

以機車左轉車流軌跡檢討待轉區設計分析

王義川¹ 李家春² 白伊彤³

摘 要

交叉口機車左轉交通管理方式，除劃設適當的機車左轉等候佈置交通工程設計與合適的號誌時制計畫外，更需符合機車左轉車流特性與車流軌跡，才能提高機車左轉之安全性。本研究針對機車左轉車流進行軌跡調查，建立軌跡方程式並加以模式化。並對左轉過程之速度變化進行調查，藉以求取機車兩段式左轉及直接左轉的速度變化模式。本研究探討機車在各種路口型式不同左轉方式的差異，最後提出各種路口型式以安全為優先考量下之最適宜條件的最佳左轉方式，具體的研究內容主要分為機車左轉車流軌跡模式、機車左轉速度變化之分析二部份。

本研究初步模式化之結果發現，行駛軌跡方程式多數符合二項函數，速度變化模式也符合相關函數。本研究並同時探討在已劃設兩段式左轉之路口，機車以兩段式進行左轉之比例，並比較不同路寬，是否影響兩段式左轉之選擇，經由調查發現，機車兩段左轉車流軌跡呈現“迴力標”型。現今兩段式左轉待轉區設置尚未建立一套具體準則，以至於兩段式左轉待轉區的設置與實際需求未必相符，經由本研究調查數據發現，單向二車道機車兩段式左轉比例為 8%；單向四車道機車兩段式左轉比例為 58%，檢定結果發現，兩者間具有顯著差異，本研究認為車道數會影響機車駕駛者選擇左轉的方式，因此建議若單向二車道（含）以下，可考慮不設置兩段左轉待轉區，機車可以直接左轉。

關鍵詞：機車、左轉、待轉區、兩段式左轉

壹、前 言

一般號誌化路口左轉管制方式與交通量及幾何條件有關，汽車左轉車道的流量與允許左轉的措施和機車並不相同。在台灣，目前機車已經逐漸形成兩段式左轉的駕駛習慣，但是否設置兩段式左轉待轉區並無具體準則可以引用，以至於兩段式左轉待轉區的設置與實際需求未必相符。本研究擬先針對目前機車左轉車流軌跡，及左轉速度的變化進行調查與分析。本研究的完成將有助於未來機車左轉交通工程的設計，以及對於台灣機車左轉車流特性的了解。

¹ 稻江科技暨管理學院運輸與物流學系助理教授兼系主任（聯絡地址：嘉義縣朴子市學府路二段 51 號，電話：05-3622889 轉 851，E-mail:ycwang@mail.toko.edu.tw）

² 中華大學運輸科技與物流管理學系碩士班研究生、稻江學院運輸物流學系畢業。

³ 淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班研究生、稻江學院運輸物流學系畢業。

1.1 研究目的

機車車流行駛於道路外側車道，機車左轉方式與內側之汽車左轉方式明顯不同，相對的機車左轉車流軌跡和汽車左轉車流軌跡就有差異之處，如圖 1 所示。

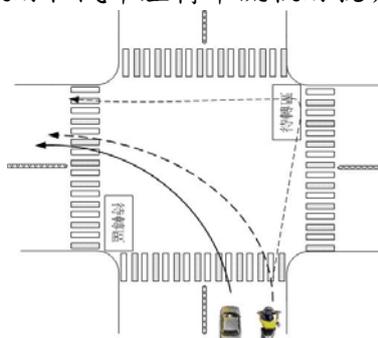


圖 1 汽車與機車左轉軌跡比較圖

本研究針對汽車車流與機車車流兩者間之差異分析，進行比較後將有助於機車左轉車流軌跡的了解，進而對於道路空間之設計和交通工程設計有所幫助。

本研究將以機車左轉車流特性為基礎，透過完整的車流觀測分析程序，提出不同路型下之管制方式。綜合上述，本研究之目的包括：

1. 機車左轉車流軌跡分析。
2. 針對所調查之路口，計算不同機車左轉方式(包括直接左轉、兩段式左轉)之比例。
3. 分析目前不同路型下之交叉口機車左轉車流特性，以做為建立機車左轉軌跡模式之基礎。
4. 依據機車左轉車流軌跡及速度變化，修正目前機車左轉待轉區的設計方式。

1.2 研究範圍

本研究將不同路型以有無快慢分隔之十字型路口及 T 字型路口為主要研究範圍。如表 1 所示。

表 1 本研究路口分類

路型	有無快慢分隔	
	無	有
十字型路口	I	III
T 字型路口	II	IV

目前機車左轉管制方式有直接左轉、兩段式左轉與禁止左轉三種。本研究對於十字及 T 字型有無快慢分隔之路口型式組合方式如圖 2 所示。

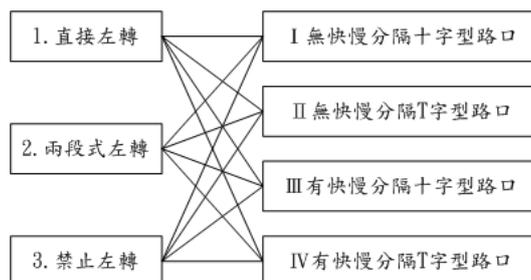


圖 2 不同分隔型式之路口組合方式

不同路型有無快慢分隔路口管制方式則如表 2 所示。

表 2 不同路型之管制方式示意圖

路型	管制示意圖
路型 I 十字型無快慢分隔路口	
路型 II T 字型無快慢分隔路口	
路型 III 十字型有快慢分隔路口	
路型 IV T 字型有快慢分隔路口	

本文中先探討路型 I 及路型 II 的調查結果。

1.3 研究內容及方法

本研究所探討的機車在各種路口型式不同左轉方式的差異，最後提出各種路口型式以安全為優先考量下之最適宜條件的最佳左轉方式，具體的研究內容主要分為機車左轉車流軌跡模式、機車左轉速度變化之分析二部份。

(一) 機車左轉車流軌跡模式

機車左轉車流之研究內容為機車左轉軌跡模式之建立，分述如下：

在機車左轉行為分析方面，機車在左轉過程中，必須以曲線方式行進，透過實際的道路調查及錄影觀測方式蒐集機車左轉行進之軌跡曲線，在實驗室中讀值

分析，找出每一相對座標位置後，假設每一條左轉軌跡為 $y = f(x_1, x_2)$ ，以求其軌跡曲線方程式，最後求出最具代表性的機車左轉軌跡方程式。

本研究分析機車直接左轉行進軌跡如圖 3 所示。

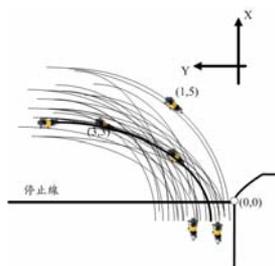


圖 3 機車直接左轉軌跡示意圖

機車兩段式左轉軌跡如圖 4 所示。

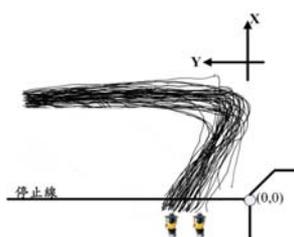


圖 4 機車兩段左轉軌跡示意圖

(二) 機車直接左轉速度變化之分析

機車進行直接左轉過程中，必須以曲線方式行進，從開始左轉、進行左轉、到完成左轉，依據本研究初步調查發現，三階段的速度將有所不同，至於是否有顯著差異，則必須進行進一步的調查。由於左轉速度將決定機車暴露於左轉潛在衝突的時間，因此，進行三階段左轉速度的調查分析，也是相當重要的課題。本研究定義三階段速度的位置如下：

- 第一階段 V_1 ：機車進行直接左轉前的速度，本研究定義在枕木紋與待轉區間 10m 內的速度。取進入枕木紋與待轉區中線間的時間差換算速度。
- 第二階段 V_2 ：機車進行直接左轉時的速度，本研究定義在待轉區中線到鄰向枕木紋位置的時間差為進行直接左轉時的速度。
- 第三階段 V_3 ：機車完成直接左轉後的速度，本研究定義在機車完成左轉進入橫向路口後進入枕木紋的時間差換算成速度。

三階段速度的位置與路口的關係如圖 5 所示。

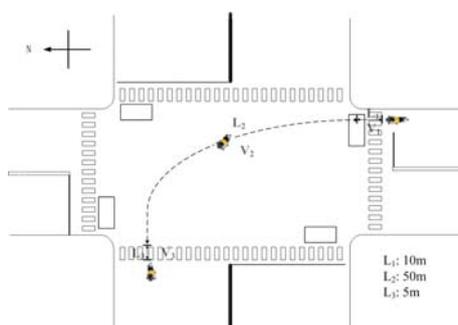


圖 5 直接左轉三階段速度調查位置示意圖

1.4 研究限制

本研究旨在建立機車左轉車流軌跡之研究方法，以利之後相關研究分析，故僅以嘉義地區做為探討的對象，未來相關研究則可以本研究之方法論擴大調查，以充分分析不同環境及路型下之車流特性。

貳、研究方法

本節將針對左轉車流調查方法以及分析方法做說明。

2.1 左轉車流調查方法

機車左轉車流特性調查分析結果，將作為不同路型之機車左轉管制方式準則建立的基礎，本研究初步的調查已經發現機車在不同路口型式有不同的左轉方式，由於觀察的資料屬微觀調查，必須透過錄影再讀值的方式，進行資料分析。調查步驟如下：

一、確定調查範圍

本研究探討機車在各種路口型式中不同左轉方式的差異，於是分別針對 T 字型路口、十字型路口型式和管制方式之組合去調查分析，其組合型式如表 3。選取路段中，其觀測位置以垂直正交的方式，即採高樓架設方式調查，才能避免攝影角度的影響，提高調查正確性。

表 3 路口型式與管制方式組合

路口型式 \ 管制方式	I	II	III	IV
1.直接左轉	I 1	II 1	III 1	IV 1
2.兩段式左轉	I 2	II 2	III 2	IV 2
3.禁止左轉	I 3	II 3	III 3	IV 3

在調查地區範圍內可以架設攝影機以供攝影記錄之路段，如圖 6 所示。

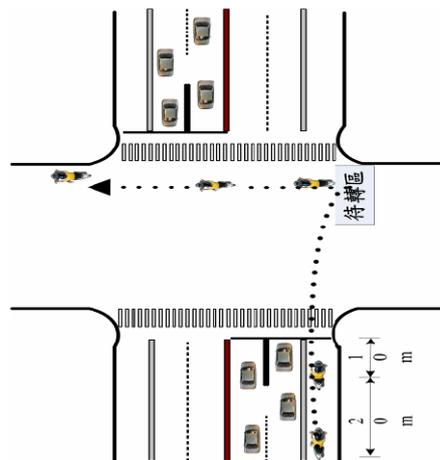


圖 6 錄影機拍攝範圍

二、調查方式與內容

機車車流行為與一般車流調查最大之差異，在於拍攝的角度不同。機車車流之研究，最困難之工作在於機車並未規範於相對車道內，相對於汽車軌跡的變化很大，為了描述機車駕駛時軌跡橫向位移的變化，必須透過下列輔助步驟完成。

2.2 分析方法

機車左轉車流軌跡、機車左轉方式比例及機車左轉速度分析方法如下。

1. 機車左轉車流軌跡

記錄每部左轉機車之二維座標後，再以統計學中的迴歸分析進行分析，進而尋找最適函數表現機車左轉車流軌跡。

拍攝車流後進行讀取步驟如下：

- a. 將調查拍攝車流之影像，透過投影機之投射，並根據不同方向和機車行駛有無待轉條件下，畫出直接左轉和兩段式左轉之軌跡和算出兩者之比例。
- b. 將調查道路之各方向寬度以比例方式，去訂定機車左轉車流軌跡之 X、Y 座標，進而畫出直接左轉和兩段式左轉軌跡上之座標點。
- c. 用 Excel 將每個方向機車之左轉軌跡座標點標示上去，利用迴歸分析進行探討，再透過圖表函數分析 R^2 。
- d. 分析不同方向之直接左轉和兩段式左轉之 R^2 ，以找出最適機車左轉軌跡函數。

2. 機車左轉方式比例

本研究以統計之母體比例差之假設檢定方法，比較不同路寬是否會影響左轉方式的選擇。

3. 機車左轉速度分析方法

為了描述機車駕駛時軌跡橫向位移的變化，必須透過下列幾個輔助步驟來完成。

(1) 室內觀測作業：

- a. 時間轉錄處理。由於調查時間必須準確到 1/100 秒，故拍攝後之影帶，利用時間轉錄器 (Timer) 同步轉錄，可得 1/100 秒之時間精度。
- b. 錄影涵蓋範圍為整個路口，本研究將所調查之路口劃設四條觀測基準線，停止線上方枕木紋為第一基準線，待轉區之中線為第二基準線，鄰向之枕木紋兩側分別為第三及第四基準線，而基準線間距離以 10m、50m、5m 為單位長度，來進行讀值分析。
- c. 由於機車體積小，可由機車車輪做為基準點，作為通過基準線之時間點判讀基準。

(2) 資料之整理與分析

在資料讀值方式上，將每一車輛通過之四條基準線，作為觀測機車直接左轉速度變化之判斷基準，其四條基準線之劃設以路型 I 之南向為例，基準線示意圖如圖 7 所示。

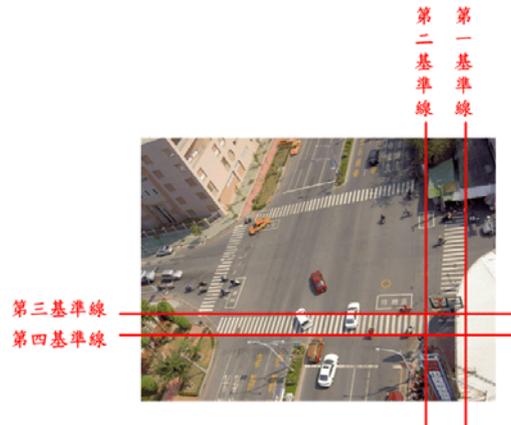


圖 7 機車左轉速度變化觀測基準示意圖

每部車皆分別通過四條基準線，記錄其通過時間點 t_1 , t_2 , t_3 , t_4 。

參、案例道路條件說明

定義路口和路段分隔型態所劃分出的四種路型之後，目前選擇以下列路口做調查，路型 I 以嘉義市垂楊路和仁愛路，如圖 8 所示。



圖 8 路型 I 調查路口

路型 II 以嘉義縣嘉 45 線道和稻江學院校門口，如圖 9 所示。



圖 9 路型 II 調查路口

3.1 十字型路口—路型 I

本研究之路型 I 以嘉義市垂楊路與仁愛路號誌化交叉路口為調查對象，實施機車直接左轉與兩段式左轉調查，茲將調查路口交通現況分析如下。其調查路口之示意圖如圖 10 所示。

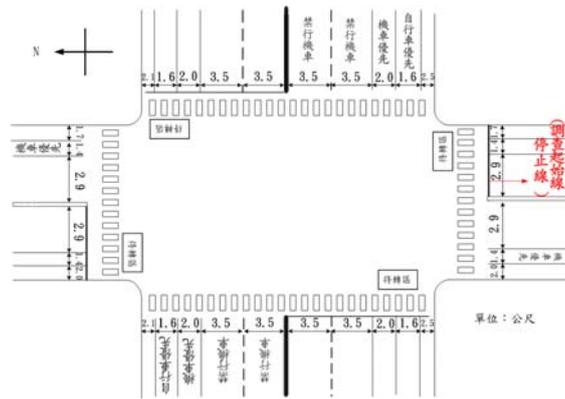


圖 10 路型 I 調查路口幾何示意圖

3.2 T 字型路口—路型 II

本研究之路型 II 以嘉義縣嘉 45 線道與稻江學院校門口號誌化交叉路口為調查對象，實施機車直接左轉與兩段式左轉調查，茲將調查路口交通現況分析如下。

其調查路口之示意圖如圖 11 所示。

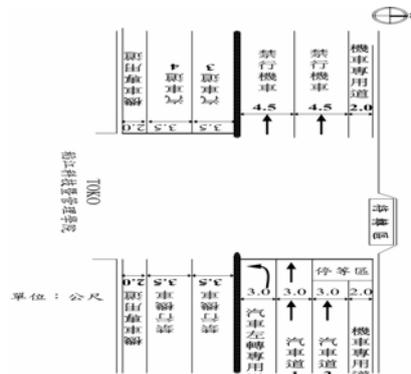


圖 11 路型 II 調查路口幾何示意圖

由於 T 字型之路口型態有別於一般十字型路口，其中無北向車流，因此南向機車可直接進行左轉不需待轉；而西向無左轉車流，僅東向有左轉車流之問題，故進行 T 字型路口調查時，只需做東向之左轉車流。

肆、調查結果分析

本研究分析項目分為：機車左轉車流軌跡、機車左轉方式比例，以及機車進行直接左轉速度變化之差異。因此本研究將路型 I 與路型 II 之機車左轉車流軌跡繪製成圖，再將軌跡座標化，且利用統計方式之迴歸分析算出機車左轉軌跡最適方程式；統計不同左轉方式之機車數，並透過統計方式之假設檢定，比較不同路寬與不同左轉方式是否有差異；而探討機車左轉速度之變化，將依據機車通過四條基準線之時間點加以分析，機車左轉過程：開始左轉、進行左轉及完成左轉之速度是否有差異。

4.1 機車左轉車流軌跡

本研究針對所調查的路口，透過攝影拍攝方式，將機車左轉軌跡繪製出來，並利用統計求出迴歸分析，求出最適代表機車左轉軌跡曲線之軌跡函數。

4.1.1 路型 I

透過攝影拍攝方式，本研究將機車左轉軌跡繪製出來，其調查路口之東向機車左轉軌跡如圖 12 所示。

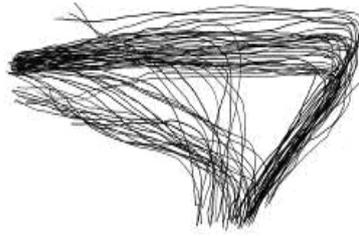


圖 12 機車左轉軌跡(東向)

西向機車左轉軌跡如圖 13 所示。

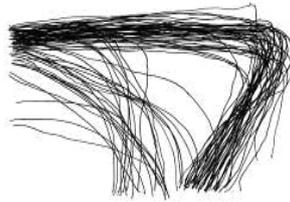


圖 13 機車左轉軌跡(西向)

南向機車左轉軌跡如圖 14 所示。



圖 14 機車左轉軌跡(南向)

北向機車左轉軌跡如圖 15 所示。

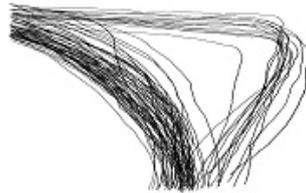


圖 15 機車左轉軌跡(北向)

在機車左轉行為分析方面，機車在左轉過程中，必須以曲線方式行進，透過實際的道路調查及錄影觀測方式蒐集機車左轉行進之軌跡曲線，在實驗室中讀值分析，找出每一相對座標位置後，假設每一條左轉軌跡為 $y = f(x_1, x_2)$ ，以求其軌跡曲線方程式，最後求出最適代表性的機車左轉軌跡方程式。

路型 I 機車左轉軌跡座標化如圖 16 所示。其中 x 、 y 方向皆以公尺為單位。

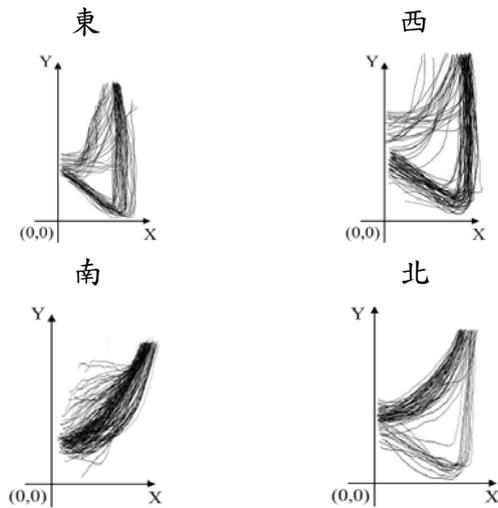


圖 16 路型 I 機車左轉車流軌跡座標圖

經由統計之迴歸分析，其中趨勢迴歸分析類型以多項式之解釋能力較高，最適代表性的機車左轉軌跡方程式如表 4 所示。

方向	左轉方式	軌跡函數
東	兩段左轉	$y = 0.71x^2 - 6.88x + 22.10$
西	兩段左轉	$y = 0.66x^2 - 5.15x + 11.26$
南	直接左轉	$y = 0.01x^2 - 0.08x + 0.58$
北	直接左轉	$y = 0.02x^2 - 0.21x + 1.16$

4.1.2 路型 II

由於路型 II 為 T 字型路口，且稻江學院採行禁止機車左轉，因此本研究僅觀察嘉 45 線道左轉機車。透過攝影拍攝方式，本研究將機車左轉軌跡繪製出來，如圖 17 所示。



圖 17 路型 II 東向機車左轉軌跡

在機車左轉行為分析方面，機車在左轉過程中，必須以曲線方式行進，透過實際的道路調查及錄影觀測方式蒐集機車左轉行進之軌跡曲線，在實驗室中讀值分析，找出每一相對座標位置後，假設每一條左轉軌跡為 $y = f(x_1, x_2)$ ，以求其軌跡曲線方程式，最後求出最適代表性的機車左轉軌跡方程式。

路型 II 機車左轉軌跡座標化如圖 18 所示。



圖 18 路型 II 機車左轉車流軌跡座標圖

經由統計之迴歸分析，其中趨勢迴歸分析類型以多項式之解釋能力較高，最適代表性的機車兩段式左轉軌跡方程式為 $y = 2.1003x^2 - 8.1857x + 9.7611$ ， $R^2 = 0.9616$ 。

4.2 機車左轉方式比例

由於機車左轉方式的不同，本研究將四個行車方向，進行直接左轉和兩段左轉比例之比較，再以統計之母體比例差之假設檢定方法，比較不同路寬是否影響左轉方式的選擇。

4.2.1 路型 I

本研究將路型 I 四個行車方向之直接左轉和兩段左轉比例做比較，如表 5 所示。

表 5 路型 I 機車不同左轉方式比例

	東	西	南	北
直接左轉 (%)	47.5	36.9	100	79.7
兩段左轉 (%)	52.5	64.1	0	20.3

東西方向直接和兩段左轉，兩段左轉比例較高；而南北方向直接左轉比例較高，本研究認為因為南北方向為雙車道，較東西方向路寬為窄，所以影響直接左轉比例。

根據調查結果分析，本研究將東西向相同左轉方式進行加總，也將南北向屬相同左轉方式進行加總，以統計檢定方式，檢定不同路寬下機車採兩段式左轉的比例，是否有顯著差異。

其中檢定統計量 $Z=21.39$ ，因此拒絕虛無假設，即直接左轉之東西向與南北向有顯著差異，又 $\hat{P}_1 = 0.58 > \hat{P}_2 = 0.08$ ，故車道數為 2 之直接左轉機車數量明顯大於車道數為 4 之直接左轉機車數量。

4.2.2 路型 II

由於路型 II 為 T 字型路口，且稻江學院採行禁止機車左轉，因此本研究僅觀察嘉 45 線道左轉機車之直接左轉和兩段左轉比例，如表 6 所示。

表 6 路型 II 機車不同左轉方式比例

	東
直接左轉 (%)	64.2
兩段左轉 (%)	35.9

調查結果發現，嘉 45 線道直接左轉比例較兩段左轉比例高，本研究認為由於西向車流量較少，導致東向機車駕駛者選擇直接左轉。

4.3 速度分析

本節將進行機車直接左轉速度變化分析。本研究將攝影機所讀取的時間點數值 t_1, t_2, t_3, t_4 分別代入下列公示，以求得機車進行左轉三階段之速度，進而比較三階段速度之差異。其公式如下所示。

V_1, V_2, V_3 ：調查路段之速度

L_1 ：調查路段距離 10, 50, 5 公尺

L_2 ：調查路段距離 50 公尺

L_3 ：調查路段距離 5 公尺

t_1, t_2, t_3, t_4 ：通過四條基準線時間點

$$V_1 = \frac{L_1}{t_2 - t_1} \quad , \quad \text{餘類推。}$$

以路型 I 機車直接左轉之南向、北向做探討，將調查資料代入上述公式，可得機車直接左轉三階段速度，將其三階段速度平均並分析探討。平均值比較如表 7 所示。

表 7 機車左轉三階段速度比較表

	南	北
V_1	0.558	0.199
V_2	0.115	0.076
V_3	0.161	0.147

單位：公尺/秒

根據調查結果，本研究以統計之變異數分析方式，進行機車左轉過程三段速度變化之分析，檢定左轉之平均速度是否相同。

V_1 ：開始左轉之平均速度

V_2 ：執行左轉之平均速度

V_3 ：完成左轉之平均速度

$H_0: V_1 = V_2 = V_3$

$H_1: V_i$ 不全等

其中檢定統計量 $F = 2.0507 < \text{臨界值} = 9.5520$ ，因此不拒絕虛無假設，即機車左轉過程三段平均速度並無顯著差異。

4.4 綜合比較分析

本研究分析項目分為：機車左轉車流軌跡、機車左轉方式比例，以及機車進行直接左轉速度變化之差異。本研究就其中機車左轉車流軌跡以及機車左轉方式比例進行比較分析。

4.4.1 車流軌跡

經本研究所繪製出的機車左轉軌跡圖，測量出路型 I 機車兩段左轉車流軌跡轉折角度為 60° 較路型 II 機車兩段左轉車流軌跡轉折角度為 50° 大，因路型 II 之路口轉向之東南側設有一機車停車場，導致機車駕駛者改變行車方向，因此路型 II 之兩段左轉車流軌跡轉折角度較小。

4.4.2 左轉方式比例

由於路型 I 東西向受到路口寬度為 28m 及對向 4 車道的影響，使得機車駕駛者必須考量安全因素，因此對左轉方式有所選擇，直接左轉及兩段左轉兩方向比值分別為 4:6 及 5:5，兩種左轉方式比例約佔各半。路型 I 南北向由於路口寬度為 13m，車道數為 2，機車駕駛者左轉方式比例，直接左轉及兩段左轉比值分別為 10:0 及 8:2。

由於路型 II 西向來車流量較少，因此東向機車駕駛者選擇直接左轉居多，但因稻江學院執行兩段式左轉交通宣導，故直接左轉及兩段左轉比值為 6:4。

伍、機車左轉交通工程設計檢討

透過攝影拍攝所繪製的機車左轉軌跡圖，並將道路幾何佈設條件做疊圖分析，本研究將針對交通工程設計提出兩項建議。

(一) 兩段式左轉待轉區之設計

經由本研究調查發現，機車進行兩段式左轉時，由於待轉區之設置位置造成同向來車之衝突，並會壓迫到行人穿越道，增加行人穿越路口之危險性。因此針對兩段式左轉待轉區之設計，進行以下之建議，以便日後交通工程設計改善。

1. 待轉區、行人穿越道、停止線兩兩間應保持適當間隔。
2. 待轉區與緣石連線間距為 0.5 公尺以上；待轉區與行人穿越道間距為 1.2 公尺。

路型 I 東向之改善方式如圖 19 所示。

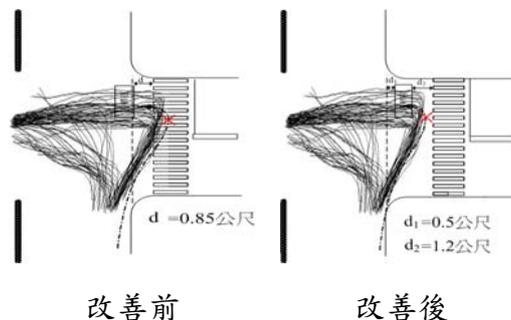


圖 19 路型 I 東向改善後待轉區示意圖

路型 I 西向之改善方式如圖20所示。

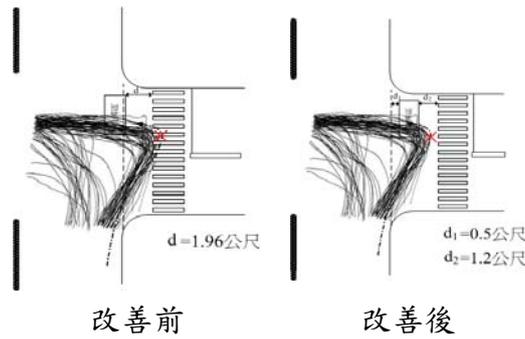


圖 20 路型 I 西向改善後待轉區示意圖

經由調查發現，兩段式左轉待轉區設置之位置並無一套標準，待轉區設置在緣石連線前方，位於同向車行動線，造成同向來車衝突。

兩段式左轉待轉區錯誤設計如圖 21 所示。



圖 21 兩段式左轉待轉區錯誤設計

兩段式左轉待轉區正確設計如圖 22 所示。



圖 22 兩段式左轉待轉區正確設計

經由調查發現，機車兩段左轉車流軌跡呈現“迴力鏢”型。現今兩段式左轉待轉區設置尚未建立一套具體準則，以至於兩段式左轉待轉區的設置與實際需求未必相符，經由本研究調查數據發現，單向二車道機車兩段式左轉比例為 8%；單向四車道機車兩段式左轉比例為 58%，檢定結果發現，兩者間具有顯著差異，本研究認為車道數會影響機車駕駛者選擇左轉的方式，因此建議若單向二車道(含)以下，可考慮不設置兩段左轉待轉區，機車可以直接左轉。

(二) 兩段式左轉之導引線設置

經由本研究調查發現，兩段式左轉待轉區之導引線設置並無一套標準，導引線現況銜接位置為兩段式左轉待轉區左下角或無導引線，並未充分發揮導引作用，如圖 24 改善前所示。本研究建議應就機車兩段左轉車流軌跡劃設導引線，如圖 23 改善後所示。

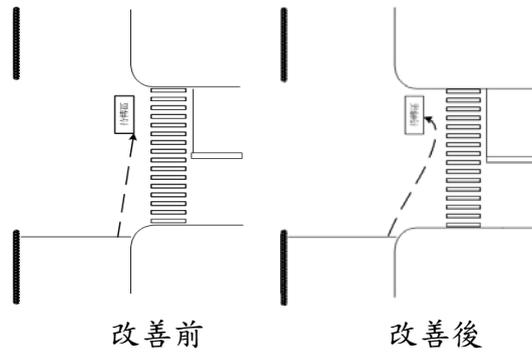


圖 23 導引線之改善

陸、參考文獻

1. 湯儒彥，『純機車車流路口疏解型態之研究』，中華民國第三屆機車交通與安全研討會論文集，民國 90 年 4 月，p43~p54。
2. 林育瑞，『利用類神經網路構建機車車流模式之研究』，成大交通管理科學研究所碩士論文，民國 91 年 6 月。
3. 許添本、許敦淵、王義川，『市區幹道混合車流之機車車流干擾分析』，中華民國第三屆機車交通與安全研討會論文集，民國 90 年 4 月，p69~p78。
4. 林國顯、張瓊文，『機車車流模式之初步研究』，中華民國運輸學會第 18 屆論文研討會，民國 92 年 12 月，p1092~p1101。
5. 王義川，『機車交通空間之分流設計』，台大土木所博士論文，民國 92 年。
6. 吳宗修、周孟書，『號誌化交叉路口機車等候佈置方式評選因素之研究』，中華民國第一屆機車交通與安全研討會，民國 85 年 11 月。
7. 陳柏君，『號誌化交叉口機車左轉管制方式設置準則之研究』，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 87 年 6 月。
8. 溫仁億，『T 字型路口機車兩段式左轉待轉區之研究』，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 94 年 6 月。

