

В. И. 畢露劉著

路基壓實快速控制法

鐵道部鐵道研究所譯

人民交通出版社

路基壓實快速控制法

В. И. 畢露 劉 著

鐵道部鐵道研究所譯

人民交通出版社

填土壓實是保證路基質量的重要方法，已在蘇聯普遍地應用。本書內容不僅從理論上闡明了土壤壓實到最佳密度時的優越性，並根據烏克蘭道路研究所的研究成果，介紹了土壤壓實快速計算和控制的方法。所述方法已被蘇聯內務部公路總局所採用。

本書可供我國鐵路工程師、技術員，及其他工程技術及研究人員參考。

路基壓實快速控制法

В. И. БИРУЛЯ

УСКОРЕННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ
УПЛОТНЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОСНА

ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОРОЖНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1953

本書根據蘇聯道路出版社1953年莫斯科俄文版本譯出

鐵道部鐵道研究所周鏡譯

人民交通出版社出版

(北京北兵馬司一號)

新華書店發行

北京市印刷一廠印刷

編者：仇岳希

全書43500字★定價：(平)3.500元

1954年12月北京第二版1954年12月北京第二本印刷

印數：1—4,200冊

33.5"×46"1/2★印張1張

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號)

序 言

爲使路基在修築後立即具有良好的穩定性，必須進行土壤的人工壓實。在一定場合下，還可使公路路基的強度增加；而在鄉村公路中，路面也可用壓實土層修築。

因此最近土壤壓實的計算和控制引起普遍的重視。

在修築過程中沒有計算和控制，不可能得到正確的壓實。因此首先需要在現場介紹一新的、快速的、能適應現代連續生產制情況的方法。

最近十年，哈爾科夫道路研究所進行了壓實對路基土壤強度和水穩性影響的研究。

作者的工作亦爲在工地和試驗室進行這一方面的研究。由於這些研究的結果，擬定了快速的工地計算和控制法，將在本書中加以說明。

曾在烏克蘭共和國道路修築中利用這個方法，證實了它在工地情況下，是完全適用，而且應用起來很方便。

現在除標準試驗室壓實法外，ХАДИ（哈爾科夫道路研究所）的土壤壓實快速計算和控制法也被蘇聯內務部公路總局採用在公路修築工程中^①。

一級試驗員 Н. А. 哈布里科維基，試驗員 З. А. 布拉哈參加了試驗工作；Р. И. 科普其諾夫和 В. А. 烏華羅夫參加了現場檢驗工作。

① 參考 I 道路路基壓實控制中要求密度的計算細則 7，道路出版社 1952 年版

目 錄

第一章 土壤改良方法——壓實

§ 1 土方建築物中壓實的要求和土壤壓實控制的意義	1
§ 2 土壤組成的相互關係和基本計算公式	2
§ 3 壓實土壤的強度和水穩性	4
§ 4 三相土壤的壓實過程	8
§ 5 土壤的壓實性	10
§ 6 土壤的可做為特徵性的含水量（簡稱特徵含水量）	13

第二章 壓實的快速計算和控制

§ 7 液性限度——土壤的基本參變數	15
§ 8 最佳含水量和計算的密度	17
§ 9 壓實的計算和控制——ХАДИ法	18
§ 10 壓實計算和控制手續的程序	21
§ 11 冷法摻和有機膠結物的土壤的壓實控制和計算	23
§ 12 膠結物處理的最佳土壤混合物的計算和控制	25

烏克蘭道路研究所的「濕度——密度計」的理論	27
-----------------------	----

附錄1 土壤液性限度的測定	31
---------------	----

附錄2 用烘乾法測定土壤含水量	32
-----------------	----

附錄3 用比重天秤法測定土壤含水量	32
-------------------	----

附錄4 用烏克蘭道路研究所的「濕度——密度計」法測定土壤含水量	33
---------------------------------	----

附錄5 用環刀測定土壤容量	37
---------------	----

附錄6 測定最佳含水量和密度的綫解圖	38
--------------------	----

附錄7 瀝青處理土壤的綫解圖	39
----------------	----

參考文獻	41
------	----

第一章 土壤改良方法——壓實

§ 1. 土方建築物中壓實的要求和土壤壓實控制的意義

在目前公路修築方法繼續加快的情況下，需要在路基修好後立刻修築路面。

路基如同地基一樣，將在上面修築公路基礎和路面，同時，它又有支持建築層以及其它的功能。

路基中土壤支持層的功能，根據由於靜荷重和動荷重（車重、基層和路面的自重）在土體中所引起的應力的大小來決定。

整個結構（路基、基層和路面）穩定和平衡的條件，是路基在應力作用下不致發生超過允許值的變形。

為了修築這樣的路基，以便立即在上面修築基層和路面，必須將填在路基中的土，用人工壓實到要求的容重 δ_p 。

按照標準密度設計壓實時，採用最佳乾容重 δ_0 ，此容重可用標準壓實法在試驗室中求得，與工地對同一土樣用中型輥子壓實所得相同。

$$\delta_p = K \delta_0 \dots\dots\dots (I)$$

式中：K——為土壤的壓實度 $= \frac{\delta_p}{\delta_0}$ 。

壓實度 K 根據道路的技術分類，路基土層的深度而決定。

根據技術規章規定在公路路基修築時，用以降低最佳密度的係數 K 的值決定於路基各層的作用和建築物的價值，一般採用 0.85 到 0.95（根據表 1 的數字）。

表 1

路 基 層 次	具有高級路面的道路	具有臨時路面的道路
A) 路基上層（從路邊算起 1.2 公尺）	0.95	0.90
B) 中層和底部不受潮層（從 1.2 到 10 公尺）	0.90	0.85
B) 底部受潮層（到水面上 1.2 公尺）	0.95	0.90

、在土壤壓實設計和控制時，任何土壤用某一種器具，只有在最佳含水量

(W_0)時，才能最有效的被壓實。

對任何土壤其最佳含水量 W_0 的值，也可在試驗室中決定，在這含水量時，僅須消耗最小的機械能量，即可達到最佳密度 δ_0 。

除了設計土壤壓實、密度和含水量外，還須進一步在路基修築過程中，組織對這些條件的控制，校對壓實土壤的真正含水量是否符合最佳含水量，所達到的壓實是否符合設計的乾容重；否則就不能保證所修路基的強度和穩定性。

當正確地設計土壤的壓實並且適當地對路基壓實進行控制時，則不致發生沉降，並可廣泛地採用土壤作為地方道路建築的材料。

但是在實用中證明，用標準壓實方法設計最佳含水量和密度，到現在已落後於生產的要求。

在固定的試驗室中現用的土壤試驗方法，需要費很多的時間，而且不能迅速地得到設計和修築所需的土壤最佳密度和含水量。

此時常常沒有適當的設計，並且在沒有壓實控制的情況下進行修築。

修築的快速施工法要求產生快速的設計和控制方法。

除已有的在試驗室的土壤試驗方法外，工地試驗法是較為簡單、迅速、並足夠正確的；因而可以用它直接在工地設計最佳含水量和密度，並進行工作質量的控制。

僅將選出的平均土樣送至中央試驗室進行詳細的試驗。

控制員須迅速地決定設計密度的值以及路基中土壤的真實密度。這樣經過比較，確定壓實是否已足夠，這樣的佈置使填土的設計、控制中的問題能被解決。

在用水泥和有機膠結物穩定土壤時（當修築路基和路面時），為了正確地實行控制，必須有可能在工地很快地確定附加砂料的含率，必要時須確定膠結物的含率。

否則，由於缺乏設計數據，由於土壤性質變化的結果，工作質量的控制將成為形式化。

由此可知，工地設計和控制壓實的主要指數方法的擬定，是一迫切的任務。解決這個問題，可保證必需的工作質量。

現在的工作是，說明在土質路基中土壤壓實設計和工地控制的方法。

§ 2. 土壤組成的相互關係和基本計算公式

當修築土方建築時（路基、基層、路面），與三相土壤有關，它的天然

組織在某種程度上已破壞。

這樣的土壤是一複雜的物體，其中有固體部份、不同狀態的水以及空氣。

固體部份——土壤的骨架——是不同數量和形狀的礦物質和有機質。

土壤的骨架可稱為半擴散系統。土壤的顆粒不同時，其中固體和其他（液體和氣體）間的相互關係也不相同。

液體相——水——含有不同的溶解的物質，這些物質與水起相互作用，同時它和水一起或單獨與固體起作用。

氣體相——呈現為與大氣相連的或閉塞的空氣，混有各種氣體。在三相土體中其量之多寡視空隙充水的程度及因而產生的密度來決定。

液體和氣體在土壤空隙中移動，依據加在土壤上的物理和力學作用，它們的量可能急劇的改變。

當土壤在自然情況完全乾燥時，則圍繞土壤顆粒的僅有少許游離水。當土壤被水飽和時，僅有很少的空氣。

如果用 m 、 W_{06} 和 V 來表示土壤中固體、水和空氣的含量（根據土壤單位體積），則可寫為：

$$1 = m + W_{06} + V \dots\dots\dots (II)$$

因為土壤固體體積等於其固體部份的重量被其比重除： $m = \frac{\delta}{\Delta}$ ，再用重量來表示水分的體積 $W_{06} = \frac{W \cdot \delta}{\Delta_0}$ ，則公式 (II) 可寫為：

$$1 = \frac{\delta}{\Delta} + \frac{W \delta}{\Delta_0} + V \dots\dots\dots (III)$$

式中： δ ——土壤乾容重，克/公分³；

W ——含水量，以小數點表示；

Δ ——土壤的比重，克/公分³；

Δ_0 ——水的比重，
計算時可
認為等於一；

V ——空氣的體積。

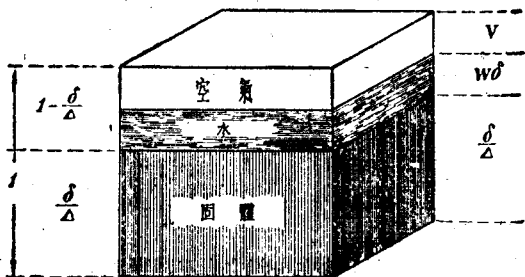


圖 1 中表示單位體積土壤各部份假定

圖 1 三相土壤單位體積中各部份分佈情況

的分佈。這土壤是由土壤骨架的體積 $\frac{\delta}{\Delta}$ 、水體積 $\frac{W\delta}{\Delta_0}$ 和空氣體積 V 所組成的。

從公式(III)，可以得到土壤在最佳含水量 W_0 壓實時最佳密度 δ_0 的計算公式：

$$\delta_0 = \frac{\Delta (1 - V_p)}{1 + W_0 \Delta} \text{ 克/公分}^3 \dots\dots\dots (IV)$$

式中： W_0 ——壓實時最佳含水量；在試驗室中，用標準壓實法準確地確定之；

V_p ——壓實土壤中遺留的空氣含量，等於 0.03~0.05（以小數表示）。

§ 3. 壓實土壤的強度和水穩性

現在土壤的形變模量—— E 公斤/公分²，已被應用為表示在荷重作用下土壤抗力的指標。形變模量可從試驗中根據荷重與沉降關係曲線求得。

形變模量可根據下列公式計算：

$$E = \frac{P \cdot D}{h} \text{ 公斤/公分}^2 \dots\dots\dots (V)$$

式中： P ——承壓板上的單位壓力，公斤/公分²；

D ——承壓板的直徑，公分；

h ——承壓板的沉降，等於 0.01~0.04 D ，公分。

這種土壤抗力（剛性）的指標，現已用來計算路面和基礎，並用來進一步說明作為土壤強度的指標。

任何黏性土壤，在不同濕度下，用相同的力壓實（標準錘的有效夯擊次數，或中型輥子滾壓次數），將得到不同的密度和強度指標。

圖 2 中縱座標為密度 δ 和強度 E 的值，橫座標是含水量和液限的比值 W/F 。

當最佳含水量時靠近 0.6 F ，「密度——濕度」曲線（實線）達到最大的密度 δ_0 。同時最大的強度值 E_0 （虛線）却在含水量較小處（~0.4 F ）。

因此，達到密度最大 δ_0 時，強度 E_0 並不等於最大。

直接從試驗室或工地土壤壓實所得的 $\delta-f\left(\frac{W}{F}\right)$ 和 $E-f\left(\frac{W}{F}\right)$ 的關係就是這樣。

如果，壓實土壤在一年之內不遭遇到不同氣候的作用（潮，乾，和溫度的變化），則根據圖 2 的數據，應該將土壤在含水量接近 0.4 F 時壓實到密

度 δ_1 ，這樣可能達到強度的最大值

事實上，壓實土壤遭遇到自然因素的作用，這些因素在不同季節對土壤都發生影響。當乾燥時，增加土壤的強度。當潮濕和溶解時，降低了它的強度。

圖3是在試驗室中，將黏性土壤在不同含水量下壓實，然後使樣品浸潮（置於潮濕的木屑中）時其強度和密度的變化。

圖3a中，縱座標為土壤的乾容重 δ 克/公分³，橫座標為相對濕度。上面的實線表示土壤在標準壓實後 δ 密度——濕度 γ 的關係。下面的虛線是完全浸濕後的關係。

兩曲線間的部份表示土壤的減密情況。壓實時，含水量愈小，這密度減小得愈多，相反地，壓實時含水量愈大，則事後的減密也較小（註1）。

同時，從圖3a可看出，壓實土飽和後，最大密度符合於 $0.6F$ 的開始濕度，或靠近該值。換句話說，在最佳含水量下壓實的土壤不僅在壓實後並在飽和後都保持最大密度。

在下面一個圖中（圖3,6）縱座標為形變模量 E 公斤/公分²，橫座標為相對濕度。虛綫（上面的曲線）表示土壤在壓實後 $E \sim f\left(\frac{W}{F}\right)$ 的

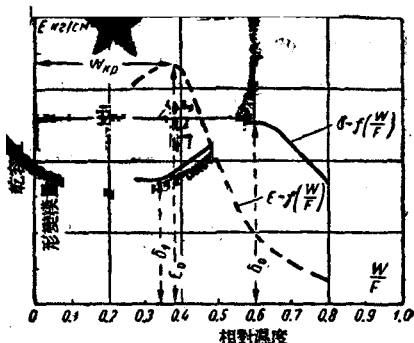
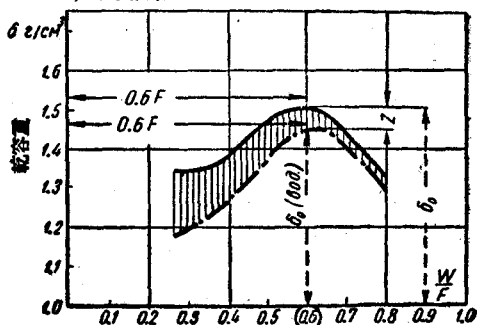


圖2 標準壓實土壤的 δ 密度——濕度 γ 和 δ 密度——濕度 γ 關係

a) 密度降低



E 模量降低

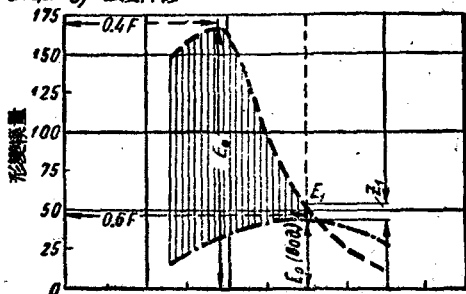


圖3 土壤飽和後密度，強度降低的情況

關係。帶點虛綫（下面的曲綫）是再經過飽和後的。兩曲綫間的部份，表示土壤強度在飽和後降低的值，這是與壓實時的濕度有關。

在圖 3 a 中，從飽和前及飽和後的 L 密度——濕度 γ 曲綫可看出，當濕度靠近 $0.6F$ 時，密度最大。但是，對強度而言，飽和前，符合於最大強度 E_0 的濕度是 $0.4F$ ，然而在飽和後，最大強度值並不符合於 $0.4F$ 的濕度。

飽和後的土樣的試驗證實，當土樣在最佳含水量下（靠近 $0.6F$ ）壓實到

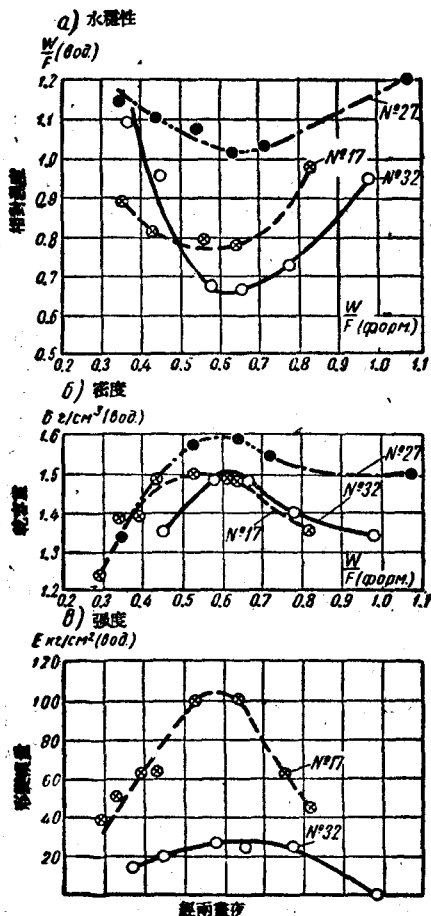


圖 4 土壤在潮濕木屑中七日後
a) 水濕性 б) 密度 в) 強度

最佳密度 ρ_0 時，飽和後強度也最大。唯有在這種情況下可得到最大密度和強度的最有利的配合，並進一步得到土壤的水濕性。

必須注意到在 L 密度——濕度 γ 和 L 強度——濕度 γ 曲綫間存在着一定的關係。飽和土壤的密度增加時，強度指標亦增加。密度減小時，飽和土壤的形變模量亦減小（帶點虛綫，曲綫 a 和 б）。

這樣，在最佳含水量下壓實的土壤，當浸濕後能保持最大的密度和強度值。標準壓實後的形變模量 E_0 與飽和後的土壤的形變模量 $E_0(\text{вод})$ 間差別愈小，則土壤愈強，愈能抵抗透水。

必須指出土壤在試驗室中試驗時， Z 和 Z_1 （圖 3）值愈小，則土壤飽和後密度和強度的損失愈小；這種土壤用在路基、基層和路面中時愈為穩定和堅固。

圖 4 是三種土壤在潮濕木屑中飽和七日後其性質的數

據，上面的圖(4a)為樣品的水穩性(飽和後的濕度)，中間的圖(4.б)為密度，下面的圖(4.в)為土壤的強度，實綫為第聶伯彼特羅夫斯克黃土，虛綫為輕砂質黏土和帶點虛綫為中砂質黏土性的4層黑土。從圖中，可看到土壤在開始時的含水量靠近 $0.6F$ 保持着最大的密度和強度，其先決條件是該標準壓實的土壤最小被浸濕。

這在 $\frac{W}{F_{(BOH)}} \sim f\left(\frac{W}{F_{(ФОРМ)}}$ 的關係曲綫中可很好地看出。

土壤壓實時的濕度愈靠近最佳量 W_0 ，則飽和後增加的濕度愈少。

從圖(4a)中可以看到土壤在最佳含水量下壓實，不僅使壓實時感到容易；並且保證高的水穩性指數，遂使土壤在飽和後具有最高的密度和強度指數。

此時，必須遵守壓實試驗的條件。即具有最佳含水量的土壤應在有效的夯擊次數下或有效的滾壓次數下，用落錘或輾子壓實。

顯然，當含水量顯著的小於最佳含水量時，是不可能將土壤壓實到密度 δ_0 的值。

當土壤含水量較低時，

如果顯著地增加輾子滾壓的次數，也可能使土壤壓實到設計的乾容重(含水量允許與最佳值相差 $\pm 2\%$)，但是將引起密度和強度或多或少損失(視壓實時的含水量而定，圖5)。

圖5，a粗綫表示(如果在製樣時增加單位壓力)，當開始含水量在 $0.33 \sim 0.64F$ 間，可能得到最佳密度 $\delta_0 = 1.52$ 克/公分³。當相對濕度超過 $0.64F$ 時，增加單位壓力也不可能達到標準密度。

但是在潮濕木屑中飽和七天後，所有樣品都減密。開始含水量與最佳含水量(W_0)相差愈大，減密的程度也愈大。

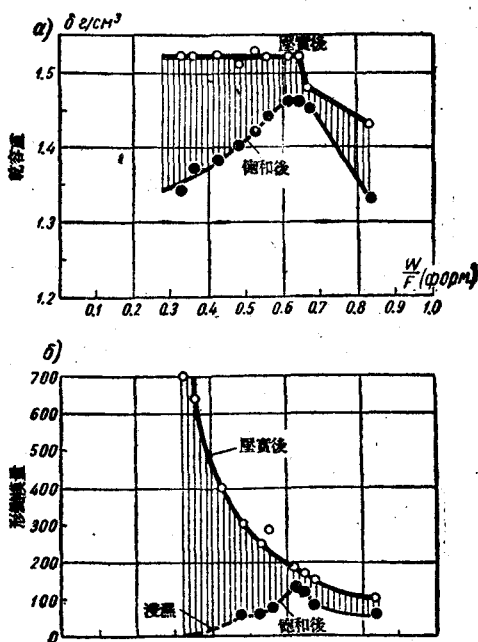


圖5 拌合時濕度對密度(a)和強度(б)在飽和及未飽和時的影響

雖然在開始時的密度相同，即等於最佳密度($\delta_0=1.52$)。但是當含水量靠近最佳時，壓實的土樣最不透水最密實。

下面的圖 5, 6 表示土樣在剛壓實後，和在潮濕木屑中飽和七天後的強度情況。密度和強度兩曲線都證實了土壤在最佳含水量下壓實到標準密度的優點。

圖 5, a 中密度的損失，和圖 5, 6 中強度損失的程度都用斜綫劃出。

§ 4. 三相土壤的壓實過程

雖然壓實土壤的機器和器具種類甚多(各種不同的輓子、夯板、汽錘)，並且它們的作用也不相同(夯擊、靜力、混合地)，但土壤壓實過程的物理意義仍是相同的。

在任何情況下，在壓實的開始階段，單位體積中水和空氣的含量在改變。易從土壤空隙中逸出的空氣體積因而減小，並使為水膜包着的土顆粒和粒組互相靠攏。

土顆粒和粒組在力的作用下，進一步的擠緊。但是這效果愈來愈小。結

果，最後縱使再消耗更多的功能，僅能引起彈性變形而不能發生體積的變化。

土壤在一定含水量壓實時，為使其達到穩定體積，已知重量的輓子所需滾歷次數，和標準重量夯擊的次數，是對該種土壤最有效的壓實能，因此對試驗室和施工的應用也是最合理和有把握的。

圖 6 表示輕砂質粘土性的黃土在標準壓實時土壤中成份的體積的變化和有效夯擊次數。

此圖可稱為黏性土壤壓

實圖，在圖 6 的下面是在標

準壓實容器 1000cm^3 中，用重 2.5 公斤的標準落錘，從 30 公分高夯擊 20、40、

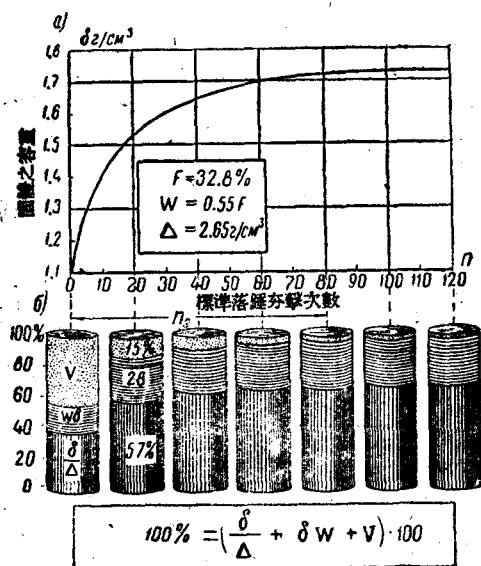


圖 6 土壤壓實圖

60、80、100、和 120 次後，土壤中固體，水和空氣的分佈情況。

土壤單位體積中，任何成份所含的百分數可根據公式（Ⅲ）計算之：

$$1 = \frac{\delta}{\Delta} + W\delta + V$$

在圖 6, б 中，當 $\delta = 1.1$ 克/公分³，含水量為 18% 時，壓實前鬆土單位體積中，固體為 38%，水為 18%，空氣為 44%。擊實 20 下後，即相當重 8~10 噸輥子滾壓一次，其各種成份急劇的改變，使得固體的體積增加到——約 57%，空氣減小到——約 15%。

當進一步增加夯擊次數從 20~70，固體和空氣體積的變化減小。當夯擊 70~80 次時，對某一種土壤，在一定的壓實功下，土壤中成份的含量達到幾乎完全穩定。此時最大固體的值為 64%，圈在內的最小空氣量為 5%。

這現象可從壓實曲線上看得很清楚（圖 6, а 是乾容重 δ 和標準落錘夯擊次數的關係曲線），在這圖上，當夯擊次數到 70~80 以後，雖然顯著的增加夯擊次數，但容重 δ 並無改變。

這樣，有效壓實力於值被確定。對於其它的壓實工具，當土壤的含水量在 0.5~0.6F 時，必須用不同的夯擊次數或輥壓次數來壓實。

例如：如用 4 層中砂質黏土性黑土 ($F=38\%$) 在同一濕度 ($W_0=0.6F$) 下，用不同的機械作用壓實，則根據試驗結果，可繪出乾容重 δ 和壓實工具作用次數的曲線（圖 7）。

縱座標（圖 7）為乾容重 δ ，橫座標為單位壓力 P 公斤/公分²，標準錘夯擊次數 n ，和 10 噸輥子滾壓次數 (N)。

任一曲綫 $\delta=f(P)$; $\delta=f'(n)$; $\delta=f''(N)$; 都具有顯著的轉折點。過了這點後，在含水量為 20% 下壓實的土壤，其乾容重沒有什麼變化 ($\delta=1.51$ 或 1.54 克/公分³)。

在這轉折點所消耗於壓實土壤的有效功能為 P_0, n_0, N_0 ，因而可以在固體的含水量和壓實工具下，保證以最小的消費得到最大的壓實指數（註 2）。

從圖 7 可看到在同一含水量下為達到最大的乾容重 ($\delta_0=1.52$ 克/公分³)，需要：

(а) 在直徑為 5 公分鋼筒內裝 200 克土樣，用 15 公斤/公分² (P_0) 的靜壓力壓兩分鐘；

(б) 10 噸重的輥子 (N_0) 在厚 20 公分的土層上滾壓 5 次；

(в) 用標準落錘在壓實筒中分層（三層）夯擊 90 下 (n_0)。

由此可知，可以根據為達到相同的密度指標（ $\delta_s = 1.52$ ）所需的有效壓實，來比較對土壤起着完全不同的機械作用的各種壓實方法（靜壓力，輾的作用，在靜力和動力之間，錘擊）。

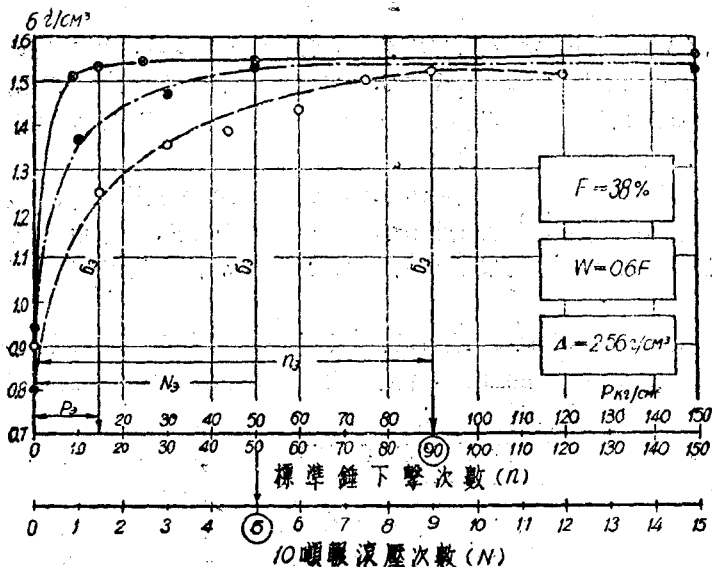


圖 7 壓實土壤的有效力的計算

這樣可以決定設計數據（ P_s 、 N_s 、 N_3 ）。這對正確地擬定壓實機的數量，燃料的消費，土壤壓實完工的期限是完全必要的。

§ 5. 土壤的壓實性

「土壤壓實性」的意思就是在壓實的作用下，最佳含水量時土壤顆粒相互間最大可能擠緊的程度。

用標準壓實法所能達到的最佳乾容重的指數（表 2），可作為衡量土壤壓實性的程度之用。

因此可以將黏性土壤根據它的壓實性來分類，壓實性與不同顆粒成份，不同生成的土壤的液性限度有關。

根據表 2 的分類，對土壤的壓實而言，最好是砂質壤土，砂質粘土尚好，重砂質粘土普通，粘土不好。

但是研究烏克蘭共和國（參考文獻 2、4）黑色土壤的壓實性時，證明高

原黑土修築的公路路基，在多雨的條件下使用了很長的時間，很令人滿意。

具有坡壓實性的土壤，壓實時必須消費較大的有效力，才能保證達到標準壓實的最佳密度。

表 2

土 壤 名 稱	根據液限 ХАДИ 分 類 $F\%$	最佳含水量 $W\%$ 的 範 圍	最佳密度 ρ_0 克/公分 ³ 的 範 圍	土 壤 的 壓 實 性
砂 質 壤 土	16—28	10—17	2.0 —1.76	很 好
砂 質 粘 土	28—38	17—23	1.76—1.60	好
重 砂 質 粘 土	38—48	23—29	1.60—1.45	普 通
粘 土	大於48	大於29	小於1.45	壞

粘性土壤愈差，則愈要在填和壓實時特別的注意，愈要使它密度靠近最佳密度 (ρ_0)。

肥黑土的壓實性低是由於含有較多的粘土顆粒和腐植物。而在一定的條件下，這些物質影響標準壓實後土壤的水穩堅固結構。

至於黃土，在天然狀態下，具有增加吸水性和沖刷性的大孔結構。

當這種結構在土方工作中被破壞後，黃土可在路基中很好地被壓實。並在正確的壓實下成為堅固的水穩的路基。必須指出用黃土做的邊坡，沖刷性很大。

影響到同一種土壤壓實性的最主要的因素除開始含水量外有：

- (a) 壓實時土壤中正負溫度的值；
- (b) 輾壓層的厚度；
- (c) 壓實工具的重量（落錘、輾子、夯板）。

當研究 4 層砂質粘土性的黑土和重砂粘土性的黃土時，我們得到了上述因素影響的程度。

在不同的溫度下，從標準壓實的黑土試驗中證明（圖 8），當土壤溫度超過 $+20^\circ$ 時，最佳含水量略微減少 1.5%。此時土壤密度增加並不顯著。在乾燥地區壓實土壤時，必須注意這點。

在較低的溫度包括零下的溫度下，壓實這種土壤時，發現溫度小於 0°C 時，用同樣的夯擊次數是完全無效（參考文獻 7）。因為一部份水變成了冰，妨礙了壓實（圖 9）。溫度較低時，變為冰的水量增加，不冰凍的粘滯水在

減少。當溫度為 -5° ，含水量為30%時，土壤凍成堅硬的一塊，當溫度為 -11.5 和 -13° ，土壤含水量為20%時，也有同樣的現象發生。

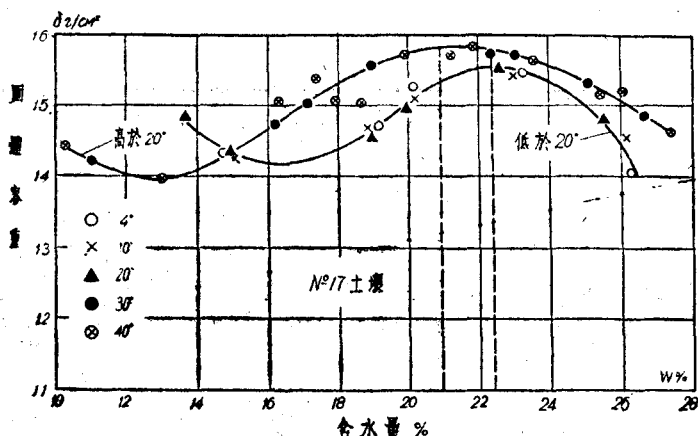


圖 8 當溫度高於和低於 20°C 時土壤的壓實性

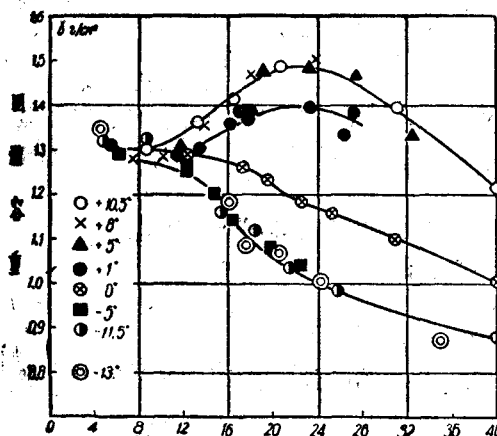


圖 9 低溫時土壤的壓實性

溫度對土壤壓實性的影響是如此顯著，因此，可以得到這樣的結論：即當溫度低於 $+1^{\circ}$ 時，實際上不可能將粘性土壤壓實。

至於輾壓層厚度和壓實工具的重量影響，根據哈爾科夫道路研究所（參考文獻2）和其他的研究，可以得到下列基本的規則。

如果土壤不可能加濕（在乾燥地域），可建議用較薄的土層壓實；藉以提高土壤的壓實性，或用較重的輾子在設計的壓實層厚度進行壓實，但是最佳含水量須降低些（降低2~3%）。

在任何情況下必須記住，在較低於最佳含水量的濕度下，將土壓實到設