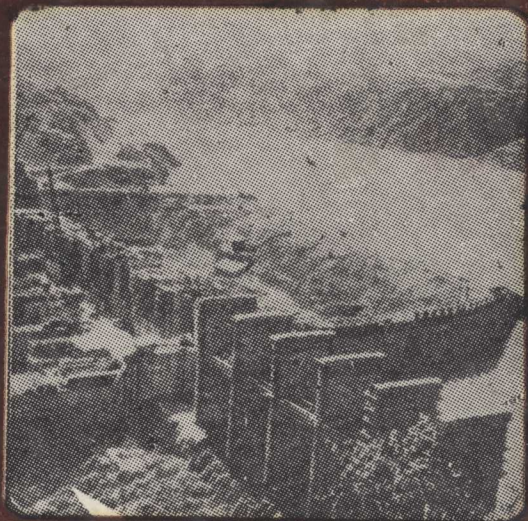


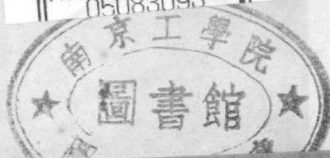
基礎工程學

陳家歡編譯



基礎工程學

陳家歡編譯



人民财产，加意爱护，
遵守纪律，按期归还。

南京工學院

分类号

86.4

登录号

3
642945

著 者 序

這是一本分析和設計建築物地下部份或水下部份的專書。

關於基礎工程的書籍，有的是根據土壤專家的觀點來分析，也有的是根據建築工程師的觀點來研究。前者注重工區土壤的可能性質，而後者則特別注意施工的方法。可是一個基礎工程的設計者，對於上述問題的考慮較少，更注意的是確定基礎各部份內應力的步驟和方法。著者深信本書所論述的分析和設計，頗合結構工程方面的應用，同時也可適應學校基礎結構設計教材的需要。

第一章專述求土壤側壓力的各種方法——朗肯⁽¹⁾和庫倫⁽²⁾的傳統方法以及其他關於分析土壓力的近代觀念。第二章講土壓力在板樁和駁岸方面的應用。第三章敘述土壤載重量與基礎大小，形狀和深度的關係。第四章討論基腳設計的常用方法。另二章解釋樁和羣樁作用，各舉典型實例。最後七章分開討論各種基礎問題，包括圍堰，沉箱，防浪隄，碼頭，橋台和橋墩。

全書特別注重設計工程師所常遇到的實際問題。用數學關係表示下層結構內的應力，最好由研究實例後求得之，本書中所舉的許多例題，正是不可缺少的部份。

著者對於卡發那⁽³⁾教授校閱和批評原稿，以及卡明⁽⁴⁾，斯賓塞⁽⁵⁾，羅潑⁽⁶⁾諸先生允許本書採用他們有關各種基礎工程施工時的照片，均在這裏特別表示謝意。

(1) Rankine

(2) Coulomb

(3) Kavanagh

(4) Cummings

(5) Spencer

(6) Loper

(7) Paul Andersen

目 錄

第一章 土壓力

1-1 概述	1
1-2 定義	1
1-3 歷史的發展	3
1-4 凝聚性土壤的壓力	4
1-5 數值實例	9
1-6 庫倫氏理論	10
1-7 蓬斯雷氏圖解法	15
1-8 庫爾曼氏圖解法	18
1-9 太沙基氏的楔形理論	22
1-10 實際設計要點	25
1-11 複合土壓力	28
1-12 彈性理論的應用	30
1-13 鮑沁內斯克公式	33

第二章 板樁

2-1 概述	37
2-2 鋼板樁	37
2-3 木板樁	38
2-4 鋼筋混凝土板樁	39
2-5 懸臂式板樁	39
2-6 錨着板樁	43
2-7 數值實例	47
2-8 圖解法	49
2-9 板樁的支承量	52

第三章 土壤載重量

3-1 概述	54
3-2 土壤的種類	54
3-3 土壤性質	56
3-4 地下鑽探的方法	58
3-5 鑽探結果的解釋	59
3-6 冰凍深度	62
3-7 土壤載重試驗	62
3-8 其他土壤試驗	65
3-9 土壤許可壓力	66
3-10 數值實例	69
3-11 朗肯氏方法	70
3-12 克賴氏方法	72
3-13 太沙基氏方法	76
3-14 影響載重量的因數	79
3-15 數值實例	80
3-16 沉陷	81
3-17 何素氏方法	83
3-18 比例方法	85
3-19 實際的沉陷	87

第四章 基脚

4-1 概述	90
4-2 鋼筋混凝土學複習	90
4-3 方形單基脚	94
4-4 數值實例	96
4-5 矩形單基脚	99
4-6 矩形合基脚	100
4-7 梯形合基脚	102
4-8 浮筏基礎	105

4-9 浮筏基礎設計實例	107
4-10 水塔的浮筏基礎	110
4-11 格排基脚	112
4-12 數值實例	113
4-13 托底工程	115

第五章 鋼樁、木樁和混凝土樁

1 概述	119
5-2 樁的間距	121
5-3 木樁	124
5-4 鋼樁	127
5-5 鋼樁的選擇	130
5-6 預製混凝土樁	132
5-7 搬移應力	134
5-8 打樁	137
5-9 打樁應力	140
5-10 打樁公式	143
5-11 數值實例	147
5-12 就地澆成樁	149
5-13 就地澆成樁的許可荷重	150
5-14 樁公式的討論	151
5-15 試樁	152
5-16 樁基礎的計劃和規範	154

第六章 羣樁作用

6-1 概述	158
6-2 馬克斯韋爾氏定理	158
6-3 旋轉中心法	159
6-4 數值實例	162
6-5 彈性中心法	164
6-6 數值實例	166

6-7 固定樁	167
6-8 數值實例	172
6-9 平行樁	177
6-10 摩擦樁	180
6-11 數值實例	181

第七章 構體圍堰

7-1 概述	187
7-2 圍堰的型式	188
7-3 計算	189
7-4 數值實例	192
7-5 近似法則	195
7-6 粘土層上的圍堰	196
7-7 數值實例	200
7-8 圍堰設計示例	200

第八章 單壁圍堰

8-1 概述	206
8-2 各部結構的佈置	206
8-3 計算	208
8-4 水中圍堰	211

第九章 開口沉箱和氣壓沉箱

9-1 概述	221
9-2 氣壓沉箱	223
9-3 計算方法	226
9-4 各部結構的佈置	228

第十章 浮動沉箱

10-1 概述	235
10-2 各部結構的佈置	236

10-3	浮動的穩定性	237
10-4	計算方法	240
10-5	鋼質浮動沉箱	241

第十一章 防浪堤

11-1	概述	245
11-2	防浪堤型式	245
11-3	波浪壓力	249
11-4	數值實例	253

第十二章 碼頭

12- 1	概述	259
12- 2	碼頭結構	259
12- 3	駁岸	261
12- 4	樁基碼頭及沉箱碼頭	266
12- 5	直碼頭結構	263
12- 6	設計荷重	269
12- 7	船衝擊力	270
12- 8	數值實例	273
12- 9	直碼頭設計示例	274
12-10	橫碼頭設計示例	276
12-11	碼頭的基土崩潰	280

第十三章 橋墩和橋台

13-1	概述	282
13-2	各部結構的佈置	282
13-3	荷重	285
13-4	數值實例	288
13-5	橋台	292
13-6	橋台的穩定	294
13-7	數值實例	295

13- 8 填土隄崩裂	297
13- 9 數值實例	298
13-10 討論	301
附錄一 鋼鉸樁截面	305
附錄二 固定端力矩	307
附錄三 主動土壓力	308
附錄四 被動土壓力	309

86.4
3

第一章

土 壓 力⁽¹⁾

1-1 概述 土壓力的推算是基礎工程中最基本,最重要的課題,但是不可能得到很準確的結果。因為有許多因素不容易確定,如土壤中常有滲透水壓力的存在,土壤各部份的物理常數(比重,孔隙率,抗剪強度等)也難期一致。

假設土壤是一個理想的均勻體,再加上幾個假定,我們可以求得土壓力的公式。雖然這樣算得的土壓力並不十分準確,但是它們至少表示出壓力的相對變化。祇要土壤的性質愈接近理想土體,所算得的最大土壓力也愈接近實際值。所以安全設計所根據的,就是這可能發生的最大土壓力值。

1-2 定義

(一) 單位重⁽²⁾ 土壤的單位重,視土粒的比重和土粒間的空隙而定。空隙中有水或空氣,或兩者兼有。單位重變化的範圍很小,約自 90 至 100 磅/立方呎。

(二) 凝聚力⁽³⁾ 凝聚力是土粒間抵抗分開的力,與裂面上的垂直壓力無關。在無凝聚性的土壤中,(如砂土和礫)抵抗分開的力全恃摩擦力。這摩擦力與垂直壓力成正比。在凝聚性土壤中,(如粘土)抗剪強度幾全藉凝聚力。

(1) earth pressure

(2) unit weight

(3) cohesion

(三) 內摩擦角⁽¹⁾ 內摩擦角是作量度土壤顆粒間的摩擦力之用。最好以庫倫⁽²⁾方程式來表示，這方程式我們將在以後討論。

(四) 休止角⁽³⁾ 休止角是乾燥疏鬆而無凝聚性土壤所成的自然坡度。砂土的內摩擦角與其密實度很有關係。在乾燥疏鬆的狀態下，內摩擦角與休止角相等。當土壤飽和水份或浸濕後，內摩擦角究竟減小還是增大，各方專家常有爭辯。但根據最新的意見，飽和後砂土的內摩擦角，較乾燥時小 1 至 2 度。（譯者註：原著者主張飽和後的土壤，內摩擦角增加）。

(五) 牆摩擦力⁽⁴⁾ 土壤與擋土建築物間的摩擦力，稱為牆摩擦力或外摩擦力⁽⁵⁾。在計算擋土建築物穩定性時，如牆摩擦力包括在內，將影響到土壓力的大小和方向。關於牆摩擦力的大小，要看擋土建築物的材料而定。鋼板樁⁽⁶⁾要比混凝土擋土牆⁽⁷⁾小得多。牆背有滲水時，牆摩擦力可略去不計。

(六) 主動土壓力⁽⁸⁾ 擋土建築物擋住土壤後，它的背面就存在着土壓力。假使建築物不能負擔土壤壓力向前傾時，後面的部份土壤便滑下。在建築物剛開始前傾的一剎那時所承受的土壓力，稱為主動土壓力。

(七) 被動土壓力⁽⁹⁾ 假如擋土建築向後傾時，背後的土壤便受到壓力。土體本身必須以內阻力⁽¹⁰⁾傳導這壓力。如內阻力不能負擔傳導的任務，部份土壤便向上滑動。在土壤剛開始向上滑動的

(1) angle of internal friction

(2) Coulomb

(3) angle of repose

(4) wall friction

(5) external friction

(6) steel sheet pile

(7) retaining wall

(8) active earth pressure

(9) passive earth pressure

(10) internal resistance

一剎那時所加在建築物上的土壓力，稱為被動土壓力。

被動土壓力遠較主動土壓力為大。在圖1-1(a)中，有一鐵球沿斜面滾下。使球停止滾下而靜止，必須加一向上之力。力的大小，視球與斜面間的摩擦力而定。（斜面的傾角假定不變）

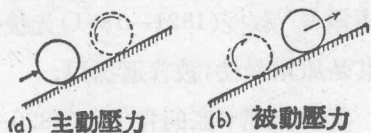


圖 1-1 土 壓 力 比 擬

摩擦力愈大，用力愈小。這力就相當於主動土壓力。在圖(b)中，用力加大，使球恰能上推。這時所用的力，不單須超過鐵球重力沿斜面的分力，還要克服球與斜面間的摩擦力。顯然用力比以前要大得多，這就相當於被動土壓力。因此，土壤的內摩擦力愈大，被動與主動土壓力之差也愈大。無凝聚力和內摩擦的物質，如液體，被動和主動壓力便相等。

在土壓力的理論中，凝聚力和內摩擦常常被提到。兩者究係先後產生，還是同時產生，至今尚是疑問。

1-3 歷史的發展 1773年，法國科學家庫倫⁽¹⁾氏發表第一個土壓力的理論。其時三角函數尚未發明，庫倫氏以代數分數來表示。他說土壤的抗剪強度，可分為內摩擦與凝聚力兩部份。前者與正交壓力成正比，而後者與剪力面積成正比。

庫倫氏的理論中，假定擋土牆後面的土壤成一楔形⁽²⁾滑下，因此擋土牆承受到主動土壓力。但是根據這理論，祇能求得土壓力的大小和着力點，却不能求得其方向。在實際設計中，恆假設土壓力為水平方向，或假設土壓力與牆背所成的角，等於牆與土壤間的外

() Coulomb

(2) wedge

摩擦角。

依據庫倫氏的理論，法國數學家蓬斯雷⁽¹⁾氏(1788—1867)和德國庫爾曼⁽²⁾教授(1821—1881)先後發明了圖解求土壓力的方法。尤其是庫爾曼法，被普遍採用。

英國物理學家朗肯⁽³⁾氏(1820—1872)，假定有一水平的地面，範圍可至無窮遠，(以後我們稱它為‘半無限體’)其中土壤是疏鬆無凝聚力的砂土，均勻而無壓縮性。則由於平衡條件，土壤中任何一個平面的壓力與法線所成的角，不能大於土壤的內摩擦角，否則土壤便開始滑動。根據這假定所求得的土壓力公式，與庫倫氏公式相差無幾。如果在庫倫氏理論中，再加上幾個簡化的假定，則兩個公式完全相同。

1915年，英國工程師培爾⁽⁴⁾氏在朗肯的公式中加入了土壤的凝聚力，使朗肯公式的應用，漸趨廣泛。

近代對土壓力研究有特殊貢獻的，當推太沙基⁽⁵⁾和貞金⁽⁶⁾兩氏。特別是太沙基博士，由於他孜孜不倦的研究，使土壤力學⁽⁷⁾和基礎工程開闢了一條新的道路。

1-4 凝聚性土壤的壓力 圖 1-2 是一架測定土壤抗剪強度的儀器。這儀器的主要部份是一個空圓柱模。圓柱模的中部有一個圈，可向水平方向自由滑動。模中置土樣，土樣上有圓柱活塞，其上連加重板，可增加重物至所需要的正交壓力⁽⁸⁾。在某一正交壓

(1) Poncelet

(2) Culmann

(3) Rankine

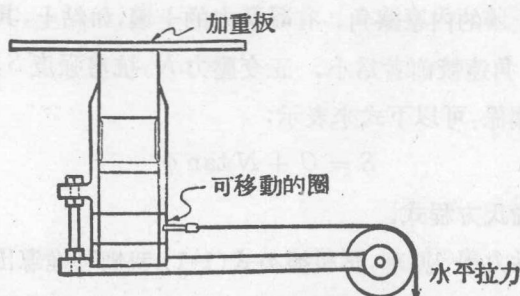
(4) Bell

(5) Terzaghi

(6) Jenkin

(7) soil mechanics

(8) normal pressure

圖 1-2 剪力試驗器⁽¹⁾

力情況下，逐漸增加水平方向的拉力，使中部的圈滑出，至土樣斷裂爲止。因此得到土壤的抗剪強度⁽²⁾。如以同類土樣，作試驗數次，每次改變正交壓力，我們可求得不同的抗剪強度。最後可得到無凝聚力或有凝聚力土壤的抗剪力與正交壓力的關係曲線，如圖 1-3 所示。

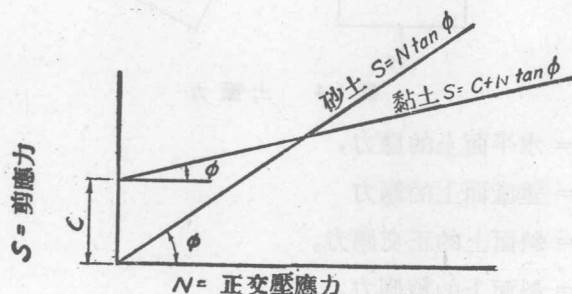


圖 1-3 土壤抗剪強度與正交壓力的關係

這二條關係曲線都與直線很近似，不以直線表示之。無凝聚力的土壤，如砂土，此直線通過坐標的原點⁽³⁾而與水平成 ϕ 角。

(1) 譯者註：這剪力試驗儀器的式樣已屬陳舊，讀者如需要，可參閱土壤力學專著。

(2) shearing resistance

(3) origin

ϕ 就等於土壤的內摩擦角。有凝聚力的土壤，如粘土，其直線不經過原點， ϕ 角遠較前者為小。正交壓力 N ，抗剪強度 S ，和凝聚力 C 三者的關係，可以下式來表示：

$$S = C + N \tan \phi \quad (1-1)$$

這就是庫倫氏方程式。

依據彈性力學⁽¹⁾原理，再根據公式(1-1)，我們可推導出主動土壓力和被動土壓力的基本理論公式。在圖 1-4 中，是一小塊具有單位體積的凝聚性土壤，同時受垂直和水平方向的正交應力。因為在表面上無剪應力⁽²⁾，所以這二種應力稱為主應力⁽³⁾。

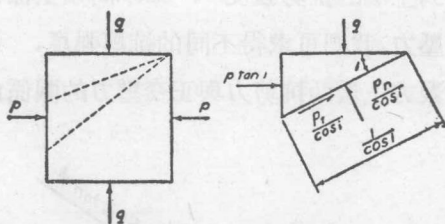


圖 1-4 土 壓 力

q = 水平面上的應力，

p = 垂直面上的應力

p_n = 斜面上的正交應力，

p_t = 斜面上的剪應力，

c = 單位凝聚力，

ϕ = 內摩擦角，

從庫倫氏方程式(1-1)，知剪應力等於內摩擦和凝聚力的總和時，

(1) Timoshenko, Theory of Elasticity (1934) pp. 15-17.

(2) shearing stress

(3) principal stress

即

$$p_t = p_n \tan \phi + c \quad (1-2)$$

土體便開始滑動。

今如在圖 1-4 的土塊中,取一任意斜面,與水平成 i 角,在平衡條件下:

$$\frac{p_t}{\cos i} + p \tan i \cos i - q \sin i = 0 \quad (1-3)$$

$$\frac{p_n}{\cos i} - p \tan i \sin i - q \cos i = 0 \quad (1-4)$$

解 p_t 與 p_n , 得

$$p_t = \frac{1}{2}(q - p) \sin 2i \quad (1-5)$$

$$p_n = \frac{1}{2}(q + p) + \frac{1}{2}(q - p) \cos 2i \quad (1-6)$$

於是

$$\begin{aligned} p_t - p_n \tan \phi &= \frac{1}{2}(q - p) \sin 2i \\ &\quad - [\frac{1}{2}(q + p) + \frac{1}{2}(q - p) \cos 2i] \tan \phi \end{aligned} \quad (1-7)$$

當單位凝聚力 c 大於 $p_t - p_n \tan \phi$ 時, 土體不會滑動。若求 (1-7) 式對於 i 角之第一次微分⁽¹⁾ 而等於零, 可以求得

$(p_t - p_n \tan \phi)$ 為最大值時的 i 角,

$$\begin{aligned} \frac{d}{di}(p_t - p_n \tan \phi) &= (q - p) \cos 2i \\ &\quad + (q - p) \sin 2i \tan \phi = 0 \end{aligned} \quad (1-8)$$

解之得

$$\tan 2i = \frac{-1}{\tan \phi}, \quad i = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \quad (1-9)$$

(1) first derivative

以上所求得的 i 值,是最危險,也就是最容易滑動的平面傾斜角。這時爲阻止滑動所需要的水平應力 p ,可使 $p_t = p_n \tan \phi + c$ 等於零求之。即

$$\frac{1}{2}(q-p) \cos \phi - [\frac{1}{2}(q+p) - \frac{1}{2}(q-p) \sin \phi] \tan \phi - c = 0 \quad (1-10)$$

或

$$q(1 - \sin \phi) - p(1 + \sin \phi) - 2c \cos \phi = 0$$

$$p = q \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} - 2c \sqrt{\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}} \quad (1-11)$$

式(1-11)亦可寫作下式。

$$p = q \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - 2c \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (1-12)$$

同樣,

$$q = p \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (1-13)$$

無凝聚力之土壤, $c = 0$, 所以式(1-12)及(1-13)可化成

$$p = q \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (1-14)$$

$$q = p \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (1-15)$$

式(1-14)和(1-15)是無凝聚力土壤兩主應力間的關係。若圖1-4中的小土塊是代表土體中在深度 h 的一點,土壤的單位重是 w ,則 q 顯然等於 wh ,於是

$$p = wh \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (1-16)$$

式(1-16)代表在無凝聚力之土體深度 h 處每單位面積上的主動