

建築工程施工風險評估模組與案例建置

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 98 年 12 月

建築工程施工風險評估模組與案例建置

內政部建築研究所協同研究報告

九十八年度

9861B001

建築工程施工風險評估模組與案例建置

研究主持人：陳建忠

協同主持人：張寬勇

研 究 員：宋裕祺

研 究 助 理：黃麒然

陳瑋鈞

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 98 年 12 月

目次

目次.....	I
表次.....	V
圖次.....	VII
摘 要.....	XI
第一章 緒 論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究範圍與限制.....	4
第三節 研究方法與流程.....	4
第四節 研究成果.....	7
第二章 文獻回顧.....	9
第一節 建築工程施工災害風險因子.....	9
第二節 多準則決策(Multiple Criteria Decision Making,MCDM).....	13
第三節 模糊理論.....	18
第四節 遺傳演算理論.....	36

第三章 施工風險因子模組與評估系統	59
第一節 施工風險評估模組	59
第二節 施工風險綜合評估系統建置	68
第四章 案例資料庫建置	79
第一節 施工風險評估系統之應用	79
第二節 災害案例演算	94
第五章 結論與建議	115
第一節 結論	115
第二節 建議	117
附錄一、期初委員審查意見處理情形	119
附錄二、第一次專家座談會議紀錄	121
附錄三、第二次專家座談會議紀錄	125
附錄四、期中會議委員審查意見處理情形	129
附錄五、建築工程災害風險評估教育訓練情形	135
附錄六、期末會議委員審查意見處理情形	137
附錄七、模糊理論計算範例	143

參考書目 **149**

建築工程施工風險評估模組與案例建置

表次

表 2-1 建築工程施工災害類型.....	9
表 2-2 建築工程施工災害防治技術重點.....	10
表 2-3 建築工程施工災害防治重點.....	11
表 2-4 相關建築工程風險評估研究方法.....	14
表 3-1 建築施工風險因子模組(範例).....	63
表 4-1 基礎工程-連續壁作業可能性關係表.....	84
表 4-2 基礎工程-連續壁作業災害嚴重程度關係表.....	85
表 4-3 連續壁作業風險評估背景條件範例表.....	87
表 4-4 連續壁作業壁體崩塌風險矩陣表.....	90
表 4-5 連續壁異常出水出泥風險矩陣表.....	90
表 4-6 連續壁作業開挖面隆起風險矩陣表.....	91
表 4-7 連續壁作業開挖面沉陷風險矩陣表.....	91
表 4-8 連續壁作業周圍地盤下陷風險矩陣表.....	92
表 4-9 連續壁作業改善前後風險程度表.....	92
表 4-10 高雄市七賢二路與瑞源路地質資料.....	97

表 4-11 壁體作業-導溝可能性關係表.....	98
表 4-12 壁體作業-導溝災害嚴重程度關係表.....	98
表 4-13 背景條件狀況輸入表.....	99
表 4-14 模板作業-組立拆模可能性關係表.....	102
表 4-15 模板作業-組立拆模災害嚴重程度關係表.....	102
表 4-16 背景條件狀況輸入表.....	103
表 4-17 背景條件狀況輸入圖.....	105
表 4-18 RC 結構體工程-混凝土作業可能性關係表	107
表 4-19 RC 結構體工程-混凝土作業災害嚴重程度關係表	108
表 4-20 背景條件狀況輸入圖.....	108
表 4-21 鋼骨結構體工程-構件組裝作業可能性關係表 .	111
表 4-22 鋼骨結構體工程-構件組裝作業災害嚴重程度關係表.....	112
表 4-23 背景條件狀況輸入圖.....	112

圖次

圖 1-1 研究流程圖.....	6
圖 2-1 建築工程之工程別分類統計.....	12
圖 2-2 三角模糊數及 α -level 示意圖.....	24
圖 2-3 五等級的語意尺度圖例.....	25
圖 2-4 模糊邏輯控制系統基本結構.....	30
圖 2-5 模糊推論演算.....	31
圖 2-6 直接模糊推論.....	34
圖 2-7 max-min 合成運算過程.....	35
圖 2-8 最佳化問題的可行解及可行解集合示意圖.....	37
圖 2-9 遺傳演算法運算過程示意圖.....	39
圖 2-10 線性轉換示意圖.....	45
圖 2-11 負值時的線性轉換示意圖.....	46
圖 2-12 單點交配解說圖.....	51
圖 2-13 雙點交配解說圖.....	52
圖 2-14 三點交配解說圖.....	53

圖 2-15 四點交配解說圖.....	54
圖 2-16 均勻交配解說圖.....	55
圖 2-17 簡單突變解說圖.....	56
圖 2-18 均勻突變解說圖.....	57
圖 3-1 建築施工風險評估架構概念圖示.....	59
圖 3-2 RC 結構系統施工風險評估基礎架構	60
圖 3-3 SC 結構系統施工風險評估基礎架構	61
圖 3-4 SRC 結構系統施工風險評估基礎架構	62
圖 3-5 綜合評估流程圖.....	69
圖 3-6 遺傳演算法流程圖.....	70
圖 3-7 系統主畫面圖.....	72
圖 3-8 管理人員登入選項示意圖.....	73
圖 3-9 管理人員登入系統畫面示意圖.....	73
圖 3-10 綜合評估系統選單示意圖.....	73
圖 3-11 綜合評估系統表單示意圖.....	74
圖 3-12 輸入綜合評估資料示意圖.....	74

圖 3-13 最佳化執行時畫面圖.....	75
圖 3-14 最佳化結束圖.....	75
圖 3-15 災害嚴重程度最佳化後之結果圖.....	76
圖 3-16 壁體崩塌嚴重程度最佳化前後示意圖.....	76
圖 3-17 異常出水出泥嚴重程度最佳化前後示意圖.....	77
圖 3-18 開挖面隆起嚴重程度最佳化前後示意圖.....	77
圖 3-19 開挖面沉陷嚴重程度最佳化前後示意圖.....	78
圖 3-20 周圍地盤下陷嚴重程度最佳化前後示意圖.....	78
圖 4-1 建築工程施工風險評估程序的基本架構.....	81
圖 4-2 建築工程施工風險評估流程.....	82
圖 4-3 風險評估流程.....	84
圖 4-4 連續壁作業模糊規則資料庫圖.....	86
圖 4-5 連續壁作業災害嚴重程度設定圖.....	87
圖 4-6 連續壁作業背景條件輸入圖.....	89
圖 4-7 連續壁作業風險因子發生之可能性長條圖.....	89
圖 4-8 連續壁作業災害之風險程度長條圖.....	90

圖 4-9 七賢路與瑞源工地之平面配置圖	96
圖 4-10 基地剖面圖	97
圖 4-11 背景條件輸入圖	99
圖 4-12 風險因子發生之可能性長條圖	100
圖 4-13 導溝作業災害之風險程度長條圖	100
圖 4-14 背景條件輸入圖	103
圖 4-15 風險因子發生之可能性長條圖	103
圖 4-16 模板作業災害之風險程度長條圖	104
圖 4-17 背景條件輸入圖	105
圖 4-18 風險因子發生之可能性長條圖	106
圖 4-19 模板作業災害之風險程度長條圖	106
圖 4-20 風險因子發生之可能性長條圖	109
圖 4-21 混凝土作業災害之風險程度長條圖	109
圖 4-22 背景條件輸入圖	112
圖 4-23 風險因子發生之可能性長條圖	113
圖 4-24 構件組裝災害之風險程度長條圖	113

摘 要

關鍵詞：建築工程、施工風險、風險評估

一、研究緣起

由於台灣可居住或商業使用的土地面積有限，建築結構也朝向規模大、樓層數高、體形複雜及技術要求高的方向發展，然高層建築物由於功能不同，其規模、結構、材料和工程技術也有多有變化，因此建築物施工過程常因機械設備、防護設施、施工技術、現場環境、地質條件及施工人員等因素，導致災害發生。而由於都會區內建築工程的工址與既有建築物距離過近，新建工地中發生災害常常波及周圍建築物，致使損鄰事件層出不窮，甚致發生工程意外人命死傷，不僅造成人民生命財產損失、工程延宕，而社會成本之損失亦難以估算，因此研究如何辨識建築工程施工災害來源、建立適切災害風險評估方法以及如何進行風險控制或防制的問題，就顯得相當迫切和必要。

本研究將延續 97 年度所開發之建築工程施工風險評估系統，針對風險評估使用人員在判斷事物上的差異進行修正，對系統參數進行風險因子最佳化與合理化分析，使分析結果更趨合理化與施工風險評估系統更加完善，並建立建築工程施工風險評估示範案例，以方便使用者進行風險評估之參考。

二、研究方法及過程

本研究主要是以資料調查蒐集法；文獻回顧分析法；遺傳演算法；專家座談與訪談法等方法，進行相關議題之研究。在研究流程上，由公開資料的收集以及文獻，蒐集分析過去國內外學者的相關研究，研究團隊並定期召開小組會議針對相關待解決問題之分析與討論，再經由專家座談或訪談的過程，建構本研究所欲進行的建築工程施工風險評估基礎架構，並導入風險管

理概念再利用模糊理論與遺傳演算理論原理，開發成建築物施工風險評估系統，並建立建築物案例資料庫，方便評估人員進行建築物施工風險評估之參考。

三、重要發現

本研究綜合前述研究方法及工作進度之規劃，在一年內達成主要的主要研究發現簡要說明如下：

- (一)由於每個建築工程專案均因不同施工現場環境、不同施工團隊、不同施工機具或方法等各種不同工程背景條件，所面臨之相關風險因素各有不同的考量，因此針對某一建築工程專案，甚難建立絕對的風險因素項目或災害類型。而風險因子發生的程度高低，是由施工當時各可能的背景條件所造成並影響的結果，而各可能施工災害造成的嚴重程度，必然係因為各潛在的風險因子發生下所造成的結果，因此進行建築工程施工風險評估作業，必須透過背景條件的狀態去綜合評估風險因子發生的機率或可能性程度，而施工災害的嚴重度則由綜合各風險因子發生時來加以判斷，如此的風險評估架構即能具有一個前後因果關係的邏輯程序。
- (二)運用模糊推論的理論基礎建立模糊評估規則庫，可展現評估人員對風險因子發生機率的判斷準則外，並可做為檢核評估判斷的正確性而據以建立更完整及準確的專家資料庫。
- (三)本研究所提出的風險評估量化方法，除具備符合建築施工風險與災害的因果關係之評估邏輯外，可以透過風險量化的基本原理計算出災害發生的風險程度，提供建築工程專案決策階層進行風險控管策略實施的參考基準。
- (四)透過綜合評估系統中的遺傳演算法可對內部嚴重程度參數進行模組最佳化與合理化，進而減少使用人員之間對於事物判斷上的差異，使分析結

果更趨合理化。

四、主要建議事項

在所得出的結論基礎上，本研究提出以下具體建議：

中長期性建議—丁類危險性營造場所進行建築工程，施工廠商進行施工安全評估，對於特有災害應納入施工風險評估之內容，並列為審查項目之一。

主辦機關：行政院勞工委員會

協辦機關：行政院勞委會北、中、南區勞動檢查所、直轄縣市勞工局

依勞委會危險性工作場所審查暨檢查辦法規定，丁類危險性營造場所應進行施工安全評估，另勞委會亦推動假設工程設計考量及建置職業安全衛生風險評估制度。建議丁類危險性營造場所進行建築工程時，施工廠商進行施工安全評估，對於特有災害應納入施工風險評估之內容，並列為勞動檢查所或勞工局審查核準之項目。

中長期性建議—五千萬元以上公共建築物施工前，施工廠商需組成施工風險評估小組，針對建築工程中高風險分項作業，依風險評估流程進行風險評估作業。

主辦機關：公共工程委員會、營建署

協辦機關：各部會、各地方縣市政府

由於每個建築工程專案均因不同施工現場環境、不同施工團隊、不同施工機具或方法等各種不同工程背景條件，所面臨之相關風險因素各有不同的考量，因此施工前應掌握工地潛在危害，避免施工災害之發生。

建築工程施工風險評估模組與案例建置

行政院推動所屬各部會將風險管理融入日常作業與決策運作，透過公共工程施工查核機制，公共建築物施工前，施工廠商需組成風險評估小組，針對建築工程中高風險分項作業，依風險評估流程進行風險評估作業。

中長期性建議－建築工程施工災害案例應建立標準化之格式，提供相關單位進行施工風險評估及災害防制之參考

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

建築工程發生重大職災時，勞委會每年發行職災年報，提供職災預防之參考，建築工程施工事故之資訊則分散於各專業技師之公會、學會，建議建立統一之災害案例之標準化格式，將有助於日後建築施工事故之防範。

Abstract

Key words: Building Construction, Construction Risk, Risk Assessment

Taiwan habitable or commercial use of limited land area, building structure towards a large scale, a few floors high, complex and technically demanding shape the direction of development, and natural high-rise buildings due to different functions, its size, structure, materials and engineering are also many have changed, so the building construction process, often due to mechanical equipment, protective facilities, construction technology, on-site environmental, geological conditions and factors such as construction workers, leading to disasters. And because local construction workers will be the site with existing buildings in the distance too close, the new site in the event of a disaster is often spread to surrounding buildings, leading to a growing incidence of loss o, and even injuries and deaths caused by accidents in the project took place, not only caused loss of lives and property , project delay, while the social costs of loss is difficult to estimate, so how to identify sources of construction engineering disasters, and establish the relevance of disaster risk assessment methods and how to conduct risk-control or control the problem becomes very urgent and necessary.

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起

由於台灣可居住或商業使用的土地面積有限，建築結構也朝向規模大、樓層數高、體形複雜、技術要求高的方向發展，然高層建築物由於功能不同，其規模、結構、材料和工程技術也有多有變化，因此進行建築施工過程常因機械設備、防護設施、施工技術、現場環境甚至施工人員本身等因素，而導致災害發生，或因為建築工程的工作場所與既有建築物距離過近，新建工地中發生災害常常波及周圍建築物，致使損鄰事件層出不窮，或發生工程意外人命死傷，不僅造成人民生命財產損失、工程延宕，而社會成本之損失亦難以估算，因此研究如何辨識建築工程施工災害來源、建立適切災害風險評估方法以及如何進行風險控制或防制的問題，就顯得相當迫切和必要。

本研究將延續 97 年度所開發之建築工程施工風險評估系統，針對風險評估使用人員在判斷事物上的差異進行修正，對系統參數進行風險因子最佳化與合理化分析，使分析結果更趨合理化與施工風險評估系統更加完善，並建立建築工程施工風險評估示範案例，以方便使用者進行風險評估之參考。

貳、研究背景

我國在營造業工程職業災害事故中，林楨中(2008)¹指出發生為多重原因造成，甚難將某一原因歸類於某一情境發生狀態，因此該研究透過歷年重大職業災害調查報告，歸納出幾項重要影響因素，包括鄰近開口處未設置安全防護網、高處作業未設置安全防護網、未依標準作業程序、個人危害行為、屋頂作業未設置安全防護措施、施工機具操作不當、鄰近開挖面(邊坡)未有安全防護網、作業環境不良等原因所佔比例較高，其他如電器設備安全防護不足、結構支撐不穩定、安全防護材料瑕疵、安全管理作業缺失、鄰近構造

¹ 林楨中(2008)，我國營造工程職業災害資料探勘分析-建築工程，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究。

物不穩定、不當使用施工機具、個人危害意識不足、作業環境外力干擾、鄰近高架電壓未防護等原因比例較少等。而蔡宗潔(2004)²將風險發生原因依施工階段分為開工、前、開工-結構體、裝修、驗收後等5個時期以及風險發生時所產生之安全問題、工期遲延、預算超過、品質低下、信用低落等5種結果，向建築工程專案的工地負責人探詢風險之相關資料。陳福勝等人(2008)以單一種分項工程來分析施工風險，提出深開挖之基礎工程災變及防治對策，即將其分成基地調查、設計、施工及天然災害等層面，列舉數十項深開挖所有可能的風險因素進行探討。

國外研究方面，建築工程施工風險評估大多以整體工程專案(Project level)的角度思考風險因素，如Chapman(2001)³定義營建專案風險的來源，係由環境(Environment)、產業(Industry)、顧客(Client)及專案本身(Project)四個層級所組成。Smith 和 Bohn (1999)⁴則將營建專案風險分成八個主要的項目：天然的風險(Natural Risks)、設計的風險(Design Risks)、後勤的風險(Logistic Risks)、財務的風險(Financial Risks)、法規的風險(Legal and Regulatory Risks)、政治的風險(Political Risks)、施工的風險(Construction Risks)和環境的風險(Environment Risks)。Conroy and Soltan (1998)⁵指出營建專案風險的四個類型：即人為疏失(Human Failings)、組織疏失(Organizational Failings)、設計團隊疏失(Design Group Failings)以及設計過程疏失(Design Process Failings)。而Faber and Stewart (2003)⁶指出工程施工發生事故的原因包括不安全的人為因素：係指作業人員不安全的行為或動作，佔事故肇因之比例最高；不安全的物性因素：指作業環境與機械設備等的不安全狀態，為導致事故發生之次要原因；不可預測或抗拒的因素：指非能預期或事先予以防範的事故原因，如天災中之颱風與地震，其在發生事故的肇因中所佔比例較為低。Baloi and Price (2003)⁷以探討影響專案成本績效的整體性風險因素分成七大類，包括估算能力、設計能力、競爭程度、欺瞞情形、施工條件、經濟條件、政治情況。

² 蔡宗潔(2004)，建築工程風險及風險管理現況之基礎研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫。

³ Chapman, R. J. (2001), The Controlling Influences on Effective Risk Identification and Assessment for Construction Design Management, *International Journal of Project Management*, 19(2), pp. 147-160。

⁴ Conroy, G. and Soltan, H. (1998), ConSERV, A Project Specific Risk Management Concept, *International Journal of Project Management*, 16(6), pp. 353-366。

⁵ Conroy, G. and Soltan, H. (1998), ConSERV, A Project Specific Risk Management Concept, *International Journal of Project Management*, 16(6), pp. 353-366。

⁶ Faber, M. H. and Stewart, M. G. (2003), "Risk assessment for civil engineering facilities: critical overview and discussion," *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 80, pp. 173-184。

⁷ Baloi, D., Price, A.D.F. (2003), Modelling global risk factors affecting construction cost performance, *International Journal of Project Management*, 21(2), pp. 261 - 269。

97 年已建立建築工程施工風險評估方法與施工風險評估系統，施工風險評估系統在專家經驗部分使用模糊理論詮釋評分規則，透過輸入值的模糊化，再經由模糊運算、解模糊化，即可得各分項工程之風險度。鑑於不同系統使用者對於評分標準不近相同，98 年將延續並深入探討 97 年所開發之建築工程施工風險評估系統，將針對施工廠商之施工風險評估使用人員在判斷事物上的差異進行修正，並對內部嚴重程度參數進行風險因子最佳化與合理化分析，減少使用人員之間對於事物判斷上的差異，使分析結果更趨合理化，希冀能使施工風險評估系統更加完善，並透過建築工程施工風險系統說明會及教育訓練，以提供建築工程施工廠商風險評估之參考，進而推廣建築工程施工風險之意識，以確保施工安全。

第二節 研究範圍與限制

依據林楨中(2008)⁸之研究統計，建築工程重大職災件數占所有營造業重大職災總件數約 50%，其中新建工程產生施工災害的比例佔 83%，改善工程則僅佔 17%，顯示建築工程之新建工程為施工災害主要應關注的對象，因此本研究將研究範圍限縮在新建建築工程施工風險部分。

第三節 研究方法與流程

壹、研究方法

本研究主要是以資料調查蒐集法；文獻回顧分析法；遺傳演算法；專家座談與訪談法等方法，進行相關議題之研究。

1. 資料調查蒐集法：蒐集建築工程施工災害資料，彙整分析與評定建築工程某作業項目所造成災害的風險度。
2. 文獻回顧分析法：蒐集有關遺傳演算法對於參數優化的文獻資料與相關研究，理析各種優化方式，對於本研究建築工程施工風險評估系統最佳化之適用性或應用層面。
3. 遺傳演算法：可運用已知案例結果或資料調查結果，透過遺傳演算法對內部嚴重程度參數進行模組最佳化與合理化，進而減少使用人員之間對於事物判斷上的差異，使分析結果更趨合理化。
4. 專家座談法：舉辦產、官、學界專家座談，請各專家提供各作業項目之已知案例結果，並對於建築工程施工風險評估系統最佳化的相關想法與意見，以作為本研究改進之參考。

⁸ 林楨中(2008)，我國營造工程職業災害資料探勘分析-建築工程，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究。

本研究計畫執行過程，運用蒐集的公開資料及研究團隊研商討論，加以專家座談，研究的過程如圖 1-1 所示。

貳、研究流程

本研究計畫執行過程，運用蒐集的公開資料及研究團隊研商討論，加以專家訪談及座談，研究的過程如圖 1-1 所示

建築工程施工風險評估模組與案例建置

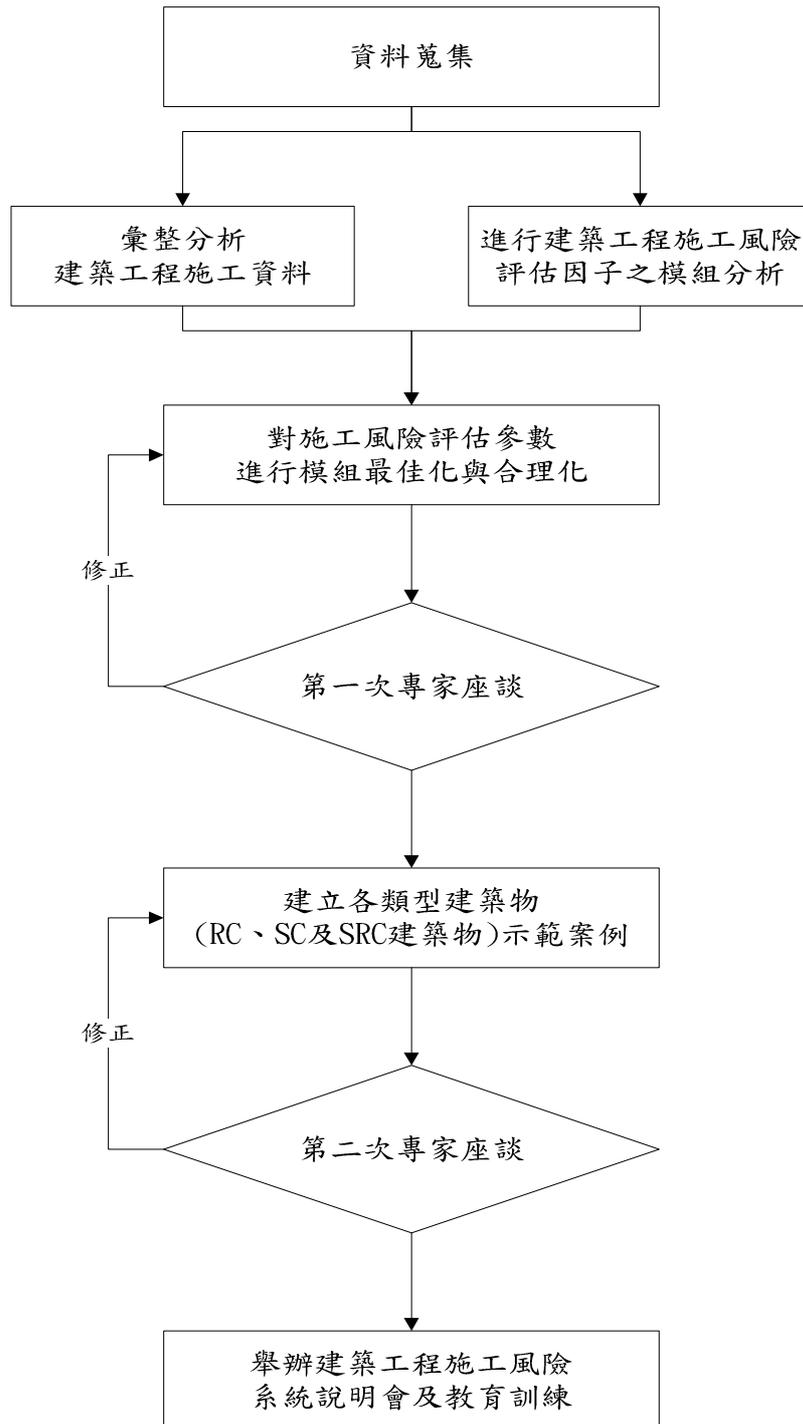


圖 1-1 研究流程圖

(資料來源:本研究整理)

第四節 研究成果

建築工程施工災害時有所聞，不僅對公共安全造成重大影響外，更危及施工人員之安全，因此建築施工災害防制首重於事前之規劃，如能在建築工程開工之前，施工廠商即擬定完整施工計畫，針對各項分項工程擬定施工順序、人員物資與機具調度，並導入施工災害風險及重點施工災害防制之理念，量化各分項工程之風險程度，規劃適當人力投入施工品質、安全防護、預警監控之中，將有效降低建築工程施工災害之發生風險。

建築工程長久以來倚賴經驗管理，不重視事前計畫而任風險發生，導致風險發生機率提高及損失擴大，即使現場專案管理人員有意落實風險管理，然傳統的經驗控制型或過程控制型的風險管理方式，已經無法適應現代建築工程施工安全及管理上的需要。因此風險管理於理論與技術上之發展與推廣，應為工程實務界在風險管理上績效表現之重要影響因素。

本研究進行新建建築工程施工風險評估方法之研究，在研究成果上包括以下幾項主要項目：

1. 建立建築工程施工風險評估因子之模組分析。
2. 針對施工風險評估參數進行模組最佳化與合理化，減少施工風險評估使用人員對於事物判斷上的差異，整套分析系統經由參數最佳化後，能更準確且合理評估各分項工程之風險度。
3. 建置建築工程施工風險評估系統及各類型建築物(RC、SC 及 SRC 建築物)之示範案例。
4. 舉辦建築工程施工風險系統說明會及教育訓練，推廣建築工程施工風險之意識。

第二章 文獻回顧

第一節 建築工程施工災害風險因子

所謂施工災害係指營造施工時在面對各潛在風險因素下而可能導致損失的事故，例如倒塌、崩塌、崩落等。而這些事故是指可能造成人員的死亡、受傷、疾病，財物設施的損害、破壞、滅失等干擾正常活動進行的非期望的事件。過去有許多針對建築工程施工災害類型的研究，例如林耀煌(1995)⁹提出施工災害的範圍包括危及公共設施、危及第三者生命財產安全、危及工作人員與施工公害四類，而與其相對應的施工災害類型如表 2-1。該研究並依據問卷調查統計分析，將各工程類別面臨的災害類別來探討災害類型的防治重點順位，如表 2-2 與表 2-3。

表 2-1 建築工程施工災害類型

危及公共設施	危及第三者生命財產安全	危及工作人員	施工公害
1. 地層、道路下陷、鬆動 2. 公共建物、設備損害 3. 地下管線損害	1. 鄰房龜裂 2. 施工架倒塌 3. 鄰房傾斜、倒塌 4. 施工引起火災、爆炸	1. 墜落、滾落、跌倒 2. 物體飛落 3. 觸電、感電、爆炸 4. 被夾、被捲、被撞 5. 倒塌、被切、被割	1. 振動 2. 地層下陷

(資料來源:林耀煌, 1995)

⁹林耀煌(1995)，建築施工災害防治技術及法令制度研究架構之規劃，內政部建築研究所籌備處。

表 2-2 建築工程施工災害防治技術重點

工程類別	災害類別	災害類型防治重點順位
假設工程	1.危及第三者生命財產安全 2.危及公共設施	1.施工架倒塌 2.施工引起火災 1.地下管線損害 2.公共建物、設備損害
基礎工程	1.危及公共設施 2.危及第三者生命財產安全	1.地下管線損害 2.地層、道路下陷、鬆動 1.鄰房龜裂 2.鄰房傾倒
檔土開挖工程	1.危及公共設施 2.危及第三者生命財產安全	1.地層、道路下陷、鬆動 2.地下管線損害 1.鄰房龜裂 2.鄰房傾倒
地盤改良工程	1.危及公共設施 2.危及第三者生命財產安全	1.地層、道路下陷、鬆動 2.地下管線損害 3.公共建物、設備損害 1.鄰房龜裂 2.鄰房傾倒
RC 結構體工程	1.危及第三者生命財產安全 2.施工公害	1.施工架倒塌 2.施工引起火災 1.振動 2.地層下陷
鋼骨結構體工程	1.危及第三者生命財產安全 2.施工公害	1.施工架倒塌 2.施工引起火災 1.振動 2.地層下陷
裝修工程	1.危及第三者生命財產安全 2.施工公害	1.施工引起火災 2.施工架倒塌 1.振動 2.地層下陷
建築設備工程	1.危及第三者生命財產安全 2.危及公共設施	1.施工引起火災 2.施工架倒塌 1.地下管線損害 2.公共建物、設備損害

(資料來源:林耀煌,1995)

表 2-3 建築工程施工災害防治重點

工程類別	防治重點	工程類別	防治重點
假設工程	墜落、滾落、跌倒 觸電、感電、爆炸 倒塌	RC 結構體工程	物體飛落 墜落、滾落、跌倒 觸電、感電、爆炸
基礎工程	被夾、被捲、被撞 倒塌 墜落、滾落、跌倒	鋼骨結構體工程	墜落、滾落、跌倒 物體飛落 被夾、被捲、被撞
擋土開挖工程	墜落、滾落、跌倒 被夾、被捲、被撞 倒塌	裝修工程	墜落、滾落、跌倒 物體飛落 被切、被割
地盤改良工程	觸電、感電、爆炸 墜落、滾落、跌倒 倒塌	建築設備工程	觸電、感電、爆炸 墜落、滾落、跌倒 被切、被割
抽排水工程	觸電、感電、爆炸 墜落、滾落、跌倒 倒塌		

(資料來源:林耀煌, 1995)

劉敏麟(2002)¹⁰的研究則針對勞委會民國 85-89 年死亡案例中，將台灣地區近年來建築工程職業災害，按其種類分為墜落、感電、物體飛落、被夾被捲、被撞、溺斃、接觸有害物質與跌倒等類。其發生次數統計結果如圖 2-4，災害類型當中以墜落發生災害次數 38% 佔最多，其次為物體飛落 19%、感電 18%、物體倒塌 12%，其他種類災害類型均小於 10%。

林楨中(2008)統計 2000 至 2006 年重大職災案件，有關建築工程職災類型分布，發現大多集中於墜落、滾落(64%)，物體倒(崩)塌(11%)及感電(8%)，為主要事故類型，其他災害種類如物體飛落(5%)、被撞(3%)、被夾被捲(2%)、跌倒(2%)、溺水(2%)、火災(2%)、衝撞(1%)及交通事故(1%)，建築工程之工程別分類統計如圖 2-1 所示。

¹⁰劉敏麟(2005)，建築工程勞工災害防制之研究，臺北科技大學碩士論文。

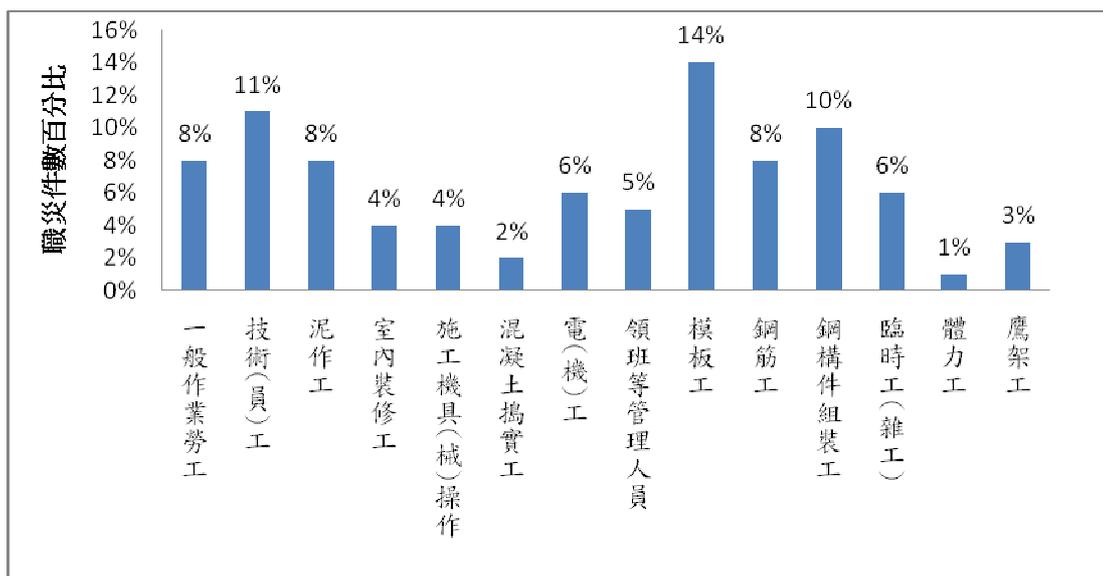


圖 2-1 建築工程之工程別分類統計

(資料來源：林楨中，2008)

Hinze et al.(2005)¹¹統計美國職業安全衛生署(Occupational Safety & Health Administration, OSHA)1997 到 2000 的營建業重大傷害資料，結果也是墜落最高(36.0%)，其次是被撞(24.6%)，第三是感電(12.9%)，第四則是跌落(11.9%)，其他意外事故比例雖沒有超過百分之十，如心血管或呼吸系統衰竭(3.7%)，被夾被捲(2.1%)，吸入(1.6%)，亦可作為我們在思考施工災害其他形式的可能性。

¹¹ Hinze, J., Huang, X. and Terry, L. (2005), The Nature of Struck-by Accidents, *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(2), pp.262-268.

第二節 多準則決策(Multiple Criteria Decision Making, MCDM)

建築施工風險評估的主要標的一工程項目及作業項目架構出來，有了這個基本架構，接著就是針對這些工程項目下的作業項目所可能遭受的風險因子及災害類別，予以進行風險因子發生的機率及風險因子發生下各類災害所產生的嚴重程度加以評估。然風險因子發生機率與災害所造成的嚴重程度，在學理上有許多處理方式，本章首先針對過去文獻上所提出的幾項風險評估的方法作一個簡單的歸納整理，第二、三兩節就本研究所欲採用的處理模式，即多準則決策(Multiple Criteria Decision Making, MCDM)原理及模糊理論(Fuzzy Theory)，進行較為深入的說明，有了這些針對風險因子機率及災害嚴重程度評估的理論基礎，即可有助於後續決策支援系統開發，更可對應本研究所規劃的執行流程。

有關針對營建工程方面的風險評估文獻，其採用的評估方法如下表2-4所列示。其中採用較普遍者為層級分析程序法(Alytic Hierarchy Process, AHP)及模糊綜合評估法，其中層級分析程序法，基本上是屬於多準則決策的一種模式，係因影響工程專案成效的風險因子，並非單一因素即可描述，必須考量多項風險因子下才能做風險程度的綜合判斷，因而為眾多研究者所採用。另一項模糊評估方式，係因每項建築工程專案在執行時，所面對的先決條件均不盡相同，使其所面對的風險因素發生的可能性(Possibility)或是影響程度(Impact)更具有不確定性，而處理不確定性問題的方法，在近年來尤以模糊理論(Fuzzy Theory)較具備理論的完整性及可予以系統化的處理，因而也廣受研究者所青睞，因此本研究在後續分節就針對多準則決策與模糊理論作一簡要說明，最後再針對本研究依據該二項研究方法所建立的系統化架構予以介紹。

表 2-4 相關建築工程風險評估研究方法

研究者	研究方法
周紅波(2006)	層級分析程序法
杜麗娜(2008)	層級分析程序法、決策樹法、多目標決策法、敏感性分析法
魏剛(2007)	風險清單分析法、腦力激盪法、失誤樹法
姚祖軍(2008)	腦力激盪法、德爾非法(Delphi)、情景分析法
毛義華、肖磊(2007)	層級分析程序法、模糊綜合評估法
孫波、劉振奎(2006)	模糊綜合評估法
蔡宗潔(2006)	柏拉圖分析法、二維法、故障樹分析法
邢治宇、張燕宗(2005)	層級分析程序法、灰關聯分析法
王敏順(2006)	紮根理論研究法、層級分析程序法、多屬性效用理論法
陳威元(2007)	層級分析程序法
黃德育、陳欣(2004)	模糊 Borda 數排序法
呂紅安、王鵬(2006)	工作危害分析法、安全檢查表分析法、事故樹分析法、機率風險分析法
付修隼、劉化冰、黃世紅(2007)	層級分析程序法
Paek et al.(1993)	模糊集合(Fuzzy sets)
Zhi(1995)	層級分析程序法
Tah and Carr(2001)	模糊集合(Fuzzy sets)與模糊推論(Fuzzy reasoning)
Baloi and Price (2003)	模糊集合(Fuzzy sets)
Lee and Halpin(2003)	模糊邏輯(Fuzzy logic)之數學技術配以專家意見
Dikmen and Birgonul(2006)	層級分析程序法

(資料來源：本研究整理)

人類生活過程中常常須要針對某些事項作出決定，小至個人到餐廳用餐點菜、到百貨公司挑選衣服、工作機會的抉擇等，大至企業團體經營策略的決定、政府部門對水資源開發、交通運輸系統或路線的選擇等，在日趨複雜與專業化的社會下，都是在考量多重準則 (Criteria) 或目標 (Objectives) 情況下來作決定。MCDM技術就是利用科學的方法解決多個準則問題的技術，因此在1970年代初期開始，MCDM逐漸成為一項重要的研究領域，有相當多的理論和模型陸續提出並且持續穩定成長 (Carlson & Fuller, 1996)¹²，以下針對MCDM的分類以及與本研究有關的理論與方法作一概要的介紹。

Hwang & Yoon(1981)¹³認為多準則決策的問題可以廣泛的區分為二大類：多屬性決策 (Multiple Attribute Decision Making, MADM) 與多目標決策 (Multiple Objective Decision Making, MODM)，在實務上，MADM主要應用在決策者 (Decision Maker, DM) 對於有限的既定方案 (Alternatives) 的選擇、評估或排序，MODM則是沒有所謂的既定方案，是以滿足決策者在有限資源限制及主要關心的目標前提下，規劃或設計最佳 (Best) 或最有可為 (Most Promising) 的方案。Zeleny (1982)¹⁴指出，MCDM涵蓋多屬性效用 (Multiple Attribute Utility Theory, MAUT) 和多目標線性規劃 (Multiple Objective Linear Programming, MOLP) 兩種理論方法；曾國雄等人 (1988)¹⁵進一步指出多屬性效用乃根據各屬性形成超目標 (Superobjective) 為第一

¹² Carlson, C. & Fuller, R. (1996). "Fuzzy multiple criteria decision making: Recent developments." *Fuzzy Sets and Systems*, 78 (2), pp.139-153.

¹³ Hwang, C. L. & Yoon, K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, New York: Springer-Verlag.

¹⁴ Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making*, New York, McGraw-Hill..

¹⁵ 曾國雄、蕭再安、鄧振源，(1988)，「多評準決策方法之分析比較」，科學發展月刊，第16卷第7期，1008~1017頁。

要務，而以效用最大化為評估指標，狹義的多評準決策是指在替選方案為已知的情形下，以多個準則為評估的依據，由決策者表達其偏好結構 (Preferences Structure)，然後求其非劣解 (Non-inferior Solutions)，或排定替代方案優劣順序 (Ordering) 的分析方法。

本研究的主題在於針對新建建築工程施工風險的評估，在實務操作上，其必須先理解所評估標的工程 (Target Work) 之背景條件，再由建築之各分項工程思考其所可能面對的各種風險因子，而據此對所造成災害的嚴重程度加以評斷，性質上可歸屬於類似 MCDM 可應用的範疇，所以此 MCDM 問題可以用以下的矩陣模式來表達其基本的概念。

$$S = \begin{matrix} & & R_1 & R_2 & \dots & R_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \left[\begin{matrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{m1} & S_{m2} & \dots & S_{mn} \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

$$P = [p_1, p_2, \dots, p_n]$$

其中 $A_i, i = 1, \dots, m$ 為 m 項災害類型 (Accident)， $R_i, i = 1, \dots, n$ 為 n 項風險因子， $S_{ij}, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ 為評估第 i 項災害在第 j 項風險因子所得到的嚴重程度 (Severity) 評斷值 (Judgment Value) 或評等值 (Rating Value)， $p_j, j = 1, \dots, n$ 為各項風險因子的發生的機率或可能性。而評估各災害類型的嚴重程度 (Impact)，係利用評估者 (Evaluator) / 決策者 (DM) 對各可能災害在某一風險因子「發生」狀況下，其認知 (Recognition) 對該災害所產生的嚴重程度來加以決定。若以半定量分析的矩陣法計算各災害風險程度，即風險程度 = 風險因子發生的機率或可能性 × 災害事件在各風險

因子下的嚴重度(Degree of Risk=Possibility × Severity, $DR=P \times S$)，可做為綜合衡量各災害的風險程度或是所謂風險評分的基礎，即兩項評估矩陣計算之結果 $DR=[DR_1, DR_2, \dots, DR_m]$ ，各代表第一類災害的風險程度(值)、第二類災害的風險程度(值)⋯，及第 m 類災害的風險程度(值)。

然而上述利用 MCDM 模式所計算災害的風險程度(值)，其中一個主要項目—風險因子發生的機率或可能性，並非可以經由直接判斷而獲得，它是在工程施工當時所面對的各種背景狀況下，所綜合造成各可能風險因子發生的機率，並非僅由單一因素就會造成風險的發生；也就是說，任何一項風險因子的發生，是來自於各可能的背景條件所形成的結果，而這也像是 MCDM 的概念一樣，風險發生的機率值應是由多因素綜合產生的一個結果。例如，灌漿作業時可能面臨的主要風險因素之一「模板支撐組裝不良」，而之所以會發生「模板支撐組裝不良」的原因，其可能來自於「設計人員的素質」、「施工人員的素質」、「施工高度」甚至「氣候」等各種背景因素綜合產生的結果，因此要判斷「模板支撐組裝不良」這項風險發生的機率，必須由工程施工當時所面對的背景條件來做推論，也就是四項背景條件(猶如四個準則)的當時情境來推論一項風險因子發生的機率，才能符合工程施工實務上的實際情境，而這樣的推論過程，也屬於 MCDM 模式的操作過程。此外，更重要的是施工當時的背景條件經常係屬於質性因素，不容易用量化方式來處理，而且多是以抽象、模糊的語意來加以表達，面對這樣的情形，本研究採用模糊理論以及模糊推論的原理原則，即能有效處理風險因子發生機率的推估問題，並能符合實務應用之所需。第三節即針對模糊理論及模糊推論的各項原理加以說明。

第三節 模糊理論

一般人初次聽到「模糊理論」，都會被誤解並認為是一門模模糊糊的理論。事實上，模糊理論主要是解決現實生活中普遍存在的模糊現象而發展的一門學問。它是由 Zadeh 於1965年首先提出，主要是探討人類主觀或思考過程中量化的處理方法，對於表現人類語言之間的模糊現象具有頗佳之成果。模糊理論發展至今，更能與類神經網路、其他知識工程等領域互相結合，使許多技術能有新突破，對於科技發展實是助益良多。

壹、模糊集合的基本概念

模糊理論是以模糊集合做為理論之基礎，本小節將介紹模糊集合的基本概念、表示方法、運算與其性質，作為進入模糊理論世界的基本認知。

一、模糊集合及其表示方法

當我們要對一個概念進行描述時，此對象若符合該概念且無模稜兩可的情況，一般人都會簡單使用「是」或「否」來回答。在特徵函數 $A(u)$ 表示方面，可用 $A(u)=1$ 來表示 u 元素屬於 A 集合，而 $A(u)=0$ 則表示 u 元素不屬於 A 集合，在此我們稱此集合為普通集合，且集合是 $\{0,1\}$ 。若對象為模糊概念，則無法使用上述的普通集合做描述，必須將集合轉變為區間 $[0,1]$ 的連續值，依照對象符合某概念的程度，利用區間 $[0,1]$ 內的數值做描述，對象符合概念程度越大，數值則越接近1，反之越小。

對於上述觀念，我們可給模糊集一個定義：

$$\mu_A: U \rightarrow [0,1] \quad u \rightarrow \mu_A(u) \quad 3.1 \text{ 式}$$

此定義表示，在論域U上有一模糊集 \underline{A} ，而 μ 為模糊集 \underline{A} 的隸屬度函數，並記為 $\mu_{\underline{A}}$ 。在 $u \in U$ 點處的值則以 $\mu_{\underline{A}}(u)$ 表示u對模糊集 \underline{A} 的隸屬度，進而表示對象u屬於 \underline{A} 的程度。

對於論域U上的全體模糊子集，我們稱為模糊幕集，記作 $\tau(U)$ 並定義為

$$\tau(U) = \{ \underline{A} | \underline{A}(u) : U \rightarrow [0,1] \} \quad 3.2 \text{ 式}$$

對於模糊集的代表方法，需先將U分為有限集與無限集。對於有限集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 時，則通常採用以下四種表示方法：

(1) Zadeh 表示法

$$\underline{A} = \frac{\underline{A}(u_1)}{u_1} + \frac{\underline{A}(u_2)}{u_2} + \dots + \frac{\underline{A}(u_n)}{u_n} \quad 3.3 \text{ 式}$$

在表示法中， $\underline{A}(u_n)$ 為 u_n 對模糊集 \underline{A} 的隸屬度， u_n 為U中的某一元素。當中 $\underline{A}(u_n)/u_n$ 並不是表示分數，而是表示兩者的對應關係，「+」也非表示相加，而是表示在論域U當中模糊集的整體結構。

(2) 序偶表示法

$$\underline{A} = \{ (\underline{A}(u_1), u_1), (\underline{A}(u_2), u_2), \dots, (\underline{A}(u_n), u_n) \} \quad 3.4 \text{ 式}$$

此種表示方法即是由元素與它的隸屬度組成，並有順序的一一列出。

(3) 向量表示法

$$\underline{A} = (\underline{A}(u_1), \underline{A}(u_2), \dots, \underline{A}(u_n)) \quad 3.5 \text{ 式}$$

此種表示法，即是按照順序記錄各元素的隸屬度，亦可稱 \underline{A} 為模糊向量。

(4) Zadeh 與向量式的結合表示法

$$\underline{A} = \left(\frac{\underline{A}(u_1)}{u_1} + \frac{\underline{A}(u_2)}{u_2} + \dots + \frac{\underline{A}(u_n)}{u_n} \right) \quad 3.6 \text{ 式}$$

若 U 為無限集，又可將 U 分為無限可列集與無限不可列集。當無限可列集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ ，且設 $\underline{A} \in \tau(U)$ ，其隸屬函數則為

$$\underline{A}(u_n) = \frac{1}{n} (n=1, 2, \dots), u_n \in U \quad 3.7 \text{ 式}$$

(1) Zadeh 表示法

$$\underline{A} = \frac{1/1}{u_1} + \frac{1/2}{u_2} + \dots + \frac{1/n}{u_n} \quad 3.8 \text{ 式}$$

(2) 序偶表示法

$$\underline{A} = \{(1, u_1), (1/2, u_2), \dots, (1/n, u_n)\} \quad 3.9 \text{ 式}$$

(3) 向量表示法

$$\underline{A} = (1, 1/2, \dots, 1/n) \quad 3.10 \text{ 式}$$

(4) Zadeh 與向量式的結合表示法

$$\underline{A} = \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1/2}{u_2}, \dots, \frac{1/n}{u_n} \right) \quad 3.11 \text{ 式}$$

若 U 為無限不可列集時

$$\underline{A} = \int_U \frac{\underline{A}(u)}{u} \quad 3.12 \text{ 式}$$

其中符號「 \int 」並不表示為積分式，而是表示論域 U 中的某元素與其隸屬度對應關係的總括。

二、模糊集的運算與性質

首先，吾人先針對模糊集的運算進行介紹。模糊集本身乃是由隸屬函數定義的，使得在定義其運算規則和關係，就必須借助隸屬函數來訂定。以下即是針對模糊集的包含、相等、開、交、餘關係與運算進行定義：

(1) 模糊集之間的包含與相等關係

1. 設 $\underline{A}, \underline{B} \in \tau(U)$ 且 $\forall u \in U$ ，當 $\underline{A}(u) \geq \underline{B}(u)$ 則表示 A 包含 B ，記 $\underline{A} \supseteq \underline{B}$ ，表示意義為 U 中任意元素 u 隸屬於 A 的程度皆高於 B 。

2. 設 $\underline{A}, \underline{B} \in \tau(U)$ 且 $\forall u \in U$ ，當 $\underline{A}(u) = \underline{B}(u)$ 則表示 A 與 B 相等，記

$$\underline{A} = \underline{B}，$$

表示意義為 U 中任意元素 u 隸屬於 A 的程度皆等於 B 。

(2) 模糊集的开、交、餘運算

1. 設 $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C} \in \tau(U)$ 且 $\forall u \in U$ ，假若 $\underline{C}(u) = \underline{A}(u) \vee \underline{B}(u)$ 時，則稱 C 為 A 與 B 的开，並記為 $\underline{C} = \underline{A} \cup \underline{B}$ 。若 $\underline{C}(u) = \underline{A}(u) \wedge \underline{B}(u)$ 時，則稱 C 為 A 與 B 的交，並記為 $\underline{C} = \underline{A} \cap \underline{B}$ 。

2 設 $\underline{A}, \underline{B} \in \tau(U)$ 且 $\forall u \in U$ ，若 $\underline{B}(u) = 1 - \underline{A}(u)$ 時，則稱 B 為 A 的餘集，並記為 $\underline{B} = \underline{A}^c$ 。

根據以上對模糊集運算的定義，可得知兩個模糊集之間的運算是逐點對隸屬度作相對應的運算。當論域 U 上有 n 個模糊集時，定義 $\bigcup_{i=1}^n \underline{A}_i$ 為开、 $\bigcap_{i=1}^n \underline{A}_i$ 為交，其隸屬函數如下：

$$\left(\bigcup_{i=1}^n \underline{A}_i \right) (u) \triangleq \bigvee_{i=1}^n \underline{A}_i(u) = \max \{ A_1(u), A_2(u), \dots, A_n(u) \} \quad 3.13 \text{ 式}$$

$$\left(\bigcap_{i=1}^n \underline{A}_i \right) (u) \triangleq \bigwedge_{i=1}^n \underline{A}_i(u) = \min \{ A_1(u), A_2(u), \dots, A_n(u) \} \quad 3.14 \text{ 式}$$

模糊集 ($\underline{A}, \underline{B}, \underline{C} \in \tau(U)$) 在進行運算的同時，需要滿足以下性質：

- (1) 幕等律： $\underline{A} \cup \underline{A} = \underline{A}, \underline{A} \cap \underline{A} = \underline{A}$
- (2) 交換律： $\underline{A} \cup \underline{B} = \underline{B} \cup \underline{A}, \underline{A} \cap \underline{B} = \underline{B} \cap \underline{A}$
- (3) 結合律： $(\underline{A} \cup \underline{B}) \cup \underline{C} = \underline{A} \cup (\underline{B} \cup \underline{C})$
 $(\underline{A} \cap \underline{B}) \cap \underline{C} = \underline{A} \cap (\underline{B} \cap \underline{C})$
- (4) 分配律： $\underline{A} \cup (\underline{B} \cap \underline{C}) = (\underline{A} \cup \underline{B}) \cap (\underline{A} \cup \underline{C})$
 $\underline{A} \cap (\underline{B} \cup \underline{C}) = (\underline{A} \cap \underline{B}) \cup (\underline{A} \cap \underline{C})$
- (5) 吸收律： $(\underline{A} \cup \underline{B}) \cap \underline{A} = \underline{A}, (\underline{A} \cap \underline{B}) \cup \underline{A} = \underline{A}$

$$(6) 0-1 \text{ 律: } \underline{A} \cup \emptyset = \underline{A}, \underline{A} \cap \emptyset = \emptyset$$
$$\underline{A} \cup U = U, \underline{A} \cap U = \underline{A}$$

$$(7) \text{ 對偶律: } (\underline{A} \cup \underline{B})^c = \underline{A}^c \cap \underline{B}^c$$
$$(\underline{A} \cap \underline{B})^c = \underline{A}^c \cup \underline{B}^c$$

$$(8) \text{ 復原律: } (\underline{A}^c)^c = \underline{A}$$

貳、確定隸屬函數的方法

隸屬函數在模糊理論中，佔有相當重要的地位，不管在理論或者實際應用方面都是相當基礎且關鍵的問題。在此節中，將介紹如何確定隸屬度函數的原則與方法。

一、確定隸屬函數的原則

確定隸屬度函數方法著實非常多樣且廣泛，當中無任何附加條件，唯一條件即是論域 U 需在 $[0,1]$ 之間。另外，在架構不同模糊集的隸屬度函數時，必須充份注意到模糊集在理論上可分為本質模糊集與非本質模糊集，並採用不同方式加以描述，使得在架構隸屬度函數的過程中更具複雜性與方法的多樣性。由於一個模糊集代表一個概念，即主觀對客觀事物認識之後的產物，可看作是客觀的，而在確定某一元素對一模糊集的隸屬度時，正是在顯示主觀對客觀事物的一種判定與信度，是主觀的。因此需力求主觀性與客觀性的統一，使隸屬度函數較能全面反映出事物的本質。

確定隸屬函數的原則如下：

- (1) 若模糊集反映社會的一般意識，且可以大量重複表達個別意識的平均結果，此類情況可採用模糊統計法來確定隸屬函數較佳。
- (2) 若模糊集反映某個時間內的個別意識、經驗和判斷，此類情況可採用 Delphi 法來確定隸屬函數較佳。

- (3)若模糊集反映的模糊概念已有相當成熟的指標，且此指標經過許多實驗驗證並已有多人使用，則可直接採用此指標，或者可由某方法轉換成我們所需的隸屬函數。
- (4)某些模糊概念要直接給定隸屬函數較為困難，但我們可比較兩元素相對應的隸屬度，此時可使用相對選擇法求出隸屬函數。
- (5)若一個模糊概念蘊含許多模糊因素，則可先求得各因素模糊集的隸屬函數，再進而求得模糊概念的隸屬函數。

在應用上，隸屬函數通常需具備凸(Convex)與正規(Normal)的特性，在定義上，數值方式是以離散的方式直接給定有限模糊集合內每個元素的歸屬度，並以向量形式表達，函數方式是以連續的方式描述模糊集合，表現無限或有限模糊集合元素與對應隸屬度之間的關係，其中函數形式可以是矩形分布、梯形分布、 Γ 型分布、正態分布、Cauchy分布、岭型分布等形式，也就是說，隸屬函數是一個定義再輸入空間上的點如何對應到一個介於0與1之間的隸屬值(或者說是隸屬的程度)表現的函數曲線。

二、模糊數(Fuzzy Number)

模糊數乃實數(Real Numbers)的模糊子集(Fuzzy Subset)，而且它是代表信賴區間(Confidence Interval)觀念的一種擴充；根據Dubois & Prade¹⁶(1978)所做的定義，模糊數 \tilde{A} 係指一模糊集合(Fuzzy Set)而其隸屬函數(Membership Function) $\mu_{\tilde{A}}(x) : R \rightarrow [0,1]$ ，其中 x 係指討論的事件，具有以下特性：

- (1) $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ：係指定義域 R 至 $[0,1]$ 空間上的連續映射(Mapping)。
- (2) $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ：為一凸性(Convex)的模糊子集合，以數式表示如下。

$$\tilde{A}[\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2] \geq \min[\tilde{A}(x_1), \tilde{A}(x_2)], \quad \lambda \in [0,1]$$
- (3) $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ：為一模糊子集的正規化(Normalization)，即存在一個數 x_0 使得 $\mu_{\tilde{A}}(x_0) = 1$ 。

滿足以上條件的數即稱為模糊數，以下介紹一種三角模糊數 $\tilde{A} = (L, M, U)$ 及其示意圖(圖2-2)說明模糊數之特性。

¹⁶ Dubois, D., and Prade, H., 1978, "Operations on fuzzy numbers", International Journal of Systems Science, Vol. 9, No.6, pp.613~626。

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x-L)/(M-L) & L \leq x \leq M \\ (U-x)/(U-M) & M \leq x \leq U \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad 3.15 \text{ 式}$$

(4) α 截集 (α -cut/ α -level) : α 截集在模糊集合與明確集合 (Crisp Set) 間扮演著一個很重要的角色，也可以說是模糊集合與明確集合之間的一座橋樑，因此，對所有 $\alpha \in [0,1]$ ，模糊數 \tilde{A} 的 α 截集表示成 ${}^{\alpha}\tilde{A}$ ，而 ${}^{\alpha}\tilde{A} = \{x \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}$ ，表示那些 x 之隸屬度 $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 大於或等於指定之數 α 。三角模糊數 $\tilde{A} = (L, M, U)$ 之 α 截集如下。

$${}^{\alpha}\tilde{A} = [(M-L)\alpha + L, -(U-M)\alpha + U] = [{}^{\alpha}L, {}^{\alpha}U] \quad 3.16 \text{ 式}$$

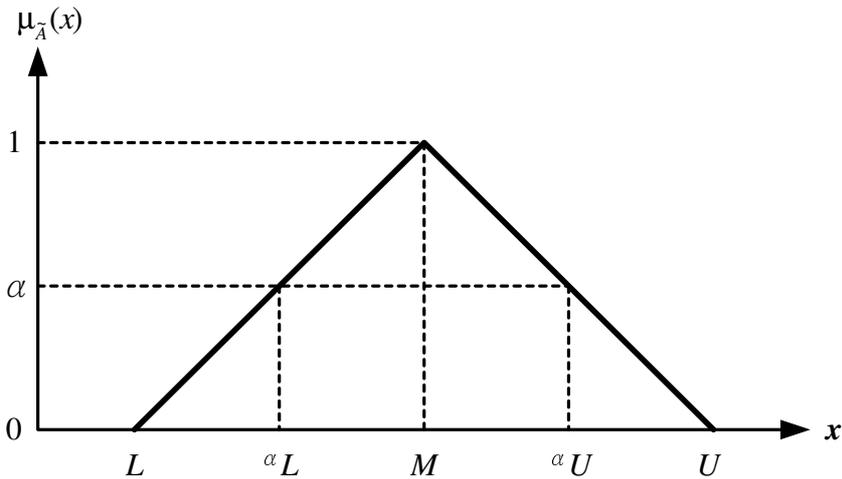


圖 2-2 三角模糊數及 α -level 示意圖

(資料來源：本研究整理)

三、語意變數 (Linguistic Variable)

根據 Zadeh (1975)¹⁷提到，對於那些複雜或難以定義的情境，吾人很難以傳統的量化方式來做一合理的表達，因此有必要運用語意變數的觀點來處

¹⁷ Zadeh L. A. (1975). "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning." Information Sciences, 8 (1), 199-249.

理這類狀況。而語意變數係指本質上或人類語言上就為一個字或一句話所代表的變數，例如，在本研究施工風險評估過程之評估項目中，評估人員在對某個施工當時背景條件的感認上，可能給定的評判結果為「好」，而對於另一項施工當時的背景條件，可能給定的評斷結果為「尚可」等語意表達，或是在評斷某項風險因子在各可能施工背景條件時，其發生的機率「很高」、「很低」或其他情形等語意判斷。由於模糊理論含有這種不確定性的邏輯，因此在模擬一些無法完全量化的現象，便可以用這種語意方式呈現。

本研究將此種語意表達的變數作為處理評估人員針對各可能施工當時背景條件給予的評定方式，採用「很好」、「好」、「尚可」、「差」、「很差」五個等級的語意尺度來表示，而風險發生的機率則以「很高」、「高」、「普通」、「低」、「很低」五個等級的語意尺度來表示，此項五個等級的語意尺度，若引用 Chen & Hwang¹⁸ (1992)所提供的尺度形式則如圖 2-3 所示。

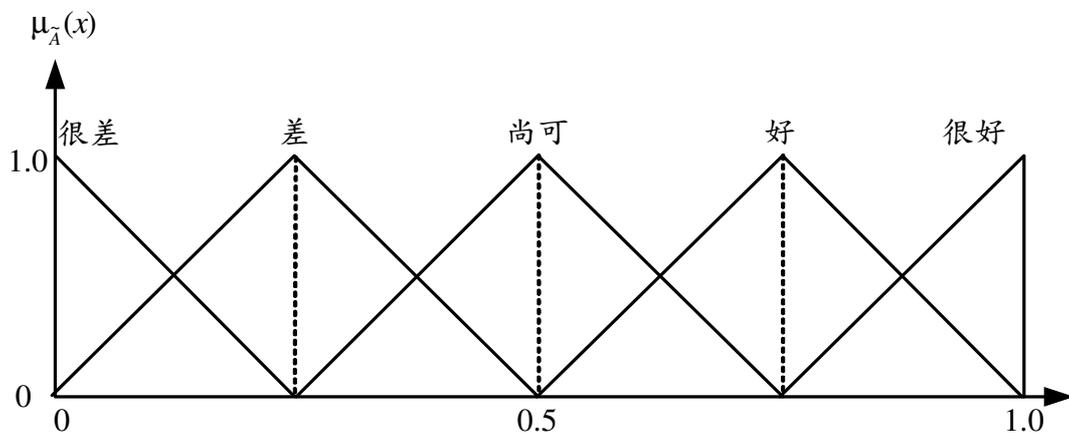


圖 2-3 五等級的語意尺度圖例

(資料來源：本研究整理)

¹⁸ Chen, S. J. and Hwang, C. L., 1992, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making-Method and Applications, Springer-Verlag, New York.

叁、模糊關係與模糊推論

一、模糊關係

世界每項事物皆有一定的關係存在，當我們使用數學模型去描述事物之關係時，我們稱此數學模型為“關係”，以 R 表示。而在普通關係中，集合與集合之間僅存在“有”或是“無”的關係。由此可知，普通關係為二值的，但在真實世界中普通關係的二值描述並無法滿足實際之需求，事物間關係仍需表示程度的大小，這種以程度描述的關係稱為模糊關係，並以 \underline{R} 表示。

在普通關係 R 中，是指兩個集合 A 和 B 的直積，記為 $A \times B$ 。將普通關係加以推廣定義為模糊關係，指集合 A 和集合 B 直積為一個模糊子集，亦記為 $A \times B$ 。而模糊子集代表在直積集合中元素對某種關係的歸屬度。記為：

$$A \times B = \{(a, b) | a \in A, b \in B\} \quad 3.17 \text{ 式}$$

則

$$\underline{R} = \{\mu_{\underline{R}}(a, b) | \mu_{\underline{R}} \in [0, 1]\} \quad 3.18 \text{ 式}$$

其中 $\mu_{\underline{R}}(a, b)$ 表示直積集合 $A \times B$ 中元素 (a, b) 的歸屬函數。

當模糊關係 \underline{R} 中的論域為有限集合時，則可以使用矩陣與關係圖表示，如下所示：

$$\underline{R} = [r_{ij}] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad 3.19 \text{ 式}$$

其中 $0 \leq r_{ij} \leq 1 (i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, 3, \dots, m)$ ，而矩陣式稱為模糊矩陣，元素 r_{ij} 表示集合 A 中的第 i 個元素 a_i 和集合 B 中的第 j 個元素 b_j 組成對偶 (a_i, b_j) ，表示兩集合某種模糊關係的程度，即 $\mu_{\underline{R}}(a_i, b_j) = r_{ij}$ ¹⁹。由此可知，模糊關係與模糊矩陣具有 1:1 的對應性。

二、模糊關係運算

¹⁹ 楊英魁等人編著(2002),模糊控制理論與技術,全華科技圖書股份有限公司.

對於模糊關係的運算方式，與集合運算方式一樣皆有並集、交集及餘集運算。在此假設論域 $A \times B$ 上有兩個模糊關係矩陣 $\underline{R} = [r_{ij}]$ 和 $\underline{S} = [s_{ij}]$ ，其中 $i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$ 。

1. 聯集運算

$$\underline{T} = \underline{R} \cup \underline{S} \quad 3.20 \text{ 式}$$

其中 $\underline{T} = [t_{ij}]$, ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$)，且 $t_{ij} = r_{ij} \vee s_{ij} = \max(r_{ij}, s_{ij})$ 。

2. 交集運算

$$\underline{T} = \underline{R} \cap \underline{S} \quad 3.21 \text{ 式}$$

且 $t_{ij} = r_{ij} \wedge s_{ij} = \min(r_{ij}, s_{ij})$

3. 集合 \underline{R} 的餘集運算

$$\overline{\underline{R}} = 1 - \underline{R} \quad 3.22 \text{ 式}$$

其中 $\overline{\underline{R}} = [r_{ij}]$, ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$)，且 $r_{ij} = 1 - r_{ij}$ 。

當模糊矩陣 $\underline{R} = [r_{ij}]$ 等於模糊矩陣 $\underline{S} = [s_{ij}]$ ，則以 $\underline{R} = \underline{S}$ 表示；若 $r_{ij} \leq s_{ij}$ ，則稱 \underline{S} 包含 \underline{R} ，以 $\underline{R} \subseteq \underline{S}$ 表示。若模糊矩陣 $\underline{R} = A \times B = [r_{ij}]$ ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$) 和模糊矩陣 $\underline{S} = B \times C = [s_{jk}]$ ($j=1,2,\dots,m; k=1,2,\dots,l$)，則在論域 $A \times C$ 上的關係可由 \underline{R} 和 \underline{S} 的合成運算求得，即

$$\underline{T} = \underline{R} \circ \underline{S} \quad 3.23 \text{ 式}$$

其中 $\underline{T} = [t_{ik}]$, ($i=1,2,\dots,n; k=1,2,\dots,l$)， $t_{ik} = \bigvee_{j=1}^m (r_{ij} \wedge s_{jk})$ 。合成運算中，必須特別注意模糊矩陣 \underline{R} 列數與模糊矩陣 \underline{S} 的行數是否相同。

肆、模糊推論

在模糊推論中，最常使用以下三種條件語句：

1. 若 A 則 B 型

記為“if A then B”，其中 A 與 B 為不同論域上的模糊集合。

2.若 A 則 B 否則 C 型

記為“if A then B else C”，其中 A≠B、C 論域，而 B=C 論域。

3.若 A 且 B 則 C 型

記為“if A and B then C”，其中 A、B 和 C 分別為不同論域之模糊集合。

對於上述之模糊條件語句的推論，Zadeh 提出一種應用關係合成運算的近似推論方法。假設模糊集合 A 和 B，其中論域各自為 U 和 V，若 E 為全部元素均為 1 的模糊矩陣，則使用若 A 則 B 型的條件語句可定義成論域 U×V 上的一個模糊關係 \underline{R} ：

$$\underline{R} = (\underline{A} \times \underline{B}) \cup (\overline{\underline{A}} \times \underline{E}) = [\mu_{\underline{A}}(u) \wedge \mu_{\underline{B}}(v)] \vee [1 - \mu_{\underline{A}}(u)], \forall u \in U, v \in V \quad 3.24 \text{ 式}$$

而在模糊推論系統中，近似推論的邏輯結構說明若已知模糊集合 A，則可經由模糊關係 \underline{R} 的轉換得知模糊集合 B，即：

$$\underline{B} = \underline{A} \circ \underline{R} \quad 3.25 \text{ 式}$$

條件語句“if A then B else C”可分解為“if A then B”或“if \overline{A} then C”。假設論域關係為 A=U 論域、B=C=V 論域，則條件語句“if A then B else C”在論域 U×V 的模糊關係 \underline{R} 為：

$$\underline{R} = (\underline{A} \times \underline{B}) \cup (\overline{\underline{A}} \times \underline{C}) \quad 3.26 \text{ 式}$$

而假設已知模糊集合 A，則可經由模糊關係 R 的轉換得知對應的模糊集合 B，即：

$$\underline{B} = \underline{A} \circ \underline{R} \quad 3.27 \text{ 式}$$

而條件語句“if A and B then C”同樣可分解為“if A then C”和“if B then C”。其中論域關係為 A=B=U 論域和 C=V 論域，則條件語句“if A and B then C”在論域 U×V 上的模糊關係為：

$$\underline{R} = (\underline{A} \times \underline{C}) \cup (\underline{B} \times \underline{C}) \quad 3.28 \text{ 式}$$

而假設已知模糊集合 A 和 B，則可經由模糊關係 R 的轉換得知對應的模糊集合 C，即：

$$\underline{C} = (\underline{A} \circ \underline{R}) \cap (\underline{B} \circ \underline{R}) \quad 3.29 \text{ 式}$$

不管何種條件句，都會因為條件句的不同，使得模糊關係亦跟著改變，但之後由模糊關係推論結論時，所依照的規則皆是合成運算。因此，模糊控制器推論最主要的核心應為合成運算法則。至於其他複雜模糊條件語句，皆可利用上述條件語句推論推導得到。

伍、模糊控制簡介

傳統的控制理論發展至今，已有相當長的歷史，但與模糊控制理論相比，傳統控制方法僅侷限於被控系統必須相當明確並且可以用嚴謹的數學模式進行描述。傳統控制理論對於現今多變、複雜且模糊的工業界來說，所能控制的項目著實不多，有些更是無法建立其數學模型，導致傳統控制理論或現代控制理論很難取得滿意的控制效果。

隨著時代的進步，人工智慧控制技術亦隨著技術發展漸漸引入工業界，與傳統理論相比，可發現人工智慧控制皆是模擬人類思考決策的方式來解決問題，故並不需要精確的數學模型，同時此項優點亦是工業界所盼望的。所以此方法才能突破傳統控制理論的應用限制，在真實且多變的系統上獲得令人滿意的控制成果。而模糊控制就是其中一種，也是應用最廣、成效最大的方法。

人類從以前開始，在語言的表達以及經驗上的傳承都是相當模糊且概念化，然而 Zadeh 教授所提之模糊理論就是針對語言進行分析的數學模式，將不明確的語言給予明確化、數據化，再將資訊交給機器去做控制。而模糊邏輯不同於傳統的二值邏輯亦在於模糊邏輯是在 0 和 1 間建立一個緩衝區，使得人類在邏輯推理上有較寬廣且彈性的空間，使理念與經驗能較完善的表達。

模糊控制系統主要是利用模糊邏輯的思考方式，而設計模糊控制器的作業原理，是一組以語意描述的定性控制法則，其模糊邏輯控制系統如圖 2-4。

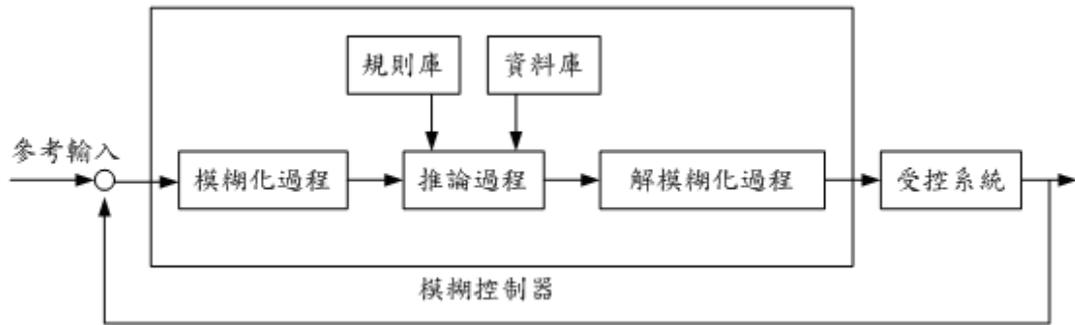


圖 2-4 模糊邏輯控制系統基本結構

(資料來源：楊英魁等人編著, 2002, p65)

模糊邏輯控制系統區分為下列五個主要部分：

1. 模糊化單元

將外界所偵測到的數值輸入，經過一比例映射並傳送至相對應之模糊論域中，再利用可將模糊化之隸屬度函數，將此輸入的資料轉換為適當的語意值，供之後的模糊推論使用。

2. 推理引擎

模糊引擎為整個模糊控制器的核心，主要是根據現存的模糊法則來進行模糊理論的合成運算。在此將利用圖解法介紹一般最常使用的推理演算法，如圖 2-5。此圖為兩個輸入與一個輸出的系統，且僅有兩個條件敘述，在合成時採用 min 操作。其中敘述條件如下：

Rule 1: if x is A1 and y is B1, then z is C1

Rule 2: if x is A2 and y is B2, then z is C2

首先求得 A 與 A1、A2 及 B 與 B1、B2 間的關係，在取各別之最小值，求得每條規則的歸屬函數，最後經過合成即可得到結果。其推論過程必須先將資料庫與控制規則庫建立完成，最後再將結果經由解模糊化，即可得到現實生活中所需之數值。其中資料庫、控制規則庫與解模糊化皆會在之後說明。

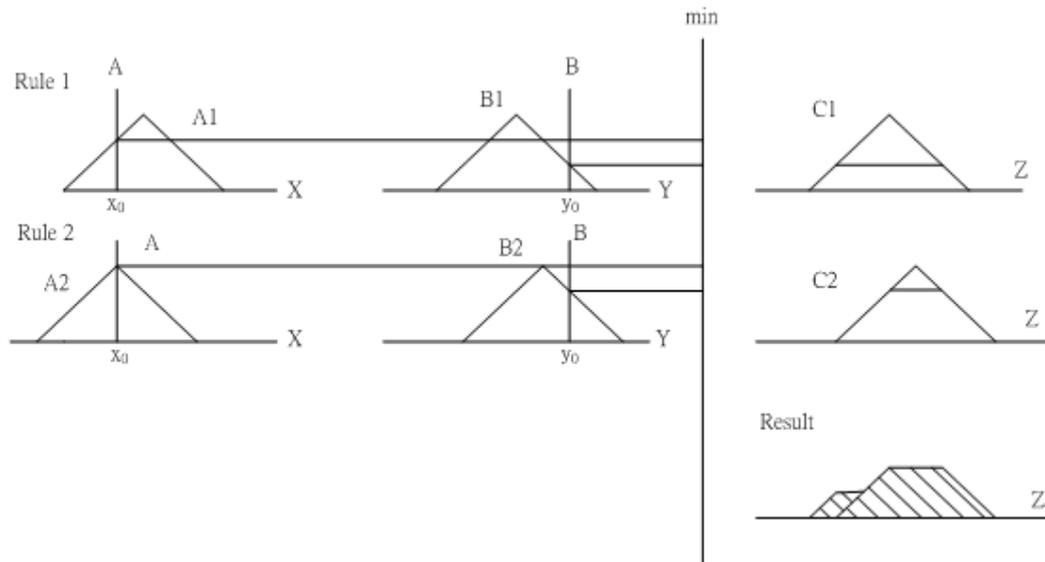


圖 2-5 模糊推論演算

（資料來源：楊英魁等人編著，2002, p68）

3. 資料庫

資料庫包含狀態論域、模糊數、隸屬函數，亦即建立模糊介面時所需要的定義。此資料庫描述事件模糊化後的程度，假若將資料庫設定錯誤，必定影響控制效果。

4. 控制規則庫

此資料庫主要目的是為表達經驗、知識、控制策略，且陳述的條件句大都是以“*If... then...*”為主。總而言之，控制資料庫就是以上述控制法則來架構整個控制系統。而最常使用的控制法則產生方式有四種：

- 從專家的經驗與知識獲得
- 根據操作員的控制行為訂定規則
- 根據被控制系統的特性訂立法則
- 藉由自我學習的方式獲得

5. 解模糊化單元

解模糊化的工作，主要是將上述推理引擎經模糊運算後所得的模糊數值，利用解模糊函數且經比例映射後轉成實際物理量，以供外界系統操作使用。其中解模糊化的方法很多種，在此僅介紹重心法，其公式如下所示：

$$y = \frac{\int y\mu_B(y)dy}{\int \mu_B(y)dy} \quad 3.30 \text{ 式}$$

陸、近似推論系統

此一系統主要是利用條件式語句來描述人類知識的系統，並以 Fuzzy 知識庫(Fuzzy Knowledge Base, FKB)和 Fuzzy 推論機(Fuzzy Inference Engine, FIE)為主要核心部門，屬於 Fuzzy 規則式系統(Fuzzy Rule-Based System, 簡稱 FRBS)。在 FKB 內包含受控對象所涉及的領域知識(domain knowledge)和操控目標定性與定量資訊，主要由資料庫(data base)與規則庫(rule base)組成。規則庫則是利用 Fuzzy 蘊含式(fuzzy implication)作為命題連接的方式，在數學意義上，可說是由 A_1 對應到 B_1 的模糊關係。運算為：

$$R_m = m_{A \rightarrow B}(u, v) = \int_{U \times V} (\mu_A(u) \wedge \mu_B(u)) \quad 3.31 \text{ 式}$$

公式中 A 和 B 是屬於兩個論域 U 和 V 的 Fuzzy 集合，對於 Mamdani 蘊含式而言，即是做 A 和 B 的直積，對於直積計算方式可利用下面簡單例子進行說明：

例題:設定溫度的論域為 $T=\{70,80,90,100\}$ ，壓力的論域為 $P=\{10,11,12,13,14\}$ 。假設溫度高及壓力大的模糊集為 $T=\{0/70,0.2/80,0.6/90,1/100\}$ 、 $P=\{0.3/10,0.5/11,0.7/12,0.9/13,1/14\}$ ，求若溫度高，則壓力大的模糊關係為何？

$$\begin{aligned}
R_m = T \times P &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0.2 \\ 0.6 \\ 1 \end{bmatrix} \wedge [0.3 \quad 0.5 \quad 0.7 \quad 0.9 \quad 1] \\
&= \begin{bmatrix} (0 \wedge 0.3) & (0 \wedge 0.5) & (0 \wedge 0.7) & (0 \wedge 0.9) & (0 \wedge 1) \\ (0.2 \wedge 0.3) & (0.2 \wedge 0.5) & (0.2 \wedge 0.7) & (0.2 \wedge 0.9) & (0.2 \wedge 1) \\ (0.6 \wedge 0.3) & (0.6 \wedge 0.5) & (0.6 \wedge 0.7) & (0.6 \wedge 0.9) & (0.6 \wedge 1) \\ (1 \wedge 0.3) & (1 \wedge 0.5) & (1 \wedge 0.7) & (1 \wedge 0.9) & (1 \wedge 1) \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 1 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

一條模糊蘊含式只表示某單一種輸入狀況與輸出的對應關係。因此，對於整個系統的輸入與輸出關係則需要許多蘊含式加以描述，為一個多蘊含式系統。對於 Mamdani 蘊含式而言，是將每條規則利用 OR 作為蘊含式之間的連結詞，即使用聯集運算來進行統合，經由統合之後即可變成一個由 A 到 B 的模糊關係 R。

$$R_m = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_n = \mu_{A \rightarrow B}(u, v), \forall u \in U \text{ and } v \in V \quad 3.32 \text{ 式}$$

Fuzzy 推論機部門主要是運用知識庫內的規則與事實推論出新的結論，其概念是依據近似推理中的 GMP(general modus ponens)，使 fuzzy 蘊含式 $P \rightarrow Q$ 接受 P' 的真值後可推導出 Q'，可寫為

$$P' \cap (P \rightarrow Q) \Rightarrow Q' \quad 3.33 \text{ 式}$$

Fuzzy 推論中又分成直接模糊推論與間接模糊推論，若採用直接模糊推論的方式(如圖 2-6)。直接推論即是事先將規則庫裡所有的規則，以模糊關係 R 表示，之後 R 在與事實(即輸入值)做模糊關係的 max-min 合成運算(如圖 2-7)，則可得結論。另外，fuzzy 關係 max-min 合成運算的運算式如下：

$$\mu_{B'}(V) = \vee \{ \mu_{A'}(u) \wedge \mu_{A \rightarrow B}(u, v) \} = \vee \{ \mu_{A'}(u) \wedge [\mu_{A'}(u) \rightarrow \mu_B(v)] \} \quad 3.34 \text{ 式}$$

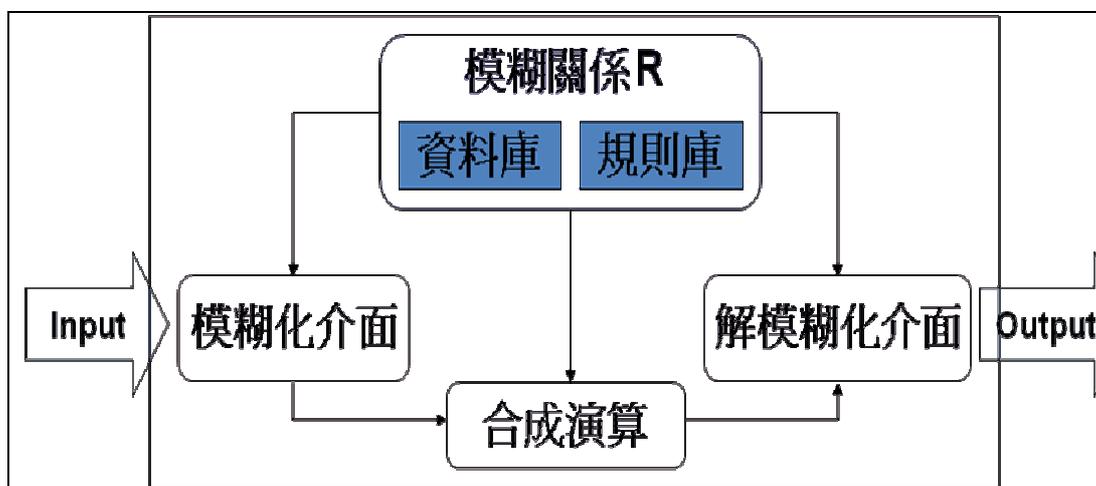


圖 2-6 直接模糊推論

(資料來源：本研究整理)

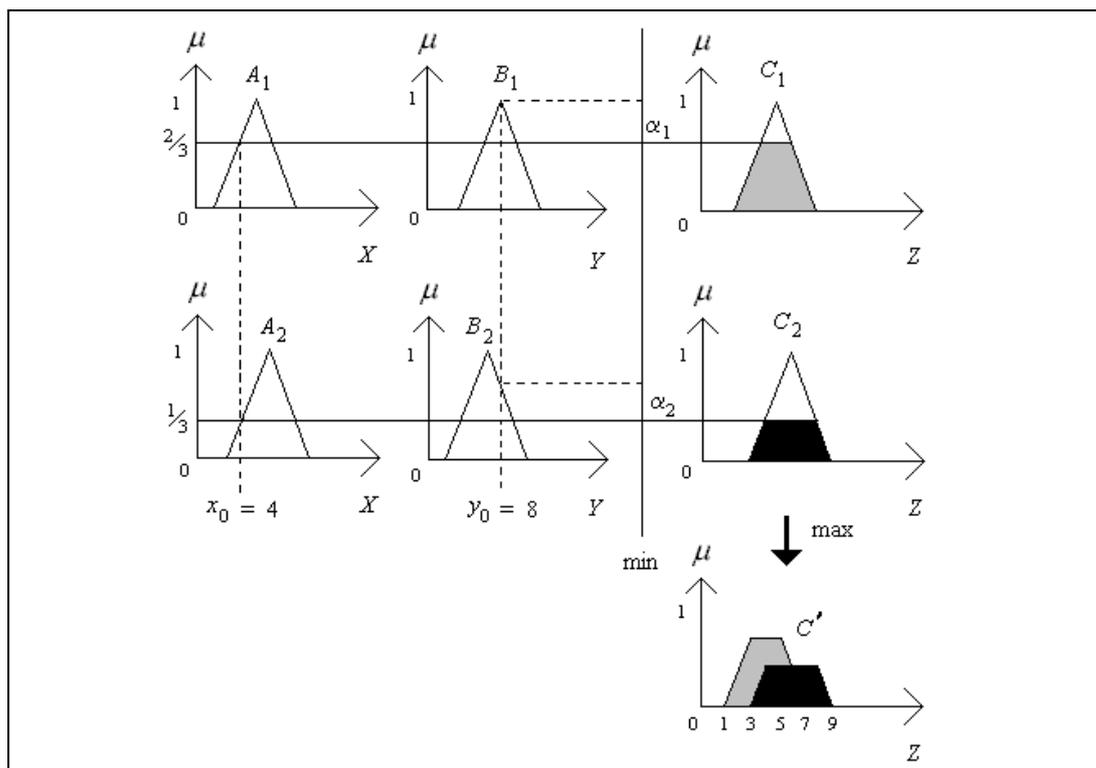


圖 2-7 max-min 合成運算過程

(資料來源：本研究整理)

第四節 遺傳演算理論

遺傳演算法是模擬自然界中遺傳和進化機制過程而形成的自適應式全域最佳化機率式搜尋算法。演算過程則運用編碼規則代替實際問題的參數範圍，並以適應度函數為求解時的評估依據，再透過對生物遺傳和進化過程中選擇、交配、突變機制的模仿，來完成該問題全域性最佳解的搜尋過程，達到解決問題之目的。本節將針對遺傳演算法的基本概念、運算過程以及各階段演算重點進行介紹。

壹、遺傳演算法之基本概念

對於求解函數最大值的最佳化問題而言，一般可利用該數學規劃模型進行描述²⁰：

$$\begin{cases} \max & f(x) \\ s.t. & X \in R \\ & R \subseteq U \end{cases} \quad (2.1)$$

2.1 式中， $f(x)$ 為目標函數， $X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_L]^T$ 為設計變量， U 為求解的基本空間，而 R 則是 U 當中的一個子集。因此，滿足約束條件的解 X 可稱為可行解，而集合 R 則是表示滿足所有約束條件所組合而成的子集，稱為可行解集合，其中之間的關係可由圖 2-8 所示。

²⁰周明、孫樹棟(2005)，遺傳算法原理及應用，國防工業出版社。。

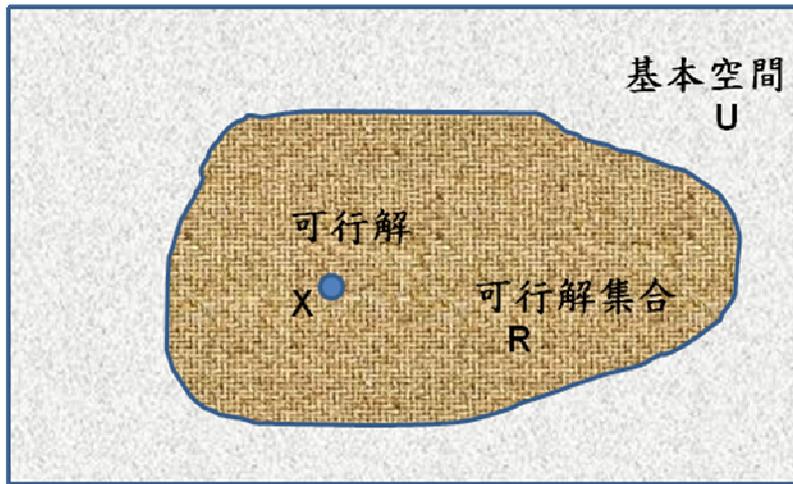


圖 2-8 最佳化問題的可行解及可行解集合示意圖

(資料來源：周明、孫樹棟, 2005)

遺傳演算法常把一個染色體表示為 N 維變數向量 $X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_N]^T$ ，或以 X 所組成的符號串 $X_i (i=1, 2, \dots, N)$ 的方法來表示：

$$X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_N]^T = X_1 X_2 \dots X_N \quad (2.2)$$

2.2 式中，顯示一個染色體中會有 N 個遺傳基因數，而每個 X_i 為一個遺傳基因，其所有可能取值的基因稱為等位基因。

等位基因可為一組整數或一種記號，其中最簡單的等位基因是由 0 和 1 所組成，相對應的染色體即可表示為一個二進制符號串。每一個染色體 X 需要按照一定規則定義出適應度，適應度與其對應個體表現型 X 的目標函數值相關聯， X 越接近於目標函數的最佳解，相對應的適應度越大。所以，在遺傳演算法的最佳化求解過程中，主要是針對變數 X 組成問題的求解空間來進行搜尋。

依據進化理論顯示，其生物進化過程主要是以整體的行為為主，使得遺傳演算法的核心分析對象亦將著重於個體組成的集合，即群體之上。另外，為模擬生物自然進化的過程，遺傳演算法透過染色體之間的選擇、交配和突

變，以反覆迭代過程進行世代計算，並以 $P(t)$ 代表第 t 代的群體，依照優勝劣汰的生存法則將適應度較高的個體遺傳和進化到第 $t+1$ 代上，亦即群體 $P(t+1)$ ，直到接近問題的最佳解(\tilde{X})或是達到收斂條件。²¹

貳、簡單遺傳演算法之運算過程

根據上述遺傳演算法基本概念的介紹，其演算流程可以圖 2-9 表示。經由圖 2-9 可以清楚了解演算法主要是由三種遺傳運算(選擇運算、交配運算、突變運算)所組成，其演算過程將如下所述:

初始化階段:設定最大進化代數 T 並隨機產生初始族群(population)，再對染色體(chromosome)進行二進制(binary)或實數型(continuous)編碼。

評價階段:對隨機產生之初始族群進行評估，大多以目標函數來評估群體中個體的優劣或適應情形。

選擇運算: 將每個個體的適應度之評估結果進行排序，並從第 t 代群體 $P(t)$ 中選擇出較優良的個體，作為進入下一代群體 $P(t+1)$ 之個體，藉此淘汰適應性較差的個體而滿足優生條件。

交配運算:依據定義之交配率得知必須基因交換之對數，再從群體 $P(t)$ 內隨機搭配成對並且進行交換，藉此產生更好的下個世代，使數值逐漸逼近最佳解。

突變運算:以定義之突變率，對新的子代進行染色體上的亂數變異，目的在於跳脫局部最佳解，找尋鄰近可能的全域最佳解。

²¹蘇進國(2008)，模糊遺傳演算法在橋梁耐震性能設計之應用與耐震維修補強生命週期成本最小化之研究，國立臺北科技大學土木防災研究所博士學位論文。

若未滿足收斂條件，則繼續進入下一個新世代的演進，直到滿足結束或收斂條件。

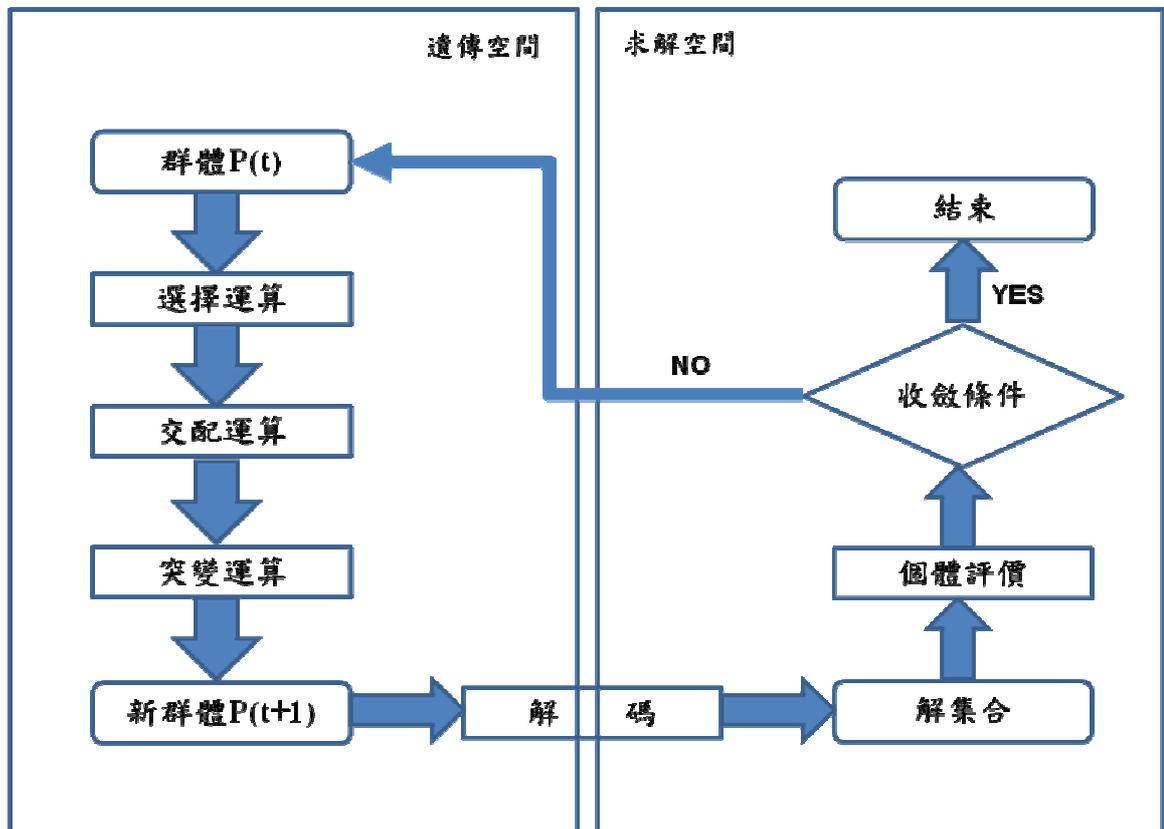


圖 2-9 遺傳演算法運算過程示意圖
(資料來源：周明、孫樹棟, 2005)

參、編碼方法

在遺傳演算法的運算過程中，並不會經由實際求解問題之變數來直接進行運算，而是先會對個體進行編碼，再透過選擇、交配、突變等遺傳程序和解碼來求得最佳解。其中編碼過程即是將問題的可行解由求解空間轉換到遺傳演算法所能處理的搜尋空間，透過不斷的編碼與解碼以求得各個體適應度，藉此找尋適應度較高的個體，並在群體中逐漸增加適應度高的個體數，使所求變數逐步逼近全域的最佳解。

編碼方法除決定染色體排列形式之外，同時亦決定個體在搜索空間的基因型態，以及表現型態的解碼方法，而對於交配、突變等遺傳運算亦會有某種程度的影響。因此，一個編碼方法的好壞，會影響後續交配和突變等運算過程，甚至直接左右演算法的執行效率。所以對遺傳演算法而言，其編碼方法著實為首要解決問題與關鍵步驟。基於遺傳演算法的盛行和廣泛使用，迄今已提出許多不同編碼方式，以下將介紹較常使用之二進制編碼方法與實數編碼方法等兩種方式。

二進制編碼方法

二進制編碼方法是遺傳演算法中最常採用之方法，其編碼符號主要是由 0 和 1 所組成的二進制數值集合，而構成個體基因型態則是二進制的符號串。其中，二進制編碼符號串的長度會與求解之精確度有關。假設某一參數的數值範圍是 $[U_{\max}, U_{\min}]$ ，假若以長度為 L 的二進制編碼形式來表示，則總共能產生 2^L 種不同的編碼結果，其參數編碼對應關係如下：

$$\begin{array}{rccccccc}
 00000 & \cdots & 00000 & = 0 & \rightarrow & U_{\min} \\
 00000 & \cdots & 00001 & = 1 & \rightarrow & U_{\min} + \delta \\
 00000 & \cdots & 00010 & = 2 & \rightarrow & U_{\min} + 2\delta \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 11111 & \cdots & 11111 & = 2^L - 1 & \rightarrow & U_{\max}
 \end{array} \tag{2.3}$$

則二進制編碼的編碼精確度為：

$$\delta = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2^L - 1} \tag{5.4}$$

假設某一個染色體編碼為 $X: b_L b_{L-1} b_{L-2} \cdots b_2 b_1$ ，則對應的解碼公式可寫成：

$$x = U_{\min} + \left(\sum_{i=1}^L b_i \cdot 2^{i-1} \right) \cdot \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2^L - 1} \tag{2.5}$$

例如，對於 $x \in [0, 511]$ ，若用九位長的二進制編碼來表示該參數的話，則符號字串 $X: 101011001$ 即可表示為一條染色體，其所對應的參數值是 $x = 345$ ，而此時的編碼精確度為 $\delta = 1$ 。

二進制編碼方法之優點可整理如下：

1. 編碼和解碼過程簡單
2. 交配和突變等遺傳程序容易實現
3. 符合最小字符集編碼原則
4. 便於利用模式定理對算法進行理論分析
5. 實數編碼方法

對於多維度或精確度要求較高之連續型函數最佳化問題而言，使用二進制編碼來表示個體特性時，常因二進制編碼在連續型函數離散化過程的映射誤差，產生收斂速度過慢或結果錯誤等問題。另外，假若染色體的字串過短時，會因無法準確表達變數的數值，而使編碼精確度過低；但若編碼字串長度取值範圍較長時，雖能提高編碼精確度，卻使搜尋空間倍增，導致運算時間過長或世代數不易設定等問題。例如，若使用二進制編碼方法來處理含有 20 個變數的最佳化問題，其中每個變數的數值範圍介於正負 200 之間，而精確度必須達到小數點後四位數，則每個變數必須用 22 位長的二進制編碼符號串來表示，是因為：

$$2^{21} = 2097152 < \frac{400}{0.0001} = 4000000 < 4194304 = 2^{22} \quad (2.6)$$

總計每個個體將必須使用 20×22 位數長的二進制字串來表示，而此時遺傳演算法的搜尋空間更高達 2^{440} 。在如此龐大的搜索空間中，將會導致整體性能大幅降低，並直接影響遺傳演算法的收斂性和分析結果。另外，二進制

編碼對特定問題的反應能力並無良好的彈性，不便於後續交配或突變過程的發展和應變，以及具有特定約束條件的處理上。

為改進上述二進制編碼方法的缺點，學者隨後提出實數編碼方法，以解決諸多缺點。實數編碼方法是指將染色體中的每個基因值，用某一範圍內的浮點數值來表示，個體的編碼長度等於變數的個數。例如，若某個最佳化問題有六個變量 x_i ($i=1,2,\dots,6$)，每個變量都有相對的上、下限值域，則如 X 可以染色體的基因型表示為：

5.23	23.45	122.45	10.65	5.00	342.57
4	6	6	3	0	6

則其相對應的表現型就可寫成：

$$x = [5.234 \quad 23.456 \quad 122.456 \quad 10.653 \quad 5.000 \quad 342.576]^T$$

在實數編碼方法中，必須保證基因值在給定的區間限制範圍內，而遺傳演算法中所使用的交配和突變等進化過程所產生的新個體，其基因值亦於同樣區間限制範圍內。

肆、適應度函數

生物學者在研究自然界生物遺傳與進化現象時，是使用適應度來衡量該物種對生存環境的適應程度，而對於生存環境有較高的適應度即表示有較高的繁衍機會；相反地，其繁衍機會就相對減少，甚至從此消失。因此，遺傳演算法將透過適應度概念來度量群體中的特性，適應度越高的個體將可能擁有較接近最佳解的可能，而遺傳到下一世代的機率較大，進而達到排除非最佳解個體之目的。所以各染色體的世代演變全取決於適應度的優良與否，而評估個體適應度的函數即稱為適應度函數(fitness function)。

1. 目標函數與適應度函數

遺傳演算法其特色是可直接利用問題所求的目標函數，求得世代演變過程中的相關訊息，依據目標函數來得知個體適應程度，適應程度越高則擁有較接近最佳解的可能，而遺傳到下一世代的機率較大，進而達到排除非最佳解個體之目的。

對於評估個體適應度一般過程可簡述如下：

1. 對每個個體進行編碼，編碼後的型態即為此個體的表现型。
2. 由個体的表现型可計算出相對應的目標函數值。
3. 根據最佳化問題的癥結，將目標函數值轉換成個體的適應度。
4. 最佳化問題一般可分為兩大類，分別為求取目標函數全域最大值與最小值，而將目標函數值轉換成個體的適應度過程，可大致分成下述兩種轉換方法：

對於目標函數 $f(x)$ 為求取最大值時，適應度函數值 $F(x)$ 為：

$$F(X) = \begin{cases} f(X) + C_{\min} & \text{if } f(X) + C_{\min} > 0 \\ 0 & \text{if } f(X) + C_{\min} \leq 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

對於目標函數 $f(x)$ 為求取最小值時，適應度函數值 $F(x)$ 為：

$$F(X) = \begin{cases} C_{\max} - f(X) & \text{if } C_{\max} - f(X) > 0 \\ 0 & \text{if } C_{\max} - f(X) \leq 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

式中， C_{\min} 和 C_{\max} 分別代表相對於目標函數的適當較小和較大值。

2. 適應度比例轉換

在遺傳演算法中，個體被遺傳到下一個世代群體之機率是透過個體適應度來決定的。在適應度計算部分，假若僅使用式 2.7 與式 2.8 來計算，會造成有些遺傳算法收斂得很快，而有些則會收斂得很慢的現象產生。例如：在遺傳演算法的初期運算階段，群體中可能會有少數幾個個體適應度遠高於其他

個體，若使用常用的比例選擇算法來選擇遺傳之數量與個體，並在特殊情形或群體規模較小時，則下面幾個世代將很快被上述少數幾個適應度較高的個體所取代。此時遺傳演算法中的交配行為將失去作用，使得群體多樣性因而降低，求解過程將停留在局部的最佳解，無法跳脫而提早收斂，稱之為早熟現象。為克服此現象，將必須在遺傳演算法初期運算階段時針對適應度較高的個體進行控制，降低個體間適應度的差異程度，進而限制個體被大量複製的情形發生，以維持基因種類的多樣性和群體的可變性。

另外，在遺傳演算法的運算後期階段，群體中所有個體的適應度可能相當接近最佳解，彼此間的適應度差異並不大，使得每一世代被複製的機率相近，喪失進化過程的競爭性，導致無法對某些重點區域進行搜尋，進而降低遺傳演算法的運算效率。為了克服此一現象，在後期階段可適當放大或縮小個體的適應度，擴大群體間適應度的差異性，用以提高個體間的競爭性。

由此可知，適應度的計算不能僅依靠式 2.7 與式 2.8 來決定，隨著遺傳演算法不同階段的變化，有必要針對個體的適應度進行適當的放大與縮小。對個體適應度進行調節的動作稱之為適應度尺度轉換(fitness scaling)。目前常見的適應度轉換方法有線性轉換、乘冪轉換和指數轉換等三種，說明如下：

線性轉換

線性轉換公式如下：

$$F' = aF + b \quad (2.9)$$

式中 F 為原適應度， F' 為轉換後的適應度， a 和 b 為轉換係數。

由圖 2-10 可發現轉換係數 a 和 b 會直接影響比例轉換的大小，所以對於轉換係數的設定必須使轉換後的新適應度之平均值 F'^{avg} ，等於原適應度的平均值 F^{avg} ，以保證靠近平均適應度的個體能有機會進入下一世代群體。另外，為保證群體中最好的個體也能有一定數量複製到下一世代，必須使轉換後的最大適應度 F'_{max} 要等於原平均適應度 F^{avg} 的指定倍數，亦即：

$$F'_{\max} = C \cdot F_{\text{avg}} \quad (2.10)$$

式中， C 為最佳個體的期望複製數量，一般建議取 $C=1.2\sim 2$ 。

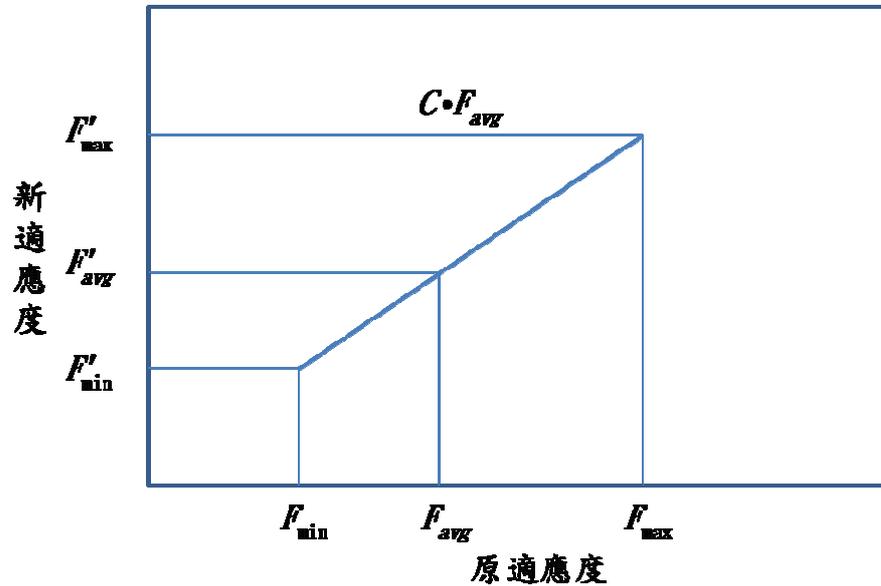


圖 2-10 線性轉換示意圖

(資料來源：周明、孫樹棟, 2005)

使用線性轉換時，群體中少數幾個優良個體之適應度會依照比例縮小；相對地，對於較差的個體之適應度亦有被放大的可能。隨著世代反覆迭代運算後，後期階段每個個體的最大適應度和平均適應度會越來越接近，但也會有少數幾個個體的適應度會遠低於最大適應度，此時若想維持 $F'_{\max} = C \cdot F_{\text{avg}}$ 關係，將有可能會使幾個較差個體的適應度轉換成負值，如圖 2-11 所示。如發生這種情況時，須把原最小適應度 F_{\min} 映射為零，即 $F'_{\min} = 0$ ，並且維持原平均適應度和新的平均適應度相等 ($F_{\text{avg}} = F'_{\text{avg}}$)。

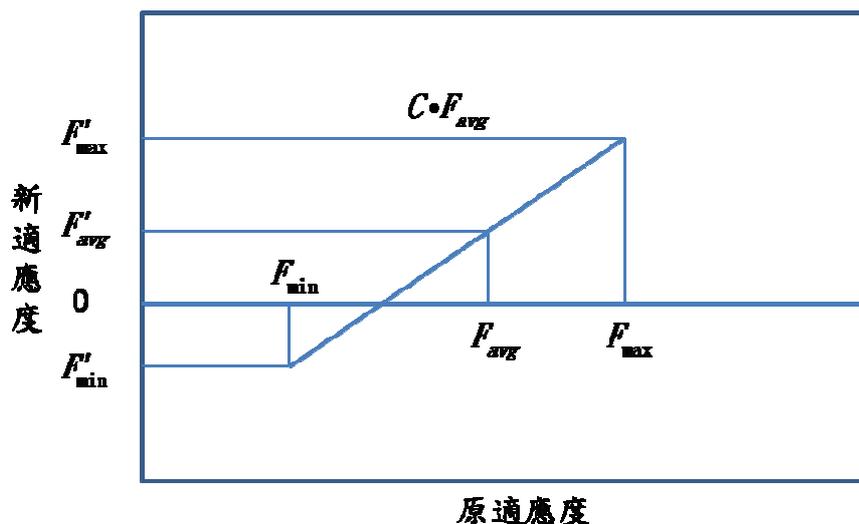


圖 2-11 負值時的線性轉換示意圖

(資料來源：周明、孫樹棟, 2005)

乘冪轉換

乘冪轉換一般可表示為：

$$F' = F^k \quad (2.11)$$

從 2.11 式可了解乘冪轉換即是將原有的適應度以某個指定乘冪進行改變，而冪指數 k 一般與所求問題有關，透過運算不斷進行修正，才能有效使適應度轉換尺度達到提高個體競爭性的要求。

指數轉換

指數轉換公式如下：

$$F' = \exp(-\beta F) \quad (2.12)$$

2.12 式中，係數 β 將決定選擇過程中的特性，當 β 越小則越與其他個體的新適應度相差越大，亦因此增加後續選擇過程的變異性，進而提升遺傳演算法在後期世代演變的多樣化和整體的搜尋能力。

伍、選擇

在生物的遺傳與進化的過程當中，對於所生存環境適應程度較高的物種將會有較多機會經由進化或遺傳而繁衍至下一代；而對所生存環境適應程度較低的物種存活機會則相對減少，甚至從此滅絕。遺傳演算法中的選擇即是模仿此概念，對群體中的個體進行優勝劣汰的動作，所有個體將會進行適應度的評估，其適應度高的個體則有較高的機會複製至下一個世代，而適應度較低之個體被複製的機會則相對減少，藉此以淘汰適應性較差的個體，以提高收斂性與計算效率。所以，遺傳演算法中的選擇過程，將是用來確認如何從親代群體中，尋找出較好的個體並將優良個體帶入子代群體的一種演算方法。

遺傳演算法的選擇方法以比例選擇方法最為常用，但若考量各種領域之適用性，則此方法未必最好且完全適用。本小節將針對較為人常用之比例選擇法、精英策略選擇法、期望值選擇法、明確採樣選擇法與隨機餘數樣本選擇法進行扼要介紹與說明，並依序分述如後。

1. 比例選擇法

比例選擇法(Proportional Model)是一種根據比例大小來決定隨機項目的方法，其基本概念是將每個個體被選中的機率與其適應度成正比²²，亦可稱為輪盤選擇法(roulette wheel)。其個體被選中的機率 P_{ip} 之方程式可表達為：

$$p_{ip} = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^M F_i} \quad i=1,2,\dots,M$$

(2.13)

式中假設整體群體大小為 M ，每個個體 i 的適應度為 F_i 。

²² De Jong K A.(1975),An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems,Ph.D Dissertation,University of Michigan,NO.76-9381。

如式 2.13 所示可知，適應度越高之個體，其被選中之機率亦相對地提高；相反地，適應度越低之個體，被選中之機率亦會相對減少。就有如玩飛鏢輪盤遊戲一般，輪盤上越小的區塊，遊戲者要射中該區塊將會有相當的難度，亦意味射中該區塊之機率相當低，將此一觀點套用於適應度較低之個體，即可提高整體適應度，進而搜尋到最佳解。另外需要注意的是，雖然個體被選中的機率將隨著適應度的提高而增加，但由於整體選擇過程是以隨機方式產生，所以亦有可能出現所有世代中皆選擇不到適應度高者的情況發生。

2. 菁英策略選擇法

遺傳演算法會透過對個體的交配、突變等遺傳演化過程，進而不斷產生新的個體，過程裡會隨著個體的進化而產生適應度高之個體，但同時亦會因選擇、交配、突變等遺傳過程而破壞目前適應度最高之個體，對於整體平均適應度、運行效率以及收斂性皆有不良之影響，為避免此一情況發生，應將適應度最高之個體盡可能保留至下一世代。

為達到此一目的，學者提出菁英策略選擇法，其具體作法是挑出群體中適應度最高之個體並將其暫存，此一個體並不會參與任何遺傳演算過程，直至遺傳演算法於交配和突變過後，用以替換適應度最低之個體，並再度挑出群體中適應度最高之個體且將其暫存，以此為一循環，藉此以保存群體裡的優良血統。

3. 期望值選擇法

期望值選擇法(expected value model)是根據每個個體在下一代群體中的生存期望值來進行隨機選擇運算²³。其操作過程如下:

²³ Brindle A.(1981),Genetic Algorithms for Function Optimization.,Ph.D Dissertation, University of Alberta. °

假設群體數量大小為 M ，第 i 個個體之適應度為 F_i ，而每個個體於下一世代的生存期望數量 N_i 為：

$$N_i = \frac{F_i}{F_{avg}} = M \cdot \frac{F_i}{\sum_{i=1}^M F_i} \quad i=1,2,\dots,M \quad (2.14)$$

若某一個個體被選中並參與交配運算，則會將下一個世代的生存期望數量 N_i 減 0.5；若該個體未被選中，則會將下一個世代的生存期望數量 N_i 減 1.0。

經過許多世代的選擇過程之後，該個體之生存期望數量 N_i 若小於 0 時，則表示該個體不再有機會被選中。

另外，上述之比例選擇法曾提及該法存在選擇上的誤差，經 De Jong 的研究顯示期望值選擇法能有效減少選擇上的誤差，並增加遺傳演算法的運算性能²⁴，但缺點是操作方便性較比例選擇法差。

4. 明確採樣選擇法

明確採樣選擇法(Deterministic Sampling)主要是按照方法的確認與定義來作為選擇條件，想法與期望值選擇法類似。其步驟如下所示：

假設群體數量大小為 M ，第 i 個個體之適應度為 F_i ，而每個個體於下一世代的期望生存值 N_i 為：

$$N_i = M \cdot \frac{F_i}{\sum_{i=1}^M F_i} \quad i=1,2,\dots,M \quad (2.15)$$

取 N_i 整數部分作為下一世代各個體被選中的數目，並定義以 SN_x 表示下一世代所有被選中的數量總和。

取 N_i 小數部分來進行降冪排序，排序後取其前 $M-SN_x$ 個個體至下一代之群體中。

²⁴ De Jong K A.(1975),An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems,Ph.D Dissertation,University of Michigan,NO.76-9381.

此種選擇方法可確保較大之適應度能夠被保留至下一個世代，無形間已保有菁英策略選擇法的優點，且步驟上亦較其他方法容易。

5. 隨機餘數樣本選擇法

隨機餘數樣本選擇法(remainder stochastic sampling with replacement)融合比例選擇法、期望值選擇法和明確採樣選擇法等精神，創造另一種選擇方式²⁵。其步驟如下：

假設群體數量大小為 M ，第 i 個個體之適應度為 F_i ，而每個個體於下一世代的期望生存值 N_i 為：

$$N_i = M \cdot \frac{F_i}{\sum_{i=1}^M F_i} \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (2.16)$$

取 N_i 整數部分作為下一世代各個體被選中的數目，並定義以 SN_x 表示下一世代所有被選中的數量總和。

以 N_i 整數部分乘上平均適應度 F_{avg} ，再減去個體的適應度 F_i ，並取其絕對值，作為該個體的新適應度。

以 $M - SN_x$ 作為最後能進入下一世代之個體數目。

上一步驟所需要數目的個體，可由步驟三的新適應度與輪盤法則求得。

陸、交配

在自然界裡，交配是生物進化與遺傳的主要行為，同時亦是繁衍最重要的環節，生物因交配行為而使兩個染色體交配重組為一個新的染色體，進而得到嶄新的個體或是全新的物種。同樣地，在遺傳演算法當中亦可經由交配行為的模仿來產生新的個體，達到世代進化與遺傳的目的。在遺傳演算法的

²⁵ De Jong K A. (1975), An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems, Ph. D Dissertation, University of Michigan, NO. 76-9381。

交配方法中，首先透過亂數隨機選擇兩對染色體，再針對兩個隨機配對染色體依照某種交換方式而相互交換部分基因，藉此產生新的個體，亦因此使得交配過程成為遺傳演算法進化過程中的重要關鍵。

交配方法的選擇與研究問題有著密不可分的關係，對此交配方法設計人員一般會以盡量不破壞優良的個體，但同時又可產生更優良之個體為目標，而為達到此一目標，設計的同時則必須考量交配點的位置以及基因交換模式等問題。因此，為考量上述眾多的關鍵問題，許多研究學者陸續提出交配方法，其中最常使用之方法有單點交配、雙點與多點交配、均勻交配和算數交配等，本小節將個別詳述之。

1. 單點交配

單點交配(One-point Crossover)是指在某個體組合裡隨機挑選一個交配點，之後再相互交換交配點以後之部分基因，由於過程簡單易操作，以至於該交配方法又稱為簡單交配方法(如圖 2-12)。其操作步驟如下:

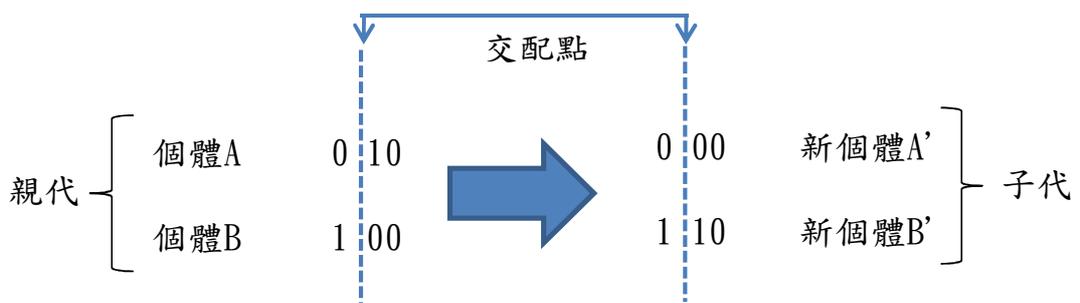


圖 2-12 單點交配解說圖

(資料來源:蘇進國, 2008)

假設群體大小為 M 且為偶數，則針對群體中的個體進行兩兩隨機配對，產生 $M/2$ 個配對組合；假若為奇數，則只取 $M/2$ 的整數部分，小數點無條件捨去。

針對上述步驟配對的每個個體配對組合中，隨機產生一交配點，假若染色體長度為 x ，則會有 $x-1$ 個可能交配點位置。

依照先前設定之交配率 P_c ，隨機選出數對個體組合進行相互交配，進而產生兩個新的個體。

該交配方法由於過程簡易且對於染色體基因特色的破壞性亦較小，使得優良基因組較容易被保存，因此最受設計者喜愛。但同時亦有其適用性，對於編碼長度較長的染色體而言，基於上述簡單交配方法的特性，亦使得問題不易藉由交配過程而搜尋得最佳解，以至於該方法的交配性能將全仰賴於交配點的選擇上。

2. 雙點與多點交配

雙點交配(Two-point Crossover)是指在某個體組合裡隨機挑選二個交配點，之後再相互交換兩交配點間之部分基因(如圖 2-13)。

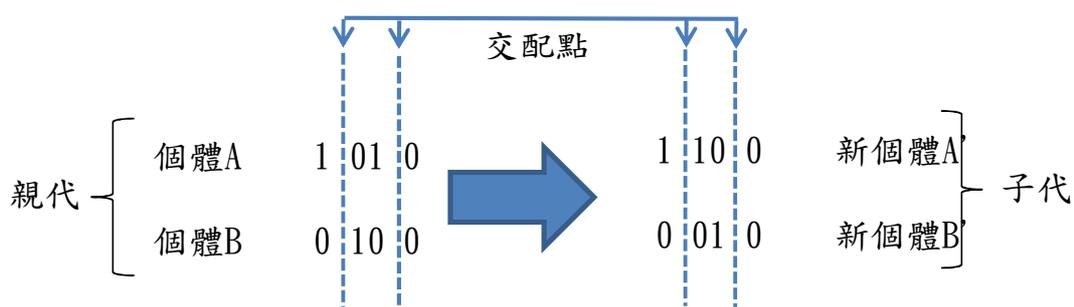


圖 2-13 雙點交配解說圖

(資料來源:蘇進國, 2008)

多點交配(multi-point crossover)主要是集合了單點交配與雙點交配之概念而延伸的廣義方法，故又稱為廣義交配。該方法考量到單點交配時親代與子代可能過於相近，而多點交配對於親代特徵破壞性明顯較強，以至於希望藉由多點交配的特性來解決單點交配過於相近的現象，並得以提升搜尋能力。多點交配即是在個體組合的編碼串中隨機挑選多個交配點，然後再相互交換交配點間之部分基因。在此以三點交配與四點交配為例，如圖 2-14 與圖 2-15。

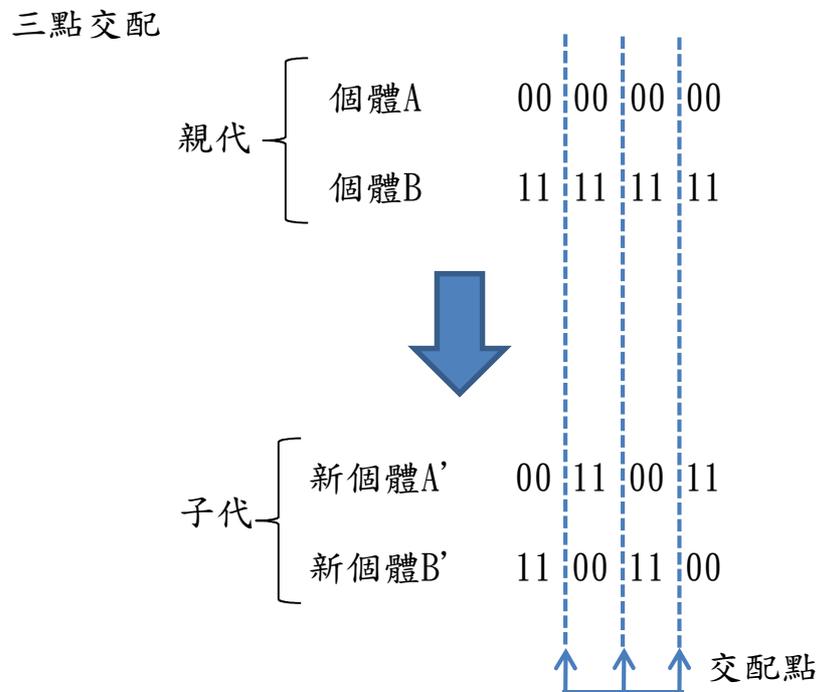


圖 2-14 三點交配解說圖

(資料來源:蘇進國,2008)

四點交配

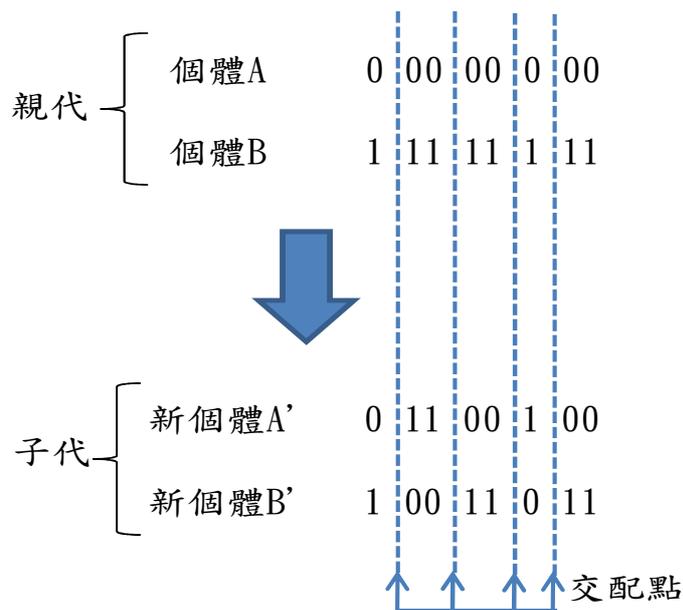


圖 2-15 四點交配解說圖

(資料來源:蘇進國,2008)

3. 均勻交配

均勻交配(Uniform Crossover)是指事前先產生和染色體長度相同之隨機交配因子 ω_i ($i=1, 2, \dots, L$)，隨機交配因子 ω_i 常以 0 或 1 來表示，0 表示親代個體位置上的基因值不變，1 則代表基因值要互換，以隨機交配因子作為交配行為之依據，即可使兩個配對個體編碼串上的基因都以相同的交配率進行交換，進而產生兩個新個體，其交配過程如圖 2-16 所示。

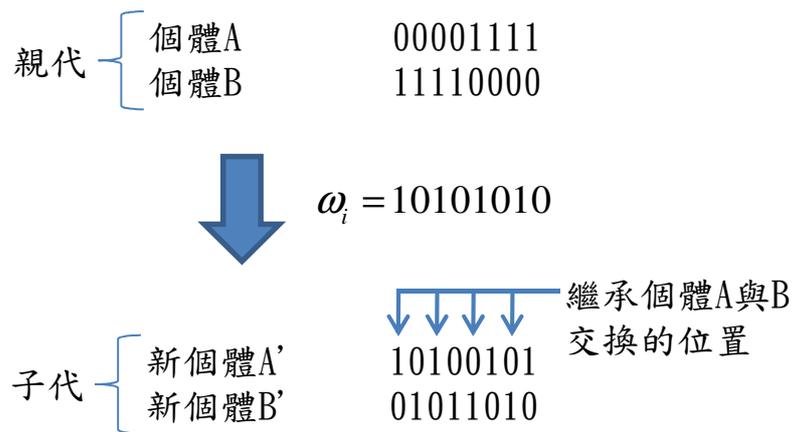


圖 2-16 均勻交配解說圖

(資料來源:蘇進國, 2008)

柒、突變

生物於細胞分裂複製的過程中，常有可能由於某些偶然因素而使複製產生錯誤，使得某些基因發生突變，進而產生新的染色體，例如：西元 2009 年的豬流感病毒突變為新品種的甲型 H1N1 流感病毒或者人們處於不健康的生活環境導致細胞突變，以致於產生癌症細胞等等皆是基因發生突變最實在的例子，儘管發生突變的機率相當小，但同時亦是產生新物種裡不可或缺的環節。因此，遺傳演算法中亦將透過對突變過程的模仿，達到產生新個體的目的。

遺傳演算法中的突變過程是依照突變率來隨機挑選個體編碼串上的基因數值，並使該位置之數值以不同於原有數值或物理意義形式呈現。以二進位編碼為例，在選定突變點後，將原本基因數值的 1 改為 0，原本 0 改為 1；實數編碼則必須注意突變點定義的數值區間，之後再以合理的隨機突變值取代原有數值。從產生新個體的角度來看，交配過程仍是最主要之方法，而突變可視為其輔助方法，透過兩者相輔相成地完成全域最佳解搜尋。因此，從

中可清楚了解突變最主要的目的，其實是在於改善局部搜尋能力，以及維持群體的多樣性，進而防止運算過程中發生早熟的現象。本小節將針對目前遺傳演算法較常用的簡單突變及均勻突變做詳細的介紹。

1. 簡單突變

簡單突變(simple mutation)是指在群體中依照突變率 P_m 隨機挑選編碼串中某基因位置為突變點，並針對突變點之基因值進行改變²⁶。其過程由於突變機率通常不高，以至於只會針對少數幾個基因值進行改變，相對於基因破壞性亦較小，群體發展的穩定性亦因此提高，但由於發揮作用較慢，大多要經過許多世代才能慢慢感受其效果。簡單編碼過程將以二進制編碼長為 6 的個體為例，如圖 2-17 所示。

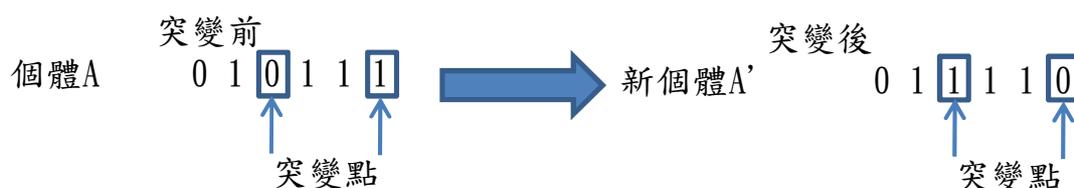


圖 2-17 簡單突變解說圖

(資料來源:蘇進國, 2008)

2. 均勻突變

均勻突變(Uniform Mutation)是實數編碼中的一種突變方法，且相當適用在突變數值介於某一範圍內。其運算流程是在群體中依照突變率 P_m 隨機挑選編碼串中某基因位置為突變點，並以取值的上下限為範圍，對突變點上的基因數值進行變化。假設以 U_{min} 和 U_{max} 為突變點的上下限範圍， α 為介於 $0 \sim 1$ 的隨機均勻分布概率， x 為突變點上的基因數值，而突變後的基因數值 x' 可由下式求得：

²⁶ Michalewicz(1992), " A Modified Genetic Algorithm for Optimal Control Problems," *Computers Math. Application*, Vol. 23, pp. 83-94. °

$$x' = U_{\min} + \alpha \cdot (U_{\max} - U_{\min})$$

(2.17)

由於該法能在每個基因值的限制範圍內任意移動，所以特別適用於前幾世代的遺傳演算法，藉此增加早期群體的多樣性並擴大搜尋領域，進而增加跳脫局部最佳解的機會。其演算過程則以實數編碼長度為 5 的染色體為例(如圖 2-19)，假設上下限範圍各為 11.2 與 0.2， α 為 0.6，經由式 2.18 即可求得突變後的基因數值。

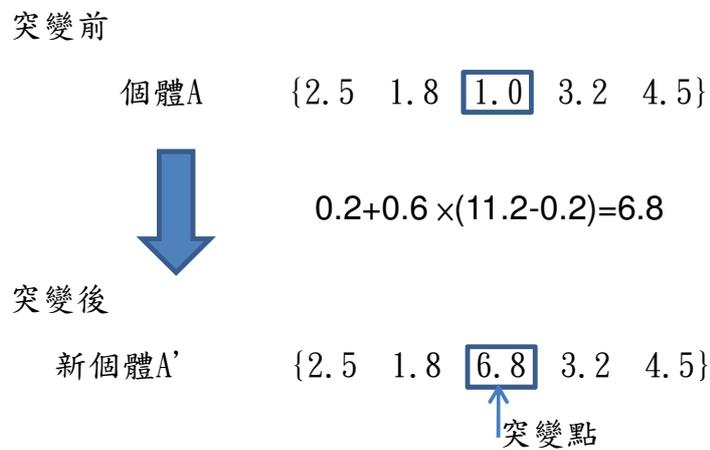


圖 2-18 均勻突變解說圖

(資料來源:蘇進國, 2008)

第三章 施工風險因子模組與評估系統

第一節 施工風險評估模組

97 年度呂世通(2008)²⁷由建築工程的分項工程及作業項目的架構開始，建立評估施工風險的基本骨幹，繼之探討的施工風險因素，充分瞭解影響施工成效的不利因素有那些，以便於在各分項工程及作業項目進行過程中，可以有評估或判斷的標的與方向，並針對施工過程中在面對各項風險因素情況下各可能的災害結果，就是表達了一個因果關係，對風險評估的主要目的——了解或預估可能最壞的狀況在那裡，那些是最具有優先順位要處理的項目或事情，如此才能將可用的資源確實置於正確的地方，而有效地防制不利事件的發生，或是將傷害減到最小。因此 97 年已整合整體建築施工風險評估的基礎架構，其評估架構的概念如圖 3-1 所示，而圖 3-2~3-4 為各不同結構系統之施工風險評估基礎架構。

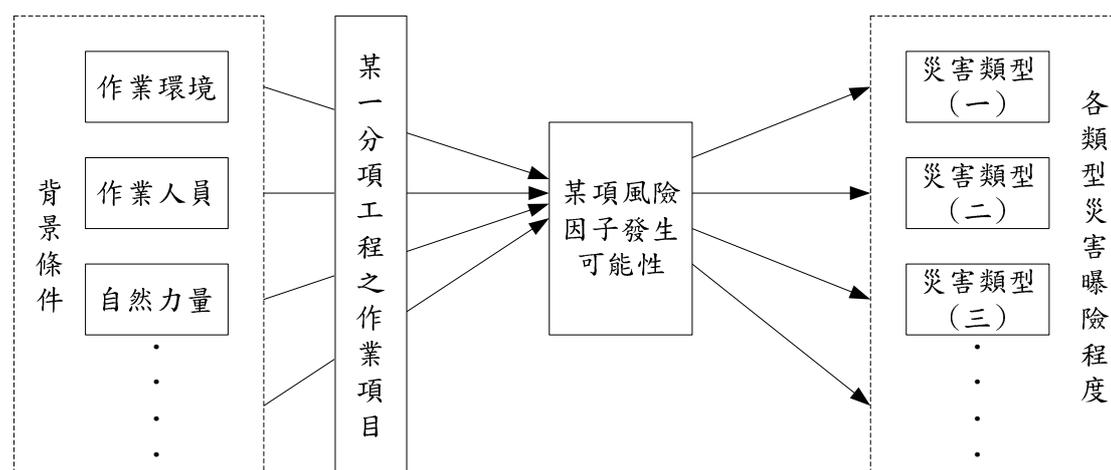


圖 3-1 建築施工風險評估架構概念圖示

(資料來源：呂世通, 2008)

²⁷ 呂世通(2008)，建築工程施工風險評方法之研究，內政部建築研究所委託研究報告。

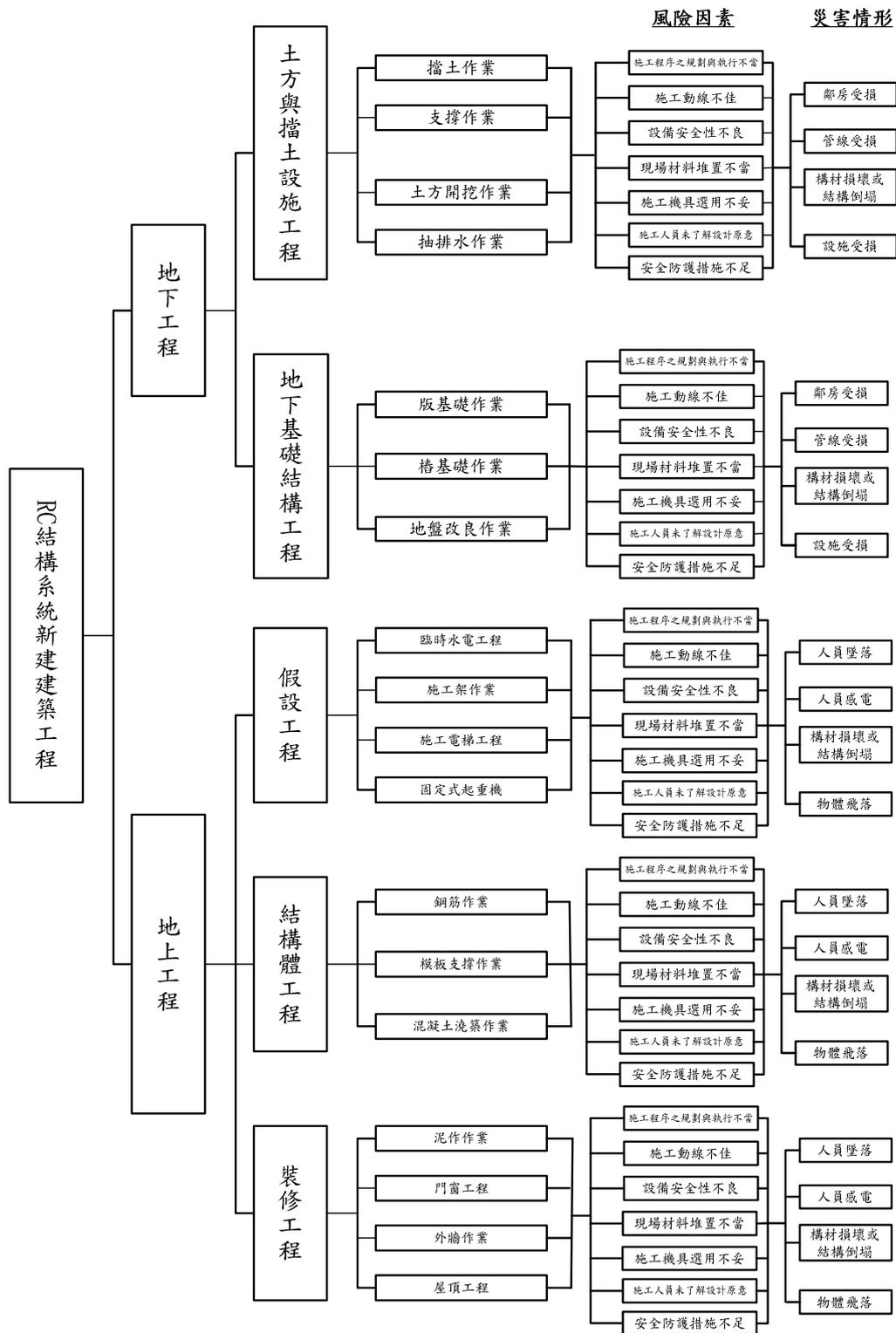


圖 3-2 RC 結構系統施工風險評估基礎架構

(資料來源：呂世通, 2008)

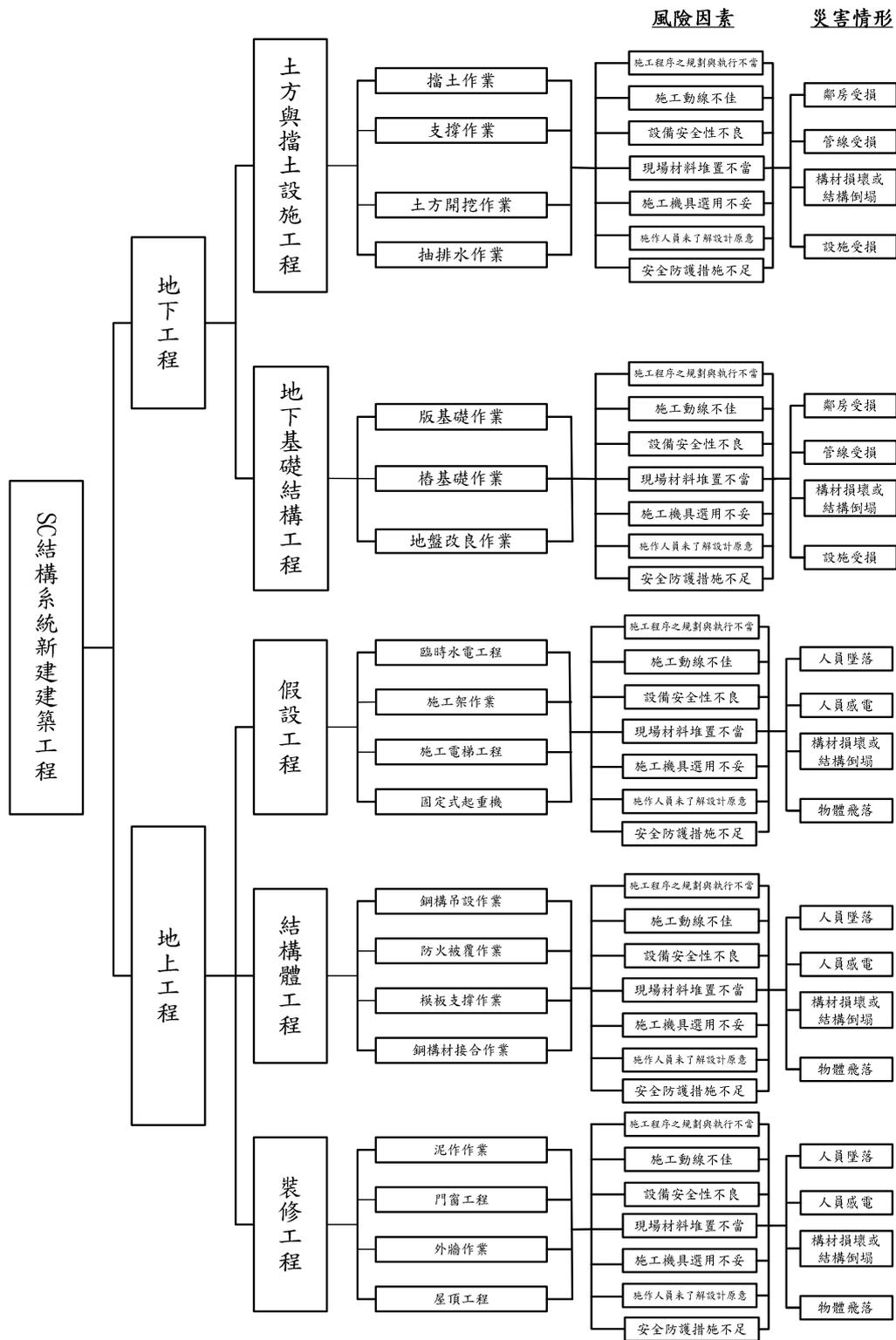


圖 3-3 SC 結構系統施工風險評估基礎架構

(資料來源：呂世通 2008)

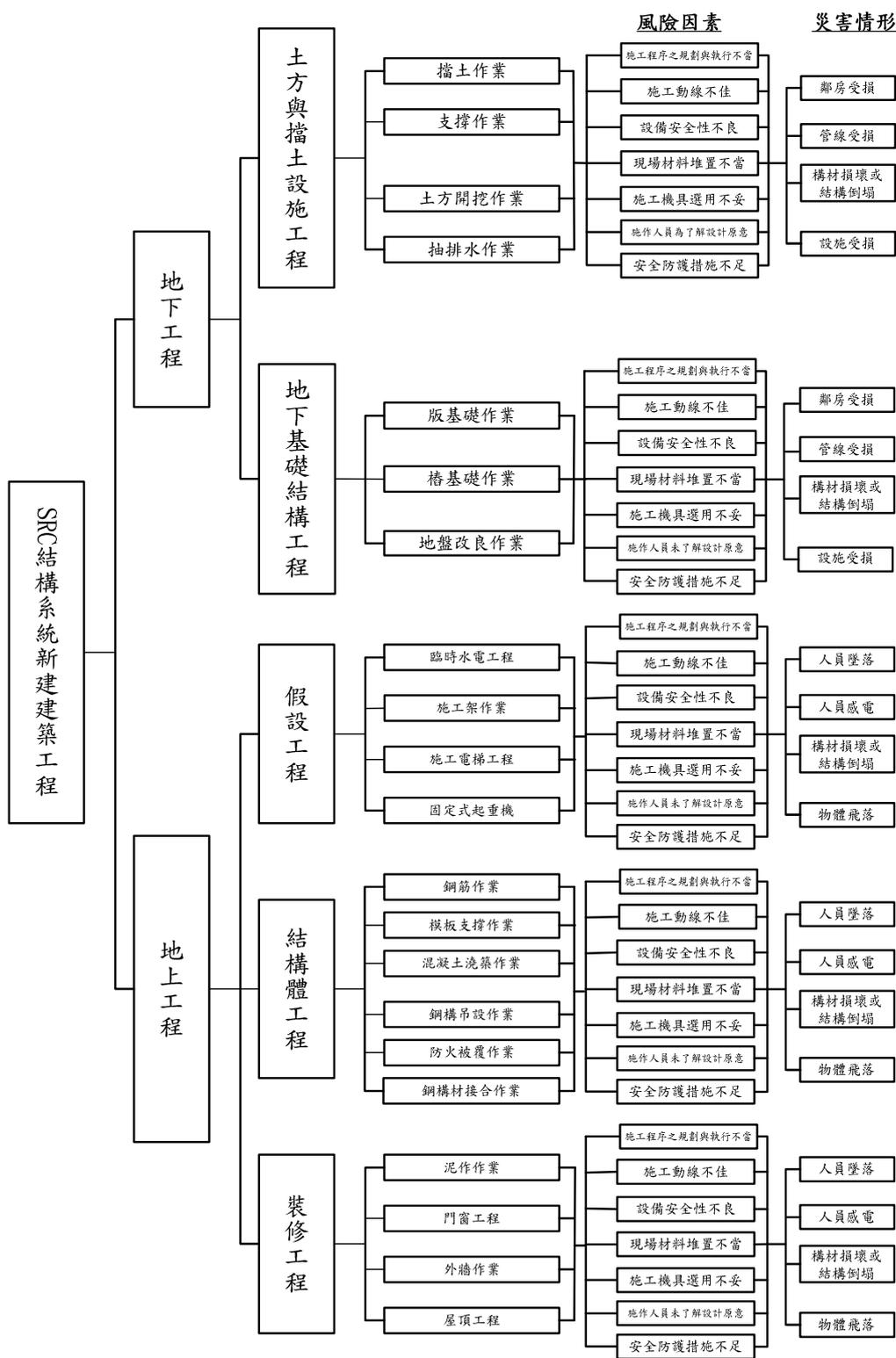


圖 3-4 SRC 結構系統施工風險評估基礎架構

(資料來源：本研究整理)

由歷年職災案例及專家座談會建議，修正 97 年建築工程施工風險因子如表 3-1。

表 3-1 建築施工風險因子模組(範例)

工程名稱	作業名稱	作業細項	編碼	風險因子	背景條件	災害類型
共通工程	施工架作業	組立	01-01-01	強度不足(構材破損、間距過大)	設計完善與否、施工自主檢查、施工人員素質	倒塌、飛落
				支柱接合處或底部不穩固		
				交叉拉桿未設置		
				壁連桿未設置		
				水平或斜撐材未設置		
				工作臺不足		
				施工架材質規格未符合國家標準規定		
	拆除	01-01-02	拆除順序不當	施工自主檢查、施工人員素質、	倒塌、飛落、翻倒	
			壁連桿不當切斷			
			施工架拆除後任意堆置			
	施工電梯作業	安裝、爬升、維修、拆卸	01-02-01	基座組裝及螺絲鎖固不確實	施工自主檢查、施工人員素質、	倒塌、飛落、翻倒
				支撐構架強度不足		
				吊環(鈎)鬆脫或破損老舊		
爬升速度失當						
拆卸作業不當						
基座不穩						
塔柱固定螺栓強度不足						
組配工作平臺未設計						
起重機作業	吊掛作業	01-03-01	惡劣氣候未採適當安全措施或停工	施工自主檢查、施工人員素質、	倒塌、飛落、翻倒	
			超載或超出作業範圍使用			
			吊掛不當			
			吊支撐構架、具或鋼索強度不足			
			過捲揚預防裝置失效或旋轉不當			
			機具、材料缺陷			

建築工程施工風險評估模組與案例建置

工程名稱	作業名稱	作業細項	編碼	風險因子	背景條件	災害類型
	捲揚機作業	裝設、使用、拆卸	01-04-01	基座不穩	施工自主檢查、施工人員素質、高度	倒塌、飛落
				起重機支撐腳重未確實外伸		
				於裝設作業時作業不當		
				裝設時未將螺絲鎖緊		
				超過負荷重量		
				構材破損不符規定		
				拆除作業不當		
未設計						
RC結構體工程	鋼筋作業	鋼筋綁紮組立、加工、切割、吊放	02-01-01	未依設計圖施工	施工自主檢查、施工人員素質、	倒塌、飛落
				鋼筋假組立未固定		
				接頭不當		
				預埋位置不當		
	模板作業	組立拆模	02-02-01	未按圖施工	設計完善與否、施工自主檢查、施工人員素質	倒塌、飛落
				支柱間距過大		
				底部與頂部接合處不良		
				未設置水平牽條與斜撐未設置		
				強度不足(構材破損)		
				提前拆模		
	拆模未予再撐					
	混凝土作業	混凝土澆置、搗實	02-03-01	混凝土強度不足(搗實養護不良、加水)	施工自主檢查、施工人員素質	倒塌、飛落
				澆置順序不當		
搗實震動過度						
澆置前未經技師按施工圖施工圖						
混凝土輸送管固定強度模擬						
鋼骨結構體工程	進料堆置	構件載運、起吊、堆置	03-01-01	運輸中構件未以鋼索綁牢	施工自主檢查、施工人員素質	倒塌、飛落
				堆置不當或不確實		
	構件組裝	吊裝、焊接、組裝	03-02-01	構材強度不足	設計完善與否、施工自主檢查、施	倒塌、飛落、火災
				焊接順序或方法錯誤		
				吊鉤未具有防滑舌片		

第三章 施工風險因子模組與評估系統

工程名稱	作業名稱	作業細項	編碼	風險因子	背景條件	災害類型
				鋼索強度不足(鋼索捲曲或變形)	工人員素質	
				螺栓鎖固過速使螺栓頭斷落		
				安裝電鉸工作架及安全設施綁紮固定不確實		
				電鉸作業區放置燃易燃物		
				電焊作業未設置防火措施		
裝修工程	外部裝修	材料堆置	03-03-01	材料堆置不整齊	施工自主檢查、施工人員素質	倒塌、飛落、翻倒
				堆置區地面不穩固		
				堆高機基楚不穩		
	石材工程	堆置、安裝	03-04-01	材料堆置不整齊	施工自主檢查、施工人員素質	倒塌、飛落、翻倒
				堆置區地面不穩固		
	磚牆構築	砌磚	03-05-01	砌築磚牆順序不當	施工自主檢查、施工人員素質	倒塌、飛落、翻倒
				磚體任意開洞		
				砌高牆未設置臨時支撐		
	建築設備工程	電梯工程	材料進場、組立	04-01-01	材料堆置不當	施工自主檢查、施工人員素質
行進路線規劃不當						
行駛路線障礙物未清除						
組配工作平台未設置或不當						
車體裝飾或維修防護不足						
鋼索破損強度不足						
水電作業		管線裝設	04-02-01	材料堆置不當	施工自主檢查、施工人員素質	倒塌、飛落、火災
				行進路線規劃不當		
				行駛路線障礙物未清除		
				電焊時防火保護不足		
消防作業		管線裝設	04-03-01	材料堆置不當	施工自主檢查、施工人員素質	倒塌、飛落、火災
				行進路線規劃不當		
				行駛路線障礙物未清除		
				電焊時防火保護不足		

建築工程施工風險評估模組與案例建置

工程名稱	作業名稱	作業細項	編碼	風險因子	背景條件	災害類型
基礎工程	壁體作業	導溝	05-01-01	穩定液不足	施工自主檢查、地質條件、地下水變化	崩塌、開挖面隆起、周圍地盤下陷、異常出水、開挖面土壤沉陷
				壁面土壤崩落		
				開挖面土壤流失		
				導溝強度不足		
		連續壁	05-01-01	壁體強度不足(瑕疵包泥、缺陷)	設計檢討完善與否、施工計畫書、開挖規模與型式、地質條件、地下水變化、監測系統計畫完整性	
				壁體貫入深度不足		
				壁體單元接縫不當。		
				鋼筋籠整體性分布掛點強度不足		
		鋼軌樁	05-01-02	鋼軌樁強度不足		
				鋼軌樁貫入深度不足		
				鋼軌板樁拔除後空隙未回填確實。		
				粘土層打設地錨土壤摩擦力或承载力不足		
				抽排水不足		
		鋼板樁作業	05-01-03	鋼板樁強度不足		
				接頭處理不當造成漏水		
				打樁或拔樁空隙未確實處理。		
	鋼板樁貫入深度不足					
	預壘樁作業	05-01-04	預壘樁強度不足			
			鑽掘垂直度施工不良			
			貫入深度不足			
樁施工品質不良						
開挖及支撐作業	開挖作業	05-02-01	開挖順序不當	施工自主檢查、開挖規模與型式、地質條件、地下水變化、監測系統計畫完整性		
			超挖			
			鄰房安全措施未盡完善			
			開挖區周邊超載荷重不當。			
	支撐架設	05-02-02	支撐材強度不足			
			支撐架設時間不當			

第三章 施工風險因子模組與評估系統

工程名稱	作業名稱	作業細項	編碼	風險因子	背景條件	災害類型
基礎工程	基礎施工	支撐預壓	05-02-03	中間樁架設不足或不當		
				水平支撐上堆置材料		
				擋土支撐未施加足夠的預荷		
				支撐受力不均勻		
		拆除	05-02-04	水平支撐解壓協調不一致		
				支撐拆除過快。		
	樁基作業	05-03-01	土質鬆軟	施工自主檢查、地質條件、地下水變化	周圍地盤下陷、異常、湧水	
			地下水管控不良			
			鋼筋籠拆置安全			
	筏基作業	05-03-02	土質鬆軟	施工自主檢查、地質條件、地下水變化	開挖面隆起、周圍地盤下陷	
			地下水管控不良			
	筏基作業 (逆打工法)	05-03-03	再撐間距不當、擋土支撐構材拆除不當	施工自主檢查、地下水變化、地質條件	開挖面隆起、周圍地盤下陷、開挖面下陷	
	抽排水作業	抽排水作業	06-01-01	抽排水量不當	施工自主檢查、地質條件、地下水變化	開挖面隆起、周圍地盤下陷、異常出水
				週邊環境調查不實		
				點井設置錯誤		
				地下水位超抽。		
			鑽孔安裝水壓計時未貫穿透水層，空隙未封填確實。			

(資料來源:本研究整理)

第二節 施工風險綜合評估系統建置

綜合評估系統裡主要是針對模糊規則、背景評分數值與嚴重程度參數三部份進行綜合評估。另外，必須注意綜合評估的對象須要針對相同的結構體系、工程項目、作業項目、作業細項、背景條件、背景論域、風險因子條件與災害類型條件進行綜合評估。

對嚴重程度而言，本研究將運用遺傳演算法具有最佳化的特性，以眾位專家對風險程度認知的平均值作為求解的目標函數，進而對內部嚴重程度參數進行最佳化與合理化。而各嚴重程度參數皆會假設其機率分佈為常態分佈，並取其參數未超過四個標準偏差的最大與最小值，作為該嚴重程度參數在遺傳演算法中的搜尋空間，藉此亦可得知各風險因子對某一災害的嚴重程度大小，並可省略人工排序之步驟。對模糊控制規則與背景評分數值而言，本研究將分別以專家的最大共識與取平均值的方式來綜合考量多位專家意見。其綜合評估流程與遺傳演算法流程可由圖 3-5 與圖 3-6 所示。

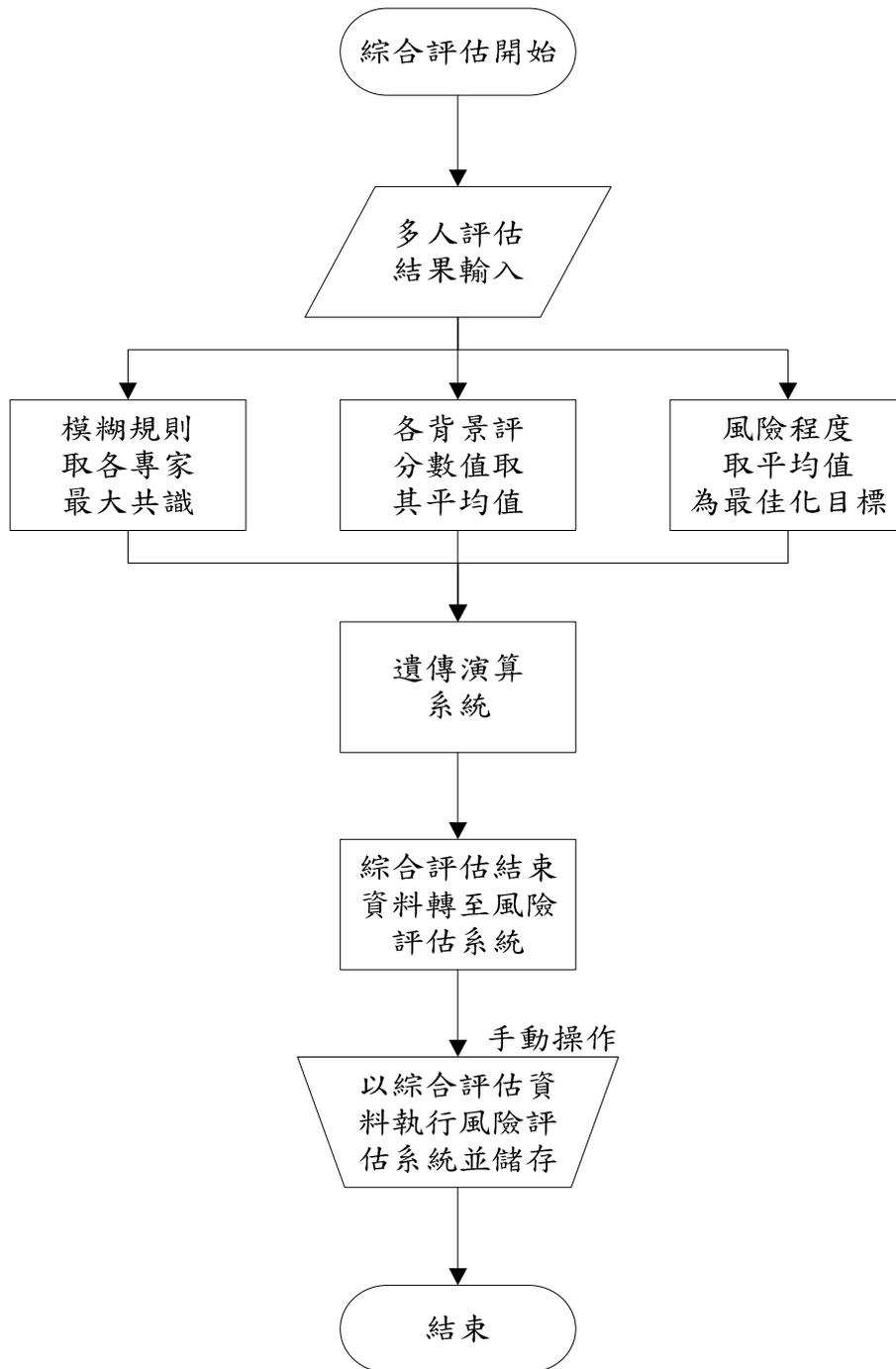


圖 3-5 綜合評估流程圖

(資料來源:本研究整理)

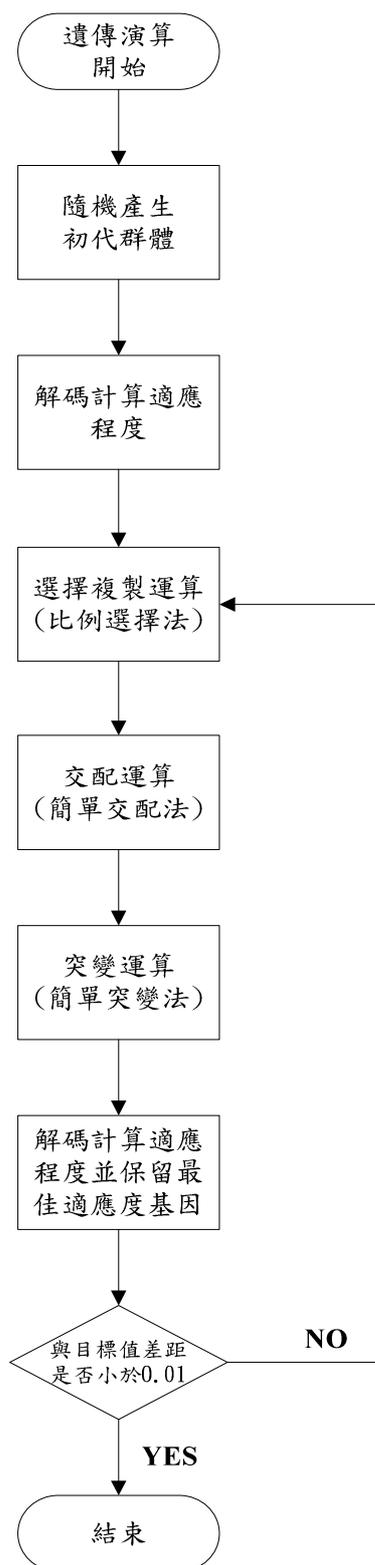


圖 3-6 遺傳演算法流程圖

(資料來源:本研究整理)

考量到使用者存取檔案的便利性以及儲存有參考價值資料的必要性，本研究特別針對這些需求，另外新增綜合評估資料管理系統此一功能。該管理系統可任意新增刪除專案與細部作業資料，亦可針對某一專案或細部作業進行搜尋，透過細部作業的選擇而回到上一年度計畫所開發之風險評估系統中，去除重新輸入之不便，進而達到存取檔案便利性之目的。另外，亦可經由本管理系統之風險整合，迅速計算在某一專案內依照總工程、工程項目與作業項目所區分的災害風險程度平均值，並以 PDF 輸出各項表格，以利於管理者能即時了解整體風險狀況與必須風險轉移之項目。由於本研究僅探討風險評估方法與系統的建置，對於風險轉移的部分在此將不進行深入探討。對於該系統的操作圖示將容後於下節之綜合評估系統操作與案例模擬中呈現。

在完成上述案例之建築工程施工風險評估分析之後，同時亦回顧了 97 年度計畫開發程式之案例模擬分析流程，對於本研究案於建築工程施工風險評估系統中新增之綜合評估系統與資料庫功能，將持續利用此一案例對該新增功能進行詳細的操作流程說明與介紹。

綜合評估系統其意義為何?顧名思義即是指集合一位專家以上之意見來對某一件事情進行估評之系統。因此，使用該系統之前須先蒐集諸位專家學者針對某一細部作業的評估意見，表示每位專家必須針對相同的結構體系、工程項目、作業項目、作業細項、背景條件、背景論域、風險因子條件與災害類型條件進行建築工程施工風險評估分析，集合每位專家之風險評估檔案來作為綜合評估系統輸入之檔案。

本研究假設目前已有三位專家針對該案例進行建築工程施工風險評估分析，且風險評價皆屬於中度危險可接受之範圍，而現在管理人員欲綜合考量三位風險評估數據，以增加數據之可信度，其操作流程說明如下:首先執行建築工程施工風險評估系統後進入系統主畫面(如圖 3-7)，由於綜合評估系統僅能由管理人員所使用與管控，其他非相關人員並無權使用，考量此一因素，

建築工程施工風險評估模組與案例建置

所以必須先輸入管理者密碼才可執行綜合評估系統(如圖 3-8~圖 3-9)，之後點選「編輯」選項內的綜合評估系統(如圖 3-10)，即可針對某一作業細項進行綜合評估。接著於綜合評估系統畫面中點選欲綜合評估之資料鍵(如圖 3-11)，隨後出現開啟舊檔畫面並選擇欲評估之檔案(如圖 3-12)，在點擊開啟舊檔後即開始進行參數最佳化作業(如圖 3-13)，當最佳化執行完畢後，即會顯示資料最佳化結束之畫面(如圖 3-14)，即表示內部參數已最佳化結束。離開綜合評估系統之後，隨即會將最佳化後之資料帶往施工風險評估系統中，只需再次執行背景論域設定鍵、嚴重程度設定鍵與執行分析鍵，即可重新針對最佳化後之參數進行風險評估，最後只需回到系統主畫面按「ctrl+s」即可將風險評估結果儲存於桌面，同時亦完成該細部作業之綜合評估。



圖 3-7 系統主畫面圖

(資料來源:本研究整理)

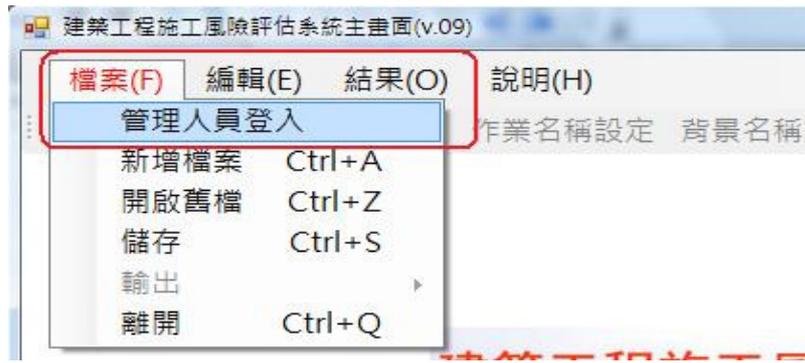


圖 3-8 管理人員登入選項示意圖

(資料來源:本研究整理)

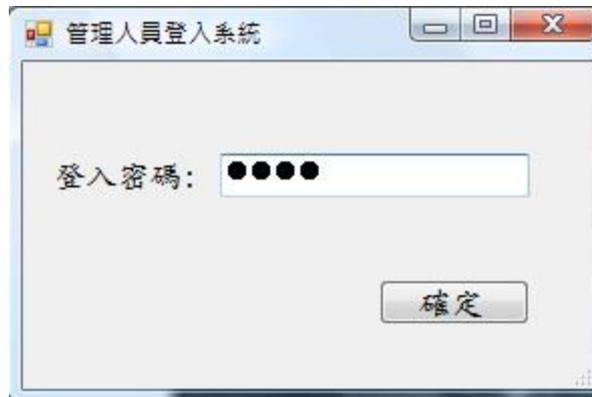


圖 3-9 管理人員登入系統畫面示意圖

(資料來源:本研究整理)

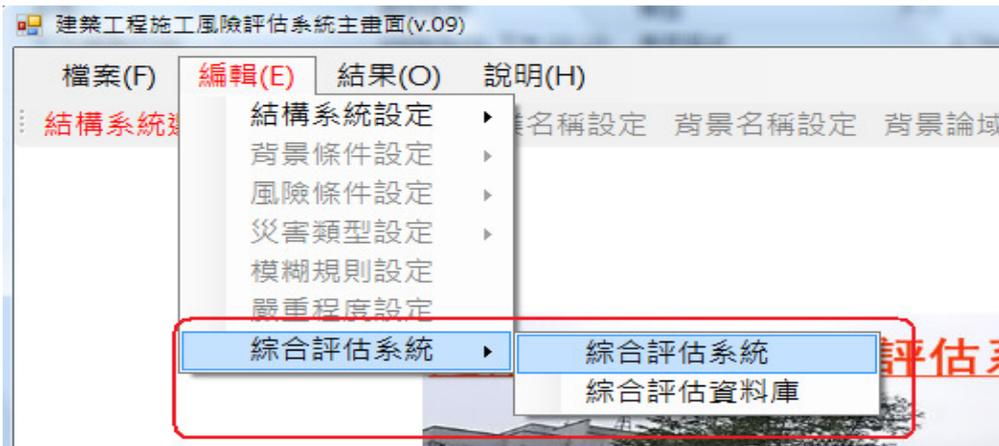


圖 3-10 綜合評估系統選單示意圖

(資料來源:本研究整理)

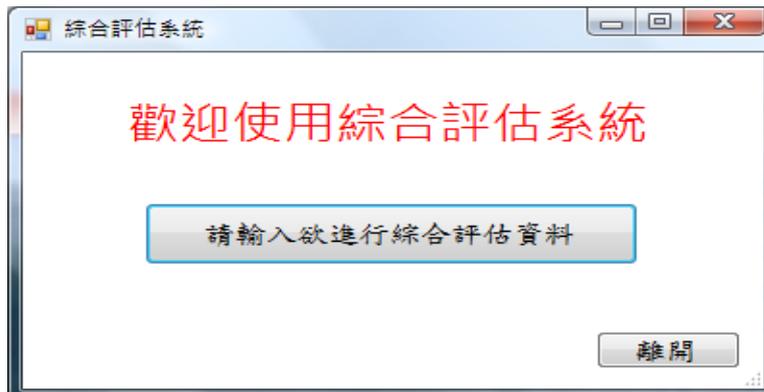


圖 3-11 綜合評估系統表單示意圖
(資料來源:本研究整理)

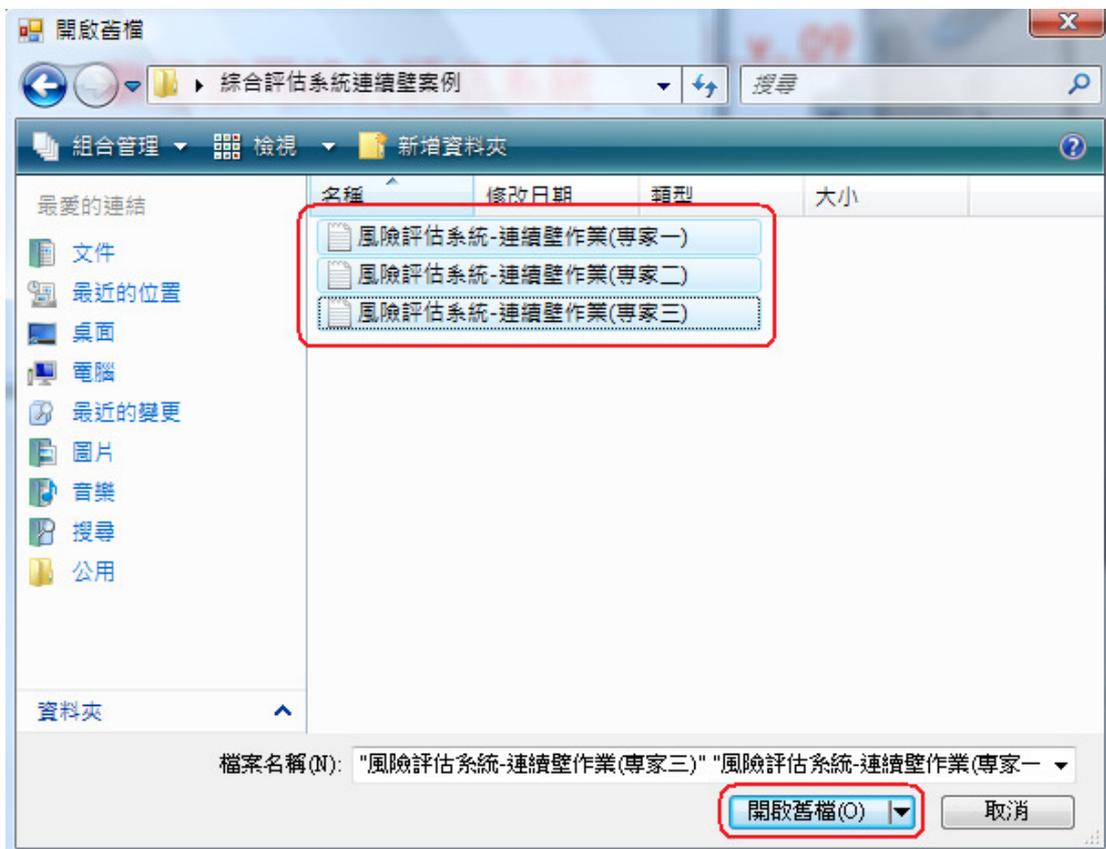


圖 3-12 輸入綜合評估資料示意圖
(資料來源:本研究整理)

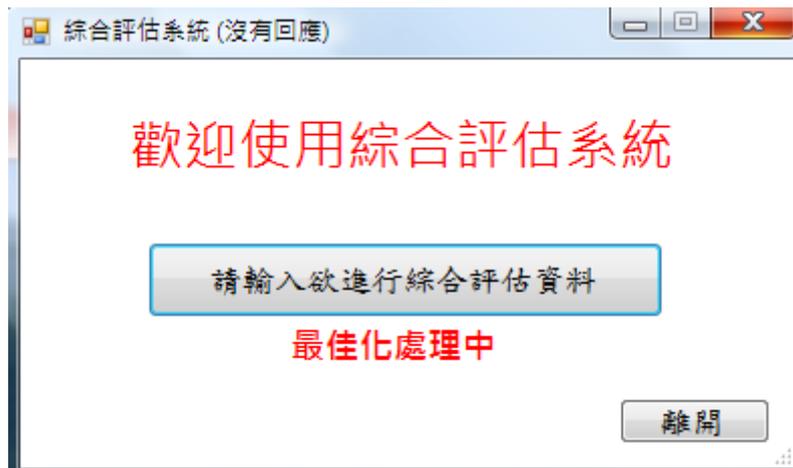


圖 3-13 最佳化執行時畫面圖

(資料來源:本研究整理)

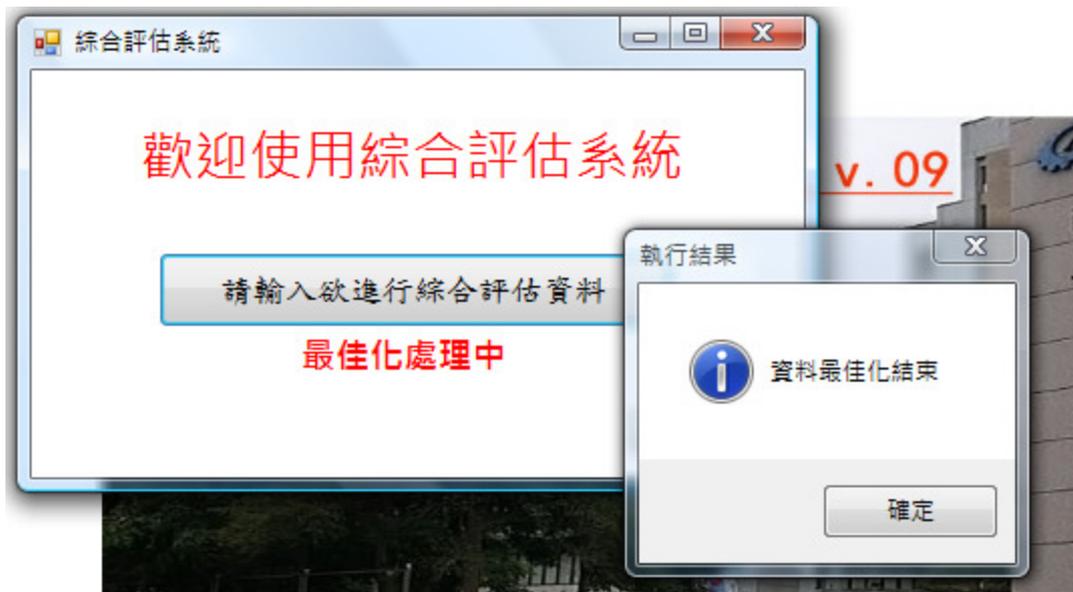


圖 3-14 最佳化結束圖

(資料來源:本研究整理)

運用綜合評估系統來整合多位專家學者對於某細部作業之風險評估意見後(綜合評估結果如圖 3-15~3-20)，使該筆資料亦有相當程度的參考價值，倘

建築工程施工風險評估模組與案例建置

若未來有相同施工環境之作業細項，即可立即使用內部已存檔之評估資料，進行該作業細項之風險評估。

嚴重程度設定

請輸入0-1 來表達災害發生的嚴重程度

風險因子\災害類型	壁體崩塌	異常出水出泥	開挖面隆起	開挖面沉陷	周圍地盤下陷
壁體強度不足	0.455571847507331	0.443401759530792	0.452932551319648	0.485483870967742	0.424310850439883
壁體貫入深度不足	0.159090909090909	0.967057673509286	0.199266862170088	0.372434017595308	0.17741935483871
壁體單元接縫不當	0.96891495601173	0.17624633431085	0.93088954056696	0.204692082111437	0.981329423264907

設定完成

圖 3-15 災害嚴重程度最佳化後之結果圖

(資料來源:本研究整理)

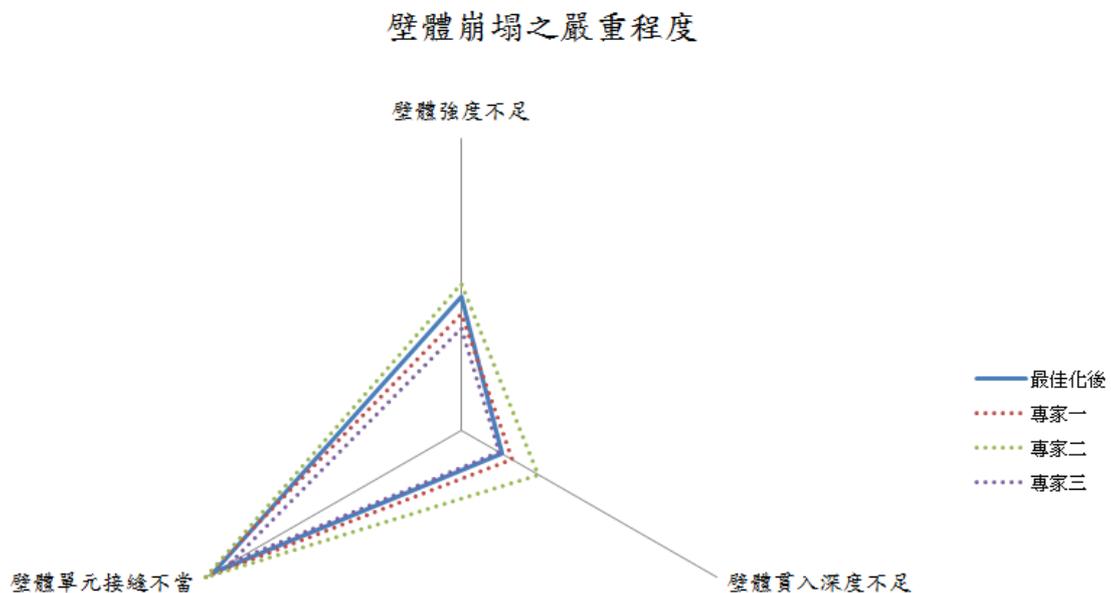


圖 3-16 壁體崩塌嚴重程度最佳化前後示意圖

(資料來源:本研究整理)

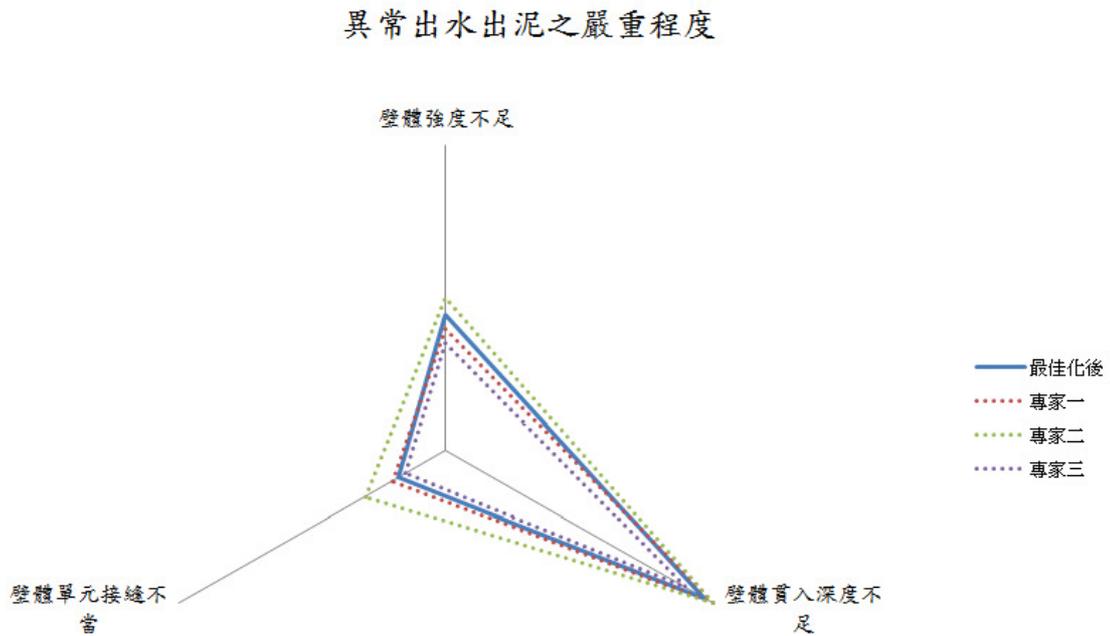


圖 3-17 異常出水出泥嚴重程度最佳化前後示意圖

(資料來源:本研究整理)

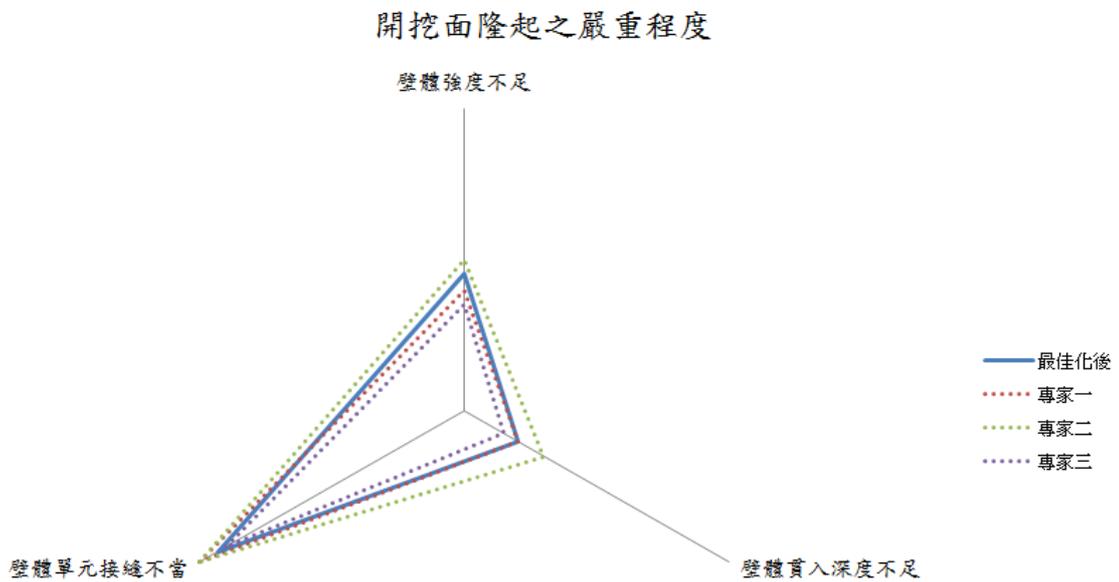


圖 3-18 開挖面隆起嚴重程度最佳化前後示意圖

(資料來源:本研究整理)

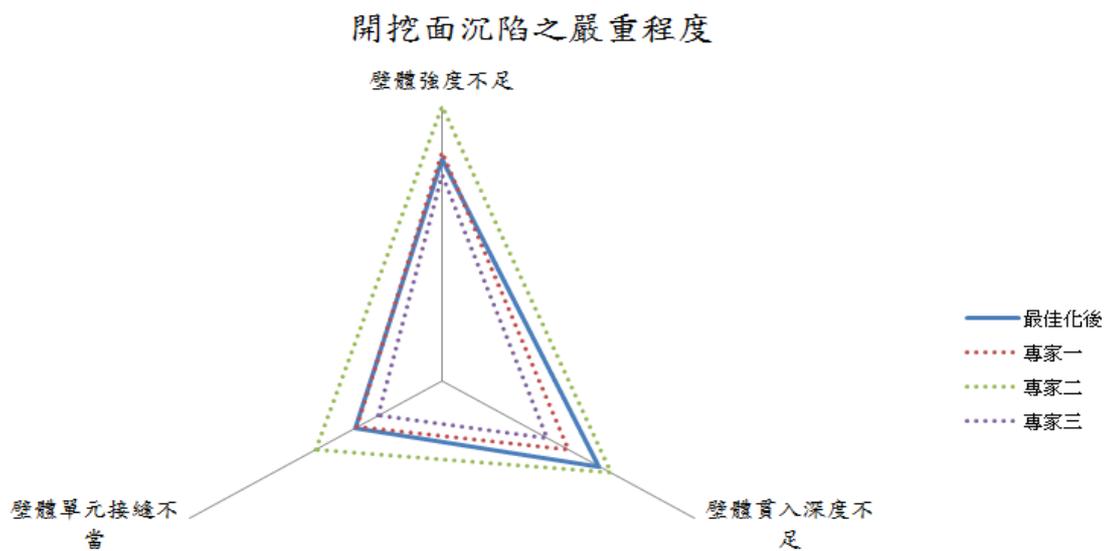


圖 3-19 開挖面沉陷嚴重程度最佳化前後示意圖

(資料來源:本研究整理)

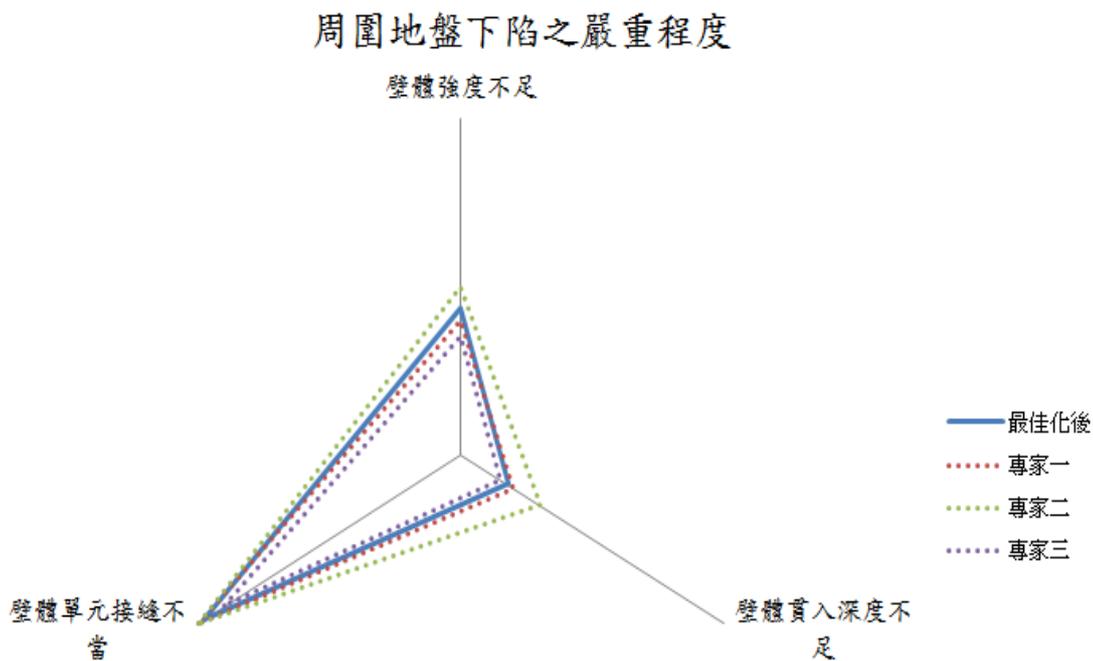


圖 3-20 周圍地盤下陷嚴重程度最佳化前後示意圖

(資料來源:本研究整理)

第四章 案例資料庫建置

第一節 施工風險評估系統之應用

本研究依照行政院研考會所定義的風險評估概念，針對建築工程施工風險進行評估的程序，可以分成以下幾個步驟。

- 一、風險辨識：也就是我們必須針對建築工程施工過程中，將會產生較重大施工災害之作業項目予以整理出來，所以第一步必須系統性地整理出重要的分項工程及其相關作業項目所形成的架構(其對後續確認的風險因子才會有一個評估的主體)，接著再對建築工程施工風險來源(風險因子)加以辨識，也就是可以依照各分項工程特性及其作業項目內涵去思考相關的風險因子，最後再將這些風險因子會造成的各類型災害予以連結起來，形成一個建築施工風險評估的基礎架構。
- 二、風險分析：基於前述施工風險評估之基礎架構下，各分項工程中之作業項目所面臨的風險因子，針對其在某些背景條件下，經由具經驗的專業人員評估其發生的主客觀機率或可能性(Probability or Possibility)，作為後續計算風險程度的第一項基本元素。而最後會造成施工的災害，可能是各項風險因子所綜合產生的結果，所以在災害嚴重度(Severity)的判斷上，應是由每項風險因子所造成的災害之可能嚴重程度來加以評斷，這項災害嚴重度的判斷值也是計算風險程度的另一項重要元素。接著依照一般量化風險的概念來計算這兩項評估值之相乘積(Product)，而獲取施工災害的風險程度大小，作為後續風險評量之基礎。

三、風險評量：根據前述推斷之各項風險因子發生的程度高低，以及各可能災害的風險程度大小計算結果，我們可以根據這些訊息，將這些風險因子發生程度及災害風險程度加以排序，或是與事先製定的標準(或是一般客觀的標準)做比較，以便作為工程管理人員針對重要的風險因子，擬訂相應的風險管理策略，或運用風險管理技術加以處理，將可用的資源確實運用在所需要的項目上，達到風險管理應有的目的。茲以圖 4-1 展示建築工程施工風險評估程序的基本架構如下。

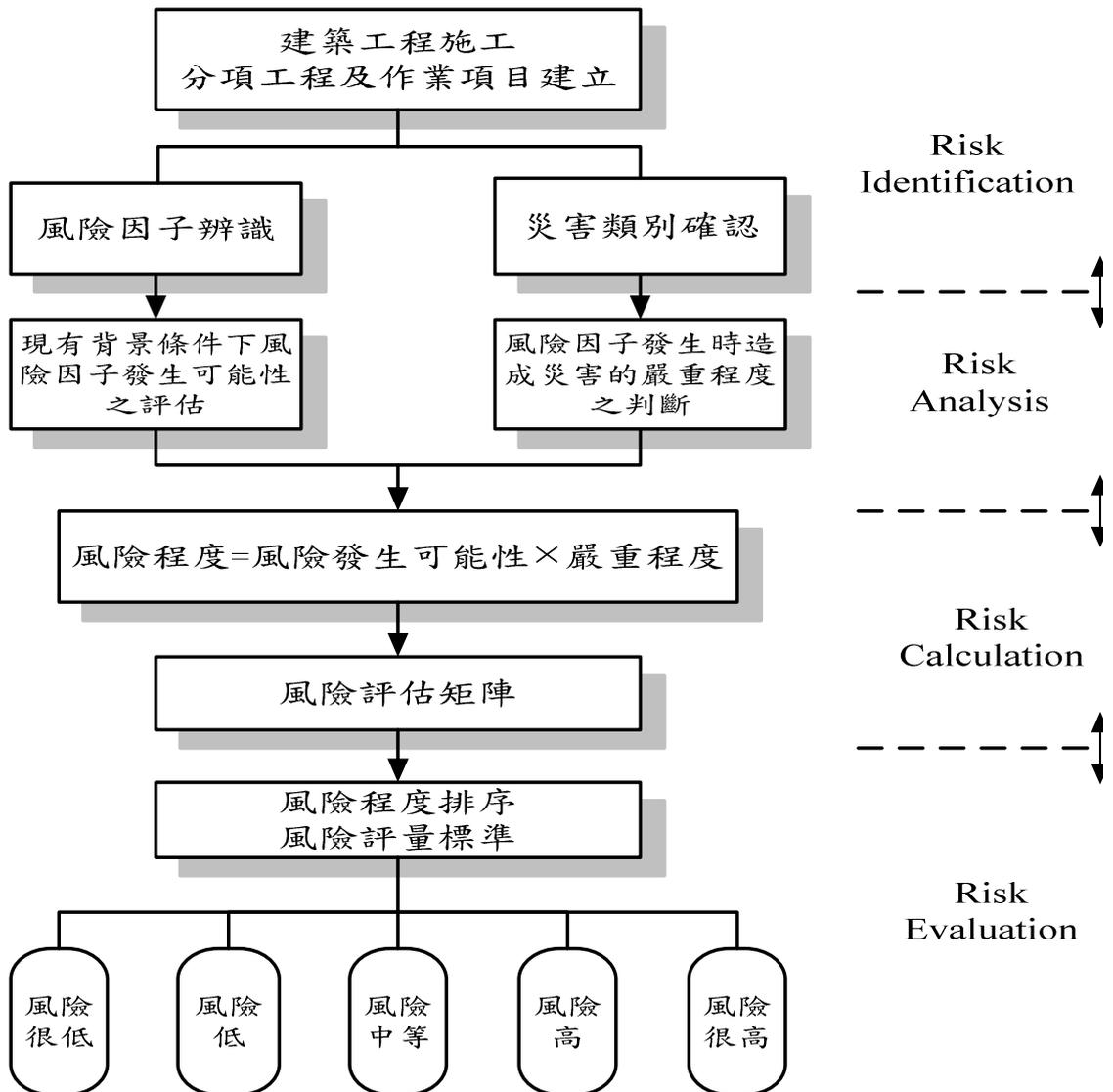


圖 4-1 建築工程施工風險評估程序的基本架構

(資料來源:本研究整理)

實際建築工程施工風險評估如圖 4-2 所示，營造廠商可使用風險評估系統進行風險分析與風險評價，若風險評價後風險過高則採用研擬替代方案及處置對策以降低風險。將由第三節基礎工程-連續壁細部作業的實際案例解析，進行風險評估之流程範例。

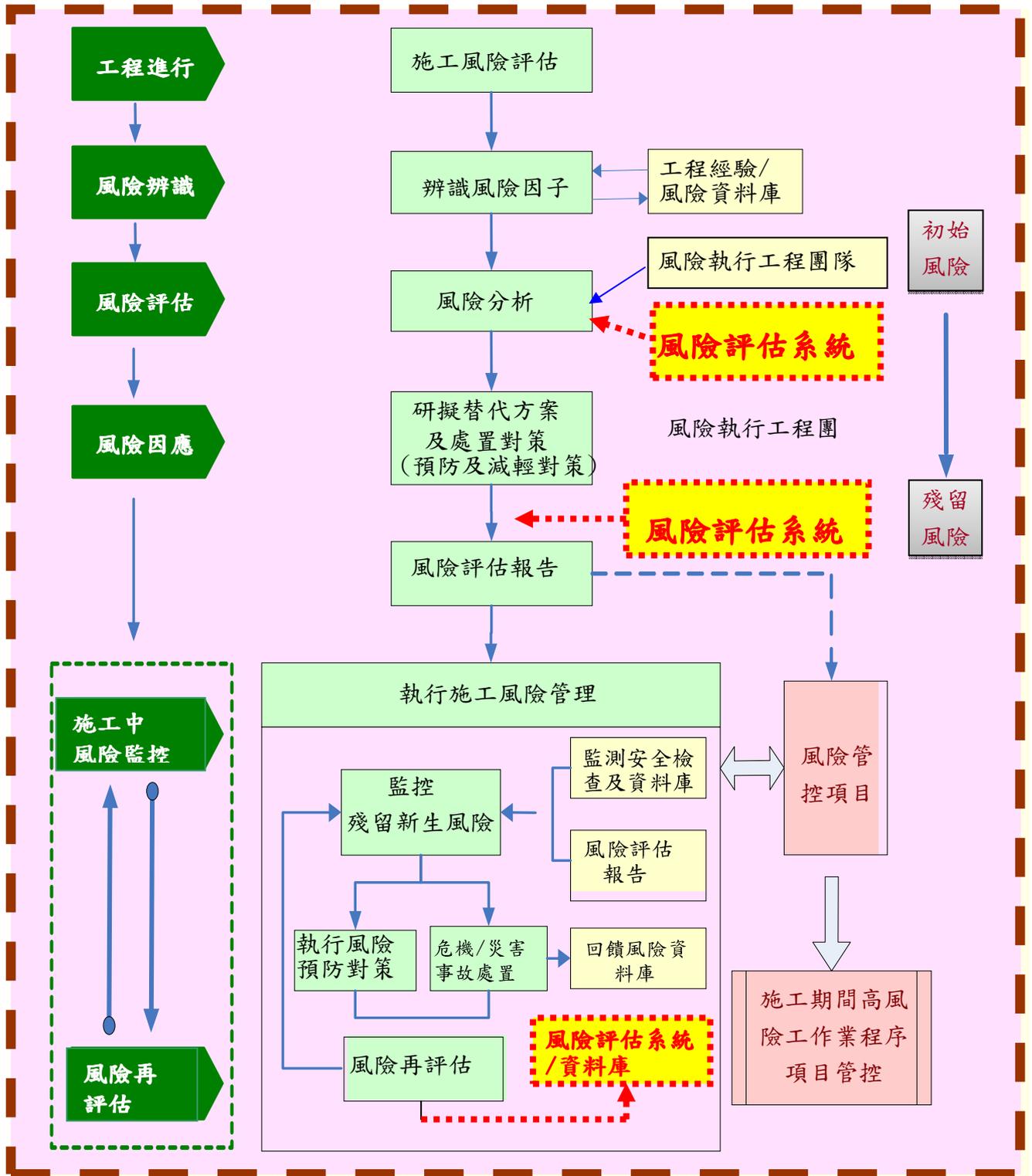


圖 4-2 建築工程施工風險評估流程

(資料來源:本研究整理)

本研究針對建築工程之工程災害為主要探討對象，由歷年建築研究所相關建築施工災害之致災要因，惟在不同地質、施工工法、施工人員特性、氣候及高度等條件，其施工風險發生可能性皆有所差異。

茲以連續壁作業為例說明，其主要風險因子為壁體瑕疵包泥、缺陷及強度不足、壁體貫入深度不足、壁體單元接縫不等原因，而其發生之可能性隨設計檢討完善與否、施工計畫書完整性、開挖深度、地質條件、地下水位、監測系統計畫完整性而有所差異，所造成之主要直接災害為崩塌、開挖面隆起、周圍地盤下陷、異常出水，而主要直接災害導致之衍生災害如人員傷亡(墜落、滾落、跌倒觸電、感電、被夾、被捲、被撞、被切、被割)、損鄰事件(鄰房龜裂、鄰房傾倒)、公共安全事件(振動、噪音地下管線損害、公共建物、設備損害)，因不易確認其相關性及嚴重程度，則不列入主要災害類別分析。

基礎工程-連續壁作業進行風險評估時，使用者依工程特性、工區地質及水文資料、設計圖說及施工計畫書，依工程經驗審視決定施工風險因子。

連續壁作業風險因子可區分為壁體強度不足(瑕疵、包泥、缺陷或施工不良)、壁體貫入深度不足與壁體單元接縫不當等共三種風險因素。並建立背景因素，連續壁作業背景因素可區分為設計檢討完善與否(有無完善檢討)、施工計畫書完整性(有無完善檢討)、開挖深度(2~25m)、地質條件(極堅硬土壤~極軟弱土層)、地下水位(0~30m)與監測系統計畫完整性(有無完善擬定)等共六種背景因素。災害類型則區分為壁體崩塌、異常出水出泥、開挖面隆起、開挖面沉陷與周圍地盤下陷等共五種災害背景因素類型。本研究將以上述之背景條件、風險因子與災害類型作為本小節實際案例模擬之基本設定，透過模糊規則庫與嚴重程度的設定，進而完成施工風險評估分析(圖 4-3)。最後再經由綜合評估系統同時考量多人之意見，進而減少使用人員之間對於事物判斷上的差異，使分析結果更趨合理化，亦藉此能讓使用者對於建築工程施工風險評估系統有更深入的了解並熟悉完整操作流程。

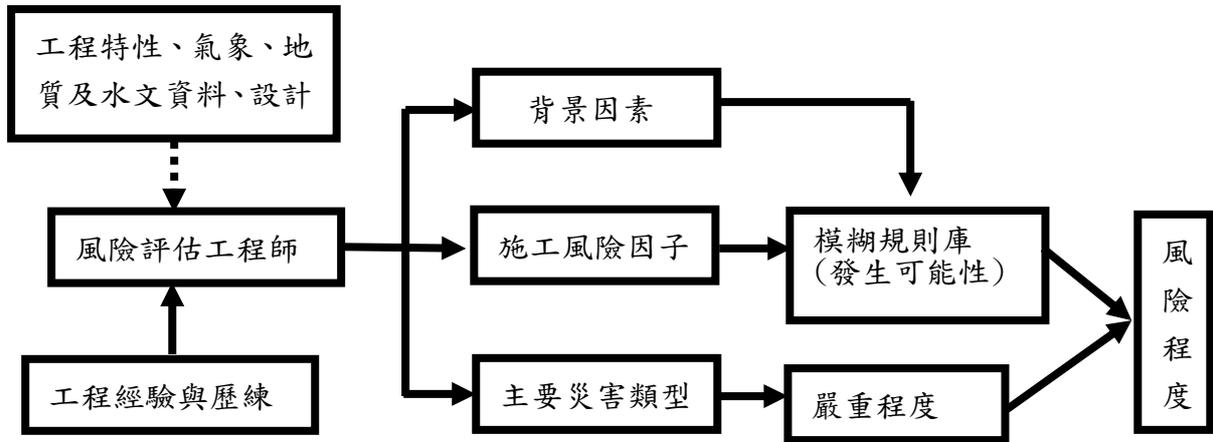


圖 4-3 風險評估流程

風險評估工程師透過對眾多案例之蒐集與分析，進而訂定背景因素與風險因子當中的相互關係(如表 4-1)和風險因子與災害類型當中嚴重程度關係(如表 4-2)，並藉此可轉化為建築工程施工風險評估系統中所需之模糊規則資料庫(如圖 4-4)與災害嚴重程度(如圖 4-5)。

表 4-1 基礎工程-連續壁作業可能性關係表

背景條件 \ 風險因子		壁體強度不足 (瑕疵、包泥、缺陷或施工不良)	壁體貫入 深度不足	壁體單元 接縫不當
		設計檢討完善與否	最差(無檢討)	3
	很好(有完善檢討)	1	1	1
施工計畫書完整性	最差(檢討)	5	3	5
	很好(有完善檢討)	1	1	1
開挖深度	最差(大於 30m)	3	4	5
	很好(小於 9 m)	1	1	1
地質條件	最差(極軟弱土層 MH, SH)	4	5	4

	很好(極堅硬土壤 C, GW)	1	1	1
地下水位	最差(地面下 0 m)	5	4	3
	很好(地面下 10 m)	1	1	1
監測系統計 畫完整性	最差(無)	4	3	2
	很好(有完善擬定)	1	1	1

備註：1:發生機率很低 2:發生機率低 3:發生機率普通 4:發生機率高 5:發生機率很高

(資料來源:本研究整理)

表 4-2 基礎工程-連續壁作業災害嚴重程度關係表

風險因子 \ 災害類型	壁體崩塌	異常出水出泥	開挖面隆起	開挖面沉陷	周圍地盤下陷
壁體強度不足	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4
壁體單元接縫不當。	0.2	1.0	0.2	0.3	0.2
壁體貫入深度不足	1.0	0.2	1.0	0.2	1.0

備註：1:極嚴重 0:無影響

(資料來源:本研究整理)

設計檢討完善與	壁體強度不足	壁體貫入深度不足	壁體單元接縫不當
最差	發生機率普通	發生機率很高	發生機率普通
差	發生機率很低	發生機率高	發生機率很低
尚可	發生機率很低	發生機率普通	發生機率很低
好	發生機率很低	發生機率低	發生機率很低
很好	發生機率很低	發生機率很低	發生機率很低

施工計畫書完整	壁體強度不足	壁體貫入深度不足	壁體單元接縫不當
最差	發生機率很高	發生機率普通	發生機率很高
差	發生機率高	發生機率很低	發生機率高
尚可	發生機率普通	發生機率很低	發生機率普通
好	發生機率低	發生機率很低	發生機率低
很好	發生機率很低	發生機率很低	發生機率很低

開挖深度\風險	壁體強度不足	壁體貫入深度不足	壁體單元接縫不當
最差	發生機率普通	發生機率高	發生機率很高
差	發生機率很低	發生機率普通	發生機率高
尚可	發生機率很低	發生機率低	發生機率普通
好	發生機率很低	發生機率很低	發生機率低
很好	發生機率很低	發生機率很低	發生機率很低

地質條件\風險	壁體強度不足	壁體貫入深度不足	壁體單元接縫不當
最差	發生機率高	發生機率很高	發生機率高
差	發生機率普通	發生機率普通	發生機率普通
尚可	發生機率低	發生機率低	發生機率低
好	發生機率很低	發生機率很低	發生機率很低
很好	發生機率很低	發生機率很低	發生機率很低

地下水位\風險	壁體強度不足	壁體貫入深度不足	壁體單元接縫不當
最差	發生機率很高	發生機率高	發生機率普通
差	發生機率高	發生機率普通	發生機率很低
尚可	發生機率普通	發生機率低	發生機率很低
好	發生機率很低	發生機率很低	發生機率很低
很好	發生機率很低	發生機率很低	發生機率很低

監測系統計畫完	壁體強度不足	壁體貫入深度不足	壁體單元接縫不當
最差	發生機率高	發生機率普通	發生機率低
差	發生機率普通	發生機率很低	發生機率很低
尚可	發生機率低	發生機率很低	發生機率很低
好	發生機率很低	發生機率很低	發生機率很低
很好	發生機率很低	發生機率很低	發生機率很低

圖 4-4 連續壁作業模糊規則資料庫圖

(資料來源:本研究整理)



圖 4-5 連續壁作業災害嚴重程度設定圖

(資料來源:本研究整理)

本研究假設該案例於施工前執行本風險評估系統進行施工風險評估分析，背景條件狀況為:設計並沒有進行檢討(最差情況)、施工計畫書無檢討(最差情況)、開挖深度 12m(情況佳)、地質條件為黏土層(CL)(情況普通)、地下水位為 5m(情況普通)與無監測系統計畫(最差情況)(表 4-3)，輸入情況如圖 4-6 所示。執行分析後，即可求得該案例各風險因子發生的可能性與災害的風險程度(如圖 4-7、圖 4-8)。

表 4-3 連續壁作業風險評估背景條件範例表

背景條件	施工前	
	現況	等級
設計檢討完善與否	無	(最差)
施工計畫書完整性	無檢討	(最差)
開挖規模與深度	12 m	普通
地質條件	CL	普通
地下水位	5 m	差
監測系統計畫完整性	無	最差

對於案例分析所求得之災害風險程度，本研究將參考交通部所擬定之風險判斷基準表，並將其轉化為本評估系統適用之風險評價方法。根據此一風險評價方法，可將各災害風險矩陣表格整理如下(表 4-4 至 4-8)，管理階層人員即可透過各災害風險矩陣之表格清楚了解必須特別關注之災害類型，進而減少災害的發生。在本案例中，由於許多背景條件皆處於最差的情況之下，導致各項災害之風險程度亦相對的提高，屬於極度危險之風險，必須立即改善之範圍。

其中，風險程度將透過極值正規化方法(公式如 2.18 式)將原尺度轉換至 [0,100] 的尺度下，例如：壁體崩塌風險程度在上述表格中顯示為 82，其計算方式則必須先求得背景條件皆為最佳的風險程度值(A)、背景條件皆為最差的風險程度值(B)與背景條件為使用者輸入狀態之風險程度值(V)，並設定風險程度尺度將為 [0,100]。因此，可得知未正規化前論域範圍為 [A,B]=[24.933,89.433]，而正規化前數值則為風險發生可能性與嚴重程度的相乘積，即 $V=(52 \times 0.4)+(50 \times 0.2)+(47 \times 1.0)=78.066$ ，而正規化後論域範圍則為 [C,D]=[0,100]，最後再透過 3.1 式即可求得正規化後數值

$$I = C + \frac{(V - A)(D - C)}{B - A} = 0 + \frac{(78.066 - 24.933)(100 - 0)}{89.433 - 24.933} = 82.377$$

。透過該公式即可將原本皆為不相同之尺度範圍，轉換至相同的尺度範圍，如此才可進行比較與討論。

$$I = C + \frac{(V - A)(D - C)}{B - A} \quad 2.18 \text{ 式}$$

編號	背景名稱	論域MIN	論域MAX	隸屬度函數分佈型態	使用者輸入
1	設計檢討完善與否	0	1	三角形	0
2	施工計畫書完整性	0	1	高斯型	0
3	開挖深度	30	9	三角形	12
4	地質條件	0	1	高斯型	0.5
5	地下水位	0	10	三角形	5
6	監測系統計畫完整性	0	1	高斯型	0

執行分析

圖 4-6 連續壁作業背景條件輸入圖

(資料來源:本研究整理)

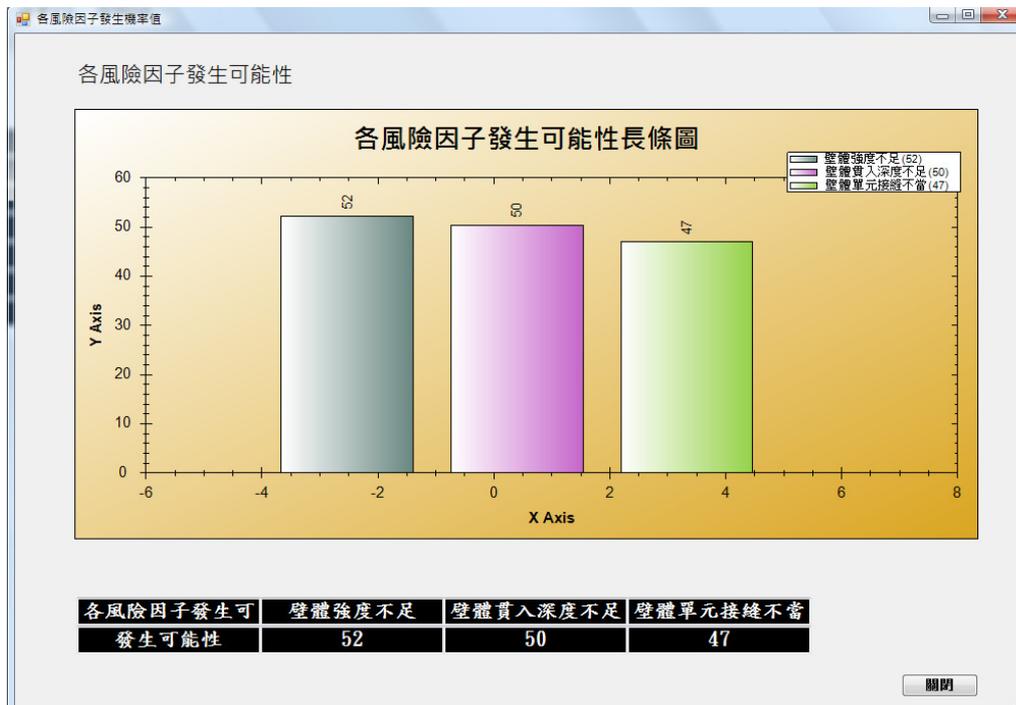


圖 4-7 連續壁作業風險因子發生之可能性長條圖

(資料來源:本研究整理)

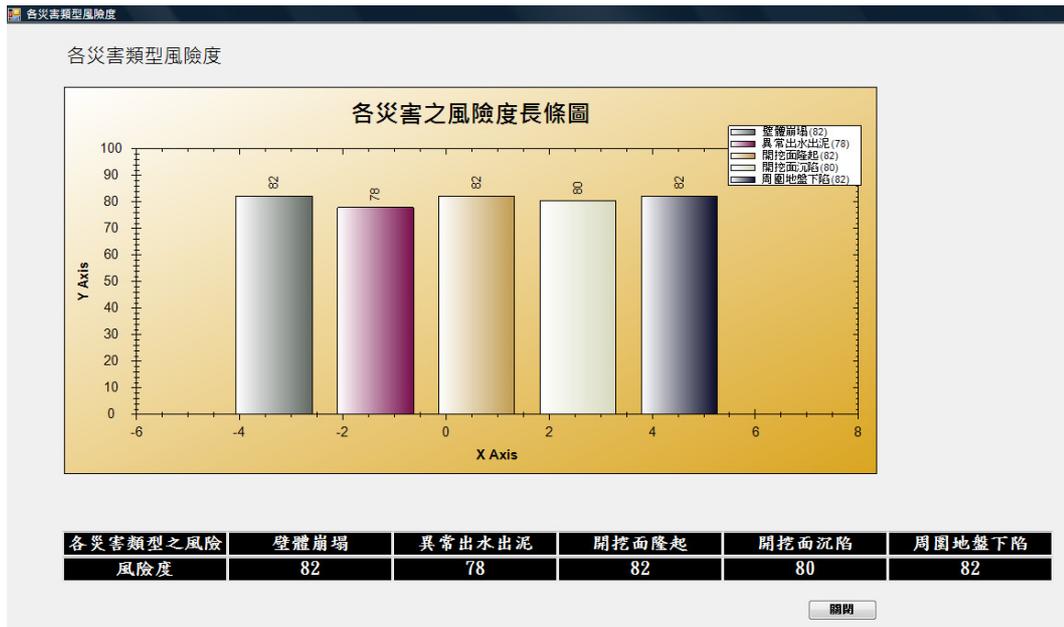


圖 4-8 連續壁作業災害之風險程度長條圖

(資料來源:本研究整理)

表 4-4 連續壁作業壁體崩塌風險矩陣表

風險因子	發生可能性	壁體崩塌		風險評價
		嚴重程度	風險度	
壁體強度不足	52	0.4	82(R4)	R1(0-20): 低度危險的風險, 可忽略。 R2(21-40): 中度危險的風險, 可接受 R3(41-60): 高度危險的風險, 不可接受須改善 R4(61 以上): 極度危險的風險, 需立即改善
壁體單元接縫不當。	50	0.2		
壁體貫入深度不足	47	1.0		

(資料來源:本研究整理)

表 4-5 連續壁異常出水出泥風險矩陣表

風險因子	發生可能性	異常出水出泥		風險評價
		嚴重程度	風險度	
				R1(0-20): 低度危險的風險,

壁體強度不足	52	0.4	78(R4)	可忽略。 R2(21-40)：中度危險的風險，可接受 R3(41-60)：高度危險的風險，不可接受須改善 R4(61 以上)：極度危險的風險，需立即改善
壁體單元接縫不當。	50	1.0		
壁體貫入深度不足	47	0.2		

(資料來源:本研究整理)

表 4-6 連續壁作業開挖面隆起風險矩陣表

風險因子	發生可能性	開挖面隆起		風險評價
		嚴重程度	風險度	
壁體強度不足	52	0.4	82(R4)	R1(0-20)：低度危險的風險，可忽略。 R2(21-40)：中度危險的風險，可接受 R3(41-60)：高度危險的風險，不可接受須改善 R4(61 以上)：極度危險的風險，需立即改善
壁體單元接縫不當。	50	0.2		
壁體貫入深度不足	47	1.0		

(資料來源:本研究整理)

表 4-7 連續壁作業開挖面沉陷風險矩陣表

風險因子	發生可能性	開挖面沉陷		風險評價
		嚴重程度	風險度	
壁體強度不足	52	0.5	80(R4)	R1(0-20)：低度危險的風險，可忽略。 R2(21-40)：中度危險的風險，可接受 R3(41-60)：高度危險的風險，不可接受須改善 R4(61 以上)：極度危險的風險，需立即改善
壁體單元接縫不當。	50	0.3		
壁體貫入深度不足	47	0.2		

(資料來源:本研究整理)

表 4-8 連續壁作業周圍地盤下陷風險矩陣表

風險因子	發生可能性	周圍地盤下陷		風險評價
		嚴重程度	風險度	
壁體強度不足	52	0.4	82(R4)	R1(0-20)：低度危險的風險，可忽略。 R2(21-40)：中度危險的風險，可接受 R3(41-60)：高度危險的風險，不可接受須改善 R4(61 以上)：極度危險的風險，需立即改善
壁體單元接縫不當。	50	0.2		
壁體貫入深度不足	47	1.0		

(資料來源:本研究整理)

管理人員得知有改善之需求後，將立即針對各項背景因素進行調整與改善，各背景條件將調整為：設計有進行檢討(最佳情況)、施工計畫書有進行檢討(最佳情況)、開挖深度 10m(情況較好)、地質條件為黏土層(CL)不變(情況普通)、地下水位為 5m(情況普通)不變與設置監測系統(最佳情況)。

由於許多背景條件狀況已進行改善，各項災害之風險程度亦降低許多，其風險評價已屬於中度危險可接受之範圍，成功改善並降低其災害之風險程度(如表 4-9)。

表 4-9 連續壁作業改善前後風險程度表

背景條件	改善前		改善後	
	現況	等級	採取因對措施	等級
設計檢討完善與否	無	(最差)	有完善檢討	(最好)
施工計畫書完整性	無檢討	(最差)	施工前舉辦安全評估會議，確保工程安全性	(最好)

開挖深度	12 m	普通	12 m	普通
地質條件	CL	普通	CL	普通
地下水位	5 m	普通	5 m	普通
監測系統計畫完整性	無	最差	設置測傾儀、沉陷觀測點、水位計及土壓計等監測儀器(最好)	(最好)
風險因子			改善前風險度	改善後風險度
壁體崩塌風險程度			82	34
異常出水出泥風險程度			78	33
開挖面隆起風險程度			82	34
開挖面沉陷風險程度			80	40
周圍地盤下陷風險程度			82	34

(資料來源:本研究整理)

第二節 災害案例演算

壹、案例一描述²⁸

高雄市七賢二路與瑞源路交叉口某工地，基地大小約為 30m × 17m，其地下室開挖 15m 深，連續壁厚 70cm 深 25m，其地下地質如表 4-10 所示，工地之平面配置如圖 4-9 所示。

由表 4-10 之地質鑽探表可得知為乾季鑽探（高雄地區乾季為每年 10 月至隔年 4 月），地下水位位於 GL -1.4m 處，N = 1 軟弱黏土層在地下 4.4m 至 7.4m。GL -1.6m 至 GL-4.4 為砂層為地面水層（自由水層），GL -7.4m 以下亦為砂層為壓力水層。表 4-10 之土壤含砂量（砂含量大於 75% 以上之 SM 土壤，點井即可抽到水）皆達 84% 以上，故本基地之地面水層與壓力水層兩者地下水皆很旺盛。本基地連續壁在 1994 年 12 月份施工，在挖掘連續壁時因 GL-4.4m 至 GL-7.4m 之軟弱黏土流入連續壁挖掘孔內，造成瑞源路路中央發生寬 2.5cm 長約 30cm 之裂縫，圖 4-9 之①至⑧號鄰房產生地板、牆壁龜裂、地下室漏水、化糞池糞水流入地下室臭味滿室之現象，而⑨號鄰房之店面柱子所黏貼大理石板掉落兩片，二樓之地板上凸、二樓浴室壁磚掉落之現象。

因軟弱土壤流出造成造成鄰房龜裂，此事件仍不是很明顯，受災戶向工地反應，承包之營造廠仍災懷疑是否是自己責任，原因是承包營造廠曾在連續壁施工前在①、⑤號鄰房近基地支柱為下方做直徑 30cm，15m 深之 CCP 托基樁。如圖 4-10 所示。而所做①、⑤號鄰房柱位下方 15m 深之 CCP 托基樁，正位於連續壁主動破壞面上方，因挖掘連續壁 25m 深而失效，因而軟弱土壤流出時，CCP 托基樁無法發揮其效果。

²⁸沈茂松(2008)，營建工程防災技術，文笙書局股份有限公司。

而連續壁在灌注水中混泥土時，懸在 GL-4.4m 上方之土塊(SM)掉落埋在 GL-13m 處之連續壁中，基地未作連續壁壁體內超音波檢測，故在 1995 年 3 月 2 日晚上九點(3 月 2 日全天下著毛毛雨)地下室開挖到 GL-13m 處地下水與土砂從連續壁包土塊處湧入基地內，如圖 4-9 所示，基地內之小型推土機被埋了 2/3 深，基地外自立路 x 巷下陷一大坑洞，拉斷三條水管造成土水流入㊟號、㊟號大樓地下室，下陷區埋入了一輛汽車與機車，自立路 x 巷之電管亦被拉斷，造成整個巷道停電，下陷區擴充到㊟號鄰房門口，造成㊟號鄰房(3 樓透天無地下室)地樑折斷，窗台開裂，房屋傾斜 8.5cm，㊟號鄰房(5 樓透天、1 層地下室)沉陷 1.5cm。幸運的是瓦斯管沒有被拉斷。㊟、㊟、㊟、㊟號鄰房住戶徹夜搬離住飯店。

本研究假設該案例於施工前執行本風險評估系統進行施工風險評估分析，風險因子和背景條件可能性關係如表 4-11 及災害嚴重程度如表 4-12，背景輸入情況如表 4-13 和圖 4-11 所示。執行分析後，即可求得該案例各風險因子發生的可能性與災害的風險程度(如圖 4-12、圖 4-13)。

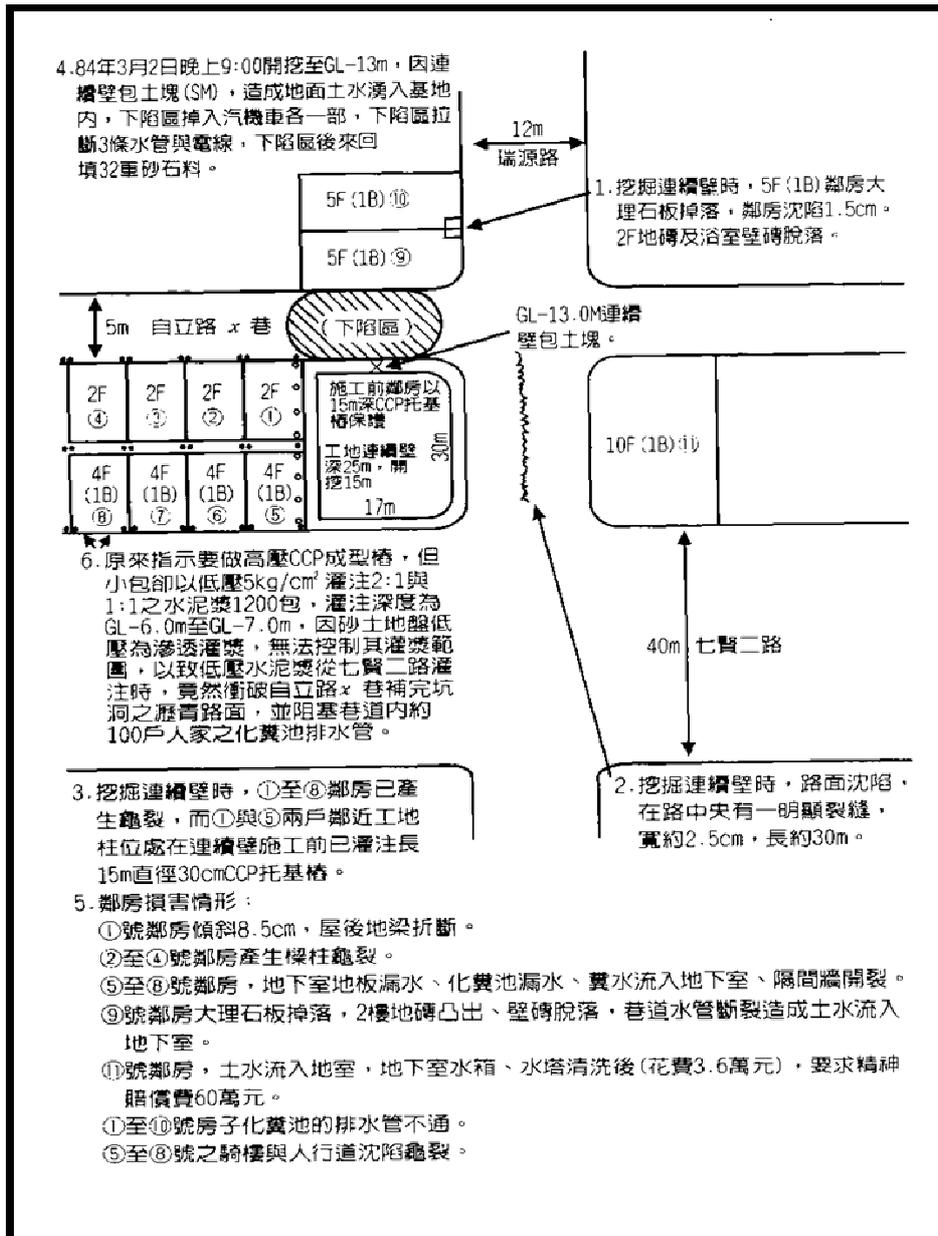


圖 4-9 七賢路與瑞源工地之平面配置圖

(資料來源：沈茂松，2008)

表 4-10 高雄市七賢二路與瑞源路地質資料

深度 (m)	柱狀圖	層號	試樣編號	主讓說明	分類	天然			總含 水率 (%)	液性 限度 (%)	塑性 限度 (%)	塑性 指數 (%)	粒徑分佈			
						含水量 (%)	孔隙 比	比重					礫石 (%)	砂 (%)	粉土黏土 (%)	
2		4.5	S-1	砂質粉土(砂質)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4		5	S-2	砂質粉土(砂質)	SM	23.0	0.97	2.65	1.95	-	-	-	0	88	10	2
6		4.5	S-3	粉土(粉質)	CL	29.7	0.91	2.73	1.65	38.6	21.6	16.9	0	6	77	17
6		5	S-4	粉土(粉質)	CL	25.6	1.28	2.67	1.72	38.4	28.4	20.0	0	6	59	35
8		7	S-5	粉土(粉質)	CL	26.7	0.83	2.73	1.93	36.4	19.4	17.0	0	16	42	42
10		9	S-6	粉土(粉質)	SM	25.5	0.73	2.67	1.94	-	-	-	0	76	18	6
12		11	S-7	粉土(粉質)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12		11	S-8	粉土(粉質)	SM	26.2	0.77	2.67	1.90	-	-	-	0	84	12	4
14		10	S-9	粉土(粉質)	SM	22.0	0.67	2.67	1.96	-	-	-	0	75	19	6
14		9.5	S-10	粉土(粉質)	SM	22.7	0.67	2.68	1.97	-	-	-	0	67	26	7

工程服務 股份有限公司	主讓鑽探及試驗報告				： 鷓管土樣	孔號	8-1
	工程名稱	七賢二路新建大樓地質調查及分析工作			： 3 鷓管土樣	地點	瑞源路
	地表高程	2.14m	地下水位	G.L.-1.40m	： 岩心取樣	日期	83.10.03

(資料來源：沈茂松, 2008)

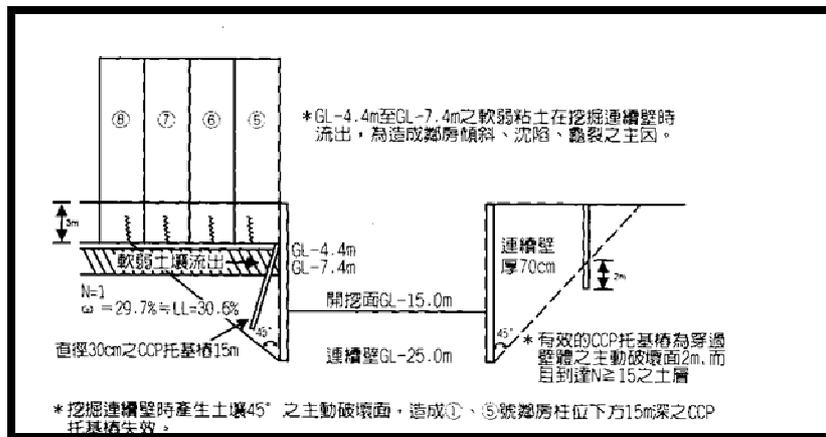


圖 4-10 基地剖面圖

(資料來源：沈茂松, 2008)

表 4-11 壁體作業-導溝可能性關係表

背景條件	風險因子		穩定液不足	壁面土壤崩落	開挖面含壓力水層
	評估基準				
施工自主檢查	最差	無自主檢查表(風險因子項目檢查)	5	5	5
	普通	有自主檢查表無追縱改善	3	3	3
	很好	定期檢查且有追縱改善	1	1	1
地質條件	最差	極軟弱土層 MH, SH 或有受壓軟弱層未採取有效防範措施	5	5	5
	很好	極堅硬土壤 C, GW	1	1	1
地下水變化	最差	高於設計水位 15% 或有受壓水層或兩側水位差高於 15%	5	5	5
	普通	高於設計水位 10% 或兩側水位差高於 10%	3	3	3
	好	高於設計水位 5% 或兩側水位差高於 5%	2	2	2
	很好	高於設計水位 1% 或兩側水位差高於 5%	1	1	1

備註：1:發生機率很低 2:發生機率低 3:發生機率普通 4:發生機率高 5:發生機率很高

(資料來源:本研究整理)

表 4-12 壁體作業-導溝災害嚴重程度關係表

風險因子	災害類型	壁體崩塌	異常出水出泥	開挖面隆起	周圍地盤下陷
穩定液不足		0.9	0.6	0.7	0.7
壁面土壤崩落		0.9	0.6	0.7	0.7

開挖面含壓力水層	1	1	1	1
----------	---	---	---	---

(資料來源:本研究整理)

表 4-13 背景條件狀況輸入表

背景條件	評估基準	
施工自主檢查	普通	有自主檢查表無追縱改善
地質條件	最差	軟弱黏土層在地下 4.4m 至 7.4m
地下水變化	最差	GL -7.4m 以下亦為砂層為壓力水層

(資料來源:本研究整理)

背景名稱	論域(最差)	論域(最佳)	隸屬度函數分佈型態	使用者輸入
施工自主檢查	0	1	三角形	0.5
地質條件	0	1	三角形	0
地下水變化	0	1	三角形	0

圖 4-11 背景條件輸入圖

(資料來源:本研究整理)

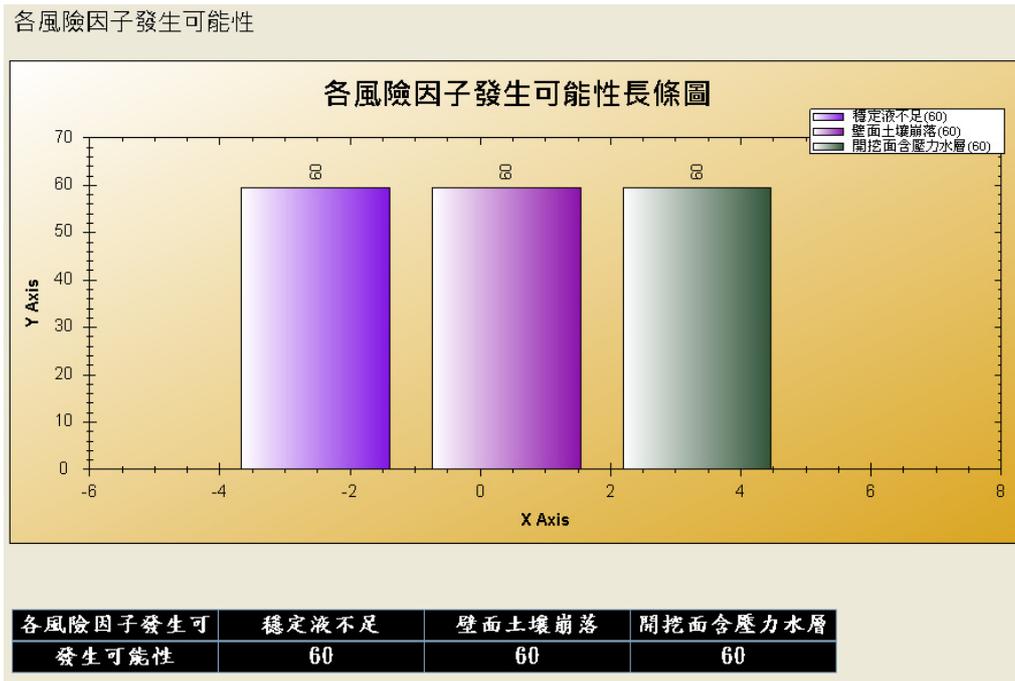


圖 4-12 風險因子發生之可能性長條圖

(資料來源:本研究整理)

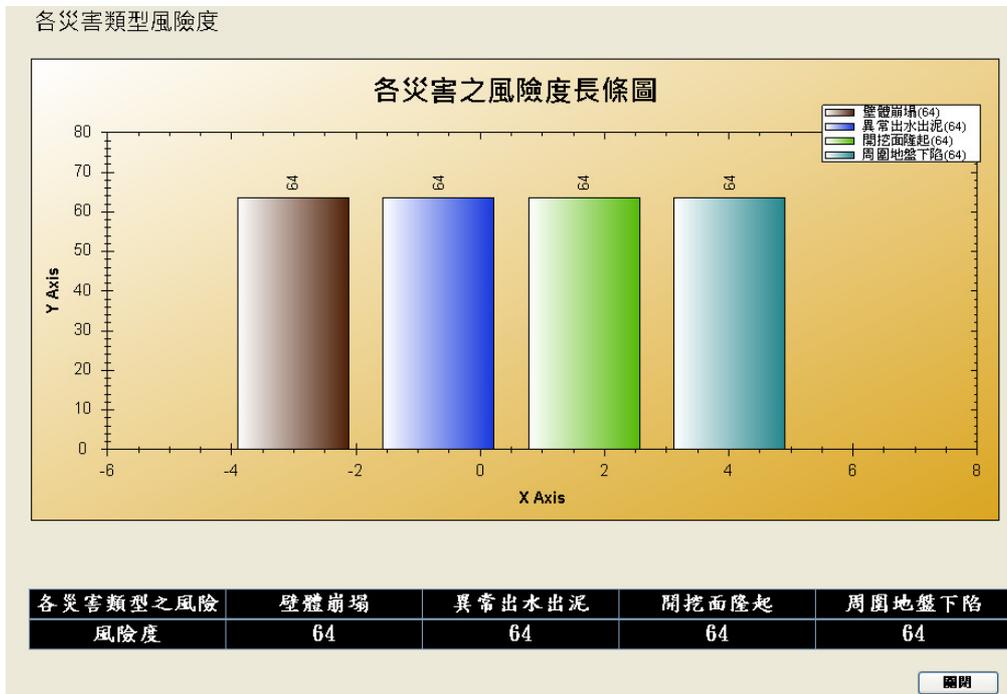


圖 4-13 導溝作業災害之風險程度長條圖

(資料來源:本研究整理)

貳、案例二描述

災害發生於 98 年 10 月 27 日上午 8 時 15 分許，災害發生當天上午 8 時許，王○○、机○○等 8 名勞工，至本工程樁號 0K+095~0K+126.39 間從事模板拆除作業，其中王○○等 2 名勞工在該擋土牆起點（0K+095）處拆模，另 3 名勞工在道路外側拆模，剩下机○○等 3 名勞工，其中 2 名勞工站在道路內側拆除擋土牆之模板，而机○○則在擋土牆與道路側面間之基礎版（0K+119）處剪鐵絲，直至當天上午 8 時 15 分許，突然整座擋土牆往道路內側倒塌，在場 7 名勞工見狀跳離擋土牆範圍，惟机○○逃離不及，被壓在倒塌之擋土牆與道路側面間（原有 70 公分寬、基礎底部距道路路面約 2 公尺高），在場勞工立即通知 119 救護車。

災害原因分析：

1. 距擋土牆上層部分之混凝土澆置完成時間，未達 3 日即予以拆模，故混凝土未達足以承受其自重及所載荷重。
2. 擋土牆基礎座開挖處有嚴重積水。
3. 對於模板支撐作業，未妥為設計並訂定施工圖說供遵循。
4. 未於基礎座及擋土牆下層旁進行土方回填，即從事上層混凝土澆置之作業。

表 4-14 模板作業-組立拆模可能性關係表

背景條件	風險因子 評估基準		未按圖施工或錯誤	支柱間距過大	接合處不當	未設置水平與斜撐材	強度不足(構材破損老舊)	提前拆模	拆模未予再撐
設計完善與否	最差	無設計	5	5	3	5	4	4	4
	普通	有設計無施工圖	2	3	3	3	3	3	3
	很好	有設計及施工圖	1	1	1	1	1	1	1
施工自主檢查	最差	無自主檢查表	5	5	5	5	5	5	5
	普通	有自主檢查表無追縱改善	3	3	3	3	3	3	3
	很好	定期檢查且有追縱改善	1	1	1	1	1	1	1
施工人員素質	最差	無專業證照	3	3	4	3	3	4	5
	普通	有參與專業技術訓練	2	2	2	2	2	2	3
	很好	有專業證照	1	1	1	1	1	1	1

備註：1:發生機率很低 2:發生機率低 3:發生機率普通 4:發生機率高 5:發生機率很高

(資料來源:本研究整理)

表 4-15 模板作業-組立拆模災害嚴重程度關係表

風險因子	災害類型	
	倒塌	飛落
未按圖施工或錯誤	0.9	0.4
支柱間距過大	0.8	0.4
接合處不當	0.7	0.8
未設置水平與斜撐材	0.6	0.4
強度不足(構材破損老舊)	0.8	0.4
提前拆模	0.7	0.4
拆模未予再撐	0.6	0.4

(資料來源:本研究整理)

表 4-16 背景條件狀況輸入表

背景條件	評估基準	
設計完善與否	最差	無設計無施工圖
施工自主檢查	最差	無自主檢查表
施工人員素質	普通	參與專業技術訓練

(資料來源:本研究整理)

背景名稱	論域(最差)	論域(最佳)	隸屬度函數分佈型態	使用者輸入
設計完善與否	0	1	三角形	0
施工自主檢查	0	1	三角形	0
施工人員素質	0	1	三角形	0.5

圖 4-14 背景條件輸入圖

(資料來源:本研究整理)

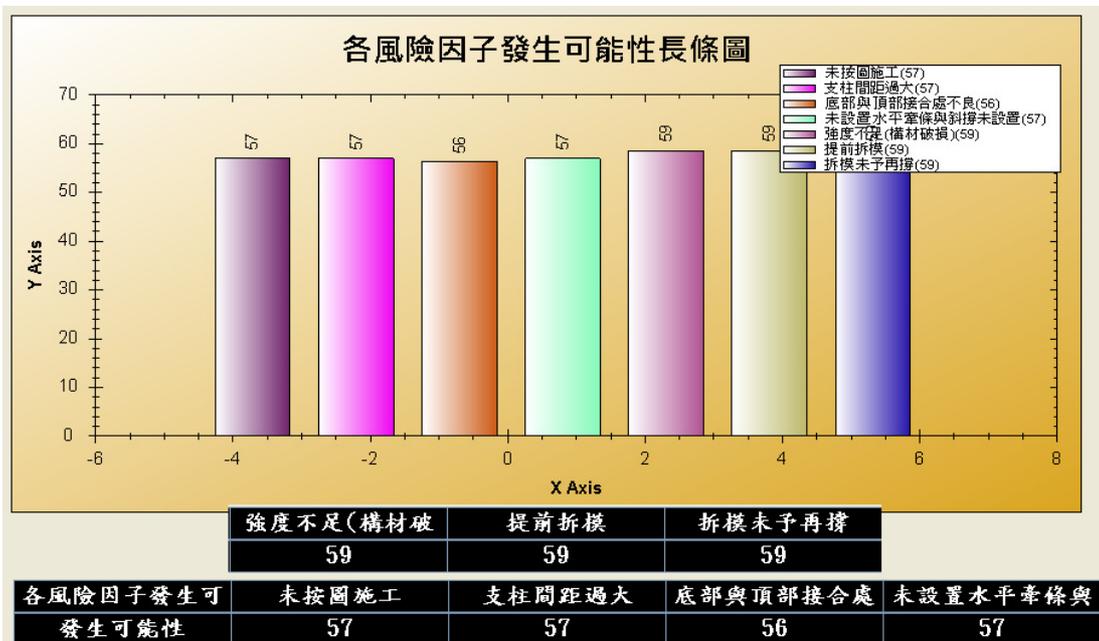


圖 4-15 風險因子發生之可能性長條圖

(資料來源:本研究整理)

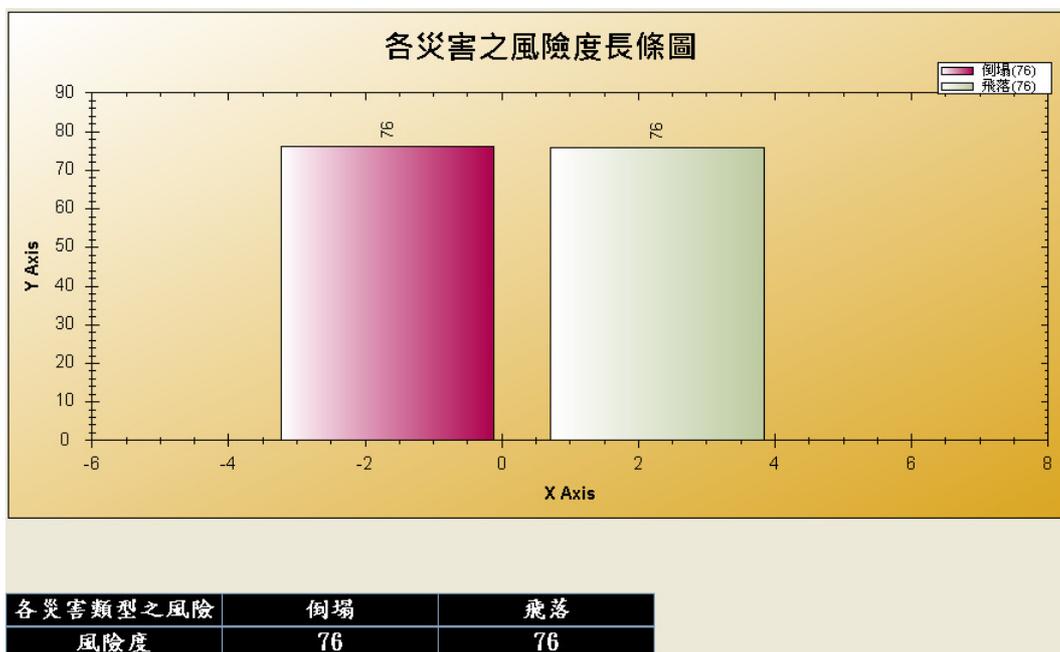


圖 4-16 模板作業災害之風險程度長條圖

(資料來源:本研究整理)

參、案例三描述²⁹

某輕工廠為二層現澆框架結構，預製鋼筋混凝土樓板。施工單位在澆築完首層鋼筋混凝土框架及吊裝完一層樓板後，繼續施工第二層。在開始吊裝第二層預製板時，為加快施工進度，將第一層的大梁下的立柱及模板拆除，以便在底層同時進行內裝修，結果在吊裝二層預製板將近完成時，發生倒塌，當場壓死數人，造成重大事故。後經調查分析，倒塌主因是底層大梁立柱及模板拆除過早。在吊裝二層預製板時，梁的養護只有 3 天，強度還很低，不能形成整體框架傳力，因而二層框架及預製板的重量及施工荷載由二層大梁的立柱直接傳給首層大梁，而這時首層大梁的強度尚未完全達到設計的強度

²⁹王源清、江見鯨、崔京浩(2008)，建築工程事故分析與處理，中國建築工業出版社。

C20 (204 kgf/cm²)，經測定只有 C12 (122.4 kgf/cm²) 。首層大梁承受不了二層結構自重及結構自重而引起倒塌。

本研究假設該案例於施工前執行本風險評估系統進行施工風險評估分析，風險因子和背景條件可能性關係如表 4-14 及災害嚴重程度如表 4-15，背景輸入情況如表 4-17 和圖 4-17 所示。執行分析後，即可求得該案例各風險因子發生的可能性與災害的風險程度(如圖 4-18、圖 4-19)。

表 4-17 背景條件狀況輸入圖

背景條件	評估基準	
設計完善與否	最差	無設計
施工自主檢查	最差	無自主檢查表
施工人員素質	最差	無專業證照

(資料來源:本研究整理)

背景名稱	論域(最差)	論域(最佳)	隸屬度函數分佈型態	使用者輸入
設計完善與否	0	1	三角形	0
施工自主檢查	0	1	三角形	0
施工人員素質	0	1	三角形	0

圖 4-17 背景條件輸入圖

(資料來源:本研究整理)

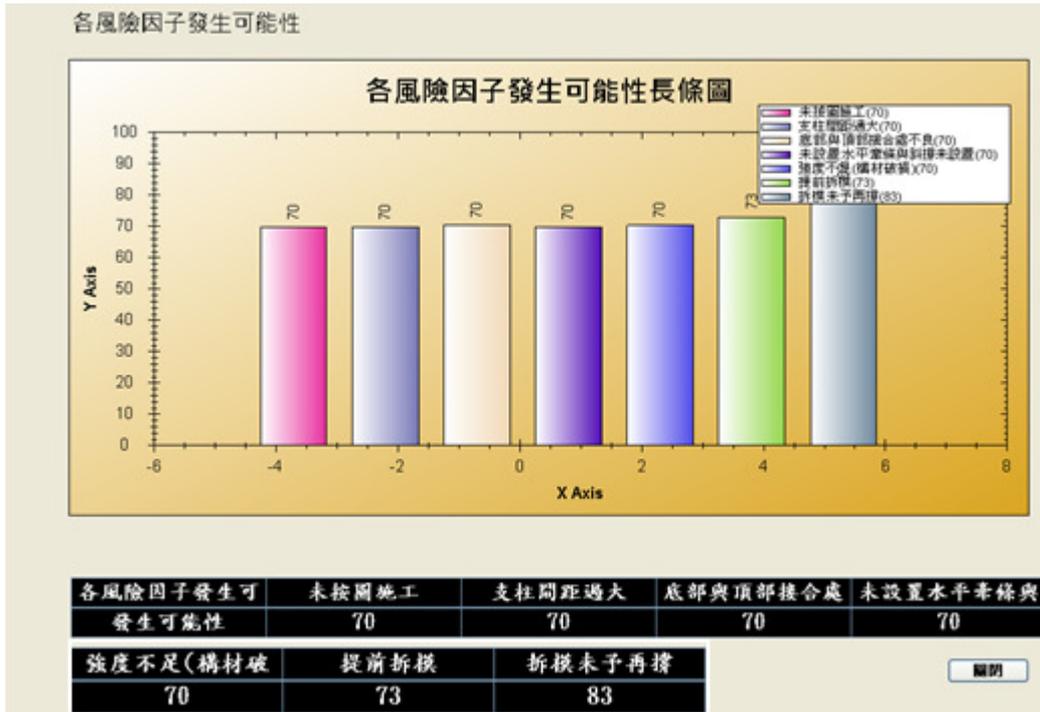


圖 4-18 風險因子發生之可能性長條圖

(資料來源:本研究整理)

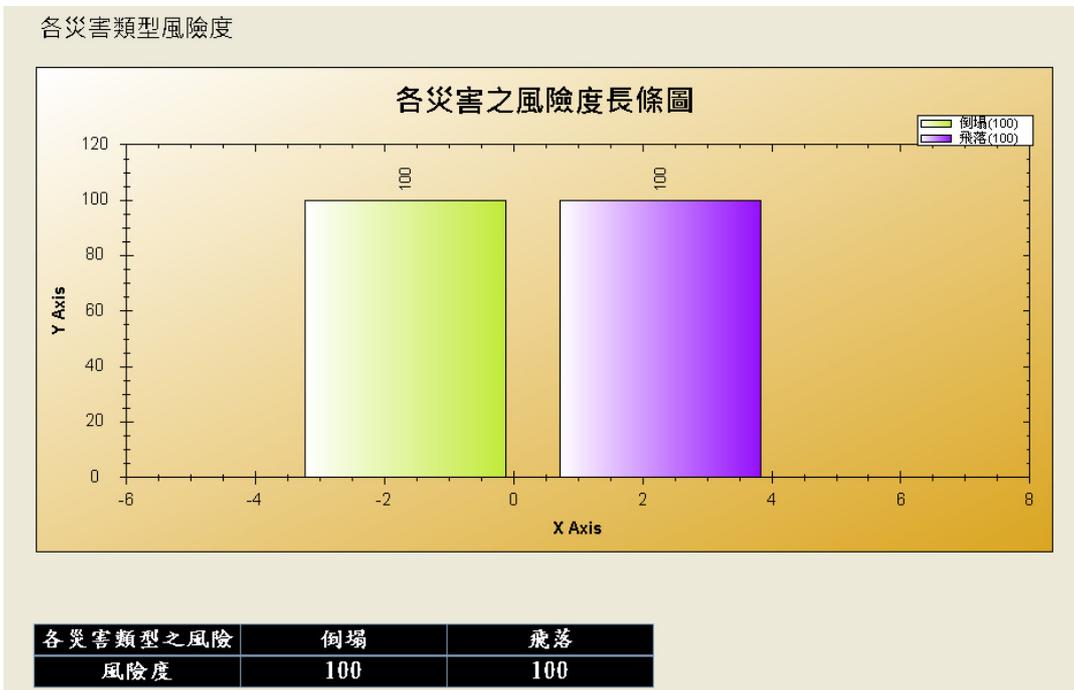


圖 4-19 模板作業災害之風險程度長條圖

(資料來源:本研究整理)

肆、案例四描述³⁰

某九層辦公樓，為框架結構。鋼筋混凝土及樓蓋均為現場澆注。每層面積 863m²。澆完每層的樓層厚，蓋草簾澆水養護。在主體結構基本完成，養護 28 天後，拆除底模，在去草簾時發現第三層樓蓋佈滿了不規則裂縫，多數裂縫寬 0.05-0.5mm，有的裂縫已上下貫通。

第三層施工時氣溫高達 30℃，天氣乾熱，相對濕度不到 40%，而且當日有七、八級大風，風速達 12-18m / S。如此乾燥的天氣加上熱風猛吹，混凝土的乾縮比一般情況下可增大 4-5 倍，可使混凝土在澆注後立即發生開裂。因而儘管澆注後也按一般情況蓋上草簾，但澆水不足，熱風一吹，很快蒸發掉了。混凝土硬化期間溫度高，濕度極小，引起劇烈收縮，從而造成裂縫事故。經鐵心及用回彈儀檢測，混凝土強度平均降低 15%，裂縫已停止發展，補強後尚可應用，故採用灌漿封閉裂縫，上面鋪上一層鋼筋網（φ4@200）打上 30mm 的豆石混凝土。

本研究假設該案例於施工前執行本風險評估系統進行施工風險評估分析，風險因子和背景條件可能性關係如表 4-18 及災害嚴重程度如表 4-19，背景輸入情況如表 4-20 所示。執行分析後，即可求得該案例各風險因子發生的可能性與災害的風險程度(如圖 4-20、圖 4-21)。

表 4-18 RC 結構體工程-混凝土作業可能性關係表

背景條件	風險因子		混凝土強度不足 (搗實養護不良、加水)	澆置順序 不當	搗實震動 過度
	評估基準				
設計完善與否	最差	無設計	3	5	5
	普通	有設計無施工圖	2	3	3

³⁰王源清、江見鯨、崔京浩(2008)，建築工程事故分析與處理，中國建築工業出版社。

	很好	有設計及施工圖	1	1	1
施工自主檢查	最差	無自主檢查表	5	5	5
	普通	有自主檢查表無追縱改善	3	3	3
	很好	定期檢查且有追縱改善	1	1	1
施工人員素質	最差	無專業證照	3	3	4
	普通	有參與專業技術訓練	2	2	2
	很好	有專業證照	1	1	1

備註：1:發生機率很低 2:發生機率低 3:發生機率普通 4:發生機率高 5:發生機率很高

(資料來源:本研究整理)

表 4-19 RC 結構體工程-混凝土作業災害嚴重程度關係表

風險因子 \ 災害類型	倒塌	飛落
混凝土強度不足(搗實養護不良、加水)	0.8	0.5
澆置順序不當	0.6	0.5
搗實震動過度	0.6	0.5

(資料來源:本研究整理)

表 4-20 背景條件狀況輸入圖

背景條件	評估基準	
設計完善與否	最差	無設計
施工自主檢查	最差	無自主檢查表
施工人員素質	最差	無專業證照

(資料來源:本研究整理)

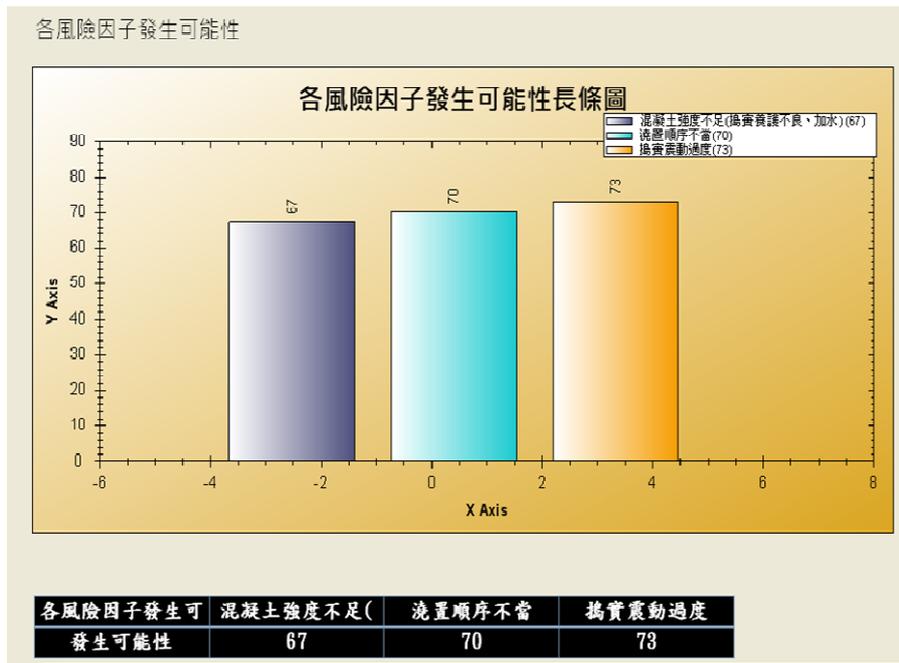


圖 4-20 風險因子發生之可能性長條圖

(資料來源:本研究整理)

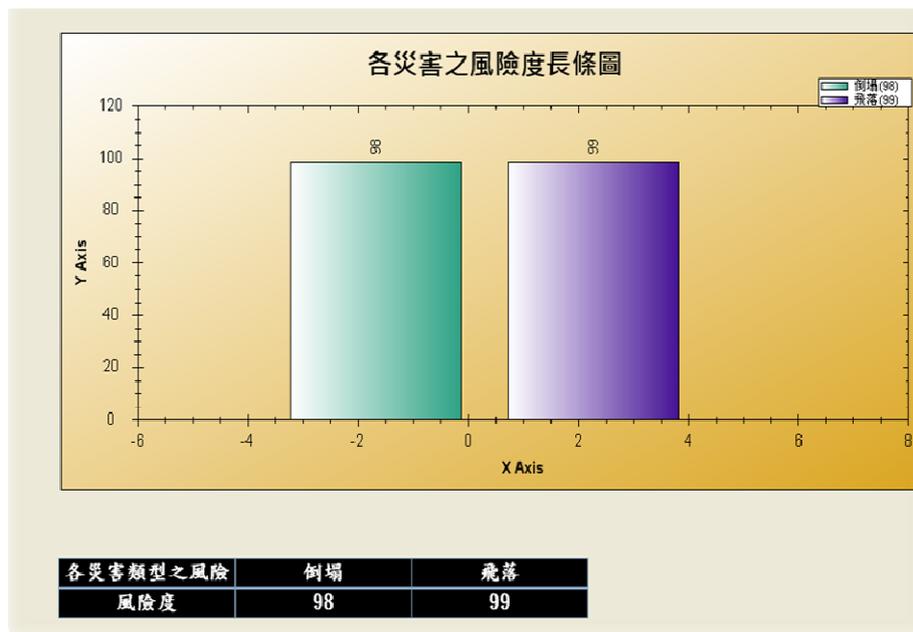


圖 4-21 混凝土作業災害之風險程度長條圖

(資料來源:本研究整理)

伍、案例五描述³¹

1990年2月16日下午4時20分許，D市某廠四樓接層會議室屋頂棚五梭形輕型屋架連同屋面突然倒塌。當時305人正在室內開會，造成42人死亡，179人受傷的特大事故。經濟損失430多萬，其中直接經濟損失230多萬。該接層會議室南北寬14.4m，東西長21.6m，建築面積324m²。採用磚牆承重、梭形輕型鋼屋架、預製空心屋面板和卷材防水屋面。會議室由該廠基建處設計室（丙級證書單位）自行設計，D市某建築工程公司施工。1987年3月5日開工，同年5月22日竣工並交付使用，經常舉行200~300人的中型會議。事故發生時，會議室頂棚先後發出“嘎嘎嘎，刷拉，刷拉”的響聲，頂棚中部偏北方向出現鍋底形下凸，幾秒鐘後屋頂全部倒塌。會場除少數靠窗邊坐的人外，其餘大部分被壓在預製空心板底下。

事故發生後，廠方當夜成立事故分析組，該市也成立了調查組。此後的4個月時間裡，廠方經過現場觀察，驗算分析，屋架結構試驗並根據市調查組現場勘查報告和有關原始資料，提交了事故分析報告。根據事故分析報告，該四樓層會議室屋頂倒塌是由第三品屋架北端14號腹桿首先失穩造成的。導致這次事故的原因是多方面的並涉及設計、施工和管理各階段，歸納起來主要有：設計計算的差錯、屋面錯誤施工、焊接質量低劣和施工管理混亂等四個方面。

設計計算的差錯

a. 屋面荷載取值偏大 b. 屋架上弦第四桿計算時單位換算錯誤，所取許用應力偏大。

(1) 屋面錯誤施工

³¹王源清、江見鯨、崔京浩(2008)，建築工程事故分析與處理，中國建築工業出版社。

(2) 焊接質量低劣

(3) 施工管理混亂

本研究假設該案例於施工前執行本風險評估系統進行施工風險評估分析，風險因子和背景條件可能性關係如表 4-21 及災害嚴重程度如表 4-22，背景輸入情況如表 4-23 和圖 4-22 所示。執行分析後，即可求得該案例各風險因子發生的可能性與災害的風險程度(如圖 4-23、圖 4-24)。

表 4-21 鋼骨結構體工程-構件組裝作業可能性關係表

背景條件	風險因子		構材強度不足	焊接順序或方法錯誤	吊鉤未具有防滑舌片	鋼索強度不足(鋼索捲曲或變形)	螺栓鎖固過速使螺栓頭斷落	電銲作業區放置燃易燃物	電焊作業未設置防火措施
	評估基準								
設計完善與否	最差	無設計	5	5	5	5	5	5	5
	普通	有設計無施工圖	3	3	3	3	3	3	3
	很好	有設計及施工圖	1	1	1	1	1	1	1
施工自主檢查	最差	無自主檢查表	5	5	5	5	5	5	5
	普通	有自主檢查表無追縱改善	3	3	3	3	3	3	3
	很好	定期檢查且有追縱改善	1	1	1	1	1	1	1
施工人員素質	最差	無專業證照	3	3	3	3	3	3	3
	普通	有參與專業技術訓練	2	2	2	2	2	2	2
	很好	有專業證照	1	1	1	1	1	1	1

備註：1:發生機率很低 2:發生機率低 3:發生機率普通 4:發生機率高 5:發生機率很高

(資料來源:本研究整理)

表 4-22 鋼骨結構體工程-構件組裝作業災害嚴重程度關係表

風險因子 \ 災害類型	倒塌	飛落	火災
構材強度不足	0.8	0.7	0.3
焊接順序或方法錯誤	0.7	0.8	0.3
吊鉤未具有防滑舌片	0.7	0.9	0.3
鋼索強度不足(鋼索捲曲或變形)	0.7	0.7	0.3
螺栓鎖固過速使螺栓頭斷落	0.5	0.7	0.3
電銲作業區放置燃易燃物	0.3	0.3	0.7
電焊作業未設置防火措施	0.3	0.3	0.7

(資料來源:本研究整理)

表 4-23 背景條件狀況輸入圖

背景條件	評估基準	
設計完善與否	普通	有設計無施工圖
施工自主檢查	最差	無自主檢查表
施工人員素質	最差	無專業證照

(資料來源:本研究整理)

背景名稱	論域(最差)	論域(最佳)	隸屬度函數分佈型態	使用者輸入
設計完善與否	0	1	三角形	0.5
施工自主檢查	0	1	三角形	0
施工人員素質	0	1	三角形	0

圖 4-22 背景條件輸入圖

(資料來源:本研究整理)

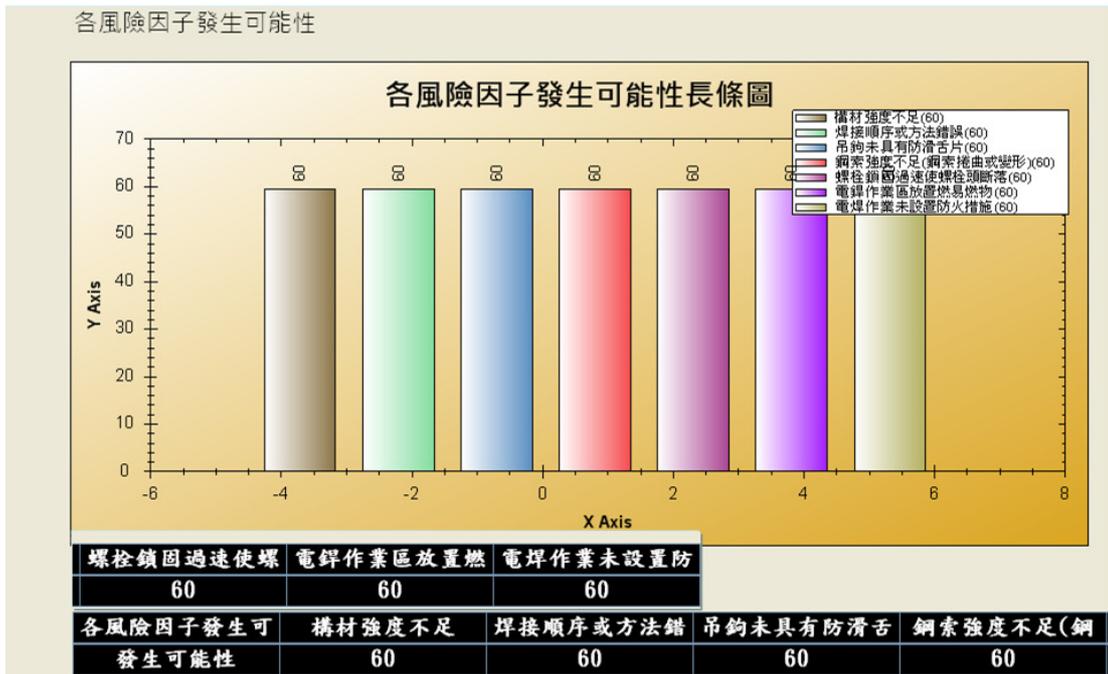


圖 4-23 風險因子發生之可能性長條圖

(資料來源:本研究整理)

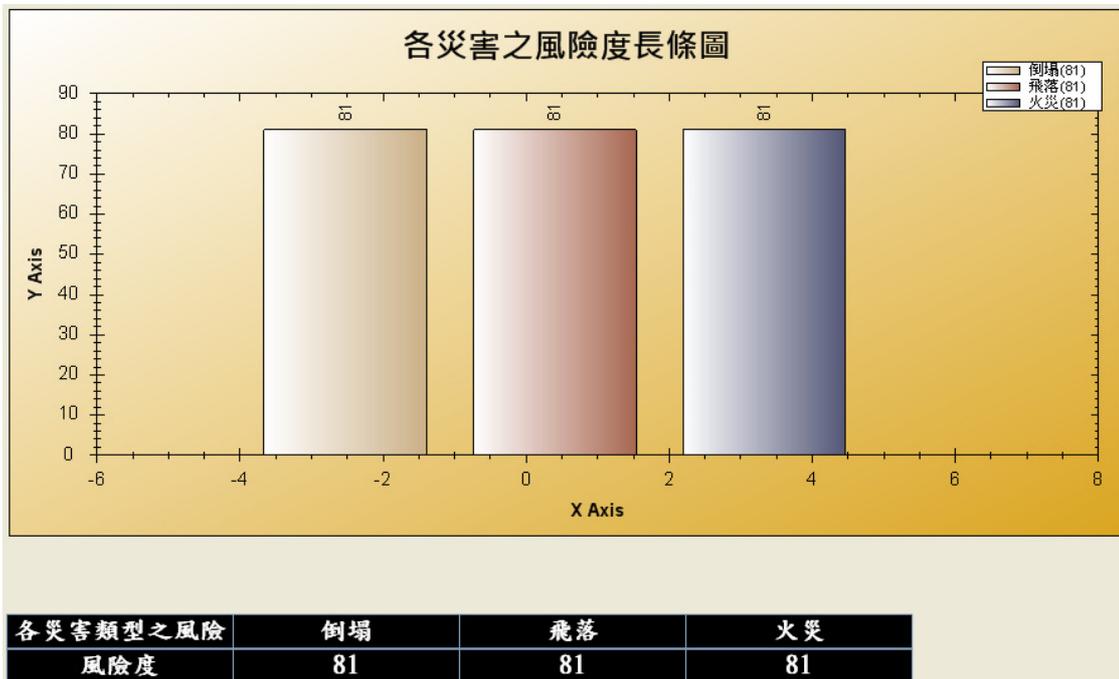


圖 4-24 構件組裝災害之風險程度長條圖

(資料來源:本研究整理)

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究透過施工安全與災害等研究資料的收集與分析，以模糊理論與遺傳演算學理為基礎，運用現代資訊科技技術，開發一套符合實務性功能的施工風險評估系統程式雛型(Prototype System)，期能提供並輔助建築施工現場專業人員進行風險評估作業的運作，期中初步研究結論分述如下：

- (一) 由於每個建築工程專案均因不同施工現場環境、不同施工團隊、不同施工機具或方法等各種不同工程背景條件，所面臨之相關風險因素各有不同的考量，因此針對某一建築工程專案，甚難建立絕對的風險因素項目或災害類型。而風險因子發生的程度高低，是由施工當時各可能的背景條件所造成並影響的結果，而各可能施工災害造成的嚴重程度，必然係因為各潛在的風險因子發生下所造成的結果，因此進行建築工程施工風險評估作業，必須透過背景條件的狀態去綜合評估風險因子發生的機率或可能性程度，而施工災害的嚴重度則由綜合各風險因子發生時來加以判斷，如此的風險評估架構即能具有一個前後因果關係的邏輯程序。
- (二) 運用模糊推論的理論基礎建立模糊評估規則庫，可展現評估人員對風險因子發生機率的判斷準則外，並可做為檢核評估判斷的正確性而據以建立更完整及準確的專家資料庫。
- (三) 本研究所提出的風險評估量化方法，除具備符合建築施工風險與災害的因果關係之評估邏輯外，可以透過風險量化的基本原理計算出災害發生的風險程度，提供建築工程專案決策階層進行風險控管策略實施的參考基準。
- (四) 透過綜合評估系統中的遺傳演算法可對內部嚴重程度參數進行模組最佳

化與合理化，進而減少使用人員之間對於事物判斷上的差異，使分析結果更趨合理化。

第二節 建議

在所得出的結論基礎上，本研究提出以下具體建議

中長期性建議一丁類危險性營造場所進行建築工程，施工廠商進行施工安全評估，對於特有災害應納入施工風險評估之內容，並列為審查項目之一。

主辦機關：行政院勞工委員會

協辦機關：行政院勞委會北、中、南區勞動檢查所、直轄縣市勞工局

依勞委會危險性工作場所審查暨檢查辦法規定，丁類危險性營造場所應進行施工安全評估，另勞委會亦推動假設工程設計考量及建置職業安全衛生風險評估制度。建議丁類危險性營造場所進行建築工程時，施工廠商進行施工安全評估，對於特有災害應納入施工風險評估之內容，並列為勞動檢查所或勞工局審查核準之項目。

中長期性建議一五千萬元以上公共建築物施工前，施工廠商需組成施工風險評估小組，針對建築工程中高風險分項作業，依風險評估流程進行風險評估作業。

主辦機關：公共工程委員會、營建署

協辦機關：各部會、各地方縣市政府

由於每個建築工程專案均因不同施工現場環境、不同施工團隊、不同施工機具或方法等各種不同工程背景條件，所面臨之相關風險因素各有不同的考量，因此施工前應掌握工地潛在危害，避免施工災害之發生。

行政院推動所屬各部會將風險管理融入日常作業與決策運作，透過公共工程施工查核機制，公共建築物施工前，施工廠商需組成風險評估小組，針對建築工程中高風險分項作業，依風險評估流程進行風險評估作業。

建築工程施工風險評估模組與案例建置

中長期性建議－建築工程施工災害案例應建立標準化之格式，提供相關單位
進行施工風險評估及災害防制之參考

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

建築工程發生重大職災時，勞委會每年發行職災年報，提供職災預防之參考，建築工程施工事故之資訊則分散於各專業技師之公會、學會，建議建立統一之災害案例之標準化格式，將有助於日後建築施工事故之防範。

附錄一、期初委員審查意見處理情形

項次	審查委員意見	意見回覆
1	說明會及教育訓練，本研究並未編列相關經費，未來辦理方式為何？對象為何？請說明。	辦理地點以台北科技大學，對象為營造廠商為主，費用由一般事務費等相關科目支應。
2	本研究案主要用途在作為施工前之設計檢討(D.R)及施工計畫書之風險評估並作為設計修正或施工工法變更之主要參考依據，並非事故後之鑑定檢討之用，宜針對「設計檢討」與「施工計畫」同時作為主要研究內容。	將設計檢討與施工計畫完整性納入施工風險評估因子之背景條件中。
3	建築施工風險評估為一重要並值得深入探討研究主題，為落實未來實用性，建議考慮設定建築物的造價規模，訂定通用建築施工風險評估的建築管理規模，以利落實相關。	依勞委會危險性工作場所審查暨檢查辦法規定，丁類危險性營造場所應進行施工安全評估，另勞委會亦推動假設工程設計考量及建置職業安全衛生風險評估制度。本研究將建議公共建築工程及丁類建築工程工程，施工前營造廠商應進行施工風險評估。
4	為合理評估各項工程之風險度，建議本研究建立建築工程施工之”可接受風險度”俾利分析結果之判斷與應用。	本研究將建議風險評價分級予以考量。
5	本案為 97 年度研究案之延伸，建議每棟建築物除了地下工程外，地上結構體可能有 RC、SRC、SC 等並存之情形，案例或示範例及相關評估模組請考慮。評估者宜各由業主、設計人、承包商等自行辦理評估。前兩者可先預設成包商之優良可否（如分 A、B、C 三級）去評估。	<p>將於本年度重新修正工程模組以符合實際情況。</p> <p>本年重點為施工廠商施工前之施工風險評估，不涉規畫設計階段之施工風險評估。</p> <p>依所內規定檢討調整。</p>

	<p>研究經費之配置可否翻修費及差旅費酌減、而在專業服務費用中用一些在委託建築施工界對施工災害及風險評估皆博聞者以書面一、二十頁提供本案有用之一些資料。</p>	
--	--	--

附錄二、第一次專家座談會議紀錄

開會時間：九十八年五月二十二日（星期五）下午三點整。

開會地點：台北科技大學 土木館 五樓會議室。

發言內容：

黃榮堯 教授

- 1.建議將建物拆除作業納入本風險評估模組考量。
- 2.建築施工風險災害類型建議加入損鄰與第三人傷亡。
- 3.本系統依作業項目分類，但許多施工作業可能涉及本系統一個以上的作業項目，例如模板吊裝涉及施工架作業及模板作業，因此各作業項目之風險因子應力求完整，以利使用者辨識高風險因子。
- 4.建議本系統模式發展能參考美國 PMI（專案管理協會）之風險管理方式，應用風險矩陣之建立，協助系統使用者能簡易的辨識高風險因子。
- 5.系統使用者介面稍嫌繁複，可予簡化，提升使用效能。

陳宗禮 總經理

- 1.本研究內容主要著重在「施工」不當或瑕疵所造成之施工風險評估，因此宜先述明災害形成因子乃屏除「施工條件」、「設計瑕疵」、「採用工法不當」、「施工計畫未周詳」…等之主要災害因子之外，或者將施工不當以外之其他重要因子項目亦列入評估因子之中，否則評估內容範圍過小可能評估效果的參考價值不大。
- 2.「施工規模」、「施工條件」不同，以及「工法相異」其風險因子可能也不同，也不同宜稍作分別以利確立評估風險因子。
- 3.建議本研究案宜納入「設計檢討評估」、「施工計畫檢討評估」、「施工規模與環境條件檢討評估」及「施工中品質瑕疵檢討評估」。

吳世雄 副處長

- 1.風險因子的分析宜考慮各種可能的態樣，尤其是涉及倒塌發生之情況對於建築工程部分結構以特殊工法進行者，似可納為分析對象，如預鑄外牆吊袋。

2. 建築工程的風險作業以大多列出，唯宜再進一步檢討，如停車設備安裝，地錨作為…等。另對於基地四周、基地內之危害，似可考慮納入，如高壓電線、瓦斯管線…等。
3. 本研究案宜多蒐集職業災害案例，從災害發生原因，進一步分析歸納出風險因子，能更周全。

邱昌平 教授

1. 建築工程施工所引起之災害，數十年來在國內已有許多案例，可從報章、各相關公會、縣市政府、內政部、勞委會、工程會等之處理或收集整理等資料獲得。目前列出之案例仍不夠多，宜再增列。
2. 有的案例不僅與施工人員，監工人員有關而已，還牽涉及三級品管制度與合約規範之嚴謹與否，甚至還有不少案例與設計不當有關。
3. 由更多的案例即可找出易發生災害之細項如：
 - 中空 RC 樓版之施工
 - 地質極軟弱地區連續壁工程及後續之深開挖工程（與地質、深度、支撐…等有關）
 - 斜 RC 樓板之施工
 - 吊車、塔吊、挖土機之操作所致的災害
 - 鋼構焊接火災
 - 毒氣事件
 - 電氣案件
 - 鋼筋施工、混凝土施工之災害風險因子及給予之權重，應隨著由大底、地下、地上各層之漸層施工之三級品管之查核，缺失糾正改善後應隨之減少才對。故施工風險也宜逐層評估為宜。
4. 災害有建築工地本身內發生，也會發生在工區外。
 - 建築結構有預力工程者也宜探討，如：多年前建中即發生預力混凝土梁柱未設計抗暴裂筋，以設施預力時樑○爆開，千斤頂打死三名工人。（設計疏失）
 - 南部有預力樓版梁，有預留鋼線管尚未施預力，模板工人（小包）未知，此特殊結構與普遍 RC 不同即逕行拆除支撐，導致全面坍塌。（監造與承商之管理問題）

建設公司之高級員工之誤測（錯誤決策），北投某深開挖，有信譽之包商研判○會支撐而員工○想「省」一層，強冒風險，結果還是搶不過而全面倒塌。

吳傳威教授

1. 災害的定義宜明確，例如結構裂痕，混泥土裂紋，沉陷等應是損傷但尚未形成災害。
2. 災害類型考慮火災、水災、損鄰。
3. 危險因子加權因數:地震、大風、照明不足、基地地質、開挖深度等。

陳盈月經理

1. 本案包含的工程種類很多，相對的研究的困難度亦很高，實令人肯定。
2. 建議針對各工程種類進行要因分析，可參考勞委會的報告。針對災害類型的部分亦可參考勞委會的定義納入系統內。
3. 本系統之可靠程度，端依案例數量及專家意見數量而有所不同，然本案例可能考量經費，建議可另提案進行案例搜尋及專家尋訪，以擴增本系統之可靠度〈亦可搜尋報章之重大災害〉。
4. 建築工程的風險評估系統可供現場人員作風險辨識參考，但建築師在建築工程中是重要的角色，建議針對建築師加強風險的訓練及本系統之訓練，或可納入建築師換訓練時數之課程。
5. 本系統除了評估風險外，是否亦可提供降低風險之建議。

王暉堯

1. 管理者在最佳化各專家評估各風險因子之嚴重程度時，財務、個人經驗，可能影響最佳化之結果，管理者最佳化工程風險因子，並據以擬定因應措施後，工程災害與未進行最佳化知各專家對工程之風險因子之類似案例相較是否能有效少，並有實際案例驗證。
2. 本系統所運用之模糊理論、基因演算法，建議於附錄以一簡單工程進行案例演算以強化理論說明。

楊思駿 主任

1. 風險評估中，災害類別應再增加，（可從職災案例中的原因分析逕行整理）風險因子，本研究主要為設計與施工品質不當而造成危害，而非人員不

建築工程施工風險評估模組與案例建置

安全行為或設備疏失；請確認風險因子的項目是否以研究主要方向（品質、施工不當，來列表。）如：P.4 安全防護措施不足，此項為品質的必要考慮項目？

- 2.本研究主題為「建築工程施工風險評估模組與案例建置」應考量設計、規畫、施工、人員行為及設施…等，可參考危險性工作場所評估方式，會比較周延。

高士峯 理事長

- 1.建議本次考量之風險因子，盡可能以結構物本身考量為出發點，即考量施工、設計等所引起之風險因子

張智奇 副研究員

- 1.勞研所目前已建置一套類似的風險評估系統及資料庫建置，建議能做橫向連結互通有無，提高資料庫完整性及實用性。

- 2.建議風險條件評估增加，並做網部分解。如：澆量過程模板鬆動

澆量力量過大

模板品質不良

固定強度不足

勞工傷亡與倒塌、飛落、翻倒等災害類型相關的結果，並用可能會使評估結果產生偏差。

部分風險因子具有連鎖效應，目前的分析方式可能無法涵著，如：吊掛
→飛落→崩塌、倒塌。

不同工法及施工機具有不同風險因子，應能適當反應出來。

附錄三、第二次專家座談會議紀錄

開會時間：九十八年九月十五日（星期五）下午三點整。

開會地點：台北科技大學 土木館 五樓會議室。

發言內容：

李文進組長 黃榮堯 教授

1. 施工電梯作業，建請增列塔柱固定螺栓強度不足之風險因子。
2. 建請增列場吊作業之風險因子(含組合爬升使用、拆除)。
3. 捲揚機作業，建請增列“未設計”風險因子。
4. 混凝土作業，建請增列“澆置前未經技師按施工圖施工圖”之風險因子及
“混凝土輸送管固定強度模擬”等...風險因子。
5. 電梯工程，建請增列“組配工作平臺未設計”之風險因子。
6. 連續壁體作業，建請增列“導溝強度不足”，“鋼筋籠整體性分布掛點強度不足”等...風險因子。
7. 鋼軌樁作業，建請增列“抽排水不足”之風險因子。
8. 開挖及支撐作業，建請增列水平支撐上堆置材料等...風險因子。
9. 起重機作業，建請增列“起重機支撐腳重未確實外伸”，“吊掛？未以實體分隔管制”等...風險因子。
10. 施工架作業，建請增列“工作臺不足”，“施工架材質規格”未符合國家標準規定。

11. 基樁施工建請增列“鋼筋籠拆置安全”風險因子。
12. 災害條例 P.18 吊鉤未具有防滑舌片與倒塌似無關，請修正。

陳宗禮 總經理

1. 建築施工風險因子對於採用施工法及計畫「施工程序」上似乎不可忽略

(例如) 案例一連續壁施工之掘削壁孔作業遇地質條件不佳地層無適當的工法防制壁孔崩塌之深導溝之作業。案例二之加油站之油亭混泥土施工中崩塌主要原因與混凝土之澆置作業程序有關，並不一定是只有模板支撐強度關係。
2. 風險因子用於案例評估時因各案例性質與特性之不同應依施工內容挑選應有的風險因子未評估，因此除了風險因子基本架構為基礎外依所評估的案例未選定應參與評估的風險因子，對於施工背景條差的因子宜加入是否有妥適的對策工法可以抑制，控制其風險或解決該風險。

陳建謀 教授

1. 本研究對於風險因子考慮周詳，對於施工風險管控貢獻良多。
2. 建議在建築設備工程階段，建議可以考慮淹水的風險，尤其是大型機電設施安裝後淹水所造成的風險。
3. 基礎工程部分建議也可以考慮淹水的風險，尤其是大型公共工程若有可能引起海水倒灌引發市區淹水者應特別考慮之，或是淹水引發之其它損

失。

呂世通 教授

- 1.系統之風險因子建議依各項作業研撰定。

蔡茂生執行長

- 1.假設工程應更改為共通作業如工區規劃(作業區，物存區...)
- 2.施工電梯操作可增列到作業項目。
- 3.起重機作業需考慮到機具安全性和吊掛具完整良好。
- 4.鋼筋作業中應包含加工、切割、吊放。

吳志鵬

- 1.鄰房保護項目加入。
- 2.案例二施工方法是否正確(克服或洩止)。
- 3.混泥土作業中風險因子可參考加入澆置速度和輸送管操作方式。

附錄四、期中會議委員審查意見處理情形

委員	審查委員意見	意見回覆
黃經理崇仁	1. 請補充說明圖 2-20、2-21 中發生可能性及風險度，二種數值之計算過程。	風險程度透過極值正規化方法(公式如 2.18 式)將原尺度轉換至[0,100]的尺度下，補述壁體崩塌風險程度計算過程於 P88。
	2. 第二章第三節有詳細之遺傳演算法理論基礎。但如何應用於風險評估系統中，請予簡要說明其方法、計算過程及所謂最佳化合理化內容。	對嚴重程度而言，本研究運用遺傳演算法具有最佳化的特性，以眾位專家對風險程度認知的平均值作為求解的目標函數，進而對內部嚴重程度參數進行最佳化與合理化。採用之遺傳演算方法如 P39 圖 2-9。
	3. 有關模糊理論及評估規則，亦請簡要說明其應用過程。	模糊理論及評估規則已於 97 年報告中論述，已擇重點補述於期末報告 P31 第二章第三節。
林理事長永裕(林亦郎代)	1. p.62 災害類型中開挖面沉陷，在 p.72 之災害類型中並未列出，且是否為合適列出之災害類型，請考量。	以往災害案例曾發生土壤軟弱地區施工時，當基礎版施作時，造成開挖面土壤沉陷，雖其發生機率不高，本計畫仍納入考量，由使用者參考。
	2. p.63 風險因子之選用宜考慮合適之項目及內容，是否考量 P.80 專家之意見內容。	風險因子之選用係參考歷年建研所成果及專家之意見匯整，而部份專家之內容亦盡量匯整於各風險因子之背景條件中，鑑於各工程特性複雜多變，本計畫盡量將重要因素納入，未納入部份使用者可由系統中增列。
	3. p.43 背景條件宜加強分級評分之說明。	已將背景條件予以區分等級，以便於使用者操作。
陳教授建謀	1. 本研究探討建築工程施工風險評估模組與案例建置，可提供建築工程施工風險決策評估參考，貢獻良多。	建築工程施工風險評估模組與案例之建置，確可提供建築工程施工風險決策評估參考。

	2. 本研究應用遺傳演算法進行案例資料分析，建議於第三節遺傳演算理論基礎部分可引出本研究如何利用遺傳演算法進行案例資料分析，以明確說明研究方法。	遺傳演算法只是以多數專家風險值進行最佳化之分析，使分析值趨於合理，而綜合評估結果如圖 3-16~3-20。
陳教授建謀	3. p.37 應為第四節。	更正為第四節施工風險評估系統模擬。
	4. 建議風險因子模組可考慮台灣地區特有的颱風或地震在施工過程所引發之風險。	地震或颱風發生後施工現場需重新依施工自主檢查表進行查驗，此因素已納入風險因子背景條件考量。
蔡教授茂生	1、研究內容 建築工程施工風險評估應係針對設計成果、施工環境、施工計畫等相關資料作整合性之評估。本報告第四章亦提出配合勞委會推動工程設計階段風險評估政策建議將公共建築納入。有關「設計階段風險評估」是否納入及「建築物拆除施工」是否納入研究範圍建請說明。	本年以建築工程施工災害風險評估為主，並未包含設計階段風險評估，惟將設計檢討納入背景條件考量因素中，提醒承包商施工前需進行現地調查，並作設計檢討以確保設計所採用之參數準確無誤。
	2、研究方法 (1) 建築工程施工內容應再收集分析更詳細之作業內容、方法、機具、設備，以契合實際施工狀況。	研究進行中仍持續收集相關建築工程作業內容、方法、機具、設備，並召開專家座談會不斷修正風險因子以契合實際施工狀況。
	(2) 第二章第一節「建築施工災害風險因子」內容摘自不同研究成果「災害類型」有依「危及公共設施」、「第三者安全」、「作業人員」、「施工公害」(表 2.1)，有依「工程類別」區分災害類別(表 2.2、2.3)，亦有合併統計者(圖 2-1)，本節擬探討之「風險因子」卻未見分析，建議應再做整合補充。	相關學者提出不同之建築施工災害風險因子，97 年報告採用林耀煌 1995 建研所報告之作業名稱(P10；表 2-2)，本年度持續更新系統與建立資料庫。風險因子為系統資料庫之內建資料，提供使用者依工程特性選用，若不足時使用者可自行增列。

附錄四、期中會議委員審查意見處理情形

	<p>(3) 職業災害統計分析數據應按勞委會發布之最近期勞動統計年報為宜。</p>	<p>採用林楨中, 2008 報告, 更新建築工程災害統計分析為 2000 至 2008 年最新資料。</p>
	<p>3、研究成果 (1) 建築工程施工作業分析 附錄 1.所列內容除基礎工程較詳細外其他部分過度簡化, 尤其是結構體施工與裝修施工部分建議應再詳細化。</p>	<p>對於結構體施工與裝修施工部分已予以詳細化。</p>
	<p>(2) 評估方法 A、應針對個別工程之施工環境、工程內容、作業方法、使用機具設備、分包承攬狀況、管理制度等做整合性之評估。</p>	<p>不同工程依施工環境、工程內容、作業方法、使用機具設備、分包承攬狀況、管理制度等有不同之施工風險值, 施工條件包含施工機具、施工方法、施工人員及地質水文等條件, 本計畫已將施工計畫完整性列入背景條件, 包含施工機具、方法、人員等因素。管理制度則將施工自主檢查表納入考量, 而分包承攬狀況由使用者依工地屬性決定是否納入。</p>
	<p>B、評估方法建議應以較簡易適合營造業者使用為宜, 過度學理化、試驗性之方法是否合宜, 建請斟酌。</p>	<p>國內並無統計資料足供風險評估人員進行可能性與嚴重程度之參考依據, 實務上皆由風險評估人員憑經驗自行決定施工災害可能性與嚴重程度, 往往過於空洞與應付心態。本研究應用模糊理論與遺傳演算將其系統化, 而實際操作上係由風險評估人員將其經驗流存於資料系統中, 便於評估值能趨於合理與可行。</p>

	<p>C、所謂「模組化」應在建立作業分析架構及風險評估方法之運用模式，而非依案例主觀分析歸類後得到發生機率與嚴重度之指標值，建成制式之評估表，否則將失去個案工程、個別承包商乃至不同主辦機關之差異性，風險評估將流於形式。</p>	<p>本計畫模組化作業係採用林耀煌 1995 建研所報告之作業名稱(P22；表 2-2)，鑑於不同施工條件進行風險評估皆不同，實難全部考量。</p> <p>本研究最大貢獻為開發建築工程施工災害風險評估系統，由施工廠商依公司文化與特值，建立屬於公司特有之風險評估資料庫，其性質類似工程會開發 PCESS 系統，系統內建資料庫由使用者選用或另行增加項目，在實務操作上可滿足現階段各工程風險評估人員之需要，避免其評估數據粗糙失真。</p>
	<p>D、施工風險評估應由具工程設計、施工、安全管理等不同專長之人員（且應由負責該工程施工者為主體）組成之「評估小組」辦理（本報告第四章 1，亦作此建議），圖 2-16 風險評估工程師評估流程，是否為誤植？</p>	<p>施工風險評估準確與確實，端賴施工風險評估是否由具工程設計、施工、安全管理等不同專長之人員（且應由負責該工程施工者為主體）組成之「評估小組」辦理，本研究將考慮列入結論中，以突顯其重要性。</p> <p>P84 更正為圖 4-3 風險評估流程。</p>
	<p>E、研究報告舉之連續壁施工風險因子列為：「壁體強度不足、壁體貫入深度不足、壁體單元接縫不當」等 3 項。應均係結果（或中間事件），列為因子是否適當？建請再作斟酌。</p>	<p>不同背景條件造成不同之風險因子，如地下水位上升將造成壁體貫入深度不足，導致發生壁體崩塌、異常出水出泥、開挖面隆起、開挖面沉陷、周圍地盤下陷等災害，因此背景條件及風險因子應合併考慮才合理。</p>
<p>陳董事長宗禮</p>	<p>1、依目前研究期中進度顯示應可達成預期的目標。</p>	<p>本計畫將管控計畫進度。</p>

附錄四、期中會議委員審查意見處理情形

	<p>2、下階段研究之示範案例希望能充實本研究內容並希望選用已完工之實際工程案例做為示範案例以驗證其研究之準確性與實用性。</p> <p>例如 (1) 濱江果菜市場案 (連續壁折斷道路坍塌)</p> <p>(2) 上海蓮花苑倒塌案施工災害</p> <p>(3) 杭州地鐵坍塌 (溝槽型單向支撐開挖)</p>	<p>第四章第二節已將實際工程案例做為示範案例，以驗證其研究之準確性與實用性。</p>
<p>臺北市政府 工務局代表 (胡鴻威)</p>	<p>P.49 表 1 改善後之壁體崩塌風險矩陣表可能性與嚴重程度如何訂定，宜予說明，俾利使用者有所依循。</p>	<p>風險程度將透過極值正規化方法(公式如 2.18 式)將原尺度轉換至[0,100]的尺度下，例如：壁體崩塌風險程度在上述表格中顯示為 82，其計算方式則必須先求得背景條件皆為最佳的風險程度值(A)、背景條件皆為最差的風險程度值(B)與背景條件為使用者輸入狀態之風險程度值(V)，並設定風險程度尺度將為[0,100]，P101 增列相關文字說明。</p>
<p>陳組長建忠</p>	<p>使用模糊理論及遺傳演算法外其他的理論工具宜予鋪陳，以免使用者誤用。</p>	<p>風險度分析理論甚多，如層級分析法、不確定分析法、故障樹法及模糊理論，97 年報告已論述，期末報告將模糊理論補述，讓使用者明瞭相關理論。</p>

附錄五、建築工程災害風險評估教育訓練情形

簽到簿

姓名	身分證字號 (公務員終身學習時數認證)	簽名處
林進福		林進福
張仁傑		張仁傑
廖國政	M120314248	廖國政
范文增		
顧孔亮	T121176640	顧孔亮
張建緯	A121176640	張建緯
王宏銘		王宏銘
蔡財明	X10022481	蔡財明
張森	中102054054	張森
楊思駿	A124170199	楊思駿
賴祐成	B121212815	賴祐成
賴以鈞		賴以鈞
陳宇璽		陳宇璽
陳銘揚	K101239916	陳銘揚
鄭世龍	A100142200	鄭世龍
建研所王峰		王峰
陳習慶	A223183774	陳習慶
林育豐		

圖 1 建築工程災害教育訓練簽到單



圖 2 建築工程災害教育訓練情況



圖 3 建築工程災害教育訓練情況



圖 4 建築工程災害教育訓練情況

附錄六、期末會議委員審查意見處理情形

委員	審查委員意見	意見回覆
邱昌平 教授	1. 本研究計畫之預期目標在決定施工風險之因子並採模糊理論進行風險評估立意良好。	因目前業界進行風險評估常用個人經驗決定風險因子及風險值，故本研究應用模糊理論可將經驗系統化處理，便於使用者進行風險評估。
	2. 風險評估若由施工廠商為主時，對於可掌握與不可掌握之因素應可以區分，如設計不良(圖說不良、工法不良、經費不合理、地質水文調查不清楚等)，他可以送標不投標或提出質疑。對於施工計畫、施工圖、假設工程、施工人員之素質為他可掌握的，係其可掌握的，不宜與前者混在一起評估。開工後已經排除不良性的項目，也不宜參與評估。	施工前施工廠商應進行現場地質水文及環境確認，並對設計圖面及工法檢討，如設計不良(圖說不良、工法不良、經費不合理、地質水文調查不清楚等)，承包商應與業主進行變更設計及工法，本研究僅針對施工廠商在確認設計無誤後施工前之風險評估。
呂守陞	1. 所建立之模糊理論規則庫之正確性宜加以驗證。	系統模糊理論規則庫為內建參考值，跟施工廠商經歷、施工環境與小包管理有關，使用者可斟酌修改，由施工累積建立自公司模糊理論規則庫資料。
	2. GA 使用之目的與機制宜更具體說明。	本研究採取 GA 理論如圖 3-6 遺傳演算法流程圖所述之方式，其理論之敘述分述於 P36 第二章第四節遺傳演算理論。
	3. 為使風險分析與各工作項目連接，以結合作業流程，建議未來系統發展可配合 WBS 進行風險評估。	本研究發展之風險管理系統主要以特有災害為主；一般性之工程災害則可依據 WBS 以『防災檢查表』逐一進行風險管理。

凌建勳	1. 報告 P13. 如下表 3-1 所示…，表格引述有誤，應為表 2-4。	報告 P13. 中更正為如下表 2-4。
	2. 仍有部分錯漏字，請檢視。以 P110. 錯誤較多為例，「舞濟」損失 430 多萬…，應為估計；另外圖 5 不知所指為何？	更正 P110. 及檢視錯漏字和圖 5 引用錯誤。
	3. 總結而言，本研究案利用適當之方法與學理將不確定性甚高之建築工程施工風險建置評估量化方法，案例描述可顯示其實用性，可供建築工程進行風險控管決策參考。	本計畫採用之案例皆以實際發生職災案例為資料庫，可供建築工程進行風險控管決策參考。
	4. 建議甚為具體，惟對立即可行之建議如施工廠商組成風險評估小組與丁類危評納入風險評估，可循序漸進，擇定一定金額以上之工程試行。	施工風險與工程金額非絕對正比關係，丁類危評性場所可納入風險評估。 五千萬元以上公共建築物已有綠建築標章之取得規定，故建議修正五千萬元以上公共建築物納入風險評估。
王澤雄	1. 為防止墜落災害法規有施工前須完成墜落防止計畫書之要求，其精神為：一、在設計階段即能考慮盡量於地面作業減少勞工高處作業。二、改變施工程序將目標建物之永久性上下設備、升降設備先行完成，以降低災害之發生。是否將本精神列入如表 3-1 背景條件、表 4-21 設計完善與否評估基準內，又定期檢查加入施工查核點及定期檢查。	在設計階段即應考慮盡量於地面作業減少勞工高處作業，改變施工程序將目標建物之永久性上下設備、升降設備先行完成，以降低災害之發生。此兩項納入設計檢討中較放置於背景條件適當些。

	<p>2. 為配合我國營造業現況，建議說明會及教育訓練對象除營造廠商外，應以營建管理甲乙級技術士、工地主任執照施工人員、資深土木背景的勞工安全管理員甲乙級技術士及丁類危險性營造廠所評估員為主，如實的訓練前述人員有利於“建築工程施工風險評估”工作之發展</p>	<p>後續計畫延續將建議事項納入教育訓練對象。</p>
	<p>3. 建議由本研究繼續於明年舉行北中南三區各一日六小時的“建築工程施工風險評估”研討會，台灣省工礦安全衛生技師公會、中華民國勞工安全衛生人員協會願意配合辦理。</p>	<p>後續計畫延續時將建議事項納入。</p>
<p>冀樹勇</p>	<p>1. 本研究之風險度計算應屬半定量而非定量化。</p>	<p>模糊規則風險度計算屬於定性及經驗計算，若透過遺傳基因演算建立資料庫則可量化計算</p>
	<p>2. 各類型之風險度於本計畫中應不可合併計算，因為其風險度為相對性，合併計算有權重分配問題。</p>	<p>災害之風險度由不同之風險因子決定，而各風險因子則由背景條件之發生機率決定，各類型之風險度由各風險因子計算而得，不致產生合併計算問題。</p>
	<p>3. 系統案例示範結果，應用上會有困難，可考慮將發生可能性與嚴重程度分級差異化加大。</p>	<p>本系統設計可參考前人資料庫和使用者本身經驗做最佳化風險評估。</p>
<p>陳建忠</p>	<p>1. 請再查證會證本案的適用廣度，各項因素是否能涵蓋使用者的風險評估需求。</p>	<p>本系統作業項目、背景條件和風險因子可依使用者需求增減。</p>
	<p>2. 請利用保險業對施工保險的評估方式、項目以及考量予以密合。</p>	<p>本計畫評估方式以行政院頒佈風險評估作業要點為依據。後續計畫可探討保險業對施工保險的評估方式、項目之可靠性。</p>

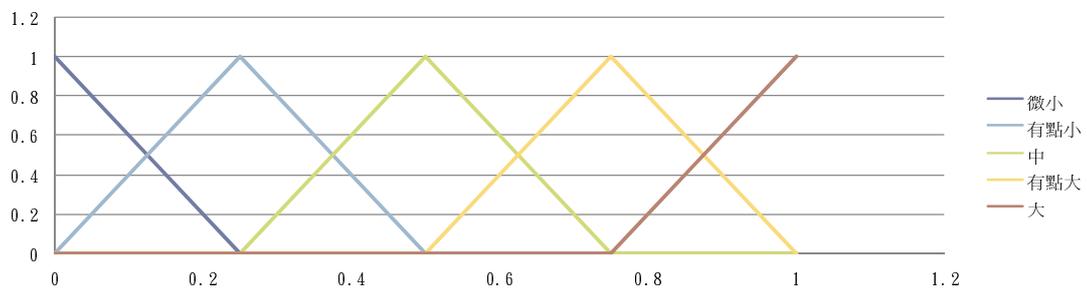
<p>蔡茂生</p>	<p>1. P. 87 表 4-3「連續壁作業風險評估背景條件範例表」有關施工作業之因素是否應納入，建請考量。</p>	<p>施工作業因素已納入施工自主檢查表中，各作業需將人機具施工環境之作業安全納入施工自主檢查表。</p>
	<p>2. P. 102~104，案例二於描述中說明係發生於拆梁底模過程作業人員不慎跌倒，表 4-14，4-15 均乃沿用連續壁分析之內容，諸如：「開挖規模與型式」、「監測系統完整」、「地質條件」、「地下水變化」，乃至「壁體強度不足」、「壁體單元接縫不當」、「壁體貫入深度不足」等，是否洽當，請確認。</p>	<p>更新 P. 102~104 案例二評估。</p>
	<p>3. P. 105~107，案例三，內容為過早拆模導致倒塌事故，唯於表 4-17、4-18 之背景條件中似未能反性出此一條件，於表 4-18 中之「風險因子發生可能性長條圖」將倒塌、飛落均列為 100 之風險度，無法了解其間之關係。</p>	<p>表 4-17、4-18 各作業之風險因子需納入施工自主檢查表中，若未確實進行施工查核，則風險因子發生機率極高，災害風險度計算則為 100。</p>
	<p>4. P. 107 案例四為養護不當所致，於表 4-18~4-20 中如何反應出該致災要因，建請補充說明。</p>	<p>表 4-17、4-18 各作業之風險因子需納入施工自主檢查表中，養護不當需列入施工自主檢查表中，若未確實進行施工查核，則風險因子發生機率極高。</p>
	<p>5. P. 117 第二節建議所列「立即可行之建議」中有關丁類危險性營造場所進行建築工程，施工廠商進行施工安全評估，應納入施工風險評估之內容。所稱之「風險」範圍如何建請予以較明確之說明。</p>	<p>修正『丁類危險性營造場所進行建築工程，施工廠商進行施工安全評估，對於特有災害應納入施工風險評估之內容』，以明確風險範圍特有災害之項目。</p>
	<p>6. 有關風險分析部分建議確予加強，以為後續據以推導可能災害類型之嚴重度及發生頻率之模糊規則之風險矩陣及相對比較值，以明確其問題邏輯關係。</p>	<p>本計畫由災害案例及相關文獻彙整風險分析可提供施工風險評估人員之參考，惟各施工廠商工程履歷、施工條件不一，甚難臚列所有作業之風險因素，本計畫研發施工風險評估之資料庫，使用者可依此為基礎，建立公司屬性之資料庫。</p>

陳宗禮	1. 本研究成果應已符合預期。	施工風險系統可提供風險評估人員使用與參考。
	2. 由於工程施工災變的特質是「一再重覆發生」因此風險評估益顯重要且為有效防止施工災變之手段，評估經驗之累積將為強化施工風險評估因子的有效方法，使評估結果愈趨精確。	本系統資料庫建置可將前人經驗累積，使用者評估結果更具有參考價值。
	3. 如果能夠延續本研究應多蒐集災變實例進行研究分析以找出更多的風險評估因子，對於評估結果之準確性將有莫大助益以事前的防範防止災變發生。	後續計畫蒐集災變實例進行研究分析以找出更多的風險評估因子。

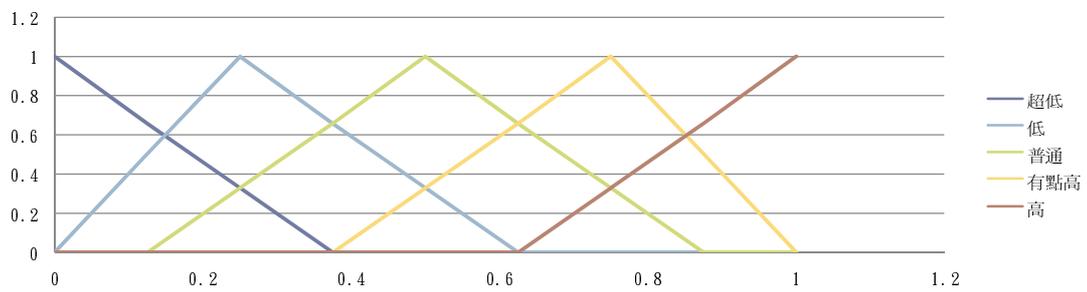
附錄七、模糊理論計算範例

- ◆ 假設工程-外牆作業
- ◆ 背景條件:1.風速 2.氣候 3.高度
- ◆ 風險因子:防護措施不足、施工機具不良、
施工程序不良或執行不當
- ◆ 災害類型:墜落、感電、物體飛落

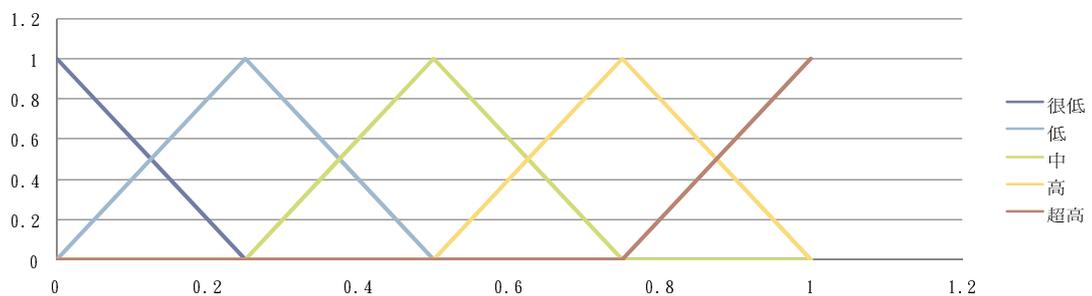
風速隸屬度



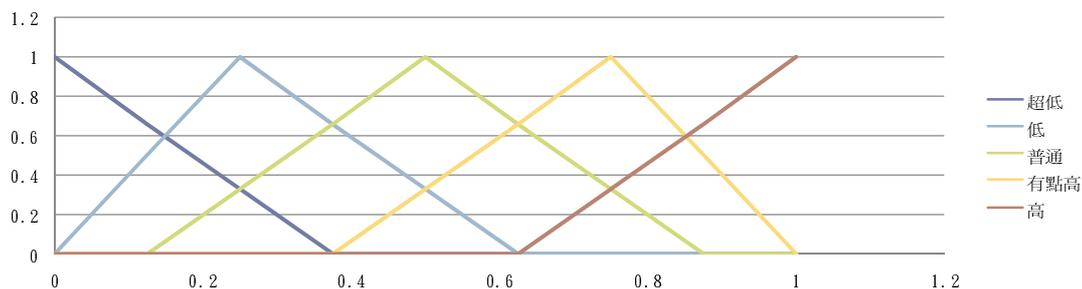
機率隸屬度



高度隸屬度



機率隸屬度



風速規則	防護措施不足	施工機具不良	施工程序不良或執行不當
微小(VM)	很低 VL	很低 VL	很低 VL
有點小(M)	很低 VL	很低 VL	很低 VL
普通(F)	普通 F	很低 VL	很低 VL
有點大(B)	很高 VH	普通 F	普通 F

氣候規則	防護措施不足	施工機具不良	施工程序不良或執行不當
非常差(VB)	很高 VH	很高 VH	很高 VH
有點差(B)	高 H	高 H	高 H
普通(F)	普通 F	普通 F	普通 F
有點好(G)	很低 VL	低 L	普通 F
非常好(VG)	很低 VL	低 L	普通 F

高度規則	防護措施不足	施工機具不良	施工程序不良或執行不當
很低(VL)	很低 VL	低 L	低 L
低(L)	普通 F	低 L	低 L
普通(F)	普通 F	普通 F	低 L
高(H)	高 H	普通 F	高 H
超高(VH)	很高 VH	高 H	很高 VH

嚴重度	防護措施不足	施工機具不良	施工程序不良或執行不當

墜落	1	0.6	0.6
感電	0.7	0.8	0
物體飛落	0.5	0.2	0.8

風險計算方式 分為矩陣法與連線法

➤ 矩陣法

風險=L*S

L:事件發生之可能性

S:事件之嚴重度

➤ 連線法

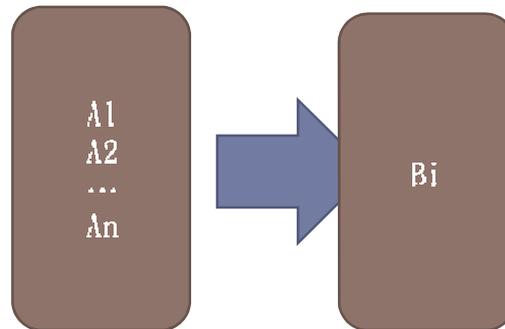
風險=P*E*S

P:事件發生機率高低的程度

E:暴露程度

S:事件之嚴重度

由於上述規則相當多，為了防止規則爆炸，故使用 Combs method
 Combs method : [(p and q) then r] = [(p then r) or (q then r)].
 intersection rule configuration (IRC) < = > union rule configuration (URC)



IF (A1 and A2 and A3 ...and An) then Bi



(IF A1 then Bi) or (IF A2 then Bi) or
 (IF A3 then Bi) or ...or (IF An then Bi)

利用蘊含式計算方式(AixBj)即可求得 Ai 和 Bj 的關係矩陣 R,如下所示。

風速對風險因子 1 之關係 R

1	0.33	0	0	0
1	0.33	0	0	0

0	0.33	1	0.33	0
0	0	0	0.33	1
0	0	0	0.33	1

氣候對風險因子 1 之關係 R

0	0	0	0.33	1
0	0	0.33	1	0
0	0.33	1	0.33	0
1	0.33	0	0	0
1	0.33	0	0	0

高度對風險因子 1 之關係 R

1	0.33	0	0	0
0	0.33	1	0.33	0
0	0.33	1	0.33	0
0	0	0.33	1	0
0	0	0	0.33	1

假設風速評分為 0.36 、氣候評分為 0.2 、高度評分為 0.1 ，則

風速模糊化向量為 [0, 0.56, 0.44, 0, 0]

氣候模糊化向量為 [0, 0, 0.6, 0.4, 0]

高度模糊化向量為 [0.6, 0.4, 0, 0, 0]

風速

$$[0 \ 0.56 \ 0.44 \ 0 \ 0] \circ \begin{bmatrix} 1 & 0.33 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.33 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.33 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.33 & 1 \end{bmatrix} = [0.56 \ 0.33 \ 0 \ 0.33 \ 0]$$

氣候

$$[0 \ 0 \ 0.6 \ 0.4 \ 0] \circ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.33 & 1 \\ 0 & 0 & 0.33 & 1 & 0 \\ 0 & 0.33 & 1 & 0.33 & 0 \\ 1 & 0.33 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.33 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0 \ 0.33 \ 0.6 \ 0.33 \ 0]$$

高度

$$[0.6 \ 0.4 \ 0 \ 0 \ 0] \circ \begin{bmatrix} 1 & 0.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.33 & 1 & 0.33 & 0 \\ 0 & 0.33 & 1 & 0.33 & 0 \\ 0 & 0 & 0.33 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.33 & 1 \end{bmatrix} = [0.6 \ 0.33 \ 0.4 \ 0.33 \ 0]$$

$$\left. \begin{array}{l} [0.56 \ 0.33 \ 0.0 \ 0.33 \ 0] \\ \cup \\ [0.00 \ 0.33 \ 0.6 \ 0.33 \ 0] \\ \cup \\ [0.60 \ 0.33 \ 0.4 \ 0.33 \ 0] \end{array} \right\} [0.6 \ 0.33 \ 0.6 \ 0.33 \ 0]$$

$$B = \frac{[(0.6 \times 0) + (0.33 \times 0.25) + (0.6 \times 0.5) + (0.33 \times 0.75) + (0 \times 1)]}{0.6 + 0.33 + 0.6 + 0.33 + 0} = 0.3387$$

風險度=B*Ci



墜落風險度:	33.87097	%
感電風險度:	23.70968	%
物體飛落風險度:	16.93548	%

參考書目

- [1]林禎中(2008)，我國營造工程職業災害資料探勘分析-建築工程，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究。
- [2]蔡宗潔(2004)，建築工程風險及風險管理現況之基礎研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫。
- [3]Chapman, R. J. (2001), The Controlling Influences on Effective Risk Identification and Assessment for Construction Design Management, *International Journal of Project Management*, 19(2), pp.147-160.
- [4]Smith, G. R. and Bohn, C. M. (1999), Small to Medium Contractor Contingency and Assumption of Risk, *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(2), pp.101-108.
- [5]Conroy, G. and Soltan, H. (1998), ConSERV, A Project Specific Risk Management Concept, *International Journal of Project Management*, 16(6), pp. 353-366.
- [6]Baloi, D., Price, A.D.F. (2003), Modelling global risk factors affecting construction cost performance, *International Journal of Project Management*, 21(2), pp. 261 - 269.
- [7]Faber, M. H. and Stewart, M. G. (2003), "Risk assessment for civil engineering facilities: critical overview and discussion," *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 80, pp. 173-184.
- [8]林耀煌(1995)，建築施工災害防治技術及法令制度研究架構之規劃，內政部建築研究所籌備處。
- [9]劉敏麟(2005)，建築工程勞工災害防制之研究，臺北科技大學碩士論文。
- [10]Hinze, J., Huang, X. and Terry, L. (2005), The Nature of Struck-by Accidents, *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(2), pp. 262-268.
- [11]周明、孫樹棟(2005)，遺傳算法原理及應用，國防工業出版社。

- [12]蘇進國(2008),模糊遺傳演算法在橋梁耐震性能設計之應用與耐震維修補強生命週期成本最小化之研究,國立臺北科技大學土木防災研究所博士學位論文。
- [13]De Jong K A.(1975),An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems,Ph.D Dissertation,University of Michigan,NO.76-9381.
- [14]Brindle A.(1981),Genetic Algorithms for Function Optimization.,Ph.D Dissertation, University of Alberta.
- [15]De Jong K A.(1975),An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems,Ph.D Dissertation,University of Michigan,NO.76-9381..
- [16]De Jong K A. (1975), An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems, Ph. D Dissertation, University of Michigan, NO. 76-9381.
- [17]Z. Michalewicz(1992),"A Modified Genetic Algorithm for Optimal Control Problems," *Computers Math. Application*,Vol.23,pp.83~94.
- [18]王源清、江見鯨、崔京浩(2008),建築工程事故分析與處理,中國建築工業出版社。
- [19]沈茂松(2008),營建工程防災技術,文笙書局股份有限公司。
- [20]呂世通(2008),建築工程施工風險評方法之研究,內政部建築研究所委託研究報告。

建築施工災害防制技術之研究（三）－建築工程施工風險
評估模組與案例建置

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：陳建忠、張寬勇、宋裕祺

出版年月：98 年 12 月

版(刷)次：初版

ISBN：