

國立交通大學  
運輸與物流管理學系

碩士論文

庇護島對行人穿越號誌化路口安全之效果分析  
Investigating the Effect of Pedestrian Refuge Islands on  
Pedestrian Crossing Safety at Signalized Intersections

研究生：陳彥勳

指導教授：鍾易詩

中華民國一〇八年八月

庇護島對行人穿越號誌化路口安全之效果分析

Investigating the Effect of Pedestrian Refuge Islands on Pedestrian  
Crossing Safety at Signalized Intersections

研究生：陳彥勳

Student：Yen-Hsun Chen

指導教授：鍾易詩

Advisor：Yi-Shih Chung



Traffic and Transportation

August 2019

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇八年八月

# 庇護島對行人穿越號誌化路口安全之效果分析

研究生：陳彥勳

指導教授：鍾易詩 博士

國立交通大學運輸與物流管理學系碩士班

## 摘要

近年來，人們愈來愈重視環境和安全的問題，提倡人本運輸的發展，也促使道路上的行人數量逐漸增加。然而，行人的步行環境改善並未跟上行人增加的腳步，使得道路上充斥著許多潛在的風險。行人在道路使用者中，又為最弱勢的族群，當事故發生時，往往是較為嚴重的一方，因此為避免各種憾事發生，提升行人步行環境的安全為迫切之任務。

以往評估改善設施的效果常以事故作為核心指標，以事故量的變化來評估設施的正負面影響。然而對於行人而言，行人的事故資料在時間上與空間上相當分散，需要花費一定的時間與金錢才能蒐集進行分析，這也使得人行設施之評估短時間內難以評估其安全效果。因此，本研究以攝影機拍攝路口影像，蒐集號誌化路口行人穿越與車輛轉彎的實際影像，並藉由電腦影像辨識，得到用路人的軌跡資料。利用軌跡資料量化用路人的行為，藉以評估行人穿越的安全。

為了在短時間進行安全效果評估，本研究使用橫斷面分析，並建立一套評估架構，包含四步驟：一、改善設施選定；二、探討其安全效果；三、檢視影響之行為指標；四、建立與安全連結。本研究以路口庇護島為例，透過此評估架構進行庇護島的安全效果分析。

為了檢視庇護島的存在是否帶來安全效果，本研究針對左轉車輛與行人建立各項行為指標，探討車輛左轉與行人穿越行為，以統計檢定比較有無庇護島在各項指標上的差異。並檢視在車種不同與行人號誌時段不同的情況下，指標結果是否有所差異。結果顯示，有庇護島的情況下，可以幫助車輛於行穿線前和通過時減速、使車輛更集中通過、增加車輛接觸行穿線角度、降低未禮讓行人比率。最

後，以後侵占時間（Post Encroachment Time）作為安全替代指標，建立羅吉斯迴歸，驗證了庇護島確實帶來正向的安全效果。

關鍵字： 安全效果評估、庇護島、行為指標



# Investigating the Effect of Pedestrian Refuge Islands on Pedestrian Crossing Safety at Signalized Intersections

Student : Yen-Hsun Chen

Advisor : Yi-Shih Chung

Department of Transportation and Logistics Management

College of Management

National Chiao Tung University

## ABSTRACT

Recently, people pay more and more attention to environmental and safety issues. The development of human-oriented transportation make the pedestrians on the road increase. However, the poor walking environment of the pedestrians make the road full of potential risks. Pedestrians are the most vulnerable road users. They are often the more serious one in an accident. It is urgent to improve the pedestrian safety.

In the past, it often used the number of accident as the indicator to assess the effectiveness of the improvement facilities. However, it is difficult to collect the high-quality crash data which pedestrians involved because of the high dispersion on space and time. It pays a lot of time and money for data collection, which makes it difficult to evaluate the safety effect of the pedestrian facility in a short time. Therefore, this study used the camera to capture the image of the pedestrian crossing and the vehicle turning at the signalized intersection, and then got the trajectory of the pedestrians and the vehicles by the image recognition. The trajectory data was used to quantify the behavior of the road users to assess the safety of pedestrian crossing.

In order to assess the safety effects in a short time, this study used the cross-sectional analysis, and then established a set of evaluation framework, including four steps: First, the selection of the improve facilities; Second, explore its safety effects; Third, find the behavior indicators; Fourth, establish the links with safety. This study takes the refuge island as an example to analyze the safety effect through this

assessment framework.

The study establishes various behavior indicators of left turning vehicles and pedestrians to assess the safety effects of refuge island. Further, this study checked the differences in the indicators with or without refuge islands by statistical test, and compared with the different vehicle type and the different pedestrian signal time. The results show that with refuge island, it can help the vehicles slow down before and during the crosswalk, make the vehicles pass more intensively, increase the angle of the vehicle contact crosswalk, and reduce the non-yielding ratio. Finally, Post Encroachment Time was used as a safety surrogate indicator to model a Logistic regression. The model verified that the refuge island did bring positive safety effect.

Key word : Safety effect evaluation, Refuge island, Behavior indicator



# 誌謝

在艱辛的研究生路上，終於盼到完成論文的這一天，一路上以來需要感謝很多人的陪伴與鼓勵。當然，最先感謝的是我的指導教授 鍾易詩老師，謝謝老師兩年來的指導，在過程中深切感受到老師對我們的耐心、用心以及關心，帶著我們披荊斬棘，幫忙解決研究上大大小小的問題，老師總是保持著開朗的笑容，時不時關心我們，讓我們在鍾 lab 裡溫暖的成長，真的很有幸成為老師的指導學生。感謝 邱裕鈞老師、陳穆臻老師和 盧宗成老師在專題演講課堂上給予我建議，老師們的問題總是能夠切中要點，幫助我釐清論述不足之處。感謝 陳菟蕙老師和吳繼虹 老師擔任我的口試委員，給予我許多寶貴的建議，讓我的論文更佳的完整。

再來要感謝鍾 Lab 的同學們，謝謝思禹，在我低落的時候加油打氣讓我堅持奮鬥；謝謝宇玟，每次請教妳問題都熱心的幫我解決；謝謝素絢，一起完成計劃有一起妳做事很安心；謝謝雅涵，跟妳聊天總是很有收穫。謝謝妳們讓整個實驗室充滿笑聲，祝福妳們未來一切順利，要定期找時間聚聚。謝謝衣芸，在你水深火熱的時候，還是很迅速地幫我完成資料處理。謝謝我半年的室友祐翔，一起碰壁、一起煎熬、一起討論論文，相信撐過論文這關，未來面對甚麼困難也都能堅持下去。謝謝兩年以來相處過的同學，認識你們讓我的兩年碩士生涯更加充實歡樂。

感謝我最大的心靈支柱女友冠佳，在最痛苦煎熬的時候不斷地給予我鼓勵，讓我相信自己是可以完成的，未來也要一起加油。感謝我的家人，在學生生涯中默默的支持我做的所有決定，包容我給予我關愛，我愛你們。最後，感謝扶輪教育基金會提供獎學金，幫助我能夠有更多的時間專注於學業。

謝謝一路以來幫助我的人們，期許自己能夠不斷進步，在未來成為有能力幫助他人且勇於幫助的人。

陳彥勳 謹致於

國立交通大學運輸與物流管理學系研究所台北校區

2019 年 9 月

# 目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	iii
誌謝.....	v
目錄.....	vi
表目錄.....	x
圖目錄.....	xii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍.....	2
1.4 研究流程.....	3
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 人行穿越設施設計準則與安全效果.....	5
2.1.1 國外路口人行設施設計準則.....	5
2.1.2 國內人行設施設計準則與庇護島規範.....	8
2.1.3 庇護島之評估方式與其安全效果.....	11
2.2 安全替代指標（Surrogate Measures of Safety）.....	13
2.2.1 交通衝突指標.....	14
2.2.2 用路人行為相關指標.....	17
2.3 用路人行為資料來源.....	19
2.3.1 用路人行為資料取得方式.....	19
2.3.2 以影像分析之路口人車安全研究.....	21
2.4 小結.....	24

第三章 研究方法.....	24
3.1 研究架構.....	24
3.2 指標定義.....	26
3.2.1 行為指標.....	26
1、車速降低.....	26
(1) 車輛行穿線前速度.....	26
(2) 車輛通過行穿線速度.....	27
2、人車分離.....	27
(1) 車輛提前左轉比率.....	27
(2) 車輛通過集中度.....	28
3、行人可見度提高.....	28
(1) 車輛接觸行穿線時角度.....	28
4、規範遵循.....	29
(1) 行人號誌遵守率.....	30
(2) 行人行穿線遵守比率.....	30
(3) 車輛未禮讓行人比率.....	31
3.2.2 安全指標.....	32
3.3 分析方法.....	32
第四章 車輛與行人軌跡資料蒐集與處理.....	35
4.1 軌跡資料蒐集.....	35
4.1.1 觀察地點選擇.....	35
4.1.2 攝影機架設與拍攝.....	37
4.1.3 影像處理與資料輸出.....	39
4.2 軌跡資料處理.....	41
4.2.1 車輛軌跡畫設.....	41
4.2.2 行人軌跡畫設.....	45
4.2.3 人車軌跡誤差.....	46
4.2.4 人車可分析樣本統計.....	50

4.3 資料敘述統計.....	52
第五章 軌跡分析與庇護島安全評估.....	53
5.1 行為指標計算結果.....	53
5.1.1 車速降低.....	53
1. 行穿線前速度.....	53
2. 通過行穿線速度.....	56
5.1.2 人車分離.....	58
1. 提前左轉比率.....	58
2. 車輛通過集中度.....	61
5.1.3 行人可見度提高.....	63
1. 車輛接觸行穿線角度.....	63
5.1.4 規範遵循.....	65
1. 行人號誌遵守率.....	65
2. 行人行穿線遵守率.....	65
3. 未禮讓行人比率.....	66
5.2 安全指標.....	70
1. 後侵占時間(整體).....	70
2. 後侵占時間(行人先通過).....	70
3. 後侵占時間(車輛先通過).....	71
5.3 庇護島安全評估.....	72
第六章 結論與建議.....	75
6.1 結論.....	75
6.2 建議.....	76
6.2.1 路口改善建議.....	76

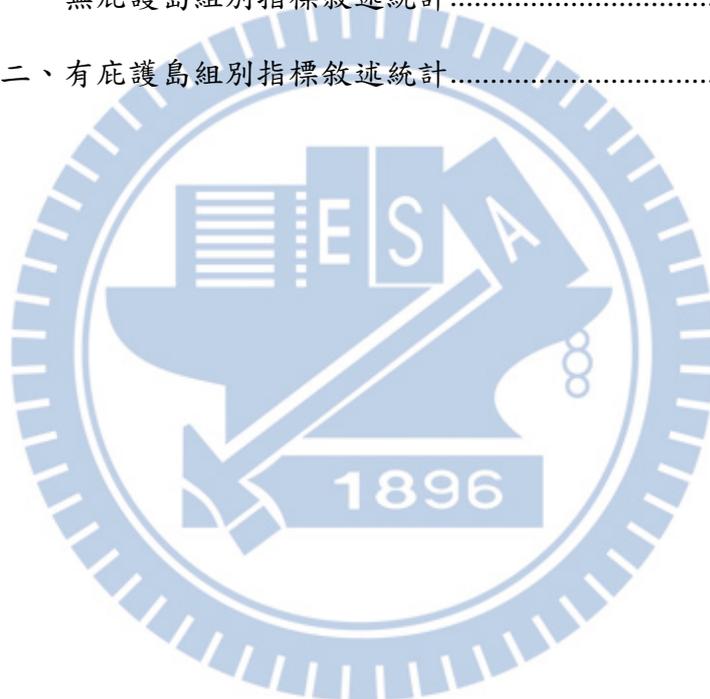
6.2.2 未來研究建議 .....	77
參考文獻.....	79
附錄.....	82



# 表目錄

表 2.3.1 交叉路口資料蒐集.....	21
表 4.1.1 研究路口基本資料.....	37
表 4.2.1 無庇護島路口實際車輛與分析資料差距情況.....	51
表 4.2.2 有庇護島路口實際車輛與分析資料差距情況.....	51
表 4.3.1 單一時相用路人數量敘述統計.....	52
表 4.3.2 單一時相各行人號誌時段車輛數敘述統計.....	52
表 5.1.1 車輛行穿線前速度.....	53
表 5.1.2 車輛行穿線前速度(依車種).....	54
表 5.1.3 車輛行穿線前速度(依行人號誌).....	55
表 5.1.4 車輛通過行穿線速度.....	56
表 5.1.5 車輛通過行穿線速度(依車種).....	57
表 5.1.6 車輛通過行穿線速度(依行人號誌).....	58
表 5.1.7 車輛提早左轉比率(依車種).....	59
表 5.1.8 車輛提早左轉比率(依行人號誌).....	60
表 5.1.9 車輛通過集中度.....	61
表 5.1.10 車輛通過集中度(依車種).....	61
表 5.1.11 車輛通過集中度(依行人號誌).....	62
表 5.1.12 車輛接觸行穿線角度.....	63
表 5.1.13 車輛接觸行穿線角度.....	63
表 5.1.14 車輛接觸行穿線角度(依行人號誌).....	64
表 5.1.15 行人號誌遵守率.....	65
表 5.1.16 行人行穿線遵守率.....	66

表 5.1.17 車輛未禮讓行人比率.....	66
表 5.1.18 車輛未禮讓行人比率（依車種）.....	67
表 5.1.19 車輛未禮讓行人比率（依行人號誌）.....	68
表 5.1.20 行為指標結果統整表.....	69
表 5.3.1 模式變數定義.....	72
表 5.3.2 羅吉斯迴歸校估結果.....	73
表 5.3.3 羅吉斯迴歸校估結果（人車先後區隔）.....	74
附表一、無庇護島組別指標敘述統計.....	82
附表二、有庇護島組別指標敘述統計.....	83



# 圖目錄

圖 1.4.1 研究流程圖.....	4
圖 2.1.1 美國路口行人穿越設施設計.....	6
圖 2.1.2 行人庇護島示意圖.....	10
圖 2.1.3 行穿線庇護島設置案例.....	10
圖 2.1.4 路口 Z 字型型人兩段式穿越設計範例.....	11
圖 2.1.5 庇護島裝設前後速度差異.....	12
圖 2.3.1 交叉路口資料蒐集.....	20
圖 2.3.2 人車軌跡追蹤.....	22
圖 2.3.3 車輛偵測與追蹤.....	22
圖 2.3.4 行人偵測與追蹤.....	23
圖 2.3.5 拍攝視角示意圖.....	23
圖 3.1.1 研究架構圖.....	26
圖 3.2.1 速度計算示意圖.....	27
圖 3.2.2 車輛提前左轉.....	28
圖 3.2.3 車輛轉向視野.....	29
圖 3.2.4 車輛接觸行穿線時角度.....	29
圖 3.2.5 行人號誌遵守示意圖.....	30
圖 3.2.6 行人行穿線遵守率.....	31
圖 3.2.7 未禮讓行人.....	31
圖 3.3.1 迴歸分析變數.....	34
圖 4.1.1 影像資料處理流程圖.....	35
圖 4.1.2 中華一段路開封街.....	36

圖 4.1.3 中華一段路武昌街（標記處為庇護島頭）	36
圖 4.1.4 兩研究路口相對位置圖	36
圖 4.1.5 攝影機視角示意圖	38
圖 4.1.6 攝影機視角示意圖	38
圖 4.1.7 攝影機視角示意圖	39
圖 4.1.8 平面座標轉換	40
圖 4.1.9 資料輸出格式	41
圖 4.2.1 平面座標不同時間下的車輛方框	42
圖 4.2.2 物件編號串聯輔助工具	42
圖 4.2.3 兩視角辨識影像	43
圖 4.2.4 兩視角平面座標方框	43
圖 4.2.5 兩視角底部座標連線範圍	43
圖 4.2.6 兩視角底部座標連線範圍	44
圖 4.2.7 車輛畫設步驟順序	45
圖 4.2.8 車輛完整軌跡	45
圖 4.2.9 行人軌跡圖	46
圖 4.2.10 機車誤差判定	47
圖 4.2.11 小型車誤差判定	48
圖 4.2.12 小貨車誤差判定	48
圖 4.2.13 公車誤差判定圖	49
圖 4.2.14 行人誤差判定圖	50
圖 5.1.1 車輛行穿線前速度	54
圖 5.1.2 車輛行穿線前速度（依車種）	55

圖 5.1.3 車輛行穿線前車速 (依行人號誌) .....	56
圖 5.1.4 車輛通過行穿線速度.....	56
圖 5.1.5 車輛通過行穿線速度 (依車種) .....	57
圖 5.1.6 車輛通過行穿線速度 (依行人號誌) .....	58
圖 5.1.7 車輛提早左轉比率.....	59
圖 5.1.8 車輛提早左轉比率 (依車種) .....	59
圖 5.1.9 機車提早左轉.....	60
圖 5.1.10 車輛提早左轉比率 (依行人號誌) .....	60
圖 5.1.11 車輛通過集中度.....	61
圖 5.1.12 車輛通過集中度 (依車種) .....	62
圖 5.1.13 車輛通過集中度 (依行人號誌) .....	62
圖 5.1.14 車輛接觸行穿線角度.....	63
圖 5.1.15 車輛接觸行穿線角度 (車種) .....	64
圖 5.1.16 車輛接觸行穿線角度 (行人號誌) .....	64
圖 5.1.17 行人號誌遵守率.....	65
圖 5.1.18 行人行穿線遵守率.....	66
圖 5.1.19 車輛未禮讓行人比率.....	67
圖 5.1.20 車輛未禮讓行人比率 (依車種) .....	67
圖 5.1.21 車輛未禮讓行人比率 (行人號誌) .....	68
圖 5.2.1 後侵占時間分布圖.....	70
圖 5.2.2 後侵占時間分布圖 (行人先通過) .....	71
圖 5.2.3 後侵占時間分布圖 (車輛先通過) .....	71

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

近年來，各地方政府積極推動大眾運輸，希望藉由大眾運輸系統來幫助解決都市壅塞和空氣汙染問題，而大眾運輸的推動也促使道路上行人的數量增加。然而在以往道路設計上，行人往往是最後被考量的，少有空間留給行人使用，甚至被忽略，使得行人只能在不完整的人行道上或車道夾縫中求生存。此外，行人為道路上最弱勢的用路人，不像其他運具使用者有被車體所保護著，因此在發生事故時，行人往往是嚴重度較高的一方。根據警政署統計 103 年~107 年的 A1 類道路交通事故死亡人數總共 8,129 人，而其中行人死亡 1,122 人，佔全部死亡人數 13.80%。並且在行人死亡事故中，有三成行人為第一當事者，而另外七成為非第一當事者，表示在行人死亡事故中，行人有大部分比例為被害者，行人的道路安全迫切需要改善。

在所有交通環境中，交叉路口具有複雜的組成環境，各方向車流的匯集與頻繁的號誌變換使路口容易產生交通衝突，造成高比例的交通事故。且行人穿越時，同時允許車輛進行轉彎，雖然行人在行人穿越道上有優先通行的權利，然而常發生車輛未禮讓行人搶先通過的情形，或是行人未依行人號誌時相進行穿越，導致嚴重衝突的發生。路口頻繁的發生人車交織，除了靠用路人自身遵循法規外，更應該設立導引或是實體保護措施，幫助提升駕駛人可以自然地注意到行人，並增加其禮讓的意願，或是幫助行人更容易進行穿越，或是在穿越途中提供良好的保護。

在評估設施能給予的安全效果上，通常以事故件數作為重點指標，探討其設立前後或是比較設施的有無是否顯著影響事故件數，再根據其結果斷定是否能夠對用路人安全帶來正面影響。然而，事故發生在時間上以及空間上是相當分散的，需要花費相當的時間與資源才可蒐集完整資料，交通環境亦可能在觀察期間有所改變，使得分析結果不準確，且行人事故資料蒐集較車輛事故更加的困難。因此，欲在短時間內進行安全的評估，必須使用各種替代指標來取代事故件數，像是 Hyden 於 1987 年提出的交通衝突技術，以交通衝突作為指標，或是亦有許多行人與車輛的行為指標被提出，像是車輛的閃避行為 (Tageldin et al., 2015)。替代指標相較於事故資料取得容易，並且可以在事故發生前就設立安全措施提升安全，避免事故的發生。

國外已有許多國家建立良好的人行環境，設立了各種安全設施改善行人步行安全，並有相關的安全效果評估研究，其經驗能夠作為我國建置人本環境的範本。然而歐洲或美洲交通環境與台灣相差甚遠，台灣及周邊東亞國家都具有高度的混合車流，機車數量佔總體運具比例甚高，且因機車的體積小、機動性高，其駕駛行為與一般小客車有所差異，其面臨到相同的人行設施可能會有不同的反應，像是轉彎半徑的不同、或是車速的差異，目前既有之研究較無提及安全設施對機車之影響。因此在探討安全設施的影響時，車種不同（尤其機車）的影響應納入考量。

## 1.2 研究目的

為促進人本環境的建立，需要針對各項新設立的安全措施可能造成的影響進行評估，並確立其能帶來的正負面效果。雖然人行設施主要幫助提升行人安全，將會對行人的行為造成改變，但對其他用路人亦可能造成影響，故本論文的研究目的為以下三點：

1. 建立評估設施安全和影響行為之通用性架構，並以路口庇護島為案例。
2. 探討庇護島對路口左轉車輛與穿越行人的影響，探討其正面與負面效果。
3. 針對車種和行人號誌時段上差異，檢視對庇護島安全效果是否造成不同的影響。

## 1.3 研究範圍

本研究欲建立通用性之設施安全評估架構，並以路口庇護島為例，根據探討的改善設施，本研究的研究範圍為號誌化路口進行左轉之車輛與行人穿越路口時造成的衝突，如圖 1.3.1，車輛由東往南進行左轉，可能遇到由東向西或是西向東穿越之行人，研究重點為紅色方框區域，為車輛與行人可能發生碰撞之衝突區，將會觀察車輛進入此區域進行轉彎的過程，以及行人進行穿越的動作，觀察不同用路人的軌跡以及速度，建立各項指標，探討兩用路人互動的行為。此外，本研究討論的衝突為左轉衝突，因探討之改善措施庇護島主要影響左轉車輛的行進軌跡，對於右轉車則不會影響，因此本研究重點為行人與車輛左轉之衝突。

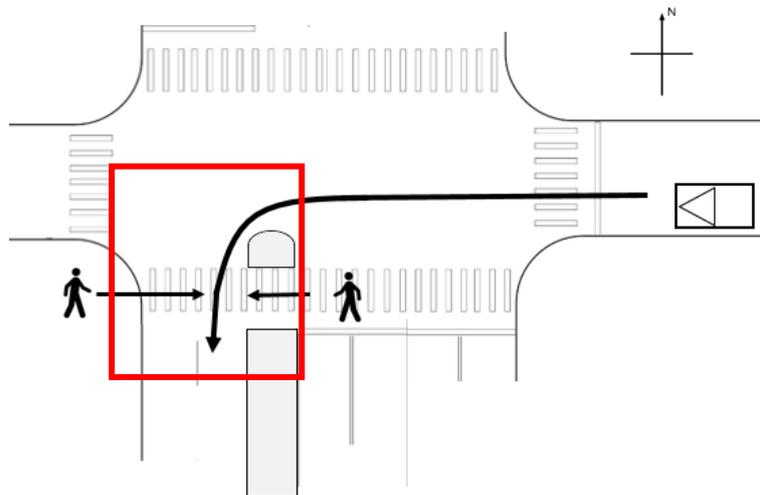


圖 1.3.1 研究範圍示意圖

## 1.4 研究流程

研究流程如圖 1.4.1，首先確立研究主題與範圍並進行文獻回顧，文獻回顧包含三大重點，首先回顧人行設施之相關設計準則與其安全效果，除了整體的穿越設計準則外，本研究將針對庇護島之安全效果進行分析，故針對庇護島之設計準則與安全效果進行回顧，了解該設施之設計功能與其可能造成之影響，以建立後續評估指標之用。第二部分為回顧相關安全替代相關指標，找尋可能取代事故之指標，而最後回顧可行的資料蒐集方式，用以後續分析的資料可行的蒐集方式之參考。

文獻回顧後區分為兩部分進行，一是資料的蒐集，需要蒐集用路人的行為相關資料，本研究採用攝影機拍攝的方式蒐集，影像的拍攝完成後，將影像處理並輸出成可使用之軌跡資料，再進一步生成最後可分析資料；而另外一部分建立研究架構，並建立評估安全效果之方法，根據庇護島可能帶來的安全效果，建立量化指標，指標中包含行為指標與安全指標兩個部分。而後使用影響拍攝轉換後所取得的軌跡資料進行各項指標計算，並以統計檢定比較有無庇護島在指標上的顯著差異存在與否。指標的計算完成後，以羅吉斯迴歸模型探討行為指標與安全指標間之關聯，建立用路人行為變化與安全的關聯。最後根據本研究結果，提出設施的改善建議。

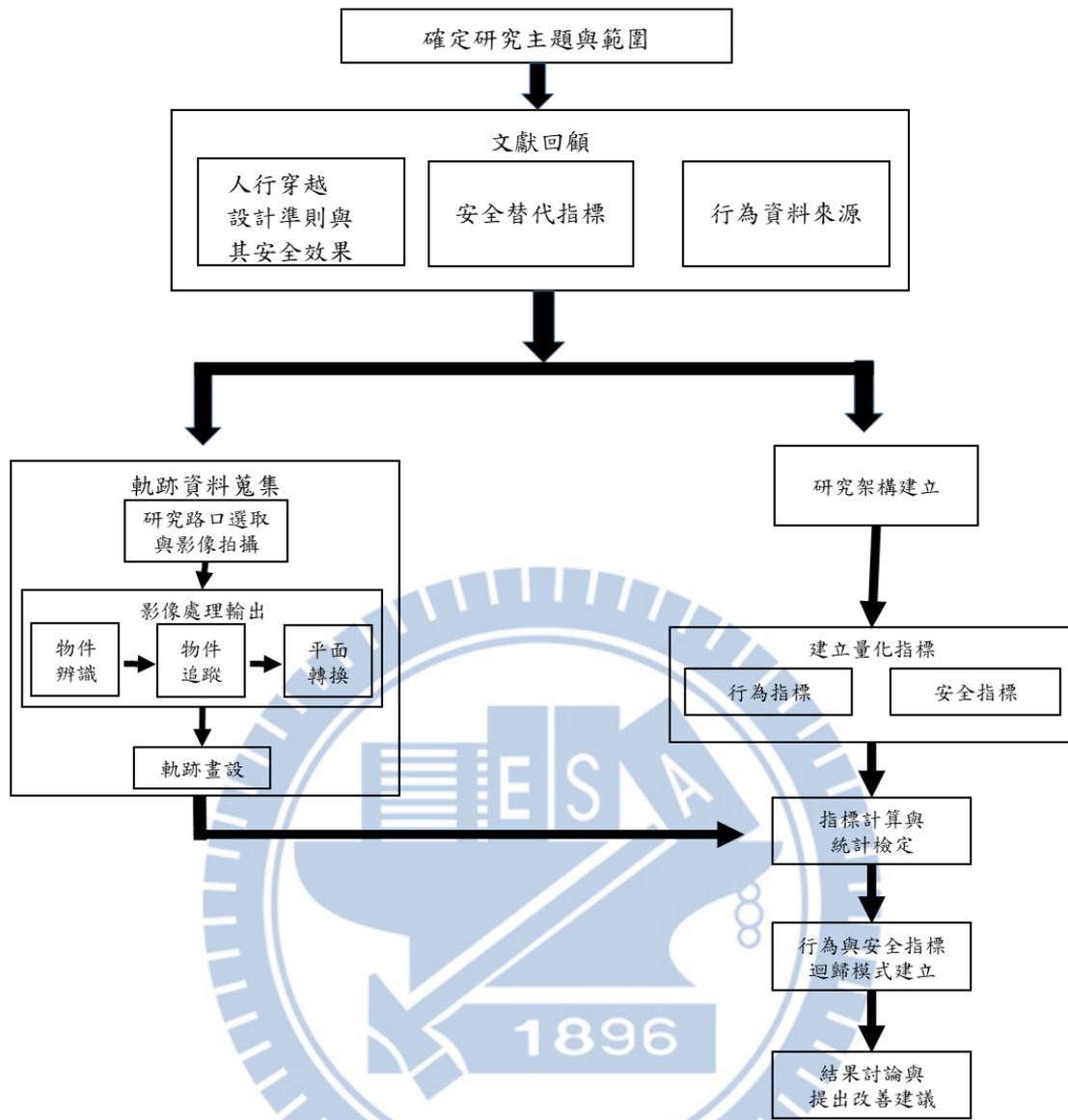


圖 1.4.1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

本章第一節為路口行人設施設計準則與其安全效果，檢視國內外對於行人設施的設計與安全效果相關研究，行人設施主要以庇護島為回顧重點。第二節回顧安全替代指標（Surrogate Measures of Safety），包含人車衝突指標和行人與車輛之行為指標。而第三節介紹行為資料蒐集，檢視後續需要用路人行為資料之可行辦法，最後一節綜整回顧的文獻，檢視現有研究結論與問題。

### 2.1 人行穿越設施設計準則與安全效果

本研究目的欲評估人行設施之安全效果，首先回顧欲探討人行設施之相關準則，主要針對庇護島。首先 2.1.1 小節回顧國外的人行相關設計手冊，統整國外路口人行穿越設施之設計理念與原則與庇護島的相關設計準則。2.1.2 回顧本國的相關設計手冊與法律設計規範。最後 2.1.3 小節則整理過往庇護島之評估方式與其安全效果。

#### 2.1.1 國外路口人行設施設計準則

本小節介紹國外行人穿越設施設計準則與規範，其中包含美國、英國和瑞典三個國家，以下分別介紹：

##### (一) 美國

2010 年於運輸工程研究所(ITE)發行設計合適步行空間的主要道路(Design Walkable Urban Thoroughfares: A Context Sensitive Approach) 手冊，其中收錄整體人行環境設計之相關理念與規範，首先介紹行人穿越設施設計準則，再針對庇護島的設計與規範進行說明。

##### 1. 行人穿越設施準則

設計行人穿越設施時，需要考量眾多元素，其中包含：路段中行穿線、右轉槽化、緣石延伸、路緣轉角、圓環、行人庇護島。各項設施需提供行人在行進時有個正確指引的方向，此外，考量行人與駕駛的視距範圍，其停止線不能緊臨路緣，避免駕駛於路口才能留意兩側行人，因此將行人穿越道稍微內縮，並搭配無障礙人行道斜坡一併設計，如圖 2.1.1 所示。

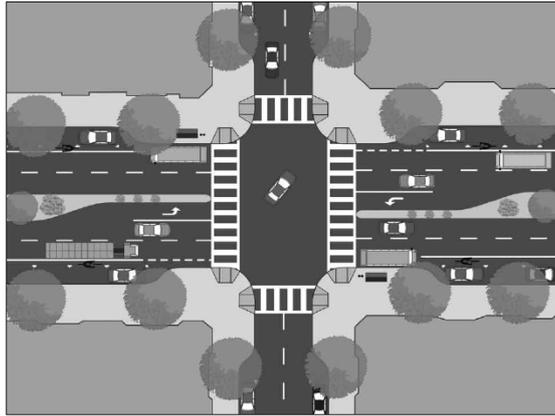


圖 2.1.1 美國路口行人穿越設施設計

資料來源：Design Walkable Urban Thoroughfares: A Context Sensitive Approach

## 2. 庇護島設計準則

在設置庇護島時，需同時考量以下設計元素：車道寬、右轉槽化、圓環、中央分隔帶、路段中行穿線、緣石延伸。除上述元素外，庇護島在速限 $\geq 35\text{mph}$ 或 AADT  $\geq 9,000$  以上的地點，建議設置庇護島，並可於以下條件下進行設置：

- (1) 4 車道以上、人行穿越道長度超過 60 英尺，或是特殊的環境（例如：學校附近），為保護行人和自行車
- (2) 年長者、幼童或行動不便民眾需求高的路段中行穿線可加裝號誌。
- (3) 原則為 6\*20 英尺，有專用步道區可加寬至 8 英尺以上。
- (4) 設施設計須考量行動不便的行人，庇護島至少 4 英尺寬（通常偏好 8 英尺寬），提供足夠空間容納穿越路口的行人，當庇護島寬度 6 英尺以上時，其所對應的 cut-through 須包含警示標誌。
- (5) 庇護島設置需搭配街燈、標誌、反光材質、坡道、保護警示、聲音警示，確保駕駛人能察覺。庇護島的設置位置也需將行人引導至正確的地方，使行人在庇護島上能清楚查看來向車流。

### (二) 瑞典

瑞典的運輸法規 TSFS 2010:171 中，規範人行相關設施的設計準則，以下就瑞典的設計準則進行介紹。

### 1. 穿越設施設計準則

根據瑞典運輸法規 TSFS 2010:171 規定，行人穿越道條紋寬度與間隔各為 0.5 公尺，速限 60km/hr 時行人穿越道劃設寬度至少為 2.5 公尺，倘若與自行車共同穿越，其寬度至少為 2 公尺。

瑞典哥特堡城市規定，次級城市中行人穿越道設計抬升並且保護措施以因應車流，而在低密度住宅區，行人穿越設施沒有特別要求。

### 2. 庇護島設置準則

在速限 50km/h 街道，且車道數眾多處，需有行人穿越設施，最少須有 2 公尺寬之庇護島。

## (三) 英國

### 1. 穿越設施設計準則

英國行人穿越設計手冊中，當平均四個高峰小時超過 600 名行人，每多 125 名行人必須增加額外 0.5 公尺，從各穿越方式最小寬度累積相加，至到最大法定最大寬度 10 公尺，根據不同地點及使用者提及 5 種不同穿越方式，包含斑馬穿越 (Zebra)、鵜鶘穿越 (Pelican)、海鸚穿越 (Puffin)、巨嘴鳥穿越 (Toucan)、飛馬穿越 (Pegasus Crossings)。

### 2. 庇護島設計準則

英國街道指導手冊提及庇護島原則共有以下 6 項，其中包含寬道、地點、附屬設施以及其他需要考量之條件因素，以下進行說明。

- (1) 最小寬度為 1.2 公尺，但是必須提供足夠的寬度給行人站立。
- (2) 鄰近學校有大量孩童或是父母推嬰兒車環境建議設置，需視情況調整。
- (3) 若庇護島不在車道直線上，庇護島兩側的寬度可能需要更大。
- (4) 若庇護島不能位於有明確畫線的地方，則應考慮護欄等措施。
- (5) 庇護島附近停放的車輛會減少可視性或阻礙車輛流動，若庇護島靠近公共汽車站，也應小心留意。
- (6) 停等車輛可能阻擋進入庇護島的通道，導致行人選擇穿越或遠

離庇護島，因此庇護島的選定很重要，尤其對於殘疾行人來說。

若為無號誌行人穿越庇護島，建議最小中央庇護島寬度為 2 公尺，（絕對不可小於 1.5 公尺）；若為號誌行人穿越庇護島，則建議的寬度為 3 m（不可小於 2 m）。

### 2.1.2 國內人行設施設計準則與庇護島規範

我國之人行設施相關設計規範與準則，主要收錄在「道路交通標誌標線號誌設置規則」、「交通工程規範」、「市區道路及附屬工程設計標準」、「市區道路及附屬工程設計規範」和《都市人本交通規劃設計手冊（第二版）》。

#### 1. 穿越設施設計準則

《都市人本交通規劃設計手冊（第二版）》8.3 節中，提及道路交叉口整合的設計準則，規劃原則需考量行人、自行車、機車、小汽車與大型車之行進動線，並包含下列八點原則：

- (1) 調整多叉路口及斜交路口的幾何線形，儘量調整為四叉正交路口。
- (2) 行人依最短穿越路徑迅速通過路口，行人穿越道宜與道路正交。
- (3) 行人通行時間應儘量增長，並縮短號誌週期，避免行人不耐心候而違規穿越。建議宜檢算行人穿越時間，並與交通號誌配合縮減週期，若無法檢算時，建議輔以縮減路口人行道轉角半徑、加大路口人行道面積、增加庇護島、增加行人通過時間等有利行人通行便利之設計。
- (4) 分離行人、自行車與待轉機車動線，路口宜預留自行車道及機車待轉區的空間。
- (5) 四車道以上道路中央宜設置庇護島，庇護島寬度宜大於 1.5 公尺。
- (6) 路口轉角人行道空間應儘量加大，提供行人及自行車較寬裕的停等空間，如人行空間較小時，可採縮減路口人行道轉角半徑、加大人行道空間因應。
- (7) 減少設置轉向彎道。
- (8) 避免行人與轉向車輛間之衝突，號誌需儘量設置行人專用時相。

## 2. 庇護島設計準則

在「交通工程規範」提及交通島的設立目的為道路上之特定區域，用以分隔車流及導引行進方向，提供庇護及管制功能，提升交通效率及交通安全。交通島的種類可以分為分隔島、槽化島、庇護島及圓環中心島等類型。其設置原則符合下列條件之一，得設置交通島：

- 1、縮小衝突範圍或減少衝突點。
- 2、分散可能之衝突點。
- 3、分隔路段上車流。
- 4、使橫交車流為 90° 或近於 90° 相交。
- 5、使車流以小角度匯入。
- 6、減緩車輛速率。
- 7、供車輛及行人暫時停留以等候穿越或轉向。
- 8、防止錯誤轉向。
- 9、提供裝設交通管制或安全設施之空間。

庇護島供行人、自行車、穿越車輛或左轉車輛臨時暫停庇護之用以等候穿越或轉向，分隔島及槽化島若作成屏障式則均可作為庇護島。於交叉路口設置行人庇護島供自行車或行人暫時停留以便穿越，如考量無障礙通行之需求，其寬度應至少 1.8 公尺，如設置車阻，車阻間距亦至少 1.8 公尺寬，如 2.1.2 所示。

營建署《都市人本交通規劃設計手冊（第二版）》提及庇護島應用方式與建置原則，行穿線庇護島提供行人在穿越距離較長之車道時，有安全的停等區域，可減少一次須通過之距離以降低行人風險。

行人穿越道長度 15 公尺以上者，宜設至庇護島；25 公尺以上者，建議應設置庇護島。行人庇護島寬度至少 1.2 公尺、宜大於 1.5 公尺，建議可採用寬 1.8 公尺、長 3 公尺或同行人穿越道寬度為佳，以舒適的容納行人、自行車、帶嬰兒推車或使用輔助行動裝置的人使用。庇護島中央停等區宜設置 5 公分以下高差、兩側並以 1:5 斜角處理，或設置警示磚，讓視障者得以判斷是否停留在安全區域內。

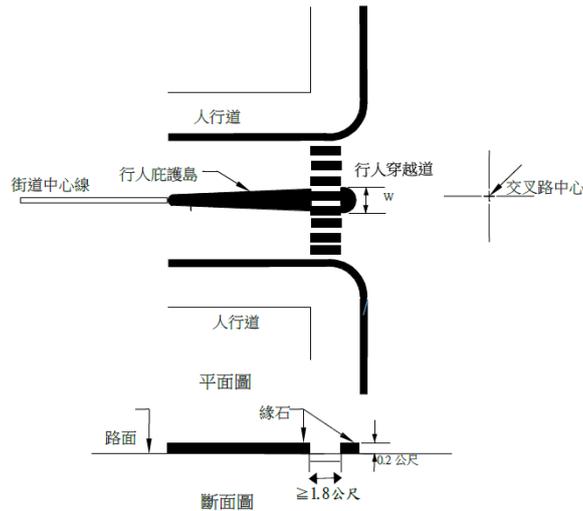


圖 2.1.2 行人庇護島示意圖

資料來源：交通工程規範（註：w宜大於1.5公尺）



圖 2.1.3 行穿線庇護島設置案例

資料來源：都市人本交通規劃設計手冊（第二版）

人本手冊中另有提及目前國內較少之 Z 字形庇護島設計（如圖 2.1.4），Z 字型行人兩段式穿越建議於路口空間充足、路段中、大型斜交路口或主要幹道與次要幹道交叉路口設置，但不建議於有快慢分隔之交叉口設置。並建議於庇護島邊界處設置欄杆，以規範行人行走之方向及空間，其中欄杆與庇護島邊界距離建議 0.3~0.5 公尺。兩區段行人穿越道建議至少分隔 3 公尺，行人庇護島之有效寬度建議至少 2 公尺，庇護島左右側之緩衝空間建議至多 2 公尺，庇護島長度以能容納停等之行人為原則，行人專用號誌燈頭則建議設置於行人穿越道外側。

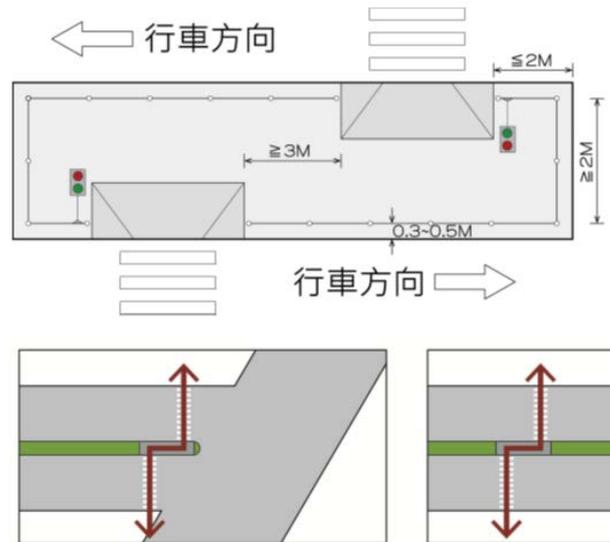


圖 2.1.4 路口 Z 字型型人兩段式穿越設計範例

資料來源：都市人本交通規劃設計手冊（第二版）

### 2.1.3 庇護島之評估方式與其安全效果

Retting 等人 (2003) 將行人或車輛之道路幾何設施帶來的安全效果分成三個大類：一、車速管理，幫助控制車輛行駛速度之工程設計；二、人車分離，將行人與車輛隔開的措施，又區分成時間上的分隔和空間上的分隔兩種型態；三、提高行人的可見度，幫助駕駛更容易注意到行人，以及時做出正確的反應。而庇護島之相關研究已證實可帶來車速管理和人車分離，本節介紹過往評估庇護島效果之研究。

Kamyab 等人 (2003) 研究在鄉村兩線的公路上安裝可拆卸庇護島 (removable pedestrian island) 的影響，利用事前事後的車輛速度資料來評估庇護島的短期和長期的影響。結果發現不論在短期 (兩周) 或長期 (六周)，平均速度會有顯著的下降，且速限遵守的意願也會上升。

	Observed Traffic	Mean Speed (mi/h)	t-statistic	Significant (95%)	Speed Compliance %	t-statistic	Significant (95%)
<b>Passenger Cars</b>							
Before	1152	34.8	--	--	31	--	--
After-1	1067	29.5	13.49	Yes	58	-12.80	Yes
After-2	1331	30.7	11.05	Yes	51	-10.01	Yes
<b>Nonpassenger Cars</b>							
Before	71	37.4	--	--	24	--	--
After-1	46	28.8	4.11	Yes	65	-4.42	Yes
After-2	60	29.5	4.01	Yes	57	-3.84	Yes
<b>All vehicles</b>							
Before	1237	35	--	--	30	--	--
After-1	1113	29.5	14.20	Yes	58	-13.68	Yes
After-2	1392	30.6	11.02	Yes	51	-10.85	Yes

圖 2.1.5 庇護島裝設前後速度差異

資料來源：Kamyab et al. (2003)

Pulugurtha 等人 (2012) 研究觀察拉斯維加斯的八個地點，利用事前事後分析與，在裝設庇護島或 Z 字型庇護島的影響。在庇護島部分，顯著上升的有：行人穿越前先觀察路口車輛的比例、駕駛禮讓行人的比例和駕駛禮讓行人的距離。在 Z 字型庇護島部分，會顯著增加行人使用的比例、駕駛禮讓行人的比例和駕駛禮讓行人的距離。

Hengel (2013) 研究聖塔芭芭拉 200 地點的路緣延伸、行人庇護島，利用 ANOVA 比較庇護島和路緣延伸改善前後行人的穿越等待時間、車輛禮讓比例和車輛禮讓距離。在路緣延伸和行人庇護島裝設後，穿越等待時間有顯著的下降(平均 4.9 秒)。在車輛禮讓部分，靠近的車道沒有顯著增加，而較遠的車道會有顯著增加 (61.5%-->82%)。車輛禮讓距離結果呈現顯著上升。作者認為設施的組合搭配，可以幫助減少穿越等待時間、禮讓前的車輛通過數，並增加車輛的禮讓距離。

Li and Fernie (2010) 於加拿大多倫多市區八線道路口，利用攝影機拍攝觀察行人面臨不同天氣狀況時，穿越行為是否改變，惡劣的天氣是否讓行人選擇違規穿越。結果顯示，行人在惡劣的天氣環境下(寒冷或下雪)，穿越有設立庇護之路口行人的遵守率會顯著降低，且步行速度較快。

Cao 等人 (2016) 研究中國上海四處號誌化路口的庇護島，以影像觀察和街訪兩種方式，調查行人的感知與行為，並以隨機效果次序邏輯斯模型和二元邏輯斯模型來對行人的感知與違規穿越行為建模。研究結果顯示，設立庇護島可以提供行人更好的安全感知，但越寬的庇護島促使行人越容易於紅燈時從路緣穿越至庇護島，也同時讓更多的行人於庇護島等待，而不是違規從庇護島穿越至路緣。作者建議庇護島以往皆只考量設計的下限，應須注意增加寬度可能造成行人違規

的情況增長。

## 2.2 安全替代指標 (Surrogate Measures of Safety)

傳統的交通安全分析通常使用事故件數作為研究重點，雖然較為直觀，但可能產生以下三點問題：

- (一) 事故觀察的時間需要 1~5 年，然而要蒐集長時間的資料，可能在蒐集期間道路環境或旅運行為已經改變，導致分析結果不準確。
- (二) 事故本身在時間以及空間上的高度分散，導致統計分析的困難。
- (三) 事故資料較缺少嚴重度較低的事件，駕駛常以私下和解的方式處理，並未通知警方，導致事故未被記錄。

因此在短期的時間內欲使用事故資料作為分析指標評估安全較為困難且容易產生誤判，並且，上述提到的三點原因對於行人涉入的事故其問題更加嚴重。目前政府的路口改善原則是易肇事路口進行優先改善，然而給予行人的安全環境提升不可能等到事故發生後才開始進行。

故近年來，許多研究改以替代指標作為分析工具，替代指標的使用在醫學領域上相當常見，例如疾病的檢測，會從病人的各項身體機能指標，如血壓、尿蛋白等，等來判定病人是否有腎臟病，因無法直接觀察得知，所以採用各項指標數值，來判定病情。替代指標應用在交通安全亦相同，因上述提到事故資料的蒐集不易且耗時，我們可以蒐集用路人的各項行為資料，作為安全替代指標，Tarko et al. (2009) 提出替代指標與安全的關係如圖 2.2.1，水平的箭頭表示事故頻率和嚴重度與安全替代指標的因果關係，而左邊垂直的箭頭則是影響替代指標的因素，右邊箭頭則表示與替代指標無關的而與事故相關的外部因素，這些外部因素越少越弱，替代指標的代表性就越強。要探討改善措施的效果，可以藉由觀察改善措施對替代指標因素的影響所造成的替代指標變化，藉以評估其對安全的影響。

常見的安全替代指標包含交通衝突 (traffic conflict)，或是與用路人相關的行為指標，如車輛的速度變化、行人的步行速度等。以下小節分別介紹交通衝突與各用路人行為相關指標。

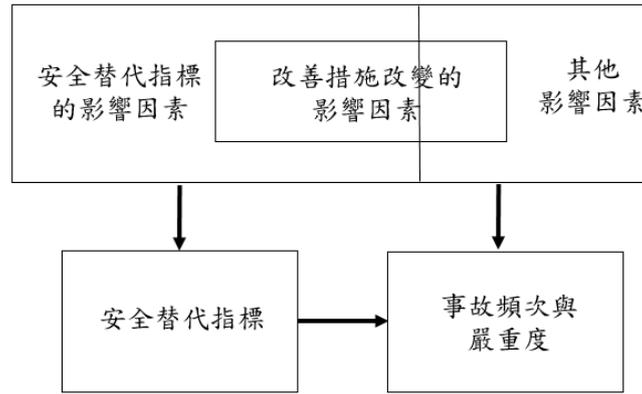


圖 2.2.1 安全替代指標與安全之關聯

資料來源：Tarko et al. (2009)

### 2.2.1 交通衝突指標

最早的交通衝突概念由 Perkins and Harris (1968) 提出，當有做出閃避行為的情況下，該事件即為衝突事件。而後續 Amundsen and Hyden (1977) 又有更明確的解釋，定義衝突為「兩個或兩個以上用路人，在速度和方向維持不變的情況下，將會產生碰撞」。

此種使用交通衝突作為指標的研究方法稱為交通衝突技術 (traffic conflict techniques, TCT)。此種方法是由 Hyden (1987) 所提出，想法是建立於作者提出的道路事件安全階層圖，如圖 2.2.2，道路事件的數量與事件嚴重度等級是呈現金字塔型，嚴重度等級愈低的事件數量愈多，而事故位於金字塔頂端。而在事故中，根據嚴重度不同，最高嚴重度的死亡數量最低，最低嚴重度的財損事件數量最多。目前已經有研究證明事故與交通衝突間存在著上述關聯 (Lord, 1996; Guo et al., 2010; Peesapati et al., 2013)，顯示出以衝突代替事故的可行性。

交通衝突技術是以「衝突」代替「事故」，衝突發生頻率較高，且較事故容易觀察，傳統使用事故分析須等到傷亡發生後才能改善，為「被動式」的方法，然而使用衝突則可以找出潛在的事故，在事故發生前就加以改善，為「主動式」的方法。交通衝突技術早期的研究方法是調查員在路口觀察，或者先錄製影片後，再以離線觀看影片的方式計算衝突，雖然在事前訓練調查員或事後評估各個調查員一致性上下足功夫，然而在各調查員的主觀判定上仍然存在著誤差，使得各個研究間相互比較的困難。近年來，隨著電腦分析技術的進步，可藉由電腦幫助自動辨識影像中的物件，客觀的判斷衝突的發生，以及輸出更精確的分析結果，解

決以往各個研究間，因調查員不同而造成的結果誤差 (Ismail et al., 2009)，亦減少了大量的研究時間，提高研究的效率。

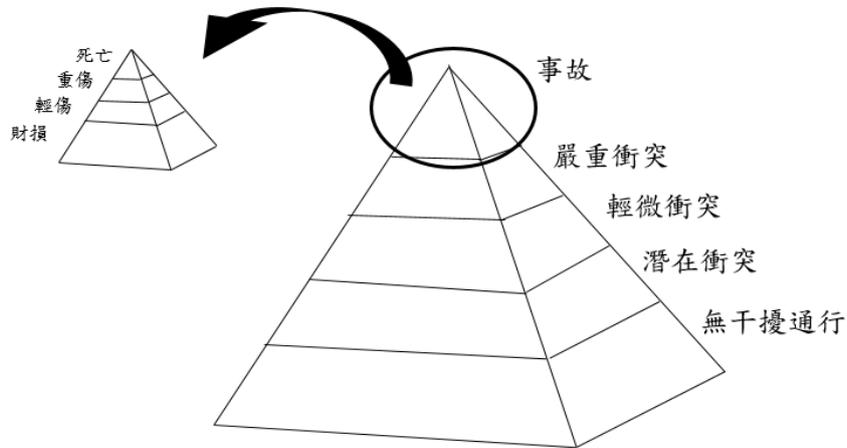


圖 2.2.2 道路事件安全階層圖

資料來源：Hyden (1987)

各研究根據不同用路人特性與衝突型態，使用不同的衝突相關指標來衡量，Johnsson et al. (2018) 整理了弱勢用路人常用的指標，最常見的為即將碰撞時間 (TTC) 與後侵占時間 (PET) 兩者，反應用路人在時間或是空間上的接近程度。除了即將碰撞時間與後侵占時間外，亦有其他衝突指標被使用，然而皆為即將碰撞時間與後侵占時間概念之延伸，故以下整合成兩部分進行介紹。以下介紹過往研究上使用於路口人車衝突之指標：

#### (一) 即將碰撞時間 (Time To Collision, TTC)

由 Hayward (1968) 提出，定義為兩用路人在維持原本的路徑與速度上，到達碰撞點所需的時間。每個時間點的即將碰撞時間不同，一個事件會記錄該指標的最小值，表示該事件中最危急的情況。須注意能計算出即將碰撞時間的前提為兩用路人的預測軌跡必定交會，亦即會發生碰撞的前提下才能求出。過往的研究將門檻值定於小於 1.5 秒的情況 (El-Basyouny and Sayed, 2013; Sacchi and Sayed, 2013)，表示即將碰撞時間小於 1.5 秒的事件才會被作為衝突事件討論。

然而，在行人與機動車輛的衝突中，同時佔據軌跡交會點的情況甚少，因此有相對即將碰撞時間 (Relative Time To Collision, RTTC) 的產生。Chen et al. (2017) 指出 RTTC 與 TTC 概念相似，定義為在兩個用路人保持速度

的情況下，第一個抵達潛在衝突點的用路人與第二個抵達衝突點的用路人間的時間差，在 RTTC 為零時才能檢測到 TTC。RTTC 為連續型，與 TTC 相同，也是紀錄事件中所得秒數最低的作為參考。

## (二) 後侵占時間 (Post Encroachment Time, PET)

後侵占時間定義為兩用路人中，先行抵達衝突區的一方離開衝突區的時間，與另一方抵達衝突區的時間差，時間差越小，代表兩用路人的發生碰撞的機會越高。此指標常被使用在交叉路口的安全評估上，只要存在著軌跡相交的條件下，就會可以產生，相較於 TTC 也較易取得。然而在整個衝突事件中，任何時間點的後侵占時間皆相同，無法顯示隨時間變化危險程度的改變。此外，指標因只考量了兩物體的時間差，若在兩物體為低速度的情況，指標對碰撞的發生機率就會產生誤判，因此，使用後侵占時間常搭配其他的指標一同使用 (Alhajyaseen et al., 2012; Ni et al., 2106)。根據 Ni et al. (2016) 的實證研究，僅有 PET 小於 3 秒的事件才會被納入模型評估。

另外與 PET 概念相似的指標，間隙時間 (Gap Time, GT)，根據 Archer (2005)，定義為在兩用路人維持當前的速度與方向的條件下，前者離開衝突區域與後者抵達衝突區的時間差。間隙時間不同於後侵占時間是為連續型指標，在每一時間點皆可計算出間隙時間，以事件中最小值為代表。

Zhang et al. (2012) 提出衝突時間差 (Time Difference To Collision, TDTC)，與間隙時間類似，定義為維持該時刻的速度與方向條件下，行人抵達衝突點的時間和車輛抵達衝突點的時間差。衝突時間差為負值表示行人先抵達衝突點，而正值表示車輛先行抵達衝突點，愈接近零的情況表示愈危險。相較於間隙時間，可以從衝突時間差的正負號來得知事件中行人先抵達衝突區域還是車輛先抵達衝突區。在 Zhang (2012) 的研究中，行人先抵達衝突區 (TDTC<0) 的情況下，衝突時間差較為接近零，表示行人先抵達衝突較為危險，作者認為行人先抵達衝突區的情境下，車輛需判斷是否禮讓行人，需要較多的煞車行為，產生較危險的衝突。

除了上述的人車衝突指標外，在國內研究中，同樣有使用人車衝突進行安全評估，但其定義不同於上述指標，以下進行說明：

許添本、李明聰 (2002) 以人車衝突評估風險模式評估地區性道路之交通安全，其衝突由曝光量指標與嚴重度指標兩者的乘積計算而成。其中曝光量指標根

據與車輛互動型態不同分成「並行」與「穿越」曝光量兩種，並行曝光量為步行於路段的時間內，期望出現的車輛數；而穿越曝光量為行人穿越路口的時間內，期望左右兩方向出現的車輛數。嚴重度指標為事故發生時能量傳遞的大小，造成行人在事故中的傷亡程度，利用「車輛本身質量」與「車輛碰撞時行駛速率平方」兩者乘積建立嚴重程度指標。最後將並行曝光量與穿越曝光量分別與嚴重度指標相乘，分別得到並行人車衝突風險指標與穿越人車衝突風險指標。

蘇少奕（2002）以人車衝突評估巷道的服務水準，研究不同運具與行人於巷道內之時間佔有率、空間佔有率及時空佔有率三項指標，根據不同運具跟行人互動的型態不同建立衝突權數（cwn），探討三項指標與衝突權數的關聯性，用以劃分巷道之服務水準。

翁燕芬（2003）符人懿（2011）皆引用林良泰、朱純孝（1996）建立的單車道期望交叉衝突輛模式作為人車期望衝突模式，數學式如下：

$$E(TC) = \frac{(N+X)!}{(X-1)!(N+1)!} \times \frac{(0+N)(N+1)}{2} \times \frac{X!N!}{(N+X)!} = \frac{NX}{2}$$

N：被交叉的流動行人數

X：欲交叉的流動車輛數

K：車流路口交叉衝突量

TC：總車流交叉衝突量

### 2.2.2 用路人行為相關指標

除了衝突指標外，有部分研究使用車輛或是行人的行為作為安全替代指標，以下分別整理研究路口的車輛與行人安全時，所用到之行為指標：

#### （一）車輛

車輛的行為主要探討車輛的軌跡變化，研究車輛的動力學與運動學，大部分研究探討車輛的速度與加速度變化，或是探討其軌跡的變化，建立車輛轉彎軌跡或是駕駛轉彎間隙選擇意願之模式，用以探討安全。

1. 減速至安全時間（Deceleration To Safety Time, DST）：Hupfer（1997）指出 DST 為第二個用路人抵達衝突區的時間不超過的第一位用路人離開衝突區的時間所需的減速度。減速度常用來代表事故發生時的嚴

重程度。

## 2. 閃避行為指標 (evasive action-based indicators) :

Tageldin et al. (2015) 研究中國的混合車流環境中，是否仍然適合使用上述提到的與時間相關之衝突指標，另外也提出機車騎乘行為的閃避指標作為替代指標。作者認為在中國混合車流環境中，因用路人之間的距離相當接近，使用即將碰撞時間或後侵占時間等與時間或空間上接近程度有關的指標，作為事故的發生頻率或嚴重度會不適合，因會有過多的事件被判定為危險事件，難以找出真正的潛在危險。故作者提出使用機車的減速度、減速度的導函數 (Jerk profile) 和轉向角 (Yaw rate) 三者作為替代指標。並兩位專家對事件的嚴重度判斷為標準，比較即將碰撞時間和閃避行為指標的輸出結果與專家標準的相關性。結果顯示，閃避行為指標有較高的關聯，認為閃避行為指標在中國車流環境中較適用。

## 3. 車輛轉彎可接受間距 (Gap acceptance)

在號誌路口行人穿越時，與前後行人隨時會有間隙，當行人間距達到一定程度時，駕駛會接受此間距並進行轉彎的動作，Alhajyaseen et al. (2013) 於日本建立駕駛左轉 (等同台灣右轉) 可接受間距模式，探討行人行向與車輛可接受間距之關聯。結果顯示，於近側進入路口穿越之行人，相較於從近側穿越，會有較小的駕駛可接受間距。並且當駕駛接受只有單邊行人的間距後，會以較高的速度離開路口。

### (二) 行人

行人因隨時處在一個較為低速的運動，相較於車輛隨著時間有極高的變化可能，使得預測行人軌跡較為困難。行人的行為指標主要探討步行速度、步態和穿越選擇等，以下介紹。

## 1. 行走速度與步態 (行人閃避行為)

Tageldin and Sayed (2016) 提出以行人的閃避行為作為指標，如行走的頻率變化、行走的步長變化、步行的速度變化等十一項指標，並測試閃避指標與專家判定的事件嚴重度做相關性分析。結果顯示相較於即將碰撞時間與後侵占時間，行人步行的頻率變化在中國的車流環境下有較高的相關性。然作者在研究中指出，兩用路人的衝突事件中，不一定只有一方會有閃避行為的產生，因此衝突事件中兩方的閃避行為

皆應納入考量。此外，在碰撞產生的情況下，可能不存在著任何閃避行為，如晚上昏暗的情況下，兩用路人皆無注意到彼此，而發生碰撞。因此，作者認為閃避行為可以搭配即將碰撞時間或後侵占時間等相關指標，以彌補此缺陷。

## 2. 行人穿越選擇

號誌化路口雖有行人號誌規範行人可穿越時間，然而以不時發生違規穿越行為，可能為系統造成之因素或是個人之行為。Gang Ren 等人 (2011) 隨機挑選中國三個城市的 26 個號誌路口蒐集影像資料，並且調查 598 個有使用調查路口行穿線的行人。遵守交通規則的比例為 62.8%，並分性別、年齡（影像估計）和穿越的人數討論（計算 Odds ratio）。結果顯示，女性和中年個體（18~39, 40~59）比較會違規穿越。相較成對和獨自穿越，成群穿越的行人較不會注意號誌，有交通警察的存在會提升遵守率。作者亦探討了穿越距離和時相規劃對於行人穿越選擇的影響。

### 2.3 用路人行為資料來源

根據 2.2 節的回顧，安全代理指標的計算主要來源為用路人行為，2.3.1 小節首先介紹目前可行的用路人行為蒐集方式，後續將以攝影機進行用路人軌跡資料蒐集與處理，因此 2.3.2 小節介紹使用攝影機進行用路人行為或安全分析之文獻，探討其目前在蒐集與資料的處理，找出各項限制與既有的問題。

#### 2.3.1 用路人行為資料取得方式

Shirazi et al. (2017) 回顧交叉路口研究中，將分析主體分為四個部分，車輛、行人、駕駛和所有用路人，介紹相關研究使用的資料蒐集方式，以及可蒐集到的資料類別，如圖 2.3.1。

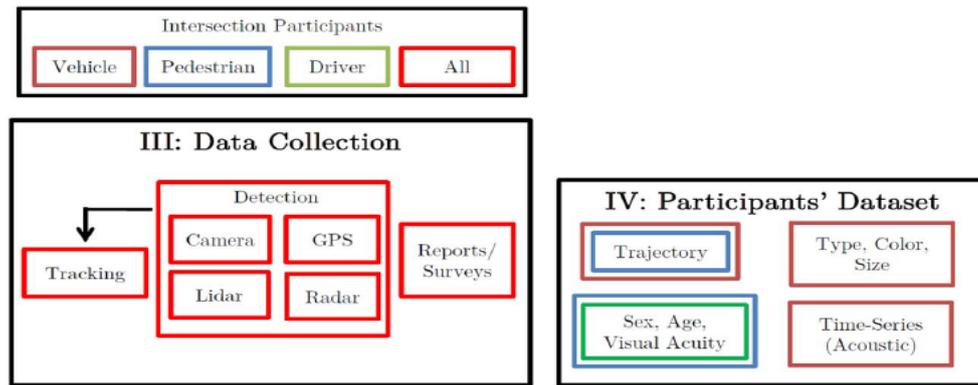


圖 2.3.1 交叉路口資料蒐集

資料來源：Shirazi et al. (2017)

在 Shirazi et al.的回顧中，能夠對用路人進行追蹤並產生軌跡的感測器包括攝影機、衛星定位、光達與雷達，四種不同的感測器分別有其優缺點，圖 2.3.2 整理了這四種感測器的使用特性，以下分別介紹其原理與使用條件：

#### (一) 全球定位系統 (Global Positioning System, GPS)

現今隨著智慧型設備的普及，藉由 GPS 收集車輛的移動軌跡已成趨勢，依靠衛星接收智慧型設備所發出的訊號，產生該設備之位置資訊，全球覆蓋率極高，容易在各道路環境使用，其誤差在 10 m 以下。缺點為會受到都市峽穀效應 (Urban canyon effect) 的影響，在周遭大樓林立的地區訊號會不易接收。此外，並非所有用路人皆有 GPS 設備，因此蒐集資料時對於周遭環境用路人的資料較難得知。

#### (二) 雷達

雷達通常安裝於長桿上，或是直接嵌入車體中，作為車輛駕駛輔助系統，幫助檢測周圍的車輛或是行人。雷達使用微波或無線電波等波長較長的電磁波，偵測物體所反射回來的訊號，來得到與物體的相對距離。雖然雷達能夠適應不同的天氣和光照條件，但能偵測的範圍較窄。

#### (三) 光學雷達 (Light detection and ranging, Lidar)

光學雷達又簡稱光達，其原理與傳統雷達相似，其訊號發射改為雷射光，照射到物體後，物體反射回感測器的訊號來偵測目標物之距離。光達相較於雷達有更精確的偵測數據，並有更廣的視野，但缺點為使用成本較高，需要長時間數據時，調查成本較大。

#### (四) 攝影機 (Camera)

攝影機可以提供較寬廣的資訊範圍，可以搭配人工觀察或是電腦計算機進行辨識追蹤，其原理為周遭光的強度大小不同，透過鏡頭採集光線，並藉由透鏡與感光元件轉換成電子元件進行儲存。攝影機的拍攝相較於其他種類感測器偵測限制較大，極易受天氣好壞之光線變化影響，然其使用成本最為低廉，故大多研究仍使用攝影機。

鑒於本研究後續欲探討之環境為號誌化路口之設施與其對車輛和行人之影響，並考量成本之因素，本研究之資料蒐集使用攝影機作為工具，進行路口拍攝並配合電腦自動化分析，取得可分析之用路人資料。接續回顧亦使用攝影機來蒐集用路人資料進行路口安全研究之文獻。

表 2.3.1 交叉路口資料蒐集

感測器	感知訊號	原始數據	硬體成本	單位	視野
GPS	微波無線電訊號	與衛星距離	低	英哩	廣
Rader	毫米波無線電訊號	距離	中	公尺	窄
Lidar	奈米波雷射訊號	距離	高	公尺	廣
Camera	可見光	光強度	低	像素	廣

資料來源：Shirazi et al. (2017)

#### 2.3.2 以影像分析之路口人車安全研究

以影像蒐集用路人的行為資料相較於其他蒐集工具成本較低，且架設簡易，為較常使用之工具。加上電腦計算的不斷進步，自動化分析幫助大幅提升影像上的效率，透過電腦影像得到的量化數據取代以往人工調查的費時費力。以下回顧以影像分析路口人車安全行為之研究，觀察各研究蒐集影像資料之作法。

Ismail et al. (2009) 首先使用影像自動辨識的方式進行人車軌跡的追蹤，該研究中，自動影像的辨識有三大主要功能：一、可以檢測和追蹤交通場景中的道路使用者並將其分類為行人或是其他機動車輛運具使用者；二、判定可能導致碰撞的重要事件；三、計算四個不同衝突指標。該研究地點為加拿大不列顛哥倫比亞省溫哥華市中心的交叉路口，其攝影機架設在六樓高度，並拍攝 2 天內影像蒐集左轉車輛以及行人的衝突。該研究在嘗試以完全自動化的方式從影像中計算衝

突指標，但須要在車流與人流環境相對簡單的情況下進行，實際拍攝影像如圖 2.3.2。



圖 2.3.2 人車軌跡追蹤

資料來源：Ismail et al. (2009)

Chen et al. (2017) 以衝突指標討論行人與機動車輛間的交織，利用空拍機蒐集北京的路口，分析行人與機動車輛的後侵占時間與相對碰撞時間。研究開發一種用於自動偵測車輛軌跡的圖像處理系統，該系統包含圖像穩定性、車輛偵測和車輛追蹤三個主要子系統。車輛偵測子系統可紀錄車輛進入事先設置好的場域出入口，而車輛追蹤演算法則可紀錄車輛在場域出入口間移動的軌跡，如下圖 2.3.3



圖 2.3.3 車輛偵測與追蹤

資料來源：Chen et al. (2017)

然而行人因為體積較小較難偵測，研究另外開發了一半自動的行人檢測追蹤系統，首先手動設置行人穿越道的位置，在利用線性 SVM 分類器將檢測到的物體分類為行人或非行人，當檢測到行人時，系統會將其座標輸入且追蹤其移動軌跡，如下圖 2.3.4。



圖 2.3.4 行人偵測與追蹤

資料來源：Chen et al. (2017)

再來利用卡爾曼濾波校正兩者之軌跡，其原理為根據先前與當前的狀態估計最小平方差來計算當前狀態向量的最佳位置座標。而兩者的速度、加速度則用微分方程計算。研究指出目前甚少使用空拍機進行路口衝突研究，然而其於實務上很可能因為天氣或其他圖像傳輸等使得品質不甚穩定，亦或者所觀測的目標體積甚小、外觀不同等因素，使得此類研究技術方面尚未成熟，且所蒐集到的資料並不能區分行人的屬性如年齡、性別、殘疾與否等。研究建議未來可進一步調查行人群體和個別對車輛間的相互作用。

Ni et al. (2016) 研究中國上海四處路口，探討右轉車輛與行人的互動，作者利用攝影機架設於路口周遭足以照射整個路口範圍的高樓進行拍攝(如圖 2.3.5)。該研究利用衝突指標和支援向量機分群，將衝突事件分成三種不同嚴重程度的人車互動模式來探討人車衝突，比較作者自行定義之不同等級衝突事件在不同路口的嚴重衝突數量差異，藉此比較各路口安全情況。



圖 2.3.5 拍攝視角示意圖

資料來源：Ni et al. (2016)

## 2.4 小結

2.1 節回顧國內外行人穿越設施與庇護島之設計準則與規範，行人穿越主要準則包含清楚的方向指引、良好的視距範圍、考量周遭人車流。而庇護島的設計主要考量為寬度需能容納人流，而設置需要考量周遭行人量與弱勢用路人。並回顧庇護島安全效果之研究，確定庇護島可以提供車速管理與人車分離兩大功能。雖已具有不少實證研究結果證明其安全效果和影響的用路人行為，但其車流環境與我國有所差異，相同效果是否存在於我國高機車佔比的車流環境中，為本研究探討的重點之一。

而 2.2 節回顧衝突與行為相關指標，目前衝突指標 TTC 與 PET 已經確定與安全的關聯，且已被使用在路口的人車衝突上，因本國道路為混合車流環境，且機車占比甚高，使用 TTC 或是 RTTC 需要推估車輛維持方向的潛在碰撞或衝突點，行人與機車兩用路人皆隨時變換行向，造成推估上的不易或是不準確，故本研究後續以使用 PET 作為安全替代指標。各研究使用的指標不盡相同，亦有作者提及尚無一個通用性指標可以適用所有情況，本研究後續探討如何選擇欲討論之相關指標，建立一套評估指標產生的流程。

而 2.3 節回顧蒐集行為資料之來源，以攝影機作為蒐集工具於路口研究，雖然攝影機拍攝方便且較常使用，但是需仰賴周遭附近的高樓或是使用空拍機才能得到較為精確之車輛與行人軌跡。然而在台北市區，因松山機場和重要行政中心的因素，大部分區域禁止使用空拍機拍攝，且並非所有路口周遭皆有可以作為拍攝使用之高樓，本研究後續使用多個視角的影像拍攝進行資料蒐集，藉由後端數學計算，得到近似與空拍視角相同之軌跡資料用作分析使用。

# 第三章 研究方法

## 3.1 研究架構

本研究針對道路設施改善提出整體評估架構，如圖 3.1.1 虛線左邊，分為四個步驟：改善措施選定，安全效果探討、行為指標輸出、安全指標連結，此架構為通用性架構，無限制特定改善措施才能以此流程就行評估，以下介紹除評估的流程外，以路口庇護島為研究案例，更具體的說明如何進行評估單一人行設施，如圖 3.1.1 虛線的左半部，以下詳細說明整體架構與案例：

## 1. 改善措施選定

第一步驟為確定改善措施，確定欲討論之標的設施為何，並根據研究的時程，選定使用橫斷面分析法或是事前事後法進行分析，以本研究為例，欲探討項目為庇護島，但研究時程較短，欲在短時間內評估其安全效果，故選擇橫斷面（with-without）的分析，需要選擇一處無改善措施（本研究即為無庇護島之路口），另一處為有進行改善措施之路口（具有庇護島之路口），比較兩處用路人於研究地點的行為差異。若研究期程涵蓋設施的改變，則可以使用事前事後的分析，比較設施改善前後，用路人的行為差異。

## 2. 安全效果探討

根據 Retting et al. (2003) 對道路設施的分類，將設施可能增加安全的方式分為車速管理、人車分離和提高行人的可見度三種類別，以此角度切入，根據文獻回顧的設施設計準則理念並加上實際的觀察，彙整成上圖第二層安全效果，分為四類：車速降低、人車分離、行人可見度提升和規範遵循四個部分。車速降低為該設施具有使駕駛人放低速度之設施，如：減速丘、停等標誌；人車分離可以區分成時間上的分離與空間上的分離兩種，時間上的分離主要使兩用路人前後的時間差通過衝突區域，主要設施為號誌，而在空間分離上，則為具有實體分隔之效果設施，如行人天橋、地下道或是庇護島皆有空間分離的功能；在行人可見度提升上，其定義為可以增加行人被注意的設計，像是行穿線的反光標記或是警示牌等；第四類為規範遵循，主要為探討用路人經改善措施實施後，仍保持對我國交通法規之遵循，還是可能造成負面之安全效果。此階層為固定之四大類，檢視改善措施有無此四類安全效果，若有，則進行行為指標之構思。

## 3. 行為指標輸出

當改善措施具有第二階層的安全效果時，則進入第三階層，思考可能表現出安全效果之行為指標，此步驟主要針對欲探討的改善措施，不同的改善措施產生出的指標可能完全不同。而指標的來源包含文獻回顧、現有的法規和實際觀察，根據各類安全效果統整可以量化之指標，並統計檢定比較改善措施的有無（或是前後）對指標表現是否有顯著差異，確認改善措施對行為的影響。本研究以庇護島為例，詳細使用之行為指標於 3.2 節進行介紹。

#### 4. 安全指標連結

最後一步驟安全指標為確認設施改變的行為是否對安全造成正面影響，利用安全指標，如事故數，與行為指標進行連結，然而本研究中提及短時間內難以蒐集到事故資料，故可改成使用安全替代指標進行連結，安全替代指標，如 TTC、PET 已經有研究證實與安全有關。而選取何種安全指標則取決於欲探討的環境，如本研究探討之範圍為路口，對於路口轉彎車輛衝突而言，PET 是個良好的指標，後續本研究即透過 PET，去建立行為指標與安全指標間的關聯。

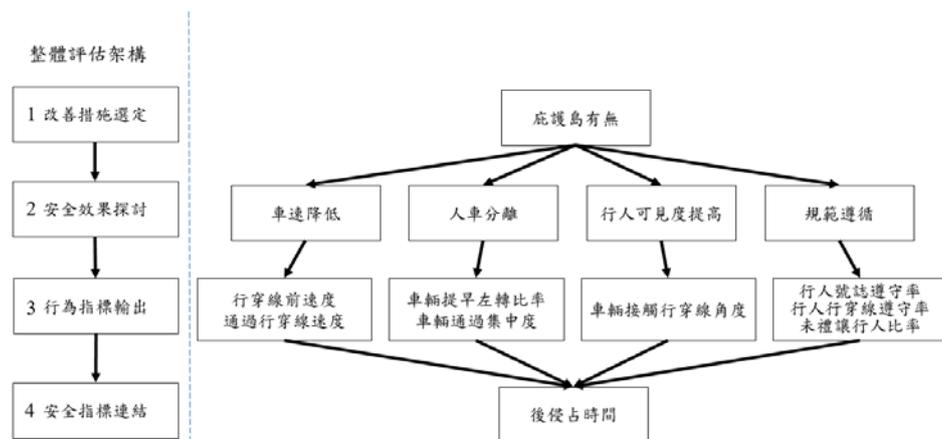


圖 3.1.1 研究架構圖

### 3.2 指標定義

本節介紹相關量化指標評估庇護島的有無可能造成的影響，介紹各指標之選擇原因與其定義，指標包含用路人行為與安全相關指標，以下分別介紹：

#### 3.2.1 行為指標

##### 1、車速降低

##### (1) 車輛行穿線前速度

根據道路交通管理處罰條例第四十四條第二項，車輛行近行人穿越道，不減速慢行或行人穿越道有行人穿越時，不暫停該行人先行通過者，將處以罰鍰。不論行人的有無車輛都應減速通過行穿線，又尤其有庇護島之路口，因需要更大的轉彎半徑進行轉彎動作，故更需要放慢車速以利通行。

本研究使用車輛於抵達路口中央至車輛前緣壓到行穿線前的三秒之區間平均速度作為車輛於行穿線前速度。如圖 3.1.2 之水平紅線，水平紅線為行穿線內側（靠近路口），計算車輛車頭點抵達紅線時，上游三秒的位移除上三秒作為速度。

## (2) 車輛通過行穿線速度

車輛通過行穿線的速度為車輛通過行穿線內側（靠近路口）後，車輛進入行穿線，此時計算車輛抵達行穿線的外側時（遠離路口）的花費時間，將行穿線長度除以該車輛通過花費時間，得到車輛通過行穿線速度。

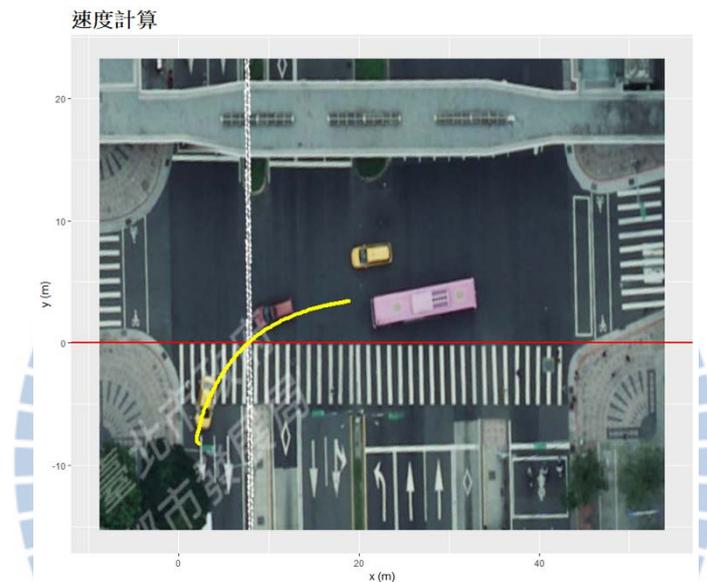


圖 3.2.1 速度計算示意圖

## 2、人車分離

### (1) 車輛提前左轉比率

人車分離為實體分隔島之功能，其中庇護島幫助分隔行人與車輛，減少行人與車輛衝突。根據道路交通安全規則第一百二十五條，車輛左轉彎時，應繞越道路中心處左轉進入右側慢車道行進。研究路口為單行道，較難定義道路中心處，故以有庇護島組別設立庇護島之位置做為參考處，預期無庇護島路口於相同位置設立庇護島，車輛於庇護島位置左轉時，將被視為違規提前左轉。有庇護島組別設立位置為離行穿線起點（圖 3.2.2 A 點）八公尺處，如圖 3.2.2 虛線 B 點位置，將計算車輛抵達行穿線時，該車頭於距離 A 點是否小於八公尺，若超出八公尺，則定義為提前左轉車輛。統計單一時相內，總車輛中有多少車輛提前左轉。預期有庇護島的路口可以限制車輛提前左轉，讓車輛通過主要分布在交點左側，通過分隔才進行左轉，因此可以大幅降低

提前左轉比率。



圖 3.2.2 車輛提前左轉

### (2) 車輛通過集中度

車輛通過集中度定義為車輛車頭抵達行穿線時，計算與車頭與圖 3.2.2 A 點之距離，計算單一時相中，該距離的標準差。車輛的標準差越小表示集中度越高，集中度的提高預期行人能夠預見並注意車輛進入的位置，反之，若是集中度過低，行人所需要注意的範圍過大，將增加行人穿越的風險。

## 3、行人可見度提高

### (1) 車輛接觸行穿線時角度

行人可見度提升除了直接增進行人本身的可見度外，亦可藉由增加車輛駕駛的視野來間接提升行人的可見度。此指標源自於 Jacquemart (2012) 探討車輛在轉彎時，車輛停等時的位置角度與視野的關係，如圖 3.2.3，車輛皆存在著視野死角，而在左圖車輛轉彎時停等的位置，其視野死角存在於即將行駛之區域，可能無法看清穿越的行人；而右圖如果車輛能有較大空間於行穿線前停等，並保持與行穿線垂直的角度，讓駕駛能夠清楚看見可能會發生衝突的區域是否有行人，不會被視野死角遮蔽。

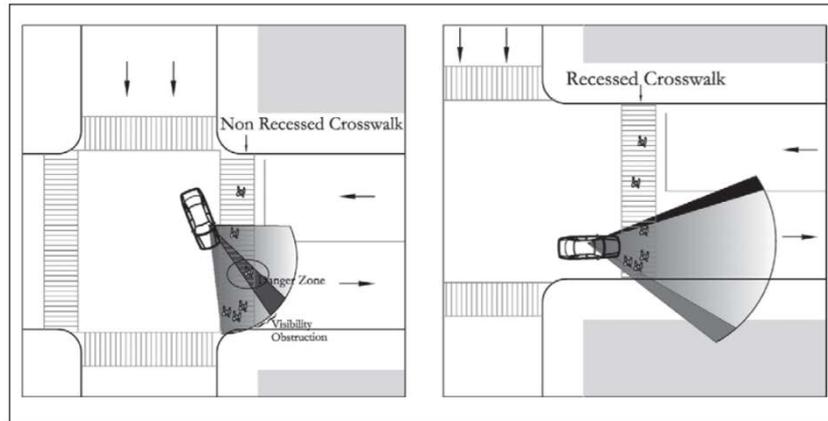


圖 3.2.3 車輛轉向視野

資料來源：Jacquemart (2012)

根據上述車輛的轉向與視野的關係，本研究車輛轉向角度定義為：當車輛前緣抵達行穿線的時間點，該車輛車身與行穿線的夾角。如圖 3.2.4 的  $\theta$  角。預期車輛接觸行穿線的角度會因為庇護島的設置使其增加，當夾角增大時，幫助駕駛有更廣的視野注意於行穿線上之行人。

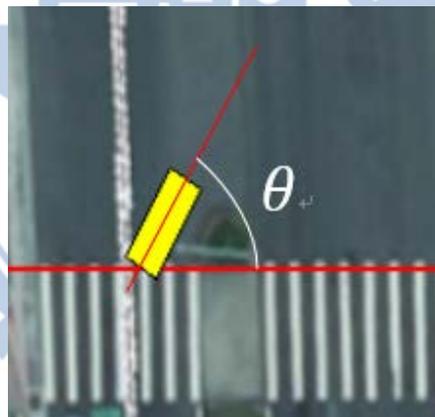


圖 3.2.4 車輛接觸行穿線時角度

#### 4、規範遵循

雖然庇護島幫助提升安全，然而同時也可能造成負面的影響，如 Cao 等人 (2016) 和 Li and Fernie (2010) 所提到的行人違規穿越，因為設置庇護島縮短行人一次穿越的距離，反而增加行人違規穿越行為。本研究針對行規範遵循分成兩個部分討論，一為時間，行人是否在可通行號誌下進行穿越；二為空間，行人未行走在行穿線上。詳細指標定義以下說明：

### (1) 行人號誌遵守率

行人號誌遵守率探討行人是否遵守依號誌的穿越行為，因同一行人在穿越的途中會橫跨兩個時段，故本指標加入時間考量，如圖 3.2.5，圖中綠色點表示行人在行穿線上綠燈的座標，紅點則表示行人穿越時為紅燈，因影像拍攝的限制，計算範圍為紅色方框內，行人號誌遵守率定義為單一時相所有通過的行人出現行穿線上時間的總和中（紅色點之個數加上綠色點個數），有多少人是行人綠燈時通過（綠色點個數）。在有庇護島的情況下，行人號誌遵守的比率可能會較低。

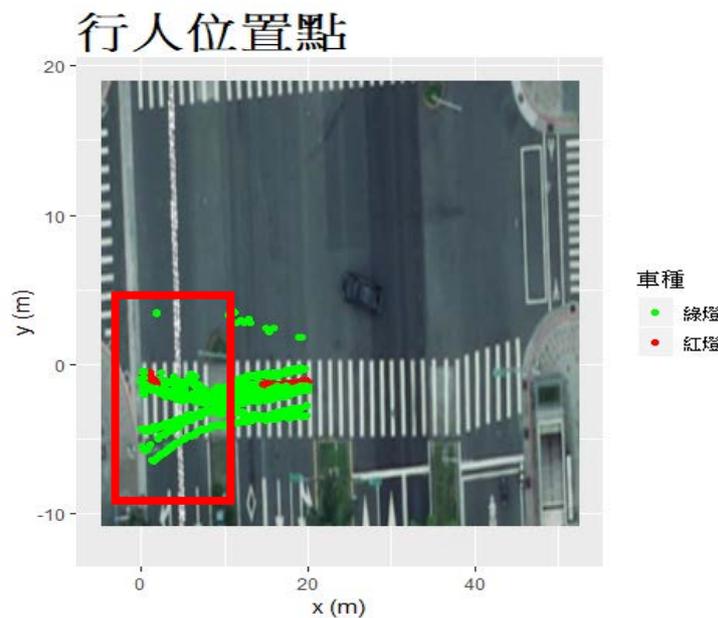


圖 3.2.5 行人號誌遵守示意圖

### (2) 行人行穿線遵守比率

行人行穿線遵守比率的概念與行人違規穿越率雷同，只是改為探討行人在空間上的違規，如圖 3.2.6，綠色點為行走在行穿線上的行人所有時間點，紅色為未走在線上行人的各時間點，計算範圍為紅色方框內，行人行穿線遵守率定義為單一時相中行人有行走在行穿線上所有時間點總和，佔所有行人穿越的時間點總和比率。

## 行人位置點

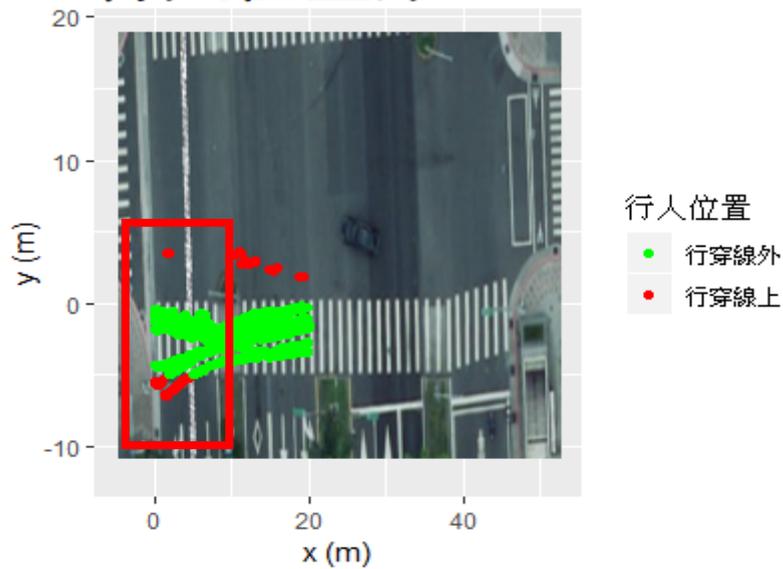


圖 3.2.6 行人行穿線遵守率

### (3) 車輛未禮讓行人比率

使用此指標源於我國道路交通管理處罰條例第 44 條第 2 項，車輛未禮讓行人時，將處以新臺幣六百元以上一千八百元以下罰鍰，而警察取締的標準為當車輛前緣進到行穿線的那一刻，3 公尺內是否有行人行向車輛通過處，若有則視為未禮讓。以圖 3.2.7 為例，該車前端抵達行穿線，此時判定是否有行人靠近，此時若該行人行向為靠近車輛則是為未禮讓車輛，若行人是遠離車輛則不算在未禮讓，該機車壓到行穿線時，有行人與車輛距離 3 公尺內且朝向機車行進，因此判定該機車為未禮讓車輛。車輛未禮讓行人比率定義為該時相有面臨遇到行人的車輛中（定義車輛抵達行穿線時 10 公尺內有行人出現），有多少車輛為未禮讓車輛。



圖 3.2.7 未禮讓行人

### 3.2.2 安全指標

安全指標本研究使用後侵占時間，後侵占時間為常使用之衝突指標，適合用在交叉路口的安全評估，符合本論文的研究環境，並且後侵占時間已建立與事故關聯，證實與安全有相關。以下說明後侵占時間(PET)：

定義為兩用路人中，先行抵達衝突區的一方離開衝突區的時間，與另一方抵達衝突區的時間差，因此會有行人先通過和車輛先通過兩種方式，以下為計算方式

$$\text{行人先通過衝突區 } PET_p = T_{c1} - T_{p2} \quad (1)$$

$$\text{車輛先通過衝突區 } PET_v = T_{p1} - T_{c2} \quad (2)$$

$T_{c1}$ ：為車輛進入衝突區的時間

$T_{c2}$ ：為車輛離開衝突區的時間

$T_{p1}$ ：為行人進入衝突區的時間

$T_{p2}$ ：為行人離開衝突區的時間

### 3.3 分析方法

本研究為觀察研究，而在觀察研究常使用的分別是事前事後法(before-after)、橫斷面法(cross-sectional)，選定那一種取決於研究期間的長短，在長時間可以觀察到改善措施設立的前後變化，就可以使用事前事後法。然而若是研究期間較短，則就以選定政府機關在改善道路系統中已經實行改善方案的地點，觀察其在有施行改善方案與無施行。

本研究利用短時間，約兩小時的資料，觀察行人與車輛的行為，因此採用橫斷面法(cross-sectional)進行比較。橫斷面法的使用需要選取兩組別進行觀察，本研究以庇護島作為主要的變因，探討有庇護島與無庇護島對車輛與行人造成的行為改變。然而除了庇護島外，用路人同時間也受到不同干擾因素的影響，如路口的幾何設施、號誌時相、人車流環境等，因此在挑選研究地點，除了庇護的有無外，其他可能造成行為改變的變因需要越相近越好，以確定其改變是由庇護島做造成。故本研究挑選了同一幹道上的兩處行穿線進行比較，同一幹道上車流環境較為相近，且道路幾何條件差異也較小，後續 4.1.1 會再詳細介紹觀察地點的

選擇。

而觀察地點的選定後，將蒐集各項用路人行為指標，各指標的計算方式如 3.2 所介紹。得到觀察地點的各項指標後，要確定有改善措施在各項用路人行為指標上，確實因改善措施的有無造成用路人行為的差異。而後將進行安全指標之連結，使用羅吉斯迴歸分析，探討各行為指標變數與安全指標間的關聯，其中包含改善措施有無的虛擬變數，觀察改善措施有無對安全指標的影響。以下分別說明檢定與羅吉斯迴歸分析之方法：

### 1、統計檢定

本研究採用 t 檢定和 F 檢定進行評估，藉由檢定確定兩處觀察的地點的指標是否有無顯著差異來判定。使用到的檢定方式包含兩母體的平均值檢定，本研究訂定顯著水準  $\alpha = 0.05$ ，根據此顯著水準判定各指標是否顯著表現用路人行為差異。以下分別介紹其計算方式：

#### (1) 兩母體平均數差異檢定

如同 3.2 節所介紹後續將使用到的各項指標，其中包含車輛速度、加速度、轉向角、通過位置，將各指標分別進行平均後，探討庇護島有無在行為指標上是否有顯著的差異。本研究母體變異數未知，且樣本數為小樣本，故使用 t 檢定，假設兩母體互相獨立，其檢定統計量等於：

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

#### (2) 變異數檢定

本研究除了對平均值進行差異檢定外，亦將其可能在變異數上不同進行探討，主要使用在檢視車輛速度的分布以及車輛軌跡的離散情況，檢定統計量為：

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2}$$

### 2、羅吉斯迴歸分析

行為指標與安全指標迴歸分析為證實用路人的各項行為指標與安全之間的

關聯，本研究預期建立多元迴歸模型，找出各變數對安全的影響程度，本研究估計公式如下：

$$Pr(y_i=1)=\text{logit}^{-1}(X_i\beta)$$

其中：

$y_i$ ：i事件的安全相關指標，本研究使用 PET 小於 2.5 秒之事件

$\beta$ ：欲校估之係數

$X_i$ ：各欲探討之行為指標變數

羅吉斯迴歸分析架構如圖 3.3.1，分析的變數包含兩種，一為以時相為單位的變數，主要為流量相關變數；另外一種為事件變數，包含庇護島的有無以及各車輛的車種。透過羅吉斯迴歸可以計算出勝算比，找出有庇護島的情況下，可以降低多少嚴重事件發生的機率。

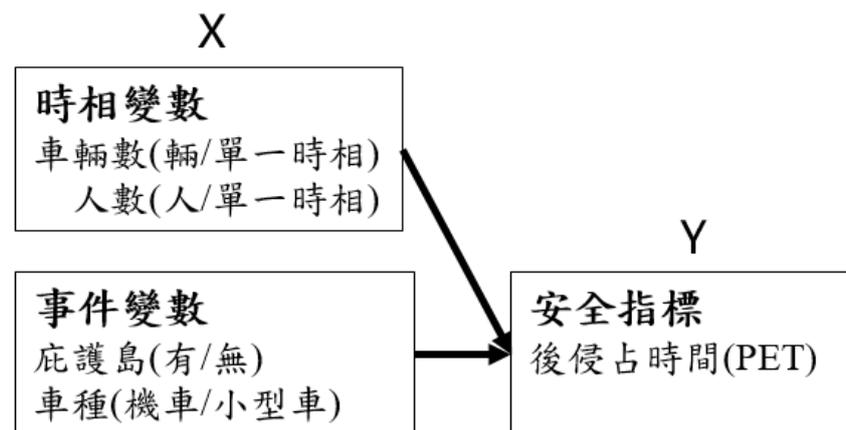


圖 3.3.1 迴歸分析變數

## 第四章 車輛與行人軌跡資料蒐集與處理

影像資料處理流程如圖 4.1.1，依序為觀察地點之選擇、相機架設與路口拍攝、影像處理和軌跡資料輸出，最後將軌跡資料經由數學計算，畫出精度較高之行人與車輛軌跡。4.1 節先講述前三步驟，而軌跡畫設於 4.2 節詳細解說。

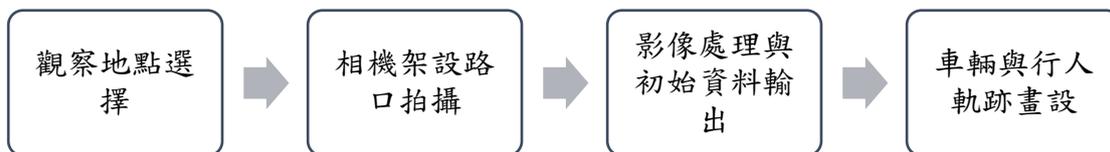


圖 4.1.1 影像資料處理流程圖

### 4.1 軌跡資料蒐集

#### 4.1.1 觀察地點選擇

本研究主要針對庇護島的設立對用路人的影響進行探討，故選擇兩處行穿線進行橫斷面的分析，一處為無庇護島之路口，為台北市中華路一段與開封街交叉路口南側行穿線（如圖 4.1.2）；另一處為有庇護島之路口，中華路一段與武昌街交叉路口南側行穿線（如圖 4.1.3）。此兩處的相對位置如圖 4.1.4，此兩路口相差兩個街區的距離，兩路口之中心點相隔 200 公尺。

選擇此兩處為研究路口的主要原因為台北市的主要幹道路口因路寬較寬，車輛欲進行左轉較為困難，在號誌控制上會設立車輛左轉保護時相與行人早閉時相以減少人車衝突，而庇護島的其中一項主要安全效益為保護穿越行人與轉彎車輛直接發生衝突，相較於右轉，庇護島對左轉軌跡的影響較為明顯，故挑選會發生行人與左轉車輛衝突的地點，作為庇護島效果之研究樣本。本研究所要探討之庇護島為具有分隔島頭之庇護島，分隔島頭可以避免車輛與行人的直接碰撞，具有庇護之功能，如圖 4.1.3 標記處所示。

另外，此二路口皆為單行道，探討之衝突為由東往南左轉至最外側車道的車輛，在左轉途中可能與正在行穿線上穿越之行人發生衝突，此種左轉衝突為本研究討論之重點。不同於一般路口，此二路口之左轉衝突不會受到對向車流影響，單純為行人與轉彎車輛的衝突。



圖 4.1.2 中華一段路開封街

資料來源：台北市歷史圖資系統



圖 4.1.3 中華一段路武昌街（標記處為庇護島頭）

資料來源：台北市歷史圖資系統

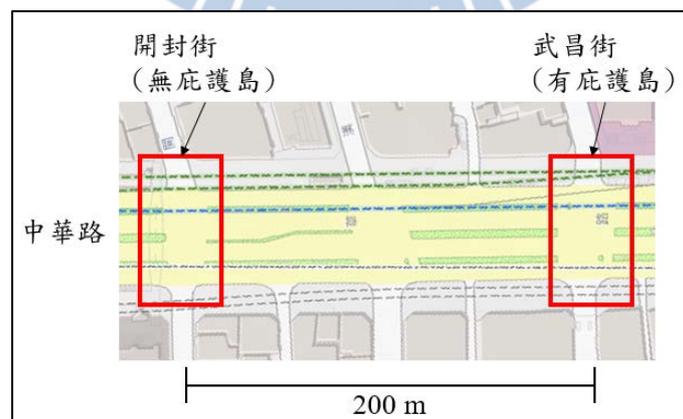


圖 4.1.4 兩研究路口相對位置圖

資料來源：台北市歷史圖資系統

表 4.1.1 整理兩路口南邊行穿線之幾何、號誌時相、人流量和車流量基本資料，兩路口為中華路上下游路口，在路寬、行穿線寬上相似。時相秒數為綠燈開始行人與車輛開始進行穿越到車輛全紅結束的秒數，開封街的行人與車輛可通行時間皆較武昌街長。

表 4.1.1 研究路口基本資料

資料項目 \ 行穿線	中華路開封街南邊	中華路武昌街南邊
庇護島有無	無	有
道路寬 (行穿線長)	46.5 m	46 m
行穿線寬	5 m	5 m
時相秒數	85 s	70 s
車輛綠燈時間	78 s	65 s
車輛黃燈時間	3 s	3 s
全紅時間	4 s	2 s
行人綠燈時間	40 s	20 s
行人閃燈時間	30 s	30 s
行人紅燈時間	15 s	20 s
平均車流量 (輛/時相)	15.76	21.8
平均行人量 (人/時相)	20.86	13.32

#### 4.1.2 攝影機架設與拍攝

攝影的架設位置為符合後續影像處理的需求，並且避免畫面中用路人被遮蔽的問題，攝影機架設位置需在高度為 5 m 高，架設在路口號誌桿或路燈桿上，或是周遭有利於拍攝之位置。本研究所使用的攝影設備為 GOPRO Hero 4，畫質設定為 2704\*1520。以中華路一段開封街為例，如圖 4.1.5，為清楚捕捉行人和車輛各時間點之軌跡，拍攝一個路口的角落會架設兩台攝影機同步拍攝，架設位置須放在重點衝突區之兩側，以利於後續對車輛進行軌跡定位。拍攝車頭攝影機 (圖上標示 a 地點) 架在路邊號誌桿，而車尾視角架設在行人天橋上 (圖上標示 b 地點)，圖 4.1.6 (a) 為 a 位置攝影機視角，而圖 4.1.6 (b) 則為攝影機 b 的視角。

將相機架設後進行正式拍攝，拍攝時間為下午四點半開始，於六點結束，四點半後該路口人車開始出現（每次穿越皆會有行人與車輛），因此從四點半開始拍攝，因影像辨識在視線不足的情況下，會影響辨識的效果，因此在六點前完成拍攝，兩路口攝影機同天同一時間進行拍攝，以控制天氣和時間上可能造成的誤差。

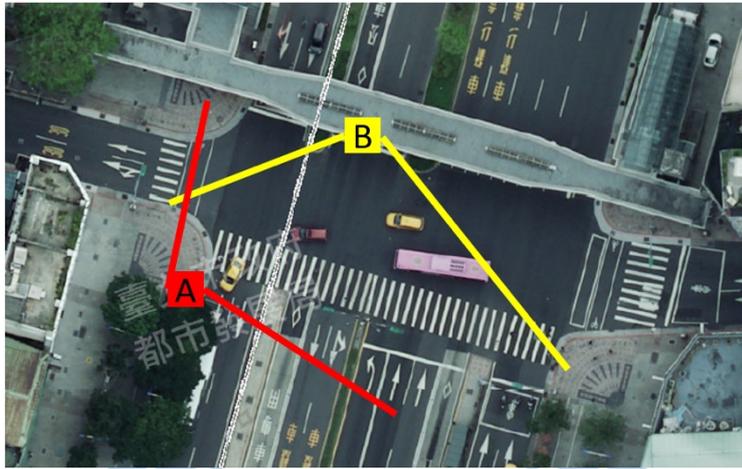


圖 4.1.5 攝影機視角示意圖



(a)



(b)

圖 4.1.6 攝影機視角示意圖

### 4.1.3 影像處理與資料輸出

從影像資料轉換成軌跡資料需經過三個步驟，本研究參考鍾易詩（2017）的處理方式，三步驟為物件偵測、物件追蹤與平面轉換，以下介紹三個步驟之作法：

#### 1. 物件偵測

偵測方法藉由透過深度捲積神經網路(Convolutional Neural Networks, CNN)，其利用捲積(Convolution)與降取樣(Sub-Sampling)的運算來提取輸入資料的關鍵特徵，運算來提取輸入資料的關鍵特徵。深度捲積神經網路可大幅的減少神經網路所需學習的參數，不像傳統神經網路需要使用非常大量的神經元，同時深度捲積神經網路這種特殊的網路架構對於影像的平移、比例縮放、傾斜或是其他形式的變形皆具有高度不限性即可有效抑制影像變形之問題。深度捲積神經網路訓練的目的是學習輸入與輸出間的關係，而其訓練的過程是透過倒傳遞演算法來進行微調每一層間的權重，並搭配梯度下降法以梯度的方式來計算誤差調整方向，使得獲得最小的評價函數，而透過深度捲積神經網路模型的權重訓練，這些權重被做為辨識影像內容的重要根據(鍾易詩，2017)。藉由深度學習技術，先以數萬張台灣市區拍攝影像之資料庫來訓練深度學習之模型，使電腦可自動辨識汽機車與行人等不同物件，便認出物件後即標示出位置與類別，包含人、機車、小型車、小貨車、公車(如圖 4.1.7)。

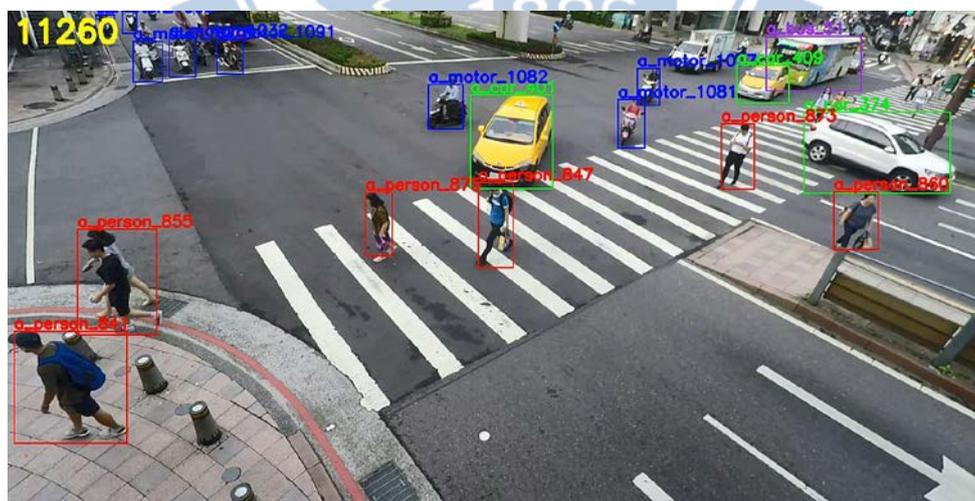


圖 4.1.7 攝影機視角示意圖

#### 2. 物件追蹤

物件偵測的結果可以產出物體的位置與類別，第二步驟利用連續影像

取得物體的移動軌跡，藉由辨識物體影像的特徵，如人頭頂的圓形特性或符合四肢比例的人體模型，辨識物體的特徵在連續影像的移動，以達到追蹤的功能。

### 3. 平面轉換

平面的轉換原理為選取影像畫面中多個參考點，並且有另外一張空拍圖選定與影像畫面中相同的位置，藉由選取影像畫面與空拍圖的多組參考點，來建立座標轉換系統，選定的參考點通常為清晰之標線，或是地面便於辨識之記號。物件由 3D 影像轉換成 2D 平面座標時會因其角度的影響而導致誤差的改變，角度越接近俯視角度則轉換出的座標越精確。圖 4.1.8 為轉換座標示意圖，其將由右半部影像中的小汽車方框四點，轉換到平面座標上，可以看出因角度的關係，造成車輛上方兩點經由轉換後會偏離車體較遠，車輛底部的座標才能代表其真實位置。

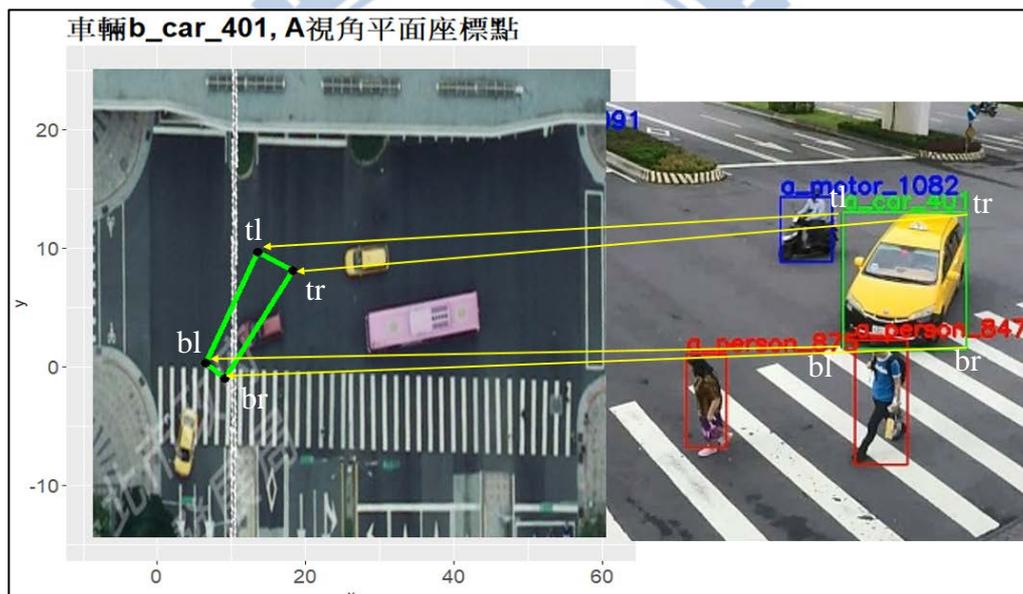


圖 4.1.8 平面座標轉換

### 4. 資料輸出

座標經由平面轉換後將資料輸出，資料格式如圖 4.1.9，其中欄位包含：

- (1) 時間 (frame)：為影片中第幾張圖，1 秒輸出 30 張圖
- (2) 攝影機 (video)：車頭或是車尾的攝影機
- (3) 用路人種類 (kind)：種類包含行人、機車、小汽車、貨車和公車

五種

- (4) 用路人的 x 座標：tl\_x、tr\_x、bl\_x、br\_x 依序分別代表方框左上 (top-left)、右上 (top-right)、左下 (bottom-left)、右下 (bottom-right) 於平面的 x 座標。(如圖 4.1.8 左半圖所示)
- (5) 用路人的 y 座標：tl\_y、tr\_y、bl\_y、br\_y 依序分別代表方框左上 (top-left)、右上 (top-right)、左下 (bottom-left)、右下 (bottom-right) 於平面的 y 座標。(如圖 4.1.8 左半圖所示)

frame	video	id	kind	tl_x	tl_y	tr_x	tr_y	bl_x	bl_y	br_x	br_y
1	1	7	motorcycl	50	729	33	730	57	661	44	661
1	1	8	motorcycl	117	650	97	650	110	594	94	594
1	1	9	motorcycl	113	589	93	589	108	552	91	551
1	1	1	person	358	820	333	821	291	717	271	717
1	1	2	person	275	581	252	581	250	558	230	557
1	2	1	car	-311	-49	-233	-67	-205	71	-141	62
1	2	2	car	-562	-131	-525	-144	-417	-7	-385	-14
1	2	3	car	-174	-101	-81	-123	-82	60	-12	50
1	2	4	car	-41	-282	49	-311	14	-70	81	-83

圖 4.1.9 資料輸出格式

## 4.2 軌跡資料處理

初始的影像資料經由辨識、追蹤、平面轉換，得到上述圖 4.1.9 的資料格式，4.2.1 小節接續介紹將已蒐集之初始軌跡資料進一步處理，增加其精確度，本小節先探討車輛的處理方式，畫設成如同空拍機之俯視角度物件，最終車輛將具有車身的四個角點。4.2.2 為行人軌跡的處理方式。4.2.3 計算人車軌跡誤差，介紹以真實影像的與標線的相對位置，判定不同用路人的資料與實際位置的誤差。4.2.4 介紹本研究根據後續分析所需的資料情況，在分析樣本上的處理方式。

### 4.2.1 車輛軌跡畫設

將上述座標轉換得到的車輛方框座標直接畫在座標平面上，以圖 4.1.8 的計程車為例(後續皆以此車輛作為範例說明)，將其進入路口的軌跡取五個時間點，繪製其方框結果如圖 4.2.1，圖中共有五個不規則四邊形代表車輛經由平面轉換後的方框，右上角數字代表該物件出現的時間點，隨著車輛的轉彎方框的四邊會進行變化，並非車輛固定的參考點，因為影像辨識出物件後，是將物件範圍以方框標示，所以無法直接得到車輛座標，而是得到方框的座標。若是以越高的角度進行拍攝，則可以降低原始方框轉換後的座標誤差，故既有研究常於高處進行拍攝，或是藉由空拍機直接得到俯視軌跡。

車輛行進方框變化

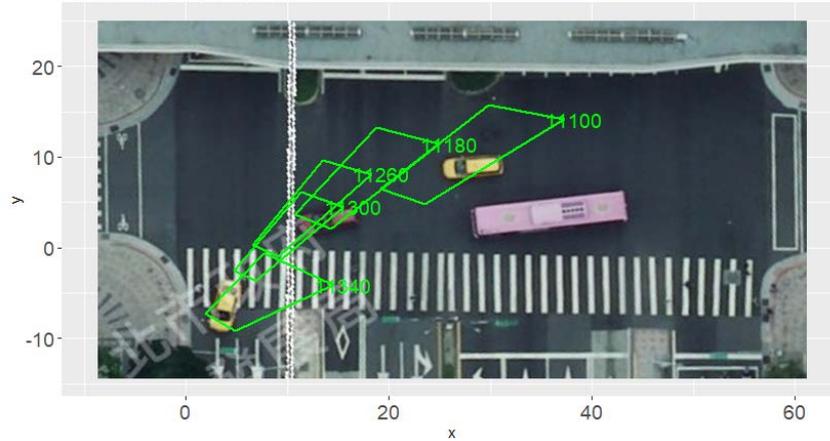


圖 4.2.1 平面座標不同時間下的車輛方框

本研究使用到兩個視角進行軌跡資料處理，因此在資料處理前需先對影像中的物件進行編號的串聯，研究使用串聯程式輔助工具（鍾易詩，2017），幫助同時展示兩視角的車輛畫面，以及各畫面經由平面轉換後，對應到空拍圖的位置，可以直接點擊平面圖上該物件的編號標示，就可以產生兩視角的物件編號進行輸出，後續在使用輸出的編號串聯資料進行兩視角的資料串聯。

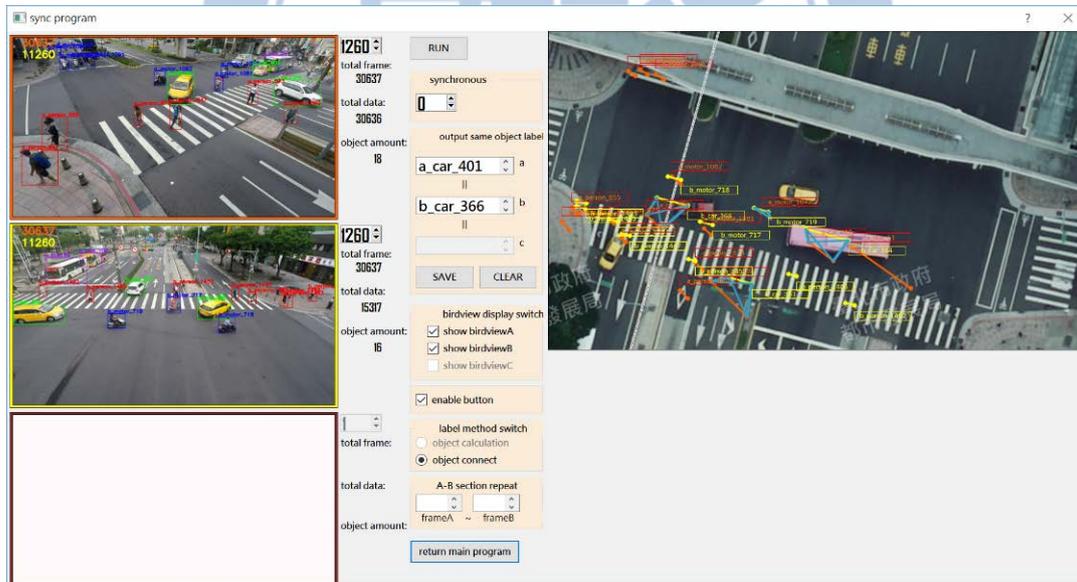


圖 4.2.2 物件編號串聯輔助工具

面對物件方框的點隨時變動的問題，須至少找出一點不論時間的變化，仍保持為車輛的固定參考點，以固定參考點計算出的軌跡與速度才會正確。圖 4.2.3 為兩視角的辨識影像，物件的方框並不同物件本身，由 4.1.3 小節提及物件經由平面轉換後較為準確的參考點為方框的底部，因此，本研究使用兩個視角進行拍攝，攝影機架設的位置為物件兩側，如圖 4.2.4，範例計程車的兩視角經由平面

轉換後的方框，將兩視角轉換後的方框座標會有重疊部分，該重疊部分為兩視角底部座標所圍來的部分，即是車輛之確切位置，故後續修正車輛的方框如圖 4.2.5 黃色方框，以兩視角底部座標連線代表車輛範圍。

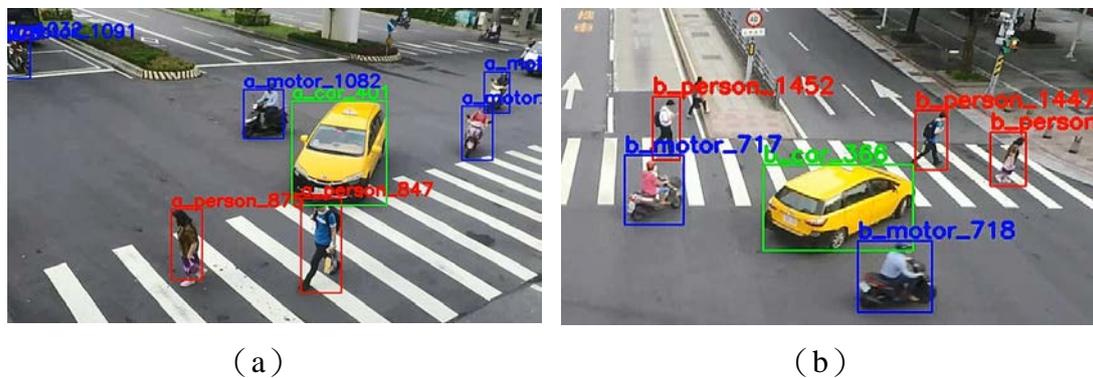


圖 4.2.3 兩視角辨識影像



圖 4.2.4 兩視角平面座標方框



圖 4.2.5 兩視角底部座標連線範圍

得到圖 4.2.5 之車輛範圍方框後，再來須找出實際的車輛參考點作為後續軌跡畫設所使用，此處將兩視角的底部座標進行平均，求得此不規則四邊形的平均點，如圖 4.2.5，平均點為在黃色方框內的紅色點，以此紅色點代表車輛的中心點去進行後續的軌跡畫設，將該計程車通過路口的各時間點計算出的中心點座標串聯起來即是如圖 4.2.6 之紅色曲線。後續以相同方式畫設通過路口之機車、小汽車、貨車與公車。

### 平均點為車輛中心點軌跡

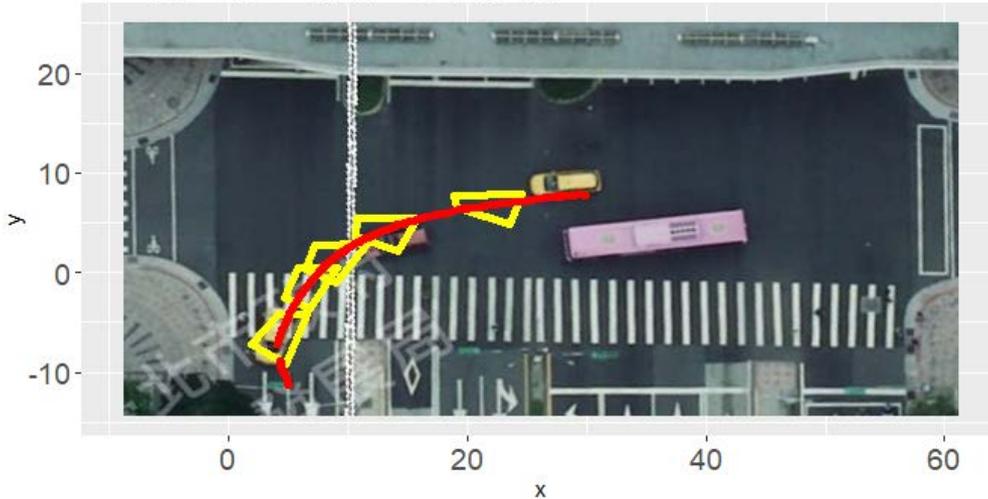


圖 4.2.6 兩視角底部座標連線範圍

計算出近似車輛中心點之方框平均點後，接著欲畫設空拍圖之俯視角度車輛，除了已取得的車輛中心點，另外需要的參數包含車輛的寬度與長度，以及車輛的移動方向。本研究使用各車種的平均長度與寬度進行劃設，機車為長 1.8 公尺寬 0.6 公尺；小汽車長 4.2 公尺寬 1.8 公尺；小貨車長 6 公尺寬 1.8 公尺；公車長 12 公尺寬 2.4 公尺。完整的車輛軌跡畫設步驟順序如圖 4.2.7，範例計程車的最終完整軌跡如圖 4.2.8，畫設步驟以下依序說明：

- (3) 車輛中心點，由兩視角底部座標平均求得。
- (4) 車輛移動單位向量，以當下時間點座標減去前一時間點座標，再除以移動距離。
- (5) 車頭頂點，該車種一半車長乘以單位向量，再加上車輛的中心點座標。
- (6) 垂直向量，以單位向量和垂直向量的內積為零計算。
- (7) 車頭右側角點，該車種一半車寬乘以垂直向量，再加上車頭頂點。

- (8) 車頭左側角點，利用中點公式，以兩倍的車頭頂點座標減去車頭右側角點座標。
- (9) 車尾左側角點，利用中點公式，以兩倍的車輛中心點座標減去車頭右側角點座標。
- (10) 車尾右側角點，利用中點公式，以兩倍的車輛中心點座標減去車頭左側角點座標。

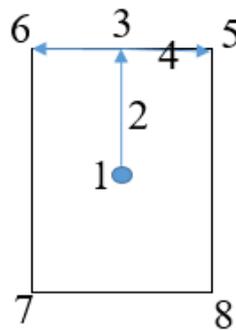


圖 4.2.7 車輛畫設步驟順序

#### 車輛完整軌跡



圖 4.2.8 車輛完整軌跡

#### 4.2.2 行人軌跡畫設

行人軌跡畫設的方式不同於車輛，僅使用圖 4.1.4 之 A 視角單一視角進行畫設，因行人物件的畫格較小，且動作相對於車輛單純，不會有轉彎的行為，方框隨著時間皆位於行人前後腳位置，因此使用單一視角進行軌跡的繪製。如同車輛，

行人的辨識輸出座標一樣為方框座標，而根據行人的步伐，方框隨著時間些微變動，因此使用方框底部座標之平均作為行人的位置點，作為其後續分析座標。

使用影像辨識在行人軌跡的獲取上，會遇到一困難為其追蹤問題，因物件較小，在人車流環境較複雜時會有行人被短暫遮蔽的問題，行人被再次捕捉時，其行人編碼就會改變，因此在分析上，本研究步將行人各自的時間點，作為獨立進行計算，以時點作為分析單位進行後續指標計算。圖 4.2.9 為單一時相中，所有行人的時點。

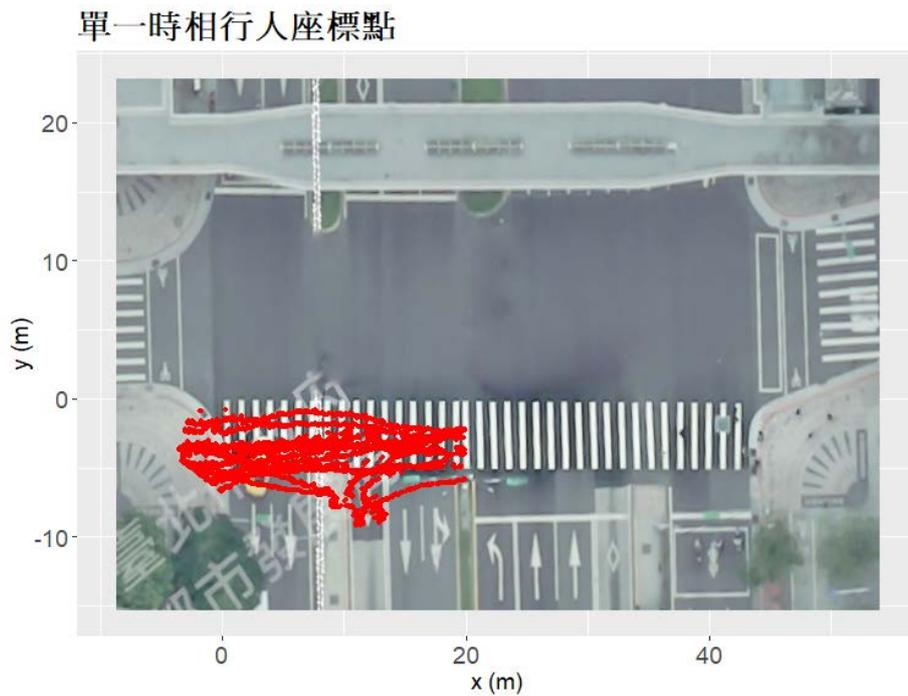


圖 4.2.9 行人軌跡圖

### 4.2.3 人車軌跡誤差

經由上述的方法繪製車輛與行人軌跡後，首先確認資料的誤差，確認的方式為透過影像畫面上的行穿線做為參考點，當影像畫面的用路人的正好抵達行穿線與準備離開行穿線時，觀察同時間下的用路人軌跡資料是否符合，若未符合可以透過與行穿線的相對位置計算其誤差，以下分成車輛與行人進行討論，車輛部分從車體小至大依序探討機車、小型車、貨車和公車。

#### 1. 機車

機車的誤差由圖 4.2.10 來觀察，該圖左邊為由本研究方發所繪製出來的

車輛位置，右圖為同時間的實際影像，藉由行穿線來確認劃設軌跡的誤差。實際影像的機車編號 a\_motor\_107 車前輪正好抵達行穿線外側，並再由路緣行穿線起點算起第三條枕木紋與第四條枕木紋之間，對應到本研究繪製車輛 a\_motor\_107 位置，正好符合抵達行穿線外側並在第三與第四條枕木紋間。另外再以同樣方式判定遠端編號 a\_motor\_111 即將進入行穿線的機車，該位置為起點算起第八條枕木紋，本研究劃設的位置亦符合影像實際位置。以同樣方式隨機抽取 30 台機車觀察，結果皆符合實際影像位置，本研究方法所繪製的機車軌跡相當準確。



圖 4.2.10 機車誤差判定

## 2. 小型車

小型車的誤差判定如圖 4.2.11，小型車車輛寬度較寬以兩視角幫助進行判斷。車輛 a\_car\_969 的車身位於第五條行穿線至第八條行穿線間，符合本研究劃設的位置，然影像車輛車頭目測剛好抵達行穿線外側，而繪製的車輛則已超出行穿線 22 公分，則估計繪製車輛有 30 公分內的誤差；而車輛編號 a\_car\_970 位於實際影像第 11 條至第 15 條枕木紋間，繪製車頭水平距離與實際影像差距約 1 條枕木紋距離，約 40 公分。

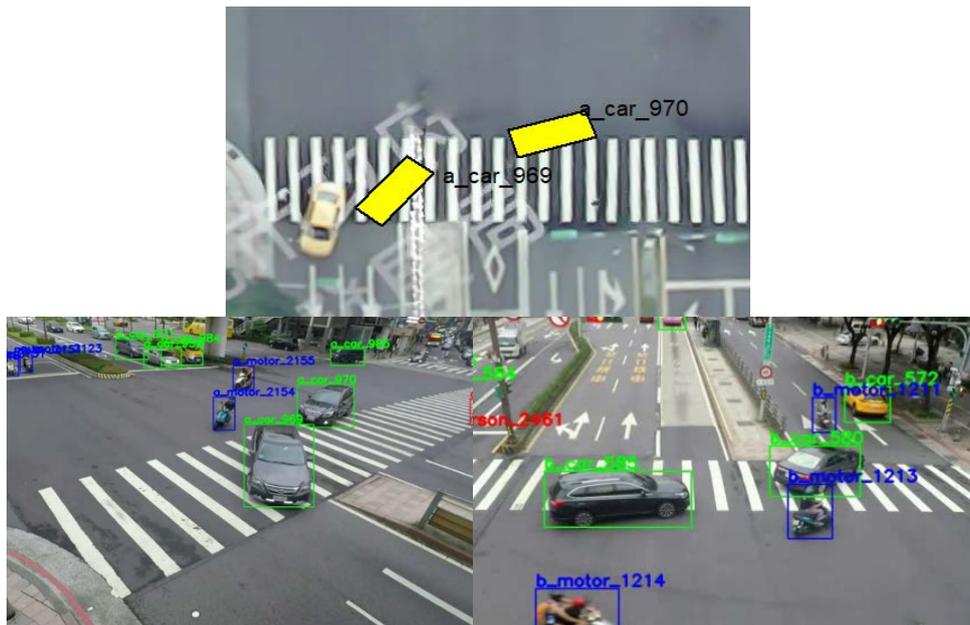


圖 4.2.11 小型車誤差判定

### 3. 小貨車

小貨車繪製如圖 4.2.12，實際影像位置於行穿線第四條與第五條間至第八條前，而車頭剛好抵達行穿線外側，對照繪製車輛位置，車頭水平距離約差一個枕木紋，大約為 40 公分，而垂直距離車頭已超過行穿線 40 公分，相較於前兩種車種，貨車的誤差較大，斷定可能原因為貨車種類較多，本研究以平均的車長車寬進行軌跡繪製，包含了不同車行間的誤差，使其誤差較大。

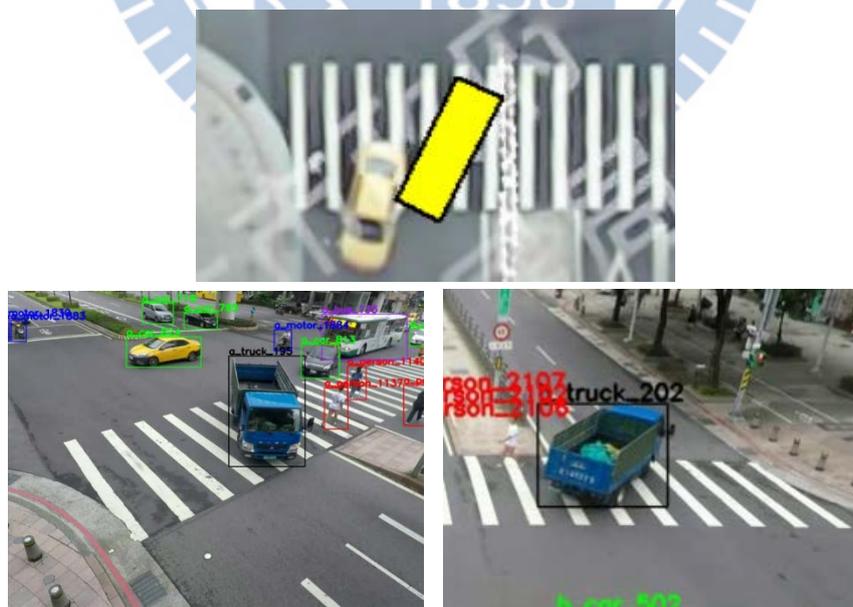


圖 4.2.12 小貨車誤差判定

#### 4. 公車

公車的誤差判定如圖 4.2.13，由實際影像公車抵達行穿線內側與抵達行穿線外側兩個時間點來判定水平距離與垂直距離的誤差。首先觀察到公車抵達行穿線內側的實際影像，其左前車頭位於第三與第四條枕木紋間，與繪製車輛車距一條枕木紋，即差距 40 公分，而垂直距離繪製的公車左前車頭點已進入行穿線 30 公分，即與實際影像差距 30 公分。而看到公車抵達行穿線外側時，其水平距離差距為一個枕木紋，40 公分，垂直距離則相同。

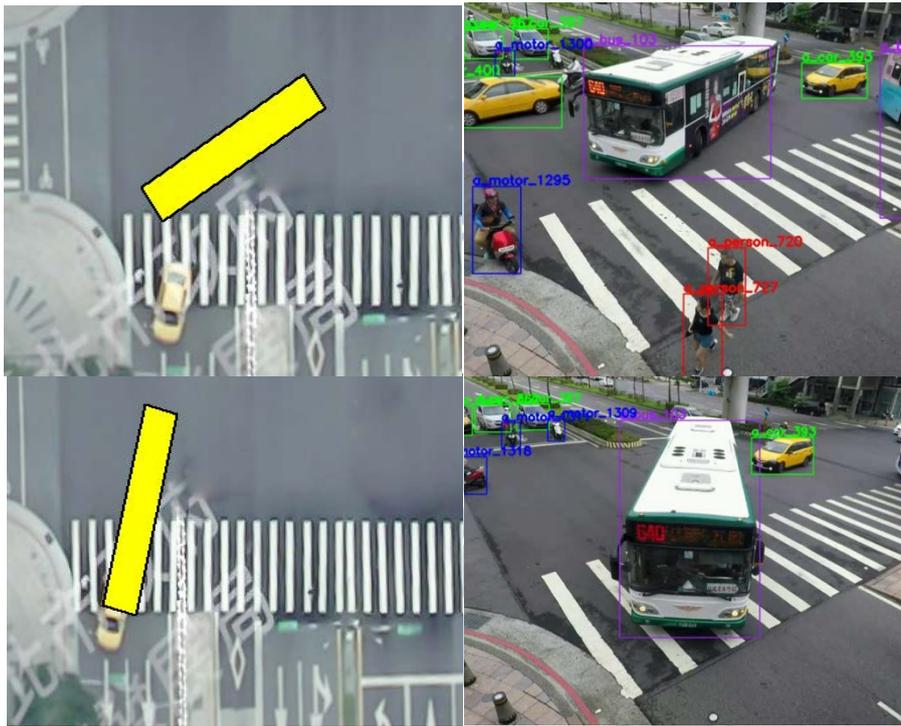


圖 4.2.13 公車誤差判定圖

#### 5. 行人

行人的位置畫設如圖 4.2.14 右下角圖片，畫出同一時間在畫面上之所有行人座標，逐一檢查各點與行人位置點的誤差。經對照後顯示，在分隔島與路緣間的四位行人位置皆準確，而主要的誤差發生在分隔島上往對向的行人，影片上在分隔島上離行穿線起點第七條與第八條之行人 a\_person\_1527，畫設位置在第八條與第九條間，相差了一條行穿線距離，約 40 公分，而另外兩位離開分隔島往對向之行人亦為相差一條枕木紋寬度之距離。行人檢視後於分隔島遠離攝影機方向之行人會有約 40 公分誤差。

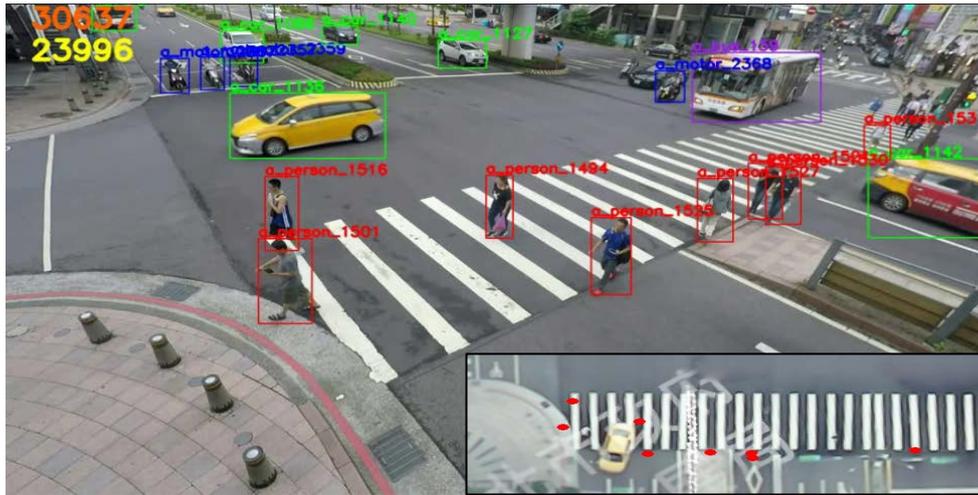


圖 4.2.14 行人誤差判定圖

經由與影像的中物件與標線的相對距離檢視各用路人的誤差，可以判別出本研究之物件根據種類的實際大小，誤差會有所不同，其中機車與行人的誤差較小，機車符合影像實際位置，而行人於欲觀察之區域準確，離攝影機越遠時才有誤差的產生。至於小型車、小貨車、公車三者，經由比對後，其離實際位置的誤差皆在 30~40 公分內。

#### 4.2.4 人車可分析樣本統計

在本研究中，除了單一車輛與實際位置的誤差外，另外存在著是影像辨識上，物件並沒有被系統偵測到導致的誤差，本研究攝影機的架設位置為路口高度約 4~5 公尺處的號誌桿或燈桿上，不像使用空拍機以直接俯視拍攝的視角，因此會存在著各物件的互相遮蔽情況，在物件被遮蔽的時間點，影像處理過程中就會無法將物件辨識，有單一視角沒有被辨識到將無法繪製出較精確之軌跡。表 4.2.1 和 4.2.2 整理有無庇護島路口各自的樣本數量情況，對於車體較大的小汽車其軌跡資料的數量可以達到實際數量的九成，而貨車與公車在兩個路口皆有達到八成以上。損失較多的為機車，在無庇護島的路口機車軌跡資料數量將近八成，而有庇護島的路口組別因機車較為密集，遮蔽的情況頻繁發生，因此軌跡資料的數量僅有實際數量約七成。

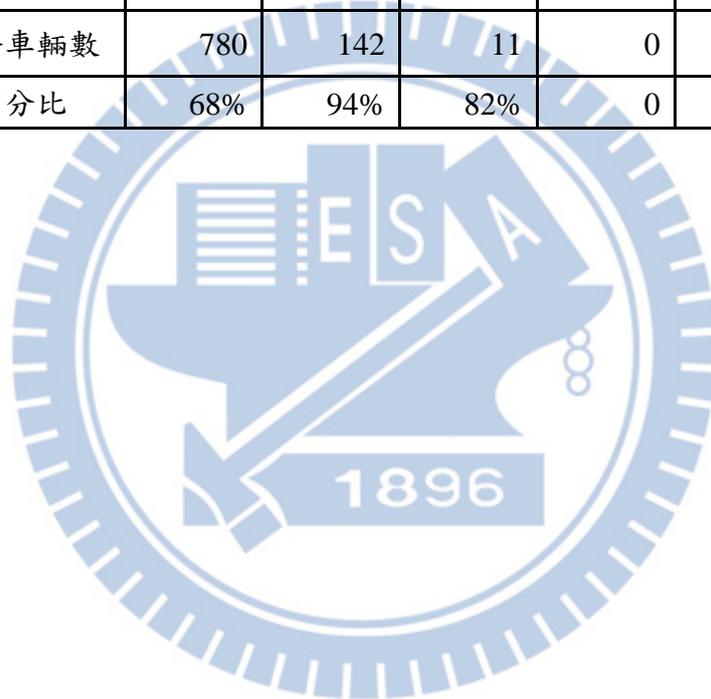
雖然在機車上資料的損失較為嚴重，但檢視無法被偵測到的物件發現主要為同一時間通過的車隊中，中間部分的車輛，對於第一台通過的機車與最後一台機車仍可以完整辨識到，而一整群車隊中通過的速度和路徑相近，因此在計算後續指標上，就算損失了三成的車輛，但指標仍有一定的代表性。

表 4.2.1 無庇護島路口實際車輛與分析資料差距情況

	機車	小汽車	貨車	公車	總計
軌跡資料	410	90	7	34	541
實際車輛數	519	99	8	36	662
百分比	79%	91%	88%	94%	82%

表 4.2.2 有庇護島路口實際車輛與分析資料差距情況

	機車	小汽車	貨車	公車	總計
軌跡資料	530	134	9	0	674
實際車輛數	780	142	11	0	934
百分比	68%	94%	82%	0	72%



### 4.3 資料敘述統計

本研究共拍攝了總共約兩小時二十分鐘之影像，分成兩次拍攝，一次拍攝一小時十分，拍攝時間為周四與週五下午五點至六點十分。將影像擷取東西向的綠燈時相進行軌跡資料蒐集，兩路口各自有共有 38 個時相可以進行分析。後續因小貨車的樣本數過低（兩路口僅蒐集十輛不到），因此將其排除討論，公車僅有在無庇護島組別路口才有出現，因此在比較兩組別時，以機車與小型車兩種類別為主。

以下整理後續指標計算之分析數量，表 4.3.1 為單一時相下不同用路人的通過數量，而表 4.3.2 為單一時相中不同行人號誌時段的通過車輛數。詳細的各指標敘述統計請參閱附錄。

表 4.3.1 單一時相用路人數量敘述統計

組別	用路人	最小值	最大值	中位數	平均	標準差
無庇護島	小型車	0	6	10	2.28	1.41
	機車	5	24	2	12.5	4.52
	行人	10	35	20	21.18	6.55
有庇護島	小型車	0	7	11.5	3.45	1.78
	機車	6	36	3	18.34	7.18
	行人	5	29	13	13.29	5.55

表 4.3.2 單一時相各行人號誌時段車輛數敘述統計

組別	行人號誌	最小值	最大值	中位數	平均	標準差
無庇護島	行人綠燈	1	8	4	4.61	1.80
	行人閃燈	1	12	4	4.17	3.00
	行人紅燈	1	5	2	2.13	1.31
有庇護島	行人綠燈	1	15	6	6.11	3.21
	行人閃燈	1	11	6	6	2.37
	行人紅燈	1	6	3	2.83	1.53

## 第五章 軌跡分析與庇護島安全評估

本研究利用車輛與行人軌跡，評估庇護島對用路人之影響，首先 5.1 節內容為行為指標之計算結果，根據第三章的研究架構，分成車速降低、人車分離、行人可見度增加和規範遵循四個部分，除指標的統計結果外，亦探討因不同車種以及不同行人號誌下，可能造成的指標表現不同，並以統計檢定驗證其是否具有顯著差異。5.2 節部分探討安全指標，檢視有無庇護島在人車互動上的表現，計算人車交會的後侵占時間，並根據不同車種和行人號誌差異所產生的影響進行討論。最後 5.3 以安全指標作為依變數，而行為指標作為應變數建立羅吉斯迴歸分析，檢視行為指標與安全之間的關聯，探討是否庇護島帶來正面的效果。

### 5.1 行為指標計算結果

以下將分成車速降低、人車分離、行人可見度增加和規範遵循四個部分，進行介紹，比較有無庇護島在各類型為指標中的差異，並探討車種與行人號誌時段的的不同，是否產生不同的結果。

#### 5.1.1 車速降低

##### 1. 行穿線前速度

在車速降低上，表 5.1.1 為在有庇護島和無庇護島路口，所有的車輛行穿線前速度之平均值與標準差，並進行了 t 檢定，其分布結果如圖 5.1.1。經計算後結果顯示，無庇護島路口平均行穿線前速度為 17.97 km/h，其顯著大於有庇護島路口之平均行駛速度約 4.7 km/h，並且在標準差上，無庇護島路口與有庇護島路口亦有顯著差異，表示在有庇護島的情況下，整體車速可以顯著降低，而其標準差大表速度差異程度，表示庇護島能夠使駕駛人維持著相同的速度進行轉彎。

表 5.1.1 車輛行穿線前速度

整體車輛	無庇護島 車速(km/h)	有庇護島 車速(km/h)	t 值 (F 值)	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
平均值	17.97	13.20	-11.25	< 0.001	有
標準差	7.46	5.73	0.59	< 0.001	有

## 行穿線前速度

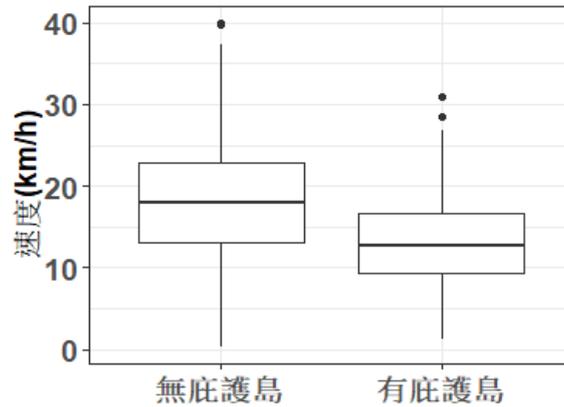


圖 5.1.1 車輛行穿線前速度

檢視整體的通過前速度後，將車種因素考量，分別計算機車、小型車與公車在有無庇護島的情況下，其通過速度的大小。在有庇護島組別因為無觀察到進行左轉之公車，無公車的相關數據，故僅能比較有無庇護島在機車與小型車上的差異。計算結果如表 5.1.2，且圖 5.1.2 則為其分布圖。結果顯示，不論在機車或是機車，有庇護島的存在可以顯著降低約 5 km/h 之車速，另外在標準差上，藉由庇護島的設立，亦可以降低其在行穿線前之變異，讓駕駛人維持較為固定之車速進行左轉，行人也較容易判定車輛位置，以利穿越的完成。

表 5.1.2 車輛行穿線前速度(依車種)

車種	參數	無庇護島 車速(km/h)	有庇護島 車速(km/h)	t 值 (F 值)	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
機車	平均數	19.16	13.89	11.57	< 0.001	有
	標準差	6.84	5.75	1.41	< 0.001	有
小型車	平均數	15.01	10.57	4.32	< 0.001	有
	標準差	8.15	4.85	2.82	< 0.001	有

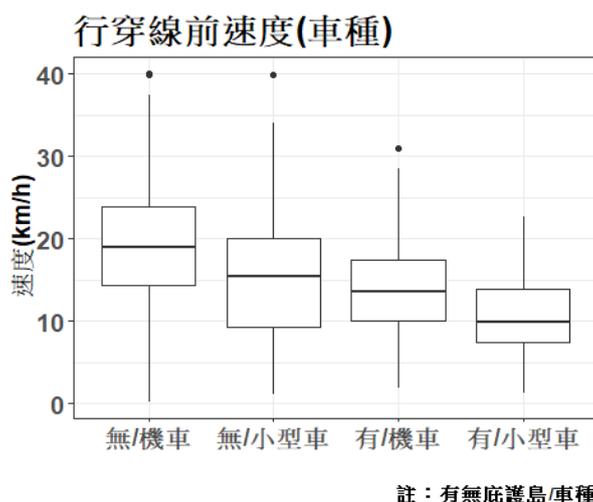


圖 5.1.2 車輛行穿線前速度 (依車種)

表 5.1.3 為依據行人號誌時段計算之車輛於行穿線前的速度，根據車輛被影像辨識到的第一個時間點的行人號誌來分組，觀察其不同時段下的行穿線前通過速度選擇，圖 5.1.3 為其分布圖。不論在行人號誌綠燈閃燈或是紅燈，車輛在有庇護島之路口行穿線前車速皆顯著降低，又尤其行人紅燈時段最為明顯，顯著降低了 9 km/h，原因可能為庇護島的設立讓車輛就算沒有遇到行人，亦需要減速以繞行通過庇護島，至於無庇護島之路口，會因為沒有行人而使車輛無減速就進行轉彎。此外，對無庇護島本身之不同行人號誌時段的車速，在百分之 95 信心水準下，行人紅燈的行穿線前速度是顯著大於行人綠燈的，行人紅燈時車速會增加 8 km/h。而在有庇護島的情況下，行人紅燈時的車速同樣提升，但相較於無庇護島，有庇護島的車速提升僅有 2 km/h，表示庇護島可以幫助在不同的時段下，維持著較為相近的速度。

表 5.1.3 車輛行穿線前速度 (依行人號誌)

時段	參數	無庇護島 車速(km/h)	有庇護島 車速(km/h)	t 值 (F 值)	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
行人綠燈	平均數	16.02	13.06	-4.80	< 0.001	有
	標準差	6.50	5.69	1.3	0.054	無
行人閃燈	平均數	17.57	12.66	-7.85	< 0.001	有
	標準差	7.43	5.84	1.62	< 0.001	有
行人紅燈	平均數	24.64	15.17	-9.59	< 0.001	有
	標準差	6.22	5.22	1.41	0.141	無

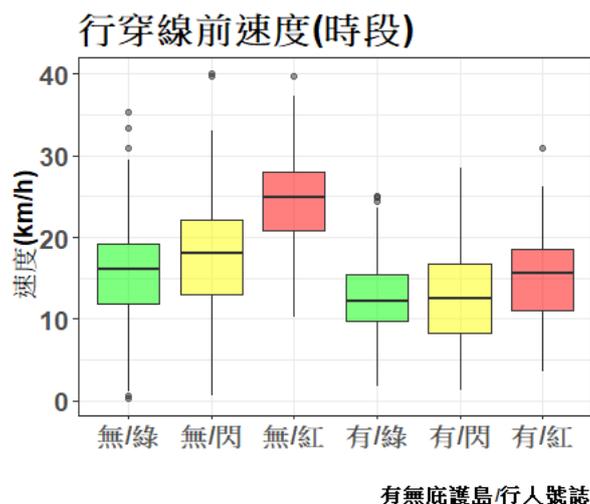


圖 5.1.3 車輛行穿線前車速 (依行人號誌)

## 2. 通過行穿線速度

車輛通過行穿線時，原則應維持較低速度通過，且法律亦規定車輛進行穿線需減速通行，不論行人的有無。表 5.1.4 和圖 5.1.4 為計算結果，不論在平均數與標準差上皆為顯著，表示庇護島有顯著降低通過時車速，且幫助標準差下降，駕駛的速度較為固定。

表 5.1.4 車輛通過行穿線速度

參數	無庇護島 車速(km/h)	有庇護島 車速(km/h)	t 值 (F 值)	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
平均值	15.68	13.82	-5.43	< 0.001	有
標準差	6.18	4.80	0.61	< 0.001	有

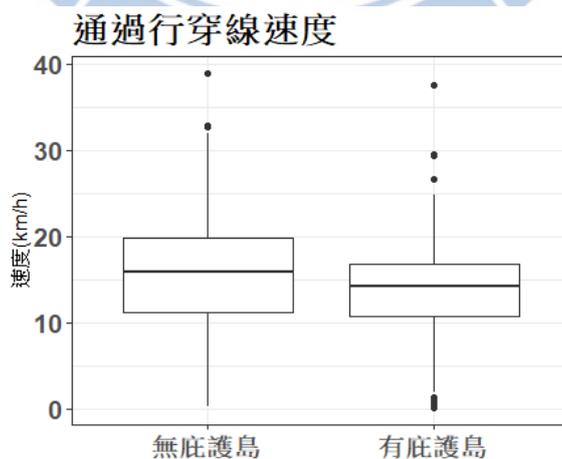


圖 5.1.4 車輛通過行穿線速度

依車種不同，其通過速度的計算結果如表 5.1.5 和圖 5.1.5，結果顯示，不論為機車或是小型車，車輛通過速度在有庇護島的路口皆顯著較低，且標準差亦顯著降低，表示庇護島可以幫助通過速度降低且將速度維持在一定範圍內。

表 5.1.5 車輛通過行穿線速度（依車種）

車種	參數	無庇護島 車速(km/h)	有庇護島 車速(km/h)	t 值 (F 值)	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
機車	平均數	16.52	14.44	5.26	< 0.001	有
	標準差	6.25	4.92	1.61	< 0.001	有
小型車	平均數	13.58	11.4	3.45	< 0.001	有
	標準差	4.85	3.39	2.05	< 0.001	有

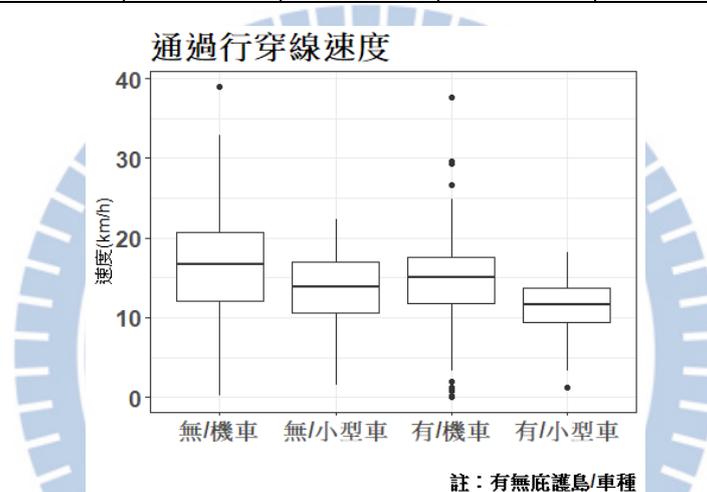


圖 5.1.5 車輛通過行穿線速度（依車種）

而後依行人號誌的不同，計算的通過速度平均與其標準差結果如表 5.1.6 和圖 5.1.6，在行人綠燈時通過之車輛，其車速並無顯著差異，而在行人閃燈與行人紅燈時，有庇護島的車輛通過速度才會顯著降低；而在速度的變異上，行人綠燈與閃燈有顯著降低，而在行人紅燈時則無差異。與行穿線前速度相同，在同樣為無庇護島的路口中，通過速度在行人紅燈時會大於綠燈 6 km/h，然而在有庇護島的情況下，行人紅燈時速度僅增加 1.5 km/h，庇護島幫助車輛通過速度不會因行人號誌時段的變化而有大幅的改變。

表 5.1.6 車輛通過行穿線速度 (依行人號誌)

時段	參數	無庇護島 車速(km/h)	有庇護島 車速(km/h)	t 值 (F 值)	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
行人綠燈	平均數	13.84	13.53	-0.58	0.518	無
	標準差	5.80	4.50	1.66	< 0.001	有
行人閃燈	平均數	15.67	13.58	-4.04	< 0.001	有
	標準差	6.11	5.13	1.41	0.005	有
行人紅燈	平均數	19.84	14.98	-6.55	< 0.001	有
	標準差	5.16	4.59	1.26	0.249	無

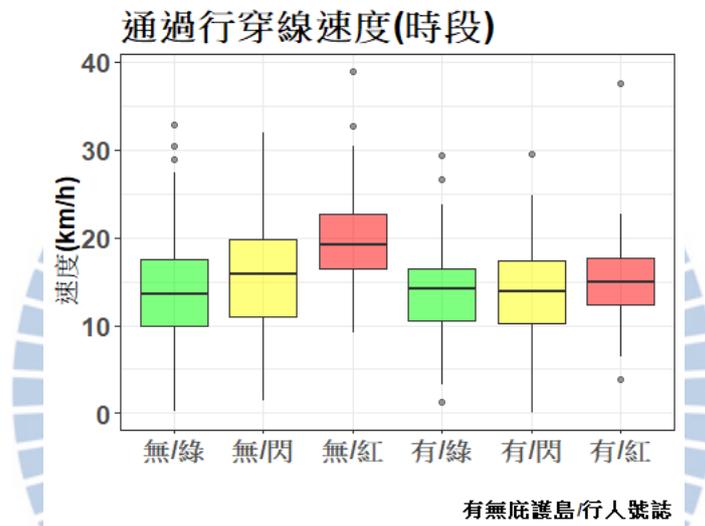


圖 5.1.6 車輛通過行穿線速度 (依行人號誌)

## 5.1.2 人車分離

此小節講述人車分離指標，包含提前左轉比率和車輛通過集中度，一樣與速度指標的比較相同，首先介紹指標在有庇護島與無庇護島上的差異，接續區分不同的車種以及不同的行人號誌時段進行討論。

### 1. 提前左轉比率

提前左轉比率的結果如圖 5.1.7，在無庇護島的情況下，提前左轉比率為 0.65，表示平均而言，每個時相中有百分之六十五的車輛會提前左轉，然而在有庇護島的情況下，則可以很明顯的觀察到提前左轉比率趨近於零，因為庇護島的存在，杜絕了大部分車輛的提前左轉可能，讓駕駛人遵循正確的行駛路徑，但可以發現仍有少部分時相仍有提前左轉的發生。

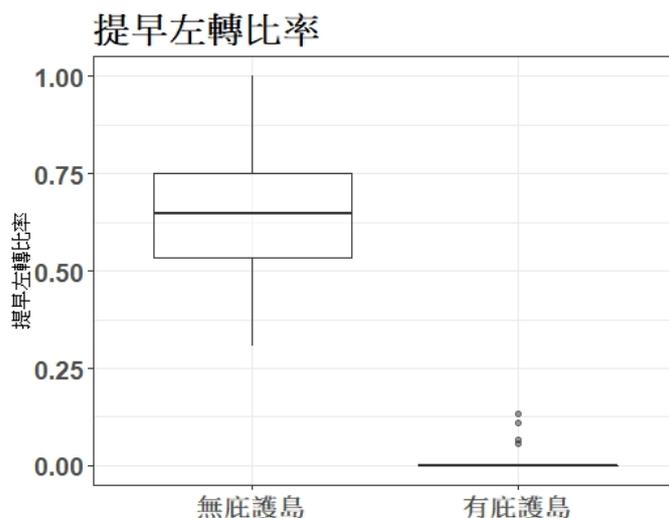


圖 5.1.7 車輛提早左轉比率

將指標結果以不同車種進行計算，結果如表 5.1.7 和圖 5.1.8，結果顯示，有庇護島的情況下，小型的車提早左轉比率為 0，表示庇護島的存在完全杜絕小型車提早左轉的可能，然而上述提到的仍有部分時相有提早左轉的發生，可以觀察到是因為機車的緣故，庇護島雖然可以避免大部分機車提早左轉，但仍是有一部分機車駕駛人未依據合法的行進軌跡行駛，提早進入行穿線進行左轉（如圖 5.1.9 圓圈標記處）。

表 5.1.7 車輛提早左轉比率（依車種）

指標	車種	無庇護島	有庇護島	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
提前左轉比率	機車	0.673	0.012	-20.92	< 0.001	有
	小型車	0.605	0	-9.25	< 0.001	有

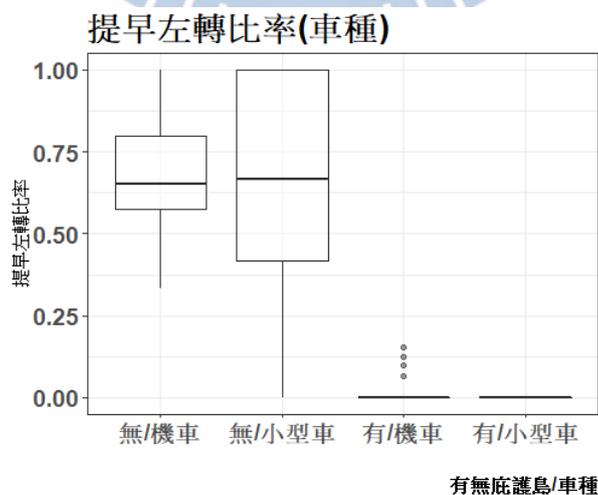


圖 5.1.8 車輛提早左轉比率（依車種）



圖 5.1.9 機車提早左轉

接續以不同行人號誌時段下進行計算，結果如表 5.1.8 與圖 5.1.10，在有庇護島的情況下，維持著低提早左轉比率，而在無庇護島的情況下，可以觀察到在行人紅燈的時段下，車輛提早左轉比率較高，可能原因為隨著燈號即將轉換，車輛急於通過進行左轉，導致左轉比率的提升。

表 5.1.8 車輛提早左轉比率（依行人號誌）

指標	時段	無庇護島	有庇護島	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
提前左轉比率	綠燈	0.615	0.004	-13.36	< 0.001	有
	閃燈	0.666	0.009	-16.19	< 0.001	有
	紅燈	0.938	0.02	-25.82	< 0.001	有

提早左轉比率(時段)

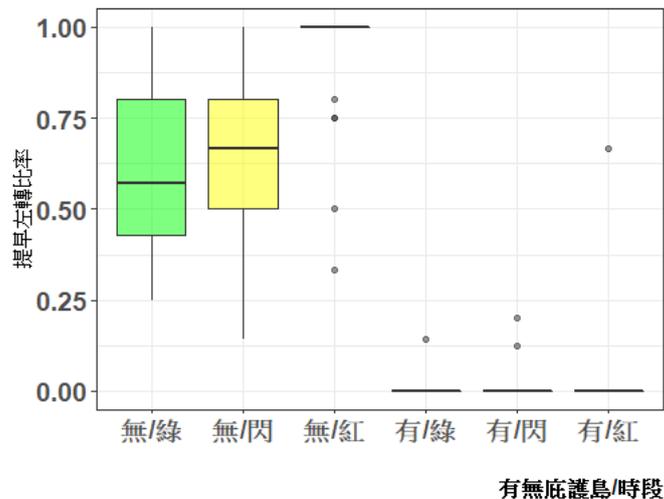


圖 5.1.10 車輛提早左轉比率（依行人號誌）

## 2. 車輛通過集中度

在車輛通過集中度上，若是值越大表示車輛可能通過的範圍越大，代表集中度越小，計算結果如表 5.1.9 與圖 5.1.11。結果顯示，在有庇護島的情況下，可以提升車輛通過的集中度，表示人車可能的衝突範圍降低，讓行人清楚知道車輛可能的通過位置，便於通過時行人注意車輛。

表 5.1.9 車輛通過集中度

指標	參數	無庇護島	有庇護島	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
車輛通過集中度	平均值	3.68	1.42	-9.41	< 0.001	有

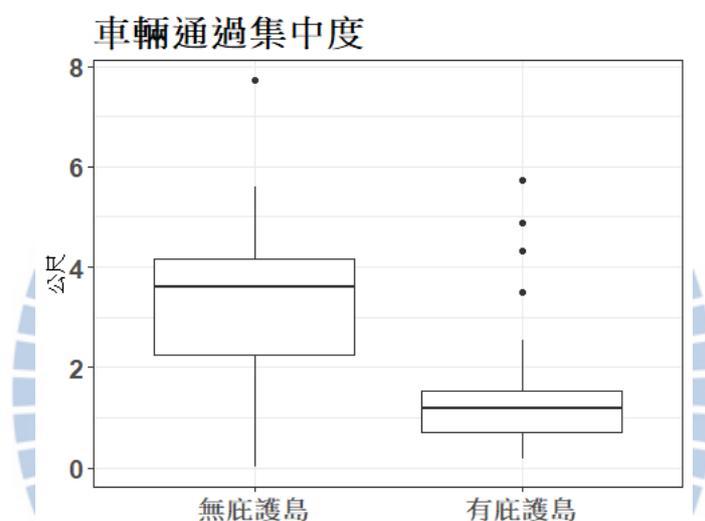


圖 5.1.11 車輛通過集中度

車輛集中度在不同車種的計算結果如表 5.1.10 與圖 5.1.12，結果顯示，有庇護島的存在不論是機車與小型車皆可以提升車輛通過集中度，不論在有無庇護島的情況下，機車的集中度皆小於小型車（經由 t 檢定計算百分之九十五信心水準下顯著差異），機車因機動性較高，不一定會在行穿線前停等行人，可能會選擇由行人前後進行通過，使其集中度較低。

表 5.1.10 車輛通過集中度（依車種）

指標	車種	無庇護島	有庇護島	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
車輛通過集中度	機車	3.71	1.47	-3.25	< 0.001	有
	小型車	2.89	0.914	5.43	< 0.001	有

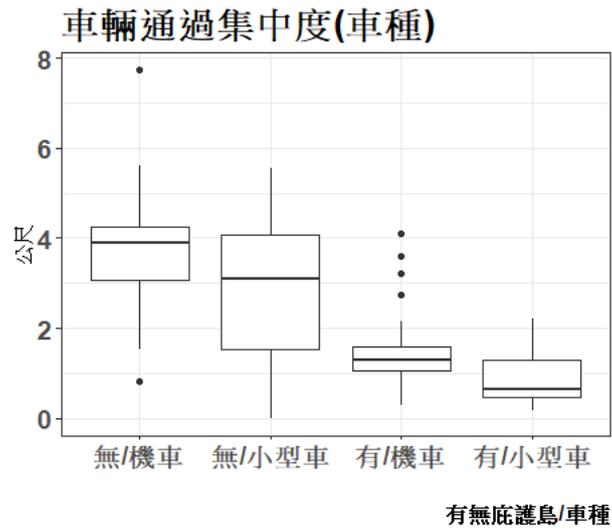


圖 5.1.12 車輛通過集中度 (依車種)

車輛集中度在不同行人號誌時段的計算結果如表 5.1.11 與圖 5.1.13，不論是在行人綠燈、閃燈和紅燈的情況下，有庇護島的組別集中度皆顯著上升，車輛不會因行人號誌時段的改變而改變集中度。

表 5.1.11 車輛通過集中度 (依行人號誌)

指標	時段	無庇護島	有庇護島	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
車輛通過集中度	行人綠燈	2.32	1.29	4.44	< 0.001	有
	行人閃燈	3.68	1.34	9.19	< 0.001	有
	行人紅燈	2.34	1.12	2.81	0.008	有

### 車輛通過集中度(時段)

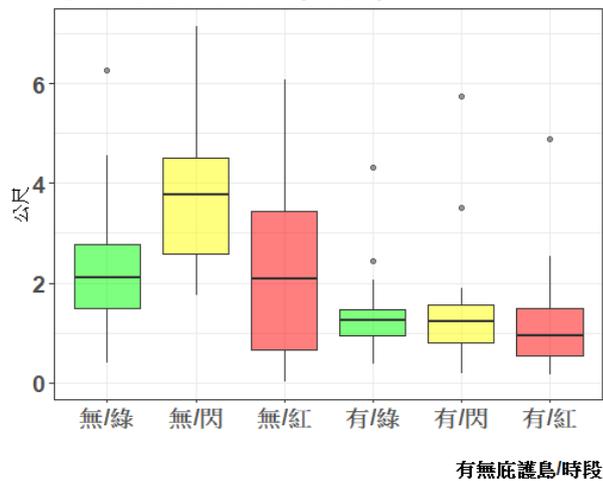


圖 5.1.13 車輛通過集中度 (依行人號誌)

### 5.1.3 行人可見度提高

#### 1. 車輛接觸行穿線角度

行人可見度的提高，本研究藉由車輛接觸行穿線角度來量化其效果，預期接觸角度越大越接近 90 度，表示車輛有更大的視野注意行人。如圖 5.1.14 和表 5.1.10 可以觀察到有庇護島的路口可以幫助車輛有更大的接觸行穿線角度，平均值為 61 度，而無庇護島的車輛因有可能於分隔島前就進行左轉，導致接觸角度較小，可能會有較差的視野。

表 5.1.12 車輛接觸行穿線角度

指標	參數	無庇護島 (度)	有庇護島 (度)	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
車輛接觸 行穿線角度	平均值	32	61	37.97	< 0.001	有

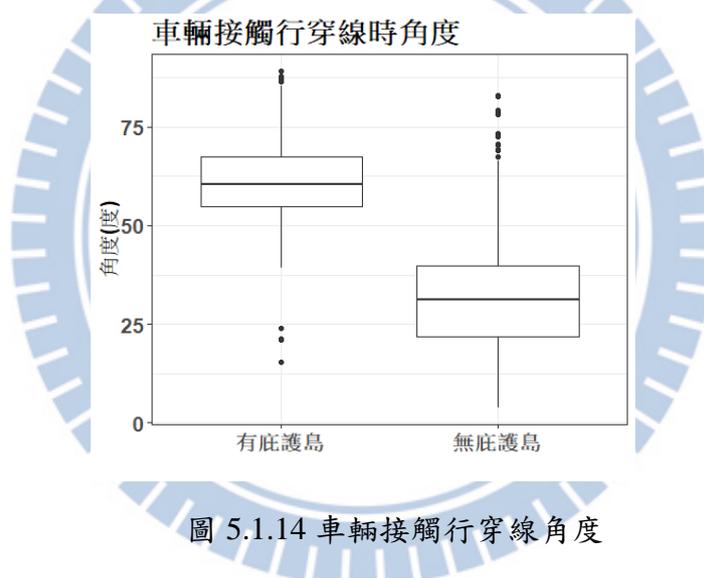


圖 5.1.14 車輛接觸行穿線角度

而不論機車或是小型車，在有庇護島的組別其接觸角度皆顯著提升，（如表 5.1.13 與圖 5.1.15），但在機車與小型車進行檢定時，並無證據顯示兩者有顯著差異。而在各行人號誌時段的分類中，在有庇護島的轉向角度同樣顯著大於無庇護島組別。

表 5.1.13 車輛接觸行穿線角度

車種	參數	無庇護島 (度)	有庇護島 (度)	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
機車	平均值	32.2	60.9	31.49	< 0.001	有
小型車	平均值	32.9	62.7	18.93	< 0.001	有

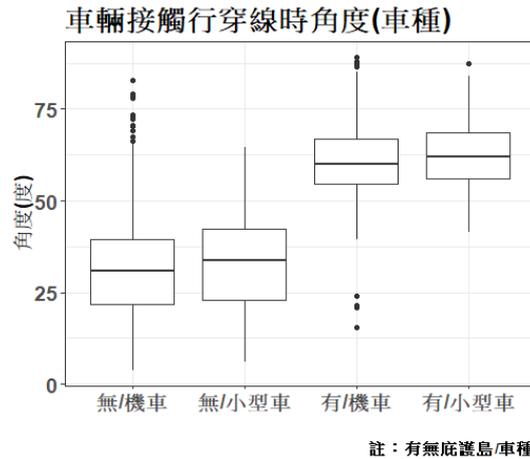


圖 5.1.15 車輛接觸行穿線角度（車種）

在不同的行人號誌時段下，車輛接觸行穿線的角度有庇護島的情況皆大於無庇護島的約 30 度，如表 5.1.14 與圖 5.1.16。單純比較無庇護島的情況下，行人綠燈角度大於行人紅燈，行人紅燈時段車輛因號誌即將轉換，及於完成左轉，導致車輛較早進行轉彎，使得與行穿線接觸角度較小，相差 5.6 度。然而在有庇護島的情況下，該行人綠燈與行人紅燈差距在 2 度以內，顯示有庇護島可以幫助不同時段的通過車輛維持在較大的接觸行穿線角度，幫助車輛能夠有更好的視野注意行人。

表 5.1.14 車輛接觸行穿線角度（依行人號誌）

行人號誌時段	參數	無庇護島 (度)	有庇護島 (度)	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
行人綠燈	平均數	31.1	60.5	-23.34	< 0.001	有
行人閃燈	平均數	34.9	63.4	-24.57	< 0.001	有
行人紅燈	平均數	25.5	58.8	-23.14	< 0.001	有

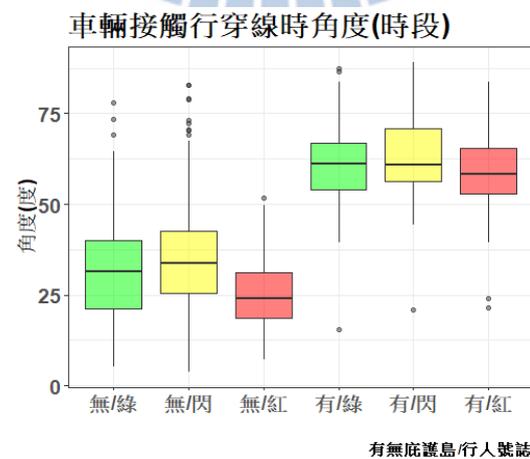


圖 5.1.16 車輛接觸行穿線角度（行人號誌）

### 5.1.4 規範遵循

規範遵循包含時間與空間上兩個層面，時間上為行人在號誌上的遵守率，檢視行人在所有時點中，紅燈時點仍在路口的行人所佔的比例；而在空間中為行人步行的行穿線遵守率，計算所有於路口的時點中，有多少的行人未步行於行穿線上範圍。以下為兩者之計算結果：

#### 1. 行人號誌遵守率

行人號誌遵守率結果如表 5.1.15 與無庇護島的遵守率為 0.986，而有庇護島的遵守率較無庇護島的低，圖 5.1.17 為兩路口號誌遵守率盒狀圖比較，從圖中可以看到有庇護島有其中兩個時相的遵守率低於 0.7，造成整個平均低於無庇護島之遵守率。有可能造成有庇護島的遵守率低的原因為庇護島的設立，幫助了降低行人一次通過的距離，減低了通過的困難，使得人在燈號即將切換時，仍然進行穿越行為。

表 5.1.15 行人號誌遵守率

指標	參數	無庇護島	有庇護島	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
行人號誌遵守率	平均值	0.986	0.935	3.36	0.002	有

行人號誌遵守率：1-(紅燈時仍在路口中的時點總和 / 行人於路口全部時點)

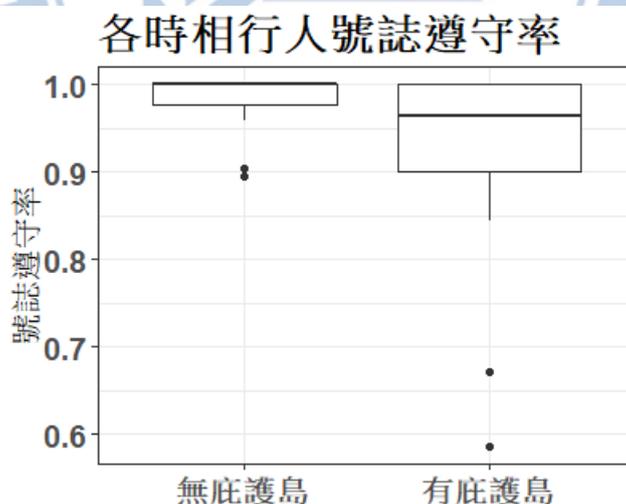


圖 5.1.17 行人號誌遵守率

#### 2. 行人行穿線遵守率

行人行穿線遵守率可以檢視既有之行人動線是否合宜，由表 5.1.16 和圖

5.1.18 觀察到無庇護島的行人行穿線遵守率顯著低於有庇護島的行人行穿線遵守率，造成此差距之結果的原因可能為庇護島可以限縮行人行走的範圍使得行人較會行走於行穿線範圍內。另外為其他影響因素所造成的而不是庇護島的有無，像是因無庇護島路口的分隔島同時間為公車島，部分行人為急於搭乘公車而使其為行走行穿線直接穿越，而被此指標內入計算造成誤差。

表 5.1.16 行人行穿線遵守率

指標	參數	無庇護島	有庇護島	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
行人行穿線遵守率	平均值	0.651	0.915	-14.09	< 0.001	有

行穿線遵守率：進入路口且在行穿線上行人時點 / 進入路口型人全部時點

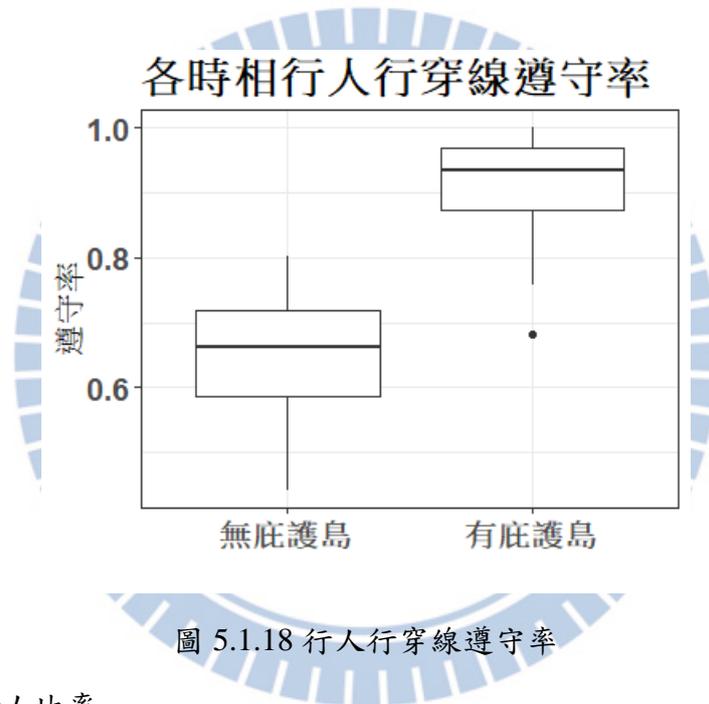


圖 5.1.18 行人行穿線遵守率

### 3. 未禮讓行人比率

未禮讓行人率為單一時相中，在車輛抵達行穿線時周遭十公尺內有行人之車輛中，有多少車輛是在三公尺以內，表示車輛與行人距離三公尺內但車輛已進入行穿線的比率。結果如表 5.1.17 和圖 5.1.19，無庇護島的未禮讓率顯著大於有庇護島的組別，代表在有庇護島的組別中，車輛較願意禮讓行人。

表 5.1.17 車輛未禮讓行人比率

指標	參數	無庇護島	有庇護島	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
未禮讓車輛率	平均值	0.56	0.42	3.60	0.011	有

未禮讓行人比率

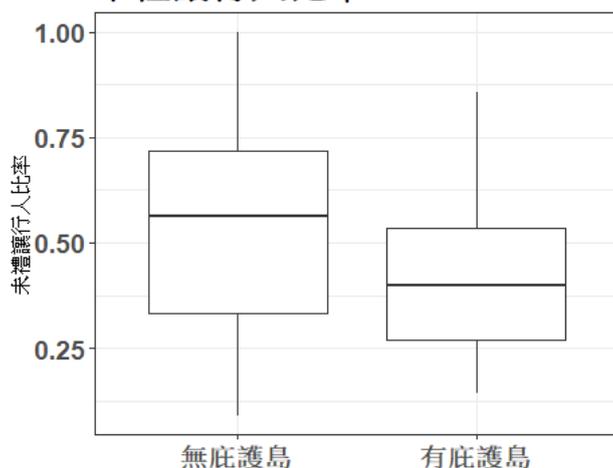


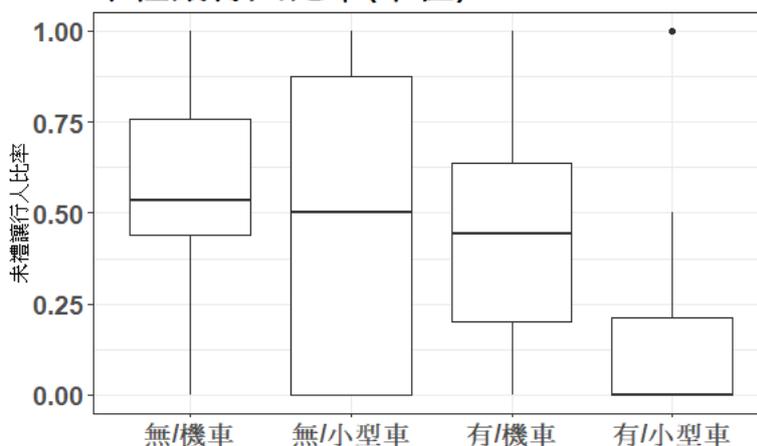
圖 5.1.19 車輛未禮讓行人比率

未禮讓行人比率根據不同車種進行計算，結果如表 5.1.18 與圖 5.1.20，不論是機車或是小型車，有庇護島的情況下，未禮讓行人比率皆顯著降低，但可以很明顯的發現，相較於小型車，機車的降低比率較少，庇護島的設立後，機車仍有 43% 的未禮讓行人，可能的原因為機車相較於小型車車體較小，三公尺對於機車判定禮讓的距離過大，機車駕駛常認定距離足夠使其加速通過，較不會進行停等。

表 5.1.18 車輛未禮讓行人比率 (依車種)

指標	車種	無庇護島	有庇護島	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
未禮讓行人比率	機車	0.589	0.432	2.33	0.022	有
	小型車	0.452	0.141	2.93	0.007	有

未禮讓行人比率(車種)



註：有無庇護島/車種

圖 5.1.20 車輛未禮讓行人比率 (依車種)

未禮讓行人比率在不同行人號誌時段的結果如表 5.1.19 與圖 5.1.21，在各個行人號誌時段上，有庇護島的未禮讓行人率較低，然而只有在行人閃燈時才有顯著，主要的原因為在行人綠燈時，主要通過的車輛為機車，上述又提到機車相對於小型車禮讓的情況較差，造成行人綠燈時高未禮讓行人率。而在行人閃燈時，主要通過的車輛為小型車，因此未禮讓行人率顯著的降低，主因即為小型車的未禮讓因庇護島而改善。

表 5.1.19 車輛未禮讓行人比率（依行人號誌）

指標	時段	無庇護島	有庇護島	t 值	p-value	有無顯著 ( $\alpha = 0.05$ )
未禮讓行人率	行人綠燈	0.644	0.585	0.68	0.498	無
	行人閃燈	0.438	0.231	2.38	0.022	有
	行人紅燈	0.25	0.132	0.45	0.675	無

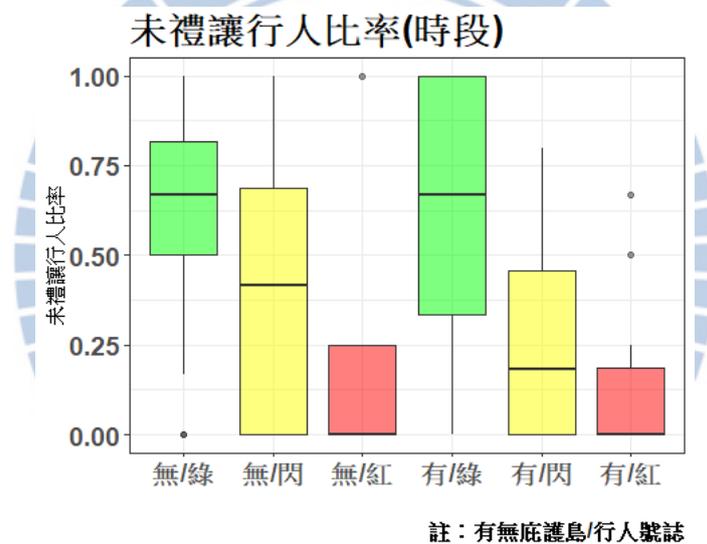


圖 5.1.21 車輛未禮讓行人比率（行人號誌）

最後，表 5.1.20 整理各行為指標的結果，各行為指標皆有符合預期並顯著，庇護島帶來眾多正面影響，幫助車輛減速、減少人車衝突範圍、減少未禮讓的情況等，然而亦發現負面的效果，像是行人遵守號誌率的提升。在車種上，機車與小型車皆因庇護島而改善其行為，然而相較於小型車，機車的改善程度較小。不同的行人號誌時段上，庇護島可以幫助駕駛不受影響，不會因號誌即將轉換而使行為變化過大，維持著相近的表現。

表 5.1.20 行為指標結果統整表

分類	指標	有庇護島影響	車種	時段
車速降低	行穿線前速度	顯著降低	平均,變異皆顯著降低	平均皆顯著降低 變異閃燈時顯著降低
	車輛通過速度	顯著降低	平均,變異皆顯著降低	閃,紅燈平均顯著降低 綠,閃燈變異顯著降低
人車分離	提前左轉比率	顯著降低	皆顯著降低	皆顯著降低
	來車集中度	顯著提升	皆顯著提升	皆顯著提升
行人可見度提高	車輛接觸行穿線時角度	顯著增加	皆顯著增加	皆顯著增加
規範遵循	行人遵守號誌比率	顯著降低	-無法比較	-無法比較
	行人行穿線遵守率	顯著增加	-無法比較	-無法比較
	車輛未禮讓行人比率	顯著降低	皆有顯著降低	僅閃燈顯著下降 顯著

## 5.2 安全指標

安全指標的結果可以幫助我們直接判定在有無庇護島時，是否能夠提升安全，本研究使用之安全指標為後侵占時間，後侵占時間可以分為行人先通過與車輛先通過兩種情況，將比較整體、行人先通過和車輛先通過三種情況，結果以下說明：

### 1. 後侵占時間(整體)

後侵占時間為既有研究常用之衝突指標，其假設用路人接近程度越高，表示發生碰撞的機率越高，下圖 5.2.1 為有無庇護島組別各自的人車交會事件中，其後侵占時間的事件比例分布圖，橫軸為 PET 的時間，縱軸為其密度分布，可以觀察到在 PET 大於 1 秒且小於 2.5 秒的範圍，無庇護島的比例明顯大於有庇護島的組別，而 1 秒以下沒有明顯差異。

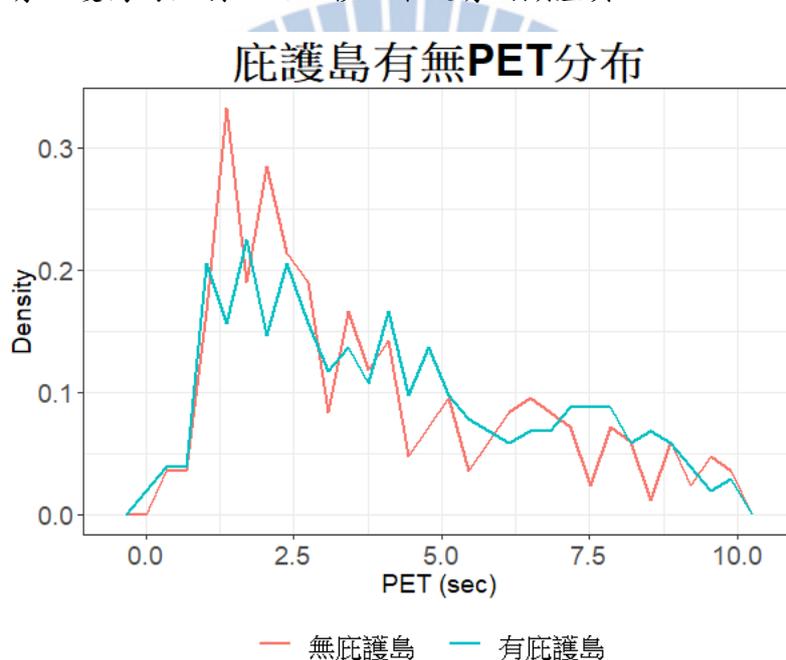


圖 5.2.1 後侵占時間分布圖

### 2. 後侵占時間(行人先通過PET<sub>p</sub>)

在行人先通過的情況下，代表車輛是有禮讓的，而車輛從行人後方通過，圖 5.2.1 其後侵占時間的事件比例分布圖，可以觀察到其在 1 秒以上且 3 秒以下的範圍，無庇護島的事件比例明顯大於有庇護島的組別。

庇護島有無PET分布,人先通過

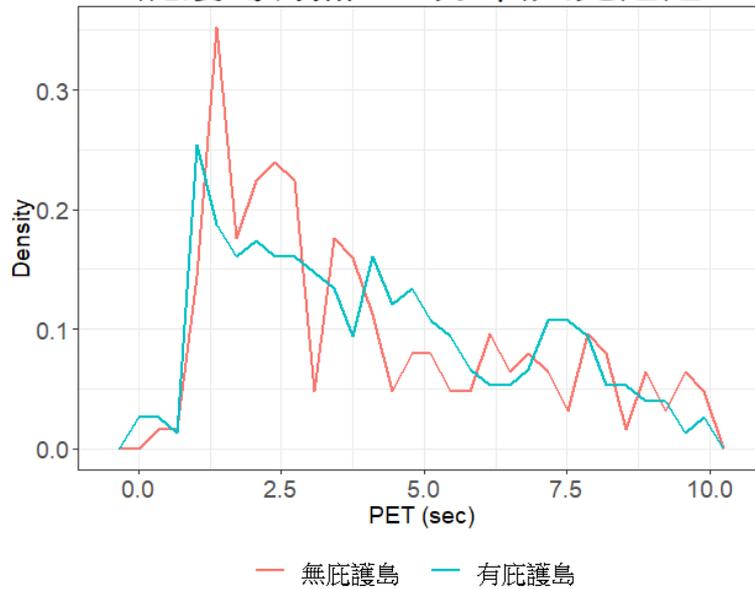


圖 5.2.2 後侵占時間分布圖 (行人先通過)

3. 後侵占時間(車輛先通過 $PET_v$ )

在車輛先通過的情況下，若事件的後侵占時間小，行人車輛過於接近，表示車輛未禮讓行人，圖 5.2.3 其後侵占時間的事件比例分布圖，可以觀察到與整體事件相同，其在 2.5 秒以下的事件，無庇護島的事件比例明顯大於有庇護島的組別。

庇護島有無PET分布,車先通過

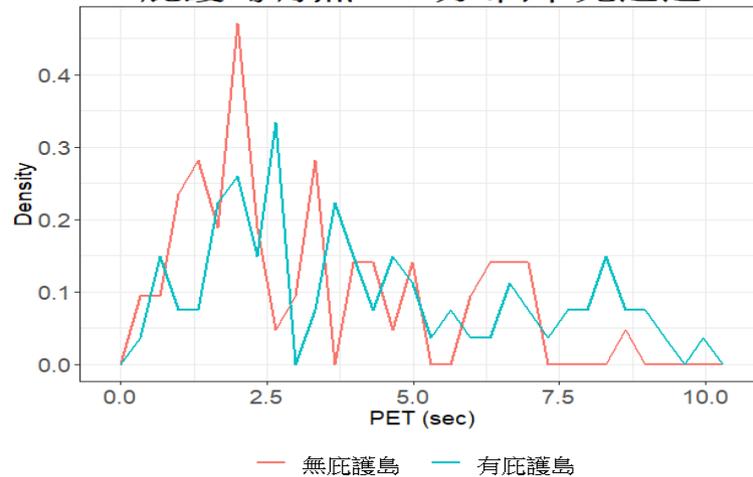


圖 5.2.3 後侵占時間分布圖 (車輛先通過)

### 5.3 庇護島安全評估

針對庇護島的有無是否影響安全，本研究建立羅吉斯迴歸模式進行分析，研究單位為單一事件，根據 5.2 的分布結果，觀察到後侵占時間 2.5 秒以下時，無庇護島的事件明顯多於有庇護島事件，因此，將模型依變數定義為後侵占時間是否為 2.5 秒以下的 0 或 1 變數，當 2.5 秒以下事件發生時，表示該事件為危險事件。而自變數包含有無庇護島、是否為汽機車衝突、單一時相中行人流量以及單一時相中的機車流量，變數與其定義整理如表 5.3.1。

表 5.3.1 模式變數定義

類別	變數名稱	定義
依變數	PET	PET 是否為 2.5 秒以下
自變數	庇護島有無	該事件發生處是否有庇護島
	是否為小型車或機車事件	事件車輛是否為機車或小型車事件，非機車或小型車事件即為公車事件
	Log(該時相行人數)	該時相行人數取自然對數
	該時相機車數量	與事件同一時相進行左轉的機車數量

接續分別建立三個模型，首先模型一為單純截距項之模型，而模型二為僅放入有無庇護島變數，最後模型三根據可能影響單一事件後侵占時間的人流、車流量及車種放入模式中，結果如表 5.3.2。

在模式校估的結果上，首先可以看到模型二，在放入有無庇護島的變數後，其校估係數顯著並為負值，表示在有庇護島的情況下，可以降低 PET 小於 2.5 秒的事件出現的機率。顯示庇護島確實帶來正面的安全效果，幫助提高人車的交會時間差。

而在模型三上，首先看到顯著的變數，庇護島有無的變數一樣為負值且更加顯著，出現 PET 事件 2.5 秒以下的機會較小；在小型車或機車事件上，相較於公車的事件，其發生 PET 小於 2.5 秒事件的機率就較大；而該時相的機車數量，放入此變數的用意為，當機車數量較多，機車可能受到機車群體的影響，機車車輛數多時，可能會有較不禮讓行人的出現，其校估結果為正號，符合預期說機車數量越多較大機率發生 PET 小於 2.5 秒事件。至於該行人時相數的變數為正號，本應預期行人群體數量越多時，發生 PET 小於 2.5 秒事件機率應較小，變數應該為

負值，但校估結果為相反，不過並不顯著，因認為其有影響，雖然不符合預期且不顯著，但仍放置在模式中。

在配適度上，首先可以看到 AIC, BIC, Log Likelihood 和 Deviance，在模型三的數值皆較模型一和模型二小，表示模型三的配適較模型一和模型二佳。此外，利用 McFadden's r square 和 Hosmer-Lemeshow 檢定進行檢驗，首先可以看到在 McFadden's r square 上，其模型二值為 0.007 和 0.043，其值相對較小，然而在 Hosmer-Lemeshow 檢定上，p-value 等於 1 和 0.383，表示皆無拒絕實際值與預測值相同的假設，並無顯著證據證明模式的配適度不佳。

最後，根據校估的係數值，庇護島有無為-0.679，其可以解釋為在有庇護島的情況下，相較於沒有庇護島，其可以降低 0.492 的 PET 小於 2.5 秒事件發生的機率。

表 5.3.2 羅吉斯迴歸校估結果

	模型一	模型二	模型三
	係數 (標準誤)	係數 (標準誤)	係數 (標準誤)
截距項	-0.535 *** (0.089)	-0.318 * (0.129)	-4.120 ** (1.277)
庇護島有無		-0.405 * (0.178)	-0.679 ** (0.252)
小型車或機車事件			2.940 ** (1.032)
Log(該時相行人數)			0.189 (0.254)
該時相機車數量			0.035 * (0.015)
AIC	722.481	719.307	699.571
BIC	726.786	727.916	721.093
Log Likelihood	-360.241	-357.653	-344.785
Deviance	720.481	715.307	689.571
Num. obs.	547	547	547
McFadden's r square		0.007	0.043
Hosmer-Lemeshow test		p-value = 1	p-value = 0.383

\*\*\* p < 0.001, \*\* p < 0.01, \* p < 0.05

5.2 小節提及後侵占時間可以區分為行人先通過與車輛先通過兩種情況，因此同樣建立與上述模型三相同變數的模型，但樣本更改為行人先通過與車輛先通過兩種，表 5.3.3 為模式的結果。結果發現，在庇護島有無的變數上，皆維持負號，但在行人先通過時沒有顯著，而在車輛先通過時才有顯著。認為該結果的原因為，車輛先通過表示未禮讓行人，因此庇護島的存在可以幫助降低危險事件的發生，所以變數有顯著，可以帶來較多的安全效果；而行人先通過的情況下，因車輛已經禮讓，因此效果較不明顯。

在小型車與機車事件上，因為車輛先通過的事件沒有公車，公車皆為禮讓行人先行通過，因此無小型車或機車事件變數。該時相行人數在不同模式皆保持一樣正值且不顯著。而該時相機車數，在車輛先通過的模式中更加顯著且校估值更大，上述提到此變數為群體的影響，所以在車輛先通過且機車數量較多時，對於危險事件的發生機率會更加提高。

表 5.3.3 羅吉斯迴歸校估結果（人車先後區隔）

	整體PET <sub>all</sub>	行人先通過PET <sub>p</sub>	車輛先通過PET <sub>v</sub>
	係數 (標準誤)	係數 (標準誤)	係數 (標準誤)
截距項	-4.120 ** (1.277)	-3.608 ** (1.365)	-2.608 (1.500)
庇護島有無	-0.679 ** (0.252)	-0.478 (0.298)	-1.172 * (0.497)
小型車或機車事件 (相對於公車)	2.940 ** (1.032)	2.819 ** (1.035)	
Log(該時相行人數)	0.189 (0.254)	0.096 (0.301)	0.575 (0.505)
該時相機車數量	0.035 * (0.015)	0.017 (0.018)	0.079 ** (0.031)
Num. obs.	547	398	142
McFadden's r square	0.043	0.037	0.088
Hosmer-Lemeshow test	p-value = 0.383	p-value = 0.666	p-value = 0.951

\*\*\* p < 0.001, \*\* p < 0.01, \* p < 0.05

## 第六章 結論與建議

### 6.1 結論

本研究探討庇護島的有無對用路人的影響，透過建立設施安全效果評估架構，分成四個預期造成的安全效果進一步構想可能影響之行為，透過行為指標，評估改善設施的有無在指標上是否有顯著差異。

研究證明了在有庇護島的情況下，確實對用路人的行為產生改變，以下依照本研究的安全效果分類，總結本研究之發現：

#### 1. 車速降低

車速降低上，分成通過行穿前車速與通過後兩者進行比較，首先就行穿線前的車速依序比較整體車速、各車種車速、以及各時相車速比較有無庇護島的差別，整體車速在有庇護島的情況下較低，對小客車以及機車的效果相同，各個時相的車速亦皆顯著降低。除了降低車速外，也發現車輛速度的變異同樣顯著降低，有庇護島讓車輛的速度更加均一。在通過速度上，結果與行穿線前速度一致，有庇護島在各個不同車種與行人號誌時段皆能顯著降低車輛速度。

#### 2. 人車分離

人車分離以提前左轉率與車輛通過集中度兩行為來判定，很明顯地在有庇護島的情況下，限制了車輛提前左轉可能性，使提前左轉率大幅下降，然而仍然可以發現機車有提早左轉的情況發生，在有庇護島的情況仍需要注意機車違規左轉的情況。而在車輛通過集中度上，有庇護島顯著地降低車輛進入行穿線的範圍，限制了車輛進入的區域，集中車輛可以幫助行人更容易觀察車輛的行進，避免有車輛從後方追撞行人的情況發生。

#### 3. 行人可見度提高

行人可見度的提高透過車輛進入行穿線的角度來進行評估，有庇護島的組別可以提升車輛的與行穿線的角度，與沒有庇護島的組別相差 30 度，角度的提升預期可以幫助車輛有更好的視野去注意衝突區的行人，避免發生視線死角與行人重疊導致碰撞的發生。

#### 4. 規範遵循

規範遵循上，可以發現與過往文獻相同的結果，有庇護島的情況下，行人對於號誌的遵守率較差，其可能原因為縮短了行人穿越的距離，導致行人對於穿越的困難降低，反而使行人更容易選擇穿越。亦有可能與號誌設計有關，因為長時間的週期，導致行人不想等一個週期再進行穿越，進而冒險穿越。

在行穿線的遵行率上，行人於有庇護島的組別，有九成走在行穿線上，然而在無庇護島的組別只有六成五的行人依照行穿線行走，庇護島有限縮行人行走空間的功能，可以幫助行人遵守規定的行人動線。另外一個可能的原因為，無庇護島路口同時間分隔島為公車島，行人會因為公車島而使行人想迫切進行穿越，導致行人未走在行穿線上的情況頻繁發生。

經由統計檢定比較有無庇護島組別的行為指標後，研究最後建立羅吉斯迴歸檢視庇護島對安全指標的影響，確認其可以顯著降低後侵占時間小於 2.5 秒事件發生的機率。庇護島對用路人帶來的效果有正面亦有負面，對於小客車的影響皆為正面的安全效果，然而對行人則有機會帶來負面的效果（違規穿越）。未來需要增設庇護島時，可以注意本研究討論之安全效果，評估是否可以改變車輛的行為，以提升行人的路口穿越安全。

## 6.2 建議

建議分成兩個部分，一為根據研究結果對路口改善提出的建議，幫助後續設施設計上的參考；二為建議未來可研究之方向，提供未來使相關研究參考及精進之建議，期許能夠對未來提升用路人道路安全環境的研究上，盡上一份微薄的心力。

### 6.2.1 路口改善建議

根據本研究的結果，對於行人設施的改善提出修正，包含三個面向，設施設置、教育宣導和法規執行，以下說明：

#### 1、設施設置

本研究發現庇護島的設立可以幫助車輛增加與行穿線接觸的角度，然而在路口較寬的情況下才適合設置庇護島，若是在路口較窄的路口，可以考量改變行穿線位置，將行穿線退縮遠離路口，不要緊貼著轉角，避免車輛接觸角度較低，提供車輛駕駛有良好的視野。

另外在號誌上，盡可能縮短週期，本研究發現有庇護島的情況反而讓行人容易違規穿越，除了因為距離過短導致行人認為容易穿越外，週期過長亦可能造成行人不願等到下一次綠燈，而是逕行穿越，因此可以檢討號誌週期長度，以減少行人違規穿越的情況。

## 2、教育宣導

對於車輛與行人的違規情況上，可以多加進行教育與宣導，如機車提前左轉的情況，理應在庇護島設置後就完全隔絕，然而仍有少部分機車提前左轉，針對機車的駕駛行為可以多加注意。而在行人違規上，除了上述提到的號誌改善外，亦可以進行安全宣導，在行人通過路口時，雖擁有優先路權，但是亦要遵守號誌穿越。

## 3、法規執行

本研究定義未禮讓行人指標三公尺，然而可以發現雖然有庇護島的設立卻仍然有四成的機車駕駛並未遵守此規範，法規定義三公尺主要為小型車的標準，是否適用於機車建議可以再另行討論，台灣因機車車流較大，過多車輛停等時容易影響後方車輛通行，造成通過效率低落。除了距離外，對於未減速而進行穿越的車輛應該更加注意，速度過快容易導致嚴重衝突或事故的發生，法規亦規定通過行穿線需要減速慢行，建議警察在執法上可以多加強取締未減速之車輛。

### 6.2.2 未來研究建議

#### 1. 分析方法

本研究因欲在短時間內對一處設施進行安全評估，故使用橫斷面分析選取一政府已施作路口與一處沒有改善設施的路口進行比較，在操作方較為方便，且不需要長時間的觀察。然而，路口選取雖已經根據路口幾何和地理位置選取相近路口，但是在兩處路口除了庇護島的有無外，同時亦存在著可能影響本研究之行為指標的干擾因素，如穿越時間長短的不同、公車道的影響……等。因此若後續研究的時間以及資源充足，建議可以採取事前事後的評估方式，減少干擾因素的數量。

#### 2. 資料蒐集方式

本研究使用之資料蒐集方式為影像辨識，再轉換為軌跡資料，利用兩個視角的資料進行計算，得到精確的物件軌跡座標。本研究之資料蒐集方式於路口無高

處可以進行拍攝，且又無法使用空拍機的情況下，可以得出如同空拍機的視角資料，且有一定的精確度。但雖然辨識上可以自動化處理，然而在後續兩視角的物件編號串聯上，較為費時與費力，雖然本研究可以得到精確的軌跡，亦需要評估

### 3. 用路人群體的行為

本研究在行為指標的分析上，皆分析用路人獨立個體間的行為，蒐集個體的指標再進行統計，用以判定有無庇護島對行為指標的影響。然而，交叉路口有著眾多的用路人彼此互相影響，本研究並無考量的車輛與車輛間、行人與行人或是行人與車輛等不同用路人間的影響。後續研究可以將同時存在於周遭環境的用路人進行討論，設立不同的情境方式來分析各用路人間彼此的影響。



## 參考文獻

1. 市區道路及附屬工程設計規範，技術手冊，內政部營建署，九十八年四月二十九日發布實施，中華民國 104 年 7 月 22 日修正實施。
2. 市區道路條例，法規，中華民國五十四年一月二十八日施行，中華民國九十三年五月二十八日修正。
3. 都市人本交通規劃設計手冊，規範，中華民國九十八年十二月。
4. 許添本、李明聰 (2002)。地區性道路人車衝突交通安全風險評估模式之建立。運輸計劃季刊，31 (2)，245-265。doi:10.6402/TPJ.200206.0245
5. 蘇少奕 (2002)。巷道人車衝突評估指標與服務水準之建立與應用。國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，台北市。取自 <https://hdl.handle.net/11296/8rtg6u>
6. 翁燕芬 (2003)。獨立路口行人專用時相之研究。國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，台北市。取自 <https://hdl.handle.net/11296/n246tv>
7. 符人懿 (2011)。號誌化路口行人早開時相與控制策略之研究。淡江大學運輸管理學系碩士班碩士論文，新北市。取自 <https://hdl.handle.net/11296/qu3684>
8. 鍾易詩 (2017)。市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊服務建議書。(計畫編號：107-G201-0101-0000-4080)。內政部營建署。
9. Ahmed, T., & Tarek, S. (2016). Developing evasive action-based indicators for identifying pedestrian conflicts in less organized traffic environments. *Journal of Advanced Transportation*, 50(6), 1193-1208. doi:doi:10.1002/atr.1397
10. Alhajyaseen, W. K. M., Asano, M., & Nakamura, H. (2012). Estimation of left-turning vehicle maneuvers for the assessment of pedestrian safety at intersections. *IATSS Research*, 36(1), 66-74. doi:https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2012.03.002
11. Alhajyaseen, W. K. M., Asano, M., & Nakamura, H. (2013). Left-turn gap acceptance models considering pedestrian movement characteristics. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 175-185. doi:https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.04.006
12. Archer, J. (2005). *Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections*. PhD dissertation. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2005.
13. Brian S. Bochner, Philip J. Caruso, James M. Daisa, Lisa M. Fontana Tierney, Lucinda E. Gibson, John Norquist, Jon T. Obenberger, Harold E. Peaks, Heather Smith, John V. Thomas, Neel Vanikar (2010). *Design Walkable Urban Thoroughfares: A Context Sensitive Approach*. Institute of Transportation Engineers.
14. Cao, Y., Ni, Y., & Li, K. (2017). *Effects of Refuge Island Settings on Pedestrian Safety Perception and Signal Violation at Signalized Intersections*. Paper presented at the TRB 96 31 th Annual Meeting.

15. Chen, P., Zeng, W., Yu, G., & Wang, Y. (2017). Surrogate safety analysis of pedestrian-vehicle conflict at intersections using unmanned aerial vehicle videos. *Journal of Advanced Transportation*, 2017.
16. El-Basyouny, K., & Sayed, T. (2013). Safety performance functions using traffic conflicts. *Safety Science*, 51(1), 160-164. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.04.015>
17. Guo, F., Klauer, S. G., Hankey, J. M., & Dingus, T. A. (2010). Near Crashes as Crash Surrogate for Naturalistic Driving Studies. *Transportation Research Record*, 2147(1), 66-74. doi:10.3141/2147-09
18. Iasmin, H., Kojima, A., & Kubota, H. (2016). Safety effectiveness of pavement design treatment at intersections: Left turning vehicles and pedestrians on crosswalks. *IATSS Research*, 40(1), 47-55. doi:<https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2016.04.001>
19. Ismail, K., Sayed, T., Saunier, N., & Lim, C. (2009). Automated Analysis of Pedestrian-Vehicle Conflicts Using Video Data. *Transportation Research Record*, 2140(1), 44-54. doi:10.3141/2140-05
20. Jacquemart, G. (2012). Determining the Ideal Location for Pedestrian Crosswalks at Signalized Intersections. *ITE Journal*, 82(9), 44-47.
21. Johnsson, C., Laureshyn, A., & De Ceunynck, T. (2018). In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators. *Transport Reviews*, 1-21. doi:10.1080/01441647.2018.1442888
22. Kamyab, A., Andrie, S., Kroeger, D., & Heyer, D. S. (2003). Methods to Reduce Traffic Speed in High-Pedestrian Rural Areas. *Transportation Research Record*, 1828(1), 31-37. <https://doi.org/10.3141/1828-04>
23. Knoblauch, R., Nitzburg, M., & Seifert, R. F. (2001). *Pedestrian Crosswalk Case Studies: Sacramento, California; Richmond, Virginia; Buffalo, New York; Stillwater, Minnesota*. (FHWA-RD-00-103)
24. Knoblauch, R. L., & Raymond, P. D. (2000). *The Effect of Crosswalk Markings on Vehicle Speeds in Maryland, Virginia, and Arizona*. (FHWA-RD-00-101)
25. Li, Y., & Fernie, G. (2010). Pedestrian behavior and safety on a two-stage crossing with a center refuge island and the effect of winter weather on pedestrian compliance rate. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1156-1163. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.01.004>
26. Lord, D. (1996). Analysis of Pedestrian Conflicts with Left-Turning Traffic. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1538, 61-67. doi:10.3141/1538-08
27. Mahmud, S. M. S., Ferreira, L., Hoque, M. S., & Tavassoli, A. (2017). Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 41(4), 153-163. doi:<https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2017.02.001>
28. Ni, Y., Wang, M., Sun, J., & Li, K. (2016). Evaluation of pedestrian safety at intersections: A theoretical framework based on pedestrian-vehicle interaction

- eraction patterns. *Accident Analysis & Prevention*, 96, 118-129. doi:https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.07.030
29. Pulugurtha, S., Vasudevan, V., Nambisan, S., & Dangeti, M. (2012). Evaluating Effectiveness of Infrastructure-Based Countermeasures for Pedestrian Safety. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2299, 100-109. doi:10.3141/2299-11
  30. Retting, R. A., Ferguson, S. A., & McCartt, A. T. (2003). A Review of Evidence-Based Traffic Engineering Measures Designed to Reduce Pedestrian–Motor Vehicle Crashes. *American Journal of Public Health*, 93(9), 1456-1463. doi:10.2105/ajph.93.9.1456
  31. Sacchi, E., Sayed, T., & deLeur, P. (2013). A comparison of collision-based and conflict-based safety evaluations: The case of right-turn smart channels. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 260-266. doi:https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.06.002
  32. Shirazi, M. S., & Morris, B. T. (2017). Looking at Intersections: A Survey of Intersection Monitoring, Behavior and Safety Analysis of Recent Studies. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(1), 4-24. doi:10.1109/TITS.2016.2568920
  33. Tageldin, A., Sayed, T., & Shaaban, K. (2017). Comparison of Time-Proximity and Evasive Action Conflict Measures. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2661, 19-29. doi:10.3141/2661-03
  34. Tageldin, A., & Sayed, T. (2016). Developing evasive action-based indicators for identifying pedestrian conflicts in less organized traffic environments. *Journal of Advanced Transportation*, 50(6), 1193-1208. doi:doi:10.1002/atr.1397
  35. Tageldin, A., Sayed, T., & Wang, X. (2015). Can Time Proximity Measures Be Used as Safety Indicators in All Driving Cultures? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2520, 165-174. doi:10.3141/2520-19
  36. Tarko, Andrew & A. Davis, G & Saunier, Nicolas & Sayed, Tarek. (2009). Surrogate Measures of Safety. A White Paper. Technical Report 3, Transportation Research Board. ANB20 - Committee on Safety Data Evaluation and Analysis, 2009.
  37. Zhang, Y., Yao, D., Qiu, T. Z., Peng, L., & Zhang, Y. (2012). Pedestrian Safety Analysis in Mixed Traffic Conditions Using Video Data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(4), 1832-1844. doi:10.1109/TITS.2012.2210881

# 附錄

附表一、無庇護島組別指標敘述統計

分類	指標	分析單位	最小值	最大值	中位數	平均	標準差
車速 降低	行穿線 前速度	單一車輛 (km / hr)	0.22	40.00	18.02	17.97	7.46
	車輛通 過速度	單一車輛 (km / hr)	0.21	38.94	15.84	15.68	6.18
人車 分離	提前左 轉比率	單一時相	0.31	1	0.65	0.65	0.17
	車輛通 過集中 度	單一時相	1.46	6.62	3.70	3.68	1.02
行人 可見 度提 高	車輛接 觸行穿 線時角 度	單一車輛 (度)	3.86	82.84	31.22	32.15	13.99
規範 遵循	行人遵 守號誌 比率	單一時相	0.89	1	1	0.99	0.03
	行人行 穿線遵 守率	單一時相	0.44	0.80	0.66	0.65	0.09
	未禮讓 比率	單一時相	0.091	1	0.50	0.56	0.25
安全 指標	後侵占 時間	單一事件 (秒)	0.2	10	3.07	3.79	2.47

附表二、有庇護島組別指標敘述統計

分類	指標	單位	最小值	最大值	中位數	平均	標準差
車速 降低	行穿線 前速度	單一車輛 (km / hr)	12.79	42.76	12.69	13.20	5.73
	車輛通 過速度	單一車輛 (km / hr)	0.09	37.60	14.18	13.82	4.80
人車 分離	提前左 轉比率	單一時相	0.00	0.133	0	0.01	0.03
	車輛通 過集中 度	單一時相 (公尺)	0.58	3.77	1.31	1.42	0.66
行人 可見 度提 高	車輛接 觸行穿 線時角 度	單一車輛 (度)	15.53	89.09	60.34	61.34	10.16
規範 遵循	行人遵 守號誌 比率	單一時相	0.59	1	0.97	0.915	0.09
	行人行 穿線遵 守率	單一時相	0.68	1	0.93	0.92	0.08
	未禮讓 比率	單一時相	0.143	0.86	0.41	0.42	0.20
安全 指標	後侵占 時間	單一事件 (秒)	0.1	9.83	3.6	4.11	2.49