

集中式旅次發生對周邊路網之交通衝擊分析 ——以中央警察大學假日返鄉專車為例

陳艾懃¹、李東儒²

摘要

集中式旅次發生常見於大型旅次發生點之離開時間點，例如大型工廠之下班時間或是大型演唱會散場時，由於集中、大量之旅次發生將造成周邊路網瞬間湧入大量交通量，導致局部、短期之壅塞，因其空間與時間範圍均甚為侷限，故常認為不須特別處理，僅須採用疏導方式降低壅塞所致混亂即可。但若此旅次發生情況具有較高頻率，如前述大型工廠之下班時間為每日均發生情況，應可尋求更佳方式降低其對交通之衝擊。本研究以中央警察大學假日返鄉專車為例，蒐集實際數據探討其對警察大學周邊道路交通之影響，並以開源交通模擬軟體 Simulation of Urban Mobility 建立周邊路網模型，模擬不同情境下之交通運行狀況，期可提出降低衝擊之方案。

本研究包含 Simulation of Urban Mobility 交通模擬軟體建模、交通運行指標之選擇、改善方案研擬與最終方案績效之比較等內容，由研究結果顯示，本研究所提出之兩項改善方案均可減少警察大學返鄉專車導致之周邊道路上車輛之延滯，並降低至無返鄉專車干擾之水準，即與平日交通狀況相近。另由於 Simulation of Urban Mobility 為開源交通模擬軟體，本研究亦於研究過程中提出該模型之使用建議，期可對後續使用者有所裨益。

關鍵詞：、路網模擬、集中式旅次發生、交通衝擊、返鄉專車、開源模型。

一、前言

集中式旅次發生是一種常見但具有特殊性質的交通現象，其特點為在特定時間點有大量車輛集中進出某一區域，造成局部路網在短時間內承受超出平常的交通負荷。此現象廣泛存在於各類機構與場所，包括工廠的上下班時間、學校的上下學時段、大型活動場館的散場時刻，以及機關學校的特殊活動時間等。雖然集中式旅次發生所造成的交通衝擊在空間與時間範圍上相對有限，傳統上多採用現場交通疏導的方式處理，但當此類現象具有週期性或規律性特徵時，其累積效應不容忽視。特別是對於規模雖不大但定期發生的集中式旅次，若缺乏系統性的分析與改善，將持續對周邊路網造成不必要的延滯與壅塞。

中央警察大學（以下簡稱警大）位於桃園市龜山區，每逢週末假期，學校安排返鄉專車協助學生返家，雖然車輛數量不多（約 5~10 輛大型遊覽車），但由於集中發車時間及固定路線，對學校周邊道路交通仍產生明顯衝擊。此類小規模

¹ 中央警察大學交通學系暨交通管理研究所助理教授，桃園市龜山區大崗里樹人路 56 號，03-3282321 分機 5100，aichinchen@mail.cpu.edu.tw。

² 中央警察大學交通學系學士。

但定期性的集中旅次現象，在國內各級學校、訓練機構及政府機關中十分常見，然而相關的系統性分析與改善研究卻相當有限。傳統交通改善多針對大規模、長期性問題，對於此類局部性、週期性的交通衝擊往往因規模不大而未得到重視，許多具有改善潛力的交通問題長期被忽視。

值得注意的是，此類交通問題往往涉及外部成本的轉嫁現象。由於產生集中式旅次時之交通衝擊主要影響外部道路使用者，其企業或組織本身所受影響輕微，且多非交通管理專業，因此該企業或組織缺乏主動改善的內在動機與能力。加上衝擊時間相對短暫，該企業或組織傾向採取「忍受現狀」的消極態度，將交通壅塞的社會成本轉嫁給一般道路使用者承擔。這種市場失靈現象導致問題長期存在，凸顯了建立低成本、系統性分析方法的重要性。針對此類交通問題的分析與改善，交通模擬技術雖為有效工具，但現有商業交通模擬軟體雖功能強大完整但費用昂貴，且此類軟體學習曲線陡峭，需要專業交通工程背景，再者，由於此類評估需求並非經常性事務，投資昂貴軟體或聘請專業顧問等作法不切實際亦不符合成本效益。

有鑑於此，本研究擬以警大返鄉專車為例，發展得以填補小規模集中性交通衝擊之研究方法，驗證開源軟體 Simulation of Urban Mobility 交通模擬軟體（以下簡稱 SUMO 軟體）進行交通管理分析上的應用潛力。此一成果不僅解決特定案例的交通問題，更為推動交通分析技術民主化，使中小型機構也能進行科學化的交通改善。本研究研究目的如下：

1. 建立集中式旅次交通衝擊的分析框架；
2. 驗證開源交通模擬軟體 SUMO 之適用性；
3. 研擬改善警大返鄉專車發車期間交通衝擊之方案並評估其效果。

二、模擬軟體介紹

針對特定地點之集中式旅次發生對周邊路網之交通衝擊分析，雖可採用實地調查方法了解現況，但對於改善方案之研擬與評估，若採用實地實施後評估——即採試誤法，恐對周邊交通造成過大衝擊，因此採用模擬軟體進行改善方案之測試為廣泛被採用之方法。然對於規模較小的企業或組織個體而言，在缺乏外部壓力（如交通主管機關要求改善）的情況下，主動進行交通改善的動機相對薄弱。即使面臨外部要求，由於缺乏交通專業人力，且此類評估需求偶一為之，組織通常不願投資昂貴的商業交通模擬軟體，更難以負擔專業顧問的費用，在此情況下開源交通模擬軟體成為最具可行性的解決方案。交通模擬能夠在虛擬環境中重現真實的交通狀況，並測試各種改善方案的效果，具有重複性高、成本相對較低、且不干擾實際交通的優點。對於本研究所探討的小規模週期性交通問題，模擬分析更能有效評估不同時間安排、路線調整等策略的可行性。本節說明本研究選用 SUMO 軟體的原因、該軟體之基本架構與操作步驟，並說明本研究之路網建置。

2.1 SUMO 軟體特點

本研究所選用的 SUMO 軟體是由德國航空航天中的之運輸系統院（the Institute of Transportation Systems at the German Aerospace Center）所開發的一款開

源交通模擬軟體，由其名稱中之「Urban Mobility」即可得知其開發目的為進行都市交通運行狀況之模擬，因此其可進行大型都市路網之微觀二維模擬，對於車輛類型之設定、多車道使用、多種運具（包含行人）、交叉路口號誌運作等均可進行調整與模擬（<https://sumo.dlr.de/docs/index.html>; Lopez et al.(2018)）。Algherbal & Ratrout (2025) 比較十款商業與開源交通模擬軟體，SUMO 雖為開源軟體但仍可用於交通號誌評估、路線選擇及重新規劃路線、交通監控方法評估、車輛通訊模擬、交通預測等功能，並具有整合智慧型運輸系統中之自駕車與車間通訊等之模擬。

本研究選擇 SUMO 軟體的主要考量除前述特點外，SUMO 軟體對於硬體要求較低，可在一般電腦上進行大規模的模擬，且模擬速度快，適合需要反覆測試之需求。此外，SUMO 軟體具有官方提供之詳細文檔與教程，亦有相當活躍之用戶社群、專門論壇與討論群組（<https://accounts.eclipse.org/mailling-list/sumo-user>），對於初接觸該軟體之使用者相當友善，有助於降低使用門檻並於研究過程中對於所遇到的問題迅速獲得解答。

2.2 SUMO 軟體基本架構與執行步驟

2.2.1 基本架構

SUMO 軟體採用模組化的檔案架構設計，透過不同功能的 XML 格式檔案分工合作，實現複雜的交通模擬功能。此設計可提升系統的彈性，更便於研究者依據不同需求進行客製化設定。

SUMO 的基本架構主要由四類檔案組成：

1. 路網（Network File, .net.xml）：作為整個模擬系統的基礎架構，路網檔案定義了完整的道路網路資訊，包括道路的幾何特性、路段間的連接方式、交通控制設施及通行規則等。
2. 路徑（Route File, .rou.xml）：負責描述交通需求的時空分布特性，定義個別車輛的行為模式與移動軌跡。檔案內容包含車輛類型定義（如車長、最大速度、加速性能等物理特性）、車輛流量設定（發車時間間隔與總量）、路徑選擇（起訖點與途經路徑）以及駕駛行為參數（如跟車距離、變換車道傾向等）。
3. 附加設施（Additional File, .add.xml）：提供模擬環境的輔助設施，可依研究需求選擇性添加。例如可添加交通偵測設備（如感應線圈、影像偵測器），或是特殊交通管制措施（如可變速限、車道管制），以增加模擬之豐富性與擬真性。
4. 配置（Configuration File, .sumocfg）：為上述三個檔案的 xml 配置文件，整合前述各類檔案並設定模擬執行參數。透過配置檔案，研究者可以指定使用的路網、路徑與附加設施檔案，設定模擬時間長度、輸出資料格式與內容、以及其他執行選項。

2.2.2 操作步驟

SUMO 作為開源軟體，擁有完整的技術文件與豐富的應用案例，相關的建模流程已有眾多學者進行系統性整理。本研究參考 Clemente (2022) 與 Guastella 等人 (2023) 的建模方法論，並結合本研究的特定需求，建立適用於小規模交通問題的操作流程。需要說明的是，考量本研究的空間範圍與問題特性，部分適用於大

規模都市交通模擬的功能模組（如交通分區建置等）在本研究中並不適用，因此在後續的操作步驟說明中將予以省略，專注於與研究目的直接相關的步驟。

1. 道路路網建置：路網建置為各交通模擬軟體之必要且首要步驟，SUMO 軟體的優勢之一為可直接載入公開地圖圖檔（OpenStreetMap, OSM）以節省建模時間，但亦可由使用者另行建置或於既有地圖上調整，提供更為簡便且彈性之建置功能。本研究先以地圖圖檔載入，再微調部分道路，以符合本研究需求，詳細路網建置將於下節說明。
2. 旅次產生與車輛路徑指派：以使用者輸入或模式隨機產生方式產生模擬中之人車旅次，並指派其行經路徑。本研究採用之旅次產生與路徑指派方式係基於現場交通調查結果，並僅考量車輛旅次，警大返鄉專車之路徑除採用現況外，於模擬方案中亦依據方案予以設定。
3. 執行模擬：本研究未設定附加設施，故僅有前述兩項檔案，於整合後設定配置檔，並進行各方案之模擬。
4. 輸出結果以進行後續應用：輸出模擬結果並可進行分析或納為其他程式之輸入值等應用。

三、模式構建

本研究所需模式構建包含道路路網、旅次產生與車輛路徑指派，前者基於現場觀察影響範圍後決定模擬範圍，並利用 SUMO 軟體之 OSM Web Wizard 與 netedit 兩個應用程式完成模擬路網建置；後者則以現場交通調查獲得之交通量與轉向量為基礎，設定車輛路徑檔案之 xml 文件，再以各方案模擬情境配置車輛之不同路徑。最後則以配置檔案控制模擬內容，即可完成本研究之模式構建準備。本節分別說明模擬路網建置、車輛路徑設定與配置檔案內容。

3.1 模擬路網建置

為進行模擬，本研究首先觀察返鄉專車出校時間之周邊道路交通情況，以界定模擬路網之建置範圍，再採用各類工具輔助完成模擬路網建置，說明如下。

3.1.1 模擬範圍界定

警大為住宿型大學，週間全體學生統一住宿於校內，週末則可自由外出，因學校周邊公共運輸能量有限，為便於學生週末返家故開設返鄉專車，主要目的地為臺灣本島中南部。於一般週休二日假期，返鄉專車於週五晚間發車，班次數與目的地則依學生調查而定，每週或有變動。除搭乘返鄉專車外，同學亦可能選擇搭乘公車、計程車、自行騎乘機車或駕駛汽車、或由家長接送等。而該時段約集中於週五晚間 5:30 至 6:30，適逢學校教職員、周邊工業區就業者與周邊居民下班返家時間，因此造成周邊道路短期性壅塞現象。

經觀察，該時段與警大放假相關之車流依旅次方向可概括分為六類：

1. 經由大湖路轉樹人路往警大方向，主要為前往接載學生的家長車輛或計程車，回程將依目的地方向投入 3~6 路徑；

2. 經由新興街轉樹人路往警大方向，主要為前往接載學生的家長車輛或計程車，回程將依目的地方向投入 3~6 路徑；
3. 經由樹人路往東轉新興街往北，即往林口方向；
4. 經由樹人路往西，即往桃園方向；
5. 經由樹人路往東轉新興街往南，即往桃園方向；
6. 經由樹人路往東轉大湖路往國道一號方向，返鄉專車亦採此路徑。

由現場觀察得知，警大周邊路網道路單純，於放假時間主要影響路口為樹人路、大湖路口與樹人路、新興街口，以此界定本研究模擬範圍如下圖 1 所示，以大湖路與大湖一路 176 巷交界之路口、樹人路與新興街交界之路口為界，並以警大校門口前樹人路往西 200 公尺為本研究交通模擬之範圍，即如圖 1 紅框範圍，但不包含西北角之員林坑路與大湖路 408 巷，以及大湖路東側之樹人路與樹人路 26 巷。其中最關鍵路口為樹人路與大湖路口，上述六類車流中除第 4 類外均通過該路口。



資料來源：本研究於 google 地圖上標註。

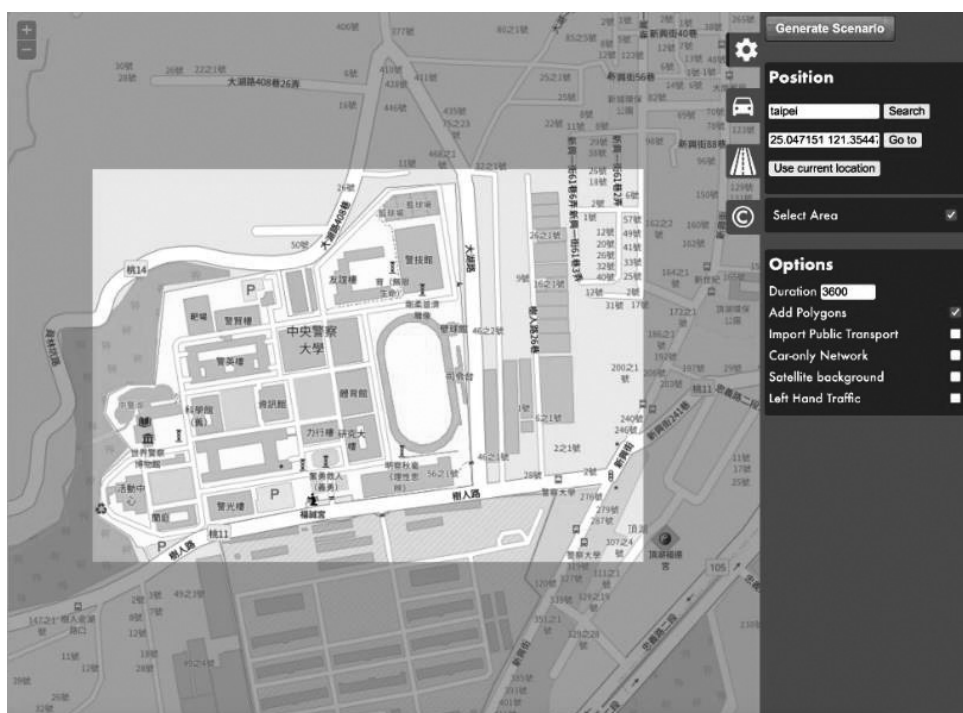
圖 1 本研究模擬範圍

3.1.2 模擬路網建置

如前所述，SUMO 軟體優點之一為可直接使用公開地圖圖檔匯入，本研究利用 OSM Web Wizard 應用程式於公開地圖圖檔中取得模擬範圍位置，選取範圍並生成含有路網與路徑檔案之初步路網。繼而採用 netedit 應用程式進行調整，將非研究對象之道路予以刪除，並添加校內道路做為後續方案研擬之用。上述兩個應用程式均有完整之使用者介面，可以直觀方式進行路網建置與調整，無須撰寫 XML 文件，對於不具程式或交通模擬專業之使用者而言甚為友善。此兩個應用程式之操作介面如圖 2 與圖 3 所示。

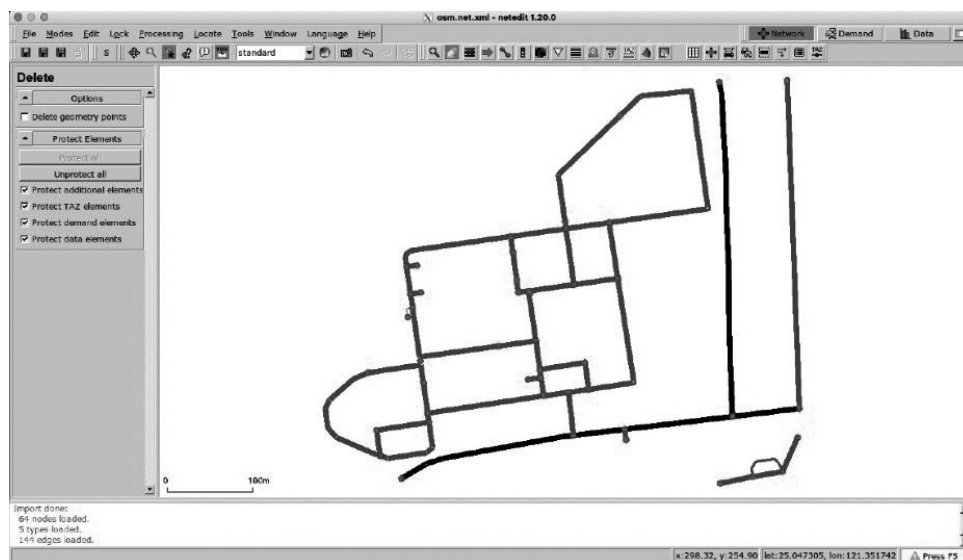
於完成初步道路路網建置後，須再設定各路段與路口編號以利後續指定路徑，並對模擬範圍內之號誌化路口設定其時制。設定時亦採用 netedit 應用程式，於檢

視模式中可於資訊欄中對路段與路口 id 重新命名為研究者利於使用之編號；於工具列中之「traffic light mode」則可更改時制計畫內容。本研究完成編號之路網如圖 4 所示，圖 5 則為以大湖路、樹人路口為例展示之號誌化路口時制設定畫面。



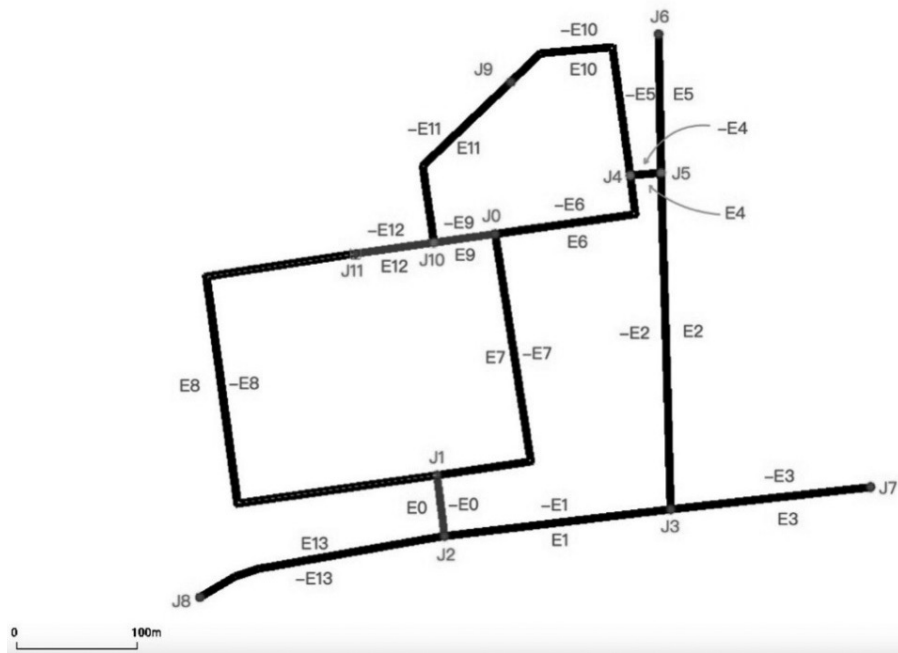
資料來源：本研究自 OSM Web Wizard 應用程式上截圖

圖 2 以 OSM Web Wizard 應用程式自公開地圖圖檔中擷取模擬範圍



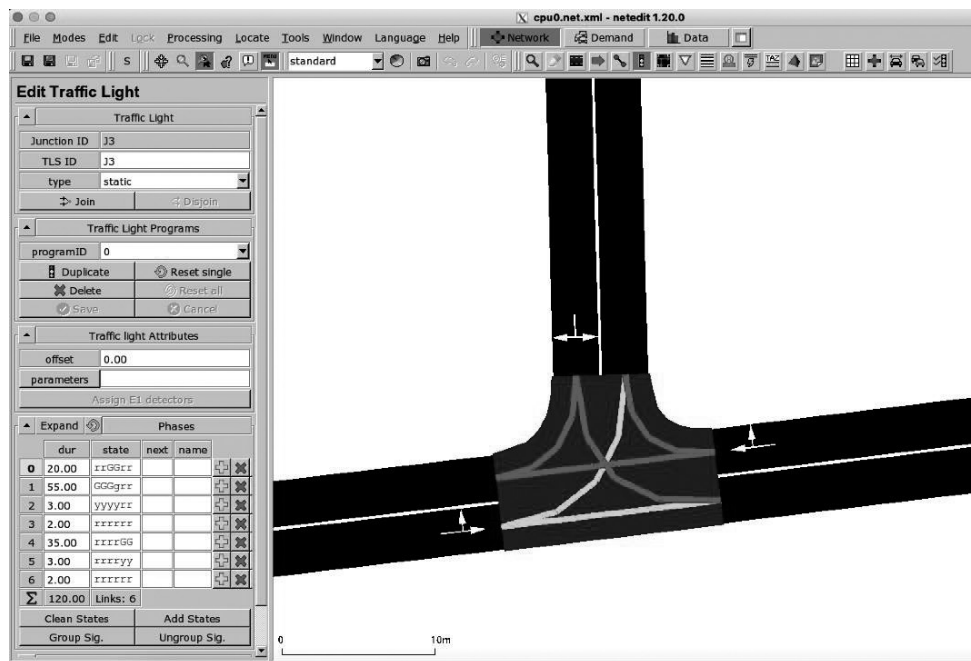
資料來源：本研究自 netedit 應用程式上截圖

圖 3 以 netedit 應用程式調整路網



資料來源：本研究自 netedit 應用程式上截圖

圖 4 各路段路口代號示意圖



資料來源：本研究自 netedit 應用程式上截圖

圖 5 於 netedit 應用程式上設定號誌化路口時制計畫

3.2 車輛路徑設定

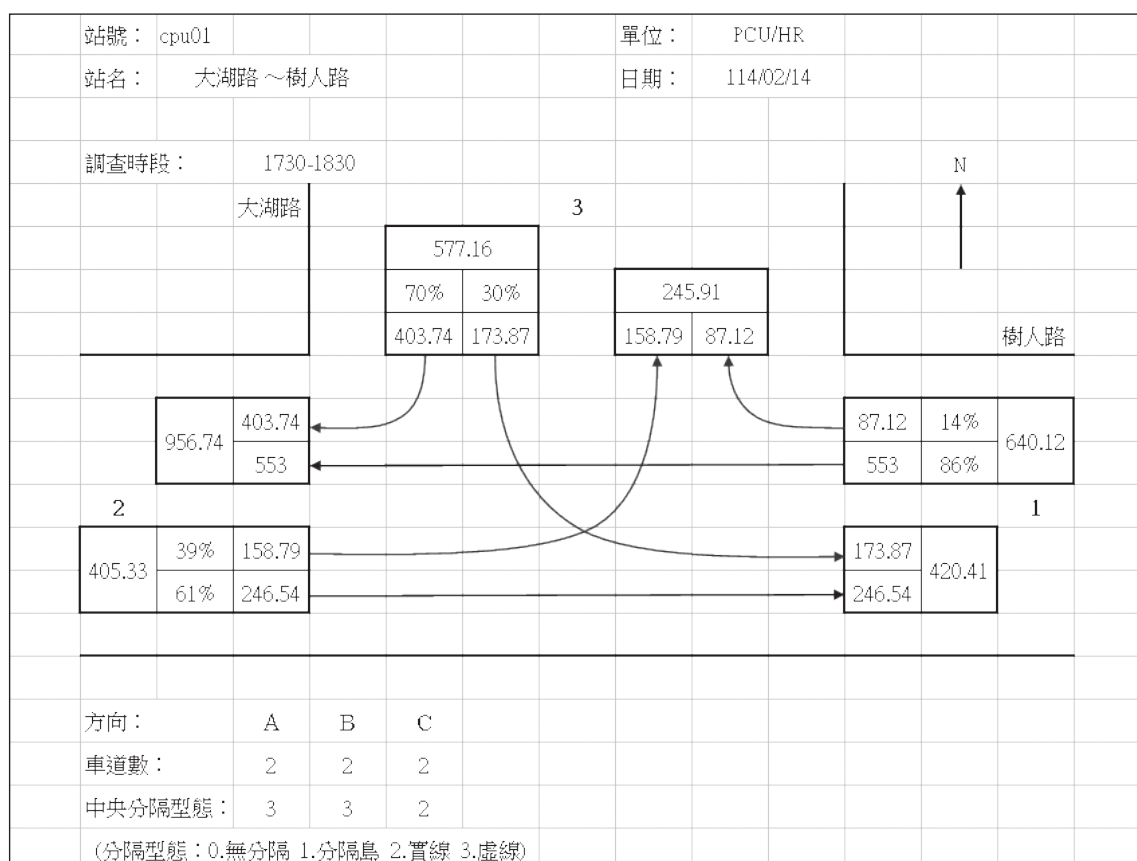
如 3.1.1 節所述，本研究最關鍵路口為樹人路與大湖路口，於設定車輛路徑與交通量前，於此路口進行交通調查，並將調查結果納入車輛路徑檔中。本節說明調查與路徑檔內容。

3.2.1 交通調查計畫與結果

本研究依據交通工程規範（交通部，2021）之交叉路口交通量調查方法，擇接近開學、同學們返家數量較多之周末假期進行交通調查。實際調查時間為 2025 年 2 月 14 日，採錄影回放方式記錄該日下午 5:30 至 6:30 間之交通量與轉向量。

調查結果依據《2022 台灣地區公路容量手冊》第十三章「市區號誌化路口」之當量表將各類車種與行進方向交通量轉換為小客車單位量，經計算樹人路與大湖路口之轉向交通量如圖 6 所示。於調查時段於樹人路西向交通量約是東向交通量的兩倍，西向交通量中約有六成來自新興街、四成來自大湖路；樹人路東向交通量中約有四成於大湖路口左轉、六成直行前往新興街。該路口之號誌時制為簡單二時相，並於樹人路綠燈時相中，於東向有一左轉早開時段，供左轉車轉入大湖路，但因僅有一車道，於早開時段結束後雙向對開綠燈，左轉車即須等待西向交通出現接受間距方可利用其進行左轉。然由於西向交通量大於東向交通量，於調查時段要尋得接受間距並不容易，因此導致綠燈時間易因樹人路左轉大湖路之左轉車輛等候左轉而阻擋直行往新興街車流，形成綠燈時間之浪費並造成車流壅塞與延滯。

唯須特別說明的是，將調查結果轉換為小客車單位量僅為本文說明之用，進行模擬時仍直接採用各行向調查車種直接輸入車輛路徑設定檔中。



資料來源：本研究整理

圖 6 樹人路與大湖路口交通量調查結果

3.2.2 車輛路徑檔撰寫

在車輛路徑檔案中須設定行駛車輛的種類、最高速度、最高加速度（減速度）以及行駛路徑等參數，與路網設定不同的是，SUMO 軟體中車輛路徑檔之撰寫係透過 xml 文件，並無較簡易之使用者介面，因此需稍具程式撰寫基礎，但於教程中可獲得明確支援，於編寫時並未面臨太大困難。以下說明本研究車輛路徑檔撰寫中之關鍵參數：

1. vclass：定義車種類別，本研究使用的車種包括小客車（Passenger）、大客車（bus）、大貨車（truck）、機車（motorcycle）；
2. 車輛速度相關參數：包括車輛加速度（accel）、減速度（decel）與最大速度（maxspeed）等；
3. edges：由一系列路段組成，依序輸入多個路段的 id 值，車輛即會依據所輸入之 id 順序行駛；
4. flow：用來定義一組車流，可一次定義多個擁有相同路徑的車輛；
5. probability：定義每秒產生車輛之機率，相較於 <vehPerHour>（每小時交通量）參數係於設定每小時產生的車輛總數後採平均分配方式產生，<probability> 參數則是依設定的交通量比率隨機產生，可增加車輛產生的隨機性效果，因此本研究採用 <probability> 設定旅次產生。

圖 7 為本研究以 Visual Studio Code 程式編輯器編寫車輛路徑檔（.rou.xml）之部分程式截圖，展示了 SUMO 交通模擬軟體車輛路徑檔之結構，將車輛特性、路徑與車流等分層定義，以進行後續交通模擬之用。

```
1  <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2
3  <routes>
4      <!-- 定義車輛類型 -->
5      <vType id="car1" accel="1.0" decel="4.5" maxSpeed="10" color="1,1,0" />
6      <vType id="car2" accel="1.0" decel="4.5" maxSpeed="16" color="0,1,0" />
7      <vType id="car3" accel="1.0" decel="4.5" maxSpeed="12" color="0,1,1" />
8      <vType id="Bus" vClass="bus" color="0,1,0" accel="0.5" decel="3.5" maxSpeed="8"
9
10     <!-- 定義路徑 -->
11     <route id="route1" edges="-E5 -E2 -E1 E13 " />
12     <route id="route2" edges="-E3 -E1 E13 " />
13     <route id="route3" edges="-E13 E1 E3 " />
14     <route id="route4" edges="-E13 E1 E2 E5 " />
15     <route id="route5" edges="E7 E0 E1 E2 E5 " />
16
17     <!-- 定義車流 -->
18     <flow id="flow1" type="car1" begin="0" end="1800" probability="0.2" route="route1" />
19     <flow id="flow2" type="car3" begin="0" end="1800" probability="0.4" route="route2" />
```

資料來源：本研究自 Visual Studio Code 程式編輯器介面截圖

圖 7 車輛路徑檔（.rou.xml）格式

3.3 配置檔案內容

完成模擬路網建置與車輛路徑設定後，即可進行配置檔案之編寫，SUMO 軟體的配置檔案（.sumocfg）扮演整個模擬系統的控制中樞角色，其具有三項主要功能，首先為指定模擬參數，例如模擬時間長度等基本設定，將決定模擬的時間

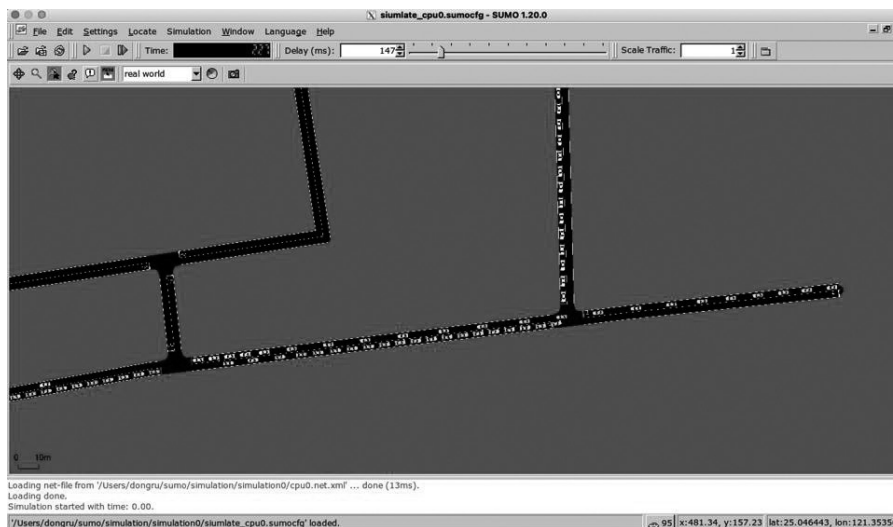
範圍與精確度；其次為組織模擬文件，即整合前述步驟產生的模擬路網檔案（.net.xml）與車輛路徑檔案（.rou.xml）等文件；第三為控制模擬流程，如同模擬時的劇本，定義模擬程序與輸出等選項，依研究者需求客製化模擬方式。此外，配置檔案的另一重要功能為提升研究的可重現性，透過標準化的 XML 格式記錄所有模擬設定，研究者可輕易複製相同的模擬條件，或進行參數敏感度分析，此種設計不僅便於研究驗證，更有助於研究成果的分享與推廣。本研究之部分配置檔案如圖 8 所示，其中包含輸入（input）、輸出（output）與模擬時間（time）三個主要部分，分別控制模擬時之輸入參數文件，即模擬路網檔案（.net.xml）與車輛路徑檔案（.rou.xml）；輸出參數文件，及本研究擬探討之績效參數；以及模擬時間長度，本研究採 1800 秒，即 30 分鐘為模擬時間。

```
1 <configuration>
2   <input>
3     <!-- 路網檔案路徑 -->
4     <net-file value ="/Users/dongru/sumo/simulation/simulation0/cpu0.net.xml"/>
5     <!-- 路徑檔案路徑 -->
6     <route-files value ="/Users/dongru/sumo/simulation/simulation0/routecpu0.rou.xml"/>
7   </input>
8   <output>
9     <!-- 輸出檔案路徑 -->
10    <full-output value ="/Users/dongru/sumo/simulation_output/fulloutput_cpu0.xml"/>
11    <summary-output value ="/Users/dongru/sumo/simulation_output/summary_cpu0.xml"/>
12    <fcd-output value ="/Users/dongru/sumo/simulation_output/fcd_output_cpu0.xml"/>
13  </output>
14  <time>
15    <summary-output.period value = "30.0"/>
16    <begin value = "0"/>
17    <end value = "1800"/>
18  </time>
19 </configuration>
```

資料來源：本研究自 Visual Studio Code 程式編輯器介面截圖

圖 8 模擬之配置文件示意圖

完成配置檔案設定後即可進行模擬，圖 9 為本研究其中一次模擬之執行過程截圖，可看到車輛於路網上之行進情形。



資料來源：本研究自 SUMO 軟體介面截圖

圖 9 SUMO 軟體模擬過程

四、改善方案研擬與模擬結果探討

4.1 改善方案研擬

本研究建置 SUMO 模型目的即為評估改善方案效果，因此首先須先研擬改善方案，對於本研究擬探討之集中式旅次，其改善主要可區分為兩大方向，首先在針對旅次產生點之管制方面，可採時間管制或空間（路徑）調整，即改變集中式旅次的發生時間或發生空間，以降低對周邊交通之衝擊。其次為移動外部交通，例如管制部分路段或讓通過性交通改行駛替代路線等。本研究著重於旅次產生點之空間調整，主要考量為因應警大返鄉專車之特性，須配合學校作息難以調整至其他時間點，而外部交通之管制亦因周邊替代道路有限而難以實施。

警大校門口於 2024 年 11 月新設號誌，並於 2025 年 2 月 17 日啟用，與本研究期間重疊，故於進行交通量調查時係為號誌已裝設但未啟用狀態，於此情況下，返鄉專車出校時係藉由人員指揮，阻斷樹人路直進車流讓返鄉專車得以轉向進入樹人路東向車流中；號誌啟用後係與樹人路、大湖路口號誌採迭亮連鎖之簡單二時相管制，返鄉專車於綠燈時段可轉入樹人路東向車流中。本研究於模擬時則採不同號誌管制方式以比較其績效差異，包括採用與現況相同之定時號誌，及採用校內偵測放行之優先號誌。

此外，警大除目前使用之正門外，於大湖路上尚有一側門，但目前未使用，基於現地觀察了解主要瓶頸路口為樹人路、大湖路口，本研究研擬另一方案為令返鄉專車改由側門出校，左轉往大湖路北向路段前往國道一號。整理本研究進行模擬之方案有三，分別說明如下：

1. 原始方案：於周邊既有交通基礎下，令返鄉專車自警大操場側環校道路經由正門出校後，左轉樹人路東向路段，再於樹人路、大湖路口左轉往大湖路北向路段。校門口號誌採定時號誌運作。
2. 號誌方案：於周邊既有交通基礎下，令返鄉專車採與原始方案相同路徑行駛，校門口號誌採觸動感應運作，無車輛出校時均為樹人路之綠燈。
3. 側門方案：於周邊既有交通基礎下，令返鄉專車自警大操場側環校道路經由側門出校後，左轉大湖路北向路段。

4.2 績效參數選擇

SUMO 軟體中可生成多種數據檔案，以供使用者選擇用於後續應用中，本研究利用其中 summary.xml 檔之部分參數做為評估本研究課題之績效參數，並將 xml 檔轉為 csv 檔案，再以 Microsoft Excel 進行計算分析。經考量本研究主題與 summary 檔生成結果，選擇下列績效參數：

1. 總等候時間 waiting：於模擬時間中所有通過車輛之總等待時間；
2. 平均等候時間 MeanWaitingTime：所有車輛於模擬時間當下之平均等候時間；
3. 停滯車輛數 halting：於模擬時間中車速低於 0.1 公尺 / 秒之車輛數；
4. 平均旅行時間 MeanTravelTime：於模擬時間中所有已離開模擬範圍之車輛的平均旅行時間，亦可反映旅行速率之高低。

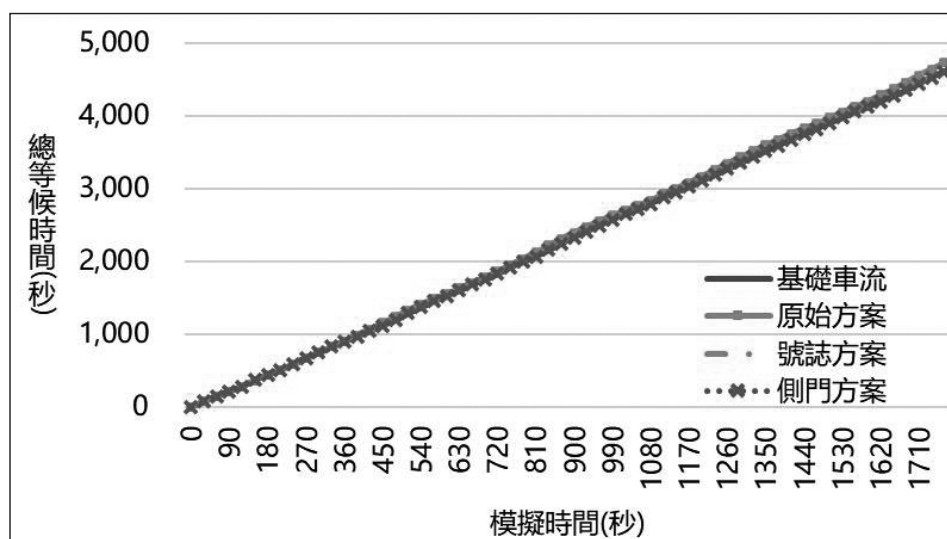
其餘雖尚有多個指標，但部分指標於本研究中並不適用，例如碰撞數（collosions）及因過度壅塞而被抽離模擬之車輛數（teleports）等；或屬於模擬過程中可監控模擬狀況之用，例如已載入車輛數（loaded）或軟體模擬之運算時間（duration）等，故未納入本研究之方案績效評估中。

4.3 各方案模擬結果比較

本小節將依序說明前節四項績效指標之模擬結果，並比較各方案間之績效，為建立比較基礎，除 4.1 節之三項方案外，本研究另以未納入返鄉專車之車流狀況為基礎車流，即周邊道路既有之車流狀況。

4.3.1 總等候時間

圖 10 為各方案總等候時間之模擬結果，其中橫軸代表模擬之時間，縱軸代表累積的總等待時間，總等候時間為某個模擬時間點之車輛累積之總等候時間，因此隨模擬時間增加，進入模擬中的車輛數增加，總等候時間亦隨之增加。由圖中可知各方案之總等候時間並無明顯差異，但側門方案之總等候時間略低於原始方案。若比較各方案之模擬數據，於模擬結束時基礎車流與側門方案之總等候時間均為 4,604 秒，號誌方案略高於此二者，為 4,619 秒，原始方案則為四者中總等候時間最長的，為 4,728 秒。



資料來源：本研究整理

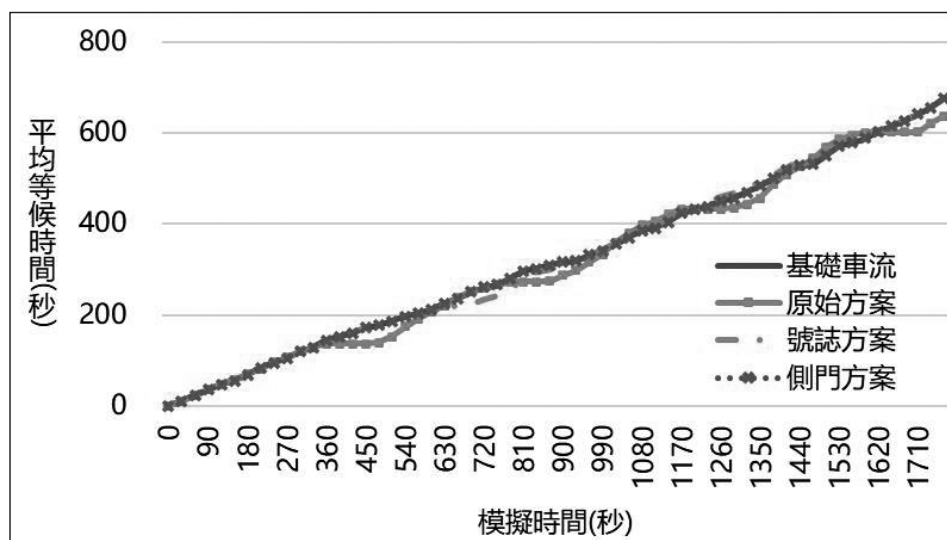
圖 10 各方案總等候時間比較

4.3.2 平均等候時間

平均等候時間在 SUMO 軟體中代表所有車輛截至該模擬時點的累積平均等候時間。由圖 10 總等候時間的比較結果可知，各方案的總等候時間數值相近，顯示整體延滯總量並無顯著差異。進一步觀察圖 11 的平均等候時間變化趨勢，可發現原始方案呈梯形波動的特殊現象，每隔固定週期即出現一段近似的平緩的曲線段。此現象的成因除了交通號誌週期性控制的影響外，主要反映了平均化效應的作用機制。當號誌週期內有更多車輛進入系統時，在道路容量未達飽和的前提下，

雖然受延滯的車輛總數增加，但由於分母（車輛總數）的增加幅度較大，反而使該時點的平均等候時間呈現下降趨勢。

各改善方案曲線與基礎車流方案的接近程度，可作為改善效果的重要指標。曲線越接近基礎車流狀態，表示受返鄉專車影響而產生額外延滯的車輛數量越少。由圖 11 可觀察到，側門方案的表現最為理想，其曲線與基礎車流方案幾乎完全重合，以致在圖表上難以區分，顯示該方案能有效消除返鄉專車對周邊交通的不利影響。

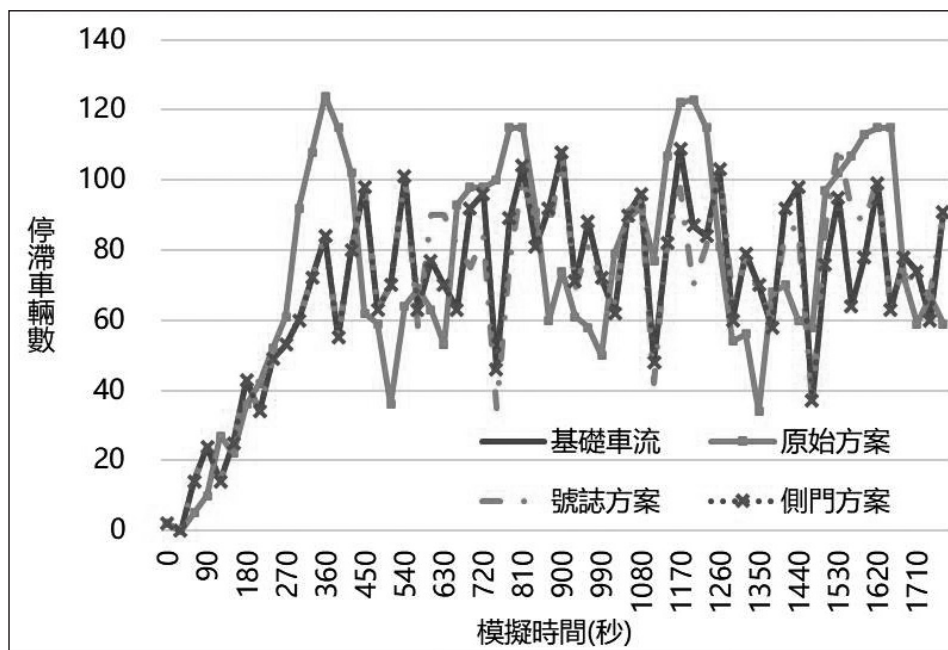


資料來源：本研究整理

圖 11 各方案平均等候時間比較

4.3.3 停滯車輛數

停滯車輛數定義為該模擬時間點時車速低於 0.1m/s 之總計車輛數，圖 12 為各方案之停滯車輛數比較。圖中曲線的平滑程度可作為交通流穩定性的重要指標，當曲線越平滑代表受到延滯的車輛數量較為平均，交通流呈現相對穩定的運行狀態；反之，當曲線震盪越大，代表車流不穩定而呈現走走停停的現象。由圖 12 可以看出，原始方案的震盪幅度為各方案中最劇烈的，證實返鄉專車在現行安排下對交通流穩定性造成顯著不利影響。而號誌方案、側門方案與基礎車流之停滯車輛數相近且低於原始方案，但號誌方案之震盪幅度略大於另二者。側門方案與基礎車流之數值幾乎相同，表示於此方案下可將警大返鄉專車對周邊交通之干擾降低到與無返鄉專車時相近情況，而不對周邊交通增加額外之延滯。

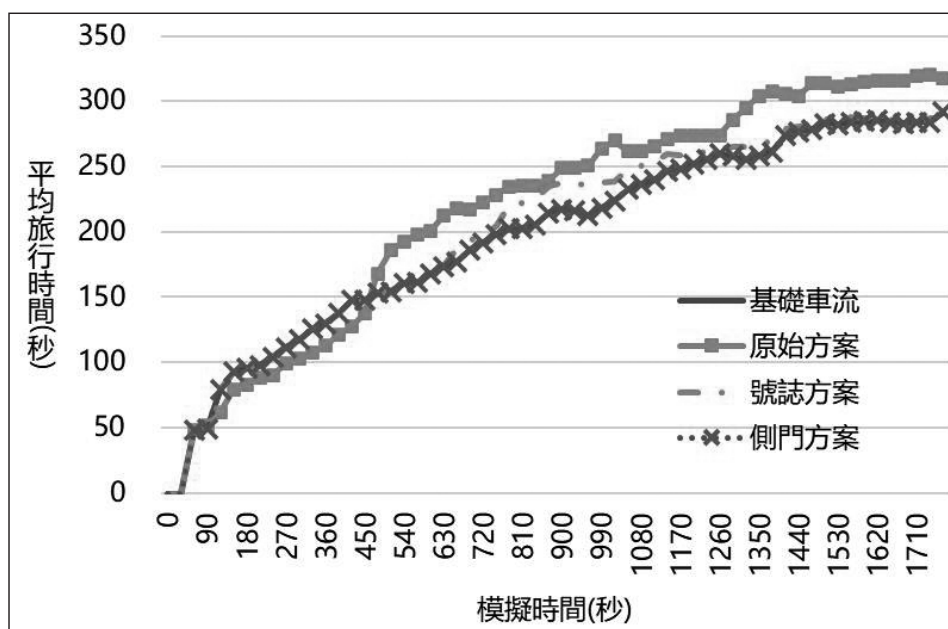


資料來源：本研究整理

圖 12 各方案停滯車輛數比較

4.3.4 平均旅行時間

圖 13 為各方案累積平均旅行時間比較，本項指標可明顯看出隨返鄉專車進入道路系統而使得平均旅行時間增加之情形。



資料來源：本研究整理

圖 13 各方案累積平均旅行時間比較

平均旅行時間於 SUMO 軟體中定義為截至該時點已完成行程並離開模擬範圍的所有車輛之平均旅行時間，此指標反映車輛從進入路網到完成目標行程所需的

實際時間，是評估整體交通效率的重要指標。由圖 13 可觀察到，所有方案的平均旅行時間均呈現持續上升的趨勢，此現象符合交通模擬的一般規律。隨著模擬時間推進，路網中的車輛密度逐漸增加，交通負荷提升導致車輛需要更長時間完成旅行，因此平均旅行時間呈現累積成長情形。

以基礎車流（無返鄉專車情境）作為評估基準，在模擬初期（前 450 秒左右），各方案與基準情境的表現相對接近，顯示返鄉專車尚未對整體交通造成顯著影響。然而，隨著模擬時間延長，返鄉專車的影響逐漸顯現，其中原始方案平均旅行時間增長最為迅速且最終達到最高值（約 320 秒），顯示現況安排對整體交通效率造成之不利影響最大；號誌方案可改善原始方案所造成之不利影響，但仍與基礎車流存在明顯差距；側門方案表現最佳，其曲線與基礎車流方案最為接近，顯示其可將返鄉專車對系統中車輛平均旅行時間之影響降至最低，使整體交通效率接近無返鄉專車時之狀態，證明該方案在維持系統整體效率方面具有顯著優勢。

五、結論

本研究以中央警察大學假日返鄉專車為例，探討小規模集中旅次對周邊道路交通的影響，並運用開源交通模擬軟體 SUMO 建立分析與改善方法，驗證採用此方法與工具模擬分析小規模集中旅次交通衝擊之可行性。本研究獲得以下結論：

1. 本研究透過實地調查與交通模擬相結合的方式，建立了包括現況調查、問題識別、模型建置、方案研擬與效果評估等步驟的系統性分析流程，具有高度可複製性，可推廣至其他類似規模的機構與組織。
2. 本研究證實 SUMO 在處理小規模定期性交通問題上具有良好的適用性與可靠性，其開源特性大幅降低研究成本，完整功能與彈性架構能滿足精細化交通分析需求，為改善方案評估提供可行的分析平台。
3. 本研究提出號誌方案與側門方案兩項具體改善策略，並透過模擬分析驗證其改善效果。研究結果顯示，適當的改善措施確實能有效降低返鄉專車對周邊交通的不利影響。在所有評估指標中，側門方案的表現均優於號誌方案與原始方案，且在多數指標上與基礎車流（無返鄉專車情境）呈現相同或極為接近的結果。
4. 本研究存在兩項主要限制值得後續探討：首先，方案設計受限於警大既有運作模式與周邊道路配置條件，建議後續研究可探討更具創新性的解決方案，如車道配置調整或分時分流策略等。其次，本研究主要針對正常交通狀況進行分析，並僅進行 1.5 小時之交通調查，抽樣樣本數較少，且未探討極限情況下的系統表現，可能影響分析結果之代表性，建議後續研究可延長調查時間，並善用模擬方法優勢，探討不同交通量水準或突發事件情況下的影響程度與因應策略。

六、參考文獻

交通部 (2021)，交通工程規範。

交通部運輸研究所 (2022)，2022 台灣地區公路容量手冊。

- Algherbal, E. A., & Ratrout, N. T. (2025). A Comparative Analysis of Currently Used Microscopic, Macroscopic, and Mesoscopic Traffic Simulation Software. *Transportation Research Procedia*, 84, 495-503.
- Clemente, M. L. (2022). Building a real-world traffic micro-simulation scenario from scratch with SUMO. In *SUMO Conference Proceedings* (Vol. 3, pp. 215-230).
- Guastella, D. A., Montero-Porras, E., Morales-Hernández, A. & Bontempi, G. (2023). Traffic modeling with SUMO: A tutorial. *arXiv preprint arXiv:2304.05982*.
- Lopez, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y. P., Hilbrich, R., Lücken, L., Rummel, J., & Wießner, E. (2018). Microscopic traffic simulation using sumo. In *2018 21st international conference on intelligent transportation systems (ITSC)* (pp. 2575-2582). IEEE.