

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 90-2211-E-009-055

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：黃世昌、王維志 國立交通大學土木工程學系

計畫參與人員：周世傑 國立交通大學土木工程學系

一、中文摘要

根據相關統計資料顯示，國內營造業重大職災件數遠高於其他產業。以各國營造業勞工因工死亡千人率做比較，我國亦高出其他先進國家甚多。營造災害的發生，除勞工生命安全受到威脅外，亦會造成進度落後、品質下降以及成本的損失。故如何降低營造安全事故之發生率，為當前營造業重要的課題。

過去營造安全評估技術多是針對工程整體之營造安全進行評估，分析該工程危險程度的大小。然而工程整體營造安全評估之結果，並不能協助安全管理者對工程危險的原因進行更深一層的瞭解。有鑑於此，本文將建立一更有效之營造安全管理模式，以協助安全管理者瞭解影響工程危險之因素，進而對該因素加強管理。該管理模式之建立如下列步驟：1.建立評估作業危險程度之方式；2.考量不確定因素（如作業環境、工人背景等）所造成作業危險程度之不確定性，及在作業間之關連性；3.透過電腦模擬技術模擬作業危險程度之不確定性與在作業間之關連性；4.將電腦模擬過後之作業危險程度表達於進度網圖中。本文最後以九個作業之網圖來闡述此管理模式之理論推導過程及其運用。

關鍵詞：營造安全評估、作業危險程度、電腦模擬、不確定性

Abstract

According to a survey conducted by the Safety Research Institute for various industries in Taiwan, about 60% of fatal accidents were resulted by the construction industry from 1997 to 1999. Construction accidents can affect not only the safety of jobsite workers, but also impinge the construction performance, the delays of project duration and the increase of cost. Therefore, decreasing the incidence of construction accidents is an important problem in construction industry.

In the past, the method of construction safety assessment is used to decide how safe a project is, but the result can't help the managers to keep the construction project safe. Therefore, this study will establish a model called "proactive safety management model for integrating construction accidents and schedules" to help the managers to know what to manage, when to manage and how to manage a construction project. The procedure for establishing the model is: 1.Establishing the method for assessing the hazardous degree of activities; 2.Analyzing the uncertainty of hazardous degree causing by factors;

3.Using the computer simulation to calculate the hazardous degree and to analysis the effect of factors to hazardous degree; 4.Integrate the results of simulation and schedules. The safety management information provided by the model will be display by a case-study.

Keywords: Hazardous degree, Uncertainty, Computer simulation.

二、文獻回顧

2.1 營造安全評估

營造安全評估之定義為「從潛在危害的認知開始，進而分析事故發生之因果關係，最後估計事故造成不良影響之程度、範圍及發生之機率」

【1】。目前營造業使用之安全評估方式為施工安全評估及風險性危害指數法。施工安全評估以定性安全評估方式為原則，其目的在有系統地辨識各作業可能發生之災害，並無對該災害造成不良影響之程度、範圍及發生機率進行評估。因此，為決定各作業之危險程度，本研究將透過風險性危害指數法之概念，以頻率及嚴重度之相乘積，來表達各作業之危險程度。

2.2 作業不確定性與關連性分析

作業工期會受到天候等因素之影響，而與預期結果產生誤差，此一變動量即稱為工期之不確定性。在同一個工程中，許多基本條件是相同的，例如基地狀況、當地的天候狀況、施作的工班等，因此當不同作業受同一因素之影響時（如天候），該影響因素一旦產生變化，理論上各作業之工期均會受影響，此即工期作業間之關連性。NETCOR模式

【2】是於1996年所發展出之一專為討論解決各作業工期內之不確定性和不同作業間工期相關性之模式，本研究將透過其理論來分析不確定因子對作業危險程度之影響，使本模式能告知安全管理人員各危險作業之管理重點。

2.3 整合職災資訊與工程進度

Kartam【3】於1997年發展一套名為IKIS-Safety (integrated knowledge-intensive system for construction safety and health performance control)的系統，其主要概念是將營造災害資料庫整合至進度網圖中，使該系統能隨工程的進行即時提供安全管理所需資訊，並且能在所有工程相關人員在觀看進度表的同時，能注意到營造安全方面的相關需求。本研究將透過其概念建立營造安全管理模式，加強

營造安全之管理。

三、整合職災資訊與工程進度之安全管理模式

3.1 管理模式概述

「整合職災資訊與工程進度之營造安全管理模式」為一將作業危險程度表達至進度網圖之模式。該模式可協助管理者進行營造安全管理時，知道哪些作業需要管理、什麼時候管理及要管理什麼。圖 1 為「整合職災資訊與工程進度之營造安全管理模式」之概念。模式首先透過風險性危害指數法的概念，以災害頻率及災害嚴重度之相乘積來表達災害之危險程度，將一作業所發生之災害危險程度加總即可得到作業危險程度，該作業危險程度可使管理者瞭解哪些作業可能會發生較大之危害，以協助管理者加強該作業之管理。計算出各作業之危險程度後，本模式將採用 NETCOR 之方法來分析不確定因素對作業危險程度之影響，協助管理者對影響程度較大之因子加以管控。電腦模擬則是透過模擬技術來計算作業危險程度及分析前述不確定因素對作業危險程度甚至是一區域危險程度之影響。待上述計算及分析完畢，將結果整合至進度網圖中，使管理者瞭解各危險作業之發生時間。最後本模式將根據上述步驟所得之結果輸出營造安全管理資訊。

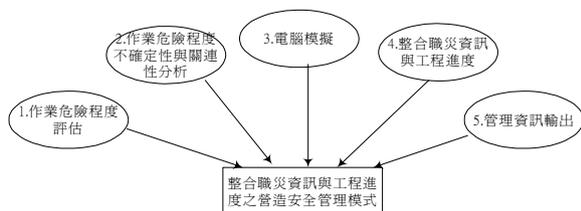


圖 1. 整合職災資訊與工程進度之營造安全管理模式之概念

3.2 作業危險程度評估

一個作業之進行可能會發生許多職業災害，如墜落、物體倒塌、跌倒及感電等，本模式對作業危險程度之評估採用風險性危害指數法之概念，透過災害頻率及災害嚴重度之相乘積來表達災害之危險程度，最後將作業中可能發生災害之危險程度加總，即可得到一作業之危險程度。同樣的，將一區域內各作業之危險程度加總亦可得到區域之危險程度。作業危險程度示意圖詳圖 2。

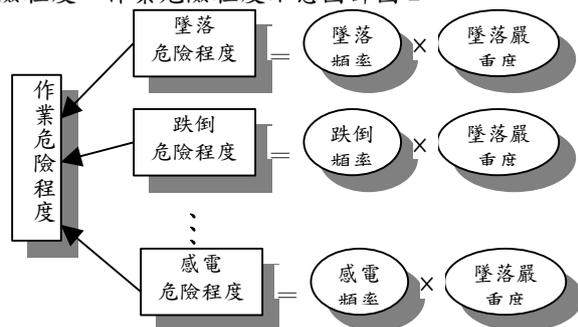


圖 2. 作業危險程度示意圖

3.3 作業危險程度不確定性與關連性分析

本模式對作業危險程度之不確定性與關連性

分析，主要是依據 NETCOR 的觀念。本節將介紹如何透過 NETCOR 來分析不確定因素對作業危險程度之影響。本研究假設不確定因素僅會對災害頻率造成影響，間接影響作業危險程度。

◎步驟 1：分解不確定性

每個災害可能分別對某幾種不確定因素特別敏感，因此災害之頻率將可看作是由這幾種不確定因素影響之組合。本模式對不確定因素之分解方式與 NETCOR 相同，首先將原災害頻率分佈（祖父母階層分佈），依作業內不確定因素敏感度之高低拆分成數個父母階層分佈（詳圖 3.）。

◎步驟 2：獲取關連性

為獲取作業和作業間因同一不確定因素對災害頻率造成之關連性，本模式再將父母階層分佈根據「比預期情況好」、「預期情況」及「比預期情況差」三種情況，拆分成 3 個子女階層分佈（詳圖 4.），以利電腦模擬其關連性。

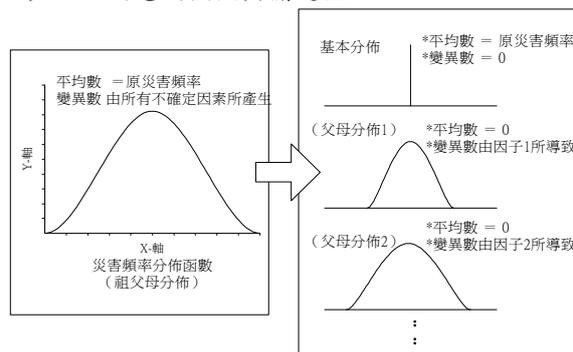


圖 3. 分解不確定性

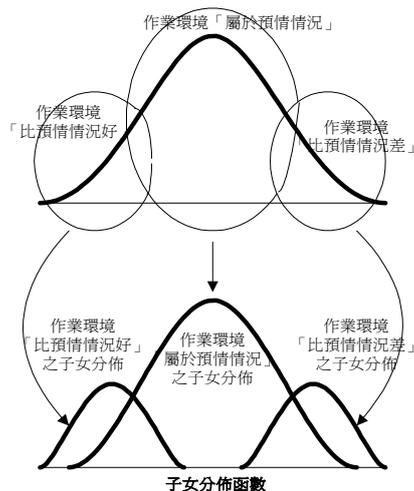


圖 4. 父母分佈拆分至子女分佈

3.4 電腦模擬

為計算作業危險程度及分析不確定因素對作業危險程度甚至是一區域危險程度之影響，本模式將利用 STROBOSCOPE 來進行模擬。電腦程式跑 1 次代表作業執行 1 次，跑 1000 次代表作業被執行 1000 次。程式大致可分為兩部分：第一部份是模擬不確

定因素對災害頻率之影響；第二部份則是模擬災害造成之嚴重度。在第一部份程式會透過事件啟動器，讓不確定因素隨機挑選「比預期情況好」、「預期情況」、「比預期情況差」（子女階層分佈）之一數值來計算災害頻率。第二部分每次電腦會根據災害頻率決定該次模擬之結果是否會發生災害，若沒發生災害則得到之結果為 0（亦即災害嚴重度=0）；若有發生災害，則電腦會依據使用者所輸入之嚴重度機率來決定五種嚴重度（輕度傷害、中度傷害、重度傷害、殘廢及死亡）中那個嚴重度會發生，本研究之嚴重度以災害所損失費用來表達，其資料主要參考勞工安全衛生研究所之報告【4】。將模擬之結果取平均值，可得到一災害之危險程度，將作業中各災害之危險程度相加，即可得到一作業危險程度。

3.5 整合職災資訊與工程進度

待作業危險程度計算及不確定因素對作業危險程度影響之分析透過電腦模擬完畢後，將結果整合至進度網圖中，管理人員即可根據進度網圖瞭解各危險作業發生之時間。最後，本模式即可協助管理者進行營造安全管理時，知道哪些作業項目需要管理、什麼時候管理及要管理什麼。

3.6 管理資訊輸出

本管理模式預計提供使用者以下管理資訊：

(一) 多專案管理層級

多專案管理指的是「數個專案」營造安全之管理，負責該項管理的如公司內部專案管理人員，專業之安全技師事務所及政府勞動檢查單位（如竹科管理局）等。本模式可協助上述管理人員進行以下管理：

1. 資源配置

瞭解手邊哪些專案有高危險程度之區域，以協助管理者規劃各專案之資源（如人力、金錢等）配置，將有限之資源做最適當之安排。

2. 訂定現場檢查時程表

根據各專案中高危險程度作業之發生時間，安排現場檢查時程表，以適時督導該高危險程度作業。

(二) 單一專案管理層級

單一專案管理層級指的是專門負責一工程營造安全之管理人員，如現場工程師、安全技師事務所指派至各工地之安全人員等。本模式提供單一專案管理層級之管理資訊分述如下：

1. 區域管理資訊

- 瞭解各管理區域中有哪些高危險程度作業，以調配人力加強該作業之管理。
- 透過區域危險程度之敏感度分析，協助管理人員瞭解哪些不確定因素對管理區域之危險程度影響較大，並加強管理該不確定因素來降低營造災害之發生。

2. 路徑管理資訊

- 透過要徑危險程度之敏感度分析，協助管理人員瞭解哪些不確定因素對要徑之危險程度影響較大，並加強管理該不確定因素來降低營造災害之發生，以避免工期因災害之發生而延宕。
- 注意工期與要徑相似，且危險程度高之路徑，以避免因災害發生而使工程之要徑改變。

3. 作業管理資訊

- 透過作業危險程度之敏感度分析，協助管理人員瞭解哪些不確定因素對作業之危險程度影響較大，並加強管理該不確定因素來降低營造災害之發生。

四、操作說明

本章主要透過 9 個作業之小網圖來說明資料之輸入。並對本模式計算之結果進行討論。

4.1 網圖描述

圖 5 為 9 個作業之網圖，每個作業所需勞工人數標示於圖中。該網圖包含 3 個區域，分別為區域 1(作業 1 作業 2 作業 3)，區域 2(作業 4 作業 5 作業 6)，以及區域 3(作業 7 作業 8 作業 9)，營造災害頻率受 3 個不確定因素（工人背景、作業環境及作業管理能力）之影響。

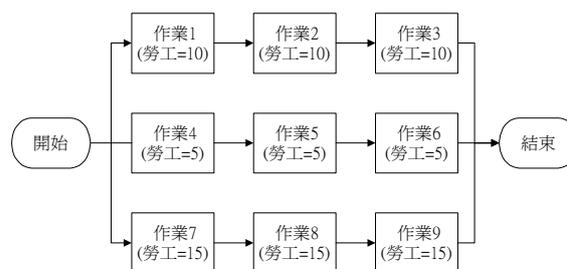


圖 5. 小網圖範例

4.2 資料輸入

◎步驟一、輸入營造災害頻率

在營造災害頻率之輸入上，本研究使用三點分佈來計算營造災害發生頻率之平均值與標準差，故使用者需依據該作業之工人背景、作業環境以及作業管理能力，輸入作業中營造災害頻率的最樂觀、最悲觀及最可能三個值。

◎步驟 2. 輸入不確定因素對營造災害之敏感度

表 1 為不確定因素對各作業營造災害敏感度之輸入範例。由表 1 可看出對作業 1 的墜落災害頻率對工人背景的敏感度較高，對作業環境較低，對作業管理能力則是普通。

表 1 不確定因素敏感度輸入

◎步驟3. 輸入各營造災害之嚴重度

使用者根據過去文獻【4】之營造災害成本損失資料加以輸入。

◎步驟4. 輸入各作業營造災害嚴重度發生機率

災害每次發生可能會造成不同的嚴重度，因此使用者需評估每個作業中營造災害發生時可能之嚴重度，亦即使用者需輸入每個作業中災害嚴重度發生之機率。

4.3 作業危險程度計算

◎步驟一、計算災害頻率父母分佈之標準差

依據 NETCOR 之概念，將營造災害頻率祖父母分佈之變量分散至父母分佈。

◎步驟二、計算災害頻率子女分佈之平均值及標準差

各不確定因素之子女階層分佈是基於表 1 和 1 父母分佈之標準差所建立的。

◎步驟三、電腦模擬

透過電腦模擬計算作業危險程度及分析不確定因素對作業危險程度，詳細內容參照 2.4 節。

4.4 結果分析

模擬之結果如下，表 2 顯示各作業之危險程度，表 3 為各區域之敏感度分析。

表 2. 各作業之危險程度

作業編號	作業危險程度 (單位:千元)	排序
1	120.5	2
2	95.4	4
3	25.1	8
4	34.6	7
5	90.8	5
6	124.0	1
7	45.5	6
8	100.3	3
9	12.5	9

表 3. 各區域之敏感度分析

區域編號	包含作業	不確定因子	CV	排序
1	Act1-2-3	工人背景	0.0296	3
		作業環境	0.0865	1
		作業管理能力	0.0736	2
2	Act4-5-6	工人背景	0.0679	3
		作業環境	0.1134	1
		作業管理能力	0.0743	2
3	Act7-8-9	工人背景	0.1110	1
		作業環境	0.0341	2
		作業管理能力	0.0257	3

上述結果可提供管理人員以下資訊：

1. 由表 2 可知，作業 6、1、8 為危險程度較高之作業，管理者應加強該作業之管理，並根據該作業發生之時間進行現場查驗，以適時督導該

作業	營造災害	工人背景	作業環境	作業管理能力
1	墜落-物體倒塌-跌倒-感電-物體飛落	H-H-M-L-M	L-M-M-L-L	M-M-M-H-L
2	墜落-物體倒塌-跌倒-感電-物體飛落	M-H-M-H-M	L-M-L-M-L	H-M-H-M-H

高危險程度作業。

2. 由表 3 可知，區域 1、2 對作業環境敏感度高、區域 3 對工人背景敏感度高，因此各區域管理人員應對各區域敏感度高之不確定因素加強管理，以預防災害發生。

五、結論與建議

5.1 結論

過去營造安全評估技術多是針對工程整體之營造安全進行評估，然而工程整體營造安全評估之結果，並不能協助安全管理者對工程危險的原因進行更深一層的瞭解。本模式試圖以作業危險評估及作業危險程度之不確定性與關連性分析，來提供營造安全管理者更詳盡之安全管理資訊，使管理者瞭解哪些作業項目需要管理、什麼時候管理及要管理什麼。

茲整理本研究之研究結論如下：

1. 本模式利用風險性危害指數法之概念來評估一作業之危險程度，使管理者瞭解各作業危險程度相對之高低，協助管理者加強對危險程度較高作業之管理。
2. 本模式透過 NETCOR 之概念分析作業危險程度對不確定因素之敏感度，瞭解各作業對哪項不確定因素之敏感度較大，使管理者能透過加強該不確定因素之管理，降低該作業之危害風險。
3. 將作業危險評估及作業危險程度之不確定性與關連性分析之結果整合至進度網圖中，使管理者能清楚瞭解各危險作業發生之時間，適時管理該危險作業。
4. 本模式中對於作業危險程度計算及作業危險程度之不確定性與關連性分析，可提供管理人員一系統化之工具，協助管理人員對各作業之危險程度進行評估，以及瞭解不確定因素對作業或區域危險程度之影響。

5.2 建議

1. 本模式在災害頻率及嚴重度等資料輸入上稍嫌費時，建議為來使用者可根據本身之需求建立資料庫，以減少輸入之時間。
2. 建議未來可將本模式之概念加入 Kartam【3】之整合職災資訊與工程進度網圖之管理資訊系統中，使該管理資訊系統之功能更加完備，以期能更有效地預防營造災害之發生。
3. 本模式對作業危險程度計算之結果，不但可提供使用者在營造安全管理上之資訊，未來更可建立各工程危險等級表，以作為保險業者在決

定營造安全保險費率之參考資料。

六、參考文獻

1. 林耀煌、蔡茂生、傅還然，”營造安全評估技術之研發”，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告，1997。
2. Wei-Chih Wang, “Model for Evaluating under Correlated Uncertainty -NETCOR”, A dissertation of Doctor of Philosophy, University of California, Berkeley, 1996.
3. Kartam, N., “Integrating safety and health performance into construction CPM,” *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol.123 (2), pp.121-126, 1997.
4. “我國各行業職業災害損失立即顯示系統之研究-營造業”，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究計畫，1995。