

國立交通大學

土木工程學系碩士班

碩士論文

SRC 基本架構之虛擬實境展示

Demonstration of SRC structure in virtual reality



研究生：段弘毅

指導教授：林昌佑 博士

中華民國九十六年八月

SRC 基本架構之虛擬實境展示

Demonstration of SRC structure in virtual reality environment

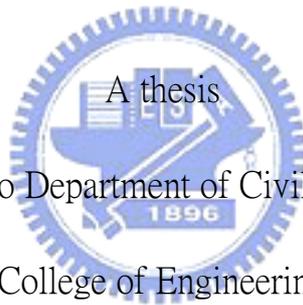
研究生：段弘毅

Student : Hong-Yi Duan

指導教授：林昌佑博士

Advisor : Dr. Chang-Yu Lin

國立交通大學
土木工程學系
碩士論文



Submitted to Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

In Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

In

Civil Engineering

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年八月

SRC 基本架構之虛擬實境展示

研究生：段弘毅

指導教授：林昌佑

國立交通大學土木工程系碩士班

摘 要

現今電腦技術日新月異，以往需要大量程式寫作的 3D 互動式操作或是虛擬實境(VR)，在現在皆有十分便利的工具能加以運用，讓不具備深厚程式功力的人也能製作諸如動畫或互動式模型。



SRC 的施工相較於傳統 RC 有著較多細節上的差異，如果以可操作的 3D 模型展示並提供互動性，相信對於想了解 SRC 架構的人而言會是另一個不錯的途徑，3D 模型不僅可以多角度進行觀察，同時相較於如影片或照片模式的說明方式，使用者更可以隨時對想知道的地方進行立即性的互動行為。

本研究之目的為使用 Virtools 來製作 SRC 組裝細部的虛擬實境場景，並利用 Virtools 建立能產生互動的觀察環境，同時使用 3ds Max 軟體來建立虛擬實境中的場景物件，希望達到透過簡單的表單點選，令使用者了解組裝之過程，同時可操作攝影機，自由觀看各部位的細部組成。

Demonstration of SRC structure in virtual reality environment

Student: Hong-Yi Duan

adviser: Dr. Chang-You Lin

Institute of Civil Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

In decades, the computer technology improved rapidly. For instance, it required massive programming to perform the 3D interaction operation or the virtual reality (VR) in past, but now all have extremely convenient tools to utilize. Give permission for not skilled programmers can also be possible to make such as the animation or the interaction model.

In civil engineering, the SRC construction is much complex than RC construction, and more compound details drawings need to be presented. If we can use the 3D demonstration model and provide the interaction, it should be a good way to understand SRC and to prevent miss-understanding.

The 3D Model can provide multi-angles observation, as well as to simulate the procedure. By arrangement, users can also monitor the place with immediately interaction behavior as necessary.

The objective of this research is then to use 3DMax and Virtools to create the SRC assembly detail, and establish the interactive environment for observation. Hopefully through this environment, the uses can understand the processes of the assembly, and learn the details of the SRC.

誌 謝

本論文之完成，首先要感謝恩師林昌佑教授的悉心指導，不論是在學業上、論文研究方向、整體架構，以致於細節上皆給予許多的建議與啟發，才能使得本論文得以順利完成。此外口試期間，承蒙洪士林教授、趙文成教授之指正以及提出寶貴的意見，使本論文更加完善，在此也致上深深的謝意。

兩年的交大生涯，結識了許多好友，同時在各方面也獲得了很多的幫助。在此要感謝學長奕銘的照顧，同學阿邦、志偉、啟勇、信宏、雅晶、學弟秉廷，在平時的支持與鼓勵，使我能在這兩年的求學過程中，生活更加多采多姿，同時也幫助我度過了許多的低潮時期。

最後要感謝我的家人，感謝你們多年來對我的照顧及關懷，讓我在學業上無後顧之憂，進而專注於論文的研究，在此我衷心感謝你們無所求的付出，同時致上最誠摯的祝福。

目 錄

摘 要	I
Abstract.....	II
誌 謝	III
目 錄	IV
表 目 錄	VII
圖 目 錄	VIII

第一章 緒論 1

1.1 研究動機	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍及方法.....	2
1.4 文獻探討.....	2
1.4.1 虛擬實境技術應用於工程方面.....	2
1.4.2 工程設計與電腦繪圖.....	3
1.4.3 SRC的施工性與施工詳圖.....	4
1.4.4 關於虛擬實境的相關論文.....	4

第二章 VR相關技術..... 6

2.1 傳統平面圖與電腦數位模型.....	6
2.2 視覺化於 2D、3D與 4D上的比較.....	7
2.3 虛擬實境.....	8
2.4 虛擬實境的分類.....	9
2.4.1 視覺呈現裝置	10
2.4.2 視覺呈現的分類	11
2.4.3 螢幕顯像技術	11
2.4.4 立體眼鏡.....	12
2.5 VR軟體標準.....	13

第三章 模型建構相關工具 17

3.1 3D Studio Max 簡介	17
3.1.1 3ds Max五大主題.....	18
3.1.2 3ds Max介面簡介.....	19
3.2 Virtools 4.0 簡介.....	20

3.2.1 Virtools 架構	21
3.2.2 Virtools 建構模組(Building Block).....	22
3.2.3 Virtools 介面簡介	25
3.2.4 Virtools 立體顯像硬體配備.....	26

第四章 SRC相關技術.....27

4.1 設計與施工可行性.....	27
4.2 SRC梁柱接合方式.....	27
4.3 梁柱接頭處之柱內連續板	28
4.4 梁柱接頭處之箍筋配置	29
4.5 SRC構材之續接	29
4.6 SRC梁之斷面配置.....	30
4.7 SRC柱斷面配置	30
4.8 混凝土保護層厚度.....	30
4.9 鋼骨斷面之鋼筋貫穿孔	31
4.10 SRC梁之設計細則.....	31
4.11 SRC柱之設計細則.....	33
4.12 箱型或圓形鋼管柱之焊接	33

第五章 SRC 互動模型之建構.....34

5.1 3D模型建立	34
5.1.1 SRC模型尺寸選定	34
5.1.2 基板與模型中心部分	34
5.1.3 H型托梁細節製作	35
5.1.4 組裝梁與焊道	35
5.1.5 螺栓接合	36
5.1.6 主筋、箍筋與柱內連續板	36
5.1.7 梁柱接合處箍筋	37
5.1.8 SRC鋼梁與鋼柱外層之混凝土包覆	38
5.1.9 立體模型材質處理	38
5.2 應用Virtools進行模型互動內容之製作	39
5.2.1 3ds Max模型匯出至Virtools.....	39
5.2.2 攝影機與燈光	39
5.2.3 攝影機移動控制	39
5.2.4 SRC物件組裝流程控制	40
5.2.5 互動模型的特殊功能按鈕製作.....	41

5.2.6 模型細部調整及物件資訊顯示.....	42
第六章 模型展示	444
6.1 執行檔案與下載瀏覽器	444
6.2 樓板與主筋出現.....	444
6.3 柱主筋、箍筋與鋼柱主體	444
6.4 梁之鋼骨及梁主筋、箍筋	45
6.5 混凝土澆置.....	46
6.6 自由觀察模式與特殊功能	47
6.7 模型元件衝突展示.....	48
6.8 SRC模型展示評估.....	48
第七章 結論與建議.....	51
7.1 結論	51
7.2 建議	51
參考文獻.....	53



表 目 錄

表 2-1	不同 3D 呈現方式於各方面之差異性.....	56
表 2-2	2D、3D 與虛擬實境表示方式特性.....	56
表 3-1	各式 3D軟體比較.....	57
表 4-1	SRC梁柱接頭處之鋼骨接合方式之優缺點比較.....	57
表 5-1	攝影機移動控制之對應鍵盤按鈕.....	58



圖 目 錄

圖 2-1	2D圖像與 3D圖像在視覺呈現上的差異 [26]	59
圖 2-2	3D 數位模型從不同角度觀看	60
圖 2-3	3D XML PLAYER畫面	60
圖 2-4	3D XML檔案嵌入Microsoft Word中	61
圖 3-1	3ds Max 初始畫面	61
圖 3-2	3ds Max各式指令面板	62
圖 3-3	創造box形 3D物件	62
圖 3-4	物件Modify面板(對box物件時)	63
圖 3-5	對box物件進行彩現的結果(未貼材質)	63
圖 3-6	3ds Max材質編輯器	64
圖 3-7	加入新材質至材質球中	64
圖 3-8	box物件貼上混凝土材質後的彩現效果	65
圖 3-9	複數物件以及不同材質	65
圖 3-10	3ds Max光影處理	66
圖 3-11	Virtools 的Building Block架構	66
圖 3-12	由數個Building Block 組成的物件行為腳本	67
圖 3-13	3ds Max 中的Virtools Export介面	67
圖 3-14	匯入模型並加入簡單光源後的畫面	68
圖 3-15	利用Building Block控制I-beam移動	68
圖 3-16	2D Fram、Icon以及材質建立	69
圖 4-1	包覆型SRC梁柱接頭之接合細部示意圖	69
圖 4-2	SRC梁柱接頭示意圖(鋼骨接合採用工地鉚接方式)	70
圖 4-3	SRC梁柱接頭示意圖(鋼骨接合採用托梁續接方式)	70
圖 4-4	十字型鋼柱之梁柱接頭採用托梁螺栓接合之示意圖	71
圖 4-5	箱型鋼柱之梁柱接頭採用托梁螺栓接合之示意圖	71
圖 4-6	未含連續板之梁柱接頭可能的失敗模式	72
圖 4-7	SRC柱內之連續板適當開孔以利澆置及填充混凝土	72
圖 4-8	SRC柱內之連續板適當開孔以利澆置及填充混凝土	73
圖 4-9	SRC柱內之連續板適當開孔以利澆置及填充混凝土	73
圖 4-10	SRC梁柱接頭採用四支L型箍筋焊接組合之形式	74
圖 4-11	SRC梁柱接頭區採用無焊接箍筋配置示意圖	74
圖 4-12	SRC梁柱接頭螺栓孔與箍筋孔太近造成鋼梁腹板撕裂破壞	75
圖 4-13	包覆型SRC梁斷面及配筋示意圖	75
圖 4-14	配筋太密的SRC梁斷面(梁柱構架中不建議使用)	75

圖 4-15	包覆型SRC柱斷面	76
圖 4-16	鋼管混凝土柱斷面示意圖.....	76
圖 4-17	配筋太密的SRC柱斷面	77
圖 4-18	SRC梁斷面配置細部示意圖	77
圖 4-19	SRC柱斷面配置細部示意圖	78
圖 4-20	竹節鋼筋示意圖	78
圖 5-1	3D模型採用之SRC柱斷面圖	79
圖 5-2	3D模型採用之SRC梁斷面圖	79
圖 5-3	SRC柱基腳之錨定螺栓、漸變鋼骨斷面與剪力釘示意圖	80
圖 5-4	地面以及中心鋼柱	80
圖 5-5	中心鋼柱四邊接H型鋼梁	81
圖 5-6	以圓柱體對托梁腹板進行布林運算	81
圖 5-7	完成托梁腹板開孔與削切程序	82
圖 5-8	全滲透單邊開槽焊 Single bevel	82
圖 5-9	建立組裝鋼梁部分與焊接區域模型(局部顯示)	83
圖 5-10	建立組裝鋼梁部分與焊接區域模型(廣域顯示)	83
圖 5-11	接合板與螺栓配置	84
圖 5-12	六角螺栓細部圖	84
圖 5-13	螺栓側面透視圖	85
圖 5-14	去除鋼柱只顯示連續板之樣式與位置	85
圖 5-15	梁主筋通過鋼柱開孔示意圖	86
圖 5-16	去除鋼柱、箍筋同時顯示梁主筋與連續板相對位置示意圖	86
圖 5-17	建立線段以及修改頂點高度	87
圖 5-18	柱箍筋製作示意圖	87
圖 5-19	完成的柱箍筋	88
圖 5-20	柱箍筋放置到指定位置	88
圖 5-21	柱箍筋彎鉤交互放置俯視圖	89
圖 5-22	箍筋彎鉤處面數上升情形	89
圖 5-23	梁柱接頭處兩種箍筋形式示意圖	90
圖 5-24	放置梁柱接合處箍筋至定點	90
圖 5-25	SRC梁柱接頭箍工地照片	91
圖 5-26	梁柱接頭處無焊接彎鉤組合俯視圖	91
圖 5-27	梁柱外側附加混凝土	92
圖 5-28	模型經過材質處理以及彩現後的效果	92
圖 5-29	剛匯入 3D模型的狀態	93
圖 5-30	攝影機新增與設定初始狀態	93
圖 5-31	完成初步攝影機與光源設置之Virtools畫面	94
圖 5-32	控制移動攝影機的Building Block腳本	94

圖 5-33	各物件安置到定位.....	95
圖 5-34	控制物件移動的主要腳本.....	95
圖 5-35	使用繪圖軟體Paint.net製作按鈕圖示.....	96
圖 5-36	製做按鈕與對應圖示.....	96
圖 5-37	功能按鈕腳本示意圖.....	97
圖 5-38	加入功能鍵後的畫面.....	97
圖 5-39	點擊物件即顯示相關資訊.....	98
圖 5-40	SRC五螺箍模型在IE瀏覽器下顯示之畫面.....	98
圖 5-41	SRC模型在IE瀏覽器下顯示之畫面.....	99
圖 6-1	瀏覽器正在下載 3D Life Player.....	99
圖 6-2	背景圖與操作介面.....	100
圖 6-3	樓板與主筋.....	100
圖 6-4	柱箍筋先堆疊於臨時位置.....	101
圖 6-5	鋼樑放置到中心.....	101
圖 6-6	柱主筋續接(第二攝影機視點).....	102
圖 6-7	主筋於柱中間段續接.....	102
圖 6-8	梁柱接頭箍筋組合正放置到定位.....	103
圖 6-9	完成組裝後的梁柱接頭箍筋.....	103
圖 6-10	雙向梁主筋穿過鋼筋預留孔至指定位置.....	104
圖 6-11	梁主筋與連續板位置(第二攝影機視點).....	104
圖 6-12	梁箍筋堆疊於靠近梁柱接頭側.....	105
圖 6-13	組裝H型鋼梁至指定位置.....	105
圖 6-14	孔位對齊後加上接合板.....	106
圖 6-15	接合板正使用螺栓接合(正面).....	106
圖 6-16	接合板正使用螺栓接合(背面).....	107
圖 6-17	梁翼板焊接處加上背墊板.....	107
圖 6-18	上翼板正在進行焊接.....	108
圖 6-19	梁箍筋移動至指定位置.....	108
圖 6-20	所有樑箍筋到指定位置(第二攝影機視點).....	109
圖 6-21	梁箍筋加上口型蓋部分.....	109
圖 6-22	樓層混凝土澆置(未硬固前).....	110
圖 6-23	樓層混凝土澆置(硬固後).....	110
圖 6-24	組裝完畢後之初始畫面.....	111
圖 6-25	按下Z鈕後畫面拉近.....	111
圖 6-26	按下C鈕後畫面向左水平移動.....	112
圖 6-27	按下Hide後左上方主控制按鈕群消失.....	112
圖 6-28	隱藏部份混凝土塊.....	113
圖 6-29	隱藏部分物件以觀察連續板及梁之主筋位置.....	113

圖 6-30 隱藏H型鋼樑以外的物件 114
圖 6-31 點擊物件後顯示相關資訊..... 114
圖 6-32 梁主筋與箍筋位置發生重疊(模擬狀況) 115



第一章 緒論

1.1 研究動機

以往的工程圖大多是同時顯示兩個維度的相互關係為主，三個維度的工程圖通常只用來顯示建築物的外觀。對於施工人員最想從中獲得的尺寸資訊而言，若結合三維度圖面顯示的話，便會造成圖面混亂而不易閱讀，故目前主流仍是以二維度的不同角度透視圖為主。然而隨著建築物的多變及複雜化，透視圖的線條也快速增加，工程人員就必須花更多時間去了解設計者在圖面上所要表達的構想，同時準確的予以具體呈現出來。建築過程中不論是在設計時或是施工中，只要某處發生錯誤便會影響到很廣的範圍，同時也將浪費大量的時間及金錢。基於以上原因，爲了能更清楚的令不論是工程人員，或非專業人員都能清楚了解設計者的原意，本研究利用電腦的技術，結合圖像及資料的功能，甚至加入動態的效果來展示一複雜的設計或是施工的過程。

SRC 結構雖結合了傳統 RC 以及鋼結構兩者的優點，不過同時就施工技術而言卻也相對較複雜，尤其是在於梁柱接頭處同時存在著鋼結構的焊接、螺栓接合以及 RC 的箍筋部分，若是設計者沒有一定程度的了解而直接進行設計，或是現地人員沒有依照特定流程進行施工，其結果往往是不能依照圖面進行組裝，更嚴重的甚至會影響結構本體的安全。

雖然也可以利用如圖片或是影片的方式了解 SRC 基本構造，不過 2D 的展示媒介仍存有不便之處，如圖片只能靜態展示而影像只能觀察到拍攝者所見之物，不能改變自己想要的觀察方向或是流程。如果能從三維空間進行觀察的話，相信能更快且具體了解 SRC 的相關內容。

拜電腦運算速度飛躍性的成長、圖像處理的進步，以及各種簡便的 3D 模型製作工具，利用這些技術來做出一個簡單的 SRC 3D 互動式模型，期望能達到令使用者快速了解大略的流程或細部的差異。

1.2 研究目的

本論文主要目的在嘗試利用現有的 3D 建模與 3D 互動工具，製作一個 SRC 互動模型，並且藉由結合網際網路與虛擬實境的方式，讓使用者能在這一虛擬環境中，更加直覺化的獲得自己所需要的資訊。更進一步的話，期望當利用真實結構的設計圖進行模型化後，在電腦上就能呈現出實際組裝時的情況，不僅可以在設計階段就發現施工時可能產生的問題，同時在此階段即可進行必要的修正，節省因施工不當而浪費的時間、金錢，同時亦能保障工地按圖施工，確保完成後的結構能發揮出原始設計應有的強度。

1.3 研究範圍及方法

本研究所使用的 3D 模型建構工具為 Autodesk 3ds Max 9.0 版，而最主要的模型互動部分則是使用 DASSAULT SYSTEMES 公司的 Virtools™ 4.0 版。而模型方面選擇了包覆型填充鋼管混凝土 (BOX 型鋼管)，四面接 I 型鋼骨梁為主，另外還有 SRC 五螺箍模型。



1.4 文獻探討

本節就電腦應用於工程方面的各項技術，與相關施工實例進行回顧，同時也對過去關於應用虛擬實境在土木相關的論文進行約略的介紹。

1.4.1 虛擬實境技術應用於工程方面

土木工程中的虛擬實境技術涉及土木工程領域的各個學科，現已顯示出一定的實用性，技術潛力十分巨大，應用前景非常廣闊。這裡列舉以下六類相關之應用：

1. 土木工程中的虛擬實境技術包括抗災與防災的類比擬真系統；大地工程中

的類比擬真系統；專案管理系統；投標決策系統；工程結構分析的類比擬真系統；施工過程的類比擬真系統；土木工程中的專家系統與擬真系統的集成等。[1]

2.建築 CAD 中的虛擬實境技術：包括城市規劃、工程項目規劃；建築設計與結構設計；專案管理；室內裝飾；建築機械設計等。[2]

3.建築、結構設計與施工過程的視覺化計算：包括建築設計與結構設計的視覺化計算；建築物、大型結構的風洞試驗的視覺化計算；結構有限元分析的視覺化計算；施工過程模擬的視覺化計算等。[3]

4.建築、結構設計與施工的先期技術成果演示和驗證技術：包括大型的公共建築專案或比較重要的建築(如車站、新機場、橋樑、港口、大壩、核電站等大型工程)、城市規劃設計方案、城市交通佈局設計方案、建築物室內設計、佈置和裝飾效果的先期演示、驗證；建築設計成果、結構設計成果的先期演示、驗證等。

[3]

5.建築機器人中的虛擬實境技術：包括表面修整機器人；隧道工程用機器人；挖掘用機器人；組裝機器人；檢查用機器人；放射性混凝土切割機器人等。[3]

6.建築、結構藝術與虛擬實境技術。[3]

1.4.2 工程設計與電腦繪圖

工程人員常假設工程設計圖說係經層層審查通過，內容應正確無誤，但 Vaysburd(2004)引述法國和瑞士的調查報告指出，約有 37%的工程缺失或瑕疵是來自設計不良[4]。因此有規模的承包商取得設計圖後的第一件事，就是對設計圖說進行清圖工作，其目的在排除日後工作上可能遭遇的困難，也同時對業主因圖說不明，內容衝突等會造成成本增加和工期延宕，進行索賠之準備。

舉國內大家較熟知的台灣高鐵為例，自從 2000 年引進 3D 技術迄今，對於 3D 技術的發展已趨純熟，應用也越來越廣泛，無論是在建築物外觀選擇、檢討測量精度、GIS 資料庫建立或是媒體宣傳等，都有相當的成效。高鐵台中車站 S250

標自開工以來，便將 3D 技術應用在營建虛擬施工及工程介面之管理，而且是高鐵六個新建車站中，唯一大量採用 3D 技術，虛擬施工的工地。利用事前在電腦中模擬設計成品，能有效地解決設計盲點、檢討施工問題，並找出介面關鍵點，使得施工及協調更為順暢。[5]

除台灣高鐵外，位於北京同時亦為 2008 年奧運主會場的”鳥巢”體育場，也是現今使用大量電腦 3D 技術的工程代表作之一。由於”鳥巢”擁有目前世界上最複雜的鋼結構造型，傳統 2D 圖式已無法滿足此工程之需求，因此”鳥巢”體育場使用全 3D 的電腦繪圖技術，應用於建築及設計之大部分階段，同時施工過程中也使用了大量的電腦監控與計算，用以控制各鋼架的位移量。[6]

1.4.3 SRC 的施工性與施工詳圖

SRC 構造樑柱配筋施工性不佳，為工地最困擾課題之一，為提昇施工性及確保耐震性能，因此設計者於設計階段除考慮結構安全需求之強度、勁度與韌性外，並應確實檢討施工之可行性，尤以 SRC 構造中較複雜處（如：樑柱接頭、構材續接處）確實檢核鋼筋配置及混凝土施工之可行性，以避免設計出不合理或難以施作的圖說；而施工廠商於施工前更應確實繪製鋼構施工詳圖(Shop Drawing)及鋼筋施工大樣圖(Working Drawing)，若發現不合理或難以施作處應回饋給設計者修正圖說，以免而影響耐震品質[7]。惟國內甚多的施工廠商並未落實施工前之鋼筋施工大樣圖（如：樑柱接頭）繪製檢討工作，常發生鋼構及鋼筋組立後無法施工，才回饋設計單位檢討修正圖說，如此往往會影響施工進度及品質，若能引用營建虛擬施工技術，利用 3D 模型檢核設計圖，相信能有效解決上述問題。

1.4.4 相關研究

關於電腦虛擬實境的應用，有相當多的研究。就應用於電腦輔助教學方面，交通大學土木系邱明祺[8]、陳奕銘[9]、范政富[10]曾以材料力學作為主題，架構

一虛擬材料實驗室，並藉由 Internet 的連結顯示教學主題的說明網頁，供遠端者使用，達到虛擬教學的理想。虛擬實境技術的目的在於建立一個新的互動式使用者介面，讓使用者可以置身在電腦模擬實際環境的空間中，好像真的置身在特定的環境中。虛擬實境藉由令使用者有身歷其境的感覺與效果，加強使用者對該環境中所呈現資訊的注意力、集中力與興趣，令人們可以有較佳的學習效果及成效，對於輔助教學系統上有明顯的助益。

此外廖健羽[11]利用 VRML(Virtual Reality Modeling Language)技術製作出虛擬建築物，同時結合資料庫系統與查詢功能，將傳統施工圖及數據資料整合至虛擬建築中的各桿件內，進而達到快速流通與方便查詢的目的。

施政璋[12]使用遙測技術結合虛擬實境，以模擬土石流的方式，配合土石流防治工法之虛擬配置，建立動態展示，用以作為土石流防治方案及防治工法回饋設計之重要參考依據。

呂明娟[13]利用虛擬實境中的 4D 模擬技術，應用在鋼結構工程之上，透過視覺工具預先模擬時間與空間同時發展的細節，在工程施工前發現設計衝突點，並加以管制，降低施工中設計變更的可能性，進而提高生產力。

蔡雅雯[14]以電腦模擬營建工程之作業程序，用以解決複雜作業流程以及資源、人力配置問題，以期能有效管理營建作業流程，進而掌控其對工期成本影響，提昇整個工程的生產及執行效率。

虛擬實境除了應用於土木營建方面之外，於其他領域皆有廣泛的應用，以國外的例子而言，如 NASA 的 Virtual Wind Tunnel 虛擬風洞、飛行模擬機、British Aerospace Brough Lab.(1993)的虛擬汽車內部設計、Greenleaf Medical System 的虛擬手部障礙診察系統、下腹部手術模擬等。娛樂方面，越來越多的電影使用虛擬實境的技術，例如現在到處可見的 IMAX 電影院即為一例，而遊戲產業更是用到了大量最新的電腦繪圖與虛擬技術。

虛擬實境的技術已逐漸普及，隨著電腦技術的飛躍成長與網際網路的發達，相信未來虛擬實境的應用將會更深入到每個人的生活之中。

第二章 VR 相關技術

2.1 傳統平面圖與電腦數位模型

過去若以2D平面圖形來表示高度，必須在每個區域提供基準線，透過圖像比較才能想像出一個實體狀況，如果利用3D繪製會較2D圖形能獲取大量資訊且有較佳集中力的特性，因此所傳達的資訊較容易理解。如圖 2-1 所示為一棟建築物之2D圖像與3D圖像之視覺上的差異。

現今電腦繪圖技術發展快速，已經能簡便地在3D虛擬空間上創造出數位模型，圖 2-2 為使用3D物件瀏覽器(3D XML PLAYER)，以不同角度觀看一個引擎模型之示意圖。

在工程應用上3D數位模型應用性較高，比起傳統的方法有著許多的優勢存在，表2-1比較不同3D呈現方式的各種差異性。這裡分為3D透視圖、3D實體模型與3D數位模型，3D透視圖即為一般人常常收到的房屋廣告中，用來呈現建築物整體外觀的圖樣，如建築銷售案之外觀透視圖，相較於2D平面配置圖的表示，非專業人員可以很直接的透過圖面即對所呈現物件有一定程度的認知。而3D實體模型，也就是建築設計人員經常使用的實物等比例縮小模型，雖然完成之後可以擁有任意角度的視點，不過缺點就是製作過程很花時間，同時修改性差。

3D數位模型是將資訊(材料屬性、剖面資訊等)放於同一個模型，可檢視2D規劃、立面圖、剖面圖，並消除相關的衝突性。由於單純化，能夠減少空間中衝突錯誤的結果，顯露出不同階段相異之處。設計者本身所要表達之立體圖形透過3D數位模型的傳達，不需進一步理解2D圖形所內含空間資訊，從規劃人員到現場工程人員都能快速的了解一致性目標影像，避免誤解工程文件傳達資訊。

2.2 視覺化於2D、3D與4D上的比較

2D 物件舉簡單的例子，如平面圖、三視圖，就單一圖面中只能觀察到兩個維度的資料，像是長與寬的關係。如果需要第三個維度資料例如高度，此時便需要再繪製該物件另一個角度的圖像，建立起高與長或高與寬的關係，在物件簡單的情況下雖仍能滿足需求，但當要表現複雜物件時，圖面將包含很多的隱藏線，此時如光靠數張充斥密密麻麻線條的圖表，卻要令觀察者能有對被描述物件有清楚的了解，將是一件十分困難的事。

爲了改善此一缺點，之後便產生了立體圖，藉由在一個圖面中一次描述三個維度間彼此的關連性，令觀察者能省去之前觀看 2D 圖面時所必須具備的想像力，除了減少資料傳遞的錯誤之外，獲取資訊也變的更爲方便。不過立體圖仍有資訊傳遞的空隙存在，例如當觀察一建築物時，雖能獲得圖面視野中的三維資料，但是若是要看物件背後的圖面，就會產生問題，而解決方式不外乎一是將遮蔽物變成透明，另一則是只好換至想要觀察的角度並重新繪圖，兩種方式都不是十分便利的解決方法。

現今由於電腦技術的發達，利用專業繪圖軟體製作出虛擬物件已是十分簡單的事情，這邊的虛擬物件其實指的就是藉由電腦的即時運算，讓使用者可以隨心所欲的改變視角，利用電腦強大運算能力的作用下，即時產生全新的3D圖面。簡單來說，就是繪圖者現在只需製作一個在電腦中的虛擬物件，經由軟體控制就可觀察到各種不同角度的畫面，有如真的製作了一個用來觀察的實體模型一般。相較於2D圖，電腦模型可以包含更多資訊，同時不會對使用者造成觀看時的困擾，以虛擬物件更可以隨時產生傳統平面圖、任意角度立體圖，同時又擁有更好的視覺效果。

4D則爲空間模型與時程的結合，4D 模式下包含了建物圖像和建造排程檢視[15]。以視覺化應用於工程進度模擬時，是透過2D CAD 轉換成3D 數位模型，再與作業所需進行的時間(time)作連結，形成視覺化。表2-2 爲比較傳統2D、3D與虛

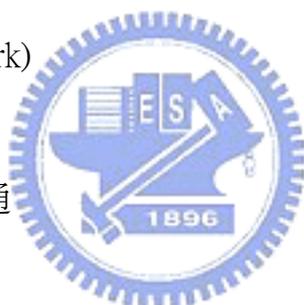
擬實境(包含時間要素)呈現方式，可了解到虛擬實境較2D 或3D 表達方式更易產生互動性。Griffis 等人針對使用性與使用者兩方面所說明出4D電腦輔助設計應用優勢[16]：

1.使用性：

- (1)清楚檢核
- (2)多方詳細瀏覽
- (3)會議討論參照依據
- (4)施工性檢閱

2.使用者

- (1)減少介面的突衝性
- (2)視覺化的呈現
- (3)減少重覆作業(Rework)
- (4)改善工程的精確性
- (5)改善工作介面的溝通



2.3 虛擬實境

虛擬實境(Virtual Reality，VR)，是利用電腦模擬產生一個三度空間的虛擬世界，提供使用者關於視覺、聽覺、觸覺等感官的模擬，讓使用者如同身歷其境一般，可以及時、沒有限制地觀察三度空間內的事物。使用者進行位置移動時，電腦可以立即進行複雜的運算，將精確的3D世界影像傳回產生臨場感。該技術集成了電腦圖形(CG)技術、電腦模擬技術、人工智慧、感測技術、顯示技術、網路同步處理等技術的最新發展成果，是一種由電腦技術輔助生成的高技術模擬系統。

從技術的角度來說，虛擬實境系統具有下面三個基本特徵：即三個「I」immersion-interaction-imagination（沉浸 — 互動 — 想像），它強調了在虛擬系

統中的人的主導作用。從過去人只能從電腦系統的外部去觀測處理的結果，到人能夠沉浸到電腦系統所創建的環境中，從過去人只能通過鍵盤、滑鼠與計算環境中的單維數字信息發生作用，到人能夠用多種感測器與多維信息的環境發生交互作用；從過去的人只能以定量計算為主的結果中啟發從而加深對事物的認識，到人有可能從定性和定量綜合集成的環境中得到感知和理性的認識從而深化概念和萌發新意。總之，在未來的虛擬系統中，人們的目的是使這個由電腦及其它感測器所組成的信息處理系統去儘量滿足人的需要，而不是強迫人去適應那些不是很親切的電腦系統。

虛擬實境技術的特色，在建立一個新的使用者介面，讓使用者利用電腦所模擬出來的環境，產生出置身其中的感受，並可利用一般或特殊的輸入裝置，自由的漫遊在這個即時繪製的虛擬世界中。此外，虛擬空間不一定是一個真實世界的模擬，也有可能是一個想像的世界，這時就必須依靠設計者的想像力來創造了。

虛擬實境的最大特點，就是能讓使用者有“身歷其境”的感覺與效果。例如模擬現實可能存在的場景，藉由引起使用者的共鳴。也就是說，利用電腦並配合先進的設備，讓人類產生幻覺而誤以為身在其中。即使電腦描述的虛擬世界在現實中不可能存在，仍可提供生動逼真的效果。

2.4 虛擬實境的分類

虛擬實境是項整合性的發展技術，所包含的範圍非常的廣，以至於學術界對其技術分類尚無定論。有些學者依據虛擬實境所產生的視覺效果，以及適用對象，將虛擬實境粗分為五大類：

1. 重疊式虛擬實境：經由影像合成的技術，把使用者的影像與預先做好的虛擬世界重疊，並加入互動訊息，最後呈現至螢幕，如此使用者便可以看到自己在虛擬世界中活動。
2. 桌上型虛擬實境：此類的虛擬實境技術常透過一般的電腦螢幕來展現虛擬世

界，但是使用者仍能經由特殊的三度空間輸入裝置，即時的操控虛擬世界中的互動物件。

3. 置身式虛擬實境：或稱為融入式的虛擬實境，透過特殊的顯像裝置來模擬人類左右眼的視覺效果，而產生立體的感覺，具有強烈的浸入感，如頭盔顯示器。
4. 投影式虛擬實境：虛擬實境顯像系統採大型投影的方式，讓多人同時瀏覽虛擬世界，並透過連線的 3D 輸入裝置即可參與其中的互動。
5. 模擬機虛擬實境：模擬機提供額外的定製設備，以模仿真實的機件和裝備，藉以作為輸出或輸入的裝置，同時提供更親切的操控環境，如模擬飛行器、汽機車模擬器等。

2.4.1 視覺呈現裝置

視覺呈現裝置可說是虛擬實境輸出設備的主力，講求與使用者視覺的直接結合，不但運用畫質精美的圖形、幾可亂真的虛擬景物、三度空間的臨場感、生動逼真的動畫…等等，來吸引使用者的目光。對於電腦幻境之外的刺激，更希望藉助裝備將之隔絕。這部分的裝置常見的有：頭盔顯示器(Helmet-mounted Display 或 Head-mounted Display, HMD)、立體眼鏡(Stereo Glasses)和立體透鏡。

今日電腦繪圖的相關產品，無論是繪圖系統或是影像處理相關的應用程式，無不標榜 3D 圖像的提供與處理能力。這些應用軟體呈現的虛擬空間，皆是以 3D 座標系統定義，且大多數皆能提供考量單眼視深與直線投射的影像。

虛擬實境希望藉由電腦的模擬圖像，結合使用者的視覺，首先必須考量人類雙眼對距離判斷的特性。一般人利用雙眼的視角收斂度，可以判斷物體的遠近，同時提高眼前景物的清晰度。因此，若要用平面呈現像模擬真實世界的立體視覺效果時，首先必須有技巧地克服雙眼對距離的判斷。換句話說，立體影像必須解決雙眼視角差異的問題。

2.4.2 視覺呈現的分類

一般而言，目前虛擬實境提供的沉浸式立體效果，必須同時仰賴軟體和硬體的支援。就硬體方面而言，依照所運用的技術不同，立體成像系統可分為下列幾種類別：

1. 多通道投影系統

這類系統就是投影式 CAVE 系統，其特點是：同時提供多個不同角度的景象，以水平銜接的方式營造出虛擬景觀的環場效果，讓使用者置身於可自由活動的洞穴中，例如：天文台的星象館、180 度電影院等等。

另外，目前大多數的方法都需要輔助工具，才能得到立體效果，例如：分色法、分影法和快門式系統。多通道投影系統則可能做到不需要特殊的視覺輔助工具，也能獲得立體的圖形效果，也就是說不再需要眼鏡之類的工具。

2. 螢幕呈現系統

桌上型與置身式虛擬實境系統皆能使用螢幕呈像，前者必須搭配螢幕以外的週邊設備，例如：立體眼鏡和立體透鏡，後者多以頭盔(HMD)的形式出現，不需藉助其他週邊設備，即可獲得沉浸式立體效果。

2.4.3 螢幕顯像技術

1. 分色法立體顯像

這類立體成像系統運用特殊分色技術，把原有的 3D 圖像分化為二色系交錯重疊的圖，所以必須使用特殊眼鏡才能看到所要的立體效果。利用紅一藍二基本色系分化重疊的立體圖，在配戴藍一紅立體眼鏡之後，即可看到具備立體效果的立體影像。

另外，同樣運用分色處理技術，某些系統採用分別呈現兩張半成圖的方式，即是提供結合分影法的分色立體圖，而不是提供交錯重疊的單張圖片，但不管是否結合分影處理法，這種立體圖常有無法完善調和色彩資訊的缺憾。

2. 分影法立體顯像

此類立體呈像技術同時針對兩眼分別提供左右兩張影像，並且設法遮蔽一眼對另一眼景象的認知。即是讓左眼只看到專供左眼觀賞的畫面，而無法看到提供給右眼的景象，同時右眼也不能看到專供左眼的景象。

分影法的運用尚可細分為：影像平行與影像交錯兩種類型，前者如同前面所說同時提供兩張圖像，分別給左眼、右眼觀測。這種方式在桌上型 VR 是用單一螢幕呈現兩個畫面達成，在置身式 VR 則分別提供兩個螢幕，同時呈現不同的畫面。影像交錯則是快速重疊先前分開的影像，利用人類視覺暫留的特性營造出立體效果，因此只需單一畫面即可。

3. 快門式系統

時序交錯系統中，兩張視圖在時間上是錯開呈現的，運用葉板的快門系統便屬於此類。這類系統在顯示器上，很快的交錯顯示左眼和右眼看到的透視圖，同時採用一快門機構來將呈現圖像與視覺達成正確的同步。老式系統應用有縫的旋轉柱作為快門機構，只要在搭配一吋特殊眼鏡即可獲得立體效果。



2.4.4 立體眼鏡

除了頭盔顯示器之外，另一個熱門的虛擬實境呈現裝置就是立體眼鏡了。目前配合虛擬實境所能使用的立體眼鏡有許多種，如以價位來區分的話，大約可分為三類：

(1) 使用塑膠鏡片的眼鏡

這是價位最低的立體眼鏡，約在台幣百元以下，大多利用紙框或簡單塑膠框架，搭配紅色與藍色的塑膠鏡片，或是搭配使用偏光折射原理的塑膠鏡片，眼鏡與螢幕間不用傳遞任何同步訊號，所以是一種無線眼鏡。

由於眼鏡成本低，此類眼鏡大多應用在主題樂園或是博物館的立體劇場，也常看到夾附在書籍、畫刊上，不過製作立體動畫的成本可就高了許

多，所以多半是拿來看被動式的圖片或動畫。

(2) 使用液晶鏡片的有線眼鏡

對於主動式的虛擬實境場景，畫面劇情的演變隨著使用者當場操作而變，在立體呈像上都是搭配使用液晶鏡片的眼鏡。電腦螢幕上是以高頻交叉輸出左右眼畫面，透過連接電腦與眼鏡的一條同步訊號傳輸線，當螢幕上顯示左眼畫面時，即能控制右眼的液晶鏡片變為一片漆黑，所以左眼看到左眼畫面同時，右眼是看不到畫面的，反之當螢幕上顯示右眼畫面時，左眼也是看不到畫面的，結果就是右眼只看到右眼的畫面，左眼只看到左眼的畫面。

(3) 使用液晶鏡片的無線眼鏡

上述的液晶立體眼鏡必須要在電腦與眼鏡間拉上一條同步訊號傳輸線，如果把同步訊號傳輸改為用紅外線傳輸，就可省去一線之苦。此種眼鏡具有很好的立體承像效果，但也要搭配垂直掃描頻率超過 120Hz 的電腦螢幕。



2.5 VR 軟體標準

電腦繪圖技術在硬體方面進步的速度十分快速，每季都會有新的繪圖晶片組及新產品問世。同樣的，關於 3D 軟體標準也是不斷的推出新技術，從 VRML、X3D 到最近的 3D XML，這裡即對這三種從過去到現今較為通用的標準進行介紹。

VRML 為 Virtual Reality Modeling Language 的縮寫，即虛擬實境模型語言，是一套與 Internet 結合，用來描述三度空間互動世界的一種檔案格式，可用來建立三度空間物件、景象、以及虛擬實境的展示模型。透過 VRML，Internet 的使用者可以觀賞到立體空間的模型，而不限於二度空間的圖形、影像。1996 年 8 月公佈的 VRML 2.0 更加入了互動的能力，讓使用者可以與全球資訊網上的景象有「互動」的溝通方式。VRML 的概念最先被提出是在 1994 年於瑞士舉行的第一屆全球

資訊網研討會上。Tim Berners Lee 與 Dave Raggett 組織了一個 BOF(Birds-of-a-Feather) 會議，討論在全球資訊網上建立虛擬實境的介面。同時，Mark Pesce 與 Tony Parisi 並開發出一套 3D 的瀏覽器，稱為 Labyrinth，發表於該研討會上。

在研討會之後，以 Mark Pesce 與 Brian Behlendorf 為主的相關人士並成立了一個 mailing-list，討論相關標準的制定。經過討論，決定以現有的標準為基礎，制定 VRML 的規格。討論的結果，基於節省時間及制定上的方便，決定採用 SGI 的 Open Inventor 檔案格式。不過，VRML 規格是採用部份的 Open Inventor 規格，再加上網路連結的能力制定而成。另外，SGI 則免費提供該套語言的剖析程式，對 VRML 的發展而言，有催化劑的效果。

VRML 自概念提出至後續規格的制定，都引起了相關業界極高的興趣。HTML 將靜態的文字、影像或圖形呈現於使用者面前，然而 VRML 卻是另一種全新的資料展現方式。VRML 的虛擬實境效果，讓使用者彷彿置身其中，可以瀏覽紫禁城全景、於圖書館中查詢資料、甚至在博物館的展覽室間穿梭，憑藉的卻只是一台電腦。不過，由於硬體設備和網路傳輸的限制，以及平台間通用的考量，使得 VRML 的發展出現了一些障礙。[15]

VRML2.0 在 1998 年正式通過 ISO 組織審議成為三維網路的國際標準並命名為 VRML97。VRML 相當於二維網路中的 HTML 標準，許多大公司開始支援 VRML97，例如 SGI 的 Cosmo 軟體部門推出 Cosmo Player 瀏覽器和 Cosmo World 可視覺化編輯器、微軟也在 Internet Explorer 5 中加入 PLATINUM WorldView 瀏覽器 plug-in，大多數的 3D 軟體像 AutoCAD、3ds Max、Maya 也開始提供 VRML97 場景匯入、匯出功能。

然而 VRML97 並沒有一統三維網路的天下，此後又不斷地有大量的例如 3DML、Cult3D、Viewpoint、Shockwave3D 這些新的三維網路格式出現，這些新軟體提供了更出色的視覺效果和更小的文件體積，以及相對完整和簡便的創作工具。而這時 SGI 放棄了 Cosmo 軟體部門、PLATINUM 收購了 Cosmo 軟體部門，後來 CA 公司收購了 PLATINUM。CA 現在基本放棄了 PLATINUM 和 Cosmo 軟體

的開發，也沒有再推出新的 VRML 軟體。PLATINUM WorldView 作為一個老舊的軟體，也沒有整合在微軟的 Internet Explorer 6 中。VRML 給人的印象一直停留在它 1998 年的影響上，VRML 似乎在人們的視野中漸漸消失，許多人認為 VRML 已經消亡。[17]

X3D(Extensible 3D- 可擴展 3D)是一個軟體標準，定義了如何在多媒體中整合基於網路傳播的互動三維內容。X3D 致力於建立一個三維圖形與互動多媒體的統一交換格式，這種格式要能達到像 HTML 或是 XML 那樣的標準性和可擴展性。X3D 並不是一個全新的標準，它是 VRML 的繼承，X3D 可以看成是 VRML97 的一個升級版本。X3D 把 VRML97 分解為組件，並使用可加入新組件的機制，來擴展 VRML97 的功能。Web3D 聯盟於 2004 年正式通過 SIO 審議成為網路三維的國際標準，以更新原有的 VRML97 標準。X3D 標準被定義為可交互操作、可擴展、跨平台的網路 3D 內容標準，具備更強大，更高效能的 3D 計算能力、渲染技術和傳輸速度。

3D XML 是 Dassault Systemes 的子公司 3DVIA 最近推出一種以 XML 為基礎的共通檔案格式，能讓使用者快速且輕易的分享精密的 3D 資料。3D XML 擁有快速且高效率傳輸的特性，並具備獨特功能，如使用多層圖像(multi-representational) 方法建構的 3D 數據結構、對於複雜精密的幾何數據具備絕佳的壓縮能力 … 等等，都能有效地確保資料能夠快速傳輸，並縮短加載的時間。Dassault Systemes (達梭系統) 在所有的產品線裡，都加入 3D XML 格式的支持，包含：Virtools，CATIA，DELMIA，ENOVIA，SMARTEAM 和 SolidWorks。[18]

透過上述任一應用軟體產生的 3D XML 檔案，可以很輕鬆地整合至 Virtools 的開發環境中。從『 Resources > Import Menu 』選單中匯入 3D XML 檔案，針對 3D XML 模型設定適當的選項以便於在即時互動環境中達到最佳化的處理。一旦模型被匯入，處理 3D 模型的方式就跟以往沒什麼兩樣：加入行為模組、建立劇情腳本流程、透過網路傳遞、在沈浸式大型展示空間中播放或是透過內部網路傳輸 … 等等。圖 2-3 為 利用 3D XML PLAYER顯示一公寓的俯視透視圖。

3D XML 檔案除可透過加裝 3D XML PLAYER 顯示之外，還可連結至 Microsoft Word & Microsoft Powerpoint 等直接顯示在文件中，同時仍能進行互動操作。圖 2-4 為在 Microsoft Word 中操作 3D XML PLAYER 畫面。

3D XML PLAYER 能對創造出的模型進行簡易的互動式觀察，搭配上 3DVIA PRINTSCREEN，更能將在其他網頁所見的 3D 模型，以另存檔案的形式，轉為 3DXML 檔，同時再利用 Virtools 撰寫腳本的功能，達到簡單製作出有互動效果的 3D 模型物件。



第三章 模型建構相關工具

3.1 3D Studio Max 簡介

3D Studio Max，常簡稱為 3ds Max，是 Discreet 公司開發的（後被 Autodesk 公司合併）基於 PC 系統的三維動畫渲染和製作軟體。其前身是基於 DOS 作業系統的 3D Studio 系列軟體，目前發行到 9.0 版本。在 Windows NT 出現以前，工業級的 CG 製作被 SGI 圖形工作站所壟斷。3D Studio Max + Windows NT 組合的出現一下子降低了 CG 製作的門檻，首選開始運用在電腦遊戲中的動畫製作，後更進一步開始參與影視片的特效製作。

剛開始 3D Studio MAX 是以機械專業的方向去做的。與建築專業的差距較大，若要讓廣大的建築專業市場能接受這產品，就必須加入很多的建築專業特質。為此，1998 年「Kinetix」多媒體部門再度跨刀上陣，以 3D Studio MAX 軟體引擎為基礎，開始開發出用於建築上的 3D StudioVIZ。自從 MAX 7 版之後，更將過去 VIZ 中編輯 AEC(Architecture Engineering Constructions，其內容為建築造型設計相關物件，如樹木、欄杆、圍牆…等等)屬於空間設計功能完全彙集至 MAX 7 以及之後的版本。

3D Studio MAX 在 3D 功能上有很多特色，但是就本論文而言，會比較傾向用到它以下的軟體優勢：

1. 建立立體模型後的編輯功能。雖然 AutoCAD 的立體繪圖功能已經不錯，但是 AutoCAD 在 3D 實體模型編輯方面的功能並不強大，而使得對複雜 3D 圖形的修改與編輯困難重重。而 3D Studio MAX 在事後的編輯功能上，顯然更有其獨到之處。
2. 功能強大的曲面製作功能，這功能將讓立體圖形的表現更加真實。
3. 使用其功能強大的專業燈光、材質貼圖與色彩模擬效果。雖然 AutoCAD 也有這些功能，但是 3D Studio MAX 所提供的燈光與色彩功能，顯然更具專業。

4. 基於 PC 系統的低配置要求。
5. 可堆疊的建模步驟，使製作模型有非常大的彈性。

爲了更清楚了解 3ds Max 與市面上眾多 3D 繪圖軟體有何區別，表 3-1 列出了數種各領域常使用的工具軟體，同時對其市場定位、模型製作、靈活度、材質彩現、尺寸&標註等等作一簡單說明。市場定位表示該軟體在何種領域使用比例較多，也就是應用範圍。模型製作爲說明該軟體可製作的模型種類，現今都是以 3D 爲主，不過像是 AutoCAD、Rhinoceros 也包含了 2D 方面。使用靈活度爲比較各軟體在修改模型上的方便程度。材質彩現爲比較軟體的貼圖功能與着色引擎的表現。尺寸&標註簡單來分就好比說例如結構設計、工業設計、空間設計等等，皆需要物件的正確尺寸和比例以進行製作，因此需要有尺寸與比例，而像是廣告、視覺效果、網路動畫以及電影工業內的效果，在這領域並不太強調尺寸，著重的是整體感覺及效果，有尺寸反而會令創作者受到限制。最後補充一點，各軟體可能會因更新版本而在各項表現特點上有所變動。



3.1.1 3ds Max 五大主題

3D 電腦繪圖目前不僅是要畫出一個立體造型，而且還要加上許多材質、燈光與場景設計，甚至於轉換成動畫的型式。3ds Max 包含了五大主題。

1. 建立模型物件(Modeling Objects)

設計一個電腦動畫或造型，最重要的步驟就是建立模型物件。在 3ds Max 中提供了許多工具，讓使用者能輕易完成一個立體模型物件。

2. 材質的處理(Material Design)

當建立好一個模型物件時，僅是一個架構，如果希望能夠逼真的呈現，則需要爲此模型加上材質，例如填上顏色與設定爲金或任意材質。

3. 燈光與攝影(Lights and Cameras)

如果將一個真實的模型放在書桌上，透過燈光的照射與不同角度的觀察，

則會有不同的效果，例如陰影的位置、反光的強弱等在 3ds Max 中特別提供了這些功能，讓作品能產生更逼真的效果。

4. 動畫(Animation)

完成所有場景模型之後，3D 電腦繪圖很吸引人的地方就是能夠模擬一些真實的動作，也就是產生動畫。

5. 彩現(Render)

電腦繪圖在編輯過程中，有許多細節的處理會加以省略，以便使用者能夠順暢的編輯設計作品。當作品設計完成之後，使用者會希望顯示完整狀況，甚至加以輸出，這時候就要用到彩現(Render)功能。

3.1.2 3ds Max 介面簡介

本節主要在介紹本論文如何透過 3ds Max 建立模型的簡易流程，同時也是對該軟體操作介面的基本介紹。

圖 3-1 是進入 3ds Max 後所看到的第一個畫面，包含一個透視視埠以及上視、前視、左視等三視埠，3D 模型的建立會立即的在 4 個視埠裡反映出來。預設值為透視視埠以 Transparency 模式表示，而其餘皆以 Wireframe 模式表示，視埠配置以及顯示模式都是可以個別進行使用者自定的。

在四視埠右邊方塊是主要指令面板，包含了建立(Create)、編修(Modify)、階層(Hierarchy)、動作(Motion)、顯示(Display)、公用程式(Utility)，圖 3-2。各項目點擊進入後又會出現新的拖曳式參數捲軸，可針對對應項目進行各種細部的設定。

圖 3-3 顯示使用 create 中的 box 功能創造出一個藍色箱子的物件，其他三視埠皆以 wireframe 模式顯示。接下來切換到 Modify 面板，可看到能對這個 3D 物件進行如尺寸或是分段，mesh 等等的細部設定，圖 3-4。而不同種類的物件皆有獨自的面板對應，可供各所屬參數之調整。

接著使用彩現(Render)的功能，呈現出如圖 3-5 所示的畫面，此畫面是對透視視埠進行彩現所得，由於現在尚未進行物件的表面貼圖，因此畫面只會以物件預設顏色來進行顯示，所以只能看到一個單色的 box 物體。接下來就是對 box 物件進行材質的處理，圖 3-6 為 3ds Max 的材質編輯器介面。

3ds Max 在材質編輯器中能做極細微的設定，不過本論文只用到部分簡單的功能。使用 maps 中的 diffuse color 模式，同時選取適合該物件表面影像的圖像檔，加入到新的材質球中，此時可以發現新的材質球表面已發生變化，即代表完成了新材質的設定，如圖 3-7 所示。

將材質球直接以拖曳的方式拉進之前建立的 box 物件中，就完成該物件的材質處理，接著只要按下彩現功能鍵就會如圖 3-8 所示，此時該 box 已經具有混凝土的材質。接著以同樣的步驟創造出一個廣大的平面，並且賦予柏油路面材質，以及一個圓柱型加上混凝土材質，彩現後就如圖 3-9 所示。

接著介紹光源的效果，在上圖建立好擁有三個物件的模型中，使用指令面板的建立光源功能，加入一個具有方向性的投射光源於畫面右上方處，並設定往畫面左下方照射，光線遇到 3D 物件後，會先判斷材質的透光性，由於這邊選用的是非透光性材質，光線碰到該材質後接著便進行背面陰影的生成，最後呈現如圖 3-10 之效果。

雖然 3ds Max 同樣具有創造物件運動的功能，不過做出來的效果為 CG 動畫的呈現，也就是類似電影中的特效。而此一結果對於之後的各物件控制，在經由動作匯出的過程中可能會互相干擾。由於在 Virtools 中進行這步驟能更精準控制各個物件的行為，因此動態部分就置於 Virtools 中進行，而 3ds Max 就負責模型的建立以及材質的前期處理。

3.2 Virtools 4.0 簡介

Virtools是一套虛擬實境研發系統，它可將常用的各種檔案格式整合在一起，

如3D模型、2D圖形、音效，也可將工業用CAD/CAM/DCC檔案(如Solidwork、AutoCAD、Catia、Pro/Engineer等)或3D軟體所設計的模式轉換為Virtools可使用的檔案格式 *.nmo、*.3dxml。它的一大特色即是擁有超過500個以上的「建構模組(Building Block)」可供使用者自由運用，可利用腳本(Script)撰寫程式模組，即可控制場景裡的任何物件，它也有提供陣列(Array)、群體(Group)、場景(Scene)…等功能，以及創造出各式物件，例如：攝影機(Camera)、曲線(Curve)、燈光(Light)、網格(Grid)、材質(Material)、貼圖(Texture)…等等，場景動畫與變化性都極為豐富，對於開發虛擬實境提供了很高的便利性。

3.2.1 Virtools 架構

Virtools整合了許多最新的技術，有效的提升互動3D研發環境製作過程，大致上我們可將Virtools整體架構歸類如下：

(1) 創作應用程序

Virtools 是一個創作應用程序，他可以讓使用者快速且容易的做出豐富、對話式的3D作品。通過Virtools的行為技術，給符合工業準的模、動畫、圖像和聲音等媒體帶來活力。

Virtools 本身不能產生模型。Virtools 並不是一個建模工具，然而簡單的媒體如攝影機、燈光、曲線、接口元件(2D Frame)、3D Frame等，皆能簡單的通過點擊使用者介面中的工具列創造。

(2) 高階模組引擎

除了Virtools本身擁有的「行為互動模組」，還有AI Pack外掛為遊戲角色注入新元素；Physic Pack提供了各種物理屬性的運用；CAD Pack更使得工業設計人員有更大的發揮空間，網路伺服器模組、VR Pack…等，這些都是精心測試後設計研發出來的高階行為引擎，讓使用者可發揮創意，運用各式行為模組去研發。

(3) 網路播放

Virtools Web Player包含了Virtools在網路上行為引擎和描繪引擎的錄放，這項功能使得用Virtools製作好的產品，也可放上網頁做播放或下載。

(4) Virtools SDK(Software Development Kit)

Virtools自製的SDK，使用者也可利用其SDK來修改或製作自己需要的建構模組，編譯屬於自己的動態連結資料庫(Dynamic Link Library，DLL)檔。另外Virtools開發環境中也有提供VSL(Virtools Script Language)編輯介面，使用者可容易快速地在VSL環境下用Virtools SDK來編輯自己需要的建構模組，不需要在C++環境下編輯DLL檔，但VSL並不支援所有的SDK函式，若有需要還是必須在C++環境編譯DLL，來建構自己所需的模組。

3.2.2 Virtools 建構模組(Building Block)

Virtools最有特色也是賦予物件生命力的即是Virtools建構模組，圖3-11，它可依使用者需要，撰寫各式的物件行為，不但編寫視覺化，偵錯也很容易。首先可以看到主要目錄，包含24種主項目，而每個主項目中又包括數量不一的子項目。這裡就主項目做一大略介紹，主要建構模組可以就功能來區分為下列幾區：

1. 3D Transformations：主要在使物件做各種動作變化和物件的設定，像是位置定位、依曲線路徑移動、方位設定、子母物件關係、物件和地板關聯…等等。
2. Cameras：主要在控制鏡頭的行為，像是鏡頭位置、方位、鏡頭變焦距、攝影機的切換…等等。
3. Characters：主要在管理角色，像是角色的動作(Animation)設定、角色和地板的關係、角色的動作控制…等等。
4. Collisions：主要在管理偵測物件間或物件和地板間的碰撞，以及設定碰撞的界面關係。

5. Controllers：主要在於操控介面控制器的設定管理，像是滑鼠、鍵盤、搖桿的操控設定，可以設定好這些操控模組後，再執行往後對應的執行動作。
6. Grids：網格(Grid)的設定就相對於實際場景位置的設定，如圖3-2所示，可利用此類模組來管理整個場景的區域，像是控制區域需做相對應動作、取得特定網格相對的世界作標、將地圖分層級(layer)管理…等等，應用範圍很廣
7. Interface：主要在介面顯示描繪的管理，像是2D物件的拖拽、文字顯示的屬性設定、畫2D方格圖…等等。
8. Lights：主要用於燈光的控制，如：燈光的顏色、方位、照射目標物…等。
9. Logics：主要提供給使用者各種邏輯運算功能和各種基本行為功能。像是物件屬性管理、陣列(Array)的各種運算、群體(Group)的管理應用、數學式的運算、各種迴圈(Loop)的使用…等等。
10. Materials-Textures：此類模組主要用於貼圖(Texture)和材質(Material)的使用和設定相關內容，像是讓貼圖呈現正弦曲線狀(Sinusoidal)、設定材質的漫射(Diffuse)性質或放射性質(Emissive)…等等。
11. Mesh Modifications：此類模組是針對物件的網面(Mesh)的各種修改和應用，例如：使網面中的頂點依正弦曲線變形、使兩個網面融合為一個網面、設定網面中頂點(Vertex)的數量…等。
12. Multiuser：此類模組是Virtools 3.0新增的功能(相較於Virtools 2.5版)，是一個線上多人互動模組，它提供兩種多人連線伺服器，包括獨立網路伺服器與點對點區域網路伺服器，例如：會議(Session)的創造或加入、網路訊息的傳遞、在會議中的物件管理…等等。
13. Narratives：使用者可用此類模組在腳本中管理程式腳本、物件、場景(Scene)、物件狀態等。例如：動態載入檔案中的物件、複製物件、驅動腳本、將物件載入場景…等。
14. Network：此類模組擁有媒體下載功能、伺服器功能、資料庫功能，例如：刪

除資料庫裡的資料、檢查和伺服器的連線、切斷和伺服器的連線…等。

15. Optimizations：此類模組主要用於系統效能和程式的優化
16. Particles：主要是利用分子散射系統產生各種不同的視覺特效，也可利用此模組製作各種模擬，像是火山爆發、煙霧、爆炸…等模擬。
17. Physics：主要是對物件做出各種物理屬性模擬控制，像是重力、力矩、汽車…等模擬。
18. Shaders：主要是對著色器(Shader)的各種控制設定，使用者可利用著色器運算技術可使物體變得更真實，在視覺效果上更具說服力。
19. Sounds：主要用於各種檔案類型的聲音播放和聲音的各種設定控制。例如：midi檔、wav檔的播放…等。
20. Visuals：主要用於各種視覺效果上的控制，例如：各種物件的顯示和隱藏、使物件產生殘影、透明化…等。
21. VR：此類模組是用來支援大部分工業標準的虛擬實境追蹤系統，當電腦接上其他虛擬實境儀器(如：頭戴式顯示器與3D眼鏡)後，可利用此模組來接收儀器訊息。
22. VSL：若是找不到自己想要的建構模組，可利用VSL(Virttools Script Language)編輯自己想要的建構模組。
23. Web：主要用於網頁瀏覽器上的各種功能，如：從一個URL取得資料，從Web Server下載資料…等。
24. World Environments：此類用於對環境背景的設定和製造環境視覺效果。

Building Block的每一個功能在Virtools中都是以一個方塊來表示，如圖3-12，使用者可以透過許多種功能方塊的組合，將自己的想法一步步具現化，而其過程正有如英文字面般，就像是堆積木塊般的將IDEA一塊塊拼湊起來。

3.2.3 Virtools 介面簡介

由於 Virtools 並不是一個模型建構工具，而是一個創作 3D 內容的應用程序，因此一開始必須先將從 3D 建模工具中所製作好的模型，利用 Export 的功能，先將模型輸出成 Virtools 可以使用的*.nmo 檔案。在此之前必須先安裝 Plugin (3D Studio Max Exporter)，之後選擇匯出便會有 *.nmo 格式可供選擇，圖 3-13 即為在 3ds Max 中開啓的 Export 介面框，輸出對象為一根 I-beam。

Virtools 支援大部分常見的 3D 檔案格式，可匯入的副檔名支援以下幾種：
.3ds(3D Studio)、.3dxml(Dassault Systemes)、*.Asc(.Asc Point Clouds)、
.dae(Collada)、.nmo(Virtools Object)、*.wrl(VRML)、*.x(Microsoft Directx)，而關於土木工程使用最大宗的 AutoCAD，由於可以直接 Export 成爲*.3ds 格式，因此可以直接使用。不過轉檔過程中難免可能有部分資料流失，故建議先將 AutoCAD 使用的*.DWG 檔案轉爲*.3ds，之後在 3ds Max 中再轉至*.nmo 格式之後再使用。

在開啓 Virtools 後以 Import File 的方式匯入剛剛的 nmo 檔，並加上適當的光源後，就會顯示如圖 3-14 的畫面，接下來就可以開始進行建構模組(Building Block) 的操作流程，只要使用者將想要讓物體進行的動作，從建構模組區直接以滑鼠拖拉的方式，放置到物件上，就可以令該物件執行指定的動作。圖 3-15 簡單展示利用三個 Building Block 做出令 I-beam 往上升的效果，而移動的時間、方向、距離等皆是在各 Building Block 中的參數進行設定。

Virtools 雖然不能建立 3D 模型，但對於如攝影機、燈光、曲線、2D 和 3D Fram 等，可透過點擊圖標創建。圖 3-16 為利用點擊物件建立區的 2D Frame 製作出 2 個框架，再利用該區中的建立紋理以及建器材質，以及事先準備好的材質庫，製作出一個圖形為綠色向下箭頭的 2D Frame，此方塊之後可以連接其它的 Building Block，製作出具有功能性的 Icon。

Virtools 製作互動物件流程簡單來說，是透過 Building Block 的互相連結，以及改變其中控制參數來完成，如無特殊需求的情況下可免去撰寫程式的過程。

3.2.4 Virtools 立體顯像硬體配備

本論文所使用的立體顯像技術，為第二章所提到的螢幕呈現系統以及分影法立體顯像。當匯入 Virtools 專用的 Stereo Pack 後(一種 Building Block 腳本)，系統會生成兩個有攝影機焦距差與距離差的畫面，同時間透過濾光處理的兩台投影機，輸出至同一投影螢幕上，搭配上偏光眼鏡後便能呈現出立體感。

以下為本論文立體投影所使用的硬體配備：

1. PC 一台

Win XP

INTEL 雙核心 CPU

1 GB RAM

具有 N-View(雙螢幕輸出)功能之 3D 顯示卡

2. 單槍投影機 兩台

2000 流明

3. 偏光鏡片(鏡頭)兩組

線性偏光鏡片

4. 偏光立體眼鏡 數隻

線性偏光鏡片

5. 3D 立體螢幕

被動式偏光立體專用 3D 鍍金屬銀幕



第四章 SRC 相關技術

本章節為介紹在 3D 模型製作過程中所參照的 SRC 規範項目，同時以圖說介紹模型建構使用之相關規定。

4.1 設計與施工可行性

SRC 構造因同時有鋼骨與 RC 存在，若完全依照一般鋼構造或 RC 構造來設計，將可能導致部份地方無法施工或達不到預期之設計標。例如在 SRC 構造中若考慮到鋼骨周圍之主筋、箍筋等因素，則鋼骨之混凝土保護層常需達到 10 公分以上。SRC 構材之鋼骨與鋼筋應有適當之混凝土保護層，鋼筋與鋼骨之間亦應保持適當之間距，以利混凝土之澆置及發揮鋼筋之握裹力。此外，在 SRC 梁柱接頭處，鋼骨的存在使得鋼筋的配置更形複雜，也可能衍生出混凝土填充性等問題。

為確保工程品質，設計者在進行 SRC 構造設計時，應詳細考慮設計結果之施工可行性，以免發生窒礙難行之情況。設計者在決定 SRC 構造中鋼骨與鋼筋之關係位置時，應針對構材續接處、梁柱接頭等較複雜處繪製詳圖，檢核鋼筋配置及混凝土澆置是否有困難，以確保 SRC 構造從設計到施工的落實。

有關 SRC 構材之配筋，設計上應考慮下列各項因素：(a)力學上之特性，(b)混凝土之填充性，(c)鋼骨及鋼筋之接合及配筋之順序，(d)結構體之耐久性及耐火性，(e)梁柱接頭處主筋之連續性與可施工性。

此外，在鋼骨斷面設置鋼筋貫穿孔會造成鋼骨面積減少，使鋼骨強度降低，故設計者應於配置鋼筋貫穿孔之前評估其可行性，且鋼骨之開孔應事先在工廠內加工完成。

4.2 SRC 梁柱接合方式

SRC 梁與柱的接合設計是結構安全極重要的一環，SRC 構造中因同時存在鋼骨、鋼筋與混凝土，因此這三者的相互位置關係必須特別注意以免造成施工的困

難或缺失。

圖 4-1 顯示一組 SRC 梁柱接頭之細部圖。由於梁柱接頭是構架重要部位，因此接頭處之鋼骨、主筋、箍筋均須合理配置，並使混凝土具有良好的填充性。梁柱接頭處鋼骨之設計須考量到焊接之施工性及鋼筋貫穿孔位置及大小等因素，並應對直交方向主筋之方向、上下相關位置充分檢討。

圖 4-2 與圖 4-3 顯示兩種不同的 SRC 梁柱接合方式，此二圖之主要差異在於鋼梁與鋼柱的接合方式。圖 4-2 之鋼骨採用「現場焊接梁柱接合方式」，而圖 4-3 則採用「托梁螺栓接合方式」。這兩種方式各有其有缺點，詳如表 4-1 所示。前者類似美國式的鋼骨梁柱接頭，後者為日本常用之 SRC 接頭施工方式。後者之主要特點是不需要在工地現場進行焊接，可以有效避免工地現場焊接所可能引起的焊接品質不穩定問題。圖 4-4 與圖 4-5 分別顯示十字型與箱型鋼柱之梁柱接頭採用「托梁螺栓接合方式」之示意圖。

4.3 梁柱接頭處之柱內連續板

SRC 構造中，採用剛性接頭(Rigid Joint)設計之構架，其鋼骨梁柱接頭處之鋼柱應配置適當之連續板(Continuity Plate)。連續板又稱為柱內橫隔板(Diaphragm)或水平加勁板(Horizontal Stiffener)。連續板之主要功能在於傳遞梁柱接頭處之水平力，適當設計之連續板能使鋼梁的彎矩與剪力順利的傳遞到鋼柱上。相反的，如果鋼骨梁柱接頭處未配置連續板，如圖 4-6 所示，則該梁柱接頭可能發生以下的失敗模式：

- (1) 鋼柱翼板可能受梁翼板拉力作用而發生彎曲變形。
- (2) 鋼柱腹板可能受梁翼板壓力作用而發生腹板壓摺挫屈(Web Crippling)現象。
- (3) 鋼骨梁柱接頭處之焊道可能受梁翼板拉力作用而發生開裂現象。

SRC 梁柱接頭處，連續板之設計應進一步考慮混凝土之澆置及填充性，為了使接頭處所澆置之混凝土不致產生空洞(尤其是在角落之處)，一般需於連續

板上設置適當尺寸之灌漿孔或通氣孔。惟設計時應注意開孔之面積不宜過大，開孔後之連續板應仍具有足夠之強度以傳遞由鋼梁翼板傳來之拉力與壓力。圖 4-7 至 4-9 顯示三種 SRC 梁柱接頭之柱內連續板開孔之示意圖。

4.4 梁柱接頭處之箍筋配置

SRC 梁柱接頭處因有鋼骨存在，故其箍筋配置將比純 RC 構造複雜。圖 4-10 顯示一種採用四隻 L 型箍筋組合而成的梁柱接頭箍筋配置方法，此種配置方式是參照日本 AIJ 「鐵骨鐵筋混凝土構造配筋指南」(1994)之做法。值得注意的是此種 L 型箍筋在搭接處應確實焊接，焊接之強度應至少能發揮箍筋之降伏拉力強度，一般焊接長度須至少為 10 倍箍筋直徑以上。

另一方面，圖 4-11 顯示一種在 SRC 梁柱接頭處採用四支 90+180 度彎鉤之週邊箍筋與四支 90+135 度彎鉤之角落繫筋共同組合而成的接頭箍筋配置方式。此種配置方式之特點在於無需在箍筋搭接處焊接，惟箍筋與繫筋之彎鉤製作(包括角度及長度)與施工監造必須確實，否則可能無法發揮預期之功效。

此外，在 SRC 梁柱接合處，當鋼梁的腹板採用螺栓與鋼柱連接時，在設計上應特別注意柱箍筋在鋼梁腹板穿孔之位置不可與螺栓孔過於靠近，以避免產生如圖 4-12 所示鋼梁腹板發生撕裂破壞的情形。

4.5 SRC 構材之續接

SRC 構材之續接應確保續接處有足夠之強度且能有效的傳遞應力。梁或柱之主筋續接位置應避開應力較大之處，故不應在梁柱接頭處續接主筋。我國規範規定 SRC 梁之主筋續接應距柱之混凝土面 1.5 倍之梁深以上，SRC 柱之主筋續接應距梁之混凝土面 50 cm 以上，且任一斷面之主筋續接面積百分比不得大於 50%。SRC 柱在基礎主筋之續接位置應在基礎板上方一倍鋼骨柱寬以上，且不得小於 50 cm。

4.6 SRC 梁之斷面配置

圖 4-13 顯示幾種包覆型 SRC 梁斷面的配置型式。原則上，SRC 梁之主筋以配置在斷面四個角落為宜，且鋼筋配置不宜太密。圖 4-14 顯示 SRC 梁斷面內鋼筋配置太密的情形，設計上宜予避免。這主要是因為 SRC 梁主筋太密將導致一部份的主筋會受到梁柱接頭處「鋼柱翼板」的阻擋，而無法連續通過梁柱接頭。設計者應注意避免在 SRC 梁中配置太密的主筋，以免造成此種不合理的現象。

對於未連續通過 SRC 梁柱接頭之主筋，應不計其對強度之貢獻。這是為了避免主筋因受梁柱接頭處之鋼管阻擋而導致施工者任意將 SRC 梁主筋在梁柱接頭處切斷或彎折，在設計與施工時均應特別注意避免發生此種狀況。

4.7 SRC 柱斷面配置

圖 4-15 與圖 4-16 分別顯示包覆型 SRC 柱與鋼管混凝土柱斷面的配置型式。對矩形斷面之 SRC 柱而言，一般以在斷面的每個角落配置三根主筋為原則。SRC 柱之主筋集中分佈在斷面的四個角落上，主要是為了避免主筋在梁柱接頭處受到 SRC 梁內之鋼骨阻擋而無法連續通過梁柱接頭。

圖 4-17 顯示 SRC 柱斷面內鋼筋配置太密的情形，設計上宜予避免。SRC 柱主筋太密將導致一部份的主筋會受到梁柱接頭處「鋼梁翼板」的阻擋，而無法連續通過梁柱接頭。設計者應避免在 SRC 梁或柱中配置太密的主筋，以免造成此種問題。對於未連續通過 SRC 梁柱接頭之主筋，應不計其對強度之貢獻。

4.8 混凝土保護層厚度

我國 SRC 規範要求包覆型 SRC 構材中之鋼骨必需符合混凝土保護層最小厚度之規定，主要在確保構材之耐久性及耐火性。包覆型 SRC 構材因同時有鋼骨與鋼筋存在，故構材中之鋼骨表面至混凝土表面之厚度，一般至少須為 10 公分以上，以使混凝土中之鋼筋有足夠之握裹效力與保護層。以 SRC 結構桿件常用之鋼

筋尺寸為例，若主筋為 D25(#8)、箍筋為 D13#4)，考慮鋼筋之最外徑尺寸(含竹節凸起之高度)，則鋼骨之最小混凝土保護層厚度須為 125 公分以上。

圖 4-18 與 4-19 分別顯示一般 SRC 架與 SRC 柱之斷面配置細部圖。圖中之 a 與 b 為主筋與箍筋之最大直徑，c 與 d 則為鋼骨至混凝土面之距離。當鋼筋尺寸不同時，圖中的 a 與 b 亦隨著改變。圖中之 c 與 d 係依照鋼筋之最大直徑計算，一般竹節鋼筋之最大直徑如圖 4-20 所示。

設計上除了鋼骨保護層厚度須加以考慮外，鋼管與鋼筋之間距，混凝土之填充性也須加以檢討。檢討事項包括鋼骨與鋼筋之間距，鋼筋與鋼筋之間距，肋筋及箍筋彎鉤角度，梁柱接頭之配置，鋼筋續接之型式等。一般而言，各構材之假設斷面可在梁柱接頭部位以 1/5 至 1/10 之比例下充分檢討其鋼骨與鋼筋之間距及混凝土之保護層厚度等。設計者應依據 SRC 設計規範之要求，事先考慮到設計圖的施工可行性。



4.9 鋼骨斷面之鋼筋貫穿孔

在梁柱接頭處之鋼板常設有銲接切角，在其附近開孔將可能助長對斷面或銲道之損傷。因此在梁柱接頭處附近之鋼骨翼板原則上不宜設置鋼筋貫穿孔。

在鋼筋貫穿孔的施作方面，鋼筋貫穿孔應事先在工廠內加工完成，且一處貫穿孔以通過一支鋼筋為原則。開孔之位置不得妨礙銲道或螺栓接合。貫穿孔之邊緣以距銲道邊緣 15mm，距銲接用之切角邊緣 25mm 以上為宜。

4.10 SRC 梁之設計細則

1. SRC 梁之尺度：

(1) SRC 梁之淨跨距不得小於 4 倍有效梁深，構材斷面之深寬比不得小於 0.3，且梁寬不得小於 25 公分。

(2) SRC 梁之主筋若穿過梁柱接頭，則在該方向之柱深不得少於最大主筋直徑

的 20 倍。

2. SRC 梁之主筋：

- (1) SRC 梁之上下兩面，至少各須有兩支主筋全長貫通配置，且梁之拉力鋼筋比或壓力鋼筋比均不得超過 0.025。
- (2) SRC 梁在梁柱交接面或可能發生塑鉸處，其壓力鋼筋量不得小於拉力鋼筋之一半。
- (3) SRC 梁之主筋除非在搭接處全長配置環箍筋，否則不得進行搭接。搭接處之箍筋間距不得大於 10 公分或四分之一梁斷面深度。此外，以下三種位置不可搭接：(a) 構材接頭內；(b) 接頭交接面起算兩倍梁深內；(c) 可能產生塑鉸處。
- (4) 銲接與機械接頭可用於主筋與主筋之間的續接，惟同一斷面之鋼筋最多只能隔板續接，且隔根續接處應相距 60 公分以上。

3. SRC 梁之箍筋：

- (1) 在梁柱接頭交接面兩倍梁深內及可能發生塑鉸處左右各兩倍梁深須配置環箍筋。第一個環箍筋須配置在距梁柱接頭交接面 5 公分以內。環箍筋之間距不得超過：(a) 四分之一梁斷面有效深度；(b) 八倍最小主筋直徑；(c) 24 倍環箍筋直徑；(d) 30 公分。
- (2) 在不需配置環箍筋處應全長配置腹筋，且其間距不得大於二分之一梁斷面有效深度。

有關梁主筋與箍筋之限制規定主要參考 ACI318-02 耐震設計之規定。梁之最大鋼筋比限制之目的在避免鋼筋排列太密造成施工困難及主筋不易通過梁柱接頭區等問題。配置環箍筋之目的在使產生塑鉸處之混凝土有良好之圍束。此外，在彎曲變形可能進入反覆非線性變化處之搭接較不可靠，故此些位置主筋不可搭接。

4.11 SRC 柱之設計細則

1. SRC 柱之斷面尺寸：

通過幾何形心量測，SRC 柱斷面之最小尺寸不得小於 30 公分，且其與斷面另一垂直方向尺寸之比值不得小於 0.4。

2. SRC 柱之主筋：

(1) SRC 柱斷面各角落至少須設置一文主筋，且主筋斷面積與全斷面積之比不得大於百分之四。

(2) 主筋之搭接僅容許在柱中央之一半構材長度內進行，且須以拉力搭接設計之，搭接長度內應配置適當之圍束箍筋。構材同一斷面處，主筋最多只能隔板續接，且隔板續接處應相距 60 公分以上。

關於 SRC 柱主筋量上限之規定旨在避免主筋太密妨礙施工，並避免引致柱過高之剪力。柱端因彎矩較大，混凝土保護層可能剝落，因此規定在該處主筋不得搭接，若主筋須搭接則須在反覆應力較小之中央一半柱長內進行，且須配置圍束箍筋。



4.12 箱型或圓形鋼管柱之焊接

使用銲接箱型或圓型鋼管柱內灌混凝土時，組成鋼管柱之相鄰鋼板間之銲接須沿柱之全長以全滲透銲為之。再者，填充型鋼管混凝土柱使用銲接箱型或圓型鋼管於柱內灌混凝土時，相鄰鋼板間須以「全滲透銲」沿柱之全長銲接，以避免鋼管內之混凝土受到高軸壓時產生側向膨脹導致鋼管受到環張應力(Hoop Tension)而引起銲接處拉力破壞。

第五章 SRC 互動模型之建構

5.1 3D 模型建立

在前幾個章節內容中，介紹了關於 3D 模型建構以及以 Virtools 製作互動內容的大致流程，而在本章節中將以實例，完整敘述本互動模組建立的過程與具有的功能。

5.1.1 SRC 模型尺寸選定

第一步是選取所要繪製的模型尺寸，這裡選擇的 SRC 柱全斷面為 80 cm x 80 cm，且在四角落各配置 3 支主筋 D25(#8)，中間鋼骨部份選擇箱型鋼骨斷面 500x500x25x25，圖 5-1 為採用柱的斷面圖。梁的部分其全斷面尺寸為 50 cm x 85 cm，中間鋼骨斷面選擇了 H512x202x12x22，主筋尺寸與數量為 6 根 D25(#8)，箍筋皆為 D10(#3)，樓高 4 米。圖 5-2 顯示所使用的梁斷面圖。

由於本論文主要為展示 SRC 接頭處之細節，故在 SRC 柱腳與基板之位置省略了如錨定螺栓，鋼骨漸變斷面，各處的剪力釘等的模型部份，其構造如圖 5-3 所示。

5.1.2 基板與模型中心部分

於 3ds Max 中建立地面以及中心鋼柱位置，首先製作一大型平板置於最底層，同時以此為地面之基準，接著製作中心鋼柱部分，以此 BOX 型鋼柱底部中心為座標原點，所有其他物件皆以此鋼柱為中心。由於要強調鋼梁接鋼柱部位，因此在梁柱接頭區用不同顏色來表示。圖 5-4 顯示中心鋼柱的配置，上下兩段使用不同顏色以做為區隔。

中心鋼柱完成後接下來是製作 H 型鋼梁(托梁)，以 4 支尺寸為 H 512x202x12x22

放置於中心柱四邊，其相對位置如圖 5-5 所示。同時為銜接後續步驟，製作出從地基穿出的主筋共 12 根，主筋排列方式依照前面章節所提 SRC 柱之設計細則之規定安排，同一斷面主筋最多只能隔根續接，續接處相距 60 公分以上。

5.1.3 H 型托梁細節製作

H 型托梁基本架構建立好後，接著便進行細部修飾，由於梁柱接頭處必需要讓箍筋能順利通過，因此要在托梁腹板處預先開箍筋孔。這裡利用數根直徑較 3 號箍筋大的圓柱體，同時對腹板物件進行布林差集運算以得到穿孔效果，圖 5-6 為對托梁腹板進行穿孔之示意圖。完成後接著以同樣方法對腹板另一頭進行螺栓孔的製作及對焊接處的鋼板預先削切處理，最後將完成腹板複製並放置在鋼柱四面，結果如圖 5-7 所示。



5.1.4 組裝梁與焊道

托梁製作完成後，接著製作組裝梁的部份，由於此物件為兩側對稱，同時本模型主要重點在於梁柱接頭處，故在這部份只取半簡化製作模型，靠近托梁端使用同樣的手法，預先做出螺栓孔洞的效果，如圖 5-7 所示。同時進行焊接處模型製作，背墊板使用簡易的長方體製作模型，而焊道則是使用長方體配合布林運算，削去一個 35 度角使之成為一斷面為梯形之長條物件。焊接方式使用全滲透單斜邊開槽(CP welding : Single-bevel)，圖 5-8 即為全滲透單斜邊開槽之焊接方式示意圖。

由於此模型設定為托梁在工廠內完成焊接，故梁柱接合處為焊接形式，所以在交接面處建立四分之一圓柱體代表焊道，而在梁翼板處則同樣使用全滲透單斜邊開槽焊接，同時為了能較明顯表達焊接處，對焊道位置模型有些許放大，以便於觀察，圖 5-9 為組裝鋼梁部分與焊接區域模型之局部顯示，圖 5-10 則為組裝鋼梁與焊接區域模型之廣域顯示。

5.1.5 螺栓接合

托梁及組裝梁部分都完成後，接者是製作兩者間接合的部分，其主要構件為接合板以及螺栓。接合板設定為 2 PL10x220x350，螺栓為 A490-M24 共 8 顆，接合板及螺栓位置如圖 5-11 所示。接合板開孔方式和前面製作箍筋孔方式相同，而螺栓設定為使用六角螺栓，同時也製作了螺紋以及螺母刻痕的視覺效果，如圖 5-12 所示為單一顆六角螺栓之細部示意圖，圖 5-13 為螺栓之側視圖，這裡可以看到模型使用網面(Mesh)的分布情況。

5.1.6 主筋、箍筋與柱內連續板

鋼梁以及鋼柱完成後，接著進行主筋、箍筋以及連續板的製作。首先是梁主筋的放置，由於本模型設定為梁主筋穿越箱型鋼柱腹板，故必須考慮鋼柱內連續板相對位置以及鋼柱開孔的預先處理，圖 5-14 為去除鋼柱而只顯示柱內連續板位置之示意圖。鋼柱開孔部份和前面步驟相似，使用多根長型圓柱體並設定成為同一群組，接著令 BOX 鋼柱對此群組做布林運算即完成開孔處理，圖 5-15 為梁主筋穿過已完成開孔作業之鋼柱示意圖。相對開孔而言，決定梁主筋位置就複雜許多，由於梁主筋必須交錯配置，同時又不能穿過連續板，以及在鋼梁位置同高的情形下，造成兩方向梁保護層厚度不一致等現象，同時當使用雙層主筋時，更容易發生梁主筋與同位置箍筋發生衝突的情況，在製作 3D 模型中由於直接以立體視覺化的方式呈現，故能較傳統圖面更快且清楚地了解問題所在，圖 5-16 顯示了連續板以及梁主筋之相對位置圖。由建模過程中可知，SRC 梁儘量使用上下皆為單層筋配置，可以免掉很多施工上的問題，若要進行雙層筋以上配置的話，必須對交錯部份各元件位置有更高的精度要求，同時要先檢核各元件是否有互相衝突的情況發生。

主筋都安置好後，接著開始箍筋的製作，首先是依主筋範圍為參考點，使用 Create 中的 Shapes 建立箍筋線條形狀，由於建立線段預設值為同一平面，故之後

必須使用 Modify 變更該線段的頂點高度，圖 5-17 顯示正在對線條頂點進行高度設定之示意圖。箍筋形狀決定之後，接著是將 2D 線段賦予擠出的圖形，以使線條能 3D 化，這邊使用 Shapes 中的 Circle 指令建立出一個直徑等於 3 號筋的圓形，然後使用 Create>Geometry>Compound Objects 中的 Loft 功能先指定線段然後賦予剛建立的圓形，此時便會依線段產生一個具有厚度的 3D 物件，同時也完成了柱箍筋的製作，圖 5-18 同時顯示 2D 線段的樣本以及擠出後的物件俯視圖，圖 5-19 則為完成的柱箍筋示意圖。當柱箍筋模型完成後，接著就是製作大量元件，並且安置到適當的位置，如圖 5-20 所示柱部分的箍筋都已擺放到指定位置上。同時在放置箍筋應時注意彎鉤位置，如圖 5-21 所示彎鉤呈交互排列。

因為圓形本身具有較高面數，同時加上線段分段處理，進而使得彎鉤處面數向上提升，如圖 5-22 可看到在彎鉤的角落處，線段密度明顯上升，即表示這邊物件的圖形面數在此有顯著增加。



5.1.7 梁柱接合處箍筋

接下來製作梁柱接合處的箍筋模型，由與此處有鋼骨存在，因此必需要在鋼梁腹板處預先穿好箍筋孔，這部分已經在前面製作托梁時處理完畢，接下來是選擇箍筋形式，SRC 梁柱接頭處的箍筋形式有 L 型箍筋焊接(參考圖 4-10)、使用鋼筋續接器、90 度+180 度與 90 度+135 度彎鉤組合(參考圖 4-11)等方式，本模型選擇使用不需焊接的彎鉤組合。

利用建立柱箍筋的方法，先建立好兩種箍筋模型，一個為 90 度+180 度彎鉤，另一個為 90 度+135 度彎鉤，圖 5-23 為梁柱接頭處兩種箍筋形式之示意圖。接著將全部 48 個物件放置到對應位置，同時注意是否有和柱主筋重疊到，並調整位置，圖 5-24 為放置梁柱接合處箍筋至定點。而在實際製作此部分時，確實遭遇到物件互相重疊衝突的情況，往往在變動單一物件位置後，又造成其他物件衝突，在參考比對其它 SRC 梁柱接頭施工照片如圖 5-25 後可發現，由於本模型設置了 2

排下層筋，同時箍筋又使用彎鉤組合形式，加上在翼板 51.2 cm 內就設置了 6 組箍筋，故較容易發生物件抵觸的情形，不過經過些許的物件位置調整，還是能達到彼此相容。圖 5-26 為無焊接彎鉤組於梁柱接頭處的俯視圖，中心箍筋配置則近似圖 4-11 之無焊接箍筋配置示意圖。

5.1.8 SRC 鋼梁與鋼柱外層之混凝土包覆

模型製作到此，鋼骨、鋼梁、螺栓接合、焊接、梁柱主筋及其餘箍筋部分都已建置完成，最後就是加上最外層的混凝土包覆。依照一開始的柱模型設定，製作一長方體包覆於鋼柱核心外圍，其斷面為 80 cm x 80 cm，同樣的在梁位置建立斷面為 50 cm x 85 cm 的水平方向長方體，以表示梁之外層混凝土，同時為了能在最後呈現一個完整的樓層架構，而額外建立了相對應的物件以代表各梁與柱，不過其中並未包含內部架構而只有外層混凝土部分，整體外型如圖 5-27 所示，可以看出一個樓層有四根樑與柱的構造。

5.1.9 立體模型材質處理

完成所有的 3D 物件後，接著對各目標物進行材質貼附工作。使用之前章節提到的方法，將對應的鋼材，混凝土，焊接材料等等連結到指定物件上，最後透過彩現即可得到接近真實物體的視覺效果，如圖 5-28 所示，而在 3ds Max 上的模型建構工作也告一段落。

5.2 應用 Virtools 進行模型互動內容之製作

5.2.1 3ds Max 模型匯出至 Virtools

當在 3ds Max 上製作完 3D SRC 模型之後，接著先將其透過 Virtools 3ds Max Exporter 匯出成爲 *.nmo 檔，然後再從 Virtools 進行 Import File 程序，同時也要一併將之後使用的 2D 圖片放置到 Virtools 的資源資料夾中。

5.2.2 攝影機與燈光

由於在一開始並沒有建立光源和攝影機，故初使狀態只能看到全黑的模型，以及角度不理想的攝影機如圖 5-29 顯示。所以接下來便是攝影機的新增及定位與光源的建立。首先使用編輯區移動視角的功能，先將畫面調整至可以觀看到模型主體的合適位置，接著點擊物件建立區的新增攝影機按鈕，位置在圖 5-30 所標示處，最後按下設定初始狀態按鈕(Set IC)完成設定。Set IC 的作用爲紀錄關於被指定物件的所有資訊，包括初始位置、關聯性設定、材質紋理等等，當在 Virtools 編輯過程中發現不滿意的時候，可以使用 Restore IC 按鈕恢復之前的 IC 設定，而不用花時間改回原來設定。

接著點擊物件建立區的創造光源按鈕，會立刻出現一個照射範圍有限的點光源(Point Light)，由於 Virtools 的點光源影響距離不能設置爲無限，所以爲了打光的方便性，便將此光源模式變更爲方向性光源(Directional Light)，這個設定的特色是光的影響距離是無限，不過由於單靠一個方向的打光並不能涵蓋模型全部範圍，因此在此步驟加入了數個照射方向不同的光線，最終效果如圖 5-31 所示。

5.2.3 攝影機移動控制

接下來製作讓使用者可以隨意移動視野的互動功能，方法就是將攝影機物件

連結至按鍵作用、移動、轉動等 Building Block 組合，圖 5-32 為控制移動攝影機的 Building Block 腳本示意圖。之後使用者便可以透過設定好的鍵盤按鈕，操控視角進行觀察，而對應之鍵盤按鈕與作用列於表 5-1 中。

第一攝影機攝製完成後，接著在模型斜上方 45 度角附近，設置第二攝影機，這裡設定為使用 F7(第一攝影機)、F8(第二攝影機)切換要觀看的攝影機視點。

5.2.4 SRC 物件組裝流程控制

接著要製作出 SRC 各物件隨時間移動到定位的效果，因此先把模型元件拆開並放置到移動前的初始位置，各元件起始位置如圖 5-33 所示。依各部位移動的方式，利用關於物件運動相關的 Building Block 組合出移動的模式，同時利用 Building Block (BB) : Delayer 以改變參數的方法控式物件移動的先後順序，圖 5-34 為控制物件移動的主要腳本。

流程控制腳本大致結構為先利用 BB:Delayer 製造時間差，接著使用 BB:Bezier Progression 控制前進方向及速度，有部分物件則使用了 Building Block : Show/Hide 控制。作用為當到達指定時間時，該物件就會顯示在預設位置，這種控制法雖然沒有移動的效果，卻能節省設定參數的時間。

由於 Bezier Progression 的移動十分依賴 PC 的即時運算，當電腦效能有限，以及同時有多數物體運行時，此建構模組的運行會發生一些問題。例如每次執行時，物體行進的距離皆不一致，以至於最後物件無法準確結合。為了修正此缺陷，因此當 Bezier Progression 運行結束後，在結尾處又另外使用 BB : Set Position，來修正最後的位置。

製作物件隨時間移動要考慮的要素大致上有：

1. 細膩度：對越多元件進行腳本製作，越能感受到細節，不過相對而言就需要花較多時間對每個元件進行腳本設定，同時也會對 PC 表現效能造成影響。另外，也可利用群組模式，將類似元件以一次性的方式移動到定位，好處是腳本設定

快速，不過要犧牲細膩程度。

2. 呈現效果：物件要用何種方式出現，例如移動、隨時間進程逐一顯示、材質漸變顯示等等。
3. 物件分散處理：由於元件移動到最後才拼湊出整體，因此在移動前要進行元件拆散的作業，將各部位依移動方式先放置到合適的位置，放置的位置也影響到之後的呈現效果。
4. 時間差的處理：物件拼湊不是在同一時間進行所有步驟，因此要事先決定先後順序，同時移動物件所花的時間也要進行考慮，才不會發生 A 物件尚未到定點，而 B 物件卻已經到達的視覺上奇怪現象。

5.2.5 互動模型的特殊功能按鈕製作

安排好各元件的移動順序及位置之後，接著爲了製作出有功能性的 Icon，先製作數個 2D Frame，同時也使用繪圖軟體(Paint.net)製作出對應的按鈕圖示，圖 5-35 爲使用 Paint.net 繪製一箭頭按鈕之示意圖。以繪圖軟體繪製圖示，之後以 png 格式存在材質庫的目錄之下，接著在 Virtools 中創造新材質(Material)，同時指定使用剛剛做好的 PNG 圖檔爲其紋理(Texture) 如圖 5-36 所示。指定各 2D Frame 使用對應的材質，即完成 Icon 的圖樣。最後再將想要運作的功能透過 Building Block 的串接，連接到各 Icon 之上，即可賦予 Icon 有執行指令的能力。圖 5-37 爲按鈕的腳本示意圖，圖 5-38 爲加入新功能後的操作介面。

本研究安排模型具有的功能，包含了速度控制。有半速(SPEEDX0.5)、一倍速(SPEEDX1)、二倍速(SPEEDX2)以及暫停功能(PAUSE)供使用者選擇。速度控制按鈕可用來控制模型組裝速度的變化，可以加速或是放慢組裝的流程展示，甚至是將流程暫停。主要使用到 BB: Time Settings 可以對整體運行速度加以控制，不過同時也要對會被此作用所影響的攝影機移動速度進行參數的變更設定。在模型組裝的過程中、暫停時或是組裝流程結束後，使用者皆可隨時以鍵盤控制攝影機的

移動，可以對攝影機進行拉近、遠離、水平移動、旋轉等控制，或是切換不同的觀察視角。

除此之外還設有攝影機回到中央的按鈕(TARGET CENTER)，讓使用者能快速回到初始的觀察視點，對攝影機使用 BB：Set Position & BB：Look At 即可達成此作用。接下來是立體效果的開關，由於此模型也要適用於沒有立體播放配備能力的電腦，所以設計了這個可以開關控制立體顯像的功能，主要使用 BB：Activate Script & BB：Deactivat Script 對顯示立體效果的腳本進行開關控制。螢幕左下角另外配置了攝影機移動控制按鈕，讓使用者多了一種控制模式，和鍵盤控制不同的地方在於，以此區域進行控制時，攝影機的移動速度會較為緩慢，可以慢速移動視角，對於細部之觀察將會有較好的效果。

最左下方為隱藏 2D Frame 鈕，由於 2D Frame 會影響立體顯像效果，因此在進行立體播放時可將此功能打開，如此物件就不會被按鈕圖示所遮蔽。這邊使用到 BB：Show & BB：Hide 二者作用對象為畫面上的 2D Frame。旁邊的則是隱藏 3D 物件鈕(HIDE OBJECT)，按下 On 之後點選任何物件則該物件就會立刻消失，其作用是在便於觀察被遮住的地方，當想要觀察的對象被其他物件擋住時可以使用，按 Off 為停止該功能。使用 BB：Mouse Waiter 、 BB：2D Picking、BB：Hide，而作用對象為 3D Objects。

5.2.6 模型細部調整及物件資訊顯示

之後就是對模型整體進行細部調整，包括物件位置移動後的再定位、各 Building Block 內的參數微調整、漸變材質處理、視角調整、模型運行速度控制等處理。當模型能正常動作之後，接著便加入物件資訊，利用群組功能及 Building Block 的組合，做出點擊畫面上任何物件便能顯示出相關資訊的效果，如圖 5-39 所示，點擊 H 型鋼樑後其相關資訊顯示於左上角處。

除了箱型鋼柱模型之外，為配合立體功能展示，另外製作了簡易的 SRC 五

螺箍模型，圖 5-40 即為其示意圖。同時為了能直接放上網際網路，使用 Virtools 的功能將製作成品輸出成 htm 檔案，可直接使用網頁瀏覽器開啓，圖 5-41 為使用 IE 開啓的畫面，除 IE 之外尚支援如 Firefox, Mozilla, Netscape 等瀏覽器，開啓前會自動下載 3D Life Player，也因需要在有網路連線的狀態下才能開啓。

最後一步是匯入 Virtools 的 Stereo Pack(Building Block 的模組包)，搭配上立體投影設備以及線性偏光眼鏡，製作出之前章節中提及的立體效果。



第六章 模型展示

在前面介紹了從建立模型一直到賦予物件共動性的過程，本節將以文字以及配合圖說的方式，進行 SRC 組裝流程的展示，藉由模型逐步的動態進程，解說整個模型的運作過程。

6.1 執行檔案與下載瀏覽器

建構好的模型檔案可以輸出成爲瀏覽器使用的 htm 格式與可以直接使用 3D Life Player 開啓的 vmo 格式，在執行 htm 格式時，若是遇到開啓有問題的形況則可改開啓同主檔名的 vmo 檔進行播放。而開啓時比較會遇到的問題爲當使用 htm 方式開啓，瀏覽器會自動連接至 Virtools 網站下載播放模型所需的 3D Life Player，由於每次開啓檔案都會要求下載該播放器，因此觀看用的電腦必須要處於連線狀態才能執行，這時使用者會看到如圖 6-1 的下載畫面，同時會依網路速度顯示播放器下載的完成度。如果直接開啓 vmo 格式，只要該台電腦曾經安裝過 3D Life Player 即可進行播放，而不必一定要在電腦有連線時才能使用。

6.2 樓板與主筋出現

當完成播放器下載後，緊接著使用者會馬上看到此模型的控制介面，如圖 6-2 所示，這邊可以看到背景圖樣以及之前介紹過的一些可操作介面。接著可看到模型的底板(可視爲一樓地板)從下方升起至定點，同時自樓板下方的主筋也在此刻穿出樓板，以作爲之後的續接之用，如圖 6-3 所示。

6.3 柱主筋、箍筋與鋼柱主體

由於本模型之 SRC 梁柱接頭是採用工廠預先焊接托梁形式(參考圖 4-3)，若是先放置鋼柱，則接下來柱箍筋將會因爲無法穿過鋼樑而不能到達柱的下端，因此

需要在鋼柱到位前，先將正確數量箍筋預先放置到最底部，等之後再調整至定位，圖 6-4 顯示柱箍筋正預先堆疊至柱底。接著是鋼柱主體放置到定位，圖 6-5 顯示 SRC 鋼柱正從上方下降到中央處，當鋼柱安置到定位後，接著進行柱中段主筋的續接，圖 6-6 為按下 F8 後第二攝影機的畫面，這邊可以看到新增的鋼筋正開始和下段主筋續接，而圖 6-7 顯示主筋在柱接近中段之處，同時續接面呈交錯分布，符合第四章關於主筋續接的規定。

當主筋續接至第二樓層完成後，接著就是進行柱箍筋的後續處理，這邊要進行的工作有將在柱底的箍筋往上移動到設計所需要的位置，同時還有進行梁柱接頭處的箍筋安置作業，圖 6-8 顯示 SRC 梁柱接頭區的箍筋組合正被放置到指定位置(箍筋型式可參考圖 4-11)，同時還可以看到鋼柱以及鋼樑上預留的鋼筋孔位及梁柱焊道位置。

接下來，由圖 6-9 可以觀察到的是接頭箍筋組合，90 度-180 度彎鉤每面使用 6 支，以交錯的方式穿過鋼樑腹板預留的箍筋孔。而 90 度-135 度彎鉤則是在四邊主筋角隅處各配置 6 個，也是採交錯放置的方式，這裡將腳於彎鉤以群組方式放置到定點，避免顯示太過雜亂，因此順序上和實際稍有不同。

6.4 梁之鋼骨及梁主筋、箍筋

當柱的部分完成後，接下來所顯示的為梁的處理，這邊首先進行的是梁主筋移動至定位，可參考圖 6-10、二垂直方向的梁主筋分別穿通過鋼柱上預留的鋼筋孔，由於這裡製作時只選取了半邊模型來製作，因此這裡呈現的梁主筋並沒有如上一步驟柱主筋的交錯配置，同時之後也沒有製作續接的部份。不過實際上的續接鋼筋配置還是要參照第四章的規定。

圖 6-11 為以第二攝影機觀看接頭處的畫面，這裡使用者可以看到鋼柱內的連續板位置，還有梁主筋穿過鋼筋預留孔及與連續板的相對位置關係。

雙向梁主筋配置完成後，接下來梁箍筋使用類似柱箍筋的處理方式，也就是

先將正確數量的梁箍筋預先堆疊至靠近梁柱接頭處，其原因仍是為了避免當吊裝的鋼樑組合好後，梁箍筋無法穿過鋼樑到定位，因此採用和處理柱箍筋時類似的作法。圖 6-12 顯示雙向梁主筋皆配置完成後，梁箍筋放置到臨時位置等待後續處理。下一步開始進行吊裝鋼樑部分的組裝，圖 6-13 為吊裝鋼樑放置到定位的情形，四邊依序到定點，準備進行接合。圖 6-14 為吊裝鋼樑已經對齊托梁，正在進行螺栓接合的示意圖，首先是對準孔位然後放上接合板，接著是鎖上螺栓，圖 6-15、6-16 為螺栓接合時的正面及背面圖。

當螺栓安裝完成後，接著就是梁翼板的焊接處理，首先放置焊接用的背墊板至焊接處下方如圖 6-17，接著是進行焊接，這裡以一焊道出現在焊接處表示，如圖 6-18，當上下翼板皆處理完畢後，接著對其餘還未進行接合的鋼樑一併進行同樣的處理。

現在鋼樑已經連結於兩根柱之間，不過由於梁部份為取半製作，因此另一側的接合過程就與以省略。這裡假設整支鋼樑已經接合，同時梁主筋也在中段續接完畢，接下來如圖 6-19 所示，將預先放在靠近接頭處兩端皆為 135 度彎鉤的 U 型箍筋，逐一拉至設計所需的位置，而圖 6-20 為不同角度觀看梁箍筋，此時箍筋已全部到達指定位置。之後在 U 型箍筋上方加一 90 度-135 度彎鉤之 \square 型箍筋蓋，如圖 6-21 所示，全部都處理完畢後，梁箍筋部份即宣告完成。

6.5 混凝土澆置

現在 SRC 模型已完成鋼樑、鋼柱、主筋、箍筋等細節，接著就是混凝土的澆置工作，由於本模型省去了關於新樓層樓板及牆壁元件的呈現，故當完成時只會顯現梁與柱的部份。圖 6-22 顯示混凝土包覆在鋼樑和鋼柱的外側，一開始混凝土外觀為半透明代表尚未硬固，當經過一段時間後，混凝土外觀開始變得不透明，圖 6-23 為表現出混凝土隨著時間經過而硬固的效果。同時在第二層柱底也開始堆放新一批柱箍筋，代表整個過程將開始進行循環。

6.6 自由觀察模式展示

動態模型展示過程到此即告一段落，接下來使用者可以對完成組裝的 SRC 梁柱進行各角度的觀察，各功能鍵之位置可參照圖 5-38 使用者介面說明。

在組裝時，按下控制速度的功能鍵後，模型便會依所選取的速度進行組裝，同時這也影響到了攝影機移動的速度，當選取 0.5 倍速時，攝影機會以較慢的速度移動，反之若是選取 2 倍速，則使用者移動視角，也會以較快的方式進行。

而攝影機置中按鈕的作用，為當使用者想要將攝影恢復到初始位置時供使用，按下之後視點將回到一開始的位置，如此對於觀察將更為便利。

在攝影機移動控制方面，圖 6-24 為初始畫面，圖 6-25 為使用者按下 Z 鈕後，距離拉近之畫面。圖 6-26 顯示按下 C 鍵後攝影機向左平移之畫面，其餘操作按鈕說明可以參照表 5-1 所示。在這裡若是使用畫面上的方向鍵符號控制攝影機，由於移動速度較慢，對於想要觀察特定物件時使用，將會有較鍵盤控制更好的效果。

若覺得按鈕會妨礙觀看時，也可以使用隱藏按鈕的功能，使用 Hide 鈕後主要的按鈕會消失，比較圖 6-24 與 6-27 即可看出差異性，可發現圖-6-27 中的物件不會被按鈕圖示所遮蔽，而若要再次顯現按鈕只需按下旁邊的 Show 即可。此外還有隱藏物件的功能，當使用者點擊 Hide Object(On)後，接下來只要點擊模型中的物件，則該物件就會消失，或是使用者可以點擊不想觀看的項目，而只留下要觀看的對象，利用此功能則可更清楚觀察該指定物件。

圖 6-28 為點擊隱藏部分混凝土的觀看畫面，可發現原本包覆於鋼骨外側的混凝土消失，直接露出鋼骨與鋼筋部分。圖 6-29 為將鋼柱以及部分箍筋、主筋利用隱藏功能，使其在畫面中不顯示，以利於使用者觀看中心連續板以及梁主筋配置情況示意圖。圖 6-30 為點選隱藏梁之混凝土、主筋、箍筋、部分螺栓、鋼承板，而只顯示 H 型鋼梁與箍筋孔位之示意圖。

除了觀看功能之外，還加入了物件相關資訊的查詢功能，當使用者直接點選

模型中任何物件時，在螢幕左上角即會顯示出關於該物件的相關資訊，如圖 6-31 即為點擊 H 型鋼樑後，螢幕左上角即顯示鋼樑相關訊息。

6.7 模型元件衝突展示

本模型除展示 SRC 組裝過程之外，同時於第一章也提及到希望能在建模過程中即發現設計上的錯誤，並且能在施工前與以修正，節省不必要的工程費用支出。在此將模擬一個設計錯誤之例子，使用者可透過觀察模型組裝過程中，輕易的發現到問題所在，而狀況為假設繪圖時尺寸標示發生錯誤，導致某根箍筋與主筋位置重疊。圖 6-32 為梁柱接頭近距離觀察圖，在圖中可以看到梁主筋與柱箍筋位置有些許重疊，這意味著當實際施工時，必定會有一個物件無法順利安放到指定位置。若是以往從傳統平面圖要找出此一錯誤的話，勢必要檢核許多相關數據，同時在繁雜的圖面中挑出這微小錯誤必將浪費不少時間。相較於使用 3D 模型觀察，使用者可以立即的從電腦畫面中發現該處有異常，而只需對該問題點週遭箍筋間距的數據進行檢核，節省了不少偵錯的時間。

有時在一開始清圖過程中使用 2D 平面圖檢核，由於圖面資訊過於複雜，檢查人員可能會漏掉一些細節而沒有在第一時間發現，而在本例中使用 3D 模型檢查，將可以更清楚發現問題所在。現今大型工程已有越來越多使用營建虛擬施工技術用以檢核之實例，相信未來此技術使用範圍會逐漸擴大。

6.8 SRC 模型展示評估

本小節針對模型整體優缺點進行討論，同時也對於缺點部份提出一些未來可進行改進的方向。

本模型的優點：

1. 傳統虛擬實境的最大問題，就是在場景中無法顯示大量文字的敘述。這點在娛樂方面的應用也許無礙，但若在工程領域中，對於要

解了解一個物件來說將是一大致命傷，一但缺乏文字提供的解說，使用者只能獲得圖像上直接的視覺資訊，其他更重要的情報只能靠自行臆測，例如尺寸、材料類型等等。自行猜測對於整體結構的理解效果幫助將十分有限，甚至還有理解錯誤的反效果。本模型雖未能完全將 SRC 相關細節以文字的方式加在場景之中，但利用資料連結物件的功能，令使用者可以在點擊該物件時，顯示出相對應的資訊，而此資訊是可以透過簡單方式新增的。

2. 藉由網際網路的連結，使用者可以在任何有電腦及網路的環境下瀏覽本模型，對使用者來說將十分方便，同時這也提供了更多的學習機會，藉由讓更多使用者透過操作本系統而對 SRC 構造有更進一步的了解。但是同樣的，使用者在家中也比較無法使用到本機上的一些顯像設備，對於立體效果的呈現將有些許影響。
3. 本模型中，使用者擁有高度的控制權，以自由導覽，自我步調的方式主動獲取相關資訊，同時透過逐步組裝的過程，令使用者對於 SRC 構造組成元件與施工都有更進一步的認識。
4. 大部分的動態展示若使用了暫停功能畫面將靜止，將不能對攝影機進行移動控制，例如在播放 flash 中按下暫停的完全靜止效果。本模型透過 Building Block 的組合，即使在展示組裝到一半的時候按下暫停鈕，仍可對攝影機進行移動縮放等操作，對於使用者的觀察將更增方便性。

本模型的缺點：

1. 模型細節仍待加強，由於本模型建構不是參照完整連貫的設計圖，故許多地方之元件細節沒有交代清楚，或是在尺寸及配置方面有些出入，如箍筋間距、梁之主筋接續、鋼柱基腳、鋼柱接續等等。
2. 模型面數未最佳化處理，如箍筋、螺栓等模型皆有使用面數過多的

情形，對於電腦處理有一定的影響，若是在 CPU 或是顯示卡配置較低的電腦上進行播放，將會出現延遲的現象，影響流暢性，同時降低使用者的沉溺度，降低面數將可令本模型在硬體配置較低的電腦上仍保有不錯的流暢度。

3. 模型尺標之參照，本模型未在各物件上標明尺寸，必須透過物件資訊查詢才能獲能該資料，例如使用者想獲知箍筋間距為多少時，在 2D 圖面中可直接獲得該數據，但在本模型中需要點擊箍筋才會顯示出來，當需要多筆數據時反而較為麻煩。
4. 操作介面加強，可以加入更多功能如設計圖、規範參照或是不同顏色顯示出發生衝突的物件等等。
5. 加強資料輸入方式，本模型的資料查詢內容，必須在 Virtools 編輯中完成製作，同時當播放中不能對其進行修改，未來可以嘗試強化物件與資料連結功能，增加物件與資料連結的便利性。



第七章 結論與建議

7.1 結論

本研究之目的在利用 3D 建模與 3D 互動內容製作工具，製作出 SRC 互動模型，藉由結合虛擬實境與網際網路的方式，令使用者能比透過書籍與圖片，更加快速的獲得 SRC 的相關資訊。同時本模型使用了動態展示的效果，相較於靜態的 3D 展示，動態的效果更能清楚展現 SRC 結構整個組裝的流程。本研究在經過模型建構與驗證之後，以下是研究心得與結論：

1.以虛擬實境方式表達一工程概念，相較傳統觀看平面圖樣更加容易理解。

使用新的電腦繪圖技術，產生的不只是單純圖形，更可以包含許多不同種類資訊。同時電腦虛擬模型的應用範圍也較為廣泛，舉例來說非土木專業人員可透過虛擬模型看到色彩豐富、同時具互動性的建築物，而專業人員卻也可透過同一模型獲得工程實務上所需要的數據資料。換言之，建構電腦 3D 模型可同時滿足多種不同的需求。

2.電腦 3D 模型如能結合時間要素，進一步成為 4D 模型，將更能增加其應用性。

在本論文中為利用時間進程簡單展示了 SRC 的組裝流程。4D 模型由於增添了時間因素，也就表示電腦虛擬物件能因為在不同時間點中而擁有不同的資料，因此只要以時間來區格將可容納更多的資訊，如現在正逐漸被應用的 BIM(Building Information Modeling)，也具有生命週期管理的功能，即說明了整合時間因素將更具實用性。

3.加強虛擬物件與資料的連結可有效提升應用性。

以圖像展示仍需要輔以文字說明以加強細節，本模型是以直接顯示文字的方式來表示物件關資訊，不過也可以連接如其他圖片、文獻、規範、網頁資料等輔助說明，幫助使用者瞭解更多想獲得的相關細節。

4.透過網際網路，使用者可以不限時間、地點的對此資訊進行了解，同時以虛擬實境傳遞資訊，可令使用者比透過傳統媒介更感興趣，結合這兩種特性，未來也可應用到教學等方面。

7.2 建議

最後，針對本論文的内容提出建議與可改進事項，作為日後發展的參考。

1. 互動功能的擴充

本論文所製作之互動模型，仍有許多不便於操作的因素，如何製作出更人性化的介面，以及加入更多實用的新功能，例如區域放大、時間軸自由控制、使用者自定義動作、提高資料參數輸入的效率等，皆是可以改進的地方。

2. 模型面數與電腦效能的最佳化

實際運作模型後會發現，物件運動的效果和電腦等級有絕對的關係，當進行加速處理時往往會發現如物件位置不正確、畫面延遲不順暢等現象，在不同等級機器上測試會有更顯著的感覺。原因為模型面數過高，電腦需要高等級 CPU 及顯示卡進行即時運算。如要能在大多數電腦上都能有順暢的表現，模型的最佳化是必須的，如降低物件組成面數，使用物件群組取代個別物件等方式。

3. Virtools 功能的改進

Virtools 目前版本到了 4.0，不過仍有許多改善的空間。例如使用某些移動相關的 Building Block 控制時，物件移動距離會因電腦效能關係，而有不準確的現象發生，必須使用其他方式修正，增加不少作業上的時間，同時本身編輯的介面也可以更加人性化，用過 3ds Max 後更能強烈感受到使用者介面便利性的不同。

4. 改善物件資訊與輸入方式

未來可以利用 VSL(Virtools Script Language)撰寫新的 Building Block，同時結合資料庫的方式，直接將 3D 物件連接到其所有資訊，如此將能更有效率的將 3D 物件與數位資料相結合。

參考文獻

- [1] 張躍，張叢哲，「土木工程中虛擬現實技術的發展與展望」，電腦世界，第 5 期，D版，D1-D3，1998。
- [2] 雷言清，「三維 CAD 與城市規劃設計 工程設計 CAD 及自動化」，1996。
- [3] 張躍，張叢哲，建築、「結構設計與施工過程的視覺化計算」，電腦世界，第 5 期，D版，D7，1998。
- [4] Vaysburd. ” Concrete Repair Technology- A Revised Approach is Needed” ，
Concrete International , January 2004.
- [5] 黃隆茂，楊定良，「3D技術在高鐵台中車站S250 標之應用」，現代營建，第 308 期，第 29~42 頁，2005。
- [6] Discovery，建築奇觀：打造北京奧運之都，2006。
- [7] 蕭志勝，「建築物SRC構造設計施工之探討」，現代營建，第 293 期，第 65~73 頁，2004。
- [8] 邱明祺，「虛擬實境於電腦輔助教學之研究-以材料力學之學習為例」，國立交通大學，碩士論文，1998。
- [9] 陳奕銘，「材料力學虛擬教室」，國立交通大學，碩士論文，1999。
- [10] 范政富，「應用 X3D 建製教學範例-以材料力學為例」，國立交通大學，碩士論文，2006。
- [11] 廖健羽，「結構物資料庫視覺化查詢系統 VRML 介面」，國立交通大學，碩士論文，2000。
- [12] 施政璋，「遙測技術結合虛擬實境應用於土石流防治工法虛擬配置之動態模擬分析」，屏東科技大學，碩士論文，2005。
- [13] 呂明娟，「建築結構工程 4D模擬系統之研究」，國立台灣大學，碩士論文，2005。

- [14] 蔡雅雯，「營建作業模擬系統邏輯控制元件之研究」，國立中央大學，碩士論文，2002。
- [15] Mckinney, K., Kim, J., Fischer, M., and Howard, C., “Interactive 4D-CAD,” Proceedings of the 3rd Congress on Computing in Civil Engineering, pp.383-389, 1996.
- [16] Griffis, F.H., Hongan, D., and Lin, W., “An analysis of the Impacts of Using Three Dimensional Computer Models in the Management of Construction,” Research Report, Construction Industry Institute, 1995
- [17] 企業分散架構，網頁，<http://www.mgt.ncu.edu.tw/~kwang/VRML/vrml.html>
- [18] 邱茂林，顏蘇禎，「建築設計過程中設計表現形式與視覺溝通現象之研究」，設計學報，第三卷，第二期，第87~110頁，1998。
- [19] 邱茂林，「建築工程模擬之虛擬實境系統之研究」，中國土木水利工程學刊，第十一卷，第四期，第711~721 頁，1999。
- [20] 愛迪斯公司網站，<http://www.axis3d.com.tw>
- [21] 從 VRML 到 X3D，網頁，<http://17de.com/x3d/vrml2x3d.html>
- [22] 蔡雅純，許志維，洪維恩，3D遊戲夢想家 Virtools入門實作範例，金禾資訊，2005。
- [23] 劉明昆，遊戲數位動力 開發工具篇，文魁資訊，2003。
- [24] 劉明昆，3D遊戲創作範例 1，學貫行銷，2006。
- [25] 江高舉，3ds Max 7 私房教師，金禾資訊，2005。
- [26] 林龍震老師工作室，3ds Max/VIZ 立體建模實務，金禾資訊，2003。
- [27] 翁正強，鋼骨鋼筋混凝土 (SRC)構造設計教材，內政部建築研究所，2004。
- [28] 設計規範研究小組，鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說，內政部建築研究所，2004。

- [29] (日) 大島久次，關龍夫著，營建及建築細部圖解字典 2 鋼筋混凝土、鋼骨工程，崔征國譯，詹氏書局，1992。
- [30] (日) 谷資信，筋野三郎著，土木・建築 R.C.配筋詳圖及解說，蔡震邦，江新煌譯，文笙書局，2000。
- [31] Virtools中國網技術論壇，<http://www.virttools.com.cn/bbs/index.asp>
- [32] 3DVIA官方網站，<http://www.3dvia.com/home.php>
- [33] 洪正隆，3ds Max基礎造型-指令圖集 VIII，金禾資訊，2005。
- [34] Dassault Systemes官方網站，<http://www.3ds.com/3dxml>

