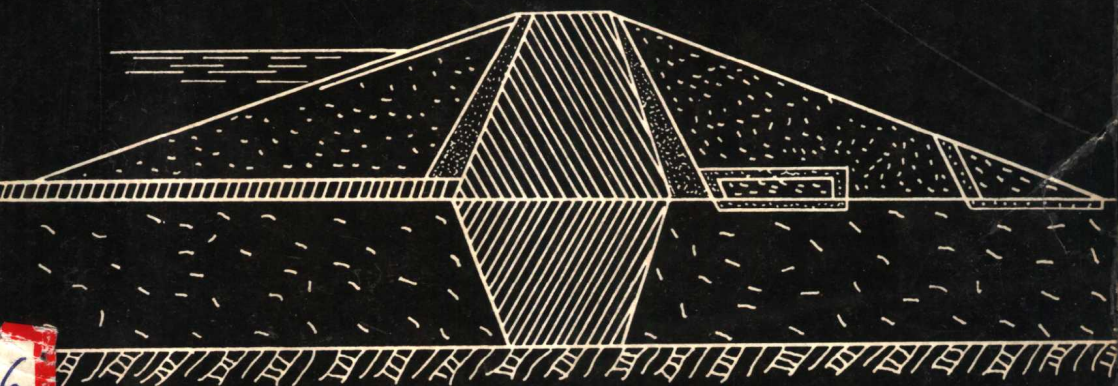


EARTH AND ROCKFILL DAM
GEORGE F. SOWERS ENGINEERING

土壩及堆石壩工程

唐 山 譯

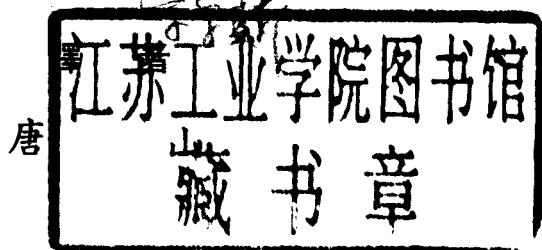


東華書局印行

土壩及堆石壩工程

著 者

GEORGE F. SOWERS



東華書局印行



版權所有・翻印必究

中華民國六十三年十一月初版

大學
用書

土壩及堆石壩工程 (全一冊)

定價 新臺幣 **壹佰元正**

(外埠酌加運費滙費)

著 者 — George F. Sowers

譯 者 唐 山

發行人 卓 鑫 森

出版者 臺灣東華書局股份有限公司

(台北市博愛路一〇五號)

印刷者 合 興 印 刷 廠

(台北市大理街130巷2弄1號)

內政部登記證 內版臺業字第一〇三一號
(63025)

譯者序

科技不斷進步，世界各國鋼筋（板）混凝土的建築物越來越多，但是在壩工方面，因土、石為最普遍的材料來源，因此依建築材料而分類的壩，仍以土、堆石者居多。根據美國出版的「世界年鑑」（The World Almanac）刊載，世界著名的大壩以土壩和堆石壩佔絕大多數，最高壩方面雖以混凝土重力壩為多，但迄一九六八年仍在施工的蘇俄所建世界最高壩Nurck（1017呎）便是土壩，此外加拿大仍在施工的Mica壩（高800呎），亦為土壩。我國在台灣南部新近完工的曾文水庫，壩高133公尺，頂長400公尺，大壩體積 $9,296,100\text{ m}^3$ ，便採用滾壓式土壩，壩面採拋石保護，由上可知土壩與堆石壩應用之廣。

本書作者蘇華（George F. Sowers）為美國喬治亞工學院（Georgia Institute of Technology）土木工程教授，亦為美國訴訟工程試驗公司（Law Engineering Testing Company）副總裁，阿拉巴馬（Alabama）電力公司水力計劃顧問，美國杜基（Duke）電力公司土壩顧問，美國土木工程學會會員，以及該學會土壓力委員會會員，美國試驗與材料學會會員、美國地質學會、美國大壩委員會等委員……。

一九四二年，作者自Case工學院畢業，經過水力工程特考之後，被選派在世界著名之田納西河谷（Tennessee Valley）擔任水力工程師，研究河川流量、制洪與地水流量等方面。第二次世界大戰期間，蘇氏在美國海軍服役，擔任電子設備維護方面的講師。戰

後退役，在 K. Terzaghi 與 A. Casagrande 教授指導下，榮獲哈佛大學土壤學碩士學位。一九四七年，蘇氏在喬治亞工學院負責開創研究所課程及籌備土壤工程試驗所，同時他受聘訴訟工程試驗公司工作。擔任該公司土壤探查與工程設計部門主任。蘇氏先後在美國東南各州擔任許多最大施工計劃顧問。包括負責壩址調查研究、基礎分析、化學工廠、熱電力廠如爲通用電力公司、通用馬達公司、喬治亞電力公司、阿拉巴馬電力公司、杜基電力公司及美國海軍等勘定基礎。

蘇氏發表過三十篇以上的技術論文，並且出版過：「土壤力學與基礎導論」(Introductory Soil Mechanics and Foundations)及「土壤試驗手冊」(Laboratory Manual for Soil Testing)兩書頗負時譽。

一九五九年蘇氏在技術合作項下以四個月時間應聘在印度 Roorkee 大學水資源開發訓練中心 (Water Resources Development Training Centre) 擔任客座教授及顧問。本書即爲他對參加訓練之工程師所開的講座時使用的講義修訂而成，並由該大學協助出版。

由上述，讀者不難從作者之背景獲知本書之內容，實係根據他參與過四十座以上大小土壩基礎調查與設計研究經驗累積而成，諒可裨益於這方面的研究者。譯者因講授灌溉工程課程，其中關於水源部分涉及壩工與水庫，乃將本書譯出供諸生參考。惟譯者不敏，行政工作繁重，謬誤之處在所難免，幸海內外先進教正，幸甚。

民國六十三年元月

唐 山

序

世界各部門急劇發展之同時，對於水有強烈的要求——用於發電、灌溉、航行、家庭及工業使用的水量。這些需求大多數由蓄水庫提供水頭和蓄水量而獲得滿足。所耗費的時間與金錢大部係用於建造水庫的壩。這種計劃之中，土壩和堆石壩所佔比例甚大。由於利用天然材料，故能迅速施工，且所費低廉，完成的壩無論就安全和耐久方面，均不遜於混凝土壩和圬工壩。

有關土壩和堆石壩的分析、設計與乎施工等方法，發展迅速，已充斥於工程文獻中。有關機構，如美國墾務局（U.S. Bureau of Reclamation），出版過許多手冊供這方面的員工使用。但對於一位新加入這方面工作的人，面對如此浩繁的文獻，和設計上要求十分嚴密的手冊，實在難以處理。本書目的，就是對尚未熟知這方面近代發展的工程師們，提供土壩和堆石壩工程的介紹。希望能為他們提供這方面的科學背景與基本工程知識，不僅要他們知道怎樣做，更重要的是瞭解如何要這樣做。

本書的目的不希望作為設計手冊的代替物。由於主題上的整體和示性知識，相信有助於使比較專門手冊的使用者能更信賴他們的方法。本書不致力於包容世界各國的工程師們所發展且已發表的卓越觀念。相反在促使讀者注意，希望藉過去和目前文獻之不斷研究而拓寬知識領域。

本書有少部分是作者研究所得，其中引用工程文獻之處甚多。作者對資料來源均予註明，並申致謝忱。

作者對促成本書之印度 Roorkee 大學副校長柯何斯拉博士 (Dr. A. N. Khosla) 所作之鼓勵與協助，敬申謝悃。柯氏對全世界工程師鼓舞從事水資源開發不遺餘力，是一位首倡者。

Roorkee 大學水資源開發訓練中心主任 K. N. Kathplia，教授 Hakim Rai 與 U. L. Chaturvedi；副教授 B. S. Talwani；講師 H. J. Ajwani；與大學方面的同仁，尤其是 R. S. Chaturvedi 對作者在該中心的講義與筆記提供建議與有益批評，貢獻良多，特一併誌謝。

印度政府中央水電委員會 (Central Water and Power Commission) K. C. Thomas 博士對本書大綱頗費心力，並提供草案，如無他的協助與鼓勵，本書實無法寫成。

水資源開發訓練中心技術出版處主任 H. L. Sally，把本書由手稿印刷成書，貢獻至大。

最後，本人對維斯康辛大學，與美國在印度的技術合作團 (U. S. Technical Cooperation Mission) 的支持，使本人得在水資源開發訓練中心設立講座，致深切謝意。

George F. Sowers

術語與符號

下列符號均在本書內曾使用者，術語與符號均遵守由美國土木工程學會及美國試驗材料學會所擬定的標準。一部分例外者則與國際土壤力學與基礎工程學會所公佈的符號一致。

- A 面積 (ft^2 或 cm^2)
- A_o 孔隙或導管斷面積
- a_o 壓縮性係數 (ft^2/lb , cm^2/kg)
- b 寬度 (ft 或 cm)
- C 表示當一構造物停於土或石體上時暴露於空隙的面積之分數的係數
- C_c 壓縮指數 (無次元)
- C_r 潛伸 (行) 率
- C_u 凝固係數
- c, c' 無排水剪力或表面粘性土壤或岩石的飽和粘土抗剪強度 (lb/ft^2 , psf , kg/cm^2)
- c_v 凝固係數 (ft^2/day , cm^2/sec)
- d 直徑 (ft 或 cm)
- D 土粒直徑 (mm)
- D_{10} 體積 (大小) 百分之 10 的直徑——較細者重量百分之

- 十 (mm)
- E* 彈性模數 (lb/ft², kg/cm²)
- e* 孔隙率 (無次元)
- G* 土或石粒子比重 (無次元)
- H* 土層厚度 (ft, cm, 或 m)
- h* 水頭 (ft, cm, 或 m)
- i* 水力比降 (無次元)
- i_c* 臨界出口比降
- K₀* 靜止時土壓力係數 (無次元)
- K_a* 主動土壓力係數
- K_p* 被動土壓力係數
- k* 滲透性係數 (ft/min, cm/sec)
- L* 距離或長度 (ft, cm)
- LL* 液限 (無次元)
- m* 安定性數字 (無次元)
- n* 孔隙率或孔隙百分率 (無次元)
- P* 作用於一面積或一單位長度上的合成土壓力 (lb, lb/ft, kg, kg/cm)
- P_a* 合成主動土壓力 (lb, lb/ft, kg, kg/cm)
- P_p* 合成被動土壓力 (lb, lb/ft, kg, kg/cm)
- PL* 塑限 (無次元)
- PI* 塑性指數 (無次元)
- p* 壓力, 或破裂平面上之垂直應力 (lb/ft², kg/cm²)

$\bar{p}$	破裂平面上有效應力 (lb/ft ² , kg/cm ²)
Q	流量 (ft ³ /sec, cm ³ /sec); 總載重 (lb, kg)
q	基礎對土壤所施壓力 (lb/ft ² , kg/cm ²)
q_u	極限或破裂載重量 (lb/ft ² , kg/cm ²)
q_u	無拘限抗壓強度 (lb/ft ² , kg/cm ²)
S	飽和度
SL	收縮限 (無次元)
SF	安全因數 (無次元)
St	敏感性, 土壤無攪動強度對重整後強度之比
s	抗剪強度 (lb/ft ² , kg/cm ²)
T	時間因數
T_o	表面張力 (lb/ft, gm/cm)
t	時間 (sec, days)
U	上頂力 (lb, kg), 凝固百分率 (無次元)
u	水壓力 (中和應力) (lb/ft ² , kg/cm ²)
V	體積 (ft ³ , cm ³)
V_e	出口速度
V_i	滲流速度
w	含水量 (無次元)
z	深度, 向下為正 (ft, cm)
α	一平面與大主要平面之角, 破裂面與大主要平面之角
β	土壩面或斜坡之角

- r 單位重量 (lb/ft³, kg/cm³)
 r_e 等效單位流體重
 r_{em} 最大等效單位流體重
 r_w 單位水重 (lb/ft³, kg/cm³)
 r' 沒入水中後之單位重 (lb/ft³, kg/cm³)
 r_d 乾密度——在單位土體內之固體重量 (lb/ft³, kg/cm³)
 Δ 應力或應變之變化——用作字首
 E 彈性模數
 ϵ 應變 (無次元)
 ρ 接觸沉陷 (in 或 cm)
 σ 垂直應力 (lb/ft², kg/cm²)
 $\bar{\sigma}$ 有效垂直應力 (lb/ft², kg/cm²)
 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 主應力
 σ_c 凝固前載荷 (lb/ft², kg/cm²)
 σ_o 最初應力 (lb/ft², kg/cm²)
 τ 剪應力 (lb/ft², kg/cm²)
 ϕ 內摩擦角
 ϕ' 部分飽和黏土等的剪阻力角
 ϕ_D 排水土壤的剪阻力角
 ϕ_{cu} 凝固不排水土壤的剪阻力角
 μ 波遜比率

目 錄

第一章 緒論.....	1
1 - 1 土場及堆石場的用途.....	1
1 - 2 爲何用土作場?	3
1 - 3 土場及堆石場的一般特色.....	6
1 - 4 填土場的種類.....	8
第二章 土壤構造.....	10
2 - 1 土壤及岩石的定義	10
2 - 2 土壤組織狀態	11
2 - 3 土壤固體	14
2 - 4 粒徑	17
2 - 5 土粒形狀	20
2 - 6 吸附作用和可塑性	21
2 - 7 土壤結構	24
2 - 8 土壤淤積層	30
2 - 9 土壤剖面	37
2 - 10 土壤分類	38
第三章 土壤和岩石之工程特性	45
3 - 1 滲透性	45

3 - 2	毛(細)管現象	49
3 - 3	壓縮性	55
3 - 4	壓縮之時間速率	61
3 - 5	膨脹及收縮	64
3 - 6	夯實(壓實)	67
3 - 7	合併應力和破裂	73
3 - 8	無內聚力土壤的剪力	79
3 - 9	飽和粘土的剪力	83
3 - 10	部分飽和粘土的剪力	88
3 - 11	有骨架結構、膠結土壤及岩石的土壤之剪力	89
第四章 滲流分析		93
4 - 1	流量的一般狀況	93
4 - 2	流線網分析	96
4 - 3	用自由水面分析	99
4 - 4	非均性滲流	108
4 - 5	非均質流量	111
4 - 6	極端的非均質流量	114
4 - 7	變量流滲流	115
4 - 8	滲流模型與類似物	116
4 - 9	滲流的一般影響	119
4 - 10	中和應力及上頂力	122
4 - 11	滲流控制	127
第五章 土壓力與安定性分析		136
5 - 1	平衡及安定性	136

5 - 2	土壓力理論	138
5 - 3	無限斜坡的穩定性	149
5 - 4	有限斜坡的穩定性——一般狀況	152
5 - 5	有限斜坡——均質土壤	158
5 - 6	有限斜坡——軟弱帶或面	161
5 - 7	載重量	166
5 - 8	流動坍塌	168
5 - 9	沉陷	170
5 - 10	誤差與不確實	170
第六章 構造物之沉陷		172
6 - 1	沉陷致因	172
6 - 2	因土壤重量與地下水引起之應力	173
6 - 3	因表面載重引起之應力	175
6 - 4	彈性沉陷	182
6 - 5	壓縮沉陷	183
6 - 6	孔隙壓力	186
6 - 7	沉陷對構造物的影響	188
6 - 8	因環境變化引起的沉陷	191
第七章 土壤及岩石調查		193
7 - 1	設計地下狀況調查	193
7 - 2	勘查	195
7 - 3	地球物理調查	199
7 - 4	探測調查法	205
7 - 5	基礎探測工作計劃	211

7 - 6	規劃及處理取土坑探測.....	215
7 - 7	詳細的基礎調查.....	216
7 - 8	詳細的野外試驗.....	226
7 - 9	取土坑詳細調查.....	229
第八章 土壩設計		233
8 - 1	設計之基本顧慮.....	233
8 - 2	壩的位置及路線設定.....	234
8 - 3	適當設計的技術標準.....	236
8 - 4	基礎設計.....	238
8 - 5	堤岸設計.....	247
8 - 6	內部排水系統之設計.....	258
8 - 7	堤岸細部設計.....	266
8 - 8	附屬物的設計.....	271
第九章 土壩施工		276
9 - 1	引論.....	276
9 - 2	施工階段.....	277
9 - 3	壩址整理.....	278
9 - 4	分水和圍水.....	279
9 - 5	基礎準備.....	282
9 - 6	灌漿.....	286
9 - 7	取土坑開挖.....	291
9 - 8	填土配置.....	294
9 - 9	土壤壓實.....	295
第十章 水壩壩		302

10 - 1	一般特色.....	302
10 - 2	水填式壩的分析.....	303
10 - 3	水填式施工.....	308
第十一章	堆石壩	313
11 - 1	一般特色.....	313
11 - 2	材料.....	315
11 - 3	堆石壩設計.....	320
11 - 4	堆石壩施工.....	330
第十二章	控制試驗	333
12 - 1	構造試驗.....	333
12 - 2	性能試驗.....	337
12 - 3	檢查.....	342

第一章 緒 論

INTRODUCTION

土壩及堆石壩 (earth and rockfill dams) 係由碎屑材料組成的攔水構造物。這些材料係由仍保持其獨立性質之顆粒構成，因此顆粒之間乃有空隙存在。它們由位置、內部摩擦及顆粒間之交互吸引而獲得強度。它們不像那些硬固地緊粘在一起的材料，因而構成了可以彎曲的結構，可以稍為變形，以配合未曾失敗的基礎之偏斜或撓度。

對於這些構造物沒有標準的術語。最常稱呼的名字是土壩，或土堤 (dikes)。有時候偶而稱為填土壩 (embankment dams)，或簡稱為堤 (embankment) 或岸 (banks)。沿河建造的土壩，旨在侷限洪水，故稱為堤 (levees) 或導岸 (guide banks)，亦稱為平行堤 (parallel dikes)。堆石壩除了造堤岸用的顆粒，比人容易舉起的大一些之外，基本上與土壩並無顯著不同。

1-1 土壩及堆石壩的用途

(Use of Earth and Rockfill Dams)

土壩及堆石壩已經存在不知若干世紀了。最古老形式的壩不是人造的、山區裏的山崩 (landslides) 及落岩 (rockfalls) 經常阻斷河川而形成天然的壩，其中一些極大，而且壽命也甚長。但是，