

風險管理應用於土石流災害管理之探討

陳振宇

行政院農業委員會水土保持局災害應變科科長

摘要

國內現行之土石流災害管理架構，係依據美國聯邦應變管理署(FEMA)所提之「減災-整備-應變-復原」災害管理循環四階段論，依災害發生前、中、後等不同階段，於 2000 年災害防救法頒布後，逐步架構出各項土石流防災應變體系與措施。然而面對複雜而多變的土石流災害管理問題，實務上常遇到許多不確定性且難以決策的情境，而風險管理所提出之風險評估、風險控制等理論與工具，恰可補足這方面的問題。本文所提出之「土石流災害風險管理」並非全新的管理機制，而是於原來的土石流災害管理架構中加入風險的概念，為目前實務上所面臨之問題與困難，提出另一個解決或將問題予以量化評估的途徑，同時本文亦將提出土石流災害風險管理後續可能發展與應用的幾個方向。

關鍵詞：土石流、災害管理、風險管理

一、前言

目前國內外對於天然災害管理之理論，多以美國聯邦應變管理署(FEMA)所提之「減災-整備-應變-復原」災害管理循環四階段論為主流，而我國 2000 年所頒布實施之災害防救法，目前雖只列舉「災害預防」、「災害應變措施」及「災後復原重建」三階段，但在災防法災害預防篇的第 22、23 條實已將減災與整備二者分別條列。國內土石流災害管理近年來在行政院農業委員會水土保持

局的積極推動下，已有長足進步，同時依據前揭所述之「減災-整備-應變-復原」四階段論，已逐漸架構各項完備的土石流防災及應變體系。

然而面對複雜而多變的土石流災害管理問題，實務上常遇到許多不確定性且難以決策的情境，例如，從事預警監控的人員，應如何決定何時發布土石流警戒最為恰當？而第一線的地方政府指揮官，在面臨災害威脅及民眾不願主動撤離的情境下，如何決定是否應立即下達強制疏散指令？針對某地點進行土石流防災工作時，究竟應優先採用硬體或軟體防災措施等。

針對前揭實務上，現行土石流災害管理架構尚無法完全解決的問題，風險管理所提出之風險評估、風險控制等理論與工具，恰可作為這些問題的解決方案。為此，本文將以風險管理的理論為出發點，在原來的土石流災害管理架構中加入風險的概念，提出「土石流災害風險管理」的架構，為目前實務上所面臨之問題與困難，提出另一個解決或予以量化評估的途徑，同時本文亦將提出土石流災害風險管理後續可能發展與應用的幾個方向。

二、現行土石流災害管理架構與遭遇問題

(一)現行土石流災害管理架構

早期針對土石流災害管理，多依據土石流的特徵、防護對象的要求及實際可能採取的措施，以「防止土石流發生體系」、「控制土石流運動體系」及「預防土石流危害體系」三方面去進行土石流防治工作。亦有整合為「預防對策」(土石流危害的迴避)及「防治對策」二大方向之架構，如圖 1 (詹錢登, 2000)。2000 年國內災害防救法頒布，行政院農業委員會成為土石流災害之中央業務主管機關，並擬訂土石流災害防救業務計畫(行政院農業委員會, 2004)，遂依據災害防救法及美國聯邦應變管理署(FEMA)所提災害管理循環，將土石流災

害管理分為「平時減災」、「災前整備」、「災時應變」及「災後復原」四階段，並增列相關作業程序，分別為「土石流防災疏散避難作業程序」、「土石流災情蒐集與通報作業程序」、「土石流防災教育暨宣導實施要領」、「土石流災害預報與警報作業程序」、「防止土石流二次災害暨復原重建作業程序」。建立土石流災害防救體系中各階段之實施應變運作機制，規範各防救災業務的整合與協調，落實土石流災害防救業務之推動，並提供地區災害防救計畫擬訂之參考。(吳輝龍、陳樹群、陳聯光、王淑怡、陳振宇, 2003)

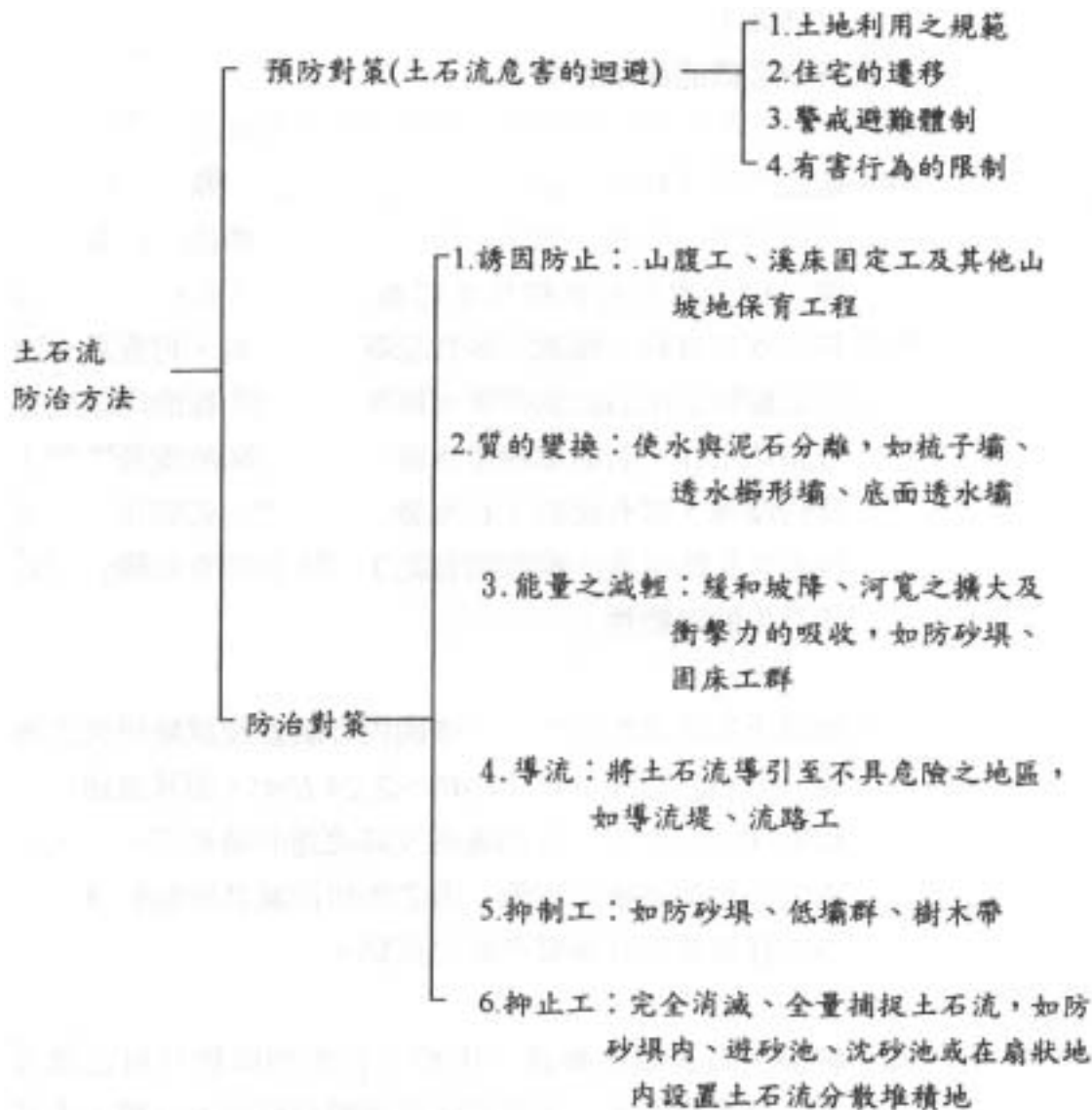


圖 1 土石流防治方法分類示意圖(謝正倫,1997)

事實上，前揭各種土石流災害管理架構雖稱完整，但在實務運作上，大多略顯繁複，第一線人員往往不易理解並掌握重點，實不利土石流防災相關工作之執行對與推動。為此，筆者依據現況重新調整相關重點工作及流程，提出操作型土石流災害管理架構如圖 2 (陳振宇, 2005)，俾使執行相關業務人員能直接掌握工作重點及後續研究與提昇精度、效率之方向。

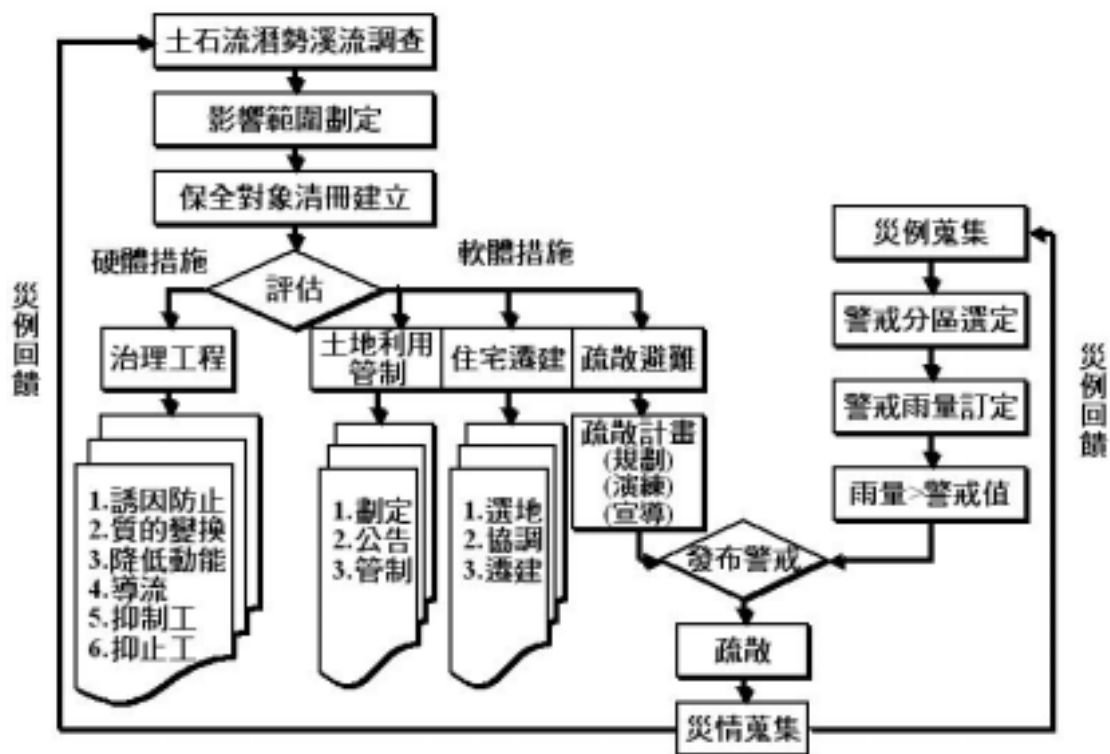


圖 2 操作型土石流災害管理架構圖

(二) 遭遇問題

現行的土石流災害管理架構雖已考量災害發生前、中、後各階段之工作重點與需求，然而實務上，各級政府執行相關工作時，仍會遇到一些問題與盲點。例如，在執行疏散避難工作時，從事預警監控的人員，應如何決定何時發布土石流警戒最為恰當？而第一線的地方政府指揮官，在面臨災害威脅及民眾不願主動撤離的情境下，如何決定是否應立即下

達強制疏散指令？針對某地點進行土石流防災工作時，究竟應優先採用硬體或軟體防災措施？相關問題初步整理如下：

1. 疏散時機決策難以抉擇。
2. 現行土石流潛勢溪流評估模式是否合理。
3. 防災措施應如何評估優先採用硬體或軟體。
4. 疏散避難或劃定特定區之益本比如何估計。
5. 硬體減災工程之效益如何合理評估
6. 防災整備工作如何定義完備。

由於土石流發生機制複雜，且目前科技水準仍無法於颱風豪雨期間準確預測未來後續降雨情形，加上民眾自我意識高漲，所以如何綜合考量土石流發生機率、風險評估及民意與輿論的壓力，在「不擾民」與「災害管理」間取得平衡，適時發布土石流警戒及疏散撤離指令，以及在有限的資源下，如何合理評估軟硬體防救災資源的配置，將是土石流災害管理上亟為重要的考驗與工作。

三、風險管理簡介

(一)名詞定義

1.風險 (Risk)

依據聯合國國際減災策略委員會(ISDR)所提出所謂天然災害風險(Risk)之觀念，天然災害是天然危害(Hazard)、易致災性(vulnerability)以及承受能力(Capacity)間交互作用的結果(陳樹群、吳俊鋹、柯勇全、馮智偉、吳俊毅，2005)，而目前常用以表示風險之方式，多採期望值模式，亦即

$$\text{風險} = \text{危害發生後之後果} \times \text{危害發生之機率}$$

2.風險管理(Risk management)

如圖 3，土石流災害風險管理包含**風險評估**(Risk assessment)與**風險控制**(Risk control)，其中風險評估之結果旨在呈現目前的風險程度是否在容許的範圍內，以作為後續是否將進行採取降低風險相關措施(即風險控制)之決策依據。

3.風險評估(Risk Assessment)

為風險管理之核心，係將**風險分析**(Risk analysis)所求得的風險程度，與**風險評價**(Risk evaluation)之所求得的風險容許限度作適當的評比，以作為後續決策之依據。

4.風險分析(Risk Analysis)

主要項目包括定義及瞭解危害模式與風險因子(Risk Factor)的**危害辨識**(Hazard identification)、評估危害發生機率的**頻率分析**(Frequency analysis)、計算危害發生後之破壞或影響範圍的**後果分析**(Consequence analysis)，以及綜合前揭三項結果所評估出來的**風險估計**(Risk estimation)。亦即風險分析包含各領域，如科學、工程與社會科學等專業，與相關之危害度分析、頻率分析與後果分析(Consequence analysis)等方法，其考慮之因素包括經濟、社會與心理等因素，故作為決策程序之輸入資訊時，風險分析並非僅考慮工程因素之分析程序。

5.風險評價(Risk Evaluation)

風險評價在風險評估中之角色，主要是在產生決策準則，而在該準則下，風險分析之結果可被評價出來。產生決策準則之程序需考慮公眾之價值及權利等原則，並包括財務、法律與管理狀況等因素。風險評價牽涉策略分析與決策準則建立，因此並非工程手段可為。工程人員在風險

評價中之角色係解釋風險分析所隱含之意義與如何做最佳之詮釋，故工程師除提供風險評價之輸入資訊外，並輔助決策準則之建立。管理當局制定最低可承受風險時要考慮大眾之接受度，而該接受度則有賴良好之溝通與決策過程之透明化。

6.風險控制(Risk Control)

而風險控制的基本策略可分為：(1)降低危害發生的機率，亦即**風險消除與降低**(Risk Mitigate)，(2)降低危害發生後果之嚴重性，可採用**風險規避**(Risk Avoid)及**風險轉移**(Risk Transfer)的方式降低對保全對象的傷害，直至殘餘的風險降至可接受的程度，即採**風險承擔**(Risk Accept)接受剩餘風險。

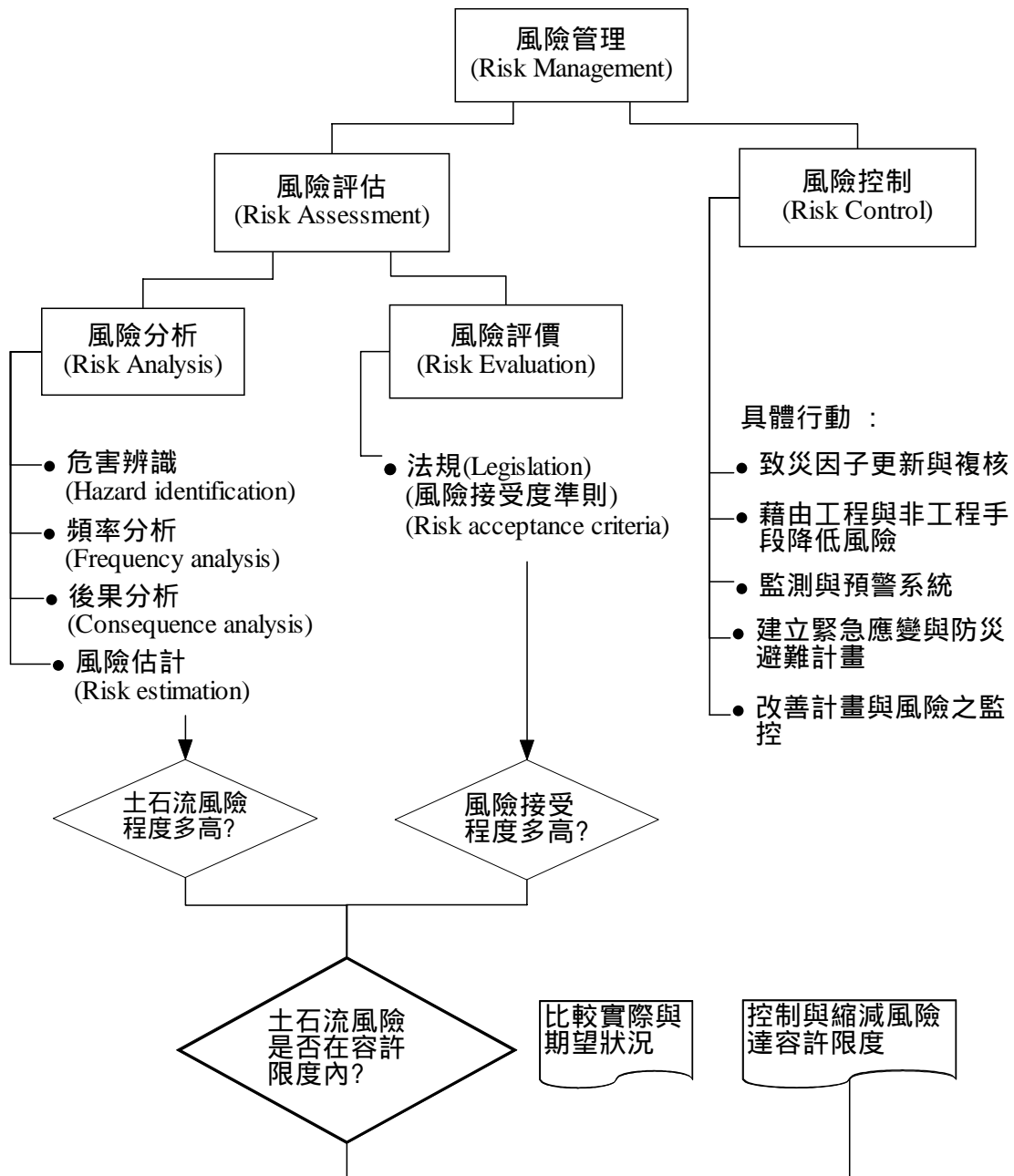


圖 3 土石流災害風險管理概念圖

(二) 土石流災害風險管理架構

土石流災害風險管理架構，如圖 4 所示，其中每一決定點(菱形圖示)皆代表一定形式的風險評估。圖 4 中行例行的檢查與致災因子調查”下的決定點是一個以技術手冊為主的土石流潛勢分析，當決策進展至右側虛線方塊區域時，

每一個決定都需要用機率的風險評估來處理不同程度的不確定性，最終保證剩餘風險是可接受的。

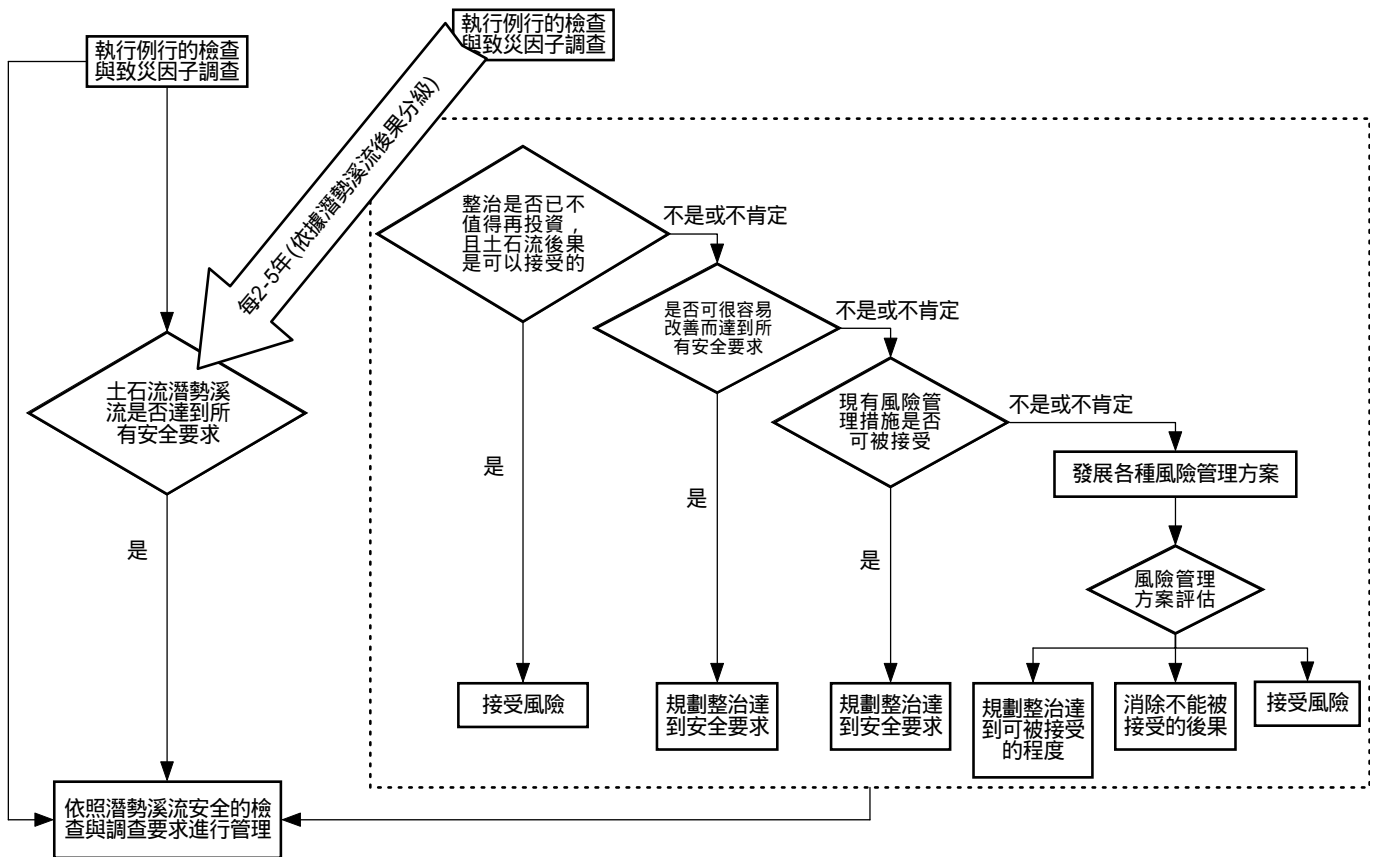


圖 4 土石流災害風險管理架構

四、風險管理應用於土石流災害管理初探

由前揭說明可知，風險管理可用以改善現行土石流災害管理所面臨的一些問題與盲點，同時亦可作為量化問題的一個途徑，本文將以土石流減災工程效益評估方式為例，嘗試以風險管理概念作為量化效益的工具。

(一)減災工程施作前之風險估計

如圖 5，先以 Flow-2D 模式，模擬某條土石流潛勢溪流在不同重現期距下之淹沒範圍與深度(亦即危害辨識與頻率分析)，接下來將土地利用區分為不同價值之元素，例如橋樑、房屋、農業用地等，並依據造價、公告現值等方式將災害發

生後之損失換算為金額(亦即後果分析),最後將前揭二項分析結果套疊後,即可估算出該條土石流潛勢溪流於減災工程施作前可能造成的災損金額。

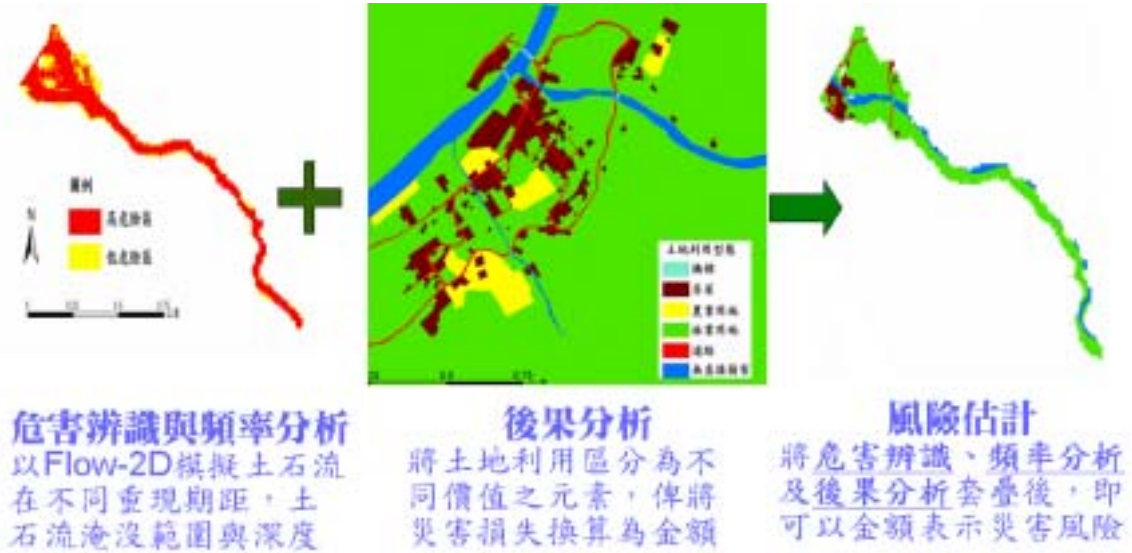


圖 5 減災工程施作前之風險估計法

(二)減災工程施作後之風險估計

如圖 6,同減災工程施作前之方式,亦可估算出該條土石流潛勢溪流於減災工程施作後可能造成的災損金額。

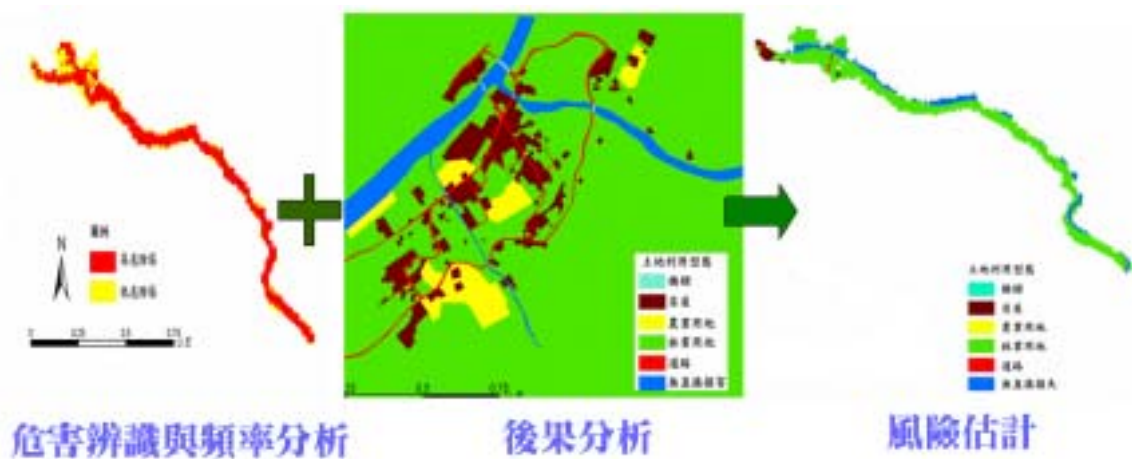


圖 6 減災工程施作後之風險估計法

(三)減災工程效益評估

如圖 7，將減災工程施作前後之風險估計，所求得之災損金額差值，即可視為減災工程效益（例如本例為 $210,000-90,000=120,000$ 千元），亦即減災工程之施作成本只要低於 120,000 千元，其益本比即大於 1。值得說明的是，此種評估模式目前僅估算有形的土地及公私有建物等直接成本，如再將人命傷亡、社會救助等間接與無形的成本，其效益將更為顯著。

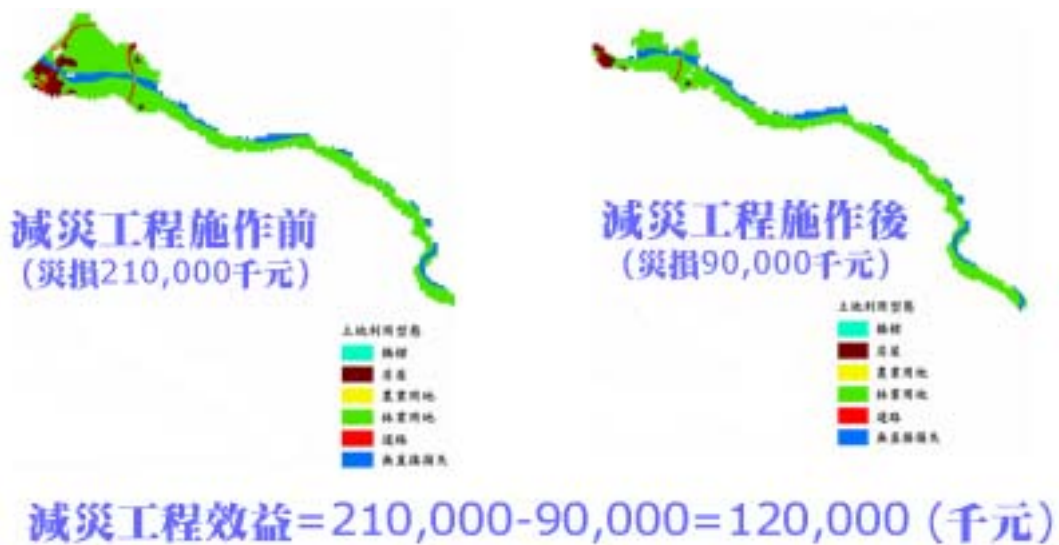


圖 7 減災工程效益評估法

五、結語與後續發展方向

土石流災害風險管理並非全新的管理機制，僅係於原土石流災害管理架構中加入風險的概念，並調整原管理架構以適合於風險管理概念，其中最主要的變革即為新增風險評估，因牽涉機率、統計與社會經濟等相關學門，且須有完整且大量資料作為支持，故應對風險評估課題進行詳細規劃，以擬定出合理且易執行之評估方法與流程，便於實務應用。

本文已提出風險管理應用於減災工程效益評估之具體且明確的作法，事實上，風險管理亦可應用於土石流防災制度之成本效益評估(李欣輯，2006)，同時，筆者將提出土石流災害風險管理

後續可能發展與應用的幾個方向。

(一)疏散時機決策模式

目前土石流紅色或黃色警戒之發布模式，係單純以「土石流發生機率」作為發布標準，但實務上在發布土石流警戒或作疏散時機決策時，常遇到難以決擇的情境，例如，某地區實際降雨已達 360mm，恰超過該地區之土石流警戒基準值 350mm 一些，而風雨看似已逐漸減弱，此時，是否應立即發布該地區為紅色警戒？或是繼續觀察，暫不發布？又例如，當時間已接近傍晚，某地區實際累積雨量雖尚未達土石流警戒基準值，但有可能入夜後累積雨量會超過土石流警戒基準值，為考量夜間山區交通不便，是否應提早發布該地區為紅色警戒？或是到深夜，當累積雨量真正超過土石流警戒基準值時，才依規定發布紅色警戒？但，深夜發布警戒，地方政府實務上有可能執行疏散工作嗎？這些問題的核心，都牽涉到「風險」。

為了同時考量「發生潛勢」與「災害風險」二項因素，本文擬跳脫現行單純以「發生潛勢」作為土石流警戒發布依據之模式，另外提出一種新的想法，暫時稱為土石流警戒發布之「風險決策圖」模式，如圖 8。

如以前述提之情境為例，當時間已接近傍晚，某地區實際累積雨量雖尚未達土石流警戒基準值(發生機率為「中」接近「高」)，但有可能入夜後累積雨量會超過土石流警戒基準值，為考量夜間山區交通不便，雖然該地區累積雨量尚未達到紅色警戒發布標準，但如該地區經評估災害危害度為「高」時(例如該地區過去有重大災例、保全對象人數眾多、耐災能量不足、山區交通不便等)，則由圖 8 可得，決策人員仍應針對該地區作出「建議提早疏散」之決策。

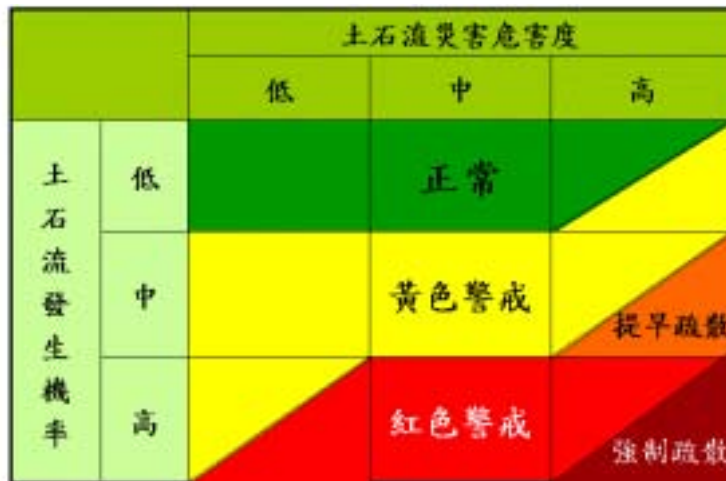


圖 8 土石流警戒發布之「風險決策模式圖」

(二)地區防災整備率評估模式

針對某地區之土石流防災整備工作，應如何定義已達完備的程度，以利整體防災資源的調度，建議可參照社區防災整備率之評估模式圖(陳樹群,2005)如圖 9，將軟體與硬體防災整備措施綜合評估後，以風險的模式定義地區防災整備率。

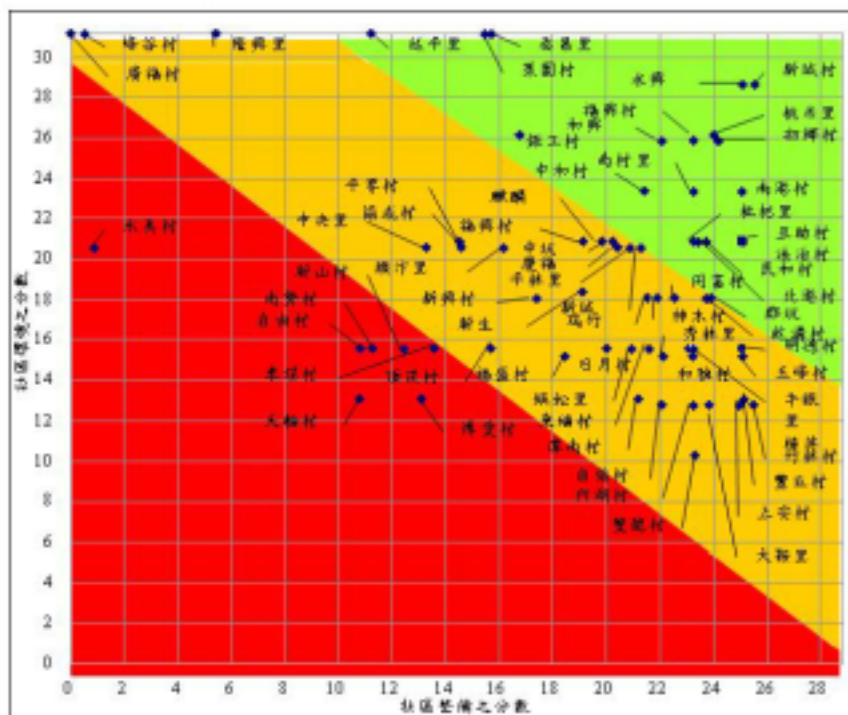


圖 9 社區防災整備率之評估模式

六、 參考文獻

1. 詹錢登(2000),「土石流概論」,科技圖書股份有限公司。
2. 陳樹群、吳俊鎡、柯勇全、馮智偉、吳俊毅(2005),「社區防災風險辨識與管理策略新思維」,水土保持與農村發展研討會。
3. 陳振宇(2005),「分散式土石流災害管理系統規劃與建置」,水土保持與農村發展研討會。
4. 吳輝龍、陳樹群、陳聯光、王淑怡、陳振宇(2003),「土石流防災策略之研擬與推動」,中華水土保持學報,34(4):331~346。
5. 陳樹群(2007),「土石流災害風險管理機制暨相關資訊研擬」,行政院農業委員會水土保持局研究計畫期中報告。
6. 行政院農業委員會(2004),「土石流災害防救業務計畫」。
7. 李欣輯(2006),「土石流防災方法成本效益評估方法之研究」,台灣大學土木工程研究所博士論文。
8. 冀樹勇(2007),「蓄水庫風險評估(一) - 大壩安全導則與管理程序研訂」,財團法人中興顧問社。
9. 行政院研究發展考核委員會(2006),「風險管理概論」,風險管理知識網。