

坡地防災預警技術

二、坡地災害的分類

本篇部份內容摘錄自水土保持局編印之崩塌地調查規劃與設計手冊，1992年

(一) 定義

崩塌：係泛指一切土石移動的現象，包括崩(collapse)、坍(slump)、滑(sliding)、陷(caving)、落(falling)等，較常見的有分(1)山崩、(2)地滑、(3)潛移、(4)土石流、(5)沖蝕等類型。其發生的條件與機制都有其特別的定義。

崩塌地處理則是以防止和控制崩塌的發生，以達到減輕或消除其產生的災害，維繫水土資源之有效與永續利用為目的。

崩塌地的處理應包括崩塌地的調查、穩定分析、處理方法的規劃與監測作業等。視現地的情況，分期進行部份或全部的工作。

說明：崩塌的發生通常指現地的地質材料無法抵抗其重力或其他外力的作用而產生位移，一般定義其類別可細分如下：

- (1).山崩：地層材料因重力或外力作用產生分離而落下的現象，即崩落。
- (2).地滑：地層材料因重力或外力作用產生滑動而下移的現象，即滑落。

山崩與地滑的差異在其變形的連續與否，且山崩是呈張力破壞，而地滑則是呈剪力破壞。尤其一般山崩其崩落物破裂崩解，而地滑較接近塊體的運動(rigid body movement)。或可以破壞後滑動面是否裸露來區分，山崩後表面即為破壞面，地滑則破壞面仍隱藏在地下。

- (3).潛移(潛變，Creep)：地層材料因重力或外力作用產生滑動的現象而下移，但並未超過其極限強度，小應變產生長期緩慢的變形累積。

(4).土石流：地層材料受水力的推動或衝擊，造成液化的現象，喪失其安定性而移動。

(5).沖蝕：地層材料受水力的推動或衝擊，造成顆粒分散(喪失凝聚力)再加上水的搬運作用而流失，可以分為地表面沖蝕及土壤內部沖蝕。

上述的各個現象中，水都佔了極重要的角色，山崩的形成除了外力作用外，主要為水的風化作用造成其強度降低，抗張力不足，而地滑的形成除了邊坡排水能力不足造成內部孔隙水壓力升高，形成的作用力外，水的存在造成滑動面的土壤剪力強度降低，應常扮演重要的角色。潛移的現象中，水並沒有直接的影響，惟其發生多在軟弱的土壤夾層中，主要需高含水量且排水不易。土石流的發生除了需要堆積物本身的疏鬆條件外，亦需要足量的水及其衝擊力來引發，而沖蝕則為水對土壤顆粒離散及搬運的作用，當然少不了水。

補充說明：(1).崩塌地的分類各國學者依其國情特色及技術發展，有所不同。但對崩塌的定義，一般都指，構成地表的物質(可以是土壤或岩石)，在重力或重力與其他外力聯合的作用下，向下坡位置運動，達到位能較低的情形，通稱為downslope sediment transport，依其機制不同可分為：

①慢速整體的移動，如蠕動、土壤軟化(solifluction)及隆起。

②快速整體的移動，如崩坍、地滑、土石流。

③地表逕流產生之沖蝕作用，為單一顆粒分散之行爲。

④地下水流產生的管湧(piping)現象，也是顆粒分散的行爲。

⑤地表或地下水的化學溶解現象。

(2).由於崩塌所指為地表面的物質運動到位能較低的位置，故有其發生的必要條件，需具備有高低位能差的情況存在。如坡面上的物質相對於坡面下，或者在陷落等情況，地下有某些空洞存在，如採

礦造成的地下空洞，石灰岩或泥岩地區地下溶蝕或淘蝕造成孔洞等。

崩塌地依其定義，原為地殼演變的自然現象，造山運動形成隆起，為高位能區域，受風化及搬運的作用往低位能範圍移動，自然形成各式各樣的崩塌地，為崩積地形形成的來源，並且是下游地區河川及平原泥砂的來源，其作用之重要，在台灣造山運動活躍的地質條件下更為突顯。雖然崩塌地的形成為自然界的現象，但於下游地區的土地利用已定型，為維持土地的安定與平衡，有加以整治，防止其發生的必要，故自然的崩塌地處理，為集水區經營管理的重要工作項目。

崩塌地的發生，為在重力或重力與其他外力的聯合作用下發生。所指其他的外力包括地震力、水的作用力或外加的載重、或原有側向支撐力的移除等等。人為的改變地形或坡地的開發利用，常常會導致崩塌的發生，故山坡地的開發利用，應特別注意到邊坡穩定的規劃及崩塌地的處理，以維持土地的安定。

山崩通常由於自然風化或人為開挖解壓引起，調查與監測應加強表面變形的觀測與隨時的注意，其發生的速度快很難預警，應考慮防止其造成傷亡為主，落石網等是不錯的選擇。

地滑與潛移則運動速率較慢，可以透過研究觀測來防止其造成災害。

土石流需要堆積物的調查，其流動是必然的，考慮造成災害的防止。

沖蝕則需農地水土保持加育植生綠化育林等工作。

(二)崩塌地的分類及其災害

崩塌地依其處理的需要，可以界分為自然邊坡及人為邊坡的處理，自然邊坡又可以依其地質材料組成分為岩石邊坡及土壤邊坡，而人為邊坡則可以用施工規劃的差異分填方邊坡及挖方邊坡來討論。

邊坡的穩定性通常由以下三項來決定：

- 1.組成材料本身的特性：地質材料本身的指數、參數及各種強度，如張力強度、壓力強度、抗沖蝕性、抗風化性、剪力強度等。有一些地質材料的強度與其組成材料中的膠結物質的種類和形態有關，每種地質材料的膠結物質不同，如果發生膠結物質容易因水的作用產生溶解、軟化、淋洗或流失後，就可能造成坡地的崩坍。以黃壤土為例，存在的膠結物質為鈣質、方解石及氧化鐵等，當乾燥的時候這些膠結物質膠結力很強，邊坡可以維持陡峭，甚至接近垂直，但當有水路形成時，這些膠結物質浸水後，膠結物質很容易溶解及軟化，膠結力降低，開始流失，產生大規模蝕溝，最後就會導致邊坡滑動造成災害。
- 2.幾何形狀：地層的結構，弱面的位置及其整體的幾何形狀，幾何形狀決定其重力的作用，包括垂直力、水平力等，也間接影響了外力(如地震力)的作用及邊坡排水的能力。

從地形學的觀點來看，幼年期地形高低落差大，是很容易造成邊坡崩坍的地形；壯年期地形則較穩定；到了老年期地形最穩定，不易有邊坡滑動的情形。現地應也會影響到邊坡穩定，當現地的最大主應力方向與邊坡的傾向一致時，易造成邊坡滑動。遭遇到斷層時，斷層的錯動使岩體破碎易傳遞及蓄積水壓，對邊坡可能造成不利影響。

另外，沖蝕及河谷解壓的作用也可能對地形與穩定性造成影響。地表受地表水沖刷侵蝕後，在地表較為軟弱的部分會形成河谷。河谷解壓容易造成邊坡下滑，在下邊坡會產生擠壓作用，坡腳或谷底會出現應力集中現象；若此應力超過其強度，則會造成岩體破碎、隆起...等，即為河谷解壓的效應，對邊坡，尤其許多山區道路，造成威脅。

- 3.外力作用：邊坡內部及其表面所受的動靜態載重，水壓力的變化及側向力，圍壓阻擋等。一般而言，邊坡不穩定的形成，除了地質、土質條件及其幾何形狀外，外力往往為其主要控制條件，常見之影響邊坡穩定的外力，主要為滲流應力

及地震力。在穩定分析中，滲流可區分為垂直方向及水平方向的流動，其對邊坡影響往往不同。而地震力可能造成的影響，除了直接以外力的形式，改變力之平衡外，有可能因力及變形的效果，造成暫時之孔隙水壓力改變，突然變大或變小，而造成邊坡之問題。

工程及人為因素亦可能對邊坡的穩定性造成影響如下：

(1)開挖順序

若開挖時，由坡趾往坡頂開挖，會使坡腳失去支持力，當土體重量大於可支撐的力，整個結構會失去穩定性，很容易造成邊坡崩落或滑動；正確的開挖應是由坡頂開挖，減低土體本身自重後再開挖坡趾，才能維持邊坡穩定。

(2)開挖方法

開挖方法影響邊坡的穩定，例如：使用炸藥或打鋼軌樁作支撐，易使岩體內部破碎，會造成強度及穩定性降低，尤其在受到雨水入滲作用下。

(3)伐林及濫墾

即任意開墾現有林地作農牧或其他使用，邊坡失去水土保持功能，易造成邊坡滑動。

(4)水庫蓄水

水庫蓄水初期及急洩降時是淹沒區邊坡最容易產生破壞的兩個階段。蓄水初期因水位提高，土壤的含水量及水壓增加，剪力強度降低，邊坡易滑。而水庫水位急洩降時(如洩洪)，在坡趾處產生側向解壓的效果，猶如坡趾開挖；同時邊坡內的地下水倒流回水庫，產生滲流應力，使邊坡易生坍方。

(5)工程加載

如坡頂加載重物或拱壩兩端的推力，對邊坡的穩定性皆有影響。

以下就各式邊坡作成分類，並就可能引致破壞之原因及其破壞型式與後果作成概括的表列：

表1 邊坡形式與破壞的類型

邊坡之種類	引致破壞的可能原因	破壞的型式及其後果
開發區上游之自然岩石邊坡	地震、降雨、風化、坡趾切除、採礦等。	山崩、平面形或楔形滑動、崩落等，埋落道路，阻塞河流。
開發區上游之自然土壤邊坡	地震、強降雨、坡趾切除、採礦等。	泥石流、土石流、地滑等破壞產物埋沒村莊，阻塞河流。
開發區內之岩石邊坡	地震、強降雨、坡趾切除、長期風化等。	山崩、順向坡破壞、落石等，埋沒道路、社區、阻礙排水。
開發地區內之自然土壤邊坡	坡趾切除，不穩定邊坡之填方，供水或排水線之泥水，草地之噴灑水等。	通常為慢、蠕動式之破壞，會造成水管、排水系統破壞及道路之損毀。
水庫、蓄水池之邊坡(原有)	增加土壤及岩石之飽合度，提高地下水位，增加浮力(上揚力)急速下降水位。	快或慢的邊坡破壞、損毀鐵、公路，阻塞溢流口，引致壩體之傾倒，造成洪水、生命之損失。
公路及鐵路之挖填式邊坡	過量之雨水，不穩定邊坡之填方，坡趾切除，地下水排水受阻等。	挖方破壞阻擋道路，基礎移動引致路面破壞，產物之破壞及生命之損失。
土石壩、堤防、水庫壩體之邊坡	滲流情況過大，地震波動。	突然之下陷滑動造成整體之破壞，淹沒下游地區造成人員財產之損失。
填方整地	填方夯實不良，地表及地下或排水系統不確實。	陷落、地滑及土石流造成整體之破壞，土石移動淹沒下游地區。
開挖面及填方坡面	坡面設計不穩定，過高之地下水位，不良之地下水控制，抽排水系統之中斷等。	邊坡破壞或開挖面底部的隆起，嚴重的影響工程進度，機具的損壞，財物的損失等。

(三)調查方法

崩塌地調查的目的在於瞭解崩塌地的現況，並應能確定其發生的機制，以進一步提供作崩塌地處理的依據。

崩塌地的現況調查應包括地區的氣象、水文、地形與地質等，其中尤以與崩塌發生有關者為要，必需能足夠的描述出崩塌地的表象特徵，範圍及滑動的情況等。

崩塌地的機制調查，應包括應用現況調查的結果，增加必需的地層鑽探，採樣與試驗，如有必要應包括適當的地球物理探勘，以了解邊坡內部地層的分佈及充份的描述地區的地表與地下排水系統。補充調查的結果，應經綜合研判後，就適當的崩塌類型，採用調查所得的地形、地質及外力條件，進行邊坡的穩定性分析。

- 說明：(1).崩塌地的現況調查可分為氣象、水文調查及地形、地質的調查，一般而言，現況調查以資料的蒐集與現地的踏勘為主要方法。氣象的調查主要為降雨量的資料整理，推算崩塌發生時的降雨量與地區的平常降雨情況。水文調查則應包括區域的逕流情形與排水系統。
- (2).現況調查中的地形調查為一項極重要的工作，應包括現地原地形及其是否開挖整地的過程，並應以踏勘或地形測量的方式，詳細記錄崩塌地的範圍，推估滑動方向，滑動量等。現地踏勘中，應於地形圖上標示崩塌地各部份的位置，如陷落區、隆起位置、裂隙、龜裂、湧水及地面結構物損壞的情形等等，舉凡與崩塌地有關的表徵，均應包含在內。
- (3).現況調查中的地質調查，主要為了解地質與崩塌可能相關的影響因子。應利用蒐集之資料及現場踏勘進行現地的地質材料組成的判釋及地質構造的研判。應能明述土層、風化岩層、崩積層、岩盤、夾雜粘土層等的位置及其特性。並應推估節理面、層面、斷層、破碎帶等的傾角、走向，以供機制調查的參考。
- (4).機制調查的目的，在於確定引發崩塌的因子，作為處理的依據，應詳細及正確的進行。為達成目的應進行必要的補充調查及分析作業。機制調查中的補充調查，以了解地層中的結構與特性為最首項，於適當的地層剖面位置，進行鑽探、採樣與土質、岩質的特性試驗。其結果應能正確的

判定主要的地層分佈及各地層的力學特性，並應包括現地可能載重情形的改變。

- (5).機制調查中的補充調查，應對現地的自然排水系統，作一適切的研判，推算現地地表排水系統中降雨與逕流關係，並定出排水的途徑。並應利用鑽探所得資料，進行水文地質的研判，了解降雨造成局部地層內地下水位變化的情形及其地下排水的系統，如現地有挖填整地作業，應一併了解人為措施對地區地表及地下排水系統之影響。
- (6).鑽探採樣與試驗工作，應依現地地形及地層構造，由有關的專業技師研判及進行。鑽探位置的選定，以足夠提供地質研判為主，要涵蓋主要的地形。基本上應全程採樣作成岩心箱以提供地質材料研判，相關的試驗項目應按現地的需求，以國家標準進行。
- (7).現地的地下水文地質及地層結構的研判，如有必要，應擬定適當的地球物理探勘來協助執行，以確定地層面的延伸、傾角、走向、軟弱面、地下水流動位置與方向等必要的項目。

註：地球物理探勘

大多數的地物方法原來多發展來探測接近平面的構造，如地下水位、岩盤高度、區域的地質構造等，隨著時間持續發展可以用來探測更複雜的面及更小的構造，近年來已發展至可以探測微小的側向變異，甚或單獨的標的物。

地球物理方法包括各種在空中、地表面及孔內的量測方法來提供對地下地質與水文特性的探勘，並可獲得推估其工程特性。

地物探勘的原理為量測土壤、地層或其間水分的某些物理或化學或電學特性的差異再作推斷，其要點在於所要探測的目標，在所量測特性上要有顯著變化可資判別。

地球物理探勘應用在工程上時與早期在石油探勘重點有所不同，要求在較淺層，數十公尺內得到較高的解析度。

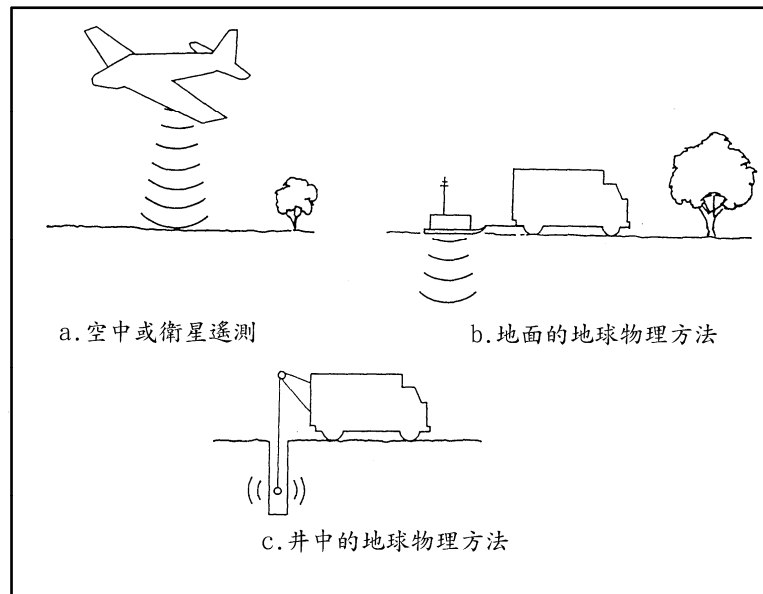


圖1 地球物理方法的三大類別

表2 各種調查方法與空間採樣關係

方 法	區域性 (Regional)	本地 (Local)	遠場 (Far Field)	近場 (Near Field)	採樣點 (Samples)
空中及衛星遙測 [Airborne / Satellite Measurements (imaging and geophysical)]	×	×	×		
地貌學與地質統計 (Geomorphology / Geostatistics)	×	×	×		
地表地球物理 (Surface Geophysics)	×	×	×		
追蹤試驗 (Dye Tracers)	×	×	×		
地表地質調查 (Surface Observations)	×	×	×		
地下調查 (Underground Observations)		×	×		
群井水文觀測 (Hydrologic Measurements from a Group of Wells)		×	×		
群井井測 (Downhole Geophysics Between a Group of Holes)		×	×		
單井水文量測 (Hydrologic Measurements in a single Well)			×	×	
單井井測 (Downhole Geophysics in a single Hole)			×	×	
鑽探，岩心採樣 (Driller's and Geologic Logs)				×	×
岩心室內試驗 (Laboratory Measurements on Core Samples)				×	×

表3 常用之地表面地球物理探測方法

方 法	量測參數(Parameter Measured)
透地雷達 (Ground Penetrating Rader)	介電常數(dielectric constant)
電磁場(Electromagnetic)	電導度(electrical conductivity)
地電阻(Resistivity)	電阻值(electrical resistivity)
折射震測(Seismic Refraction)	震波速度(seismic velocity)
反測震測(Seismic Reflection)	震波速度及密度 (density and velocity)
磁場(Magnetics)	磁誘導係數 (magnetic susceptibility)
重力(Gravity)	密度(density)
金屬探測器(Metal Detector)	金屬之電導度反應 (responds to electrical conductivity of metals)

(四)地滑地的地表特徵

地滑地發生造成了現地地貌的改變，影響了土地的安定，與其間植物生長相互的影響，欲在崩壞地區進行治理或植生復舊時，必須先了解其安定程度，以下分崩壞下的堆積物及具活動性的滑動土體與安定的舊滑動體說明其特徵。

1.堆積物(Deposits)

- (1)在頭部形成橫向的脊線，以下則形成縱向脊線，趾部呈同心圓狀疊加於原地貌上。
- (2)橫向及幅射狀趾部的裂縫，側邊呈剪力破裂，頭部呈落崖狀。
- (3)趾部呈擴散狀，山谷有部份或完全堵塞，河流改道。
- (4)材料來自本區域但自滑落崖移出，包括原地盤原狀的大塊體在下邊坡堆積。

2.具活動性的滑動土體(active movement)

- (1)滑落崖及裂縫形成尖銳的邊緣及開口，沒有二次填充進入。
- (2)主體單元有二次裂縫及擠壓形成的隆起。
- (3)表面呈現擦痕，看似新鮮。
- (4)表面排水混亂，呈現小水塘等。
- (5)沒有表土生成，只有少數可快速生長之植生。
- (6)在滑動區與非滑動區之間可看出明顯的粗糙度、質地、植生等的差異。
- (7)傾斜的植物生長。

3.不具活動性的滑動土體(inactive movement)

- (1)滑落崖與裂縫經風化變得較不突出，裂縫內有填入物。
- (2)沒有二次壓力擠壓成的明顯隆起現象。
- (3)表面風化，植生進入。

(4)較完善的排水系統，可能發現有部份不規則及低陷地點內有淤積填充。

(5)表土覆蓋，植生良好或開發成農林地。

(6)通常無法由地表判釋其界限，除非使用航照判釋。

(7)新生成的樹林，滑動後的樹垂直生長。

植生復舊工作進行前，必得先調查區域的安定性，在確認無穩定性問題後，引入植生工程可加速安定性的恢復及沖蝕的防止。如若安定性仍有疑慮，則應安排進行工程方法的調查與實施，完成後再做植生復舊的工作。

(五)穩定分析

穩定分析的目的，在於確定崩塌發生的機制與規模，並可進而提供處理時工程安定程度的推算，應按邊坡本身的分類及崩塌地的類型，選擇適當的分析方法進行。

自然及人為的土壤邊坡，一般可採極限平衡法進行分析，但應特別注意是否有弱面及不透水面的存在。自然的邊坡中，由於地層發育過程中，或由沉積或由風化容易發生軟弱的地層。人為的土壤邊坡中，容易因施工的程序造成不均勻的填方材料，而形成弱面或弱帶的存在。上述的情形在調查及穩定分析中，應特別注意，並慎選適當的材料強度參數與滑動面的位置。

岩石邊坡的穩定性分析，可以用極限平衡或不連續變形分析來進行。在破碎的岩石表面，通常節理面的位置與分佈為其邊坡穩定性的控制因子，應就現地情況採平面型式或楔型滑動的分析。

說明：(1)穩定分析中所需資料，可以分為①地層材料(土壤或岩石)的強度參數，②幾何形狀，③外力載重，三個項目。

(2)填土邊坡本身的強度，受填方工程施工的影響極大，夯實作業的好壞，填方材料的選定都有影響。

(3)挖方作業中應特別注意是否造成軟弱岩層的裸露，如泥岩層一旦露出，極易受風化影響，有些砂頁泥岩互層也有這樣的現象，而順向岩坡亦容易受挖方作業的影響，引發大規模的滑動，在分析時，應特別注意地質調查的資料。

(4)穩定分析中應特別注意施工對地區地表及地下排水的影響，如挖方工程改變地表排水的流路，填方工程阻礙地下排水的出口等，分析時應納入考量。

(5)在山區或坡地的道路工程施工中，常採用挖填平衡的方式進行，應特別注意挖方可能引致的滑動及填方可能引致的鬆動情形，並應考量其排水及載重的情況。填方部份應有適當的夯實及擋土設施。

(6)對已發生崩塌之災害處理分析中，可以由調查或監測作業中，得知滑動面的範圍與深度，再進行逆算法分析來推估現地地質材料的強度參數，以瞭解其穩定性，並供作處理時規劃之依據。

(六)處理手段

崩塌地之處理應在完成足夠的調查與分析作業，明瞭其機制與規模後方得實施。其處理的手段大致可分為從消除或減除其導致崩塌的誘因著手或以各種工程結構物來抵抗達成安定的目的。兩者在必要時可以配合實施。

消除誘因的方法，包括改變其幾何形狀或水壓力的作用等，主要有規劃適當的挖填土方工程，改變自重的作用，地表水與地下水排水工程減少表面沖蝕及地下水壓力的作用。

增加抵抗力的方法，除了作適度的土壤改良外，大都為設計足夠的工程構造物來抵抗崩塌發生的可能性。

崩塌地處理的執行，應明確定出使用方法及其可以發揮的功能與欲達成的效果。

說明：(1)崩塌地處理中消除誘因的方法，可以從崩塌發生的誘因種類來看。首先為其材料特性，如山崩中容易發生落石的部份，可以於施工或災害中移除，地滑中的土質強度太弱可以使用加勁土或化學改良，土石流發生的鬆散堆積可以移除，土壤的表面沖蝕則可藉由植生護坡等方式得到改善等等。

(2)邊坡的幾何形狀可以用人為的手段加以改良，以減少崩塌的趨動力，如上方邊坡的削除，下邊坡的填土都可以增加其穩定性，但應特別考慮填土可能影響邊坡的排水能力，招致不良的後果，另外，實施整坡作業前，應能完全掌握不穩定的區域，明確分出上、下邊坡，不致因填土造成下方的不穩定。

(3)地表水及地下水排水方法，是崩塌地處理很重要的手段，地表水的排水系統可以減少沖蝕及土石流的發生，加速雨水的排除可以減少入滲，間接降低邊坡內的地下水位。主要為構築適當的排水溝截留溝等系統，安全排除雨水。地下水的排水工程種類較多，包括有暗渠工程、排水孔工程、集水井、排水廊道及地下水截斷等等的方法，規劃中應明確調查地下水的流向、水量等，才能對排水系統的設置作適當位置的選定及排水能力的設計。

(4)增加抵抗力的方法，主要為以各種工程結構物，包括擋土牆、防砂埧、打樁、深基礎樁、岩釘、地錨等方法，來阻

擋崩塌的發生，應就地區特性及其不穩定的程度選擇適當的方法。

- (5)在崩塌地處理中，應特別注意多餘土石方的問題，需有適當的規劃處置，不可任意棄置造成流失，影響區域排水或結構物的安全。