

評估山坡地範圍劃出退縮距離於氣候變遷
下之影響

**Evaluating the Impact of Slope Land
Delineation Setback Distances under
Climate Change
成果報告書**

執行單位：國立中興大學

執行期間：114 年 2 月 至 114 年 12 月

計畫主持人：魏士超 助理教授

共同主持人：洪啟耀 副教授

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 114 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考)

摘要

本研究旨在探討氣候變遷對山坡地退縮距離劃定的影響，並提出改進策略。傳統退縮距離的計算主要基於坡度、坡高及地質條件等靜態因子。然而，隨著氣候變遷引發的極端天氣事件（如短時強降雨、逕流增強及地下水位波動）日益頻繁，這些靜態計算方法已不足以應對山坡地穩定性挑戰，可能導致災害風險增加，對生命財產及環境安全構成威脅。為了解決這些問題，本研究將引入氣候變遷相關的動態水文條件，整合現有地形、地質與水文數據，利用模擬極端降雨對坡地穩定性的影響，並進行動態情境分析。模擬內容涵蓋降雨強度、降雨延時、地下水位波動及滑動面變化等關鍵因子，以全面評估氣候變遷對退縮距離設計的影響。此外，本研究將系統整理並比較國內外相關法規，分析不同地區在山坡地範圍劃定及退縮距離設計上的經驗與科學依據，提出更具適應性的修訂建議，提升現行法規的前瞻性與實用性。本研究預期成果包括科學且實用的退縮距離計算模型、動態調適策略及法規修訂建議，有助於提升山坡地管理的科學性與韌性。

關鍵詞：山坡地劃出、退縮距離、數值模擬、氣候變遷

Abstract

This study examines the impact of climate change on setback distance design for slope land management and proposes adaptive improvement strategies. Traditional setback distances are based on static factors such as slope gradient, height, and geology. However, increasing extreme weather events—such as intense short-duration rainfall, runoff surges, and groundwater fluctuations—have rendered these static approaches insufficient, raising disaster risks. To address this, the study incorporates dynamic hydrological conditions related to climate change, integrating topographic, geological, and hydrological data to simulate extreme rainfall effects on slope stability. Key variables, including rainfall intensity, duration, groundwater changes, and sliding surface variations, are analyzed to assess their influence on setback design. Additionally, a comparative review of domestic and international regulations is conducted to identify best practices and inform adaptive regulatory recommendations. The outcomes will include a practical, science-based setback distance model, dynamic adaptation strategies, and policy suggestions to strengthen slope management resilience under climate change.

Keywords: Slope Land Delineation, Setback distance, Climate change, Numerical simulation

目次

摘要.....	I
Abstract.....	II
目次.....	III
表次.....	IIV
圖次.....	IIV
第一章 前言	1-1
第二章 計畫構想與目標	2-1
第一節 計畫目標	2-1
第二節 預定進度	2-1
第三章 工作內容及執行進度	3-1
第一節 國內法規沿革與討論	3-1
第二節 國外相關法規比較	3-8
第三節 數值模式建置	3-18
第四章 結論及建議	4-1
參考文獻.....	參-1
各期審查意見.....	意見-1

表次

表 2-1	計畫進度表	2-2
表 3-1	鄰接陡坡區自然均質坡度退縮距離表	3-3
表 3-2	鄰接陡坡區二種以上複合坡度退縮距離表	3-3
表 3-3	阿爾及利亞不同土壤在不同地震風險的退縮距離	3-15
表 3-4	國外退縮距離法規優劣勢比較	3-17
表 3-5	Plaxis 模型參數表	3-24

圖次

圖 3-1	建築技術規則第 262 條第 2 項第 2 款情形之示意圖	3-5
圖 3-2	華盛頓州 Snohomish 郡的崩塌危險區	3-9
圖 3-3	加州聖地牙哥市定義的陡峭坡地	3-10
圖 3-4	IBC 的建築退縮距離	3-11
圖 3-5	華盛頓州 Spokane 郡的建築退縮距離	3-11
圖 3-6	日本的土砂災害警戒區域	3-12
圖 3-7	阿爾及利亞在高地震帶中建築物靠近斜坡的退縮距離	3-15
圖 3-8	Plaxis 數值模型建置	3-23
圖 3-9	數值模擬結果(H=5 m, S=30 度, 地下水位=0)	3-27
圖 3-10	數值模擬結果(H=5 m, S=30 度, 地下水位=-10)	3-28
圖 3-11	數值模擬結果(H=5 m, S=30 度, 地下水位=-10+)	3-29
圖 3-12	數值模擬結果(H=5 m, S=45 度, 地下水位=-0)	3-30
圖 3-13	數值模擬結果(H=5 m, S=45 度, 地下水位=-10)	3-31
圖 3-14	數值模擬結果(H=5 m, S=45 度, 地下水位=-10)	3-32
圖 3-15	數值模擬結果(H=5 m, S=60 度, 地下水位=-0)	3-33
圖 3-16	數值模擬結果(H=5 m, S=60 度, 地下水位=-10)	3-34
圖 3-17	數值模擬結果(H=5 m, S=60 度, 地下水位=-10+)	3-35
圖 3-18	數值模擬結果(H=5 m, S=45 度, 高地下水位)	3-36
圖 3-19	數值模擬結果(H=5 m, S=45 度, 高地下水位, 高上升速率)	3-37
圖 3-20	數值模擬結果(H=5 m, S=45 度, 地下水位=-5)	3-38
圖 3-21	數值模擬結果(H=5 m, S=45 度, 地下水位=-5, 高上升速率)	3-39

圖 3- 22 數值模擬結果(H=5 m，S=45 度，地下水位=-6) 3-40

圖 3- 23 數值模擬結果(H=5 m，S=45 度，地下水位=-6，高上升速率)
..... 3-41

第一章 前言

台灣地處環太平洋地震帶，地勢險峻，丘陵與山地約佔全國總土地面積三分之二（農業部，2024），而可供密集開發的平原區則相對狹窄，多呈南北狹長型態，且與山地密切相連。隨著人口密度持續增加與經濟快速發展，土地利用壓力逐步向山區推進。都市擴張、交通建設與農墾行為頻繁進入地質敏感區域，使自然環境的緩衝空間大幅壓縮。台灣特殊的地質構造與脆弱的地層條件，長期受地震、颱風等災害影響，坡地開發本質上即存在極高風險，任何不當利用皆可能成為地質災害誘因，進一步加劇坡地管理的挑戰。

過去數十年間，不當的山坡地開發已屢次觸發嚴重災害，包括地層滑動、崩塌與土石流等（陳宏宇，1999），造成民眾生命財產損失與生態系統不可逆的破壞。相關災害不僅伴隨龐大的基礎設施維護與災後重建成本，亦帶來河道淤積、水土保持機能弱化等間接衝擊，長期侵蝕國土資源基盤，形成難以逆轉的社會經濟負擔。因此，如何科學劃定山坡地範圍與發展邊界，並藉由合理的土地利用規範降低災害風險，已成為水土保持與國土規劃的重要課題。

現行《水土保持法》中，已明定山坡地範圍之法定定義與劃設程序，包括標高100公尺以上地區，或標高不足100公尺但平均坡度達5%以上之地區，亦或具特定保育與利用需求的國私有土地。然而，隨著經濟發展與區域土地利用型態變遷，過去以靜態地形條件為基礎的山坡地範圍劃設，逐漸暴露出適用性與風險辨識上的局限。近年來，《山坡地範圍劃定及檢討變更作業要點》雖提供劃出申請機制，允許縣市政府針對部分坡度未達5%且不屬災害潛勢區域的土地申請劃出，但在劃出過程中，如何保留適當的安全退縮距離，以作為開發活動與潛在災害源之間的緩衝帶，仍缺乏與時俱進的科學依據與明確規範。

隨著全球氣候變遷加劇，極端氣候事件頻率與強度持續攀升，台灣山坡地面臨的災害威脅更趨嚴峻。觀測資料顯示，台灣年降雨日數呈現下降趨勢，但單日降雨量與短時強降雨頻率則顯著增加（賴栗葦 & 姜善鑫, 2003）。尤其在東部地區，降雨極端化趨勢尤為明顯。Chiang 等人（2011）預測，至21世紀末，台灣年最大降雨強度將從322毫米上升至371毫米，坡地不穩定區域範圍勢必擴大。林詠喬等人（2023）則指出，當有效累積雨量超過200毫米時，土石流發生機率顯著上升。此一氣候變遷趨勢將使坡地滑動與崩塌機制，從過往以長時間入滲為主的穩定性評估基礎，轉變為須考量短延時豪雨導致土壤飽和、孔隙水壓急速上升所引發的淺層崩塌與瞬時失穩現象。

在上述背景下，傳統以靜態條件設計的山坡地退縮距離，未能有效反映氣候變遷下的極端環境風險。相關國際研究亦指出，降雨模式變化、入滲量變動與地下水位波動等動態因子，對坡地穩定性具關鍵影響（Bracko et al., 2022）。特別是土壤滲透性低的地區，降雨期間安全係數（FS）將迅速下降，傳統穩定性模型易低估災害潛勢。此外，生態工程與坡面植被亦在坡地穩定性提升中扮演日益重要角色（Stokes et al., 2014），傳統設計卻未充分納入考量。因此，現行退縮距離計算模式需自靜態邊界條件轉型為動態調適架構，才能因應日益多變且極端的氣候環境條件。

有鑒於此，本研究計畫以「動態退縮距離設計」為核心，針對台灣山坡地在氣候變遷影響下的安全管理需求，提出具科學依據的調適策略。本計畫擬採以下三大研究方向：

1. 資料收集與法規比對：透過與不同國家的相近法規進行比對，確認各國在劃出範圍上的規範是否有可參考的部分。

- 2.極端情境模擬與穩定性分析：收集相關現地資料，運用極端降雨模擬，以數值模擬計算，量化分析動態環境因子對坡地滑動面發展與穩定性的影響，並結合歷史災害數據進行模型驗證。
- 3.退縮距離優化與政策建議：採用多目標優化方法，建立符合極端氣候條件之動態退縮距離設計方法，對比傳統靜態規範提出修訂建議，強化法規適用性與土地利用安全性。

本研究不僅回應台灣防災減災與坡地管理之當前需求，更符合《仙台減災綱領》所倡導之風險治理精神，及聯合國2030年永續發展目標（SDGs）第11與第13目標之核心理念。透過科學化、前瞻性的坡地範圍劃設與退縮距離設計，本計畫將為台灣邁向氣候韌性國土治理與永續發展奠定堅實基礎。

第二章 計畫構想與目標

本計畫旨在回應氣候變遷下台灣山坡地災害風險升高的挑戰，透過整合地形、水文、地質與極端氣候資料，採用科學模擬與穩定性分析方法，重新檢視並優化現行山坡地退縮距離設計。計畫聚焦於極端降雨、地下水位變化等動態環境因子的影響，分析傳統靜態設計的侷限性，並提出兼顧開發安全與國土保育的動態調適策略。最終目標為建立符合極端氣候情境的山坡地管理與土地利用規範，提升法規適用性與坡地防災韌性，作為台灣國土永續發展的重要治理依據。

第一節 計畫目標

全程目標

本計畫的目標是檢討現行山坡地範圍劃定中退縮距離的計算方法，並透過引入水文條件與氣候變遷因素，改進傳統以坡度、坡高及地質狀況為主的靜態評估模式。結合數值模擬與國內外法規的比較分析，本計畫旨在提出更科學化且具適應性的退縮距離設定原則，為修訂相關法規提供依據，提升山坡地管理的安全性與韌性，應對氣候變遷帶來的挑戰。

年度目標

本計畫為單一年度計畫，年度目標與全程目標相同。

第二節 預定進度

本計畫之執行項目主要分為兩大部分，分別為（1）法規收集與比較分析，以及（2）資料整合後之數值計算與模擬作業。本計劃已於期中階段完成法規收集與比較分析，並且於期中階段之後進行數值模擬

建置，參考委員在期中階段所提供的建議，本計劃採用Plaxis數值模式進行計算比對，驗證目前現行法規與數值模擬的結果，並且針對其結果進行解讀。

表 2-1 計畫進度表

重要工作項目	工作比重	114 年			備註
		～期中	～10 月	～12 月	
收集國外文獻及相關法規	15%				
收集數值模式相關資料	10%				
建置數值模式	20%				
執行氣候變遷下模擬	30%				
製作成果報告書					

(資料來源：本計畫製作)

第三章 工作內容及執行進度

第一節 國內法規沿革與討論

在深入討論山坡地退縮距離的設計原則與方法之前，應首先釐清「山坡地」的法律定義及其適用範圍，這不僅是進行後續管理與風險評估的基礎，也是設計退縮距離與安全緩衝帶的重要依據。根據我國《水土保持法》之相關規定，山坡地係指符合下列條件之一，並經由中央或直轄市主管機關依程序劃定、報請行政院核定公告之土地：

1. 標高在一百公尺以上者。
2. 標高未滿一百公尺，而其平均坡度在百分之五以上者。

此外，根據法規明文，國有林事業區、試驗用林地與保安林地雖多位於山區，但基於其特殊保育與管理屬性，並不納入一般山坡地的劃定範圍內，另依專屬規定進行管制。

《水土保持法》更進一步指出，山坡地之使用應依據地形、地質、植生、生態條件及資源保育需求，並配合區域或都市計畫等相關法令，劃定為適當之土地使用分區，以管控開發密度與利用型態。法律同時授權主管機關於發生或預見災害風險、公共安全隱患時，得依法限制開發行為，並得強制實施必要之緊急防災處置，所需經費則由開發行為人或土地使用人負擔，以落實「使用者付費」與「加害者負擔」之原則。

在山坡地範圍劃定的具體操作面，《山坡地範圍劃定及檢討變更作業要點》第五點明確規範：針對已公告為山坡地範圍之土地，若因自然形勢變化、行政區域調整或保育與利用需求變動，得依程序提出檢討並辦理劃出作業。然而，該作業要點亦特別強調，若劃出區鄰接潛在

高風險地區，則必須設置退縮區，且退縮範圍不得納入劃出面積內。此舉旨在於高風險邊界預留安全緩衝空間，避免開發行為與災害源直接接觸，降低滑動、崩塌等地質災害之影響範圍。

其中，退縮距離的具體規定如下：

1. 與特定水土保持區臨接者，應自境界線退縮四十五公尺以上。
2. 劃出區土地鄰接自然均質坡度十五度以上且邊坡高度超過五公尺範圍者，應依其地質自境界線退縮如表 3-1 規定之距離。陡坡區含二種以上之複合坡度且邊坡高度超過五公尺範圍時，其應退縮距離依表 3-2 公式計算之。劃出區與陡坡區間存在無須退縮之緩坡區時，其退縮距離得扣除該緩坡區之寬度。

其中所稱之特定水土保持區，依據《水土保持法》第十六條所界定，涵蓋如水庫集水區、主要河川集水區等需特別保護之區域，以及海岸與湖泊沿岸、水道兩岸、風蝕嚴重之沙丘地或沙灘，另包括坡度陡峭且具公共安全風險之山坡地，以及其他經主管機關認定對水土保持具有重大影響之地區。上述區域多屬環境高度敏感地帶，兼具保育與防災雙重功能，因此在退縮距離設計時，須特別將此類區域納為優先保護與嚴格管理對象。

表 3-1 鄰接陡坡區自然均質坡度退縮距離表

陡坡區之平均坡度(θ)	地質	應退縮距離 (自坡頂緣內計或坡腳外計之範圍)
$\theta \geq 60^\circ$	砂礫層	坡高(H) $\times 1 \times 1.5$
	岩盤	坡高(H) $\times 2/3 \times 1.5$
$45^\circ \leq \theta < 60^\circ$	砂礫層	坡高(H) $\times 2/3 \times 1.5$
	岩盤	坡高(H) $\times 1/2 \times 1.5$
$15^\circ \leq \theta < 45^\circ$	砂礫層	坡高(H) $\times 1/2 \times 1.5$
	岩盤	坡高(H) $\times 1/3 \times 1.5$

(資料來源：全國法規資料庫)

表 3-2 鄰接陡坡區二種以上複合坡度退縮距離表

地質	應退縮距離(自坡頂緣內計或坡腳外計之範圍)
砂礫層	$D = Ah \times 1 + Bh \times 2/3 + Ch \times 1/2 \times 1.5$ 式中： D：應退縮距離。 Ah：坡度 $\geq 60^\circ$ 之坡高。 Bh： $45^\circ \leq$ 坡度 $< 60^\circ$ 之坡高。 Ch： $15^\circ \leq$ 坡度 $< 45^\circ$ 之坡高。
岩盤	$D = Ah \times 2/3 + Bh \times 1/2 + Ch \times 1/3 \times 1.5$ 式中： D：應退縮距離。 Ah：坡度 $\geq 60^\circ$ 之坡高。 Bh： $45^\circ \leq$ 坡度 $< 60^\circ$ 之坡高。 Ch： $15^\circ \leq$ 坡度 $< 45^\circ$ 之坡高。

(資料來源：全國法規資料庫)

從上述法規規範與設計原則來看，目前台灣山坡地退縮距離的設定，主要仍是依據地形與地質等靜態條件進行設計。例如，依據邊坡的高度、坡度及地質類型，套用既有標準來劃設相對應的安全緩衝帶。這類設計模式的基本假設，是坡地結構及環境條件處於相對穩定、可預測的狀態。在現行規範中，為提高安全性，通常會在理論計算基礎上乘以1.5的安全係數，作為保守設計的一環。然而，這個傳統的保守設計係數是否足以應對現今乃至未來因氣候變遷所帶來的極端降雨增

加、水文條件波動或邊坡結構劣化等多重風險，則仍有待進一步實證與科學驗證。

事實上，過去以靜態條件為依據的退縮距離設計，在早期坡地開發風險相對可控的環境下，確實能提供一定程度的安全保障。然而，當面臨極端氣候事件日益頻繁、降雨模式快速轉變以及邊坡物理性質隨時間老化惡化等變動因子影響時，單純套用固定係數的靜態設計，顯然無法全面反映真實風險。例如，暴雨入滲短時間內提升坡體孔隙水壓，可能導致土體抗剪強度快速衰減，造成滑動面擴展與失穩範圍擴大；地下水位波動亦可能觸發深層滑動，影響遠超過原設計假設。這些因素均說明，現行退縮距離設定所採用的安全係數，其保守程度是否足夠，已成為實務管理與政策制定上的潛在隱憂。

在坡地開發行為的技術規範層面，我國《水土保持技術規範》第167條亦已規定，針對開挖邊坡的坡頂與填方邊坡的底部，應與鄰界線保留緩衝帶，禁止整平開發，並應加強植生覆蓋以維持坡面穩定。該緩衝帶寬度原則上應為水平距離10公尺以上，或至少為人工擋土構造物高度1.5倍的水平距離。即便某些特殊用途土地（如農舍或依法規定之建築用地）得以豁免緩衝帶不得整平之限制，仍要求開發後必須採取覆蓋植生等穩定措施，以補強邊坡保護功能。由此可見，目前技術規範在設計理念上，已具備「預留安全空間」的基本概念，藉由保留適當距離與加強植生等措施，來減緩開發行為對坡面穩定性與地質環境造成的直接衝擊。

然而，值得關注的是，現行緩衝帶寬度的設定，同樣是以靜態條件為基礎，尚未充分納入極端氣候與環境變異的動態影響。隨著氣候變遷造成降雨特性與水文條件劇烈變動，傳統以「結構性特徵＋固定安全係數」為依據的設計模式，恐難以確保高風險區域的長期安全。因此，

未來針對退縮距離與緩衝帶之設計，應思考如何從靜態設計轉型為具動態調適能力的科學化管理機制，例如：考量降雨延時、入滲變異、地下水位變動與邊坡材料劣化等時間變動因素，以反映氣候變遷對坡地穩定性的實際影響，進而提出更具前瞻性與韌性的安全距離設計方案。這將是坡地安全管理與國土規劃需面對的下一階段重要課題。

另一方面，從建築設計規範的角度來看，《建築技術規則建築設計施工編》第262條第2項第2款亦提到，當山坡地具地質結構不良、地層破碎或為順向坡，且有滑動風險時，則建築物應自滑動面透空處起算，設置足夠的退縮距離。其退縮距離可依下列圖和公式計算：

$$D > \frac{H}{2 \tan \theta} \quad \text{式 3-1}$$

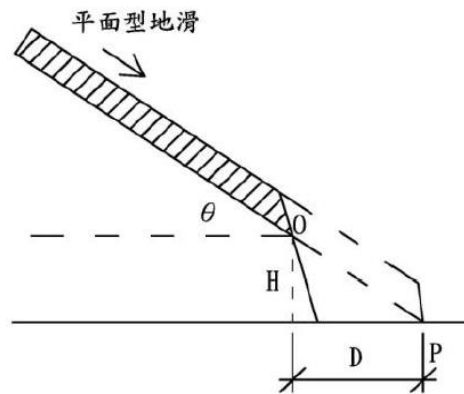


圖 3-1 建築技術規則第 262 條第 2 項第 2 款情形之示意圖

其中，D為自滑動面透空處起算之波及距離（單位：公尺）， $\tan \theta$ 為岩層坡度，H為滑動面透空處的高度（單位：公尺）。

第264條亦規範，山坡地建築物至擋土牆坡腳之間應有一定的退縮距離，以防止基礎結構受到坡面滑動或土壓影響，保障建築物安全，其公式如下：

A.擋土牆上方無構造物載重者：

$$D_1 \geq \frac{H}{2}(1 + \tan \theta) \quad \text{式 3-2}$$

B.擋土牆上方有構造物載重者

$$D_2 \geq \frac{H}{2} \left(1 + \tan \theta + \frac{2Q}{r_1 H^2} \right) \quad \text{式 3-3}$$

C.擋土牆後方為順向坡者

$$D_3 \geq \frac{H}{2} \left(1 + \tan \theta + \frac{2Q}{r_1 H^2} \right) + \frac{3L}{H} \left(\frac{2H \tan \theta}{\sqrt{1 + \theta}} \right) - C \quad \text{式 3-4}$$

D_1 、 D_2 、 D_3 為建築物外牆及各點與擋土牆坡腳之水平距離（m）， H 為第一進擋土牆坡頂至坡腳之高度（m）， θ 為第一進擋土牆上方邊坡坡度， Q 為擋土牆上方 $D1$ 範圍內淺基礎構造物單位長度載重（t/m）， r_1 為擋土牆背填土單位重量（t/m³）， C 為順向坡滑動界面之抗剪強度（t/m²）， L 則為順向坡長度（m）。

為因應氣候變遷下極端降雨與地震等事件所帶來的災害風險升高，政府主管機關亦逐步檢討並調整現行坡地管理規範。例如，農業部近期已修正《山坡地範圍劃定及檢討變更作業要點》，針對劃出區鄰接高風險地區的退縮距離規定進行強化，採納工程構造物設計中的安全係數概念，將原規定距離加嚴為1.5倍。此舉體現主管機關對於氣候變遷與災害風險增加的重視，亦反映管理機制朝向更加保守與審慎的方向調整。然而，這項修正是否足以確保坡地周邊土地的實質安全性，仍需進一步科學驗證與分析。本計畫即將針對新修正後的退縮距離規範進行安全性分析與適用性評估，以確認強化規範是否能有效降低邊坡劃出後對周邊土地安全帶來的負面衝擊，避免將土地釋出後轉變為潛在災害風險源。

深入檢視現行法規的架構可以發現，這些退縮距離設計規範的**科學基礎**多建立於過去氣候條件相對穩定的時代。當時的核心設計邏輯，是將環境背景視為**靜態且恆定**的系統，將坡地視為一種「固定穩定性」的地物單元。具體而言，《山坡地範圍劃定及檢討變更作業要點》中所採用的退縮距離計算公式，所納入的變數僅包括**幾何條件**（如坡高 H 、坡度 θ ）與**材料性質**（如土壤類型、摩擦角等），完全未納入**降雨、入滲、孔隙水壓等動態水文參數**。這在過去降雨特性穩定、水文變異性較低的環境條件下，確實有其操作上的合理性與工程適用性。然而，在當前極端氣候加劇、水因子逐步成為坡地災害主要驅動因子的情境下，原有的靜態條件設計模型已難以反映真實風險。

就現況而言，主管機關採用**1.5倍修正係數**強化退縮距離，雖然在一定程度上提高了保守性，但這種「線性放大」的做法，是否能對應高度變異且複雜的坡地失穩過程，仍存有疑慮。事實上，現行法規所欠缺的並非單一數值上的參數補強，而是整套評估邏輯必須回歸到坡地災害的**物理觸發本質**：即以**降雨為主導**的水文驅動機制。將坡地安全性視為靜態屬性的思維，在氣候變遷衝擊下，已無法反映坡地穩定狀態會**隨時間與環境條件變動**而持續演變的事實。

在學術研究方面，Wei等人（2018）曾透過數值模型模擬坡地在降雨過程中的安全係數變化。模擬初期，各網格安全係數（FS）均大於1，代表坡地處於穩定狀態。但隨著降雨入滲、孔隙水壓上升，局部區域的安全係數開始下降，當FS降至1以下，則該區域進入不穩定狀態，並逐步擴展形成潛在滑動面。這類研究清楚揭示：**坡地穩定性並非固定狀態，而是隨降雨與地下水動態變化而演化的過程**。這亦代表，一塊在平時視為安全的坡地，在極端降雨條件下，其穩定狀態可能於短時間內發生轉變，成為致災地段。

因此，目前法規所採的「安全/不安全」二元分類模式，以及將坡地視為具固定穩定屬性的管理思維，顯然無法應對這種**隨時間演變且高度動態**的災害風險。此類靜態框架下的風險劃分機制，容易導致一種**虛假的安全感**：當土地在法規上被劃出、開發行為被允許，開發者與使用者便認為該地區處於「安全」狀態，卻忽略在極端氣候事件發生時，該區可能瞬間轉變為致命危險區域。因此，現行法律制度與土地管理策略，存在**明顯的風險評估落差與管理缺口**。針對此一問題，本計畫將透過**動態風險模擬**方法，結合降雨入滲、地下水變動與坡面劣化等多重影響因子，建立以**物理過程為本質**的風險分析模型，從科學層面釐清動態風險演變對退縮距離設定的實質影響，並據此提出現行法規所缺失之補強策略。此一研究目的，正是希望彌補靜態法規與動態風險之間的落差，避免將開發行為誤導進入隱性高風險區，為國土安全與人民生命財產提供更科學、更有效的保護。

第二節 國外相關法規比較

為建構一套兼具**台灣在地環境特性與國際風險治理趨勢**的坡地管理政策建議，本研究特別針對國際間在**退縮距離設計原則與坡地災害管理制度**上的實踐經驗進行系統性檢視與比較。透過分析不同國家在山坡地劃設、安全緩衝帶規劃及災害風險控管上的做法，可以發現各國均依其地理環境、災害型態與社會制度採取了差異化的管理策略。

一、美國

美國對於坡地開發的規範因州、郡、市而異，但普遍採用劃定危險區、定義緩衝區（退縮距離）及個案審查的方式進行管理。

（一）華盛頓州 Snohomish 郡：

該郡將「崩塌危險區 (Landslide Hazard Area)」定義為因地質、地形、水文等因素綜合作用，可能發生大規模土石運動的地區。其認定標準包括：

1. 歷史崩塌地區：有明顯的崩塌或沖積證據。
2. 具潛在風險的坡地：坡度大於 33%，且有滲水地質接觸面。
3. 特定地形區域：易受土石流或洪水影響的峽谷或沖積扇。

為確保安全，開發行為必須與危險區邊緣保持足夠的緩衝距離。其標準退縮距離依坡高 (Height) 計算：

- 坡頂 (Top of slope)：退縮距離為坡高的 1 倍。
- 坡趾 (Toe of slope)：退縮距離為坡高的 2 倍。

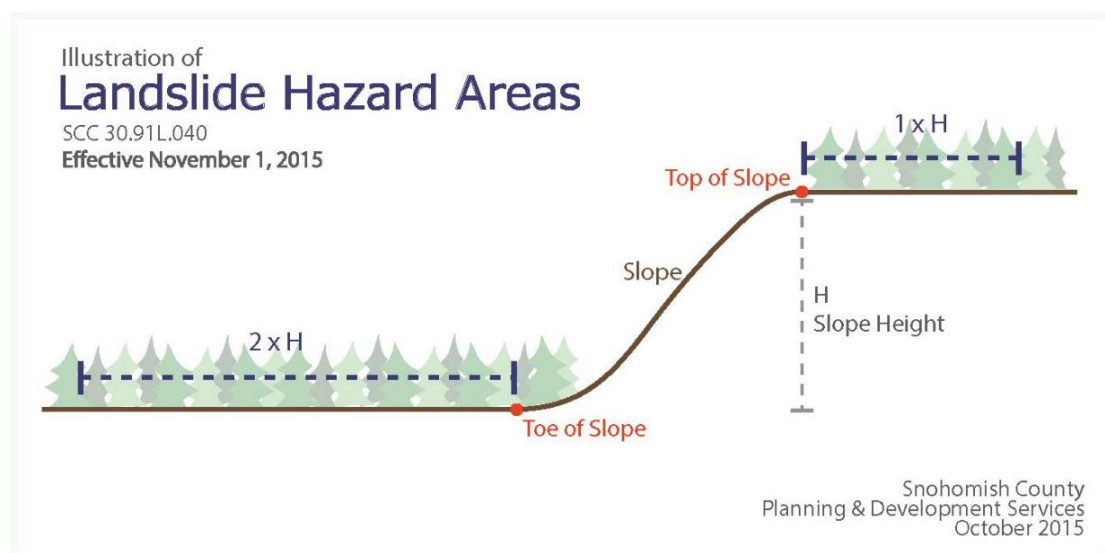


圖 3-2 華盛頓州 Snohomish 郡的崩塌危險區

（二）華盛頓州 Edmonds 市：

同樣位於華盛頓州，Edmonds 市的規範與 Snohomish 郡相似但略有不同。其緩衝區要求為：

- 坡頂：退縮距離為坡高的 1/3 或 50 英尺（取較大值）。
- 坡趾：退縮距離為坡高的 1/2 或 50 英尺（取較大值）。

(三)加州 聖地牙哥市 (San Diego)：

聖地牙哥市針對「陡峭山坡 (Steep Hillsides)」的開發進行管制，其定義為：

- 高度 50 英尺以上，且坡度大於 25% 的坡地。
- 高度 10 英尺以上，且坡度大於 200% 的坡地。

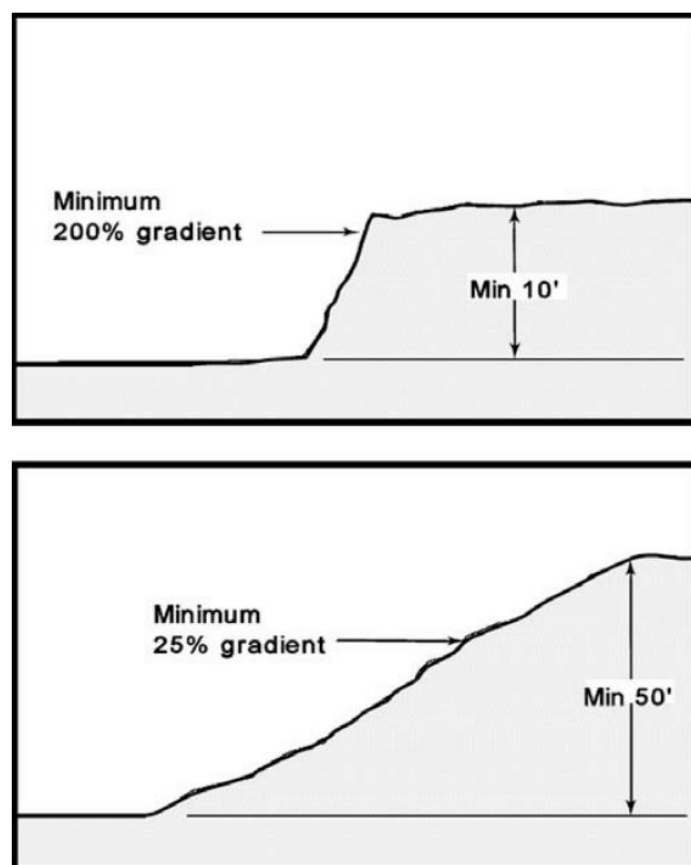


圖 3-3 加州聖地牙哥市定義的陡峭坡地

開發的主要原則是盡量避免擾動這些敏感區域。若開發案無法完全避免，則需進行個案審查，以確保開發行為被安排在基地中最不易受影

響的位置。一項明確的規定是，若開發行為距離陡坡坡頂 40 英尺以上，則不需申請陡坡開發許可。

(四)國際建築規範 (International Building Code, IBC)：

作為許多地區建築法規的範本，IBC 針對坡度 33% 以上的陡坡，提出了建築物應有的退縮距離建議，此規範與華盛頓州 Spokane 郡的規定相似：

- 坡頂：退縮距離應大於或等於坡高的 $1/3$ ，但最多不超過 40 英尺。
- 坡趾：退縮距離應大於或等於坡高的 $1/2$ ，但最多不超過 15 英尺。

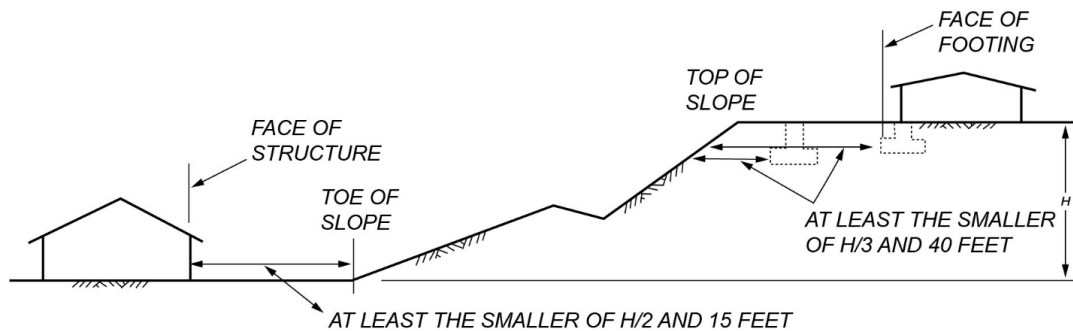


圖 3-4 IBC 的建築退縮距離

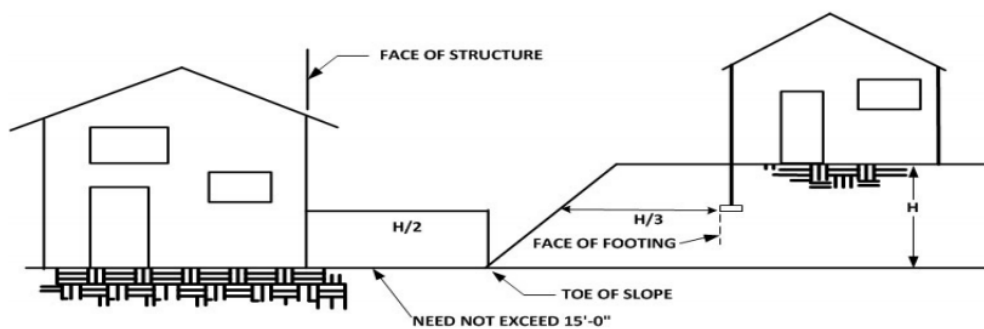


圖 3-5 華盛頓州 Spokane 郡的建築退縮距離

二、日本

日本針對山坡地開發，主要透過劃定「土砂災害警戒區域 (Sediment disaster hazard zones)」和「土砂災害特別警戒區域 (Sediment disaster special hazard zones)」來進行管理，並非直接設定通用的退縮距離，而是根據這些區域的特性實施不同的開發限制與預警措施，如下圖所示。

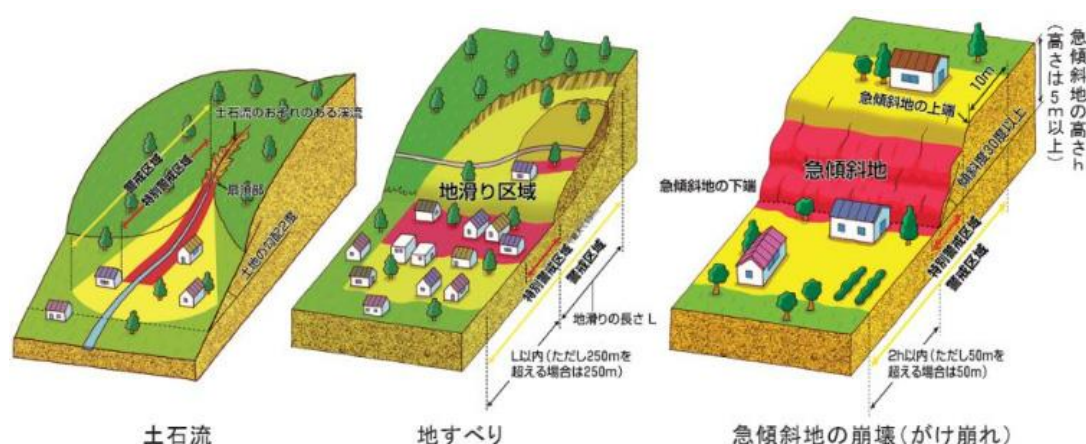


圖 3-6 日本的土砂災害警戒區域

(一)土砂災害警戒區域 (Yellow Zone)：

此區域屬於中風險，滑坡活動可能對安全構成威脅，因此需要建立警報和疏散系統，允許在該區域內進行施工，但受到監控和限制。指定基準包含以下條件的區域：

- 坡度在 30 度以上、高度在 5 公尺以上的斜坡區域。
- 距離坡頂 10 公尺以內的區域。
- 距離坡趾坡面高度 2 倍以內（若超過 50 公尺，則為 50 公尺）的區域。

(二)土砂災害特別警戒區域 (Red Zone)：

此區域被認定為高風險，有嚴重的滑坡風險，可能造成人員傷亡或建築物損失。在該區域內的開發受到嚴格限制，並且必須符合嚴格的結構安全要求。

三、加拿大

加拿大對於邊坡安全並無全國統一的規範，而是由各省及地方政府自行制定標準。其風險管理方式在過去數十年間，從傳統的「安全係數」分析，逐步演變為更複雜的「量化風險評估」(Quantitative Risk Assessment, QRA)。這套評估體系不僅考慮致災因子（如崩塌）發生的機率，也納入其可能造成的後果（如生命、財產損失），從而更科學地進行土地利用規劃與決策。

英屬哥倫比亞省 (British Columbia, BC) 是加拿大坡地風險管理的先驅。1973年，該省最高法院一項標誌性的判決，以未來可能發生災難性崩塌為由，阻止了一項住宅開發案，此案被視為加拿大首次基於風險的判決。此後，BC省政府開始要求開發案需由地質專家評估，並提交報告確保土地可被安全使用。為此，提出了「50年內發生機率10%」（即重現期約475年）作為可接受風險的初步參考指引。

(一)北溫哥華地區 (District of North Vancouver, BC)

在 2005 年發生致命性土石流後，該地區與工程公司合作，進行了加拿大首次全面的量化風險評估，並在 2009 年正式採納了針對「個人風險」的容忍標準。其標準參考香港，將新建住宅區的個人死亡年機率上限定為十萬分之一。

(二)坎莫爾鎮 (Town of Canmore, AB)

在 2013 年經歷了嚴重的洪水與土石流災害後，該鎮不僅採納了與北溫哥華相同的個人風險標準，還引入了基於 F-N 曲線的「社會風險」容忍標準，成為加拿大首個採納具法律效力社會風險標準的司法管轄區。社會風險評估考量單一事件造成多人死亡的可能性，當潛在死亡人數越高時，所能容忍的發生機率就必須越低。

四、其他國家案例

(一)澳洲：

澳洲的規範中提到了針對河流沿岸區域的退縮距離建議，例如 Barling & Moore (1994) 的公式為退縮寬度 $D = 8 + 0.65 \times \text{坡度 (m)}$ ，這意味著平地為 8 公尺退縮，10% 坡度為 15 公尺退縮。

(二)阿爾及利亞(Algeria)：

研究說明，建物對邊坡穩定性的影響範圍因土壤類型而異。對於砂質土壤，影響範圍自邊坡高度的兩倍 (2h) 處開始；對於黏土，影響範圍則為邊坡高度的一倍 (h)。並針對高震度地震區的建物設置提出建議：

- 禁建區：自坡頂起算，水平距離坡高一半 ($H/2$) 的範圍內禁止開發。
- 穩定性研究區：在坡高一半至 1.5 倍 ($1.5H$) 的範圍內，需進行邊坡穩定性研究。

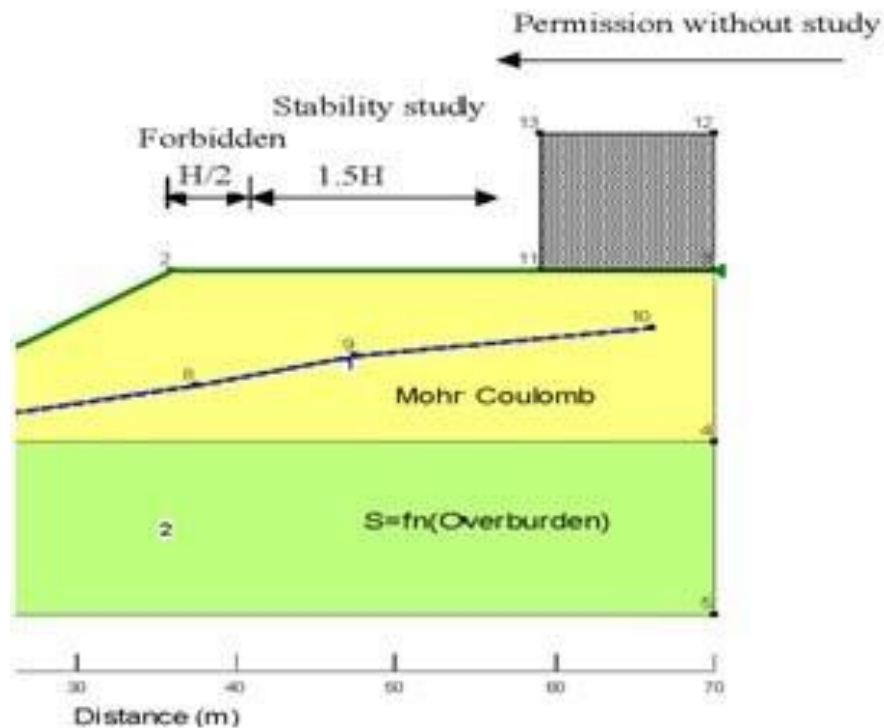


圖 3-7 阿爾及利亞在高地震帶中建築物靠近斜坡的退縮距離

針對中度地震活動區，上述建議的退縮距離可減少 50%。研究也根據不同的土壤類型與地震風險，提供了退縮距離的建議：

表 3-3 阿爾及利亞不同土壤在不同地震風險的退縮距離

Nature Soils	Critical distance (sliding in surface and deep) for medium seismic action.	Critical distance (sliding in surface and deep) for high seismic action.
Sand	(0.3 to 0.4)H	(0.4 to 0.5)H
Clay	(0.2 to 0.3)H	(0.3 to 0.4)H
limestone	(0.1 to 0.2)H	(0.2 to 0.3)H

(資料來源：Kechebour & Nechnech, 2013)

在坡地管理與退縮距離設計方面，美國各州與地方政府普遍採取「幾何規範搭配個案審查」的模式進行管理。以華盛頓州為例，Snohomish 郡將坡地依地形與地質條件劃為「崩塌危險區」，並依坡高設定退縮距離（坡高的1至2倍），強調以簡易幾何計算作為安全設計依據。

Edmonds 市與加州聖地牙哥市則採取不同坡度與高度條件的設定，並結合個案審查制度，針對特殊基地進行安全分析與管理調整。此外，美國廣泛參考國際建築規範（IBC）作為統一設計指引。整體而言，美國的做法兼顧實務操作與地方調適性，屬於制度彈性高且易於執行的管理模式。然而，其以靜態幾何條件為基礎，對氣候變遷所引致的動態風險變化考量不足，科學性層面相對簡化。

日本則以「風險區劃與分級管理」為坡地管理核心，不直接規範通用退縮距離，而是透過劃設「土砂災害警戒區域」與「特別警戒區域」進行差異化管理。針對不同風險等級區域，日本針對開發行為施以監控、限制或強制防災工程措施，同時配合警報與疏散系統，強調災害風險的識別與預警。日本的模式特點是風險分類清晰、管理分層明確，對於公共安全與開發行為風險控管具實質效果。然而，從設計面來看，日本並未發展具統一公式的退縮距離規範，偏重行政管制與區域管理策略，缺乏量化的安全距離設計依據，限制其技術標準的普遍性與科學依據。

相較於美日兩國，加拿大的坡地管理制度具備更高的科學性與前瞻性。該國以「量化風險評估（QRA）」為核心，將致災機率與損失後果納入土地使用規劃與決策依據。特別是在英屬哥倫比亞省與坎莫爾鎮，已採用基於死亡風險與F-N曲線的個體與社會風險標準，作為開發許可與風險管理的判斷門檻。加拿大的模式強調動態風險因素與後果分析，並建立風險容忍標準，科學依據與技術深度遠高於傳統安全係數設計。然而，QRA對專業知識與數據品質要求極高，操作與落實成本亦相對較大，較適用於高風險或特殊開發案件的風險管控。

其他國家亦各有特色，澳洲依地形坡度設計簡易退縮距離，強調規範的操作性與地方適應性。阿爾及利亞則針對不同土壤類型與地震區條

件，分別設定禁建區與穩定性研究區，其設計邏輯將地震影響與地質敏感性納入考量，兼顧在地條件與災害風險。

整體而言，各國坡地管理制度雖因地制宜，但其核心精神皆在於危險區識別、風險評估與安全距離設計的結合運用。相較之下，美國與澳洲偏重操作性，採用靜態幾何條件設計退縮距離；日本重視行政管理與風險區劃，管理上具有系統性與完整性；加拿大則展現全球領先的風險量化與決策科學導向。

表 3-4 國外退縮距離法規優劣勢比較

比較項目	美國	日本	加拿大	阿爾及利亞
管理模式	幾何式規範＋個案審查	風險區劃分級管理	量化風險評估 QRA	綜合環境條件退縮設計
風險識別	靜態條件＋簡易識別	災害分區＋警戒系統	動態機率＋後果評估	地質/地震＋坡度經驗法則
操作性	高（地方政府調適）	中（分級行政管理）	低（需高技術與數據支撐）	高（簡易公式或經驗規範）

（資料來源：本團隊彙整）

綜整以上，對台灣而言，未來坡地管理制度的優化可從以下數個方面著手：

1. 引入動態風險因子作為退縮距離設計依據

目前台灣法規多依地形、地質等靜態條件設計退縮距離，未能反映氣候變遷下降雨型態改變及地下水變動等動態環境因素。未來應學習加拿大以物理機制驅動的風險評估框架，將降雨入滲、孔隙水壓、水位變動等關鍵水文參數納入計算公式或數值模擬，以建立科學且動態調適的退縮距離設計方法。

2.展坡地風險分區與分級管理制度

借鏡日本「土砂災害警戒區劃」制度，建立坡地風險分級與分區管理，對於不同風險等級區域設定差異化管理措施與開發管制層級，搭配監測與預警系統，實現**源頭管理**與動態監控。

3.參考國際個人與社會風險標準，建立可接受風險指標

學習加拿大採用個人死亡年風險限值與社會風險 F-N 曲線，導入定量風險容忍標準，並將其作為坡地開發許可或劃出審議的判斷依據，提升政策決策的**透明度與科學性**。

4.建立分層審查與個案風險評估機制

結合美國的**個案審查制度**與彈性管理原則，對高風險或特殊坡地區位採取**個案風險評估與審查流程**，避免固定式規範造成適用性不足或過度保守設計。

第三節 數值模式建置

一、Plaxis 數值模式說明

為因應氣候變遷下極端降雨情境對山坡地穩定性所可能造成的影響，本研究選用國際上廣泛應用且具高度可靠性的有限元素模擬軟體 **PLAXIS** 作為主要數值模擬平台。**PLAXIS** 為一專門針對地工工程問題所設計的分析工具，最早由荷蘭 Delft University of Technology 開發，目前由 Bentley Systems 持續維護與更新。其核心為有限元素法（Finite Element Method, FEM），可精確模擬複雜地質條件與水文變化下的應力—變形行為，為當前國際坡地風險評估與邊坡穩定分析領域最具代表性的軟體之一。

PLAXIS 提供 2D 與 3D 模擬環境，能處理不同地層厚度、非線性土壤性質、時間變化水位、施工順序與外力載重等多重變數，是評估降雨觸發型坡地災害之動態演化過程的重要工具。與傳統極限平衡法（Limit Equilibrium Method, LEM）不同，PLAXIS 不需假設預設滑動面，而是透過應力場變化與材料強度折減技術，自動推求最小安全係數（Factor of Safety, FS）及潛在滑動區，能更真實反映自然坡地在極端水文條件下的失穩行為。

本研究擬針對氣候變遷下不同重現期（如 50 年、100 年）之設計降雨事件，模擬降雨入滲所引發的孔隙水壓升高與地下水位變動，並評估其對坡地穩定性之影響。PLAXIS 支援**穩態與非穩態滲流分析（Steady / Transient Flow）**，可模擬降雨期間水分如何進入地層、在各材料間擴散與累積，進而影響有效應力與安全係數，是目前少數可進行完整「水—力耦合分析（Fully Coupled Flow-Deformation）」的地工模擬平台。

在材料模型方面，PLAXIS 提供多種常用與進階本構模型（Constitutive Models），如 Mohr-Coulomb（經典線性強度模型）、Hardening Soil（模擬中硬至硬塑性土層的彈塑性行為）、Soft Soil Creep（適用於壓密與蠕變地層）、Jointed Rock（岩體破裂面分析）等，能根據不同地質環境選擇合適的強度模型與參數組，模擬真實土體行為。這對於評估不同地層結構（如風化砂岩、頁岩、膨潤土）於降雨後的動態穩定性具有重要意義。

為處理強降雨所造成的地下水動態變化，PLAXIS 中可設定初始地下水位條件與降雨歷線（如 24 小時、72 小時、逐時降雨強度），並可於模擬過程中觀察水頭變化、滲流向量、孔隙水壓升高區與剪應力集中區等關鍵指標，評估坡地從穩定過渡至臨界或失穩的時間與機制。

此外，PLAXIS 採用強度折減法（Strength Reduction Method, SRM）進行安全係數計算，可逐步降低材料的摩擦角與凝聚力，推求 FS 降至 1 的臨界狀態，並描繪滑動面發展路徑，是比傳統 LEM 更具物理意義的分析方式。

在實作操作層面，PLAXIS 提供直覺式圖形介面，支援 DXF、Shapefile 匯入，可快速建構坡地幾何、劃分網格與設定材料屬性與邊界條件。其後處理功能強大，模擬完成後可輸出包括變形圖、主應力場、孔隙水壓分佈、安全係數歷線、破壞機制動畫等視覺化成果，便於與 GIS 平台整合，進一步用於繪製「致災潛勢區」、「動態退縮距離邊界」等空間化成果。

目前國內外已有多篇研究使用 PLAXIS 模擬坡地在強降雨、地震與開發擾動下之變形與破壞歷程（如 Zhang et al., 2020; Chen et al., 2017），並成功應用於崩塌熱點辨識、邊坡設計優化與災害風險管理決策支援。本研究預計比對 PLAXIS 模擬結果與實際歷史災點（如土石流發生區、崩塌斷面）之空間位置，以驗證模型可靠性，進一步提出在不同土地利用類型下的「調適性退縮距離建議」。

總結而言，PLAXIS 的全耦合分析功能、豐富的材料模型、動態模擬能力與圖形化輸出工具，提供本研究在氣候變遷情境下，精確模擬山坡地穩定性演變與潛在破壞範圍的關鍵能力，為後續政策建議與法規修訂提供堅實的科學基礎。

二、不同數值模式比對

在進行坡地災害潛勢分析與退縮距離劃設研究時，選擇合適的數值工具是確保模擬精度與實用性的關鍵。本研究比較多套常用邊坡穩定分析軟體，包括 HYRCAN、SLOPE/W、FLAC/FLAC3D 與 PLAXIS，並依其模擬方法、功能深度與適用範疇分段說明如下：

(一) HYRCAN

HYRCAN 採用極限平衡法 (Limit Equilibrium Method, LEM)，透過簡化滑動面設定 (圓弧型) 與基本材料參數輸入，即可快速得出邊坡安全係數 (Factor of Safety, FS)。其特色為：

- 操作簡便、圖形化建模快速；
- 適用於初步教學與法規推估用途；
- 無法模擬滲流、水壓變化或滑動變形；
- 無時變性或雨水入滲模擬功能。

本研究初期亦曾利用 HYRCAN 進行穩定性概算，以測試幾何參數與材料變化對 FS 的影響，但其功能限制無法支援完整的動態災害分析。

(二) SLOPE/W

SLOPE/W 為 GeoStudio 系列中專門用於邊坡穩定分析的模組，支援多種極限平衡法 (如 Bishop、Janbu、Morgenstern-Price)，且可與 SEEP/W 結合進行孔壓耦合模擬。其優點為：

- 適用於多滑動面與參數敏感性分析；
- 圖形化介面與材料庫完整；
- 支援水壓模擬，但仍以 FS 計算為主；
- 難以處理大變形與複層材料的交互行為。

由於本研究需模擬地下水變化對邊坡破壞範圍的推移，SLOPE/W 雖穩定性佳，但不足以處理複合地層與動態雨水入滲下的演化過程。

(三)FLAC/FLAC3D

FLAC 採用有限差分法 (FDM)，擅長模擬非線性變形、大變形滑移、構造破裂及震動反應，FLAC3D 更支援三維複雜幾何結構。其特色包括：

- 適合工程研究與地震引致邊坡滑動模擬；
- 可建立自訂本構模型與接觸面行為；
- 高彈性但建模複雜，需大量計算資源；
- 不易與 GIS 結合，圖形化輸出需額外設定。

雖然 FLAC 功能強大，但考量本計畫需模擬多案例情境、參數批次運算、與 GIS 資料整合，FLAC 實務操作上之困難與時間成本相對較高，故不列為主模擬工具

(四) PLAXIS

PLAXIS 採用有限元素法(FEM)，提供高度整合的地層建模、滲流計算與非線性變形分析，特別適用於坡地複合材料、雨水入滲與地下水位上升導致的滑動模擬。其優勢包括：

- 可模擬滲流場、孔隙水壓力分佈與變形場；
 - 材料模型豐富 (Mohr-Coulomb、Hardening Soil 等)；
 - 支援坡地破壞隨時間演進之模擬 (Staged Construction)；
- 基於本研究關注「氣候變遷下的臨界降雨」、「不同地層條件與坡度對破壞範圍的影響」，並需進行多情境測試與風險範圍劃設，**PLAXIS 提供最全面、彈性與視覺化的模擬平台**，因此被選定為核心模擬工具。

三、模式建置參數設定

為探討不同地層條件與坡度對邊坡破壞影響範圍的影響，本研究依據理想化邊坡幾何圖（見圖3-8）與詳細地層參數設定（見表3-5）進行

性的影響。此設計可推估在不同幾何與地層組合下，邊坡破壞所波及的下邊坡範圍與潛在破壞機制。

表 3- 5 Plaxis 模型參數表

影響因子	說明			
坡度 $\alpha(^{\circ})$	8.53(15%)	16.7(30%)	21.80(40%)	28.81(55%)
坡高 H(m)	5	10	15	20
風化岩層有效應力 凝聚力 $C(\text{kN/m}^2)$	20			
風化岩層有效應力 內摩擦角 $\phi(^{\circ})$	28			
風化岩層的單位重 $\gamma / \gamma_{\text{sat}} (\text{kN/m}^3)$	18.63 / 20.20			
風化岩層楊氏模數 $E (\text{kPa})$	40000			
風化岩層柏松比 ν	0.28			
崩積層厚度比 $D (=d / H)$	0.5	1.0	1.5	2.0
未風化岩層有效應力 凝聚力 $C (\text{kN/m}^2)$	80			
未風化岩層有效應力 內摩擦角 $\phi(^{\circ})$	35			
未風化岩層的單位重 $\gamma / \gamma_{\text{sat}} (\text{kN/m}^3)$	22.56 / 24.13			
未風化岩層楊氏模數 $E (\text{kPa})$	100000			
未風化岩層柏松比 ν	0.25			

整體而言，本模型建構考慮了坡度、邊坡高程、地層機械性質與水文條件等多重因子，搭配實際適用之材料參數，使得模擬結果能夠有效反映自然邊坡受極端降雨或地下水位升高等條件下的潛在致災範圍，為後續退縮距離規範修正提供量化基礎。

四、地下水位設定

為評估氣候變遷情境下極端降雨與地下水位變動對坡地穩定性的影響，並據以提出調適性退縮距離設計原則，本研究擬採用以下四大步驟進行分析與模擬，建立以風險為導向的坡地安全管理框架：

本研究所採用的降雨推估資料，主要來自國家科學及技術委員會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識整合平臺（TCCIP）」，該平台整合多家國際氣候模式（如CMIP5/CMIP6）與區域降尺度模擬結果，提供具台灣區域適用性的日尺度降雨推估資料。在情境選擇上，本研究優先選取高排放情境（RCP8.5 或對應之 SSP5-8.5），以及2050-2100年的長期氣候變遷期間，作為評估極端降雨影響的主要依據，保守反映最不利的氣候條件。

針對不同氣候變遷情境，本研究根據TCCIP提供的未來日降雨序列，採用統計降雨分析方法重新估算不同重現期（如50年、100年）的設計降雨量與極端降雨事件。

此外，根據相關研究（如Chiang et al., 2011；林詠喬等，2023），預期未來極端降雨量將明顯增加，且降雨強度將集中於短時間內，對邊坡土體入滲與孔隙水壓造成更劇烈影響。

再者，考量降雨與坡地失穩之物理過程，本研究將重點關注降雨對地下水位上升與孔隙水壓變化的影響。因此，設計降雨事件將進一步轉換為對應的臨界地下水位條件。

不同降雨事件對應的地下水位變動將成為後續邊坡穩定性模擬中的關鍵輸入參數，用於探討在極端氣候下坡體安全係數的變動趨勢與失穩風險範圍。

針對各種設置之臨界水位情境，利用Plaxis二維極限平衡分析軟體進行坡地穩定性數值模擬。針對典型坡地剖面與地層條件，設定多層材

料性質及不同水位分佈，模擬降雨入滲與地下水位上升對邊坡穩定性之影響。針對每一降雨/水位情境，計算出坡體對應的最小安全係數（FS），並辨識其對應之臨界滑動面，作為該情境下坡地潛在失穩範圍之物理依據。

伍、計算結果

本研究聚焦於坡地退縮距離的科學化劃設，模擬架構上採用固定坡高 $H=5$ 公尺的理想化邊坡模型，作為分析各項地形與地層條件變化下破壞範圍的基準情境。此一策略的設定有助於排除坡高對破壞範圍的量尺影響，使退縮距離比（影響範圍／坡高）可進行直接比較與相對評估。

雖然坡高本身在實務上具有工程設計意涵，但在本研究的邏輯中，其主要作用為量化單位尺度（unit length），而非主控破壞機制的決定因子。因此，我們以固定坡高為基礎，逐步調整坡度（S）與崩積層厚度比（D/H）等參數，進行一系列穩定性模擬，以掌握坡地在靜態條件下的破壞行為邊界與空間影響。

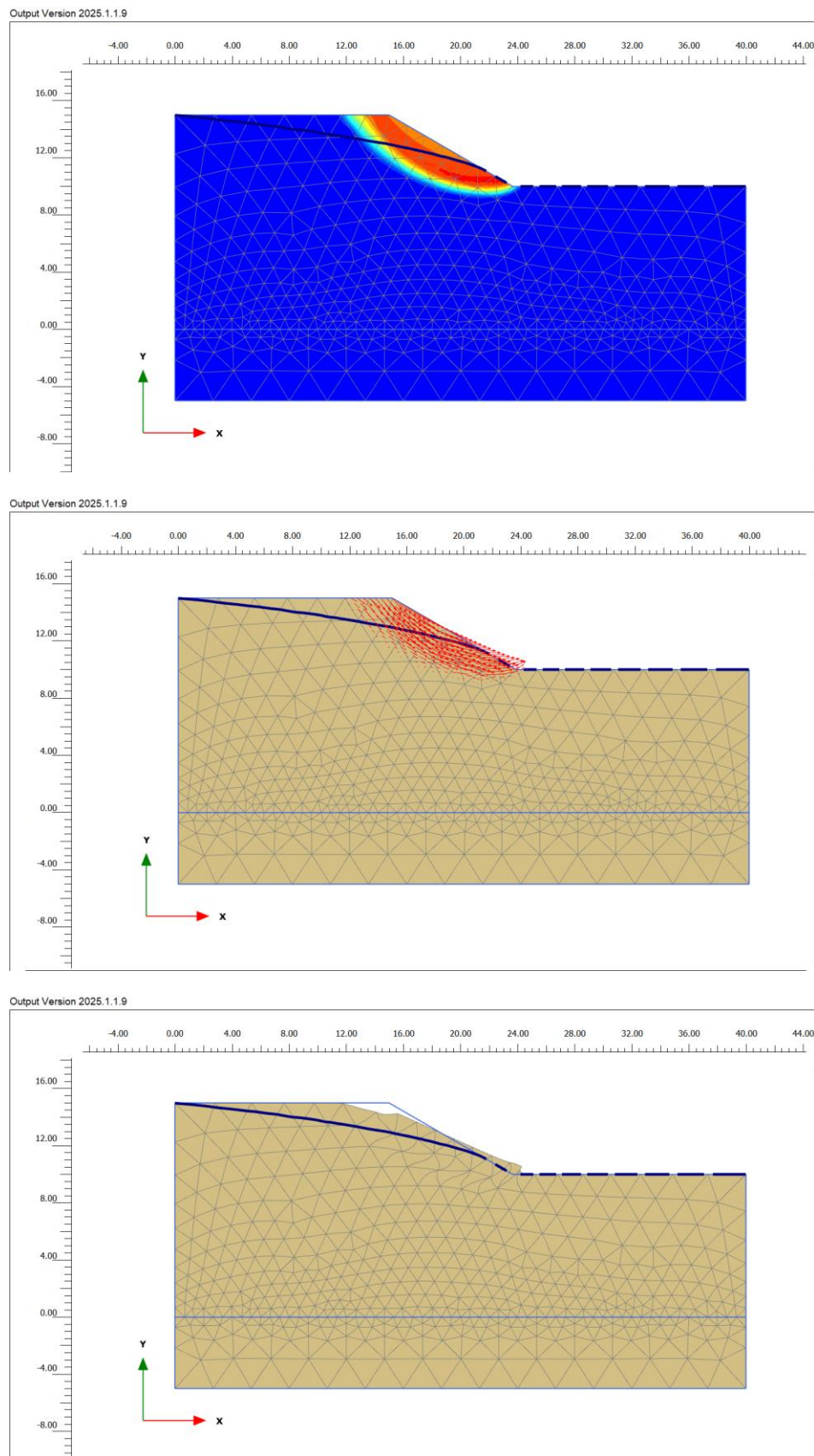


圖 3-9 數值模擬結果($H=5\text{ m}$ ， $S=30^\circ$ ，地下水位=0)

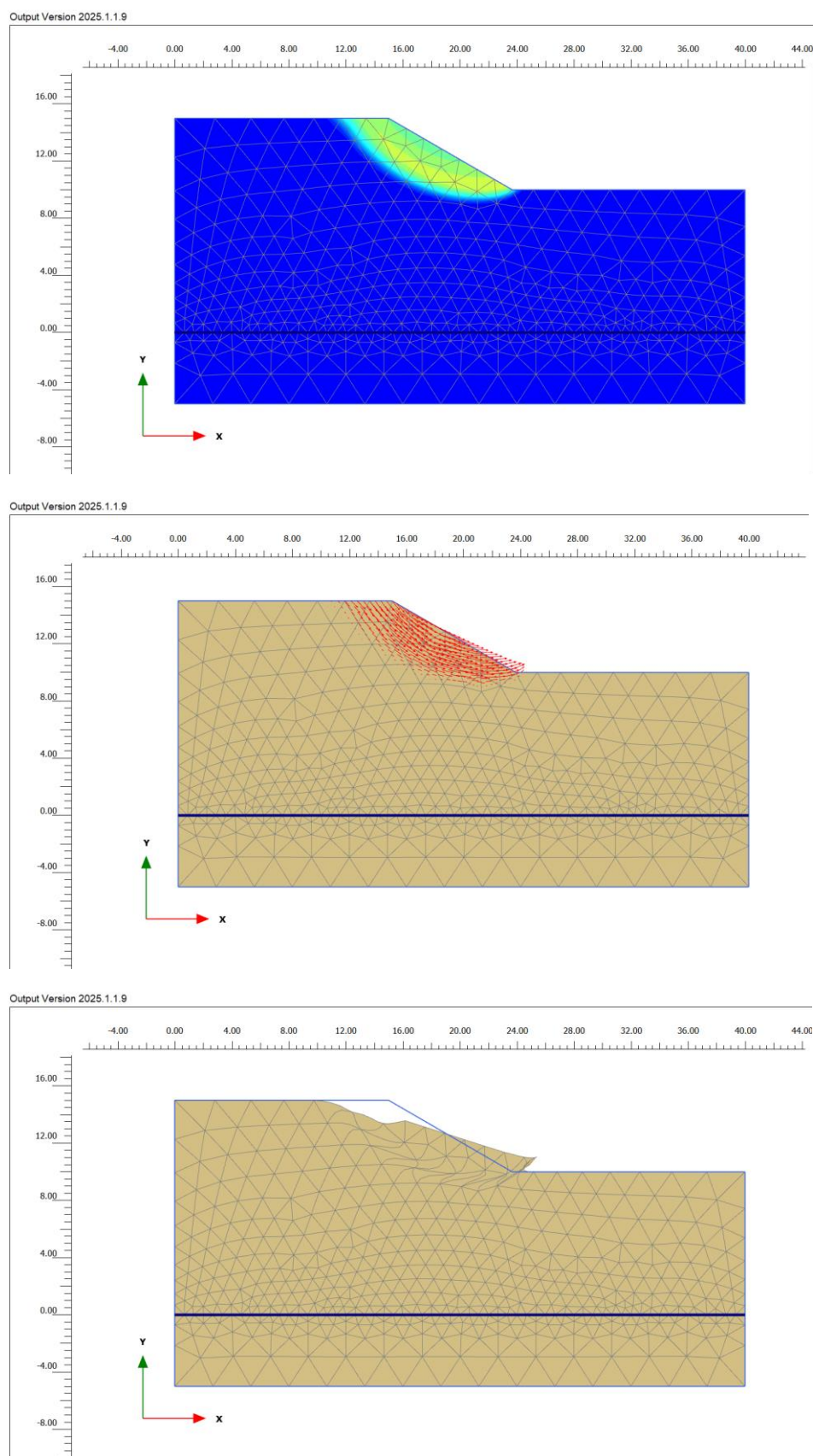


圖 3- 10 數值模擬結果(H=5 m，S=30 度，地下水位=-10)

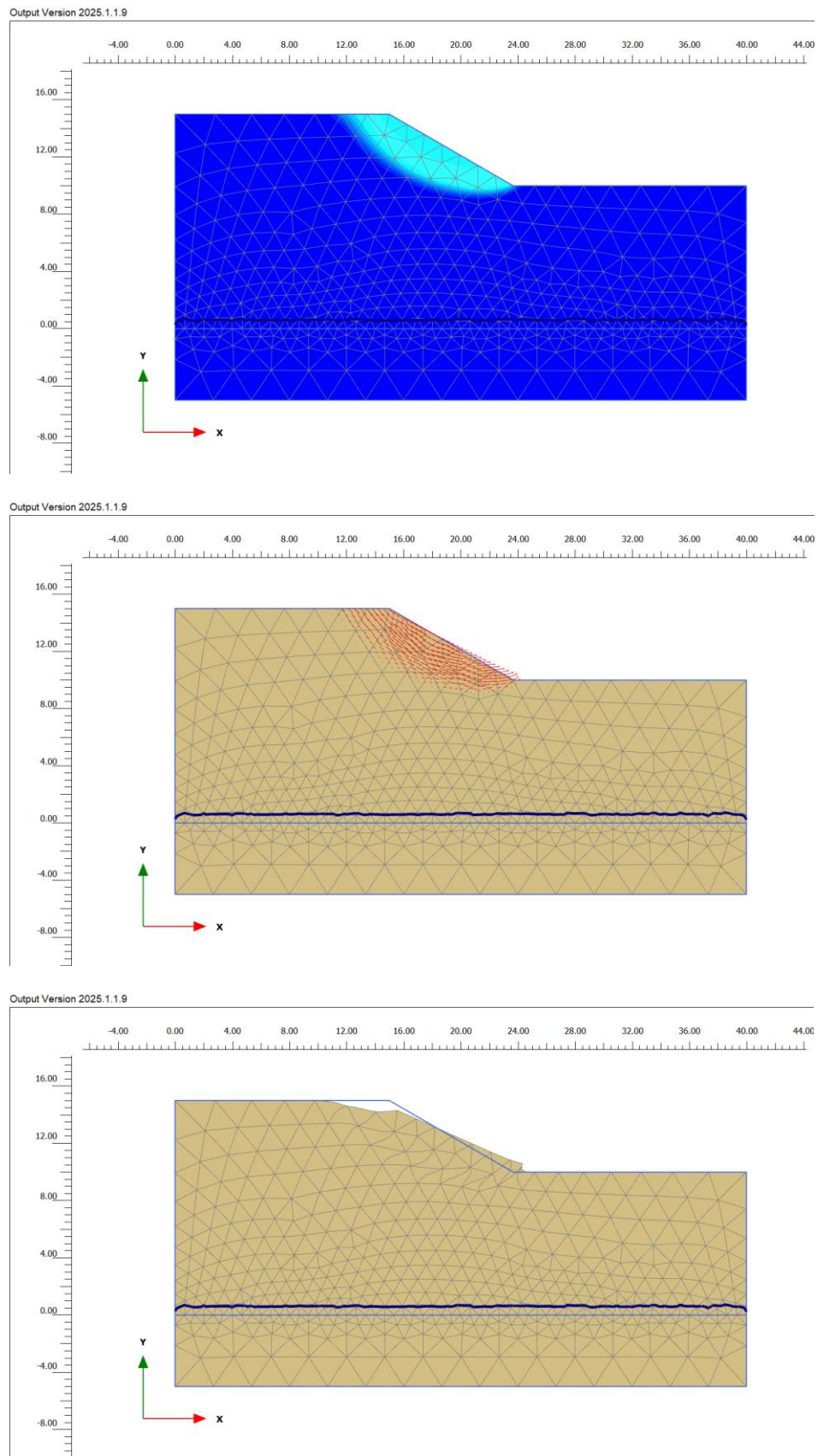


圖 3- 11 數值模擬結果(H=5 m，S=30 度，地下水位=-10+)

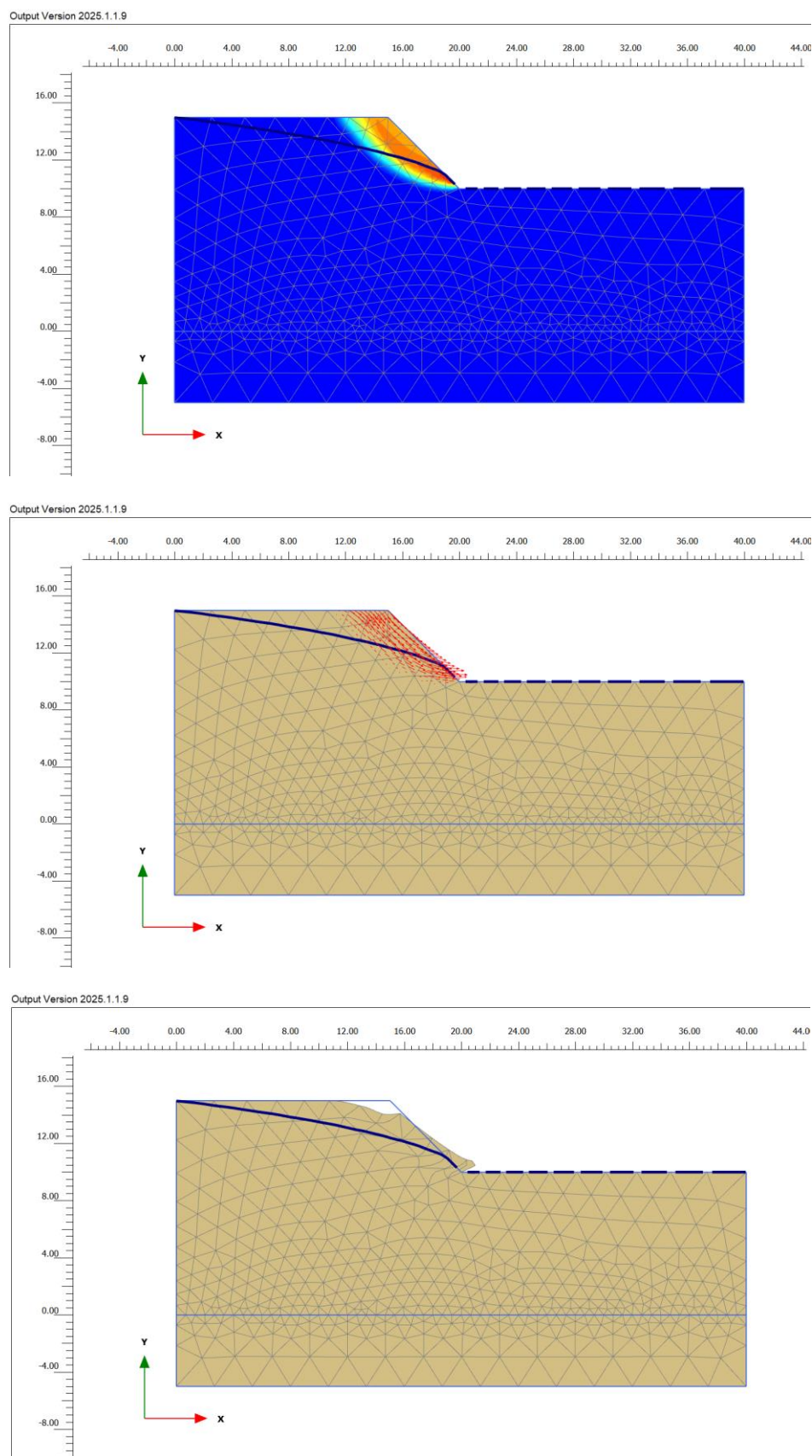


圖 3- 12 數值模擬結果($H=5$ m， $S=45$ 度，地下水位= -0)

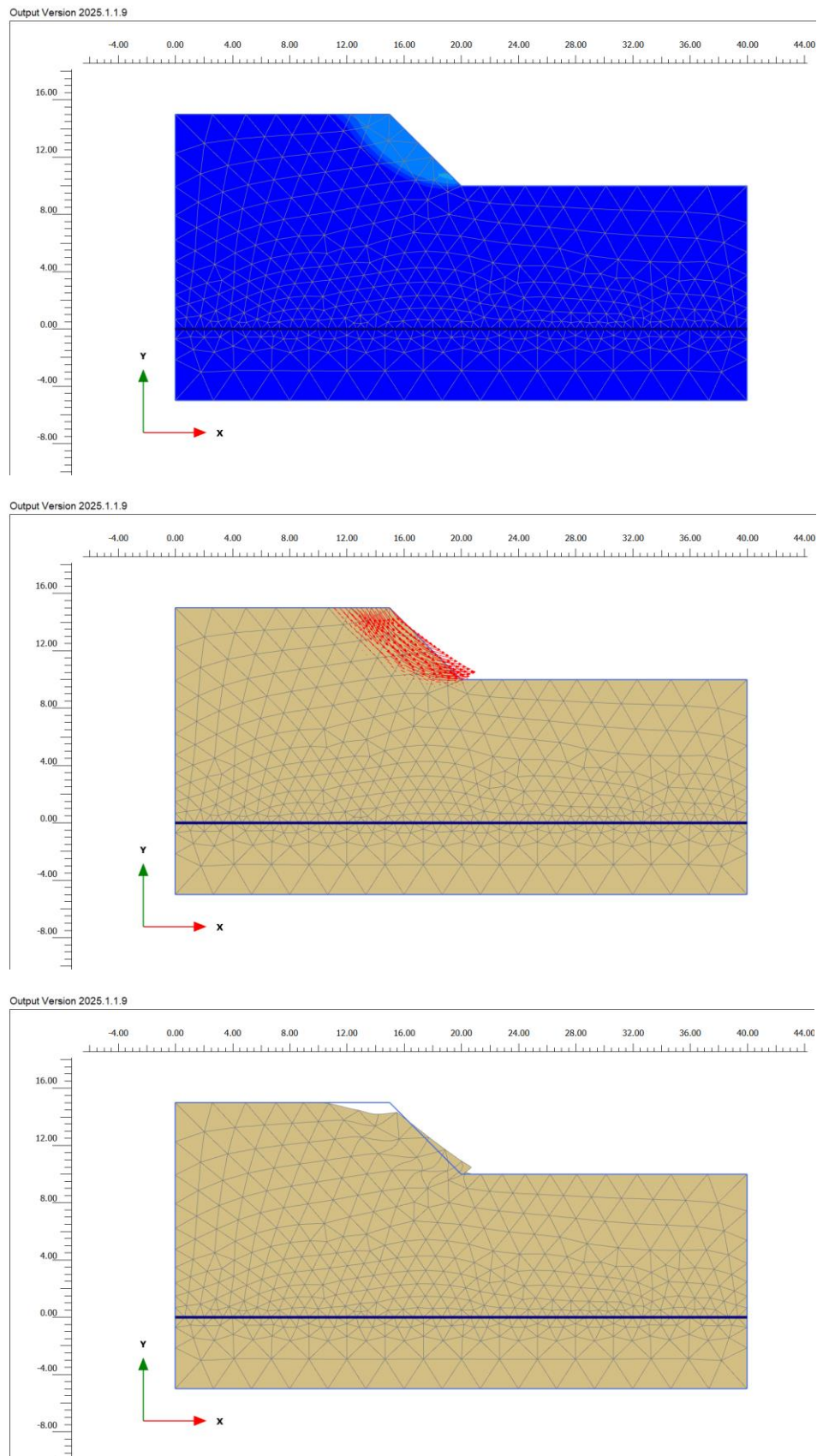


圖 3- 13 數值模擬結果(H=5 m，S=45 度，地下水位=-10)

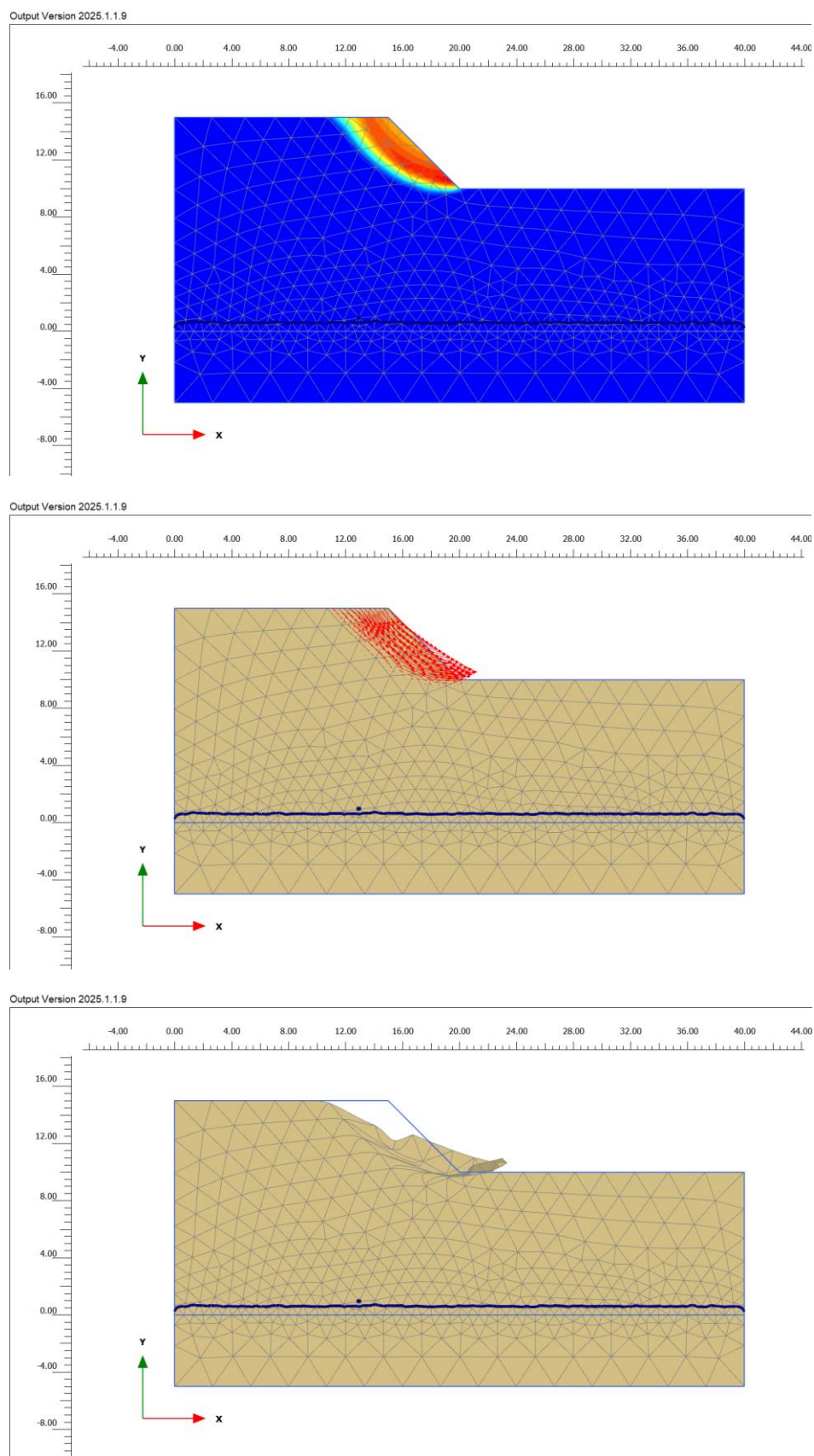


圖 3- 14 數值模擬結果(H=5 m，S=45 度，地下水位=-10)

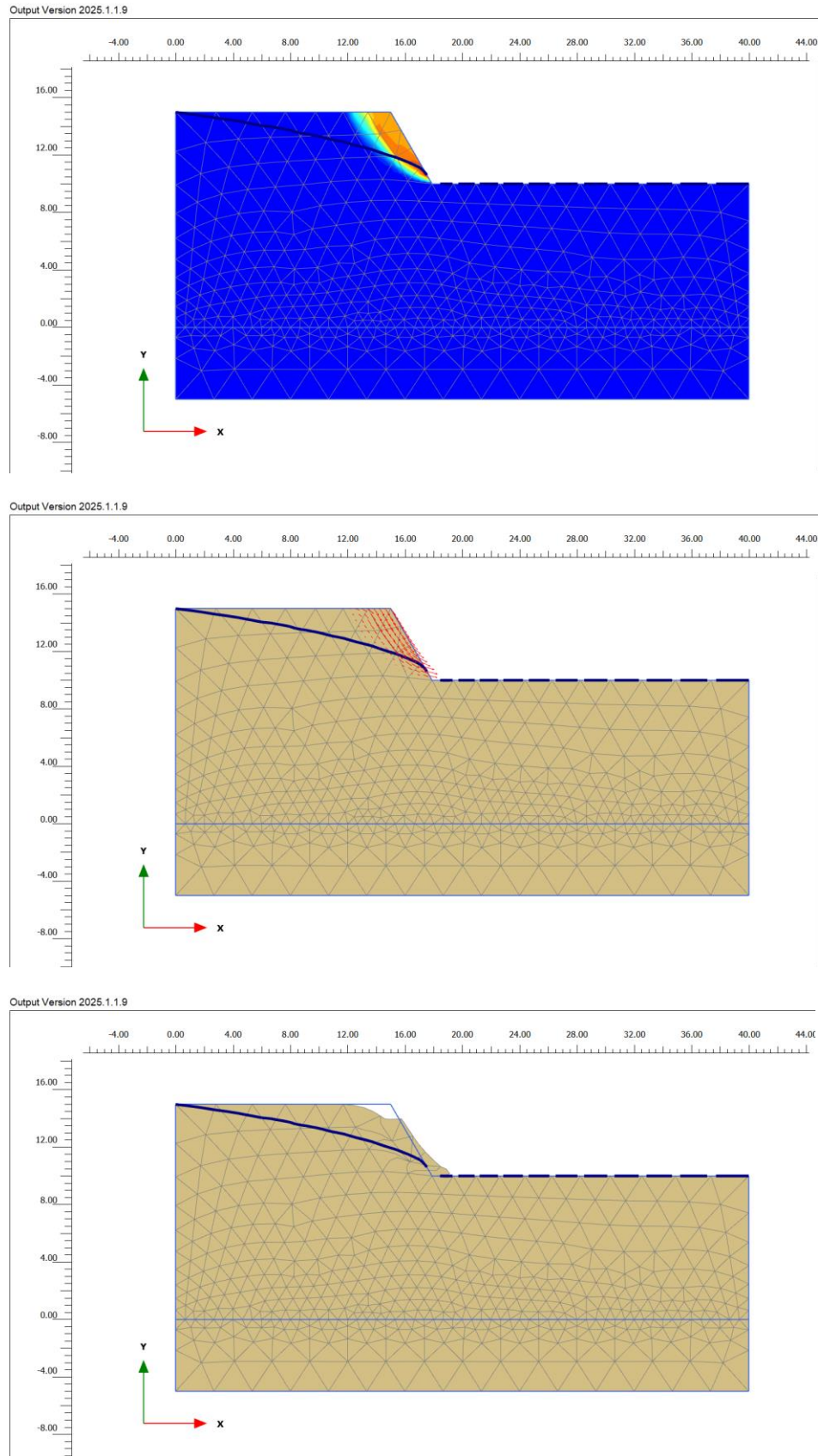


圖 3- 15 數值模擬結果(H=5 m，S=60 度，地下水位=-0)

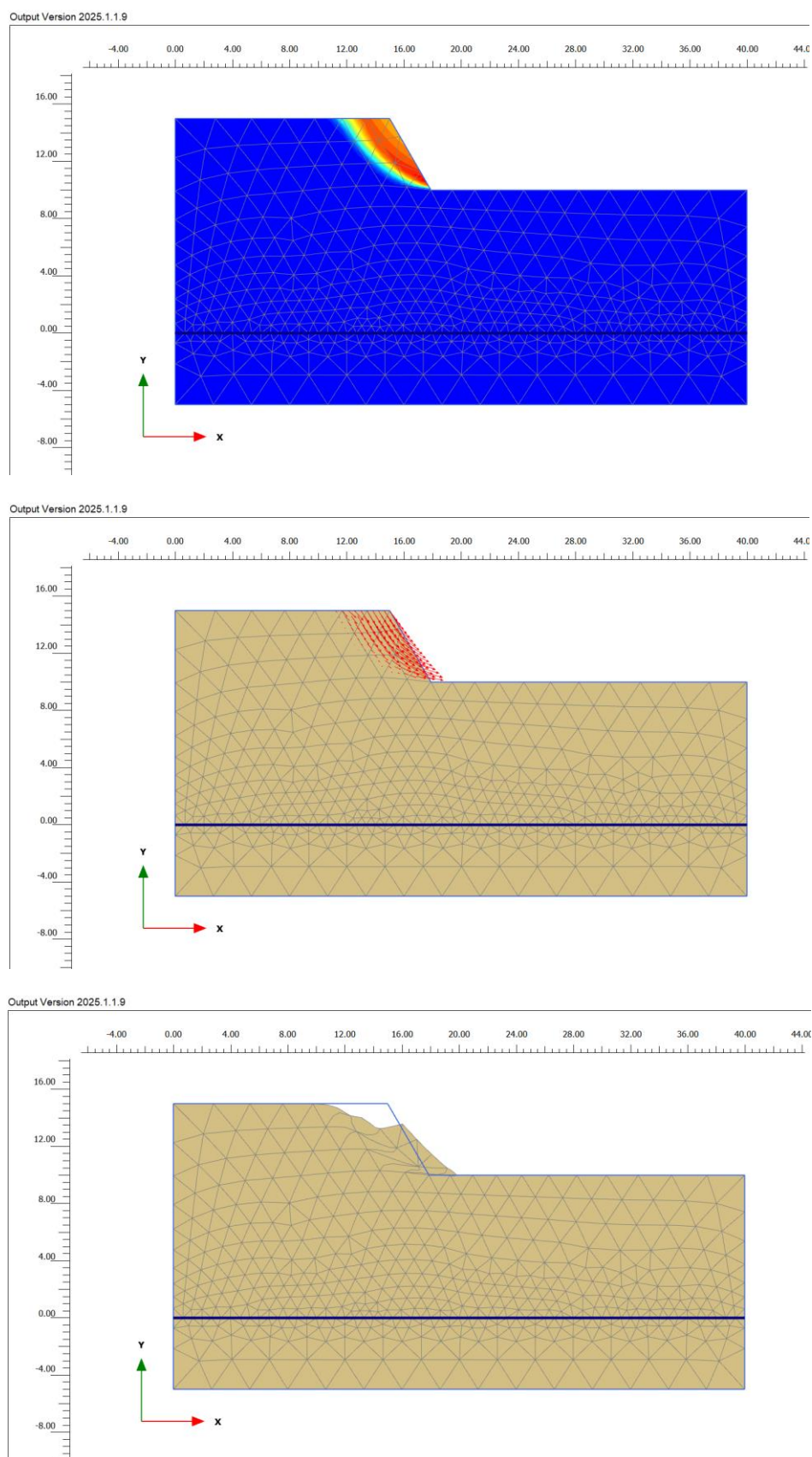


圖 3- 16 數值模擬結果(H=5 m，S=60 度，地下水位=-10)

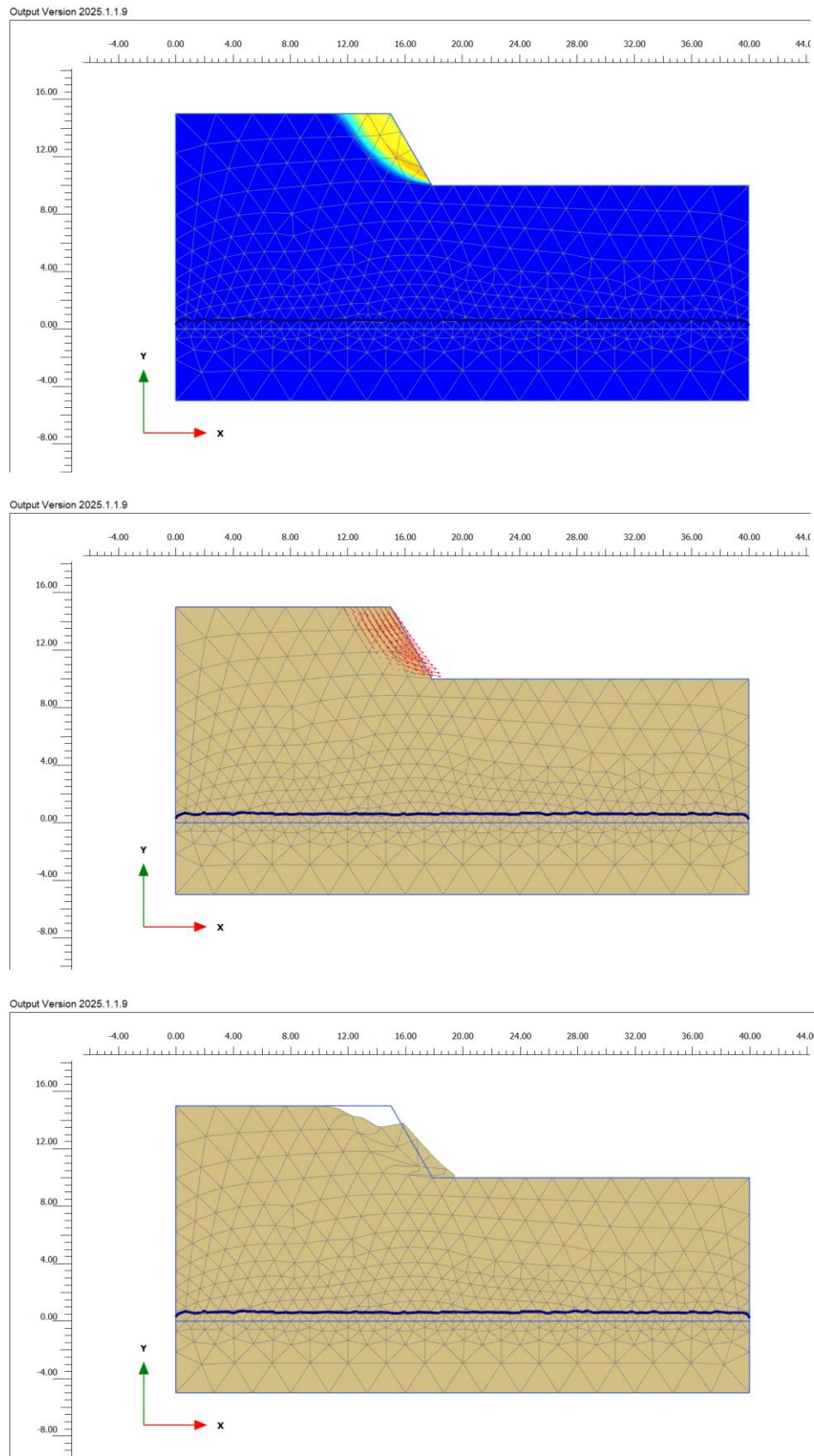


圖 3- 17 數值模擬結果(H=5 m，S=60 度，地下水位=-10+)

評估山坡地範圍劃出退縮距離於氣候變遷下之影響

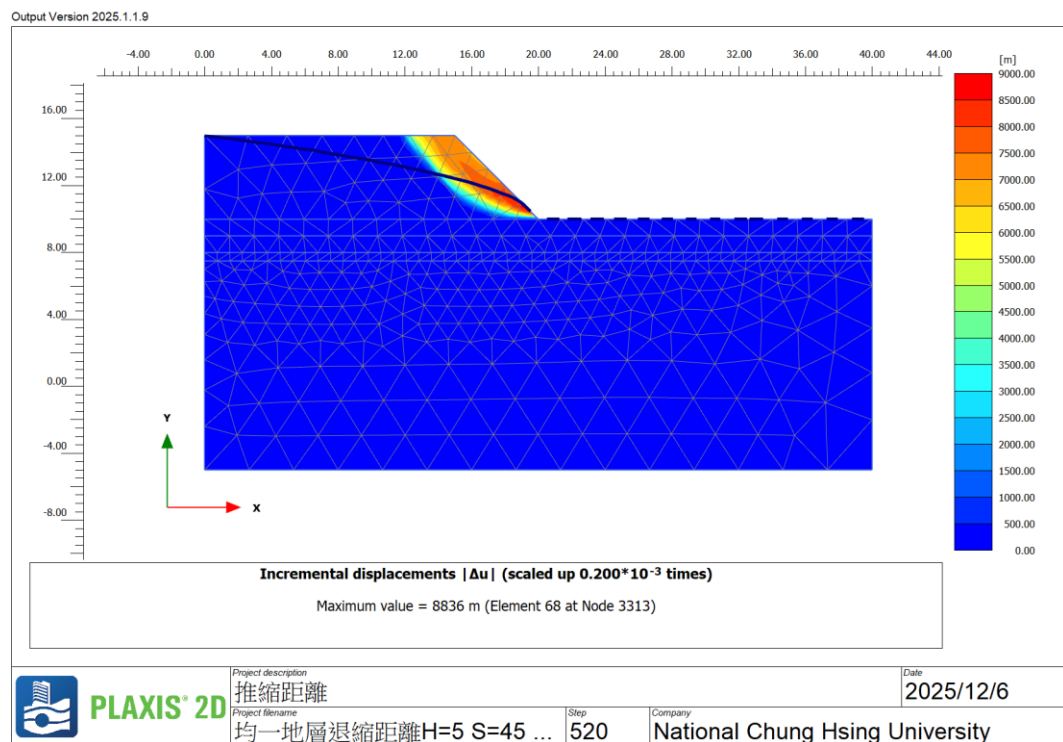
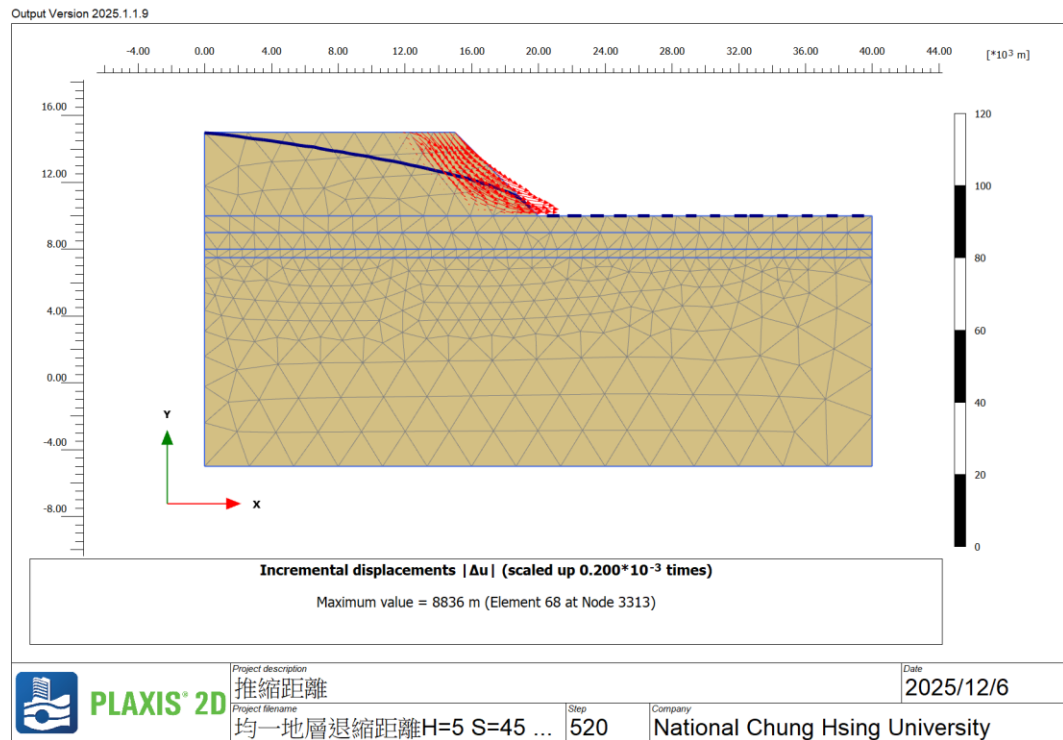


圖 3- 18 數值模擬結果(H=5 m，S=45 度，高地下水位)

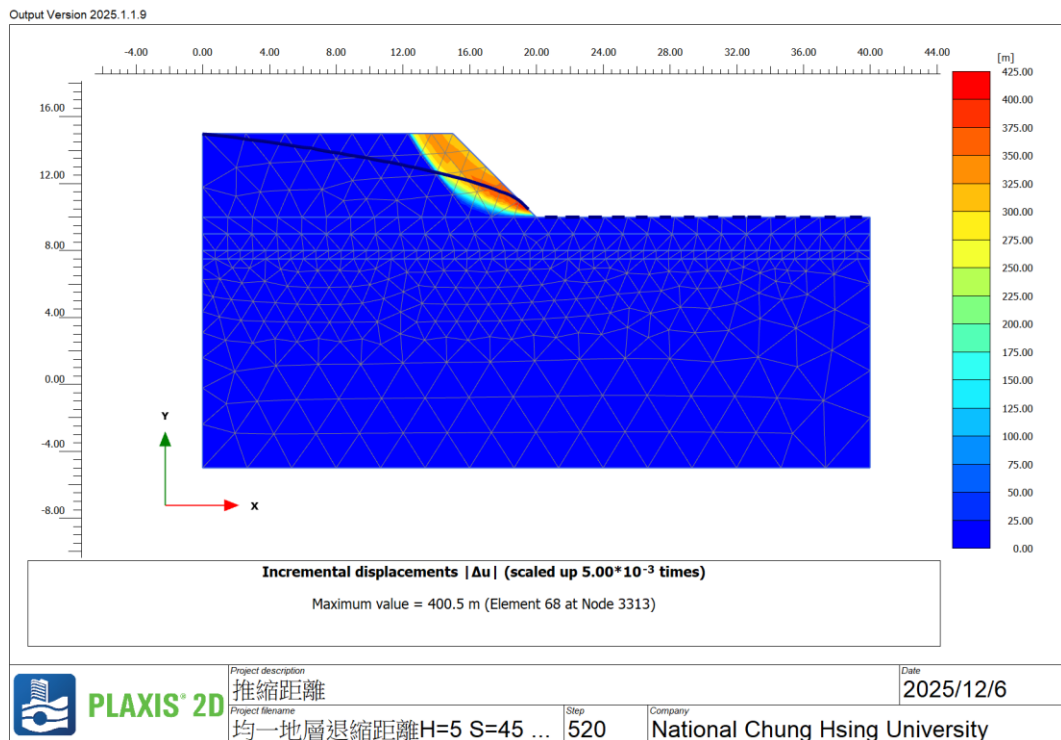
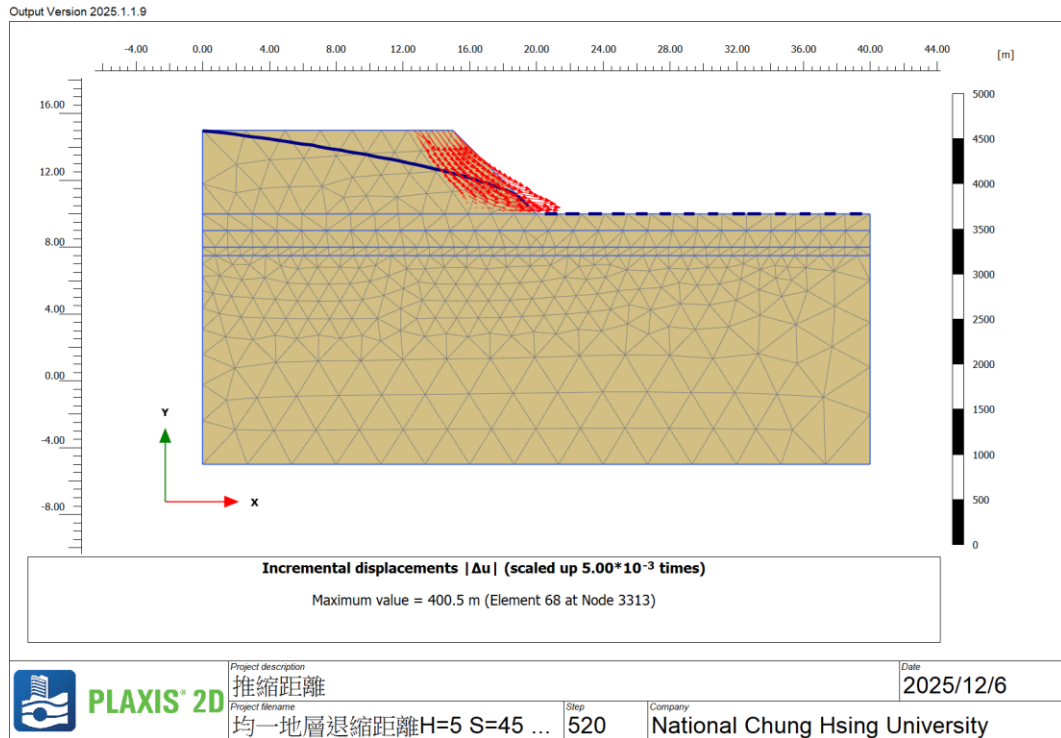


圖 3- 19 數值模擬結果(H=5 m，S=45 度，高地下水位，高上升速率)

評估山坡地範圍劃出退縮距離於氣候變遷下之影響

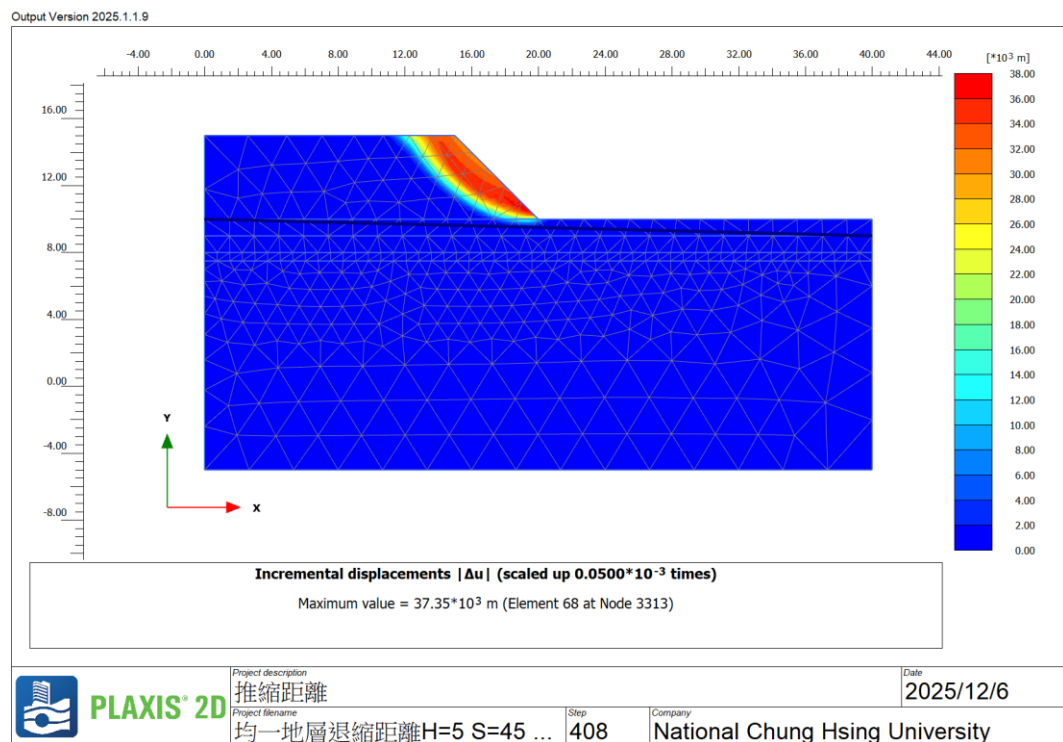
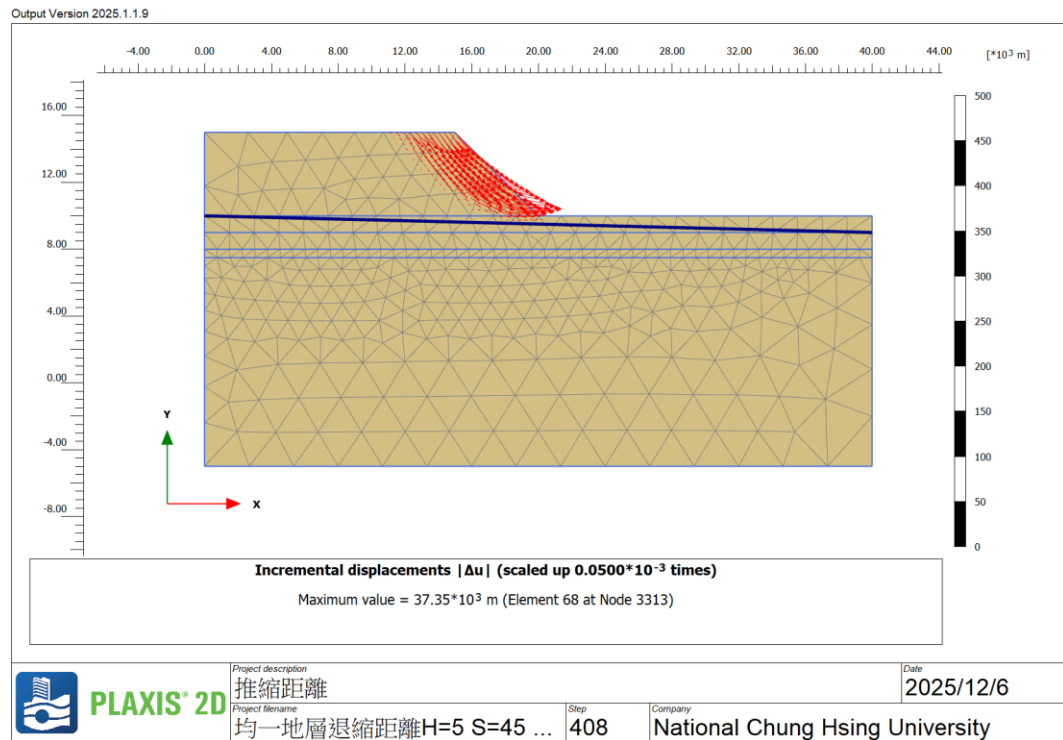


圖 3- 20 數值模擬結果(H=5 m，S=45 度，地下水位=-5)

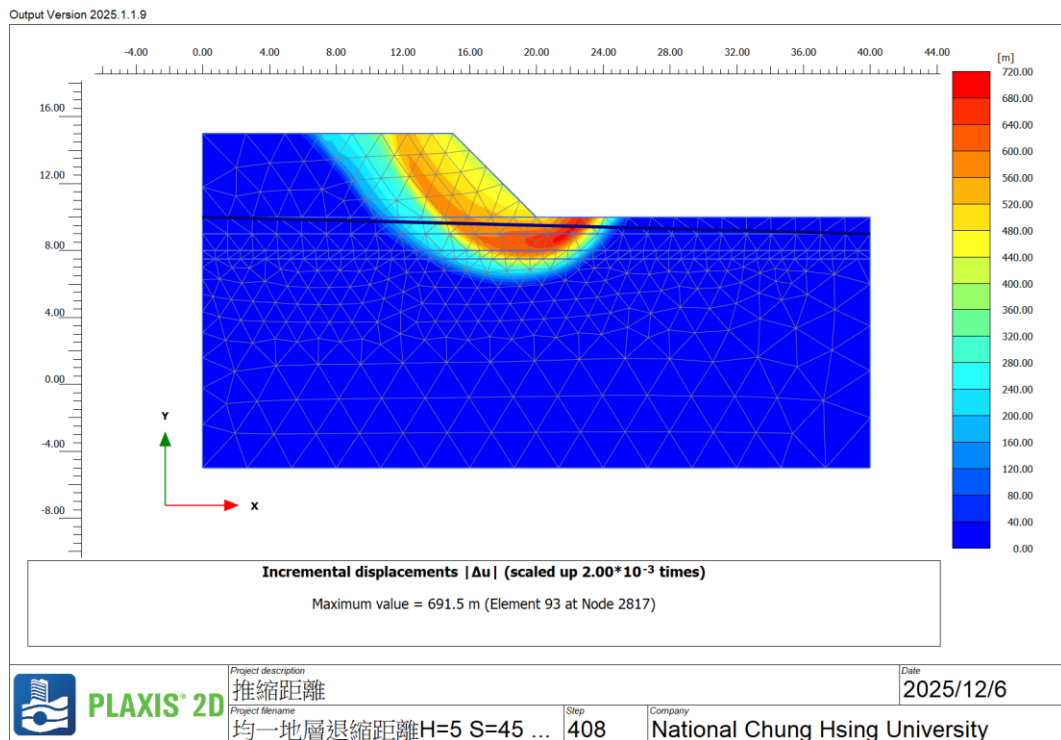
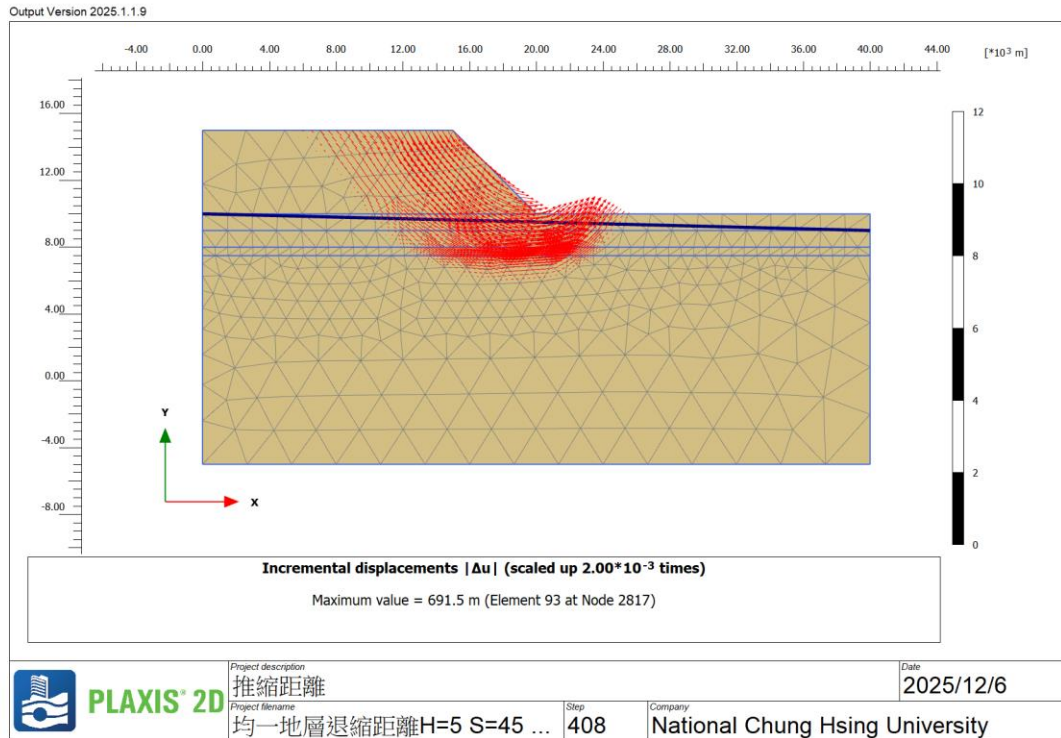


圖 3- 21 數值模擬結果(H=5 m，S=45 度，地下水位=-5，高上升速率)

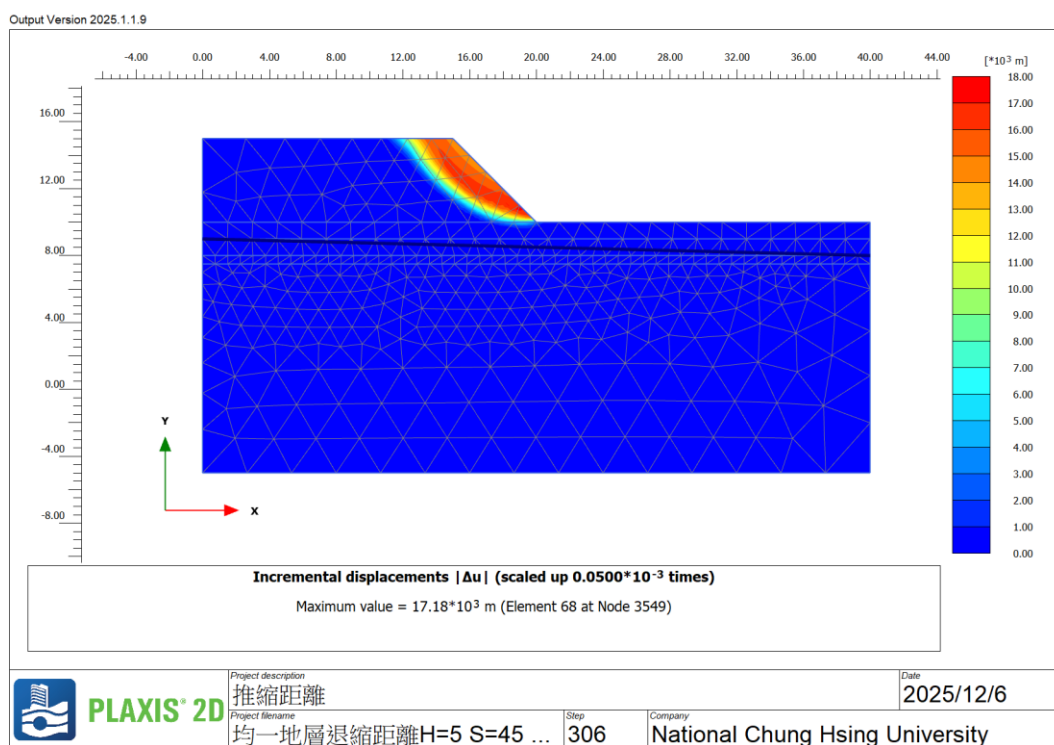
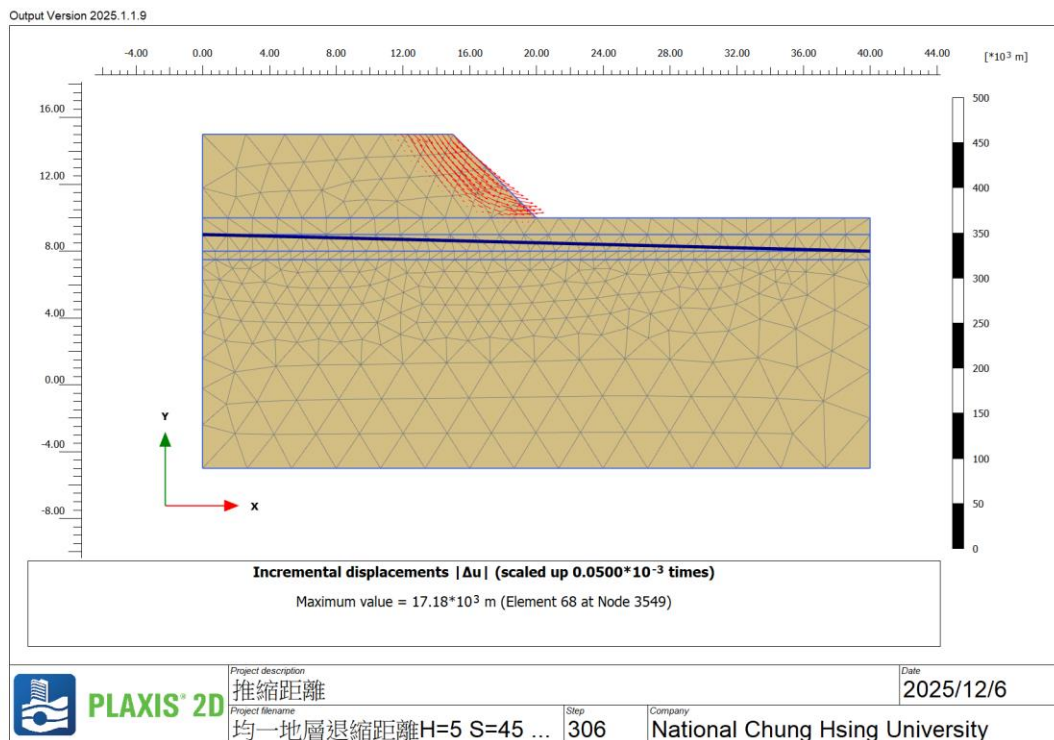


圖 3- 22 數值模擬結果(H=5 m，S=45 度，地下水位=-6)

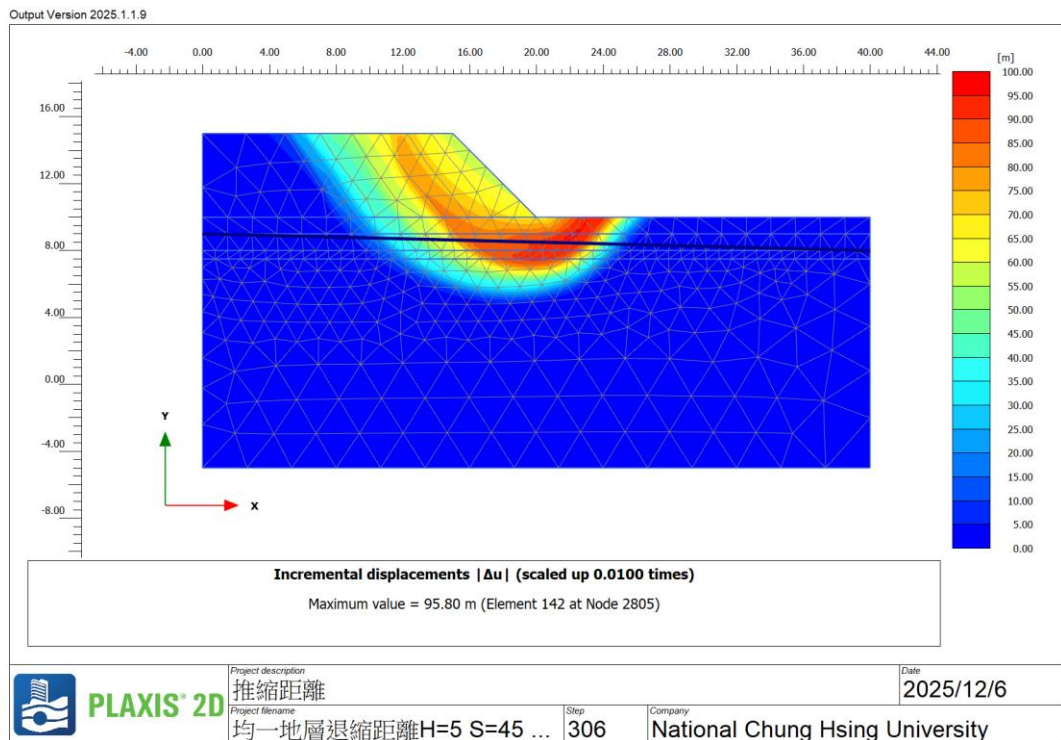
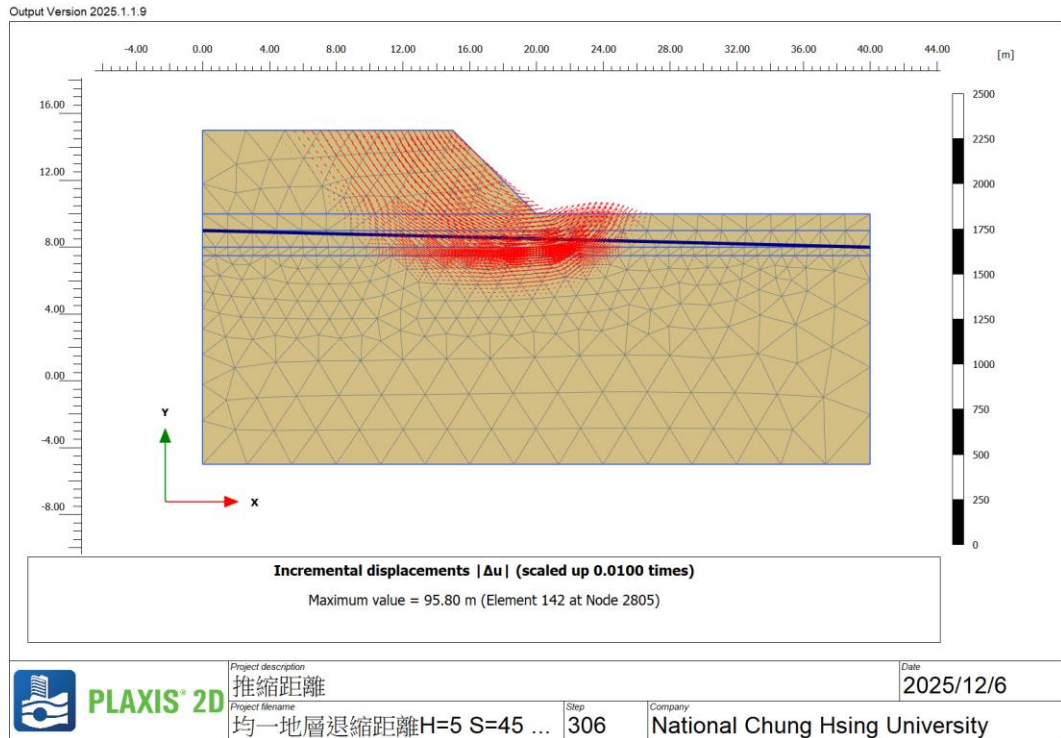


圖 3- 23 數值模擬結果(H=5 m，S=45 度，地下水位=-6，高上升速率)

陸、模擬結果討論

(一)坡度效應與現行公式保守性的驗證

本研究首先針對坡度條件對邊坡破壞行為與影響範圍之影響進行模擬分析，以檢討現行退縮距離估算公式中，以坡高與坡度為主要控制因子的合理性。模擬結果顯示，隨坡度由 30° 增加至 45° 及 60° ，剪應變集中區（塑性區）呈現明顯向坡面表層聚集的趨勢，破壞機制亦由緩坡條件下的深層圓弧滑動，逐漸轉變為沿坡面發展的淺層連續破壞。此一現象反映坡度增加會顯著提高沿坡向之剪應力需求，使破壞更容易在坡面近地表發生。

然而，進一步比較不同坡度條件下之實際破壞影響範圍可發現，在本研究設定的材料性質與水文條件下，坡度變化主要影響破壞位置與破壞型態，而對於整體水平影響範圍的放大效果相對有限。模擬結果顯示，不論坡度為 30° 、 45° 或 60° ，實際破壞範圍皆明顯小於現行公式所推估之退縮距離（以 1.5 倍坡高為代表）。

此結果顯示，現行公式在以坡度為主要幾何控制因子時，其推估結果屬於偏保守的設計規劃，能有效包絡不同坡度條件下的潛在破壞範圍。從風險管理角度而言，此保守性具有正面意義，但同時也說明，若未來希望在維持安全前提下進行更精細的退縮距離配置，單純以坡度作為唯一主控因子，可能無法充分反映實際破壞行為的差異。

(二)地下水位高度對影響範圍之放大效應

在完成坡度效應之檢討後，本研究進一步探討地下水位高度對邊坡穩定性與破壞範圍的影響。模擬結果顯示，隨地下水位上升，孔隙水壓顯著增加，導致土體有效應力降低，抗剪強度隨之

削弱，使剪應變集中區優先出現在坡趾與坡面上部區域，並呈現向坡體內部與坡面方向擴張的趨勢。

相較於低地下水位情境，高地下水位下之塑性區範圍明顯擴大，顯示地下水位高度為控制破壞範圍大小的重要水文因子。此結果亦說明，地下水位上升會使邊坡由局部不穩定逐步轉變為整體性失穩的風險提高，對退縮距離評估具有實質影響。

然而，將模擬所得破壞範圍與現行公式推估結果進行比較可發現，即便在高地下水位條件下，實際破壞影響範圍仍未超出公式所推估之退縮距離。此一結果再次驗證，現行公式在未顯式納入地下水位因子的情況下，仍能涵蓋地下水位升高所造成的不利影響，顯示其整體設計仍具相當程度的安全餘裕。

但值得注意的是，若改以數值模式作為退縮距離規劃依據，地下水位高低所造成的影響範圍差異已相當明顯。換言之，雖然「是否超出公式範圍」的答案仍是否定的，但在實務應用層面，地下水位條件已足以造成退縮距離估算結果的顯著差異，顯示其為未來公式精緻化時不可忽略的重要因子。

(三)地下水位上升速率與氣候變遷情境下的影響

除地下水位高度外，本研究進一步比較不同地下水位上升速率對邊坡破壞行為之影響，以模擬一般降雨與短延時強降雨等不同水文情境。模擬結果顯示，在相同最終水位高度下，地下水位上升速率對邊坡穩定性具有決定性影響。在低上升速率條件下，孔隙水壓得以隨時間逐步消散並達成新的平衡狀態，排水行為能有效發揮作用，使有效應力降低幅度有限，剪應變集中區範圍相對受限，破壞多集中於坡面局部區域。

此情境可對應一般降雨條件下之邊坡行為，整體破壞風險相對可控。相對地，在高上升速率條件下，孔隙水壓於短時間內迅速累積，排水機制無法即時反應，使邊坡呈現近似不排水行為，有效應力急遽下降，導致剪應變集中區（塑性區）快速擴張，破壞風險顯著提高。此結果反映短延時強降雨或極端降雨事件下，邊坡失穩具有高度突發性與時間尺度縮短的特徵。

儘管在本研究理想化模擬條件下，即便採用較高地下水位上升速率，實際破壞範圍仍未超出現行公式所推估之退縮距離，但模擬結果已清楚顯示，不同上升速率所對應的破壞程度與影響範圍存在顯著差異。此現象說明，現行公式雖在空間尺度上具備保守性，但未能反映氣候變遷情境下地下水位快速回應所帶來的動態風險差異。

綜合上述模擬結果可知，現行退縮距離公式在坡度變化、地下水位升高及地下水位快速上升等不利條件下，仍能提供保守且安全的影響範圍包絡；然而，數值模擬結果亦顯示，地下水位高度與其上升速率已足以在公式範圍內造成顯著差異。此結果指出，未來若欲進一步精緻化退縮距離計算方式，而非僅維持保守上限設計，地下水位及其動態變化將成為關鍵的修正方向。

基於前述模擬結果與公式適用性檢討，本研究認為，現行退縮距離估算公式在工程安全與風險管制層面仍具合理性，特別是在多數一般水文與地形條件下，能提供足夠且偏保守的空間安全包絡。然而，隨著坡地開發強度提升、空間配置需求增加，以及極端氣候事件發生頻率上升，單一、固定倍率的退縮距離設計已逐漸難以同時兼顧安全性與合理性，因此有必要朝向「精緻化」而非「全面修正」的方向發展。

A.精緻化原則一：維持幾何主架構，但避免推翻現行公式

本研究結果顯示，坡度仍為控制破壞機制與剪應變分布位置的核心幾何因子，且現行公式所採用之坡度-坡高放大概念，能有效包絡不同坡度下的潛在破壞範圍。因此，精緻化不宜推翻既有公式主體，而應保留其作為「基準退縮距離」的角色，使現行規範在制度層面仍具延續性與可操作性。

換言之，現行公式可被視為在理想或一般條件下的上限安全設計，而非必須在所有情境中一體適用的唯一解。

B.精緻化原則二：地下水位應納入為修正因子，而非僅作為定性說明

模擬結果顯示，地下水位上升會使孔隙水壓增加、有效應力降低，進而顯著擴張剪應變集中區與潛在破壞範圍。雖然在本研究所設定的條件下，破壞範圍仍未超出現行公式推估之退縮距離，但若改以數值模式進行退縮範圍規劃，不同地下水位條件所推估之結果差異已相當明顯。

因此，本研究建議未來可將地下水位相關參數明確納入退縮距離估算架構中，作為一個「修正項」而非僅止於輔助說明。例如，在維持原有幾何推估距離的前提下，可依地下水位相對坡高的位置（低、中、高）或水位變動幅度，引入對應的調整係數，使退縮距離能反映不同水文條件下邊坡穩定性的差異。

此作法的優點在於，既可維持公式在法規層面的簡化與可執行性，又能在需要進行精細規劃或基地尺度分析時，提供比單一倍率更具物理意義的調整空間。

C.精緻化原則三：氣候變遷下應特別考量地下水位上升速率

除地下水位高度外，本研究進一步指出，地下水位的上升速率為影響邊坡瞬時失穩的重要控制因子。在低上升速率條件下，孔隙

水壓得以逐步消散並達成平衡，破壞範圍相對侷限；而在高上升速率情境(如短延時強降雨或極端降雨事件)下，孔隙水壓快速累積，使邊坡呈現近似不排水行為，導致剪應變集中區迅速擴張。

雖然在本研究的理想化模擬條件中，即便採用較高水位上升速率，破壞範圍仍未超出現行公式推估之退縮距離，但結果清楚顯示，不同上升速率下，破壞程度與潛在影響範圍已有顯著差異。若未來希望使退縮距離估算更貼近實際風險情境，則氣候變遷所導致的地下水位快速回應行為，應被視為精緻化公式時不可忽略的關鍵因素。

因此，本研究建議，在精緻化退縮距離估算時，可考慮將降雨型態或地下水位上升速率納入分類架構，例如區分為一般降雨與極端降雨情境，並對應不同的修正係數範圍，使退縮距離能兼顧保守性與情境敏感性。

第四章 結論及建議

經本計畫針對美國、日本、加拿大及其他國家的坡地管理法規進行系統性整理與比較後可發現，各國在坡地開發控管與退縮距離設計上，雖因地理條件與風險管理思維不同而具多樣性，但普遍具備以下共同特色：(1) 重視風險區位識別與風險分級管理，如日本的土砂災害警戒區劃制度；(2) 採用多層次安全管理機制，如美國以幾何規範搭配個案審查進行調適管理；(3) 加拿大則導入量化風險評估(QRA)，以科學化標準納入土地規劃與風險控管，展現前瞻性。相較之下，台灣現行退縮距離設計仍以靜態地形條件為基礎，未能充分反映動態氣候與水文變異帶來的坡地失穩風險，亟需借鏡國外經驗，提升風險評估邏輯與管理科學性。

根據 PLAXIS 數值模擬結果顯示，在不同坡度（30°、45°、60°）及地下水位條件下，即便於較陡坡度或高地下水位等不利情境中，邊坡之塑性破壞範圍（以剪應變集中區作為判斷依據）仍明顯小於現行法規所採用之 1.5 倍坡高退縮距離。模擬結果顯示，坡度變化主要影響破壞型態與剪應變集中位置，而非水平影響範圍的極端擴張；地下水位上升雖會顯著放大破壞範圍，但仍未突破既有退縮距離的空間界線。此結果顯示，在本研究所設定之合理工程參數與水文條件下，現行退縮距離制度在空間配置層面具備相當程度之保守性，足以涵蓋不同坡度與地下水位情境下的潛在破壞範圍。

現行以「坡高倍數法（1.5H）」作為退縮距離計算標準，雖屬經驗式與幾何導向的規範，但從本研究數值模擬結果可知，其在實際破壞範圍推估上已具備足夠的安全餘裕，能有效避免開發行為受到邊坡滑動直接波及。就行政實務而言，此一制度具備計算簡單、適用範圍廣、執行成本低等優點，在現行山坡地管理架構下仍具有高度實用性與政

策價值。本研究進一步指出，氣候變遷（特別是極端降雨事件）對邊坡風險的主要衝擊，並非使破壞範圍持續向外擴張至超出現行退縮距離，而是透過「地下水位快速上升」的動態過程，使孔隙水壓在短時間內大量累積，導致土體有效應力急遽降低，邊坡穩定性迅速惡化。數值模擬結果顯示，在相同最終地下水位高度下，地下水位上升速率對邊坡破壞程度具有決定性影響。在高上升速率（可對應短延時強降雨或極端降雨）情境中，剪應變集中區（塑性區）擴張速度顯著加快，破壞行為呈現高度突發性與時間尺度縮短的特徵。此一現象反映氣候變遷的影響，主要表現在「邊坡由穩定轉為破壞的機率提高」，而非單純的「退縮距離不足」。

綜合上述結果可知，未來坡地風險的本質，將逐漸由傳統的「空間距離是否足夠」，轉變為「失穩事件發生頻率是否提高」。即便退縮距離在空間上仍屬足夠，邊坡從穩定狀態轉為破壞狀態的次數與機率，仍可能因極端氣候而顯著增加。此一風險型態的轉變，亦意味著單靠加大退縮距離，未必能有效回應氣候變遷所帶來的挑戰。

基於研究結果與前述風險詮釋，本研究對現行退縮距離制度提出以下政策與制度層面的建議。

一、維持現行退縮距離標準，無需過度加嚴

鑑於數值模擬已證實現行 1.5 倍坡高退縮距離在不同坡度與地下水位情境下，仍具備足夠安全性與保守性，建議維持現行退縮距離計算標準，無需因氣候變遷而全面加嚴。過度提高退縮距離標準，可能導致土地利用受限，增加開發與管理成本，且未必能有效降低因氣候變遷所導致的風險本質問題。

二、導入數值模擬作為高風險區之輔助審查工具

雖然現行法規在空間尺度上具備足夠安全餘裕，但其屬於靜態幾何式規範，難以反映地下水位快速變動等動態水文效應。為補足此一缺口，建議在高風險坡地或重要設施周邊，導入數值模擬作為輔助審查工具。

具體作法可包括建立「簡易查核圖表」或標準化的模擬流程，在特定水文條件（如高地下水位或極端降雨情境）下，透過模擬驗證其安全性，作為是否需要進一步風險管制或管理措施的判斷依據。此一作法可在不改變現行法規架構的前提下，提升制度對於極端情境的回應能力。

三、強化地下水監測與排水管理，從源頭降低風險

本研究結果顯示，氣候變遷所造成的風險增加，主要來自地下水位快速上升所引發的孔隙水壓累積。因此，治本之道並非一味擴大退縮距離，而是應優先強化對誘發因子的管理。

建議主管機關持續加強坡地地下水位監測系統的建置，並同步檢討與提升排水與截水設施之效能，使孔隙水壓能於降雨期間有效消散，以降低極端降雨下邊坡快速失穩的發生機率。透過「監測—預警—管理」的整合策略，將有助於提升坡地防災的整體韌性。

總結而言，本研究透過數值模擬驗證，證實現行以 1.5 倍坡高為基礎的退縮距離制度，在多數不利地形與水文條件下，仍具備足夠之安全性與保守性。氣候變遷對邊坡風險的影響，並非體現在破壞距離的無限制擴張，而是透過地下水位快速回應，使邊坡失穩的發生頻率與突發性顯著提高。未來坡地管理與政策調整，宜在維持現行空間規範的前提下，透過數值模擬輔助、風險分級與地下水管理等措施，提升制度對氣候變遷風險的適應能力。

參考文獻

- 1 Abbas, J.M. (2024) ‘Slope Stability Analysis Using Numerical Method’ , (14(9)), pp. 846 – 859.
- 2 Auckland Council (no date) *Best practice guidance for adapting buildings and infrastructure to climate change*. TR2023/15. Auckland, New Zealand: Auckland Council.
- 3 Australian Building Codes Board (2015) *Landslide Hazards Handbook*. 2nd ed.
- 4 Bračko, T., Žlender, B. and Jelušič, P. (2022) ‘Implementation of Climate Change Effects on Slope Stability Analysis’ , *Applied Sciences*, 12(16), p. 8171.
- 5 ‘Canadian Technical Guidelines and Best Practices Related to Landslides: a National Initiative for Loss Reduction’ (2013) in Couture, R. et al., *Landslides: Global Risk Preparedness*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 315 – 322.
- 6 Chen, X. *et al.* (2023) ‘Slope Scaling Effect and Slope-Conversion-Atlas for Typical Water Erosion Regions in China’ , *Sustainability*, 15(4), p. 3789.
- 7 Chiang, S.-H. and Chang, K.-T. (2011) ‘The potential impact of climate change on typhoon-triggered landslides in Taiwan, 2010 – 2099’ , *Geomorphology*, 133(3 – 4), pp. 143 – 151.
- 8 City of San Diego (2004) ‘Land Development Code: Steep Hillside Guidelines’ .
- 9 Cruden, D.M., Tedder, K.H. and Thomson, S. (1989) ‘Setbacks from the crests of slopes along the North Saskatchewan River, Alberta’ , *Canadian Geotechnical Journal*, 26(1), pp. 64 – 70.
- 10 ‘Current Status of Landslide Guidelines Around the World’ (2013) in Wang, B. et al., *Landslide Science and Practice*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 271 – 277.
- 11 Dehn, M. *et al.* (2000) ‘Impact of climate change on slope stability using expanded downscaling’ , *Engineering Geology*, 55(3), pp. 193 – 204.
- 12 Gariano, S.L. and Guzzetti, F. (2016) ‘Landslides in a changing climate’ , *Earth-Science Reviews*, 162, pp. 227 – 252.
- 13 Gofar, N. and Rahardjo, H. (2017) ‘Saturated and unsaturated stability analysis of slope subjected to rainfall infiltration’ , *MATEC Web of Conferences*. Edited by I. Iskandar et al., 101, p. 05004.
- 14 Guzzetti, F. *et al.* (eds) (2021) *Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk: Volume 2 From Mapping to Hazard and Risk Zonation*. Cham: Springer International Publishing (ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction).
- 15 Hall, W. (2014) ‘REVISED Options for Landslide Regulations: Setbacks and Slope Height’ .
- 16 Jamaludin, H. (2006) ‘Landslide hazard and risk assessment: The Malaysian experience’ , (455).
- 17 Kohno, M. and Higuchi, Y. (2023) ‘Landslide Susceptibility Assessment in the Japanese Archipelago Based on a Landslide Distribution Map’ , *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(2), p. 37.
- 18 Leiming W. *et al.* (2023) ‘Theory and application of setback distance from active faults’ .

- 19 Lew, M. and Real, C. (2004) 'Implementation of the Seismic Hazards Mapping Act in California' .
- 20 Lugt, J.S.D., Thomson, S. and Cruden, D.M. (1993) 'A suggested method for estimating setbacks from the crests of slopes on the Interior Plains in Alberta' , *Canadian Geotechnical Journal*, 30(5), pp. 863 – 875.
- 21 Lynn, I.H. (2009) *Land use capability survey handbook: a New Zealand handbook for the classification of land*. 3rd ed. Hamilton [N.Z.], Lincoln [N.Z.], Lower Hutt [N.Z.]: AgResearch ; Landcare Research New Zealand ; Institute of Geological and Nuclear Sciences.
- 22 National Building Research Organisation (NBRO) & Japan International Cooperation Agency (JICA) (2022) 'Manual for Landslide Hazard Zonation Mapping / Yellow and Red Zone Mapping (Total Impact Zone Map)' .
- 23 Nazrien Ng, J. *et al.* (2022) 'The Effect of Extreme Rainfall Events on Riverbank Slope Behaviour' , *Frontiers in Environmental Science*, 10.
- 24 Ng, K.C. *et al.* (2016) *Natural Terrain Landslide Hazards in Hong Kong*. Hong Kong: Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department.
- 25 Food and Agriculture Organization of the United Nations (2006) *Guidelines for soil description*. 4th edn. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 26 Perkins, J.P. *et al.* (2024) 'Characterizing the scale of regional landslide triggering from storm hydrometeorology' . Copernicus GmbH.
- 27 Psarropoulos, P.N., Makrakis, N. and Tsompanakis, Y. (2024) 'Climate Change Impact on the Stability of Soil Slopes from a Hydrological and Geotechnical Perspective' , *GeoHazards*, 5(4), pp. 1190 – 1206.
- 28 Ranasinghe, R. (2016) 'Assessing climate change impacts on open sandy coasts: A review' , *Earth-Science Reviews*, 160, pp. 320 – 332.
- 29 Rasie, M., Petrov, M. and Bijeljanin, L. (2018) 'Augmented slope stability analysis approach to determine setback distance based on target factor of safety criteria' , in *GeoEdmonton 2018*.
- 30 Real, C.R. and California Geological Survey, 801 K Street MS12-31, Sacramento, CA 95814-3531, USA (2010) 'California' s Natural Hazard Zonation Policies for Land-Use Planning and Development' , *Journal of Disaster Research*, 5(5), pp. 535 – 542.
- 31 Reichenbach, P. *et al.* (2018) 'A review of statistically-based landslide susceptibility models' , *Earth-Science Reviews*, 180, pp. 60 – 91.
- 32 Snohomish County (2015) *Snohomish County Code*.
- 33 Spokane County Building Dept (2025) *Slopes and Setbacks*.
- 34 Stokes, A. *et al.* (2014) 'Ecological mitigation of hillslope instability: ten key issues facing researchers and practitioners' , *Plant and Soil*, 377(1 – 2), pp. 1 – 23.
- 35 The United Nations (2025) *THE 17 GOALS*. Available at: <https://sdgs.un.org/goals> (Accessed: 10 July 2025).
- 36 United Nations Department of Global Communications (2023) *Guidelines for the use of the SDG logo including the colour wheel, and 17 icons*.
- 37 VanDine, D.F. (2018) 'EVOLUTION OF LANDSLIDE HAZARD AND RISK ASSESSMENTS IN CANADA' .

- 38 Wang, Z. *et al.* (2024) 'Influence of buffer distance on environmental geological hazard susceptibility assessment', *Environmental Science and Pollution Research*, 31(6), pp. 9582 – 9595.
- 39 Wei, S.-C. *et al.* (2018) 'Potential impact of climate change and extreme events on slope land hazard – a case study of Xindian watershed in Taiwan', *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(12), pp. 3283 – 3296.
- 40 Yang, C. *et al.* (2022) 'Characteristics and trends of hillside urbanization in China from 2007 to 2017', *Habitat International*, 120, p. 102502.
- 41 Zheng, X. *et al.* (2025) 'Effects of rainfall intensity and mitigation measures on slope stability: a case study of Shatianpo landslide in Yunyang county, Chongqing City, Southwest China', *Frontiers in Earth Science*, 13.
- 42 Zhou, L. *et al.* (2021) 'Cities are going uphill: Slope gradient analysis of urban expansion and its driving factors in China', *Science of The Total Environment*, 775, p. 145836.
- 43 內政部 (2021) 建築技術規則建築設計施工編。Available at: <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=D0070115> (Accessed: 21 May 2025).
- 44 劉冠麟, 盧之偉, 林宏明 (2019) '板岩邊坡在極端降雨下之邊坡穩定分析', 11(1).
- 45 吳宗達 (2008) 不同退縮距離對坡地建物之應力傳遞與變形探討. 國立臺灣科技大學.
- 46 國家災害防救科技中心, 歷史災害事件反映極端降雨的條件下, 崩塌、土砂量有增加的趨勢。Available at: <https://dra.ncdr.nat.gov.tw/Frontend/Disaster/RiskDetail/BAL0000020>.
- 47 國家災害防救科技中心 (編譯) (2015) '2015-2030 仙台減災綱領 (Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030)'.
- 48 張光宗, 林哲儀 (2008) '以極限平衡法分析邊坡穩定—岩坡及崩積層邊坡為例', 中華水土保持學報, 39(2).
- 49 李怡先 (2009) 建築技術規則山坡地建築專章實施檢討與分析.
- 50 李怡先, 王暉堯 (no date) 建築物坡腳退縮距離之研究. 內政部建築研究所.
- 51 李欣輯, 黃桂卿, 楊松岳 (2017) '從仙台減災綱領看台灣歷年水利防災工程之成效', 土木水利, 44(5).
- 52 王浣雅 (2010) 氣候變遷下降雨與淺層飽和層水位引致坡地災害之風險評估-以新北市南勢溪為例. 碩士論文. 國立臺灣大學生物資源暨農學院.
- 53 賴栗葦, 姜善鑫 (2003) '台灣地區之降雨變遷研究', 中華水土保持學報, 34(2).
- 54 農業部 (2016) 水土保持法。Available at: <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?PCode=M0110001> (Accessed: 21 May 2025).
- 55 農業部 (2019) 山坡地保育利用條例。Available at: <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=M0110006> (Accessed: 10 April 2025).
- 56 農業部 (2025) 山坡地範圍劃定及檢討變更作業要點。Available at: <https://law.moa.gov.tw/LawContentSource.aspx?id=FL020138> (Accessed: 10 April 2025).
- 57 農業部 (2025) 水土保持技術規範。Available at:

https://www.ardswc.gov.tw/Home/laws/laws_more?id=72279a8c50f3445e8d564a8d4577342e&AspxAutoDetectCookieSupport=1 (Accessed: 21 May 2025).

- 58 陳俐文 (2018) 降雨引致地下水位變化及邊坡變形分析. 碩士論文. 國立暨南國際大學土木工程學系.
- 59 陳水龍, 林群富 (2006) ‘利用有限元素法與極限平衡法進行九份國小邊坡穩定分析’, 技術學刊, 21(4).
- 60 顧承宇 等人. (2012) ‘氣候變遷下極端降雨引致廣域坡地災害評估技術之研究’, (43(1)), pp. 75 - 84.

各期審查意見

農業部農村發展及水土保持署

「評估山坡地範圍劃出退縮距離於氣候變遷下之影響」案

期中意見回復

委員意見	意見回復
郭治平 委員	
(一) 本計畫若研究成果為增加退縮，則實務上針對既有之結構該如何提供主管機關處理方式？	本計劃主要針對目前現有退縮距離進行檢討，而目前結果應可發現，在考慮數值計算的結果下，目前法規訂定的結果較為保守，在地質情況變異性的考量下，採用保守的做法應該是較為適當的。
(一) P3-7~P3-8 公式可能有誤植，請再確認。	感謝委員意見，目前已經修正。
(二) P3-21 HYRCAN 似非主流 LEM 軟體，請詳述其功能及適用條件。	感謝委員意見，目前已使用 Plaxis 進行模擬
(三) P3-26 最下段文字，何為極端情境？	感謝委員意見，該段文字以進行修正。
(四) 參考文獻列表中文部分請勿用 and、et al 等非中文文字。	感謝委員意見，已經修正文獻列表。
張益通 委員	
(一) 依現階段退縮距離參考因子為坡度及地質因子，雖為直接考量層面，是否仍有需再納入公式列為經計算因子，請再納入研究提供建議。	感謝委員意見，針對目前法規我們認為若是可以取得相對完整的地質資料，應可導入數值模式協助計算，但考量到地質情況的變異性，以現行法規應較為保守。
(二) 114 年 4 月 28 日本署已在修正農業部山坡地範圍劃定及檢討變更要點，增加退縮距離 1.5 倍安全係數，其是否合宜？建議能有案例驗證或數值模式模擬結果加以論述。	感謝委員意見，已增加至討論內容。

期末意見回復

委員意見	意見回復
(一) 不同山坡地之地形、地貌，如上游有堰塞湖等，對於退縮距離的影響研究。可作為後續參考。	感謝委員意見，本研究目前是以均質邊坡幾何條件為出發點，目的是先檢討「現行退縮距離公式本身是否在一般條件下具有足夠保守性」，因此尚未將如堰塞湖、上游崩塌堆積體、谷地收斂等特殊地形因素直接納入模型。不過，從數值模擬的角度來看，這類地形條件其實可以被視為外加水文與荷載邊界條件的改變，與本研究已探討的「地下水位高度與上升速率」機制高度一致。因此，本計畫的成果可視為後續納入特殊地形情境的基礎架構，未來只要將地形因素轉換為對應的水文或力學邊界條件，即可延伸應用。
(二) 不同地質條件的參數皆不同，有無統一方法可提供破壞範圍跟退縮距離的關係，使其更具適用性。	感謝委員意見，本研究的立場並不是要為不同地質條件建立「單一精確退縮距離」，而是希望釐清：在地質參數不確定的前提下，現行幾何式退縮距離是否仍具備足夠包絡能力。從模擬結果來看，即使在不同材料強度設定下，實際破壞範圍仍普遍小於現行 1.5H 的退縮距離，顯示此作法在「跨地質條件」的適用性上仍具合理性。 若要追求更具適用性的統一方法，較可行的方向不是統一材料參數，而是： (1)保留幾何式退縮距離作為保守上限； (2)透過數值模擬或風險分級方式，建立「破壞範圍落在公式內的相對位置」這樣可避免過度依賴難以精準取得的地質參數，同時提升實務可操作性。
(三) 氣候變遷的情境，究竟哪些參數是能代表氣候變遷對於邊坡的破壞，需更明確定義與解釋	感謝委員意見，本研究明確指出，氣候變遷對退縮距離的影響，不是透過「讓破壞距離無限放大」來呈現。真正能代表氣候變遷影響的關鍵參數有三類，地下水位上升速率、地下水位變動幅度及

委員意見	意見回復
	極端降雨發生頻率，本研究針對地下水上升速率進行比對，模擬結果顯示，在相同最終水位高度下，上升速率的不同會顯著改變剪應變集中區的發展速度與範圍，這正是氣候變遷「短延時、強降雨」的力學表現方式。
(四) 現有大崩淺潛勢區能否有案例進行探討，作為退縮距離修正與補充。	本計畫屬於「制度與方法驗證型研究」，優先目標是確認現行退縮距離在理論與機制上是否合理，因此尚未直接套用到特定大崩塌案例。可在後續延伸研究中，作為相關的實證驗證。
(五) 計畫成果有助於行政決策的輔助判斷。	感謝委員肯定。本團隊將持續協助總署進行相關研究。
(六) 計畫較著重在淤深比與體積比的關係探討，對於氣候變遷之影響較為缺乏。	感謝委員意見。目前已在成果報告中，透過地下水位上升速率的模擬，本研究其實已將氣候變遷的核心力學效應（快速水位回應）納入，只是尚未轉換為機率或重現期的量化指標，這部分需要長期水文資料支撐，適合作為後續計畫延伸。
(七) 建議說明未來是否能性成簡化判斷指標或決策流程圖，供相關單位於山坡地審查時快速應用。	感謝委員意見。本計畫成果可直接轉化為「二階段決策流程」： 第一階段（行政快速審查） 採現行 1.5H 退縮距離，作為保守通用標準。 第二階段（高風險輔助判斷） 當坡度陡、地下水位高、或位於極端降雨敏感區時，導入簡化數值模擬或風險分級判斷。未來確實可以將這套流程整理成「判斷表或流程圖」，提供地方政府或審查單位快速套用。