

行人立體穿越設施守法係數與工程經濟之研究

李克聰·周倩如*

摘要

在小汽車與機車快速增加之下，都市內的行人交通日益困難，尤其在交叉路口處，人車爭道的情形使得行人的安全倍受威脅。而設置行人立體穿越設施，將行人與車流分隔，是解決此問題最有效的辦法。然而由於國內人民的守法習慣不佳，縱有行人立體穿越道仍捨棄不走而違規穿越道路，造成許多行人立體穿越設施使用率偏低，使得其設施的效益大為降低。因此，本研究將行人立體穿越設施的使用率定義為「守法係數」，探討影響守法係數的因素，認為立體穿越道必須爬上爬下的不方便性是促使行人違規之重要因素，並據此提出改進之方案。另一方面以工程經濟中之益本比方法來分析設置平面穿越道及立體穿越道二方案之可行性，同時將守法係數加入分析之中，以探討守法係數對益本比的影響及其線性關係，該結果可作為政府規畫設置行人立體穿越設施時的依據。

一、前言

1.1 研究動機

近年來由於汽車交通的發達，使得行人與行車的衝突劇增。尤其在交叉路口處，行人的安全倍受威脅。而要解決上述問題，在交叉路口處設置行人立體穿越設施，將行人與車流分隔，是最有效的辦法。然而縱觀目前設於交叉路口之行人立體穿越設施，大部分之使用效率均低落，行人捨棄行走立體穿越設施而平面違規穿越道路。追根究底，此問題乃是起因於政府在規劃設置行人交通設施時，大多只考慮設施的供給面，而忽略了使用者的需求面。

由於興建立體穿越設施之工程費用甚為龐大，行人這種不守法的現象，不僅

*本文作者李克聰為逢甲大學交通工程與管理學系副教授(電話:(04)4517250轉4585)
；周倩如為逢甲大學交通工程與管理學系研究助理

使得設施不能發揮其應有的效益，浪費人民的稅捐，更會造成許多反效果，例如增加警察執法的成本、行人與車輛發生肇事的機會增加....等。因此如何將國人之守法習慣納入交通設施的設計及規畫當中，實為一重要之課題。

1.2 研究目的

本文之主要目的有三：

1. 依據行人立體穿越設施之使用效率，提出「守法係數」的概念，探討影響守法係數的因子，建議可提高立體穿越設施守法係數之方案。
2. 比較興建行人立體穿越設施與採用平面穿越方式二者效益及成本上的差別，並根據守法係數的大小對於設施使用效益之影響，建立各替選方案間之工程經濟分析模式。
3. 以實際路口進行數值分析，以作為政府設置及檢討行人立體穿越設施之依據，並求出守法係數與益本比間之線性關係。

二、守法係數之探討

2.1 守法係數之定義

每一種設施之規劃設置，最重要的在於充分發揮設施應有之效益。若是設施乏人使用，或不遵從法令之規定使用，不僅大大地降低了設施的效益，亦失去設施的權威性。道路使用者的不守法現象浮濫，例如行人及車輛闖紅燈、違規停車、行人不走天橋或地下道而違規穿越...等，使得政府在從事規劃時，已不能再單從供給面的角度來考慮。本研究先針對行人立體穿越設施，探討行人對此項設施之守法係數，其定義如下：

行人立體穿越設施之守法係數 (1)

$$= \frac{\text{實際使用之行人數}}{\text{應使用之行人總數}} \dots\dots\dots(1)$$

$$= \frac{\text{實際使用之行人數}}{\text{實際使用之行人數} + \text{違規穿越平面道路之行人數}} \dots\dots(2)$$

2.2 影響守法係數之因子

根據過去之研究報告，一般認為影響守法係數之因子有車流量、路寬、行人立體穿越設施之設計型式、設施周圍之環境狀況(1).....等。本研究認為應再深入地了解使用者的心理，例如天橋(地下道)之管理維護情形：是否髒亂難行？是否有加蓋遮陽避雨之頂棚？階梯數太多太高，爬起來吃力？設置行人立體穿越設施主要目的在於保障行人交通的安全，有其一定之必要性，因此如何提高守法係數，使立體穿越設施達到應有的功能及效果，乃是解決問題的根本之道。

三、方案研擬

本節擬以工程經濟中的益本比分析方法，結合以上所述之守法係數，來檢討行人立體穿越設施設置之經濟面可行性。將分成三個方案來探討一平面穿越(不設立體穿越設施)、立體穿越、改善後之立體穿越，來比較其中對使用者(行人、車輛)效益上之差異，及管理者所負擔成本之不同。以下分述三個方案的效益及成本：

(一) 平面穿越

在交叉路口處設置行人平面穿越道，由於不能分離車流與行人，對於道路使用者(行人、車輛)而言，必需負擔下列成本(2)：

1. 延滯成本：此部份包括三種延滯成本

- (1)行人因車流所產生的穿越延滯
- (2)行人因號誌所產生的停等延滯
- (3)車流因行人交通所產生行駛延滯

2. 肇事成本：此處指的是在固定號誌之交叉路口處，發生行人與車輛的衝突肇事而言。

(二) 立體穿越

在交叉路口處設置行人立體穿越設施，例如天橋、地下道，將行人與車流

分隔開來，在守法係數為1 的情形下，對於上述平面穿越之使用者成本可全部避免。然而行人行走立體穿越設施之行走時間，必定大於平面穿越之時間，所以將其行走時間差作為此方案的行人延滯成本，並將立體穿越與平面穿越相差之使用者成本，當作設置立體穿越設施之效益。因此，守法係數的高低，直接影響立體穿越設施的效益。另一方面，興建天橋或地下道，管理者（政府）必須負擔其興建成本及維修養護成本。此方案效益及成本之通式如下：

效益—守法係數 × (行人穿越延滯 + 行人號誌延滯 + 車輛因行人產生之行駛延滯 - 行走時間差 + 肇事成本)

成本—興建成本 + 維護成本

(三) 改善後之立體穿越

由於興建立體穿越設施之費用龐大，若其守法係數不高，則無法達到預期之使用效益。因此本研究針對目前立體穿越設施之缺失，提出改善方案，以期提高守法係數，進而增加使用效益。根據前一小節的研究，因為天橋與地下道之高程差關係，行走樓梯耗費體力且花費時間多，對於老年者及殘障者，或提重物的人，會造成很大的心理及生理負擔，因此造成許多人捨棄天橋或地下道而違規穿越。

本方案建議將立體穿越設施之樓梯部份改為電動守扶梯，以提高其守法係數。除了具有第二方案之效益外，守法係數的提高使得違規的亂象減少，增進社會秩序，此為一不可忽視之潛在效益；再者，設置電動手扶梯使得一些弱勢者（老年人、幼童、殘障者）更能輕易地使用此設施，提高了社會公平，減低社會成本，此又為另一項效益。而預計增加之管理者成本為電動手扶梯之購置成本及維護成本。

四、工程經濟分析模式之建立

對於任一項交通設施之興建，其工程經濟分析之益本比通式為 (3.4)

$$\text{益本比} = \frac{\text{守法係數} \times \text{年效益}}{\text{總興建成本 (A/P, i\%, N) + 每年維護成本}} \dots\dots(3)$$

其中

$(A/P, i\%, N) = i(1+i)^N / [(1+i)^N - 1]$ ，為資本回收(現值轉為每年等值)因子，
 $i\%$ 為年利率， N 為使用年限

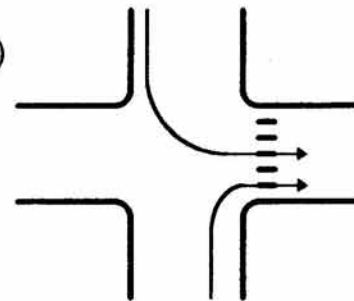
在本節當中，將針對興建行人立體穿越設施該方案之效益成本建立益本比分析模式，以作為方案評估的依據。至於改善立體設施之方案，由於多項潛在效益難以量化計算，故不建立其分析模式，只擬於後面數值分析中，探討其守法係數提高後，對益本比的影響。一般而言，當政府欲於交叉路口設置行人立體穿越設施之前，可以先行在設置地點實地調查上節所述之各項使用者延滯成本及肇事成本，並估算其興建成本，以獲得精確之數據。但是若政府欲做事後之效益評估及檢討，或是準備設置之地點實地調查困難，則必須以公式計算，以下即是分析模式之建立：

1. 行人因車流所產生之穿越延滯 (5)

在此利用Adams所提出之計算公式，他假設行人及車輛隨機到達，則

$$E(t) = \frac{1}{q e^{-qt}} - \frac{1}{q} - \tau \dots\dots\dots (4)$$

- 其中 q : 主幹道車流量 (於此模式中為干擾行人之左右轉向車流量 (圖一)) (pcu/sec)
- τ : 行人能安全通過主幹道的最小間距(秒)
- $E(t)$: 每一行人之平均延滯時間(秒/人)



圖一 交叉路口干擾行人之車輛流向示意圖

假設每小時之行人流量為 P ，每天之尖峰小時有四小時，未來行人流量成長為1.2倍，所以平均一年之行人穿越延滯時間 (D_1) 為

$$D_1 = E(t) \times P \times 4 \times 1.2 \times 365 \dots\dots\dots (5)$$

2. 行人因號誌所產生之停等延滯

假設行人到達交叉路口呈均勻分佈，則平均每一行人之紅燈停等時間為 $1/2 R$ (R 為紅燈時間)，於紅燈時間到達之行人流量為 $P \times R/C$ (C 為號誌週期時

間)，則平均一年之行人號誌停等延滯時間 (D_2) 為

$$D_2 = 1/2 R \times P \times R/C \times 4 \times 1.2 \times 365 \dots\dots\dots (6)$$

3. 車流因行人交通所產生之行駛延滯 (5)

此處採用張耀珍教授於民國七十年所提出之迴歸方程式

$$Y = 18.0 + 1.46X_1 + 0.020X_2 + 0.031X_3 \dots\dots\dots (7)$$

X_1 ：阻礙車流的人數(人/小時)

X_2 ：汽車流量(pcu/ hr)

X_3 ：行人流量(pcu/ hr)

Y ：汽車總延滯時間(秒)

則平均一年之車輛行駛延滯時間 (D_3) 為

$$D_3 = Y \times 4 \times 365 \dots\dots\dots (8)$$

4. 行走時間差

以行人行走立體穿越設施的時間減去原行走平面穿越道的時間 (T) (秒/人)，作為興建立體穿越設施所增加之使用者延滯成本。則平均一年之行走時間差 (D_4) 為

$$D_4 = T \times P \times 4 \times 1.2 \times 365 \dots\dots\dots (9)$$

5. 肇事成本

根據過去文獻之估算，每一件肇事所隱含的成本為50萬元 (6)，則平均一年之肇事成本 (Z) 為

$$Z = S \times 50,0000 \dots\dots\dots (10)$$

(S 為該設置地點每年發生人與車撞之肇事次數)

為將以上各項延滯時間化為與興建成本相同之貨幣單位，假設時間價值為0.04元/秒，根據上節所述，將諸項成本加總，求方案一與方案二之使用者成本差，並設其益本比之下限為 1，我們可以建立益本比的分析模式如下：

$$\text{益本比} = \frac{L \times \{ (D_1 + D_2 + D_3 - D_4) \times 0.04 + Z \}}{Q(A/P, i\%, N) + S} \geq 1 \dots \dots \dots (11)$$

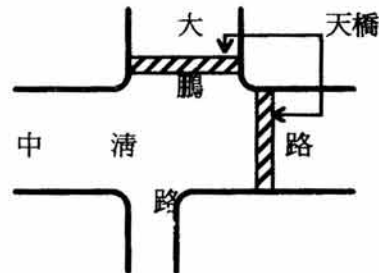
L：守法係數

Q：總興建成本

S：每年維護成本

五、數值分析

為求工程經濟分析模式之適用性，本研究擬以台中市中清路—大鵬路現已設置之天橋，進行工程經濟之分析評估。該路口現有一座 L型天橋，其幾何圖形如圖二。為了分析上的精確及方便，將天橋設置處的兩個路口方向分開討論。其路口之實際資料分述如下：



圖二 實際路口幾何形狀示意圖

1. 天橋之守法係數：0.26
2. 行人最小安全間距：5 秒

3.	大鵬路方向	中清路方向
干擾行人之車流量	198 pcu/hr	370 pcu/hr
行人流量	44 人/hr	61 人/hr
紅燈時間長	65 秒	108 秒
號誌週期時間	180 秒	
汽車總流量	718 pcu/hr	2872 pcu/hr
阻礙車流之人數	3 人/hr	5 人/hr
行走天橋時間	80 秒	
平面穿越時間	24 秒	
天橋興建成本	1,800萬元	
肇事紀錄(人與車撞)	5 次/年	7 次/年

表 一

上述資料中，由於無法得知設置天橋前之真正阻礙車流人數，乃以現場觀查平面違規穿越人數中阻礙車流之人數，再依違規穿越的比例放大。而行走天橋與平面穿越之時間，是依行人正常步行速度 1.1 公尺/秒估計，因此行走時間差為 56 秒。至於兩路口方向之天橋維護成本因不固定，在此分析中略去不計。最後一項肇事紀錄，由於臺中市目前無單一路口精確之肇事次數統計資料，僅以全市之肇事次數及兩路口之交通量比例約略假設為 5 次/年及 7 次/年。

依據上述之資料，利用工程經濟分析模式，可計算得出下列數據：

	大鵬路方向	中清路方向
行人因車流所產生之穿越延滯(D ₁)	58,430 秒/年	118,799 秒/年
行人因號誌所產生之停等延滯(D ₂)	2,505,360 秒/年	5,771,088 秒/年
車流因行人交通所產生之行駛延滯(D ₃)	55,480 秒/年	122,640 秒/年
行走時間差(D ₄)	4,316,928 秒/年	5,984,832 秒/年
肇事成本(Z)	2,500,000 元/年	3,500,000元/年

表 二

假設年利率為 8%，使用年限為 25 年， $(A/P, 8\%, 25) = 0.09368$

因此，其益本比為

大鵬路方向：

$$\frac{0.26 \times \{ (58430 + 2505360 + 55480 - 4316928) \times 0.04 + 2500000 \}}{18000000 \times 0.09368} = 0.38$$

中清路方向：

$$\frac{0.26 \times \{ (118799 + 5771088 + 122640 - 5984832) \times 0.04 + 3500000 \}}{18000000 \times 0.09368} = 0.54$$

由以上的數值分析結果可得知，在守法係數偏低的情況下，兩方向路口之天橋益本比均遠低於 1，已不符合成本效益之原則，所以此立體穿越設施是否達到當初預期之使用效益令人質疑。若能以改善立體穿越設施之方案，將階梯部份改為電動手扶梯，或利用其他方法提高守法係數，其益本比將改變如下表：

守法係數	益本比	
	大鵬路方向	中清路方向
0.26	0.38	0.54
0.30	0.44	0.62
0.40	0.58	0.83
0.50	0.73	1.04
0.60	0.88	1.25
0.70	1.02	1.45
0.80	1.17	1.66

表 三

根據上表，可大約繪出守法係數與益本比呈正向線性關係，如下圖：

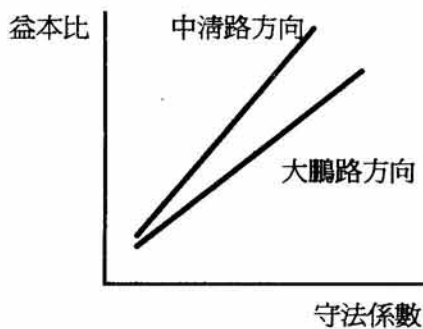


圖 三

六、結論與建議

1. 由於本研究乃是初步之研究，在數值分析當中的部份數據如行人的最小安全間距、時間價值...等因人力不足及資料收集不易，故採用假設值。因此最後計算出之益本比值並非相當精確，此有待爾後再做進一步之研究，以使其更完備。
2. 在守法係數偏低下，非但不能達到預期的效益，更帶來許多反效益，例如警察必須加派人手取締違規，造成執法成本之增加；而一般人民對於他人之不守法有跟進行為，看到他人違規穿越道路亦壯膽違規，使得社會更劇增亂象。此現象除了以重罰取締治標之外，更須以教育來治本。
3. 由以上研究可知守法係數的高低直接影響益本比的結果，因此提高守法係數，例如擴大行人交通設施的規模、改變其設計型式...等，創造一個令行人易於守法的行走空間，整體改善交通環境，是目前最重要之課題。

4. 除守法係數之外，肇事情況亦為一影響使用效益之重要因素。此乃因為一次肇事所隱含的成本相當龐大，可見興建立體穿越道最大的效益即是保障行人之安全，其他延滯方面的效益所佔的比例很小。而於文中採用之肇事成本50萬/次，是以全省之肇事紀錄及傷亡資料平均求得。但由於道路使用特性之不同，都市道路與其他道路之肇事成本必不相同，因此這一方面之資料有待建立。
5. 本研究行人立體穿越設施之守法係數與益本比呈線性關係，此為簡化假設後之結果。對於其他交通設施，因其相關因子的不同，守法係數與益本比可能不會剛好呈一直線。
6. 建議今後政府有關單位在興建行人之交通設施之前，能配合使用者的行為模式及守法習慣，使設施之興建更能符合經濟面之效益。
7. 本研究乃是針對行人立體穿越設施為研究對象，然而「守法係數」的觀念可引用於許多交通設施及交通行為上，例如車輛於交叉路口闖紅燈、違規停車、任意變換車道....等，此對於未來交通設施的規畫將大有助益。

參考文獻

1. 周義華等四人，「臺北市行人立體穿越設施使用效率之預測模式」，運輸計劃季刊，第十二卷第一期，民國七十二年三月。
2. 黃承傳等，「平面交叉路口行人與車輛延滯之模擬研究」，運輸計劃季刊，第二十一卷第三期，民國七十六年六月。
3. 中華民國運輸學會，「七十九年度臺北市各界建議興建人行立體交叉穿越設施地點通盤調查評估報告」，民國七十九年六月。
4. 張國揚等譯，「工程經濟學」，復漢出版社，民國八十年三月。
5. 張耀珍，「交叉路口行人交通模式研究」，運輸計劃季刊，第十卷第三期，民國七十年九月。
6. 交通部，「交通統計要覽」，民國八十二年。
7. 周義華，「運輸工程」，鼎漢國際工程顧問公司，民國八十二年八月。