



土的实验室 研究資料

地质出版社

地質部全苏水文地質工程地質科学研究所

土的實驗室研究資料

地質出版社

1957 北京

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ (ВСЕГИНГЕО)
МИНИСТЕРСТВА ГЕОЛОГИИ

МАТЕРИАЛЫ ПО ЛАБОРАТОРНОМУ
ИССЛЕДОВАНИЮ ГРУНТОВ

Госгеолиздат

Москва 1952.

本書是根据苏联地質学者在土的實驗室研究的會議上的报告和發言編訂的。

很多学者在这次會議上一致指出設備和試驗方法的标准化对土的實驗室研究的重大意义, 及理論原則对實驗室設備和試驗方法实现标准化的指導作用。本書从理論上論証了土的各种性質, 並且具体地介紹了土的實驗室試驗的各种方法。因此它是土的實驗室研究工作者的良好参考書。

本書由房儉生、邵丙寅合譯, 林卓斌校訂, 馮大彬復校。

土的實驗室研究資料

著者 地質部全苏水文地質
工程地質科學研究所

譯者 房儉生 邵丙寅

出版者 地質出版社

北京宣武門外永光寺西街3号

北京市書刊出版業營業許可証出字第050号

發行者 新華書店

印刷者 地質印刷厂

北京廣安門內教子胡同甲32号

編輯: 孙际先, 技術編輯: 石志 校对: 洪梅玲

印数(京)1—1,260册

1957年9月北京第1版

开本31"×43¹/₂"

1957年9月第1次印刷

字数90,000

印張4¹⁴/₂₅

定价(10)0.60元

目 錄

原編者的話	5
原序	6
薩瓦連斯基 土的實驗室研究工作的現狀及會議的任務（報告綱要）	9
波克羅夫斯基 地質技術方面造型法的分類（報告綱要）	14
柯特洛夫 土的物理機械分析在方法上和技術上的差別，對實驗室測定結果的影響（報告）	19
馬斯洛夫 水力工程建築對土的實驗室研究的要求（報告）	42
鮑戈斯洛夫斯基 工業及民用建築工程對土的實驗室研究的要求（報告）	47
報告發言	50
阿別列夫	50
克里沃辛	50
李特維諾夫	51
波立申	52
波波夫	53
羅 查	54
布雷切夫 土壓縮性的測定方法（報告）	56
報告發言	60
羅季諾夫	60
羅 查	61
齊柳里克	62
崔托維奇	64
波克羅夫斯基 土的摩擦力和凝聚力的實驗室測定（報告）	66
尼契波羅維奇 土的摩擦力與凝聚力（報告提綱）	73

柯列斯尼科夫 土在塑性状态下的剪应力 (报告)	75
报告发言	77
鮑特金	77
达維琴科夫	78
柯洛明斯基	79
隆 金	80
罗 查	81
謝良平	81
普里克朗斯基 研究土时所使用的名詞及符号的統一 (报告 提綱)	83
卡明斯基 关于确定研究土滲透性實驗室測定方法的問題 (报告提綱)	84
报告发言	85
李亞明	85
格尔奇科夫 結構擾动程度最小的土样的采取 (报告)	88
馬克耶夫 粘性土、致密土及半坚硬岩石类土之采样法 (报告)	92
罗季諾夫 結構不擾动稍具粘性的土及暂时粘性土之原狀土 样, 从露天勘探点及露头点的采取 (报告 的結論)	95
奥霍亭 用于建筑工程的土的顆粒分析法 (报告)	96
阿尔漢格爾斯基 土的顆粒分析法及其分析前的制备法 (报告 中的主要結論)	100
會議的決議	101
报告目錄表	113

原編者的話

在苏联以全面研究自然条件为依据的正在進行的大規模建筑工程，不能不引起实验室研究土的方法的广泛發展和应用。

在很多情况下，由于沒有統一的方法和設備，以及对实验室試驗所提出的某些重要原則探討的不夠，有必要召开有关土的实验室研究的各种問題的全苏會議。这次會議是1940年在莫斯科召开的。然而，由于許多情况（主要是受战争影响），會議上的大部分資料未能及时發表。但是其中大部分資料，今天無論是在理論上或實踐上仍未失其巨大意义。由于我國進行共產主义偉大建設工程，以及与此有关的土的实验室研究工作的蓬勃發展，这些資料的意义就顯得尤其重大。从上述各点出發，全苏水文地質和工程地質科学研究所認為有必要把會議上有关土的实验室研究的一部資料印成文集發表。在文集中主要是登載一些从前沒有發表过的，而今天仍未失其意义的报告及發言。

原 告 序

由苏联科学院及全苏水文地质和工程地质科学研究所(ВСЕГИН-ГЕО)發起召开的关于土的實驗室研究的會議于1940年11月30日到12月4日在莫斯科举行。

會議是在組織委員會的筹备下召开的，組織委員會的成員有：主席薩瓦連斯基(Ф. П. Саваренский)、副主席鮑戈莫洛夫(Г. В. Богомолов)、鮑戈斯洛夫斯基(Н. Н. Богословский)、秘書罗季諾夫(Н. В. Родионов)、委員阿別列夫、(Ю. М. Абелев)、瓦西里耶夫(А. М. Васильев)、柯列斯尼科夫(С. Л. Колесников)、柯洛明斯基(Н. В. Коломенский)、波波夫(И. В. Попов)、普里克郎斯基(В. А. Приклонский)、西多罗夫(А. А. Сидоров)、法因齐麥尔(В. М. Файнциммер)。

會議是在主席团的領導下進行的，主席团的成員有：主席薩瓦連斯基、鮑戈莫洛夫、鮑戈斯洛夫斯基、格尔謝万諾夫(Н. М. Герсеванов)、格拉福秋(Г. О. Графтио)、查依采夫(Г. Н. Зайцев)、柯特洛夫(Ф. В. Котлов)、馬斯洛夫(Н. Н. Маслов)、奧霍亭(В. В. Охотин)、波克罗夫斯基(Г. И. Покровский)、波立申(Д. Е. Польшин)、波波夫、西多罗夫、苏姆金(М. И. Сумгин)、費拉托夫(М. М. Филатов)。

資料是秘書处整理的，其成員有：阿列克賽耶娃(Н. Н. Алексеева)、杜漢尼娜(В. И. Дуҳанина)、柯洛門斯基、罗季諾夫、法因齐麥尔、謝良平(Р. С. Шеляпин)。

苏联各种科学机关及各种生產組織有307位代表参加了會議工作。

在會議上听取了并且討論了下列报告：

1. 土的實驗室研究工作的現狀及會議的任務（報告人——薩瓦連斯基）。

2. 土體內蒸汽和氣體的形成（報告人——格爾謝萬諾夫）。

3. 地質技術方面造型法的分類（報告人——波克羅夫斯基）。

4. 實驗室試驗方法的物理化學基礎（報告人——波波夫）。

5. 土的分析在方法上和技術上的差異對實驗室測定結果的影響（報告人——柯特洛夫）。

6. 水力工程建築對土的實驗室研究的要求（報告人——馬斯洛夫）。

7. 工業與民用建築工程對土的實驗室研究的要求（報告人——鮑戈斯洛夫斯基）。

8. 粘土類土的壓縮試驗（報告人——馬斯洛夫）。

9. 土的壓縮性的測定方法（報告人——布雷切夫）。

10. 土的摩擦力和凝聚力的實驗室測定（報告人——波克羅夫斯基）。

11. 土的摩擦力和凝聚力的實驗室測定 [報告人——尼契波羅維奇 (А. А. Ничипорович)]。

12. 土在可塑狀態下的剪應力（報告人——柯列斯尼科夫）。

13. 測定土的抗剪強度的 ВСЕГИНГЕО 型單切面儀器 [報告人——特羅依茨卡婭 (М. Н. Троицкая)]。

14. 研究土時所使用的名詞及符號的統一（報告人——普里克郎斯基）。

15. 岩石分類的工程地質原則（報告人——普里克郎斯基）。

16. 實驗室測定土滲透性的方法問題（報告人——卡明斯基）。

17. 結構擾動程度最小之土樣的採取（報告人——格爾齊科夫）。

18. 粘性致密土及半堅硬岩石類土的取樣法 [報告人——馬克耶夫 (З. А. Макеев)]。

19. 結構不擾動稍具粘性的土及暫時粘性土之原狀土樣、從露天勘探點及露頭點的採取（報告人——羅季諾夫）。

20. 土的物理性質（報告人——瓦西里耶夫）。

21. 用于建筑工程的土的顆粒分析法 (报告人——奥霍亭)。

22. 用于工程中的土的顆粒分析方法和技術 (报告人——瓦西里耶夫)。

23. 土的顆粒分析法及其分析前的制圖法 (报告人——阿尔漢格

尔斯基)。

上述各种报告討論之后，根据这些报告通过了相应的決議。

受全苏水文地質和工程地質科学研究所的委託，在罗吉諾夫及叶麥利揚諾娃 (Е. П. Емельянова) 的参与下，由波波夫教授編輯出本論文集。

土的實驗室研究工作的現狀及會議的任務

(報告綱要)

薩瓦連斯基 (Ф. П. Саваренский)

1. 近年來由于需要更詳細地研究土的物理性質和力學性質，以及由于新課目——土力學的發展，在評價岩石及土的工程地質性質方面，實驗室研究工作在當前就具有更重大的意義。

2. 蘇聯的大規模建築工程以及各種建築物設計的科學技術根據之必要性，要求成立許多研究土的專門實驗室。

3. 與對土評價有關的大多數設計工程師、建築工程師和地質工程師都認為，土的實驗室的研究成果，遠不能令人滿意，因此，實驗室研究的成果經常不能作為計算資料或用作土的定性評價。

4. 分析成果不能令人滿意的主要原因如下：

- (1) 作為測定土的性質根據的某些理論原則探討的程度不夠；
- (2) 個別試驗方法及設備不夠完善；
- (3) 試驗方法的多樣性使同一土的同一指標的測定成果產生差異，因而不可能進行比較；
- (4) 在很多情況下缺少明確的指示：即在實驗室的試驗結果中需要提供那些指標，在什麼情況下提供這些指標；往往對不同工作項目的試驗範圍和試驗性質的要求不固定。

5. 由于以上情況，有關部門就希望把這些問題提到廣大學者的面前加以討論。

6. 本屆會議是在蘇聯科學院和全蘇水文地質及工程地質科學研究所的倡議下召開的。土的實驗室研究方面許多權威人士也參加了這次會議工作。

這次會議的主要任務如下：

- (1) 確定對各種不同類型建築工程設計根據所必需的實驗室研

究工作的範圍和性質；

(2) 土的性質測定的批判分析及其測定方法的統一規定；

(3) 拟定土的實驗室試驗及土的性質測定所用的儀器構造設計根據的原則；

(4) 統一土質學及土的實驗室實際研究工作中的名詞及名稱；

(5) 確定採取不擾動結構並且有天然濕度的岩樣和土樣的方法，確定取樣儀器構造；

(6) 交流經驗，並拟定提高土及岩石實驗室研究工作質量的方法。

7. 土的物理技術性質的實驗室研究與測定，或是按照地質方面的觀點（查明研究時所看到的各種岩石類型的共同點及不同點），或是按照技術方面的觀點（確定土的技術指標或計算資料）而進行。預先規定出解決地質問題所必需的實驗室研究的範圍和性質是相當困難的。在這種情況下，充分地瞭解地質構造及岩石成因類型，在斷定各種岩石的共同點及不同點方面，毫無疑問地比根據偶然選取的土樣所作的多次實驗室測定及試驗，是更可靠的準則。

關於用於工程目的的實驗室研究的範圍和性質，以及設計時這些研究成果的使用問題，甚至很多著名專家之間的意見也不一致。因此，確定設計所必需的研究性質及評價這些研究成果能否應用，我們認為是合理的、必要的。

由此可見，在每個具體情況下，實驗室的研究範圍和性質應由研究人員會同設計機關的代表共同決定。

8. 我們認為當前的主要理論問題如下：

(1) 微細分散性土中水的性質及其與土中礦物組成的關係；

(2) 土的摩擦力及凝聚力的性質；

(3) 土在天然埋藏條件下的壓縮及膨脹作用；

(4) 土中礦物的物理化學作用，特別是其中膠體部分的物理化學作用等等。

所有這些問題都要在本屆會議上討論。

9. 很多研究工作沒有固定的統一方法，這是實驗室工作中的最大

缺点。在我們實驗室中進行土的物理技術性質的測定，往往使用不一致的，有时是根本不同的方法，或者虽然使用同一方法，但制备法又不相同。这就使各个實驗室对同一土得出不同的測定結果及物理技術性質指标。

實驗室研究結果之誤差所以很大，其主要原因如下：

- (1) 試驗方法不同；
- (2) 測定前土的制备法不同；
- (3) 方法不完善；
- (4) 仪器不同；
- (5) 岩石或土不均匀。

研究土的同一种性質时所以使用不同的方法，在大多数情况下是由于習慣經驗，希望使測定达到高度的精确性或追求測定方法簡便，速度快和成本低廉的緣故。方法过于簡化，有时 会大大貶低 測定的价值。我們認為，試驗方法既要保證測定成果的精确度高，又要保證測定手續簡便，使用不同方法進行試驗时，还要考慮到土的天然特点。例如，土的某种性質或特征測定結果的差別，往往是由于土天然是極不均匀性的緣故。在这种情况下，只有正确地确定土的生成及再結合条件的地質的岩性，才是正确地判断土的特点和性質的准则。

在測定土的物理技術性質和力学性質上，仪器起着重大的作用，我國很多專家和實驗室正在从事新仪器的設計及現有仪器的改進工作。在这方面关于新旧仪器的設計和改進的原則，还未作出統一的、共同的決定。在某些情況下，我們可以推荐構造已經确定的仪器，而在另外一些情況下，对于仪器类型 及其操作法僅能 提出一些原則 性的指示，因为这些仪器还須要進行設計和試驗。

10. 采取試驗用土样及其保存問題与實驗室試驗的实际工作有关。目前大多数土的測定（作为分类根据的測定除外），用保持天然結構及天然湿度的土样進行。我們認為这种原則是正确的。从这一观点出發，我們認為用天然結構的土样進行下列試驗和測定是必要的：

- (1) 天然湿度；
- (2) 具有天然湿度的土的容重；
- (3) 孔隙度；
- (4) 压縮性；
- (5) 膨脹性；
- (6) 剪切；
- (7) 浸透性；

(8) 透水性。

如果須求出載荷土体的指标，例如，对作为填方材料的土進行試驗时，就沒有必要保持土的天然結構。

应当指出，使用結構不擾动的土样進行試驗有一定的缺点，这是必須估計到的。

例如，測定壓縮性时，在試驗开始时土和加压板表面及环壁經常不能完全接触。

土样中如果有結核及坚硬包含物，就歪曲剪切試驗，壓縮試驗及其他試驗的結果。

作壓縮試驗时，最重要的是測定土被水飽和的程度并确定土被認為二相系統时的飽和界限（在大多数情况下，飽和度小于100%）。

由此可見，結構不擾动的并具有天然湿度的土的取样法（特别是从鑽孔中采取）及整塊土样的保存法，具有極其重大的意义。

11. 除了有关土的性質的現有直接測定結果需要進行研究外，同样必須分析并評價用間接方法求出的某些指标。应当特別注意在天然埋藏条件下的松散岩石（砂）孔隙度的測定。我們認為，測定砂类岩石密度的現有方法是不能令人滿意的，須要更換或大大加以改進。

12. 礦物成分及化学成分的測定，在很多情况下对岩石及土的工程地質評價是必需的。有时对下列岩石進行試驗时尤为必要：含有可溶鹽的岩石；由于結晶水的吸收作用而改变体積的岩石；岩石中的黃鉄礦氧化时析出硫酸离子的岩石等等。因此，必須通过專門試驗、收集已有資料以及在我們的科学刊物上發表的东西，对土的岩性及化学成分進行更广泛的研究。

应当作出專門指示：在什么情况下应当采用甚么样的岩性分析及化学分析，而对个别研究項目必須制定并采用新的、更完善的完成它們的方法（例如，作水的提取物是借用土壤学家的方法，它完全不适于工程地質勘測的目的）。

13. 最近所提出的某些見解及所引証的有力証据表明，很多土的物理性質取决于土的物理-化学特性，尤其是其中膠体部分的特性。

也有人指出，某些指标与吸收容量及被吸收的陽离子的特性有直接关系。

另一方面，吸收容量以及土的某些性質取决于其中膠体部分的礦物成分。既然查明了这种关系，那末当对土進行工程地質評价及建筑工程評价时，必須更徹底更具体地闡明物理—化学試驗的作用和性質。同样也应当說明更徹底地研究土中飽和度不同的水的特性的必要性，因为水的这些性質决定土在試驗时的性狀。

所有这些問題的解决，毫無疑問会使我們更深刻、更正确地理解土的性質、土的各种現象及作用，从而大大地向前推進我國的土質科学。

14. 由于在土的性質的研究和試驗方法方面進行了很多工作，因而創造了大量的、多种多样的名詞，符号及專門術語。其中某些名詞、符号及專門術語可能而且必須加以統一（例如，顆粒分析时粒級之划分）。

关于土根据其工程地質特性及工程建筑特性進行分类的問題，需要進一步探討。

15. 由于現代試驗方法的出現，在全苏标准中所規定的某些土的指标（例如，砂的密度及土的可塑性的測定），在一定程度上是陈旧的，还需要改進。

16. 由于考慮到各种类型土在研究方面問題很多也很复雜，所以，提到本屆會議上討論的僅有松散砂类土及粘土类土的某些研究方法問題。

因此，这次會議的任务，僅对上述土在試驗的組織及方法方面探討并确定某些主要的、指導性的原則。而大部分現實意义不大或研究不夠徹底的問題，則留待我們科学研究机关中進一步加以研究。

地質技術方面的造型法分類

(報告綱要)

波克羅夫斯基 (Г. И. Покровский)

我們認為造型就是實驗室的各种試驗，進行這些試驗時，模型要在基本的特点上保持相似。當然，我們考慮到模型在實驗室條件下達到完全相似的地步是不可能的，因為要做到這一點，水的薄膜、分子及電子等也必須進行造型。

由此可見，在實驗室使模型達到相似，只不過假設在基本的特点上達到相似而已。其實也正是因为這一點，使造型法在應用方面受到很大限制。然而在最近，某些造型法及比拟法已獲得了一定的推廣。這些方法應當加以簡要的分析 and 分類。

大家知道，任何一種造型都須要有初步的相似理論。然而，目前還沒有能概括土中一切現象的理論。其中僅對土中的個別過程進行了研究，如可塑現象及滲透作用等。在這種情況下，創立土的相似理論，一般來說現在還有困難。

在這方面，我國研究者已經邁進了第一步。1940年納謝德金^① (Наседкин) 的著作問世，他從所有土都必然符合熱力學之第一與第二定律的系統這一假定出發，在這部著作中得出結論說，用于所有系統的符合上述定律的一般相似準則，是能夠確定的。

這準則如下：

$$N_a = \frac{\frac{dF}{dt}}{\frac{d(sT)}{dt}} = \text{idem},$$

^①納謝德金相似的熱力學理論。博士學位論文，礦山學院，1940年。

式中 N_a —— t 時間內派生的自由能 F ，亦即在原系統中自由能按時間变化的速度与 t 時間內結合能 ST 变化速度的比。

假使体積相似的模型与建築物之間的 N_a 值相等，那末模型和原系統將是相似的。

根据这个相似的一般准則，可以導出人所共知的应用在航空动力学及力学等方面的所有相似准則。

土根据这一准則的造型法是很复雜的，因为在实践方面，土的相似条件实际上是不能取得的。

但若假定被試驗土的彈性很低，也就是說它所具有的自由能 F 極其微小，同时土的加荷过程緩慢到这种程度，以致于它所獲得的每份能，都來得及在獲得新能之前消失，那末就可以認為，土中的自由能量在每一瞬間是很小的。在这种情况下，自由能量的全部变化与結合能的变化相比較，是極其微小的。就是說，納謝德金准則式中分子的值將近于零，因此整个准則式將趋近于零。

这样，假如 F 很小，准則 N_a 在所有情況下都能实现。在这种情况下，將發生所謂自动造型。要在这些假設条件下獲得相似，須充分地遵守原始的和边界的条件。

这样理解在土中所發生的各种过程，就能在造型方面达到一定的成就，正如我們已指出已有的几种造型法那样（見下表）。

下表中列举以造型法或比拟法为依据的研究土的現象的几种主要方法加以比較。

在相应縱行內的加号表示已經执行的相应条件，而减号表示沒有执行的。零是表示根据課題的性質在这种情況下的相应条件沒有执行，而字母 $\frac{1}{2}$ 表示相应条件执行一部分。字母 A 表示現象本身并未完全复制，而僅表示这現象在一定程度上的相似。字母 M 表示这种造型法的理論根据。应当指出，有些方法这样划分是假定的。表內某些部分用橫綫联結，是表示这些条件的相互关系。

表內所列举的各种方法是众所週知的，因此沒必要各个地加以描述，僅談談其中的几个。

造型法和比拟法的分类

方法名称	模型的相似			材料的同一性	过程的复制			力的相似		最主要的应用范围
	單向課題	双向課題	三向課題		直線變形	塑性變形	滲透性	外部的	體積的	
壓縮試驗(M)	+	—	—	+	+	0	+	+	—	計算基礎的下沉量
在實驗室槽內的試驗	+	+	+	+	+	+	+	+	—	研究松散土的滲透性和坡斜度
用野外載荷板的試驗	—	—	+	+	+	+	+	+	—	計算天然土的變形模量
改變模型材料的實驗室試驗(M)	0	+	+	—	+	+	—	+	+	研究礦山巷道
离心造型法(M)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	坡度試驗,研究土的压力 研究动力对土的作用
光学偏光法	0	+	+	—	+	—	—	+	+	研究应力分配
用于滲透作用的电似流体动力学比拟法	0	+	+	A	—	—	A	+	—	研究水压及流綫的分配
用于应力場的电似流体动力学比拟法	0	+	+	A	+	—	—	+	—	研究应力分配
流体动力学比拟法	+	+	+	A	A	—	A	+	+	用比拟法解微分方程式
細縫槽 (Щелевой лоток)	—	+	—	A	—	—	+	+	+	研究滲透性

壓縮試驗是最簡單的一种造型法。它僅能复制單向課題。

按照庫茲聶佐夫工程师的方法進行實驗室造型时,模型材料的变化,应使模型中很小的体積力也象实物內(натура)很大的体積力一样作用到材料上。因此,必須保証使模型的变型模量及其彈性界限小于实物数值的倍数,与模型的綫尺寸小于实物的倍数一样。

应当指出,解决一系列課題时,把几种不同的方法結合起來用是相当方便的。譬如,研究应力分配时,可以利用測定差数的光学方法及測定模型的不同部位內主要应力总和的电比拟法(электрогидродинамический метод)。

从表上很明顯地看出,离心造型法是極完善的方法。实践証明了这一点。