

基礎工程規劃及設計

錢家欢 唐念慈 編譯

科學技術出版社

內 容 提 要

本書使讀者明了在各種不同的地基情況下，如何選擇建築物最合適的基礎，以及如何選擇基礎許可土壤承壓力或樁的許可荷重；同時，也敘述基礎類型與施工有關的問題。

這一本書主要作為基建人員取得地基鑽探與土壤試驗的資料後進一步規劃及設計建築物基礎的參考書。

基礎工程規劃及設計

編譯者 錢家歡 唐念慈

*

科學技術出版社出版

(上海建國西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可証出○七九號

上海新華印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號：15119·124

(原大東版印4,000冊)

開本 850×1168 1/32 · 印張 2 5/8 · 插頁 1 · 字數 60,000

一九五六年三月新一版

一九五六年八月第二次印刷 · 印數 1,021—4,520

定價：(10) 五 角

編譯者的話

本書有兩個目的：使讀者明瞭如何抉擇最合適的建築物基礎類型，以及如何選取適當的土壤許可壓力或樁的許可荷重。

圍繞着這兩個目的，精簡明確的討論係根據不同的地基土壤情況，其中包括砂土、黏土、泥沙、黃土和不均勻土層；對於每一種土層所可能引起的施工困難，也有說明。

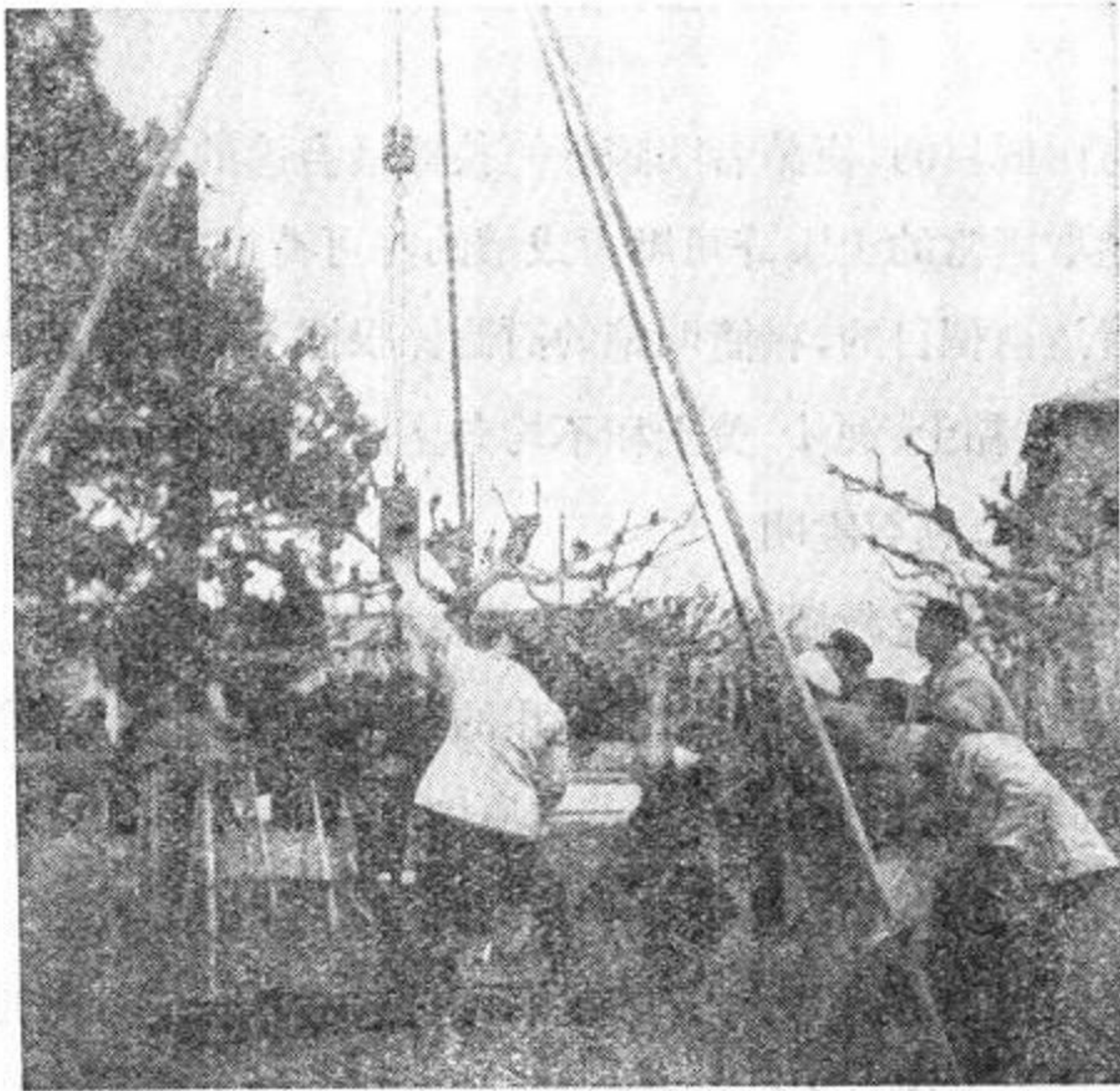
全書係根據潘克教授 53 年新著“基礎工程”的第三篇編譯而成；所有的圖表及例題都採用公制。這些實用的數字例題，更容易使讀者領會書中所提供的規劃及設計基礎的基本原則。

雖然我們已儘量引入原著第一、二篇中的若干有關資料，並有時對原著中較難瞭解之處，作更詳細的說明，但是我們假定本書的讀者們已具有土壤力學及基礎工程的初步智識，特別是工地標準貫入試驗、無側限壓縮試驗和淺基載重量公式的意義以及三者之間的相互關係，應有較明確的認識。因為本書所述的設計方法，均導源自這三種簡捷有力的工具。

因此，這一本書主要是供給從事基本建設人員的參考，因為它的任務就是幫助基礎工程的規劃和設計者去消化已得到的土壤鑽探和試驗的資料。本書也可作為土木、水利學生的課外讀物，因為它的內容剛填補了土壤力學與結構設計各課程之間的空隙。

編譯者

157 20/10



標準貫入試驗

標準貫入試驗是地基土壤鑽探方法的一種。試驗的方法是在進行鑽探的過程中，用一個有規定的尺度和重量的簡單取土器，稱為標準貫入器。以 63.5 公斤重的落錘，自 76 公分高度落下，將其打入鑽探時所遇各土層中，記錄每擊入土中 30 公分所需的錘擊數 N 。 N 的多少，代表各該土層對於貫入器阻力的大小，因此也反映出土層的壓縮性和抗剪強度。故自 N 值可估計土壤許可壓力。一般來說，這方法應用到砂土地基是可靠的，而略偏於安全方面，其結果可用原狀土樣的剪力試驗校核之；對於黏土地基，應再自貫入器所取得的土樣，作無側限壓縮試驗，以校核土壤許可壓力的數值。

目 錄

第一章 決定基礎類型的因素.....	1
(1·1) 選擇基礎類型的步驟.....	1
(1·2) 載重量及沉陷.....	2
第二章 砂土上的基礎.....	4
(2·1) 砂土的顯著特性.....	4
(2·2) 砂土上的基脚.....	4
(2·3) 砂土上的筏基.....	17
(2·4) 砂土中的樁基.....	20
(2·5) 砂土上的基墩.....	23
(2·6) 砂土中的挖坑.....	25
(2·7) 振動的影響.....	26
第三章 黏土上的基礎.....	28
(3·1) 黏土的顯著特性.....	28
(3·2) 黏土上的基脚.....	29
(3·3) 黏土上的筏基.....	36
(3·4) 黏土中的樁基.....	36
(3·5) 黏土上的基墩.....	42
(3·6) 黏土上基礎的沉陷.....	43
(3·7) 由於黏土上垂直荷重所引起的側向力及位移.....	56
第四章 泥沙和黃土上的基礎.....	59
(4·1) 泥沙和黃土的顯著特性.....	59
(4·2) 泥沙上的基脚及筏基.....	60

(4.3) 泥沙中的樁基·····	61
(4.4) 泥沙中的基墩·····	61
(4.5) 黃土上的基脚及筏基·····	62
(4.6) 黃土中的樁及基墩·····	62
第五章 不均勻土層上的基礎·····	64
(5.1) 概述·····	64
(5.2) 鬆軟土層在堅實層上·····	65
(5.3) 堅硬土層在鬆軟層上·····	65
(5.4) 交相間隔的軟土層與硬土層·····	70
(5.5) 不規則沉積層·····	71
第六章 施工操作所引起的損害·····	72
(6.1) 由於挖坑的沉陷·····	72
(6.2) 由於振動的沉陷·····	74
(6.3) 由於地下水位下降的沉陷·····	75
(6.4) 由於打樁所產生的位移·····	76
(6.5) 工地觀測以控制施工操作的重要性·····	76
(6.6) 施工方法對設計的影響·····	77
附 錄 感應值 0.001 的感應圖	

第一章 決定基礎類型的因素

(1.1) 選擇基礎類型的步驟

某一建築物最適合的基礎類型，決定於幾種因素：建築物的作用及其荷重，地層情況，基礎費用與上層結構造價的比較。選擇時當然還得有其他考慮，但通常這三個因素是最主要的。

由於這些因素有相互牽連的關係，每一基礎問題常有幾個可接受的解決方法。對某一情況言，具有豐富經驗的幾個工程師可以作出多少不同的結論。這種事實說明在基礎工程中判斷起着重要的作用。因此，基礎設計無嚴格的科學程序可循，雖然科學的發展大大推動了這工作。

當一個有經驗的工程師開始研究一個新的計劃，他總是先摒棄了最不合適的基礎類型，而集中精力於最可取的少數幾種。當他選定幾種適合地層情況和建築物作用的佈置時，即作經濟比較，以供最後抉擇。

經驗缺少的工程師，如果他們消化科學研究的結果，吸收旁人的經驗，也可遵循同一步驟而不會引起嚴重的錯誤。本書即收集各種基礎類型及各種地層情況下所得經驗，使初學者心領神會前人的成功實例。

選擇基礎類型時，工程師依次完成五種步驟：(1)他至少要得到上層結構性質及荷重的概略資料。(2)他測定地層情況。(3)於是他考慮每一種習用的基礎類型，判斷它們是否可在目下存在的情況下修建起來，是否有能力負載需要的荷重，是否會遭到有害的沉陷。在這初步考慮中，他已可以取消顯然不合適的類型。(4)次一步驟是進行較仔細的研究或甚至進行最可取幾種類型的初步設計。這些研究包括確定基礎

近似大小或樁的大約數目和長度，因此需要更多的有關荷重及地層情況的資料。同時需要較精確的沉陷估計，以推斷建築物的性能。(5)最後，工程師準備了每一種可取的基礎類型的造價估計，而在性能與造價之間，權衡抉擇一最好的類型。

上述第3和第4兩步驟，需要在不同的地層情況下，瞭解各種不同基礎類型的性能。這種瞭解和研究的方法，是本書以後各章的基本內容。

(1.2) 載重量及沉陷

在某一地點可否修建某一類型的基礎，我們需要從兩方面去判斷：第一方面，基礎的整體或任一部份可能楔入地層中，因為土壤或岩石不能承載這荷重；另一方面，支承的土層或石層並不裂毀，但建築物沉陷很大，或很不均勻，致上層結構裂縫或傾圮。產生這兩種不利現象的原因，幾乎互不相關，所以需要分開來研究：第一種稱為載重量失敗，有關土或石層的抗剪強度；第二種為有害沉陷，視土或石層的應力和變形關係而定。

以下各章中，每一章敘述一種主要的土層。而對每一種土層，各種基礎類型都有討論，說明推求土壤安全載重量及建築物沉陷的方法。最後還說明施工對某一種土層可能引起的困難，這也有關基礎類型的選擇。

爲了滿足安全的需要，建議對於載重量失敗的最大荷重，採用安全率3.0。較小的安全率有時也可採用，如建築物不很重要，土壤變化不大，或土壤常數的準確性有絕對的把握。安全率等於3.0已足夠保守，且照顧到一般難於逆料的地層情況的變化。這與上層結構設計常用的安全率相埒。反之，設計基礎時如考慮荷重的特殊情況，安全率2.0也

已合適。

許可的沉陷視建築物的式樣和作用而定。傳入橋墩底下土壤的荷重，大部份由於墩身自重，相應的沉陷也許可達 10 公分或 10 公分以上。如果這沉陷發生於橋墩建造期間，就無關重要。如果這沉陷的大部份發生於建造完畢之後一很長的時期內，對於簡支桁架或懸臂梁的上層結構也無妨礙，但對於連續桁架或連續大梁會引起嚴重後果。很少的鋼筋混凝土房屋，能忍受 2 公分以上的不均沉陷；鋼結構能忍受較大的不均沉陷；磚石結構能忍受這數值的三倍至四倍而無嚴重毀壞。當然，對任何種類的建築物言，不規則的不均沉陷，比均勻沉陷為害更甚。

由於不均沉陷顯著影響到基礎的造價，工程師也不應低估建築物所能忍受的不均沉陷。

第二章 砂土上的基礎

(2.1) 砂土的顯著特性

假如工程地區屬砂土，基礎可能是基腳、筏基、樁基、或基墩。其選擇主要視砂土的相對密度和地下水位而定。相對密度決定基腳或筏基的載重量、樁的阻力和基墩的支承力。它也是決定沉陷的主要因素。地下水位的位置很是重要，首先因為水位下面的開挖需要排水，故增加了基礎的造價。同時，它對於砂土載重量和沉陷也有顯著的影響。

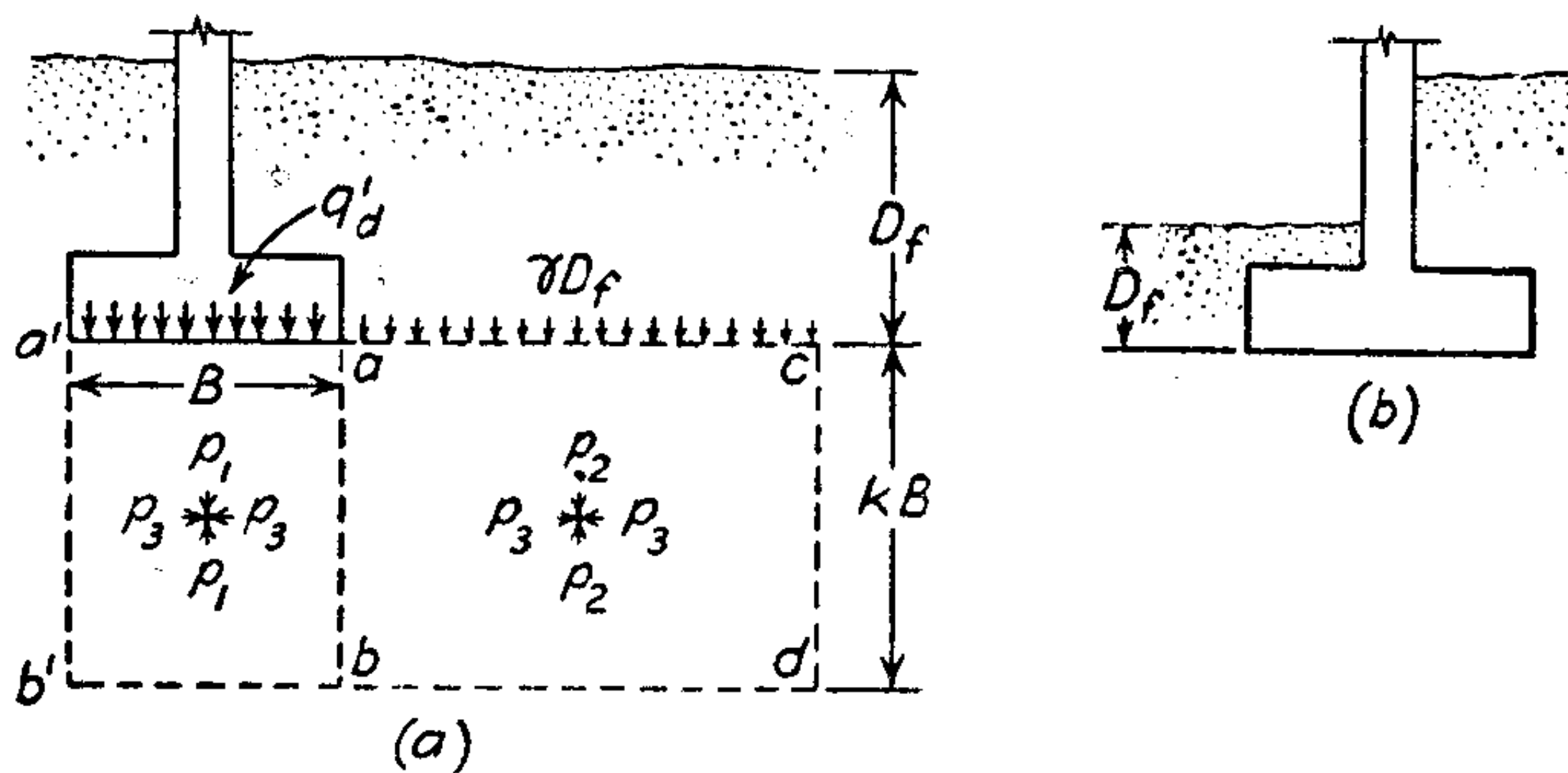


圖 2.1 砂土地基上的條形基腳

(2.2) 砂土上的基腳

極限載重量 圖 2.1 (a) 代表一條形基腳的斷面，寬度 B 、砌置深度 D_f 。假定基底以下砂土層有很大深度。若基腳楔入地面， $a a' b' b$ 必如試驗機上的試件一樣裂毀， $a b$ 斷面必推向右邊。然而，除非土體 $a b d c$ 同時裂毀， $a b$ 即不能向右移動。當 $a b d c$ 裂毀時， $a c$ 上升，並舉起超

荷重 γD_f 。圖 2.1 (b) 指出基脚兩邊土深不等時 D_f 的意義。

如考慮兩土體塊中心點處的應力狀態，可近似計算基脚極限載重量。我們假設裂毀的範圍達到基底以下 kB 深度處，根據靜力平衡原理，得：

$$p_2 = \gamma D_f + \frac{1}{2}kB\gamma$$

根據砂土臨界裂毀的條件方程式①：

$$p_3 = p_2 N_\phi \quad p_1 = p_3 N_\phi$$

$$N_\phi = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$

再按靜力平衡原理，地基土壤所能支承的極限載重量：

$$q_d' = p_1 - \frac{1}{2}kB\gamma$$

$$\text{合併以上四式：} \quad q_d' = \frac{1}{2}kB\gamma(N_\phi^2 - 1) + \gamma D_f N_\phi^2 \quad (2.1)$$

k 值僅粗略量度砂土裂毀的深度。進一步的理論研究指出：這深度是砂土相對密度的函數。因之，也是 ϕ 的函數。使 $k(N_\phi^2 - 1) = N_\gamma$ ， $N_\phi^2 = N_q$ ，式(2.1)變為：

$$q_d' = \frac{1}{2}B\gamma N_\gamma + \gamma D_f N_q \quad (2.2)$$

N_γ 與 N_q 稱為載重量因數。祇隨 ϕ 值而變。

上式表示基脚在砂土上的載重量係導自兩種來源：基底下砂土重量所引起的摩擦力和超荷重重量所引起的摩擦力。大多數砂土的單位重，不論是乾的、濕的或飽和的，變化的範圍至為狹小。所以砂土單位重本身，並不是決定基脚載重量的一個重要因素。然而，若砂土位於自由水面以下，產生摩擦力的僅為土壤的浸水重量。土壤浸水單位重約為飽和單位重的一半，而 ϕ 值不因浸水而有顯著改變。故可得一結論：地下

① 參閱土壤力學專書，例如錢家歡：“土壤力學”第 104 頁(8.7)式(大東書局出版)。

水位,自基底下大於 B 的深度處上升至地面,使砂土的載重量約減少一半。所以,地下水位的位置對於基腳在砂土上的載重量,實用上有特殊的重要性。

N_γ 與 N_q 兩值隨 ϕ 的增加而急劇增加(見圖 2.2)。因為 ϕ 與砂土的相對密度有密切關係,而與土粒大小無關,故砂土載重量受到相對密度的影響至大;而絕不受土粒大小的影響。

根據式 (2.2), 由於基底以下土壤重量所引起的載重量部份,與基

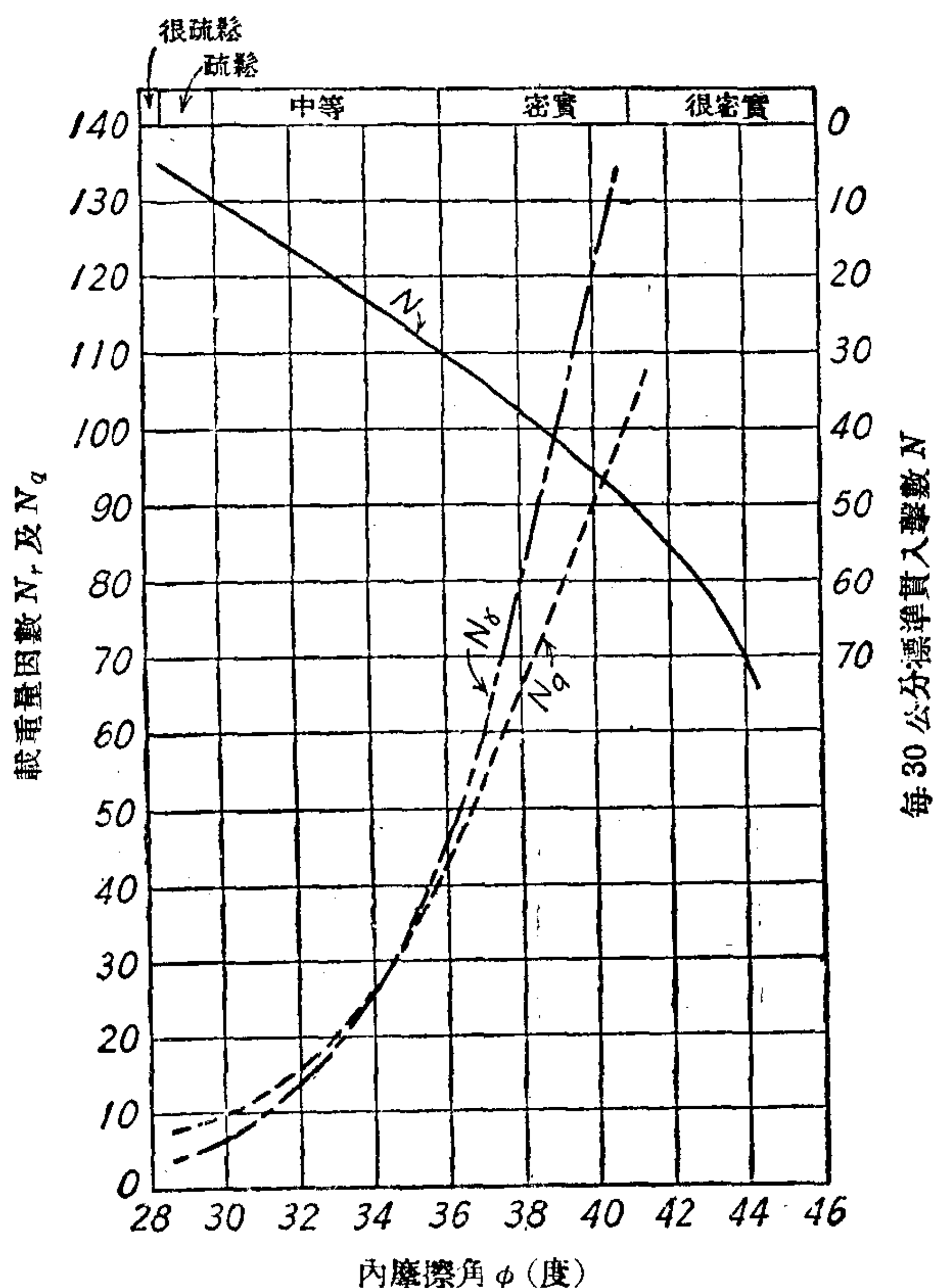


圖 2.2 載重量因數、標準貫入試驗擊數 N 與 ϕ 之間的關係

脚的寬度成正比。由於超荷重所引起的載重量部份，卻與基脚寬度無關。

總之，式 (2.2) 指出基脚在砂土上的極限載重量隨四個因素而變，即：地下水位的位置，砂土的相對密度，基脚的寬度和砌置深度。

載重量圖 決定基脚所需的面積時，以根據淨壓力計算為最方便。所謂淨壓力即基底壓力減去基底水平面以上的土壤超荷重。所以極限的土壤淨壓力：

$$q_d = q_d' - \gamma D_f = \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma + \gamma D_f (N_q - 1) \quad (2.3)$$

上面已說明， N_γ 和 N_q 祇是 ϕ 值的函數，而因之這兩載重量因數主要是砂土相對密度的函數。測定相對密度最簡捷的方法是標準貫入試驗。這種試驗所得擊數 N 與 ϕ 、 N_γ 和 N_q 連繫起來的關係相當可靠。相互關係的結果見圖 2.2 所示。故如 N 已知，式 (2.3) 即可藉圖 2.2 進行計算，表 2.1 為標準貫入擊數 N 與砂土相對密度之間的關係。

表 2.1 砂土相對密度與標準貫入擊數之關係

相 對 密 度	標準貫入擊數 / 30 公分
很 疏 鬆	0 ~ 4
疏 鬆	4 ~ 10
中 等	10 ~ 30
密 實	30 ~ 50
很 密 實	> 50

但必須指出： N 與 ϕ 之間的關係祇是近似的，標準貫入試驗的準確性有其一定的限度。反之， ϕ 與 N_γ 和 N_q 之間關係，主要根據理論導得，要可靠得多。假如 ϕ 由剪力試驗求得，圖 2.2 仍可用於推求 N_γ 和 N_q 。

基底實際淨壓力應不超過極限淨壓力的三分之一。換言之，對於基

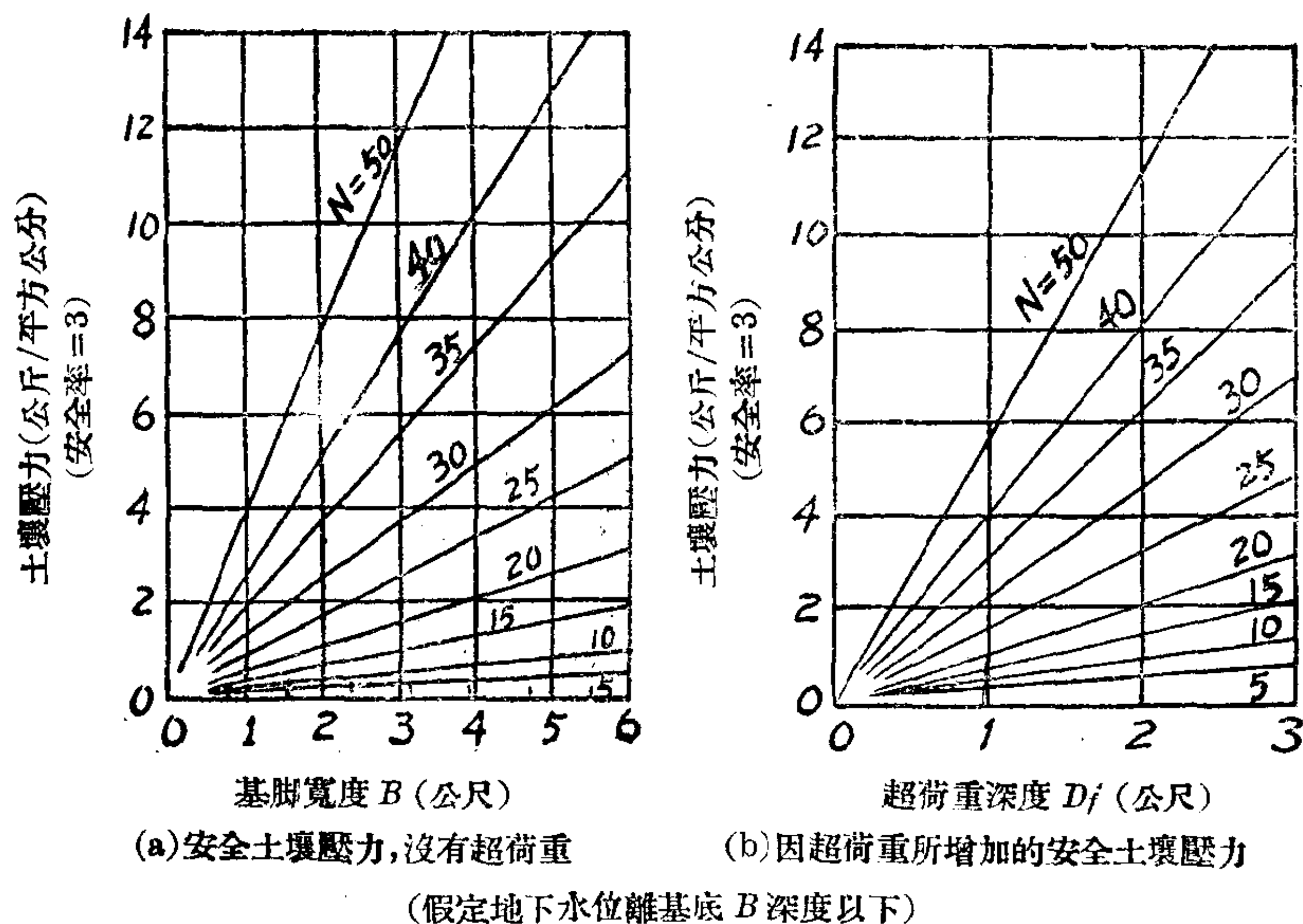


圖 2.3 基脚在砂土上的安全土壤壓力

脚楔入地層的安全率等於 3.0 的壓力, 是安全土壤壓力。這安全壓力自圖 2.3 求得, 很是方便。該圖係根據公式(2.3)及圖 2.2 製成, 假定砂土重 1.6 公噸/立方公尺或 0.0016 公斤/立方公分。圖 2.3 (a) 相當於式(2.3)中 $\frac{1}{2}B\gamma N_\gamma$ 一項; 圖 2.3 (b) 相當於這公式第二項 $\gamma D_f(N_q - 1)$ 。以已知的 B 和 N , 可自圖 2.3 (a) 找出無超荷重時基脚的安全土壤壓力。如有超荷重存在, 圖 2.3 (b) 可得到由於超荷重所增加的安全土壤壓力。

圖 2.2 和圖 2.3 是應用於地下水位離基底等於或大於 B 的情況。如地下水位與基底吻合, 自圖 2.3 (a) 所得安全土壤壓力應再除以 2; 如地下水位與地面齊平, 自圖 2.3 (b) 所得安全土壤壓力的增加值, 也應除以 2。若地下水位在某一中間位置, 使用內插法已可得足夠準確的結果。

以標準貫入試驗測定砂土地層的貫入阻力，應該鑽幾個孔，至少每 4 至 6 個基腳有一個孔。沿每一孔的垂直方向，隔 0.75~1 公尺測 N 一次，^① 自基底至離基底 B 深度內各 N 值平均之，即得一鑽孔平均 N 值。各鑽孔中的最小平均 N 值即用以計算各基腳的安全荷重。

對地下水位以下的細砂層，由於透水性小，貫入時阻力大，擊數往往偏大。這擊數以 N' 表之，如 N' 大於 15，應該藉下式校正：

$$N = 15 + \frac{1}{2}(N' - 15) \quad (2.4)$$

圖 2.3 不但可用於條形基腳，且亦可用於方形或矩形基腳，如果以 B 代表基腳的較小一邊的邊長。

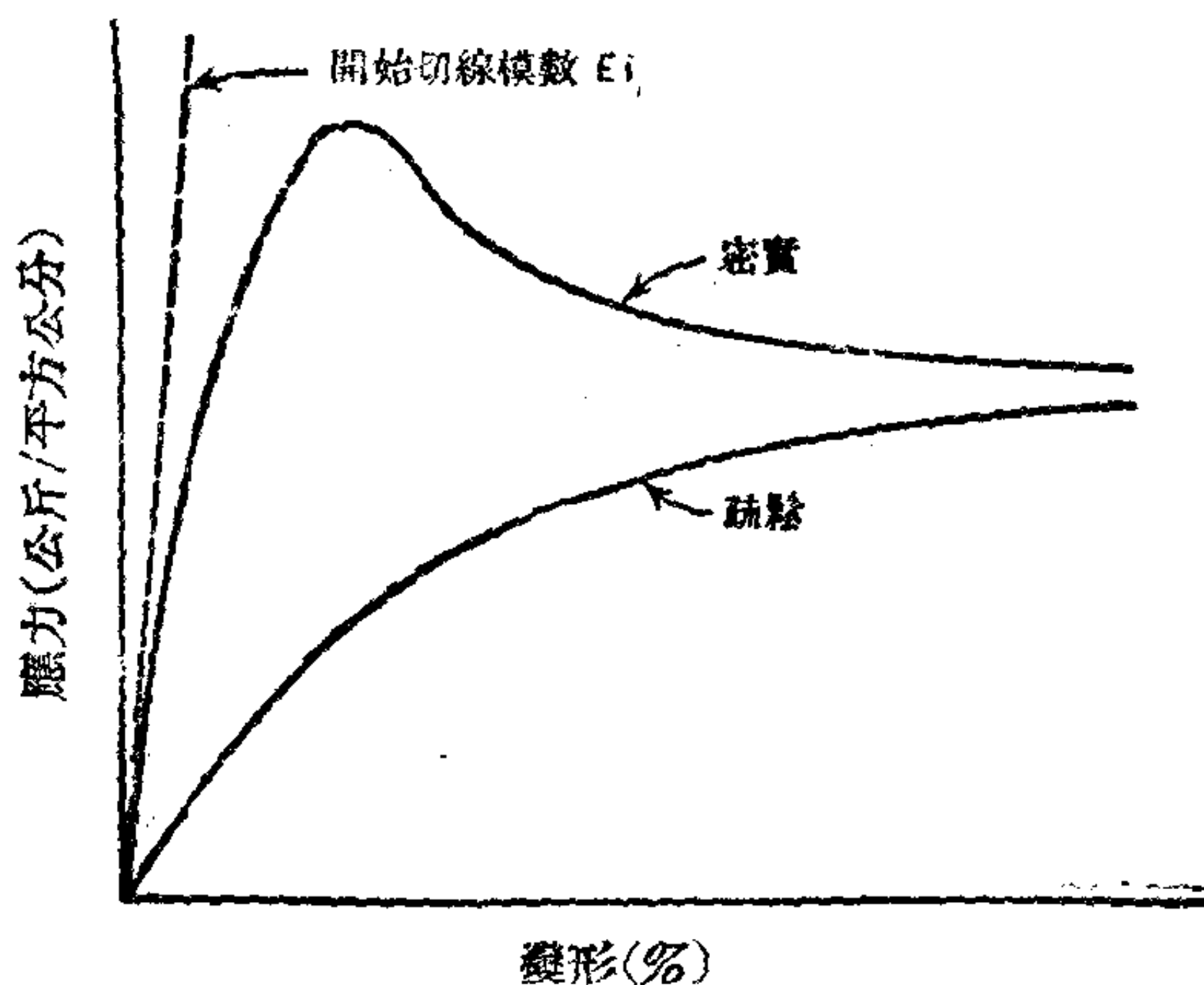
最後，如用其他試驗方法得到 ϕ 值，自圖 2.2 也可得到相當的 N ，而再自圖 2.3 求安全土壤壓力。

沉陷 砂土地基上基腳的沉陷，視砂土的應力與變形之間的特性而定。如圖 2.4 (a) 所指出，砂土的開始切線模數(是代表砂土剛性的)隨相對密度增加而顯著增加。開始切線模數又與側壓力成近乎正比的關係〔見圖 2.4 (b)〕。

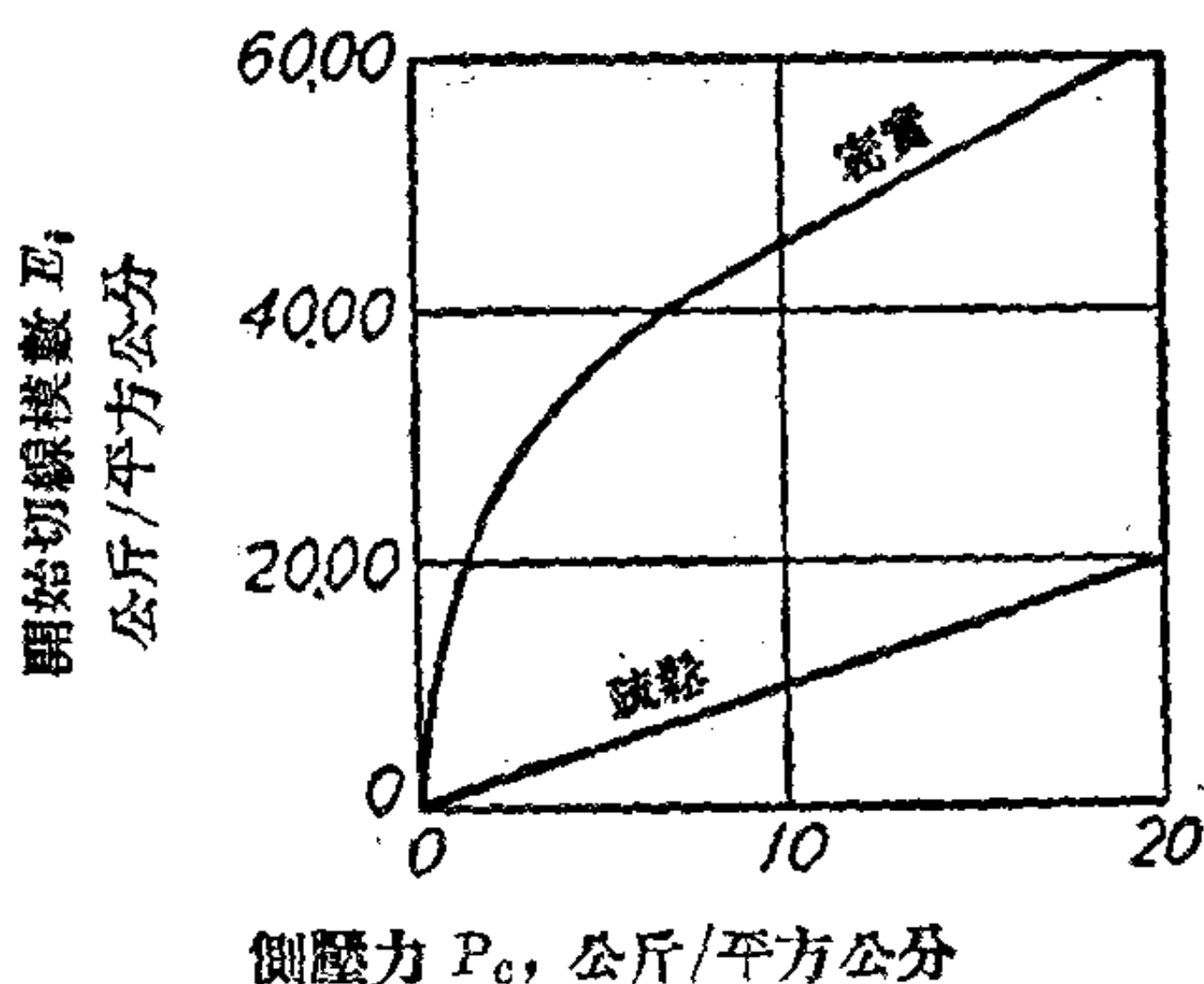
砂土土體中的側壓力約與垂直壓力成正比，因之也與砂土的單位重成正比。影響砂土單位重的最重要因素是地下水位。如地下水位接近於地面，有效的垂直壓力是由於砂土的浸水單位重。所以，如地下水位自很大深度處上升至地面，基腳的沉陷約加一倍。

上面說明了基腳在某一荷重下，其沉陷視砂土相對密度和地下水位位置而定。理論、以及試驗室和工地上的研究均證明：在某一荷重下，沉陷亦隨基腳寬度的增加而增加。將這一切關係的事實綜合起來，就製成圖 2.5。以一已知的 N 和一已知的基腳的大小，即可從這圖找得基

^① 關於測 N 值的方法，可參閱本書首頁照片的說明。



(a) 側壓力不變情形下，砂土的應力-變形關係



(b) 砂土的開始切線模數與側壓力之間的關係

圖 2.4

脚沉陷 2.5 公分的土壤壓力。如欲得到相應其他沉陷的壓力值，可假定沉陷與壓力成正比變化而從圖中所得數值計算之。

圖 2.5 的製成也根據一個假定，即地下水位至少離基底 B 深度以下。如地下水位接近基底或在基底以上，相應 2.5 公分沉陷的壓力應為圖 2.5 所得者之一半。地下水位在 B 深度內的任一中間位置，適當的壓力可用內插法求得。

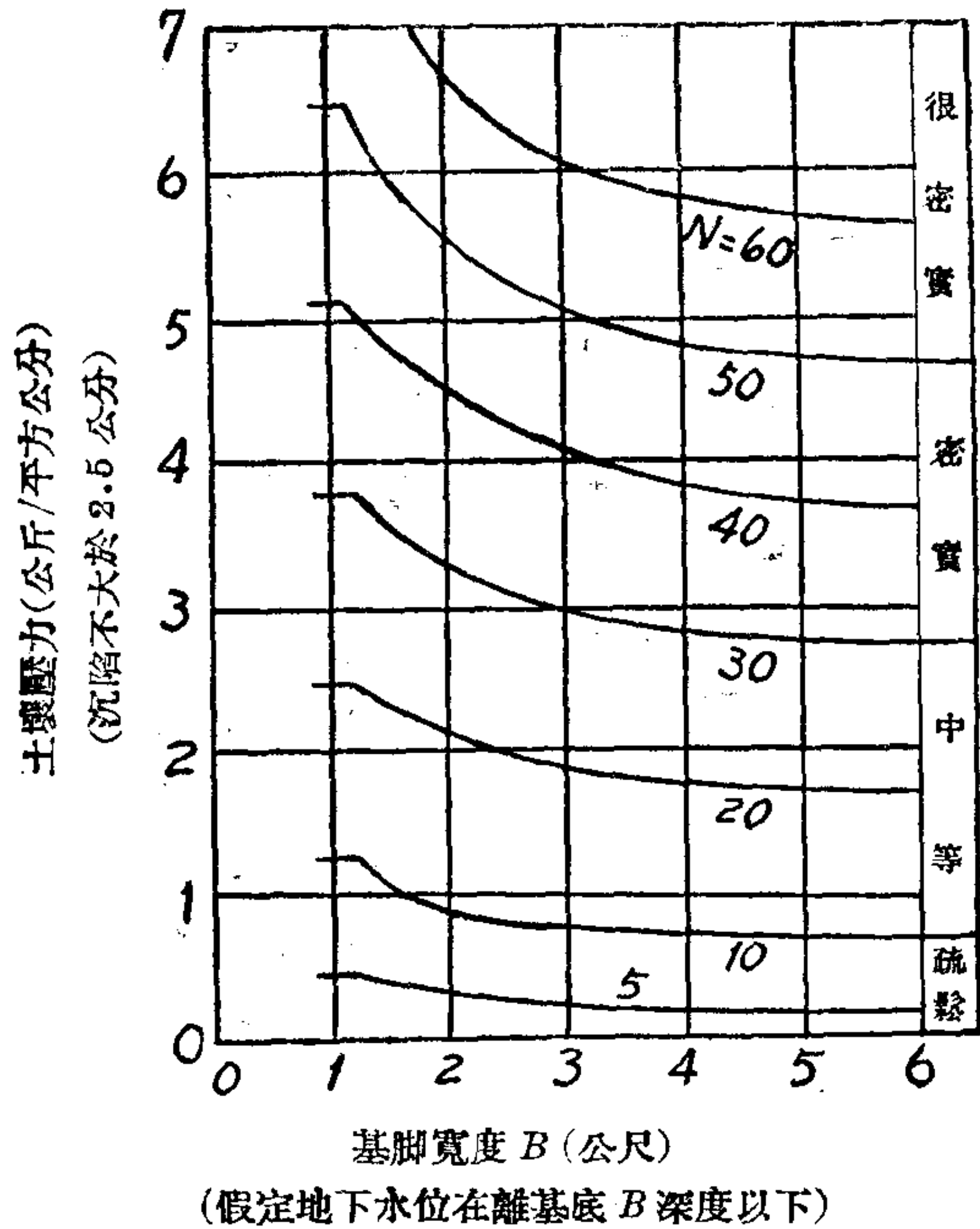


圖 2.5 砂土上基脚沉陷 2.5 公分的土壤壓力

圖 2.5 所採用的 N 值,其決定方法與圖 2.4 相同,前面已有敘述。如基脚不是方的,即以較小一邊作為 B 。

由於產生 2.5 公分沉陷的基底壓力隨基脚寬度而變,故顯然即使在密實程度完全均勻的砂土上,同一建築物各基脚不能採用相等的壓力,否則就引起不均沉陷。然而,如各基脚壓力與最大基脚的壓力相等,就沒有一個基脚的沉陷會超過 2.5 公分。再進一步說,即使是近於均勻的砂土也存在着相對密度的變化,緊砂上的基脚總比鬆砂上者沉得少,這就引起不均沉陷。然而,如假定最大基脚位在最疏鬆的地區,所選擇的壓力使這基脚的沉陷不超過 2.5 公分,則任兩基脚之間的不均沉陷將不會超過 2.5 公分,而實際上很少會超過 2 公分,這不均沉陷值在一般建