

坡地防災預警技術

一、坡地工程的特性

1.1 概要

坡地工程依其名稱可定義為在山坡地範圍所作的各種建設之工程設施本身，或以水土保持與環境保護需求的觀點，將其定義為坡地開發所需之水土保持設施。第一項應著眼於坡地本身的工程特性，如何加強考量，不使發生災害，第二項則是將安全所需設施單獨定義為水土保持設施，針對其需求再加以規範。坡地工程之規劃主要針對山坡地開發利用需要的各種分析與檢討作業，並包括山坡地的人為及自然災害的整治，從了解山坡地的工程特性進而能在有關之工作中作合理及正確的規劃與設計。

坡地工程為水土保持工程的延伸，在坡地相關的工作中，除了土壤力學中所述外，並包含了水利工程與結構工程中相關的學科，當然大地工程所屬的工程地質、岩石力學、土石結構物等等的理論也都牽涉到，屬於較為綜合性應用的領域，其內容可以包括：

- 1.坡地安定的原理。
- 2.坡地安定的調查方法。
- 3.坡地安定的分析。
- 4.坡地的災害。
- 5.坡地安定的工程處理。
- 6.岩石邊坡的安定。
- 7.山坡地的填方工程等。

坡地工程與平地的工程有什麼差異呢，山坡地水土保持設施相對於平地或高山地區，開發所需的水土保持設施，針對保育的需求，開發行為本身的水土保持設施相對於開發行為對大環境造成的影響，都有關連。坡地設區的災害源自於水土保持沒做好，農地水土保持與集

水區經營管理，觀念上與做法上的差異，面對著開發，如坡地社區設置排水系統，再作滯洪池，本身是矛盾的，排水系統的規劃要點即在於安全排水，愈快把水排除土地就比較安全，構造物不會淹水，地下不會土壤過度飽合，在平地是如此，但到了山坡地呢？山坡地開發做了排水系統，加速了排水，再做滯洪設施調節排出量，都只用地表水的觀點來看，在山坡地其實降雨很大一部份由入滲來控制，入滲的水形成了地下水，打破了原來水文分析的根本，引起了整體水文環境的改變，需要有進一步的探討與對策，所以在山坡地進行工程是要有不同的考量，希望藉由各項的檢討來看，坡地工程的規劃實施方法與應有之考量。

2.水土保持概說

(本節大部份摘錄自榮工處「工地主管環境保護講習班」授課講義，講題為「水土保持」，主講人為前國立中興大學水土保持學研究所 何智武 教授)

2.1 前言

「水土保持」，顧名思義乃針對水土資源最佳化利用所作之一切處理，依中國土木水利工程學會第五篇中所引用 Bennett 的定義，「水土保持以合理土地利用為基礎，一面使用土地，一面予以土地必需之處理，以維持土地生產力延續持久而不衰退。」；「保持」者，保育也，亦即一方面合理的利用，一方面配合有效之保護，以使水土資源得以為人所永續利用。陸地上之水乃由大氣中降落而來，而土壤資源則為岩石風化而成；水土資源均為可更新且具循環性之天然資源，在管理得當，控制合理情況下，可發揮其無比之功效，永遠供給人類利用，造福人群；反之，若管理不當，或處理不善，則水多為患，水缺成災，土貧地瘠，無法利用，甚者，水土交相為害。

以 79 年至 80 年間發生之水土災害為例，即有苗栗造橋發生之土石崩落造成火車出軌之慘劇；在花蓮銅門發生之土石流，造成全村被活埋事件及因北二高工程與政大擴建工程引發之木柵地區地層滑動災害等，即為大自然反撲之慘痛教訓。84 年度賀伯颱風的災害、87 年的瑞伯與芭比絲颱風到 88 年的 921 集集大地震、89 年的八掌溪及象神颱風、民國 90 年 7 月 30 日的桃芝衝擊了花蓮、南投等地，而 9 月 15 日的納莉更造成大台北地區的重創，幾乎因淹水停電停水而陷入停頓的狀態，後續的敏督利到今(97)年的卡玫基、辛樂克等颱風。重重災難引發產官學各界更多的調查研究與討論，到底山坡地是否遭到不當開發利用，更深一層的應該嚴肅的來思考，山坡地是否完全不應也不能開發，抑或可以經由良好的規劃設計，尋求恰當的開發方法。

一般而言，水土保持的工作可以分為兩大類，其一為農地水土保持，檢討各種土地利用技術，另一部份則為集水區的經營管理。當開發與保育之間的衝突，已從意識上轉變為對生命財產安全保障的威脅時，工程師應培養更宏觀的看法，從環境保護及資源永續利用的觀點來看自己的工作。

2.2 土地利用與規劃

大地之於水資源，具有涵養之功能。而水對於土地，一方面可供給植物生存所需，維持土地之生產力，一方面降水對土壤表面之飛濺、分離、淋洗作用，逕流對土壤之懸浮、沖蝕、搬運、堆積作用，地下水對土層之滲流、淋洗作用等，皆為大地安定與否與土壤肥力保持之關鍵，維繫水土資源平衡之鑰者，乃是土地之利用型態。水土保持就是合理之土地利用為基礎，維持永續之土地生產力，即一面利用土地，一面維護土地，務使環境維持於一定之狀態，故所有之土地資源在水土保持之基本理念之下，均應妥善規劃，合理利用。為了規劃工作有所依循，於六十六年即已由國家訂定山坡地土地可利用限度分類標準，由坡度、土壤有效深度、土壤沖蝕程度及母岩性質，將山坡地利用限度分為宜農牧地、宜林地及加強保育地共六種土地等級，如圖1所示。

台灣地區包括澎湖等離島，總面積為 35,961 平方公里，按照地形及海拔標高區分，可以劃分為三大地帶，即平地、山坡地與高山林區。依據「山坡地保育利用條例」現況統計，凡標高在 100 公尺以下，且坡度在 5%以下者屬於平地，面積 9,500 平方公里，佔總面積之 26%；標高在 1,000 公尺以下，且不屬於平地者，為山坡地，面積 9,700 平方公里，佔 27%；標高超過 1,000 公尺者為高山林地，面積 16,800 平方公里，佔 47%可見高山地區幾佔一半，而平地極為有限，僅為四分之一。若欲增加土地面積，除非造山運動使得地層隆起，或是填海造陸，然而此部份之面積通常極為有限，而且也無法預期與控制，故如何充分保育現有之土地資源，乃屬土地開發利用之先決條件。

平均 土壤有效深度 坡度		$(2^{\circ} 51.7')$ $(8^{\circ} 31.8')$ $(16^{\circ} 42')$ $(21^{\circ} 48.2')$ $(28^{\circ} 48.6')$ 5% 15% 30% 40% 55%					
		一級	二級	三級	四級	五級	六級
90公分 50公分 20公分	甚深層	宜農牧地一級	宜農牧地二級		宜農牧地三級	宜農牧地四級	宜林地五級
	深層			宜農牧地三級			
	淺層	宜農牧地二級	宜農牧地三級		宜農牧地四級	宜農牧地五級	宜林地五級
	甚淺層				宜農牧地四級	宜農牧地五級	宜林地五級
在土地條件特殊之崩坍、地滑、峭壁、母岩脆弱裸露等地，不適於農牧林利用並須加以特殊保育處理之土地，列為加強保育地六級。							

圖 1 山坡地土地可利用度分類標準圖解
(轉載自民國 81 年版「水土保持手冊」附錄)

台灣由於受人口之壓力與經濟高度發展之影響，平地早已不敷利用，故逼向周邊之山坡地發展。尤其近年來，由於山坡地大面積開發案日趨增加，如高爾夫球場之開發面積動輒在數拾公頃以上，多者達百餘公頃，全面開挖、整地，使得當地原有植被、土壤、地形破壞，改變原有之生態，各項資源保育涵養機能幾乎全部改觀。由於台灣地區現有山坡地利用零星複雜，對於土地資源保育不利，宜依據山坡地保育利用條例之規定，妥善規劃宜農牧地，並將超限利用地復舊造林，以確保有限之坡地資源及水源涵養的功能。

2.3 水土保持之基本理念

水土保持之工作目標大致在於調水、蓄水、保土、蓄土、減污及除污等六大項目，而基本上此六大目標之達成均需從水之控制著手。降雨時，雨滴以其動能打擊地面，可引起土粒飛濺及分離作用，而水之滲透勢能將分離後之細顆粒土粒攜往地表下堵塞土壤孔隙，促使表層土壤結殼，減低滲透率，加速地表逕流之生成；其次，地表逕流以其懸浮力及拖曳力，將表層土壤之顆粒搬移，亦造成土壤肥力之流失；地下水之滲流作用會導致土壤內部沖蝕，將其中細顆粒沖出，降低土壤抗剪強度，再者，邊坡蓄積地下水產生較高之水壓，亦將降低邊坡穩定性。在水土作用之爭中，土壤受水之作用而等致肥力流失、安定性降低後，土壤涵蓄水源能力亦降低，更加劇水之作用力，同時受蝕後之土壤更為水質之一大污染源，綜觀而言，水之控制，實為水土保持之根本要件。排水系統的功能在於安全排水，加速水的排除，往往與集水區經營管理中，水的調節有所不足，也同時討論山坡地的水利工程之注重水土保持與平地的水利工程注重安全排水的差異性。以下分別從水文學及水理學之觀點，探討水之控制法則。

(1)從水文學原理探討水之控制法則

為簡便計，利用水文學中著名而簡易之合理化公式予以解析。

合理化公式： $Q=(1/360)CIA$

式中，Q：尖峰逕流量；

c：逕流係數(無單位)；

I：降雨延時等於或大於集流時間時之平均降雨強度

A：集流面積

從合理化公式中，地表逕流係數 C 之改變為逕流最大之改變因子。從水文學對於地表逕流之探討，歸納出降雨期間可使水量減少、貯存或滯延等機制』，以及加強機制功能，大致說明如下：

A.減少水量

- a.地面蒸發。
- b.葉蒸及蒸散：加強植生。
- c.其他：如人工引取、成霧。

B.貯存水量

- a.葉面截留：加強植生。
- b.地表滯留：減緩地表坡度，實施水土保持工程。
- c.地面窪蓄。
- d.建物截留：規定建物截留量。
- e.植物吸收：加強植生。
- f.水池、農田蓄留：加強農藝水土保持、興建滯留池。
- g.堰壩蓄留：施築堰壩。
- h.溝渠河道蓄留：增加溝渠貯水功能。
- i.地表滲透：增加滲透層。
- j.其他如人工補注：設置補助井。

C.滯流水量

- a.莖幹流：加強植生。
- b.地表植生、地表糙度阻滯：加強植生。
- c.池塘滯流：興建滯流池。
- d.溝渠滯流：增加溝渠容量、增長流路。
- e.堰、水庫滯流：堰、壩施築。
- f.地表坡度減緩：加強水土保持工程。
- g.形成伏流或地下逕流。
- h.河床減緩：堰、壩施築。
- i.其他如成雪、人工抽水、循環滯流。

(2).從水理學原理探討水之控制法則

為簡便計，利用水力學中著名而簡易之曼寧公式予以解析。

$$\text{曼寧公式：} V = (1/n) R^{2/3} S^{1/2}$$

式中 V：流速(m/sec)

n：曼寧係數(sec/m^{1/3})

R：水力半徑(m)

S：坡度。

從曼寧公式得知，水流速度 v，與糙度 n (即曼寧係數) 成反比，而與水深 H(寬廣渠道或坡地漫地流時約與水力半徑接近)、坡度 s 成正比，因此欲減緩流速 v，應從地面粗糙度之增加、坡度之減緩及水流之分散形成片流著手。

2.4 營建施工中之水土保持措施

1. 施工造成的水土環境破壞

興建高爾夫球場、遊憩用地、坡地社區及從事其他山坡地開發行為，易因開挖整地減少植生覆蓋而破壞自然穩定平衡，導致邊坡穩定性降低及地表逕流量與土壤沖蝕量增加等現象，尤其在大規模開挖整地情況下，施工中之水土保持問題頗多，概略說明如下：

(1) 土石沖失

開挖整地後之地表裸露面及鬆動土方在未經妥善處理之情況下，於施工期間若遇豪雨，將引起表土沖刷流失及泥砂堵塞排水路之現象，甚至造成河流改道及土石流失淹沒鄰近地區等災害。

(2) 洪峰加大

基地開發後因地表逕流量之增加及集流時間之縮短，其對外排放之洪峰流量將比未開發前增大甚多，當下游地區之河道無法容納或安全排除時，則將加劇河岸侵蝕並肇致山洪暴發與河水氾濫，如台北縣山坡地的開發，讓汐止的基隆河地區，甚或大台北地區經年遭遇洪泛。

(3) 地層滑動與邊坡崩塌

於舊地層滑動地、斷層破碎帶或崖錐等不穩定地區進行開發，或開挖整地方式及施工方法不當，常因破壞自然坡面而引起地層滑動與邊坡崩塌等災害。

(4) 水土保持功能降低及影響下游河川生態

基地既經開發，其原有林木與地被植物之水源涵養，以及水質過濾等功能必然隨之減低，加以大量泥砂下移，其對下游河川生態之影響及所造成之水源污染問題不可謂不大。

為預先研判基地開發所可能產生之災害問題，並為發現特殊地形與地質供施工方法與防災對策之檢討用，應事先做好規劃設計前之資料蒐集與研判、現場調查及試驗分析等工作，其規劃原則、施工方法及注意事項等，將於後續文中分別予以敘述。

2. 規劃原則

由規劃的方法一併來看山坡地的工程與平地工程的規劃與實施有何差異？與開挖整地有關之水土保持作業，為有效防範上述水土保持問題，一般要求於規劃設計時應注意下列原則：

(1) 避開不穩定地區

- a. 應有足夠之地質資料。
- b. 避免於地層滑動地、斷層破碎帶、順向坡及崖錐等下端部分挖掘，以免產生地層滑動或邊坡崩塌。
- c. 避免於崖錐及地層滑動地之上端填土。
- d. 於不影響計畫目標之情形下，儘可能將上列不穩定地區規劃為不可開發區或保育區。

(2) 順應地形、地貌使破壞減至最少

為降低地表裸露面、鬆動土方及邊坡不穩定性等不利因素，並為降低維護成本，開挖整地應依基地原有自然地形及地貌，儘量採取減低開發度與外力擾動程度之原則，予以規劃設計。

(3) 挖填平衡

挖填方應力求最小及兩者平衡，以減低對基地外棄土或取土之需求所造成之水土保持問題。

(4) 減少坡長與坡度

邊坡之坡長與坡度勢將影響侵蝕之大小，坡長愈長、坡度愈陡，則水流速度愈快，因此侵蝕力量亦愈大，故減少坡長與坡度將可降低逕流速度、減少地面沖刷及預防邊坡崩塌。

(5) 分期分區施工

- a. 為避免豪雨所可能帶來之土石流失及追坡崩塌等災害，開挖整地作業應儘量避開颱風期及雨季。
- b. 大面積開挖整地時，應以基地內小集水區或單一小排水系統範圍為單元，配合防災措施適當分區實施。

(6) 排水系統

- a.基地內所做之臨時性或永久性排水系統，以能有效安全排除基地內地表及地下水為原則，並應考慮基地內外之排水能量，分區排除之。
- b.為提高安全性，基地開發期間之區內洪峰流量計算，其逕流係數 C 值，宜以高估為原則，建議採用 0.95~1.0。
- c.基地開發，應採用適當方法控制洪峰流量：即
 - (i)．開發期間及開發後之洪峰流量不得大於開發前之洪峰流量。
 - (ii)．開發期間及開發後，不得增加鄰近集水區之洪峰流量。

3.施工方法

(1)坡面保護工程

- a.開發後之裸露面必須適時完成植生或敷蓋並予以維護，力求儘速覆蓋並減低土壤沖蝕量。
- b.當不適合植生或僅靠植生無法確保邊坡安定時，視狀況需要以適當之結構體做保護工程，一般採用：噴植法、打樁編柵法、栽植槽鋪網植生法或自由樑框工法等。
- c.遇有邊坡不穩定處，應先考慮整坡，將不穩定土石方挖除，若仍無法達穩定，可再考慮下列工法：

(i)．明渠工程

明渠配置之位置，以能有效匯集水流為主，並將所匯集之水迅速排除至安全地帶，以免所匯集之水再度滲入地下。

(ii)．暗渠工程

暗渠之材料宜採柔性材料，且隨地層滑動而不折損者，底部應再鋪設防水布。蓄集地表水之暗渠工程，距地表處應以礫石、碎石、抽砂等材料加以填充。

(iii)．擋土工程

擋土牆種類繁多，有三明治式、重力式、半重力式、疊式、扶臂式、版樁式、地錨式等。原則上，在有

滑動之虞之地區，以採用挖方少且具柔性之擋土工程為佳。

(iii) · 坡面保護工程

植生方法有植草苗法、植生帶法、噴植法、挖穴施肥鋪網客土噴植法、打樁編柵法、預鑄框或自由型框客土植生法等。採用構造穩定之方法有噴漿工、混凝土工、框架工、錨定工、鋪砌塊石工等。

(2) 坡腳穩定工程

配合坡面保護工程，以擋土牆結構物於坡腳不穩定處補強。滑動力較大邊坡，若僅靠擋土牆結構物仍無法穩定時，需以其它工程配合之(如地錨工程等)。

(3) 地表及地下水排除

- a. 選擇適當降雨頻率，並依所計算之逕流量及流速設計通水斷面及溝身材料。
- b. 依照工程施工程序，於挖方及填方邊坡與自然地盤接觸處之坡頂上方與開挖後之坡腳，應分設排水溝，當坡長太大時，宜分段排水或設置山腹工等。
- c. 依照填方作業進度，在適當地點設置臨時排水溝以匯集排放雨水，避免地表逕流對已完成部分之邊坡造成沖蝕。
- d. 在大規模山間溪谷或窪地回填時，為了回填土之安定及避免湧水現象，應配合排水、防砂及滯流設施，設置集水井與暗管。

(4) 滯洪設施

- a. 設置滯洪池於主要排水路上，供蓄洪、減洪及延長洪峰發生時間。
- b. 滯洪池容量依據基地開發前後之洪峰流量差值設計，並須依照下游河道原有之排洪能量，以估算最大安全放水量。

(5) 防砂及防止崩塌設施

針對開挖整地之土石流失災害，可配合使用下列數種臨時

性或永久性防砂設施防治之。

- a.沈砂池：主要設置於基地水路間或下游匯流處，用以沈積水流所挾帶之泥砂，其容量可以挖填面積每公頃每年 500 立方公尺之土壤流失量估算之。
- b.擋土柵：多屬臨時性防災設施，一般設置於基地與鄰近地區交界處，以防止土壤流失，其主要材料為木柵、竹柵及板柵等。
- c.防災土堤：配合施工進度，設於鄰界下緣或基地內坡度較陡處，以疏導土石流入沈砂池，並可避免造成坡面沖蝕及直接流入下游溝渠。土堤高度不得超過一公尺。
- d.簡易擋土壩：配合整地填土作業，設於河谷中，其常用材料有：砂包、蛇籠或舊輪胎等。
- e.防砂壩：一般設置於基地主要排水路之適當位置，以攔截土石，可視填土量及所估算之沖蝕量在谷地適當位置分段佈置。

4.注意事項

- (1)填土區之地表草木必須徹底清除，以避免形成滑動面。
- (2)填方作業應接水平逐層填築，並分層壓實。
- (3)地下水豐富之挖填方速坡，應在坡腳加強排水設施。
- (4)開挖整地作業若有崩塌或土石落下而使作業員或附近住家產生危險之虞時，應設置擋土支撐等設施，並應施設防護網。
- (5)挖填作業若有剩餘棄土，應於堆土前預先做好擋土及排水等安全防護設施。
- (6)擋土工程、打樁工程、沈箱基礎、地錨工程等，應確實安置於穩固岩盤中。
- (7)交通不便地區，應儘量採用索道輸送材料及機具，避免開闢施工便道。
- (8)土方工程宜於旱季施工。

一般認為有了以上的水土保持措施，應該就可以安全的使用山坡地，但事實上，以上所述的事項，要落實來執行並不容易，台灣近年來發生之坡地社區災害案例有許多，如 1994.7.21 淡水米蘭山莊填土坡滑動，經調查發現其回填基地排水不良，可能導致擋土牆水壓過大傾斜，造成滑坡下陷 50 多公尺，由於其基礎為風化凝灰岩及凝角礫岩之溶岩台地因凝灰岩風化，遇水軟化，以致發生災害；另外 1995.06.25 三峽白溪萬代福社區因地震造成滑落兩棟別墅埋沒、四棟別墅坍塌 50 公尺，經調查發現其回填基地排水不良，兼以擋土牆設計不當，又位於山脊突出易累積震波能量，地震力大，而致山谷斜坡上突出平台，位移較大，發生破壞；再有 1996.11.16 汐止瑞士山莊階梯式挖填坡面滑動，亦因排水系統不足，回填土施工不良致壓縮下陷 3 公尺，造成災害；1997.04.02 在桃園上巴陵的回旺山莊發生地下兩層、地上五層的建物發生坍塌，整棟建築物掉落一百多公尺深山谷，研判為其位於向源侵蝕區上游，節理發達，又在坡頂超量荷重，以致基礎承载力不足，兼以區域內的土地超限利用，可能也有影響；1997.08.18 賀伯颱風期間，發生於士林德行東路土石流災變，因上方廢棄泳池回填，排水不良，山谷自然排水受房屋阻隔改向，以致形成水道縮小，束水攻砂，形成土石流；同時汐止林肯大郡順向坡崩塌，在厚層塊狀砂頁岩互層的上坡面因雨水滲入砂頁岩間，頁岩軟化，使抗剪強度變低，整體邊坡產生順向滑落，造成嚴重傷亡；1999.9.21 集集大地震則非個案所能包括，後續更有桃芝、納莉、敏督利等颱風，各處造成重大災害，讓坡地開發與保育工作又陷入了兩難的爭執——究竟人類是否可以安全無虞的使用山坡地，抑或完全無法避免坡地災害，或可經某種程度的風險評定，可以有限度的小心使用。

2.5 結語

台灣因受自然環境之影響，平地面積狹小，且雨量分配不均，加以近年來人口及社會經濟急遽變化，土地資源需求日殷，而平原地區之開發已趨飽和，故山坡開發為非農業用途，有日益增加之趨勢，尤以都市周邊之山坡地保護區最為嚴重。由於該範圍之土地原本具有保護與平衡都市城鎮周邊環境之功能，卻因都市開發之侵入，造成水文環境之變化，加以人為不當之開發情形嚴重，導致坡地災害頻仍，如何加強防範，減少災害，乃為吾人努力之目標所在。水土保持所欲達成之各項目標，事實上即為水土資源合理之保育利用，亦即對於天然環境能夠予以充分之保護，並能長遠地利用。水土保持所採行之各種方法，皆以簡單、易行，並與大自然相調和為基本要求，故常以有機性及綠化標的作為其治理過程中一貫要求之導向，故惟有在植生或農藝

方法不可行之狀況下，方以硬性之結構物處理之，然其終極目標仍以恢復植生綠化為標的。以適宜之水土保持方法保護水土資源，調節洪水逕流，使地表土壤免於遭受沖蝕災害，提高水資源利用能力，並維護水土資源之品質於最佳狀況，此種以永續生產為標的之土地利用方式方能滿足人類之生存條件，亦必須經由此一方式，才能達成環境保護與永續利用之終極目標。