

建築施工災害防制技術之研究(二)－
建築工程施工風險評估方法之研究



內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 97 年 12 月

PG9701-0327
097301070000G1008

建築施工災害防制技術之研究(二)－ 建築工程施工風險評估方法之研究

受委託者:財團法人臺灣建築中心

研究主持人：呂世通

協同主持人：張寬勇

研究員：宋裕祺

研究助理：尹惠芬

石原榮

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 97 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 研究範圍與內容.....	5
第三節 研究方法與流程.....	6
第四節 蒐集資料與文獻分析.....	9
第五節 研究成果.....	11
第二章 建築工程施工風險評估基本架構.....	13
第一節 風險管理概念與風險評估程序.....	13
第二節 建築工程之分項工程與作業項目.....	17
第三節 建築工程施工風險來源.....	29
第四節 建築工程施工災害類型.....	42

第五節 新建建築工程施工風險評估基礎架構...	46
第三章 風險評估方法.....	51
第一節 建築工程施工風險評估方法回顧.....	51
第二節 多準則決策 (Multiple Criteria Decision Making, MCDM).....	53
第三節 模糊理論	56
第四章 建築工程施工風險評估系統架構及模擬	73
第一節 系統架構	73
第二節 系統操作及案例模擬	76
第五章 建築相關法規之檢討	97
第一節 施工安全相關法規之探討.....	97
第二節 施工風險與安全之建議	101
第六章 結論與建議.....	105
第一節 結論	105
第二節 建議	107
第三節 未來研究建議	109

附錄一、研究團隊會議紀錄.....	111
附錄二、建築工程施工風險評估方法之研究專家座談會議 紀錄.....	115
附錄三、案例模擬.....	123
附錄四、期初委員審查意見處理情形.....	129
附錄五、期中委員審查意見處理情形.....	133
附錄六、期末委員審查意見處理情形.....	139
參考書目.....	143





表次

表 1-1 相關文獻之搜集	10
表 2-1 林耀煌(1995)工程類別所含作業項目	18
表 2-2 陳建忠(2000)所列之建築工程施工項目架構.....	20
表 2-3 劉敏麟(2002)所分類之建築工程項目及相關災害 發生比例.....	21
表 2-4 建築工程重大傷亡職災依照工程類別統計表.....	22
表 2-5 建築工程重大傷亡職災依照作業類別統計表.....	22
表 2-6 建築工程分項工程劃分相關文獻整理.....	23
表 2-7 陳清泉(1987)所列施工災害原因	29
表 2-8 林耀煌(1995)之建築工程致災原因一覽表.....	30
表 2-9 蔡宗潔(2004)所列風險發生原因之類別.....	34
表 2-10 陳福勝等人(2008)列舉之深開挖風險因素.....	36
表 2-11 以整體工程專案觀點來探討風險因素之相關研究	38

表 2-12 建築工程施工災害之範圍與其相對應的施工災害 類型.....	42
表 2-13 建築工程施工災害防治技術重點	43
表 2-14 建築工程施工災害類型防治重點	44
表 2-15 建築工程重大傷亡職災資料之各式災害類型統計	46
表 3-1 相關建築工程風險評估研究方法	52
表 5-1 施工風險評估增列建議表	103



圖次

圖 1-1 歷年國內重大職災發生死亡總人數.....	3
圖 1-2 建築工程之工程別分類統計	3
圖 1-3 建築工程重大職災勞工工種分佈	4
圖 1-4 研究流程圖	8
圖 2-1 建築工程施工風險評估程序的基本架構.....	16
圖 2-2 林耀煌(1996)對基礎工程之分類範圍圖.....	19
圖 2-3 新建建築工程施工風險評估基本分類架構.....	25
圖 2-4 RC 結構系統新建建築工程施工風險評估之工程項 目架構.....	26
圖 2-5 SC 結構系統新建建築工程施工風險評估之工程項 目架構.....	27
圖 2-6 SRC 結構系統新建建築工程施工風險評估之工程項 目架構.....	28
圖 2-7 建築工程之致災主要因素圖	33
圖 2-8 建築工程災害類型發生次數統計圖.....	45

圖 2-9 建築施工風險評估架構概念圖示	47
圖 2-10 RC 結構系統施工風險評估基礎架構	48
圖 2-11 SC 結構系統施工風險評估基礎架構	49
圖 2-12 SRC 結構系統施工風險評估基礎架構	50
圖 3-1 三角模糊數及 α -level 示意圖	62
圖 3-2 五等級的語意尺度	63
圖 3-3 模糊邏輯控制系統基本結構	67
圖 3-4 模糊推論演算	68
圖 3-5 直接模糊推論	71
圖 3-6 max-min 合成運算過程	72
圖 4-1 風險評估系統主架構	73
圖 4-2 模糊資料庫與規則庫流程架構	74
圖 4-3 風險評估系統運作流程	75
圖 4-4 評估系統主畫面	77
圖 4-5 輸入或新增專案	77
圖 4-6 選擇結構系統	78

圖 4-7 選擇或新增評估之分項工程名稱	78
圖 4-8 選擇或新增評估之作業項目名稱	79
圖 4-9 背景條件設定	80
圖 4-10 背景條件設定之一	81
圖 4-11 背景條件設定之二	81
圖 4-12 背景條件設定之三	82
圖 4-13 背景條件設定之四	82
圖 4-14 風險因子設定	83
圖 4-15 災害類型設定	84
圖 4-16 風險因子與背景條件關係設定	85
圖 4-17 風險因子造成災害嚴重度設定	86
圖 4-18 背景條件狀態的設定	86
圖 4-19 各風險因子發生的機率與程度比例	88
圖 4-20 各災害在考慮的風險因子下之風險程度	88
圖 4-21 整個評估資料報告	89
圖 4-22 開啟舊專案 TXT 檔	89

圖 4-23 情況一背景條件狀態的設定	91
圖 4-24 情況二背景條件狀態的設定	91
圖 4-25 情況三背景條件狀態的設定	91
圖 4-26 設計者業績很差模擬下之風險因子發生機率	92
圖 4-27 設計者業績很差模擬下之災害類型風險程度	92
圖 4-28 施工者業績很差模擬下之風險因子發生機率	93
圖 4-29 施工者業績很差模擬下之災害類型風險程度	93
圖 4-30 勞工人員素質很差模擬下之風險因子發生機率 ..	94
圖 4-31 勞工人員素質很差模擬下之災害類型風險程度 ..	95
圖 A3-1 風險因子與背景因子條件關係設定	124
圖 A3-2 風險因子造成災害嚴重度設定	125
圖 A3-3 背景條件狀態的設定	125
圖 A3-4 各風險因子發生的機率與程度比例	126
圖 A3-5 各災害在考慮的風險因子下之風險程度	126

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、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。

二、研究方法及過程

在研究方法上，除了由公開資料的收集以及文獻回顧法蒐集分析過去國內外學者的相關研究之外，加以研究團隊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多準則決策概念與模糊理論原理，開發成決策支援系統，以利本研究計畫預定項目之進行及案例模擬，進一步得出結論與建議。

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成果與發現簡要說明如下：

- (一) 經過文獻整理及專家座談與訪談結果，發現若是要針對建築工程施工風險因素的成因或來源，其會隨施工環境等客觀條件以及工程人員素質、能力等主觀條件影響，而有很複雜且無法完全聚焦，變得不易討論，而且建

築工程的施工項目更包含建築機電設備，若又要針對建築機電設備的施工進行風險因子的評估與分析，唯恐產生過多疏漏，因此本研究將研究範圍限縮在建築工程的新建土建工程部分，如此在研究分析的過程中較能有一個明確的目標，而達成適當的研究目的。故因而本研究所開發之工程風險評估程式系統，主要以新建工程之土建部分的工作項目與相關之風險因子與災害類型為主。

- (二) 由於不同工程背景條件下針對同一工程項目所面對的施工風險因子可能會有所差異，因此本研究所開發設計的決策支援系統，除內建一些一般常見的風險因素可參照外，將採取依據使用者需求，以開放式的輸入使用者額外考量的工程項目、作業項目、風險因子與災害類型，以便使評估人員進行評估的過程更具有彈性及完整性。
- (三) 國內目前建築相關法規並未將施工風險評估的要求納入，惟對於施工安全性設計施工及相關技師需加以評估，以確保施工安全性，因此應於相關法規或制度設計一合理機制，推行工程風險評估的運作。

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。分別從立即可行的建議、及中長期性建議加以列舉。

立即可行之建議

主辦機關：行政院公共工程委員會

協辦機關：內政部營建署、各地方縣市政府

透過公共工程委員會、內政部營建署及各地方縣市政府，在既有的法律規範下，針對現行建築工程的執行查核或訂定契約規範時，要求公共工程設計、監造簽證之計畫應納入施工風險評估項目、營造業製作施工計畫書時應納入施工風險評估項目、營造工程施工安全評估報告書應包含施工風險評估內容以及機關進行工程品質或績效查核時納入施工風險評估項目之評分。

長期性建議－建立工程風險評估專業證照制度

主辦機關：行政院公共工程委員會

協辦機關：內政部營建署

建築施工風險評估作業應建制專業評估分析人員，如同安衛管理人員必須具備相關專業訓練及證照認證，以使工程風險評估作業能落實於工程施工現場，事先做好風險控管事宜，確實達成減少施工災害情事。



Abstract

Key words: Building Construction, Construction Risk, Risk Assessment

I. Introduction

With the area limitation of land use, the developments of building structure tend to large scale, high-rise, complex shape and height technology. Therefore, there exist a lot of risks in building construction process. These risks may come from operations of construction equipments, shortages of protection facilities, difficulties of construction environment and quality of site works. These often result in poor performance with increasing costs and time delays. With the need for improved performance in building industry and increasing contractual obligations, the requirement of an effective risk assessment approach has been more necessary.

II. Research Methods and Procedures

For the above purpose, the methods taken in this research project mainly are: documents analysis; data collection and investigation; experts discussion; and other risk assessment approaches review. The research project scheme begins from the collection of related documents, including information of construction disasters issued by public entities, risk assessment approach of domestic and international journals. Then, it introduces the concepts of risk management and Multiple Criteria Decision Making (MCDM) approach and fuzzy theory to construct the basic structure of assessment of building construction risk. Finally, it develop a decision support system to illustrate a case study for expected objectives of the project.

III. Important Findings

Therefore, this research project follows the above methods and working schedule, to obtain the results in one year mainly as follows:

1. After literatures review and experts discussions, the sources of building construction risk are affected by many factors, including construction environment and the ability of engineers and site workers and so on. It is complicated and hard to discuss. Besides, the mechanical and electrical equipments are also contained in construction items of building. If this factor also been discussed in this project, the omissions about the risk assessment criteria will not been avoided. For this reason, the range of this research is limited in civil engineering of new constructions. The system of construction risk assessment developing in this project focuses on the activities, related risk factors and disaster categories of new constructions.
2. Due to different conditions of projects, the considerations of risk factors might be differential. Thus, this research developed a multi-function decision making system for those extra needs of projects. This whole-thinking open system has the capabilities, flexibilities, and conveniences of adding extra factors (such as task items, activity items, risk factors and types of disasters) for project evaluator.
3. It hasn't been considered and requested for the risk evaluation of related Building Codes in Taiwan. Procedures, peoples and processes of construction safety are the only concern for this industry. Therefore, it is very important to build up a mechanism in related laws and regulations involving risk evaluation and operation in project management.

IV. Suggestions and Recommendations

This project comes to the immediate and long-term strategies.

For immediate strategies:

Main-responsible Sector : Public Construction Commission (PCC),
Executive Yuan

Minor-responsible Sectors : Construction and Planning Agency Ministry
of The Interior (CPAMI) and Local Governments

Base on the present related legal provisions issued by PCC, CPAMI and local government, request current and on-going public projects involve the method and process of risk management before contracts have been signed. Standards, procedures and guidelines of risk evaluation process are a must in the process of construction phase. Risk evaluation process has to be involved and approved in the proposal before projects started. Check lists of each item of risk analysis are needed in all documentations and reports.

For long-term strategies- Certificate for professional risk evaluation system

Main-responsible Sector: Public Construction Commission (PCC),
Executive Yuan

Minor-responsible Sectors : Construction and Planning Agency Ministry
of The Interior (CPAMI)

Same as safety certification system of occupational safety & health manager, in order to reduce the risk and hazard of construction project, people who involved risk evaluation has to be trained and passed the test of professional risk evaluation system.

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。

根據勞委會的統計資料結果顯示，建築工程發生職業災害事故的比例約佔營造工程的 47%，故有關建築工程之防災課題，應為我國防減災策略之主軸。然建築施工隨工程種類、施工方法之不同，其不同程度的施工災害風險，所應採取防制之手段方法亦有所不同，因此，建築施工災害防制，應首重於事前之規劃，亦即建築工程之營建管理，於工程開展之前，即應擬定完整施工計畫，針對各分項工程的施工災害風險、辨識施工災害來源，量化各分項工程之風險程度，再對各項分項工程擬定施工順序人員投入及調度，規劃適當人力投入施工品質、安全防護、預警監控之中，將可有效降低建築工程施工災害之發生風險。然而凡此施工災害風險辨識、風險評估、風險緩和、風險監督與回報等之風險分析與管理程序，在以往建管單位要求的施工計畫書，並無強制性規定，或者只是是用概念性的描述或空泛的文字敘述，來進行如此重要的管理步驟，而且目前國內許多研究雖有提出一些工程風險評估模式，但都屬於較為偏重某種工項或以工程專案角度去分析，並未強化建築各分項工程施工風險的部份。因此研究建立一系統化、易操作且能具體進行建築施工風險評估與分析的方法，以便能有效地將風險管理系統與技術，引

入施工計畫書的規劃之中，以有效落實施工管理作業能力，提升建築工程施工災害防制技術及績效，實為一極其重要的課題。

貳、研究背景

一、研究範圍

依據林楨中(2008)¹之研究統計，建築工程重大職災件數占有營造業重大職災總件數約 50%(如圖 1-1)，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%(如圖 1-2)，顯示建築工程之新建工程為施工災害主要應關注的對象。再依據該研究針對建築工程重大職災勞工工種分佈情形(如圖 1-3)，其發生施工職業災害絕大多數屬於土建工程部分，此外經本研究集合產官學專家座談之結果，建議本研究相關的施工風險議題上，應專注在建築工程的土建部分，因此對於有關建築設備工程部份在本研究暫不探究。因此本研究在風險評估之主要工程項目與作業項目方面，將範圍設定在「新建」建築工程的「土建施工」部分為本研究主要思考標的。而且本研究計畫係建築施工災害防制技術之研究第二階段，副標題為建築工程施工風險評估方法之研究，因此本研究主要是針對風險評估方法的提出與建立為主要目標，所以在研究內容方面，將僅針對建築施工技術層面所面對的風險因素之評估方法進行一系列之探究與建立。

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。



圖 1-1 歷年國內重大職災發生死亡總人數

(資料來源:林楨中, 2008, p 22)

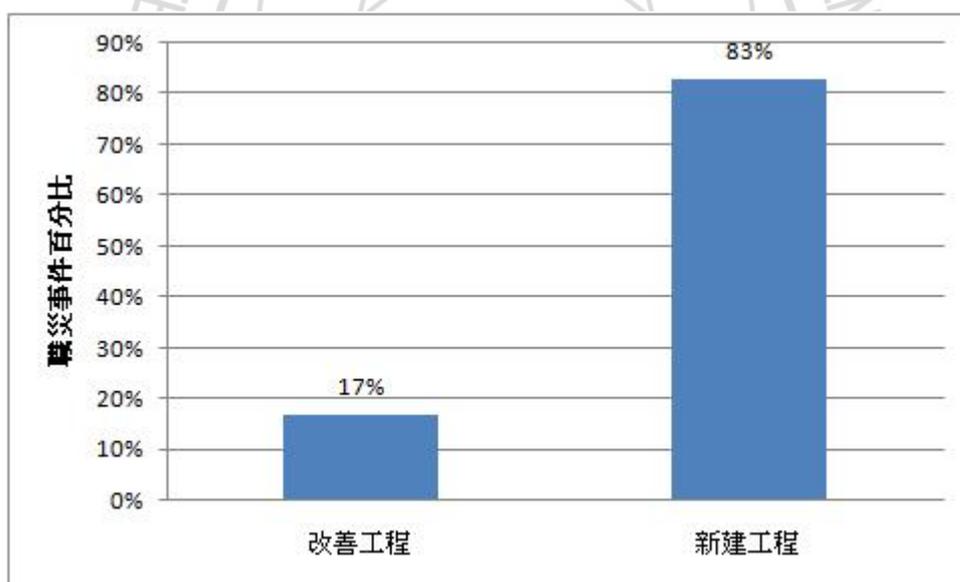


圖 1-2 建築工程之工程別分類統計

(資料來源:林楨中, 2008, p 36)

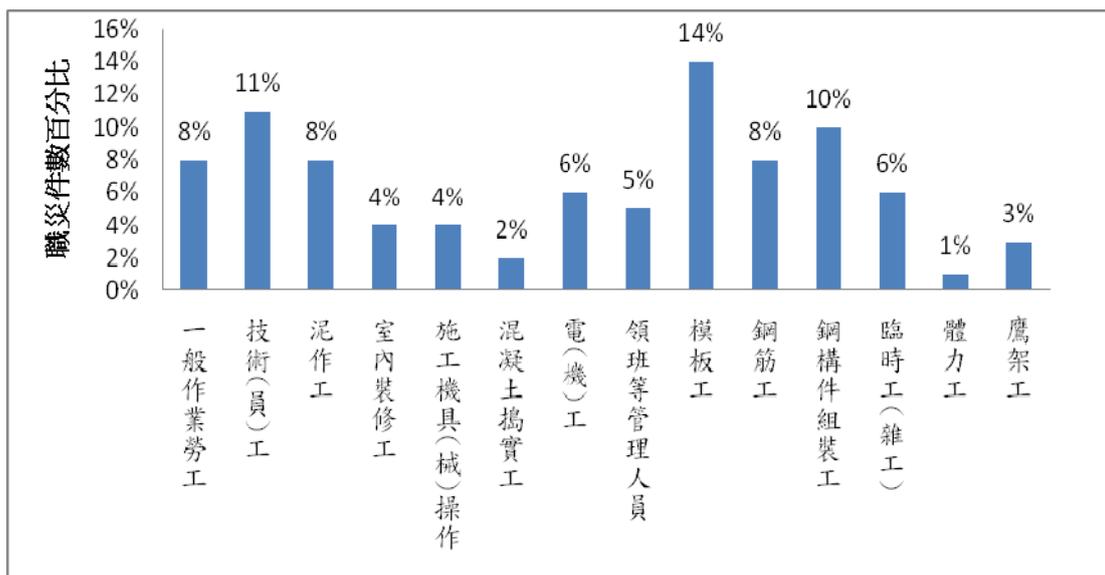


圖 1-3 建築工程重大職災勞工工種分佈

(資料來源:林楨中, 2008, p42)

二、研究目的

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。因此本計畫之研究目的有以下四點：

1. 蒐集建築工程施工階段相關工程風險之基礎資料，以建構建築工程各分項工程之風險評估基本參照架構。
2. 藉由所蒐集建築工程施工階段相關工程風險要素及背景條件，分析建築工程各分項工程施工風險因素發生機率及災害的嚴重程度。
3. 整理建築工程各項施工工法的風險要素與風險特性，以建立系統化且易操作之各項工法施工災害風險評估方法。
4. 以所建立之建築工程施工風險評估模式或方法，來探討相關法規應用之可行性。

第二節 研究範圍與內容

壹、研究範圍

經過文獻整理及專家座談與訪談結果，發現若是要針對建築工程風險因素的成因或來源，其會隨施工環境等客觀條件以及工程人員素質、能力等主觀條件影響，而有很複雜且無法完全聚焦，變得不易討論，而且研究人員多為土木方面之專長，對於建築機電設備的專業較不熟悉，若要針對建築機電設備的施工進行風險因子的評估與分析，唯恐產生過多疏漏，因此本研究將研究範圍限縮在建築工程的新建土建工程部分，如此在研究分析的過程中較能發揮應有的專業素養，而達成適當的研究目的。由於不同工程背景條件下針對同一工程項目所面對的施工風險因子可能會有所差異，因此本研究所開發設計的決策支援系統，除內建一些一般常見的風險因素可參照外，亦採取依據使用者需求，以開放式的輸入使用者額外考量的風險因子，以便於實際進行施工現場風險評估的過程能更為完善。

貳、研究內容

本研究為進行新建建築工程土建部分之施工風險評估方法之研究，在研究內容上包括以下幾項主要項目：

1. 建構新建建築工程各分項工程風險評估基本所需之風險因子及災害類型。
2. 藉由風險管理概念及風險評估理論方法之回顧，尋求一具有系統性的風險評估工具。
3. 所蒐集建築工程施工階段相關工程風險要素及背景條件，依據理論基礎開發一項具備分析新建建築工程各分項工程施工風險因素發生機率及災害嚴重程度之決策支援系統程式。
4. 探討相關現有建築法規在施工風險評估之規定並提出建議改進方向。

第三節 研究方法與流程

壹、研究方法

本研究主要是透過資料蒐集、文獻回顧、研究團隊腦力激盪、專家座談與訪談後，建立基本的風險分析評估架構，再輔以多準則決策的理論基礎，經由模糊理論方法等，進行相關目標議題之研究。其研究流程如圖 1-4。

1. 公開資訊：透過既有的公開統計資料，蒐集近年來建築工程施工災害資料以及其所造成的危害程度，將相關施工災害與危害程度資料分類，並運用統計方法，進行初步統計分析，以探討施工災害發生的傾向及與風險相關因子的關連性，再將施工災害及作業類別進行統計分析，以作為分析各分項工程受危害程度之基礎，以及評估各分項工程施工災害發生機率參考基準。
2. 文獻回顧：蒐集有關風險分析與評估的理論模式之文獻資料與相關研究，理析各項風險評估方法，對於本研究建築工程施工風險評估之適用性或應用層面；另經由有關探討建築施工風險或施工災害因素之國內外文獻，以建立建築施工風險評估因子層級架構。
3. 研究團隊腦力激盪：研究團隊經由每個月一至二次定期開會研商有關蒐集到的資料與文獻，討論該等資料之意義及處理方式，並逐步建立本研究所需的建築工程分項工程類型、風險因素型態、施工災害類型等，施工風險評估所需的基本架構。
4. 專家座談與訪談法：舉辦產、官、學界專家座談，請各專家提供對各分項工程施工風險成因之意見及危害程度看法，以便於研擬施工風險評估層級架構雛形外，並整理訪談資料建立成專家知識庫以作為風險評估參考基礎，另也對所建立之風險評估模式與相關專家進行訪談，以瞭解相關專家對於此架構有何建議，以作為評估模式改進之參考。
5. 多準則決策方法：本研究須建立施工災害風險評估方法與各項工法風險評分，而多準則決策方法(Multiple Criteria Decision Making, MCDM)在處理多重準則的評估問題，已經有相當多研究成果及成熟的技術，且建築施工風險發生的原因並非單一因素，若欲系統性評

估其相關風險程度，多準則決策應不失為重要參考模式。因此多準則決策法可將資料調查、文獻回顧與問卷調查所建構的施工風險評估因子層級架構，進行綜合性與各分項工程的施工災害危害程度與發生機率之分析。

6. 模糊理論：因風險評估的過程，實為對許多不確定狀態下進行一些專業的判斷，而模糊理論的發展，正好對於具有不確定的環境或條件情境下的決策分析，具有相當不錯的處理效果，因此本研究在處理風險評估的過程中採用模糊理論的基礎與方法，以能達成本研究所欲探討的標的。

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，研究的過程包括：

- 一、導入風險管理概念，回顧風險管理理論與風險評估程序架構。
- 二、建立建築工程施工分項工程及其相關作業項目關係架構。
- 三、分析建築工程施工致災風險因素與災害類型。
- 四、建立風險評估所需之建築工程各分項工程施工風險因素層級結構，展現建築施工風險評估之概念。

導入風險管理概念及多準則評估方法並結合模糊理論原理，開發建築施工風險評估決策支援系統之雛形架構。

舉辦二場結合產官學專家座談會，會中各專家均能提出具參考價值之意見，以進一步得出結論與建議。

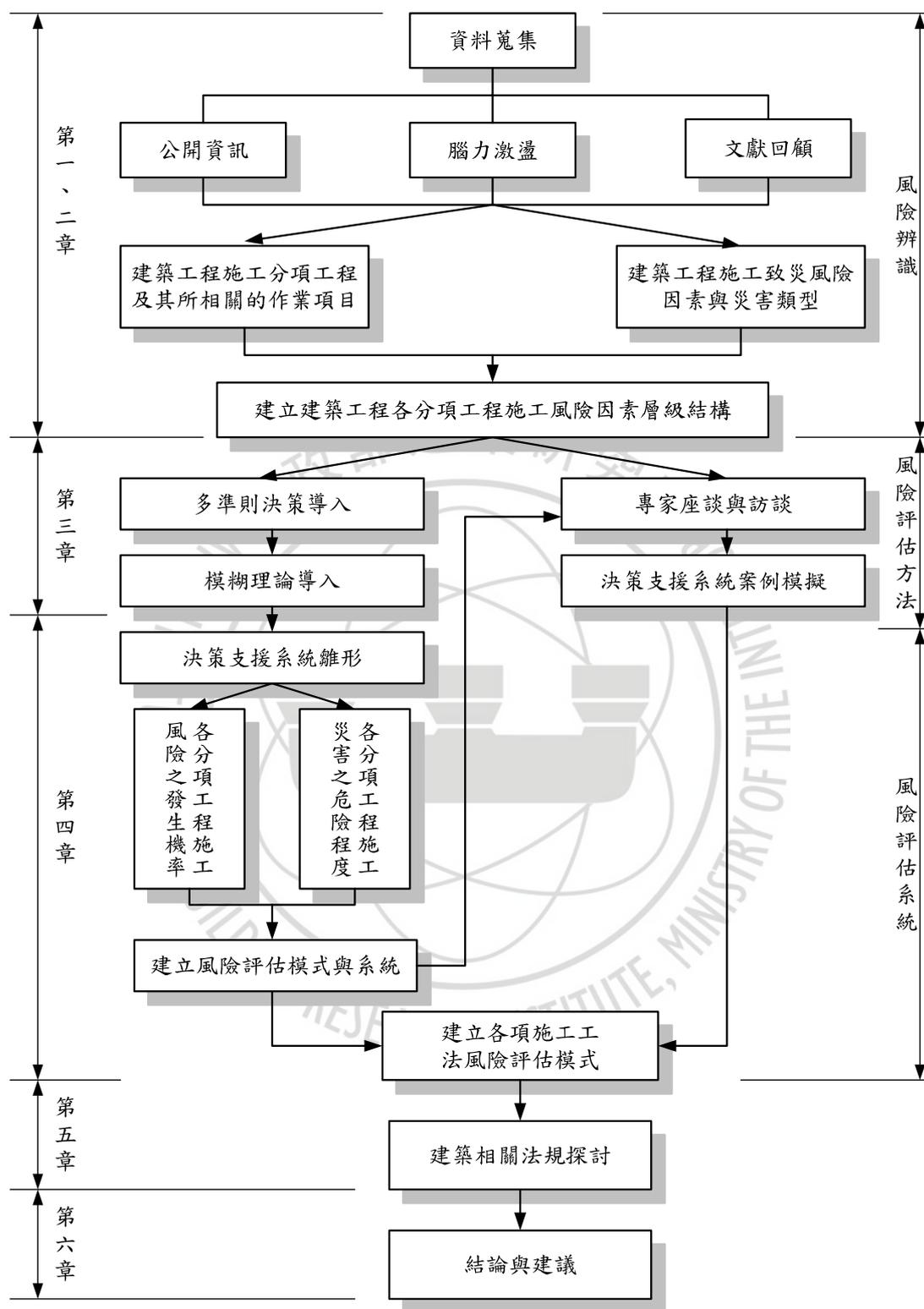


圖 1-4 研究流程圖

(資料來源:本研究整理)

第四節 蒐集資料與文獻分析

本研究為建立建築工程各分項工程與作業項目架構，蒐集之資料包括林耀煌(1995)、陳建忠(2000)等相關專題研究報告、行政院公共工程委員會頒布之「建築施工規範綱要」有關施工計畫之官方規定，以及本研究整理民國86~96年行政院勞工委員會南、中、北區勞檢所建築工程重大傷亡職災資料(如表 1-1)。這些專題研究報告雖然僅針對其研究所關注的方向探究建築分項工程的項目，但對本研究提供了相當有助益的參照價值，本研究除可經由該等研究所建立的分項工程架構了解建築工程的特性之外，輔以本研究統計整理之職災資料，而能經由這些資料綜合出本研究在探討新建建築工程施工風險評估作業所需的分項工程架構與作業項目。

建築工程施工致災風險因素與災害類型的文獻蒐集方面，除了許多專題研究報告之外，也包括學位論文及國內外期刊論文，有些係針對某分項工程之風險做探討，有些是針對整體專案計畫角度去分析風險因素與災害，由文獻所提供的步論是施工風險或是整體專案風險，發現若是要針對建築工程風險因素的成因或來源作探討，其會隨施工環境等客觀條件以及工程人員素質、能力等主觀條件影響，而有很複雜且無法完全聚焦，變得不易討論，也就是工程的風險因素的建立會隨著不同的研究主題、研究方向甚至研究者的背景知識的因素，而有許多不同的結果或項目，因此，若是想要以文獻資料來建立標準化的風險項目是不可能的，其必須隨專案特性而作選擇與判斷。至於施工災害的類型部份，綜合文獻與統計資料的結果，則有比較確定的項目，即不外乎墜落、感電、物體倒塌、物體飛落、跌倒、被撞、火災、地層、道路下陷、鬆動、地下管線損害、鄰房龜裂、鄰房傾倒、震動、噪音等。

表 1-1 相關文獻之搜集

各分項工程與作業項目架構	施工致災風險因素與災害類型
<p>林耀煌(1995)、林耀煌(1998)、陳建忠(2000)、劉敏麟(2002)、蔡許宏(2005)、林楨中(2008)、行政院公共工程委員會頒布之「建築施工規範綱要」、86~96年行政院勞工委員會三區勞檢所建築工程重大傷亡職災資料。</p>	<p>陳清泉(1987)、陳清泉(1989)、林耀煌(1995)、劉敏麟(2002)、陳朝濱(2004)、林楨中(2008)、蔡宗潔(2004)、陳福勝等人(2008)、張臻(2007)、毛義華和肖磊(2007)、孫波和劉振奎(2006)、邢治宇和張燕宗(2005)、陳威元(2007)、曾文偉(2007)、Chapman(2001)、Smith and Bohn(1999)、Conroy and Soltan(1998)、Charoenngam and Yeh(1999)、Tah and Carr (2000)、Faber and Stewart(2003)、Baloi and Price (2003)、Hinze et al.(2005)、86~96年行政院勞工委員會三區勞檢所建築工程重大傷亡職災資料。</p>

(資料來源:本研究整理)

第五節 研究成果

壹、完成之工作項目及具體成果

本研究預期綜合前述各研究目的與工作進度之規劃，達成主要之成果簡介如下：

- (一)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。
- (二)開發一項內建基本建築工程主要結構系統、工程項目、作業項目、重要的風險因子及災害類型，並運用符合人類決策思維的模糊理論為推論判斷基礎及專家語意方式進行評估作業的決策支援系統程式，以利於實務應用之推廣。
- (三)研提相關建築法規或制度的改進建議方向。

貳、對於建築施工災防制技術預期之貢獻

- (一)對建築工程施工災害防制發展，短期內可透過建立之風險評估方法，發現現存之風險所在，而即時研擬相關因應策略，減少或降低傷害，長期下，可使產業對建築施工逐漸建立風險分析與評估的觀念，而能健全建築施工災害防制體系、風險管理機制。
- (二)建立健全工程施工之風險管理制度，有效減少施工災害發生案件，進而減少人民生命財產損失、工程延宕情形，使社會成本之損失降低，有助於經濟建設或社會的健全發展。
- (三)風險評估方法能提供建築工程管理單位、主辦單位編擬施工查核手冊，規劃設計單位及施工單位則編擬施工計畫書之參考，達到推廣落實施工風險管理技術。



第二章 建築工程施工風險評估基本架構

本章首先針對風險管理的概念加以介紹，以使閱讀者能了解本研究如何導入風險管理的知識於建築施工風險評估，接著討論建築工程的分項工程及作業項目特性以及其可能的風險因子與災害類型，以作為進行建築施工風險評估的基本架構，以及未來建立風險評估決策系統的基礎內建項目。

第一節 風險管理概念與風險評估程序

何謂風險?美國專案管理協會(Project Management Institute, PMI)曾定義風險為：「專案實施過程中不確定事件的機會對專案目標產生累積的不利影響結果」；行政院研考會(2006)於出版的風險管理手冊中，說明風險係指一個事件潛在影響組織目標達成的機率及影響程度；國外學 Lenz(1983)將風險定義為兩種情形，第一種為「事故發生的不確定性」(Risk is Uncertainty)，第二種為「事故發生遭受損失的機會」(Risk is the Chance of Loss)，Akintoye and MacLeod(1997)也指出與營建工程有關的風險係各種不確定因素造成營建專案最終的成本、工期及品質產生變化。所綜合來講，風險的最基本涵義主要應是指損失的不確定性這樣的概念，由此，本研究在建築工程施工災害防制技術的發展方面，我們關心的施工風險，也就是建築施工過程中可能產生災害而導致損失的不確定性。

針對風險管理的方法和步驟，許多文獻也各自提出他們的看法，如 Fairley(1994)提出了風險管理的七個步驟：識別風險因素、評估風險機率和影響、研究策略來減輕已識別的風險、監控風險因素、啟動連續性的計劃、管理危機事件、從危機中恢復；Chapman(1997)描述專案風險分析與管理(Project Risk Analysis and Management, PRAM)認為風險管理應該包括九個過程：定義專案內涵(Define)、聚焦風險項目(Focus)、識別風險特性(Identify)、結構化風險層次(Structure)、分配風險歸屬(Ownership)、預

估風險機率(Estimate)、評定風險程度(Evaluate)、規劃風險策略(Plan)、管理監控風險(Management)；PMI (2004)頒佈的專案管理知識體系(Project Management Body of Knowledge, PMBOK)，對風險管理的內容進行的擴展，改為六個過程，分別為風險管理規劃(Risk Management Planning)、風險的識別(Risk Identification)、風險定性分析(Qualitative Risk Analysis)、風險定量分析(Quantitative Risk Analysis)、風險應對計畫(Risk Response Planning)、風險監督和控制(Risk Monitoring and Control)。Baranoff et al.(2006)認為風險管理可分成六大步驟：確認損失因素(Identifying loss exposures)、分析損失因素(Analyzing loss exposures)、檢驗可行的風險管理技術(Examining the feasibility of risk management techniques)、選擇適當的風險管理技術(Selecting the appropriate risk management techniques)、執行選擇的風險管理技術(Implementing the selected risk management techniques)、監督執行結果及修正風險管理技術(Monitoring results and revising the risk management techniques)。

從這些對風險管理過程的說明，可以瞭解其之所以有不同的劃分，主要係在於進行步驟和階段分配詳細程度的差異而已，但是風險評估這一項目卻是不可或缺的重要步驟。至於所謂風險評估(Risk assessment)，依據行政院研考會(2006)之風險管理手冊，說明風險評估為一個包括風險辨識(Risk identification)、風險分析(Risk analysis)及風險評量(Risk evaluation)的過程，其中風險辨識係指發現可能發生的事態及其發生的原因和發生方式，而風險分析則為有系統地運用有效的資訊，來判斷特定事件發生的機率或其影響的嚴重程度，至於風險評量則係用來決定風險管理先後順序的步驟，將風險與事先制定的標準做比較，以決定該風險的等級及其他相關項目。至於在進行風險評估的作業方面，Clemens and Simmons (1998)認為以量化的概念來定義風險的話，也就是評估風險程度的大小，可以用潛在損失(potential losses)的頻率(Frequency)與嚴重度(Severity)之相乘積來表示，而所謂之頻率就是災害事件發生之機率，嚴重度則是當災害事件發生時的潛在損失程度。另依據新加坡人力資源部(Ministry of Manpower, MOM)(2005)對風險評估所定訂的指導原則(Guidelines on Risk Assessment)，也說明風險係由二個部份組成，即意外災害或偶發事件的發生可能性(likelihood of the occurrence)以及這些可能的意外災

害或偶發事件發生的預計嚴重性(expected severity)，對於風險評估的執行程序也列出三大步驟：(a)確認及分析工作上的安全衛生方面之災害來源，(b)評估這些列入考量的風險大小或程度，(c)針對這些能夠控制災源及降低風險的方法或策略予以排定其優先順序。也就是說風險評估是一項可提供質化及量化資料作為決策人員後續在風險管控上之用。

由以上風險管理的概念再進一步論及風險評估的進行方式，因此本研究若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2-1展示建築工程施工風險評估程序的基本架構如下。

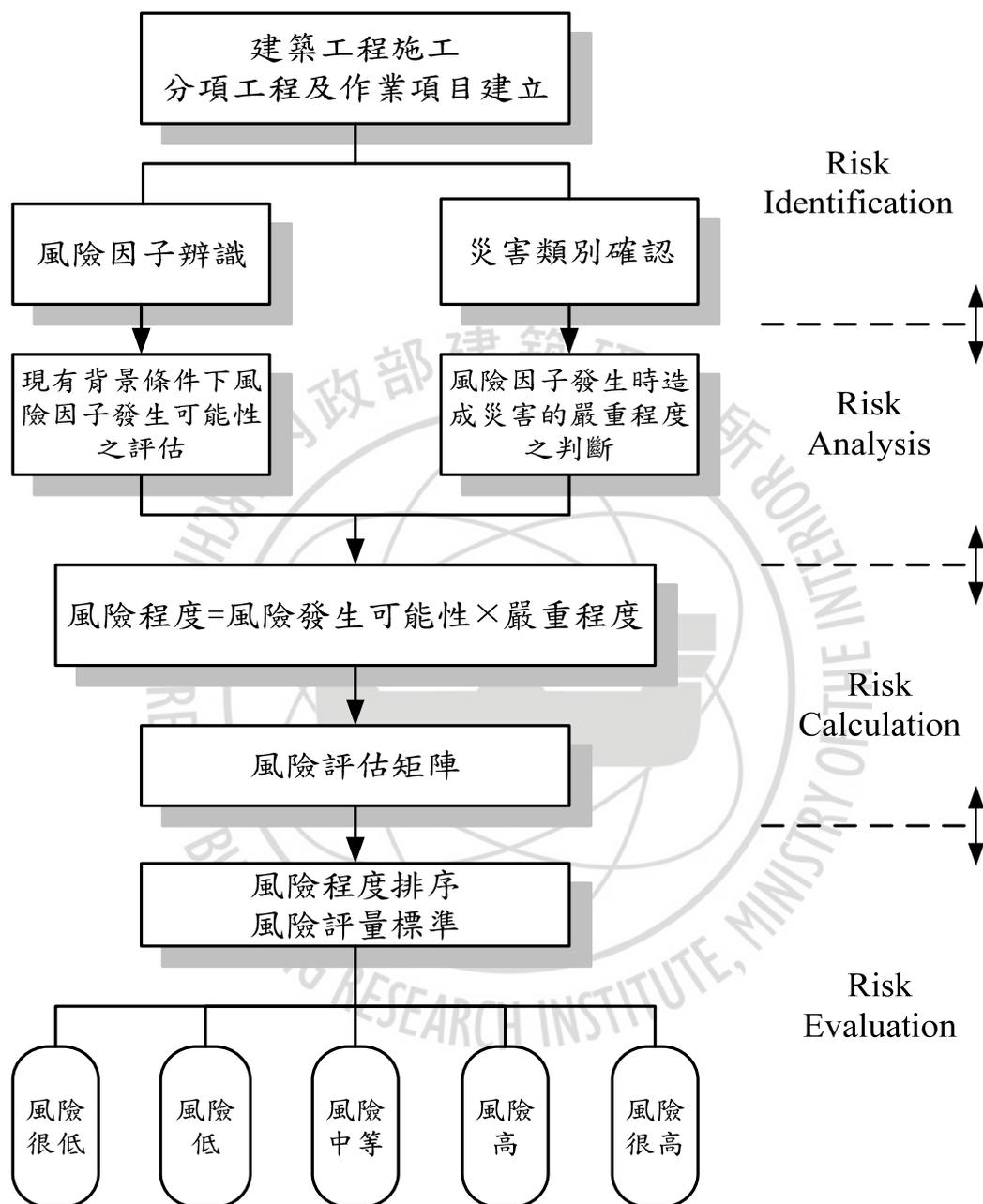


圖 2-1 建築工程施工風險評估程序的基本架構

(資料來源:本研究整理)

第二節 建築工程之分項工程與作業項目

既然進行風險評估的第一個步驟，即是針對所欲探討主題的風險項目加以辨識，本研究主要係在探討新建建築工程土建施工部分的風險評估，而土建施工部分的風險，來自於建築施工過程中各工程項目的作業過程，因此進行新建建築工程施工風險辨識之首要工作，即是先架構產生風險之各主要分項工程與其對應之作業項目。本研究蒐集歷年內政部建築研究所、行政院勞工委員會與相關論文研究等資料，並針對行政院勞工委員會南、中、北區勞動檢查所 86-96 年職災資料進行分析，將眾多文獻加以整理，進而架構屬於本研究的分項工程與風險因子架構。以下就建立新建建築工程施工風險因素之評估架構，逐次予以說明。

依據行政院公共工程委員會頒布之「建築施工規範綱要」第 00370 章-承包商初步計畫及施工計畫之規定，可知其公共工程施工計畫之項目應包含施工所、管線遷移計畫、假設工程施工計畫、基礎開挖及臨時擋土計畫、安全觀測計畫、建築裝修施工計畫、緊急應變計畫、鋼筋施工計畫、混凝土施工計畫等。(可視須要增刪者，則有擋土牆及護坡施工計畫、連續壁施工計畫、基樁施工計畫、地錨施預力計畫、預鑄構材生產計畫、鋼構生產及吊裝計畫、施預力計畫、景觀工程施工計畫、機電工程施工計畫等)，由此規範規定須擬定的施工計畫項目，其實亦為一項專案工程所需進行的各分項工程項目，因此亦可了解，建築工程應可區分為假設工程、基礎工程、鋼筋工程、混凝土工程、裝修工程等最主要項目。

林耀煌(1995)²依據各工程之作業順序或種類設定其作業項目，其所架構工程類別與相對應的作業項目，分為假設工程、基礎工程、擋土開挖工程、地盤改良工程、抽排水工程、RC結構體工程、鋼骨結構體工程、裝修工程、建築設備工程等，分項作業如表 2-1。至於基礎工程方面，林耀煌(1996)³

² 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。

³ 林耀煌(1996)，建築工程施工災害防治查核相關作業事項研討-土方工程與擋土設施，內政部建築研究所。

另參考「基礎工程施工規範」並選擇與施工安全有關之項目，訂定廣義基礎工程涵蓋範圍，分為土方工程與擋土設施、基礎工程兩大類，各類再細分成各種工法，如圖 2-2 所示。

表 2-1 林耀煌(1995)所列建築工程類別及所含作業項目

分項工程	作業項目	分項工程	作業項目
假設工程	施工架	裝修工程	木作工程
	施工圍籬		門窗工程
	臨時用水電		泥水工程
	施工電梯		天花板工程
	吊重設備		石材工程
基礎工程	樁基礎		油漆工程
	沉箱基礎		瓷磚工程
	筏基礎		磨石工程
擋土開挖工程	支撐作業		玻璃工程
	擋土作業		防火鐵門工程
	開挖作業	配管工程	
地盤改良工程	鑽孔作業	打石	
	灌漿作業	空調機房	
RC 結構體工程	鋼筋作業	電梯工程	
	模板作業	變電設備	
	混凝土作業	發電機工程	
鋼骨結構體工程	鋼構件運送	滅火設備	
	鋼構件吊組	抽風設備	
	鋼承版吊設	高壓電防護套管	
	防火被覆	抽排水工程	
		抽排水	

(資料來源:林耀煌, 1995)

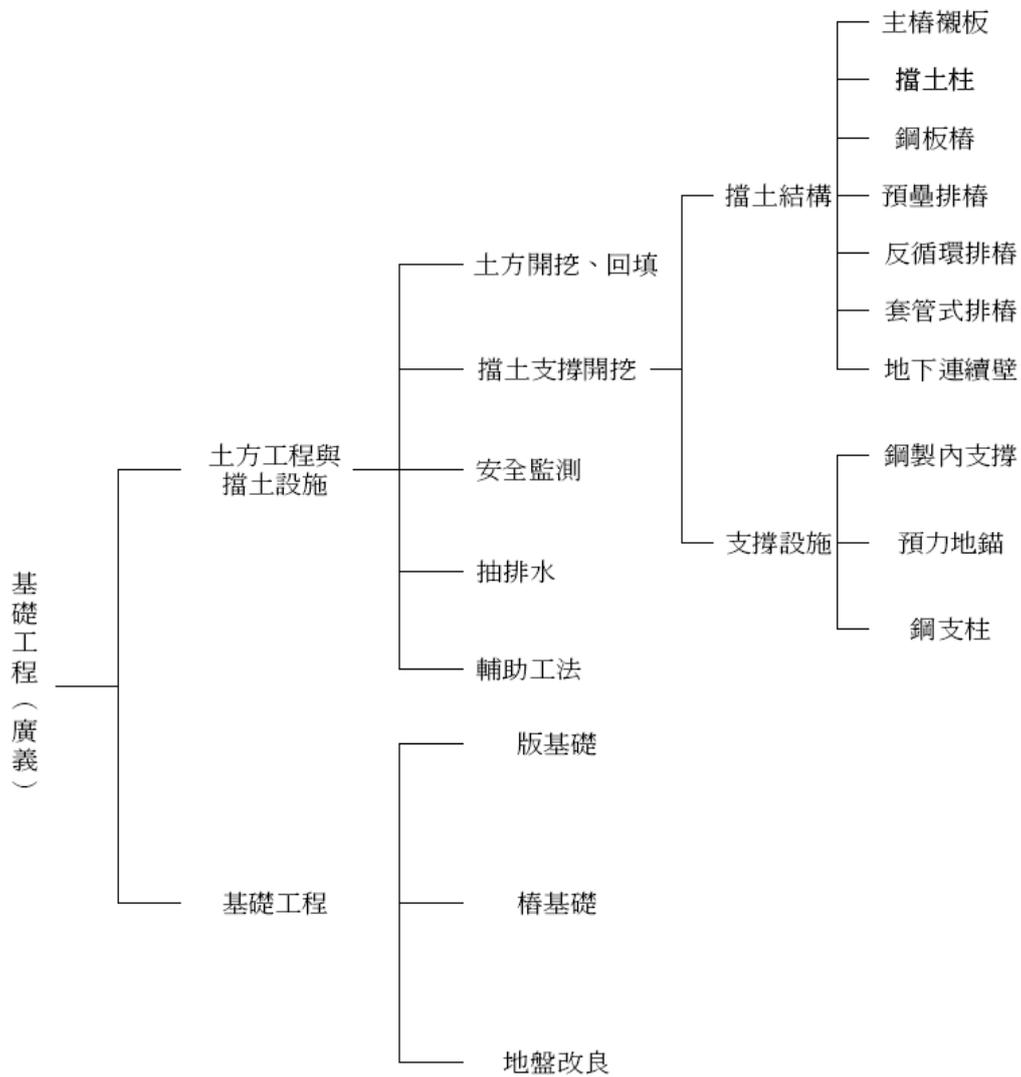


圖 2-2 基礎工程之分類範圍圖

(資料來源:林耀煌, 1996)

陳建忠(2000)⁴針對建築工程各階段性施工所應加強管制之災害部分作為整個建築工程分項工程架構，分為假設工程、基礎與地盤改良工程、擋土開挖工程、裝修工程、主體結構工程等，其對應之分項作業如表 2-2。

⁴ 陳建忠(2000)，建築工程施工災害防治查核手冊多媒體光碟之製作，內政部建築研究。

表 2-2 陳建忠(2000)所列之建築工程施工項目架構

建築工程			
裝修工程	壁紙工程	假設工程	施工電梯
	牆面油漆		鋼管施工架
	木作工程		塔式吊車
	天花板工程	基礎工程 與 地盤改良	反循環基樁
	金屬門工程		全套管基樁
	鐵捲門工程		連續壁矩形樁
	輕隔間安裝		高壓灌漿
	石材裝修	擋土開挖 工程	地下連續壁
	玻璃按裝		套管式排樁
	外牆磁磚		微型樁工程
	帷幕牆工程		預力地錨
	電梯工程		滲土水泥排樁
	防水工程		預壘排樁
	室內粉刷		擋土柱工程
	砌磚工程		鋼支撐安裝
鋁門窗安裝	鋼板樁工程		
主結構體	防火披覆工程		主樁橫版條
	鋼結構工程		
	RC 結構體工程		

(資料來源:陳建忠, 2000)

劉敏麟(2002)⁵針對勞委會民國 85-89 年死亡案例中，尋找其災害原因，經過資料收集歸納、統計分析之後，將台灣地區近年來建築工程的災害工程項目進行分類整合，以工程類別統計災害的分配情形，以裝修工程 28%佔最多，假設工程 26%次之，設備工程 24%第三，結構工程 22%較少。其中假設工程之作業項目，以固定式起重機作業發生災害的比例最高占 63%，其次為施工架作業占 27%；結構體工程部分之作業項目以鋼構工程作業發生災害的比例 40%最大，模板工程作業 20%次之；裝修工程部分之作業項目以石材工程作

⁵ 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。

業發生災害的比例最高為 32%，而景觀工程亦達 26% 的程度；設備工程則以機電工程作業最易發生災害，相關分類與統計如表 2-3。

表 2-3 劉敏麟(2002)所分類之建築工程項目及相關災害發生比例

分項工程	作業項目	分項工程	作業項目
假設工程 (26%)	臨時水電工程(5%)	裝修工程 (28%)	石材工程(32%)
	施工架工程(27%)		油漆工程(16%)
	施工電梯工程(5%)		輕隔間天花板工程 (21%)
	固定式起重機工程 (63%)		帷幕牆工程(5%)
結構體工程 (22%)	鋼筋工程(6%)	設備工程 (24%)	景觀工程(26%)
	模板工程(20%)		機電工程(88%)
	混凝土工程(13%)		電梯工程(12%)
	鋼構工程(40%)		
	防火披覆工程(21%)		

註：括弧內數字為發生災害相對比例。

(資料來源：整理自劉敏麟, 2002)

蔡許宏(2005)⁶針對行政院勞工委員會勞工檢查處 1996~2003 年間職業災害資料進行建築工程施工災害統計現況分析，以較易發生建築施工災害之性質做為建築工程分類基礎，計分為地下及地上工程兩大部分，在地下工程部分，再依工程特性分為基礎工程與地下結構體工程；地上工程部分，則依工程特性亦分為假設工程、RC結構體工程、鋼骨結構體工程、裝修工程與機電設備工程四大分項工程。至於其各分項工程的作業項目，係以施工災害預防計畫的角度加以區分，其RC結構體施工之假設工程包括施工圍籬、臨時水電、抽排風、施工架、施工電梯等，SC及SRC結構體施工則多出固定起重機；裝修工程僅分內部裝修與外部裝修；結構體工程部分，RC結構有鋼筋作業、

⁶ 蔡許宏(2005)，高層建築物施工防災計畫記載項目研擬之研究，中華大學碩士論文。

模板支撐、混凝土澆置，SC及SRC則另多出鋼骨安裝、焊接、塔吊等許多鋼結構施工所需之作業項目；而設備工程則有機電設備及水電消防設備安裝作業。

本研究亦對民國 86~96 年行政院勞工委員會-南、中、北區勞檢所建築工程重大傷亡職災資料進行分類與歸納整理，若按照分項工程類別以及作業項目類別予以整理統計，如表 2-4~2-5 所示。根據統計顯示，RC 結構工程造成重大傷亡比例占近三成，為所有工程項目發生職災比例最大之工程項目，鋼結構工程次之，也有四分之一以上程度，而裝修工程與假設工程也有不小比例，分別達 21.95%及 16.72%。

表 2-4 建築工程重大傷亡職災依照工程類別統計表

工程項目	數量	百分比(%)
RC 結構工程	86	29.97
鋼結構工程	75	26.13
裝修工程	63	21.95
假設工程	48	16.72
基礎工程	8	2.79
水電機械	7	2.44
總計	287	100

(資料來源：本研究整理)

表 2-5 建築工程重大傷亡職災依照作業類別統計表

作業項目	數量	百分比(%)
模板作業	47	16.38
屋瓦鋼板作業	43	14.98
鋼構及承鈹作業	32	11.15
粉刷泥作作業	29	10.10
混凝土作業	25	8.71
其他	18	6.27
鋼筋作業	14	4.88
磁磚砌磚作業	14	4.88
指揮督導作業	4	1.39

作業項目	數量	百分比(%)
防水作業	4	1.39
石材作業	4	1.39
固定式起重機作業	3	1.05
防塵防護網作業	3	1.05
天花板與油漆作業	3	1.05
木作作業	2	0.70
清潔作業	11	3.83
施工架作業	9	3.14
擋土支撐與土石方作業	8	2.79
電力消防空調環控作業	7	2.44
門窗作業	7	2.44
磁磚砌磚作業	14	4.88
總和	287	100.00

(資料來源：本研究整理)

表 2-6 建築工程分項工程劃分相關文獻整理

作者	文獻中建築工程類別與作業項目架構之處理方式
林耀煌(1995)	依據各工程之作業順序或種類設定其作業項目，架構問卷調查所需之工程類別與相對應的作業項目，如表 2-1。
林耀煌(1998)	參考「基礎工程施工規範」(內政部建築研究所籌備處八十三年六月)並選擇與施工安全有關之項目，訂定廣義基礎工程涵蓋範圍(如圖 2-1)。
陳建忠(2000)	針對建築工程各階段性施工所應加強管制之災害部分作為整個建築工程分項工程架構，如表 2-2。
劉敏麟(2002)	針對勞委會民國 85-89 年死亡案例中，尋找其災害原因，經過資料收集歸納、統計分析之後，將台灣地區近年來建築工程的災害工程項目進行分類整合，如表 2-3。
蔡許宏(2005)	針對行政院勞工委員會勞工檢查處 1996~2003 年間職業災害資料進行建築工程施工災害統計現況分析，其建築工程災害案例共計 902 例，並整合其他相關文獻，從當中可了解較易發生建築施工災害之處，作為專家問卷製作之項目來源。

作者	文獻中建築工程類別與作業項目架構之處理方式
蔡許宏(2005)	再依據內政部建研所之高層建築物施工階段安全防災計畫，依照施工方式、工程特性分類，歸納為高層建築物施工防災計畫記載項目之初擬架構。之後再彙整專家意見，訂定其重要性，篩選掉未達標準之項目，最後確定高層建築物施工防災計畫撰寫之記載項目與架構內容。
林楨中(2008)	將民國 89-95 年國內建築工程重大職災報告 579 筆資料進行建檔、分類、歸納整理，針對重大職災並以勞工工種來加以分類。
本研究整理	民國 86~96 年行政院勞工委員會-南、中、北區勞檢所建築工程重大傷亡職災資料進行分類與歸納整理，按照工程類別、作業類別整理分類，如表 2-4~2-5。

(資料來源：本研究整理)

根據以上各文獻資料(表 2-6)對建築工程各分項工程的分類，以及相關統計資料在建築工程災害的情形，本研究既然以建築工程施工風險評估為目的，因此在參照這些文獻與統計資料並在研究團隊多次開會討論結果，本研究為評估建築工程施工風險所建立的分項工程及作業項目架構，以新建工程且土建施工階段較易發生災害之分項工程與作業項目為主幹，首先區分為地下及地上工程兩大部分，而地下工程分為土方與擋土設施工程、地下基礎結構工程二大項；地上工程之分項工程包括假設工程、結構體工程、裝修工程三大項。

至於各分項工程之作業項目，土方與擋土設施工程之作業項目以土方開挖作業、擋土作業、支撐作業和抽排水作業為主；地下基礎結構工程分為版基礎作業、樁基礎作業和地盤改良作業為主。假設工程之作業項目以臨時水電工程、施工架工程、施工電梯和固定式起重機作業為主；裝修工程之作業項目主要以外裝修工程所可能面對的風險較高，因此以泥作作業、門窗作業、外牆作業和屋頂工程為主。然結構體工程部分因材料與工法之差異則須區分為 RC 結構系統、SC 結構系統和 SRC 結構系統三類來劃分作業項目。因此本研究在評估新建建築工程施工風險評估的工程項目架構如下列圖 2-3~2-6。

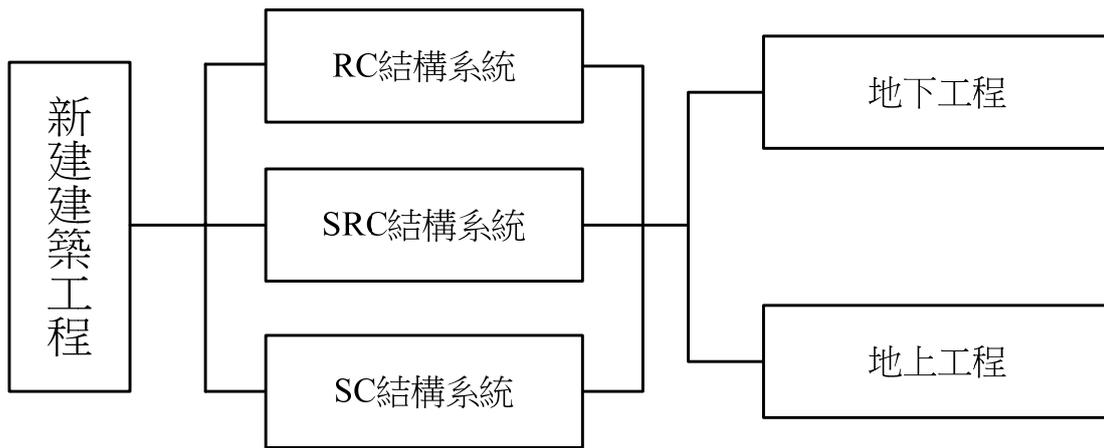


圖 2-3 新建建築工程施工風險評估基本分類架構

(資料來源：本研究整理)



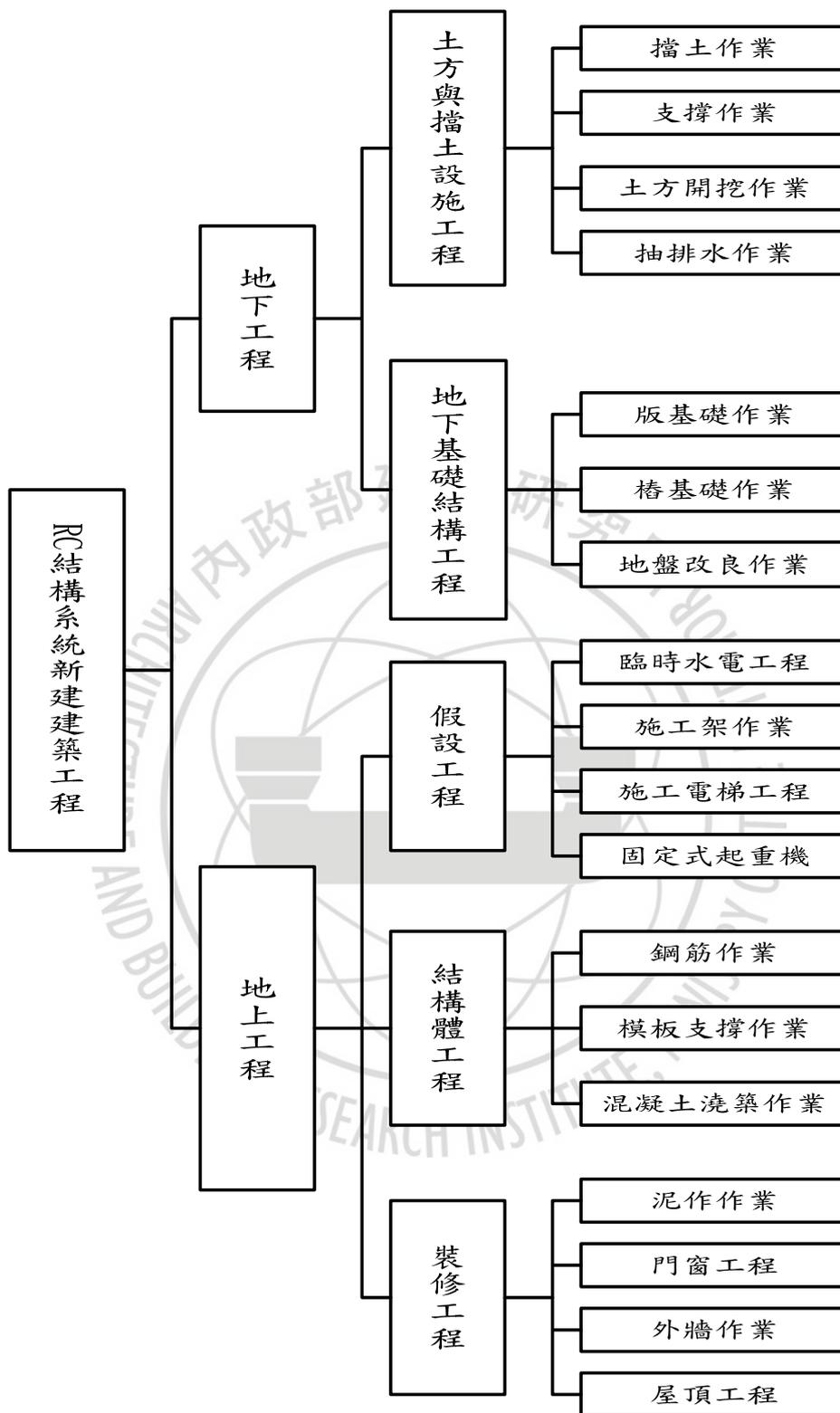


圖 2-4 RC 結構系統新建建築工程施工風險評估之工程項目架構
(資料來源：本研究整理)

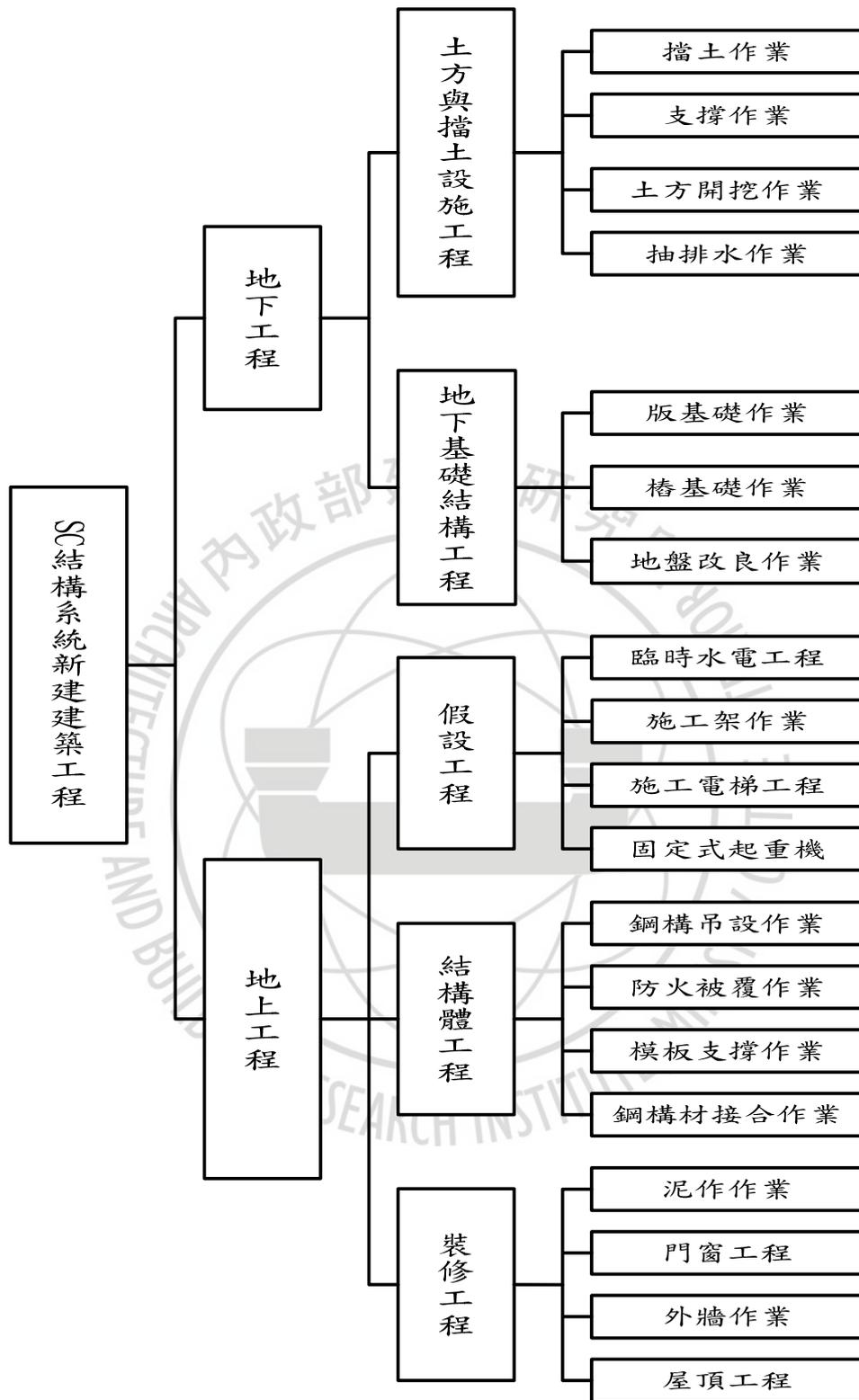


圖 2-5 SC 結構系統新建建築工程施工風險評估之工程項目架構

(資料來源：本研究整理)

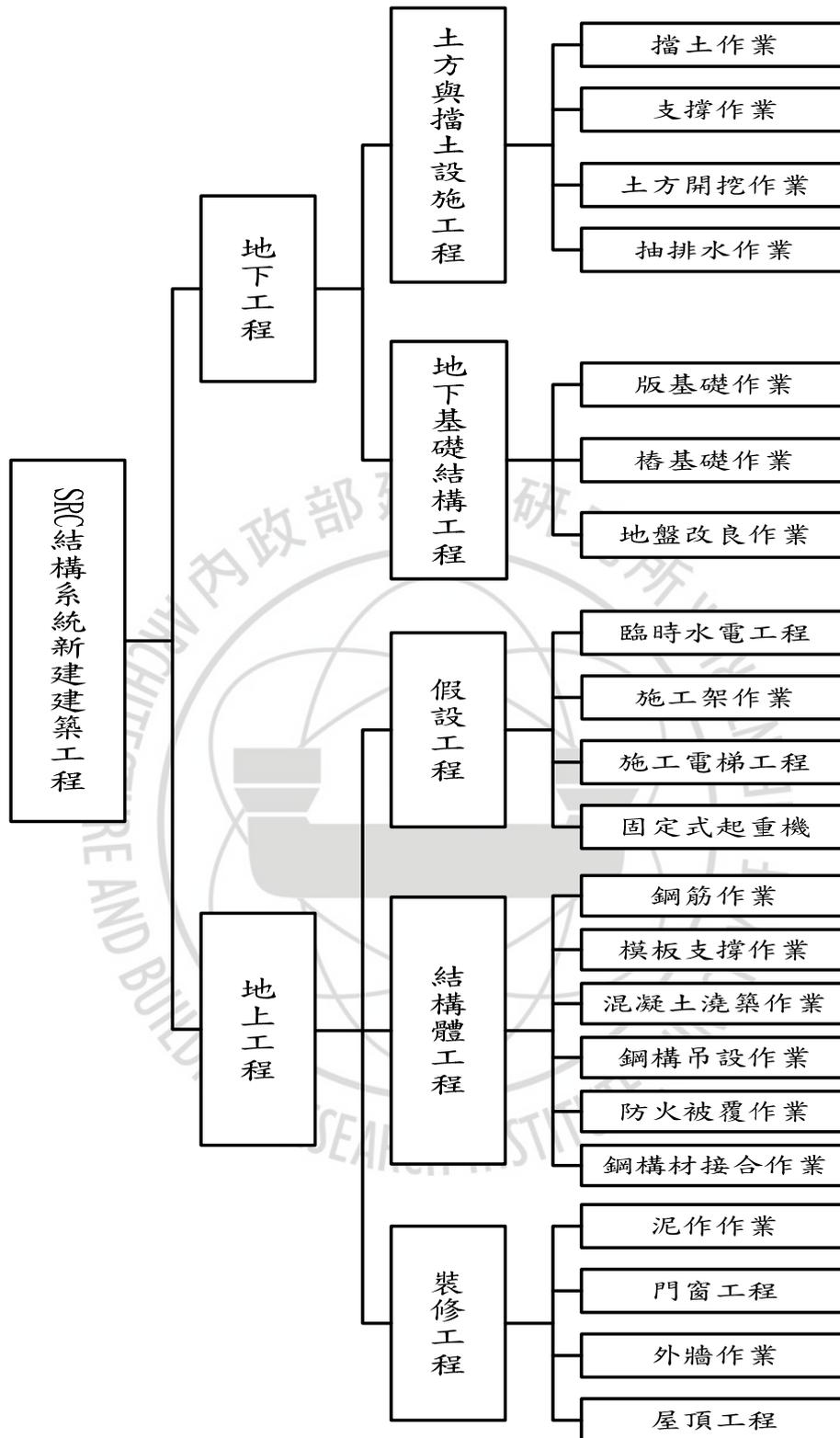


圖 2-6 SRC 結構系統新建建築工程施工風險評估之工程項目架構
(資料來源：本研究整理)

第三節 建築工程施工風險來源

建築工程項目施工環境複雜、工期長、露天作業多、建築物與地質環境關係密切，所面臨的不確定因素眾多，使施工項目中風險無處不在。風險一般是指損失發生的不確定性，建築工程項目施工風險，可定義為建築工程項目施工中影響施工目標(工期、品質、成本)實現的各種不利因素，可能導致風險事件發生的不確定性。在上一節新建建築工程特性中，已將本研究欲探討之新建建築工程有關土建部分之分項工程與作業項目建置一基本架構，本節則將探討各分項工程執行時其風險因素，首先針對探討建築工程施工風險來源之相關研究摘述如下：

有關建築工程施工風險方面的研究，如陳清泉(1987)⁷利用案例歸納分析，針對基地開挖、混凝土施工、模板構築、鋼筋紮配、鋼構施工等工程項目發生災害之原因作一探討，其各類工程災害原因如表 2-7。

表 2-7 陳清泉(1987)所列施工災害原因

工程項目	災害原因
基地開挖	基樁的排列不規則、開挖不當、回填不當、地質不良、地質調查不當、抽取地下水不當、地盤軟弱造成沉陷差異、開挖時支撐不足，地質調查不足及的抽取地下水不當。
混凝土施工	澆置時加水過多、澆置時夯實不良、配比不佳、施工順序不對提早拆模、偷工減料，工人之素質與管理不佳。
模板構築	支撐強度不足、側向支撐不足、支撐配置不當、施工程序不當，支撐做法不當、支撐設計不良。
鋼筋紮配	偷工減料鋼筋量不足、鋼筋安排不當、鋼筋強度不足、鋼筋量設計不當。
鋼構施工	焊接不良、設計不當，專業施工人員不足、積水載重增加。

(資料來源：本研究整理自陳清泉, 1987)

⁷ 陳清泉(1998)，建築施工災害之調查及災害防止之研究(二)，台灣營建研究中心。

隨後陳清泉(1989)⁸再延續之前的研究結果,列出建築施工災害導致之幾項主要原因為:基地開挖不當或其支撐系統失敗、模板構造不當或其支撐系統失敗、混凝土澆灌施工失敗、鋼筋配置之誤失、鋼骨接合施作之失敗、工程技術人員或工人之疏失、失誤或無知。

林耀煌(1995)⁹根據相關研究報告以及施工災害防治對策之問卷調查,依工程類別繪製特性要因圖,整理建築工程致災原因一覽表,如表 2-8。

表 2-8 林耀煌(1995)之建築工程致災原因一覽表

工程類別	致災原因	工程類別	致災原因
假設工程	1. 環境條件調查不足	RC 結構工程	1. 事前調查不實
	2. 未掌握既有建物基礎資料		2. 既有建物資料不足
	3. 設計配置不當		3. 設計不當
	4. 施工計畫不完備		4. 施工規範不詳實
	5. 安全防護措施不足		5. 安全防護措施不足
	6. 設備安全性不良		6. 施工機具保養不良
	7. 設計與施工不確實		7. 施工技術不良
基礎工程	1. 管線、地質資料不足	鋼骨結構工程	1. 環境條件調查不足
	2. 既有建物資料不足		2. 施工圖未盡詳實
	3. 設計不當		3. 未按圖施工
	4. 安全防護措施不足		4. 防護措施不足
	5. 施工機具選用不當		5. 操作不當
	6. 基礎工程設計不詳實		6. 機具保養不良
擋土開挖工程	1. 管線、地質資料不足	裝修工程	7. 施工技術不良
	2. 既有建物資料不足		1. 材料條件調查不足
	3. 設計不當		2. 未考慮材料特性
	4. 施工方法不當		3. 無材料使用、檢驗規範
	5. 未確實處理棄土		4. 防火性建材設計不當
	6. 安全防護措施不足		5. 消防措施與設備不良
	7. 未設置適當的監測系統		6. 安全設施不足

⁸ 陳清泉(1989), 建築施工災害之調查及災害防止之研究(三), 台灣營建研究中心。

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。

工程類別	致災原因	工程類別	致災原因
地盤改良工程	1. 地質資料不足	建築設備工程	7. 個人防護不足
	2. 既有建物資料不足		8. 工作架不安全
	3. 設計不當		9. 施工引發火災
	4. 缺乏完善的施工說明書與施工設計		1. 建築設備選用不當
	5. 施工方法不當		2. 設備工程未能於設計時考量
	6. 安全防護措施不足		3. 系統配置不當
	7. 未設置適當的監測系統		4. 作業手未具合格證
抽排水工程	1. 地質、地下水資料不足		5. 未管制噪音、震動
	2. 抽排水量設計不當		6. 防護不足
	3. 監測系統設置不確實	7. 工作架不安全	
	4. 漏電	8. 消防措施與裝備不良	
	5. 週邊環境調查不實		
	6. 點井設置錯誤		

(資料來源:林耀煌, 1995)

劉敏麟(2002)¹⁰研究將 85-89 年建築災害案加以分析, 利用建築職業災害類型, 分析主要風險來源(致災原因), 分別說明如下:

一、墜落、滾落

1. 高處作業之防護措施不當或不足;
2. 機具操作時配合不當造成人員跌倒;
3. 工作架遭機具碰撞而使人員墜落;
4. 工作台或地面潮濕造成人員之滑倒、跌落;
5. 機具之油壓系統漏油造成人員之滑倒、跌落;
6. 照明不佳造成人員作業時不慎滑倒;
7. 長時間之勞動作業或通風不佳造成之缺氧, 使人員精神恍惚而墜落。

二、感電

1. 排水不良, 工作場所潮濕造成之感電;
2. 因機具碰撞使導體裸露而感電;

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。

3. 用電機具設備故障漏電；
4. 搬運物料時不慎觸擊高壓電；
5. 供電系統未適當防護，遭非作業人員誤闖而感電。

三、物體崩塌、倒塌

1. 地震引起之震動導致物體崩落；
2. 開挖後支撐不足與延遲；
3. 材料堆置不當造成之崩塌、倒塌；
4. 擋土措施不良或不當造成之崩落、倒塌

四、被撞、被夾、被捲等

1. 機具操作不當或錯誤造成之壓夾、撞擊等
2. 作業順序及場所安排不當引起之碰撞
3. 作業人員精神恍惚造成之被夾、被捲等
4. 照明不佳引起作業時之被撞、被夾、被捲

五、與有害物接觸

1. 開挖作業中遇地盤含碳化層，溢出瓦斯
2. 混凝土作業時含強鹼之速凝劑腐蝕皮膚
3. 地盤改良之藥液灌漿污染水源

該研究經過分析後發現，建築工程職災之發生與各工法應用並無相關聯，多為環境管理不當與人為疏失所致。

陳朝濱(2004)¹¹認為高層建築物因為基地廣而且樓層高，在施工過程中可能發生的施工災害確實很難完全避免，此與建築業的特殊性質有關，如果再加上高層建築物施工高度和工種複雜的影響，將會增加災害發生時的危害程度，其就建築工程施工災害不斷的原因歸納為以下幾個重點：

1. 業主的要求或法令、環境等限制。
2. 施工工法的差異而不熟悉。
3. 設計單位工程師缺乏現場的施工經驗。
4. 設計採用的工法少考慮施工可行性，容易增加災害的發生率。
5. 設計與施工分屬不同單位或公司。
6. 現場人員無法立即將設計問題清楚地傳遞至設計單位。

¹¹ 陳朝濱(2004)，高層建築施工安全防災查核之建立，臺北科技大學碩士論文。

7. 分項工程項目繁多，多樣作業同時進行，界面協調複雜無法兼顧。
8. 工程轉包且勞工流動性高，多屬臨時聘僱或外籍勞工，管理不易。
9. 受自然因素(風、地震、地質)的影響。

林楨中(2008)認為營造業工程職業災害事故之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；圖 2-7 為該研究統計 89-95 年國內建築工程重大職災 579 筆資料，各職災原因之比例分布情形。

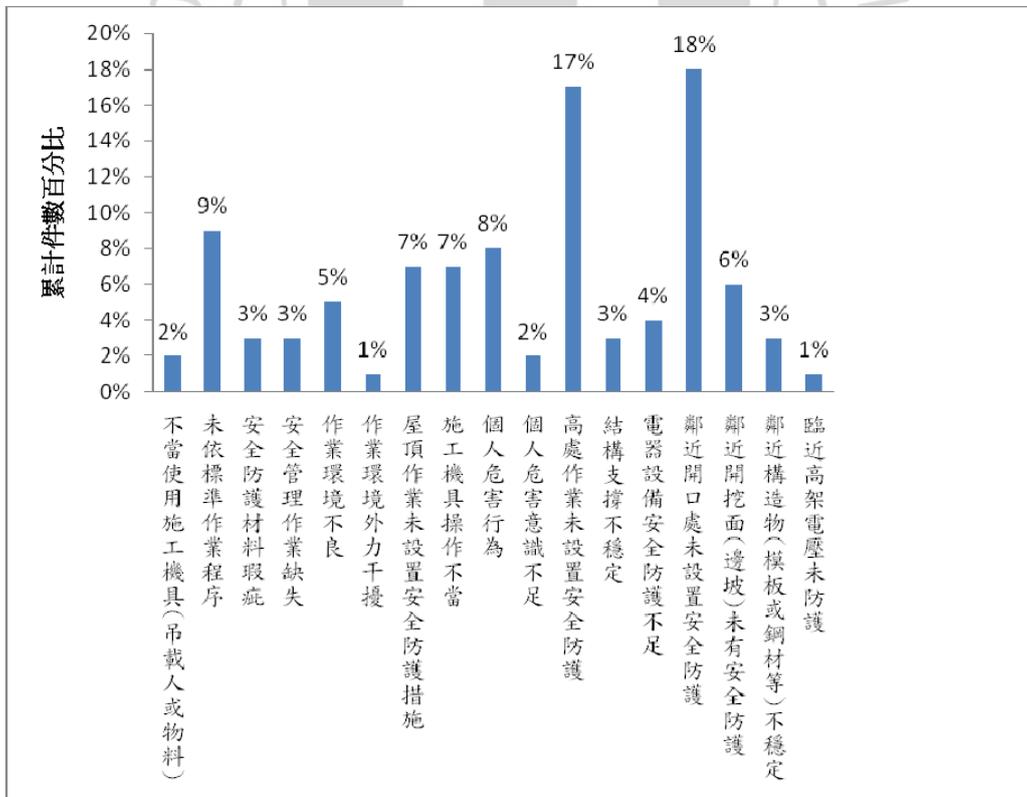


圖 2-7 建築工程之致災主要因素圖

(資料來源:林楨中, 2008)

蔡宗潔(2004)¹²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。再參考相關文獻，網羅所有建築工程施工階段的風險發生原因，整理如表2-9。

表 2-9 蔡宗潔(2004)所列風險發生原因之類別

風險因素	風險因素	風險因素
A. 自然現象	D10. 語言的障礙	Gc. 產業
A1. 地震	D11. 國有化/私有化的規劃	Gc1. 圍標
A2. 基地滑動	D12. 官員欠缺彈性	Gc2. 工會
A3. 地盤下陷	D13. 壓力團體(合法/非法)	Gc3. 專利
A4. 火災	E. 安全/環境	Gc4. 過當的競爭
A5. 豪雨	E1. 環境破壞/污染	H. 夥伴
A6. 颱風	E2. 廢棄物管理	Ha. 技術/工人
A7. 強風	E3. 埋藏文化財	Ha1. 技術工的不足
A8. 降雨	E4. 因事故而生損害	Ha2. 質的低落
B. 經濟/財政	E5. 基地之進出困難	Ha3. 勞動的質惡化
B1. 勞工薪資的上升	E6. 施工時間的限制	Ha4. 不理解圖面
B2. 工程材料費的上升	E7. 鐵路、地下鐵	Ha5. 溝通有問題
B3. 匯率變動	E8. 由第三者來的阻礙	Ha6. 安全意識低落
B4. 高稅金	E9. 由近鄰來的抱怨及反對	Hb. 協力廠商
B5. 通貨膨脹	E10. 無法預測之地下狀況	Hb1. 資金不足/倒閉
B6. 通貨緊縮	F. 施工	Hb2. 地方現場的特殊性
B7. 激烈的利息變化	F1. 特殊工法	Hb3. 技術力的不足
B8. 融資困難	F2. 新技術的引進	Hb4. 小包間的協調問題
B9. 市場需要低迷	F3. 過高的品質標準	Hb5. 同時有複數的工程

¹² 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。

風險因素	風險因素	風險因素
		案
B10. 強烈競爭者	F4. 新材料	Hb6. 無動員力
B11. 土地價格暴落	F5. 實驗的困難	Hc. 設計者
C. 合約	F6. 現場調查有誤	Hc1. 施工性
C1. 不平等的契約規定	F7. 施工計畫的不足	Hc2. 模糊的設計圖說
C2. 曖昧的條款	F8. 採購計畫的不足	Hc3. 不完全的施工範圍
C3. 契約條件的不透明	F9. 與關係主體的協調不足	Hc4. 管理/監造能力不足
C4. 主體間的紛爭	G. 團隊/人	Hc5. 頻繁的設計變更
C5. 欠缺公正的仲裁機關	Ga. 工地現場	Hc6. 公正立場的問題
C6. 契約內容的變更	Ga1. 計畫能力的不足	Hc7. 現場監造人員的能力問題
C7. 不充分的保險	Ga2. 管理能力的不足	Hc8. 決策太慢
C8. 瑕疵担保	Ga3. 協調能力的不足	Hd. 業主
C9. 估價成本	Ga4. 員工數不足	Hd1. 事業可能性(F/S)問題
D. 政治/社會	Ga5. 人力資源分配有誤	Hd2. 模糊的、無理的需求/要求
D1. 法律等的變更	Ga6. 頻繁的人事異動	Hd3. 協力廠商的介紹、指定
D2. 戰爭/革命/暴動	Ga7. 欠缺責任感	Hd4. 不履行付款條件
D3. 不安定的政策	Gb. 總公司	Hd5. 公家機關或近鄰的協商
D4. 需要時間的認可手續	Gb1. 嚴苛的條件	Hd6. 對於顧問的信賴
D5. 人際關係的社會	Gb2. 赤字承包	Hd7. 現場監工人員的能力問題
D7. 賄賂/腐敗	Gb3. 短工期	Hd8. 資金不足/倒閉
D8. 嚴格的機材限制	Gb4. ISO	Hd9. 瑕疵担保、維修
D9. 輸出入的限制	Gb5. 過度的競爭力要求	

(資料來源：蔡宗潔, 2004, p. 3)

更有僅以單一種分項工程來分析施工風險，如陳福勝等人(2008)¹³探討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，整理如表 2-10 所示。

表 2-10 陳福勝等人(2008)列舉之深開挖風險因素

基地調查方面	設計方面	施工方面	天然災害方面
地質鑽探報告造假、錯誤。	設計規範、準則引用不當。	鋼板樁打設引致振動	地震
鑽探孔數不足、位置不對。	地工參數選定錯誤或分析計算錯誤。	鋼板樁接頭接合不良	颱風
鑽探取樣過程品質不佳、試驗結果不正確。	未考慮地層狀況及地下水水位變化。	擋土排樁重疊部份不足，施工不良	暴雨
試驗項目及數量不足。	擋土壁體貫入深度不足。	連續壁導溝施工品質不良。	
水文資料掌握不確實。	粘土層底部隆起破壞。	連續壁溝槽開挖坍塌。	
地層層次變化未調查清楚。	砂土層開挖底部砂湧破壞。	開挖作業與支撐架未能充分配合，支撐系統時機延誤。	
地質鑽探完成後未確實回填。	橫檔、水平支撐斷面不足。	開挖深度控管不良，明顯超挖。	
地下管線未詳細調查。	斜檔水平剪力過大支撐系統破壞。	支撐構材強度不足，斷面不足，或支撐間距過大、支撐長度過長。	
地下埋設物位置、深度、型式未確實調查。	中間柱入土深度不足，支承力不足。	結合螺栓不確實，托架焊接強度不足或螺栓數量不足。	
鄰房結構物之基礎型式與埋設深度未調查。	擋土壁體變形量過大。	水平支撐上堆置物料載重、中間柱當構台支撐柱使用。	

(資料來源：整理自陳福勝等人, 2008, p155-p157)

¹³ 陳福勝、周台功、吳文隆 (2008)，台灣地區深開挖工程災變分析及防治對策探討，中華技術，No. 77，pp. 54-63。

表 2-10 陳福勝等人(2008)列舉之深開挖風險因素 (續)

基地調查方面	設計方面	施工方面	天然災害方面
鄰房屋齡及維護未確實調查。	山坡地不當開挖。	地下水位超抽。	
	監測系統規劃設計不當。	連續壁單元分割不當。	
		改盤改良工法施工機具設備欠佳。	
		支撐拆除過快。	
		鋼板樁拔除後空隙未回填確實。	
		水平支撐施預力不足或過大，或支撐無法保持平直，支撐力量不均勻。	
		安全監測系統計測管理工作未落實，緊急應變措施不佳。	
		鑽孔安裝水壓計時未貫透水層，空隙未封填確實。	
		背拉擋土支撐系統，地錨打設覆土太淺土壤承載不足。	
		粘土層打設地錨土壤摩擦力或承載力不足。	
		砂土層地下水以下之深度鑽洗孔過程中，背側地下水及土砂噴出與流失。	
		開挖區周邊超載荷重不當。	
		施工前未妥善鄰房保護措施	
		地下水位未嚴密控制。	

(資料來源：整理自陳福勝等人, 2008, p155-p157)

此外，有許多研究係以「整體」工程專案的觀點來探討大方向的風險因素，茲將該等研究文獻所提出的專案性風險因素列如表 2-11。

表 2-11 以整體工程專案觀點來探討風險因素之相關研究

研究者	風險因子
張臻 (2007)	1. 經營風險:建設單位帶來的風險、項目帶來的風險、合約帶來的風險。 2. 管理風險:項目經理任用風險、項目施工管理風險、經濟風險。 3. 技術風險:地質地基條件、水文氣象條件、設計和規範、施工技術協調。
毛義華 肖磊 (2007)	品質控制風險、進度控制風險、成本控制風險、安全控制風險、合約管理風險、現場管理風險、生產要素管理風險、訊息管理風險、組織協調風險。
孫波 劉振奎 (2006)	1. 安全生產管理制度:安全生產責任制度、安全生產資金保障制度、安全教育培訓制度、安全檢查制度、安全事故報告處理制度。 2. 品質機構與人員管理:企業品質和企業人員水準、安全生產管理機構、分包單位能力和人員管理、供應單位管理。
孫波 劉振奎 (2006)	1. 安全技術管理:危險源控制、施工組織設計方案、安全技術方案、安全技術交接、安全技術標準規範和作業程序、安全設備和工藝選用。 2. 設備與設施管理:設備安全管理、大型設備裝拆控制、安全設備和防護管理、特殊設備管理、安全檢查測試工具管理。
邢治宇 張燕宗 (2005)	危害認知不足、缺乏安全管理機制、未設安全衛生人員與業務主管、未落實教育訓練、未訂定安全衛生工作守則、未實施自動檢查。
陳威元 (2007)	專案土地條件、業主約定事項、業主合作狀況、外部協力單位狀況、工作端執行狀況、功能部門規劃狀況、發布與行政作業狀況、經濟市場/天災或不可抗力者。
曾文偉 (2007)	安全監督管理機構不健全、經營者安全生產意識淡薄、施工企業管理人員安全管理知識水準極待提昇、惡性競爭、施工組織設計不合理或缺乏針對性、專業教育培訓機制部健全。

(資料來源：本研究整理)

國外研究文獻方面，也大多以整體工程專案(Project level)的角度思考風險因素，如Chapman(2001)¹⁴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)¹⁵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)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)。Charoenngam and Yeh(1999)¹⁶將專案風險分成六項類型：與施工相關(Construction Related)、與績效相關(Performance Related)、自然環境的(Physical)、財務及經濟性的(Financial and Economic)、契約及法律性的(Contractual and Legal)、政治及社會性的(Political and Societal)。Tah and Carr (2000)¹⁷建立了一階層性的風險分類架構，將工程專案風險分為外部風險(External Risk)和內部風險(Internal Risk)兩類型，其外部風險包括經濟的(Economic)、自然的(Physical)、政治的(Political)與技術的變動(Technological Change)五種，而內部風險包括五項局部性風險(Local Risk)：勞工、工廠、分包商、材料及工地現場，與十一項整體性風險

¹⁴ 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.

¹⁵ 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.

¹⁶ Charoenngam, C. and Yeh, C. Y. (1999), Contractual Risk and Liability Sharing in Hydropower Construction, *International Journal of Project Management*, 17(1), pp. 29-37.

¹⁷ Tah, J. H. M. and Carr, V. (2000), Information Modeling for Project Risk Analysis and Management, *Engineering, Construction and Architectural management*, 17(2), pp. 107-119.

(Global Risk)：業主、施工、合約、設計、環境、公司財務、專案財務、區位、管理、簽約前及時程。Faber and Stewart (2003)¹⁸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)¹⁹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。

經由上述許多文獻的回顧，本研究係以探討建築工程各分項工程作業項目施工過程中所可能遭遇的風險因素，因此在針對新建建築工程各作業項目施工階段之風險，屬於人為性的風險，可將其歸納為幾個主要風險要素，其簡要說明如下：

一、施工程序之規劃與執行不當：

施工單位為使工程專案進行順利均須擬訂相關施工計畫，惟若施工程序規劃不良或人員專業技術不足導致執行不當時，則有發生災害之風險存在，進而對工期或成本造成影響，嚴重更可能會有人員傷亡。

二、施工動線不佳：

施工或設計單位在規劃施工動線時，並無適當的整合、協調各種工種之間的工作時間、場所，並且考慮工程之間互相的影響，如此不僅影響工期，更有施工災害的風險存在。

三、現場材料堆置不當：

¹⁸ 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.

¹⁹ 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.

每項材料之堆置方式皆有需特別注意之處，若忽略則可能造成動線不良或者材料損壞，導致無法使用，嚴重更可能造成人員傷亡。

四、施工機具選用不妥：

選用的施工機具並不適當，導致有發生施工災害的風險。

五、施作人員未了解設計原意：

施工單位人員未完全了解設計單位的設計原意，導致施工不確實，甚至發生施工災害，形成安全上的隱憂。若在發生問題之後，現場人員能立即全盤詳盡地傳遞至設計單位，即可預防施工災害的發生，故此部分亦考驗著施工單位的專業能力。

六、安全防護措施不足：

施工區域內的安全警示措施以及安全防護措施未能確實建置，導致施工人員發生施工災害，而使專案因此停滯，工程延宕外更有賠償與法律問題。

七、設備安全性不良：

施工單位平時若未能確實對設備進行保養維修與檢驗，則有可能會導致施作人員發生施工災害，嚴重更可能造成施作人員傷亡。

八、安全監測不足：

基礎工程最常發生損鄰事件，故基礎的安全監測顯得特別重要，若未能在最快時間內得知有異常下陷，即可能發生損鄰災害，而使專案因此停滯，工程延宕外更有賠償與法律問題。

然而影響建築施工安全的風險因素，由先前介紹的文獻可知，不單只是人為性的風險而已，尚包括不安全的作業環境，如地質條件、區位條件等，甚至那些無法控制的自然力量，如地震、颱風、暴雨、洪水等，但不安全的作業環境與這些不可抗力的自然力量，係屬於建築工程施工過程中可能的「背景條件性」風險因素，其會因不同專案特性而可能有不同情境，因此本研究以上歸納的幾項主要「人為性」施工風險因素，主要著眼點在於風險管理的目的，是希望針對那些有機會控制的項目，投入資源(人力、物力)來加以注意，以達到風險控管的目的，因此吾人在思考或臚列建築工程施工過程會造成災害的可能性風險因素時，為使風險評估過程有意義且具效率及效果，可

配合「背景條件性」的風險特質，再依照現有相關實際狀況來建構更完整的風險因素架構。

第四節 建築工程施工災害類型

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)²⁰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 2-12。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 2-13 與表 2-14。

表 2-12 建築工程施工災害之範圍與其相對應的施工災害類型

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)

²⁰ 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 2-13 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 2-14 建築工程施工災害類型防治重點

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)²¹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 2-8，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%。

²¹ 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。

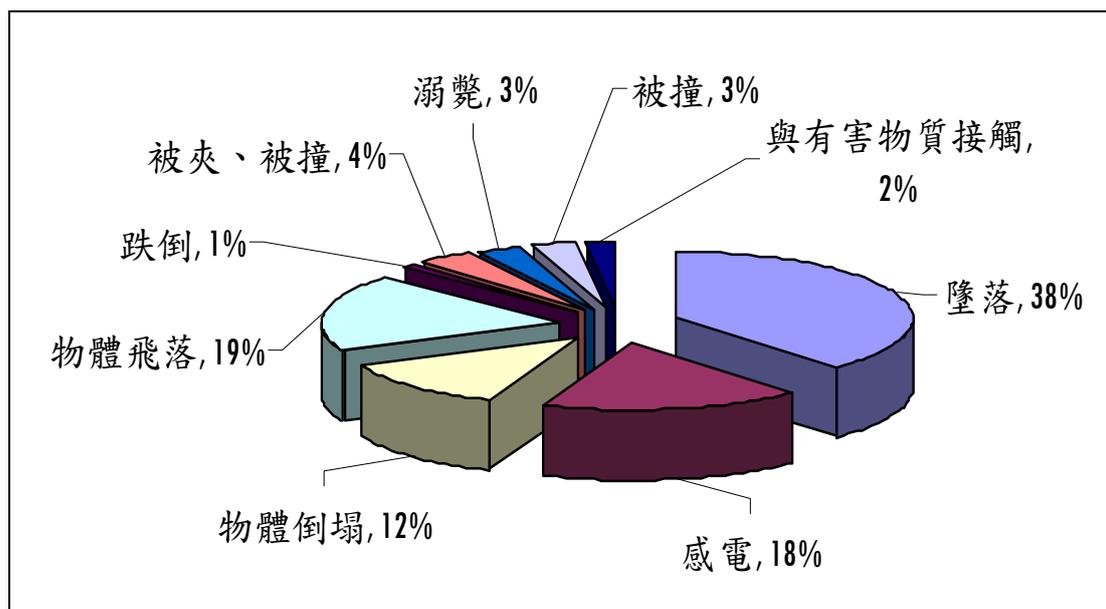


圖 2-8 建築工程災害類型發生次數統計圖

(資料來源：劉敏麟, 2002)

林楨中(2008)²²統計 2000 至 2006 年重大職災案件，有關建築工程職災類型分佈，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%)。

Hinze et al. (2005)²³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。

本研究對民國 86~96 年行政院勞工委員會-南、中、北區勞檢所建築工程重大傷亡職災資料進行分類與歸納整理，其各式災害類型的件數與所佔百分比，如表 2-15 所示。發現也是墜落、感電、物體倒塌、物體飛落、跌倒、被

²² 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。

²³ 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.

撞等災害為主，這也使得本研究在建立評估架構時，作為主要評估判斷的方向。

表 2-15 建築工程重大傷亡職災資料之各式災害類型統計

災害類型	災害發生案件數	百分比(%)
墜落	218	75.4
感電	30	10.4
物體倒塌	18	6.2
物體飛落	6	2.1
跌倒	5	1.7
被撞	4	1.4
不易歸類	3	1.0
被夾	2	0.7
與有害物質接觸	1	0.3
不當動作	1	0.3
溺斃	1	0.3
總計	289	100

(資料來源：本研究整理)

第五節 新建建築工程施工風險評估基礎架構

本章由第一節探討建築工程的分項工程及作業項目的架構開始，就是為了建立評估施工風險的基本骨幹，第二節繼之探討的施工風險因素，就是希望能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，第三節則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。因此本節將上述三節所論及的項目整合起來，可以看到整體建築施工風險評估的基礎架

構，其評估架構的概念如下圖 2-9 所示，而圖 2-10~2-12 為各不同結構系統之施工風險評估基礎架構。

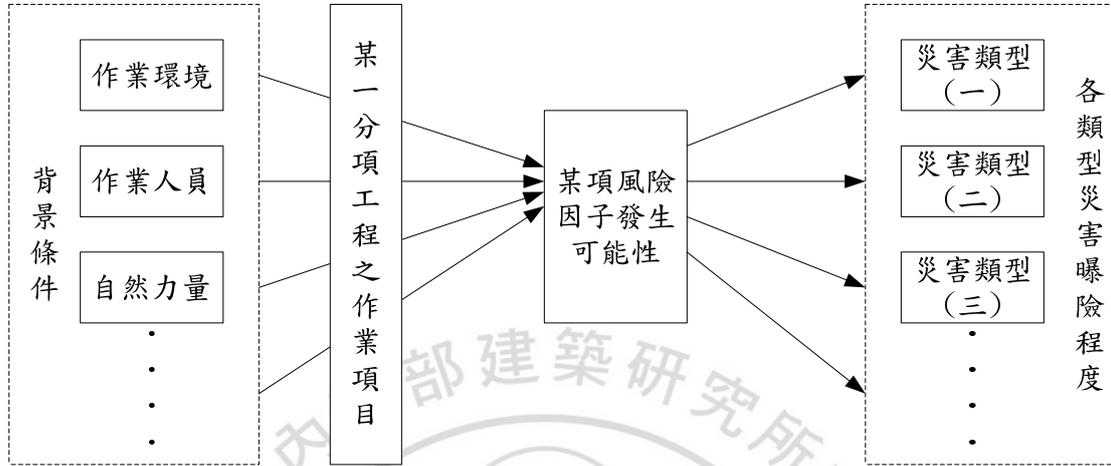


圖 2-9 建築施工風險評估架構概念圖示

(資料來源：本研究整理)

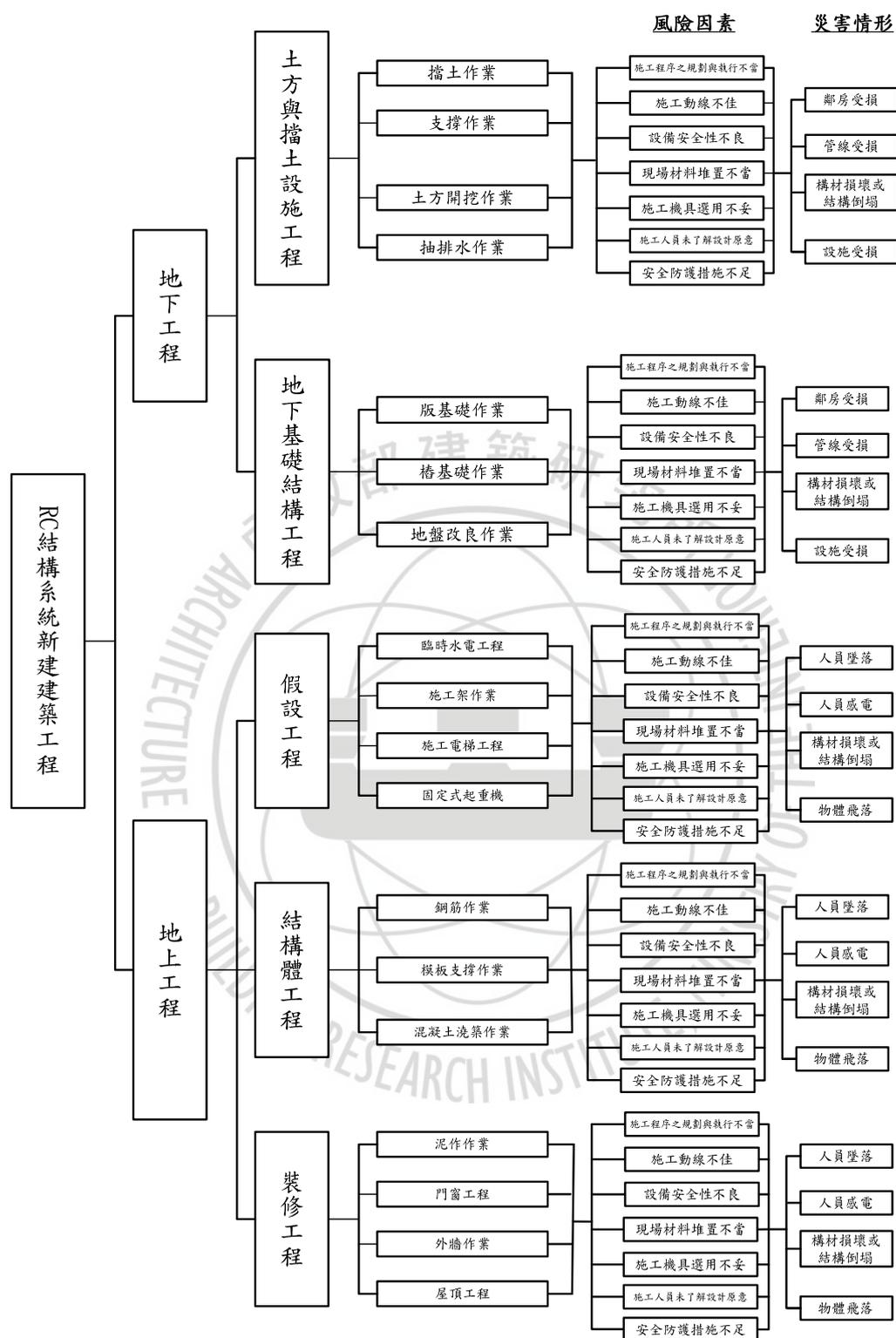


圖 2-10 RC 結構系統施工風險評估基礎架構

(資料來源：本研究整理)

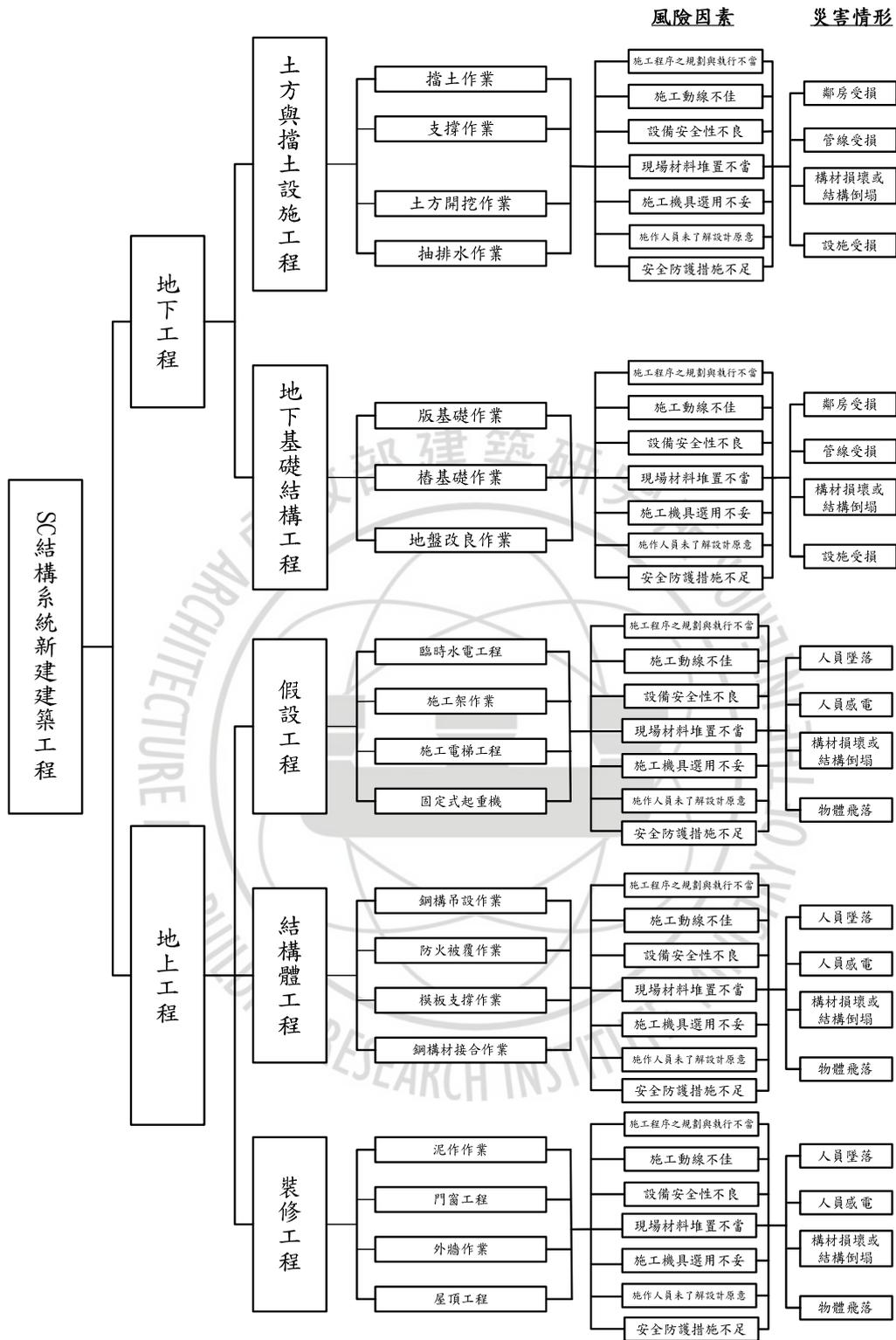


圖 2-11 SC 結構系統施工風險評估基礎架構

(資料來源：本研究整理)

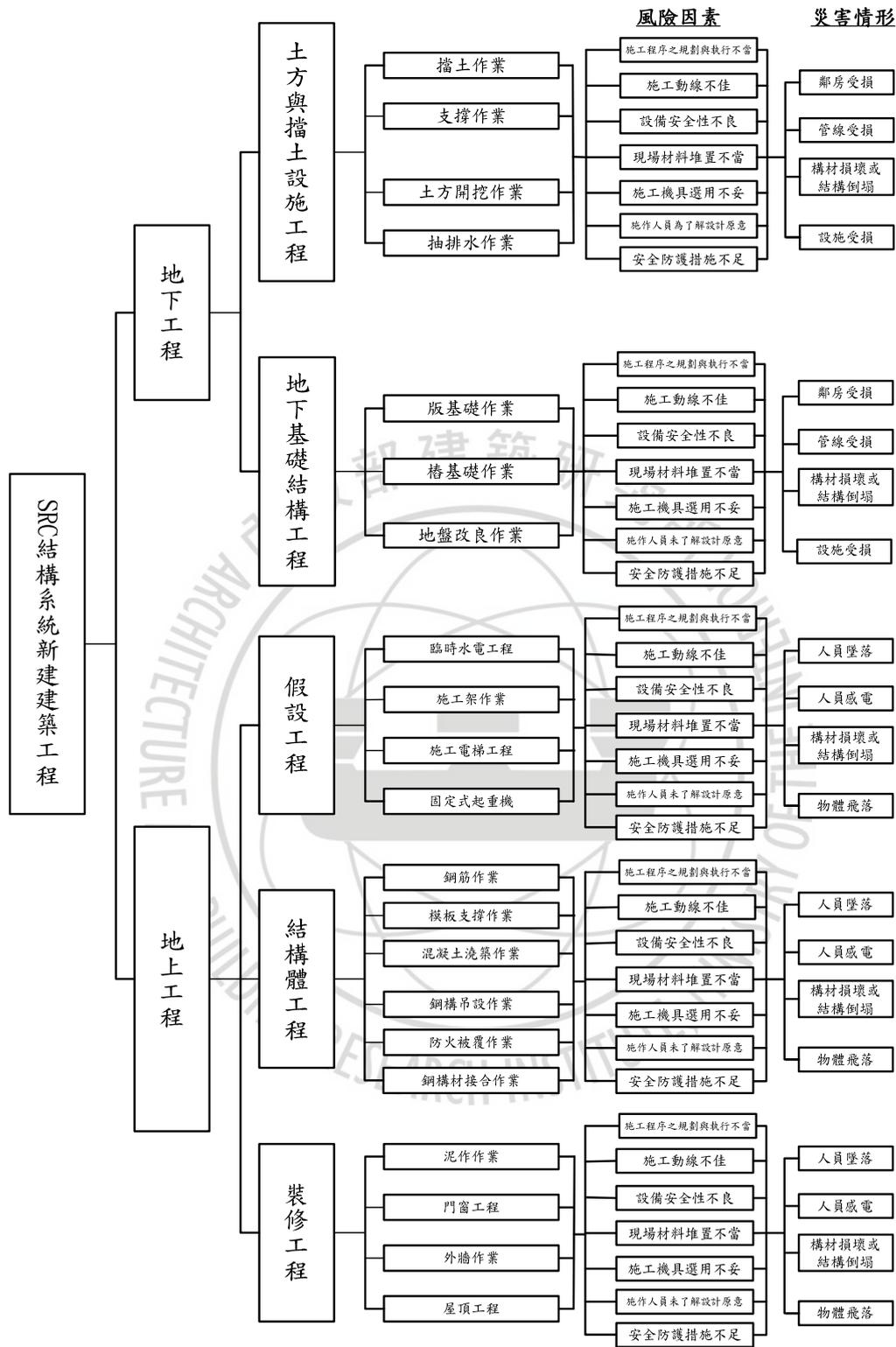


圖 2-12 SRC 結構系統施工風險評估基礎架構

(資料來源：本研究整理)

第三章 風險評估方法

前一章我們依據風險評估的第一道程序，將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。

第一節 建築工程施工風險評估方法回顧

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3-1所示。其中採用較普遍者為層級分析程序法(Analytic 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 3-1 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)

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

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)²⁴，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)²⁵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)²⁶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)²⁷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

²⁴ Carlson, C. & Fuller, R. (1996). "Fuzzy multiple criteria decision making: Recent developments." *Fuzzy Sets and Systems*, 78 (2), pp.139-153.

²⁵ Hwang, C. L. & Yoon, K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, New York: Springer-Verlag.

²⁶ Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making*, New York, McGraw-Hill..

²⁷ 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。

(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。

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

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

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础，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)，其中一個主要項目一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。以下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 A ，而 μ 為模糊集 A 的隸屬度函數，並記為 μ_A 。在 $u \in U$ 點處的值則以 $\mu_A(u)$ 表示 u 對模糊集 A 的隸屬度，進而表示對象 u 屬於 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

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

對於模糊集的表示方法，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

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

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

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

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

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

(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) 模糊集的開、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 的開，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 $\bigcup_{i=1}^n A_i$ 為開、 $\bigcap_{i=1}^n A_i$ 為交，其隸屬函數如下：

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

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

模糊集 ($A, B, C \in \tau(U)$) 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 律: $\underline{A} \cup \emptyset = \underline{A}, \underline{A} \cap \emptyset = \emptyset$
 $\underline{A} \cup U = U, \underline{A} \cap U = \underline{A}$
- (7) 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) 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、峯型分布等形式，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 & Prade²⁸ (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。

$$\tilde{A}[\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2] \geq \min[\tilde{A}(x_1), \tilde{A}(x_2)], \lambda \in [0,1]$$
- (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 3-1) 說明模糊數之特性。

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

- (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

²⁸ Dubis, D., and Prade, H., 1978, "Operations on fuzzy numbers", International Journal of Systems Science, Vol. 9, No.6, pp.613~626。

${}^{\alpha}\tilde{A} = \{x \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}$ ，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。

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

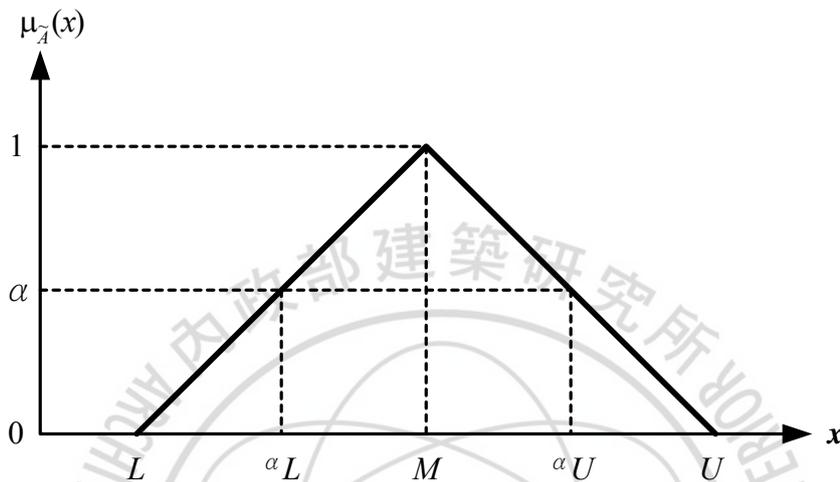


圖 3-1 三角模糊數及 α -level 示意圖

(資料來源：本研究整理)

三、語意變數 (Linguistic Variable)

根據Zadeh (1975)²⁹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。

²⁹ Zadeh L. A. (1975). "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning." Information Sciences, 8 (1), 199-249.

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 & Hwang³⁰ (1992)所提供的尺度形式則如圖 3-2 所示。

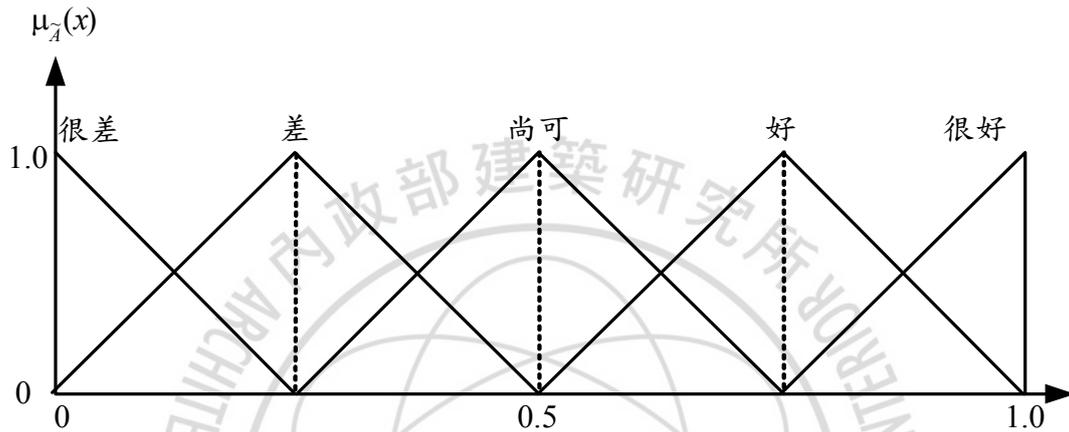


圖 3-2 五等級的語意尺度圖例

(資料來源：本研究整理)

參、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 \tilde{R} 表示。

³⁰ Chen, S. J. and Hwang, C. L., 1992, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making-Method and Applications, Springer-Verlag, New York.

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：

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

則

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

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 $\mu_{\underline{R}}(a_i, b_j) = r_{ij}$ ³¹。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

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 $t_{ij} = r_{ij} \vee s_{ij} = \max(r_{ij}, s_{ij})$ 。

³¹ 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.

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

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

其中 $\underline{R} = [r_{ij}]$, ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$)，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 $U \times V$ 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 3-3。

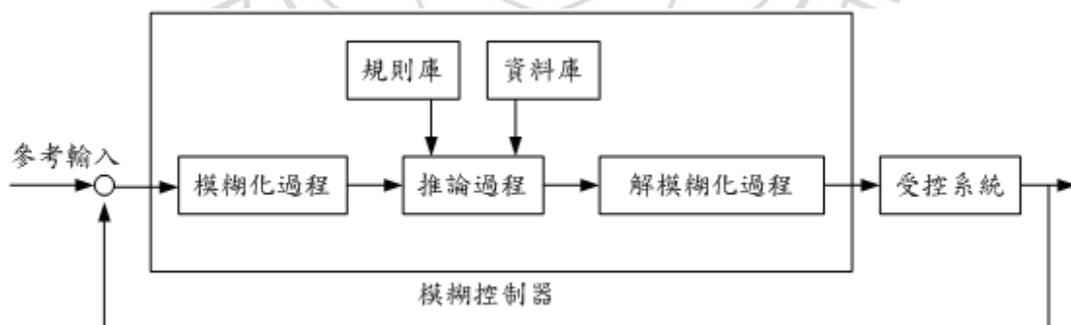


圖 3-3 模糊邏輯控制系統基本結構

(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 3-4。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。

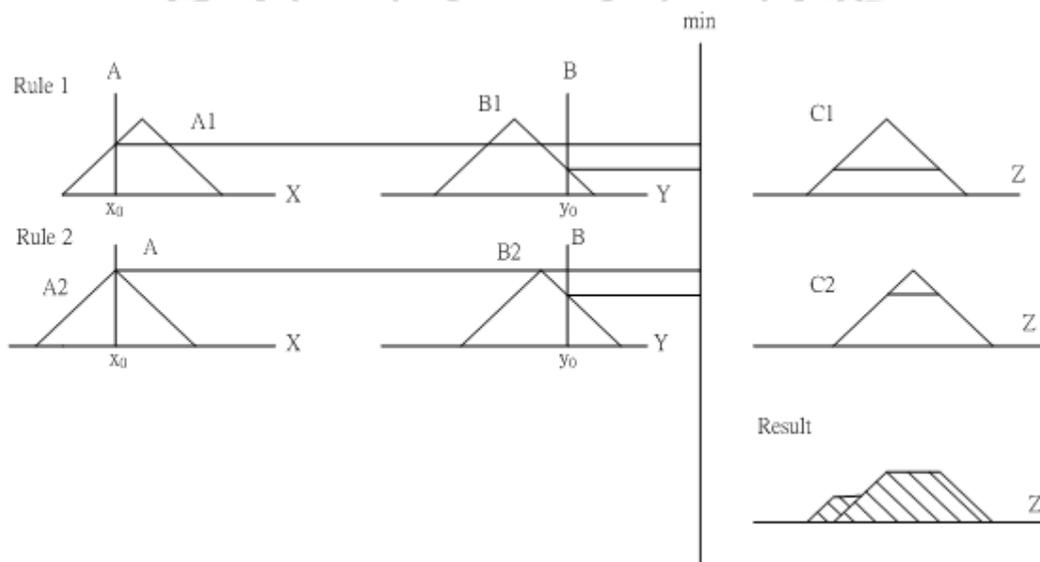


圖 3-4 模糊推論演算

(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：

$$y = \frac{\int y \mu_B(y) dy}{\int \mu_B(y) dy}$$

3.30 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：

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

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。

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

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 3-5)。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 3-6)，則可得結論。另外，fuzzy 關係 max-min 合成運算的運算式如下：

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

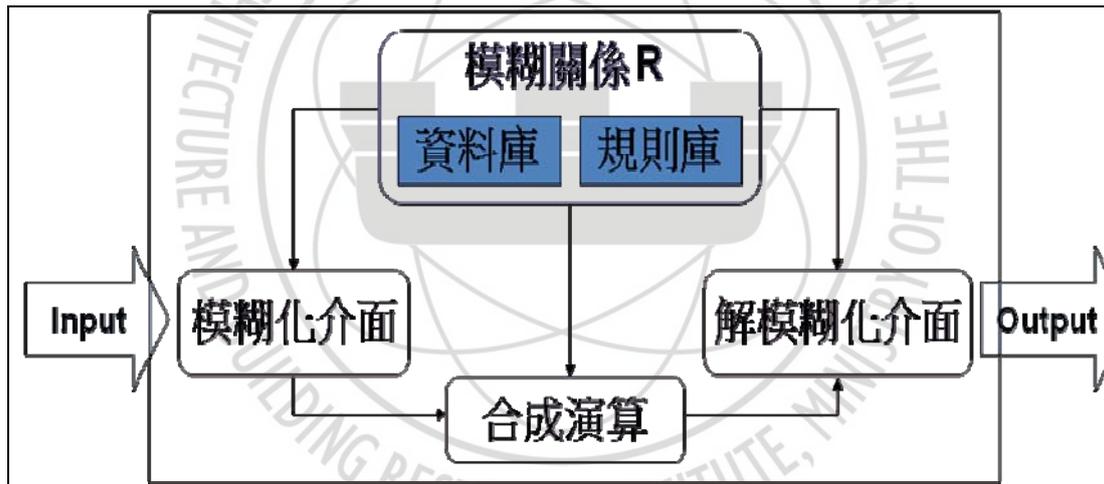


圖 3-5 直接模糊推論

(資料來源：本研究整理)

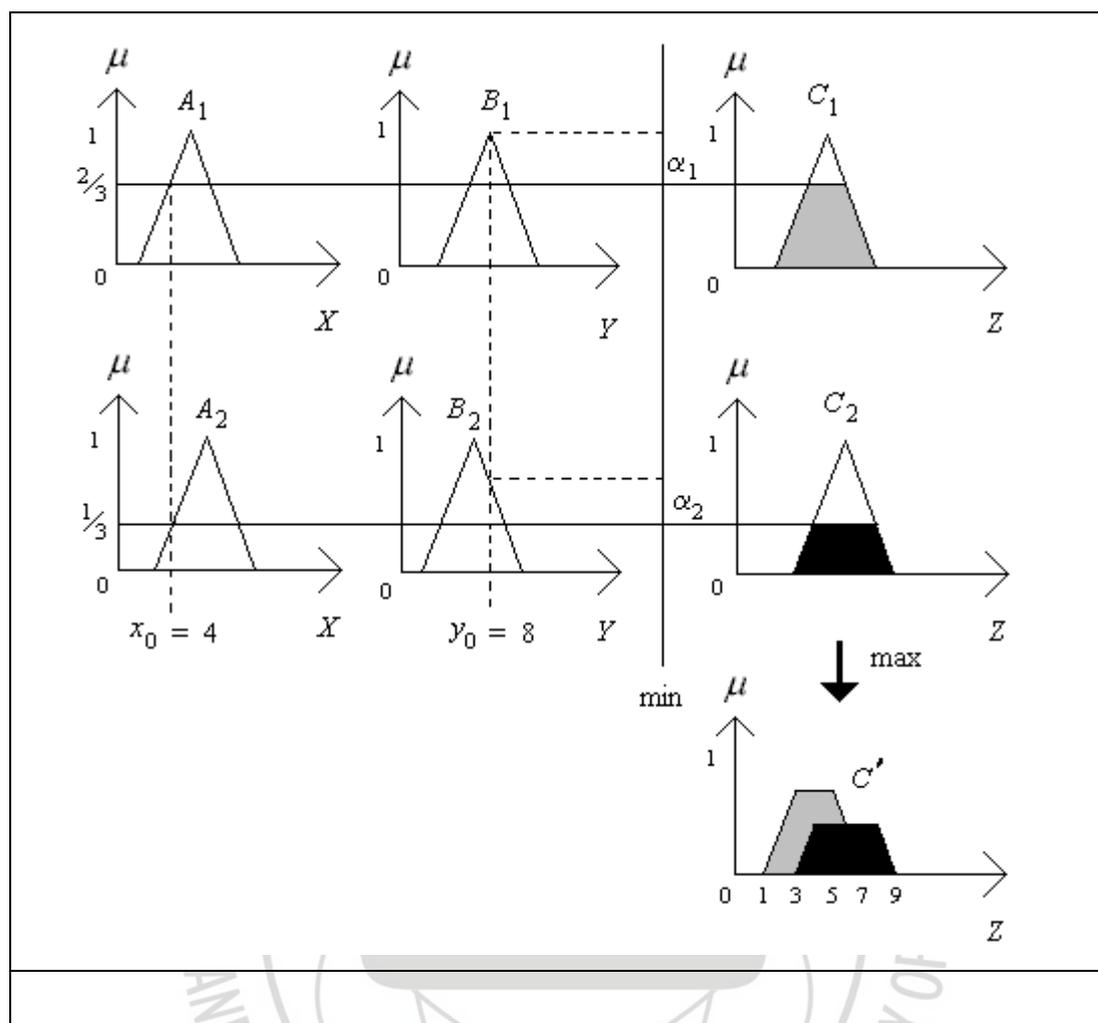


圖 3-6 max-min 合成運算過程

(資料來源：本研究整理)

第四章 建築工程施工風險評估系統架構及模擬

本研究結合多準則決策概念與模糊理論之模糊推論、模糊控制原理，利用具備物件導向功能之 C#軟體，開發成針對建築工程各施工作業項目風險因子發生機率及災害嚴重程度評估的雛型決策系統(Prototype System)，以期提供實務工作人員一個運用模糊理論作為評估施工風險推論的平台。

第一節 系統架構

由第二章建築施工相關風險因素之探討可知，施工風險因素在各種不同工程背景條件或工程項目下，各有不同的考量狀況，因此本研究所開發之評估系統採用使用者定義的方式，除內建之基本項目外，使用者仍可針對需注意考量之背景因素、作業項目、風險因子、災害類型等項目作適當之增加，當中影響之關係亦由使用者自行訂定，接著使用模糊推論方法，針對欲評估之風險因子，在考慮的背景條件各種狀態下，進行該風險因子發生之機率或可能性評估，以及評斷在各風險因子下造成某項災害的嚴重程度，因此本研究所開發的風險評估系統，其主架構如圖 4-1，而有關模糊資料庫與規則庫設定的流程架構如圖 4-2 所示，至於整個系統的運作流程則如圖 4-3 所示。

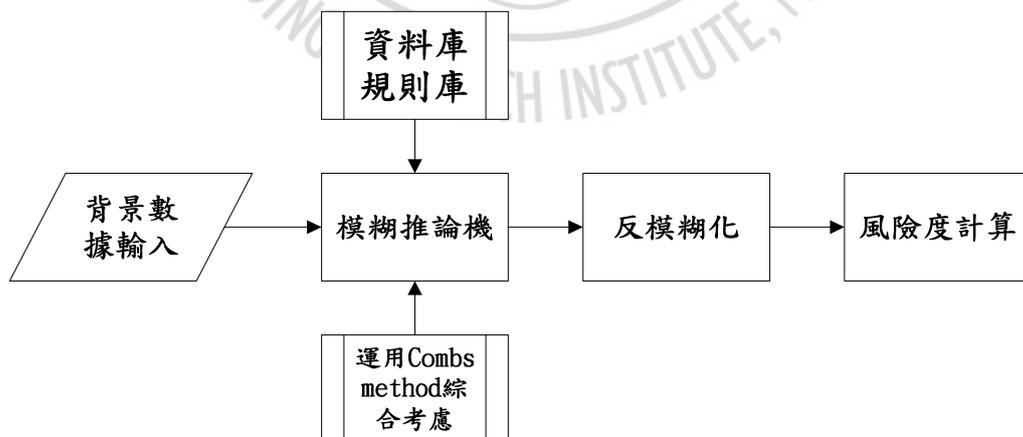


圖 4-1 風險評估系統主架構

(資料來源：本研究整理)

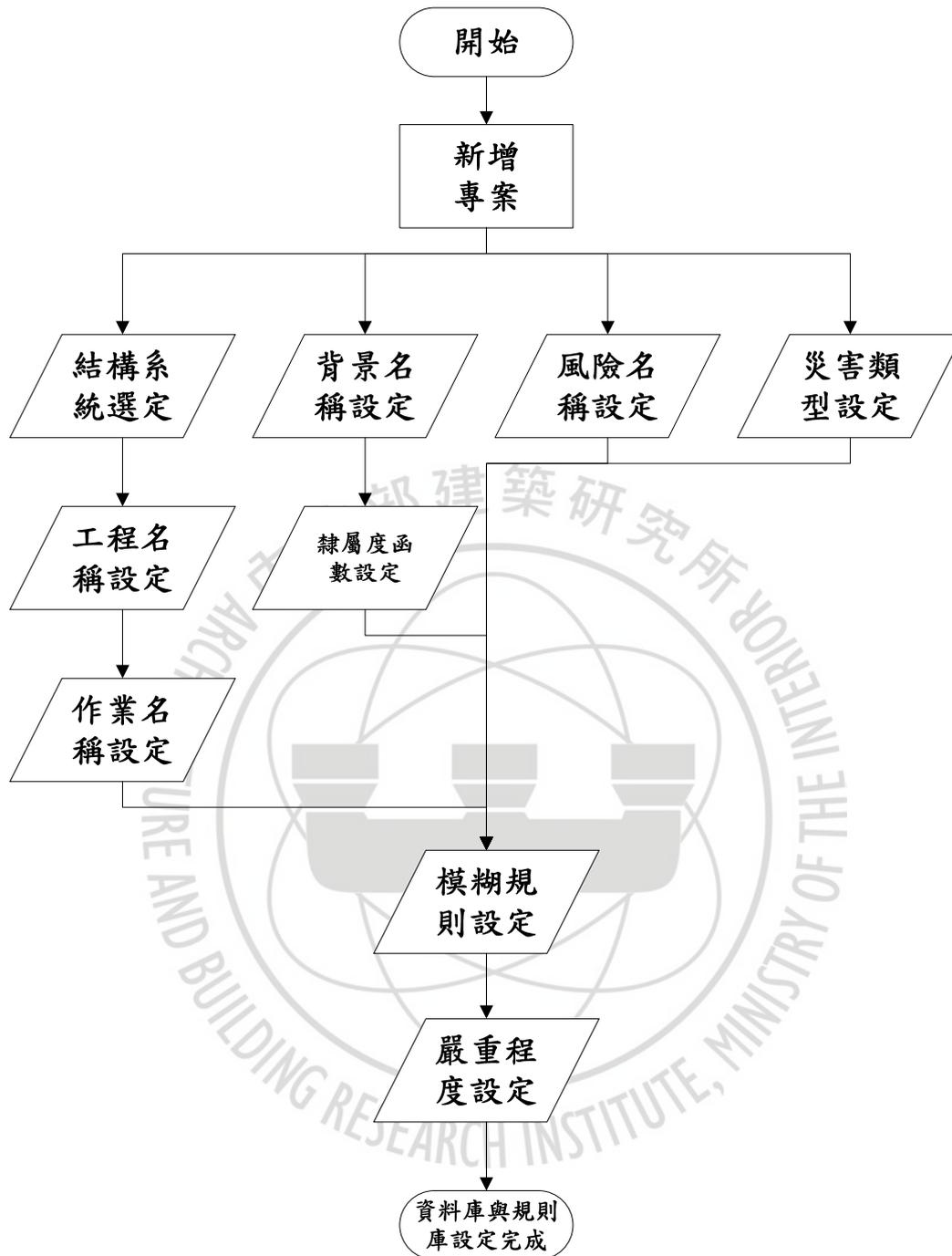


圖 4-2 模糊資料庫與規則庫流程架構

(資料來源：本研究整理)

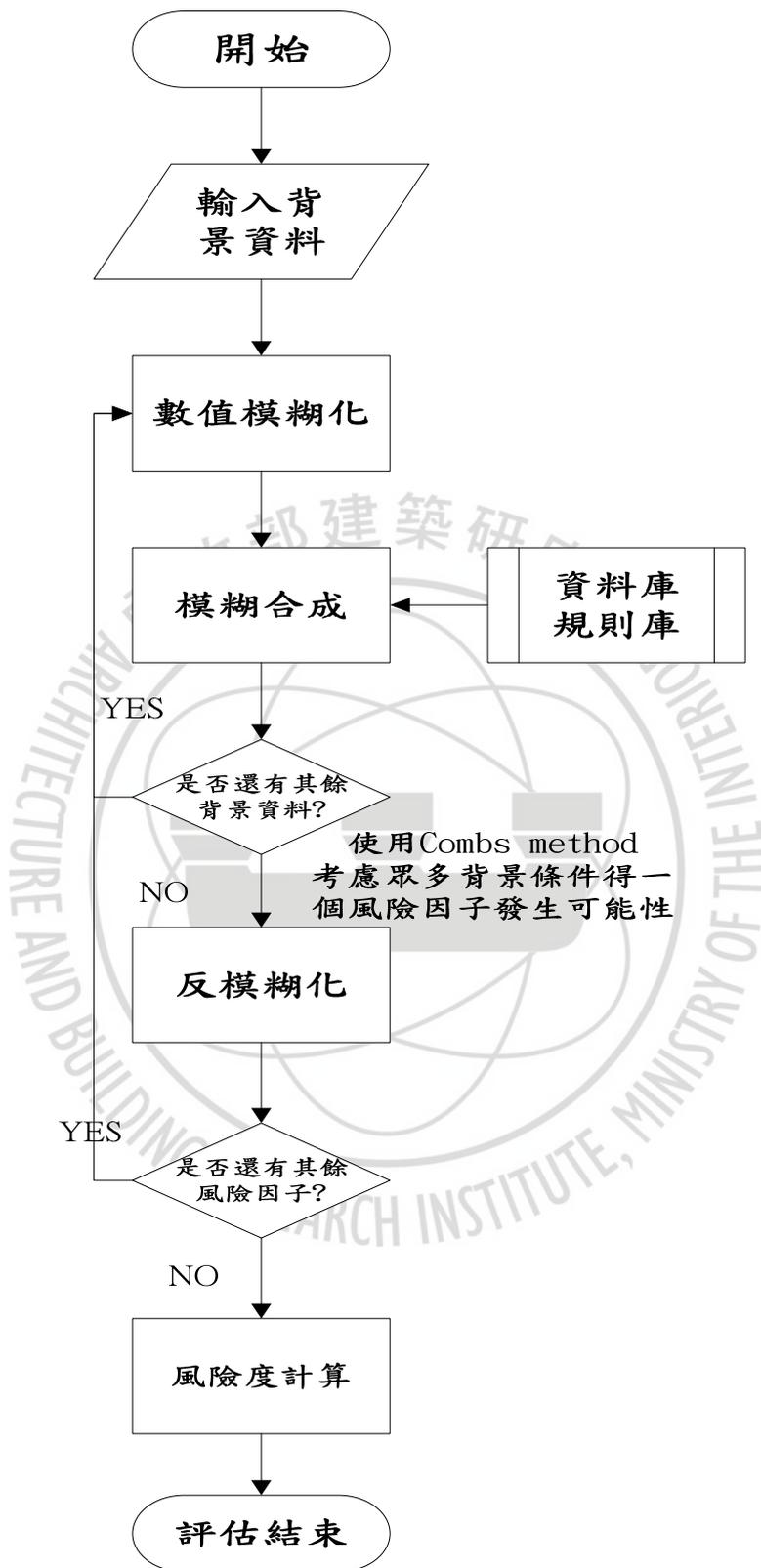


圖 4-3 風險評估系統運作流程

(資料來源：本研究整理)

第二節 系統操作及案例模擬

案例模擬方面，本研究以林禎中、陳俊瑋(2005)³²之研究中所用的案例為基礎來加以模擬操作本研究所開發之風險評估系統。該案例係以「假設工程」中進行「灌漿作業」作為評估對象，該研究提出八項影響因子，分別為：支撐的設計、支撐架的組裝、支撐架材料、模板的安全性、灌漿方法的安全性、地表的承載力、監造人員的經驗以及勞工人員的經驗，而其造成的損失項目為：人員傷亡、機材損失、工期延誤及復原投入；該八項影響因子及損失項目對應到本研究所建立的風險評估模式，將其轉化為考慮四項背景條件：氣候、設計者業績(經驗能力)、施工者業績(經驗能力)、勞工人員素質，四項風險因子：施工程序規劃不當、模板支撐組裝不良、混凝土品質不良、安全防護措施不足，三項災害類型：人員傷亡、機材損失、工期延誤。

壹、系統操作程序及評估資料輸入

首先，在執行本程式後進入評估系統主畫面(如圖 4-4)，並在點選「檔案」選項內新增專案(如圖 4-5)，以利於往後進行專案更新、儲存與擷取管理，減少重新輸入資料的麻煩，新增專案名稱後即可針對欲評估分析之項目進行輸入。接著選擇對結構系統進行選定，在本畫面的模擬案例以選定 RC 結構系統為評估對象(如圖 4-6)，選定 RC 結構系統確定後，回到主畫面選擇「工程名稱設定」選項，其內定的主要工程項目即會列出(如圖 4-7)，由使用者決定目前所欲評估的工程項目而予以點選，圖示為選定「假設工程」為評估的工程項目，如果所欲評估的工程項目未在內定的工程項目之列，則使用者可以透過新增欄位自行輸入所要評估的工程項目。

³²林禎中、陳俊瑋(2005)，營造業職災風險量化與決策支援系統研究，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究。



圖 4-4 評估系統主畫面

(資料來源：本研究整理)

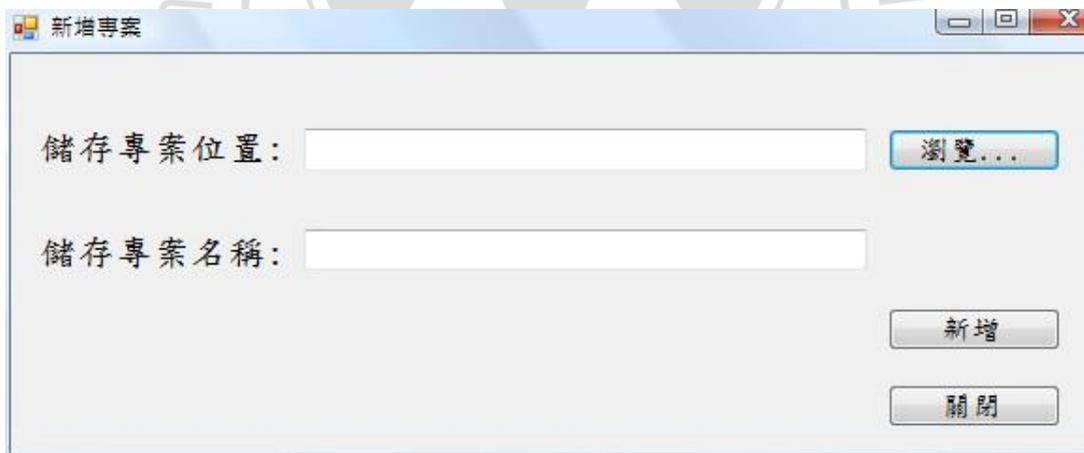


圖 4-5 輸入或新增專案

(資料來源：本研究整理)



圖 4-6 選擇結構系統

(資料來源：本研究整理)

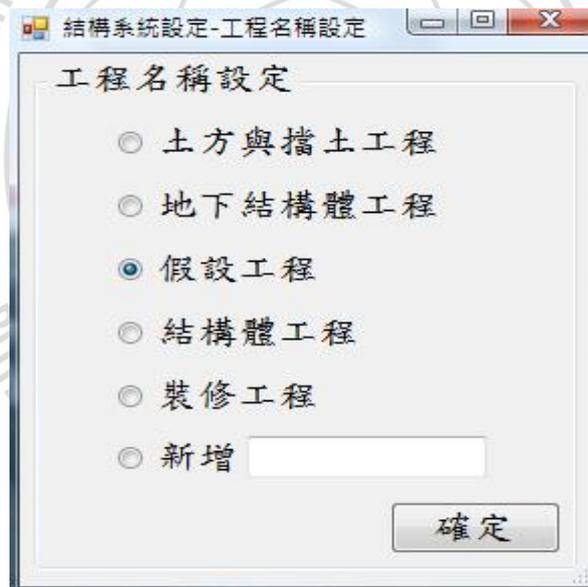


圖 4-7 選擇或新增評估之分項工程名稱

(資料來源：本研究整理)

因假設工程的作業項目內定為臨時水電工程、施工架作業、施工電梯工程及固定式起重機等主要項目，但本模擬案例係欲評估「灌漿作業」，因此必須選擇「新增」欄位輸入灌漿作業後按「確定」，以完成作業名稱之設定(如圖 4-8)。



圖 4-8 選擇或新增評估之作業項目名稱

(資料來源：本研究整理)

上述之結構系統、分項工程及作業項目設定完成之後，接著必須針對作業背景條件進行設定，因此回到主畫面選擇「背景名稱設定」選項，並逐項輸入施工當時所需考慮的背景條件項目，這對後續風險因子發生機率的評估相當重要，因為每一項風險因子的發生就是在這些背景條件下造成的，因此背景條件完全視施工當時所處的狀況而定，而且建築工程施工過程中也因不同專案而有不同考量重點，所以在系統的設計上並未內定背景資料，如此可以使評估人員有較實際的評估空間，而不會產生系統使用受限的情形。本模擬案例針對假設工程之灌漿作業風險評估，設定氣候、設計者業績、施工者業績、勞工人員素質四項背景條件(如圖 4-9)。

由於災害發生必定事出有因，且依照工程作業項目的不同，影響亦隨之改變，故必須藉由專家經驗設定最具代表性之背景條件，並設定其評分方式或影響的區間數值，即背景條件在模糊理論中之程度範圍(論域)。由於各個背景條件程度範圍(論域)皆不相同，在程式內將會自動對資料進行正規化(Normalize)動作，在此採用極值正規化方法將每筆資料規範至 $[-1\sim 1]$ 內，以便於計算或比較，以及讓使用者了解背景條件的各等級程度之範圍。也就是說，在設定完成背景條件項目之後，接著針對這些背景條件的程度範圍(論域)加以定義並選擇隸屬函數類型(如圖 4-10~4-13)，亦即輸入每一項背景條件之可能最差狀態及最佳狀態的範圍，例如評估人員認為灌漿作業的氣候條件最差

為攝氏 8 度，最佳為攝氏 28 度，則在最差及最佳欄位內輸入該值；又如勞工人員素質這類質性背景條件，評估人員可以用分數高低作為評判優劣標準，亦即最差 0 分，最佳 100 分，以此類推。雖然使用者輸入的是數值資料，但本研究開發之系統均會自動將該等數值資料予以正規化，轉換成 -1 到 +1 之間，除以利後續之計算外。

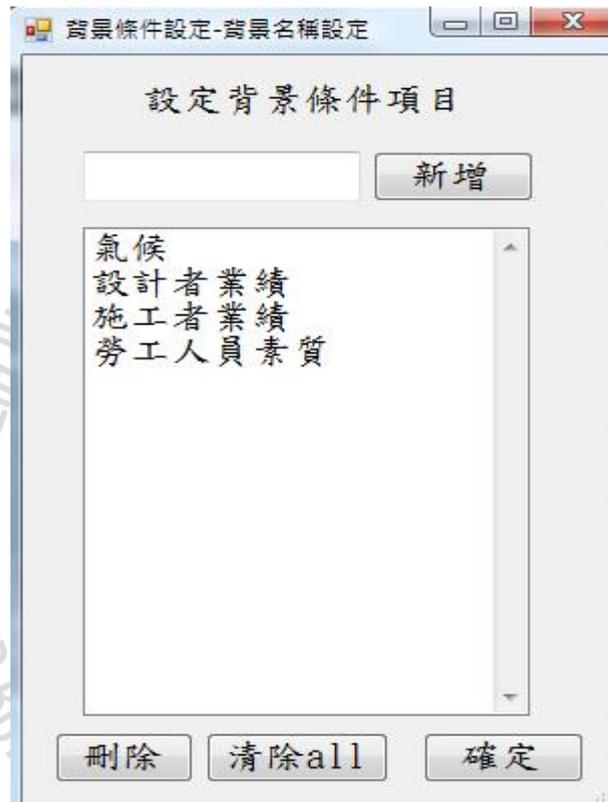


圖 4-9 背景條件設定

(資料來源：本研究整理)

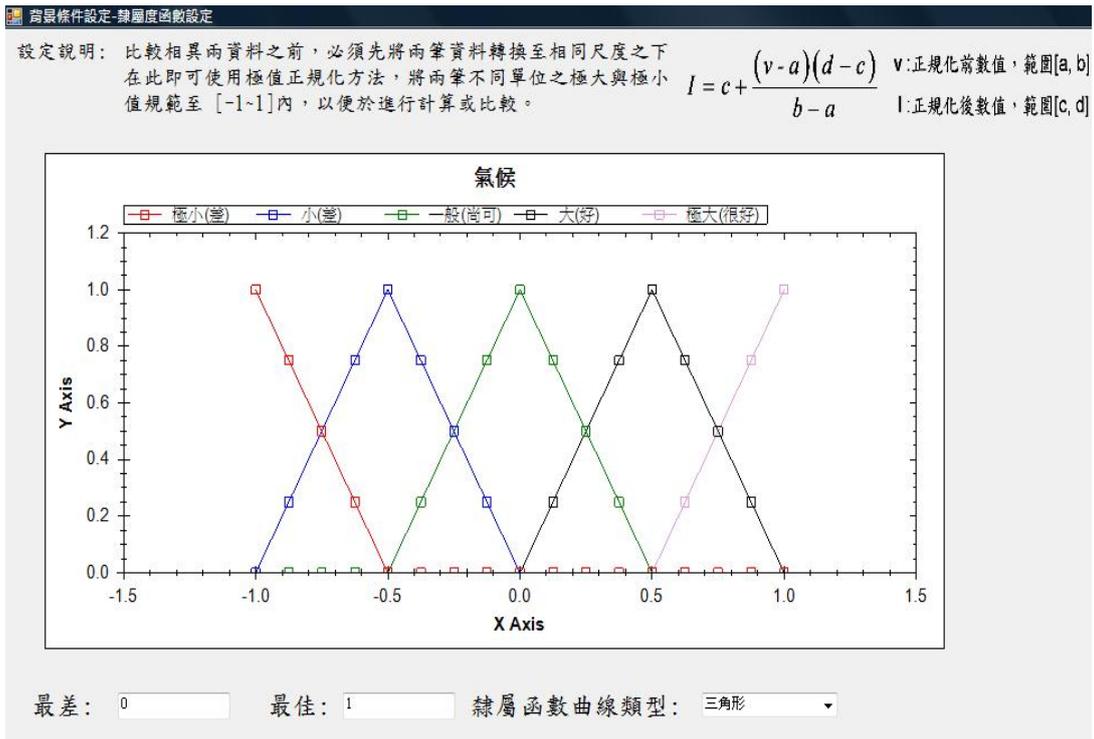


圖 4-10 背景條件設定之一

(資料來源：本研究整理)

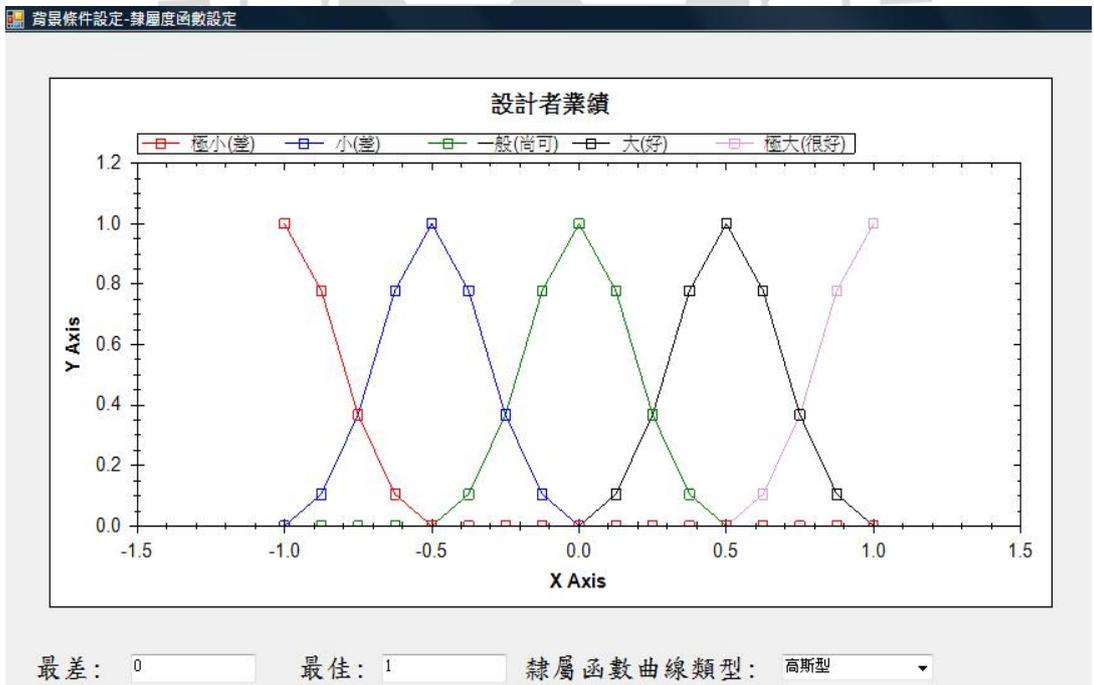


圖 4-11 背景條件設定之二

(資料來源：本研究整理)

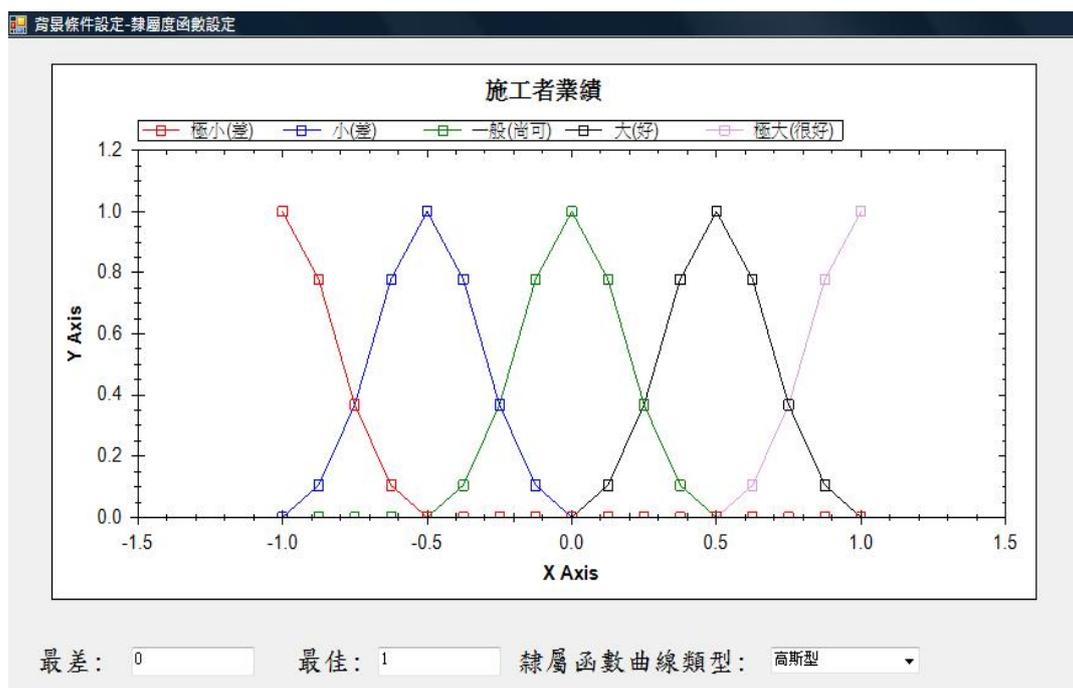


圖 4-12 背景條件設定之三

(資料來源：本研究整理)

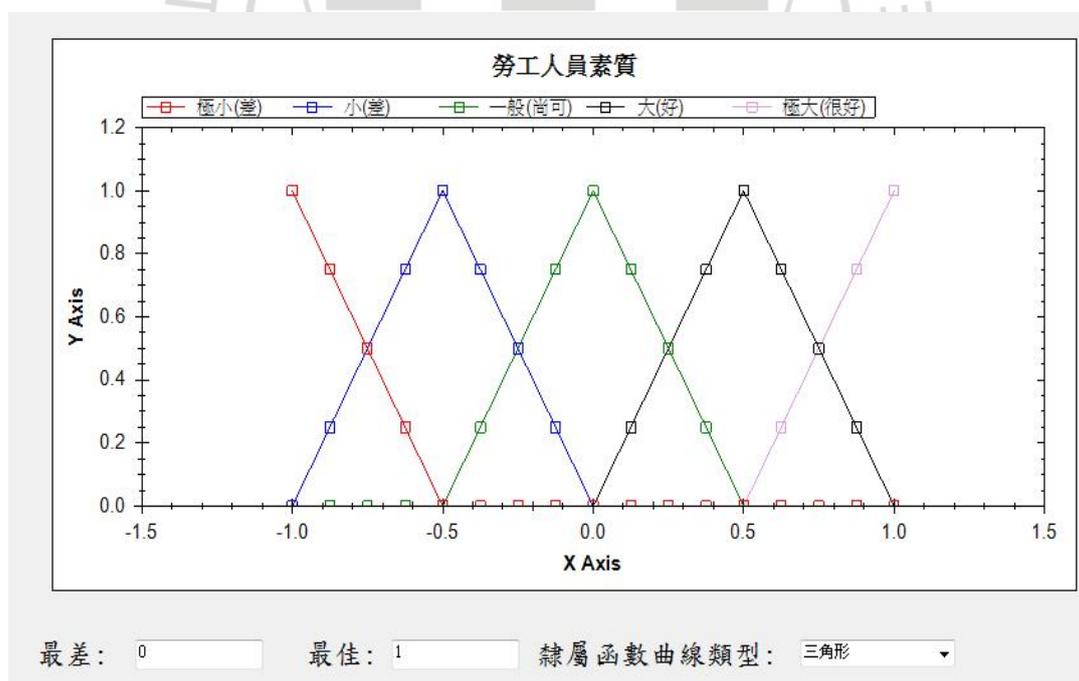


圖 4-13 背景條件設定之四

(資料來源：本研究整理)

在設定背景條件之後，進而對風險因素與災害類型進行設定(如圖 4-14~4-15)，在程式系統內已經內建部分供參考的風險因子與災害類型以便使用者選用，內建風險因子部分是採用林耀煌(1995)針對各項工程分析所得之風險因子與災害類型項目，惟若評估人員認為內建的風險因子與災害類型非為所用或是另有考量其他風險因素與災害類型，亦可透過系統所設計的新增欄位自行輸入增加。



圖 4-14 風險因子設定

(資料來源：本研究整理)



圖 4-15 災害類型設定

(資料來源：本研究整理)

設定完成背景條件、風險因子與災害類型後，接著則必須針對背景條件和風險因子的連結進行設定(如圖 4-16)，也就是每項風險因子發生的可能性程度，是如何受到背景條件狀態的影響，必須由此項設定將其建立起來，亦即模糊理論中的模糊規則庫的建立，而此設定步驟，更可說明背景條件在不同狀態下會對風險因子發生的機率有多大的程度，而了解背景條件與風險因子相互間的關係，藉此亦可檢核評估人員的判斷狀況是否合理，降低後續評估結果錯誤的機會。

在背景條件與風險因子間之模糊規則設定完成後，必須針對風險因子和災害類型的連結進行設定(如圖 4-17)，也就是每一項施工災害發生的嚴重程度是受到各可能的風險因子發生時綜合產生的結果，此一設定更可以了解在某風險因子發生下其對應災害類型可能的嚴重程度，而有助於後續進行風險管控策略的擬定及運用。

第四章 建築工程施工風險評估系統架構及模擬

氣候風險因子	施工程序規劃不當	模板支撐組裝不良	混凝土品質不良	安全防護措施不足
最差	發生機率很低	發生機率普通	發生機率很高	發生機率很高
差	發生機率很低	發生機率低	發生機率很高	發生機率很高
尚可	發生機率很低	發生機率很低	發生機率普通	發生機率普通
好	發生機率很低	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	發生機率很低

設計者業績風	施工程序規劃不當	模板支撐組裝不良	混凝土品質不良	安全防護措施不足
最差	發生機率很低	發生機率很高	發生機率很低	發生機率很低
差	發生機率很低	發生機率很高	發生機率很低	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	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	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	發生機率很低

施工者業績風	施工程序規劃不當	模板支撐組裝不良	混凝土品質不良	安全防護措施不足
最差	發生機率很高	發生機率高	發生機率高	發生機率高
差	發生機率很高	發生機率普通	發生機率普通	發生機率普通
尚可	發生機率普通	發生機率普通	發生機率普通	發生機率普通
好	發生機率很低	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	發生機率很低

勞工人員素質	施工程序規劃不當	模板支撐組裝不良	混凝土品質不良	安全防護措施不足
最差	發生機率很低	發生機率很高	發生機率很高	發生機率很高
差	發生機率很低	發生機率很高	發生機率高	發生機率很高
尚可	發生機率很低	發生機率普通	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	發生機率很低

圖 4-16 風險因子與背景條件關係設定

(資料來源：本研究整理)



圖 4-17 風險因子造成災害嚴重度設定

(資料來源：本研究整理)

上述皆設定完成後，在評估系統主畫面中將出現先前設定的背景條件名稱、論域值、隸屬度函數分佈型式與輸入欄，讓使用者可清楚了解可輸入之範圍外，此部分必須由評估人員判定目前的背景條件狀態如何，而在「使用者輸入」欄位內，依據論域的範圍輸入施工當時的背景條件(如圖 4-18)。

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	氣候	0	1	三角形	0.2
2	設計者業績	0	1	高斯型	0.8
3	施工者業績	0	1	高斯型	0.8
4	勞工人員素質	0	1	三角形	0.8

執行分析

圖 4-18 背景條件狀態的設定

(資料來源：本研究整理)

貳、評估資料運算結果

完成上述全部相關評估資料之設定後，即可按下「執行分析」鍵進行模糊推論。其中推論方式係利用蘊含式的 Mamdani 運算法求得在模糊規則下各個背景條件對應於各個風險因子的關係矩陣 R，之後將輸入值模糊化並透過 MAX-MIN 合成法與輸入值進行合成，即可推論出新的結論值。

另外由於某一風險因子發生機率係受到各背景條件之綜合影響，故在推論一項風險因子的發生機率必須同時考慮重要的背景條件，亦即多項條件數入推導單項輸出的模式，因此本系統係利用 Combs method³³ 進行融合，使原本單輸入單輸出的模糊控制規則轉變為多項輸入單輸出，達到同時考慮多項背景條件之目標。在融合後，經由加權平均法進行反模糊化，即可求得各項風險因子在考慮各項背景條件下之發生可能性(機率)情形。

經由系統程式的計算完成後，除將其相關數值顯示出來外，並運用圓餅圖方式，呈現各項風險因子發生機率與各類型災害風險程度之分配情形(如圖 4-19~4-20)。最後，可經由「檔案」選項內之「輸出」獲得以 PDF 檔案格式列印之整個評估資料報告(如圖 4-21)，或經由開啟舊專案檔進行修改或再次分析(如圖 4-22)。而這些最後輸出的評估結果，可以透過圓餅圖了解各風險因子發生程度的比例分配，以及災害項目的危害程度的大小分佈。例如在此模擬案例中，評估結果為「安全防護措施不足」發生的風險最高，「混凝土品質不良」發生的風險次之，災害方面則是「人員傷亡」風險程度最大，「工期延誤」次之，「機材損失」較小。這些評估結果的訊息，對在風險管理相關資源的配置上，將可以有相當重要的參考作用，因為執行風險管理或控制的工作是有其代價(成本)的。

³³ Combs method 是由 Combs 和 Andrews 兩人所發現，主要發現一標準推理邏輯會等同於連結各傳統單一模糊規則系統，藉此得到一個新的模糊系統模型。換句話說，傳統模糊控制器組成方法中的交叉規則法將被轉換為合併規則法。此方法能有效防止模糊規則組合過多，使數個單一輸入值對單一輸出值規則問題，能有效獲得解決。

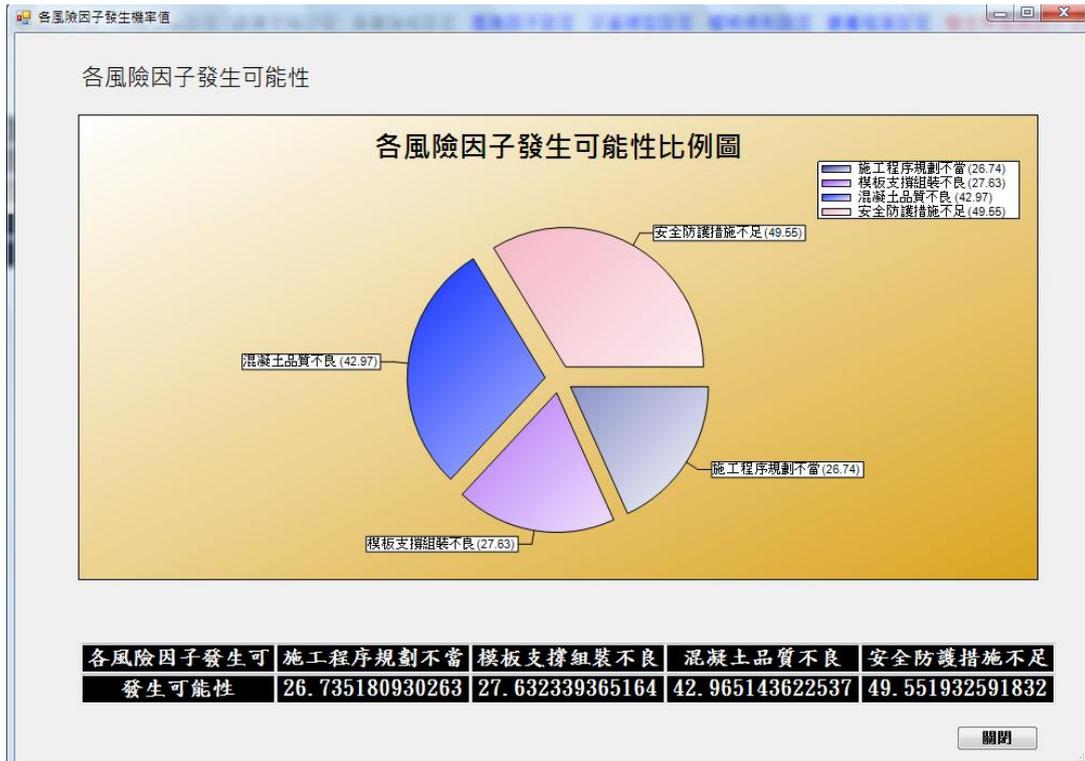


圖 4-19 各風險因子發生的機率與程度比例

(資料來源：本研究整理)

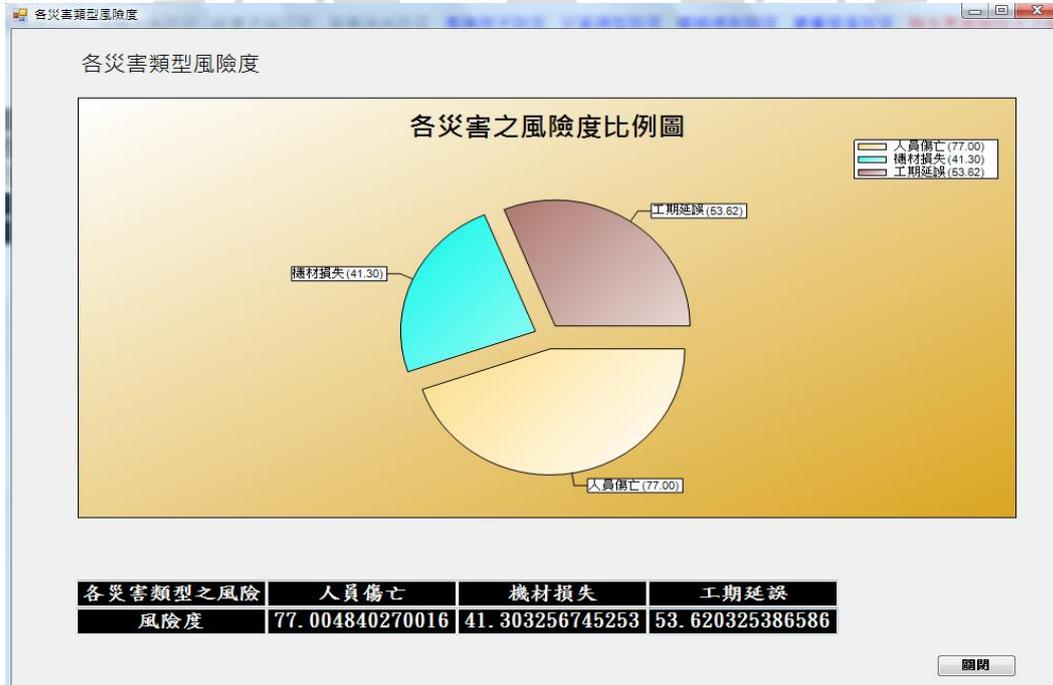


圖 4-20 各災害在考慮的風險因子下之風險程度

(資料來源：本研究整理)

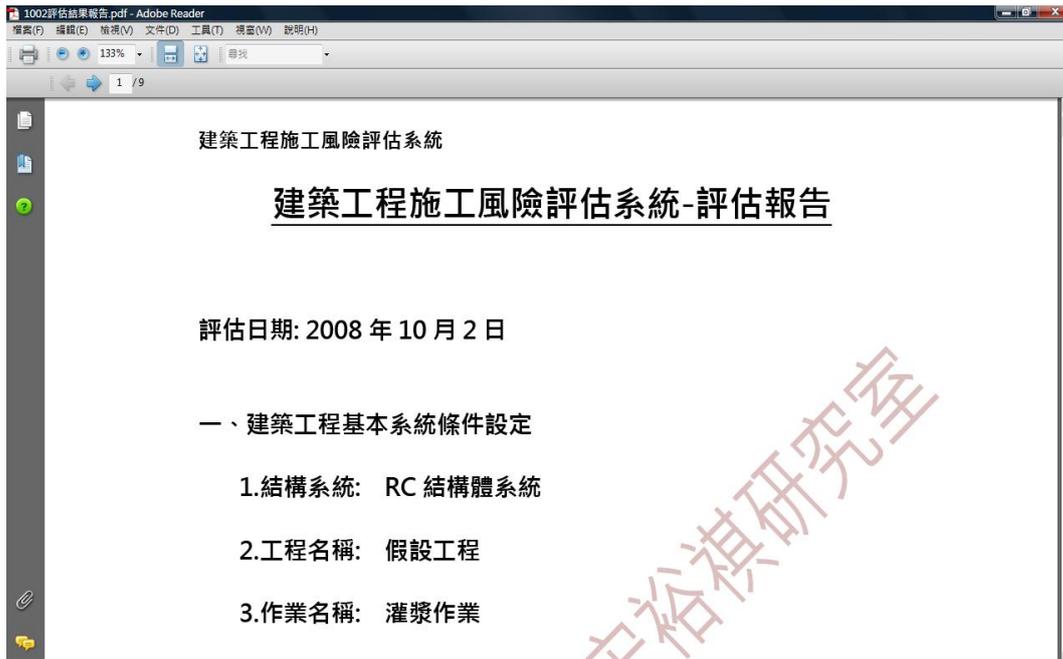


圖 4-21 整個評估資料報告

(資料來源：本研究整理)

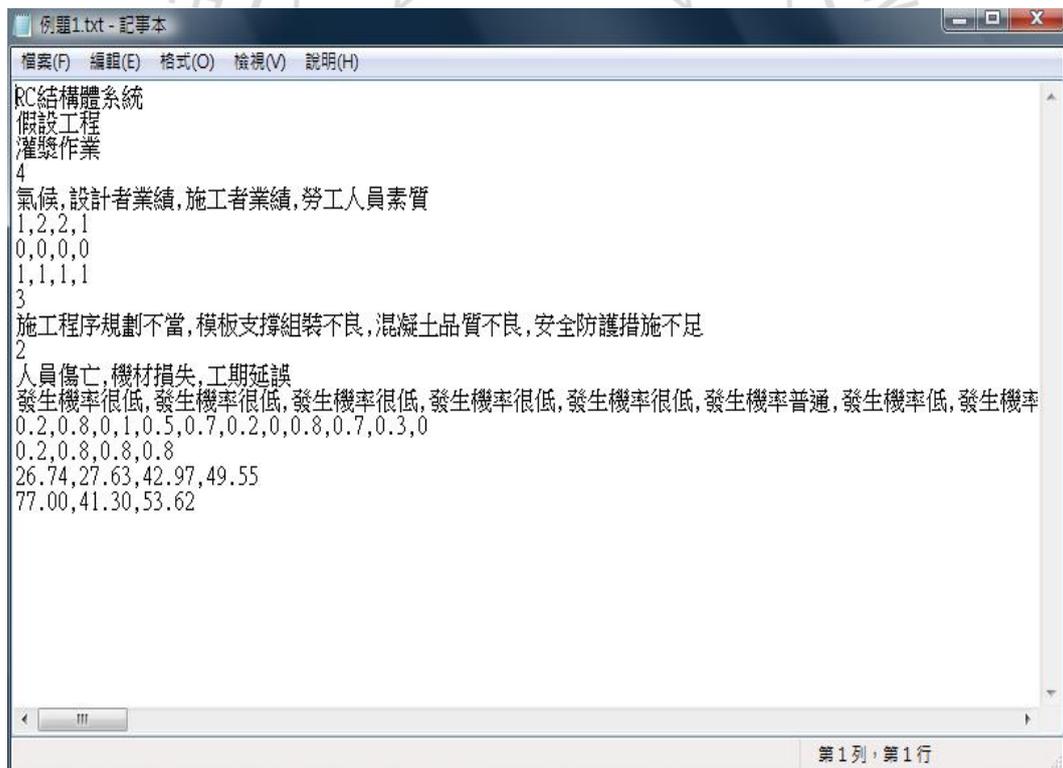


圖 4-22 開啟舊專案 TXT 檔

(資料來源：本研究整理)

叁、系統有效性驗證

上述之模擬案例，係以執行假設工程之灌漿作業前所進行的風險評估作業來演練，其中假定有四項風險因子、三項災害類型，並考慮四種背景條件。若在氣候條件不佳(使用者輸入 0.2)、設計者業績很好(使用者輸入 0.8)、施工者業績(使用者輸入 0.8)以及勞工人員素質很好(使用者輸入 0.8)的情況下，所得到的評估結果是：在風險因子發生機率方面，以「安全防護措施不足」的風險最易發生，「混凝土品質不良」的風險發生機會次之，「模板支撐組裝不良」第三、「施工程序規劃不當」發生機會相對較小，災害方面則是「人員傷亡」風險程度最大，「工期延誤」次之，「機材損失」較小。由於單一案例無法完全判斷系統所執行程式的有效性，本小節將背景條件狀況作一些調整，觀察系統所執行出來的評估結果，是否具備合理性以作為系統有效性的初步測試，以下分別增加三種情況進行不同背景條件下之模擬。即：

情況一：氣候條件很好(0.8)、設計者業績很差(0.2)、施工者業績很好(0.8)以及勞工人員素質很好(0.8)(如圖 4-23)

情況二：氣候條件很好(0.8)、設計者業績很好(0.8)、施工者業績很差(0.2)以及勞工人員素質很好(0.8)(如圖 4-24)

情況三：氣候條件很好(0.8)、設計者業績很好(0.8)、施工者業績很好(0.8)以及勞工人員素質很差(0.2)(如圖 4-25)

經「執行分析」後的評估結果，情況一在設計者業績很差條件下，風險因子發生可能性的部份，則變成「模板支撐組裝不良」的風險最易發生，雖然「安全防護措施不足」、「混凝土品質不良」、「施工程序規劃不當」的風險發生機會仍有些程度差異，但卻變得極為接近(如圖 4-26)；災害方面仍是「人員傷亡」風險程度最大，「工期延誤」次之，「機材損失」相對較小(如圖 4-27)，但是「人員傷亡」與「工期延誤」的風險程度就變得相當接近。

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	氣候	0	1	三角形	0.8
2	設計者業績	0	1	高斯型	0.2
3	施工者業績	0	1	高斯型	0.8
4	勞工人員素質	0	1	三角形	0.8

執行分析

圖 4-23 情況一背景條件狀態的設定

(資料來源：本研究整理)

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	氣候	0	1	三角形	0.8
2	設計者業績	0	1	高斯型	0.8
3	施工者業績	0	1	高斯型	0.2
4	勞工人員素質	0	1	三角形	0.8

執行分析

圖 4-24 情況二背景條件狀態的設定

(資料來源：本研究整理)

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	氣候	0	1	三角形	0.8
2	設計者業績	0	1	高斯型	0.8
3	施工者業績	0	1	高斯型	0.8
4	勞工人員素質	0	1	三角形	0.2

執行分析

圖 4-25 情況三背景條件狀態的設定

(資料來源：本研究整理)

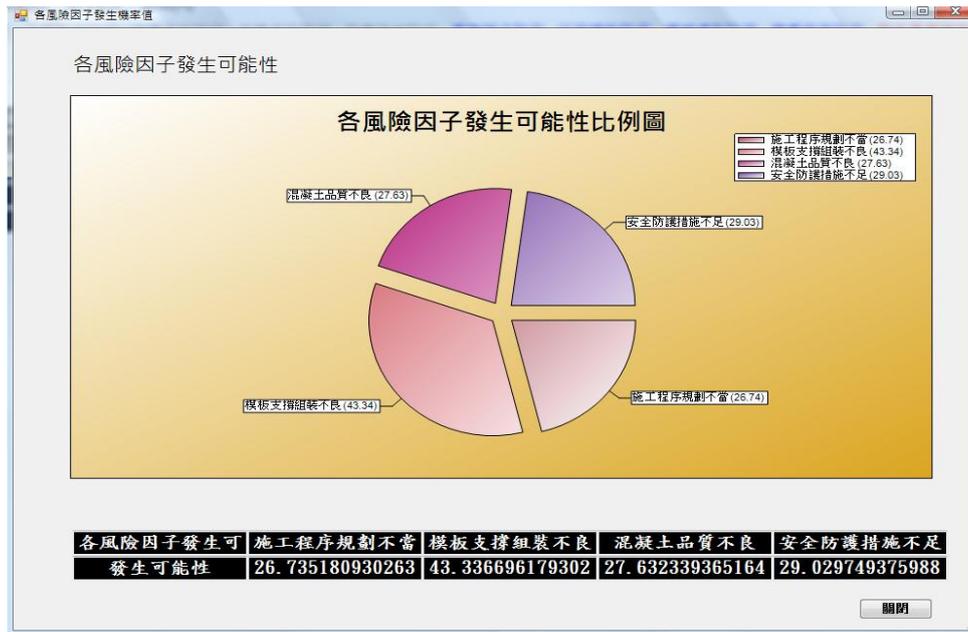


圖 4-26 設計者業績很差模擬下之風險因子發生機率
(資料來源：本研究整理)

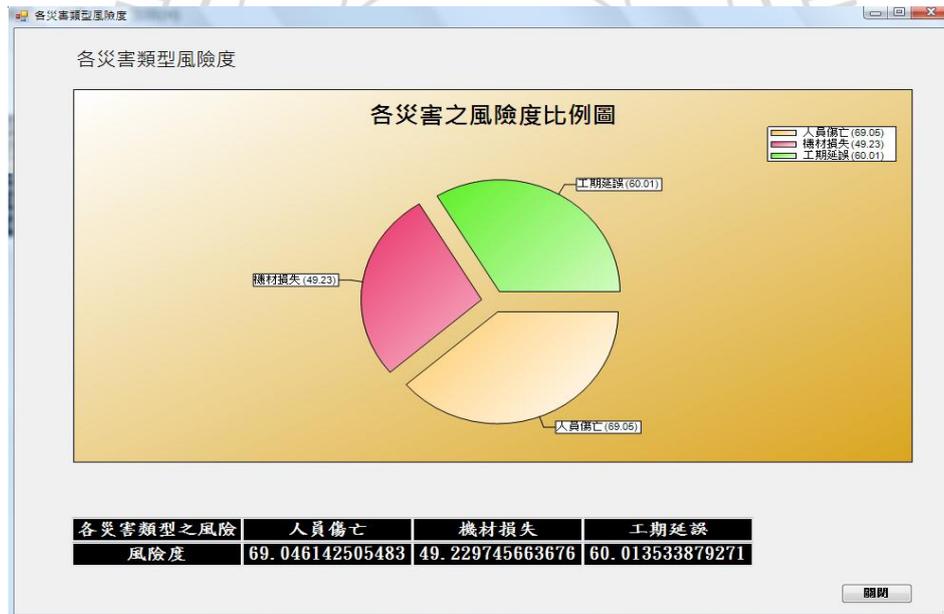


圖 4-27 設計者業績很差模擬下之災害類型風險程度
(資料來源：本研究整理)

情況二在施工者業績很差的條件下，風險因子發生可能性的部份，反而使「施工程序規劃不當」變成風險最易發生的項目，「安全防護措施不足」風險發生的機會仍次之，「模板支撐組裝不良」及「混凝土品質不良」發生的機會變得一樣而且較情況一嚴重(如圖 4-28)；災害方面仍是「人員傷亡」

風險程度最大且變得更大，「工期延誤」的風險程度也增加不少，「機材損失」的風險程度則也所有增加(如圖 4-29)。

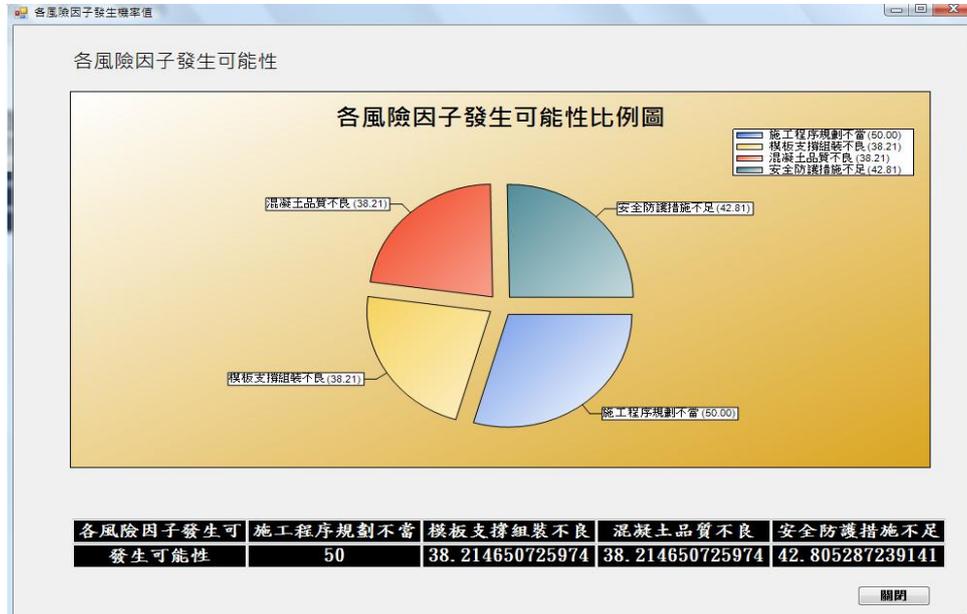


圖 4-28 施工者業績很差模擬下之風險因子發生機率
(資料來源：本研究整理)

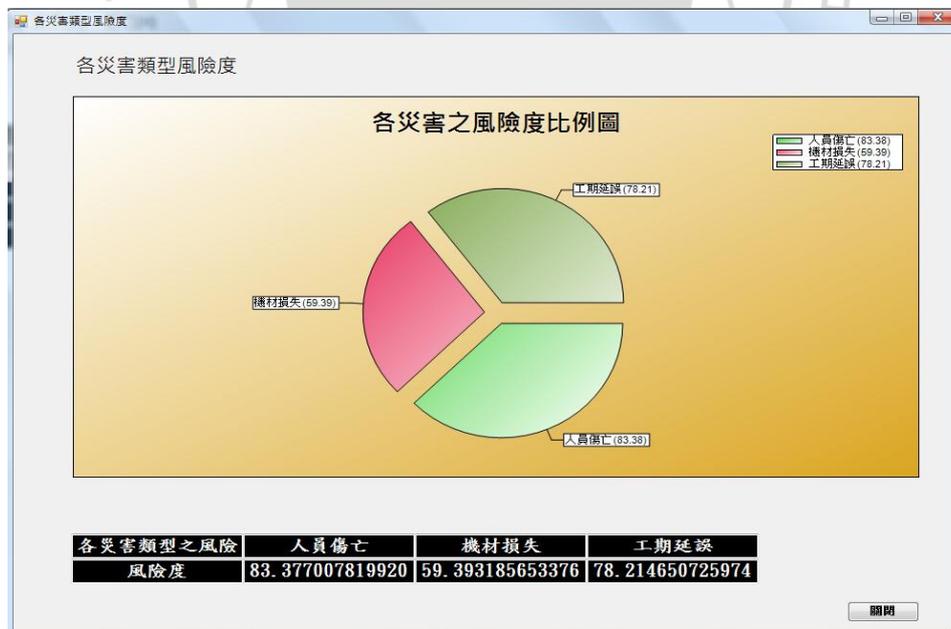


圖 4-29 施工者業績很差模擬下之災害類型風險程度
(資料來源：本研究整理)

情況三在勞工人員素質很差的條件下，風險因子發生可能性的部份，則使「混凝土品質不良」變成風險最易發生的項目，「模板支撐組裝不良」及「安全防護措施不足」的風險發生機會同為排序第二且較情況二增加許多，「施工程序規劃不當」發生的機會相對較小(如圖 4-30)；災害方面仍是「人員傷亡」風險程度最大且變得更大，「工期延誤」的風險程度也增加不少，「機材損失」的風險程度則也所有增加(如圖 4-31)。

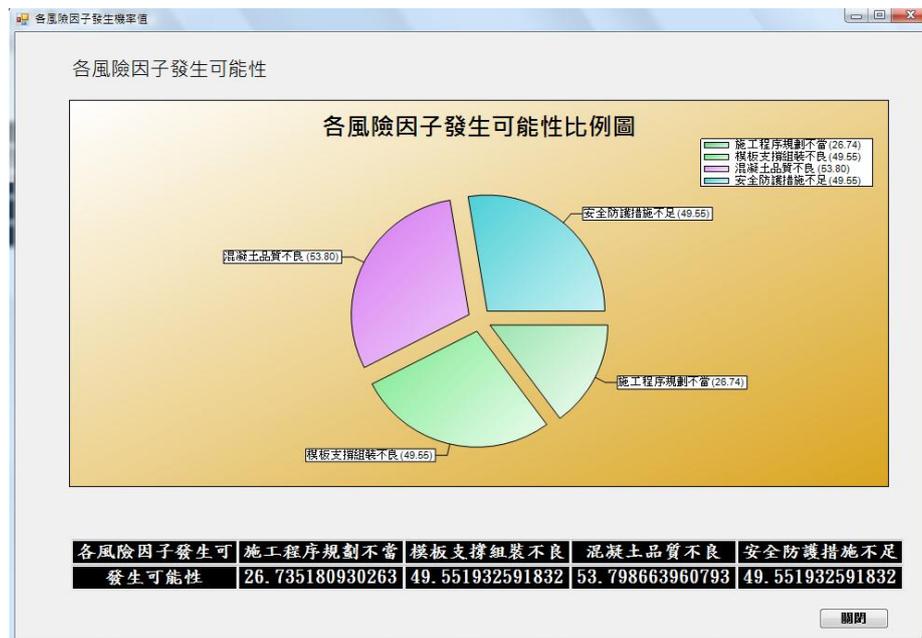


圖 4-30 勞工人員素質很差模擬下之風險因子發生機率
(資料來源：本研究整理)

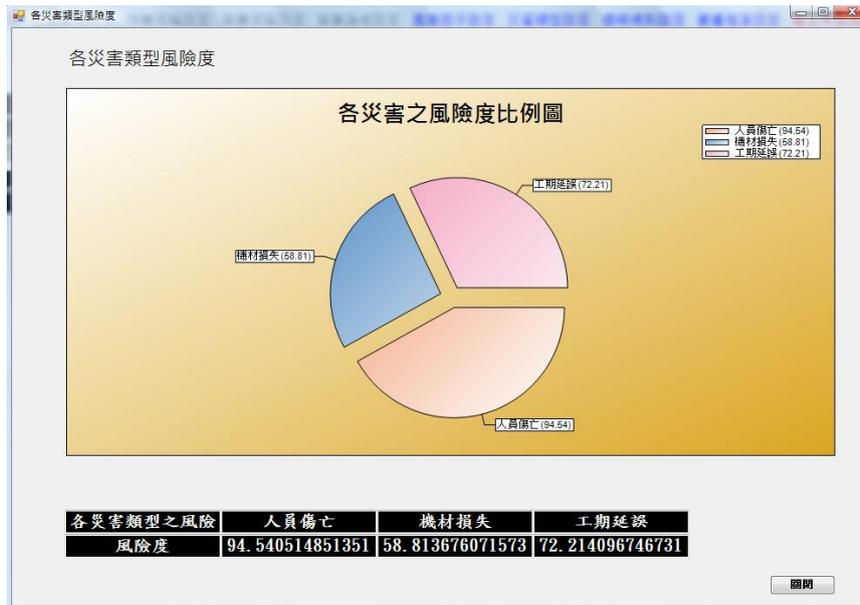


圖 4-31 勞工人員素質很差模擬下之災害類型風險程度
(資料來源：本研究整理)

由以上四種情況進行系統模擬的結果，可以發現「設計者經驗及能力不佳」情形下，「模板支撐組裝不良」的風險發生機率高，「施工者經驗及能力不佳」時，「施工程序規劃不當」變成發生機率最高的風險因子，「勞工人員素質很差」的情況下會產生「混凝土品質不良」、「模板支撐組裝不良」及「安全防護措施不足」均相當高的風險發生率，由此顯示該系統程式能合理且有效地進行施工風險評估作業，且透過系統程式的操作，使施工風險評估作業能更加快速完成，提供相關施工現場風險訊息，以利決策者做出較正確的因應策略。

此外，據研究團隊所瞭解，台北市捷運工程局南區工程處(捷運南工處)所管轄之工區，均經該工程處要求，於工程施工前必須進行風險評估作業，且有建立相關系統表格以作為風險評估作業之用，該項規定並且已實施數年之久，因此本系統開發完成後，研究團隊曾親自至捷運南工程處工事科科長辦公室說明並展示相關功能，經南工處工事科科長模擬其現有相關簡易案例後，也相當認同本研究所開發之系統所能給予在進行風險評估作業上的協助與便利，顯示本系統在工程施工風險評估方法上具有一定的貢獻與有效性。



第五章 建築相關法規之檢討

第一節 施工安全相關法規之探討

在國內目前建築相關法規並未將施工風險評估納入，惟對於施工安全性設計施工及相關技師需加以評估，以確保施工安全性。各相關安全法規分述如下：

壹、建築法規

1. 建築技術規則建築設計施工編

第 290 條第一款：規定直轄市、縣（市）主管建築機關之建造執照預審小組，應就開放空間之植栽綠化及公益性，與其對公共安全、公共交通、公共衛生及市容觀瞻之影響詳予評估。

2. 建築技術規則建築構造編

第 48-1 條：建築基地應評估發生地震時，土壤產生液化之可能性，對中小度地震會發生土壤液化之基地，應進行土質改良等措施，使土壤液化不致產生。對設計地震及最大考量地震下會發生土壤液化之基地，應設置適當基礎，並以折減後之土壤參數檢核建築物液化後之安全性。

3. 建築技術規則建築構造編（民國 96 年 12 月 18 日 修正）

第 518 條：鋼骨鋼筋混凝土構造之施工，應依施工規範規定，施工過程中任何階段之結構強度及穩定性，應於施工前審慎評估，以確保施工過程中安全無虞。

4. 大眾捷運法（民國 93 年 05 月 12 日 修正）

第 12 條：起造人為其限建範圍內之建築物申請開工前，應先會同捷運主管機關及捷運營運機構，辦理捷運設施之現況調查及現況測量，並提出與原設計保護捷運設施相符之施工計畫，由當地主管建

築機關會商捷運主管機關審核同意後始得開工。前項行為，經捷運主管機關同意者得免辦理之。

第一項施工計畫應載明下列事項：

- (1) 開挖步驟、計時、機具及工地檢驗之方式。
- (2) 輔助工法及其施作機具之說明。
- (3) 降水系統之機具、配量及各開挖階段之水位控制。
- (4) 各開挖階段支撐應力、擋土壁變形及捷運設施之變形預測值。
- (5) 監測系統之儀器配置及安裝方式。
- (6) 緊急應變措施。
- (7) 其他基於公共安全或保護捷運設施之需要，經捷運主管機關要求檢附
- (8) 之文件或說明。
- (9) 前項第四款之分析過程應作成評估報告，並列為施工計畫檢附之文件。

貳、勞安衛相關法規

1. 危險性工作場所審查暨檢查辦法（民國 94 年 06 月 10 日 修正）

第二條第四款：丁類係指下列之營造工程：

- (一) 建築物頂樓樓板高度在五十公尺以上之建築工程。
- (二) 橋墩中心與橋墩中心之距離在五十公尺以上之橋樑工程。
- (三) 採用壓氣施工作業之工程。
- (四) 長度一千公尺以上或需開挖十五公尺以上之豎坑之隧道工程。
- (五) 開挖深度達十五公尺以上或地下室為四層樓以上，且開挖面積達五百平方公尺之工程。
- (六) 工程中模板支撐高度七公尺以上、面積達一百平方公尺以上且佔該層模板支撐面積百分之六十以上者。

第 17 條：事業單位向檢查機構申請審查丁類工作場所，應填具申請書，並檢附下列資料、施工安全評估人員簽認文件及相關專業技師簽證文件各三份：

- (一) 施工計畫書。

(二)施工安全評估報告書。

前項相關專業技師簽證之事項以勞工安全衛生設施涉及專業技術部分為限，事業單位於提出審查申請時，應確認技師之簽證無誤。對於工程內容較複雜、工期較長、施工條件變動性較大等特殊狀況之工程者，得報經檢查機構同意後，分段申請審查。

2. 營造安全衛生設施標準

第六條：雇主對於營造工作場所，應於勞工作業前，指派勞工安全衛生人員或工程專業人員實施危害調查、評估，並採適當防護設施，以防止職業災害之發生。

3. 勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法

第 2 條

本辦法所稱事業，依危害風險之不同區分如下：

- 一、第一類事業：具顯著風險者。
- 二、第二類事業：具中度風險者。
- 三、第三類事業：具低度風險者。

前項各款事業之例示，如附表一。

第 12-3 條

第一類事業勞工人數在三百人以上之事業單位，於引進或修改製程、作業程序、材料及設備前，應評估其職業災害之風險，並採取適當之預防措施。

第 12-5 條

第一類事業勞工人數在三百人以上之事業單位，以其事業之全部或一部分交付承攬或與承攬人分別僱用勞工於同一期間、同一工作場所共同作業時，除應依本法第十七條或第十八條規定辦理外，應就承攬人之安全衛生管理能力、職業災害通報、危險作業管制、教育訓練、緊急應變及安全衛生績效評估等事項，訂定承攬管理計畫，並促使承攬人及其勞工，遵守勞工安全衛生法令及原事業單位所定之勞工安全衛生管理事項。

第 44-1 條

雇主對於機械、設備，應依本章第一節及第二節規定，實施定期檢查。但雇主發現有腐蝕、劣化、損傷或堪用性之虞，應實施安全評估，並縮短其檢查期限。

第 81 條

勞工、主管人員及勞工安全衛生管理人員實施檢查、檢點時，發現對勞工有危害之虞，應即報告上級主管。

雇主依第十三條至第七十七條規定實施之自動檢查，於發現有異常時，應立即檢修及採取必要措施。

參、其他相關法規

1. 公共工程專業技師簽證規則（民國 91 年 07 月 03 日發布）

第 6 條：公共工程實施設計、監造簽證者，主辦工程機關應於委託設計、監造服務之招標文件中，明定實施設計、監造簽證之工程項目或內容，並規定得標廠商須於簽約後提報其實施設計、監造簽證之執行計畫，經主辦工程機關同意後執行之。

前項執行計畫應具之工作項目，主辦工程機關應依工程種類、規模及實際需要定之。其屬設計簽證者，得包括補充測量、補充地質調查與鑽探、施工規範與施工說明、數量計算、設計圖與計算書、施工安全評估、工地環境保護監測與防治及其他必要項目；其屬監造簽證者，得包括品質計畫與施工計畫審查、施工圖說審查、材料與設備抽驗、施工查驗與查核、設備功能運轉測試之抽驗及其他必要項目。

2. 機關委託技術服務廠商評選及計費辦法（民國 91 年 12 月 11 日修正）

第 4 條：機關得委託廠商承辦技術服務之項目如下：

規劃與可行性研究：

- （一）計畫概要之研擬。
- （二）初步踏勘及現況調查。
- （三）測量、地質調查、土壤調查與試驗、水文氣象測量及調查、材料調查及試驗、模型試驗及其他調查、試驗或勘測。
- （四）都市計畫、區域計畫或水土保持計畫等之調查及規劃。

- (五) 計畫需求調查及分析。
- (六) 計畫相關資料之分析、整理及評估。
- (七) 方案之比較研究及初步規劃。
- (八) 計畫成本之初估及經濟效益評估。
- (九) 財務之分析及建議。
- (一〇) 風險及不定性分析。
- (一一) 經營管理方式之規劃。
- (一二) 環境影響評估及相關說明書或報告書之編製。
- (一三) 可行性報告及建議。

3. 建築經理公司管理辦法(民國 75 年 07 月 09 日發布)

第二十八條：建築經理公司對不合理或風險過巨之工程，得拒絕代辦履約保證手續。

第二節 施工風險與安全之建議

綜上整理相關法規後發現，除機關委託技術服務廠商評選及計費辦法及建築經理公司管理辦法有將風險之字眼納入外，相關法規皆將施工安全評估納入，若能將施工風險理念導入，將有助於進行施工安全評估。鑑於建築相關法規之修法程序煩瑣耗時，實務操作可從以下述之幾點建議作為，將施工風險理念導入於施工安全評估中。

一、公共工程設計、監造簽證之執行計畫應納入施工風險評估項目，並訂於契約中規範

依公共工程專業技師簽證規則第 6 條，規定得標廠商須於簽約後提報其實施設計、監造簽證之執行計畫，經主辦工程機關同意後執行之。執行計畫應具之工作項目，主辦工程機關應依工程種類、規模及實際需要定之。其屬設計簽證者，得包括補充測量、補充地質調查與鑽探、施工規範與施工說明、數量計算、設計圖與計算書、施工安全評估、工地環境保護監測與防治及其他必要項目。其中施工安全評估應包含施工風險評估，並訂於契約中規範。

二、營造業製作施工計畫書時應納入施工風險評估項目

依營造業法第26條規定營造業承攬工程，應依照工程圖樣及說明書製作工地現場施工製造圖及施工計畫書，負責施工。建議製作施工計畫書時應納入施工風險評估項目，以作好施工風險評估，確保施工安全。

三、丁類危險性營造工程施工安全評估報告書應包含施工風險評估內容

依危險性工作場所審查暨檢查辦法第17條，事業單位向檢查機構申請審查丁類工作場所，應填具申請書，並檢附下列資料、施工安全評估人員簽認文件及相關專業技師簽證文件各三份：(一)施工計畫書。(二)施工安全評估報告書。

建議丁類危險性營造工程施工安全評估報告書應包含施工風險評估內容，以降低施工災害之風險。

四、機關工程查核時納入施工風險評估項目之評分

依工程施工查核小組作業辦法第3條，機關查核小組之主要查核項目，得包含

- (一) 機關之品質督導機制、監造計畫之審查紀錄、施工進度管理措施及障礙之處理。
- (二) 監造單位之監造組織、施工計畫及品質計畫之審查作業程序、材料設備抽驗及施工查核之程序及標準、品質稽核、文件紀錄管理系統等監造計畫內容及執行情形；缺失改善追蹤及施工進度監督等執行情形。
- (三) 廠商之品管組織、施工要領、品質管理標準、材料及施工檢驗程序、自主檢查表、不合格品之管制、矯正與預防措施、內部品質稽核、文件紀錄管理系統等品質計畫內容及執行情形；施工進度管理、趕工計畫、安全衛生及環境保護措施等之執行情形。

對於丁類危險場所，建議主辦機關辦理可行性評估及規畫設計階段需納入風險評估、監造單位需將施工風險評估需納入監造計畫及承包商施工計畫納入施工風險與安全評估等三項，列入工程查核評分項目。

表 5-1 施工風險評估增列建議表

法規名稱	編號	原條文	建議條文
公共工程專業技師簽證規則	第 6 條	其屬設計簽證者，得包括補充測量、補充地質調查與鑽探、施工規範與施工說明、數量計算、設計圖與計算書、施工安全評估、工地環境保護監測與防治及其他必要項目。	其屬設計簽證者，得包括補充測量、補充地質調查與鑽探、施工規範與施工說明、數量計算、設計圖與計算書、 <u>施工風險評估</u> 與安全評估、工地環境保護監測與防治及其他必要項目。
營造業法	第 26 條	營造業承攬工程，應依照工程圖樣及說明書製作工地現場施工製造圖及施工計畫書，負責施工。	營造業承攬工程，應依照工程圖樣及說明書製作工地現場施工製造圖、 <u>施工風險評估</u> 及施工計畫書，負責施工。
危險性工作場所審查暨檢查辦法	第 17 條	事業單位向檢查機構申請審查丁類工作場所，應填具申請書，並檢附下列資料、施工安全評估人員簽認文件及相關專業技師簽證文件各三份：(一)施工計畫書。(二)施工安全評估報告書。	事業單位向檢查機構申請審查丁類工作場所，應填具申請書，並檢附下列資料、施工安全評估人員簽認文件及相關專業技師簽證文件各三份：(一)施工計畫書。(二) <u>施工風險評估</u> 與施工安全評估報告書。
大眾捷運法	第 12 條	(9)前項第四款之分析過程應作成評估報告，並列為施工計畫檢附之文件。	(9)前項第四款之分析過程應作成 <u>施工風險評估</u> 報告，並列為施工計畫檢附之文件。
建築經理公司管理辦法	第二十八條	建築經理公司對不合理或風險過巨之工程，得拒絕代辦履約保證手續。	建築經理公司對不合理或施工災害風險評估後風險過巨之工程，得拒絕代辦履約保證手續。
工程施工查核小組作業辦法	第 3 條	機關查核小組之主要查核項目，得包含 (一) 機關之品質督導機制、監造計畫之審查紀錄、施工進度管理措施及障礙之處理。	增列(四)對於丁類危險場所，主辦機關辦理可行性評估及規畫設計階段需納入風險評估、監造單位需將施工風險評估需納入監造計畫及承包商施工計畫納入施工風險與安全評估等三項。

(資料來源：本研究整理)



第六章 結論與建議

第一節 結論

新建建築的土建工程施工過程一直以來總是受到各種可能的風險所困擾，且建築工程重大職業災害件數占有營造業重大職業災害總件數約50%，其中新建工程又有83%的比例產生施工災害，顯示新建建築工程在施工災害的防制方面長久以來並未獲得妥善的處置，因而除造成建築工程專案本身成本增加與時程延誤等績效不彰之情事外，甚至因人員傷亡或鄰房毀損等災害而衍生相關間接社會成本的問題。因此本研究案建立一套系統性的風險評估方法，對於施工中可能發生災害的預防並加以管控，應能有所助益。

本計畫案透過國內外施工安全與災害等研究資料的收集與分析，風險評估方法學理基礎的回顧與整理，以及相關學者專家座談及訪問，最後運用現代資訊科技技術，開發一套符合實務性功能的離型施工風險評估系統程式(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，綜整相關研究結論如下：

- 一、風險管理的方法和步驟雖然有粗略與詳細之分，但風險評估這一項目卻是不可或缺的重要過程，而建築工程施工風險評估作業為一個包括風險因子辨識(Risk identification)、風險因子發生機率與災害嚴重度分析(Risk analysis)以及風險程度評量(Risk evaluation)的過程，
- 二、建築工程施工風險評估作業程序，首先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分項工程與作業項目予以劃分建立，並連結對應相關的風險因子與其造成的各類型災害，形成一個建築施工風險評估的基礎架構；其次評估風險因子發生的機率或可能性(Probability or Possibility)以及判斷災害的嚴重度(Severity)，再依照一般風險量化的概念計算這兩項評估值之相乘積(Product)，獲得施工災害的風險程度大小；最後將這些評估結果加以排序或與事先製定的標準(或是一般客觀的標準)做比較。

- 三、由於新建建築工程施工過程大多屬於開放式系統中進行，而且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。然而可以確定的是，風險因子發生的程度高低，應是由施工當時各可能的背景條件所造成並影響的結果，而各可能施工災害的產生與造成的嚴重程度，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。
- 四、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。
- 五、本研究所開發的建築施工風險評估程式系統，具有以下特色：
- (1)運用符合人類決策思維的模糊理論作為評估判斷的基礎，利用專家語意的方式進行評估作業，克服資料不足無法分析的困難。
 - (2)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。
 - (3)運用開放式系統介面，使較具專業的評估人員，可以因不同建築工程專案特性，增加所需考慮的評估項目、風險因子及災害類型，改進過去許多研究所提出的工程風險評估方法應用範圍受限的缺點。
 - (4)內建基本建築工程主要結構系統、工程項目、作業項目、重要的風險因子及災害類型，使評估人員進行工程風險評估作業時，有一個可參照的基準或提醒可能的風險因子與災害類型。
- 六、國內目前建築相關法規並未明確將施工風險評估之要求納入規範，應積極修訂相關辦法，使風險評估與管理的概念普及於建築工程施工作業程序當中，以促進建築工程產業的執行績效降低災害的發生頻率。

第二節 建議

建議一

公共工程設計、監造簽證之計畫應納入施工風險評估項目：立即可行建議

主辦機關：行政院公共工程委員會

協辦機關：內政部營建署、各地方縣市政府

依公共工程專業技師簽證規則第 6 條，規定得標廠商須於簽約後提報其實施設計、監造簽證之執行計畫，經主辦工程機關同意後執行之。執行計畫應具之工作項目，主辦工程機關應依工程種類、規模及實際需要定之。其屬設計簽證者，得包括補充測量、補充地質調查與鑽探、施工規範與施工說明、數量計算、設計圖與計算書、施工安全評估、工地環境保護監測與防治及其他必要項目。其中施工安全評估應包含施工風險評估，並訂於契約中規範。

建議二

營造業製作施工計畫書時應納入施工風險評估項目：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：各地方縣市政府

依營造業法第 26 條規定營造業承攬工程，應依照工程圖樣及說明書製作工地現場施工製造圖及施工計畫書，負責施工。建議製作施工計畫書時應納入施工風險評估項目，以作好施工風險評估，確保施工安全。

建議三

營造工程施工安全評估報告書應包含施工風險評估內容：立即可行建議

主辦機關：行政院勞工委員會

協辦機關：內政部營建署、各地方縣市政府

依危險性工作場所審查暨檢查辦法第 17 條，：事業單位向檢查機構申請審查丁類工作場所，應填具申請書，並檢附下列資料、施工安全評估人員簽認文件及相關專業技師簽證文件各三份：(一)施工計畫書。(二)施工安全評估報告書。建議丁類危險性營造工程施工安全評估報告書應包含施工風險評估內容，以降低施工災害之風險。

建議四

機關工程查核時納入施工風險評估項目之評分：立即可行建議

主辦機關：行政院公共工程委員會

協辦機關：各地方縣市政府

依工程施工查核小組作業辦法第 3 條，機關查核小組之主要查核項目，得包含監造單位之監造組織、施工計畫、廠商之安全衛生及環境保護措施等等項目，但為落實施工風險評估作業之執行，因此對於丁類危險場所，建議主辦機關辦理可行性評估及規畫設計階段需納入風險評估、監造單位需將施工風險評估需納入監造計畫及承包商施工計畫納入施工風險與安全評估等三項，列入工程查核評分項目。

建議五

建立工程風險評估專業證照制度：中長期建議

主辦機關：行政院公共工程委員會

協辦機關：內政部營建署

建築施工風險評估作業應建制專業評估分析人員，如同安衛管理人員必須具備相關專業訓練及證照認證，以使工程風險評估作業能落實於工程施工現場，事先做好風險控管事宜，確實達成減少施工災害情事。

第三節 未來研究建議

- 一、由於本研究所開發的系統為雛型系統(Prototype System)，尚屬單一專家進行評估判斷的決策支援系統，建議以此作為基礎，未來將系統進一步發展成針對使用人員在判斷事物上的差異進行修正，運用多位專家模擬的結果或已知案例的結果，透過基因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。
- 二、風險評估主要的目的，係希望運用評估結果進行風險管理策略之擬定，而能將有限資源配置於風險發生機率高的項目上，以達成風險的消除或風險降低之目標，或是作為風險轉移及殘存風險承擔之參考，因此建議未來能針對風險處置工具及應對策略深入探討外，在決策支援系統的發展方面，期許亦能產生(Output)對應高風險項目之相關風險管理策略或工具，增加決策支援系統的應用性。
- 三、本研究主要係在於新建建築工程，有關施工技術層面的事前風險評估方法方面之研究，屬於技術性或規範面的研究，但是真正在進行新建建築工程的主要執行者—建築施工廠商或機關單位，其執行工程過程中所具備的施工風險管控能力或是施工災害防治技術的程度，似乎尚未被積極注意與討論，因此建議未來亦能針對建築施工廠商或機關單位，在建築施工之風險防制能力與技術加以探究，並建立一項有系統且有效的評估架構，並設計健全的評估方法，以期能更加落實建築施工防災減害的目標。



附錄一、研究團隊會議紀錄

第一次工作會議記錄

開會時間：九十七年三月十四日（星期五）下午二點至五點。

開會地點：台北科技大學 土木館 五樓會議室。

出席人員：陳建忠組長、呂世通老師、張寬勇老師、宋裕祺老師、林建宏研究員、王暉堯。

討論重點：

1. 從文獻基本架構延伸分為專屬於 RC、SC 和 SRC 結構體工程的施工災害風險評估架構圖。
2. 統合全部工程項目，並依據實際案例統計資料對工程項目作取捨。
3. 思考將工作人員素質與財務狀況是否納入考量。
4. 預定於 4/25(五)下午兩點至台北科技大學土木館五樓會議室進行下次會議。

第二次工作會議記錄

開會時間：九十七年四月二十五日（星期五）下午二點至五點。

開會地點：台北科技大學 土木館 五樓會議室。

出席人員：陳建忠組長、呂世通老師、張寬勇老師、宋裕祺老師。

討論重點：

1. 將各個相關文獻進行整合，訂定屬於本計畫案之分項工程作業項目與風險因子架構。
2. 由災害原因裡找出相對應的風險因子。
3. 預定於 5/23(五)下午兩點至台北科技大學土木館五樓會議室進行下次會議與專家座談會。

第三次工作會議記錄

開會時間：九十七年五月二十五日（星期五）下午二點至五點。

開會地點：台北科技大學 土木館 五樓會議室。

出席人員：呂世通老師、張寬勇老師、宋裕祺老師

討論重點：

1. 建立之建築工程分項工程與作業項目的完整性如何。
2. 作業項目所相對應的風險因子的意義與代表性。
3. 討論 6/3(二)上午之專家座談會準備情形。

第四次工作會議記錄

開會時間：九十七年六月六日（星期五）下午二點。

開會地點：台北科技大學 土木館 五樓會議室。

出席人員：呂世通老師、張寬勇老師、宋裕祺老師

討論重點：

1. 討論整理與會專家意見，在風險因子與災害類型方面，因需考慮因素太多太雜，應採用一開放式決策支援系統來處理，才有辦法顧及的層面較廣，

或是基本項目先採用林耀煌(1994)提出的致災項目做系統內定風險因素的基礎。

2. 決定風險評估方法採用模糊推論模式，儘速建立雛型概念及畫面，並將在期中報告中提及。
3. 期中簡報應注意事項。

第五次工作會議記錄

開會時間：九十七年八月二十九日（星期五）下午二點。

開會地點：台北科技大學 土木館 五樓會議室。

出席人員：呂世通老師、張寬勇老師、宋裕祺老師

討論重點：

1. 系統建置已初步完成，請積極利用案例來加以模擬，以測試系統的實用性。
2. 可利用林禎中在 2005 年提出的研究計畫所用的案例來模擬，應可以比較出一些效果。
3. 積極進行期末報告的撰寫，另一項重點就是建研所提到必須將風險管理的概念帶入，這部份請呂世通老師處理。



附錄二、建築工程施工風險評估方法之研究專家座談會議 紀錄

第一次專家座談會

開會時間：九十七年六月三日（星期二）上午九點三十分至十二點三十分。

開會地點：台北科技大學 土木館 五樓會議室。

一、與會專家學者名單

	專家學者姓名	任職單位	職稱
1	廖瑞堂	青山工程顧問有限公司	總經理
2	邱昌平	內政部建築研究所	兼任顧問
3	陳宗禮	一梅達工程顧問有限公司	總經理
4	洪顯宗	台北捷運局南工處	正工程師兼科長
5	陳建忠	內政部建築研究所	組長
6	黃榮堯	中央大學營建管理所	教授
7	黃俊能	開南大學安全暨科技管理系	助理教授
8	劉馨隆	明新科大土木系	助理教授
9	張武訓	台北捷運局南工處	處長
10	邱金鶴	大陸工程公司	副理
11	曾國倫	互助營造公司	中強公園工務所主任

二、專家學者意見：

邱昌平顧問

1. 建築工程之施工有許多重要分項工程：測量工程、假設工程、土建工程、機電工程、排水工程、設備及傢具工程等，本研究應聚焦於土建工程不包含機電設備工程，應在研究題目或在前言中宜明述之。
2. 國內施工災害的發生與美、日等國可能相當不同，因此在美、日之建築工程之設計與施工其他政府的很嚴，十分重視由有經驗有證照專業人員之參與，國內建築施工常是由技師或建築師證照的人一案管到底，未充分依不

同之專業工程由真正懂得的專業人員負責導致災害發生，尊重專業技術好好設計、好好了解施工作好分項工程施工計畫才是減災之要項。

3.地震、颱風、大風、大雨、鄰近環境因素等外因也會有相當影響。

廖瑞堂總經理

1. 擋土與支撐屬不同性質應與以分開。
2. 在環境因素考量時，需收集越多的案例才能建立風險因子；人為因素則需考量設計者、施工態度、業主態度。
3. 計畫名稱為建築工程施工風險評估方法之研究，應為土建工程施工災害。
4. 基礎開挖造成的損鄰災害，對於工程的影響及社會的衝擊都很大，故建議納入考量。

黃榮堯教授

1. 請確認本研究風險探討範圍是否包含環境或天然風險?若有則建議在架構上有明確區分天然與人為風險分類。
2. 評估架構建議先分地上、地下、地上結構體工程在細分 RC、SRC、SC 結構，另建議各分項工程下再分主要施工工法，如 RC 下分預鑄、場鑄等。
3. 在下述架構建議採由下而上方式進行風險案例蒐集分析，進而歸納整理出風險因子。
4. 請確認本研究範疇是否僅針對施工安全風險。

張武訓處長

1. 風險的種類敲定後向前推理分析，不必顧慮類項，可用資訊、軟體、編碼無限發散，找尋關係時以 input/output 即可發現應有的措施，行為與管理。
2. 工地可能的災害型式勞委會相關文獻相當豐富，對各種危害環境優有具體安全措施規定有充分資訊可直接參考。
3. 對現場施工前與施工中的風險評估，應從認識環境特性著手才能具體發現問題並提出對策。

洪顯宗科長

1. 危害因子，增列“其他”項目，建議以加入因地制宜項目，針對工地背景因素，特別地型條件、地質、地形的特殊環境因素在納入考量。
2. 危險因子的項目考量，可就勞委會營建業職案例反推危險因子項目。
3. 各種危險因子分析出來以後，各項目如果能賦予權重，就會有解決問題範圍與矯正之措施，先後順序的工作重點會排列出來如此就可較具實質意義。
4. 案例因子彙集完成後，在報告內建議強調整各因子模式，只是提供現場臨時施工前面對環境狀況相關施工相關參與人員腦力激盪，集思廣義之基準標準，更應加入實際因素之影響因子，而針對修正後情況，才進行預防及矯正之因應措施。

劉罄隆教授

1. 建築工程工安事件之資料應可收集作為風險因子辨識與風險衡量之依據，並可再參考相關之研究報告，另小型災害可能難有歷史資料。
2. 施工災害風險如再擴大其定義應可再包括如：天候、地震、設計不良、政策風險等。
3. 風險因子造成之損害上可能包括：噪音、空氣污染、土方坍塌、設備損害、火災等因子。
4. 風險因子中「施工程序之規劃與執行不當」項次與其他六項建議之定義有重覆之處。
5. 風險因子中之第五項多個圖表中「為」應改為「未」。
6. 風險因子造成之影響除工程、成本、人員傷亡外，品質是否應列入請斟酌。

邱金鶴副理

1. 以評估方法為主要架構所以項目不限，因為不是資料庫的建置，所以項目之選擇不用全部考慮。
2. 問卷之調查設計宜在簡化明瞭。

陳宗禮總經理

1. 本研究宜分為工程分類、工程分項內容、風險因子與特性、風險災害類型、風險影響評估五項分述，再將研究範圍下定義：施工工法、施工程序、施工環境、施工設施、施工管理此大重點因子。
2. 本案建築工程宜再分為 RC、SRC、SC 結構及地上、地下施工作業。
3. 本研究之後續研究宜進行「災害風險防治對策」之研究。

黃俊能教授

1. 可以再多參考國外相關文獻。
2. 研究團隊依樹狀方式分析值得肯定，但需分多細有待討論。

曾國倫主任

1. 背景環境最為重要，而人為方面可能會因為未落實訓練造成災害發生。
2. 因子架構要往前或是往後推都可能造成問題發散之問題產生。

第二次專家座談會

一、開會時間：九十七年十月三日(星期五)上午九點三十分

二、開會地點：國立台北科技大學土木管五樓會議室(台北市忠孝東路三段一號)

三、主持人：呂教授世通

紀錄：張文彥

四、與會專家學者名單

	專家學者姓名	任職單位	職稱
1	林禎中	勞工安全衛生研究所	副研究員
2	邱昌平	內政部建築研究所	兼任顧問
3	郭耀禎	開南大學物業管理學系	助理教授
4	劉馨隆	明新科大土木系	助理教授
5	張武訓	台北捷運局南工處	處長

五、討論事項：建築工程風險評估系統說明

六、討論：

張處長武訓

- 1.風險評估程式化，以產生量化風險度，是實務界期望與等待的管理工具，應被支持。
- 2.風險評估結果的風險度使用時機應明確，尤其是設計階段納入後可以決定防制風險的人力、物力、技術及預算。
- 3.輸入因子好壞的判識，宜以工程品質計畫書中原先設定準則為可接受之優良程度，以下類推。
- 4.程式開發完成，宜尋找合適工程分析試用，以修正確認程式，求出可信度，讓委託研究單位有信心。
- 5.程式固然有限制條件，該限制條件極為該程式適用範圍，程式不可能無限適用，唯要考量客戶是否接受這種限制條件。具體危險點的發現無法包括在風險度中。

6. 風險度不一定找的出威脅點，即使風險度不高，某項威脅點亦可能致災，本因素必須強調。

林副研究員楨中

1. 風險因子的交互作用影響，評估上如何考量？
2. 如何考慮各位專家的意見？
3. 不同隸屬度函數對結果常有很大的影響如何考量？
4. 災害的因果關係如何在風險評估上加以考量？
5. 如何驗證結果是正確的？(可信度)
6. 機率的定義、單位、條件相對程度？

劉教授馨隆

1. 系統架構具利用發展價值，值得肯定。
2. 引用模糊決策之理由應於報告中強化說明。
3. 一般使用者於模糊隸屬度之認知，可能有認知困難，如何簡化或一般人對於理論方法不是障礙，為本系統開發或未來商業化之挑戰。
4. 不同操作者可能有不同之分析結果，或可考慮以全體決策之概念或其它方法處理之。

郭教授耀禎

1. 風險評估中首要任務即辨識風險因子，評估災害的風險，若主要因子未納入，則評估成果可議，因此系統須確認風險因子完整納入分析。
2. 系統中以 MCDM 來進行分析，由風險因子計算出災害風險，是否假設風險因子對災害風險的獨立性，若非獨立則所採用 MCDM 就必須採用交互的作法。建議未來能進行相關性分析在採適當 MCDM 方式進行評估。
3. 評估系統做出之風險評估，建議後續加入風險防阻資訊，讓系統更完整。此便利系統發展時營建產業有相當正面影響，過去工地甚少進行風險評估，即使有，大部分也僅止於工程開始，甚少有工地持續性監控風險。惟風險因子會隨時間及工程產生變化，需持續性進行評估。

邱顧問昌平

- 1.本計劃「建築工程施工風險評估方法之研究」宜加災害二字，以免計入「財務管理」風險。
- 2.本評估系統由「誰」使用，在「何時」使用，有否「重覆及回饋」後之一再使用等做法，請說明清楚。規模大，複雜性高，特殊性高之建築物，期施工災害之風險在先天上已有較高之危險度，應有誰且如何設定？
- 3.現行之三級施工品管及工程查核，特別重視施工計畫，品管計畫及勞工安全衛生計畫之制定及查核，以提高施工品質及施工安全，惟目前絕大多數計畫書皆流於形式，大而化之，更缺少重要分項工程於不同施工階段之施工計畫，且未由不同專長之專業技師參與制定及參與現場施工。以上計畫書之制訂及審核落實度及施工期間專業技師在現場之參與度，一定大大地決定施工災害之危險度。

林研究員建宏

- 1.10月15日前請提出期末初稿。
- 2.評估系統操作上能否單純化，如加入選項說明。
- 3.掌握輸出目的，輸出結果能否成為參考依據。
- 4.系統之廣度及準確度為未來努力之目標。

宋教授裕祺

有關各位專家所提意見均相當寶貴，至於有關係統未來再增進其相關親和性及可信度部份，我們將會提出相關計畫，運用本研究所開發的雛型系統作為基礎架構，未來將其進一步發展成針對使用人員在判斷事物上的差異進行修正，運用已知案例結果，透過基因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，希冀能使整套系統更加完善，成為人人皆可上手之風險評估系統，以提供有關機關實務應用與達成各位所提之意見。



附錄三、案例模擬

案例情況：

某私人新建建築工程預計於 12 月 18 日，下午 4 時左右將由 6 名勞工進行一樓樓地版最後階段之混凝土灌漿作業。

背景狀況：

1. 六名勞工中有 2 位原住民，分別為（六十三歲）及（三十歲），2 位外籍則大約三十歲，工頭則為五十二歲。
2. 該施工廠商前幾個月曾由勞動檢查所檢查發現模板支撐的鋼管支撐間距過大等缺失，而被要求改善。
3. 業主之安全主管於之前的安全檢查也曾發現「鋼管支撐未固定於中心位置」等問題，連續開出「不合格通知書」要求承作廠商改善。

風險評估：

在進行灌漿作業前幾天執行本研究開發之程式，進入評估系統主畫面，點選「檔案」選項內新增專案後，於系統內逐步選擇或輸入下列基本資料：

1. 結構系統：RC 結構體系
2. 工程名稱：結構體工程
3. 作業名稱：混凝土澆築作業
4. 背景名稱：施工人員素質、監工人員素質、設計單位素質、施工高度
5. 背景論域：
 - 施工人員素質—最佳 1、最差 0、三角形隸屬函數；
 - 監工人員素質—最佳 1、最差 0、高斯形隸屬函數；
 - 設計單位素質—最佳 1、最差 0、三角形隸屬函數；
 - 施工高度—最佳 1、最差 0、高斯形隸屬函數。
6. 風險因子：安全防護措施不足(內建選項)、安衛教育不足(新增選項)、安衛計畫未落實(新增選項)、施工動線不佳(新增選項)、設備安全性不良(內建選項)
7. 災害類型：模板支撐架倒塌(新增選項)、施工引起火災(內建選項)、墜落、滾落(內建選項)、觸電、感電(內建選項)
8. 模糊規則設定：風險評估人員依據各項背景條件的優劣情形，對應各項風險因子發生的可能性進行基本知識庫判斷的輸入，例如施工人員素質「差」，其對於安全防護措施不足的風險發生之機率就會「高」，依此類推而建立下圖 A3-1。

施工人員素質	安全防護措施不足	安衛教育不足	安衛計畫未落實	施工動線不佳	設備安全性不良
最差	發生機率很高	發生機率高	發生機率很低	發生機率很低	發生機率很低
差	發生機率很高	發生機率高	發生機率很低	發生機率很低	發生機率很低
尚可	發生機率普通	發生機率普通	發生機率很低	發生機率很低	發生機率很低
好	發生機率低	發生機率低	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	發生機率很低	發生機率很低

監工人員素質	安全防護措施不足	安衛教育不足	安衛計畫未落實	施工動線不佳	設備安全性不良
最差	發生機率很高	發生機率很高	發生機率很高	發生機率普通	發生機率很低
差	發生機率很高	發生機率很高	發生機率很高	發生機率普通	發生機率很低
尚可	發生機率普通	發生機率普通	發生機率普通	發生機率普通	發生機率很低
好	發生機率低	發生機率低	發生機率低	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	發生機率低	發生機率低	發生機率很低

設計單位素質	安全防護措施不足	安衛教育不足	安衛計畫未落實	施工動線不佳	設備安全性不良
最差	發生機率很高	發生機率很低	發生機率很低	發生機率高	發生機率很高
差	發生機率很高	發生機率很低	發生機率很低	發生機率高	發生機率很高
尚可	發生機率普通	發生機率很低	發生機率很低	發生機率普通	發生機率普通
好	發生機率低	發生機率很低	發生機率很低	發生機率低	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	發生機率低	發生機率低

施工高度/風險	安全防護措施不足	安衛教育不足	安衛計畫未落實	施工動線不佳	設備安全性不良
最差	發生機率高	發生機率很低	發生機率很低	發生機率高	發生機率很低
差	發生機率高	發生機率很低	發生機率很低	發生機率高	發生機率很低
尚可	發生機率普通	發生機率很低	發生機率很低	發生機率普通	發生機率很低
好	發生機率低	發生機率很低	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	發生機率低	發生機率很低

圖 A3-1 風險因子與背景條件關係設定

(資料來源：本研究整理)

9. 嚴重程度設定：風險評估人員進一步針對各項風險因子發生時，將會對各災害造成多大程度的影響，運用其具有的豐富經驗及基本的判斷準則，以 0—1 的範圍來表達其程度，而完成下圖 A3-2 之資料輸入。

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	模板支撐架倒	施工引起火災	墜落、滾落	觸電、感電
安全防護措施不足	1	0.1	1	0.2
安衛教育不足	0.7	0.1	0.85	0.1
安衛計畫未落實	0.85	0.3	0.8	0.2
施工動線不佳	0.1	0.1	0.75	0.3
設備安全性不良	1	0.1	0.9	0.3

設定完成

圖 A3-2 風險因子造成災害嚴重度設定

(資料來源：本研究整理)

10. 背景條件判斷：風險評估人員依據施工當時的客觀條件及相關訊息，進行各項背景條件優劣程度的輸入，在本案例中，施工人員的素質尚可，在 0-1 之間判斷為 0.7，監工人員素質與設計單位素質方面，因為工頭年事已高且承包廠商有幾次安全檢查的不良記錄，判斷各為 0.5 及 0.6，而施工高度為一樓樓版之混凝土灌漿作業，約有 4、5 公尺高，因此以 0.5 來決定，表達其有一定危險性，依照這些判斷後完成下圖 A3-3 資料的輸入。

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	施工人員素質	0	1	三角形	0.7
2	監工人員素質	0	1	高斯型	0.5
3	設計單位素質	0	1	三角形	0.6
4	施工高度	0	1	高斯型	0.5

執行分析

圖 A3-3 背景條件狀態的設定

(資料來源：本研究整理)

11. 執行分析：按下執行分析鍵，系統會協助風險評估人員計算出各項風險因子發生的機率，以及各項災害的風險程度，如圖 A3-4 及 A3-5 所示。

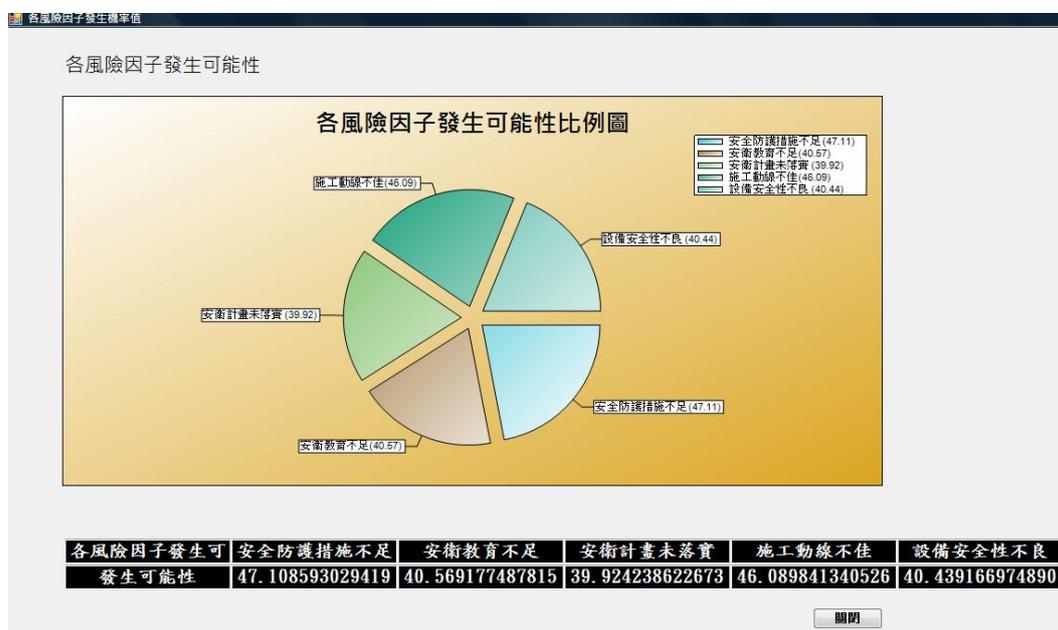


圖 A3-4 各風險因子發生的機率與程度比例

(資料來源：本研究整理)

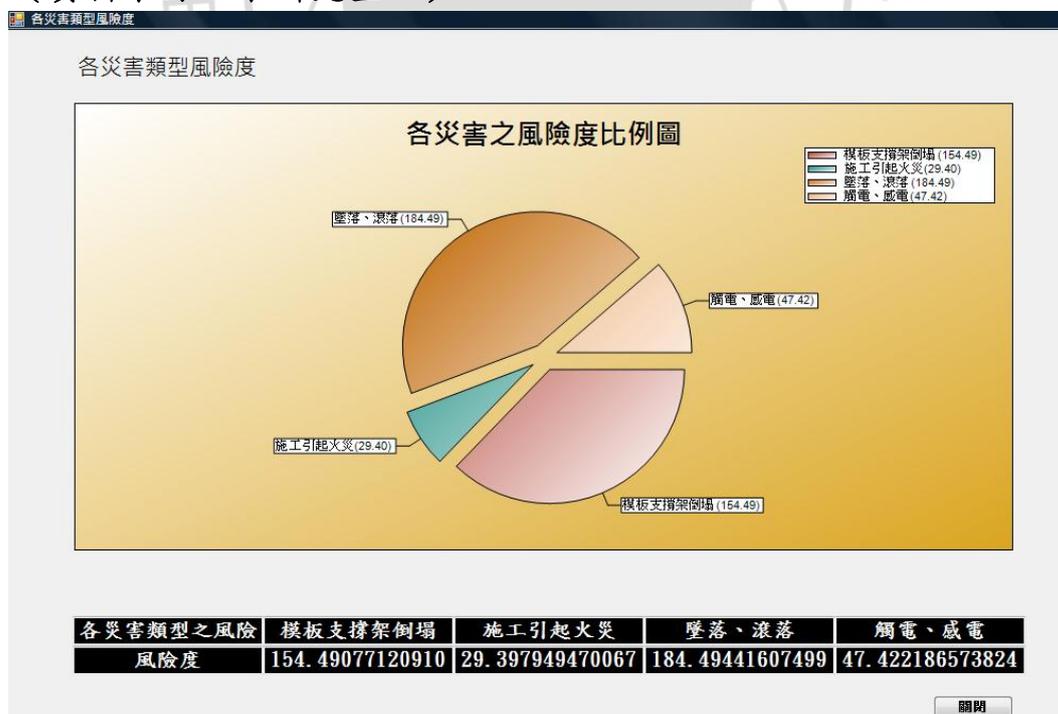


圖 A3-5 各災害在考慮的風險因子下之風險程度

(資料來源：本研究整理)

風險評估的結果可看見各項風險因素發生的機率相當高，均在 4-5 成的機率，並且極易造成「模板支撐倒塌」及「墜落滾落」的施工災害，再對照本實際案例勞動檢查所提供的最終結果(如下附件 1)，顯示本系統所進行的風險評估相當具有可信度。

一、案例名稱：勞工等 6 人從事清理漏漿作業因模板支撐倒塌致死案

二、災害類型：物體倒塌、崩塌

三、罹災情形：死亡 5 人、傷 1 人

四、災害發生經過：

○○年○○月○○日，約下午 16 時左右，於工地施作一樓樓地版最後階段之混凝土灌漿收邊耙平施工時，發生一樓版模板支撐崩塌、倒塌，致 5 名勞工被壓致死。崩塌區模板支撐高度約 5 公尺，倒塌樓版崩塌之形狀為 L 型，長邊之長約 35 公尺，短邊之長約為 21 公尺，寬約 13 公尺。

五、災害原因分析：

1. 直接原因：因模板支撐倒塌被壓致死

2. 間接原因：

不安全狀況：

- (1) 模板支撐未依模板形狀、預期之荷重及混凝土澆置方法等妥為設計。
- (2) 可調鋼管支柱連接使用時，未使用四個以上之螺栓或專用之金屬配件加以連結。
- (3) 模板支撐之以可調鋼管支柱為模板支撐之支柱，高度超越三·五公尺以上時，未於高度每二公尺內應設置足夠強度之縱向、橫向之水平繫條，以防止支柱移動。
- (4) 可調鋼管支柱於調整高度時，未以制式之金屬附屬配件為之，以#3 鋼筋及#10 鐵絲替代制式之金屬附屬配件。
- (5) 可調鋼管支柱與貫材及底座未確實固定，模板支撐間距過大。

3. 基本原因：

- (1) 危害認知不足。
- (2) 未具體告知工作環境之危害因素及應採取之防範措施。
- (3) 未確實辦理工作場所之巡視，並與承攬人連繫與協調安全衛生設施。
- (4) 未訂定安全衛生工作守則。
- (5) 未實施從事工作及預防災變所必要之安全衛生教育訓練。
- (6) 未設置勞工安全衛生業務主管、管理員並未確實實施所訂定自動檢查計畫實施自動檢查。
- (7) 未指定模板支撐作業主管於作業現場決定工作方法，指揮勞工作業。



附錄四、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	建議研究團隊增加富有實務經驗之營建管理人員參與。	本案研究人員在業界已有十多年的實務經驗及許多人脈資源，應能由其實務經驗，為本案提出具有實務意見的研究成果。本案亦將藉由專家座談會以及增加實務界專家訪談等方式來取得更多實務意見。
2	請增加實務人員參與團隊。	本案研究人員在業界已有十多年的實務經驗及許多人脈資源，應能由其實務經驗，為本案提出具有實務意見的研究成果。本案亦將藉由專家座談會以及增加實務界專家訪談等方式來取得更多實務意見。
3	合約規定與災害案例之關係為何？	合約所給予的勞安經費多寡或要求嚴謹程度，可能會影響到災害防制的效果，鑑於營建職災案例頻傳，勞委會亦推動安全衛生經費及安衛標準設施納入合約中，公共工程防災查核亦納為重點項目，後續研究將合約規定納入施工災害風險評估項目中評估。
4	工程規模與勞工安全有相關性否？	理論上工程規模越大相對應注意的勞工安全問題亦較多，但可能因規模大因勞安經費多反而較能減少災害事件，這在本研究執行過程中，可納入探討考量。
5	座談會多邀實務人員參加。	遵照辦理。

項次	審查委員意見	意見回覆
6	建議收集國外施工災害實務文獻資料。	遵照委員建議將蒐集後納入。
7	公共工程預算建議編入防災預算。	將列入研究計畫建議事項內。
8	問卷對象及內容宜謹慎。	依委員建議謹慎研擬問卷內容及慎選受訪對象。
9	國內小型工地較多，應否分類分析。	將於研究執行過程納入考量。
10	建議勞委會資料善加利用。	計畫內所之風險分類已參考勞委會之規定，然而法規的整理將多蒐集勞委會相關法規，以充實研究成果。
11	研究計畫書所列研究流程中未納入相關法規之檢討，本案研究成果未來如何有效應用，請研究單位釐清說明。	遵照建議修正，將於研究流程中加入建築相關法規之檢討，研究成果將以一、二個實務案例模擬應用，以驗證所建立評估模式之其操作性。
12	建議加入建築工程施工風險評估與工程災害案例的個案比較檢討，強化本案研究成果的價值。	此部分因案例搜尋與評估均不易，但本次研究仍會遵照嘗試努力完成。即研究過程中將嘗試尋找一、二個實務案例，以說明與分析其與工程災害之關聯性。
13	勞委會對於勞工安全相關規定及工安相關研究應用後，是否有減低施工災害的發生率，請納入評估。	遵照建議納入本案研究進行評估說明。
14	危害除了傷亡、成本、工期外尚有社會觀感、國際評價，以及其他相關因素請納入。	建議書所列危害項目係初步臚列，而社會觀感、國際評價等非實體性的衝擊，涉及不同主體所需，評估不易，儘可能於研究過程中考量各可能危害項目。

項次	審查委員意見	意見回覆
15	請加強本部在施工災害防制的必要性、位階性，以及本所、本研究在建築法規的研究方向，以及以往類似研究無法外顯的原因及改善方式。(建築基地是否是以損鄰頻度、災損度來決定？如何來研究)	遵照建議以建研所的角度探討施工災害防制的重要性，並比較不同風險評估方法之差異與改善情形，納入計畫成果。
16	本研究案除將災害風險值估列外，請提供可供未來個案進行評估應用的模式。	遵照建議，研究成果將以一、二個實務案例模擬應用，以驗證所建立評估模式之操作性。





附錄五、期中委員審查意見處理情形

期中簡報評審委員重點意見回覆情形

委員意見	意見回覆
一. 研究的成果，將來給誰用，如何落實到實務面及法規面，建議可以進一步著墨。	遵照辦理，已納入建議事項說明。
二. 建議研究團隊可到相關主管機關進行訪談，以瞭解未來研究成果如何能落實應用。	遵照辦理。
三. 針對研究成果的應用可否提供範例、以利推廣。	遵照辦理，已納入程式系統模擬案例說明。
四. DR = P X S 所得成果宜進行研判，是否合理符合工程常理。	該計算式係屬一般半定量分析的矩陣法來計算風險程度，其經常被各學科領域做為風險評估過程的綜合性簡易參考指標。若欲依據此成果進行風險研判，實務上一般均會再參酌其他相關訊息，以使風險評估效果更能切合實際。此項原理已納入第二章第一節風險管理概念及風險評估程序加以說明。
五. 建議將天然災害問題加入施工風險考量，使評估更有價值。	本研究開發之系統程式屬於開放式輸入參數模式，亦可考量天然災害情況下的風險評估。
六. 本研究案初期之研究方向正確，所蒐集之資料亦甚齊全應對研究內容助益頗大。	本研究將繼續努力。

委員意見	意見回覆
<p>七. 本研究案成果希望針對日後各主管建築機關在施工防災檢核項目與執行制度上有明確且有效之建議，使施工風險評估具體化及施工災害防制能顯現實質成效。</p>	<p>遵照辦理，已納入建議事項說明</p>
<p>八. 研究方法宜將複雜之建築施工災害防制內容轉化為簡單明瞭之單純架構，抓準重點勿以太深奧之理論闡述，才能將「知識」轉化為「常識」擴大各實際施工人員使有所依循與參考。</p>	<p>遵照辦理，已納入案例模擬操作流程加以說明。</p>
<p>九. 應注意如何確定案例式推導資料庫中之案例具有代表性？或數量是否已足夠？</p>	<p>本研究開發之系統程式為雛型系統，已納入建議事項說明，未來將運用多位專家模擬的結果或已知案例的結果，透過基因演算法對內部嚴重程度參數進行模組最佳化與合理化，使其能達到具有代表性的程度。</p>
<p>十. 「人為因素」是否能以案例式模擬技巧予以複製判斷下一案例之結果？</p>	<p>本研究研擬建置之系統，是有將人為因素的風險因子納入考慮，至於是否予以複製方式判斷另一案例，可能仍需視專案特性或背景條件。</p>
<p>十一. 本方法在工程領域或成功應用的例子多少或可信度如何？</p>	<p>風險評估方法學理上各有不同理論基礎，亦各有優缺點，風險評估係屬事前作為，以所謂成功案例或可信度作為衡量基準著實不易，惟目前處理不確定性情境事件的分析，模糊理論的方法有其應用上一定程度的效果。</p>

委員意見	意見回覆
十二. 圖表品質應再加強(例如:圖 1-3 非常不清楚)	遵照辦理, 已加以改正。
十三. P. 5 說明該研究之六項關鍵研究流程, 應說明清楚, 例如文中「蒐集資料」為其他三項總和(如圖 1-4)應與其他三項分開陳述, 以建立其層級劃分。	遵照辦理, 已加以改正。
十四. 應標明圖表之資料來源(例如圖 2-2~圖 2-5), 此外, 圖 2-2 之箭頭應與其他圖表格式統一。	遵照辦理, 已加以改正。
十五. 圖 2-9~圖 2-11 為該研究之基礎架構, 應再詳列各細項, 不應只列出三項代表全部, 應詳列。	遵照辦理, 已加以改正。
十六. 文獻林禎中(2008) ¹ 、林禎中(2008) ^{1 2} , 是同一文獻不應重複列舉, 表 3-1 應列文獻編號。	遵照辦理, 已加以改正。
十七. P. 75 各背景因素隸屬函數如何設定(建議值)? 或交代一下未來會採取的作法。	遵照辦理, 已納入研究方法的說明。

委員意見	意見回覆
<p>十八. 圖 3-28 初步整體程式設計架構，為此報告之重點，應加強此圖表之設計與品質(P. 82)。</p>	<p>遵照辦理，已加以改正。</p>
<p>十九. 後續工作(三)P. 85，要獲取哪些評估結果，分析哪些因素或求得哪些結果，應明顯交代。</p>	<p>係指期望透過決策支援系統評估出所面臨的風險因素之可能性程度以及災害發生的風險程度或危害程度，已納入第二章第一節及第四章案例模擬內說明。</p>
<p>二十. 本研究主要以施工風險評估為主，但以主辦機關的角度，所關心的議題是希望了解該工程能不能執行，執行時遇到經濟變動的情況而影響到績效，亦即能否考慮經濟風險的因素。</p>	<p>本研究主題係建築施工災害防制技術-建築工程施工風險評估方法之研究，對於屬於財務性風險因素在本研究暫未納入考量範圍。</p>
<p>二十一. 本研究風險評估最後整合成風險度來衡量，但樣本與案例如足夠，呈現的結果如何研判?</p>	<p>已納入第四章案例模擬之說明。</p>
<p>二十二. 能否提出最小值或比較一般小型工地基本的檢查建議，基本評估準則以資參考。</p>	<p>風險管理的概念係以風險評估結果作為風險管控決策之參考，進而達到資源最佳分配與利用，其所謂之一般小型工程的定義已是相當具探討的議題，因此再針對風險評估之需求基準，似有更大討論空間。</p>

委員意見	意見回覆
<p>二十三. 在初期審查會議中，委員所提意見辦理情形，請製作回覆表置於附錄。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>二十四. 報告書中各類書表請註明出處，引用之書表名稱建議沿用原著之名稱；部分圖表字體太小或模糊，亦建議調整。</p>	<p>遵照辦理，已加以改正。</p>
<p>二十五. 建議增加風險管理概念與操作方法，以提供建築施工相關決策模式之參考。</p>	<p>遵照辦理，已納入第二章第一節說明。</p>
<p>二十六. 本案可否從風險管理的概念帶入，並配合行政院推行的「風險圖像」的模式，以符合政策推行的方向。</p>	<p>遵照辦理，已納入第二章第一節說明。</p>



附錄六、期末委員審查意見處理情形

期末報告評審委員重點意見回覆情形

委員意見	意見回覆
<p>黃敏政：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 架構內容及系統開發完整，可有效降低施工風險。 2. 若能提供具體案例會更完善。 	<p>遵照辦理，已增加一場專家座談會，請其提供具體案例模擬執行系統之操作，並於報告中增列附錄三說明。</p>
<p>廖瑞堂：</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. 地下工程最主要災害類型：應包括開挖破壞鄰房受損及鄰近重要管線、設施之受損等三項。 4. 建築法規檢討-建議將鄰高鐵及鄰捷運相關防災法規及機制一併納入檢討或參考。 5. 現況的資料、資源及分析工具，要將風險評估充分納入設計及施工仍未成熟，風險評估與效益評估一同考量方向是對的，但是應針對重大工程，對於中小規模的公共工程，目前仍不宜貿然推動。有必要繼續以案例深入研究其可行性，後決定是否修法或推動。 	<p>遵照辦理，在第二章圖 2-10~圖 2-11 地下工程災害類型修正為鄰房受損、管線受損及設施受損。</p> <p>已建議將施工風險評估納入於大眾捷運系統兩側禁建限建辦法中。</p> <p>遵照辦理，將針對第五章相關法規之檢討部份，做文字上之修正。</p>

委員意見	意見回覆
<p>倪肇明：</p> <p>6. 報告內文排版及文字之誤失頗多，請再校正。</p> <p>7. 建議對於各類型分項工程建立範例，供開發單位下載套用(學習使用，但現階段不宜強制各大小工程必須使用)針對研究成果的應用可否提供範例、以利推廣。</p>	<p>遵照辦理，已重新檢查排版及文字誤失部分，予以更新修正。</p> <p>遵照辦理，已增加一場專家座談會，以具體案例模擬執行系統之操作，並於報告中增列附錄三說明。惟下載系統提供套用須委託單位另行安排同意。</p>
<p>陳建謀：</p> <p>8. 本研究施工風險評估系統構想完善，對於施工風險評估及降低施工災害發生率確有成效。</p> <p>9. 建議可找一個實際案例進行演算，提供推廣應用之參考。</p>	<p>遵照辦理，已增加一場專家座談會，以具體案例模擬執行系統之操作，並於報告中增列附錄三說明。</p>
<p>張吉佐：</p> <p>10. 風險評估架構採用模糊推論多準則評估概念，應屬合適的方法可作為風險評估之用。</p> <p>11. 風險係屬相對性的，其風險程度 $DR=P \times S$ 可綜合衡量各災害的風險評分。</p> <p>12. 建議提供完整的範例供使用者遵循及參考。</p>	<p>遵照辦理，已增加一場專家座談會，以具體案例模擬執行系統之操作，並於報告中增列附錄三說明。</p>

委員意見	意見回覆
<p>陳宗禮：</p> <p>13. 災害防制之基本原則即災害無法「預知」就無法「預防」，而「預知」即為「風險評估」，本研究內容對於風險評估方法提供一種具理論基礎之方式，應為具體有效之方法。</p> <p>14. 本研究案內容充實架構完整，成果應可期待，唯風險評估之主要依據仍係源於施工經驗與專家意見，如能再具體提示一些案例則更具體充實。</p> <p>15. 風險評估重點在於「管理」因此如何具體推行風險管理制度應為本研究案成果之重點。</p>	<p>遵照辦理，已增加一場專家座談會，以具體案例模擬執行系統之操作，並於報告中增列附錄三說明。</p> <p>增列第六章第三節未來研究建議，並將原建議六納入此節，說明系統進一步發展的模式及後續研究方向(詳見 P.109)。</p>
<p>陳建忠：</p> <p>16. 風險分析及方法，宜具體的將步驟依章節、順序予以表達。如風險辨識……，以便將來實施時，使用者能充分的瞭解以及使用意願。</p> <p>17. 本案係將風險導入工程災害，唯風險分析、評估以及決策的作業流程、基準宜有充分表達，並輔以表單方式來表達。</p> <p>18. 新年度的計畫請詳提案操作的事項，以及可授權的目標值、操作標的，以及具體的推廣事項。</p>	<p>遵照辦理。已將第一章之研究流程圖增加章節之分配與風險評估程序之註記，以便使用者於閱讀本研究時能瞭解風險評估實施的架構(詳見 P.8)。</p> <p>另於第三章起始處以及第二節最後各增加一段說明文字，增加可讀性(詳見 P.52 及 P.55-56)。</p>
<p>陳福順：</p> <p>19. 建議將來在實務運用及成效驗證方面，要更能落實強化，才有助於推廣。</p>	<p>遵照辦理，已增加一場專家座談會，以具體案例模擬執行系統之操作，並於報告中增列附錄三說明。</p>

委員意見	意見回覆
<p>童文麟：</p> <p>20. 隨著工程範疇不同，風險因子亦不同，使用者或工程設計者是否能利用這套系統自行建立風險因子，並應用至其他工程而非僅限於建築工程。</p>	<p>本研究所開發之系統係屬開放式輸入模式，可由使用者於實際狀況下自行輸入相關風險因子，可應用於其他工程類型之風險評估。</p>
<p>林建宏：</p> <p>21. 本案經初步審查，尚符研究計畫所定研究方向與契約書所定進度。</p> <p>22. 圖表資料來源註明方式，括弧內加同級括弧，建議修正。</p> <p>23. 部份表格無表頭列，如表 2-1(P18)；2-3(P21)，建議修正。</p> <p>24. P97 第五章/貳/1. 危險性工作場所審查暨檢查辦法並無 26 條，該條文應為辦法第二條第一項第四款，建議修正。</p> <p>25. P100 法規修正建議，請以列表方式呈現，較為明瞭。</p> <p>26. 風險評估作為係風險的辨識，主要目的作為風險的消除及降低之依據，並作為風險轉移及殘存風險承擔之參據，因此，評估系統在 Output 部份應有前揭具體功能。</p> <p>27. 報告書第六章第二節建議一至四所列「施工風險評估項目及內容」，本計畫所完成之風險評估模式，是否已完備足以提供使用？若否，後續應如何完備，應請提出後續研究建議。</p>	<p>遵照辦理，已修改完成。</p> <p>遵照辦理，已修改完成。</p> <p>遵照辦理，修正為第二條第四款。</p> <p>報告中已加入施工風險評估增列建議表 增列第六章第三節未來研究建議，並將原建議六納入此節，說明系統進一步發展的模式及後續研究方向(詳見 P.109)。</p>

參考書目

- [1] 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。
- [2] 林耀煌(1996)，建築工程施工災害防治查核相關作業事項研討-土方工程與擋土設施，內政部建築研究所。
- [3] 林耀煌(1998)，建築工程施工災害防治查核相關作業事項研討(二)-基礎工程及地盤改良工程，內政部建築研究所。
- [4] 陳建忠(2000)，建築工程施工災害防治查核手冊多媒體光碟之製作，內政部建築研究所。
- [5] 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。
- [6] 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。
- [7] 蔡許宏(2005)，高層建築物施工防災計畫記載項目研擬之研究，中華大學碩士論文。
- [8] 陳朝濱(2004)，高層建築施工安全防災查核之建立，臺北科技大學碩士論文。
- [9] 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。
- [10] 潘南飛(2006)，建築基礎開挖崩坍事故之分析，建築學報，第 57 期，頁 181~203。
- [11] 潘南飛(2006)，模糊層級分析法應用於高雄地區深開挖擋土工法之評選，建築學報第 58 期，頁 19~40。
- [12] 陳清泉(1987)，建築施工災害之調查及災害防止之研究(一)，台灣營建研究中心。
- [13] 陳清泉(1988)，建築施工災害之調查及災害防止之研究(二)，台灣營建研究中心。
- [14] 陳清泉(1989)，建築施工災害之調查及災害防止之研究(三)，台灣營建研究中心。

- [15] 張臻(2007),「工程項目風險分析與防範對策」,鐵道工程管理,第二期,19-20頁。
- [16] 毛義華、肖磊(2007),「基於項目管理要素的建築承包商施工風險分析」,建築管理現代化,2007第六期,總第97期。
- [17] 孫波、劉振奎(2006),「基於模糊綜合評價法的建築企業安全管理」,中國安全科學學報,第16卷,第11期。
- [18] 呂紅安、王鵬(2006),「建設工程施工危險源的辨識、風險評價與控制」,集中科技大學學報,第23卷,第1期。
- [19] 曾文偉(2007),「建築施工現場常見安全風險及防范措施」,西部探礦工程,第2期,220-221頁。
- [20] 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。
- [21] 李安貴等人編著(2006),模糊數學及其應用,冶金工業出版社。
- [22] 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。
- [23] 周紅波、姚浩、盧劍隼(2006),「上海某軌道交通深基坑工程施工風險評估」,岩土工程學報,第28卷,第S期,頁1902-1906。
- [24] 杜麗娜(2008),「工程項目的施工風險管理及控制」,建材技術與應用,2008年01期,頁41-42。
- [25] 張燕宗、邢治宇(2005),「運用層級分析法、灰色理論系統中之佈局灰關聯分析法探討職業安全管理要因」,工業安全衛生月刊,196期,頁25-40。
- [26] 陳威元(2007),建築工程專案風險之研究,國立台灣大學土木工程學系碩士論文。
- [27] 黃德育、陳欣(2004),「建築工程評標的模糊綜合排序分析」,集中科技大學學報,第23卷,第3期,頁175-176。
- [28] 陳福勝、周台功、吳文隆(2008),台灣地區深開挖工程災變分析及防治對策探討,中華技術,No. 77,pp. 54-63
- [29] 蔡,古阪,金多(2001),建築プロジェクトの調達における定量的分析に関する研究,日本建築学会計画系論文集 第539号,pp. 225-232.

- [30] 澤田 恵美(2000), 建設プロジェクトにおけるリスクマネジメントに関する基礎研究—公共工事における発注者・受注者間のリスクアロケーション—, 東京大学大学院工学系研究科修士論文.
- [31] Isaac, I. (1995) , Training in risk management , International Journal of Project Management Vol.13 , No. 4 , pp.225-229 .
- [32] PMI Standards Committee(1996) , PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE, Project Management Institute, USA.
- [33] Zhi, H. (1995), Risk management for overseas construction project, International Journal of Project Management Vol. 13, No. 4, pp. 231-237.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] Conroy, G. and Soltan, H. (1998), ConSERV, A Project Specific Risk Management Concept, International Journal of Project Management, 16(6), pp. 353-366.
- [38] Charoenngam, C. and Yeh, C. Y. (1999), Contractual Risk and Liability Sharing in Hydropower Construction, International Journal of Project Management, 17(1), pp.29-37.
- [39] Tah, J. H. M. and Carr, V. (2000), Information Modeling for Project Risk Analysis and Management, Engineering, Construction and Architectural management, 17(2), pp.107-119.

- [40] 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.
- [41] Carlson, C. & Fuller, R. (1996). "Fuzzy multiple criteria decision making: Recent developments." *Fuzzy Sets and Systems*, 78 (2) , pp.139-153.
- [42] Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making*, New York, McGraw-Hill.
- [43] Seo, F. & Sakawa, M. (1985), Fuzzy Multiattribute Utility Analysis for Collective Choice, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-15 (1) , pp.45-53.
- [44] Lee, S. and Halpin, D. W. (2003), Predictive Tool for Estimating Accident Risk, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 129(4), 431 - 436.
- [45] Paek, H., Lee, Y. W. and Ock, J. H. (1993), Pricing Construction Risk: Fuzzy Set Application, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 119(4), 8-15.
- [46] Tah, J. H. M. and Carr, V. (2001), Knowledge-Based Approach to Construction Project Risk Management, *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 15(3), 170-177.
- [47] Dikmen, I and Birgonul, M. T. (2006), An analytic hierarchy process based model for risk and opportunity assessment of international construction projects, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33, pp. 58 - 68.
- [48] 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.
- [49] Hwang, C. L. & Yoon, K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, New York: Springer-Verlag.

- [50] Lenz, Matthew Jr.(1983), “ Risk Management Manual” , Vol. I in “Exposure Identification” , California Merrit Company, pl.
- [51] Project Management Institute(2004), “A Guide to the Project Management Body of Knowledge” , Third Edition, Four Campus Boulevard, Newtown Square, USA.
- [52] Baranoff, E. G. ., Harrington, S. E. and Niehaus, G. R. (2006), Risk Assessment, 1st ed, AICPCU, Pennsylvania.
- [53] Clemens, P L and Simmons, R J (1998) Risk assessment matrix. In: System safety and risk management: A guide for engineering educators, Cincinnati: Dept. of Health and Human Services/Centers for Disease Control and Prevention/The National Institute for Occupational Safety and Health.
- [54] Ministry of Manpower (2005) Guidelines on risk assessment. Singapore: MOM.
Available online: <http://www.mom.gov.sg/NR/rdonlyres/C6119ECB-3F11-4848-8071-C0A44627720B/5552/RiskAssessmentGuidelinesV65.pdf>
- [55] Fairley, R. (1994), Risk Management for Software Projects, IEEE Software, 11(3), pp. 57-67.
- [56] Chapman, P. (1997), Project risk analysis and management-PRAM the generic processes, International Journal of Project Management, 15(5), pp. 273-281.
- [57] Akintoye, A. S. and MacLeod, M. J.(1997), Risk Analysis and Management in Construction, *International Journal of Project Management*, 15(1), pp. 131-38.



建築施工災害防制技術之研究（二）－建築工程施工
風險評估方法之研究

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：呂世通、張寬勇、宋裕祺

出版年月：97 年 12 月

版(刷)次：初版

ISBN：978-986-01-7030-6