

工程地質與岩石力學

Engineering Geology
and Rock Mechanics

原著者：Neil Duncan

譯述者：張 伯 烈

修 訂 版

科技圖書股份有限公司

工程地質與岩石力學

Engineering Geology
and Rock Mechanics

原著者：Neil Duncan

譯述者：張 伯 烈

修 訂 版

科技圖書股份有限公司

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第1123號

書名：工程地質與岩石力學
譯述者：張伯烈
發行人：趙國華
發行者：科技圖書股份有限公司
台北市博愛路185號二樓
電話：3110953
郵政劃撥帳號15697

六十六年一月初版
六十九年十月修訂四版 特價新台幣100元

原 序

地質學在大專土木工程課程中的重要性近年來已大見增進。假如一個大專學生他要重新評估今日地面上所建更高更重的構造物所引起的難題，則工程地質學已非他“應該”讀而是非讀不可的學科了。本書首在實的方面注重純粹地質學中之有關者，更在量的方面注重岩石力學的各種方法，並努力將此兩者統一成為完整的體系。岩石力學現為一發展迅速的學科，我希望程度高的讀者，對書內一些簡單化的部份予以瞭解。因為那是為了使本書對於開業工程師與學生能成為一種易讀易用的教材之故。

本書的意願是給那些在工程地質與岩石力學上並非專門的工程師們和地質師們作為一種入門指南，也對大專土木工程科系的工程地質課程內容提供一個有體系有背景的讀物。這是本人多年來在金斯頓技術學院（Kingston College of Technology）與樸茨茅斯技術學院（Portsmouth College of Technology）授課中逐漸開闢的一條捷徑。依我的經驗，認為這門學科的顯著發展，可使學生對於土木工程中地質的適切性早日獲得一種真實感，並因而鼓舞起他們的興趣。

本學科係供大專土木工程科系教學之用。本書所討論的內容，計分四篇共十一章，討論的題目為：

- (1) 岩石本質：其地質學的本質（nature）與起源（origin）。
- (2) 岩石性質：其物理的、機械的與動力的性質。
- (3) 分裂岩石本質：發生引起岩石分裂的表面作用與其分裂物的本質。
- (4) 岩體的本質：在結構地質學與史實地質學的描述與其量方面的描述以及物理的、機械的與動力的性質。

在討論題目(1)時，可與講課交相並行的實驗課上檢視那些岩石標本。在討論題目(2)時，當學生繼續不斷地觸摸岩石標本並對它們增加熟習程度時，即可着重在實驗室內的物理性與機械性之試驗。討論題目(3)時，包括地相學（geomorphology）與應用地相學（applied geomorphology），並附有基本岩石層理學（elementary stratigraphy）以及地質測量圖（geological survey maps）上漂流沉積物（drift deposits）的研究。在討論題目(4)時，宜連接一系列關於岩體的物理、機械與動力

2 工程地質與岩石力學

特性以及水文地質、岩體之承載能量與穩定度、挖掘方法的檢定與施工用石材等加以銜接。使對學習工程地質與岩石力學對施工實用問題的關連性的建立，將有莫大的裨益。

在過去三年內，我曾為各技術雜誌寫過若干種論著，引起了我的興趣。結果鼓勵我編寫這本書。

謝辭從略。

尼爾·鄧肯 (NEIL DUNCAN)

介紹詞

將近半個世紀以前，那些在“倫敦中心基爾特學院（City and Guilds College）”三年級的我們，曾從才氣煥發熱情洋溢的老師、Bramall 教授，在地質學課程中受到極好的教導。

當我開始在“倫敦隧道界”（London tunnel world）工作，得悉許多大學皆未給工學院學生教授地質學而有些年長的工程師也像是宗教上原教旨主義的信徒（fundamentalists）在理論上採取敵對態度，這使我頗為驚訝。

在那些日子裡，惟一便於使用的差不多祇有壓縮空氣。而基址調查工作也是絕無僅有的，即使有，其所得資料也無甚把握。及後土壤力學知識爆發，尾隨而來的我們倡導地質技術方法（geotechnical processes）發展的人們對於基址調查和地質學變得具有強烈的興趣。不過在今天，老式的握持手斧做地質調查工作的地質師却正處於承受地球物理學家的“搶標”危險中。

當地質調查的新資料與新方法已在大量增加方興未艾之時，現行的地球外殼地質學並未有所改變。可是對這方面我們要作更多的追尋，並傳佈其廣博而繁雜的知識和其對無知與怠忽所予衝擊的驚人事實。此種重要性已大大地增加了。對於一個天才的結構設計工程師，若不知道在何種標準上建立他要作的工作，以及對於一個承包商只知道努力奮鬥達到那種標準，都是不夠的。

本書就任何一個主題都含有豐富的內涵，並附許多有益的圖表照相圖，所以它應該會受到歡迎；不僅受到學生們的，還有這些遇到疑難雜症頭痛要命的我們大家的歡迎。

我首次會見本書作者的時候，他正就一些填滿垃圾的舊沙坑的滲漏問題，代表塞瑞郡議會（Surrey County Council）代表的身份，那時我對他優良的判斷與熱忱，深受感動。所以當我受困於一個隧道中的泥灰膨脹問題時，將他招請了來。他逕行參與行動，做了幾個就地試驗（in situ tests），就把問題立即妥善解決了。

我極讚許他在樸茨茅斯技術學院課程裡所擔任的那門已出了名的學科

4 工程地質與岩石力學

。本文執筆之際，友人的兒子恰是他的一個學生，該生曾熱忱地特別推薦說到本書作者確是一個好老師。因此我在貫徹了我自己的研究調查之後，來推薦這本完善的出版物給一切從本書獲益的人們，使我至感快慰。

英國土木工程師學會前任會長

哈囉·哈定爵士 (Sir Harold Harding)

編輯者言

本書係按照英國樸茨茅斯技術學院高級講師（相當於本國的教授職位）尼爾·鄧肯所著之“Engineering geology and rock mechanics”一書譯成中文。原書由張伯烈教授主持譯政，本擬採作中國土木水利叢書，後因篇幅較鉅，學會方面正在籌劃三訂「土木工程手冊」所費不貲，以致未遑顧及，改由本公司出資印行。張教授學驗均優，對此艱鉅工作楔而不舍，期年而成。復以譯述此書為國內創舉，故再請中興大學教授何智武就名詞內容方面作一番推敲以求信實。又原書採用英制，經編者代為加補國際公制，而書中過分強調英國情況之處，亦經斟酌刪改，另換本國台灣省情形以求實用，為此再三斟酌修訂，先後將及二年。由於目前建設均向高空地下與窮鄉僻壤等處發展，故岩石力學與工程地質的知識日益重要。大專學校之土木工程及礦冶工程等科系均有岩石力學，工程地質等課程之開設。此書之譯印不但可供大專工科學生作為教本，亦為從事土木、採礦工程師們進修自習之良友。在此極端缺乏此項書籍情況下，得此一書尤如海岸明燈，對國家建設不無小補。茲屆本書編輯完成出版有日，特將編譯經過，縷述如上，幸垂鑒焉。

趙國華識 六十五年光復節

符號說明(按文中出現順序排列)

HV	維克氏微硬度號數 (Vickers' Microhardness Number)
M	莫氏硬度號數 (Mohs' Hardness Number)
ν	卜桑氏比值 (Poisson's ratio)
σ_h	水平壓力
σ_v	垂直壓力
σ	總正交應力
σ'	有效應力或顆粒間應力
u	孔隙水壓或結合水壓
s	剪斷阻力
τ_r	損壞時之剪應力
τ	剪應力
c	凝聚力或假凝聚力
ϕ	剪阻角或內摩擦角
ϕ_s	剪阻角或節理摩擦角
ϕ_m	岩體剪阻角
c', ϕ'	依有效應力所得之凝聚力值及剪阻角值
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	三個相互垂直之主應力
α	角度，通常自水平線量得
N	非石灰質的
P	部份石灰質的
C	石灰質的
1	淺色的
2	深色的
G_s	固體礦粒比重
G_b	乾虛比重
G_b'	飽和虛比重 (或用於混凝土工程的毛虛比重)
γ	乾密度
γ_{sat}	飽和密度

8 工程地質與岩石力學

γ	水密度
γ_r	岩石密度
n	孔隙率
e	空隙比
V_v	空隙體積
V_s	固體體積
V	總體積
W_w	水重
W_s	乾固體重
w	含水量
i_a	飽和含水量，變更指數
ϵ_s	膨脹係數
σ_s	膨脹壓力
dL	長度變化
L	原來長度
dV	體積變化
V	原來體積
ϵ'_s	從自然含水量到全飽和情況之膨脹係數
W_x	蠟重
γ_x	蠟密度
V_w	蠟樣品體積
$e_{飽和}$	當樣品在全飽和情況時之空隙比
$e_{乾}$	乾樣品空隙比
$i_{乾}$	當樣品之空隙全飽和時以及乾燥狀態無膨脹現象時之含水量，與縮性限度同義
S	飽和度
W_{s1}	縮性限度含水量
v_s	滲流速度
v	流速
i	水力頭
l	長度
K	滲透度

η	滯性
k	滲透係數
K	「格利非斯」脆性破面理論 (Griffith Theory of Brittle Fracture) 中所定義之單軸拉力強度
N	「格利非斯」脆性破面理論中的正交應力
P, Q, R	「格利非斯」脆性破面理論中的三個主應力
p	「格利非斯」脆性破面理論中的流體壓力
u	摩擦係數
q_a	單軸抗壓強度
$E_{靜力}$	受靜載重測定的彈性模數
$E_{動力}$	受動力載重測定的彈性模數
N_m	岩石原質與岩體的非彈性變形模數
V_{lab}	實驗室測定的地震波速度
$V_{工地}$	工地測定的地震波速度
ρ	密度
R	回彈數
D	表面下的深度
c_a	直井附着力
q_a	極限承載量
q_r	容許承載壓力
q	接觸壓力
q_j	有節理岩石樣品的單軸抗壓強度
q_o	受圍壓縮強度
A	電極間距
I	電流
E	電壓
ρ	虛電阻
X	地音探聽器與測深鉞間的間距
N	穿入抗力
J_s	節理間距，即在同一組節理內兩相鄰節理的間距
S	光滑節理面層
R	粗糙節理面層

10 工程地質與岩石力學

AK	虛樁合節理面層
j_s	兩節理面層間的實接面積
j_t	兩節理面層間的總虛接面積
C	節理接觸因數
J_s	節理厚度
dJ_s	節理厚度變化
σ_s	平均應力
σ_a	接觸應力
dp	壓力增量
m_v	體積可壓性係數
p	貫入硬度
σ_{sr}	破壞時平均應力
d_j	由節理閉塞造成變形
d_b	破面間成塊岩石的壓縮性造成之變形
Δ	幾個分力造成的總變形
B	基礎寬度
Z	基礎中心下方深度
σ_{tot}	總應力
I	影響因數
F	安全因數
c_i	填入節理區的黏土凝聚力
ϕ_i	填入物的剪阻角
s_m	岩體的剪斷阻力
c_m	岩體的凝聚力
c_n	越過節理區由於附着力所生的凝聚力或為樁合作用所生的凝聚力
d_q	包圍(壓力)增量
ρ_m	就地岩體的密度
i_r	就地岩體的飽和含水量
N_s, N_q, N_r	承載量因數
R	基脚半徑
d_r	在距基礎中心長度為 r 處之沉陷量

k	彈簧常數
I	慣性力矩
T	切線方向的力
w	表示載重塊或鈑（適於鈑載重試驗者）的剛度與型式影響的係數

目 錄

原作者序	
介紹辭	
編輯者言	
符號說明	

第一篇 岩石材質之性質

	頁數
第一章 岩礦物之性質	
1.1 緒言	1
1.2 礦物的天然物理性質	1
1.3 與機械物理性質有關諸因數	8
1.4 礦物之摩擦性質	9
1.5 礦物對於變動因素之易感性	11
1.6 結論	13
第二章 岩石材質之起源、本質與地質學分類	
2.1 地球結構	16
2.2 岩石區分概要	17
2.3 火成岩	18
2.4 水成岩	28
2.5 變質岩	37
2.6 地質學的時間尺度	48
第三章 岩石材質的工程分類	
3.1 岩石分類之背景	51
3.2 岩石材質的本質	52
3.3 岩石分類的問題	54
3.4 野外鑑定與分類	55
3.5 指標性質之選擇	62
3.6 分類試驗	70
3.7 分類程序之摘要	80

14 工程地質與岩石力學

3.8	指標性質的含義	80
3.9	結論	85
第四章 岩石材質之自然物理、機械物理與動力性質		
4.1	緒言	90
4.2	孔隙率	90
4.3	含水量	92
4.4	密度	96
4.5	膨大特性	96
4.6	滲透度	102
4.7	岩石之應力與應變	105
4.8	岩石之損壞	107
4.9	孔隙水壓力	112
4.10	脆裂破面之理論	113
4.11	無受圍壓縮強度	114
4.12	無受圍壓縮性	125
4.13	受圍強度與壓縮性	127
4.14	動力的特性	129
4.15	適用於岩石材料的土壤試驗	133
4.16	保留的應變能	134
4.17	風化作用與風化能力	137

第二篇 工程土壤之本質與性質

第五章 引起岩石分裂之表面過程

5.1	緒言	140
5.2	風化作用	141
5.3	重力	141
5.4	風力	142
5.5	水力	142
5.6	冰力	145
5.7	物理地質學	148

第六章 工程土壤之地質

6.1	緒言	149
-----	----	-----

6.2	礦物學	149
6.3	工程土壤之描述	152
6.4	地層聯繫	156
6.5	地下水	156
6.6	土壤探測	157
6.7	冰河後期土壤之地質	165
6.8	冰河前期土壤地質技術評估	172
6.9	冰河土壤之地質技術評估	175
6.10	結論	179
6.11	台灣地區工程地質圖表及說明	180
6.12	台灣地區工程土壤圖及說明	183

第三篇 岩石之性質

第七章 結構地質學與史實地質學

7.1	緒言	187
7.2	結構地質學	187
7.3	史實地質學	195

第八章 岩體之量的描述

8.1	緒言	200
8.2	岩體模型與節理鑑定	205
8.3	岩石材質之地塊	206
8.4	節理之分類	208
8.5	節理連續性之程度	209
8.6	節理的標定方位	209
8.7	節理之間隔	210
8.8	節理表面的本質	210
8.9	節理區的厚度	214
8.10	節理區內之填料	217
8.11	地下水情況	219
8.12	斷層與火成結構	219

第九章 岩體之自然物理的、機械物理的與動力的性質

9.1	緒言	221
-----	----	-----

16 工程地質與岩石力學

9.2	當地應力	221
9.3	膨大作用與膨大壓力	228
9.4	滲透度 / 應力關係	233
9.5	變形與損壞	234
9.6	節理水壓	363
9.7	動力之性質	264
9.8	變更作用	265

第四篇 地質學之應用、工程地質學與岩石力學

第十章 實用工程問題

10.1	地下水與給水	266
10.2	承載量	271
10.3	自然土壤坡度與土體內開挖之穩定性	285
10.4	自然岩石坡度與岩石內開挖之穩定性	294
10.5	挖方評估	320
10.6	作為工程材料的岩石	331

第十一章 工程地質學實物

11.1	緒言	343
11.2	金剛石採心鑽探	343
11.3	土壤與岩石內的補救方法	347
11.4	建築物基礎	350
11.5	橋梁	356
11.6	道路與土工	357
11.7	埧與水庫	361
11.8	隧道	369