

統一編號：
002244860474

八十五年度建築工程自動化諮詢服務
——系統模板施工排程之研究

內政部建築研究所

產業自動化--營建自動化計畫成果報告

計畫編號：MOIS 850028

執行期間：84年8月1日至85年6月30日

八十五年度建築工程自動化諮詢服務
——系統模板施工排程之研究

計畫主持人：彭雲宏
協同主持人：毛 榮

主辦單位：內政部建築研究所

執行單位：財團法人台灣工業技術研究發展基金會

中華民國八十五年六月三十日

產業自動化--營建自動化計畫成果報告

計畫編號：MOIS 850028

執行期間：84年8月1日至85年6月30日

八十五年度建築工程自動化諮詢服務 -系統模板施工排程之研究

計畫主持人：彭雲宏
協同主持人：毛 犖
工作人員：夏逸平 陳淑如
劉哲瑋 楊忠謀
許雅玲 陳錫山
江明洪 李至倫
廖佳雯 楊燕琴

主辦單位：內政部建築研究所

執行單位：財團法人台灣工業技術研究發展基金會

中華民國八十五年六月三十日

摘要

關鍵詞：施工規劃、控制、系統模板

根據系統模板實績現況調查分析發現，大部份廠商缺乏詳細施工規劃，造成生產力損失及工期延誤。因此，本研究針對重複性施工系統模板，採用線性平衡排程技術之管理科學工具，分析建構出重複性施工系統模板排程規劃步驟及範例，其中並考量垂直水平分段施作計畫、水平分區重複循環施工計畫及最佳分區面積計畫等異於傳統系統模板之規劃模式。而後再以二維動態規劃模式，分析當系統模板施工速率隨樓層階段單元變化時，建構出滿足工率變化之系統模板施工排程規劃模式，並以範例演算證實其使用性。最後根據系統模板個案現況調查及所建構之模式應用，研擬出系統模板水平與垂直分段施工計畫、材料少量採購大量轉用計畫、分區重複循環施工規劃、最佳分區面積規劃及工率變化排程規劃等施工排程規劃策略，以作為系統模板規劃之參考。

Abstract

Keywords: planning, control, formwork system

Experiences learning from surveys of some ten formwork systems currently used in Taiwan are used as a base to propose planning and control methods for effective use of these systems. For formwork systems that have a steady production rate, a line of balance (LOB) technique is suggested. For a new formwork system application that a significant learning rate is expected a two-dimensional dynamic programming approach is recommended. Two construction projects are used as examples to explore benefits as well as potential problems by using these two approaches. Results show that least supplies of formwork systems, minimum productivity lose, and thus effective costs can be assured by exercising these two planning and control tools.

目 錄

第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 研究範圍與內容	2
1.3 研究方法與流程	2
第二章 文獻回顧	6
2.1 模板施工自動化方面	6
2.2 重複性工程排程技術方面	9
第三章 系統模板規劃之現況調查	15
3.1 ALUMA 系統模板	15
3.2 DOKA 系統模板	18
3.3 EIW 系統模板	22
3.4 HUNNEBECK 系統模板	24
3.5 MASCON 系統模板	26
3.6 SYMONS 系統模板	27
3.7 YH 系統模板	28
3.8 大漢(DH)系統模板	31
3.9 佳承系統模板	32
3.10 中屋系統模板	33
3.11 系統模板特色分析	37
第四章 系統模板施工排程規劃	39
4.1 重複性施工系統模板之排程規劃	39
4.1.1 施工排程模式建構	40
4.1.2 實例模擬規劃	48
4.2 考慮工率變化之施工排程模式	57
4.2.1 施工排程模式可行性探討	57

4.2.1 施工排程模式建構	60
4.2.2 實例模擬規劃	67
第五章 系統模板施工排程策略	81
5.1 水平與垂直構件分別施作計畫	81
5.2 少量採購大量轉用計畫	81
5.3 水平分區重複循環施工規劃	82
5.3 最佳分區面積規劃	84
5.4 工率變化之排程規劃	85
第六章 結論與建議	87
6.1 結論	87
6.2 建議	89
參考文獻	92
附錄一	95

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖	5
圖 3.1 中正機場二期航站工法體系	16
圖 3.2 結構體施工流程	17
圖 3.3 航站大廈中央主體結構一至四樓模板規劃	17
圖 3.4 鳳山五甲國宅工法體系	18
圖 3.5 作業現場配置	20
圖 3.6 工法體系	20
圖 3.7 主體施工流程	21
圖 3.8 工法體系概要	22
圖 3.9 標準程結構體施工流程	23
圖 3.10 楊梅 H 工程工法體系概要圖	24
圖 3.11 施工流程	25
圖 3.12 新店達觀鎮基地配置圖	26
圖 3.13 新店達觀鎮工法體系	27
圖 3.14 中和漢偉資訊大樓工程工法體系概要	27
圖 3.15 結構體施工流程	28
圖 3.16 工法體系概要	29
圖 3.17 結構體施工流程	30
圖 3.18 工法體系	31
圖 3.19 工法體系概要	33
圖 3.20 中正綠園邸複合化體系架構	34
圖 3.21 水平分區循環	35
圖 3.22 標準層結構體施工流程	36
圖 4.1 建築工程成本結構	46
圖 4.2 施工分區面積與絕對工率出工損耗關係	49
圖 4.3 施工分區面積與絕對工率成本損耗關係	50

圖 4.4 排程規劃最佳化之成本	54
圖 4.5 LOB 線平衡整體施工排程進度	55
圖 4.6 LOB 線平衡單一樓層循環施工排程進度	56
圖 4.7 LOB 線平衡單一樓層循環施工排程進度	56
圖 4.8 1F 階段勞務資源成本變動	70
圖 4.9 2F 階段勞務資源成本變動	71
圖 4.10 3F 階段勞務資源成本變動	72
圖 4.11 4F 階段勞務資源成本變動	73
圖 4.12 3F-4F 階段之成本比較	75
圖 4.13 2F-3F 階段之成本比較	76
圖 4.14 1F-2F 階段之成本比較	77
圖 4.15 起點-1F 階段之成本比較	78
圖 5.1 水平與垂直構件施工規劃結果比較	80
圖 5.2 轉用次數增加之成本分析	82
圖 5.3 勞務資源拉平與尖峰人力之生產力損失比較	83
圖 5.4 分區面積與勞務損失關係	84
圖 5.5 工率變化之規劃結果比較	86

表目錄

表 3.1 系統模板廠商及使用實績	15
表 3.2 單週半日各分區循環作業項目	37
表 3.3 模板系統特色分析(一)	38
表 3.4 模板系統特色分析(二)	38
表 4.1 作業分割及其工率、工資	50
表 4.2 工程分區數與工率損耗關係	50
表 4.3 工程施工排程方案內容	51
表 4.4 各作業理論出工數	51
表 4.5 各作業實際出工數	52
表 4.6 實際各作業施工時間	53
表 4.7 生產力損失工時成本	53
表 4.8 排程規劃最佳化之成本分析	54
表 4.9 各樓層施工數量	68
表 4.10 各作業勞務增加單位人日成本	68
表 4.11 各樓層各作業所需勞務資源數量	68
表 4.12 模板勞務資源調整出工數	69
表 4.13 各階段之工率變動計算	69
表 4.14 1F 階段勞務資源成本計算	70
表 4.15 2F 階段勞務資源成本計算	71
表 4.16 3F 階段勞務資源成本計算	72
表 4.17 4F 階段勞務資源成本計算	73
表 4.18 邊界成本	74
表 4.19 3F-4F 階段之總成本(萬元)計算	75
表 4.20 2F-3F 階段之總成本(萬元)計算	76
表 4.21 1F-2F 階段之總成本(萬元)計算	77

表 4.22 起點-1F 階段之總成本(萬元)計算	78
表 4.23 整體成本目標函數計算	79
表 4.24 最佳方案計算	79
表 5.1 水平與垂直構件施工規劃結果比較	80
表 5.2 轉用次數增加之成本分析比較	82
表 5.3 勞務資源拉平與尖峰人力之生產力損失比較	83
表 5.4 未考慮工率變化之規劃結果比較	85

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

目前台灣住宅的構造方式以鋼筋混凝土造為主，約佔總住宅建築樓地板面積的87%【1】。依據內政部建築研究所築備處對「臺灣地區營建工程能量之調查與分析（二）」【2】報告顯示，模板的工料費用為鋼筋混凝土建築物建造成本中所佔比例最大的四個項目之一，同時也是營建工程中勞力密集的作業項目之一。其作業成本約佔一般建築總成本的15%，或佔鋼筋混凝土結構體工程成本的三分之一【2】。有鑑於此，眾多廠商樂於嘗試引進系統模板替代傳統模板工法，達到降低成本及提高品質之目的。一般系統模板工法於施工過程中容易組合、不會漏漿、且安全承載所有的施工荷重、容易拆卸脫模、更能確保脫模後混凝土鑄體之尺寸精確及表面平整，適合後續施工及減少粉刷等二次作業。相較傳統木模板工法需要大量的現場技術工人，且一般模板工人規劃能力不足，現場剪裁過多以至於浪費時間及材料。甚至因規劃與施工不良常造成漏漿、暴模或敗模，輕微者影響工程之品質與成本，嚴重者造成工地災害傷及人命。國內自民國60年以來陸續嘗試引進超過十種以上之系統模板【3】。這些系統模板的引進與使用個案實績，常因模板施工排程規劃不良而拖延工期，或因新技術適應不夠熟練及周邊作業配合不足而無法順利施作，或因轉用工程接續不易而堆廠報廢，因此所引進之系統模板工法在台灣之工程實績上成功且發揮效益者有限。

因此本研究乃針對國內建築工程系統模板作業進行個案調查，深入探討系統模板作業之施工排程規劃及工法特性，再利用作業研究及線性排程技術等數學方法，嘗試建構出系統模板

施工排程規劃模式以協助工程規劃管理者依據個案工程的環境及工法特性代入模型而建構出最佳之系統模板施工排程規劃。

1.2 研究範圍與內容

本研究以文獻調查的方法先探討施工排程技術發展及國內已採用之系統模板規劃執行績效。再透過現階段民間建築工程與國宅工程專案的工程承辦、承攬單位與系統模板經銷商或代理商的調查訪問，以系統模板特性及規劃實施成效作探討。更進一步計畫由系統模板的施工現場調查觀測以建立系統模板在實際作業成本、工期及人力需求等方面之規劃資料。最後將利用前述各項工作所獲得之資料建構出不同系統模板之排程模式，探討不同的設計、工期、動員時間、及其他施工條件對模板施工排程可能的影響，進而研擬一套系統模板施工排程策略，以協助管理者配合各工程專案的特性規劃最具效益的系統模板施工規劃。

由於系統模板施工排程規劃涵蓋範圍甚廣，本文在系統模板文獻調查及各系統模板之施工個案訪查後，針對大型預組式系統模板及框式系統模板施工個案在發包狀況、現場生產力、工期及勞務資源控制、協力廠商配合規劃、模板成本控制及現場分區規劃等現行施工及規劃所遭遇的問題，擬定了系統模板水平與垂直分段二次施工計畫、材料少量採購大量轉用計畫、水平分區重複循環施工規劃、最佳分區面積規劃、工率變化排程規劃等系統模板施工排程策略。

1.3 研究方法與流程

一、文獻調查

最近較完整的研究發展工作在美國有Hanna and Sanvido【4】提出四大類十八項評估因素來建立垂直模板評估的專家系統。Anthony【5】以巨觀的角度開始再深入到微觀的細部考量，提出如何在設計規劃階段考慮模板施工性能以達最經濟的施工規劃。日本吉野次彥【6】將「最近的模板工法」作一系統性的分析與探討。國內彭雲宏、周信良【7】針對大型化預組系統模板作現場工作改善，並提出系統模板評選模式。彭雲宏、徐志成【8】針對框式系統模板作現場工作改善，研擬出系統模板技術發展策略。另外在內政部營建署營建自動化專案計畫之系統模板技術評估及推廣之成果報告中【9】，針對目前國內採用之系統模板以實際個案作探討。

二、系統模板施工現況調查

根據中華民國建築學會於民國83年與內政部建築研究所籌備處的協同研究報告【7】顯示每一種系統模板在工地實作的過程中，常因對系統的不瞭解，規劃不夠詳盡，導致現場工作編組、人員機具配合等不足以致施工效率不良無法發揮系統的效益。因此，每一種系統模板的施工現場均有必要針對其生產力、工作流程與方法進行觀測、記錄、分析及改善。同時，也有必要針對新工法實施過程中由於重複施工次數增加而提升效率的學習曲線加以記錄分析以協助營造廠更精確有效的評估與控制其施工所需之成本。

三、系統模板施工排程模式建構

由相關文獻的初步檢討得知，以往研究對系統模板所提出之方向多屬系統模板工作改善或定性之施工規劃原則探討。此類工作改善及定性的施工規劃探討研究，對系統模板實際施工過程中有其貢獻，然缺乏事前整體性之量化分析架構，造成規劃工程師只有抄襲外國施工計畫或是施工後再行改善修訂。且各種不同特性之系統模板缺乏統合或單一之排程模式也常造成實際規劃決策之困難。本研究計畫以整體工程成本為主要衡量指標，將各項影響因素如勞務資源投入量、分區面積、作業工期、模板購置成本、勞務工率等互動關係建立數學模型，建構出一套整體性的施工排程量化分析架構，協助管理者提升施工排程規劃品質。

六、研擬系統模板施工排程策略

本研究透過系統模板現況分析、施工排程技術探討及系統模板施工排程模式建構之步驟，研擬出系統模板施工排程策略。其採用的方法與流程如圖1-1所示。在本研究之個案調查中，首先至工地現場選擇觀測地點作初步觀測，並與現場工程師溝通討論以瞭解工地概況，並對模板作業抽樣調查評估工人使用率，其次利用曠時攝影法拍攝整個施工作業流程並記錄各組裝作業之五分鐘評估記錄與工人平衡圖，以分析工地現場分區佈置、作業工期規劃及作業勞務資源投入及勞務資源生產力損失等問題，並檢討營造廠商在施工規劃及實際施工過程中，在現場生產力、工期及資源控制所產生的問題。研擬出系統模板水平與垂直分段二次施工計畫、材料少量採購大量轉用計畫、水平分區重複循環施工規劃、最佳分區面積規劃、工率變化排程規劃等系統模板施工排程策略。

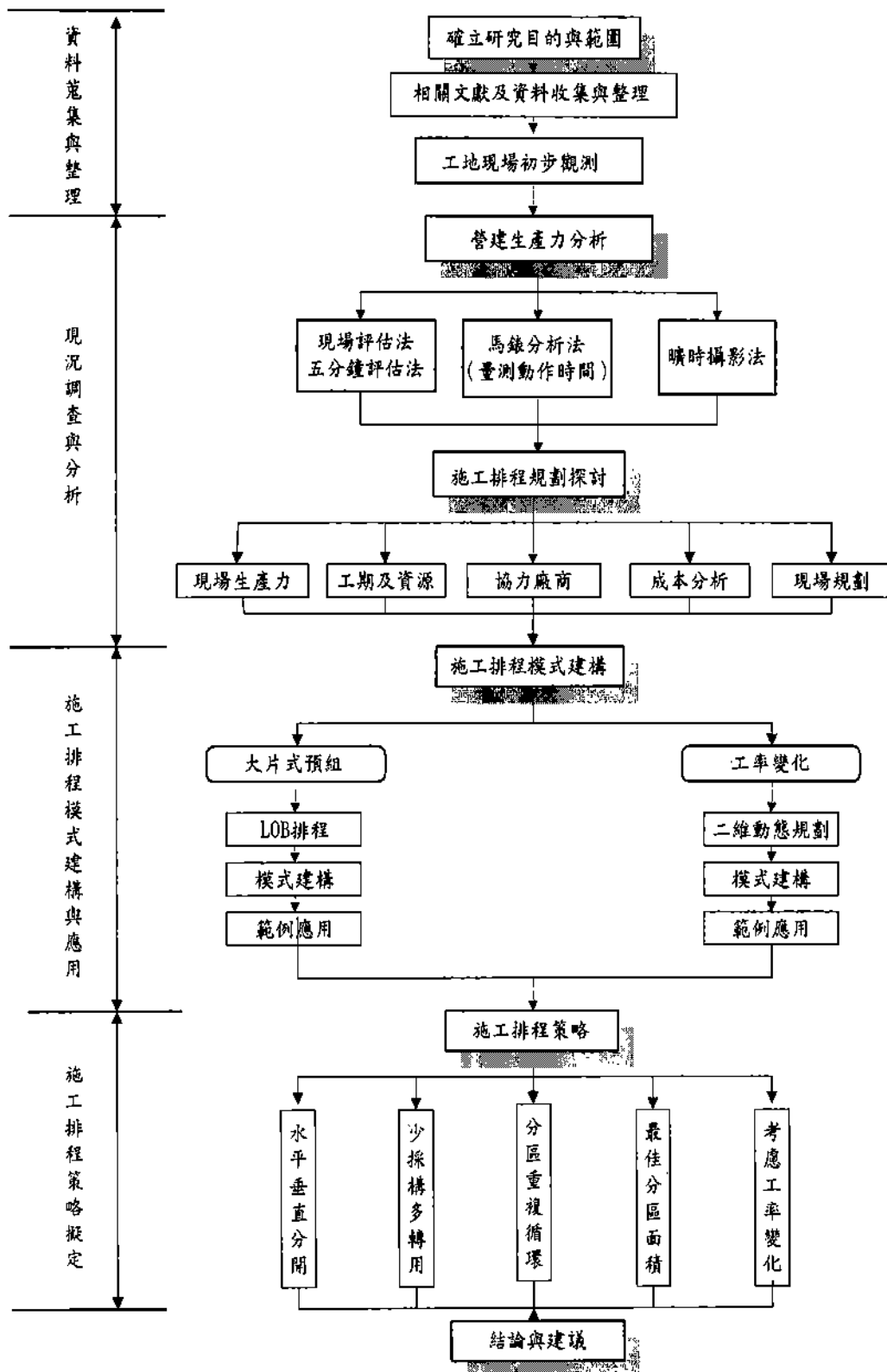


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本研究主要是針對建築工程系統模板施工排程規劃進行調查研究。因此，對於既有相關文獻的蒐集，主要是先對國內、外模板施工的發展歷程作初步的了解。其次，針對國內已引進之系統模板個案做調查及分析，利用生產力觀測、作業研究和線性排程技術等科學工具，當作系統模板施工排程模式及規劃策略觀念建立與架構基礎。最後以系統模板施工排程模式建構為主要探討重點，期望透過相關文獻的回顧來作為建構系統模板施工排程模式及其策略之基礎。

2.1 模板施工自動化方面

模板的種類依施工方法可分為「傳統木模板」及「系統模板」【10，11】。「傳統木模板」的支撐、背撐、面板均以木材為主，再配合鐵件束材進行模板組立工作。傳統木模板之施工效益在於其造型容易、成本低廉、國內工人習慣使用等。其缺點為使用之木料未經過處理容易腐蝕損壞，造成使用次數及完成品質均低，且大量丟棄易造成環保問題；其木模強度低、單元面積小、組立組件多，造成施工時需大量技術工人進行組立，形成尖峰人力之干擾。而「系統模板」可視為傳統模板作業合理化與自動化的一個方向。透過系統化的方法將模板與支撐系統桿件模距化、標準化或大型化，並將組立及拆模方法省力化，以長期重複使用、減少現場裁切耗損與拆組所需之人力與時間來降低成本，並確保工程安全、精度與品質的一種方法。系統模板主要的種類有飛模、跳模、滑模、爬模系統、電熱鋼模、及隧道型鋼模系統、手組式系統模板及其他各種專利模板

系統【10】。由於各種系統模板針對工程的特性、勞力供給狀況、工人技術能力、工作習慣、模板投資回收的需求及營建管理能力等不同的需求而開發。又因各系統模板開發廠商為擴大市場占有性，其產品市場的開發具有相當程度的重疊，導致欲採用系統模板的施工者無法正確的選擇規劃合適之模板系統。

一、國外模板施工的發展狀況

近年來國外在模板材料組件的開發、模板系統的多元化、設計與規劃的電腦化、模板施工機具的自動化等方面都有長足的進展。由於環保意識的抬頭，各國對森林資源的保護逐漸升高，在模板材料的開發上以如何提升木質組件的耐用性及替代產品的開發，如鋁模、FRP模、塑鋼模及複合材料等，同時也可以減少模板廢料的處理問題。更進而發展永久性的模板及支撐或捨模模板以使模板部分組件成為結構的一部份甚至免除拆模的工作，如ALC板、GRC板、金屬浪板、半預鑄或全預鑄混凝土板。國外模板工程的發展方向在縮短工期、減少技術勞力的前提下朝向於無鷹架、無支撐、能早期脫模、可省略拆模作業及預先裝修表面等方向發展。鄰國日本的模板施工方法研究發展有幾個主要的方向【12】。首先在新材料的開發方面，將木材特殊處理以提升其耐用性係響應環保觀念減少材料耗用較普遍的一個方向。也有採用透明模板材料以觀察現場混凝土澆置品質以及採用質量輕的高強度材料以提升工人使用率的趨勢。其次為配合施工自動化所發展的系統模板係結合高性能新材料的發展，透過系統化的方法，將模板組件模矩化、標準化、大型化或整體化，以避免現場剪裁，縮短組拆時間，並利用機械化的設備，以減少技術人力需求及降低成本的一種模板系統

發展方向。第三個方向利用半預鑄或薄型預鑄組件作為永久性模板，除可減少現場組模及支撐作業外，尚可免除現場拆模作業，大量降低現場施工所需人力則係針對工資高漲及工人缺乏的環境條件所努力的方向。在各種模板工法改良的同時也考慮混凝土鑄體尺寸精度及表面平整度以便於後續裝修作業，甚至採用預貼的方法在模板施工過程中同時完成裝修作業。

二、國內模板工程的發展狀況

國內的建築工程長久以來大都延用傳統模板施工，而自民國69年開始，國內廠商陸續有自國外引進及自行開發許多系統化的模板型式。在建築工程上主要使用的模板型式有SYMONS鋼架模板系統、改良式清水模板、小片鋼模工法、SGB塑膠模板、電熱鋼模工法、U型浪板樓板、鋁模系統、倒U型鋼模快速施工法、面磚預貼模板工法、FRP模板、標準鋼模板等11種，但這些模板系統至今大都僅使用於1~2個工地後即無後續的發展。直至目前仍以傳統木模板施工為主約佔90%【13】。根據「高層建築結構體施工合理化之研究報告」【14】的營建環境調查結果指出，目前營造廠的模板工程有1/8採用外包方式；模板的費用佔整體營建工程費的10~25%為主；大部分營造廠商認為模板作業對工程進度有顯著的影響且為關鍵作業；營造廠對模板分包商的控制性不高；就目前整體環境而言營造廠大都面臨工資高漲、技術工人缺乏、分包商管理困難及品質難以控制等問題。而面對前述問題，有75%廠商願意進行工程合理化之改善並希望朝向模板系統化、大型化及不需拆模的方向研究開發。但卻有專業模板設計人才缺乏、原有建築設計複雜難以系統化及小包不願配合的問題。另外有大部分的模板作業皆以

發小包方式進行，而目前國內的模板分包商在小規模經營、資金有限、欠缺管理技術的條件下與各種模板的施工型式種類繁多及工人流動性大，廠商並無法累積工人的訓練效益，再加上國內的建築設計甚少考慮自動化施工的需求，使得模板廠商大都不願冒險投資引進新式的模板系統及配合的施工機具。近年來國內營造廠商再度考慮使用系統化之模板施工，冀望使用少量而非技術性的勞工以自動化的施工方式來達成模板施工的省時與省力化。根據作者參與內政部營建署營建自動化專案計畫之系統模板技術評估及推廣之成果報告中【9】，針對目前國內採用之系統模板探討包括：中正機場二期航站大廈工程之ALUMA系統模板，桃園經國法國個案、大漢台北我的家及國泰荷蘭村之DH系統模板，高雄鳳山五甲國宅工程及新竹梅竹山莊個案之DOKA系統模板，八里福星個案及新竹荷蘭村之EIW系統模板，楊梅陽光加州個案之HUNNUBECK系統模板，新店達觀鎮個案及長庚醫療大樓之MASCON系統模板，中和漢偉資訊大樓及冠德住易個案之SYMONS系統模板，台中國安國宅及基隆八斗子工地之YH系統模板，桃園宏國居易個案之佳承系統模板，台中中友生活家及桃園中正綠園邸之中屋機構鋼模系統等。

2.2 重複性工程排程技術方面

一、重複性建築工程

Hijazi 與 Lutz 【15】以圖表介紹重複性工程特性及現場調查技術和施工規劃方式：謝定亞【16】於「日本高層建築工程自動化施工系統技術發展現況分析」報告中定義高樓自動施工

系統就是要把高樓施工的現場變成像自動裝配工廠，不一樣的是裝配廠的物料流動是平面進行，而高樓自動施工系統則是垂直向上流動；李政憲【17】於「營建業提昇生產力之研究」報告中提出 one day one cycle 工法概念，將工程以多分區同步施工方式，是相當有效率之結構體施工系統實例。此種工法係將工程規劃為水平分區重複循環同步施工方式。而將工廠生產模式應用於現場工地環境，水平分割整體工程為若干作業分區，使作業人員每天反覆從事同相同之作業內容，以達到勞務平均化，作業標準化，縮短工期，提高生產力之目標。

二、LOB 線性平衡排程技術

重複性工程採用線性排程技術方面，Carr 與 Meyer【18】針對重複循環性工程之施工特性，比較 CPM 與 LOB 之規劃方式，認為後者較前者為佳，並將施工斜率以直線之斜率圖形進行規劃，將線性平衡法更容易應用於隨時修正之施工排程上；O'Brien【19】認為一般專案同時具有重複及非重複作業，重複性部份利用線性排程法進行規劃，而非重複作業之部份則利用網圖技術進行規劃，對於兩種規劃模式之界面處理則採取 milestone 作為模式間之分界連結點；O'Brien、Kreitzberg 與 Mikes【20】採用實例探討工程規劃之網圖技術應用於重複循環性工程之演進。在重複性工程採用線性排程技術之實務應用方面，Cole【21】列舉六個實際應用案例說明 CPM 和線性排程法之實用性，認為 CPM 規劃方式較適用於非重複性之工程，而線性排程法則適用於重複循環性工程，而在實際工程均包含以上兩種特性，故須事先劃分重複性工程範圍與非重複性工程範圍，再分別以 CPM 及線性排程技術進行規劃。Hijazi 與 Lutz

【15】提出眾多重複性工程之現行規劃模式，並提出實際重複性工程在各循環單元施作時並非以固定之施工速率施作，而因其施工特性而呈不平衡曲線發展。Sebestyen【22】延續Hijazi與Lutz【15】提出之觀點認為重複性工程之施工速率呈學習曲線效應成長，提出未來重複性工程規劃方向。高志瀚【23】建構出重複性工程因施工邏輯或安全因素而須控制同單元各作業之間隔時間時，其線性平衡之排程分析模式及等候時間分析公式。

線性平衡法(Line of balance)為線性排程技術之原始形態，此法源自美國海軍在1942年研發而成，針對改善當時工廠擬訂固定生產效率以製造統一規格產品時之生產線控制技術，其理論源自於生產線平衡法(Assembly line balance)，利用使各生產線速率一致之基本目標，探討如何規劃控制生產線之機器數量及速率，而將各生產線之速率以直線繪於排程進度表，以進行各生產線之生產排程規劃與控制【24】。

線性平衡法應用於重複性營建工程施工排程，即是將營建工程作業中某一單位重複循環內各作業，以網圖之邏輯關係加以分析研判，然後依各作業間前後順序關係，訂定單位重複循環之排程進度表，再依整體工程之循環次數使之重疊結合，並以平衡直線方式連貫而成總排程進度表進行控制。其基本假設包括：各循環單元中之各作業項目的施工數量為已知、各作業項目中之勞務資源投入量為固定常數、相同循環單元之各作業間為連續施工狀態、相同循環單元中各作業項目之工率趨近一致等。

重複性營建工程在建構線性排程進度規劃時，在各作業未作施工速率平衡拉平下，根據原始各作業網圖邏輯分析建構如圖2.1。圖中作業一施工速率為初始斜率值，其大小決定後續

工程施工速率而直接影響整體工期；作業二施工速率慢於作業一施工速率而造成作業二無法跟上之工期延誤浪費；作業三施工速率快於作業二施工速率而造成兩作業間之相互衝突；作業n為避免與作業二衝突而延誤開工日期造成作業間之等待浪費。

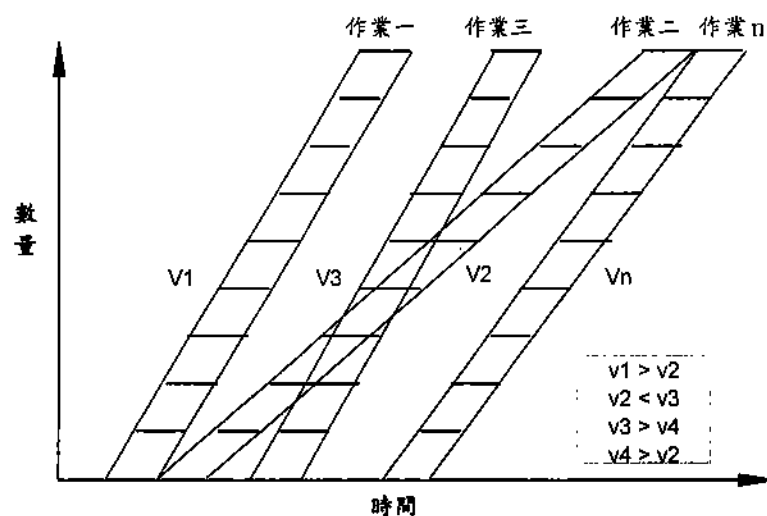


圖 2.1 線平衡前循環單元作業排程進度圖

根據以上未做線性平衡拉平之排程結果探討，可清楚得知最佳重複性營建工程之排程規劃應如圖 2.2 所示，因其各作業間施工速率平衡一致，可有效去除各作業間延誤、衝突及等待因素所造成之工期延長及成本浪費。

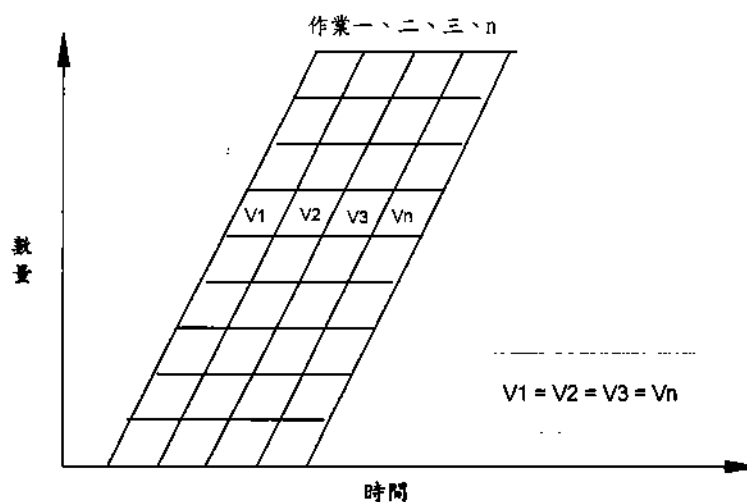


圖 2.2 LOB 線平衡循環單元作業排程進度圖

三、動態規劃排程模式

重複性工程採用動態規劃模式建構方面，Selinger【25】考慮在各作業資源不變之假設下，以動態規劃逆向運算原則，建構出分析各項作業資源組合下之工程最短工期決策之數學解析模式；Dressler【26】建構重複循環性工程在面對施工速率為與循環單元位置和施工時間有關之隨機變數時，分析最佳單元施工順序之數學模式；Russell與Caselton【27】以作業各單元之工作量與相鄰單元間之緩衝時間為二維狀態變數，根據動態規劃之問題特徵，建構出以最短工期為目標函數之數學解析模式；Moselhi【28】將Russell之模式結合成本之概念加入總成本求解之功能；沈進發【29】以動態規劃模式建構出專案工程各作業工期與成本呈函數關係時，考慮施工網圖規劃下之工期及相對最低直接成本關係，進而評選出最佳之規劃方案；吳旻謙【30】考慮重複性工程之勞務資源連續使用特性，面對作業施工速率為時間之函數時，採用工程總直接成本最小化為準則，以二維動態規劃方法建構出施工排程模式，以分析重複性工程各項作業之勞務資源最佳使用量及其進場施作時間點。

動態規劃模式為一種數學方法，用於擬定一序列牽連的決策，提供有系統的程序，以訂定一組使全盤成效最優之決策【31】。其應用沒有一個標準之數學模式，此與線性規劃不同。在應用求解時，須針對個別情況建構問題所需之方程式，依其程序進行演算求解。因此，在套用此模式求解問題時，首先須針對問題探討其結構是否符合動態規劃模式之架構，而後以動態規劃程序求解。

由以上文獻探討整理，將目前國內引進之系統模板依其工程特性劃分為重複性施工作業及非重複性施工作業兩類。本研

究係針對具重複性施工性之系統模板工程，以線性平衡技術進行施工排程模式之建構。同時考慮系統模板在工率隨學習曲線等影響因素變化時，最佳施工排程規劃之數學模式。最後根據所建構之模式，研擬出系統模板施工排程規劃策略。

第三章 系統模板規劃設計之現況調查

本文挑選具有代表性的系統模板在建築工程使用個案做研究對象，首先收集系統模板規劃設計之相關資料，而後至工地現場作實際觀測，並與現場管理人員溝通討論以瞭解現場使用實績，再依各系統模板之特性深入探討目前系統模板規劃設計與現場施工產生之介面問題。其研討個案如表3.1所示。現就各個案規劃概要探討，作為系統模板施工排程模式建立之基礎。另外於附錄一中詳細介紹各系統特色及實際施作觀測結果。

表 3.1 系統模板廠商及使用實績

系統名稱	應用實例	廠商名稱
ALUMA	桃園中正機場二期航站大樓	阿諾曼工程股份有限公司
DOKA	高雄鳳山五甲國宅	得格工程股份有限公司
	新竹梅竹山莊建築工程	
EIW	八里福星建築工程	阿諾曼工程股份有限公司
HUNNEBECK	楊梅陽光加州建築工程	太平洋建設股份有限公司
MASCON	新店達觀鎮建築工程	東怡營造工程股份有限公司
SYMONS	中和漢偉資訊大樓	嘉歐實業股份有限公司
YH	台中國安國宅	台南營造股份有限公司
大漢	五股台北我的家	大漢建設關係企業
佳承	桃園宏國居易建築工程	佳承建設股份有限公司
中屋機構	桃園中正綠園砥建築工程	中屋機構

3.1 ALUMA 系統模板

本工程位於桃園縣大園鄉境內之「中正國際機場」第二期航站大廈新建工程。由交通部民用航空局投資興建，中華顧問工程司設計，中華顧問工程司興建。工程內容為航站大廈主體結構及其附屬設施，興建面積達 43200 平方公尺，總工程費用約二十七億兩仟萬元，工程期限為 840 日曆天並預定於民國 85 年 12 月完工。

航站大廈中央地上主體結構之梁柱構件為 SRC 構造，並配合主梁間之 RC 梁而構成格柵梁版結構（即格子梁結構）。模板部份梁、牆、版部份是採用 ALUMA 系統模板，柱則採用訂製的鋼模，RC 梁之鋼筋擬採用鋼筋預組工法(圖 3.1)。

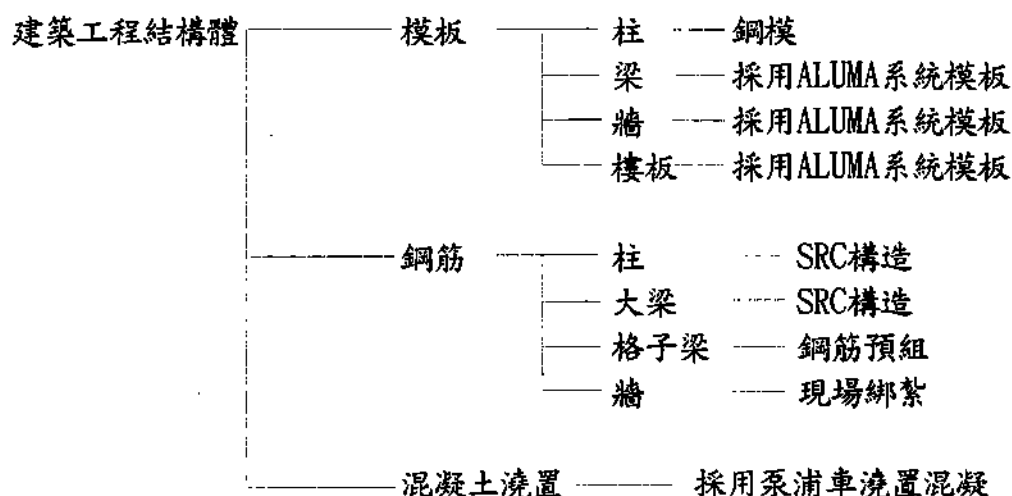


圖 3.1 中正機場二期航站工法體系

在整體施工規劃及執行上強調多重工作面之展開，以減少要徑作業、縮短工期並提供較佳施工性及減少現場技術人力需求。其標準樓層之結構體施工主流程（要徑）及平行作業配合狀況詳圖3.2。其中系統模板初步組合作業及格子梁鋼筋之預組作業可在地面上預先施工或預組場地事前組裝完成，要徑作業主要為吊裝及混凝土之澆置作業。

在系統模板規劃方面，水平模板以水平分區人力拉運轉用為主，將航站大廈中央地上主體結構平面模板分區轉用規劃如圖3.3所示(英文字母A~P是指單元模板的類別)，垂直部份則預組成大片式模矩以塔吊組裝。

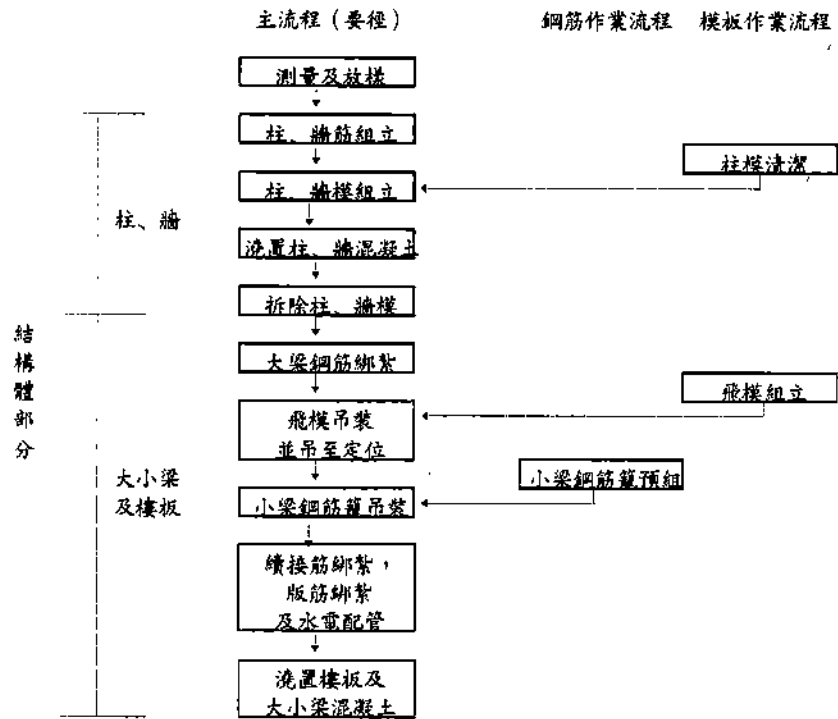


圖 3.2 結構體施工流程

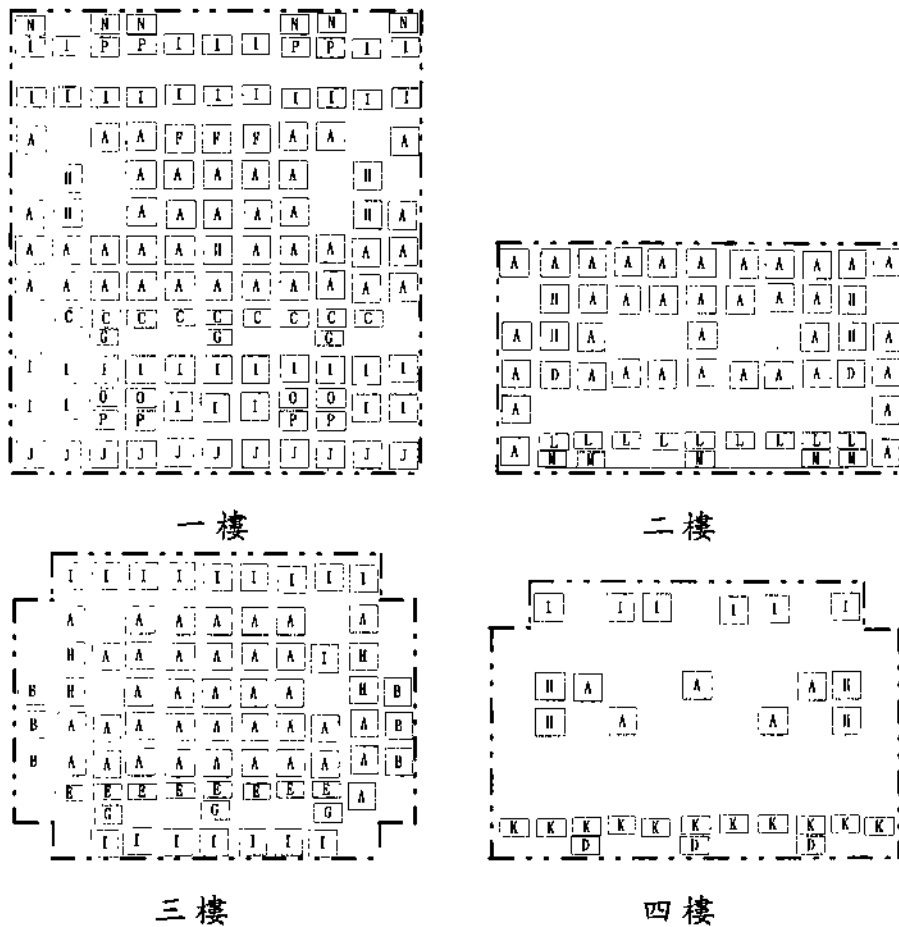


圖 3.3 航站大廈中央主體結構一至四樓模板規劃

3.2 DOKA 系統模板

一、鳳山五甲國宅工程

本個案係為台灣南部地區之集合住宅工程。其工程規模為 35 棟 7 層樓之建築工程總共 3108 戶；總工程費用約為 40 億元（含鋼筋、水泥等供應材料）。工程期限共為 700 日曆天並預定於民國 84 年 4 月完工。該工程的模板施工數量超過 2,000,000 m^2 ，模板工程費用高達 6 億餘元，佔整個建築工程費用的 18%，而且居結構工程費之首位，約佔 37%。

工程之主體結構為鋼筋混凝土造。隔間系統除外牆、戶隔間、衛浴隔間與電梯樓梯間是採用鋼筋混凝土牆外其餘皆採用紅磚隔間。另外，該工程之鋼筋係採用傳統的組紮方式施工。至於混凝土部分，則因配合模板之施工方式採柱牆與梁版分兩個階段澆置，採用機動性高之臂式混凝土壓送車進行混凝土澆置，以利移動頻繁的澆置作業(圖 3.4)。

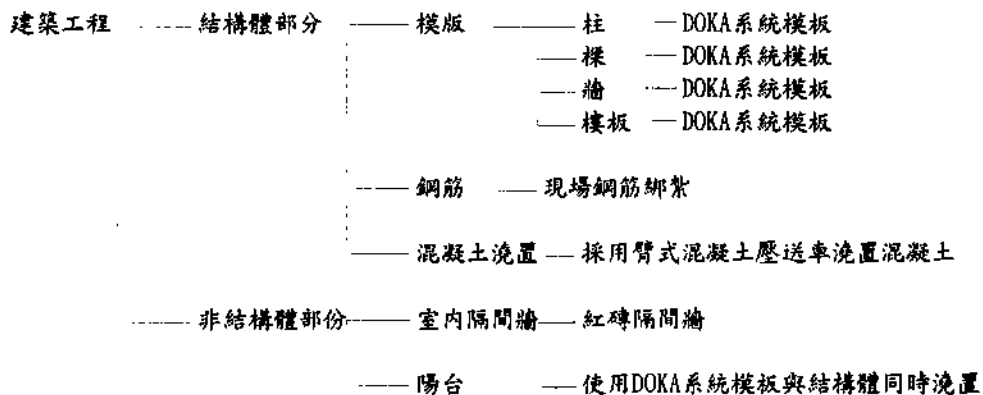


圖 3.4 鳳山五甲國宅工法體系

若以「臺灣省住宅及都市發展局工料分析準則」之傳統木製模板施工來計算【30】此個案之模板施工數量，其所需技術

工之工率為 0.21 (工/ m^2)。則本工程模板勞工的需求將達 420,000 之出工人日，假設模板施工 525 工作天 ($700 \times 3/4 = 525$) 則其約需要於 800 位之模板工出工 525 個工作天。如此高數量的工人不僅難以募集，更形成工地管理之困擾。為避免模板技術工之招募不易及維持工程的目標，該工程施工單位經整體評估之後，引進德國預組化及模矩化的柱牆模板系統，而梁版下方的空間因受既存 RC 牆的阻隔，使得該工程無法採用大型的飛模系統，僅能採用架構式小單元的模板系統組件來進行模板施工。該工程施工規劃將 35 棟的結構工程分割為三個階段來施工，又因工程條件的變更而改變原來的模板運轉工作。本個案系統模板原預定之進度係以每十六天完成梁版結構來規劃，其模板轉用規劃在柱牆工程方面，以 2 梯棟（包含可拆成二座 2 梯棟的 4 梯連棟）或 3 梯連棟各為二套模板。其一套模板之定義係為足夠單棟單層柱牆所需之模板量。同一期工程一套柱牆模板於三棟建築上轉用。在梁版作業方面：以 2 梯棟（包含可拆成二座 2 梯棟的 4 梯連棟）或 3 梯連棟各為二套模板。其一套模板之定義係為足夠單棟單層梁版所需之模板量。同一期工程一套梁版模板僅於單棟建築上轉用。

根據前述之模板套數的分配原則，一套柱牆模板應配合三套梁版模板，形成一完整的全套模板。而一套完整之模板在同期內負責三棟結構之模板施工。

上述系統模板僅用於上部結構，而其下部結構包括基礎及地下室仍採用傳統模板施工。而同時廠商有 12 座 2 梯棟採用傳統模板施工。其材料係由各棟構築下部結構所用之模板材料。

二、新竹梅竹山莊個案

本個案係新竹市內近臨國立交通大學與清華大學之住商混合大樓，由德利建設股份有限公司投資興建，林漢章建築師事務所設計，志成營造承包，而水電工程採用外包，總工期從民國八十三年四月至民國八十五年六月，總共兩年兩個月。工程分為甲、乙、丙三區、A~H八大棟，地下三層、地上二十一層的鋼筋混凝土建築工程，總樓版面積為118730平方公尺，如圖3.5。而其中地下二樓為商場，地下一、三樓為停車場，而地上一樓為商場，其他為集合住宅。其工程外觀如圖3.6所示。

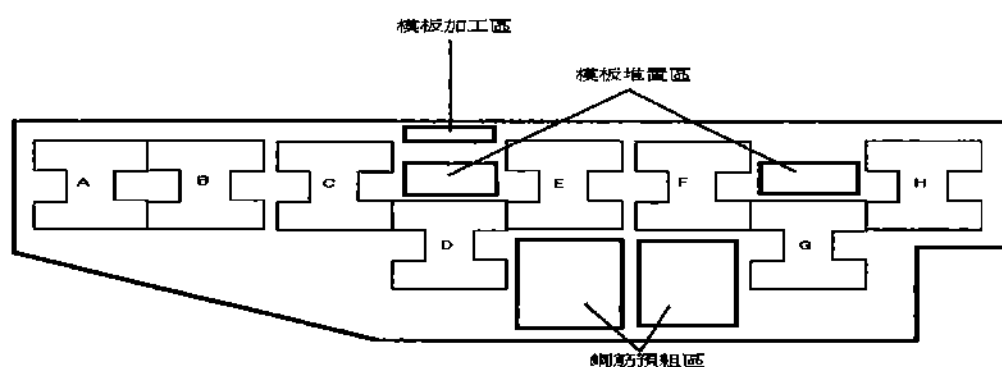


圖 3.5 作業現場配置

本個案的施工方法採用的工法系統架構可分為結構體與非結構體兩部分來說明，如圖3.6。

建築工程	結構體部	模板	柱	採用DOKA系統模板
			樑	採用DOKA系統模板
			牆	採用DOKA系統模板
				及部分外牆採用爬模系統模
			樓版	採用DOKA系統模板
	鋼筋	柱	使用工地預組之鋼筋籠	
		牆	工廠生產之點焊鋼筋網綁紮	
		樑	現場鋼筋綁紮	
		樓版	工廠生產之點焊鋼筋網綁紮	
		混凝土澆置	垂直結構	採用吊桶澆置混凝土
水平結構	採用泵浦車澆置混凝土			
非結構體部分	室內隔間牆	採用矽酸鈣板隔間牆		
	樓梯	傳統工法施工		
	陽台	使用DOKA系統模板與結構體同時澆置		

圖 3.6 工法體系

在結構體方面，模板部分採用引進於德國之 DOKA 木質系統模板，在現場吊、組裝施工。鋼筋部分之柱構件採用工地現場預的鋼筋籠吊裝。牆和樓版構件採用工廠生產的點焊鋼筋網現場鋪放，大小樑則採用現場鋼筋綁紮。混凝土部分，混合採用吊桶和泵送的方式。在非結構體規劃與施工方面，樓梯採用傳統施工方法，室內隔間牆採用矽酸鈣板隔間牆。陽台則使用 DOKA 系統模板與結構體同時澆置。本個案標準層結構體施工流程（要徑）及平行作業配合狀況如圖 3.78 所示。

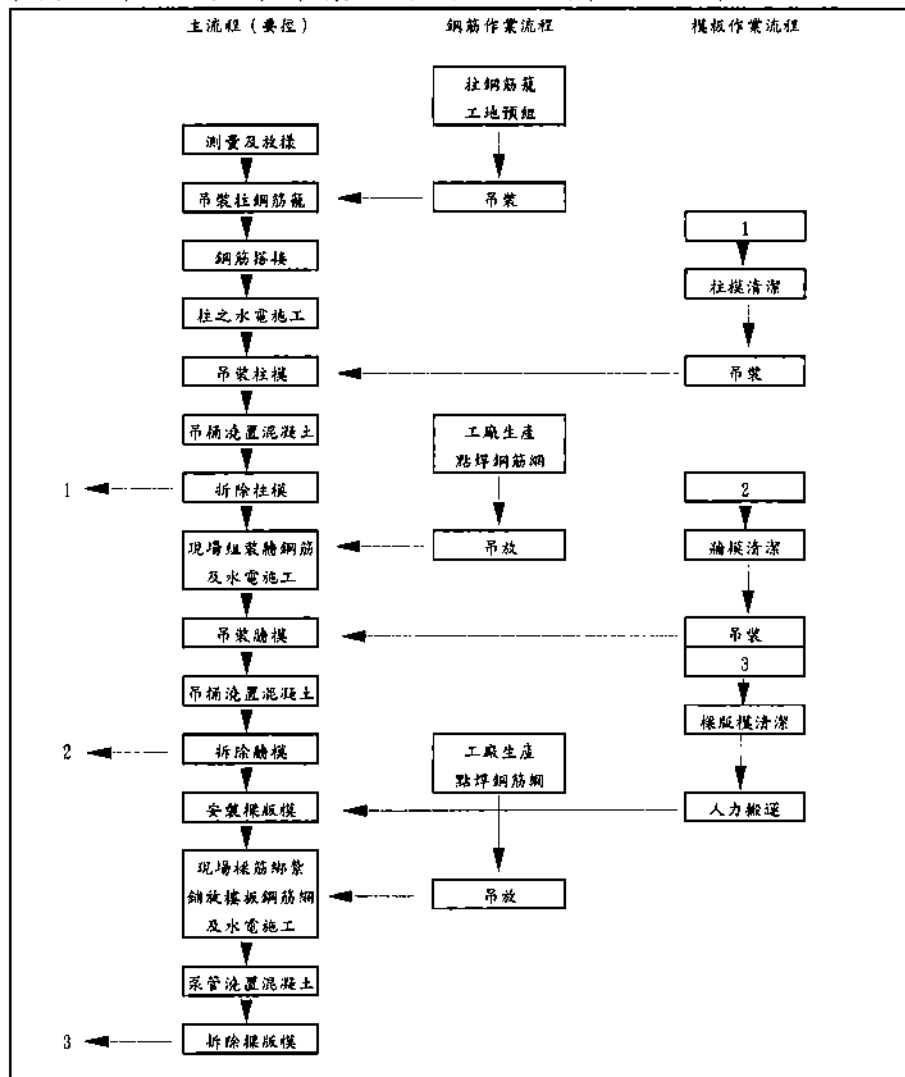


圖 3.7 主體施工流程

其中由於系統模板的組裝容易，且所需組裝工人主要為吊

裝人員；加上大部份鋼筋工程採用現場預組吊裝之鋼筋籠與工廠生產之點焊鋼筋網施工，所以要徑作業主要為吊裝與混凝土澆置作業。而非結構體的施工大多亦可隨每層結構體之施工後即重疊平行推進。如此可以減少要徑作業而縮短工期並且減少現場技術人力需求增加施工性。

3.3 EIW 系統模板

本個案係台北縣八里鄉濱臨淡水河之集合住宅大樓，由福星育樂公司投資興建，李祖原建築師事務所設計，互助營造工程有限公司施工。其基地內含集合住宅大樓三棟，其中兩棟為 SRC 結構，一棟為 RC 結構，而僅其中一棟 SRC 結構者以系統模板工法施工，故本文擬以採用系統模板施工之大樓為主要研討對象。個案之工程規模為地下 4 層地上 29 層之鋼骨鋼筋混凝土構造物，建築工程總樓板面積約為 5 萬平方公尺。本工程系統架構主要可分為結構體及非結構體兩部分說明如圖 3.8。

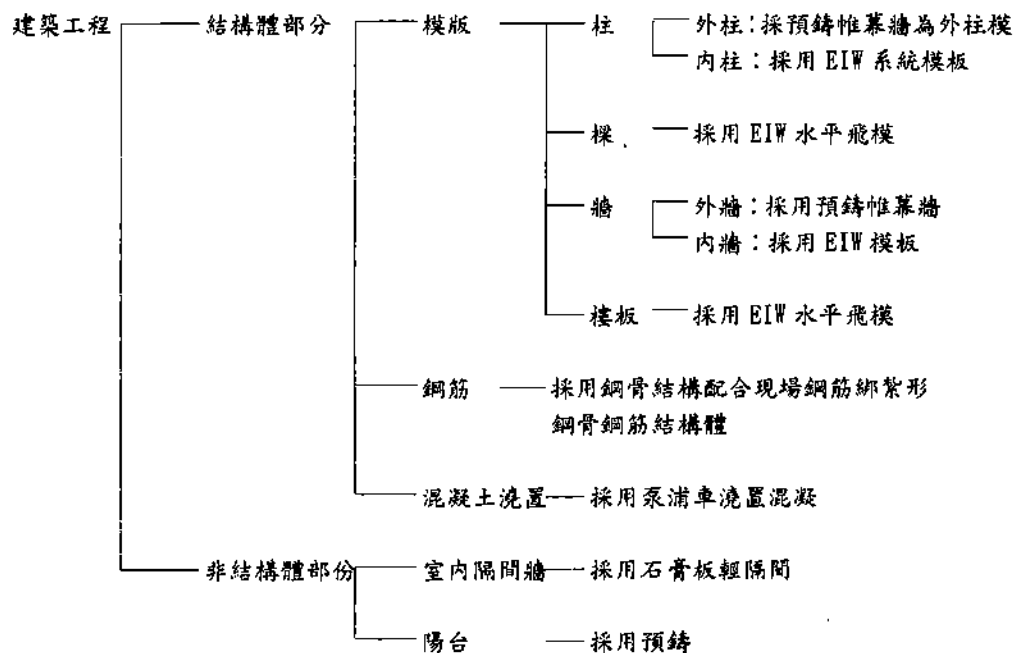


圖 3.8 工法體系概要

其施工方式在結構體方面為鋼骨構架，配合現場鋼筋綁紮以形成鋼骨鋼筋結構體。並配合系統模版及預鑄帷幕牆之使用，以構築建築物之主體結構。採用之模板系統於梁、版、牆與內柱四部份主要為規格化木質面板、鋁合金背撐及鋼管支撐等相關配件所組合成之 EIW 系統模板，再配合電梯間及樓梯等小部份傳統模板之使用，而外柱模板及外牆部份則將預鑄帷幕牆作為免拆除模板使用。在非結構體工程部分，室內隔間牆採用石膏板輕質隔間牆施工，而陽台則以工廠全預鑄構件施工。標準層結構物之施工流程如圖 3.9 所示。其中飛模系統之組立及預鑄帷幕牆等皆可於地面及工廠預先施工，故要徑作業主要為現場鋼筋綁紮及垂直模版組立與混凝土澆置。而非結構體的施工大多亦隨每層結構體之施工後即重疊平行推進。

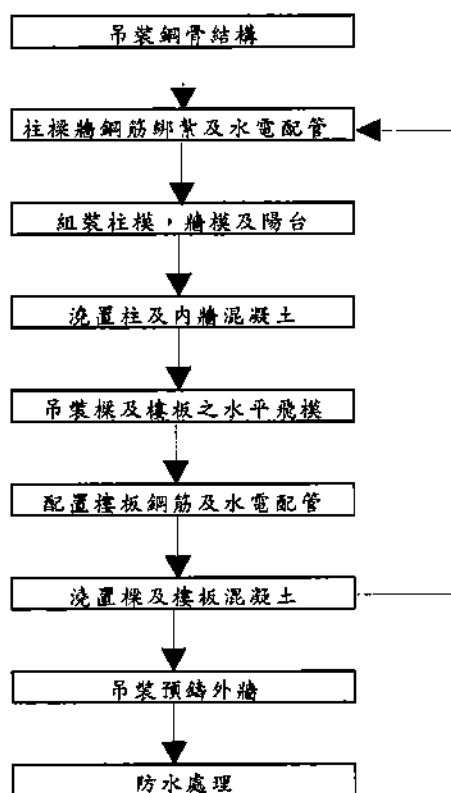


圖 3.9 標準程結構體施工流程

3.4 HUNNEBECK 系統模板

本個案係楊梅地區集合住宅工程，由太平洋建設股份有限公司投資興建並負責施工，潘冀建築師事務所設計監造。其基地內興建大規模低樓層的別墅住宅及少部分的高層住宅大樓，工程可概分為 A、B、C、D 四區，本期施工計 528 戶，銷售額約 26 億，工程造價約 13 至 14 億。

與傳統工法相較下，本個案工法系統架構可分為結構體與非結構體二部份來說明，如圖 3.10 所示。在結構體部分本個案特色是採用德國 HUNNEBECK 系統模板進行模板工程施工，鋼筋部分採傳統加工組立方式施工，混凝土澆置部分為配合系統模板柱牆、樑版二次分段澆置施工方式，採用機動性高之臂式混凝土泵送車進行，以利移動頻繁的澆置作業。在非結構體的規劃與施工方面，隔間牆部分則採用石膏磚輕隔間牆取代傳統磚牆溼式施工方式。

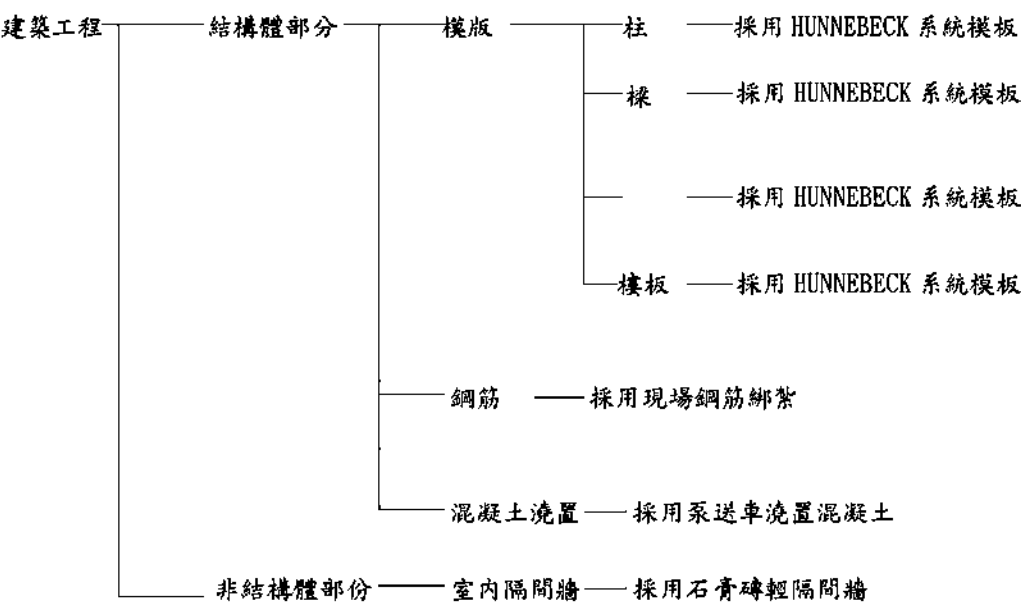


圖 3.10 楊梅 H 工程工法體系概要圖

在整體施工規劃及執行上強調多重工作面之展開，以減少要徑作業時間、縮短工期並提供較佳施工性及減少現場技術人力需求，其施工流程如圖 3.11 所示。在放樣後即進行內柱模和牆模之組立，綁紮鋼筋及水電配管完成後澆置混凝土，根據規範對垂直模板拆模規定，澆置混凝土完成隔天即可拆模，轉用至下一施工單元，此時水平模板混凝土已養護 14 天以上，符合規範對水平模板拆模時間之要求，故可拆除轉用至此單元，如此垂直與水平構件分兩次施作，而垂直模板多次轉用以等待水平模板之相互搭配，可減少垂直模板所需數量以降低材料成本。

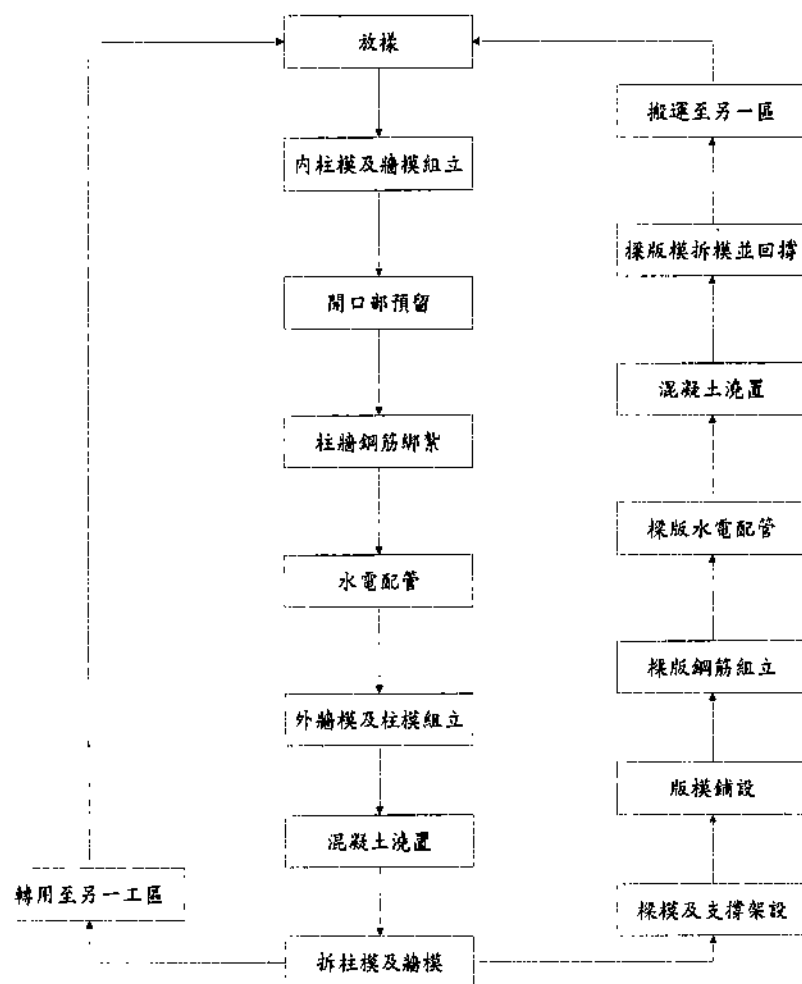


圖 3.11 施工流程

3.5 MASCON 系統模板

本個案為北部地區集合住宅工程。本工程共分四區，如圖 3.12 所示，共計 19 棟地下二至四樓，地上十至十九層之鋼筋混凝土建築工程。

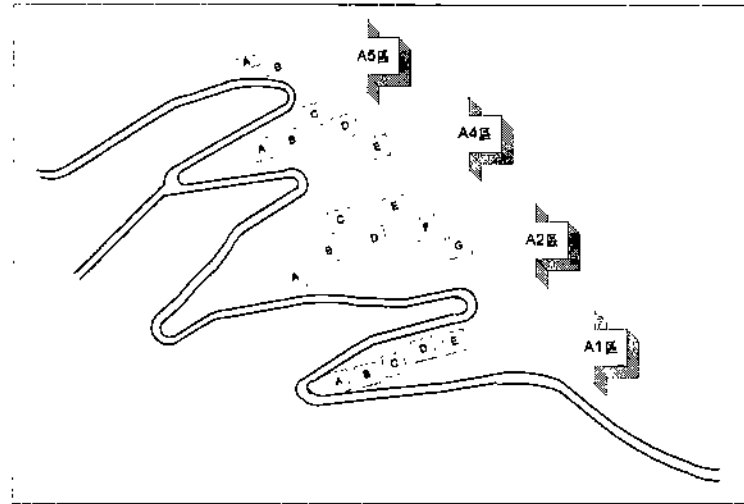


圖 3.12 新店達觀鎮基地配置圖

本個案工法的特色是在結構體部分採用加拿大 MASCON 鋁質手組式模板系統施工。由於該模板表面及結合方式能使混凝土鑄面品質相當平整而不需再行水泥砂漿粉光。同時該模板的滯留支撐系統可以提早拆模而減少模板的購置量，增加模板的轉用次數。鋼筋部分除樓版採用熔接鋼筋網外，柱、牆、梁鋼筋皆採傳統加工組立方式施工。隔間系統除外牆、隔戶牆、衛浴隔間與電梯樓梯間採用鋼筋混凝土牆外，其餘室內隔間牆皆採用輕質混凝土隔間牆。本工程工法體系除模板施工方式、熔接鋼筋網及輕隔間牆外其他工作與傳統施工方式相同(圖 3.13)。

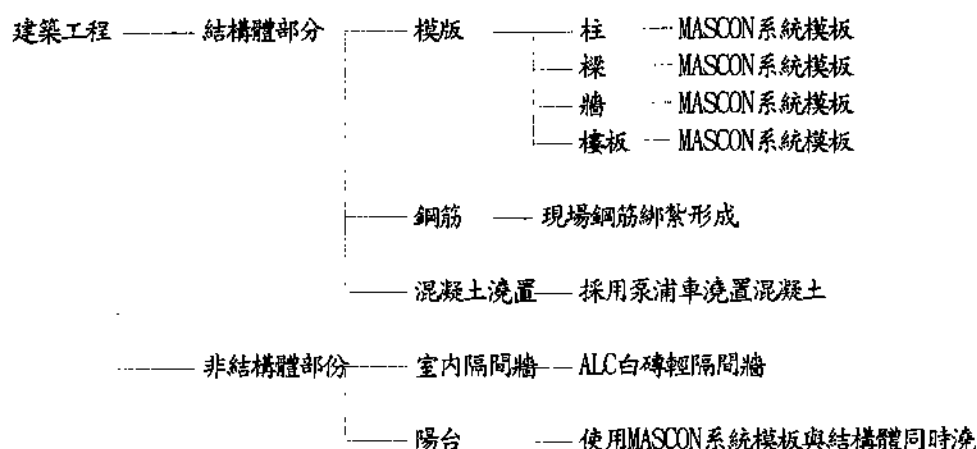


圖 3.13 新店達觀鎮工法體系

3.6 SYMONS 系統模板

本個案位於中和市連城路，為一商業辦公大樓，由嘉新水泥公司投資興建，沈祖海建築師事務所設計，建國工程股份有限公司興建。工程規模為地下二層地上十層之鋼筋混凝土建築工程，其中地下一、二層作為停車場，地上層則為商業用途，地板面積約為一萬平方公尺。本個案之工法系統架構可分為結構體及非結構體兩個部份來說明如圖 3.14。

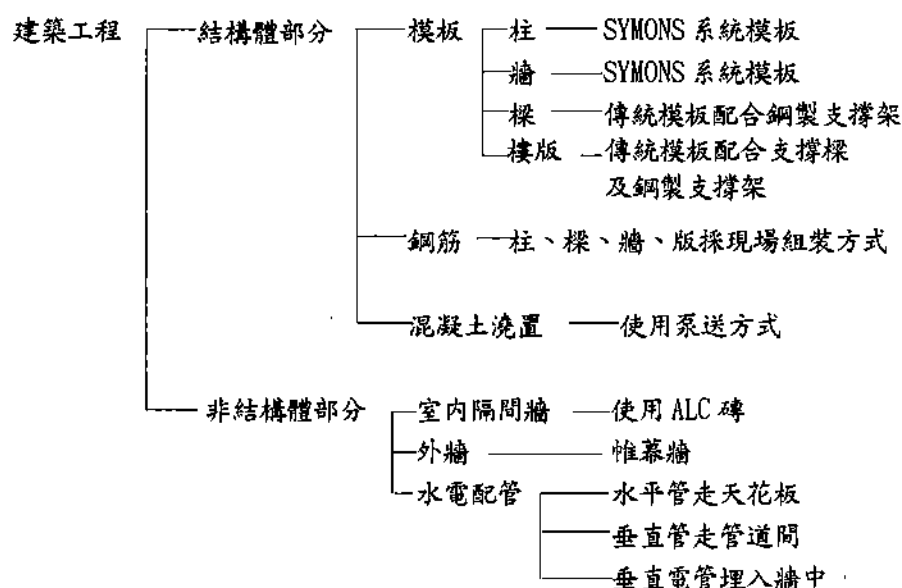


圖 3.14 中和漢偉資訊大樓工程工法體系概要

住宅及都市發展局發包，正臺壹公司承包土木工程，台南營造分包牆、柱、樓梯及各立面突出物結構工程，忠孝水電公司承包水電工程。整個工程規模為 2208 戶分屬 18 棟 12 層鋼筋混凝土建築。

本個案工法系統架構可分為結構體及非結構體兩部份來說明(圖 3.16)。在結構體部份，地下室及一樓結構體為傳統木模施工，二樓以上模板工程分為垂直模板及水平模板等兩階段施工，第一階段先完成垂直構件的牆、柱混凝土澆置，此部份採用 YH 系統模板施工，第二階段再完成水平構件之樑、版混凝土澆置，模板以傳統木模為主。鋼筋工程中牆鋼筋係採用現場預組點焊吊裝方式，以配合垂直構件部份之 YH 系統模板施工，其餘結構體部份鋼筋工程仍採取現地綁紮施工。混凝土工程分為現場預鑄及現場澆置兩種方式，現場預鑄構件包括樓梯、花台、注。非結構體之隔間牆部分，無論隔戶或隔間均採取鋼筋混凝土牆設計，於是在垂直構件澆置時就已連同柱一次澆置完成，故不須再做隔間牆發包施工。

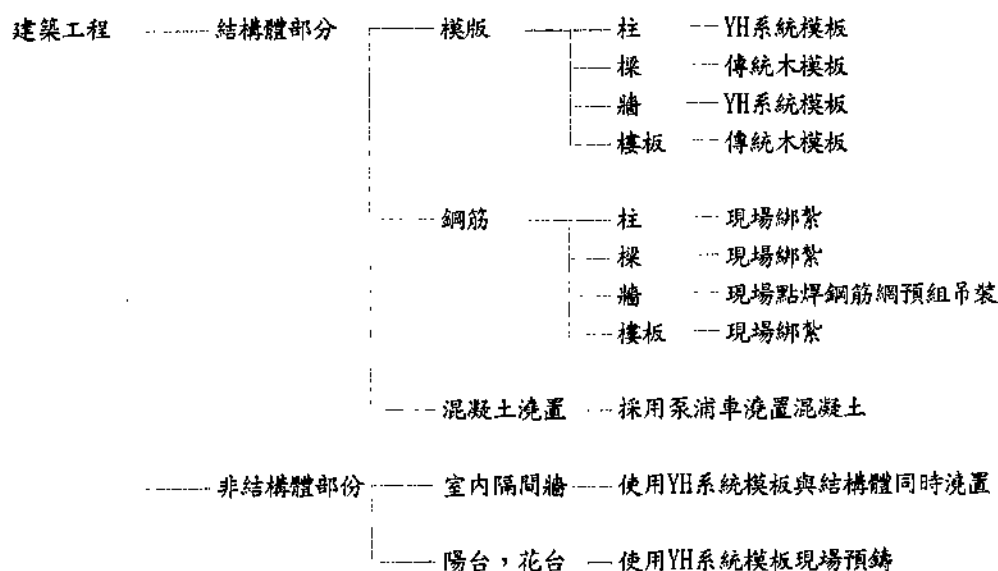


圖 3.16 工法體系概要

在整體施工規劃及執行上強調多重工作面之展開，以減少要徑作業、縮短工期並提供較佳施工性及減少現場技術人力需求。其標準樓層之結構體施工主流程（要徑）及平行作業配合狀況詳圖3.17。其中鋼模板初步組合作業及牆鋼筋之點焊預組作業以及鋼筋混凝土牆中之門窗框預嵌皆可在地面上預先施工或工廠事前組裝完成，要徑作業主要為吊裝及混凝土之澆置作業。而非結構體的構件，隨每層結構體之施工平行推進預鑄完成。為詳細討論本工法之特性，以下分章探討其模板系統、鋼筋組立工法和預鑄工法等工法特色，最後透過綜合討論來分析各部分值得參考與推廣之特色及需注意之問題。

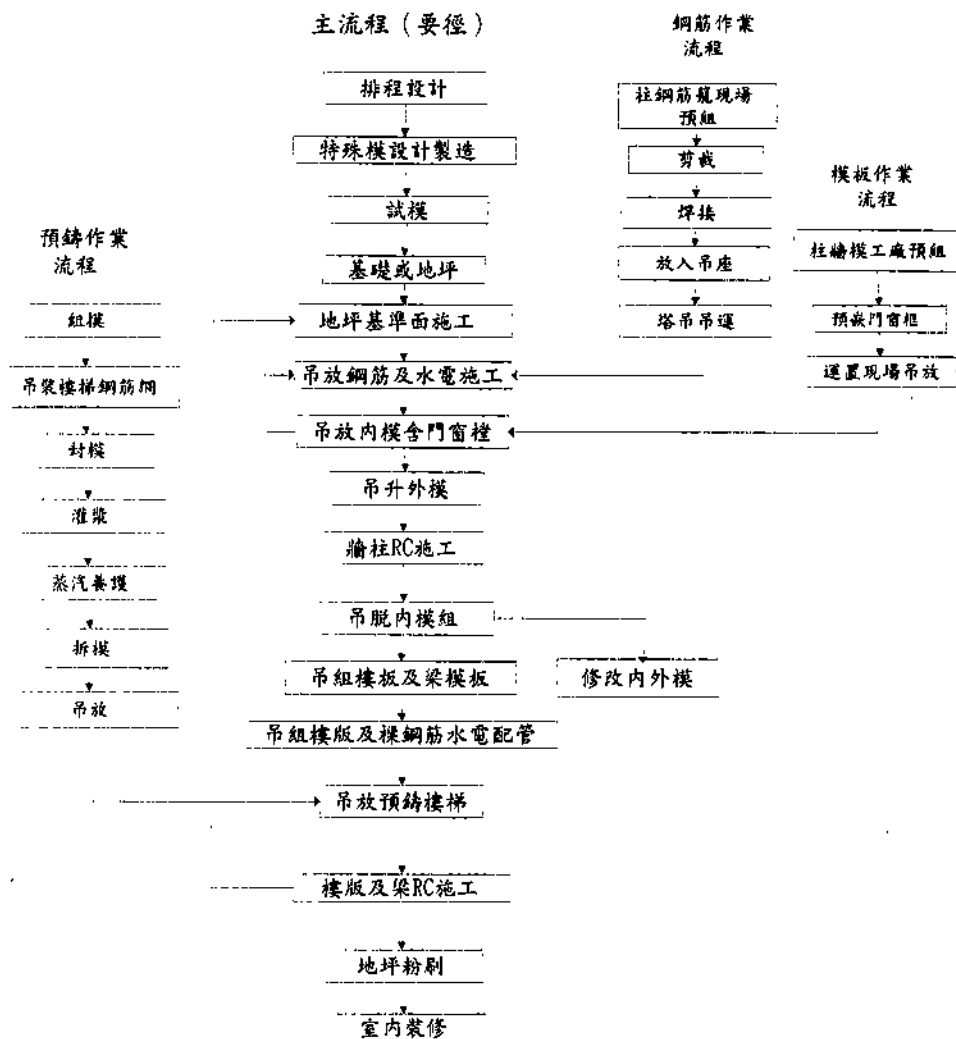


圖 3.17 結構體施工流程

3.8 大漢(DH)系統模板

本個案係台北縣五股鄉水碓重劃區內德音國小旁之集合住宅，由大漢建設股份有限公司投資興建，黃文生建築師事務所設計監造，進煌營造股份有限公司承造。工程規模為三棟地下一層、地上七層及二棟地下一層、地上六層之鋼筋混凝土構造，基地面積約 3350M²，總樓地板面積約 9195M²。

本個案工法的特色在於結構體部份採用人工搬運之 DH 鋁質手組式模板系統施工。由於該模板能使混凝土鑄面品質相當平整而不需再行水泥砂漿粉光。同時模板的滯留支撐可提早拆模而減少模板的購置量，增加模板的轉用次數。鋼筋部份採用傳統現場加工組立的方式施工(圖 3.18)。

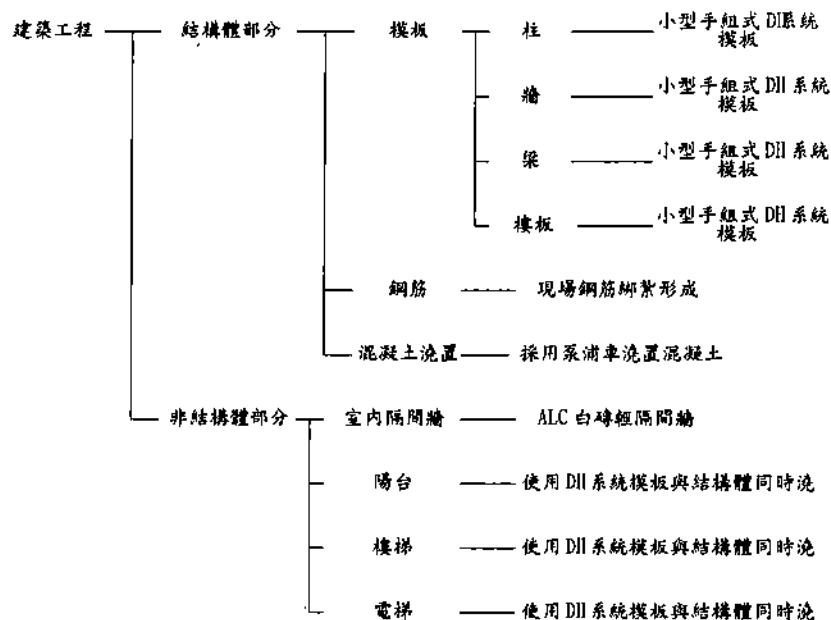


圖 3.18 工法體系

本個案之施工流程，大致與傳統工程類似，柱、牆、梁、版、樓梯等一次澆置，可以免除其他系統模板需二次澆置及施工縫的問題。其與傳統施工方式最大的不同在於事前需根據圖

說進行模板規劃與製作，當模板運至工地現場時，由於模矩化設計及簡易之固結裝置，施工前模板工人經短期訓練，只要利用簡單的手工具即可進行模板組裝工作。

3.9 佳承系統模板

本個案係位於桃園市內縱貫路旁之住商混合大樓，由宏國建設關係企業－林三號企業股份有限公司投資興建，李祖原建築師事務所建築設計，佳承建設股份有限公司統包承攬施工。本工程規模為地下一層及地上十七層；其建築物用途為地下層停車場，一層為商場，二至十七層為集合住宅；總樓地板面積約為 46000 m²，總工期為一年兩個月。

本工程之工法體系分別以結構體、非結構體兩部份來說明（圖 3.19）。結構體方面：模板工程之樑、版等水平構件採用飛模系統；而柱、牆等垂直構件採用大型化預組式模板，配合塔吊系統進行模板之拆組作業；地下室及樓梯間部分牆面則採用傳統模板方式施工。鋼筋工程之樓板鋼筋採用點焊鋼筋網，柱、牆、樑鋼筋為現場綁紮組立；混凝土工程之樓板澆置採用泵浦壓送方式，柱、牆部分採用吊桶澆置方式。樓梯除部份以傳統模板施工外，皆採用混凝土預鑄方式。非結構體方面：外牆採用預鑄 PC 帷幕牆。隔戶牆採用石膏板面加矽酸鈣板，內填礦纖吸音棉；隔間牆部分採用石膏板填充礦纖吸音棉。地板採用磁磚及人造大理石。內牆面採用貼壁紙或漆水泥漆。外牆裝修基座部分貼大理石，其餘部分噴磁石。門窗皆為隔音鋁門窗；室內空調設備採用風扇冷卻系統換氣方式。

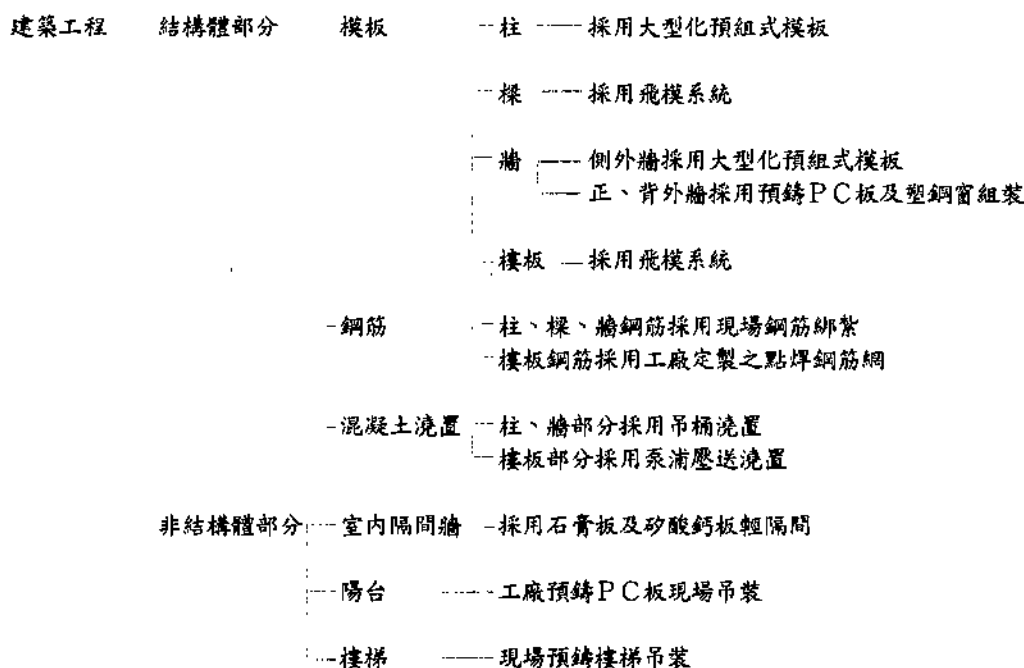


圖 3.19 工法體系概要

本個程為鋼筋混凝土構造之住商大樓，全區由數棟建築物連貫，整體規劃分為七個工作區水平重複循環施工，各區依工作項目及工作進度逐區、逐層循環施作，在良好的施工管理下，達到勞務拉平、縮短工期之目的。

3.10 中屋系統模板

本個案係桃園市中正特區之住商混合大樓，由中屋建設投資興建，侯西泉、張秀龍建築師事務所設計，中屋營造工程股份有限公司興建。工程規模為地下三層、地上A、B棟為十九層而C棟為二十層之鋼筋混凝土建築工程，總樓地板面積約為一萬七千平方公尺。

與傳統施工法相較下，本個案工法系統架構可分為結構體及非結構體兩部份來說明如圖3.20。在結構體部分，柱、大梁、牆採用鋼模系統為主，配合半預鑄小梁使用浪型之鍍鋅鋼承板

作為樓版模板。鋼筋部份其柱、梁採用工地現場綁紮，牆面鋼模預組及樓版鋼筋採用工廠生產之點焊鋼筋網配合現場吊裝。混凝土澆置柱、梁、牆採用吊桶澆置，樓版則採用泵送管澆置。在非結構體的規劃與施工方面，隔間牆部分以ALC乾式施工隔間方式取代傳統磚牆之溼式施工方法，地板與天花板部分分別採用高架木地板與輕鋼架天花板，將水平管線配置於高架木地板及天花板之空間中。外牆裝修部分則採用清水混凝土表面及面磚預貼工法配合鋼模施作。

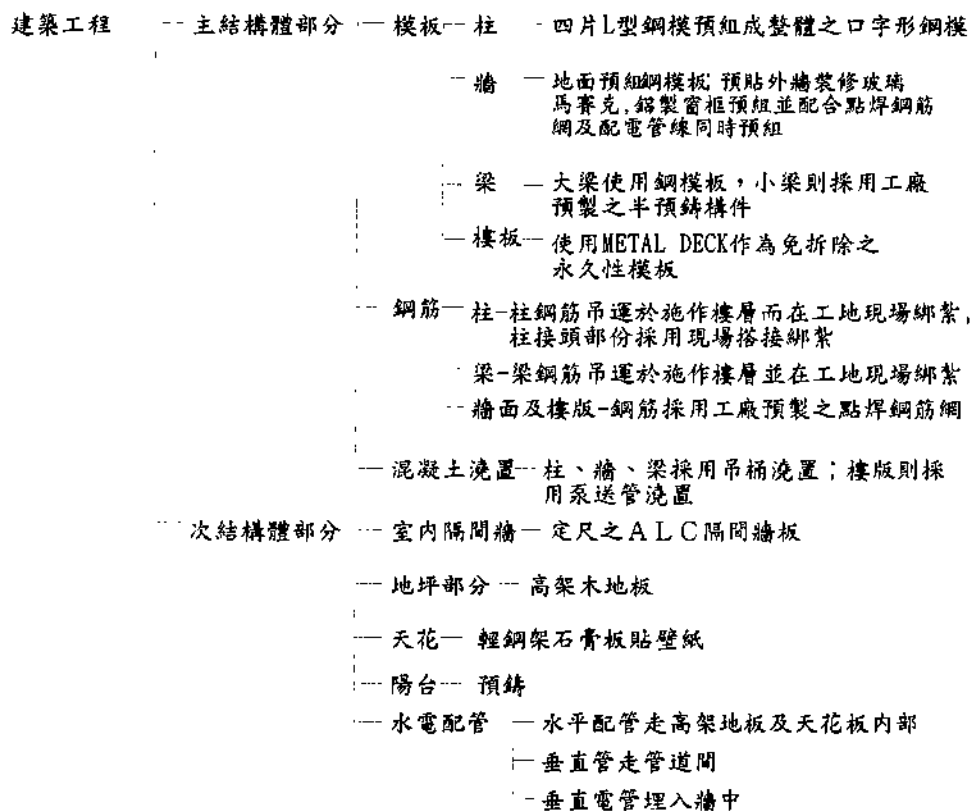


圖 3.20 中正綠園邸複合化體系架構

該個案於現場A、B、C三棟分成六個施作區域，其轉用計畫按A→C→B（圖3.21），牆模、大梁模有三套而柱模有兩套，在施工規劃及執行上採用多重工作面併行展開，以減少要徑作業、縮短要徑時間並提供較佳施工性及減少現場技術人力需

求。其標準樓層之結構體施工主流程（要徑）及模板預組之平行作業配合狀況詳圖3.22。其中鋼模板及鋼筋之初步組合作業以及鋼筋混凝土牆中之管線、門窗框及外牆馬賽克皆可在地面上預先施工，要徑作業主要為吊裝及混凝土之澆置作業。而非結構體的施工大多亦可隨每層結構體之施工後即重疊平行推進。由於本個案係針對個案之特殊條件研究發展最合適的工法，以減少技術勞力需求、確保品質、縮短施工時間、保障施工安全及減少環境污染，係複合化工法的精神所在，亦符合營建自動化之重要發展程序。

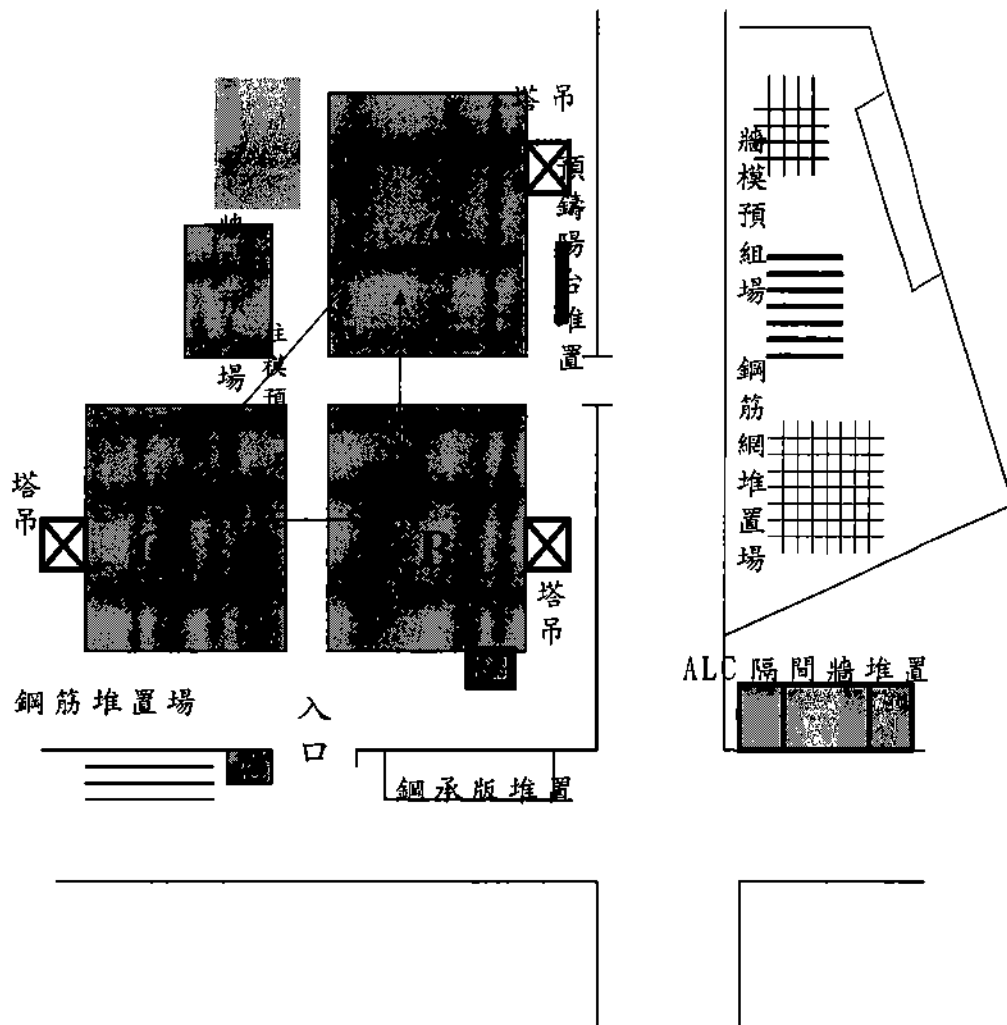


圖 3.21 水平循環分區平面圖

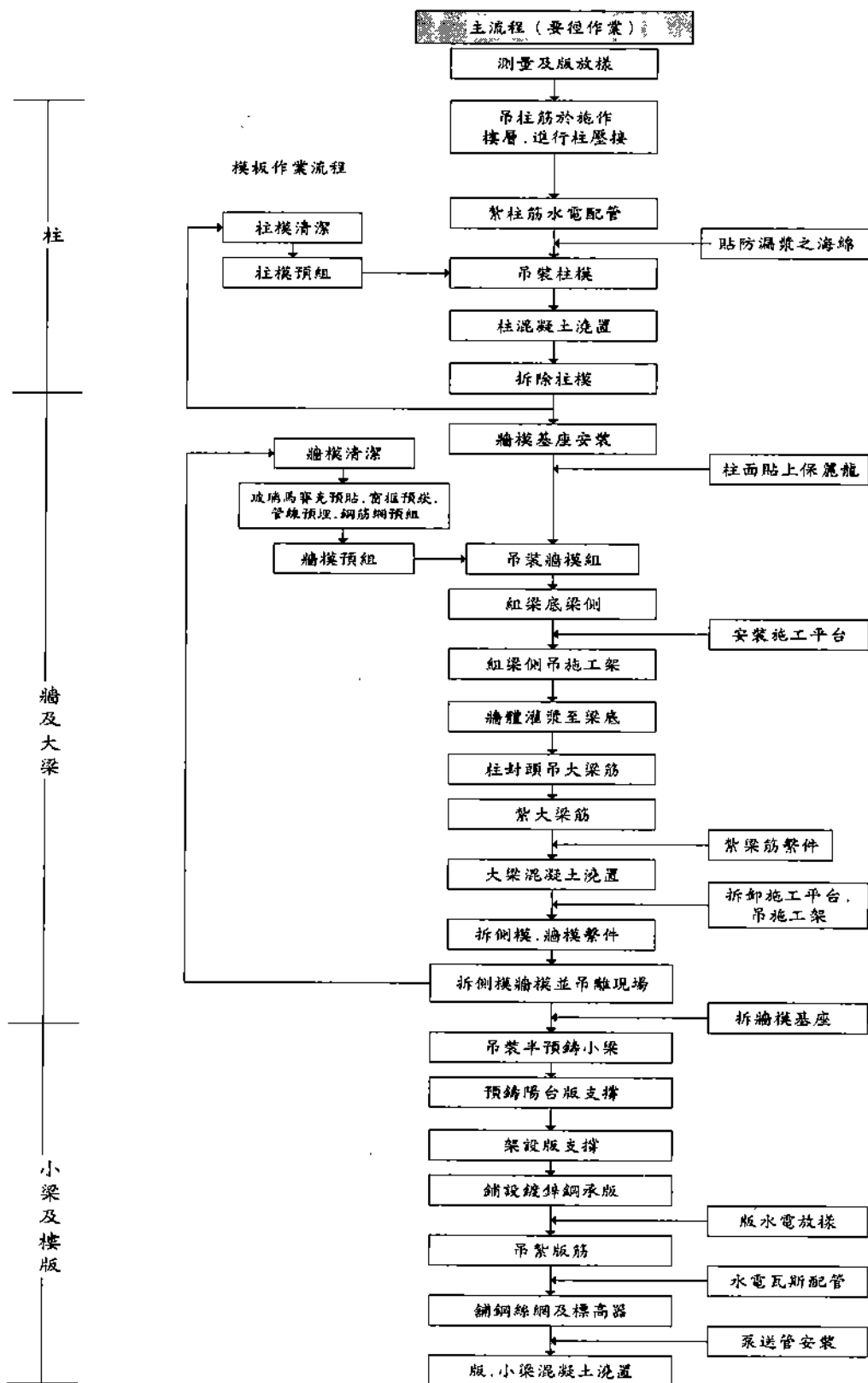


圖 3.22 標準層結構體施工流程

為求減少模板準備套數以降低固定投資成本，本個案再將 A、B、C 水平分區各再細分一半，並依據標準層結構體施工流程，將各作業以半日工作量為單位細分出 30 個作業項目，此 30 個作業項目各有其工班於 A1~A6 等六區水平及垂直循環施作(表 3.2)，如此可使工人每日均可出工，減少工人進出工地所造成之生產力損失，提高工人之學習率，並可進行勞務資源拉平計劃以提高現場施作生產力。

表 3.2 半日各分區循環作業項目

		A1	A2	B1	B2	C1	C2
四	上午	鋪鋼絲網標高器	牆RC	吊鋪DECK	吊牆模標側	版放樣	紮大樑筋
	下午	版RC	柱封頭吊大樑筋	版水電放樣	吊牆模標側	吊柱筋	紮大樑筋
五	上午	版放樣	紮大樑筋	吊紮版筋	組標底模側	柱壓接	塔吊爬升
	下午	吊柱筋	紮大樑筋	水電瓦斯配管	組標側吊施工架	紮柱筋水電配管	塔吊爬升
六	上午	柱壓接	紮大樑筋	鋪鋼絲網標高器	牆RC	紮柱筋水電配管	塔吊爬升
	下午	紮柱筋水電配管	紮樑筋繫件	版RC	柱封頭吊大樑筋	塔吊爬升	塔吊爬升
日	上午	紮柱筋水電配管	大樑RC	版放樣	紮大樑筋	塔吊爬升	塔吊爬升
	下午	柱模組立	大樑RC施工架	吊柱筋	紮大樑筋	塔吊爬升	塔吊爬升
一	上午	柱RC	拆繫件側模	柱壓接	紮大樑筋	紮柱筋水電配管	塔吊爬升
	下午	柱RC	拆側模牆模	紮柱筋水電配管	紮樑筋繫件	柱模組立	塔吊爬升
二	上午	拆柱模	拆基座	紮柱筋水電配管	大樑RC	柱RC	紮大樑筋
	下午	基座安裝	吊預鑄小樑	柱模組立	大樑RC施工架	柱RC	紮樑筋繫件
三	上午	基座安裝	陽台版支撐	柱RC	拆繫件側模	拆柱模	大樑RC
	下午	基座安裝	版支撐	柱RC	拆側模牆模	基座安裝	大樑RC施工架
四	上午	吊牆模標側	吊鋪DECK	拆柱模	拆基座	基座安裝	拆繫件側模
	下午	吊牆模標側	版水電放樣	基座安裝	吊預鑄小樑	基座安裝	拆側模牆模

3.11 系統模板特色分析

將系統模板個案調查結果分析整理，依照各系統材料及施工特點，分別建立各系統特色分析如表 3.2、3.3，可作為系統模板施工排程規劃初期之參考依據。

表 3.3 模板系統特色分析(一)

項目		ALUMA	DR	DOKA	EIW	HUNNEBECK
使用材料	面版	印尼面版	鋁合金面版	芬蘭板	印尼面版	芬蘭板
	背撐材	鋁合金貫材	鋁合金框架	Timer beam木樑	鋁合金貫材	Timer beam木樑
	支撐材	鋼材	鋁合金支撐	鋼製品	鋼材	鋼製品
	組件繫材	鋼製品	鋼製零配件	鋼製品	鋼製品	鋼製品
施工方式		構件預組式	框架手組式	構件預組式	構件預組式	構件預組式
施工特點	構件預組	◎	○	◎	◎	◎
	預貼面磚	○	○	○	○	○
	預嵌鋁窗	○	○	○	○	○
	鋼筋與水電配合預組	○	○	○	○	○
	滯留支撐	×	◎	×	×	×
	永久模板	○	×	×	○	×
	對揚重設備之依賴	○	×	○	○	○
	缺乏造型變化之適應能力	○	×	○	○	○
使用實績		機場航站大廈	經國法國	五甲國宅、梅竹山莊	八里福星	陽光加州

◎具有該特點 ○可有部份之特點 ×未具該特點

表 3.4 模板系統特色分析(二)

項目		MASCON	SYMONS	YH(垂直模板)	佳承	中屋
使用材料	面版	鋁合金面版	木質面版	鋼板	印尼面版	鋼板
	背撐材	鋁合金框架	鐵質框架	鋼製貫材	鋁合金貫材	鋼製貫材
	支撐材	鋁合金支撐	木質角材	鋼材支撐	鋼材	鋼材支撐
	組件繫材	鋼製零配件	鋼製零配件	無	鋼製品	鋼製品
施工方式		框架手組式	框架手組式	構件預組式	構件預組式	構件預組式
施工特點	構件預組	○	○	◎	◎	◎
	預貼面磚	○	○	○	○	◎
	預嵌鋁窗	○	○	○	○	◎
	鋼筋與水電配合預組	○	○	◎	○	◎
	滯留支撐	◎	×	×	×	◎
	永久模板	×	×	×	○	◎
	對揚重設備之依賴	×	×	◎	○	◎
	缺乏造型變化之適應能力	×	×	◎	○	◎
使用實績		遠觀鎮	漢偉資訊	國安國宅	宏國居易	中友生活家

◎具有該特點 ○可有部份之特點 ×未具該特點

第四章 系統模板施工排程規劃

根據系統模板實績現況調查整理，可將系統模板依照其系統特性區分為大片預組吊裝式、框型手組式等兩類。其中大片式系統模板因其施工特性可考慮採用重複性施工規劃排程，框式模板則以傳統規劃為佳。本研究主要針對大片預組吊裝式系統模板之模式建構。先採用線性平衡排程技術(LOB)，分析建構大片預組吊裝式系統模板之施工排程規劃模式，而後再以二維動態規劃模式，分析建構當工率隨樓層函數變化時之系統模板施工排程規劃模式。最後再根據模式進而研擬出一套系統模板施工排程規劃策略。

4.1 重複性施工系統模板之排程規劃

重複性施工系統模板可簡單地將 ALUMA 系統模板、DOKA 系統模板、EIW 系統模板、HUNNEBECK 系統模板、SYMONS 系統模板、YH 系統模板、中屋系統模板、佳承系統模板等八種大片式預組吊裝系統歸納成此類。

在系統模板實際案例調查發現，此類大片式預組吊裝系統模板通常採用垂直構件與水平構件兩次分別施作規畫，主要係考量規範規定水平模板之可拆模時間遠大於垂直模板之可拆模時間，利用垂直模板與水平模板拆模時間的差距，增加垂直模板之重複轉用次數，藉由少量購置大量轉用之策略【3】，可減少系統模板材料準備數量而降低固定成本，同時可進行勞務資源拉平計畫，降低尖峰工人需求，減少工人斷續進場所造成之生產力工時損失及現場因工人過度擁擠而造成之生產力降低等情況。

大片式預組系統模板在搬運組裝時，考量其大片預組單元之單位重量大，須仰賴塔吊等大型吊裝機具進行施作。在以吊裝設備進行施工作業之現場工地，極易受外在環境(如風力)之影響而造成施工效率之降低。另外，塔吊隨樓層高度的增加，須作週期性之爬升作業而造成仰賴塔吊搬運施工作業之停頓，減少作業時間延誤工期。另外，大型化預組系統模板之技術性與傳統木模施作方式差異較大，工人進場後須時間熟練其施工技術，造成施作工率沿學習次數之成長而作倍數之降低【3】。由以上施工特性得知，系統模板工率隨外在環境、樓層高度及施作次數作變化。一般系統模板在規劃排程時，將工率設定為定值以簡化模式卻偏離現實，故下章節將進一步探討考量工率變化時之施工排程模式。

4.1.1 施工排程模式建構

大片式預組系統模板施工規劃，一般採用水平與垂直構件二次施作方式施工。營造廠為減少界面增加造成之工種牽制及充分控制轉用計畫時間，通常以統包方式而不分包出去，各工程均自行點工施作以充分配合系統模板之轉用計畫。有鑑於此，本文在系統模板施工排程模式建構時，將以前者之角度定位進行排程模式推導建構，期望能建構出一套符合系統模板現實施工狀況之最佳排程模式。

大片式預組系統模板排程模式之建構步驟為：重複循環作業規劃、工程分區規劃、水平分區各作業循環工期規劃、各作業理論最佳工組數計算、各作業實際最佳工組數計算、各作業實際工期計算、排程規劃最佳化之成本分析及線性平衡施工排程進度圖繪製等八項步驟，現就其假設條件及各步驟順序分別

詳述之。

一、假設條件

此模式建構之假設限制條件包括：垂直模板之轉用分區不受材料數量及建物形狀特性影響，塔吊充分服務各所需作業，不因塔吊數量、能量影響作業工率，各作業邏輯先後關係非絕對先後順序而允許部份平行施工，水平模板與垂直模板工組互相獨立，各作業接續施工無作業界面間隔時間，實際垂直模板轉用天數趨近於預定垂直模板轉用循環天數且預留寬放時間，單位工時以八小時計算，未限定單一作業須以每日為單位亦可以半天為最小單位，勞務生產力降低損失假設為當每位工人間隔進場時須損失一小時之工時等八項。

二、重複循環作業規劃

根據個案實際規劃設計狀況，將整體工程中各所需完成作業以網圖邏輯關係進行分析檢討，然後依各作業間前後順序關係及作業施工特性，訂定單位重複循環之各作業細目、各作業施工數量及各作業相對工率。

三、工程分區規劃

工程分區數之決定須考慮因素包括最佳施工分區面積、現場設計平面圖(對稱性、模矩大小)、模板準備數量、重複循環作業之整數倍數等因素。

在最佳施工分區面積方面，主要係考慮各作業工種實際工

人出工數須為大於理論工組數之最小整數，而其無條件進入時必將造成出工組數之損耗，其相關計算公式如下：

$$A_d = \frac{A}{N_{Ad}} \dots\dots\dots (4-1)$$

$$W_{ci} = R_{wi} \times A_d \dots\dots\dots (4-2)$$

$$W_{ti} = f(W_{ci}) \dots\dots\dots (4-3)$$

$$N_{wi} = \sum_{i=1}^n (W_{ti} - W_{ci}) \dots\dots\dots (4-4)$$

$$C_{wi} = \sum_{i=1}^n (W_{ti} - W_{ci}) \times F_{wi} \dots\dots\dots (4-5)$$

$$R_{wi} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{W_{ti}}{W_{ci}} - 1 \right) \dots\dots\dots (4-6)$$

A_d :分區面積(m^2)

A :樓層階段單元面積(m^2)

N_{Ad} :水平分區數(區)

W_{ci} :各作業理論出工數(人日)

R_{wi} :各作業工種之工率值(人日/面積 m^2)

W_{ti} :各作業實際出工數(人日)

f_x :X變數值之小數無條件進入

F_{wi} :各作業工種工資(元/人日)

N_{wi} :分區各作業工組數損耗總和(人日)

C_{wi} :分區各作業工組損耗成本總和(元)

R_{wi} :分區各作業工組損耗總和比例

i :各作業項目編碼

最佳分區面積規劃方式可分為圖解法及直接計算法。圖解法係將已知之各作業工率值代入以上公式，以分區面積值作為連續變數，根據需求設定變數空間，利用面積單位變化而繪出各變動曲線，工程師在規劃時可直接參考圖形中損耗曲線之變

動值域，作為最佳分區面積設計之主要依據。另一種為直接計算法，工程師在規劃時以重複循環單元中各作業項目之工率以一為分子倒數，其最佳分區面積就為各作業工率倒數中分母之整數公倍數及其相關倍數。

三、水平分區循環各作業工期規劃

水平分區循環中各作業施工時間之規劃原則，可依照整體工程之目標工期建立里程碑(milestone)，再反推計算出各作業目標循環施工時間(公式 4-7)，或是以垂直模最快可轉用時間做依據，根據規範得知垂直模最快可轉用時間為一天，以此為分區工期之下線(公式 4-8)再分別去求出各作業之最短工時，在符合整體目標工期之限制下以工時為變數可求出最佳水平分區循環各作業工期。

$$T_{wi} = \frac{T_a}{N_F \times N_{wi} \times N_{Ad}} \dots \dots \dots (4-7)$$

$$T_{wi} \times N_{wi} > T_L \dots \dots \dots (4-8)$$

$$T_i = T_{wi} \times [N_F \times N_{Ad} + (N_{wi} - 1)] \dots \dots \dots (4-9)$$

T_{wi} :循環作業施工時間(日)

T_a :整體目標工期(日)

T_i :實際總工期(日)

N_F :循環單元樓層數(層)

N_{wi} :作業項目數量(項)

N_{Ad} :水平分區數(區)

四、各作業理論出工數計算

根據前述 LOB 線平衡法之特性得知，各作業細目可調整勞務資源投入數量以決定施工速度斜率，而各作業施工斜率趨近相同時可完全去除作業界面等候時間，使整體施工效率達最大值(公式 4-10)，故以此原則並參考資源限制條件下調整各作業勞務資源投入數量可建立各作業細目之每日理論勞務出工數(公式 4-11)。

$$V_{Di} = \frac{N_{wi}}{T_{wi}} \dots \dots \dots (4-10)$$

$$w_{ci} = R_{wi} \times A_d \times V_{Di} \dots \dots \dots (4-11)$$

V_{Di} :最佳施工速度斜率

N_{wi} :作業項目數量(項)

T_{wi} :循環作業施工時間(日)

w_{ci} :各作業每日理論出工數(人)

R_{wi} :各作業工種之工率值

A_d :分區面積(m²)

五、各作業實際出工數計算

理論出工數並非絕對為整數，但現實世界工人必須限定為整數單位，故須調整理論出工數為整數，此數值定義為每日實際各作業細目出工數(公式 4-12)。

$$w_{ti} = f(w_{ci}) \dots \dots \dots (4-12)$$

w_{ti} :各作業每日實際出工數(人)

w_{ci} :各作業每日理論出工數(人)

f_x :X 變數值之小數無條件進入

六、各作業實際工期計算

根據已調整為整數之每日實際各作業出工數反推(公式 4-13)，求得各作業之實際施作工時，此值因經過整數出工修正後必小於原規劃施作工期，兩者差距可作為勞務寬放時間，亦可作為工程師管理控制之空間。

$$D_{wi} = \frac{R_{wi} \times A_d}{w_n} \dots \dots \dots (4-13)$$

D_{wi} : 實際各作業施工時間(日)

R_{wi} : 各作業工種之工率值

A_d : 分區面積(m^2)

七、排程規劃最佳化之成本分析

系統模板之施工排程係由營造廠商負責規劃施作，故排程規劃最佳化之成本分析就應該建立在營造廠之角色定位上。根據建築工程成本結構圖(圖 4.1)得知，建築工程之售價由建設公司訂定，其中包含工程造價、土地成本、建商管理、廣告代銷、建商利潤等眾多成本因素組合而成。營造廠部份之成本總和為建築工程成本中之工程造價部份，由勞務費、材料費、機具成本、管理費、稅捐支出及利潤所組成。其中稅捐支出為定值無須考慮，其餘各項成本在固定工程造價之環境下，增減變動而影響利潤之多寡，故分別分析施工排程對各成本結構因子之影響，以達到利潤最大值為最佳化目標。

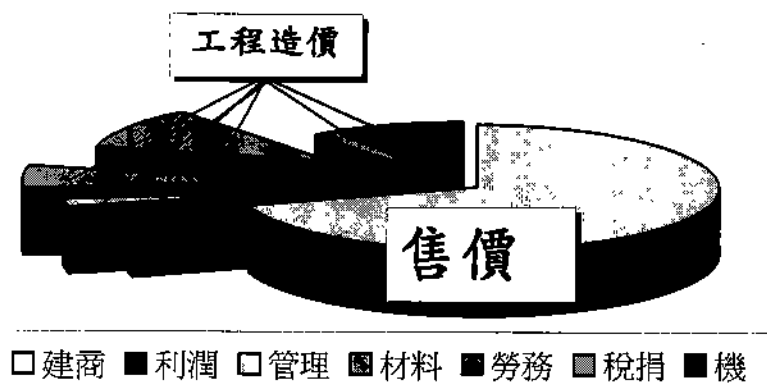


圖 4.1 建築工程成本結構

在勞務成本因施工排程變動方面，主要探討工人斷續進場造成之生產力損失成本，由於各項方案之勞務出工數不同，每位工人進場施作時，若施作環境與上次離開時之施作環境不同，工人面對新環境時就須時間適應而降低生產力，造成勞務成本之增加，其計算公式如下：

$$C_{Pi} = D_{Pi} \times w_{ii} \times F_{wi} \dots\dots\dots (4-14)$$

$$C_w = \sum_{i=1}^n (w_{ii} \times D_{wi} \times F_{wi} + C_{Pi}) \dots\dots\dots (4-15)$$

C_{Pi} :生產力損失成本(元)

C_w :整體工程勞務總成本(元)

D_{wi} :實際各作業施工時間(日)

D_{Pi} :各作業生產力損失工時(日)

w_{wi} :各作業每日實際出工數(人)

F_{wi} :各作業工種工資(元/人日)

在材料成本因施工排程變動方面，主要探討系統模板材料因轉用次數多寡，造成材料固定成本攤提之變動，由於各項方案之分區數不同，每次分區循環便增加一次的系統模板轉用次數，故轉用次數之多寡決定於分區之數量，而攤提之方式以初

始之購置成本隨耐用次數及轉用次數之比例作等比攤提，其計算公式如下：

$$C_m = c_F \times A_d \times \left(\frac{S_a - S_t}{S_a} \right) \dots \dots \dots (4-16)$$

C_m : 整體工程材料總成本(元)

c_F : 系統模板材料購置成本(元/m²)

S_a : 系統模板材料耐用次數(次)

S_t : 系統模板材料轉用次數(次)

在管理成本因施工排程變動方面，主要探討管理費隨整體工期之延長縮短而有所增減，在工程管理費估算時，依據整體工程造價之 6 % 作計算【3】，以整體目標工期和實際工期之比例關係建立其計算方程式：

$$M_C = P_C \times A_n \times N_F \times R_M \times \left(\frac{T_t}{T_a} \right) \dots \dots \dots (4-17)$$

M_C : 整體工程管理成本(元)

P_C : 整體工程造價(元/m²)

R_M : 整體目標工期之管理費率(%)

T_a : 整體目標工期(日)

T_t : 實際總工期(日)

排程規劃最佳化之目標函數為整體利潤最大值，其整體利潤最大值必在勞務成本、材料成本及管理成本總和最小時發生(公式 4-18)，故可取其作為施工排程最佳化決策之評估指標。

$$Max(C_B) = Min(C_A + C_W + C_M + M_C) \dots \dots \dots (4-18)$$

C_A :分區規劃面積損失成本(元)

C_B :整體工程利潤(元)

八、繪製線平衡施工排程進度圖進行控制

將前階段之最佳決策方案繪製成線平衡施工排程進度圖進行控制，根據 LOB 之繪圖模式，此模式係以時間為座標 X 軸變數，以階段單元數量為 Y 軸變數，在大片式系統模板施工排程的時間軸為以天為單位之作業工期，階段單元數量軸在類次 VPM 模式，將空間樓層及水平分區規劃成循環單元數量，而將其樓層高度以各層為單位置於座標 Y 軸，圖中根據最佳方案之水平分區數量及各作業施作工期為變數，參考座標軸而繪製其中，圖形表現方式，除可較詳細地根據每天為單位繪成項斜階梯狀進度圖外，亦可迅速地根據各作業斜率、開始作業時間及各作業工期繪成多條平行四邊形狀之進度控制圖，最後，再根據此線平衡進度表繪製各項資源(勞務、材料、資金、機具)統計圖表。

4.1.2 實例模擬規劃

為說明大片式預組系統模板施工排程模式之應用及演算方式，本章節擬定一例題根據其模式建構步驟進行分析計算，並進一步探討大片式預組之系統模板施工排程最佳策略。

假設一佔地 6000m^2 高 5 層樓之鋼筋混凝土建築工程，營造廠以四萬元標得此工程，且欲採用大片預組式系統模板進行施作，結構體部份預計目標工期為 150 天，試建構此營造廠商之最佳施工排程規劃。

一、重複循環作業規劃

根據前章節所建構之分割重複循環作業原則，可將此範例之大片式預組之系統模板分割成模板組立作業、鋼筋綁紮作業、水電配管作業、混凝土澆置作業及模板拆除作業等五項作業細目，依序進行重複循環施作。其施作工種工率及工資如表 4.1。

表 4.1 作業分割及其工率、工資

作業項目	模板組立	鋼筋綁紮	水電配管	混凝土澆置	模板拆除
工率(人日/m ²)	0.316	0.137	0.111	0.212	0.225
工人工資	3000	2500	2000	1700	3000

二、工程分區規劃

將前步驟各作業工率代入公式 4-1，可計算出各施工分區面積之工時損耗如附錄 1.1，將其分別依各參數特性製作成圖表(圖 4.2,圖 4.3)，可幫助工程師迅速規劃，避免繁複之計算。

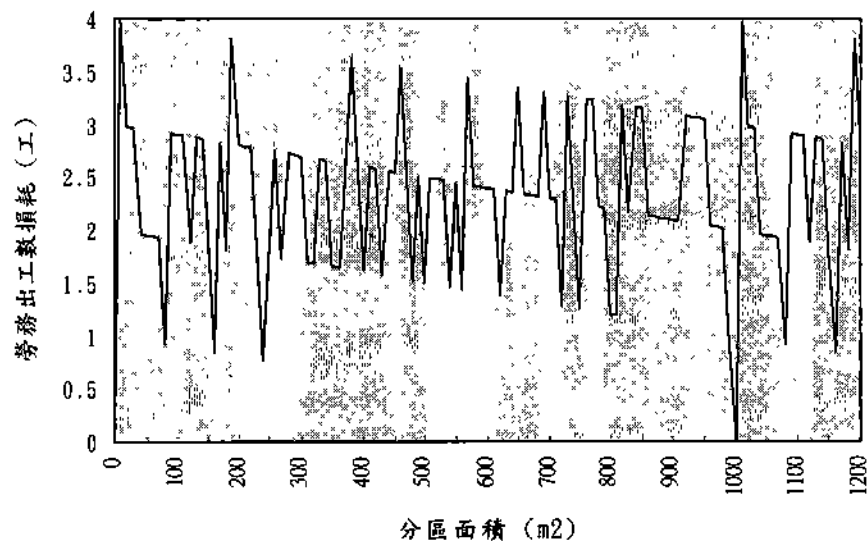


圖 4.2 施工分區面積與絕對工率出工損耗關係

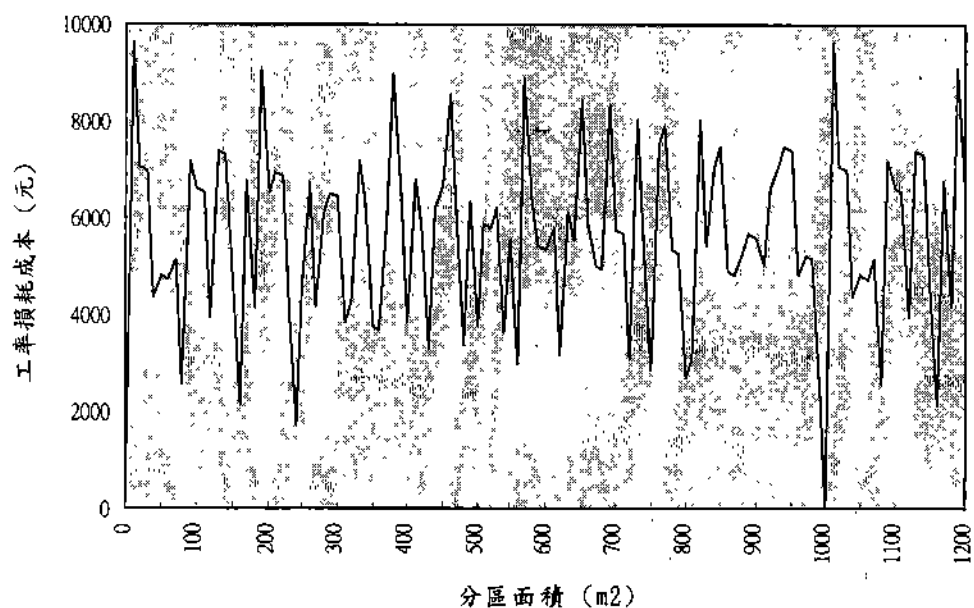


圖 4.3 施工分區面積與絕對工率成本損耗關係

為方便計算評估，將工程分區分為一至四區作為評選方案，其相關之分區面積及工率損耗如表 4.2。

表 4.2 工程分區數與工率損耗關係

分區數(區)	施工面積(m ²)	工率絕對損耗(工)	工率損耗成本(元)
5	1200	2.8	6520
10	600	2.4	5360
15	400	1.6	3840
20	300	2.7	6430

三、水平分區循環各作業工期規劃

以大片式系統模板最快轉用工期為基礎作規劃，建立種不同水平分區循環作業工期之評選方案，與分區面積之評選四種方案組合，可交叉組合成十六種不同方案進行最佳化施工排程規劃評估(表 4.3)。

表 4.3 工程施工排程方案內容

方案	分區數(區)	施工面積	每區各作業工期(天)	總工期
1	5	1200	1	29
2	5	1200	1.5	43.5
3	5	1200	2	58
4	5	1200	2.5	72.5
5	10	600	1	54
6	10	600	1.5	81
7	10	600	2	108
8	10	600	2.5	135
9	15	400	1	79
10	15	400	1.5	118.5
11	15	400	2	158
12	15	400	2.5	197.5
13	20	300	1	104
14	20	300	1.5	156
15	20	300	2	208
16	20	300	2.5	260

四、各作業理論工出工數計算

根據公式 4-1 計算出模板組立作業、鋼筋綁紮作業、水電配管作業及模板拆除作業之理論出工數(表 4.4)。

表 4.4 各作業理論出工數

方案	最佳施工 斜率	理論最佳工數				
		模板組裝	鋼筋綁紮	水電配管	混凝土澆置	模板拆除
1	1.000	379.20	164.40	133.20	254.40	270.00
2	0.667	252.80	109.60	88.80	169.60	180.00
3	0.500	189.60	82.20	66.60	127.20	135.00
4	0.400	151.68	65.76	53.28	101.76	108.00
5	1.000	189.60	82.20	66.60	127.20	135.00
6	0.667	126.40	54.80	44.40	84.80	90.00
7	0.500	94.80	41.10	33.30	63.60	67.50
8	0.400	75.84	32.88	26.64	50.88	54.00
9	1.000	126.40	54.80	44.40	84.80	90.00
10	0.667	84.27	36.53	29.60	56.53	60.00
11	0.500	63.20	27.40	22.20	42.40	45.00
12	0.400	50.56	21.92	17.76	33.92	36.00
13	1.000	94.80	41.10	33.30	63.60	67.50
14	0.667	63.20	27.40	22.20	42.40	45.00
15	0.500	47.40	20.55	16.65	31.80	33.75
16	0.400	37.92	16.44	13.32	25.44	27.00

五、各作業實際出工數計算

根據公式 4-1 調整理論出工數為整數，可求出模板組立作業、鋼筋綁紮作業、水電配管作業及模板拆除作業之實際最佳出工組數(表 4.5)。

表 4.5 各作業實際出工數

方 案	實際最佳工組數				
	模板組裝	鋼筋綁紮	水電配管	混凝土澆置	模板拆除
1	380	165	134	255	270
2	253	110	89	170	180
3	190	83	67	128	135
4	152	66	54	102	108
5	190	83	67	128	135
6	127	55	45	85	90
7	95	42	34	64	68
8	76	33	27	51	54
9	127	55	45	85	90
10	85	37	30	57	60
11	64	28	23	43	45
12	51	22	18	34	36
13	95	42	34	64	68
14	64	28	23	43	45
15	48	21	17	32	34
16	38	17	14	26	27

六、各作業實際工期計算

將已求出之模板組立作業、鋼筋綁紮作業、水電配管作業及模板拆除作業的實際最佳出工組數代入公式 4-2，可求得各作業實際工期(表 4.6)。

表 4.6 實際各作業施工時間

方案	實際施工作業工期(天)				
	模板組裝	鋼筋綁紮	水電配管	混凝土澆置	模板拆除
1	0.998	0.996	0.994	0.998	1.000
2	1.499	1.495	1.497	1.496	1.500
3	1.996	1.981	1.988	1.988	2.000
4	2.495	2.491	2.467	2.494	2.500
5	0.998	0.990	0.994	0.994	1.000
6	1.493	1.495	1.480	1.496	1.500
7	1.996	1.957	1.959	1.988	1.985
8	2.495	2.491	2.467	2.494	2.500
9	0.995	0.996	0.987	0.998	1.000
10	1.487	1.481	1.480	1.488	1.500
11	1.975	1.957	1.930	1.972	2.000
12	2.478	2.491	2.467	2.494	2.500
13	0.998	0.979	0.979	0.994	0.993
14	1.481	1.468	1.448	1.479	1.500
15	1.975	1.957	1.959	1.988	1.985
16	2.495	2.418	2.379	2.446	2.500

七、排程規劃最佳化之成本分析

根據前述得知排程規劃最佳化之成本，包括分區規劃面積成本損失、勞務成本、材料成本及管理成本等。現就各成本分別代入已建構之公式計算，首先計算生產力損失成本(表 4.7)。

表 4.7 生產力損失工時成本

方案	生產力損失工時成本					總和
	模板組裝	鋼筋綁紮	水電配管	混凝土澆置	模板拆除	
1	142500	51563	33500	54188	101250	383,000
2	94875	34375	22250	36125	67500	255,125
3	71250	25938	16750	27200	50625	191,763
4	57000	20625	13500	21675	40500	153,300
5	71250	25938	16750	27200	50625	191,763
6	47625	17188	11250	18063	33750	127,875
7	35625	13125	8500	13600	25500	96,350
8	28500	10313	6750	10838	20250	76,650
9	47625	17188	11250	18063	33750	127,875
10	31875	11563	7500	12113	22500	85,550
11	24000	8750	5750	9138	16875	64,513
12	19125	6875	4500	7225	13500	51,225
13	35625	13125	8500	13600	25500	96,350
14	24000	8750	5750	9138	16875	64,513
15	18000	6563	4250	6800	12750	48,363
16	14250	5313	3500	5525	10125	38,713

根據最佳化評估所需參數模式建構公式分別求出其值後，將分區規劃面積損失成本、勞務成本、材料成本及管理成本相加可得到各評估方案之成本總和(表 4.8)。

表 4.8 排程規劃最佳化之成本分析

方案	分區損失	勞務成本	材料成本	管理成本	總和
1	163,000	76,820,000	43,450,000	4,678,667	125,111,667
2	163,000	76,692,125	43,450,000	7,018,000	127,323,125
3	163,000	76,628,763	43,450,000	9,357,333	129,599,096
4	163,000	76,590,300	43,450,000	11,696,667	131,899,967
5	268,000	76,628,763	39,500,000	8,712,000	125,108,763
6	268,000	76,564,875	39,500,000	13,068,000	129,400,875
7	268,000	76,533,350	39,500,000	17,424,000	133,725,350
8	268,000	76,513,650	39,500,000	21,780,000	138,061,650
9	288,000	76,564,875	35,550,000	12,745,333	125,148,208
10	288,000	76,522,550	35,550,000	19,118,000	131,478,550
11	288,000	76,501,513	35,550,000	25,490,667	137,830,179
12	288,000	76,488,225	35,550,000	31,863,333	144,189,558
13	643,000	76,533,350	31,600,000	16,778,667	125,555,017
14	643,000	76,501,513	31,600,000	25,168,000	133,912,513
15	643,000	76,485,363	31,600,000	33,557,333	142,285,696
16	643,000	76,475,713	31,600,000	41,946,667	150,665,379

將各評估方案計算結果製成圖表(圖 4.4)，依據公式 4-1 可評選出目標函數成本最小之決策為方案五。

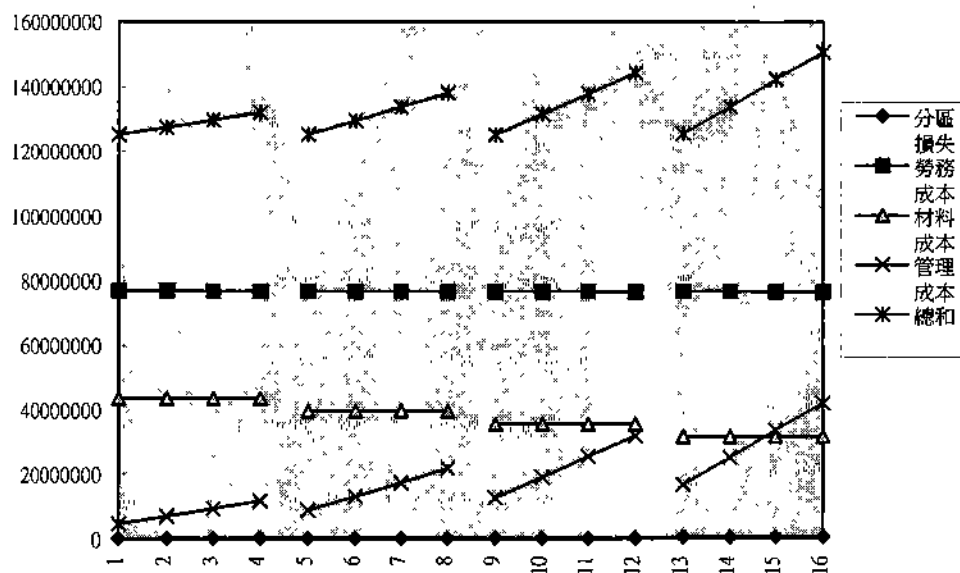


圖 4.4 排程規劃最佳化之成本

八、繪製線平衡施工排程進度圖進行控制

將前階段之最佳決策方案繪製成線平衡施工排程進度圖進行控制，根據 LOB 之繪圖模式，將前階段之最佳決策方案繪製成整體線平衡施工排程進度圖(圖 4.5)及水平分區循環施工排程圖(圖 4.6,4.7)。在整體線平衡施工排程進度圖(圖 4.5)方面，此模式係以整體工期為座標 X 軸變數，以階段單元樓層數量為 Y 軸變數。在單位循環單元線平衡施工排程進度圖方面，此模式係以單位循環單元內各分區工期為座標 X 軸變數，以各分區數量為 Y 軸變數，繪成頃斜階梯狀之進度圖(圖 4.6)及斜率平行四邊形狀進度控制圖(圖 4.7)，最後，再根據此線平衡進度表繪製各項資源(勞務、材料、資金、機具)統計圖表進行管理控制。

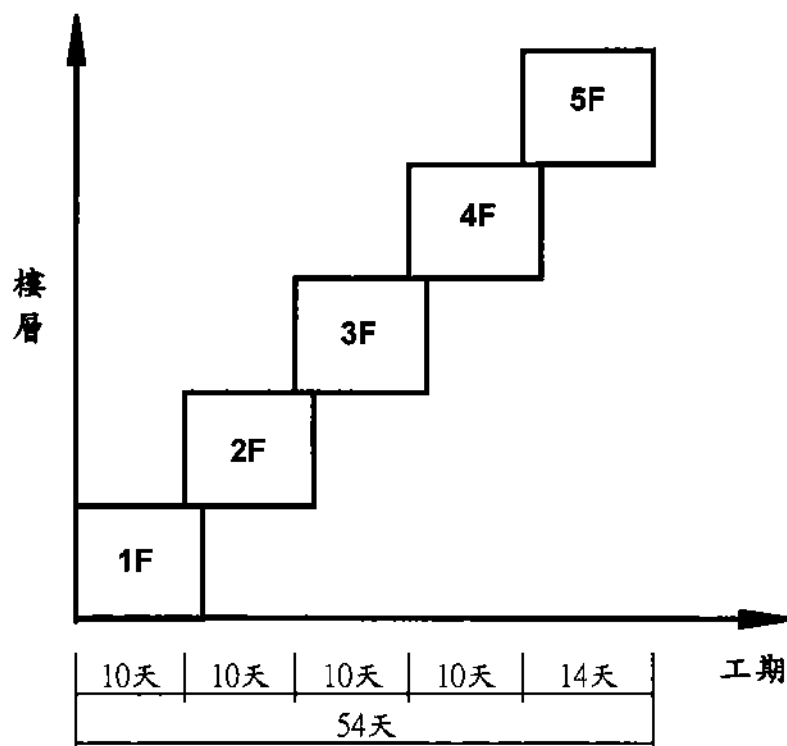


圖 4.5 LOB 線平衡整體施工排程進度

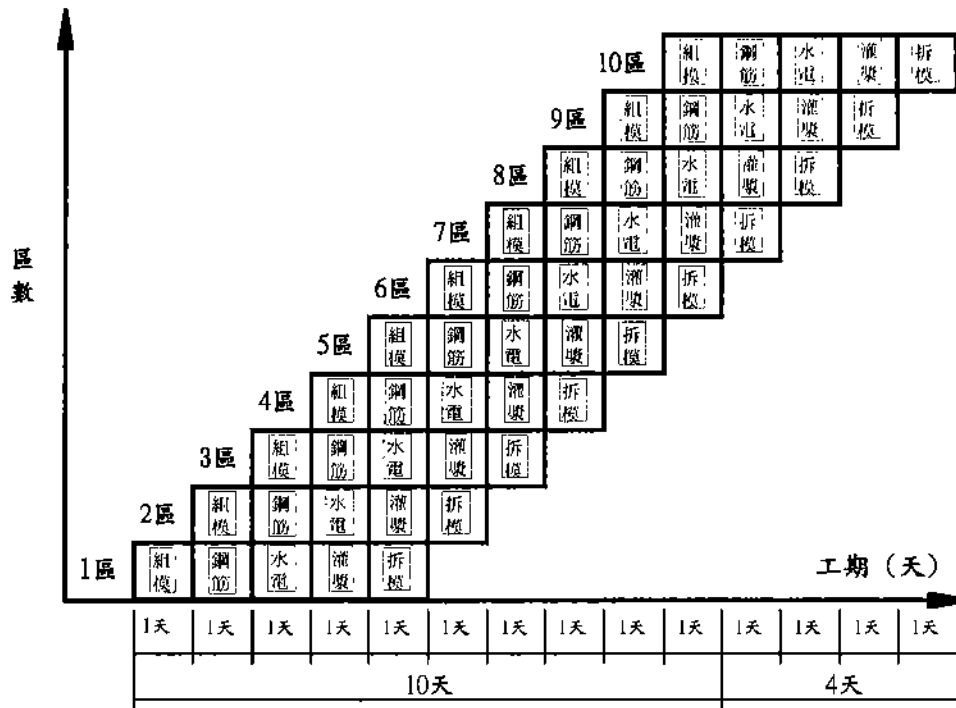


圖 4.6 LOB 線平衡單一樓層循環施工排程進度

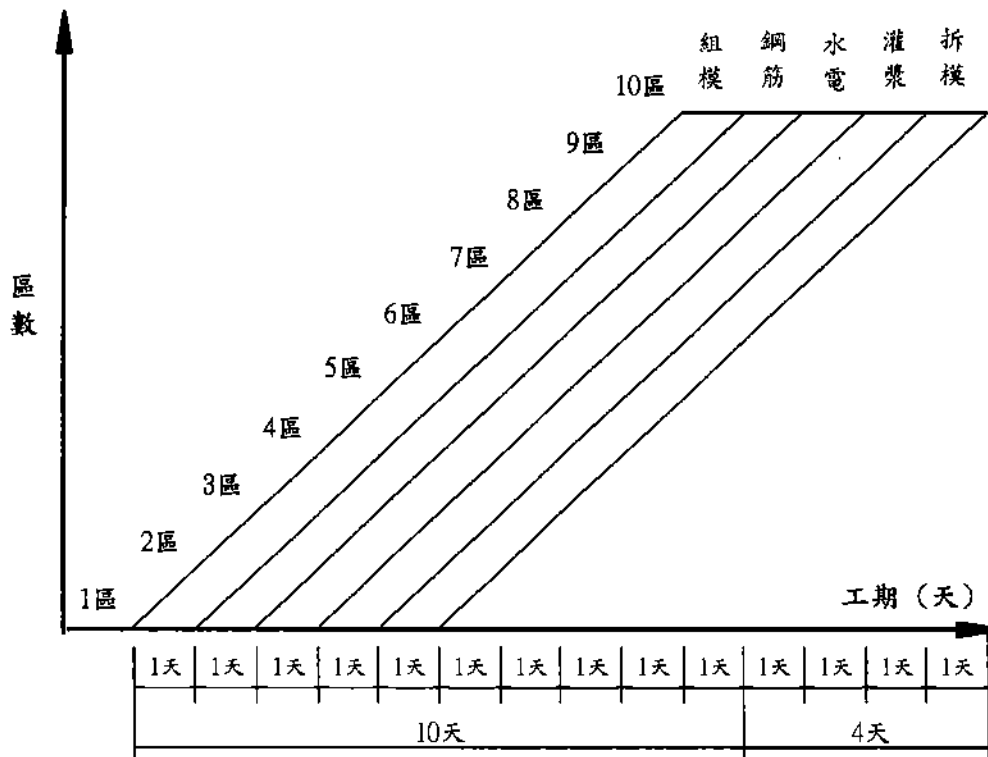


圖 4.7 LOB 線平衡單一樓層循環施工排程進度

4.2 考慮工率變化之施工排程模式

以上所討論系統模板規劃模式均假設工率為定值，然事實上由於營建工程多暴露於野外，無法如工廠密閉式環境控制生產流程，造成施工速率無法如預期設計之固定速率，並且大部份系統模板均由國外引進或國內開發試驗當中，造成工人欠缺系統模板實際施工經驗，而須進場熟悉學習，其施工速率實際施作時成學習曲線變化【22】。另外，許多系統模板考慮本身自重過大而須以塔吊進行組拆搬運，無法以人工或小型機具代替，當塔吊每向上三層須兩天爬升時，系統模板作業將無法進行吊裝施工造成現場作業之等待而影響施工速率。有鑑於此，本章節考量可能發生工率變化之眾多因素，加以量化分析後，提出以二維動態規劃之排程模式進行系統模板考慮工率發生變化時之施工排程模式建構。

4.2.1 施工排程模式可行性探討

動態規劃方法已於文獻回顧中提出，現針對模式架構應用於系統模板施工排程建構之可行性，依造動態規劃問題特徵分別探討，作為建構排程模式之基礎。現將構成動態規劃問題的基本特徵列舉討論如下。

- 1.問題可分為階段(stage)，在每一階段須作一決策。根據重複性系統模板工程特性，將系統模板之轉用計畫定義為動態規劃模式之階段，而每一階段的決策為各作業勞務資源的投入。

- 2.每一階段有若干狀態(states)與之相伴。系統模板排程規

劃中與每一階段相伴之狀態，可分為勞務資源投入工時及循環工期設定等二維狀態向量，此二維狀態向量加以排列組合成為眾多可行評選方案，提供營造廠商面對各階段所伴隨之狀態作一決策。

3. 每一階段所對應的狀態移至與其另一階段所對應之狀態，其對目標函數有所貢獻。系統模板排程每階段之對應狀態決策為勞務資源之投入數量，而各階段勞務資源投入數量的增減，造成勞務生產力之降低損失，直接增加了營造廠商以最小總成本為目的地之目標函數。
4. 解題方法就是設計全盤問題的最優政策，亦即每一階段中每一可能狀態之最優政策裁定之規定。就施工排程而言，其解題之方法是編造每一階段的表格用以明定每一可能狀態 (s, t) 方案的最優決策 (r_n) 。因此，除了指出此全盤問題的最優路線外，此結果亦可顯示出當營造廠商實際施作時無法如規劃方案路線進行而選擇其餘方案對整體目標函數之影響。
5. 已知目前狀況，其剩餘階段最優政策與以前階段所採取之政策無關。已知工程規劃之各樓層階段之勞務資源投入量，在此樓層以後之最佳排程方案，與其如何選擇該方案無關。就一般動態規劃問題言，對其系統目前狀況傳達之知識，為決定以後最佳政策所需之該系統以前之一切知識。
6. 求解程序乃從求得最後階段每一狀態之最優政策開始。最後階段的最優政策明定該階段每個狀態之最優政策如

何取捨。此一單階段問題之解通常明顯。就系統模板施工排程而言，亦是如此。

7. 若已知階段 $(n+1)$ 中每一狀態之最優政策時，遞迴關係 (recursive relationship)，可求得在階段 n 中每一狀態的最優政策。就系統模板施工排程問題而言，此遞迴關係式為：

$$f_n^*(s) = \min_{x_n} \{c_{sx} + f_{n+1}^*(x_n)\} \dots \dots \dots (4-19)$$

8. 採用此遞迴關係求解時，採用各階段逆向求解。系統模板施工排程建構之逆向求解，階段 $n, n-1 \dots 2, 1$ 依次分別求得各狀態在各階段開始之最佳政策表列，然後根據以後各表依系統在各該階段之狀態，而得到其他各決策變數之最佳值。

經由上述探討推導，可建構出系統模板施工排程解析模式如下【30】：

整體目標函數

$$\text{最小化 } C = \text{Min} \left(C_1 + \text{Min} \left(C_2 + \dots + \text{Min} \left(C_{n-1} + \text{Min} \left(C_n \right) \right) \right) \right) \quad (4-20)$$

階段目標函數

$$F_i^*(S_i, T_i) = \text{階段 } i \text{ 在 } (S_i, R_i) \text{ 之階段狀態下，完成階段作業與後續各作業所需之最低成本}$$

邊界條件

$$F_{n+1}^*(S_{n+1}, T_{n+1}) = 0 \dots \dots \dots (4-21)$$

階段遞迴關係式

$$F_i^* = \underset{s_{i+1}, t_{i+1}}{Min} \left\{ f_i(s_i, t_i, s_{i+1}, t_{i+1}) + F_{i+1}^*(s_{i+1}, t_{i+1}) \right\} \dots \dots \dots (4-22)$$

4.2.1 施工排程模式建構

根據系統模板現況實績調查顯示，許多系統模板施工廠商多以營造廠統包方式承攬工程，而將鋼筋、混凝土工程分包給專業小包施作，只有少數系統模板施工業者成立專業系統模板包商獨立去承攬模板工程。有鑑於此，本文在系統模板施工排程模式建構時，將以前者之角度定位進行排程模式推導建構，期望能建構出一套符合系統模板現實施工狀況之最佳排程模式。其假設條件為：

考量工率變化之系統模板排程模式之建構步驟為：勞務資源規劃、循環工期規劃、工率變動分析、階段成本目標函數計算、階段遞迴關係逆向運算、整體成本目標函數計算及施工排程最佳化分析等七項步驟，現就排程模式之假設條件及各步驟順序分別詳述之。

一、基本假設

系統模板排程模式之基本假設包括：各階段中之各作業項目的施工數量為已知、各作業項目之工率與各階段時間之關係為已知、各作業項目中之勞務資源投入量為固定常數、各階段作業間為連續施工狀態等四項。

二、勞務資源規劃

二維動態規劃施工排程模式係建構於營造廠以統包方式承攬施工，其中系統模板工程由承包商自行施作，其餘鋼筋工程及混凝土工程均分包給專業小包。營造廠方面在考量系統模板尚在試作引進階段之下，其技術未盡成熟，必將造成工期延誤及工率降低等問題產生，此時為提高施工速率將面對是否增加系統模板勞務資源或是專業小包勞務資源等兩種決策。在增加專業小包勞務資源方面，其中牽扯專業小包因礙於規模及承攬金額限制，勞務及機具數量均有其經濟規模而無法靈活調度配合，若須配合工程趕工進度而增加資源數量投入時，專業小包在無法充分調度增加資源數量下，可採用加班制度增加勞務資源工時以趕上因系統模板作業所延誤之工期，但是，若非專業包商本身延誤造成之加班作業或增加機具數量，其相關趕工成本須另行向營造廠商計價，此時便增加營造廠本身之工程成本，而其成本增加之計算方式雖因專業小包工種不同而有差異，本文只針對勞務資源增加工時成本，建立以下公式：

$$R_{it} = \frac{T_{dh} + t_{ih}}{T_{dh}} \dots \dots \dots (4-23)$$

$$f_i = f \times \left(\frac{r_{ic} \times t_{ih}}{T_{dh}} + 1 \right) \dots \dots \dots (4-24)$$

R_{it} :勞務資源增加比率

T_{dh} :勞務資源標準每日工作時數

t_{ih} :勞務資源加班時數

f_i :增加勞務資源每日使用成本

f :勞務資源每日工資

r_{ic} :勞務資源加班工資倍率

在規劃勞務資源投入量時，可依照個案作業工種之參數代入以上之公式 4-23，分別計算求得各工種之勞務資源投入增加比例及相對增加勞務資源後之每日使用成本(公式 4-24)，可作為各工種勞務資源規劃時之計算參考因素。

前述提及當系統模板工期延誤或面對系統模板工率降低而無法有效進行控制時，可考慮增加系統模板勞務資源投入量及專業小包勞務資源投入量等兩種趕工決策。此處所提之增加勞務資源決策可區分為增加勞務資源投入工時或增加勞務資源投入數量等兩種方法。受專業小包經濟規模限制下，增加勞務資源投入工時之方式變成為優先考量重點。但是，增加勞務資源投入工時必將相對增加其勞務資源單位使用成本(公式 4-24)。因此，在勞務資源規劃時，須考量增加成本與降低工期間成函數之相關變化，以評估決定最佳之勞務資源計畫。

三、循環工期規劃

本階段循環工期規劃係針對增加勞務數量作為決策因子，因在工率值及施工面積已知下，勞務資源數量與施作工期成反比相關，前章節規劃以增加勞務資源投入工時而減少作業工期，在成本考量允許下有其顯著影響，但增加投入工時之加班作業常須在夜間進行，造成相關假設工程(如照明)成本之增加，且加班作業有其時間限制，過分增加工時將減少工人休息時間，在無充分休息下會影響隔日正常作業時間之施工效率，故一味增加投入工時並非為最好決策。亦可增加資源投入數量降低作業工期，此種增加資源數量以系統模板之工種為限，因其工種為營造廠商自行點工管理，調度彈性均大於專業小包甚多。在計算所需資源投入數量時，由勞務資源循環工期作控制

參數，此循環工期之決定，規劃初期可參考整體工期之里程碑(milestone)及循環樓層單元數反推計算，在工程進行途中，則可因應現場實際施作進度及未來完工日期而進行調整規劃，這種調整循環工期規劃作業，實際上是間接調整系統模板勞務資源投入數量，而以採取增加勞務資源投入數量為手段達到目標工期要求之目的。其公式如下：

$$N_w = \frac{R_w \times A_F}{R_u \times D_c} \dots \dots \dots (4-25)$$

N_w :勞務資源投入數量

R_w :勞務資源工率

A_F :循環單元施作數量

R_{it} :勞務資源增加比率

D_c :循環單元工期

四、工率變動分析

根據系統模板現況調查顯示，系統模板之工率變動因素可分為學習曲線影響、塔吊爬升影響及強風吹襲影響等三項因素，現分別探討其成因特性及相關計算公式。

在學習曲線影響因素方面，系統模板之施工速率隨施工次數之增加而以學習率之倍數成長，其工率之修正公式為【3】：

$$R_n = R_b \times \gamma^i \dots \dots \dots (4-26)$$

$$R_b = \frac{R_a}{\gamma^S} \dots \dots \dots (4-27)$$

$$R_n = R_b \times \gamma^{i-1} \dots \dots \dots (4-28)$$

R_n :第 i 次施作學習之修正工率

R_b : 初始工率
 R_a : 預估穩定工率
 γ : 學習率
 i : 第 i 次施作
 S : 預估學習穩定次數

在塔吊爬升須暫停吊裝之修正工率方面，主要係考量塔式吊車一般構建於施工建物當中，當建物樓層逐漸增高時，塔吊為方便施工而須同時向上爬升，其週期為每三層樓爬升一次，每次拆組須兩天，在此兩個工作天中，現場只可進行不須吊裝之相關作業，仰賴塔吊組裝之系統模板工程則須暫停吊裝，在考量系統模板吊裝為工程要徑作業下，現場施工速率必受其影響降低而延誤工期，故須事前修正工率以增加勞務資源減少工期去平衡因塔吊影響造成之工期延誤，其修正工率為：

$$D_h = \frac{T_h}{T_i} \dots \dots \dots (4-29)$$

D_h : 塔吊影響之折減比例
 T_h : 預估塔吊爬升作業工時
 T_i : 各作業工時

在系統模板因強風吹襲影響工率方面，考慮主因為系統模板現況調查時發現，在多風地區施工之大片式吊裝系統模板，常因瞬間陣風吹襲造成模板吊運時大幅晃動，在安全因素考量下須停止其吊裝作業而延誤整體工期。至於此陣風之發生頻率因本島環境特性通常在秋冬季節的下午期間。有鑑於此，系統模板施工排程規劃時，就須事前修正工率增加勞務資源以去除因天候影響之工期延誤，其修正工率為：

$$D_w = \frac{T_w}{T_i} \dots \dots \dots (4-30)$$

D_w :天候(強風)影響之折減比例

T_w :預估天候影響之工時

T_i :各作業工時

在考量各種影響因素下，其整體工程之修正工率為：

$$R_i = R_{pi} \times D_h \times D_w \dots \dots \dots (4-31)$$

R_i :在 i 樓層之整體修正工率

五、每樓層階段勞務成本目標函數計算

經由前述步驟求得之各作業勞務投入量及各作業修正工率，可建構出每樓層階段勞務成本目標函數公式為：

$$F_i^*(S_i, T_i) = C_i = \sum_{j=1}^m c_{i,j} = \sum_{j=1}^m (R_{i,j} \times A_i \times F_{i,j}) \dots \dots \dots (4-32)$$

C_i :每樓層階段勞務成本(元)

R_{ij} :每樓層階段各作業(修正)工率

A_i :每樓層階段各作業施工面積(m^2)

F_{ij} : 每樓層階段各作業勞務工資(元/人日)

六、階段遞迴關係逆向運算

階段遞迴關係逆向運算方式，係將前述各階段樓層求出之勞務成本，由階段 $n, n-1 \dots 2, 1$ 逆向依次分別求得各狀態在各階

段開始之最佳政策(勞務成本累加最小值)表列，然後根據以後各表依系統在各該階段之狀態(勞務投入量，階段循環工期)，分階段向前演算可求得其他各階段累積決策變數之最佳值，其階段遞迴關係式為：

$$F_i^* = \underset{s_{i+1}, t_{i+1}}{\text{Min}} \left\{ f_i(s_i, t_i, s_{i+1}, t_{i+1}) + F_{i+1}^*(s_i, t_i) \right\} \dots \dots \dots (4-33)$$

七、整體勞務成本目標函數計算

將系統模板工程分割為具有 m 個樓層循環單元，每個樓層循環由 n 個作業項目所構成，根據階段遞迴關係逆向式之邏輯演算原則，可建立整體勞務成本目標函數之計算公式為：

$$C = \text{Min} \left(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_{i,j} \right) = \text{Min} \left\{ \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (R_{i,j} \times A_i \times F_{i,j}) \right\} \dots \dots \dots (4-34)$$

$$C = \text{Min} \left(C_1 + \text{Min} \left(C_2 + \dots + \text{Min} \left(C_{n-1} + \text{Min} (C_n) \right) \right) \right) \dots \dots \dots (4-35)$$

C: 整體工程勞務總成本

C_{ij} : 第 j 樓層第 i 個作業項目之勞務成本

八、施工排程最佳化分析

前階段建構之目標函數係考慮勞務成本最小為目標，在施工排程最佳化分析時，須考慮整體成本最佳化為目標，而在整體成本評估方面，此模式主要探討工期與勞務投入量之最佳決策，造成材料成本並不受決策方案影響，因此可省略不探討。其他考慮因素包括勞務成本及管理成本，因勞務成本於前章已建構出計算公式，故本章只針對管理成本部份探討。

在管理成本方面，主要探討管理費隨整體工期之延長縮短而有所增減，而工程管理費之估算，係依據整體工程造價之 6 % 作計算【3】，以整體目標工期和實際工期之比例關係建立其計算方程式：

$$M_C = P_C \times A_u \times N_F \times R_M \times \left(\frac{T_l}{T_a} \right) \dots \dots \dots (4-36)$$

M_C : 整體工程管理成本(元)

P_C : 整體工程造價(元/m²)

R_M : 整體目標工期之管理費率(%)

T_a : 整體目標工期(日)

T_l : 實際總工期(日)

排程規劃最佳化之目標函數為整體利潤最大值，其整體利潤最大值必在勞務成本、材料成本及管理成本總和最小時發生(公式 4-37)，在不考慮材料成本變動下，可取其作為施工排程最佳化決策之評估指標。

$$Max(C_B) = Min(C_W + M_C) \dots \dots \dots (4-37)$$

C_B : 整體工程利潤(元)

C_W : 整體工程勞務成本(元)

M_C : 整體工程管理成本(元)

4.2.2 實例模擬規劃

假設四層樓建築物，承包之營造廠商有意採用系統模板工法施作，其餘鋼筋、混凝土工程分包給專業包商，在考量系統模板技術尚未成熟下，試建構此營造廠商之最佳施工排程。其

每層標準工期 15 天，工程造價 4 萬元/坪，管理費比例為 6%，
 加班工資為正常工資之 1.5 倍，生產力損失工時每人次一小時。
 各樓層施作面積及勞務工資如以下表列(表 4.9)。

表 4.9 各樓層施工數量

階段樓層	1F	2F	3F	4F
面積(m ²)	350	300	300	325

現根據建構完成之排程模式步驟分別計算如下：

一、勞務資源規劃

根據模式建構步驟(公式 4-23,公式 4-24)可計算出各作業勞務增加單位人日成本(表 4.10)，各樓層各作業所需勞務資源數量(表 4.11)。

表 4.10 各作業勞務增加單位人日成本

資源投入 狀態	各作業勞務資源加班成本(萬元/人日)		
	模板工程	鋼筋工程	混凝土工程
1	0.3	0.275	0.2
1.25	0.35625	0.3265625	0.2375
1.5	0.4125	0.378125	0.275
1.75	0.46875	0.4296875	0.3125

表 4.11 各樓層各作業所需勞務資源數量

階段 樓層	各樓層作業所需勞務資源數(人日)		
	模板工程	鋼筋工程	混凝土工程
1F	180.09	47.95	74.20
2F	131.21	41.10	63.60
3F	223.06	41.10	63.60
4F	136.93	44.53	68.90

二、循環工期規劃

將循環工期規劃為 13 至 16 天等四方案，根據模式建構步驟(公式 4-25)可計算出模板勞務資源調整出工數量(表 4.12)。

表 4.12 模板勞務資源調整出工數

階段 樓層	模板工每日勞務出工數			
	13天	14天	15天	16天
1F	37	31	26	23
2F	22	19	17	15
3F	10	8	7	7
4F	13	12	10	9

三、工率變動分析

此範例之影響工率因素可分為學習效應、塔吊爬升及強風吹襲等三項。學習曲線之學習率為 85 %【3】(公式 4-26~公式 4-28)；塔吊爬升之週期為每三層爬升兩天(公式 4-29)；強風吹襲預估發生在構築三樓期間，每天下午吹襲(公式 4-30)；依據以上參數值代入排程模式建構步驟之公式 4-31 可計算出整體工程各階段之修正工率值(表 4.13)。

表 4.13 各階段之工率變動計算

階段 樓層	各樓層階段工率變化			
	學習曲線工率	塔吊爬升	強風	修正工率
1F	0.515	100%	100%	0.515
2F	0.437	100%	100%	0.437
3F	0.372	100%	50%	0.744
4F	0.316	75%	100%	0.421

四、每樓層階段勞務成本目標函數計算

將各階段勞務投入量、施工面積及修正工率值根據模式建

構步驟之公式 4-32 可分別計算出每樓層階段勞務成本目標函數值(表 4.14~4.17)，並作圖表現之(圖 4.8~4.11)。

表 4.14 1F 階段勞務資源成本計算

方案	狀態變數		每日出工數			作業工期(天)			總和	成本(元)
	資源投入	階段天數	模板工	鋼筋工	泥水工	模板工	鋼筋工	泥水工		
1	1	13	37	10	35	5	5	3	13	902500
2	1	14	31	10	35	6	5	3	14	905500
3	1	15	26	10	35	7	5	3	15	893500
4	1	16	23	10	35	8	5	3	16	899500
5	1.25	13	21	10	35	7	4	2	13	820563
6	1.25	14	19	10	35	8	4	2	14	838375
7	1.25	15	17	10	35	9	4	2	15	841938
8	1.25	16	15	10	35	10	4	2	16	831250
9	1.5	13	18	10	35	7	4	2	13	863500
10	1.5	14	16	10	35	8	4	2	14	871750
11	1.5	15	14	10	35	9	4	2	15	863500
12	1.5	16	13	10	35	10	4	2	16	880000
13	1.75	13	13	10	35	8	3	2	13	835156
14	1.75	14	12	10	35	9	3	2	14	853906
15	1.75	15	11	10	35	10	3	2	15	863281
16	1.75	16	10	10	35	11	3	2	16	863281

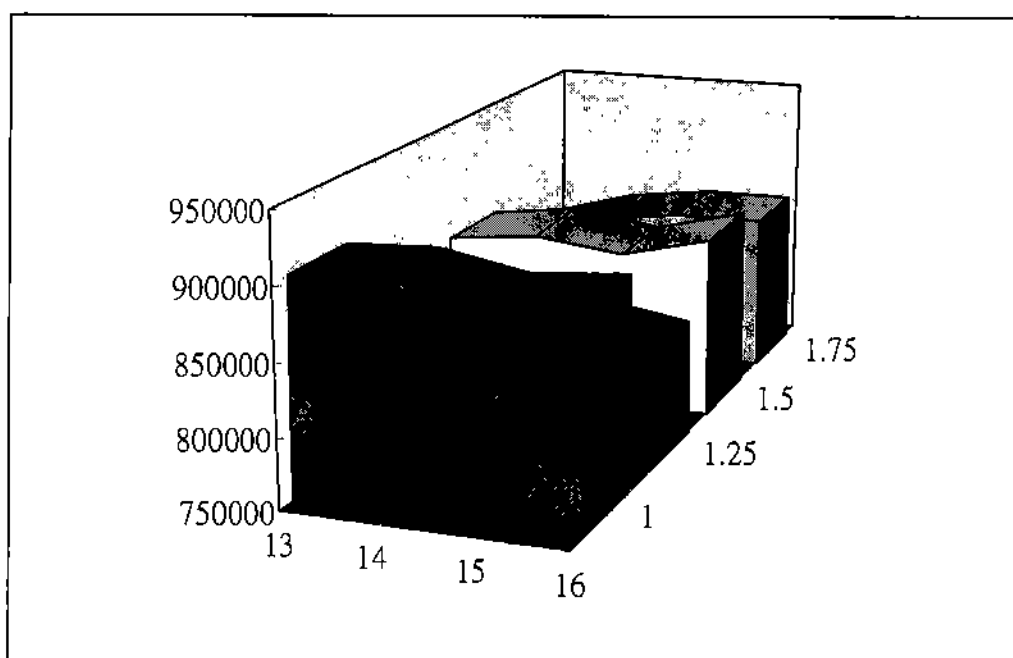


圖 4.8 1F 階段勞務資源成本變動

表 4.15 2F 階段勞務資源成本計算

方案	狀態變數		每日出工數			作業工期(天)			總和	成本(元)
	資源投入	階段天數	模板工	鋼筋工	泥水工	模板工	鋼筋工	泥水工		
1	1	13	22	10	35	6	5	2	13	673500
2	1	14	19	10	35	7	5	2	14	676500
3	1	15	17	10	35	8	5	2	15	685500
4	1	16	15	10	35	9	5	2	16	682500
5	1.25	13	15	10	35	7	4	2	13	670938
6	1.25	14	14	10	35	8	4	2	14	695875
7	1.25	15	12	10	35	9	4	2	15	681625
8	1.25	16	11	10	35	10	4	2	16	688750
9	1.5	13	11	10	35	8	3	2	13	668938
10	1.5	14	10	10	35	9	3	2	14	677188
11	1.5	15	9	10	35	10	3	2	15	677188
12	1.5	16	8	10	35	11	3	2	16	668938
13	1.75	13	10	10	35	8	3	2	13	722656
14	1.75	14	9	10	35	9	3	2	14	727344
15	1.75	15	8	10	35	10	3	2	15	722656
16	1.75	16	7	10	35	11	3	2	16	708594

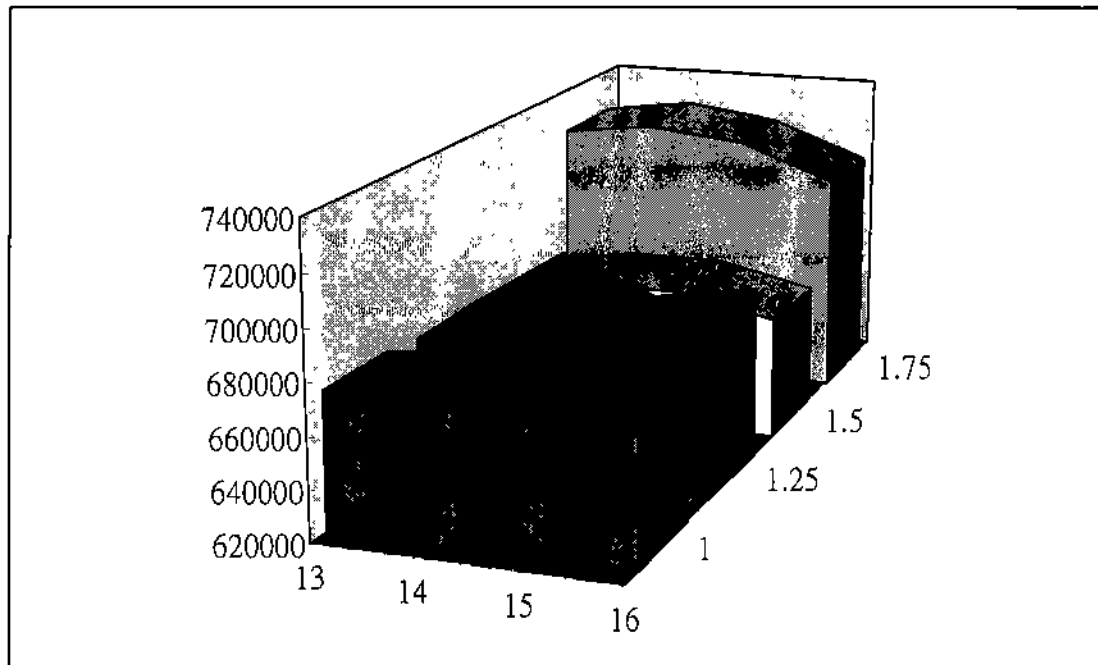


圖 4.9 2F 階段勞務資源成本變動

表 4.16 3F 階段勞務資源成本計算

方案	狀態變數		每日出工數			作業工期(天)				總和	成本(元)
	資源投入	階段天數	模板工	鋼筋工	泥水工	模板工	鋼筋工	泥水工			
1	1	13	10	10	35	6	5	2	13	457500	
2	1	14	8	10	35	7	5	2	14	445500	
3	1	15	7	10	35	8	5	2	15	445500	
4	1	16	7	10	35	8	5	2	15	445500	
5	1.25	13	7	10	35	7	4	2	13	471438	
6	1.25	14	6	10	35	8	4	2	14	467875	
7	1.25	15	5	10	35	9	4	2	15	457188	
8	1.25	16	5	10	35	9	4	2	15	457188	
9	1.5	13	5	10	35	8	3	2	13	470938	
10	1.5	14	5	10	35	8	3	2	13	470938	
11	1.5	15	4	10	35	10	3	2	15	470938	
12	1.5	16	4	10	35	10	3	2	15	470938	
13	1.75	13	4	10	35	8	3	2	13	497656	
14	1.75	14	4	10	35	8	3	2	13	497656	
15	1.75	15	4	10	35	8	3	2	13	497656	
16	1.75	16	3	10	35	11	3	2	16	502344	

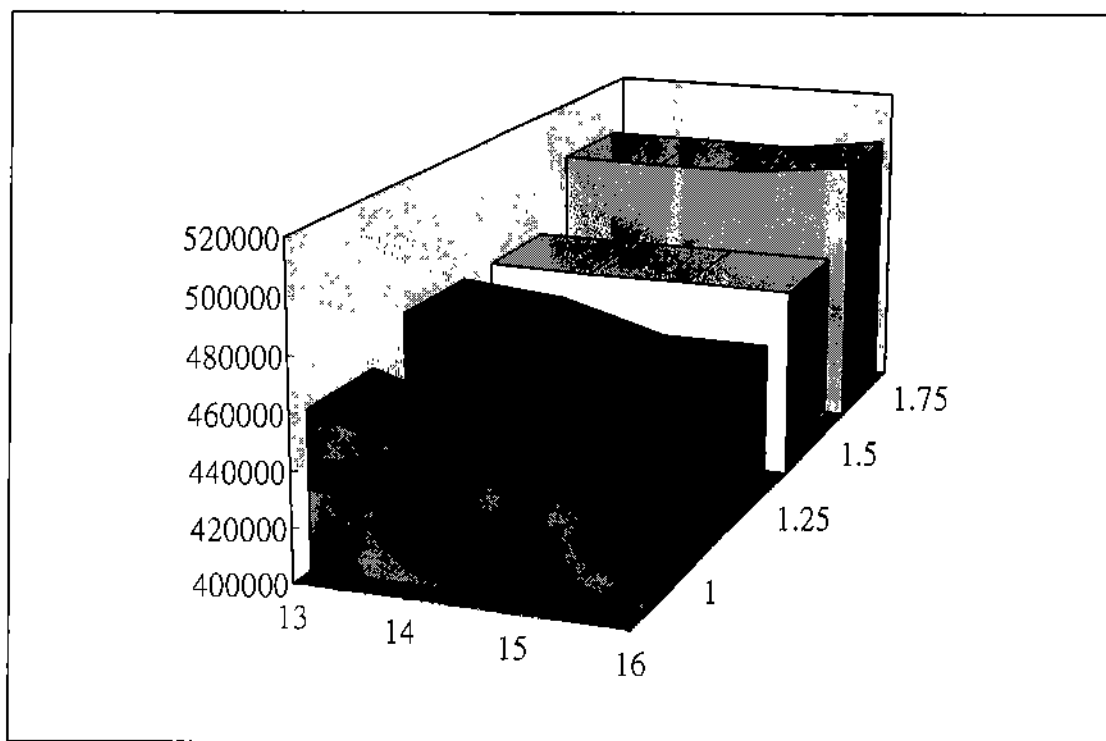


圖 4.10 3F 階段勞務資源成本變動

表 4.17 4F 階段勞務資源成本計算

方案	狀態變數		每日出工數			作業工期(天)			總和	成本(元)
	資源投入	階段天數	模板工	鋼筋工	泥水工	模板工	鋼筋工	泥水工		
1	1	13	13	10	35	6	5	2	13	511500
2	1	14	12	10	35	7	5	2	14	529500
3	1	15	10	10	35	8	5	2	15	517500
4	1	16	9	10	35	9	5	2	16	520500
5	1.25	13	9	10	35	7	4	2	13	521313
6	1.25	14	8	10	35	8	4	2	14	524875
7	1.25	15	7	10	35	9	4	2	15	521313
8	1.25	16	7	10	35	9	4	2	15	521313
9	1.5	13	7	10	35	8	3	2	13	536938
10	1.5	14	6	10	35	9	3	2	14	528688
11	1.5	15	6	10	35	9	3	2	14	528688
12	1.5	16	5	10	35	11	3	2	16	532813
13	1.75	13	6	10	35	8	3	2	13	572656
14	1.75	14	5	10	35	9	3	2	14	558594
15	1.75	15	5	10	35	9	3	2	14	558594
16	1.75	16	5	10	35	9	3	2	14	558594

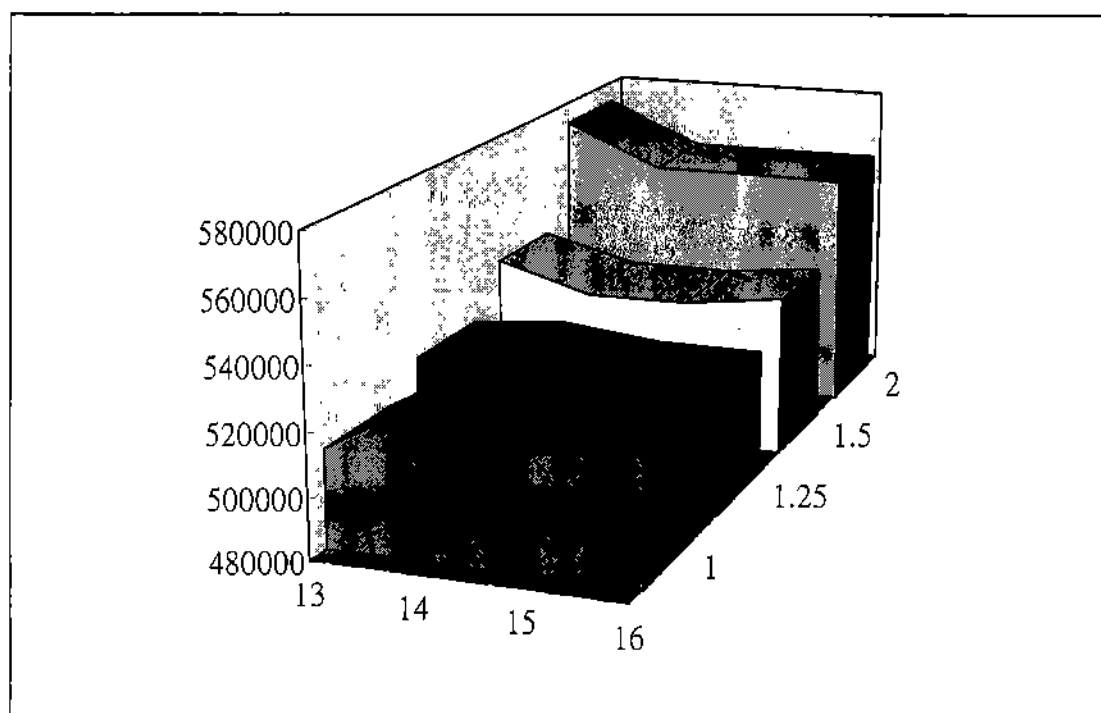


圖 4.11 4F 階段勞務資源成本變動

五、階段遞迴關係逆向運算

根據前述模式步驟之動態規劃逆向演算原則，依照階段數減少可分別可求出邊界成本值(公式 4-21)(表 4.18)及各階段遞迴關係逆向演算(公式 4-33)之樓層階段勞務成本目標函數累積值(表 4.19~4.22)，並作圖表現之(圖 4.12~4.15)。

。

表 4.18 邊界成本

4F 終點	
方案	邊界成本(萬元)
1	69.1500
2	69.7500
3	70.9500
4	70.9500
5	69.5875
6	69.5875
7	71.3688
8	68.8750
9	70.1938
10	71.4313
11	71.8438
12	71.4313
13	72.2656
14	72.7344
15	72.2656
16	72.2656

表 4.19 3F-4F 階段之總成本(萬元)計算

方案	3F-4F (遞迴階段: 3)																最低 成	決策 方案
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	165.3	165.9	167.1	167.1	165.7	165.7	167.5	165.0	166.3	167.6	168.0	167.6	168.4	168.9	168.4	168.4	165.0	8
2	164.1	164.7	165.9	165.9	164.5	164.5	166.3	163.8	165.1	166.4	166.8	166.4	167.2	167.7	167.2	167.2	163.8	8
3	164.1	164.7	165.9	165.9	164.5	164.5	166.3	163.8	165.1	166.4	166.8	166.4	167.2	167.7	167.2	167.2	163.8	8
4	164.4	165.0	166.2	166.2	164.8	164.8	166.6	164.1	165.4	166.7	167.1	166.7	167.5	168.0	167.5	167.5	164.1	8
5	163.7	164.3	165.5	165.5	164.1	164.1	165.9	163.4	164.7	166.0	166.4	166.0	166.8	167.3	166.8	166.8	163.4	8
6	164.4	165.0	166.2	166.2	164.8	164.8	166.6	164.1	165.4	166.7	167.1	166.7	167.5	168.0	167.5	167.5	164.1	8
7	163.1	163.6	164.8	164.8	163.4	163.4	165.2	162.7	164.0	165.2	165.7	165.2	166.1	166.5	166.1	166.1	162.7	8
8	163.2	163.6	164.8	164.8	163.4	163.4	165.2	162.7	164.0	165.2	165.7	165.2	166.1	166.5	166.1	166.1	162.7	8
9	162.6	163.1	164.2	164.2	162.9	162.9	164.7	162.2	163.5	164.7	165.1	164.7	165.6	166.0	165.6	165.6	162.2	8
10	163.1	163.6	164.7	164.7	163.3	163.3	165.1	162.6	163.9	165.1	165.6	165.1	166.0	166.4	166.0	166.0	162.6	8
11	161.9	162.4	163.5	163.5	162.1	162.1	163.8	161.3	162.7	163.9	164.3	163.9	164.7	165.2	164.7	164.7	161.3	8
12	163.6	164.1	165.2	165.1	163.8	163.7	165.5	163.0	164.3	165.6	166.0	165.6	166.4	166.9	166.4	166.4	163.0	8
13	164.2	164.7	165.8	165.7	164.4	164.4	166.1	163.6	165.0	166.2	166.6	166.2	167.0	167.5	167.0	167.0	163.6	8
14	167.5	168.0	169.1	169.0	167.7	167.6	169.4	166.9	168.2	169.5	169.9	169.5	170.3	170.8	170.3	170.3	166.9	8
15	165.2	165.7	166.8	166.8	165.4	165.3	167.1	164.6	165.9	167.1	167.5	167.1	168.0	168.4	168.0	168.0	164.6	8
16	166.2	166.7	167.8	167.7	166.4	166.3	168.0	165.5	166.8	168.1	168.5	168.1	168.9	169.4	168.9	168.9	165.5	8

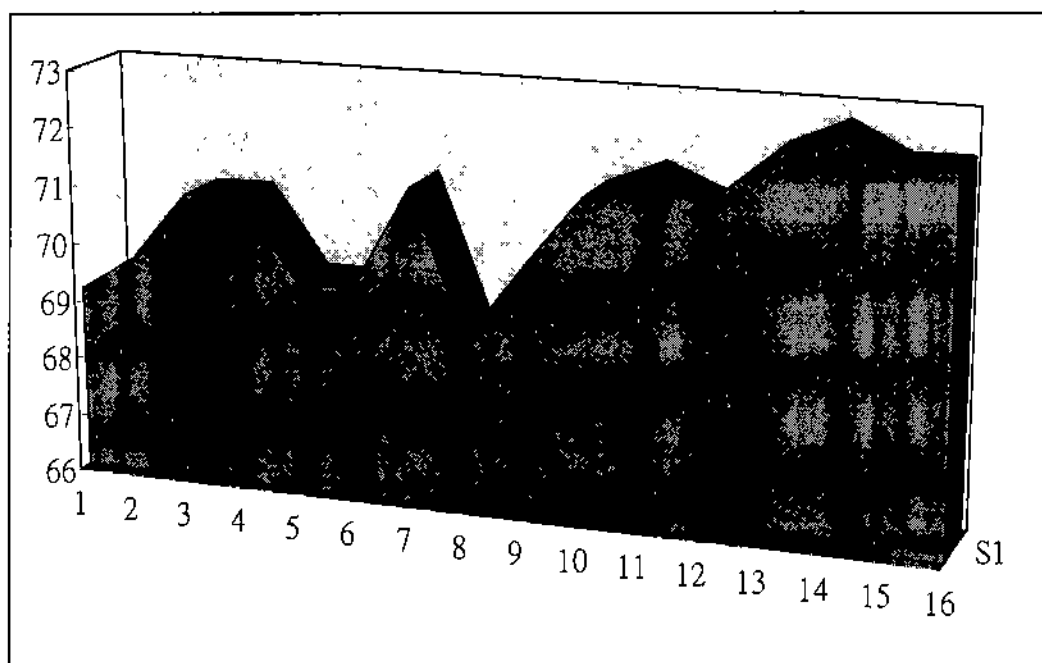


圖 4.12 3F-4F 階段之成本比較

表 4.20 2F-3F 階段之總成本(萬元)計算

方案	2F-3F (遞迴階段: 2)																最低 成	決策 方案
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	233.0	231.6	231.4	231.6	230.9	231.5	230.0	230.0	229.5	229.9	228.7	230.3	231.0	234.3	231.9	232.9	228.7	11
2	233.4	232.0	231.8	232.0	231.3	231.9	230.4	230.3	229.8	230.2	229.0	230.6	231.3	234.6	232.2	233.2	229.0	11
3	234.4	232.9	232.8	233.0	232.3	232.9	231.4	231.3	230.8	231.1	229.9	231.5	232.2	235.5	233.1	234.1	229.9	11
4	234.1	232.7	232.6	232.8	232.1	232.7	231.1	231.1	230.6	230.9	229.6	231.2	231.9	235.2	232.8	233.8	229.6	11
5	233.0	231.6	231.4	231.6	230.9	231.5	230.0	229.9	229.4	229.8	228.4	230.1	230.8	234.0	231.7	232.6	228.4	11
6	235.5	234.1	233.9	234.1	233.4	234.0	232.5	232.4	231.9	232.3	231.0	232.6	233.3	236.5	234.2	235.1	231.0	11
7	234.2	232.7	232.6	232.8	232.1	232.7	231.2	231.1	230.6	230.9	229.6	231.2	232.0	235.2	232.8	233.7	229.6	11
8	234.9	233.5	233.3	233.5	232.8	233.4	231.9	231.8	231.3	231.7	230.4	232.0	232.7	235.9	233.5	234.4	230.4	11
9	232.9	231.5	231.4	231.5	230.9	231.5	229.9	229.8	229.4	229.7	228.4	230.0	230.7	234.0	231.5	232.4	228.4	11
10	233.8	232.4	232.2	232.4	231.7	232.3	230.8	230.7	230.2	230.6	229.3	230.9	231.6	234.8	232.4	233.3	229.3	11
11	233.8	232.4	232.3	232.4	231.8	232.4	230.8	230.7	230.3	230.6	229.3	230.9	231.6	234.9	232.4	233.3	229.3	11
12	233.0	231.6	231.5	231.7	231.0	231.6	230.0	230.0	229.5	229.8	228.5	230.1	230.8	234.1	231.7	232.6	228.5	11
13	238.3	236.9	236.8	237.0	236.3	236.9	235.3	235.3	234.8	235.1	233.8	235.4	236.1	239.4	237.0	237.9	233.8	11
14	238.8	237.4	237.3	237.5	236.8	237.4	235.8	235.8	235.3	235.6	234.3	235.9	236.6	239.9	237.5	238.4	234.3	11
15	238.4	237.0	236.8	237.0	236.3	236.9	235.4	235.3	234.8	235.2	233.9	235.5	236.2	239.5	237.0	237.9	233.9	11
16	237.0	235.6	235.5	235.7	235.0	235.6	234.0	234.0	233.5	233.8	232.5	234.1	234.8	238.1	235.7	236.6	232.5	11

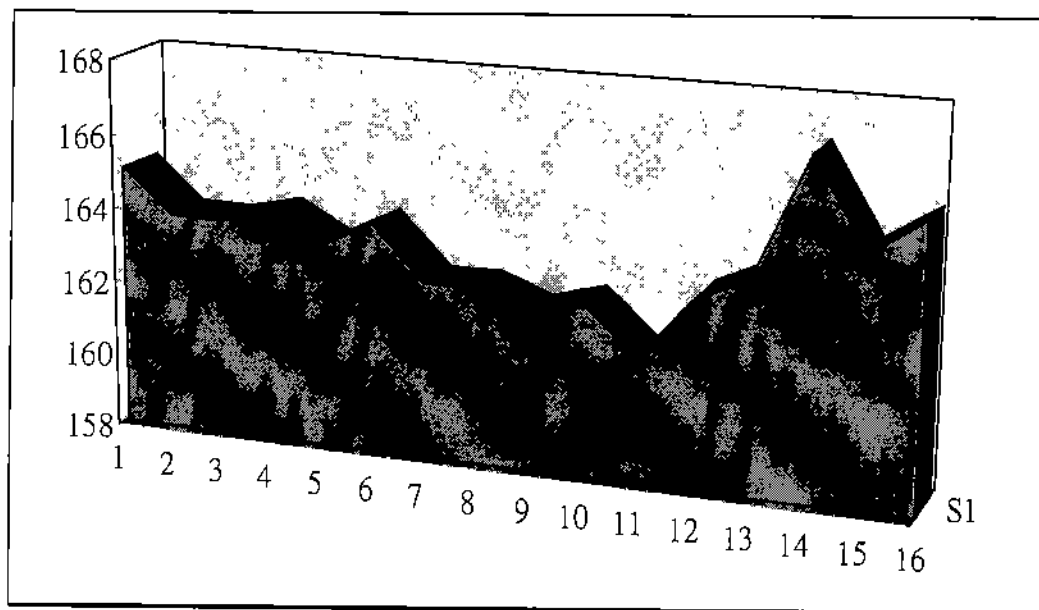


圖 4.13 2F-3F 階段之成本比較

表 4.21 1F-2F 階段之總成本(萬元)計算

方案	1F-2F (遞迴階段 1)																最低 總成	決策 方案
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	318.9	319.2	320.1	319.8	318.7	321.2	319.9	320.6	318.6	319.5	319.5	318.8	324.0	324.6	324.1	322.8	318.6	9
2	319.2	319.5	320.4	320.1	319.0	321.5	320.2	320.9	318.9	319.8	319.8	319.1	324.3	324.9	324.4	323.1	318.9	9
3	318.0	318.3	319.2	318.9	317.8	320.3	319.0	319.7	317.7	318.6	318.6	317.9	323.1	323.7	323.2	321.9	317.7	9
4	318.6	318.9	319.8	319.5	318.4	320.9	319.6	320.3	318.3	319.2	319.2	318.5	323.7	324.3	323.8	322.5	318.3	9
5	310.8	311.1	312.0	311.7	310.5	313.0	311.7	312.4	310.4	311.3	311.3	310.6	315.9	316.4	315.9	314.6	310.4	9
6	312.6	312.8	313.7	313.4	312.3	314.8	313.5	314.2	312.2	313.1	313.1	312.3	317.6	318.1	317.7	316.3	312.2	9
7	313.1	313.3	314.1	313.8	312.6	315.2	313.8	314.6	312.6	313.4	313.5	312.7	318.0	318.5	318.1	316.7	312.6	9
8	312.1	312.3	313.1	312.7	311.6	314.1	312.7	313.5	311.5	312.4	312.4	311.6	316.9	317.4	317.0	315.6	311.5	9
9	315.2	315.4	316.2	315.9	314.8	317.3	316.0	316.7	314.7	315.6	315.6	314.9	320.1	320.7	320.2	318.9	314.7	9
10	316.1	316.3	317.1	316.8	315.6	318.1	316.8	317.5	315.6	316.4	316.5	315.7	321.0	321.5	321.0	319.7	315.6	9
11	315.3	315.5	316.4	316.0	314.8	317.3	316.0	316.7	314.7	315.6	315.6	314.9	320.1	320.7	320.2	318.9	314.7	9
12	317.0	317.2	318.0	317.7	316.5	319.0	317.6	318.4	316.4	317.3	317.3	316.5	321.8	322.3	321.9	320.5	316.4	9
13	312.5	312.7	313.6	313.2	312.0	314.5	313.1	313.9	311.9	312.8	312.8	312.0	317.3	317.8	317.4	316.0	311.9	9
14	314.5	314.6	315.5	315.1	313.9	316.4	315.0	315.8	313.8	314.6	314.7	313.9	319.2	319.7	319.3	317.9	313.8	9
15	315.4	315.6	316.4	316.1	314.9	317.4	316.0	316.7	314.7	315.6	315.6	314.8	320.1	320.6	320.2	318.8	314.7	9
16	315.5	315.7	316.5	316.1	315.0	317.4	316.0	316.7	314.8	315.6	315.6	314.8	320.1	320.6	320.2	318.8	314.8	9

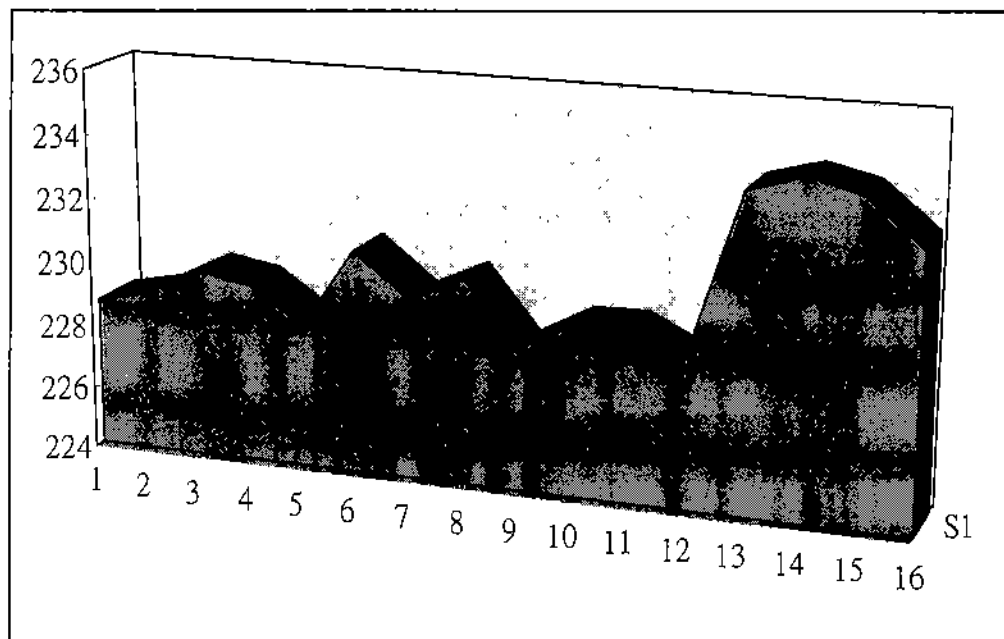


圖 4.14 1F-2F 階段之成本比較

表 4.22 起點-1F 階段之總成本(萬元)計算

方 案	起點-1F (遞迴階段: 0)																最低 成	決策 方案
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	320.0	320.1	318.7	319.2	311.2	312.9	313.2	312.1	315.4	316.2	315.3	316.9	312.4	314.2	315.1	315.1	311.2	5

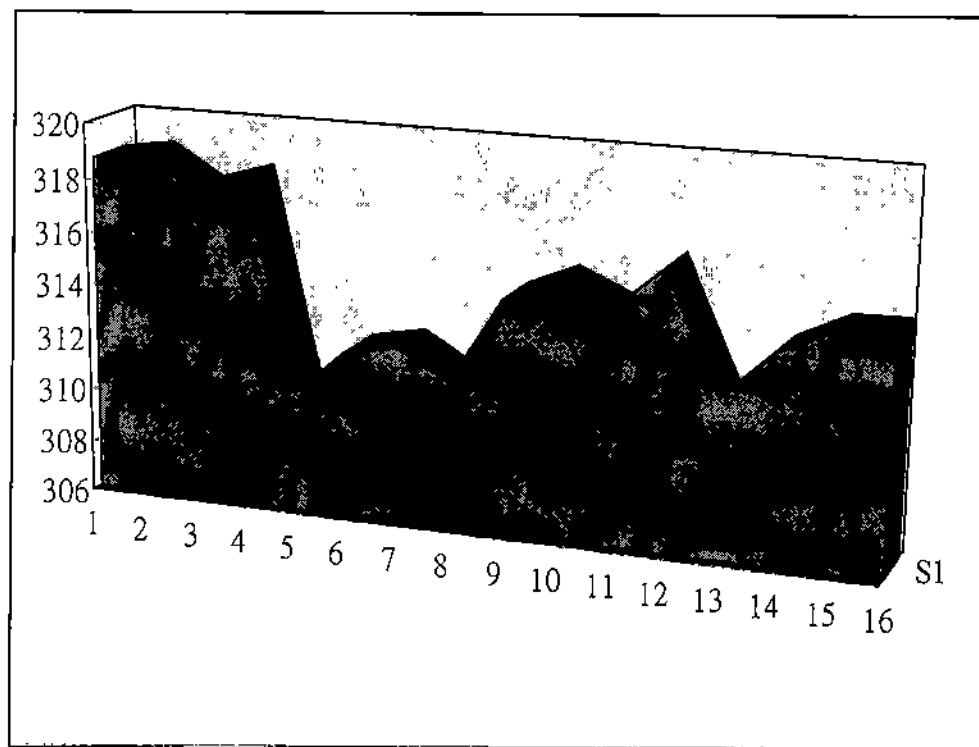


圖 4.15 起點-1F 階段之成本比較

六、整體成本目標函數計算(萬元)

將各階段遞迴關係逆向運算所得到之最佳方案路徑整理計算(公式 4-35)，表列出各階段方案之排程規劃及目標函數值(表 4.23)。

表 4.23 整體成本目標函數計算

樓層 階段	決策 方案	狀態變數		系統模擬作業		目標函數		
		資源投入	階段天數	出工數	工期	階段成本	累積成本	整體成本
1F	5	1.25	13	21	7	820563	820562.5	3112313
2F	9	1.5	13	11	8	668938	1489500	2283875
3F	11	1.4	15	15	10	924688	2414187.5	1613438
4F	8	1.25	16	11	10	688750	3102937.5	688750

七、施工排程最佳化分析

前階段所求之目標函數係考慮勞務成本最小為目標，但在營造廠商評估時，須考慮其他成本(如管理費成本)因素而非以勞務成本最小為絕對考量因素，故另外提出工期最少之決策方案及不須加班之決策方案進行總成本之相互比較評估，代入建構模式(公式 4-36)可計算出各方案之整體總成本(表 4.24)，由計算結果表(公式 4-37)中得知工期最少之各樓層決策方案路徑為此範例之最佳解。

表 4.24 最佳方案計算

最佳化 決策評估	階段最佳方案					管理 成本	勞務 成本	整體工程 總成本
	1F	2F	3F	4F	總工期			
總成本最低	5	9	11	8	57	1269580	3112313	4381893
工期最少	1	9	9	5	52	1158213	3126313	4284526
不須加班	1	3	1	3	56	1247307	3220000	4467307

第五章 系統模板施工排程策略

根據系統模板現況調查顯示，大部份系統模板施工排程均以傳統模板工程及甘梯圖進度表(bar-chart)進行規劃控制，雖然此方式應用在建築工程時較為單純簡便，但用在系統模板工程時卻無法充分滿足其工程特性而須不斷更改甚至放棄，以致施工排程規劃淪為徒具形式之施工計畫，違背施工規劃管理之初衷。有鑑於此，本研究延續前章節所建立之排程模式，擬定系統模板施工排程策略，以作為將來系統模板業者施工排程規劃時之參考。

本研究提出之系統模板施工排程規劃策略包括：水平與垂直構件分別施作計畫、少量採購大量轉用計畫、水平分區重複循環施工規劃、最佳分區面積規劃、考慮工率變化之排程規劃等。

5.1 水平與垂直構件分別施作計畫

將系統模板規劃分為以樓層為單位之水平垂直模板同時施工和水平與垂直樓板分段施工兩種方式。利用第四章所建立之施工規劃分析模式，建立同時施工與以及分段施工之比較。其中分段施工又可將樓層分為五、十、十五、二十區等方案。在考慮在整體工期目標相近時，營造廠商之工程成本結構在各規劃考量方案之差異(表 5.1,圖 5.1)。

表 5.1 水平與垂直構件施工規劃結果比較

方案	區工期	總工期	分區面積	勞務成本	材料成本	管理成本	總和	成本差異
同時施工	15	75	163000	76564875	47200000	13068000	136995875	0.00%
分5區	12.5	73	163000	76590300	44000000	12632400	133385700	-2.64%
分10區	15	81	268000	76564875	40000000	14113440	130946315	-4.42%
分15區	15	79	288000	76564875	36000000	13764960	126617835	-7.58%
分20區	15	78	643000	76564875	32000000	13590720	122798595	-10.36%

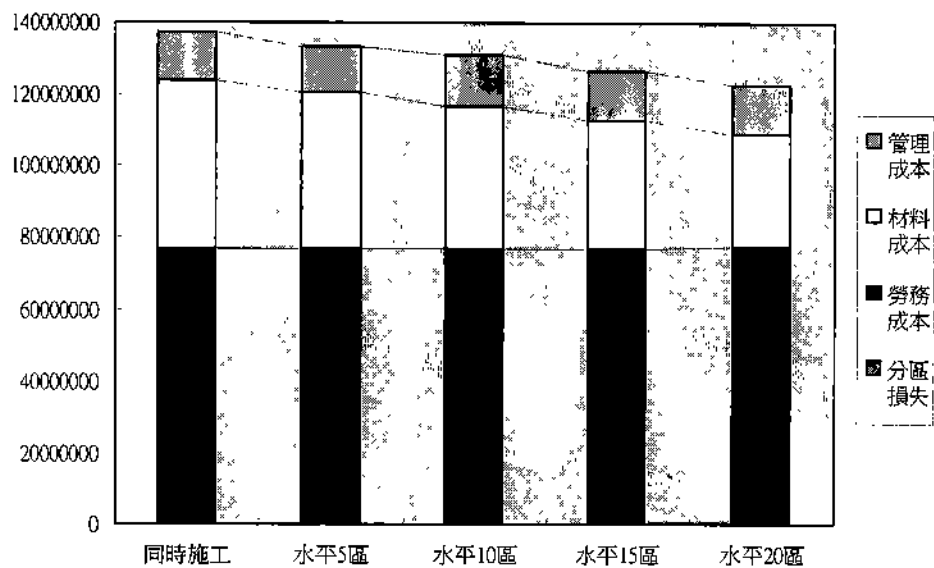


圖 5.1 水平與垂直構件施工規劃結果比較

由分析結果得知，系統模板之水平構件與垂直構件施工規劃時，分別兩段施工與同時施工之規劃方式之成本結構均有不同，其中兩段施工之分區面積損耗成本因分區數量增加而累積增加、材料成本因轉用次數增加而降低。最後兩段施工方案與同時施作方案在總成本之比較，約減少 2.64 % 至 10.36 % (表 5.1)。故營造廠商在規劃系統模板施工時，可採用水平構件與垂直構件分別施作之規劃策略以降低工程成本。

5.2 少量採購大量轉用計畫

將各施工分區部份之垂直模板於各分區內再行轉用，以符合少量採購大量轉用之規劃策略，利用第四章所建立之排程分析模式，分別建立各分區內再行轉用一至四次之方案進行比較評估，求得在整體工期目標不變之下，建築工程中各成本結構與系統模板轉用次數之變化(表 5.2, 圖 5.2)。

表 5.2 轉用次數增加之成本分析比較

區內轉用	整體次數	分區損失	勞務成本	材料成本	管理成本	總和	成本差異
1	轉25次	163000	76820000	44000000	18730800	139713800	0.00%
2	轉50次	163000	76820000	20000000	18730800	115713800	-17.18%
3	轉75次	163000	76820000	12000000	18730800	107713800	-22.90%
4	轉100次	163000	76820000	8000000	18730800	103713800	-25.77%

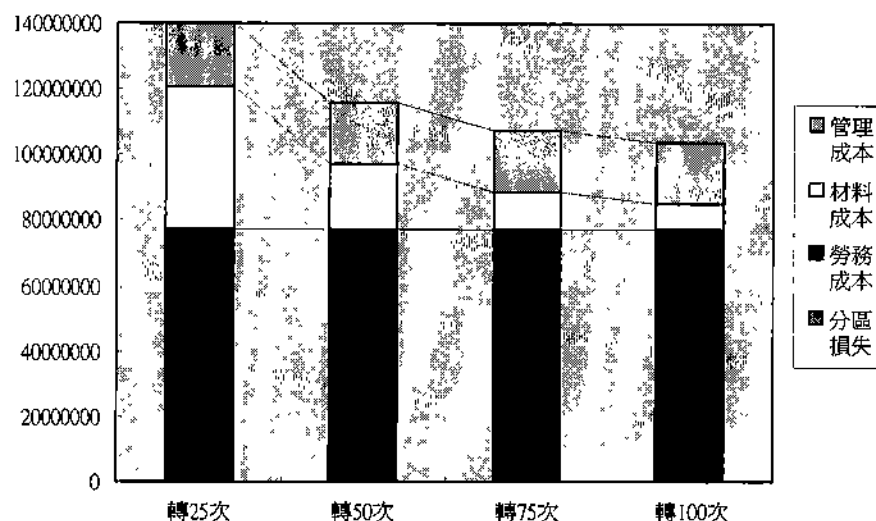


圖 5.2 轉用次數增加之成本分析

由分析結果得知，建築工程中各成本結構隨系統模板轉用次數增加而變化，分區面積損耗成本、勞務成本及管理成本均因分區循環次數未增加和整體工期固定下而無變動。系統模板之材料成本因轉用次數增加而大幅降低，造成整體工程總成本隨轉用次數增加而減少達 17 % 至 25 % (表 5.2)，故營造廠商在面對昂貴之系統模板材料成本時，宜採用少量採購大量轉用之規劃策略以減少材料之固定成本。

5.3 水平分區重複循環施工規劃

將系統模板之建築工程規劃為水平分區重複循環同步施工方式。此方式係將工廠生產模式運用於現場，以水平分割成若干作業分區，作業人員每天反覆從事同相同之作業內容，以達

到勞務資源拉平計畫，減少尖峰人力斷續進場造成之生產力降低。現利用前章節所建立之施工規劃分析模式，探討由於水平分區重複循環施工規劃造成之勞務資源拉平、同時施作形成勞務尖峰人力需求間兩者之生產力損失狀況(表 5.3,圖 5.3)。

表 5.3 勞務資源拉平與尖峰人力之生產力損失比較

分區數	作業工期	竣工期	模板組裝	鋼筋綁紮	水電配管	澆設土澆	模板拆除	總和	比例
無	15	75	380	206	333	636	675	3392000	100.00%
5	1	29	380	165	134	255	270	383000	3.38%
5	1.5	43.5	253	110	89	170	180	255125	2.25%
5	2	58	190	83	67	128	135	191763	1.69%
5	2.5	72.5	152	66	54	102	108	153300	1.35%
10	1	54	190	83	67	128	135	191763	1.69%
10	1.5	81	127	55	45	85	90	127875	1.13%
10	2	108	95	42	34	64	68	96350	0.85%
10	2.5	135	76	33	27	51	54	76650	0.68%
15	1	79	127	55	45	85	90	127875	1.13%
15	1.5	118.5	85	37	30	57	60	85550	0.75%
15	2	158	64	28	23	43	45	64513	0.57%
15	2.5	197.5	51	22	18	34	36	51225	0.45%
20	1	104	95	42	34	64	68	96350	0.85%
20	1.5	156	64	28	23	43	45	64513	0.57%
20	2	208	48	21	17	32	34	48363	0.43%
20	2.5	260	38	17	14	26	27	38713	0.34%

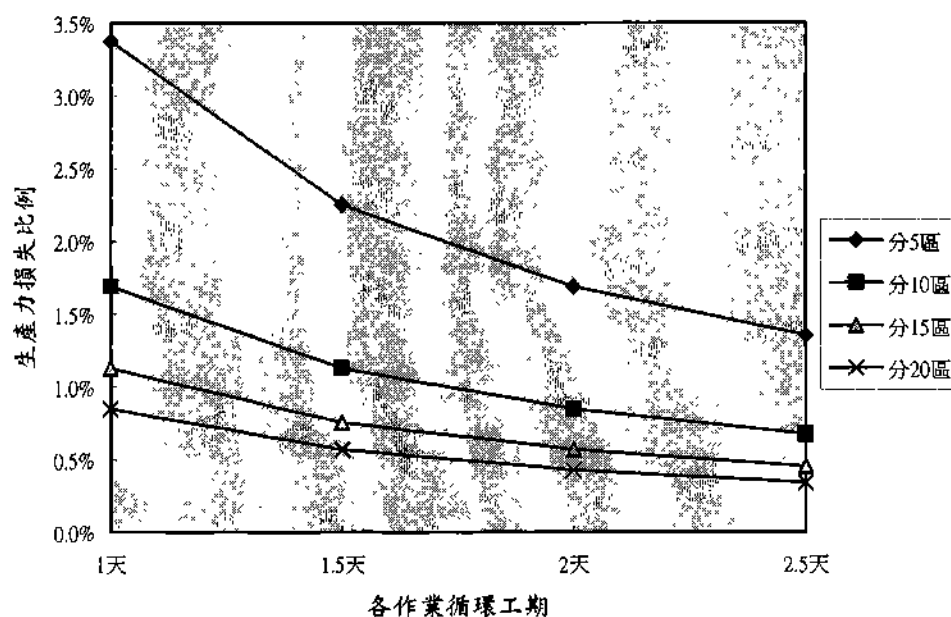


圖 5.3 勞務資源拉平與尖峰人力之生產力損失比較

由分析結果得知，水平分區規劃之勞務資源生產力損失成本只佔同時施作成本約 1 % (表 5.3)，其顯著差異主要因為同時施作之尖峰人力每次進場人數較多，並且斷續進場造成每次之生產力損失累加；而資源拉平之勞務，每次進場人數較少，且每天重複同樣工作而無斷續進場之生產力損失。另外，資源拉平較尖峰人力之出工較少，可有效防止現場因過度擁擠造成干擾而降低整體工程生產力。故系統模板以水平分區重複循環之施工方式，可顯著提升現場生產力並且降低勞務損失成本，增加營造廠商之獲利。

5.3 最佳分區面積規劃

在水平分區重複循環施工規劃時，各分區面積之切割大小，間接造成勞務因整數出工而形成之工率損耗，其分析方式可根據前述推導公式(公式 4-1)，以各面積值代入求得分別之工率損失比例(附錄二)，並繪出兩者之相關曲線如圖 5.4。

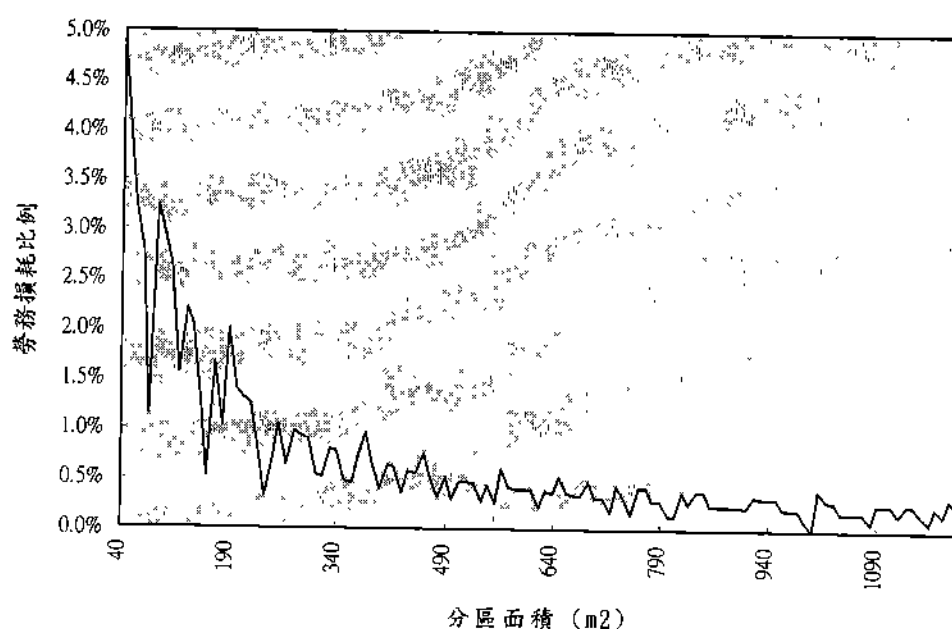


圖 5.4 分區面積與勞務損失關係

由圖表分析得知，水平分區面積之損耗隨面積逐漸增加而相對縮小其影響力，一般約在總勞務需求之 0.5 % 至 2 % (圖 5.4)，雖然單位分區影響比例不大，但在大面積多分區之現場規劃時，單位分區損耗在多分區數量之累積下，亦將造成工程成本可觀之增加。另外，工程師利用此模式分析，可清楚了解規劃損失，進而有效控制成本。故營造廠商在作分區面積分割規劃時，可採用最佳分區面積以降低勞務損耗成本。

5.4 工率變化之排程規劃

在系統模板施工工率規劃方面，可假設最小值規劃、平均值規劃及實際施工等三方案進行評估比較。首先為最小值規劃係假設系統模板施工技術成熟，工率以穩定之定值規劃排程。而後為平均值施工規劃係考慮系統模板工率成學習曲線變化，將各階段工率與施工面積相乘積除以總面積可求得平均工率，再以此平均值工率進行整體工程規劃。最後是實際施工分析係依據平均值規劃結果實際應用，面對各循環實際之學習曲線變化及氣象環境影響，造成整體工程在工期及成本方面之變動(表 5.4, 圖 5.5)。

表 5.4 未考慮工率變化之規劃結果比較

最佳化 決策評估	(決策, 工期)					管理 成本	勞務 成本	決策 總成本	實際規劃 比例
	1F	2F	3F	4F	總工期				
最小值規劃	(8,16)	(1,13)	(1,13)	(3,15)	57	1269580	2342875	3612455	17.30%
平均值規劃	(7,15)	(7,15)	(7,15)	(10,14)	59	1314127	2694875	4009002	5.69%
實際施工	(7,17.25)	(7,15.55)	(7,22.25)	(10,14.2)	69.25	1542429	2694875	4237304	0%

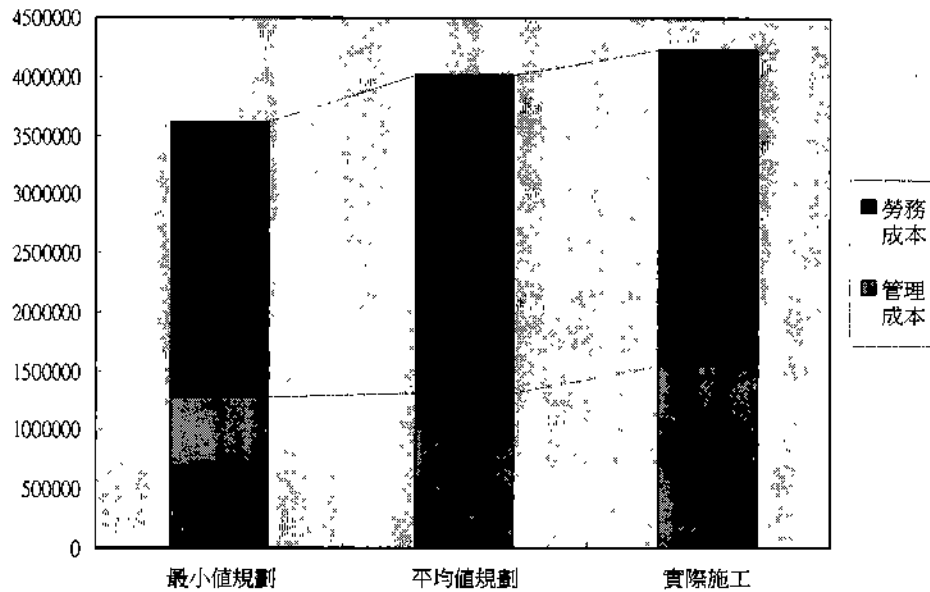


圖 5.5 工率變化之規劃結果比較

由工率變化規劃結果分析得知(表 5.4)，以平均値工率進行規劃實際施工時，系統模板施工在各階段樓層均造成延誤，促使整體工期延長而增加管理費支出，其總成本增加 5.69 %。若以最小值規劃，則總成本將增加 17.3 %。因此，營造廠商在系統模板施工規劃時，須事前考慮各種模板工率變化因子，加以分析探討並代入模式以建立最佳之排程規劃。

第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究對國內目前十種系統模板在建築工程實際施工個案進行調查、分析與探討。調查過程中，分析國內廠商於系統模板之整體施工規劃，而後透過LOB線性平衡規劃技術及二維動態規劃觀念等管理科學工具，針對大型化預組模板建立平均工率及具有學習曲線資料之施工排程模式。最後根據現況調查及所建構之模式應用，研擬出系統模板水平與垂直分段二次施工計畫、材料少量採購大量轉用計畫、分區重複循環施工規劃、最佳分區面積規劃及工率變化排程規劃等系統模板施工排程規劃策略。總結本研究完成之具體工作分項說明如次。

一、國內現有系統模板之種類與規劃應用實例

本研究在第三章已完成國內現有十種系統模板應用實例調查。針對各系統模板使用實績、工法體系及整體施工規劃均有詳細之記錄與分析，可作為國內廠商應用時重要參考資料，並作為系統模板施工排程模式建構及施工規劃之基礎。

二、系統模板施工排程模式建構

根據系統模板實績現況調查分析發現，大部份廠商缺乏詳細施工規劃，造成生產力損失及工期延誤。因此，本研究針對大片預組吊裝式系統模板，採用線性平衡排程技術(LOB)之管理科學工具，分析建構出大片預組吊裝式系統模板施工排程規劃步驟及範例，其中並考量垂直水平分段施作計畫、水平分區

重複循環施工計畫及最佳分區面積計畫等異於傳統系統模板之規劃模式。而後再以二維動態規劃模式，分析當系統模板施工速率隨樓層階段單元變化時，建構出滿足工率變化之系統模板施工排程規劃模式，並以範例演算證實其使用性。

三、系統模板施工排程規劃策略

根據先期研究發現，系統模板工程略加規劃即可提升生產力約 20% 及縮短約 30% 之工期效益。因此，本研究在建構完成施工排程模式後，進一步提出系統模板施工排程規劃策略。在水平與垂直構件分段施工計畫策略方面，系統模板之水平構件與垂直構件兩段施工方案與同時施作方案在總成本之比較，約可降低工程總成本 2.64 % 至 10.36 % (表 5.1) 之實際效益。在少量採購大量轉用計畫策略方面，系統模板之材料成本因轉用次數增加而大幅降低，造成整體工程總成本隨轉用次數增加而減少達 17 % 至 25 % (表 5.2)，可有效降低材料成本之投資。在水平分區重複循環施工規劃方面，水平分區規劃之勞務資源生產力損失成本只佔同時施作成本約 1 % (表 5.3)，可實際以資源拉平計畫降低尖峰人力需求之生產力損失。在最佳分區面積規劃策略方面，水平分區面積之損耗隨面積逐漸增加而相對縮小其影響力，一般約在總勞務需求之 0.5 % 至 2 % (圖 5.4)，如此可增強工程師規劃自信及減少多分區規劃之成本損失。在工率變化之排程規劃方面，系統模板施工採用平均值工率規劃，實際施工時總成本增加 5.69 %。若以最小值規劃，總成本將增加 17.3 %，故規劃者此為規劃原則降低工程總成本。

6.2 建議

鋼筋混凝土的發明已有相當長的歷史，模板工程之重要性及研發需求與日俱增。然而系統模板為鋼筋混凝土結構體施工自動化較具潛力的一個方法，根據以往的文獻資料及調查分析顯示，系統模板在台灣地區成功且普遍流傳的應用個案有限。本研究雖已建構出系統模板施工排程模式，並進一步提出系統模板施工排程規劃策略。但為建立更完善之系統模板施工規劃技術，系統模板施工排程之研究發展工作應有更多持續的投入。其中幾個特別值得注意的方向，在排程模式發展方面包括系統模板施工排程決策支援系統建立及排程模式後續研究方向。在排程模式之應用延伸方面包括施工排程規劃應用於框型手組式系統模板規劃及其他各工法施工排程規劃等，以下分別說明之。

一、系統模板施工排程決策支援系統

系統模板施工排程決策支援系統之架構包含三大模組：決策模組、資料庫模組及人機介面模組等。其中決策模組包括排程模式資料輸入、數學解析模式計算及最佳決策結果輸出，目前均已建構於 EXCEL 應用軟體中。資料庫模組包括系統模板各工法相關排程資料之建立，採用建築個案實際資料之輸入，排程方案結果之記錄等，均可利用現有之資料庫應用軟體(如 ACCESS)建構。至於人機介面模組，係將內部資料庫模組及決策模組與外部規劃工程師之使用者連結，利用親和之版面設計，方便使用者輸入資料及求得所需之決策輸出，在建構時可利用 Visual Basic 等整合性應用軟體，將各資料輸入記錄於資

料庫模組，提供決策模組參數演算，在求得最佳決策後，回饋於資料庫模組並以設計之版面輸出，提供規劃工程師在系統模板施工排程規劃決策之依據。

二、排程模式後續研究方向

本研究所建構之模式雖已具實用價值，但在現場複雜之工地環境下，仍有其後續可研究分析方向。在 LOB 排程模式方面，目前各作業項目分割以 WBS 做主要依據，未來可同時參考作業項目及實際施作構件範圍作為分割項目之根據。另外，目前分割之各作業項目規劃為循序重複施工，然實際個案無法確實分割成各作業項目循序施工而須部份平行施工規劃，故模式應根據此實際現象而加以修改。至於此模式在建立時為求單純簡單化，設定以垂直模板之重複性施工規劃作案例探討及模式建構，然實際系統模板工程係包含水平及垂直構件所組成，其水平作業雖然亦是重複循環施工作業，但與垂直模板作業之重複循環頻率因系統不同而有所差異，造成兩者之介面接合規劃亦是未來模式可研究之重點。最後在模式之成本分析架構上，材料費以等比例攤提及管理費以目標工期推算，均是較簡化之設計，後續可加以研究改善。在二維動態規劃模式建構方面，目前施工速率變化規劃為樓層循環單位之函數，未來可考慮施工速率為施工時間與作業位置之隨機變數，建構能同時考慮單元網圖各作業項目之解析模式，以求得各種最佳之規劃方案及其風險，而能有效提供決策者各種決策組合所對應之工程成本及其達成機率，使決策者能作成更滿意之決策。

三、框型手組式系統模板施工排程模式應用

框型手組式系統模板類次傳統框式木模，其主要差別在於模板材質及固定方式不同，施工特性為小型模矩化設計適合人工搬運組拆施作，施作循環以垂直構件與水平構件一次組裝重複施作為單元，轉用計畫以整套模板各樓層垂直翻用為主。因其施作技術與傳統模板工法相近，且框式小型模矩化設計，使得單位模板重量輕而供人工直接搬運組裝，不須仰賴吊裝機具組裝搬運，由於無吊裝作業需求，其施工速率可不受外在環境(如風力)及塔吊爬升等作業影響，故施工速率較為穩定，根據調查，目前國內採用此種系統實績包括 DH 系統模板、MASCON 系統模板、SYMONS 系統模板等三種，在規劃此類系統模板施工排程時，將每樓層視為單一循環作業，將工人整體規劃以施工順序編組，利用人力之循環各棟模擬工業化之生產線規劃，故可採用 LOB 線性平衡排程技術進行規劃模式建構。若須考慮工率成學習曲線成長之排程規劃時，只須將其工率變化塔吊部份之影響因子去除，即可參照二維動態規劃施工排程模式建構。

四、LOB 施工排程模式應用於其他工法

複合化工法、預鑄工法及鋼筋預組工法均可應用此施工排程模式規劃。因這類工法特性適於規劃為水平分區重複循環同步施工方式。而將工廠生產模式應用於現場工地環境，水平分割整體工程為若干作業分區，使作業人員每天反覆從事同相同之作業內容，以達到勞務平均化，作業標準化，縮短工期，提高生產力之目標。

參考文獻

1. 彭雲宏，「臺灣地區營建工程能量之調查與分析」，內政部建築研究所籌備處，(1991.06)。
2. 彭雲宏，「臺灣地區營建工程能量之調查與分析（二）」，內政部建築研究所籌備處，(1992.06)。
3. 彭雲宏，「集合住宅施工自動化個案研究（一）-模板施工自動化之研究」，內政部建築研究所籌備處。
4. Awad S Hanna ;Victor E Sanvido "Interactive Vertical Formwork Selection System ",Concrete International , pp26-32 , (1990.04)。
5. Anthony, W. R., "Concrete Buildings - New Formwork Perspectives," Forming Economical Concrete Building Proceedings of The Third International Conference, Editor Ramon J. Cook, ACI SP-107, pp.1-28, 1988.
6. 吉野次彥，「最近的模板工法」，日本建築技術雜誌“合理化模板工法特集”，pp.81-82，(1992.8)。
7. 彭雲宏，「集合住宅施工自動化個案研究-模板施工自動化之研究」，內政部建築研究所計畫成果報告，(1994)。
8. 彭雲宏，「集合住宅施工自動化個案研究(二)-系統模板技術發展策略」，內政部建築研究所計畫成果報告，(1995)。
9. 彭雲宏，「系統模板技術評估及推廣」，內政部營建署營建自動化專案計畫成果報告，(1996)。
10. 沈進發，「模板工程之現況及發展」，建築技術雜誌，第48～49頁。
11. 彭雲宏、游義琦，「台灣地區營造工程產能資訊推估與應用架構」，中國土木水利學會。

- 12.吉野次彥，「最近的模板工法」，日本建築技術雜誌“合理化模板工法特集”，pp.81-82，(1992.8)。
- 13.李世玉，「模板工程品質管制之研究」，國立台灣工業技術學院碩士論文，第 7-18 頁，(1990.06)。
- 14.陳淑如，「高層建築結構體施工合理化之研究－以鋼筋混凝土構造為對象」，國立成功大學建築研究所碩士學位論文，台南市，(1993)。
- 15.Lutz,J.D. and Hijazi , A. “ Planning Repetitive Construction : Current practice ” Journal of Construction Management and Economics , PP.99-100 (1993.11)。
- 16.謝定亞，「營建自動化研習會-施工技術自動化講義」，行政院國家科學委員會，(1990.06)。
- 17.李政憲，「營建業提昇生產力之研究-日本發展營建自動化之策略」，內政部營建署營建自動化叢書，(1995)。
- 18.Carr , Robert I. And Walter L. Meyer, “ Planning construction of repetitive building units, Journal of the Construction Divison , ASCE , Vol.100 , No.Co3 , pp.403-412 (1974.09)。
- 19.O’Brien , James J.”VPM Scheduling for High - Rise Buildings , “Journal of the Construction Division , ASCE , Vol.101 , No.Co4 , pp.895-905 (1975.11)。
- 20.O’Brien , James J.,Fred C. Kreitzberg , Wesley F. Mikes , ” Network Scheduling Variations for Repetitive Work,” Journal of Construction Engineering and Management, Vol.111 , No.2 , pp. 105-116(1993.06)。
- 21.Cole,L.J.R., ” Construction Scheduling : Principle , Practices , and Six Case Studies , “ Journal of Construction Engineering and Management, Vol.117 , No.4 , pp. 579-588 (1991.12)。

- 22.Gyula Sebestyen “ Planning repetitive construction : Comment” Construction Management and Economics , PP.99-100 (1993.11)。
- 23.高至瀚，「重複性工程排程等候時間之初步研究」，國立台灣工業技術學院碩士論文，(1994.07)。
- 24.O'Brien,J.J. , "Scheduling Handbook" , MDC Systems Corporation , New Jersey , (1967)。
- 25.Selinger , S. “ Construction Planning for Linear Projects , “ Journal of the Construction Division , Vol. 106 , No.CO4 , pp. 195-205 (1980.07)。
- 26.Dressler ,J., “ Stochastic Scheduling of Linear Construction Sites , “ Journal of the Construction Division , ASCE ,Vol. 100 , No.CO4 , pp. 571-587 (1974.12)。
- 27.Russell , Alan D. and William F. Caselton , “ Extensions to Linear Scheduling Optimization , “ Journal of the Construction Engineering and Management , Vol. 114 , No.1 , pp. 36-52 (1988.03)。
- 28.Moselhi,O., “Scheduling of Repetitive Projects with Cost Optimization “, Journal of the Construction Engineering and Management ,ASCE, Vol. 119 , No.4 , (1993)。
- 29.沈進發，「營建作業研究課程講義」，國立台灣工業技術學院，(1995)。
- 30.吳旻謙，「以二維動態規劃模式解析重複性施工排程之研究」，國立台灣工業技術學院碩士論文，(1994.06)。
- 31.F.S.Hiller and G.J.Lieberman , “Introduction to Operations Research 4-ed ” , (1986)。
- 32.「工料分析準則」，臺灣省政府住宅及都市發展局。

附錄一 最佳分區面積計算

面積	損失 工率	作業出工數				
		模板組	鋼筋綁	水電配管	混凝土澆	模板拆除
10	39.86%	3.16	1.37	1.11	2.12	2.25
20	14.89%	6.32	2.74	2.22	4.24	4.5
30	9.89%	9.48	4.11	3.33	6.36	6.75
40	4.90%	12.64	5.48	4.44	8.48	9
50	3.90%	15.8	6.85	5.55	10.6	11.25
60	3.23%	18.96	8.22	6.66	12.72	13.5
70	2.75%	22.12	9.59	7.77	14.84	15.75
80	1.15%	25.28	10.96	8.88	16.96	18
90	3.23%	28.44	12.33	9.99	19.08	20.25
100	2.90%	31.6	13.7	11.1	21.2	22.5
110	2.62%	34.76	15.07	12.21	23.32	24.75
120	1.57%	37.92	16.44	13.32	25.44	27
130	2.21%	41.08	17.81	14.43	27.56	29.25
140	2.04%	44.24	19.18	15.54	29.68	31.5
150	1.23%	47.4	20.55	16.65	31.8	33.75
160	0.52%	50.56	21.92	17.76	33.92	36
170	1.66%	53.72	23.29	18.87	36.04	38.25
180	1.01%	56.88	24.66	19.98	38.16	40.5
190	2.00%	60.04	26.03	21.09	40.28	42.75
200	1.40%	63.2	27.4	22.2	42.4	45
210	1.33%	66.36	28.77	23.31	44.52	47.25
220	1.26%	69.52	30.14	24.42	46.64	49.5
230	0.77%	72.68	31.51	25.53	48.76	51.75
240	0.32%	75.84	32.88	26.64	50.88	54
250	0.70%	79	34.25	27.75	53	56.25
260	1.05%	82.16	35.62	28.86	55.12	58.5
270	0.64%	85.32	36.99	29.97	57.24	60.75
280	0.97%	88.48	38.36	31.08	59.36	63
290	0.93%	91.64	39.73	32.19	61.48	65.25
300	0.90%	94.8	41.1	33.3	63.6	67.5
310	0.54%	97.96	42.47	34.41	65.72	69.75
320	0.52%	101.12	43.84	35.52	67.84	72
330	0.81%	104.28	45.21	36.63	69.96	74.25
340	0.78%	107.44	46.58	37.74	72.08	76.5
350	0.47%	110.6	47.95	38.85	74.2	78.75
360	0.46%	113.76	49.32	39.96	76.32	81
370	0.71%	116.92	50.69	41.07	78.44	83.25
380	0.95%	120.08	52.06	42.18	80.56	85.5
390	0.67%	123.24	53.43	43.29	82.68	87.75
400	0.40%	126.4	54.8	44.4	84.8	90
410	0.63%	129.56	56.17	45.51	86.92	92.25
420	0.61%	132.72	57.54	46.62	89.04	94.5
430	0.36%	135.88	58.91	47.73	91.16	96.75
440	0.58%	139.04	60.28	48.84	93.28	99
450	0.57%	142.2	61.65	49.95	95.4	101.25
460	0.77%	145.36	63.02	51.06	97.52	103.5
470	0.54%	148.52	64.39	52.17	99.64	105.75
480	0.32%	151.68	65.76	53.28	101.76	108
490	0.51%	154.84	67.13	54.39	103.88	110.25
500	0.30%	158	68.5	55.5	106	112.5

510	0.49%	161.16	69.87	56.61	108.12	114.75
520	0.48%	164.32	71.24	57.72	110.24	117
530	0.47%	167.48	72.61	58.83	112.36	119.25
540	0.27%	170.64	73.98	59.94	114.48	121.5
550	0.45%	173.8	75.35	61.05	116.6	123.75
560	0.26%	176.96	76.72	62.16	118.72	126
570	0.60%	180.12	78.09	63.27	120.84	128.25
580	0.42%	183.28	79.46	64.38	122.96	130.5
590	0.41%	186.44	80.83	65.49	125.08	132.75
600	0.40%	189.6	82.2	66.6	127.2	135
610	0.39%	192.76	83.57	67.71	129.32	137.25
620	0.22%	195.92	84.94	68.82	131.44	139.5
630	0.38%	199.08	86.31	69.93	133.56	141.75
640	0.37%	202.24	87.68	71.04	135.68	144
650	0.51%	205.4	89.05	72.15	137.8	146.25
660	0.35%	208.56	90.42	73.26	139.92	148.5
670	0.35%	211.72	91.79	74.37	142.04	150.75
680	0.34%	214.88	93.16	75.48	144.16	153
690	0.48%	218.04	94.53	76.59	146.28	155.25
700	0.33%	221.2	95.9	77.7	148.4	157.5
710	0.32%	224.36	97.27	78.81	150.52	159.75
720	0.18%	227.52	98.64	79.92	152.64	162
730	0.45%	230.68	100.01	81.03	154.76	164.25
740	0.31%	233.84	101.38	82.14	156.88	166.5
750	0.17%	237	102.75	83.25	159	168.75
760	0.43%	240.16	104.12	84.36	161.12	171
770	0.42%	243.32	105.49	85.47	163.24	173.25
780	0.28%	246.48	106.86	86.58	165.36	175.5
790	0.28%	249.64	108.23	87.69	167.48	177.75
800	0.15%	252.8	109.6	88.8	169.6	180
810	0.15%	255.96	110.97	89.91	171.72	182.25
820	0.39%	259.12	112.34	91.02	173.84	184.5
830	0.26%	262.28	113.71	92.13	175.96	186.75
840	0.38%	265.44	115.08	93.24	178.08	189
850	0.37%	268.6	116.45	94.35	180.2	191.25
860	0.25%	271.76	117.82	95.46	182.32	193.5
870	0.24%	274.92	119.19	96.57	184.44	195.75
880	0.24%	278.08	120.56	97.68	186.56	198
890	0.24%	281.24	121.93	98.79	188.68	200.25
900	0.23%	284.4	123.3	99.9	190.8	202.5
910	0.23%	287.56	124.67	101.01	192.92	204.75
920	0.33%	290.72	126.04	102.12	195.04	207
930	0.33%	293.88	127.41	103.23	197.16	209.25
940	0.33%	297.04	128.78	104.34	199.28	211.5
950	0.32%	300.2	130.15	105.45	201.4	213.75
960	0.21%	303.36	131.52	106.56	203.52	216
970	0.21%	306.52	132.89	107.67	205.64	218.25
980	0.21%	309.68	134.26	108.78	207.76	220.5
990	0.10%	312.84	135.63	109.89	209.88	222.75
1000	0.00%	316	137	111	212	225
1010	0.39%	319.16	138.37	112.11	214.12	227.25
1020	0.29%	322.32	139.74	113.22	216.24	229.5
1030	0.29%	325.48	141.11	114.33	218.36	231.75
1040	0.19%	328.64	142.48	115.44	220.48	234
1050	0.19%	331.8	143.85	116.55	222.6	236.25
1060	0.18%	334.96	145.22	117.66	224.72	238.5
1070	0.18%	338.12	146.59	118.77	226.84	240.75