



國土技術政策總合研究所資料

大規模崩塌導致土砂災害災損推估方法 Assessing method for sediment disaster damages due to deep-seated catastrophic (rapid) landslide

作者：內田太郎、櫻井 亘、鈴木清敬、萬德昌昭
國土交通省國土技術政策總合研究所



前言

- ✓ 大規模崩塌發生頻率雖低但規模常大，造成災情嚴重。
- ✓ 極端氣候致使近年來大規模崩塌造成土砂災害災情越趨嚴重。
- ✓ 集水區流域為單元建立災損量化技術，進行事前預防對策規劃。
- ✓ 日本國土交通省：「大規模崩塌推估頻率地圖」與「大規模崩塌潛勢溪流的篩選：溪流(小流域)等級評估」。
- ✓ 災害情境的推估方法闕如，本文旨在彙整日本關於土砂災害災情推估常用方法。
- ✓ 瞭解其發生的原因，尋求防止方法及補救措施，爾後預防。



大規模崩塌定義

- ✓ 土層與風化岩盤同時崩落的崩塌現象。
- ✓ 崩塌面積大於 1 公頃。
- ✓ 崩塌土砂量大於10萬立方公尺以上。





研究大規模崩塌可能需要之蒐集資料

- ✓ 地形圖、地質圖
- ✓ 雷射剖面儀地形圖
- ✓ 大規模崩塌推測發生頻率圖
- ✓ 大規模崩塌跡地密度
- ✓ 大規模崩塌溪流(小流域)等級評估圖
- ✓ 過去大規模崩塌的相關文獻
- ✓ 大規模崩塌跡地等的航空照片判釋結果
- ✓ 大規模崩塌發生狀況的整理結果
- ✓ 大規模崩塌發生時降雨特性等的評估結果
- ✓ 降雨觀測資料
- ✓ 土砂災害警戒資訊發布狀況
- ✓ 地震的紀錄
- ✓ 災害的紀錄
- ✓ 保全對象位置圖
- ✓ 大規模崩塌地土砂粒徑分佈



推估標的現象的分類

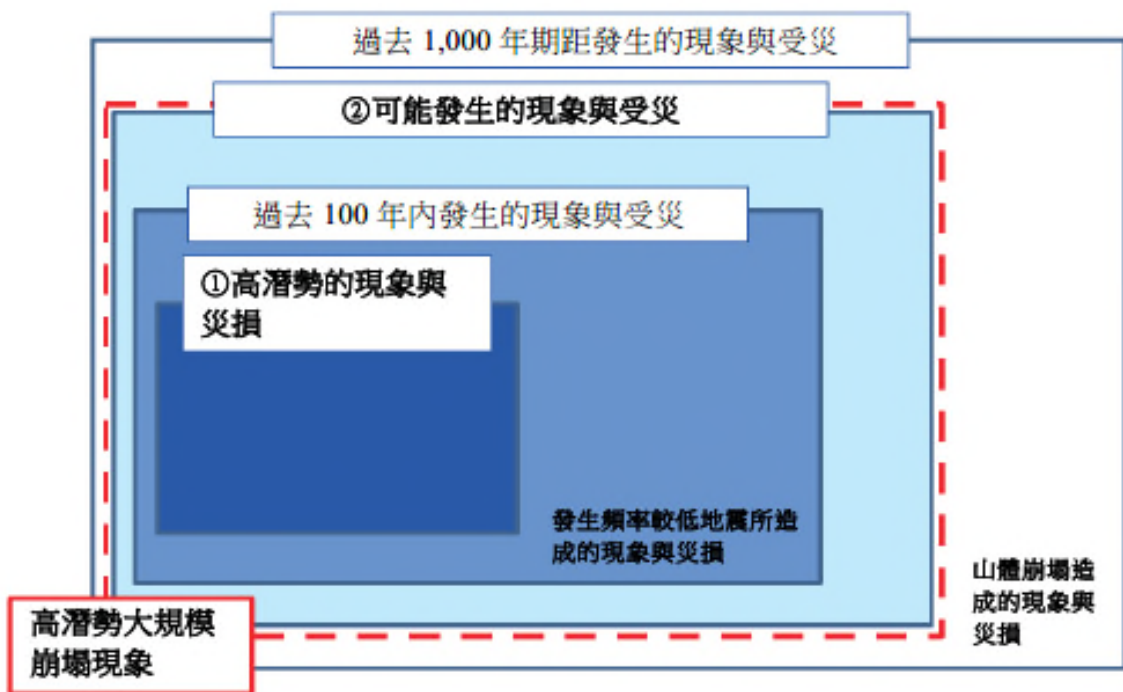
➤ 崩塌物流下型態分類

- ✓ 堰塞壩型土砂災害
 - ❖ 短時間潰決型堰塞壩(降雨期間或結束後不久潰壩)
 - ❖ 長期間存續型堰塞壩(河道阻塞狀態時間較長)
- ✓ 土石流型土砂災害
- ✓ 崩土直擊型土砂災害
- ✓ 其他：河川沿岸大規模崩塌浪等情。

➤ 依大規模崩塌發生重要因子實施分類

- ✓ 地下水位急遽上升造成的大規模崩塌
- ✓ 地盤動搖造成的大規模崩塌
- ✓ 持續性重力性變形造成的大規模崩塌
- ✓ 複數因子

各現象之關聯



✓ 1000年內期距災損現象

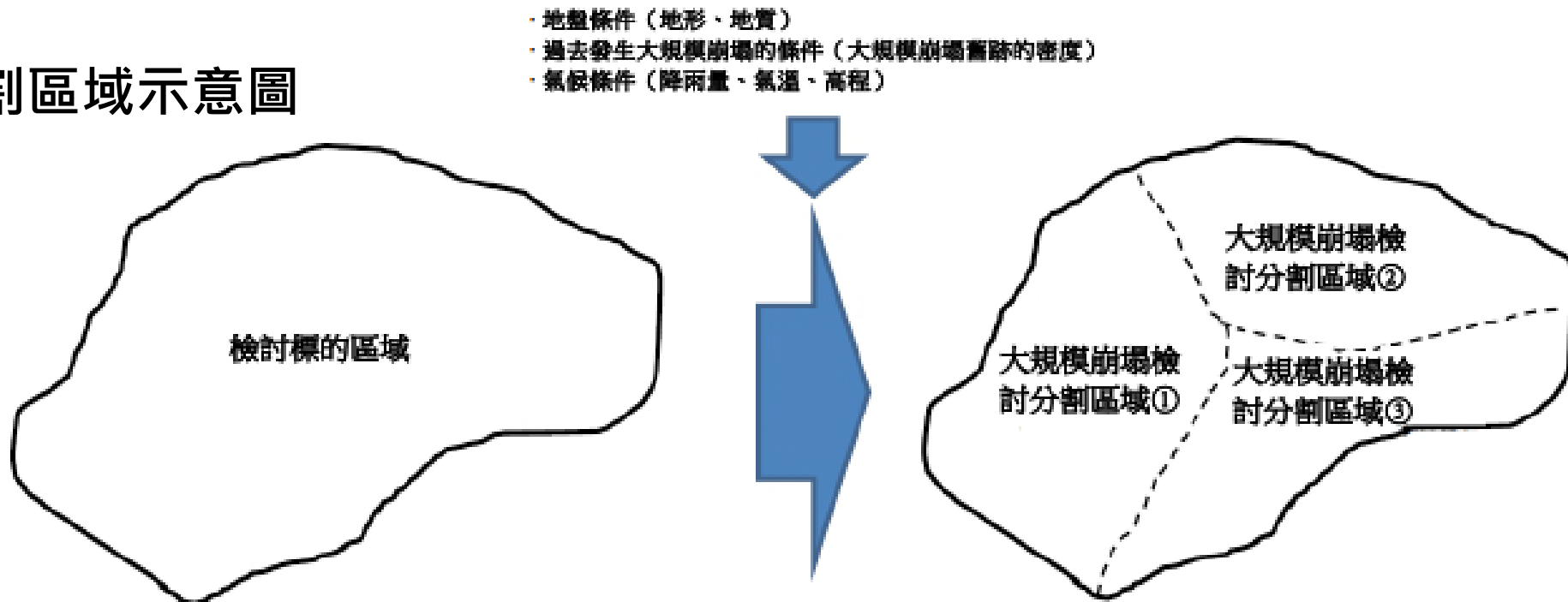
❖ 高潛勢的現象與災損：發生可能性非常高災害(推估過去 100 年內)。

➤ 地震造成災損，應考量發生頻率，
ex：1,000 年才發生一次的活斷層地震**不列入**。

❖ 可能發生的現象與災損：**與發生誘因無關**，全為檢討標的。

✓ 地質年代重現期距達數萬年或更多所產生的現象，發生頻率極低，崩塌規模資訊精度差，**不列入討論範圍**，如日本磐梯山崩塌(1888)或眉山崩塌(1792)類似之山體崩塌。

大規模崩塌檢討分割區域示意圖



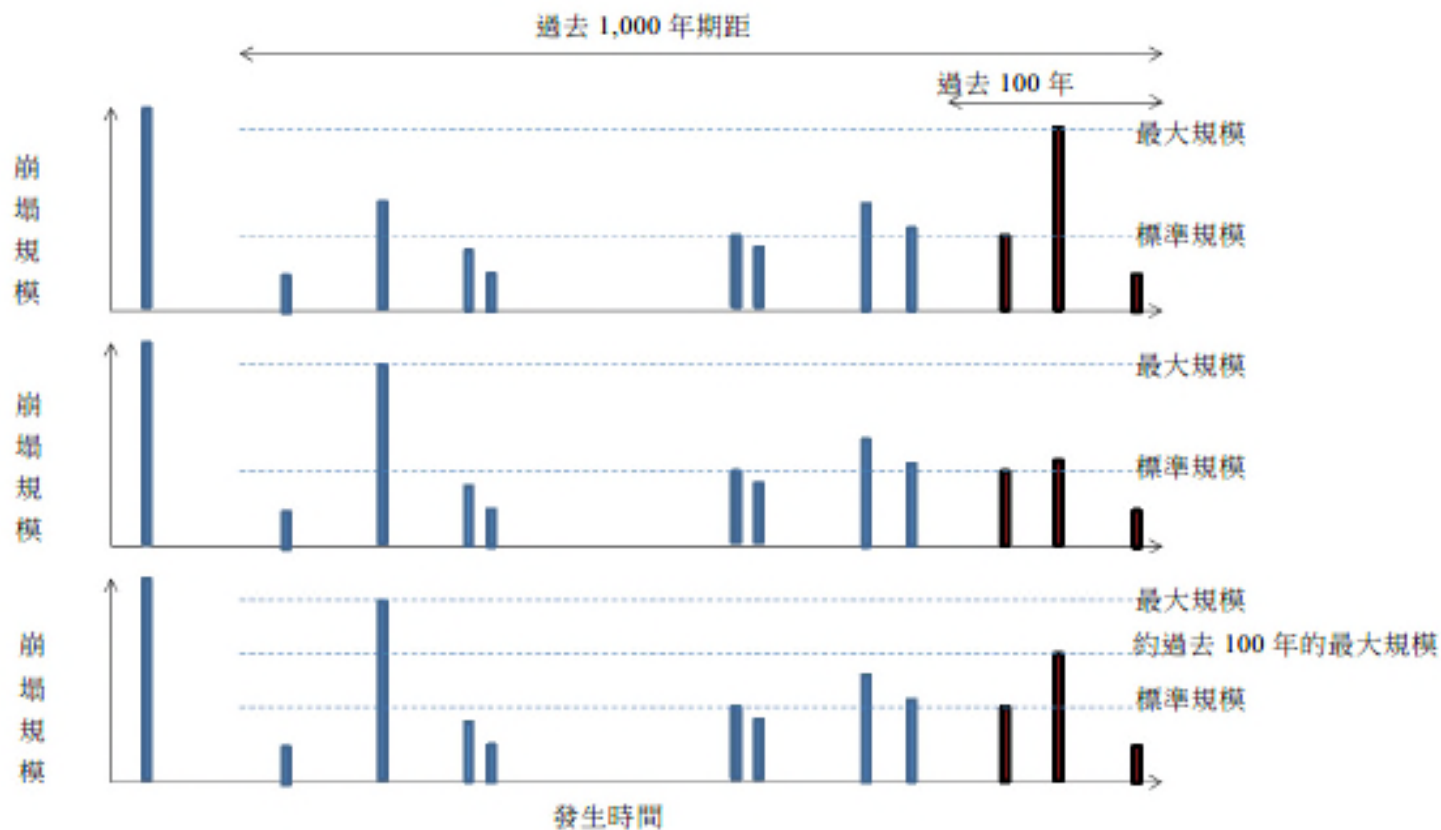
【說明】

- ✓ 大規模崩塌檢討分割區域過小→實際發生次數變少→資訊不全→分割區域**未必**是有效做法。
- ✓ 航空照片的拍攝完成的時間點或文獻完成時間點與豪雨、地震相符？未必。
- ✓ 不應侷限於檢討標的的流域與地區之狹窄範圍。
- ✓ 擴大標的區(地形、地質、發生條件、氣候條件等相似區域)。分割小區域時，**約略相似的區域，應列入檢討範圍**。



大規模崩塌規模與形狀的調查

- ✓ 不同地質構造形成不同的規模與形狀。
- ✓ 相同分割區域應依地質構造進一步分類。
 - ❖ 標準規模
 - ❖ 推估最大規模
- ✓ 案例數目需足夠，約1,000年期距為宜。
- ✓ 過去100年內最大規模發生案例應涵蓋。
- ✓ 航照判釋應注意複數時期發生的崩塌與侵蝕，可能視為單一崩塌現象處理。

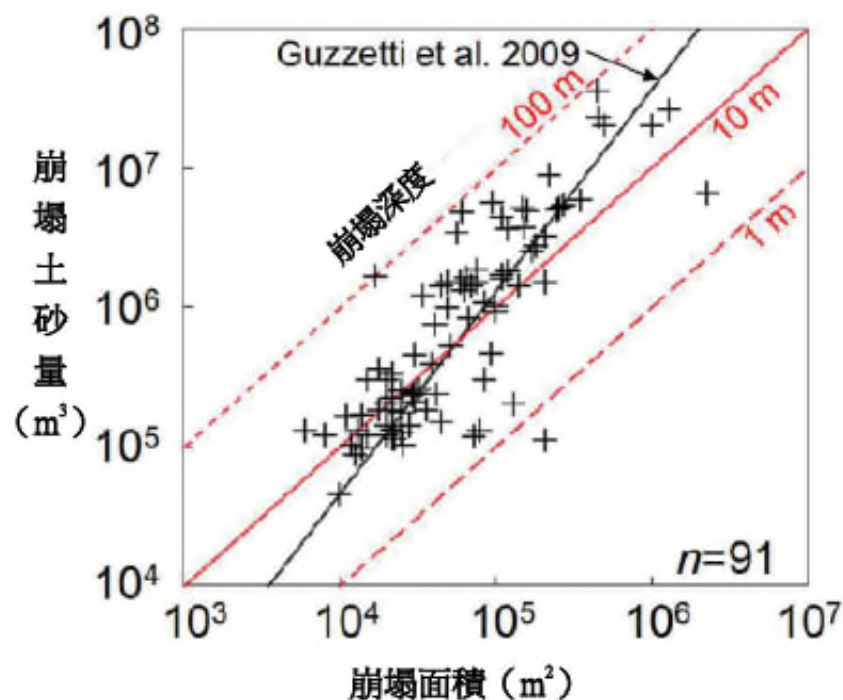


〈案例〉由崩塌面積推估崩塌土砂量的方法

崩塌規模調查時，可利用航空照片與地形圖判釋，大略推估崩塌面積，但經常難以掌握崩塌土砂量。但通常崩塌面積與崩塌土砂量具有一定的關係，不少人提出崩塌面積與崩塌土砂量的關係公式（例如，參考文獻 1）、2）。其中，Guzzetti et al. (2009)提出下列經驗公式。

$$V=0.074 \times A^{1.45}$$

式中， V 為崩塌土砂量 (m^3)， A 為崩塌地面積 (m^2)。過去日本大規模崩塌整理成的崩塌面積與崩塌土砂量關係整理的結果，與 Guzzetti 經驗公式有重疊的結果如下所示。圖-3.3 顯示，利用 Guzzetti 經驗公式由過去大規模崩塌崩塌面積推估崩塌土砂量，具有一定程度的精度。但即使崩塌面積相同，崩塌土砂量大小的分布狀況仍有很大差異。因此，若對該當區域已完成大規模崩塌地區崩塌土砂量調查的話，應該可以加以活用。



依據崩塌土砂量、崩塌面積與經驗
回歸公式之關係
(https://www.pwri.go.jp/team/volcano/tech_info/study/h23_fy2011/past_dscl-list20120117.pdf)所整理的日本
大規模崩塌案例

【參考文獻】

- 1) Guzzetti F., Ardizzone F., Cardinali M., Rossi M. and Valigi D.: Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. Earth Planet. Sci. Lett., Vol. 279, p.222-229, 2009
- 2) Larsen, L.J., Montgomery, D.R. and Korup, O.: Landslide erosion controlled by hillslope material, Nature Geoscience, Vol.3, p.247-251., 2010

崩塌舊跡為MAX影響可能範圍，應列入判釋範圍



判釋航空照片以推估大規模崩塌規模的注意事項

		不當的判釋	適當的判釋
上弦月狀的滑落崖	模式圖	僅視滑落崖為大規模崩塌舊跡而進行判釋的案例	崩塌主要部分(崩塌範圍)適當判釋為大規模崩塌舊跡的案例
	案例		
有崩塌土砂移動痕跡時	模式圖	崩塌土砂移動痕跡也列入大規模崩塌舊跡的判釋案例	崩塌主要部分(崩塌範圍)適當判釋為大規模崩塌舊跡的判釋案例
	案例		

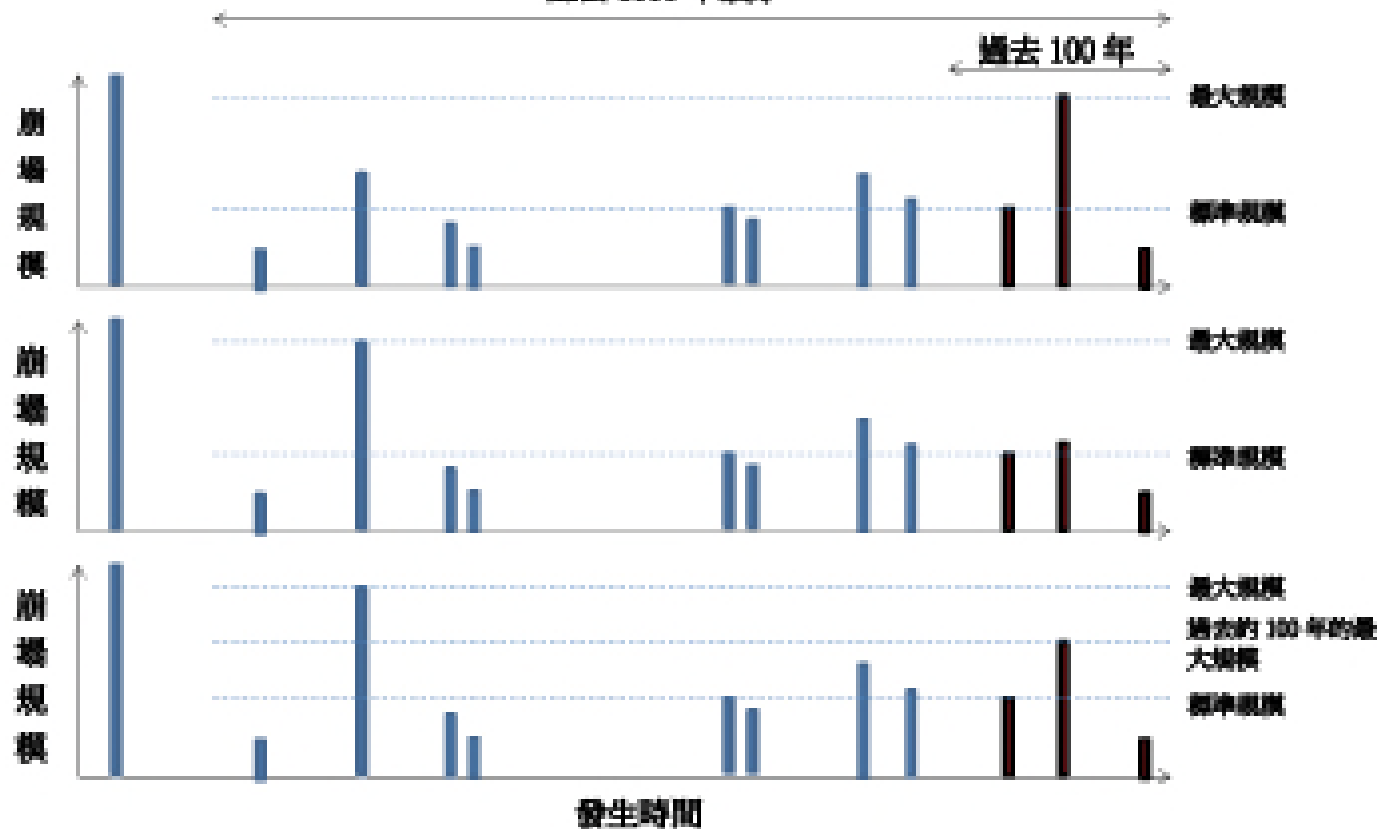


- ✓ 單一大規模崩塌分割區域檢討因子產生明顯差異：
 - ❖ 地質構造：逆向坡、順向坡...
 - ❖ 發生地點：高程差、河道側岸坡面、源頭坡面差異...
 - ❖ 過去發生現象：規模、流下型態、頻率...
- ✓ 設定數種高潛勢現象：應整理發生多次高潛勢大規模崩塌現象。(參照右表)

高潛勢大規模崩塌現象篩選結果的圖表

高潛勢大規模崩塌現象	A-I	A-II	B	
大規模崩塌檢討分割區域	分割區域 A		B	- - -
區域的面積	100km ²			
區域地形特徵	流路沿線連續出現高差 200～400m 的坡面。呈現順向坡與逆向坡構造所形成的明顯喀斯特地形。			
該區域地質	第三紀沉積岩			
0. 地形與地質特徵				
地形	主流沿岸坡面	高程 1,500m 的遷急線附近	- - -	- - -
地質	頁岩順向坡坡面	頁岩逆向坡坡面	- - -	- - -
1. 大規模崩塌規模				
標準的規模	約 40 萬 m ³	約 20 萬 m ³	- - -	- - -
所推估的最大規模	約 200 萬 m ³	約 80 萬 m ³	- - -	- - -
約過去 100 年內所發生的最大規模	約 100 萬 m ³	約 80 萬 m ³	- - -	- - -
2. 大規模崩塌所導致土石等的流下型態				
土石等的流下機制與型態	堰塞壩發生機率高	土石流化的可能性高	- - -	- - -
堰塞壩發生機率	53%	5%	- - -	- - -
土石流發生機率	15%	65%	- - -	- - -
3. 大規模崩塌發生頻率				
每年發生大規模崩塌平均處數	約 0.03 處/年	約 0.1 處/年	- - -	- - -
大規模崩塌發生平均間隔	約 50 年	約 20 年	- - -	- - -
4. 伴隨大規模崩塌產生代表性災害概要				
案例	1990 年 7 月颱風○號造成的土砂災害		- - -	- - -
大規模崩塌發生狀況	1 次降雨在 3 處地點發生		- - -	- - -
發生主要原因	地下水位急遽上升（豪雨）		- - -	- - -
大規模崩塌災情	土石流化沖毀房屋 3 棟		- - -	- - -
大規模崩塌之外的土砂災害狀況	發生大規模崩塌前出現多次土石流		- - -	- - -
其他相關現象	河水暴漲導致國道○號封閉		- - -	- - -

過去 1000 年級序



依高潛勢大規模崩塌現象的檢討而推估大規模崩塌規模時，基本上依照前述標的現象分類，但過去**100年內**發生特殊明顯案例也應納入。

〈案例〉大規模崩塌導致可能災損的評估方法

針對日本國內過去發生的大規模崩塌案例，學者們整理了大規模崩塌規模（面積）、大規模崩塌引致土石流下型態（堰塞壩型、土石流型、崩土直擊型），以及大規模崩塌地與聚落之距離和大規模崩塌引起土砂移動現象造成災害機率高低的關聯性¹⁾（圖-4.3）。依據這份研究，該地點即使發生高潛勢規模的大規模崩塌，仍可篩選出大規模崩塌災害發生機率較低的地點與區間。

此外，利用圖-4.3 的關係圖，可在簡單進行大規模崩塌造成聚落災害的評估²⁾。這項方法能簡單算出聚落發生大規模崩塌時災損的風險，因此，可以取得篩選出必須實施大規模土砂災害推估地點與區間、設定優先順序的重要參考資訊。

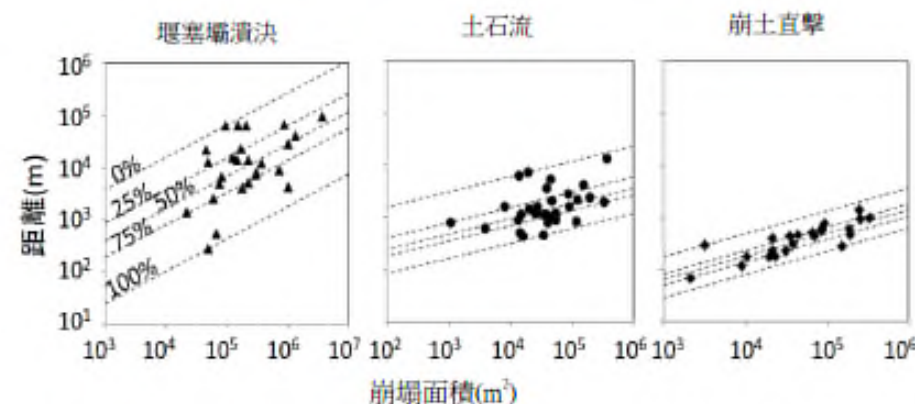


圖-4.3 大規模崩塌規模(面積)與大規模崩塌地和聚落的距離和發生災害機率高低的關聯性(大規模崩塌之土砂流下型態別)¹⁾

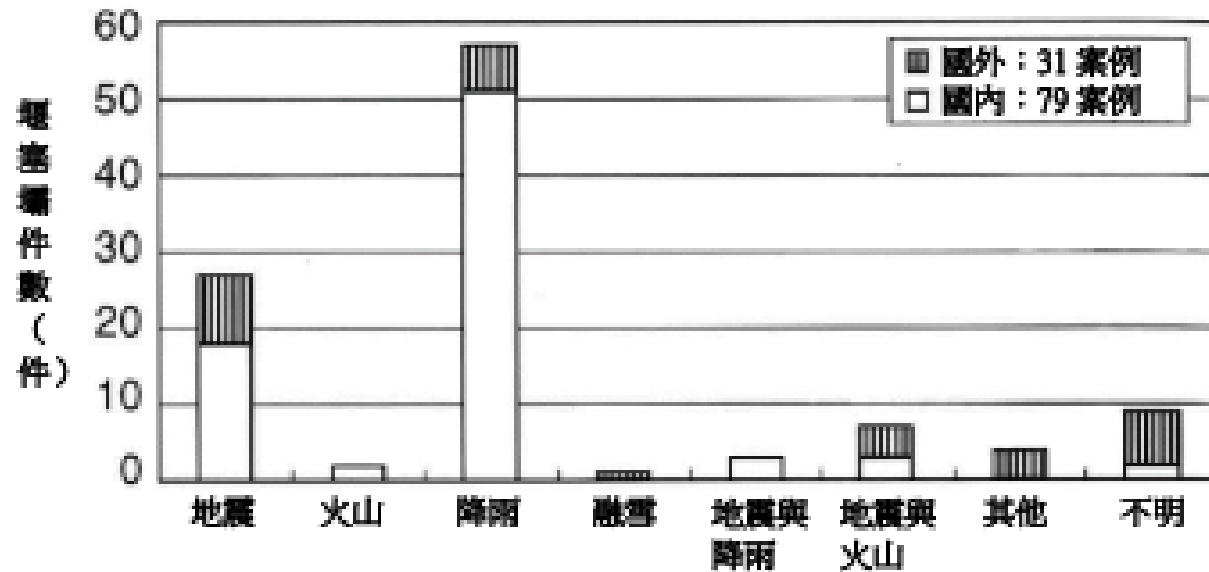
【參考文獻】

- 1) 西口幸希、內田太郎、田中建貴、蒲原潤一、奥山遼佑、日名純也、松原智生、櫻井亘：「深層崩壊の発生に伴う土砂移動現象と被害発生位置の実態」（大規模崩塌伴隨產生土石移動現象與災害發生位置的實際狀況），砂防學會誌，Vol.68，No.6，p.31-41，2016
- 2) 內田太郎、西口幸希、田中建貴、蒲原潤一、櫻井亘：「集落単位で簡便に深層崩壊による被害のおそれを評価する手法の提案」（以聚落為單位的大規模崩塌災害風險簡易評估方法提案），砂防學會誌，Vol.69，No.6，p.31-41，2017



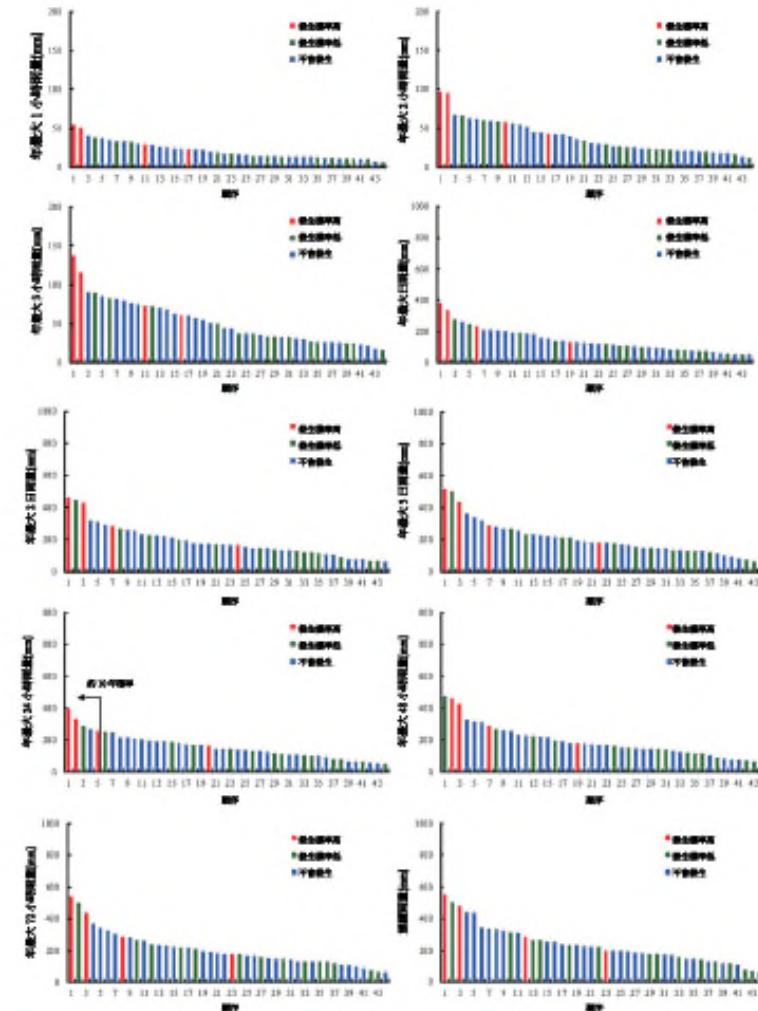
下圖所示能相當程度清楚判斷是否發生大規模崩塌的降雨指標，為最大 24 小時雨量。依據機率規模的計算結果，推估低於 10 年重現期距的豪雨，5 次之中發生 3 次大規模崩塌。因此推估，每 $10[\text{年}] \times 5[\text{次}] / 3[\text{次}] = 16.7$ 年發生一次大規模崩塌。

可能導致形成堰塞湖的大規模崩塌誘因主要為**降雨**，其次是地震



形成堰塞壩的山坡崩塌之發生誘因

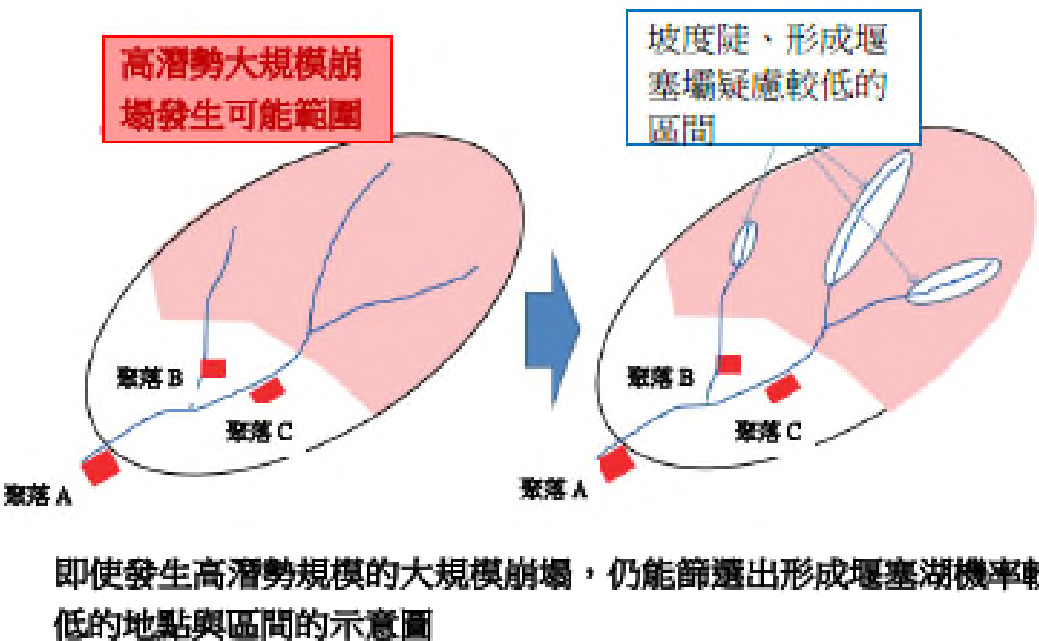
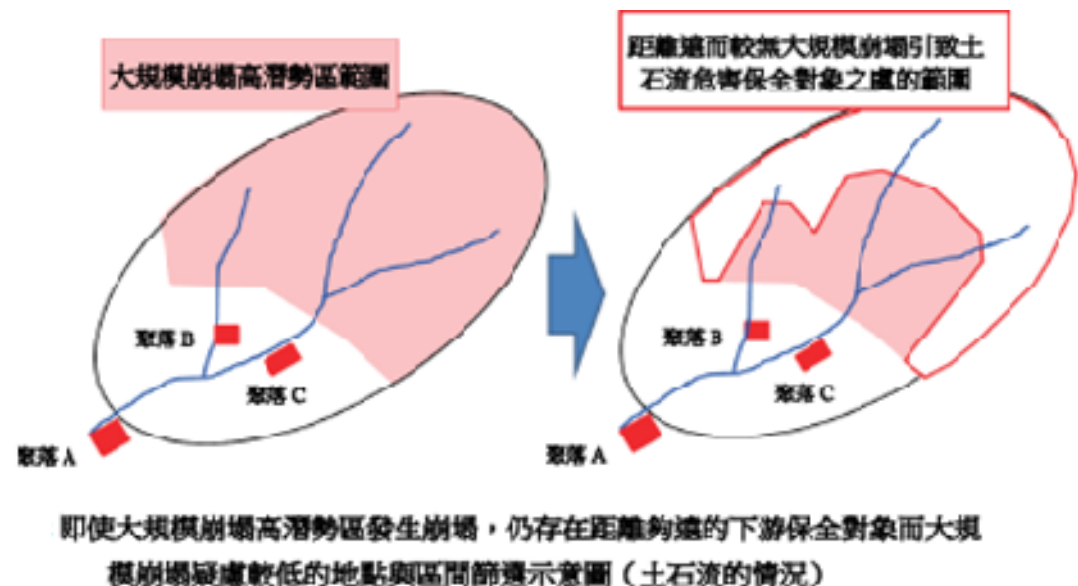
【參考文獻】田畑茂清、水山高久、井上公夫：
「天然ダムと災害」(堰塞湖與災害)，古今書院，
228pp.，2002



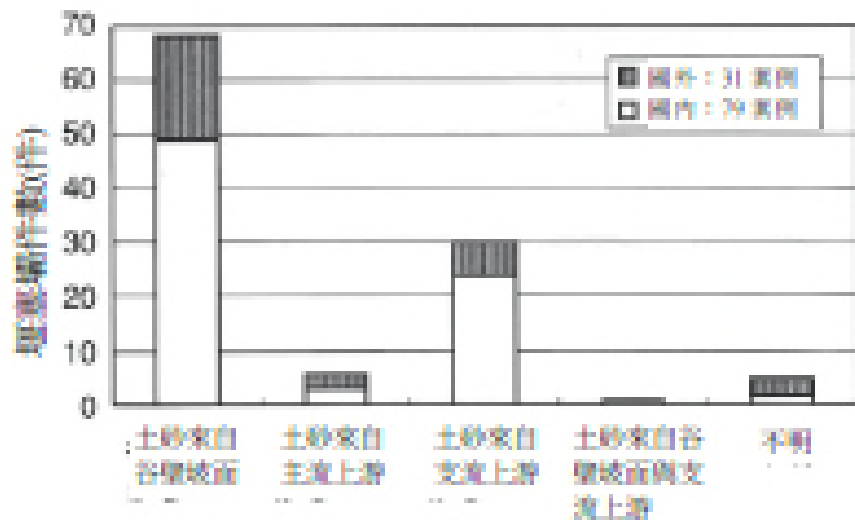
不會發生：大規模崩塌發生期間外的降雨

發生機率低：各大規模崩塌發生期間內，未滿降雨指標最大值的降雨

發生機率高：各大規模崩塌發生期間內，達到最大指標值，以及能確認發生年與月的降雨



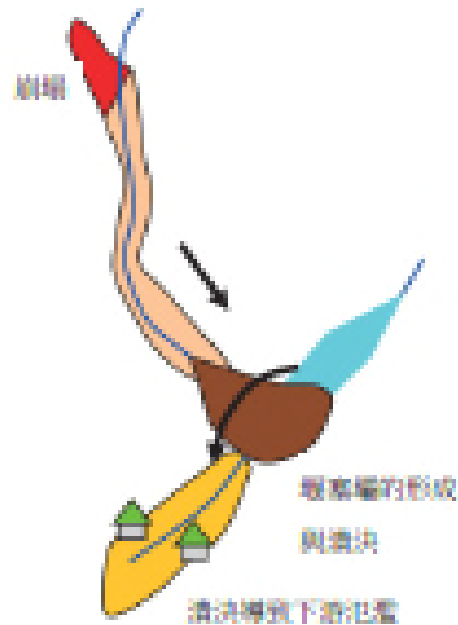
- ✓ 高潛勢區發生大規模崩塌，仍存在距離夠遠的下游保全標的(致災疑慮較低)。
- ✓ 推估土石災害災損時，剔除大規模崩塌疑慮較低的地點與區間。
- ✓ 在坡面發生大規模崩塌，土砂是否會在正下方溪流形成堰塞壩，取決於河床坡度等地形條件。
- ✓ 高潛勢規模的大規模崩塌，也可能從地形條件篩選出形成堰塞壩機率較低的地點與區間，排除設定。
- ✓ 堰塞壩高度的推估不可能大於該區間相鄰坡面的高差，應以坡面高差為堰塞壩高度之上限，設定堰塞壩最大高度。



堰塞壩形成類型分配量圖



【①來自谷壁坡面的土砂移動】

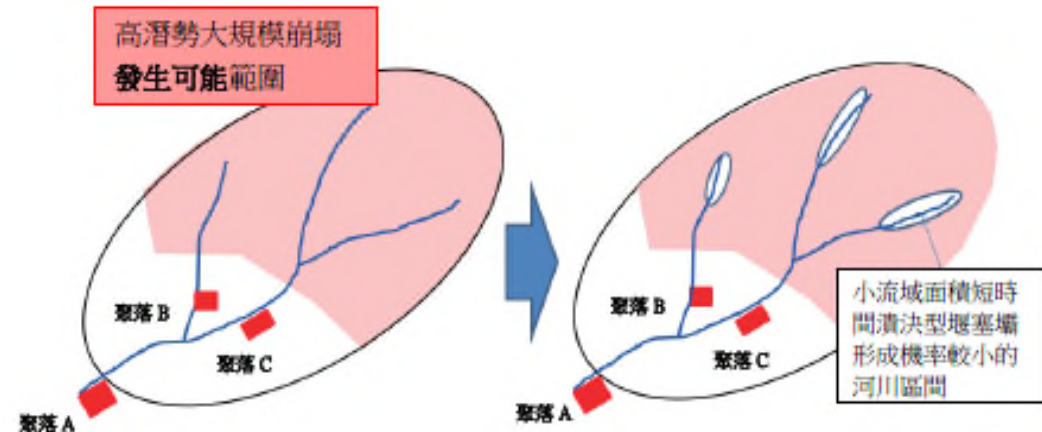


【②支流土砂流入】

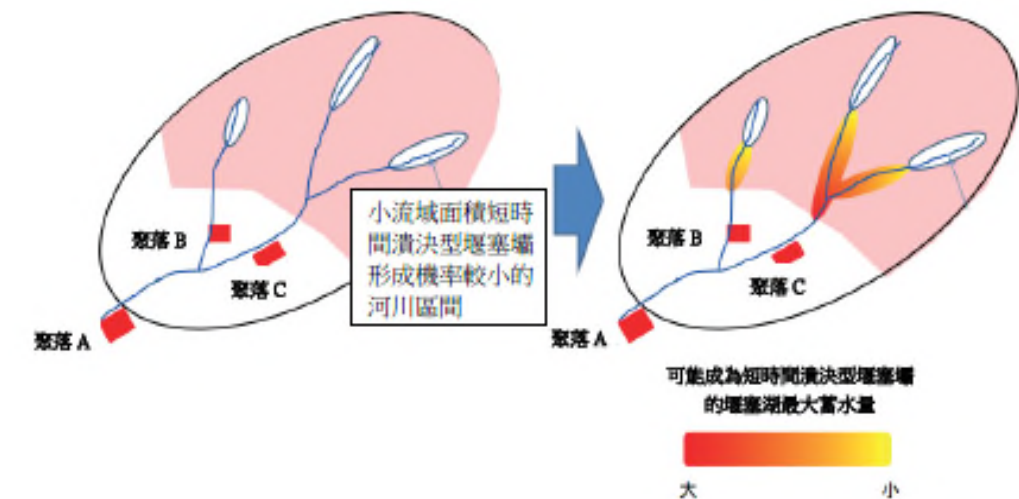
紀錄較多的堰塞壩型示意圖

根據過去實際資料歸納顯示，堰塞壩與土砂供給源無關，河床坡度大於 $1/6$ 的區間，形成堰塞壩機率低於 5%。

- ✓ 谷壁(河岸)坡面土砂移動
- ✓ 支流土砂流入
- ✓ 支流上游谷壁坡面崩塌土塊流入主流



即使發生高潛勢規模的大規模崩塌，仍能篩選出形成短時間潰決型堰塞壩機率較低區間的示意圖



形成短時間潰決型堰塞壩疑慮區間設定短時間潰決型堰塞壩與堰塞湖最大蓄水量示意圖

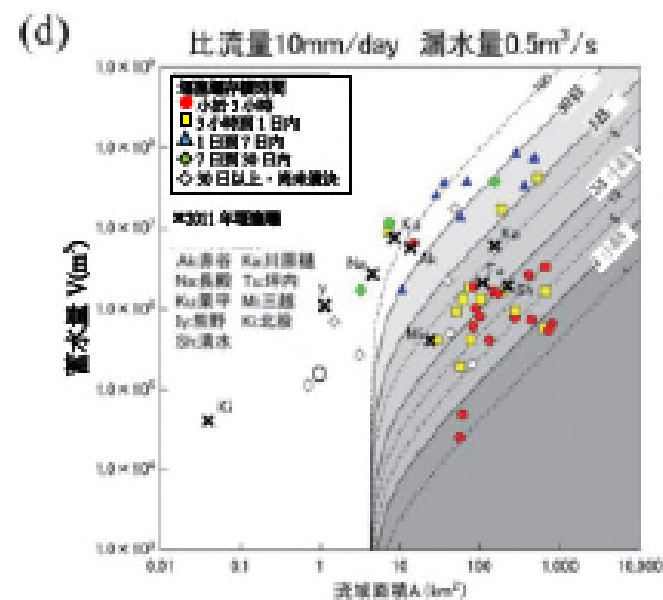
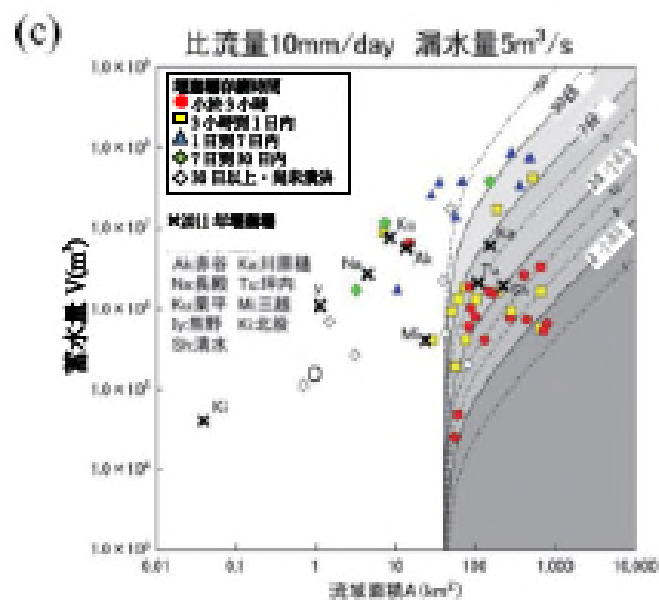
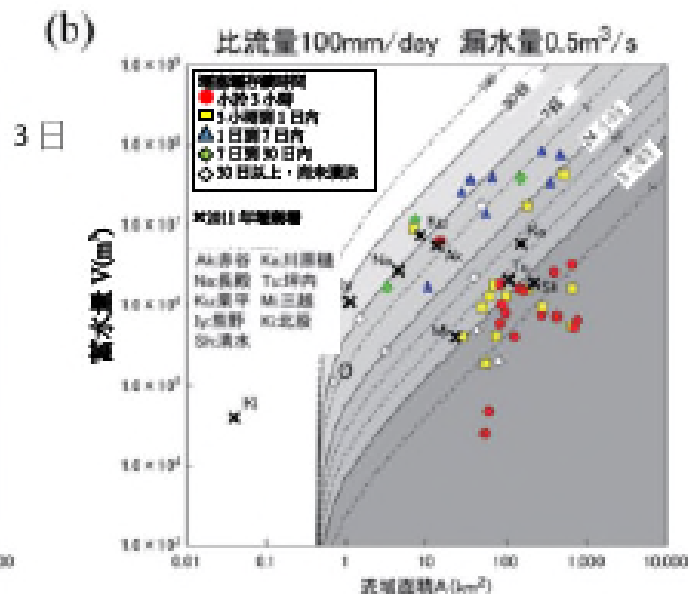
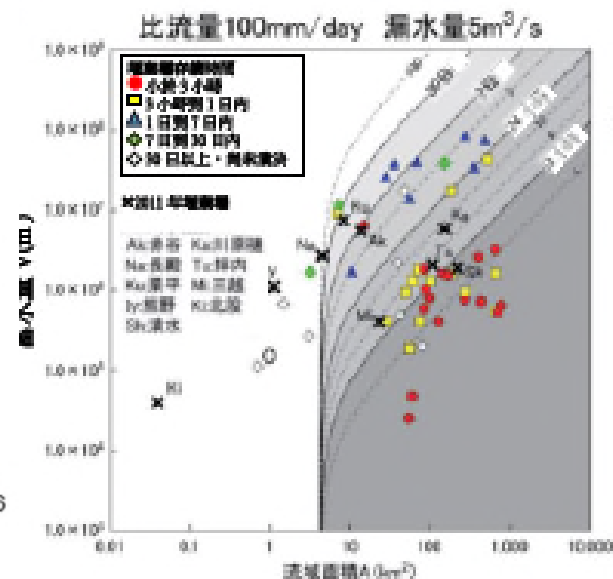
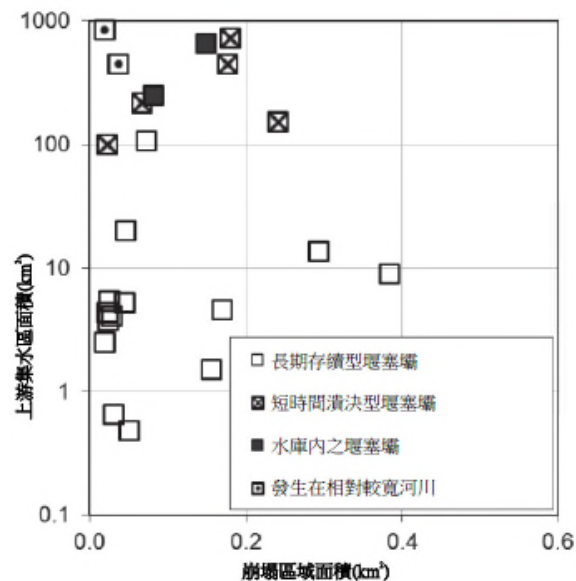
堰塞壩存續時間分類：

短時間潰決型堰塞壩→可實施特定的對策措施。
長期存續型堰塞壩→暫不理會。

- ✓ 推估大規模土砂災害災損，**應優先**針對「短時間潰決型堰塞壩」進行災損推估，剔除可能成為「長期存續型堰塞湖」者。
- ✓ 掌握各區間可能成為「短時間潰決型堰塞壩」的堰塞湖**蓄水容量上限值**，可有效選出應實施災損推估的案例。

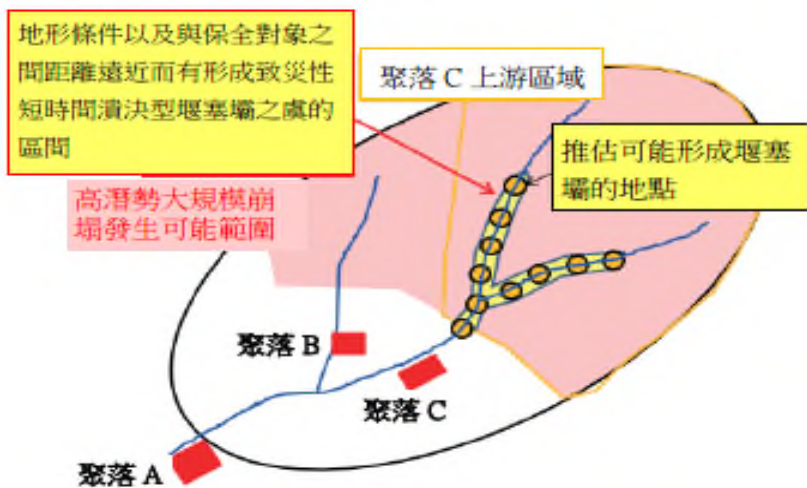
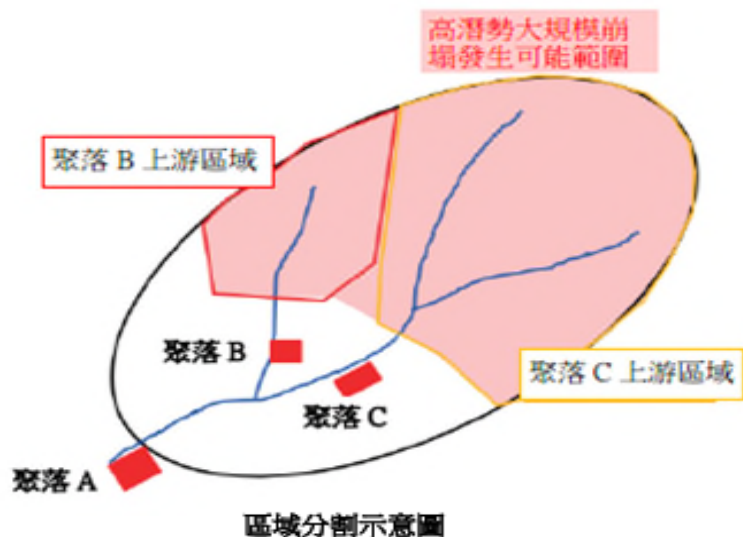


豪雨所形成堰塞壩的存續時間 與流域面積、蓄水量之關係

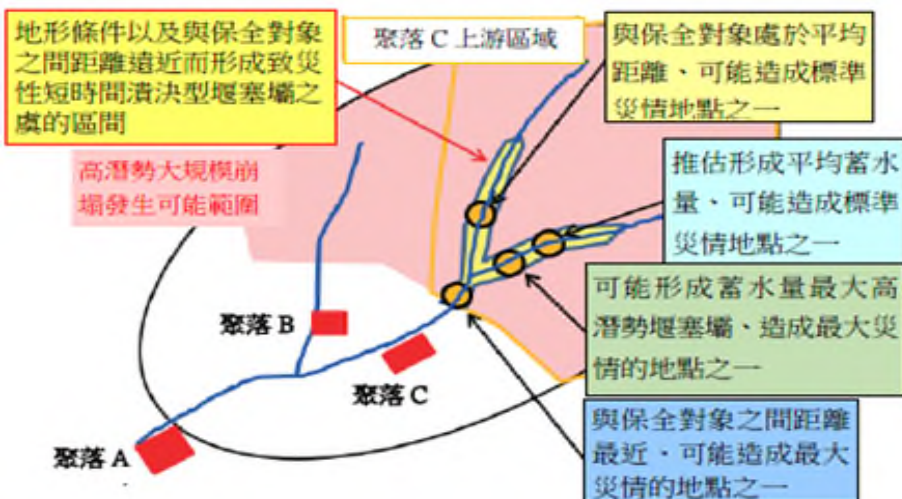


- ✓ 堰塞壩存續時間與流域面積、蓄水量之關係，依據過去的實際狀況，整理了堰塞壩形成之後到潰決為止存續時間如右圖所示。
- ✓ 小流域面積形成的堰塞壩，以及蓄水量非常大的堰塞壩，有很高的可能性形成「長期存續型堰塞壩」，因此可剔除於大規模土砂災害推估高潛勢發生的現象之外。

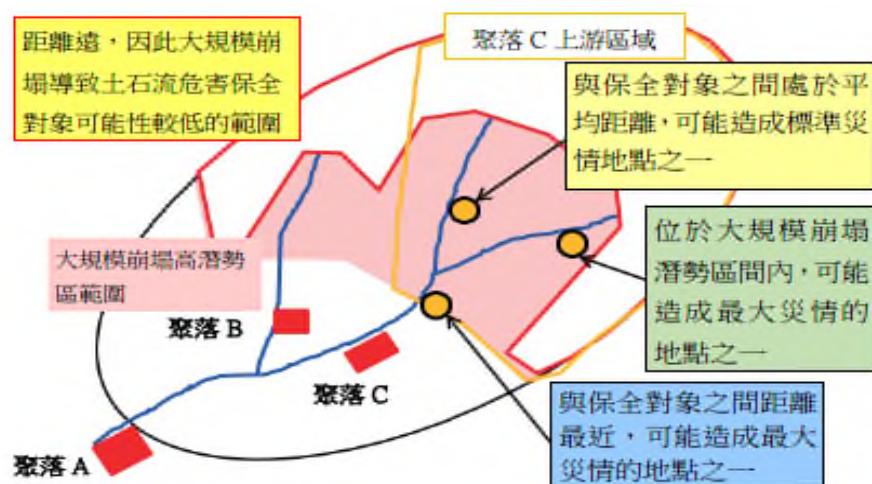
數值模擬推估大規模崩塌引致災情情況



等間隔分割大規模土石災害必須進行受災推估的區間，推估各地點發生大規模崩塌時受災情況的方法示意圖(形成堰塞壩的情況)

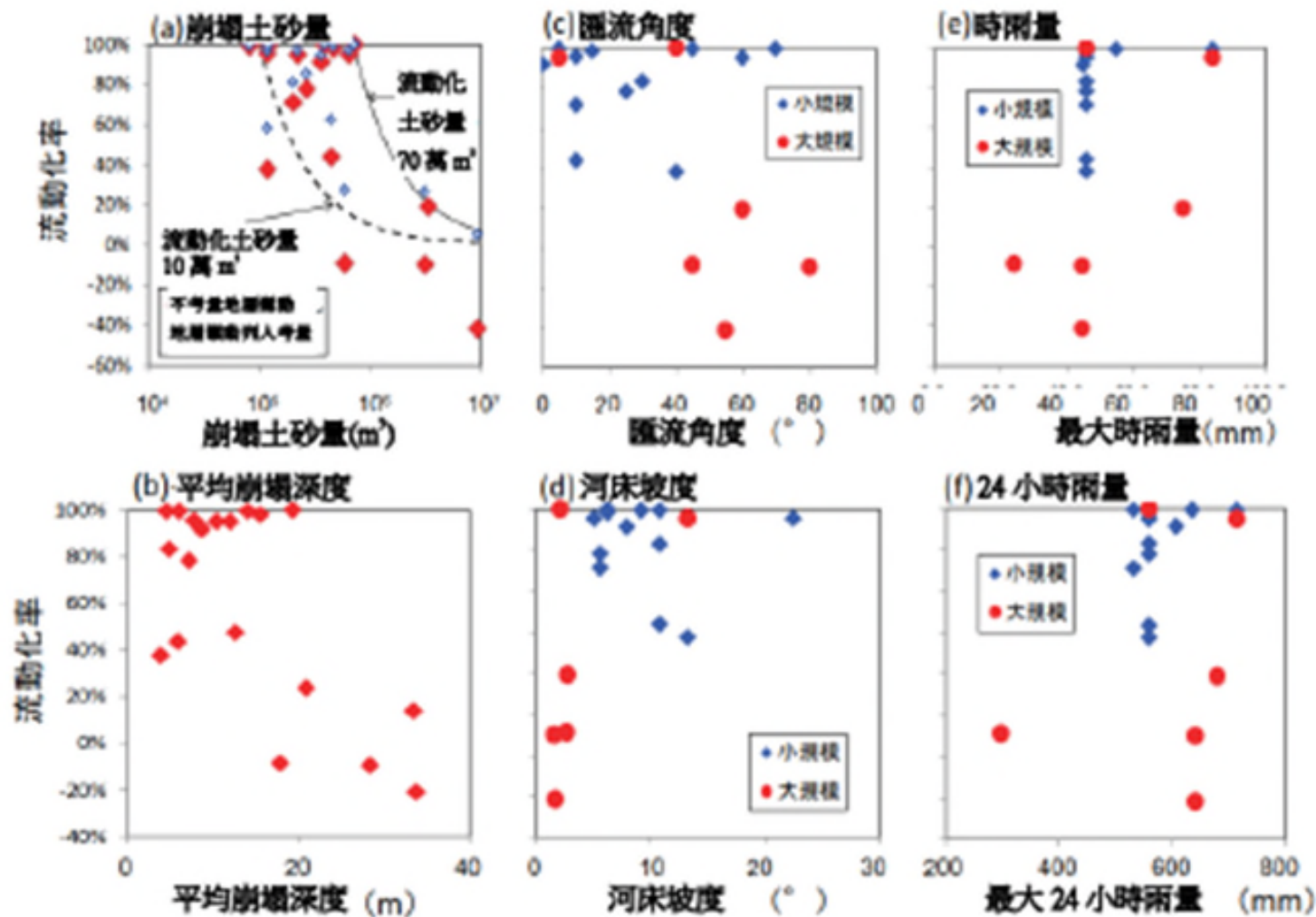


堰塞壩潰決災情推估實施地點篩選示意圖



土石流災情推估實施地點篩選示意圖

- ✓ 在最靠近保全對象或與保全對象一定平均距離的地點實施災損推估。
- ✓ 高潛勢大規模崩塌規模在空間上有差異時，應在最大與次級區間實施災損推定。



- ✓ 大規模崩塌的土砂是否會流動化，以及流動化土砂之比例(流動化率)與量，取決於**崩塌土砂量**、**匯流角度**與**河床坡度**。
- ✓ **崩塌土砂量**越大，**流動化率**越小。
- ✓ 若不考慮崩塌土砂量，流動化土砂量最多為70萬立方公尺。



大小規模以崩塌土砂量**50萬立方公尺**為基準界線，(a)圖崩塌後目測土砂量提高1.5倍，本研究設定為「考量地盤鬆動的結果」。

〈例子〉以大規模崩塌土砂量推估堰塞壩形狀的方法

推估堰塞壩形狀的研究不多，以大規模崩塌土砂量等推估堰塞壩形狀的方法，則有下式以歐貝利斯克(Obelisk)體積計算公式推估，以及原田等的方法¹⁾。

堰塞壩形狀主要有四角錐梯形與楔形等。參考堰塞壩形成地點周邊地形資訊，以及過去發生堰塞壩實際狀況，可算出形成這些形狀的坡度與長度，然後以歐貝利斯克公式算出體積，推估大規模崩塌土砂量相同情況下的堰塞壩形狀。

$$h = \frac{6 \times V}{L_2 \times B_1 + L_1 \times B_2 + 2(L_1 \times B_1 + L_2 \times B_2)}$$

式中，

h ：堰塞壩高度(m)

V ：堰塞壩體積(m³)

B_1 ：左右岸方向的堰塞壩提長(m)

B_2 ：河床寬度(m)

m ：河道側岸坡度(1:m)

L_1 ：堰塞壩壩頂寬度(m)

L_2 ：堰塞壩長度(m)

θ_1 ：下游側坡面坡度(°)

θ_2 ：上游側坡面坡度(°)

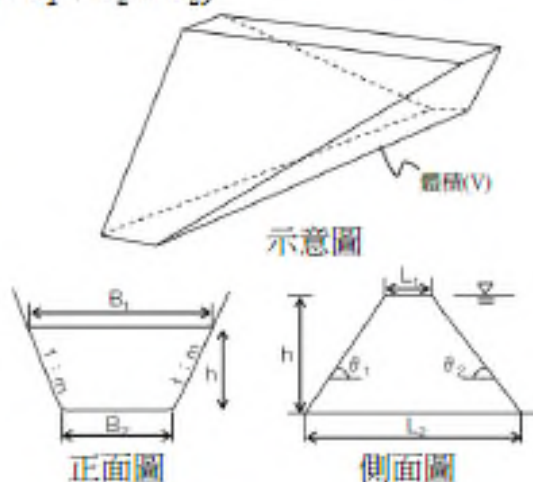


圖-5.5 堰塞壩體積的計算

運用本公式時，需要設定上游側坡面坡度與下游側坡面坡度(θ_1, θ_2)。若該大規模崩塌檢討分割區域內曾有堰塞壩的實際案例，則採用其坡度。若該大規模崩塌檢討分割區域內不曾形成堰塞壩，可參考全國實際狀況。下游側的坡面坡度，參考下列案例²⁾。

案例) 下游側坡面坡度(θ_2)

- 2004 年中越地震(6 案例)、2008 年岩手宮城內陸地震(5 案例)、2011 年颱風 12 號(14 案例)平均坡度的狀況：分布範圍 6°~31°，平均值 18.4°，最大值 31°，75%值 23°，90%值 26°
- 堰塞壩高度超過 40m 的 4 個案例之中，最大值 17°

上游側坡面坡度(θ_1)

- 因淹水而無法量測，無實際紀錄。

此外，參考時可從保守的觀點，假定堰塞壩為三角形($L_1=0$)。

此外，設定堰塞長度，可參考全國崩塌土砂量與堰塞長度實際狀況，設定堰塞壩的形狀(圖-5.6)。

堰塞壩高度是依大規模崩塌土砂量與周邊地形算出。全國性崩塌土砂量與堰塞壩高度實際狀況，經整理案例後如下(圖-5.7)。

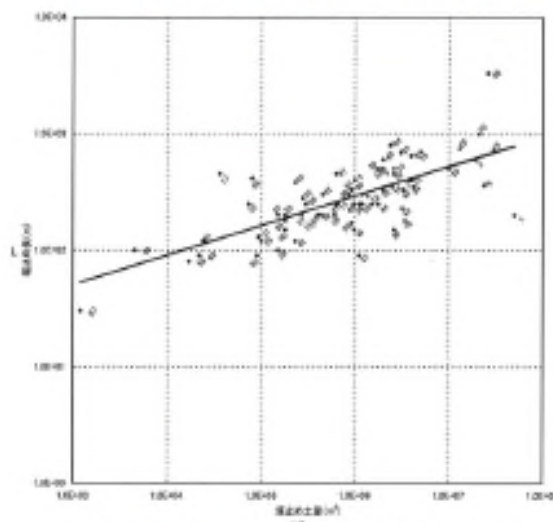


圖-5.6 堰塞土方量(崩塌土砂量)與堰塞長度³⁾

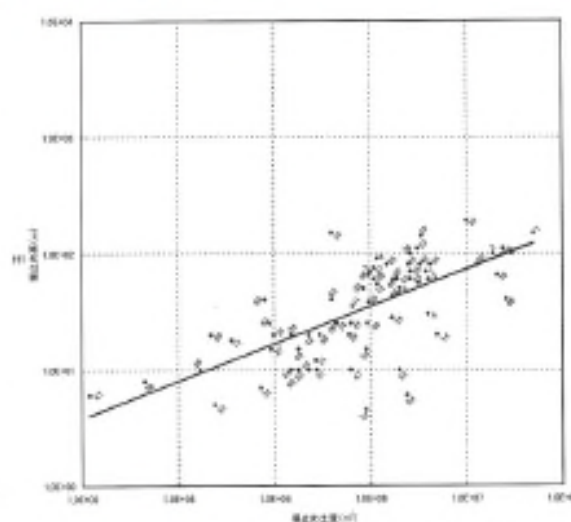
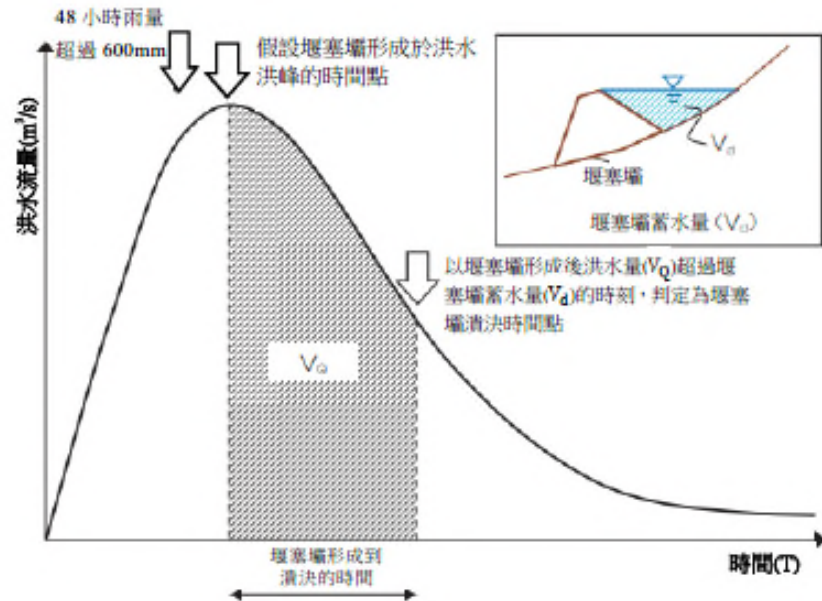
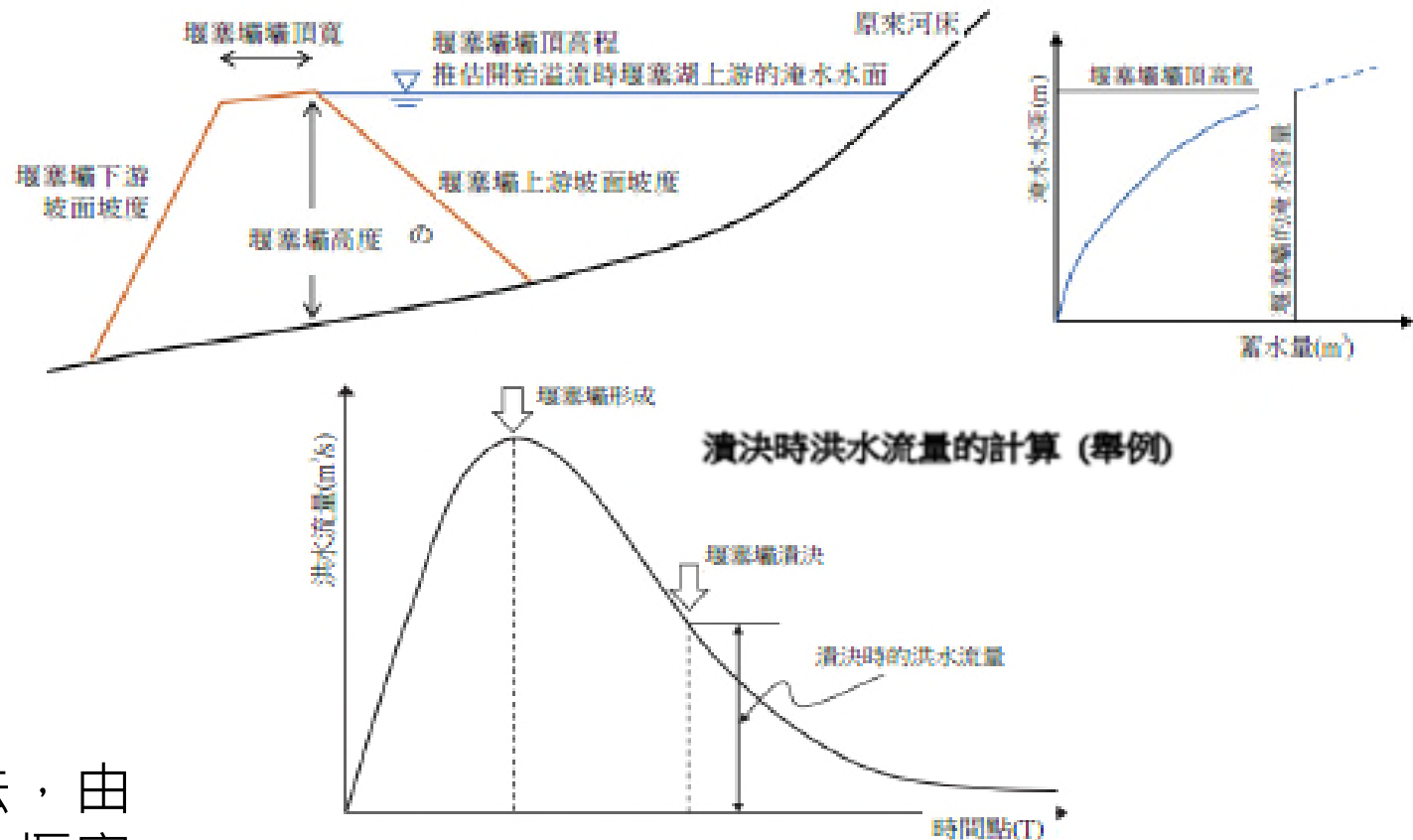


圖-5.7 堰塞土方量與堰塞高度³⁾



堰塞壩潰決時間推估舉例 (48 小時雨量超過 600mm 後，河川流量達
到最大時堰塞壩形成的想定)

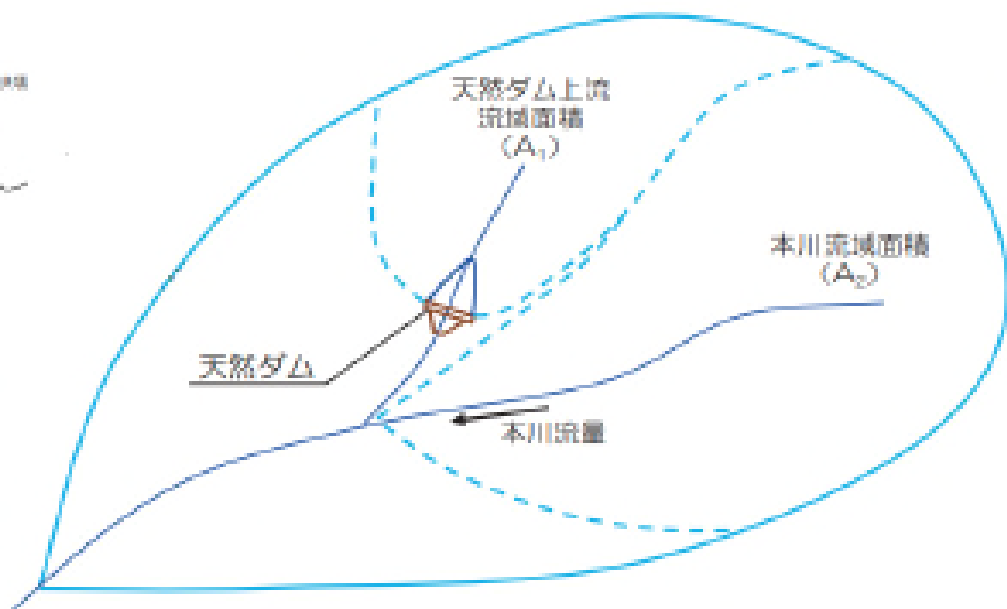
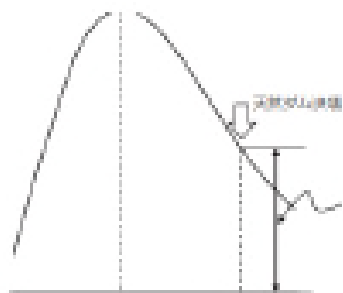


- ✓ 堰塞壩(短期潰決型)存續時間推估方法，由壩蓄水量與壩形成後的水流入流量推估堰塞壩存續時間，必須要有堰塞壩形成後的流量歷線圖推估。
- ✓ 推估前記得須畫出豪雨時的流量歷線圖。
- ✓ 若沒有堰塞壩形成時的資訊，可活用過去記錄的流量歷線圖或豪雨時的實際流量歷線圖，或洪水流量歷線圖。

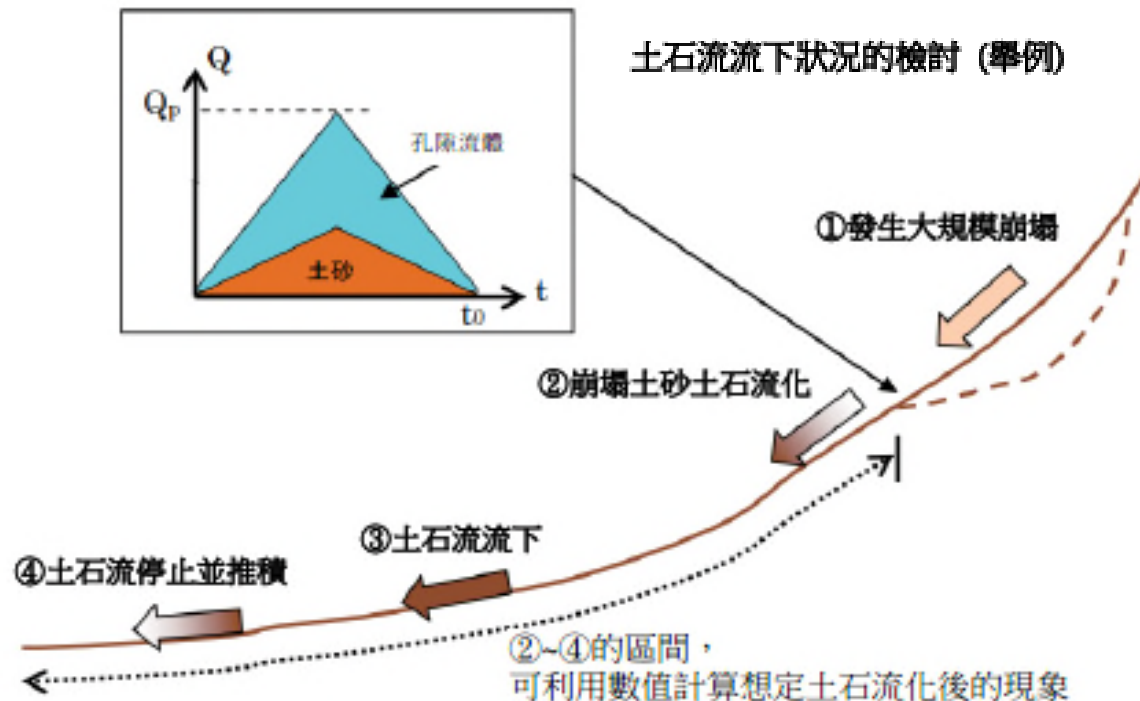
- ✓ 堰塞壩潰決時流入堰塞湖的流量推估，可使用流量歷線圖與條件，算出堰塞壩潰決時的比流量。
- ✓ 依據堰塞壩高度，設定推估堰塞湖開始溢流時的堰塞壩壩頂高程。
- ✓ 依據堰塞壩上游側地形圖以平均斷面法等，算出蓄水量。

下游河道洪水災害追蹤檢討

$$\text{主流洪水流量 (m}^3/\text{s)} = \frac{A_2(\text{km}^2)}{A_1(\text{km}^2)} \times \text{潰決時間點流入堰塞壩的流量(m}^3/\text{s)}$$



- ✓ 堰塞壩下游河道洪水追蹤檢討方法，依據前頁堰塞壩(短時間潰決型)存續時間的設定方法，推算出堰塞壩潰決時的比流量。
- ✓ 假設堰塞壩潰決時匯流河川的洪水流之比流量相等於流入堰塞壩的河川比流量，可算出匯流的河川洪水流量。



〈例子〉計算上游邊界的流量歷線圖之設定方法

「大規模崩塌形成土石流的流下與氾濫演算方法(草案)」介紹了一維計算區間的上游邊界、假設水流(流量與流速的關係)符合土石流阻力定律而設定流量歷線圖的方法。土石流阻力定律運用高橋所提出的阻力定律，假定流量歷線圖為存續時間的中間時間形成洪峰流量的三角形。計算時假定崩塌土砂以相同的速度移動。此時須注意，這裡的洪峰流量為最大值，存續時間接近最短的現象。亦即，根據條件，想定非常快流速的場合。

大規模崩塌形成土石流，所含土石之中細粒土砂與土石流內部孔隙流體一體化而移動的數值計算方法，可推估崩塌土砂土石流化後流下與堆積的過程(下圖②~④)。

詳見「大規模崩塌形成 土石流的流下與氾濫演算方法(案)」(土木研究所資料，第4240號)



簡報結束

謝謝聆聽

