

# 鐵路數位模擬系統之分析區間選擇原則探討

## Exploration of Selection Principles for Analysis Sections in Railway Activity Insight and Logistics System

運輸工程及海空運組 巫柏蕙

研究期間：民國 114 年 1 月～12 月

### 摘要

本研究以桃園鐵路地下化計畫為案例，運用本所開發之鐵路數位模擬系統模擬臺鐵 2024 年 4 月 9 日真實班表，在不同分析區間時對鐵路容量、利用率及列車速率之影響。研究結果顯示，分析範圍對計畫區間內的數據影響極小。然而，桃地計畫完工後雖部分容量有所改善，但區段通勤及城際列車之平均速率普遍下降，且影響範圍擴及基隆至竹南段，顯示現行規範對「原有路線」之界定宜更明確。此外，模擬結果顯示發現西部幹線竹南以北已有 80% 站間無法達到現行「鐵路建設標準要點」之速率要求，證實該標準係基於過往營運實績，現已面臨調整之必要。

鑑於鐵路運轉之複雜性，建議可在針對不同工程規模、平假日班表及主支線等進行敏感度分析，作為未來標準訂定之參考。RAILS 系統不僅能提供精確的容量與利用率量化數據，更能藉由追越待避與路塞潛勢等多元指標，協助精緻化相關建設規範。未來應積極推廣應用鐵路運轉資源分析系統(Railway Activity Insight and Logistics System, RAILS)，透過使用者與開發者之互動降低操作門檻，並讓營運單位於建設計畫之利弊權衡中，能透過系統模擬預先規劃因應方案，以科學化工具將鐵路營運之負面影響降至最低。

### 關鍵詞：

鐵路數位模擬系統、鐵路運轉資源分析系統、分析區間



# 鐵路數位模擬系統之分析區間選擇原則探討

## 一、研究緣起

臺灣鐵路自清代開始興建，至 1991 年底南迴線完工通車、環島鐵路網成形，營運超過百年，目前有西部幹線、東部幹線與六家線、內灣線、集集線、沙崙線、深澳線、平溪線及花蓮港線等支線，臺灣鐵路股份有限公司的營運總里程 1,065 公里，車站 242 站。

21 世紀初隨著高鐵通車與各都會區捷運建設的推動，向來以提供中長程運輸服務的臺灣鐵路開始朝短程的「捷運化」轉型，具體而言就是規劃新增車站(增加車站密度)、增加班次、路線立體化及簡化票種等。鑒於鐵路運輸高安全性、快速、可靠、便利、低污染、省能等特性，政府有意以鐵道來引導運輸行為，創造永續、綠色及人本的運輸環境。然軌道建設成本都極為高昂，不論是初始的興建，抑或營運維護。

當前鐵路營運相關軟硬體의效能隨著科技發展大幅且快速地提升，但對於臺灣鐵路這樣的「百年老店」，片面地導入新技術、新設備往往充滿扞格，在營運不得中斷的前提下，如果不能快速適應多半只能放棄；車站、軌道等硬體基礎設施的擴充更新亦然，不僅成本高昂，且一旦施作就難以恢復原狀，因此規劃上應格外謹慎。

過去缺乏客觀、精確的量化評估工具，導致鐵路相關建設計畫對日後鐵路運轉的影響偏向質化，或只能藉由簡化再簡化的計算評估，最終成效不如預期的風險極高。本所長期致力鐵路運轉相關研究，從路軌數位模型、自動排點技術到一系列鐵路運轉指標的研發與驗證，於 2024 年整合多年研究成果，完成鐵路數位模擬系統建置。此系統在電腦中建立真實鐵路系統的數位模型，並可完整呈現真實系統各面向之行為，讓鐵路相關建設計畫的執行成效能以最低廉的成本、最短的時間在此數位模擬系統被模擬預估。

本研究以本所鐵路數位模擬系統之分析區間擇定原則為標的，除供未來使用者參考，並為系統後續其他基本設定原則之訂定累積經驗。另因鐵路數位模擬系統具備納入其他鐵路資源之擴充性，2025 年正式更名為「鐵路運轉資源分析系統(Railway Activity Insight and Logistics System, RAILS)」(以下將以 RAILS 稱之)。

## 二、研究方法

本研究透過網路搜尋 OpenTrack、RailSys 及 TRENTO 等國際知名專業軌道交通模擬軟體的官網及其應用案例，均未見有就標的計畫(含軟硬體調整)執行後的影響評估分析區間如何擇定加以說明或探討，推測可能是因為不同軌道系統的運轉邏輯各異，加上模擬軟體本身的分析架構也不相同，最適分析區間無法一概而論。

為探討 RAILS 的分析區間對分析結果之影響，本研究以桃園鐵路地下化計畫(以下簡稱桃地計畫)為案例，觀察不同分析區間下 RAILS 的分析結果，班表則採用臺鐵公司 2024 年 4 月 9 日真實班表。所稱「分析區間」，為含括桃地計畫在內的不同連續地理區間，為免過度複雜化，宜蘭線及內灣支線將不納入本研究之分析。

RAILS 的使用流程如圖 1 所示，在案例情境確定後先設定路網，即本研究所欲分析的全部範圍，再將所欲執行的班表帶入路網，由系統自動解衝突，之後對解完衝突的班表進行運轉、容量及路塞潛勢指數等分析。基於列車運行的「相依性」，除了案例(建設計畫)本身(如桃地計畫中的工程範圍鳳鳴站至平鎮站)，理論上應儘可能將受案例影響的範圍全數納入分析，避免發生「顧此失彼」的情形。至於是否會因為路線上原本的瓶頸，導致建設計畫的效益被低估，則是另一個可探討的課題，本研究對此不予深究。

本研究以鶯歌站至埔心站為基礎分析區間，漸次往南北擴大，共 13 組分析區間。分析區間端點的擇定原則上以站內軌道佈設較複雜者為主，由於竹南站為山、海線起點，納入分析將大幅提高班表之複雜度與相關分析時間，爰此階段分析區間南端止於竹南站，分析範圍及分組如圖 2 及表 1 所示。本研究亦假設桃地計畫完工後，區間車在新增之鳳鳴、中路、桃園醫院、中原、平鎮 5 站皆有停靠。



表 1 分析區間分組

分組	起站名	迄站名
1	鶯歌	埔心
2	山佳	楊梅
3	樹林	富岡
4	板橋	北湖
5	萬華	湖口
6	臺北	新豐
7	松山	竹北
8	南港	北新竹
9	汐止	新竹
10	百福	竹南
11	七堵	竹南
12	八堵	竹南
13	基隆	竹南

依據「鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點」<sup>[2]</sup>(以下簡稱要點)第五條第三項第二款第 2 目，地方政府提報鐵路立體化改善計畫時，應評估原有路線容量、站間路線利用率及行車速率等三項數據，且計畫應以不降低原有路線容量、不增加站間路線利用率及不降低行車速率為原則，包含尖峰小時路線利用率不應高於現況或不逾 70%、區段通勤列車平均運行速度不低於現況或 45 公里/小時及城際列車不低於現況或 70 公里/小時。此為要點中唯一的量化要求，因此本研究將以 RAILS 產出之相關數據，比較不同分析區間所得之結果，同時與桃地計畫前的數據進行比較。

鐵路容量係由路軌與班表共同決定，在確定了路軌與班表後，RAILS 可進行全路線容量及個別車站、站間的容量分析。然要點並未對所謂路線容量做明確定義，本研究以 RAILS 產生之「路線平均小時容量」及「最高小時利用率」對應要點要求的容量與利用率，至行車速率則以 RAILS 計算所得之平均速率，分區段通勤列車及城際列車個別進行比較。以下說明 RAILS 對「路線平均小時容量」及「最高小時利用率」定義<sup>[1]</sup>。

1. 路線平均小時容量：以全路線班表壓縮後所得之班表跨度，計算分析區間範圍內各車站、站間的平均小時容量。例如，假設全路線班表壓縮後所得跨度為 12 小時，而分析區間範圍內 A 站有 240 趟車次(雙向)行經，則 A 站之路線平均小時容量為  $240/12=20$  車次/小時。站間平均

小時容量的計算方式亦同。

- 2.最高小時利用率：為各車站或站間的班表雙向最高小時車次數除以其壓縮後雙向最高小時車次數之比值。此項計算之分子為該車站或站間在班表中，一個小時內行經的最高車次數；分母則使用獨立壓縮該車站或站間的班表之後，所能達到的一個小時內行經最高車次數來衡量。前者為鐵路系統在運轉時的需求，而後者則為供給能力，兩者相除之比值即為利用率。

### 三、桃地計畫完工後之運轉狀況分析結果

基礎分析區間在 13 組分析區間下所得的車站/站間容量如表 2，不同分析區間下，同一車站/站間容量差距最大不超過 2 車次/小時(雙向)。

表 2 桃地計畫完工後基礎分析區間內車站/站間容量

單位：車次/小時(雙向)

分組 車站/站間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
鶯歌	33.19	33.38	32.75	32.21	33.21	32.81	32.87	32.23	32.70	33.03	33.39	32.87	32.82
鶯歌.鳳鳴	36.57	36.09	36.25	36.31	36.26	36.51	36.05	36.25	36.44	36.30	36.14	35.87	36.20
鳳鳴	28.91	29.62	29.20	29.22	29.66	28.95	29.06	29.43	29.81	29.27	29.42	29.31	28.91
鳳鳴.桃園	30.61	29.78	30.64	30.22	30.71	30.45	30.18	30.04	30.62	30.40	30.40	30.65	30.56
桃園	29.82	29.56	29.62	29.56	29.95	30.02	29.64	29.68	29.80	29.69	29.70	29.72	29.88
桃園.中路	30.71	29.93	30.53	30.14	31.18	30.60	30.45	30.60	30.86	30.61	30.74	30.56	30.64
中路	28.17	28.03	28.25	27.42	28.00	27.86	28.06	28.26	27.94	28.01	28.13	28.30	28.04
中路.桃園醫院	31.48	31.73	31.55	31.91	31.48	31.55	31.46	31.58	31.91	31.55	31.72	31.85	31.71
桃園醫院	30.44	30.80	30.47	30.77	30.12	30.38	30.35	30.15	30.65	30.46	30.29	30.33	30.58
桃園醫院.內壢	30.81	30.96	30.81	30.81	30.87	30.96	30.81	30.87	30.81	30.81	30.96	30.87	30.96
內壢	28.93	28.93	28.93	28.93	28.91	28.93	28.93	28.93	28.99	28.93	28.99	28.99	28.93
內壢.中原	29.91	29.91	29.91	29.91	29.91	29.91	29.91	29.91	29.91	29.91	29.91	29.91	29.91
中原	27.20	27.29	27.08	27.21	27.25	27.15	27.26	26.96	27.44	27.15	27.45	27.19	27.35
中原.中壢	28.90	28.98	29.44	28.98	28.90	28.90	28.87	28.98	28.90	28.90	28.98	28.98	28.98
中壢	27.06	27.05	26.92	26.85	27.24	26.92	27.04	26.94	27.48	27.20	27.38	26.60	27.55
中壢.平鎮	27.93	28.55	28.50	27.79	27.58	28.86	28.50	28.30	27.88	28.28	28.87	28.79	28.50
平鎮	28.84	28.85	28.90	28.99	28.71	28.56	28.79	28.73	28.90	29.13	28.90	28.72	28.86
平鎮.埔心	31.24	31.21	31.24	31.21	31.47	31.24	31.21	31.42	31.24	31.24	31.24	31.03	31.28
埔心	28.18	27.68	26.88	27.93	27.82	27.93	27.94	26.77	27.93	26.63	26.80	26.58	27.68

基礎分析區間在 13 組分析範圍下所得的車站/站間利用率如表 3，不同分析範圍下所得之各車站/站間利用率均遠低於要點要求的 70%，同一車站/站間利用率差距最大不超過 2.5%。

表 3 桃地計畫完工後基礎分析區間內車站/站間利用率

單位：%

分組 車站/站間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
鶯歌	33.4	32.7	33.3	33.6	33.0	33.2	32.9	33.0	33.2	33.4	32.7	32.8	33.1
鶯歌.鳳鳴	32.8	33.0	33.2	33.1	33.3	32.9	32.9	33.0	32.9	32.8	33.5	32.9	33.6
鳳鳴	36.9	37.0	36.5	36.5	36.5	36.3	36.9	36.4	37.3	37.8	36.4	37.7	36.7
鳳鳴.桃園	37.6	37.4	36.0	36.5	36.5	37.6	37.5	36.1	37.4	37.6	36.4	36.3	37.0
桃園	36.5	36.0	36.0	36.3	35.9	36.2	36.3	36.2	36.3	36.3	36.7	36.0	36.2
桃園.中路	36.5	36.5	35.9	36.4	36.0	36.2	36.5	36.5	36.7	36.2	36.4	36.3	36.4
中路	37.5	37.6	37.6	37.7	37.3	37.3	37.7	37.8	37.4	37.3	37.6	37.4	37.4
中路.桃園醫院	37.5	37.4	37.5	37.2	37.7	37.5	37.2	37.1	37.3	37.4	37.7	37.3	37.4
桃園醫院	34.5	34.4	34.4	34.5	34.6	34.1	34.3	34.2	34.5	34.3	34.8	34.9	34.5
桃園醫院.內壢	34.8	34.8	35.0	34.2	34.2	34.6	34.5	34.4	34.5	34.7	34.1	34.5	34.1
內壢	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
內壢.中原	36.2	35.6	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.4	36.2
中原	38.1	38.3	38.8	38.6	38.6	38.7	37.8	38.6	38.2	38.8	38.5	38.5	38.3
中原.中壢	37.9	38.2	38.4	38.3	38.4	38.6	38.1	38.6	37.7	38.2	38.3	38.4	38.7
中壢	37.6	38.4	38.5	39.0	38.7	38.9	38.6	38.0	38.7	38.2	39.0	40.0	39.0
中壢.平鎮	38.5	39.0	38.7	37.9	38.4	39.7	37.3	38.9	38.1	38.2	38.1	38.3	38.9
平鎮	35.6	35.5	35.2	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.5
平鎮.埔心	35.6	35.4	35.6	35.6	35.6	35.6	35.4	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6
埔心	37.5	38.9	39.3	38.2	37.3	37.7	37.5	39.2	39.3	39.3	37.3	39.3	37.9

基礎分析區間內的區段通勤列車平均速率如表 4，城際列車平均速率如表 5。由於是同一份班表，區段通勤列車及城際列車在任兩站間的平均速率不會因分析區間不同而異。完工後任兩站間的區段通勤列車平均速率有三分之二未達 45 公里/小時，城際列車未達 70 公里/小時者比例相近。

表 4 桃地計畫完工後基礎分析區間內區段通勤列車平均速率單位：

單位：公里/小時

迄站 起站	鶯歌	鳳鳴	桃園	中路	桃園醫院	內壢	中原	中壢	平鎮	埔心
鶯歌	0	44.25	38.05	36.55	37.85	37.72	37.97	38.01	38.53	39.27
鳳鳴	43.91	0	42.85	37.89	39.43	39.01	39.09	38.97	39.45	40.2
桃園	38.09	44.53	0	65.58	53.86	48.83	46.1	44.31	43.82	44.01
中路	38.11	41.25	70.28	0	69.17	51.5	46.3	43.85	43.4	43.71
桃園醫院	38.92	41.6	54.46	70	0	69.41	47.71	43.71	43.21	43.62
內壢	38.56	40.64	48.88	51.14	70.22	0	58.15	46.21	44.49	44.6
中原	38.61	40.31	45.93	45.82	47.35	58.7	0	58.15	47.52	46.49
中壢	38.47	39.85	43.97	43.25	43.12	45.79	55.17	0	67.78	53.98
平鎮	37.28	38.13	40.64	39.46	38.55	38.93	38.85	62.67	0	63.73
埔心	38.18	39.08	41.42	40.62	40.11	40.62	41.03	52.6	64.87	0

表 5 桃地計畫完工後基礎分析區間內城際列車平均速率

單位：公里/小時

迄站 起站	鶯歌	鳳鳴	桃園	中路	桃園醫院	內壢	中原	中壢	平鎮	埔心
鶯歌	0	45.16	45.02	38.67	42.76	44.89	47.39	49.43	46.02	48.46
鳳鳴	43.61	0	44.88	35.95	41.91	44.81	48.01	50.5	46.19	49.02
桃園	43.7	43.8	0	72.79	73.33	73.43	72.66	72.2	57.31	59.74
中路	35.72	32.61	74.01	0	74.02	73.92	72.59	72	54.4	57.71
桃園醫院	39.83	38.56	73.93	73.84	0	73.76	71.73	71.24	50.97	55.41
內壢	42.03	41.54	73.95	73.92	74.03	0	70.44	70.44	48.09	53.6
中原	44.38	44.59	71.85	70.87	69.13	66.2	0	70.44	42.58	50.5
中壢	46.19	46.81	70.2	68.96	67.21	65.21	64.25	0	73.62	73.63
平鎮	42.79	42.64	54.36	50.96	47.24	44.15	38.86	76.74	0	73.65
埔心	45.59	45.91	57.65	55.25	52.76	50.77	47.9	77.83	78.95	0

從上述數據可知，以相同班表計算基礎分析區間的車站/站間容量及利用率時，不同分析區間之間不會有顯著差異；列車平均速率則不會隨分析區間不同而改變。倘僅欲知鶯歌站至埔心站間在桃地計畫完工後包括車站/站間容量、利用率及列車平均速率等運轉狀況，擇鶯歌站至埔心站為分析區間即可，無須加大。

值得注意的是，基礎分析區間內任兩站間區段通勤列車的的平均速率低

於 45 公里/小時者高達三分之二，城際列車平均速率低於 70 公里/小時的比例亦相近。

#### 四、桃地計畫前基礎分析區間之運轉狀況

要點對於軌道建設尚有容量、利用率及平均速率不得較現況差的要求，本研究遂以 RAILS 再分析 2024 年 4 月 9 日臺鐵真實班表在桃地計畫前的運轉狀況。基於前節所得結論，本節分析區間簡化為基隆-竹南、基隆-彰化(山線)、基隆-彰化(海線)及基隆-彰化(山+海線)。各分析區間下所得基礎分析區間之車站/站間容量、利用率、區段通勤列車及城際列車平均速率分別如表 6 至表 9。納入山線及海線大幅增加了分析時間，但基礎分析區間的容量與利用率同前，未因分析區間不同有顯著差距，列車平均速率則因為同一班表，各站之間的平均速率未因分析區間不同而有變化。

表 6 桃地計畫前基礎分析區間內車站/站間容量

單位：車次/小時(雙向)

分析區間 車站/站間	基隆-竹南	基隆-彰化(山線)	基隆-彰化(海線)	基隆-彰化 (山+海線)
鶯歌	29.44	29.22	28.98	28.88
鶯歌.桃園	30.18	30.15	29.61	30.10
桃園	28.59	28.67	28.42	28.45
桃園.內壢	28.68	28.99	29.24	29.09
內壢	27.83	27.67	27.79	27.38
內壢.中壢	28.80	28.30	28.27	28.56
中壢	27.33	27.09	27.45	27.44
中壢.埔心	29.77	29.59	29.98	29.66
埔心	28.56	28.14	28.43	28.78

表 7 桃地計畫前基礎分析區間內車站/站間利用率

單位：%

分析區間 車站/站間	基隆-竹南	基隆-彰化(山線)	基隆-彰化(海線)	基隆-彰化 (山+海線)
鶯歌	37.5	37.9	37.9	38.2
鶯歌.桃園	38.0	37.9	37.8	38.2
桃園	39.2	39.0	39.4	39.1
桃園.內壢	39.5	39.4	39.5	39.3
內壢	40.2	39.2	39.8	40.1
內壢.中壢	39.1	40.0	39.1	39.7
中壢	38.9	39.2	38.8	39.0
中壢.埔心	38.8	40.3	40.2	38.2
埔心	36.9	36.5	37.1	37.0

表 8 桃地計畫前基礎分析區間內區段通勤列車平均速率

單位：公里/小時

迄站 起站	鶯歌	桃園	內壢	中壢	埔心
鶯歌	0	43.78	45.98	46.2	47.62
桃園	44.46	0	67.72	57.55	55.52
內壢	47.77	70.29	0	58	54.55
中壢	46.62	56.48	56.74	0	67.55
埔心	45.31	50.31	47.25	64.04	0

表 9 桃地計畫前基礎分析區間內城際列車平均速率

單位：公里/小時

迄站 起站	鶯歌	桃園	內壢	中壢	埔心
鶯歌	0	45.28	48.73	52.78	52.14
桃園	44.06	0	73.94	72.34	62.41
內壢	45.04	73.91	0	70.05	56.94
中壢	48.88	70.26	65.37	0	73.55
埔心	48.9	60.6	54.55	78.27	0

桃地計畫前基礎分析區間內之車站/站間容量與利用率如前節所述，

不同分析區間的數據並無顯著差異。而相較於桃地計畫完工後，車站/站間容量方面，中壢站及埔心站稍減，其他站則有增加；車站/站間利用率大多降低，僅埔心站增加；任兩站間區段通勤列車平均速率全數低於計畫前，且減幅顯著；城際列車平均速率 65%減慢，減幅則未若區段通勤列車劇烈。

事實上，計畫前基礎分析區間內任兩站間的區段通勤列車平均速率即已有 10%低於 45 公里/小時，城際列車平均速率則有 65%低於 70 公里/小時，計畫完工後未達要點標準的比例增加至三分之二。

再將觀察範圍放大至基隆站至竹南站，計畫完工後 41.5%的車站/站間容量降低，44.6%車站/站間利用率增加(但尚低於要點利用率不逾 70%上限)；計畫前任兩站間區段通勤列車平均速率已有 79.5%低於 45 公里/小時的站間，城際列車平均速率則有 84.9%低於 70 公里/小時，計畫完工後 90.7%的站間區段通勤列車平均速率低於 45 公里/小時，84.2%的站間城際列車平均速率已低於 70 公里/小時，88.9%的區段通勤列車平均速率降低，88.4%的城際列車平均速率降低。按要點的標準，基隆站至竹南站間的行車速率在桃地計畫前就不理想，而桃地計畫的完工就鐵路營運效率而言，幾無助益，

提出鐵路建設計畫的地方政府多從都市發展的角度看待鐵路建設計畫的效益，計畫對鐵路營運效率的影響通常是局部且抽象的，而鐵路營運單位關切者必然是建設計畫對整體路網的影響範圍與程度，RAILS 可提供精準的數據滿足兩方之需求。也因為有了 RAILS 這樣的量化評估工具，要點在鐵路營運效率方面的評估準容有再細緻且多元的空間，包括：

1. 要點第五條第三項第二款第 2 目規定「地方政府提報鐵路立體化改善計畫時，應評估原有路線容量...」，所稱「原有路線」，應可再更明確指明係計畫範圍，抑或鐵路營運機構認為有可能受影響的範圍等。
2. 區段通勤列車平均運行速度不低 45 公里/小時及城際列車不低於 70 公里/小時之標準，經查係基於 2011 年(要點擬定當時)臺鐵全台路段的「平均營運實績」，惟按 2024 年 4 月 9 日班表運轉時，西部幹線在竹南站以北已有 80%的站間無法符合此標準，桃地計畫完工後符合標準的站間比例亦未見降低，原定標準有再檢視調整之必要。
3. 營運數據的基礎為班表，因此評估營運效率時應如何選擇具代表性的班表，或平日、假日、連續假日等皆評估，而後進一步訂定相應標

準，是可再精進的方向。

4. RAILS 目前除了容量、利用率、列車平均速率外，尚有追越待避次數、路塞潛勢指數等指標，未來亦有納入其他評估指標之餘裕。此外，因真實運轉狀態下可能遭遇的擾動、趕點等也可設為分析參數，據以模擬出在不同擾動及趕點行為下的系統穩定度，供評估營運效率參考。

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

1. 本研究以桃地計畫為例，利用 RAILS 分析臺鐵 2024 年 4 月 9 日真實班表，在以桃地計畫區間為基礎分析區間的 13 組不同分析區間下之車站/站間容量、利用率、區段通勤列車及城際列車平均速率的變化情形。13 組不同分析區間下，基礎分析區間內同一車站/站間的容量差距不超過 2 車次/小時(雙向)、利用率差距不超過 2.5%，且列車平均速率完全不因分析範圍擴大而改變。意即若目的僅欲掌握建設範圍內的量化指標，RAILS 之分析範圍僅需聚焦「計畫本身範圍」即可，無須擴大延伸。
2. 桃地計畫完工後，基礎分析區間之容量及利用率大部分有改善，任兩站間區段通勤列車及城際列車平均速率則多低於計畫前，且區段通勤列車減幅顯著；基隆站至竹南站間則有 41.5%車站/站間容量降低、44.6%利用率增加、88%列車平均速率下降。範圍內有改善，但範圍外惡化的現象，證明局部鐵路工程之營運衝擊有路網外溢特性，因此 RAILS 之分析區間選擇必須具備「延伸邊界」之彈性。惟桃地計畫本質係以「都市縫合與地方發展」為導向，在增設 5 個通勤車站之實體限制下，導致兩站間區段通勤列車速率顯著下降，此為政策權衡下之營運成本。
3. 鐵路計畫之分析區間選擇原則並非絕對不變，除了工程規模及班表，「最佳範圍」還受以下三大外部環境變因之制約，此亦為建構選擇原則之核心基石：
  - (1) 所在路網的飽和度：路網越飽和、瓶頸路段越多，分析區間越必須向外延伸至主要樞紐站。以桃地計畫所在的西幹線北部路段為例，計畫前已有 80%站間無法達到現行速率標準，這代表該環境已處於

「高飽和、高敏感」狀態。在這種環境下，局部區間的擾動都可能透過班表連動產生骨牌效應，引發整體外溢。

- (2) 法規臨界值之待補：目前分析區間的選擇只能採取「依目的動態定義」(如只想看計畫範圍內，就切局部；想看外溢，就切整體)，法規沒有明確規定「時速慢幾公里」或「容量差幾班次」才算受到實質影響，讓分析範圍的決定缺乏法定依據。
  - (3) 時空運轉變因之複雜度：鐵路營運環境充滿非線性的變因，包含平假日班表的車次密度差異、主支線在特定工址的交會互擾(如內灣線、宜蘭線對西幹線的牽制)等。不同的時空背景，會改變列車在空間上的待避與路塞行為，進而改變衝擊波及的範圍。分析區間的劃定必須具備時空敏感度，同一計畫在「假日尖峰班表」與「平日離峰班表」下，其合理的模擬分析區間範圍可能有所不同。
4. RAILS 不僅能精準驗證容量與速率等現行法定指標，更具備提供「追越待避次數」、「路塞潛勢指數」等多元微觀指標之能力。RAILS 的高度計算彈性與精準度，能有效支援前述複雜變因的「敏感度分析」，是探討並界定分析區間選擇原則不可或缺之科學化工具。

## 5.2 建議

1. 建議主管機關應運用 RAILS 高精確度之特性，針對「何謂對原有路線造成影響」進行政策研究。透過大數據模擬，明確定義出營運衝擊之量化臨界值(如：當周邊路段速率降幅大於某比例，或車站/站間容量降低某比例時，即判定為受影響範圍)，以此為未來鐵路建設計畫劃定「法定模擬分析區間」之標準。
2. 現行要點規定基於 2011 年實績，已不符西部幹線北部路段之現況。建議重新檢視並動態調整要點內之容量、利用率與速率標準，使法規標準與現況接軌。
3. 建議未來規劃單位在執行鐵路建設計畫評估時，第一階段可先僅納入計畫範圍本身，快速產出核心容量與利用率報告，第二階段視路網運轉狀態，若周邊路網已趨近飽和或速率大幅下降，則分析區間應再擴大延伸，以掌握外溢之營運衝擊。
4. 在多方利益衝突、資源有限之鐵路建設中，鐵路營運單位常被迫成為妥協的一方(如因應地方民意而必須增站、地下化而降低速率)。建議營運單位應善用 RAILS，在確定的分析區間內進行常態性模擬，在工程

完工前即預先規劃班表調整或應變方案，將政治或工程決策帶來的負面營運衝擊降至最低。

5. 本研究受限於單一案例與單日班表，建議後續進一步蒐集全台不同工程規模(如高架化、四軌化)、不同平假日班表型態、主支線交會工址等多元樣本進行模擬，期能利用統計或機器學習方法，推導出「工程規模/路網飽和度與影響範圍間之量化比例關係公式」，完善全台鐵路計畫之分析區間選擇指引。
6. 鑑於鐵路運轉之複雜度與 RAILS 系統之高度彈性，建議未來應加強產官學研界之實務推廣。透過使用者與開發者間的常態性回饋機制，將實務上「分析區間選擇」的動態邏輯(如自動判定路網飽和度並建議擴大範圍)逐步演算法化，降低操作門檻，使其真正成為精緻化鐵路政策之核心支援工具。

## 參考文獻

1. 李宇欣、盧立昕、賴威伸、許修豪、林育昶，「鐵路數位模擬系統後續發展與應用之研究」，交通部運輸研究所，115 年 7 月。
2. 鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點」，107 年 2 月 21 日修正發布。