

## 第四章 高速公路虛擬實境場景之開發

在真實之駕駛環境下，駕駛人有可能在不同的環境下駕駛車輛，而在不同的環境下，駕駛人會因環境所造成之光線的強弱、能見度之不同、路面之不同、道路之起伏、路旁景物之不同、號誌或標誌之不同甚至天空景色之差異，導致駕駛行為有所不同，為供後續之研究，來模擬出真實的駕駛環境下所產生之駕駛行為，並比較其差異性，以供研究來作為公路之設計的參考和交通號誌、標誌之規劃設立，以避免危險情況之產生，故本研究將針對駕駛者在高速公路上可能面臨之真實駕駛環境概分成：公路、時間、天候、周圍景物、車流、駕駛者本身車輛部份等六大部份，來模擬真實的駕駛環境。表 4-1 詳列其開發內容。

表 4-1 開發內容

	開發內容
公路	直線、緩和曲線、圓曲線三種線型公路製作並可推廣至各式曲線，以及護欄和護欄柱製作。
時間	清晨、白天、黃昏、夜晚。
天候	晴天、雨天、陰天、起霧。
周圍景物	路燈有無、路樹種類、路樹多寡、路面種類、更換路邊標誌、門架式標誌、門架式號誌，此外並可作分段設定。

車流	前後相鄰之兩台車，並可設定車速、車距、車數、車種。
駕駛者本身車輛	後視鏡。

## 4.1 開發工具

我們採用 VRML97 來做為虛擬實境軟體，但由於 VRML97 所規範之節點眾多，不敷記憶，故需要場景建構軟體來幫助建立虛擬實境場景，經比較後採用 Cosmo Worlds 2.0 來作為編輯場景工具，但其缺點為只提供簡易之幾何模型，如立方體、圓柱體、圓錐體、圓球體，但對複雜之模型就沒有辦法建構，又其對點編輯、線編輯、面編輯等操作上並不方便，故我們使用 3D Studio Max 3.0 ( 以下簡稱 3DS ) 來作為輔助開發工具。

3DS 對複雜模型之建置有相當的便利性，且提供製作曲線曲面之功能，此功能對建構表面曲度變化大之物件有很大之幫助，且經由其提供的轉檔功能，可將其製作結果轉成 wrl 檔，然其對 VRML97 的支援較差，有些節點無法表現，故我們使用 3DS 來作為建構模型之建構工具，當主要場景建構完成後，儲存成 wrl 檔，再使用 Cosmo Worlds 2.0 來作為最後之編輯工具，而在模擬駕駛時間及天候上需用到合適之背景貼圖，故使用 VistaPro 4.0 來產生背景貼圖，VistaPro4.0 為一快速之 3D 環境的影像產生器，並可做改變天空之色彩、設定天空雲量等等細部設定，利用其 render 出的影像來作為背景貼圖，雖然 3DS 亦可產生如此功能，然其要達到同等效果，需要很多步驟，但如

使用 VistaPro 4.0 則簡易的多，故使用 VistaPro 4.0 乃為一較快速且效果不錯的辦法，此外處理貼圖時需使用影像處理軟體來做如透空等處理，市面上所出之影像處理軟體大多都能達到要求，本計畫所使用之影像處理軟體為 PhotoShop 5.5。在製作門架式號誌時則需使用動態的 gif 動畫貼圖來表現號誌的變化，因 Gif Animator 4.0 為一中文化之製作 gif 動畫的軟體且功能強大，故使用其作為製作 gif 動畫的工具。

表 4-2 為場景開發工具列表。

表 4-2 場景開發工具列表

開發工具	用途	採用理由
Cosmo World 2.0	將 3D Studio Max 所產生之 wrl 檔做最後之編輯。	支援 VRML97 且使用介面比其他 VRML 編輯器為佳。
3D Studio Max 3.0	複雜模型之建構亦可產生貼圖。	可製作複雜模型。
VistaPro 4.0	模擬駕駛時間及氣候之貼圖產生器。	使用簡易且效果不錯。
PhotoShop 5.5	貼圖圖片之編修。	較為熟悉。

Gif Animator4.0	製作 gif 動畫貼圖。	較為熟悉。
-----------------	--------------	-------

## 4.2 公路場景

真實公路路線乃一串直線與曲線所組成，在平面上其線型之組合 [41]如圖 4-1。本研究設計一個「O型」之環繞路段，其公路之平面線型，包含直線、圓曲線、緩和曲線，未包括之線型其做法類似於本研究所包括之線型。

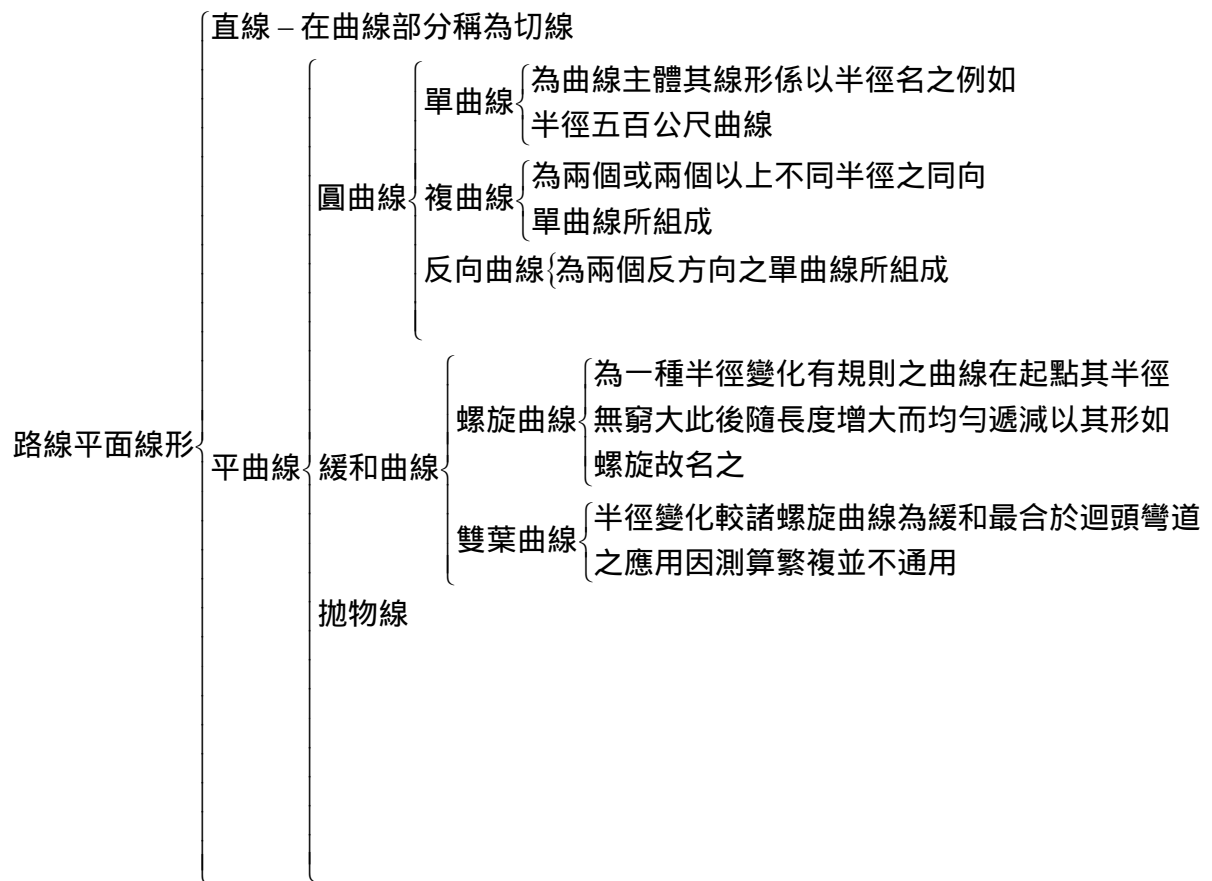


圖 4-1 路線平面線型組合

#### 4.2.1 公路場景之設計

為了設計出符合真實情況的公路場景，場景的設計亦需遵照一般之公路幾何設計原則，經查表及計算後得出場景設計的數據，以下即為場景中所有不同路段之基本設計原則，本研究所引用之設計依據包括：民國 73 年 6 月交通部台灣區國道高速公路局編印之台灣區高速公路交通工程規範[42]、民國 75 年 12 月交通部發行之公路路線設計規範[43]、民國 79 年 3 月交通部編審之交通工程手冊[44]。

##### 1. 超高及平曲線半徑的決定

超高值和平曲線半徑的決定乃根據公路路線設計規範中相關之表格所決定，其參考的表格如表 4-3。表格所顯示的意義乃當設計速率為 60 公里/小時、最大超高在 0.08 之下，其平曲線之最短半徑為 120 公尺，當設計速率提高時，為維持相同超高，必須增加平曲線之半徑，以確保駕駛平順與安全。另外根據設計速率、超高值 and 圓曲線半徑長度之關係表可查出，在不同的設計速率、不同的圓曲線半徑之下，其標準的超高數值為何。本研究之設計速率為 120 公里/小時、最大超高為 0.10，故平曲線之最短半徑為 560 公尺。

表 4-3 平曲線最小半徑與設計速率、最大超高之關係

設計速率 Vd (公里/小時)	平曲線最小半徑 $R_{min}$ (公尺)			
	$e_{max}=0.04$	$e_{max}=0.06$	$e_{max}=0.08$	$e_{max}=0.10$
120	--	700	620	560
110	--	560	500	450
100	--	440	390	360
90	380	340	300	280
80	280	250	230	210
70	210	190	170	160
60	150	140	120	110
50	100	90	80	75
40	60	55	50	45

30	35	30	30	25
25	25	20	20	20

## 2. 平曲線銜接直線之緩和曲線之決定

一般公路之平曲線路段和直線路段之間，為了使駕駛人駕車從直線路段進入圓曲線不致有突兀的感覺，減少因路形的突然轉變造成意外的發生，故於直線路段和圓曲線之間會以一條曲線將之連接起來，此線型稱作緩和曲線。而在圓曲線上亦有為安全起見設計的超高值，當從直線路段進入圓曲線路段時，其超高值之變化為由零漸漸上升至圓曲線所需的超高值，超高值由零逐漸變成圓曲線上之超高值所需的長度則稱為超高漸變長度。根據公路路線設計規範，最短緩和曲線和最短超高漸變長度的公式如下：

最短緩和曲線公式：

$$L_s \geq V_d^3 / 47J * R$$

$L_s$ ：緩和曲線長度（公尺）

$V_d$ ：設計速率(KPH)

$R$ ：平曲線半徑(公尺)

$J$ ：向心加速度變化率（公尺/ 秒<sup>3</sup>）

最大值  $J=1.1-V_d/200$

標準值  $J=0.7-V_d/400$

最短超高漸變長度：

$$(1) L_e \geq (B + 3.5)\Delta e / (2G_r)$$

$$(2) L_e \geq V_d \times t / 3.6$$

$L_e$ ：超高漸變長度

$B$ ：基線單側最大路面寬

$\Delta e$ ：超高代數差絕對值

$G_r$ ：超高漸變率

$V_d$ ：設計速率

$t$ ：時間（秒），（最小值  $t=2$ ，標準值  $t=3$ ）

註：不同設計速率有不同的超高漸變率，可依表 4-4 選取。

表 4-4 設計速率和超高漸變率之關係

設計速率 $V_d$ (公里/小時)	最大超高漸變率 $G_r$	
	最大值	最小值
120	1/250	1/300
110	1/230	1/280
100	1/210	1/260
90	1/190	1/240
80	1/170	1/220



70	1/150	1/200
60	1/130	1/180
50	1/110	1/160
40	1/90	1/140
30	1/70	1/120
25	1/60	1/110

直線和圓曲線之間是以緩和曲線所連接起來的，而最短緩和曲線不得小於最短超高漸變長度。本研究於景場的建構以單向四車道為設計準則，車道寬為 3.5 公尺，另外圓曲線的設計速率 120kph、半徑為 560 公尺。在計算圓曲線和直線之間的緩和曲線我們皆取參數為標準值，所求得的緩和曲線加上安全的考量也都乘上一安全係數，安全係數的值約 1.4，故在設計速率 120kph 半徑 560 公尺的圓曲線其緩和曲線長度約為 140 公尺，且緩和曲線經計算後皆大於該圓曲線之最短超高漸變長度，因此直線和圓曲線在本研究即以緩和曲線連接之。

### 3. 圓曲線彎道路面加寬部份

根據周義華於民國八十四年所著之運輸工程[45]，車輛沿曲線行駛時，後輪軌跡之半徑較前輪為小，因此整輛車所佔用路面的有效寬度加大。故為維持車輛於彎道的安全，需在彎道的部分另增寬度，而其加寬的寬度  $w=R-(R^2-L^2)^{0.5}$ ，R 為外前輪

軌跡的半徑，即為圓曲線半徑加上曲線之加寬度， $L$  為車輛之軸距。為了確保安全，設計的車型取離軌較大的車型，並令  $L=15$  公尺，則  $w=R-(R^2-225)^{0.5}=112.5/R$ 。

在半徑為 560 公尺的圓曲線彎道上，經計算其單一車道加寬的寬度為 0.2 公尺。根據 AASHTO 的提議，加寬度最小應為 0.6 公尺，若計算所得小於 0.6 公尺，則可不必加寬。故在半徑為 560 公尺的曲線上，我們並未將道路加寬。

#### 4.2.2 公路場景規格

公路場景為一「O 型」之環繞路段，共分四個路段，每個路段皆有四個車道，直線路段部份，車道寬均為 3.5 公尺，路邊線距路緣 2 公尺。表 4-5 為依里程數所列之公路詳細規格，圖 4-2 為各里程數的公路位置示意圖。

表 4-5 公路場景規格

里程數(公尺)	說明	所屬路段
0K+000-0K+100	100 公尺之直線平坡路段。	路段四

0K+100-1K+400	1300 公尺之直線平坡路段。	路段一
1K+400-1K+500	100 公尺之直線平坡路段。	路段二
1K+500-1K+640	準備進入左轉的緩和曲線，長 140 公尺，超高變化由 0 遞增為 0.1 (Tan 值)。	路段二
1K+640-3K+090	為一圓曲線，長 1450 公尺，半徑 560 公尺。	路段二
3K+090-3K+230	由圓曲線接回直線路段的緩和曲線，長 140 公尺，超高變化由 0.1 遞減為 0(Tan 值)。	路段二
3K+230-3K+330	100 公尺之直線平坡路段。	路段二
3K+330-4K+630	1300 公尺之直線平坡路段。	路段三
4K+630-4K+730	100 公尺之直線平坡路段。	路段四
4K+730-4K+870	準備進入左轉的緩和曲線長 140 公尺，超高變化由 0 遞增為 0.1 (Tan 值)。	路段四
4K+870-6K+320	為一圓曲線，長 1450 公尺，半徑 560 公尺。	路段四
6K+320-6K+460 (0K+000)	由圓曲線接回直線路段的緩和曲線，長 140 公尺，超高變化由 0.1 遞減為 0(Tan 值)。	路段四

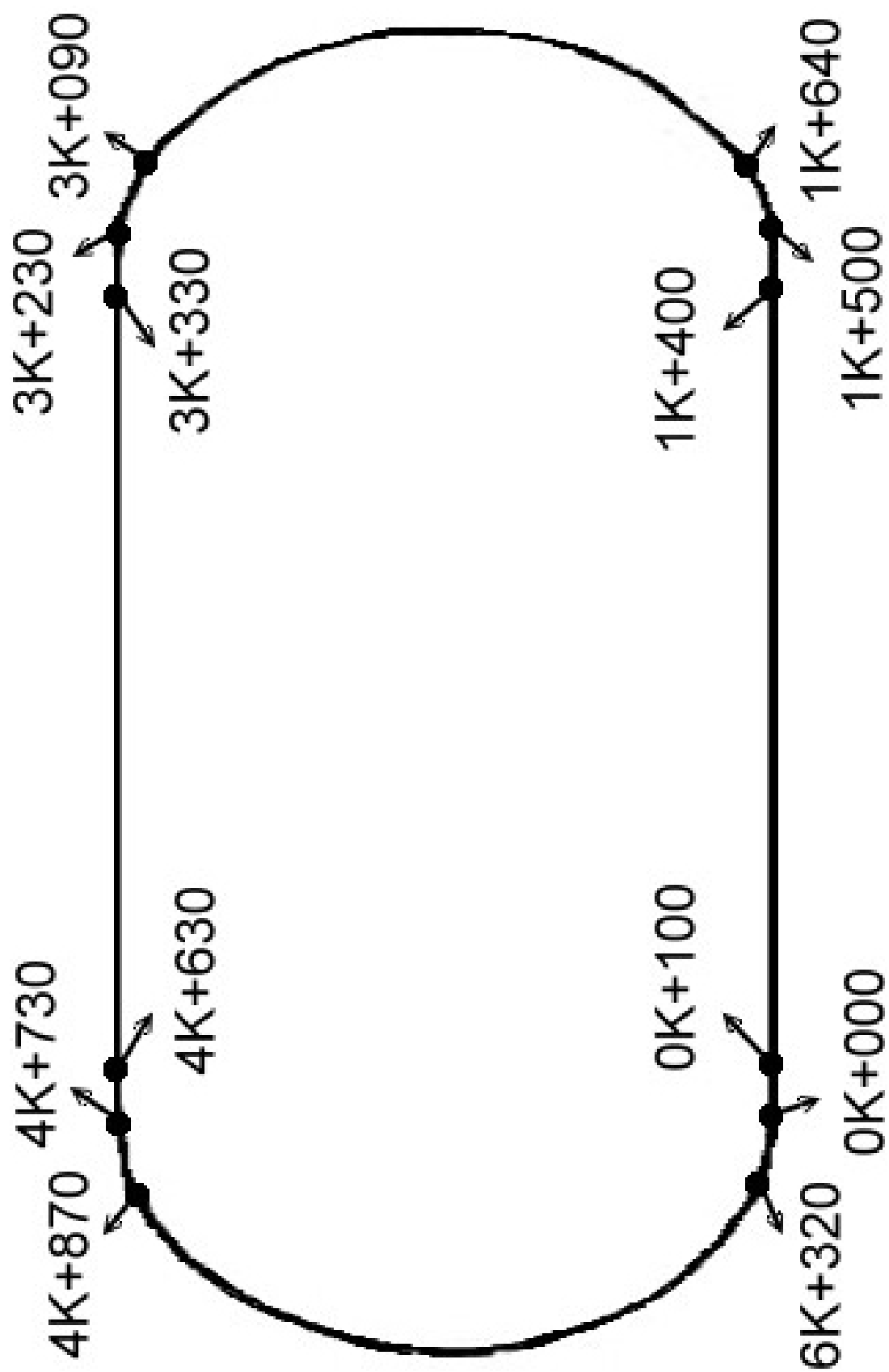


圖 4-2 各里程數的公路位置示意圖

### 4.2.3 公路場景之製作

公路場景部份主要利用 3DS 製作，為了後續說明之便，簡單說明 3DS 之主要操作介面（見圖 4-3）。

- 快速工作列：位於畫面上方，依功能分成十個重疊的切換工具列，可快速尋找出所要使用之功能。
- 主要控制面板：位於畫面右方，總共分成六個重疊的切換頁面，可設定及調整各功能之細部設定。
- 視窗：預設為上視窗、左視窗、前視窗及預設視窗等四個視窗，四個視窗皆可更換視野，以便利觀察物體。

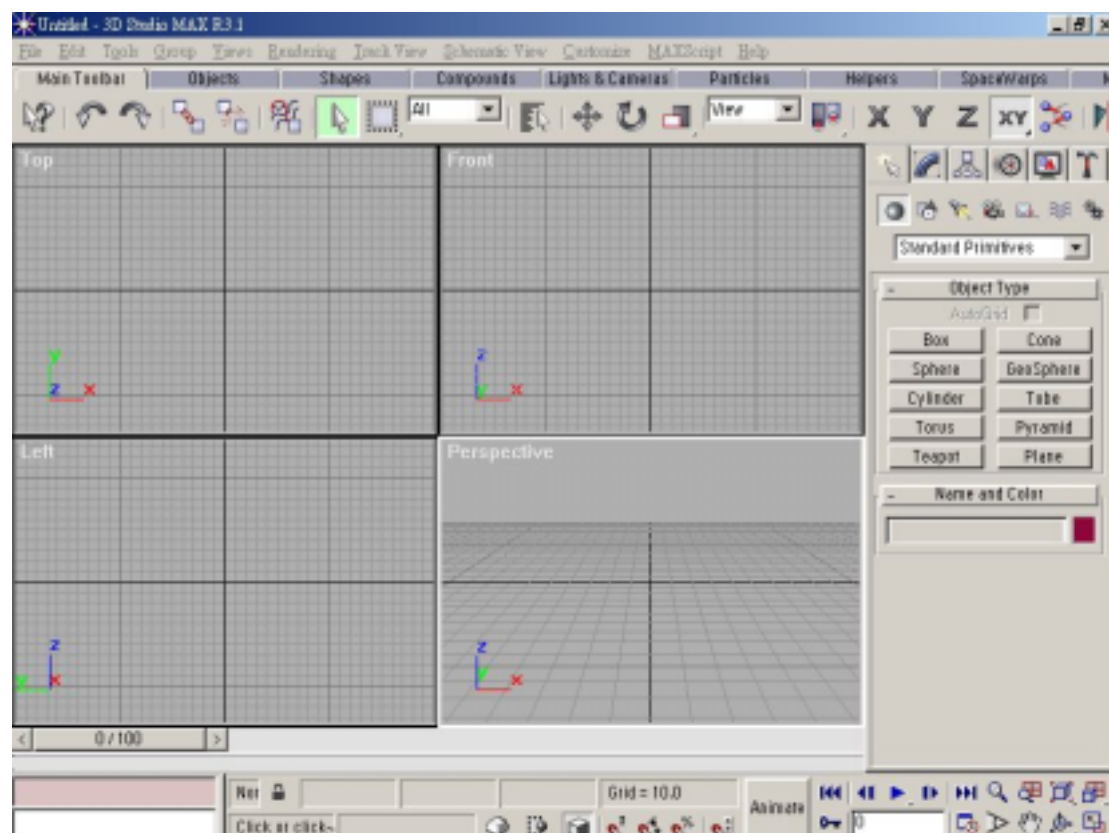


圖 4-3 3DS 操作介面

公路部份主要使用 3DS 之 loft 功能，要使用 loft 功能，需產生一公路之曲線和公路之縱剖面(通常為一長方形)，將此剖面順此曲線拉伸即可產生不同曲度之路面。首先在 Top 視窗畫一曲線後，並在 Front 視窗畫公路之縱剖面(見圖 4-4)。通常我們都希望縱剖面移到曲線位置後拉伸，而非從縱剖面所在位置開始沿曲線路徑拉伸，故欲達到此目的，3DS 的操作方法為下：

- 選擇曲線->選擇 Compound 快速工具列->選擇 Loft Compound Object->在主要控制面板的 Creation Method 捲簾下，按下 Get Shape 鈕(見圖 4-5) ->選擇縱剖面。
- 操作完成後便得一無起伏但有彎道之路面(見圖 4-6)。

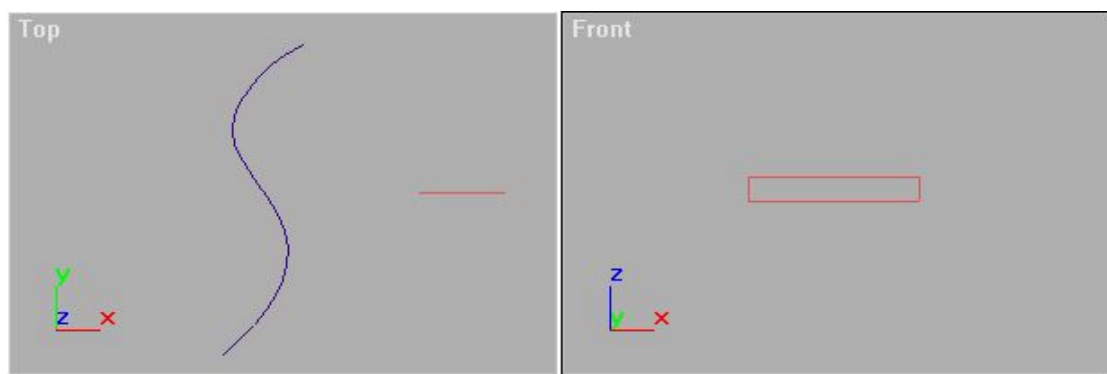


圖 4-4 曲線與公路縱剖面

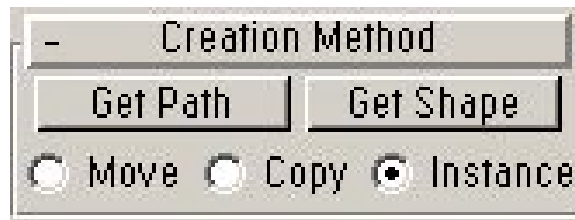


圖 4-5 Creation Method 捲簾

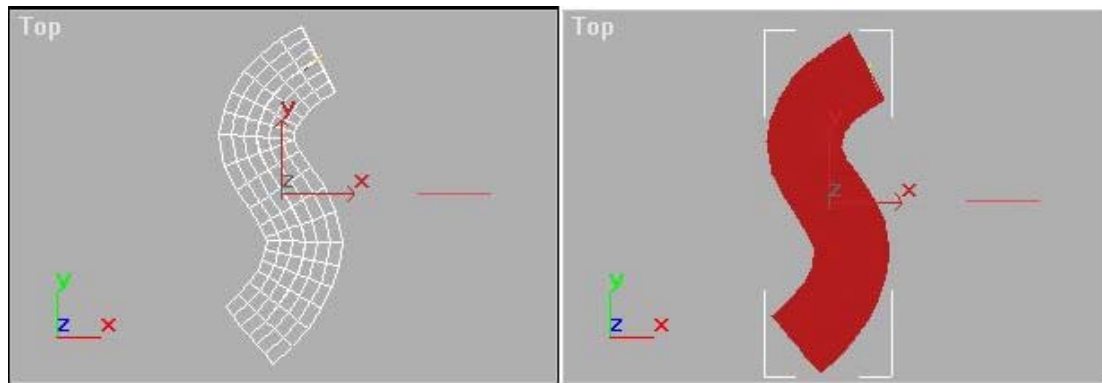


圖 4-6 公路之 Wireframe 與彩現上視圖

因為 3DS 可以編修產生各種曲線，故只要產生合適的曲線，便可利用 loft 產生各式各樣的公路，然而一般公路在彎道時，通常路面超高會漸漸變化，以產生轉彎時所需之向心力，而這種情況便如本研究所設計之車道，由直線路段經緩和曲線到圓曲線，再由圓曲線經由緩和曲線回到直線路段，又從直線路段進入緩和曲線時，道路應漸漸變寬後進入圓曲線，再從圓曲線進入緩和曲線後公路漸漸變窄回到直線路段，雖然本研究之路段根據 AASHTO 的提議可不必要加寬，但在彎道車道加寬乃為一重要的設計，故以下便介紹此種路段之做法。

- 首先產生由直線接緩和曲線接圓曲線再由圓曲線接緩和曲線再回到直線的縱剖面形狀（見圖 4-7）。

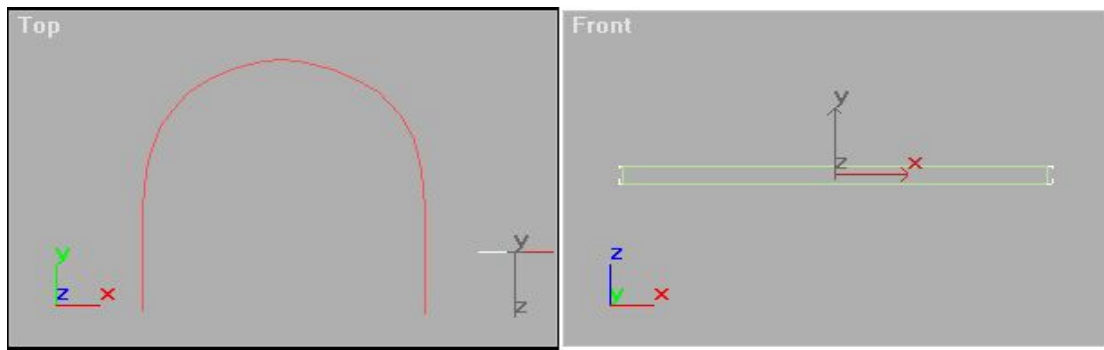


圖 4-7 曲線與公路縱剖面

- 在主要控制面板位於 Hierarchy 頁面的 Adjust Pivot 捲簾打開（見圖 4-8），按下 Affect Pivot Only 按鈕後，調整 Pivot Point 到公路內側（見圖 4-9）。

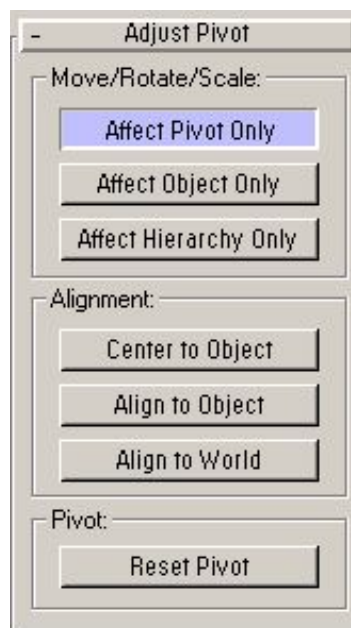


圖 4-8 Adjust Pivot 捲簾





圖 4-9 調整 Pivot Point 到公路內側

- 執行 3DS 之 loft 功能即得一無起伏之路面（見圖 4-10）。
- 將主要控制面板位於 Modify 頁面的 Deformations 捲簾打開（見圖 4-11），按下 Scale 和 Twist 按鈕。

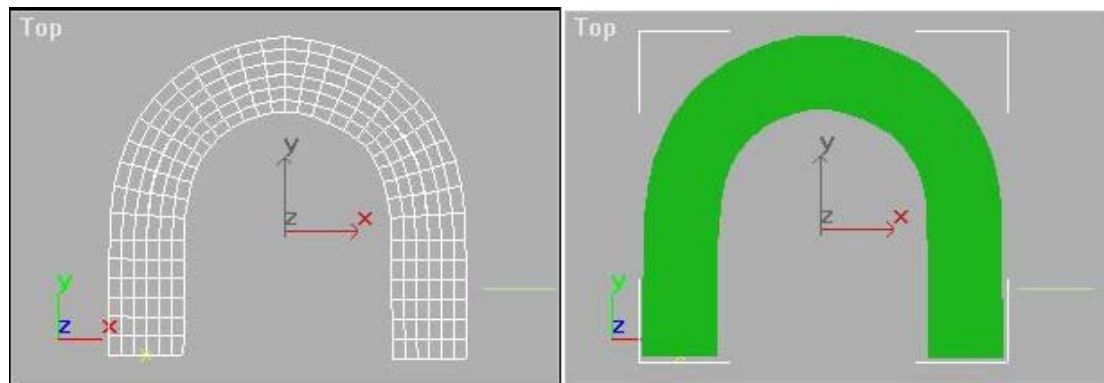


圖 4-10 公路之 Wireframe 與彩現上視圖

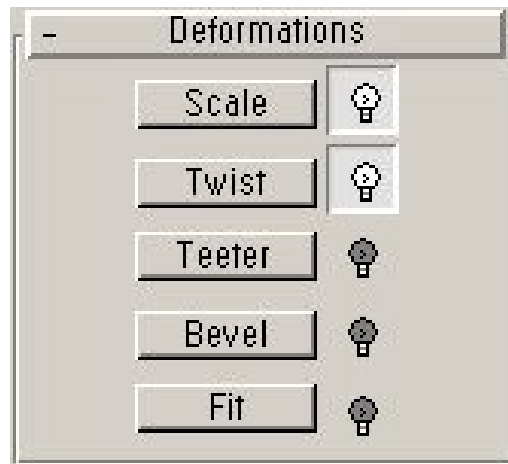


圖 4-11 Deformations 捲簾

- 按下 Twist 按鈕後會出現 Twist Deformation 對話盒 (見圖 4-12), 此對話盒為用來調整 loft 物件之 Twist, 即調整公路之路面超高。
- Twist Deformation 對話盒會預設頭尾兩個控制點, 可內插控制點在頭尾之間並可調整控制點之 twist 值, 控制點與控制點如有 twist 值大小差異則控制點與控制點之間 twist 值呈線性變化, 我們在線內內插四個控制點, 並根據何時路面超高會變化來調整控制點 (見圖 4-13)。

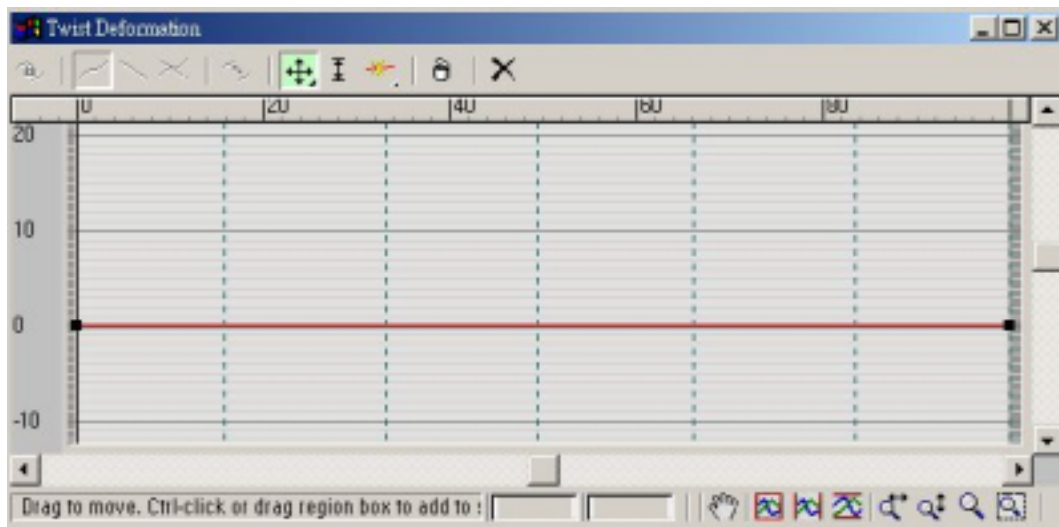


圖 4-12 預設之 Twist Deformation 對話盒

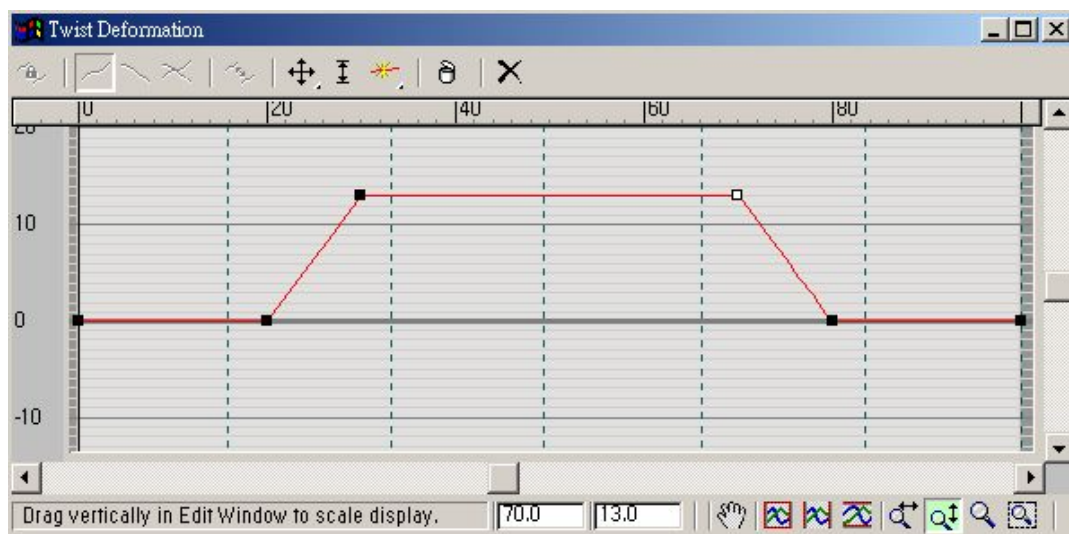


圖 4-13 調整後之 Twist Deformation 對話盒

- 由圖 4-13 知，剛開始的直線路段路面超高為 0，故 twist 值亦為 0，當進入緩和曲線時路面超高漸漸增大，twist 值亦漸漸

增大，進入圓曲線後路面超高不再變化，twist 值亦不變，同理由圓曲線經由緩和曲線回到直線，twist 值由定值漸漸變小至 0，調完後得一過彎時無路面變寬但有超高漸變之公路(見圖 4-14)。

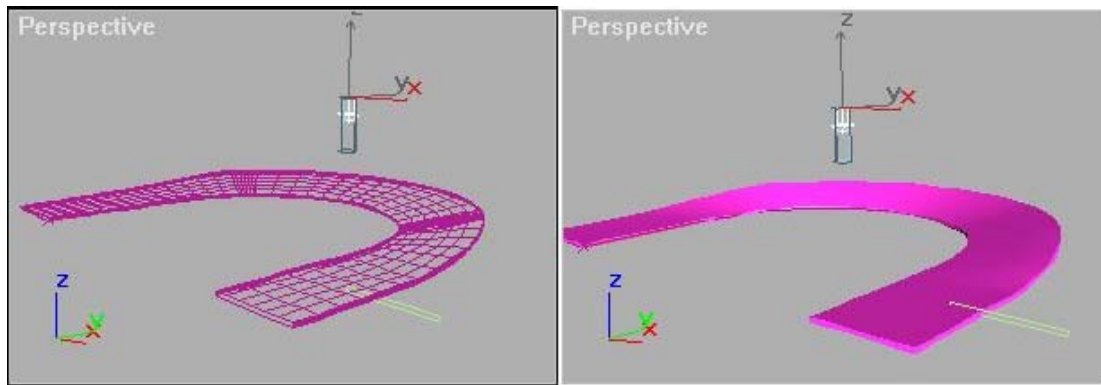


圖 4-14 公路之 Wireframe 與彩現透視圖

- 欲調整路面寬度，則利用 Scale Deformation 對話盒 (見圖 4-15)，調整方法同 Twist Deformation 對話盒。
- 調完後即得一有超高變化和路面寬度變化之道路(見圖 4-16)

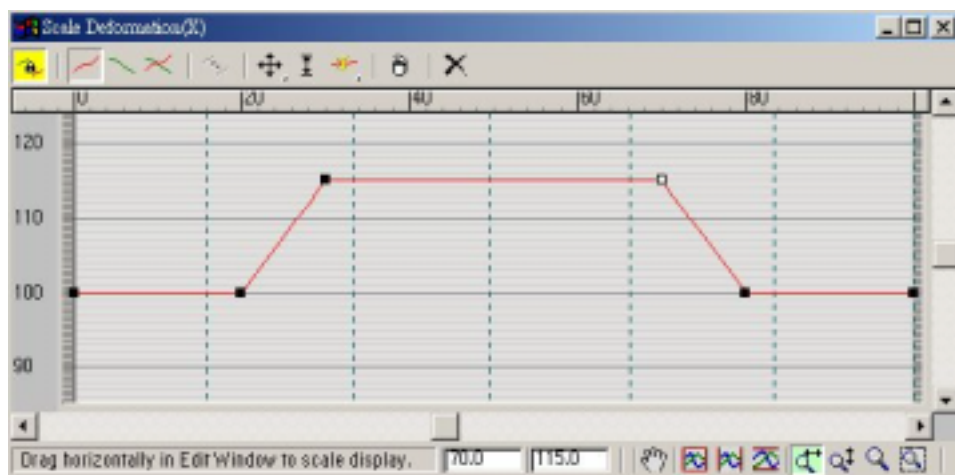


圖 4-15 調整後之 Scale Deformation 對話盒

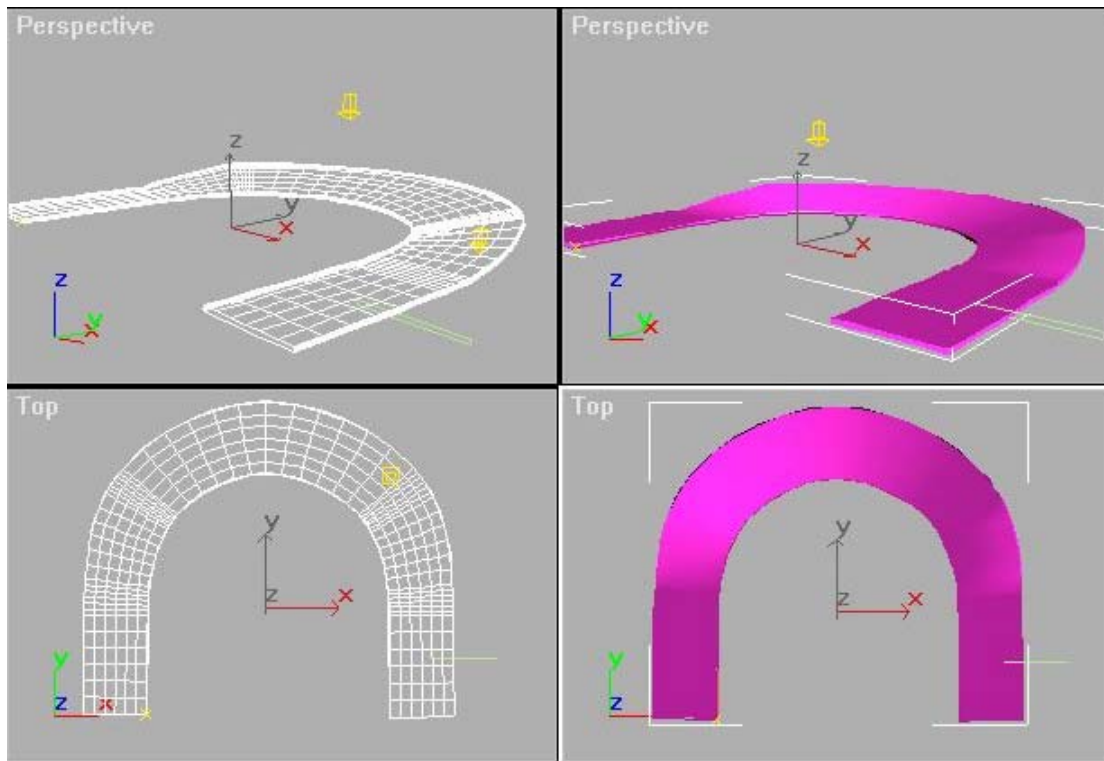


圖 4-16 公路之 Wireframe 與彩現上視圖及透視圖

- 如果不調整 Pivot Point, 則會得到在轉彎時路面內側會低於直線路段之最低水平面之彎路 ( 見圖 4-17 ), 此結果並非我們所要, 此乃因路剖面繞路剖面中心點做 Twist 所致, 且路剖面沿曲線拉伸之曲線為在同一水平面所致。

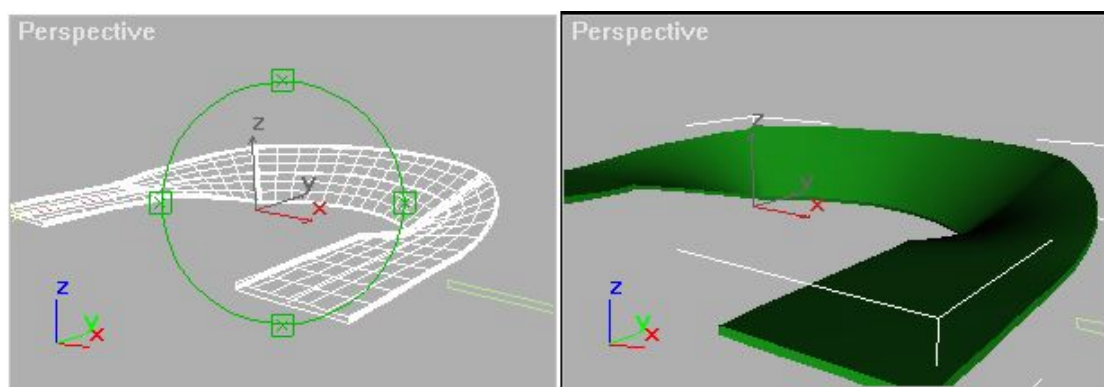


圖 4-17 公路之 Wireframe 與彩現透視圖

- 最後須處理貼圖，路面須貼上路面標線，如直接將 3DS 做出之路面轉檔成 wrl 檔時，再由 CosmoWorlds 2.0 做貼圖時，路面標線並不會隨道路做彎曲（見圖 4-18）。



圖 4-18 錯誤之路面標線貼圖

- 將主要控制面板位於 Modify 頁面的 Surface Parameters 捲簾打開（見圖 4-19），需將 Apply Mapping 查核方塊勾選，並將路面貼圖指定給路，如此一來轉檔後變會產生適當之貼圖軸變化，路面標線便會隨路之彎曲而彎曲（見圖 4-20）。

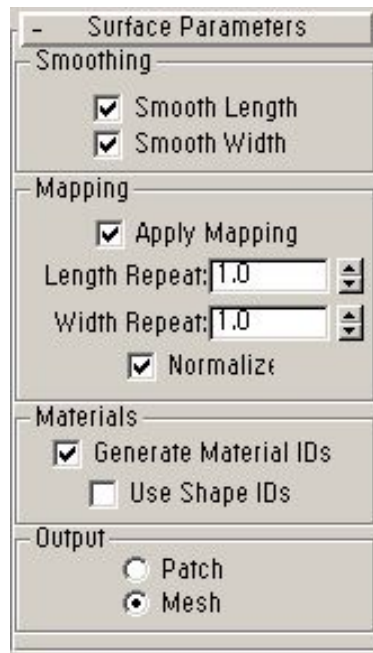


圖 4-19 Surface Parameters 捲簾



圖 4-20 正確之路面標線貼圖

以上即為有超高變化和路面寬度變化之曲線公路之做法，其他線型之公路便可依類似方法建構之。

公路旁常有護欄及護欄柱，由於其數量繁多，常常造成建構場景

時之困擾，如一個一個置放耗時甚巨，所幸 3DS 的 Spacing Tool 有將物體沿著曲線等間隔複製的功能，故在公路旁畫一曲線便可利用 Spacing Tool 將護欄柱一瞬間完成，護欄則利用 3DS 之 loft 功能，將護欄的縱剖面沿曲線拉伸即可完成。圖 4-21 為其完成圖。



圖 4-21 護欄與護欄柱之建置完成圖

### 4.3 時間與天候

在時間與天候部份主要使用 VistaPro 4.0 來產生適合的背景貼圖，VistaPro 4.0 可以調整許多參數來產生不同的環境，在本研究中主要乃調整以下之參數：太陽光入射角度、光線強弱、雲彩多寡、雲彩顏色、環境光顏色、天空顏色、夜晚及星星效果、霾（haze）大小等組合出適當的背景貼圖。

時間與天候雖為兩個不同部份，但所產生之背景貼圖會相互影響，即晴天也有清晨、白天、黃昏、夜晚之不同，故將時間與天候部份合在一起討論。



時間上分清晨、白天、黃昏、夜晚四種時間。一般而論，清晨時，天空地平線附近較亮，天空其餘部份較暗；白天時，光線充足且平均；黃昏時，光線較暗且天空顏色較為特殊；夜晚時，則漆黑一片，以上所述為一般而論，但還會因天候狀況不同而有所差異，故尚須考量天候狀況調整各參數以產生適合之背景貼圖。圖 4-22 4-25 為在晴天的天候下，四種不同時間之模擬效果。

天候上分為晴天、雨天、陰天、起霧四種天候，雨天與起霧又可因程度分成大雨、小雨、毛毛雨及濃霧、多霧、薄霧，一般而論，晴天時光線較亮，天空晴朗；雨天時烏雲密布，光線較暗，且當下雨程度越大，雨點越密，雨落下的速度越快；陰天時，天空被雲所佔滿，光線較晴天時暗，但比雨天亮；起霧多在陰天發生，且當程度越大，能見度越低，可視範圍越小，以上為一般而論，尚須考慮到因時間之不同所造成的差異來搭配產生適合之背景貼圖。圖 4-26 4-29 為在白天下四種不同天候的模擬效果。



圖 4-22 晴天的清晨



圖 4-23 晴天的白天



圖 4-24 晴天的黃昏



圖 4-25 晴天的夜晚



圖 4-26 白天的晴天



圖 4-27 白天下大雨





圖 4-28 白天的陰天



圖 4-29 白天起濃霧

在本研究所模擬的天候中，下雨與起霧較為特殊，以下將簡述其做法：

## ■ 下雨

在使用者車子外，套上一個立方塊，並在此立方塊上貼上雨點之貼圖，雨點之貼圖須分為大雨、小雨、毛毛雨等三種，雨點隨程度越大雨點越密、此外沒有雨點之部份，需經過透空處理才不致阻擋使用者之視線，而雨點落下速度快慢，則利用 EAI 控制 TextureTransform 節點之 translation 值的變化快慢，來模擬大雨、小雨、毛毛雨此三種雨點之不同落下速度，又雨下的範圍為整個場景範圍，故立方塊需會跟隨車子之移動，所以需利用 EAI 抓取駕駛者車輛的位置並將其設定給此立方塊。

## ■ 起霧

使用 EAI 來控制 VRML 之 Fog 節點，隨霧程度之多寡，調整 visibilityRange(可視範圍)之大小，即起霧程度越大 visibilityRange 設定越小，背景部分，因起霧時多為陰天故採用陰天之背景貼圖，並配合 Fog 節點，調整 visibilityRange 來配合作濃霧、多霧、薄霧之變化。

## 4.4 周圍景物

在真實駕駛環境下，駕駛者可能因周圍景物的關係，導致駕駛行為產生變化，最明顯如設立警告標誌，則駕駛者便可能因心生警惕而小心慢行，又如周圍景物發生變化，駕駛者亦有可能導致駕駛行為產生變化，因此將場景中，呈現「O型」之環繞車道，分成四個區段，每個區段又可分別設定路燈之有無、道路路面種類、路樹之多寡和路樹之種類、路邊標誌種類、門架式標誌種類及門架式標誌種類，如此一來後續之研究者便可觀察在區段改變處駕駛人行為之改變。

### 4.4.1 路燈

因有四段路，故建立四根相同但各自獨立的電線桿，每一段路上放一根，並將這四個電線桿的 VRML 的 Transform 節點各自定義一獨有之名，以路段一作例，其用法如下：

```
DEF S1Lamp Transform{.....}
```

再將每個路段各自獨立之電線桿，在各自的路段上複製，以路段一作例，VRML 語法如下：

```
USE S1Lamp Transform{.....}
```

如此一來只要控制原始四根路燈的有無，便可達到控制各段路燈的有無，而無須一一控制場景中幾百根的路燈，故當場景中有很多且相同之物體，可以使用 USE 及 DEF 來達到減少 wrl 檔之大小和方便控制的效果，而路燈之有乃是利用 EAI 控制 VRML switch 節點，當

whichChoice 值為-1 時，為無路燈，0 時，為有路燈。由於本研究經常使用 switch 節點，故簡介 switch 節點如下：

```
Switch{  
  
    whichChoice -1  
  
    choice[  
  
        Transform{.....}  
  
        Transform{.....}  
  
        Transform{.....}  
  
    ]  
  
}
```

假設第一個 Transform 代表物件一

第二個 Transform 代表物件二

第三個 Transform 代表物件三

當全部皆不顯示時將 whichChoice 值設為-1，要顯示物件一時 whichChoice 值設為 0，顯示物件二時 whichChoice 值設為 1，顯示物件三時 whichChoice 值設為 2，以此類推，即 switch 節點之功能乃切換物件是否顯示和顯示那一個物件。



#### 4.4.2 路面

由於將道路分成四段,故利用 EAI 設定不同之地表貼圖檔給這四段路地表之 ImageTexture 節點的 url, 來控制四段路地面種類之不同, 又當時間為晚上時, 且有路燈之狀況下, 地表貼圖要加上燈光的效果, 但其實在系統容許的情況下, 做法應為在路燈之發亮處加上光源, 來計算光線的效果, 且路面的 polygon 要多, 如 polygon 太少, 則在有光源照射到和無光源照射到之交界地帶, 無光源照射到之 polygon 只要其中有一點落在有光源照射到之地帶, 則該 polygon 也會亮起, 在考量到系統的負荷下, 採用此替代做法。

#### 4.4.3 路樹

路樹部份又分路樹多寡與路樹種類兩部份。

##### 4.4.3.1 路樹數量多寡

將路樹數量依多寡分為多、中、少且可分段設定路樹數量多寡, 雖場景有四段路, 但每段路之路樹數量多寡, 皆為使用相同之做法, 故僅介紹一段路之路樹數量多寡做法, 其做法如下, 先做三棵互相獨立之路樹(即不使用 use), 並個別將之命名一獨有之名稱, 依序將之種植於道路一邊, 且將路樹依順序編號, 第一棵為 1、第二棵為 2、第三棵為 3、第四棵則利用 use 之方法複製第二棵樹、第五顆利用 use 之方法複製第一棵樹, 以此類推, 即以 1232123212321.....之順序等間隔排列(見圖 4-30), 當路樹數量為多時全部顯現, 當路樹數量為中時, 將編號為 2 之路樹, 利用將 switch 節點之 whichChoice 設定為 -1, 以將編號為 2 之路樹去掉, 路樹數量為少時, 則將編號為 2 及 3

之路樹去掉，如此一來顯現的樹都為等間隔且達成變化路樹多寡的目的，道路之另一邊，則依相同做法對稱做之。

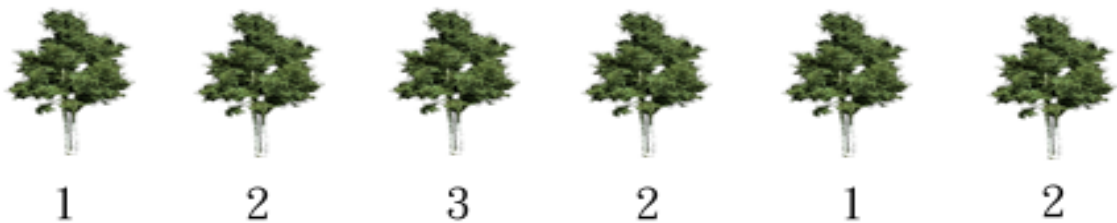


圖 4-30 路樹編號示意圖

#### 4.4.3.2 路樹種類

利用 EAI 設定不同之種類之路樹貼圖檔，給每段路各自獨立之三顆樹的 ImageTexture 節點的 url，便可達成更換同一路段路樹貼圖之效果。

#### 4.4.4 路邊標誌

標誌的設立並非隨意之設立，乃需按照其設置之規則設立，又標誌依其功能可將其分類為禁制、警告、指示標誌及輔助標誌四類，在本研究中亦將標誌分成四類，並可任意選擇所需之標誌在場景中出現，以下將先簡介標誌的種類與目的後在述其做法。

##### 4.4.4.1 標誌的種類與目的

依據「道路交通標誌標線號誌設置規則」[46]，標誌係指以一定

標牌繪以規定之符號、圖案或簡明文字，設置於固定或可移動之支撐物體上，用以提供前方路況或其他注意事項，促使用路人注意或遵守之交通管制設施；標誌上之內容，依實際需要可為固定、或暫時性。有關標誌之分類，根據設置規則中所述，標誌依其功能可分為禁制、警告、指示標誌及輔助標誌四類。整體而言，標誌主要功能為用來限制、提醒、指引及告示駕駛者，在道路上可能遇到之各種交通狀況，讓駕駛者能夠預先做好心理準備，以加速駕駛者之反應時間，俾能及早決定適當之駕駛操控方式，進而提高駕駛行車安全。以下簡述標誌之種類及其目的：

#### ■ 禁制標誌

用以表示特定之地點或路段或特定之時間內應遵守之交通管制規定。各種標誌之樣式甚多，詳細之標誌形體、顏色、大小、設置位置及意義應以交通部所頒定之「道路交通標誌標線號誌設置規則」為準。

#### ■ 警告標誌

用以警告用路人有關道路前方之危險狀況，以促使用路人注意而採取適當之因應措施。

#### ■ 指示標誌

用以指示路線識別、里程、方向、地名、以及道路兩旁之地理、文物等，使用路人能獲得必要的指示與導引。

## ■ 輔助標誌

主要用於輔助標誌之意義或作為臨時導引車行之標牌與設施。

### 4.4.4.2 更換標誌的做法

預先在場景中可能要設立標誌之地點，建立標誌之模型，其可能須設立標誌之時機可參考「道路交通標誌標線號誌設置規則」，為要滿足各種可能設立標誌之情形需建立禁制、警告、指示、輔助標誌之影像資料庫，根據使用者所欲設定之標誌種類，利用 EAI 控制標誌模型之 ImageTexture 節點的 url，將影像名稱設定給它，即可達成更換標誌之目的

### 4.4.5 門架式標誌、號誌

利用 3DS 建立一橫跨路面之模型，在模型上放置四塊板子來代表門架式標誌、號誌，並如同 4.3.4.2 節中建立標誌之影像資料庫般的建立門架式標誌及電子告示號誌的影像資料庫，在電子告示號誌方面，需使用 Gif 動畫作貼圖來表現其動態文字的效果，並利用 EAI 控制四塊板子的 MovieTexture 節點的 url，將影像名稱設定給它，即可達成更換的目的，門架式標誌部份則跟 4.4.4.2 節更換路邊標誌一樣做法。

## 4.5 車流

真實駕駛環境下，除駕駛者本身外，尚包括許多其他車輛，本研究將車流設計為前後相鄰之兩台車，並延著場景中由內側算起之第三車道逆時針方向行走，並可設定 1-5 組前後相鄰之車流，均勻分布在場景的第三車道上（見圖 4-31），同時我們可以設定車流之有無、車流車速快慢、兩台車之間距（見圖 4-32）和選擇車流之車種。

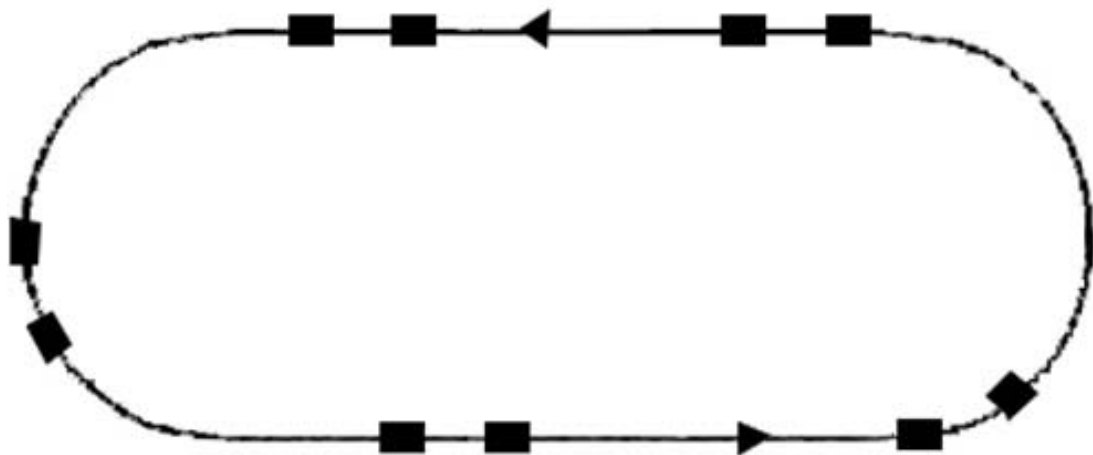


圖 4-31 車流示意圖



圖 4-32 車間距示意圖

#### 4.5.1 車流沿第三車道行走之做法

在第三車道描繪一沿著第三車道之曲線，將車子之模型利用 3DS 之 AssignController 功能，將車子指定給此曲線，如此車子便會沿著

所指定之曲線運動，並利用 3DS 之測量工具測量此曲線之總長度，以利以後設定車流車速時計算車速，當場景最後轉成 wrl 檔後會有 PositionInterpolator ( 以下簡稱 PI ), OrientationInterpolator ( 以下簡稱 OI ) 之節點內容輸出，此兩節點之型式如下

PositionInterpolator {

```

eventIn      SFFloat set_fraction      # (-∞,∞)

exposedField MFFloat key                []  # (-∞,∞)

exposedField MFVec3f keyValue           []  # (-∞,∞)

eventOut      SFVec3f value_changed

```

}

OrientationInterpolator {

```

eventIn      SFFloat   set_fraction      # (-∞,∞)

exposedField MFFloat   key                []  # (-∞,∞)

exposedField MFRotation keyValue          []  # [-1,1],(-∞,∞)

eventOut      SFRotation value_changed

```

}

此兩節點之 keyValue 內容控制車流車子之移動與旋轉，當物體

要在虛擬世界移動或轉動時，必需指定物體移動到虛擬世界的哪一個位置和繞何旋轉軸轉動及旋轉幾度，PI 和 OI 節點之 keyValue 值便分別代表車子沿第三車道行走時，沿途之位置和旋轉軸及旋轉角度，然而紀錄之值不可能無限多，故這兩個節點都會使用內插之方法求得未紀錄之位置和旋轉軸及旋轉角度，其使用方式為給定 PI 或 OI 之 set\_fraction 值，其值介於 0~1 之間，其值便代表著 key 值，由 key 值便可得知此 key 值位於哪兩個 keyValue 值之間，PI 或 OI 就可內插其值並將結果存在 PI 和 OI 的 value\_changed 值中，再將 PI 和 OI 的 value\_changed 值分別設定給代表汽車之 transform 節點的 translation 和 rotation，如此汽車便可移動及旋轉到預到達之空間位置，然而要讓汽車不斷地行走便要不斷地給定 PI 或 OI 之 set\_fraction 值，我們可利用 TimeSensor 節點之 fraction\_changed 值會隨著時間和週期不斷地週而復始之改變之特性，在場景放置一 TimeSensor，其設定如下：

```
TimeSensor{  
  
    cycleInterval 200  
  
    loop true  
  
    startTime 0  
  
    stopTime -1  
  
    fraction_changed  
  
}
```

依如此設定，則 TimeSensor 將會在進入場景後開始啟動，TimeSensor 啟動後其 fraction\_changed 值會改變，利用 EAI 抓取其值，其值範圍介於 0~1 之間，0 表示 TimeSensor 開始一個週期，1 表示 TimeSensor 結束一個週期，週期開始後，隨時間過去其值由 0 漸增至 1，當其值為 1 時，即結束一個週期，值便從 0 重新開始，此即代表開始另一週期，如此週而復始，EAI 抓到此值後，便將其值設定給 PI 的 set\_fraction，其值便代表 PI 的 key 值，範圍介於 0~1 之間，即範圍同於 TimeSensor 的 fraction\_changed，PI 會內插得出 keyValue 值設定給 PI 的 value\_changed，再使用 EAI 抓取其值，並將其值設定給代表車流汽車之 Transform 節點的 translation，同理 OI 部分的做法亦同於 PI 部分，如此便可讓車流不斷地沿著第三車道行走。

#### 4.5.2 車流有無之做法

使用 EAI 來設定 switch 結點 whichChoice 值，當其值為-1 時，無車流，0 時，為有車流。

#### 4.5.3 車流車速快慢之做法

儘管可以控制車流車速快慢，但因車流也是沿第三車道行走，故做法同於讓車流沿第三車道行走之做法，只是多了能控制車流車速快慢的機制，其方法乃控制在 4.2.3 節中放置在場景中的 TimeSensor 節點之 cycleInterval 屬性，由於使用 3DS 的測量工具量出了車流沿第三車道行走一圈之總距離，故只要設定跑完一圈所需時間，即能控制車流車速快慢，而控制 cycleInterval 即表示控制車流跑完一圈之時間，其單位為秒，故只要使用 EAI 設定適當之時間即可換算出車流車速。



#### 4.5.4 車輛間隔之做法

將 EAI 抓取之 fraction\_changed 值適當增加再設定給另一相鄰之車。

#### 4.5.5 車種選擇之做法

使用 EAI 設定 switch 結點 whichChoice 值，當其值為 0 時，為車 1，其值為 1 時，為車 2，其值為 2 時，為車 3。

### 4.6 駕駛者本身車輛部份

在真實駕車環境下，一定須使用後視鏡，否則無法察覺後方是否有來車，由於 VRML97 並沒有後視鏡之節點，只有 Viewpoint 節點，然而將 Viewpoint 放置在後視鏡位置，且讓 Viewpoint 方向朝車尾所得出之影像，仍與後視景影像不同，因鏡中為虛像，Viewpoint 方向朝車尾所得出之影像為實像，故左右會相反，即右方來車，如以 Viewpoint 方向朝車尾之方式顯示，則會變成左方來車，解決方法為利用 3DS 之鏡射功能，將之前製作的場景、駕駛者車輛及車流鏡射（見圖 4-33），此外在此左右相反的場景中，駕駛者所控制之車輛要做左右相反之控制，在如此情況下，將 Viewpoint 方向由後視鏡朝車尾所得之影像即為後視鏡之影像。

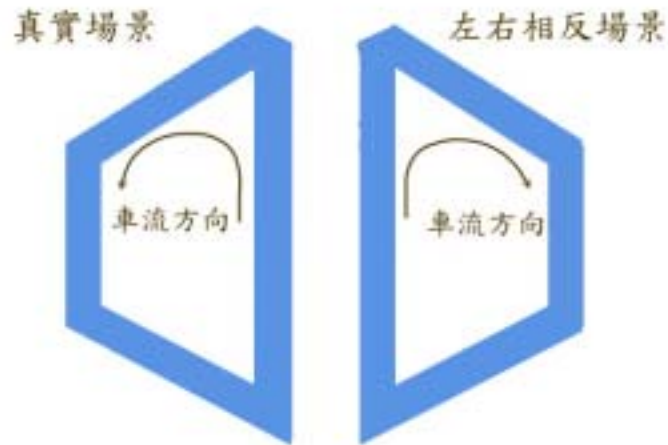


圖 4-33 真實場景與左右相反場景示意圖

#### 4.7 虛擬實境場景之校正

本研究之投影設備是採用單槍投射器作為模擬實驗場景之影像顯示工具，影響投射影像大小的因素有單槍投射器之放大倍率、與螢幕之距離、虛擬場景建構工具以及實際單位之換算當量等。因此為求提供使用者一個符合實際視覺大小的虛擬場景，必須藉由下列步驟將虛擬實境場景之投射影像大小，調整為駕駛者在實際開車時所感受到的物體大小。

1. 求出虛擬實境場景製作軟體中，不同大小之物體在不同的視距下，單槍所投射在螢幕上之影像大小的關係式。
2. 求出駕駛者對不同大小物體之視覺寬、高度與視距之關係式。
3. 於虛擬實境場景製作工具中，設定 X 軸之轉換當量為 1cm 比

100VU，令投射寬度 = 視覺寬度，求出 Z 軸之轉換當量。

4. 利用步驟 3 之結果，並且令投射高度 = 視覺高度，求出不同高度之物體，其 Y 軸之轉換當量。

#### 4.7.1 單槍投射參數之量測

首先將單槍投射器置於距離投射螢幕前 5.4 m、高 1.35 m 的位置，將倍率放至最大並調整焦距使投射影像能夠清晰顯示。此時，若再拉長單槍投射器與螢幕的距離，則投射範圍將超出螢幕之外。接著為測量虛擬場景中不同大小之物體在不同的視點與視距下，單槍投射器投射在螢幕之影像大小，本研究共量測寬(高)度為 5000、10000、15000、20000、25000、30000、35000、40000、45000、50000 VU ( Virtual Unit )等 10 種大小不同的正方體，並在 40000、60000、80000、100000、120000、140000、160000、180000、200000、220000、240000、260000、280000、300000、320000、340000、360000、380000、400000 VU 等 19 種不同的視距下，量測其投射之影像大小。根據量測結果，5000 VU 寬之物件，在不同視距下之量測寬度散佈圖，如下圖 4-34 所示。

其次，引用張劭卿[17]之圖形模式，並將之一般化為式 4.1，找出不同大小之物體，其投射寬度與視距的關係式。

$$\text{投射寬度} = a_w \times \text{視距}^{bw} \quad (4.1)$$

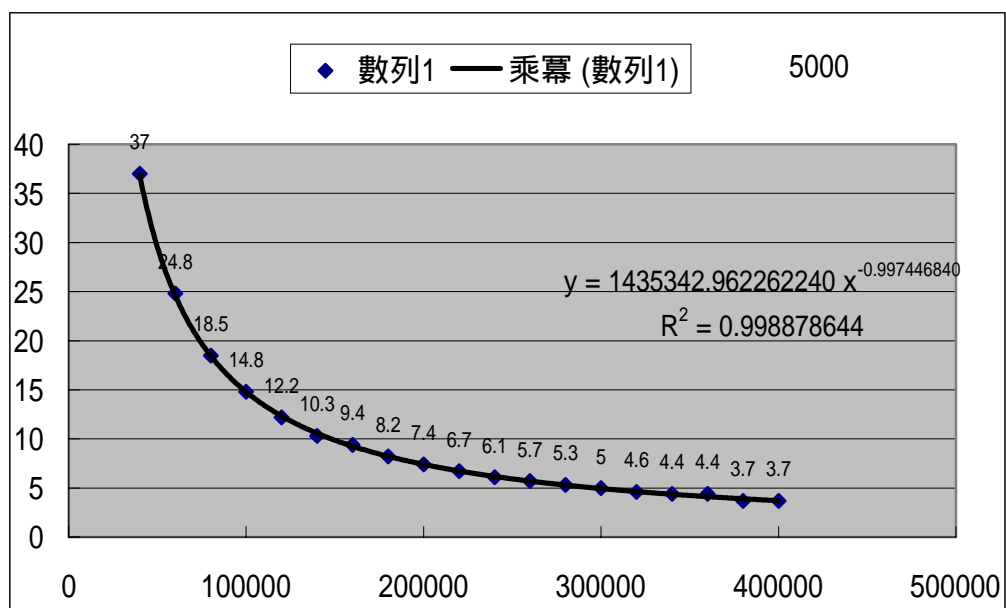


圖 4-34 不同視距下之量測寬度散佈圖(5000 VU 寬之物件)

表 4-6 式(4-1)校估結果表(模擬影像的投射規則)

物體寬度	$a_w$	$b_w$	$r^2$
5000	1435342.96	-0.99744684	0.9988786
10000	2047395.67	-0.98790906	0.999302535
15000	3167701.03	-0.99027826	0.999826263
20000	4185197.06	-0.98963969	0.999939393
25000	5553386.95	-0.995268385	0.999950018
30000	6239212.73	-0.985776071	0.999711278
35000	8391498.36	-0.997146857	0.999943256

40000	9726437.32	-0.998341948	0.999983068
45000	10856283.1	-0.997597243	0.9999503
50000	12454838.6	-1.000040114	0.99997305

由圖 4-34 表 4-6,我們可以知道回歸模型之配適狀況良好,且  $b_w$  均趨近 -1,於是將  $b_w$  以 -1 帶入,得下面之關係式。

$$\text{投射寬度} = a_w \times \text{視距}^{-1} \quad (4.2)$$

可得表 4-7。將物體寬度與  $a_w$  繪成散佈圖,如圖 4-35。

表 4-7 式(4-2)校估結果

物體寬度	$a_w$
5000	14808.42
10000	22484.3
15000	35644.21
20000	47458.95
25000	58815.79
30000	74150.53
35000	86871.58
40000	99241.05
45000	105913.7

50000	117416.8
-------	----------

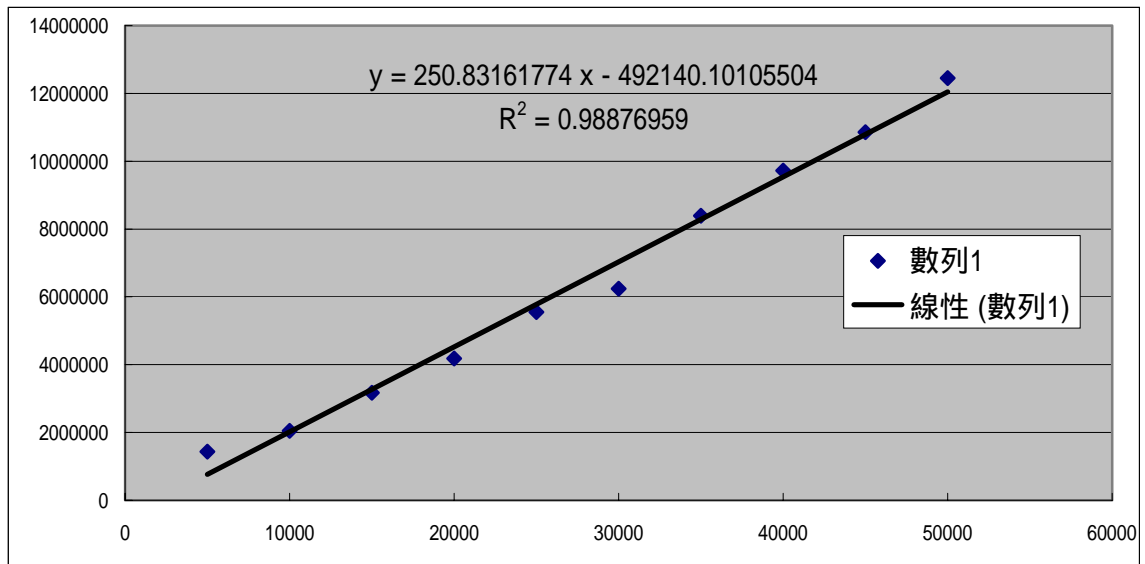


圖 4-35 物體寬度與  $a_w$  之散佈圖

若以直線回歸模型配適，可得以下之回歸式，

$$a_w = f(\text{物體寬度}) = (-492140.1011) + 250.8316 \times \text{物體寬度} \quad (4.3)$$

將 (4.3) 代入 (4.2) 可得：

$$\begin{aligned} \text{投射寬度} &= f(\text{物體寬度}) \times \text{視距}^{-1} \\ &= ((-492140.1011) + 250.8316 \times \text{物體寬度}) \times \text{視距}^{-1} \end{aligned} \quad (4.4)$$

#### 4.7.2 量測駕駛者之視覺影像大小

為找出駕駛者在駕駛時對於不同視距及不同大小之物體感覺，本研究參考張劭卿[17]所提出之方法來測量駕駛者對實際物體所感受到之視覺影像大小，並引用張劭卿[17]所量測之結果。該方法主要是針對在 5、10、15、20、25、30、35、40m 等 8 種不同視距下，量測駕駛者對 50，100，150，200，250，300 cm 等六種不同寬度、高度的物體所感受到之視覺大小。

根據量測結果，以 100cm 寬之物體為例，在不同視距下之量測寬度散佈圖，如下圖 4-36 所示。

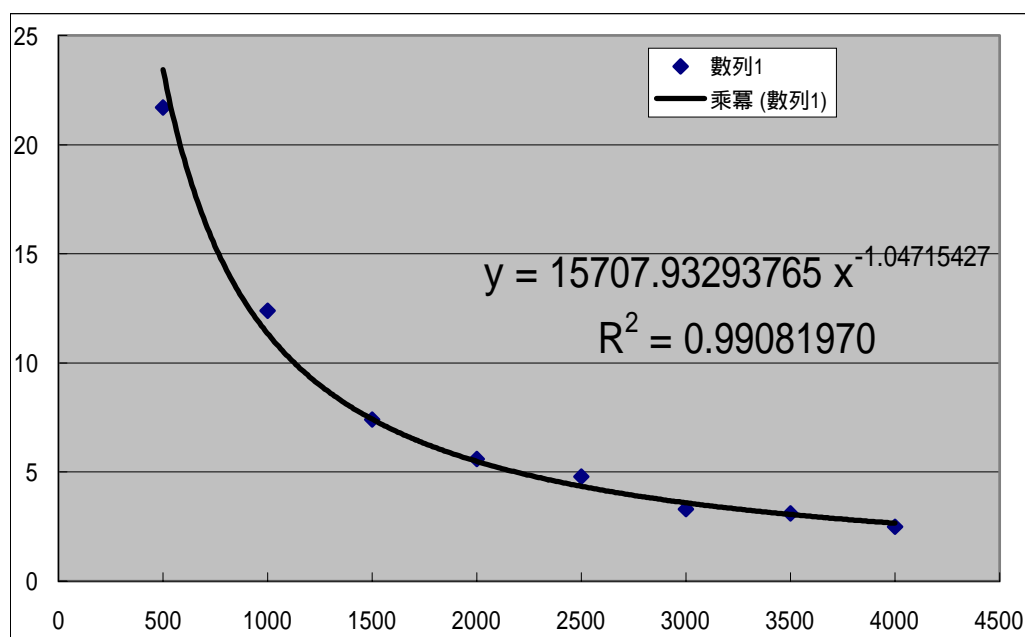


圖 4-36 不同視距下之量測寬度散佈圖(100cm 寬之物體)

其次，引用式(4-2)之模式，找出不同大小之物體，其投射寬度或高度與視距之關係式，其結果如下表 4-8、4-9 所示。

表 4-8 式(4.1)校估結果一覽表(真實物體之寬度投射規則)

	$a_w$	$b_w$	$R^2$
50	15707.93294	-1.04715427	0.99081970
100	26502.68029	-1.02395163	0.99655404
150	31347.78147	-0.98964853	0.99302298
200	33605.09903	-0.96102070	0.99876841
250	43059.10255	-0.97622953	0.97639085
300	79155.24481	-1.02858789	0.99776790

表 4-9 式(4.1)校估結果一覽表(真實物體之高度投射規則)

	$a_w$	$b_w$	$R^2$
50	10257.48751	-0.98983626	0.99856210
100	20830.80609	-0.99197620	0.99780553
150	31798.04733	-0.99395437	0.99913796
200	44567.87149	-1.00033803	0.99948547
250	54587.27152	-0.99687826	0.99974333
300	65421.01063	-0.99593381	0.99969694

由表 4-8、4-9 可知迴歸模型之配適狀況良好，且  $b_w$  的值均趨近-1。



因此，再以式(4.2)為模式型態，找出不同大小之物體，其投射寬度或高度與視距之關係式，結果如下表 4-10、4-11 所示。

表 4-10 式(4.2)校估結果一覽表(真實影像之寬度投射規則)

物體寬度(cm)	$a_w$
50	11037.5
100	22143.75
150	33943.75
200	45112.5
250	51756.25
300	63850

表 4-11 式(4-2)校估結果一覽表(真實影像之寬度投射規則)

物體高度(cm)	$a_w$
50	11078.13
100	22140.63
150	33287.5
200	44459.38
250	55890.63

300	67462.5
-----	---------

表 4-10 與表 4-11 之物體寬度或高度與  $a_w$  之散佈圖,如下圖 4-37  
圖 4-38 所示。

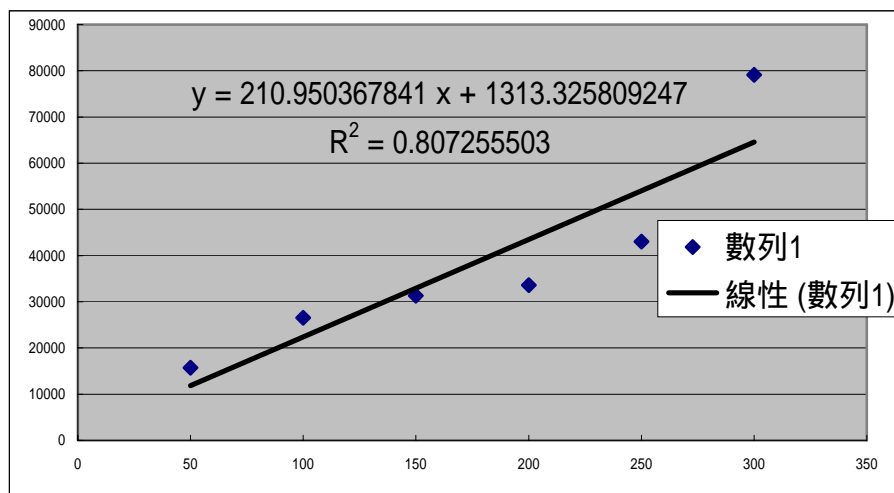


圖 4-37 物體寬度與  $a_w$  之散佈圖

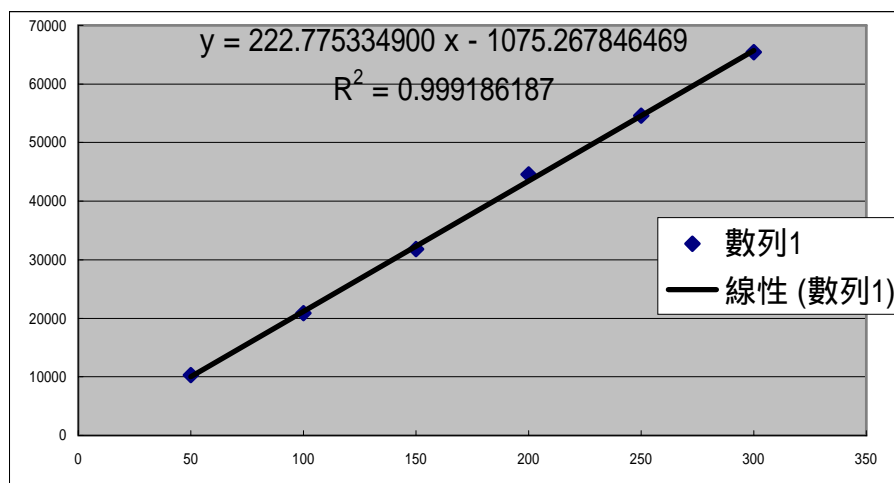


圖 4-38 物體高度與  $a_w$  之散佈圖

以直線回歸模型配視之，可得下列回歸式，

$$a_w=f(\text{物體寬度})=1313.3258 + 210.9504 \times \text{物體寬度} \quad (4.5)$$

$$a_w=f(\text{物體高度})=(-1075.2678) + 222.7753 \times \text{物體高度} \quad (4.6)$$

再將式(4.5)、(4.6) 代入 (4.2) ，可得駕駛者對不同大小的物體寬度與高度的關係式，

$$\begin{aligned} \text{視覺寬度} &= f(\text{物體寬度}) \times \text{視距}^{-1} \\ &= (1313.3258 + 210.9504 \times \text{物體寬度}) \times \text{視距}^{-1} \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned} \text{視覺高度} &= f(\text{物體高度}) \times \text{視距}^{-1} \\ &= ((-1075.2678) + 222.7753 \times \text{物體高度}) \times \text{視距}^{-1} \end{aligned} \quad (4.8)$$

### 4.7.3 投射影像大小之調整

利用前兩節量測所得之數據，將由單槍投射出來之影像，調整為駕駛者所感覺之實際影像大小。在寬度方面，令投射寬度 = 視覺寬度，可得：

$$\frac{\text{視距}_{Vvu}}{\text{視距}_{cm}} = \frac{(-492140.1011) + 250.8316 \times \text{物體寬度}_{vu}}{1313.3258 + 210.9504 \times \text{物體寬度}_{cm}} \quad (4.9)$$

因此，假設實際寬度為 1 公分之物體，原以 100 VU 轉換，以寬 100 公分之物體為例，校正時的轉換單位應為：

$$\frac{\text{視距}_{Vvu}}{\text{視距}_{cm}} = \frac{(-492140.1011) + 250.8316 \times 100 \times 100_{cm}}{1313.3258 + 210.9504 \times 100_{cm}} \approx 89.974 \quad (4.10)$$

亦即，若實際寬度為一公分的物體，原在虛擬實境的軟體設定為 100 VU(X 軸之轉換當量)，則寬 100 公分之物體在實際視距為 1 公分的距離下，虛擬實境軟體中之視距需調整為 89.974 VU，方能使投射寬度與駕駛者之視覺寬度相等。亦即，寬 100 公分之物體，其 Z 軸之轉換當量為 1 公分比 88.145VU。

在高度之調整方面，同樣令投射高度 = 視覺高度，並參照式(4.10)之結果：

$$\frac{\text{視距}_{Vvu}}{\text{視距}_{cm}} = \frac{(-492140.1011) + 250.8316 \times \text{物體高度}_{vu}}{(-1075.2678) + 222.7753 \times \text{物體高度}_{cm}} \approx 89.974 \quad (4.11)$$

上式經過整理可得：

$$\text{物體高度 } vu = 1576.3323 + 79.910 \times \text{物體高度 } cm \quad (4.12)$$

以高度為 100cm 的物體為例，在模擬實驗場景中，高度將設為 9567.332 VU，亦即，Y 軸之轉換當量為 1cm 比 95.673 VU。