

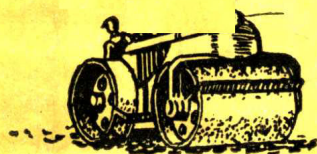
87-3514
QLJ

М.Я. 切列金 著

法實壓基路

沈 友 銘 譯

周 光 龍 校



人民交通出版社

路 基 壓 實 法

M. Я. 切列金著

沈 友 銘譯

人民交通出版社

目 錄

緒 言	1
第一章 路基填土壓實的基本理論	2
§ 1. 人工壓實的意義	2
§ 2. 填土壓實過程	3
§ 3. 含水量對壓實過程的影響	5
§ 4. 級配對土壤壓實性的影響	8
§ 5. 壓實工作量對於最佳含水量的影響	10
§ 6. 用道路科學研究所壓實筒標準壓實法確定土壤 最佳密度及最佳含水量	12
§ 7. 確定填土需要密度的方法	15
第二章 路基壓實	30
§ 8. 根據土壤壓實度及規定要求對土方工程的評價	30
§ 9. 用運輸工具壓實路堤	32
§ 10. 按照路堤壓實度選擇壓路機和工作組織	35
§ 11. 按照含水量壓實土壤的方法	45
§ 12. 路堤與人工建築物毗連地點的壓實	48
§ 13. 路肩和路堤邊坡的壓實	49
§ 14. 保證壓實的均勻性	49
§ 15. 傾填土層厚度和壓路機輻壓次數	50

§ 16. 非人工壓實之路堤的沉落補充	56
§ 17. 按填土與借土坑對比的壓實係數	57
§ 18. 砂質路堤的灌水緊實法	64
§ 19. 在公路使用過程中對路堤的觀測	67
第三章 土壤密度和含水量的野外檢查法	68
§ 20. 在檢查路堤壓實度時土壤單位體積重量（密度） 的求法	68
§ 21. 土壤含水量和密度的快速確定法	77
§ 22. 在借土坑對土壤的檢查和試驗室的試驗	83
結論	87
附錄 1 土壤試驗記錄表	88
附錄 2 檢查壓實度必備的基本用具清單和檢查站定員表 (90~91)	
附錄 3 路基修築和壓實的工地記錄簿格式	91
附錄 4 Н. П. 柯瓦列夫測定土壤密度與含水量儀器的 原理與各標尺刻度的方法	93

緒 言

在道路建築中，採用快速的流水作業法，修築具有新式高級路面的公路，需要擯棄依靠填土自然沉實的舊方法，而代之以人工壓實填土的新技術。

用依靠填土自然沉實的舊方法，勢必延遲通車期限，且不能保證道路具有工程建築物應有的堅實性。

用新的人工壓實法修築路堤，可以保證在路堤築成以後，隨即加鋪路面，不致有路面因路基沉落而破壞或損傷的顧慮。從舊築路法轉到快速流水作業法，需要新的壓實技術。

因此，關於人工壓實道路填土的問題，具有非常重要的意義。

本書說明壓實填土的基本理論，敘述在各種條件下，研究土壤壓實的成果，並給出關於這類問題的實際指示，使能在壓實工作中，耗費最小力量而獲得應有密度，並能控制含水量和密度，以保證按照提出的要求造成應有質量的路堤。

在土壤壓實方面已獲得的成就，使現代土方工程中的複雜機械化的路堤修築法，能够開闢進一步發展的道路，並使道路快速建築成為一般的方法。

本書供道路建築及設計機關工程人員之用。但所述的材料，於按照鐵路建築和木工建築的特點加以修正之後，也可以用於這兩種工程。

書中綜合了作者協同斯大林獎金兩次獲得者 H. H. 伊萬諾夫在蘇聯公路總局道路科學研究所進行多年的在路堤人工壓實方面的研究試驗。

在編書時曾經同樣地參考了莫斯科運河建築及其他生產和研究機關的材料，以及個別蘇聯科學研究者在人工壓實填土方面的工作。關於這些將在書中適當地點作必要的引證。

A. K. 畢儒教授在評閱本書初稿時，曾提供寶貴意見，本書校閱人 A. B. 格爾布提講師和 A. Я. 波爾科夫講師曾審查手稿並參加編輯，作者對他們表示深切的感謝。

作者

第一章 路基填土壓實的基本理論

§ 1. 人工壓實的意義

直到最近，在修築具有石質路面的公路時，還未曾使用人工壓實法。由於這種原因，填土路基不能獲得應有的緊實，發生長年繼續的沉落。

爲了避免路面因填土路基嚴重的和多年的沉落而發生損壞和破裂，必須在土方工程完成以後及路面開始鋪築以前的一段時間內，停止工作。因此，在第一年完成路基，第二年鋪墊石質基礎，祇有到第三年才能着手修建高級路面。

這樣修築汽車公路，祇有在開始修築三年以後才能分段應用。

這種受填土自然沉落和基礎逐漸壓實所制約的築路方法，使得道路的使用時間延緩，且不能保證道路具備工程建築物應有的堅固性。這種道路建築方式的落後性和不利的情況現在是十分明顯了。擴充舊築路法，改用快速建築法，使路面可以直接鋪在剛完工的路基上，藉以縮短時間，是完全必要的。

現代人工壓實法築成的汽車公路，路基完成後可以達到幾乎完全停止沉落的情況，消滅了在修築路基與鋪建路面之間的工作脫節。

因此，人工壓實的主要問題是要在路堤建築過程中獲得這樣的緊實度，使在土方工程完成以後，能够隨即進行鋪砌路面。

此外，必須指出在人工壓實的土壤中具有以下各種特性：

1. 人工壓實足以提高土壤的形變模量，而保證能稍許減小路面各層的厚度，且不降低其堅固性。

2. 人工壓實足以提高土壤的抗剪力，這樣保證提高路堤邊坡的穩定性並減少土壤滑動或滑動的可能性。

3. 人工壓實足以減低土壤的滲透性，因而提高在水中的穩定性。毛細管吸引高度亦隨緊密度的增加而減小。

所以，人工壓實法除了消滅填土沉落的基本作用以外，還能保證提高填土的質量。

要是以前採用的築路技術，沒有可能使填土不發生沉落，則現在，由於蘇聯土壤科學的發展和蘇聯築路技術的成就，完全保證了這種可能性。在堅實基礎上的新填土，如果發生沉落，在現在祇能證實係由於土方工程的質量不佳。只有在具有大量壓縮或向兩旁攤開性質的淤泥層（由有機物分化而成的土壤或砂質軟泥）上的填土，在個別情況下，雖經仔細壓實仍發生沉落。

本書只討論在堅實礦質基礎上建築路基的問題。

為了解決人工壓實路基問題，首先須決定下列各點：

- 1) 填土路基內土壤的需要密度；
- 2) 最有效的壓實方法；
- 3) 傾填土層的必需厚度；
- 4) 為獲得規定密度所必需的壓路機輾壓次數；
- 5) 壓路機的生產率及其應用範圍。

同時，為了保證壓實質量，必須製定工地檢查規程。

這些都是關於人工壓實問題的主要論題。這些論題的解決，具有實際意義，首先，需要研究土壤的壓實性並確定在壓實過程中發生的基本因素。

值得注意的，在最近二十年中經科學工作者的努力，基於土壤機械方面的新成就，人工壓實的實際問題已向前推進了一大步。但不能說，在這方面的工作已經全部做完。無疑地，在最近的年代中人工壓實問題又已得到進一步的重大發展，採用現代建築填土的方法，可以收到更大的成效。

§ 2. 填土壓實過程

填土壓實可以用圖解表示出，土壤如何在瞬時荷重或震動的作用下，其礦粒位置重新分配，較小顆粒被擠入較大顆粒之間的孔隙中，因而各顆粒間的接觸部分增加。

全部孔隙充滿水份的土壤，只有在其中水份擠出時才可能壓實。既然粘性土壤的滲透性很小，甚至在實驗室的情況下，小型飽和粘土試件的壓實過程也要延長到幾晝夜。

壓實時填土通常包含三種體態。實際上填土壓實的造成只靠排出孔隙間的空氣，而不是水。水的排出在作長時間的作用於荷重的土壤壓縮試驗時發生，此時土壤處於兩體狀態。

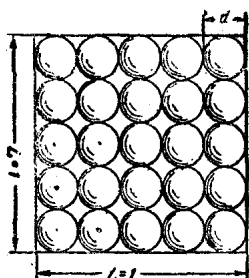


圖1 等徑質粒排列圖
其間有6接觸點

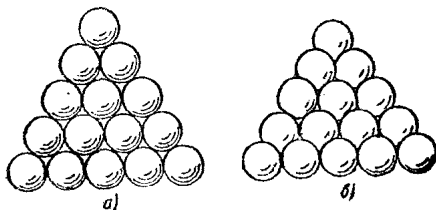


圖2 等徑質粒排列圖
其間有8和12接觸點（等徑質粒最密的排列）

一定含水量之填土的壓實過程，可能一直進行到其孔隙中的空氣幾乎全部排出的時候為止。所以在這種含水量時最大壓實之土壤的狀態，接近於飽和（據H. M. 格希萬諾夫說）。因而土壤飽和狀態可以作為用壓實工具壓實填土之實際限度的標準。

砂石在壓實過程中，土壤顆粒成份的均勻程度起着更大的作用。由等徑質粒所組成的土壤的密度，視其顆粒的相互位置及其間接觸點的數目而定。可以算出，等徑球形質粒的填土在排列最稀時，其孔隙度為48%（圖1），而在排列最密時為26%（圖2a及b）。土壤質粒絕非等徑和球形，但是示意圖所表示的是由較密排列而達到可能壓實度的疎鬆等粒的砂。

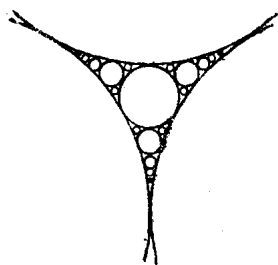


圖3 不等徑質粒排列圖

天然砂大半包含各種大小的顆粒。小粒填塞在大粒間的孔隙中而增加其密

度，所以同一種大小顆粒的砂照例具有最小的密度。顆粒大小不等的砂比較顆粒大小相等的砂具有較大的密度（圖 3）。

§ 3. 含水量對壓實過程的影響

含水量是對填土壓實過程發生影響的重要因素之一。

爲了解含水量對壓實過程的影響，我們研究在消耗同樣功能的條件下，填土密度與含水量之關係的典型曲線（圖 4）。細察圖中，起初密度隨着含水量的增加而上昇到一定的臨界點 B ，過此，含水量進一步增加即引起土壤密度下降。這種土壤的物理力學特性列在表 1 中，其由土壤壓實而獲得的最大密度 $\delta_0 = 1.9$ 克/立方公分，而其相應的含水量 $w_0 = 13\%$ 。土壤的最大密度決定於其壓實方法，即消耗一定功能的方法。這種最大密度稱爲土壤的最佳密度，而與此密度相應的含水量稱爲最佳含水量。

因此，最佳含水量是在指定壓實工作中保證最大壓實度的含水量。

曲線 PA 表示在土壤中沒有空氣的情況下，乾土單位體積重量與含水量之間的理論關係。

應用以試驗方法作出的曲線 ABB 並利用公式 (14)，可以對曲線上任何一點求得包含在土壤中的空氣。

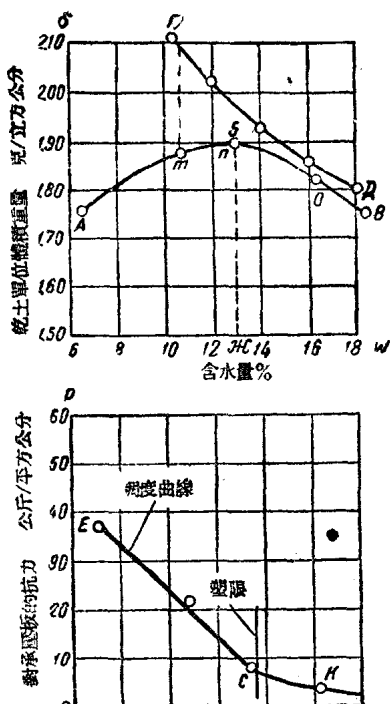


圖 4 密度與含水量之關係曲線

塑 性			最 佳 含 水 量	最 佳 密 度	土粒 壤 礦 物 的 顆 重	在之 最 佳 密 度 時 含 水 量
液 限	塑 限	塑 性 指 數				
20.90	13.36	7.54	13.00	1.90	2.66	0.958①

① 原文係 [0.958] 或 [1.988] 不够清楚——編者

在 *d* 點土壤含水量是 23%，*m* 點 9%，*n* 點 4%，及 *O* 點 1%。在同一圖中(圖 4)密度與含水量關係曲線下面，繪着稠度曲線。

稠度曲線指出當土壤含水量增加時，雖然其密度也增加，但是它對傳壓板的抵抗力則減小。

例如，當含水量為 6.5% 及密度為 1.76 克/立方公分時，抗壓力大致等於 37 公斤/平方公分，但在最佳含水量 13% 及最佳密度 1.90 克/立方公分時，抗壓力降到 8 公斤/平方公分。所以，驟然看來，填土在含水量為 6.5% 時比在最佳含水量 13% 時更為穩定，但在事實上並不如此。壓實到最佳密度的填土，即令在孔隙完全充滿水份時其含水量亦不大。例如，在最佳密度 1.90 克/立方公分時，以及在完全飽和含水量是 15% 時。在這種含水量時抗壓力將不低於 6.5 公斤/平方公分。因此，在土壤壓實到最佳密度時，不必耽心因含水量增加的影響而使荷重力遭受重大損失。如從原有含水量 6.5% 及密度 1.76 克/立方公分的土來看，則在土壤完全飽和時，其情況根本兩樣。當這種密度的土壤浸水時，其抗壓力即驟然降低，且在行車的作用下，可能被壓實到最佳密度並發生大量沉落。事實上，經觀測證明，乾鬆土壤在整年時間內只發生較小沉落，但一到春季被水浸潤後，甚至在不大的荷重下，其沉落可能達到很大的數量。土壤的這種特性足夠說明填土仔細壓實對於穩定性的好處。同時，值得注意，由於鬆土的滲透係數遠大於緊土的滲透係數，壓實到最佳密度的土，比未經壓實的土的透

表 1

沙氏和臘氏篩析顆粒成份						土 壤 名 稱
顆粒大小以公厘計						
2—0.5	0.5— 0.25	0.25— 0.05	0.05— 0.01	0.01— 0.005	∠0.005	
3.82	7.34	43.66	17.02	15.52	12.64	砂質黏土

水性更小。這種情況在水工建築中具有特別重大的實際意義。

用提高含水量到一定限度來增加土壤密度，一般地說明了水的作用。包裹在質粒外面的水有滑潤作用，能減小質粒間的磨阻力，是保證土壤壓實最有利的條件。在含水量進一步增加時，水份可能充滿土壤的全部孔隙，那時滾筒的壓力甚至不傳至土壤的質粒而傳至水上，因而產生水壓力。土壤的進一步壓實只有賴於擠出充滿孔隙中的水才有可能，如此，需要壓實荷重的長時間作用，不可能依靠壓實機械的瞬時荷重而達到。

飽和土壤的含水量愈提高則孔隙體積愈大，因而土壤的密度愈小。

應該注意，滑潤假說是不足以解釋最佳含水量隨壓實的壓力或耗費在壓實上的工作之增加而降低的現象。

根據水膜理論，包裹土壤顆粒的水處於特殊狀態，與大量存在的水的液體狀態不同。如 B. Ф. 捷若金所指出^①，L 形成這種狀態的特性之一是類似固體的抗力，給以剪力變形即從而出現形變模量（彈性形式的）和液限度 η 。L 當水膜厚度加大時，這種剪切膜量即驟然降低。清水的剪切膜量在膜厚 0.09μ 時約等於 2 公斤/平方公厘，但在厚度大於 0.15μ 時則等於零^①。

① B. Ф. 捷若金作「液體薄層之力學性質」一文，載於「物理化學」雜誌 1934 年第五卷第一期。

因此，水膜特性理論的研究對於耗費在壓實上的工作增加而使最佳含水量降低和密度提高的現象作出了解釋。實際上包裹土壤的水膜愈薄，在揉擠時需要更大的力量去克服它。反之，水膜愈厚需要克服它的壓實力即愈小。由此可以推想，在規定的壓實力量之最佳含水量應適合於一定的水膜厚度。在壓實力量增加時，它能克服水膜外層對揉擠（變動）的抵抗，因而土壤密度被提高，而最佳含水量被降低。

水膜特性可以說明另一與壓實過程有關的現象。那就是，由於土壤表面係數的增加，而使密度降低，最佳含水量提高。

薄水層的彈性在很大程度上決定於其構成表面活性的物質。所以，水中能構成表面活性的物質存在能對最佳含水量的改變發生重大影響。

§ 4. 級配對土壤壓實性的影響

在用標準壓實法試驗各種級配不同的土壤時，將看出，所有曲綫具有同一特徵，但其最佳含水量和最佳密度則各不相同（土壤之物理一力學的特性列入表 2，試驗結果表明於圖 5 上）。

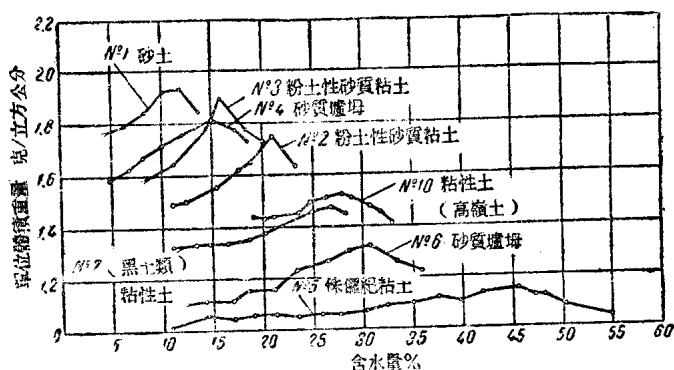


圖 5 土壤類型對最佳含水量及最佳密度的影響

① B. Ф. 捷岩金作「薄水層的彈性」一文，載於「物理化學」雜誌 1932 年第三卷第一期。

土壤之物理—力學的特性

表 2

土 壤 名 稱	級 配			搗 磨 耗 層	比 重	最大濕潤度	液 限	塑 限	塑 性 指 數	最體大積單重	最佳含水量
	砂 2—0.05	粉 土 0.05—0.005	粘 土 <0.005								
№1. 微礫砂 (冰川的)	81.87	15.58	2.55		2.69	5.10	14.55	10.18	3.74	1.936	11.73
№2. 粘土性砂質粘土 (B層 的灰色森林帶表土)	3.41	81.62	15.97	9.20	2.69	13.29	43.46	20.51	22.95	1.750	20.85
№3. 粘土性砂質粘土	13.56	68.64	18.00		2.67	12.30	33.14	16.09	17.05	1.896	15.76
№4. 黃土型砂質鹽母	62.14	29.70	8.16		2.63	12.99	25.71	19.75	5.96	1.812	15.00
№5. 侏羅紀粘土		78.71	21.29	30.64		25.44	70.59	33.73	36.86	1.15	45.63
№6. 新松層的砂質鹽母	68.83	24.37	6.84	14.54	2.57	18.80	51.9	35.03	16.87	1.32	30.62
№7. 粘土質黑土 (A層)	15.03	53.65	31.34	16.37		17.59	51.52	25.92	25.6	1.471	27.15
№10. 高嶺土	3.61	68.19	28.20		2.67	22.38	81.68	26.03	55.56	1.516	27.81

如圖 5 中的曲線所表示的，粘性土壤和含有大量有機質的土壤顯出較小的最佳密度、較高的含水量和較多的餘留在土中的空氣等性質。

§ 5. 壓實工作量對於最佳含水量的影響

上面曾經討論過當耗費於壓實上的工作量不變時含水量對於壓實

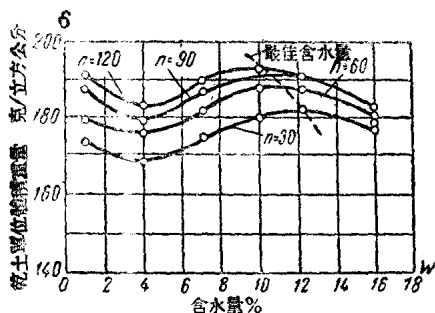


圖 6 工作量對最佳含水量及密度的影響
(錘重不變, 搗擊次數變)

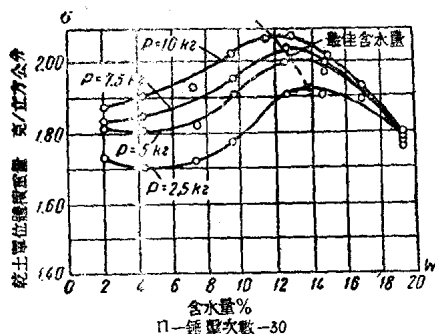


圖 7 工作量對最佳含水量及密度的影響
(錘重改變, 搗擊次數不變)

過程的影響。為了解壓實力和工作量對最佳含水量的影響，許多研究員曾在不同的搗實錘重、不同的搗擊次數和落錘高度時進行了土壤壓實試驗。在所有情形中都得到性質相同的曲線。圖 6 是表示砂質粘土在不同壓實工作量時含水量與土壤質體單位重量之間的關係圖解。圖解指出與每種壓實工作量相應的最佳含水量和密度。

下面的曲線是在錘重 2.5 公斤、落錘高 25 公分、搗擊 30 次時得到的，最佳含水量約等於 12.2%，最佳密度 1.82 克/立方公分；在搗擊 60 次時最佳含水量降到 11.0%，而最佳密度升至 1.93 克/立

方公分。

所以，增加對同類土壤的壓實工作量，其最佳含水量即被降低，

而最佳密度被提高（參看虛綫）。

如果我們增加錘的重量而保持搗擊次數不變，亦可得到類似的曲綫（圖 7）。

在生產情況中，如果我們增加壓實機器的輾壓次數，保持機器重量不變，或者增加機器重量而保持輾壓次數不變，都能得到同樣結果。所以，最佳含水量因壓路機重量的增加而減小。但此種現象發展到一定限度以後，即令使用超重型的壓路機亦不能使最佳含水量顯著地降低和最佳密度提高。

在圖 8 中顯示當壓實工作量在 2~132 公斤/公尺範圍內時輕砂質粘土的含水量和乾土單位體積重量之間的關係曲綫，這是由 A. Ф. 列別節夫^①教授得到的。

我們根據 A. Ф. 列別節夫教授的試驗結果編成下表(表 3)。

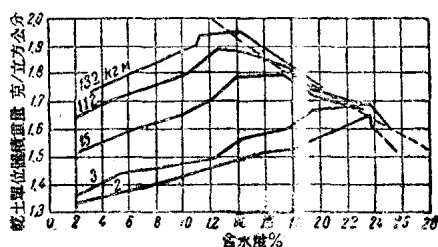


圖 8 工作量對最佳含水量及密度的影響 (A. Ф. 列別節夫)

用 0.01 克/立方公分的密度增量當作壓實單位，並對在各種最佳含水量及其相應的最佳密度時每壓實單位所必需的工作量作出比較。

如表 3 所示，當工作量為 3 公斤公尺時，每一壓實單位需要耗費工作量 0.5 公斤公尺。當工作量為 15 公斤公尺時，最佳含水量降至 17.6 %。在此含水量時每一壓實單位所需的工作量不是 0.5，而是 0.8 公斤公尺，相應地增加了 60% 的工作量。

再者，當工作量為 112 公斤公尺時，最佳含水量降到 12.4%，但在此含水量時每壓實單位所需的工作量達到 4.4 公斤公尺，它與原工作量比較，相應地增加了 780 %。

① A. Ф. 列別節夫：「在各種含水量時之土壤壓實」，海軍建築出版社，1949 年版。

最佳含水量和密度與壓實工作量的關係

表 3

最佳含水量 (%)	最佳密度 (克/立方公分)	在 350 立方公分 土壤的工作量 (公斤公尺)	每增加密度0.01 克/立方公分所 需之工作量(公 斤公尺)
23.6	1.64	2	0.5
19.3	1.66	3	0.5
17.6	1.80	15	0.8
12.4	1.89	112	4.4
11.1	1.93	132	4.5

因此，在每一壓實單位上所耗費的工作量，隨着最佳含水量的減小而逐漸提高，同時此最佳含水量相差愈大，則增加密度所需之工作量亦愈多。這種情形，如 A.Ф. 列別節夫教授所指出的：「……提出的問題是：是否在土工建築中總須追求土壤的最大密度，抑或是這種建築必須按照土壤的其他特性嚴格地規定建築物及其個別部分的含水量」。其次又指出：「我們知道，解決這類問題一般應按照土工建築物的性質、重要性和作用進行有差別的壓實。關於這類問題的一般指示，應當在土工建築壓實說明書中予以規定。至於快速的同時也是真正的解決這一問題，應當根據各該土壤和設計的實際特性」。

§ 6. 用道路科學研究所壓實筒標準壓實法確定土壤最佳密度及最佳含水量

土壤的最佳密度和最佳含水量是採用已在蘇聯道路實際工作中廣泛應用的標準壓實法來確定。用標準壓實法求得的最佳含水量和密度，大致相應於在生產情況中用中型壓路機壓實土壤所得到的最佳含水量和密度。

同時，如下面指出，用標準壓實法求得的最佳密度可用作按照建築物 and 局部填土工作的作用以確定需要密度的初步指標。因此，特將標準壓實法加以簡述。

標準壓實是在道路科學研究所的壓實筒中作的（圖 9），它包含下列各部：底盤 1，下筒 2，上筒 3，導錘桿 4，穿心錘 5（重 2.5 公斤），固定環 6，有固定螺絲的擋錘環 7 和固定螺絲 8。

下面敘述確定土壤最佳密度及最佳含水量的方法。

試驗準備

試驗準備工作歸納如下：由儲存擬作填土的土壤盛器內取出有代表性的土壤樣品。爲了作完每一不同的基本試驗，應該取出土樣試件 3~3.5 公斤。

在作土壤試驗以前，先將樣土用孔徑 5 公厘的篩子篩過，傾入特備器皿內，仔細拌勻，然後取中部的樣土作確定含水量之用。土壤含水量是用將土壤烘至重量不變的辦法求得的。

試驗方法

將備好的樣土填入道路科學研究所壓實筒內，約達其高度之 $\frac{1}{3}$ ，用重 2.5 公斤的錘以 30 公分落距錘擊 30 次。壓實分三層進行，使每層錘擊次數等於爲了壓實而規定之總錘擊次數的 $\frac{1}{3}$ 。

錘擊總次數約爲：沙性土壤——60；砂質礫母——75；砂質粘土或粘土——120。

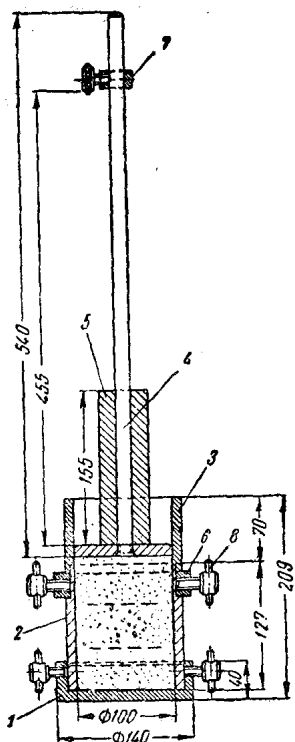


圖 9 標準壓實儀