



# 潛在 大規模崩塌 分級方法學 初步研擬

## The Study of Potential Large-Scale Landslide Grading Method

陳德偉\* / 財團法人中興工程顧問社深地質研究專案計畫 副研究員

吳庭瑜 / 財團法人中興工程顧問社深地質研究專案計畫 助理研究員

魏倫璋 / 財團法人中興工程顧問社深地質研究專案計畫 正研究員

楊哲銘 / 國立聯合大學土木與防災工程學系 助理教授

曾佳漢 / 中國文化大學地質學系 助理教授

黃春銘 / 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心 正研究員

簡留玄 / 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心 助理研究員

謝有忠 / 經濟部地質調查及礦業管理中心應用地質組 技正

林錫宏 / 經濟部地質調查及礦業管理中心應用地質組 科長

近年來由於氣候變遷及降雨集中，造成大規模崩塌災害不斷，尤其是2009年莫拉克颱風導致的小林村大規模崩塌，造成巨大生命財產損失。為了解大規模崩塌之分布，經濟部地質調查及礦業管理中心在全臺灣已判釋出2,500處潛在大規模崩塌。本研究蒐集國外大規模崩塌分級方法，研擬出適合於臺灣之方法，並定名為「崩塌地形特徵潛勢分級表」。本文以南投縣境內336處潛在大規模崩塌進行實作填表後，共得A、B、C、D級分別為1、29、132及174處。評分較高者集中於力行產業道路，且現場勘查亦發現顯著現生崩塌現象，說明本研究擬定之分級表適用性良好，可以對潛在大規模崩塌正確評分，亦可合理呈現潛在大規模崩塌之潛勢等級。

關鍵詞：大規模崩塌分級、崩塌地形潛勢分級表、層級分析法、光達數值地形模型

### ABSTRACT

In recent years, climate change and severe rainfall have caused large-scale landslides and disasters. In particular, the landslides occurred in Siaolin Village during typhoon Morakot in 2009 caused huge losses of lives and properties. In order to realize the distribution of large-scale landslides, the Central Geological Survey, MOEA had interpreted 2,500 potential large-scale landslides in Taiwan. This study collected large-scale landslide grading related references,

and integrated into a large-scale landslide grading method which was suitable for Taiwan, naming it as the Landslide Topographic Feature Susceptibility Table. After grading 336 potential large-scale landslides in Nantou County, there were 1, 29, 132 and 174 sites of grades A, B, C, and D respectively. The sites with higher scores were concentrated on the Lishing Mountain Road, which showed that the scoring table proposed in this study were applicable and could correctly classify the grade of potential large-scale landslides.

Keywords: Large-scale landslide scoring, Landslide Topographic Feature Susceptibility Table, Analytic Hierarchy Process, LiDAR DEM

\* 通訊作者，twchen@sinotech.org.tw

## 前言

臺灣由於位於歐亞板塊交界，板塊活動導致造山運動活躍，也造成地質較為破碎，梅雨季及颱風季又常帶來豪大雨而導致崩塌發生。近年來由於豪雨事件或颱風事件所帶來之降雨量愈發驚人，進而導致大規模崩塌之發生，如 2009 年莫拉克颱風即造成小林村及高雄市楠梓仙溪、荖濃溪兩側發生許多大規模崩塌。臺灣過去已發生多起大規模崩塌，如 1990 年梨山地區發生大範圍地滑導致交通中斷；同年於新竹湖口台地也發生大面積崩塌，破壞面積約為 20 公頃。1999 年 921 地震引致九份二山大面積滑動，崩塌面積達到 200 公頃，也造成多人傷亡；該地震亦引致草嶺大山崩，崩塌及堆積範圍面積超過 500 公頃，而草嶺從 1862 年有歷史紀錄以來，已發生五次大規模崩塌<sup>[1,2]</sup>。

由於 2009 年莫拉克颱風所挾帶之豪大雨，導致臺灣南部地區多處發生大規模崩塌，也造成許多道路中斷及生命財產之損失。故經濟部地質調查及礦業管理中心於莫拉克風災事件後 10 餘年間，於臺灣全島進行潛在在大規模崩塌判釋，目前亦已判釋出 2,500 處。然而，長久以來潛在在大規模崩塌缺乏適切之分級標準，不易提供防災策略規劃參考，亦造成山崩與地滑地質敏感區劃設之困擾，更不利於將山崩災害知識推廣予社會大眾，故針對潛在在大規模崩塌進行合理之分級，並給予其適當之潛勢等級為一重要課題。

## 研究方法

### 大規模崩塌分級文獻回顧

大規模崩塌在國際上之定義繁多，通常依據崩塌之面積、體積、深度而定，但常因不同地區或地質條件而有不同的定義標準<sup>[3-15]</sup>。大規模崩塌一詞約為 2009 年莫拉克颱風造成小林村大範圍滑動導致重大災害後而興起。大規模崩塌在國際上有許多不同的稱呼，例如日本稱為深層崩壞，在臺灣亦有文獻將深層崩壞譯為深層崩塌，最後，由行政法人國家災害防救科技中心於 2015 年公開之大規模崩塌災害防治行動綱領報告中，統一命名為大規模崩塌，並定義為崩塌面積超過 10 公頃、土方量超過 10 萬立方公尺或崩塌深度在 10 公尺以上<sup>[16]</sup>。

本研究蒐集國內外對於大規模崩塌分級方法之文

獻，加以歸納彙整後，主要以日本地滑學會所使用之地滑分級層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)，以及挪威地質調查所 (Norges geologiske undersøkelse, NGU) 所提出之大型岩坡活動性評分表為基礎，研擬提出適用於臺灣之大規模崩塌分級項目與表格，以利於後續大規模崩塌分級使用。

日本地滑學會等學者發表之邊坡防災危險度 (susceptibility) 評估手冊與相關文章所使用之量化評估方法<sup>[17-20]</sup>，起初發展於日本岩手縣、日本東北地區、福島縣與新潟縣阿賀野川流域之大規模崩塌，並藉由航照立體影像進行地形判釋與分析其地表地形特徵，以對崩塌地形進行評分，如表 1 所示。表格中包含立體影像對、地滑地形圖以及各項因子之評分，其主要包含三大項目並各別包含兩小項評分項目，包括：(1) 滑動體微地形特徵，包含運動類型與地形新鮮程度評分；(2) 滑動體邊界，包含頭部範圍與趾部範圍評分；(3) 滑動體鄰近區域，包含移動體前端與下邊坡坡型評分。各項分數高低以邊坡各種不同滑動型態之示意圖搭配簡易說明，由層級分析法 (Analytic Hierarchy Process Theory, AHP) 依據崩塌區位、發育階段與活動度高低進行評估給予量化分數。表 2 則是日本岩手縣與宮城縣所採用之山崩危險度評分表，其細分為 9 小項地形特徵，分別為 (1) 運動類型；(2) 地形新鮮程度；(3) 滑動體分化與蝕溝狀態；(4) 地滑活動徵兆；(5) 主崩崖地形特徵；(6) 主崩崖與滑動體地形特徵；(7) 滑動體與其前緣地形特徵；(8) 滑動體前緣環境；(9) 滑動體下部地形特徵。上述日本兩種不同大規模崩塌之層級分析表，均會經由多位專家於不同地區不同案例進行大量評分，透過不斷修正調整後，來得到各項目對應評分，並劃分相對應之大規模崩塌評分等級，以作為大規模崩塌之潛勢評分。

挪威地質調查所 (NGU) 建立之大規模崩塌分級方法，為針對大型岩坡破壞所建議之災害與風險分級系統，並依據項目設定規則分數等級，主要用於評估與觀測大型岩坡破壞之活動性，尤其針對邊坡之移動速率項目佔有較高比重之分數。在挪威地質調查所 (NGU) 提出之正式報告第三章，建議採納九大項目 (表 3)<sup>[21,22]</sup> 來描述大型岩坡之狀態，包含：(1) 崩崖或張裂縫之發育規模；(2) 潛在破壞面之有無、傾角是

表1 地滑危険度 (susceptibility) AHP 評価法表單 [20]

ステレオ写真と地すべり地形図		詳細チェックリスト				AHPスコア		
		レベルII	レベルIII	不安定化要因				
				高い	低い			
<p>1) カルテチェック項目は左側程度が高いアイテム、右側ほど低いアイテムが並ぶように配置されている。刊読者はこの項目と類似するところにチェックして点数を付ける。</p> <p>2) このスペースにはステレオペア写真を付け、またステレオペアと同じ領域の平面図をつけて、右のチェック項目に従い、どこをどのように見たかを記載する。</p>	ステレオペア写真							
	ステレオペア写真と同じ領域の地形図							
	α	移動体微地形	a 運動様式	20	13	S	0	地すべり発成なし
			b 新鮮さの程度	20	13	S	5...0	
	β	地すべり地形の境界部	c 頭部境界	10	5	2	0	地すべり発成なし
			d 末端境界	20	12	6	0	
γ	地すべり地形と周辺地形	c 移動体先端部	20	12	6	2	0	
		f 移動体	10	5	2	0		
危険度直感スコア		高 → 中 → 低						
特記事項								

表2 岩手縣與宮城縣之AHP 評価表 [20]

地すべり地形の危険度評価チェックリスト							AHP
大分類	概要	観察アイテム	不安定化要因		備考		
			大	小(もしくは安定化要因)	規模	位置	
移動体の微地形	運動特性に関する指標	A:運動様式	流動痕 12.1	副滑落崖 4.9	分層崖 2.0		
		B:新鮮さの程度	微地形多 19.5	微地形境界が鮮明 12.5	境界が不鮮明 6.0	微地形境界の消滅 5.5	
		C:移動体不安定化	先端2次アツコ(分化) 13.9	ガリの進入 3.6	侵食谷の侵入	1.5	
		D:地すべり活動兆候	亀裂 18.8	樹冠の開き 6.3			
		その他	(例: 湿地、池、表層崩壊、雁行状亀裂 他)				
地すべり境界部の	時間を経る過程に	E:不動域/主滑落崖	雁行亀裂有 3.8	崩壊壁のみ有 3.2	知行斜面化 1.8	ガリーの伸長 1.5	全体が従順化
		F:主滑落崖/移動体	左記地形のみ 3.1	崖壁あり 1.8	大規模な崖壁 1.1	滑落崖・崖壁・移動体が連続	0.6
		G:移動体/前地表	左記地形のみ 1.0	ガリー・沖積層有 0.5	地表の従順化 0.4	移動体原面の消失	0.3
地すべり周辺地形	地形に関する指標	H:移動体先端部	河川攻撃斜面に面する 8.6	(河川に面する) 4.4	斜面途中に出る 1.6	平坦面にある 0.9	対岸衝突
		I:移動体下部	増加 19.2	起伏量(移動体の経年変化) 9.2		低下 2.7	
地すべり移動体内特記すべき小ブロック		あり	なし (位置及び全体との関係は: )				
記事	地すべりの成因その他	AHP評価合計点					点
		カルテ危険度点数					点
参考事項							
※AHPのcheck位置の点数を合計してAHP評価合計点とする。							
		整理番号	地区名				
※活動履歴・災害履歴・地質・地質構造地 あれば記入							

表 3 挪威地質調查局 (NGU) 建議邊坡狀態評估表 [21,22]

	Score
<b>1. Back-scarp</b>	
Not developed	0
Partly open over width of slide body (few cm to m)	0.5
Fully open over width of slide body (few cm to m)	1
<b>2. Potential sliding structures</b>	
No penetrative structures dip out of the slope	0
Penetrative structures dip on average < 20 degree or steeper than the slope	0.5
Penetrative structures dip on average > 20 degree and daylight with the slope	1
<b>3. Lateral release surfaces</b>	
Not developed	0
Partly developed on 1 side	0.25
Fully developed or free slope on 1 side or partly developed on 2 sides	0.5
Fully developed or free slope on 1 side and partly developed on 1 side	0.75
Fully developed or free slope on 2 sides	1
<b>4. Kinematic feasibility test</b>	
Kinematic feasibility test does not allow for planar sliding, wedge sliding or toppling	0
Failure is partly kinematically possible (movement direction is more than ±30° to slope orientation)	0.5
Failure is kinematically possible (movement direction is less than ±30° to slope orientation)	0.75
Failure is partly kinematically possible on persistent discontinuities (movement direction is more than ±30° to slope orientation)	0.75
Failure is kinematically possible on persistent discontinuities (movement direction is less than ±30° to slope orientation)	1
<b>5. Morphologic expression of the rupture surface</b>	
No indication on slope morphology	0
Slope morphology suggests formation of a rupture surface (bulging, concavity-convexity, springs)	0.5
Continuous rupture surface is suggested by slope morphology and can be mapped out	1
<b>6. Displacement rates</b>	
No significant movement	0
0.2 - 0.5 cm/year	1
0.5 - 1 cm/year	2
1 - 4 cm/year	3
4 - 10 cm/year	4
> 10 cm/year	5
<b>7. Acceleration (if velocity is &gt;0.5 cm/yr and &lt;10 cm/yr)</b>	
No acceleration or change in displacement rates	0
Increase in displacement rates	1
<b>8. Increase of rock fall activity</b>	
No increase of rock fall activity	0
Increase of rock fall activity	1
<b>9. Past events</b>	
No post-glacial events of similar size	0
One or several events older than 5000 years of similar size	0.5
One or several events younger than 5000 years of similar size	1

否低於抗剪摩擦角以及是否見光 (daylight)；(3) 兩翼之發育規模；(4) 岩坡破壞類型；(5) 基底破裂面形貌有無或相關特徵；(6) 位移速率；(7) 加速行為；(8) 落石活動紀錄增加；(9) 歷史災害紀錄；其第 1 至第 5 項需藉由高解析度光達數值高程模型產製灰階陰影圖或坡度圖來判釋評分，然而第 6 至第 9 項則需要長時間且有代表性之監測數據與歷史影像才能評分。

### 大規模崩塌分級方法研擬

經濟部地質調查及礦業管理中心至今已判釋之 2,500 處潛在大規模崩塌為數眾多，且尚待進行合理之評分及危險分級，故本研究彙整前節所述日本地滑學會及挪威地質調查所之大規模崩塌分級方法，嘗試建立適用於臺灣之大規模崩塌分級評分表，期能適當針對經濟部地質調查及礦業管理中心已圈繪判釋之大規模崩塌進行合理分級。

本研究參考國內外大規模崩塌相關文獻之地形判釋與調查經驗，歸納需考量之因素包含地質特徵、地形特徵及山崩運動行為等 [14,15,23-27]。其中，在地形特徵部分，可由高精度光達數值地形模型產製陰影圖後，針對

不同崩塌特徵項目給予評分並進行分級。典型之崩塌地特徵可參考 Cruden and Varnes 於 1996 年提出之元素，如圖 1 所示 [28]。圖中可看出崩塌完整發育之各種特徵，由坡頂朝坡趾依序包含：冠部、主崩崖、頭部、張力裂隙、次崩崖、右翼（兩翼）、滑動主體、滑動面、趾部等，上述特徵和日本地滑學會所考量之大規模崩塌分級項目有相似之處。文獻中亦可得知崩塌相關微地形包含崩崖、張裂縫、多重山稜、反向坡、橫向裂縫、側向邊界、挫曲或隆起等，而水系與蝕溝亦可呈現大規模崩塌潛勢區之坡面活動歷史 [22,29,30]，上述這些崩塌特徵，均有助於判斷邊坡之穩定區域範圍及空間分布。

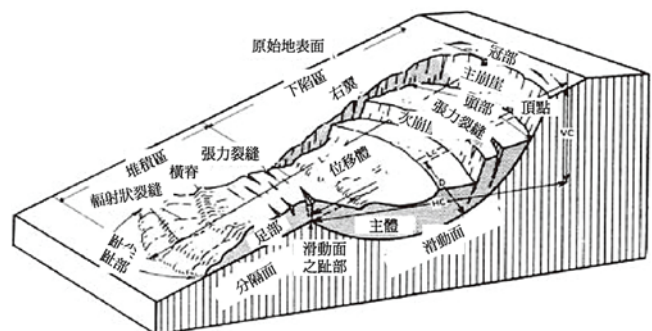


圖 1 典型山崩滑動體在發育過程中之地形特徵 [28]

本研究主要參考 2021 年日本地滑學會與 2013 年挪威地質調查所之分級評分方法 [20,22]，並以其他相關文獻與報告書為輔 [18,31-34]，建立適合臺灣之大規模崩塌分級評分方法與評分操作流程。本研究所建立之大規模崩塌分級操作流程架構如圖 2 所示。首先採用光達數值高程模型產製高解析度坡度圖，並將坡度圖三維化以在三維空間進行崩塌地微地形特徵判釋，並參考區域地質圖評估該處之地質特性與主要不連續面之位態趨勢，配合正射影像及過去歷史山崩目錄研判此潛在在大規模崩塌之過去活動情形，並將判釋結果依照評分項目填入本研究研擬之大規模崩塌分級評分表中。

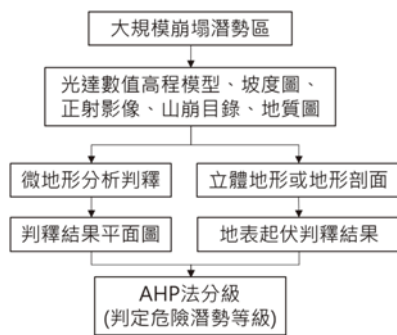


圖 2 本研究研擬之大規模崩塌分級操作流程

綜合上述，本研究所研擬之臺灣潛在大規模崩塌分級評分表，將崩塌地形特徵分級項目主要分為兩大項目：(1) 滑動體之崩塌地形特徵；(2) 周邊環境可能之影響。前者主要包含：冠部、崩崖、滑動體、兩側邊界（側翼或蝕溝）、趾部等 5 個區位地形特徵來進行評分；後者則主要包含：(1) 潛勢區前緣之河岸侵蝕；(2) 滑動體下邊坡之坡型等 2 個區位地形特徵，其詳細分級大項、細項與其對應之評分值，如表 4 所示。由於本研究所擬定之潛在大規模崩塌分級評分表主要以地形特徵作為評分項目，故本研究將其名稱命名為「崩塌地形特徵潛勢分級表」(Landslide Topographic Feature Susceptibility Table, LTFST)。並參考日本地滑學會所建立之分級評分等級間距，將評分值範圍訂為 0 至 100 分，共分為四個等級，包含：A 級 (80 ≤ 總分 ≤ 100)、B 級 (60 ≤ 總分 < 80)、C 級 (40 ≤ 總分 < 60)、D 級 (0 ≤ 總分 < 40)。

### 潛在大規模崩塌分級成果

本研究目前完成南投縣境內 336 處潛在大規模崩塌之崩塌地形特徵潛勢分級，評分統計成果如圖 3 所示。

表 4 崩塌地形特徵潛勢分級表 (LTFST)

崩塌地形特徵潛勢分級表(LTFST)		評分	
A: 冠部	1: 發育張裂縫或線型陷落，且有圈合現象	10	
	2: 發育零星張裂縫或線型陷落	5	
	3: 未見張裂縫或線型陷落	0	
	B: 崩崖	1: 同時具有主崩崖與次崩崖(滑動體內非趾部破壞)，且形態與邊界清晰銳利	15
		2: 同時具有主崩崖與次崩崖(滑動體內非趾部破壞)，但形態已受侵蝕而呈圓潤狀	10
C: 滑動體	3: 僅具主崩崖但形態圓潤(次崩崖少且不明顯)，或次崩崖明顯但主崩崖難以辨識	5	
	4: 未見崩崖或上邊界落差小	0	
	1: 滑動體邊界大致清楚，且具凸肚地形(上坡凹陷、下坡凸起)	15	
	2: 滑動體邊界(部分模糊)仍可見，但不具明顯凸肚地形	10	
D: 兩側邊界(側翼或蝕溝)	3: 滑動體邊界模糊受地表侵蝕，僅殘留部分材料或呈凹坡	5	
	4: 未見滑動體或厚度小與邊界難以辨識	0	
	1: 兩翼(或兩側邊界)皆完整發育，且邊界清晰銳利	15	
	2: 兩翼(或兩側邊界)均有發育，但形態已受侵蝕或堆積而呈圓潤狀	10	
E: 趾部	3: 僅有一翼(或一側邊界)發育較清楚可辨識，另一側則模糊或兩側皆模糊	5	
	4: 未見側翼(或邊界)發育	0	
	1: 具崩塌堆積材料，且近年來有發生新鮮崩塌	15	
	2: 具崩塌堆積材料，但暫時穩定存在(有崩塌地形特徵但近期影像無裸露)	10	
F: 潛勢區前之河岸侵蝕	3: 僅殘存部分堆積材料，受地表侵蝕而發育蝕溝或扇狀地	5	
	4: 趾部未見局部崩塌跡象或其他侵蝕作用	0	
	1: 主要河道之攻擊岸	15	
	2: 次要河道(支流)之攻擊岸	10	
G: 滑動體下邊坡之坡型	3: 僅有河道平行通過或有蝕溝侵蝕趾部	5	
	4: 無河道直接通過或有階地存在	0	
	1: 保有滑動體下邊坡地形且有坡度陡峭	15	
	2: 滑動體下邊坡地形稍有凸坡且有些許侵蝕	10	
周邊環境可能之影響	3: 滑動體下邊坡地形稍有凸起但坡型平坦	5	
	4: 滑動體下邊坡地形為平整斜坡面	0	
AHP總分			
AHP分級: 0 ≤ D < 40 ≤ C < 60 ≤ B < 80 ≤ A ≤ 100			

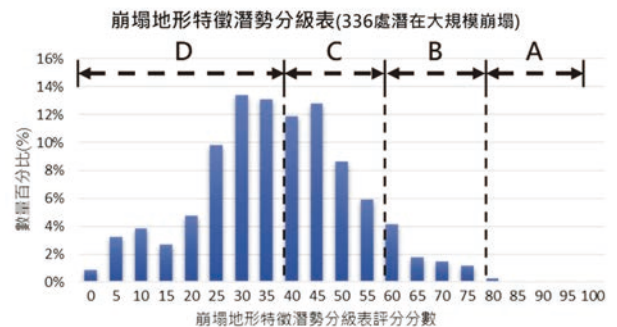


圖 3 潛在大規模崩塌進行崩塌地形特徵分級表實作成果 (336 處)

由圖中可看出，不同分數間距內之潛在大規模崩塌數量很接近鐘形分佈，評分歸類為 A 級之潛在大規模崩塌有 1 處 (佔總數 0.30%)、B 級有 29 處 (佔總數 8.63%)、C 級 132 處 (佔總數 39.29%)、D 級 174 處 (佔總數 51.79%)。詳細各評分之數量百分比如表 5 所示，其中數量最多的為 D 級 30 分與 35 分，其數量分別占 13.39% 與 13.10%，而 A 級僅有 1 處且分數為 80 分。若將 336 處之分級套疊於坡度圖及縣市鄉鎮圖上 (圖 4)，可看出之 336 處潛在大規模崩塌評分為 B 及 C 等級者大多集中於南投縣仁愛鄉力行產業道路，代表力行產業道路沿線之大規模崩塌具有較高之崩塌潛勢，此現象和力行產業道路每逢豪大雨，常發生崩塌導致道路中斷之情形相吻合，也說明本研究所擬定之崩塌地形特徵分級表應用於潛在大規模崩塌之評分及分級成果良好。

表 5 潛在大規模崩塌分級及評分成果統計 (336 處)

評分	潛在大規模崩塌個數	數量百分比	累積百分比
0	3	0.89%	0.89%
5	11	3.27%	4.17%
10	13	3.87%	8.04%
15	9	2.68%	10.71%
20	16	4.76%	15.48%
25	33	9.82%	25.30%
30	45	13.39%	38.69%
35	44	13.10%	51.79%
40	40	11.90%	63.69%
45	43	12.80%	76.49%
50	29	8.63%	85.12%
55	20	5.95%	91.07%
60	14	4.17%	95.24%
65	6	1.79%	97.02%
70	5	1.49%	98.51%
75	4	1.19%	99.70%
80	1	0.30%	100.00%
85	0	0.00%	100.00%
90	0	0.00%	100.00%
95	0	0.00%	100.00%
100	0	0.00%	100.00%

等) 到達 15 分, 表示這些潛在大規模崩塌具有很高之崩塌潛勢, 以下列舉一典型潛在大規模崩塌案例進行說明。

潛在大規模崩塌編號南投縣仁愛鄉 D003 (簡稱南投仁愛 D003), 位於南投縣仁愛鄉翠華村的翠巒聚落附近, 翠巒地區一直是力行產業道路上常常出現道路破壞之位置, 此路段亦於 112 年 1 月方因降雨造成道路中斷。南投仁愛 D003 之光達數值地形陰影圖、套疊崩塌圈繪圖、三維化後之光達數值地形陰影圖 (左視及右視圖)、正射航照圖及地質圖, 如圖 5 至圖 10 所示。比較潛在大規模崩塌南投仁愛 D003 有無套疊崩塌圈繪之光達數值陰影圖, 可清楚看出崩塌兩側線型明顯。而三維化之光達陰影圖, 則可以看出南投仁愛 D003 之主要及次要崩崖明顯且清晰, 崩塌地兩側線型有非常清楚明顯之陷落及段差, 崩塌圈繪內之滑動塊體呈現上半部凹陷, 下半部凸出之典型大規模崩塌滑動現象, 且崩塌堆積量體明顯已滑落堆積至坡趾且突出於河道, 崩塌體內部也可看出多處崩塌滑動及蝕溝發育

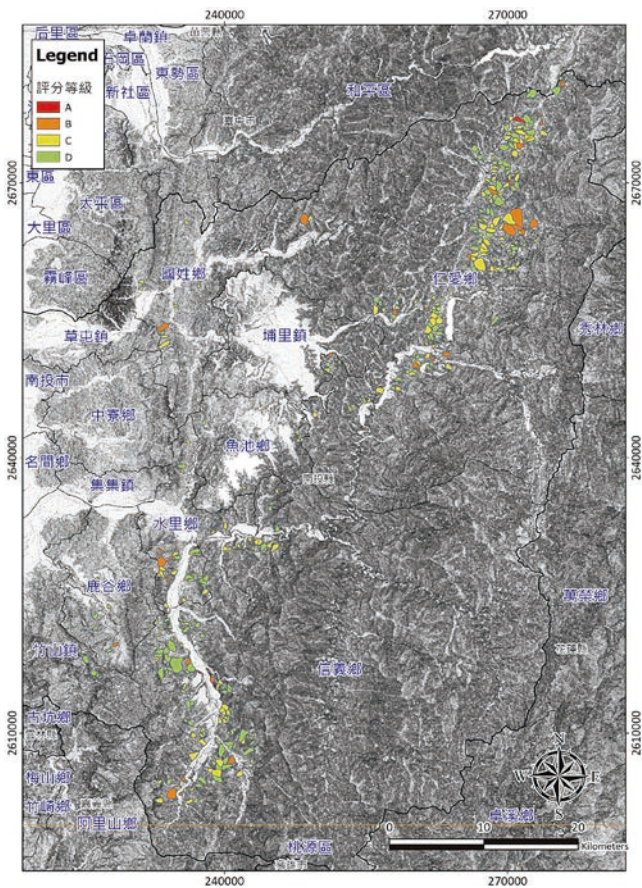


圖 4 大規模崩塌實作填表評分等級分布成果

### 潛在大規模崩塌典型案例

本研究在前述章節進行潛在大規模崩塌實作崩塌地形特徵分級表填表過程, 發現有數處潛在大規模崩塌案例之崩塌地形特徵評分項目 (如崩崖、崩塌體兩側邊界

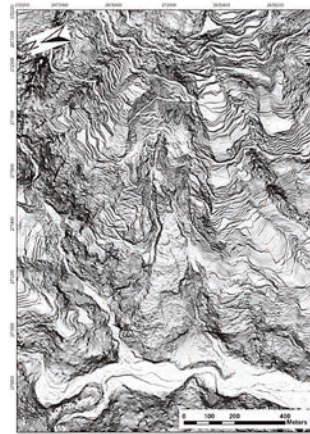


圖 5 南投仁愛 D003 光達陰影圖

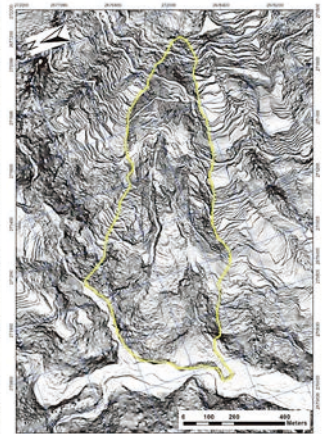


圖 6 南投仁愛 D003 光達陰影圖 (圈繪)



圖 7 南投仁愛 D003 三維光達陰影左視圖

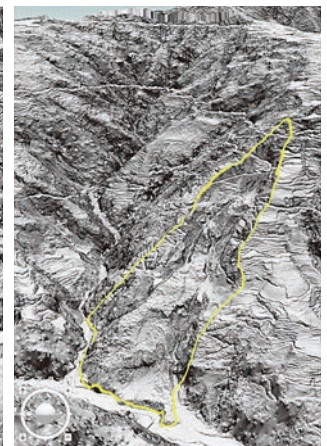


圖 8 南投仁愛 D003 三維光達陰影右視圖

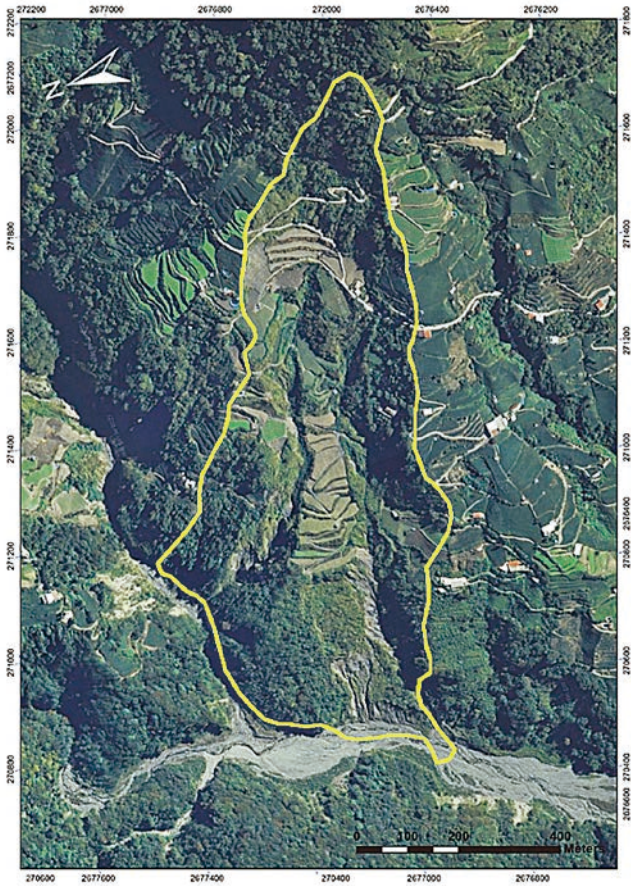


圖 9 南投仁愛 D003 正射航照圖

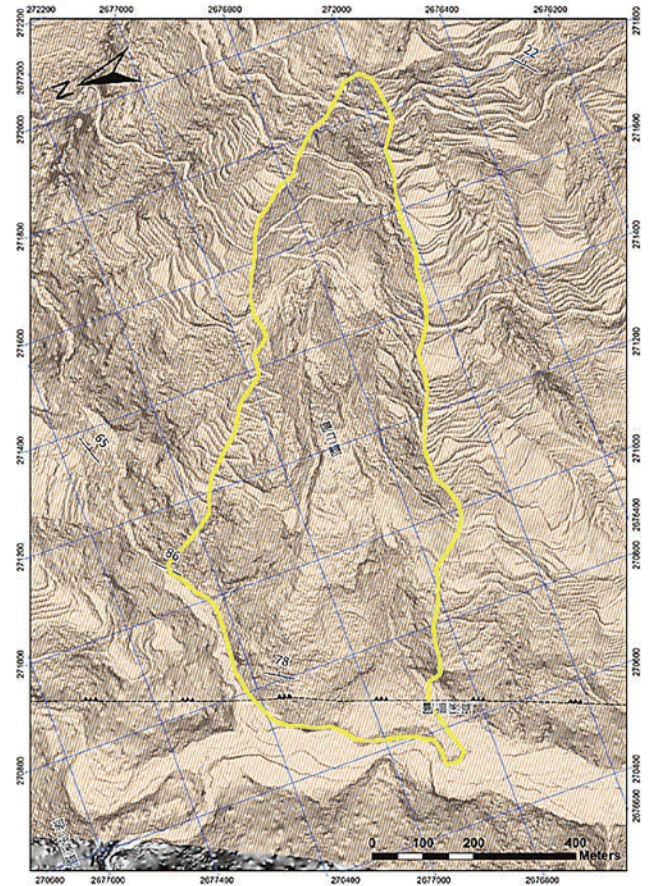


圖 10 南投仁愛 D003 地質圖

現象。由正射影像可看出多處蝕溝呈現大範圍陷落，且蝕溝兩側仍呈現崩塌裸露情形。由地質圖可知南投仁愛 D003 屬於廬山層，下邊坡靠近坡趾處有眉溪斷層通過，此斷層可能為造成此處地質較為破碎之其中一個原因。本研究實作南投仁愛 D003 崩塌地形特徵潛勢分級表之填表成果，如表 6 所示，由表中可看出在崩崖、滑動體、兩側邊界及趾部均評分為 15 分，潛勢區之河岸侵蝕及滑動體下邊坡之坡型，均為 10 分，合計 80 分，其評定等級為 A 級，屬於高危險之潛勢等級。

為瞭解南投仁愛 D003 大規模崩塌之活動性，本研究蒐集既有之時序性航遙測影像進行判釋，如圖 11 所示。由圖中可看出於 2006 年時崩塌體尚無明顯破壞滑動，但由 2007 年之 SPOT 衛星影像發現，南投仁愛 D003 出現大面積崩塌，原本 2006 年影像中既有之道路大多損壞，多處民宅也因崩塌造成損毀。由 2017 年影像，未看出大範圍之破壞，2018 年之 SPOT 影像可看出部分邊坡已進行整治，2022 年之 SPOT 影像則未發現明顯崩塌裸露，由上可知，本大規模崩塌確實具有多次活動歷史，評定為 A 級應無疑慮。

表 6 南投仁愛 D003 崩塌地形特徵潛勢分級表 (LTFST)

崩塌地形特徵潛勢分級表 (LTFST)		評分	南投仁愛 D003		
滑動體之崩塌地形特徵	A: 冠部	1: 發育張裂縫或線型陷落，且有圓合現象	10	0	
		2: 發育零星張裂縫或線型陷落	5		
		3: 未見張裂縫或線型陷落	0		
	B: 崩崖	1: 同時具有主崩崖與次崩崖(滑動體內 非趾部破壞)，且形貌與邊界清晰銳利	15		15
		2: 同時具有主崩崖與次崩崖(滑動體內 非趾部破壞)，但形貌已受侵蝕而呈圓潤狀	10		
		3: 僅具主崩崖但形貌圓潤(次崩崖少且不明顯)，或次崩崖明顯但主崩崖難以辨識	5		
		4: 未見崩崖或上邊界落差小	0		
	C: 滑動體	1: 滑動體邊界大致清楚，且具凸肚地形(上坡凹陷、下坡凸起)	15		15
		2: 滑動體邊界(部分模糊)仍可見，但不具明顯凸肚地形	10		
		3: 滑動體邊界模糊受地表侵蝕，僅殘留部分材料或呈凹坡	5		
		4: 未見滑動體或厚度小與邊界難以辨識	0		
	D: 兩側邊界(側翼或蝕溝)	1: 兩翼(或兩側邊界)皆完整發育，且邊界清晰銳利	15		15
		2: 兩翼(或兩側邊界)均有發育，但形貌已受侵蝕或堆積而呈圓潤狀	10		
		3: 僅有一翼(或一側邊界)發育較清楚可辨識，另一側則模糊，或兩側皆模糊	5		
		4: 未見側翼(或邊界)發育	0		
E: 趾部	1: 具崩塌堆積材料，且近年來有發生新鮮崩塌	15	15		
	2: 具崩塌堆積材料，但暫時穩定存在(有崩塌地形特徵但近期影像無裸露)	10			
	3: 僅殘存部分堆積材料，受地表侵蝕而發育蝕溝或扇狀地	5			
	4: 趾部未見局部崩塌跡象或其他侵蝕作用	0			
周邊環境可能之影響	F: 潛勢區前之河岸侵蝕	1: 主要河道之攻擊岸	15	10	
		2: 次要河道(支流)之攻擊岸	10		
		3: 僅有河槽平行通過或有蝕溝侵蝕趾部	5		
	G: 滑動體下邊坡之坡型	4: 無河道直接通過或有階地存在	0		
		1: 係有滑動體下邊坡地形且坡度陡峭	15		
		2: 滑動體下邊坡地形稍有凸起但有些許侵蝕	10		
		3: 滑動體下邊坡地形稍有凸起但坡型平坦	5		
4: 滑動體下邊坡地形為平整斜坡面	0				
AHP總分			80	A	
AHP分級: $0 \leq D < 40 \leq C < 60 \leq B < 80 \leq A \leq 100$					

## 結論

本研究蒐集國際上針對大規模崩塌之分級方法，主要採用日本地滑學會之層級分析法，輔以挪威地質

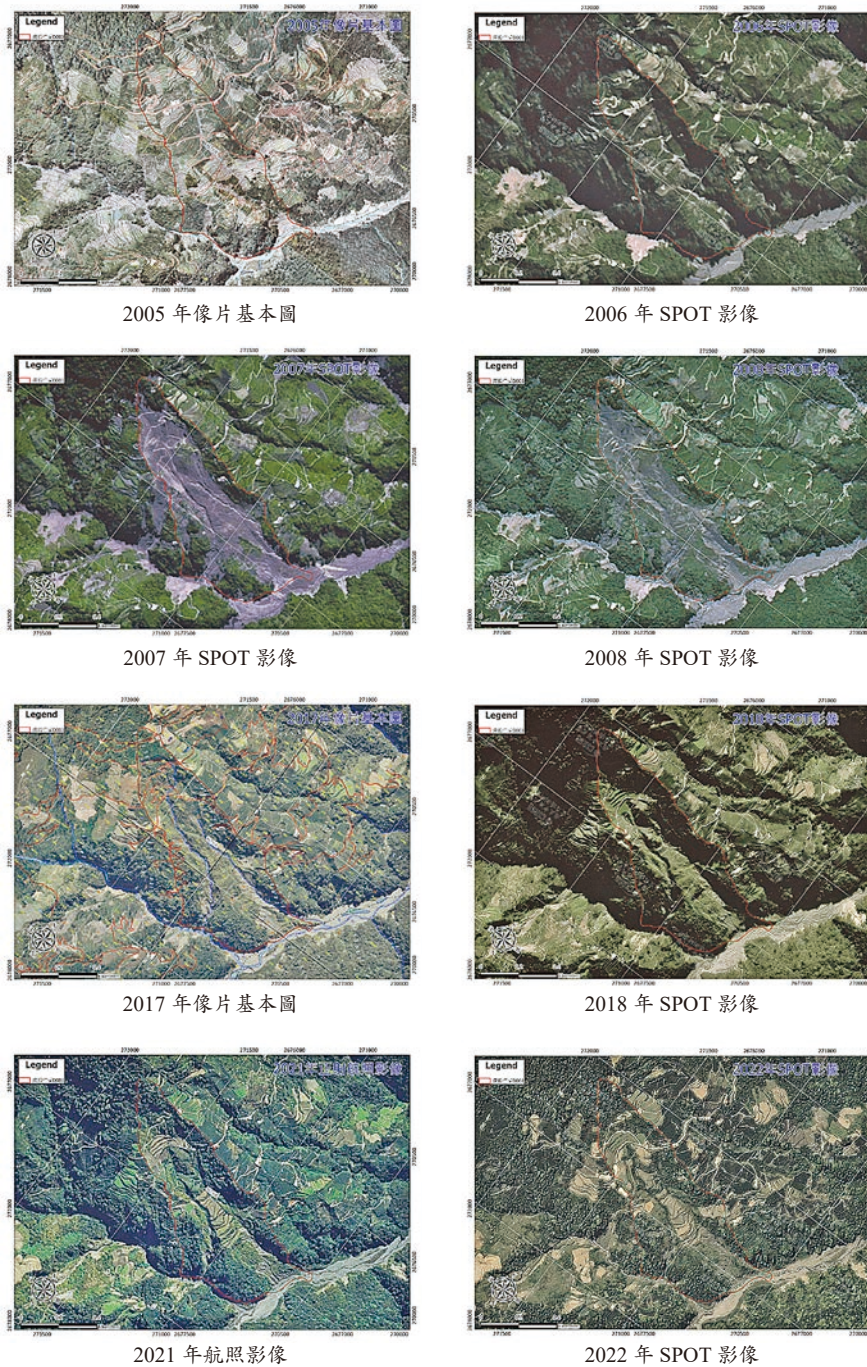


圖 11 南投仁愛 D003 時序性航遙測影像資料

調查所對於大型岩坡之分級方法及其他國內外文獻，並初步擬定適用於臺灣之大規模崩塌分級方法，並定名為崩塌地形特徵潛勢分級表 (LTFST)。根據已完成之南投縣境內 336 處潛在大規模崩塌分級結果並經初步統計分析後，可知 A 級者有 1 處、B 級有 29 處、C 級 132 處、D 級 174 處。潛在大規模崩塌評分之數量呈現鐘形分佈，而評分為 B 級和 C 級之潛在大規模崩塌，大多集中在力行產業道路沿線，和現況相符，說明本研究擬定之崩塌地形特徵潛勢分級表適用性良好，可

對潛在大規模崩塌進行正確評分和分級，也可合理呈現潛在大規模崩塌之潛勢等級。本研究也列舉典型崩塌特徵之 A 級潛在大規模崩塌—南投仁愛 D003，建議需持續密切關注後續活動性。本研究未來將持續精進崩塌地形特徵潛勢分級表，並應用於不同地區及不同類型之潛在大規模崩塌，並持續檢討改進評分表格，期能對於潛在大規模崩塌分級建立一套廣泛適用性之評分表，據以針對潛在大規模崩塌進行適當分級，以提供後續敏感區劃設或推廣防災教育使用。



## 參考文獻

- 李錫堤 (2011), 「草嶺大崩山之地質與地形演變」, 中華水土保持學報, 第四十二卷, 第四期, 第 325-335 頁。
- 經濟部中央地質調查所 (2000), 臺灣山崩災害專輯 (一), 經濟部中央地質調查所出版, 臺北。
- Zischinsky, U. (1969), "Über sackungen," *Rock Mechanics*, Vol. 1, No. 1, pp. 30-52.
- Nemcok, A. (1972), "Gravitational slope deformation in high mountains," *Proceedings of the 24th International Geological Congress*, Montreal, Canada, Vol. 13, pp. 132-141.
- Mahr, T. (1977), "Deep-reaching gravitational deformations of high mountain slopes," *International Association of Engineering Geologists Bulletin*, Vol. 19, pp. 121-127.
- Mahr, T. and Nemcok, A., "Deep-seated creep deformations in the crystalline cores of the Tatry Mts.," *International Association of Engineering Geologists Bulletin*, Vol. 16, No. 1, pp. 104-106 (1977).
- Radbruch-Hall, D.H. (1978), *Gravitational creep of rock masses on slopes*, In: *Developments in Geotechnical Engineering*, Elsevier, Amsterdam, Vol. 14, pp. 607-657.
- Bovis, M.J. (1982), "Uphill-facing (antisllope) scarps in the Coast Mountains, southwest British Columbia," *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 93, No. 8, pp. 804-812.
- Savage, W.Z. and Varnes, D.J. (1987), "Mechanics of gravitational spreading of steep-sided ridges (sackung)," *International Association of Engineering Geologists Bulletin*, Vol. 35, No. 1, pp. 31-36.
- Varnes, D.J., Radbruch-Hall, D.H., and Savage, W.Z. (1989), "Topographic and structural conditions in areas of gravitational spreading of ridges in the western United States," *United States Geological Survey Professional Paper*, pp. 1496.
- Chigira, M. (1992), "Long-term gravitational deformation of rocks by mass rock creep," *Engineering Geology*, Vol. 32, No. 3, pp. 157-184.
- Bovis, M.J. and Evans, S.G. (1995), "Rock slope movements along the Mount Currie "fault scarp", southern Coast Mountains, British Columbia," *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. 32, No. 12, pp. 2015-2020.
- Crosta, G. and Zanchi, A. (2000), "Deep seated slope deformations: huge, extraordinary, enigmatic phenomena. In: Landslides in Research, Theory and Practice," *Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides*, Finisterre, Spain pp. 351-358.
- Agliardi, F., Crosta, G., and Zanchi, A. (2001), "Structural constraints on deep-seated slope deformation kinematics," *Engineering Geology*, Vol. 59, No. 1-2, pp. 83-102.
- Stead, D. and Wolter, A. (2015), "A critical review of rock slope failure mechanisms: the importance of structural geology," *Journal of Structural Geology*, Vol. 74, pp. 1-23.
- 行政法人國家災害防救科技中心 (2015), 大規模崩壊災害防治行動綱領, 行政法人國家災害防救科技中心, 臺北。
- Hamasaki, E., Hirai, T., and Miyagi, T., (2003), "Evaluation of the probability of landslide occurrence by AHP based on the results of aerial-photo interpretation," *Proceedings of the 42nd annual meeting of Japan Landslide Society*, Toyama, Japan, pp. 19-22.
- Yagi, H. and Higaki, D. (2008), "Methodological study on landslide hazard assessment by interpretation of aerial photographs combined with AHP in the middle course area of Agano River, Central Japan," *Journal of the Japan Landslide Society*, Vol. 45, No. 5, pp. 358-366.
- 伊藤陽司、石丸聡、中村研、川上源太郎 (2014), 「北海道東部、津別地域での AHP 評価シートを用いた地すべり活動性の評価」, 日本地すべり学会誌, 第五十一巻, 第三期, 第 100-105 頁。
- 日本地すべり学会 (2021), 斜面防災危険度評価ガイドブック編集委員会, 斜面防災危険度評価ガイドブック—斜面と地すべりの読み解き方—, 朝倉書店, 日本。
- Hermanns, R.L., Oppikofer, T., Anda, E., Blikra, L.H., Böhme, M., Bunkholt, H., Crosta, G.B., Dahle, H., Devoli, G., Fisher, L., Jaboyedoff, M., Loew, S., Sætre, S. and Yugsi Molina, F.X. (2012), "Recommended hazard and risk classification system for large unstable rock slopes in Norway," *Norges geologiske undersøkelse (NGU) REPORT 2012.029*, 49p.
- Hermanns, R.L., Oppikofer, T., Anda, E., Blikra, L.H., Böhme, M., Bunkholt, H., Crosta, G.B., Dahle, H., Devoli, G., Fisher, L., Jaboyedoff, M., Loew, S., Sætre, S. and Yugsi Molina, F.X. (2013), "Hazard and risk classification for large unstable rock slopes in Norway," *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, Vol. 6, pp. 245-254.
- Chigira, M. (1992), "Long-term gravitational deformation of rocks by mass rock creep," *Engineering Geology*, Vol. 32, No. 3, pp. 157-184.
- Hungr, O., Leroueil, S., and Picarelli, L. (2014), "The Varnes classification of landslide type, an update," *Landslides*, Vol. 11, No. 2, pp. 167-194.
- 王文能 (2016), 崩壊の地質特性と防災, 中華防災學會出版委員會, 臺南。
- 經濟部中央地質調查所 (2017), 「山崩觀測技術發展應用研究 (3/4)」, 經濟部中央地質調查所報告, 臺北。
- 經濟部中央地質調查所 (2018), 「山崩觀測技術發展應用研究 (4/4)」, 經濟部中央地質調查所報告, 臺北。
- Cruden, D.M. and Varnes D.J., "Landslide types and processes," *United States Geological Survey Special Report*, 247, pp. 36-75 (1996).
- 經濟部中央地質調查所 (2013), 潜在大規模崩壊作業手冊, 經濟部中央地質調查所出版, 臺北。
- 侯進雄、費立沅、邱禎龍、陳宏仁、謝有忠、胡植慶、林慶偉 (2014), 「空載光達數值地形產製與地質災害應用」, 航測及遙測學刊, 第十八卷, 第二期, 第 93-108 頁。
- 濱崎英作、戸来竹佐、宮城豊彦 (2003), 「AHP を用いた空中写真判読結果からの地すべり危険度評価手法」, 第 42 回日本地すべり学会研究発表会講演集, 日本, 第 227-230 頁。
- 八木浩司、檜垣大助 (2009), 日本地すべり学会平成 14 年度第三系分布域の地すべり危険箇所調査手法に関する検討委員会, 「空中写真判読と AHP 法を用いた地すべり地形再活動危険度評価手法の開発と阿賀野川中流域への適用」, 日本地すべり学会誌, 第四十五巻, 第五期, 第 358-366 頁。
- 石丸聡、川上源太郎、田近淳、雨宮和夫、伊藤陽司、坪山厚美、中村研、横田寛、若山茂 (2013), 地すべり活動度評価手法マニュアル, 土砂災害軽減のための地すべり活動度評価手法マニュアル本編, 地方独立行政法人北海道立総合研究機構地質研究所, 日本, 第 1-27 頁。
- 伊藤陽司、石丸聡、中村研、川上源太郎 (2014), 「北海道東部、津別地域での AHP 評価シートを用いた地すべり活動性の評」, 日本地すべり学会誌, 第五十一巻, 第三期, 第 100-105 頁。

