

推估新開部落於不同24小時累積雨量下引致的土石流規模

黃名村 | 陳昱成
健行科技大學土木系助理教授 | 土木工程系空間資訊與防災科技研究所碩士生
hmc@uch.edu.tw | ml1122012@uch.edu.tw

摘要

近年來，每逢颱風豪雨季節，土石流已成為台灣地區經常發生之坡地災害之一，為此我們已發展出一個數值模式Debris-2D來模擬土石流的影響範圍。然而對於同一個土石流潛勢區而言，不同的24小時累積雨量，會導致不同的土石流規模(體積量)，在防救災規劃的考量也會有所不同。因此，若欲利用數值模式模擬不同24小時累積雨量下的土石流影響範圍，必須先估計出各個不同24小時累積雨量下的土石流體積量。本研究利用物部公式來估計不同24小時累積雨量的降雨強度，再以合理化公式來估算某個24小時累積雨量所對應的洪峰流量，並以三角歷線法計算出土石流中的「水量」，配合平衡濃度的觀念，可反推出不同24小時累積雨量下的土石流體積量，並與現場溪流上游的殘留土方量所推估的土石流體積量做比較，取較小的值，將之輸入數值模式中即可進行模擬。文中將以2009年莫拉克颱風時曾發生嚴重土石流災害的高雄市六龜區新開部落為例，說明此方法如何劃定該地區不同24小時累積雨量的土石流規模。

關鍵詞：土石流規模、Debris-2D數值模式、24小時累積雨量

一、前言

土石流是水融合土砂、石頭等粗細粒料後所形成的多相體，當其內部的阻抗力被外力抵消後，因為重力的作用，會沿著邊坡、蝕溝或溪谷向下游快速流動，造成淤埋、沖刷、撞擊、磨蝕、堵塞、漫流改道、彎道超高與擠壓河道等危害，而這些災害，往往導致嚴重的經濟損失與人命傷亡。因此，若能事先對於土石流流動時的流動狀況，諸如流速、流深、沖刷能力、衝擊力及影響範圍等做一評估，將可提供相關防救災工程規劃上的參考，降低土石流災害所造成的生命財產損失。此時，土石流數值模擬便成為一個能夠協助進行相關規劃的絕佳工具。

黃名村(2003)利用非線性本構關係式與流體守恆定律，配合流體力學中邊界層分離計算之觀念，發展了一個能應用於現場之土石流數值模式Debris-2D，來模擬具有降伏應力的土石流之流動情形，藉以獲得工程設計上所需之參考數據。模式中各參數之檢定方法可利用簡易之測量法來推估。此模式從2004年開始陸續應用在台東縣、台北縣(現為新北市)與台北市的土石流潛勢溪流之災害評估計畫中，十年下來，該數值模式已經進行了超過50條土石流潛勢溪流的數值模擬與災害分析，其結果皆獲得政府相關防災單位與民間工程單位的採用與認可。除了在台灣的应用外，此模式還在2008年推廣到韓國的地質礦業研究所(Korea Institute of Geology, Mining and Materials)，應用在當地的土石流模擬與災害評估而得到不錯的分析結果(劉與吳，2009)。有了這些驗證與應用經驗，大幅提升了本模式分析結果的可信度。

然而，不同24小時累積雨量的降雨，會導致不同規模的土石流，由於土石流的規模與保全對象的多寡、疏散避難路線的規劃等息息相關，故如何將不同24小時累積雨量降雨考慮進來，藉以劃定出對應的土石流的影響範圍，便是本研究的目的。本文利用集水區的水文特性，首先估計出不同24小時累積雨量所導致的洪峰流量及水量，並配合平衡濃度的概念，將水與土混合後，推估出不同重現期距的降雨所引致的土石流體積量。

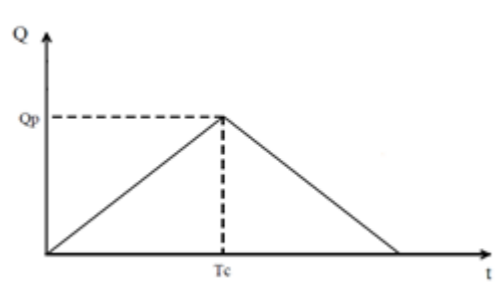
二、不同24小時累積雨量之土石流體積量估計

欲建立某個土石流潛勢區在不同24小時累積雨量的降雨下所引致之土石流體積量，必須先將24小時累積雨量轉化為降雨強度，再利用合理化公式及三角歷線法，推估不同降雨狀況下所帶來的水量，並依此反推出土石流的體積量。

要將24小時累積雨量轉化為降雨強度，本研究採用的是物部公式： $I_r = \frac{R_{24}}{24} (\frac{R_{24}}{24})^{2/3} = \frac{1}{24} (\frac{R_{24}}{24})^{2/3} R_{24} = C_r R_{24}$ (1)式中， I_r = 時間內平均降雨強度(mm/hr)； R_{24} = 24小時累積雨量(mm)； C_r = 集流時間或洪峰到達時間(hr)； $C_r = 0.56$ 。以(1)式計算出不同24小時累積雨量所對應的降雨強度後，可再利用合理化公式計算出不同24小時累積雨量所對應的洪峰流量： $Q_p = \frac{1}{360} C_r A$ (2)其中 Q_p 為洪峰流量(cms)； A 為逕流係數，依照水土保持技術規範的建議值為0.75； C_r 為(1)式計算出不同24小時累積雨量所對應的降雨強度(mm/hr)； A 為集水區面積(ha)。

計算出洪峰流量後，接著利用三角歷線法推估出土石流中的「水」所佔據的體積量。三角歷線法的示意圖如圖1所示，圖中的縱軸Q為土石流河道中的水流量，橫軸則為時間t，三角形的曲線則代表土石流河道中的水流量隨時間的變化，三角形曲線的頂點，代表河道中水流量的最大值 Q_p ，其值為(2)式計算所得之洪峰流量，該洪峰流量會在時間等於集流時間 t_c 時發生。集流時間 t_c 的計算將採用Kirpich(1940)所提出的公式： $t_c = 0.0078 L^{0.775} S^{-0.385}$ (3)其中 t_c 為集流時間(分鐘)， L 河道流路的長度(英尺)， S 為河道平均坡度(無單位)。

圖1 三角歷線法之示意圖



土石流中的水所佔據的體積量，為圖1中河道流量Q達到洪峰流量 Q_p 前，三角歷線底下的面積，該面積的大小等於集流時間乘上洪峰流量後，再除以2，此即為土石流中的水所佔據的體積量。土石流係由水與土石組成，土石於土石流中所佔據的比例稱為「土石流體積濃度」。根據Takahashi(1980)的研究認為，土石流體積濃度的變化乃是底床沖刷與淤積之重要關鍵，當土石流在某一底床坡度下達到完全發展狀態，即堆積層不沖不淤時，土石之濃度會趨於平衡狀態，此時的土石流體積濃度稱為「土石流平衡濃度」。

根據他的研究，土石流平衡濃度的公式如下： $C_{s0} = \frac{\rho_{water}}{(\rho_{water} - \rho_{soil}) \tan \phi}$ (4)其中 C_{s0} 為土石流平衡濃度， ρ_{water} 為土石流中流體(水)的密度，一般可採用 $1.0g/cm^3$ ，但若現場發現有類似黏土質之細粒料存在，一些細粒料會溶於流體中，加大水的密度，故泥流可採用預測值 $1.2g/cm^3$ 。 ϕ 為底床坡度，因為崩塌點均位於溪谷上游，故可以將現場河道上游流路平均坡度代入做計算。 ρ_{soil} 為砂礫之密度，一般可採用 $2.65g/cm^3$ ， ϕ 則為砂礫的內摩擦角，一般為37度。Takahashi的實驗指出，土石流濃度有其上限值，約為0.603，因此若(4)式計算出來的濃度大於0.603，則土石流平衡濃度為0.603。前面已經利用三角歷線法計算出不同24小時累積雨量所對應之「土石流中的水量」，而(4)式所計算的土石流平衡濃度代表的是「土石流中的土石量佔整個土石流的比例」，因此可以利用下面的公式，由土石流中的水所佔據的體積量，反推出一個土石流的體積量 V_1 ： $V_1 = \frac{V_{water}}{1 - C_{s0}}$ (5)若現場調查後，土石料源的體積量(乾土)為 V_2 ，則可由體積濃度的定義反推出另一個土石流的體積量 V_2 ： $V_2 = \frac{V_{debris}}{C_{s0}}$ (6)上述的 V_1 代表降下的雨水不夠多的情形，只有部分現地的鬆散土石會被轉化成土石流； V_2 則是代表降下的雨水夠多的情形，足夠把現地的鬆散土石全部轉化成土石流，多餘的雨水還可能引發其他的邊坡穩定問題。本研究將於 V_1 及 V_2 中取較小的值，做為估算出來的土石流規模。

三、新開部落在不同24小時累積雨量下之土石流體積量估計

新開部落位於高雄市六龜區新發里(原為高雄縣六龜鄉新發村，後因高雄縣市合併，改為高雄市六龜區新發里)，該地區在2009年八月莫拉克颱風襲台當時，部落後方之野溪上游坡地因為連續的豪雨而發生大規模崩塌，崩塌之土石混合雨水形成土石流，造成當地居民4死24失蹤、30餘戶民宅遭土石流掩埋、道路損毀500公尺的嚴重災情，土石堆積深度最深超過6公尺，面積廣達20公頃，總堆積量推測達100萬立方公尺(見圖2與圖3)。

圖2 新開部落於2009年莫拉克颱風後之土石流災變現場狀況



圖3 新開部落居民之房舍遭土石流掩埋



新開部落之集流時間，依(3)式計算為5.98分鐘，集水區面積則為45公頃。將250mm、300mm、350mm、400mm共4種不同的24小時累積雨量代入(1)式之後，可計算出其對應的降雨強度，代入(2)式可計算出洪峰流量，接著以三角歷線法計算土石流中的水所佔據的體積量後，可利用(5)式計算出土石流的體積量 V_1 。此外，依據張晉傑(2011)對於新開部落於莫拉克颱風前後的現場土方量比較顯示，上游崩塌區在災後仍有約684047立方公尺的土方。因此可再利用(6)式，由此現地土方量反推出土石流體積量為113406立方公尺。分析的結果如表1所示，在表列的24小時累積雨量下， V_1 皆小於 V_2 ，代表降下的雨水不夠多，只有部分料源會被土石流帶往下游，剩下的料源則成為下一次土石流的土石來源。

表1 新開部落於不同24小時累積雨量下土石流體積量分析

24小時累積雨量(mm)	250	300	350	400
(1)式計算之降雨強度(mm/hr)	1.96	2.58	3.17	3.76
(2)式計算之洪峰流量(cms)	11.59	14.23	16.99	19.76
土石流中的水量(萬m ³)	11.30	14.02	16.72	19.41
(5)式計算之土石流體積量(萬m ³)	2385.75	2498.91	2716.96	2935.21
(6)式計算之土石流體積量(萬m ³)	1134406	1134406	1134406	1134406

四、結論

本研究利用物部公式來估計不同24小時累積雨量的降雨強度，再以合理化公式來估算某個24小時累積雨量所對應的洪峰流量，並以三角歷線法計算出土石流中的「水量」，配合平衡濃度的觀念，可反推出不同24小時累積雨量下的土石流體積量，並與現場溪流上游的殘留土方量所推估的土石流體積量做比較，取較小的值，即可得出不同24小時累積雨量所對應的土石流規模。

五、參考文獻

- 黃名村，「土石流災害範圍之數值模擬及利用微波偵測土石流之研究」，博士論文，國立台灣大學土木工程學研究所，台北市(2003)。
- 劉格非、吳映昕，「應用Debris2D於韓國土石流災害評估」，第十八屆水利工程研討會，屏東縣(2009)。
- 行政院農業委員會水土保持局，「水土保持技術規範」(2012)。
- Takahashi, T., "Debris flow on prismatic open channel," J. Hydr. Div., 106(HY3), pp. 381-396 (1980).
- 經濟部水利署，「莫拉克颱風暴雨及洪流量分析」(2009)。
- 張晉傑，「2009年莫拉克颱風引致高雄下新開部落土石流堆積長度之研究」，碩士論文，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所，高雄市(2011)。



健行科技大學

Department of civil Engineering, Chien Hsin University of Science and Technology

2023

土木工程與防災研討會

