

號誌化圓環之安全要素初探

Safety Factors of Signalised Roundabouts – A Preliminary Exploration

陳彥向 Yen-Hsiang Chen¹

陳文昱 Wen-Yu Chen²

摘要

經過交通工程領域近年來的不懈精進，號誌化圓環在國際上已擺脫惡名，成為最安全的路口型式之一。由於號誌化圓環為我國不可或缺的路口形式—例如繞行古蹟、紀念先賢先烈、都市意象、存在剛性結構物…等，提升其安全程度為迫切之議題。本研究綜整成功之設計要素，多具螺旋離開、切線進入、右轉車與行人時相分離、左轉專用車道搭配螺旋起始與尖角設計…等交通工程面向。此外，除了傳統衝突點數目外，近年來道路交通安全領域的發展，使得安全面分析工具包括「動能管理」探究其運轉特性，可檢核該設施的設計對於各用路人之認知負載與行為之影響，亦為安全性能帶來額外的衡量工具。前述眾要素之綜整，將協助檢討我國目前號誌化圓環可精進改善之處，供未來改善案或新設案之參考。本研究亦以衛星空照取樣國內與國際上多個號誌化圓環，若滿分度量為 3.00，國際上標竿國介於 2.33 至 2.80 點，臺北市暫時為 0.972 點，尚有努力改進之潛力。惟必須注意我國特殊狀況：機車之數量與比例較大，不能直接套用他國設計，如何融入安全之設計，亦為未來探究之重要議題。

關鍵詞：號誌化圓環、現代圓環、螺旋狀標線、減點法

Abstract

With the sustained effort of traffic engineering specialists over recent years, signalized roundabouts have overcome their international stigma for poor safety performance and emerged as one of the safest junction configurations. Given that signalized roundabouts serve various functions, such as circumnavigating historic monuments, commemorating saints and martyrs, cultivating an urban image, and accommodating existing rigid structures, it is unlikely that such designs will be dispensed with. As such, enhancing their safety performance represents an urgent

¹ 國立臺灣大學土木工程學系助理教授(聯絡地址：106 臺北市大安區羅斯福路四段 1 號，電話：02-33664262，E-mail: yenchen1@ntu.edu.tw)。

² 國立臺灣大學土木工程學系交通組研究生。

priority. This study has reviewed successful design elements, which predominantly incorporate traffic engineering principles, including spiral-like exit, tangential entry, temporal separation of right-turning vehicles and pedestrian phases, and dedicated left-turn lanes beginning at spiral or hatched kink configurations. Furthermore, beyond the traditional number of conflict points viewpoint, recent developments in road traffic safety have expanded analytical tools to include the "kinetic energy management method (KEMM)" for examining operational characteristics. These tools enable the assessment of how facility design influences cognitive load and behavioral responses among various road users, thereby providing additional metrics for evaluating safety performance. The summary of these elements above will facilitate examination of potential improvements for Taiwan's existing signalized roundabouts and provide reference guidance for future retrofit projects and new installations. This research utilized satellite imagery to sample multiple signalized roundabouts, both domestically and internationally. Using a maximum performance scale of 3.00 points, benchmark international examples scored between 2.33 and 2.80 points, while Taipei's current performance averaged 0.972 points, suggesting substantial potential for improvement. However, Taiwan's unique circumstances must be considered, particularly the significantly higher volume and proportion of motorbikes, which preclude the direct adoption of international design standards. The integration of safety-oriented design principles that accommodate these specific conditions represents an important area for future investigation.

Keywords: Signalized Roundabouts, Modern Roundabouts, Spiral-like Lane Markings, Method of Point Deduction.

一、緣起

號誌化圓環設置之目的多樣各異，例如繞行古蹟、都市意象、紀念先賢先烈、存在結構建物...等，多非交通功能為重。古蹟者如臺北市景福門、都市意象者如臺北市敦化圓環、紀念先賢者如華盛頓特區喬治華盛頓馳騁像、存在結構建物者如臺北市自強隧道南口碉堡圓環。以上外生（exogeneous）因素設立圓環，交通工程師扮演配合之角色，如何設計安全之號誌化圓環，則為日常不可或缺之課題。另外一方面，號誌化圓環本身亦具備交通功能：例如臺北市圓山圓環乃因過去五岔路形成之交通瓶頸，改為圓環後運作至今。更有部分國家將號誌化圓環列為部分幹道交岔之建議路口型式（FGSV, 2006）（如表 1）。不若英國長年來將號誌化圓環視為路口選項，自 1959 年伊始（Lines & Crabtree, 1990）數十年來未曾間歇，含號誌化圓環幾何設計（Highways Agency, 1999; Highways Agency, 2003; Highways Agency, 2004; National Highways, 2023）、圓環號誌時制設計或最佳化（Davies et al., 1980; Vincent et al., 1980; Lines & Crabtree, 1990; DfT, 2009; Binnings et al., 2011; Binning, 2019），多數國家未有認知號誌化圓環潛力之識。惟由於交通工程領域不懈精進，號誌化圓環已擺脫上一個世紀的惡名，成為最安全的路口型式之一（TfL, 2005）。尤其近年來安全系統方法（Safe Systems Approach）之理論與實證，使得號誌化圓環不僅被動受外生因素影響而設立，而是已成為交通安全的工具之一（Jurewicz et al., 2017; Woolley et al., 2018）。

表 1 德國《RASt 06》有關之路口型式選擇

	交岔			(現代)圓環			單一 象限 交流道 (欄 7)
	右方 先行 (欄 1)	有標誌的 優先權 (停讓) (欄 2)	號誌化 (欄 3)	迷你 圓環 (欄 4)	小(現代) 圓環 (欄 5)	號誌化 大(現代) 圓環 (欄 6)	
服務型道路 (可及道路)							
同層級交岔	+	○	—	+	+	—	—
不同層級交岔	○	+	○	+	+	—	—
幹道與可及道路交岔							
主要道路(兩方向 共)有 2 主線車道	—	+	+	○	+	—	—
主要道路(兩方向共) 有 4(及以上)主線車道	—	○ ^b	+	—	—	—	—
兩幹道交岔							
2 主線幹道/2 主線 幹道	—	○	+	○	+	—	—
2 主線幹道/4(及以 上)主線幹道	—	—	+	—	○	+	○
4(及以上)主線幹道 /4(及以上)主線幹道	—	—	+	—	—	+	○
幹道/都會區匝道	—	—	+	—	+	+	○

註：《RASt 06》表 6。「+」表示恰當、「○」表示某種程度恰當，或應有其他輔助措施，「—」表示不恰當。

a 協調路口順序，保存該區域之特性。

b 歸類為主線者為中、低流量。

c 兩主線立體化，不直接交岔，但有僅佔一象限之聯絡道，成為具左右轉進出之交流道。

然而，號誌化圓環交通工程的發展，往往緩步達成，或是當初是為解決容量問題才設立。因此，鮮少有如何達成其安全設計之相關綜整。本研究旨在提升號誌化圓環的安全，依據前述關鍵議題，歸納出下列研究目標（research objectives）：

- 號誌化圓環存在哪些安全要素、安全效益為何。
- 量化尚未符合安全要素之號誌化圓環，勾稽各要素，以提供政策參考。

二、文獻回顧

2.1 號誌化圓環之安全要素

圓環係指逆時鐘（部分國家為順時鐘）方向繞行中央交通島以便由交岔口之其中一起點道路至迄點道路。歸納圓環之是否存在號誌，可分為無號誌與號誌化圓環。無號誌圓環乃以路權或三色號誌以外之管制使交通據以行駛。傳統之無號誌圓環，以交織（weaving）為管制進出之手法（王文麟，1980）。交織係指某車道線之左方有強制變換車道（mandatory lane change, MLC）至車道線右方之需求，同時車道線之右方車流亦必須以 MLC 才能到達其目的地。根據此設計之圓環，如圖 1(a)所示。由於圓環本身帶有曲率，故車輛須一邊轉彎，一邊變換車道，乃於死角最大時，實行高負擔工作，理論上成為潛在安全風險。

爾後，英國運輸暨道路研究所（TRRL）成功研發出高容量之無號誌圓環（龍根養，1973；Kimber & Semmens, 1977），其必要條件為：(甲)讓路規則：衝突車流以讓路達成時間間隔，而非平行兩車之變換車道(乙)路權以繞行中交通（circulating traffic）具有優先權，也就是進入車輛（entry vehicles）須讓路（give way）。爾後，經過進一步研發與改良，發現有更多提升安全與效率之特徵：(丙)庇護島使行人兩階段過街以免連續曝光長度過長；(丁)用路人負載（workload）多工（multitask）處改為兩次單工：讓路線在行穿線下游 5 米處，使駕駛人免於同時查看行人與路權較高之機動車輛，避免多工分心的事故樣態；(戊)卡車坪（環裙）藉由劃分磚頭與柏油鋪面之界線，使小客車避免跳動而遵守柏油鋪面之固定軌跡，而大型車輛可容忍較多顛簸的狀況下，爬上粗糙平面完成符合軌跡之轉彎。

由於圓環之安全性，1980 年代歐陸國家亦大量設置，帶來明顯的安全改善，涵蓋德國（Stuwe, 1991）、瑞士（Simon, 1991）、法國（Alphand et al., 1991）皆實證其安全性，亦澤福二輪車使用者——法國分析 522 處圓環(含號誌化與非號誌)，圓環之二輪車安全績效(每路口二輪車事故 0.13 起/年、每路口二輪車嚴重事故 0.045 起/年)優於一般號誌化路口(每路口二輪車事故 0.23 起/年、每路口二輪車嚴重事故 0.060 起/年)(Alphand et al., 1991)。近 20 年，美國聯邦公路總署(FHWA)(Robinson et al., 2000)及 NCHRP 報告（Rodegerdts, 2010）統稱此措施為現代圓環（modern roundabouts），以區別老式較危險與無效率之型態。近年，日本交通工學研究會(2021)亦驚然發現現代圓環為安全設施，亦規範化並迎頭趕上。然現代圓環亦有所侷限，僅能適用低流量之處，實證上可容納總流量 2,000 p.c.u./小時（V & W, 2009），如表 2。多車道現代圓環（multi-lane roundabouts）雖可容納中流量，約服務路口總車流 3,500 p.c.u./小時（V & W, 2009）惟較有安全疑慮，如圖 1(b)。所幸 2000 年以降，荷蘭 Delft 大學發明（無號誌）渦輪圓環後（CROW, 2008; Fortuijn, 2009），提供中容量之措施，可容納 5,500 p.c.u./小時（V & W, 2009），單荷蘭已設置高達約 400 處、世界逾 600 處（Blackburn et al., 2024）。

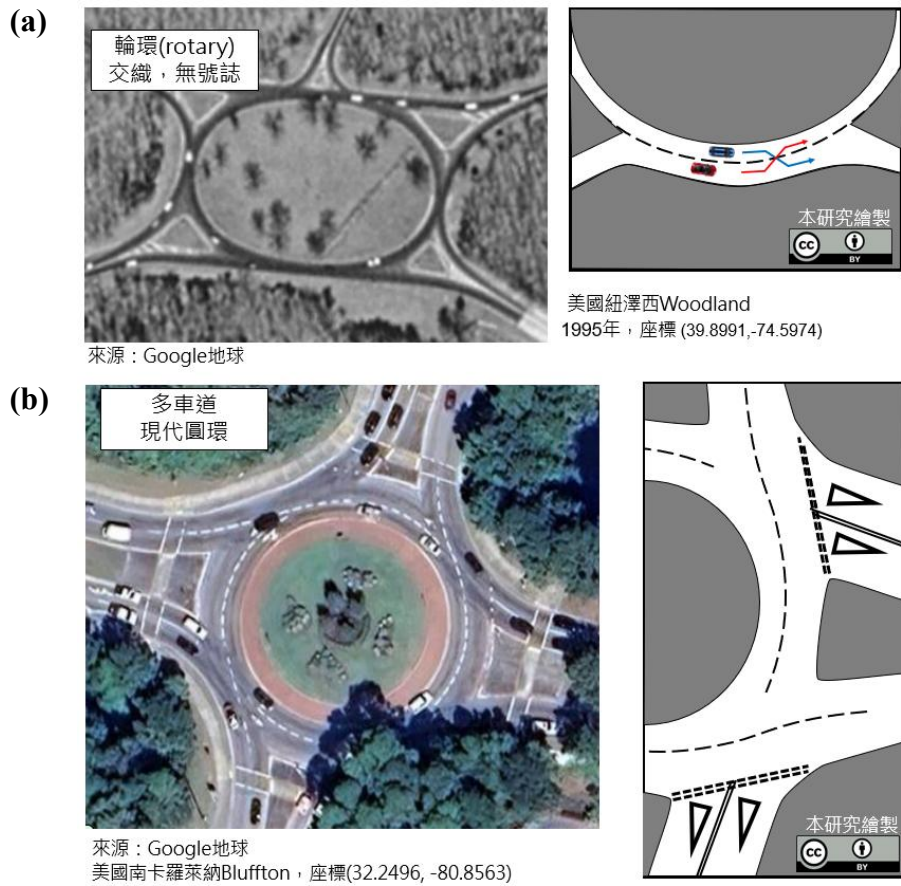


圖 1 無號誌圓環型態(a)無號誌交織（已過時）；
(b)無號誌多車道現代圓環

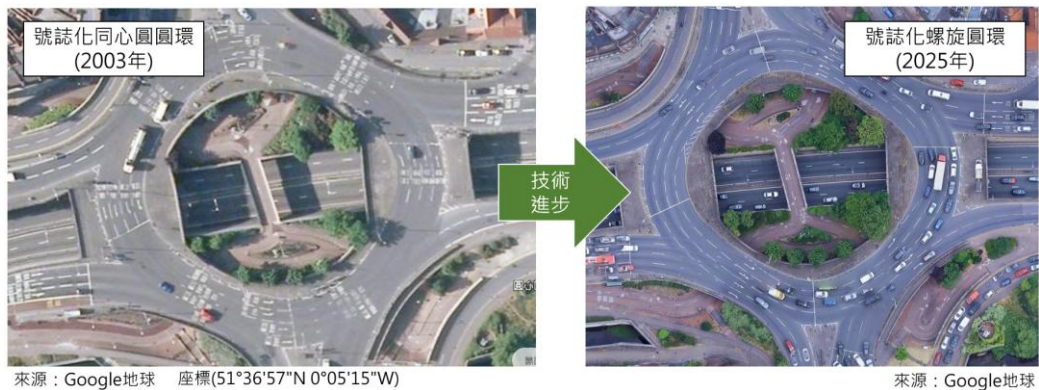


圖 2 同一地點之號誌化圓環，原為同心圓(2003 年)經過現代化，升級為螺旋離開與螺旋起始(2025 年)

然而，倘幹道或多幹道交岔，車流量大，無號誌圓環無法負荷，是以勢必號誌化。號誌化圓環服務高流量，可納含路口總流量達 8,500 p.c.u./時。近年，更有號誌化渦輪圓環可服務 12,000 p.c.u./時，惟該設施用地廣大，佔直徑 120 米以上（表 2），故非本文市區道路範疇。爰本研究以號誌化圓環為主要研究對象。

瀏覽諸號誌化圓環後，總結以下特性：

- 螺旋離開（spiral exit）：改變過往以同心圓（concentric）環繞的設計，近年來技術進步改成螺旋離開，使得用路人更有車道紀律（lane discipline）——通過圓環時免變換車道（圖 2）。傳統同心圓設計使得 N 車道之圓環，如果使用內側車道，離開時需變換(N-1)次車道。圖 3(a)顯示 3 車道圓環須變換 2 次車道方可離開。對比之下，現代設計為在上游路段較安全處，先選定車道，在圓環繞行時，免變換車道，免除多工（multitasks）。不僅號誌化圓環技術進度（圖 2），無號誌圓環亦有相關技術進步，如圖 1(b)、圖 3(b)之忠烈祠圓環。
- 強化型（strong）螺旋標線（spiral marking）：除了螺旋離開之設計本身，尚須注意該道路標線（road markings）須以車道線（lane marking）呈現，且強化。
- 螺旋起始：為了防止左轉車誤入環內左方左轉車道，造成非故意之迴轉。此有安全風險，因為用路人發現錯誤，須強制變換車道（Mandatory lane change, MLC）逃脫（escape）。螺旋起始可以避免該情況發生。圖 4 顯示「螺旋起始」之妙用——（西肢腳）東行左轉北上之車輛（橘色斜線軌跡），經過 3 次螺旋起始，使沿途免變換車道即可到達目的地。

表 2 各圓環型態與特性

圓環類型		尺寸(外徑) (公尺)	容量 (p.c.u./小時)	安全程度 (以一般號誌化路口為基準)		
				傷亡數目(%)	事故數目(%)	貨幣化
無號誌圓環						
	單一車道 (single lane)	26 (RASt 06)	2,000(V & W)	-92% (Fortuijn, 2005) ; 三岔-48%、 四至七岔 -67% (Jensen, 2013)	-23% (Fortuijn, 2005) ; 三岔-28%、 四至七岔 -35% (Jensen, 2013)	-63% (Haller, 2007)
	多車道(multi-lane)	20 至 38(V & W) ; 40 (RASt 06)	3,500(V & W)	三岔 +34%、 四、五岔 -85% (Jensen, 2013)	三岔+52%、 四、五岔 -28% (Jensen, 2013)	N/A
	無號誌渦輪	45 至 70 (Blackburn et al., 2024)	5,500(V & W)	-82% (Fortuijn, 2005) (對照優先權路口)	-49% (Fortuijn, 2005) (對照優先權路口)	N/A
號誌化圓環						
	一般號誌化圓環 (本文探討對象)	至少 50(RASt 06)	8,500 (V & W) (車道 3x2)	-74% (Jensen, 2013) ; -28% **** TfL(2005) (對照無號誌多車道圓環)	-18% (Jensen, 2013) ; -15% NS,TfL(2005) (對照無號誌多車道圓 環)	N/A
	號誌化渦輪	120 至 130 (V & W)	11,000 至 12,000 (V & W)	-60% (F&S, 2015) 、 重傷 -100% (F&S, 2015)	-25% (F&S, 2015)	N/A

註： F & S, 2015 = Fortuijn, & Salomons (2015) ; V & W = Ministry of Transport, Public Works and Water Management , ministerie van Verkeer en Waterstaat (2009)

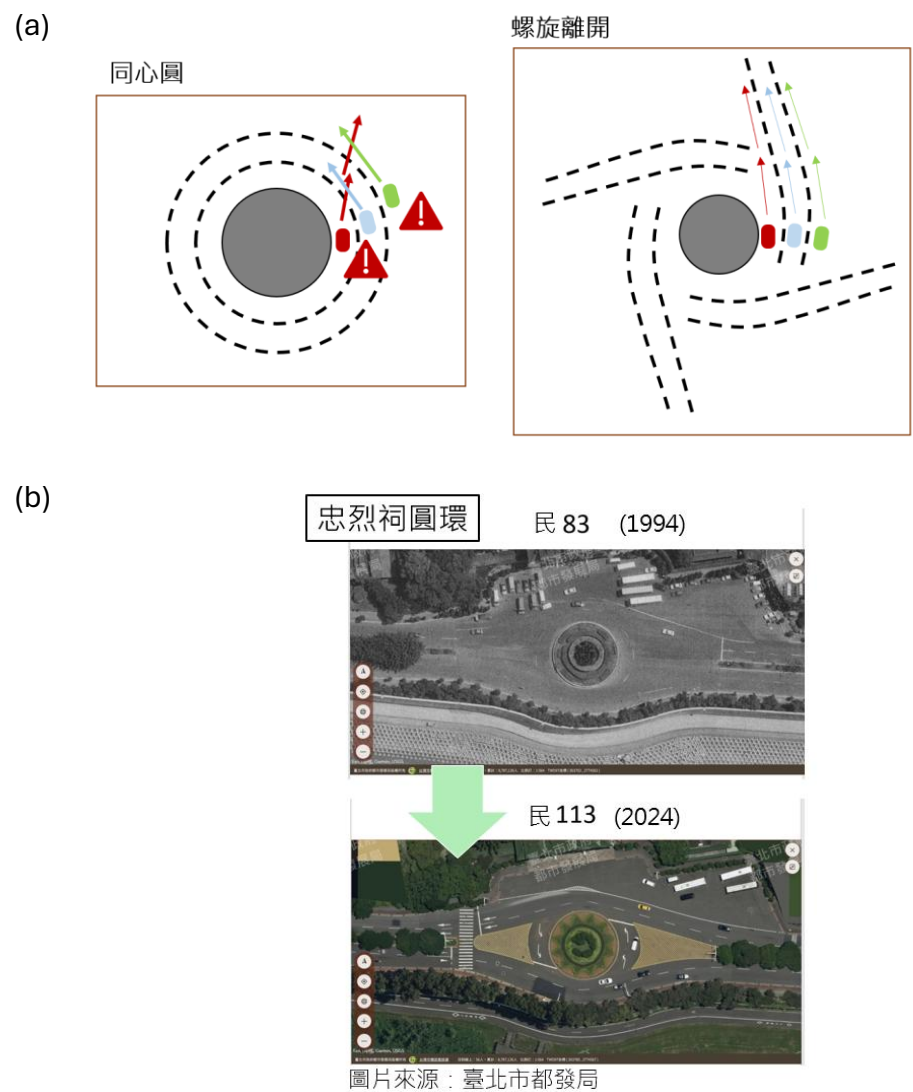


圖 3 「同心圓」與「螺旋離開」之設計(a)概念；
(b)忠烈祠圓環之技術進步

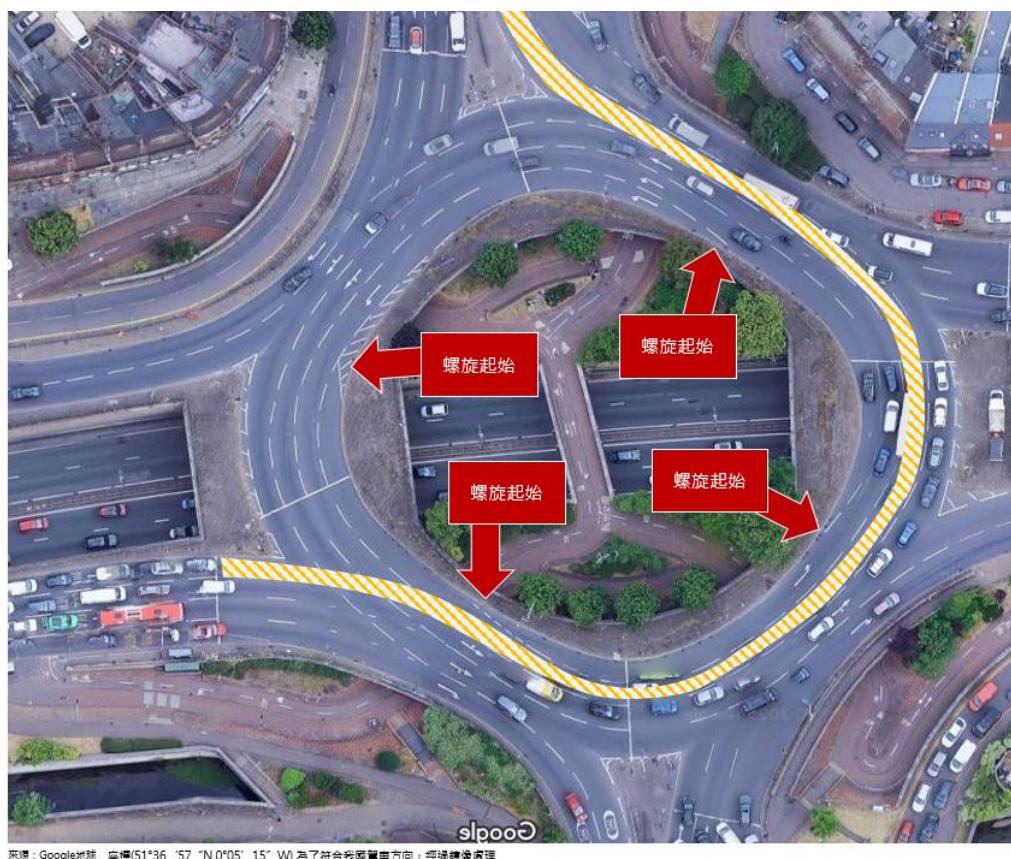
號誌化圓環尚有以下操作特性與無號誌有明顯的差異。

- **十字星 (crux)**：由於螺旋狀，表示進入須以跨越之形式進入。由上游將近之處，藉由號誌化進入環內，與衝突之繞行中車輛為紅燈，故直接跨越車道進入，惟須以十字星標線表示（但避免用強化型以免標線過於混亂）。
- **智慧標鈕（智慧貓眼）**（intelligent cats eye/ intelligent road studs）（Llewellyn, 2015; Llewellyn & Ladyman, 2016）：承上，雖十字星已盡力降低混淆可能，但仍有誤看標線之情況，因此智慧標鈕（貓眼）隨著號

誌燈號，在地上沿著顯示綠燈方向的流動，於地上之標線點亮白色標鈕（貓眼）。

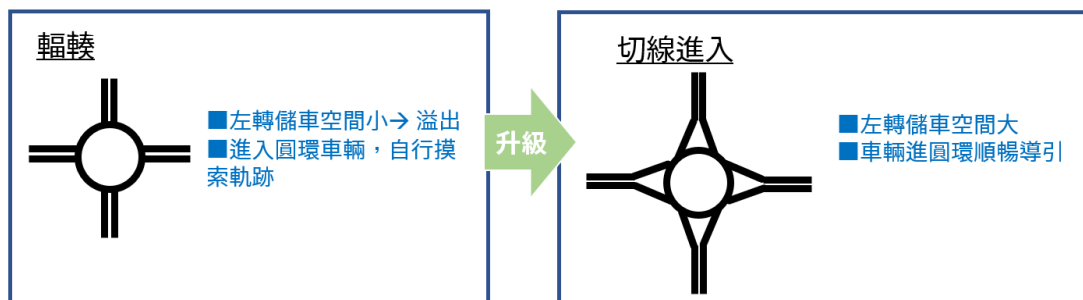
- **切線進入**：由於號誌控制路權，因此可以採用切線進入（tangential entry），如圖 5。對比之下，無號誌圓環時常避免進入速率過高，有採取輻輳進入（radial entry）之議。由於切線進入，則使號誌化圓環及早導正進入用路人之軌跡、提供繞行中車輛儲車空間等優勢。
- **號誌設計使車輛免與行人動線衝突**：由於號誌控制，可以將右轉車輛與平行行人動線以號誌完全分離，例如臺北市公館圓環東面離開處(2025 年移除)。
- **直行車與左轉車實體分隔**：直行車與左轉車若動線容易混淆者，可以採用實體交通島分隔兩者，任何圓環若空間足夠皆可考慮設置；而號誌化渦輪圓環之必要條件之一為 4 個方向皆必定有此措施。
- **最小化車道數目（minimize laneage）**，避免過度設計（overdesign）（Johnson, 2016）：另由文獻中「1500⁴原則」（DfT, 2009）反推車道數目是否恰當或存在不安全之設計。由於切線進入圓環之設計可以使圓環視同多個二時相路口，因此各入口間的關係為連鎖而非衝突。衝突僅在於繞行中車輛（circulating vehicles）與進入車輛（entry vehicles），而每個衝突的流動，依每個車道繪出衝突點後，若該衝突點之兩衝突車道需求量流量高於 1500 p.c.u./時，表示設計不足，應有更多車道以免延滯。而此觀點可以從另外一個角度看，如果每小時明顯低於 1500 p.c.u.（例如每衝突點僅有 700 輛車）則表示車道數目可以減半，以免徒增軌跡不確定性。

⁴ 見附錄。



來源：Google地球 座標(51°36' 57" N 0°05' 15" W) 為了符合我國駕駛方向，經過鏡像處理

圖 4 「螺旋起始」之妙用——左轉（原右轉，經鏡像處理）北上路徑，經過 3 次螺旋起始，使沿途免變換車道即可到達目的地。



※注意：無號誌用「輻輳」以免速率過高(速率管理失敗)；號誌化因有燈號管制，方可用「切線進入」

圖 5 號誌化圓環較適合「切線進入」

過往，號誌化圓環並未設計切線進入、螺旋離開、十字星...等設施，因此縱然有諸多詳細的研究分析（如：陳武正，1975；周義華、許鉅秉，1992；周義華、劉瑞麟，1993），惟可惜當時主要聚焦於效率之研究，未將圓環應有的安全潛力（Safety potential, SAPO）探索至極。

2.2 總體安全效益

由於號誌化圓環之主要目的為提升容量，常緣起於無號誌圓環容量不足，經轉換而成。因此，重視效率而安全效益評估較為稀少。僅 TfL(2005) 有盤點性質的調查，發現相較於圓環號誌化前，總事故可下降 28%(*⁵)、與兩輪車相關下降 26%(*)、死亡與重傷下降 15%(ns)，見表 2。表 2 亦羅列不同研究之傷亡數目、事故數目(Fortuijn, 2005; Jensen, 2013; Fortuijn & Salomons, 2015)、貨幣化(Haller, 2007)等安全效益。近年來，由於安全系統方法(Safe Systems Approach，事故零願景之別稱)相關理論與實證之大幅進展，確立現代圓環(無號誌與號誌化皆然)作為道路設計的預設選項。

2.3 各要素之安全效益

2.3.1 螺旋離開的安全效益

螺旋離開可以確保用路人進入圓環後，毋須變換任何車道。所謂變換車道，是指需要查看鄰近車道前後方之間是否有安全間隙可以使本車由原車道切換至目標車道。而螺旋離開確保現代化的號誌圓環，只有號誌化進入、維持在原車道線內、岔出，共三種操作方式。螺旋離開以連續車道線直到離開圓環最為清晰，甚至需要「強化型(strong)」：比一般車道線加粗、更密集(例如我國常規白虛線為線段 4 公尺，間距 6 公尺(4/6 比)，或許可研議密集強化之樣式，例如為 6/4、7/3 或 8/2 比)。由於僅蒐集到無號誌多車道現代圓環之文獻，僅以下列兩例為代表。

案例 1：美國南卡羅萊納 Bluffton，座標(32.2496, -80.8563)。回顧該圓環原為同心圓設計，改為螺旋離開之安全效益為受傷頻率{ -50% }，4.0 傷/年降為 2.0 傷/年，僅財損頻率{ -21% }，24.0 (起/年)降為 19.0 (起/年)。

⁵ 本文統計顯著性以****、***、**、*分別為 1%、5%、10%顯著水準；ns 為統計不顯著。

案例 2：美國明尼蘇達州 Richfield，座標(44.8836,-93.2681)。回顧該圓環原為螺旋離開設計，但因採用 MUTCD 2009 年版之建議，離開時由白實線分隔車道銜接點虛線，如圖 6 左半邊。因此，Johnson(2019)推測用路人無法及時辨認該標線用途，另會造成繞行中車輛誤會可以切換車道。爾後，改進為「強化型 (strong) 虛線」，如圖 6 右半邊。經改進後，與車道紀律 (lane discipline) 相關之事故降低 36%⁶ (Hourdos, 2014; Johnson, 2019)。

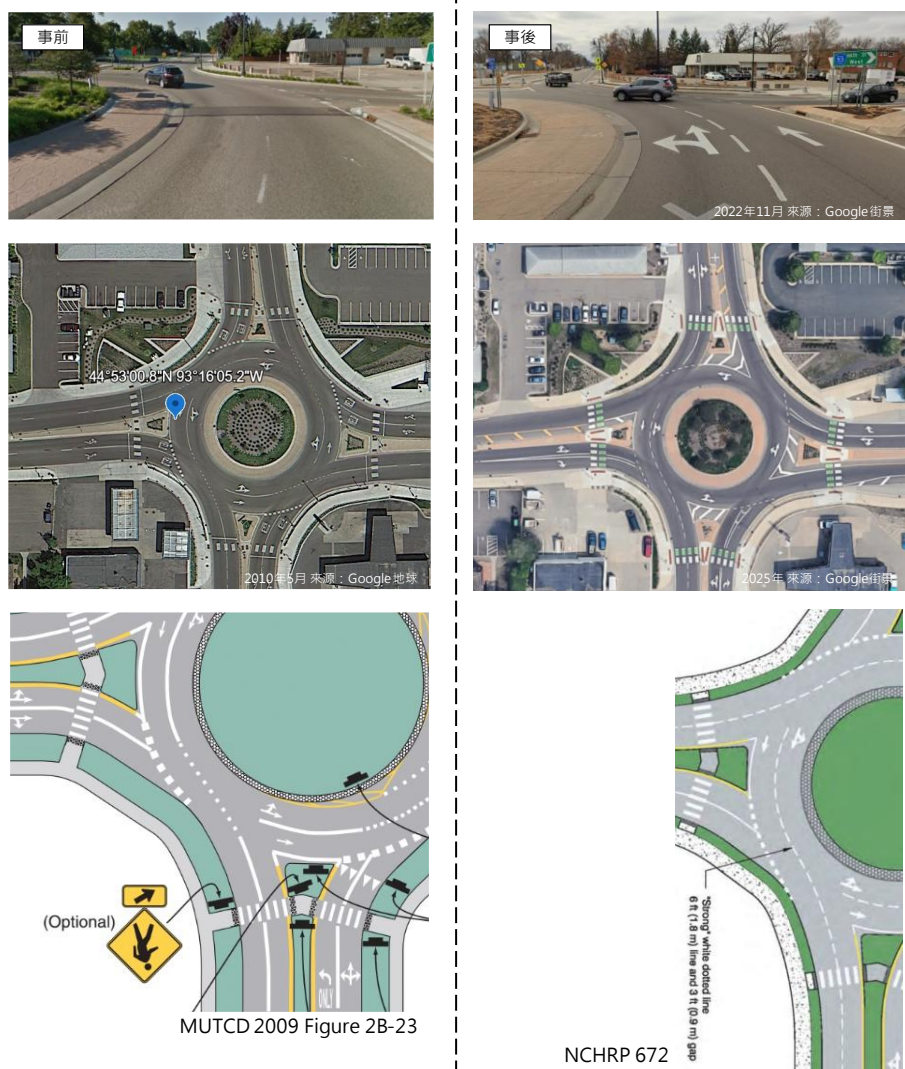


圖 6 改善案使車道紀律相關事故下降 (a)事前——點虛線螺旋離開；
(b)事後——強化型螺旋標線

⁶ Johnson(2019)提及「與車道紀律相關之事故降低 78%」惟經查閱 Hourdos (2014) 原文，Richfield 一例總事故 CMF=0.98 ([40/16]/[89/35])、變換車道 CMF=0.31 ([1/16]/[7/35])，下降 69%)、與車道相關 CMF=0.64 ([15/16]/[51/35])，下降 36%)。

2.3.2 切線進入的安全效益

切線進入安全效益有至少四個面向：(i)導引銜接環內操作；(ii)速度管理 (speed management) ——車輛通過速率降低，使車輛碰撞速率較低，降低嚴重度；(iii)碰撞角度調整使碰撞後果較為輕微——可由延伸路口動能管理 (X-KEMM-X) 碰撞角度與速度之圖表 (Jurewicz et al., 2017; Woolley et al., 2018) 發現，若圓環藉由切線進入 (tangential entry) 調整為 60 度或 70 度之潛在碰撞，以重傷機率 (Probability of Severe Injury) 評量，比輻輳進入 (radial entry) 之 90 度潛在碰撞嚴重性為低；(iv)間接安全效益為提供對向左轉儲車空間——降低對向左轉溢流造成與直行車碰撞。

2.3.3 十字星的安全效益

螺旋離開比進入標線重要，惟進入圓環之車輛亦有困惑車道使用之情事。進入車輛亦加上導引為佳，惟不應比離開螺旋搶眼。進入圓環之車道以標鈕 (road studs, 俗稱貓眼、道釘) 建立十字星標線可使車道遵守程度增加，案例顯示將使車道正確使用比率由 60% 提升至 93% (McCann, 1996)。

2.3.4 智慧標鈕 (貓眼) 的安全效益

經事前與事後之對照，安裝智慧標鈕 (貓眼) 使侵入其他車輛的車道，無論小型車、中型車、大型車等車種，皆更遵守車道規劃，侵入 (transgress / encroach) 相鄰車道之比率，平均下降 50% (Llewellyn, 2015; Llewellyn & Ladyman, 2016)。

惟附帶一提，於機車為主要運具之情境，使用時須注意該設施有造成機車失控之風險，不宜直接套用。

2.3.5 其他

直行與左轉動線實體分離、螺旋起始的安全效益僅能從學理上 (防制 MLC) 判斷，惟就本研究智識所及，尚未有直接評量其安全效益之文獻。

綜上，諸交通工程師之精進下，號誌化圓環現代化的技術進步，使該型態之路口不但較其他型態之路口較為安全，自身的安全亦持續提升不輟。惟現有文獻無法全然參考，乃我國因車種分布與國際不同——諸國以小客車為主，但臺灣以兩輪機踏車為主。因此，將如何將我國特殊狀況納入考量，亦為重要待解之議題。

三、安全要素統計

3.1 安全要素達成計點

本研究由「螺旋離開」、「切線進入」、「左轉專用車道搭配螺旋起始或尖角設計」三要素來判斷號誌化圓環之安全程度。另一方面，由於「右轉號誌化與行人分離」、「直行動線與左轉車實體分離」並非通案（因郊區無行人、空間不一定可達實體分離），較無公平之比較基準，故未納入比較。以「1500 原則」評判是否過度設計，需蒐集各縣市地點轉向流量資料方能判斷，故本研究尚未納入考量。

計算方法：以減點法，由 1 點開始依照比例向下扣點未達成之項目。例如某圓環只有一繞行車道處，自然免設螺旋起始或尖角設計，則不扣點。四肢腳若恰一處有多車道繞行但左轉車會誤入迴轉路徑，則扣 1/4 點。以此類推。

取樣方法：臺北市登記在案之號誌化圓環為公開資料，故全數納入（R001 至 R005），並加上成功路交流道圓環，見表 3。外國樣本選取採抽樣調查，抽樣方式為隨機選取經緯度，並於圓環大全（Kittelson & Associates Inc., 2025）對應最近之號誌化圓環。依標竿學習法瑞典、英、荷交通安全表現名列世界前三名，為各國之標竿（Chen et al., 2016），故選英國 20 處（有效樣本 19 處）⁷、荷蘭 10 處、瑞典 3 處。

3.2 安全要素點數

表 3 呈現調查結果，各樣本之安全程度，以及該分類之平均結果。呈現滿分為 3.0 之尺度下，荷蘭為 2.80 點、英國達 2.62 點、瑞典為 2.33 點。不足處可以見到荷蘭部分號誌化圓環缺乏離開之明確導引，仍有猶豫與變換車道的風險。舉例來說，荷蘭 Surinameplein 入環動線尚明確，採取切線進入（該項得 1.0 / 1.0），而出環之外觀使用路人可明顯見到離開圓環之動線非有明確導引。以其中一例呈現表 3 之細部項目計算如下：Lomondgate Roundabout（座標 5.9568,-4.5627）之四方向中，南邊離開僅 1 接收車道，毋須有明確螺旋，不扣點；西側、東側確實設有螺旋離開；而北邊兩車道繞行、兩車道離開顯無螺旋導引離開，故扣點，以比例來看扣 1/4 而成為 0.75 點。

⁷ 英國樣本中存在其中一圓環介於號誌化與無號誌之間之「儀控圓環」(metering roundabout)，運作型態比較類似無號誌圓環，故排除於號誌化之樣本。

表 3 號誌化圓環達成安全要素之程度

群組	圓環名稱	達成要素 總點數	螺旋 離開	切線 進口	螺旋 起始	備註
臺北市		0.972				
	臺北市 R001 自強隧道圓環	1	0	1	0	
	臺北市 R002 圓山隧道圓環	2.33	1	1	0.33	三主要方向之東北角不會致使 左轉車進入迴轉路徑
	臺北市 R003 景福門圓環	0	0	0	0	
	臺北市 R004 仁愛路圓環	1	0	1	0	內環有切線進入
	臺北市 R005 公館圓環	0.50	0.50	0	0	四方向之西南角、西北角具有 螺旋離開之精神
	內湖交流道	1	0	1	0	
英國		2.618				
	Lomondgate Roundabout	2.75	0.75	1	1	四方向之北角無螺旋導引離開
	A749 / Stewartfield Way	3	1	1	1	
	Charlesfield Rd. / Almondvale Rd.	3	1	1	1	
	A71 (Calder Rd.) / A720 Ramps	3	1	1	1	
	A9 / A82 (Longman Rd.)	1	0	1	0	
	A188 (Benton Ln.) / Balliol Business Park	1	0	1	0	
	A586 (Poulton Rd.) / A587	3	1	1	1	
	A6 / A582 / Lostock Ln.	3	1	1	1	
	A554 / A5139 / M53 Ramps	3	1	1	1	
	A6120 / Cross Gates Rd.	3	1	1	1	
	A166 / A1079 / A64 Ramps	2	1	1	0	
	Markets Roundabout	3	1	1	1	
	Spitfire Island	3	1	1	1	
	Saint Botolphs Circus	3	1	1	1	
	A249 / M2 Ramps	3	1	1	1	
	Crawley Interchange	1	0	1	0	
	A30 / M25 Ramps	3	1	1	1	
	Wick wick Roundabout	3	1	1	1	
	Derriford Roundabout	3	1	1	1	
荷蘭		2.800				
	N331 / N337	3	1	1	1	
	Surinameplein	2	0	1	1	
	Leenderweg / E34-A67 Ramps	3	1	1	1	
	Roermondsepoort	3	1	1	1	
	Erasmusplein	2	1	1	0	
	N470 / N471	3	1	1	1	
	N325 / A12 Ramps	3	1	1	1	
	N408 / E35-A12 Ramps	3	1	1	1	
	N471 / A20 Ramps	3	1	1	1	
	N213 / N223	3	1	1	1	此為號誌化渦輪圓環
瑞典		2.333				
	Ullevigatan / Rantorget	3	1	1	1	漢堡型
	Drottningholmsvägen/Lindhagensgatan	1.5	0.5	1	0	四方向之南角、西角 無明確引導螺旋離開
	Roslagsparken與Johannes校地之間	2.5	0.5	1	1	四方向之西南角、 南邊未提供螺旋離開

相較之下臺北市安全要素點數為 0.972 點，尚有改進空間。一些值得注意者如下：臺北圓山圓環之切線進入順暢，非通勤用路人甚至不一定察覺此處為圓環。臺北內湖成功路交流道，部分繞行路段之左轉與直行實體分隔，未來若精緻化後(例如明確螺旋離開)，除了現行高容量外，未來亦有極大之安全潛力。臺北公館圓環有部分方向為螺旋離開，惟點虛線為轉彎導引線，若能以強化型車道線，或有不小的安全潛力(Hourdos, 2014; Johnson, 2019)。

3.3 討論

然我國機踏車多，他山之石是否能適用？為值得探討之議題。目前，我國號誌化圓環之 A2 事故頻次，高於號誌化四岔路口。然而，依照本研究的範疇內，尚未能辨別潛在原因：(甲)我國之車種組成與他國不同——機車較多；抑或(乙)我國號誌化圓環尚未適時採用現代交通工程技術所致(安全要素點數稍低)。

前述甲、乙何者為主因，須待未來具有實證資料方能確認。倘若為前者，應修正為對機車友善之設計。若進一步佐證機車於圓環過彎較有碰撞風險，廢止圓環改為十字路口之決策亦有道理——使機車行駛於直線路段以免於圓環額外過彎。倘若為後者，則應儘量達成諸安全要素。

依照目前號誌化圓環之型式，可分類為以下兩種：第 I 類區分內外環，一般限制機踏車僅准行駛外環，如圖 7。此類號誌化圓環為數不少，若環內車種單純以小客車為主，或許可研議機車保留行駛於外環、汽車內環持續達成現代化之要素，其安全潛力可由本研究綜整成果評估。

第 II 類為汽、機車混流。由於圓環缺乏融入機踏車之相關研究，此類號誌化圓環或以現代化或單純化(例如四岔)皆為可能的作法。例如臺北市內湖成功路交流道，僅有成功路直行方向外側車道有機車，環內車種相對單純，或可現代化或渦輪化；公館圓環因機車流量占比大，現代化或改為正交何者較佳則尚無定論，如何實作待後續研究。

此外，本文僅初步探索安全要素，惟須特別注意工程與維護成本，以及其衍伸的成本效益比(Daniels 等, 2019)亦應為決策考量。即上策為既安全又有符合成本效益；中策為安全但不符成本效益；下策為無安全效益(Daniels 等, 2019)。以近期臺北市公館圓環之幾何變動為例，以安全潛力法判斷，確實能預期改為十字路口將降低 A2 事故，惟涉及三層立體化改為兩層立體化之土木工程，因此成本較高。究竟屬上策或中策，則非本文所能涵蓋，乃因須精算成本與效益，方能見曉並服眾。

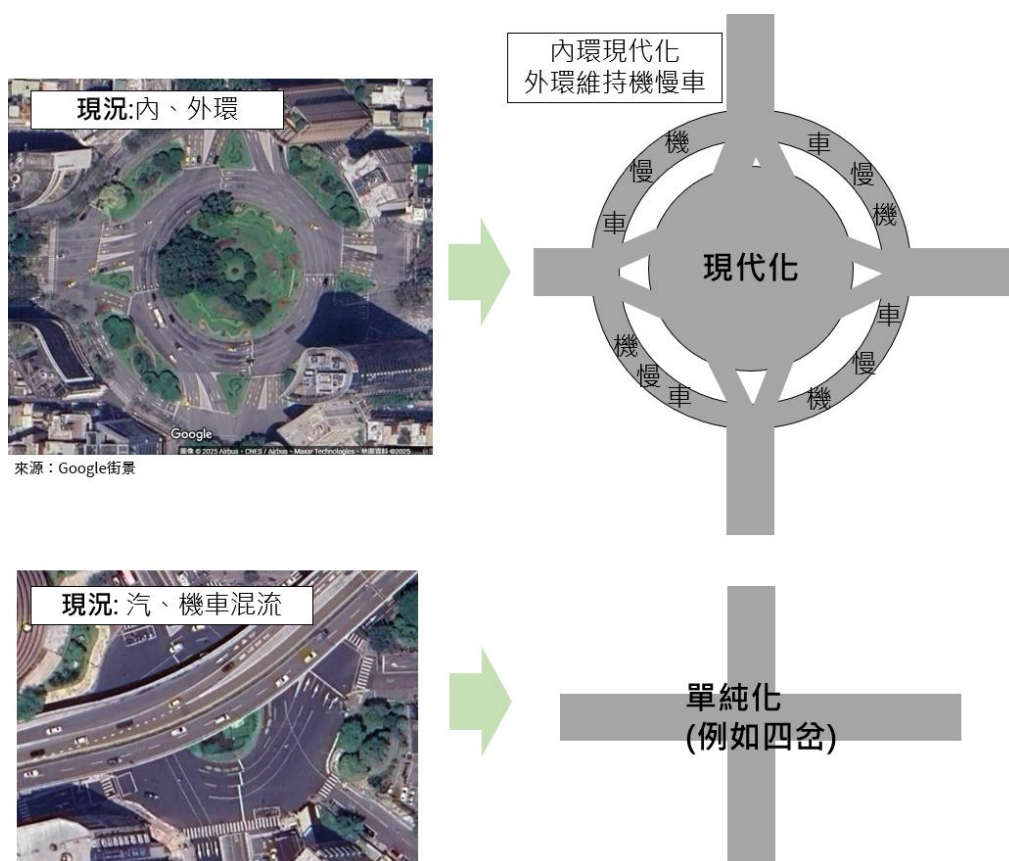


圖 7 可行策略如：具內外環者(I 類)，可現代化內環；
混流者(II 類) 現代化或可單純化。

四、結語

由於多年來交通工程專業者的精進不懈，近年來號誌化圓環成為最安全的路口型式之一。本文為此綜整多個安全要素以及其帶來之效益，包含：螺旋離開、強化型螺旋標線、螺旋起始、切線進入、十字星、號誌設計使車輛免與行人動線衝突、智慧標鈕（貓眼）、直行車與左轉車實體分隔、最小化車道數目...等。其中將可量化之三種特性，包括螺旋離開、切線進入、螺旋起始，用以評量各國達成號誌化圓環現代化之程度。挑選三個安全標竿國並以經緯度抽樣，判斷達各安全要素之達成程度。經分析後（以滿分 3.00 為度量）該三國之號誌化圓環，平均可達成 2.33 點，為現代交通工程技術下之成果。復對照臺北市目前的 0.972 點，仍有提升之潛力。

然而我國機車數量眾多，須評估以上作法如何順應本土汽機車混流環境。例如交通控制設施方面，需考量標鈕不適用於我國市區道路；法規制度方面，則需仰賴中央主管機關研議修正相關法規條文及執法，檢討現行考照

、監理與教育制度，從根本上確立駕駛人安全的用路習慣；道路規劃設計方面，則不免要斟酌號誌化圓環的現代化是否得以適用，或是改為十字路口。或許，現代化之工程技術，選擇以汽機車分流者為優先，並將內環現代化，應用相關技術提升汽車的安全。

由於號誌化圓環之文獻與實務成果散見各處，本文僅能就現有資料初探，尚有數個未來延伸值得持續研究：(i)以安全為目的，建議必定要做安全潛力（SAPO）分析，仔細評量眾方案，以有效運用預算；(ii)如何為分流之雙層圓環——內環現代化而外環提供機踏車繞行——進行配套設計；(iii)歸納什麼樣的情境下，搭配何種措施為上策、中策、下策。期勉我國交通工程持續改善，參考先進諸國以安全系統方法增加容錯空間、降低系統性風險，不讓道路使用者以生命安全為代價負起失誤之全責，以達成真正的零死亡願景（Vision Zero）（Tingvall，2023）。

參考文獻

- 王文麟(1980)，*交通工程學—理論與實用*，臺北：著者發行。
- 周義華、許鉅秉(1992)，「圓環交叉路口混合車流模擬模式之建立與驗證」，*運輸計劃季刊*，第二十一卷第三期，頁301-333。
- 周義華、劉瑞麟(1993)，「以模擬方法研究圓環交叉路口幾何設計與容量之關係」，*運輸計劃季刊*，第二十二卷第三期，頁291-314。
- 陳武正(1975)，「都市圓環問題模擬分析之研究」，*運輸計劃季刊*，第四卷第四期，頁1-19。
- 龍根養(1973)，「圓環設置之檢討」，*運輸計劃季刊*，第二卷第三期，頁9-13。
- (日本)交通工学研究会(2021)，*ラウンドアバウトマニュアル*，東京：交通工学研究会。
- Alphand, F., Noelle, U., & Guichet, B. (1991). "Roundabouts and Road Safety: State of the Art in France", *In Intersections without Traffic Signals II*, 18–19 July, 1991 in Bochum, Germany, Berlin: Heidelberg, pp. 107-125
- Binning J. C., Crabtree, M., & Burtenshaw, G (2011), *TRL APPLICATION GUIDE 65 (Issue J) TRANSYT 14 User Guide*, Berkshire: TRL Limited.
- Binning J. C. (2019), *TRANSYT 17 Application Guide AG73(Issue B)*, Berkshire: TRL Limited.
- Blackburn, R., Carter, D., Fischer, S., Hummer, J., Isebrands, H., Schamp, L., Shaw, J. (2024), "Turbo Roundabouts: A Review of Practices in the Czech

- Republic,” the Netherlands, and Poland, FHWA-HPL-24-015, *Federal Highway Administration, Department of Transportation*, Washington, D.C.
- Chen, F., Wu, J., Chen, X., Wang, J., & Wang, D. (2016). “Benchmarking Road Safety Performance: Identifying a Meaningful Reference (best-in-class),” *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 86, pp. 76-89.
- CROW (2008). Turbo Roundabouts, Publication No. 257, Dutch Information and Technology Platform, Ede, Netherlands (in Dutch).
- Daniels, S., Martensen, H., Schoeters, A., Van den Berghe, W., Papadimitriou, E., Ziakopoulos, A., ... & Perez, O. M. (2019). “A Systematic Cost-Benefit Analysis of 29 Road Safety Measures,” *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 133, pp. 105292.
- Davies, P., Jamieson, B., & Reid, B. (1980), “Traffic Signal Control of Roundabouts,” *Traffic Engineering and Control*, Vol. 21, pp. 354-357.
- Department for Transport (DfT) (2009), Signal Controlled Roundabouts, LTN 1/09, London.
- FGSV (2006), RASt- Richtlinien Für Die Anlage Von Stadtstraßen.
- Fortuijn L.G.H (2005), “Veiligheidseffect Turborotondes in Vergelijking Met Enkelstrooks Rotondes,” (Safety of Turbo Roundabouts in Comparison with Single Lane Roundabouts) Proceedings of Verkeerskundige Werkdagen 2005, *Hilversum*, pp. 1-31
- Fortuijn, L. G. (2009), “Turbo Roundabouts: Design Principles and Safety Performance,” *Transportation Research record*, Vol. 2096, No. 1, pp. 16-24.
- Fortuijn, L. G., & Salomons, A. M. (2015). “Signalized Turbo Circle; Design and Performance,” *Proceedings of Transportation Research Board Annual Meeting*.
- Haller W. (2007), “Das Neue Merkblatt Für Die Anlage Von Kreisverkehren. Strassenverkehrstechnik,” (The New Advice on the Construction of Roundabouts) *Straßenverkehrstechnik*, Vol. 51, No. 3.
- Highways Agency (England) (1999), TD 50/99 *The Geometric Layout of Signal-Controlled Junctions and Signalised Roundabouts*.
- Highways Agency (England) (2003), TA 86/03 Layout of Large Signal Controlled Junctions. Design Manual for Roads and Bridges (*DMRB*).
- Highways Agency (England) (2004), TD 50/04 *The Geometric Layout of Signal-Controlled Junctions and Signalised Roundabouts*.

- Hourdos, J. (2014), "Effect of Signing and Lane Markings on the Safety of a Two-Lane Roundabout, Research Project Final Report," 2014-04, *Minnesota Department of Transportation*.
- Jensen, S. U. (2013), "Safety Effects of Converting Intersections to Roundabouts. *Transportation Research Record*," Vol. 2389, No. 1, pp. 22-29.
- Johnson, M. T. (2016), "Optimizing Design for Safety and Operations of Multi-Lane Roundabouts," *Proceedings of 2016 TRB Annual Meeting, Washington D.C.*
- Johnson, M. T. (2019), "Safety Impacts of Signing and Pavement Markings on Property-damage-only Crashes at Multi-lane Roundabouts," *Transportation Research Record*, Vol. 2673 No.2, pp. 477-488.
- Jurewicz, C., Sobhani, A., Chau, P., Woolley, J., & Brodie, C. (2017), "Understanding and Improving Safe System Intersection Performance," *Safe System Performance on Intersections*, Austroads APR556-17.
- Kittelson & Associates Inc. (2025), Roundabouts Database, Retrieved July 12, 2025, website: <https://roundabouts.kittelson.com/Home/Map>.
- Kimber, R and M. C. Semmens (1977), A Track Experiment on the Entry Capacity of Offside Priority Roundabouts, Department of the Environment Department of Transport, *TRRL Report SR 334*, Crowthorne.
- Lines & Crabtree (1990), The Use of TRANSYT at Signalised Roundabouts, Berkshire: *Transport and Road Research Laboratory (TRRL)*.
- Llewellyn, R. (2015), "Lighting the Way: the Use of Intelligent Road Studs at Spiral-Marked Roundabouts," *Proceedings of 43rd European Transport Conference, Frankfurt, Germany*.
- Llewellyn, R., & Ladyman, S. (2016), "Inattentional Blindness and Road Safety: the Potential Role of Intelligent Road Studs in Reducing Accidents, " *Proceedings of 11th ITS European Congress, Glasgow, Scotland*.
- McCann, V. (1996). "Spiral Lane-Markings at Roundabouts-a Different Angle," *Traffic Engineering and Control*, Vol. 37, No.7-8, pp. 447-451.
- National Highways (England) (2023), *CD 116 Geometric design of roundabouts*.
- Robinson, B. W., Rodegerdts, L., Scarborough, W., Kittelson, W., Troutbeck, R. et al. (2000), Roundabouts: An Informational Guide, No. FHWA-RD-00-067; Project 2425, *Federal Highway Administration*, Washington, D.C.
- Rodegerdts, L. A. (2010), "Roundabouts: An Informational Guide," NCHRP Report 672, *Transportation Research Board*.

- Simon, M. J. (1991), "Roundabouts in Switzerland: Recent Experiences, Capacity, Swiss Roundabout Guide," *Intersections without Traffic Signals II, Bochum, Germany*, pp. 41-52.
- Stuwe, B. (1991). "Capacity and Safety of Roundabouts—German Results," *Intersections without Traffic Signals II, Bochum, Germany*, pp. 1-12.
- Tingvall, C. (2023), Vision Zero: How It All Started, In Edvardsson Björnberg, K., Hansson, S.O., Belin, MÅ., Tingvall, C. (Eds), "The Vision Zero Handbook," *Cham: Springer*, pp. 245-266.
- Transport for London Street Management – London Road Safety Unit(2005), "Do Traffic Signals at Roundabouts Save Lives?" *Transport for London(TfL)*, London.
- V & W (Ministry of Transport, Public Works and Water Management) (2009), Roundabouts – Application and Design, Netherlands.
- Vincent, R.A., Mitchell, A. I., & Robertson, D.I. (1980), *User Guide to TRANSYT Version 8*, Berkeshire: Transport and Road Research Laboratory (TRRL).
- Woolley, J., Stokes, C., Turner, B., & Jurewicz, C. (2018). Towards Safe System Infrastructure: A Compendium of Current Knowledge, No. AP-R560-18, Austroads, Sydney.

附錄 以安全觀點看圓環紓解能力之 1500 原則

根據以下數項假設：(i)週期長 60 秒、綠燈介間時間 5 秒；(ii)飽和流率 1900 p.c.u./小時；(iii)飽和度(Degree of saturation)為 0.9 之假設。則，每個衝突點(以兩兩車道交叉為基礎)扣除損失時間後，保守估計約可服務 1500 p.c.u./小時。故進環各車道與環內各車道各自取流率最大值，相加後檢查是否小於 1500 p.c.u./小時，據以評估需求轉向量可否由圓環吞吐。

茲舉一例：南下直行需求 1591 p.c.u./小時，左轉需求 344 p.c.u./小時，右轉由於穿過圓環前即離開可不通過衝突點故不計；西往東行直行需求 603 p.c.u./小時，左轉需求 198 p.c.u./小時。配置方案 1 採南下直行 2 車道，1 左轉專用車道；東行亦同，如圖 8。

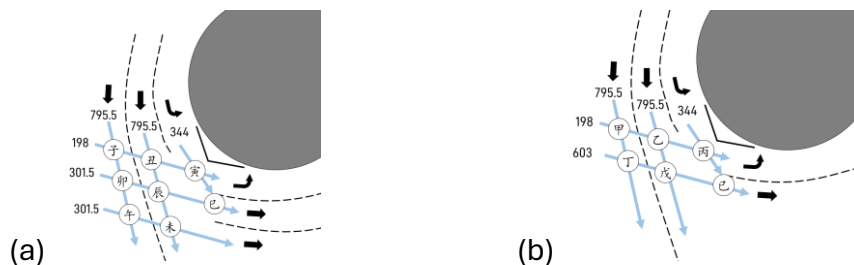


圖 8 不同方案之各號誌管制衝突點(a)方案 1；(b)方案 2。

則衝突點之衝突流向加總流量為：

- 子： $795.5 + 198 = 993.5$ p.c.u./小時
- 丑： $795.5 + 198 = 993.5$ p.c.u./小時
- 寅： $344 + 198 = 542$ p.c.u./小時
- 卯： $795.5 + 301.5 = 1,097$ p.c.u./小時
- 辰： $795.5 + 301.5 = 1,097$ p.c.u./小時
- 巳： $344 + 301.5 = 645.5$ p.c.u./小時
- 午： $795.5 + 301.5 = 1,097$ p.c.u./小時
- 未： $795.5 + 301.5 = 1,097$ p.c.u./小時

由於各衝突點之衝突流量總和，皆遠低於 1500p.c.u./小時，有過度設計之慮——車道數目過多，徒增變換車道風險。因此，方案 2：限縮車道數目。西向東之直行車道限縮為僅 1 條，則各衝突點之「衝突流量和」如下：

- 甲： $795.5 + 198 = 993.5$ p.c.u./小時
- 乙： $795.5 + 198 = 993.5$ p.c.u./小時
- 丙： $344 + 198 = 542$ p.c.u./小時
- 丁： $795.5 + 603 = 1,398.5$ p.c.u./小時
- 戊： $795.5 + 603 = 1,398.5$ p.c.u./小時
- 己： $344 + 603 = 947$ p.c.u./小時

方案 2 皆符合 1500 原則，表示車道配置可以採取較少車道來滿足需求。以安全角度而言，方案 2 較方案 1 為佳。須注意以上算例僅圓環四隅之一隅，實際案例應檢驗所有衝突。

(收稿 114/09/30，第一次修改 114/11/17，接受 114/11/22)