

水土 保持學

陳信雄◎著



水土



保持學



GPN 1009602520

ISBN 978-957-703-118-1



9 789577 031181

水土保持學

陳信雄 著

國立編譯館主編

明文書局印行

2007年9月出版

國家圖書館出版品預行編目資料

水土保持學 / 陳信雄 著；初版—台北市：
明文，2007【民 96】
面；公分
ISBN 978-957-703-118-1（平）
1. 水土保持 95011674
332.73

水土保持學

著 者—陳 信 雄

主 編 者—國立編譯館

著作財產權人—國立編譯館

電 話—(02) 3322-5558

傳 真—(02) 3322-5598

地 址—106 台北市大安區和平東路一段 179 號

網 址—<http://www.nict.gov.tw>

印 行 者—明文書局股份有限公司

發 行 人—李 世 琪

地 址—100 台北市重慶南路一段 49 號 7 樓之 3

電 話—(02) 2375-4679 · 2331-8447

傳 真—(02) 2361-9101

郵政劃撥—01436784 · 明文書局股份有限公司

網路書店—www.mingwen.com.tw

電子郵件—service@mingwen.com.tw

登 記 證—行政院新聞局局版台業字第 6591 號

印 刷 所—通南彩色印刷有限公司

地 址—台北縣中和市中山路二段 359 巷 3 號

電 話—(02) 2221-3532

電腦書號—MW106

出版日期—2007 年 9 月初版 1 刷

定 價 650 元

* 本書保留所有權利，欲利用本書全部或部分內容者，須
徵求著作財產權人同意或書面授權，請洽國立編譯館
* 本書如有缺頁、破損或倒裝，請寄回明文書局更換

ISBN — 978-957-703-118-1（平裝）

GPN — 1009602520

自序

水土保持學是一門非常複雜且專門的應用科學領域，其所牽涉的學科，包含森林、水文、地文甚至人文的基本知識。從上游的森林集水區、水庫集水區、中游的河川集水區到下游的都市集水區，水土保持是扮演著極為重要的角色。

在三、四十年前，由於人口的稀少，當時只偏重於農地的水土保持，以改善山坡地耕地水土流失為主要工作。但近二十年來由於人口的急速增加，經濟的快速發展，生活水準的提高，山坡地的開發利用成了必然之勢。但由於台灣的地形，地質條件極為嚴苛，加上上游與下游之間，鮮少類似歐美等大陸國家的大型河川，或沖積扇等緩衝帶之存在，因此上游一旦發生災害，便馬上衝擊下游的社區或都市，其自然災害往往是直接的，無論在預防或對策上，有賴高深的專業知識與經驗，在水土保持的研究上，比起歐美等國家更倍覺困難。

此外，台灣在降雨型態上，無論在時空分佈皆有其不均勻的特性，尤其近十年來全球森林的持續減少，約達一億六千萬公頃，造成全球暖化的現象日益嚴重，台灣也無法倖免。加諸經濟作物的不斷蠶食林地，促成台灣澇旱之災頻仍，水資源的匱乏以及一雨成災的夢魘不斷的威脅了我們的生活。如何教育國民，在因應此自然環境的變遷下，使其深切的體會水土保持，今後在國土復育上應扮演的角色，是編寫本書的主要責任與目的。

因此，本書從水文、地文的基本資料的蒐集到分析，以及如何規劃山坡地土地的合理利用，來認知台灣水土保持的基本精神，甚至對目前正大行其道的生態工法到生態工程，加以評述，期望對今後水土保持的研究，能拋磚引玉，引發國內更蓬勃的發展，這將是筆者望外之喜。

本書在編寫期間，獲明文書局經理陳竹義先生大力協助並校稿，本研究室博士班研究生劉維之資料蒐集，尤其是研究助理廖禎茹小姐日夜不懈的協助整理與校對，使得本書能順利問世。此外，國立屏東科技大學前水土保持系主任李錦育教授

提供本書封面封底之珍貴照片，使得本書能蓬筦生輝，使筆者銘感五內，在此深深的致謝。

又，筆者才疏學淺，在編寫中難免掛一漏萬，尚祈諸先進不吝指正，是為至盼焉。

陳信雄 謹識

於國立台灣大學森林環境暨資源學系

防砂工程學研究室

2007年8月11日

目 錄

自序	i
1 水土保持的基本認知	1
1.1 水土保持的定義與台灣水土保持歷史的演變	1
1.2 台灣水土保持上的重要課題	2
1.3 水土保持課程的新思維	8
2 水文資料之分析	13
2.1 降雨資料之分析	13
2.2 逕流量之觀測與分析	35
2.3 枯水期間逕流量的推算方法	47
2.4 洪水期間逕流量的推算方法	48
2.5 最大逕流量的推算	82
3 土之成因	91
3.1 前言	91
3.2 造岩礦物及岩石	91
3.3 風化作用	92
3.4 造岩礦物之風化	93
3.5 火成岩	94
3.6 沈積岩（水成岩）	95
3.7 變質岩	96
3.8 岩石之風化	96
3.9 氣候對岩石風化之影響	100
3.10 風化層之斷面	100
3.11 土層的構造	101
3.12 極微土粒的性質	103

4 土質調查法	105
4.1 緒論	105
4.2 土質調查方法的種類	106
4.3 土質試料的採取法	107
4.4 在現場地盤直接實施之土質試驗	110
4.5 土質調查的整理	112
4.6 道路土質調查上之試料採取法	114
4.7 土壩土質調查上之試料採取法	114
5 土壤的分類	115
5.1 緒言	115
5.2 一般分類法	115
5.3 粒徑分類法	116
5.4 粒徑分析法	117
5.5 粒徑分佈曲線及其工程意義	121
5.6 三角座標分類法	124
6 土壤的物理性質	127
6.1 概論	127
6.2 土之三相	128
6.3 土壤水之分佈	129
6.4 土壤之分析	130
7 土壤之透水性及其毛管現象	139
7.1 緒言	139
7.2 伯努力 (Bernoulli) 定理	139
7.3 伯努力定理的應用	140
7.4 細管中水的流動	143
7.5 土壤孔隙中水的流動	145
7.6 Quicksand 現象	146
7.7 滲透試驗	148
7.8 影響土壤滲透性的因子	150
7.9 土壤的毛管作用	151

7.10	毛管壓力	153
8	土壤的壓密	155
8.1	前言	155
8.2	由模型說明壓密現象	155
8.3	壓密試驗	156
8.4	一定載重的壓密	157
8.5	載重強度與壓密完了時壓密量之關係	160
9	土壤的強度	163
9.1	緒言	163
9.2	固體間的摩擦	163
9.3	斜面上的物體	165
9.4	砂之摩擦力	166
9.5	有粘著性之土壤剪斷強度	167
9.6	剪斷試驗法	168
9.7	單軸壓縮試驗及其用途	173
9.8	土壤之安息角	177
9.9	土壤之靈敏度	178
10	土壓	179
10.1	緒言	179
10.2	庫倫的土壓論 (Coulomb's Earth-pressure Theory)	180
10.3	Poncelet 的圖解法	182
10.4	藍欽土壓論 (Rankine's Earth-pressure Theory)	185
10.5	粘著力對土壓之影響	186
10.6	主動土壓的作用點	187
10.7	牆背後之排水	188
10.8	版樁之基礎深度	188
11	山崩與地滑	191
11.1	緒論	191
11.2	山崩與地滑的分類	193
11.3	地滑層區分與型態分類	201

11.4	調查計畫與調查方法的分類	203
11.5	形成滑動面之各種因素	213
11.6	坡面的安定	217
11.7	有粘著性粘土質岩盤的挖方	218
11.8	有摩擦角及粘著力之土壤	220
11.9	凝聚力拋物線	221
11.10	瑞典式解法	222
11.11	地震對坡面安定度之影響	224
11.12	地滑之安定分析	228
12	重力式混凝土防砂壩之設計	249
12.1	設計順序及步驟	249
12.2	對象流量之決定	253
12.3	溢洪口之設計	261
12.4	防砂壩本體之設計	264
12.5	基礎的設計	284
12.6	翼牆之設計	289
12.7	前庭保護工之設計	291
13	三維度防砂壩之設計	303
13.1	前言	303
13.2	分割載重之意義	303
13.3	對單位荷重所生撓曲量之計算	305
13.4	分割載重之計算	309
13.5	應力計算	310
14	地球物理探測法	327
14.1	震波探測與分析	327
14.2	電氣探測與分析	358
15	地形調查與分析	381
15.1	概論	381
15.2	地形測計	387

15.3 地形斷面圖的製作	394
16 地下水調查與分析	397
16.1 概論	397
16.2 地下水檢層法 (Groundwater Logging)	405
16.3 抽水試驗 (Pumping Test)	417
16.4 理論式對抽水試驗之應用	432
17 實驗與觀測資料之統計分析	445
17.1 誤差論與最小平方法	445
17.2 資料之整理與實驗式之求法	460
17.3 相似律與維度分析之應用	478
引用文獻	483
附錄一 水土保持法	491
附錄二 固定樑單位載重撓曲量計量表	501

1 水土保持的基本認知

1.1 水土保持的定義與台灣水土保持歷史的演變

所謂「水土保持」，由其英文名稱「soil and water conservation」可顧名思義得知，是門如何維護大自然的「水」與「土」的一門學問。二次大戰前由於台灣人口的稀少，大自然在無人為的侵襲之下，皆能長期維護其原貌，但戰後由於台灣迅速復建，在經濟發展優先的考量之下，開始大規模的砍伐台灣的原始森林，加上人口的急速增加，山坡地的開發利用成了必然之勢，當時最為嚴重的問題是農地水土的流失，造成農作物單位面積生產量急遽下降，使農民蒙受重大的損失，農委會禮聘美國水土保持專家藍敦（London）先生，來台指導水土保持改善工作，可以說開啟台灣水土保持的濫觴。平台階段也幾乎成了當時水土保持的代名詞，大大的改善了台灣山坡地的景觀與減少大量的土砂流失，農民的收益亦相形的增加，也大幅度的改善了農村生活，因此改善農地、減少土砂流失、增加單位面積生產量，可以說是台灣初期水土保持的代表，也充分的發揮了其最大功能。然自 1981 年後，昔日的水土保持功能，已無法滿足開發上的需求，上游集水區水資源的經營，山坡地土地利用對下游環境所造成的衝擊等等，衍生昔日水土保持從未考慮的問題，更何況台灣的地理環境與歐美的大陸國家迥異，即歐美等大陸國家，上游山坡地與下游社區之間，有長而寬大的緩衝區間，因此對於下游的居民而言，為一天然的保護屏障。但台灣則少有如此緩衝的天然屏障，因此我們的水土保持方法與研究趨向必須考量直接相關因應之策。也就是說台灣水土保持的轉型，除了考慮上述時代變遷的時間因素外，更應加上地理環境迥異的空間因素，因此今後台灣水土保持的工作更趨複雜與重要。如何詳加規劃，有賴大家的思考。

1.2 台灣水土保持上的重要課題

1.2.1 水文氣象上的特質

台灣的平均年降雨量約為 2,500 mm，約居世界各國之冠，唯降雨量的時空分佈極不均勻，約 78% 的雨量集中於每年 5 月至 7 月間之豐水期，而空間分佈的差異為西部地區愈往南則分配愈不均，其中尤以南部地區之豐、枯水期逕流量比例高達 10：1，其次為中部地區（8：2），造成台灣近年來澇旱之災頻仍，加上山坡地的不斷開發，為今後台灣水土保持重大問題。

1.2.2 地文環境上的特質

台灣的地理環境與歐美的大陸國家迥異，就是歐美等大陸國家，上游山坡地與下游社區之間，有長而寬大的緩衝區間，這些區間不是河流即是沖積扇地，因此上游的豪雨或土石流幾乎無法波及下游的居民，自然形成了天然的保護屏障。然而台灣的山坡地與社區之間則少有如此緩衝的天然屏障，因此我們的水土保持方法與研究趨向，與歐美等大陸國家迥異，必須考量直接相關因應之策。也就是說台灣水土保持的轉型，除了考慮時代變遷的時間因素外，更應加上地理環境迥異的空間因素，因此今後台灣水土保持的工作更趨複雜與重要。如何詳加規劃，有賴大家的思考。

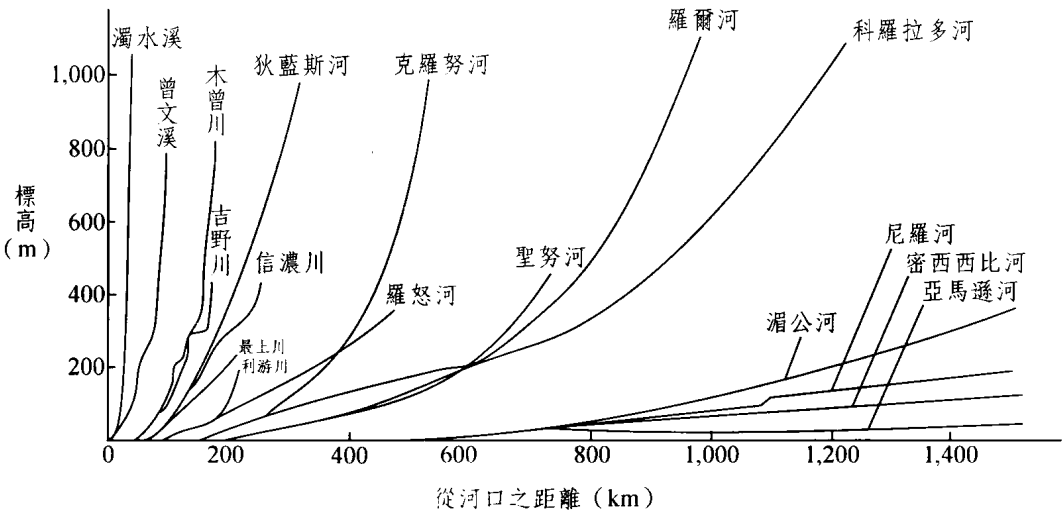


圖 1-1 台灣、日本與大陸國家河川縱斷面比降圖

表 1-1 世界各地平均年降雨量 (mm/year) (高橋裕, 2003)

地 名	國 名	降水量	地 名	國 名	降水量
亞 洲			6.墨西哥城	墨 西 哥	726
1.伊爾庫次坎	俄羅斯	458	7.哈瓦納	古 巴	1,224
2.海參威	俄羅斯	738	南 美 洲		
3.伊斯坦堡	土 耳 其	800	1.基多	厄瓜多爾	1,233
4.利雅德	沙烏地阿拉伯	80	2.利瑪	秘 魯	31
5.科威特	科 威 特	130	3.奎布多	哥倫比亞	7,140
6.巴格達	敘 利 亞	156	4.里約熱內盧	巴 西	1,074
7.德黑蘭	依 朗	208	5.貝倫	巴 西	2,770
8.喀布爾	阿 富 汗	338	6.布宜諾斯艾	阿 根 廷	975
9.喀拉蚩	巴 基 斯 坦	204	非 洲		
10.新德里	印 度	715	1.開羅	埃 及	25
11.加爾各達	孟 加 拉	1,582	2.亞斯文	埃 及	2
12.孟買	印 度	2,078	3.突尼斯	突尼西亞	466
13.邦加羅爾	印 度	3,479	4.達喀爾	塞內加亞	578
14.可倫坡	斯里蘭卡	2,397	5.阿必尚	象牙海岸	2,144
15.瀋陽	中 國	709	6.盧安達	盧 安 達	367
16.旅大	中 國	607	7.那路比	肯 亞	926
17.天津	中 國	533	8.蒙巴薩	肯 亞	1,163
18.南京	中 國	1,072	9.慶伯利	南 非	417
19.上海	中 國	1,135	10.開普頓	南 非	526
20.武漢	中 國	1,257	歐 洲		
21.香港	中 國	2,265	1.斯德哥爾摩	瑞 典	555
22.台北	中 華 民 國	2,100	2.赫爾新基	芬 蘭	641
23.馬尼拉	菲 律 賓	1,791	3.曼徹斯特	英 國	799
24.曼谷	泰 國	1,492	4.倫敦	英 國	594
25.新加坡	新 加 坡	2,282	5.華沙	波 蘭	471
26.雅加達	印 尼	1,755	6.巴黎	法 國	585
27.東京	日 本	1,563	7.里昂	法 國	813
大 洋 洲			8.馬賽	法 國	546
1.雪梨	澳 洲	1,205	9.漢堡	德 國	720
2.墨爾本	澳 洲	691	10.柏林	德 國	556
3.伯斯	澳 洲	889	11.蘇黎世	瑞 士	1,137
4.威靈頓	紐 西 蘭	1,224	12.維也納	奧 地 利	660
5.檀香山	美 國	556	13.馬德里	西 班 牙	419

1.2.3 防洪與水資源涵養的問題

自九二一地震後，澇旱之災頻仍，山坡地的開發與土地利用，成了當前重要的話題；尤其是山地農業的適切性，引起正反兩方面極大的爭議。由於台灣地狹人稠，山坡地的開發利用，成為必然之勢，但過度的開發，與天爭地的行為，也將付出慘痛的代價。2004年7月2日敏督利颱風，重創台灣中南部，接著8月23日艾利颱風肆虐新竹五峰鄉、尖石鄉以及桃園復興鄉，造成重大災情，甚至因水源混濁而造成無水可用的窘境，山地農業更成眾矢之的。從高冷蔬菜及果樹的栽植，污染水資源，檳榔及竹林等蠶食林地，造成洪水及土石流等之災害。自台灣加入WTO以後，台灣農業面臨蕭條與轉機的雙重壓力下，如何絕處逢生，是為政府如何重新建構農業政策的重大考驗。

在枯水期間連農業用水即不夠使用。在2000年6月中央氣象局報導，台灣中部5月的梅雨量，只有平時的十分之一而已，對災區重建的中部居民，無異雪上加霜。缺水加上炎熱的夏天，住在鐵皮屋內，隨之而來的電源吃緊，在核四是否興建的爭議下，也帶給了支持興建者最好的藉口，但也帶給了長期飽受環境污染的國民，只有仰天長嘆的無奈。2003年的年雨量為平均年雨量的一半，北部電力吃緊，南科缺水，曾文水庫蓄水量只剩平時的三分之一，台中水源之鄉的大甲溪流域更是遍體鱗傷，台灣的水資源環境如此脆弱。這是政府長期以來忽視林業的惡果。在政府再造的策略下，一再的無視於森林在環境淨化、防洪與水資源涵養的功能。山坡地森林的存在，才是遏止土石流災害的最高政策綱領；但政府及國民一再的忽視大自然的反撲，使得2002年6月3日一陣驟雨，造成雲林縣華山村，土石流淹沒了六戶民宅，2004年7月2日敏督利颱風、8月25日艾利颱風以及9月11日海馬颱風，三個連續颱風帶來的水災重創台灣全島。這種澇旱之災兩極化的現象，不斷的在國民眼前重演，更令人感到無奈的是，在災區周圍滿山遍野的茶園與檳榔園，只見災民爭相指責政府沒有做好水土保持，而不願承認種植這些高經濟作物，正不斷的蠶食我們的山坡地，破壞了水土保持。多年來土石流的災害，這些墾民實應負一半的責任；有守法的國民才有守法的政府，反之亦然。

1.2.4 全球森林消失的危機

世界的森林在近十年內消失1億6千萬公頃，佔地表森林消失面積約30%，此

乃因薪碳材的伐採、木材的輸出、大面積作物的栽植、牧地的開發等永無止境的開發所造成。

表 1-2 台灣、中國、日本、美國及世界森林面積比較表 (Alexander. S. Mather, 1992)

	台灣	中國	世界	日本	美國
森林面積 (萬公頃)	210	15,363	344,420	2,416	20,957
森林蓄積 (億 m^3)	3.58	112.67	3,837.27	28.51	247.3
森林面積 / 人口 (ha / 人)	0.91	0.128	0.6	0.2	0.84

一、森林面積佔有率

台灣：58.53%。

中國：1949 年 7.9%；1998 年 16.055%。澇旱、沙漠化。

印度：2001 年 21%。澇旱、沙漠化、土壤鹽化、人口的壓力。

馬來西亞：1960 年 80%以上；1998 年 66%。洪水、土壤沖蝕、森林火災頻仍。

肯亞：為最富生物多樣性的地區。1950 年 17%；1980 年 3.0%；2002 年 2.3%。沙漠化。

美國：與蘇聯、加拿大、巴西並列世界四大森林資源國。目前森林面積佔 32%。一年一人紙的使用量為 330 kg。

巴西：亞馬遜橫斷公路 (3,822 km) 的闢建，熱帶雨林的消失，亞馬遜地區森林消失率 1978 年 3.8%；1998 年 13.72%。沙漠化、旱災頻仍。

澳洲：全國平均高度為 330 m，為乾旱國家。熱帶林—尤加利。最近地球溫暖化的問題中，對二氧化碳的吸收上，尤加利的造林扮演重要角色。

蘇聯：因熱帶林保護的加強，木材的供給源從熱帶林轉移到寒帶林，2000 年原木輸出量：中國 600 萬 cm^3 ，日本 600 萬 cm^3 ，韓國 100 萬 cm^3 。森林的劣化。

德國：酸雨的危害 (1970 年後半)。1982 年 7.7%受害，1983 年增加到 34%，1986 年 53%，1991 年東西德合併後 64%。從原來只剩 10%的森林，在數十年之間恢復到現在的 30%，與瑞士並列為恢復自然最成功的國家。

英國：在公元一世紀到四世紀因羅馬的統治而使森林消失，目前的森林率僅為 10.6%，與日本的 67%，美國的 32%，德國的 30%，法國的 27%相比，顯著的少。木材的自給率僅 15%而已。以同為島國的日本相比，以長遠的歷史觀