

國立交通大學
土木工程研究所
碩士論文

虛擬實境應用於震動台試驗重現研究

The Application of Virtual Reality in Simulating
Structural Dynamic Experiments on Shake Tables



研究生：李忠錦
指導教授：洪士林 博士

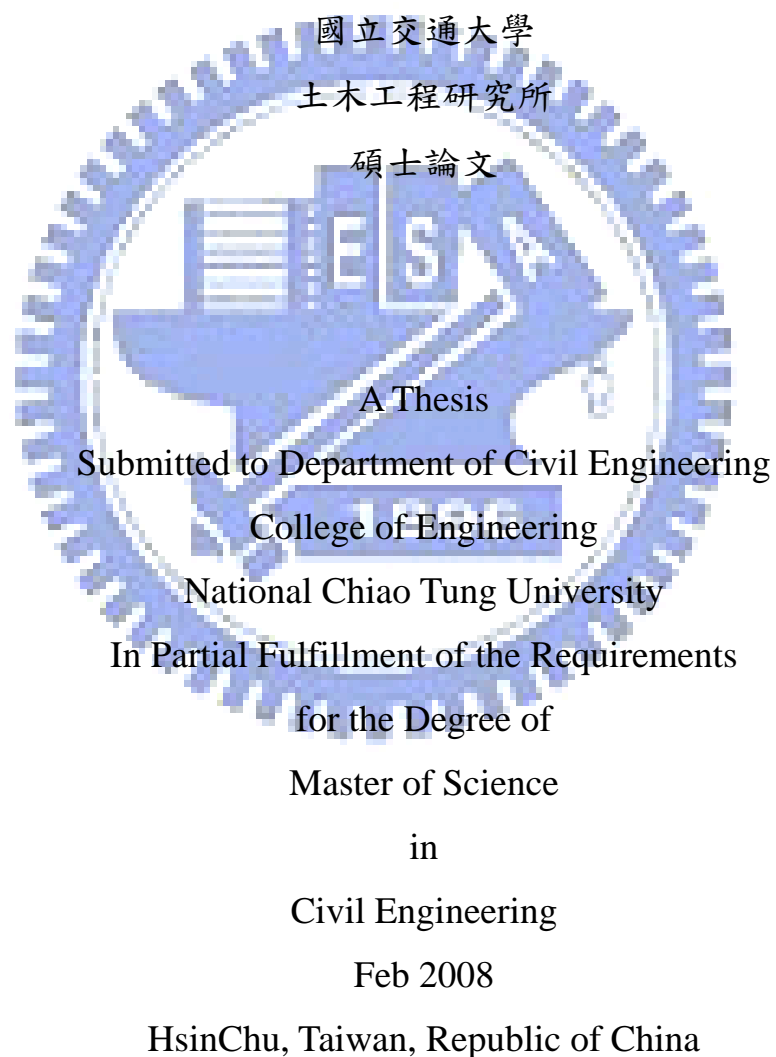
中華民國 九十七 年 二 月

虛擬實境應用於震動台試驗重現研究

The Application of Virtual Reality in Simulating
Structural Dynamic Experiments on Shake Tables

研究生：李忠錦
指導教授：洪士林

Student: Chung-Chin Li
Advisor: Dr. Shih-Lin Hung



虛擬實境應用於震動台試驗重現研究

學生：李忠錦

指導教授：洪士林 博士

國立交通大學土木工程學系

摘要

近年來，因為 3D 電腦繪圖技術發展快速，虛擬實境的應用能大幅提升使用者編輯 3D 資訊的效率，所以有許多領域已開始利用虛擬實境之概念建立虛擬實驗室；在土木工程實驗室方面由於有許多規模較大之實驗進行，其實驗過程與結果通常也只能以 2D 圖像和數據呈現，若能把虛擬實境概念應用在建立虛擬實驗室，把實驗室之 3D 空間模擬和實驗過程與結果 3D 動態視覺化，則可使實驗室之資源發揮更大的效益。

本研究提供一套結合 3D 展示介面，能同時將實驗 3D 資訊以 3D 技術呈現，並透過使用者介面，使得人機互動讓實驗得以 3D 方式在 VR 環境中呈現。本研究在視覺方面使用 3ds max 建立震動台及結構構架模型，並透過 VR 開發軟體 Quest3D 製作虛擬實境，在資訊方面提供震動台各項實驗分類整理的概念，以動態的方式呈現已完成之震動台實驗，使用者使用本系統可如同親眼觀看實驗一樣，直覺式的理解實驗數據。

The Application of Virtual Reality in Simulating Structural Dynamic Experiments on Shake Tables

Student: Chung-Chin Li

Advisor: Dr. Shih-Lin Hung

Department of Civil Engineering, College of Engineering

National Chaio Tung University

ABSTRACT

Recently, Virtual Reality(VR) technology has been developed rapidly. The application of VR to civil engineering can able to enhance the efficiency of compositing the complication for design such as behavior of structures under dynamic Loading. VR has been used in a lot of varient fields to set up the VR laboratories. A great number of significant experiments do go on in civil engineering laboratory, yet those experiment results can only be shown with 2D graphic and their corresponding data. However, if the idea of VR can be applied on setting on a VR laboratory, the laboratory and the results of the experiment can be demonstrated in 3D animation. Hence, the results of the experiments will be more meaningful.

This study offers one set to accord with 3D and to show its interfaces. It can also show 3D information by 3D graphic technology. Moreover, by using the user interface, the interaction between human and the computer can be demonstrated by VR with the 3D computer graphic technology. This study illustrates that using 3ds max to set up the shake tables and structural frame models, using VR software Quest3D to design the VR, and providing the information regarding the concepts of classifying experiments. As a result, when the user uses this system, he or she can experience vividly with the process of the experience and understand the results without any difficulties.

誌謝

研究所生涯終於進入了尾聲，在這裡段時間讓我成長了許多。首先要感謝指導教授洪士林老師，很高興能夠在研究所生涯中，接受老師在學業上以及生活處事上的啟發以及指導，讓我能夠以更樂觀積極的態度面對未來的挑戰，在這裡由衷祝福老師在未來的日子能夠身體健健康康，平安順利。

在口試期間，感謝交通大學林昌佑老師、趙文成老師的悉心指教，提供許多難能可貴的意見，使得本論文修正得更趨完善，在此至上誠摯的謝意。

在研究的過程中，得到許多學長、同學、學弟的幫忙及支持，使我得以順利完成論文的撰寫以及修得輔所學位。在哈寶、小龜、水哥、宏安學長的幫助下使我更快適應研究所的生活。感謝心農、宏宇在這段時間陪我一起研究、努力。感謝各位學弟在各方面幫忙使得論文可以更加順利完成。

最後，感謝我最愛的爸爸、媽媽及姊姊、弟弟的支持與關心，特別是媽媽的盡心盡力的養育及栽培，給予最豐足的資源，讓我能夠順利地修得碩士學位，感恩之情，非筆墨能容。另外，感謝女友茹茵在我低潮的時候為我加油打氣，使得我有動力繼續完成。僅以本論文獻給我最愛的家人以及所有關心我的朋友們。

內容

第一章	緒論.....	1
1-1	研究背景.....	1
1-2	研究動機.....	2
1-3	研究目的.....	2
1-4	研究方法與步驟.....	3
1-5	論文章節及架構.....	4
第二章	虛擬實境之相關文獻探討.....	5
2-1	虛擬實境命名的由來.....	5
2-2-1	虛擬實境的發展.....	6
2-2-2	虛擬實境的三要素.....	6
2-2	虛擬實境系統的建構方式.....	8
2-3	虛擬實境軟硬體之介紹.....	11
2-4	虛擬實驗室.....	17
第三章	系統設計之工具軟體.....	25
3-1	3ds max 簡介.....	25
3-2	3ds max 的空間觀念.....	26
3-3	3ds max 功能簡介.....	28
3-3-1	3ds max 五大主題.....	28

3-3-2 3ds max 操作面板	29
3-4 Quest3D 之優點	32
3-5 Quest3D 功能簡介	33
第四章 系統規劃與驗證	37
4-1 虛擬實驗室規劃與架構	37
4-1-1 虛擬實驗室規劃	37
4-1-2 虛擬實驗室之架構	39
4-2 3ds max 建立模型	40
4-3 互動方式呈現	42
4-3-1 匯入物件	42
4-3-2 資料整理與匯入 Quest3D	43
4-3-3 使用者介面	45
4-3-4 鏡頭	47
4-3-5 燈光	49
4-3-6 實驗重現	49
4-3-7 匯出	51
第五章 研究成果呈現	70
5-1 系統環境與軟體需求	70
5-2 系統展示	70

5-3 討論	72
第六章 結論與建議	84
6-1 結論	84
6-2 建議	85



表目錄

表 4-1: 國立交通大學地震模擬振動臺規格.....	52
表 4-2: 國家地震中心地震模擬振動臺規格.....	52
表 4-3: 四層鋼骨構架模型之設計參數.....	53
表 4-4: BENCHMARK 模型之設計參數.....	53



圖目錄

圖 2-1 BENCHMARK 模型	20
圖 2-2 BENCHMARK A 震動台測試照片.....	20
圖 2-3 BENCHMARK 試驗感測器配置圖；每個紅色箭頭分別配置一組加速度計、速度計以及位移計(3M IN X-DIR. / 2M IN Y-DIR.).....	21
圖 2-4 結構類型簡圖；BENCHMARK A 於長向(3M)為強軸，其餘皆為弱軸..	22
圖 2-5 四層鋼骨構架模型：(A)強軸 (X) 方向設計尺寸；(B)弱軸 (Y) 方向設計尺寸；(C)各樓層平面（俯視圖）設計尺寸	23
圖 2-6 四層樓鋼構架實際照片	24
圖 2-7 四層樓鋼構架及加速度計配置圖	24
圖 3-1 3DS MAX 視埠 (VIEWPORT)	35
圖 3-2 QUEST3D CHANNELS 編輯器	35
圖 3-3 QUEST3D OBJECT 編輯器	36
圖 3-4 QUEST3D ANIMATION 編輯器	36
圖 4-1 虛擬實驗室設計要點.....	54
圖 4-2 虛擬實驗室架構.....	54
圖 4-3 系統架構.....	55
圖 4-4 使用 BOOLEAN 使 3 個獨立的 BOX 成為一個 H 型鋼的物件.....	55
圖 4-5 LINE 繪出 H 斷面再以 EXTRUDE 的方式做成 H 型物件	56

圖 4-6 樓板俯視照片.....	56
圖 4-7 樓板仰視照片.....	57
圖 4-8 使用 BOOLEAN 把所有物件製作成樓板.....	57
圖 4-9 剛性樓版組照片（背面）.....	58
圖 4-10 配重鉛塊組配置照片.....	58
圖 4-11 柱接頭特寫照片.....	59
圖 4-12 構樓房結構剛性樓版設計圖（型鋼尺寸：H150x150x7x10）....	59
圖 4-13 剛性樓版上覆鋼版設計圖（鋼版厚度：25MM）.....	60
圖 4-14 以 3DS MAX 完成 BENCHMARK 樓板.....	60
圖 4-15 以 3DS MAX 完成 BENCHMARK 樓板背面.....	61
圖 4-16 為四層樓鋼構架基座照片.....	61
圖 4-17 基座完成圖.....	62
圖 4-18 編輯 MESH 把依震動台比例把 BOX 下方縮小.....	62
圖 4-19 震動台完成圖.....	63
圖 4-20 震動台時間位移完整數據.....	63
圖 4-21 時間取 $0.005+0.02T$ 秒.....	64
圖 4-22 時間取 $0.015+0.02T$ 秒.....	64
圖 4-23 時間取 $0.01+0.02T$ 秒.....	65
圖 4-24 時間為 0.02 秒.....	65

圖 4-25 利用迴圈(LOOP)把所有數字輸入 ARRAY 裡	66
圖 4-26 地震資料讀進 ARRAY	66
圖 4-27 當滑鼠觸碰到物件時回傳 TRUE	67
圖 4-28 判別試 $A=1?1:0.6$ 式中 A 為滑鼠是否觸碰到物件的回傳值....	67
圖 4-29 使用者介面之邏輯運算.....	68
圖 4-30 以 RGB 控制物件顏色，當回傳值為 TRUE 時可改變物件顏色.....	68
圖 4-31 在此可填寫所要呈現之資料，此為柱之尺寸資料.....	69
圖 5-1 進入程式前基本設定.....	73
圖 5-2 進入程式最初畫面.....	73
圖 5-3 範例一：NCREE 震動台	74
圖 5-4 範例一：當滑鼠一直在案件上，鏡頭會移動以不同角度觀察震動台	74
圖 5-5 範例一：選擇結構物，當滑鼠不在案件上，只顯示結構物之選項	75
圖 5-6 範例一：當滑鼠在案件上，則出現結構物此結構物為 BENCHMARK A， 左上方為 BENCHMARK A 資訊.....	75
圖 5-7 範例一：當滑鼠一直在案件上，鏡頭會移動以不同角度觀察 BENCHMARK A.....	76
圖 5-8 範例一：選擇地震.....	76

圖 5-9 範例一：選擇完成所呈現之整體結構物.....	77
圖 5-10 範例一：當滑鼠碰到結構物柱時，左下方會出現柱斷面資訊...	77
圖 5-11 範例一：開始動態模擬，此時所有結構物皆成為半透明狀，地震資訊正常模擬.....	78
圖 5-12 範例一：開始動態模擬，地震資訊以十倍數模擬.....	78
圖 5-13 範例二：NCTU 震動台，左上方為震動台資料.....	79
圖 5-14 範例二：當滑鼠在案件上，則出現結構物此結構物為一自行設計之四層樓鋼結構物，左上方為此結構資訊.....	79
圖 5-15 範例二：當滑鼠一直在案件上，鏡頭會移動以不同角度觀察結構物.....	80
圖 5-16 範例二：選擇地震.....	80
圖 5-17 範例二：選擇完成所呈現之整體結構物.....	81
圖 5-18 範例二：開始動態模擬.....	81
圖 5-19 結構物最後不再是原來的形狀.....	82
圖 5-20 結構物的位移資料.....	82
圖 5-21 地震歷時資料.....	83
圖 5-22 BENCHMARK 一層樓位移資料.....	83

第一章 緒論

1-1 研究背景

虛擬實境(Virtual Reality)這種概念是整合人與電腦模擬出的 3D 虛擬環境，利用虛擬實境的互動方式，與感官沈迷(Immersion)的資訊呈現，可以達到人機介面的易學易用，與訊息內容的有效傳達，經由空間的行為資訊，可提升對於幾何理解的效率。

許多領域已開始利用虛擬實境之概念建立虛擬實驗室，例如化學工程、物理、電子等，目前大多用於教學，利用虛擬實境感官沈迷、互動性的優點，使學生更能了解實驗，雖然虛擬實驗室不能代替真正的實驗室，但是虛擬實驗室不受時間與空間限制的優點，方便迅速具備各種實驗環境，對於遠距離教學或非全日課程的學生非常有幫助。

建構土木工程虛擬實驗室好處包括：

1. 實驗室之 3D 空間模擬：

模擬實驗機具與實驗試體之搬運與調度之空間與動線，減少機具或試體在搬運、拆卸或實驗進行中，發生動線阻擋、碰撞、搖擺、機具重心不穩或承載不足，管線或線纜拉扯等情況，提高實驗室整體安全性。

2. 實驗過程與結果 3D 動態視覺化方面：

實驗資料一般都以文字和圖表來表示，對於沒做過實驗的人，這些龐大的數據就顯得不夠直覺，較難以理解，若能以 3D 動態的方式呈現實驗過

程與結果，則能更有效率的理解實驗。

1-2 研究動機

土木工程實驗室裡有許多實驗，其中震動台之實驗雖然為動態實驗，但大部分保存下來資料只有數據和圖片，有些實驗在實驗過程中雖然會以錄影機錄下實驗情況但是影像皆為固定鏡頭，以虛擬實境之概念重新以動態方式呈現，可改善上述之缺點，本來靜態的圖片和數據經由虛擬實境重新模擬實驗情況，且以虛擬實境互動性之優點可讓使用者不再只有觀看影片，而可身歷其境去操作視角觀看實驗，使用者可經由實驗重現以更直覺的方式了解實驗。



1-3 研究目的

在土木實驗室中有許多實驗，當實驗數據越來越多，且沒有經過有系統的整理、編輯，研究人員常常要花費許多的時間尋找所需的資料，本研究規劃虛擬實驗室之功能，提出實驗分類整理的概念。在實驗數據上，也以動態的方式呈現實驗數據，使用者使用本系統可如同親眼觀看實驗一樣，直覺式的理解實驗數據，本系統也提供使用者查詢其他基本資料，使用者不需要依靠書面資料即可得到實驗所有相關資訊。

1-4 研究方法與步驟

本篇論文的研究主要可分為以下五個階段：

1. 資料的彙集與整理

收集對於虛擬實境應用於土木建築工程和各領域建立其所屬虛擬實驗室的相關文獻，瞭解現有技術以及發展近況，統整出研究之方向。

2. 虛擬實境與實驗資料之整合

將本研究之目的與方向和彙整的文獻資料，整合出在實驗重現時所需之功能和所呈現之資料，設計出系統之架構。

3. 系統開發與設計

3ds max 為目前最普及且功能強大之 3D 建模軟體，故在本研究中選用 3ds max 建模。以 Quest3D 製作成互動式實驗動態呈現之軟體，可以更接近人性化的操作介面和更擬真的呈現動畫給使用者，以上述軟體結合設計出的系統架構，進行系統的開發。

4. 系統測試

本研究中，使用了邏輯運算和矩陣運算，系統開發完成之後，進行各項的測試，逐步更改錯誤。

5. 論文撰寫

整理本研究的過程及結果，進行論文撰寫。

1-5 論文章節及架構

本論文主要分為緒論、虛擬實境之相關文獻探討、系統設計之工具軟體、系統架構分析與設計、系統展示及結論與建議，各章節內容簡述如下：

第一章 緒論

包括研究背景、研究動機、研究目的、研究方法及論文架構。

第二章 虛擬實境之相關文獻探討

探討國內外相關參考文獻，介紹本研究之系統架構所應用到資訊技術。

第三章 系統設計之工具軟體

介紹本系統設計所需要應用之軟體程式。

第四章 系統架構

對本研究所設計的系統架構做功能性的介紹。

第五章 研究成果呈現

以本論文所開發出的實驗重現系統，展示系統兩個範例。

第六章 結論與建議

對本研究做整體的檢討與建議，對其可行性與未來可發展地方做一說明。

第二章 虛擬實境之相關文獻探討

2-1 虛擬實境命名的由來

從 1960 年代到 1980 年代，對虛擬實境的稱呼有很多，如人工實境 (Artificial Reality)、合成實境 (Synthetic Reality)、合成世界 (Synthetic World)、想像世界 (Imaginary Worlds)、概念實境 (Conceptual Reality)、電腦實境 (Cyber Reality)、或是電腦超空間 (Cyberspace) 等等[1]。而第一次稱為 Virtual Reality 的是麻省理工學院媒體實驗室 (Massachusetts Institute of Technology, MIT / Media Lab) 提出，該實驗室畢業的學生進入業界後，也一直沿用這個名詞。後來在 1985 年左右，Virtual Reality 為 Jaron Lanier (VPL 公司創始者) 所提出，意思就是一個無中生有的環境，但是卻可以讓人覺得跟真實環境一樣。事實上虛擬實境就是一種幻覺，而這種幻覺是由電腦所模擬出來的，經過我們的感官之後，產生一種令人難以分辨真假的感覺。人們可以與三維立體空間內的事物進行互動，除了觀看之外還可以操作其中的物件，更可以在這空間中自由的走動，讓人們成為事件的參與者，讓原本虛幻的想像空間轉變為真實的，進而可以看得到、聽得到、觸摸得到，甚至是聞得到。虛擬實境系統整合了繪圖、聲音、影像、動畫及相關扣週邊設備，是一種可讓使用者的視覺、聽覺、觸覺能與機器互動的人機介面。Virtual Reality 的中文翻譯也有許多，如模擬真實、虛擬幻境、虛幻擬真、虛擬實境等等。最近

媒體與報章雜誌等資訊報導時，用虛擬實境這個名詞來做翻譯與稱呼佔最多，故現大多數以『虛擬實境』來稱呼之。

2-2-1 虛擬實境的發展

虛擬實境的發展[2]可回推到 1960 年代，由 Ivan Sutherland 提出以電腦顯示三度空間圖像概念的『Ultimate Display』開始，並建立了第一個頭戴式顯示器。之後便不斷有相關的週邊設備被發展出來，如資料手套、力回饋及觸覺裝置、追蹤器等。當然也包括了影響我們生活最多的網路 TCP/IP 通訊協定，也使得模擬系統可以從單機發展成網路多人連線共用模擬系統[3]。最重要的發展莫過於個人電腦技術的進步，讓原本只能在大型工作站主機進行的虛擬實境模擬，現在只要個人電腦就可以進行模擬了[4]，成本的降低也大大提昇了使用的普及性。虛擬實境相關技術的發展到目前為止，都還不斷的繼續發展中，而未來虛擬實境技術也將會隨著電腦資訊技術的發展越來越成熟[5]，而且價格也會更加低廉、更為一般大眾所接受。

2-2-2 虛擬實境的三要素

虛擬實境(Virtual Reality)這種概念是整合人與電腦模擬出的 3D 虛擬環境，透過這種人機介面(Man Machine Interface)所提供各種感官即時

模擬和互動，讓使用者有身歷其境的感覺。虛擬實境的三大要素[6]-想像、融入、互動。

1. 想像力(Imagination):

虛擬實境是由電腦模擬所產生的影像，場景設計者除了提供逼真的畫面外，還可透過創意帶給使用者生動有趣的感覺。而使用者也要去享受虛擬場景所帶來的聲光效果，想像自己就是置身在這個虛擬空間中，這樣才有辦法進一步的與虛擬場景作互動，以達到模擬的效果。

2. 融入性(Immersion):

在模擬場景中光只有看，還無法完全達到擬真的效果，如果使用者能與虛擬場景中的物體做互動，譬如伸手開門、關燈，或是駕著跑車馳騁在馬路上，更會有真實的感覺。當然這一切需要透過不同的輸出入設備，如頭戴式顯示器、資料手套、位置追蹤器等，當電腦接收到使用者的一舉一動後，即時的給予適當的反應，這樣虛擬場景便具備了互動性。

3. 互動性(Interaction):

在模擬場景中，人類是以感覺器官（包括視覺、聽覺、觸覺、嗅覺等）來體驗擬真的感覺，要如何達到這樣的境界，除了即時性的互動外，還可透過各種不同的虛擬實境週邊設備來滿足感覺器官的感受，進一步讓使用者融入其中。

虛擬實境可算是 3D 繪圖的極致表現，與其他類似的模擬系統和多媒體

最大的不同，就是虛擬實境有觸覺回饋作用，並和人類的感官有緊密的關係，逼不逼真全在於人的感覺。虛擬實境是人與電腦溝通的新介面[7]，讓我們在電腦的使用上更接近人類的本能，面對我們用電腦創造的想像空間，不再只能觀看，而是體驗[8]！

2-2 虛擬實境系統的建構方式

依虛擬實境模擬場景的建構方式，主要可區分為幾何式虛擬實境 (Geometry-based VR)、影像式虛擬實境 (Image-based VR)、混合式虛擬實境 (Hybrid VR) 及擴張真實 (Augmented Reality, AR)。以下介紹這幾種建構方式其特色及優缺點：

1. 幾何式虛擬實境

場景的建構主要是利用幾何模型建構工具，如 3ds max/Viz、Maya、AutoCAD、SolidWorks 等等，依模擬系統的規劃，建構所需的虛擬場景。再透過虛擬實境編輯軟體的功能，賦予物件不同的屬性，與使用者產生各種互動效果。這類模擬系統最大的特色是，使用者可以自由遊走於虛擬空間中，並與虛擬場景裡的物件做互動。使用者不光只有看，還能親自操作虛擬場景內的物件，有較好的互動性與參與感。這類場景製作時，不但能依實景進行場景製作，也能依設計者的創意，設計各種虛幻、不存在於真實世界中的場景，讓創意無限的延伸。但在製作幾何式場景時，為求能在播

放時有更好的順暢感，必須考慮模型多邊形（Polygon）的數目，製作過程中常須做一些模型簡化的處理，因此有可能會降低了部份物件的真實性。場景製作過程中，雖然可以使用影像貼圖去加強物件的真實性，但卻也會喪失了某種程度的立體感及互動性，因此如何在兼顧模型真實性與模擬順暢性間取得平衡，常是場景設計人員最大的考驗。此外，建構幾何式虛擬實境時，通常模型製作的時間較長、花費也較多，需要一個有經驗的模型製作師，才能製作出符合需求的模擬場景。

2. 影像式虛擬實境

相對於幾何式虛擬實境需要較長的製作時間及費用，而且真實性又容易受限的情況下，採用實景拍攝似乎是一種不錯的替代方案，只要準備好相機、腳架及影像式虛擬實境製作軟體，便可以在短時間內製作最真實的環景虛擬場景。尤其在數位相機日益普及的今天，讓影像式虛擬實境的製作更為簡便。目前這類系統較著名的軟體有 QuickTime VR、PhotoVista、Live Picture、iPIX Interactive Studio 及 PixMaker 等。影像式虛擬實境依製作的內容又可區分為，360 度環場虛擬實境（Panoramic Image VR）及 360 度物件式虛擬實境（Object Image VR）。前者的特色在於能讓使用者輕鬆瀏覽周圍的影像，就好像置身於現場一般，常被應用在風景區的導覽介紹、房屋銷售介紹上。這類影像在製作時，以相機為旋轉軸對四周的影像拍攝多張影像（一般為 24 張），每張照片間必須保有某種程度的影像

重疊，再透過影像處理進行歪斜影像的修正 (Tilted Image Correction)、影像彎曲處理 (Image Warping)、影像縫合 (Image Stitching)、影像亮度修正 (Image Blending) 等程序，便可完成一張連續 360 度的影像，最後再貼附到圓柱體 (Cylinder) 或是方塊體 (Cube) 上，便可進行環景影像的瀏覽。而後者強調的是物件的介紹，使用者可以從各角度去觀看物件，對物件能有更深入的認識，常被應用在商品介紹，如球鞋、相機、手機等。此類影像在製作時，通常會固定相機拍攝的角度，並將被拍攝物件放置在固定的旋轉支架上，拍攝過程中不斷調整物件的角度，拍攝後的照片再進行內插或是變形 (Morph) 的影像處理，使用時只要移動滑鼠就可以瀏覽不同角度的照片。雖然影像式虛擬實境具有真實性高、製作時間短、費用低，及使用者不需要很高檔的電腦配備便可觀看等優點。但是使用者只能定點觀看、無法親自動手操作產生互動、影像較缺乏景深，而且無法製作不存在的場景，這些都是影像式虛擬實境受限制的地方。

3. 混合式虛擬實境

幾何式和影像式虛擬實境各具有其優缺點，而為能在兩者之間取得一個較好的平衡點，因此便發展出所謂的混合式虛擬實境。首先使用影像拍攝的方式，先製作一個環景的影像當作場景的背景，然後再場景中加入原本不屬於該場景的物件，再透過一些簡單的程式語言 (如 Javascript、VRMLScript 等) 做控制，賦予物件不同的屬性以與使用者產生互動。如此

一來不但可以大幅縮短幾何場景製作的時間，在電腦運算上也可以大量減低圖形運算的時間。實景的拍攝不但保有場景的真實性，而且使用者還可與場景中的物件進行簡單的行為互動，的確是一個蠻不錯的虛擬場景製作方式。但混合式的虛擬實境也絕非毫無缺點，當物件擺放至照片背景中時，很容易產生突兀的感覺，並無法真正的融入背景中。而且場景中的物件僅能提供簡單的行為互動，對於需要複雜的行為模式，則會稍顯不足。藉由適當的場景安排，不但可縮短模擬場景製作的時間，而且可以增加模擬時的真實性。

4. 擴張真實式虛擬實境

虛擬實境強調的是讓使用者完全融入由電腦所創造的虛擬環境中，當使用者在虛擬環境中時，是無法看到其他周遭現實環境的影像。而擴張真實則強調的是可以讓使用者看到現實環境結合的虛擬影像[9]。要達到這種所謂視覺透視（See Through）的顯示效果，常須藉由分光鏡的幫助，不但可做為影像的顯示，又不阻擋周遭光線的穿透。在使用上需要整合較昂貴的設備與較先進的技術，使用上較不普及。

2-3 虛擬實境軟硬體之介紹

虛擬實境系統一般可分為四個組成部分[10]：

1. 受動器 (Effectors)

受動器是指能模擬各種感官的訊息，讓使用者感到置身虛擬實境之中的硬體部分。包括輸出與輸入裝置，例如頭盔式螢幕（HMD），屬於軌跡系統，外部皆有感應裝置，感應裝置是用來接收感應器訓系的軌跡裝置，可以精密計算使用者的動作；而資料手套(Data Glove)則是被設計能感測使用者的手部動作，進而將訊息轉換成電腦碼並傳回電腦。

2. 虛擬實境引擎 (Reality Engine)

包括電腦系統與外部硬體，用以產生受動器所需的感官資訊。虛擬實境引擎是虛擬實境系統的核心部分。

3. 應用軟體 (Application)

應用軟體控制虛擬實境中所模擬的內容，包括虛擬物件的結構、動作條件、互動資訊等。

4. 幾何物件 (Geometry)

幾何物件中儲存了物件的外型、顏色、位置等物理屬性，由應用軟體處理後，用以建構出電腦的虛擬世界。虛擬實境硬體依據使用者需求輔以輸入及輸出設備，以提高介面之交互性。輸入設備為捕捉參與者發出的訊號，以駕馭所建立之虛擬實境，並進行 3D 仿真之交互作用；輸出設備為提供虛擬實境成像之設備。

以下為常見之虛擬實境輸入及輸出裝備：

1. 虛擬實境輸入配備

(1) 追蹤器

在虛擬實境系統中，常需要隨時去偵測使用者肢體的動作或是位置，以做為控制虛擬場景視角或是物體移動的參考。而當模擬系統對於使用者的肢體動作反應太慢，或是反應位置差距太大時，不但會降低模擬的真實性，甚至會讓使用者產生暈眩想吐的感覺，這也就是所謂的模擬器病（Cyber Sickness）。因此好的追蹤器，不但能將使用者所在的位置或是肢體動作精準的傳遞給模擬系統，也可以增加使用者操作的真實感。物體在立體空間共具有六個活動自由度，包括了 X、Y、Z 三個軸的移動和轉動。如何快速、正確的偵測物體移動或是轉動的角度、距離，都是追蹤器所要去解決的問題。


(2) 資料手套

資料手套（Data Glove）的發展可追溯到 1980 年代初期，當時有不少人進行資料手套的設計，但一直處於實驗階段，並未真正商業化。一直到 1985 年左右，由 VPL 公司發表了第一套結合光纖及磁場追蹤的萊卡（lycra）材質的資料手套，才真正步入商業化的階段。資料手套是虛擬實境系統中最常見的輸入設備，外觀通常與一般的手套

並沒有太大差異，主要是藉由安裝在手套上的感測器元件（如光纖或是壓電材料），來量測使用者的手指彎曲變化程度。量測所得的數值可以透過電腦介面（如 RS-232、USB 或是 Game Port），傳送到虛擬實境系統裡面與虛擬場景中的事物產生互動。資料手套依使用的量測元件不同，可區分為光纖式、電阻式及機械式三種。

2. 虛擬實境輸出配備

(1) 立體眼鏡



立體眼鏡是最簡單的一種顯像設備，大部份的成像方式是在左右眼分別裝上紅色與藍色的偏光鏡，左右眼睛只能各別接收到紅光與藍光，接收到的影像最後再透過大腦視覺區呈現出立體的效果。除此型式的立體眼鏡外，另有一種稱為交錯閃爍式立體眼鏡（Sutter Glasses），把鏡片換成了 LCD，並透過訊號線連結到電腦的顯示卡，顯示時 LCD 會輪流在兩眼交替遮閉與顯示，單眼畫面停留的時間僅有 1/60 秒，也就是說兩眼看到一個立體畫面的總時間為 1/30 秒，利用左右眼的錯覺顯示原理，也可營造出立體效果。

(2) CRT 頭盔顯示器

CRT(Cathode-Ray Tube) 一般稱為映像管，是傳統電視或是電腦螢幕顯示器使用的裝置，其原理是利用陰極管發出的電子束撞擊螢幕

前的發光體，藉由控制磁性線圈的強度，使特定點發光，當電子束在螢幕發光體反覆來回掃描時，便可產生不同的圖像。CRT 頭盔顯示器雖然有不錯的解析度，但是耗電、體積大、重量較重都是使用上的限制，目前已漸漸被 LCD 頭盔顯示器所取代。

(3)LCD 頭盔顯示器

LCD(Liquid Crystal Display)一般稱為液晶顯示器，近年來因製程良率不斷地提升，再加上其輕、薄、低耗電、零幅射等優點，已廣泛被應用在不同的影像顯示領域中（如電腦螢幕、電視等），當然也包含虛擬實境的硬體開發上。

(4)立體投影顯示器

若欲提供多人同時使用，便得透過投影設備，將影像投射到大尺寸的布幕上，以供多人同時觀看。傳統的投影機，僅能顯示平面的影像，並無法提供立體影像的效果。而立體投影顯示器則是在原來的電腦螢幕或投影機前面再加一個特殊的光學儀器，或是在單槍投射時，讓影像透過專屬的鏡頭，原本平面的影像就會變成立體的。

(5)CAVE 系統

CAVE(Cave Automatic Virtual Environment) 是美國芝加哥伊利

諾州立大學的電子視覺實驗室 (Electronic Visualization Laboratory) 於 1992 年所設計開發的投影系統，利用三面牆及地板作為投影螢幕所圍繞的立體方盒，使用者站在方盒中，透過所配戴的立體眼鏡及追蹤器，便可與虛擬場景做互動。在這樣的模擬環境中，使用者可以完全的融入虛擬場景中，並與場景中的物件做最好的互動。

3. 觸覺及力回饋裝置

(1) 觸覺回饋

人類的雙手是觸覺神經最密集的地方，尤其是指尖的部份，因此觸覺回饋主要都是針對指尖來做設計。讓觸覺產生方式的不同，可區分為溫感式、氣壓式、震動式、針感式幾類。

(2) 力感回饋

在力感回饋的設計上，主要是透過連桿、氣壓缸、彈簧、滾輪、皮帶等元件，進行設計出讓手指移動時有阻尼效果的裝置。除資料手套有提供力感回饋的功能外，亦有提供具有力感回饋的搖桿。當手指運動時，可透過資料手套上的機械連桿，產生適當的力感回饋，這些力感回饋裝置主要都是搭配操作方式所做的設計。

虛擬實境的軟體主要功能為虛擬世界物體之建模、組合 3D 物體並給予

其特性與功能。建模即匯入預先定義的 3D 物體於虛擬世界中或使用虛擬實境軟體本身之物件庫建構 3D 圖形；然而，亦可利用虛擬軟體預先撰寫好的程式庫或自己撰寫劇本 (Scripts) 給予 3D 物體行為。目前常使用 C++、DirectX 和 OpenGL 為虛擬實境軟體的編輯語言。國內常用的虛擬實境軟體 Quest3D、Virtools、EON、Virtue3D、Cult3D、View-point 等。

2-4 虛擬實驗室

有許多實驗皆在土木實驗室中完成，其中較大的實驗為地震模擬振動台和反力牆與強力地板[11]，這些實驗均要耗費大量的人力物力，所以保存實驗過的資料顯格外重要[12]，一般實驗過後，均以書面資料的保存方式居多，本論文提供虛擬實驗室之概念，以互動式動態的方式保存取代原本的書面保存方式，除了提供書面可取得之資料[13]，互動式的動態呈現更是書面資料完全無法做到的。本研究以震動台實驗重現為主，此重現之實驗為 2 個不同實驗，一為國家地震中心之實驗[14]，另一為交通大學實驗室之實驗[15]，以下為兩個實驗簡介：

1. 國家地震中心實驗，以 Benchmark model(圖 2-1、2-2)做實驗，以不同之地震力去測試，地震力為 X 方向，紀錄資料每筆格式為『time(s), D0(m), D1a(m), D1b(m), D2a(m), D2b(m), D3a(m), D3b(m), A0(m/s²), A1a(m/s²),

$A1b(m/s^2)$, $A2a(m/s^2)$, $A2b(m/s^2)$, $A3a(m/s^2)$, $A3b(m/s^2)$ 』(圖 2-3), 第一欄為時間, $D0$ 、 $D1a$ 、 $D1b$ 、 $D2a$ 、 $D2b$ 、 $D3a$ 、 $D3b$ 分別為地表(震動台)位移歷時紀錄、前方一樓頂、後方一樓頂、前方二樓頂、後方二樓頂、前方三樓頂以及後方三樓頂對地位移歷時紀錄, 單位: 公尺。 $A0$ 、 $A1a$ 、 $A1b$ 、 $A2a$ 、 $A2b$ 、 $A3a$ 、 $A3b$ 分別為地表(震動台)絕對加速度歷時紀錄、前方一樓頂、後方一樓頂、前方二樓頂、後方二樓頂、前方三樓頂以及後方三樓頂絕對加速度歷時紀錄。每個樓層均裝置兩組感應器, 震動方向為 X 向時, 兩組感應器間的距離為 2 公尺, 震動方向為 Y 向時, 兩組感應器間的距離為 3 公尺。結構物的扭轉反應可以將兩組感應器相減, 在除以兩者間的距離即可求得。此實驗除了以不同地震力做實驗, 還增加結構物之斜撐(圖 2-4), 本研究 model 取 Benchmark A(無斜撐)其中一筆地震資料之實驗數據重現實驗。

2. 交通大學實驗室實驗, 為溫俊明之實驗, 實驗結構為自行設計之四層樓鋼構架(圖 2-5、2-6), 實驗紀錄為加速度(圖 2-7), 本研究把加速度資料積分成位移資料方便以動態呈現, 因為此資料為紀錄加速度單一方向之資料, 故每層樓本研究所得資料為單一方向且無轉角, 本研究中取其中一個實驗數據重現實驗,

虛擬研究室好處包括:

1. 實驗室之 3D 空間模擬:

模擬實驗機具與實驗試體之搬運與調度之空間與動線，減少機具或試體在搬運、拆卸或實驗進行中，發生動線阻擋、碰撞、搖擺、機具重心不穩或承載不足，管線或線纜拉扯等情況，提高實驗室整體安全性。

2. 實驗過程與結果 3D 動態視覺化方面：

實驗資料一般都以文字和圖表來表示，對於沒做過實驗的人，這些龐大的數據就顯得不夠直覺，較難以理解，若能以 3D 動態的方式呈現實驗過程與結果，則能更有效率的理解實驗。



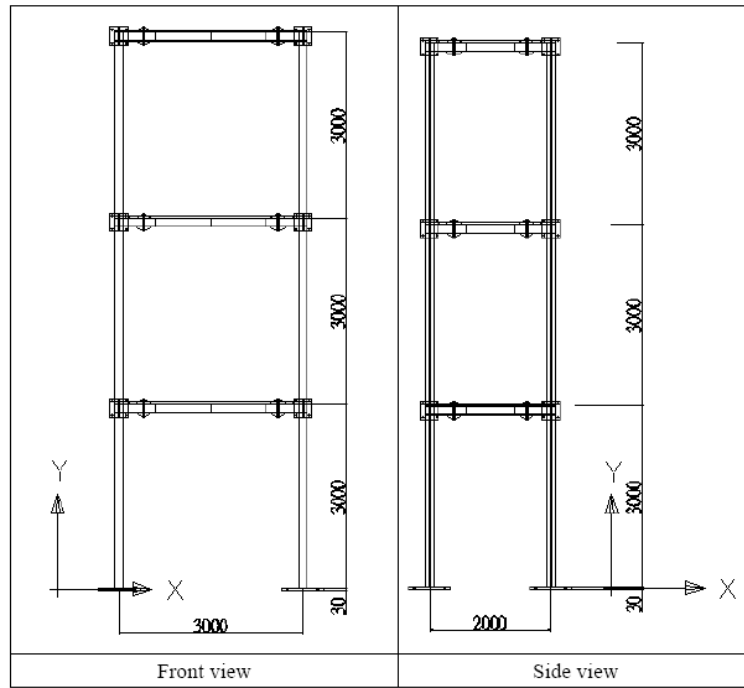


圖2-1 Benchmark 模型



圖2-2 Benchmark A 震動台測試照片

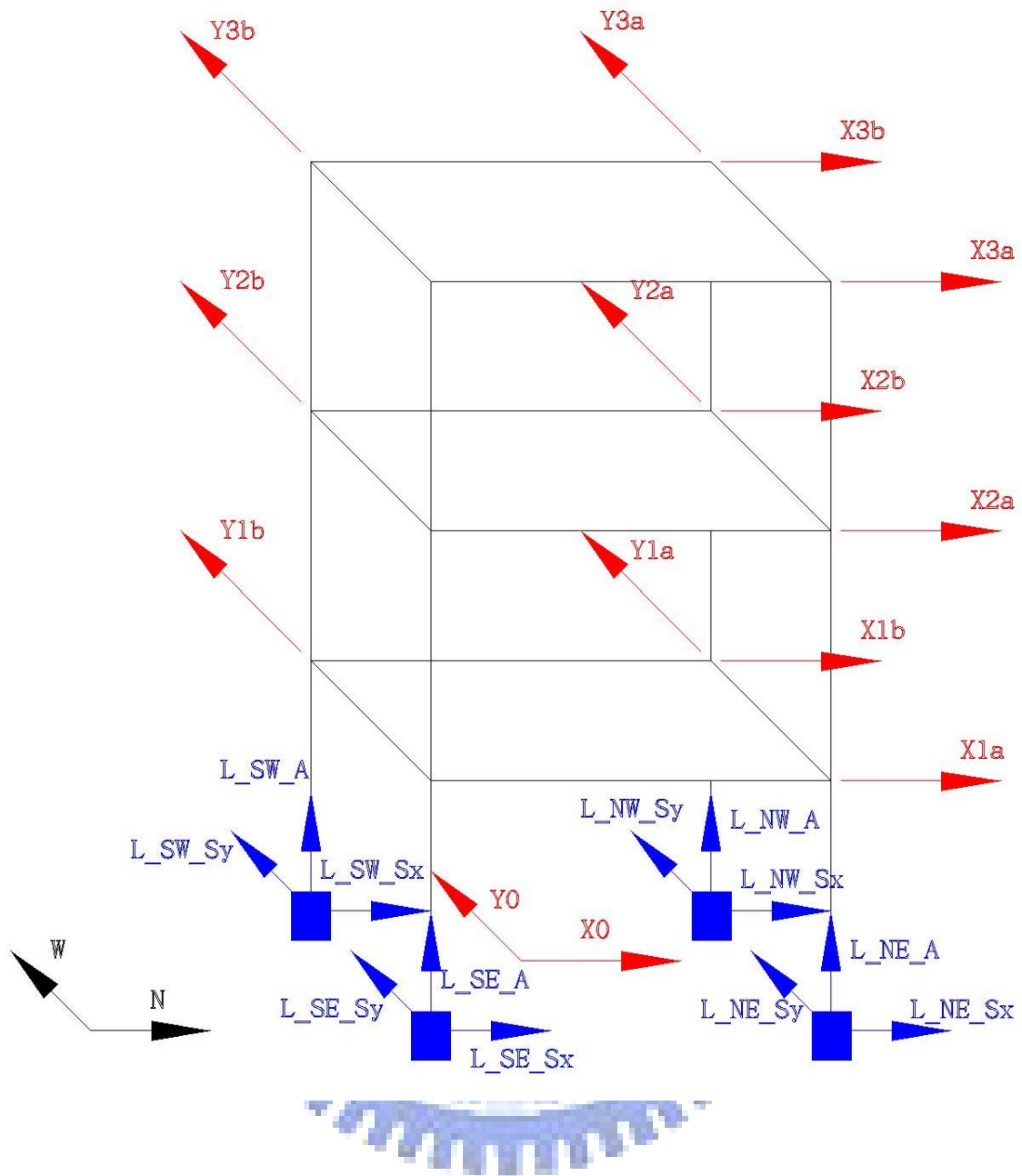


圖2-3 Benchmark 試驗感測器配置圖；每個紅色箭頭分別配置一組加速度計、速度計以及位移計(3m in X-dir. / 2m in Y-dir.)

Benchmark A, B, C1 & D

Benchmark C2 Benchmark C3

Benchmark C4

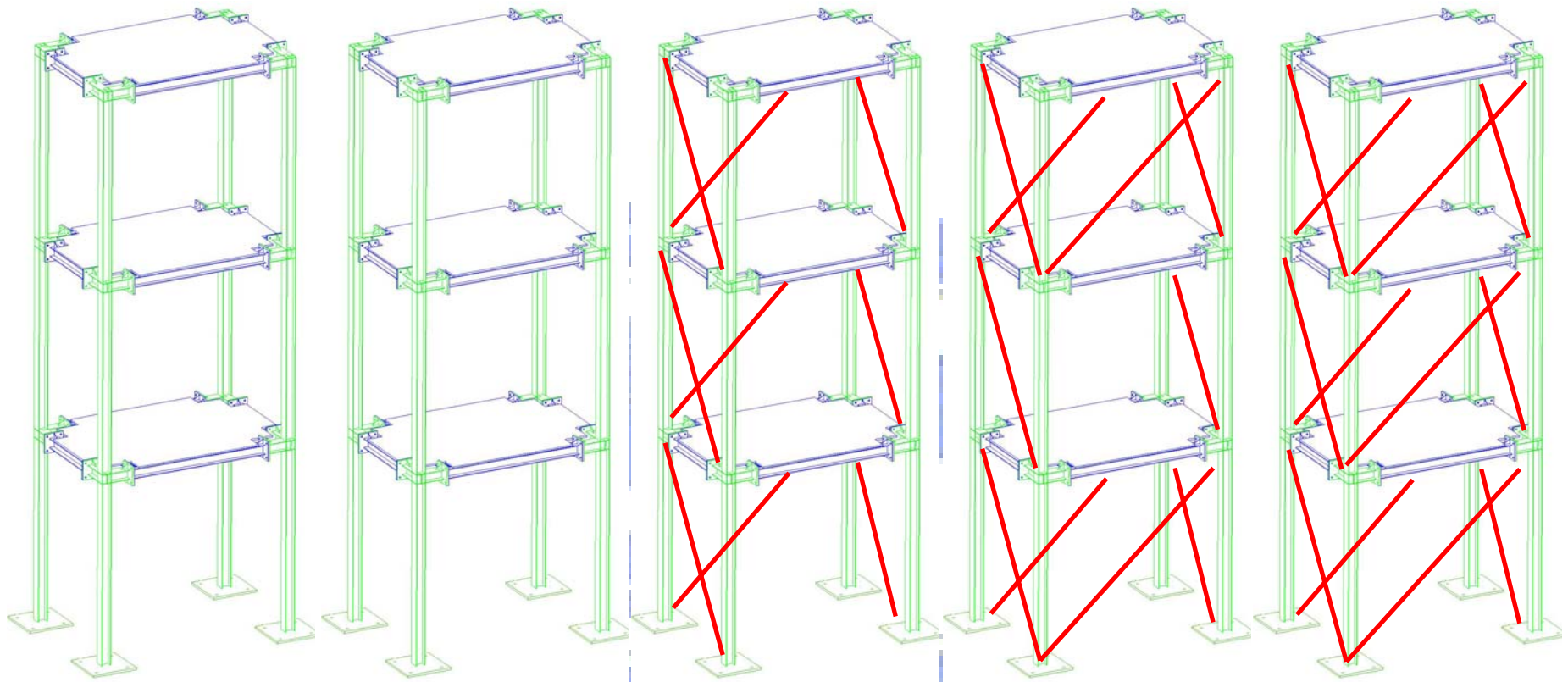
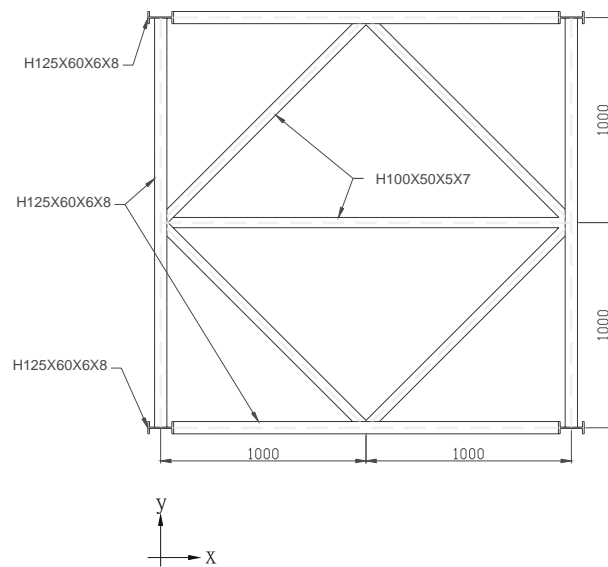
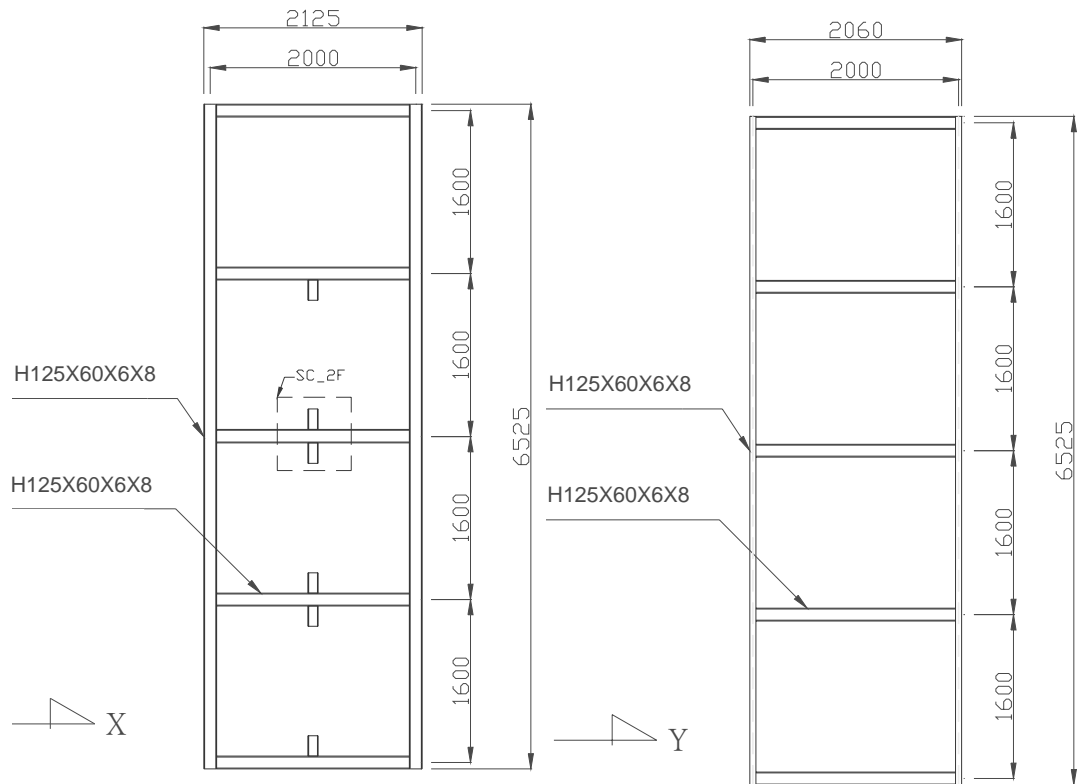


圖2-4 結構類型簡圖；Benchmark A 於長向(3m)為強軸，其餘皆為弱軸



(c)

圖2-5 四層鋼骨構架模型：(a)強軸 (x) 方向設計尺寸；(b)弱軸 (y) 方向設計尺寸；(c)各樓層平面 (俯視圖) 設計尺寸



圖2-6 四層樓鋼構架實際照片

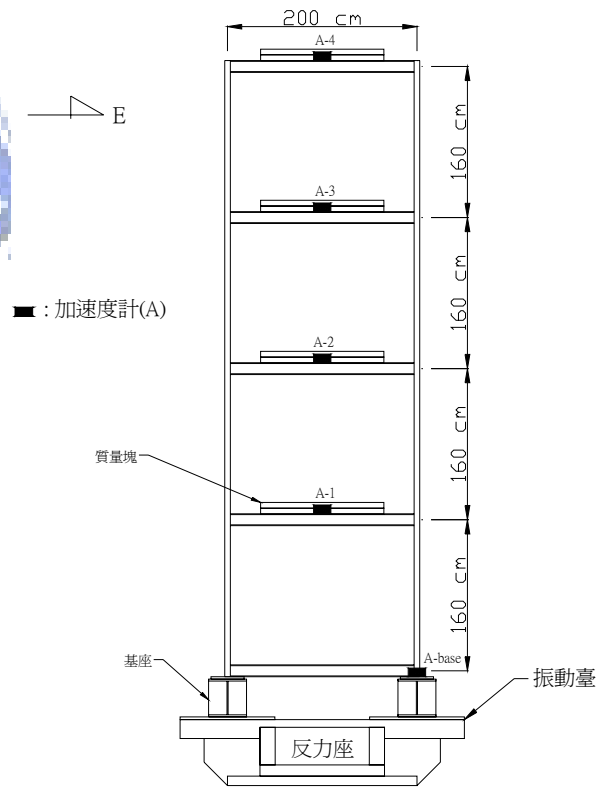


圖2-7 四層樓鋼構架及加速度計配置圖

第三章 系統設計之工具軟體

本研究著重於把實驗數據以 3D 圖形資訊方式呈現，故不需另外開發新的 3D 引擎，利用現有的 3D 建模軟體和 3D 互動軟體，來完成本研究。當有一個新的實驗數據以 3D 方式呈現時，不需再花費大量的時間寫程式建立模型，3D 建模軟體可更快速完成建模，同時所建的模型也可以更擬真，輔以 3D 互動軟體，大大縮短了把實驗數據變成 3D 圖形資訊的過程。

3-1 3ds max 簡介

3ds max 是由美國 Autodesk 的子公司 discreet 所研發出來，針對 3D 立體動畫製作而設計的軟體，這套軟體一開始是叫做 3D Studio，開發到 3D Studio R4.0 版後，整個革新成為 3D Studio Max，之後的版本也不再以那麼長的名稱來表示，直接叫做 3ds max。3ds max 有兩種版本，一種為 3ds max，另一種是屬於製作室內設計的 3ds max VIZ 版本。在第 3 版本之後，Autodesk 公司將旗下之子公司 discreet 獨立出來，針對 3ds max 進行大力研發與推動使其成為目前應用廣泛的 3D 動畫建模軟體，在第 7 版後更整合了 Character Studio 與動力模擬功能，配合 Motion Capture 錄製動作或是 Endorphin、CAT 等動作生成器，使人物動畫製作效果提高了許多，目前有不少動畫公司就是採用 3ds max 作為遊戲設計的主要工具。

3-2 3ds max 的空間觀念

使用電腦來建立模型，一般是指模擬立體的形象資料。然而，立體物件或場景在螢幕畫面中所顯現出來的影像其實仍是平面，只是資料經過系統以三維座標運算處理而模擬出讓人看起來像是三維（3 dimension）的影像，即一般所謂的 3D 影像。因為人類的腦部習慣三維空間的資訊處理方式，所以對於立體影像的建模環境應該較平面的方式容易適應。只不過這些以三維資料存在的物件，實際上因為它是二維影像呈現的，所以它不能被拿在手上摸來摸去，也感覺不出質量，對操作者而言，仍然不是一個直接的處理介面。電腦的模擬難免仍有極限，更何況即使現實空間中真正的三維物件都有可能令人產生錯覺。因此，立體場景在電腦的作業上而言，三維空間的觀念還是需要多加訓練與了解。

在幾何學的領域裡，我們知道由空間中相異兩點可構成一線，相異兩相交或平行的線可決定一平面，而封閉的線段才能形成一面域，空間中佔據的空間連續集合則可視為體積，三維物件的模擬，以點做為線段之端點，以線為面之邊界，再以面的相互連接組合，構成視覺上的實體物件。幾何學所說的點線面只存在於物理定義或運算資料當中，它們沒有體積和質量，實際上也無法看見它們，但在現實生活中卻大有用處。電腦系統中將這些資料處理之後視覺化，在畫面中構成了可見的影像，便可達到模擬的目的。

3ds max 建模和實際物體有些不同，不像木頭一樣切切補補的來完成造型，而是充分運用點線面的觀念，像是燈籠一樣包著外皮的骨架，只要改變骨架上的結合點，就可以任意改變外形。再加上許多方便的工具，使得建模幾乎沒有限制。嚴格說起來，3ds max 是一套製作動畫的工具，加上強大的建模功能及特效處理，幾乎成了一個全功能的影片製造軟體，可以輕易滿足某種程度的需求。對許多的使用者而言無疑是最佳選擇，這點也表現在它驚人的普及率上。

模擬終究有它不真實的地方，以一個圓球面來說，它的定義是空間上與一點等距的所有集合，所以它沒有任何平坦的面，或者說它是由無限個平面所構成。由於兩個點所能決定出來的線一定是直線，所以電腦以點線資料所模擬出來的圓弧造型仍只是由數個平面所組成，而平面數越接近無限個，就越接近真正的圓弧，但是過多的點線面資料會使電腦無法負荷。對人類的視覺而言，並沒有敏銳到能辨別很細微的變化，所以利用各種欺騙視覺的手法，便能達到許多模擬的目的。例如圓球，不需要無限多個平面，只要用幾百個平面就能令人誤以為那是真的圓球了。動畫同樣也是一種欺騙視覺的模擬，事實上影像並非真正動了起來，而是不同的連續影像快速地輪流出現。

3-3 3ds max 功能簡介

3-3-1 3ds max 五大主題

3D 電腦繪圖目前不僅要畫出一個立體造型，而且還要加上許多材質、燈光、與場景的設計，甚至於轉換成動畫的形態。3ds max 包含了五大主題 [18]：

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，就如同石膏像一樣，如果希望能夠逼真如蠟像館展示的樣子，則需要為此模型加上材質，例如填上顏色與設定為皮膚或金屬材質等。

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，在設計作品時能產生更逼真的效果。

4. 動畫 (Animation)

完成所有場景與模型之後，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，例如火山爆發、雪花片片，或動物走

路、跑步、跳躍等。

5. 渲染 (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，這時候就要用到渲染 (Render) 功能。

3-3-2 3ds max 操作面板

進入 3ds max 畫面上大致可分為兩大部分。一個是工作場所，另一個則是工具區。工作場所指的是稱為視埠 (Viewport) 的區域，預設為四個(圖 3-1)，分別由不同的角度觀察場景。工具區即是提供各項功能的操作面板，以不同的方式供使用者運用各項工具，以完成建模、編修、動畫製作等工作。位於畫面上方的是下拉式功能表選單和主要工具列。

3ds max 下拉式功能表包含以下各部份：

1. File(檔案)

用以處理檔案相關作業，如開啟、重置、儲存、匯出與匯入、檢視檔案內容等。

2. Edit(編輯)

控制編輯過程的功能，例如返回上一步或重做被返回的動作，Hole 可將當時場景中的所有資料記憶起來(就好像存成一個檔案)，若將來在繼續

編輯後當機或想回復成該狀態，便可使用 Fetch 喚回。

3. Tools(工具)

亦屬於編輯類的工具，包含物件位置的對位，鏡射陣列功能等。

4. Group (群組)

組織群組的工具，在編輯的過程中可以將數個物件集合起來組成一個群組，並給予名稱，以方便對多個物件同時作業。

5. Views (檢視)

隱藏、顯示、或設定畫面上各項輔助功能或場景的檢視，以方便編輯動作。

6. Create (創造)

建立各項常用物件，包含物體、造型、燈光及分子系統等。除了在 Create 選單中的這幾項外，在右側指令面板的 Create 標籤中有更多的項目可供使用。另外，若將畫面上方標籤面板顯示出來，也同樣有建立各項物件的工具組。

7. Modifiers (修改)

此選單中歸類了不同種類的修改工具，不論是編輯場景中的物件或任何設定，都可經由修改選單中的各項工具來進行編輯，在許多情況下，要產生一個結果是需要經過多重步驟才可成為最後的外形。例如要建構一個簡單的生物頭部，也許是先由一個圓球(Sphere)開始，經過無數的編輯最

後成形。

8. Animation(動畫)

有關動畫編輯的工具。

9. Graph Editors(圖表編輯)

這些功能是用來編輯、檢視有關動畫軌跡及以圖示的方式進行操作。

10. Rendering(渲染)

簡而言之就是著色相關功能，場景經過材質、動畫設定或環境、燈光等等的佈置後，以 Render 的功能預覽著色或輸出成所要的最終結果。

11. Customize(自訂)

用來安排自己喜歡的操作介面，或快速鍵的使用等等，變成個人專用的操作環境。可以根據使用習慣或不同的目的，改變呈現畫面的方式、顏色、位置等。

12. MAX Script(腳本)

是 3ds max 內建的一種語言，可供使用者撰寫出一連串的動作來執行或創造一個新的指令。。

13. Help(說明)

提供線上使用說明及教學，可從中學習 3ds max 的操作方式及查詢指令用法。

3-4 Quest3D 之優點

Quest3D 是一個容易且有效的即時 3D 建構工具。比起其它的視覺化的建構工具，如網頁、動畫、圖形編輯工具來說，Quest3D 能在即時編輯環境中與物件互動。過去需要幾天才能完成的專案，現在只需要幾小時。Quest3D 優點大致分為五點[19]：

1. 直覺的介面

在 Quest3D 裡，所有的編輯器都是視覺化、圖形化的。真正所見即所得，即時讓您見到作品完成後執行的樣子。您將可更專注於美工與互動，而不用擔心程式錯誤及 Debug。

2. 彈性

Quest3D 幾乎支援市面上所有 3D 格式輸入，如 Mays、3ds max、Lightwvve...，加上利用 PolyTrans 可輕鬆的將各種 CAD 軟體做成的大型物件轉換成 DirectX .X 檔。可輸入的檔案格式有 X、MOT、3DS、LS、LWO、TGA、JPG、DDS、PNG、MP3、WAV、MIDI 等。

3. 先進的工作流程

它可以讓您選擇分別儲存資料或邏輯運算在任意您挑選的檔案中。這表示每個設計開發者都可以專注於自己專責的部分，然後再將檔案組合起來。類似先進的軟體基因工程般，再複雜的開發專案都將輕易管理，可說是從小型設計公司到大型軟體開發的最佳運作模式。

4. 功能完備

Quest3D 讓您透過穩定、先進的工作流程，處理所有數位內容的 2D/3D 圖形、聲音、網路、資料庫、互動邏輯及 A. I.。使用者完全不用擔心執行效能問題，Quest3D 可以執行一個三百五十萬面的檔案、先進的繪圖引擎，可輕易處理毛髮、衣服特效、凹凸貼圖、自動路徑偵測及物理屬性等功能。

5. 輕易地發佈作品

Quest3D 可以處理各類型的工業標準檔案，當完成後，可以輕易將檔案存成螢幕保護程式、執行檔或網頁。

3-5 Quest3D 功能簡介

內建的 Quest3D 編輯器主要約分成五部分：Channels 編輯器，Object 編輯器、Animation 編輯器、Array 編輯器與 Pathfinding /Nature painting 編輯器。雖然使用者可以將 Quest3D 的介面改成所喜好的樣子，原廠之所以將介面作如此的設計是因為這些是使用者要進入到互動式 3D 設計領域，主要會涉及到的部分。

1. Channels 編輯器(圖 3-2)允許以圖像化的方式建構邏輯及虛擬場景裡的相互關係。例如，使用者可以將一個物件的位置連結到滑鼠位置，讓物件依據滑鼠位置而動。

2. Object 編輯器(圖 3-3)裡，使用者可以繪製 3D 物件的外觀樣式，可以

在此編輯器中設定貼圖、透明度及顏色等，Quest3D 提供大量的選項來處理物體表面屬性例如顏色和紋理。

3. Animation 編輯器(圖 3-4)裡可以做專案的預覽及物件的動作，諸如鏡頭、燈光及骨架的設定等。此外，另一個在 Animation 編輯器裡面的重要任務是去制訂動作及動態數值。使用者可以製作一個飛行的文字，或者設計淡出或淡入背景到任何一個顏色。



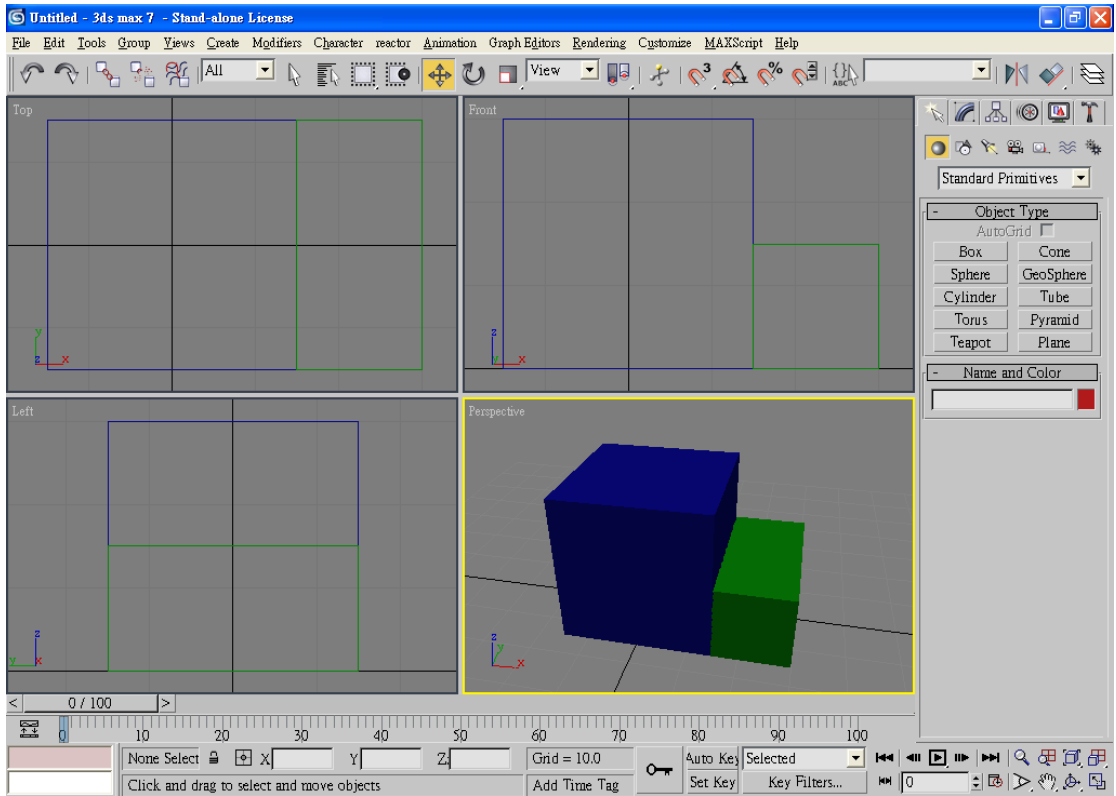


圖3-1 3ds max 視埠 (Viewport)

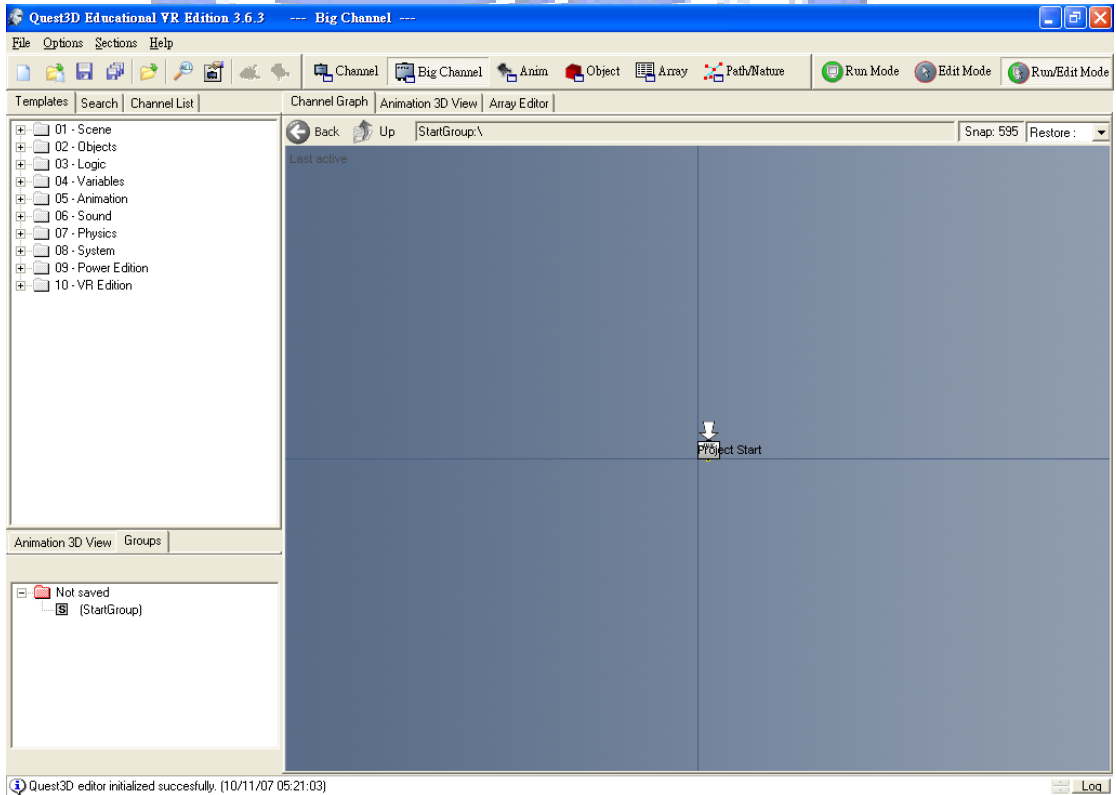


圖3-2 Quest3D Channels 編輯器

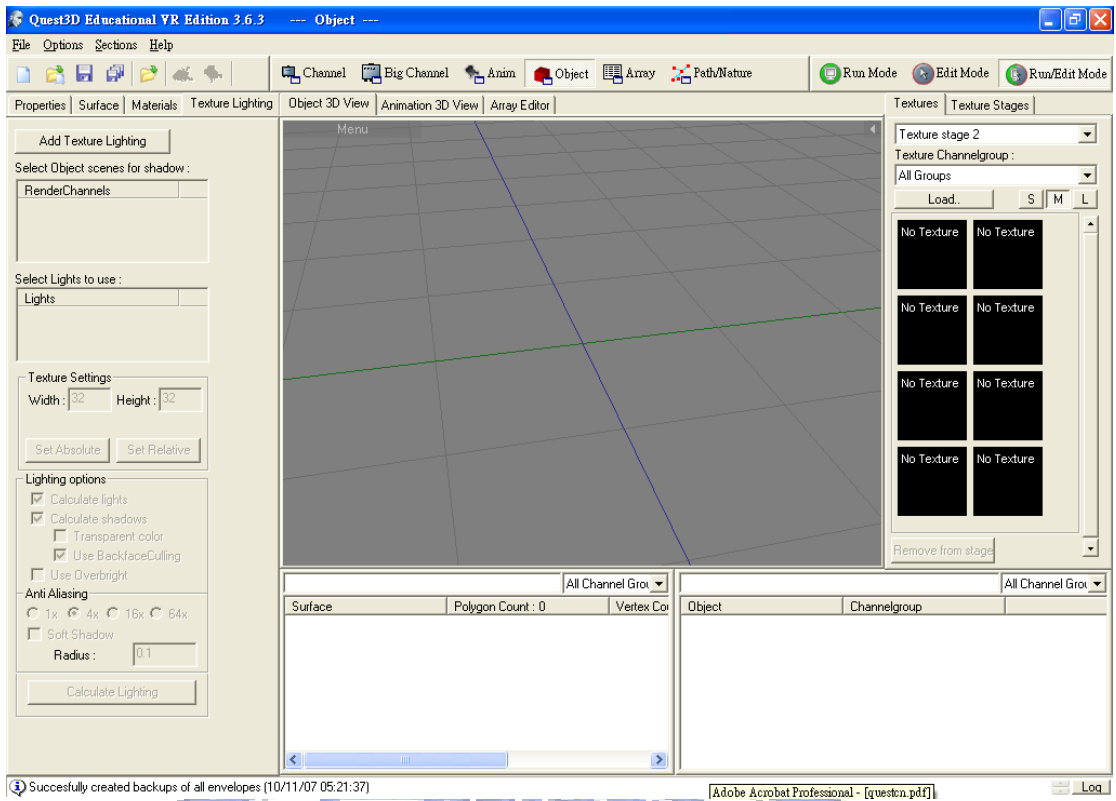


圖3-3 Quest3D Object 編輯器

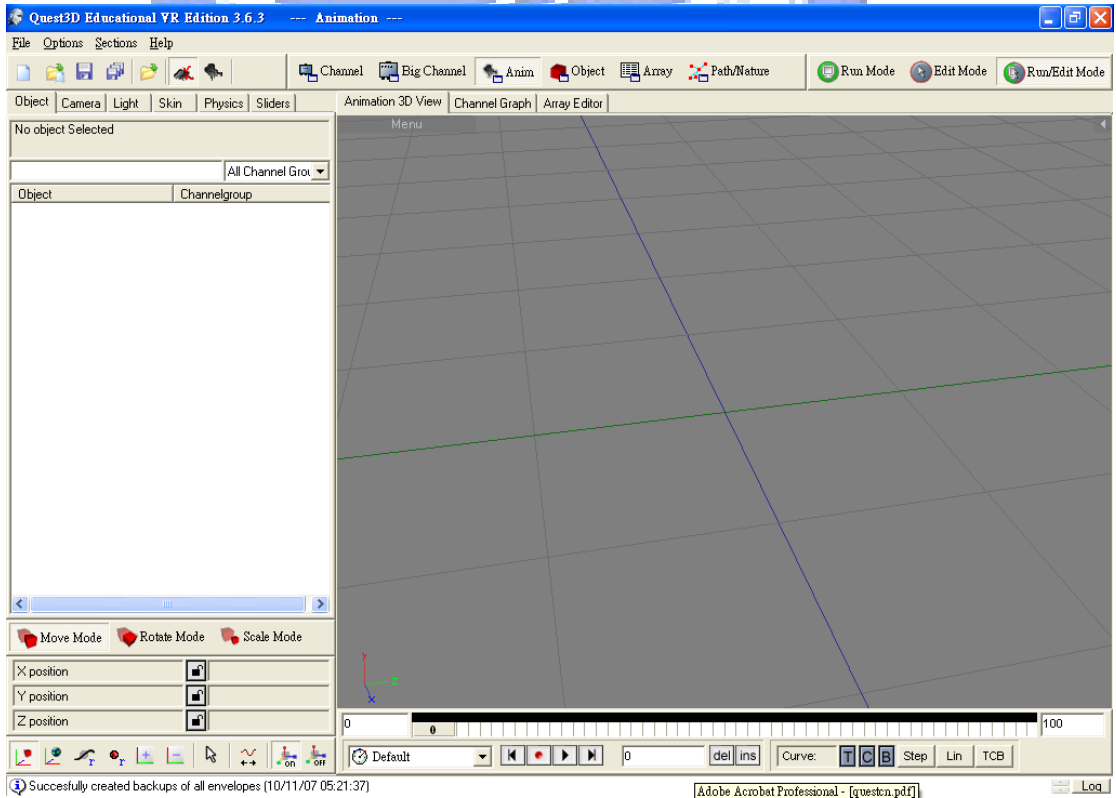


圖3-4 Quest3D Animation 編輯器

第四章 系統規劃與驗證

本研究期望建構一個虛擬實驗室之架構，在這架構下可提供許多功能，本研究著重其中一個重要之功能—利用虛擬實境使實驗重現，所有的地震資料成為更容易理解的動畫。在做完實驗之後，留下來的資料大多為實驗數據和結果、2D 靜態的照片，實驗時的影像，實驗的照片、影像均由實驗人員決定攝影的位置，但不一定為其他想了解實驗的研究人員所需要的角度，透過虛擬實境互動式的優點，使原本已經固定視角的影像變成可由使用者自行決定，以更彈性的角度去觀察已做過的實驗。

本研究取 2 個案例以驗證系統之架構，分別為交通大學溫俊明所做 4 層樓鋼架的實驗，和國家地震中心所做 Benchmark，以下以這兩個案例，說明如何準備試體 3D 模型和完成互動式的動畫。

4-1 虛擬實驗室規劃與架構

4-1-1 虛擬實驗室規劃

在本研究中把虛擬實驗室作系統化的規劃，規劃要點如下(圖 4-1)：

(1)整合實驗室資源：

目前在台灣有許多實驗室，但每個實驗室有什麼實驗器材，可以做什麼實驗，目前正在使用的實驗器具都沒有經過整合，利用虛擬實驗室，可以即時性更新這些資料，當使用者需要做震動台實驗時，可利用這些資訊選擇最適合的震動台，這樣可以整合所有的實驗室資源，更有效率的利用

實驗室的時間排程和空間。

(2) 導覽(簡介)實驗室:

在虛擬實驗室中可以放置一個虛擬的導覽員可對實驗室做簡介，使用者可以快速的了解實驗室的資訊。

(3) 提供實驗資料

在每個實驗室，都有做過的實驗資料，但是這些資料編輯方式大多都依照研究人員的喜好去編輯，沒有一個統一的格式，在虛擬實驗室可以收集所有研究室實驗資料之後，經過系統化的整理編排，使用者可以在虛擬實驗室裡，輕鬆找到所需的資料，且這些資料經過統一格式的編排，使用者可以更輕鬆的解讀資料。

(4) 實驗重現

在實驗之後有許多動態的實驗，卻以靜態的資料方式呈現，在這實驗室裡可以以虛擬實境之方式，提供實驗重現，以 3D 立體資訊加上動態模擬，可使使用者更能直覺式的了解實驗。

(5) 數值分析

現今大多數的軟體，在結構物線性分析上有較精準的結果，國家地震中心正在研究非線性分析，以後可結合虛擬實驗室提供更多元分析方式給使用者。

(6) 實驗申請

要做實驗但是實驗的機具不一定是空置的，在這可提供每個實驗室實驗器具的排程跟申請表格，使用者可透過虛擬實驗室得知目前實驗器具的排程填寫表格完成實驗申請的手續。

(7) 網路化

在虛擬實驗室最大的優點為虛擬實驗室並非實體，可以透過網路傳輸資料，讓使用者可以在任何地方使用虛擬實驗室，讓虛擬實驗室不受到時間與空間的限制。

4-1-2 虛擬實驗室之架構

參考虛擬實驗室的規劃之後，可以把虛擬實驗室架構如(圖 4-2)，進入虛擬實驗室之後，選擇所需要的功能，可以以導覽功能了解各個虛擬實驗室，並可得知目前實驗室使用狀況，可選擇實驗室之前的實驗資料，可使實驗重現等功能。本研究著重於實驗重現，以虛擬實驗室架構為基礎，縮小架構(圖 4-3)為本研究系統之架構，共分四層：

第一層為進入研究室的選項。

第二層可選擇震動台，本研究中提供 2 個震動台可供選擇，一個為交通大學實驗室之震動台，和國家地震中心實驗室之震動台。

第三層為選擇實驗的結構物，在交通大學震動台選項之下提供一個四層樓的結構物可供選擇，國家地震中心震動台選項之下提供 Benchmark A 可供

選擇。

第四層為選擇是用什麼地震力去做實驗，選擇之後即開始呈現。

4-2 3ds max 建立模型

本研究以 3ds max 建模，透過 Quest3D 製作成即時互動的效果，可透過滑鼠、鍵盤等輸入裝置，以互動的操作讓使用者可以以自由的視角觀察實驗的成果。

在 Quest3D 裡模型可以重新排列組合，為了方便在 Quest3D 裡作其他的運算，所以採用把柱、板、基座和震動台，分別當成一個單一的物件匯入 Quest3D 裡。

1. 柱(H型鋼)：

本研究所呈現的 2 個案例，柱皆為 H 型鋼，在 3ds max 不屬於基本的模型，所以必須要以比較多的步驟來完成建模，要完成 H 型鋼一般比較簡單的作法大致上有 2 種，一種是以三塊長方形的 Box 利用布林運算(Boolean)組合成 H 型鋼(圖 4-4)，另一種為先用線(Line)繪出 H 型鋼斷面的尺寸再用擠壓功能(Extrude)決定長度(圖 4-5)，雖然用布林運算是比較直覺式的作法，但是彈性小物件沒辦法重復利用，以線繪出 H 斷面再以擠壓的方式，可以自由擠壓出 H 型鋼的長度，例如在交通大學實驗的案例中，大樑尺寸為 H125X60X6X8，大樑和柱為同斷面的 H 型鋼，只要改變擠壓的長度就分別

能完成柱和大樑，還可製作基本尺寸做為資料庫，往後在建模方面可省下不少的時間。

2. 板：

交通大學的實驗的板(圖 4-6、4-7)為 4 根大樑、5 根小樑和鋼版(質量塊)組合而成，鋼版用方塊(Box)設定出與實際尺寸相同之模型，大樑小樑均為 H 型鋼，如同柱的作法繪出，所有物件依照實際位置放置再以布林運算把大樑、小樑和鋼版組合成版(圖 4-8)。以同樣方式完成國家地震中心版的模型(圖 4-9、4-10、4-11 為實際照片，圖 4-12、4-13 為樓板之設計圖，圖 4-14、4-15 為完成圖)。

3. 基座

基座(圖 4-16 為四層樓鋼構架之基座照片)作法大致與 H 型鋼依樣，用線繪出基座的橫斷面之後，上下再加 2 塊方塊，即完成基座模型(圖 4-17)。

4. 震動台

本研究中，有兩個震動台，分別位於國家地震中心實驗室和交通大學實驗室裡，位於國家地震中心的震動台大部分都位於地下，外觀只能看到平台表面，故以 Box 即可，交通大學實驗室中，除了震動台表面，還看的到震動台其他部分，表面下面為一個不規則的方塊，先建造出 Box01 後，再以編輯面(Edit Mesh)編輯，使得 Box01 下方如同震動台比例縮小(圖 4-18)，最後 Box01 再跟震動台表面的 Box02 做布林運算即完成交通大學實

驗室之震動台(圖 4-19)。

在完成以上製作模型工作後，還有一個非常重要的工作就是檢查 Polygon 是否已經降到最低，在程式執行的過程，多餘的 Polygon 會造成系統負擔而降低執行效率，所以刪除多餘的 Polygon 是在模型完成後必要的工作。

Quest3D 可接受 .X、.cgr、.mot、.3ds 等檔案，目前 Pendasoft .X exporter 為最好的 exporter，所以本研究採用 .X 格式匯出，在確定把 Polygon 降到最低之後，就可以把檔案匯出成 .X 檔，完成建模的工作。

4-3 互動方式呈現

完成互動式呈現，要把 3D 物件、實驗之位移資料匯入 Quest3D，製作使用者介面，設置鏡頭調整燈光，以位移資料以動態方式呈現等步驟，本章節以完成互動方式呈現之步驟為主要內容。

4-3-1 匯入物件

本研究中所有互動處理皆在 Quest3D 中完成，在完成建模之後把模型匯入 Quest3D 為首要工作，以交通大學實驗為例，實驗模型包含四根柱、四個樓板、四個基座和一個震動台，在匯入的階段只需匯入各一再以複製物件的方式增加為所需要的個數，為了往後的工作的便利性所有物件皆重

新命名，例如柱命名為 Column01、Column02、...等，接著依照原實驗物的尺寸放置，完成震動台模型。

4-3-2 資料整理與匯入 Quest3D

本研究所製作之動畫，一個實驗可能就需要就數千張以上，一般製作動畫皆為一個個設定影格(Frame)之動作，在本研究中無法達到有效率的製作動畫，所以本研究作法為把資料讀進陣列(array)，再利用陣列控制物件之動作。

在把資料讀進陣列之前，先要把資料做整理減少資料量，以國家地震中心的資料為例，原始資料為19456筆，每筆資料分別為時間、位移和加速度，在此皆以時間和位移控制，所以不使用加速度資料，在這19456筆資料中，為每0.005秒一筆，每筆資料有七個數值，歷時97.28秒，分別為七個sensor(詳見2.4的介紹)所紀錄的數值，每0.005秒一筆資料，也就是每秒動畫要呈現200張圖，現今電影、電視或者是動畫FPS(Frames Per Second)為24或30，且以現今的電腦，大多無法跑出200FPS的效能，多餘的資料量會造成系統負擔，所以本研究中把原本0.005秒為一筆擷取成每0.02秒一筆資料，FPS降成50比一般動畫或電影還要高，但資料量從原本的19456筆降為4846筆，在擷取的過程中，或許會損失最大值，但是在高速移動之下人的眼睛無法分辨其差異，以震動台位移時間之關係圖為例，圖4-20為完整

資料圖4-21至圖4-23為未擷取的資料，圖4-24為本研究所擷取使用之資料，可發現擷取後並不影響視覺感受，在不影響實驗重現的視覺感受下，大大提升了執行的效率。

在國家地震中心的資料中，每筆資料數值為時間、震動台、第一層樓(X方向2個資料)，第二層樓和第三層樓皆如同第一層樓有2個資料，每層樓之兩個資料，為X方向之兩側，本研究中把這兩個位移資料轉換成樓板的位移跟旋轉角度，每層樓2個X方向的數值假設為 X_1 與 X_2 ，把 $(X_1 + X_2)/2$ 為樓板的位移， $(X_1 - X_2)/2$ 為樓板的旋轉角度，利用位移跟旋轉角度可較輕易控制樓板動作。

在交通大學的資料，因為做實驗的時候，只有加速度計放置樓板中央，故本研究在交通大學實驗重現部份，需把加速度積分成位移，且不需要再考慮樓層的轉角。在加速度積分的過程，每個加速度間變化假設為線性變化。

利用陣列控制物件，首先要建立一個新的表單(Create New Table)，本研究中提供兩個範例，一個為交通大學實驗把這表單名字設定為NCTU，另一個為國家地震中心實驗這表單名字設為NCREE，在交通大學實驗中，為一四層樓鋼架，加上震動台有五個數值，所以在表單中增加5個欄位分別為shakepos(震動台位移)，pos1(第一層位移)，pos2(第二層位移)，pos3(第三層位移)，pos4(第四層位移)，國家地震中心實驗中，有七個數值也如交

通大學表單之設定，不過國家地震中心多了轉角(rotation)所以，增加了 rotation 的欄位。

表單建立完成之後，要把整理過的資料讀進陣列，本研究把所有數據整理後存入文字檔(Data.txt)，先讓 Quest3D 讀 Data.txt 檔，在利用迴圈(Loop)把所有數字輸入 array 裡(圖 4-25)，此時在 array 裡行(Row)為每筆(每單位時間)資料，列(Column)為物件之位移資料(圖 4-26)，如要取得交通大學震動台之位移，只需要建立一個通道(Channel)讀取 NCTU 的表單，接著會出現表單內的 shakepos、pos1、pos2、pos3、pos4，選擇 shakepos 接著再以迴圈做讀取的動作，陣列的資料就可以取出控制物件，讀取的動作為每單位時間讀取一筆，所以還要用時間迴圈(Looping timer)和 Tick Count 控制讀出每筆資料的時間，使實驗重現能和實際相符合。

4-3-3 使用者介面

使用者介面(Graphic user interface，簡稱 GUI)，本研究希望使用者透過簡單的操作，就能得到所需要的資料。製作使用者介面之前，要先了解使用者的需求，使用者如何在一堆大量的資訊中得到所需的資料，首先參考 4-1-2 之系統架構將資料分類整理，以交通大學的實驗為例，這實驗就被歸為在交通大學實驗室裡，4 層樓的鋼架中即可找到，當未來實驗數據一直增加，也不會為了要重現某個實驗而花費很長一段時間做找尋的工

作。

當該層選擇選項之後，即出現下一層的選項，原本被選擇的圖示則保留在上方，使用者能快速瀏覽之前的選擇的資訊；為了方便使用者重新選擇所需實驗，在第二層到第五層皆增加了一個返回的選項。

在決定使用者介面架構後，開始設計使用者介面邏輯，使用者介面會單獨使用一個 Render，這個 Render 擁有一個獨立的 Camera，在這 Render 之下所放置的物件為使用者介面的圖示，在使用者來說，此圖示如同一個按鈕，為了讓使用者更清楚選擇的資料，本研究在按鈕這個物件方面做一個觸發，只要滑鼠移動到按鍵就會有一個回傳值 true(圖 4-27)，因為使用者介面的 Render 不使用燈光，所以物件明亮度以自體發光(emissive)程度來決定，在自體發光的數值下做增加一個 Expression Value 運算式，增加一個判斷式為 $A==1?1:0.6$ (圖 4-28)，當 A(是否滑鼠碰到按鍵的回傳值)為 true 時，傳 1 否則回傳 0.6，此結果在滑鼠沒碰到按鍵時按鍵是暗的，當滑鼠碰到按鍵時會亮起來。

使用者介面的按鈕不是一直存在，會隨著使用者的選項而改變，所以在 Render 按鈕之前，增加一個 if 的判斷，使用者選擇到該層，該層的按鈕才出現，其他層的按鈕皆為隱藏。這裡必須先在所製作的按鈕圖示下面再增加一個判斷式 A&B，這判斷式為 AND，下面接 2 個值 A 為滑鼠碰到按鍵，B 為滑鼠單擊左鍵，當 A、B 同時成立則回傳一個 true 值(在這命名

pressing)。第一層邏輯運算關係到第二層，所以從第二層開始，在判斷第二層按鈕的 if 下給定一個運算式(圖 4-29 裡 A2) $A+B==2?0:A$ ，此運算式為當中 A 為 0 或 1，當按下第一層按鈕時，第一層之 pressing(圖 4-29 裡 A1)值會回傳 true，此時 $A=1$ ，第二層就會顯現(圖 4-29 裡 A3 被執行)，B 為第二層按鈕之 pressing(圖 4-29 裡 A4)，當第二層 pressing 為 true 時，代表第二層已經選過，此時 $A=1$ 、 $B=1$ ，在判斷式中 $A+B$ 等於 2 時，會回傳 0 給 if，此時這層的按鈕(圖 4-29 裡 A3 不執行)就會被隱藏。當第二層 $A=1$ 時，代表第一層已經被選擇，出現第二層，所以第一層只需判斷當第二層 $A=1$ 時回傳 false 給 if，使第二層出現時隱藏第一層。第三層到第五層邏輯運算皆依照第一層和第二層的方法。

為了讓使用者方便重新選擇，最後再加上一個返回上一層的指令，在返回上一層的按鈕下，做一個回傳值 back，當按下上一層時，back 會回傳 true，以第二層為例，在 A 的數值下增加一個 OR 的運算式，使得按下上一層的按鈕也可以改變 A 的回傳值，第二層出現時 $A=1$ ，如果選擇上一層按鈕時，因為改變了回傳值 $A=0$ ，在判斷式中 $A+B==2?0:A$ ，會回傳 false 給 if 使得第二層消失，第一層出現

4-3-4 鏡頭

本研究中為了讓使用者更能身歷其境的取得資訊，使用了多個鏡頭

(Camera)，大致分類為以下三種：

1. 固定式

固定式的鏡頭，在製作程式時即固定其位置不能更改，其主要作用為製作使用者介面，使用者介面通常為固定且在所有物件最上層，所以在這使用固定式的鏡頭，這鏡頭中只會顯示使用者介面，在這利用鏡頭和按鈕的相對位置，以這個鏡頭看出去按鈕的位置就是最後程式完成後按鈕在螢幕上顯現的位置，按鈕位置的控制皆是在這階段完成。

2. 自動導覽場景

在使用者介面中可選擇震動台和結構物，雖然讓使用者自行操作觀看視角是一種很好的方式，但是如果使用者不知道如何操作，或一直沒移動到重點的話，不太容易提供使用者得到應有的資訊，所以在本研究中，當使用者要選擇震動台或結構物時，會出現一個帶領使用者觀看的鏡頭，本研究給的鏡頭的路徑為 360 度繞著結構物旋轉，讓使用者方便觀看，未來若有某個實驗著重在樑柱接頭則可設定路徑靠近實驗的重點甚至設定路徑以各角度去觀看，使使用者在選擇實驗時可更了解實驗的重點所在。

3. 使用者自行操作

在虛擬實境中互動式是很大的一個要素，在這使用自由鏡頭可供操作，雖然鏡頭可用第一人稱方式操作，但是考慮操作的複雜度和觀看角度的限制(第一人稱不易觀察較高之樓層)，採用較簡單的操作方式，鏡頭對

著結構物的中心，可拉遠可拉近可平移以 360 度觀看結構物。

4-3-5 燈光

在 3D 物件的呈現上，燈光是一個很重要的因素，燈光可以讓物體看起來更立體更擬真，本研究之燈光是隨著鏡頭之移動，當使用者移動鏡頭時，鏡頭的位置即回傳給燈光，這可使使用者在操作時永遠是在光亮面，而不會因為陰影而失去想觀察的目標。燈光的亮度會根據距離而變化，亮度與距離的計算公式為 $1/(a_1+a_2*d+a_3*d^2)$ ，公式中 d 為光源及受光源點的距離， a_1 、 a_2 和 a_3 是可自行設定的， a_1 為遞減常數可增加或減少光源的亮度， a_2 和 a_3 為一次方與二次方的遞減因數，使亮度隨著距離增加而遞減，正確的遞減值是經驗的累積，在本研究中以試誤法來調整此數值。

4-3-6 實驗重現

本研究實驗重現之動畫以線(Line)來表示結構物搖動的狀態，在陣列中控制樓板的位移，所以在這以線繪出版的形狀，雖然視覺上是線但是在 Quest3D 中為一個 3D 物件，所以依然以 3D 物件的控制方法去控制位移，此位移可由 array 中讀出。

柱在樓板的四個角，和樓板的位移相依但不完全是樓板的位移，尤其當樓板有旋轉角度時錯誤更為明顯，本研究為解決這個問題，利用了子父

物件的概念，在樓板的 4 個角各加上一個 Null Object 的物件，Null Object 為不具任何形狀的物件，把此物件當子物件放置 4 角依附父物件樓板移動，可取得 4 角之世界座標 (World Coordinate)，再增加線物件依照上下兩樓層所取得之位置連接成柱。

在製作陣列時增加一個時間迴圈以控制讀取資料的速度，事實上這個迴圈從一進入程式就開始運作，所以在這要增加 if 控制，本研究在第五層使用者介面上按下開始按鈕回傳 true 時才讓時間迴圈開始運作。

在開始動畫時，實驗模型總是會擋住動畫，讓研究人員有觀察上的難度，為了讓使用者更加容易觀察，所以本研究把物件重新編輯。每個模型之下都有控制顏色的參數，在下面增加一個判斷式 $A==1?1:RGB$ ，A 為開始按鈕的回傳值，RGB 為物件原來的顏色的數值，當 A 回傳值為 true 時所有物件都會變成白色，還有一個數值為控制透明度(Alpha)，在此也增加一個判斷式 $A==1?0.3:1$ ，在開始前所有物件為不透明，開始後透明度變成 0.3(圖 4-30)，此結果可讓開始動畫時，原來的物件成為白色半透明，使用者可以更容易觀察結構物之動畫，原本的結構物也可存在供使用者觀察比較。

在實驗重現這部份，本研究期望能提供更多的資訊給使用者，以提供柱的資訊為例，當滑鼠碰到柱時會在螢幕上顯示柱的資訊，要完成此功能，必須先編輯之前匯入的 3D 物件，在之前匯入的物件中，尋找命名為 Column 的物件，增加一個觸發，當滑鼠移動到柱的物件時，回傳一個值為 true，

再利用 if 的判斷式，當 if 成立時把文字顯示出來(圖 4-31)，在此所顯示的文字為柱的斷面尺寸。在實驗重現時，如能把所有書面資料呈現(表 4-1 至表 4-4 為震動台及結構物的基本資料)，使用者能依照需求去擷取所需之資料，可使便利性大大的提高，本研究中提供柱的資料當範例，往後可依使用者的需求增加更多樣的資料，讓使用者使用本系統即可得到所有想要的資訊。

4-3-7 匯出

Quest3D 最大的優勢是可經由幾個簡單的步驟，即可輸出成執行檔 (Executables)，執行檔優點為不需要另外下載、安裝軟體即可使用。製作執行檔只需選擇 publish 和匯出檔案的類型(Publish type)，本研究選擇匯出執行檔(Executables)，即可完成。

表4-1：國立交通大學地震模擬振動臺規格

臺面尺寸(m^2)	3×3
振動臺質量(噸)	5
最大荷重(噸)	10
最大位移(cm)	± 12.5
最大速度(cm/sec)	± 60
最大加速度(g)	± 1

表4-2：國家地震中心地震模擬振動臺規格

臺面尺寸(m^2)	5×5	
最大荷重(噸)	50	
最大位移(cm)	縱軸, X 向	±25
	橫軸, Y 向	±10
	垂直軸, Z 向	±10
最大速度 (cm/sec)	縱軸, X 向	±1, 00
	橫軸, Y 向	±60
	垂直軸, Z 向	±50
最大加速度 (g)	縱軸, X 向	1
	橫軸, Y 向	3
	垂直軸, Z 向	1

表4-3: 四層鋼骨構架模型之設計參數

各樓層平面尺寸(m^2)	2×2
各樓層高度(m)	1.6
柱之斷面尺寸(mm)	H125×60×6×8
大梁之斷面尺寸(mm)	H125×60×6×8
小梁之斷面尺寸(mm)	H100×50×5×7
鋼版(質量塊)尺寸(mm)	1360×1360×32
四樓質量($kg-s^2/m$)	117.06
二至三樓質量($kg-s^2/m$)	121.21
一樓質量($kg-s^2/m$)	121.54

表4-4: Benchmark 模型之設計參數

各樓層平面尺寸(m^2)	3×2
各樓層高度(m)	3
柱之斷面尺寸(mm)	H150×150×7×10
梁之斷面尺寸(mm)	H150×150×7×10
鋼版(質量塊)尺寸(mm)	1360×1360×32
質量($kg-s^2/m$)	689.72kg * 6*3 floor

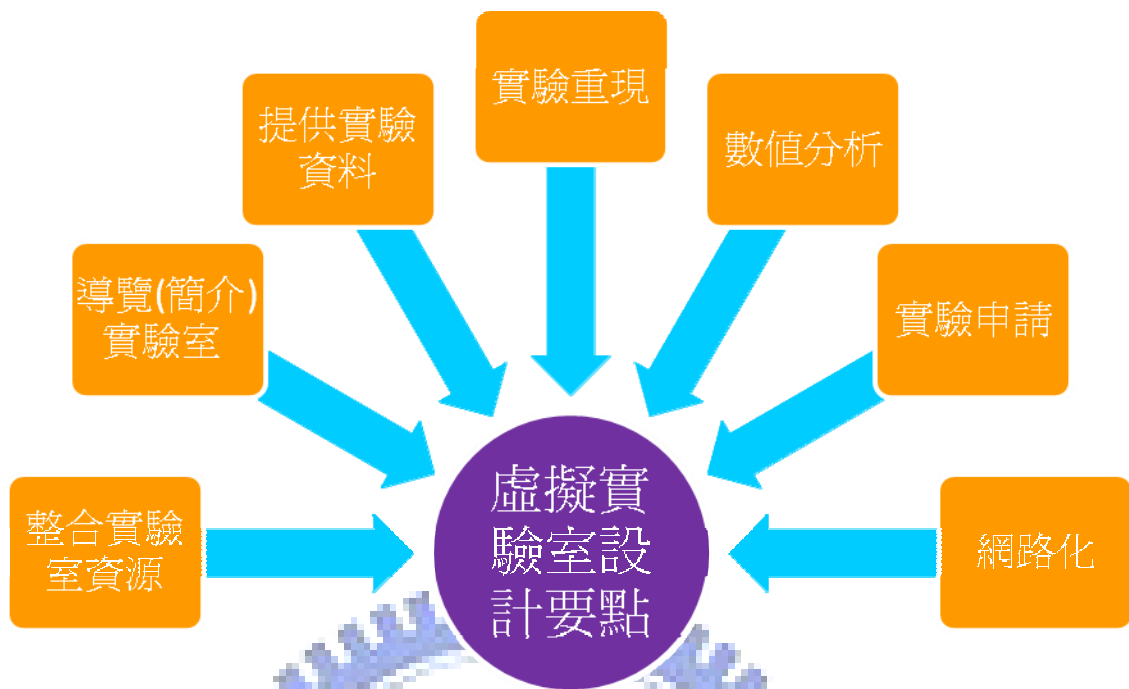


圖4-1 虛擬實驗室設計要點

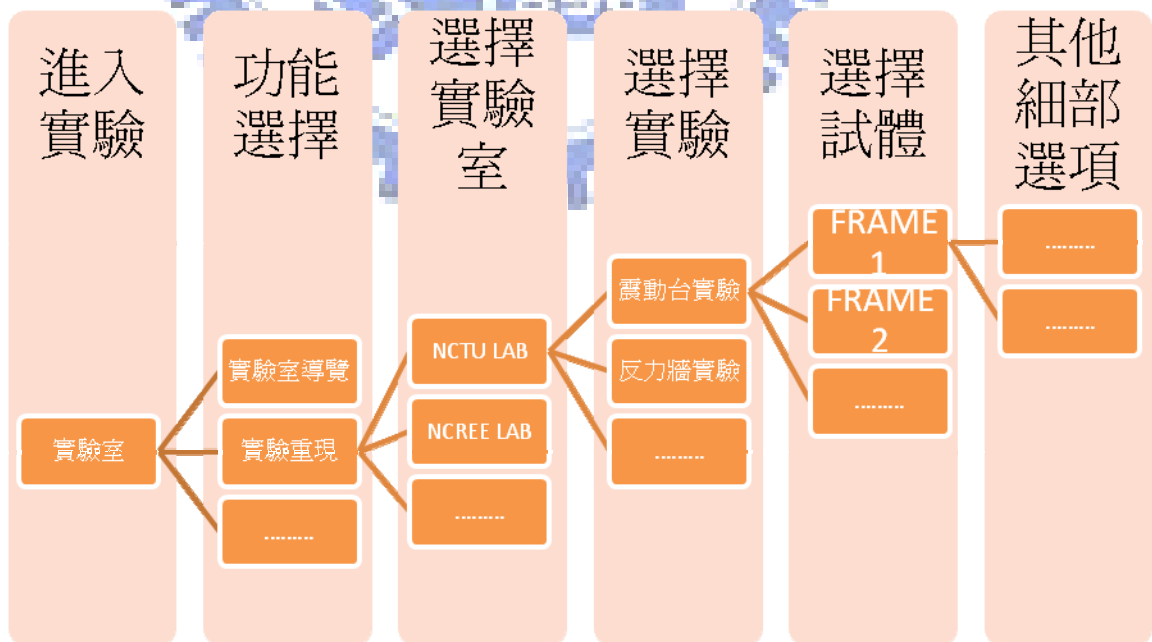


圖4-2 虛擬實驗室架構

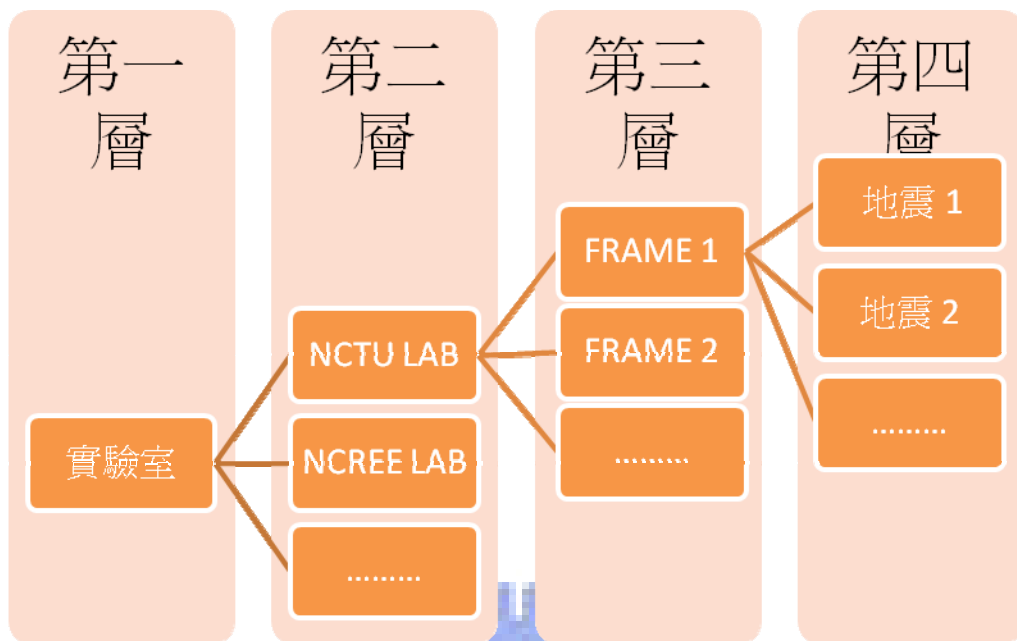


圖4-3 系統架構

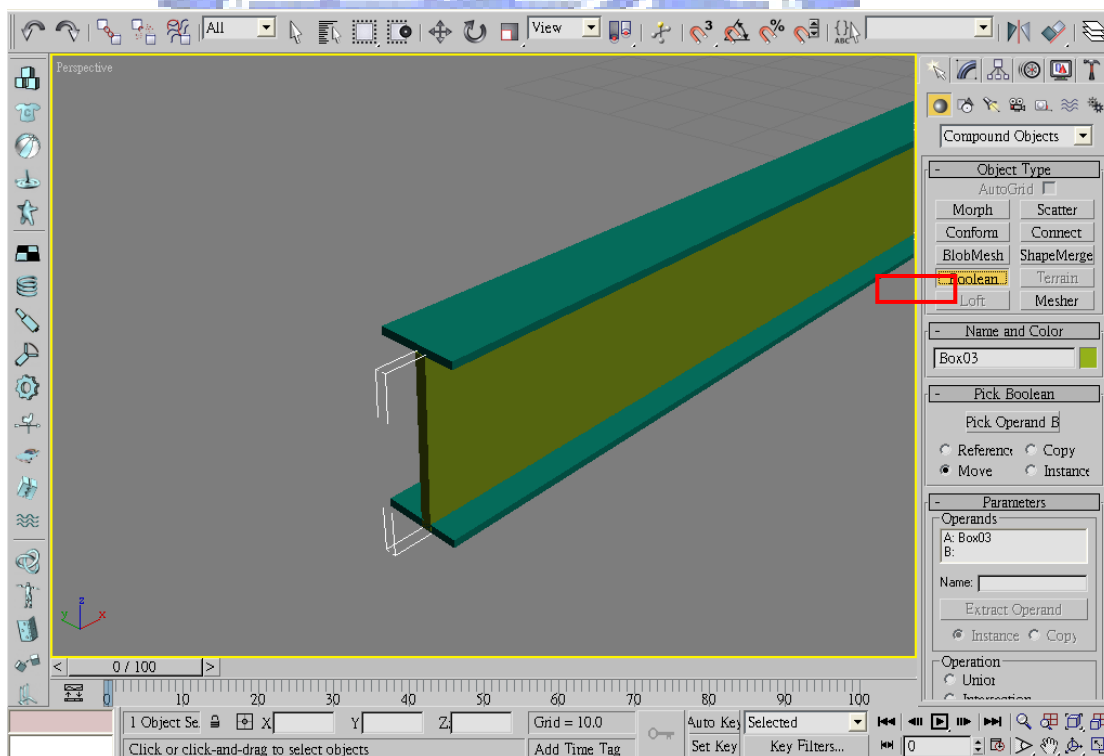


圖4-4 使用 Boolean 使 3 個獨立的 Box 成為一個 H 型鋼的物件

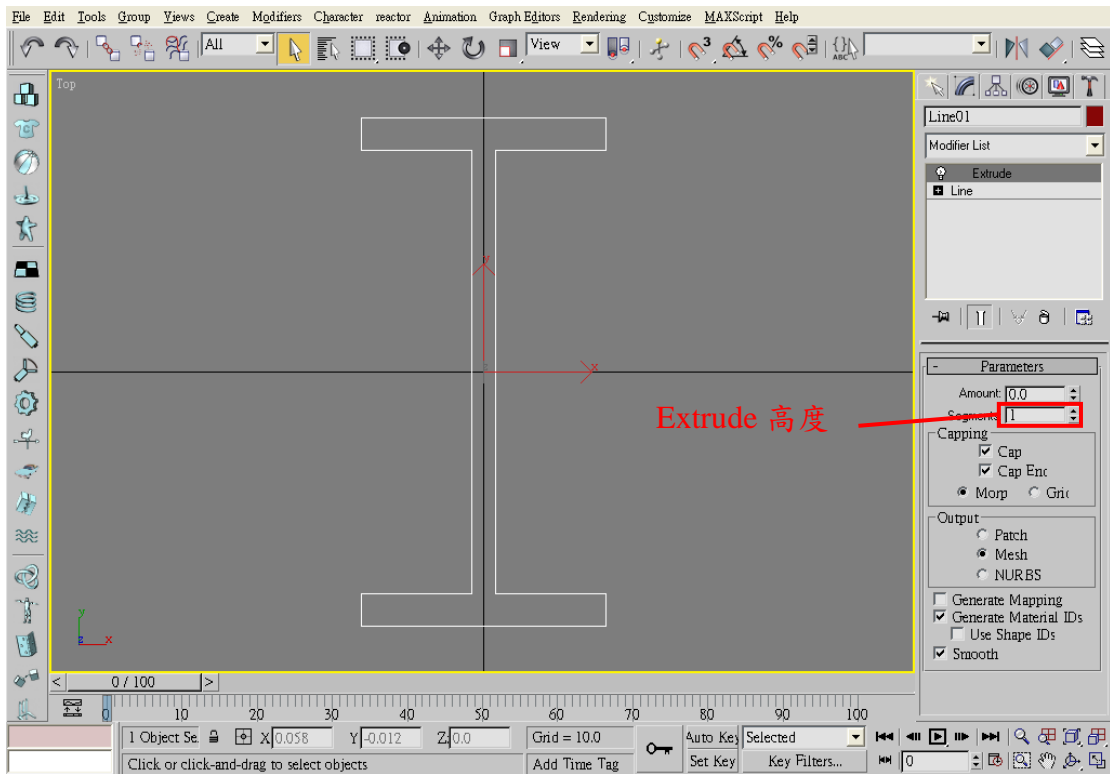


圖4-5 Line 繪出 H 斷面再以 Extrude 的方式做成 H 型物件



圖4-6 樓板俯視照片



圖4-7 樓板仰視照片

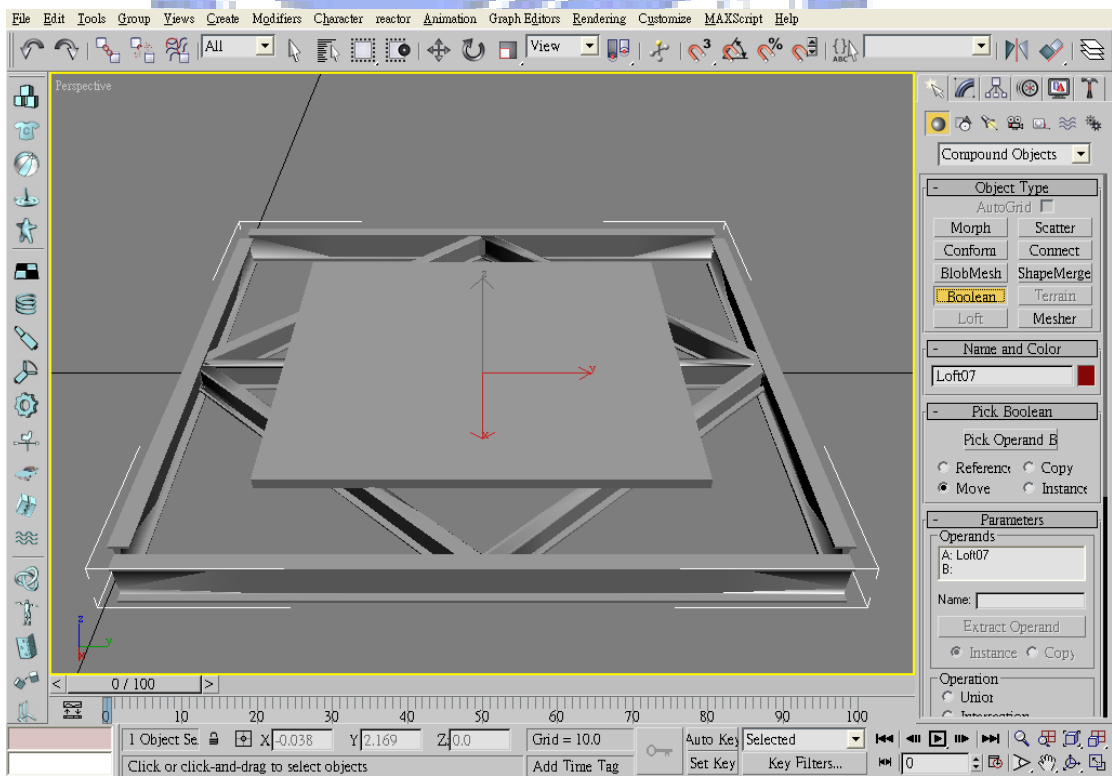


圖4-8 使用 boolean 把所有物件製作成樓板



圖4-9 刚性樓版組照片（背面）



圖4-10 配重鉛塊組配置照片



圖4-11 柱接頭特寫照片

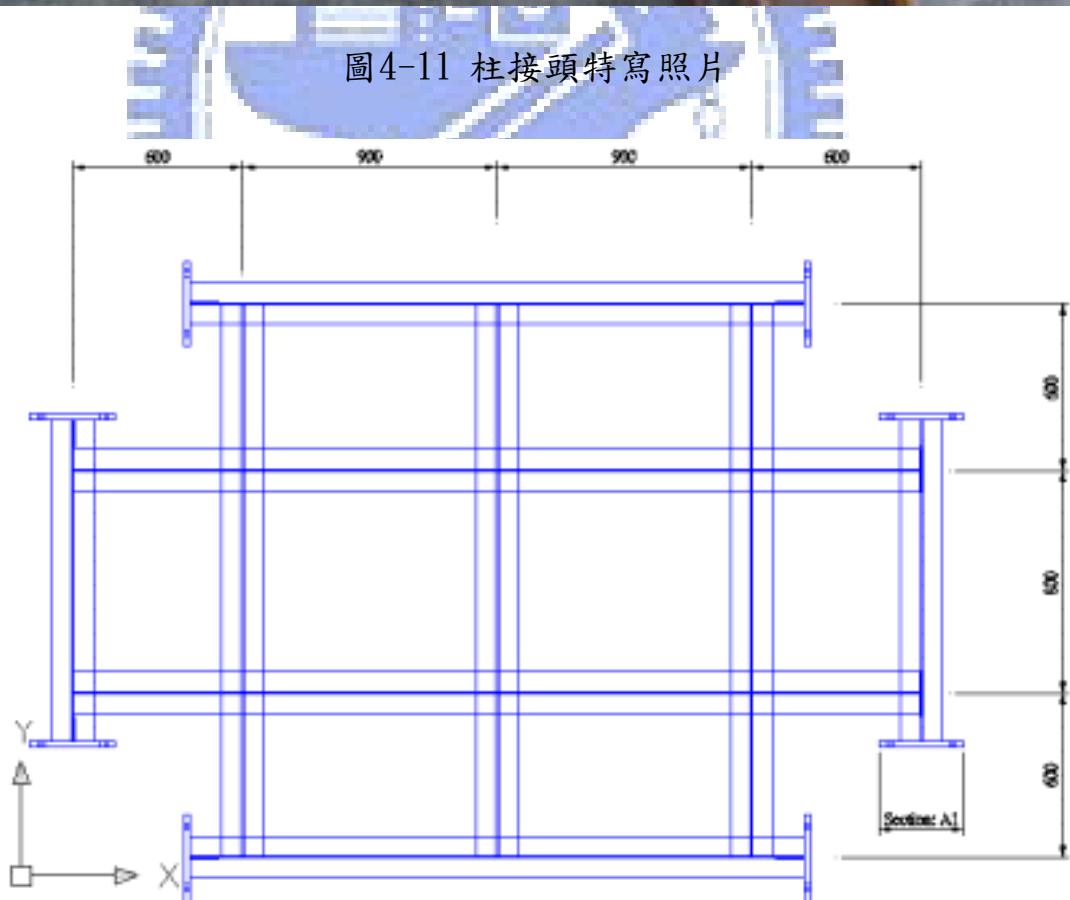


圖4-12 構樓房結構剛性樓版設計圖（型鋼尺寸：H150x150x7x10）

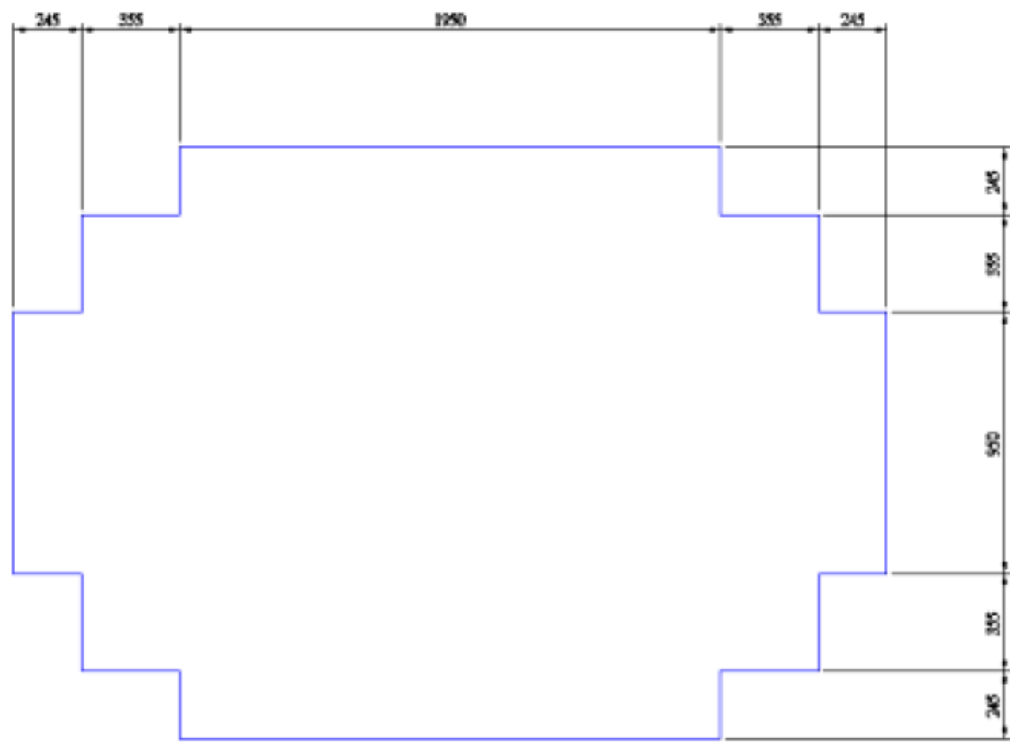


圖4-13 剛性樓版上覆鋼版設計圖（鋼版厚度：25mm）

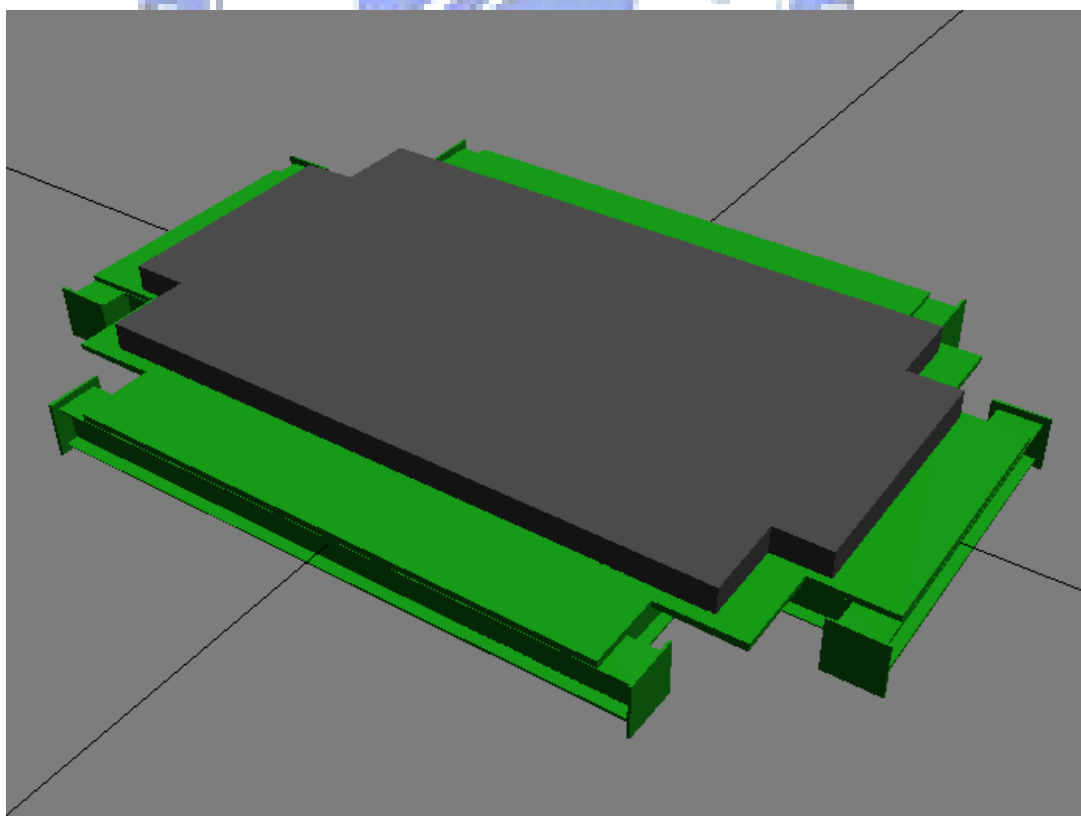


圖4-14 以 3ds max 完成 Benchmark 樓板

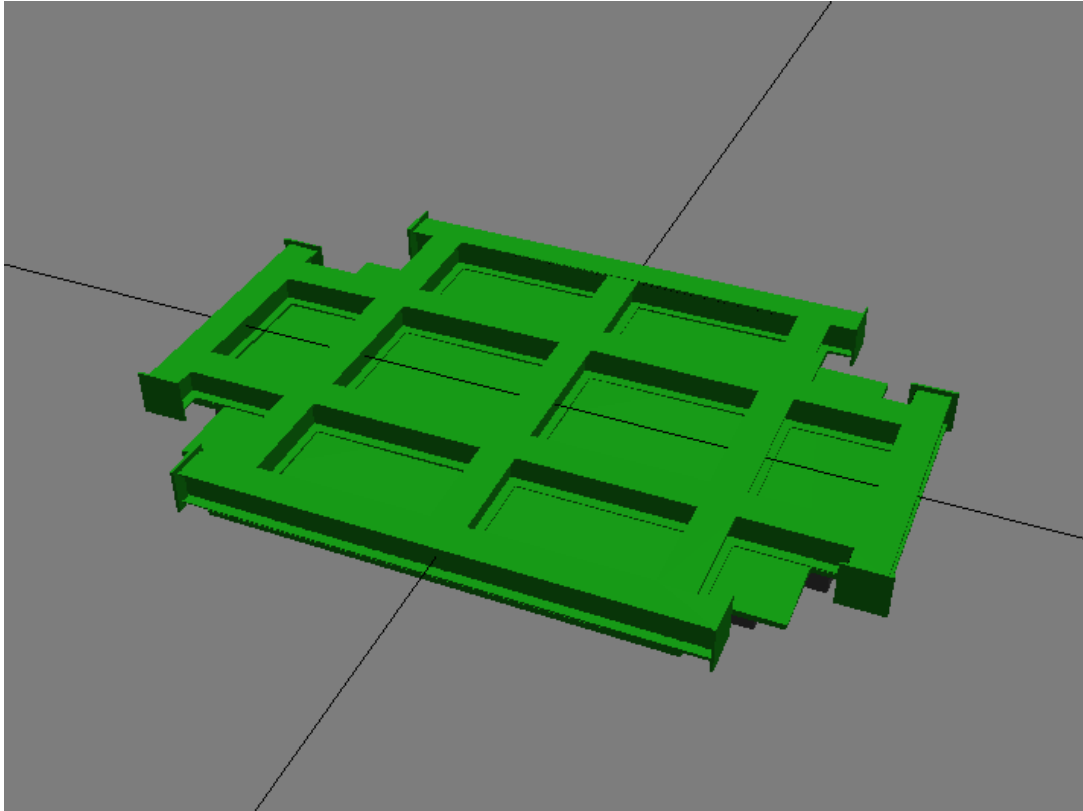


圖4-15 以 3ds max 完成 Benchmark 樓板背面



圖4-16 為四層樓鋼構架基座照片

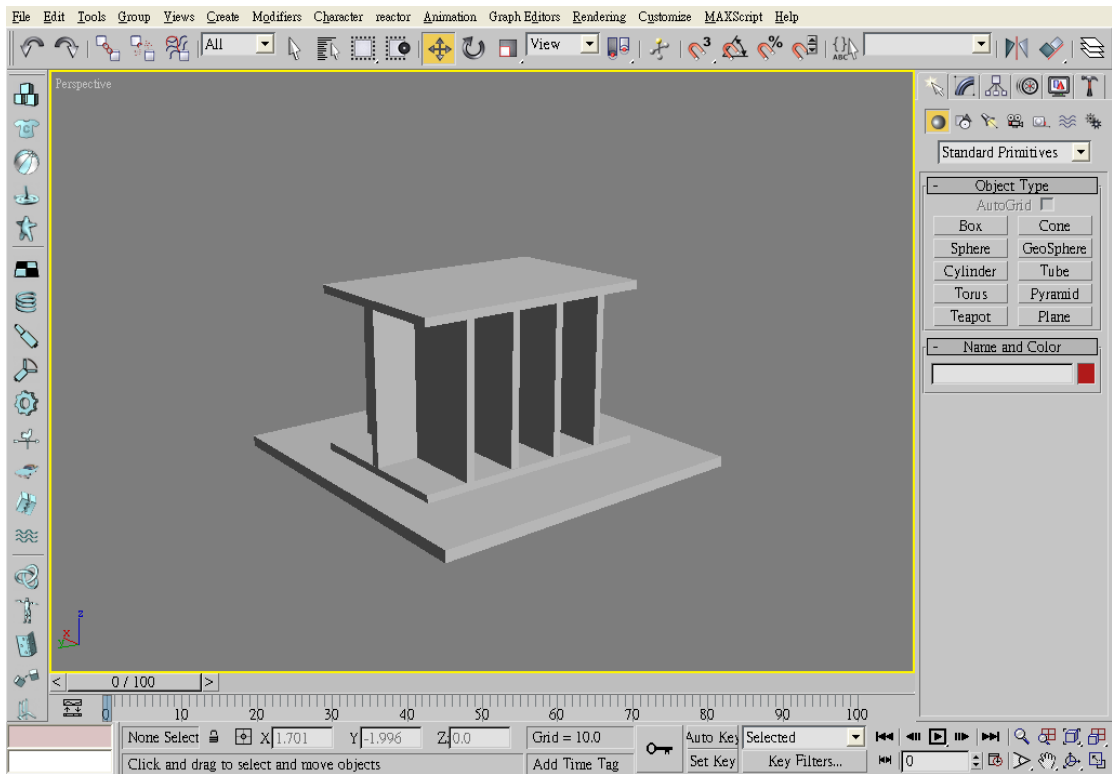


圖4-17 基座完成圖

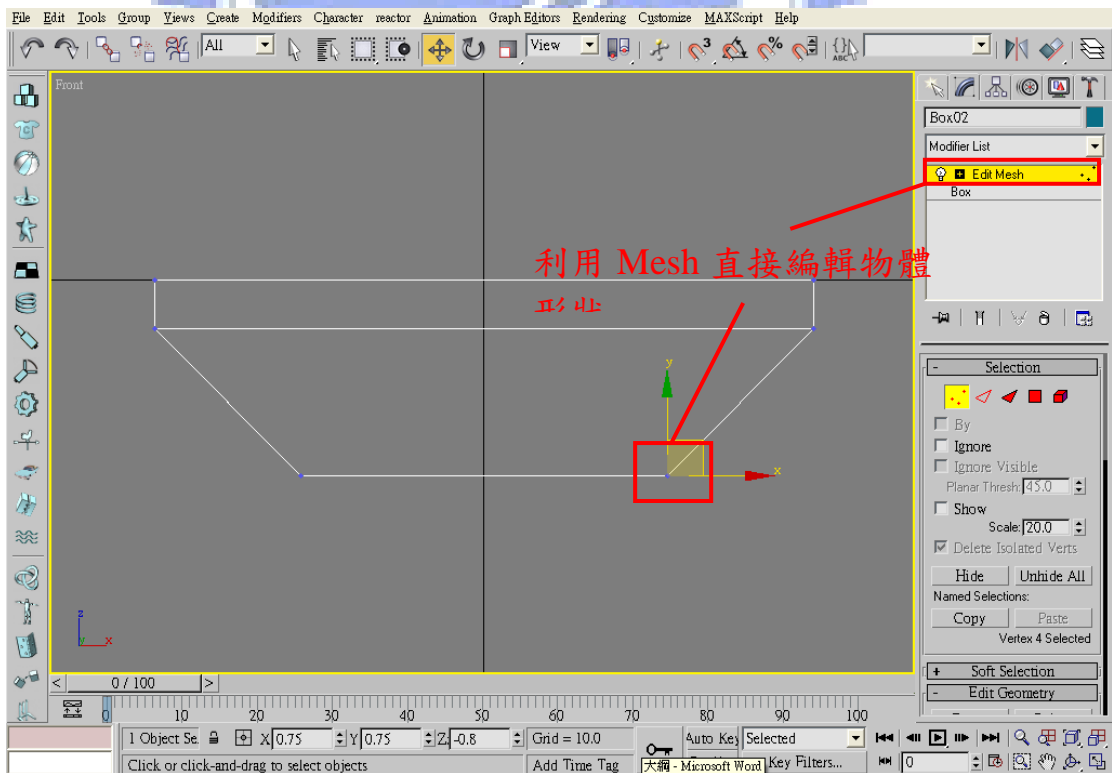


圖4-18 編輯 Mesh 把依震動台比例把 Box 下方縮小

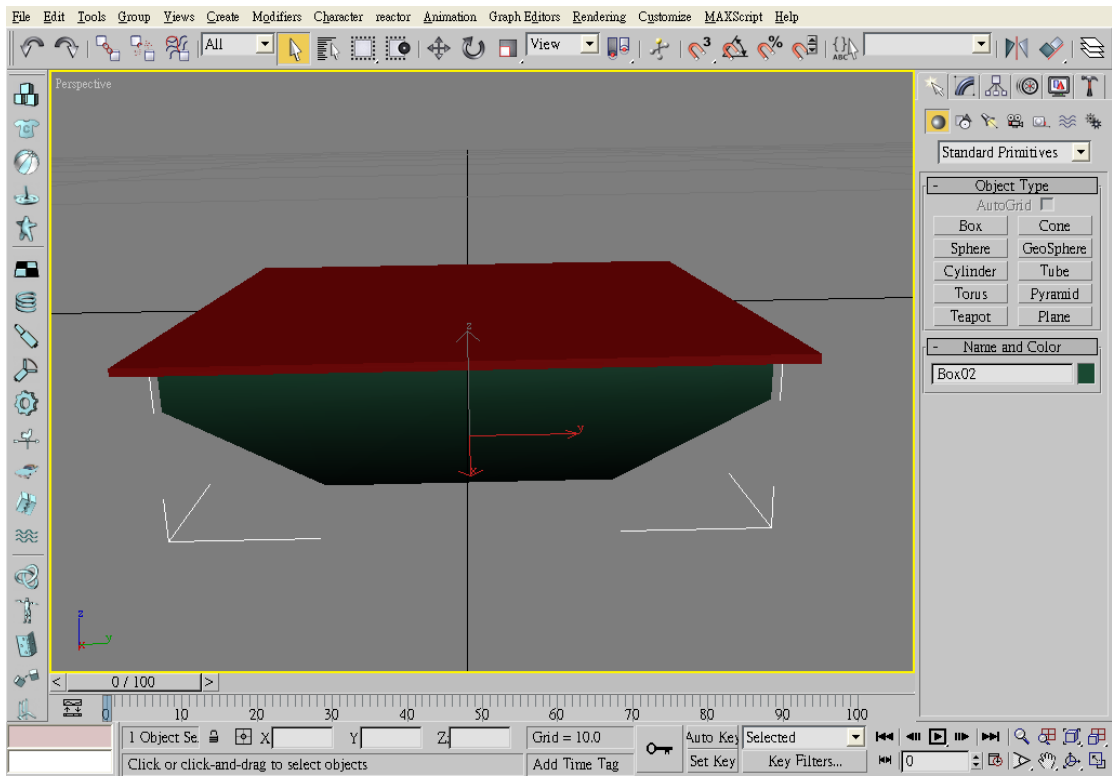


圖4-19 震動台完成圖

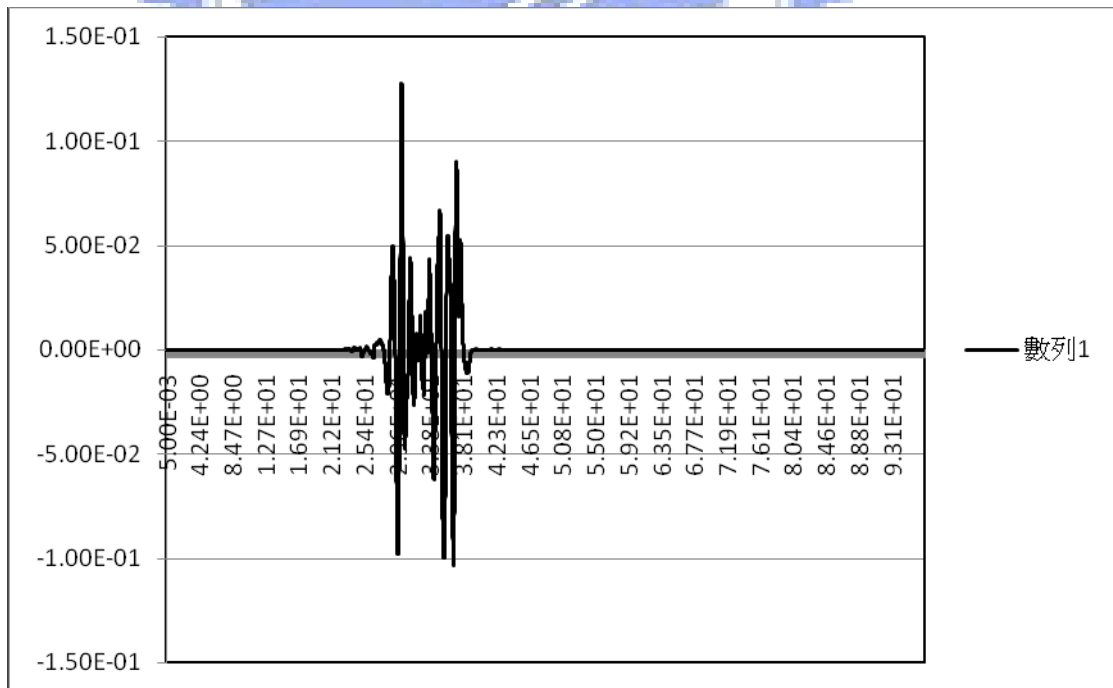


圖4-20 震動台時間位移完整數據

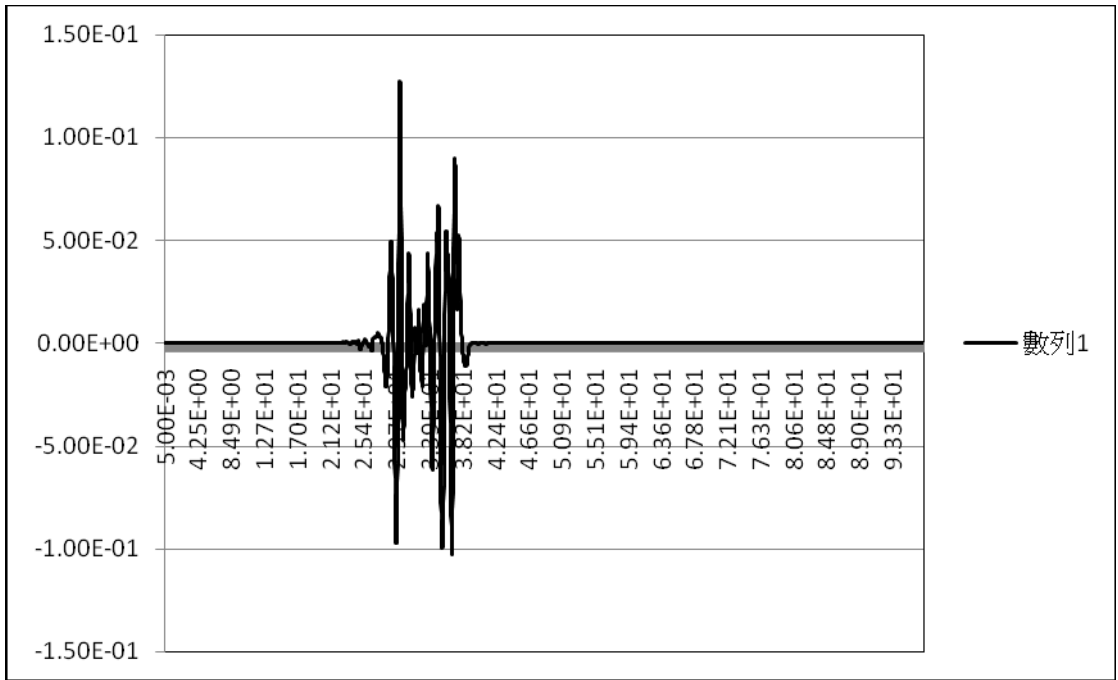


圖4-21 時間取 $0.005+0.02T$ 秒

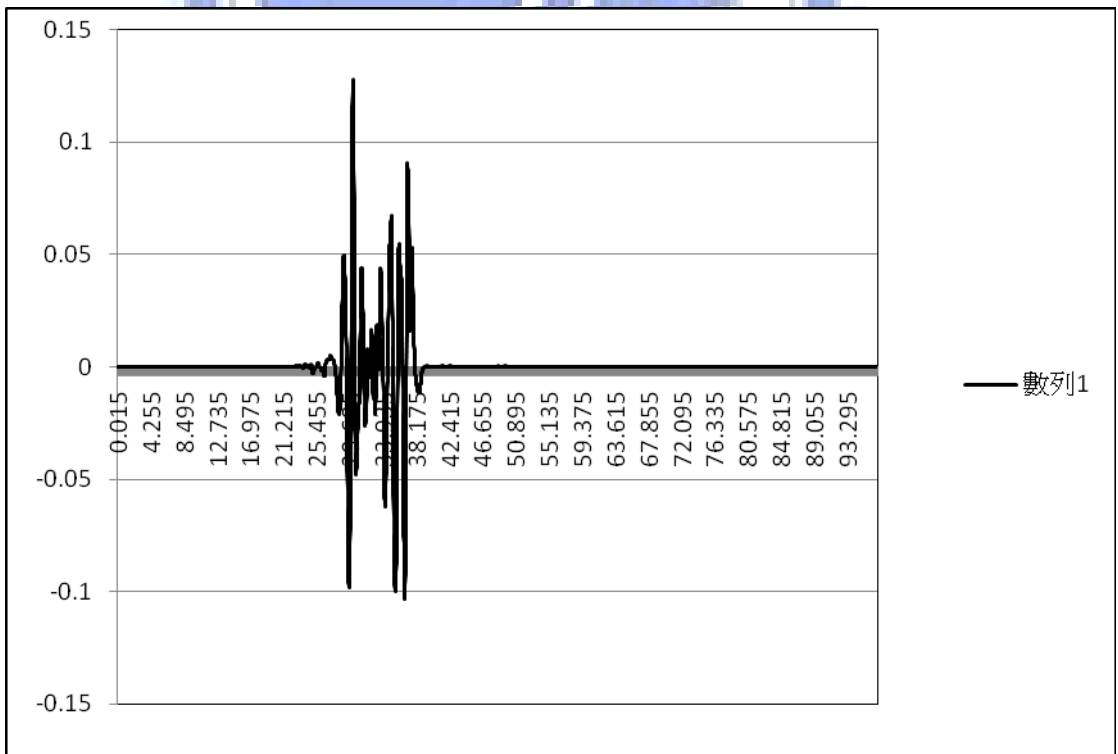


圖4-22 時間取 $0.015+0.02T$ 秒

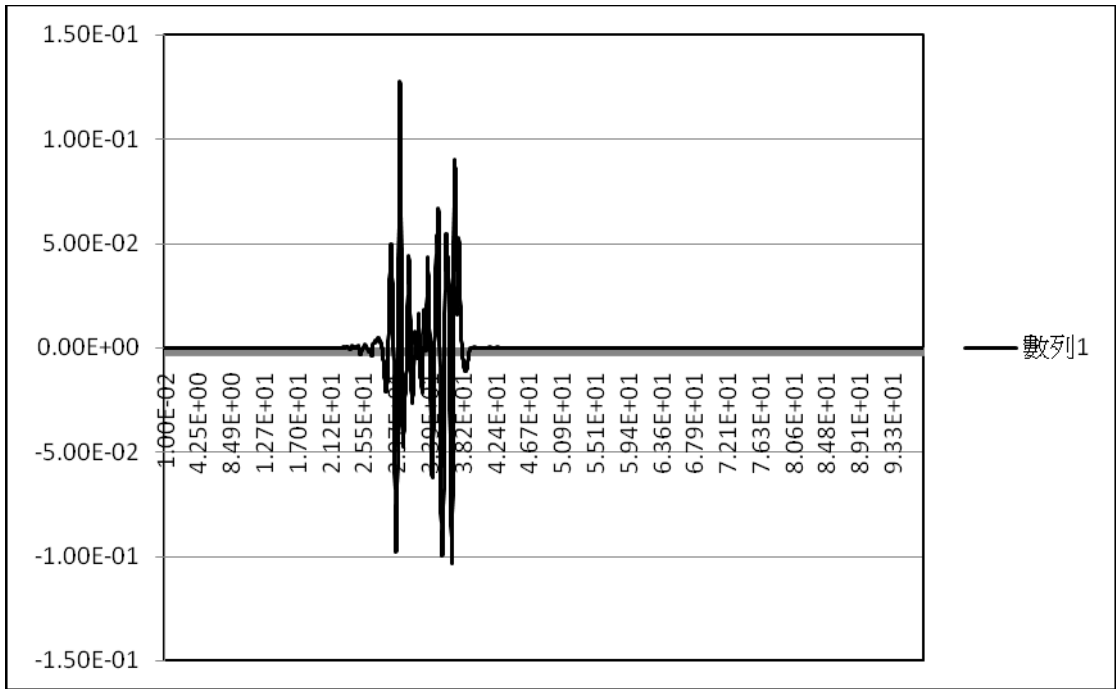


圖4-23 時間取 $0.01+0.02T$ 秒

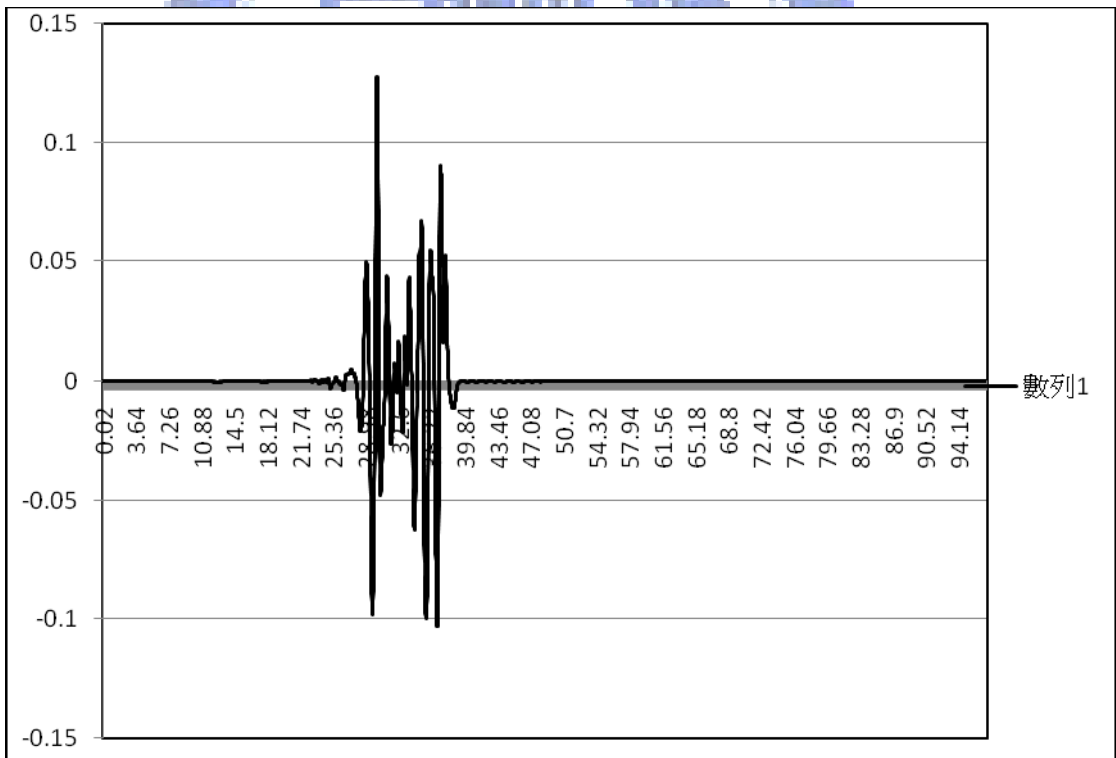


圖4-24 時間為 0.02 秒

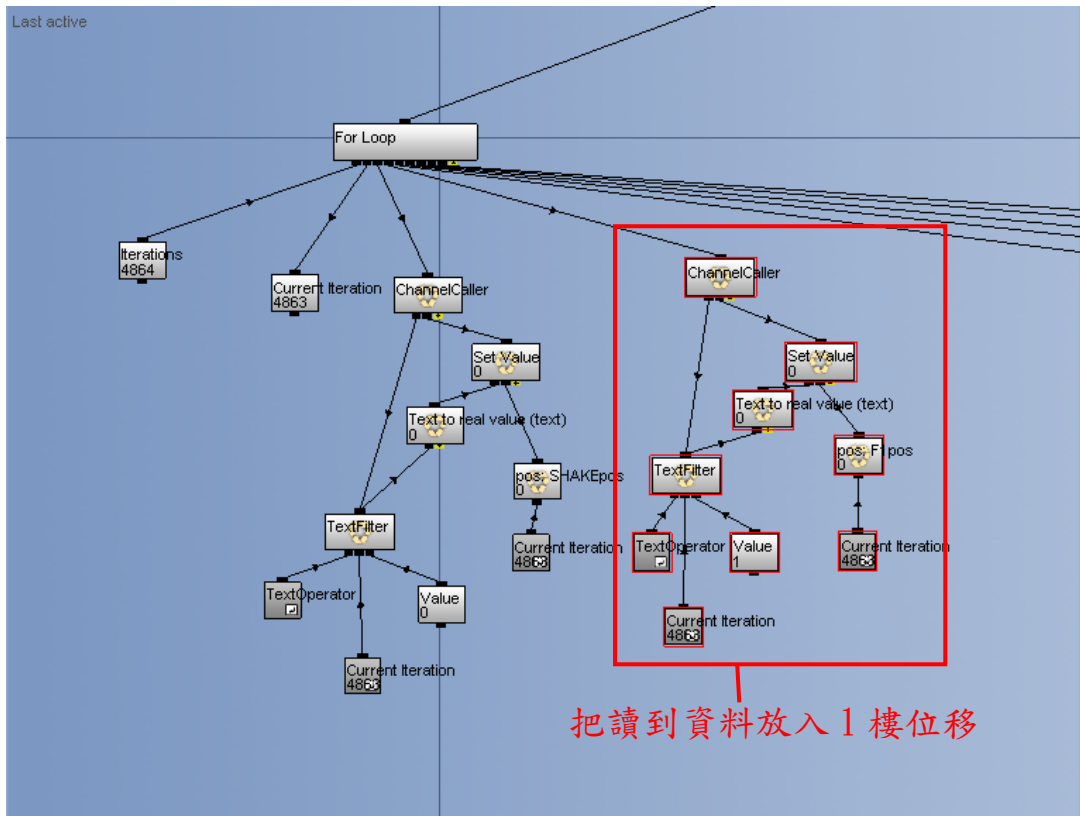
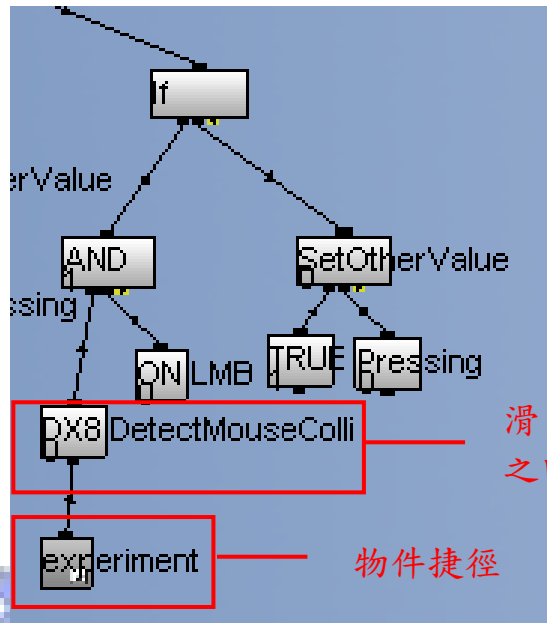


圖4-25 利用迴圈(Loop)把所有數字輸入 array 裡

pos	SHAKEpos : <	pos1 : <Value>	ro2 : <Value>	pos2 : <Value>	ro2 : <Value>
1	0.000042	0.000075	0.000032	0.000014	-0.000002
2	0.000034	0.000043	0.000055	-0.000029	0.000004
3	0.000026	0.000002	0.000051	-0.000009	0.000004
4	0.000026	-0.000002	0.000055	-0.000139	0.000004
5	0.000034	-0.000039	0.000037	-0.000176	0.000004
6	0.000026	-0.000066	0.000046	-0.000224	0.000004
7	0.000026	-0.000085	0.000046	-0.000261	0.000004
8	0.000034	-0.000112	0.000046	-0.000292	-0.000002
9	0.000034	-0.000112	0.000037	-0.000334	0.000004
10	0.000034	-0.000112	0.000055	-0.000365	-0.000002
11	0.000034	-0.000135	0.000006	-0.000371	0.000029
12	0.000019	-0.00014	0.000055	-0.000371	0.000004
13	0.000026	-0.000163	0.000041	-0.000402	0.000001
14	0.000026	-0.000163	0.000032	-0.000395	0.000017
15	0.000042	-0.000172	0.000032	-0.000395	0.000004
16	0.000026	-0.000167	0.000037	-0.000383	0.000004
17	0.000019	-0.000172	0.000032	-0.000365	0.000023
18	0.000034	-0.000149	0.000028	-0.000365	0.000023
19	0.000011	-0.00014	0.000019	-0.000347	-0.000008
20	0.000011	-0.00014	-0.000009	-0.00031	-0.000008
21	0.000019	-0.000126	-0.000004	-0.000279	-0.000014
22	0.000011	-0.000112	-0.000027	-0.000206	-0.000002
23	0.000011	-0.000089	-0.000032	-0.000157	-0.000026
24	-0.000004	-0.000089	-0.000041	-0.000102	-0.000008
25	0.000019	-0.000057	-0.000055	-0.000041	-0.000008

圖4-26 地震資料讀進 array



滑鼠是否有碰到物件
之回傳值

物件捷徑

圖4-27 當滑鼠觸碰到物件時回傳 true

輸入判別式

為判別式之 A 值

圖4-28 判別試 A==1?1:0.6 式中 A 為滑鼠是否觸碰到物件的回傳值

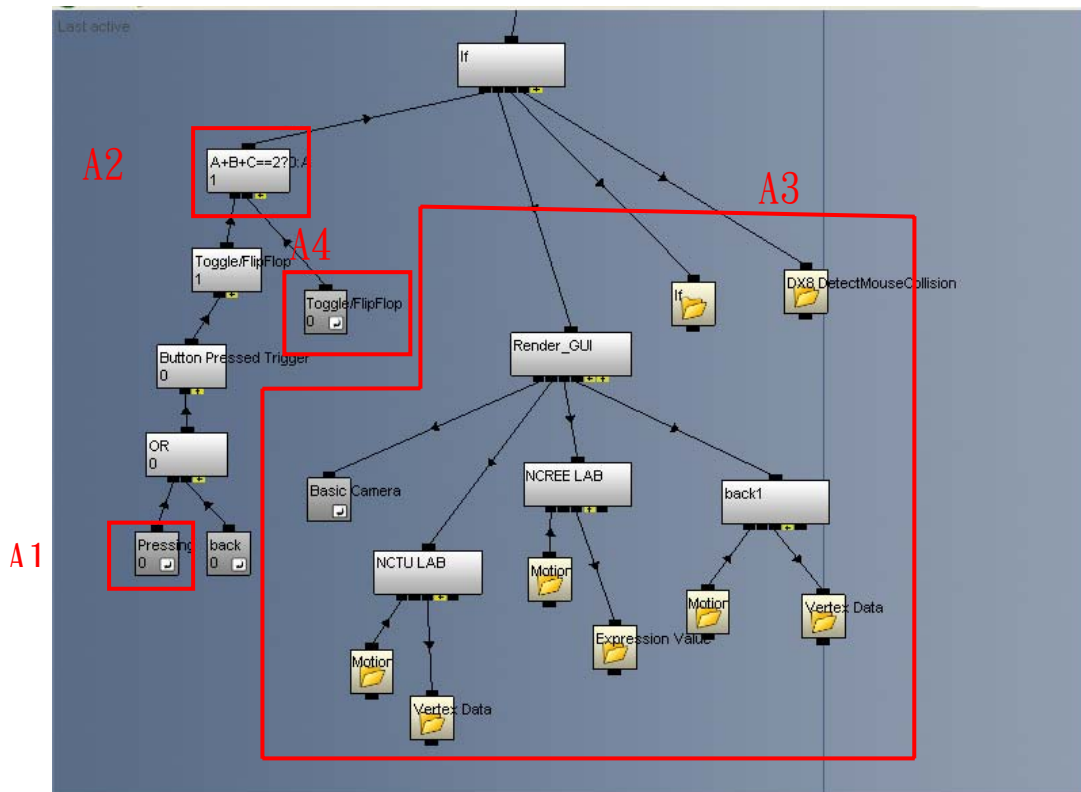


圖4-29 使用者介面之邏輯運算

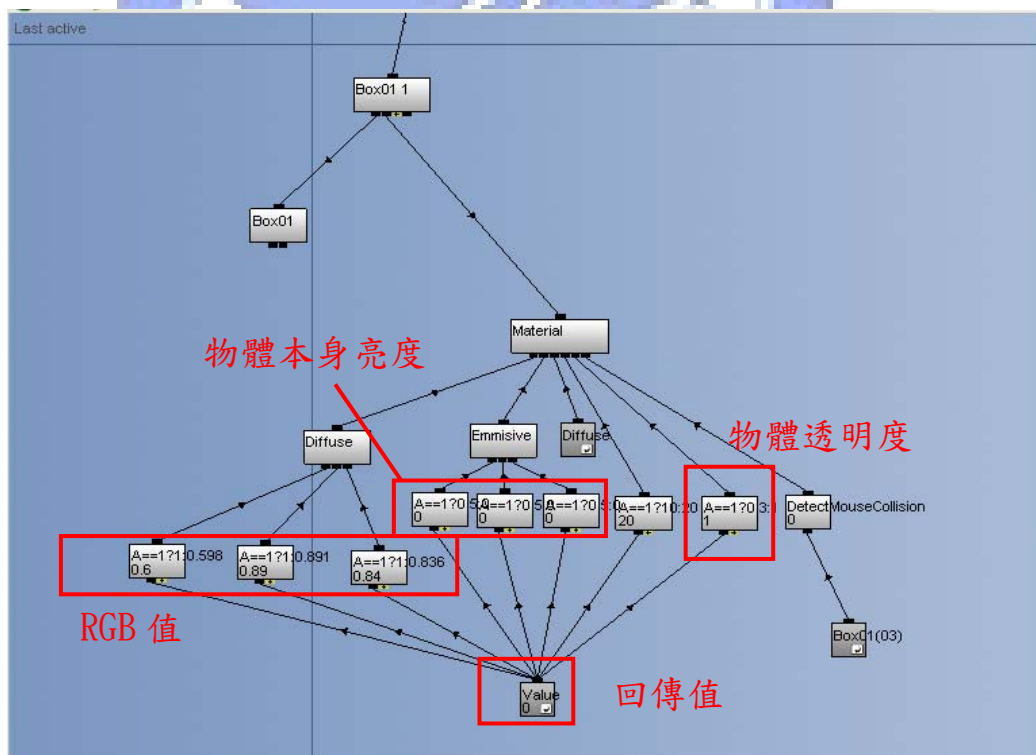


圖4-30 以 RGB 控制物件顏色，當回傳值為 true 時可改變物件顏色

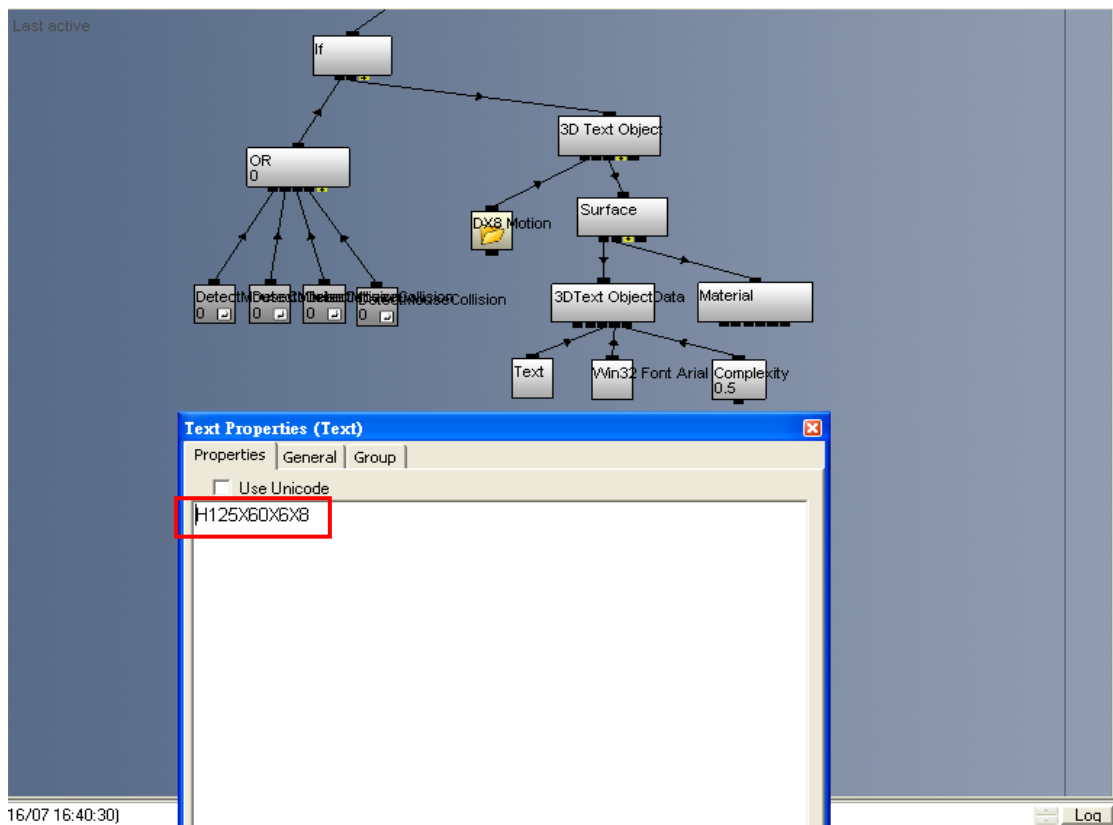


圖4-31 在此可填寫所要呈現之資料，此為柱之尺寸資料



第五章 研究成果呈現

本研究是以實驗紀錄下來之結果重新模擬實驗，由於實驗資料繁多，本研究只截取 2 個實驗，利用這兩個不同實驗說明整體架構。本研究之動態模擬部分，以虛擬實境的概念設計，使用者可以滑鼠移動攝影機，改變觀看的位置及方向。

5-1 系統環境與軟體需求

為了呈現更好的效果，以下是為最低之基本需求：

Microsoft Windows 98/ME/2000 or XP 作業系統

DirectX 9.0c 以上

32MB 以上 3D 加速卡支援 DirectX 9.0

256MB RAM

5-2 系統展示

本研究之系統不用安裝任何軟體，只需執行 Shake.exe 檔即可開始，開啟 Shake.exe 後，出現彈跳視窗(圖 5-1)，用來設定解析度(Resolution)、更新頻率(Refresh rate)，設定好解析度與更新頻率後，右下方有 2 個按鈕可選擇視窗化(Windows)或全螢幕(Full Screen)，如果選擇全螢幕可按

下[Esc]鍵離開。

本系統一開始左下角只有一個實驗室的選項，為實驗室的進入點，點進去之後有三個選項分別為 NCTU LAB、NCREE LAB 和上一層，此層為選擇實驗室，在此預設當進入此層時畫面為沒有任何東西，當滑鼠點到 NCTU LAB 或 NCREE LAB 按鈕時，交通大學實驗室之震動台或國家地震中心之震動台即顯在螢幕上，按鈕也變亮使得選擇更明顯，在此螢幕左上方會顯示震動台的基本資料，台面尺寸、震動台質量、最大荷重、最大速度、最大位移和最大加速度等，鏡頭也依照路徑讓使用者觀看震動台全貌，另一個為上一層，此按鈕在每層皆有，方便使用者作返回的動作。

進入實驗室後，左下角按鈕變成上下兩排，上排為選擇過之資料，如選擇交通大學實驗室在此會顯示 NCTU LAB 可讓使用者知道此為交通大學實驗室之實驗，下排為結構物之名稱，滑鼠觸碰到下排按鈕，結構物即出現於螢幕上，左上方顯示此結構物的基本資料，鏡頭也以各角度觀看結構物，所有圖文資料皆可呈現。

選擇結構物之後，會進入一個操作介面，左下方分為上下兩層，上層為之前所選擇的所有資料，包含實驗室和所選擇之結構物，下層為開始之按鈕，螢幕上顯示 3D 整體結構物，包含結構物和震動台，在此螢幕上以滑鼠滾輪可控制鏡頭跟結構物的距離，按下滑鼠右鍵移動滑鼠可變換鏡頭角度，方便使用者以自由角度觀看實驗，若滑鼠指到柱的部份則會在左下方

顯示柱的斷面資訊，按下開始之後實驗之動態模擬即開始呈現，在呈現時，左上方為地震歷時，右下方有兩排使用者介面，上排可調整地震資料倍數，為一到十倍，可使動態呈現時更為明顯，下排為速度，可調整資料呈現之速度，為零到十倍，零為靜止狀態，可供使用者在任一時間停止方便觀察(圖 5-2 至 5-12 為範例一操作，以 Benchmark 為例子。圖 5-13 至 5-18 為範例二操作以交通大學四層樓鋼構物為例子)

5-3 討論

本研究以 3D 動態模擬呈現資訊，使用者透過 3D 模型更能增加空間上的實際感受，而不是單純的文字資訊而已，使用者不再需要透過自己的想像來了解 3D 空間資訊，且實驗重新以虛擬實境的方式呈現，可以觀看結構物搖動的情況，以國家地震中心的實驗重現為例，在實驗結束後結構物不再是原來的形狀(圖 5-19)，可能是發生永久變形，也可能是實驗紀錄的錯誤，圖 5-20 中可以很明顯看到，最後一筆資料震動台位移跟一樓位移有明顯不同，圖 5-21 為地震歷時資料，圖 5-22 為結構物一樓位移資料，參考這些資料可知道最後結構物變形的情形，雖然結果和理論不同，不過也突顯了實驗重現的好處，在實驗數據中不太會特別注意這些地方，但在實驗重現時卻可清楚呈現。

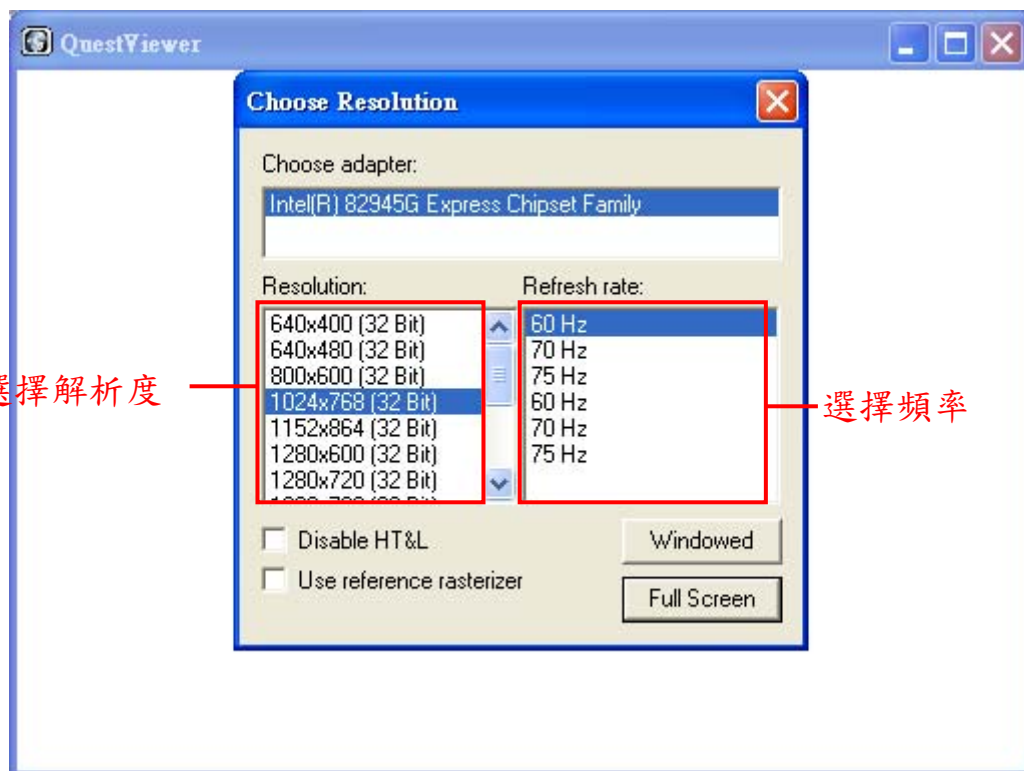


圖5-1 進入程式前基本設定

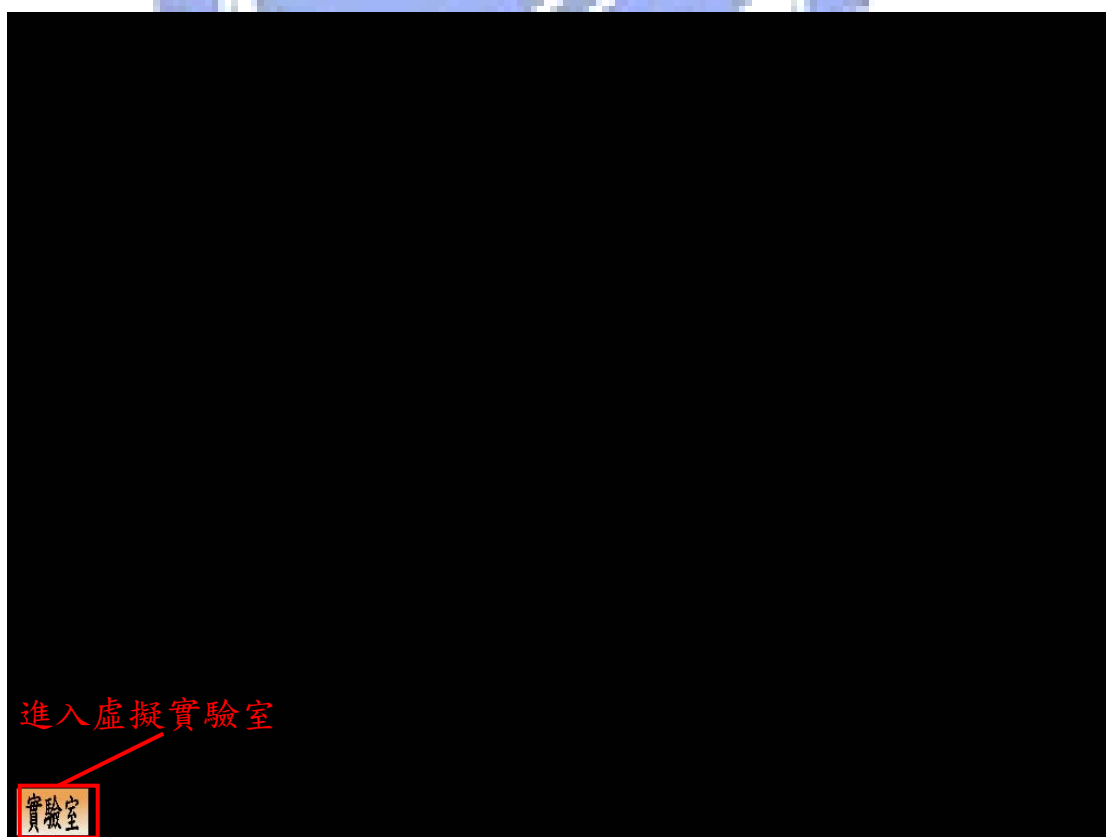


圖5-2 進入程式最初始畫面

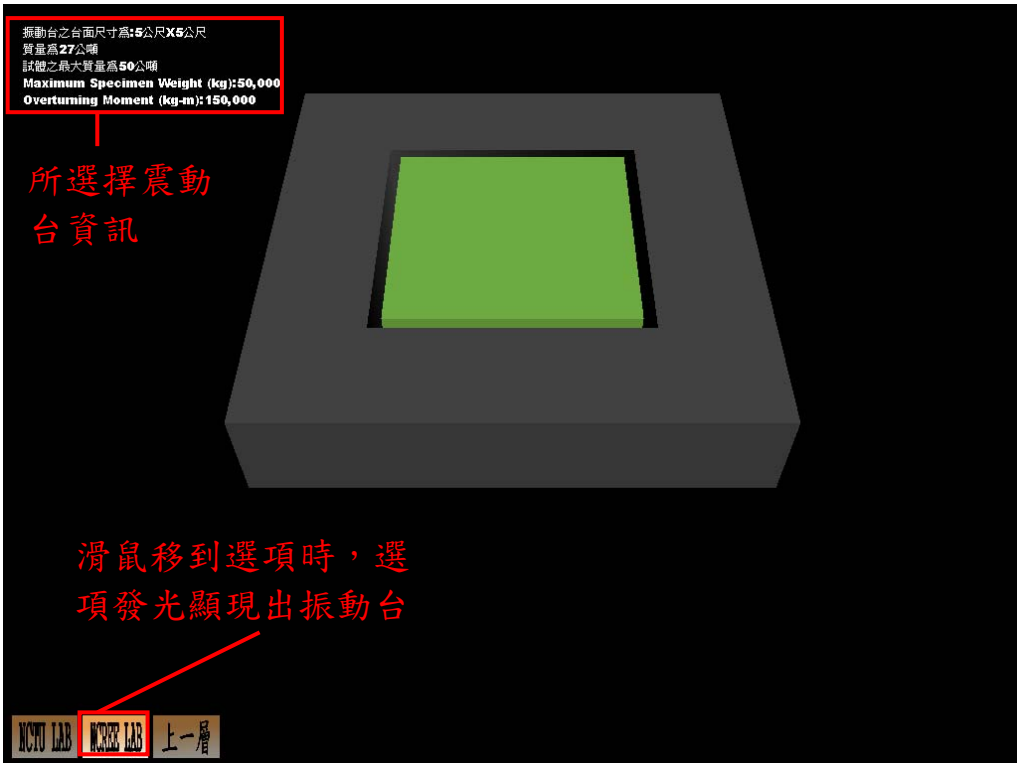


圖5-3 範例一：NCREE 震動台

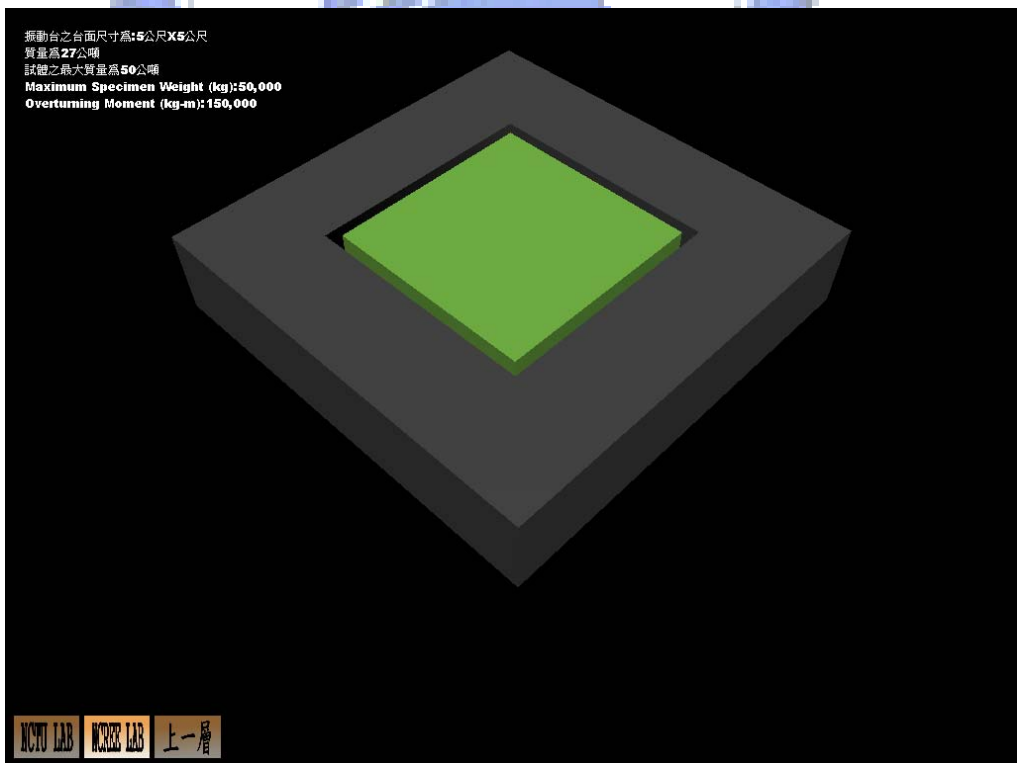


圖5-4 範例一：當滑鼠一直在案件上，鏡頭會移動以不同角度觀察震動台

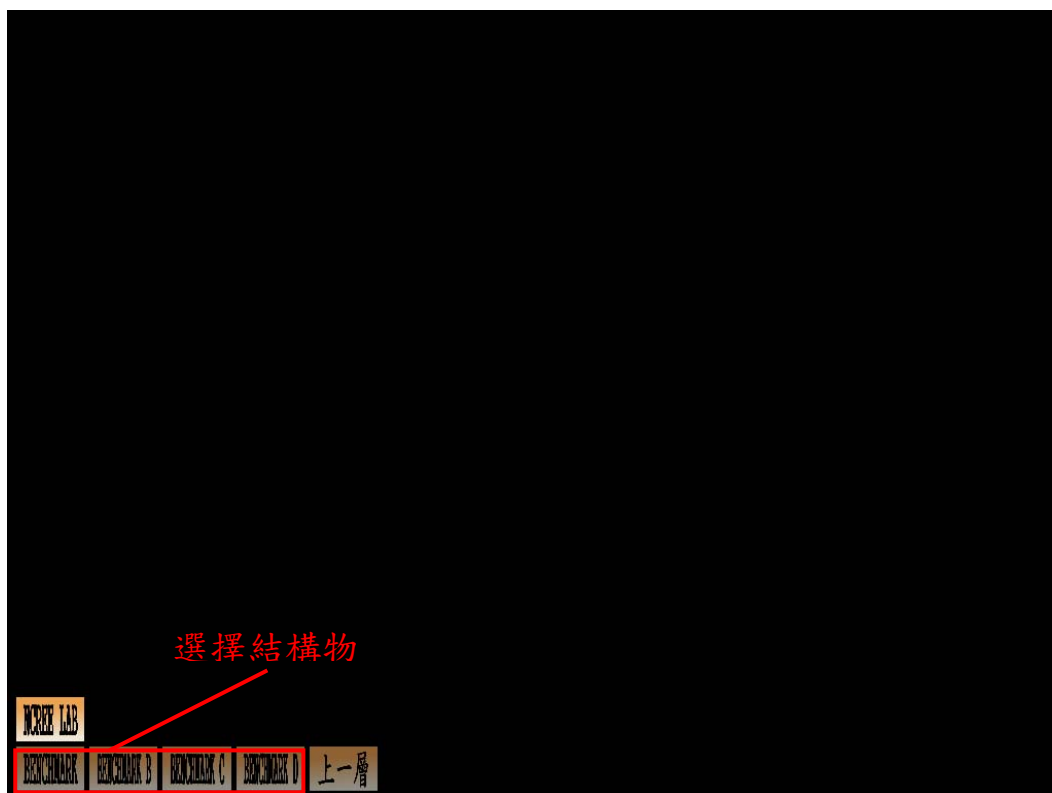


圖5-5 範例一：選擇結構物，當滑鼠不在案件上，只顯示結構物之選項



圖5-6 範例一：當滑鼠在案件上，則出現結構物此結構物為 Benchmark A，左上方為 Benchmark A 資訊



圖5-7 範例一：當滑鼠一直在案件上，鏡頭會移動以不同角度觀察 Benchmark A

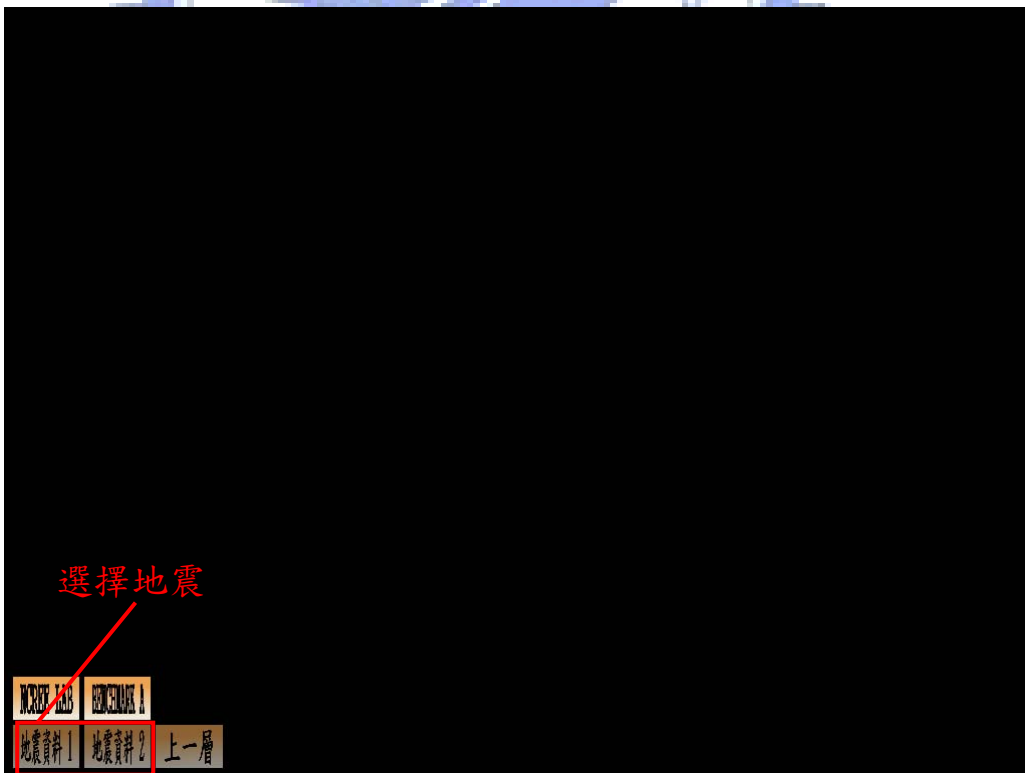


圖5-8 範例一：選擇地震

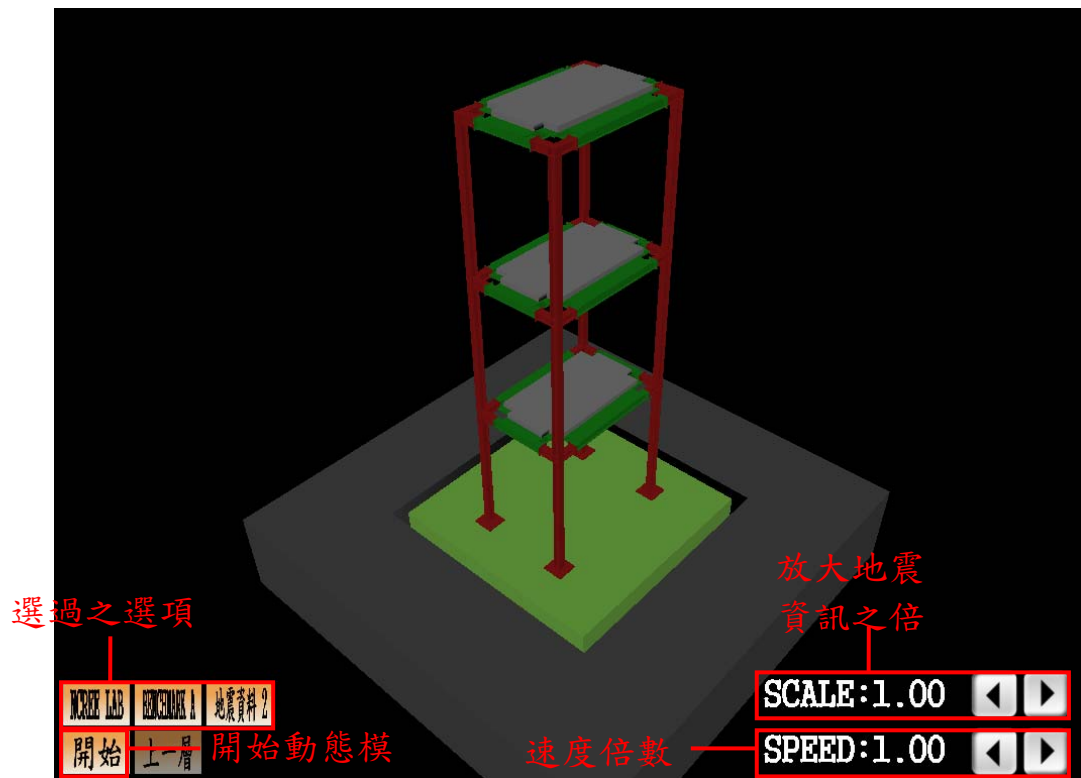


圖5-9 範例一：選擇完成所呈現之整體結構物



圖5-10 範例一：當滑鼠碰到結構物柱時，左下方會出現柱斷面資訊

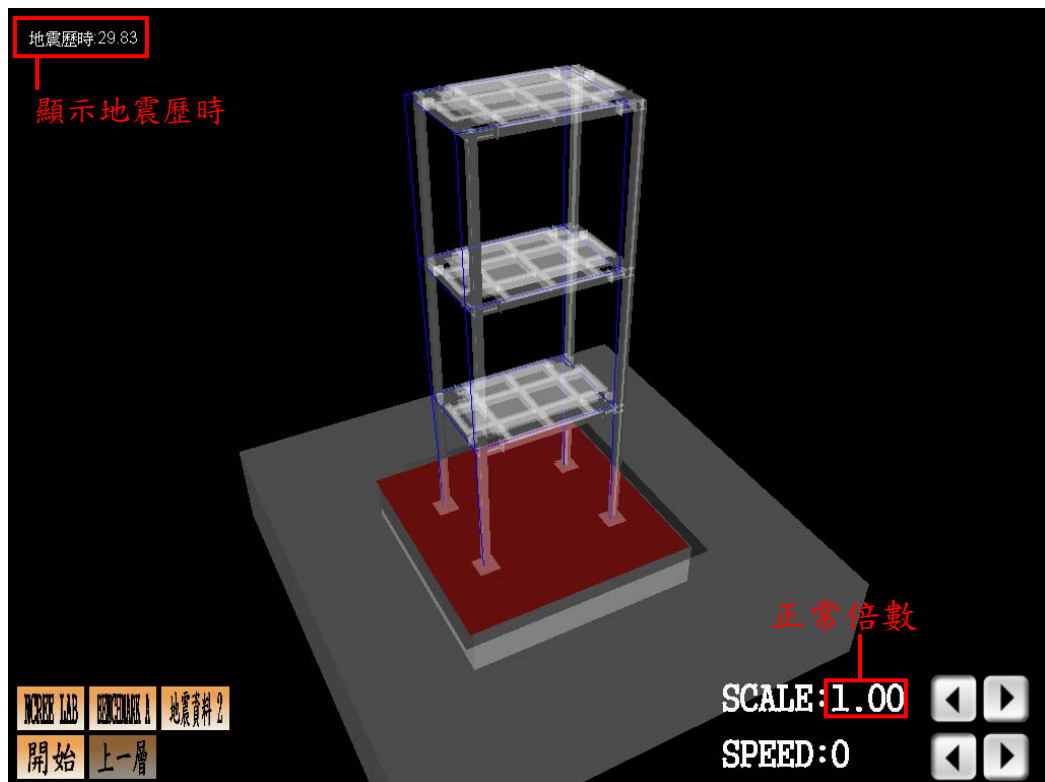


圖5-11 範例一：開始動態模擬，此時所有結構物皆成為半透明狀，地震資訊正常模擬

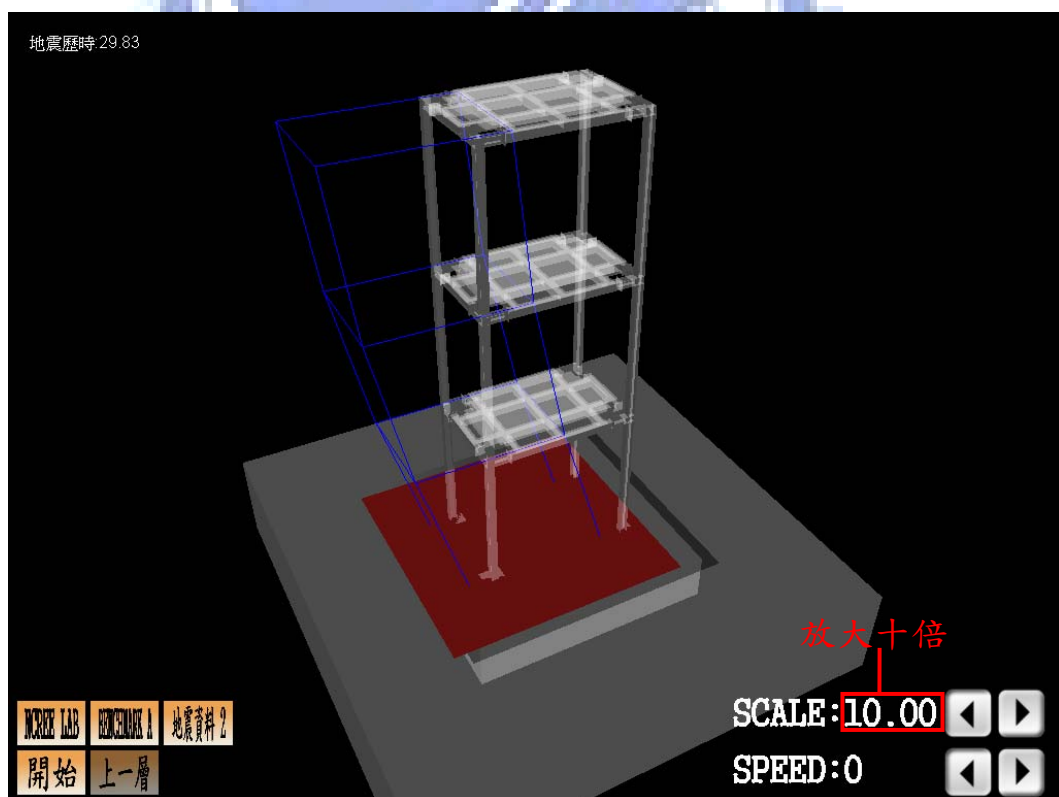


圖5-12 範例一：開始動態模擬，地震資訊以十倍數模擬

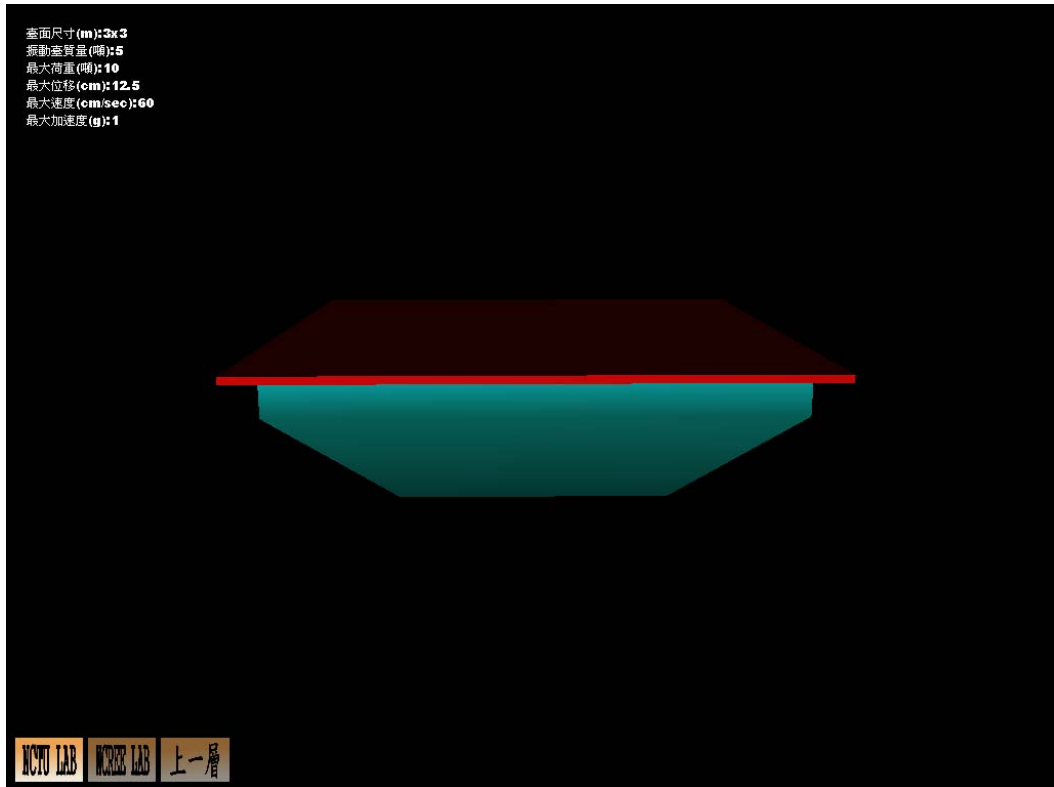


圖5-13 範例二：NCTU 震動台，左上方為震動台資料

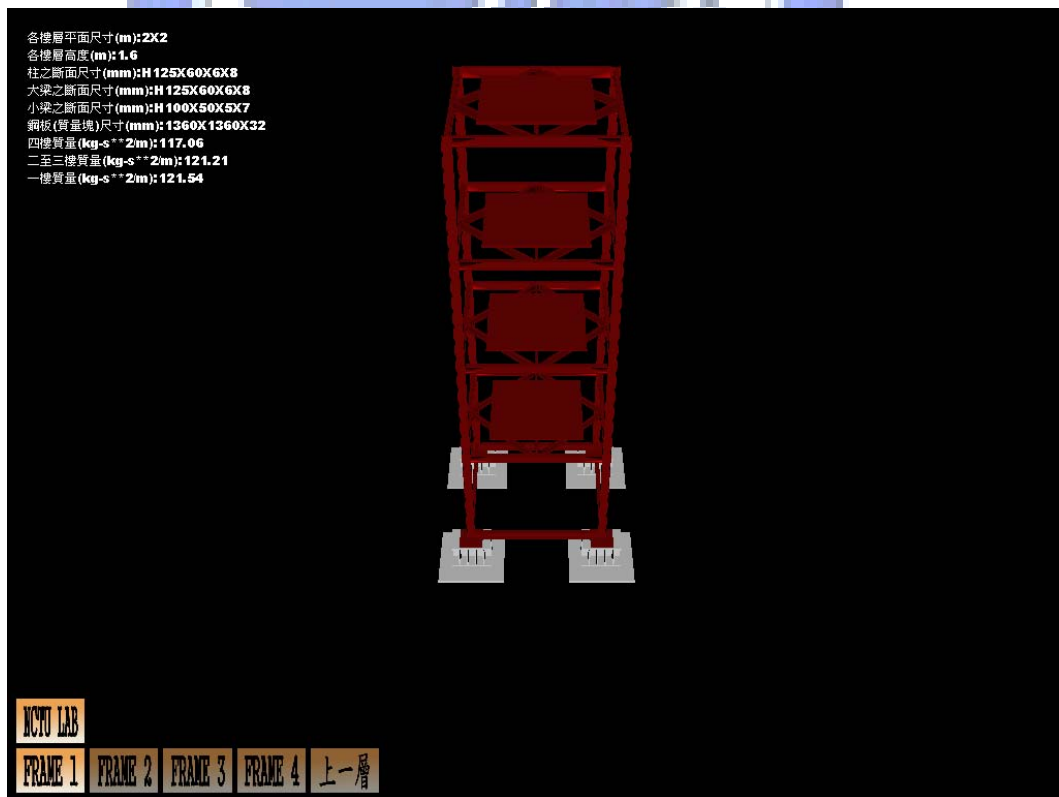


圖5-14 範例二：當滑鼠在案件上，則出現結構物此結構物為一自行設計之四層樓鋼結構物，左上方為此結構資訊

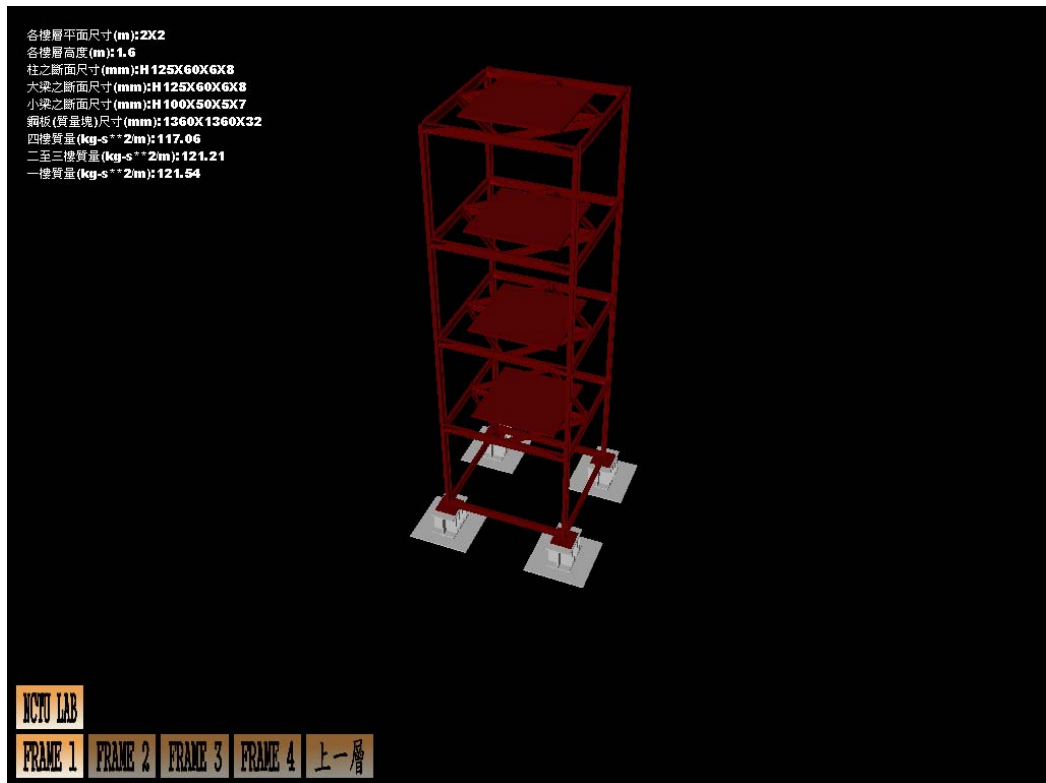


圖5-15 範例二：當滑鼠一直在案件上，鏡頭會移動以不同角度觀察結構物

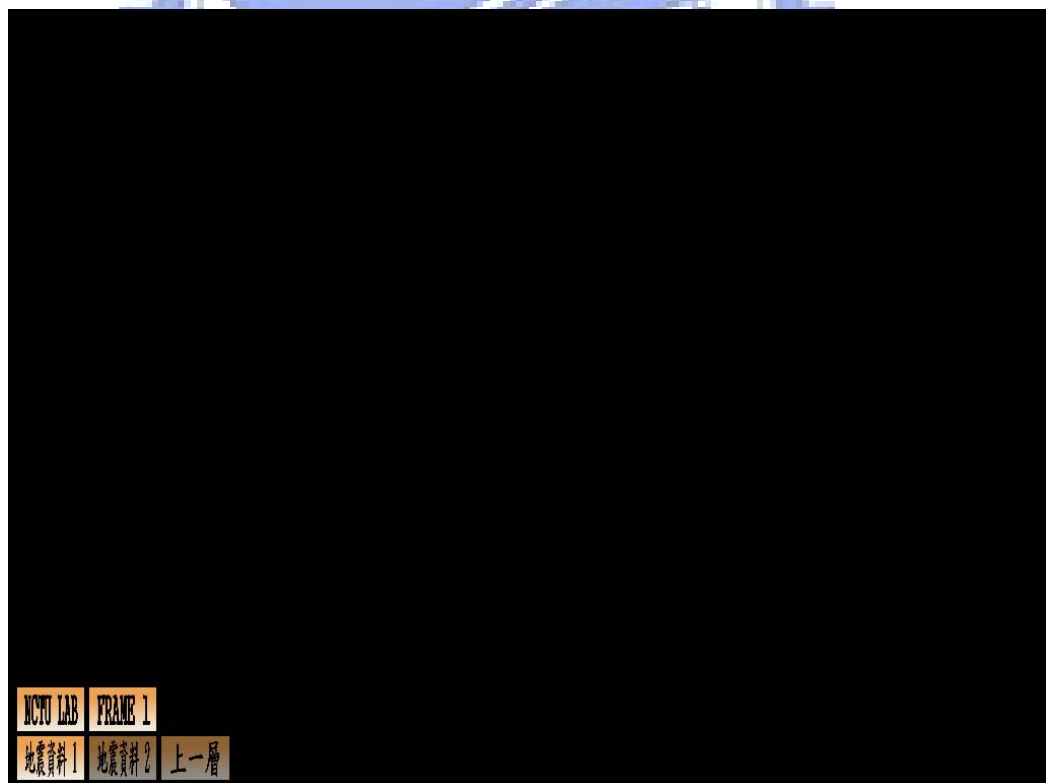


圖5-16 範例二：選擇地震

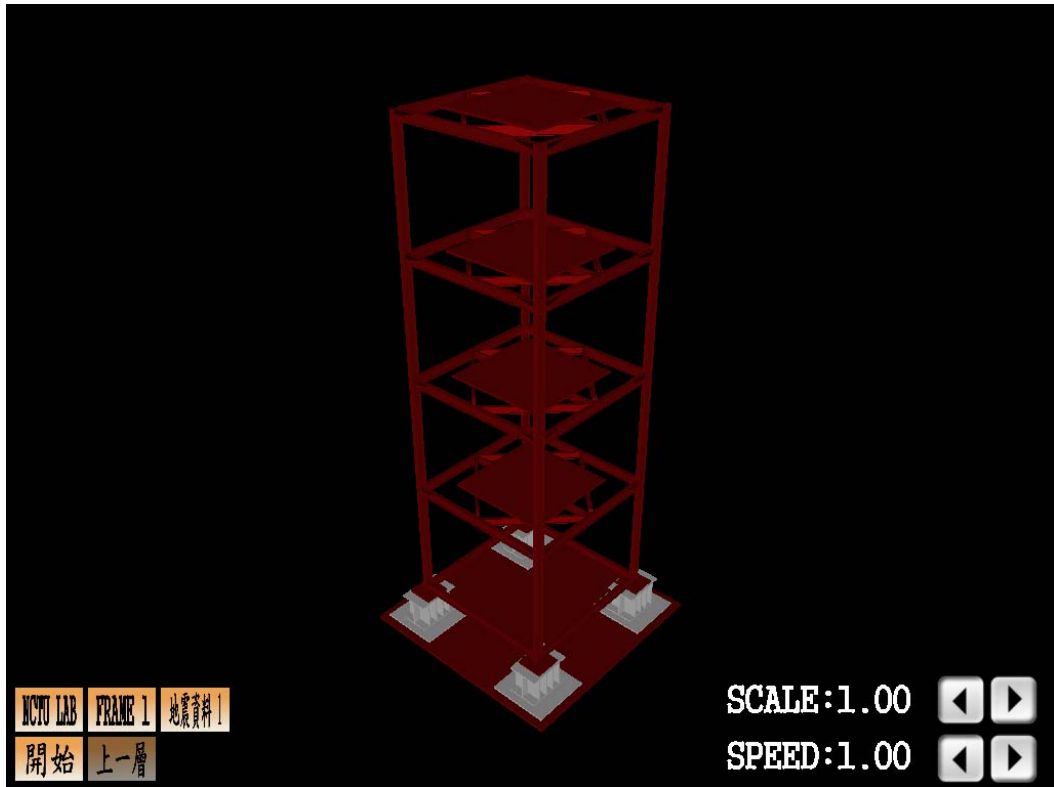


圖5-17 範例二：選擇完成所呈現之整體結構物



圖5-18 範例二：開始動態模擬

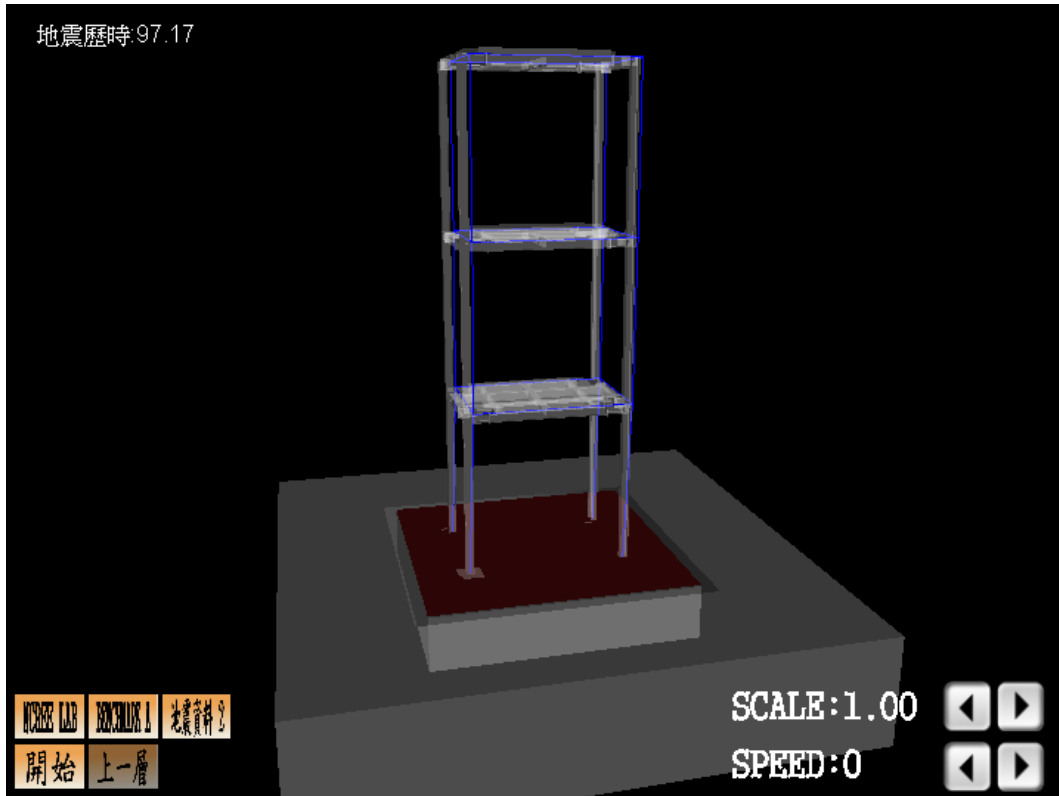


圖5-19 結構物最後不再是原來的形狀

	A	B	C	D	E	F	G	H
4845	-4.23E-05	0.116259	-0.00048	0.141723	-0.0012	0.146024	-0.00181	
4846	-6.52E-05	0.116278	-0.00049	0.14179	-0.0012	0.146123	-0.00183	
4847	-5.75E-05	0.116319	-0.00052	0.141827	-0.0012	0.146215	-0.00183	
4848	-6.52E-05	0.116397	-0.00059	0.14187	-0.00122	0.146245	-0.00183	
4849	-5.75E-05	0.116529	-0.00058	0.141973	-0.0012	0.146245	-0.00183	
4850	-5.75E-05	0.116635	-0.00057	0.142071	-0.0012	0.146253	-0.00181	
4851	-4.99E-05	0.116708	-0.00058	0.142169	-0.00121	0.14623	-0.0018	
4852	-4.23E-05	0.116777	-0.00059	0.142266	-0.0012	0.146237	-0.00181	
4853	-5.75E-05	0.116809	-0.0006	0.142364	-0.0012	0.146245	-0.00182	
4854	-4.99E-05	0.116813	-0.00058	0.142413	-0.0012	0.146268	-0.00181	
4855	-6.52E-05	0.116786	-0.00058	0.142431	-0.00119	0.146321	-0.00185	
4856	-5.75E-05	0.116772	-0.00057	0.142425	-0.0012	0.146436	-0.00186	
4857	-5.75E-05	0.116763	-0.00055	0.142419	-0.00119	0.14655	-0.00186	
4858	-4.99E-05	0.116726	-0.00054	0.142382	-0.0012	0.146665	-0.00189	
4859	-4.99E-05	0.116703	-0.0005	0.142358	-0.00122	0.146794	-0.00186	
4860	-4.23E-05	0.116667	-0.00048	0.142321	-0.0012	0.146833	-0.00187	
4861	-4.99E-05	0.116612	-0.00047	0.14234	-0.00121	0.146855	-0.00189	
4862	-5.75E-05	0.116598	-0.00048	0.14234	-0.00121	0.146825	-0.00186	
4863	-4.99E-05	0.116603	-0.00048	0.142352	-0.0012	0.146779	-0.00182	
4864	-4.99E-05	0.116612	-0.00048	0.142334	-0.00122	0.14671	-0.00184	
4865								

震動台位移 第一層位移 第二層位移 第二層位移

圖5-20 結構物的位移資料

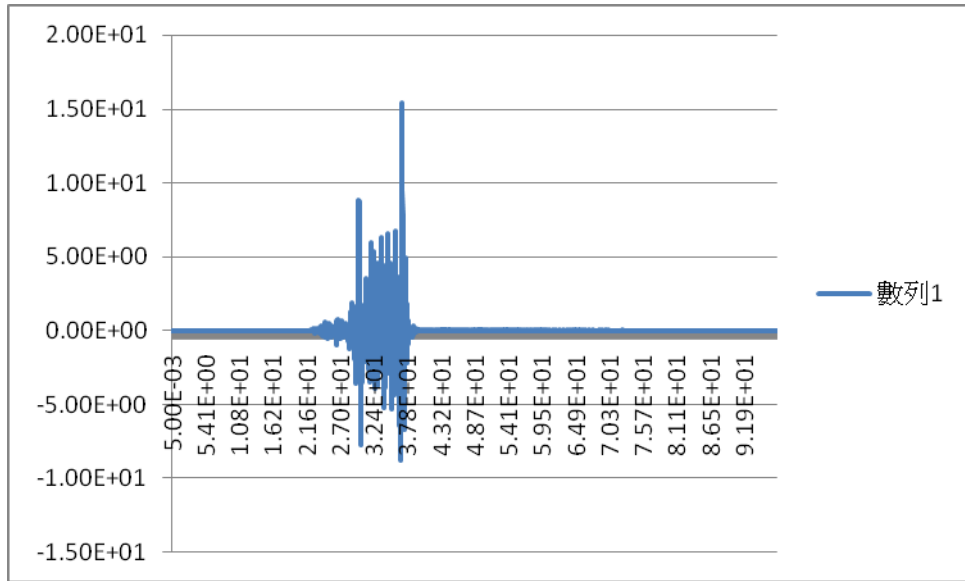


圖5-21 地震歷時資料

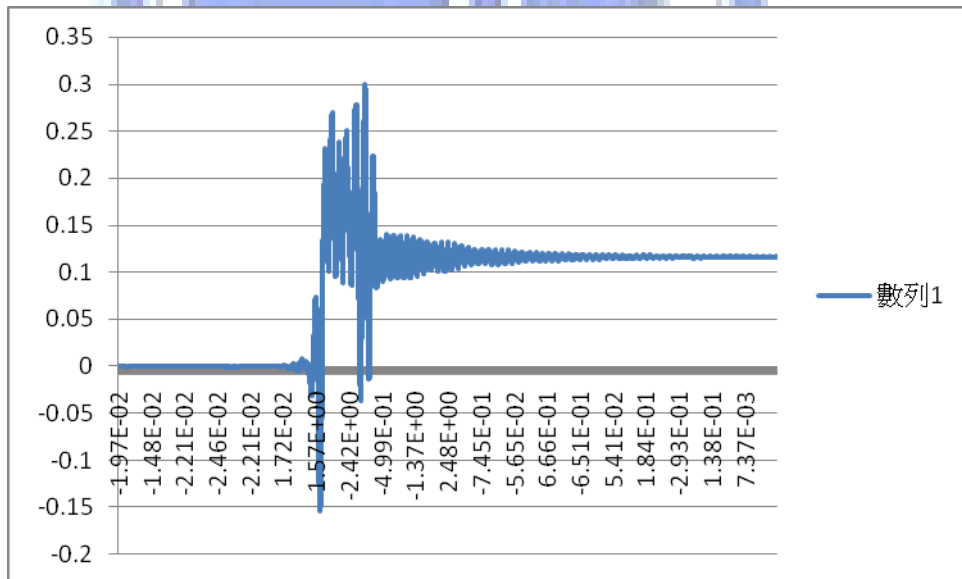


圖5-22 Benchmark 一層樓位移資料

第六章 結論與建議

6-1 結論

本研究之目的在提出虛擬實驗室架構，以此架構為基礎成為系統架構，利用 3D 建模與 3D 互動工具，結合本研究所提出之架構完成本研究系統，以國家地震中心實驗和交通大學實驗來驗證本研究，系統中除了可提供靜態的基本資料外，還結合虛擬實境，利用實驗數據重現震動台實驗，使用者可利用本系統更直覺式的了解實驗。透過實例驗證，本研究歸納出了以下之結論：

1. 本研究中，以七個要點規畫虛擬實驗室架構，未來虛擬實驗室具備了整合實驗室資源、導覽(簡介)實驗室、提供實驗資料、實驗重現、數值分析、實驗申請、網路化等功能，本研究縮小整個虛擬實驗室架構，以此架構完成實驗重現之部分，並以兩個實例驗證之。
2. 同一個結構物通常會以改變一些條件去重複做實驗，可能改變地震力，改變結構物的勁度等，所以會出現許多資料，如果這些資料沒有分門別類去統整，使用者很難有效率的找到所需的資料，本研究提供了一個資料統整的架構，在這架構下可以有規則的增加新資料，使用者可以依照這個規則有效率的找到所需要資料。
3. 以虛擬實境的概念使實驗重現，使用者不再需要憑靠想像力去模擬 3D 資訊，使用者可以很直覺的觀看實驗，且不同於實驗之影像只能由固定角

度去觀看實驗，在虛擬實境中，使用者可依照需求任意變換視角。對於沒做過實驗的人，單憑圖片或文字，很難理解其中的資訊，本系統提供了 3D 資訊讓沒做過實驗的人也能輕易了解實驗。

4. 本研究資料皆經過編輯，方便修改和加入新的資料，若有一筆新的資料要加入，先以 3ds max 建模，匯入模型和實驗數據，套用範例之邏輯運算，再增加文字訊息，即可增加一筆新的資料，在建模方面，也提供了基本尺寸的斷面，如不是形狀特殊之模型，皆可快速建立 3D 模型。

6-2 建議

就整體系統功能而言，還有許多可供參考改進的，在此提供幾點建議

參考改進：

1. 本研究提供實驗重現部分，未來可結合軟體分析數據，把分析之數據以實驗重現之方法呈現，甚至可把分析數據跟實驗數據做同步比對，可驗證分析之正確程度。
2. 本研究在建模方面，一個實驗即為一個模型，但做實驗時，有許多物件為基本尺寸，如能把一些基本尺寸改為內建，不需以 3ds max 建模匯入，在增加新資料的效率上又可提升不少
3. 本研究以鍵盤和滑鼠作為輸入工具，螢幕為影像輸出工具，未來如能利用力回饋手套與頭盔式顯示器為輸入和輸出的工具，可以讓使

用者更有身歷其境的感受。

4. 本研究所取的資料不多，但資料每次開啟程式所有資料均被開啟，會浪費很多時間，如能把每一部分資料包成更小之物件，當需要資料時才開啟會省下不少時間。
5. 承第 4 點，包裝成獨立之封包之後，因為開起每一個封包時間不多，加上程式可發布成網路，可以在 server 端保存大多數的資料，而使用者也可以透過網路來使用程式，使程式使用上更為便利。



- [1]林政宏，深入虛擬實境 VR，基峯資訊股份有限公司，台北，1997。
- [2]林志勇等編著，認識虛擬實境，全華科技圖書公司，台北，2006。
- [3]錢昱豪，應用虛擬實境技術建構線上設計工作室之研究，國立成功大學，碩士論文，2004。
- [4]黃邕鈞，數位編織-虛擬環境中資訊視覺化探討，國立成功大學，碩士論文，2004。
- [5]張競仁，電腦動畫模擬結構物之動力反應：TMD 之減振效果，國立交通大學，碩士論文，1996。
- [6]Burdea, G. ,Coiffet, P. ,Virtual Reality Technology, A Wiley-Interscience Publication, N.Y. ,1993.
- [7]Heesom D. , Mahdjoubi L. ,ProverbsA D. , Dynamic VR System For Visualizing Construction Space Usage, ASCE Construction Research Congress, Hawaii, 2003.
- [8]邱泰龍，虛擬實境在營建用機器人上之應用，國立交通大學，碩士論文，1998。
- [9]Windschitl, M. , & Winn, B. , A Virtual Environment Designed to Help Students Understand Science. , Fourth International Conference of the Learning Sciences, N. J. , 2000.
- [10]Pimentel, K. , Teixeira, K. , Virtual Reality Through The New

Looking Glass, 2nd ed, McGraw-Hill, N.Y. , 1995.

- [11]王冠凱，液流阻尼器全尺寸結構防震功能之震動台測試，國立成功大學，碩士論文，2002。
- [12]黃軍棠，結構實驗 3D 資訊處理系統之研究，國立台灣大學，碩士論文，2006。
- [13]楊長璋，知識管理應用於營建工程-以職業災害為例，國立交通大學，碩士論文，2004。
- [14]林沛暘等編著，標竿鋼構樓房震動台測試（一），國家地震工程研究中心，台北，2005。
- [15]溫俊明，類神經網路結構健康監測及破壞診斷之分析與實驗研究，國立交通大學，博士論文，2004。
- [16]黃永達等編著，3ds max4 全記錄，文魁資訊股份有限公司，台北，2001。
- [17]吳權威、呂琳琳，3ds max4 動畫製作實務，基峯資訊股份有限公司，台北，2002。
- [18]江高舉，3ds max7 私房教師，金禾資訊股份有限公司，台北，2005。
- [19]李逢春、黃俊銘，Quest 3D 互動多媒體設計寶典，中華民國全安教育推廣協會，台北，2006。
- [20]虛擬實境相關網站，<http://www.ship.org.tw/vr/index.asp>
- [21]虛擬實境相關網站，http://doctor_c.caece.net/mute/cae/1vr.html

[22] 虛擬實境相關網站，

<http://www.86vr.com/case/others/200507/6076.html>

[23] 虛擬實驗室相關網站，

<http://general.chemistry.pu.edu.tw/test/study/index.htm>

[24] 虛擬實驗室相關網站，

<http://www.c-science.com/txt/tc/sc/980123sc.htm>

[27] 虛擬實驗室相關網站，<http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/index.html>

[28] 虛擬實驗室相關網站，<http://www.quest3d.com/>

[28] 艾伯特電通，<http://www.vrcradle.com/show.html>

