

基礎工程 分析與設計

上 冊

朱紹銘譯

東華書局印行

3RD EDITION

JOSEPH E BOWLES

**FOUNDATION
ANALYSIS AND DESIGN**

基礎工程

分析與設計 (1982 三版)

上 冊

Joseph E. Bowles

原著者

*Consulting Engineer/Software Consultant
Engineering Computer Software
Peoria, Illinois*

譯 者

朱 紹 鎔

東華書局印行



版權所有・翻印必究

中華民國七十四年一月初版

大專
用書

基礎工程

定價 新臺幣貳佰貳拾元整

(外埠酌加運費滙費)

著 者	朱 紹 鎔
發行人	卓 鑫 森
出版者	臺灣東華書局股份有限公司 臺北市博愛路一〇五號 郵撥： 00064813
印刷者	合 興 印 刷 廠

行政院新聞局登記證 局版臺業字第零柒貳伍號
(74006)

原 著 序

本版乃為敘述現代化基礎分析、設計方法及步驟的連續過程之最新版。正如早期版本，基本目標乃使本書成為結構元件及其下層土壤之介面。這也是作者及其他人士雙方認為基礎工程應達之主要目標。壩工、填方、填土以及土壤體積中水流等討論，可能更符合地工技術工程之一般範圍。在若干情況，後一考慮或許是設計或建造一基礎之主要因子；是以，本書之討論亦包括有這幾個論題之若干背景材料。

現在大多數工程師認為，將基礎工程視為土壤力學及土壤性質而與結構工程師設計結構元件當作同一件事，乃是不可能亦不切實際。基礎工程師必須熟練土壤地工技術以及常由複雜基礎——土壤相互作用所產生之結構行為兩方面。後一敘述反映出本書所含有之一般性設計哲理。

作者對於本書已作了相當廣泛之改寫，不過沒有改過任一章之標題，在大多數情況，每節之標題亦已保留。第 2、8、9 及 16 章幾已全部重寫，第 3、4、10 及 11 等各章實質上亦作大幅改寫。這樣做法產生了更合邏輯之論題連續，亦包含了第二版改編時已逐漸增加之最新方法學在內。本書內容約有 80% 是用 SI 制，俾反映出教科用書之一般趨勢以及 SI 在大多數日常用書之預期地位兩方面。

在很多情況，沒有“唯一”用作設計之方程式及方法學，某些工程師喜歡傾向於使用一個或多個代替方法來作設計，尤其在地質方面。本人已嘗試將許多已廣泛為人所用之代替方法呈現出來以充實本書內容。為了能切合實用，例題之分析乃使用了一個或多種代替方法俾使讀者能達成對各方法之熟悉及提供意見兩方面。有幾個例題中，由於用了代替方法——在輸入資料不確定之一般工程辦公室所實用者——

產生之可能解答成爲“摸索”，這種情況不論是來自直接計算或用幾個代替方法所得之平均值皆是如此。本人嚐試以實例（或家庭作業）問題提供給讀者，這些例題很少被刊登過。約有 50% 之家庭作業係新的，且比以往版本有更多答案解出。

譬如由在斜坡上之基脚，席基網格分析以及利用有限元素法解板樁及側樁解答等幾種方法所得答案已經由其他解法或用代替方法所得解答予以比較。這樣得到之結果可以闡述這些新方法乃是適當者。應予注意者，本書所述梁、板樁及側樁之有限元素解法已極爲廣泛使用。作者意見認爲產生滿意且經濟設計之最簡單解法乃是最好之解法。依據不確定是最佳土壤資料之數學模式中，需用數學秘方俾產生最小計算技巧之解法，乃屬不切實際。很多這型解法並不比技術雜誌中所述的更加深入，短時間即會從工程實用中消失。

本人已列出了大約 560 項參考資料，幾乎每一論題皆可據之作深入研究。本人已竭力避免採用一般人士要花很大力量才能取得之晦澀資料。大多數有價值之資料終究可從 ASCE、ASTM、TRB、CGJ、特殊會議或 ICSMFE 論文集等出版物取得，這些資料之取得一般人均不困難。在書目開始處，本人繼續列表使用出版機構之簡寫（包括上述者）以節省篇幅。本人期望不要省略任何重要之文章；不過，在研究之空間，在已知論題中並非所有之論文皆被引述。一般而言，最新或已由最佳書目涵有之論文皆都包括在本書參考資料內。本人亦希望當論文由兩個作者以上發表，而使用“等等”字樣表示參考資料共同寫作者時，不要觸怒其中之資淺者。

本人非常感謝在美國或海外使用本書之許多人士，他們曾以信函或電話對本書提供評述或建設性之意見，或逕行詢問某一方法等。本人亦要感謝 McGraw-Hill 書局參加此一改編並加流覽輸入資料之人士，亦感謝楊城州立大學之 Jack Bakos，克里蒙森大學之 William Baron，賓州州立大學之 William Gotolski，以及內布拉斯加大學之 Roy V. Snedden。由於克里蒙森大學之 William Baron 作了最後稿之

校閱，本人衷心致為感謝。

最後本人亦要感謝內人 Faye，她對本書作了甚大貢獻，包括協助打字以及其他很多事務使本書能早日出版。

Joseph E. Bowles

目 錄

原著序

第一章 緒 論	1
1-1 基礎——定義及目的	1
1-2 基礎分類	2
1-3 基礎位置與系統經濟	3
1-4 基礎之一般要求	6
1-5 基礎選擇	7
1-6 SI 及英制單位	7
1-7 計算準確度及設計精度	10
習 題	11
第二章 基礎工程中之土壤力學	13
2-1 概 述	13
2-2 基礎材料	15
2-3 土壤體積與密度關係	16
2-4 影響土壤工程性質之主要因素	21
2-5 試驗室之一般試驗	24
2-6 基礎設計中之土壤分類	31
2-7 土壤分類之術語	34
2-8 原位應力及 K_0 條件	41
2-9 土壤水——土壤水力學	46
2-10 壓密原理	53
2-11 剪力強度	65
2-12 靈敏度及復原性	77
2-13 應力線路	78

2-14	土壤之彈性性質	84
2-15	等方向性及異方向性之土壤塊	90
習 題		95
第三章	探測、取樣及原位土壤量度	101
3-1	需要資料	101
3-2	探測方法	102
3-3	探測計劃之規則	103
3-4	土壤鑽孔	107
3-5	土壤試樣	112
3-6	海中取樣	120
3-7	標準貫入試驗 (SPT)	121
3-8	其他貫入方法	127
3-9	鑽心取樣	129
3-10	地下水面之位置	132
3-11	鑽孔之深度及數量	135
3-12	資料表示	135
3-13	工地載重試驗	139
3-14	土壤工地十字片鑽試驗	143
3-15	原位應力及 K_0 條件之量度	146
3-16	靜力貫入試驗——荷蘭圓錐貫入試驗 (CPT)	151
3-17	鑽孔剪力試驗	154
3-18	地震探測	155
習 題		159
第四章	基礎承載量	163
4-1	概 述	163
4-2	承載量方程式	164
4-3	承載量計算之一般評論	170
4-4	承載量之例題	175

4-5	有偏心或傾斜載重之基脚	179
4-6	地下水面對承載量之效應	183
4-7	疊層土壤上之基脚承載量	186
4-8	在斜坡上之基脚承載量	192
4-9	從 SPT 得出之承載量	196
4-10	應用圓錐貫入試驗 (CPT) 資料求承載量	199
4-11	有上頂力或拉力時之基礎承載量	200
4-12	根據建築規範許可之承載量 (推測壓力)	204
4-13	基礎設計中之安全因數	205
4-14	岩石承載量	209
習 題		210

第五章 基礎沉陷.....215

5-1	沉陷問題	215
5-2	基脚壓力引起之土積應力	216
5-3	計算土壤壓力之 Boussinesq 法	217
5-4	計算土壤壓力之 Westergaard 法	224
5-5	即時沉陷之計算理論	230
5-6	即時沉陷——應用	235
5-7	計算即時沉陷之代替方法	241
5-8	疊層及異向性土壤中之應力及位移	247
5-9	壓密沉陷	248
5-10	沉陷計算之可信度	252
5-11	對於已知或相等沉陷時之基脚配比	253
5-12	填土上之結構物	256
5-13	結構物對沉陷及差別沉陷之容忍度	257
習 題		259

第六章 基礎使用地基之土壤改良法.....263

6-1	概 述	263
-----	-----------	-----

6-2	壓 實	265
6-3	改良地基土壤之預壓法	266
6-4	使用砂床及排水孔排水	268
6-5	增大土壤密度之震動法	271
6-6	基礎灌漿及化學穩定	274
6-7	改變地水條件	275
6-8	使用地纖維以改良土壤	275
	習 題	277
第七章 基礎設計所要考慮之因素		279
7-1	基脚深度及間距	279
7-2	移動土壤之效應	283
7-3	淨及總土壤壓力——設計土壤壓力	283
7-4	結構隣近流水之侵蝕問題	285
7-5	腐蝕保護	286
7-6	地水面之波動	286
7-7	在砂沉積上之基礎	286
7-8	黃土上之基礎	287
7-9	在膨脹性土壤上之基礎	289
7-10	在黏土及沉泥上之基礎	294
7-11	衛生掩埋地基上之基礎	296
7-12	冰凍深度及永冰層上之基礎	298
7-13	環境考慮	299
	習 題	300
第八章 展式基脚設計		303
8-1	基脚——分類及目的	303
8-2	展式基脚設計中之容許土壤壓力	304
8-3	應用在基脚設計中之假定	305
8-4	鋼筋混凝土設計——極限強度設計法	307

8-5	展式基脚之結構設計	314
8-6	承載板及錨栓	327
8-7	基 座	336
8-8	矩形基脚	341
8-9	偏心載重展式基脚	346
8-10	不對稱基脚	359
8-11	牆基脚及住宅構造之基脚	364
8-12	有傾覆力矩之展式基脚	368
	習 題	371

第九章 在彈性基礎上之特別基脚及梁.....375

9-1	概 述	375
9-2	矩形聯合基脚	375
9-3	梯形基脚之設計	386
9-4	連樑 (或懸臂) 基脚之設計	392
9-5	工業設備之基脚	396
9-6	地基反力模數	406
9-7	彈性基座樑之古典解法	413
9-8	彈性基座樑之有限元素解法	419
9-9	橋 墩	429
9-10	環式基礎	431
9-11	對有限元素法之一般評論	435
	習 題	436

第十章 席式基礎.....441

10-1	概 述	441
10-2	席式基礎之種類	442
10-3	席式基礎之承載量	443
10-4	席基沉陷	444
10-5	席式基礎之設計	446

10-6	分析席基之有限差數法	456
10-7	席式基礎分析之有限元素法	458
10-8	席基與上部結構之交互作用	471
10-9	圓形席基或板	473
習題		476

第一章

緒 論

1-1 基礎——定義及目的

所有設計用土壤支持之結構物，包括房屋、橋梁、填土、土壩、土石壩及混凝土壩等，皆由兩部分組成。即是上部結構（superstructure）或土壤上面部分以及介於上部結構及支持土地中間面之下部結構（substructure）部分。就一填土壩而言，上部結構及下部結構間常無一明顯界線。基礎（foundation）之定義乃是下部結構以及其鄰近之土壤（或岩石）部分，其將受到下部結構元件及其載重兩者之影響。

基礎工程師乃是具有適當訓練及豐富經驗之人，他須具有能夠解決基礎系統設計問題之能力。因此，基礎工程之定義乃是應用土壤及結構力學之原理，再加上工程知識之判斷（技術）而能解決介面（interfacing）問題之科學及技術（art）。是以基礎工程師要直接參與影響將載重從上部結構傳至土壤之結構構件的設計，俾使受載重後之土壤穩定及估計變形能夠被承受。因為下部結構元素之設計，形狀及位置常須受到土壤如何反應之影響，是以基礎工程師必須熟悉結構設計。

許多實際上之考慮乃是基礎工程之一部分：

1. 基地上具有任何工地或試驗室內試驗資料之明顯地質情況。
2. 適當工地探測及試驗室試驗程序之擬訂。
3. 能夠建造且儘可能符合經濟原則之下部結構元素的設計。
4. 實際施工方法以及能夠獲得施工公差之評估。公差略微相差少許，對基礎成本亦會造成巨大影響。

2 基礎工程

這幾項並不與數量直接相關，但卻須具豐富有關基礎知識方能斷定。

土壤力學 (soil mechanics) 原理中有關穩定性、變形、以及土中水流等徹底了解對基礎工程之成功完成乃一必要之因素。當然，在土壤形成中之地質過程的了解亦具有幾乎相當之重要性。現已知悉，土壤穩定性及變形兩者皆視土壤之應力過程而定。直至現在，大家還認為基礎工程只與土壤力學相關，而界面元素之設計乃是結構（及其它）設計師之事。讀者讀完本書後，即可判定此一說法是否妥當了。

過去五十年來，土壤力學及其與地質構造關係之科學已有巨大之進步與發展。不過，因為土壤之自然變化而招致將在第三章欲詳述之一些試驗上的問題，基礎設計仍需要相當程度之技巧，或需要相當程度之判斷。此項應用之擬訂乃是基礎能容許冒險程度之評估。

編寫本書之主要內容，乃是介紹建築物中之界面元素及擋土結構的分析及設計，亦要介紹能應用於此等元素分析及設計之土壤力學原理。這些界面元素包括有近表面之構材如基脚及蓆基以及深層元素如樁及沉箱等兩類。混凝土擋土結構 (retaining structures) (常稱為擋土牆)，金屬擋土結構（如板樁 (sheetpile)）兩者亦將在後面各章中敘述。土壤力學原理包括了穩定性（內含土壤水效應），及變形分析兩者。由於各種改進技術之使用，使得土壤穩定大為提高，最常用之方法乃是壓實 (compaction)，這等方法中，較常用之幾種將在第六章中介紹。

1-2 基礎分類

建築物，從矮小住宅至高樓大廈以及橋梁結構物等之基礎，其作用乃要傳遞上部結構之載重。這些載重來自柱型構材 (column-type member)，其應力強度大約從鋼柱之 140 MPa 變化至混凝土柱之 10 MPa，至於土壤之支持容量，很少超過 500 kPa，大多在 200 至 250 kPa 之間。讀者甚易知悉，此種介面所連接之材料，就所用工程強度

言，相差數之變化達好幾百倍。此等巨大上部結構載重傳至土壤之方式可以利用

1. 淺基 (shallow foundation) —— 有基脚 (footings)，展式基脚 (spread footing)，或蓆基 (mat)。基礎深度一般是 $D \leq B$ (見第四章)。
2. 深基 (deep foundation) —— 樁或沉箱 (caisson)，深度 $D > 4$ 至 $5B$ (見第十六至十九章)。

任何結構物，用以抵擋土壤或那些非因重力自然發生在幾何形狀上類似的土體如顆粒、煤或礦沙等，稱為擋土結構 (retaining structure)。不包括在淺基、深基、或擋土結構中之任何基礎皆稱為特別基礎。

標準基礎之型式如下：

1. 建築物之基礎 (可用淺基或深基)。
2. 煙囪、無線電及電視塔、橋墩、工廠基礎等 (可用淺基或深基)。
3. 港埠或海中結構之基礎 (可用淺基或深基，通常且帶用擋土結構)。
4. 需轉動、往復及衝擊機器、渦輪機、發電機等之基礎 (可用淺基或深基，且需要防震控制)。
5. 支持開挖或支持橋台、橋墩，或用作抵擋顆粒、礦沙、煤炭等大堆物之阻擋結構的基礎元素 (可用擋土牆或板樁結構 (sheet-pile structure))。

建築物基礎用得特別多，其他型式上部結構物所用之基礎的數量就少得多了。

1-3 基礎位置與系統經濟

如果居住者欲期其建築物能充分達成其功能且安全，其基礎必須

選擇適當。當然，其他結構為完成其各自應具之功能且安全，基礎亦必須選擇適宜，不過，建築物有較嚴格標準的是核能電廠、渦輪發電廠、以及某類無線電天線設備等基礎，對於安全及功能有額外之要求。為了安全原因，核能電廠之基礎需要特別嚴格設計及功能準則。支持特別昂貴機器之其他基礎，亦需注意其對微小土壤變形之靈敏度。

最近，由於幾個可以避免但却崩潰之土壩，使得有數人喪命後，用土壤作為主要築造材料之土壩設計已更趨細心及嚴格。吾人可以發現，用於土壩之土壤力學及地質學原理已比用於大多數基礎工程問題來得更多。除掉上部結構之嚴格準則外，不穩定性及流過底層土壤之水流亦須嚴格考慮。更須深一層考慮者乃是底層土壤之必然變形以及上部結構中之沉陷（壩中之填土材料）。設計者特別留心後一變形之發生，即可避免壩中之底層龜裂、導致管湧（piping）破壞、壩頂龜裂、及產生漫溢破壞。

如果沒有任何成本或財政方面之限制，似乎任何合理之結構物皆能建造且受到安全支持。不幸這種情況，在真實工程中極少，因此，基礎工程師要在比理想條件少得甚多之情況下，作一決定，實在困難。再者，可能錯誤被隱蔽，由誤差所得結果不會消失，可能在相當短之時間內暴露出來——或許在任一規定保固期之前。已有報導之例子說，有些基礎缺陷（如像發裂之牆或破損之機械裝備）要在很多年後方才暴露——亦有些例子是在上部結構施工期間或剛完工後，缺陷即被發現。

因為下部結構深埋於地，或在上部結構之下，此種配置使得吾人接近下部結構甚為困難，是以上部結構完成後，基礎不適之情況仍會發生而吾人却不知悉，故其設計實用上却較保守。在這些情況，對於基礎，作 1 % 或 2 % 之過度設計比起對上部結構之投資，將會產生更大之回報蘊勢。

設計者常會面對的，乃是去達成一個安全且經濟之設計，同時該一設計尚須克服基地上不同天然土壤所產生之問題。目前此一問題已

因用地不足，需要開發那些已用作衛生填土地、垃圾場、甚至危險之廢物處置地。另一較複雜之因素乃是施工行動能夠改變土壤性質，而這些性質乃是在作基礎初期分析或設計所應考慮者。這些因素使得基礎設計變得相當主觀及困難，且難以斷定兩設計者同時提出均能滿足同樣條件之兩完全不同設計的好壞。成本似乎是用來決定誰為較佳之設計。

例如，此一問題及衆多不同解答將視下述條件而定：

1. 需要何種滿意之程度，容許沉陷量為何；如何將估計之沉陷量從 30 mm 減至 15 mm，需要增加多少額外費用？
2. 客戶是否已經同意一適宜之土壤探測計劃？土壤鑽探能否表示土壤變化種類？增加鑽探是否能增進基礎資料之了解？
3. 土壤支持建築物能用下述基礎嗎？
 - (a) 展式基腳——最少成本。
 - (b) 席基——中度成本。
 - (c) 樁或沉箱——展式基腳成本之數倍。
4. 基礎失敗將對公共安全造成何種結果？如果基礎不能達到其功能，訴訟之結果為何？
5. 吾人亦常聽說，只因基礎單一項目花錢很多，使得計劃不是經濟可行。是以此一基地必須放棄，另尋基礎費用能負擔得起之基地。
6. 當地施工人員之能力如何？對於一精巧之基礎，如無人能建造，或如其設計乃是與衆不同，包商在投標時包含有很大之“不確定（uncertainty）”因素時，此一設計乃非聰明之設計。
7. 基礎工程師之工程能力為何？雖則此一因素列在最後，但在經濟設計中却非最不重要者。顯然，工程師之能力正如其他專技人員（如律師、醫師、教授等）及如其他行業人員（如木匠、電子技師及油漆匠等），具有不同之水準。

如果基礎失敗是由於任何經費受到削減（實際上是接受更高之風