

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與目的

營建業係一項重要的民生工程，其每年的產值皆約佔國民生產毛額的 4% 5%，由於其對原料、材料、機具等資源的所需皆具有帶動其他產業發展的作用，因此營建業對於國內生產毛額的貢獻已經超出本身行業的產值（1）。近來，由於經濟不景氣造成國家經濟競爭力的滑落，而社會結構的改變使得工資上揚與勞力供給不甚充足，因此營建業在工程方面的工期方面有增加的趨勢，而成本也有增加的壓力（2、3）。

為因應這多重的壓力，政府提出了產業自動化的政策（4），所謂產業自動化不僅是局限於使用機械人進行施工，而是更廣泛的包含凡是「利用機械、電腦及其他現代科技，透過合理化、標準化與機械化的程序，來提升營建生產力、縮短工期、降低造價、確保品質、保障安全及減少污染的方法。」（5）。基於這個較廣泛的定義，營建自動化的推動除了先從實際工程業務的需求性、技術性及經濟可行性等因素來篩選最具有發展潛能的項目，並經由發掘現行工作方法所存在的問題，以合理化、標準化與機械化的步驟漸次改善外，對於工程進行前，若是能對整個工作區域內的設施及各作業群組的位置做一整體的規劃、佈置，將會有效的提升整體工程的效益。

本研究的主要目的在於協助現場管理者，將工程區域內的各種設備、工作群組與資材等相關位置進行合理化的佈置，以求降低在工程進行中的高搬運成本，並探討分區堆置搬運所可能產生的經濟效益，以求營造成本的降低與生產力的提升。

## 1.2 研究範圍及內容

根據內政部營建署之「營建統計年報」統計文獻中，發現營建業每年約有五千億元的工程在進行，而且其工程承包金額也在逐年的增加，但是營建業的生產力卻增加甚少，再加上工資上揚，工期與成本的壓力，使得營建業的發展與競爭力無法提升。政府為提升營建生產力，振奮營建市場，致力於推動營建自動化的工作，包括了施工機械的引進、科技化軟硬體設備的發展與施工作業合理化的改善規劃等。以上工作對於單一工種的生產力而言，具有相當高程度的提升與改善，但是對於整體生產力的提升卻不易顯現出很大的改善效益，也就是說，對整體工程效益所能提升的改善效率是有限的。因此，本研究為有效提升整體的效益，試著從最根本的工作項目來進行，也就是說，從工程基地佈置的最適化著手，將工程基地所在範圍內的所有設施、工作群組與臨時設施加以適當的安排，以期望將工程進行中的搬運成本降低，並且試著去尋找材料分區堆置與搬運人數對於總搬運成本的影響與所產生總搬運時間的關係，進而提出最適化的佈置建議、合理化材料分區數量的建議與最經濟的搬運人數，以期協助營建業管理者在工資高漲、勞力不足、工期壓力等種種不利情況下，能降低不顯而易見的搬運成本，並且進而提高整體施工的生產力。

依據「台灣地區營建工程能量調查分析」(6)報告顯示，鋼筋混凝土建築約佔每年建築總量的80%以上。由此可見，鋼筋混凝土建築工程，仍是營建業承包工程上的主要工程項目，因此本研究亦針對建築工程來進行基地的佈置規劃，主要是以鋼筋工程為主，柱鋼筋籠預組的施作可以將原來為要徑工作之柱鋼筋作業移至非要徑外進行施作，而其場地的合理佈置將可以有助於生產力的提升；另外，在現場材料搬運、堆放區域數、

搬運人員數目與成本變化的關係亦是本研究探討的範圍，其結果將可以提供現場管理者對於材料堆置計畫的參考。

### 1.3 研究方法

工業工程對於工廠佈置的研究已經行之多年，而營建工程對於工地佈置的研究不甚充足，因此本研究主要是利用工業工程上佈置設施的方法進行改良，以期求得在能適用於營建工程之工地佈置上。本研究是以搬運成本為工地配置的主題來進行研究與分析，研究的方法主要是以工業工程中已經存在的工地佈置方法，配合營建工程的生產特性，將適用的模式加以分析改良，以經過實證的數學公式來式建立簡單的運算方法，並配合工業工程常用的圖表所提供的資訊，做為工地佈置的最適化分析模式。

#### 1.3.1 佈置問題之探討

現行工程著重於工作方法的改善與生產力的提升，其所顯現出來的效果對營建工程業，有相當大的助益，但是，往往對於一個新的工程開始，只期望生產力的提升與工作流程的改善是不夠的，若是能在工程開始之前進行工程基地中各設施的佈置計畫，如此一來再配合生產力的改善，將有助於工程進行的順暢。

根據 Nicol 和 Holier 的研究發現，最常被使用的佈置方式是採用人工與經驗的法則（7），如此的佈置方法，將會產生許多不合理的問題。比如說，佈置位置的良窳對於隱藏的搬運成本與時間，有很大的影響，再加上若是要進行移動設施時，如何的移動基準，可以使搬運成本與時間對整體工程影響最小。另外，堆置區域的數目多少，可以使搬運成本達到最佳的接受程度，一般而言，只是以經驗或任意佈置，這所造成隱形的搬運成本損失將不易發現。

總而言之，現行佈置缺少事前規劃，包括設施的位置、設施的堆置區數、缺乏彈性與搬運成本隱形浪費等缺失，經由量化的分析，將可以利用搬運成本的變化，有效的辨別出必須優先改善的設施，再以圖表的輔助來提出改善的方案。

### 1.3.2 量化技術發展

現行的電腦化輔助佈置技術不能廣泛使用的原因，就是雖然各種軟體以最佳的設計方式來設計，但是其限制亦相對增加，欲全面性使用有實際上的困難。再加上雖然在工業工程中有許多佈置的軟體與專家系統，可是就營建工程而言，生產特性的不同，其電腦輔助應用程式亦不合適使用，因此，可以藉助電腦化的設計理念，以量化分析的方法，建立適合營建工程工地佈置的分析模式，做為以後發展的基礎。

在量化技術建立之前，必須將相關學理加以分類與分析，其中使用的學理包括，單一設施規劃、成本輪廓線、系統化設施佈置方法等，另外就是工業工程中佈置常用的相關圖表，以輔助建立量化技術的計算與記錄。

### 1.3.3 量化技術發展的預期結果

量化技術的發展，經由原始基地佈置中的材料處理單價、搬運距離與流量的彙整計算，求得做為比較用的初始搬運成本，接著利用相關數理，如中位數權值法、成本輪廓線來協助，尋求最佳的佈置位置，以求降低搬運成本。

除此之外，利用量化的技術，分析材料在不同堆置區數目對應於搬運成本與搬運時間的曲線變化，以求得最佳的堆置區域數使得總搬運成本為最低，做為工程管理者在規劃工地佈置時的參考。

## 第二章文獻回顧

本研究主要是以運輸成本的觀點，來對於工地配置的計畫進行討論，因此對於文獻的蒐集與分析主要是針對物料運輸部份的研究進行探討，並且以工業工程曾經發表過的工廠佈置計畫為研究分析的輔助工具。主要可以分成兩部份，一部份是工地佈置的發展情況，另一部份是相關運輸計畫的文獻。

### 2.1 工地佈置的發展現況

工地的佈置，在營建工程中總是以獨立的方式，與整體工程的資源配置、位置規劃分開處理，比如說在計畫時的時程規劃與施工計畫書的內容皆缺少一體性作業。但是，工地配置的計畫與組織，與工程基地中各種動態與靜態資源位置的互動相關連。Tommelein, Iris D. (8) 提到以空間化的數值資料，利用 MovePlan 所提供的應用軟體，以互動的方式來作為工地物料移動的規劃，甚至在工程進行時亦可以進行。

隨著科的進步，利用電腦處理工地佈置也越來越廣泛，但是發展大都以工業工程為主，在營建工程上的應用不多，在台灣工業技術學院，工程技術研究所工業管理組碩士余振銘君，所發表的碩士論文中提到利用專家系統來協助進行佈置的計畫 (10)，目的主要是將各類型電腦化輔助程式，以組合的方式，重新組合與分析，使之能整合使用於一般 PC 電腦之上。另外，在營建工程方面，Hamiani, A. 在 1989 年提出對於臨時設施的工地配置計畫，是採用專家系統 (Expert System) 來對於配置前的設施配置進行建議，這將是工地配置計畫的一個趨勢 (9)。還有就是利用現今熱門的地理資訊系統 (GIS)，將工

程基地的資料以 CAD 和資料庫 ( DataBase ) 兩部份來記錄空間所構成的地形圖 , 並且利用 Arc/Info ( 圖形 / 資料庫 ) 系統提供即時性反應處理能力 , 做為臨時設施的配置計畫的輔助 ( 11 ) 。除此之外 , 中華工學院土木工程系 , 葉怡成君利用基因遺傳演算法 ( Genetic algorithms eng. ) 的輔助 , 進行工程基地位址進行最佳化的計算 , 也就是說 , 對於基地的設施給予一定性的敘述 , 並給予是適當的分數 , 利用基因遺傳的原理 , 經過無數次的運算 , 將各設施依評分的高低 , 進行位址的安排 ( 12 ) 。隨著多變的工程進行 , 工廠或是工程具有少量生產的形態時 , 其設施的配置應具有彈性的變化 , 因此為因應這種需求 , 台灣工技術學院碩士張榮春 , 提出了 “ 利用 MRP 從事工廠佈置彈性調整之研究 “ , 也就是說利用物料需求計畫 ( MRP ) 建立物料需求矩陣 , 以程序佈置為主 , 並且輔以最小路徑計算法 , 建立一套評估配置的方法 ( 13 ) 。

另外 , 應用於矽晶片配置線路與薄片配置的 VLSI ( Very Large - Scale Integrated ) 線路設計 , 在空間配置規劃上亦有所發展 , 其中分成了成形配置 ( Constructive Placement ) 與改善的方法 ( Improvement ) ( Preas & Lorenzetti 1988 ) 。本研究著重於改善的進行 , 就改善的配置手法而言 , 分成互換、直接力法 ( Force-Direct method ) 、非連結設定 ( unconnected sets ) 與逐步接近 ( simlated annealing ) 。

## 2.2 運輸相關學術發表

前一接所敘述皆為近十年來發表過有關於設施配置的文獻 , 可以見得以電腦輔助 ( Computer-Added ) 來進行規劃為未來的趨勢 , 但是一切的電腦化程序 , 必須要有相關的學理來支持 , 本節將對於相關學理進行回顧。

### 2.2.1 Warszwaski 運輸理論 (14)

1973 年發表有關於在材料供應中心於運輸目的地間運輸時間的文獻，這運輸時間的因子計算事數量化技術（本研究）的基礎。在其文章中定義了三項營建工程中發生的運輸工作，包括直線式移動運輸、固定式起重機運輸與移動式起重機運輸。

就直線式運輸而言，包括了手推車，卡車與裝載機等，其時間的計算主要是經由距離來支配，公式如下：

$$t_{ij} = f(d_{ij}) + t_0$$

其中  $t_{ij}$  為在設施  $i$  及設施之間的直線運輸時間

$d_{ij}$  為在設施  $i$  及設施之間的距離

$t_0$  為裝卸材料的時間

因此，設施  $i$  到其他設施間的直線運輸時間的計算方式為

$$T_i = \sum_{j=1}^m t_{ij} * Q_{ij}$$

其中  $Q_{ij}$  為在設施  $i$  與設施  $j$  之間的運輸次數

而總運輸時間定義為  $T$

$$T = \sum_{i=1}^m * \sum_{j=1}^m * t_{ij} * Q_{ij}$$

在起重機械運輸方面，可以分成垂直、水平與旋轉三種運輸方式，其運輸速度分別為  $V_d$ 、 $V_v$  及  $V_r$ ，由圖 2.1 所示  $d_{si}$  及  $d_{sj}$  為設施  $i$ 、 $j$  與起重機之距離， $r_{isi}$  為設施  $i$  與  $j$  間的旋轉距離，而 Warszwaski 只提到在設施  $i$  到  $j$  來回運輸時間的計算包括了水平及旋轉移動，其計算方式如下，

$$t_{ij}^d = 2 \left[ \frac{|d_{si} - d_{sj}|}{V_d} \right] \quad t_{ij}^r = 2 \left[ \frac{|2kd_{si} - (r_{isj} / 360)|}{V_r} \right]$$

因此，運輸總時間為  $T = t_0 + t_{ij}^d + t_{ij}^r$  其中  $t_0$  為裝卸之時間。

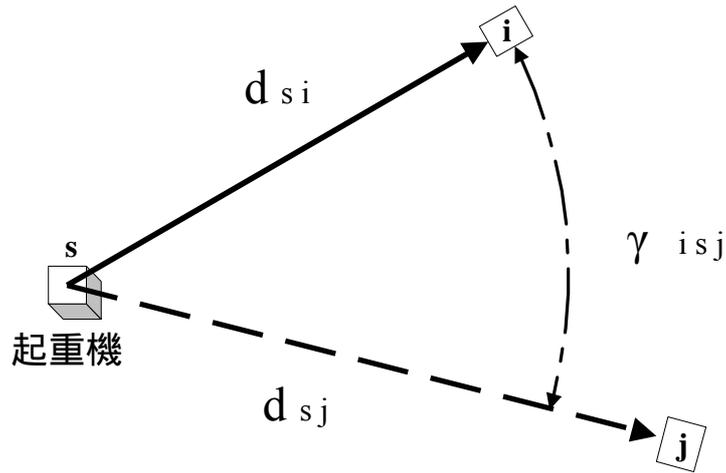


圖 2.1 起重機運輸示意圖

若是起重機式屬於移動式的，則只要將前述的直線運輸時間加上上述的起重機移動時間即可。不過，本研究認為，應該再增加起重機垂直運輸移動所需的時間，也就是說，材料自地面移動到施工區時所需的時間。

### 2.2.3 Gates and Scarpas 有關運輸道路的研究 (15)

一般營建工程在進行時往往會設立臨時的施工道路，為了有效且經濟的設立施工道路，Gates and Scarpa 提出了自供應中心移動材料經由施工道路運輸的最佳化移動模式計算，簡單的說就是利用幾何原理來計算最小運距。如圖 2-2 所示，計算式如下：

$$\text{Min } \frac{c}{V_1} + \frac{D - b - b'}{V_2} + \frac{c'}{V_1}$$

- 其中 C 為自 X 經施工道路至現有道路之距離
- C' 為自現有道路經施工道路到 X' 的距離
- D 為 X 與 X' 之水平距離
- b 為 X 到施工道路現有道路的交叉點
- b' 為 X' 到施工道路現有道路的交叉點
- V<sub>1</sub> 為施工道路的移動速度
- V<sub>2</sub> 為現有道路的移動速度

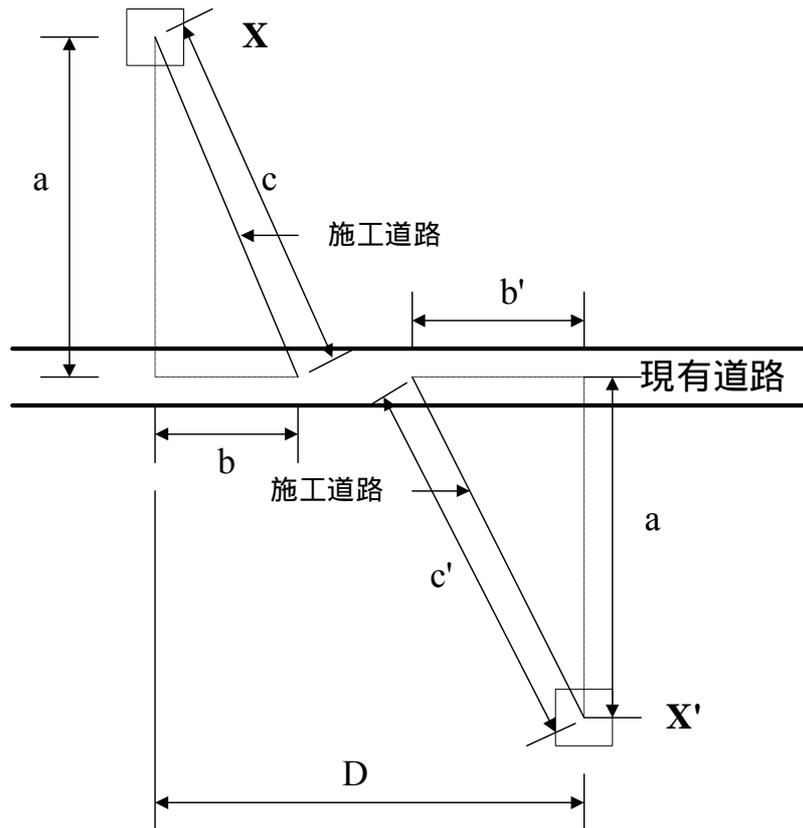


圖 2-2 施工道路運輸計算模式

由上述的公式及圖形發現， $b = \frac{a \cdot V_1}{\sqrt{V_2 - V_1}}$ ，相對的  $b'$  亦可以求得，利用最小的原理，將可以把施工道路求出。

#### 2.2.4 Francis and White 設備位置的分析方法 (16)

在 Francis and White 的大著中，以分析的分法來對於設施的位置進行規劃，由於本研究著重於改善的部份，因此用到的是有關於單一設施的位置分析計算，並且利用其理論建立比較的基準，其目標方程式如下：

$$\text{Min } f(x) = \sum_{i=1}^m w_i d(X, P_i)$$

其中  $m$  為在平面圖上的設備數  $P_i \sim P_m$

$w_i$  為運輸權重因子

$d(X, P_i)$  為新設施與運輸相關的距離

其中  $d(X, P_i)$  使利用歐幾里德 (Euclidean) 方程式，當  $p=1$  時的呈線性的的方程式，因此上數目標函數可以寫成

$$\text{Minimize}_{X,Y} f(X,Y) = \text{Min}_X \sum_{i=1}^m w_i |X - a_i| + \text{Min}_Y \sum_{i=1}^m w_i |Y - b_i|$$

由上述的公式可以發現  $X, Y$  的個別最小化，將可以得到整體最小化，因此，利用各設施的座標與運輸權重因子，可以計算得到最佳的座標位置。

除此之外，為得到新設備次佳的位置範圍，利用輪廓線（contour line）的原理，繪製等成本曲線，以提供規劃者在配置新設施位置時的參考（17）。

### 2.3 相關應用圖表

工地配置在工業工程中已經發展了一段時間，對於設備間相關活動都能夠用一些有系統的圖表來加以分類與整理，有利於設備位置的確立與規劃。

Muther（18）1973 提出了一套 SLP(Systematic Layout Planning) procedure 來進行配置的計畫，經過本研究修改如圖 2-3 所示。其步驟分成九項，載進行步驟之前必須以產品數量圖（Product-Quantity Diagram）來分析產品特性與數量（19），接著利用流程程序圖（Flow process Chart）（附錄二）（20）來分析物料的流動與活動相關圖（Activity Relationship）（附錄一）來建立第三步驟的關係圖表（Relationship Diagram）（附錄一）（19）。以 P-Q 分析，發現營建工程中的各種活動往往是屬於“產量少、產品多”的特性，因此，利用從至圖（From-To chart）或是交叉圖（附錄一）（19）來建立物料流動關係，接著是將所需空間與可用空間的比較，第六步驟是建立空間平面相關圖，第七與第八步驟是將相關條件與限制加以考慮，最後是進行評估與執行。

上述所述的圖表大都記錄於附錄之中。

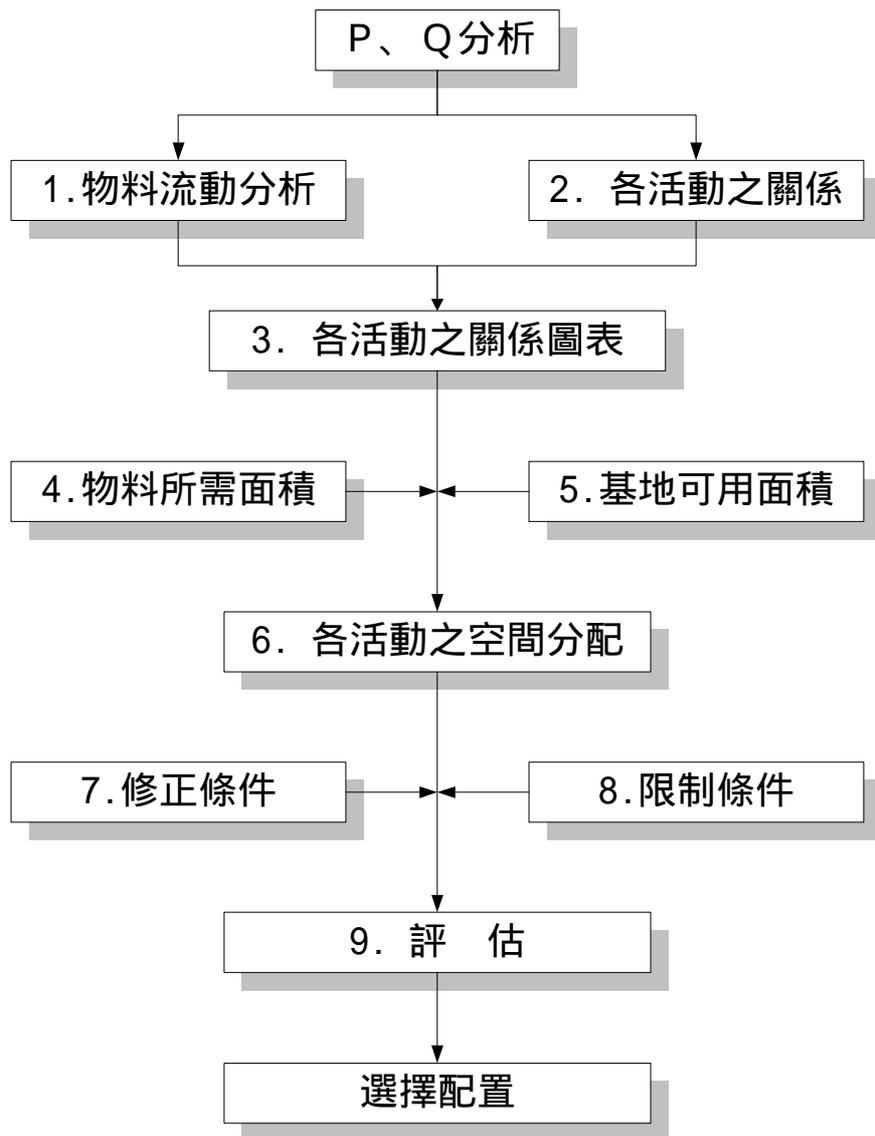


圖 2-3 SLP 程序圖

來源：Muther, R. Systematic Layout Planning 1973  
 陳研次，夢工廠指日可待，1992 (21、22)

## 2.4 電腦輔助配置技術

本節將節錄已經適用多年的一些輔助軟體，其中包括 CRAFT™、COFAD™、PLANET™、CORELAP™ (23、24、25、26) 等四種，其中若是以從至圖為分析基礎的，可稱之為計量技術，而利用關係表 (Relationship Chart) 來進行分析者是屬於計值技術；另外，就配置產生的方法亦可以分成建立配置與改善配置兩種，其中 PLANET 就是計量與計值皆可的軟體。如圖 2.4 所示為各輔助軟體的適用與分類。

程 方 式	CRAFT	COFAD	PLANET	CORELAP
部門間流程 記錄方法	計 量	計 質 / 計 量	計 質	計 質
佈置方案 產生方法	改 善	改 善	建 立	建 立

圖 2.4 電腦輔助程式分類

CRAFT( Computerized Relative Allocation of Facilities Technique ) 是 1963 年發展出來的軟體，主要是利用從至圖來記錄運輸流量資料，包括流程、成本與距離資料，並以運輸成本最小化為目標，最後是利用設施間的交換來降低運輸的成本。其設施交換的方式分為兩設施成對交換、三設施交換、三設施交換後二設施成對交換、三設施交換二設施成對交換後與最佳的兩個設施交換或三個設施交換等五種。而 COFAD 是將 CRAFT 進行改良而得，最大的不同在於要提高各設備的使用率，並且使各設施具有接近的工作量，而具有最大移動成本者先予以保留，並計算總成本是否有改善，若有，則這些設備可以正式派用，如此反覆直到成本無法再降低為止。

PLANET ( Plant Layout Analysis and Evaluation Technique ) 是工廠佈置及評估技術，是屬於建立配置的輔助工具，其可以考慮三種物流流程的表示，包括計量與計值的方式，演算方法亦有有三種。第一種演算的方法是根據流程成本而選擇第一優先佈置的兩個設施，其具有最高流量成本與最高優先等級，接著將其餘設施依此方式進行至全部設施皆配置完成。第二種演算法是與第一種類似，不同在於配置完第一優先的設

施後，接下配置的設施是與第一優先配置設施有最大流程成本者，如此下去直到所有設施皆配置完成。第三種演算法是一次一個設施的方式進行配置。

CORELAP( Computerized Relationship Layout Planning )，是利用關係表將各設施間的流動關係以 A ( Absolute important )、E ( Especial important )、I ( Important )、O ( Ordinary )、U ( Unimportant ) 與 X ( undesirable )，分別給予 6、5、4、3、2 與 1 的接近分數。每一設施與其相關設施間的接近分數總和稱之為總接近程度 TCR ( Total Closeness Rating )，進行佈置時，先將 TCR 最大者先行佈置，接著以接近的程度依次安排各設施的位置，直到所又設施皆已經完成佈置。

## 第三章 量化工地佈置技術

如前面所述，一般營建工程的管理者對於基地的佈置計畫往往是採用所謂“直覺式”或是“經驗式”的方法來進行，而缺少一個數量式與規則化的考量方式，為了協助管理者作為考量工地佈置的依據，本章除了介紹量化技術之外，並且試著去尋找材料分區搬運、搬運工人數與成本的關係模式。

### 3.1 簡述

量化技術的模型最主要目標，就是要使發生在工程進行中的所有設施間的搬運成本為最小，並且消除沒有效率的資源使用。也就是說，利用一種簡單的運算法，去尋求一個以最小總搬運成本為基礎，使能降低材料處理成本的最適化工地佈置。在本模式應用方面是以固定數量的設施，來確定某一設施的位置，以使在設施之間的總搬運成本為最小。此外，對於移動及搬運的方式，是假設沿著直角的方式來進行，這種假設將可以適當的用於一般營建工程的情形。

所謂“數量化”就是將設施與設施間的材料處理成本，分解成與搬運成本相關的項目，再以數值的方式表示，並且採用演算的計算方法，求得初始工地佈置所發生的搬運成本，並且將運算後兩設施間所發生成本進行加總，選擇發生最大搬運成本的設施做為優先改善其位置的對象，再利用單一設備位置規劃的技術（27），將成本最大的設施位置移動至最佳位置，以求得總搬運成本的降低，最後再利用將設備成對交換的方式（28），來求得搬運成本的再降低，直到設施的成對交換對總搬運成本不再具有改善效益時，即求得最佳工地佈置。

### 3.2 量化計算模式

量化技術是以搬運成本為分析對象，進行工地佈置最適化的分析工作。欲計算發生的搬運成本，最重要的就是將與發生成本相關的項目找出來，以量化的方式加以分析與記錄，其目的是利用簡單的運算的方式，確認運輸成本最大的設施，此設施將做為改善佈置的要素。量化的計算步驟與模式將敘述於後。本研究提出的量化分析方法可以歸類為一種改善的過程，也就是說，將根據承包商以“直覺“所規劃的設施佈置為基礎，以數量化模式簡單的計算，以最低搬運成本為目標，有效的改善原始佈置。而所謂佈置改善主要是針對降低總成本中兩個設備間的材料處理成本，並且利用簡單的計算過程，來降低在營建工程基地中搬運的成本。

量化技術數值資料的是根據初始的工地佈置，估計在兩種設施之間的流量相關資料矩陣，包括兩種設施之間的搬運次數、直線搬運距離與每公尺的材料處理成本等三種流量資料，並經由圖 3.1 所示的“從至圖“或交叉圖（附錄一）來記錄流量資料矩陣，而其相互之間的關係可以經由“流線流程圖“（附錄二）加以確立。經由上述資料矩陣的建立，就可以進行搬運成本的計算，其中搬運成本就是將每單位距離的處理成本乘上兩設施間的搬運距離，再乘上兩設施間的搬運次數。經過計算後所得到的數值是屬於初始工地佈置中各設施間發生的搬運成本，經彙整後，可以發現某一設施與其相關連設施間所發生的搬運成本總和，經由這些成本總和去檢視最大的搬運成本是發生在哪一個設施，因此這個搬運成本最大的設施就是量化技術改善的要素之一。

To From	材料 1	材料 2	材料 3	材料 4	材料 5	材料 6	材料 7
材料1		32.94	141.56			45.72	
材料2				55.77	59.50		23.96
材料3						38.27	
材料4							
材料5							70.83
材料6							
材料7							

圖 3.1 從至圖 FROM-TO diagram

在尋找到最大的搬運成本的設施之後，給予一個名稱，稱之為 winner，本研究稱之為贏家，下一步就是為“贏家”去尋找一個最適化理想的位置，以使得與“贏家”發生關係的總搬運成本為最小。欲規劃“贏家”的最佳位置是使用設置單一設施的方法，其中以“中位數權值法”（Median Condition）（附錄三）最常用來計算單一設備位置的最佳點。另外，就是在尋求“贏家”的最佳位置點時，若是以中位數權值法所到的最佳點是屬於固定不可以變動的，就必須另行尋求次佳位置點。

次佳位置點必定是接近最佳位置點，為確定其位置範圍可採用輪廓線（Contour Line）的原理，繪製類似地理學上使用的等高線原理，繪製等成本線的封閉曲線（圖 3.2），用來確定次佳位置的範圍。成本輪廓線（27）可以驗證中位數權值法的計算結果正確性，亦可以做為移動“贏家”位置的依據。最後，將“贏家”的位置移至新的位置後，重新計算“贏家”與相關設施的距離，再乘上設施間的搬運次數與單位距離的成本，將可以得到“贏家”所在位置新的搬運成本，並且計算新

的搬運的總成本。最後，對於已經確定位置的設施進行成對交換的方式，試圖尋求總搬運成本的再降低，最後將比較結果可以獲得最佳的佈置，並且以此為基準，與重新佈置後的總搬運成本變化情形做比較。

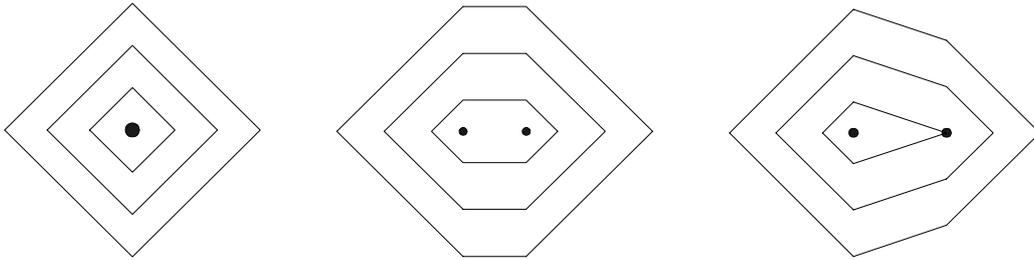


圖 3.2 輪廓線圖例

來源：Facility Layout and Location: Analytical Approach  
Francis, R.L., Ginnis L.F. jr. and White J. A.

經過上述的計算比較後，可以回饋至原始工地佈置計畫，並且加以修正，以其得到更佳的生产力與經濟性。下節所述是本研究的步驟與相關模型計算公式。

### 3.3 量化技術計算步驟

就量化技術的計算步驟，如圖 3.3 所示，約略可以分成兩大階段：第一階段有六個步驟，主要目的是估計初始工地佈置的運送成本資料矩陣；第二階段的主要工作就是進行工地佈置改善的工作。本章節將以一步一步的敘述來說明量化技術的計算步驟。

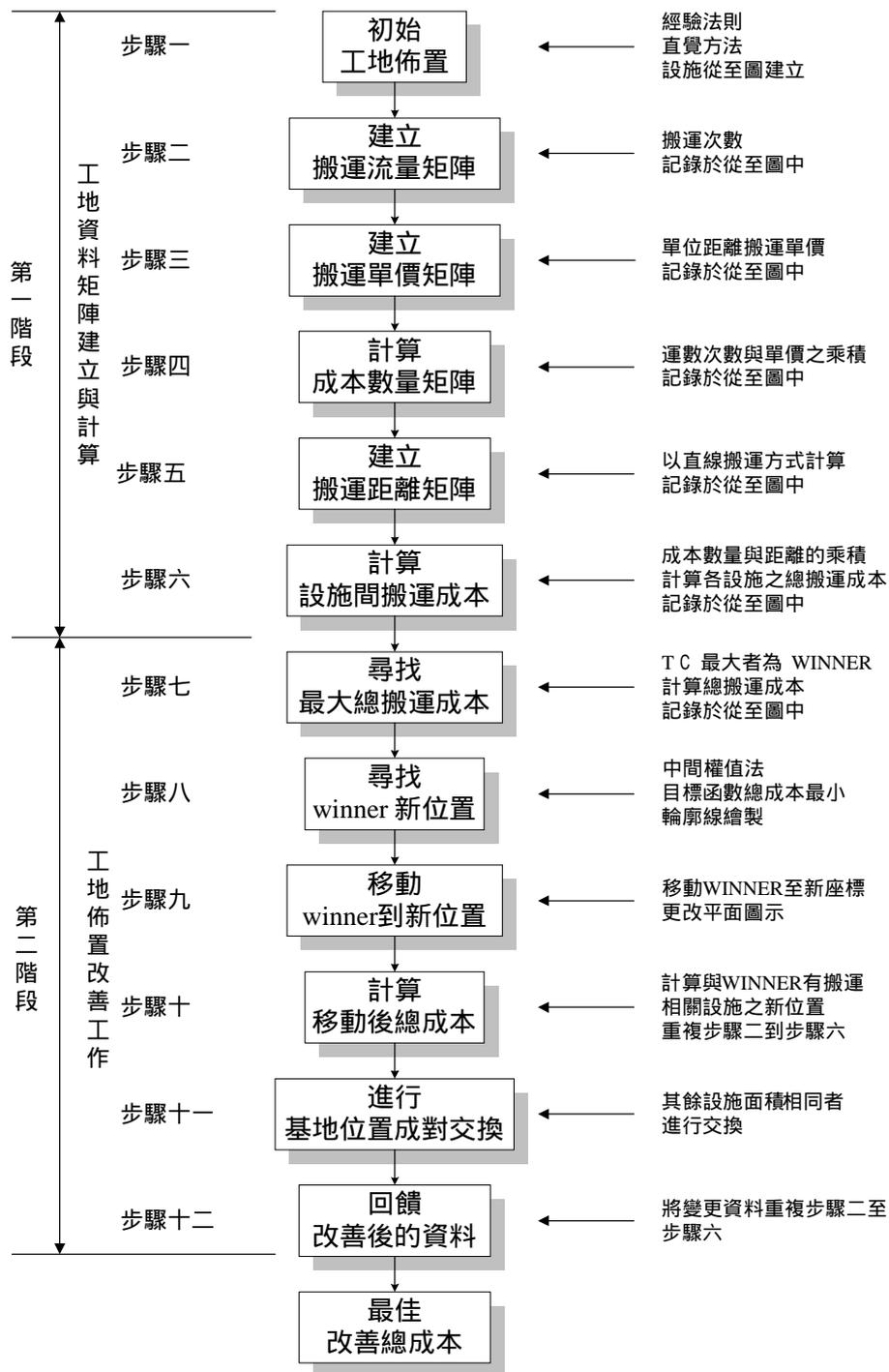


圖 3.3 量化技術分析工地佈置之流程

在第一步中，先選擇欲佈置的所有設施以“直覺”或是“經驗”來進行佈置，並且繪製成平面位置圖。為標示各設施的位置，利用“笛卡兒”座標軸來記錄設施的位置，如圖 3.3.2 所示，其中假設讓  $a(i)$  代表設備編號為  $i$  的位置，因此就

全部設施加以標示其位置，可以得到一個位置分配向量：

$$A = [ a(1)、 a(2)、 a(3)、 a(4)、 a(5)、 a(n) ]$$

$$\text{其中 } a(1) = [ X_1, Y_1 ]$$

就圖 3.4 中設施的位置矩陣表示為

$$a(1) = \begin{bmatrix} (6,1) & (6,2) \\ (7,1) & (7,2) \\ (8,1) & (8,2) \\ (9,1) & (9,2) \\ (10,1) & (10,2) \\ (11,1) & (11,2) \end{bmatrix} \quad a(2) = \begin{bmatrix} (2,8) & (2,9) & (2,10) & (2,11) & (2,12) \\ (3,8) & (3,9) & (3,10) & (3,11) & (3,12) \\ (4,8) & (4,9) & (4,10) & (4,11) & (4,12) \\ (5,8) & (5,9) & (5,10) & (5,11) & (5,12) \\ (6,8) & (6,9) & (6,10) & (6,11) & (6,12) \\ (7,8) & (7,9) & (7,10) & (7,11) & (7,12) \\ (8,8) & (8,9) & (8,10) & (8,11) & (8,12) \\ (9,8) & (9,9) & (9,10) & (9,11) & (9,12) \end{bmatrix}$$

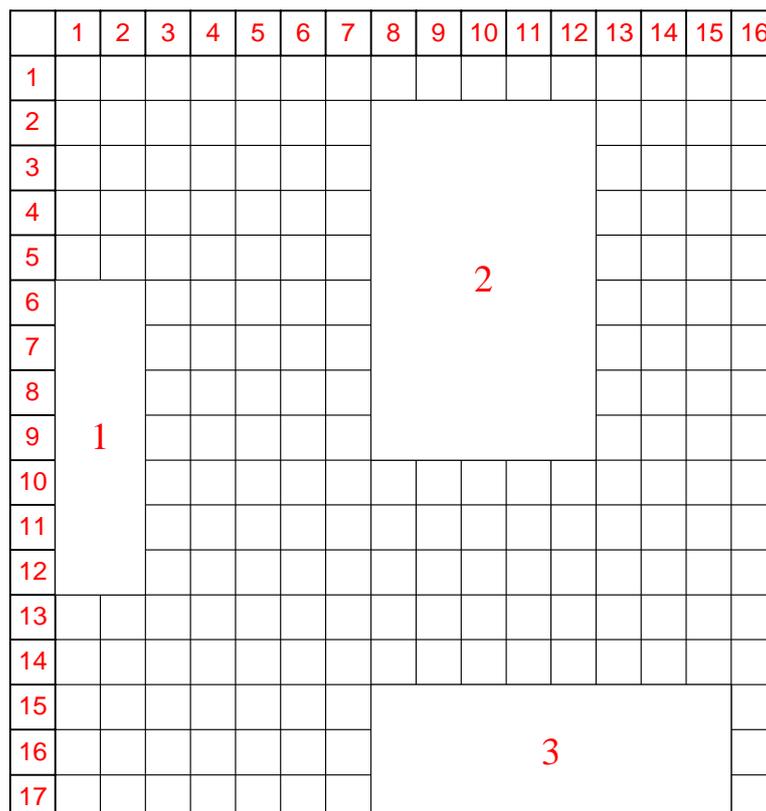


圖 3.4 以笛卡爾座標軸工地佈置圖

第二、三步驟就是要建立設施間設施間搬運流量矩陣 (Flow Data Matrix) 與單位距離移動成本矩陣 (Cost Data Matrix)。所謂設施間搬運流量矩陣是指在一段時間內，在兩個設施間發生搬運的次數；而單位距離移動成本矩陣是指在兩設施間，發生一單位材料移動一定距離所需要的處理成本。這兩個資料矩陣皆可以記錄彙整於從至圖中，作為運算的元件之一。

第四步驟是要決定各設施的搬運權重因子 (Transportation Cost Weight Factor)，也就是將第二、三步驟所得到的單位距離搬運成本矩陣資料矩陣與搬運次數資料矩陣，相乘以後所得到的新數值數值矩陣，此矩陣稱為數量成本矩陣 (Cost-Volume matrix)。此數量成本矩陣的值就是各設備發生搬運的成本權重因子，稱之為  $W$ ，假設  $W=(w_{ij})$ ，其中  $w_{ij}$  為設施  $i$  與  $j$  之間的搬運成本權重。

第五的步驟是要將量化技術的第三個計算因子，也就是設施間的搬運距離彙整於距離資料矩陣的從至圖中。其計算的方式是假設兩設施之間發生的距離關係是“直角距離關係” (Rectilinear Distance)，其計算的起點是以設施的中心點來計算兩設施間的距離，計算公式如下：

$$|X - Y|_p = \left[ |X_1 - X_2|^p + |Y_1 - Y_2|^p \right]^{1/p} \quad -3.1 \text{ 式}$$

來源：Facility Layout and Location: Analytical Approach  
Francis, R.L., Ginnis L.F. jr. and White J. A.

上述為兩個物體之間距離的方程式，當  $p = 1$  時，其方程式為

$$|X - Y|_1 = \left[ |X_1 - X_2|^1 + |Y_1 - Y_2|^1 \right]$$

此方程式就是本研究室採用的直線距離計算方程式。

再經過上述方程式計算以後所得到的各相關設施之間的距離資料後，將其記錄於距離資料矩陣從至圖中，此矩陣表示為：

$D = [d((a_j), (a_i))]$  其中  $j$ 、 $i$  為有搬運關係的設施

第六步驟為計算初始工地佈置中所有相關設施間發生搬運成本的總和 (Total Cost = TC)。其總成本的計算公式如下：

$$TC(A) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} * d[(a_j), (a_i)] \quad 3.2$$

其中  $W_{ij}$  ----- 為成本數量矩陣的權值因子

$d[(a_j), (a_i)]$  --- 為相關設施搬運距離

來源：Walter E,R., Quantitative Techniques For Construction Site Layout Planning ,The University Of Florida , P.H.D.1992.

第二階段是自第七步驟至第十二步驟，主要工作為工地佈置的改善。第七步驟是要尋找發生最大搬運成本的設施，也就是”Winner“ – 贏家。計算方式是由步驟六的公式計算得到，再將所有設備中總搬運成本最大者，加以註記為“Winner”。

第八步驟是要求得“Winner”的新位置，由於“Winner”是具有最大的搬運成本，因此重新安排其位置，將有助於搬運成本的降低。計算方式是以單一設備位置計算法來求得“Winner”的“最佳”的位置。計算方式有兩種，第一種方式是以“中位數權值法”(Median Condition)，其權值  $W_{ij}$  是經由步驟四中的“數量成本矩陣”來計算，也就是說將與“Winner”有搬運相關的設施間的數量成本數值當作中位數權值法的權重，然後配合座標軸來計算最佳的“中位數位置

“ ( Median Location ) 座標 , 來作為 “ Winner “ 位置的參考。此外 , 可以利用 “ 輪廓線 “ 的繪製來驗證中位數位置方法求得的座標正確性 , 以及最佳的座標位置。本步驟的目標函數如下所示 :

$$\text{Min } f(x, y) = \sum_{i=1}^m W_i * d [ (P), (a_i) ] \quad 3.3 \text{ 式}$$

其中  $P$  表示 “ Winner “ 的新座標位置  $(X, Y)$   
 $W_i$  表示與 Winner 相有搬運相關的設施權值  
 $d [ (P), (a_i) ]$  表示 Winner 與各相關設施間的距離

上式亦可寫成

$$\text{Min } f(x, y) = \sum_{i=1}^m W_i * [ |X - a_{1i}| + |Y - a_{2i}| ] \quad 3.4 \text{ 式}$$

來源 : Facility Layout and Location : Analytical Approach  
 Francis, R.L., Ginnis L.F. jr. and White J. A.

在上述的公式中 , 若是將  $|X - a_{1i}|$ 、 $|Y - a_{2i}|$  分別以  $f_1(x)$ 、 $f_2(y)$  來表示 , 也就是說

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^m W_i * |X - a_{1i}|, \quad 3.5 \text{ 式}$$

$$f_2(y) = \sum_{i=1}^m W_i * |Y - a_{2i}| \quad 3.6 \text{ 式}$$

則公式變成

$$f(x, y) = f_1(x) + f_2(y) \quad 3.7 \text{ 式}$$

在新的公式中可以發現，將原來的目標函數分成了 X 及 Y 兩部份，可以利用 X 軸與 Y 軸的獨立性，分別求得 Winner 最佳的 X 軸、Y 軸的座標值。由於  $f_1(x)$ 、 $f_2(y)$  方程式的特性是隨著設施位置座標的不同，一次方程式的呈現折線式的變化，類似於 V 型曲線，是一種凸型總和函數 (Convex Function)，因此根據區域位置最適化就是全域最適化的特性，當斜率值自負數變成正數時，也就是單一座標軸的區域最適化，也就成為全域的最適化座標點。

若是以上述的方式求得的 Winner 座標位置，已經與已存在的設施重疊時，必須尋求次佳的 Winner 位置，而輪廓線的原理將是很好的幫手。首先繪製通過設施所在位置的垂直、水平線，並計算各在垂直權值與水平線上設施權值的總和，再配合前述公式  $f_1(x)$  與  $f_2(y)$ ，計算 X、Y 軸與垂直、水平線所形成的區域內的 X、Y 的係數，最後計算被水平與垂直線所分成區塊的斜率，計算方式與一般計算斜率方式一樣，即  $S = -X/Y$ 。各區塊的斜率已經知道後，就可以依個別的斜率來繪製成本輪廓線，作為 Winner 的次佳位置範圍的依據。

第九步驟選定一個接近最佳位置點座標，作為 Winner 的新座標位置，將 Winner 原來的位置移動到新座標。

第十步驟計算將 Winner 移到新位置後的總成本 (TC)，計算過程中，需要改變的是前述的距離資料矩陣，其餘計算皆相同。

第十一步驟是將搬運相關設施進行“成對交換”(3.2)，以求得在將 Winner 移至新位置後的成本再降低。其原理很類似一種軟體 CRAFT (3.3) 的設計原意，就是除了與 Winner 有搬

運相關的設施以外，其餘設施也具有一定的改善效益，因此對於設施面積相同的設施，可以進行位置交換的工作，以尋求成本的降低，直到沒有成本降低效益為止。

第十二步驟是進行回饋的工作，也就是說，將前述的變更數值，重新填入步驟二到步驟六相關資料矩陣，再進行確立總成本降低的數值。

### 3.4 量化技術應用於搬運堆置計畫

隨著科技的進步，時代的需求改變，建築工程的施作方式已經逐漸走向大型化與複雜化，許多工程中進行的活動，有施工機械來輔助，甚至取代傳統的施工作業（29）。而需要大量人力來進行搬運的傳統工程，部份搬運工作漸漸地被吊重機械所取代，比如說系統模板的出現，大型系統模板的施工進行，對於揚重機械的依賴程度頗高，但是部份作業的進行，仍需要以大量人力搬運，比如說鋼筋工程大都仍然停留於現場綁紮的作業（30），因此鋼筋工程作業中所需資材的搬運情形及堆放方式，將會影響到鋼筋工程的進行。針對搬運及堆置可能對作業進行的影響，本研究利用量化的技術來進行運算，期能藉著這種方技術的協助，得到一經驗法則的曲線，來尋求鋼筋資材堆置數與搬運人數的最適化組合，並且推廣到其他工種，做為堆置工作的參考，研究流程如圖 3.5 所示。

本研究分成下列數個步驟。第一步驟是首先假設一個建築工程的基地形式並且繪製平面圖，第二步驟選定一種結構體構件的元件，作為分析其搬運與堆置的主要項目。舉例來說，柱鋼筋元件包括了主筋、箍筋、繫筋、鐵絲與相關輔助設施等。第三、四、五步驟主要是建立必需的數值資料，以提供運算的

進行。在量化技術中的三個運算要件，即單位距離的搬運單價、搬運距離及搬運次數，在本研究中，第三步驟是計算在搬運方面的單價，也就是說每人每次搬運移動一公尺所發生的單價，若是針對單一結構體的元件，每人每次搬運移動一公尺將是相同的，本研究假設為  $C$ 。第四步驟是搬運距離方面的資料建立，隨著在材料堆放區數目增加時，搬運的距離將產生改變，故需建立因堆放區數改變而產生的搬運距離資料，計算的起點、終點皆是以座標軸的整數點來表示，本研究假設為  $D_{su}$ ，其中  $S$  為堆置區數目， $U$  為搬運終點編號。第五步驟主要針對搬運次數方面的資料計算，就搬運總次數來說是固定的，而各區的搬運次數也是固定的。雖然搬運的人數會產生變化，但是本研究為簡化計算方式，在計算第三、第四步驟之後，將此二步驟的乘積稱之為“單區搬運單價”，也就是說，將各區內的一單位材料搬運至所有終點的一個循環所發生的成本稱之為“單區搬運單價”，本研究假設為  $C_{single} = C_s$  計算公式如下：

$$C_{single} = C_s = \sum_{u=1}^n C * D_{su} \quad 3.8 \text{ 式}$$

其中  $C$  為單位距離搬運單價

$D_{su}$  為單區內搬運距離下

在基本的資料建立之後，第六步驟是進行運算的作業，運算的方式是利用上述公式所求得的“單區搬運單價”，乘上搬運的次數，以求得不同堆置區數目下所發生的成本。比如說，在材料堆放區數量為固定時，搬運的距離則是固定的，因此若是改變搬運人員的數目，將會得到在固定材料堆置數與搬運距離的條件下，不同搬運人員的成本變化情形。隨著其餘因子的改變，將可以求得在各情況下所發生的搬運成本變化。第七步驟是進行繪圖及交叉比較的工作，其目的在於經由運算所得到

的結果，尋找出“經驗曲線”。也就是說，利用所成本變化所繪製的曲線，來找到最佳的材料堆放區數目，使得發生的成本為最小。

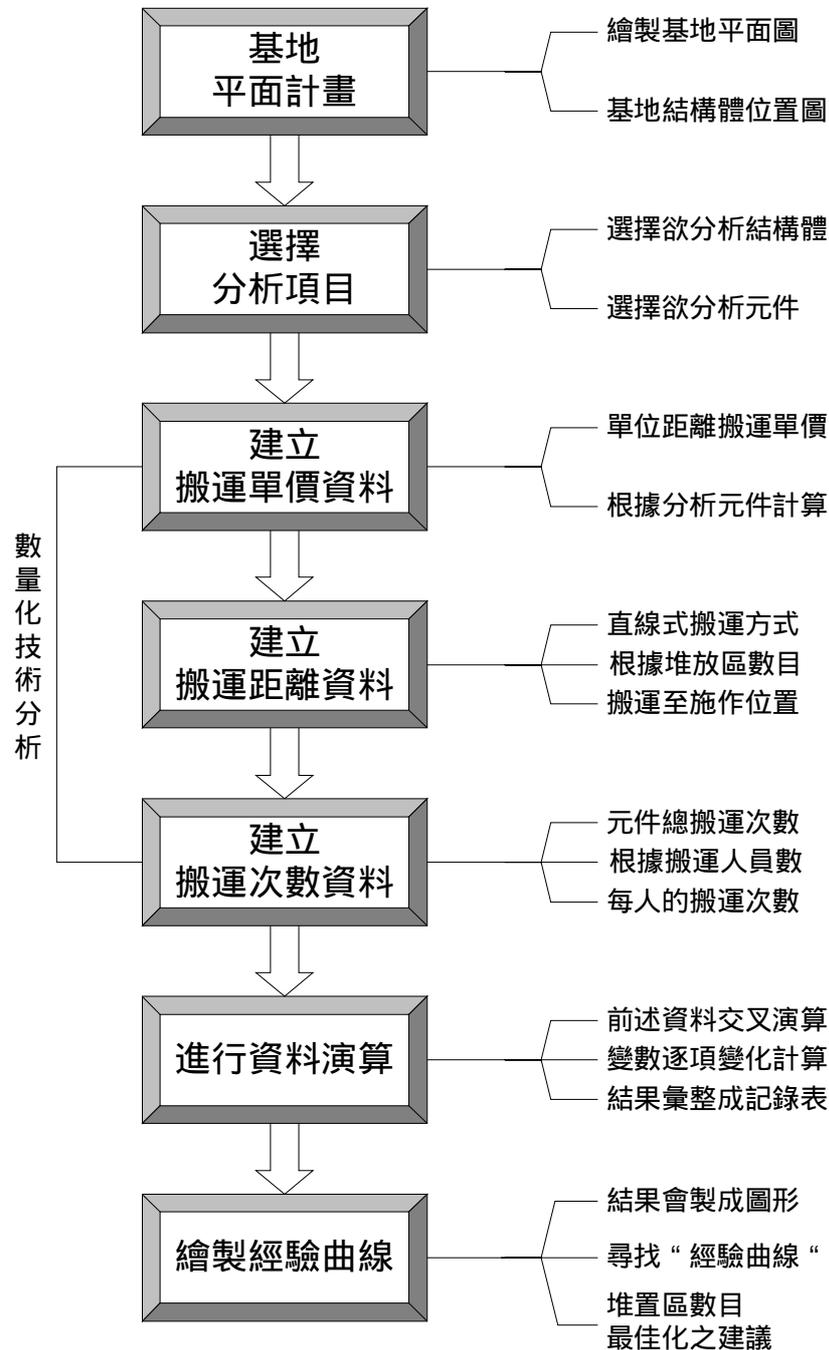


圖 3.5 搬運人數與搬運區數目最適化研究流程圖

### 3.5 小結

在本章節中，介紹了利用量化技術來分析兩種搬運的模

式，做工地佈置的改善與最適化的研究。第一個是利用搬運總成本為最小的目標，分析與搬運相關的因子，包括搬運次數、搬運單價與搬運距離等，一種容易的理解的運算方法，確認搬運成本最大之設施，再藉助單一設施設置的方法，以中位數權值法計算搬運成本最大者的最佳位置，以及繪製搬運成本最大者的成本等高線，協助工程管理者規劃搬運成本最大者的最佳位置範圍。依據最佳位置範圍，將搬運成本最大的設施位置進行移動，以最小總搬運成本為目標，發現可以有效的降低搬運成本，進而達到工地佈置最適化的目標。本研究以量化分析的方法亦可應用於材料不同堆置區數目的最適化分析。利用搬運單價、搬運次數、搬運距離與搬運時間等資料的建立，經簡單運算結果，繪製材料在不同堆置區數目所對應的成本變化與時間變化曲線，以最小總搬運成本與總搬運時間，來協助管理者確認最佳堆置區數目，做為工地佈置規劃的參考。

## 第四章 量化技術應用

依據第一章的研究流程及方法，本研究針對自動化工法之一的鋼筋預組工法來進行施工基地的模擬佈置，主要是針對柱鋼筋籠預組的作業項目來研究。

### 4.1 預組場基地地條件敘述

本研究的基地位置位於某一鋼筋加工廠內，其整體生產項目包括鋼胚生產、鋼筋製造及鋼筋裁彎加工等一貫化生產製造系統，而本研究範圍主要是自鋼筋生產完成後的堆置區域開始，作為柱鋼筋預組工法的起始項目，直到柱鋼筋籠預組完成移到堆置區堆置為結束點，其中假設柱鋼筋籠所需元件與輔助工具，包括箍筋、繫筋與施工架、支撐桿等皆已經彎折、加工完成，並已經堆放在原始規劃的堆置區域。

本基地平面圖如圖 4.1 所示，其形狀類似英文字母 L，基地面積約為 500 平方公尺，其中邊界皆為他種設備所使用，故作為界線。本基地包含 11 個設施位置，其中機械設備與工作群組各有一處，其餘皆為堆置區域。本基地的搬運流程圖如圖 4.2 所示，其中包括四種符號表示材料的移動情形，分別為搬運、操作、堆置與檢驗，符號表示為 、、、，其中有方形與圓形重疊者表示檢驗與操作同時進行。由圖中可以發現，流程的進行是以成品鋼筋堆放區開始，在裁切之後運送至主筋置放點，準備柱鋼筋籠的預組施工。此外，其他組成柱鋼筋籠的元件也依其順序向預組施工區搬運，直到完成柱鋼筋籠預組後，在經由推高機運送至堆放區域，就算完成一個循環的柱鋼筋籠預組工程。

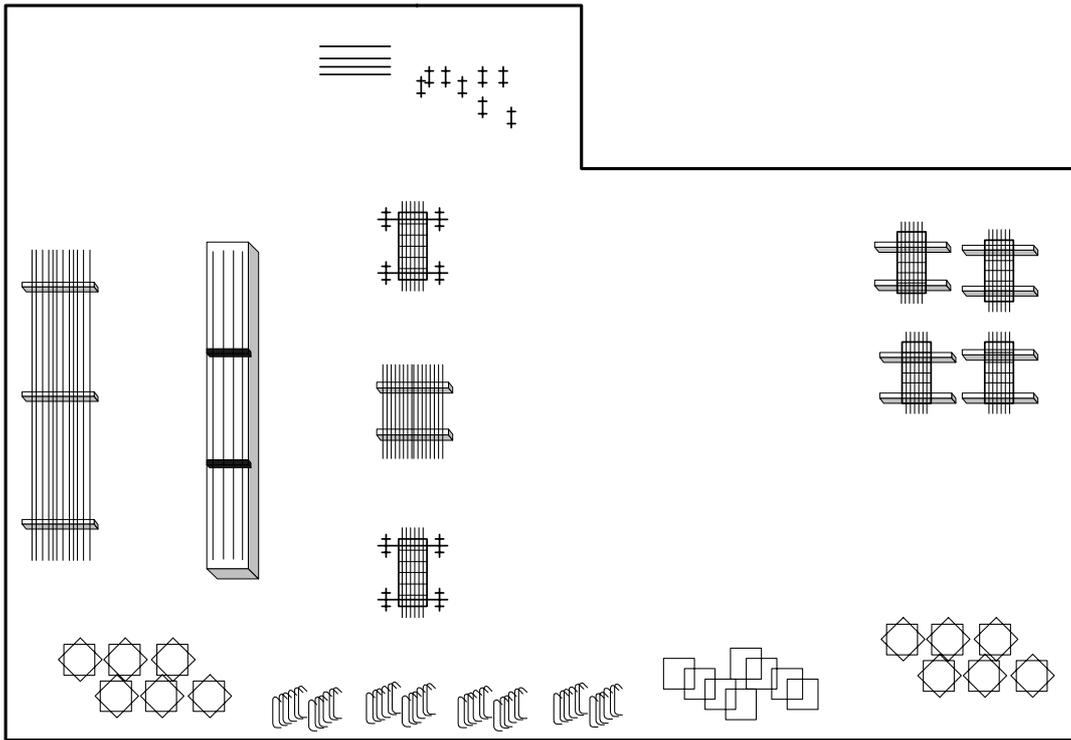


圖 4.1 基地平面圖

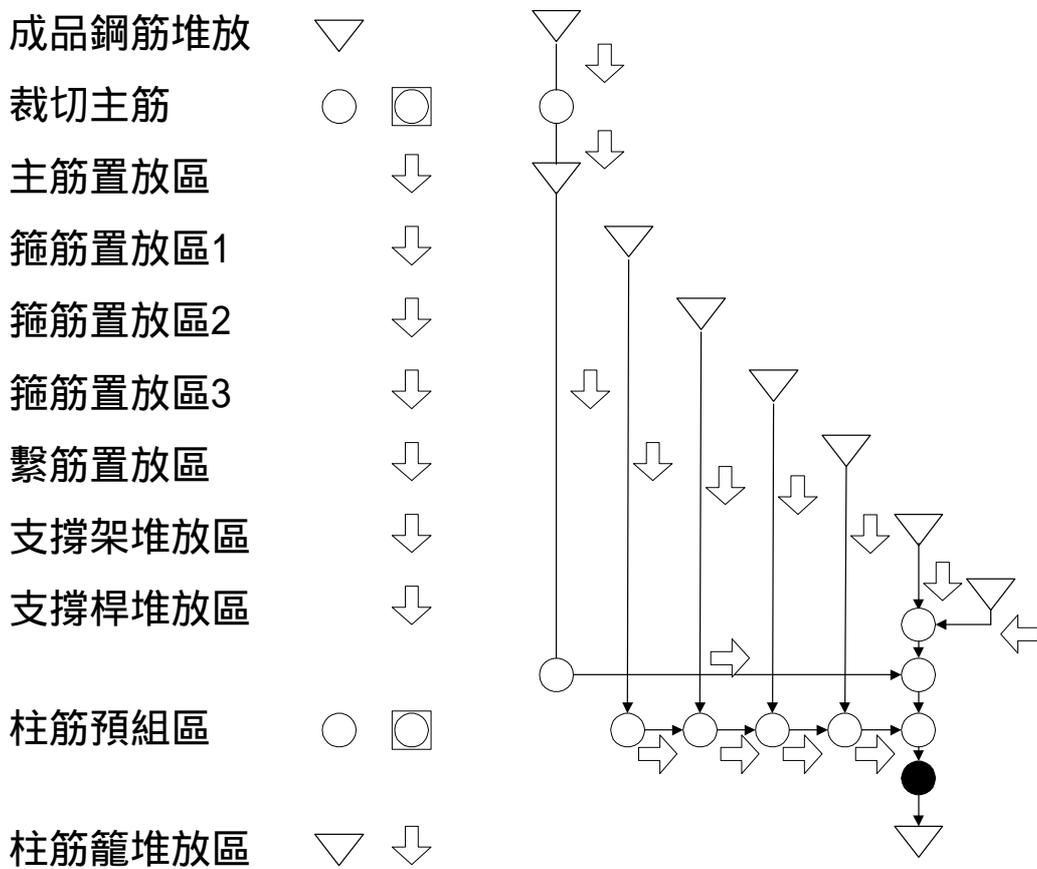


圖 4.2 柱鋼筋預組流線圖

## 4.2 量化技術分析最佳佈置案例

本節就上述的基地條件與第三章量化技術分析的步驟，來對於柱鋼筋籠預組基地的最適化佈置，進行分析。

### 4.2.1 初始工地佈置

根據預組工廠的經驗與直覺所建立的初始佈置情形繪製成平面圖，並且確定各設施的工作項目，其流程附記於平面圖上，如圖 4.3 所示，本預組場地的佈置已經由工程師以職業直覺重新佈置。除此之外，將平面圖以示意圖表示並且分別以笛卡兒座標記錄各設施的位置，以及將笛卡兒座標轉換成 X-Y 座標，以利相關設施間距離的計算，如圖 4.4 及圖 4.5 所示。資料矩陣依據 4.2 所示得程序流程圖，將各設施間的從至圖建立（圖 4.6），作為後續量化計算步驟的依循對象。

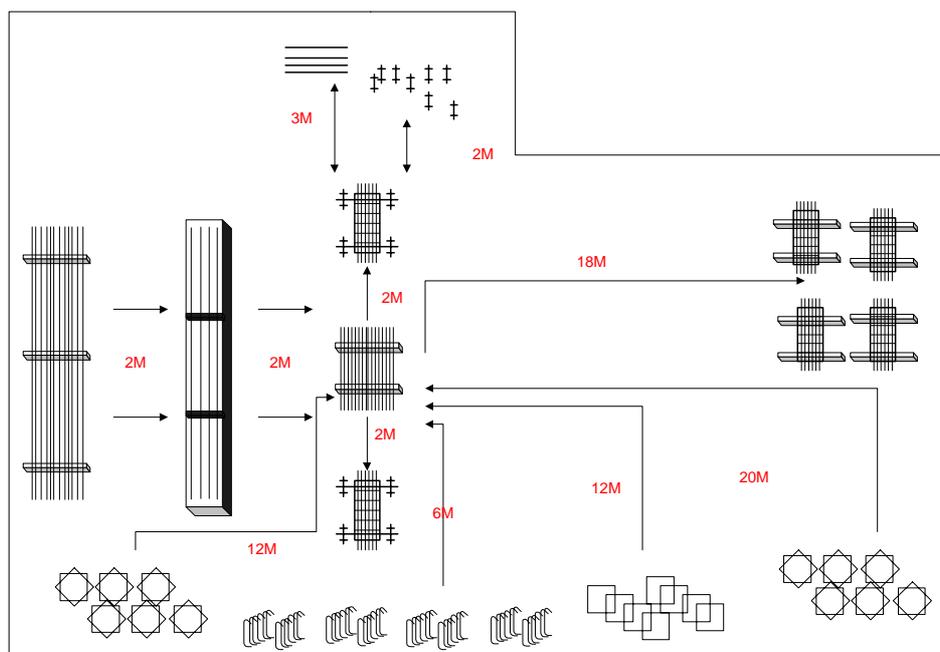


圖 4.3 平面佈置及流程圖

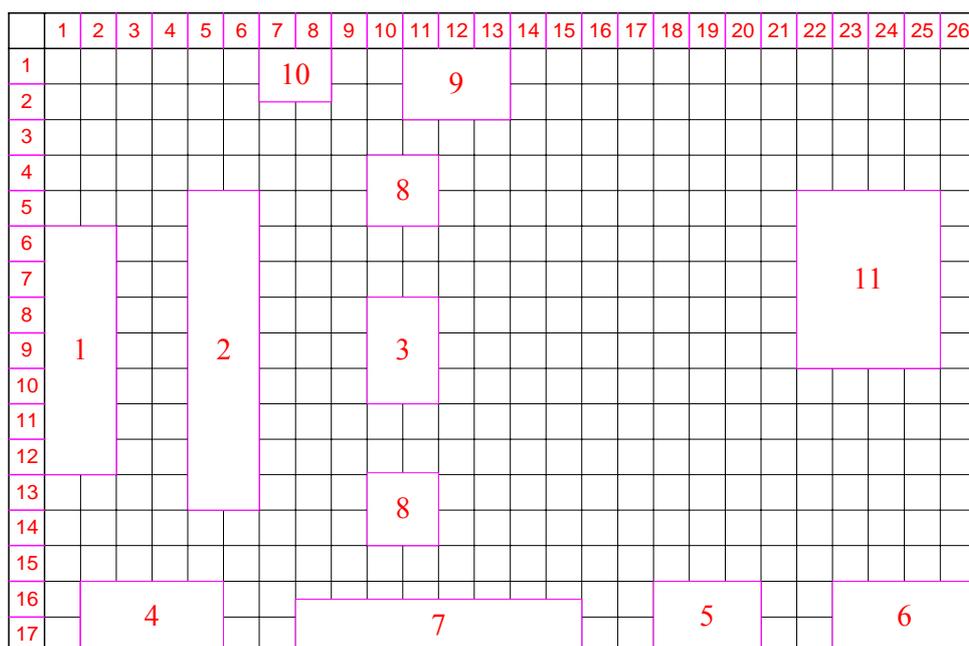


圖 4.4 笛卡兒座標佈置

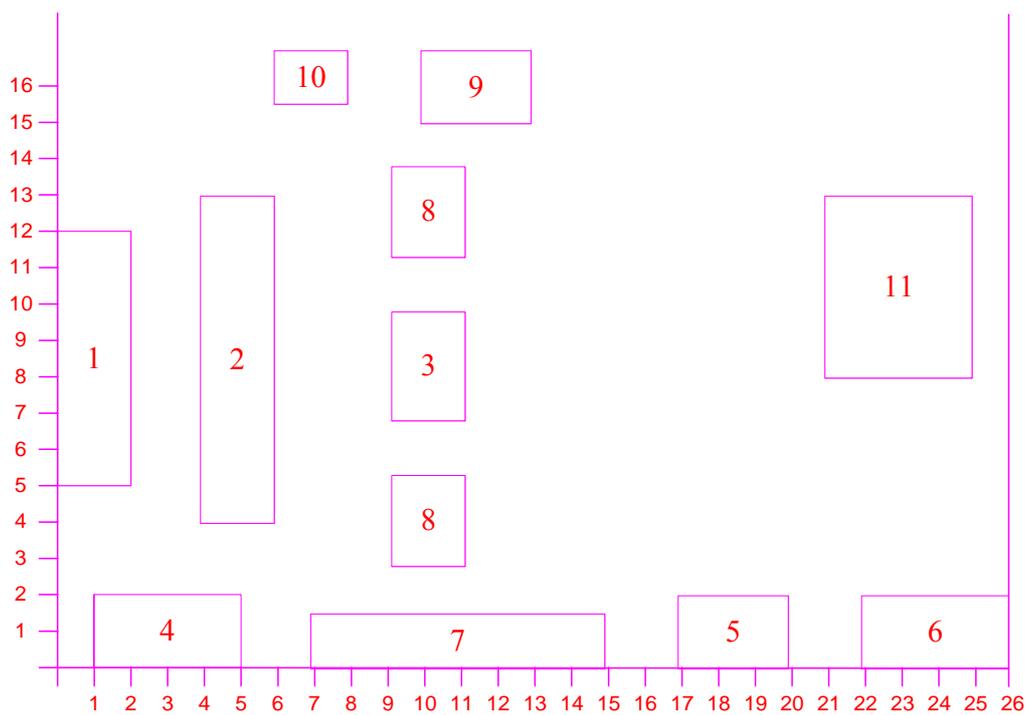


圖 4.5 X-Y 座標軸佈置

From \ To	成品鋼筋堆放區	鋼筋裁切區域	施工主筋堆置區	施工箍筋堆置 1	施工箍筋堆置 2	施工箍筋堆置 3	施工繫筋堆置區	柱鋼筋籠組立區	支撐架堆放區	支撐桿堆放區	組立完成堆放區
成品鋼筋堆放區											
鋼筋裁切區域											
施工主筋堆置區											
施工箍筋堆置 1											
施工箍筋堆置 2											
施工箍筋堆置 3											
施工繫筋堆置區											
柱鋼筋籠組立區											
支撐架堆放區											
支撐桿堆放區											
組立完成堆放區											

圖

#### 4.6 從至圖建立

##### 4.2.2 資料矩陣的建立

在量化技術分析當中的第二、三、五步驟，有三個資料矩陣必須建立，其中包括搬運流量矩陣、搬運單價矩陣與搬運距離矩陣。而在建立這些矩陣資料以前，必須先對柱鋼筋籠預組的數量進行分析，也就是說，對於柱鋼筋籠預組元件的數量、搬運次數與薪資費用進行分析，以建立各資料矩陣。就本案例而言，一次預組柱鋼筋籠數目是兩支，所以其主筋數量、箍筋數量與繫筋數量，就可以計算得到主筋、箍筋與繫筋等各元件的數量，除此之外，在運數次數方面，根據生產力的文獻(32)，每個人的負重能力約為 30 公斤左右，因此可以計算得到各元件搬運的次數，就#10 柱主筋而言，長度 4.5 公尺，單支重量就達到 28.81 公斤，因此一般是一次搬運一支，因此就一支柱主筋 20 支來說，一次預組兩支柱子，就必須要搬運 40 次（表 4-1），依此方式，將可以把搬運流量資料矩陣建立起來（表 4-2）。

在搬運單價方面的資料矩陣，建立方式是必須根據搬運流量矩陣中的搬運次數來計算所花費時間，再配合工作人員或機

具的薪資，將可以計算得到搬運處理成本。在計算各元件每次搬運所需的時間方面，有兩種搬運方式的計算，一種是人工的搬運，主要是柱鋼筋籠各元件的搬運；另一種是機械的搬運，機械搬運主要是用於柱鋼筋籠組立完成後的搬運。在人工搬運方面，其計算所花費的時間包括負重搬運、休息與空手走回等三項（33），時間的估計是依據國立台灣技術學院碩士論文中所記載，而機械搬運方面則根據經驗訪談得到其搬運所需花費的時間來計算。時間計算完成之後，將每日八小時有效工作所得的薪資，與搬運時間結合（表 4-3），其結果則可以建立搬運單價資料矩陣（表 4-4）。

表 4-1 搬運流量計算表

物料	數量 支/個	長度 M	單位重	單件重 kg	總重 kg	運搬次數	
						人工	機械
#10主筋	20	4.50	6.40	28.81	576.27	40	-
#4箍筋	21	2.96	0.99	2.94	61.79	6	-
#6箍筋	3	3.04	2.24	6.79	20.38	7	-
#4繫筋	84	0.86	0.99	0.85	71.81	6	-
#8支撐架	4	9.25	3.97	36.75	147.00	18	-
#8支撐桿	2	1.30	3.97	5.16	10.33	8	-
柱筋籠	2	4.50		812.37	1624.74	-	2

表 4-2 搬運次數矩陣

From \ To	柱鋼筋籠組立區	成品鋼筋堆放區	鋼筋裁切區域	施工主筋堆置區	施工箍筋堆置1	施工箍筋堆置2	施工箍筋堆置3	施工繫筋堆置區	支撐架堆放區	支撐桿堆放區	組立完成堆放區
柱鋼筋籠組立區				40	6	7	6	18	8	4	2
成品鋼筋堆放區			14								
鋼筋裁切區域				2							
施工主筋堆置區											
施工箍筋堆置1											
施工箍筋堆置2											
施工箍筋堆置3											
施工繫筋堆置區											
柱鋼筋籠組立區											
支撐架堆放區											
支撐桿堆放區											
組立完成堆放區											

表 4-3 搬運單價計算

物料	工人數 人工	運搬次數 人工	距離 M	單位時間(s)			總時間(s) (c*b+d)*a	COST
				搬運(s/m.次)	走動(s/m.次)	休息(s)		
主筋	2	40	2	3.5	0.6	10.0	728	141.56
箍筋1	2	6	12	1.3	0.6	10.0	196.8	38.27
箍筋2	1	6	12	1.5	0.6	10.0	211.2	20.53
箍筋3	2	7	18	1.5	0.6	10.0	334.6	65.06
繫筋	2	18	5	0.8	0.6	10.0	306	59.50
支撐架	4	8	2	7.6	0.6	10.0	211.2	82.13
支撐桿	1	4	3	5.9	0.6	10.0	118	11.47
柱筋籠	1*	2*	18	6.0	-	-	216*	136.33*

註：若是有加上“\*”表示為機械搬運之數值

表 4-4 搬運單價矩陣

From \ To	柱鋼筋籠組立區	成品鋼筋堆放區	鋼筋裁切區域	施工主筋堆置區	施工箍筋堆置1	施工箍筋堆置2	施工箍筋堆置3	施工繫筋堆置區	支撐架堆放區	支撐桿堆放區
柱鋼筋籠組立區				70.83	38.27	23.69	55.77	59.50	82.10	11.47
成品鋼筋堆放區			32.94							
鋼筋裁切區域				141.56						
施工主筋堆置區										
施工箍筋堆置1										
施工箍筋堆置2										
施工箍筋堆置3										
施工繫筋堆置區										
柱鋼筋籠組立區										
支撐架堆放區										
組立完成堆放區										

在建立了搬運次數矩陣與搬運單價矩陣之後，第四步驟必須計算各設施發生搬運時的權重因子，因此將搬運次數矩陣資料與搬運單價資料相乘，將可以得到成本數量矩陣（表 4-5），此矩陣中的數值，若是將成本數量矩陣中的各數值除上在此矩陣中最小數值，所得到的比例值即為計算最佳設備位置的權重  $W_{ij}$ 。

就表 4-3 中所示，可以發現在第四行有搬運距離的數值資料，其計算的方式是以兩點之間差的最小平方根為兩點之間的距離，公式如下：

$$F(X, Y) = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \quad i、j \text{ 分別表示兩相關設施}$$

$X_{i,j}$ 、 $Y_{i,j}$  分別為兩相關設施的座標

$F(X,Y)$  記錄成為  $d [ (a_j) , (a_i) ]$  , 其中兩相關設施的座標是將第三章的所述的笛卡兒座標轉換成 X-Y 座標後, 然後計算各設施中央的座標值, 再依上述公式計算兩設施間的搬運距離, 作為計算搬運總時間的依據, 最後再得到搬運的單價。

表 4-5 成本數量矩陣—搬運權重因子

From \ To	柱 鋼 筋 籠 組 立 區	成 品 鋼 筋 堆 放 區	鋼 筋 裁 切 區 域	施 工 主 筋 堆 置 區	施 工 箍 筋 堆 置 1	施 工 箍 筋 堆 置 2	施 工 箍 筋 堆 置 3	施 工 繫 筋 堆 置 區	支 撐 架 堆 放 區	支 撐 桿 堆 放 區	組 立 完 成 堆 放 區
柱鋼筋籠組立區				2833.20	229.62	165.83	334.62	1071.00	656.80	45.88	272.66
成品鋼筋堆放區			461.16								
鋼筋裁切區域				283.12							
施工主筋堆置區											
施工箍筋堆置1											
施工箍筋堆置2											
施工箍筋堆置3											
施工繫筋堆置區											
柱鋼筋籠組立區											
支撐桿堆放區											
組立完成堆放區											
$W_i$				62	5	4	7	23	14	1	6

在第五步驟搬運距離資料矩陣方面的計算, 是依據上述的計算方法, 計算之後再記錄於從至圖的矩陣之中, 作為量化技術運算的元素 (表 4-6)。第六步驟就是要進行運算, 也就是利用第三章所提到過的方程式 3.2, 即

$$TC ( A ) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} * d [ (a_j) , (a_i) ]$$

將上述的計算  $W_{ij}$ 、 $d [ (a_j) , (a_i) ]$  的結果, 帶入進行運算, 以求得各設施的總搬運成本, 並且將發生搬運成本為最大的設施設定為 Winner, 其計算結果矩陣如表 4.7 所示。

表 4-6 搬運距離矩陣

To \ From	柱鋼筋籠組立區	成品鋼筋堆放區	鋼筋裁切區域	施工主筋堆置區	施工箍筋堆置 1	施工箍筋堆置 2	施工箍筋堆置 3	施工繫筋堆置區	支撐架堆放區	支撐桿堆放區	組立完成堆放區
柱鋼筋籠組立區				2	12	12	18	5	2	3	18
成品鋼筋堆放區			2								
鋼筋裁切區域				2							
施工主筋堆置區											
施工箍筋堆置 1											
施工箍筋堆置 2											
施工箍筋堆置 3											
施工繫筋堆置區											
柱鋼筋籠組立區											
支撐桿堆放區											
組立完成堆放區											

表 4-7 總成本矩陣

To \ From	柱鋼筋籠組立區	成品鋼筋堆放區	鋼筋裁切區域	施工主筋堆置區	施工箍筋堆置 1	施工箍筋堆置 2	施工箍筋堆置 3	施工繫筋堆置區	支撐架堆放區	支撐桿堆放區	組立完成堆放區	總和	備註
柱鋼筋籠組立區				5666.40	2755.44	1989.96	6023.16	5355.00	1313.60	137.64	4907.88	28149.08	winner
成品鋼筋堆放區			922.32									922.32	
鋼筋裁切區域				566.24								566.24	
施工主筋堆置區												0.00	
施工箍筋堆置 1												0.00	
施工箍筋堆置 2												0.00	
施工箍筋堆置 3												0.00	
施工繫筋堆置區												0.00	
柱鋼筋籠組立區												0.00	
支撐桿堆放區												0.00	
組立完成堆放區												0.00	
總和												29637.64	

#### 4.2.3 成本最大者最適化位置尋找

最適化的位置尋找在量化技術中是自第七步驟開始。首先，是必須先根據第六步驟所計算的總成本矩陣，確立 winner 何種設施，由表 4.7 可決定出 winner 是“柱鋼筋籠預組區”。接著第八步驟是利用中位數權值法來計算 winner 最佳位置，中位數權值法必須計算與 winner 相關設施的搬運權重因子，經

4.2.2 節中計算成本數量矩陣表所得的數值後，將與 winner 相關的設施挑出，並將其成本數量值簡化成權重因子，在表 4.5 中的下方記錄了各相關設施的權重，其中以設施為“支撐桿堆放區”與 winner 的成本數量值為最小，因此將此設施的權值記錄為 1，其餘相關設施接除以權值為 1 的設施之成本數量數值，可以得到如表 4.8 所示。

表 4.8 搬運權重因子

	柱鋼筋籠組立區
施工主筋堆置區	62
施工箍筋堆置1	5
施工箍筋堆置2	4
施工箍筋堆置3	7
施工繫筋堆置區	23
柱鋼筋籠組立區	14
支撐桿堆放區	1
組立完成堆放區	6

搬運權值因子計算完成之後，將各設備的座標與搬運權值因子結合，並加以排序，計算  $W_i$  以及  $W_i / 2$ ，最後將 X、Y 分別計算  $W_i / 2$  是落在哪一區間內個，以求得最佳的 X、Y 座標值，計算列表如表 4.9 所示。在 4.9 表中左邊表示各設施的座標，而 NO.8 就是第五步驟所求得的 winner，NO.1 與 No.2 跟 winner 無相關，所以不計算搬運權重因子  $W_i$ ；表右邊是經過排序的 X、Y 座標值與相對的搬運權重因子，其搬運權值總和為 122，而其中位數搬運權值為 61，因此，將 X、Y 座標分別依由小到大累加搬運權值，計算各設施搬運權值總和大於等於 61

時，相加的搬運權值中最後一個搬運權值，所相對的 X、Y 軸座標即為最佳的 winner 位置，表 4.9 中 X 軸部份當座標值為 10 時，其搬運權值總和已經超越 61，所以可以得知 X=10 時，winner 有最佳位置，相對的 Y 軸的座標值為 Y=8 時，其搬運權值和大於 61，而得到 Y 軸的最佳位置。總而言之，當 (X,Y)=(10,8) 時，winner 將達到最小佈置成本，其總成本計算值如表 4.10 所示，中位數權值法詳細說明如附錄三所示。

表 4.9 中位數權值法計算表

NO	X	Y	Wi	X	Wi	Σ Wi	Y	Wi	Σ Wi
1	1.00	8.00	-	3.00	5		0.75	23	
2	5.00	8.00	-	7.00	1		1.00	5	
3	10.00	8.00	62	10.00	62	← 68	1.00	4	
4	3.00	1.00	5	11.50	23		1.00	7	
5	18.50	1.00	4	11.50	14		8.00	62	101
6	24.00	1.00	7	18.50	4		10.50	6	
7	11.50	0.75	23	23.00	6		16.00	14	
8	10.00	8.00	-	24.00	7		16.25	1	
9	11.50	16.00	14		122	Σ Wi		122	Σ Wi
10	7.00	16.25	1		61	Σ Wi / 2		61	Σ Wi / 2
11	23.00	10.50	6	<b>10.00</b>			<b>8.00</b>		

表 4.10 中位數權值法最佳佈置總成本

To / From	柱鋼筋籠組立區	成品鋼筋堆放區	鋼筋裁切區域	施工主筋堆置區	施工箍筋堆置 1	施工箍筋堆置 2	施工箍筋堆置 3	施工繫筋堆置區	支撐架堆放區	支撐桿堆放區	組立完成堆放區	總和	備註
柱鋼筋籠組立區				0.00	2066.58	1492.47	5019.30	3213.00	2627.20	275.28	4635.22	19329.05	winner
成品鋼筋堆放區		922.32										922.32	
鋼筋裁切區域			566.24									566.24	
施工主筋堆置區												0.00	
施工箍筋堆置 1												0.00	
施工箍筋堆置 2												0.00	
施工箍筋堆置 3												0.00	
施工繫筋堆置區												0.00	
柱鋼筋籠組立區												0.00	
支撐桿堆放區												0.00	
組立完成堆放區												0.00	
總和												20817.61	

經計算後所得 winner 座標位置發現，與現有的“施工用主筋堆置區”重疊，因此，必須重新尋找最接近最佳位置點的 winner 座標。為尋求次佳解，本研究使用所謂“輪廓線 (Contour Line)”的工具來輔助量化技術。繪製的方式詳細記載在附錄四中。在此將繪製過程約略敘述如後。

首先，繪製分別平行 X、Y 軸的垂直與水平線，通過與 winner 有搬運相關的設施中心點；接著，計算在同一條垂直及水平線上的各設施的搬運權重因子的總和，並分別記錄於相交於 X、Y 軸的位置上；垂直或水平線所分隔的區域以線性距離方程式來表示，並且計算，各區域內的數值；最後將軸上各區域的數值，以 X / Y 來計算各方格內的數值，即為在 X、Y 條件下各區域的斜率。經過依斜率來繪製的直線，將可以連結成一封閉曲線，即為輪廓線，若是以等距離來繪製其他封閉曲線，將形成類似等高線的封閉區域。

來源：Facility Layout and Location: Analytical Approach  
Francis, R.L., Ginnis L.F. jr. and White J. A.

就上述的簡述步驟，首先利用第三章中 3.4 式所介紹的方程式，以各設施的座標值與各設施的搬運權重因子來計算繪製構成輪廓線之直線的斜率，而其計算方式必須分成 X、Y 分別來計算，計算式如下所示：

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^m W_i * [ |X - a_1| + |Y - a_2| ] \quad 3.4 \text{ 式}$$

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^m W_i * |X - a_1|, \quad 3.5 \text{ 式}$$

m

$$f_2 (y) = \sum_{i=1} W_i * |Y - a_{2i}| \quad 3.6 \text{ 式}$$

就 X 方向舉例來計算，本研究中與 winner 相關的設施座標及搬運權重為 (10,8):62、(3,1):5、(18.5,1):4、(24,1):7、(11.5,0.75):23、(11.5,16):14、(7,16.25):1、(23,10.5):6，winner 的座標假設為 (X,Y)，因此就 3.5 式可以得到

$$f_1 (x) = 62 |X-10| + 5 |X-3| + 4 |X-18.5| + 7 |X-24| + 23 |X-11.5| + 14 |X-11.5| + 1 |X-7| + 6 |X-23|$$

經整理得到

$$f_1 (x) = 5 |X-3| + 1 |X-7| + 62 |X-10| + 37 |X-11.5| + 4 |X-18.5| + 6 |X-23| + 7 |X-24| \quad 4.1 \text{ 式}$$

由上式可以發現，各設施在 X 軸上的 X 座標值皆有一個相對的總權值，因此，發現可以利用繪製通過各設施中心點平行 X 軸的垂直線，將垂直線上各設施的搬運權值因子相加，其總和為在此座標值上的權值。同理，Y 軸各座標值的搬運權值和亦可以這樣計算得到。

$$f_2 (y) = 23 |Y-0.75| + 16 |Y-1| + 62 |Y-8| + 6 |Y-10.5| + 14 |Y-16| + 1 |Y-16.25|$$

總而言之，可以利用圖 4-5 的 X-Y 軸佈置圖，將通過相關設施的中心點繪製垂直與水平線，並將個別的搬運權重因子記錄在相關設施的下方，最後再將位在各垂直與水平線上的設施搬運權值總和，記錄於垂直或水平線的下方或左方，如圖 4-6 所示。

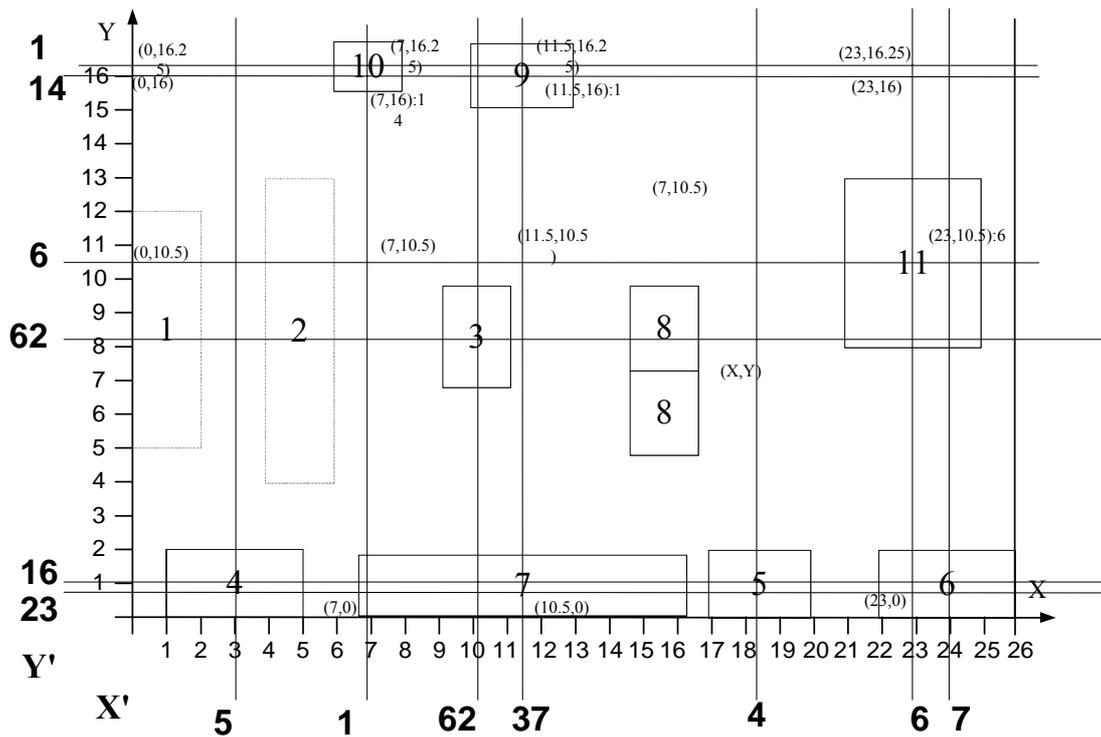


圖 4.6 相關設施搬運權值計算

在圖 4.6 中本研究定義各設施垂直與水平線的搬運權值和為  $X_i$ 、 $Y_i$ ，為計算組成輪廓線的直線段斜率，必須計算在 X、Y 軸上各設施 X、Y 座標值區間內的 X、Y 係數，作為求得斜率的依據。計算方式仍是利用上述計算 X 軸各座標權值的 4.1 式，同上舉 X 軸計算方式為例，當  $3 \leq X < 7$  時，式 4.1 可以得到

$$f_1(x) = 5(- (X-3)) + 1(- (X-7)) + 62(- (X-10)) + 37(- (X-11.5)) + 4(- (X-18.5)) + 6(- (X-23)) + 7(- (X-24))$$

經計算可得

$$f_1(x)_{,X=3} = -122(X - K), K=1447.5 \quad \text{當 } X \geq 3$$

其中 -122 即為  $X \geq 3$  的係數，而常數則以 K 表示。以相同

的方法將可以求得種條件下之 X 座標值的  $f_1(x)$  函數。而依此方式計算 X、Y 軸各區間的 X、Y 係數，彙整於表 4.10，本研究給予此係數代表符號為  $X_i^*$ 、 $Y_i^*$ 。假設計算結果如下

$$f_1(x) = X_i^* (X - K_{ix}) \quad K_{ix} \text{ 為常數}$$

$$f_2(y) = Y_i^* (Y - K_{iy}) \quad K_{iy} \text{ 為常數}$$

$$f(x, y) = f_1(x) + f_2(y) = X_i^* (X - K_{ix}) + Y_i^* (Y - K_{iy})$$

欲求  $f(x, y)$  為最小，必須令其為零，因此方程式變成

$$f(x, y) = X_i^* (X - K_{ix}) + Y_i^* (Y - K_{iy}) = 0$$

$$\text{所以，斜率 } S = X_i^* / Y_i^*$$

就上述計算式，可以計算輪廓線構成的直線斜率。

**表 4.10 輪廓線計算之 X、Y 係數**

X	w <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>*</sup>	Y	w <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub> <sup>*</sup>
<3	5	-122	y<0.75	23	-122
3<x<7	1	-112	0.75<y<1	16	-76
7<x<10	62	-110	1<y<8	62	-44
10<x<11.5	37	14	8<y<10.5	6	80
11.5<x<18.5	4	88	<10.5y<16	14	92
18.5<x<23	6	96	16<y<16.25	1	120
23<x<24	7	108	y>16.25		122
>24		122			

本研究給予此係數代表符號為  $X_i^*$ 、 $Y_i^*$ 。假設計算結果如下

$$f_1(x) = X_i^* (X - K_{ix}) \quad K_{ix} \text{ 為常數}$$

$$f_2(y) = Y_i^* (Y - K_{iy}) \quad K_{iy} \text{ 為常數}$$

$$f(x, y) = f_1(x) + f_2(y) = X_i^* (X - K_{ix}) + Y_i^* (Y - K_{iy})$$

欲求  $f(x, y)$  為最小，必須令其為零，因此方程式變成

$$f(x, y) = X_i^* (X - K_{ix}) + Y_i^* (Y - K_{iy}) = 0$$

$$\text{所以，斜率 } S = X_i^* / Y_i^*$$

就上述計算式，可以計算輪廓線構成的直線斜率，計算結果彙整於表 4.11，其數字可以相對於圖 4.6 中由垂直與水平線交出的區域之直線斜率。

**表 4.11 輪廓線斜率計算**

斜率	X <sub>1</sub> *	X <sub>2</sub> *	X <sub>3</sub> *	X <sub>4</sub> *	X <sub>5</sub> *	X <sub>6</sub> *	X <sub>7</sub> *	X <sub>8</sub> *
Y <sub>1</sub> *	-1.00	-0.92	-0.90	0.11	0.72	0.79	0.89	1.00
Y <sub>2</sub> *	-1.61	-1.47	-1.45	0.18	1.16	1.26	1.42	1.61
Y <sub>3</sub> *	-2.77	-2.55	-2.50	0.32	2.00	2.18	2.45	2.77
Y <sub>4</sub> *	1.53	1.40	1.38	-0.18	-1.10	-1.20	-1.35	-1.53
Y <sub>5</sub> *	1.33	1.22	1.20	-0.15	-0.96	-1.04	-1.17	-1.33
Y <sub>6</sub> *	1.02	0.93	0.92	-0.12	-0.73	-0.80	-0.90	-1.02
Y <sub>7</sub> *	1.00	0.92	0.90	-0.11	-0.72	-0.79	-0.89	-1.00

輪廓線的組成直線之斜率求得之後，就可以進行輪廓線的繪製，繪製的方式，就是依據直線方程式的畫法，也就是說，在各區域內依表 4.11 的斜率數值繪製常數為零的直線段，比如說  $S = 1.00$  時，繪製  $X=Y$  的直線段。當所有區域的直線皆繪製完成時，必須線段連結成為一封閉曲線，一般而言，可以依“中位數權值法”所找出來的座標值為中心點，將四周區域的直線段，由右邊區域內之右邊界上任意點開始，平移線段於任意點，再將線段延長直到碰觸此區域的底部或頂部才停止，接著就以碰觸到的區域來繼續繪製，方式如前述，先移動此區域的線段到碰觸點，再將其延長，直到碰觸另外一區域後再進行下一區域之繪製，如此循環，直到完成封閉曲線繪製為止，如圖 4.7 所示。

封閉的輪廓曲線有一特性，就是安排在此曲線上的設施，其成本是相同的。為建立類似等高線的輪廓線，本研究採用依 X 軸來的固定間隔來繪製輪廓線，本研究總共繪製三條曲線，於圖 4.7 中，最內側曲線是具有較小的成本輪廓線，中間是具有次高的成本，最外圍就是具有較高的成本的設施位置曲線。

在圖中的外圍曲線並不是沒有封閉，而是封閉的位置已經超出本研究基地的界線以外，故不加以繪出，各封閉曲線的成本記錄於輪廓線上。

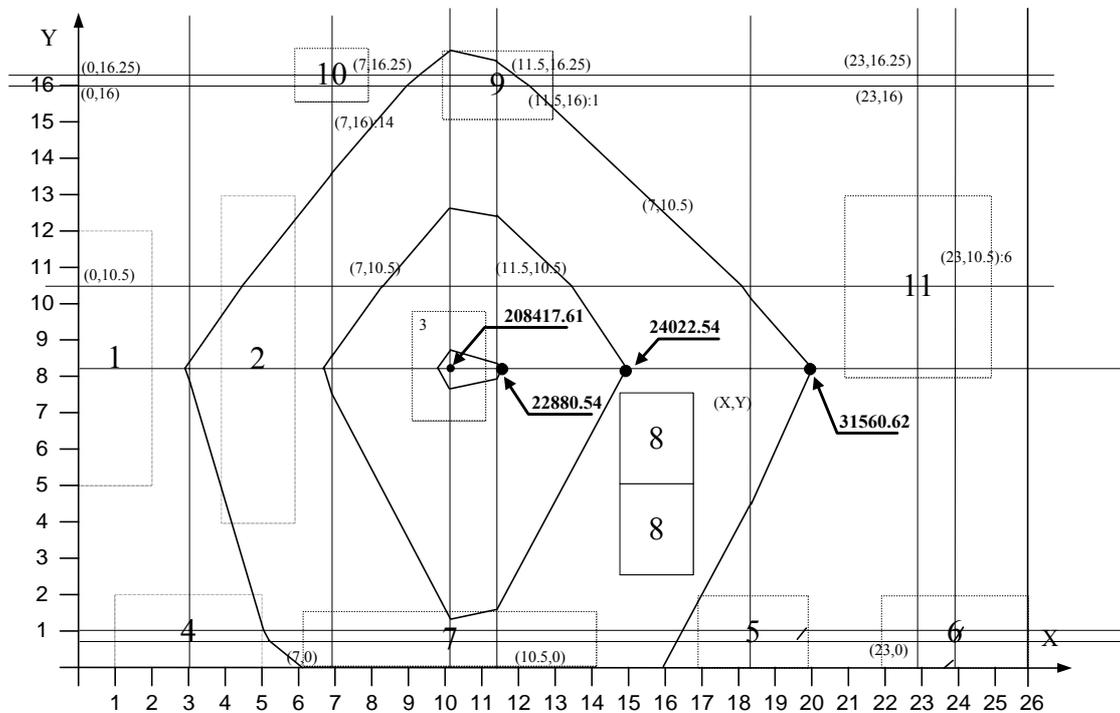


圖 4.7 成本輪廓封閉曲線圖

#### 4.2.4 更新 winner 佈置之成本變化計算

在圖 4.7 中的三條輪廓線繪製方式，是以中位數權值法所求得的最佳座標位置 (10,8) 的 X 軸座標值為基準，做沿定 X 軸座標值距離移動變化，也就是說，將 X 軸座標值以 5 來單位變動，使起始點座標值改為 (11.5,8)、(15,8)、(20,8) 來繪製輪廓線。為簡化起見，假設 winner 的新位置中心點位於上述的三個座標值上，分別計算 winner 新座標值與各相關設施距離，並建立搬運距離矩陣，另外，因為成本數量矩陣值是固定不變的，所以只要計算 winner 新的距離資料矩陣，再與成本

數量矩陣相乘，就可以計算 winner 新佈置位置的成本，其計算結果彙整於表 4.12 與圖 4.8、圖 4.9，並更正初始基地的平面圖。

表 4.12 winner 移動成本變化彙整

移動編號	成本	變化率 (1) **	移動項目	變化率 (2) ***
0*	29637.64	100.00%	-	-
1	20817.61	70.24%	柱鋼筋籠組立區	-
2	22880.54	77.20%	柱鋼筋籠組立區	109.91%
3	24022.32	81.05%	柱鋼筋籠組立區	115.39%
4	31560.62	106.49%	柱鋼筋籠組立區	151.61%

\*表示原始設施佈置之成本。

\*\*表示設施移動後之成本與原始佈置之成本變化率，以降低百分比表示。

\*\*\*表示各種設施移動之間的成本變化率，以增加百分比表示。

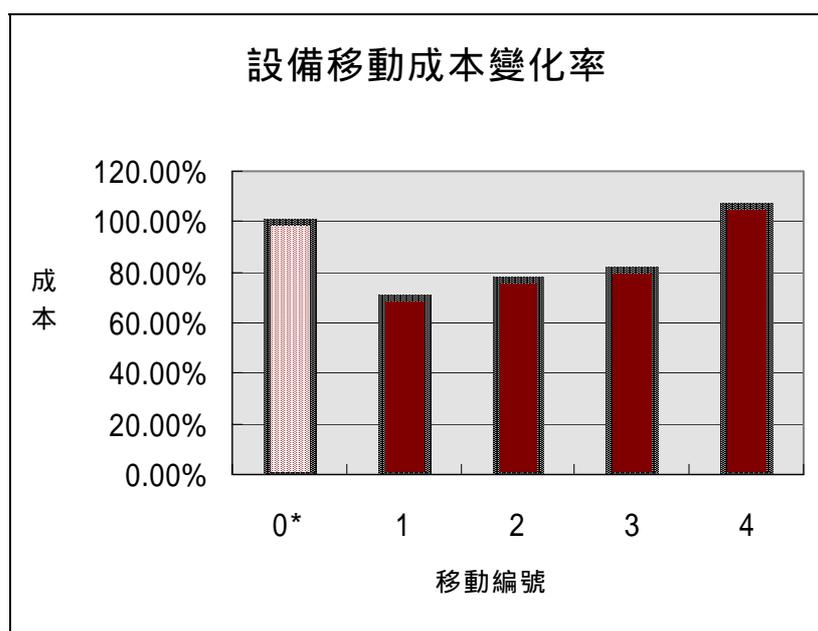


圖 4.8 winner 移動後之成本變化比例

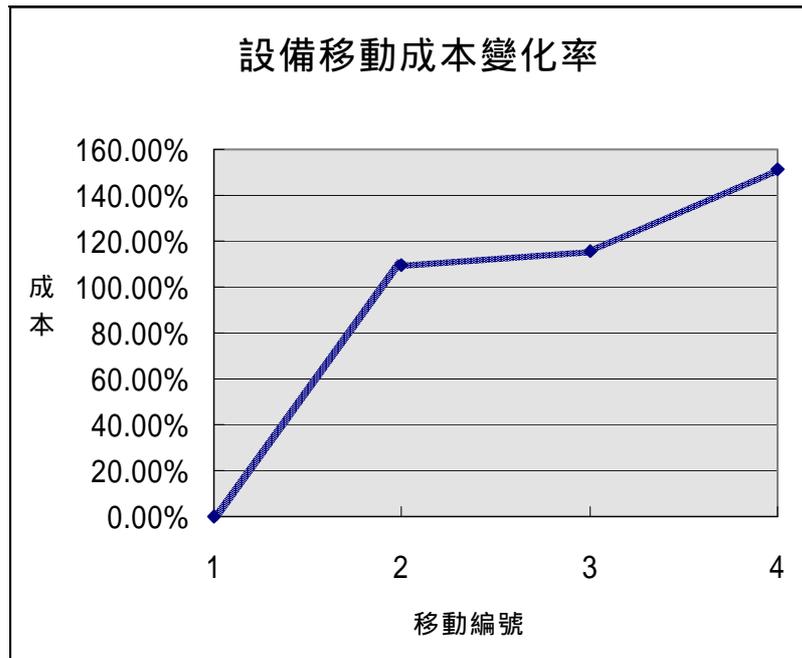


圖 4.9 各輪廓線成本變化

表 4.12 中移動編號為 0 表示是初始工地佈置的成本，在經過將 winner 分別移動到三條輪廓線上後，假設 winner 的位置分別是在 (11.5, 8)、(15, 8)、(20, 8)，經計算新距離後與數量成本矩陣相乘，可以得到新的成本。假設初始位置的成本為 1 時，將 winner 移動到上述各座標位置後，其成本隨著輪廓線的增大成本也相對增加 (圖 4.9)，但是在第一及第二成本輪廓線上的移動後成本，皆較初始工地佈置為低，唯有第三成本輪廓線的移動後成本較初始佈置成本增加 (圖 4.8)，其成本降低百分率可以達到 29.76%，但是此成本的 winner 位置是與固定的設施重疊，因此真正的最大成本降低達到 22.8%。

在第三章有提到第十一步驟是採用“成對交換”的方式來進行最適化的佈置，就本研究案例來說，由於缺乏相同基地面積的設施，因此這一步驟將略過不去執行。就一般而言，成對交換的方式，是將沒有與 winner 搬運相關的設施進行最適化工作，如此方能將整個基地的設施位置進行最適化的考量，求

得整體最適化。

在整體基地最適化以後，最重要的就是將前述變動過的資料進行回饋計算的工作，並且將新的基地設施位置平面圖確立，作為最後定案。

### 4.3 搬運堆置最適化應用量化技術分析

科技的進步與時代的改變，許多搬運已經被機械所取代，但是有些工作的進行仍然需要搬運的動作，而其人數與堆置方式，將成為這動作進行順利與否的要素。

本章節將利用量化技術分析技術，對於搬運所需人數與堆置區域數目做一探討，以期求得一以經驗所求得的曲線，作為最適化的考量。

#### 4.3.1 計算條件敘述

依據第三章第四節所述的研究流程，本節將針對第一、二步驟作一說明。本研究的方式是採用假設的方式來進行模擬，為簡化計算的過程，首先，假設本工程基地是如圖 4.10 所示的正方形，第二步驟是選取鋼筋工程中的柱鋼筋為分析對象，搬運資材方面是以主筋為分析項目。在假設的基地中，一共有十六支 1m\*1m 的柱，柱中心間距皆固定為六公尺，假設將本基地分成區分成九個堆置區，堆置區的位置皆在每一區的中心，並且以座標整數點代表，也就是說，這樣假設將使每一區內起點至終點的移動距離是固定的，以簡化計算的模式。選取柱主筋來分析只是一個例子，主要是希望藉由一種資材的分析，來得到通用的經驗法則。

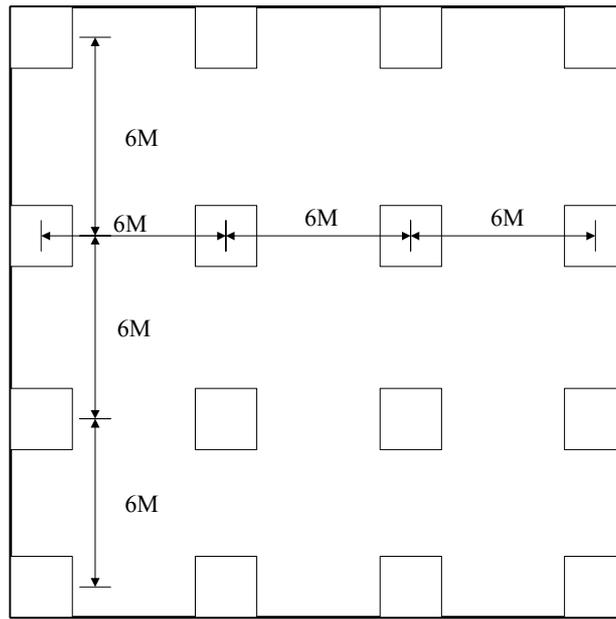


圖 4.10 建築基地假設平面圖

#### 4.3.2 數量分析資料建立

本研究的第三、四、五步驟主要是要建立量化分析技術的數值資料，其中包括了搬運單價、搬運次數與搬運距離等三項的資料。在搬運單價部份，可以沿用 4.2 節所述的數量計算結果，也就是根據表 4.3 中所計算的每人每次搬運主筋的單價，主筋搬運的單價為 1.77 元/次.m，因為只有單一的資材，所以不必建立搬運單價資料矩陣，但是當搬運人員增加後，其搬運單價將相對增加。

第四步驟是搬運距離方面的資料建立，在本研究中，距離資料的建立是計算最佳搬運堆置區域數目經驗曲線的重要項目。為方便計算距離資料，首先必須將圖 4.10 的基地平面圖繪製成 X- Y 的座標軸，如圖 4.11 所示。欲計算各種堆置數目下的最佳堆置位置，必須先以同一堆置數目，將堆置區在平面圖上的九個不同的區域中移動，依據計算距離與單價資料，並且

計算其總搬運成本，當總搬運成本為最低時，此堆置區域將做為本研究在固定堆置數目下，資材堆置的最佳位置位置，用以計算距離時的基礎。各堆置區域數目的最佳堆置位置計算詳細記錄於附錄五中。

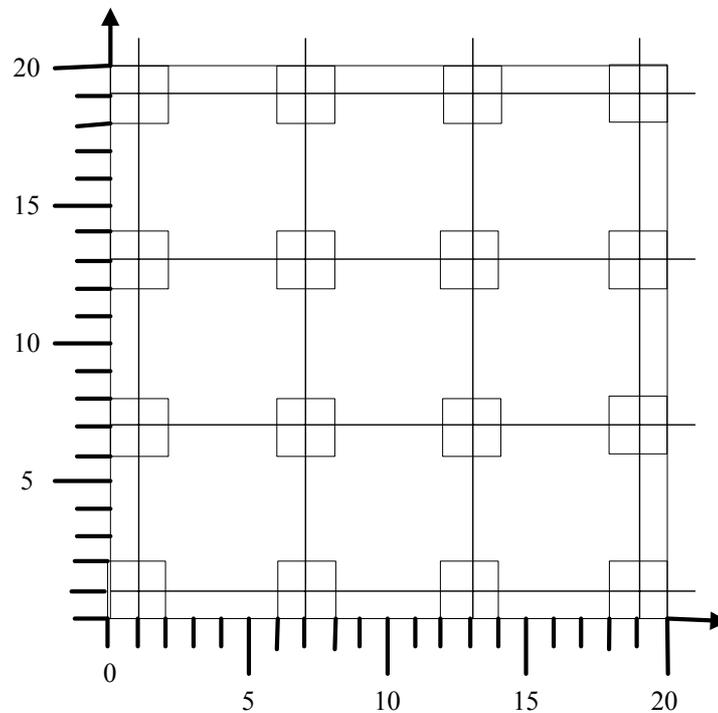


圖 4.11 座標化工地佈置圖

隨著堆置區數目的增加，其搬運所產生的成本也將發生變化。所以，在確立堆置區域數目與位置之後，在本研究的搬運堆置假設中，將總資材分成 1 至 8 個堆置數目來計算距離，其計算所得的距離單位是每人每次搬運的距離，若是有對稱的搬運現象只需計算對稱的部份即可。若是偶數的堆置區數目，只需要計算單區資材所需要發生搬運到分配的柱組立區，再以倍數增加即可。舉例來說，假設一支柱有 40 根施工主筋，而全區十六支柱一共有 640 支柱主筋，若是分成兩區堆置時，每一區有 320 支柱主筋，也就是說必須供應 8 支柱的組立所需，因此，根據附錄五，其最佳的堆置位置，如圖 4.12 所示，是位於位於

座標 ( 4,10 )、( 16,10 )，所以，計算搬運距離時，是以前述兩座標為起點，以及平面圖左邊的 8 根柱子為搬運終點來計算，總成本則是乘以兩倍即可得到。

經過上述的搬運單價分析與距離資料計算之後，利用店參張 3.8 式，即

$$C_{\text{single}} = C_s = \sum_{u=1}^n C * D_{su}$$

其中 C 為單位距離搬運成本

$D_{su}$  為單區內搬運距離下

將距離與單價相乘，稱之為“單區搬運單價”，定義為當只搬運單一區中所有柱子中的一根主筋稱之為一個循環，此一個循環的成本稱之為“單區搬運單價”，其結果的摘要如表 4.12 所示，上半部為單區搬運單價，因為本堆置區數目為 2，因此必須分成兩區來計算，其各區的單區搬運成本是相同的。

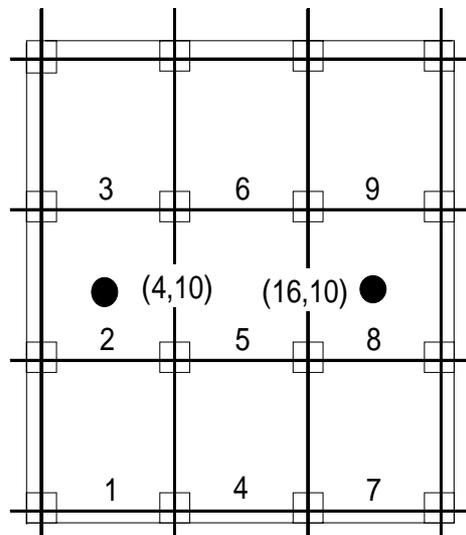


圖 4.12 堆置數目為 2 之最佳堆置區

表 4.12 距離成本（單區搬運成本）資料（摘錄）

分區 NO	距離 M	單價 元	成本 元	位置	
				X	Y
2	9.49	1.77	16.79	1	1
	4.24	1.77	7.51	1	7
	4.24	1.77	7.51	1	13
	9.49	1.77	16.79	1	19
	9.49	1.77	16.79	7	1
	4.24	1.77	7.51	7	7
	4.24	1.77	7.51	7	13
	9.49	1.77	16.79	7	19
	小計			97.20	4
	9.49	1.77	16.79	13	1
	4.24	1.77	7.51	13	7
	4.24	1.77	7.51	13	13
	9.49	1.77	16.79	13	19
	9.49	1.77	16.79	19	1
	4.24	1.77	7.51	19	7
	4.24	1.77	7.51	19	13
	9.49	1.77	16.79	19	19
	小計			97.20	16

第五步驟是要計算搬運的流量，也就是搬運的次數。搬運的次數與堆置區的數目有絕對相關，當堆置區數目增加時，每一堆置區區的搬運次數將會減少，比如說，主筋的總數是 640 支，當分成兩區時，每區堆置數量變成 320 支，因此就前述所計算的單區搬運單價來說，分成兩區時，此單一區中所有柱子中的一根主主筋搬運單價和為 97.20 元（表 4.12），也就是說在堆置區等於 2 時，一個人搬運的單區搬運單價為 97.20 元，因此其計算搬運次數時，根據柱主筋的數量其搬運次數將是  $320/8=40$  次。再者，各種堆置區數目下，其變化者是單區的單價隨著搬運距離與人員數而變化，但是各區的搬運次數是不變的。也就是說，搬運人數的增加雖然會降低每一個人的搬運次數，但是為簡化起見，將搬運次數的變化改由搬運單價吸收，即，假設搬運次數不變的情況下，將單位搬運的單價隨著人數的增加而增加。

### 4.3.3 量化技術計算與分析

第六步驟主要是將上述計算所得的資料進行運算，運算因子包括搬運單價、距離及次數，其中搬運單價與距離已經先行運算為單區搬運單價，而搬運次數也已經固定，因此須注意的是因搬運人數的變化造成搬運單價的變化，過計算其結果摘要記錄於表 4.13 所示，詳細資料記錄於附錄六。

表 4.13 堆置區數目與搬運人數最適化計算表（摘要）

堆放位置數	數量（支）	工人數	搬運次數		單價 = 單價*距離		總成本		
			入	次/		（元/次）		單價*搬運數*人	
				每區	總和	單區單價	單區成本	元	
1	640	1	640	640	254.49	254.49	10179.60		
1	640	2	640	640	254.49	508.98	20359.20		
1	640	3	640	640	254.49	763.47	30538.80		
1	640	4	640	640	254.49	1017.96	40718.40		
1	640	5	640	640	254.49	1272.45	50898.00		
1	640	6	640	640	254.49	1526.94	61077.60		
1	640	7	640	640	254.49	1781.43	71257.20		
1	640	8	640	640	254.49	2035.92	81436.80		
1	640	9	640	640	254.49	2290.41	91616.40		
1	640	10	640	640	254.49	2544.90	101796.00		
2	640	1	320	640	97.20	97.20	3888.00	7776.00	
2	640	2	320	640	97.20	194.40	7776.00	15552.00	
2	640	3	320	640	97.20	291.60	11664.00	23328.00	
2	640	4	320	640	97.20	388.80	15552.00	31104.00	
2	640	5	320	640	97.20	486.00	19440.00	38880.00	
2	640	6	320	640	97.20	583.20	23328.00	46656.00	
2	640	7	320	640	97.20	680.40	27216.00	54432.00	
2	640	8	320	640	97.20	777.60	31104.00	62208.00	
2	640	9	320	640	97.20	874.80	34992.00	69984.00	
2	640	10	320	640	97.20	972.00	38880.00	77760.00	
3	640	1	213	640	46.81	46.81	1872.40	5617.20	
3	640	2	213	640	46.81	93.62	3744.80	11234.40	
3	640	3	213	640	46.81	140.43	5617.20	16851.60	
3	640	4	213	640	46.81	187.24	7489.60	22468.80	
3	640	5	213	640	46.81	234.05	9362.00	28086.00	
3	640	6	213	640	46.81	280.86	11234.40	33703.20	
3	640	7	213	640	46.81	327.67	13106.80	39320.40	
3	640	8	213	640	46.81	374.48	14979.20	44937.60	
3	640	9	213	640	46.81	421.29	16851.60	50554.80	
3	640	10	213	640	46.81	468.10	18724.00	56172.00	

除了上述的資料計算之外，本研究假設大量資材搬運工作是以吊車來進行，而分堆吊運與置放也是以吊車輔助搬運，因此必須再計算利用吊車輔助吊運資材制定位時所需的成本。假設吊車的能量是 4MT，根據現場調查的記錄顯示（4-2），吊車

的移動以一棟 5 層樓的建築物來說，來回所需時間是大約 1.5 分鐘，而薪資方面假設吊車是用租的，月租費為 10 萬元（包括維修），吊車操作手薪資為 6 萬/月（34），以上述資料可以計算吊車的搬運單價為每分鐘 17.8 元。計算過程中因為吊車的能量只有 4MT，因此在吊運資材時，超過負荷能量的資材將會分成數次來吊運，比如說，分成兩個堆置區時，每一堆至區有 320 支主筋，總重達 9.2 噸，因此在吊運時每一堆置區，需要吊運三次，因此就堆置區為二時，吊運總時間為  $1.5(\text{分/次}) \times 6(\text{次}) = 9(\text{分})$ ，再將吊運單價乘上，即可以得到在堆置區數目為 2 時，其以吊車輔助吊運所需的成本，其計算結果如表 4.14 所示。

**表 4.14 吊車輔助搬運單價計算**

分區數	吊運能量 4T			單區吊運次數	吊運總數	單次吊運時間	單次總吊運時間	吊運單價	吊運成本	
	數量	單件重	總重							
	支/個	kg	kg	噸	次	次	分	分	元/分	元
1	640	28.81	18438	18.44	5	5	1.5	7.5	17.8	133.50
2	320	28.81	9219.2	9.22	3	6	1.5	9.0	17.8	160.20
3	213	28.81	6136.53	6.14	2	6	1.5	9.0	17.8	160.20
4	160	28.81	4609.6	4.61	2	8	1.5	12.0	17.8	213.60
5	128	28.81	3687.68	3.69	1	5	1.5	7.5	17.8	133.50
6	107	28.81	3082.67	3.08	1	6	1.5	9.0	17.8	160.20
7	91	28.81	2621.71	2.62	1	7	1.5	10.5	17.8	186.90
8	80	28.81	2304.8	2.30	1	8	1.5	12.0	17.8	213.60

最後將表 4.13 的計算結果與表 4.14 的輔助吊運成本相加，就可以得到搬運的總成本。經過量化的計算之後，本研究試圖在這些數字中找出去找出一個經驗的曲線，以提供管理者最佳的堆置區數目與搬運的人數。

經由計算總成本的數值後，整理得到當搬運人數固定時各堆置區域數目的變化，所造成的成本變化，彙整於表 4.15（部份）與圖 4.13、圖 4.14、圖 4.15 圖 4.16 所示。表 4.15 中顯示以堆置區域數為 1 與搬運人數為 1 人所產生的成本，當作一個比較的基礎，將各堆置區域數目所發生的搬運成本以百分比表示，在圖 4.13 中可以發現當堆置區數目為一定時，搬運成本

將隨搬運人員的增加而成倍數增加；而搬運時間方面，如圖 4.14 所示，可以發現在堆置區數目為一定時，隨著搬運人員的增加，搬運時間將有大幅度的縮短。在圖 4.15 中明確的發現，當搬運人數一定條件下，堆置區數達到 4 時，將使得搬運成本漸趨平緩，也就是說，當堆置區域數目達到 4 個時，其堆置區數目的增加對於搬運成本將不再有降低的效果；而搬運時間方面，在搬運人數固定的情形下，搬運的時間隨著堆置區域的增加而降低，尤其是在堆置區增加為兩個時，其時間的縮短呈現急劇變化，直到堆置區達到 5 時，搬運時間漸趨穩定，也就是說，當堆置區數目達到 5，其時間縮短的效益已經不大了（圖 16）。

**表 4.14 總搬運成本變化表**

堆放位置數	工人數	成本變化	時間變化
1	1	100.0%	100.0%
2	1	77.0%	21.6%
3	1	56.0%	11.1%
4	1	48.7%	6.7%
5	1	47.9%	5.3%
6	1	48.8%	4.4%
7	1	48.4%	4.4%
8	1	48.7%	4.4%

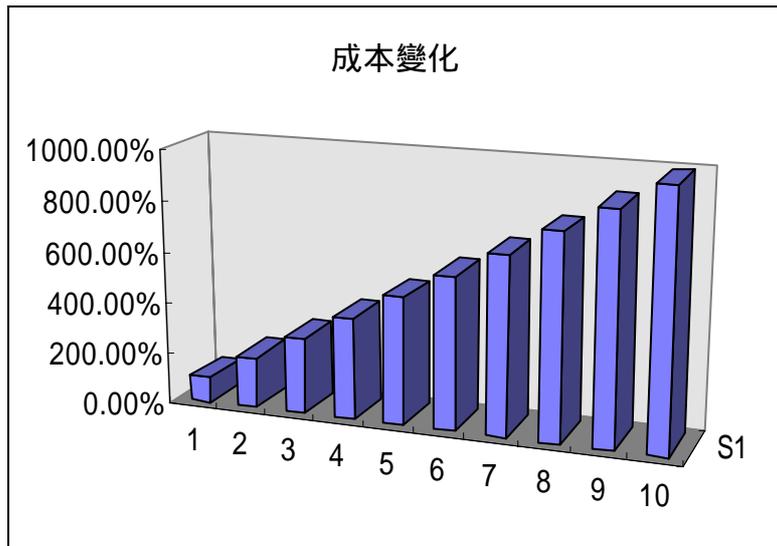


圖 4.13 搬運成本變化圖 (堆置區域數固定)

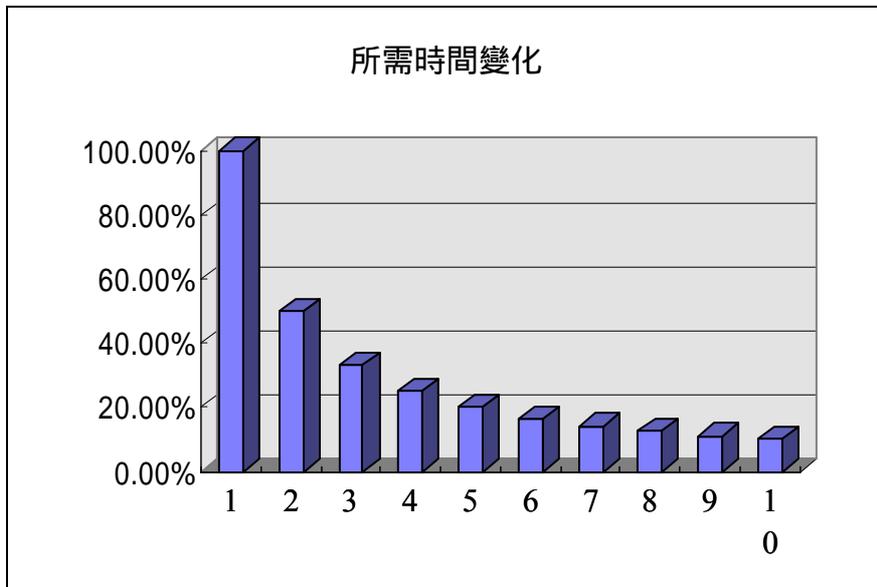


圖 4.14 搬運時間變化圖 (搬運人數固定)

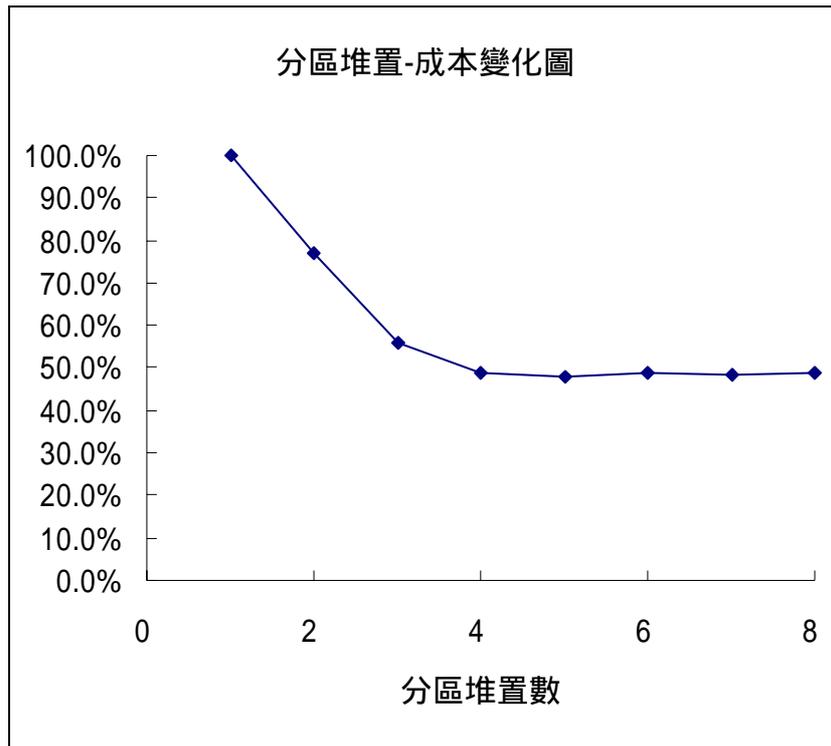


圖 4.15 堆置區數目變化之搬運成本變化圖

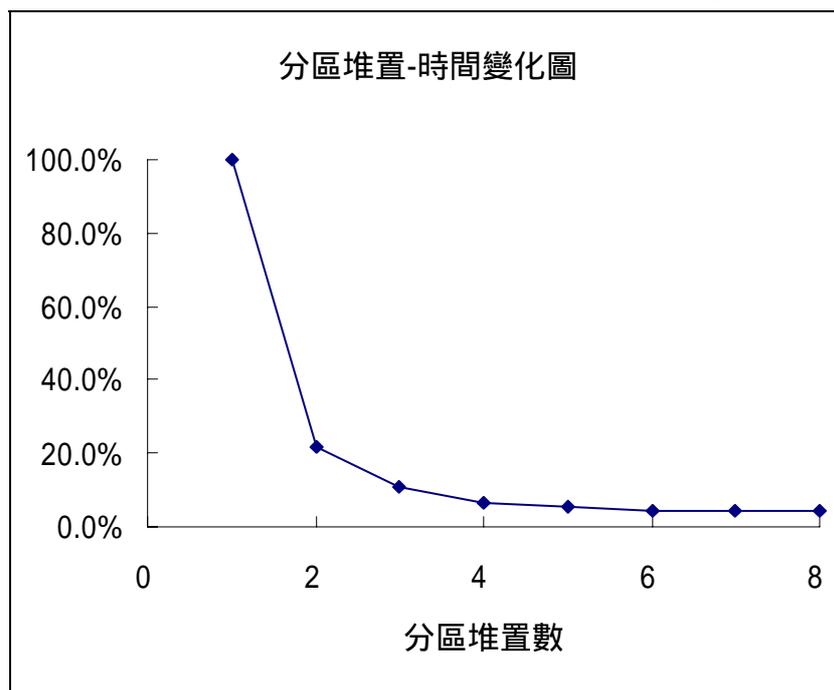


圖 4.16 分堆置搬運時間變化圖

綜上所述，當堆置區數目達到 4 或 5 時，其總搬運成本將可以達到最低，而其搬運時間因素也將達到最佳。就圖 4.17 所示，將搬運堆置區數目變化與搬運人數變化所得到的成本變

化繪製成桿狀圖，X 軸是堆置區域數目，成波浪狀的圖形表示搬運人數變化，圖中可以明顯看到成本隨著人數增加而增加，但是隨著堆置區數目增加成本將趨於平緩；圖 4.18 所示為搬運時間受搬運人數與堆置區域數目變化的影響，隨著搬運人數的增加與堆置區的增加，搬運的時間將縮短。為達到最佳的堆置區數目，除了總搬運成本考量之外，將搬運時間加入考慮，將使得整體經濟性的考量更加完整與合理。

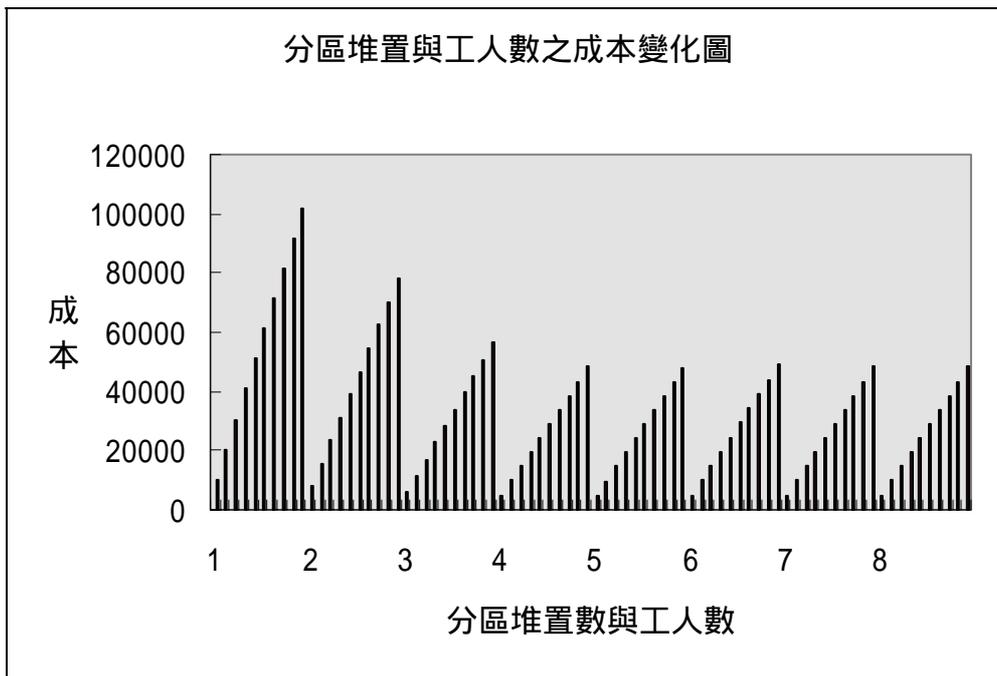


圖 4.17 分區堆置數與搬運工人數之發生搬運成本

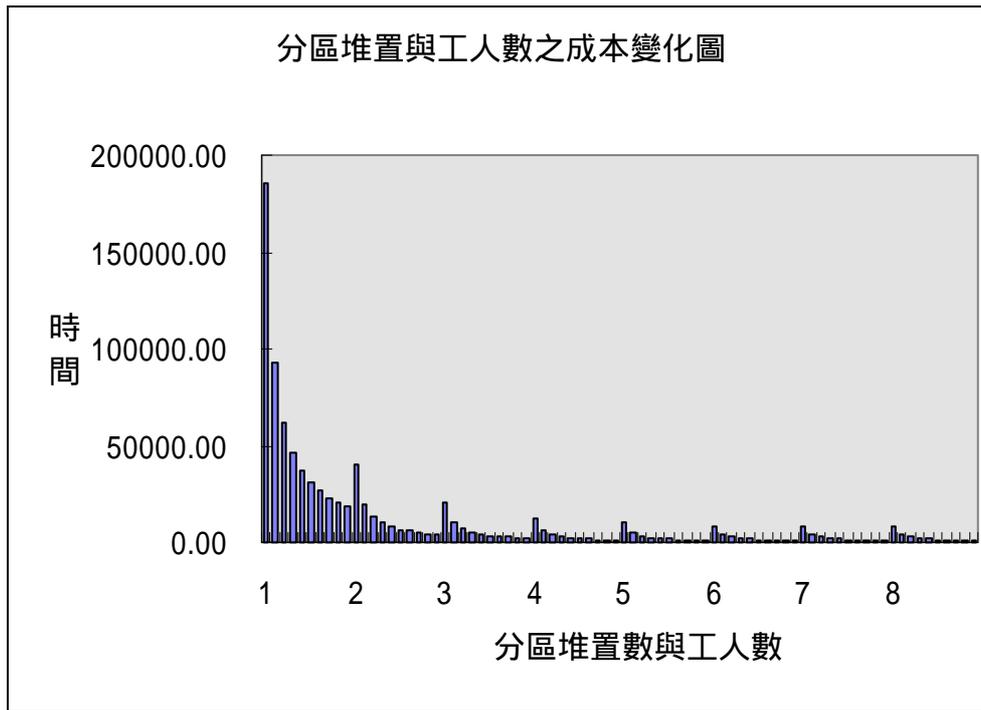


圖 4.17 分區堆置數與搬運工人數之搬運時間

#### 4.4 小結

在本章節中，以本研究所提出的量化分析的模式，針對鋼筋籠預組場地的佈置，以最小總搬運成本，將搬運成本相關因子，包括搬運次數、搬運距離與搬運單價等，經過簡單的運算，確認搬運成本最大之設施，再藉助單一設施設置的方法，以中位數權值法計算搬運成本最大者的最佳位置，以及繪製搬運成本最大者的成本等高線，以規範搬運成本最大者的最佳位置範圍。依據最佳位置範圍，將搬運成本最大的設施位置進行移動，以最小總搬運成本為目標，使得總搬運成本有效的降低了 30% 左右。根據總搬運成本降低的結果，對於經過工程師直覺合理化佈置的工地，以本研究的分析模式計算仍具有降低搬運成本的效果，證明本量化分析模式是可行的，並且能對工地佈置進行合理改善。

另外，利用量化技術來計算最佳佈置之外，本研究也用來尋求材料在不同堆置區域數目時所應對的總搬運成本與總搬運時間的曲線變化。本研究以假設的方式，將搬運單價、搬運次數、搬運距離與搬運時間等搬運相關資料加以分析，經簡單運算結果，繪製材料在不同堆置區數目所對應的成本變化與時間變化曲線，加上塔吊的搬運成本與搬運時間，以最小總搬運成本與總搬運時間為目標，繪製不同堆置區數目對應到搬運成本與搬運時間的曲線，發現堆置區的數目約為 4-5 個時，其總搬運成本與總搬運時間的變化將趨近於平緩，也就是說，就整體而言，當堆置區規劃為 4-5 區時，可以得到最小的搬運成本與搬運時間。此分析的結果可以做為工程管理者在規劃工地佈置時的參考。

本研究在模型建立之初，原本有考量將搬運人數的變數考量進去，以求得最佳的搬運人數，但是，就實際情形而言，以此模型計算最佳搬運人員數目是不合理的，因為搬運人員的增加，會造成某種程度的干擾，就生產力而言是會增加工作時間的。因此，本研究對於搬運人數的合理化，將留有相當空間做為後續的研究。

# 第五章 結論與建議

## 5.1 結論

為有效協助工程管理者改善現場佈置，降低搬運成本及提升效率，本研究引用工業工程中常用的佈置方法，並配合營建業的特性加以改良，簡化計算的方法，以協助工程管理者進行工地的佈置，有效降低搬運成本。本研究所提出的分析方法，主要是以總搬運成本為工地佈置最適化考量的依據，並以最小總搬運成本為目標，將設施間的搬運成本資料分成搬運次數、距離與單價，以“從至圖”來記錄，經由簡單的運算方式，確認具有最大運輸成本的設施，藉著單一設施位置佈置的方法，並以中位數權值法來決定最大運輸成本設施的最佳位置與繪製成本等高線做為移動依循，以協助工程管理者規劃或改善工地現場佈置。在本分析技術中，以明顯的搬運資料與簡單的運算方法，配合成本等高線的特性，將運輸成本最大的設施位置進行移動，越接近成本等高線中心點的總搬運成本將會越低，因此，以此分析方法不僅可以進行最適化的佈置改善外，亦可以有效降低總搬運成本。

以鋼筋預組場設施佈置為研究案例，顯示過去以工程師直覺或是經驗所規劃完成的佈置案，若是採用本研究所提出的量化分析方法，僅需經過簡單的運算，再依據中位數權值法或是成本等高線所顯示的資訊，進行些微的位置調整，就本研究案例來說，可以發現降低了 30% 左右的搬運成本。因此，證明本研究所提出的數量化分析模式，有助於工地管理者對工地佈置進行改善。

此外，數量化的分析技術也可以應用在材料不同堆置區數

最適化的分析。經由搬運單價、次數、距離與搬運時間等資料的建立，將搬運單價與搬運次數固定，配合搬運距離計算單區的總搬運單價與時間，加上塔吊的總搬運成本與時間，繪製不同堆置區數目對應到搬運成本與搬運時間的曲線，發現堆置區的數目約為 4-5 個時，其總搬運成本與總搬運時間的變化將趨近於平緩，也就是說，就整體而言，當堆置區規劃為 4-5 區時，可以得到最小的搬運成本與搬運時間。此分析的結果可以做為工程管理者在規劃工地佈置時的參考。

綜上所述，本研究所採用的量化分析模式，去除了繁雜的且深奧的的計算方式，以搬運成本為考量對象，分成數個與搬運成本相關且可以輕易得到的的搬運資料，經簡單的運算方式，以總搬運成本最小為目標，可以快速且正確的協助工地管理者，對於工地佈置進行規劃或是改善的工作。

## 5.2 建議

營建工程相對於工業工程而言是屬於產量少、產品多的生產特性，而且工地佈置亦是屬於暫時的一次性佈置，再加上營建工程的搬運情形，本研究假設以直角移動方式來進行最佳位置研究是適當的，也就是說，在計算設施位置對成本的變化時，其精確度是足夠的。但是，若是需要更精確的計算設施位置對搬運成本的影響，可以利用直線移動法，以 X、Y 軸同時移動的考慮，利用偏微分的方法來計算設施位置對搬運成本的變化，精確度將可以提高。一般而言，用於產量多、產品多、永久性佈置的生產線，才會以直線移動方式計算成本與設施位置的關係，在營建工程中，若是以自動化大量生產建築元件的工廠，可利用此種方式精算其設施佈置對搬運成本的變化。

本研究提出的運算模型，是以簡單的運算方式，因此利用

試算表軟體即可將搬運成本相關的資料進行運算，快速得到搬運成本的計算結果，根據此結果可以協助確認搬運成本最大的設施的，並輔助工地佈置最適化的進行。在搬運成本相關資料獲取方面是十分容易的，工程師可以根據現場的情形與工作流程，獲得搬運次數、搬運距離得資料，至於搬運單價方面，經過單價分析亦可得知。在搬運資料表格的建立方面，可以利用試算表軟體 EXCEL™ 的巨集功能來建立，並且對於運算過程亦可撰寫簡單的程式，降低工程管理者在製作搬運資料所需圖表與運算的時間。此外，若是能經由整合單價分析軟體、基地平面配置圖產生軟體等配合前述試算表所建立的功能，更可以簡化資料輸入的工作與運算的過程，而提高工程管理者在工地佈置工作上效率。總而言之，本研究所提出的量化分析模型，是利用簡單的運算過程，以搬運成本為考量，利用單一設施位置的佈置方法，提供工程管理者簡易且正確的數值資料，做為工地佈置最適化的工作，其具有的簡單特性，有助於以通用的軟體提供工程管理者使用此分析方法，而面對精確度更高的分析需求時，可以利用更高一層的計算方式來協助此模式的分析工作，使工地佈置的工作更加完善。

## 參考文獻

- 1.中華民國台灣地區經濟動向統計年報，行政院主計處，1995。
- 2.中華民國台灣地區薪資與生產力月報行，政院主計處，1995。
- 3.中華民國台灣地區人力資源調查統計年報，行政院主計處。
- 4.營建自動化推動專刊，內政部營建署建築研究所，1991。
- 5.彭雲宏，「建築管理自動化的發展方向」，民國八十年建經研討會。
- 6.彭雲宏，「台灣地區營建工程能量的調查與分析」，內政部建築研究所。
- 7.Nicol, L. M. and Holier, R. H., Plant Layout in Practice , Material Flow, 1, pp.177-188, 1983.
- 8.Tommelein, Iris D., “site layout. ‘Where should it go”, Preparing for Construction in the 21th Century Constr Congr 91, Publ by ASCE, New York, NY, USA. pp..623-637, 1991
- 9.Hamiani, A., “Computing in Civil Engineering”, Sixth Conference on Computing in Civil Engineering (New York), Publ by ASCE, New York, NY, USA. pp.283-289,1989.
- 10.余振銘，「專家系統在工廠佈置上的應用」，台灣工業技術學院，工程技術研究所工業管理組碩士論文，1988年。
- 11.鄭明淵，「地理資訊系統（GIS）在臨時設施自動化佈置之發展應用」，行政院國科會計畫，1994。

# 附錄

## 一、從至圖與活動相關圖

經過 P-Q 流量分析之後，發現營建工程是具有產品項目多，但是產量少的特性，再加上無明顯的之相似製程，因此以從至圖可以有效掌握各作業之間的的相關性，因此適用於營建工程的分析。從至圖主要是以一組欄位來表示各設施間的數值資料，作為後續的數量計算建立依循的基礎，其目的包括了可以分析模擬物料的流動、設施間的相關性與流程的形式。

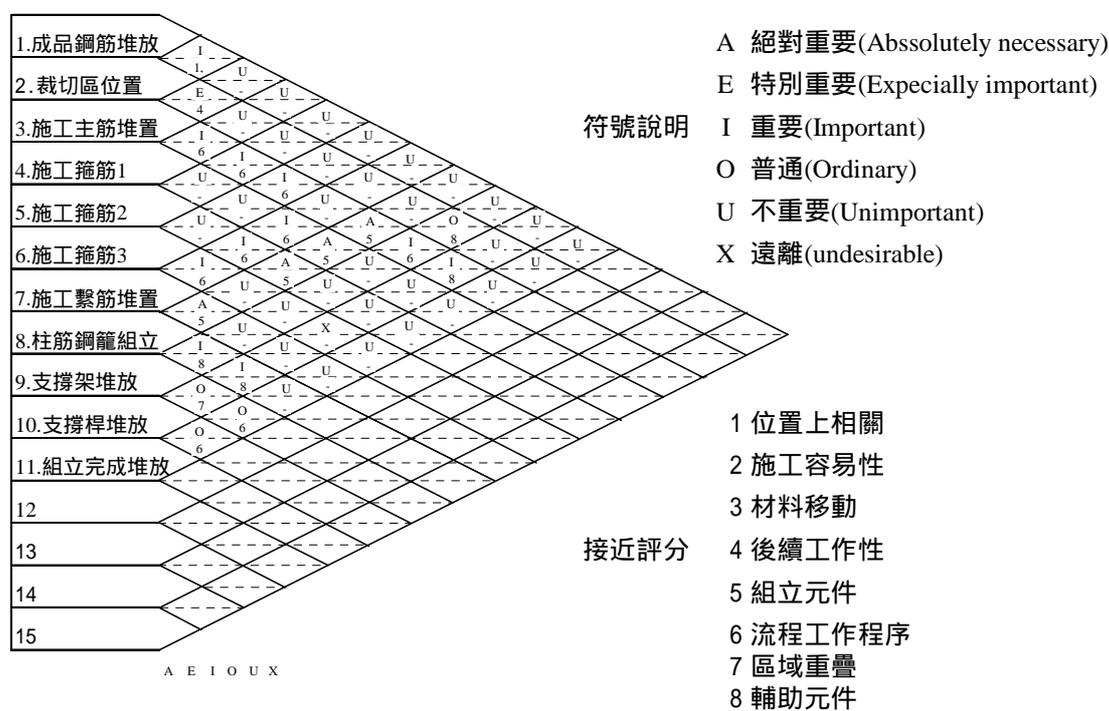
本研究是採用改良式的從至圖，也就是說，原本從至圖的意思是用來記錄物料的起點與終點設施位置，而本研究將具有最大搬運相關的設施列於第一優先，如下圖中的“柱鋼筋籠預組區”即為第一優先的設施，並且是以兩設施間的“搬運關係”來做為建立從至圖資料的基礎。在從至圖中，其特性一如矩陣，在斜線的左右是相對等的，也就是說，在記錄是數值時，只要記錄在斜線的一邊即可，另一邊將是相同的。從至圖如下所示。

To \ From	成品鋼筋堆放區	鋼筋裁切區域	施工主筋堆置區	施工箍筋堆置 1	施工箍筋堆置 2	施工箍筋堆置 3	施工繫筋堆置區	柱鋼筋籠組立區	支撐架堆放區	支撐桿堆放區	組立完成堆放區
成品鋼筋堆放區											
鋼筋裁切區域											
施工主筋堆置區											
施工箍筋堆置 1											
施工箍筋堆置 2											
施工箍筋堆置 3											
施工繫筋堆置區											
柱鋼筋籠組立區											
支撐架堆放區											
支撐桿堆放區											
組立完成堆放區											

來源：本研究

活動相關圖的目的是為了將一個群體中各個部門/設施間的關係做一清楚的分類，利用一些符號來說明兩設施或部門間的接近關係，並且闡述其接近的理由。活動相關圖提供了從至圖中“中心設施”（第一優先設施）的位置、與中心設施相關設施的位置次序，以及指派問題的依據等功用。

活動相關圖與從至圖類似，而活動相關圖則是以接近程度與接近理由來敘述兩設施之間的關係，以 A(絕對重要)、E(特別重要)、I(重要)、O(普通)、U(不重要)與 X(不要接近)六個字母來敘述設施間的關係等級，此外以數字說明接近評分的理由。如下圖所示，在菱形的方格內填入設施間的關係，上方為接近評分的等級，下方為接近評分的理由。



來源：本研究

## 二、流線流程圖與流程程序圖 (Flow Process Chart)

## 流程序圖

零件說明 \_\_\_\_\_  
 程序說明 \_\_\_\_\_  
 部門 \_\_\_\_\_  
 工廠 \_\_\_\_\_  
 記錄 \_\_\_\_\_  
 日期 \_\_\_\_\_

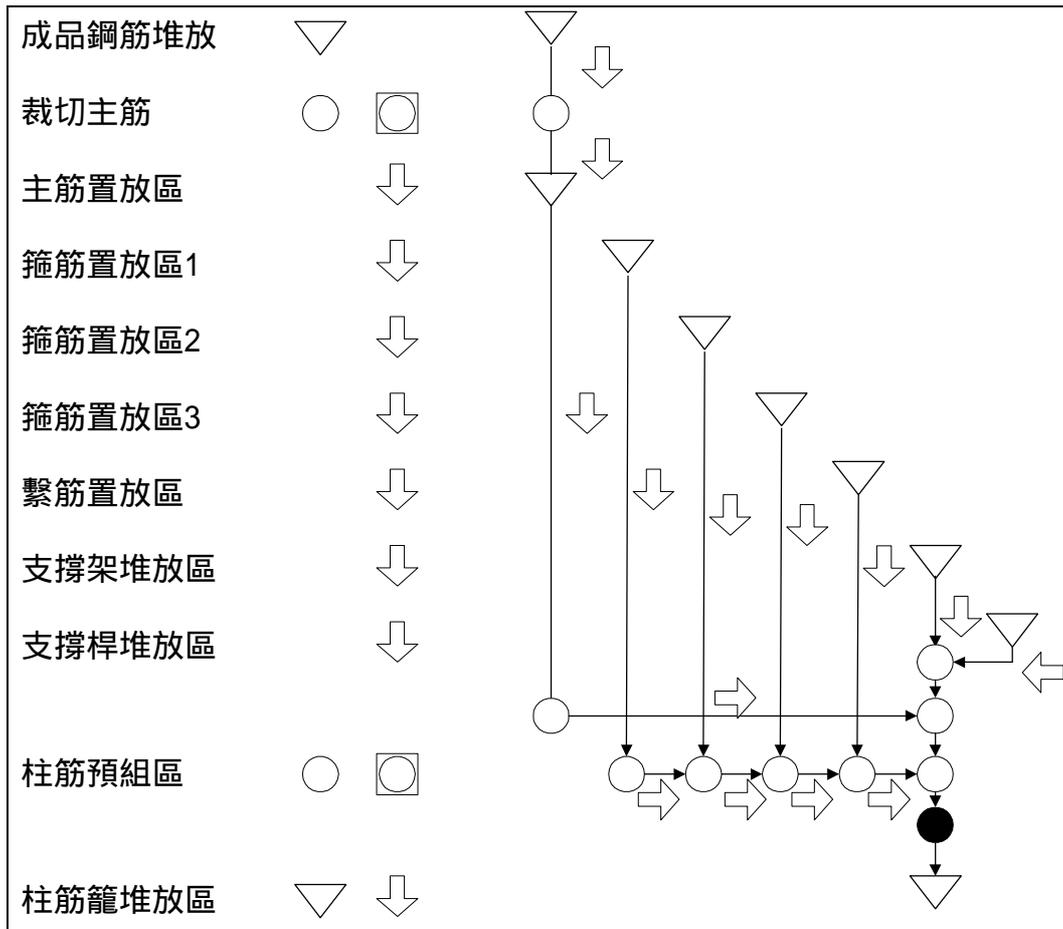
符號	數目
D	
總步驟	
移動距離	

步驟	作業	運輸	檢驗	延遲	儲存	說明目前方法	設備	距離	
1				D					
2				D					
3				D					
4				D					
5				D					
6				D					
7				D					
8				D					
9				D					
10				D					
11				D					
12				D					
13				D					
14				D					
15				D					
16				D					
17				D					
18				D					
19				D					
20				D					

流線流程圖是流程序圖的簡化，流程序圖（上圖）的目的是要將一種生產的流程程，以符號的方式加以簡化，作為分析物料流動的基礎，特別是對於搬運距離、延遲、儲存時間等隱藏成本的研究。流程序圖中又可以分成材料流程序圖與人員流程序圖兩種，程序圖中包括了，六種分析符號，這

是由 F. M. Gilbreth 於 1920 年所設定，其中 表示操作，  
表示搬運， 表示檢驗，D 表示延遲， 表示儲存以及 表示  
是合併作業。

將經過記錄的程序流程圖予以簡化，將形成如下圖所示的  
流線流程圖。



來源：本研究

### 三.中位數權值法 (Median condition)

根據 Francis 等人的著作 “ Facility Layout and Location ” 中的研究發現，以下述公式來說，

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^m W_i * [ |X - a_i| + |Y - a_i| ]$$

若是將  $|X - a_i|$ 、 $|Y - a_i|$  分別以  $f_1(x)$ 、 $f_2(y)$  來表示，

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^m W_i * |X - a_i| ,$$

$$f_2(y) = \sum_{i=1}^m W_i * |Y - a_i|$$

將原來的目標函數分成了 X 及 Y 兩部份後，可以利用 X 軸與 Y 軸的獨立性，。由於  $f_1(x)$ 、 $f_2(y)$  方程式的特性是隨著設施位置座標的不同，一次方程式的呈現折線式的變化，類似於 V 型曲線，是一種凸型總和函數 (Convex Function)，此函數的特性是區域位置最小化就是全域最小化的特性，當斜率值自負數變成正數時，也就是單一座標軸的區域最小化出現的位置，也就成為全域的最適化座標點。為簡化計算最佳座標軸位置，經上述的數次計算，發現若是將欲設置設施與已經存在設施間的搬運權值計算其總和之後，將 X, Y 分別加以自小到大排列，並以  $W_i/2$ ， $i = X, Y$  為計算依據，當 X 或 Y 的搬運權值和大於  $W_i/2$  時，最小的 X 軸、Y 軸的座標值將可以計算出來。

#### 四. 輪廓線圖 (Contour Line)

成本輪廓線又可以稱為成本等高線圖，此技術用於解決佈置設施位置上，是由 James M. More 所發展出來的。繪製等成本曲線的方法有兩種，一種是最小直線移動法 ( Minimum Straight-line Movement )，另一種是最小直角移動法 ( Minimum Rectangular Movement )。這兩個技術共同有四種假設：一、現有設備位置保持不變；二、成本與距離成正比；三、設備位置可在直角座標上以點來表示；四、以相同的物料搬運方式與成本算方法。

**最小值線移動法** ( Minimum Straight-line Movement ) 的公式如下

$$f(X) = \sum_{i=1}^n \sqrt{C_i(X - X_i)^2 + K_i(Y - Y_i)^2}$$

其中  $X_i$ 、 $Y_i$  為原來設施的位置  $C_i$ 、 $K_i$  為加權因子，一般而言，計算的方式是以遞推的方式，藉助電腦來完成。或是利用偏微分的原理，來逐次求得各成本等高線。

**最小直角移動法** ( Minimum Rectangular Movement ) 的公式如下

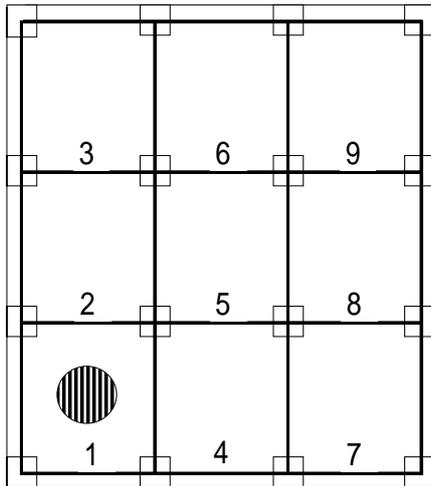
$$f(x, y) = \sum_{i=1}^m W_i * [ |X - a_i| + |Y - a_i| ]$$

本法假設所有的物料移動受限於與通道平行的方向，以及所有的通道設定在直角座標軸，與軸平行。輪廓線中心點的決定可以先以中位數權值法 ( Median Condition ) 來決定，再各別以  $X$ 、 $Y$  軸之座標值來計算各區域的斜率係數，來計算各區域的斜率，連結而成為輪廓線。

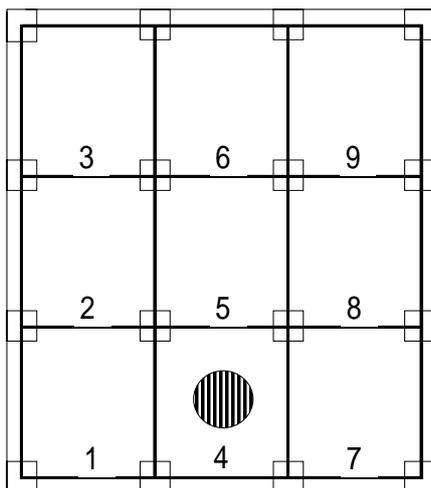
## 五、不同堆置區數目最佳堆置位置計算

在計算最佳堆置區域數目時，首先必須確定在此堆置數目之下的堆置位置是最佳的，因此經由試誤法的計算，可以將各堆置數的堆置位置確定下來，計算結果如後所示。

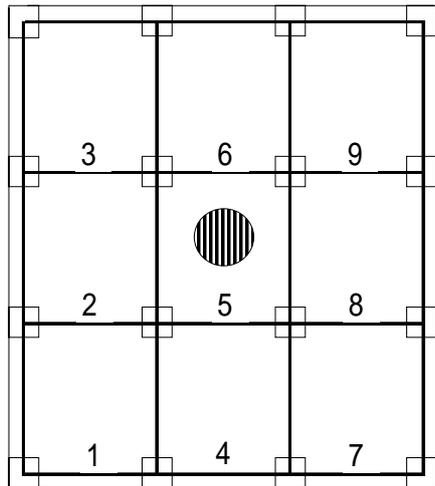
堆置區數為 1 時：有三種情形分別計算如下



NO	距離	單價	成本	位置	
				X	Y
1					
	4.24	141.56	600.59	1	1
	4.24		600.59	1	7
	9.49		1342.96	1	13
	15.30		2165.45	1	19
	4.24		600.59	7	1
	4.24		600.59	7	7
	9.49		1342.96	7	13
	15.30		2165.45	7	19
	9.49		1342.96	13	1
	9.49		1342.96	13	7
	12.73		1801.76	13	13
	17.49		2476.29	13	19
	15.30		2165.45	19	1
	15.30		2165.45	19	7
	17.49		2476.29	19	13
	21.21		3002.94	19	19
			26193.27	4	4



NO	距離	單價	成本	位置	
				X	Y
2					
	9.49	141.56	1342.96	1	1
	9.49		1342.96	1	7
	12.73		1801.76	1	13
	17.49		2476.29	1	19
	4.24		600.59	7	1
	4.24		600.59	7	7
	9.49		1342.96	7	13
	15.30		2165.45	7	19
	4.24		600.59	13	1
	4.24		600.59	13	7
	9.49		1342.96	13	13
	15.30		2165.45	13	19
	9.49		1342.96	19	1
	9.49		1342.96	19	7
	12.73		1801.76	19	13
	17.49		2476.29	19	19
			23347.10	10	4

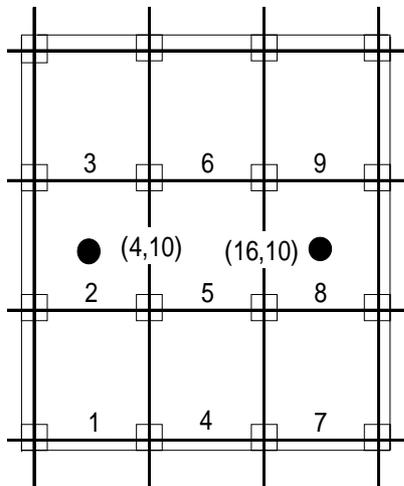


NO	距離	單價	成本	位置	
3				X	Y
	12.73	141.56	1801.76	1	1
	9.49		1342.96	1	7
	9.49		1342.96	1	13
	12.73		1801.76	1	19
	9.49		1342.96	7	1
	4.24		600.59	7	7
	4.24		600.59	7	13
	9.49		1342.96	7	19
	9.49		1342.96	13	1
	4.24		600.59	13	7
	4.24		600.59	13	13
	9.49		1342.96	13	19
	12.73		1801.76	19	1
	9.49		1342.96	19	7
	9.49		1342.96	19	13
	12.73		1801.76	19	19
20353.06				10	10

就上述三中不同位置的計算結果，發現當堆置位置位於中央時，將可以得到最低的成本，因此進行最適化時，堆置區為 1 時的位置是位於中央。

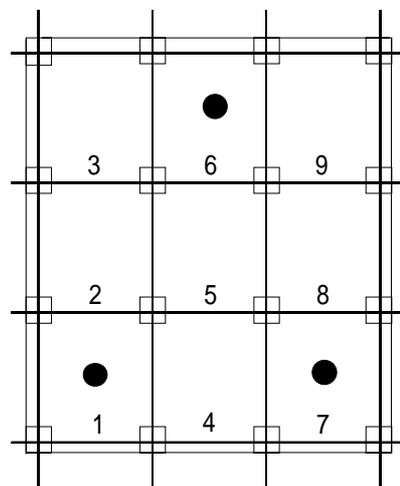
至於其他各堆置區數目的最佳位置分布如下列所示，

堆置區數目為 2 時

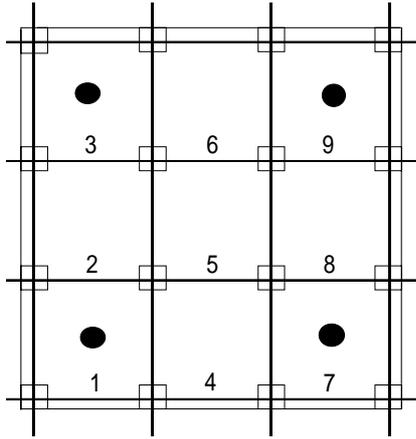


堆置區數目為 4 時

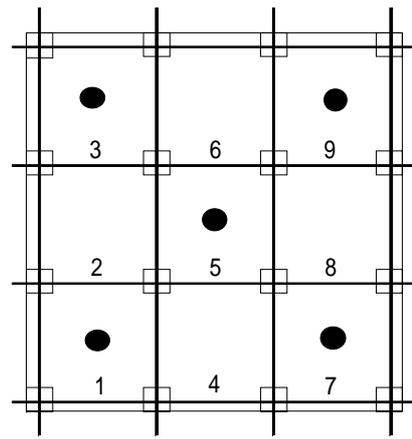
堆置區數為 3 時



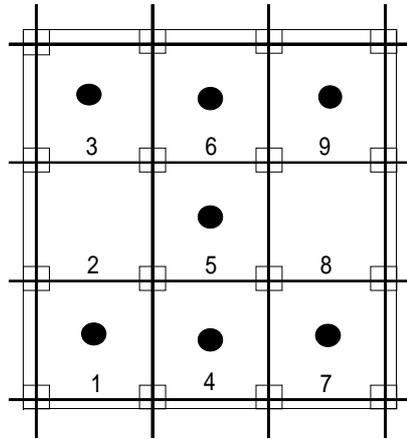
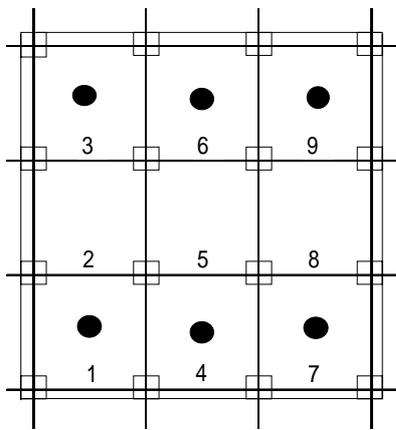
堆置區數為 5 時



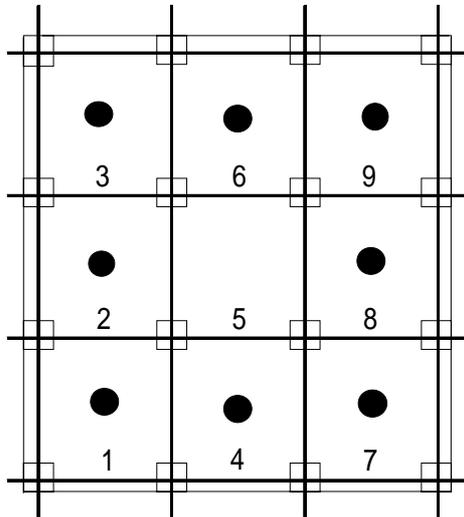
堆置區數目為 6 時



堆置區數目為 7 時



堆置區數目為 8 時



## 六、 量化計算結果彙整

在下列表中，搬運次數表示為每一區的總搬運次數，但是每區的單區循環搬運次數是固定的。“單價”項中的單區成本是將單區單價（即為單區搬運單價）乘上工人數所得，總成本的計算方式為將單區成本乘上搬運次數所得。

堆放位置數	數量(支)	工人數	搬運次數		單價 = 單價*距離		總成本		單位時間	總時間
			次/		(元/次)		單價*搬運數*人		單位時間*次數 s/人.次	單位時間*次數 秒
			每區	總和	單區單價	單區成本	元			
1	640	1	640	640	254.49	254.49	10179.60		4631.63	185265.20
1	640	2	640	640	254.49	508.98	20359.20		2315.82	92632.60
1	640	3	640	640	254.49	763.47	30538.80		1543.88	61755.07
1	640	4	640	640	254.49	1017.96	40718.40		1157.91	46316.30
1	640	5	640	640	254.49	1272.45	50898.00		926.33	37053.04
1	640	6	640	640	254.49	1526.94	61077.60		771.94	30877.53
1	640	7	640	640	254.49	1781.43	71257.20		661.66	26466.46
1	640	8	640	640	254.49	2035.92	81436.80		578.95	23158.15
1	640	9	640	640	254.49	2290.41	91616.40		514.63	20585.02
1	640	10	640	640	254.49	2544.90	101796.00		463.16	18526.52
2	640	1	320	640	97.20	97.20	3888.00	7776.00	999.51	39980.40
2	640	2	320	640	97.20	194.40	7776.00	15552.00	499.76	19990.20
2	640	3	320	640	97.20	291.60	11664.00	23328.00	333.17	13326.80
2	640	4	320	640	97.20	388.80	15552.00	31104.00	249.88	9995.10
2	640	5	320	640	97.20	486.00	19440.00	38880.00	199.90	7996.08
2	640	6	320	640	97.20	583.20	23328.00	46656.00	166.59	6663.40
2	640	7	320	640	97.20	680.40	27216.00	54432.00	142.79	5711.49
2	640	8	320	640	97.20	777.60	31104.00	62208.00	124.94	4997.55
2	640	9	320	640	97.20	874.80	34992.00	69984.00	111.06	4442.27
2	640	10	320	640	97.20	972.00	38880.00	77760.00	99.95	3998.04
3	640	1	213	640	46.81	46.81	1872.40	5617.20	515.99	20639.60
3	640	2	213	640	46.81	93.62	3744.80	11234.40	258.00	10319.80
3	640	3	213	640	46.81	140.43	5617.20	16851.60	172.00	6879.87
3	640	4	213	640	46.81	187.24	7489.60	22468.80	129.00	5159.90
3	640	5	213	640	46.81	234.05	9362.00	28086.00	103.20	4127.92
3	640	6	213	640	46.81	280.86	11234.40	33703.20	86.00	3439.93
3	640	7	213	640	46.81	327.67	13106.80	39320.40	73.71	2948.51
3	640	8	213	640	46.81	374.48	14979.20	44937.60	64.50	2579.95
3	640	9	213	640	46.81	421.29	16851.60	50554.80	57.33	2293.29
3	640	10	213	640	46.81	468.10	18724.00	56172.00	51.60	2063.96
4	640	1	160	640	30.04	30.04	1201.60	4806.40	308.86	12354.40
4	640	2	160	640	30.04	60.08	2403.20	9612.80	154.43	6177.20
4	640	3	160	640	30.04	90.12	3604.80	14419.20	102.95	4118.13
4	640	4	160	640	30.04	120.16	4806.40	19225.60	77.22	3088.60
4	640	5	160	640	30.04	150.20	6008.00	24032.00	61.77	2470.88
4	640	6	160	640	30.04	180.24	7209.60	28838.40	51.48	2059.07
4	640	7	160	640	30.04	210.28	8411.20	33644.80	44.12	1764.91
4	640	8	160	640	30.04	240.32	9612.80	38451.20	38.61	1544.30
4	640	9	160	640	30.04	270.36	10814.40	43257.60	34.32	1372.71
4	640	10	160	640	30.04	300.40	12016.00	48064.00	30.89	1235.44
5	640	1	128	640	24.10	24.10	960.40	4802.00	247.09	9883.60
5	640	2	128	640	24.10	48.20	1920.80	9604.00	123.55	4941.80
5	640	3	128	640	24.10	72.30	2881.20	14406.00	82.36	3294.53
5	640	4	128	640	24.10	96.04	3841.60	19208.00	61.77	2470.90
5	640	5	128	640	24.10	120.05	4802.00	24010.00	49.42	1976.72
5	640	6	128	640	24.10	144.06	5762.40	28812.00	41.18	1647.27
5	640	7	128	640	24.10	168.07	6722.80	33614.00	35.30	1411.94
5	640	8	128	640	24.10	192.08	7683.20	38416.00	30.89	1235.45
5	640	9	128	640	24.10	216.09	8643.60	43218.00	27.45	1098.18
5	640	10	128	640	24.10	240.10	9604.00	48020.00	24.71	988.36
6	640	1	107	640	20.30	20.30	812.00	4872.00	205.91	8236.40
6	640	2	107	640	20.30	40.60	1624.00	9744.00	102.96	4118.20
6	640	3	107	640	20.30	60.90	2436.00	14616.00	68.64	2745.47
6	640	4	107	640	20.30	81.20	3248.00	19488.00	51.48	2059.10
6	640	5	107	640	20.30	101.50	4060.00	24360.00	41.18	1647.28
6	640	6	107	640	20.30	121.80	4872.00	29232.00	34.32	1372.73
6	640	7	107	640	20.30	142.10	5684.00	34104.00	29.42	1176.63
6	640	8	107	640	20.30	162.40	6496.00	38976.00	25.74	1029.55
6	640	9	107	640	20.30	182.70	7308.00	43848.00	22.88	915.16
6	640	10	107	640	20.30	203.00	8120.00	48720.00	20.59	823.64
7	640	1	91	640	17.16	17.16	686.40	4804.80	205.91	8236.40
7	640	2	91	640	17.16	34.32	1372.80	9609.60	102.96	4118.20
7	640	3	91	640	17.16	51.48	2059.20	14414.40	68.64	2745.47
7	640	4	91	640	17.16	68.64	2745.60	19219.20	51.48	2059.10
7	640	5	91	640	17.16	85.80	3432.00	24024.00	41.18	1647.28
7	640	6	91	640	17.16	102.96	4118.40	28828.80	34.32	1372.73
7	640	7	91	640	17.16	120.12	4804.80	33633.60	29.42	1176.63
7	640	8	91	640	17.16	137.28	5491.20	38438.40	25.74	1029.55
7	640	9	91	640	17.16	154.44	6177.60	43243.20	22.88	915.16
7	640	10	91	640	17.16	171.60	6864.00	48048.00	20.59	823.64
8	640	1	80	640	15.02	15.02	600.80	4806.40	205.91	8236.40
8	640	2	80	640	15.02	30.04	1201.60	9612.80	102.96	4118.20
8	640	3	80	640	15.02	45.06	1802.40	14419.20	68.64	2745.47
8	640	4	80	640	15.02	60.08	2403.20	19225.60	51.48	2059.10
8	640	5	80	640	15.02	75.10	3004.00	24032.00	41.18	1647.28
8	640	6	80	640	15.02	90.12	3604.80	28838.40	34.32	1372.73
8	640	7	80	640	15.02	105.14	4205.60	33644.80	29.42	1176.63
8	640	8	80	640	15.02	120.16	4806.40	38451.20	25.74	1029.55
8	640	9	80	640	15.02	135.18	5407.20	43257.60	22.88	915.16
8	640	10	80	640	15.02	150.20	6008.00	48064.00	20.59	823.64

簡化上表數字如下所示：

堆放位置數	工人數	總成本	總時間	比例	
				成本	時間
	人	單價*搬運數*人 元	單位時間*次數 秒		
1	1	10313.10	185265.20	100.00%	100.00%
	2	20492.70	92632.60	198.71%	50.00%
	3	30672.30	61755.07	297.41%	33.33%
	4	40851.90	46316.30	396.12%	25.00%
	5	51031.50	37053.04	494.82%	20.00%
	6	61211.10	30877.53	593.53%	16.67%
	7	71390.70	26466.46	692.23%	14.29%
	8	81570.30	23158.15	790.94%	12.50%
	9	91749.90	20585.02	889.64%	11.11%
	10	101929.50	18526.52	988.35%	10.00%
2	1	7936.20	39980.40	100.00%	100.00%
	2	15712.20	19990.20	197.98%	50.00%
	3	23488.20	13326.80	295.96%	33.33%
	4	31264.20	9995.10	393.94%	25.00%
	5	39040.20	7996.08	491.93%	20.00%
	6	46816.20	6663.40	589.91%	16.67%
	7	54592.20	5711.49	687.89%	14.29%
	8	62368.20	4997.55	785.87%	12.50%
	9	70144.20	4442.27	883.85%	11.11%
	10	77920.20	3998.04	981.83%	10.00%
3	1	5777.40	20639.60	100.00%	100.00%
	2	11394.60	10319.80	197.23%	50.00%
	3	17011.80	6879.87	294.45%	33.33%
	4	22629.00	5159.90	391.68%	25.00%

	5	28246.20	4127.92	488.91%	20.00%
	6	33863.40	3439.93	586.14%	16.67%
	7	39480.60	2948.51	683.36%	14.29%
	8	45097.80	2579.95	780.59%	12.50%
	9	50715.00	2293.29	877.82%	11.11%
	10	56332.20	2063.96	975.04%	10.00%
4	1	5020.00	12354.40	101.08%	100.00%
	2	9826.40	6177.20	197.85%	50.00%
	3	14632.80	4118.13	294.62%	33.33%
	4	19439.20	3088.60	391.40%	25.00%
	5	24245.60	2470.88	488.17%	20.00%
	6	29052.00	2059.07	584.95%	16.67%
	7	33858.40	1764.91	681.72%	14.29%
	8	38664.80	1544.30	778.50%	12.50%
	9	43471.20	1372.71	875.27%	11.11%
	10	48277.60	1235.44	972.05%	10.00%
5	1	4935.50	9883.60	99.46%	100.00%
	2	9737.50	4941.80	196.23%	50.00%
	3	14539.50	3294.53	293.01%	33.33%
	4	19341.50	2470.90	389.78%	25.00%
	5	24143.50	1976.72	486.55%	20.00%
	6	28945.50	1647.27	583.32%	16.67%
	7	33747.50	1411.94	680.09%	14.29%
	8	38549.50	1235.45	776.86%	12.50%
	9	43351.50	1098.18	873.63%	11.11%
	10	48153.50	988.36	970.41%	10.00%
6	1	5032.20	8236.40	100.00%	100.00%
	2	9904.20	4118.20	196.82%	50.00%
	3	14776.20	2745.47	293.63%	33.33%
	4	19648.20	2059.10	390.45%	25.00%
	5	24520.20	1647.28	487.27%	20.00%
	6	29392.20	1372.73	584.08%	16.67%
	7	34264.20	1176.63	680.90%	14.29%
	8	39136.20	1029.55	777.72%	12.50%
	9	44008.20	915.16	874.53%	11.11%
	10	48880.20	823.64	971.35%	10.00%
7	1	4991.70	8236.40	100.54%	100.00%
	2	9796.50	4118.20	197.31%	50.00%

	3	14601.30	2745.47	294.08%	33.33%
	4	19406.10	2059.10	390.86%	25.00%
	5	24210.90	1647.28	487.63%	20.00%
	6	29015.70	1372.73	584.40%	16.67%
	7	33820.50	1176.63	681.18%	14.29%
	8	38625.30	1029.55	777.95%	12.50%
	9	43430.10	915.16	874.73%	11.11%
	10	48234.90	823.64	971.50%	10.00%
8	1	5020.00	8236.40	101.08%	100.00%
	2	9826.40	4118.20	197.85%	50.00%
	3	14632.80	2745.47	294.62%	33.33%
	4	19439.20	2059.10	391.40%	25.00%
	5	24245.60	1647.28	488.17%	20.00%
	6	29052.00	1372.73	584.95%	16.67%
	7	33858.40	1176.63	681.72%	14.29%
	8	38664.80	1029.55	778.50%	12.50%
	9	43471.20	915.16	875.27%	11.11%
	10	48277.60	823.64	972.05%	10.00%

- 12.葉怡成，「以遺傳基因演算法作營建工址佈置」，行政院國科會計畫，1995。
- 13.張榮春，「利用 MRP 從事工廠佈置彈性調整之研究」，台灣工業技術學院，工程技術研究所工業管理組碩士論文，1988 年。
- 14.Warszawski, A. "Analysis of Transportation Methods in Construction," *Journal of the Construction Division, ASCE.*, Vol.44, pp.191-202, July 1973.
- 15.Gates, M. and A., Scarpa , "Optimal Location of Construction Haul Roads," *Journal of the Construction Division, ASCE.*, Vol.104, P395-407, December 1978.
- 16.Francis, R. L., L. F. McGinnis, jr. and J. A. White, *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*, Second Edition, PRENTICE-HALL, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey , 1992.
- 17.邱明源，工廠佈置，華泰書局，第 130-133 頁，1991。
- 18.Muther, R. "Systematic Layout Design Planning ," 2<sup>nd</sup> Edition - Revised and Enlarge 1983.
- 19.Muther, R. "Systematic Layout Planning ," 2<sup>nd</sup> Edition - CBI Publishing, Boston, Massachusetts, 1973.
- 20.陳文哲、劉樹童，工廠佈置與物料搬運，中興經營管理叢書，第 152-155 頁，1992。
- 21.陳研次，「夢工廠指日可待」，管理雜誌，第 214 期，第四卷，1992。
- 22.陳建良、盧大平等，「系統化工廠佈置」，機械工業雜

- 誌，1994，7月。
23. Armour, G. C., E. S. Buffa, and T. E. Vollman, "Allocating Facility with CRAFT™," Harvard Business Review, 42, 2, pp. 136-158, March-April, 1964.
  24. Muther, R. "Four Approaches to Computerized Layout Planning," Industrial Engineering, Vol. 2, 1970.
  25. Deisenroth, M. P., and J. M. Apple, "A Computerized Relationship Layout Planning," J. Inc. Engng. 18, 3, pp. 194-220, March, 1967.
  26. Sepponen, R., "CORELAP 7 Use's Manual," Tech. University, Helsinki, 1969.
  27. Francis, R. L., L. F. McGinnis, jr. and J. A. White, *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*, Second Edition, PRENTICE-HALL, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1992.
  28. Vollman, T. E. and Buffa "The Facility Layout Problem in Perspective," Management Science, Vol. 12 No. 10 pp. 450-468, Jun 1976.
  29. 彭雲宏，「建築施工機具之使用現況與發展」，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，1981。
  30. 劉哲璋，「鋼筋預組工法評估與技術發展之研究」，國立台灣工業技術學院，營建工程技術研究所碩士學位論文，1986。
  31. 廖慶榮，作業研究，三民書局，1995。
  32. Oglesby, C.H., H.W. Paker and G. A. Howell, *Productivity Improvement in Construction*,

McGraw-Hill Book Company ,1989.

- 33.國泰三井，汐止集合住宅新建工程施工計畫書。
- 34.胡禎麟，柱、牆鋼筋預組工法改良之研究，國立台灣工業技術學院，營建工程技術研究所碩士學位論文，1984。
- 35.楊大和、蘇朝墩，「彈性佈置解法」，Chiao Ta Management Review 第五卷，第二期，第 1-14 頁，1995。