

行人設施交通服務水準分析方法初探

A Preliminary Study on the Analysis Methods of Pedestrian Facility Traffic Service Level

運輸計畫及陸運組 張舜淵 呂怡青 歐陽恬恬 游佳諭 陳柏安

研究期間：115 年 4 月至 115 年 12 月

摘要

人本交通、綠運輸及行人安全等議題愈趨受到重視，而現行「臺灣公路容量手冊」行人設施章節內容仍沿用民國 79 年之資料，已逾 30 年未更新。因此，本報告透過回顧國外行人設施交通服務水準評估之分析方法與適用對象探討公路容量手冊於行人設施章節之研究更新方向。文獻回顧發現，倫敦、日本及澳洲新南威爾斯省多以「行人流率」評估行人設施之服務水準，並以行人活動類型或行人量將人行道分類。美國公路容量手冊則以多項影響行人步行感受的因素，計算行人設施服務水準分數，而在路口人行道轉角、行人穿越道、人行道通行空間(circulation-area)及路外專用人行空間，採「行人空間」指標評估服務水準。本報告建議未來蒐集更多本土行人步行感受及交通環境數據，以更新「臺灣公路容量手冊」行人設施章節之服務水準劃分標準、擴大適用類型，並可新增行人設施於路口之服務水準分析方法。

關鍵詞：

行人、交通服務水準

行人設施交通服務水準分析方法初探

一、前言

交通部運輸研究所(以下簡稱本所)最新一版「2022年臺灣公路容量手冊」[1]第19章行人設施仍沿用民國79年「臺灣地區公路容量手冊」之內容，就商業區、通勤區之水平步道及階梯之行人交通服務水準提供分析方法。

由於臺灣公路容量手冊對於行人設施之服務水準分析評估已有30多年未更新，而人本交通、綠運輸、行人安全等議題愈趨受到重視，本報告乃蒐集與分析國外行人設施交通服務水準評估之分析方法及適用對象，探討公路容量手冊於行人設施章節之研究更新方向，以持續滾動檢討「臺灣公路容量手冊」後續研究主題與期程安排，完善手冊內容。

二、行人設施服務水準評估之相關文獻

行人設施服務水準可包含步行環境舒適及美觀性、通行安全性、及行人流動性等三個面向評估。而就公路容量手冊而言，其重點在於提供多種運具(modal)交通運轉、容量和服務水準(LOS)的技術分析方法，因此偏重於給定設施條件下，以行人之流動性，評估服務水準，相關文獻回顧如下。而因美國公路容量手冊[2]有關行人服務水準分析內容甚多，本報告另以路側及路外行人設施2個小節說明。

(一)Nowar, R.等人(2018)對行人服務水準評估最重要因素之系統性回顧[3]

Nowar 認為早期的行人服務水準評估研究大多係沿用車流服務水準之評估架構，主要採用容量分析為基礎的建模方法，此種方法被稱為「幾何派(Geometricians)」，但逐漸受到被稱為「經驗派(Experientialists)」的替代方法所挑戰。

幾何派認為行人服務水準(Pedestrian Level of Service, PLOS)是一種關於設施容量、流量與幾何設計的問題，以流量/容量比值為基礎，評估方式相對客觀，並具備實證性。經驗派則更注重環境中主觀性與感受性，提供更貼近行人實際感受的評估角度，其評估因素最終歸納為三大面向：舒適性、安全性與機動性，而最常被納入的因素依序為：人行道的寬度、影響行人通行的障礙物、車輛之行駛速度與流量以及路邊停車

空間等。

(二) Arunabha, B. 等人(2018)之不同行人設施之行人流特性與服務水準評估回顧[4]

本研究蒐集回顧行人流特性與服務水準評估之相關研究。依不同地區之調查結果顯示，行人流特性受設施類型、寬度、年齡、性別和研究地點等因素的影響顯著。而體格(身高)、文化(服裝)、吸引力(人行道旁的小販)、摩擦干擾(停放的車輛)、步行目的和環境條件等因素是導致沙烏地阿拉伯、伊拉克、孟加拉、印尼和斯里蘭卡等國的行人步行速率明顯低於美國、英國或加拿大等國行人的主要原因。而各研究著重之行人流動調查蒐集項目，包含：速率、流量、密度、空間、自由速率和壅塞密度，彙整如表 1 所示。

此外，對於不同行人設施(如人行道、步道、行人穿越道、立體設施、樓梯和電扶梯)之服務水準評估分析方法，分別彙整質化(Qualitative)及量化(Quantitative)分析所著重之參數，如表 2 所示。其中，質化分析常見的參數包括行人量、安全性、路面狀況與障礙物；而量化分析則主要使用密度、流率、行人速度等參數。

表 1、表 2 之清單可提供研究者快速了解不同行人設施需著重調查分析之影響因素或參數。

表 1 行人流特性研究考量之重要因素彙整

行人設施類型	最重要的考慮因素
人行道	速度、流量、密度、空間、自由流速、壅塞密度、年齡、性別、環境條件、體格與文化(服裝)差異、寬度、位置、雙向流動
步道 (Walkway)	速度、流量、密度、空間、壅塞密度、年齡、性別、體格與文化(服裝)差異、位置、群體行走模式、雙向流動
樓梯和電扶梯	速度、流量、密度、空間、自由流速、壅塞密度、樓梯尺寸(寬度、坡度和台階高度)、單向及雙向流動、行程目的、年齡、性別
行人穿越道	速度、年齡、性別、群體規模、穿越地點有無號誌、平均等待時間、季節、延滯、接受間距
立體設施	車流量、安全、保護、連接性、樓梯尺寸規格、通行干擾、過馬路時間、性別、年齡、群體規模

表 2 行人服務水準研究考量之重要因素彙整

行人設施類型	量化分析	質化分析
人行道	密度、年齡、空間、流率、障礙物/通行干擾、寬度、交通量	車輛速度、流量(行人、自行車及機動車輛)、安全性、路面狀況、障礙物、寬度
步道 (Walkway)	空間、流率、速率、寬度	安全性、舒適性、可及性
樓梯和電扶梯	空間、流率、環境、擁擠度	安全性、舒適性、可及性、環境
行人穿越道	空間、流率、流量(車輛及行人)、延滯	車輛速率、流量(車輛及行人)、安全、路面狀況、寬度、交通控制

(三)Bivina, G. R.等人(2018)之評估並改善不同土地使用的人行道服務水準模式[5]

Bivina 等人以不同土地使用類型為基礎並考慮行人感知，發展人行道服務水準模式。

本研究首先確定了 10 個人行道評估項目，包含：人行道鋪面、人行道寬度、路面障礙物、車道寬度和數量、潛在車輛衝突、空間侵占(店家或停車占用人行空間)、穿越設施之可及性、安全感(治安及夜間照明)、舒適性及步行環境(環境氛圍與友善程度)，並以問卷調查之方式針對印度 5 個城市之人行道進行評估。

問卷前半部分針對受訪者對各評估項目的「重要性」進行評分，以反映其重視程度；後半部分則衡量對現況設施的「滿意度」。而後將重要性轉換為權重，與滿意度結合計算綜合得分，作為評估行人服務水準的依據。

評估結果顯示，住宅區重視人行道鋪面品質；商業區偏好較寬敞的行人空間；文教區將安全性視為首要考量。交通場站區則因人行道寬度不足、存在障礙物與步行空間遭侵占等問題，導致使用人行道前往公共運輸場站的意願降低。

(四)倫敦之行人舒適度評估

倫敦交通局於 2010 年發布之「行人舒適度指南」[6]以行人流率(ppmm，行人數/每分鐘/每公尺人行淨寬)來衡量人行道及行人穿越道之舒適度，分別說明如下，至於人行設施之品質或環境維護，另有其他評估方法。

1. 人行道舒適度評估

人行道依不同區域類型之蒐集行人活動尖峰時段之行人流量，並量測人行道淨寬。人行道淨寬為扣除街道設施及其對應之緩衝區後，可供行走的空間。若 2 個相鄰緩衝區之間小於標準人體寬 0.6 公尺，則此空間亦不計入通行淨寬。以圖 1 為例，A~D 各斷面之粗黑線段區域為人行道淨寬。A 斷面之淨寬為總寬度扣除建築及路緣之緩衝區，D 斷面亦同。C 斷面相較於 A 斷面，需再扣除自行車停放區。B 斷面相較於 C 斷面，又需再扣除號誌箱和其緩衝區。此外，因號誌箱緩衝區與路緣緩衝區之間的距離小於標準人體寬，因此亦不納入淨寬計算。

人行道之行人流率劃分為 11 個等級，再依不同地區對應可接受之舒適程度如圖 2 所示。

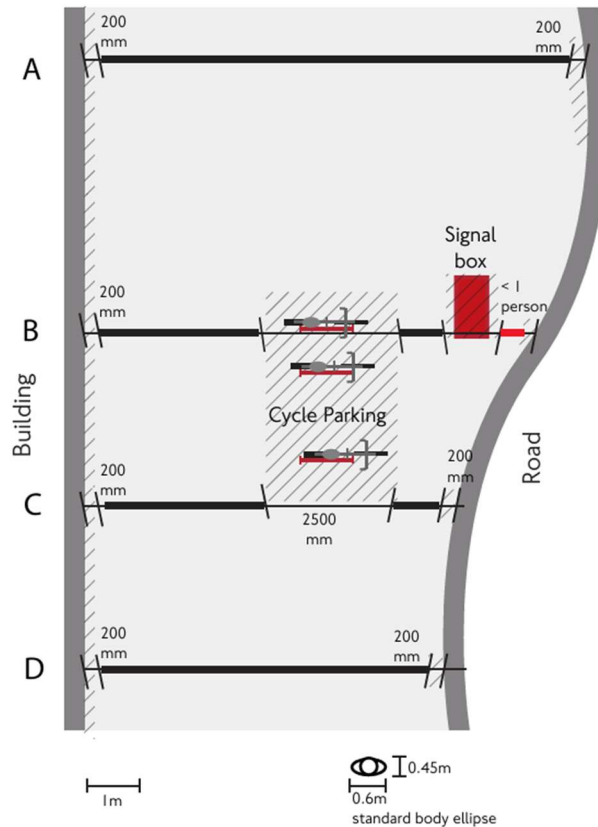


圖 1 倫敦行人舒適度指南之人行道淨寬量測示意圖

	A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D	E
ppmm	< 3	3~ 5	6~ 8	9~ 11	12 ~ 14	15 ~ 17	18 ~ 20	21 ~ 23	24 ~ 26	27 ~ 35	> 35

	商業街		辦公零售區		住宅區		觀光區		轉運站	
	尖峰流量	平均最大流量	尖峰流量	平均最大流量	尖峰流量	平均最大流量	尖峰流量	平均最大流量	尖峰流量	平均最大流量
A	舒適		舒適		舒適		舒適		舒適	
B+										
B	可接受		可接受		可接受		可接受		可接受	
B-	邊界區						邊界區			
C+	難以忍受		可接受		邊界區	邊界區	難以忍受		可接受	
C			邊界區	邊界區	邊界區	邊界區				
C-			難以忍受	難以忍受	難以忍受	難以忍受				
D			難以忍受	難以忍受	難以忍受	難以忍受				
E			難以忍受	難以忍受	難以忍受	難以忍受				

資料來源[6,7]

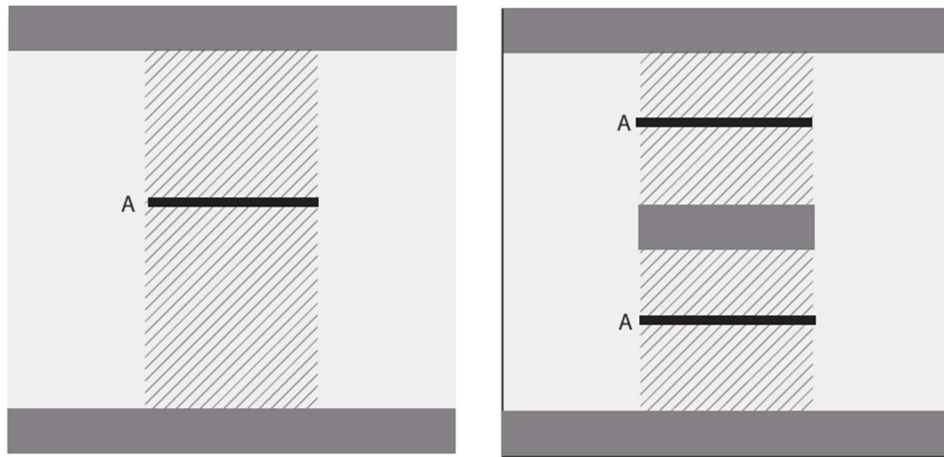
圖 2 倫敦行人舒適度指南之人行道舒適程度對應圖

2. 行人穿越道舒適度評估

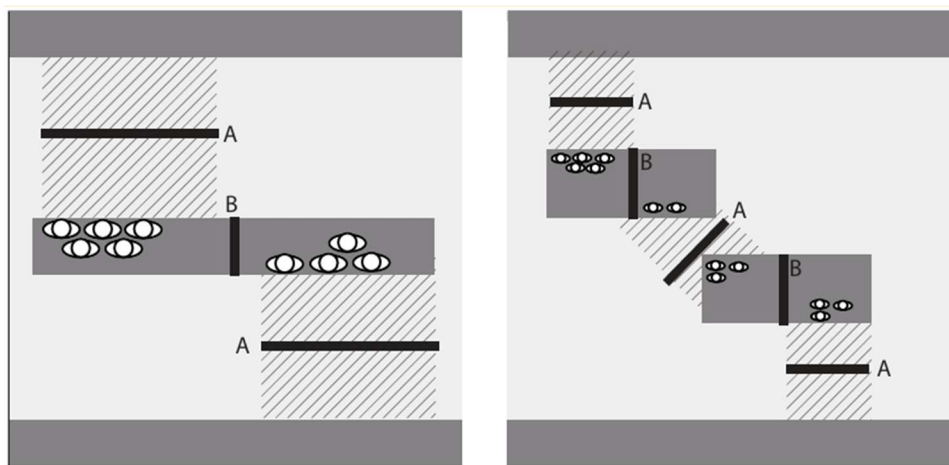
行人穿越道之配置如圖 3 所示，分為(a)直對式穿越道，以及(b)錯開或折線式穿越道。其行人流率，係以每小時相對人流量(Relative People Per Hour, rpph) \div 60 \div 穿越道寬度(公尺)而得。而每小時相對人流量以每小時人流量(pph) \div 號誌週期中行人可通行的時間比來計算。

此外，錯開或折線式穿越道之行人庇護島，除需以上述方法計算行人流率，尚需額外計算排隊等待列數，以每週期平均等待人數 \div 單排(平行於道路)可容納人數而得。

行人穿越道及庇護島之寬度量測如圖 3 之粗黑線所示。而庇護島之單排可容納人數以寬度 \div 標準人體寬而得。



(a)直對式穿越道



(b)錯開或折線式穿越道

圖 3 倫敦行人舒適度指南之行人穿越道寬度量測示意圖

行人穿越道之行人流率劃分為 9 個等級，如表 3 所示，B-以下為可接受之舒適度。庇護島之等候排列數為 2 排以下可接受。錯開或折線式穿越道之舒適度係就分階段穿越道及庇護島各別評估後，採最差之評估結果為整體評估結果。因此，如果任一階段之穿越設施評估結果為不舒適(擁擠程度 C 以上或庇護島等待列數 3 排以上)，整個路口的設計都應重新考慮，如增加穿越道或庇護島之寬度、調整號誌時制或改為直對式穿越道。

表 3 倫敦行人舒適度指南之行人穿越道舒適程度劃分

	A+	A	A-	B+	B	B-	C	D	E
ppmm	< 3	3~5	6~8	9~11	12~14	15~17	18~26	27~35	> 35

(五)日本大型開發區之人行服務水準評估

日本國土交通省都市計劃課於 2014 年修訂出版「大型開發區相關交通規劃手冊（大規模開發地區関連交通計画マニュアル）」[8]，明訂樓地板面積達 1 萬平方公尺以上之商業設施、2 萬平方公尺以上之辦公大樓，以及住宅、酒店、活動設施等上述以外其他用途或複合開發，於開發前針對機動車輛、步行及大眾運輸使用進行預測評估，以因應開發區完成之交通衝擊。

手冊中以每分鐘每公尺之行人流率作為指標，對應 A~E 五個服務水準級別，如表 4 所示，並明訂大型開發區人行道規劃應以 A 級水準為目標，若評估後發現無法達成，則應制定相關改善措施，包括新開發道路設置人行道、現有人行道拓寬、建築物退縮以補足人行環境等。此外，亦須同步考量其他行人專用設施，如天橋或地下道等，使人行環境可連結車站、公園等設施，並適當將行人與車輛分隔。

表 4 日本大型開發區相關交通規劃手冊之人行服務水準標準

等級	感受	行人流率 (人/公尺*分)
A	自由步行	< 27
B	稍微受限	27-51
C	有點困難	51-71
D	困難	71-87
E	幾乎不可能	87-100

(六)澳洲新南威爾斯州之步行空間服務水準評估

澳洲新南威爾斯州交通局於 2020 年出版「步行空間指南」[9]，以尖峰小時行人量(PPHr, people per hour)，由低至高將人行道區分為 5 類。類型 1~類型 4 僅以人行道淨寬劃分為 A~F 服務水準，類型 5(> 2,000PPHr)則同時以人行道淨寬與最大尖峰行人流率(ppmm, 行人數/每分鐘/每公尺人行淨寬)劃分 A~F 服務水準，如表 5 所示。

表 5 澳洲新南威爾斯州步行空間指南之行人服務水準等級

人行道 類型	尖峰小時 行人量 (PPHr)	是否 毗鄰 活動	服務水準*					
			A	B	C	D	E	F
類型 1	< 7	—	2.7	2.3	2.0	1.6*	1.3*	< 1.3*
類型 2	7~69	—	3.0+0.6 超越區	2.7+0.6 超越區	2.3+0.6 超越區	1.9+0.6 超越區	1.6+0.6 超越區	<1.6+0.6 超越區
類型 3	70~399	否	3.9	3.5	3.0	2.6	2.2	< 2.2
		是	4.3	3.8	3.2	2.8	2.3	< 2.3
類型 4	400~2,000	否	4.8	4.3	3.7	3.2	2.7	< 2.7
		是	5.2	4.6	3.9	3.4	2.9	< 2.9
類型 5	> 2,000	最小 淨寬	5.2	4.6	3.9	3.4	2.9	< 2.9
		最大 PPMM	4.0	6.0	9.5	13.5	18.0	> 18.0

註：1.類型 1~4 以最小步行空間(公尺)、類型 5 以最小步行空間(公尺)及最大尖峰尖峰行人流率(ppmm)判斷服務水準。

2.類型 1 於 D~F 級之最小步行空間，需再考量輪椅需求調整設施。

三、美國 HCM 路側人行道服務水準評估方法

美國 HCM[2]分別就雙向停車再開路口(第 20 章)、號誌化路口(第 19 章)、市區道路路側人行道之節線與路段(第 18 章)，以及路徑(第 16 章)提供服務水準評估方法，分別說明如下：

3.1 路口

(一)雙向停車再開路口

美國 HCM 第 20 章對於雙向停車再開路口，針對穿越未受停車標誌控制車流的行人，計算平均行人延滯，予以描述評估服務水準，此方法也適用於路段中間的行人穿越。

雙向停車再開路口之先計算分階段通行之平均行人延滯，計算公式如下，方程式中的第一項代表車輛讓行時產生的行人通行預期延滯，第二項則代表行人等待足夠車流間隙通行時的預期延滯。

$$d_{p,s} = \sum_{i=0}^n h(i-0.5)P(Y_i) + (P_d - \sum_{i=0}^n P(Y_i))d_{gd}$$

其中，

$d_{p,s}$ = 分階段通行 s 的行人平均延滯時間(秒)

i = 潛在讓行事件($i = 0 \sim n$)

h = 小於群體臨界間距之平均間距(秒)

$P(Y_i)$ = 潛在讓行事件 i 之車輛讓行機率

P_d = 潛在延滯通行之機率

n = 出現足夠間隙之前的平均潛在讓行事件

d_{gd} = 行人延滯下的平均間隙延滯

再計算全段之平均行人控制延滯，公式如下，以對照表 6 描述不同延滯範圍之行人通行狀況。

$$d_p = \sum_{s=0}^{n_{cs}} d_{p,s}$$

其中，

d_p = 平均行人控制延滯(秒)

n_{cs} = 分階段通行數

表 6 雙向停車再開路口之延滯範圍對應之行人通行狀況

平均行人控制延滯(s/p)	行人通行狀況描述
0-5	經常沒有交通衝突
5-10	偶爾因交通衝突而有一些延滯
10-20	對行人來說延滯明顯，但未造成不便
20-30	延滯明顯且令人惱火，增加冒險行為的可能性
30-45	延滯接近容忍水平，可能出現冒險行為
> 45	延滯超過容忍程度，行人冒險風險高

另一方法係加權平均「沒有延滯」和「有延滯」之行人通行條件下，不滿意之比例，以表 7 評估雙向停車再開路口(也適用於路段中間的行人穿越)之行人服務水準等級。

表 7 雙向停車再開路口以不滿意比例劃分之行人服務水準等級

服務水準等級	不滿意比例 (P_D)	行人通行狀況描述
A	$P_D < 0.05$	幾乎所有行人都感到滿意
B	$0.05 \leq P_D < 0.15$	至少 85%行人感到滿意
C	$0.15 \leq P_D < 0.25$	不到四分之一的行人感到不滿意
D	$0.25 \leq P_D < 0.33$	不到三分之一的行人感到不滿意
E	$0.33 \leq P_D < 0.50$	不到一半的行人感到不滿意
F	$P_D \geq 0.50$	大多數行人感到不滿意

(二) 號誌化路口

美國 HCM 第 19 章提供號誌化路口行人服務水準分數計算公式，再依照得分對照服務水準等級。另外還可額外就人行道轉角、行人穿越道或兩者的運作進行評估。號誌化路口之幾何配置及行人流動如圖 4 所示。

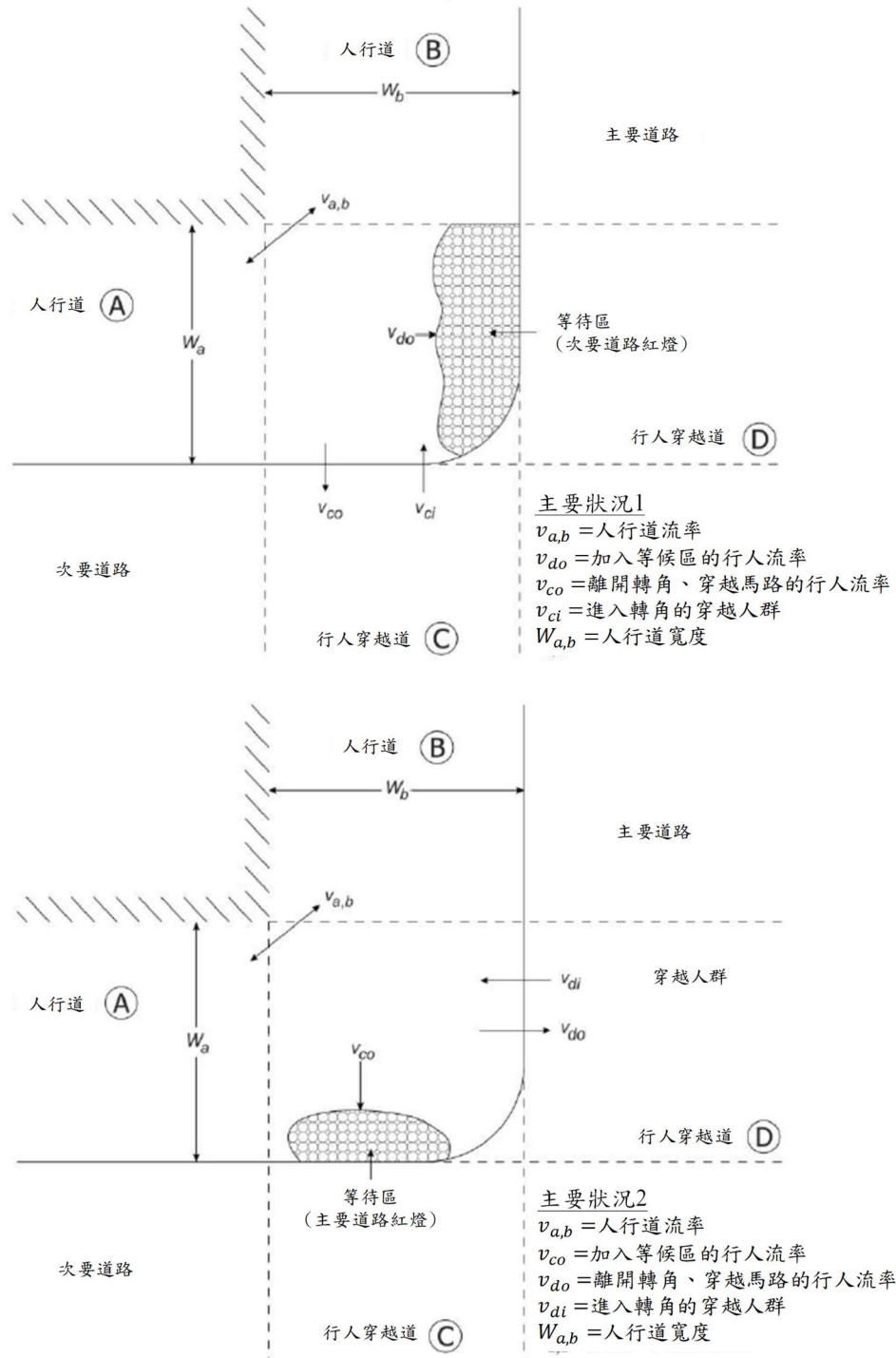


圖 4 美國 HCM 號誌化路口幾何配置及行人流動示意圖

號誌化路口行人服務水準分數計算公式如下，計算結果再依據表 8 決定服務水準等級。

$$I_{p,int} = 0.5997 + F_w + F_v + F_s + F_{delay}$$

其中，

$I_{p,int}$ = 路口行人 LOS 分數

F_w = 路口調整因子(與車道數相關)

F_v = 機動車流量調整因子

F_s = 機動車速度調整因子

F_{delay} = 行人延滯調整因子

表 8 號誌化路口行人服務水準等級

服務水準等級	服務水準分數
A	≤ 1.50
B	>1.50 - 2.50
C	>2.50 - 3.50
D	>3.50 - 4.50
E	>4.50 - 5.50
F	> 5.50

人行道轉角及行人穿越道係計算平均每人可用面積後，依據表 9 描述服務品質。

人行道轉角之平均每人可用面積計算公式如下：

$$M_{corner} = \frac{TS_C}{4.0N_{tot}}$$

其中，

M_{corner} = 每人可用的轉角通行面積(平方英尺/人)

TS_C = 可供行人通行的時間-空間 (平方英尺-秒)

N_{tot} = 每個週期內於轉角區域活動之行人總數(人)

行人穿越道之平均每人可用面積計算公式如下：

$$M_{cw} = \frac{TS_{cw}^*}{T_{ooc}}$$

其中，

M_{cw} = 每位行人於行人穿越道道的可用面積(平方英尺/人)；
 TS_{cw}^* = 行人穿越道有效可用的時間空間(平方英尺-秒)；
 T_{occ} = 行人穿越道占用時間總量(人-秒)；

表 9 人行道轉角及行人穿越道行人空間服務品質描述

行人空間 (平方英尺/人)	描述
> 60	能依預期路線行走，不需要改變動線
> 40-60	偶爾需要調整行走路線以避開其他人
> 24-40	常常需要調整行走路線以避免與他人發生衝突
> 15-24	速度與超越較慢的行人之能力受到限制
> 8-15	速度明顯受限，幾乎無法超越其他行人
≤ 8	速度嚴重受限，且與其他使用者頻繁發生衝突

3.2 市區道路

美國 HCM 第 18 章提供市區道路節線(Link)與路段(Segment)的行人服務水準分數計算公式，而於第 16 章提供計算市區道路之行人服務水準分數計算公式。市區道路節線(Link)與路段(Segment)的區別如圖 5 所示，路段(Segment)為相鄰上下游停止線之間，節線(Link)則為相鄰但不包含的 2 路口之間。節線(Link)、路段(Segment)、市區道路之行人服務水準分數計算公式以及服務水準判定標準依序說明如下。

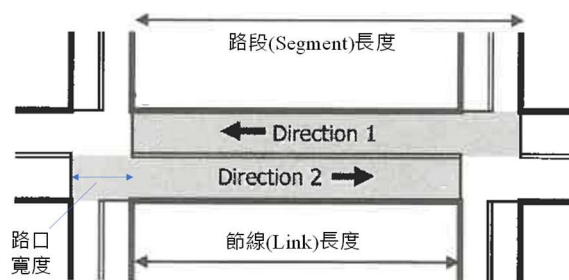


圖 5 市區道路節線(Link)與路段(Segment)示意圖

(一) 節線(Link)

節線(Link)之行人服務水準分數計算公式如下，再以表 10 對照服務水準。由於節線的分數計算需要蒐集之數據較少，且計算結果通常能反映行人對服務水準的感受，使得此方法經常被應用，尤其進行路

網範圍評估、具有大量節線時。

$$I_{p,link} = 6.0468 + F_w + F_v + F_s$$

其中，

$I_{p,link}$ = 節線(Link)的行人服務水準分數

F_w = 橫斷面調整係數(與車道、自行車道、路邊停車、車道與人行道間緩衝帶、可用人行道寬度相關)

F_v = 機動車流量調整係數

F_s = 機動車速度調整係數

表 10 節線之行人服務水準等級

服務水準等級	服務水準分數
A	≤ 1.50
B	$>1.50 - 2.50$
C	$>2.50 - 3.50$
D	$>3.50 - 4.50$
E	$>4.50 - 5.50$
F	> 5.50

(二)路段(Segment)

路段(Segment)之行人服務水準分數公式如下，再以表 11 對照服務水準。

$$I_{p,seg} = \left[\frac{(I_{p,link}[1 - p_{mx}] + I_{p,mx}p_{mx})^3 L/S_p + (I_{p,int})^3 d_{pp}}{L/S_p + d_{pp}} \right]^{1/3}$$

其中，

$I_{p,seg}$ = 路段(Segment)的行人服務水準分數

$I_{p,link}$ = 節線(Link)的行人服務水準分數

$I_{p,int}$ = 號誌化路口的行人服務水準分數(若為雙向停車再開路口，本項為 0)

p_{mx} = 選擇於路段中段位置穿越之行人需求比例(預設值為 0.35)；

$I_{p,mx}$ = 在中段位置穿越之行人 LOS 分數(A=1、B=2、...、F=6)，取[行人等待延滯 LOS 分數、行人轉向延滯 LOS 分數、LOS 6 分]之最小值；

- L = 路段長度(英尺)；
 S_p = 行人步行速度(英尺/秒)；
 d_{pp} = 行人沿著該路段行走所產生的延滯時間(秒/人)；

表 11 路段之行人服務水準等級

服務水準等級	服務水準分數
A	≤ 2.00
B	$>2.00 - 2.75$
C	$>2.75 - 3.50$
D	$>3.50 - 4.25$
E	$>4.25 - 5.00$
F	> 5.00

此外，可以「行人空間」指標，描述路段之人行道通行空間(circulation-area)的服務品質。「行人空間」是指沿著路段行走的每位行人可使用的人行道平均面積，計算公式如下，服務品質描述如表 12 所示。

$$A_p = 60 \frac{S_p}{v_p}$$

其中，

- A_p = 路段人行道之行人空間(平方英尺/人)；
 S_p = 行人步行速度(英尺/秒)；
 v_p = 每單位寬度的行人流率(人/英尺/分)；

表 12 路段人行道通道之服務品質描述

行人空間(平方英尺/人)		描述
隨機 行人流	列隊 行人流	
> 60	> 530	能研所需路線移動，無需改變動作
$> 40-60$	$> 90-530$	偶爾需要調整路線以避免衝突
$> 24-40$	$> 40-90$	經常需要調整路線以避免衝突
$> 15-24$	$> 23-40$	速度與超越較慢行人的能力受限
$> 8-15$	$> 11-23$	速度受限，超越較慢行人的能力非常有限
≤ 8	≤ 11	速度嚴重受限，且與其他使用者經常接觸

註：1.隨機行人流為大多數路段的典型情況。

2.隊列行人流(Platoon Flow)適用於具號誌化路口且長度較短的路段(例如市中心區域)。

(三)市區道路

市區道路的行人服務水準是透過行人服務水準分數和人行道平均行人空間決定，如表 13 所示。如果人行道不存在，行人被迫在街道上行走，則僅以行人服務水準分數判斷服務水準。

表 13 市區道路之行人服務水準等級

行人 服務水準 分數	平均行人空間(平方英尺/人)					
	>60	>40-60	>24-40	>15-24	>8.0-15*	≤8.0*
≤2.00	A	B	C	D	E	F
>2.00 - 2.75	B	B	C	D	E	F
>2.75 - 3.50	C	C	C	D	E	F
>3.50 - 4.25	D	D	D	D	E	F
>4.25 - 5.00	E	E	E	E	E	F
> 5.00	F	F	F	F	F	F

註：在交叉流的情況下(兩條大致垂直的行人流交匯處，如人行道相交或建築物入口處)，服務水準 E-F 級之門檻值為 13 平方英尺/人。

市區道路的行人服務水準分數，是市區道路沿線各個節線和路口(組合為路段)的行人服務水準分數的旅行時間加權平均值，其公式如下：

$$I_{p,F} = 0.75 \left[\frac{\sum_{i=1}^m WTT_{p,i}}{\left(\frac{\sum_{i=1}^m L_i}{S_{Tp,F}} \right)} \right]^{\frac{1}{3}} + 0.125$$

其中，

$I_{p,F}$ = 市區道路之行人服務水準分數

$WTT_{b,i}$ = 路段 i 的旅行時間加權平均行人服務水準分數

$S_{Tb,F}$ = 市區道路之行人旅行速率(travel speed) (英尺/秒)

L_i = 路段 i 長度 (英尺)

m = 市區道路的路段數量

市區道路的平均行人空間，不考慮人行道轉角及行人穿越道，是沿線各路段平均行人空間之長度加權平均值，僅適用於有人行道之情形，其公式如下：

$$A_{p,F} = \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{\sum_{i=1}^m \frac{L_i}{A_{p,i}}}$$

其中，

$A_{p,F}$ = 市區道路人行道之行人空間(平方英尺/人)

L_i = 路段 i 長度 (英尺)

m = 市區道路的路段數量

$A_{p,i}$ = 路段 i 人行道之行人空間(平方英尺/人)

四、美國 HCM 路外行人設施服務水準評估方法

美國 HCM 第 24 章提供路外專用及共用行人設施的服務水準評估方法，但不包含涉及公共運輸場站之行人設施，說明如下。

(一)路外專用行人設施

路外專用行人設施包含步道與樓梯，行人服務水準以平均行人空間為評估指標，計算結果對照表 14~16 決定服務水準等級。

表 14 及 15 適用於步道，包含有鋪面之行人路徑、行人專用區(例如，專用步行街)、坡度不超過 5% 的步道和坡道，以及廣場區域內的行人步行區。當步道上的行人流為隨機分布時，對照表 14；而當行人列隊行進，例如分析特殊活動期間行人設施的運行情況時，則對照表 15。若在交叉流(Cross flows)的情況下(兩條大致垂直的行人流交匯處，如人行道相交或建築物入口處)，服務水準 E-F 級之門檻值為 13 平方英尺/人。而坡度超過 5% 之步道，可對照表 16 使用樓梯之服務水準保守評估。

表 14 步道之行人服務水準等級-隨機行人流

LOS	平均行人空間 (平方英尺/人)	相關評估標準			描述
		流率 (人/分鐘/英尺)	平均速度 (英尺/秒)	v/c ^a	
A	> 60	≤ 5	> 4.25	≤ 0.21	能夠沿著所需路徑移動，無需改變動作
B	> 40-60	> 5-7	> 4.17-4.25	> 0.21-0.31	偶爾需要調整路徑以避免衝突
C	> 24-40	> 7-10	> 4.00-4.17	> 0.31-0.44	經常需要調整路徑以避免衝突
D	> 15-24	> 10-15	> 3.75-4.00	> 0.44-0.65	速度和超過較慢的行人能力受到限制
E	> 8-15 ^b	> 15-23	> 2.50-3.75	> 0.65-1.00	速度受限，超過速度較慢的行人能力非常有限
F	≤ 8 ^b	變數	≤ 2.50	變數	速度受到嚴格限制，經常與其他使用者接觸

註：a. v/c 比率=流率/23。LOS 是基於每位行人的平均空間。

b. 在交叉流的情況下，服務水準 E-F 級之門檻值為 13 平方英尺/人

表 15 步道之行人服務水準等級-列隊行人流

LOS	平均行人空間 (平方英尺/人)	相關評估標準		描述
		流率 ^a (人/分鐘/英尺)		
A	> 530	≤ 0.5		能夠沿著所需路徑移動，無需改變動作
B	> 90-530	> 0.5-3		偶爾需要調整路徑以避免衝突
C	> 40-90	> 3-6		經常需要調整路徑以避免衝突
D	> 23-40	> 6-11		速度和超過較慢的行人能力受到限制
E	> 11-23 ^b	> 11-18		速度受限，超過速度較慢的行人能力非常有限
F	≤ 11 ^b	> 18		速度受到嚴格限制，經常與其他使用者接觸

備註：a. 5 分鐘的平均流率。流率與空間直接相關，但是，LOS 是基於每位行人的平均空間。

b. 在交叉流的情況下，服務水準 E-F 級之門檻值為 13 平方英尺/人。

表 16 樓梯之行人服務水準等級

LOS	平均行人空間 (平方英尺/人)	相關評估標準		描述
		流率 (人/分鐘/英尺)	v/c ^a	
A	> 20	≤ 5	≤ 0.33	無須改變動作
B	> 17-20	> 5-6	> 0.33-0.41	偶爾需要調整路徑以避免衝突
C	> 12-17	> 6-8	> 0.41-0.53	經常需要調整路徑以避免衝突
D	> 8-12	> 8-11	> 0.53-0.73	通過速度較慢的行人能力有限
E	> 5-8	> 11-15	> 0.73-1.00	通過速度較慢的行人能力非常有限
F	≤ 5	變數	變數	速度受到嚴格限制，經常與其他使用者接觸

備註：a. v/c 比=流率/15。LOS 是基於每個行人的平均空間。

(二)路外行人與自行車共用設施

在美國，專門提供行人使用的設施很少見，大多數路外設施都是共用的。這些設施在大學校園中特別常見，因為校園內通常會限制機動車輛通行和停車。

路外行人與自行車共用設施的行人服務水準，以行人與自行車對向相遇(meeting)及同向超越(passing)的「每小時總事件數」判斷。在單向設施中，不存在對向相遇事件，僅需計算同向超越事件數量。如果路徑寬度超過 15 英尺，該路徑可能被有效地視為兩條平行的雙向路徑，此時對向相遇事件的次數也可以設為 0。而隨著事件數量增加，步行舒適度下降，服務水準也降低。

每小時總事件數計算公式如下，表 17 為服務水準對照表。

$$F = (F_p + 0.5F_m)$$

$$F_p = \frac{Q_{sb}}{PHF} \left(1 - \frac{S_p}{S_b} \right) ; F_m = \frac{Q_{ob}}{PHF} \left(1 + \frac{S_p}{S_b} \right)$$

其中，

F = 路徑上的每小時總事件數(events/h)

F_p = 同向超越事件數(events/h)

F_m = 對向相遇事件數(events/h)

Q_{sb} = 同向自行車需求量(bicycles/h)
 Q_{ob} = 對向自行車需求量(bicycles/h)
 PHF = 尖峰小時因子
 S_p = 路徑上的行人平均速度(mi/h)
 S_b = 路徑上的自行車平均速度(mi/h)

表 17 路外行人與自行車共用設施之行人服務水準等級

LOS	每小時事件數	相關評估標準 每一方向自行車流率 (自行車數/小時)	描述
A	≤ 38	≤ 28	最佳條件，與自行車發生衝突的情況很少見
B	> 38-60	> 28-44	條件好，與自行車衝突少
C	> 60-103	> 44-75	兩人並排走路困難
D	> 103-144	> 75-105	經常與自行車騎士發生衝突
E	> 144-180	> 105-131	與自行車騎士頻繁發生衝突且具有破壞性
F	> 180	> 131	嚴重的使用者衝突，體驗下降

備註：每一方向自行車流率係基於同向及對向比例相同。

五、結論與建議

5.1 結論

- (一)文獻回顧發現，行人流特性受設施類型、寬度、年齡、性別，甚至文化與體格差異而有顯著影響。行人服務水準之評估除有著重容量、流量與幾何設計的「幾何派」，逐漸納入重視行人環境主觀感受的「經驗派」。最常被納入的因素依序為：人行道寬度、影響行人通行的障礙物、車輛行駛速度與流量以及路邊停車空間等。
- (二)倫敦、日本及澳洲新南威爾斯省多以行人流率(ppmm，行人數/每分鐘/每公尺人行淨寬)評估路側行人設施之服務水準。倫敦交通局除評估人行道服務水準，亦對行人穿越道進行評估，其行人流率需考慮號誌週期行人可通行的時間。澳洲新南威爾斯省於行人流量不高之人行道，僅以人行道淨寬評估，隱含行人可使用空間之觀點。
- (三)倫敦之評估方法以行人活動類型將人行道區分為「商業街」、「辦公零售區」、「住宅區」、「觀光區」、「轉運站」；日本之方法針對一定樓地板

規模以上之大型開發區人行道；澳洲新南威爾斯省以行人量將人行道區分為 5 類。

(四)美國公路容量手冊於路側行人設施之評估，以行人步行感受之觀點計算行人服務水準分數，再對照服務水準。其雖未區分人行設施類型，然而影響行人步行感受的因素，包括車道數、機動車流量與速率、路口行人通行時間、行人步行速度等，隱含人行設施所在區位及行人活動特性等因素。此外，在路口人行道轉角、行人穿越道及人行道通行空間(circulation-area)，亦搭配「行人空間」指標，計算平均每人可用面積，來描述服務品質或判斷服務水準。

(五)美國公路容量手冊於路外專用行人設施，亦採「行人空間」指標評估服務水準，而對於與自行車共用之路外設施，則以行人與自行車對向相遇(meeting)及同向超越(passing)的「每小時總事件數」判斷服務水準。

5.2 建議

(一)比對澳洲新南威爾斯省、倫敦、日本及美國公路容量手冊之分析方法，前三者之方法簡單易懂，容易普遍應用。而現行「臺灣公路容量手冊」行人設施章節，對於商業區、通勤區之水平步道及階梯以「行人平均占有面積(平方公尺/人)」、「流率(人/分/公尺)」等指標評估行人交通服務，亦與前述相關實務應用方法相同，基本分析架構應仍可適用。然因服務水準劃分標準已逾 30 年未更新，使用者感受可能隨社會經濟發展及環境變遷而有變化，甚至適用之人行道類型亦可擴大，爰可再加以研析探討。

(二)另鑒於倫敦及美國對路口之行人設施已建立服務水準評估方法，未來「臺灣公路容量手冊」以行人設施為研究主題時，可研議新增路口之服務水準分析方法。

參考文獻

1. 2022 年臺灣公路容量手冊，交通部運輸研究所(民國 111 年)。
2. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2022.
3. Nowar, R., and Matthew, I. B. (2018), "What Are the Most Important Factors for Pedestrian Level-of-Service Estimation? A Systematic Review of the Literature," Transportation Research Record, Vol.2672, No. 35, pp.101-117.

4. Arunabha, B., Akhilesh, K. M., Gregor, L. (2018),“A review of pedestrian flow characteristics and level of service over different pedestrian facilities,” *Collective Dynamics*, Vol.3, pp.1-52.
5. Bivina, G. R., Parida, P., Advani, M., and Parida, M. (2018),“Pedestrian Level of Service Model for Evaluating and Improving Sidewalks from Various Land uses,” *European Transport*, Issue 67, Paper No. 2.
6. *Pedestrian Comfort Guidance for London*, Transport for London, 2010.
7. 國內外市區道路人行政策之探討及人行服務水準評估案期末報告，內政部營建署(民國 112 年)。
8. 大規模開發地区関連交通計画マニュアル，日本國土交通省(2013)。
9. *Walking Space Guide-Towards Pedestrian Comfort and Safety*, Transport for New South Wales, 2020.