

## 都市快速道路下匝道地區整合性號誌分析方法

蘇昭銘\* 曹壽民\*\*

### 摘 要

都市快速道路下匝道地區壅塞混亂的交通現象，不僅已成為都會區平面道路系統之瓶頸，同時亦造成下匝道車輛回堵，阻礙快速道路主線車流，如台北市建國快速道路北向南京下匝道與南向仁愛下匝道之交通問題，即先後引起相關單位重視並研擬改善計畫，然改善計畫內容大都偏重定性式的專家判斷，而較缺乏整合性的定量分析。本研究旨在透過下匝道地區整合性號誌分析方法的提出，釐清快速道路與平面道路整合性號誌控制之關連性，並針對路口型與路段型兩類型下匝道地區之特性提出號誌分析模式，期能夠在兼顧平面道路系統績效情況下，增加下匝道之車輛紓解率，進而減少下匝道車輛的回堵，提昇快速道路之服務水準。實例研究結果顯示：經由下匝道地區整合性號誌分析方法所產製之時制計畫，可提昇研究區域內之績效 6.5 % 以上，將有助於下匝道地區交通問題之改善。

### 一、前 言

都市快速道路系統主要係透過立體交叉方式，服務都會區內之通過性旅次，以減少平面道路車流干擾，提昇整體效率。然近年來下匝道地區壅塞混亂的交通現象，不僅成爲平面道路系統之瓶頸，更因下匝道車輛的回堵，嚴重影響快速道路主線車流的順暢性，如台北市建國快速道路北向南京下匝道與南向仁愛下匝道地區所產生之交通問題，曾先後引發相關單位重視，並著手研擬改善計畫〔1,2〕。

號誌系統設計在改善計畫中扮演舉足輕重的角色，其設計良窳攸關快速道路與平面道路系統績效，理想的下匝道地區號誌系統應能在兼顧平面道路系統服務水準情況下，減少下匝道車輛回堵至快速道路主線之現象，以反映快速道路及平面道路在道路功能分類上等級之差異。本研究係藉由快速道路與平面道路兩系統間關連性的釐清，建立下匝道地區號誌分析方法，並針對下匝道地區特性，運用數學規劃方法建立下匝道地區號誌分析模式，以期有效解決下匝道地區之交通問題。

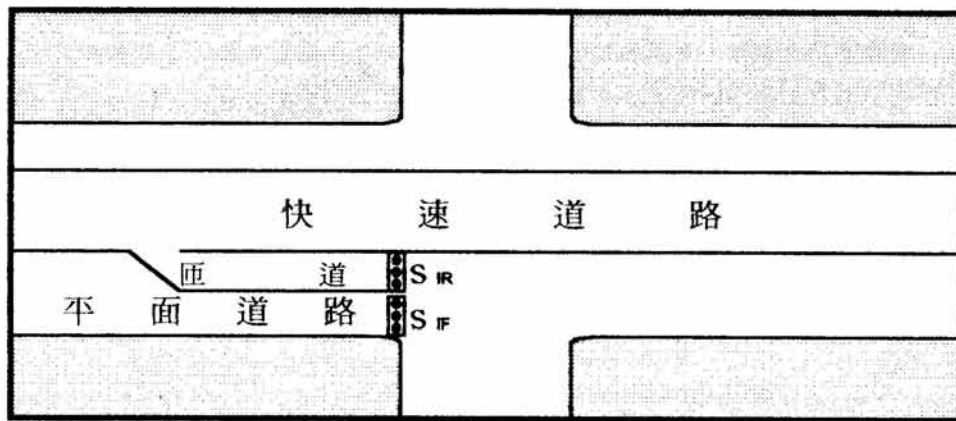
---

\* 台灣大學土木工程學研究所博士，服役中(電話：(06)2289322)

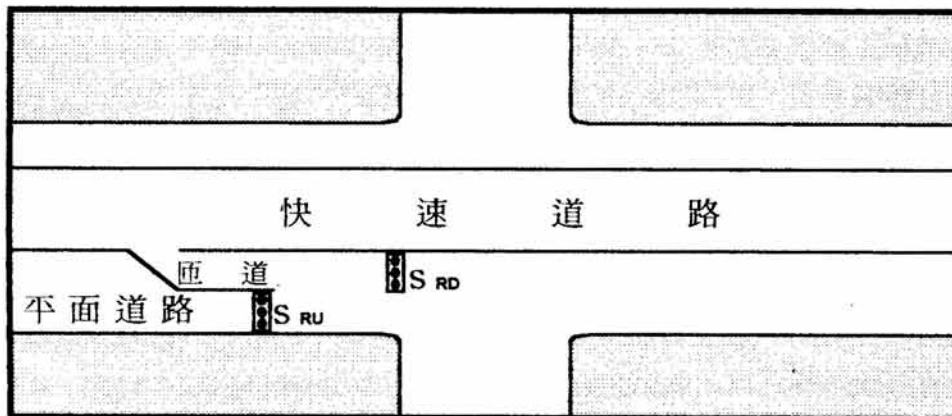
\*\* 台灣大學土木工程學系教授(電話：(02)3625920轉311)

## 二、文獻回顧

都市快速道路下匝道之類型，依匝道出入口與平面道路連接位置之差異可區分為路口型與路段型兩類[3]，其號誌配置情形如圖一所示。路口型下匝道地區號誌系統包括兩組成要件：1. 匝道號誌( $S_{IR}$ )；2. 平面道路號誌( $S_{IF}$ )，兩號誌之功能皆在將路權分配給下匝道與平面道路之各流向。路段型下匝道地區號誌系統包括兩組成要件：1. 下游號誌( $S_{RD}$ )：該號誌功能與一般平面道路系統路口號誌功能相同，係將路權分配給平行快速道路之平面道路與相交平面道路；2. 平面道路號誌( $S_{RU}$ )，該號誌之位置常設於匝道出口之平面道路路段上，其目的在於管制平面道路車流，讓下匝道車輛得以利用交織區段內之車輛間距順利紓解，以減少下匝道車輛回堵主線之現象。現行路口型號誌設計方法係運用人工微調方式分配匝道號誌與平面道路號誌之時比；路段型號誌系統則採上、下游號誌同亮之設計方式，並未針對匝道地區之特性進行設計。



(A)路口型



(B)路段型

圖一 下匝道地區號誌配置圖

在以往所進行之研究中，計有七篇文獻曾探討下匝道地區之號誌系統，茲就其內容彙整如表一所示：

表一 下匝道地區號誌系統相關文獻內容彙整表

作者	時間	分析對象	內容重點	待改進處
Lo 等人	1970	—	1. 修改 TRANSYT 模式成爲 TRANSYTMERGE 模式。 2. 權重方法處理變換車道行爲之交通問題。	1. 模式執行時間甚長。 2. 權重之決定並無客觀方法加以分析。
蔡輝昇	1990	路口型	1. 提出歸併式時相觀念，以改善車流交錯現象。	1. 時制計畫的產製，並未反映匝道地區特性。
Vrbanik II、Fambro	1991	路口型	1. 提出 PASSER III、NETSIM 及 TRANSYT-7F 等軟體可以分析鑽石型交流道。	1. 僅爲定性描述，對於如何分析並無詳細說明。
邱毅等人	1991	—	1. 以 T7F 軟體產製時制計畫，再利用 NETSIM 模擬軟體評估系統績效。	1. 未充分反映匝道地區中，各類型道路在道路功能上之差異。
羅孝賢、蘇昭銘	1992	路段型	1. 採用早開設計方式，可提昇匝道地區之整體績效。	1. 早開時間的設定僅爲簡單概估，並無完整之分析。
許添本等人	1993	路口型	1. 依專業判斷方式調整號誌時相設計。	1. 缺乏量化分析。
曹壽民、蘇昭銘	1993	路口型	1. 以 T7F 及 NETSIM 兩軟體爲分析工具。 2. 以設計速率與旅行速率二者爲指標，採用模擬方法反覆求得權重。	1. 以模擬法決定權重之方式，具有反覆模擬次數不易掌握及無法證明具收斂結果之缺失。

參考文獻：〔4,5,6,7,8,9,10,11〕

資料來源：本研究整理

由表一可知現今下匝道地區號誌設計仍存在下列待改進處：

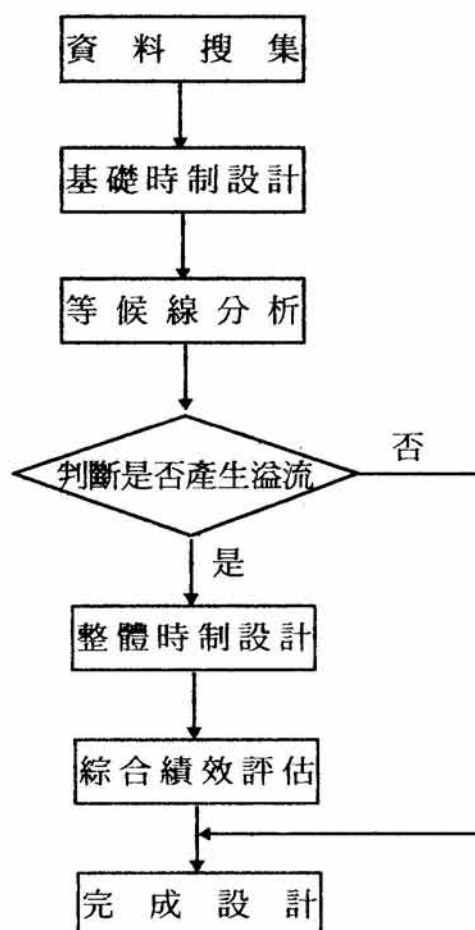
1. 以往之研究大都以專業判斷方式，調整匝道地區之時相設計，其時制計畫之產製皆以 TRANSYT-7F 軟體爲分析工具，並未考量道路功能之差異性，且忽略下匝道車流回堵主線之現象。
2. 在路口型下匝道設計方面，雖曾有研究以模擬法，運用權重方式反映道路功能之差異，但其是否產生收斂結果仍有待證明。
3. 在路段型下匝道設計方面，過去之研究僅簡單的概估上、下游號誌間之時差，並未進行整體分析。

### 三、模式構建

#### 3.1 整合性號誌分析方法

下匝道係快速道路與平面道路之連接介面，下匝道車輛在進入平面道路過程中，若因平面道路車流受號誌管制而無法順暢運行，造成車輛回堵現象，進而影響到快速道路主線之通行權時，下匝道地區之號誌設計即不可單以下匝道之相關資料進行一般號誌化路口設計，而應如同主要幹道較次要道路享有較高通行權一

般，賦予快速道路較高之通行權，亦即增加下匝道車輛之紓解率，以減少回堵所造成之影響；但若下匝道未產生回堵現象，平面道路系統與快速道路系統並未發生關聯性，應為兩獨立系統，故可採一般號誌化路口之設計方式。基於此設計理念，本研究提出下匝道地區號誌系統設計流程如圖二所示，該流程包括下列步驟：



圖二 下匝道地區號誌系統設計流程圖

(一)資料搜集

包括流量、轉向資料、車道配置及相關幾何資料之搜集。

(二)基礎時制設計

所謂基礎時制設計，即是針對下匝道地區採一般號誌化路口設計方式，在路口型下匝道地區，其係將下匝道視為一臨近路段(Approach)，而賦予專用時相；在路段型下匝道地區，其係將上、下游號誌視為同亮或取消上游號誌兩種設計方式。此步驟可利用各種設計方法或軟體產製時制計畫。

(三)等候線分析

該步驟之目的在於瞭解匝道流量於基礎時制設計下，匝道形成等候線之情形，以作為是否進行整體時制設計之判斷依據。

#### (四)溢流判斷分析

若等候線分析之結果判斷下匝道車輛產生溢流時，表示其對快速道路主線車流造成影響，即須進行整體之時制設計；否則便完成設計程序。

#### (五)整體時制設計

整體時制設計之目的在於反映都市道路與平面道路在通行權之差異，本研究依該目的建立之模式，將於下節中加以詳細說明，在此不再贅述。

#### (六)綜合績效評估

此步驟之目的在於瞭解整體時制設計所產生之時制計畫，對於快速道路及下匝道地區整體道路系統績效之影響，以作為決定時制計畫之參考。

### 3.2 整合性號誌分析模式

下匝道地區整合性號誌分析模式之主要目的為在下匝道車輛產生回堵時，進行減緩回堵現象，增加快速道路車輛通行權之號誌設計。然快速道路服務水準的提昇，勢必降低平面道路系統之服務水準，故該模式之設計目標在於兼顧平面道路系統績效之前提下，增加下匝道所能紓解之車輛數，減少等候線長度，進而提昇快速道路之服務水準。下匝道地區整合性號誌分析模式係以數學規劃方法構建而成，依前述之設計目標，本模式乃以下匝道紓解車輛之最大化為目標式，而限制式之內容可分為下列兩類：

#### 1. 號誌限制式

由於整體號誌設計係依據基礎時制設計之結果作進一步分析，在兼顧都會區時制設計整體性之情況下，下匝道地區號誌系統之週期及相交平面幹道之時比不宜加以更動，故模式中需就此條件加以限制。

#### 2. 條件限制式

條件限制式依分析對象不同，可分為平面道路績效限制式及下匝道最長等候線限制式。平面道路績效限制式在於限制平行平面道路之服務水準需能符合要求；而下匝道最長等候線限制式則在防止下匝道回堵現象的產生。若在要求之服務水準下，無法產生不回堵之號誌設計時，除可降低服務水準之標準外，尚可解除回堵之限制式，以免產生為消除回堵情形，而嚴重影響平面道路系統績效之現象。

依據上述之模式目標及基本模式內容，本研究考量路口型與路段型下匝道地區之特性，分別建立模式如下：

#### (一)路口型下匝道地區

$$\begin{aligned} \text{Max. } Z &= D_{g1} + D_{g2} \\ &= (f_{g1} * G_1 + f_{g2} * G_2) * n \end{aligned} \quad (3-1)$$

Subject to

$$G_1 + G_2 + R = C \quad (3-2)$$

$$f_q * (A_r * t - Z) \leq Q_{max} \quad (3-3)$$

$$\frac{9}{10} \left[ \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \frac{X^2}{2A_r(1-X)} \right] \leq d_{LOS} \quad (3-4)$$

$$n = \frac{t}{C} \quad (3-5)$$

$$\lambda = \frac{G_2}{C} \quad (3-6)$$

$$X = \frac{A_r / S}{G_2 / C} \quad (3-7)$$

式中， $t$  : 分析時段（秒）。

$D_{g1}$  : 分析時段內下匝道於第一綠燈時段所紓解車輛數（車）。

$D_{g2}$  : 分析時段內下匝道於第二綠燈時段所紓解車輛數（車）。

$C$  : 週期長度（秒）。

$n$  : 分析時段內之週期數。

$G_1$  : 下匝道號誌第一綠燈時段長度（秒）。

$G_2$  : 下匝道號誌第二綠燈時段長度（秒）。

$R$  : 下匝道號誌紅燈時段長度（秒）。

$A_r$  : 下匝道車輛平均到達率（車/秒）。

$A_f$  : 平面道路車輛平均到達率（車/秒）。

$S$  : 平面道路飽和流率（車/秒）。

$f_{g1}$  : 第一綠燈時段下匝道車輛紓解率（車/秒）。

$f_{g2}$  : 第二綠燈時段下匝道車輛紓解率（車/秒）。

$f_q$  : 等候線調整係數。

$Q_{max}$  : 下匝道最長等候線長度（輛）。

$d_{LOS}$  : 特定服務水準所對應之車輛平均延滯（秒/車）。

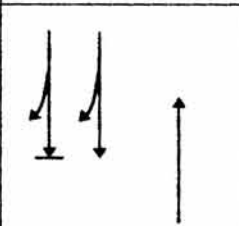
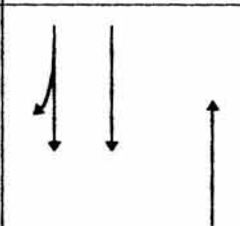
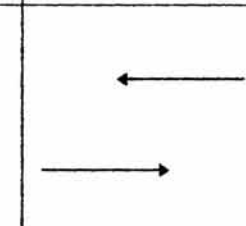
$\lambda$  : 有效綠燈佔週期之比率。

$X$  : 飽和度。



路口型下匝道地區之號誌時相，依據衝突點隔離觀念，可劃分為三個時相，如表二所示。由表中可知第一時相之路權分配給下匝道直行、右轉車流及平行平面道路之右轉車流；第二時相則允許下匝道直行車流與平行平面道路直行、右轉車流通行；第三時相係將路權分配給相交平面道路車流。故路口型號誌設計模式，即在求取第一時相之時段長度  $G_1$  與第二時相之時段長度  $G_2$ 。模式之目標式係分析時段內下匝道於此二綠燈時段內所紓解總車輛數之最大化，各時段紓解車輛數之計算方式為分析時段週期數  $n$  與時段長度之乘積，再乘上一車輛紓解率，其公式如式 (3-1) 所示。公式 (3-2) 為號誌限制式，因模式乃依據基礎時制計畫而構建，在兼顧都會區時制計畫整體性之考量下，號誌之週期  $C$  與相交平面幹道之綠燈時段長度  $R$  應為已知，亦即第一綠燈時段與第二綠燈時段長度之總和為定值。公式 (3-3) 為條件限制式中之下匝道最長等候線限制式，該式左側之值係研究時段內下匝道之等候線長度，為研究時段內進入車輛數  $A * t$  與離開車輛數  $Z$  之差值，再乘上一等候線調整係數  $f_s$ ，該係數係依設計者要求之時段長度與等候線之計算方式而定，若該係數為 1，則表示在研究時段內甚至任一週期內均不得產生溢流；若該係數為  $1/n$ ，則表示設計者採平均等候線長度限制。公式 (3-3) 之右側為下匝道最長等候線長度值  $Q_{max}$ ，該值係依據各研究地區之下匝道長度推估而得。公式 (3-4) 為條件限制式中之平面道路績效限制式，該式左側為 Webster 延滯公式；右側之值  $d_{LOS}$  則為特定服務水準所對應之車輛平均延滯值，此一服務水準的訂定，可透過專業交通工程師之分析加以決定。模式中之 (3-5) 至 (3-7) 式，則為各變數之轉換關係式，不再贅述。

表三 路口型下匝道地區號誌時相

時 相 別	一	二	三
可 行 駛 方 向			

(二) 路段型下匝道地區

$$\begin{aligned} \text{Max. } Z &= D_g + D_r \\ &= [ f_{g1} * G_u + f_r * (E + A + R_d) ] * n \end{aligned} \quad (3-8)$$

Subject to

$$E + A + G_u = G_d \quad (3-9)$$

$$A_{\max} = \frac{\frac{L_v}{V_v} (A_r + A_f)}{W_v * r_d - A_r} \quad (3-10)$$

$$E_{\max} = \frac{A_r * (R_d + A) + A_f * (A_{\max} - A)}{W_w} * r$$

$$- \left( \frac{2(L_v * \frac{A_r * R_d + A_f * A_{\max}}{W_v} * 1)}{a} \right)^{1/2} \geq 0 \quad (3-11)$$

$$A \leq A_{\max} \quad (3-12)$$

$$E \leq E_{\max} \quad (3-13)$$

$$f_q * (A_f * t - Z) \leq Q_{\max} \quad (3-14)$$

$$\frac{9}{10} \left[ \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \frac{X^2}{2A_f(1-X)} \right] \leq d_{LOS} \quad (3-15)$$

$$n = \frac{t}{C} \quad (3-16)$$

$$\lambda = \frac{G_u}{C} \quad (3-17)$$

$$X = \frac{A_f / S}{G_u / C} \quad (3-18)$$

式中， $D_g$ ：分析時段內下匝道於上游號誌綠燈時段所紓解車輛數(車)  
 $D_r$ ：分析時段內下匝道於上游號誌紅燈時段所紓解車輛數(車)  
 $G_u$ ：上游號誌綠燈時段長度(秒)。  
 $G_d$ ：下游號誌綠燈時段長度(秒)。

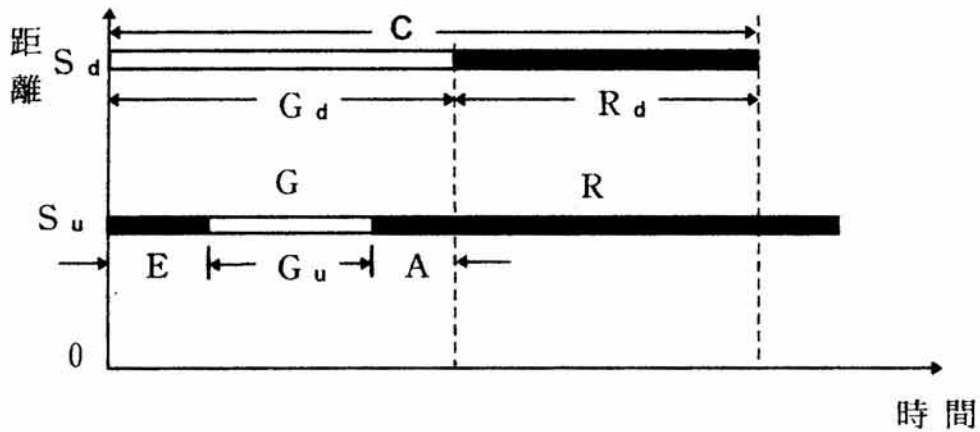


- $R_d$  : 下游號誌紅燈時段長度 (秒)。
- $E$  : 下游號誌早開時段長度 (秒)。
- $A$  : 下游號誌遲閉時段長度 (秒)。
- $E_{max}$  : 下游號誌最長早開時段長度 (秒)。
- $A_{max}$  : 下游號誌最長遲閉時段長度 (秒)。
- $f_g$  : 綠燈時段下匝道車輛紓解率 (車/秒)。
- $f_r$  : 紅燈時段下匝道車輛紓解率 (車/秒)。
- $L_r$  : 交織區段長度 (公尺)。
- $W_r$  : 交織區段車道數 (車道)。
- $V_r$  : 交織區段車輛平均速率 (公尺/秒)。
- $r_d$  : 交織區段車輛紓解率 (車/秒)。
- $a$  : 車輛加速率 (公尺/秒<sup>2</sup>)。
- $l$  : 靜態車長 (公尺)。
- $r$  : 等候線紓解波傳遞時間 (秒)。

其餘變數名稱與路口型下匝道地區模式相同。

路段型下匝道地區號誌設計之時空圖可表示如圖三，由該圖可知下游路口之號誌因與平面幹道相交，故其時比與週期不宜更動，且若下游號誌紅燈時段長度較上游號誌紅燈時段長度為長時，平面道路車輛將在交織區段形成等候，而影響下匝道車輛之紓解，因此路段型下匝道地區上游號誌之紅燈時段長度宜大於下游號誌之紅燈時段。故路段型下匝道地區號誌分析模式，即在求取上游號誌之綠燈時段長度 ( $G_u$ ) 與紅燈時段長度，而紅燈時段長度由圖三可知為下游路口號誌紅燈時段長度 ( $R_d$ )、下游號誌早開時段長度 ( $E$ ) 與遲閉時段長度 ( $A$ ) 之和。模式之目標式係分析時段內下匝道於上游號誌為紅燈與綠燈時段內所紓解車輛數總和之最大化，如式(3-8) 所示。式 (3-9) 為號誌限制式，其關係可由圖三得知，即下游號誌之綠燈時段長度為下游號誌早開時段、遲閉時段長度與上游號誌之綠燈時段長度和。式 (3-10) 為下游號誌最長遲閉時段長度推估式，下游號誌採遲閉設計之目的，在於防止平面道路車輛通過上游號誌後於交織區段形成等候線，而干擾下匝道車輛之紓解，故最長遲閉時段長度之推算，即在於將上游號誌紅燈後，位於交織區段內之車輛全部紓解。通過上游之最後一部平面道路車輛通過下游號誌之時間為交織區段長度 ( $L_r$ ) 除以車輛平均速率 ( $V_r$ )，故交織區段內之總車輛數為車輛到達率 ( $A_r$ ) 乘以此一時間值，而因在遲閉時段內，匝道車輛仍可進入交織區段，故其總車輛數 ( $Q_r$ ) 可表示如式(3-19)：

$$Q_r = A_r * \left( \frac{L_r}{V_r} + A_{max} \right) + A_r * \frac{L_r}{V_r} \quad (3-19)$$



圖三 路段型下匝道號誌設計時空圖

故最長遲閉時間之推估，可表示如式 (3-20)，經求解可得最長遲閉時段長度如式 (3-10)。

$$A_{\max} = \frac{\left[ A_r \left( \frac{L_r}{V_r} + A_{\max} \right) + A_r \frac{L_r}{V_r} \right] / W_r}{r_d} \quad (3-20)$$

式 (3-11) 為下游號誌最長早開時段長度推估式，下游號誌採早開設計之目的，在於上游號誌綠燈始亮時，即預先紓解原先等候在匝道之車輛。最長早開時段長度即為交織區段等候線最後一部等候車輛起動時間 ( $t_d$ ) 與上游停止線第一部停等車輛行駛至等候線末車所需時間 ( $t_a$ ) 之差，交織區段等候線 ( $Q_r$ ) 長度為上游號誌紅燈時段內離開下匝道車輛，與遲閉時段內未紓解之車輛數和除以交織區段車道數 ( $W_r$ )，其可表示如式 (3-21)。

$$Q_r = \frac{A_r (R_d + A) + A_r (A_{\max} - A)}{W_r} \quad (3-21)$$

等候線最後一部車起動時間，則為交織區段等候線長度與等候線紓解波傳遞時間 ( $r$ ) 之乘積。上游停止線第一部停等車輛行駛至交織區段等候線長度末車所需時間，依據運動學公式可表示如式 (3-22)。

$$t_a = \left( \frac{2(L_r - Q_r * 1)}{a} \right)^{1/2} \quad (3-22)$$

因此，最長早開時間之推估可表示如式(3-23)，綜合式(3-22)與式(3-23)可得最長早開時段長度如式(3-11)，若最長早開時間值小於0，表示該號誌不需採早開之設計，亦即比值為0。

$$E_{\max} = t_d - t_a$$

$$= Q_r * r - \left( \frac{2(L - Q_r * l)}{a} \right)^{1/2} \quad (3-23)$$

式(3-12)為號誌限制式中之遲閉時段長度限制式，表示下游號誌之遲閉時間不得大於最長遲閉時間，式(3-13)為號誌限制式中之早開時段長度限制式，表示下游號誌之早開時間不得大於最長早開時間，以免造成有效綠燈時間的浪費。式(3-14)與式(3-15)則為條件限制式，其特性與路口型下匝道模式相同，而式(3-16)與式(3-18)亦為變數轉換關係式，在此不再贅述。

#### 四、實例研究

為確認下匝道地區整合性號誌分析方法與模式之實用性及有效性，本研究以台北市建國快速道路中，曾先後引起交通部運輸研究所與台北市政府關切的南向仁愛下匝道與北向南京下匝道為對象，透過現況資料的調查與車流模擬模式[3]之分析進行評估，茲就兩處下匝道之現況及評估結果分述如下：

##### (一)北向南京下匝道：

該匝道為一路段型下匝道，其下午尖峰時段現行時制計畫如表四所示，若依本研究構建方法所產生之時制計畫則如表五所示，藉由車流模擬模式評估，可分別得到現況與改善後之績效如表六，由該表可知不論是快速道路、下匝道或平面道路車輛之平均行駛速率皆獲得改善，幅度均在10%以上，其中平面道路車輛在上游路段之行駛速率雖下降，但其在交織區段之行駛速率卻大幅改善，故其平均行駛速率亦提昇17%左右。

表四 北向南京下匝道現況時制計畫

路口別	上游路口		下游路口		備註
區分	週期	綠燈時段長度	週期	綠燈時段長度	
時間長度(秒)	150	60	150	60	兩者採同亮設計。

表五 北向南京下匝道改善時制計畫

區分	下游號誌早開時段	上游綠燈時段	下游號誌遲閉時段
時間(秒)	1	55	4

表六 北向南京下匝道績效比較表

區分	快速道路車輛	下匝道車輛	平面道路車輛	研究區
改善前(公里/小時)	29.95	25.26	16.83	25.41
改善後(公里/小時)	33.49	32.60	19.13	29.82
改善幅度(%)	11.82	29.06	16.67	17.36

(二)南向仁愛下匝道：

該匝道為一路口型下匝道，其上午尖峰時段現行時制計畫與依本研究構建方法所產生之時制計畫彙整如表七所示，藉由車流模擬模式評估，可分別得到現況與改善後之績效如表八，由該表可知在快速道路及下匝道車輛之平均行駛速率皆獲得改善，幅度均在 4%以上，但平面道路車輛之行駛速率則下降 7%左右，惟整體平均行駛速率亦提昇 7%左右。

表七 南向仁愛下匝道改善時制計畫

區分	週期(秒)	第一時段綠燈時段(秒)	第二時段綠燈時段(秒)
現況	200	45	45
本研究	200	54	36

表八 南向仁愛下匝道績效比較表

區分	快速道路車輛	下匝道車輛	平面道路車輛	研究區
改善前(公里/小時)	42.47	23.98	15.44	26.11
改善後(公里/小時)	44.25	26.62	14.34	27.82
改善幅度(%)	4.19	11.01	-7.12	6.55

綜合上述分析結果，可知本研究構建之下匝道地區整合性號誌分析方法與模式確可改善下匝道地區之服務水準，若依相關文獻中所述，於績效評估時納入權重之考量，其改善幅度將更形顯著。

## 五、結論與建議

1. 下匝道係快速道路與平面道路之連接界面，本研究依此觀點提出下匝道地區號誌系統設計流程。該流程反映在下匝道未產生回堵現象時，快速道路與平面道路系統之獨立性；反之，於下匝道產生回堵現象時，兩者應採整合性控制。
2. 本研究構建下匝道地區整合性號誌系統分析模式之目的，為在下匝道產生回堵時，進行減緩回堵現象，以增加快速道路通行權之號誌設計。該模式係以數學規劃方法構建，其設計目標為在兼顧平面道路系統績效之前提下，增加下匝道所能紓解車輛數，減少等候線長度，進而提昇快速道路服務水準，故此模式之

目標式為下匝道紓解車輛數之最大化，而限制式可分為號誌限制式與條件限制式。

3. 本研究依據下匝道地區特性，分別構建路口型與路段型之整合性號誌分析模式，經實例研究顯示其所產製之時制計畫，可提昇研究區域內系統績效 6.5 % 以上，將有助於下匝道地區交通問題的改善。
4. 本研究係假設下匝道地區與相交平面道路號誌系統之週期與時比固定，後續可針對此依假設做進一步探討，使下匝道地區與市區整體路網之號誌系統均能達最佳化。
5. 本研究在計算下匝道地區整體績效指標過程中，並未以權重反映各等級道路之差異性，爾後可針對其決定方式進行深入探討。

### 參考文獻

1. 中國時報，第十三版，民國80年10月12日。
2. 交通部運輸研究所，建國下仁愛路匝道交通紓解改善計畫，民國82年 8月。
3. 蘇昭銘，都市快速道路下匝道之配置與評估，博士論文，台灣大學土木工程學研究所，民國83年 6月。
4. Lo S. Y. D. & G. Willumsen, "The Analysis of Problems in the Interface between Urban Motorways and Urban Traffic Control," Traffic Engineering & Control, Vol. 19, No. 12, pp.550-553, 1978.
5. 蔡輝昇，交通控制理論與實務，生合成出版社，民國79年 4月。
6. 成功大學交通管理科學系，T7F-T88使用手冊，民國77年。
7. Vrbanik II T. & D. B. Fanbro, "Level of Service Consideration at Signalized Interchanges," Highway Capacity and Level of Service, pp.407-412, July, 1991.
8. Shiao-Shyan Luo & Jau-Ming Su, "An Integrated Traffic Control Strategy for Ramp Area of Urban Expressway / Surface Street System," International Conference on National Transportation Policies, Seoul, Korea, 1992.
9. NETSIM User's Manual, Rel. 3.0, 1990.
10. 邱毅等人，中山高速公路交流道運作分析及短程速效改善方案研究報告，邱毅科技有限公司，民國80年 5月。
11. 曹壽民、蘇昭銘，「都市快速道路路口型下匝道之號誌系統設計」，中華民國運輸學會第八屆論文研討會論文集，頁553-560，民國82年12月。