

剪裂帶對自然邊坡滑動破壞模式之影響： 以台 18 線 59.1 公里大型地滑為例

許澤善*、何政傑**、張宏源***、汪令堯****

一、前言

當自然邊坡存在剪裂帶時，邊坡之滑動破壞易受剪裂帶錯動影響。但目前各種邊坡穩定分析軟體，在決定潛在滑動破壞面時，大都忽略實際存在的剪裂帶，因而得到與現地狀況不同的邊坡穩定分析結果。有鑒於此，本文彙整剪裂帶錯動特徵，研擬剪裂帶有關的邊坡滑動破壞機制，並以台 18 線 59.1 公里之大型地滑為例，藉由分析結果顯示唯有將現地存在的剪裂帶納入考慮，才能得到與實際情況相符之滑動破壞機制及邊坡穩定分析結果。

二、剪裂帶錯動特徵

2.1 變位地形

當地球板塊持續承受側向擠壓至塑性應變(ϵ^p)足夠大時，將因局部化變形(localizations of deformations)之出現而衍生出剪裂帶。Evans與Wong [1]曾說：「在地質材料中所觀察到的剪力局部化，其範圍可能小至薄斷面，而大則可達數百公里長x30公里寬。地質變形能在溫度、壓力與時間等刻度之寬譜下出現；在譜的一端，局部化造成的剪裂帶通稱為斷層……」。

剪裂帶錯動，其垂直分量會使地層出現高低差，而其水平分量會使地層出現水平錯移；這種地形在構造地質學上稱為變位地形。

變位地形在形成初期比較明顯，但因侵蝕及堆積作用，變位地形難以保存。相關文獻[2~4]歸納之變位地形包含：(1) 構造陷落：包含斷層谷、斷層池、地塹、斷層溝、斷

*逢甲大學土木工程學系暨研究所教授

**逢甲大學土木及水利工程博士學位學程博士生

***逢甲大學土木工程學系碩士

****公路總局規劃組資料科科長

層鞍部、斷層角盆地等；(2)構造崖(tectonic scarp)：包含斷層崖(fault scarp)、撓曲崖(flexure scarp)、斷層小崖(fault scarplet)、逆斷層小崖(reverse scarplet) 及三角切面(triangular facet)等；當中有些斷層崖具線狀構造，有些則經由河流侵蝕而成河蝕崖；(3)構造隆起：包含地壘、斷塊脊、壓力脊、山丘、斷塊山地等；(4)水平斷錯：包含斷錯河、斷錯河階、閉塞丘等。

2-2 剪裂帶構造

圖1顯示總剪裂帶寬度假係指相鄰兩平行的主變形剪力間之寬度；在主變形剪力作用下，總剪裂帶寬度範圍將出現Riedel剪力、共軛Riedel剪力、推進剪力及壓縮構造[5]。

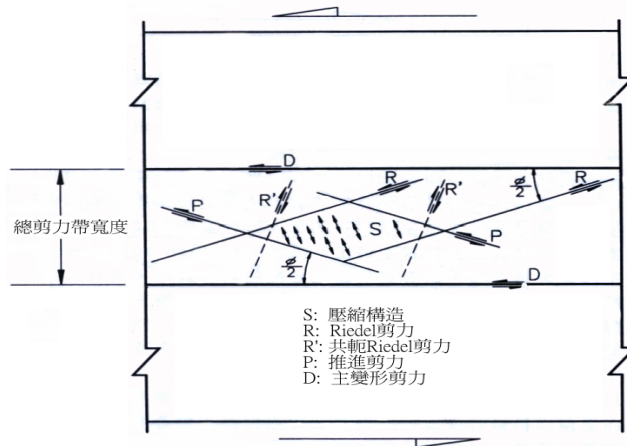


圖 1 剪裂帶中存在的各種不同構造(重繪自[5])

一般而言，基於力學平衡上的需要，當主剪裂帶存在時，共軛剪裂帶必然存在(詳圖2)，剪裂帶因而具有成群交錯的特性。是故，圖1所示主變形剪力可能是另一尺度更大的總剪裂帶寬度範圍內之某一種剪力；而圖1所示Riedel剪力、共軛Riedel剪力或推進剪力亦可能成為尺度另一更小的總剪裂帶寬度範圍內之主變形剪力。因此在剪裂帶持續發育過程中，視發育程度而定，總剪裂帶寬度之單位可能是公里或公厘。

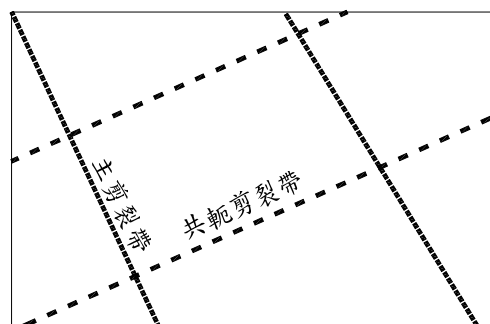


圖 2 主剪裂帶與共軛剪裂帶示意圖

對於承受側向擠壓之成層的板塊而言，圖 3 顯示 Rankine 被動土壓力範圍之二群交錯的剪裂帶，而圖 4 顯示現地存在與 Rankine 被動土壓力理論近似之成群交錯的剪裂帶。

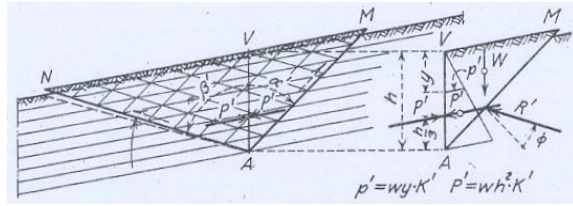


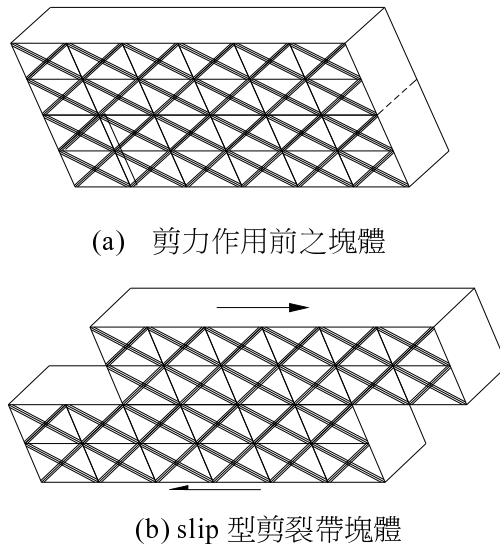
圖 3 Rankine 被動土壓力範圍之成群交錯的剪裂帶[6]

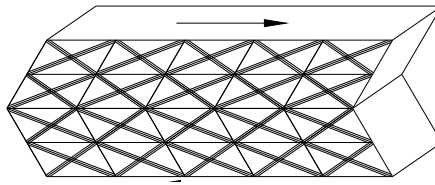


圖 4 現地存在的成群交錯的剪裂帶[7]

2-3 剪裂帶構成機制

圖 5 顯示 Hertzberg[8]所提 slip 及 twinning 等兩種不同的剪裂帶構成機制。

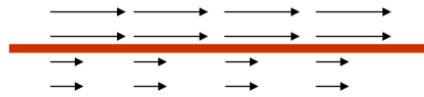




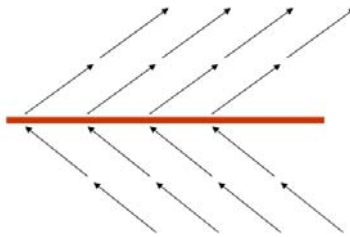
(c) twinning 型剪裂帶塊體

圖 5 Hertzberg 所提剪裂帶構成機制[8]

圖 5 所示兩種剪裂帶構成機制亦可藉由圖 6 所示速度向量分佈圖表示；當中速度大小驟變者為 slip 型剪裂帶構成機制，而方向驟變者為 twinning 型剪裂帶構成機制。



(a) slip 型剪裂帶



(b) twinning 型剪裂帶

圖 6 速度向量分佈圖中之剪裂帶的類型[9]

2-4 剪裂帶之辨識

當地球板塊間存在 frictional slip 時，Christopher H. Scholz [10]敘述地震在 stick-slip 現象出現時產生；而在 slip 過程中，亦衍生出如圖 1 所示之 Riedel 剪力、共軛 Riedel 剪力、推進剪力及壓縮構造等不同型式的剪裂。因此在有感地震中，地球板塊之局部化變形持續發生，剪裂帶岩石之脆性破裂程度及滲透性係數因而持續增加，地下水因而易於在剪裂帶中匯集或流動，而脆性破裂程度較高之剪裂帶岩石也因易於溶於地下水或隨地下水流動，因而易於造形成狀或色澤之變化。其次，當剪應變深入塑性範圍時，因局部化變形而衍生剪裂帶，上述形狀或色澤之變化僅局部出現於脆性破裂之剪裂帶岩石內。

由此可知剪裂帶之辨識除可應用變位地形特徵外，亦可藉由現地量測得到的速度向量分佈圖、剪裂帶構成機制及各種現地影像圖加以辨識。

此外，剪裂帶亦可藉由剪力造成的地形扭曲變形加以辨識；對於山區公路而言，公路一側之河谷可能是圖 4 所示走向不同的成群交錯的剪裂帶交會區，而剪裂帶岩石之脆性破裂程度會在有感地震中增加，因而可能在夾帶土石之洪水衝擊振動下剝落，進而出現深槽位置之持續變化或深槽逆水流向由坡趾朝邊坡內部之剪裂帶發育，這是水文地質學中向源侵蝕之肇因。

當公路盤旋於圖 4 所示成群交錯的剪裂帶山區時，跨越溪流或河谷之橋梁很可能跨越剪裂帶(詳圖 7)。



(a) 921 大地震中大梁偏移



(b) 921 大地震中落橋



(c) 921 大地震後辛樂克颱風中落橋

圖 7 橋梁跨越的剪裂帶錯動引發大梁偏移或落橋現象

對於剪裂帶穿過之橋梁、道路及房子而言，薄景山等人在汶川大地震為何破壞巨大之焦點訪談[11]中藉由地震災區影像強調剪裂帶穿過的地方，基本上は無堅不摧，難以抗拒，因而在地震中都遭到了毀滅性的破壞[11]。而川島一彥等人[12]在日本大地震災區橋梁破壞調查報告中亦提供許多橋梁破壞影像，這些影像顯示多數橋梁破壞均伴隨剪裂帶錯動引發之橋梁結構單元間之錯移或相互擠壓變形；Yoshikazu Takahashi [13]更進一步發現依據 1995 年之後日本的橋梁耐震設計規範所設計的橋梁之橡膠支承及阻尼器均大量在本次日本大地震中出現龜裂或斷裂。由此可知目前工程界普遍之認知乃在於降低橋梁震損，而無法確保剪裂帶錯動所造成的橋梁裂損，Yoshikazu Takahashi [13]因而建議未來橋梁設計規範及龜裂或斷裂監測技術均有待加強。

圖 8 及圖 9 分別顯示河谷終點及山區公路 S 型彎道；藉由圖 4 所示成群交錯的剪裂帶可推論河谷終點及山區公路 S 型彎道可能是兩條走向不同的剪裂帶之交會區。



圖 8 地滑發生於剪裂帶構成的河谷終點



圖 9 地滑發生於剪裂帶構成的 S 型彎道

對於脆性破裂後殘留於現地之剪裂帶岩石而言，因凝聚力 C 幾乎消失殆盡，剪力抵抗強度僅源於內摩擦角；而對於脆性破裂後移動至其他岩層面上之剪裂帶岩石而言，因黏著力幾乎為零，剪力抵抗強度僅源於摩擦角。

當剪裂帶過度錯動，剪裂帶岩石脆性破裂程度過高時，剪力抵抗強度來源僅為內摩擦角或摩擦角，此時脆性破裂之岩石塊體或岩石碎削易於在雨水匯集的邊坡上滑動、或

在河谷中隨洪水流動。因此藉由深槽變動、大梁偏移、橋梁落橋或脆性破裂帶地滑等特徵，均可辨識現地局部化變形造程的剪裂帶。

三、剪裂帶有關之自然邊坡滑動破壞機制

剪裂帶錯動與有感地震間具有互為因果的關係。剪裂帶錯動將造成地盤抬升(詳圖 10)，因此成群交錯的剪裂帶(詳圖 11)易於在山區造成山巒高低起伏狀。

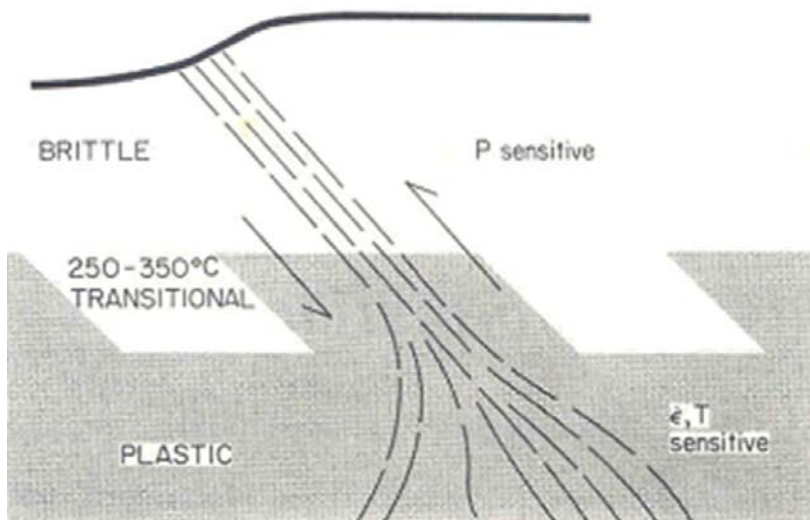


圖 10 剪裂帶錯動造成地盤抬升之模型[14]

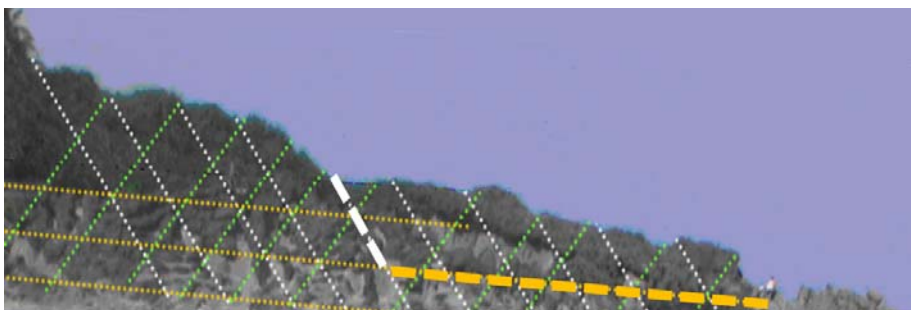


圖 11 高低起伏的山巒中之成群交錯的剪裂帶

由於剪裂帶岩石具脆性破裂性，且其剪力抵抗強度隨岩石脆性破裂程度之增加而減小，因此對於自然邊坡而言，其滑動破壞機制乃與剪裂帶高度相關。換句話說，圖 2 所

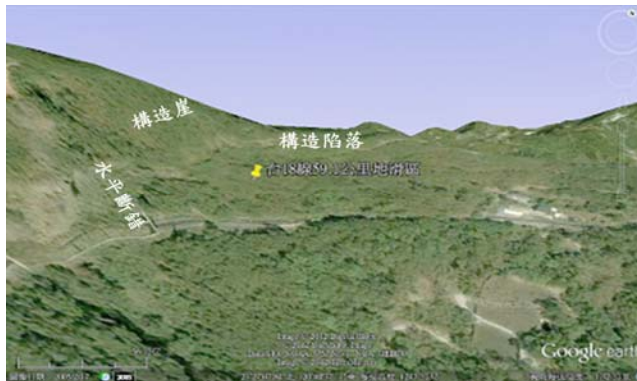
示自然邊坡將存在下列兩種潛在的滑動破壞型式：(1) 由一剪裂帶與一層面切割而成的雙平面滑動破壞；(2) 由走向不同的二剪裂帶切割而成的 3D 楔形滑動破壞。

第 1 類滑動破壞主要沿著其下方之層面，朝圖 2 所示之右下方滑動。而第 2 類滑動破壞主要沿著二剪裂帶及其交線，滑動方向端視該交線之傾角而定，可能朝圖 2 之前方或後方滑動。

四、案例分析

2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風過境台灣，台 18 線 59.1 公里除了龍頭明隧道局部滑動外，與龍頭明隧道緊鄰之邊坡亦出現大規模滑動破壞。由於情況特殊，本文因而選擇此一地滑作為案例，藉以探討剪裂帶對大規模地滑之影響。

圖 12 及圖 13 之衛星影像圖顯示鄰近地滑區明顯存在構造陷落、構造崖及水平斷錯等變位地形；且滑動破壞前，現地已存在脫層滑動痕跡。

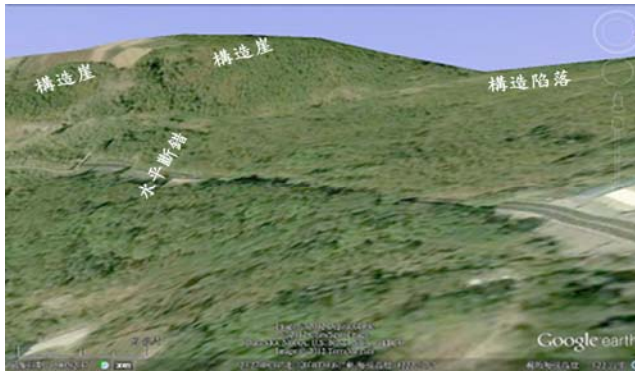


(a) 滑動破壞前



(b) 滑動破壞後

圖 12 由龍頭朝阿里山拍攝之地滑區影像圖[7]



(a) 滑動破壞前



(b) 滑動破壞後

圖 13 由阿里山朝巔頭拍攝之地滑區影像圖[7]

圖 12a 及圖 13a 之衛星影像及圖 12b 及圖 13b 之地拍影像圖均顯示剪裂帶穿過明隧道，圖 14 顯示該剪裂帶岩石之脆性破裂程度，圖 15 顯示明隧道順著剪裂帶錯動方向出現滑動破壞現象。



圖 14 巔頭明隧道上方脆性破裂的剪裂帶岩石



(a) 由阿里山朝巔頭拍攝



(b) 由巔頭朝阿里山拍攝

圖 15 沿著剪裂帶錯動方向滑動之巔頭明隧道

4.1 水文特性

圖 16 顯示最靠近本地滑區之瀨頭站在 2004 年至 2010 年量測所得年雨量最高為 2005 年之 5177mm，次高為 2008 年之 4906mm，第三高為 2006 年之 4441mm，第四高為 2007 年之 4063mm，第五高為 2009 年之 3860mm。

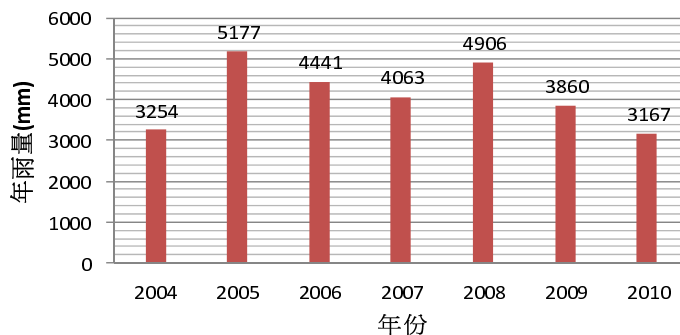


圖 16 地滑區鄰近雨量站之年雨量分佈圖

4.2 地質構造

藉由圖 17 所示中央地質調查所之調查結果得知台 18 線 59.1 公里地滑區西側存在背斜構造，東側存在向斜構造，但這些構造均未落在本地滑區內。劉憲德等人[15]認為前述構造對本地滑區地質構造雖不造成影響，但本地滑區節理依舊發達。

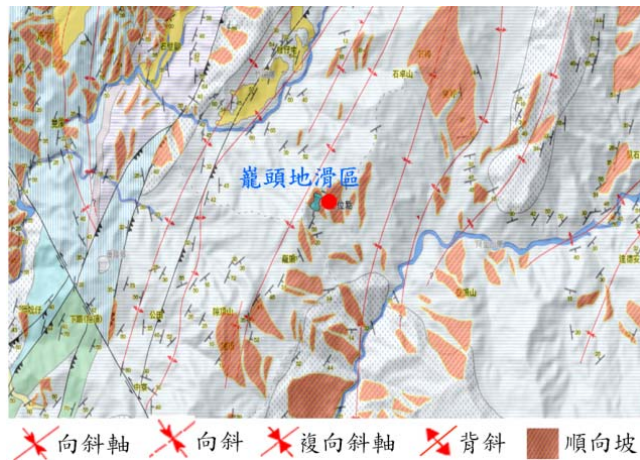


圖 17 鄰近本地滑區之地質圖[15]

圖 18 為鄰近地滑區之衛星影像圖，由圖 18 得知鄰近地滑區存在一群走向為 $N65^{\circ}W$ 之主變形剪力。圖 19 顯示地滑區總剪裂帶寬度範圍之 Riedel 剪力、推進剪力、壓縮構造及主變形剪力等剪裂帶構造。



圖 18 鄰近地滑區走向 $N65^{\circ}W$ 之一群主變形剪力[7]



圖 19 地滑區總剪裂帶寬度範圍之剪裂帶構造(背景圖出自[7])

圖 20 顯示 2007 年 1 月 1 日至 12 月 31 日台 18 線龍頭地滑區鄰近測站之地表水平位移速度向量分佈圖。圖 20 標示鄰近台 18 線龍頭地滑區存在的四條剪裂帶；這四條剪裂帶之走向分別為 $N33^{\circ}E$ 、 $N2^{\circ}W$ 、 $N65^{\circ}W$ 及 $N76^{\circ}E$ ；當中走向為 $N33^{\circ}E$ 、 $N65^{\circ}W$ 之剪裂帶屬於 slip 型剪裂帶，而走向為 $N2^{\circ}W$ 、 $N76^{\circ}E$ 之剪裂帶屬於 twinning 型剪裂帶。

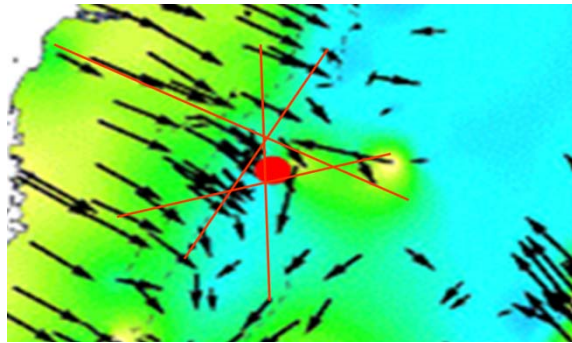


圖 20 鄰近地滑區之 slip 與 twinning 型剪裂帶(背景圖出自[16])

圖 21 與圖 22 為地滑區之現地影像圖。圖 21 顯示地滑區存在走向為 $N2^{\circ}W$ 及 $N33^{\circ}E$ 之剪裂帶，而圖 22 顯示地滑區亦存在走向為 $N65^{\circ}W$ 及 $N76^{\circ}E$ 之剪裂帶。

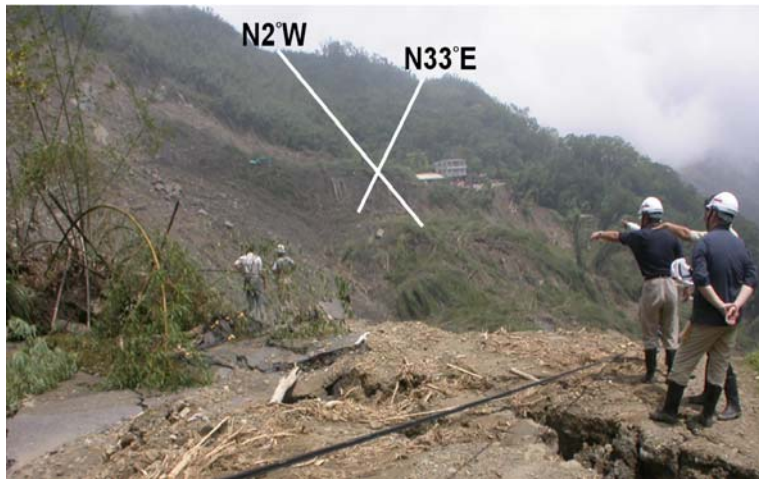


圖 21 地滑區走向為 $N2^{\circ}W$ 及 $N33^{\circ}E$ 之剪裂帶



圖 22 地滑區走向為 $N65^{\circ}W$ 及 $N76^{\circ}E$ 之剪裂帶

本地滑區因存在走向為 $N2^{\circ}W$ 、 $N33^{\circ}E$ 、 $N65^{\circ}W$ 及 $N76^{\circ}E$ 之四群剪裂帶，因而在 3 度空間均出現凹凸或起伏的地形。特別是走向為 $N76^{\circ}E$ 之一群剪裂帶之錯動，使得本地滑區之主要滑動邊坡約由三個平面連接而成，且存在抬升越高、坡度有越陡峭的傾向。這種剪裂帶錯動所產生的邊坡，其滑動破壞機制勢必由剪裂帶主導。

4.3 有感地震

圖 23 顯示由 2004 年至 2011 年之年有感地震發生次數分佈圖；由圖 23 得知年有感地震發生次數最多者為 2009 年之 752 次，次多者為 2011 年之 666 次，第三多者為 2010 年之 614 次，第四多者為 2005 年之 558 次。

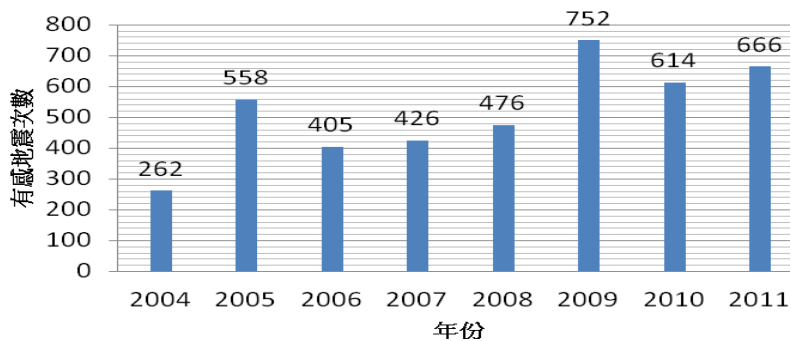


圖 23 年有感地震發生次數分佈圖[17]

圖 24 顯示由 2004 年至 2011 年之月有感地震發生次數分佈圖；由圖 24 得知月有感地震發生次數最多者為 2009 年 6 月之 139 次，次多者為 2009 年 7 月之 134 次，第三多者為 2005 年 5 月之 106 次，第四多者為 2011 年 7 月之 98 次。

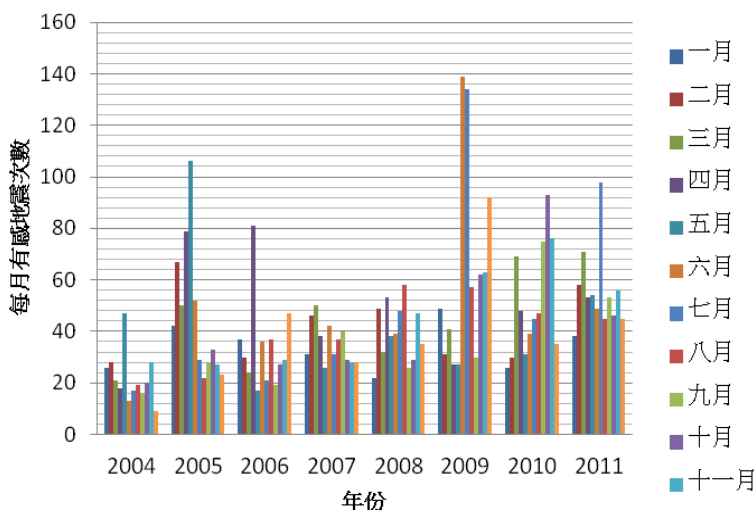


圖 24 月有感地震發生次數分佈圖[17]

4.4 滑動面性質

由災後現地勘查得知主體滑動破壞係高度脆性破裂之粉質砂岩在頁岩表面滑動，此

一滑動破壞可藉由直接剪力試驗加以模擬，進而得到剪力抵抗強度參數：黏著力 c_{α} 與摩擦角 δ 。

基於斷面為 6cm x 6cm 之直接剪力試驗之需要，現地選取之試驗樣品包含高度脆性破裂之粉質砂岩及頁岩塊體；試驗前將頁岩塊體置於直接剪力試驗儀之下盒中，並將高度脆性破裂之粉質砂岩置於上盒中。由於現地頁岩塊體之變質度高，具質堅、表面不平整之特性；而高度脆性破裂之粉質砂岩之最大粒徑 6mm、乾單位重 15.3kN/m³、比重 2.66、孔隙比 0.71。

試驗前先行將試體浸水，並在施加正向力後，俟每 3 分鐘之垂直位移量小於 0.01mm 時，即開始施加剪力，直至水平位移量達 9mm(亦即剪應變為 15%)為止。

三組正向應力 σ 分別為 77.6kPa、188.4kPa 及 297.8kPa 之直接剪力試驗結果顯示，其對應的尖峰剪應力 τ_p 或極限剪應力 τ_{ult} 分別為 77.3kPa、186.3kPa 及 220.6kPa，因而得到

滑動面之剪力抵抗強度參數：黏著力 $c_{\alpha} = 27$ kPa、摩擦角 $\delta = 37^{\circ}$ 。

4.5 邊坡穩定分析

本地滑區之滑動破壞面由圖 25 中圖釘所示台 18 線上邊坡朝台 18 線下邊坡延伸。圖 26 顯示鄰近本地滑區之地形圖，由圖 26 得知本地滑區高程由 EL.1000 公尺變化至 EL. 1360 公尺，總高程差 360 公尺。

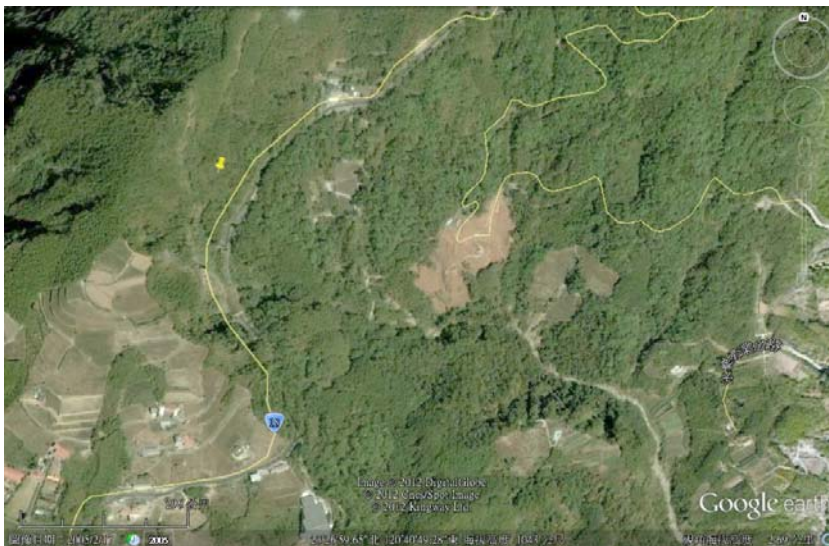


圖 25 圍滑動破壞前之衛星影像圖[7]

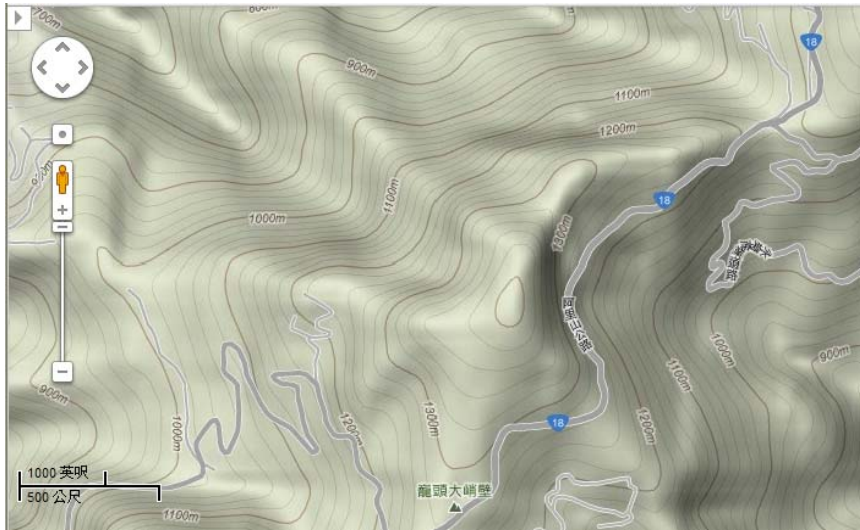


圖 26 鄰近地滑區滑動破壞前之地形圖[18]

首先藉由圖 26 所示地形圖可得本地滑區滑動破壞前之邊坡剖面圖，其次藉由現地剖面測量可得本地滑區滑動破壞後之邊坡剖面圖，最後彙整得如圖 27 所示之本地滑區滑動破壞前後之邊坡剖面圖。

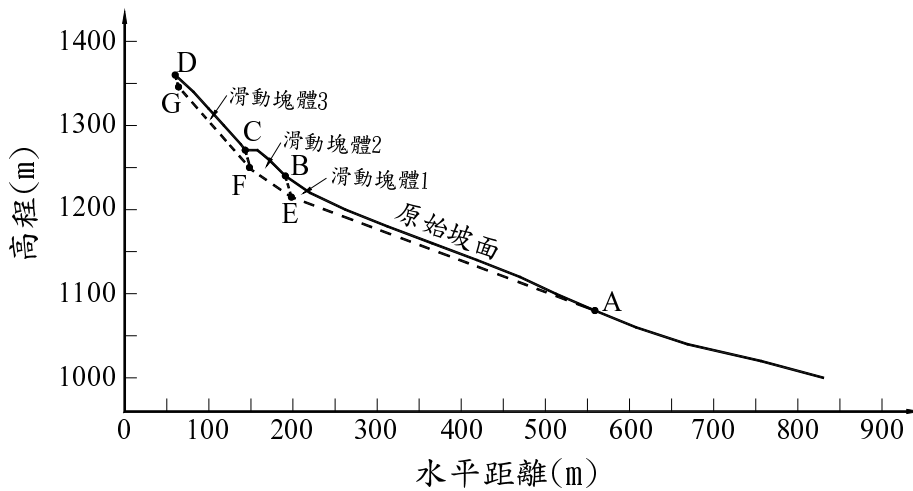


圖 27 主滑動破壞塊體之分析區劃

由於全區滑動破壞面 \overline{AEFGD} 過長，在整體滑動破壞機制下不易產生滑動破壞。藉由現地勘查結果及作者經驗得知本地滑區之滑動破壞係由圖 27 所示之滑動塊體 1 先行滑動破壞；之後，滑動塊體 2 在其下邊坡失去滑動塊體 1 支撐的情況下滑動破壞；最後，滑

動塊體 3 亦在其下邊坡失去滑動塊體 2 支撐的情況下滑動破壞。

4.5.1 滑動塊體 1 之邊坡穩定分析

對於滑動塊體 1 而言，由於潛在滑動破壞面長度 L 為 400 公尺、平均厚度 H 為 7.55 公尺、平均坡度 i 為 23.4° 、平均飽和單位重 γ_{sat} 為 21kN/m^3 、平均沒水單位重 γ_{sub} 為 11.193kN/m^3 ，潛在滑動破壞型式為脫層滑動破壞，因此主要滑動破壞係沿著與坡面接近平行之層面發生。由於滑動塊體 1 之潛在滑動破壞面長度 L 達 400 公尺、平均厚度 H 為 7.55 公尺，理論上可將其視為無限延伸之邊坡。

當滑動塊體 1 被視為無限延伸之邊坡時，邊坡穩定分析之安全係數可以採用式 1 計算：

$$FS = \frac{c_\alpha}{\gamma_{sat} H \sin i \cos i} + \frac{r_{sub}}{\gamma_{sat}} \cdot \frac{\tan \delta}{\tan i} \quad (1)$$

由於直接剪力試驗所得黏著力 $c_\alpha = 27\text{kPa}$ 、摩擦角 $\delta = 37^\circ$ 乃代表高度脆性破裂之粉質砂岩首次在頁岩上滑動之剪力抵抗強度參數。因此若黏著力 $c_\alpha = 27\text{kPa}$ 、摩擦角 $\delta = 37^\circ$ 及其他相關資料代入式(1)，可得在雨季期間滑動塊體 1 之高度脆性破裂之粉質砂岩首次在頁岩上滑動之邊坡穩定安全係數 FS 為 1.395。由於該安全係數值小於規範要求之數值 1.5，但卻大於 1.0，這可能是在過去適當長的一段時間內，本地滑區滑動塊體 1 尚趨於穩定的主要原因。

當本地滑區滑動塊體 1 在有感地震中持續慢速錯動時，剪力抵抗強度參數中之將由 27kPa 急遽降至 0，而摩擦角 δ 亦可能下降。

首先針對黏著力 $c_\alpha = 0$ ，而摩擦角及其他相關資料不變的情況下，由式(1)可得在雨季期間滑動塊體 1 之高度脆性破裂之粉質砂岩持續在頁岩上錯動後之邊坡穩定安全係數 FS 為 0.928；而藉由式(1)亦可反算得到當黏著力 c_α 降至等於 4.2kPa ，而摩擦角及其他相關資料不變時，在雨季期間滑動塊體 1 之高度脆性破裂之粉質砂岩持續在頁岩上錯動後之邊坡穩定安全係數 FS 為 1.0。

由此可知，在雨季期間滑動塊體 1 之高度脆性破裂之粉質砂岩持續在頁岩上錯動後，當黏著力 c_α 低於 4.2kPa 時，理論上滑動塊體 1 即有滑動之虞。

4.5.2 滑動塊體 2 之邊坡穩定分析

當滑動塊體 1 出現滑動破壞後，圖 28 顯示台 18 線 59.1 公里地滑區滑動塊體 2 及滑動塊體 3 之邊坡穩定分析區劃。

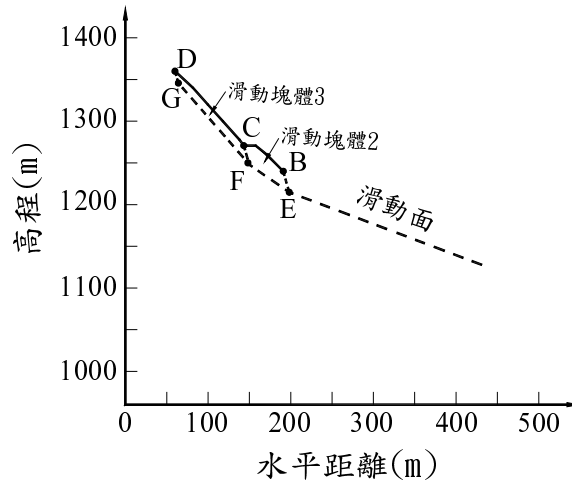


圖 28 滑動塊體 1 滑動破壞後之邊坡穩定分析區劃

對於圖 28 所示之滑動塊體 2 而言，由於滑動破壞型式屬於雙平面之脫層滑動破壞，因而可以藉由作者發展的 PLANE.EXE 程式進行邊坡穩定分析。

由於滑動塊體 2 之邊坡穩定分析係在滑動塊體 1 出現滑動破壞後，因此在滑動塊體 2 之邊坡穩定分析中，剪力抵抗強度參數之黏著力 c_a 將採用 4.2kPa、摩擦角 $\delta = 37^\circ$ 。

藉由 PLANE.EXE 可求得安全係數 $FS=0.985$ ；換句話說，倘若滑動塊體 2 持續在有感地震中錯動，之後又在颱風豪雨期間失去下邊坡支撐及浸水，在這種情況下滑動塊體 2 即趨於不穩定，進而出現雙滑動平面之滑動破壞。

事實顯示本地滑區在 2009 年 6 月與 7 月確實存在不尋常的月有感地震，黏著力 c_a 因而會由 27kPa 下降至 4.2kPa，滑動塊體 1 滑動破壞後，滑動塊體 2 將緊跟著滑動破壞。

4.5.3 滑動塊體 3 之邊坡穩定分析

當滑動塊體 1 與滑動塊體 2 滑動破壞後，圖 29 顯示台 18 線 59.1 公里地滑區滑動塊體 3 之邊坡穩定分析區劃。

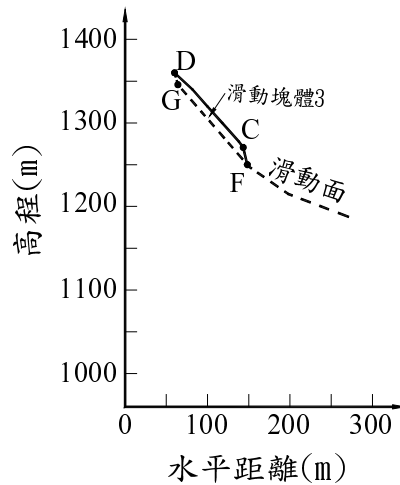


圖 29 滑動塊體 1、2 滑動破壞後之分析區劃

由於滑動塊體 3 緊鄰滑動塊體 2，且滑動塊體 3 之滑動破壞面甚陡，因此滑動塊體 2 緊隨滑動塊體 1 滑動破壞後，滑動塊體 3 之黏著力 c_α 即使不降低，也可能無法在失去下邊坡支撐後保持穩定；因此該項邊坡穩定分析將僅針對原試驗結果之黏著力 c_α 及摩擦角 δ 。

針對上述分析條件，滑動塊體 3 之雙滑動平面邊坡穩定分析所得安全係數 FS 為 0.124；換句話說，當滑動塊體 1 與緊隨滑動塊體 2 滑動破壞後，滑動塊體 3 在失去下邊坡支撐的情況下，滑動驅策力遠大於滑動抵抗力，在這種情況下，滑動塊體 2 滑動破壞後瞬間，即使黏著力 c_α 不下降，滑動塊體 3 亦會滑動破壞。

五、造成大規模地滑原因之比較

本地滑發生於 2009 年 8 月 8 日，藉由圖 23 所示年有感地震發生次數分佈圖，得知本地滑災變恰好發生在年有感地震發生次數最多的一年；而藉由圖 24 所示月有感地震發生次數分佈圖，亦顯示本地滑發生前兩月之月有感地震發生次數係歷年來月有感地震次數最多且最不尋常的二個月；之後本地滑即在莫拉克颱風過境時發生。

其次，由圖 16 得知本地滑區 2009 年之年雨量，在 2004 年至 2010 年中排行第五；且由行政院農委會水土保持局 98 年莫拉克颱風重大土石災例最速報[17]得知地滑發生之

起始時間為 8 月 8 日 1 時，當時鄰近地滑區之瀨頭雨量站時雨量為 31mm，該時雨量僅為莫拉克颱風期間該雨量站最大時雨量 71mm 之 43.7%(詳圖 30)；而至地滑發生時之有效累積雨量為 560mm，該有效累積雨量僅為莫拉克颱風期間該雨量站最大有效累積雨量 1900mm 之 29.5%。因此，對於山區因脫層滑動造成的大規模地滑而言，滑動塊體在有感地震中持續錯動，進而造成剪力抵抗強度參數中黏著力 c_u 之降低，之後並不需要在最大年雨量、最大時雨量或最大有效累積雨量之條件下，邊坡即趨於不穩定。

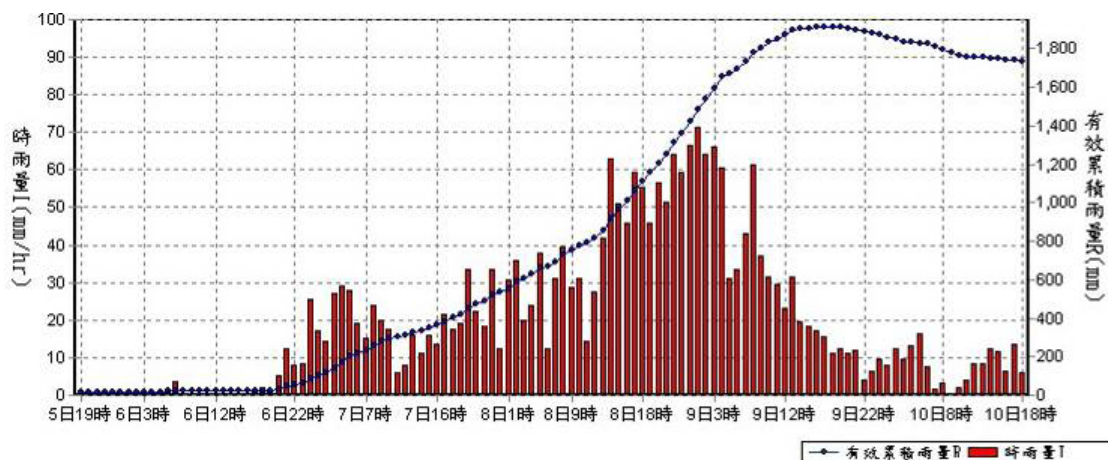


圖 30 莫拉克颱風期間瀨頭雨量站資料[19]

又因山區公路邊坡之不穩定僅局部出現，在排除人為因素的情況下，這種山區公路邊坡之不穩定大都源於局部化變形所產生的剪裂帶岩石之脆性破裂；而剪裂帶岩石之脆性破裂程度又會隨有感地震之持續發生而增加，進而不需要在最大年雨量、最大時雨量或最大有效累積雨量之情況下，即可出現大規模地滑。就如同木必自腐而後蟲蛀之一般，當堅硬的岩石不存在剪裂帶時，或剪裂帶岩石脆性破裂程度低時，即使出現最大年雨量、最大時雨量或最大有效累積雨量，亦不會造成公路邊坡之滑動破壞。反之，當剪裂帶岩石脆性破裂程度持續增加後，即使是在無風、無雨、無地震的情況下，公路邊坡亦可能出現類似國道 3 號 3.1 公里處之滑動破壞現象。

六、結論與建議

1. 藉由變位地形特徵、總剪裂帶寬範圍之剪裂帶構造及剪裂帶類型等觀念，輔以衛星影像圖、地拍影像圖、地表位移速度向量分佈圖，可辨識本地滑區存在四群剪裂帶，其

走向分別為 N2°W、N33°E、N65°W 及 N76°E。

2. 台 18 線 59.1 公里處之大規模地滑係在 2009 年 8 月 8 日發生，地滑發生時，較接近該地滑區之瀨頭站最大年雨量、最大時雨量或最大有效累積雨量均非最大；由此可知最大年雨量、最大時雨量或最大有效累積雨量均非地滑發生之關鍵因素。
3. 最近八年台灣年有感地震發生次數排名依次為 2009 年、2011 年、2010 年、2005 年；而月有感地震發生次數排名依序為 2009 年 6 月、2009 年 7 月、2005 年 5 月、2011 年 7 月。由此可知地滑發生當年之有感地震發生次數連同地滑發生前之月有感地震發生次數應是地滑發生之關鍵因素。
4. 藉由台 18 線 59.1 公里處大規模地滑之模擬試驗及邊坡穩定分析顯示該地滑主滑動方向為 N65°W；全區可區分為 3 段，亦即下邊坡坡度較緩的(平均 23.4°)滑動塊體 1、包含原台 18 線公路在內之滑動塊體 2、及原台 18 線公路上邊坡之滑動塊體 3。因滑動塊體 1 長達 400 公尺，藉由無限延伸之邊坡穩定分析結果顯示該邊坡在黏著力隨塊體知錯動而降低後，才會在浸水後滑動破壞；滑動塊體 2 亦復如此，唯一不同的是滑動塊體 2 屬於雙滑動平面之脫層破壞，且滑動破壞僅在失去下邊坡支撐及浸水後才會發生；而滑動塊體 3 亦屬於雙滑動平面之脫層破壞，但因坡度過陡，一旦失去下邊坡支撐，滑動破壞立即發生。
5. 山區公路邊坡，剪裂帶岩石之脆性破裂程度持續在有感地震中增加時，滑動面上剪力抵抗之黏著力 c_α 隨之降低，滑動塊體將由靜止狀態轉變為慢速滑動狀態，剪力抵抗之摩擦係數將由靜摩擦係數下降為滑動摩擦係數；當滑動塊體由慢速滑動狀態轉變為快速滾動狀態時，剪力抵抗之摩擦係數將由滑動摩擦係數下降為遠小於 0.1 的滾動摩擦係數。故知剪力抵抗之黏著力 c_α 若因剪裂帶岩石脆性破裂程度增加或滑動塊體之滑動而降低，摩擦係數一旦隨滑動速度之增加而降低時，公路邊坡即可能在無風、無雨、無地震的情況下出現滑動破壞；因此降水量並非公路邊坡滑動破壞之關鍵因素。
6. 滑動面之剪力抵抗強度包含黏著力 c_α 與摩擦力($\sigma'_n \tan \delta = (\sigma_n - u) \tan \delta$)；當黏著力 c_α 適當高時，即使摩擦力不存在，公路邊坡依然能夠保持穩定；因此，雨量對公路邊坡穩定性之影響只局限於持續保持靜止之脆性破裂的剪裂帶岩石邊坡。倘若黏著力 c_α 為零，總應力 σ_n 保持不變，則有效應力 σ'_n 隨孔隙水壓力 u 之增加而減小。對於脆性破裂的剪裂帶岩石邊坡而言，當孔隙空間充滿水時，孔隙水壓力 u 增至最大，有效應力

σ'_n 相對地降至最低。因此在摩剪力降低過程中，雖然需要一些雨量配合，但事實顯示脆性破裂的剪裂帶岩石邊坡之滑動破壞卻與最大年雨量、最大時雨量或最大有效累積雨量無關。

7. 基於上述結論建議未來研擬豪雨季山區公路交通管制預警值及行動值時，應先辨識剪裂帶、區劃剪裂帶岩石脆性破裂程度及滑動破壞機制，再利用傾斜儀監測邊坡滑動速度，藉以掌握摩擦係數隨滑動狀態之改變而降低情形，進而能夠評估邊坡滑動破壞與剪裂帶岩石脆性破裂程度及孔隙空間充滿水所需雨量，如此才能有效掌握山區公路滑動破壞位置與發生時機，因而能夠大幅縮小交通管制範圍及交通管制時段。

參考文獻

1. Evans B., and T.-F. Wong, "Shear Localization in Rocks Induced by Tectonic Deformation," in Mechanics of Geomaterials: Rocks, Concrete, Soils, Part IV, Shear Localization, Faulting, and Frictional Slip, ed. Bazant, Z. P., John Wiley and Sons, pp. 189-210, 1985.
2. 池田俊雄等共編，從活斷層調查到耐震設計，鹿島出版會，日本，2000。
3. 林朝宗，遙測影像判釋在構造地質研究的應用，中國文化大學，1988。
4. Steven Earle, "A Simple Model of a Transform Fault at a Spreading- Ridge, Journal of Geoscience Education," Vol. 52, No. 4, pp. 391-392, 2004.
5. Davis G. H., Bump A. P., Garca P. E., Ahlgren S. G., "Conjugate Riedel deformation band shear zones," Journal of Structural Geology, Vol. 22, No. 2, pp. 169-190, 2000.
6. Whitney, C. H., Earth Pressures and Retaining Walls, New York, 1957.
7. Google Earth網址：<http://www.google.com/earth/index.html>
8. Hertzberg, Richard W., Deformation and fracture mechanics of engineering materials, John Wiley & Sons, New York, 1983.
9. Hsu, Tse-Shan, Capturing Localizations in Geotechnical Failures, Ph.D. Dissertation, Civil Engineering in the school of Advanced Studies of Illinois Institute of Technology, 1987.
10. Christopher H. Scholz, The Mechanics of Earthquakes and Faulting, Cambridge University Press, Cambridge, 2002.
11. 中國中央電視台CCTV/COM焦點訪談：汶川大地震為何破壞巨大，第一、二集主持人敬一丹，第三、四集主持人方敬，2008。網址：

<http://www.youtube.com/watch?v=e1uwVPUDgyc>

<http://www.youtube.com/watch?v=UsyBsnzUOrU>

<http://www.youtube.com/watch?v=OOpZZaIcJvc>

<http://www.youtube.com/watch?v=jyai4oueGHE>

12. 川島 一彦、西岡 勉高橋 良和、秋山 充良、渡邊 学歩、古賀 裕久、松崎 裕，土木学会東日本大震災被害調査団-緊急地震被害調査報告書第9章橋梁の被害調査，平成23年4月10日，日本土木学会地震工学委員会，網址：
http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/Chapter9-1_0.pdf
http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/Chapter9-2_0.pdf
13. Yoshikazu Takahashi, “Damage of Rubber Bearings and Dampers of Bridges in 2011 Great East Japan Earthquake,” Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, Tokyo, Japan, pp. 1333-1342, March 1-4, 2012.
14. Sibson, R. H., Moore, J. and Rankin, A. H., “Seismic pumping---a hydrothermal fluid transport mechanism,” Journal of Geological Society, Vol. 131, pp. 653-659, 1975.
15. 劉憲德，臺灣坡地社區工程地質調查與探勘報告，經濟部中央地質調查所，1999。
16. GPS LAB 網址：<http://gps.earthsinica.edu.tw>
17. 中央氣象局全球資訊網地震活動彙整，網址：
http://www.cwb.gov.tw/V7/earthquake/rtd_eq.htm
18. google map網址：<http://maps.google.com/>
19. 行政院農委會水土保持局，98年莫拉克颱風重大土石災例最速報，網址：
<http://88flood.swcb.gov.tw/files/pdf/98%E5%B9%B4%E8%8E%AB%E6%8B%89%E5%85%8B%E9%A2%B1%E9%A2%A8-%E5%98%89%E7%BE%A9%E9%98%BF%E9%87%8C%E5%B1%B1-002.pdf>

道路交通島設計思維之初步研究

徐耀賜*、張舜棋**、許東瀚***、劉恩任***

摘要

平面相交公路之車輛，在平面交叉路口 (At-Grade Intersections) 之車流可能是直行或轉向，因而產生車流間之相互縱橫干擾，進而影響通行能力。在相同車道數之情況下，平面交叉口之通行能力應小於正常路段之通行能力，此乃導致相交公路之交通量未達設計容量之時，交叉口處已接近或達到飽和，因而造成平面交叉處之交通擁擠。如再加上行人與機車之穿插交會更易使平面交叉處產生事故，使其成為交通安全之敏感地帶。基於此，為了增進平面交叉路口交通安全性之交通島便成為道路工程設計領域之重點之一。本文之主旨即在於廣泛、初步探討交通島於台灣地區各官方規範、手冊中之內容，指點其疑義，並提出改善建議。

一.前言

台灣地區道路平面交叉路口交通島設計之依據有四，即交通部頒佈之「交通工程手冊」[1] 及「公路路線設計規範」[7]、內政部頒佈之「市區道路及附屬工程設計規範」[2] 及「市區道路交通島設計手冊」[3]。其中「交通工程手冊」[1] 與「公路路線設計規範」[7] 係針對公路系統，而「市區道路及附屬工程設計規範」[2] 與「市區道路交通島設計手冊」[3] 則是針對市區道路。然針對前述各規範、手冊中與交通島有關之內容，吾人深覺其中有部分內容尚有疑義，對規劃設計者易造成誤導。故本文之主要目的乃在於初步探討交通島於前述各規範、手冊中之內容，明確指出其疑義之處，並提出具體之改善建議，以供公路、道路主管單位參卓。

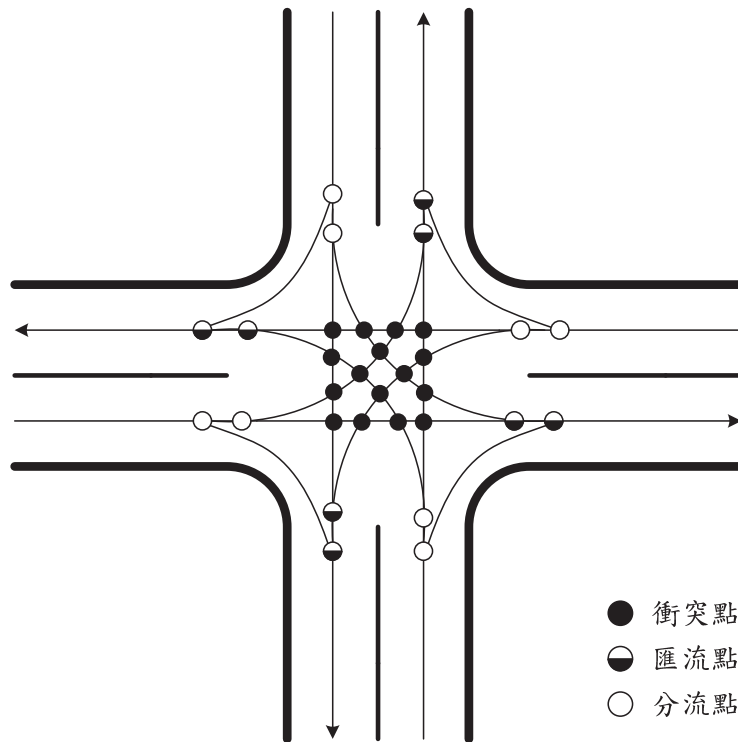
*逢甲大學運輸科技與管理學系副教授

**逢甲大學運輸科技與管理學系碩士

***逢甲大學運輸科技與管理學系研究生

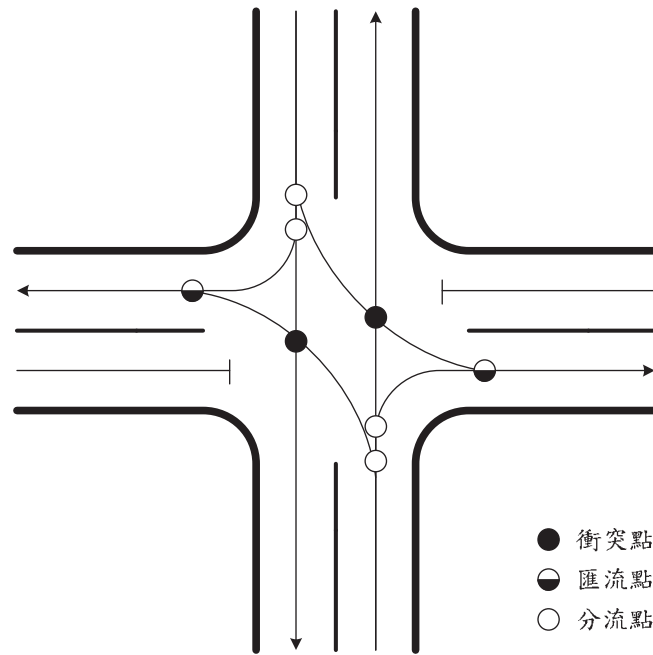
二.平面交叉路口之衝突點

如圖一所示，於典型之無號誌十字型平面交叉路口，車流之動線可能是直通式之穿越(Crossing)與轉向(Turning)，其中轉向亦可再分為右、左轉向或匯流(Merging)與分流(Diverging)，由於動線複雜，故車流之間產生衝突之機會甚大。故圖一所示，其可能產生之衝突點(Conflict Points)計有十六點，此外，匯流與分流各有八點。如以更嚴格之論點看待，將分流點與匯流點歸為衝突點，則如圖一所示，衝突點將增為三十二個，且大部份之衝突點皆是由左轉而造成。



圖一 無號誌平面交叉路口之可能衝突點分佈圖

前述圖一所示之平面交叉若增設號誌加以管制，則可將潛在之衝突點降至 2 個，此外匯流點 2 個，分流點 4 個，如圖二所示。然無論如何，平面交叉路口之號誌，無法全然消除可能發生之衝突點，唯一可行之方法則是增設交通島。



圖二 號誌化平面交叉路口之可能衝突點分佈圖

三. 交通島定義之迷思

依中華民國交通部頒布之「交通工程手冊」[1]，設置交通島(Traffic Islands)之目的在於：“運用交通島將平面交叉路口之複雜交通流入有規則的路線，分流、引導或管制可能發生衝突之地點，以增加交通流量，促進交通安全和提供交通之最大便利”。此殊無疑義，根據「交通工程手冊」[1]，交通島之主要使用場合乃是平面交叉路口。

依「交通工程手冊」[1]，交通島可分為下列四大類，即：1.分隔島(中央分向島、中央分隔帶、快慢車分隔島)；2.槽化島(Channelized Islands)；3.庇護島(Refuge Islands)；4.圓環中心島。而槽化島又再細分為導向島、分隔島及庇護島。

讀者如仔細觀之，便可清楚發現「交通工程手冊」[1] 對交通島之分類似模糊不清，何以槽化島之分類亦包含分隔島及庇護島？“島中有島”、“島中有帶”之現象究屬必須，或是因為其他原因而必須如此分類，筆者在此擬深入探討。

台灣地區與交通工程相關之各式規範、手冊皆是參考美國、日本與德國等先進國家而編訂，前述交通島之分類起源亦參卓美國AASHTO規範[4] 而來。依AASHTO規範[4]，設計交通島之主要目的有八，即；

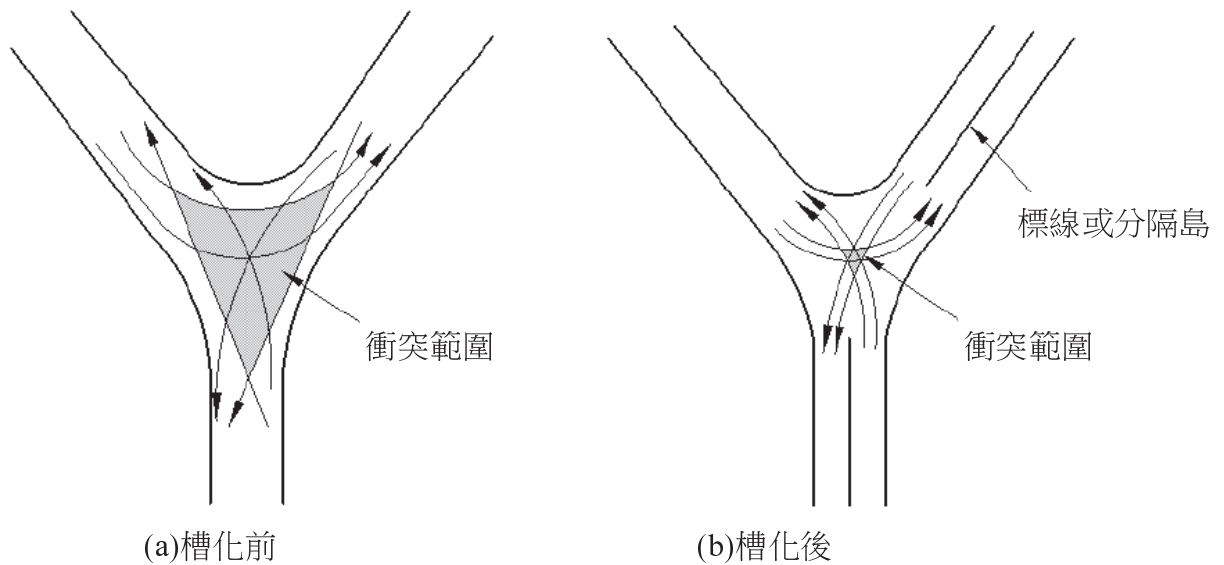
1. Separation of conflicts.
2. Control of angle of conflict.
3. Reduction in excessive pavement areas.

4. Regulation of traffic and indication of proper use of intersection.
5. Arrangements to favor a predominant turning movement.
6. Protection of pedestrians.
7. Protection and storage of turning and crossing vehicles.
8. Location of traffic control devices.

中華民國交通部頒布之「交通工程手冊」[1] 亦參考 AASHTO 規範[4] 之內容而稍加補充與修飾，詳述設置交通島之主要功能亦有八大項，即：

1. 縮小衝突範圍或減少交叉點

交叉路口如全部鋪設路面，則駕駛人有較大自由度，無所適從，易生衝突，須藉設置標線或交通島，使衝突之範圍縮小或減少交叉點，以便控制。如圖三所示，佈設交通島使原交叉路口之鋪面面積減少，其確實有使衝突區縮小或衝突點減少之優點，此論點殊無疑義。

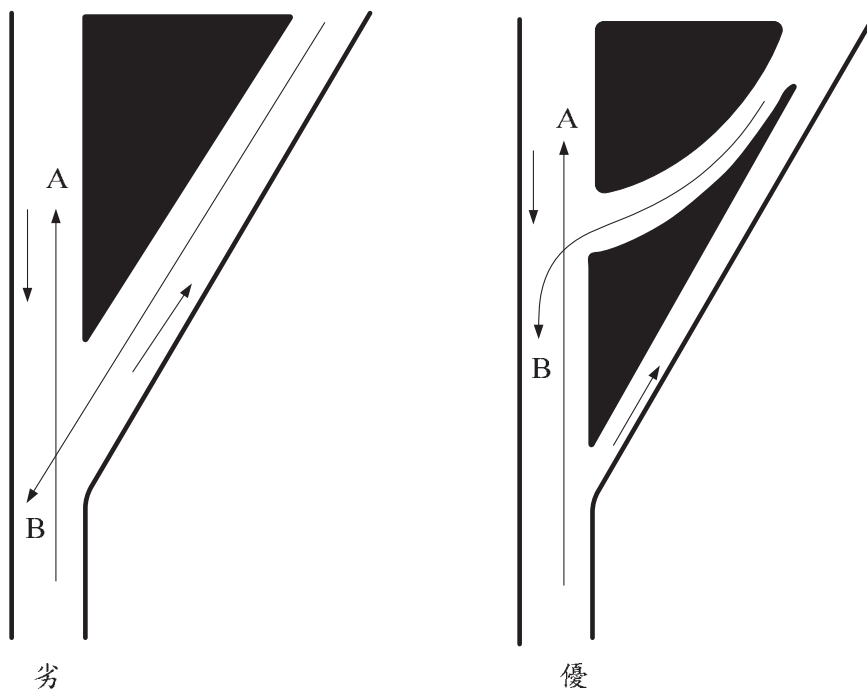


圖三 交叉路口槽化前、後衝突範圍比較示意圖[1]

2. 使穿越車流為 90° 或近於 90° 相交

兩個相互穿越之車流，交角為直角或 $75^\circ \sim 105^\circ$ 範圍最為理想，其優點為：

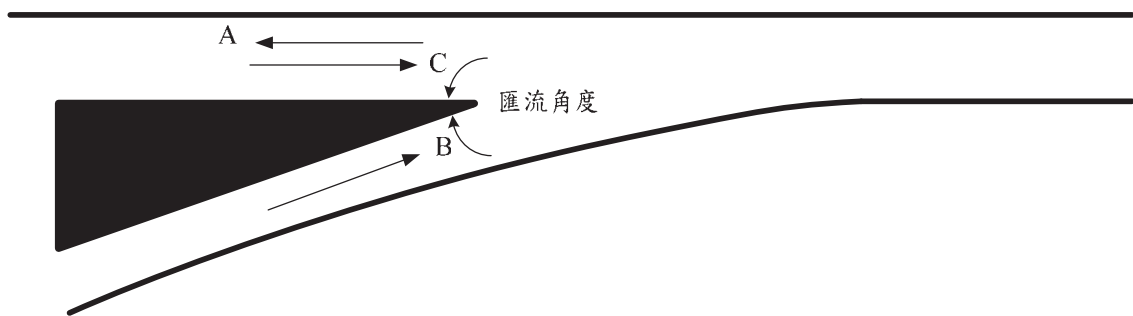
- a. 減少衝突之範圍或減少交叉點。
- b. 減少對向車輛交叉時間。
- c. 減低相對速度與衝擊力。
- d. 使駕駛人可選擇有利的條件以判斷安全通過的時間。如圖四所示，將兩交叉之角度修正，則 B 車便可近於 90° 穿越，B 車與 A 車衝突之機會將變小。



圖四 改善相交角度使車流為 90°或近於 90°相交示意圖(改繪自文獻[1])

3. 使車輛以小角度匯入

利用設置交通島使匯流(Merging)交通有較長之路段與時間，徐徐匯入車流之中，以免阻斷主線之交通或減少其容量。如圖五所示之例，即使位於無號誌交叉路口，B 車亦有充足時間可以適時匯入同向(C 車)之車流之中。由車流理論觀之，匯流交通以小角度匯入主線車流較具安全性，例如高速公路之加速車道與主線如平行佈設，則其匯流角度便是零度。

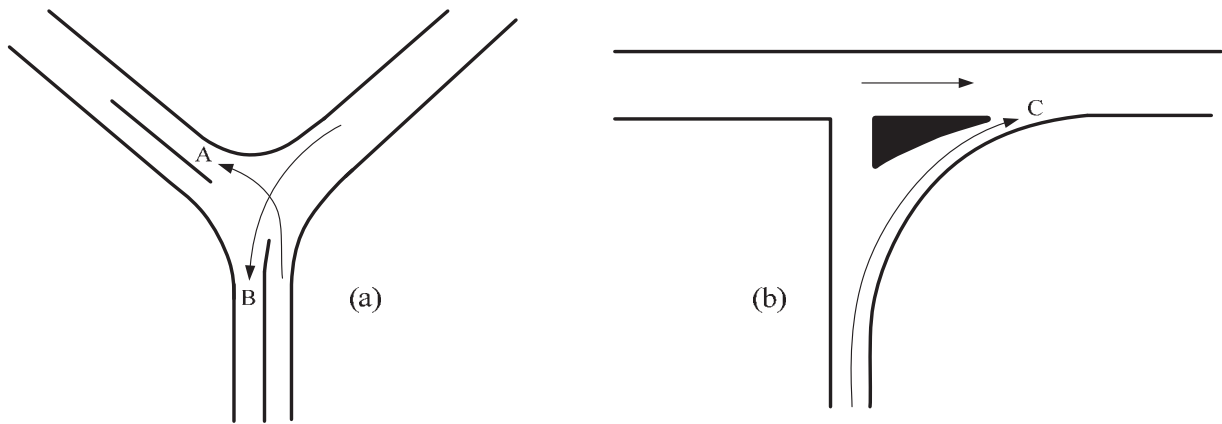


圖五 小角度匯流運行示意圖(改繪自文獻[1])

4. 減緩車輛速率

如圖六所示，於交叉路口處可佈設彎道式或漏斗式槽化設施以達減緩車輛速率(A、

B、C 車)之目的，此舉對增進交通安全有明顯助益。圖六(b)中之漏斗式槽化島實為通稱之三角形槽化島。



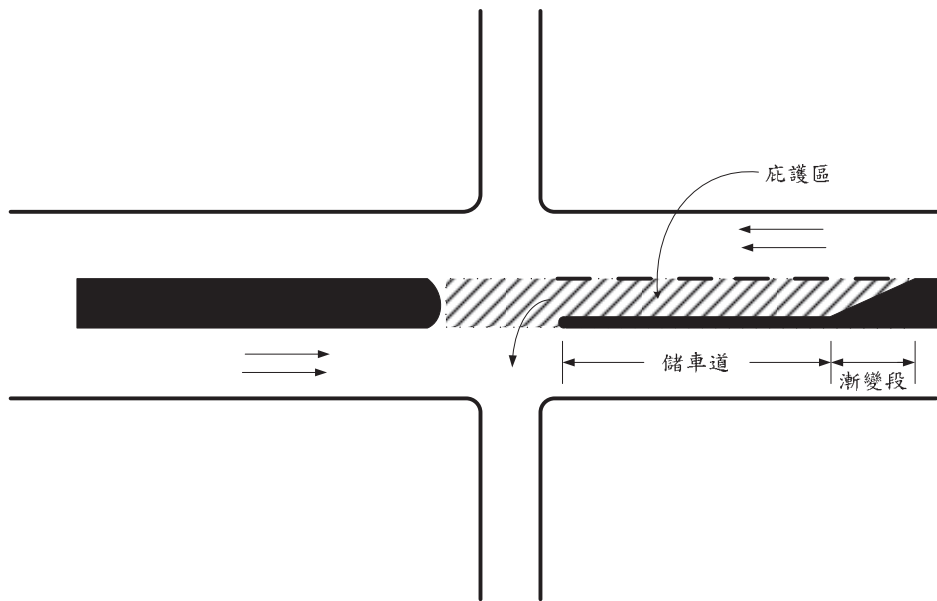
圖六 彎道式及漏斗式槽化設施示意圖(改繪自文獻[1])

5. 交叉路口設置之轉向車道及行人庇護島，可供交叉車輛、轉向車輛、騎自行車者及行人暫時停留以等候跨越或轉向。在此吾人必須強調，凡對車輛或行人具有庇護功用之交通島均可以庇護島稱之，例如圖七所示乃典型之行人庇護島，位於快車道與人行道之間。



圖七 典型之行人庇護島

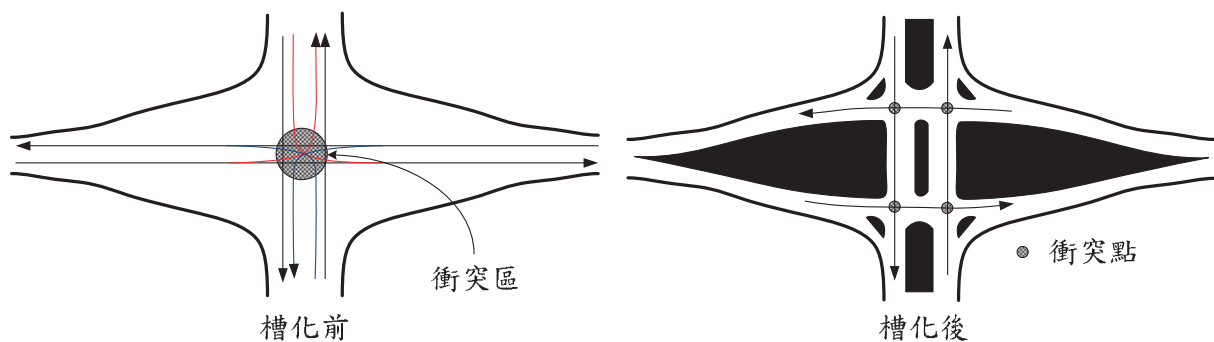
圖八所示則為中央左轉專用車道提供之庇護區示意圖，此處之中央左轉專用車道乃「交通工程手冊」[1]中之名稱，其在「市區道路交通島設計手冊」[3]中則由儲車道(Storage Lane)與漸變段(Taper)共同組成。



圖八 運用槽化設施供作庇護區示意圖(改繪自文獻[1])

6. 分散可能衝突之點

為避免各轉向車流之衝突過份集中於某一範圍，可透過槽化島加以區隔轉向動線，藉以分散可能衝突地點。圖九所示乃典型之例，一個偌大之衝突區可利用交通島之佈設而將其分散為數個獨立之衝突點。此立論殊無疑問，衝突區愈大，則造成交通事故之機會愈高，且一旦發生事故，其嚴重性必較大。

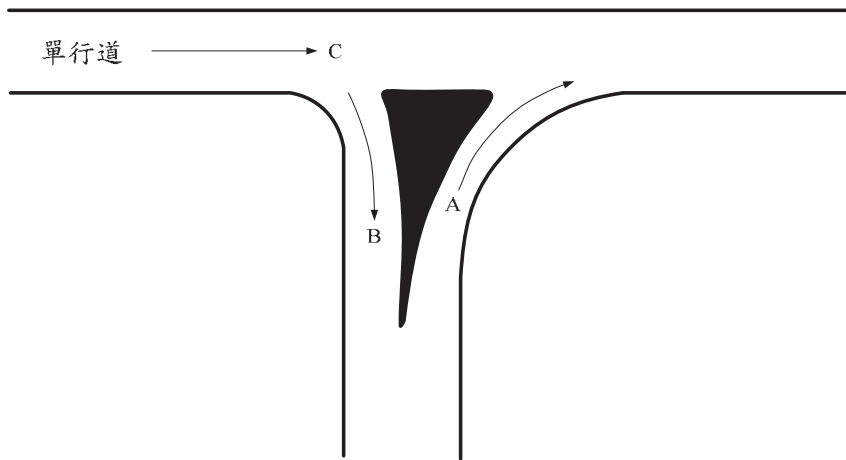


圖九 運用槽化設施隔離衝突點示意圖(改繪自文獻[1])

7. 防止錯誤的轉向

於交叉路口可佈設槽化島以避免車輛有錯誤之轉向，例如圖十所示，A 車因槽化島之佈設而自然轉向，其與右轉之 B 車必無衝突之疑慮，同時 A 車有充份時間以

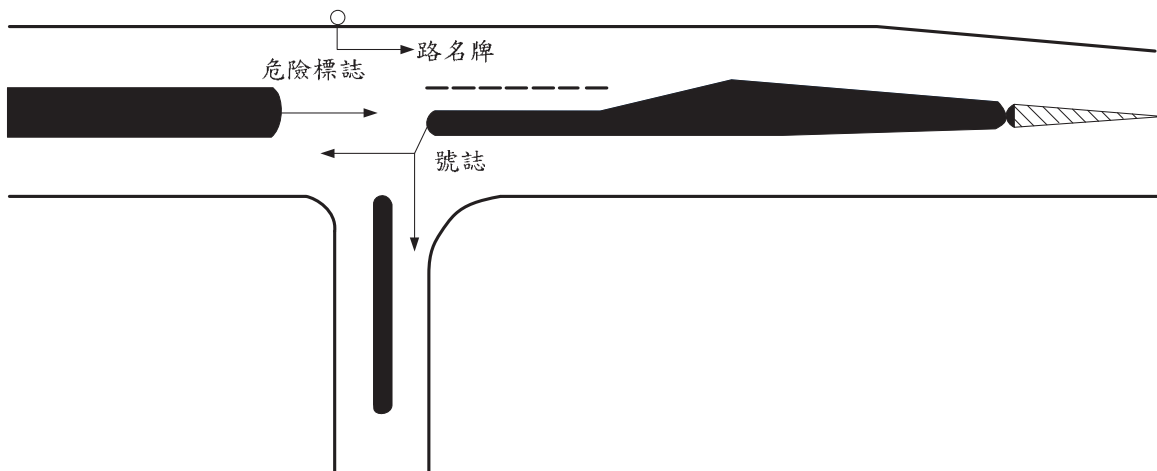
小角度適時匯入 C 車之行車方向之中。



圖十 運用槽化設施防止錯誤轉向示意圖(改繪自文獻[1])

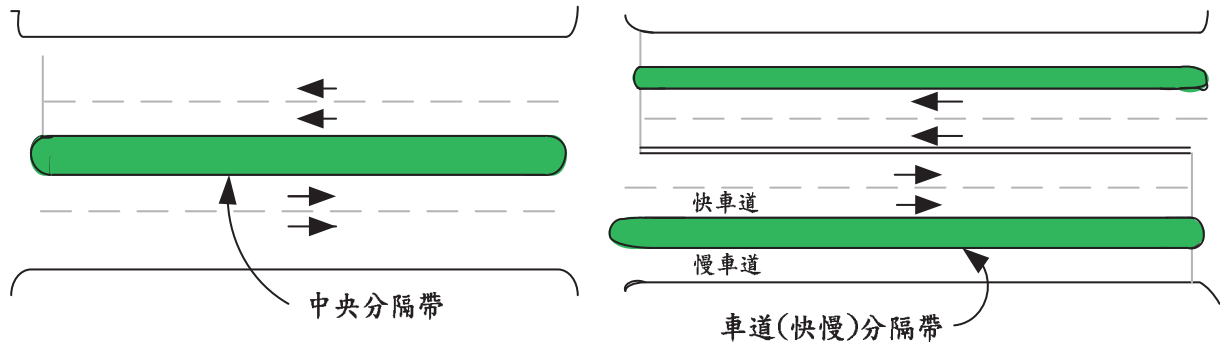
8. 提供適當地點裝設交通管制或安全設施

交通島有獨立空間，故可提供適當地點裝設交通管制或安全設施，例如號誌、標誌與路名牌，如圖十一所示。



圖十一 運用槽化設施供設置交通管制設施示意圖(改繪自文獻[1])

如依「市區道路交通島設計手冊」[3]，設置交通島之主要功能除了前述八項之外，其亦可分隔對向車流或快慢車流，以增進交通安全，如圖十二所示。



圖十二 分隔帶設置示意圖(改繪自文獻[3])

綜合前述及圖十二，吾人可清楚看出，針對交通島之功能而言，「交通工程手冊」[1]中之內容較著重於交叉路口，對路段部份著墨甚少。然「市區道路交通島設計手冊」[3]對路段部份之描述較多。

吾人如再審視「市區道路及附屬工程設計規範」[2]，其中詳明交通島之功能與交通工程手冊[1]雷同，均區分為以下四類，即：

1. 分隔島：用以分隔對向車流或分隔快慢車輛之用，包括中央分隔島、車道(快慢)分隔島等。
2. 槽化島：用以引導車輛進入適當之動線。
3. 庇護島：供行人及騎腳踏自行車者於穿越道路時，臨時暫停庇護之用。
4. 圓環中心島：多條道路採平面交叉時，用以引導循反時鐘方向繞行，以交織替代直接交叉藉此達成交通順暢之目的。

同樣是針對市區道路，「市區道路交通島設計手冊」[3]則將交通島之功能分為四類，即：1.分隔帶、2.槽化島、3.庇護島、4.圓環中心島。仔細讀之，讀者應可發現，此手冊[3]與「市區道路及附屬工程設計規範」[2]之最大差別在於“分隔帶”與“分隔島”。

綜合前述，仔細比較「交通工程手冊」[1]、「市區道路及附屬工程設計規範」[2]與「市區道路交通島設計手冊」[3]，吾人便可清楚發現，前述三者[1-3]針對交通島分類之最大差別乃是分隔島、分隔帶與槽化島，且名稱甚多樣，如表一所示。

表一 分隔島、槽化島於各規範、手冊中之分類比較

規範或手冊	交通島之種類	分類
交通工程手冊 (民國 99 年)	分隔島	中央分隔島、中央分隔帶、快慢車道分隔島
	槽化島	導向島、分隔島、庇護島
市區道路及附屬工程 設計規範 (民國 98 年)	分隔島	中央分隔島、快慢車道分隔島
	槽化島	未明文分類，僅提到槽化島可能是三角形、長條形
市區道路交通島 設計手冊 (民國 92 年)	分隔島	手冊中無分隔島之名稱，其係以分隔帶稱之，亦可再細分為中央分隔帶、快慢車道分隔帶
	槽化島	導向島、分向島

四.專業名詞之一致性

從工程專業之角度觀之，官方頒佈之各式規範與手冊皆具領航者之角色，其乃各規劃設計單位(含個人)遵循與參考之依據，故官方頒佈之各規範與手冊中之專業名詞宜統一，以免造成困擾。茲舉數例說明之。

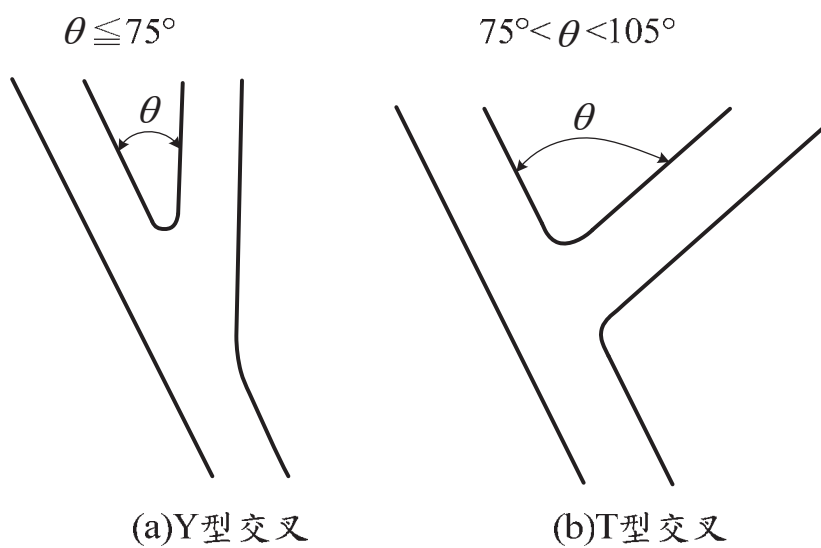
例一：分隔帶抑或分隔島

由前述表一可清楚看出，分隔帶(Divisional Strip)與分隔島(Divisional Island)似混淆不清，無明顯界定。一字之差，含意可能差之千里。依 AASHTO 規範[4] 中對“帶”(Strips)之定義，其乃具有一定寬度以上之長條形土地或人工構造物，且公路工程實務上，大部份都輔以道路綠美化之複層植栽帶，例如多車道公路對向車流間之“Median Strip”(中間帶)。反觀之，“島”(Islands)則是指局部性、孤立性之交通安全設施。故嚴格而論，分隔帶與分隔島之使用對象應有所區別，亦即分隔帶應存在於道路之長路段上，而分隔島應使用於交叉路口及其緊鄰之處所。故“帶”之長度與總面積均應明顯比“島”大許多。

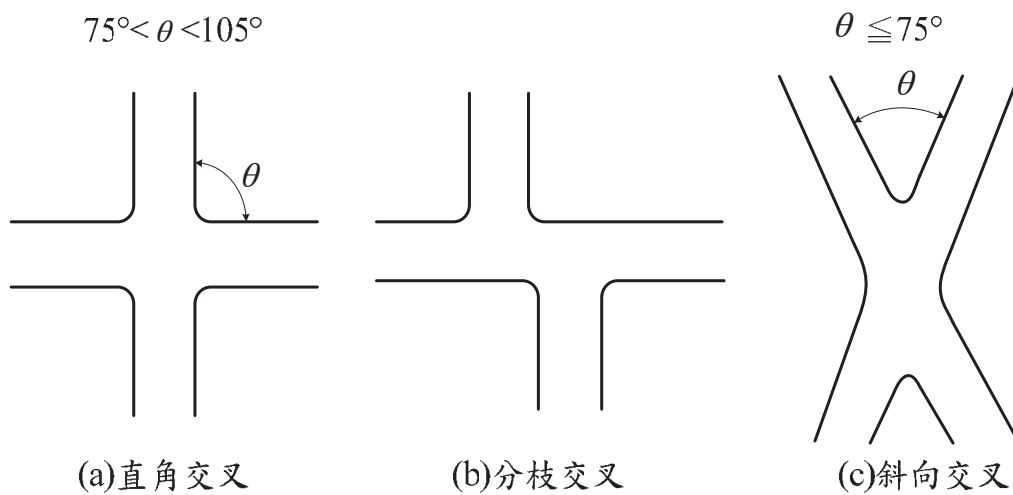
例二：平面交叉之類型

依「交通工程手冊」[1]，針對平面交叉之類型，其可分為三路交叉、四路交叉、多路交叉(參考圖十三至十五)及環形交叉與分隔帶開口。而「市區道路及附屬工程設計規範」[2] 與「公路路線設計規範」[7] 則以三支交叉、四支交叉、多支交叉、環形交叉及

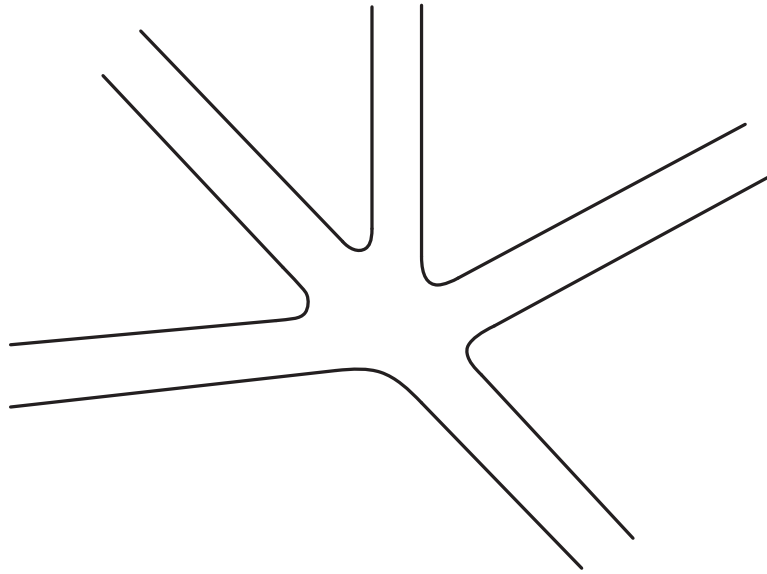
分隔帶開口稱之。



圖十三 三路交叉示意圖 [1]



圖十四 四路交叉示意圖 [1]



圖十五 多路交叉示意圖 [1]

針對平面交叉類型而言，筆者認為「公路路線設計規範」[7] 較合理。因為在甚多情況下，由道路名稱觀之，三路交叉不見得是三條不同路名之道路交匯，例如四支交叉可能只是兩條不同路名之道路相交叉，三支交叉可能只有一條道路與分支之街道交匯。

例三：設計車輛

公路設計時依公路等級、交通功能、地區等類別所預定行駛之車輛種類作為設計標準，稱為設計車輛(Design Vehicles)。公路橫斷面之路幅組成、曲線彎道加寬量、交叉路口設計、縱坡(Grade)、視距(Sight Distance)等皆與設計車輛外型尺寸有密切相關。故選擇具代表性之車輛作為設計依據(即設計車輛)非常重要。設計車輛是「市區道路交通島設計手冊」中之正式名稱，然其在「公路路線設計規範」[7] 與「市區道路及附屬工程設計規範」[2] 中以“設計車種”稱之。而「交通工程手冊」[1] 中則是“設計車輛”與“設計用車”混合使用。

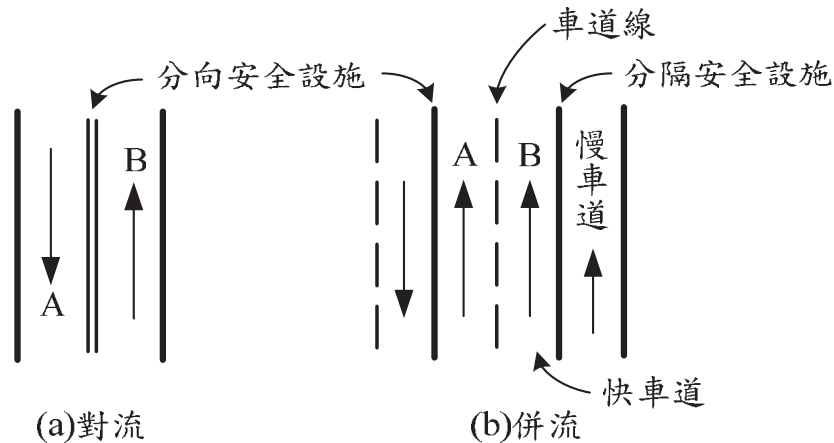
五.車流描繪之統一性

細讀前述官方頒佈之各規範、手冊[1-3, 7]，吾人可發現，針對平面交叉路口及其鄰近路段之車流狀況描述似未臻清晰，例如「匯出」、「流入」、「併入」、「分出」、「岔出」等均易造成困擾。為釐清各式車流之含意，首先必須確立車流動線之內涵。

由交通工程之車流理論觀之，完整之車流狀況可分為下列數種，即:1.併流 2.對流(對

向車流，簡稱對流，或逆向車流，簡稱逆流)3.匯流 4.分流(Diverging) 5.穿越 6.跨越 7.轉向 8.交叉 9.交織(Weaving)。茲詳細說明如下，同時建議採用一些新專業名詞供讀者參考。

圖十六所示乃長路段上之對流、併流示意圖。併流意指車輛沿同方向但不同車道而同時行進。對流則是對向車流之簡稱，兩車行方向間之分向安全設施與車道數及道路等級有關。如屬雙車道(單向一個車道)，則分向安全設施必為黃色標線(亦可能輔以反光路面標記)。如為高、快速公路，則分向安全設施必為中央護欄，例如紐澤西混凝土護欄或含植栽帶之鋼板式護欄。



圖十六 對流、併流示意圖

如為郊區多車道公路，則分向安全設施可能是如圖十七(a)所示之中央分向帶與圖十七(b)所示之中央分向島，其旁側為中央左轉專用道。圖十八所示則是市區道路常見無左轉專用車道之中央分向帶、中央分向島。



(a)中央分向帶



(b)中央分向島

圖十七 郊區公路中之中央分向帶與中央分向島



(a)中央分向帶



(b)中央分向島

圖十八 市區道路中典型之中央分向帶、中央分向島

在此，筆者強烈建議“分向”與“分隔”宜用來代表不同意涵，分向係針對對流交通；反之，分隔則是針對併流交通。故中央分向帶之含意有三，即 1.位於道路中央，2.其主要功能為分開對向車流，3.其為某一寬度以上之植栽帶。同理，中央分向島之含意亦有三，前兩項與中央分向帶相同，惟其寬度僅為 50 公分左右之混凝土構造物，其上有反光導標，無法形成植栽帶。

前述之中央分向帶、中央分向島係用於對向車流，如針對併流交通而言，吾人建議以分隔帶、分隔島稱之。由於係針對併流交通，此時之分隔帶、分隔島必位於道路之某一側，故其前方不必再冠以“中央”二字。

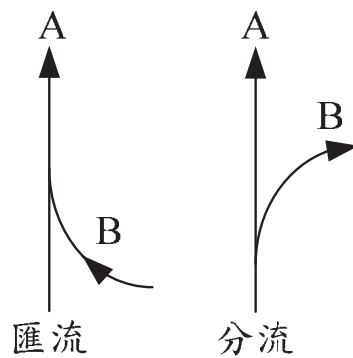
某些道路中，中央分向帶與分隔帶亦可能共存，例如圖十九所示台中市區之台灣大道，兩對向快車道車流中間有中央分向帶，同向之快、慢車道中間則是濃林綠樹之分隔帶。



圖十九 台中市區之台灣大道，中央分向帶與分隔帶並存

讀者如審視「公路路線設計規範」[7] 便可清楚發現，本文建議採用之“中央分向帶”在此規範[7] 中係以“中央分隔帶”稱之。

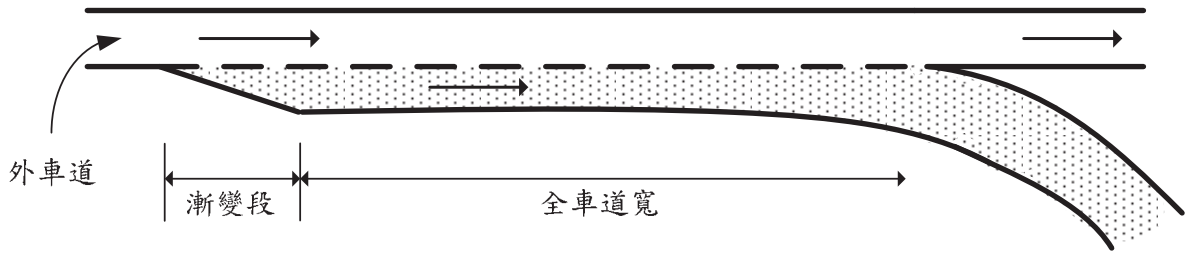
圖二十所示則是匯流與分流示意圖。匯流意指車輛進入某車道，而分流則是指車輛離開某車道。故匯流會增加主線之擁擠程度；反之，分流則會舒緩主線之車流量。



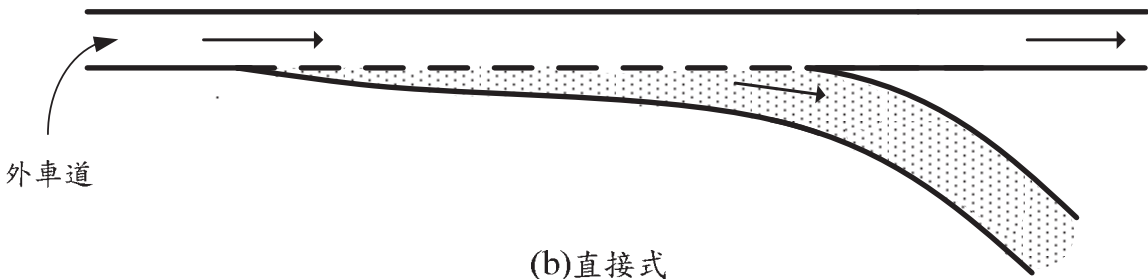
圖二十 匯流、分流示意圖

由行車安全之觀點而言，匯流角與分流角愈小，則行車安全性愈高。例如高、快速公路之變速車道，其佈置有 (1) 平行式(Parallel Type)、(2) 直接式(Directional Type)兩種，如圖二十一所示之減速車道與圖二十二所示之加速車道。理論上，平行式及直接式均可

採用，視各公路設計現況彈性斟酌決定。惟高、快速公路以平行式較符合駕駛人由右側匯流、分流之習慣。

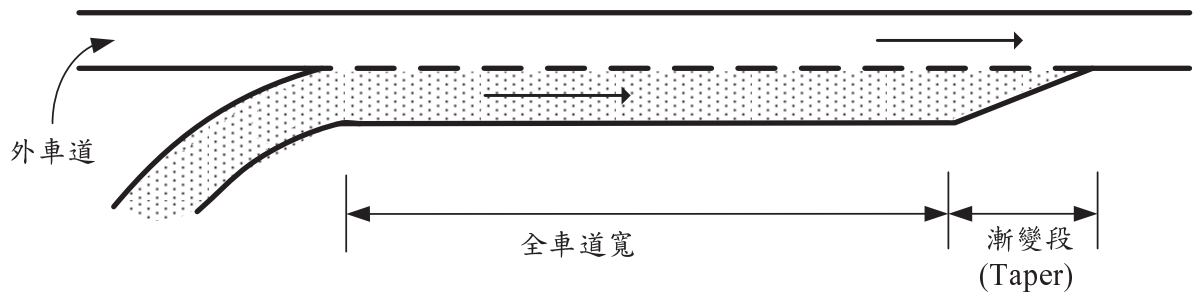


(a)平行式

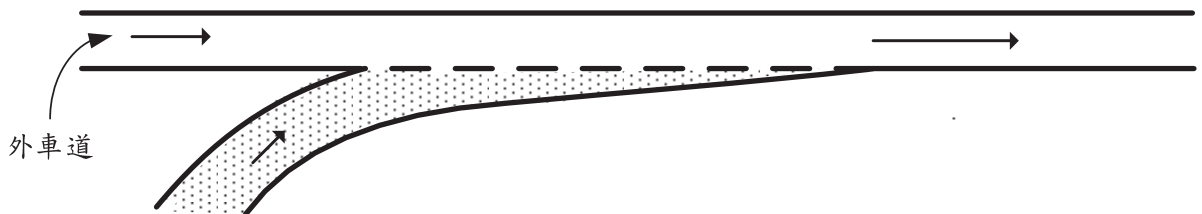


(b)直接式

圖二十一 高、快速公路減速車道之佈置



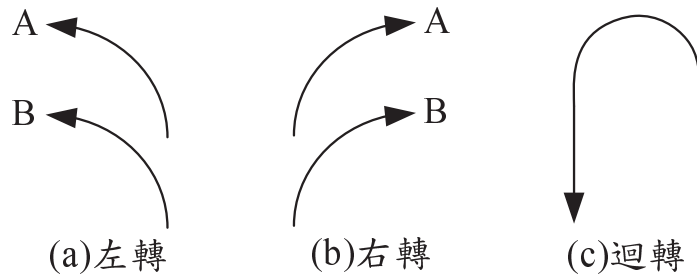
(a)平行式(平行車道)



(b)直接式

圖二十二 高、快速公路加速車道之佈置

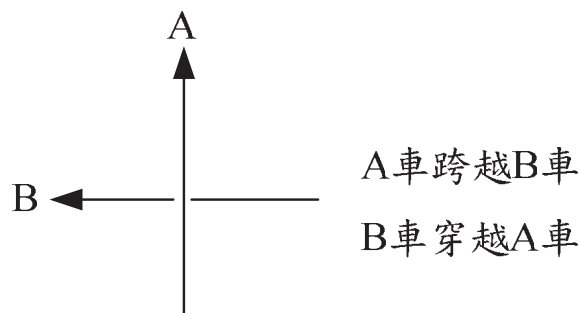
圖二十三所示乃各轉向交通示意圖，轉向交通分為三類，即右轉、左轉與迴轉(U-Turn)。平面交叉設計原則強調在交叉中應減少衝突點，縮小衝突區與分散、分隔衝突區，同時亦須輔以交通管制(號誌設計)措施，其中以左轉車流在交通工程設計中佔最重要之角色，其原因在於平面交叉路口處之衝突點絕大部份皆由左轉車流造成。



圖二十三 各轉向交通示意圖

轉向交通在市區與郊區道路幾何設計中佔有舉足輕重之角色，例如視距、設計車種、曲線加寬、槽化島形狀及其與車輛之側向淨距等皆應列入考量。尤應注意者，與一般長路段比較，平面交叉處之轉彎絕大部份皆為曲率半徑較小之急轉彎(Sharp Curve)，在此急轉彎之狀況下，車輛之行駛軌跡與佔用路幅寬度之變化皆較長路段複雜許多。

跨越(Overpassing)與穿越(Underpassing)交通係針對立體交叉之車流狀況，其示意如圖二十四所示，因此，交通工程理論中，跨越與穿越交通無衝突之疑慮，亦即不可能造成交通事故，惟位於上層之結構物或須考量加設橋(路)側防護網，以免跨越車流丟棄之雜物傷及下方之穿越車流。

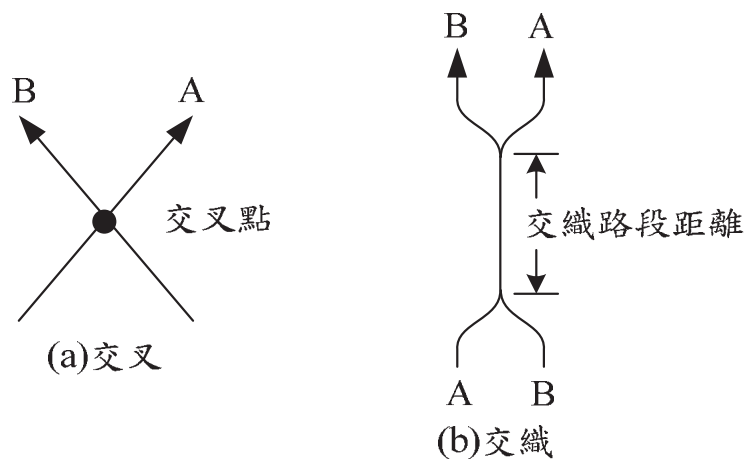


圖二十四 穿越、跨越交通示意圖

吾人亦應注意，針對平面交通而言，當車輛直行通過交叉路口時，有人將此種車流狀況以穿越稱之，惟從英文觀之，其真正意涵乃“Crossing”。“Crossing”意指直行通過某處，其車流行為與前述之“Underpassing”明顯不同。

交叉與交織亦是描繪各種不同車流狀況之一部份，其示意如圖二十五所示。交織(Weaving)係指同向行駛車流共用某長度路段之現象，包括有匯流與分流兩種，亦即兩車輛先匯流，行經一段距離之後再行分流。

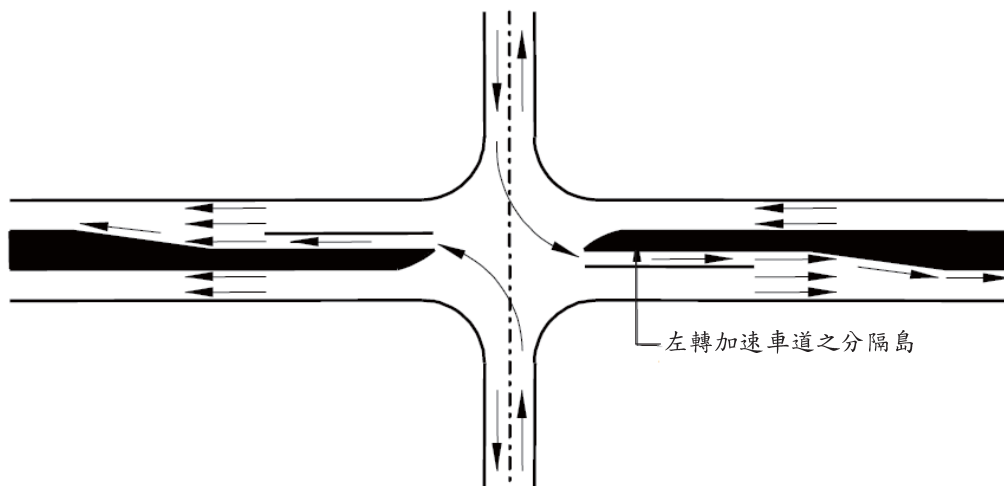
交織路段通常使用於無號誌管制路段，尤以圓環應用最多，其次為交流道之進出匝道路段。交織在車流動線變化理論中佔有非常重要之角色，然台灣官方頒布之各相關規範與手冊[1-3，7]中之著墨甚少。



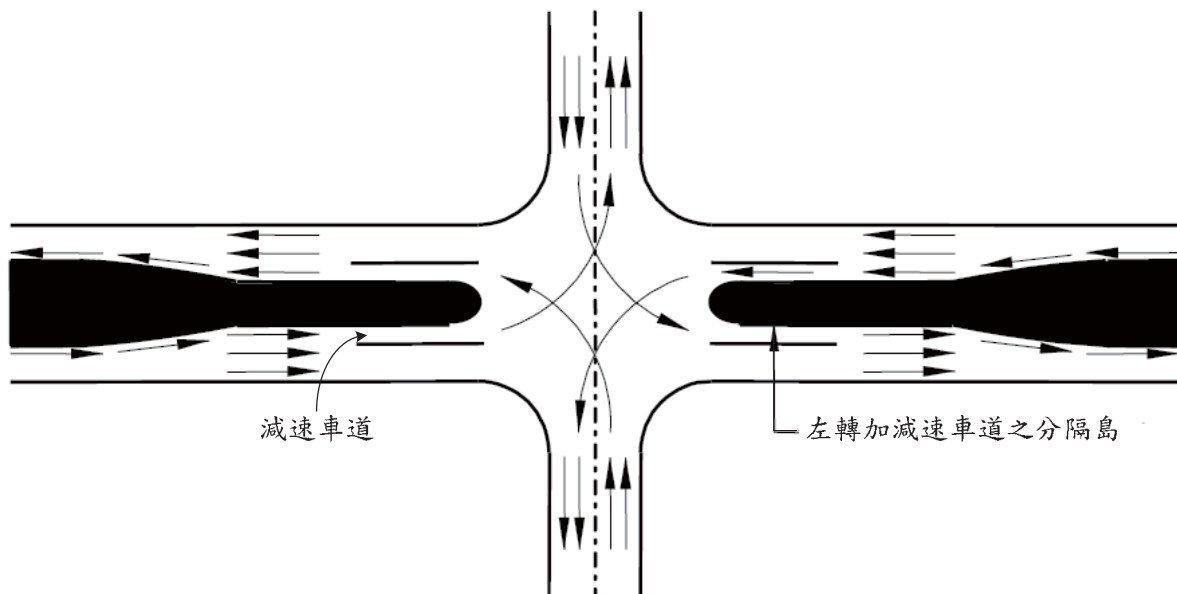
圖二十五 交叉與交織車流示意圖

六.理論與實務差異性之探討

台灣地區與交通工程相關之各規範、手冊皆是由西方先進國家改進，參卓修改而來，師人之長，此無可厚非，惟重點在於國情不同、機車交通量龐大、駕駛人習慣有明顯差異，故制定各式規範、手冊必須考量台灣地區之交通本土性。以圖二十六、二十七為例，左轉減速車道(即儲車道)在設有中央左轉專用車道之交叉路口甚為普通，然左轉加速車道之設置並不符合台灣地區之交通狀況，因為用路人皆已習慣由右側匯流進入主線交通。

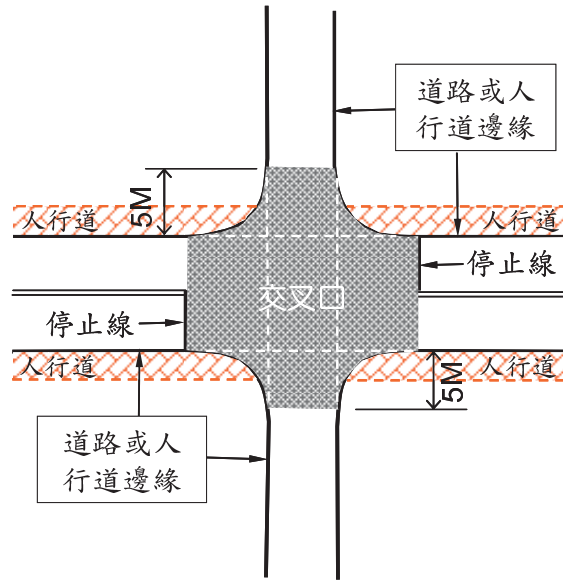


圖二十六 兩方向具左轉加速車道之平面交叉路口[1]



圖二十七 兩方向皆具加、減速車道之平面交叉路口[1]

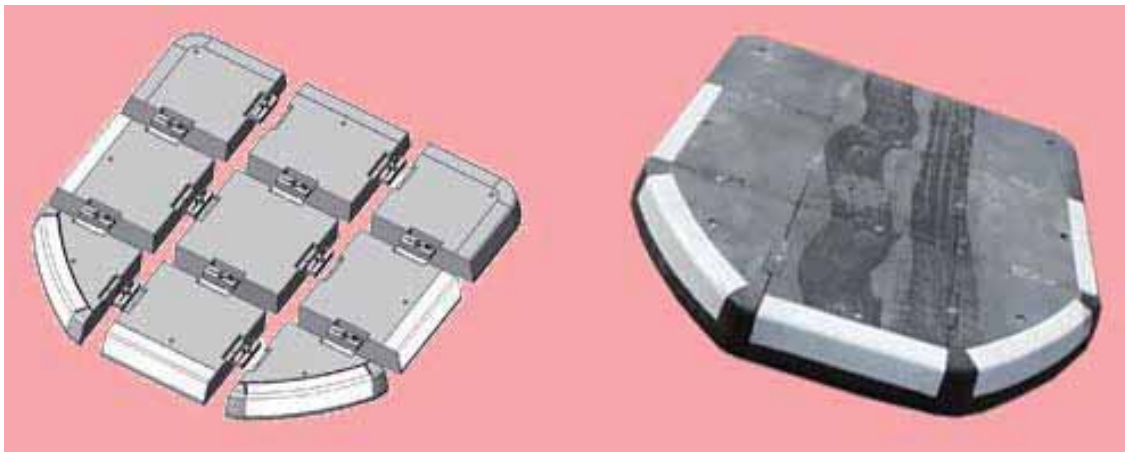
圖二十八乃「公路路線設計規範」[7] 及「市區道路及其附屬工程設計規範」[2] 定義之平面交叉口之範圍。事實上，針對交叉口之交通特性，交通工程設計必須考量之範圍遠大於圖二十八所示，例如左轉專用車道最短之長度為 20 公尺，轉向彎道更涉及曲線半徑，其涵蓋區域更寬廣。



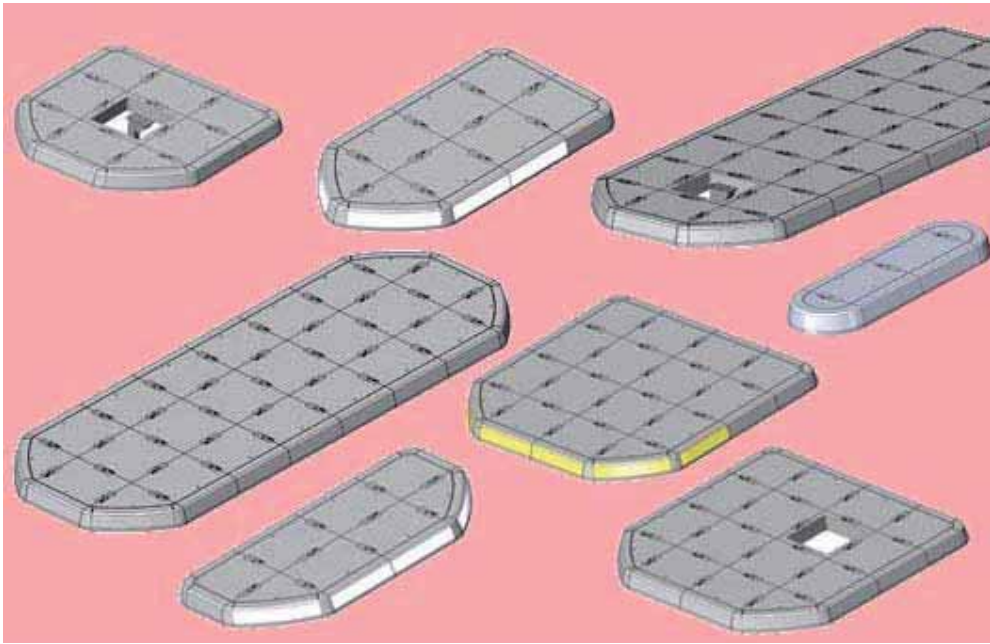
圖二十八 手冊與規範[1, 2] 界定之交叉口範圍

七. 模組式交通島之適用性

隨著材料工程科技發展之日新月異，以符合環保永續概念之複合材料、塑膠成品製成之模組式(Modular Type)交通島已日漸普及，在歐美已有甚多使用於市區道路之實際案例(如圖二十九、三十與三十一所示)，成效頗獲肯定，其是否適合引進於台灣地區，值得吾人再三掂量。



圖二十九 典型之組合式交通島例一[8]



圖三十 典型之組合式交通島例二 [8]



圖三十一 典型之組合式交通島例三 [10]

八.結論與建議

針對本文之初步研究，茲將結論歸納如下：

1. 各官方頒布之規範與手冊中，如欲使交通島設計之思維更清晰，則首先必須將車流狀況之描述作統一之界定，以避免模糊，使交通工程規劃設計者可明確依循。
2. 平面交叉路口之幾何型式與車流動線組合非常多樣化，如再加入機車、自行車與行人，則其動線必甚為複雜，官方頒布之規範或手冊實無法涵蓋所有可能之情況。為增進交通工程師之設計能力，由公路主管單位舉辦各式之研討會或教育訓練或為可行之策。
3. 本文針對平面交叉路口及路段上可能發生之各種車流狀況進行了詳細之討論，並建議採用一些新名詞，例如清楚界定“對流”與“併流”、“分向帶”與“分隔帶”及以“三支交叉”取代“三路交叉”等，其主要目的在於使交通工程規劃設計者有更明確之依循準則。
4. 所有官方頒布之規範或手冊中之內容常有相互引用之情況，故其中之專業名詞宜統一，以免造成規劃設計者之無所適從。

本文之定位僅針對交通島進行初步研究，惟其中亦不乏發人深省之處，茲建議如下：

1. 隨著六都(台北市、新北市、台中市、台南市、高雄市與桃園市)之行政編制，由於幅員廣大，人口數佔台灣地區總人口數將近 7 成，依據「市區道路條例」[9] 與「市區道路及附屬工程設計規範」[2] 中所定義之「市區道路」與「公路法」、「公路路線設計規範」[7] 中訂定之「公路」可能不易清楚界定，亦即依行政系統區分，某路段可能是「市區道路」，然其交通功能可能較傾向於「公路」，故與交通島相關之各規範及手冊日後有必要再重新檢核，同步修正。
2. 如欲探討交通島設計理念對交通安全之真正影響，長期性、深入性之實際調查、檢討與研究乃是必要之舉措，誠望各道路主管單位有此構思。
3. 模組式交通島已在歐美等國盛行，且成效甚佳，然其是否適用於台灣，值得台灣地區各道路主管機關深思。

參考文獻：

1. 交通工程手冊，中華民國交通部頒佈，民國 99 年 12 月修訂。
2. 市區道路及附屬工程設計規範，中華民國內政部頒佈，民國 98 年 4 月。
3. 市區道路交通島設計手冊，中華民國內政部營建署，民國 92 年 3 月。

4. “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”, AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 6th Ed., Washington, D.C., 2011.
5. 道路交通安全規則，民國 101 年 12 月修正。
6. 道路交通管理處罰條例，民國 102 年 1 月修正。
7. 公路路線設計規範，中華民國交通部，民國 100 年 4 月修正。
8. <http://www.rediweldtraffic.co.uk/>
9. 市區道路條例，民國 93 年 1 月修正。
10. <http://www.barriersbydesign.com/>

