0. \quad (5)$$

所导出的公式包括了 P_{cm} 值, 在一般情况下对于距离表面深度 Z 处某一水平面来说, 这个数值可由下式求得:

$$P_{cm} = \gamma_s \cdot Z + P_z. \quad (6)$$

式中 γ_s ——砂的容重 (包括水的悬浮力在内), 通常约等于 1.0 吨/公尺³; P_z ——在 Z 处水平面上由于建筑物的重量或由于具有良好排水能力的夹层重量 (如果它有的话) 所引起的土上荷载。

将确定 P_{cm} 的公式 (6) 代入关系式 (5) 中, 我们得到公式:

$$S_{\partial uu} = [(\gamma_s Z + P_z) - \Delta h_z] \operatorname{tg} \varphi_0. \quad (7)$$

利用此公式时, 我们可以找到任意课题情况下距离表面任意 Z 处水平面上砂的抗剪强度。

砂层表面上没有荷重 ($P_0 = 0$), 而 h 为可变数值时, 沿着砂层深度抗剪强度变化的性质, 系取决于该水平面上层夹 $\gamma_s \cdot Z$ 重量与作用于该水平面上动力水头 h_z 值的比值。当表面上具有某种附加荷载时, 如要估计砂的抗剪强度 S_z 沿着深度变化的程度, 则应考虑应力分布随着深度减小的一般方法 [公式 (7) 中 P_z 项], 这样, 可以发现, 在所有其他情况相同时, 距离表面 Z 处某一水平面上, 砂的抗剪强度此时除了取决于其他因素外, 也还取决于带形受荷区的宽度 (在平面课题情况下)。

由以上所述可知，根据所提出的“渗透理论”来解决各种不同情况下砂层（饱和的）稳定性的程度的评价问题，就必须确定 Z 处水平面上发生和作用的动力水头的 h_z 值。在单次课题情况下可根据下列原理来计算此值。

我们引出一个关于动力压缩系数 (v_n) 的新的概念。在具有一定强度 (T 、 A 及 α) 的动力荷重作用下，表明含有一定紧密度 (n_0) 的砂的压缩速度的某种指标谓之动力压缩系数 v_n 。这里指出，根据所进行的研究，甚至加速度相同而振动运动的振幅和周期为不相同，则动力作用强度仍不相同。在这情况下周期 T 便是具有决定性的因素。由于这个原故，仅用一种加速度来评价振动运动的强度在某种范围内是带有一定条件性的。

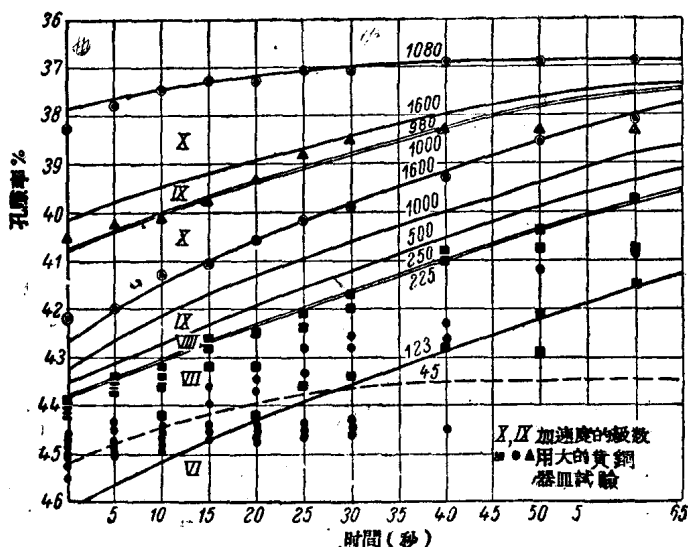


图 5 在不同动力作用时细粒砂孔隙率的减小

罗马数字表示加速度的级数的各组数字——加速度单位为公厘/每秒²

根据以上所指出的情况，我们可以写出：

$$v_n = \frac{\partial n}{\partial t} \quad (8)$$

現在来看一下图 5。图上繪出同样的砂受不同动力强度作用振动时的一系列的 $n = f(t)$ 压缩曲线，在这里此种作用强度可用加速度 α 公厘/秒²（数字）及地震图上的级数来估计。

試驗的砂的顆粒組成繪在图 6 上。由图 5 可知， $n = f(t)$ 曲线在該情况下带有极端傾斜的性质。此情况下它的定线在10—15秒範圍內是完全許可的。在另外一种情况，这线的弯曲表示非常明显，但可指出：当解决这个問題时，我們所注意的是作用于砂层上动力荷重的第一个周期。在以后所有時間內，随着砂被压实、它的孔隙率将逐渐减小。同时它的压缩速度也将逐渐减小，在这些情况下，如同我們所研究的那样，关于建筑物本身的稳定性在最初开始过程阶段是处于最稳定的状态。

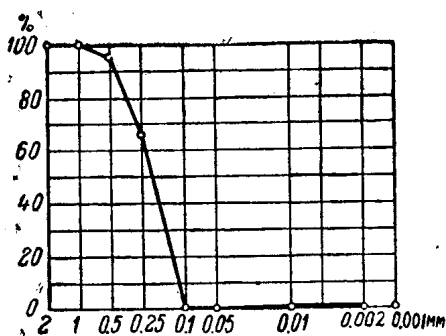


图 6 謝斯特罗列茲基砂的顆粒組成

粒 組 (公厘)	%	总 和
>100	0.2	100
1.00—0.50	4.6	99.8
0.50—0.25	29.2	95.2
0.25—0.10	65.1	66.0
0.10—0.05	0.4	0.9
0.05—0.01	—	0.5
0.01—0.002	—	0.5
0.002—0.001	0.3	0.5
>0.001	0.2	0.2

同时我們所进行的多次試驗証明：在上面所指出的情况下，砂开始压缩时，压缩速度实际上仍保持不变，这就証实了砂的孔隙率随着时间变化的关系性質約近于一直綫。图 7 就是說明这种情形，在該图上除了上述砂的孔隙率 (n_i) 和动力荷載 延續作用（重复的瞬时冲量——冲击）关系外，还給出了砂压实时随着动力水头（以 P_i 表示）及动力坡度 I 而变化的曲綫（同一坐标系）。

引用上述的結果，在解决問題精确度的范圍內，可使我們把十分显著的某一綫段上此时的动力压缩系数作为常数，亦即假定 $v_n = \text{常数}$ 。

在該情况下也和确定压缩系数 a 一样我們来估計土的压缩能力。这里指出，动力压缩系数的因次是时间的倒数：1/秒，1/分等。

在“渗透理論”中，动力压缩系数如同砂压缩时由其体积中（在單位時間內）必須排出一定体积的水（流量 q ）的因素一样具有极大的作用。

最后一种情况，对于某种砂的体积 w 来說，可使我們用下列关系式来表示从孔隙中所排出的水的流量 q ：

$$q = v_n w. \quad (9)$$

在單次課題情况下，当砂的下臥层为不透水层时（参閱图4），所有水的数量通过沿着深度保持不变的某一水平断面面积 w ，这些水量是在所研究的 Z 处水平綫以下所埋藏着的砂受到压实而排出的。

根据所采用的 $v_n = \text{常数}$ 的原理，我們可用下式来表示深度 Z 处断面所通过的流量 q_z ：

$$q_z = w v_n [H - Z]. \quad (10)$$

当 $Z = 0$ 时，即在表层处，流量为：

$$q_0 = w v_n H. \quad (11)$$

很明显，在这情况下，在單位時間內由整个砂的体积中所排出的水的数量 $w = w H$ 均应通过表层断面，它包括了动力作用区域即沿着全部砂层厚度 H 。同时，显然可見，在防水层的边界