

虛擬實境應用於結構動力分析模擬

學生：鍾勁威

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，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複雜資訊的效率。本研究之目的在設計一個有互動式及視覺化等特性之虛擬實境來呈現的結構動力分析系統，讓使用者能以最有效率的方式設計建物、並且模擬建物在地震力作用下的動力反應。

本模擬系統在視窗環境作業中，結合物件導向程式設計以及 3D 電腦繪圖技術來開發，工具為 Microsoft Visual Studio .NET 2003，使用 Win32 作為 API (Application Program Interface) 開發環境，使用者可利用下拉式選單以及彈出視窗等完成正確的設計建物步驟，以及採用 DirectX 9.0 為開發 3D 電腦繪圖應用程式的 API，讓設計流程的資訊視覺化，建物的動力模擬顯示更具有真實性以及互動性。在建物設計的過程中，視窗畫面可即時顯示各項設計步驟的視覺呈現；在動力模擬的過程中，使用雙視窗比較相同建物在不同隔減震控制裝置下所發生的動力反應，以及動態呈現放置不同位置、種類的感測器所量測到的不同資料反應圖。

關鍵字：虛擬實境、結構動力分析、電腦繪圖

The Application Of Virtual Reality in Simulating the Dynamic Analysis of Structures

Student: Chin-Wei Chung

Advisor: Dr. Shih-Lin Hung

Department of Civil Engineering College of Engineering

National Chaio Tung University

ABSTRACT

In recent years, 3D computer graphics technology has been developed rapidly. The application of virtual reality (VR) is able to enhance the efficiency of editing complicated information for design such as behavior of structures. The purpose of this thesis is to develop a system for simulating dynamic analysis of structures displayed by VR with the capability of interaction and visualization. Thus, the interactive VR system enables users to design structures with more efficient tool and to simulate the 3D dynamic responses of buildings under earthquakes.

This system is designed and developed using the object-oriented and 3D computer graphics techniques in the Microsoft Windows environment, and is implemented using Microsoft Visual Studio .NET 2003. Win32 program design is used to develop the Application Program Interface (API), and it also supports various user-interfaces, such as pull-down menus and pop-up menus to guide the user to run the system easily. DirectX 9.0 is used to develop the API of 3D computer graphics for information visualized, and the dynamic simulation of structures will be displayed smoothly and have more efficiency in interaction. During the process of dynamic simulation, a window is designed to display and compare with different control device, and display the data diagram for the different placement and different kind of the sensor in real time.

Keywords: Virtual Reality, Dynamic Analysis of Structures, Computer Graphics

誌謝

研究所生涯終於進入了尾聲，在這裡，希望能以有限的文字來表達我對大家的無限感激。首先要感謝指導教授 洪士林老師，永遠記得當初剛考上研究所時，老師對讓我所說的話”希望每個學生都能找到自己的伯樂”，雖然我不是一匹良馬，但是老師確實是學生的伯樂，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。

而在口試期間，感謝交通大學林昌佑老師、黃炯憲老師及鄭復平老師的悉心指教，由幽默談諧的言談之中，提供許多難能可貴的意見，藉此論文中不足之處才得以修正。在此至上誠摯的謝意。

在研究的過程中，得到許多同學、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。首先感謝研究室洪門大師兄阿詹哥君治學長，來往中壢及新竹交大與女友之間，不辭千辛萬苦地給予指導以及意見，在輕鬆的討論風氣之下，能夠以愉快的心情完成研究。再來是跟我同窗的研究所同學和學長，無論是在娛樂、運動、學業方面，都陪我一起度過這美好的研究所生活。特別感謝高中好友智耀和彥儒，非常熱心且不厭其煩的教導和解惑關於輔所課業的疑惑；頌恩學長致力營造研究室之和樂融融快樂氣氛，以及在我最失落的時候給予最真誠的鼓勵；學弟小龜、阿水、熱舞安在論文撰寫時，給予關鍵時刻的精神打氣，以及心寬體胖的心農、熱愛機車的忠錦和謙遜有禮的宏宇，提供充滿視覺娛樂與歡笑的生活回憶；也在此感謝系籃學弟們不時地關心與加油。

最後，感謝我最愛的爸爸、媽媽及姊姊的支持與關心，特別是爸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，感謝女友伊凡為我加油打氣，且豐富了我的研究所生活，使之更加多采多姿。僅以本論文獻給我最愛的家人以及所有關心我的朋友們。

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 研究背景..... | 1 |
| 1.2 研究動機..... | 1 |
| 1.3 研究目的..... | 2 |
| 1.4 研究方法..... | 2 |
| 1.5 論文架構..... | 3 |
| 第二章 虛擬實境相關文獻探討..... | 6 |
| 2.1 虛擬實境之定義..... | 6 |
| 2.2 虛擬實境軟硬體介紹..... | 7 |
| 2.3 虛擬實境之建築應用..... | 8 |
| 2.4 虛擬實境之營建工程應用..... | 9 |
| 2.4.1 建築施工狀況及營建空間模擬 | 9 |
| 2.4.2 作業程序模擬 | 11 |
| 第三章 系統設計之工具軟體..... | 16 |
| 3.1 WINDOWS程式設計..... | 16 |
| 3.1.1 基本Windows程式簡介 | 16 |
| 3.1.2 Windows中訊息處理說明 | 17 |
| 3.1.3 程式進入點 | 17 |
| 3.1.4 資源檔案簡介 | 19 |
| 3.2 DirectX程式庫..... | 19 |
| 3.2.1 何謂DirectX | 19 |
| 3.2.2 為何使用DirectX | 21 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 3.3 物件導向設計..... | 21 |
| 3.3.1 物件導向語言的基本定義 | 21 |
| 3.3.2 使用物件導向設計的原因 | 22 |
| 第四章 系統架構、分析與設計..... | 25 |
| 4.1 系統簡介..... | 25 |
| 4.2 系統程式執行流程..... | 25 |
| 4.3 場景攝影機設計..... | 27 |
| 4.4 建物之結構設計..... | 28 |
| 4.4.1 樓層數及樓版種類與尺寸設定 | 28 |
| 4.4.2 設定柱位置 | 29 |
| 4.4.3 柱斷面設定 | 29 |
| 4.4.4 設定各樓層的相關參數 | 30 |
| 4.5 感測器之設定..... | 30 |
| 4.6 結構隔減震控制系統之設定..... | 31 |
| 4.7 地震資料及震動方向之選定..... | 32 |
| 4.8 動力分析..... | 32 |
| 4.9 顯示動畫..... | 36 |
| 4.9.1 顯示感測器之量測數據 | 36 |
| 4.9.2 結構物動態顯示之係數設定 | 36 |
| 4.9.3 動畫呈現 | 36 |
| 第五章 範例操作..... | 42 |
| 5.1 五層 L 型樓版結構範例設計..... | 42 |
| 5.1.1 設計結構資料—Config | 42 |
| 5.1.2 放置感測器—SelectSensor | 43 |
| 5.1.3 設置結構隔減震控制系統—Ctrl-Device | 44 |
| 5.1.4 選擇地震資料及震動方向—Quake | 44 |
| 5.1.5 分析計算—Analysis | 44 |
| 5.1.6 動態模擬—Simulation | 44 |
| 5.2 兩種樓版複合結構範例設計..... | 45 |
| 5.3 匯入外部地震資料..... | 46 |

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 5.4 討論..... | 46 |
| 第六章 結論與建議..... | 75 |
| 6.1 結論..... | 75 |
| 6.2 未來展望與建議..... | 75 |
| 參考文獻..... | 77 |
| 附錄一 WINMAIN程式碼..... | 80 |
| 附錄二 每層樓為三個自由度的大樓勁度矩陣..... | 82 |
| 附錄三 每層樓為三個自由度的大樓質量矩陣..... | 83 |



表目錄

| | |
|---------------------------------|----|
| 表 2-1 虛擬實境系統 | 13 |
| 表 2-2 虛擬實境在建築運用之案例 | 14 |
| 表 5-1 範例一：五層L型樓版結構之輸入資料 | 48 |
| 表 5-2 範例二：十層兩種樓版複合結構之輸入資料 | 49 |
| 表 5-3 範例三：七層矩形樓版結構之輸入資料 | 50 |



圖目錄

| | |
|---------------------------------------|----|
| 圖 1-1 研究方法流程圖 | 5 |
| 圖 2-1 建築物生產過程 | 15 |
| 圖 3-1 視窗中最重要的幾個GUI元件 | 24 |
| 圖 3-2 沒有陰影的部分表示需要偵錯的程式碼： | 24 |
| 圖 4-1 系統展示圖 | 38 |
| 圖 4-2 系統架構圖 | 39 |
| 圖 4-3 定義攝影機在世界座標中的相對位置及方向的攝影機向量 | 39 |
| 圖 4-4 繞著攝影機的右向量旋轉 | 40 |
| 圖 4-5 繞著攝影機的上向量旋轉 | 40 |
| 圖 4-6 沿著攝影機的方向向量移動 | 40 |
| 圖 5-1 系統初始畫面 | 51 |
| 圖 5-2 範例一：操控熱鍵清單 | 51 |
| 圖 5-3 範例一：設計樓版之主對話盒以及樓版形狀輔助圖 | 52 |
| 圖 5-4 範例一：設定第一種樓版尺寸 | 52 |
| 圖 5-5 範例一：完成SELECT SLAB步驟後之系統展示 | 53 |
| 圖 5-6 範例一：設計樓版尺寸及位置之子對話盒 | 53 |
| 圖 5-7 範例一：完成SET BAYS步驟後之系統展示 | 54 |
| 圖 5-8 範例一：設定柱斷面種類之對話窗 | 54 |
| 圖 5-9 範例一：設定結構物的柱子尺寸與樓版載重之對話窗 | 55 |
| 圖 5-10 範例一：結構物各柱子編號 | 55 |
| 圖 5-11 範例一：整體結構物之呈現 | 56 |
| 圖 5-12 範例一：選擇感測器種類以及放置感測器 | 56 |
| 圖 5-13 範例一：輸入TMD之參數 | 57 |

| | |
|---|----|
| 圖 5-14 範例一：選擇地震以及放大係數 | 57 |
| 圖 5-15 範例一：選擇地震方向 | 58 |
| 圖 5-16 範例一：顯示自然頻率變化之對話窗 | 58 |
| 圖 5-17 範例一：選擇繪製感測器資料歷時圖 | 58 |
| 圖 5-18 範例一：設定動畫顯示狀態 | 59 |
| 圖 5-19 範例一：動畫展示模式—45 度俯視圖 | 59 |
| 圖 5-20 範例一：動畫展示模式—側視圖 | 60 |
| 圖 5-21 範例一：動畫展示模式—俯視圖 | 60 |
| 圖 5-22 範例一：動畫展示模式—3 樓 X 方向加速度感測器量測資料圖 | 61 |
| 圖 5-23 範例一：動畫展示模式—4 樓 X 方向位移感測器量測資料圖 | 61 |
| 圖 5-24 範例一：動畫展示模式—1 樓 X 方向位移感測器量測資料圖 | 62 |
| 圖 5-25 範例一：動畫展示模式—1 樓 Y 方向位移感測器量測資料圖 | 62 |
| 圖 5-26 範例二：各樓版在 X-Y 平面中之位置 | 63 |
| 圖 5-27 範例二：各樓版柱子在 X-Y 平面中之位置 | 63 |
| 圖 5-28 範例二：設定結構物的柱子尺寸與樓版載重之對話窗 | 64 |
| 圖 5-29 範例二：整體結構物之呈現 | 64 |
| 圖 5-30 範例二：選擇感測器種類以及放置感測器 | 65 |
| 圖 5-31 範例二：輸入 TMD 之參數 | 65 |
| 圖 5-32 範例二：選擇地震以及放大係數 | 66 |
| 圖 5-33 範例二：選擇地震方向 | 66 |
| 圖 5-34 範例二：顯示自然頻率變化之對話窗 | 67 |
| 圖 5-35 範例二：設定動畫顯示狀態（位移放大 30 倍） | 67 |
| 圖 5-36 範例二：動畫展示模式—無裝設隔減震裝置（X 方向位移） | 68 |
| 圖 5-37 範例二：動畫展示模式—無裝設隔減震裝置（Y 方向位移） | 68 |
| 圖 5-38 範例二：動畫展示模式—裝設 TMD 隔減震裝置（X 方向位移） ... | 69 |
| 圖 5-39 範例二：動畫展示模式—裝設 TMD 隔減震裝置（Y 方向位移） ... | 69 |

| | |
|---|----|
| 圖 5-40 範例三：樓版在 X Y 平面中之位置 | 70 |
| 圖 5-41 範例三：各樓版柱子在 X-Y 平面之位置 | 70 |
| 圖 5-42 範例三：整體結構物之呈現 | 71 |
| 圖 5-43 範例三：選擇感測器種類以及放置感測器 | 71 |
| 圖 5-44 範例三：自行匯入地震資料 | 72 |
| 圖 5-45 範例三：地震資料歷時圖 | 72 |
| 圖 5-46 範例三：選擇地震方向 | 73 |
| 圖 5-47 範例三：顯示自然頻率變化之對話窗 | 73 |
| 圖 5-48 範例三：動畫展示模式—裝設七樓 X 方向的位移感測器 | 74 |
| 圖 5-49 範例三：動畫展示模式—裝設三樓 X 方向的位移感測器 | 74 |



第一章 緒論

1.1 研究背景

“虛擬實境”（Virtual Reality, VR）為近年來所發展的動態即時性的電腦模擬技術，以電腦所產生的三度立體空間，提供使用者感官上之擬真效果，改變了傳統電腦輔助設計（Computer Aided Design，簡稱CAD）被動靜態的資訊傳達方式。利用虛擬實境的互動方式，與感官沈迷（Immersion）的資訊呈現方式，可以達到人機介面的易學易用，與訊息內容的有效傳達。就目前虛擬實境在建築之應用領域可包括：（1）建築物場景模擬，（2）室內設計模擬，（3）物理環境模擬，（4）防災模擬，（5）施工過程模擬，與（6）行為模擬等。經由空間的行為資訊（包括了視覺觀察、操作行為、及時動態的互動程序等）的綜合評估，可提供進行執行的決策資訊，並且提升對於資訊理解的效率。

台灣位於環太平洋地震帶中，而地震的發生難以預測，因此降低地震所造成的災害便相當重要。一般而言，要降低結構物動力反應方法有增加結構阻尼和改變結構的自然頻率等，然而，降低地震災害除了採用降低結構物動力反應之外，建築物的外觀造型以及結構設計即是影響結構物動力反應之因素，因此土木工程中耐震設計的研究非常關鍵。現今地震資料的蒐集完整，為了能夠充分利用這些地震資料，配合電腦的快速運算，可提供結構動態行為模式的電腦繪圖動畫模擬。

1.2 研究動機

電腦科技應用於結構分析已有多年，電腦輔助設計的目的在幫助設計者於設計分析的過程中預覽結果及快速修正。現今結構分析軟體的動畫層級僅止於二維呈現或固定角度的3D模擬，故無法滿足使用者在空間上幾何資訊的需求。結構分析過程中需要使用到許多結構物相關資訊，例如：結構物的平面柱線圖、梁柱構件斷面尺寸、承受的外力（活載重、死載重）、動力資料（地震力、風力）等

設計資訊。結構分析完成後，若分析結果不滿足設計之要求，則必須重新設定結構物相關資訊，並重覆相同分析工作。近年來電腦繪圖技術及電腦輔助設計蓬勃發展，結合虛擬實境與動力分析系統，將繁複的分析數據，以 3D 空間電腦動畫方式呈現在虛擬實境之中，利用其互動性及沈浸性的優點，可協助使用者進行系統模擬或工作預覽；在動力模擬狀態時，可沈浸其中實地觀測，提供分析過程之決策與檢討，易於分析數據的理解。

1.3 研究目的

傳統的結構設計只是單純的文字資料的輸入，在對應至 3D 空間的幾何概念，往往是抽象而難以理解的，而動力分析所產生的資料量上非常龐大，對於設計者而言，在數據的理解往往沒有效率且沒有幾何意義。在此，若能在設計流程之中，將輸入的設計數據，於 3D 空間中以實體呈現其即時之幾何及空間資訊，則可幫助理解結構外觀設計與結構動力行為之間的互相影響，並且設計可於數據分析後，輔以電腦動畫將結構於地震歷時所產生的動力行為呈現於分析系統，使用者可以即時觀看各時間歷時的動態模擬。

本篇論文主要目的為發展一套虛擬實境技術結合結構動力分析模擬系統，設計在動力分析的動畫模擬時，使用者能夠自由改變在虛擬實境中的觀察位置與場景進行互動，對於整體結構物的動力行為，能夠掌握更多空間上的即時資訊；並且以物件導向設計的概念開發系統，可以簡化系統發展程序、易於測試和偵錯，藉由物件導向語言可模組化的特性，使得一個軟體系統更富有彈性，未來更新系統，僅需要增加所需要擴充的物件函式，便可以讓系統的功能更加豐富和多元化。

1.4 研究方法

本篇論文的研究主要可分為以下五個階段（圖1-1）：

1. 資料的彙集與整理

收集對於虛擬實境應用於土木工程之相關文獻，瞭解現有技術以及發展

近況，統整出可研究之方向。

2. 虛擬實境與結構分析之整合

將本研究之目的與方向和彙整的文獻資料，分析出結構分析與虛擬實境呈現之間所需要的功能整合，設計出未來系統架構。

3. 系統開發與設計

依據系統功能需求，系統程式設計軟體選用的是Microsoft Visual Studio .NET 2003，以Win32作為API (Application Program Interface) 開發環境，採用DirectX 9.0為開發3D電腦繪圖應用程式的API，使用C++做為開發系統的程式語言。依照系統的設計架構，進行開發系統程式的撰寫。

4. 系統測試

系統開發完成後，進行分析設計的測試，依照系統顯示錯誤的資訊，逐步更改細部設計。

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 系統架構分析與設計

對本研究所設計的系統架構做功能性的介紹，並且於結構分析理論基礎有概

要的說明。

第五章 系統展示

以本論文所開發出的虛擬實境分析系統，實作三個結構動力分析的範例，驗證本系統的使用性及可行性。

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。



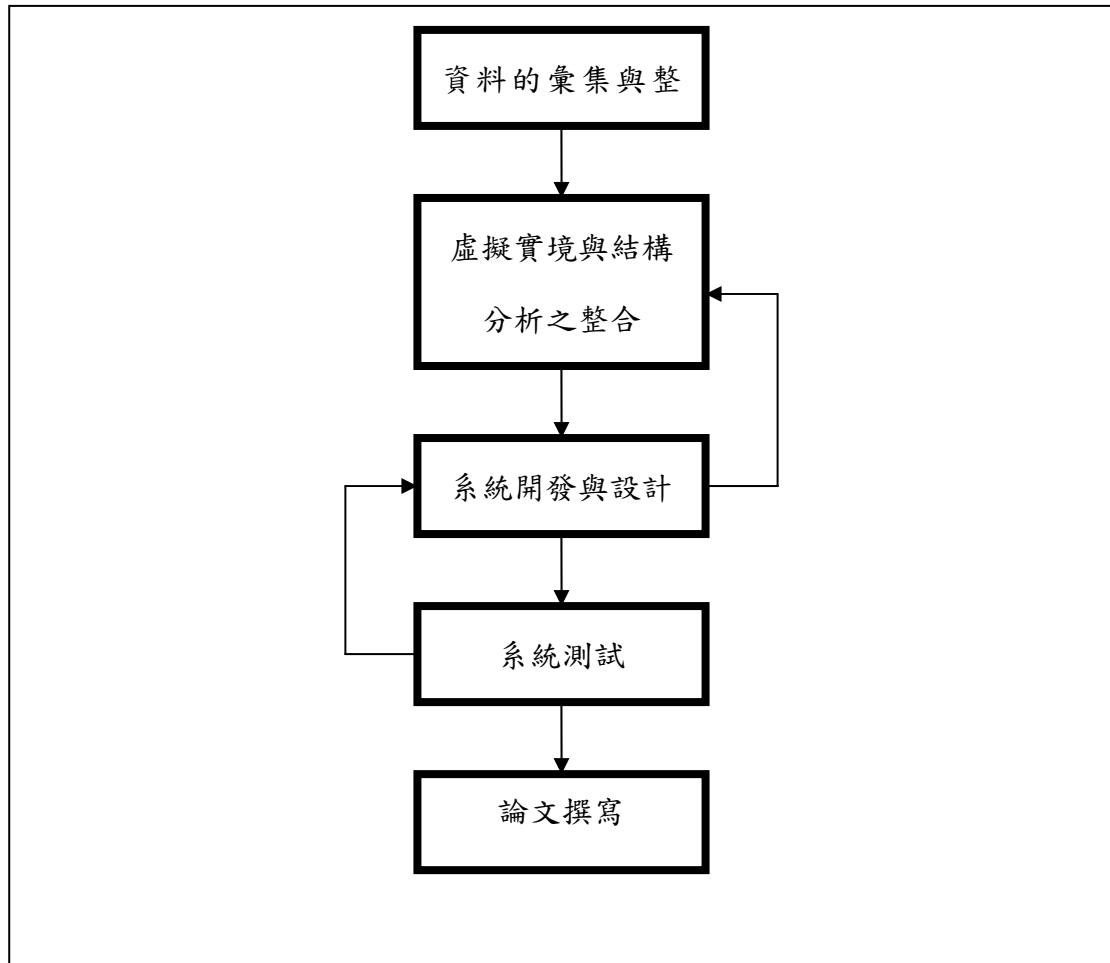


圖 1-1 研究方法流程圖

第二章 虛擬實境相關文獻探討

2.1 虛擬實境之定義

虛擬實境是利用電腦繪圖之技術模擬3D空間的擬真情景，並且藉由整合音效與其他人體感知介面，讓使用者能夠完全融入於虛擬世界之中。在此介紹兩種對虛擬實境的定義：

1. 基本定義

虛擬實境必須是電腦產生的3D立體空間，使用者可以與這空間中之物件互動，除了觀看外還可以操作其中部分物件，並可隨使用者意志自由移動，進而產生相當的融入感及參與感。虛擬實境必須掌握以下五個特性[1]：

- 由電腦產生。
- 3D 立體空間。
- 可與此空間之事物互動。
- 可隨使用者意志自由移動。
- 具有融入感及參與感。



2. 三個I的定義 [2]

- 沈迷度 (Immersion)

虛擬實境將使用者的知覺系統包圍在人為模擬的感官刺激中，系統越能夠刺激使用者的感官，沈迷的程度越高。

- 互動性 (Interaction)

因為真實世界中，人可與周遭環境的事物產生互動，所以虛擬實境便把這種人與環境間的互動性，加入虛擬世界中，讓虛擬世界更為真實。

- 想像力 (Imagination)

虛擬實境利用人類的想像力，將虛擬世界和真實事物聯想在一起。

由上述可知，虛擬實境是指一種電腦模擬互動的環境，使用者可即時且較無限制的觀察三度空間內的電腦合成模型（人、建築物等）。目前在虛擬實境技術上以視覺之發展為主，主要利用電腦產生3D空間虛擬實境以表達空間意念。透過人類之立體視覺觀察三維景物，如此可觀察物體的顏色和形狀，並可感受到它的深度和運動[3]。依據視覺產生方式即使用輸出與輸入設備不同，虛擬實境系統可區分為桌上型虛擬實境系統、侵入式虛擬實境系統、投影式虛擬實境系統、與虛擬實境模擬器四大類（表2-1）[4][5]。

2.2 虛擬實境軟硬體介紹

虛擬實境系統一般可分為四個組成部分[6]：

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[3]。以下簡介常見之虛擬實境輸入及輸出裝備：

1. 虛擬實境輸入配備

在三圍空間環境中，一個物體最多可以在六個方向上運動，即虛擬實境之參與者可以按六個自由度在虛擬實境中遨遊，並與其交互活動。一般常見之輸入裝備包括二維滑鼠器、三度空間飛鼠、手持操縱器、力矩球、立體感應手套等，其主要運用技術包括超音波、電磁、光學、機械等不同感知技術，並且透過這些感知器與虛擬世界產生互動[7]。

2. 虛擬實境輸出配備

虛擬實境輸出設備提供虛擬實境成像之設備。目前多以立體顯像方式取代傳統螢幕的平面顯示。系統使用者可透過立體眼鏡對螢幕所顯現的景物作立體觀察；亦可戴上頭盔式螢幕，將虛擬世界外的視覺刺激隔離。常見之輸出設備包括螢幕、快閃眼鏡、頭盔式螢幕等。

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有Quest3D、Virtools、EON、Virtue3D、Cult3D、View-point等。

2.3 虛擬實境之建築應用

透過虛擬實境技術之進步以及建築運用理念之多元化，對於建築之應用層面日漸廣泛。虛擬實境之應用可歸納如下幾項：建築3D視覺、建築教育與訓練、都市計畫評估與防災計畫評估、建築防火模擬、以及建築力學模擬等（表2-2）[3]，然而未來虛擬實境技術的發展快速，運用層面更不僅侷限於上述範疇。

基本上，虛擬實境在建築之應用的目的為，使用者透過仿真模擬建築物，利用VR顯示設備，進入仿真建築物，從不同角度觀看其內部空間，並可即時改變建築內外環境。虛擬實境中的3D空間即時視覺感受，在空間的理解與空間安排利用上，大幅優於傳統繪圖的建築設計。利用虛擬實境逼真的模擬能力，可協助設計者進行系統模擬或工作預覽，節省大量時間與經費[8]。虛擬實境尚可利用整合資料庫與視覺化介面技術，以視覺化的方式進行資訊編寫，表現出將文本資料為主的之資訊內容與意涵，將資料轉化成易於理解的幾何資訊，幫助使用者閱讀[9]。在建築教育與課程訓練的方面，虛擬實境可利用3D圖形傳達的豐富資訊，幫助學生提升學習效能，尤其是複雜的訓練課程的理解[10]，而虛擬實境學習環境深入探討，配合學習理論之教學設計系統化方法，可利用虛擬實境建模語言發展出一個可以透過Internet來學習的線上課程，增加學習效率[11]。

2.4 虛擬實境之營建工程應用

2.4.1 建築施工狀況及營建空間模擬

建築生產程序原本是一連串決策過程（圖2-1），從規劃、設計、建造、使用、維護、到拆除。龐大的建造成本及不可逆之執执行程序使得在建築生產中無法承受過多的錯誤決策。如何提供一個可預期或可供反覆檢討的輔助決策之視覺模擬系統成為重點[12]。因此虛擬實境技術可以被應用在專案設計與執行的整個生命週期內。現在工程與建築規劃常使用虛擬實境之視覺化，進行建築物的設計和城市規劃[13]，而最主要的關鍵在於，虛擬實境可以傳輸營建專案中所設計之複雜3D資訊。而可程式化之3D物件讓物件不再只是一個數位模型，其具有之物件屬性再加上程式化所賦予的行為，可模擬各種建築生產可能的狀況，來提供建築生產過程之決策與檢討。這對於建築生產過程中之高成本、高風險及不可逆的特性將會大大減少其不定因素所造成之鉅額損失[12]。

一個整合虛擬實境的建造系統可以有以下四點特性及應用[14]：

1. 設計者、技術研發員和業主可以使用這套虛擬實境系統設計，在開始建造前預先檢測事先計畫的專案。例如，將繁雜的結構動力分析數據，以電腦動畫方式表現，預覽結構動力分析行為[15]；設計一套 4D（3D +Time）的建造系統提供安排每週的專案排程、提供互動介面增加 3D 物件於系統之中、使用者可以在 4D 虛擬世界中觀看虛擬建物[16]。
2. 提供事先預覽專案的功能，可以早期發現設計不良的問題、需要改進的地方。而 4D 的建造系統可以幫助解決關於複雜的流程排定產生的問題、預先計畫專案以及工作環境上的空間管理[17]。
3. 提供可自由地完成跨平台傳輸之資料格式轉換的功能，可以減少參與專案人員在資料使用上不必要的錯誤。開發一個整合 4D 之虛擬實境應用的資訊管理資料庫，可以結合電腦繪圖、專案管理以及圖形化介面，讓使用者快速建造 3D 物件模型，並且做有效的資源管理[18]。傳統的單機設計系統，傳輸資訊必須由大量的紙本文件和 2D 圖像，非常浪費人力、物力及時間，建構網路化的 3D 資訊傳輸之虛擬實境系統，不必受到時間與空間的限制便可進行資料的傳輸、管理以及觀看專案的 3D 資訊，可以大幅提昇完成專案的效率[19]。
4. 在虛擬世界中可以提供不同的選擇給使用者設計或更改計畫。3D 的圖形介面比文字資料更容易被使用者理解，因此可以將需要應用的空間物件做成 3D 圖形的資料結構[20]，而由預先定義的 3D 圖形函式庫可以被設計為輔助使用者在虛擬環境中，能夠輕鬆完成建構建築物以及專案計畫排程，並且這些系統資訊可以被儲存於資料庫之中，以便將來需要時參考使用[21]。

由上述可整理得，依據虛擬實境的特性，可針對虛擬實境的開放式系統架構探討及可被應用在輔助建築生產行為之使用行為模式探討。所謂“開放式系統架構”指的是系統的擴充性、資源共享及共購、使用者定義環境等；而找出虛擬實境技術與建築生產行為相互對應的人機介面型態，可以空間導覽、物理環境、施

工模擬為研究範圍，建構出輔助建築工程之虛擬整合操作環境[12]。

2.4.2 作業程序模擬

虛擬實境的觀念中所包含的不只是場景及物件，只要是真實世界中所能產生的現象、狀態及行為，均可撰寫程式語言以輔助產生場景與物件的相互關係。在建築的生產行為中，可將其行為分為下列幾種類型[12]：

1. 操控行為：為使用者與物件的行為互動關係，藉由使用者的行為方式，觸動或改變虛擬世界或虛擬物件的行為或狀態。
2. 物件自身行為：物件自身的行為表現。
3. 物件關連行為：物件本身具有其屬性及其行為模式，在真實世界中，行為產生所包含的因子除了物件自身外，物件與物件的行為亦會相互相互影響而產生連鎖的反應。
4. 使用者行為：在現金的虛擬實境技術中，使用者（第一人稱）的行為模式佔相當重要的地位，因為現在的虛擬實境均以第一人稱的方式作沈浸式的觀測；因此如何提供適當的沈浸行為模式將會影響虛擬實境觀測的有效性。
5. 物理行為：泛指現實世界中所有的物理現象或行為，如物體碰撞、重力現象、聲音傳播等。

虛擬實境技術可提供有效之 3D 空間施工模擬的管道，工程師可投入施工的虛擬環境，預覽工程運作之流程。配合工程師之經驗與判斷，與虛擬實境所提供之互動環境，進行施工模擬，適時掌握施工過程中之可能缺點，並進行相關之改善與評估，藉以獲取較佳之施工計畫與流程[3]。透過上述之施工模擬，提供設計者與營建管理或施工者得以進行雙向溝通，達到設計與施工協調之目的，亦可透過虛擬施工流程，進行各工作運作之協調，降低實際施作之衝突。就工程實務運用而言，應用虛擬實境模擬營建施工環境，提供複雜高危險公法之施工程序模擬與及時管理資訊回饋等，對提升營建生產力與確保營建安全具有相當之運用潛

力，例如於虛擬實境中操控存在於真實外在施工環境的機器人，代替人員進行較危險的工作[21]；利用系統模版配置之作業流程與考慮重點，透過虛擬實境之模擬真實的能力進行系統模版配置之模擬，以事先發現問題點並即時修正，如此可增加系統模版規劃設計之效率，更可藉此降低後續施工十支錯誤與困擾[3]。



表 2-1 虛擬實境系統

| 類別 | 使用設備 | 特性 | 應用領域 |
|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 桌上型 (Desktop VR) | 以滑鼠、軌跡球等作為輸入設備，以電腦螢幕輸出。 | 可提供低成本蛋糕解析度視覺效果，但臨場感跟互動性較差， | 行銷、設計、教育、訓練課程等。 |
| 侵入式 (Immersion VR) | 利用特殊頭盔作為影像輸出設備。 | 利用頭盔阻絕外景，但影像品質可能較差。 | 娛樂事業、電動玩具、電影。 |
| 投影式 (Projection VR) | 利用若干投影機，將虛擬場景投影在使用者周圍。 | 互動效果較弱。 | 大型會議、展覽、娛樂事業。 |
| 虛擬實境模擬器 (Simulator VR) | 利用專有機器模擬。 | 是最早發展出的VR系統。 | 飛行模擬、教育訓練 |

表 2-2 虛擬實境在建築運用之案例[3]

| 運用範疇 | 運用目的 | 運用單位例 |
|---------------|---|---|
| 建築 3D 視覺 | 透過即時與互動之虛擬環境，提供建築 3D 之設計。使用者可直接檢視設計成果，亦可在虛擬環境中進行修改或增添新設計內容。 | <ul style="list-style-type: none"> • GUV Center Virtual Environments Groups, Georgia Tech. • 日本建設省建築研究所 |
| 建築教育與訓練 | 透過虛擬環境與網路技術結合，進行合作式電腦輔助設計。 | <ul style="list-style-type: none"> • 國立台灣科技大學建築系 |
| 都市計畫評估與防災計畫評估 | 透過虛擬環境，進行都市計畫成效之評估。可結合防災分析系統，進行都市防災系統評估。 | <ul style="list-style-type: none"> • 日本建設省建築研究所 |
| 建築防火模擬 | 在虛擬環境中進行火災之模擬，如觀察火災之發展、溫度之分佈、煙之運動情形等。 | <ul style="list-style-type: none"> • 美國國家標準與技術學院 • 英國建築研究學會 |
| 建築力學模擬 | 結合虛擬環境與流體力學建立虛擬風洞，以掌握建築系統在風作用下之動力行為。 | <ul style="list-style-type: none"> • 美國 NASA |

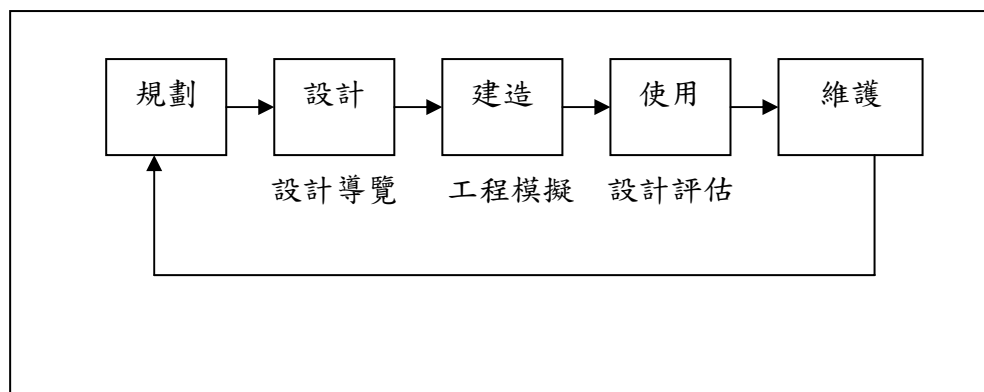


圖 2-1 建築物生產過程



第三章 系統設計之工具軟體

3.1 Windows 程式設計

3.1.1 基本 Windows 程式簡介

為了使用Direct3D API，在此建立一個有主視窗的Windows (Win32) 應用程式，並在該視窗裡繪製3D場景以及在功能選單內設計結構物相關參數。Win32 API是一套在C++程式語言中使用的低階函式及結構，藉由它讓應用程式及Windows作業系統進行溝通。舉例來說，若要請Windows顯示特定視窗，可以使用Win32 API函式中的ShowWindow。

Windows應用程式建立的視窗畫面可以分成幾個明顯的區塊（圖3-1），Windows控制其中的某幾個區塊，而程式設計人員撰寫的應用程式本身控制著其他的某幾個區塊。

區塊的主要劃分為：

1. 標題列 (Title Bar)

在大部分的視窗中都可以看到這個區塊。他大表了視窗的名稱，同時提供系統存取的按鈕介面，讓使用者可以關閉、最小化或是最大化應用程式。實際上，控制標題列的方式是透過視窗產生過程中的某些旗標，並且可以使標題列消失、不顯示系統功能按鈕或是縮小標題列。

2. 選單列 (Menu Bar)

選單是GUI（圖像式使用者介面，Graphical User Interface）程式中主要的互動方式之一。它提供一連串的指令功能，讓使用者可以隨時執行所需的功能。同時，Windows也控制了這個區塊。程式設計者可以建立自己的選單，定義對應的指令，而Windows則處理剩下的事情。

3. 縮放列 (Resize Bars)

縮放列允許使用者自訂螢幕上視窗的大小。在產生視窗的過程中，如果不希望讓視窗縮放，也可以選擇關閉這個功能。

4. 工作區 (Client Area)

工作區就是執行作業的地方。對於這個工作區域，程式設計者可以有自主性，同樣地，Windows也可以有控制權。所以，當在應用程式中有捲動列或是工具列時，Windows便會同時介入控制這個區塊。

3.1.2 Windows 中訊息處理說明

Windows 應用程式必須遵循事件驅動式程式設計模型 (Event-Driven Programming Model)。事件的產生方式有許多種；常見的例子包括按下按鍵、滑鼠點選，以及視窗的建立、大小改變、移動、關閉、最小化、最大化或顯示[23]。

當有事件發生時，Windows會向事件的應用程式發送訊息 (Message)，並將該訊息加入應用程式的佇列 (Queue)。訊息佇列基本上是依應用程式訊息的優先順位排列的佇列。該應用程式會在訊息迴圈 (Message Loop) 中定期檢查訊息佇列中的訊息。當收到訊息時，會將其送交目標視窗的視窗處理程序 (Windows Procedure)。視窗處理程序是與該應用程式各視窗有關的特殊函式，用來處理特定訊息的程序。

該視窗為處理的訊息通常會傳給預設的視窗處理程序來處理。

總結來說，使用者或應用程式會做某些事來產生事件。作業系統找出該事件針對的應用程式，然後將訊息送給該程式。之後該訊息會被加入應用程式的訊息佇列。應用程式會不斷地檢查訊息佇列。當收到訊息時，應用程式會將訊息送交該訊息的目標視窗的視窗處理程序。最後，視窗處理程序執行指令以回應該訊息。

3.1.3 程式進入點

一般C/C++程式的進入點，是一個叫main的函式，程式就從這裡開始執行。Windows程式的進入點是WinMain，它都是如以下的形式：

```
Int WINAPI WinMain(  
HINSTANCE hInstance,  
HINSTANCE hPrevInstance,  
LPSTR lpszCmdLine,  
int nCmdShow ) Int WINAPI WinMain(  
HINSTANCE hInstance,  
HINSTANCE hPrevInstance,  
LPSTR lpszCmdLine,  
int nCmdShow )
```

它用的是WINAPI的呼叫順序，程式結束時會交給Windows一個integer。函式名稱一定要叫WinMain，它有四個參數[24]：

hInstance：代表“instance handle”，它是程式在執行狀態下一個獨特的代碼。使用者可能同時執行好幾份同樣的程式，但每一份都是一個instance，也都具有不同的hInstance值。

hPrevInstance：在舊版的Windows中，它用來表示同一個程式最近發生且在執行中的instance。如果同一個程式沒有執行第二份，hPrevInstance的值就是0或NULL，Win32程式設計中未使用，設為0。

lpszCmdLine：是一個指向傳給程式以0結束的字串指標。可以在DOS環境下輸入程式名稱，後面接著字串參數，字串就會傳入Windows程式。

nCmdShow：一個代表程式初始顯示狀態的數字，是由啟動此程式的另一個程式賦予的，可以指定應用程式視窗如何顯示。例如，將視窗以目前尺寸及位置顯示、最大化及最小化的常用指令分別為SW_SHOW、SW_SHOWMAXIMIZED及SW_SHOWMINIMIZED。

瞭解這四個參數後，接下來便是定義視窗的特性。視窗的建立一定是根據一個視窗的類別（Windows Class），視窗類別的作用，在於辨認處理訊息的視窗程

序。然後用CreatWindow()建立視窗，最後再用ShowWindow()將視窗顯示出來。

3.1.4 資源檔案簡介

在Windows中，數個應用程式可以同時執行。因此，如CPU運算週期、記憶體及顯示螢幕都必須由數個應用程式共享。為了避免數個應用程式無條理地存取/變更資源倒置的混亂，Windows應用程式無法直接存取硬體。Windows作業系統的主要工作之一，就是管理目前執行中的應用程式，並處理資源在期間的分配[24]。當Windows將程式的程式碼與資料載入記憶體執行時，通常未載入資源的部分，只有在Windows需要用到某一項資源時，才會將它載入記憶體。使用Windows程式時它會動態地載入資源的情形，例如第一次用到某個對話方塊時，Windows會到磁碟中將對話方塊的資源從程式執行檔中複製到記憶體中。

3.2 DirectX 程式庫

3.2.1 何謂 DirectX



DirectX是微軟（Microsoft）設計給遊戲開發者的一種支援執行Windows程式之電腦硬體的底層介面。目前的版本是9.0，每一種DirectX API（Application Program Interface）組成元件可以提供與不同功能的硬體設備進行通訊，包括繪圖、音效、和網路等，而不同的組成元件也可以獨立被使用，因此使用上僅需要增加相關函式。以下是相關組成元件的介紹[25]：

1. DirectX Graphics

處理所有繪圖輸出的組成元件。此API提供函式處理2D和3D繪圖功能，允許Windows應用程式可以與機器上顯示卡進行通訊。支援的DirectX Graphics函式，便是由可以支援的顯示卡內部硬體所產生。如果沒有硬體可以支援的話，DirectX Graphics就會利用定期手動最佳化清楚列舉出硬體的規格能力。本研究的系統開發便是著重於DirectX Graphics API與Win32視

窗程式的應用。

2. DirectInput

DirectInput可以直接與使用者系統上的輸入裝置進行通訊。他可以列出系統上所有連接的設備，並且還可以列出特定設備的裝置規格。因此可以任意選擇需要使用的裝置，只要該裝置有DirectInput的驅動程式。實際上，近來幾乎所有的裝置都具備了DirectInput的驅動程式。

3. DirectPlay

DirectPlay可以增加支援網路工作於開發之遊戲程式中。此網路工作函式可以提供與其他電腦進行通訊功能和處理網路工作的一個高階之介面。

4. DirectSound

由於Win32 API在音效播放功能上有些許限制，音效無法混合，沒有訊號處理，同時速度不夠快。因此，DirectSound完全取代了這些函式庫。DirectSound可以讓使用者在任何Windows相容的音效卡上播放音效，並且為更高階的音效卡提供強大的功能，例如：3D 音效。

5. DirectMusic

DirectMusic允許應用程式可以動態地產生音效，使用者可在程式中撰寫不同場景或是播放方式改變音效的播放。

6. DirectShow

透過DirectShow可以播放AVI，MP3，MPEG，和ASF等檔案。播放這些檔案，使用者不需要將檔案存入記憶體之中，可以直接從硬體或是CD-ROM中載入。

7. DirectSetup

DirectSetup可以給予程式開發者函式撰寫，安裝最新版本的DirectX於其他執行此程式之使用者的電腦。

3.2.2 為何使用DirectX

DirectX有許多好處，它可以很快地支援新的硬體規格，由Microsoft所主導，架構擴充不需要經過委員會的討論與審核[26]。利用DirectX撰寫程式，可以很快速的開發軟體，善加運用Win32 API所帶來的好處，例如：多序支援、TCP/IP堆疊，以及許許多多的UI（User Interface）功能，並且可以有更快速的繪圖處理功能。

3.3 物件導向設計

3.3.1 物件導向語言的基本定義[27]

物件導向設計是以以前的結構化程式設計方法的一個重要轉變。這兩個方法的相似處在於，它們都相信要發展複雜系統的方法就是要先將問題分解而後個個擊破。亦即先把複雜程式計畫先打散成好幾個較簡單的子計畫，然後在個別處裡這些子計畫，而這兩個方法的不同處在於“如何”將程式分解。

傳統的程式技術是利用演算法分解，演算法或函式分解（Functional Decomposition）是把軟體分解成好幾個模組（Module），每個模組被視為一個步驟（Step）。這些步驟在C程式裡稱做函式（Function）。把一個計畫分解成幾個實用的模組後，資料結構就是第二件要關心的事。

物件導向分解法，是把一個軟體視為一個據完備定義的物件（Object）集合體。物件就是在應用領域中的一個實體。一個軟體系統的形成就是靠這些物件之間的相互影響來完成。當程式被分解成物件後，就開始對物件做函式功能分解。

物件導向分解的主要優點就在於它強調一個軟體的重複使用（Reuse）。這結果使得一個軟體系統更富有彈性，當這軟體的需求改變時，仍還能繼續發展。亦准許程式設計師可以有效率的利用物件導向程式語言，而且物件導向分解比演算

法分解還要直覺，因為物件就是一個實體，一個能進行運算和擁有自己狀態的實體，可以被視為是資料和程序元件的組合體[28]。

3.3.2 使用物件導向設計的原因


物件導向語言的資料、運算具有封裝化、抽象化的特性，並且可以支援繼承以及模組化，對於開發複雜龐大的軟體工程提供一個容易設計程式的環境[29]。

在此對物件導向語言的兩個特性做個介紹：

- 資料封裝化：將資料物件的內部程式碼細節和外部世界隔絕。
- 資料抽象化：將資料物件的規格和它的內部實作分離。

在此，介紹資料抽象化和封裝化如何幫助程式設計師有效率的發展一個好程式[27]：

1. 簡化軟體發展



資料抽象化最主要的優點在於，能夠把複雜的軟體系統發展工作分解成幾個較簡單的子工作。考慮下列情況：一個程式決定要使用三種資料型態A、B和C，還需要另一些額外的程式來使它們能夠互相交流作用(這種程式就叫做膠合(Glue))，而且每種資料型態的規格以及需要哪些運算已經完全得知了。在此程式設計不必知道每個資料型態是如何撰寫的，僅需要資料型態符合先前所設計的規格即可，以及該如何利用它們的運算完成預期目標。

2. 測試和偵錯

把一個複雜工作分成好幾個較簡單的子工作也簡化了測試和偵錯的過程。在上面所提的例子中，每個資料型態可以個別的被測試和偵錯，當每個資料型態已經被測試和偵錯過後，再測試整段程式。假如在此階段出現錯誤時，便可知道這個錯誤不可能出現A、B和C中(圖3.2(a)陰影部分)，因為它們已經被測試過了，所以這個錯誤最有可能發生在膠合部分(圖3.2(a)無陰影部分)。把這個程式和同樣大小，但卻沒有

使用抽象資料型態的程式相比較(圖3.2(b))，可以很簡單的看出使用抽象資料型態，可以使測試和偵錯更有效率。

3. 再使用性

原本資料結構只是將一個軟體系統分成幾個不同的實體，然而把資料抽象化和封裝化使用在資料結構後，可以提升軟體的層次。藉此，可以很容易的取得某個軟體系統裡的某個資料結構和其運算的程式碼，轉而運用在其它的軟體系統。若沒有它們，則每個軟體系統的資料結構和其運算程式則會和主程式錯綜複雜地糾纏在一起，要把它們分離，十分困難。

4. 資料型態表示法的改變

資料隱藏 (Information Hiding) 帶來最顯著的效果是，一個資料型態的實作方式在程式的其他地方是看不到的，也就是說，程式的其他地方沒有辦法直接動到資料型態內部的表示法，想要操縱一個資料型態，只有透過資料型態所提供的運算。因此，一個資料型態內部實作方法的改變，並不會影響到這程式的其他部分，只要修改過的資料型態仍提供一樣的運算，而且這些運算還是做以前一樣的工作就可以了。如果不使用資料封裝化，如果一個直接處理資料型態內部表示法的程式，現在有一個資料型態的實作法需要改變，那麼程式設計師第一件要做的事，就是在程式碼中找尋有關要被更改之資料型態的部分，然後才來做需要的改變。假如程式要存取這資料型態的內部表示法許多次，就會變的相當麻煩了。

大規模的軟體開發需要許多程式設計師以及花費許多時間，如果使用物件導向程式設計，可以提供許多設計方面的優點，做有效率的管理。在實作方面，不同的程式者可以獨立設計不同物件的函式，完成後再整合至最後的系統之中；在程式的後處理，藉由繼承性的優點，使用者可以擴充或者重複使用物件程式，更新系統軟體[30]。

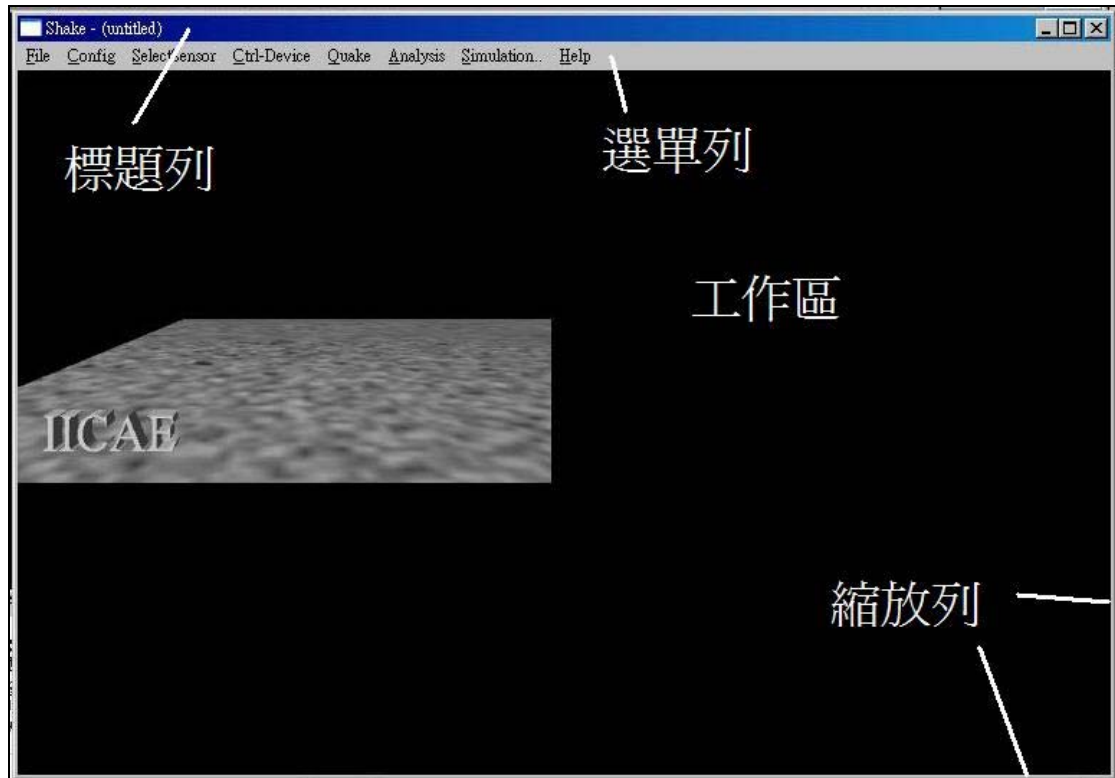


圖 3-1 視窗中最重要的一個 GUI 元件

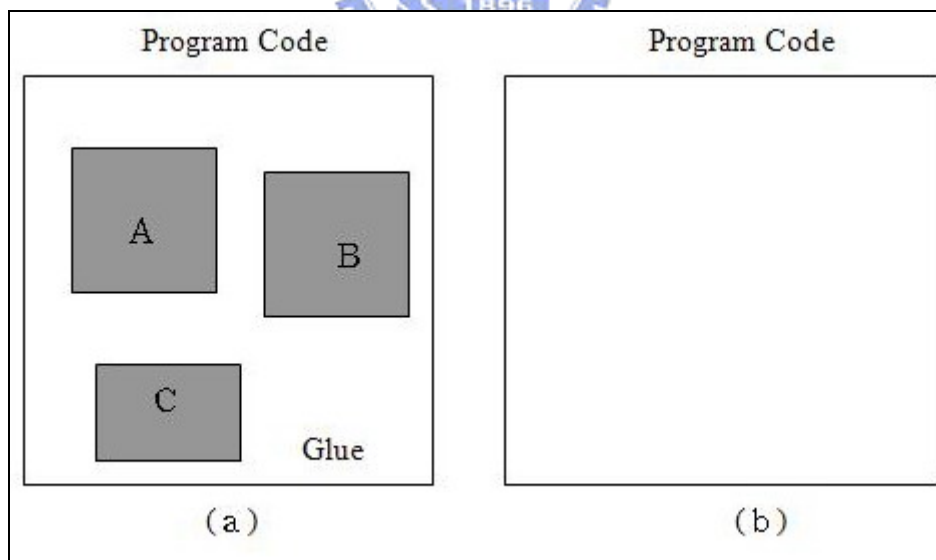


圖 3-2 沒有陰影的部分表示需要偵錯的程式碼：

(a) 使用抽象資料 (b) 沒有使用抽象資料。

第四章 系統架構、分析與設計

4.1 系統簡介

系統的視窗可分為4個區塊呈現（圖4-1），畫面主要以結構分析的流程（圖4-2）作為選單設計，使用者須依照由左至右依序利用下拉式選單完成相關設定。系統有防呆設計，為避免使用者發生不當的設計流程，系統會自動開放可進行選取的選項。以下是各區塊簡介：

1. 設計展示區

為本系統主要的虛擬實境展示的區域。使用者完成各項設計選單的設定時，系統將會於設計展示區呈現在三維空間的圖像資訊，並且可利用鍵盤或滑鼠操控進行攝影機的前後左右移動以及改變視角。在動力模擬呈現時，設計展示區會呈現未設置控制系統的結構動力模擬動畫。

2. 隔減震模擬展示區

使用者若有選擇設置隔減震控制系統，動力分析時將會於此區域呈現動畫展示，而攝影機的鏡頭與設計展示區同步進行，可以方便比對兩者動態呈現的差異。

3. 輔助資料區

顯示提供使用者在結構物設計時，所需要的相關資訊。除此之外，在於結構動力模擬時，若於結構物中裝設感測器，會呈現感測器資料的歷時圖（於4.9.1節有相關詳細介紹）。

4. 地震資料顯示區

顯示已選取的地震加速度歷時圖（於4.5節設定有相關詳細介紹）。

4.2 系統程式執行流程

系統程式會從shake.cpp中的WinMain函式（附錄一）開始執行，而WinMain

函式進行下列步驟：

1. 將主顯示視窗及Direct3D初始化

InitD3D函式負責兩項初始化的功能，一個是整個Win32視窗程式的初始化，另一個是DirectD3D的初始化。InitD3D函式會傳回true或false，如果初始化成功則會傳回true，如果有問題發生則會傳回false。

將視窗初始化的工作可參考3.1.3節的介紹，在此不贅述。

Direct3D的初始化過程可分割為下列幾個步驟：

- [1] 取得指向IDirect3D9介面的指標。本介面可以在系統上找出關於硬體裝置的資訊及建立IDirect3DDevice9介面。該介面是C++物件，用來表示繪製3D圖像時所使用的實體硬體裝置。
- [2] 為了建立IDirect3DDevice9介面，檢查裝置功能（D3DCAPS9），看是否主要影像顯示卡支援硬體頂點處理。
- [3] 將D3DPRESENT_PARAMETERS結構初始化。該結構包含數個資料成員，可以利用來決定建立IDirect3DDevice9介面的特性。
- [4] 由初始化完的D3DPRESENT_PARAMETERS結構建立IDirect3DDevice9物件。

2. 呼叫Setup函式設定應用程式

在此，系統設定場景的投影視窗，以及系統顯示在主視窗內的字體所需要的物件初始化。

3. 進入訊息迴圈（EnterMsgLoop），將Display作為顯示函式

Display函式為系統主要繪製場景於視窗內的顯示函式（Display Function）。訊息迴圈函式會在閒置處理程序（Idle Processing）中呼叫該程式並繪製場景。在顯示函式中，負責根據不同的視口（View Port）轉化將設計展示區、隔減震模擬展示區、地震資料顯示區和輔助資料區繪製於螢幕上的不同位置。

4. 清除應用程式，並在最後釋放系統產生佔用記憶體之物件


Cleanup函式將程式中產生的佔用記憶體之物件釋放給硬體，於程式結束時被呼叫。

4.3 場景攝影機設計

場景攝影機可決定使用者看到虛擬實境中的部分場景，在螢幕上以2D影像的呈現。攝影機放在3D場景中，朝著一定的方向，並決定所能見到的空間範圍。使用四個攝影機向量（Camera Vector）來決定攝影機在世界座標中的相對位置及方向：右向量、上向量、觀察向量及位置向量（如圖4-3）。這些向量基本上會為所描述的攝影機建立一個相對於世界座標系統的本地座標，右、上及觀察向量為正交的。

以這四個向量描述攝影機後，系統設定攝影機進行以下五種行為運算：

1. pitch函式使攝影機繞著右向量旋轉（如圖4-4）



```
void Camera::pitch(float angle){  
    D3DMATRIX T;  
    D3DXMatrixRotationAxis(&T, &right, angle);  
    D3DXVec3TransformCoord(&_up, &_up, &T);  
    D3DXVec3TransformCoord(&_look, &_look, &T);  
}
```

2. yaw函式使攝影機繞著上向量旋轉（如圖4-5）

```
void Camera::yaw(float angle){  
    D3DMATRIX T;  
    D3DXMatrixRotationY(&T, angle);  
    D3DXVec3TransformCoord(&_right, &_right, &T);  
    D3DXVec3TransformCoord(&_look, &_look, &T);  
}
```

3. strafe函式使攝影機沿著右向量左右移動（如圖4-6）

```
void Camera::strafe(float units)
{
    _pos += D3DXVECTOR3(_right.x, 0.0f, _right.z) * units;
}
```

4. fly函式使攝影機順著上向量上下移動（如圖4-6）

```
void Camera::fly(float units)
{
    _pos.y += units;
}
```

5. walk函式使攝影機朝著觀察向量前後移動（如圖4-6）

```
void Camera::walk(float units)
{
    _pos += D3DXVECTOR3(_look.x, 0.0f, _look.z) * units;
}
```

經由這五種操作，使用者將可以沿著三個軸移動位置，或繞著兩個軸旋轉改變視角，增加與虛擬實境的互動，且容易理解結構物於3D空間中的幾何資訊以及動力行為。

4.4 建物之結構設計

4.4.1 樓層數及樓版種類與尺寸設定

在此步驟為設計結構物的樓層數以及選擇樓版種類。如同一般的結構動力分析方法，樓版假設為剛性，並且針對其單位面積的重量作設計。對於樓版種類的選擇，考慮易於樓版的轉動慣量的計算，設計樓版的各折角為90度，本系統設計三種樓版形狀可供使用者選擇，即為矩形、L形及T形，並於對話視窗左上方可

點選各樓版介紹，而在輔助資料區顯示三種樓版形狀的輔助圖。在對話視窗中可設計該樓版類型為哪幾層樓之間的形狀，以及此樓版的尺寸大小。當樓版尺寸輸入完後，系統會自動算出該樓版的重心與轉動慣量，用以建構此高樓的質量矩陣。

完成此設計步驟後，設計展示區將呈現已設計之樓版形狀的尺寸大小、頂點（以方塊表示）、邊線以及震動台上的平面的相對位置等（若是多種樓版類型的建物設計，系統會在震動台上的平面同時呈現）。為了讓使用者容易辨識各樓版種類，在此設計樓版類型一（矩形）的方塊顏色為藍色，類型二（L形）的方塊顏色為黃色，類型三（T形）的方塊顏色為紅色，若是多種類樓版類型的建物設計，而不同的樓版形狀於震動台上的平面有相同的頂點，系統將會以最上層樓版設計類型的顏色為頂點呈現。

4.4.2 設定柱位置

在此，使用者可利用設定柱子間距的方式來定出柱子在樓版上的位置，也就是只要輸入各邊的間隔數（Numbers of Bay），再依次輸入各個間隔的長度，輸入完成後，系統會算出每個柱子的座標。在每個輸入的過程中，系統會檢查每一邊的間隔長度總和是否和該邊的總長度相符合，如果不符合，則會出現錯誤的訊息提醒使用者。

完成此設計步驟後，設計展示區將出現各柱子（以方塊表示）在平面上的相對位置，同樣的，將有不同顏色的方塊代表不同類型的樓版柱的位置，若有於平面上重疊的柱子，將以最後一種樓版設計類型的顏色為方塊顏色呈現。

4.4.3 柱斷面設定

本系統的設計，僅針對鋼結構大樓，並假設每層樓最多有兩種斷面，而整個結構物最多可選擇十五種柱斷面。而柱子的類型有矩形鋼以及H型鋼，使用者也可以自行輸入斷面資料。在輸入資料的同時，輔助資料區將出現柱斷面形狀及種類的介紹，輔助使用者設計。

4.4.4 設定各樓層的相關參數

在4.3.1裡已經設定這棟大樓有幾種樓版形狀、尺寸，以及各用在哪些樓層，然而每種樓版於其使用樓層間，樓版單位面積的重量、樓層高度以及柱斷面的設定都仍需要更進一步的設定。對於同一種樓版，我們可以根據不同的樓層區間設定不同的柱子高度（也就是樓高），指定每一個柱子的斷面種類，在相同樓層區間，樓層都有相同的柱斷面設定以及樓高設定，系統會檢查是否各區間的起始樓層數不符合，並且會以錯誤訊息提醒使用者。

在完成此步驟後，設計展示區將會出現整個結構物的外觀，並且不同的柱斷面會以不同粗細的柱子呈現，以及在震動台的位置，並且出現可放置感測器的訊息。

4.5 感測器之設定

使用者可以選擇想要設置的感測器種類，而於設計展示區中，結構物的各梁柱接頭都有設計可放置感測器的白色圓形圖示，使用者可以利用改變攝影機的位置，以滑鼠左鍵點選感測器圖示，若已點選完成，會出現確定訊息，並且在該感測器放置處變成紫色圓形圖示。

設計的原理如下：假設從原點射出一道通過滑鼠點選螢幕所產生的P點之揀選射線（Picking Ray），如果會穿越在代表感測器的圓球，則該感測器就會顯示已被揀選的訊息，也就是變成紫色，在此算出的揀選射線是在視覺空間中描述的。為了進行射線-物件穿越測試，射線及物件必須處於相同的座標中。可利用轉換矩陣轉換射線的原點 P_0 及方向 u 來轉換射線方程式 $r(t) = P_0 + t u$ 。原點會被轉換成一個點，方向則會被視為頂點。為了判斷射線是否有穿越球面，可利用下列函式RaySphereIntTest測試，如果傳入的射線與傳入的球體相交，將會傳回true，反之則會傳回false：


```

bool PickTest::RaySphereIntTest(d3d::Ray* ray, d3d::BoundingSphere*
sphere)
{
    D3DXVECTOR3 v = ray->_origin - sphere->_center;
    float b = 2.0f * D3DXVec3Dot(&ray->_direction, &v);
    float c = D3DXVec3Dot(&v, &v) - (sphere->_radius * sphere->_radius);
    float discriminant = (b * b) - (4.0f * c); //find the discriminant
    if( discriminant < 0.0f ) // test for imaginary number
        return false;

    discriminant = sqrtf(discriminant);
    float s0 = (-b + discriminant) / 2.0f;
    float s1 = (-b - discriminant) / 2.0f;
    // if a solution is >= 0, then we intersected the sphere
    if( s0 >= 0.0f || s1 >= 0.0f )
    {
        return true;
    }

    return false;
}

```

4.6 結構隔減震控制系統之設定

使用者在此選單中，選擇所需要對結構物裝置的隔減震控制系統，選取後視窗會彈出輸入控制系統參數的對話窗，系統的預設值是不裝置隔減震系統的選項。

在本系統目前建置可供使用者選取的選項有 “No Ctrl-Device” 及

“Include TMD”。在TMD的對話窗中，第一列所顯示的是TMD與主結構（基頻）的自然頻率比、TMD的阻尼比以及TMD與主結構的質量比。TMD的最佳裝設位置是在頂樓[1]，由最佳化參數的經驗式和系統預設之高樓阻尼比，進而算出最佳參數。若根據經濟因素考量，亦可以自行輸入適當的TMD與主結構之質量比，按 “Cal. Your Param.” 鍵後，程式就能藉此算出最佳的自然頻率比以及阻尼係數，並顯示於後兩個空格中。系統程式是以物件導向之概念設計，因此使用者可以加入物件函式於本系統之中，增加供選擇使用的隔減震控制系統。在動畫呈現時，比較不同系統對於結構物所造成的不同減震效應。

4.7 地震資料及震動方向之選定

本系統有八筆預設地震加速度資料可以選擇，並且可選擇將地震強度放大的倍數，除此之外，使用者亦可以讀取外部地震資料（格式參閱系統預設格式）。在選擇地震後，地震資料顯示區將顯示該地震加速度歷時圖，而在輔助資料區將會顯示地震之Pseudo-velocity反應譜。

使用者可以選擇地震相對於結構物所作用的方向。結構符合對稱性的建築物，在地震力作用下，僅會造成各樓層的水平移動。而建築物有時會因為不同需求而使得結構產生不對稱性。建築物的結構不對稱時，由於其樓版重心（MC）與該樓層的抗剪中心（RC）不一致，一旦受到地震力作用時就會產生扭轉效應。方向設定完成後，系統會於設計展示區的震動台上改變原先預設的箭頭方向為使用者設定之方向。

4.8 動力分析

為了能有流暢的動畫呈現，將計算各層樓位移流程設計在顯示動畫前。計算過程分兩個步驟[15]：

一、建構大樓阻尼、質量以及勁度矩陣，求出結構物自然頻率

本系統的設計理論中，基於下列幾個假設建構出有關高樓建築物的數學模

式：

1. 不計柱子的重量以及牆壁所提供的勁度；
2. 柱子與樓版的結合為純剛接；
3. 樓版為剛性，不會伸縮彎曲變形，質量均勻分佈；
4. 柱子和牆壁是不可伸縮的；
5. 不考慮柱子的 P- Δ 效應。
6. 所有計算都假設在線彈性範圍內；

假設有一 n 層大樓，將每一層樓視為三個自由度（X、Y 方向平移及轉角其中轉角係以樓版重心為軸轉動），其動力方程式（暫不考慮裝置控制系統）如下：

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = -\{M\}\ddot{u}_g \quad (4.1)$$

樓層的位移是相對於地表計算， \ddot{u}_g 代表地表加速度， $[M]$ ， $[C]$ ， $[K]$ 分別代表主結構的質量矩陣、阻尼矩陣以及勁度矩陣，大小均為 $n \times n$ 。

勁度矩陣之建構，首先， e_{xi} ， e_{yi} 代表第 i 樓樓版重心與抗剪中心之間的偏心，其運算式為[31]：

$$e_{xi} = \frac{1}{K_{yi}} \sum_j x_{ij} k_{yij} \quad (4.2)$$

$$e_{yi} = \frac{1}{K_{xi}} \sum_j y_{ij} k_{xij} \quad (4.3)$$

其中：

$$K_{xi} = \sum_j k_{xij} \quad (4.4)$$

$$K_{yi} = \sum_j k_{yij} \quad (4.5)$$

k_{xij} 與 k_{yij} 分別代表第 i 樓中的第 j 根柱子在 X 與 Y 方向的勁度，而 x_{ij} 與 y_{ij} 則分別代表第 i 樓中的第 j 根柱子相對於樓版重心的位置。第 i 樓層的扭轉勁度 (Torsional Stiffness) 如下：

$$K_{\theta i} = \sum_j k_{xij} y_{ij}^2 + \sum_j k_{yij} x_{ij}^2 \quad (4.6)$$

求得 K_{xi} 、 K_{yi} 及 $K_{\theta i}$ 以及偏心 e_{xi} 、 e_{yi} 後，可建立大樓的勁度矩陣 $[K]$ （如附錄二所示）； $[M]$ 為質量矩陣（如附錄三所示）；位移向量則為：

$$\{u\} = \{\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \dots, \tilde{z}_{n-1}, \tilde{z}_n\}^T \quad (4.7)$$

其中， $\tilde{z}_i = \{x_i, y_i, \theta_i\}$ ； $[C]$ 為阻尼矩陣，採用雷利阻尼(Rayleigh Damping)[32][33]以及QR方法[34]疊加求得。

考慮結構裝置TMD之扭轉效應分析，假設考慮TMD僅控制X方向的位移，使用Lagrange方程式可推導得：

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -\{M'\}\{\ddot{u}_g\} \quad (4.8)$$

其中

$$[M] = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M + m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_m + I_m & 0 \\ m & 0 & 0 & m \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} C_x & 0 & -C_x e_y & -c \\ 0 & C_y & C_y e_x & 0 \\ -C_x e_y & C_y e_x & C_x e_y^2 + C_y e_x^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} K_x & 0 & -K_x e_y & -k \\ 0 & K_y & K_y e_x & 0 \\ -K_x e_y & K_y e_x & K_x e_y^2 + K_y e_x^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

$$\{u\} = \{u_x \quad u_y \quad \theta \quad x\}^T \quad (4.12)$$

$$\{M'\} = \{M \quad M + m \quad I_m + I_m \quad m\}^T \quad (4.13)$$

$$\{\ddot{u}_g\} = \{\ddot{u}_{gx} \quad \ddot{u}_{gy} \quad 0 \quad \ddot{u}_{gx}\}^T \quad (4.14)$$

若自行增加物件函式於隔減震系統之中，該物件需要可計算結構物的輸入資料，輸出動力方程式所需要的勁度矩陣、質量矩陣以及阻尼矩陣等，如此系統才可使用該物件函式計算動力分析。

二、以SSP計算各樓層位移[15]

對於解多自由度系統之地震反應歷時分析，可利用狀態空間法(State-Space Procedure, SSP)求得，狀態空間法僅假設地表加速度在區段間呈線性變化，並未針對結構反映作任何假設，因此其精確度較高[35]。

將(4.1)式表示呈狀態空間的形式，使之降為一階微分方程式如下：

$$\dot{z}(t) = Az(t) + B\ddot{u}_g(t) \quad (4.15)$$

其中

$z(t) = \begin{Bmatrix} u(t) \\ \dot{u}(t) \end{Bmatrix}$ 為 $2n \times 1$ 的狀態向量，

$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix}$ 為 $2n \times 2n$ 的系統矩陣，

$B = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}M' \end{bmatrix}$ 為 $2n \times 1$ 的矩陣， n 為大樓之總自由度

將(4.15)式做推導可得解析解

$$z(k+1) = A^* z(k) + B_1 \ddot{u}_g(k+1) + B_2 B [\ddot{u}_g(k+1) - \ddot{u}_g(k)] \quad (4.16)$$

其中

$$A^* = e^{A\Delta t} = I + A\Delta t + \frac{A^2 \Delta t^2}{2!} + \frac{A^3 \Delta t^3}{3!} + \dots \quad (4.17)$$

$$B_1 = \int_0^{\Delta t} e^{A\tau} d\tau = I\Delta t + \frac{A \Delta t^2}{2!} + \frac{A^2 \Delta t^3}{3!} + \dots \quad (4.18)$$

$$B_2 = -\frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} e^{A\tau} d\tau = A^{-1} \left[\frac{B_1}{\Delta t} - A^* \right] \quad (4.19)$$

(4.16)式求出值為結構變位與速度反應，其加速度反應可由數值微分的方法對速度求導數而得。各樓層的運動為三個自由度，所算得的值則是每三個數據為一組，即為 (x, y, θ) ，因此除了 x, y 方向的水平位移量之外，亦須再考慮樓版的扭轉角。

使用者可以加入不同分析方法之物件函式於程式內，計算多自由度系統之地震反應歷時反應；物件函式的輸入需為動力方程式的勁度矩陣、質量矩陣和阻尼矩陣，而輸出為結構位移值。

4.9 顯示動畫

4.9.1 顯示感測器之量測數據

在此選項中，可以選擇是否顯示在輔助資料區呈現放置感測器（4.4節）所量測X或Y方向的歷時圖，動態模擬時，系統會依據感測器所在的樓層，同步繪製歷時圖，使用者可以即時觀看感測器量測值與時間之變化情形。

4.9.2 結構物動態顯示之係數設定

地震所引起的結構物樓層位移幅度相較於樓版的尺寸，顯得相當不明顯，因此可以選擇適當的放大倍數，讓使用者清楚的看清楚結構物動力模擬時的情形。使用者對此倍數的調整可由1到60倍。

對於電腦動畫的顯示速度以及電腦計算速度和每筆地震資料的時間間格影響，系統可提供四種速度讓使用者選擇，分別是Slow、Medium、Fast、Super，其中各代表間隔2、4、6、8筆位移資料顯示一次的震態，並且設計Display函式的呼叫為每32毫秒呼叫一次，確保不會因為電腦硬體改變而使系統速度改變。選擇動畫視窗顯示，不裝置隔減震控制系統時，只能選擇“Single”選項於設計展示區顯示結構物動態模擬。如果裝置其他隔減震控制系統，可以選擇“Single”和“Comparison”，其中“Single”代表在隔減震模擬展示區會顯示加裝控制裝置後結構物的動態模擬，而“Comparison”則可以在設計展示區增加顯示未加裝控制裝置的動態模擬，與隔減震模擬展示區的動態模擬比較。

4.9.3 動畫呈現

這個步驟將以3D動畫呈現結構動力分析結果，讓使用者可以清楚地在虛擬實境中看到各層樓位移以及旋轉角。

為了使不同電腦硬體於本系統中都有相同的動畫播放速度，在此設計繪製場

景的display函式以固定頻率被呼叫，將同一時間內的結構物的所有位移繪製螢幕（animator->Render）上，而下次再次呼叫display時，程式將繪製下一段時間的位移資料，並且更新畫面，因此使用者可以看到視窗內結構物做動態的動力分析模擬。當欲繪製之位移資料數繪製完畢，系統將初始已繪製位移資料數為零，而下次進行動畫呈現時，程式將重新進行繪製動畫：

```
bool Display(float timeDelta){
    ...
    if(shakeData->SkakeOK){
        data++;
        animator->Render(shakeData, Device, data, true);
        ...
        if(data==(shakeData->QuakeDatas)/(animator->Speed)) {
            data=0;
            ...
        }
    }
    ...
}
```

在動態模擬時，地震資料顯示區之地震歷時圖會隨著時間以紅線蓋過原圖之黑線，顯示模擬的速度以及地震作用的進度；若使用者有設計結構隔減震控制系統（4.6節）在此將會呈現單或雙視窗動畫呈現（4.9.2節）；而在4.9.1節之步驟中設定顯示感測器量測數據，則亦會於輔助資料區同步顯示。

值得一提的是，本系統設計使用者可於動態模擬時，即時利用滑鼠或鍵盤操控攝影機，於各種角度觀看結構物動態。若攝影機在X Y平面上看結構物，可觀察到結構物於平面上之位移變化；拉高攝影機之高度俯瞰，則可清楚看到地面上的結構物是否產生扭轉效應；利用移動攝影機對結構物之距離，幫助使用者於不同位置觀察結構物整體或局部之動力行為。由此增加使用者於虛擬實境中與場景的互動性和沈浸性，以及易於理解結構物受地震力作用之下的動力行為。

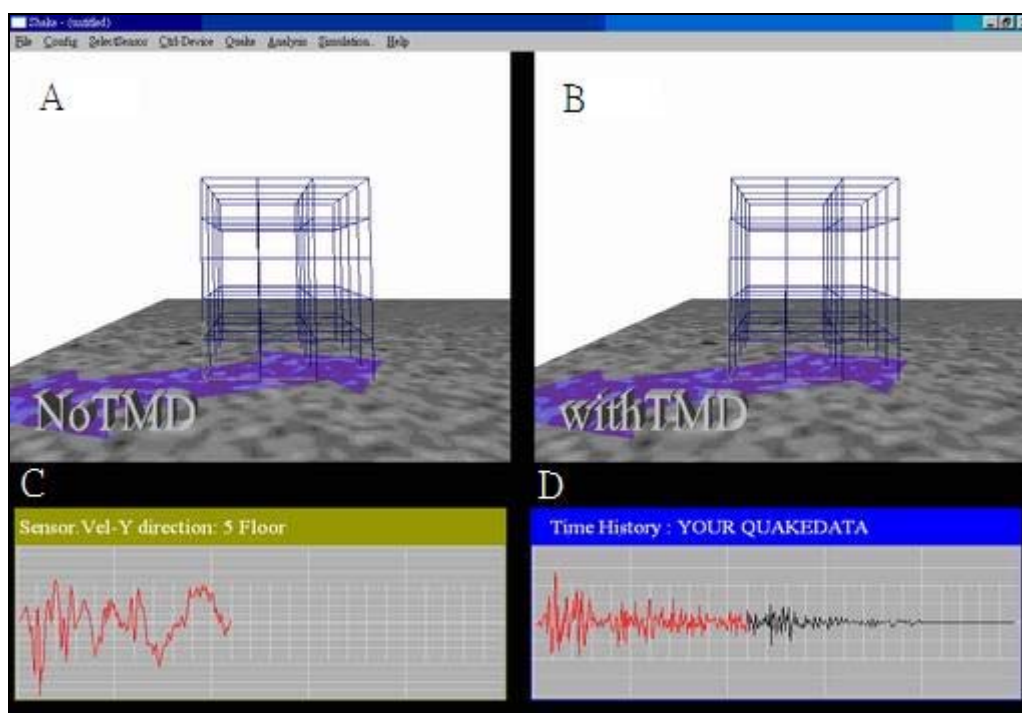


圖 4-1 系統展示圖。A. 設計展示區；B. 隔減震模擬展示區；

C. 輔助資料區；D. 地震資料顯示區。

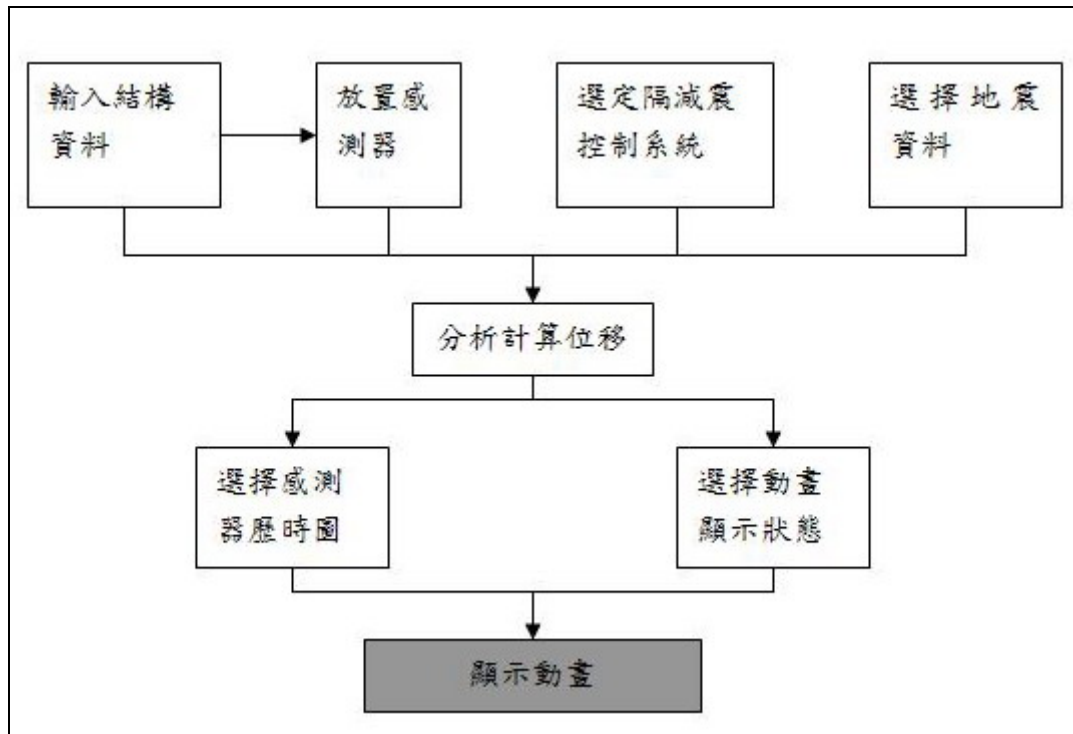


圖 4-2 系統架構圖

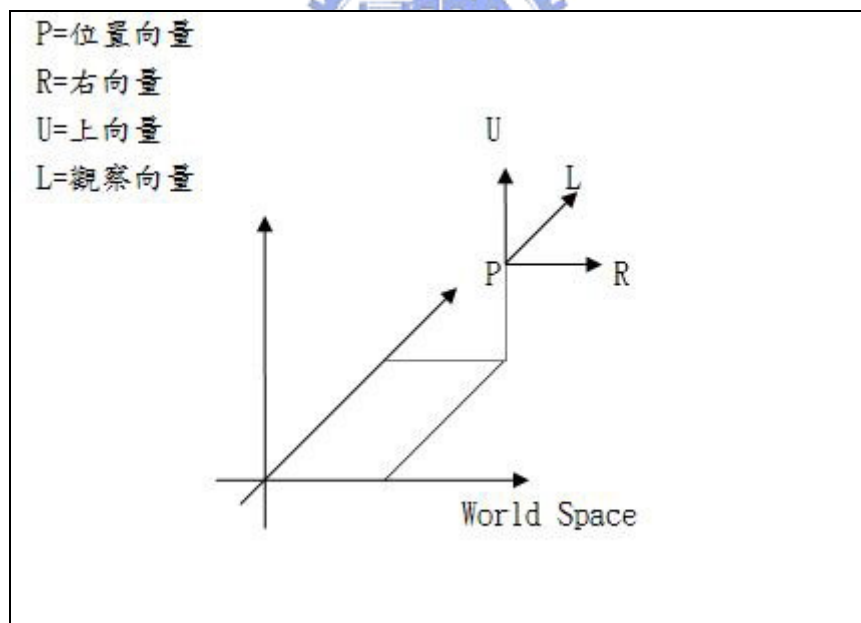


圖 4-3 定義攝影機在世界座標中的相對位置及方向的攝影機向量

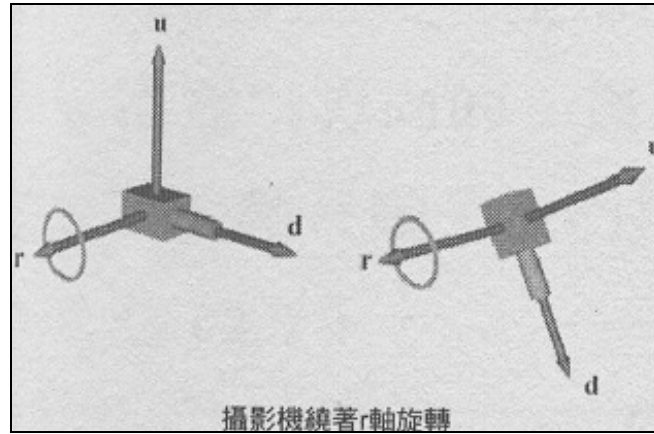


圖 4-4 繞著攝影機的右向量旋轉[19]

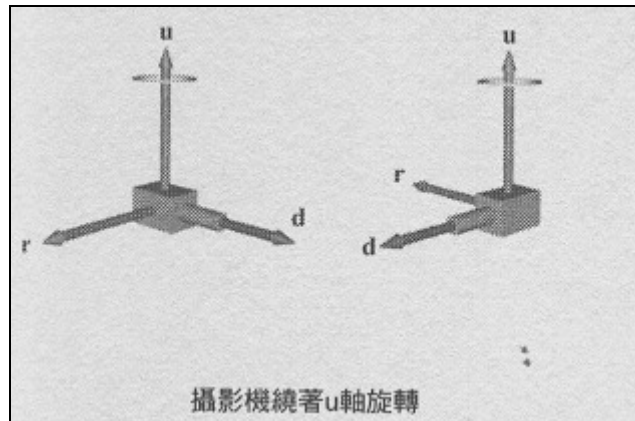


圖 4-5 繞著攝影機的上向量旋轉[19]

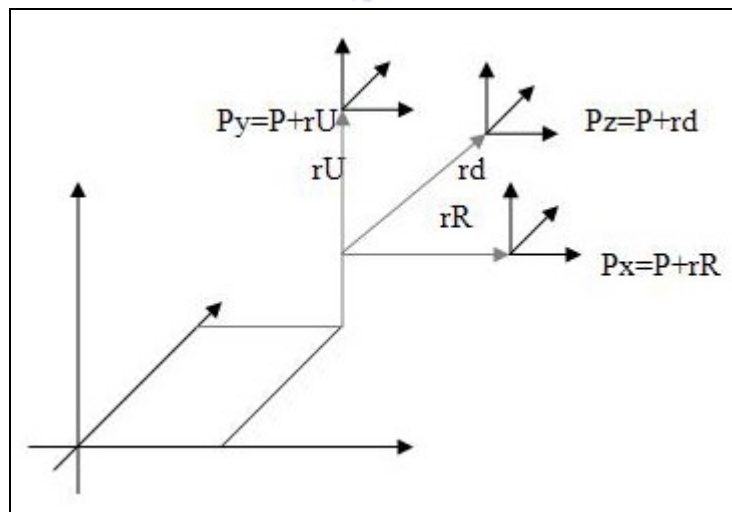


圖 4-6 沿著攝影機的方向向量移動



第五章 範例操作

5.1 五層 L 型樓版結構範例設計

本範例是模擬結構物設置控制系統 TMD 的減震效果，並且利用動態模擬以及感測器量測之資料歷時圖，清楚瞭解結構的動力行為（詳細輸入資料如表 5-1 所示）。執行 “Shake.exe” 後，會出現如圖 5-1 的片頭畫面，接著便可利用工具列的下拉選單開始設計，由於本系統以虛擬實境的概念設計，因此可以利用滑鼠或鍵盤移動攝影機，改變觀看的位置及方向，使用者可以選工具列的 Help 選單的 “Help”，系統將會出現操控說明（圖 5-2）。以下依照設計順序來做解說。

5.1.1 設計結構資料—Config

1. Select Slabs

此視窗輸入的資料為樓層數以及樓版種類數（圖 5-2），按 “Show the floor type” 鍵可以顯示系統提供的三種樓版形狀（圖 5-3）。本例使用類型的 L 型樓版（type 2），接著按 “Detail” 鍵出現設定該類型樓版用於哪幾層樓之範圍、樓版尺寸以及 X-Y 平面座標的對話視窗（圖 5-4）。完成此步驟，輔助設計區將呈現該樓版之折角位置（圖 5-5）。

2. Set Bays

在此對話窗（圖 5-5），按 “Slab1” 鍵後會出現第二層子對話窗，依次輸入各方向的柱子間隔數，繼續按 “Adjust Width” 鍵會出現第三層子對話窗用以輸入每個間距之大小（圖 5-6）。完成此步驟，畫面將呈現各樓版所有柱子於 X-Y 平面之位置圖（圖 5-7）。

3. Select Column types

在此對話窗（圖 5-8），有三個選項可供使用者輸入柱斷面資料，若使用的是矩形鋼管，則可選擇 “Rectangle tube”，並可參考輔助資料區顯示的

柱斷面種類介紹輸入資料。本範例選擇兩種H型鋼（參考表5-1），可利用“Next”、“Back”鍵來選擇需設計的柱斷面。

4. Set Building

在對話窗（圖5-9）最上方會顯示前面步驟所設定的樓版及柱斷面種類數，中間的區塊為第一母區間，而其第一列顯示使用者所選樓版的設定樓層範圍，可利用“NEXT SLAB”、“BACK Slab”兩個鍵切換各母區間。母區間內還有一個子區間，可設定各子區間的起迄樓層範圍、樓高以及所需要選定的柱斷面，各子區間可利用“NextFloor”、“BackFloor”切換。舉例說明（圖5-9）：第一種樓版使用於1~5樓為第一母區間，其中1~2樓的子區間內，每層樓樓高7公尺，柱斷面為所選的第一種柱斷面，並且在輔助資料區顯示母區間內，顯示該樓版各根柱子編號（圖5-10）。這兩層樓的各樓版均佈載重（活載重加靜載重）為每平方公尺0.4公噸（參考表5-1）。完成設定後，設計展示區將會呈現整體結構物的外觀（圖5-11），使用者可以利用熱鍵控制攝影機，漫遊在三維空間中，觀看結構物。系統並會彈出訊息視窗提醒使用者，需要選擇感測器種類才能於螢幕中放置感測器。

完成上述步驟後，系統便已完成大樓的設計資料，使用者可以選擇“Male a Data File”選項將資料存成“alldata.dat”文字檔，方便再次設計時之參考檔案。

5.1.2 放置感測器—SelectSensor

在此可以選擇欲設置的感測器種類，系統提供三種類型：量測加速度、量測速度、量測位移。使用者可以選定感測器種類後，在螢幕中按滑鼠左鍵點選結構物梁柱接頭上之白色圓形圖示，若已放置感測器成功，將會彈出點選成功之訊息視窗，並且該感測器將變為紫色圖示（如圖5-12）。

5.1.3 設置結構隔減震控制系統—Ctrl-Device

本例選取裝置TMD控制系統，與結構之質量比為0.2。輸入0.2於第一行第二個空格後，按下“Cal. your Param”，即可得到另外兩個參數：TMD阻尼係數以及自然頻率比（圖5-13）。

5.1.4 選擇地震資料及震動方向—Quake

範例一所選的地震是TAFT地震，設計的放大係數為2（圖5-14），並且於地震資料顯示區畫出地震加速度歷時圖。接著選擇地震力作用方向（圖5-15），在此選擇與X軸交角40度的方向。

5.1.5 分析計算—Analysis

所有結構物資料以及控制系統資料設定完成後，接下來就是計算出結構物的自然頻率、質量矩陣、阻尼矩陣以及勁度矩陣，並且建構在使用狀態空間法計算位移時所需要的矩陣，按下“Prepare_SSP”後，便開始計算。而計算完成後便會出現對話窗（圖5-16），用以比較結構物裝置TMD的前後，自然頻率改變的情形。

接著可選擇“Calculate Displace”，使程式依據地震加速度資料以及結構物資料開始計算每個時間的各樓層位移。當地震作用方向改變時，會改變樓層位移的計算，但是與結構物自然頻率的計算無關，因此將兩個計算步驟分開，可以避免重新選定地震作用方向時，將結構物自然頻率重複計算。

5.1.6 動態模擬—Simulation

位移計算完成後，接下來的步驟就是動力分析的動態模擬：

1. Show Sensor Data

可選擇X或Y方向的感測器量測值，而右上角會顯示使用者設置感測器

的樓層。本範例所放置的感測器樓層為4樓，量測方向為Y（圖5-17）。

2. Coefficient

在此選擇動畫顯示的模式，可設定位移放大倍數、動畫顯示速度以及對照模式，在此選擇“Comparison”表示結構物若有設置控制系統時，將會於隔減震模擬展示區與設計展示區同時呈現動畫對照（圖5-18）。

3. Start Animating

動力分析會以動畫的方式呈現，而右下角的地震歷時圖會隨著時間的增加而增加紅線的長度，左下角的感測器量測資料歷時圖也會隨著時間增加量測值（圖5-19）。使用者可以在動畫展示時，利用操控攝影機改變觀看角度，從不同的角度觀察結構物受地震力作用的動力行為（圖5-19~21）。

4. Stop Animating

若使用者於動畫開始後，想要停止動畫變更系統設定，則可按此選項停止動畫，畫面將會回到動畫開始前設計展示區的靜態結構物呈現（圖5-11）。

完成動畫模擬後，可用滑鼠點選更改感測器位置或種類，於動態模擬時顯示不同的感測器量測資訊（圖5-22~25）。

5.2 兩種樓版複合結構範例設計

在此範例模擬結構物以兩種樓版組合設計，並且以不同地震作用，分析其動力行為。在此，對於設定結構資料的過程，由不同於範例一處說明，而完整結構資料如表5-2。

第一種樓版T型樓版在結構的1~7樓，第二種樓版矩形樓版在結構的8~10樓，而矩形樓版的位置設計由場景原點向X、Y方向各平移5m，藍色柱子及藍線為矩形樓版，紅色柱子及紅線為T型樓版（圖5-26）。完成“Set Bays”後，畫面將呈現樓版之所有柱子位置圖（圖5-27），其中，不同類型樓版柱子位置重複於X-Y平面上，則以最後一種樓版之柱子顏色代表（圖5-25之藍色方塊）。

柱斷面選擇如範例一步驟，設計T型樓版2~7樓層有特殊柱斷面，因此參考

輔助資料區之柱編號，將特殊柱斷面輸入至子區間之空格中（圖5-28），其他如範例一操作，接著可選擇“NEXT SLAB”設定下一個樓版種類之相關資料，完成後將呈現整個結構物於設計展示區（圖5-29），在此選擇感測器種類為位移感測器，並且設置於10樓（圖5-30）。

選擇ELCENTRO地震放大強度為一倍，作用方向為130度（圖5-31~32）。經過計算後，可得結構物的自然頻率，設定顯示狀態位移放大倍數為30（圖5-35）。開始動畫後，便可以操控攝影機於不同的角度以及距離，觀看結構物受地震力作用之下之動力行為（圖5-36~37）。接著裝置TMD，其質量比為0.1（圖5-31），結構自然頻率變化如圖5-34所示。再次動態模擬，繪製出新的感測器量測資料歷時圖（圖5-38~39）。

5.3 匯入外部地震資料

範例三是匯入外部之地震資料作為地震力進行結構動力分析（圖 5-44），其中結構資料如表 5-3 所示。其他設計步驟參考範例一，部分操作過程以及模擬結果如圖 5-40~49。



5.4 討論

由三個範例操作後，可以知道本系統有以下幾個優點：

1. 結構資料的 3D 物件呈現

本系統將輸入的結構資料以 3D 幾何物體呈現於虛擬實境之中，使用者可於設計完結構尺寸及座標後，在視窗內觀看結構在空間上的安排利用，以達到輔助建築設計的效果（圖 5-11、圖 5-29、圖 5-42）。

2. 動畫呈現的效果

藉由控制呼叫繪製函式的次數，可以達到不同的電腦硬體，都可以相同的速度播放。以動畫模擬的方式呈現動力分析數據，使用者可以自由地調整

不同的位置及視角即時地觀看結構物，更利於理解結構受地震力作用之下，隨著時間變化而產生之動力行為。

3. 結構設計流程的偵錯

系統依照結構設計流程控制可進行選取的選項，並且以訊息對話窗提醒使用者應該完成的設計步驟，以避免資料輸入程序的不正確影響系統執行計算。

4. 地震資料的可擴充性

利用讀檔的功能，使用者除了選擇系統預設的地震資料，亦可自行匯入地震資料於本系統之中進行動力分析模擬（圖 5-44）。

5. 結構動力分析模擬

不同種類的感測器量測數據歷時圖，配合視窗的動畫呈現（圖 5-22～25），使用者可以清楚理解結構物不同位置以及方向，所產生位移、速度、加速度的變化；裝設TMD後，減少了地震造成了樓層的水平位移，並且由結構物之自然頻率變化（圖 5-16、5-34）可得知，原結構物的各個振頻都減少了，使得結構振動週期延長。



表 5-1 範例一：五層 L 型樓版結構之輸入資料

| Select Slab | | | | |
|----------------------------|-----------|--|------------------|----------------------|
| 樓層數：5 樓 大樓阻尼比：0.05 樓版種類數：1 | | | | |
| 第 1 種樓版：type2 | 使用樓層範圍 | 1~5 | | |
| | 尺寸 (m) | AB=20 AG=30 CD=20 DE=15 | | |
| | 與原點之距離(m) | X=0 Y=0 | | |
| Set Bays | | | | |
| 區域 | 邊 | 間距 | 各間距大小 (m) | 邊長 (m) |
| ABFG | AB | 4 | 5, 5, 5, 5 | 20 |
| | AG | 6 | 5, 5, 5, 5, 5, 5 | 30 |
| CDEF | CD | 4 | 5, 5, 5, 5 | 20 |
| | DE | 3 | 5, 5, 5 | 15 |
| Select Column types | | | | |
| 編號 | 種類 | 詳細資料 ($E=20.4\text{ton/mm}^2$ $F_y=2800\text{kg/cm}^2$) | | |
| 1 | H 型鋼 | H1000×824 | | |
| 2 | H 型鋼 | H964×417 | | |
| Set Building | | | | |
| 母區間：第一種樓版 設計之樓層：1~5 樓 | | | | |
| 子區間編號 | 樓層範圍 | 每層樓高 | 柱斷面 | 樓版載重 |
| 1 | 1~2 | 7 | 第一種柱斷面 | 0.4 ton/m^2 |
| 2 | 3~5 | 3.3 | 第二種柱斷面 | 0.3 |

表 5-2 範例二：十層樓兩種樓版複合結構之輸入資料

| Select Slab | | | | |
|-----------------------------|-----------|--|--|------------------------|
| 樓層數：10 樓 大樓阻尼比：0.05 樓版種類數：2 | | | | |
| 第 1 種樓版：type3 | 使用樓層範圍 | 1~7 | | |
| | 尺寸 (m) | AB=20 DE=10 BC=10 AH=30 CD=20 | | |
| | 與原點之距離(m) | X=0 Y=0 | | |
| 第 2 種樓版：type1 | 使用樓層範圍 | 8~10 | | |
| | 尺寸 (m) | AB=10 AD=15 | | |
| | 與原點之距離(m) | X=5 Y=5 | | |
| Set Bays | | | | |
| 區域 | 邊 | 間距 | 各間距大小 (m) | 邊長 (m) |
| ABGH | AB | 4 | 5, 5, 5, 5 | 20 |
| | AH | 6 | 5, 5, 5, 5, 5, 5 | 30 |
| CDEF | CD | 4 | 5, 5, 5, 5 | 20 |
| | DE | 2 | 5, 5 | 10 |
| ABCD | AB | 2 | 5, 5 | 10 |
| | AD | 3 | 5, 5, 5 | 15 |
| Select Column types | | | | |
| 編號 | 種類 | 詳細資料 ($E=20.4\text{ton/mm}^2$ $F_y=2800\text{kg/cm}^2$) | | |
| 1 | H 型鋼 | H1000×824 | | |
| 2 | H 型鋼 | H964×417 | | |
| 3 | H 型鋼 | H930×164 | | |
| Set Building | | | | |
| 母區間：第一種樓版 設計之樓層：1~5 樓 | | | | |
| 子區間編號 | 樓層範圍 | 每層樓高 | 柱斷面 | 樓版載重 |
| 1 | 1~1 | 6 | 第一種柱斷面 | 0.4 ton/m ² |
| 2 | 2~7 | 4 | 第二種柱斷面 (其中編號 11、13、21、23 為第三種柱斷 面) | 0.3 |
| 3 | 8~10 | 3 | 第三種柱斷面 | 0.2 |

表 5-3 範例三：七層矩形樓版結構之輸入資料

| Select Slab | | | | |
|----------------------------------|-----------|--|----------------|------------------------|
| 樓層數：7 樓 大樓阻尼比：0.05 樓版種類數：1 | | | | |
| 第 1 種樓版：type1 | 使用樓層範圍 | | 1~7 | |
| | 尺寸 (m) | | AB=15 AD=20 | |
| | 與原點之距離(m) | | X=0 Y=0 | |
| Set Bays | | | | |
| 區域 | 邊 | 間距 | 各間距大小 (m) | 邊長 (m) |
| ABCD | AB | 2 | 8, 7 | 15 |
| | AD | 3 | 5, 8, 7 | 20 |
| Select Column types | | | | |
| 編號 | 種類 | 詳細資料 (E=20.4ton/mm ² Fy=2800kg/cm ²) | | |
| 1 | H 型鋼 | H1000×824 | | |
| 2 | H 型鋼 | H964×417 | | |
| Set Building | | | | |
| 母區間：第一種樓版 設計之樓層：1~7 樓 | | | | |
| 子區間編號 | 樓層範圍 | 每層樓高 | 柱斷面 | 樓版載重 |
| 1 | 1~2 | 7 | 第一種柱斷面 | 0.4 ton/m ² |
| 2 | 3~5 | 4 | 第二種柱斷面 | 0.3 |
| 3 | 6~7 | 3.3 | 第二種柱斷面 | 0.3 |

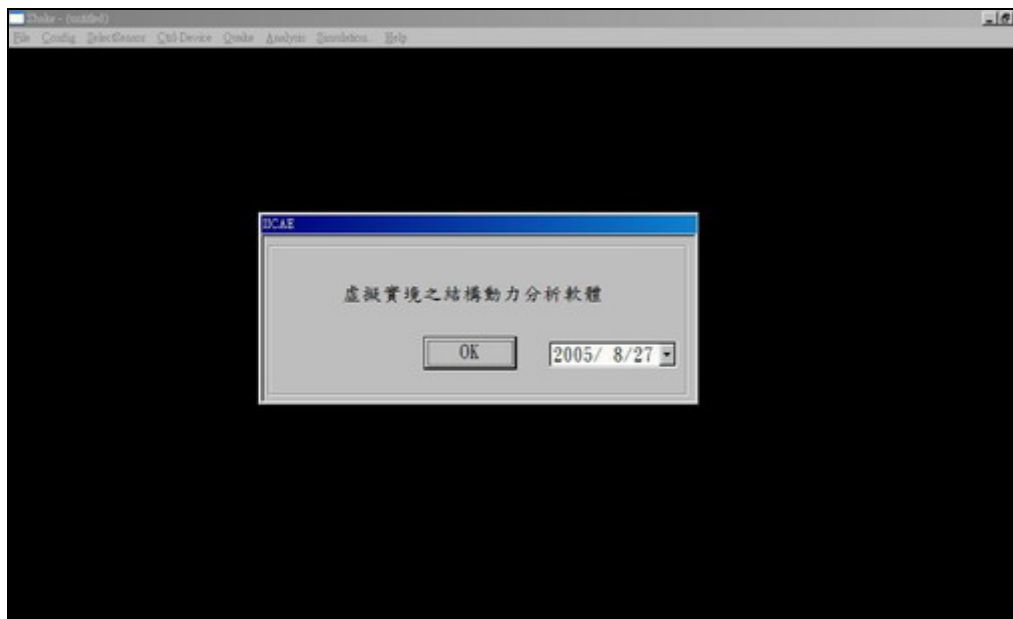


圖 5-1 系統初始畫面

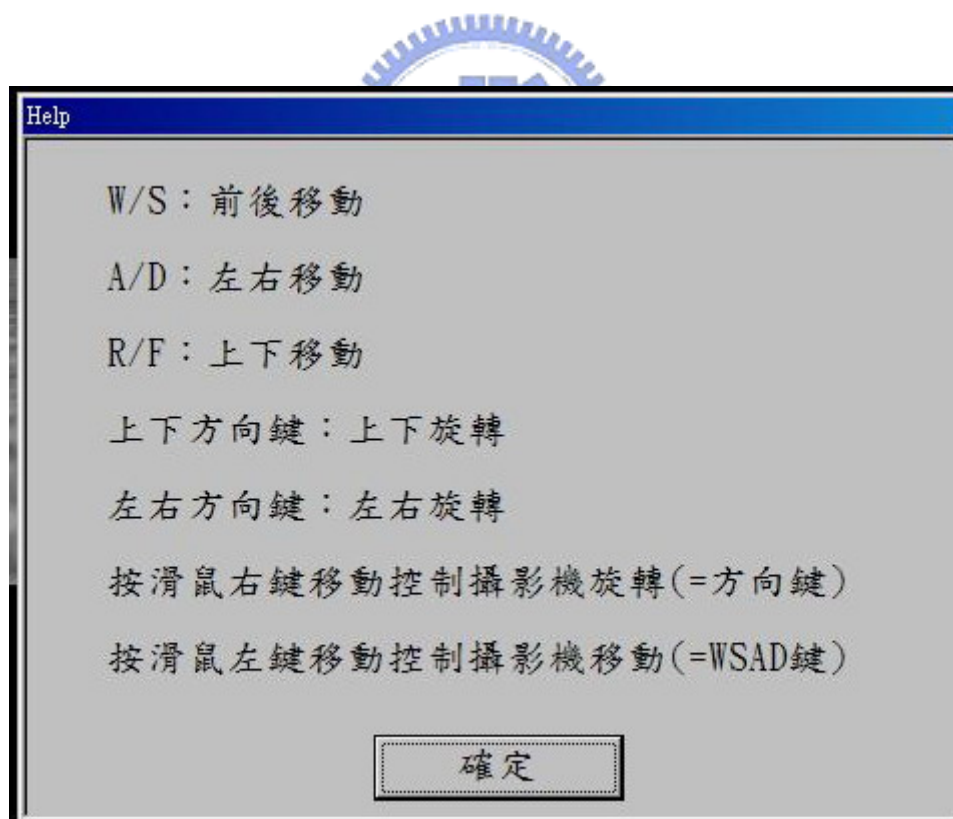


圖 5-2 範例一：操控熱鍵清單

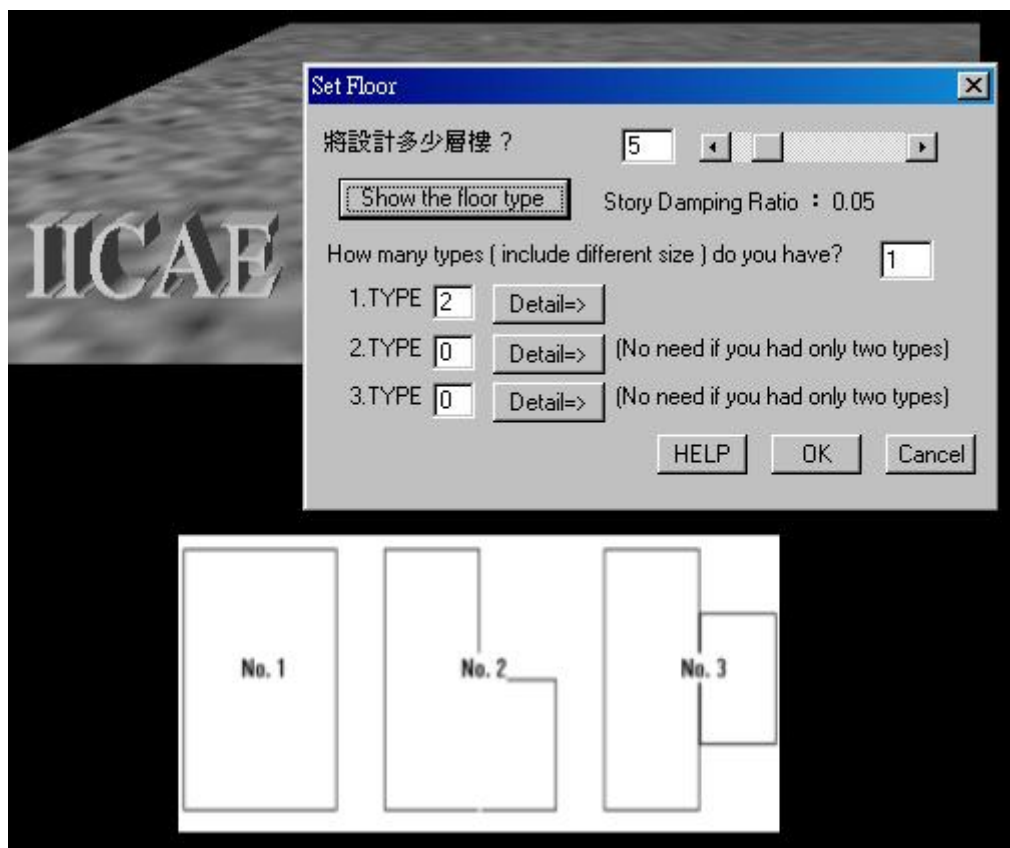


圖 5-3 範例一：設計樓版之主對話盒以及樓版形狀輔助圖

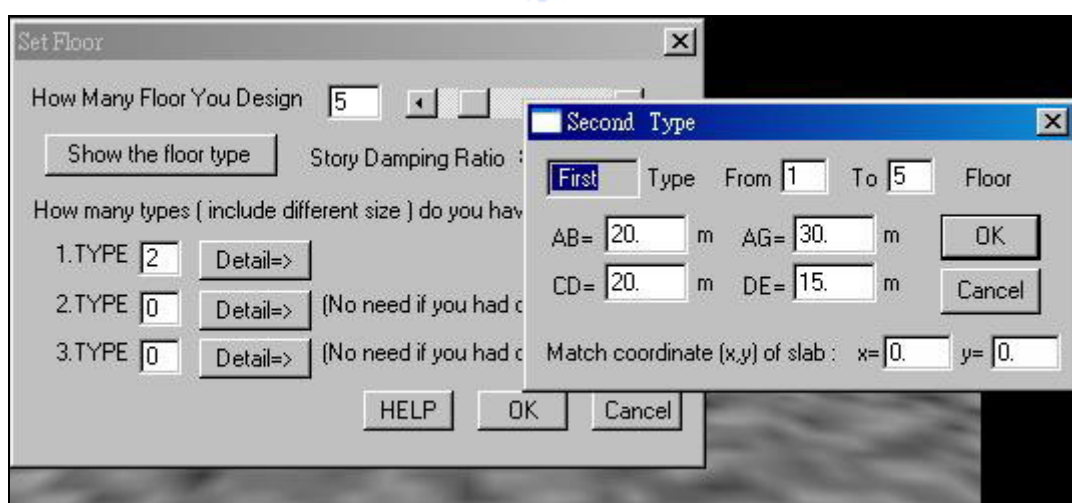


圖 5-4 範例一：設定第一種樓版尺寸

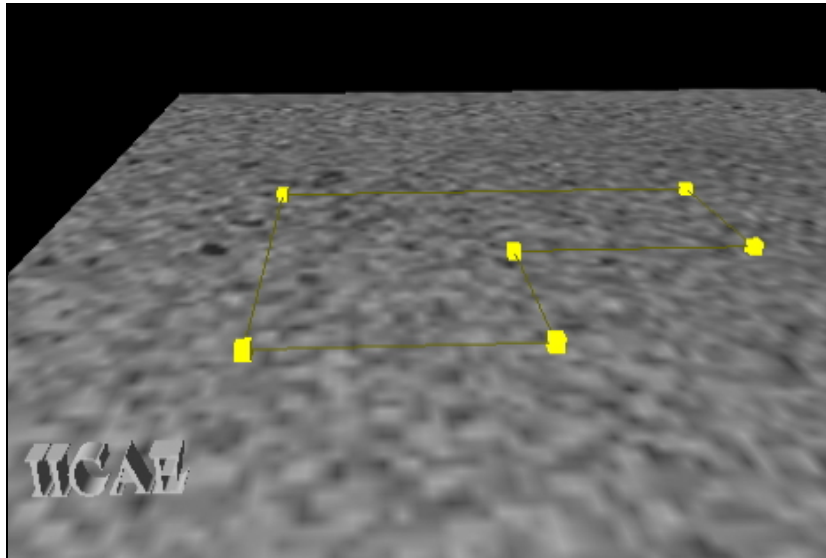


圖 5-5 範例一：完成 Select Slab 步驟後之系統展示

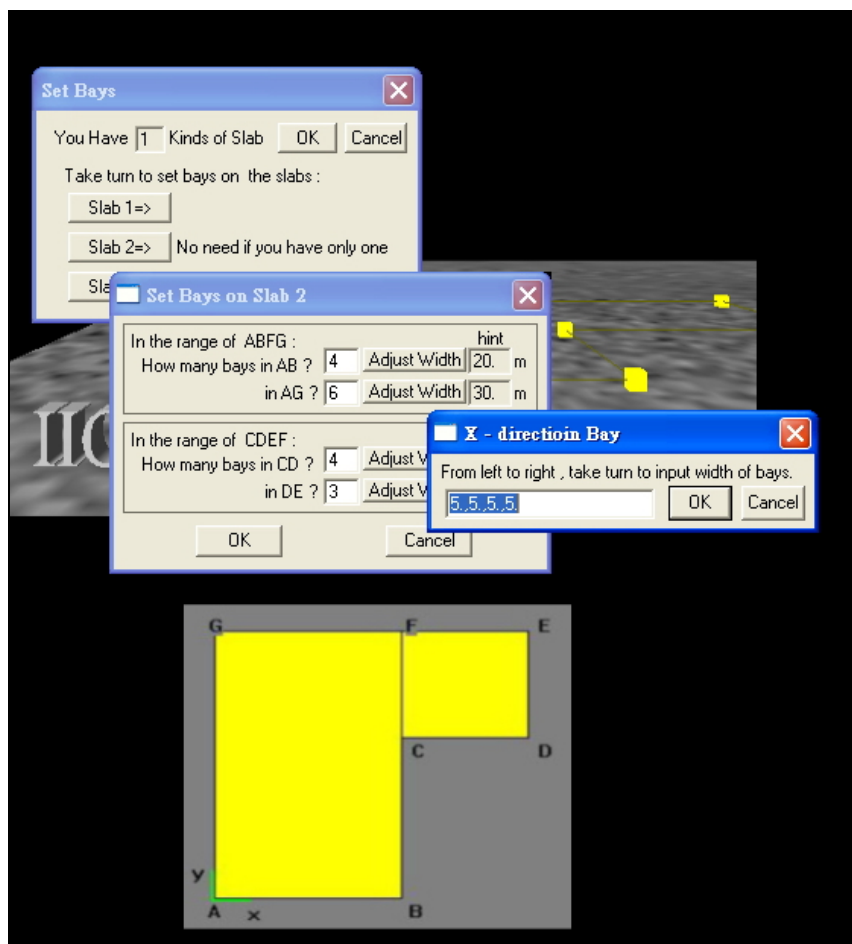


圖 5-6 範例一：設計樓版尺寸及位置之子對話盒

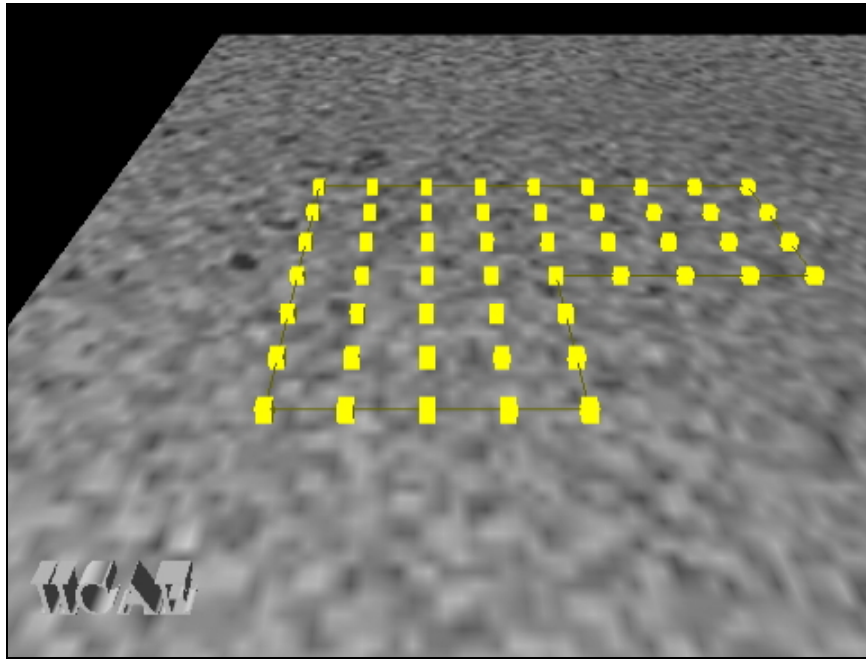


圖 5-7 範例一：完成 Set Bays 步驟後之系統展示

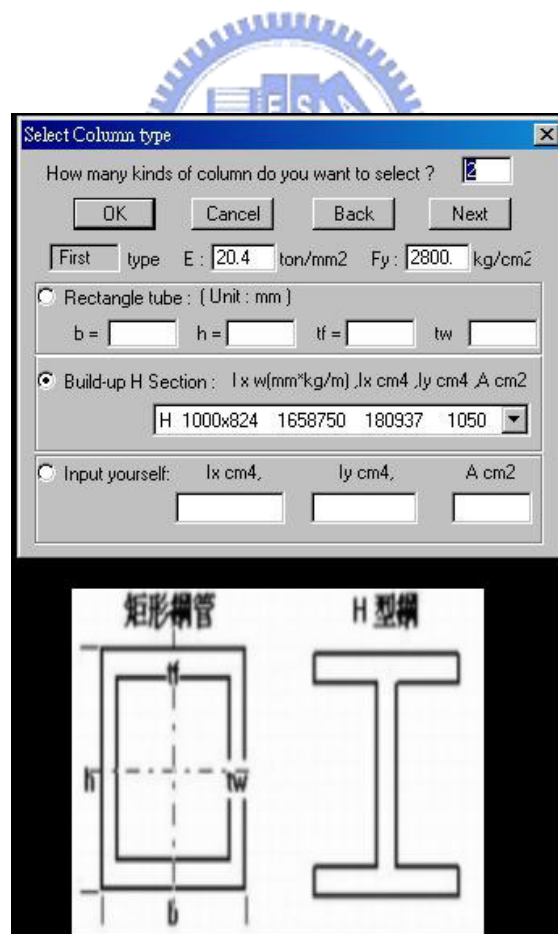


圖 5-8 範例一：設定柱斷面種類之對話窗

Set Building

Review : Floor sizes : 1 Kinds
Column types : 2 Kinds

OK Cancel

First kind of slab size from 1 to 5 floor

from 1 to 2 floor, height: 7. m

#Most of columns are the 1 type.
#Special columns (input no.):
 are the 0 type
#Floor loading: 0.4 ton / m2

NextFloor BackFloor

NEXT Slab BACK Slab

圖 5-9 範例一：設定結構物的柱子尺寸與樓版載重之對話窗

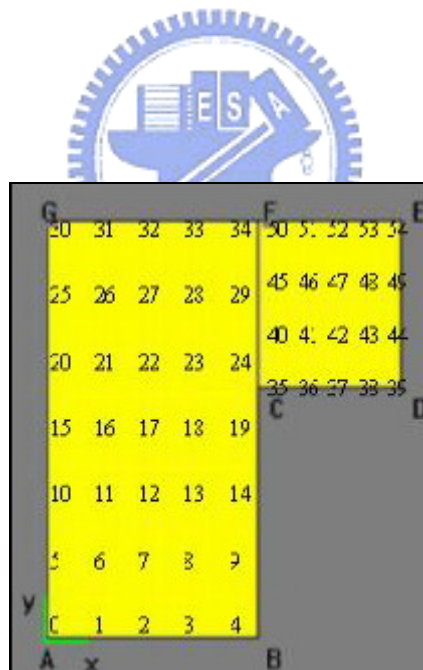


圖 5-10 範例一：結構物各柱子編號

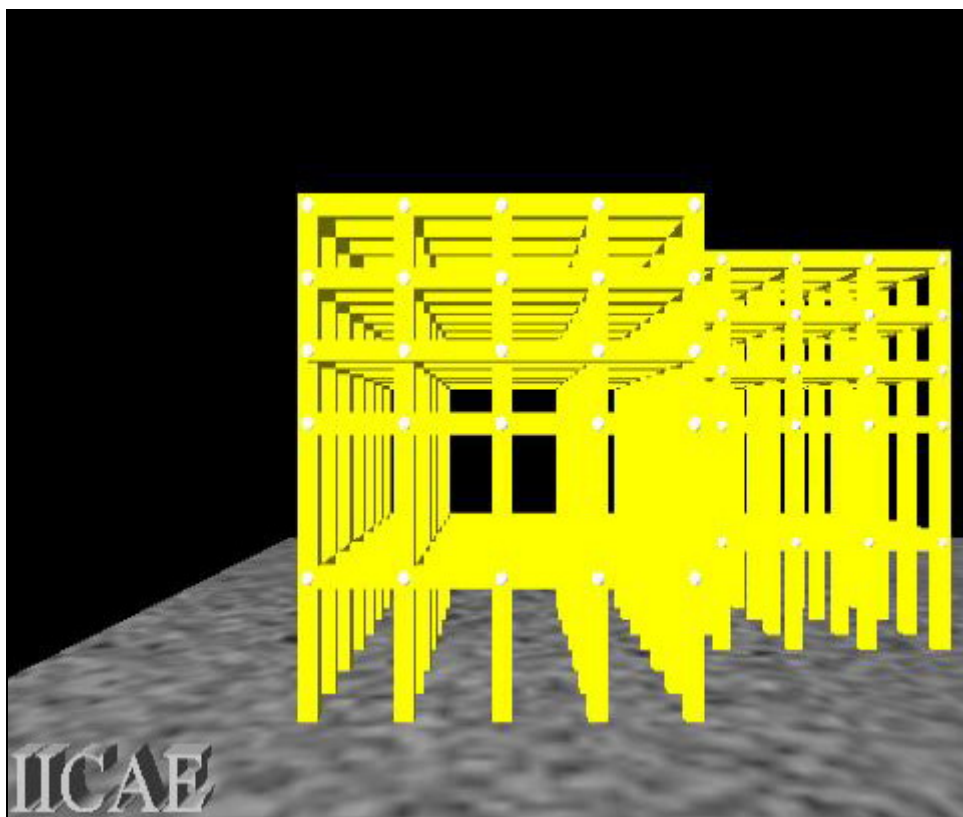


圖 5-11 範例一：整體結構物之呈現

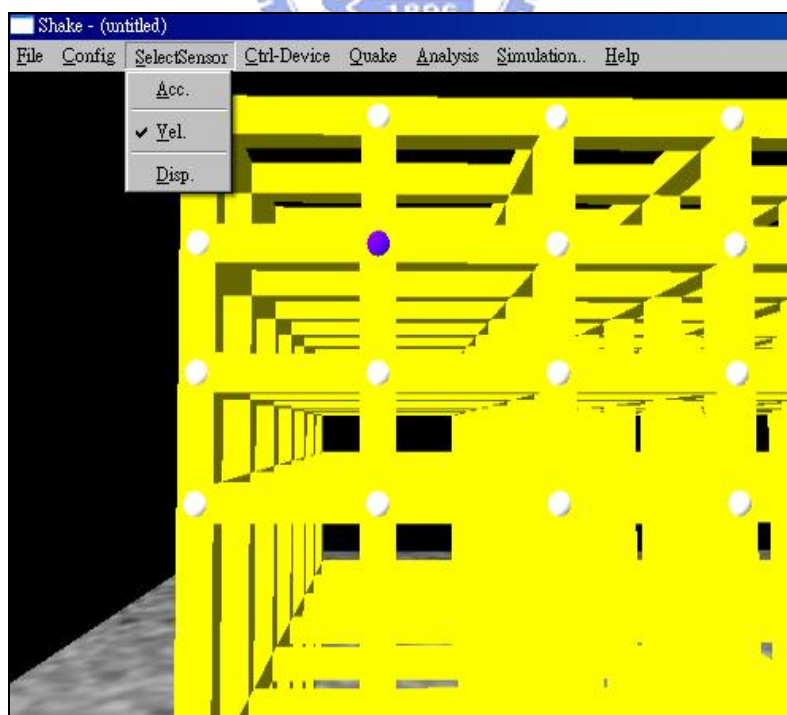


圖 5-12 範例一：選擇感測器種類以及放置感測器



圖 5-13 範例一：輸入TMD之參數

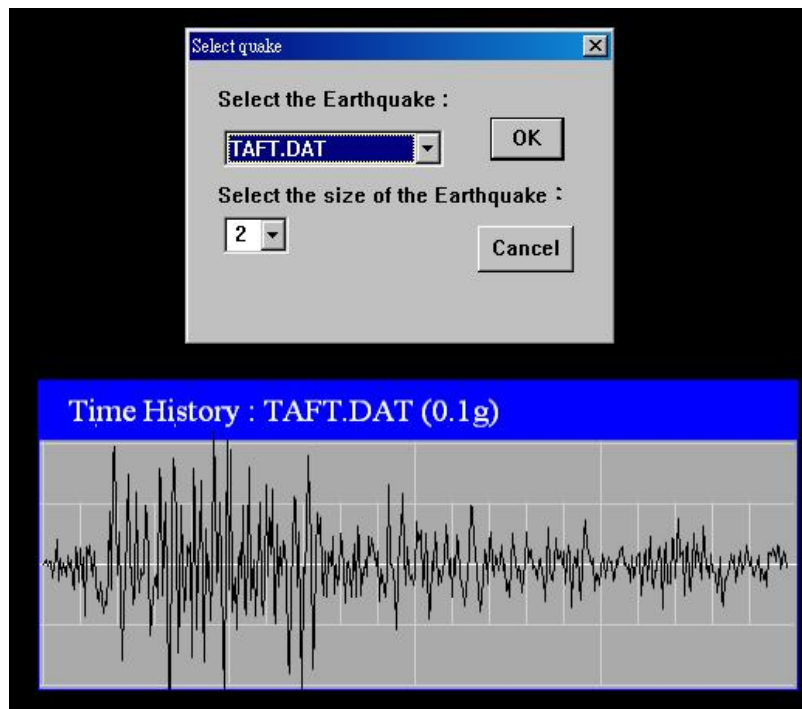


圖 5-14 範例一：選擇地震以及放大係數

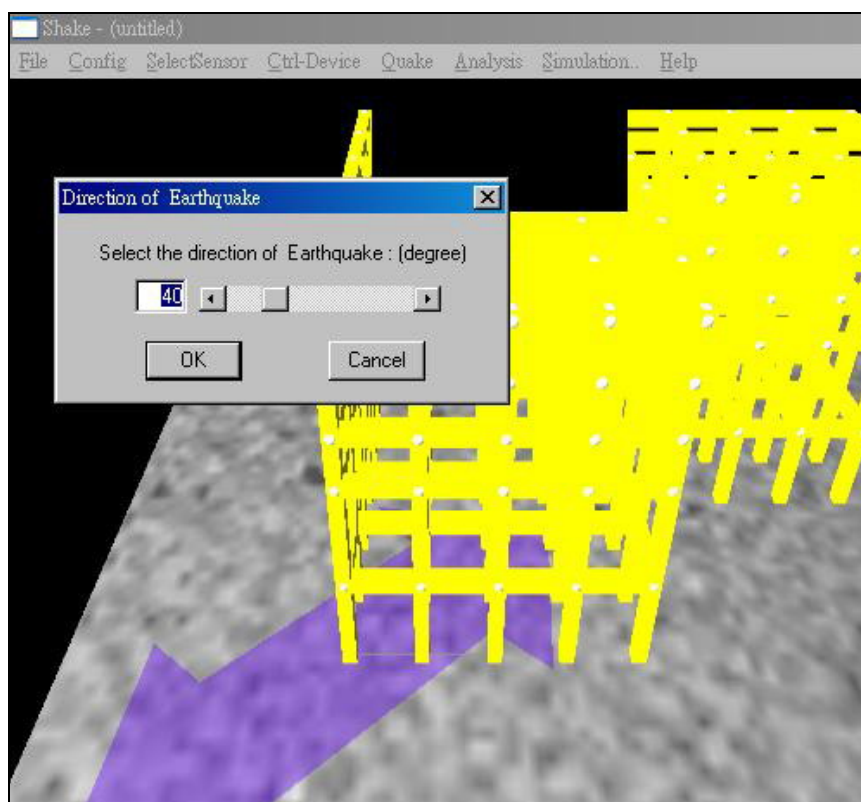


圖 5-15 範例一：選擇地震方向

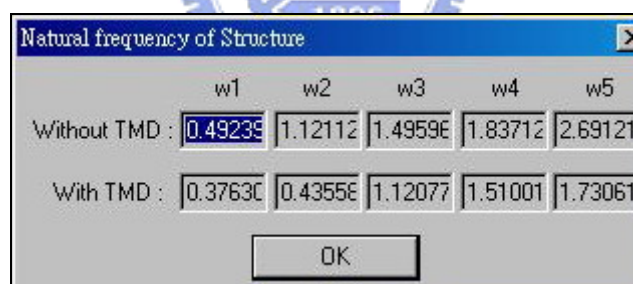


圖 5-16 範例一：顯示自然頻率變化之對話窗

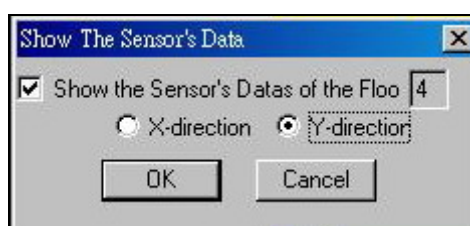


圖 5-17 範例一：選擇繪製感測器資料歷時圖

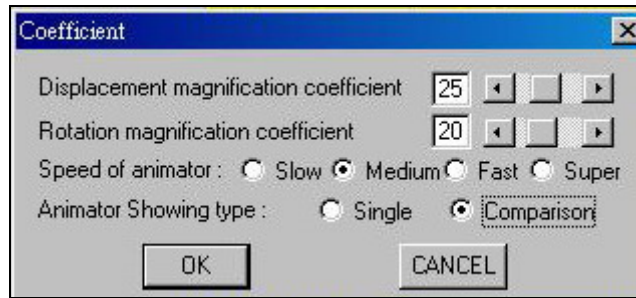


圖 5-18 範例一：設定動畫顯示狀態

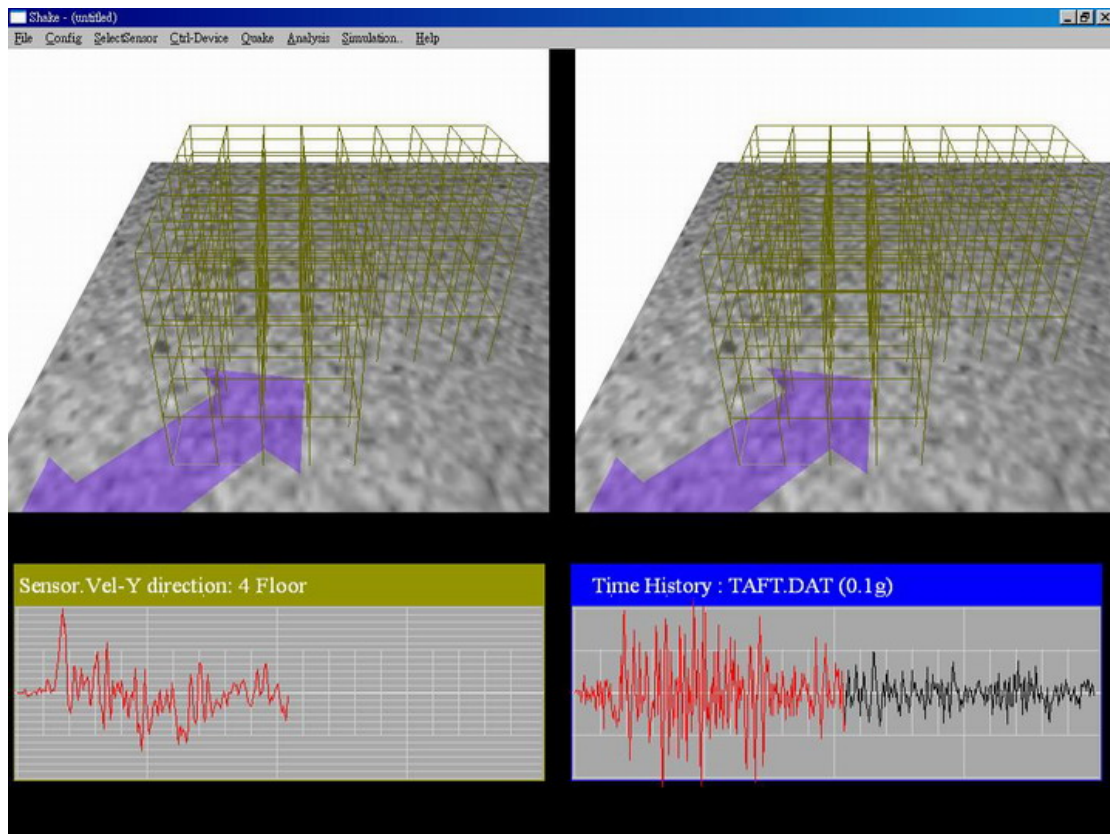


圖 5-19 範例一：動畫展示模式—45 度俯視圖

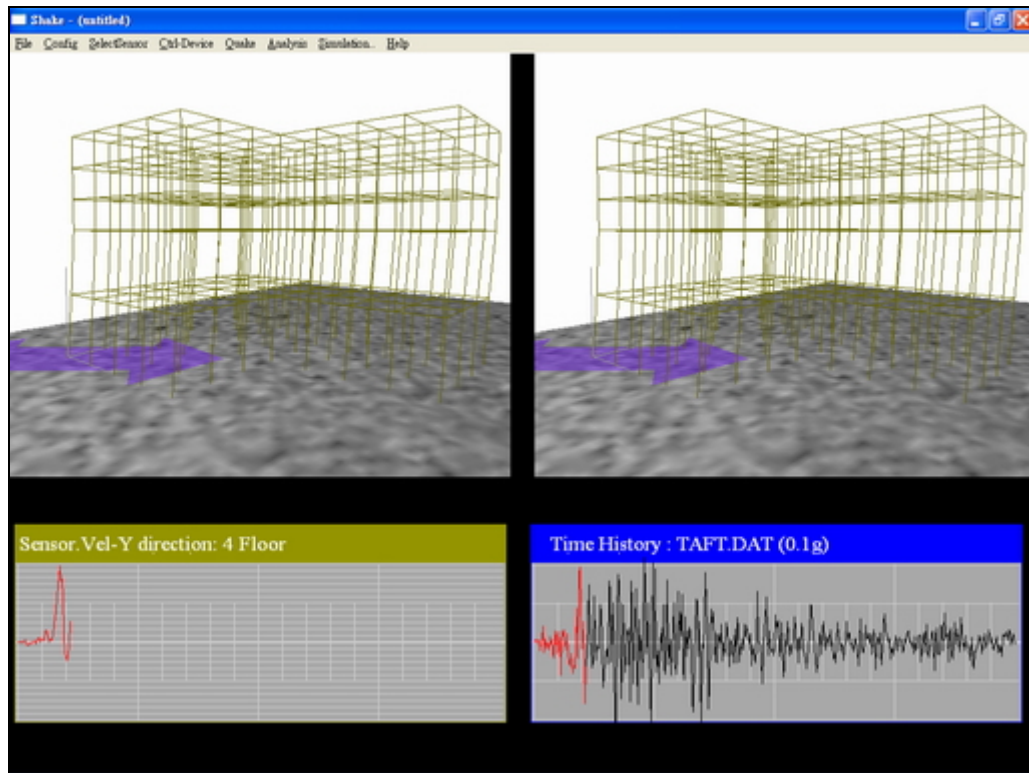


圖 5-20 範例一：動畫展示模式—側視圖

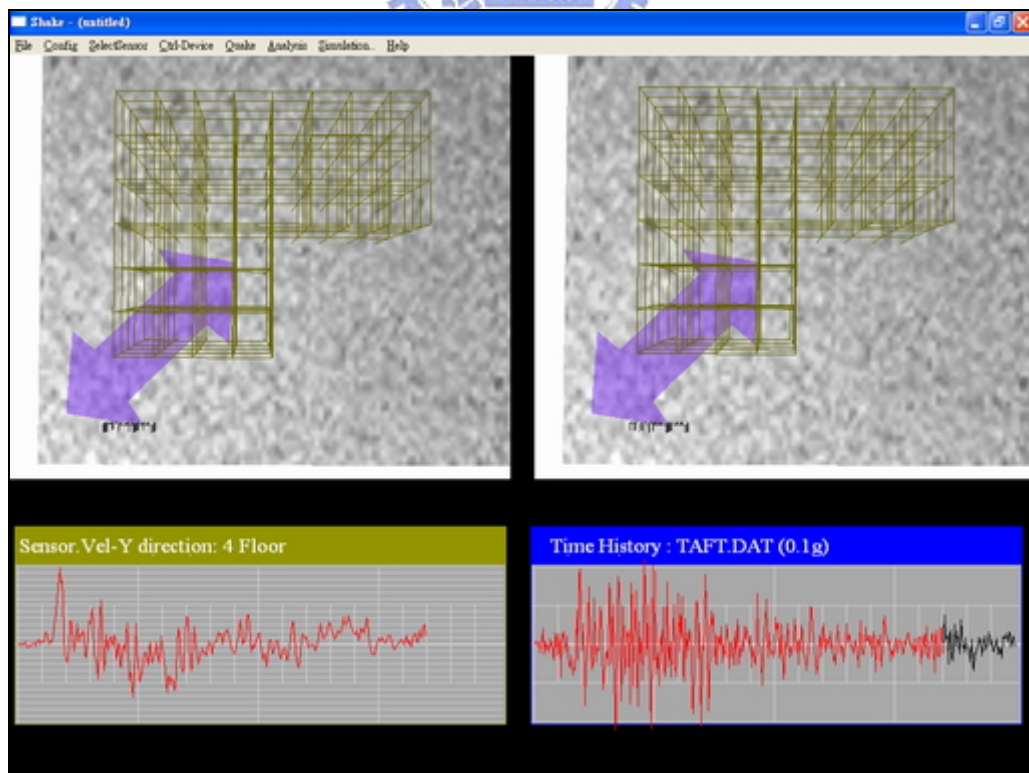


圖 5-21 範例一：動畫展示模式—俯視圖

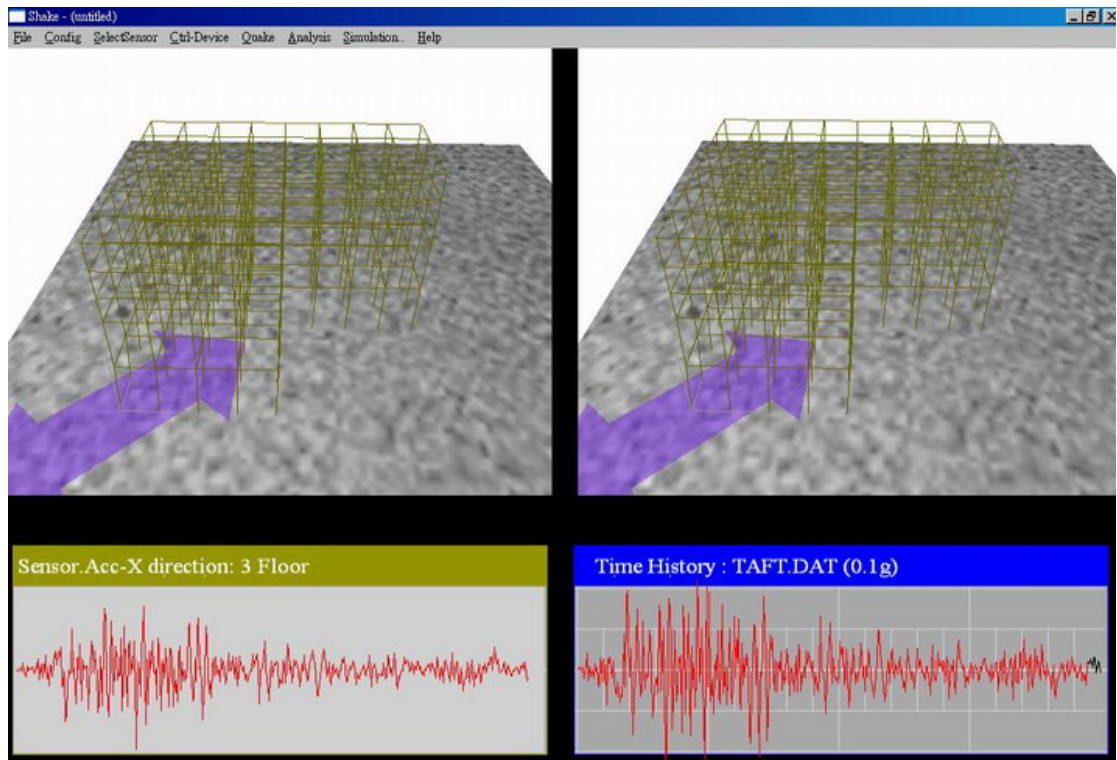


圖 5-22 範例一：動畫展示模式—3 樓 X 方向加速度感測器量測資料圖

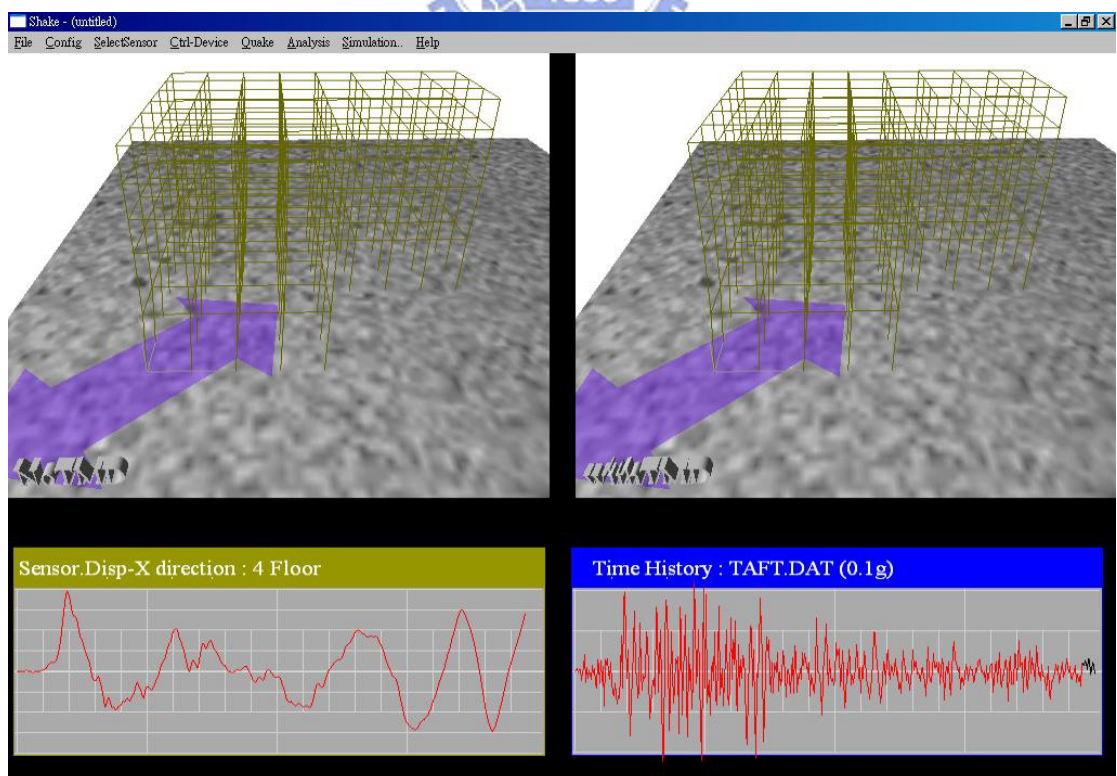


圖 5-23 範例一：動畫展示模式—4 樓 X 方向位移感測器量測資料圖

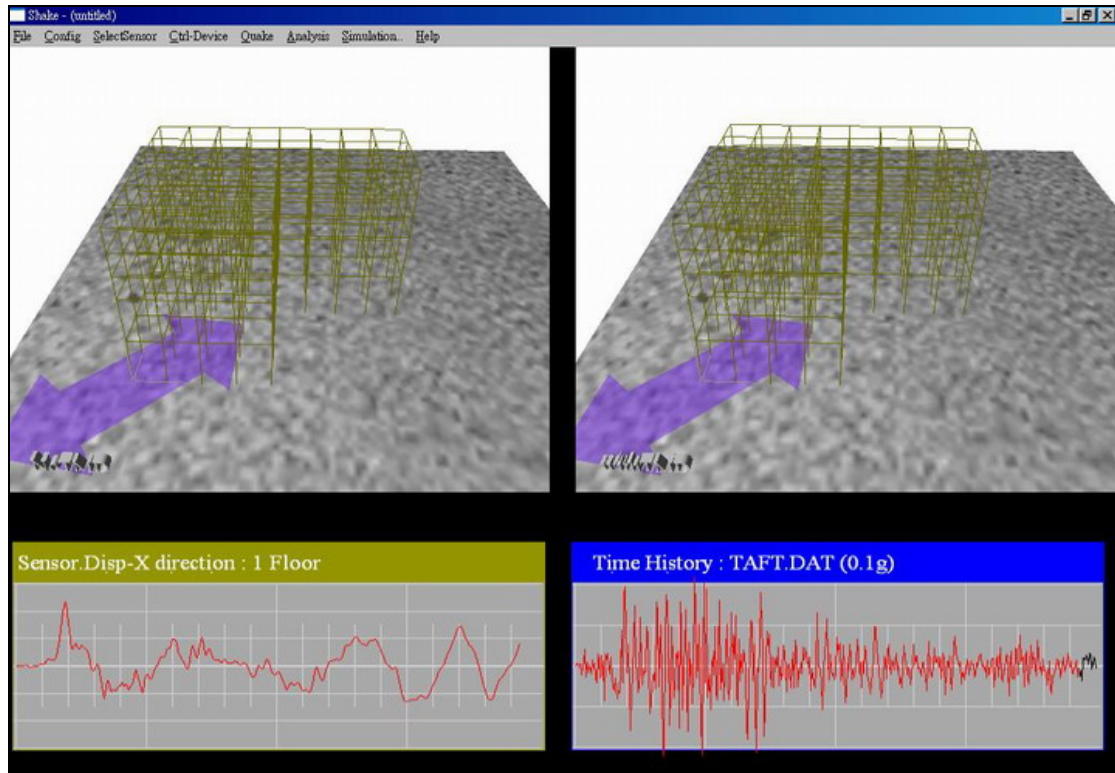


圖 5-24 範例一：動畫展示模式—1 樓 X 方向位移感測器量測資料圖

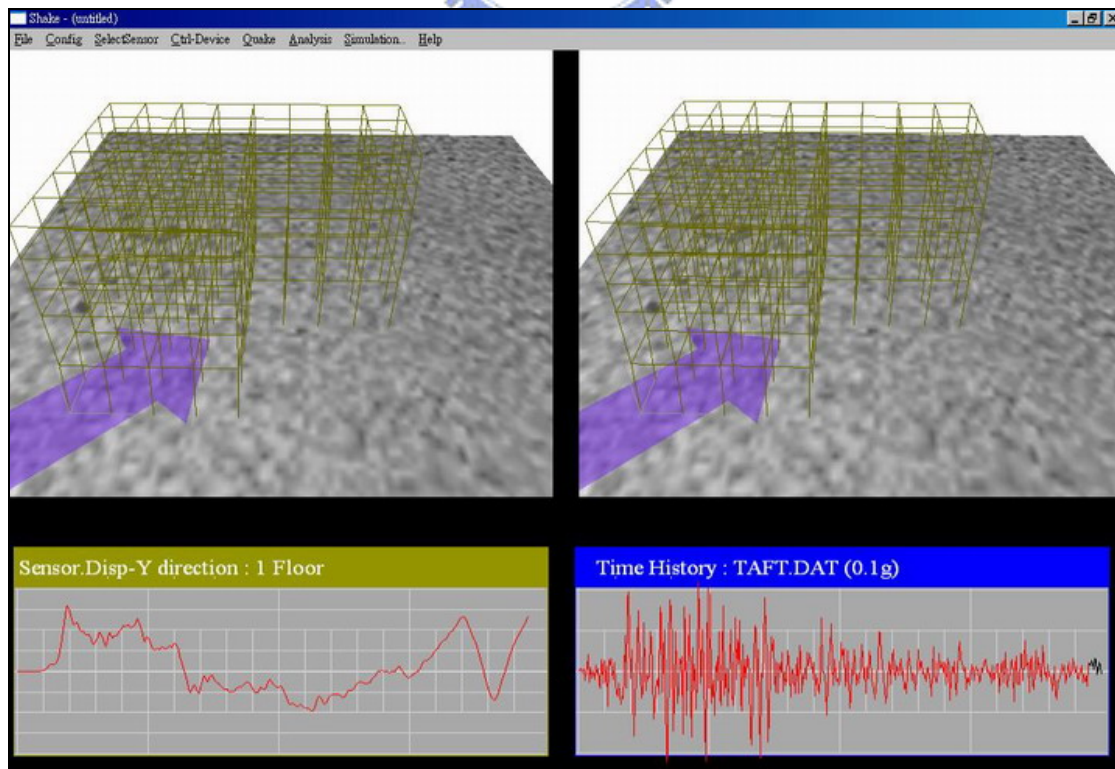


圖 5-25 範例一：動畫展示模式—1 樓 Y 方向位移感測器量測資料圖

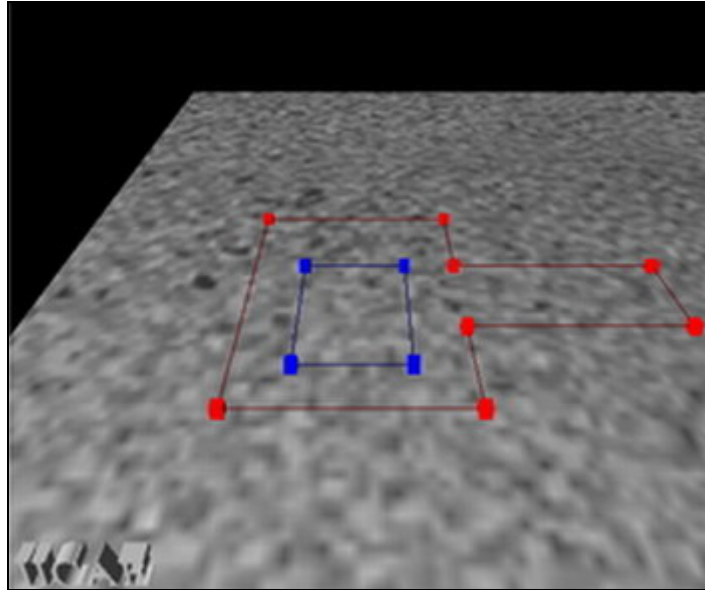


圖 5-26 範例二：各樓版在 X Y 平面中之位置

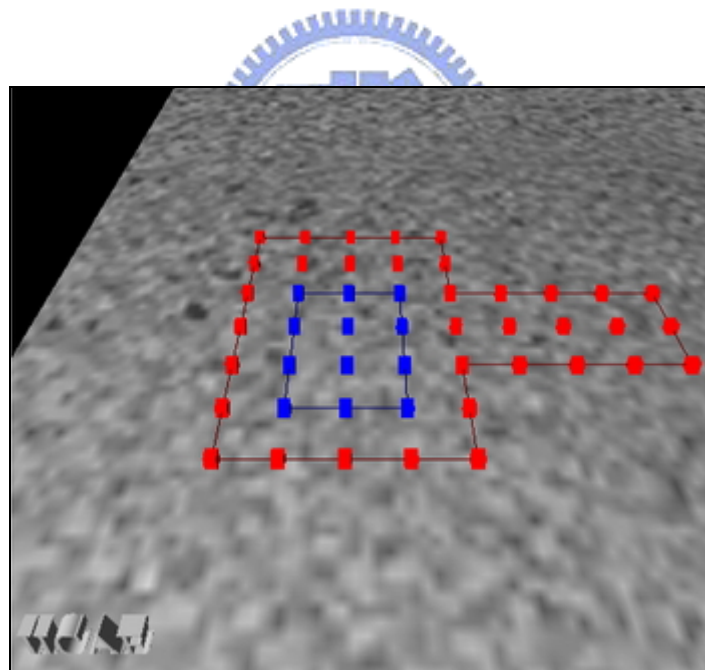


圖 5-27 範例二：各樓版柱子在 X-Y 平面之位置

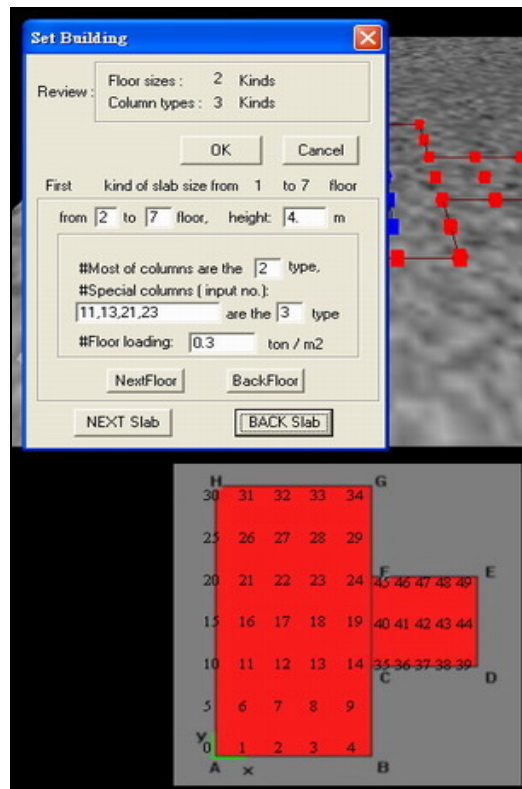


圖 5-28 範例二：設定結構物的柱子尺寸與樓版載重之對話窗

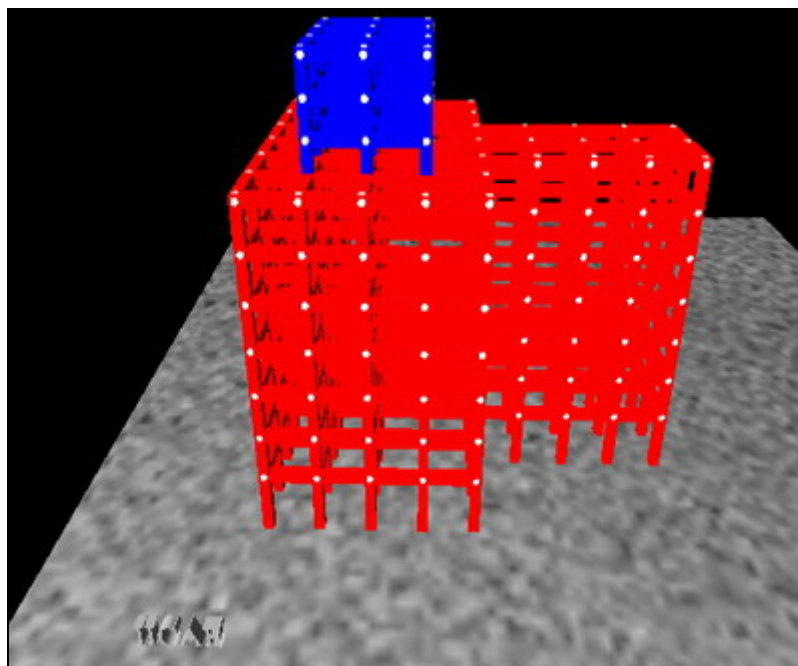


圖 5-29 範例二：整體結構物之呈現

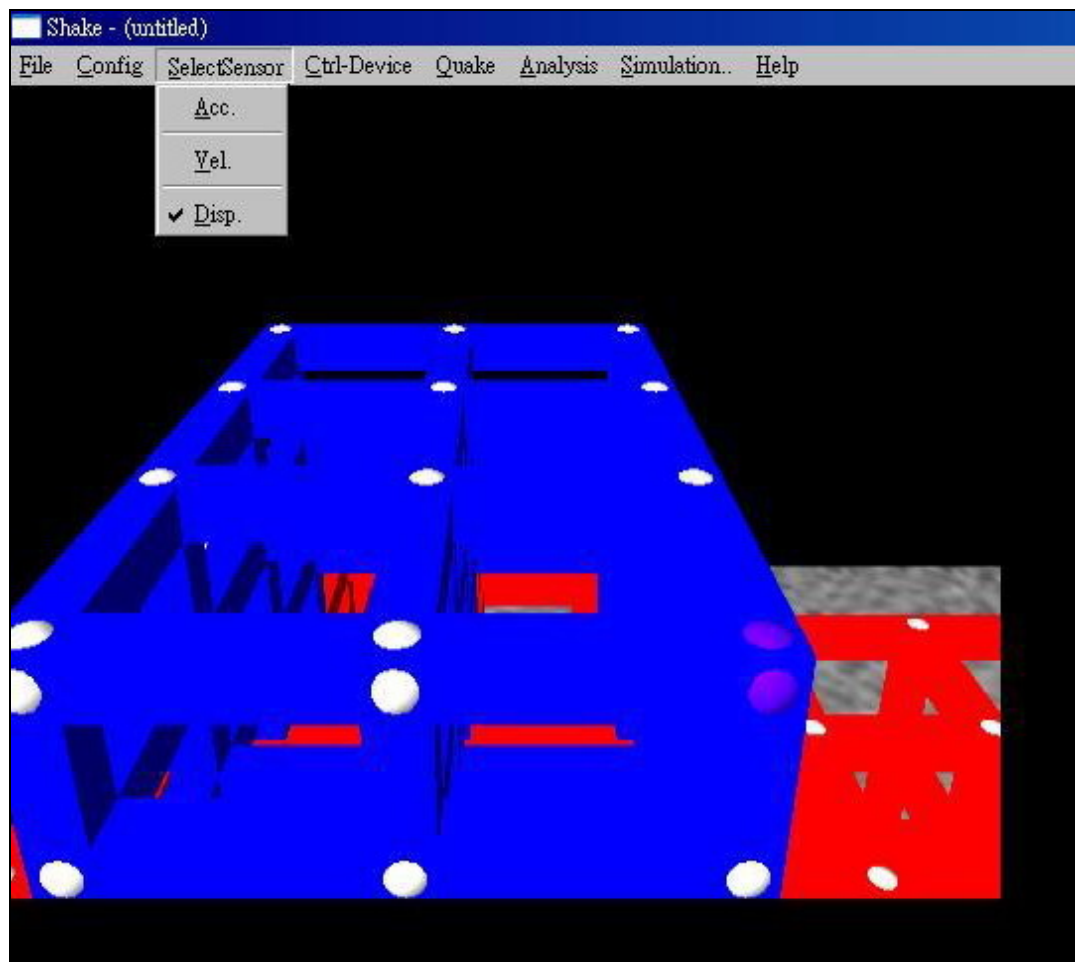


圖 5-30 範例二：選擇感測器種類以及放置感測器



圖 5-31 範例二：輸入TMD之參數

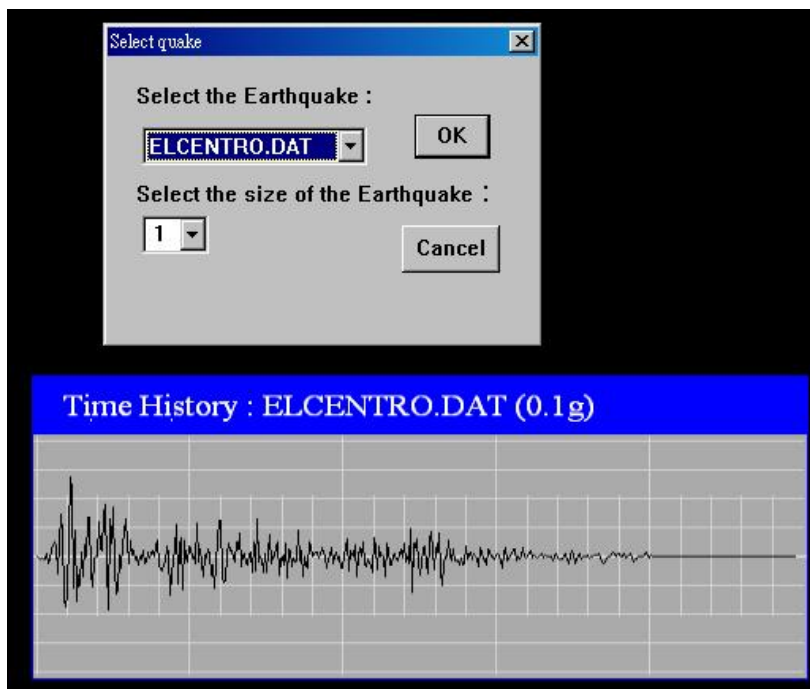


圖 5-32 範例二：選擇地震以及放大係數

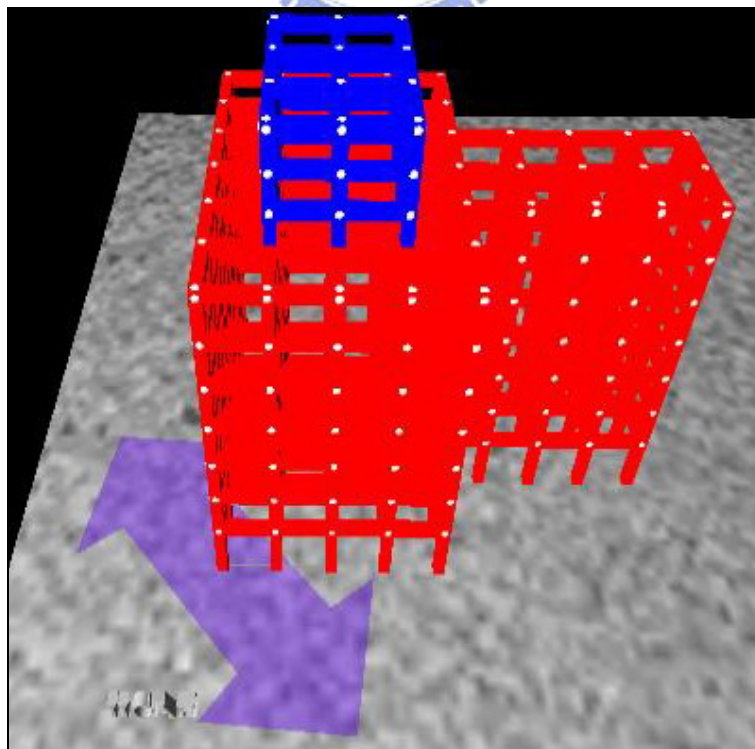


圖 5-33 範例二：選擇地震方向

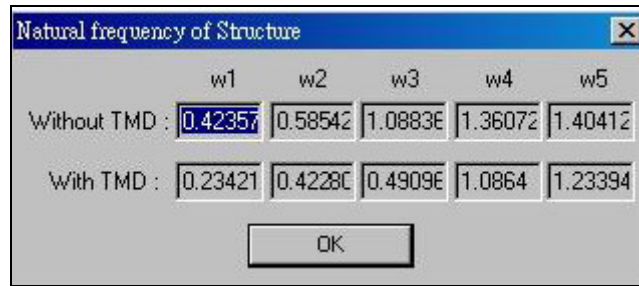


圖 5-34 範例二：顯示自然頻率變化之對話窗

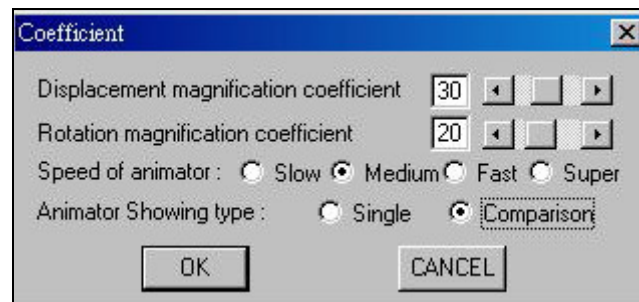


圖 5-35 範例二：設定動畫顯示狀態（位移放大 30 倍）

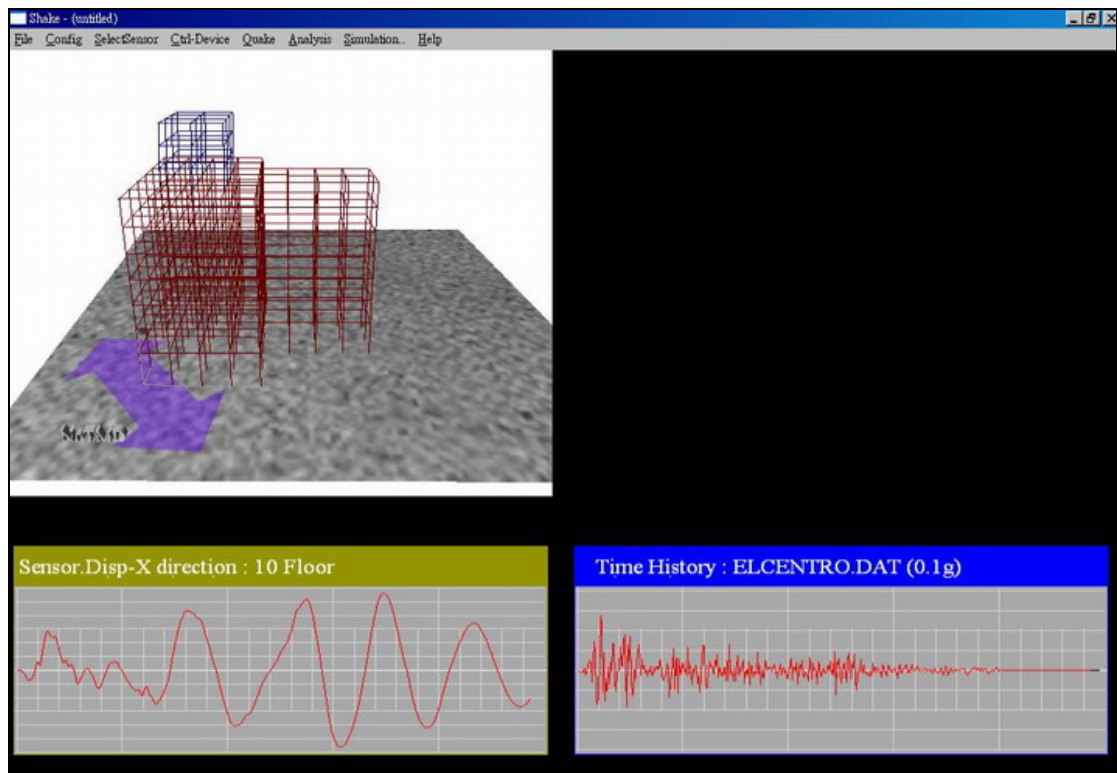


圖 5-36 範例二：動畫展示模式—無裝設隔減震裝置（X方向位移）

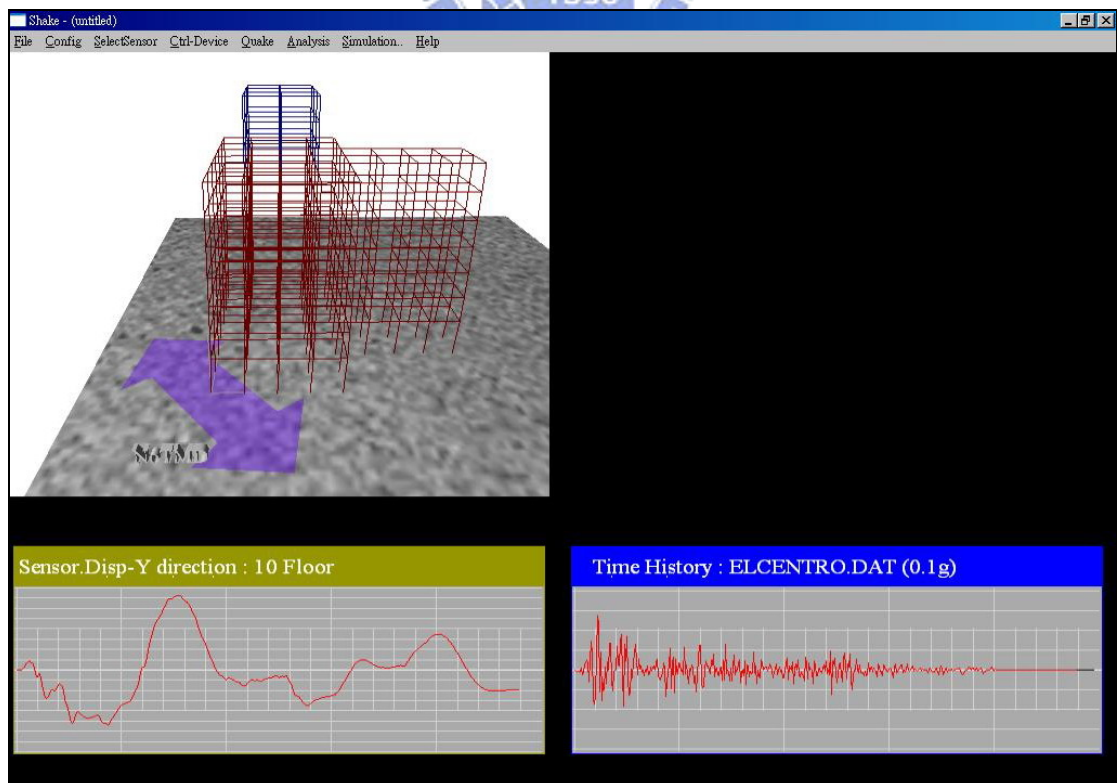


圖 5-37 範例二：動畫展示模式—無裝設隔減震裝置（Y方向位移）

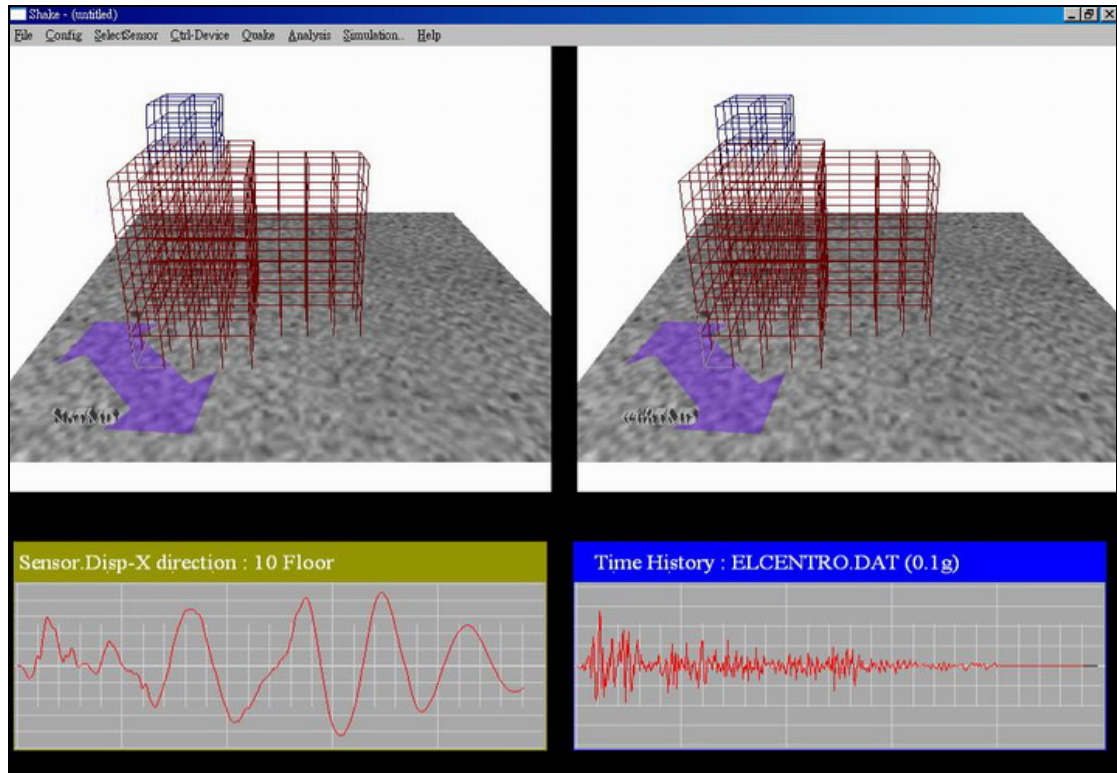


圖 5-38 範例二：動畫展示模式—裝設TMD隔減震裝置（X方向位移）

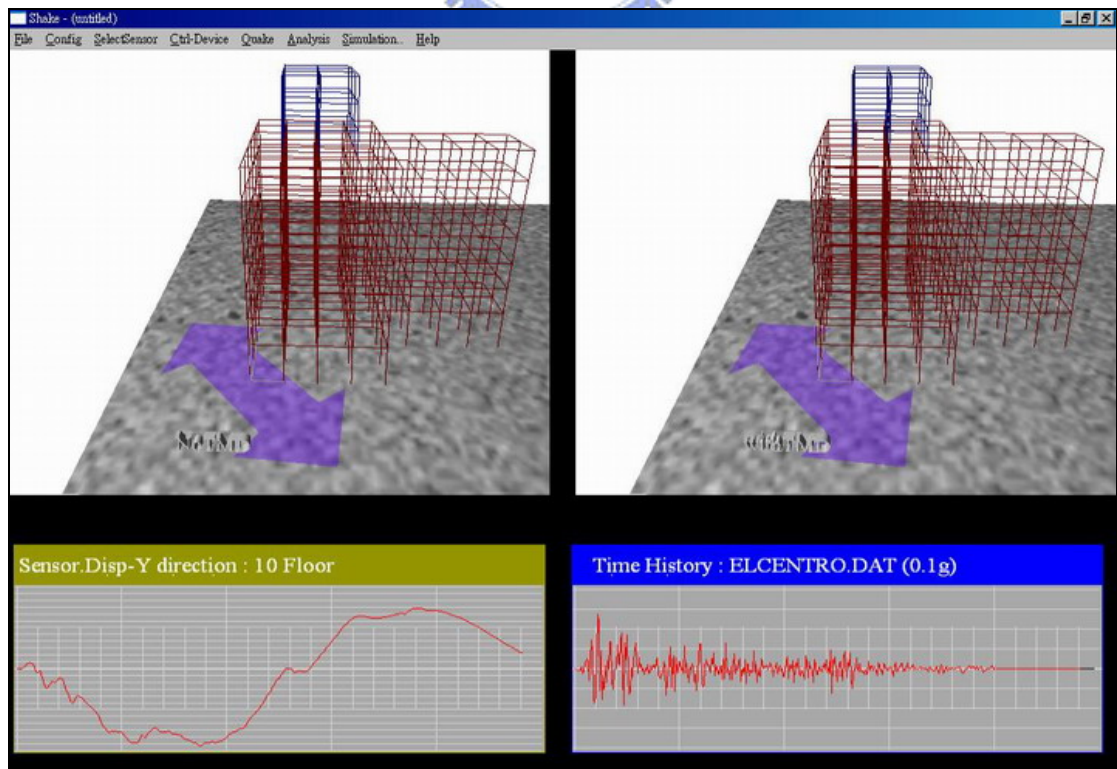


圖 5-39 範例二：動畫展示模式—裝設TMD隔減震裝置（Y方向位移）

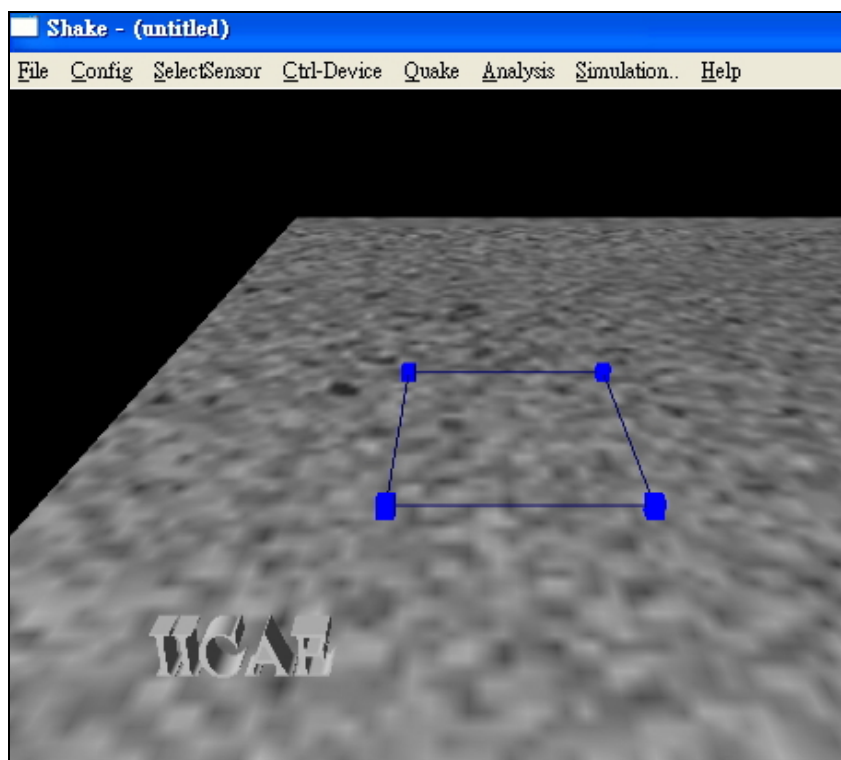


圖 5-40 範例三：樓版在 X-Y 平面中之位置

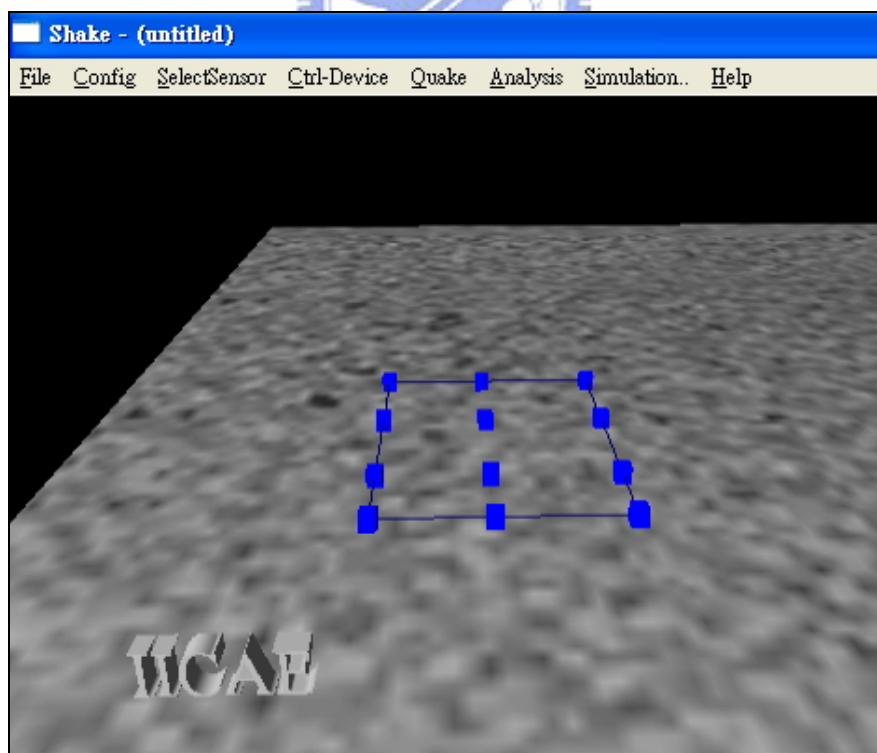


圖 5-41 範例三：各樓版柱子在 X-Y 平面之位置

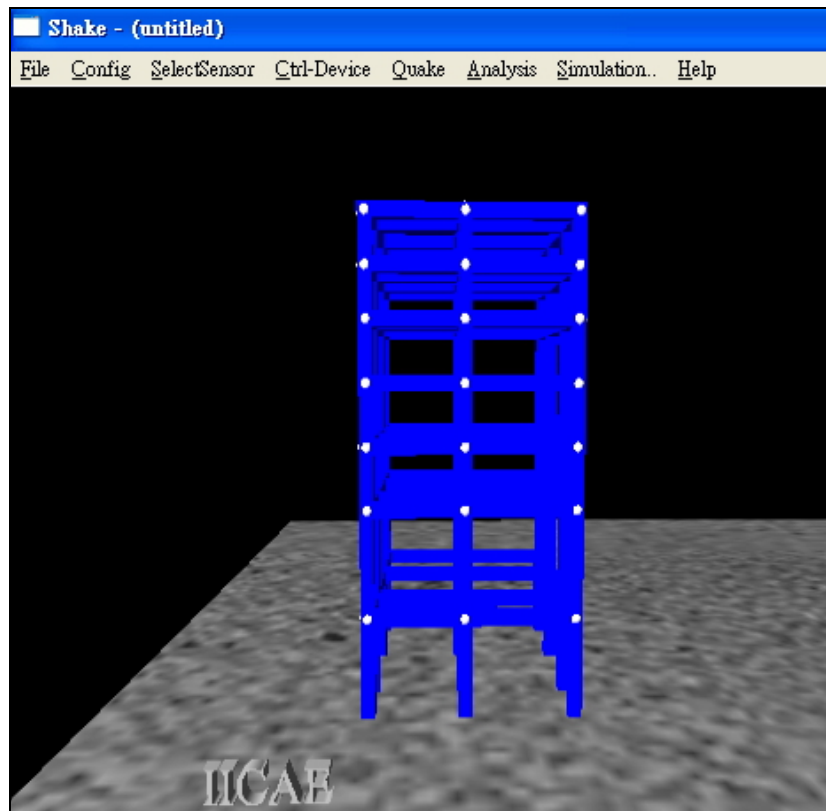


圖 5-42 範例三：整體結構物之呈現

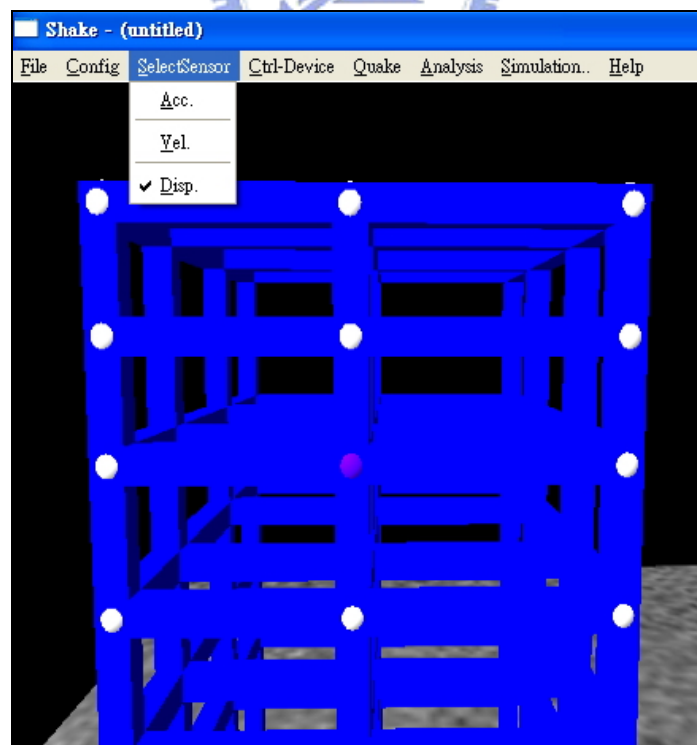


圖 5-43 範例三：選擇感測器種類以及放置感測器

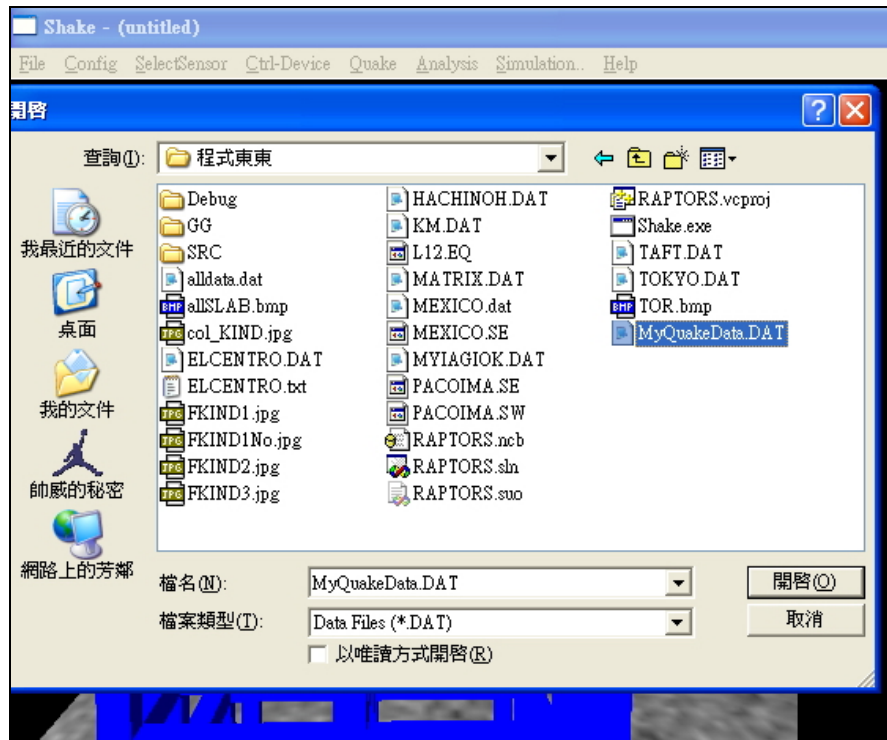


圖 5-44 範例三：自行匯入地震資料

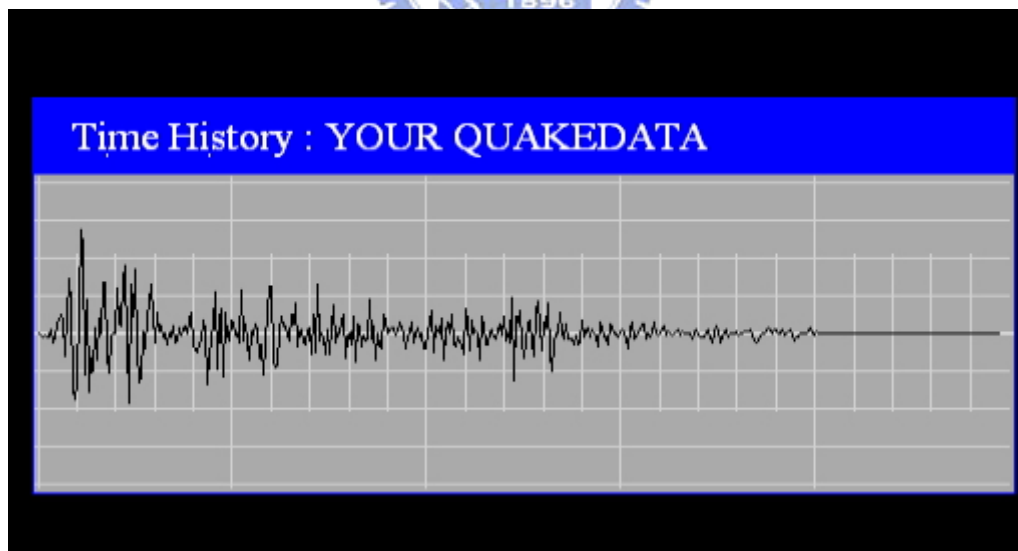


圖 5-45 範例三：地震資料歷時圖

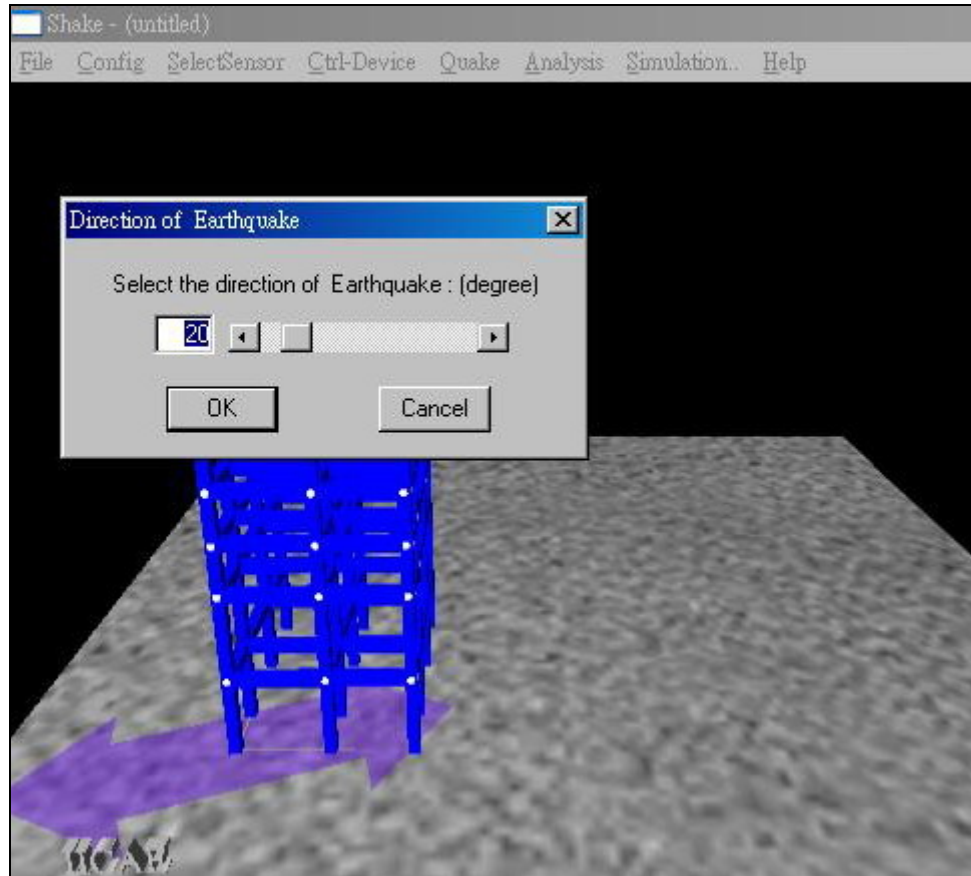


圖 5-46 範例三：選擇地震方向

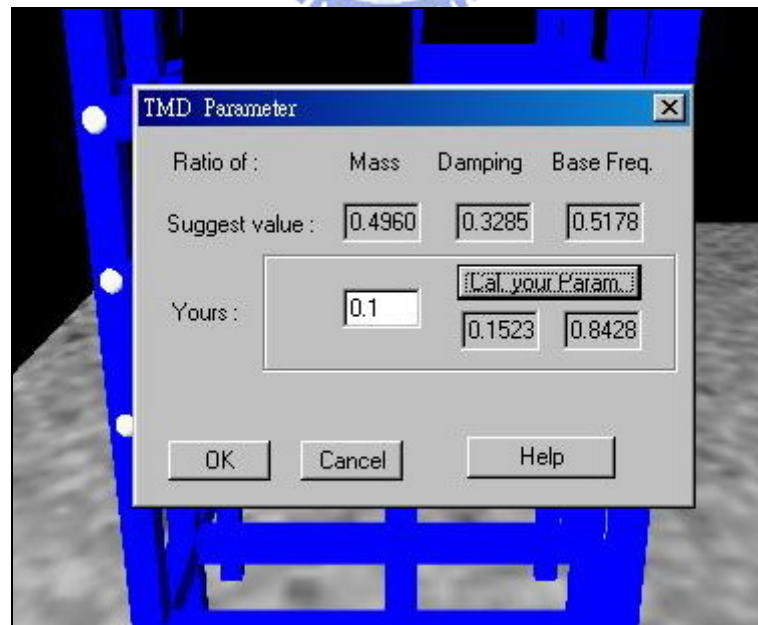


圖 5-47 範例三：顯示自然頻率變化之對話窗
(TMD 與結構之質量比為 0.1)

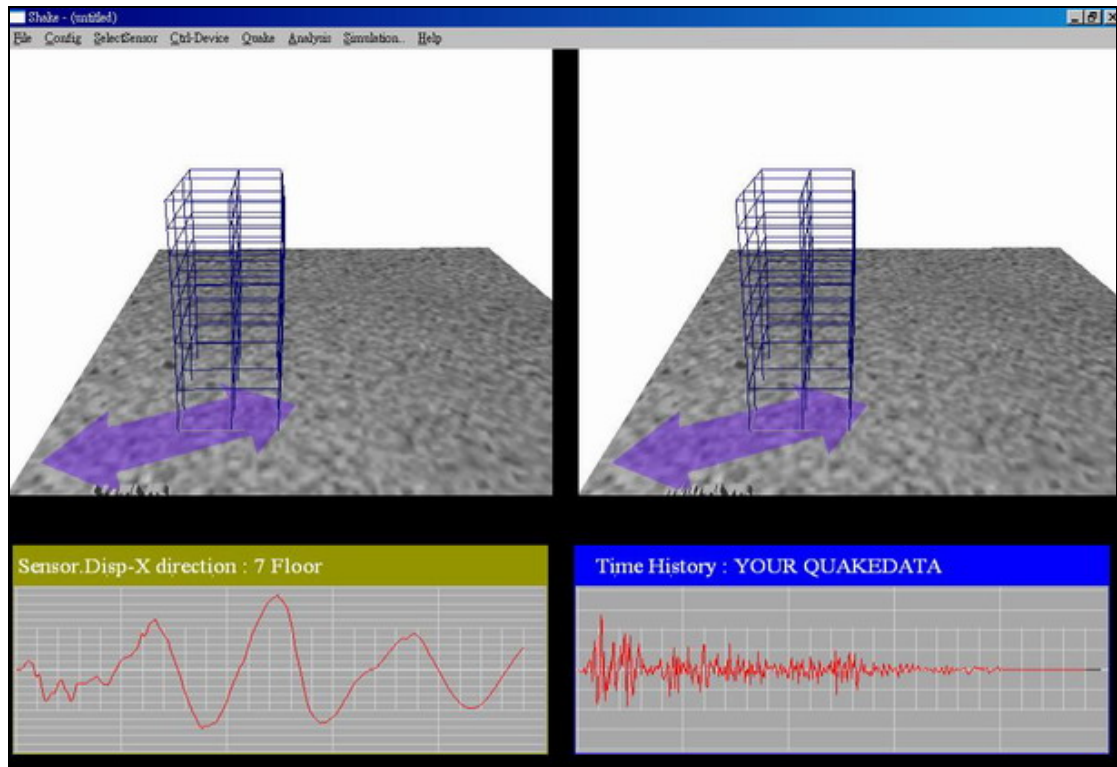


圖 5-48 範例三：動畫展示模式—裝設七樓X方向的位移感測器

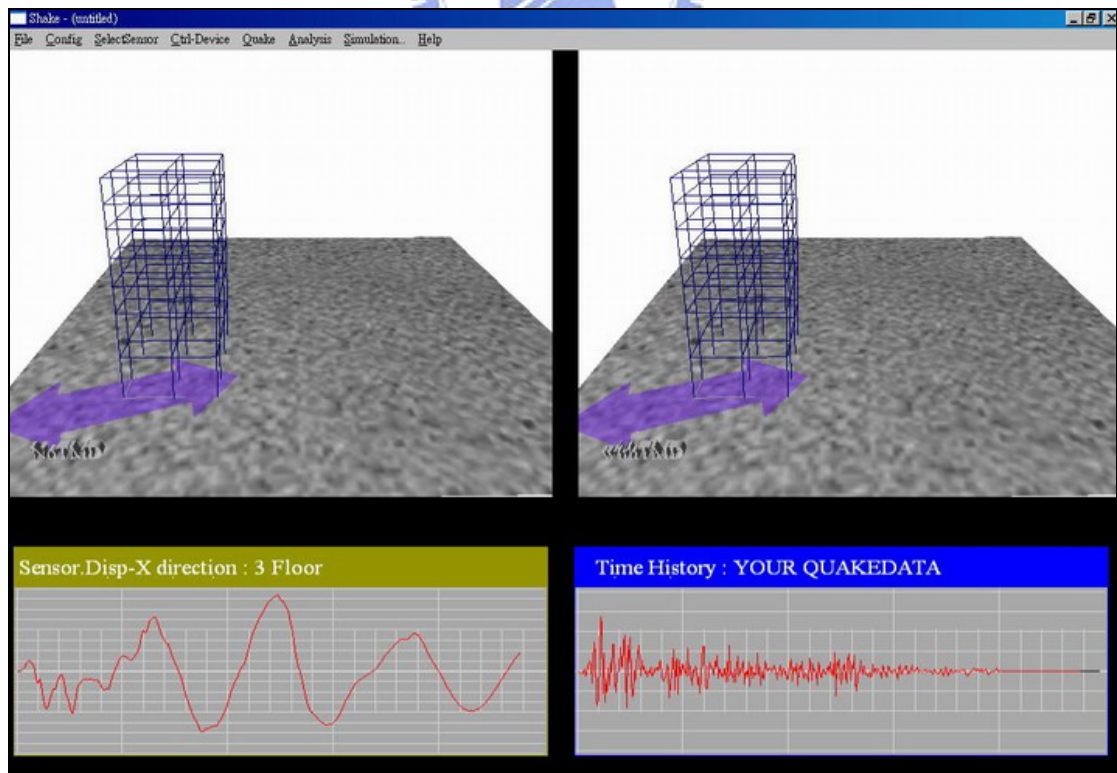


圖 5-49 範例三：動畫展示模式—裝設三樓X方向的位移感測器

第六章 結論與建議

6.1 結論

現在工程與建築專案常使用虛擬實境相關技術，進行結構物的設計和城市規劃，最主要在於虛擬實境可以傳輸營建專案中所設計之複雜 3D 資訊。本系統應用虛擬實境的技術將結構動力分析數據以 3D 動畫的方式呈現，範例操作的過程與結果，利用鍵盤或滑鼠進入虛擬場景，從不同角度觀看其設計流程中結構設計的幾何資訊和結構物之動力行為，在虛擬實境中的 3D 空間即時視覺感受。除了結構設計方面，可以利用此系統達到輔助結構動力分析的功能，在結構動力教學方面，亦可以作為動態模擬的示範系統，幫助學生瞭解動力行為複雜的空間幾何資訊。然而系統設計是利用物件導向之概念，使用者可以依照不同需求增加自行撰寫的物件函式於系統程式碼內，並更新系統功能，使之能夠更富有擴充性。

6.2 未來展望與建議

就整體系統功能而言，仍有許多不足可以參考改進的部分，在此提出幾點建議供參考改進：

1. 系統的隔減震設備目前僅供選取 TMD 裝置，未來可以整合更多結構耐震設計成果，擴充系統隔減震分析功能。
2. 為了簡化計算，系統的動力分析僅考慮線彈性範圍，未來可增加結構設計與分析的計算功能，或者與結構分析設計軟體相互支援，計算非線性範圍，讓系統分析功能更佳完整。
3. 動畫的呈現方面，目前僅是以梁柱接頭之位移連線，模擬出整體結構物的動力行為，但是局部梁柱接頭的受力行為，並沒有符合真實情況的變形狀況，未來在建模的設計方面，可以撰寫不同的繪製演算法模擬桿件受力變形狀況，以達到局部擬真的效果。

4. 目前本研究整體系統之虛擬實境建構，僅著重於場景的互動功能設計，在場景的建模方面，仍未能達到場景物體的高解析度呈現，未來可考慮結合虛擬實境應用軟體，應用貼圖、碰撞、音效等功能，設計更多與場景物體的互動行為，增加場景的擬真度，達到完全擬真的呈現。
5. 可增加播放多媒體的功能，與真實場景的攝影或拍照影像對照，讓使用者能夠比較動力分析的真實狀況與理論模擬是否一致，輔助使用者的分析應用。



參考文獻

1. 嚴子翔，VRML虛擬實境網頁語言，知城數位科技，台北，2001。
2. Burdea, G., Coiffet, P., Virtual Reality Technology, A Wiley-Interscience Publication, N. Y., 1993.
3. 呂守陞、戴慧美，虛擬實境在建築系統模版配置之運用，中華民國建築學會，第 27 期，pp. 89-101，1998。
4. 邱茂林，虛擬實境的發展與建築應用，VR於營建工程自動化應用研討會論文集，pp. 1-20，1996。
5. 林傳賢，運用虛擬實境於施工中即時營建管理之研究，VR於營建工程自動化應用研討會論文集，pp. 33-52，1996。
6. Pimentel, K., Teixeira, K., Virtual Reality Through The New Looking Glass, 2nd ed, McGraw-Hill, N. Y., 1995.
7. 晁旭光，電影—桃色機密中的虛擬實境特效，PowerMedia，pp. 45-51，1995。
8. 林璟璋，虛擬實境的應用與發展，HOPE_NET，pp. 49-54，1996。
9. 黃郅鈞，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。
10. Windschitl, M., & Winn, B., A Virtual Environment Designed to Help Students Understand Science., *Fourth International Conference of the Learning Sciences*, N. J., 2000.
11. 葉儒智，虛擬實境學習環境之教學設計研究，台南師範學院，碩士論文，1998。
12. 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，pp. 711-720，1999。
13. Bertol, D., Designing Digital Space: An Architect's Guide to Virtual Reality. John Wiley & Sons, NY, 1997.

14. Woksepp S., Tullberg O., Virtual Reality in Construction-A state of the art report, Applied Virtual Reality in Construction Engineering, Report 1, 2002.
15. 張競仁，電腦動畫模擬結構物之動力反應：TMD之減震效果，國立交通大學，碩士論文，1996。
16. Heesom, D., Mahdjoubi, L., Proverbs, D., A Dynamic VR System For Visualizing Construcion Space Usage, ASCE Construction Research Congress, Hawaii, 2003..
17. Fischer, M., Staub, S., Constructability Reasoning Based on A 4D Facility Model, Structural Engineering Worldwide, 1998.
18. Dawood, N., Sriprasert, E., Mallasi, Z., Hobbs, B. Development of an Integrated Information Resource Base for 4D/VR Construction Process Simulation & Visualisation, CIB w78 conference 2002, Aarhus, 2002.
19. Lipman, R., Reed, K., Using VRML In Construction Industry Applications” , Web3D-VRML 2000 Symposium, CA., 2000.
20. IAIN A. Macleod, Computer Representation Issues For Civil Engineering Design, Structural Engineering Review, vol. 8, No. 2/3, pp99-103, 1996.
21. Murray N., Fernando T., Aouad G., A Virtual Environment for Building Construction, 17th ISARC, pp1137-1142, 2000.
22. 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。
23. Franf D. Luna著，黃聖峰編譯，3D遊戲程式設計入門—使用DirectX9.0 實作，博碩文化，台北，2004。
24. Charles Petzold著，鄭敬桐、蔡寶進編譯，Windows95 程式設計（ I ），松格資訊，台北，1996。
25. Wendy Jones, BEGINNING DIRECTX9, Course Technology, 2004.

26. Peter Walsh編著，黃聖峰、吳以文譯，3D遊戲程式設計進階應用—使用DirectX9.0 實作，博碩文化，台北，2004。
27. Ellis Horowitz, Sartaj Sahni, Dinesh Mehta編著，余建政、謝志明譯，資料結構-使用C++，松崗電腦，台北，1996。
28. Stefik, M., Bobrow, D., Object-Oriented Programming : Themes and Variations, AI Magazine , vol. 6(4), 1986.
29. Booch, G., Object-oriented With Applications, Benjamin, Calif., 1991.
30. Madam, A., M. ASCE, Object-Oriented Paradigm in Programming for Computer-Aided Analysis of Structures, Journal of Computing in Civil Engineering, July , 2004
31. Nagarajaiah, S. et al., 3D-BASIS Nonlinear Dynamic Analysis of Three-Dimensional Base Isolated Structures : Part II, State University of New York at Buffalo, NCEER-91-0005, Feb 28, 1991
32. Clough, Ray W., Penzien, Joseph, Dynamics of Structures, Second Edition, McGraw-Hill, New York, 1993
33. Craig, Roy R. Jr., Structural Dynamics, An Introduction to Computer Method, New Jersey, 1988
34. Hager, William, W., Applied Numerical Linear Algebra, Prentice-Hill, New Jersey, 1988
35. 王彥博，橋梁之混和控制（I），行政院國科會專題計畫成果報告，編號 NSC84-2211-E-009-008，16~19 頁，84 年 7 月

附錄一 WinMain程式碼

```
int WINAPI WinMain(HINSTANCE hInstance, HINSTANCE hPrevInstance, LPSTR
lpzCmdLine, int nCmdShow ){
    HWND hDesktopWnd;      /* handle to full-screen desktop window */
    HDC  hDCcaps;          /* display-context of desktop window */
    shakeData=new ShakeData();
    build=new BUILD();
    popFile=new PopFile();
    makeMK=new Make_mk();
    mat3=new Mat3();
    paint=new Paint();
    transf=new Transf();
    caldisp=new CALDISP();
    pickTest=new PickTest();
    animator=new Animator();
    hDesktopWnd= GetDesktopWindow();
    hDCcaps= GetDC(hDesktopWnd);
    shakeData->DisplayWidth= GetDeviceCaps(hDCcaps, HORZRES);
    shakeData->DisplayHeight= GetDeviceCaps(hDCcaps, VERTRES);
    ReleaseDC(hDesktopWnd, hDCcaps);
    if(!InitD3D(hInstance, W, H,
true, D3DDEVTYPE_HAL, &Device, nCmdShow)){
        MessageBox(0, " InitD3D() - FAILED", 0, 0);
        return 0;
    }
}
```



```
if(!Setup()){  
    MessageBox(0, "Setup() - FAILED", 0, 0);  
    return 0;  
}  
d3d::BindTimer(30.0f, NULL, FALSE);  
d3d::EnterMsgLoop( Display );  
Cleanup();  
Device->Release();  
return 0;  
}
```



附錄二 每層樓為三個自由度的大樓勁度矩陣

| | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|---|---|------------------------------|-----|-----|---|
| $K_{x1} + K_{x2}$ | 0 | $-K_{x3}e_{y3}$ $-K_{x2}e_{y2}$ $K_{y3}e_{x3}$ $+K_{y2}e_{x2}$ | $-K_{x2}$ | $K_{x2}e_{y2}$ | ... | 0 | 0 |
| 0 | $K_{y3} + K_{y2}$ | $K_{y3}e_{x3}$ $+K_{y2}e_{x2}$ | $-K_{y2}$ | $-K_{y2}e_{x2}$ | ... | 0 | 0 |
| $-K_{x3}e_{y3}$ $-K_{x2}e_{y2}$ | $K_{y3}e_{x3}$ $+K_{y2}e_{x2}$ | $K_{y3}e_{x3}$ $+K_{y2}e_{x2}$ | $K_{x2}e_{y2}$ | $-K_{y2}e_{x2}$ $-K_{y2}$ | ... | 0 | 0 |
| Sym | | $K_{x2} + K_{x3}$ 0 $K_{y2} + K_{y3}$ 0 $K_{y2}e_{x2}$ $+K_{y3}e_{x3}$ | $-K_{x2}e_{y2}$ 0 $-K_{x3}e_{y3}$ $K_{y2}e_{x2}$ $+K_{y3}e_{x3}$ $K_{y2} + K_{y3}$ | ... | Sym | 0 | 0 |
| : | : | : | : | : | : | : | : |
| 0 | 0 | Sym | Sym | ... | ... | 0 | $-K_{x3}$ 0 $-K_{y3}$ $K_{x2}e_{y3}$ $-K_{y2}$ $K_{x3}e_{y3}$ $-K_{y3}$ |
| 0 | 0 | Sym | 0 | ... | Sym | Sym | K_{x3} 0 $-K_{y3}$ $K_{x2}e_{y3}$ $-K_{y2}$ $K_{x3}e_{y3}$ $-K_{y3}$ |

附錄三 每層樓為三個自由度的大樓質量矩陣

$$\begin{bmatrix}
 m_1 & & & & \\
 m_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\
 I_{r_1} & & & & \\
 0 & m_2 & \cdots & 0 & 0 \\
 m_2 & & & & \\
 I_{r_2} & & & & \\
 \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & \cdots & m_{n-1} & 0 \\
 & & & m_{n-1} & \\
 & & & I_{r_{n-1}} & \\
 0 & 0 & \cdots & 0 & m_n \\
 & & & & m_n \\
 & & & & I_{r_n}
 \end{bmatrix}$$

