

苏联科学院

致第四届国际土力学
及基础工程会议
论文集



地质出版社

苏 联 科 学 院

技术科学学部

土力学委员会

致第四届国际土力学
及基础工程会议
論 文 集

地 质 出 版 社

1959·北京

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
МАТЕРИАЛЫ
К IV. МЕЖДУНАРОДНОМУ
КОНГРЕССУ
ПО МЕХАНИКЕ ГРУНТОВ
И ФУНДАМЕНТОСТРОЕНИЮ
ИЗДАТЕЛЬСТВО
АКАДЕМИИ НАУК СССР
Москва 1957

本論文集包括了34位苏联学者的16篇报告。这些报告被第四届国际土力学及基础工程會議的組織委員會发表在英文版的“第四届會議論文集”的第一卷和第二卷里。

这些报告扼要地說明了最近几年以来苏联学者在土力学方面的主要成就。它們共分为以下6类：Ⅰ—土的物理、力学性的基本規律及土的性質的研究（5篇报告）；Ⅱ—野外試驗和采取土样的最新方法和技术（1篇报告）；Ⅲ—实用土力学問題—基础工程（6篇报告）；Ⅳ—道路、机場跑道和铁路支綫工程（1篇报告）；Ⅴ—建筑物和隧洞上的土压力（1篇报告）；Ⅵ—土坝、土堤的建造和露天基坑的开挖（2篇报告）。

論文集的第二部分是土力学方面的6篇“报告”。它們的摘要打算送給第四届土力学會議的組織委員會，以便将其刊載于“第四届會議論文集”的第三本爭辯卷里。

本論文集我国土力学、地基和基础方面的工程技術人員、研究人員及有关院校師生們有很大的參考价值。

本書由費宜、黃邦光同志翻譯，卡富宗同志校訂。

苏 联 科 学 院
致第四届国际土力学及基础工程会议論文集

著 者 Н. А. 崔 托 維 奇 等
譯 者 費 宜、黃 邦 光
出 版 者 地 質 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3号
北京市書刊出版業登記證出字第060号

发 行 者 新 華 書 店 科 技 发 行 所
經 售 者 各 地 新 華 書 店
印 刷 者 地 質 出 版 社 印 刷 厂

北京安定門外六鋪炕40号

印数(京) 1—3500册	1959年8月北京第1版
开本 787×1092 $\frac{1}{32}$	1959年8月第1次印刷
字数 240 000	印张 10 $\frac{16}{32}$
定价 (10) 1.40 元	

目 录

原 序 苏联科学院通讯院士 Н. А. 崔托维奇 (5)

第 一 部 分

刊载于“第四届国际土力学及
基础工程会议论文集”上的报告

第一类 土的性質及其特征

粘性土的彈性变形和結構变形.....

..... Н. Я. 捷尼索夫和 В. Ф. 列里托夫 (11)

冻土力学的基本規律..... Н. А. 崔托维奇 (22)

冻土及紧密粘土的流变过程.....

..... С. С. 万洛夫和 А. М. 斯基比茨基 (32)

粘土的持久强度和斜坡的深层蠕变.....

..... М. Н. 戈尔什捷恩和 Г. И. 捷尔-斯捷帕良 (45)

粘性土的电渗过程和开挖基坑时水位的降低...

Г. М. 洛米泽、А. В. 涅图希尔和 В. А. 尔查尼崔恩 (54)

第二类 野外試驗和采取土样的方法

土的密度和含水量的野外研究.....

В. А. 杜兰捷、Я. Л. 柯刚、В. И. 費尔郎斯基利 В. И. 罗薩利 (68)

第三类 基础工程

建筑物的最大許可不均匀沉陷.....

..... Л. Е. 波利申和 Р. А. 托卡尔 (81)

高层建筑物的实测沉陷及其与計算沉陷的比較...

..... К. Е. 叶戈罗夫、В. И. 波波夫和 И. Г. 庫茲明 (90)

水工建筑物的实际沉陷观测結果... А. А. 尼奇波罗維奇 (104)

建筑物地基中大孔性黃土类土的机械压实法...

..... Ю. М. 阿別列夫 (115)

黄土类土的砂化 Р. В. 阿斯卡郎諾夫 (125)
用振动法下沉板桩、管、桩并进行鑽孔鑽进·····

..... Д. Д. 巴尔康 (134)

深基础下砂土地基的强度·····

..... В. А. 雅罗謝科和 В. Г. 別列贊采夫 (147)

第四类 道路及机场跑道

柔性路面的强度理論 Н. Н. 伊凡諾夫、

В. Ф. 巴布科夫、А. К. 毕魯尔和 Н. А. 普查科夫 (157)

第五类 建筑物及隧洞上的土压力

关于土压力的某些問題..... В. В. 索科洛夫斯基 (170)

第六类 土坝、土堤及基坑开挖

水中抛填粘性土建造土工建筑物的方法·····

С. А. 罗查、Д. М. 塔尔塔科夫斯基、

В. К. 列米茲尼可夫和 П. Д. 罗巴索夫 (180)

淹没的砂土地基和建筑物的地震稳定性問題·····

..... Н. Н. 馬斯洛夫 (191)

考虑到蠕动的饱和土的單向压实問題····· В. А. 弗洛林 (202)

第 二 部 分

在第四届国际土力学及基础工程會議上的发言报告

探討水工建筑物稳定性的新方法..... А. М. 兴科夫 (213)

黄土类土上的灌溉建筑物的施工問題·····

..... А. Л. 魯賓什捷英 (219)

砂基上水工建筑物的稳定性及地基强度的研究

..... П. Д. 耶夫多基莫夫 (229)

关于振动下沉方法的几个发展方向及其在基础

工程中的应用 ... О. А. 薩文諾夫和 А. Я. 盧斯金 (241)

有岩石下臥层的彈性地基上基础的沉降計算·····

..... Л. К. 費杜洛娃-洛肯別尔格 (252)

論建筑物地基土的非綫性变形計算 Н. В. 拉萊亭 (258)

原 序

目前，土力学正日益广泛地在实际中获得了运用。为了交流科学成就，以及讨论土力学的重大问题，每隔4—5年，国际土力学及基础工程学会便召开国际会议。1936年在美国麻省（Массачузетс）剑桥（Кембридже）召开了第一届国际土力学会议。在这次会议的论文集中，苏联学者发表了3篇论文。1948年在荷兰鹿特丹（Роттердам）举行的第二届会议和1953年在瑞士苏黎世（Цюрих）举行的第三届会议，苏联学者都没有参加。1957年8月，在伦敦召开了第四届土力学和基础工程会议。该会的组织委员会接受了苏联学者的16篇报告，刊载于“会议论文集”中。在开会前预先刊印并分发了所有的报告。这些报告归纳为下述6类：Ⅰ．土的性质及其特征；Ⅱ．野外试验和采取土样的技术；Ⅲ．建筑物的基础；Ⅳ．道路、机场和铁路支线；Ⅴ．建筑物和隧洞上的土压力；Ⅵ．土坝、土堤和露天基坑。

在第一类中，苏联有5篇报告。这些报告叙述了为苏联学者最新的工作所创立的土的物理、力学性方面的基本规律，主要是分散性粘土和冻土方面的基本规律。

Н.Я.捷尼索夫（Денисов）和Б.Ф.列里托夫（Рельтов）的报告指出了粘土的結構力学性质具有最大的实际意义。采用超声波设备，借助于阻尼扭转振动方法，可以有效地研究这些性质。

为了探讨粘土的流变特性，研究了粘土的特久强度[М.Н.戈尔什傑恩（Гольдштейн）报告]，斜坡的深层流动[Р.И.捷尔-斯捷帕良（Тер-Степанян）的补充报告]，以及剪切时粘土的蠕变[А.М.斯基比茨基（Скибицкий）的补充报告]。

在Н.А.崔托維奇（Цытович）的报告中，叙述了根据在苏联科学

院进行的詳細試驗研究所建立的有关冻结中的土、冻土和融解土的基本力学規律：（1）冻土中的水和冰的动力平衡原理；（2）冻结中的土及冻土中水份轉移的条件；（3）冻土的强度与其組成，溫度以及構造的关系；（4）应力松弛对于冻土荷載强度的影响；（5）冻土的压实条件和冻土中发生塑流的条件；（6）冻土沉落和外压力大小的关系；以及（7）土在冻结—融化交替作用下結構粘結力的变化。这些关系是研究冰饱和冻土的流变过程得来的，它刊登在 С. С. 万洛夫 (Вялов) 的报告里。在他的报告里，也提出了关于冻土变形的物理實質的假說，并且还确定了冻土的应力、变形和時間的相互关系。

在 Р. М. 洛米泽 (Ломиз)、А. В. 涅图希尔 (Нетушил) 和 Б. А. 尔查尼崔恩 (Ржаницын) 的报告里，闡明了粘土的电滲过程及电滲排水时地下水的流速場和压力場的模型計算方法^①。該报告中并列有在开挖深基坑时应用电滲方法的实例。

第二类里有 В. А. 杜蘭捷 (Дуранте)、Я. Л. 柯剛 (Коган)、В. И. 費尔郎斯基 (Ферронский) 及 В. И. 罗薩利 (Носсаль) 等五人合写的一篇报告，题目是土的密度及含水量的野外研究。报告里叙述了用深层冻结方法、測深試驗法和应用放射性的透射方法（后者就是 В. И. 費尔郎斯基及 В. И. 罗薩利的方法）測定饱和砂土含水量和密度的新方法的結果。

第三类“基础工程”里有 6 篇报告，比其他几类中的报告多一些。其中一部份报告 [Д. Е. 波利申 (Польшин)、Р. А. 托卡尔 (Токарь)、К. Е. 叶戈罗夫 (Егоров)、П. Г. 庫茲明 (Кузьмин) 以及 А. А. 尼奇波羅維奇 (Ничипорович)] 闡明了对已建成的建筑物（民用的、工业的及高大的建筑物和土工建筑物）进行長期沉陷观测的結果，并与理論計算的結果做了比較。对于各种类型建筑物的最大許可不均匀沉陷也做了实际总结。

Ю. М. 阿別列夫 (Абелев) 及 В. В. 阿斯卡郎諾夫 (Аскалонов)

① 根据正文中的提要譯出。原文标点有錯誤——譯者。

的报告中叙述了黃土上建筑物的沉陷問題。这些黃土是借助于爆炸能，用鋼筋混凝土樁和土樁来压实的。此外，在B.B. 阿斯卡郎諾夫的报告里，叙述了化学加固黃土的單液法，以及它成功地用于工程中的实例。

B.Г. 別列贊采夫 (Березанцев) 和B.A. 雅罗新科 (Ярошенко) 的报告里援引了十分有趣的資料。这篇报告叙述了他們所研究的不同砌置深度基础下紧砂和松砂的强度及变形特性的試驗結果，以及利用已有的資料来研究深基情况下确定土的极限荷載的理論方法。

Д.Д. 巴尔康 (Баркан) 的报告里叙述了在苏联应用震动法来下沉和拔出板樁、管子，填筑砂樁，压实土壤、切土和碎土的結果及其基本理論。

第四类里有H.H. 伊凡諾夫 (Иванов)、B.Ф. 巴布科夫 (Бабков)，A.B. 毕留利 (Бирюль) 和H.A. 普查科夫 (Пузаков) 的一篇报告。报告叙述了柔性路面的强度理論。它是作者根据苏联道路研究所的丰富的試驗研究資料得出来的。

第五类里有B.B. 索科洛夫斯基 (Соколовский) 的一篇报告。报告中作者提出了关于松散介質和連結介質应力状态理論的兩個新問題的解答。这就是：(1) 稳定半弧形曲綫自由边界的繪制方法。用它就可以找到“破坏弧 (свод)”的自由边界。(2) 剛性擋土牆曲綫边界上的接触应力的确定。用它就可以确定埋在非粘性土里具有任意横断面形狀的管子上的压力。

第六类里有二篇报告：(1) С.А. 罗查 (Роза)、Д.М. 塔尔塔科夫斯基 (Тартаковский)、B.К. 列米茲尼科夫 (Ремизников) 和П.Д. 罗巴索夫 (Лобасов) 的报告，其中叙述了用抛填硬粘土的方法，建造土工建筑物的物理理論和实际应用；也談到水中抛填冻土的方法。(2) Н.Н. 馬斯洛夫 (Маслов) 的报告，他根据特殊的試驗和所提出的滲流理論，闡明了淹沒的砂土地基和建筑物的地震稳定性的問題。

最后，B.A. 弗洛林 (Флорин) 的报告叙述了作者所提出的、飽和粘土的固結理論基本問題的新解答，在解答中考虑到土骨架的蠕

动。

論文集的第二部分里有 6 篇学术报告。它們的摘要已送給第四届国际土力学會議的組織委员会，以便放在會議論文集的第三本討論卷里。

全部报告預先都經過审查；苏联科学院土力学委员会曾研討过这些报告的主要内容。

苏联科学院土力学委员会主席

苏联科学院通訊院士

苏联建筑工程科学院院士

H.A. 崔托維奇

第 一 部 分

刊載于“第四届国际土力学
及基础工程會議论文集”上的报告

第一类 土的性质及其特征

粘性土的弹性变形和结构变形

莫斯科古比雪夫建筑工程
学院工程地质教研室主任

H. Я. 捷尼索夫教授

以B. E. 魏德坦耶夫命名的全苏水利科学研究院
院士的物理化学研究试验室主任、一级研究员

В. Ф. 列里托夫

粘性土的体积变形可以分为弹性变形、结构变形和结构吸附变形三种。对于工程实践来说，结构变形具有最大的意义。在保持总稳定性的情况下，结构变形是颗粒接触点处的稳定遭到了破坏的结果。不论粘性土孔隙中有水或无水，结构变形均随时间而延缓。

黄土的湿陷就是结构变形最明显的例子。达到极限压力时黄土才显出湿陷性。该极限压力是与颗粒间的胶结强度有关的。

本报告里所描述的ВНИИТ（全苏水利科学研究院）仪器，是为应用阻尼扭转振动方法。研究粘性土结构力学性质的动力学而设计的。应用这种仪器可以研究在含水量、外荷重和其他某些因素改变时，动力剪切模数的变化。

粘性土乃是一个复杂的体系，它的强度和稳定性决定于土粒之间的胶结强度。与力学里所研究的那些固体不同，粘性土具有孔隙，其大小可以用土的结构单元—颗粒和其集合体来计量。在土的自重或外荷载的压力作用下，土粒接触处发生剪应力。由于剪应力的作用，颗粒就向孔隙方面发生移动。必须指出，土的总稳定性没有受到破坏时，也会发生这种位移。结构单元接触处极限状态的一般形式，可用下述表达式来表明：

$$\tau = C_1 + C_2 \quad (1)$$

式中 τ ——土粒接触点处的剪应力； C_1 ——土粒接触点处的凝聚力，

决定于馮-德爾-华爾斯(Ван-дер-ваальс)力; C_2 ——土粒接触点处的凝聚力, 决定于膠結作用, 以及触变硬化^①。

当接触点尚未达到极限状态的时候, 粘性土只可能有彈性变形。彈性模数和剪切模数的大小就是粘性土的定量指标。这些数值是用完全保持天然結構的土来測定的。利用地震波傳佈速度的資料, 得知粘

性土的彈性模数約为 20,000—30,000 公斤/公分²。

动力剪切模数可以作为粘性土的結構力学性質(特別是彈性)的指标。П.И. 拉查列維依(Лазаревый)及Б.В. 傑里亞舍內依(Дзягинный)首先提出了用阻尼扭轉振動法来确定剪切模数的原理[1]。在以Б.Е. 魏傑涅耶夫命名的全苏水利科学研究所里(列宁格勒), 在Б.Ф. 列里托夫领导下設計了一种确定剪切模数的仪器(图1), 并进行了如下所述的研究。

用有机玻璃制成的、直徑为 150 公厘的

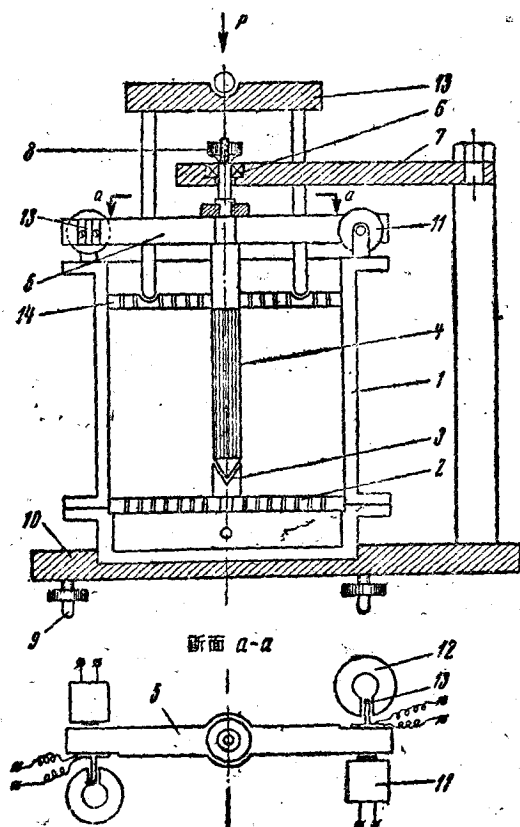


图1. 用阻尼扭轉振動法研究粘性土結構力学性質的ВНИИТ室內儀器的簡圖

①触变(振動液化)是粘性土受力作用之后强度減低的一种現象。但是隨着時間的發展, 由于阴陽离子和水份的相对移动, 并达到新的平衡状态, 于是强度恢复了。这种作用就是触变硬化——譯注。

圓筒 1 是 ВНИИГ 儀器的主要部分。圓柱筒下部法蘭盤里放置有孔板 2，止推軸承 3 被固定在有孔板的中心。當圓筒內放有試樣的時候，它是振動体系的中心支柱。

振動体系是由圓柱形的振動子軸 4 及裝在它上面的水平橫梁 5 所組成的。振動子上端用輻射狀的止推滾珠軸承 6 固定在托座 7 內，它的最上部是螺絲帽 8。容器內裝滿土以後，螺絲帽可以提起振動子（十分之几或百分之几公厘），以便消除振動子和止推軸承 3 之間的摩擦。此時，振動子被掛在懸臂上，可以進行摩擦最小的振動。借助於安裝在底腳 10 上的三個調整螺絲 9，可以保證振動子處於垂直的位置。

振動沖量依靠二個電磁鐵 11 傳給振動体系。電磁鐵對着橫梁的兩邊而安裝在容器的上法蘭上，並固定在特殊的柄上。柄可以改變它們和橫梁之間的距離。此外，在上法蘭上，裝有二個永久磁鐵 12；磁極的空隙中是小感應線圈 13。線圈固定在橫梁上，作為感應式的發送器（Датчика）。

土樣上面放一塊有孔壓板 14。壓板上安置托架 15。利用托架，經過槓桿把所需的壓力傳給土樣。保證量度不變的邊界條件首先是選擇適當的止推軸承高度。在這個高度時，下面有孔板的影響就消除了。其次，在土樣和上部有孔板之間，還要墊以油紙。為了把振動子和土樣結合得更好一些，在振動子側面的工作部分範圍內（高度為 100 公厘），裝有縱向凸邊。我們試驗中所採用的振動子的直徑為 15 和 20 公厘。

振動体系和振動子的工作部分在剛性連接的情況下，振動体系本身的頻率比進行土的試驗時所觀測到的振動頻率要大若干倍。因此，實際上振動体系本身的頻率並不影響測量的結果。

當扭轉振動体系時，在感應發送器中激起電流。電流通過電子放大器送給示波器的記錄板（шлейф），利用示波器就可以把阻尼振動過程記錄在照相底片上。借容電器放電，電磁鐵里就產生瞬間的電流沖擊。容電器從電子整流器里充電。然後借電磁鐵的繼電器把容電器和電磁鐵連接起來。在我們的試驗中，放電週期大約是 3 毫秒，這比

研究土样时振动体系的週期小一些。

从照相底片上所得到的振动记录，可以确定振动子的阻尼振动週期。根据週期 T 、振动体系的慣性力矩 I ，盛土容器的半徑 R 和振动子的半徑 r 及其工作部份的高度 h ，就可以按下述关系来确定試样的动力剪切模数 G ：

$$G = \frac{2\pi \cdot I}{hr^2 T^2} \left(1 - \frac{r}{R}\right), \quad (2)$$

此外，根据扭轉振动的开始半个週期，就可确定振动子的最大轉角 $\varphi_{\max}$ （以弧度計）。 $\varphi_{\max}$ 确定以后，也就可以算出振动子面上相应的剪应力值 $\tau_{\max} = G\varphi_{\max}$ 。

为了求得 $\varphi_{\max}$ 值，需用試驗的方法来确定仪器的某些常参数值。借这些参数，可以确定示波器上振动曲綫的縱坐标和振动子的轉角間的相互关系。

借助于剪切模数 G 和剪应力 $\tau_{\max}$ 之間的关系图，可以定出粘性土的彈性区、彈性塑性区以及流动状态区（图2）。例如，可以确定彈

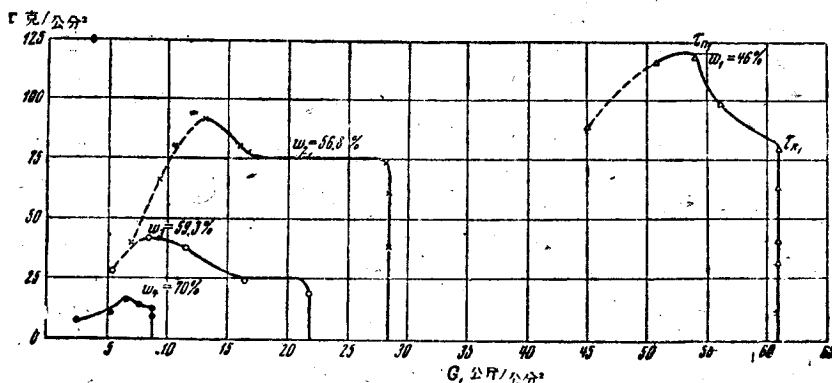


图2. 不同含水量 w 的高嶺粘土，在振动开始半个週期里振动子面上的剪切模数 G 和剪应力 $\tau_{\max}$ 的关系；直綫轉为曲綫的轉折点相当于彈性极限 τ_k ，而曲綫的轉折点相应于塑性极限 τ_n

性极限 τ_k ，它相当于直綫轉变为曲綫的轉折点；也可以确定彈性塑性状态极限 τ_n （或极限剪应力），它相当于曲綫的轉折点。上述极限，

如大家所知道的，是土的重要物理指标。为了繪制这一图綫 ($G \sim \tau$ 图)，选取了各种不同的轉角 $\varphi_{\max}$ (即振盪子的开始半个週期的轉角) 对所研究的土样进行了很多試驗。不同的轉角是借改变电磁鉄和横梁之間的距离而得到的。因而，也改变了磁鉄吸引横梁的力。

利用上述仪器，研究了各种因素对于某些粘土的剪切模数値的影响。曾經証明了：剪切模数在本質上决定于粘土的矿物成分和含水量。随着粘土含水量的增加，剪切模数近似地按着指数定律而减小。对于水云母粘土來說，当含水量从27增至40%的时候，剪切模数減少 $7/8$ 。

与水云母粘土比較，如果含水量相同，高岭粘土的剪切模数要大一些。

已經完成的一些試驗研究同样指出：土的含水量对彈性极限 τ_k 和塑性极限 τ_n 也有影响。如图2所示，高岭粘土的試驗資料說明了这种关系。从該图中很明显地可以看出，随着含水量的增加，彈性和塑性极限剧烈地减小了。

粘性土的顆粒之間和集合体之間的粘結强度是不相同的。在天然条件下，接触点上的剪应力一般要小于由凝聚力所表現出来的强度。当出現不大的附加压力时，最初仅仅只是个別点达到极限状态。随着压力的增加，这些点形成了面，它們把应力体分成若干块，其数量随着压力的增大而增加，而小块的直径 d_a 就相应地减小了。按照这种方式所进行的过程，可用机械散化 (механическая пептизация) ①来研究。由于散化的結果，下述条件將被滿足：

$$d_a = d_n, \quad (3)$$

(式中 d_a ——机械散化作用过程中被分开的集合体的大小， d_n ——孔隙直径)，当滿足 (3) 式时結構变形就发生了。这种变形和固体的变形是不相同的。

当土粒和其集合体移动的时候，阻力被克服了。这种阻力就是它

① 在地質上，“пептизация”譯为胶溶作用，是指已經沉淀下来的胶体的再次溶解，这里譯为散化看来比較恰当——地質出版社編者。

們之間的相互作用力。因此，結構變形隨着時間而延續着。不僅在飽和土中它的持續性可能是相當長，而且在含水量很小的土中也是如此。這種情況可以從圖3中看出來。該圖是按照在固結儀里所進行的試驗結果繪制的。曲線1是侏羅紀粘土膏的壓實速度。該粘土的流限為65，塑限為30；曲線2是粘土粉末的壓實速度，它的含水量為2—3%。

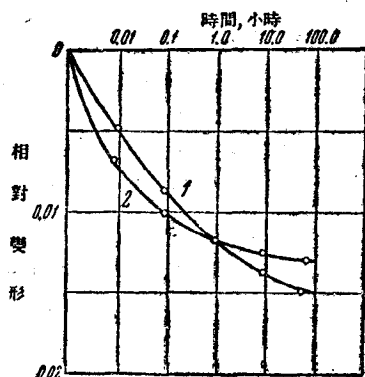


圖3. 侏羅紀粘土膏(1)和粘土粉末(2)的壓實速度的曲線

結構變形的停止是由于土粒的集中使它們之間的凝聚力增加的结果，或者是因为条件(3)被破坏了。在第一种情况下，粘性土將发生硬化。無論是参考文献[2]所指出的压力增加而土的强度不見增高，或是参考文献[3]所指出的膠結破坏时强度的降低，二者都可用条件(3)被破坏致使結構變形停止这一结果来解釋。

压力改变时所发生的粘結水膜厚度的改变，就是結構吸附變形的原因。結構吸附變形发生的可能性和特性(膨脹和压實)，可以用接触点上的压力和吸附力之間的关系来确定。

我們采用总變形模数作为彈性變形、結構變形和結構吸附變形的定量指标[4]。对于不緊密的和不堅实的土來說，模数的大小不超过数十公斤/公分²(潮湿黃土)；对于密实土來說，模数的大小可达数千公斤/公分²(泥岩)。

由于上面所叙述的情况，同时满足下述三个条件时，就可能发生結構變形。

第一，應該保証整个土体的稳定。如所周知的，它必須滿足下述条件：

$$\sigma_1 - \sigma_3 < 2C, \quad (4)$$

式中 σ_1 和 σ_3 ——最大和最小主应力； C ——土的凝聚力。

第二，應該遵守条件：

$$\tau > C_1 + C_2. \quad (5)$$

第三，还应该保証遵守条件（3）。

如果条件（4）和（5）滿足了，而条件（3）沒有滿足，那么，只可能有彈性变形。

利用 ВНИИГ 仪器測定剪切模数时可以查明当外压力增加或減小时，粘性土的結構力学性質的变化。图 4 和图 5 所列出的資料証明，

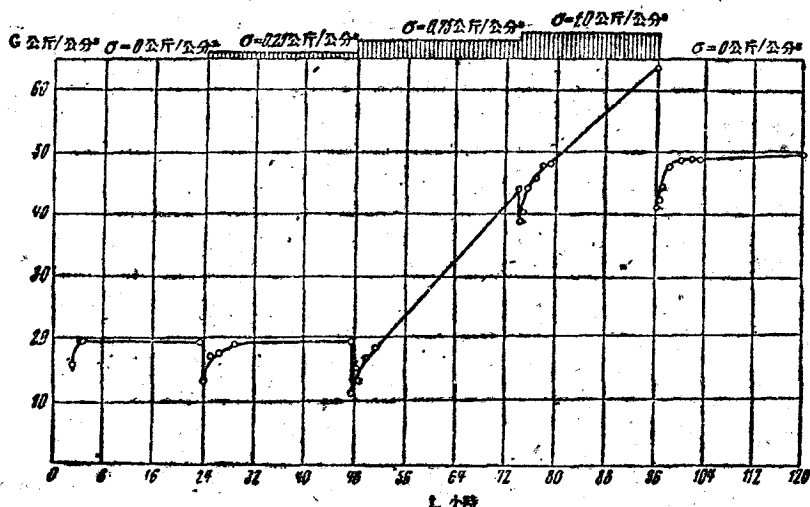


图4. 逐級加荷时，寒武紀粘土膏的剪切模数G 随時間的变化

当荷載出現时，粘土膏的剪切模数就減低；而后，又随時間而增加。剪切模数的降低，是触变特性引起的，它并使土形成凝集結構〔5〕。剪切模数的随時間而增加，既可用触变过程的作用来解釋，也可以用凝聚力C 的增加来解釋。当卸荷的时候，剪切模数显著地减小是十分值得注意的現象（图 4 和图 5）。这一点就表现出粘性土和粘土膏的力学不均匀性。由于它的不均匀性，在卸荷时，邻近的土粒受到不均匀的膨脹。这就是在接触点上发生破坏应力的原因。