

大學用書

公路土壤學

陳孚華編著

正中書局印行

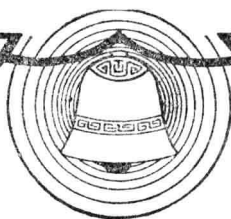
大學用書

公路土壤學

陳孚華編著



正中書局印行



版權所有
翻印必究

中華民國三十四年六月渝初版
中華民國三十六年七月滬三版

公路土壤學

全一冊 定價國幣六元九角

(外埠酌加運費匯費)

編	著	者	陳	孚	華
發	行	人	吳	秉	常
印	刷	所	正	中	書局
發	行	所	正	中	書局

(1942)

茅 序

曩嘗言，任何工程司之畢生事業，無一能與土壤絕緣者，而以土木工程司爲尤甚。一切工程皆賴此土壤之抵抗力，爲其最終支柱。故人類初有工程，土壤卽其對象。試思今日之世界，普遍致力於一物，投資最鉅，費工最多，有勝於土壤者乎。鐵路公路之土方，橋梁房屋之基礎，以及水利、隧道、溝渠、市政等土木工程，其占全部工款、工期之最大百分數者皆有關土壤之消費也。凡一工程之是否艱難，規模之是否宏大，其衡量標準，亦土壤也。夫土壤本身價值乃至爲低微，幾可無償而得，以最賤之物，博最貴之工，最平凡之材料，成最偉大之建築，工程司對於任何事物之觀感，當無有更奇於土壤者也。

土壤雖爲常物，而內容之奧妙，卻無倫比，悉隨大自然之偶然變化而形成，其間綜錯複雜之關係，毫無規律可循。自古以來，天下之大，無兩地土壤確具有同質同性者。土壤自來如此，歷久未變，而工程司知之獨少，應付維艱，因而經濟上之損失，遂不可計算。土壤本爲最古之材料，以今日科學之進步，仍未能洞悉其竅要，尙須更新方法研究之，不可不謂工程史上之憾事。舉自第一次大戰以還，各國已有研究之動機，但時至今日，仍未能普遍的認識，則其事之不易亦屬顯然。惟其如此，我國工程師尤宜發揮力量，自動參加，以期有所樹建，此余之所以大聲疾呼吾國工程界人士及時努力邁進者也。

土壤工程之研究，爲一新興之學科，在吾國尤爲重要，無待詞費。舉凡名詞之釐訂，中外學說之介紹，啓蒙書籍之刊行等皆爲刻不容緩之舉。幸中國土壤工程學會不久成立，來日方長，必有長足之進展，願我同志共勉之。

陳孚華君與余在中國土壤工程學會籌備之初，傾蓋而遇，過從乃密，一日出其所著公路土壤之研究二卷示余，並欲余致一辭，余嘉其致力之勤，用心之苦，在目下缺乏此類專著之候，得此頗多裨益，故樂爲之序。

茅以昇

三十二年一月

自序

一九三三年著者負笈於美國密西根大學專習公路工程，當時美國公路界人士尚鮮有研究土壤力學者，至公路土壤學則方在萌芽時期，次年奧國土壤力學權威太沙基（Terzaghi）氏講學於麻省理工大學，一時研究土壤學之風乃盛。霍根道格勒（C. A. Hogentogler）、客斯格蘭地（Casagrande）諸氏，在華盛頓阿靈吞（Arlington）成立公路研究實驗室專事土壤研究，南加利安那及渥海渥各州，繼起響應，並用新法鋪築實驗路。一九三六年美國土壤學會復開大會於哈佛大學（Harvard University），公路土壤研究被列入重要部門。嗣後經學者不斷努力，公路工程司均一致承認土壤與公路工程有密切關係，不但各大學均將土壤學列入公路工程系必修科，即各公路局亦儘先採用土壤穩定法，修改施工細則，設計築路新工具。自馬克當（Macadam）發明碎石路面以來，公路路面建築原理至此始全部改革。

著者有鑒於國內公路日趨發展，技術方面不但應急起直追，且須合乎現代化，乃致力於公路土壤之研究，復徧歷各州公路局及華盛頓公路總局，一面實習研究，一面蒐集有關材料，以備介紹於國人。一九三六年秋復赴英、德、法、奧諸國考察其公路建築特點，及其實驗設備，計得圖表相片數百幀。旋因奉全國經濟委員會命令赴陝工作，忽忽就道，所有資料盡置於首都寓所，迨國都西遷，南京淪陷，此

部資料遂全部散失，數年所得，付之東流，殊爲可惜。

抗戰以來，我國公路交通更加重要，公路運輸量，亦較戰前激增，過去所用之碎石路面已不能勝任，而鋪築高級路面之材料，復因交通不便無法輸入後方，不得不就地取材，採用穩定土壤法。著者歷年在西北西南各公路試用人工鋪築法修築水泥土壤，級配沙石等路面，亦稍有成效，於公餘之暇復搜集材料，著成此書。惟因缺乏參考資料，以前在國外所得者，又復失於南京，掛一漏萬，在所不免，尙望閱者指正。本書大部取材於霍根道格勒所著之土壤之工程性質 (Engineering Property of Soil) 及何素之土壤力學 (Housel, Applied Soil Mechanics) 兩書。

本書原擬分爲三篇：第一篇敘述土壤之性質及其基本實驗，使讀者對於土壤有正確之認識。第二篇分述上列之各種穩定土壤方法。第三篇論土壤力學，包括有應力分布，建築沉陷，坍方，護牆土壓等。此篇所論者雖均與公路工程有密切關係，然較之前二篇所論之關於路面問題則尙屬次要。復因各方敦促，未能久待，僅先將前二篇編訂成冊介紹於讀者，其餘一篇正在蒐集材料中，不日亦可成書，務請閱者諒之。

本書承交通部公路總局副總局長趙祖康君，唐山大學教授朱泰信君等敦促出版，復承正中書局慨允代印，附此鳴謝。

陳孚華識

民國三十三年八月

目 次

第一篇 土壤性質

第一章 土壤之原始	1
第一節 構成土壤之巖石	2
第二節 土壤構成之因素與方式	4
第二章 土壤之基本物理性	8
第一節 黏性	9
第二節 內阻力	12
第三節 毛細作用	15
第四節 可壓性	17
第五節 彈性	19
第三章 土壤之特性	21
第一節 土壤組織	21
第二節 土壤結構	25
第三節 土壤之化學成分	29

目	次	3
第二節 霜凍起因	...	117
第三節 霜凍與土質之關係	...	120
第四節 霜凍防止法	...	123

第二篇 土壤穩定

第十章 土壤之穩定	...	127
第一節 穩定原理	...	129
第二節 土壤之承载力	...	133
第十一章 壓實法穩定土壤	...	138
第一節 壓實土壤原理	...	139
第二節 最佳含水量之測定	...	142
第三節 溼氣膜厚度與壓實土壤之關係	...	145
第十二章 級配沙石路面	...	149
第一節 級配沙石路面之原理	...	150
第二節 理想級配	...	151
第三節 級配沙石路面材料配合法	...	156
第四節 級配沙石路面之鋪築法	...	160
第十三章 潮解化學物對於路面之作用	...	163
第一節 氯化鈣之功用	...	164
第二節 氯化鈉之功用	...	168
第三節 潮解化學物之應用	...	172
第十四章 水泥土壤路面	...	175
第一節 敷用水泥數量之測定	...	176

第二節	水泥土壤路面之鋪築法	...	...	...	...	...	...	179
第十五章	瀝青材料穩定土壤	...	...	...	...	...	...	184
第一節	瀝青材料穩定土壤原理	...	...	...	...	...	...	185
第二節	瀝青材料之應用數量	...	...	...	...	...	...	187
第三節	瀝青穩定土壤之鋪築法	...	...	...	...	...	...	191
第十六章	其他穩定土壤法	...	...	...	...	...	...	194
第一節	燒土處治	...	...	...	...	...	...	194
第二節	石灰穩定	...	...	...	...	...	...	196
第三節	糖漿殘液處治	...	...	...	...	...	...	197
第四節	廢硫磺液處治	...	...	...	...	...	...	198
第五節	植物油處治	...	...	...	...	...	...	199

第一篇 土壤性質

第一章 土壤之原始

遠自有史以前，人類即已開始利用土壤(soil)爲建築材料，吾人每日所接觸之物體，除空氣與水外，以與土壤之接觸最爲密切。但近代工程學者對於鋼鐵、水泥、木材、磚石等均有深切之研究，而對於土壤則反鮮有注意者。無論何種建築，其最下層之承載者必爲土壤。如土壤之工程性質未加以研究，則無論如何堅固之建築亦難保其安全。例如橋梁基礎之沉陷，房屋地腳之傾斜，堤壩之滲水，以及公路路面之破裂，均由土壤不穩定所致。而土壤之性質實較任何工程材料爲複雜，在自然界中決難覓得兩處性質完全相同之土壤，即使相距僅有數尺，其性質亦可有重大差異。土壤有含有大量風化巖石者，有含有腐敗有機物者，有含有矽藻(diatom)體礦物者，更有含有其他化學物質者。此外土壤中所含水分之多寡又復各不相同，千變萬化，未可以簡單之公式概括表出之。故研究公路土壤學時，斷不可只觀察一種或數種土壤之行爲，而冒然斷定全部土壤之性質。必須考察試驗若干種之土壤，詳加比較，反覆推斷，而後方可得到合理之結論。

地質學家以地殼(earth crust)爲巖石(rock)所成；巖石之固結部分稱爲基巖(bed rock)，其表面鬆動部分，不論其深淺，概稱之爲表巖(mantle rock)。在工程上“土壤”二字係指表巖而言。是土

壤所包括之範圍至廣，一般以爲土壤與巖石係兩種不同之物體，其實其中界限甚微，土壤爲巖石所蛻變而成，其形狀雖異，其性質則一也。

土壤之構成可分爲固體、氣體與液體三部。空氣所占之體積視土壤之壓實度 (compactness) 而變，在虛鬆之土壤空隙可多至 70%，或 75%，在緊實之土壤有時僅占 15% 或 20%。液體所占之體積變化亦大，少時僅占極小百分數，多時則全部土壤空隙 (void) 可被水充滿。至於土壤中固體部分則可分爲無機物 (mineral) 與有機物 (organic) 二部，如圖 1。土壤中有機物爲巖石分化之重要因素，但在工程上除偶然公路建築遇有腐

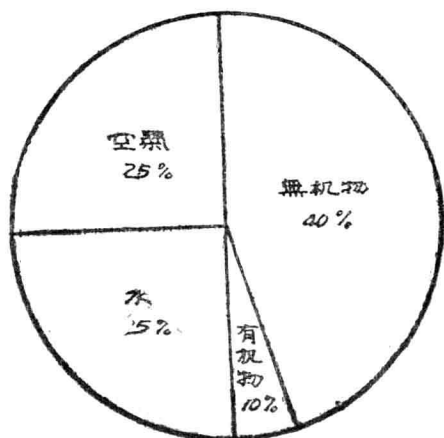


圖 1. 土壤之構成

泥土 (muck) 或沼澤地，對於有機物應加注意外，可不必多加研究。無機物部分則大半爲礦物顆粒 (mineral particles)，及巖石分化而成之碎礫，此部無機物爲構成土壤最重要之一部。改變此部成分即改變土壤之性質，同時工程人員對於土壤研究亦以此部爲出發點。

第一節 構成土壤之巖石

研究土壤學之前對於構成土壤之巖石，應先有認識。關於此部

研究，大都屬於地質學範圍之內；土壤學家對於地質學雖不必有高深之研究，但對於普通地質常識，如巖石之鑑別，巖石風化之原因等，則不可不具。同時土壤學又不可與地質學混為一談；地質學家對於土壤之研究未必對於工程司有用，以地質學眼光所解釋之土壤種種現象亦未必合乎土壤學之立場，此為學者所不可不注意者。

按地質學說，巖石可分為三種，即火成巖 (igneous rock)、沈積巖 (sedimentary rock) 及變質巖 (metamorphic rock)。此三種巖石中最常見者有下列十三種，此十三種巖石實包括有所有巖石四分之三。土壤學者若能鑑別此數種巖石，則已敷普通應用矣。

表 1.

火 成 巖	沈 積 巖	變 質 巖
花崗巖 (granite)	石灰巖 (limestone)	大理石 (marble)
正長巖 (syentite)	白雲巖 (dolomite)	片 巖 (schist)
閃綠巖 (diorite)	頁 巖 (shale)	板 巖 (slate)
玄武巖 (basalt)	砂 巖 (sandstone)	石英巖 (quartzite)
	礫 巖 (conglomerate)	

火成巖之特點在具有結晶構造，塊狀 (massive) 生層，同時無顯着之層理 (stratification)。但因巖石流動，或其他原因所成之劈開面 (cleavage plane) 之存在則甚顯着。火成巖係由於地殼之無機物熔解後凝結而成，故其中含有各種巖石成分。

沈積巖係由於沈積物受化學作用，或壓力作用，或化學作用兼壓力作用而成。沈積巖多係在水中積成，故亦稱為水成巖。沈積巖之

特點在具有層理，且可由所構成之沈積物或膠結體 (cementing material) 鑑別其種類。例如礫巖可稱為膠結之礫石 (cemented gravel)，砂巖可稱為膠結之砂土，頁巖可稱為膠結之黏土。

變質巖在地質學上雖畫分為另一組，但其構造中之無機物與火成巖、沈積巖則無二致。變質巖係由於壓力、熱力或化學力施於火成巖或沈積巖上而成，故其性質一半視原始巖石之性質，一半視變質時之環境而定。例如砂巖之形成係由於矽石 (silica) 所起之化學變，沈積而成，若矽石繼續起變化，形成過度膠結物之砂巖，則不復稱為砂巖而稱為石英巖，換言之，即由沈積巖變為變質巖矣。

上述之各種巖石均為公路上所常見者。鑑別此種巖石不但可助學者知土壤之來源，且可助工程司選擇路面材料。

第二節 土壤構成之因素與方式

土壤構成之方式 (process) 可分為分解 (disintegration)、分化 (decomposition) 與搬動 (transportation) 三種；其構成之因素 (agency)，亦隨此三種而不同。茲分述如次：

分解 分解係一種機械作用，或可稱為物理作用，例如膨脹與收縮 (expansion and contraction)、落片現象 (exfoliation phenomena)、冰凍作用、風雨之磨蝕以及植物生長之力量，均足以分解巖石。歸納言之，分解巖石之因素不外氣候、風、水與冰四種。

(1) 氣候 氣候為使巖石變為土壤之重要因素。在夜冷晝熱之沙漠地域，氣溫變化過於劇烈，能使巖石發生巨量之收縮與膨脹，或外部破碎，或表面起落片。在氣溫變化不甚劇烈之地帶，則僅能影響

及巖石與空氣或水所起化學變化之速度，更能影響及植物之生殖及死亡週期。

(2)水 雨水為構成土壤之第二要素。雨水除磨蝕巖石外，尚有沈積與搬動土壤之作用。在地形崎嶇不平、斜坡急陡之地帶，水流速度過大，最易磨蝕沖刷地面土壤，使肥美田園一變而為荒蕪不毛之地。土壤磨蝕之程度與水之流速有直接關係，表 2 所列數字可供公路工程司設計邊溝或涵管之參考。

表 2.

速 度 (呎/秒)	對於土壤磨蝕之程度
0.25	能移動黏土
0.50	能移動細砂
0.67	能移動栗子大小之砂粒
1.00	能沖刷小礫石
2.00	能沖刷直徑一吋左右之卵石
3.00	能沖刷雞子大小之石子

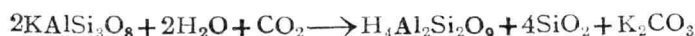
(3)風 風對於土壤之構成與水有同樣重要。在雨量稀少之地域，植物生長不易，土壤甚易被風力磨蝕，其甚者可造成砂丘 (sand dunes)，破壞建築，毀滅農村。

(4)冰 雨水存積於巖石之縫隙中，遇冷結成冰，其體積膨脹之力足以分裂巖石，碎片滾積於巖底，成錐形巖堆 (talus)。此種情形在氣候寒冷地帶懸崖之下常見之。錐形巖堆存積之碎片最宜於公路路面建築，因其尺寸適宜，質地往往堅固，為鋪築碎石路面最經濟之

材料。

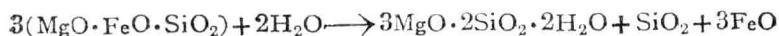
分化 分化係一種化學作用，大都發生於已經分解之巖石，但有時亦發生於未經分解之堅固巖石，如地下水之分化地下巖石是也。分化作用最明顯者為水化 (hydration) 與脫水 (dehydration)，氧化 (oxidation) 與還原 (deoxidation)，溶解 (solution) 與沈澱 (deposition)，礫化 (carbonation) 與脫礫 (decarbonation) 等作用。巖石之化學成分至為複雜，故其化學反應式亦甚長。茲列其較簡單之正長石 (orthoclase) 之化學反應如下：

(正長石) (水) (二氧化碳) (黏土) (矽石) (碳酸鉀)



由式可知正長石分化後所成者為黏土質無機物、膠狀矽石與碳酸鉀。黏土質無機物不易溶解，故恆存積於一處；矽石與碳酸鉀雖較易溶解，但恆被黏土質無機物所吸收。更舉一例表示橄欖石 (olivine) 氧化後之反應：

(橄欖石) (水) (蛇紋石 serpentine) (矽石) (氧化鐵)



氧化或還原作用發生之後，每於巖石上遺留有顯著之顏色變遷，故由巖石之顏色即可推斷其所起之化學變化，亦即由巖石演變為土壤之程度。一氧化鐵使土壤呈灰綠色，三氧化二鐵使土壤呈紅褐色。

搬動 搬動為構成土壤方式之一種，其演進之程序較分解與分