

工程地質

蔡攀鰲 著

科學技術叢書 / 三民書局印行



工程地質

蔡攀鰲 著

P042 三民書局印行

C 640.14

號〇〇二〇第字業版局證記登局聞新院政行

必究



著者 蔡 攀 鰲
發行人 劉 振 強
出版者 三民書局股份有限公司
印刷所 三民書局股份有限公司

臺北市重慶南路一段六十一號
郵政劃撥 九九九八號

工 程 地 質

基本定價壹元捌角玖分

中華民國六十年七月初版
中華民國七十一年八月三版
中華民國七十三年一月四版

自序

任何一項土木水利工程，都與地殼發生關係，而地殼係由各種岩石所構成。所以地殼的構造，對工程基礎的設計、構造的影響甚鉅。例如台灣省的石門大壩，原先擬定建築拱壩，後經地質鑽探的結果，認為壩址的地質不適建築拱壩，因之才改成現在的土石壩；北基公路的中興隧道，其八堵的入口端，在施工期間，曾因地質欠佳，發生不穩定的大量崩塌。因此，不得不修改設計，將路線右移6公尺，移出滑動範圍；蘇花公路近蘇澳的一段路基於民國五十九年底，整個崩坍，而致計劃將該段改線；再者土木建築材料之土、砂、粒石等亦都係採取自地殼之岩石，能否就地取材，影響工程費用，施工期限頗大。故從事土木水利工程者，必需要有工程地質的基本知識，以決定工程之設計、施工的方式、工程材料的來源等等之規劃。

書中各章多為一般學識的介紹。

由於航空攝影的長足進步，對工程範圍內之工程地質已可事先藉空照圖來研判，以減少初期在野外的勘察地質工作。如此不但可節省時間，且收經濟之效，因此特開第十四章介紹其研判的原則。

各種岩石的物理及力學性質，可藉試驗方法檢定之，以作為選擇適當基礎及材料的標準。各項試驗法可參閱有關工程材料試驗書籍，但為便於對此等特性有初步瞭解起見，於第十五章特列岩石之主要試驗法。致於土壤的試驗可參閱土壤力學試驗書籍。

書中之部份圖片承王學勤先生代為攝製，特此誌謝。

本書之編撰，參考各專門書刊甚多，敬列於後，並對原著者，謹致謝忱。

編者學驗有限，又付梓之時，雖經多次校訂，舛誤之處，在所難免，尚祈諸位先進，不吝隨時惠予指正，俾再版時得加以訂正。

蔡攀鰲 謹識

民國六十年五月二十二日

於成功大學土木工程學系

工程地質 目錄

自 序

第一章 緒論	1
第二章 礦物	7
第一節 礦物之晶體	8
第二節 造岩礦物之物理性質	11
第三節 造岩礦物之種類	17
第三章 岩石	35
第一節 火成岩	35
第二節 水成岩	50
第三節 變質岩	59
第四章 構造地質	67
第一節 褶曲	67
第二節 節理	70
第三節 斷層	71
第五章 地質鑽探	77
第一節 地質圖	77
第二節 地面探查	80
第三節 地下鑽探	81

第六章 岩石風化與土壤生成	91
第一節 岩石之物理性風化作用	91
第二節 岩石之化學性風化作用	94
第三節 岩石風化之速度	95
第四節 土壤之生成	97
第七章 地下水	99
第一節 地下水位	99
第二節 泉	100
第三節 井	102
第四節 地下水之地質作用	103
第八章 崩坍	107
第一節 慢流型	107
第二節 急流型	109
第三節 崩坍	111
第四節 地陷	112
第五節 崩坍之防止	113
第九章 河流之侵蝕與沉積	115
第一節 排水系統	115
第二節 河流之侵蝕作用	118
第三節 河流之搬運	118
第四節 河流之沉積	120
第十章 風之侵蝕作用與沉積	129
第一節 風之侵蝕作用	129

第二節	風之搬運及沉積	130
第三節	沙丘	131
第四節	黃土	135
第十一章	冰川之侵蝕作用與沉積	137
第一節	冰川之種類	137
第二節	冰川之侵蝕	139
第三節	冰川沉積	140
第四節	冰川地形	141
第五節	冰川與工程之關係	145
第十二章	海洋及其作用	147
第一節	波浪之性質	147
第二節	波浪之侵蝕作用	149
第三節	海濱剖面	150
第四節	海洋之沉積及其所發育之地形	151
第十三章	湖泊	157
第一節	湖之種類	157
第二節	湖之作用	158
第三節	湖水之溫度及其成分	159
第四節	湖泊與工程之關係	160
第十四章	空照判讀	161
第一節	空照圖之形成	161
第二節	地形	164
第三節	侵蝕作用	166

第四節 排水系統.....	168
第五節 色調.....	174
第六節 植物.....	175
第十五章 工程地質在土木工程上之應用.....	177
第一節 堤壩之岩基.....	177
第二節 隧道與地質.....	178
第三節 土木工程所用之粒料.....	182
第四節 粒料試驗.....	184
參攷資料	191

第一章 緒 論

地質思想，萌芽甚早，但其理論多屬無根據之推斷。地質學 (Geology) 之獨立成爲專門科目，至今也不過約 200 年的歷史。十九世紀以後，研究風氣更熾，各國且設有地質調查所，專司研究。吾國也于民國初年在北平創立地質訓練班，其後各大學亦普遍增設地質系，各省亦相繼成立地質調查所。

地質學係專門研究地球的科學，亦即研究地球之生成、組織、變遷及地球上一切生物進化之科學。地質學既以地球爲研究對象，其內容又複雜而廣博，所涉及範圍甚爲廣大。因之地質學分成若干分科，以便更加詳細的研究。這些分門有：

1. 地史學 (Historical Geology) ——研究地球生成及其上生物演進之一門科學。

2. 構造地質學 (Structural Geology) ——研究岩石層之構造及其發生之原因之一門科學。

3. 地形學 (Geomorphology) ——研究地面地形之成因及其演變的一門科學。

4. 岩石學 (Petrology) ——研究組成地殼之岩石的生成原因及其礦物組織之化學成份與物理構造之一門科學。

5. 礦物學 (Mineralogy) ——研究礦物之物理化學性質之一門科學。

6. 古生物學 (Paleontology) ——研究各時代之生物遺骸，即所謂化石 (Fossil)，以量度各地質時代之一門科學。

7. 地層學 (Stratigraphy) ——研究組成地殼之岩層的層次與分

佈之一門科學。

8. 地球物理學 (*Geophysics*)——研究山、陸運動之原動力及地球之成因，與其於天體之位置之一門科學。

9. 礦床學 (*Ore Deposits*)——研究礦產之成礦作用與其形態之一門科學。

10. 應用地質學 (*Applied Geology*)——研究以地質學之理論及方法應用於工程、農業、軍事等方面之一門科學。研究與工程有關之地質者，謂之工程地質學 (*Engineering Geology*)；研究與農業有關之地質者，謂之農業地質學；……。

地球為太陽系九大行星之一。以太陽為中心，循着橢圓形軌道由西向東環繞而行。地球本身不發光，光線皆發自太陽。

地球之形狀為一扁平橢圓球 (*Oblate Ellipsoid*)。此橢圓球之短軸為連結南、北兩極之直線，長軸為赤道處之直徑。此球體以短軸為轉軸旋轉而成。係一極接近於圓球體之橢圓球。地球之大小，至今尚無一精確之數值，1910年美國海福特 (*Hayford*) 根據美國陸地測量及地心引力觀測結果，發表赤道直徑為 12,756.755 公里 (7,926.68 哩)，兩極直徑為 12,713.785 公里 (7,899.98 哩)，兩直徑差為 42.970 公里 (26.70 哩)。此等數值為國際所公認，並採用為製圖之根據。

地球內外分有三圈，即氣圈 (*Atmosphere*)，水圈 (*Hydrosphere*) 及岩石圈 (*Lithosphere*)。

(甲) 氣圈——氣圈係圍繞於地球體外之大氣帶，此大氣帶愈接近地球表面，其密度愈大；愈往上，空氣愈稀薄。空氣係一種混合體，以清淨乾燥之空氣，其各成分含量約：

氮	78.08%
氧	20.95%
氬	0.93%

二氧化碳 0.03%

其他稀有氣體 0.01%

水蒸氣亦係一重要份子，然其分佈甚不均勻，隨時隨地而異，其所含成份約由接近於 0 % 至 5 %。其他如塵埃等雜質不屬於所含之成份。

大氣壓力 (*Atmospheric Pressure*) 與海拔高度 (*Altitude*) 成反比，亦即在海平面，每平方公分所受之壓力約 1.055 公斤，海拔愈高，則空氣愈稀薄，壓力亦愈減少，圖 1-1 示大氣壓力與海拔高度之關

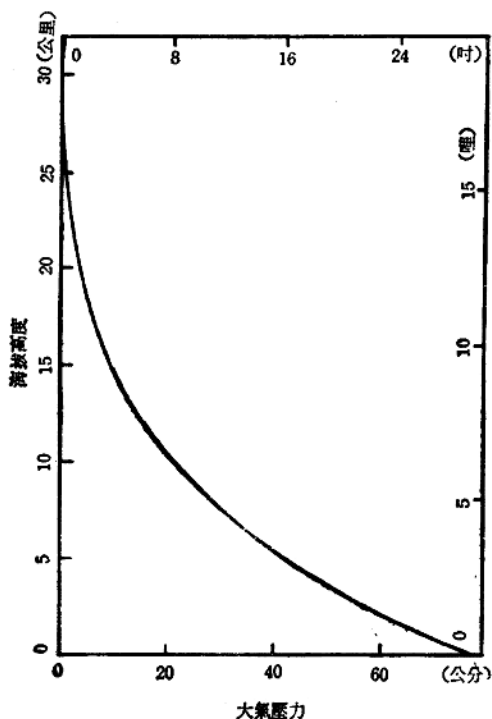


圖 1-1 海拔高度與大氣壓力之關係

係，其中大氣壓力係以水銀柱高公分(或吋)數表示之(水銀比重 13.6)。

氣圈對地質之影響，直接者如岩石之受風化、侵蝕而成泥沙、或累積成層；間接者如地質受河流、冰川、海洋生物的影響，而此等又與大氣發生密切關係。

(乙) 水圈——地球表面低窪部份所儲的水，如江湖海洋等，皆屬水圈範圍。水之面積約佔地球表面四分之三，即：

水面佔全地球面積之 70.78%

361,046,000 平方公里 (139,400,000 平方哩)。

陸地佔全地球面積之 29.22%

148,925,000 平方公里 (57,500,000 平方哩)。

地球總面積

509,971,000 平方公里 (196,900,000 平方哩)。

倘若地球為一純圓球體，而無高低之分時，則地球將為海水所淹沒，其深度約為 3.2 公里 (2 哩)。

水分有地表面水 (Surface Water) 及地下水 (Underground Water)。存在於地表面低窪處之水，如江、湖之水是為地表面水；倘若水係存在於地表面下者是為地下水。純潔之水，在攝氏零度 ($32^{\circ}F$) 將結成冰，而在攝氏 4 度時之密度最大，由攝氏 4 度至零度，體積逐漸膨脹，約膨脹 9%。水對地質之作用可謂最為重要，其將侵蝕岩石，使之逐漸剝削，又將所剝削之物體移運至低窪之處沉積之，故水為剝蝕與沉積之主動力。

(丙) 岩石圈——由各種岩石所構成之地殼 (Earth's Crust) 是為岩石圈。岩石圈之外表與水圈及氣圈所接觸者是為地殼。地殼之內部現象目前無法直接觀察，僅憑種種自然現象而假定有某些圈帶存在。當火山爆炸時，常有溫度極高之熔岩噴出，故地殼之下有一火圈 (Pyrosphere) 帶存在。此帶之溫度甚高，常在熔點之上，但由於上層

重壓的作用，呈固體狀態。地球之核心在火圈之下，其中有一中心圈 (Centrosphere) 存在。地球表層岩石的比重較地殼內部物質之比重為小。岩石圈之外部，即與水圈、氣圈接觸之部份，最易遭受其侵蝕。

奧國地質學家蘇斯 (Suess) 以地球內部之構造成分及其比重大小將地球分為三層，最外者稱為輕層 (Sial)，此帶之主要成分為矽 (Silicon) 及鋁 (Aluminum)，故以此兩英文字之前兩字母併成 (Sial)。此層之比重約 2.75~2.90；係固體，厚約 30 公里，以花崗石 (Granite) 及玄武岩 (Basalt) 為代表。輕層之下是為重層 (Sima)，此帶之主要成分為矽 (Silicon) 及鎂 (Magnesium)，故以此兩英文字之前兩字母併成 (Sima)。此層之比重約 3.1~4.75，係液體及氣體，厚約 1,200 公里，以橄欖岩 (Peridotite) 為代表。最內一層稱為內層 (Nife)，此帶之主要成份為鎳 (Nickel) 及鐵 (Ferrum)，故以此兩英文字之前兩字母併成 (Nife)。此層之比重約 10.5~12.5，係液體及氣體，其直徑約 7,000 公里。

地球之內部狀態為：

1. 地球表面岩石之比重，如花崗岩為 2.64，閃長岩 (Diorite) 為 2.85，玄武岩為 3.05，砂岩 (Sandstone) 為 2.64，石灰岩 (Limestone) 為 2.69，頁岩 (Shale) 為 2.30，各岩石之平均比重為 2.7，但地球之平均比重為 5.50，故知地球內部之物質，愈近地表面，其比重愈小。

2. 根據開礦鑿井之經驗，入地愈深，則溫度愈高。平均每增加三十三公尺，即增高攝氏一度。依此推算，地球內部之溫度，以接近地心為最高。但以增溫率而言，則以地表附近為最大。

3. 地球內部物質狀態，至今尚無定論，根據諸家推測，約有下列數學說：

(1) 固體說——此學說謂地殼內部雖處於高溫狀態中，但因其上所受之壓力甚大，因此其中之物質不致液化，而保持固定狀態。火山

爆發，噴出岩漿，此乃因地殼破裂，該部壓力驟減，固體遂液化而由破裂處上升。

(2) 液體說——此學說謂地殼內部溫度極高，任何物質皆熔化為液體。當地殼破裂時，此液體遂由破裂處噴出，火山噴出之熔岩是也。

(3) 中間液體說——此學說謂地球中心因受高壓而成固體；而地殼表層因溫度減低，壓力減少，故亦凝固成固體。在此兩固體間之物質，由於溫度高，但無強大的壓力，故不能成為固體，仍保持液體狀態。火山之破裂，地層之褶曲 (*Fold*)，均係由液體層之收縮凝固而成者。

(4) 氣體說——此學說謂一切物體當達臨界溫度 (*Critical Temperature*) 時，皆成氣體。故在地表下 300 公里處，地溫即達臨界溫度，因之在其內之一切物質皆成氣體。此種氣體係融解各種物質而成，具有特別性質。在高溫高壓下，其伸縮性與固體相等，故其質密而比重大，一旦遇地殼破裂，即由空隙衝出遇冷而成熔岩。

習 題

- 1-1 何謂地質學？何謂工程地質學？
- 1-2 試述地球之形狀？
- 1-3 何謂氣圈、水圈及岩石圈？
- 1-4 氣圈、水圈對岩石發生何種作用？
- 1-5 試述地球內部之物質狀態。

第二章 礦 物

礦物 (*Mineral*) 係天然存在的一種無機物質，其化學成份及物理性質均為一定或在一定之範圍內；在適宜之環境下，常有各種特定之幾何形體以適應其內部分子的構造。但在岩石中的礦物，常無顯明之晶形，但多為結晶質粒狀，或不規則狀。

地殼係由各種岩石所組成，岩石為各種礦物之集合體，而礦物又為一種或數種元素之化合物。地殼之岩石約有98%之成份是由八種主要元素所組成，其成份如下：

氧 (<i>Oxygen O</i>)	46.60%
矽 (<i>Silicon Si</i>)	27.72%
鋁 (<i>Aluminum Al</i>)	8.13%
鐵 (<i>Iron Fe</i>)	5.00%
鈣 (<i>Calcium Ca</i>)	3.63%
鈉 (<i>Sodium Na</i>)	2.83%
鉀 (<i>Potassium K</i>)	2.59%
鎂 (<i>Magnesium Mg</i>)	2.09%
其他元素 (鈦、磷、氫、錳、硫、氯……)	1.41%

由上各元素所佔成份的百分比視之，則地殼岩石圈約有四分之一是由氧及矽所化合而成。在自然界中有些礦物係單元物質構成的，例如金剛石 (*Diamond*)、石墨 (*Graphite*)、金、銅等是。但大部份都為兩種或兩種以上之元素化合而成之化合物，例如石英 (*Quartz* SiO_2)、方解石 (*Calcite* CaCO_3)、高嶺土 (*Kaolin* $\text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$) 等是。

第一節 礦物之晶體

固體礦物生成之形態，分有非晶質 (*Amorphous*)、結晶質 (*Crystalline*) 及晶體 (*Crystal*) 三種。非晶質為一種非結晶體，外表無結晶形狀，內無分子構造，如蛋白石屬之。結晶質者其外表不結晶，但在顯微鏡下能見晶體。結晶的礦物，其內部恒有一定的分子結構，其外表有平滑的晶面 (*Crystal Face*) 為界者是為晶體。晶面之排列方法若全為一致者，謂之均質的 (*Isotropic*)，如圖 2-1 (a) 所示者；若非一致者謂之非均質的 (*Anisotropic*)，如 (b)。

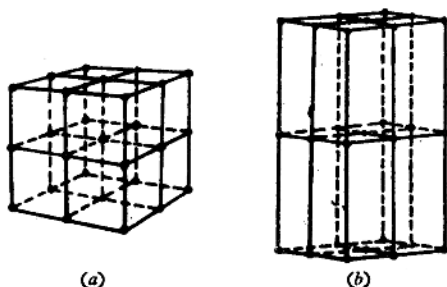


圖 2-1 均質及非均質晶體

礦物晶體的外表所圍繞的平滑面稱為晶面；面與面的交界謂之稜 (*Edge*)；兩晶面相交所成的角度是為晶角 (*Crystal Angle*)。為決定結晶面之相互位置與結晶系統，通常假定有一直線連接相對之兩晶面，稜線或晶角尖，且相交於晶體內某點，此線稱為晶軸 (*Crystallographic Axes*)。除六方晶系 (*Hexagonal System*) 具有四晶軸外，其餘每一晶體多具有三軸。各軸之表示方法係：晶軸具前後者為 $a-a$ 軸，或第一軸；自右而左者為 $b-b$ 軸，或第二軸；具上下垂直者為 $c-c$ 軸，或第三軸。每軸之兩端需冠以正 (+)、負 (-) 號以表示各