

## 公路橋梁檢測最佳化模式分析

顏上堯\*、姜蔚宗\*\*

### 一、緒論

#### 1.1 研究背景與動機

臺灣受限於地形地貌的限制常常需要仰賴橋梁、隧道等設施的輔助其交通路網的健全發展，有此可知橋梁在公路運輸上屬非常重要的設施，對橋梁進行完善確實的管理養護，發揮最大經濟效益並延續橋梁生命，橋梁維護良否將能確保用路人行車平安與便利，如此即能反應橋梁維護管理之重要性，在橋梁隨著使用年限的增加邁入高齡橋梁後，橋梁之材料開始劣化再加上天災人禍對橋梁所造成的損壞，有此可知針對橋梁進行之檢測必定相當耗時費工，截至目前(101 年)台灣公路已累計 5,143 公里，其中公路橋梁 2,989 座占了 524 公里達到了整體公路系統的 10.2%，民國 86 年 7 月交通部完成「臺灣地區橋梁安全管理策略探討與制定」之研究，藉由長期紀錄的方式配合資訊管理，有效掌握橋梁狀況適時進行維修補強，日漸完善的公路系統逐漸朝向養護管理的方向，但仍欠缺一致性之管理標準，因而於民國 90 年 8 月正式啟用「臺灣地區橋梁管理資訊系統(Taiwan Bridge Management System, TBMS)」，提供各管理養護機關使用統一之管理系統，結合地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)、全球定位系統 (Global Positioning System, GPS ) 及雲端資料庫，協助橋梁管理機關進行橋梁維護管理工作，以確實達到長期追蹤、有效管理、避免災害、降低維修並延長橋梁壽命等目的。

臺灣地區橋梁管理資訊系統所採用的 DER&U (Degree, Extent, Relevancy, and Urgency) 目視檢測評估法已成為國內各橋梁管理機關檢測橋梁狀況之標準，DER&U 評估法對每一個檢測項目依據劣化程度 (Degree)、劣化範圍 (Extent) 針對橋梁安全性與

---

\*國立中央大學土木工程學系教授

\*\*交通部公路總局規劃組幫工程司

服務性的影響度 (Relevancy)，分別給予 0~4 之間的評估分數，再針對該橋梁劣化構件之急迫性 (Urgency) 加以評定，DER&U 評估法是以迅速有效且經濟之方式評估橋梁劣化狀態，並將各橋梁構件狀況量化進而計算該橋梁之狀況指標，交通部運輸研究所於民國 100 年 10 月研擬了「橋梁目視檢測評估手冊 (草案)」，訂定了橋梁檢測之標準作業流程及其評估準則。但若要達到確實的公路養護管理需要相當多的人力及時間再加上政府財政拮据，如何在有限的經費、人力及時間內完成轄區內橋梁之管養任務確實需要費點心思，爰此如何透過有效的經費使用、妥善資源安排，達到提升效能節省人力等的目的乃是本研究的主要動機。

## 1.2 研究的目的與範圍

本研究目的在於開發一套決策模式，透過數學模式的開發配合電腦快速運算得到最佳的資源派遣，針對各轄區承辦人員之管養橋梁進行作業規劃，以最少之資源需求完成指派之任務，透過最佳化的資源派遣有效增加橋檢業務執行之效率，以台灣地區公路省道橋檢作業為例，公路總局管養橋梁之檢測模式皆依據「公路養護規範」及「橋梁目視檢測評估手冊」等作業要點執行，執行檢測作業之機關為各區養護工程處所屬之工務段，本研究依據現況工務段執行橋檢作業模式進行資料收集，依據調查之成果進行數學模式的開發，希冀本研究之成果可提供現況實際應用。

# 二、資源派遣模式構建及最佳化求解

## 2.1 問題描述

依據公路法所示，省道之養護由中央公路主管機關辦理，其屬縣道者得委託中央公路主管機關辦理，有此可知交通部公路總局針對省、縣道的養護權責係由法律所明確指示，依據橋梁目視檢測評估手冊之檢測頻率及內涵可以了解到橋梁定期檢測平均 1~2 年辦理一次，為確實維護公路安全之要求及檢視橋梁抗災程度等需求，公路總局要求所屬管養機關，於每年汛期後針對各轄區之管養橋梁進行定期檢測並於隔年汛期前檢測完畢，故每年 11 月至隔年 4 月公路總局所屬管養機關必須針對轄區內之橋梁進行定期檢測。台灣地區平均 1 年天然災害約發生 4.8 次，其中颱風占 3.5 次，有此可知台灣地區天災頻繁於每年的汛期 5 月~10 月間皆處於戰備狀態，當災害過後就必須依據特別巡查的機制進行橋梁檢測作業，有此可知每座橋梁每年檢測次數約為 5~6 次(1 次定期檢測、4~5

次特別檢測)，其需要動用的人力資源可想而知相當可觀，本研究針對公路橋梁檢測作業之任務指派模式進行研究，在有限的資源限制下，如何透過最佳的資源分配找出最有效的任務指派模式，以達到節省人力提升效率等效果乃是本研究之目的。

在現行公路系統組織架構公路總局→各養護工程處→所屬的各工務段，依據交通部公路總局權責劃分執行勤務，現行管理養護執行皆由工務段執行，以苗栗工務段為例，其轄區苗栗縣內共 16 個鄉鎮、170 座橋梁、橋梁總長度 39.976 公里、橋梁面積共 86.921 公頃如表 2-1，經洽工務段表示業務分配模式乃是以固定轄區逕行業務指派，另考量各管養人員並非單一管養業務，包含工程監造、道路巡查、交通設施維護等等管養業務，有此可知其人力不足之狀況確實存在，如何透過有效的分配人力資源以達到確實公路管養乃相當重要之課題。

表 2-1 苗栗工務段各鄉區管養橋梁統計表

鄉區	橋梁數(座)	橋梁長度(m)	橋梁面積(m <sup>2</sup> )
三義	5	2499.5	49181.0
三灣	9	814.0	12914.5
大湖	14	581.0	11319.9
公館	14	7070.1	156024.4
竹南	8	1777.0	48876.4
西湖	4	565.0	17672.0
卓蘭	4	991.0	18078.0
後龍	8	1448.0	28763.4
苗栗	6	3185.5	72294.0
苑裡	6	3854.3	86995.3
通霄	11	5359.0	133071.5
造橋	16	3242.5	58024.6
獅潭	36	1614.6	24574.5
銅鑼	7	2286.0	49159.6
頭份	8	924.4	20950.0
頭屋	14	3764.0	81311.3
合計	170	39975.9	869210.5

※統計資料截至 101 年 7 月

資料來源:本研究整理

## 2.2 模式建立

經過調查後依據現況執行橋梁檢測作業方式如下，後續依據下列作業流程建構數學式。

1. 每組至少 2 人以上(不含司機)，檢測人員得以互相照應，出發前先核對橋梁環境決定是否攜帶額外輔助工具。於河岸高灘地處以梯子下至橋底，如遇跨河橋梁時依水位狀況調整，水位較淺時採用雨靴子或漁夫裝涉水檢測，水位較深時可採搭乘竹筏方式進行橋底檢測。
2. 於現場經目視研判有橋體內部損傷之虞，但無法由目視的方式無法釐清確認者，便在損傷位置標記，同時在檢測紀錄上詳細說明，以作為後續儀器檢測之施作對象參考依據。
3. 如遇大型橋梁之橋梁或發生無法預測之狀況時以致無法於單日檢測完畢，於次日再行檢測至完畢為止。
4. 經由檢測人員確認檢測紀錄之正確性無誤後，始可上傳至『臺灣地區橋梁管理系統』中，並建議適當之維修工法。
5. 如遇現地環境險峻以致無法以第 1 點檢測方式執行檢測時，則可利用橋檢車進行檢測。

## 2.3 基本假設及各項參數、變數定義

為確立本模式架構合理且符合實際應用，提出下列幾點假設條件：

1. 所有檢測之橋梁皆可以一般車輛檢測，不考慮大型橋梁亦或必須使用橋檢車檢測之橋梁。
2. 假設天氣狀況合宜，無突發事件。
3. 橋梁檢測時間依據檢測人員提供之概估時間，人員之檢測時間依據年資分析。
4. 車輛旅行速率採平均速率，無特殊交通狀況。
5. 單日工時最多 8 小時，不考慮休息時間。
6. 本周預訂為橋梁檢測週。

本研究各參數定義如下：

I：檢測任務集合，任務編號  $l$  為工務段， $i、j、k \in I$ 。

D：檢測天數集合， $d \in D$ 。

$t_{ij}$ ：由第  $i$  任務出發，檢測第  $j$  任務所需之總時間(含旅行時間)。

$c_{ij}$ ：由第  $i$  任務出發，檢測第  $j$  任務所需之總成本(含旅行成本)。

$n$ ：檢測任務數量。

本研究決策變數定義如下：

$u_{jd}$ ：避免子迴圈之輔助變數。

$x_{ijd}$ ：由第  $i$  任務出發，檢測第  $j$  任務於第  $d$  天是否值勤。

## 2.4 數學模式

將本研究模式所架構之目標式及限制式列舉如下，及其所代表之數學涵義或其限制條件之範圍目的後續說明：

Min

$$Min = \sum_{i \in I} \sum_{\substack{j \in I \\ i \neq j}} \sum_{d \in D} c_{ij} \cdot x_{ijd} \quad (1)$$

Subject To

$$\sum_{\substack{i \in I \\ i \neq j}} \sum_{d \in D} x_{ijd} = 1 \quad \forall j > 1 \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{j \in I \\ j \neq i}} \sum_{d \in D} x_{ijd} = 1 \quad \forall i > 1 \quad (3)$$

$$u_{id} - u_{jd} + n \cdot x_{ijd} \leq n - 1 \quad \forall i > 1, \forall j \neq i, \forall d \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{i \in I \\ i \neq j}} x_{ijd} - \sum_{\substack{k \in I \\ k \neq j}} x_{jkd} = 0 \quad \forall j, \forall d \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{\substack{j \in I \\ j \neq i}} t_{ij} \cdot x_{ijd} \leq 8 \quad \forall d \quad (6)$$

$$x_{ijd} \in 0,1 \quad \forall i, \forall j, \forall d \quad (7)$$

限制條件模式說明如下

目標式(1)：

透過檢測任務出勤與否計算其檢測所產生之成本及旅行成本，將其檢測任務總時間成本合計，求取總成本最小，其反映資源有效應用。

限制式(2)：

針對  $j$  任務限制不包含工務段，每項任務皆須檢測 1 次。

限制式(3)：

針對  $i$  任務限制不包含工務段，每項任務檢測完後由  $i$  任務出發至  $j$  任務檢測僅限 1 次。

限制式(4)：

每天必須由工務段出發執行檢測任務，最後必須再回到工務段，不得於內部產生額外迴圈之限制條件。

限制式(5)：

結點流量守恆，由任務  $i$  出發檢測次一任務  $j$ ，任務  $j$  檢測完畢後必須出發至次一任務  $k$ 。

限制式(6)：

每日檢測時間及旅行時間加總不得大於單日最大工時 8 小時。

限制式(7)：

決策變數  $x_{ijd}$  為二元整數規劃，由第  $i$  任務出發，檢測第  $j$  任務於第  $d$  天是否值勤，(是 1、否 0)。

## 2.5 模式應用與求解

本模式針對已知之人車組合進行一周之排程，將其管養轄區內必須檢測之橋梁進行規劃，其問題規模尚可以一階段方式求解最佳化模式，亦可符合目前作業機制，爰此本研究依據此規模進行後續案例測試，利用 Excel 及 Lingo8.0 兩種運算軟體進行求解模式，Excel 做為各檢測任務時間、成本參數值的輸入及各檢測任務最佳化排程的輸出。

Lingo8.0 語言是用來求解本研究最佳化排程問題的工具，本研究模式之應用求解步驟如下：

1. 界定問題及需求:

界定求解規模、建置參數資料，將檢測任務之檢測時間及成本與透過 google earth 收集之旅行時間收集後，將其參數資料建置於 Excel 表中配合 Lingo8.0 輸入及排程輸出等。

2. 建構數學式配合 Lingo8.0 運算軟體求解:

模式之各項參數確定後，依據任務檢測原則及標準作業流程建構目標式及各項限制式，並以 Lingo 語法建構數學式進行求解。

3. 敏感度分析:

將其模式中之各項參數作敏感度分析，使能瞭解各參數對於橋梁檢測任務之目標值影響程度，據以分析判斷。

### 三、範例測試

本章為驗證本研究模式之可靠性與實用性，茲以苗栗工務段後龍鎮區橋梁檢測排程規劃測試。本測試工作係以第三章建構之二元整數規劃模式，透過 Excel 做為各檢測任務時間、成本參數值的輸入經由 Lingo 8.0 運算軟體求解，將其最佳化排程成果輸出至 Excel 驗證，並將求解出最佳化排程與一般人工經驗排程方式之結果進行比較分析，以證實經過本研究最佳化模式處理後之排程問題，確實較人工經驗排程方法為可靠且有效率。最後並對各時間及成本之參數進行敏感度分析，以瞭解各參數變化對運算結果之影響，並可據此結果提供檢測人員調整檢測排程之參考。

#### 3.1 資料分析

本研究範圍界定為苗栗工務段後龍鎮區，該轄區之檢測任務透過其檢測人員所提供之平均橋檢時間及任務數量量體如表 3-1，依據該表之資料設定橋梁檢測時間參數。

工務段執行橋檢任務之人力組合分為五種，本研究轄區之檢測人員組合為工務員及助理工務員，依據工務段提供之資料顯示各項人力組合其效率皆有一定之差異一般依據年資經驗來評估，於調查中發現於執行橋檢任務時並非只有人力成本，其中包含的設備有，鋁梯、繩索、望眼鏡、橡皮艇、開山刀等設施，透過調查將相關之設備及人力之成

本分析後取本樣本人力組合及各項成本如表 3-2。

表 3-1 苗栗工務段後龍鎮區任務數量表

任務編號	面積(m <sup>2</sup> )	橋孔(個)	高度(m)	檢測時間(hr)
1 (工務段)	0.00	0	0.00	0.00
2	250.00	1	2.00	1.55
3	660.00	1	6.00	4.00
4	660.00	1	6.00	4.00
5	895.00	1	4.00	4.98
6	600.00	3	3.00	3.60
7	140.00	1	2.50	1.05
8	147.00	1	2.50	1.09
	3352.00	9	26.00	20.27

資料來源:本研究整理

表 3-2 工務員+助理工務員組合之成本分析

人力組合	成本項目	成本分析
	人員成本 (工務員 + 助理工務員)	292(元/Hr)
工務員	其他檢測工具	33(元/Hr)
+	出差費(兩人)	500(元/天)
助理工務員	一般車輛(含司機)	137(元/Hr)
	一般車輛油耗	10(元/Km)

資料來源:本研究整理

本研究先針對一般車輛之旅行時間進行查詢，依據查詢結果如表 3-3，i 為任務出發地，j 為任務檢測目的地，時間成本並非僅於檢測時產生，於旅行時亦包含其檢測人員之成本。



表 3-3 各任務間之車輛旅行時間(hr)

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.00	0.27	0.23	0.23	0.26	0.72	0.25	0.21
2	0.27	0.00	0.15	0.15	0.23	0.98	0.26	0.25
3	0.23	0.15	0.00	0.00	0.08	0.90	0.11	0.11
4	0.23	0.15	0.00	0.00	0.08	0.90	0.11	0.11
5	0.26	0.23	0.08	0.08	0.00	0.88	0.04	0.07
6	0.72	0.98	0.90	0.90	0.88	0.00	0.85	0.81
7	0.25	0.26	0.11	0.11	0.04	0.85	0.00	0.05
8	0.21	0.25	0.11	0.11	0.07	0.81	0.05	0.00

資料來源:本研究整理

由前述可知，橋梁檢測之總時間包含檢測之時間及旅行之時間，爰此於各任務之總時間上以  $t_{ij}$  設定，其中包含由任務地點  $i$  至任務地點  $j$  之旅行時間及檢測任務  $j$  以該轄區管養人員(工務員及助理工務員)之檢測時間兩項總時間，如表 3-4 所示。

表 3-4 各檢測任務之總時間(hr)

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.00	1.82	4.23	4.23	5.24	4.32	1.30	1.30
2	0.27	0.00	4.15	4.15	5.21	4.58	1.31	1.34
3	0.23	1.70	0.00	4.00	5.06	4.50	1.16	1.20
4	0.23	1.70	4.00	0.00	5.06	4.50	1.16	1.20
5	0.26	1.78	4.08	4.08	0.00	4.48	1.09	1.16
6	0.72	2.53	4.90	4.90	5.86	0.00	1.90	1.90
7	0.25	1.81	4.11	4.11	5.02	4.45	0.00	1.14
8	0.21	1.80	4.11	4.11	5.05	4.41	1.10	0.00

資料來源:本研究整理

於成本方面考量人力成本及車輛成本如表 3-2 所示，人力成本包含檢測設備之成本及檢測人員之薪資，另需考量檢測人員每日之出差費，車輛成本包含司機之薪資及車輛之折舊，車輛旅行成本依據旅程產生之油耗及機具消磨保養費用另計，將上述之成本調查分析後配合各任務間之旅行時間及任務檢測時間等參數進行總成本之運算，並將其成果建立參數資料庫，各成本參數如表 3-5 所示，將各檢測任務之總時間、總成本資料建置完成後帶入數學式內進行求解。

表 3-5 各檢測任務之總成本(元)

i\j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.00	923	2024	2024	2500	2213	677	665
2	706	0.00	1963	1963	2477	2411	685	695
3	676	832	0.00	1848	2362	2350	570	588
4	676	832	1848	0.00	2362	2350	570	588
5	699	893	1909	1909	0.00	2335	517	558
6	1049	1464	2534	2534	2972	0.00	1134	1122
7	691	916	1932	1932	2332	2312	0.00	543
8	661	908	1932	1932	2355	2282	525	0.00

資料來源:本研究整理

### 3.2 案例成果

模式經 LINGO 8.0 最佳化程式求解結果，其相關成果如下及圖 3-1 所示，透過 Lingo 8.0 輸出成果檢視其內部解正確性如表 3-6，內部並無不合理之子迴圈其成果尚屬合理。

橋梁檢測最小成本目標值之最佳排程：13,745 元。

變數：373 個。(整數：320 個、實數：53 個)

限制式：305 式。

求解循環次數：1,054,979 次。

求解時間：1 分 47 秒。



圖 3-1 Lingo 成果

資料來源:本研究整理

表 3-6 最佳化分析成果

d	1								2								3								4								5								第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	合 計	
	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8								
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	4		
2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1		
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1		
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1		
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
合計	2								3								1								1								-								2	3	1	1	1	-	7

註:1 出勤, - 無出勤

資料來源:本研究整理

### 3.3 最佳化與人工排程比較

依據目前工務段提供之排程如表 3-9 所示，其規劃原則為較小型之橋梁先行檢測，依據當日可檢測之任務數量先行排程，如檢測不完則隔日檢測，最後大型之橋梁列以單日檢測一座為原則，其目的在於如檢測時間不足時未完成檢測之橋梁數較少，可使其檢測績效較為優良，其人工排程亦符合本研究之限制條件。透過人工排程與最佳化成果比較表 3-7、表 3-8 及表 3-10，可以發現其各項差異，依據該表針對各成本、工時、執行率及旅程再做進一步探究其中之差異，以下針對各差異分析說明。

表 3-7 人工排程與最佳化差異分析比較表

比較項目	人工排程	最佳排程	差異分析	差異百分比
總執行成本	14673 元	13745 元	(減少) 928 元	6.08%
總執勤工時	23.94 Hr	23.38 Hr	(減少) 0.56 Hr	2.34%
平均單日 檢測執行率	670.4 M <sup>2</sup> /天	838.0 M <sup>2</sup> /天	(增加) 167.6 M <sup>2</sup> /天	20.00%
總旅行距離	110.1 Km	93.3 Km	(減少) 16.8 Km	15.26%
規劃排程時間	5 min	1.78 min	(減少) 3.22 min	64.40%

資料來源: 本研究整理

表 3-8 最佳化排程與人工排程對照表

執勤天數	最佳化排程	人工排程
1	1→2→4→1	1→2→7→8→1
2	1→5→7→8→1	1→3→1
3	1→6→1	1→4→1
4	1→3→1	1→5→1
5		1→6→1

資料來源: 本研究整理



表 3-10 每日人工排程與最佳化排程比較表

d\項目	手排							累計旅行距離(km)
	單日執行成本	累積執行成本	工時(hr)	累計工時	單日完成橋梁面積(M <sup>2</sup> )	累積完成橋梁面積(M <sup>2</sup> )	單日旅行距離(km)	
第 1 天	2812	2,812	4.48	4.48	537	537	23.70	23.70
第 2 天	2700	5,512	4.46	8.94	660	1197	13.80	37.50
第 3 天	2700	8,212	4.46	13.40	660	1857	13.80	51.30
第 4 天	3199	11,411	5.50	18.90	895	2752	15.60	66.90
第 5 天	3262	14,673	5.04	23.94	600	3352	43.20	110.10
合計	14673		23.94		3352		110.10	
d\項目	最佳化							累計旅行距離(km)
	單日執行成本	累積執行成本	工時(hr)	累計工時	單日完成橋梁面積(M <sup>2</sup> )	累積完成橋梁面積(M <sup>2</sup> )	單日旅行距離(km)	
第 1 天	3562	3,562	6.20	6.20	910	910	19.50	19.50
第 2 天	4221	7,783	7.68	13.88	1182	2092	16.80	36.30
第 3 天	3262	11,045	5.04	18.92	600	2692	43.20	79.50
第 4 天	2700	13,745	4.46	23.38	660	3352	13.80	93.30
第 5 天	0	13,745	0.00	23.38	0	3352	0.00	93.30
合計	13745		23.38		3352		93.30	

資料來源:本研究整理

### 3.3.1 總差異分析

如表 3-7 人工排程與最佳化排程之差異明顯可以發現，最明顯的反應為執行效率及車輛旅行時間，其原因可探究橋梁檢測的效率，原人工排程所擔心的單日總檢測時間超出額定之工時，以致先檢測小量體之橋梁再去檢測較大型之橋梁，因而導致執行率的下降，而以僅單純考量橋梁檢測時間所產生之額外旅行亦形同資源之浪費，透過本模式之運算確實可以使現況之效率提升節省經費等實質上的幫助。

### 3.3.2 成本差異分析

依據表 3-10 進行細部成本量化分析如圖 3-2 及圖 3-3 所示，在成本方面增進之效益為 6.08%，其中可以發現到在最佳化排程之成果中僅需 4 天即可將所有任務檢測完畢而人工排程需要 5 天才能執行完所有任務，本研究之成本計算僅就執行時所產生之成本計算，故由其總工時項目中進行下一步之探討，惟針對成本而言確實有達到節省成本之目的。

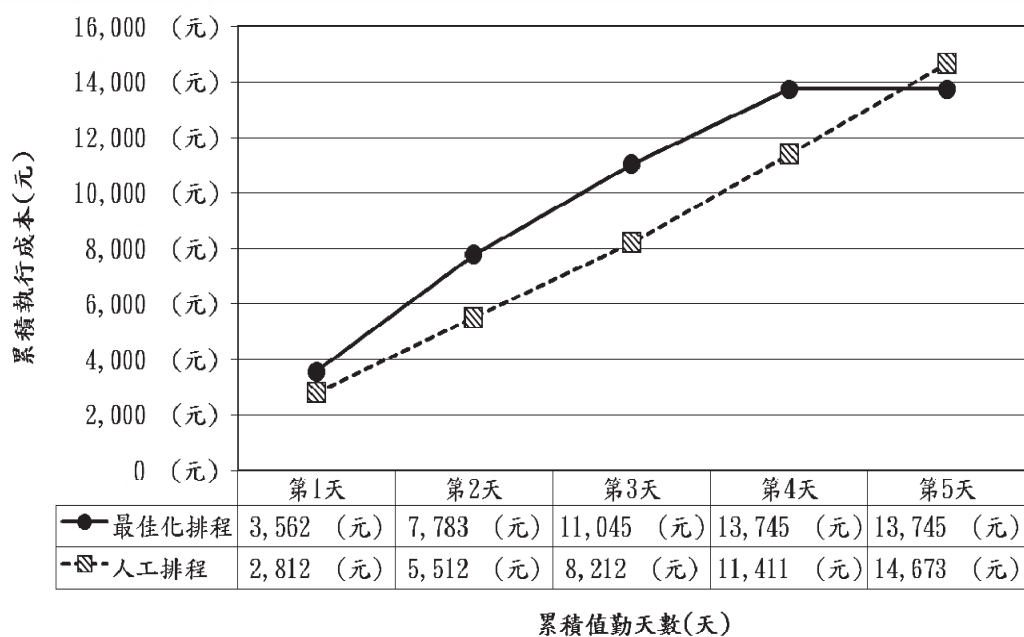


圖 3-2 累積成本差異圖

資料來源:本研究整理



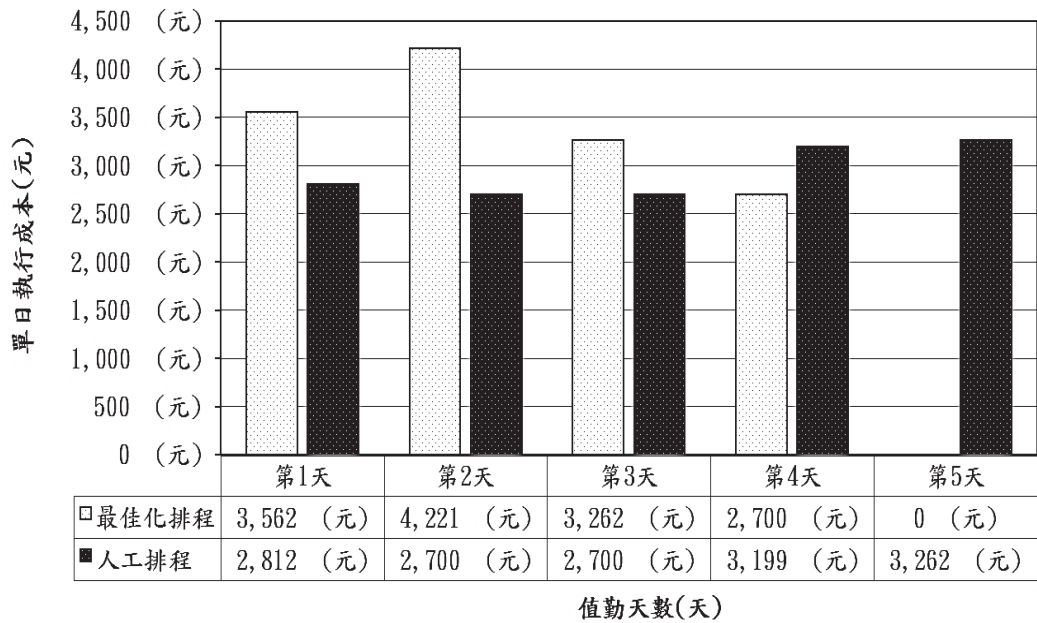


圖 3-3 單日成本差異圖

資料來源:本研究整理

### 3.3.3 工時差異分析

依據表 3-10 進行細部工時量化分析如圖 3-4 及圖 3-5 所示，透過圖示可以發現透過有效的規劃排程，可以使其單日執勤之數量較多且符合其限制條件，由此可知透過本模式可以快速地排程並且有效率的規劃，確實達到節省資源之目的，總工時雖說差異不大，但是就工作日而言可以空出一天之人力執行其他業務，對於其他業務之效率亦有提升之效果，總工時雖說差異不大，主要原因還是在於橋梁之檢測時間並不會因為車輛的排程而有差異，其主要差異在於檢測者之差異，後續本研究將針對人員之差異進行敏感度分析。

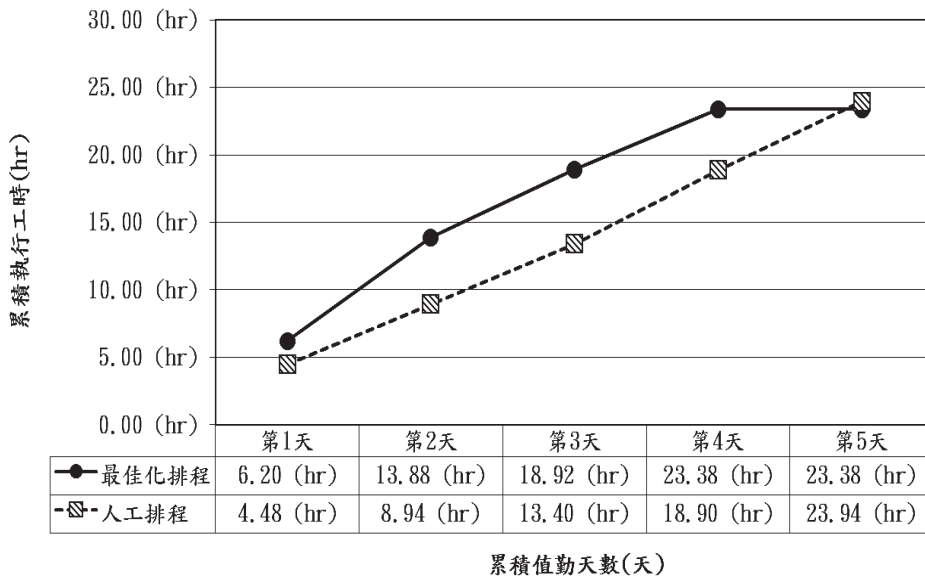


圖 3-4 累積工時差異圖

資料來源:本研究整理

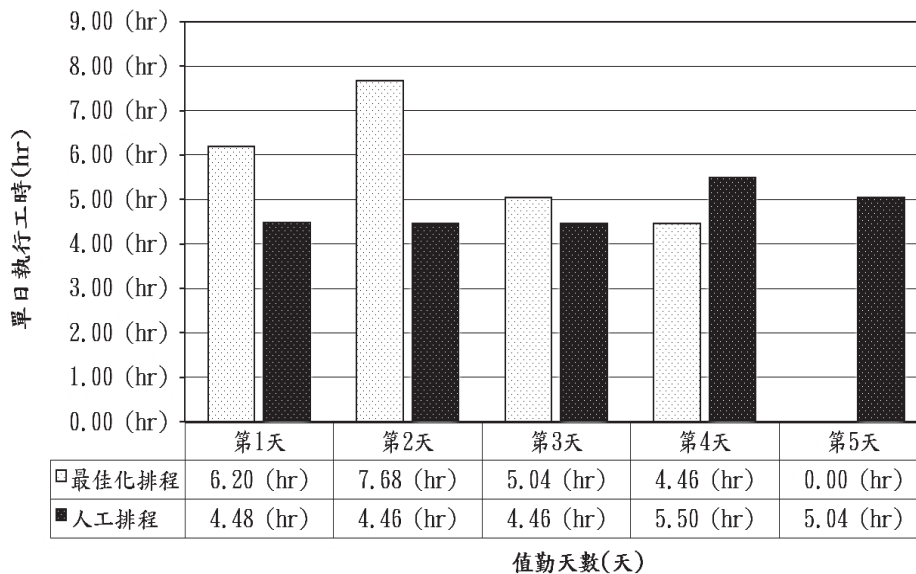


圖 3-5 單日工時差異圖

資料來源:本研究整理

### 3.3.4 執行率差異分析

如前述工時之差異，總工時雖說差異不大，但其因為執行天數之差異產生執行率之差異如圖 3-6 及圖 3-7 所示，本項差異分析針對所有檢測橋梁之量體及其檢測之工時進行依執行率之換算，透過單位工時執行率計算單日執行效率，透過比較可以發現人工手排之執行率平均單日僅執行 670.4M2，而透過最佳化模式分析可以發現到其平均單日執行率達 838M2，其提升之效率達 20%，確實驗證了本模式之效用，透過最佳化的排程規劃，有效的應用資源及提升效率。

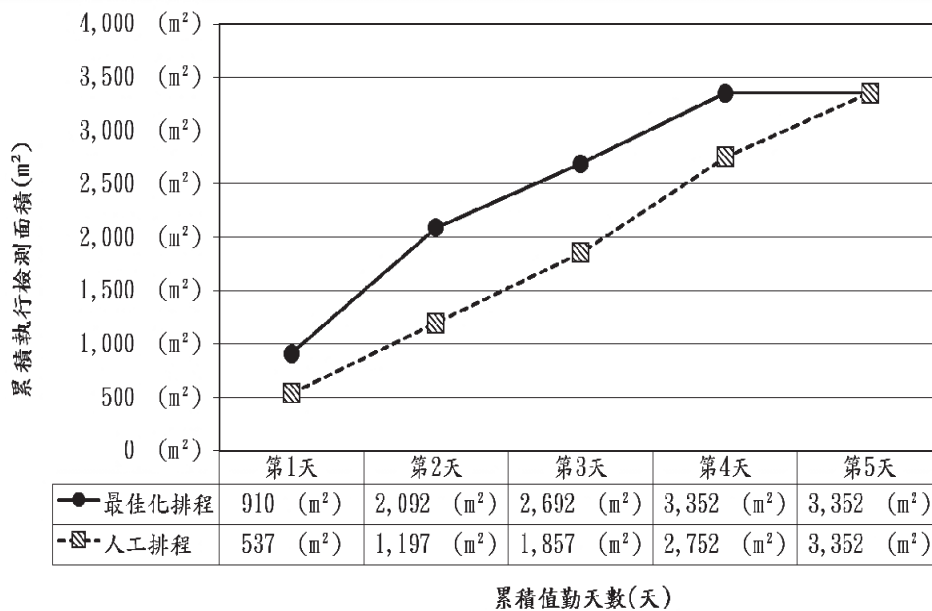


圖 3-6 累積檢測面積差異圖

資料來源:本研究整理

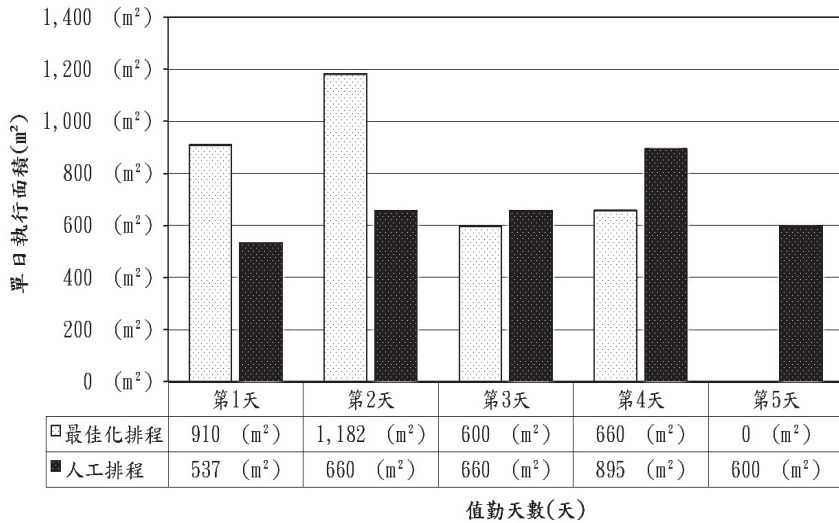


圖 3-7 單日執行面積差異圖

資料來源:本研究整理

### 3.3.5 車輛旅程差異分析

透過圖 3-8 及圖 3-9 可以發現其車輛旅行之差異，透過最佳化的排程尋找對於檢測任務最佳之路徑，減少重複路徑的產生亦或額外之旅程，本研究縮短 15.26% 的旅程 16.8 公里，確實達到有效規劃車輛旅行指派之目的，其內部並無產生不合理之路徑。

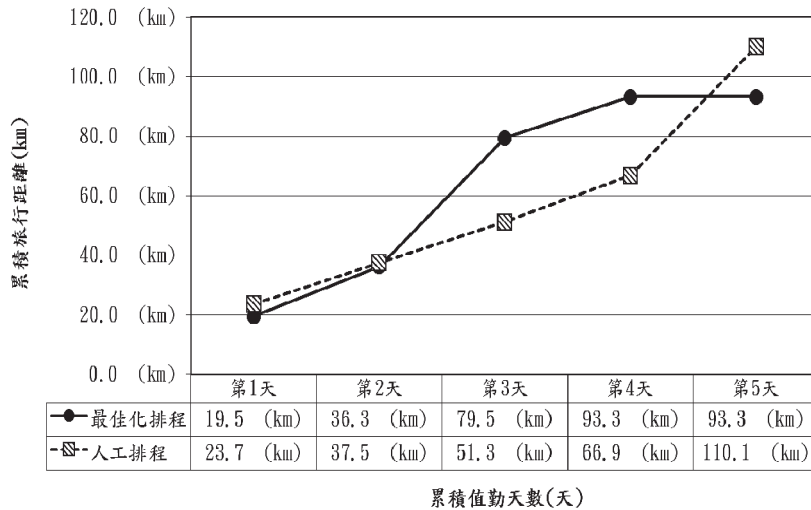


圖 3-8 累積旅行距離差異圖

資料來源:本研究整理

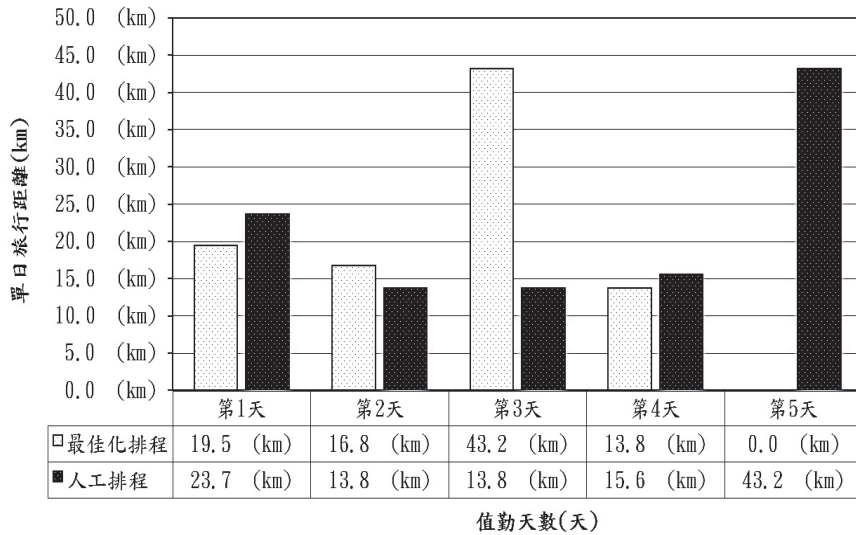


圖 3-9 單日旅行距離差異圖

資料來源:本研究整理

透過上述之分析，可以了解到本模式確實對於現況有一定程度之效用，達到有效節省資源提升效率的目的，為讓本模式可以更靈活之運用，本研究針對其部分參數進行敏感度分析，探討其各參數對於目標值之影響，並且更加靈活運用於現況。

### 3.4 敏感度測試

由前述可知透過最佳化模式可以有效提升效率節省資源，接續透過各項參數之調整進行敏感度分析，依據輸入不同參數求解探討各項參數對於模式之影響，找出影響目標值的敏感參數，供於橋檢人員作為規劃之依據。本研究敏感度分析針對單日工時調整、檢測人力組合異動及車輛異動，最後配合車輛之應用給予任務指派等四項分析說明如下：

#### 3.4.1 工時敏感度分析

由人工排程中可以得知，其單日最大工時為 5.5 小時，而本模式單日最大工時為 7.68 小時，由此可知透過單日工時的限制對於其目標值會有不同之差異，本研究於訪談時發現為因應其業務之需求或其氣候環境等因素時常會有檢測天數縮減之問題，爰此本研究為靈活運用於實際情況，透過單日工時之調整尋找出適合之排程規劃，本項敏感度分析之基本假設如下，透過合理之假設條件檢討各種單日工時限制影響目標值之程度。

基本假設:

- (1) 由於公務人員不受勞基法之限制，其加班費並無加成之情況，故其人力成本並無因加班而異動。
- (2) 由於橋檢必須以目測之方式進行，故單日執勤時間範圍設定為 08:00~18:00，且假設有充分之照明。爰此本工時敏感度分析分為 6hr、7hr、8hr、9hr、10hr，以此 5 種單日最大工時進行分析。

結果如表 3-11 所示及圖 3-10、圖 3-11 所示，當單日最大工時由 6hr 逐漸增加時所執勤之天數隨之縮減，其總執勤工時也隨之減少，檢測任務數量不變以相同人力組合進行檢測，其縮短的工時皆由旅行時間中縮減而得，在本模式的限制下，每日必須由工務段出發最後回到工務段，時常會有下一座檢測任務就在旁邊，但因為時間的關係必須返回工務段，於次日再去該座橋梁檢測，所產生之重複旅程可想而知，爰此拉長其單日最大工時可以有效避免此情況發生，對於執勤天數也有明顯幫助，由圖 3-11 可以發現，其曲線斜率變化較大時，必定是其成本產生急劇的變化，也就是出差費的差異，出差費係為考量同仁因於外地執行勤務而額外產生之開銷，為體恤同仁特以出差費方式提供同仁支應因執行勤務而產生之開銷，爰此現行斜率出現變化時則表示該點位出現了執勤天數減少之現象，透過工時之限制也可以將其時間發揮得更加有效，探究其原因應屬當日剩餘時間無法檢測完次一座橋梁，故無法將其橋梁納入排程規劃，而產生其空白時間，如能適時加大單日工時可以更有效的組合減少空白時間。

由本敏感度分析可得以下結論，考量各業務之間之搭配，必須限定檢測天數時，可依據本結論規劃其執勤天數，若需於 5 日內檢測完畢每日工時至少需 6 小時，若需於 4 日內檢測完畢每日工時至少需 7 小時，若需於 3 日內檢測完畢每日工時至少需 9 小時，本檢測天數依據可供其檢測人員參考應用。

表 3-11 各工時限制之車輛排程規劃表

累積執勤天	工時限制	車輛排程規劃	執勤工時(hr)
1	6hr	1→4→7→1	5.64
	7hr	1→2→3→1	6.20
	8hr	1→8→7→5→1	7.68
	9hr	1→7→5→2→1	8.37
	10hr	1→2→5→7→8→1	9.47
2	6hr	1→8→3→1	5.64
	7hr	1→4→8→1	5.64
	8hr	1→2→3→1	6.20
	9hr	1→4→3→1	8.46
	10hr	1→4→3→1	8.46
3	6hr	1→5→1	5.50
	7hr	1→7→5→1	6.58
	8hr	1→6→1	5.04
	9hr	1→8→6→1	6.43
	10hr	1→6→1	5.04
4	6hr	1→6→1	5.04
	7hr	1→6→1	5.04
	8hr	1→4→1	4.46
5	6hr	1→2→1	2.09

資料來源:本研究整理

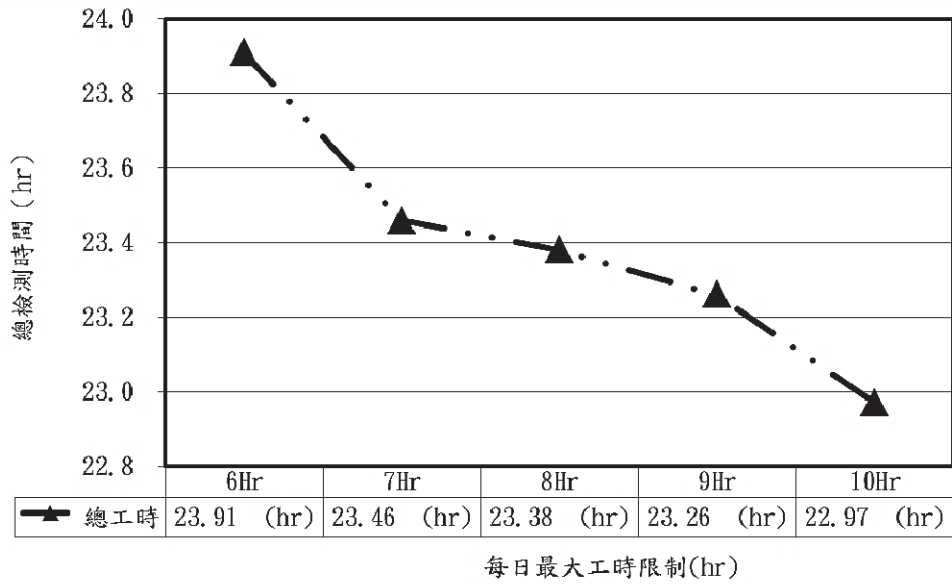


圖 3-10 單日最大工時限制-總工時敏感度分析圖

資料來源:本研究整理

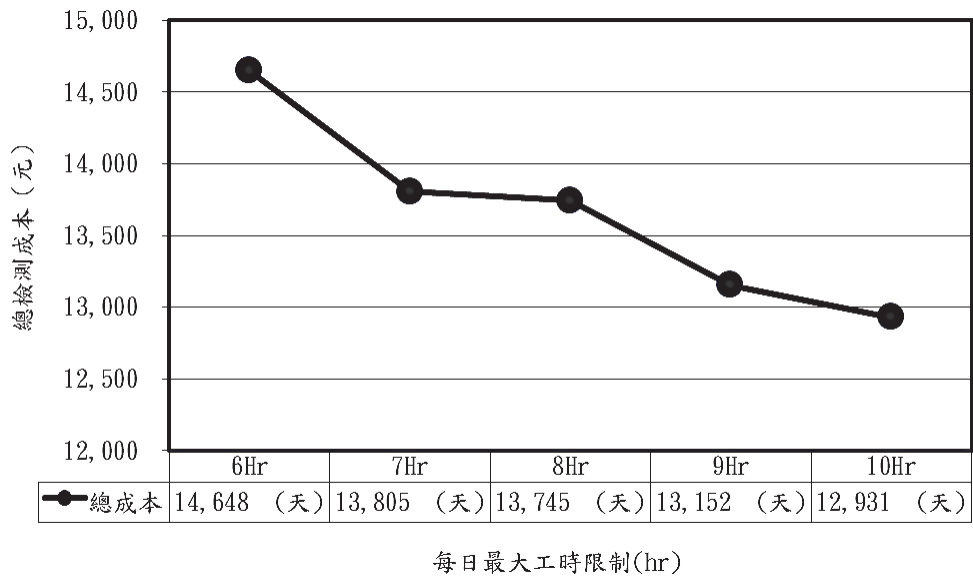


圖 3-11 單日最大工時限制-總成本敏感度分析圖

資料來源:本研究整理



### 3.4.2 人員組合敏感度分析

於文獻回顧及調查中發現，橋梁檢測時間之絕對因素為檢測人員之經驗，透過經驗的累積可以加速橋梁之檢測效率，經驗較豐富之工程司確實可以有效提升效率快速評估橋梁之狀態，本研究樣本係採用工務員+助理工務員為最基本之組合，隨著年資經驗之累積其職稱亦隨之升階，透過工務段調查發現，各承辦人員於橋檢時間之差異分析並無一長期之追蹤分析研究，爰此對於人員之差異難有依據，故將本次分析範圍內之橋梁透過詢問工務段各同仁概估之檢測時間，收集資料分析後給予合理之時間折減，本研究假設僅針對年資之差異進行分析，各人力組合之檢測成本及時間差異整理如表 3-12 所示。

表 3-12 人力組合之檢測時間成本差異對照表

人力組合(簡稱)	功率差異 時間折減	人員成本 (元/Hr)
幫工程司+幫工程司(幫+幫)	0.70	417
幫工程司+工務員(幫+工)	0.75	375
幫工程司+助理工務員(幫+助)	0.85	334
工務員+工務員(工+工)	0.90	334
工務員+助理工務員(工+助)	1.00	292

資料來源:本研究整理

透過前揭之數據分析後將其參數帶入本模式中，以不同人力組合進行本研究範圍內之橋梁檢測，最佳化成果如圖 3-12 所示，可以發現較有經驗之檢測人員其檢測效率確實呈線性變化，但是否真的是最有效的運用資源，接來針對其成本分析進行探討如圖 3-13 所示，可以發現到以幫工程司+幫工程司之組合雖然可以較短的時間內檢測完畢，但是其成本卻是比幫工程司+工務員之組合來的高，透過其車輛排程規劃來看如表 3-13 所示，除工務員+助理工務員外其餘皆於 3 日內檢測完畢，可以了解到橋梁檢測需要一定之時間，無法透過最佳化排程將其時間壓縮，但透過不同人員檢測依據該人員之經驗確實可以增加效率，由下表可以了解到各日之排程規劃，由前揭工時敏感度分析可以了解到，其時間差異的特性係因為檢測時間之限制導致時間留白，因此若將各組合透過工時限制之放大可以再將其檢測天數縮減，因敏感度分析眾多本研究不再贅述。

透過本次敏感度分析可以了解到人的重要，透過不同組合發現若能搭配幫工程司執行檢測其效率皆可有效提升，雖本研究依據其職等分析其成果想展現的是經驗之差異，配合較有經驗之工程司可以快速提升效率，若能透過經驗傳承以及教育訓練提升本質學能，勢必能有效的提升各檢測人員之執勤效率，相關文獻指出在未來將朝向專業技術人員認證制度，透過相關的教育訓練及訓練認證後才能辦理相關橋檢作業，且每年應回訓更新相關技術規範及技術執導，橋檢最重要的因素在於人，人不是機器無法客觀的評斷，為減少主觀因素之誤差透過相關 SOP 建立及標準化之判定準則可以減少其主觀誤差及檢測時間差異，其時間差異透過本研究之調查，最主要產生時間差異之因素在於破壞之認定及可能之破壞點，經驗較不足之工程司對於橋檢會時以全面性之巡視，一步一步尋找破壞的點位，以及發現異狀後必須觀察其破壞之方式及程度，因而產生許多時間之浪費，爰此若能透過有經驗的工程司有效率的指引檢測方向確實可以降低時間之浪費，本人員組合敏感度分析確實與現況相符，本敏感度可了解到提升檢測人員之素質可以更有效率執行勤務，可供決策者參考。

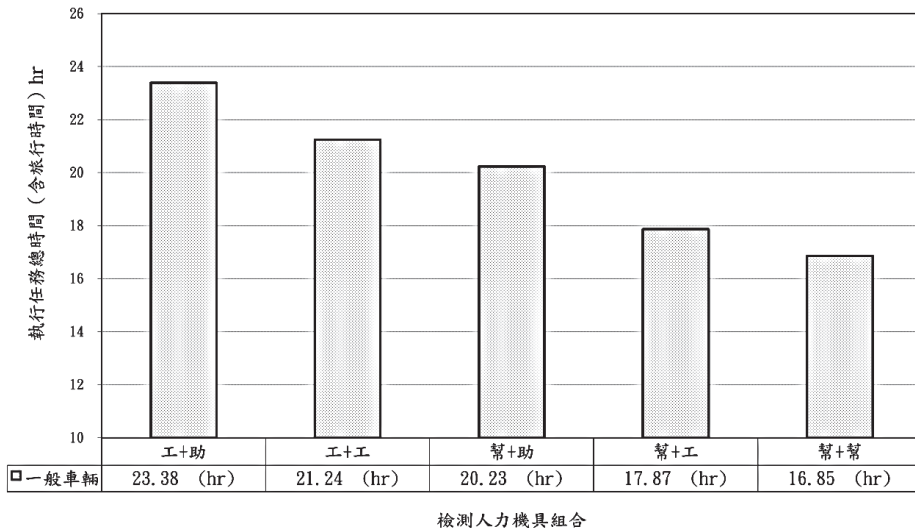


圖 3-12 人力組合敏感度之檢測總時間差異圖

資料來源:本研究整理

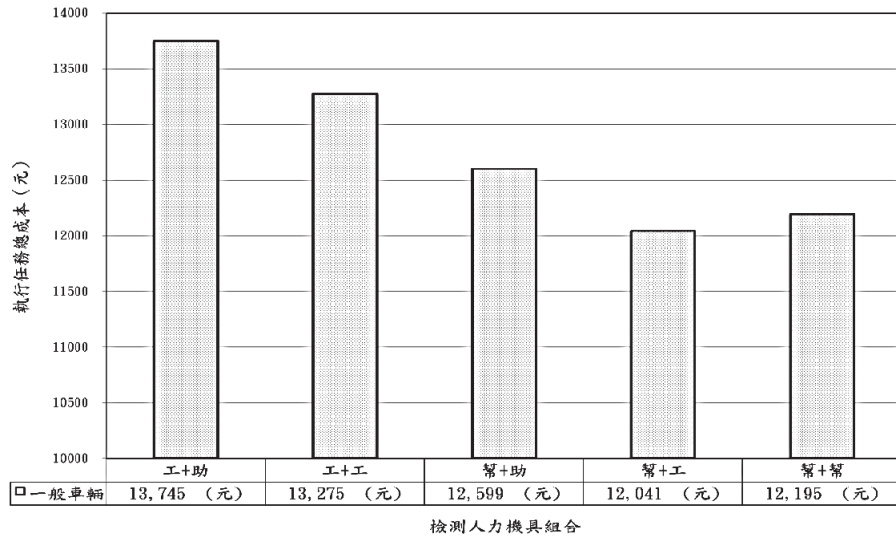


圖 3-13 人力組合敏感度之檢測總成本差異圖

資料來源:本研究整理

表 3-13 人力組合敏感度之排程規劃表

累積執勤天	人力組合	車輛排程規劃	執勤工時(hr)
1	工+助	1→6→1	5.04
	工+工	1→6→8→1	5.96
	幫+助	1→8→6→1	5.73
	幫+工	1→6→1	4.14
	幫+幫	1→6→1	3.96
2	工+助	1→8→7→5→1	7.68
	工+工	1→2→5→7→1	7.62
	幫+助	1→2→5→7→1	7.24
	幫+工	1→8→7→5→1	5.91
	幫+幫	1→8→7→5→1	5.55
3	工+助	1→4→2→1	6.20
	工+工	1→3→4→1	7.66
	幫+助	1→3→4→1	7.26
	幫+工	1→2→3→4→1	7.82
	幫+幫	1→4→3→2→1	7.34
4	工+助	1→3→1	4.46

資料來源:本研究整理

### 3.4.3 車輛敏感度分析

由前揭調查了解到利用橋檢車檢車可以有效的降低橋檢時間，透過其特殊構造可以快速地抵達橋梁底部進行檢測作業，一般檢測作業需以望眼鏡或高倍數數位相機、鋁梯、高空工作車若於河道上須配合橡皮艇等水上運具等設備，最常用的設備為望眼鏡或高倍數數位相機+鋁梯進行檢測，故需時常變化位置以便檢測梁底之狀態，另要考慮到下到橋底之時間，故以橋檢車檢測可以將前述之時間有效壓縮，確實可以提升不少效率，但有前揭圖示亦可了解到橋檢車輛屬大型車輛，其旅行時間相對較久，有些路段無法通行此種大型車輛又必須繞道而行，故其縮減了檢測時間卻也增加了旅行時間，其車輛種類時間、成本差異如表 3-14 所示，以下透過各人力組合配合橋檢車輛檢測進行敏感度分析，成果如圖 3-14、圖 3-15 及表 3-15 所示。

表 3-14 車輛種類之時間、成本差異對照表

車輛種類	檢測功率差異 時間折減	旅行速率差異 時間加成	油耗差異 (元/Km)	檢測成本 (元/Hr)
一般車輛	1.00	1.00	10	137.15
特殊車輛	0.70	1.50	20	410.76

資料來源:本研究整理

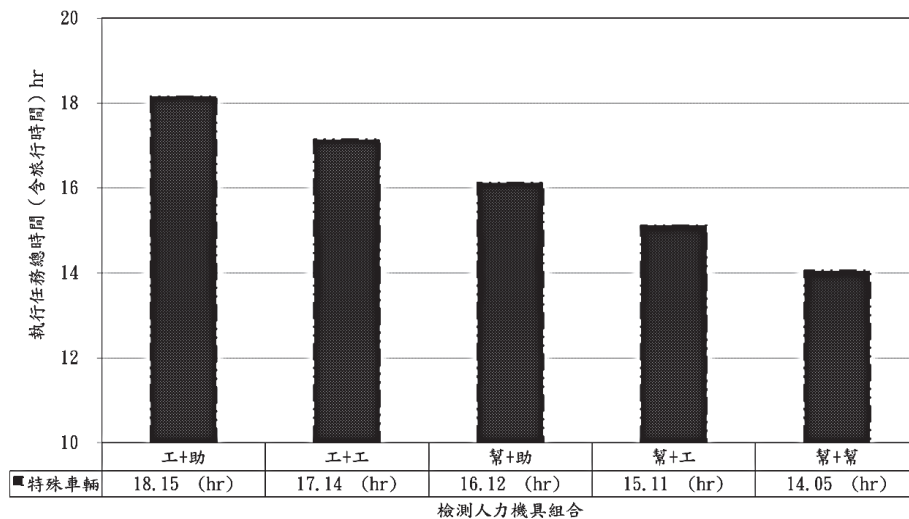


圖 3-14 車輛敏感度之檢測總時間差異圖

資料來源:本研究整理

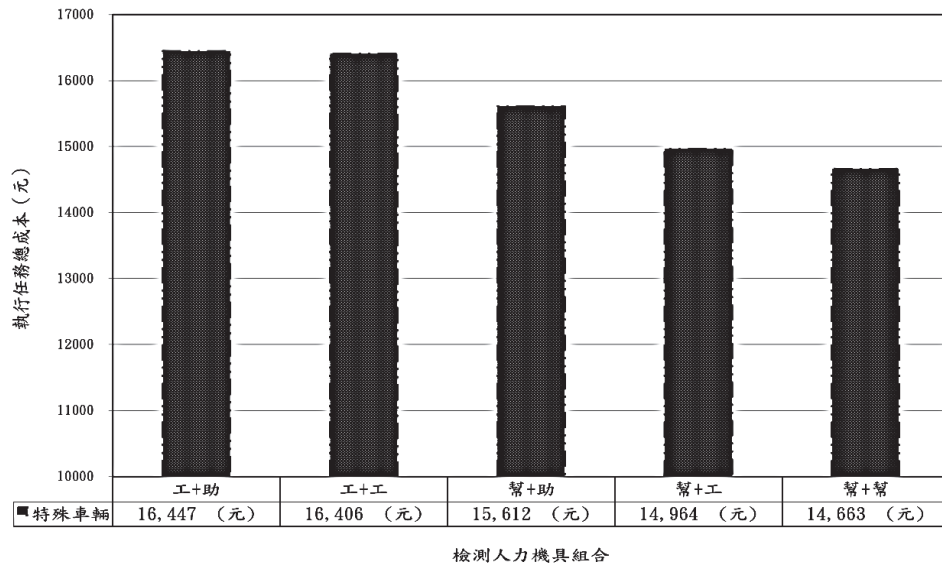


圖 3-15 車輛敏感度之檢測總成本差異圖

資料來源:本研究整理

表 3-15 車輛敏感度之排程規劃表

累積執勤天	人力組合	車輛排程規劃	執勤工時(hr)
1	工+助	1→8→7→5→1	5.82
	工+工	1→5→7→8→1	5.47
	幫+助	1→8→7→5→1	5.11
	幫+工	1→8→7→3→4→2→1	7.61
	幫+幫	1→2→4→3→8→1	6.44
2	工+助	1→3→4→2→1	7.67
	工+工	1→2→4→3→1	7.19
	幫+助	1→4→3→2→1	6.71
	幫+工	1→5→6→1	7.50
	幫+幫	1→6→7→5→1	7.61
3	工+助	1→6→1	4.66
	工+工	1→6→1	4.48
	幫+助	1→6→1	4.30

資料來源:本研究整理

由敏感度成果可以了解到配合橋檢車檢測其變化之斜率與一般車輛相符，但可以發現到總工時之線性變化較為規律其原因探究可以了解到，若透過近距離的觀察可以較有效率的辨識其破壞的狀況，若以一般器材檢測因為經驗的不足而產生了多餘的檢測動作浪費時間，透過橋檢車輛可以有系統的且明確又快速地發現問題立即評估橋梁狀態，故本敏感度的分析可以了解到橋梁破壞認知時間差異，若透過橋檢車檢測將所有時間標準化後，實際差異為橋梁破壞認知差異，資淺之工程司需要較久的時間去分析其破壞的狀態、範圍及程度填列 DER 表單中，最後再依據其維修之急迫性填列 U 值並提供維修建議，故再次驗證了檢測人員經驗的重要性，相關的教育訓練及經驗傳承確實是需要的。

#### 3.4.4 車輛指派敏感度分析

由前揭敏感度分析可以了解到透過車輛的差異可以使其效率提升，但是特殊車輛屬於二工處所屬之工務段分配使用，其使用自由度不高所以工務段皆以一般車輛檢測，現況為求公平皆以處所屬之工務段平均分配使用特殊車輛，故當特殊車輛輪由苗栗工務段時將其範圍內較大量體之橋梁利用特殊車輛檢測並配合其他一般車輛使用，本敏感度檢討的重點在於如何透過一般車輛與特殊車輛混合使用探究其差異程度。

於現況調查發現，一般使用特殊車輛檢測之橋梁有下列幾種：1.較大型之橋梁、2.重點監控橋梁，為配合本項敏感度分析增加一條限制式(8)其目的為任務指派限制，m 車輛參數，一般車輛 m=1、特殊車輛 m=2，經檢視轄區內之橋梁選定需由特殊車輛檢測之橋梁後，透過本研究之模式規劃出最佳之檢測任務排程，本研究範圍內選定編號(5)之橋梁需由特殊車輛檢測，其成果如及表 3-16、及圖 3-16、圖 3-17 所示。

新增限制條件式：

$$x_{mijd} = 1 \quad \forall m, \forall i, \forall j, \forall d \quad (8)$$

限制式(8):以第 m 種車於第 i 任務出發檢測第 j 任務在第 d 天出勤。

表 3-16 混和車輛敏感度之排程規劃表

累積執勤天	車輛種類	人力組合	車輛排程規劃	執勤工時(hr)
1	特殊車輛	工+助	1→2→5→1	5.72
		工+工	1→5→4→1	6.69
		幫+助	1→5→3→1	6.24
		幫+工	1→5→4→3→1	7.99
		幫+幫	1→3→4→5→1	7.34
2	一般車輛	工+助	1→3→7→8→1	6.74
		工+工	1→8→7→3→2→1	7.72
		幫+助	1→8→7→4→2→1	7.34
		幫+工	1→2→7→8→6→1	7.59
		幫+幫	1→6→8→7→2→1	7.22
3	一般車輛	工+助	1→6→1	5.04
		工+工	1→6→1	4.68
		幫+助	1→6→1	4.50
4	一般車輛	工+助	1→4→1	4.46

資料來源:本研究整理

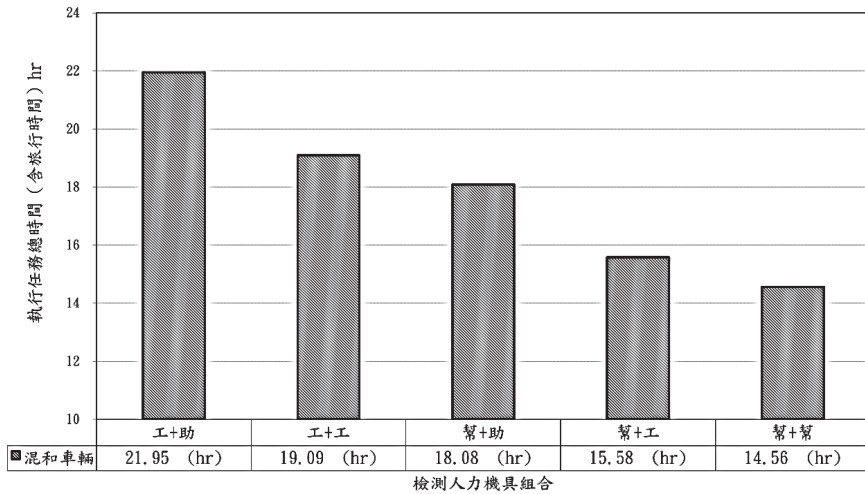


圖 3-16 混和車輛敏感度之檢測總時間差異圖

資料來源:本研究整理

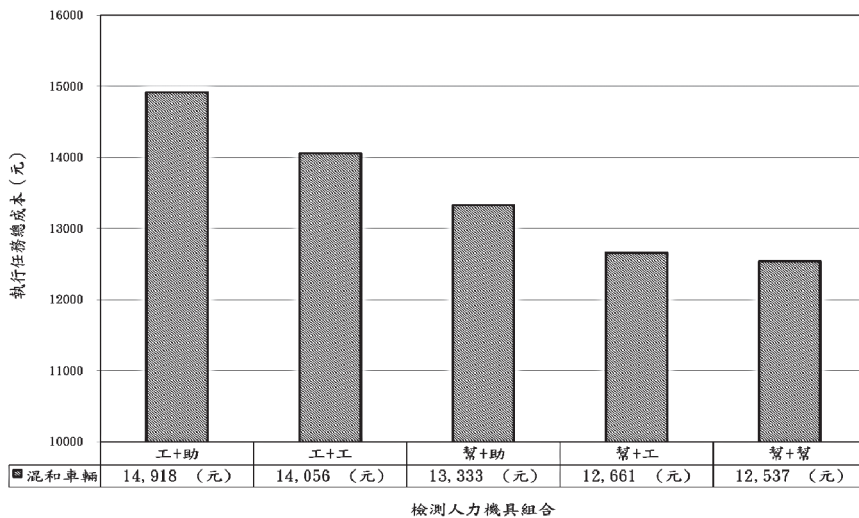


圖 3-17 混和車輛敏感度之檢測總成本差異圖

資料來源:本研究整理

由本敏感度分析成果可以發現，透過車輛指派可以利用本模式規劃，其規劃的成果確實也是可以執行，本敏感度分析確實也是較符合靈活運用的規則，透過任務指派的條件可



以減少資源浪費等情事，現況工務段確實常有需要較詳細檢測之橋梁，透過本指派模式可以快速規劃任務排程，配合指派之任務組合其他任務於當日內一併檢測，可以有效提升效率且符合現況。

### 3.5 小結

透過前揭之敏感度分析可以發現，本模式之靈活度與適用性的確是可於現況管養人員應用，以下將人車組合等敏感度分析進行綜合評估如圖 3-18 及圖 3-19 所示。

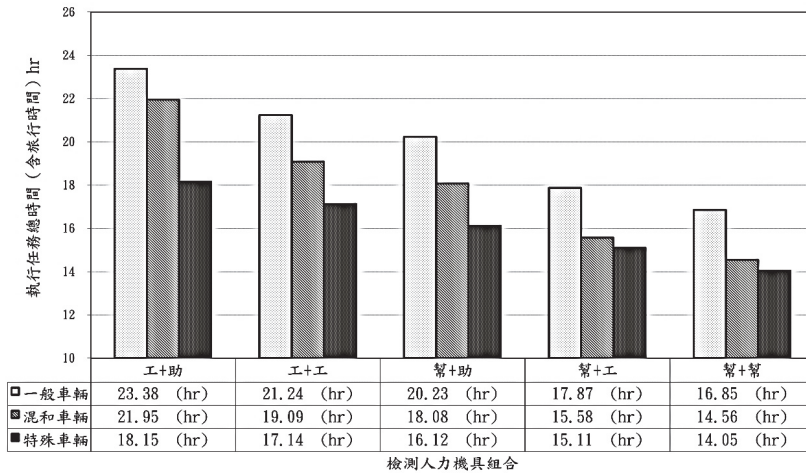


圖 3-18 總工時敏感度綜合差異分析圖

資料來源:本研究整理

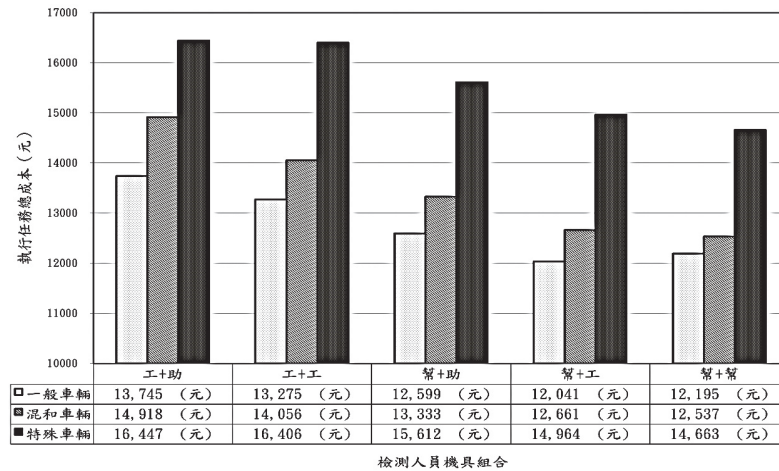


圖 3-19 總成本敏感度綜合差異分析圖

資料來源:本研究整理

透過前揭圖表可以了解到幫工程司+幫工程司可以在最短的總時間內檢測完畢但是其成本也是最高，以下再針對圖 3-20 及圖 3-21 再進一步探討，以天數來看在工+工及幫+助不管以哪種組合都必須出勤 3 天，故車輛影響不大，但是很明顯的在工+助的組合確實都比其他組合來的久，無法透過車輛的選擇彌補差距，像幫+工及幫+幫透過車輛的選擇可以減少一個出勤天，再針對圖 3-21 進行探討，在工+工及幫+助之單位時間成本上差異較小其出勤天數也一樣，故在人員配置上若不最佳的做法就是幫工程司分配一個助理工程司及工務員與工務員此兩組合較為恰當，在效率上相當且成本差異業較小，反觀現況工務段之實際情形本研究調查，一般新進人員皆會分配給資深工程司進行業務執導，當訓練到一定程度後就會將其組合重新分配，其主要用意是為了加速各工程司獨立執行業務的能力在實作中得到心得，其也較符合訓練的意義，但是這種狀態是在一般所謂的戰備狀態，當時間逼近時必須加速執行的步調，故在人力組合上就會出動較資深的工程司協助，由此可知其工務段主要戰力為中等工程司，也就是在工務段 3~7 年左右的工務員，這是工務段主要戰力，與本研究調查相符主要戰力為工務員，這探究源就是升遷的制度，當在基層受過實務訓練後再繼續向上發展完整訓練制度也是公務體系所重視的，以工務員為主體配合協辦的變化可以有效地將人力資源發揮，透過車輛的協助可以更快的完成任務，在工時不變的狀況下以工務員為主辦透過協辦的變化可以了解到搭配助理工務員可於 4 日內檢測完畢，搭配幫工程司可於 3 日內檢測完畢若再配合特殊車輛之應用可於 2 日內檢測完畢，此分析可供實際管養人員參考應用，該成本之分析可供工務段編列橋檢預算時參考但須考量實際情況調整，混和車輛僅有一天係以特殊車檢測之狀態進行成本分析，各參考成本包含人、機、物及油耗、消磨等成本。

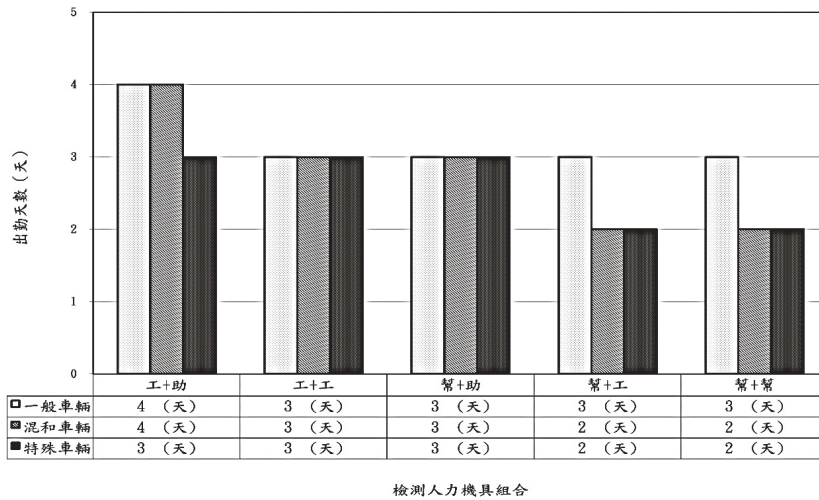


圖 3-20 出勤天數綜合差異分析圖

資料來源:本研究整理

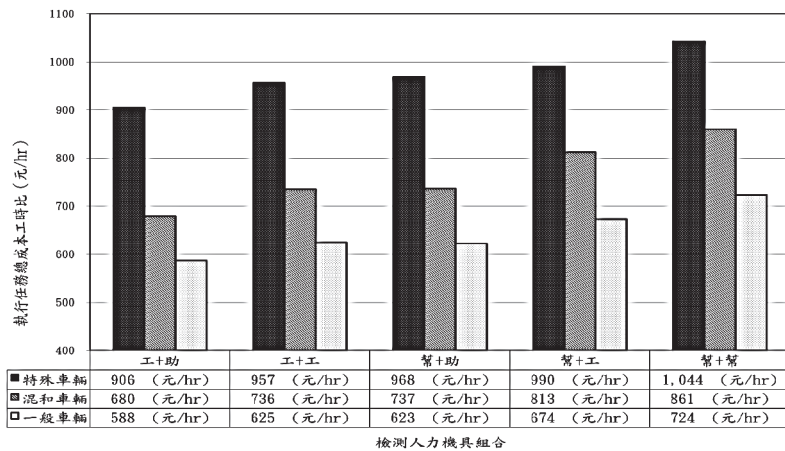


圖 3-21 總成本工時比綜合差異分析圖

資料來源:本研究整理

#### 四、結論與建議

橋梁檢測於目前現況而言確實有執行上的困難，各承辦人員之經驗及效率上稍嫌不彰且其他管養業務複雜，於業務上之排程規劃時常產生衝突，如能將各項業務透過最佳化排程於時間內將各項業務執行完畢，對於工務段整體績效可大幅提升，將節省下來的時間安排各項業務之教育訓練亦或自行進修，對於長遠來看確實有效提升效率，本研究之成果於

目前現況上之應用確實有所幫助若能有效推廣，透過實際應用逐步修正能更符合各工務段之需求希冀可於未來有效應用於各工務段，並將其餘各項業務進行最佳化模式之開發，透過通盤檢討可將其資源發揮應用減少破碎資源之浪費，綜合本研究之成果相關結論與建議綜整如下：

#### 4.1 結論

1. 本研究之成果針對苗栗工務段之後龍鎮區進行研究分析，其成果與現況比較確實可提升橋梁檢測之效率，在時間排程上可縮減 1 天在旅行距離上可減少 15.26%之旅程。
2. 本研究模式透過現況橋檢作業模式開發其限制式，透過 LINGO 8.0 運算軟體進行求解，於合理至時間內求得最佳化排程，可提供現況管養人員參考運用，並透過敏感度分析可以配合其他業務檢討彈性運用。
3. 本研究調查橋檢作業之時間後歸納出其決定性因素為檢測人員之經驗，透過相關之教育訓練及經驗傳承確實對於長期之效率提升會有顯著的效果。
4. 車輛的應用上確實可以發現特殊車輛對於橋檢作業有顯著的效率提升，可較確實針對橋梁檢測並立即針對細部劣化進行改善，但由於價值不斐對於橋檢成本造成大幅度的提升，但綜觀整體橋梁生命週期成本而言其相對成本應符合其績效，若透過長遠需求進行評估，橋樑檢測車確實可以有效降低維護成本並提高橋梁使用年限。

#### 4.2 建議

1. 本研究配合 LINGO 8.0 運算軟體進行求解，建議未來可以配合其他運算軟體開發演算法進行更大規模之研究，可以更深入探討工務段整體人力資源配置狀態。
2. 特殊車輛確實可以提升整體效能，建議後續可針對橋檢車之需求進行分析，如何透過最佳化模式反映出最佳需求。
3. 本研究僅針對橋梁檢測項目進行分析，希冀後續可再針對工務段其他業務進行研究探討，將工務段之資源進行最有效之應用。
4. 後續可將橋檢時間進行量化資料庫之建立，透過長期追蹤進行研究分析，並加相關之影響因子進行篩選，針對影響最甚之因子進行優化處理，希冀可以將橋檢時間進行標準化之研究。

### 參考文獻

1. Diana M., Dessouky M.M. and Xia N., “A model for the fleet sizing of demand responsive transportation services with time” windows, Transportation Research Part B, vol. 40, pp. 651-666,2006 .
2. Ibaraki, T., Kubo, M., Masuda, T., Uno, T. and Yagiura, M., “Effective Local Search

- Algorithms for Routing and Scheduling Problems with General Time-Window Constraints”, *Transportation Science*, vol. 39, pp. 206-232, 2005.
3. Dai, K.H., B. Smith, Chen, S.E. and Sun, L.M., Comparative study of bridge management programmes and practices in the USA and China, *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 4, pp. 1-12, 2013.
  4. Yan, S.Y, Lin, J.R.and Lai, C.W, “The planning and real-time adjustment of courier routing and scheduling under stochastic travel times and demands”, *Transportation Research Part E : Logistics and Transportation Review*, vol.53, pp. 34-48 , 2013.
  5. 申生元,「多趟次車輛途程與排程問題」, 行政院國家科學委員會, 專題研究計畫成果報告, 2002。
  6. 李有豐、謝尚賢、王隆昌、陳清泉、詹麒璋、鄭育祥、常斐春,「建立橋梁檢測制度方法及準則之研究(公路與道路橋梁)」,交通部運輸研究所,委託研究成果期末報告,2010。
  7. 杜逸全,「機電設備機組維護保養排程最佳化之探討-以高雄 HOTEL DUA 商務旅館為例」, 國立中央大學土木研究所, 碩士論文, 2013。
  8. 延允中,「橋梁維護管理機制、成效查核與經費編列探討-以公路總局為例」, 國立中央大學土木工程研究所, 碩士論文, 2004。
  9. 曾志煌、許書耕、巫柏蕙、姚乃嘉、陳明正、葉啟章、蔡欣局、廖先格,「橋梁目視檢測評估手冊(草案)」,交通部運輸研究所,委託研究成果期末報告,2011。
  10. 張永宗、林育立、陳武星,「應用基因演算法於空調機組最佳運轉排程」, 中華水電冷凍空調月刊, 台北科技大學冷凍空調研究所, 2008。
  11. 張秀雲,「具時窗限制之車輛迴轉率與路線規劃問題之研究」, 行政院國家科學委員會, 專題研究計畫成果報告, 2001。
  12. 陳冠伶,「長橋目視檢測評估方法之研究」, 國立中央大學土木工程研究所, 碩士論文, 2006。
  13. 楊宗仁,「科技廠房修繕人力派遣最佳化決策模式之研究」, 國立中央大學土木研究所, 碩士論文, 2007。
  14. 楊國隆, 熊高生,「作業研究入門導引-使用 LINGO」, 松崗電腦叢書, 2009。
  15. 楊棣焱,「螞蟻啟發式學習法於多目標維修排程之研究」, 國立成功大學資訊管理研究所, 碩士論文, 2006。
  16. 楊照崑、楊重駿,「未來數學家的挑戰-計算量問題」, 數學傳播 10 卷 2 期, 頁 6 -11, 1986。
  17. 劉涵初,「旅行業務員問題」, 數學傳播第 11 卷第 3 期, 頁 5 -10, 1987。

18. 顏上堯、官明郎，「設計作業人員指派最佳決策模式之研究」，中國土木水利工程學刊，第 18 卷第 1 期，頁 135 -144，2006。
19. 蘇鴻，「道路工程機具與人力指派最佳決策模式之研究」，國立中央大學土木研究所，碩士論文，2010。

## 附錄

測試範例 LINGO 8.0 程式碼

model:

sets!--參數定義--;

!--原生集合--;

!--檢測任務 (I)--;

bridge/1..8/:I;

!--檢測天數 (D)--;

day/1..5/:D;

!--衍生集合--;

!--檢測旅行總時間(Tij)--;

detect\_and\_traveling\_time(bridge,bridge):T;

!--檢測旅行總成本(Cij)--;

detect\_and\_traveling\_cost(bridge,bridge):C;

!--檢測旅行決策變數 (Xidj)--;

detect\_yes\_or\_no(bridge,day,bridge):X;

!--順序變量(Ujd)--;

sequence(bridge,day):U;

endsets

data!--參數定量--;

!--指令@OLE:須先定義 EXCEL 內範圍表格名稱--;

!--匯出--;

!--匯出 EXCEL 決策參數 Xijgd--;

@ole('\外部參數-後龍.xls',Xijd)=X;

A=8;

!--匯入--;

!--匯入 EXCEL 外部參數 Tijg--;

T=@ole('\外部參數-後龍.xls',TijT01);

!--匯入 EXCEL 外部參數 Cijg--;

C=@ole('\外部參數-後龍.xls',CijT01);

enddata

!--任務數量--;

n=@size(bridgde);

!-----目標式-----!;

min=

@sum(bridge(i):

@sum(bridge(j):

@sum(day(d):

C(i,j)\*X(i,d,j)));

!-----限制式----- ;

!--Xidj 為 0、1 變數-----;

@for(bridge(i):

```

@for(bridge(j):
@for(day(d):
    @bin(X(i,d,j))));

!--每項任務只檢測 1 次--;
@for(bridge(i)|
    @sum(bridge(j)i:
        @sum(day(d):
            X(i,d,j)))=1);
@for(bridge(j):
    @sum(bridge(i):
        @sum(day(d):
            X(i,d,j)))=1);

!--順序變量--;
@for(day(d):
@for(bridge(i):
@for(bridge(j):
    U(j,d)-U(i,d)+n*X(i,d,j)<=n-1));

!--工時限制--;
@for(day(d):
    @sum(bridge(i):
        @sum(bridge(j):
            T(i,j)*X(i,d,j)))<=A);

!--流量守恆--;

```



```
@for(day(d):  
  @for(bridge(j):  
    @sum(bridge(i):  
      X(i,d,j))-  
    @sum(bridge(k):  
      X(j,d,k)=0));
```

end