

國立臺東大學資訊管理學系

碩士論文

Department of Information Science and Management
Systems

National Taitung University

Master Thesis

基於模糊理論的案例式推理

應用於坡地災害潛勢研判之研究

**Using Fuzzy and Case Base Reasoning to
Pre-judging Slope Hazard Potential**

葉承憲

Cheng-Xian Ye

指導教授：王文清 博士

謝明哲 博士

Advisor: Wen-Ching Wang, Ph.D.

Ming-Che Hsieh, Ph.D.

中華民國 99 年 9 月

September, 2010

國立臺東大學
學位論文考試委員審定書
系所別：資訊管理學系

本班 葉承憲 君

所提之論文 基於模糊理論的案例式推理應用於坡地災害潛勢研判之研究

業經本委員會通過合於 碩士學位論文 條件

論文學位考試委員會：

樊旭陽

(學位考試委員會主席)

游明哲

王文清

(指導教授)

論文學位考試日期：99年9月7日

國立臺東大學

附註：1. 本表一式二份經學位考試委員會簽後，正本送交系所辦公室及註冊組或進修部存查。

2. 本表為日夜學制通用，請依個人學制分送教務處或進修部辦理。

博碩士論文電子檔案上網授權書

本授權書所授權之論文為授權人在國立臺東大學(學院) 資訊管理學系碩士班系所_____組
99學年度第一學期取得碩士學位之論文。

論文題目：基於模糊理論的案例式推理應用於坡地災害潛勢研判之研究

指導教授：謝明哲, Ming Che Hsieh；王文清, Wen Ching Wang

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文(含摘要)，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢
索、閱覽、下載或列印，此項授權係非專屬、無償授權國家圖書館及本人畢業學校之圖書館，
不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或數位化方式將上列論文進行重製，並同意公開傳輸數
位檔案。

上列論文為授權人向經濟部智慧財產局申請專利之附件或相關文件之一（專利申請案號：_____），
請於_____年_____月_____日後再將上列論文公開或上載網路。

因上列論文尚未正式對外發表，請於2010年10月19日後再將論文數位化檔案上載網路公開。

授權人：葉承憲

親筆簽名或蓋章：葉承憲 民國99年10月19日

博碩士論文授權書

本授權書所授權之論文為本人在 國立臺東大學 資訊管理 系(所)
組 99 學年度第 1 學期取得 碩 士學位之論文。

論文名稱：基於模糊理論的案例式推理應用於坡地災害潛勢研判之研究

本人具有著作財產權之論文全文資料，授權予下列單位：

同意	不同意	單 位
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	國家圖書館
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	本人畢業學校圖書館
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	與本人畢業學校圖書館簽訂合作協議之資料庫業者

得不限地域、時間與次數以微縮、光碟或其他各種數位化方式重製後散布發行或上載網站，藉由網路傳輸，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

同意 不同意 本人畢業學校圖書館基於學術傳播之目的，在上述範圍內得再授權第三人進行資料重製。

本論文為本人向經濟部智慧財產局申請專利(未申請者本條款請不予理會)的附件之一，申請文號為：_____，請將全文資料延後半年再公開。

公開時程

立即公開	一年後公開	二年後公開	三年後公開
			<input checked="" type="checkbox"/>

上述授權內容均無須訂立讓與及授權契約書。依本授權之發行權為非專屬性發行權利。依本授權所為之收錄、重製、發行及學術研發利用均為無償。上述同意與不同意之欄位若未勾選，本人同意視同授權。

指導教授姓名：王文清 謝源哲 (親筆簽名)

研究生簽名：葉永憲 (親筆正楷)

學 號：99701306 (務必填寫)

日 期：中華民國 99 年 9 月 23 日

致謝詞

很快的待在台東大學兩年多的時間一眨眼就過去了，從原本什麼都不太了解的大學畢業生，來到這邊更加深自己的視界，看得更多，這段時間也發生了很多事情，正是因為這樣，要感謝很多人的支持與鼓勵，因為有他們，才能成就這段難得的回憶。

首先最感謝我的家人，無時無刻關心、照顧我，也在背後默默支持我，讓我可以無後顧之憂完成我的學業，也非常感謝我的兩位指導教授王文清老師與謝明哲老師，對於完成我的論文有許多幫助，當我有不了解、不清楚之處都很有耐心的一再為我做解釋，直到我了解其中的問題所在，此外也感謝口試委員龔旭陽老師給我的建議與指導，讓我能夠了解論文不足之處，而能加強使其更為完整。也感謝系上的所有老師們平時上課用心的教導，讓我體會了如何學習與應該具有的學習態度。

還有需要感謝的就是防災中心的大家，當我壓力很大時總會陪我放鬆一下，跟大家的相處就像一家人一樣總是可以輕鬆的在一起聊天打屁，也要感謝就是班上的同窗好友們，聖熙、弘侑、龍富、千秦、冠廷、慧文、文翔、延錄、牧隴，感謝大家的陪伴與鼓勵，尤其之前我生病時謝謝大家輪流照顧我，一路走來，所要感謝的人是非常之多，最後就感謝台東大學能夠給予我這個學習的機會，謝謝。

葉承憲 謹識於

國立台東大學資訊管理研究所

九十九年十月

摘要

由過去研究顯示致災評估指標項選取過多時，研判工作需獲取現地大量資訊，造成無法快速分析並獲得需要資訊，而選取過少時又會有資訊量不足，造成對於潛勢研判具有不準確之疑慮。由於坡地災害所具有之致災評估指標屬性大多具有「模糊」與「不確定性」等性質，例如：「坡面沖蝕情形，有輕微、中等、嚴重」，無法以一般數值指標作為評判依據。為快速提供判斷社區坡地潛在災害，本研究採用Mamdani學者提出的min-min-max模糊推論法，將欲評估潛勢等級之待評估案例，經由模糊理論之推論法則與經驗案例的各項致災評估指標並透過比對其隸屬函數符合之可能性，以獲得最相似之經驗案例，予以快速評估坡地災害潛勢等級。

本研究參照楊智銳於2006年針對坡地社區提出快速評估方法(N2-PASS)所訂，導致坡地社區潛在危險之「坡面坡度、坡面材料、坡面上游集水面積、順向坡、是否在水路或土石流通路上、坡面土層之滲透性、邊坡崩坍歷史、坡面風化程度、坡面植生狀況、坡面出現凹陷、坡面樹木或電線杆傾斜、坡面沖蝕之情形、坡面(趾)滲水、路面或階梯出現裂縫、房屋安全退縮距離、擋土牆外凸變形或龜裂、擋土牆有崩土或土石堆、擋土牆出水現象不正常、排水溝使用狀況」等19項致災評估指標建立其隸屬函數，作為指標模糊推論之依據，並以台北市建設局評估完成評定為高、中、低危險程度的20組社區案例做為比對母體，建構坡地社區經驗案例。經驗案例建置完成後，進行10組待評估案例與20組經驗案例之模糊比對分析，比較其案例相似程度，可分別正確判斷10組待評估案例具有的危險等級，顯示本評估模組對於坡地社區具有之災害潛勢可正確判斷。

關鍵詞：案例式推理、模糊理論、坡地災害。

Abstract

Previous studies have shown that excessive risk assessment index of selected item, judged needs a lot of information will result can not be quickly analyzed to obtain the necessary information, select a small amount of information, there will be insufficient, leading to potential problems and no exact judge. The properties slope hazard evaluation, many of which are "fuzzy" and "uncertainty" and other features, such as: "slope erosion, slight and medium and serious" can not in general the numerical indicators as the basis. In order to quickly provide the community determine the slope of potential disasters, the study proposed by Mamdani scholars min-min-max fuzzy inference method, will want to assess the level of potential cases to be evaluated. Empirical case of disaster assessment indicators and fuzzy inference rules, by comparing the membership functions consistent with the possibility of getting the most experience in similar cases, to quickly assess the level of potential landslides

This research followed Chih-Jei Yang hillside community in 2006, made for the rapid assessment methods (N2-PASS) set, leading to potentially dangerous community, "slope gradient, slope materials, slope upstream catchment area, along the slope, whether the water or debris flow through on the road, the slope of the permeability of soil, slope landslide history, degree of weathering on slope, slope vegetation conditions, slope of dishing, slope of trees or utility poles tilted, slope erosion situation, slope (toe) water seepage, cracks in pavement or ladder, housing safety setback distance, retaining walls convex deformation or cracking, soil or earth retaining wall has collapsed rubble, retaining water phenomena is not normal, drain usage" and other established disaster assessment 19 indicators of membership

functions, fuzzy reasoning as the basis to assess the completion on the Taipei City Government Bureau of high, medium and low-risk group, 20 cases as compared to the parent community, the community building experience in the slope case.

The experience case is built complete to be wait assessed cases for 10 and experience of 20 in case of fuzzy matching to compare the similarity of their case can correctly judge the 10 groups were to be wait assessed case with the risk level, showing this assessed module for slope communities have correctly judge the disaster potential.



目錄

致謝詞	IV
摘要	V
Abstract	VI
表目錄	IX
圖目錄	XI
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究範圍	1
1.3 研究目的	2
1.4 論文架構	2
1.5 研究流程	3
第二章 文獻回顧	4
2.1 案例式推理	4
2.2 模糊理論	10
2.3 坡地災害	16
2.4 小結	20
第三章 研究方法	21
3.1 問題描述	21
3.2 研究架構	21
3.3 研究限制	22
3.4 建構工具介紹	22
3.5 建構評估相似度之模糊推論模組	23
3.6 致災評估指標之隸屬函數建立	33
第四章 研究結果與分析	54
4.1 評估模組應用於案例危險評估	54
第五章 結論與建議	63
5.1 結論	63
5.2 建議	63
參考文獻	64
附錄	68

表目錄

表 3.1 致災評估指標重要性分類統計表	26
表 3.2 本研究整理三位專家建議之致災評估指標重要性分類表	27
表 3.3 坡面材料相似度規則表	29
表 3.4 坡面上游集水面積相似度規則表	29
表 3.5 順向坡相似度規則表	29
表 3.6 是否在水路或土石流通路上相似度規則表	29
表 3.7 坡面土層之滲透性相似度規則表	30
表 3.8 邊坡崩坍歷史相似度規則表	30
表 3.9 坡面風化程度相似度規則表	30
表 3.10 坡面植生狀況相似度規則表	30
表 3.11 坡面出現凹陷相似度規則表	31
表 3.12 坡面樹木或電線杆傾斜相似度規則表	31
表 3.13 坡面沖蝕之情形相似度規則表	31
表 3.14 坡面（趾）滲水相似度規則表	31
表 3.15 路面或階梯出現裂縫相似度規則表	32
表 3.16 房屋安全退縮距離相似度規則表	32
表 3.17 擋土牆外凸變形或龜裂相似度規則表	32
表 3.18 擋土牆有崩土或土石堆相似度規則表	32
表 3.19 擋土牆出水現象不正常相似度規則表	33
表 3.20 排水溝使用狀況相似度規則表	33
表 3.21 坡面坡度隸屬函數表	34
表 3.22 坡面材料隸屬函數表	35
表 3.23 坡面上游集水面積隸屬函數表	36
表 3.24 順向坡隸屬函數表	37
表 3.25 是否在水路或土石流通路上隸屬函數表	38
表 3.26 坡面土層之滲透性隸屬函數表	39
表 3.27 邊坡崩坍歷史隸屬函數表	40
表 3.28 坡面風化程度隸屬函數表	41
表 3.29 坡面植生狀況隸屬函數表	42
表 3.30 坡面出現凹陷隸屬函數表	43
表 3.31 坡面樹木或電線杆傾斜隸屬函數表	44
表 3.32 坡面沖蝕之情形隸屬函數表	45
表 3.33 坡面（趾）滲水隸屬函數表	46
表 3.34 路面或階梯出現裂縫隸屬函數表	47
表 3.35 房屋安全退縮距離隸屬函數表	48
表 3.36 擋土牆外凸變形或龜裂隸屬函數表	49

表 3.37 擋土牆有崩土或土石堆隸屬函數表	50
表 3.38 擋土牆出水現象不正常隸屬函數表	51
表 3.39 排水溝使用狀況隸屬函數表	52
表 3.40 相似程度隸屬函數表	53
表 4.1 經驗案例前十項基本資料表	55
表 4.2 經驗案例後九項基本資料表	56
表 4.3 待評估案例前十項基本資料表	58
表 4.4 待評估案例後九項基本資料表	59
表 4.5 待評估案例前六組與經驗案例相似值輸出表	60
表 4.6 待評估案例後四組與經驗案例相似值輸出表	61



圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	3
圖 2.1 案例式推理在問題描述和解決方案描述之間的空間關係.....	5
圖 2.2 案例式推理循環圖.....	6
圖 2.3 三角形 (Triangular) 隸屬函數.....	11
圖 2.4 梯形 (Trapezoidal) 隸屬函數.....	12
圖 2.5 高斯型 (Gaussian) 隸屬函數.....	13
圖 2.6 min-min-max 模糊推論法示意圖.....	15
圖 3.1 MATLAB 中之 FIS Editor.....	23
圖 3.2 MATLAB 中之 Membership Function Editor.....	24
圖 3.3 MATLAB 中之 Rule Editor.....	25
圖 3.4 坡面坡度隸屬函數圖.....	34
圖 3.5 坡面材料隸屬函數圖.....	35
圖 3.6 坡面上游集水面積隸屬函數圖.....	36
圖 3.7 順向坡隸屬函數圖.....	37
圖 3.8 是否在水路或土石流通路上隸屬函數圖.....	38
圖 3.9 坡面土層之滲透性隸屬函數圖.....	39
圖 3.10 邊坡崩坍歷史隸屬函數圖.....	40
圖 3.11 坡面風化程度隸屬函數圖.....	41
圖 3.12 坡面植生狀況隸屬函數圖.....	42
圖 3.13 坡面出現凹陷隸屬函數圖.....	43
圖 3.14 坡面樹木或電線杆傾斜隸屬函數圖.....	44
圖 3.15 坡面沖蝕之情形隸屬函數圖.....	45
圖 3.16 坡面 (趾) 滲水隸屬函數圖.....	46
圖 3.17 路面或階梯出現裂縫隸屬函數圖.....	47
圖 3.18 房屋安全退縮距離隸屬函數圖.....	48
圖 3.19 擋土牆外凸變形或龜裂隸屬函數圖.....	49
圖 3.20 擋土牆有崩土或土石堆隸屬函數圖.....	50
圖 3.21 擋土牆出水現象不正常隸屬函數圖.....	51
圖 3.22 排水溝使用狀況隸屬函數圖.....	52
圖 3.23 相似程度隸屬函數圖.....	53
圖 4.1 待評估案例與經驗案例相似值輸出圖.....	62

第一章 緒論

1.1 研究動機

以往人口數量不多時居住問題或許未見明顯，隨著人口數量越來越多，居住此一問題就越來越備受重視，當平地可接受之居住數量一旦趨近於飽和，為了滿足生活機能開發山坡地已然成為趨勢，然而不當之坡地開發卻為日後埋下潛在不可預期的坡地災害。

台灣因處於亞熱帶地區，平均年降雨量具有兩千五百公釐以上，加上台灣的地形山多平地少，在總面積三萬六千平方公里中，平地只佔了約26.4%，山坡地及高山面積卻佔73.6%，1997年8月18日溫妮颱風挾帶豐沛降雨襲擊北臺灣，位於台北縣汐止鎮的林肯大郡社區因豪雨引發順向邊坡滑動，造成28人喪生之慘劇。災害發生後亦引起各界對坡地社區災害的注意。

針對坡地社區之危險評估，學者一般藉由設計良好的坡地社區檢查表格得到所需可供評估資訊，但是真正的問題是如何將這些有效之評估資訊回收後分析並得知社區具有之致災評估指標，經由這些致災評估指標得到社區具有之風險高低。

資訊技術的優勢是具有快速分析與廣泛應用的可能性，如何能夠有效利用其優勢來幫助學者對於所得到之資訊能夠有更妥善且適合的使用方式，實為當前普遍存在有待解決的課題。

1.2 研究範圍

由過去學者所研究各式坡地災害中可知，造成坡地災害的致災評估指標因為各式環境、不同地質類型與台灣特有的氣候條件等差異，造成不同學者雖同樣針對坡地災害做研究卻得出各有差異之致災評估指標，正因為致災評估指標種類、條件繁多無法完全確定都需要或是適合，若加上欲研究對象如無針對性，可能會使得範圍過於廣泛而無法有效選取適合研究之致災評估指標。

本研究為選取合適之致災評估指標以得到有效結論，將研究對象設定為坡地

社區，只針對會造成坡地社區具有潛在危險適合作為本研究之致災評估指標，遂採取楊智銳於2006年針對坡地社區提出快速評估方法（N2-PASS）中之「坡面坡度、坡面材料、坡面上游集水面積、順向坡、是否在水路或土石流通路上、坡面土層之滲透性、邊坡崩坍歷史、坡面風化程度、坡面植生狀況、坡面出現凹陷、坡面樹木或電線杆傾斜、坡面沖蝕之情形、坡面（趾）滲水、路面或階梯出現裂縫、房屋安全退縮距離、擋土牆外凸變形或龜裂、擋土牆有崩土或土石堆、擋土牆出水現象不正常、排水溝使用狀況」等19項致災評估指標，較符合本研究欲探討之對象並增加其有效性。

1.3 研究目的

針對坡地災害已有眾多學者發展出快速評估危險之方式，但鮮少有學者特別針對坡地社區發展一套快速評估潛在危險之方式，兩者評估差異在於一般坡地災害評估潛在危險之致災評估指標多為一般自然環境項目，而針對坡地社區評估潛在危險之致災評估指標除了一般自然環境項目還需增加對於建築物、地工條件等，因此對於評估對象不同需增減的項目各有不同。

楊智銳根據前人所發展坡地災害快速評估安全之方式將其改進，能更符合坡地社區評估其安全性，但其提出之評估方式較屬學術理論之分析與研究，欠缺系統化歸納整理與可供實務精確操作並方便使用者。

本研究使用人工智慧中的模糊理論結合案例式推理應用發展出坡地社區評估模組，以實際發生過且被評估過之經驗案例作為判斷依據，能有效、快速地判斷欲進行評估之待評估案例具有的危險等級。

1.4 論文架構

本論文共分為五章：

第一章為緒論，闡述研究動機、範圍、目的與研究流程等；第二章為文獻回顧，蒐集與本研究相關之文獻或類似之研究；第三章為研究方法，提出問題描述並分析架構重點、建構評估相似度模組程序的過程與隸屬函數定義；第四章為使

用坡地社區評估模組透過已評定危險程度之經驗案例，分析了解待評估案例，並得到待評估案例危險等級；第五章為結論與建議，對本研究做出結論，並提出後續研究之建議。

1.5 研究流程

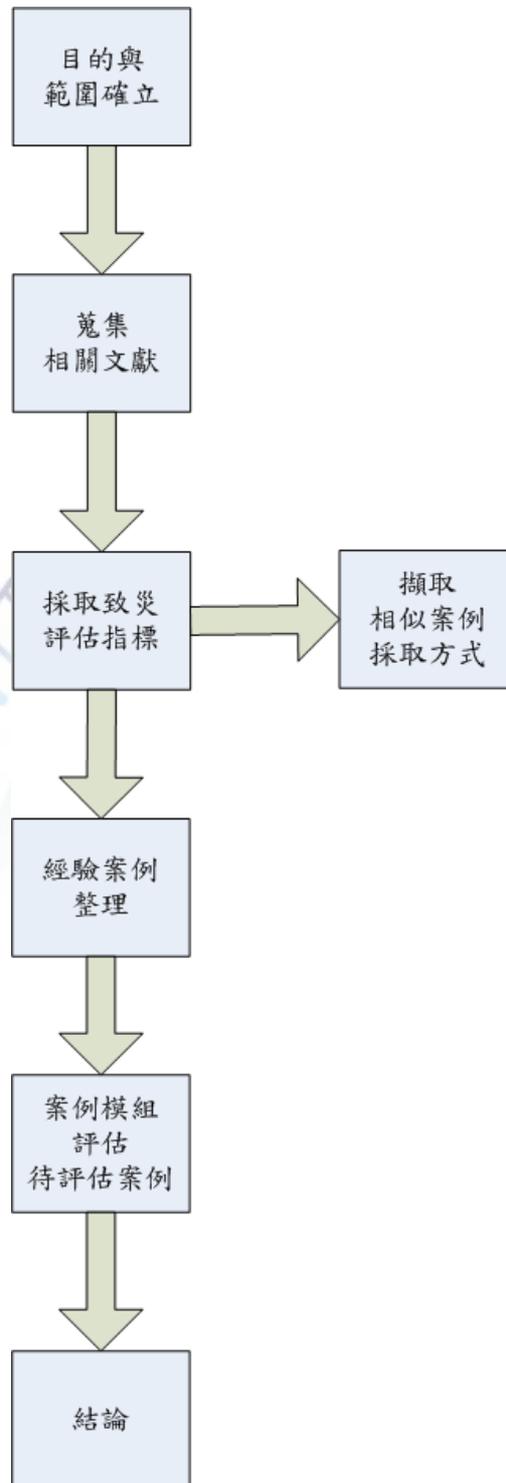


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 案例式推理

2.1.1 定義

案例式推理源自於 Schank 和 Abelson 共同在 1977 年發展的一個理論概念及研究方法，其基本概念是由人工智慧領域中另外分化而來，案例式推理對於解決問題有一基本假設「類似型態的問題一般多傾向於會重複發生，所以相似問題會傾向需要相似解決方案」；案例式推理的技術觀點，便是利用這種重複跟規律的條件，再透過與過去的舊案例具有的具體解決方案做結合，當遇到新案例需要解決時可供參考使用。

Roger Schank 在 1982 年所著「動態記憶 Dynamic Memory」中，曾經描述過以人腦記憶概念的方式作為推理工具，因此案例式推理其基本概念就像「人類使用過去經驗拿來解決現在面臨的類似問題」根據這種思考模式而來（陳俊賓，1997），所以案例式推理的概念是提出近似人類思考問題、尋求解答並學習新知識的一種架構，這個概念隨後被他的學生 Janet 所應用，她的系統 Cyrus 也被許多研究生應用到各式各樣的領域。

以案例式推理系統運作方式來說即參考過去案例的解決方法，並將其運用到新的案例上面；另外研究案例式推理的某部分概念可知，其剛開始是源自於認知科學，但是對於廣泛集合應用方面也已證明其產生的解形成的方法論是有效的；當過去只有規則式推理(rule based reasoning)時，只可解決具有結構化且定義清楚的問題，而案例式推理卻可輔助解決難以結構化或只有半結構化的問題。

Schank 和 Abelson 在 1977 年並提出手稿 (Script) 模式以模擬人類記憶住知識的方式，將一個人原本具有的記憶模擬成一張一張的手稿，當認知到新的事物時，將類似的手稿抽出來(利用原有的記憶)來解釋或了解新的事物。

Riesbeck 和 Schank 在 1989 年正式將案例式推理定義為：“A case-based reasoner solves new problems by adapting solutions that were used to solve old

problems”，案例式推理器解決新的問題是使用舊問題解的適應解決方案。

Leake 在 1996 年更將相似作用做一明確定義，透過一個簡易圖說明輸入問題在問題空間中找尋相似之問題到在解空間中擷取此相似問題之相似解都需要適當距離的概念，說明案例式推理在問題描述和解決方案描述之間的空間關係，如圖 2.1 所示。

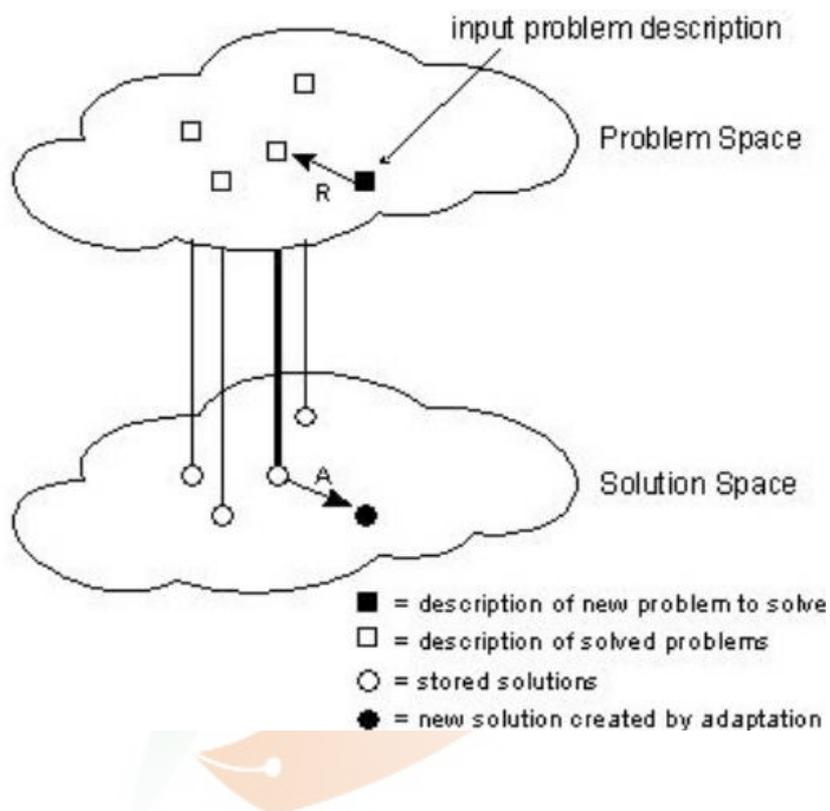


圖 2.1 案例式推理在問題描述和解決方案描述之間的空間關係 (Leake, 1996)

Leake 和 Wilson 在 1999 年並表示推理是基於觀察，意指「相似的問題有相似的解」。

整個案例式推理系統的流程，可用四個 R 完整說明 (Amodt & Plaza, 1994)。第一個 R 代表擷取 (retrieve)，即由案例庫中擷取和目標案例 (problem case) 相似的案例；第二個 R 代表再次使用 (reuse) 由相似的案例中擷取出合適的解；第三個 R 代表修正 (revise) 過去案例所擷取出的解；第四個 R 則是保留 (retain) 經過修正、確定後的案例，之後將該案例送回案例庫內以便下次使用，

如圖 2.2 所示。

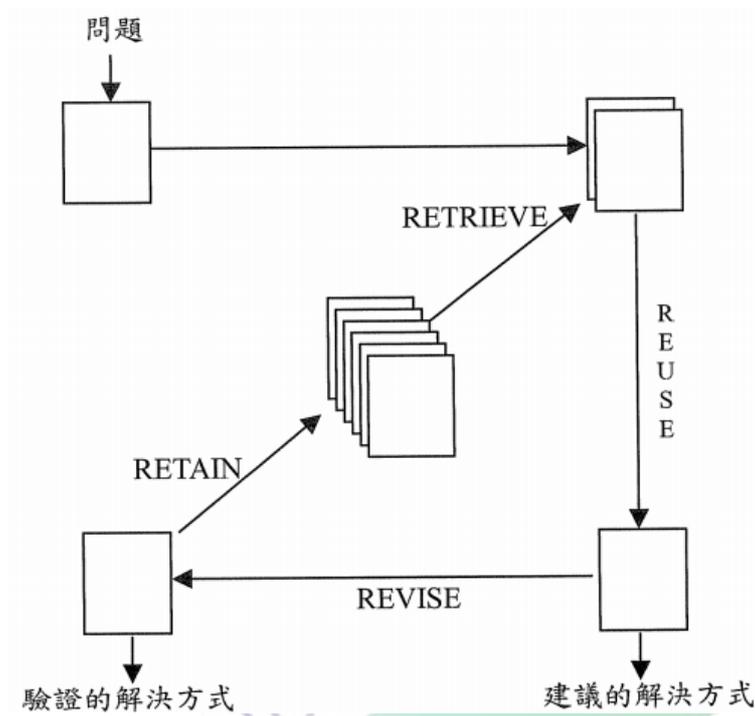


圖 2.2 案例式推理循環圖 (Amotz & Plaza, 1994)

2.1.2 案例式推理流程各機制說明

(一) 案例擷取 (Case Retrieve)

為了解決新的案例，案例擷取可經由索引標籤，到案例庫中尋找符合問題所需的相關案例或最相似案例。案例庫中，經由使用者查詢，可能有不具相符合的案例之回應，此情況若在一般資料庫查詢中會回應類似於「未發現相符合的記錄」，使用者因此無法查詢，而案例庫則會回應相類似的案例，取回案例，這方面較一般資料庫具有彈性。

因此根據案例式推理主要運作方式，解決新問題的關鍵步驟便是如何找到合適案例，而解決辦法就是需要一個合適的案例索引系統。

案例的索引擷取有四種方式：

1. 最近鄰法 (Nearest Neighbor)：

根據相似程度比對的概念，加入案例各項屬性的權重 (weight)，最後從目

標案例與來源案例的相似性總權重值 (weighted sum)，得出目標案例與來源案例之間相似程度的大小來取得案例，所以其優點是當案例庫不斷增加之後，系統可自動學習，不用像歸納法一樣需要重新建構分類樹，有較大的彈性空間；但其缺點是案例索引的時間相對於其他索引方法會比較多一些。

2. 歸納法 (Inductive)：

對於案例庫來說，即以輸入的案例屬性和案例庫中具有的案例屬性互相匹配比對，利用歸納演算法進行案例索引分析，根據這些屬性彼此的相似性做分類，形成一個具有層次的分類樹，所以其優點在於最後可根據一個最佳的屬性當比對條件，進而減少案例索引的時間；但此方式的最大缺點便是每當有新的案例加入時，都需要從新建構出新的分類樹，所以較不具有彈性空間；歸納演算法如ID3、C4.5和迴歸樹(CART)；C4.5是由ID3學習法演化而來，在ID3中，要利用哪些屬性來分類案例是根據資訊量的多寡來決定，並計算出事先選擇的較佳訓練資料集的平均資料量，即所謂利用熵函數(Entropy)來計算該訓練資料集中的資料混亂度，而選擇一個合適的資料集合；ID3也存在一些缺點，當分類條件使分出的子集合具有較多的屬性，其中的極端例子為當一個集合分割後的子集合各只有一個資料時，其有效資訊為零，雖因此獲得的資訊量最大，但這樣的分割並無意義，後來的學者才提出C4.5 (Quinlan, 1993)，將其正規化以減少分成過多子集合的效應。

3. 知識導引法 (Knowledge-Guided)：

是運用案例現有的領域知識和經驗來定義相關的案例，雖然本法理論上較佳，但實際上，用知識導引來索引案例無法完全徹底的擷取和表達出所需要得案例資訊，也因此，許多使用知識導引的索引法會與其他索引技術一起使用 (Barletta, 1991) (Brown & Gupta, 1994)。

4. 其他：

前述三種為早期多數學者所採用之方式，現今又有其他學者嘗試加入模糊理論與類神經等其他種人工智慧等方式，增加案例索引的準確率。

因此本研究擬採用模糊理論與案例式推理互相結合使用，發展推論機制，下節將整理介紹模糊理論。

(二) 案例再用 (Case Reuse)

經過擷取案例之程序後得到建議的解決方案，這些擷取出來的案例即為候選案例(Candidate cases)，研究人員可使用這些案例當作解決問題的知識加以研究，還需要判斷這些解決問題的方案是否能夠解決目前面臨的問題，並且評估案例，由其中選出可用得案例，這就是擷取出可用案例並再次使用得階段。

(三) 案例修正 (Case Revise)

案例式推理系統如有案例經驗提供完整且正確之解決方案，則無需將案例修改，即可正常運作。

但若因為案例庫中具有案例不完整，不足以提供所需經驗，此時若出現未曾出現過的問題時，則必須利用案例修正之程序，利用各種方法，將擷取的案例進行修改，以符合現有問題之所需，才可有效的解決問題。

(四) 案例保留 (Case Retain)

案例經過學習後，把新的案例或改編過的案例存入案例庫中，可使案例庫中的案例品質逐漸提升，但是並非全部新案例或改編後的案例皆需被放入案例庫中，經由選擇，與案例庫中的案例相似程度較低的新案例予以置入，不僅可防止案例庫無止盡擴增，使索引搜尋案例庫困難增加，亦不會造成日後案例擷取的困擾。

這方面也有學者指出 (Derere, 2000)，雖然擷取及保留兩機制在理論上可以自動化，而且很多領域都已實作達到這個目的，然亦可經由人類來介入案例保留之程序，因為建構新的案例存入案例庫時，可能有各種因素造成不正確資料或無效資料值之產生，為了避免無效值輸入案例中，則需有專家人員檢視後，方可置入案例庫。

2.1.3 案例式推理相關研究

國內外對於案例式推理之相關研究，應用範圍遍及各個領域，下列概略列出

幾個領域的相關研究，營建相關領域有工程結構設計、安全規劃、營建排程與成本估計、競標決策，商業相關領域有信用評等決策輔助、產品開發知識整合，對於自然災害方面則有結合地理資訊系統預測颱風路徑、應用於土石流危險評估系統。

從上述列出之各個領域的相關研究中，與本研究較為類似之研究為「應用於土石流危險評估系統」，該研究以南投地區於民國 90 年 7 月桃芝颱風過境時，十處發生土石流之溪流，共一百二十二組資料建立「案例庫 (Case Base)」，做為搜尋相似案例的依據。

其研究是從一百二十二組已發生土石流資料中挑出其中之一筆案例做為輸入的詢問案例，並篩選出十組案例，扣除本身案例相似度 100% 之外，又取出另外九組相似案例，以此九組相似案例計算出相似度之平均值；透過分析一百二十二組相似度平均值的分布情形，由此界定出土石流發生與否之臨界值。

最後以假設案例與雲林縣古坑鄉華山溪 (2000/9)、花蓮縣銅門村 (1990/6)、台北縣瑞芳鎮大粗坑 (1999/11) 三筆不同縣市發生土石流之案例，作為評估案例系統準確度之詢問案例，也都可以準確的表示各案例該有的臨界值，顯示出案例系統確實具有評估災害的準確性。

2.2 模糊理論

2.2.1 定義

Zadeh教授在1965年提出模糊理論，其用意是將無法明確定義程度的事物經過隸屬程度（Membership）的表達來表示集合元素與相對應部分集合之隸屬關係，可將不明確事物透過明確之定義來清楚表達，對於資訊不清晰問題特別具有效力，模糊集合的本質即是傳統的集合理論賦予模糊的可能性，兩者之間最大的相異處在於，傳統的集合理論的隸屬函數是唯一的，而模糊集合可以有任意數量的隸屬函數，也就是因為這個特性，模糊集合可應用於針對特定知識領域所開發的專家系統，以提供此系統更大的應用彈性，及錯誤容忍性。

傳統集合論中，集合中的一個元素與一個集合之間的關係，就只有「屬於」與「不屬於」兩種關係而已；換言之，一個元素在一個集合裡的隸屬程度是「二元」的，就是0與1這兩種選擇而已；但模糊集合可允許模糊集合中的元素，對此集合的隸屬程度可介於0到1之間，也就是將傳統二進位邏輯固定的單值擴展到具有連續的多值；因此模糊集合用隸屬度來表示此種隸屬關係的程度，而給予一個具有漸進的邏輯關係，簡單的說若一個元素屬於某一個集合的程度越大，則其隸屬度越接近1，否則越接近0；因為這個特性，使得模糊系統可以調整其隸屬函數以適應不同的變化環境。

2.2.2 隸屬函數

一般傳統集合將欲討論的全體集合論域（Domain）中的各個元素，依其分別相對於某部分集合之關係，區分成具有「相關」及「非相關」兩種類型元素；相較於傳統集合，模糊集合（Fuzzy Set）主要是以隸屬函數（membership function）來表示兩元素之間的相對關係。

模糊集合論域上的元素一般是介於「相關」到「非相關」之間的連續關係，模糊集合是逐漸改變而非突然改變集合的屬性。

如傳統集合中，X具有概念A的性質跟不具有概念A的性質，這兩種形式在

傳統集合中是不可能同時存在的，但是在模糊集合中有可能在一定的程度上使得兩式都同時成立。

所以模糊集合中的隸屬函數其基本定義便是當越接近於1時，代表隸屬的程度越大；當越趨近於0時，代表隸屬的程度越小，亦即隸屬函數是表示此元素屬於某一個集合的程度高低。

一般隸屬函數的訂定可以根據研究需要而選定，但學者也認為，也可藉由模糊統計法獲得，或是由專家經驗來認定，相當具有彈性，這樣訂出的隸屬函數才具有客觀性，但也因為訂出研究需要的隸屬函數，這樣才能解決本身定義不明確的問題。

下面列出常用之隸屬函數：

(一) 三角形 (Triangular) 隸屬函數：

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{m-a}, & \text{if } a \leq x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m}, & \text{if } m \leq x \leq b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

由上述三角形隸屬函數的關係式中，可歸納出當x的值位於a到b之間時，此時x屬於集合A的隸屬度均不為0。當x越靠近m時，其隸屬度越大；因此當x值正好為m時，其隸屬度為1，也是唯一隸屬度最大且值為1的地方，如圖2.3所示。

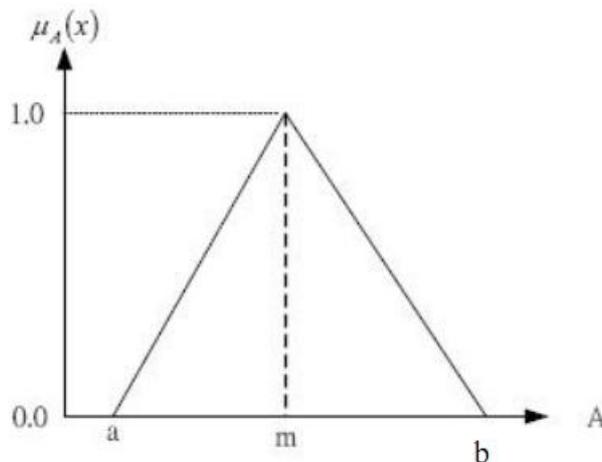


圖 2.3 三角形 (Triangular) 隸屬函數 (陳毓中，2004)

(二)梯形 (Trapezoidal) 隸屬函數：

$$\mu_A(X) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{if } a \leq x \leq b \\ 1, & \text{if } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{if } c \leq x \leq d \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

當x值位於a到d之間，此時x屬於集合A的隸屬度均不為0。當x越靠近b到c區間時，其隸屬度越大；當x值正好在b到c的區間內，此時其隸屬度均為1，是隸屬度最大且值為1的地方，如圖2.4所示。

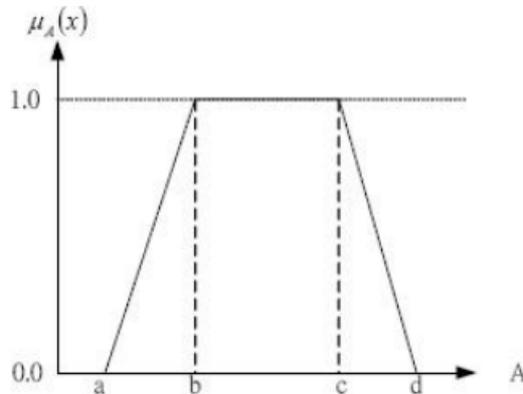


圖 2.4 梯形 (Trapezoidal) 隸屬函數 (陳毓中，2004)

(三)高斯型 (Gaussian) 隸屬函數：

$$\mu_A(X) = \exp \left[- \left(\frac{x-m}{\sigma} \right)^2 \right]$$

前面介紹的兩種隸屬函數一般來說都是屬於線性隸屬函數，但對於高斯型隸屬函數來說，卻是屬於非線性隸屬函數，其隸屬度分布情形類似於高斯分配，決定於平均值m與標準差σ，越靠近平均值m時其隸屬度越大，因為其圖形形狀近似鐘擺則又可稱為鐘型 (Bell-shape) 隸屬函數，如圖2.5所示。

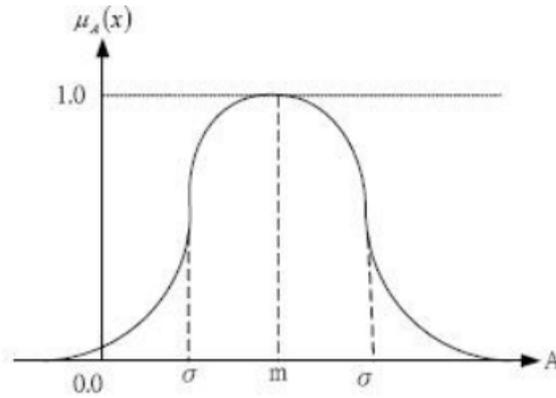


圖 2.5 高斯型 (Gaussian) 隸屬函數 (陳毓中, 2004)

2.2.3 模糊推論

模糊推論是利用經驗或相關知識所得到的規則，並將其轉化為“IF-THEN”的知識法則，為一種具有推論規則的科學 (Schmucker, 1984)，可經由這種推論規則將模糊推論的知識法則表現出來。

因此若要將其推論規則表達清楚，勢必需要將集合做邏輯運算，如同傳統集合一般，模糊集合也具備了許多集合上的邏輯運算，其中與模糊推論較相關的有交集、聯集和補集合，分列如下：

(一) 模糊交集 (fuzzy intersection), $A \cap B$

對所有 X 中的元素而言，模糊集合 A 與模糊集合 B 聯集的歸屬度等於模糊集合 A 的歸屬度與模糊集合 B 的歸屬度做“和 (and)”運算。

$$\mu_{A \cap B}(X) = \min(\mu_A(X), \mu_B(X))$$

(二) 模糊聯集 (fuzzy union), $A \cup B$

對所有 X 中的元素而言，模糊集合 A 與模糊集合 B 聯集的歸屬度等於模糊集合 A 的歸屬度與模糊集合 B 的歸屬度做“或 (or)”運算。

$$\mu_{A \cup B}(X) = \max(\mu_A(X), \mu_B(X))$$

(三)模糊補集(fuzzy complement), \bar{A}

對所有 X 中的元素而言，二個模糊集合的歸屬度之和等於 1 時，則此二個模糊集合互相為對方的補集合。

$$\mu_{\bar{A}}(X) = 1 - \mu_A(X)$$

以上為建構於模糊集合理論上的模糊邏輯 (Fuzzy logic) 系統，可提供一個近似推論 (Approximate reasoning) 的法則，用來處理其中模糊的相似定義。

過去研究提出的推論法則有許多種，例如：Mamdani 的 min-min-max 模糊推論法、Larsen 之 min-product-max 模糊推論法、Tsukamoto 之模糊推論法和 Takagi 與 Sugeno 之模糊推論法等。

由於本研究是使用 min-min-max 模糊推論法，所以針對 min-min-max 模糊推論法做說明：

推論示意圖如圖 2.6 所示，其推論過程如下面三個步驟來描述：

(一)以 min(邏輯積)運算，求出各規則前題部之歸屬度 W_i 。

$$W_i = \min \left\{ \max_{x_1} \left[\min(A_i, A') \right], \max_{x_2} \left[\min(B_i, B') \right] \right\}$$

其中 i 為規則的編號， A' 與 B' 分別為輸入變數 x_1 與 x_2 之輸入值，若輸入變數 x_1 與 x_2 之輸入值皆為模糊單值 x_1' 與 x_2' 則上式可簡化為

$$W_i = \min \left\{ \min(A_i, x_1'), \min(B_i, x_2') \right\}$$

(二)以 min(邏輯積)運算，將前題部的歸屬度對映到結論部。

$$C_i = \min \left(\tilde{W}_i, u_{C_i}(y) \right)$$

(三)以max(邏輯積)運算，統合所有被觸發之規則。

其中n為被觸發之規則。

$$C^* = \max_{i=1}^n \tilde{C}_i$$

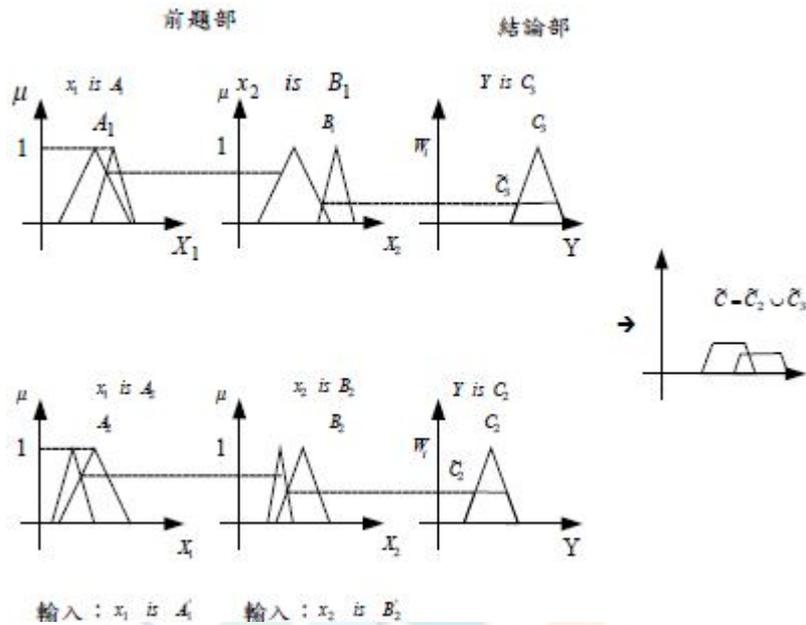


圖2.6 min-min-max模糊推論法示意圖（施宏政、葉榮木、蔡俊明）

2.2.4 模糊理論相關研究

針對評估災害方面，過去研究中較無針對評估坡地社區安全等方面使用模糊理論的研究，較為針對評估土石流使用模糊理論的相關研究，如模糊理論應用於土石流潛勢分析之研究（陳建荐，2007）、模糊理論應用於土石流危險評估系統之研究（陳昆揮，2006）、模糊理論應用於土石流危險度分析之研究（傅裕盛，2004）、結合層級分析法與模糊理論於土石流潛勢評估之研究—以陳有蘭溪集水區為例（王虹萍，2009）。

2.3 坡地災害

本文主要研究的災害類別是坡地災害，為了解此災害的定義，各學者提出造成災害的致災評估指標，在本節中，蒐集整理了關於坡地災害的相關文獻，茲整理分析如下：

2.3.1 定義

一般會形成坡地災害的主要原因，肇因於地球直徑雖有 13,000 km，但是地殼的平均厚度卻只有 33 km，加上地表又分裂成許多的「板塊」，彼此擠壓之後隆起變成陸地，但是陸地並不會無限隆起，受到重力的制衡之後便產生下坡運動的現象，學者通稱「山崩」或「崩山」(洪如江，2009)。

崩塌現象即一般所稱「邊坡運動」，邊坡運動 (Slope Movement) 是指構成地表的物質在重力作用下沿斜坡而下的運動 (張石角，1987)。

2.3.2 致災評估指標

過去對於評估災害時多會參考以前發生過得案例，從以前發生過的案例可以較為輕易分析，或是歸納大部分案例具有之致災評估指標，以得出可供評估災害之合適致災評估指標。

本研究需要用到會造成坡地災害得評估指標，而對於各項評估指標不同的學者各自都具有不同得評估變項、對象範圍及研究所需要得結論；下文便整理出一些學者曾提出各自認為會造成坡地災害得評估指標：

- (一)林彥享整理 1985 年至 2003 年間國內針對於崩塌因子的相關研究，根據研究結果顯示，「坡度」與「岩石性質」此兩項在研究崩塌災害發生時最常被考慮到的評估指標。
- (二)張石角則是認為所處區域的坡度傾斜與否會導致位於脆弱岩體的坡地較易發生崩塌災害。
- (三)Andrew 則利用歷史的崩塌事件，將邊坡具有的岩性差異可能造成不同型態的崩塌類別進行劃分。

- (四)林美聆則以集水區內發生崩塌的規模及具有的地質因子為主要得評估指標考量，其次才考慮地形因子與材料破碎情形等，其中又將地質因素區分為三大岩性，但主要是以第一類的東部海岸山脈、沈積岩及火山岩的影響較大。
- (五)謝正倫則以有效集水面積、崩塌規模、地質因子及集水區通過的斷層長度，等自然環境當作評估指標。
- (六)陳鴻烈則以崩塌規模、地質因子與材料破碎等情形外，另考慮陡坡易於造成崩塌之特性，並在保全危害度因子方面增加現地工程整治設施成效等當作評估指標。
- (七)蔡光榮等曾針對中部山區道路具有之坡度、坡向、植生、降雨、土壤以及岩石性質等進行分析，透過統計分析制定崩塌各評估指標的相關性。
- (八)李瑞陽等利用 40^m×40^m 的五峰鄉周遭道路之數值地型資料 (DTM)，繪製成網格切割該研究區後，並利用地質、地形、水系及土地利用等資料配合艾莉颱風造成的崩塌事件進行評估，結果發現最主要影響崩塌災害現象的因子依序為坡度、地質以及高程等當作評估指標。

由上述各學者提出的致災評估指標中可看出對於不同學者或是不同研究對象，即使都是在坡地災害這個主題上做研究，但是最後因為不同的結論也導致每個人對於造成坡地災害得評估指標都有不同的定義。

2.3.3 土石流與山崩災害分析方法

過去環境地質或其他領域的專家及學者在作區域評估時，常聯合多種能辨識山崩的地形因子、地質因子、區位因子及水文因子等，共同構成一組能區別山崩與非山崩的因子權重組合，用來進行所謂的山崩潛感分析(landslide susceptibility analysis) LSA；而土石流潛感分析(debris-flow susceptibility analysis) DSA，早年多以地形判釋法或專家評分法，此兩種方式作為分析之用，但多有一些缺點如主觀性太強或一特定地區之權重組合不能適用於其他區域，故在實際應用上有其困難之處。

山崩潛感分析大體上可分為定性法及定量法兩大類，定量法又包括了統計分

析及人工智慧之運用等兩類；因為定性分析在發展上與山崩潛感分析走的是完全不同的方法，較不適合本文採用。

本文採用定量分析法中人工智慧的方式，一般運用人工智慧於山崩或土石流的潛感分析，主要包括類神經網路(neural network)及模糊集(fuzzy set)兩類，此兩類都具有不錯的分類功能；許琦(1989)首先以地形、地質、環境、水文四大類共十七個因子，對各個因子分為五個等級，以模糊集合的方式進行山崩潛感分析。

2.3.4 評估坡地社區方式

關於評估坡地安全的方式在近數十年來持續不斷在發展，而評估方法種類繁多且各有不同之處，故其適用的對象也有所差異。

劉慶男和李咸亨(2001)依評估的對象和目的之不同，將各方法概分為三大類：

- (一)山坡地土地開發利用評估
- (二)臨界狀況監測與預測
- (三)坡地及坡地社區安全評估

下列整理一些國內用來評估社區安全的方式：

(一)行政院農業委員會

行政院農業委員會在 2001 年編訂山坡地水土保持設施自行檢查表，檢查表中列有七大種三十三個細項檢查項目，將各危險徵兆詳細列出檢查項目，透過檢查項目評估過後，便可知各危險徵兆的嚴重程度。

(二)內政部營建署

內政部營建署在1998年對於國內坡地評估表格種類，可區分為(1)坡地社區管理維護檢視表(2)山坡地住宅安全自助檢視表(3)山坡地住宅社區安全檢查紀錄表等三種表格。

(三)行政院公共工程委員會

行政院公共工程委員會之山坡地安全諮詢小組(1998)為審查坡地社區之安全，特別擬訂了「現況資料調查表」。

(四)坡地建築評估系統(A2-PASS)

李咸亨(1998)在坡地社區安居住手冊之中，使用量化評估、安全分級達到一般坡地安全評估，但因為無實際案例驗證，所以準確性有待評估；之後經過李咸亨、吳俊傑(1999)改良，並建立成一套簡易評估系統，稱之為坡地建築評估系統(A2-PASS)；而後李咸亨、廖郁玟(2000)以統計上的AHP層級分析法(The Analytic Hierarchy Process)，獲得各因子的最佳權重，在歷經前述學者的發展此系統已有相當的規模；因此陳俊元(2001)新增了十八處坡地社區之評估，進一步驗證已使A2-PASS系統得以更趨完備。

(五)天然邊坡快速評估系統(N1-PASS, Preliminary Assessment of Slope Safety for Natural condition)

除了一般的坡地社區之安全評估外，黃慶生(2004)發展天然邊坡快速評估系統是專門針對不受人工影響為主的山坡地環境進行安全評估，並以台北市南港山區55處天然邊坡案例作為研究對象，進行N1-PASS系統評估，將各案例的評估結果與原本的分類狀況加以比對分析，並作評估指標之建議。

(六)天然邊坡快速評估系統(N2-PASS)

楊智銳(2006)將前人所發展出的天然邊坡快速評估系統(N1-PASS)，取消及新增一些其他的評估項目，使得本評估系統較適用於「危險聚落」此研究對象之評估，並經過田野調查和實際案例評估過，將評估系統的各分類因子量化，訂定出評估嚴重性的準則，使評估坡地安全的快速評估系統能延伸至危險聚落之使用。

2.4 小結

案例式推理具有從過去經驗案例採取之解決方式，或是經驗案例曾經造成的結果，此一優點，加上本研究的各項致災評估指標其屬性彼此之間並無法單獨造成案例結果，因此本研究的各項致災評估指標其屬性之間是有彼此影響的關係存在，且不同案例的同一項致災評估指標屬性值沒有一個固定的數值，所以本研究採用模糊理論結合案例式推理的方式。

由前述列出之評估坡地社區安全的方式中，可知大部份都是針對一般山坡地的自然環境作為研究對象，並無特別限定以坡地社區為研究對象，加上本研究欲討論的對象正是以坡地社區為對象，因此對於評估指標，本研究便採用楊智銳（2006）所發展出的天然邊坡快速評估系統(N2-PASS)，使用此系統中的評估指標可更符合本研究所討論對象的所在環境。



第三章 研究方法

本研究針對「坡地社區進行危險等級研判」，利用開發工具建構一個坡地社區評估模組，透過擷取出與待評估案例相似的經驗案例，可清楚了解待評估案例發生危險的可能性高低。

3.1 問題描述

根據以往研究針對坡地社區提出之安全評估方式，大都會透過設計良好的坡地社區檢查表格，根據收集的資料或是資訊，採用不同學者提出之不同評估方式以較有系統地評估坡地社區現況，此類方式，對於熟悉各式評估方式之學者而言，尚能以客觀且正確的方式評估社區現況，並提出專業建議。

對於不熟悉各式評估方式之使用者而言，此問題卻帶來諸多不便，因此本研究建構坡地社區評估模組，可提供使用者有更方便、輕易上手的評估方式。

3.2 研究架構

本研究主要是希望針對坡地社區評估其危險除了使用一般坡地社區檢查表格之外，能夠發展一個坡地社區評估模組提供不一樣的評估方式。

本研究對象如前述文獻中提及為坡地社區，坡地災害致災評估指標種類繁多且挑選數量多寡都會影響評估坡地災害之準確度，由於上述問題遂採用楊智銳於2006年所改良「天然邊坡快速評估系統(N2-PASS)」中的19項致災評估指標，較適合本研究模組欲評估之對象，下節將列出各項致災評估指標項目之內容與定義。

由於坡地災害之致災評估指標屬性通常都具有「不精確」、「含糊」的特性，遂採取模糊理論中之隸屬函數來定義各項致災評估指標的模糊屬性，可以更符合坡地災害中致災評估指標具有的屬性，針對各項致災評估指標的隸屬函數則由前述文獻介紹之三種方式中，採用「三角形」與「梯形」隸屬函數共用之方式，會使用三角形隸屬函數，如文獻說明有一個頂點為隸屬度最高，在一般給予致災評估指標一個評估數值時可能需要一項數值為最高狀態，因此「三角形」隸屬函數

對於本研究給予該致災評估指標數值時，較為符合，而「梯形」隸屬函數則是用來表示該致災評估指標數值每單一區間都為固定值之使用，之後將各相關評估指標數值透過隸屬函數的定義，並建立模糊理論之規則，完成模糊推理。

由前述模糊理論文獻中，可知模糊理論的推論方式是依靠推論規則去比對各個隸屬函數是否屬於此條規則，卻有另一問題就是規則可能會有人為影響，這時就顯示出案例式推理不同於規則式推理之優點，其推理方式不必依靠推論規則而是憑藉案例庫中豐富的案例資訊，從過去案例中找出有效資訊，完成案例式推理。

從前述兩段文字中，可知模糊理論與案例式推理各有其優點存在，本研究將具有高、中、低三種危險等級之案例20筆整理成經驗案例資料（詳見第四章），透過比對各19項致災評估指標的隸屬函數之相似高低程度，採用前述文獻中Mamdani學者的min-min-max模糊推論法分析，並透過案例式推理原則，由相似程度最高的經驗案例即可判別出待評估案例的危險等級。

3.3 研究限制

本研究的致災評估指標，是基於楊智銳於2006年所改良的天然邊坡快速評估系統(N2-PASS)中的19項致災評估指標，但如前述坡地災害具有的致災評估指標文獻中，可知坡地災害的致災評估指標種類繁多，且本研究的經驗案例範圍並無法完全囊括各類型致災評估指標的案例，所以假使其他案例具有本模組未加入的致災評估指標，欲使用本模組評估或許會有指標不完整而造成判斷不準確之處。

3.4 建構工具介紹

本研究使用MATLAB軟體，該軟體具有圖形化介面與支援各項用途的不同類型Toolbox，基於本研究採用模糊推論法則，其具有Fuzzy Logic Toolbox便能提供本研究所需。

MATLAB是由MathWorks公司於1984年所推出的數學軟體，其完整名稱是指「矩陣實驗室」(MATrix LABoratory)，因此可知其最早的發展理念是提供一

套具有非常完善的矩陣運算指令的工具軟體，但隨著硬體的進步各種不同數值運算需求的演變，MATLAB已具備了強大的運算以及圖形表現等功能。

MATLAB的主程式是這個計算工具的核心，使這個計算核心附加各種功能，有著許多針對不同應用所發展之應用程式，稱為工具箱（Toolbox）；本研究也使用了MATLAB中所提供之模糊邏輯工具箱（Fuzzy Logic Toolbox）編輯所有模糊推論設定，包含了設定模糊參數、隸屬函數及語文變數、模糊規則等。

3.5 建構評估相似度之模糊推論模組

建構模組之步驟可分為三項程序，FIS Editor、Membership Function Editor、Rule Editor，依序如下來做說明：

(一)FIS Editor（FIS為 Fuzzy Inference System縮寫）

建立本研究模組中之輸出與輸入介面之架構，本模組所使用法則為Mamdani之推論法則，如圖3.1。

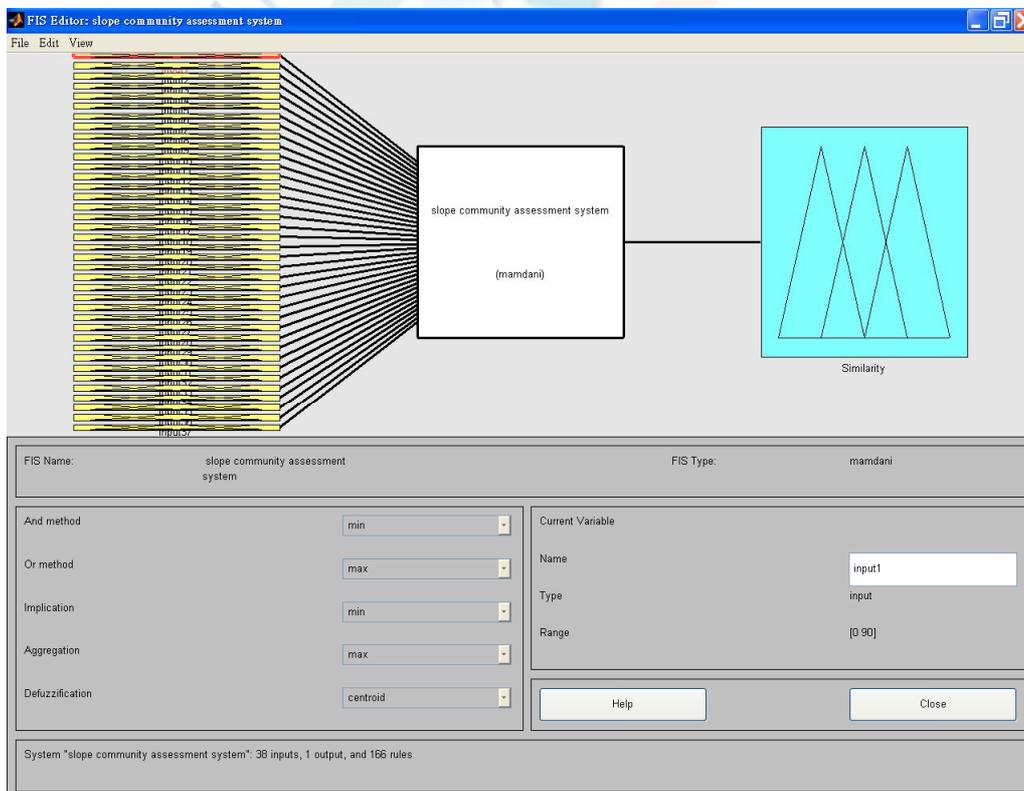


圖 3.1 MATLAB 中之 FIS Editor

(二) Membership Function Editor

建立本研究模組每項致災評估指標的「模糊變數值」與其相對應的隸屬函數數值，模組藉由隸屬函數去判斷各項規則的符合程度。

以坡面材料為例，本研究參照楊智銳（2006）建立本研究隸屬函數由三個模糊變數值所構成；分別用「硬岩」、「軟岩」、「土壤」表示，相對應隸屬函數範圍分別為低於數值30為硬岩、數值20至70為軟岩、高於數值60則為土壤，因為只採取3種材料分類遂使用「梯形」隸屬函數，以一固定區間來表示該致災評估指標中隸屬函數分佈情況，模糊工具箱中之設置狀況如圖3.2。

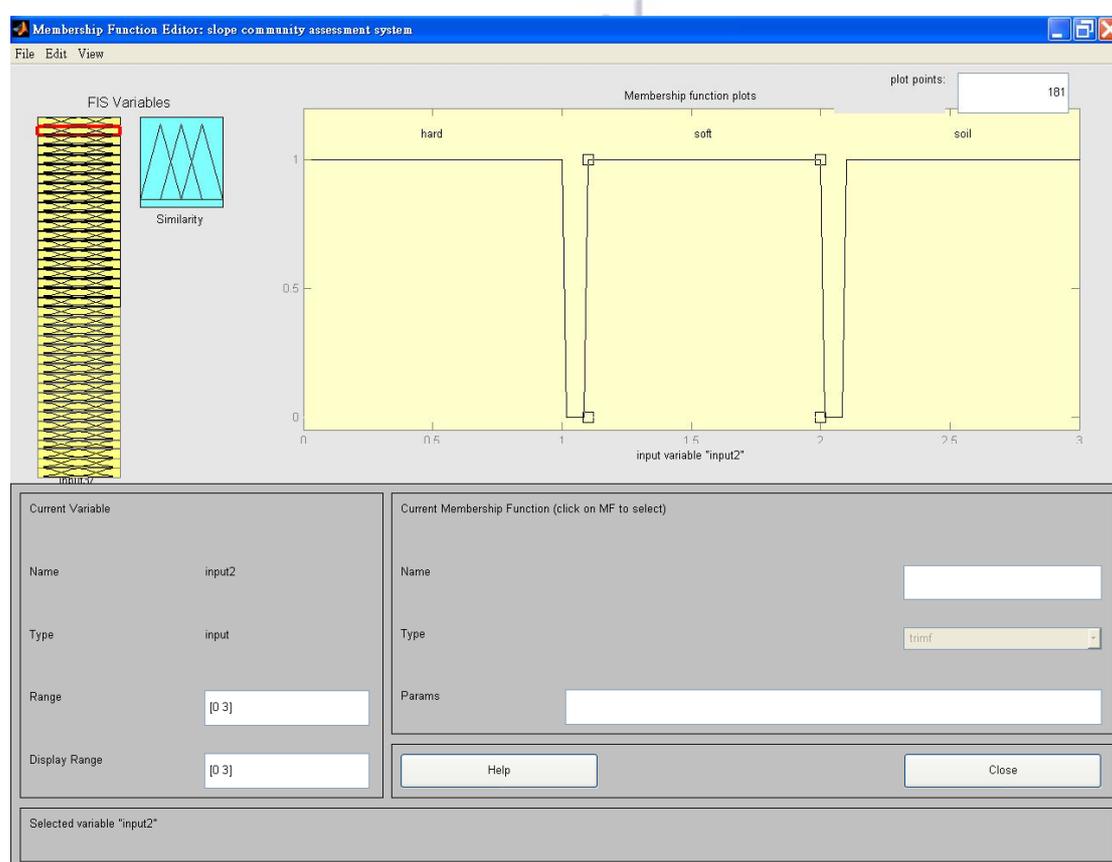


圖 3.2 MATLAB 中之 Membership Function Editor

(三) Rule Editor

建構本模組之模糊推論規則，因為要比較輸入的待評估案例與經驗案例之相似程度，對於規則之使用皆以（AND）組合條件的建立，建立畫面如圖3.3。

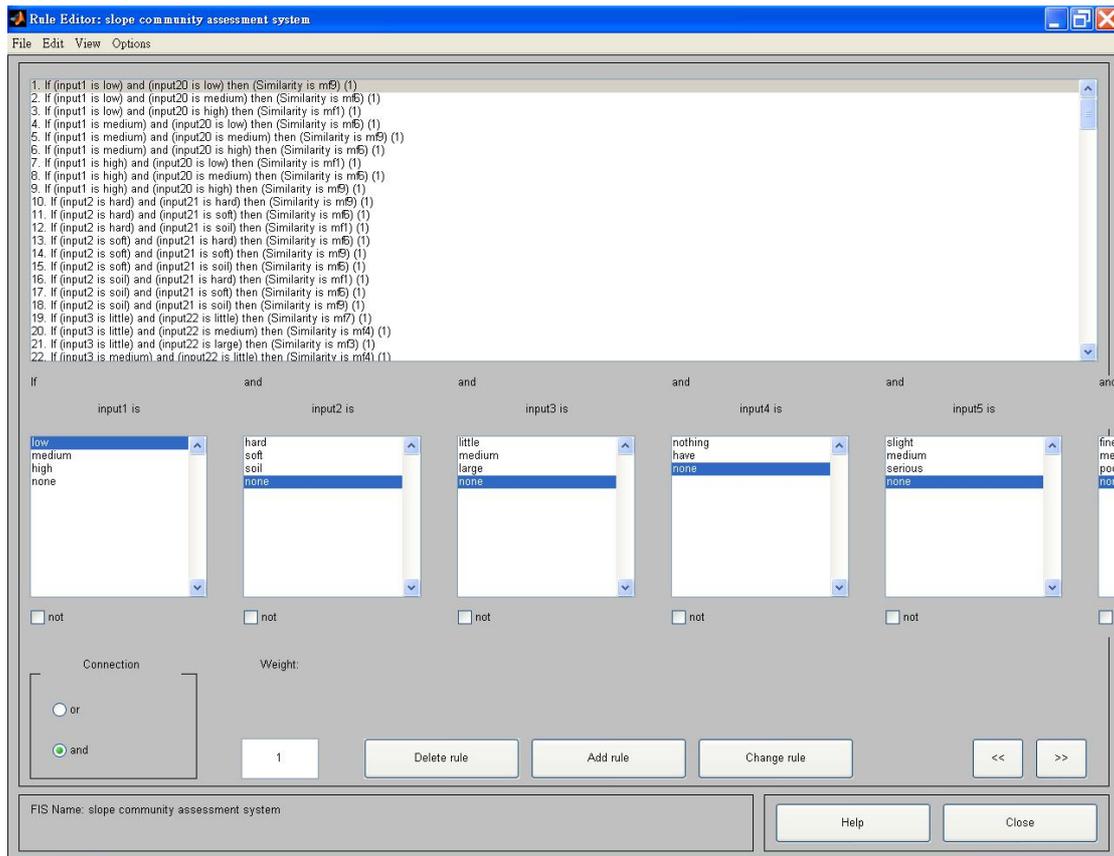


圖 3.3 MATLAB 中之 Rule Editor

本研究基於考量19項致災評估指標對於評估兩案例是否相同，可能具有不同重要性之差異，遂經由3位專家透過問卷以具有兩位或兩位以上專家一致認定之重要性以此決定其重要性程度，如三位專家均為不同意見時，將其認定為次要重要性，三位專家的原始資料附於附錄內，下方列出三位專家各自認定的致災因子重要性分類統計表如表3.1，另將其整理得到各項致災評估指標之主要、次要、第三次要的重要性，列出如表3.2。

表 3.1 致災評估指標重要性分類統計表

致災評估指標	主要分類票數	次要分類票數	第三次要分類票數
坡面坡度	3		
坡面材料	2	1	
坡面上游集水面積	1		2
順向坡	3		
是否在水路或土石流通路上	2		1
坡面土層之滲透性		1	2
邊坡崩坍歷史	2	1	
坡面風化程度	1	2	
坡面植生狀況	1	1	1
坡面出現凹陷	1	2	
坡面樹木或電線杆傾斜		2	1
坡面沖蝕之情形	1	2	
坡面（趾）滲水	2		1
路面或階梯出現裂縫	1	1	1
房屋安全退縮距離	1	2	
擋土牆外凸變形或龜裂	2	1	
擋土牆有崩土或土石堆		3	
擋土牆出水現象不正常	1	2	
排水溝使用狀況	1		2

表 3.2 本研究整理三位專家建議之致災評估指標重要性分類表

致災評估指標	重要性分類
坡面坡度	主要
坡面材料	主要
坡面上游集水面積	第三次要
順向坡	主要
是否在水路或土石流通路上	主要
坡面土層之滲透性	第三次要
邊坡崩坍歷史	主要
坡面風化程度	次要
坡面植生狀況	次要
坡面出現凹陷	次要
坡面樹木或電線杆傾斜	次要
坡面沖蝕之情形	次要
坡面(趾)滲水	主要
路面或階梯出現裂縫	次要
房屋安全退縮距離	次要
擋土牆外凸變形或龜裂	主要
擋土牆有崩土或土石堆	次要
擋土牆出水現象不正常	次要
排水溝使用狀況	第三次要

決定輸入與輸出變數後，本研究因根據三種不同重要性的致災評估指標各又分別有不同的高、中、低相似度，遂針對輸出之相似度又分為共七個等級之「極低、較低、低、中、高、較高、極高」，作為推理比對。比對規則如下式：

IF (C_{wa}^i 為低) and (C_{ex}^i 為低) THEN (相似度 極高)

其中 C_{wa}^i 下標 wa 代表待評估案例上標 i 代表需評定的1至19項致災評估指標， C_{ex}^i 下標 ex 代表經驗案例，上標 i 代表需評定的1至19項致災評估指標。

指標表示對照項為 $i=1$ 代表坡面坡度、 $i=2$ 代表坡面材料、 $i=3$ 代表坡面上游集水面積、 $i=4$ 代表順向坡、 $i=5$ 代表是否在水路或土石流通路上、 $i=6$ 代表坡面土層之滲透性、 $i=7$ 代表邊坡崩坍歷史、 $i=8$ 代表坡面風化程度、 $i=9$ 代表

坡面植生狀況、 $i=10$ 代表坡面出現凹陷、 $i=11$ 代表坡面樹木或電線杆傾斜、 $i=12$ 代表坡面沖蝕之情形、 $i=13$ 代表坡面（趾）滲水、 $i=14$ 代表路面或階梯出現裂縫、 $i=15$ 代表房屋安全退縮距離、 $i=16$ 代表擋土牆外凸變形或龜裂、 $i=17$ 代表擋土牆有崩土或土石堆、 $i=18$ 代表擋土牆出水現象不正常、 $i=19$ 代表排水溝使用狀況；上述推論規則以 $i=1$ 之坡面坡度此項指標為例，其推論規則表示如下：

IF (C_{wa}^1 為低) and (C_{ex}^1 為低) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^1 為低) and (C_{ex}^1 為中) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^1 為低) and (C_{ex}^1 為高) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^1 為中) and (C_{ex}^1 為低) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^1 為中) and (C_{ex}^1 為中) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^1 為中) and (C_{ex}^1 為高) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^1 為高) and (C_{ex}^1 為低) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^1 為高) and (C_{ex}^1 為中) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^1 為高) and (C_{ex}^1 為高) THEN (相似度 極高)

剩餘待評定之其餘18項因子其規則式皆與前述之範例因子相同，完整之規則式置於附錄內，下方僅整理並列出其相似度輸出以表格顯示如下：

表3.3 坡面材料相似度規則表

坡面材料	硬岩	軟岩	土壤
硬岩	極高	中	極低
軟岩	中	極高	中
土壤	極低	中	極高

表 3.4 坡面上游集水面積相似度規則表

坡面上游集水面積	小	中	大
小	高	中	低
中	中	高	中
大	低	中	高

表 3.5 順向坡相似度規則表

順向坡	無	有
無	極高	極低
有	極低	極高

表 3.6 是否在水路或土石流通路上相似度規則表

是否在水路或土石流通路上	輕微	中等	嚴重
輕微	極高	中	極低
中等	中	極高	中
嚴重	極低	中	極高

表 3.7 坡面土層之滲透性相似度規則表

坡面土層之滲透性	良好	中等	差
良好	高	中	低
中等	中	高	中
差	低	中	高

表 3.8 邊坡崩坍歷史相似度規則表

邊坡崩坍歷史	輕微	中等	嚴重
輕微	極高	中	極低
中等	中	極高	中
嚴重	極低	中	極高

表 3.9 坡面風化程度相似度規則表

坡面風化程度	輕微	中等	嚴重
輕微	較高	中	較低
中等	中	較高	中
嚴重	較低	中	較高

表 3.10 坡面植生狀況相似度規則表

坡面植生狀況	樹木	灌木	裸露
樹木	較高	中	較低
灌木	中	較高	中
裸露	較低	中	較高

表 3.11 坡面出現凹陷相似度規則表

坡面出現凹陷	輕微	中等	嚴重
輕微	較高	中	較低
中等	中	較高	中
嚴重	較低	中	較高

表 3.12 坡面樹木或電線杆傾斜相似度規則表

坡面樹木或電線杆傾斜	輕微	中等	嚴重
輕微	較高	中	較低
中等	中	較高	中
嚴重	較低	中	較高

表 3.13 坡面沖蝕之情形相似度規則表

坡面沖蝕之情形	輕微	中等	嚴重
輕微	較高	中	較低
中等	中	較高	中
嚴重	較低	中	較高

表 3.14 坡面（趾）滲水相似度規則表

坡面（趾）滲水	輕微	中等	嚴重
輕微	極高	中	極低
中等	中	極高	中
嚴重	極低	中	極高

表 3.15 路面或階梯出現裂縫相似度規則表

路面或階梯出現裂縫	輕微	中等	嚴重
輕微	較高	中	較低
中等	中	較高	中
嚴重	較低	中	較高

表3.16 房屋安全退縮距離相似度規則表

房屋安全退縮距離	輕微	中等	嚴重
輕微	較高	中	較低
中等	中	較高	中
嚴重	較低	中	較高

表 3.17 擋土牆外凸變形或龜裂相似度規則表

擋土牆外凸變形或龜裂	輕微	中等	嚴重
輕微	極高	中	極低
中等	中	極高	中
嚴重	極低	中	極高

表 3.18 擋土牆有崩土或土石堆相似度規則表

擋土牆有崩土或土石堆	輕微	中等	嚴重
輕微	較高	中	較低
中等	中	較高	中
嚴重	較低	中	較高

表 3.19 擋土牆出水現象不正常相似度規則表

擋土牆出水現象不正常	輕微	中等	嚴重
輕微	較高	中	較低
中等	中	較高	中
嚴重	較低	中	較高

表 3.20 排水溝使用狀況相似度規則表

排水溝使用狀況	輕微	中等	嚴重
輕微	高	中	低
中等	中	高	中
嚴重	低	中	高

3.6 致災評估指標之隸屬函數建立

從坡地災害具有的致災評估指標文獻中，可得知坡地災害的致災評估指標數值具有模糊區間，但是模糊區間仍可經由隸屬函數的建立將其定義清楚，下面將各項致災指標的隸屬函數定義以及各項致災評估指標與相似程度的隸屬函數表與圖分別列出：

(一)坡面坡度定義：

對於評估坡地危險與否，此項指標通常會是首先被探討到，故本研究參考張石角於2004年提出坡度對評估坡地穩定與否的評估標準，以坡度在30%（14度）上下為較穩定邊坡狀態，坡度大於55%（30度）則屬於危險邊坡，而坡度大於100%（45度）則屬於極危險狀態邊坡，考量不同中等坡度將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重坡度因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將30至45度之間設為模糊區間。

表3.21 坡面坡度隸屬函數表

模糊區間屬性值(百分比)	隸屬函數數值
輕微 (low)	≤ 30 度
中等 (medium)	30~45度
嚴重 (high)	≥ 45 度

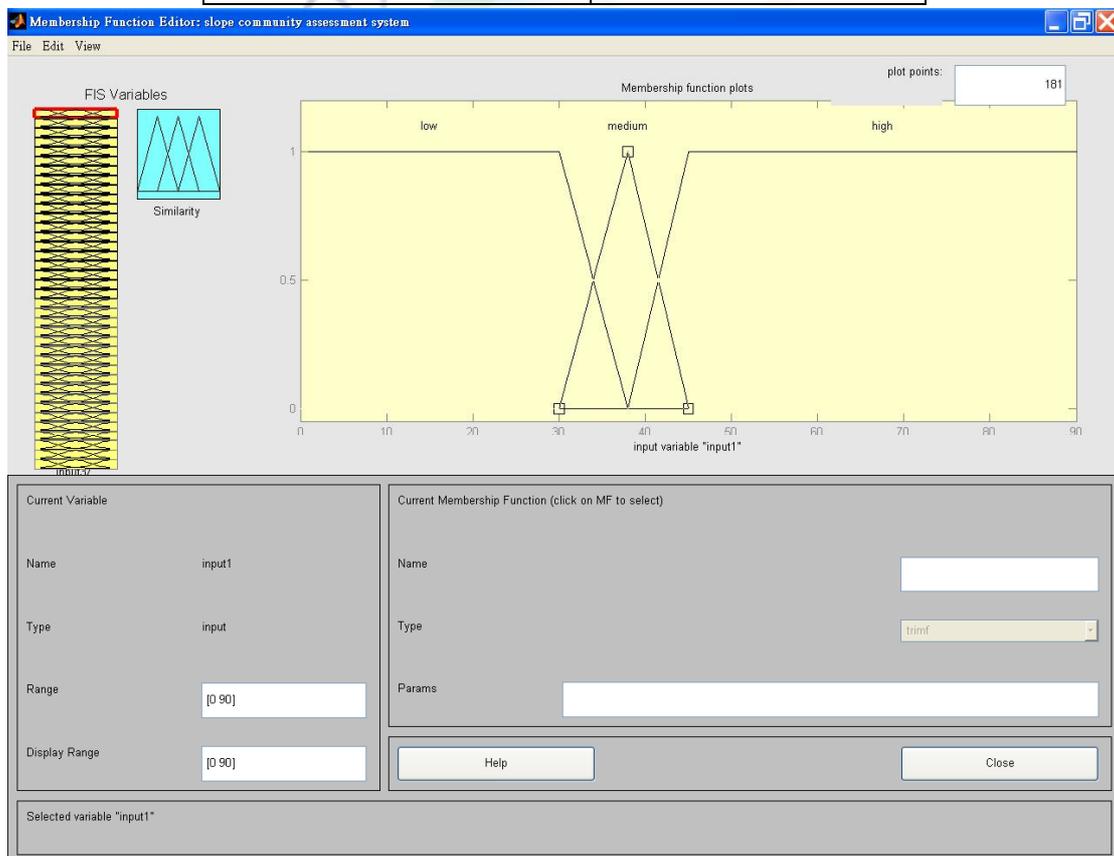


圖 3.4 坡面坡度隸屬函數圖

(二)坡面材料定義：

坡地材料差異也可能造成坡面對於各種致災條件有不同的反應差異，故本研究參考楊智銳於2006年提出以硬岩、軟岩、土壤共三種分類，基於分辨案例只分析其中具有之材料種類，並不採納一般研究使用的硬度分級表，遂使用「梯形」隸屬函數，以固定區間來表示該致災評估指標中隸屬函數分佈情況。

表3.22 坡面材料隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
硬岩 (hard)	≤ 1
軟岩 (soft)	1.1~2
土壤 (soil)	≥ 2.1

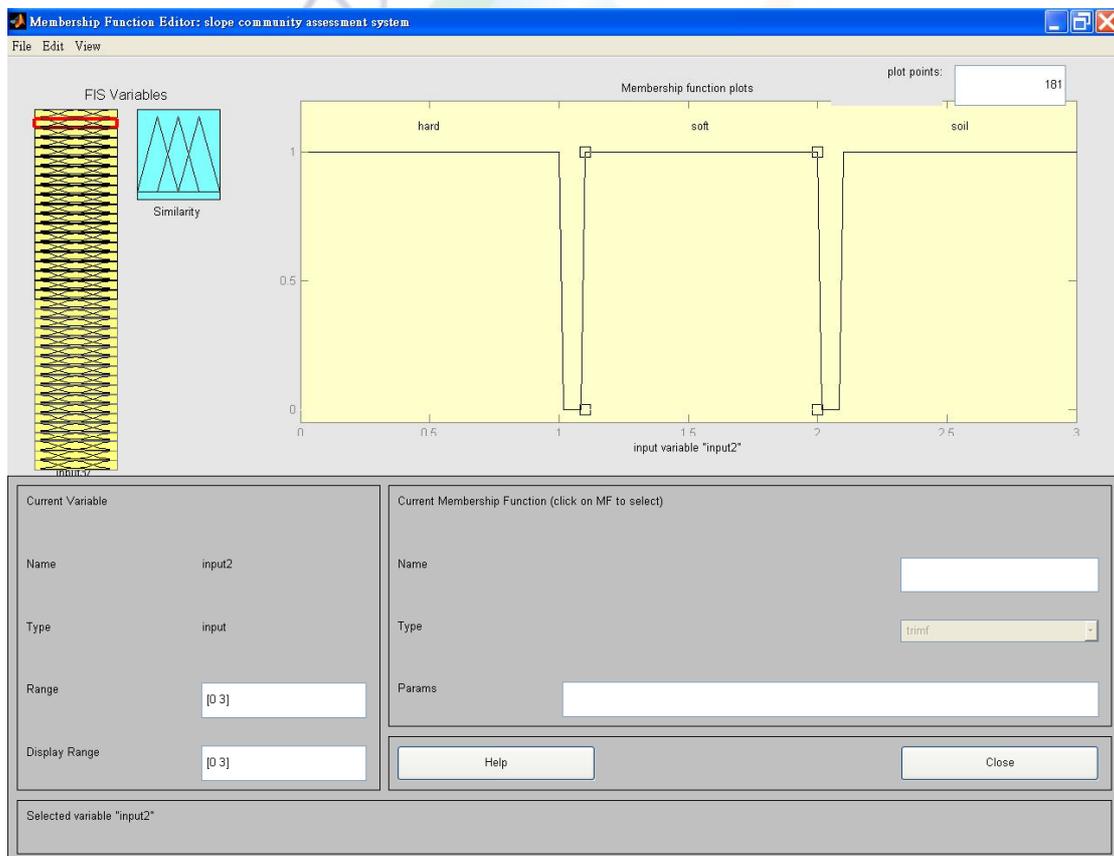


圖 3.5 坡面材料隸屬函數圖

(三)坡面上游集水面積定義：

此項指標也具有評估是否會引發其他評估指標造成坡地災變的一項指標，故本研究參考楊智銳於2006年提出以坡面上游集水面積 <2 公頃為「小」， 2 公頃 \leq 坡面上游集水面積 <5 公頃為「中」， ≥ 5 公頃以上時歸類為「大」，此與謝正倫（1992）以花蓮的土石流作研究並考慮集水區坡度因子多在 10 度以上，發現 10 度以上集水面積皆大於 5 公頃的結論相同，因此予以採用，考量不同中等集水面積大小將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，集水面積小與大因其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將 1.9 至 5 公頃之間設為模糊區間。

表3.23 坡面上游集水面積隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
小 (little)	≤ 1.9 公頃
中 (medium)	$1.9 \sim 5$ 公頃
大 (large)	≥ 5 公頃

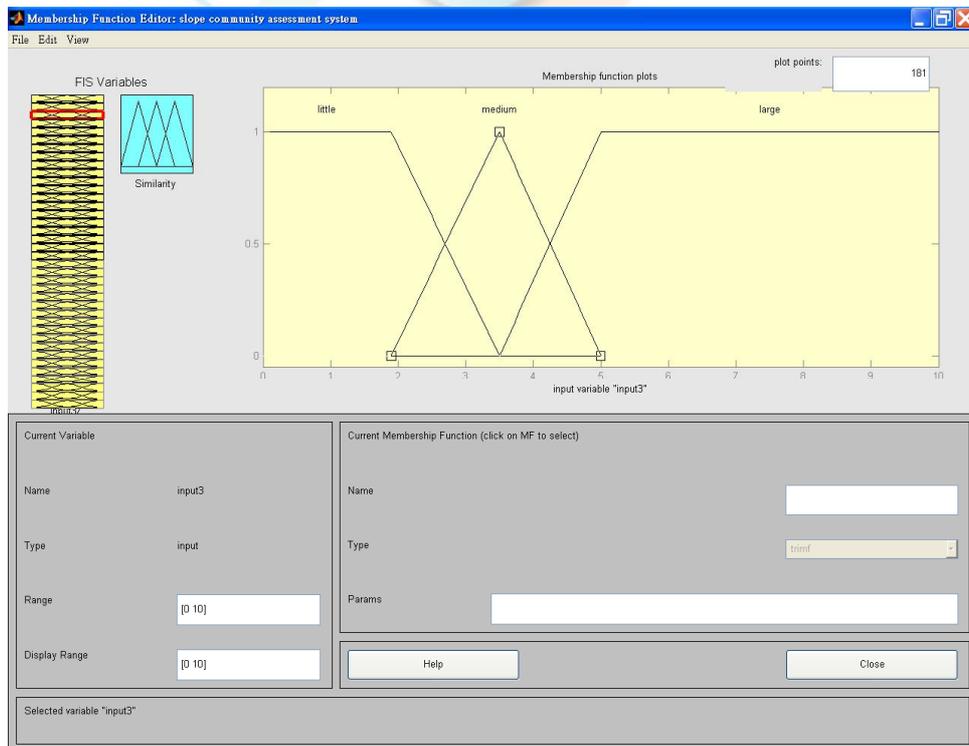


圖 3.6 坡面上游集水面積隸屬函數圖

(四)順向坡定義：

坡面傾斜方向若與地表產生運動的方向一致時，加上順向坡坡趾又被破壞時，則可能會發生順向坡滑動情形，常會造成坡地引發災害，故本研究參考楊智銳於2006年提出只定義有無順向坡情況，基於分辨案例只分析有無順向坡情況，遂使用「梯形」隸屬函數，以固定區間來表示該致災評估指標中隸屬函數分佈情況。

表3.24 順向坡隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
無 (nothing)	≤ 1
有 (have)	≥ 1.1

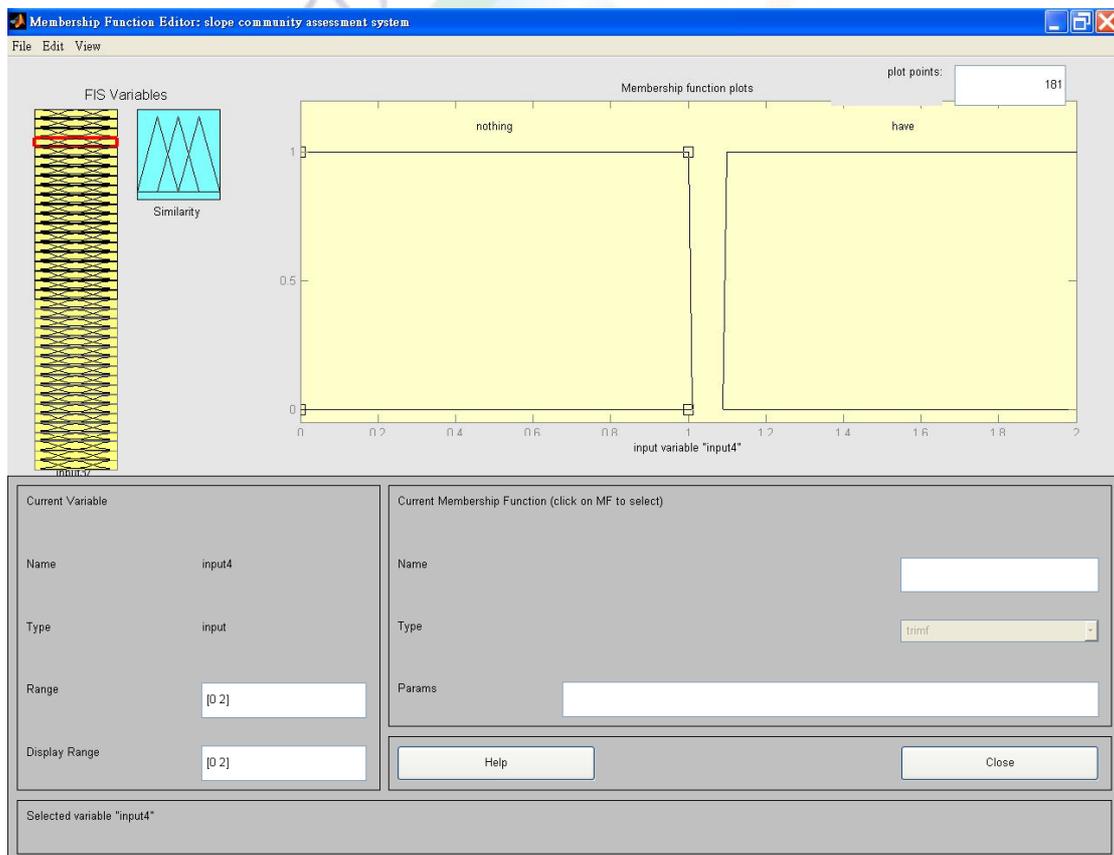


圖 3.7 順向坡隸屬函數圖

(五)是否在水路或土石流通路上定義：

建築物如位於週遭具有水或土石流會經過的路徑上，對於遇到大雨甚至是豪大雨等情況發生時可能會有立即性的危險存在，故本研究參考楊智銳於2006年提出以行政院農委會水土保持局所公佈之土石流潛勢溪流等級做為區分條件，其定義為該區域位處於低潛勢溪流或其他未有潛勢等級劃分之溪流為「輕微」，中潛勢溪流為「中等」，高潛勢溪流則為「嚴重」，考量不同中等潛勢溪流將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重潛勢溪流因有其一致性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將1至2之間設為模糊區間。

表3.25 是否在水路或土石流通路上隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
輕微 (slight)	≤ 1
中等 (medium)	1~2
嚴重 (serious)	≥ 2

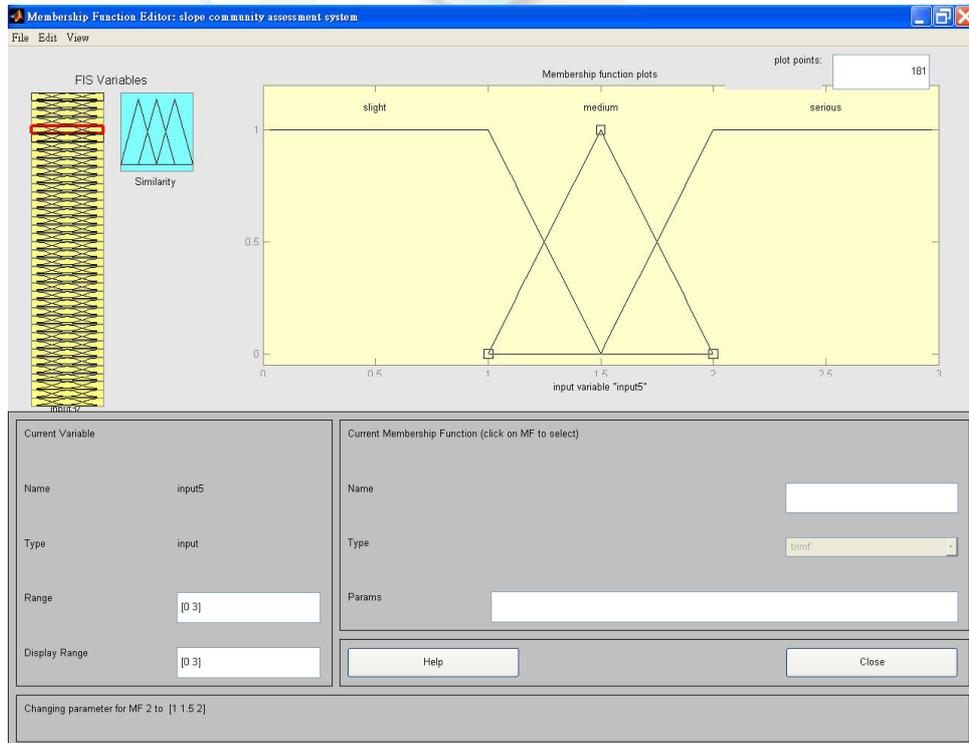


圖 3.8 是否在水路或土石流通路上隸屬函數圖

(六)坡面土層之滲透性定義：

坡面土質具有良好滲透性，可減少蓄積水量，使土質不會輕易被大量逕流水沖刷掉土質表面，故本研究參考楊智銳於2006年提出以砂質或礫石為「良好」，粉土類、黏土質砂或砂岩為「中等」，黏土或頁岩類則為「差」，考量不同中等土層滲透性將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，土層滲透性良好與差因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將1至2之間設為模糊區間。

表3.26 坡面土層之滲透性隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
良好 (fine)	≤ 1
中等 (medium)	1~2
差 (poor)	≥ 2

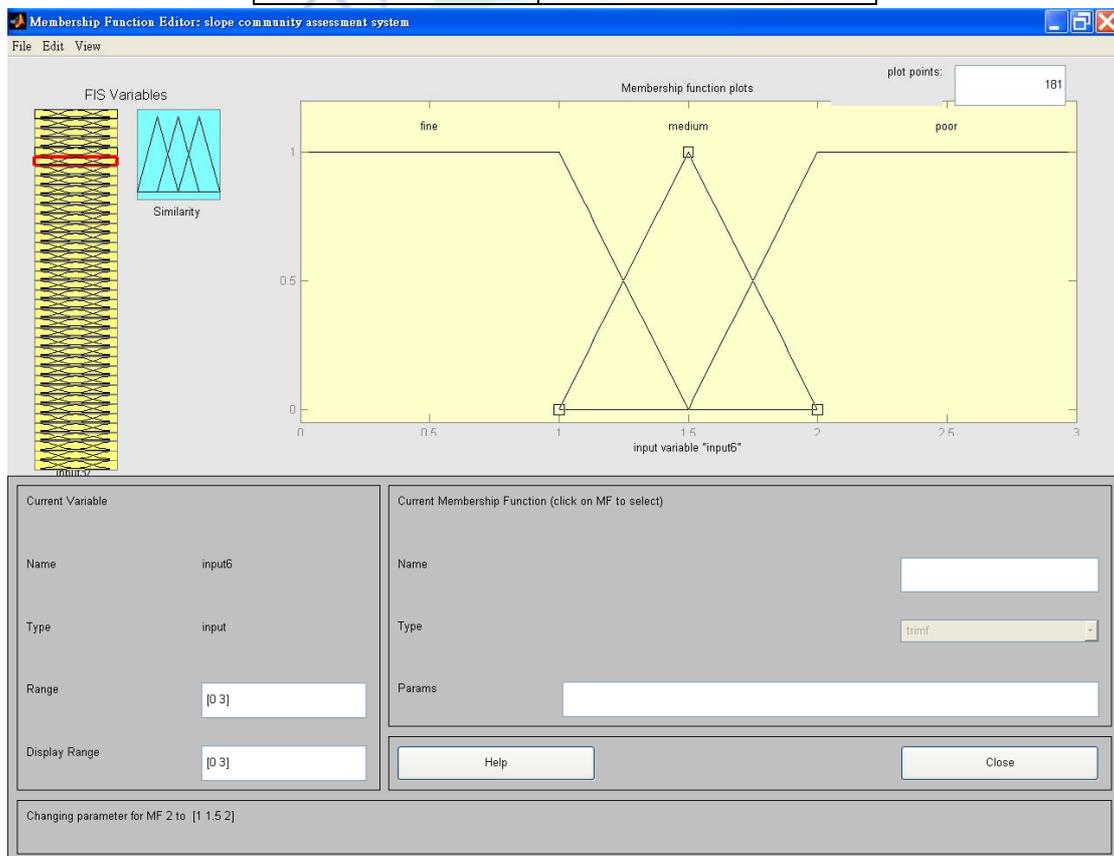


圖 3.9 坡面土層之滲透性隸屬函數圖

(七)邊坡崩坍歷史定義：

曾經發生過崩坍歷史代表該區域具有會發生崩坍的某些條件，此項指標對於評估該區域發生危險可能性高低也具有一定程度參考價值，故本研究參考楊智銳於2006年提出當坡面曾發生崩坍已修復過且無再次崩坍之可能性為「輕微」，坡面曾發生崩坍已修復過但仍有再次崩坍之可能性為「中等」，曾發生崩坍且尚未修復有再次崩坍之可能性則為「嚴重」，考量再次崩坍之可能性中等將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，再次崩坍之可能性輕微與嚴重因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將1至2之間設為模糊區間。

表3.27 邊坡崩坍歷史隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
輕微(slight)	≤ 1
中等 (medium)	1~2
嚴重 (serious)	≥ 2

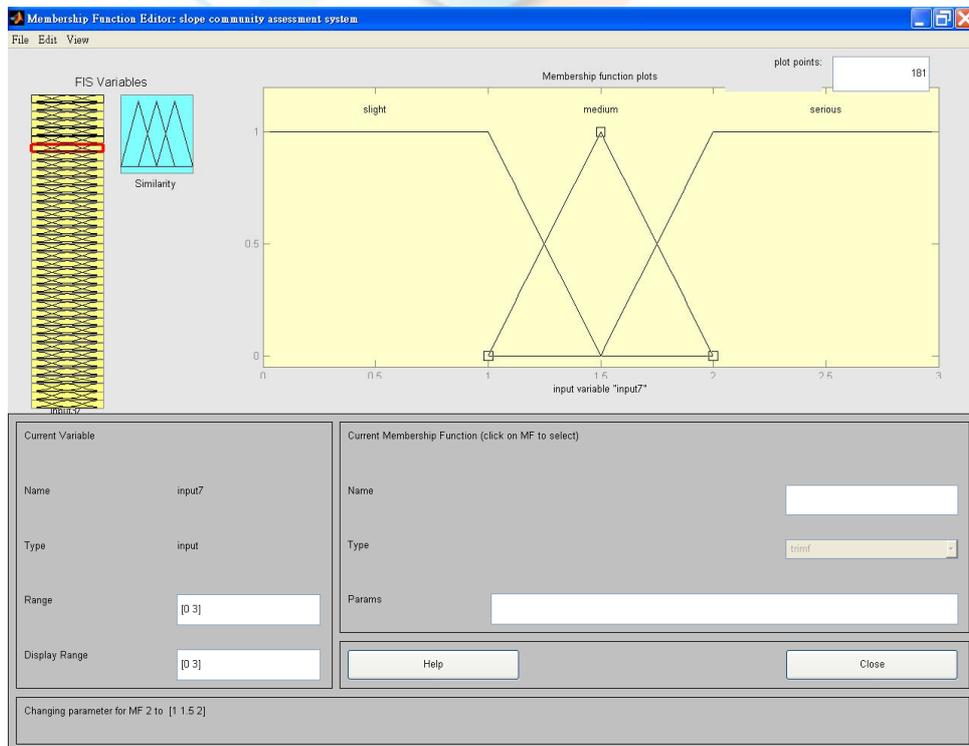


圖 3.10 邊坡崩坍歷史隸屬函數圖

(八)坡面風化程度定義：

坡面具有風化情形會造成岩石有剝落現象，嚴重時更可能會有岩石掉落的危險，故本研究參考「坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究」一文，其定義以岩石存在部分佔整體邊坡中的體積百分比做為量化數值，用來表達邊坡地層風化程度，考量不同中等風化程度將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重風化程度因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將20%至70%之間設為模糊區間。

表3.28 坡面風化程度隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
輕微(slight)	$\leq 20\%$
中等 (medium)	20~70%
嚴重 (serious)	$\geq 70\%$

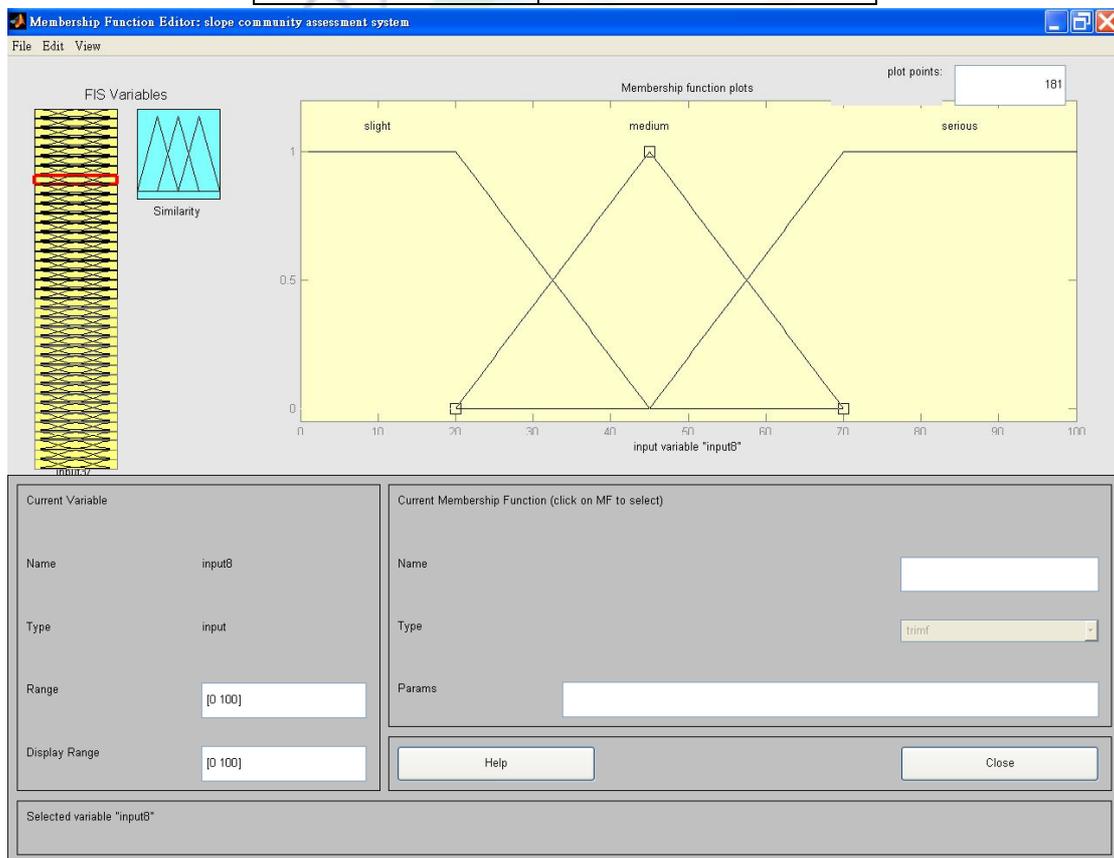


圖 3.11 坡面風化程度隸屬函數圖

(九)坡面植生狀況定義：

坡面植物生長情況對於穩定坡面具有一定效果，故本研究參考楊智銳於2006年提出以樹木、灌木與草做為劃分標準，基於分辨案例只分析其中具有之植物種類，遂使用「梯形」隸屬函數，以固定區間來表示該致災評估指標中隸屬函數分佈情況。

表3.29 坡面植生狀況隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
樹木 (tree)	≤ 1
灌木 (bush)	1.1~2
裸露 (bare)	≥ 2.1

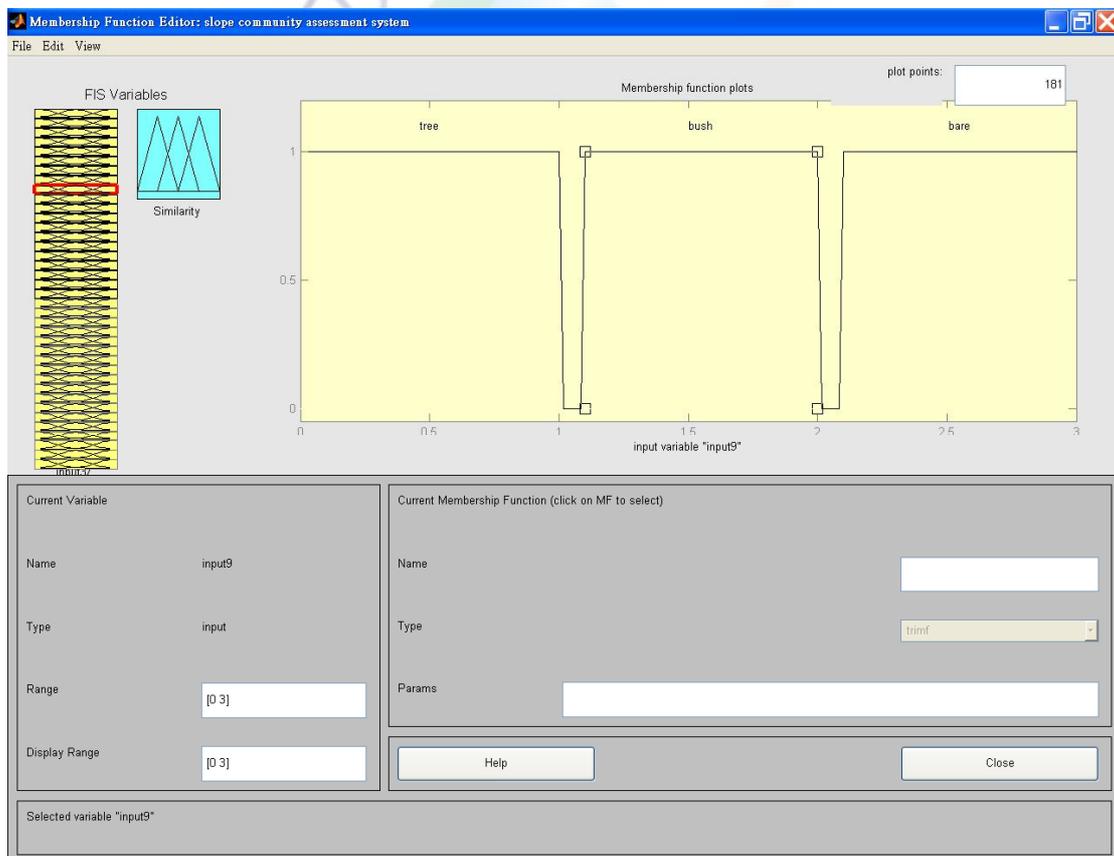


圖 3.12 坡面植生狀況隸屬函數圖

(十)坡面出現凹陷定義：

當坡面為土壤或是具有風化的岩石時，就有可能出現坡面凹陷情形，故本研究參考楊智銳於2006年提出當凹陷面積 < 邊坡面積15%為「輕微」，邊坡面積 $15\% \leq$ 凹陷面積 < 邊坡面積30%為「中等」，凹陷面積 \geq 邊坡面積30%則為「嚴重」，考量不同中等凹陷面積將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重凹陷面積因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將14%至30%之間設為模糊區間。

表3.30 坡面出現凹陷隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值 (百分比)
輕微(slight)	$\leq 14\%$
中等 (medium)	14~30%
嚴重 (serious)	$\geq 30\%$

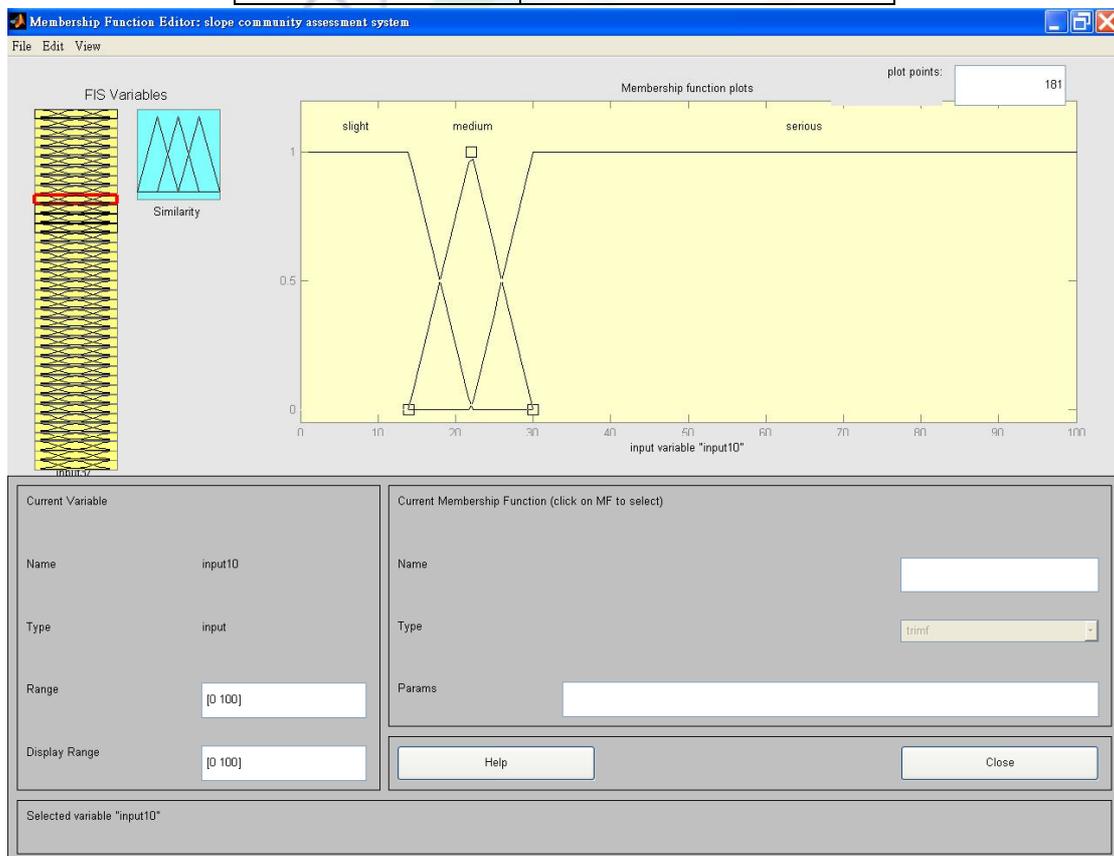


圖 3.13 坡面出現凹陷隸屬函數圖

(十一) 坡面樹木或電線杆傾斜定義：

由坡面上樹木或是電線杆傾斜角度，可知坡面有無淺層滑動現象，故本研究參考楊智銳於2006年提出 $0^\circ < \text{樹木或電線桿與重力線夾角} < 10^\circ$ 為「輕微」， $10^\circ \leq \text{樹木或電桿與重力線夾角} < 30^\circ$ 為「中等」， $30^\circ \leq \text{樹木或電桿與重力線夾角} \leq 45^\circ$ 則為「嚴重」，考量不同中等傾斜程度將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重傾斜程度因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將9至30度之間設為模糊區間。

表3.31 坡面樹木或電線杆傾斜隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
輕微(slight)	≤ 9 度
中等 (medium)	9~30度
嚴重 (serious)	≥ 30 度

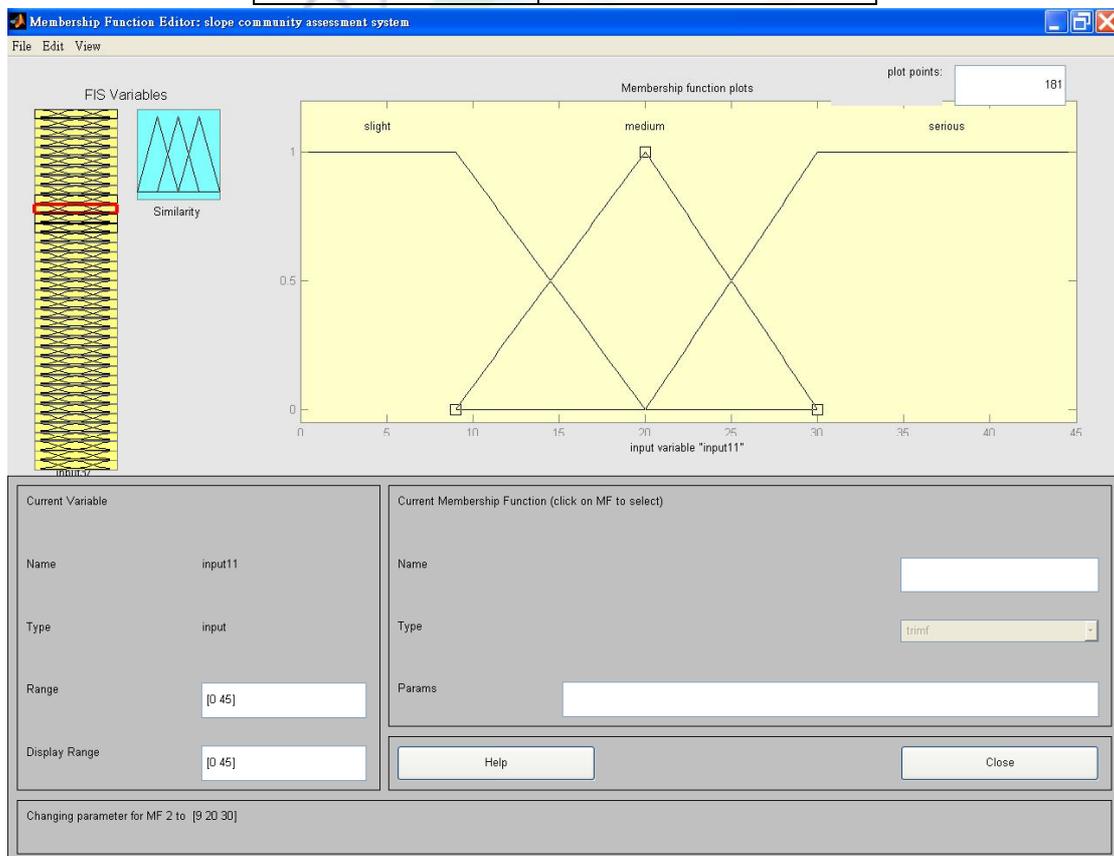


圖 3.14 坡面樹木或電線杆傾斜隸屬函數圖

(十二) 坡面沖蝕之情形定義：

坡面具有的蝕溝深淺程度可用來判別坡面沖蝕情況，故本研究參考水土保持技術規範於2003年定義當坡面只有初期逕流沖蝕且有蝕痕現象為「輕微」，坡面上之蝕溝形狀只有基本雛型且呈淺溝狀為「中等」，坡面上若有發展完全的沖蝕溝且呈深槽狀則為「嚴重」，考量不同中等沖蝕情形將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重沖蝕情形因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將1至2之間設為模糊區間。

表3.32 坡面沖蝕之情形隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
輕微(slight)	≤ 1
中等 (medium)	1~2
嚴重 (serious)	≥ 2

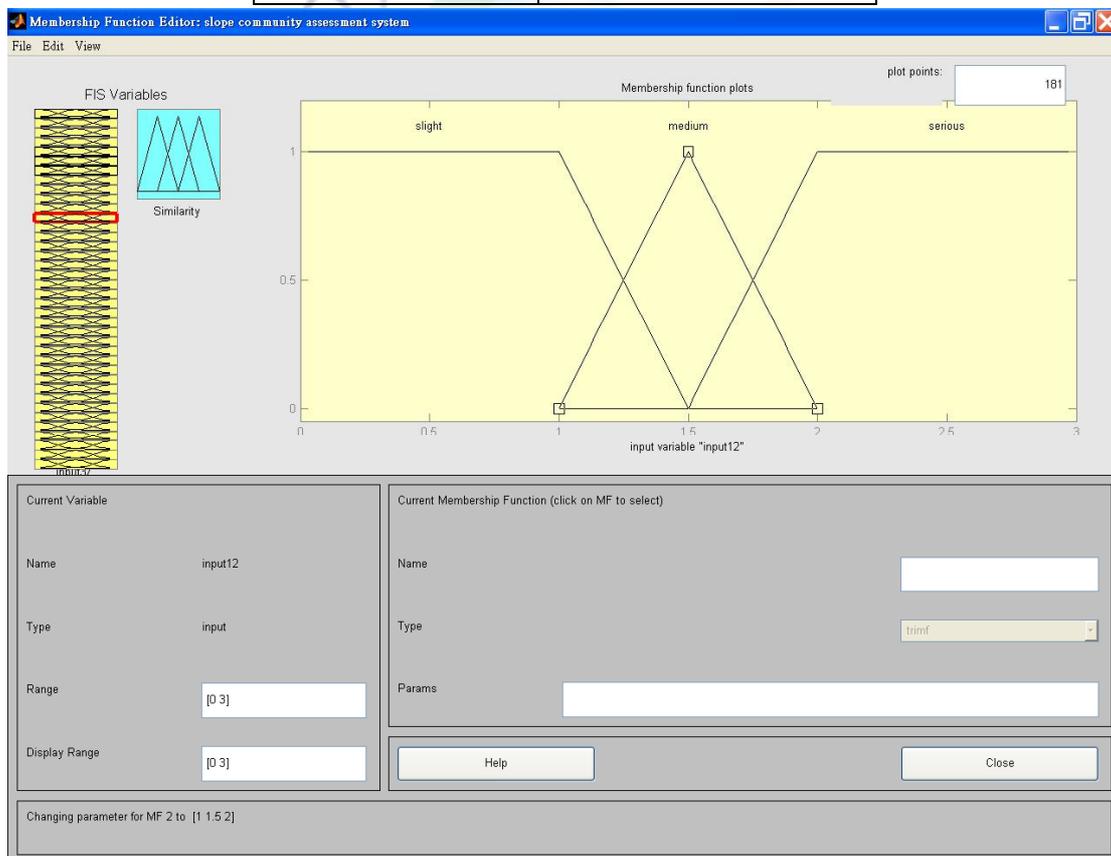


圖 3.15 坡面沖蝕之情形隸屬函數圖

(十三) 坡面（趾）滲水定義：

此指標代表該區域可能具有高水位的地下水，會造成坡面具有不穩定可能性，故本研究參考楊智銳於2006年提出僅下完雨後出現滲水現象為「輕微」，僅當雨季來臨時出現滲水現象為「中等」，當一年四季均出現滲水現象為「嚴重」，考量不同中等滲水現象將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重滲水現象因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將1至2之間設為模糊區間。

表3.33 坡面（趾）滲水隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
輕微(slight)	≤ 1
中等 (medium)	1~2
嚴重 (serious)	≥ 2

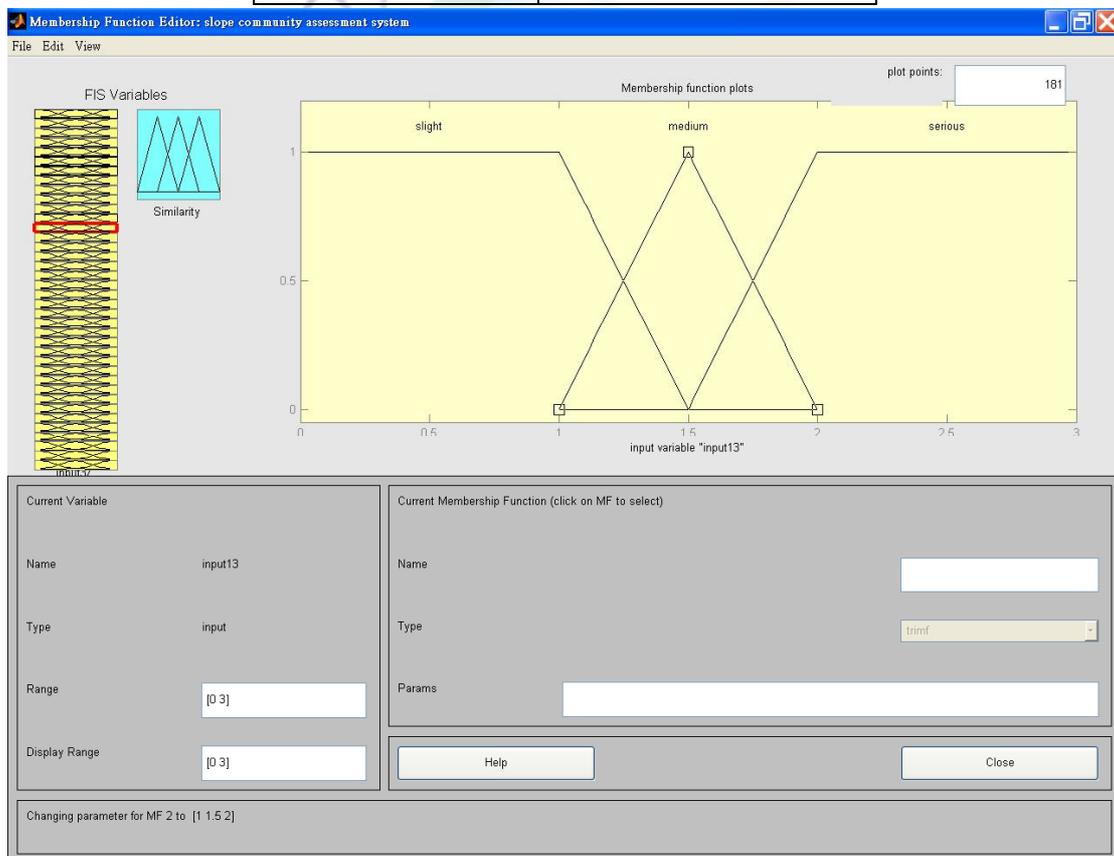


圖 3.16 坡面（趾）滲水隸屬函數圖

(十四) 路面或階梯出現裂縫定義：

該區域路面或階梯有出現裂縫時，應及時予以處理，避免雨水滲入導致土壤流失或軟化造成危險，故本研究參考楊智銳於2006年提出當裂縫長度 ≤ 0.2 公分為「輕微」， $0.2 < \text{裂縫長度} \leq 2$ 公分為「中等」，裂縫長度 > 2 公分為「嚴重」，考量不同中等裂縫程度將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重裂縫程度因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將0.2至2.1公分之間設為模糊區間。

表3.34 路面或階梯出現裂縫隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
輕微(slight)	≤ 0.2 公分
中等 (medium)	0.2~2.1 公分
嚴重 (serious)	≥ 2.1 公分

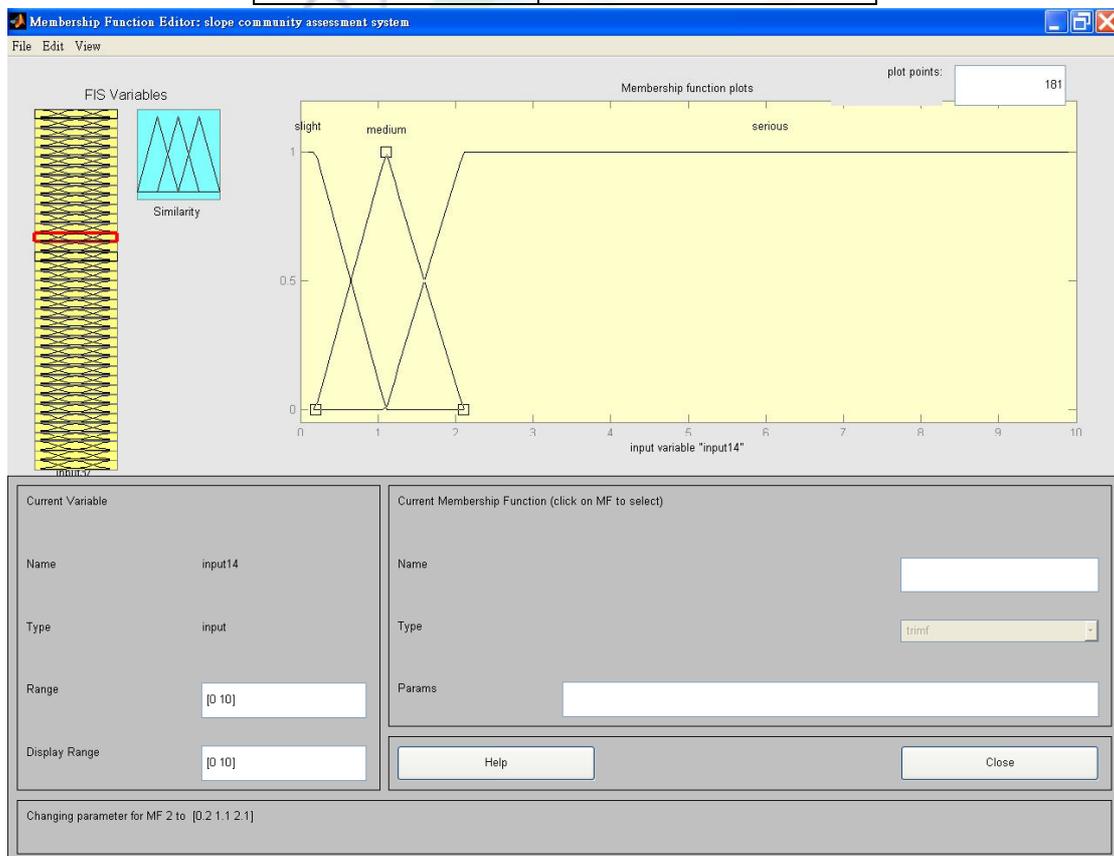


圖 3.17 路面或階梯出現裂縫隸屬函數圖

(十五) 房屋安全退縮距離定義：

建築物本體對於一般邊坡或是擋土牆等人造設施應有一定距離，以避免當災害發生時被邊坡或人造設施所覆蓋造成破壞具有危險，故本研究參考楊智銳於2006年提出定義約安全退縮距離 $>$ 約0.25倍擋土牆高為「輕微」，約0.25倍擋土牆高 \geq 安全退縮距離 $>$ 無安全退縮距離時為「中等」，當無安全退縮距離時為「嚴重」，考量不同中等退縮距離將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重退縮距離因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將0倍至0.26倍之間設為模糊區間。

表3.35 房屋安全退縮距離隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
輕微(slight)	≥ 0.26 倍
中等 (medium)	0~0.26 倍
嚴重 (serious)	0 倍

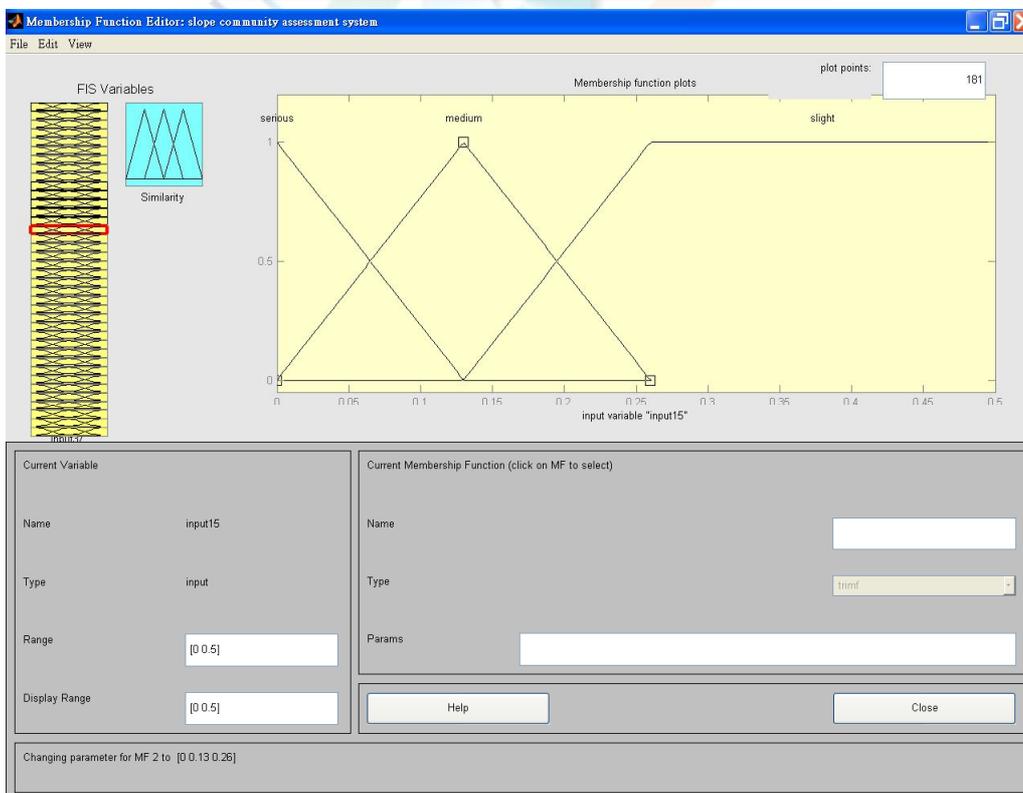


圖 3.18 房屋安全退縮距離隸屬函數圖

(十六) 擋土牆外凸變形或龜裂定義：

擋土牆一般有其當初設計最大承載量，一旦超出最大極限就可能出現外凸變形或龜裂等情況，此時容易造成該區域建築物發生危險的可能性，故本研究參考「坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究」一文，當擋土牆傾斜增量 $<1/100$ 時為「輕微」，當擋土牆傾斜增量介於 $1/10\sim 1/100$ 時為「中等」，當擋土牆傾斜增量 $>1/10$ 時為「嚴重」，考量不同中等傾斜增量將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重傾斜增量因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將0.9%至11%之間設為模糊區間。

表3.36 擋土牆外凸變形或龜裂隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
輕微(slight)	$\leq 0.9\%$
中等 (medium)	0.9~11%
嚴重 (serious)	$\geq 11\%$

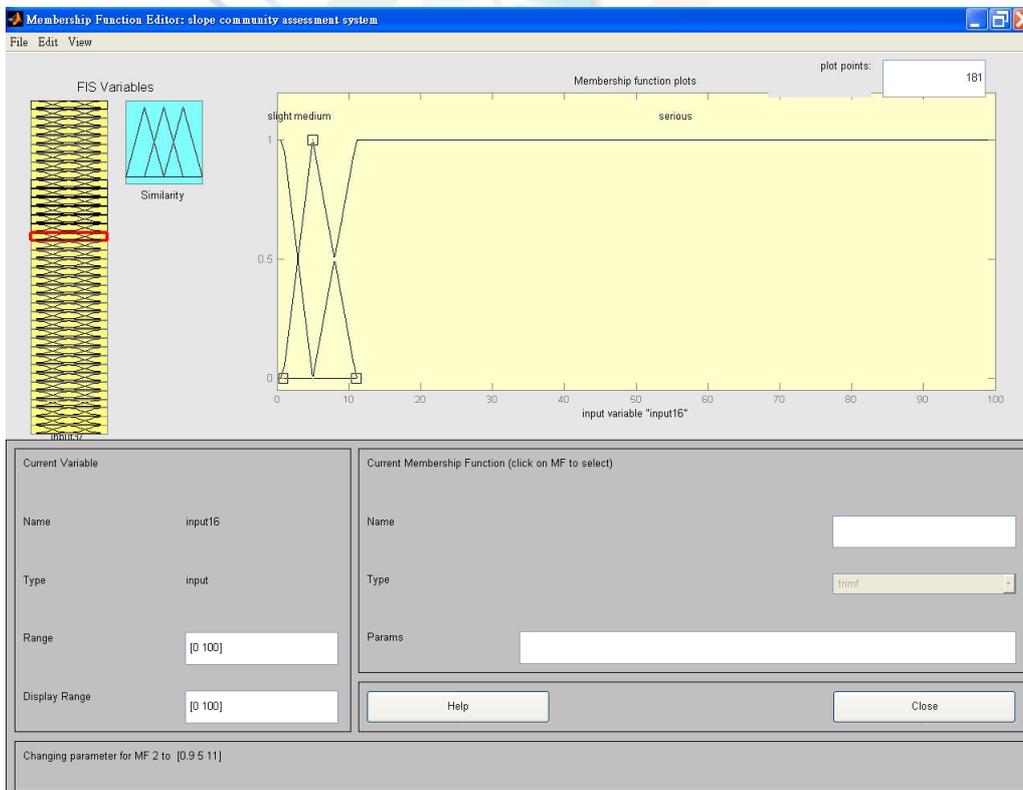


圖 3.19 擋土牆外凸變形或龜裂隸屬函數圖

(十七) 擋土牆有崩土或土石堆定義：

坡面出現崩土或土石堆積情形，且隨時間增加有越來越多趨勢，代表可能出現崩塌情況，故本研究參考楊智銳於2006年提出疑似有崩土之情形者為「輕微」，雖有崩土或落石但未隨時間逐漸增加者為「中等」，當坡趾出現崩土或落石有隨時間逐漸增加之情形者為「嚴重」，考量不同中等土石堆積情形將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重土石堆積情形因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將1至2之間設為模糊區間。

表3.37 擋土牆有崩土或土石堆隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
輕微(slight)	≤ 1
中等(medium)	1~2
嚴重(serious)	≥ 2

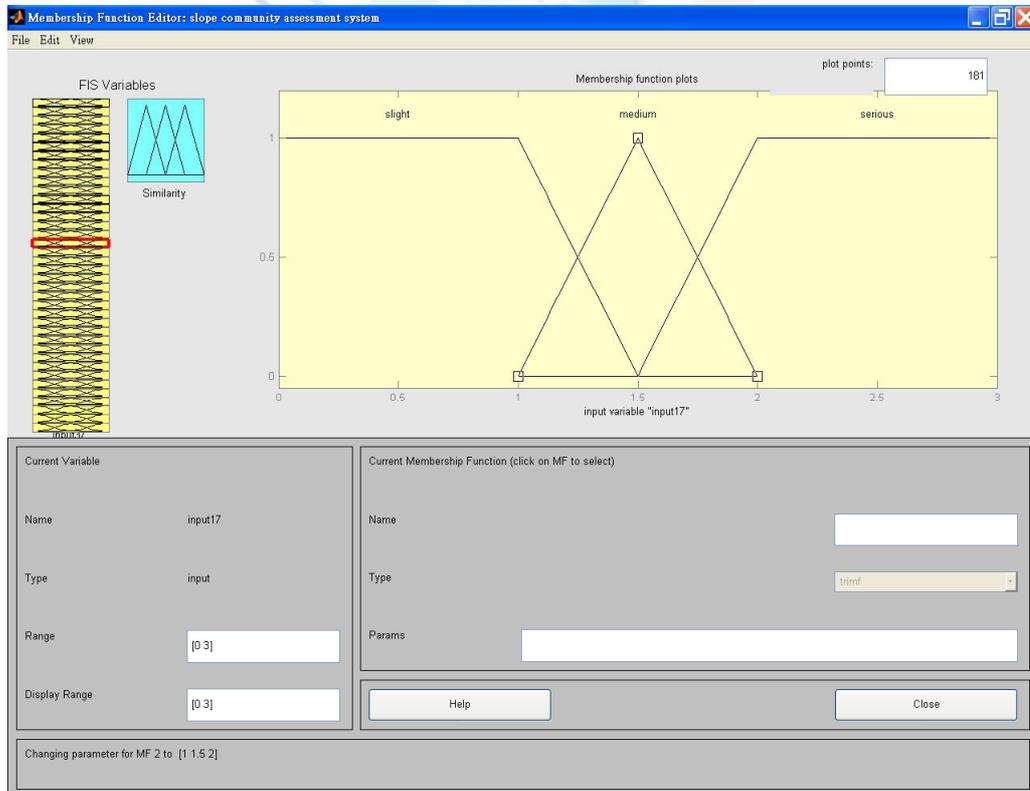


圖 3.20 擋土牆有崩土或土石堆隸屬函數圖

(十八) 擋土牆出水現象不正常定義：

若擋土牆排水孔無法正常將水排出或是排出的水含有大量泥沙，都是擋土牆可能產生危險的情況，故本研究參考楊智銳於2006年提出若排水孔無淤積現象但僅有部分排水孔正常排水為「輕微」，排水孔仍有水排出但孔內已有淤積現象為「中等」，擋土構造之排水孔在雨季無法排水或排水量明顯夾帶泥沙為「嚴重」，考量不同中等出水現象將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重出水現象因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將1至2之間設為模糊區間。

表3.38 擋土牆出水現象不正常隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
輕微 (slight)	≤ 1
中等 (medium)	1~2
嚴重 (serious)	≥ 2

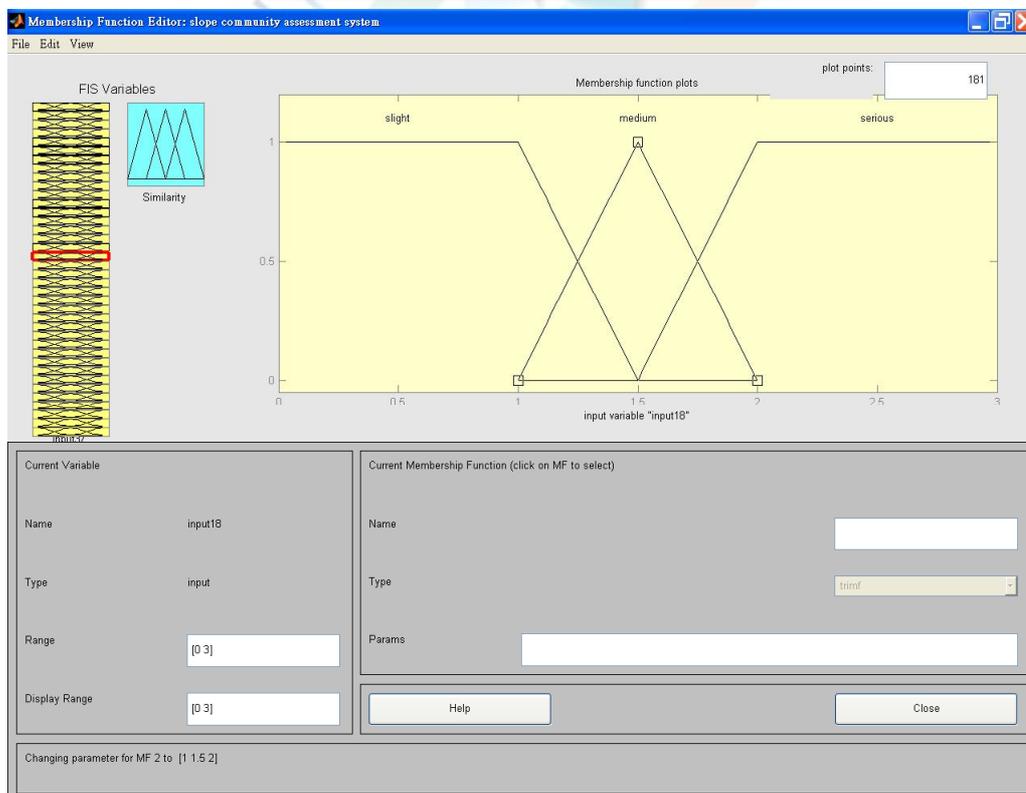


圖 3.21 擋土牆出水現象不正常隸屬函數圖

(十九) 排水溝使用狀況定義：

排水溝對於邊坡排除蓄積水量具有一定效果，以減少坡面產生危險可能性，故本研究參考楊智銳於2006年提出若區域內排水溝出現裂縫或積水情形為「輕微」，排水溝出現裂縫並有積水情形或排水溝已有溢水情形發生為「中等」，無排水設施為「嚴重」，考量不同中等排水溝使用狀況將導致屬於不同隸屬函數因此採用「三角形」隸屬函數，輕微與嚴重排水溝使用狀況因有其一致特性則採用「梯形」隸屬函數，而靠近彼此的區間會有模糊空間遂將1至2之間設為模糊區間。

表3.39 排水溝使用狀況隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數數值
輕微(slight)	≤ 1
中等 (medium)	1~2
嚴重 (serious)	≥ 2

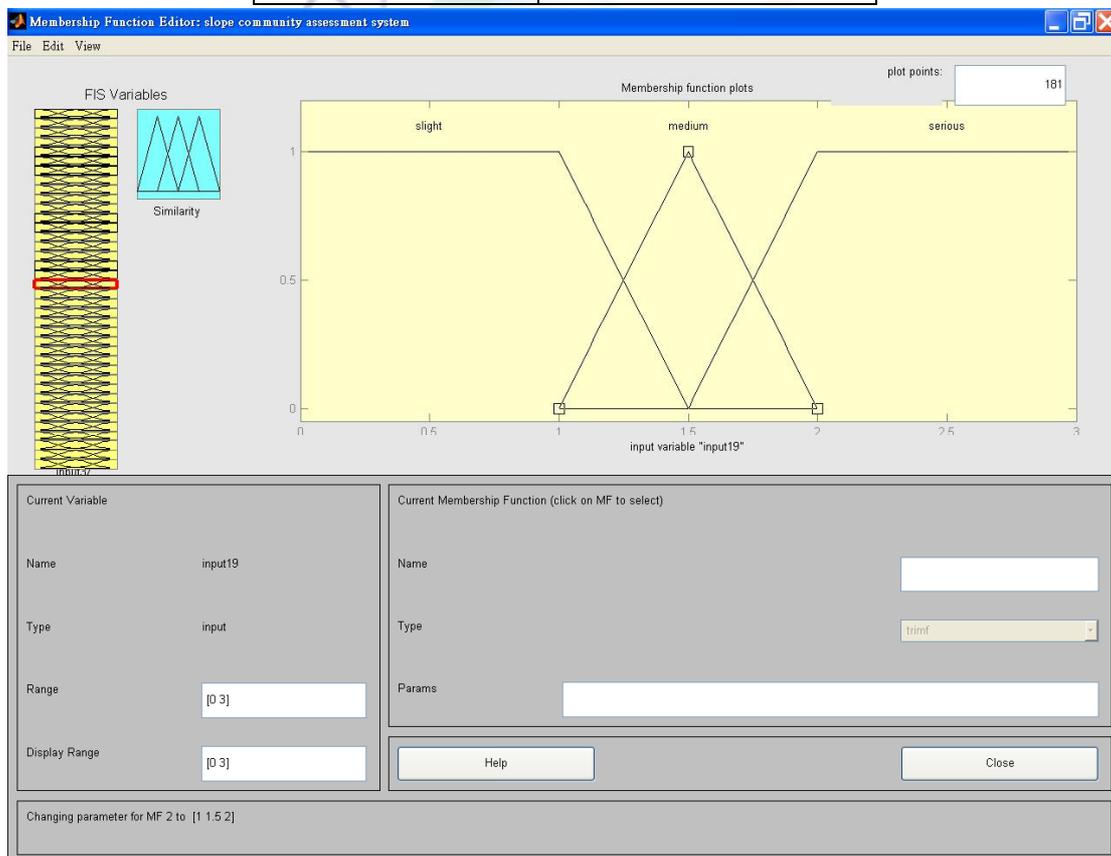


圖 3.22 排水溝使用狀況隸屬函數圖

(二十) 相似程度

表 3.40 相似程度隸屬函數表

模糊區間屬性值	隸屬函數值
極低相似 (mf1)	≤ 1
較低相似 (mf2)	1~3
低相似 (mf3)	2~4
中相似 (mf4)	3~5
高相似 (mf5)	4~6
較高相似 (mf6)	5~7
極高相似 (mf7)	≥ 7

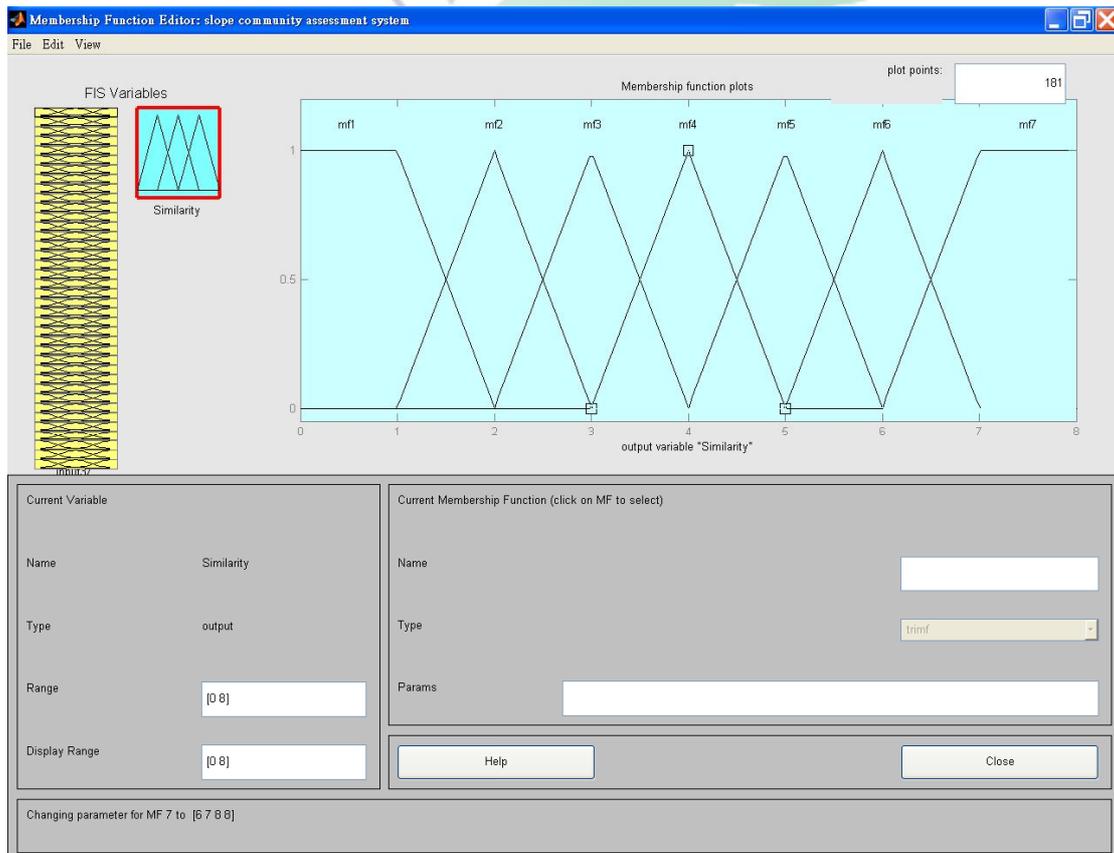


圖 3.23 相似程度隸屬函數圖

第四章 研究結果與分析

4.1 評估模組應用於案例危險評估

本模組進行待評估案例之危險評估是基於完整的經驗案例來分析，採用自楊智銳「山坡地危險聚落之快速評估方法研究」一文中之20組案例作為經驗案例，此20組經驗案例分為三種危險等級（低、中、高）之不同案例，致災評估指標數值由低到高區間分別用1至3代表，其基本資料詳列如表4.1與4.2。



表4.1 經驗案例前十項基本資料表（來源：台北市政府建設局，整理自楊智銳）

經驗案例基本資料										
危險聚落編號	致災評估指標									
	一 坡面坡度	二 坡面材料	三 坡面上游集水面積	四 順向坡	五 是否在水路或土石流通路上	六 坡面土層之滲透性	七 臺灣開墾歷史	八 坡面風化程度	九 坡面植生狀況	十 坡面出現凹陷
第一組	3	2	3	1	1	2	3	3	2	1
第二組	3	2	3	1	1	2	3	1	2	1
第三組	3	3	2	1	2	2	2	2	1	2
第四組	3	2	1	2	3	2	3	2	1	2
第五組	3	2	3	2	1	2	2	2	2	2
第六組	3	2	2	2	1	2	3	3	1	3
第七組	3	3	2	2	1	3	2	2	2	1
第八組	3	3	1	1	1	2	3	2	2	2
第九組	3	2	1	1	1	2	2	2	3	3
第十組	3	2	1	1	1	3	3	2	1	1
第十一組	3	2	1	1	1	3	3	2	1	2
第十二組	3	3	1	2	1	3	2	3	2	1
第十三組	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1
第十四組	3	2	1	1	1	2	1	2	1	1
第十五組	2	3	1	1	1	2	1	2	1	1
第十六組	1	3	1	1	1	3	1	2	2	1
第十七組	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1
第十八組	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1
第十九組	1	2	1	1	1	2	1	2	2	1
第二十組	1	2	1	1	1	2	1	2	2	1

表 4.2 經驗案例後九項基本資料表（來源：台北市政府建設局，整理自楊智銳）

經驗案例基本資料									
危險聚落編號	致災評估指標								
	十一	十二	十三	十四	十五	十六	十七	十八	十九
	坡面樹木或電線杆傾斜	坡面沖蝕之情形	坡面（趾）滲水	路面或階梯出現裂縫	房屋安全退縮距離	擋土牆外凸變形或龜裂	擋土牆有崩土或土石堆	擋土牆出水現象不正常	排水溝使用狀況
第一組	2	3	1	1	3	1	3	1	1
第二組	1	3	1	1	3	1	3	1	3
第三組	1	1	1	1	2	1	2	2	1
第四組	3	1	1	1	3	1	1	1	1
第五組	2	1	1	1	3	3	1	1	1
第六組	2	1	1	1	3	1	2	1	1
第七組	1	1	1	1	3	1	1	3	1
第八組	2	1	1	1	3	1	3	1	1
第九組	1	1	1	1	1	1	3	1	1
第十組	2	1	1	1	3	1	2	1	3
第十一組	1	1	1	3	3	1	2	1	1
第十二組	1	1	1	1	3	1	3	1	1
第十三組	1	1	1	1	2	1	1	1	1
第十四組	1	1	1	1	3	1	2	1	1
第十五組	1	1	1	1	3	1	1	1	3
第十六組	1	1	1	1	1	1	1	1	3
第十七組	1	1	1	1	3	1	1	1	1
第十八組	1	1	1	1	2	1	1	1	1
第十九組	1	1	1	1	1	1	1	1	1
第二十組	1	1	1	1	1	1	1	1	1

本研究採用6組高度危險、2組中度危險與2組低度危險共計10組待評估案例如表4.3、4.4，均已被台北市政府建設局評定其危險等級，經由判斷此10組待評估案例與原本被評定的危險等級相同，可證明應用本評估模組之準確度。

將各經驗案例與待評估案例之19項致災評估指標的隸屬函數數值分別輸入本模組，可立即分析運算出每一組經驗案例與待評估案例之相似值。

根據20組經驗案例中，相似度最高的經驗案例之危險等級，即可判斷出待評估案例之危險等級，本研究根據台北市政府建設局的劃分標準，分別將低、中、高三種危險等級用C、B、A三種英文字母代替，下面將10組待評估案例分別與20組經驗案例的相似值整理列表如表4.5、4.6，其相似值輸出圖如圖4.1。



表4.3 待評估案例前十項基本資料表

待 評 估 案 例 基 本 資 料										
危 險 聚 落 編 號	致 災 評 估 指 標									
	一 坡 面 坡 度	二 坡 面 材 料	三 坡 面 上 游 集 水 面 積	四 順 向 坡	五 是 否 在 水 路 或 土 石 流 通 路 上	六 坡 面 土 層 之 滲 透 性	七 邊 坡 崩 坍 歷 史	八 坡 面 風 化 程 度	九 坡 面 植 生 狀 況	十 坡 面 出 現 凹 陷
第一組 (A)	3	3	3	1	1	3	1	3	2	3
第二組 (A)	4	1	1	1	1	3	3	2	1	1
第三組 (A)	3	2	1	1	1	3	1	1	1	2
第四組 (A)	3	3	1	1	1	3	2	2	2	3
第五組 (A)	3	3	1	2	1	3	2	3	2	1
第六組 (A)	4	1	2	1	1	2	3	2	1	2
第七組 (B)	3	2	1	1	1	3	1	2	1	1
第八組 (B)	3	3	1	1	1	3	1	2	2	1
第九組 (C)	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1
第十組 (C)	1	3	1	1	1	3	1	2	1	1

表 4.4 待評估案例後九項基本資料表

待 評 估 案 例 基 本 資 料									
危 險 聚 落 編 號	致 災 評 估 指 標								
	十一	十二	十三	十四	十五	十六	十七	十八	十九
	坡面樹木或電線杆傾斜	坡面沖蝕之情形	坡面(趾)滲水	路面或階梯出現裂縫	房屋安全退縮距離	擋土牆外凸變形或龜裂	擋土牆有崩土或土石堆	擋土牆出水現象不正常	排水溝使用狀況
第一組 (A)	3	1	1	1	3	1	2	2	2
第二組 (A)	1	1	1	1	3	1	1	1	3
第三組 (A)	1	1	1	1	3	1	1	1	3
第四組 (A)	1	1	1	1	3	1	2	1	1
第五組 (A)	1	1	1	2	2	1	2	1	1
第六組 (A)	2	1	1	1	3	1	2	1	1
第七組 (B)	1	1	1	1	2	1	1	1	1
第八組 (B)	1	1	1	1	3	1	1	1	1
第九組 (C)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
第十組 (C)	1	1	1	1	2	1	1	1	1

表 4.5 待評估案例前六組與經驗案例相似值輸出表

相似值輸出表						
經驗案例編號	待評估案例編號					
	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	第六組
第一組 (A)	4.08	4.81	3.92	4.83	4.00	5.02
第二組 (A)	4.08	4.83	4.00	4.81	3.92	4.83
第三組 (A)	5.24	4.00	4.83	5.02	4.08	4.08
第四組 (A)	4.09	4.00	4.00	4.08	4.08	4.35
第五組 (A)	4.35	4.09	4.09	4.17	4.18	4.35
第六組 (A)	4.09	4.00	4.00	4.35	5.02	4.35
第七組 (A)	4.00	4.00	4.00	4.08	5.02	4.08
第八組 (A)	4.30	3.92	3.92	5.56	4.25	4.35
第九組 (A)	4.81	4.83	5.24	5.02	4.08	4.83
第十組 (A)	4.00	5.02	4.08	4.83	4.17	5.36
第十一組 (A)	4.00	4.83	4.00	5.02	4.35	4.83
第十二組 (A)	4.00	4.00	4.00	4.08	5.81	4.35
第十三組 (B)	3.92	4.17	4.17	4.08	3.92	4.08
第十四組 (B)	4.81	4.00	4.83	4.00	4.35	4.35
第十五組 (B)	4.81	4.35	4.17	4.83	4.17	4.17
第十六組 (B)	4.00	4.08	4.08	4.00	4.08	3.92
第十七組 (B)	4.19	4.17	4.46	4.37	4.35	4.35
第十八組 (C)	3.92	4.17	4.17	4.08	4.35	4.35
第十九組 (C)	3.92	4.00	4.00	4.08	4.35	4.08
第二十組 (C)	3.92	4.00	4.00	4.08	4.35	4.08

註：此六組已被評定為高危險之待評估案例。

表4.6 待評估案例後四組與經驗案例相似值輸出表

相似值輸出表				
經驗案例編號	待 評 估 案 例 編 號			
	第七組	第八組	第九組	第十組
第一組 (A)	4.00	4.00	4.00	4.00
第二組 (A)	3.92	3.92	3.92	3.92
第三組 (A)	4.00	4.81	4.08	4.08
第四組 (A)	4.08	4.08	4.08	4.08
第五組 (A)	4.17	4.17	4.00	4.17
第六組 (A)	4.08	4.08	4.08	4.08
第七組 (A)	4.08	4.08	4.00	4.08
第八組 (A)	4.06	4.06	4.06	4.06
第九組 (A)	4.83	4.08	4.08	4.08
第十組 (A)	4.00	4.00	4.00	4.00
第十一組 (A)	4.08	4.08	4.00	4.08
第十二組 (A)	4.08	4.08	4.00	4.08
第十三組 (B)	4.35	4.08	3.92	4.08
第十四組 (B)	5.02	4.00	4.08	4.08
第十五組 (B)	4.81	5.32	4.83	4.81
第十六組 (B)	4.17	4.00	3.92	3.92
第十七組 (B)	4.17	4.71	4.17	4.19
第十八組 (C)	4.35	4.35	4.08	5.81
第十九組 (C)	4.35	4.08	5.81	4.35
第二十組 (C)	4.35	4.08	4.00	4.35

註：第七、八組與第九、十組分別已被評定為中危險與低危險之待評估案例。

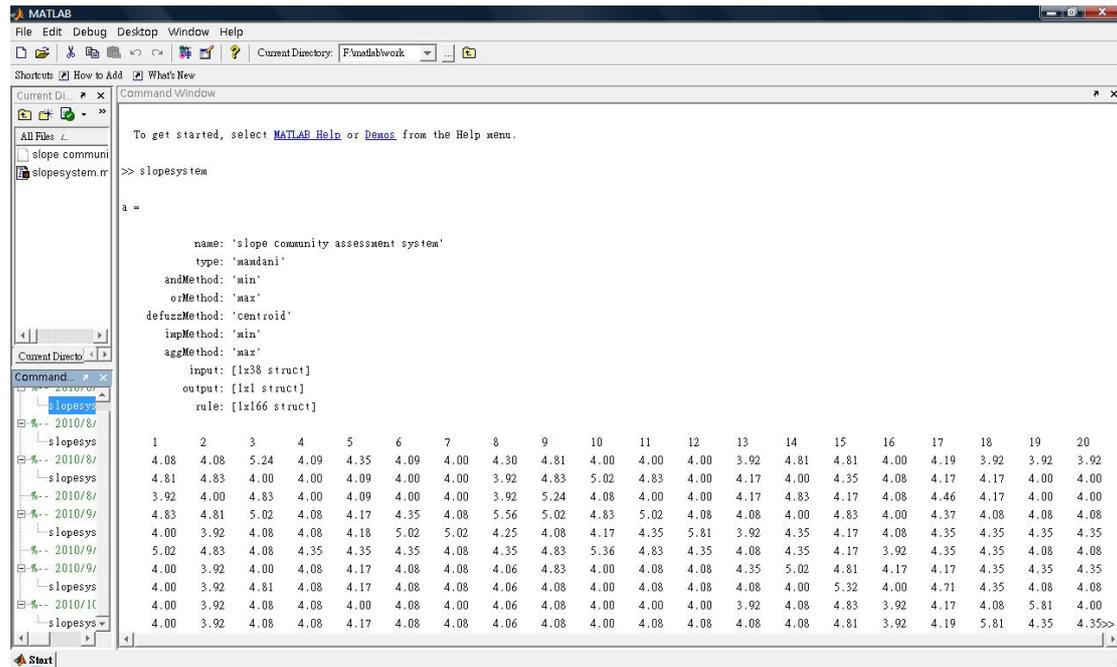


圖 4.1 待評估案例與經驗案例相似值輸出圖

由表 4.5、4.6 可知，已評估為高危險之一至六組待評估案例，本研究的評估模組分析出最相似的經驗案例分別為第三組、第十組、第九組、第八組、第十二組、第十組此六組；已評估為中危險之第七、八的兩組待評估案例，本研究的評估模組分析出最相似的經驗案例分別為第十四組、第十五組此兩組；已評估為低危險之第九、十的兩組待評估案例，本研究的評估模組分析出最相似的經驗案例分別為第十九組、第十八組此兩組。

從以上輸出分別與高、中、低待評估案例最相似的經驗案例所得到之危險可能性，均分別與待評估案例原本已被評估之危險可能性相同，即可驗證本評估模組對於判斷待評估案例之危險等級具有可接受之準確性。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究透過查找文獻存在之記載與過去之研究綜合比較後，進而採用楊智銳提出可評估坡地社區發生危險之影響因子19項，對於評估坡地社區具有的危險可能性，確實具有不錯的評估準確性。

本評估模組以不同危險可能性之坡地社區為評估資料基礎，並從與待評估案例最相似的經驗案例中，得到待評估案例具有之危險可能性。

所獲得成果總結如下：

- (一)研究人員對於決定坡地影響因子常有「不確定」或「含糊」的性質存在，利用模糊理論中隸屬函數之表達，即可將無法明確定義之事物具有一個較清楚的表示，其對於「不確定」或「含糊」之屬性程度特別具有效力，對於本研究模組分析、判斷兩案例是否具有相似性的結果確實得到不錯之效用。
- (二)本研究建構坡地社區評估模組，以模糊理論具有推論規則可供條件分析並結合案例式推理具有相似度的概念，發展一相似度評估方式，透過推論規則分析每一致災評估指標相似程度的條件，經由從經驗案例中找出最相似的案例，進而獲得待評估案例之坡地社區的危險可能性。
- (三)過去對於評估坡地社區危險之研究，多傾向於發放問卷後從整理問卷的資料裡去了解，或是從現地勘查人員的勘察資料裡人工搜尋需要的資訊，對於人工處理這麼大量的資訊是耗時又花費精神，利用本研究模組輸入需要的數值，經由模組快速分析出所需的資訊，便於人工執行判斷時的參考依據。

5.2 建議

- (一)本研究所採用之隸屬函數為三角形 (Triangular) 與梯形 (Trapezoidal) 隸屬函數，而隸屬函數訂定並無硬性規範須採用何種，可根據研究目的需要適時調整，也可藉由模糊統計法去獲得，相當具有彈性。建議當有不同使用目的時可使用不同隸屬函數形式以符合需求。

參考文獻

中文部份：

1. 行政院公共工程委員會，1998，現況資料調查表，山坡地安全諮詢小組作業流程草案。
2. 李咸亨，1998，坡地社區安全居住手冊，內政部。
3. 吳俊傑，1999，坡地建築防災指標與系統研究，國立臺灣科技大學營建工程系碩士論文。
4. 廖郁玟，2000，山坡地安全評估方法與安全監測指標研究，國立臺灣科技大學營建工程系碩士論文。
5. 陳俊元，2001，砂質邊坡穩定性之安全監測指標研究，國立臺灣科技大學營建工程系碩士論文。
6. 黃慶生，2004，台北地區天然邊坡快速安全評估系統與指標研究，國立臺灣科技大學營建工程系碩士論文。
7. 楊智銳，2006，山坡地危險聚落之快速評估方法研究，國立臺灣科技大學營建工程系碩士論文。
8. 林彥享，2003，以類神經網路進行地震誘發山崩之潛感分析，國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
9. 張石角，1987，山坡地潛在危險之預測及其在環境影響評估之應用，中華水土保持學報，第18期第2卷，p.41-62。
10. 林美聆、游繁結、范正成、林炳森等，2000，九二一集集大地震後續短期研究—九二一震災土石流潛在溪流初步判定與分析，NCREE-00-017。
11. 陳鴻烈，2004，坡地災害風險分析管理與成本效益分析，國家災害防救科技中心—天然災害風險管理與成本效益分析講習講義。
12. 謝正倫，2000，土石流危險溪流調查與危險等級判定，第二屆全國治山防災研討會論文集，p.109-124。

13. 蔡光榮、劉明忠、戴君翰、施俊廷，2006，台灣中部山區道路邊坡崩塌特性之數值分析模式建置，台灣公路工程，第12期，第32卷，p.33-45。
14. 李瑞陽、陳蕙華，2005，遙測影響於崩塌潛感分析之應用-以竹東至松本段為例，台灣地理資訊學會年會暨學術研討會論文集，p.1-10。
15. 許琦，1989，模糊集理論在山崩潛感性分析之應用，成功大學土木工程研究所，第三屆大地工程學術研究討論會宣讀論文，p23-33。
16. 張石角，2004，太魯閣國家公園大同、大禮聯外交通設施工程之工程地形和地質之調查分析與可行性評估。
17. 蘇吉立、廖洪鈞、李維峰、陳天健、董家鈞、魏佳韻、何應璋，2007，坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究，交通部運輸研究所。
18. 劉慶男、李咸亨，2001，坡地社區公共安全檢查項目與技術研究，研究報告 MOIS902003，內政部建築研究所，台北市。
19. 陳建荐，2007，模糊理論應用於土石流潛勢分析之研究，中華技術學院土木工程防災工程碩士論文。
20. 陳昆揮，2006，模糊理論應用於土石流危險評估系統之研究，逢甲大學土木工程學系碩士論文。
21. 傅裕盛，2004，模糊理論應用於土石流危險度分析之研究，國立成功大學水利及海洋工程碩士論文。
22. 王虹萍，2009，結合層級分析法與模糊理論於土石流潛勢評估之研究—以陳有蘭溪集水區為例。
23. 洪如江，2009，坡地災害防治，水利土木科技資訊季刊-46期。

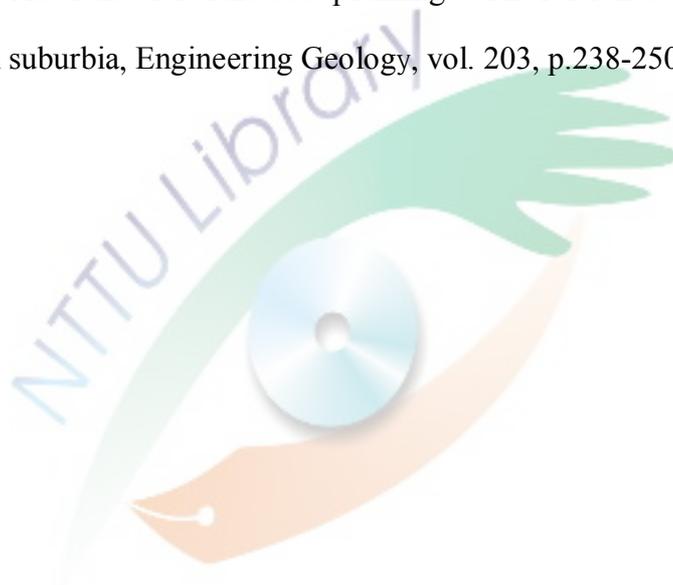
外文部份：

1. Schank, R. C. & Abelson, R. P., 1977, "Scripts, Plans, Goals and Understanding", Erlbaum, Hillsdale, New Jersey, US.
2. Roger Schank, 1982, Dynamic Memory: A Theory of Learning in Computers and People, New York: Cambridge University Press.

3. Riesbeck, C. K. & Schank, R., 1989, "Inside Case-based Reasoning", Erlbaum, Northvale, New Jersey.
4. Leake, D. B., 1996, "Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons & Future Directions", MIT Press, p.3-30.
5. Leake, D. & Wilson, D., 1999, When experience is wrong: Examining CBR for changing tasks and environments, Proceedings of the Third International Conference on Case-Based Reasoning, Springer Verlag, p.218-232.
6. Amodt, A. & Plaza, E., 1994, Case-based reasoning: foundational issues methodological variations and system approaches, AI Communications 7, p.39-59.
7. Gomez-Albarran, M., Gonzalez-Calero, P., & Fernandez-Chamizo, C., 2001, "Profiting from case-based reasoning in framework documentation." 38th Technology of Object-Oriented Languages and Systems, p.111-122.
8. Stephanie, M. B., 1997, "A case-based reasoning approach to bankruptcy prediction modeling.", Intelligent Systems in Accounting Finance and Management, Vol.6, p.195-214.
9. Bergmann, R. & Stahl, A., 1998, Similarity measures for object-oriented case representations, In Proceedings of the Fourth European Workshop on Case-Based Reasoning, Springer-Verlag, p.25-36.
10. Kolodner, J., 1991, "Improving human decision making through case-based decision aiding" AI magazine, Vol.12, No.2, p.52-68.
11. Kolodner, J., 1993, "Case-Based Reasoning", Morgan Kaufmann Pub, San Mateo.
12. Quinlan, J. R., 1993, "C4.5: Programs for Machine Learning", Morgan Kaufmann.
13. Barletta, R., 1991, "An introduction to case-based reasoning." AI Expert, Vol.6, p.42-49.
14. Brown, C. E., & Gupta, U. G., 1994, "Applying case-based reasoning to the accounting domain", Intelligent Systems in Accounting Finance and Management,

Vol.6, p.195-214.

15. Derere, L., 2000, "Case-based reasoning: diagnosis of faults in complex systems through reuse of experience", TEST Conference 2000 Proceedings International, p.27-34.
16. Zadeh, L.A., 1965, "Fuzzy sets: Information and Control", vol. 8, p.338-353.
17. Schmucker, K. J., 1984, "Fuzzy Sets: Natural Language Computations and Risk Analysis", Computer Science Press, Rockville, p.192.
18. Andrew R. Leventhal and Greg P. Kotze, 2008, landslide susceptibility and hazard mapping in Australia for land-use planning with reference to challenges in metropolitan suburbia, Engineering Geology, vol. 203, p.238-250 ◦



附錄

第一位專家建議之致災因子重要性分類表

致災因子	重要性等級
坡面坡度	主要
坡面材料	主要
坡面上游集水面積	第三次要
順向坡	主要
是否在水路或土石流通路上	第三次要
坡面土層之滲透性	第三次要
邊坡崩坍歷史	主要
坡面風化程度	主要
坡面植生狀況	主要
坡面出現凹陷	主要
坡面樹木或電線杆傾斜	次要
坡面沖蝕之情形	主要
坡面（趾）滲水	第三次要
路面或階梯出現裂縫	次要
房屋安全退縮距離	次要
擋土牆外凸變形或龜裂	次要
擋土牆有崩土或土石堆	次要
擋土牆出水現象不正常	次要
排水溝使用狀況	第三次要

第二位專家建議之致災因子重要性分類表

致災因子	重要性等級
坡面坡度	主要
坡面材料	次要
坡面上游集水面積	主要
順向坡	主要
是否在水路或土石流通路上	主要
坡面土層之滲透性	次要
邊坡崩坍歷史	次要
坡面風化程度	次要
坡面植生狀況	第三次要
坡面出現凹陷	次要
坡面樹木或電線杆傾斜	第三次要
坡面沖蝕之情形	次要
坡面(趾)滲水	主要
路面或階梯出現裂縫	第三次要
房屋安全退縮距離	次要
擋土牆外凸變形或龜裂	主要
擋土牆有崩土或土石堆	次要
擋土牆出水現象不正常	次要
排水溝使用狀況	第三次要

第三位專家建議之致災因子重要性分類表

致災因子	重要性等級
坡面坡度	主要
坡面材料	主要
坡面上游集水面積	第三次要
順向坡	主要
是否在水路或土石流通路上	主要
坡面土層之滲透性	第三次要
邊坡崩坍歷史	主要
坡面風化程度	次要
坡面植生狀況	次要
坡面出現凹陷	次要
坡面樹木或電線杆傾斜	次要
坡面沖蝕之情形	次要
坡面(趾)滲水	主要
路面或階梯出現裂縫	主要
房屋安全退縮距離	主要
擋土牆外凸變形或龜裂	主要
擋土牆有崩土或土石堆	次要
擋土牆出水現象不正常	主要
排水溝使用狀況	主要

其餘18項致災因子完整之推論規則：

下述規則式以 C_{wa}^i 下標 wa 代表待評估案例上標 i 代表需評定的1至19項致災評估指標， C_{ex}^i 下標 ex 代表經驗案例，上標 i 代表需評定的1至19項致災評估指標等作為代稱。

坡面材料：

IF (C_{wa}^2 為硬岩) and (C_{ex}^2 為硬岩) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^2 為硬岩) and (C_{ex}^2 為軟岩) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^2 為硬岩) and (C_{ex}^2 為土壤) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^2 為軟岩) and (C_{ex}^2 為硬岩) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^2 為軟岩) and (C_{ex}^2 為軟岩) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^2 為軟岩) and (C_{ex}^2 為土壤) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^2 為土壤) and (C_{ex}^2 為硬岩) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^2 為土壤) and (C_{ex}^2 為軟岩) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^2 為土壤) and (C_{ex}^2 為土壤) THEN (相似度 極高)

坡面上游集水面積：

IF (C_{wa}^3 為小) and (C_{ex}^3 為小) THEN (相似度 高)

IF (C_{wa}^3 為小) and (C_{ex}^3 為中) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^3 為小) and (C_{ex}^3 為大) THEN (相似度 低)

IF (C_{wa}^3 為中) and (C_{ex}^3 為小) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^3 為中) and (C_{ex}^3 為中) THEN (相似度 高)

IF (C_{wa}^3 為中) and (C_{ex}^3 為大) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^3 為大) and (C_{ex}^3 為小) THEN (相似度 低)

IF (C_{wa}^3 為大) and (C_{ex}^3 為中) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^3 為大) and (C_{ex}^3 為大) THEN (相似度 高)

順向坡：

IF (C_{wa}^4 為無) and (C_{ex}^4 為無) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^4 為無) and (C_{ex}^4 為有) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^4 為有) and (C_{ex}^4 為無) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^4 為有) and (C_{ex}^4 為有) THEN (相似度 極高)

是否在水路或土石流通路上：

IF (C_{wa}^5 為輕微) and (C_{ex}^5 為輕微) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^5 為輕微) and (C_{ex}^5 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^5 為輕微) and (C_{ex}^5 為嚴重) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^5 為中等) and (C_{ex}^5 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^5 為中等) and (C_{ex}^5 為中等) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^5 為中等) and (C_{ex}^5 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^5 為嚴重) and (C_{ex}^5 為輕微) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^5 為嚴重) and (C_{ex}^5 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^5 為嚴重) and (C_{ex}^5 為嚴重) THEN (相似度 極高)

坡面土層之滲透性：

IF (C_{wa}^6 為良好) and (C_{ex}^6 為良好) THEN (相似度 高)

IF (C_{wa}^6 為良好) and (C_{ex}^6 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^6 為良好) and (C_{ex}^6 為差) THEN (相似度 低)

IF (C_{wa}^6 為中等) and (C_{ex}^6 為良好) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^6 為中等) and (C_{ex}^6 為中等) THEN (相似度 高)

IF (C_{wa}^6 為中等) and (C_{ex}^6 為差) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^6 為差) and (C_{ex}^6 為良好) THEN (相似度 低)

IF (C_{wa}^6 為差) and (C_{ex}^6 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^6 為差) and (C_{ex}^6 為差) THEN (相似度 高)

邊坡崩坍歷史：

IF (C_{wa}^7 為輕微) and (C_{ex}^7 為輕微) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^7 為輕微) and (C_{ex}^7 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^7 為輕微) and (C_{ex}^7 為嚴重) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^7 為中等) and (C_{ex}^7 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^7 為中等) and (C_{ex}^7 為中等) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^7 為中等) and (C_{ex}^7 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^7 為嚴重) and (C_{ex}^7 為輕微) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^7 為嚴重) and (C_{ex}^7 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^7 為嚴重) and (C_{ex}^7 為嚴重) THEN (相似度 極高)

坡面風化程度：

IF (C_{wa}^8 為輕微) and (C_{ex}^8 為輕微) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^8 為輕微) and (C_{ex}^8 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^8 為輕微) and (C_{ex}^8 為嚴重) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^8 為中等) and (C_{ex}^8 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^8 為中等) and (C_{ex}^8 為中等) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^8 為中等) and (C_{ex}^8 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^8 為嚴重) and (C_{ex}^8 為輕微) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^8 為嚴重) and (C_{ex}^8 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^8 為嚴重) and (C_{ex}^8 為嚴重) THEN (相似度 較高)

坡面植生狀況：

IF (C_{wa}^9 為樹木) and (C_{ex}^9 為樹木) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^9 為樹木) and (C_{ex}^9 為灌木) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^9 為樹木) and (C_{ex}^9 為裸露) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^9 為灌木) and (C_{ex}^9 為樹木) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^9 為灌木) and (C_{ex}^9 為灌木) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^9 為灌木) and (C_{ex}^9 為裸露) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^9 為裸露) and (C_{ex}^9 為樹木) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^9 為裸露) and (C_{ex}^9 為灌木) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^9 為裸露) and (C_{ex}^9 為裸露) THEN (相似度 較高)

坡面出現凹陷：

IF (C_{wa}^{10} 為輕微) and (C_{ex}^{10} 為輕微) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{10} 為輕微) and (C_{ex}^{10} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{10} 為輕微) and (C_{ex}^{10} 為嚴重) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{10} 為中等) and (C_{ex}^{10} 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{10} 為中等) and (C_{ex}^{10} 為中等) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{10} 為中等) and (C_{ex}^{10} 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{10} 為嚴重) and (C_{ex}^{10} 為輕微) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{10} 為嚴重) and (C_{ex}^{10} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{10} 為嚴重) and (C_{ex}^{10} 為嚴重) THEN (相似度 較高)

坡面樹木或電線杆傾斜：

IF (C_{wa}^{11} 為輕微) and (C_{ex}^{11} 為輕微) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{11} 為輕微) and (C_{ex}^{11} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{11} 為輕微) and (C_{ex}^{11} 為嚴重) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{11} 為中等) and (C_{ex}^{11} 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{11} 為中等) and (C_{ex}^{11} 為中等) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{11} 為中等) and (C_{ex}^{11} 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{11} 為嚴重) and (C_{ex}^{11} 為輕微) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{11} 為嚴重) and (C_{ex}^{11} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{11} 為嚴重) and (C_{ex}^{11} 為嚴重) THEN (相似度 較高)

坡面沖蝕之情形：

IF (C_{wa}^{12} 為輕微) and (C_{ex}^{12} 為輕微) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{12} 為輕微) and (C_{ex}^{12} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{12} 為輕微) and (C_{ex}^{12} 為嚴重) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{12} 為中等) and (C_{ex}^{12} 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{12} 為中等) and (C_{ex}^{12} 為中等) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{12} 為中等) and (C_{ex}^{12} 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{12} 為嚴重) and (C_{ex}^{12} 為輕微) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{12} 為嚴重) and (C_{ex}^{12} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{12} 為嚴重) and (C_{ex}^{12} 為嚴重) THEN (相似度 較高)

坡面 (趾) 滲水 :

IF (C_{wa}^{13} 為輕微) and (C_{ex}^{13} 為輕微) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^{13} 為輕微) and (C_{ex}^{13} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{13} 為輕微) and (C_{ex}^{13} 為嚴重) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^{13} 為中等) and (C_{ex}^{13} 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{13} 為中等) and (C_{ex}^{13} 為中等) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^{13} 為中等) and (C_{ex}^{13} 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{13} 為嚴重) and (C_{ex}^{13} 為輕微) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^{13} 為嚴重) and (C_{ex}^{13} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{13} 為嚴重) and (C_{ex}^{13} 為嚴重) THEN (相似度 極高)

路面或階梯出現裂縫：

IF (C_{wa}^{14} 為輕微) and (C_{ex}^{14} 為輕微) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{14} 為輕微) and (C_{ex}^{14} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{14} 為輕微) and (C_{ex}^{14} 為嚴重) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{14} 為中等) and (C_{ex}^{14} 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{14} 為中等) and (C_{ex}^{14} 為中等) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{14} 為中等) and (C_{ex}^{14} 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{14} 為嚴重) and (C_{ex}^{14} 為輕微) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{14} 為嚴重) and (C_{ex}^{14} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{14} 為嚴重) and (C_{ex}^{14} 為嚴重) THEN (相似度 較高)

房屋安全退縮距離：

IF (C_{wa}^{15} 為輕微) and (C_{ex}^{15} 為輕微) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{15} 為輕微) and (C_{ex}^{15} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{15} 為輕微) and (C_{ex}^{15} 為嚴重) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{15} 為中等) and (C_{ex}^{15} 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{15} 為中等) and (C_{ex}^{15} 為中等) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{15} 為中等) and (C_{ex}^{15} 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{15} 為嚴重) and (C_{ex}^{15} 為輕微) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{15} 為嚴重) and (C_{ex}^{15} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{15} 為嚴重) and (C_{ex}^{15} 為嚴重) THEN (相似度 較高)

擋土牆外凸變形或龜裂：

IF (C_{wa}^{16} 為輕微) and (C_{ex}^{16} 為輕微) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^{16} 為輕微) and (C_{ex}^{16} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{16} 為輕微) and (C_{ex}^{16} 為嚴重) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^{16} 為中等) and (C_{ex}^{16} 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{16} 為中等) and (C_{ex}^{16} 為中等) THEN (相似度 極高)

IF (C_{wa}^{16} 為中等) and (C_{ex}^{16} 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{16} 為嚴重) and (C_{ex}^{16} 為輕微) THEN (相似度 極低)

IF (C_{wa}^{16} 為嚴重) and (C_{ex}^{16} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{16} 為嚴重) and (C_{ex}^{16} 為嚴重) THEN (相似度 極高)

擋土牆有崩土或土石堆：

IF (C_{wa}^{17} 為輕微) and (C_{ex}^{17} 為輕微) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{17} 為輕微) and (C_{ex}^{17} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{17} 為輕微) and (C_{ex}^{17} 為嚴重) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{17} 為中等) and (C_{ex}^{17} 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{17} 為中等) and (C_{ex}^{17} 為中等) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{17} 為中等) and (C_{ex}^{17} 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{17} 為嚴重) and (C_{ex}^{17} 為輕微) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{17} 為嚴重) and (C_{ex}^{17} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{17} 為嚴重) and (C_{ex}^{17} 為嚴重) THEN (相似度 較高)

擋土牆出水現象不正常：

IF (C_{wa}^{18} 為輕微) and (C_{ex}^{18} 為輕微) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{18} 為輕微) and (C_{ex}^{18} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{18} 為輕微) and (C_{ex}^{18} 為嚴重) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{18} 為中等) and (C_{ex}^{18} 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{18} 為中等) and (C_{ex}^{18} 為中等) THEN (相似度 較高)

IF (C_{wa}^{18} 為中等) and (C_{ex}^{18} 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{18} 為嚴重) and (C_{ex}^{18} 為輕微) THEN (相似度 較低)

IF (C_{wa}^{18} 為嚴重) and (C_{ex}^{18} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{18} 為嚴重) and (C_{ex}^{18} 為嚴重) THEN (相似度 較高)

排水溝使用狀況：

IF (C_{wa}^{19} 為輕微) and (C_{ex}^{19} 為輕微) THEN (相似度 高)

IF (C_{wa}^{19} 為輕微) and (C_{ex}^{19} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{19} 為輕微) and (C_{ex}^{19} 為嚴重) THEN (相似度 低)

IF (C_{wa}^{19} 為中等) and (C_{ex}^{19} 為輕微) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{19} 為中等) and (C_{ex}^{19} 為中等) THEN (相似度 高)

IF (C_{wa}^{19} 為中等) and (C_{ex}^{19} 為嚴重) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{19} 為嚴重) and (C_{ex}^{19} 為輕微) THEN (相似度 低)

IF (C_{wa}^{19} 為嚴重) and (C_{ex}^{19} 為中等) THEN (相似度 中)

IF (C_{wa}^{19} 為嚴重) and (C_{ex}^{19} 為嚴重) THEN (相似度 高)