

# 古蹟暨歷史建築木構架結構狀態 之檢測研究-以疊斗式為例

內政部建築研究所研究報告

MOIS921037

# 「古蹟暨歷史建築木構架結構狀態 之檢測研究-以疊斗式為例」

研究主持人：蕭江碧

協同主持人：李正庸

研 究 員：洪慶雲

研究助理：李東明

陳滄文

李翰濱

吳純明

內政部建築研究所研究報告

中華民國九十二年十二月

# 摘要

**關鍵詞：**古蹟暨歷史建築、木構架、結構狀態、檢測、疊斗式

台灣地區依法指定的古蹟中，主體屬於傳統木構架者約佔六成。然由於木材之生命週期及外力影響，無預警傾頹者，所在多有。擬人化之思維，『早期發現、早期治療』或許可找到避免古蹟暨歷史建築無預警傾毀之方法，此一方向就研究層面而言是值得探討的。此種思維當然前提是建立在其構造形變與行為具有傾毀之『關鍵點』、『臨界值』及『病象是累積的』之假設，而瞬間的超負擔傾毀是意外，意外則不屬本研究範圍。其次是『老人的基礎醫療研究』古今中外不知凡幾，但**個別差異與個體內差異性**仍是最大障礙，古蹟暨歷史建築也有相似的課題。本文僅能以本研究建立的數值模型及實體模型之感知實驗數據及圖形推論。

本文共分六章，茲分別概述如後：

第一章敘述本研究之背景、動機與目的為始，其次闡釋本研究的範圍與內容，最後說明本研究的步驟、方法與流程，冀閱者由此章即明全文梗概。

第二章檢視及探討前人對於古蹟暨歷史建築木構架之基本研究。試著從木構架的來源與類型、木材用料與性質、元件榫卯型式、構件特性與形貌及構造原理，各種相關文獻的回顧分析，瞭解木構架的涵構以及受損徵狀。除確立爾後述說的依據外，亦可當作預警檢測之基礎。

第三章為木構架結構狀態檢測技術之文獻回顧。首先就木構架結構狀態的變化進行探討，其次對檢測技術分監測與診斷兩方面進行文獻回顧。冀能為本研究爾後所要建構的古蹟暨歷史建築木構架結構狀態預警檢測機制作準備。

第四章為古蹟暨歷史建築疊斗式木構架結構狀態檢測之探討。首先本研究為瞭解疊斗式木構架結構狀態變化之實際情況，實地至臺中霧峯林家(觀察其受 921 震害之木構架損壞情形)、彰化鹿港龍山寺(觀察其大殿屋頂拆解後之純木構架狀態)、雲林北港朝天宮(觀察其即將進入修復之木構架狀況)、台北大龍峒保安宮(觀察其修復後之木構架情況)現場勘查並加以紀錄評析。

其次透過結構分析電腦程式 STAAD. Pro，並以半剛性接頭模式模擬木構架之榫卯接合，開始對疊斗式木構架進行數值模擬分析。檢視疊斗式木構架之數值模擬分析結果，發現與實際大木構架之結構行為尚有差異，原因如下：

- (1) 本研究雖以半剛性結點模式模擬榫卯之接頭行為，但構件間仍存有榫卯契合度與個別差異性之問題，要完全模擬之則極為困難。
- (2) 『木材之老化』與『蟲蛀之破壞』為影響疊斗式木構架結構毀壞的兩項重要因素，數值模擬則難加以完全模擬。
- (3) 本研究所採用之結構分析電腦程式(STAAD.Pro)，尚無法執行榫卯半剛性結點非線性之分析，榫卯結點之彎矩-轉角值僅能以固定值代入。
- (4) 僅由量測木構架構件間的位移與變形，尚不易掌握疊斗式木構架之整體結構狀態。

因此，本文以識別整體疊斗式木構架結構的動態特性基本振動週期作為檢測結構狀態之依據，例如應用微振動量測法可以識別疊斗式木構架結構的動態特性--基本振動週期。當建築結構損毀時，其側向勁度會減少，導致其基本振動週期增長，因此可藉由建築物長期的微振動量測結果來研判其結構是否產生任何結構性之損毀，作為結構狀態的預警檢測。後續則再輔以其他非破壞檢測方式做更細部的檢測。

第五章為木構架模型之實驗模擬，本文乃以強迫振動方式，量測疊斗式木構架模型結構損毀對其基本振動週期之影響，以驗證微振動量測法應用於木構架結構狀態預警檢測之可行性。

第六章則是述說本研究之結論與建議。研究結論如下：

- (1) 本研究蒐集資料中發現前人之研究大多偏於抽象歷史傳承及文化意義之敘述，而對於構造及力學之基礎研究相對較少，極需加強建構屬下層部分之基礎研究。
- (2) 就構造觀點來探討，木構架構件個別差異與個體內差異性極大，宜建立古蹟結構特性之資料庫(如履歷表之功能)，詳細記載其變化情形。
- (3) 檢視疊斗式木構架之數值模擬分析，發現與實際大木構架之結構行為尚有差異。原因在於使用結構分析電腦程式(STAAD.Pro)要完全模擬榫卯之行為，則極為困難，以及僅由量測木構架構件間的位移與變形，尚不易掌握疊斗式木構架之整體結構狀態。
- (4) 古蹟暨歷史建築木構架結構狀態預警檢測機制，首先以微振動量測方式來識別古蹟暨歷史建築木構架結構的動態特性，經連續擷取微震動量數值識別其結構狀態，再輔以其他非破壞檢測方式做更細部的檢測。
- (5) 修復補強後，可再由連續擷取之微震動量數值的變化，檢討修復補強之成效。

研究建議如下：

- (1) 加強古蹟暨歷史建築之下層基礎研究(材料、構法、工法、結構等)，提供相關研究之參考。
- (2) 古蹟暨歷史建築宜建立個別之長期監測資料庫，詳細記載其結構狀態變化之狀況(類似履歷表)。監測資料長期累積，為預警之重要參考依據。
- (3) 以現場檢測方式就重要的古蹟及歷史建築進行微振動量測，建立古蹟暨歷史建築的動態特性基本資料庫。
- (4) 選定某處古蹟暨歷史建築實際安裝微振動量測設備及地震紀錄儀，以自動擷取方式長時間記錄特定古蹟暨歷史建築物之微振動及強震反應資料，深入分析比對方式研究古蹟暨歷史建築物基本振動週期改變與受震害間之量化關係，以驗證古蹟暨歷史建築結構狀態預警檢測機制之可行性。
- (5) 由實證過程及研究分析，建立完整的古蹟暨歷史建築結構狀態預警檢測技術手冊，作為其他古蹟暨歷史建築建立其結構狀態預警檢測機制之參考。

# 目 錄

## 圖目錄

## 表目錄

### 第一章 緒論

- 1-1 研究背景、動機與目的.....1
- 1-2 研究範圍與內容.....3
- 1-3 研究步驟、方法與流程.....6

### 第二章 古蹟暨歷史建築木構架之基本研究

- 2-1 木構架之來源與類型.....9
- 2-2 木構架之木材用料與力學性質.....14
- 2-3 木構架之榫卯元件型式.....16
- 2-4 木構架之構件特性與形貌.....19
- 2-5 木構架之構造原理.....26

### 第三章 木構架結構狀態之檢測技術

- 3-1 木構架結構狀態之變化.....29
- 3-2 木構架結構狀態之檢測技術.....33

### 第四章 古蹟暨歷史建築疊斗式木構架結構狀態之檢測

- 4-1 疊斗式木構架結構狀態變化之現場勘查.....42
- 4-2 疊斗式木構架之數值模擬分析.....49
- 4-3 微振動量測應用於疊斗式木構架結構狀態檢測之探討.....65
- 4-4 古蹟暨歷史建築木構架結構狀態預警檢測機制之建構.....66

### 第五章 木構架模型之實驗模擬

- 5-1 實驗模擬計畫.....67
- 5-2 實驗儀器與設備.....71
- 5-3 局部構件損毀比較實驗.....72

## 第六章 結論與建議

6-1 結論 .....	81
6-2 建議 .....	82
引用文獻 .....	83
參考文獻 .....	84
附錄 A: 研究計畫期初、期中與期末簡報評審意見與回應表 .....	89
附錄 B: 專家學者諮詢會議記錄 .....	97
附錄 C: 研究團隊研討記錄 .....	100
附錄 D: 疊斗式木構架實體模型尺寸資料 .....	141

# 圖 目 錄

圖 1-1	古蹟暨歷史建築保存修護科技專案中程綱要計畫之研究架構圖.....	1
圖 1-2	古蹟暨歷史建築結構系統分類圖.....	3
圖 1-3	疊斗式木構架立面圖.....	4
圖 1-4	疊斗式木構架透視圖.....	4
圖 1-5	疊斗式木構架分解圖.....	4
圖 1-6	疊斗與瓜筒細部圖.....	4
圖 1-7	建築結構狀態監控模擬實驗平台設備圖.....	7
圖 1-8	研究流程圖.....	8
圖 2-1	柱形貌示意圖.....	20
圖 2-2	柱形貌實景圖.....	20
圖 2-3	瓜筒形貌示意圖.....	20
圖 2-4	瓜筒形貌實景圖.....	20
圖 2-5	通形貌示意圖.....	21
圖 2-6	通形貌實景圖.....	21
圖 2-7	楹形貌示意圖.....	21
圖 2-8	楹形貌實景圖.....	21
圖 2-9	楹引形貌示意圖.....	21
圖 2-10	雞舌形貌實景圖.....	21
圖 2-11	枋形貌示意圖.....	22
圖 2-12	枋形貌實景圖.....	22
圖 2-13	壽梁形貌示意圖.....	22
圖 2-14	壽梁形貌實景圖.....	22
圖 2-15	束形貌示意圖.....	22
圖 2-16	束形貌實景圖.....	22
圖 2-17	椽形貌示意圖.....	23
圖 2-18	椽形貌實景圖.....	23
圖 2-19	斗形貌示意圖.....	23
圖 2-20	斗形貌實景圖.....	23
圖 2-21	拱形貌示意圖.....	23
圖 2-22	拱形貌實景圖.....	23
圖 2-23	通隨形貌示意圖.....	24
圖 2-24	通隨形貌實景圖.....	24
圖 2-25	束隨形貌示意圖.....	24
圖 2-26	束隨形貌實景圖.....	24
圖 2-27	吊筒形貌示意圖.....	24
圖 2-28	吊筒形貌實景圖.....	24

圖 2-29	托木形貌示意圖.....	25
圖 2-30	托木形貌實景圖.....	25
圖 2-31	疊斗式之純木構架 3D 數位模擬圖.....	29
圖 2-32	疊斗式木構架之構件拆解圖.....	30
圖 2-33	疊斗式之單架 3D 數位模擬圖.....	30
圖 2-34	以金字塔比擬古蹟暨歷史建築研究涵構圖.....	31
圖 3-1	木構造承重圖.....	33
圖 3-2	疊斗式木造亭軒之震損模式圖.....	33
圖 3-3	地震時牆體面外破壞但木構架仍完整圖.....	33
圖 3-4	一般常見的大木構架受損部位及徵狀受損過程之模式圖.....	35
圖 3-5	一般常見的大木構架受損部位及徵狀圖.....	35
圖 3-6	流程構想圖.....	36
圖 4-1	半剛性結點轉角變位示意圖.....	49
圖 4-2	半剛性結點理論示意圖.....	49
圖 4-3	接頭彎矩-轉角曲線.....	50
圖 4-4	全新大併小出直樁試驗與模擬結果.....	51
圖 4-5	人工缺陷大併小出直樁試驗與模擬結果.....	51
圖 4-6	STAAD. Pro 之操作流程圖.....	52
圖 4-7	主要構件電腦模型如何將疊斗視為數個構件之說明圖.....	53
圖 4-8	疊斗式木構架之主要構件電腦模型圖.....	54
圖 5-1	疊斗式木構架模型側面.....	68
圖 5-2	疊斗式木構架模型.....	68
圖 5-3	疊斗式木構架有覆蓋屋頂模型.....	69
圖 5-4	疊斗式木構架模型棟架細部.....	69
圖 5-5	疊斗式木構架有覆蓋屋頂模型棟架細部.....	70
圖 5-6	疊斗式木構架模型內部棟架細部.....	70
圖 5-7	疊斗式木構架模型托木細部.....	70
圖 5-8	實驗儀器與設備圖.....	71
圖 5-9	處理流程示意圖.....	73

# 表 目 錄

表 2-1	木構架依匠師流派與代表性之建築分類表.....	11
表 2-2	木構架依單或重檐、對稱或非對稱系統構架之分類表.....	12
表 2-3	木構架依構成之分類表.....	12
表 2-4	直樑系統表.....	17
表 2-5	楔系統表.....	17
表 2-6	凹槽系統表.....	18
表 2-7	大木作構材對照表.....	19
表 2-8	臺灣傳統二維大木構架之結構行為分析表.....	28
表 3-1	感測器分類表.....	39
表 3-2	國內古蹟大木構件結構狀態常用的診斷方法與可達程度表.....	40
表 4-1	木構架結構狀態變化之現場勘查紀錄與評述表.....	42
表 4-2	各種全新接頭之試驗曲線模擬參數值.....	51

# 第一章 緒論

本章分成三個段落，以敘述本研究之背景、動機與目的為始，其次闡釋本研究的範圍與內容，最後說明本研究的步驟、方法與流程，冀閱者由此章即明全文梗概。

## 1-1 研究背景、動機與目的

### 一、研究背景

古蹟暨歷史建築保存修護科技計畫  
生命週期及外力影響

- (一) 本計畫隸屬於內政部建研所 92 年度~96 年度預計執行之古蹟暨歷史建築保存修護科技專案中程綱要計畫下之子計畫。中程綱要計畫之研究架構主要分成結構修復、保存環境、技術推廣此三大研究領域，而本計畫則是屬於結構修復研究領域下，涵蓋損壞檢測機制與結構分析評估兩課題之計畫。

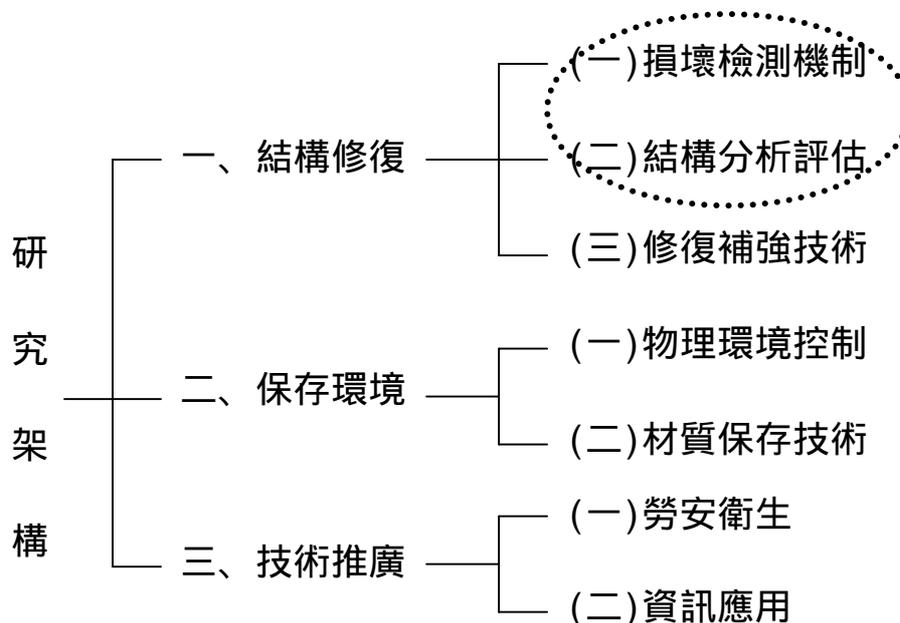


圖 1-1 古蹟暨歷史建築保存修護科技專案中程綱要計畫之研究架構圖

資料來源：見內政部建研所，2002.3，《古蹟暨歷史建築保存修護科技專案中程綱要計畫書》，p9。

(二)文化資產保存法自民國七十一年頒布實施後，台灣地區依法指定的古蹟中，主體屬於傳統木構架者約佔六成(註<sup>1-1</sup>)。然受限於木材之生命週期及外力影響，傾倒毀壞者，所在多有。

## 二、研究動機

(一)擬人化之思維，『早期發現、早期治療』或許可找到避免古蹟暨歷史建築無預警傾毀之方法，此一方向就研究層面而言是值得探討的。

(二)科技日新月異，現代的檢測技術該如何應用於古蹟暨歷史建築木構架結構狀態的預警檢測上？

## 三、研究目的

(一)建構古蹟暨歷史建築木構架結構狀態預警檢測機制，以防範木構架古蹟暨歷史建築的傾倒毀壞。

(二)應用科技方式來識別古蹟暨歷史建築木構架結構的特性，作為結構狀態的預警檢測。

---

註<sup>1-1</sup> 見蕭江碧、閻亞寧，2001，《古蹟保存與再利用防火課題之基礎調查研究》，內政部建研所。

# 1-2 研究範圍與內容

## 一、研究範圍

### (一) 古蹟暨歷史建築結構系統分類與本研究之範圍

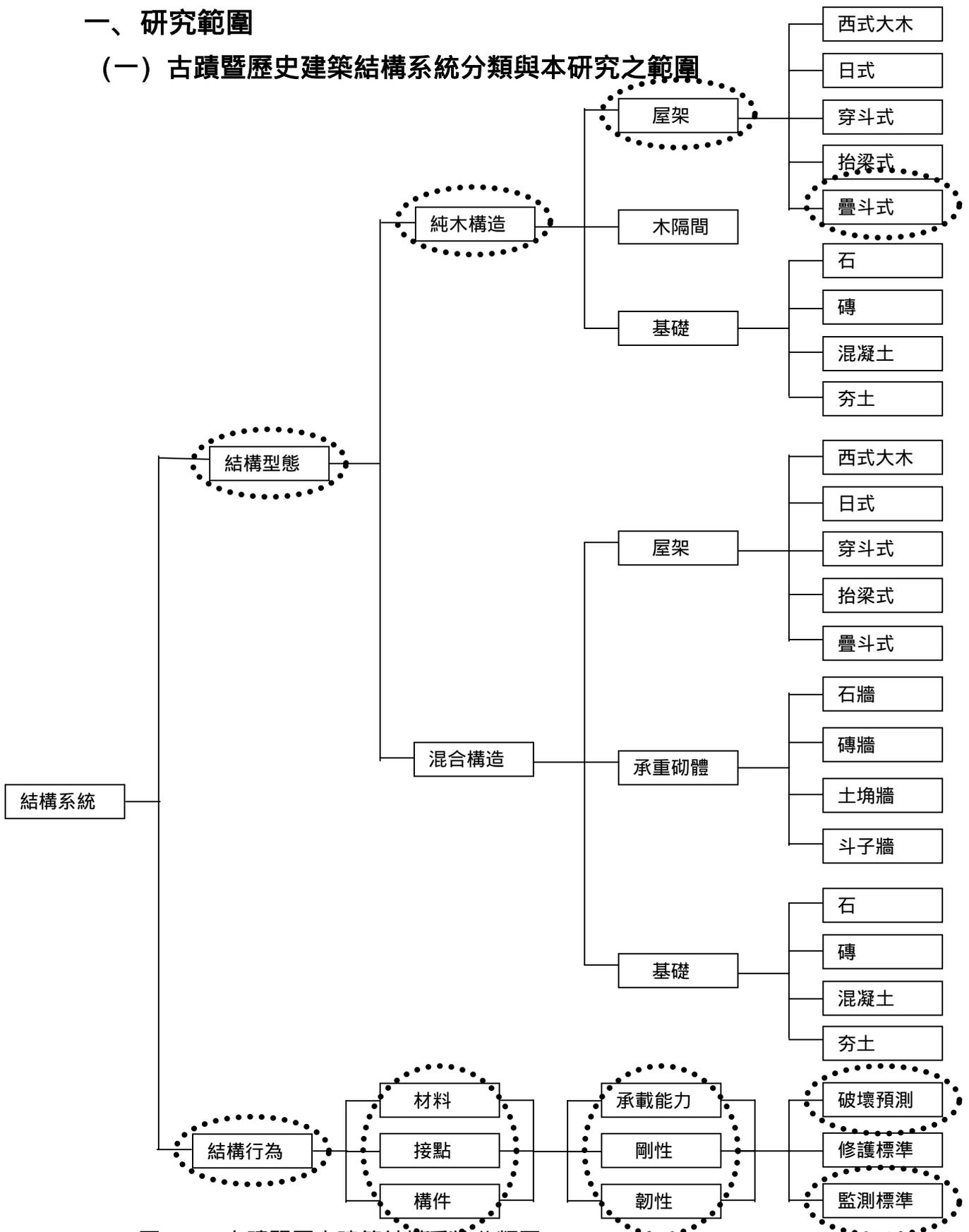


圖 1-2 古蹟暨歷史建築結構系統分類圖

資料來源：內政部建研所，2002.3，《古蹟暨歷史建築保存修護科技專案中程綱要計畫書》，p10。

## (二) 疊斗式木構架

本研究以古蹟暨歷史建築中，廟宇最普遍使用的疊斗式木構架為主要研究對象。而一般廟宇皆為混合構造，本研究考量團隊人力與時間，將研究範圍限於疊斗式的純木構架。

所謂疊斗式係指『梁枋上因榫卯太多，故以數斗相疊，斗與斗之間有穿材(如束木或看橢)，如此可代替瓜柱，通常疊三斗至五斗，也有疊至七斗』(註<sup>1-2</sup>)。



圖 1-3 疊斗式木構架立面圖

資料來源:本研究繪製。參考林會承, 1987, 《臺中市三級古蹟張廖家廟修復研究》, 台中市政府。

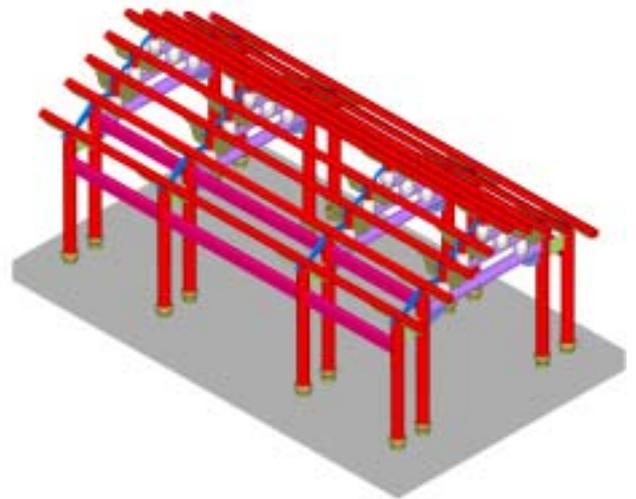


圖 1-4 疊斗式木構架透視圖

資料來源:本研究繪製。參考林會承, 1987, 《臺中市三級古蹟張廖家廟修復研究》, 台中市政府。

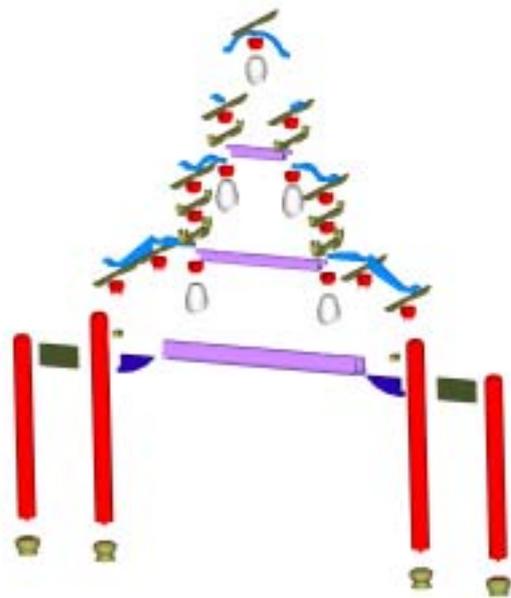


圖 1-5 疊斗式木構架分解圖



圖 1-6 疊斗與瓜筒細部圖

註<sup>1-2</sup> 見李重耀、李學忠, 1999, 《台灣傳統建築術語辭典》, 藍第, p144。

### (三) 結構狀態

結構狀態(Structural Health)亦稱結構健康狀態，係指『運用結構上的量測來決定一個結構狀態的完整性或者說明結構物的狀態』(註<sup>1-3</sup>)。本研究係將木構架結構狀態的範圍界定於「運用監測儀器於木構架上所量得之參數(包含變位、變形、應變、加速度及振動等)，並加以研判以描述木構架之結構變化情形」。

### (三) 瞬間超負擔與個別差異性

本研究焦點將致力於疊斗式木構架整體結構動態特性之探討，並假設其構造形變與行為具有傾毀之『關鍵點』、『臨界值』及『病象是累積的』等條件，而瞬間的超負擔傾毀是意外，意外則不屬本研究範圍。其次是『老人的基礎醫療研究』古今中外不知凡幾，但個別差異性仍是最大障礙，古蹟暨歷史建築也有相似的課題。本文僅能以本研究建立的數值模型及實體模型之感知實驗數據及圖形推論。

## 二、研究內容

### (一) 檢視及探討前人對古蹟暨歷史建築木構架之基本研究。

1. 木構架之來源與類型
2. 木構架之木材用料與性質
3. 木構架之榫卯元件型式
4. 木構架之構件特性與形貌
5. 木構架之構造原理

### (二) 木構架結構狀態檢測技術探討。

1. 木構架結構狀態之變化
2. 木構架結構狀態之監測與診斷技術

---

註<sup>3</sup> 見 Park, G., D.J. Inman, 2001, "Smart bolts: an example of self-healing structures" , *Smart Materials bulletin*, Vol. 7, pp. 5-8.

### (三) 古蹟暨歷史建築疊斗式木構架結構狀態檢測之探討。

1. 疊斗式木構架結構狀態變化之現場勘查
2. 疊斗式木構架之數值模擬分析
3. 微振動量測應用於疊斗式木構架結構狀態檢測之探討
4. 古蹟暨歷史建築木構架結構狀態預警檢測機制之建構

### (四) 木構架模型之實驗模擬。

## 1-3 研究步驟、方法與流程

### 一、研究步驟

- (一) 確立研究動機與目的、範圍與內容、步驟、方法與流程。
- (二) 回顧現有關於古蹟暨歷史建築木構架之基本研究。
- (三) 回顧木構架結構狀態的檢測技術。
- (四) 探討疊斗式木構架結構狀態的變化。
- (五) 疊斗式木構架的數值模擬分析。
- (六) 探討微振動量測應用於疊斗式木構架結構狀態之檢測。
- (七) 建構古蹟暨歷史建築木構架結構狀態預警檢測機制。
- (八) 木構架模型之實驗模擬。
- (九) 結論與建議。

### 二、研究方法

#### (一) 採用之方法與原因

1. **文獻彙整**: 彙整現有關於古蹟暨歷史建築木構架之基本研究、木構架結構狀態檢測技術之相關文獻。
2. **變位量測**: 應用感知器來量測結構物之變位情形，以作為預警之參考。
3. **微振動量測**: 應用微振動量測方式來識別古蹟暨歷史建築木構架整體結構的動態特性—基本振動週期。

4. **實體模擬**:以強迫振動方式來量測縮小比例之疊斗式木構架實體模型。模型製作則考量尺寸資料之齊全性，選擇以台中張廖家廟為尺寸參考之依據，尺寸資料不足之處則以其他相關文獻為輔。

(二)重要儀器之配合使用情形

本研究與中國文化大學環境設計學院數位環境實驗中心之智慧建築結構及構造實驗室合作，運用智慧建築結構及構造實驗室之結構偵測設備、分析軟體、模擬及技術上的支援，將對本研究之可行性有大幅度的提昇。



圖 1-7 建築結構狀態監控模擬實驗平台設備圖

資料來源:智慧建築結構及構造實驗室。

### 三、研究流程

研究流程如下圖所示：

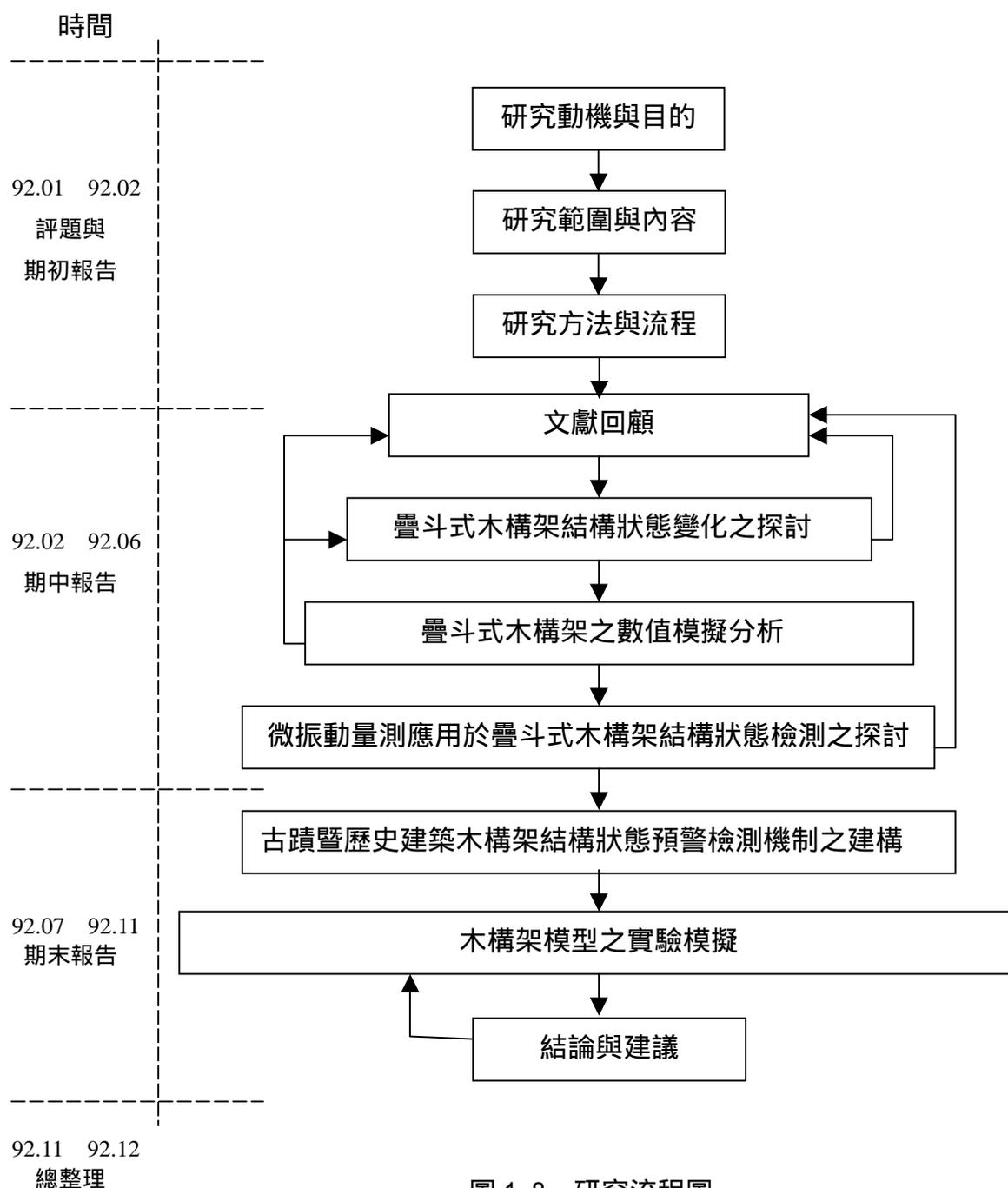


圖 1-8 研究流程圖

- 小結：經由以上對本研究之闡述後，擬於下章回顧前人之古蹟暨歷史建築木構架研究，作為研究資料及理論基礎之參考。

## 第二章 古蹟暨歷史建築木構架之基本研究

本章為古蹟暨歷史建築木構架文獻之探討。試著從木構架的來源與類型、木材用料與性質、元件榫卯型式、構件特性與形貌及構造原理，各種相關文獻回顧分析，瞭解木構架的涵構以及受損徵狀。除確立爾後述說依據外，亦可當作預警檢測之基礎。

### 2-1 木構架之來源與類型

#### 一、台灣傳統木構架之來源

台灣傳統木構架的來源乃是傳承自大陸閩南、粵東之原鄉建築風格，在細部處理上則是因應不同的環境產生轉化。因為台灣早期屬移民社會，『據 1926 年之統計，操閩南語之泉、漳、潮州佔 83.58%，操客家語之嘉應州、惠州、汀州等佔 13.17%。臺灣光復後據 1968 年之統計，閩南語羣佔 74.51%，客家佔 13.19%，外省籍佔 9.85%，山胞佔 2.37%』(註<sup>2-1</sup>)。由此可見，早期的台灣移民社會，人的來源主要由泉、漳、潮州地區所組成，人再伴隨者時間、空間的變遷，衍生出不同文化的交互影響與傳承。『以大陸作為母文化的原型，台灣地區基本上接受的是由閩南、粵東兩地的移入文化。在大陸的情況，三百年間傳統建築的自變過程並不明顯，但屬於投射區域的台灣，建築的應變與自變現象就相對的活潑許多。早期大陸來台的移民多以血緣或地緣的基礎，採群體移墾方式拓殖，因著文化傳承的關係；原鄉的建築形式隨者移民的腳步引入了台灣』(註<sup>2-2</sup>)。

在傳統建築中，『建築結構體稱大木或大木作』(註<sup>2-3</sup>)，『抬梁式木構架中有斗拱者稱為大式，無斗拱者稱為小式』(註<sup>2-4</sup>)。而『大木構架是一棟建築物的主體，也是匠師心思用的最深的地方，藉由對傳統建築大木構架之比較與分析，可發現其與地域關係、匠師流派、社會人文活動等有密切之關聯性』(註<sup>2-5</sup>)。閻亞寧曾對慈祐宮四個空間-山門、正殿(含拜殿)、後殿、後室所反映出之建築形式特質，分別與漳派名匠陳應彬建築、潮州建築、泉州建築做比較分析後，發現『基本上，臺閩地

註<sup>2-1</sup> 見李乾朗，1979，《台灣建築史》，雄獅，p23。

註<sup>2-2</sup> 見內政部編，1995，《古蹟解說理論與實務》，內政部，p185。

註<sup>2-3</sup> 見李重耀、李學忠，1999，《台灣傳統建築術語辭典》，藍第，p11。

註<sup>2-4</sup> 同註<sup>2-3</sup>，p11-12。

註<sup>2-5</sup> 同註<sup>2-2</sup>，p206。

區的傳統建築仍是大同小異的，在同為中國南系民間建築的大原則下，主要在細部處理的手法上因地理氣候環境、產業結構、民情風俗不同等種種因緣際會，使得各類建築形式及風格有互相交流的情形，而產生明顯的地區性差異與建築本身形式的轉化，但大體上仍是承傳大陸閩南、粵東之原鄉建築風格。』(註<sup>2-6</sup>)。

如再進一步追溯至中國建築，『中國建築在習慣上一直以中央政府頒佈的各種算例、則例為標準，並以依此而興建的建築物為主流，統稱為北式、官式或京師派建築，與之對立的建築則有南式、民式或地方派等說法』(註<sup>2-7</sup>)。而『台灣傳統建築則是根源於中國建築南方式樣中閩粵兩省的衍生系統，以木構造為主的古建築物』(註<sup>2-8</sup>)。

綜合上述，明顯地可以看出台灣傳統木構架的來源乃是傳承自大陸閩南、粵東之原鄉建築風格，在細部處理上則是因應不同的環境產生轉化。

---

註<sup>2-6</sup> 見內政部 編，1995，《古蹟解說理論與實務》，內政部，，p209-211。

註<sup>2-7</sup> 見閻亞寧，1991.07，《台灣傳統建築大木作構材製作方式與組合程序(三~一)》，空間雜誌特別增刊:建築技術，p157。

註<sup>2-8</sup> 同註<sup>2-7</sup>。

## 二、木構架之類型

由上可知，台灣傳統建築是根源於中國建築南方式樣中閩粵兩省的衍生系統，以木構造為主的古建築物。『從建築史的角度來看，台灣的廟宇建築是中國南系建築重要的一支』(註<sup>2-9</sup>)。『清代的台灣，因常發生分類械鬥，各籍移民壁壘分明，風俗習慣也略有區別。匠師之手法因係代代師徒相傳，也會要求流派風格之建立』(註<sup>2-10</sup>)。以下首先就以匠師之流派來作為探討木構架類型之切入點。

清代台灣的廟宇幾乎都是自閩粵敦聘司傳來建的。可分為幾個派別如表 2-1 所示。

表 2-1 木構架依匠師流派與代表性之建築分類表

派別		代表性之建築
閩系	泉州	艋舺龍山寺、鹿港龍山寺、臺北保安宮、臺北孔廟、新竹城隍廟
	漳州	桃園景福宮、木柵指南宮、臺中林祖祠
	福州	臺南延平郡王祠(已遭改建)、霧峯林家祠堂
粵系	潮州	臺南三山國王廟
	嘉應州及惠州	新竹新埔義民廟
	廣州	臺南兩廣會館(二次大戰末遭毀)
三江系	浙江、江西、江南	臺南巡撫衙門(遭日人拆除)

資料來源:本研究參考李乾朗,1983,《廟宇建築》,北屋,p31,自行整理。

其次，木構架之類型亦可由單或重檐、對稱或非對稱系統構架來分類，如下頁表 2-2 所示。

註<sup>2-9</sup> 見李乾朗,1983,《廟宇建築》,北屋,p22。

註<sup>2-10</sup> 同註<sup>2-9</sup>。

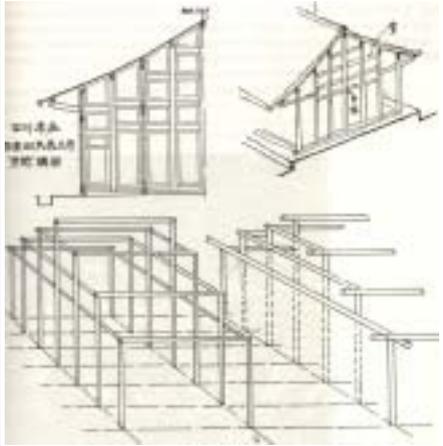
表 2-2 木構架依單或重檐、對稱或非對稱系統構架之分類表

構架分類	代表性之建築
單檐對稱式系統構架	新竹水仙宮三川殿、彰化孔廟櫺星門、板橋定靜堂西廊、新莊廣福宮、馬宮天后宮、台南武廟三川殿、台南報恩堂、蓮座山觀音寺正殿..等。
單檐非對稱式系統構架	大肚磺溪書院、彰化孔廟戟門、台南元和宮、員林福寧宮三川殿、霧峰林家祠堂、鳳山龍山寺三川殿..等。
重檐對稱式系統構架	台北孔廟櫺星門、北港朝天宮三川殿、台中林祠、台南武廟大殿、彰化孔廟大成殿..等。
重檐非對稱式系統構架	台中旱溪樂成宮三川殿、桃園景福宮大殿、彰化元清觀、白河大仙寺、台北保安宮大殿..等

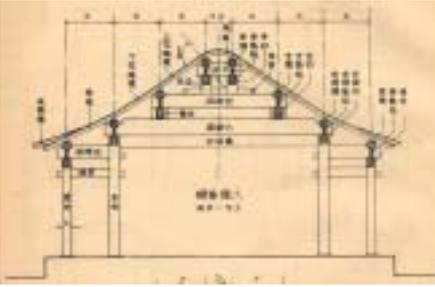
資料來源：本研究參考李乾朗，1983，《臺灣古建築大木結構結體技術初探》，文建會，自行整理。

第三，亦可就木構架之構成方式來分類，『中國建築結構方式之主流採用樑架制度，樑架猶如人之骨架，是撐起一棟建築的必要結構。實際設計時，為了室內空間需求，產生兩種重要的屋架類型，一為「穿斗式」，一為「抬梁式」』（註<sup>2-11</sup>）。而台灣特有的木構架構成方式則是疊斗式，前述三者之基本分野如下表 2-3 所示。

表 2-3 木構架依構成之分類表

木構架構成分類	特質說明	圖示
穿斗式	每一檁下皆有一柱，因此柱數多，柱距短。樑材水平貫穿柱列，有如編網。其特點是用材可較細，有時可用竹材，結構穩定而堅固，中國南方普遍使用。（四川盛產竹，故多穿斗式，穿斗式之起源或與竹材使用有一定之關係）著者認為插拱式偷心造斗拱是由穿斗式樑架發展出來的。但其缺點是柱數過多，造成走右兩間相通之障礙。	

註<sup>2-11</sup> 見李乾朗，1982，《中華藝術大觀 6-建築》，新夏，p98。

<p>抬梁式</p>	<p>柱較少，可減至兩根，多至六根，柱上置梁，梁上在置短柱(侏儒柱)短柱上再置梁，梁上再置短柱，依此類推，構成一組梁架。因此大部分的檁條是架在侏儒柱上的，有利於室內空間之連續性，殿堂建築多用之。但是它也有弱點，在梁架交接處穩定性不夠，因此需要斜撐構件叉手、托腳或駝峯來補強。</p>	
<p>疊斗式</p>	<p>梁枋上因榫卯太多，故以數斗相疊，斗與斗之間有穿材(如束木或看橢)，如此可代替瓜柱，通常疊三斗至五斗，也有疊至七斗。</p>	

資料來源:參考 1. 李乾朗,1982,《中華藝術大觀 6-建築》,新夏,p98。 2. 李重耀、李學忠,1999,《台灣傳統建築術語辭典》,藍第,p144。 3. 李允鈺,1982,《華夏意匠》,龍田出版社,p205。 4. 梁思成、林徽音,1981,《清式營造算例及則例》,狀元。 5. 自行整理。

綜合上述，傳統木構架的類型依匠師流派可分閩系、粵系與三江系；依單或重檐、對稱或非對稱系統構架可分單檐對稱式系統構架、單檐非對稱式系統構架、重檐對稱式系統構架、重檐非對稱式系統構架；依木構架之構成方式可分穿斗式、抬梁式與疊斗式等。

## 2-2 木構架之木材用料與力學性質

### 一、木構架之木材用料

臺灣傳統木構架材料來源，首先就歷史記載方面，『早期皆來自閩粵，尤以福州杉最受人歡迎。福州杉又稱為「油杉」，產於閩江上游，採集者砍下後編成木筏順河流下。其長度可達數十公尺，為最好之樑材及柱材。台灣之大廟上主脊多為福杉。溫州也出產一種「輕杉」，也是好的樑材。另外常用的有防蛀的樟木及楠木、烏心石、山杉，同時也適合家具之製造。清初因番人常出草，漢人不能入山砍伐，所以有些檜木是由台灣溪流沖至下游者。到了清末及日據時期，木材已多取自本島』(註<sup>2-12</sup>)。

其次在現場調查方面，『根據蔡與徐(1998)在數個古蹟現場實地調查與洪與蔡(1997)進行台灣傳統大木構架用材之調查結果，台灣扁柏(俗稱松梧)、紅檜(俗稱台檜)、肖楠、台灣杉(俗稱亞杉)、鐵杉-福州杉(俗稱杉木)、柳杉(俗稱日杉)、樟樹(俗稱本樟、芳樟)-大葉楠(俗稱楠木)及台灣欒(俗稱紅雞油)等為台灣傳統大木構架常用木料。這些構件皆有強度好、尺寸安定與木理通直之結構件特性。其中，台灣扁柏、紅檜、肖楠皆屬針一級木，與福州杉則是現今已指定的古蹟最常用之木料。但大陸產質優之天然福州杉近幾年也不多見，再加上台灣在過去或因經濟發展，或因戰爭所需木材原料迫切，天然生優良的結構件砍伐殆盡，近來則更由於環保意識高漲，台灣森林經營政策起了很大之改變，木材砍伐之限制很多，以至於台灣每年之用材有99%以上必須仰賴進口。

依民國七十三年公布之《文化資產保存法施行細則》四十六條所載之四項基本原則中，古蹟修復必須「採用原用或相似之材料」，於是國內古蹟修復業者紛紛尋找可取代過去常用大木構件之相似樹種，如台灣造林木杉木與柳杉，進口的福建柏(俗稱越檜)、智利柏(俗稱南美檜木)等』(註<sup>2-13</sup>)。

最後在實驗用料方面，本研究選定紅檜(俗稱台檜)為本研究的實驗用材，因其為台灣傳統大木構架常用木料，對於模型製作的可行性也有幫助。

註<sup>2-12</sup> 見李乾朗，1979，《台灣建築史》，雄獅，p53。

註<sup>2-13</sup> 見蔡明哲、徐明福，1998.09，《超音波檢測技術應用於臺灣古蹟大木構件新料擇用之初探》，建築學報，p50-51。

## 二、木材之力學性質

木材之基本性質包含眾多，基於本研究爾後對木構架之結構計算之需要，擬針對木材之力學性質做回顧。

本研究選定的實驗用材為紅檜(俗稱台檜)，因其為台灣傳統大木構架常用木料，對於模型製作的可行性也有幫助。以下為紅檜相關之力學性質數據，作為爾後數位與實體模型模擬之參考。

破壞係數 MOR ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ):579

彈性係數 MOE ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ):57810

絕乾比重:0.354

容積密度:0.333

含水率:12%

靜曲彈性係數  $E_b$  ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ):116200

平均音速縱向(m/s):5673

橫向引張強度( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ):41

縱向壓縮強度( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ):365

橫向壓縮比例限度( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ):54

橫切面硬度( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ ):2.39

衝擊彎曲吸收能量( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ):0.506

資料來源:見王松永 編著，1986，《木材物理學》，台北:國立編譯館。

## 2-3 木構架之榫卯元件型式

臺灣傳統的木構架，『從力學上來講，係介於剛性與非剛性之間的結構，它的節點都允許一定程度的彈性。因而在榫卯的運用亦提供相對的彈性，這些為數眾多的節點有如人的關節一樣，可以傳遞外力並逐層吸收與釋放。

榫卯的最主要作用是連接及固定兩個構件，易言之，為一種連接器。它使兩塊或三塊以上的木構件合為一體，從今天的科技來說，兩塊木材可用強力膠黏合，兩塊金屬可用焊接結合。皆屬於剛性的結合。榫卯的結合總是有空隙，這是它的缺點，卻也是它的優點。

榫卯的作用，除了連接以外，也有抗滑作用。即利用剪力，使兩塊木材相接不易變形。在臺灣建築大木結構之中，榫卯即扮演著抗拉力、抗壓力與抗剪力的三項作用』(註<sup>2-14</sup>)。

榫卯的類型很多，閻亞寧將其分類成直榫、楔、凹槽等三大系統，茲列舉如下：

『本系統採樹枝型三位代碼的編序方式，其基本格式如下：



### 一、系統原則

#### (一)系統代號

以 A、B、C 三個字母分別代表榫卯基本系統。A:直榫系統，B:楔系統，C:凹槽系統。

#### (二)形式代號

以 1、2 二個數字分別代表榫卯基本型式。1:基本型，2:變化型。

#### (三)外形代號

以 1、2、3... 等數字，依同一基本類型榫卯而有不同外型者，分別給予代號。

依上述編序系統，可以將大木作構材複雜的榫卯型式整理成相當明晰的表格』(註<sup>2-15</sup>)。

註<sup>2-14</sup> 見李乾朗，1999，《台灣傳統建築匠藝二輯》，燕樓古建築，p78。

註<sup>2-15</sup> 見閻亞寧，1992.09，《台灣傳統建築大木作構材製作方式與組合程序(三~三)》，空間雜誌特別增刊:建築技術，p100。

## 二、直榫系統

直榫系統如表 2-4 所示。

表 2-4 直榫系統表

	名稱	圖樣	編號	本省大木師傅稱法	大陸北方匠師使用名稱	說明
1	單向直榫		A-1-1	直榫	單向直榫	多用於水平構件或出挑材者垂直材連接之用。為基本原型
2	單向雙榫		A-2-1	雙榫	單向雙榫	枋與柱之接合或小構件與柱之接合
3	大拼小出直榫		A-2-2	※十字穿插榫	大拼小出直榫	多出現在穿插枋或通與柱相接之場合
4	燕尾榫		A-2-3	企口榫 燕尾榫	銀錠榫	多見於兩構件垂直相接之場合
5	單向搭接榫		A-2-4	公母榫	搭接榫	多用於二水平構件之搭接，如桁與桁之接合
6	蟻榫		A-2-5	蟻榫	蟻榫	此榫乃由單向搭接轉化而來，多用於封簷板之接合

資料來源：見閻亞寧，1992.09，《台灣傳統建築大木作構材製作方式與組合程序(三~三)》，空間雜誌特別增刊：建築技術，p100。

說明：選用之榫卯元件以粗黑框註明。

## 三、楔系統

楔系統如表 2-5 所示。

表 2-5 楔系統表

	名稱	圖樣	編號	本省大木師傅稱法	大陸北方匠師使用名稱	說明
1	公母榫		B-1-1	公母榫	暗契	為所有公母榫之基本型式
2	鼻子公母榫		B-1-2	公母榫	鼻子榫	此種榫頭形狀位於桁碗內，為柱頭與桁接合之榫頭形式
3	管腳公母榫		B-1-3	公母榫	管腳榫	此種榫用於柱腳與柱株相接之用，亦可作為接柱之榫頭形式
4	饅頭公母榫		B-1-4	公母榫	饅頭榫	此種用於柱頭與其他構件相接之用
5	筒底公母榫		B-1-5	公母榫		此種榫用途廣泛，用

						於瓜筒與通或斗與其他構件接合之用
6	單向搭接榫		B-2-1	公母榫		此榫接合多用於桁水平相交處
7	十字穿插楔榫		B-2-2	十字榫		此榫多用於柱與其他四向構件相交之用

資料來源:見閻亞寧, 1992. 09, 《台灣傳統建築大木作構材製作方式與組合程序(三~三)》, 空間雜誌特別增刊: 建築技術, p100。

說明:選用之榫卯元件以粗黑框註明。

#### 四、凹槽系統

凹槽系統如表 2-6 所示。

表 2-6 凹槽系統表

	名稱	圖樣	編號	本省大木師傳稱法	大陸北方匠師使用名稱	說明
1	十字搭接榫		C-1-1	十字榫	凹口	此為構件上之凹口, 用於兩構件之垂直接合防止水平位移
2	榫孔		C-1-2	榫孔	卯眼	此為垂直構件表面與水平構件相交之榫孔
3	十字交叉榫		C-2-1	十字榫		此榫乃由平面雙向凹槽加楔組合而成, 多用於疊斗與其他構件相接
4	十字交叉榫		C-2-2	十字榫		此榫乃由立面雙向凹槽加楔組合而成, 多用於垂直構件與其他水平構件相接之用
5	十字凹槽搭接榫		C-2-3	十字榫		此榫乃由平面雙向凹槽加十字搭接榫而成, 多用於構件組合而成之一種型態

資料來源:見閻亞寧, 1992. 09, 《台灣傳統建築大木作構材製作方式與組合程序(三~三)》, 空間雜誌特別增刊: 建築技術, p100。

說明:選用之榫卯元件以粗黑框註明。

## 2-4 木構架之構件特性與形貌

構架需靠構件(構材)結合方可組成，在傳統建築中，『大木作構材為傳統建築木結構系統中一切木構架的總稱，包含主要構材與次要構材兩大部份。

(一)範圍：

1. 主要構材：柱、瓜筒(童柱)、通(梁)、楹(桁)、楹引、枋、壽梁、束、椽、斗、拱等十一類。
2. 次要構材：通隨、束隨(看隨)、吊筒、托木、斗座、頭巾等六類』(註<sup>2-16</sup>)。

由於各種構件名稱繁多，且常因匠人口語習慣不同，對同一構材有不同稱謂。本研究為統一用語故選定臺灣傳統建築常用的用語為依據，如下表 2-7 所示，並以粗黑框來註明。

表2-7 大木作構材對照表

		台灣傳統建築	宋營造法式	清式營造算例及則例	營造法原	說明
垂直構材	柱	柱	柱	柱	柱	依部位而有不同的個別稱謂
		瓜筒	侏儒柱	童柱(金瓜柱)	童柱	
水平構材	梁	壽梁	蘭額(由額)	樑	枋	同上
		通	梁	梁	梁	
		通、梁、枋	枋	枋	枋	
	桁	桁(楹仔)	枋	枋	桁	
	椽	椽(角仔)	椽	椽	椽	
附屬部分	托木	托木(插角)	綽幕	雀替	梁墊	
	楹引	楹引(桁引)	隨桁枋(壓跳)	隨桁枋	連機	長度橫跨整個開間稱楹引，僅達約1/5~1/4開間長者為雞舌
	通隨	通隨	隨梁枋	隨梁枋	隨梁枋	
	束仔	束仔(彎弓)	牽	抱頭梁	川	
	束隨	束隨	隨樑枋	穿插枋	夾底	

註<sup>2-16</sup> 見閻亞寧，1991.07，《台灣傳統建築大木作構材製作方式與組合程序(三~一)》，空間雜誌特別增刊：建築技術，p. 160。

	吊筒	吊筒	無	垂蓮頭	垂蓮柱	有時以雕花塞材外封樺口
	頭巾	頭巾(水尾)	丁華抹 拱	角背	抱梁雲	
過渡部分	斗拱	斗	斗	斗	斗	
		拱	拱	拱	拱	
		斗座	駝峰	駝峰	荷葉凳	

資料來源:見閻亞寧,1991.07,《台灣傳統建築大木作構材製作方式與組合程序(三~一)》,空間雜誌特別增刊:建築技術,p162。

說明:選用之統一用語以粗黑框註明。

## (二)主要構件特性與形貌

1. 柱:上承檼(桁)、通(梁)、枋等水平構材傳遞之屋架重量並轉載於地面的主要垂直構材(簷柱、封柱、金柱、壁柱等)。

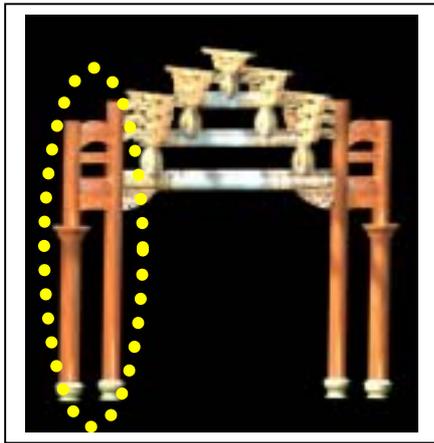


圖 2-1 柱形貌示意圖

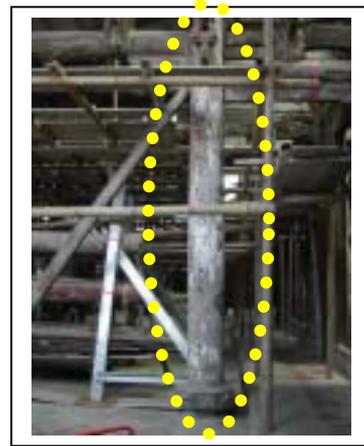


圖 2-2 柱形貌實景圖

2. 瓜筒(童柱):立於梁上傳遞重量但不接地的短柱(挫瓜筒、瓜柱等)。

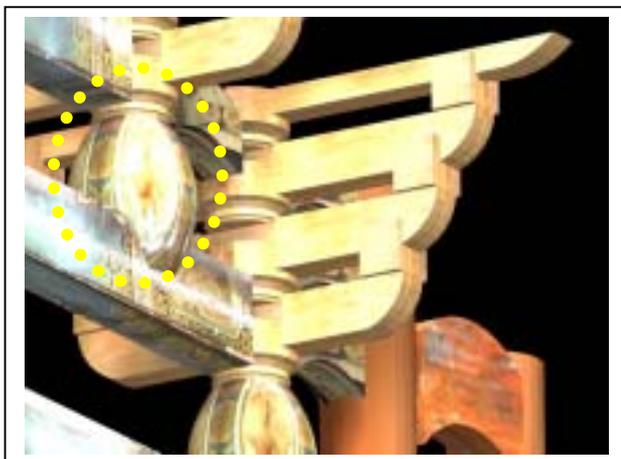


圖 2-3 瓜筒形貌示意圖

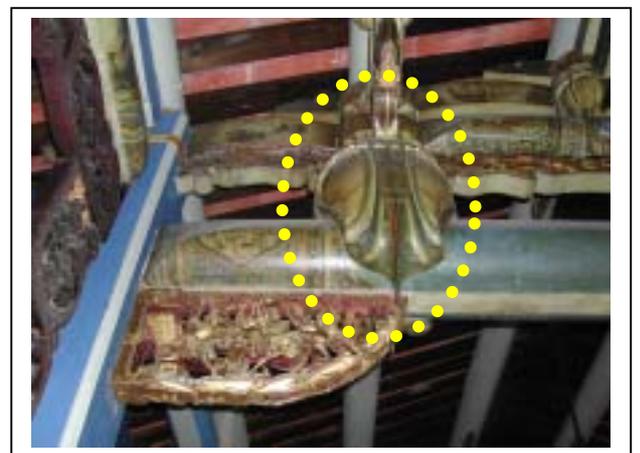


圖 2-4 瓜筒形貌實景圖

3. 通(梁)：承接並傳遞屋架荷重的水平構材，其基本方向與屋面垂直。  
(大、二、三通，步通，同梁等)

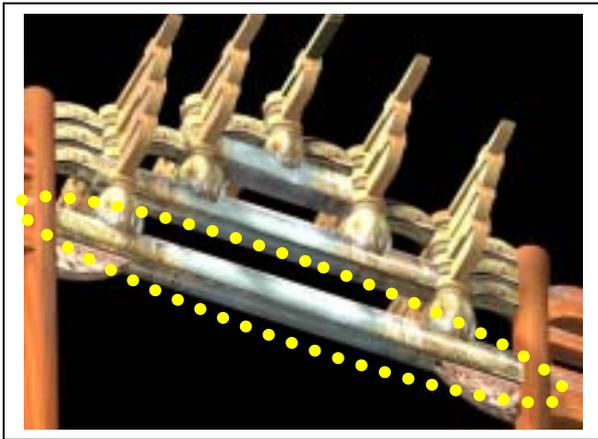


圖 2-5 通形貌示意圖



圖 2-6 通形貌實景圖

4. 楹(桁)：承屋椽荷重並與之貫接相連的圓形構材。

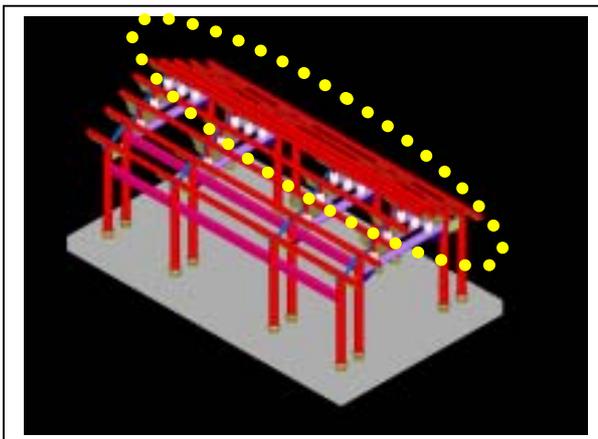


圖 2-7 楹形貌示意圖

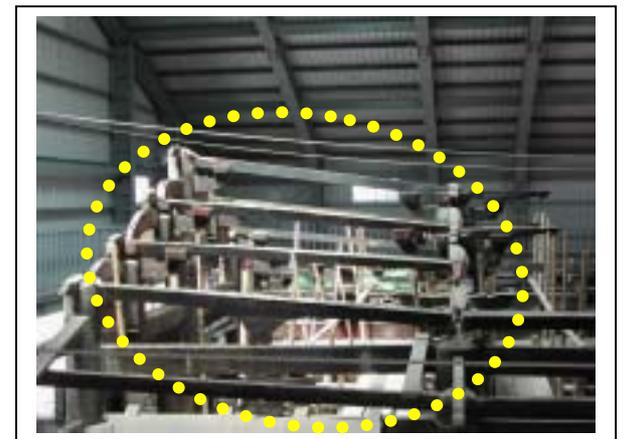


圖 2-8 楹形貌實景圖

5. 楹引(桁引)：楹下直接相連的長方形斷面木料，與楹等長者為楹引，  
長度僅達 $1/4 \sim 1/5$ 者稱為雞舌。

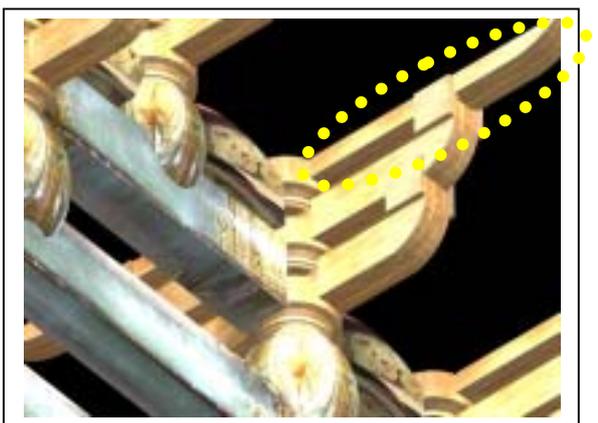


圖 2-9 楹引形貌示意圖



圖 2-10 雞舌形貌實景圖

6. 枋:柱與柱之間的水平連接材，斷面為方形。(枋、簷枋等)

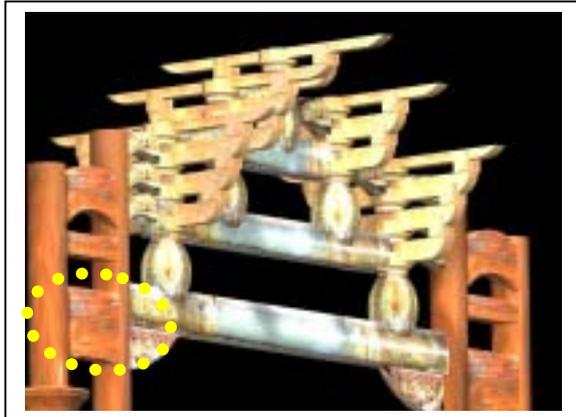


圖 2-11 枋形貌示意圖



圖 2-12 枋形貌實景圖

7. 壽梁:功能與枋相同，唯斷面為圓形且位於前後點金柱之間，方向與屋面平行。

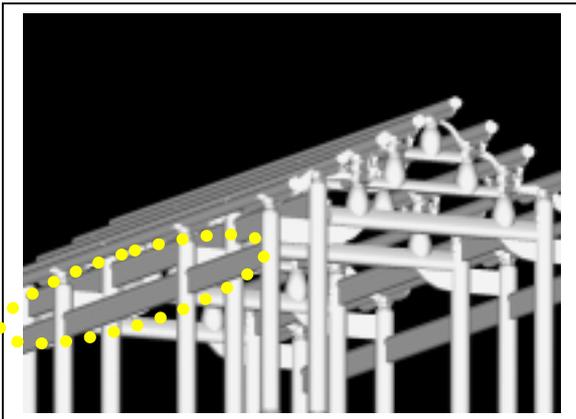


圖 2-13 壽梁形貌示意圖

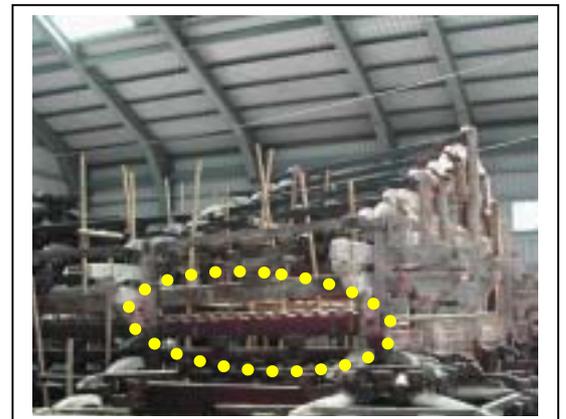


圖 2-14 壽梁形貌實景圖

8. 束:瓜筒與瓜筒、柱間或疊斗與疊斗、柱間的水平連接構材。(棟、彎弓、圓光、肥板等)

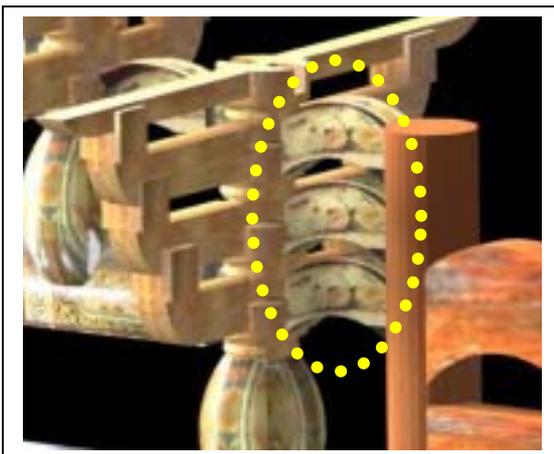


圖 2-15 束形貌示意圖

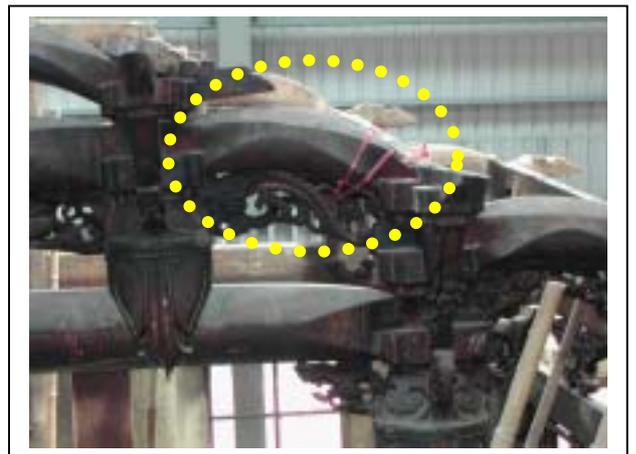


圖 2-16 束形貌實景圖

9. 椽: 楹上望磚望板之下，承受屋瓦重量的扁長矩形斷面木料。(北式多為圓形或方形斷面)

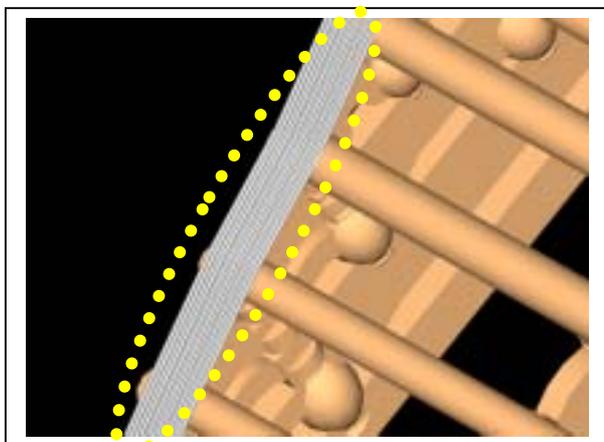


圖 2-17 椽形貌示意圖



圖 2-18 椽形貌實景圖

10. 斗: 位於梁枋或柱頭與拱之間或二拱之間的傳遞構材，上部呈十字形凹槽稱斗，單向凹槽為升，但閩南習慣概稱為斗。

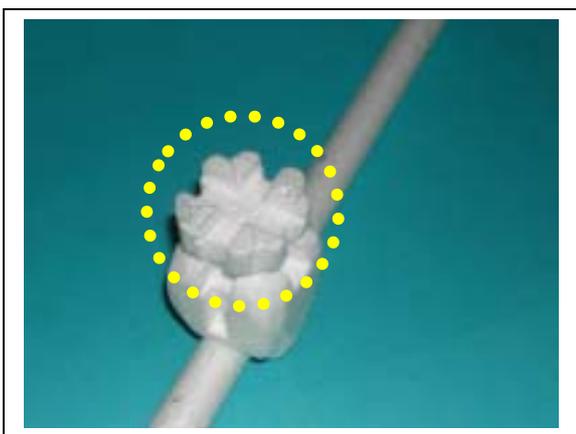


圖 2-19 斗形貌示意圖

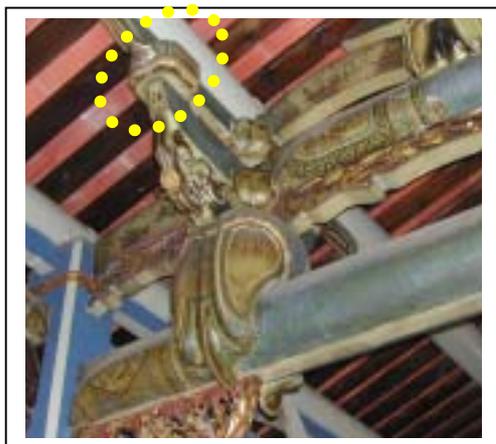


圖 2-20 斗形貌實景圖

11. 拱: 架構中位於斗或柱上梁頭，呈彎形面的水平構材。(連拱、彎拱)

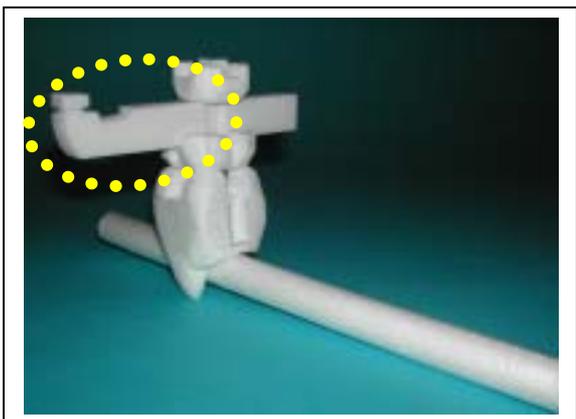


圖 2-21 拱形貌示意圖



圖 2-22 拱形貌實景圖

(三)次要構材特性(以裝飾為主結構意義為輔)

1. 通隨:位於通梁之下的次要水平構材。

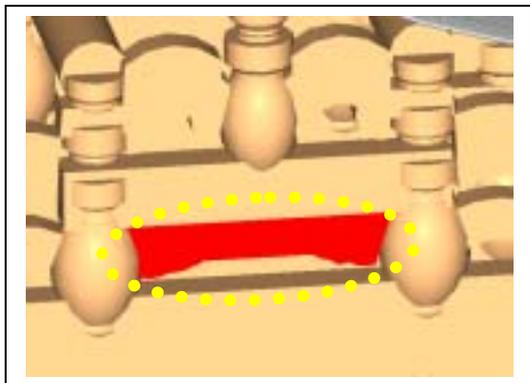


圖 2-23 通隨形貌示意圖



圖 2-24 通隨形貌實景圖

2. 束隨(看隨):位於束之下的次要水平構材。

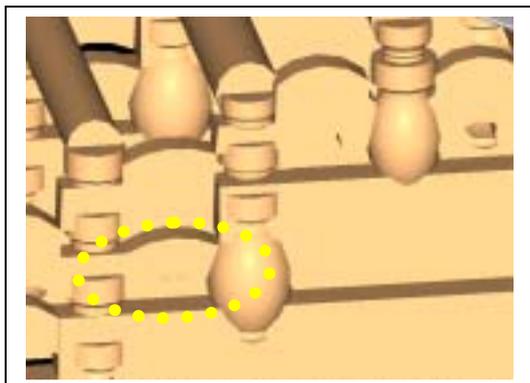


圖 2-25 束隨形貌示意圖

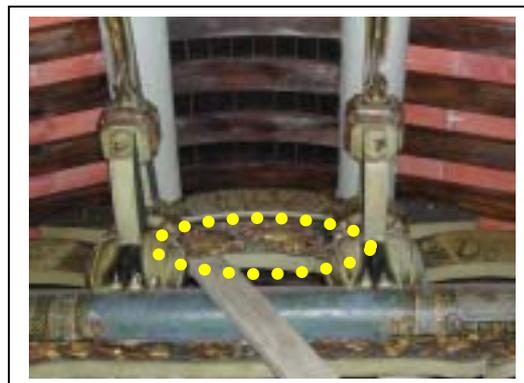


圖 2-26 束隨形貌實景圖

3. 吊筒:位於挑簷桁下的短柱，與出櫺垂直，前方常有填補梓口的雕花塞材(豎材)。(帛籃、倒吊蓮等)

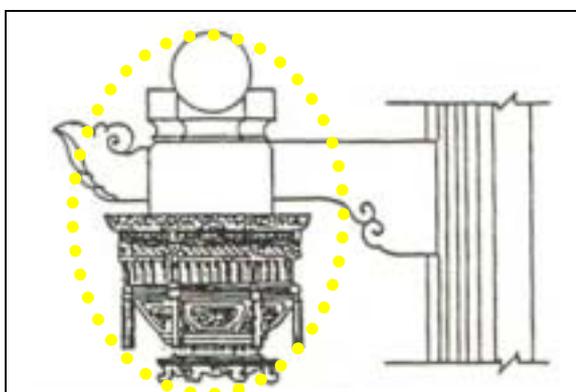


圖 2-27 吊筒形貌示意圖

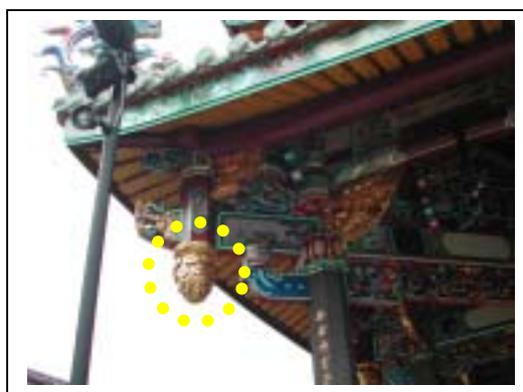


圖 2-28 吊筒形貌實景圖

資料來源:見李重耀、李學忠,1999,《台灣傳統建築術語辭典》,藍第,p190。

4. 托木: 梁、枋、桁等水平構材與柱、吊筒等垂直構材相接處的斜向補強構材。(岔角、插角、雀替等)。』(註<sup>2-17</sup>)。

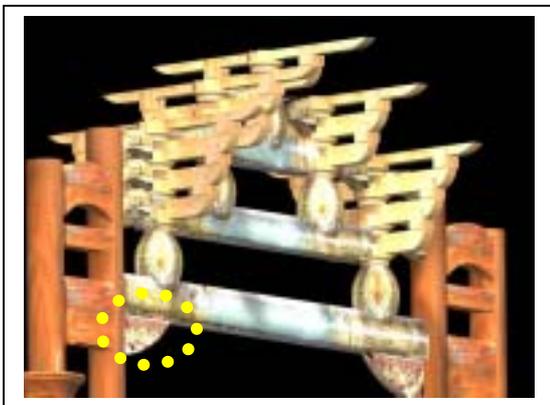


圖 2-29 托木形貌示意圖



圖 2-30 托木形貌實景圖

註<sup>2-17</sup> 見閻亞寧，1991.07，《台灣傳統建築大木作構材製作方式與組合程序(三~一)》，空間雜誌特別增刊:建築技術，p.160-162。

## 2-5 木構架之構造原理

臺灣傳統木構架的構成方式大體上可分穿斗式、抬梁式與疊斗式。穿斗式、抬梁式乃源自於中國建築，屬梁架制度內的兩種重要屋架類型，『其原理是利用垂直地面的柱材(承受縱壓力)與水平的梁材(承受橫壓力)互相搭接或穿插，構成矩形系統的梁架屏。柱材上端頂住檁木，檁上鋪望磚及瓦。梁材伸出以挑出簷。每兩個梁架屏之間以枋材拉繫，構成所謂「間」的空間單元』(註<sup>2-18</sup>)。

疊斗式木構架其構造原理與抬梁式木構架相近，差異在於『梁枋上因榫卯太多，故以數斗相疊，斗與斗之間有穿材(如束木或看楠)，如此可代替瓜柱，通常疊三斗至五斗，也有疊至七斗』(註<sup>2-19</sup>)。

根據黃斌(註<sup>2-20</sup>)『經由現場案例調查與力學分析，初步發現疊斗式構架具有下列構造的特徵：

### 一、疊斗式構架抵抗面內變形強度大於面外變形強度是其主要特徵

疊斗式構架之主要功能是支撐桁檁，因此在柱與柱之間使用許多束、隨材去進行填充，其具有相當良好的剛性。但其抵抗面外變形之能力有限，且構架間之拉繫以防止外力作用而傾倒之繫材，僅有枋材與桁檁等少數繫材。

### 二、主要水平構材均屬簡支梁

疊斗式構架的主要水平構材為通梁，通梁將其疊斗列下傳的載重再傳柱位最後至地面，而因為所背負載重之不同，而使大通、二通、三通之斷面直徑以約 0.6 公分往上遞減。從通梁中央為最大斷面而逐漸往兩旁遞減斷面成為榫頭，可以了解通梁為簡支梁。

### 三、步通會穿越檐柱挑梁，具有出挑之結構特性

步口區間的通梁由於斷面與柱徑略等，因此在穿越檐柱時其斷面需減少，而出挑部分之外型製成拱的形式並往上傾斜一角度，因此其利用外型來達到力學效果以確保出挑材不致拔出。步通穿越柱子懸臂出挑的距離為一至二步架，其利用槓桿原理，其是藉由步口區間疊斗列之下壓力量去平衡出挑外端檐桁所承擔力量。

### 四、疊斗列各層出拱可強化桁檁與構架之穩定

註<sup>2-18</sup> 見李乾朗，1982，《中華藝術大觀 6-建築》，新夏，p98。

註<sup>2-19</sup> 見李重耀、李學忠，1999，《台灣傳統建築術語辭典》，藍第，p14。

註<sup>2-20</sup> 見黃斌，2003，《台灣傳統古蹟及歷史建築耐震能力之基礎研究(2)-疊斗式木構架結構特徵之調查與解析》期中報告，內政部建研所，p8-13。

斗拱系統是疊斗式構架之重要特徵，其利用層斗取代抬梁的童柱，可解決多向構材接合，柱身斷面減少的缺點，而開放的接點有助創造良好的物理環境，避免接點受潮腐蝕。斗拱系統是由斗與拱所組成，單一疊斗列由上而下依序為雞舌拱、正拱、副拱，而後斗再填充於拱之間，疊斗列的最下層構材則為擴充之瓜筒。在疊斗列與疊斗列之間則填充束材與隨材。疊斗列利用下列特質以穩定構架：

- (一)符合形抗原理：層拱之功能類似西洋建築之拖架，其利用出挑距離以減少桁檁之跨距，以減少構架所承受之端點彎矩與剪力。拱材出挑距離由上而下依序遞減，符合力量傳遞之形抗原理。
- (二)以出挑拱為優先原則：拱材利用槓桿原理支撐桁檁，故拱材與束材之接合以拱材為優先構材。拱材以完整斷面穿越疊斗列，而束材則斷開進行填充，而束頭則固定桁檁。拱材受力時，上緣承受張力，而下緣承受壓力，當拱材斷面不連續而有破口時，則引致纖維不連續致使有效斷面短少。因此拱材與其他構材接合是以破壞斷面最少的燕尾榫為主。
- (三)屋面重量具有穩定功能：拱以燕尾榫與束材及隨材接合，在擱放於斗的槽口上，因此燕尾榫為區間中之主要榫接形式。從組裝觀點而言，燕尾榫與擱放均為下落式組裝，為不使榫頭上向脫榫，必須有一下壓力量固定整體，因此屋面重量具有穩定構架之功能。區間中之燕尾榫組裝順序是「水平構材先、拱後」，與頂層「束材先、雞舌拱後」不同，因此拱之卯口為上小下大，因此疊斗列之下壓力量，可避免通梁及填充材向上脫榫。
- (四)斗的功能：斗除具有承接各向構材之功能外，斗的槽口深度並能用來調整構架之高程，因此各疊斗列斗數之比並無一定的型制。斗的比例是斗身高寬、斗耳低窄，符合上半部足夠斷面抵抗壓力，下半部斗耳僅為傳力功能，因此整體為形抗構材。疊斗列中，斗身比例由上往下遞增，形成一穩定的直塔形狀，有助於疊斗列之穩定。在拱端與拱端間並有填充一小斗，斗之槽口為斜向與通梁之出挑部之填充斗類似，因此其功能也是為了「塞緊」拱與拱之空隙，使整座疊斗列外周剛性足夠以利傳力。
- (五)緩衝機制：木料為天然彈性材料，因此在拱間填充斗，恰能組成半剛半柔之緩衝體，其在剛性較大之梁柱接點中，成為一「消能器」。

## 五、疊斗列底層之瓜筒與通梁接觸面大，可減少通梁之壓應力。

瓜筒是疊斗列最下層的構材，疊斗列最上層的桁檁將屋面重量藉由瓜筒傳至通梁，瓜筒之外型有塊狀或是筒型，其共同的特徵是其為疊斗列中最大的構

材。其力學原理利用如下所述：

- (一)利用逐漸擴大的量體與通梁接合，瓜筒利用擴大底座的斷面積與通梁接合，可使疊斗列傳達下來壓應力小於未擴大底座的壓應力，如此可避免通梁受到壓應力而刺穿破壞。
- (二)瓜筒利用構材下緣再突出兩爪去包覆通梁，防止瓜筒受外力作用時與通梁脫開位移。其包覆深度約佔瓜筒長度之半。
- (三)瓜筒利用楔榫與通梁榫接。
- (四)屋頂的下壓力量亦提供相當摩擦力來避免瓜筒的位移。
- (五)瓜筒為橢圓形斷面，其斷面之長軸方向之 I 值較高，因此其以 I 值高那一向去抵抗面外之傾覆力。
- (六)通梁上之板路，其功能是作為瓜筒置放與榫接之平台。』(註<sup>2-21</sup>)。

在結構行為研究方面，廖世芳、陳信樟(註<sup>2-22</sup>)藉助「有限元素法」來分析兩座臺灣傳統二維大木構架之結構行為，經由定量分析及定性探討，得知傳統二維大木棟架作法上，下列幾項對於抵抗地震水平力，與由結構分析結果得出：

表 2-8 臺灣傳統二維大木構架之結構行為分析表

臺灣傳統二維大木構架之結構行為分析結果		與本研究之關係
分析結果吻合	1. 構件形狀通直尺寸較大，沒有分割成小構件連接者，負擔較大的應力，如柱、通。構件多分割成小構件組合者，負擔較小應力，如疊斗、束仔、束隨、插角、通隨..等。使主要構件與次要構件角色尤其外表就可判斷。	本研究亦將構件分成主要與次要構件分別探討。
	2. 構件接合全用榫卯，其彈塑性變形可抵消部分地震能量。	本研究榫卯接合以半剛性接頭來模擬。
	3. 屋頂部分的垂直荷重，可提高各垂直構件的摩擦力。	本研究擬施以垂直荷重，觀察是否能提高垂直構件荷重。
	4. 由於地震水平橫力採用數值較真實數值大 1.36 倍，所以分析資料中位移量，彎矩及剪力偏大，應該乘以 0.738 修正係數才正確。	納入本研究動力分析之參考。
	5. 於構件所剪力、彎矩較大之處，有加大構件剖面積，或另加補強構件的作法，如梁交接處用藤箍束縛防止柱的開裂，加強交接處的的勁性。或用插角及通隨、圓光來增大有效截面積，使較易發生破壞處，能承受更多剪力即彎矩。	納入本研究結構行為分析之參考。
	6. 構件會依位置所受應力而依序增大材料截面積，如大通所受彎矩，剪力大於二通，二通大於三通。傳統作法大通尺寸 > 二通 > 三通。疊斗以最下層所受彎矩，剪力最大、瓜筒及斗座即以較大截面積來解決。	納入本研究結構行為分析之參考。

註<sup>2-21</sup> 見黃斌，2003，《台灣傳統古蹟及歷史建築耐震能力之基礎研究(2)-疊斗式木構架結構特徵之調查與解析》期中報告，內政部建研所，p8~13。

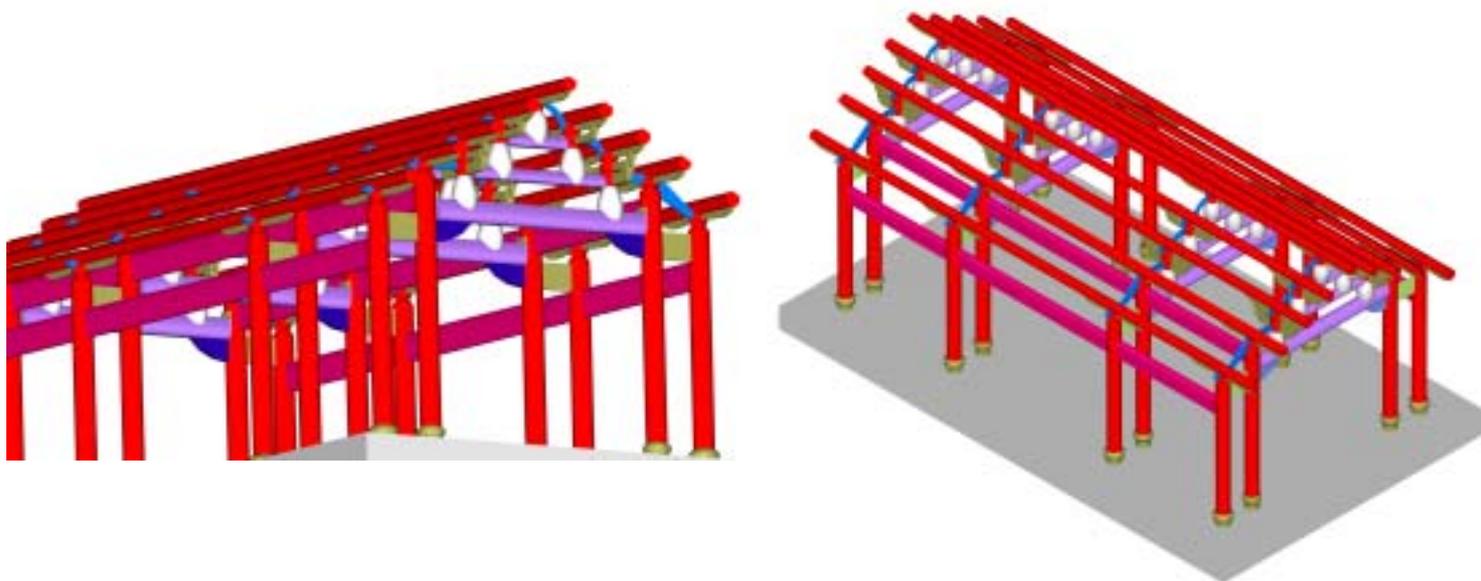
註<sup>2-22</sup> 見廖世芳，1988，《台灣傳統二維大木構架耐震研究》，淡江大學建築研究所碩士論文，p95-96。

	7. 構件材料尺寸有模矩存在，且多以對稱型式出現，對於整體構架剛心及質心的距離有縮短作用，在地震力來時不會因偏心而倒塌。	納入本研究動力分析之參考。
分析結果有出入	1. 疊斗不是越上層彎矩、剪力越小，而要視與其相接的構件多寡、位置、及本身的層數而定，所以傳統做法疊斗越上越小並不正確。	納入本研究結構行為分析之參考。
	2. 束仔的尺寸一般均一樣大，但由分析中得知越下層束仔彎矩、剪力越大，所以建議應依高低由上往下逐次加大截面積。	納入本研究結構行為分析之參考。
	3. 在非對稱構架中需要束仔的部位，傳統作法用束隨或無構件取代，往往造成與此構件相接垂直構件，受力不平均，而有剪力破壞情形產生。所以建議加入構件較安全。	納入本研究結構行為分析之參考。
	4. 構件損壞或構架部分腐蝕，常用臨時性補強措施加固，但突然增強只會造成應力集中破壞，所以要兼顧整體構架平衡條件下，採取最佳解決方法才是正確。	納入本研究結構行為分析之參考。
後續研究方向	1. 整體構架三度空間結構行為的探討，並印證與二維所結果是否相同。	為本研究之探討內容。
	2. 製作一組模型用實驗來求證電腦分析結果是否正確。	為本研究之探討內容。

資料來源：見廖世芳，1988，《台灣傳統二維大木構架耐震研究》，淡江大學建築研究所碩士論文，p95-96。

### ● 小結：

1. 本章對古蹟暨歷史建築木構架的來源與類型、木材用料與力學性質、榫卯元件型式、構件特性與形貌、構造之文獻回顧，除奠定了爾後述說的依據外，亦由廖世芳、陳信樟之文獻中，更加强了本研究的價值。
2. 本研究參考文獻繪製古蹟暨歷史建築木構架中廟宇最普遍使用的疊斗式木構架數位模擬圖，可展現疊斗式木構架之構造形式及構件拆解示意，並提供爾後數值模擬分析與模型實驗之參考。



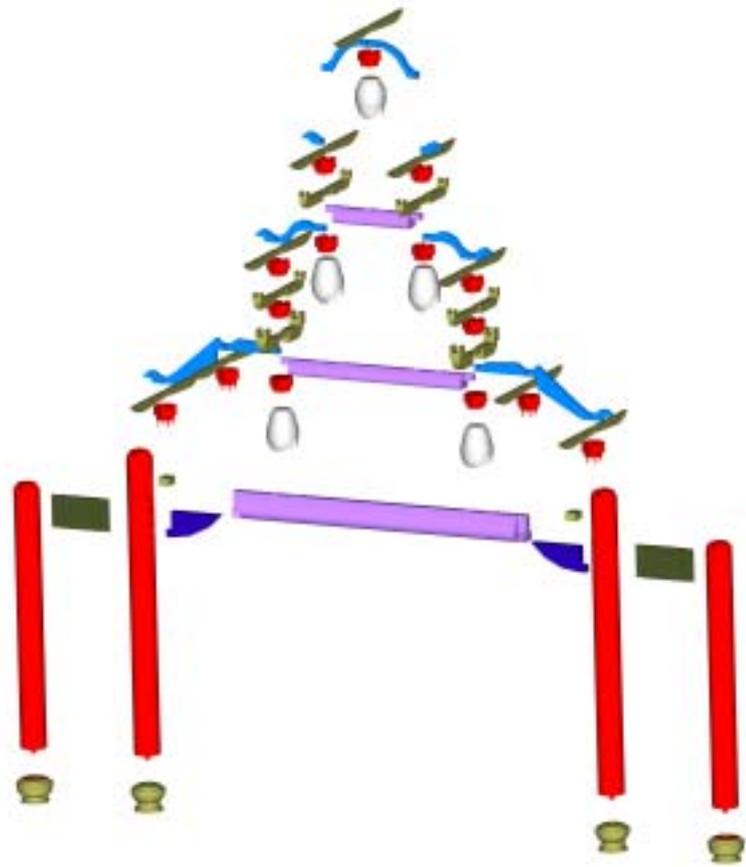


圖 2-32 疊斗式木構架之構件拆解圖

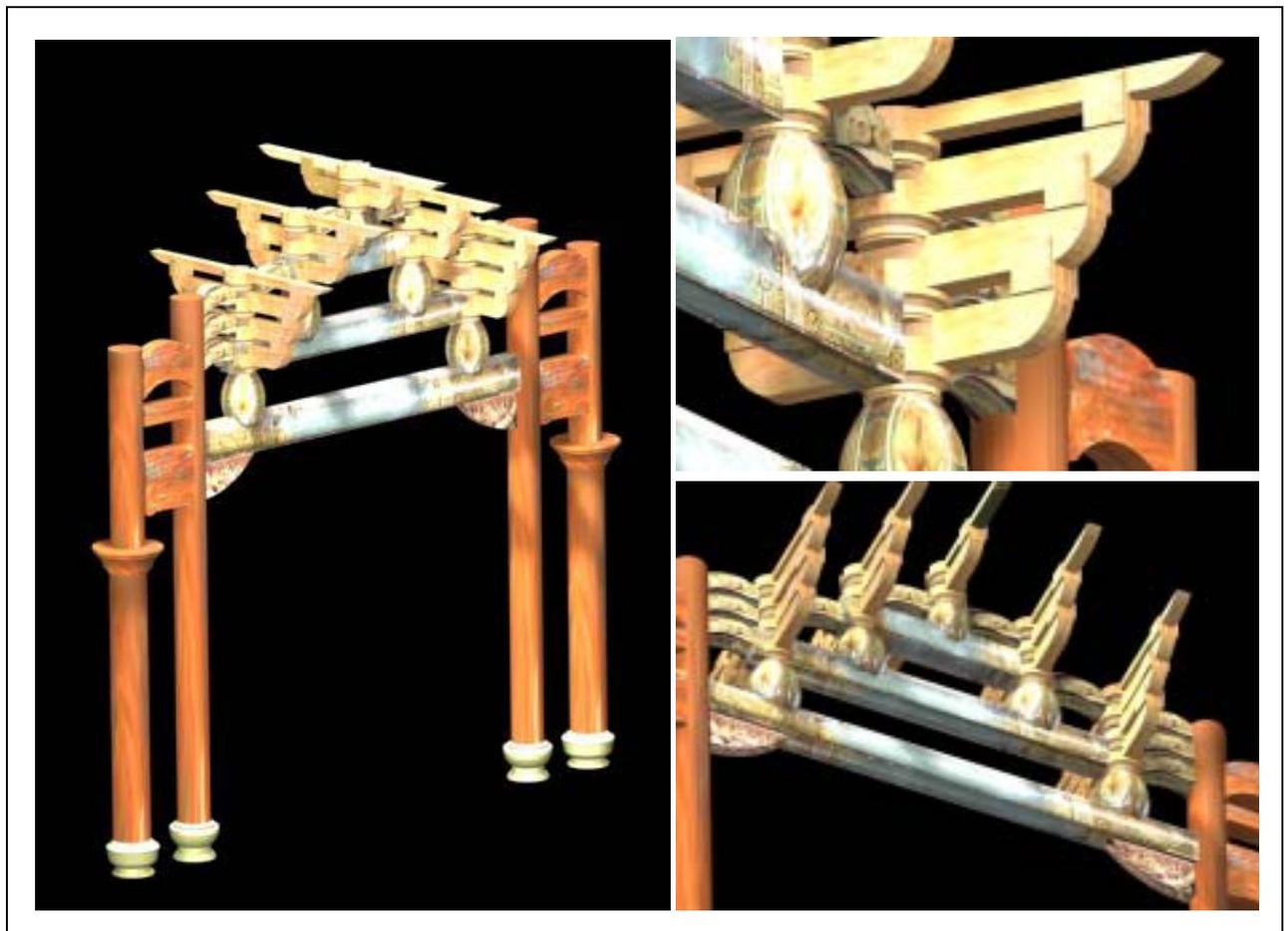


圖 2-33 疊斗式之單架 3D 數位模擬圖

3. 本研究蒐集資料中發現前人之研究大多偏於抽象歷史傳承及文化意義之敘述，而對於構造及力學之基礎研究相對較少。以金字塔來比擬古蹟暨歷史建築研究之涵構，如圖 2-34，上層部分可視為屬藝術、文化、空間意涵等之內容，下層部分則為材料、結構、構法與工法等之基礎內容。目前政府及民眾較重視上層，上下層研究不成比例，極需加強建構屬下層部分之基礎研究。

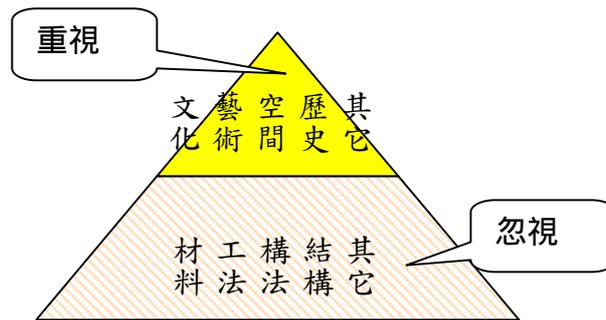


圖 2-34 以金字塔比擬古蹟暨歷史建築研究涵構圖

4. 擬於下章回顧木構架結構狀態之檢測技術，以作為爾後研究木構架預警檢測機制之參考。

## 第三章 木構架結構狀態之檢測技術

本研究將對結構狀態監測(Structure Health Monitoring)方面的領域進行探討，先對木構架結構狀態的檢測技術進行文獻回顧，首先以能提供木構架結構狀態監測參考的木構架位移(3 向度)變化為主要回顧對象。其次，對木構架結構狀態的檢測技術，分監測與診斷方面進行探討。冀能為本研究爾後建構的古蹟暨歷史建築木構架結構狀態的預警檢測機制作準備。

### 3-1 木構架結構狀態之變化

木構架結構狀態的變化，可分構造本身的結構變化、材質因時間的變化、位移(3 向度)的變化三方面，但本研究的焦點仍是以能夠提供結構狀態監測參考的位移(3 向度)的變化為主。一般常見的大木構架受損部位及徵狀受損過程之模式也一併說明。

#### 一、構造本身的結構變化

構造本身的結構變化，主要是指木構架本身的結構原理，臺灣傳統建築屋架型式主要可分成穿斗式、抬梁式、疊斗式三種，其結構原理大體上是『利用垂直地面的柱材(承受縱壓力)與水平的梁材(承受橫壓力)互相搭接或穿插，構成矩形系統的梁架屏。柱材上端頂住檁木，檁上鋪望磚及瓦。梁材伸出以挑出簷。每兩個梁架屏之間以枋材拉繫，構成所謂「間」的空間單元』(註<sup>3-1</sup>)。「間」的空間單元在結構上因對稱屬較穩定的組構型式，如果木構架本身合乎結構的極限狀態(包含承載能力的極限狀態與正常使用的極限狀態)的要求，則不至於產生太明顯的變形，或喪失承載的能力而傾倒毀壞。

#### 二、材質因時間的變化

木材因時間的累積與環境的影響會產生變化，其中最明顯的就是腐朽與蟲蛀。『木結構若處於容易腐朽、蟲蛀的條件下，三、五年就可能使強度顯著下降，甚至倒塌』(註<sup>3-2</sup>)。

『木材腐朽一般均有徵狀，人們較易發現，初腐階段，表層開始變色，發軟，然後出現從橫交錯的細裂紋，並呈銹紅色軟塊狀腐朽，用手一捻即成粉末；也有的呈淺色腐朽，用手捻成纖維狀。如果木腐菌在建

註<sup>3-1</sup> 見李乾朗，1982，《中華藝術大觀 6-建築》，新夏，p98。

註<sup>3-2</sup> 見哈重福 編，1987，《木材的結構與設計》，明文書局，p21。

築物內生長旺盛，往往可以嗅到一種使人討厭的氣味』(註<sup>3-3</sup>)。『構造上防腐措施的根本原則是使木結構通風良好，使結構即使受潮，也能及時風乾，保證木構件在使用期間的含水率始終控制在 18%以下』(註<sup>3-4</sup>)。

『木材除腐朽外，也易招致蟲蛀；其發生規律比腐朽更難預測和控制，昆蟲猖獗的地方，昆蟲可在數年內將木構件蛀空，以至倒塌傷人。危害木材的蟲類主要有甲殼蟲和白蟻兩類。甲殼蟲主要侵害含水率較低的木材，而白蟻喜歡蛀蝕潮濕的木構件』(註<sup>3-5</sup>)。

### 三、位移(3 向度)的變化

木構架受外力與內力的影響，會產生位移的變化。一般論及外力，首推地震力為影響木構架 3 向度變化最明顯的外力，地震對木構架的破壞甚為劇烈。依據黃斌等(註<sup>3-6</sup>)對傳統式古蹟及歷史建築木竹構造其中對木構造承重(分傳統純木、竹構造及木構架 土塼造壁體兩類)的震害探討顯示，

#### (一)主要震害現象：

1. 屋頂傾塌、構架傾倒。
2. 構架傾斜、構件脫榫，但建築未倒塌。
3. 壁體及屋瓦破損，但建築未倒塌。
4. 亭軒傾斜，柱珠位移。

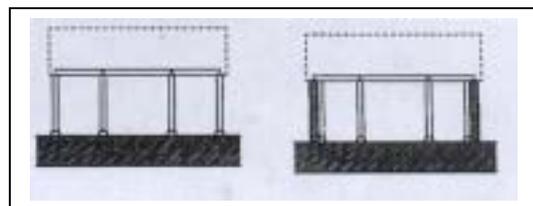


圖 3-1 木構造承重圖

資料來源：同註<sup>3-6</sup>。

#### (二)震害分析：

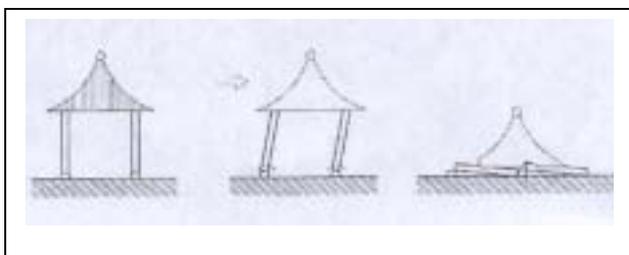


圖 3-2 疊斗式木造亭軒之震損模式圖

資料來源：同註<sup>3-6</sup>。

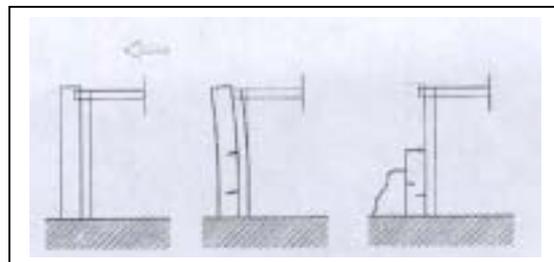


圖 3-3 地震時牆體面外破壞但木構架仍完整圖

資料來源：同註<sup>3-6</sup>。

註<sup>3-3</sup> 同註<sup>3-2</sup>。

註<sup>3-4</sup> 同註<sup>3-2</sup>。

註<sup>3-5</sup> 同註<sup>3-2</sup>。

註<sup>3-6</sup> 見黃斌等，2001，《傳統式古蹟及歷史建築木竹構造震害及基本構材行為研究》，國科會研究報告 (NSC89-2218-E006-214)。

由上述文獻觀之，疊斗式木構架可由以下兩方面來探討其位移變化：

(一) 純木構架：探討柱產生位移，上部的構架及疊斗的變化是如何？

(二) 混合木構架(後續研究)：探討牆體產生位移，上部的構架及疊斗的變化是如何？

本研究礙於時間及經費的考量，針對第一項純木構架探討，冀能提供下章將建構的疊斗式木構架結構狀態預警檢測機制之參考。

#### 四、大木構架受損部位及徵狀受損過程之模式

大木構架受損不外乎為物理、化學及生物等類型破壞，以下為李乾朗所整理之一般常見的大木構架受損部位及徵狀受損過程之模式圖，此資料對本研究之預警檢測機制，極具參考價值。

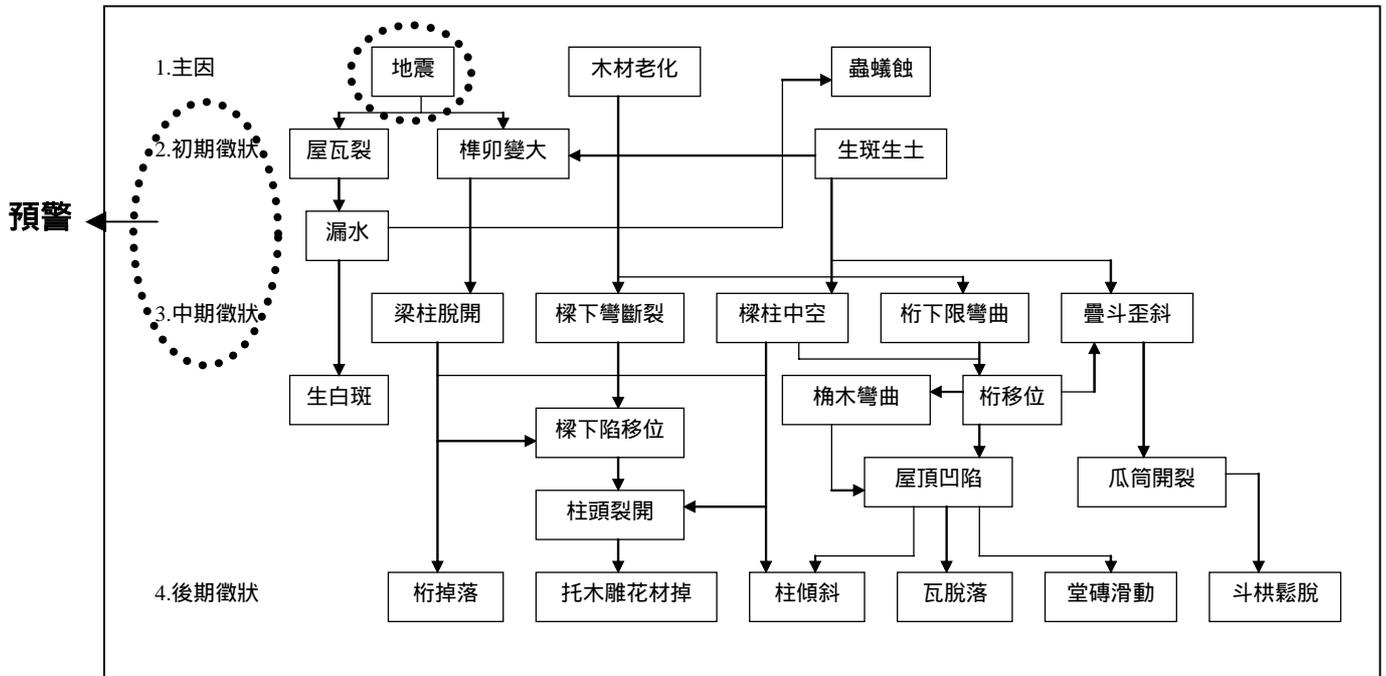


圖 3-4 一般常見的大木構架受損部位及徵狀受損過程之模式圖  
資料來源：見李乾朗，1995，《台灣傳統建築匠藝》，燕樓古建築，p87。

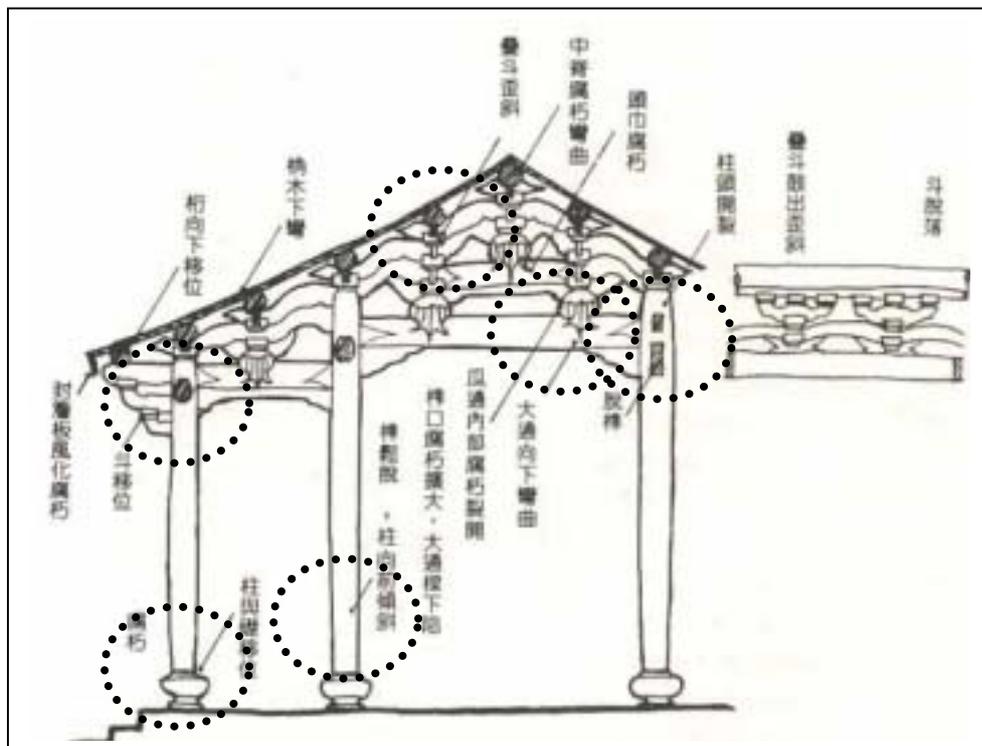


圖 3-5 一般常見的大木構架受損部位及徵狀圖  
資料來源：見李乾朗，1995，《台灣傳統建築匠藝》，燕樓古建築，p87。  
說明：圈選處可提供感測器裝設位置之參考。

### 3-2 木構架結構狀態之檢測技術

首先由文獻回顧瞭解木構架之結構型態，其次由數位與實體模型實驗了解其結構行為，進而推行檢測的項目，再利用先期的監測與現場的診斷來避免木構架的傾塌毀壞，流程構想如圖 3-6 所示。

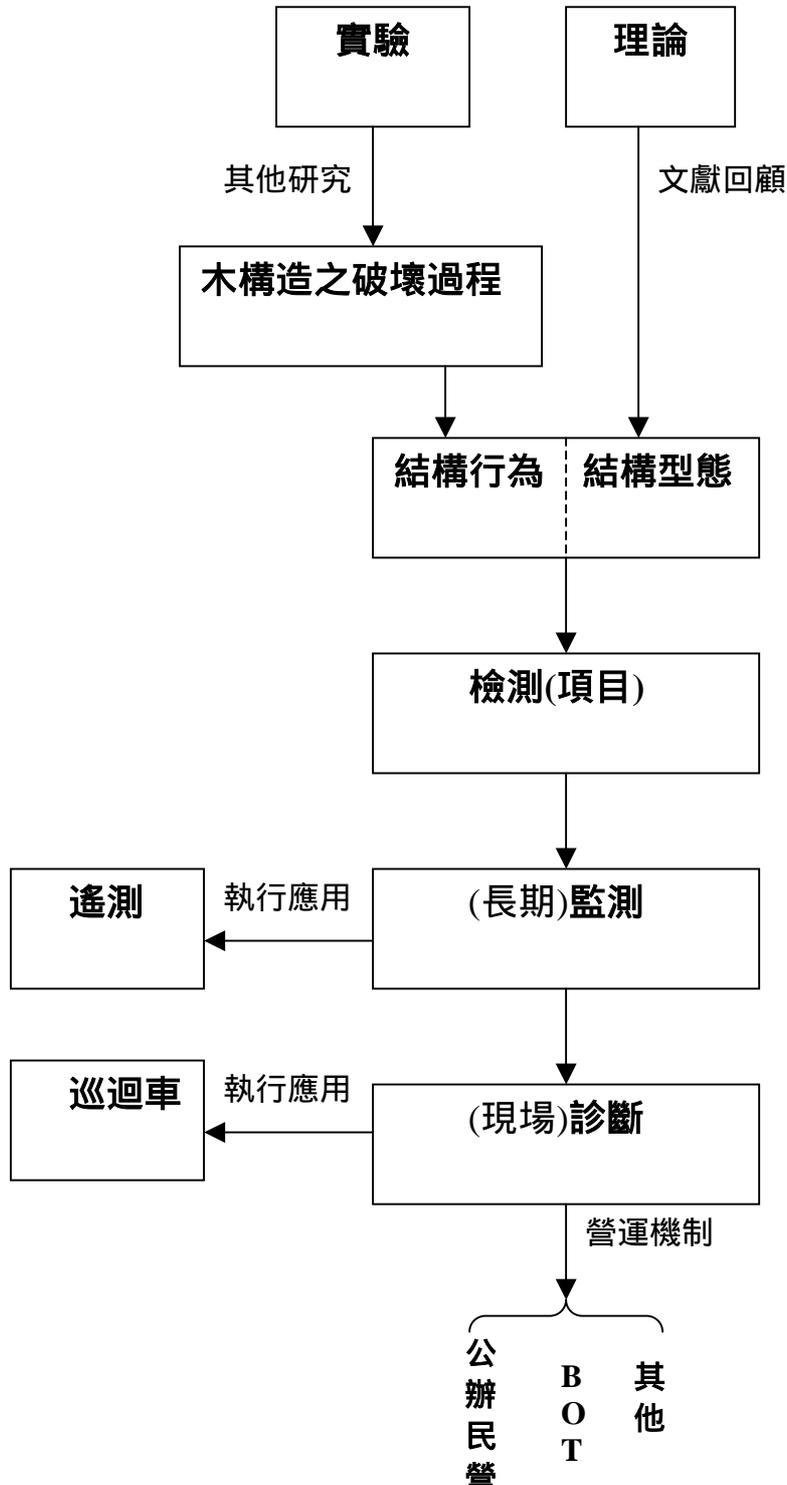


圖 3-6 流程構想圖

## 一、結構狀態之監測

本研究擬透過理論與實驗的論證來了解木構架的結構行為，進而推衍檢測的項目，再利用先期的監測與現場的診斷來避免木構架的傾塌毀壞。而本研究之焦點乃在於目前仍屬起步階段的先期的監測方面，茲敘述如下：

近幾年來，由於國內外監測應用上的技術研發，監測儀器和方法的進步，慢慢使得基礎的土木結構的監測對象已可以應用到建築結構監測上了，尤其往往一些位處於地震帶上的國家，常常受到或大或小的地震災害，建築結構的安全問題更是當前需解決的一大課題，尤其對於富有保存價值的木構架古蹟來說，長期的結構狀態監測會是木構架結構安全的一項保障，同時傳統古蹟監測的概念也慢慢被注意和推廣。

在強調文化傳承的今天，古蹟保存顯得格外重要，不過目前國內外針對於古蹟的維護和保存，大多是透過非破壞性的檢測技術，而此技術多為短期的檢測方式，在對於整個結構體的結構狀態之長期監測，較為缺乏，而以木構架來說，結構狀態的監測應用技術更是目前史料文獻中較少探討的。

而目前實際應用感測器大多運用於建築的施工監測上，在不同的類型工程，其監測的儀器和項目就有所不同，最後透過監測儀器再分別以現有的法規和工程經驗，分析其安全管理值，而可完成一套具體性之監測計畫，建立一套完整的防災體系。

國外則有許多專家研究學者針對不同結構狀態以不同的監測方式從事相關研究，不過針對於古蹟以及歷史建築物的監測仍較缺乏，而 2000 年 Inaudi, D.等人則針對於橋樑、隧道、大地工程、發電廠、高層建築以及歷史性古蹟做了系列的監測研究，監測範圍及項目則包含：(余蔚莉，2003)

- 1.物理量：位置（變位）變形、傾斜、應變、應力、壓力、加速度及振動。
- 2.溫度：溫度變化量。
- 3.化學量：濕度、ph 值、氯含量。
- 4.環境因子：氣溫、風速、方位、輻射、降雨量、雪載重、水位及水量、污染物質含量。

而隨著電腦科技突飛猛進，許多監測儀器如水壓計、光纖感測器、應變計、電子式相對變位計等，均已經可以連續性自動量測，並透過網路線直接將數據輸進電腦，而這種自動監測系統之概念在於全時監控、立即反應，只要在規劃

時稍加調整儀器種類，不但可以節省人工之耗費，更可得到長期即時的數據資料。這對於木構架等古蹟建築監測和維護便有十足效益，除了長期的監測系統的建立之外，可朝無線網路遠距監控系統 Web-Controlled Wireless Network Sensors (WCWNS)之發展做為研究，透過網際網路、伺服器及中繼站的功能，連結形成無線網路化遠端遙測監控系統，不但可迅速傳遞資料，並能立即透過專業人員直接為建築物進行結構損害分析(余蔚莉，2003)。

以下為感測器分類表，其中變位感測器及運動量感測器，為配合木構架結構行為分析成果，適合加以應用之感測器。

表 3-1 感測器分類表

性質	原理	類別	感測器種類	量測對象 (或應用範圍)
物理量性質	力學 (mechanical)	機械量感測器	變位感測器	長度、距離、位置、變位、轉動角度、轉速等。
			運動量感測器	速度、角速度、加速度、微震週期等。
	超音波 (ultrasonic)	感測器	力學量感測器	應變力、壓力、力、轉矩、流量等。
			超音波感測器	結構龜裂及缺陷檢查、距離、生物體診斷檢查、魚群探測器等。
	光 (radiant)	光與放射線感測器	可見光感測器	光強度、亮度、距離、位置、不良品檢查、TV 攝影機等。
			紅外線感測器	讀條碼器、CD、溫度量測與紅外線攝影機等。
			紫外線感測器	紫外線強度計、殺菌燈管理等。
			射線感測器	工業與醫療用 射線透視檢查攝影機等。
	熱 (thermal)	溫度感測器	熱電偶	泛指用溫度量測與電氣爐之溫度控制類。
			白金測溫電阻體	泛指用高精度高穩定溫度量測與控制等。
			熱敏電阻	泛指用溫度量測與控制，如溫風器電子捕蚊器等。
			IC 溫度感測器	高精度與基準溫度量測等 (-55 +150 )。
			磁性溫度感測器	火災報知器、電鍋、防止加熱等 (-22 +130 )。
			放射溫度計	主要由室溫到高溫物體的表面溫度測量等。
	磁氣 (magnetic)	磁感測器	半導體磁感測器	位置、轉數、進接開關、霍爾馬達等。
			磁性體磁感測器	位置、轉數、商品監視附屬物等。
			電磁感應型磁感測器	磁頭、自動檢票機、檢出硬幣機等。
			光纖體磁感測器	利用光纖之高壓與大電流量測類。
SQUID 磁感測器			心磁場和腦磁場之生物體磁性量測等。	
磁通器			由 SQUID 元件以至霍爾元件。( $10^{-15}$ $10^2$ T )	
化學量性質	化學感測器	氣體感測器	LP 瓦斯和都市警報器及特殊瓦斯檢出器等。	
		濕度感測器	濕度器、空調機、加濕器、電子微波爐等。	
		溶液感測器	排水、臭味、味道等環境量測、濃度管理及臨床檢查類等。	
		生物感測器	檢出酵素、離子、BOD、免疫檢查等。	

資料來源：見余蔚莉，2003，《建築物結構狀態自動監測與監測資料應用之研究》，中國文化大學建築及都市計畫研究所。

說明：選用之感測器以粗黑框註明。

本研究在模型實驗的部分由於需要透過量測振動下模型的反應加速度以轉換出模型的基本週期，所以採用加速度計感測器(如右圖)安裝於木構架實驗模型上。



加速度計

## 二、木構架結構狀態之診斷技術

本研究之「結構狀態診斷」主要是指運用儀器在建築物結構上進行破壞或非破壞之診斷。但因本文之研究主體屬具歷史文化價值之古建築，診斷方式不適宜採用破壞之診斷方式來傷害古蹟，故本文之結構狀態診斷方式主要限於非破壞之診斷方法。由曾逸仁(1997)提出之目前國內古蹟木構架結構狀態使用的診斷方法(表 3-2 稱檢測方法)以及可達程度如下表所示：

表 3-2 國內古蹟大木構件結構狀態使用的診斷方法與可達程度表

診斷法		診斷可達程度
科學式	r 射線照射法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可針對複雜的榫卯構件照射成像於底片 並解析。</li> <li>2. 對木構件內部的腐蝕、瑕疵、釘入物等天然或後天損壞狀況照射，可得到確切的位置、大小、範圍與類型等訊息。</li> <li>3. 由於照射費用昂貴且照射過程費時、流程繁複，故無法全面性實施，只能篩選部份構件實施，仍無法達到精密檢測的要求。</li> </ol>
	超音波法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 利用音速遞減量測可以得知木構件瑕疵或損壞的存在，與整體損壞約略至何種程度。</li> <li>2. 尚無法得知損壞類型，僅能有限度預測瑕疵可能位置、大小、範圍。</li> <li>3. 可進行全面性檢測，但對探頭無法施放部位仍無法檢測。</li> </ol>
	結構損壞評估法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 利用結構損壞量測而計算剩餘載重能力，可以得到數值化的結構承載評估，明確得到載重剩餘百分比。</li> <li>2. 只能依照損壞已外露且可用探針刺入量測的部位進行評估，對於內部損壞的情形 無法評估。</li> </ol>
感官經驗式	目視觀察	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以肉眼觀察的感官方式憑藉經驗值提出損壞的敘述與報告。</li> <li>2. 視覺可及的部位都可進行全面性的目視觀察。</li> <li>3. 只能針對構件損壞訊息形於外來判別，構件內部的損壞無法得知。</li> </ol>
	敲擊法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以榔頭敲擊的聲響憑藉經驗來判別損壞部位與程度，可經由經驗值的比對說明構伸大概的損壞程度，但無法提出詳細說明 與數值。</li> <li>2. 只要榔頭可敲擊的部位都可進行全面性檢測。</li> <li>3. 對內部損壞類型或稱件中心破壞的狀況無法判別，補土修補等部位則容易誤判，榔頭不可及的部份容易忽略，如楹與楠仔接合處。</li> </ol>

	探針法	1. 以探針探入構件裂隙或損壞部位量測損壞深度或以觸感來說明損壞的大概情形 2. 只能針對構件表面有裂隙或洞孔實施，無法全面處理 3. 對於內部損壞卻未形於外的構件無法得知實際大小位置等資訊。
	聽診器法	1. 以聽診器聽蟲蟻活動的聲響以判別蟲蟻是否存在，對於損壞程度無法判別。 2. 只能針對生物性破壞檢測，受限於蟲蟻活動的季節時間與蟲蟻攻擊的部位，無法全面施行。

資料來源：見曾逸仁，1997，《台灣古蹟大木構件破壞類型及其非破壞檢測法之探索》，成大建研所碩士論文，p158。

● 小結：

1. 由對木構架結構狀態相關檢測技術文獻回顧之探討，如李乾朗所整理之一般常見的大木構架受損部位及徵狀受損過程之模式圖，此資料對本研究之預警檢測機制，極具參考價值。
2. 植基於前述古蹟暨歷史建築木構架的基本性質與木構架結構狀態檢測技術相關文獻回顧，可開始建構古蹟暨歷史建築木構架結構狀態的預警檢測機制，並以疊斗式為例。

## 第四章 古蹟暨歷史建築疊斗式木構架結構狀態之檢測

本章針對古蹟暨歷史建築疊斗式木構架結構狀態之檢測進行探討，首先本研究實地至臺中霧峯林家、彰化鹿港龍山寺、雲林北港朝天宮與台北大龍峒保安宮，現場勘查疊斗式木構架結構狀態變化之現象。其次透過結構分析電腦程式 STAAD. Pro，並以半剛性接頭模式模擬木構架之榫卯接合，開始對疊斗式木構架進行數值模擬分析。第三再對微振動量測應用於疊斗式木構架結構狀態檢測進行探討，以求最後建構古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之預警檢測機制。

### 4-1 疊斗式木構架結構狀態變化之現場勘查

本研究茲以臺中霧峯林家(觀察其受 921 震害之木構架損壞情形)、彰化鹿港龍山寺(觀察其大殿屋頂拆解後之純木構架狀態)、雲林北港朝天宮(觀察其即將進入修復之木構架狀況)、台北大龍峒保安宮(觀察其修復後之木構架情況)為現場勘查疊斗式木構架結構狀態變化之對象，現場勘查紀錄與評述如下表 4-1 所示：

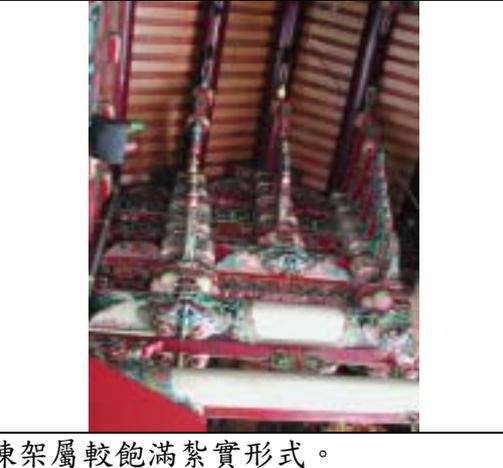
表 4-1 木構架結構狀態變化之現場勘查紀錄與評述表

位置	臺中霧峯林家現場勘查紀錄與評述 (觀察其受 921 震害之木構架損壞情形)	
景薰樓組群	 <p data-bbox="336 1462 860 1547">屋架結構受地震力從接續處鬆脫之情形。</p>	 <p data-bbox="898 1462 1422 1547">柱礎之型式，代表與柱之接頭型式接近鉸接方式。</p>
景薰樓組群	 <p data-bbox="336 1955 860 2036">柱底端之卡榫型式及卡榫剪力破壞情形。</p>	 <p data-bbox="898 1977 1342 2036">屋架與柱榫接之桁梁脫落情形。</p>

<p>景薰樓組群</p>		
	<p>柱上部結構側向位移情形。</p>	<p>門架柱底端因接近鉸接而產生旋轉傾斜情形。</p>
<p>景薰樓組群</p>		
	<p>屋架卡榫鬆脫情形。</p>	<p>屋架卡榫鬆脫情形。</p>
<p>景薰樓組群</p>		
	<p>短梁側向剪力破壞。</p>	<p>門架柱底端卡榫剪斷情形。</p>
<p>景薰樓組群</p>		
	<p>枋上短柱破壞情形。</p>	<p>以斜稱增加木構造抵抗側向橫力之能力。</p>

<p>頤園</p>		
<p>建築整體傾倒情形，但屋瓦完整，表示係整體構造破壞所導致。</p>		<p>混合式木構造可保持『強柱弱梁』之設計理念。</p>
<p>彰化鹿港龍山寺現場勘查紀錄與評述 (觀察其大殿屋頂拆解後之純木構架狀態)</p>		
<p>拜殿</p>		
<p>木構架已老化損壞。</p>		<p>柱與礎接合之細部。</p>
<p>拜殿</p>		
<p>構材內部已遭蟲蛀損毀。</p>		<p>拜殿屋頂拆解後之純木構架狀態。</p>
<p>大殿</p>		
<p>大殿屋頂拆解後之純木構架狀態。</p>		<p>大殿屋頂拆解後之純木構架狀態。</p>

大殿		
	木構架老化損壞情形。	構件毀壞情況。
大殿		
	棟架拆解後仍保存良好。	樺卯毀損情況。
大殿		
	樺卯毀損情況。	短柱接合之細部。
位置	<p style="text-align: center;"><b>雲林北港朝天宮現場勘查紀錄與評述</b> (觀察其即將進入整修之木構架狀況)</p>	
三川殿		
	木構架屬較飽滿紮實型構架。	木構架上彩繪已有些許脫落。

正殿		
	正殿內木構架保存情況。	正殿內木構架保存情況。
檐廊		
	木構架與牆體接合情況。	柱與牆體混合牆況。
位置	<b>台北大龍峒保安宮現場勘查紀錄與評述</b> (觀察其修復後之木構架情況)	
正殿		
	木構架修復後之情形。	棟架屬較飽滿紮實形式。
前殿		
	棟架屬較飽滿紮實形式。	木構架與牆體接合細部。

		
	<p>照明設備與梁之安置情形。</p>	<p>照明設備與柱體之安置情形。</p>
		
	<p>照明設備之安置情形。</p>	<p>監視設備之安置情形。</p>

● 小結：

1. 臺中霧峯林家(觀察其受 921 震害之木構架損壞情形)

因臺中霧峯林家受震害後已歷經多次清理，本研究僅能以現場之殘存環境加以勘察。除對木構架受震害之結構狀態變化(毀壞部位、毀壞模式..等)已於表 4-1 說明外，另建議修復方式除採用相似材料或原材料修復外，亦可考量加入新材料及新工法來加固或補強，避免相同的破壞情形再次產生。

2. 彰化鹿港龍山寺(觀察其大殿屋頂拆解後之純木構架狀態)

(1)彰化鹿港龍山寺大殿是屬於磚石木之混合構造。本研究現場勘查時間，因正逢龍山寺的大殿屋頂進行拆解，更可明顯看出其構造型式與毀壞情形。

(2)彰化鹿港龍山寺大殿之木構架毀壞原因主要以構材老化與蟲蛀為主。

(3)大木結構中的雀替，不難看出裝飾的成分偏多。

(4)建議再次修繕時，能針對結構方面做徹底補強，例如考慮加入隔震或制震工法，以提升其抗震能力。

3. 雲林北港朝天宮(觀察其即將進入修復之木構架狀況)

本研究現場勘查雲林北港朝天宮時，其即將進入修復，但由整體觀

之，其木構架尚難看出有毀壞或變位情形，且因木構架受香火薰黑，表面損害情形亦難辨別。

#### 4. 台北大龍峒保安宮(觀察其修復後之木構架情況)

- (1)台北大龍峒保安宮的修復含蓋整個完整的古蹟修復技術，包含現代工程，例如蟲害工程、水電工程及景觀工程等。
- (2)台北大龍峒保安宮的木構架因地震而毀傷屬少部分，主要以蟲害為主，破壞多是在榫接部位。
- (3)照明與監視設備之架設主要以固抓之方式安置，避免毀傷建築物本體。

## 4-2 疊斗式木構架之數值模擬分析

本研究對於疊斗式木構架進行數值模擬分析，來探討大木構架在靜力和振態分析上的狀態，同時計算出原尺寸大木架構和縮小模型的基本週期，用以作為後階段實驗研究基本週期識別實驗的數據參考。

### 一、以半剛性接頭模式模擬木構架之榫卯接合

榫接是木構架中相當特殊的構件，其結構行為相異一般的鋼筋混凝土結構的剛性接頭(Rigid Joint)，也不同于鉸接(Hinge Joint)的行為。

而傳統木結構建築構件榫接點結構行為因為而其相接卯榫構件接頭非一整體，外力作用下因為間隙(gap)的存在及擴大而導致構件發生相對的轉角變位，轉角並不似鉸接自由無限制而是具有箝制作用的，仍舊承受彎矩作用，而其就好比許多的彈簧置於間隙擔任傳遞應力工作，所以是介於鉸接和剛接的半剛性(Semi-rigid)接頭，而會隨著榫舌磨損及角度轉動，導致構件之間的有效面積減少，而其彎矩和剪力極易對榫舌造成破壞。

一般的構件結點行為多以輓接(Roller)、鉸接和剛接的假設來歸納簡化其分析類型，相較於傳統木構架建築，其榫頭靠各構件榫卯的形式及作用力方向互制而使構件成立，並無螺栓和側板等鎖件加以箝制變位並將各構件緊緊固定，故在榫卯間留下較大間隙。而此種行為可以半剛性結點理論(Semi-Rigid Joint)描述，也就是在各結點間加入扭轉彈簧(Torsion Spring)，如圖 4-1 和 4-2，而基本上外力彎矩與轉角的變形轉角比值即為彈簧的勁度( $K = dM/d\theta$ ) (陳鴻毅，1992)。

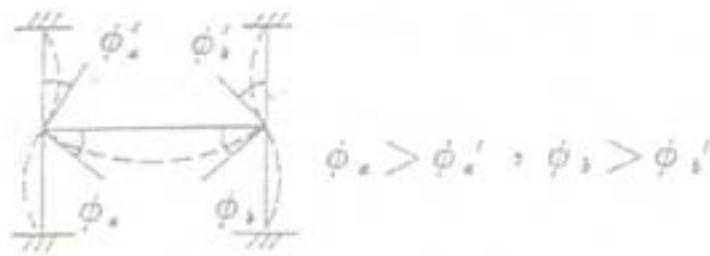


圖 4-1 半剛性結點轉角變位示意圖(陳鴻毅，1992)

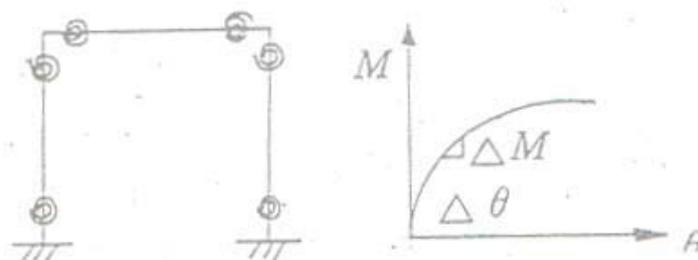


圖 4-2 半剛性結點理論示意圖(陳鴻毅，1992)

榫卯接頭受力後的彎矩-轉角曲線在完全剛性與理想樞接兩個極端之間，為一個典型的半剛性行為，而國內外也有在剛結構的半剛性接頭進行研究，曾提出多折式線性模式、多項式模式、乘冪模式、指數模式與有限元素法模式等。而近來有學者提出接頭正切勁度模式，此模式將接頭受力後逐漸軟化的過程中，如圖 4-3，非線性接頭的彎矩-轉角正切勁度從初始勁度  $k_i$  開始，以指數函數描述，並逐漸遞減到零。其方程式假設如下(閻嘉義等，1995):

$$k_t = k_i [1 - (M / M_u)^c]$$

其中  $k_t$ =接頭正切勁度

$k_i$ =接頭初始正切勁度

$M$ =接頭極限彎矩

$M_u$ =接頭所受彎矩

$c$ =對應  $k_t$  遞減率的形狀係數

而根據閻嘉義等人在 84 年於榫卯接頭的試驗研究中，對於全新榫卯、人工缺陷榫卯進行載重試驗，其中於全新榫卯作一次試驗，而在人工缺陷榫卯則進行多次的反覆試驗測試。

而其試驗結果如下:

#### 1. 全新榫卯

根據圖 4-4 的 a 在彎矩-轉角試驗曲線初始荷重區為線性，隨著彎矩的增加便很快呈現非線性，且切線斜率逐漸緩和，最後遞減至零，亦即到達破壞或降服，而接頭行為模擬所需的參數， $k_i$  與  $M_u$  可由試驗曲線直接讀取，而  $C$  則由調整試驗曲線與模擬曲線間的最小平方差至最小值決定，而各種接頭的曲線模擬參數  $k_i$ 、 $M_u$ 、 $C$  值如表 4-2。

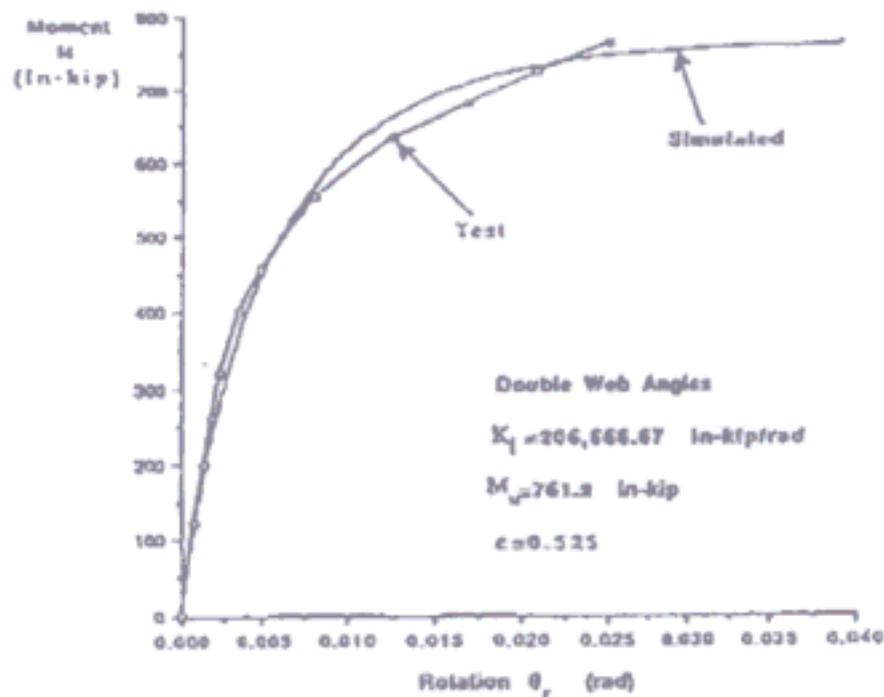


圖 4-3 接頭彎矩-轉角曲線(閻嘉義等，1995)

表 4-2 各種全新接頭之試驗曲線模擬參數值(閻嘉義等，1995)

榫卯形式	Ki(kgf-m/rad)	Mu(kgf-m)	C
單向直榫	289.0	11.50	1.6
單向雙榫	223.0	11.10	1.7
大併小出直榫	595.0	22.70	1.55
燕尾榫	99.1	7.50	1.65
單向搭接榫	27.0	3.60	2.35
蟻榫	239.0	7.80	2.05
公母榫	90.8	3.85	1.30

## 2.人工缺陷榫卯

所有人工缺陷榫卯，均進行 4 次反覆載重試驗，在第一次試驗所得的彎矩-轉角曲線，如圖 4-5 的 a 曲線，類似全新榫卯的試驗結果，仍為仍為典型的線性-非線性-降伏模式，但在第二、三、四次試驗時，除了初始勁度與極限彎矩有逐漸降低外，接頭降伏後會有相當長的塑性區，但經過極大的變形後，接頭反而會逐漸硬化。

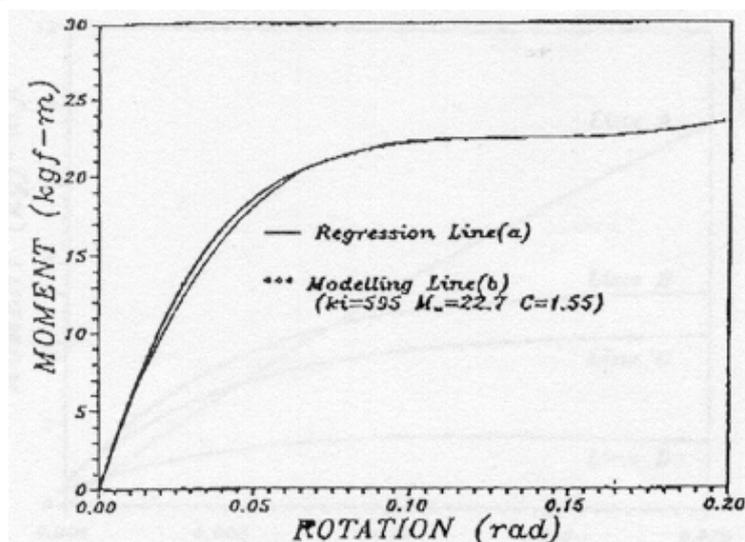


圖 4-4 全新大併小出直榫試驗與模擬結果(閻嘉義等，1995)

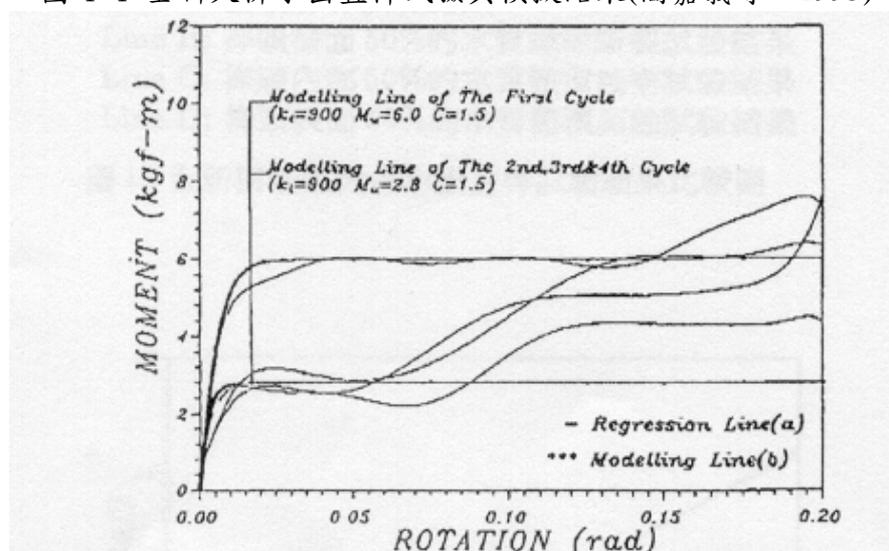


圖 4-5 人工缺陷大併小出直榫試驗與模擬結果(閻嘉義等，1995)

## 二、疊斗式木構架之主要構件電腦模型建立

疊斗式木構架之主要構件模型建立，透過 **STAAD. Pro (Structural Analysis & Design)** 電腦輔助設計程式來操作，是美國 net Guru 公司的 Research Engineers International 部門新一代的土木工程之鋼構混凝土設計分析軟體。

### (一)STAAD. Pro 之操作流程

STAAD. Pro 之操作流程大體可分為 4 各步驟，

首先將張廖家廟的模型透過建立模型前的條件假設，進而輸入模型建立、之後進行靜力與動力的分析。如下圖所示：

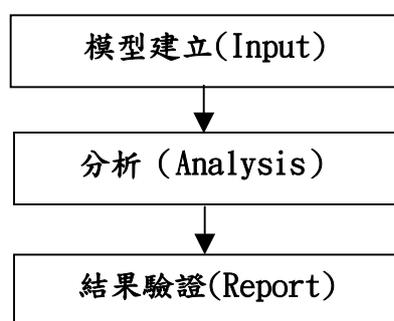


圖 4-6 STAAD. Pro 之操作流程圖

圖形介面所見即所得的概念，藉由桿件性質、材料、載重形式、支承、節點、桿件自由度等模型條件，建立起疊斗式木構架模型。

疊斗式木構架模型進入分析的階段，則透過靜力分析和動力分析兩個部分來探究疊斗式木構架在兩個分析情況下的行為狀態。而其分析結果的驗證則由靜力的各項內力圖及位移圖和動態分析的振態圖等來做檢視和探討。

### (二)疊斗式木構架之主要構件電腦模型建立

本研究是為一傳統大木構架中的疊斗式木構架，該架構平面各木構架間無任何填充體箝制各構件因外力作用所產生變位及轉角，藉由大木構架在地震力或其他外力作用時的反應模式，以及結點受力狀況。

由於透過結構分析軟體需將結構體簡化，故須先設定本研究疊斗式木構架之主要構件的結構體模擬條件，而其條件如下：

1. 各水平及垂直構件相結合點接假設為半剛性節點(Semi-rigid Joint)，而因為模型建構及分析軟體 STAAD. Pro 在材料特性的設定僅能在彈性範圍，所以本研究針對各水平及垂直構件相結合點的半剛性節點假設值決定

參照表 4-2 各種全新接頭之試驗曲線模擬參數值(閻嘉義等, 1995), 中的單向直樺的  $K_i$  值為主, 暫不探討榫卯其進入非線性階段。

2. 構件假設平滑沒有節(Knot)及破損和通直。
3. 構件橫剖面皆為圓形且均質。
4. 束仔. 束髓形狀為半月形, 但模擬時均視為兩疊斗間的直線構件。
5. 束仔尾不視為結構構件。
6. 托木由於鏤空之雕飾作法使構件有效面積大減, 不視為具結構作用。
7. 斗座及瓜筒截面積雖比疊斗大, 但仍視為假設相同。
8. 接柱因不影響上部屋架之受力行為故不予考慮, 仍視為單一柱。
9. 疊斗視為數個構件, 以彈性接合方式與其他和疊斗榫接之構架結合。

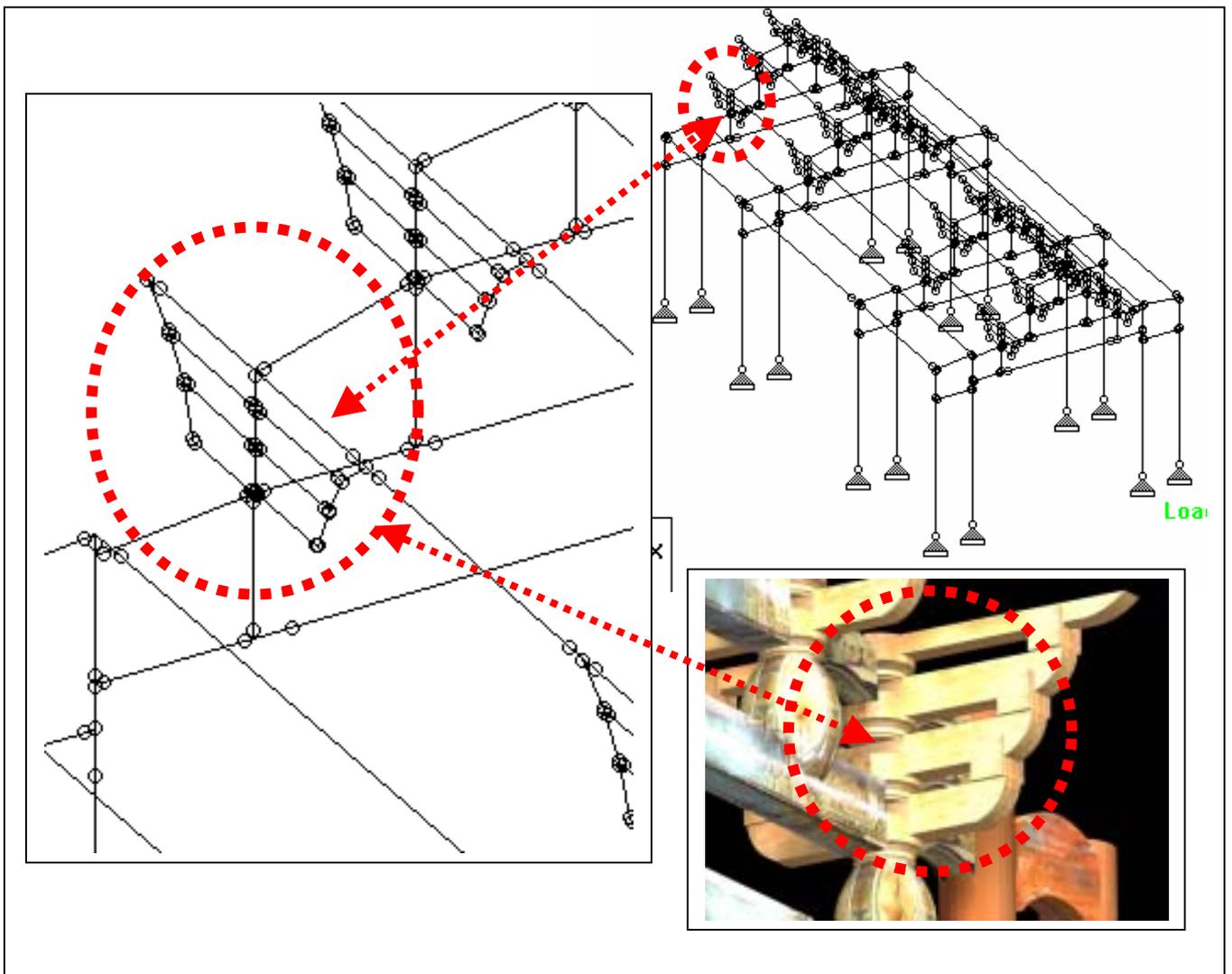


圖 4-7 主要構件電腦模型如何將疊斗視為數個構件之說明圖

### (三) 疊斗式木構架之主要構件電腦模型建立

而本研究考量疊斗式木構架尺寸資料的齊全，以台中張廖家廟為製作模型之參考依據。資料不足之處則以其他相關文獻為輔，建立疊斗式木構架之主要構件電腦模型如圖 4-8，結點共 352 點，而桿件共 491 個。

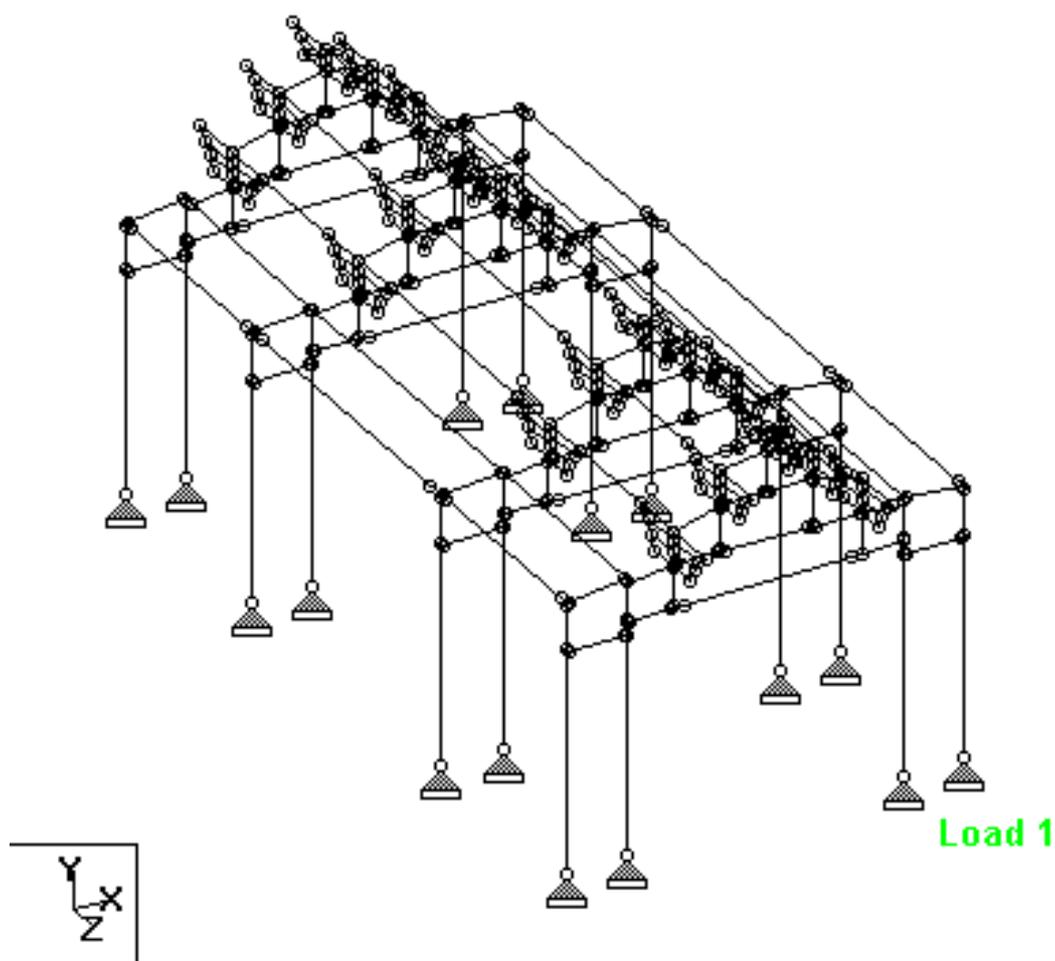


圖 4-8 疊斗式木構架之主要構件電腦模型圖

### (四) 疊斗式木構架數值模擬分析遭遇之困難處

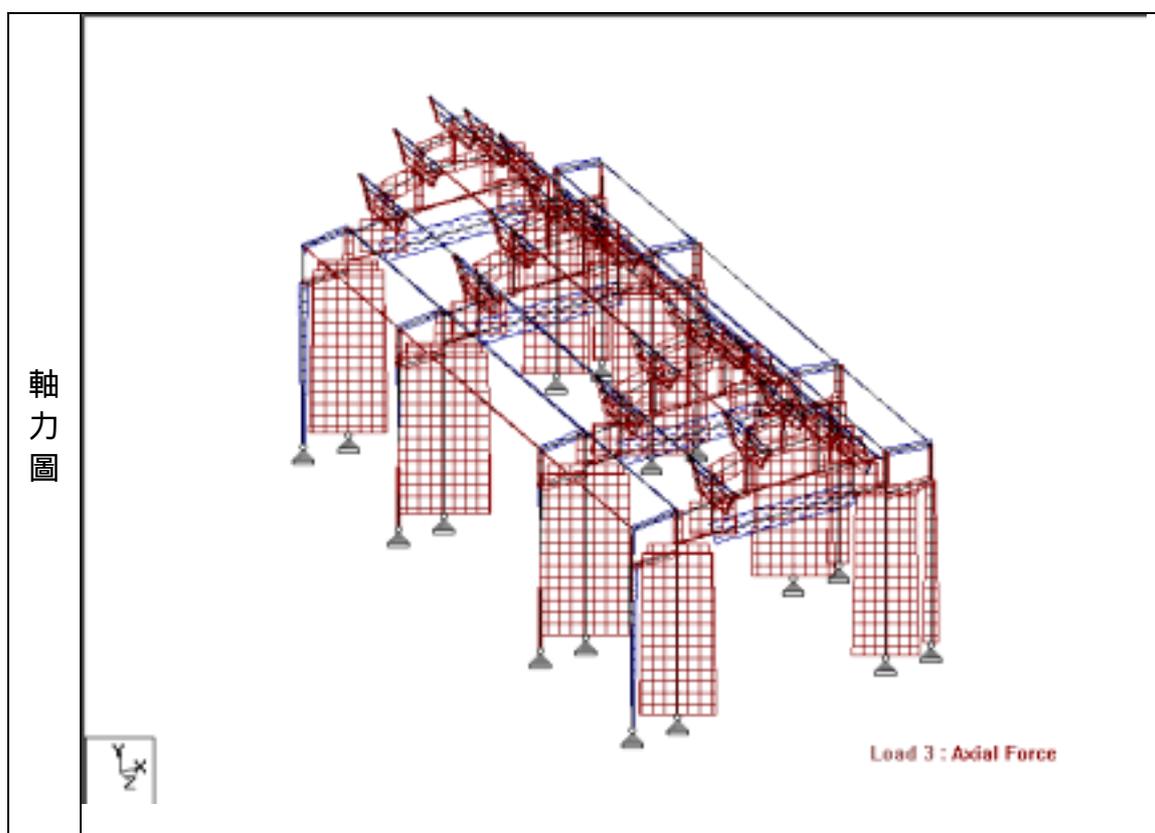
1. 本研究雖以半剛性結點模式模擬榫卯之接頭行為，但疊斗式木構架之構件間，仍存有榫卯契合度與個別差異性之問題，要完全模擬則極為困難。
2. 『木材之老化』與『蟲蛀之破壞』為影響疊斗式木構架結構毀壞的兩項重要因素，數值模擬則難加以完全模擬。
3. 本研究所採用之結構分析電腦程式(STAAD.Pro)，尚無法執行榫卯半剛性結點非線性之分析，榫卯結點之彎矩-轉角值僅能以固定值代入。

## (五) 疊斗式木構架之數值模擬分析結果

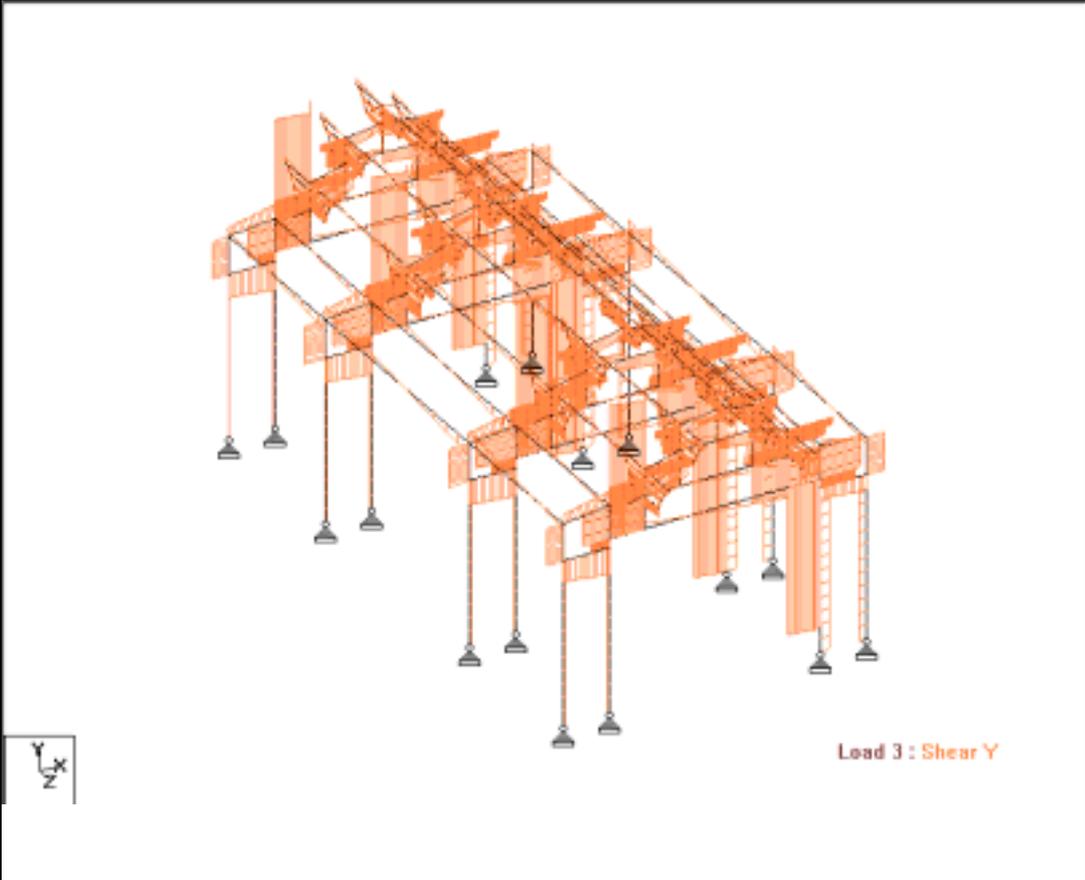
以下則說明數值模擬分析結果，包含靜力與振態分析兩方面：

### 1. 疊斗式木構架之靜力分析結果

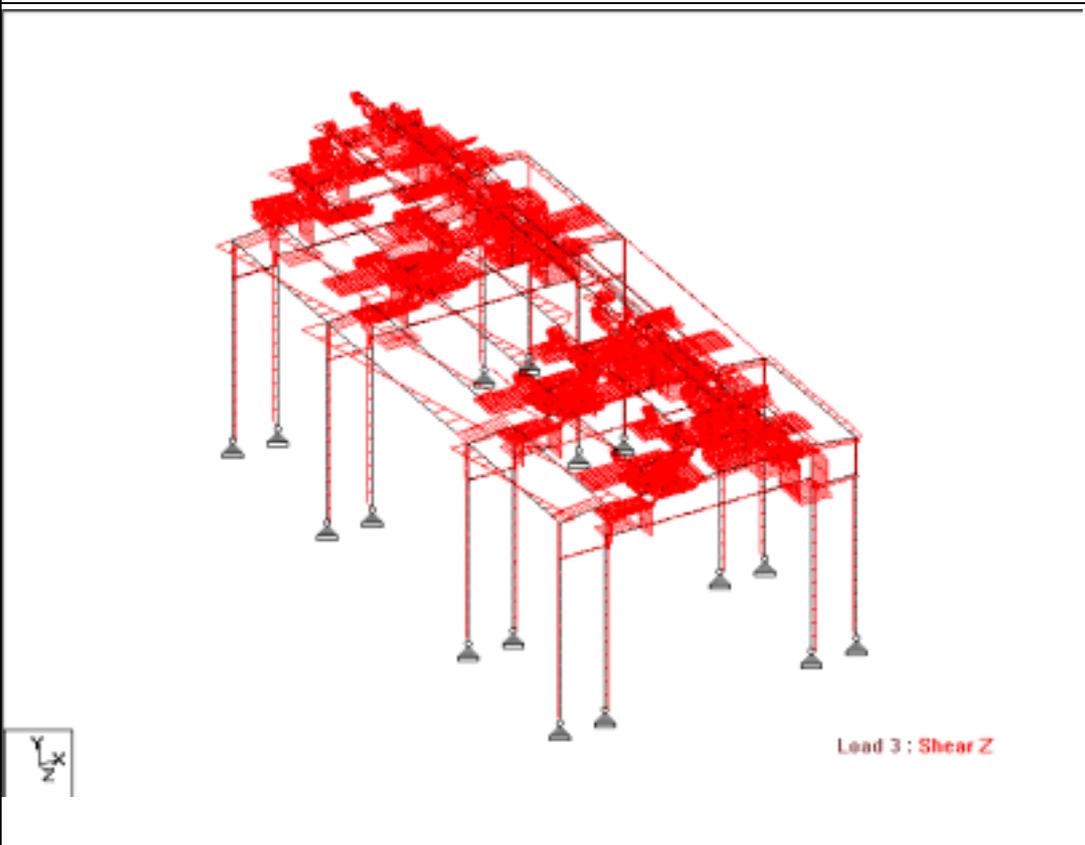
靜力分析藉由對電腦模型構架施予 Load 1 和 Load 2，Load 1 是側向力為水平側向力 0.1 倍的建築上半架構重量以及屋頂載重，Load 2 則為結構垂直靜載重，進行各桿件、結點的相關變位情形的分析。以下分別為受力後的軸力圖、剪力圖、扭力圖、彎矩圖和位移圖等。



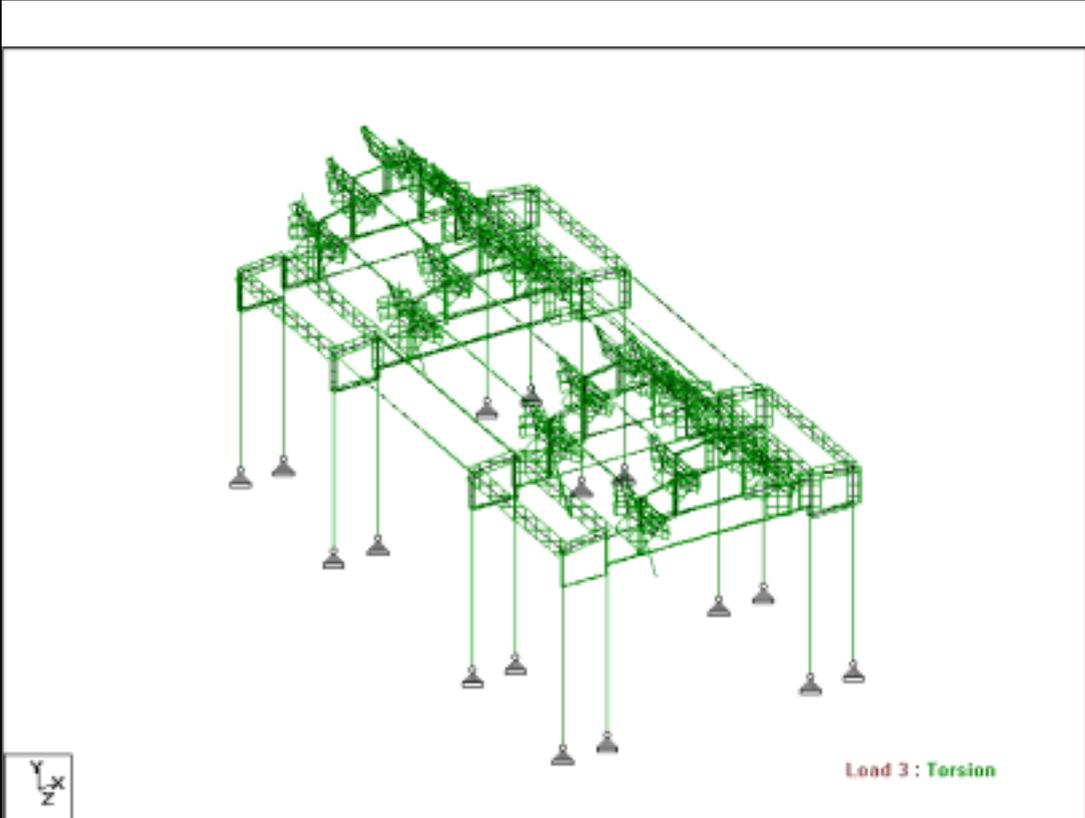
Y 向剪力圖



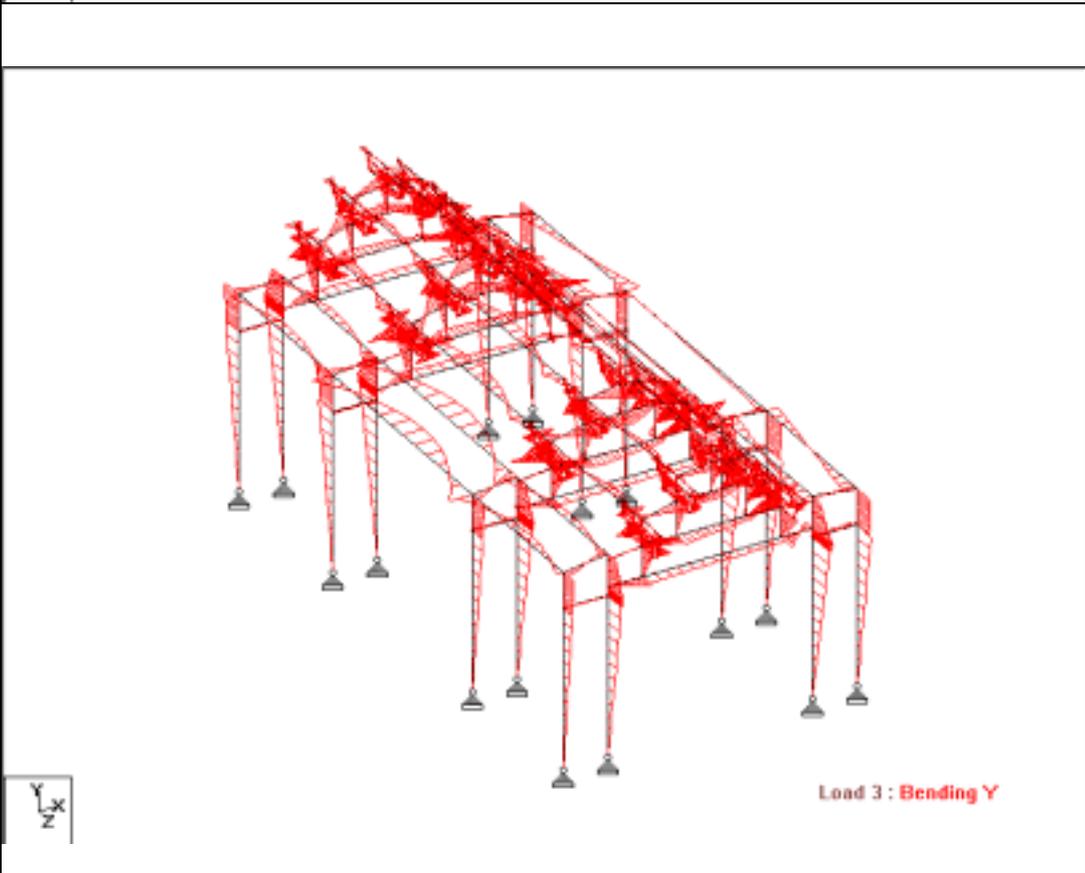
Z 向剪力圖



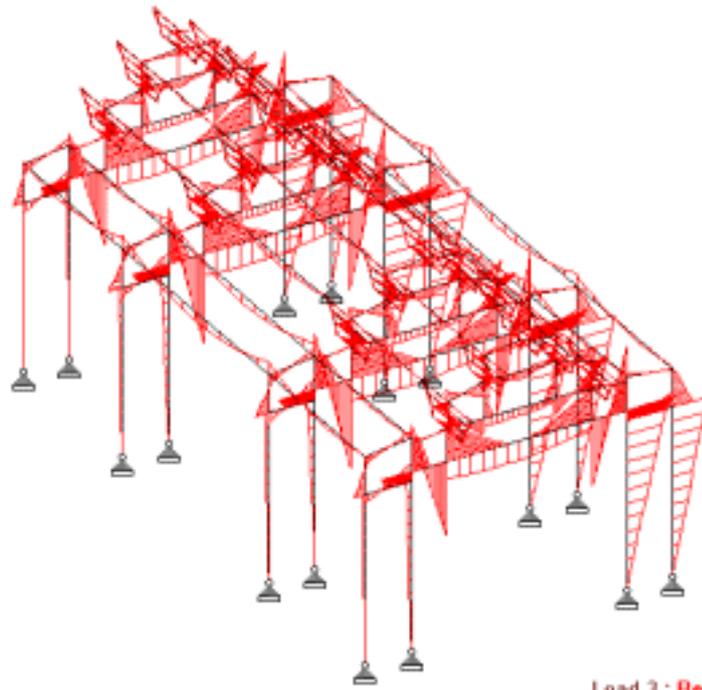
扭力圖



Y向彎矩圖

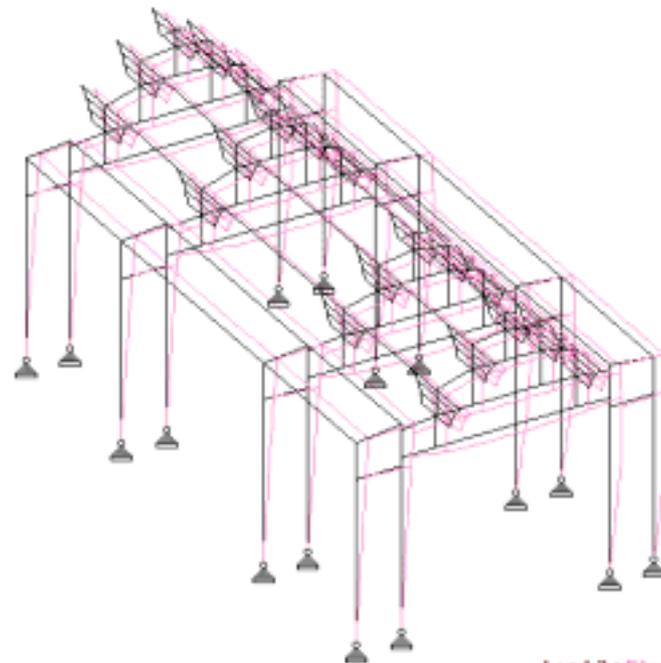


Z向彎矩圖



Load 3 : Bending Z

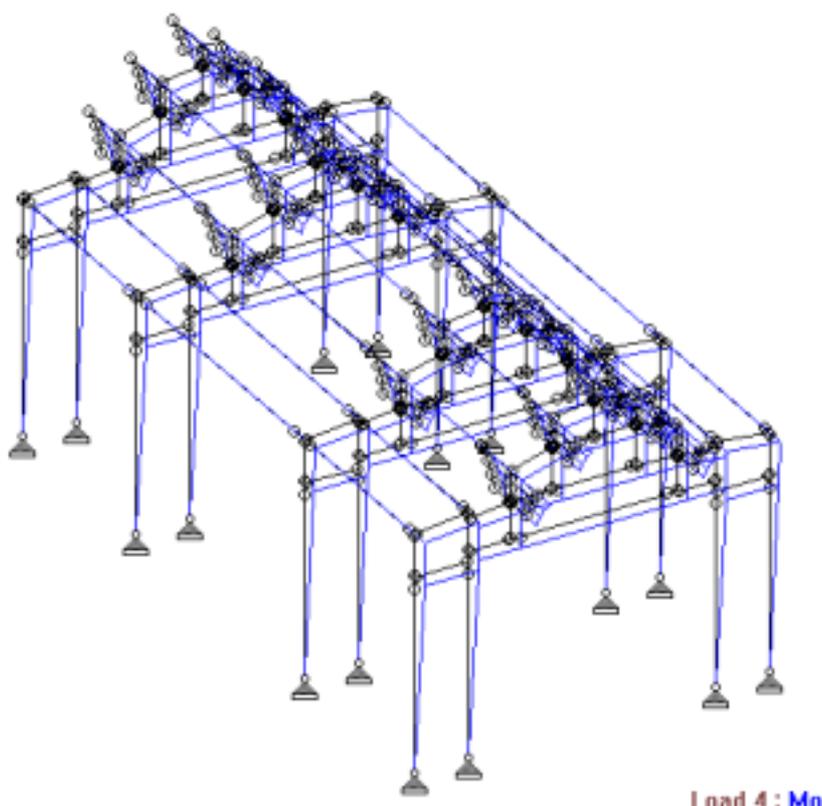
位移圖

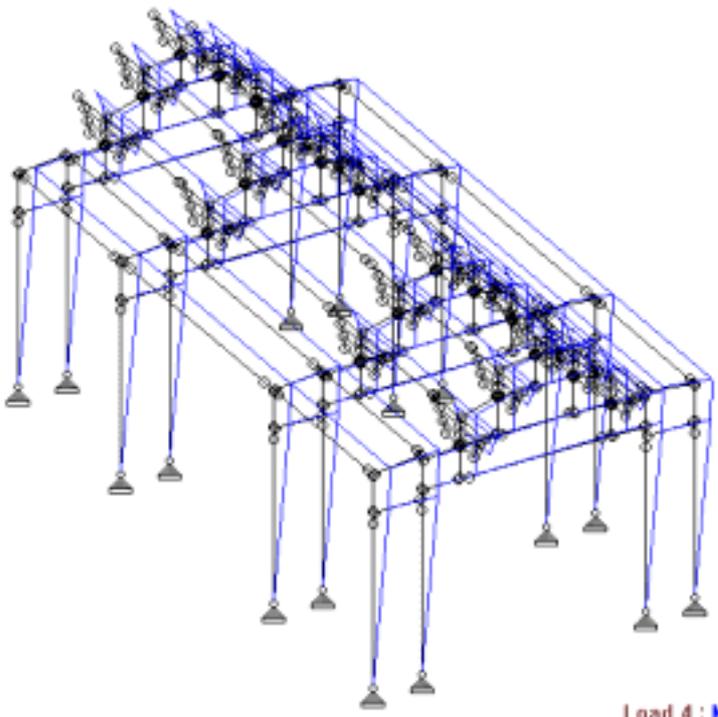
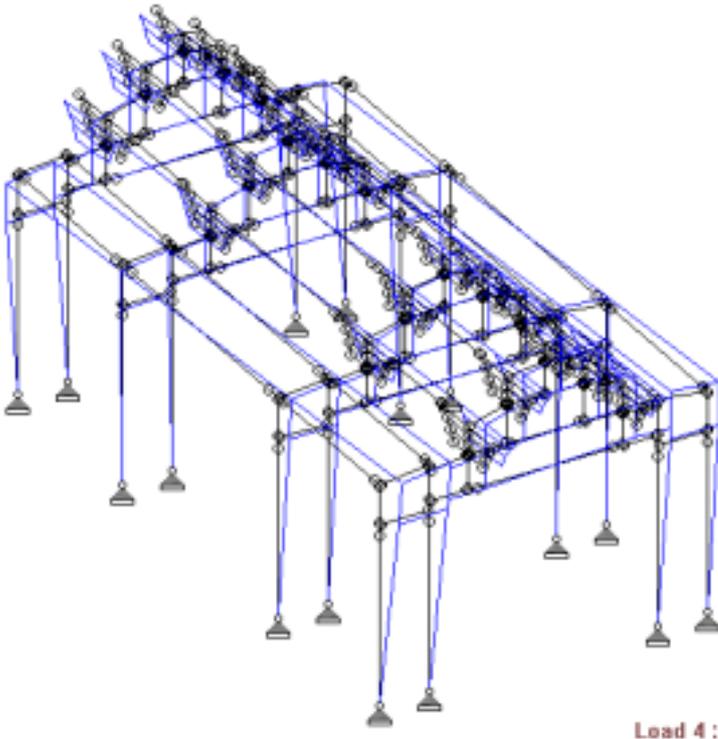


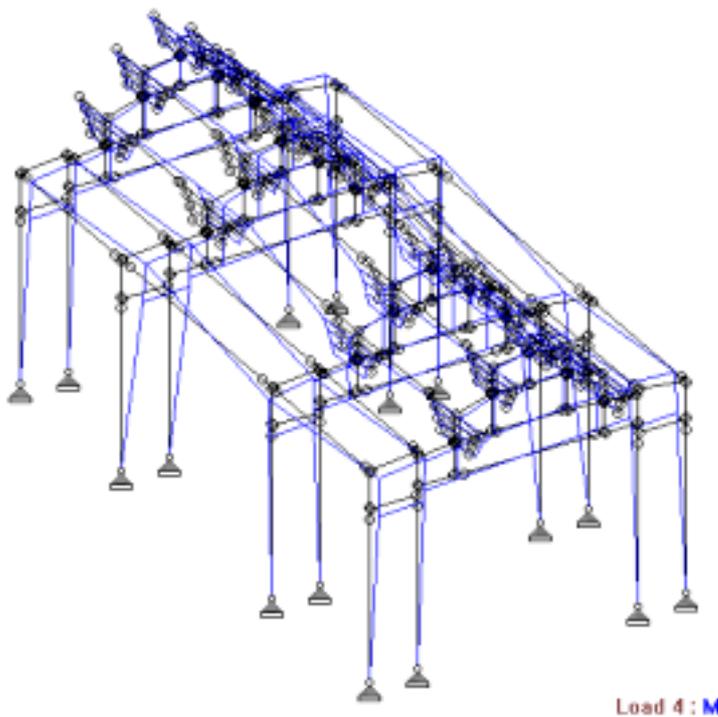
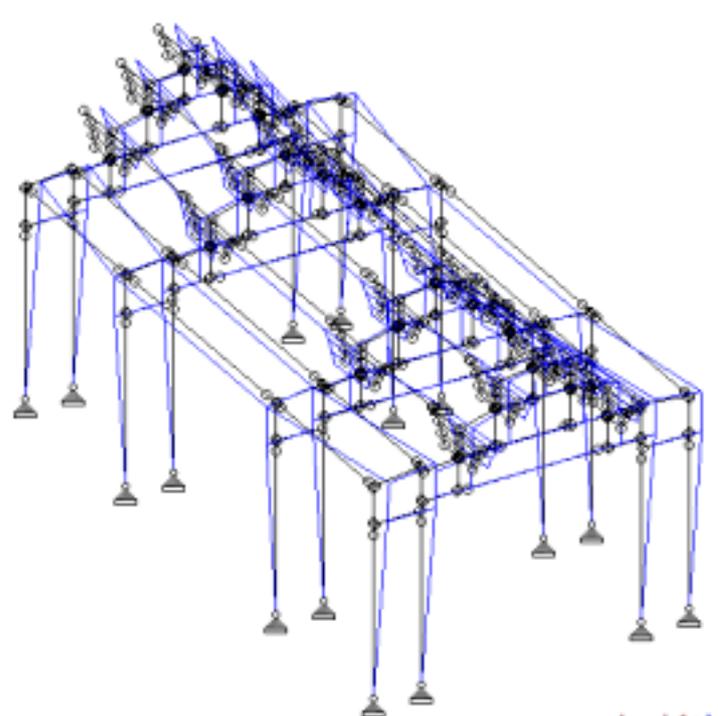
Load 3 : Displacement

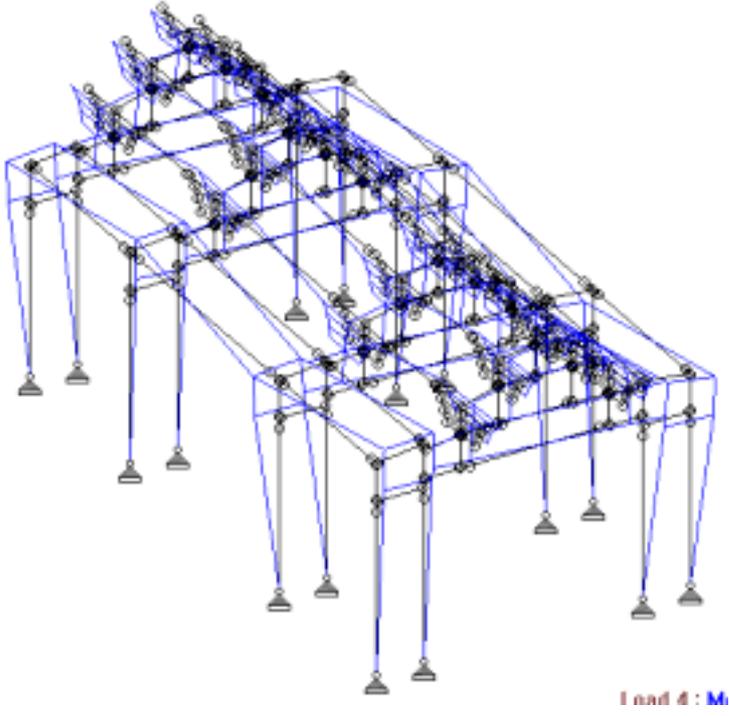
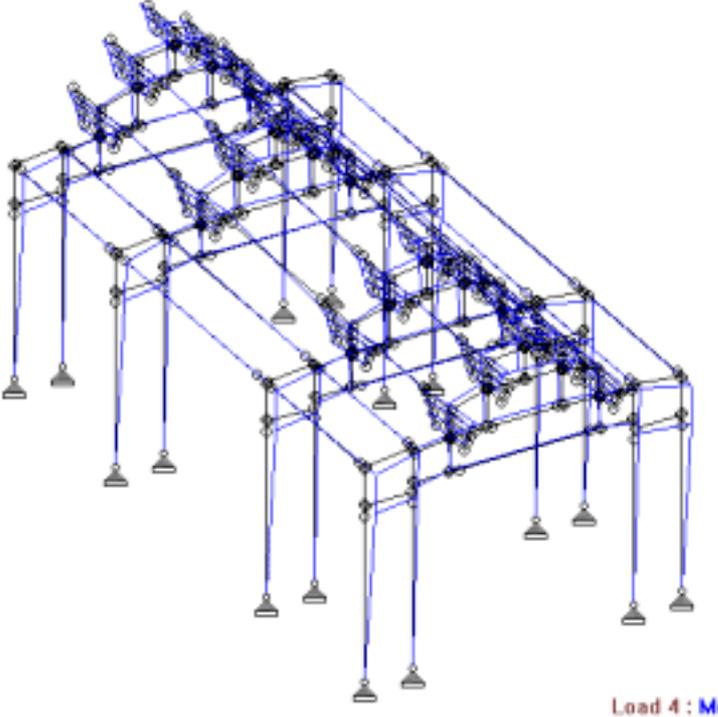
## 2. 疊斗式木構架之振態分析結果

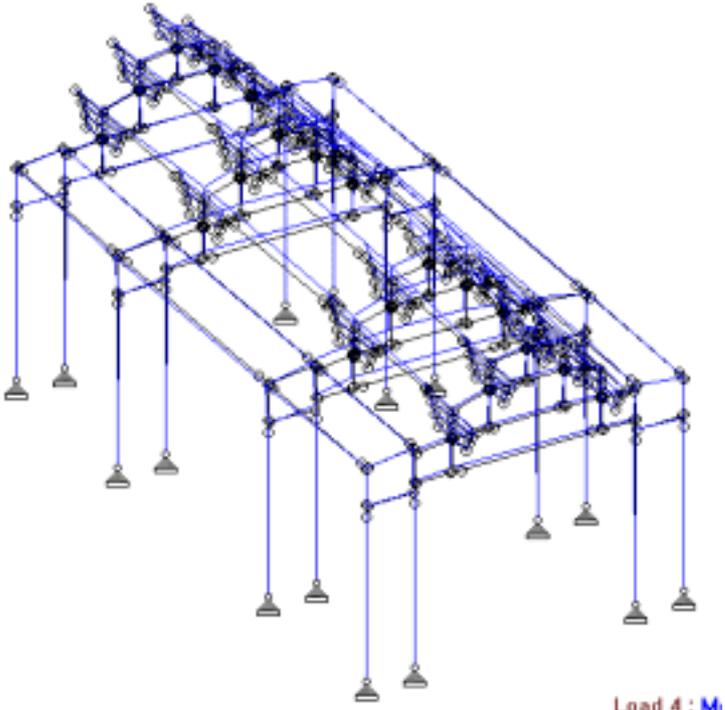
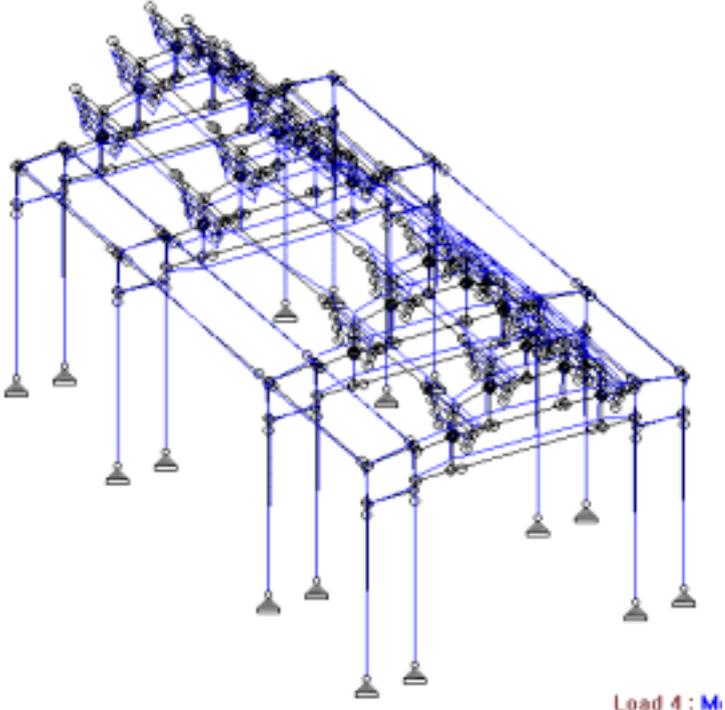
在振態分析部分，則透過分析原大木構架尺寸和後階段的疊斗式木構架縮小實驗模型尺寸的振態模式，進而探討結構物各振態的變化情形，以及建立之原尺寸和縮小模型尺寸的基本週期，作為後階段實驗的數值參考。以下分別為振態分析後的振態圖。

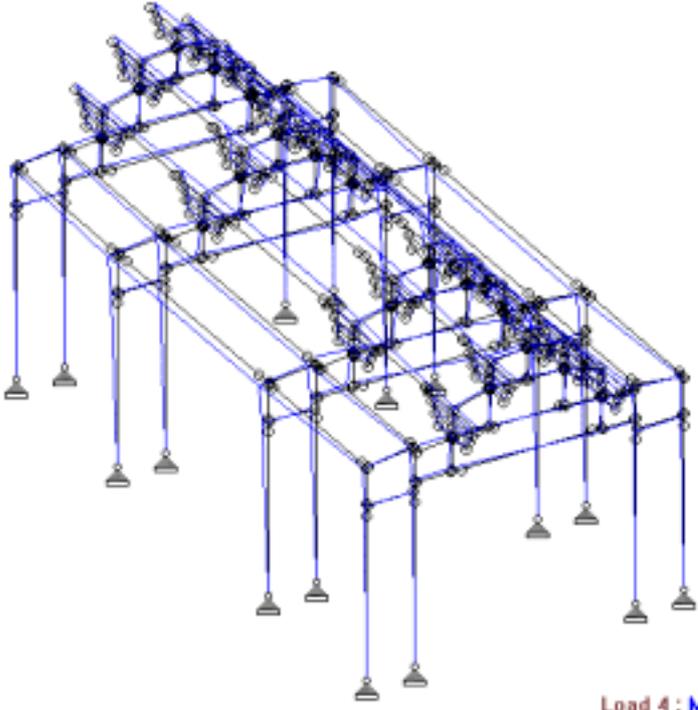
Mode 1	模型初期振態為平行 Z 方向振動，主要是平行長向的整體的大架構振動。
原尺寸 Frequency 0.510	
1/20 縮小尺寸 Frequency 3.308	

<p>Mode 2</p>	<p>模型初期振態為平行 X 方向振動，主要是平行短向的整體的大架構振動。</p>
<p>原尺寸 Frequency 0.755</p>	
<p>1/20 縮小尺寸 Frequency 3.951</p>	
<p>Mode 3</p>	<p>第三模態則是整體架構產生扭轉。</p>
<p>原尺寸 Frequency 0.784</p>	
<p>1/20 縮小尺寸 Frequency 4.239</p>	

Mode 4	第四模態模型長向的中段開始扭曲變形。
原尺寸 Frequency 1.637	
1/20 縮小尺寸 Frequency 4.732	
Mode 5	第五振態為長向整體兩側及屋架以及模型中段凹曲搖擺振動。
原尺寸 Frequency 2.044	
1/20 縮小尺寸 Frequency 4.735	

Mode 6	第六振態是整體的不規則扭轉變形。
原尺寸 Frequency 2.672	
1/20 縮小尺寸 Frequency 4.744	
Mode 7	第七振態為短向整體及屋架的凹曲搖擺振動。
原尺寸 Frequency 3.168	
1/20 縮小尺寸 Frequency 4.744	

Mode 8	第八振態為模型整體的 Y 方向上下振動。
原尺寸 Frequency 4.519	
1/20 縮小尺寸 Frequency 4.751	
Mode 9	第九振態為向內部擠壓振動。
原尺寸 Frequency 4.778	
1/20 縮小尺寸 Frequency 4.751	

Mode 10	第十振態為趨於中段的振動。
原尺寸 Frequency 4.937	
1/20 縮小尺寸 Frequency 4.770	

振態分析結果可知，第一、第二振態多以整體的振動為主，模型初期振態為平行 Z 方向振動，主要是平行長向的整體的大架構振動。再來是平行 X 方向振動，主要是平行短向的整體的大架構振動。

第三模態則是以長向兩端產生扭轉為主。第四模態模型長向的中段開始扭曲變形。第五振態為長向整體兩側及屋架以及模型中段凹曲搖擺振動。第六振態是整體的不規則扭轉變形。第七振態為短向整體及屋架的凹曲搖擺振動。第八振態為模型整體的 Y 方向上下振動。第九振態為向內部擠壓振動。第十振態為趨於中段局部的振動。大體而言最後振態趨於複雜的振動為主。

### 4-3 微振動量測應用於疊斗式木構架結構狀態檢測之探討

檢視疊斗式木構架之數值模擬分析，發現與實際大木構架之結構行為尚有差異，原因如下：

- 一、本研究雖以半剛性結點模式模擬榫卯之接頭行為，但構件間仍存有榫卯契合度與個別差異性之問題，要完全模擬之則極為困難。
- 二、『木材之老化』與『蟲蛀之破壞』為影響疊斗式木構架結構毀壞的兩項重要因素，數值模擬則難加以完全模擬。
- 三、本研究所採用之結構分析電腦程式(STAAD.Pro)，尚無法執行榫卯半剛性結點非線性之分析，榫卯結點之彎矩-轉角值僅能以固定值代入。
- 四、僅由量測木構架構件間的位移與變形，尚不易掌握疊斗式木構架之整體結構狀態。

因此，本文就實務操作而言，建議檢測先期以微振動量測方式來識別疊斗式木構架結構的特性，後續則再輔以其他非破壞檢測方式做細部的檢測。先期檢測主要是應用微振動量測法可以識別疊斗式木構架結構的動態特性--基本振動週期。當建築結構損毀時，其側向勁度會減少，導致其基本振動週期增長，因此可藉由建築物長期的微振動量測結果來研判其結構是否產生任何結構性之損毀，作為結構狀態的預警檢測。其次於實驗模擬部分，本文以強迫振動方式，量測疊斗式木構架模型結構損毀對其基本振動週期之影響，成功驗證本法應用其檢測之可行性。應用方式概述如下：

- (一) 裝設微振動量測設備及強震儀於古蹟及歷史建築上，以自動擷取方式長時間記錄特定古蹟及歷史建築物之微振動及強震反應資料，深入分析比對方式研究古蹟及歷史建築物基本振動週期改變與受震害間之量化關係，作為古蹟及歷史建築結構狀態預警機制之重要檢測方法。
- (二) 古蹟及歷史建築皆存有其個別差異，個案研究之成果難以普及至相關類型建築上，宜透過微振動量測建立其個別之動態特性基本資料庫，有助於地震後對古蹟及歷史建築物是否產生肉眼不易察覺的隱藏性破壞的快速檢測機制。
- (三) 建立古蹟及歷史建築的動態特性基本資料庫後，可藉由基本振動週期之變化，可作為檢討古蹟及歷史建築物修復補強成效的參考。

#### 4-4 古蹟暨歷史建築木構架結構狀態預警檢測機制之建構

結構狀態預警檢測機制首先以微振動量測方式來識別古蹟暨歷史建築木構架結構的動態特性，經連續擷取微震動量數值識別其結構狀態，再輔以其他非破壞檢測方式做更細部的檢測。修復補強後，可再由連續擷取之微震動量數值的變化，檢討修復補強之成效。

##### 一、以微振動量測作為古蹟暨歷史建築木構架結構狀態先期預警檢測方法

裝設微振動量測設備及地震紀錄儀於古蹟暨歷史建築木構架上，以自動擷取方式長時間記錄其微振動及強震反應資料，深入分析比對方式研究基本振動週期改變與受震害間之量化關係，作為古蹟暨歷史建築木構架結構狀態預警機制之重要檢測方法。

微振動量測之建議步驟如下：

##### (一)微振動量測之測點規劃

考量建築群組之關係，適當加以分區量測。

##### (二)裝設微振動量測設備及強震儀於古蹟暨歷史建築木構架上

量測設備安裝主要以不破壞古蹟暨歷史建築為原則，設置方式如黏貼、抓緊、假固定等。

##### (三)量測數據之擷取、分析與儲存

透過訊號截取器與終端處理器來對監測數據進行擷取、分析與儲存的動作，透過監測資料的累積，建立其動態特性基本資料庫。當建築結構損毀時，其側向勁度會減少，導致其基本振動週期增長，因此可藉由建築物長期的微振動量測結果來研判其結構是否產生任何結構性之損毀，作為結構狀態的預警。

##### (四)微振動量測儀器定期校核與管理維護工作之安排

安排微振動量測儀器定期校核與管理維護工作，保持量測之準確度。

##### 二、預警檢測機制後期則輔以其他非破壞檢測方式作更詳細的檢測。

當建築結構損毀時，其側向勁度會減少，導致其基本振動週期增長，可由先期的微振動量測得之，但現場更詳細的診斷其結構損毀情形，則有賴其他非破壞檢測方式(如超音波法、r 射線照射法等)做更細部的檢測，待修復補強後，可再視其基本振動週期之變化，檢討修復補強之成效。

## 第五章 木構架模型之實驗模擬

### 5-1 實驗模擬計畫

#### 一、實驗動機與目的

##### (一) 實驗動機

對於疊斗式木構架長期監測的概念，本研究冀望從監測結構體對微振動或中小型地震之加速度反應近而推算結構體的基本週期，試圖探討長期監測結構體基本週期與結構整體破壞前後之間的關聯性，並模擬結構體局部構件破壞來探討對於整體架構的影響程度。

##### (二) 實驗目的

本實驗針對於疊斗式木構架的模型進行在水平振動平台上的振動反應，透過在木構架的模型上安裝加速度規，以量測木結構在 sine wave 0.5 Hz 下的加速度歷時反應，實驗目的在於識別出實體的木構架模型的基本週期，以及透過對模型模擬構架局破損毀的案例來比較各局部毀損對基本週期的變化情形。

#### 二、實驗範圍與內容

##### (一) 實驗範圍

##### 1. 選材

本研究選定以紅檜為實驗用材，因為以縮小模型來模擬疊斗式木構架時，紅檜較適合製作和實驗之用。

##### 2. 疊斗式木構架的尺寸

本研究考量疊斗式木構架尺寸資料的齊全，擬以台中張廖家廟為製作模型之參考依據。資料不足之處則以其他相關文獻為輔，建立疊斗式木構架之主要構件實體模型。疊斗式木構架模型則如圖 5-1 至圖 5-7 所示。



圖 5-1 疊斗式木構架模型側面



圖 5-2 疊斗式木構架模型

### 3. 模型的比例與製作

模型比例受限於水平振動平台之尺寸，長 60cm，寬 42cm；故本實驗之模型縮小比例為參考尺寸資料之 1/20，置於水平振動平台則另需設置轉換座來安置。模型的製作則由位於鹿港森華雕刻部之林保釗匠師製作。



圖 5-3 疊斗式木構架有覆蓋屋頂模型

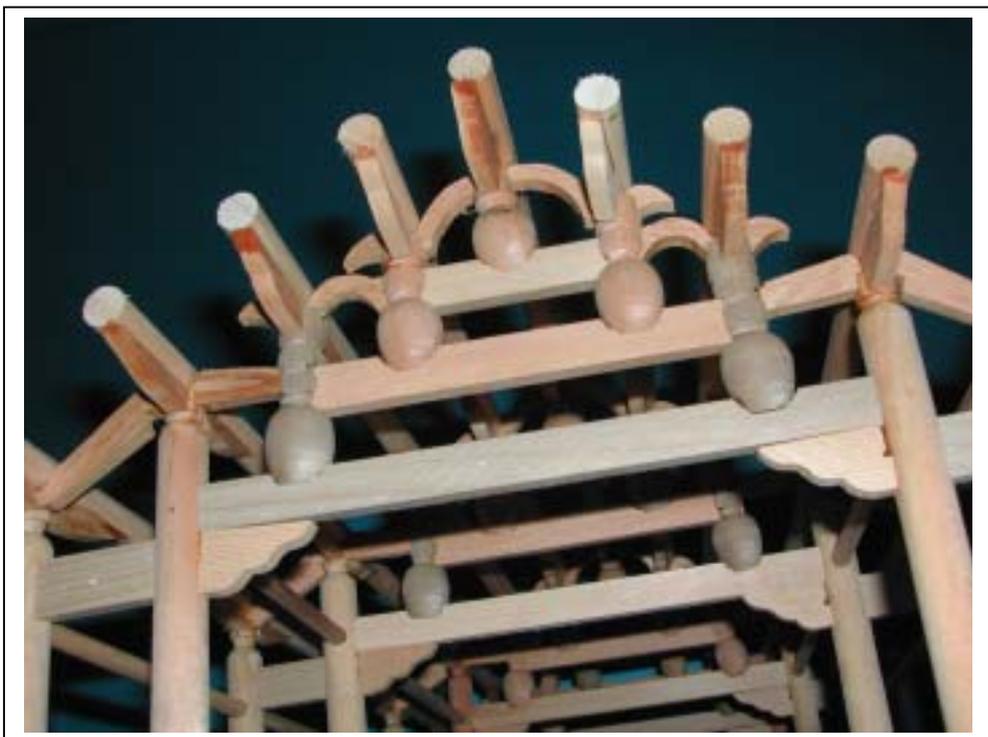


圖 5-4 疊斗式木構架模型棟架細部



圖 5-5 疊斗式木構架有覆蓋屋頂模型棟架細部



圖 5-6 疊斗式木構架模型內部棟架細部



圖 5-7 疊斗式木構架模型托木細部

## (二)實驗內容

本實驗針對於疊斗式木構架的模型進行在水平振動平台上的振動反應，透過在木構架的模型上安裝加速度規，以量測木結構在 sine wave 0.5 Hz 下的加速度歷時反應，藉以識別出實體的木構架模型的基本週期，並比較在局部毀損前後的基本週期變化情形為何。

此外依序對於木構架進行不同程度的毀損，而加以量測木結構在長向 sine wave 0.5Hz 振動型態下的基本週期，藉以探討在整體結構中，不同的局部毀損下，各種狀態的基本週期和未毀損前的基本週期的改變狀態。

## 5-2 實驗儀器與設備

一、感測計-加速度計 3 個

二、訊號擷取及處理設備

(一)PCI-6052E Multi.

- I/O Board and NI-DAQ S/W

(二)DEWE-RACK-16

- 16-slot stand-alone rack, rear panel connector  
factory configured for NI-MIO-16E series , power supply 110 VAC

(三)Connection cable

- DEWE-RACK-16

(四)DAQP-BRIDGE

- Strain gage amplifier, ranges and filters
- programmable
- full bridge sensors 1200 Ohm to 10k Ohm
- excitation 2.5, 5, 10 or 15 VDC,
- selectable ranges  $\pm 0.1$ , 0.2, 0.5, 1, 2 and 5 mV/V, bandwidth DC to 20 kHz,
- selectable filters: 10, 100, 1000 and 5000 Hz, accuracy  $\pm 0.05\%$ ,
- connector: 9 pin

三、建築結構行為監視訊號轉換軟體

(一)作業平台：Lab View

- 即時顯示結構件內力及變化

四、水平振動平臺

(一)控制器

(二)水平振動平台

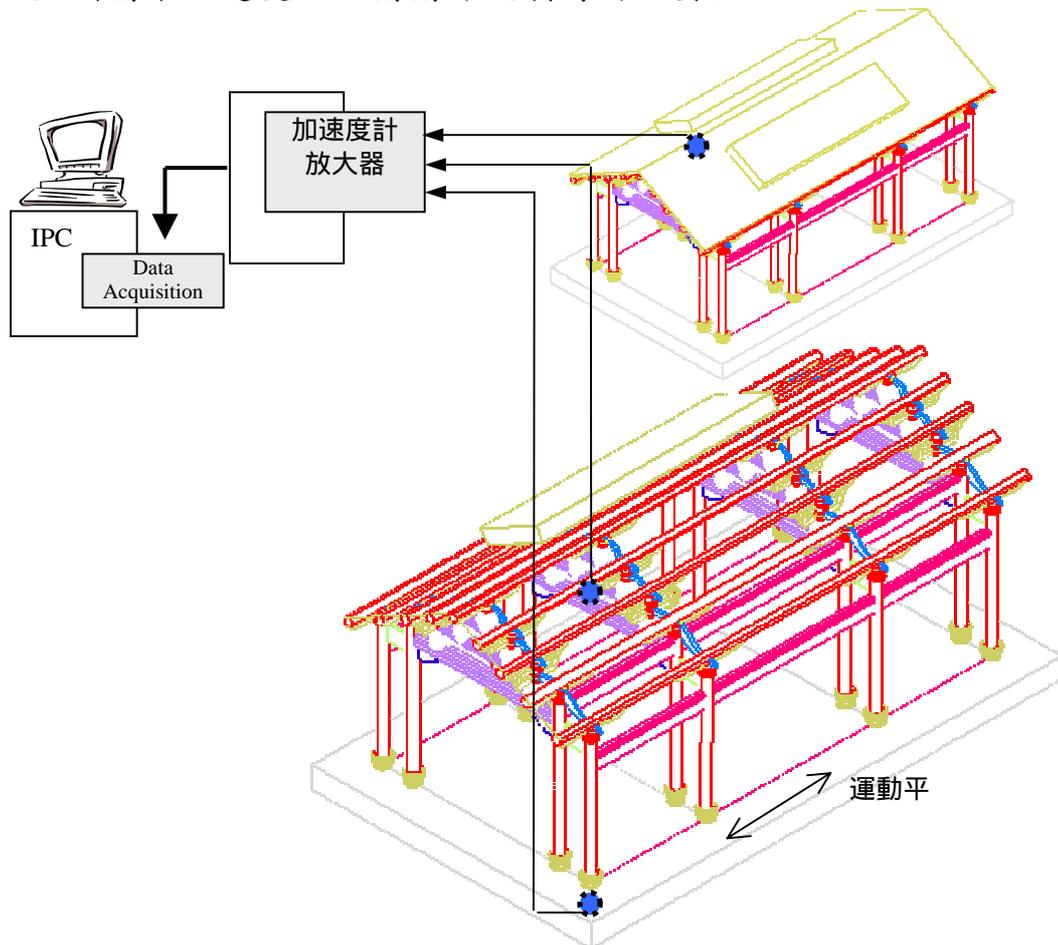


圖 5-8 實驗儀器與設備圖

### 5-3 局部構件損毀比較實驗

本實驗針對於疊斗式木構架的模型進行在水平振動平台上的振動反應，透過在木構架的模型上安裝加速度規，以量測木結構在 sine wave 0.5 的加速度歷時反應，藉以識別出實體的木構架模型的基本週期，並比較在不同頻率的 sine wave 振動下，局部毀損前後的基本週期變化情形為何。

同時透過量測到的加速度值，來推導出實驗模型的基本週期，藉由將木構架的指定構件取下，模擬構件毀損下，基本週期的變化關係，同時以驗證監測構架加速度於結構構件毀損時的必要性。



其原理是利用識別頻率方法中最常用到的快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform ,FFT)，原理是將時間域的歷時資料轉換成頻率域，所以將加速計所量測到的加速度歷時資料，則經由快速傅立葉轉換後，在"頻率-傅立葉振幅"圖上 peak 所對應到的頻率即為其結構物之頻率。

而藉由頻率反應方程式直接判斷建築物的自然振動週期，將加速度的資料直接做快速傅立葉轉換得到傅立葉譜，藉其判斷結構物的自然振動頻率。而當外力頻率與建築物自然振動頻率相差很大時，且其頻率的

振動會遠小於建築物自然振動反應時，對於建築物振動紀錄資料而言，其頻譜的峰值產生於建築物的自然頻率處，且其他頻率之振幅相當小。

因此本研究取數個頻譜加以平均，可消去或降低由外力或雜訊所造成的頻率分量，而可得一個較為穩定的振動反應譜。

然後在數據處理部分，則將紀錄的加速度歷時分段進行快速傅立葉轉換，取其傅立葉譜，在對所取的數個傅立葉譜進行平均，得最後的平均傅立葉譜，然後由平均傅立葉譜上的峰值位置可獲得建築物的基本振動頻率，而分析的流程如下圖 5-9。

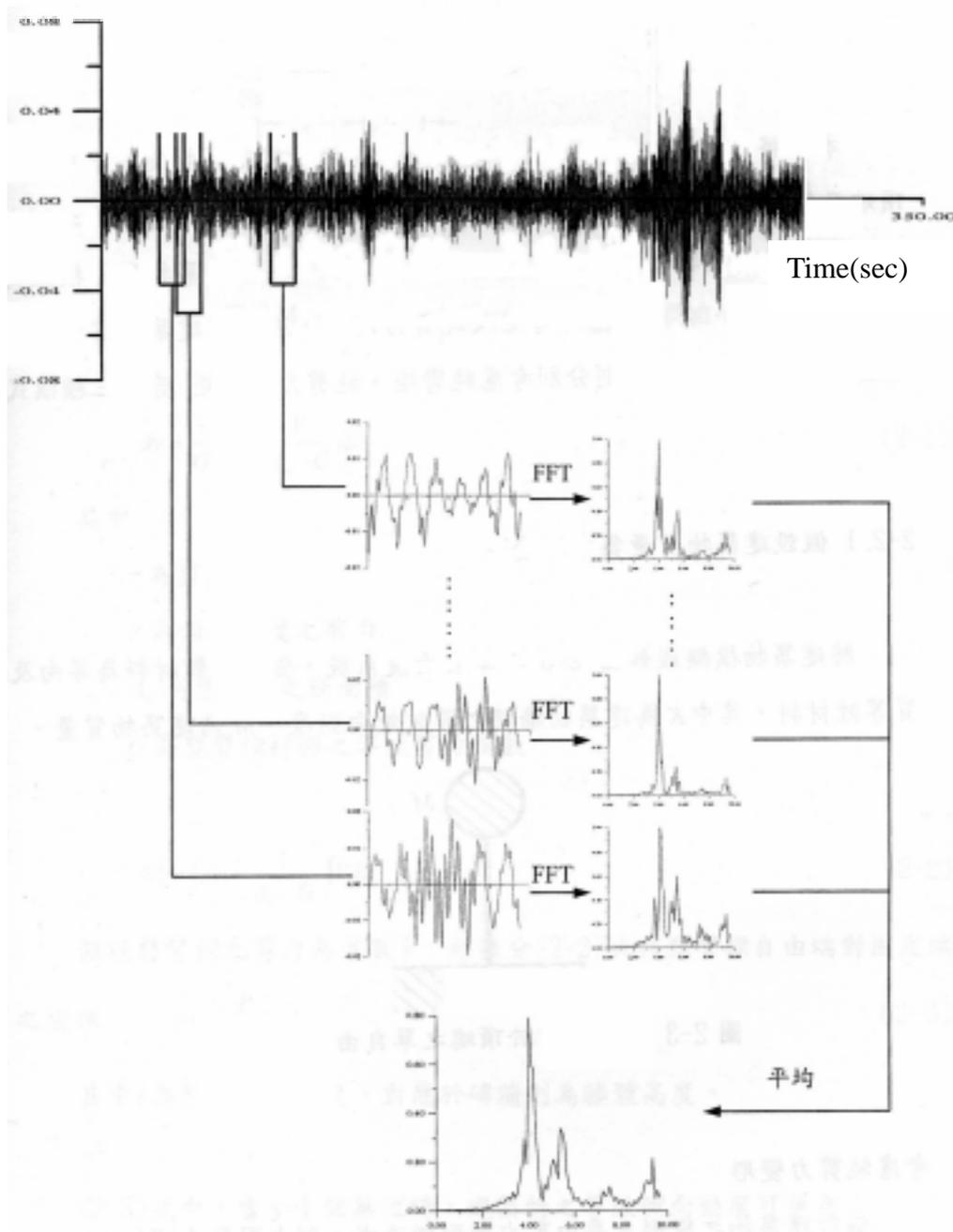
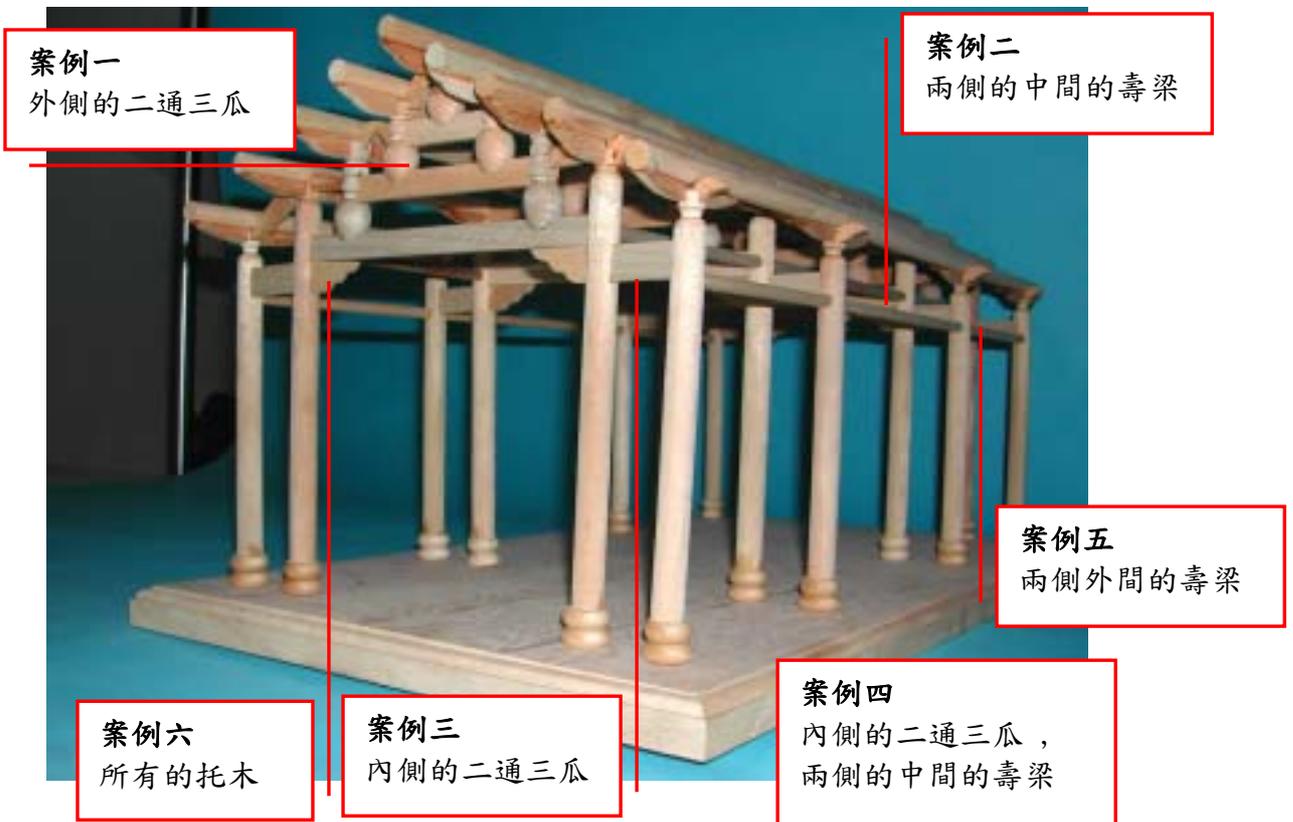


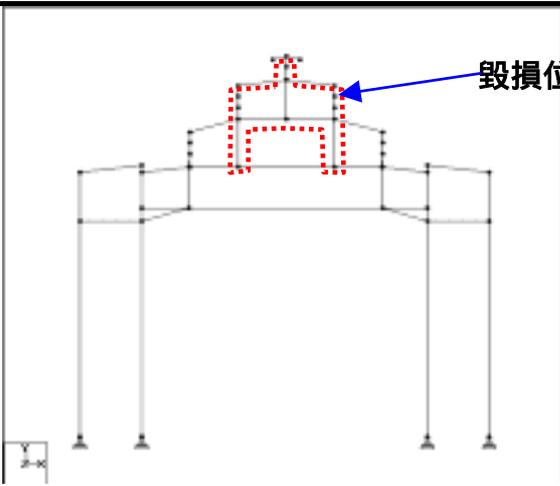
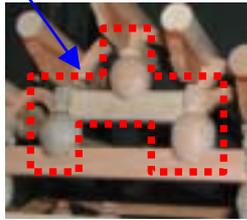
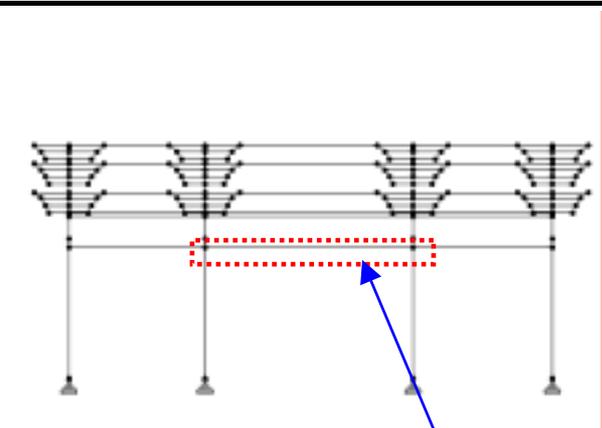
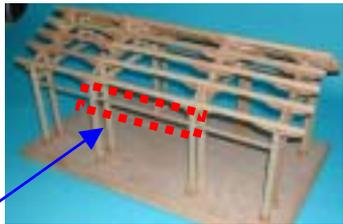
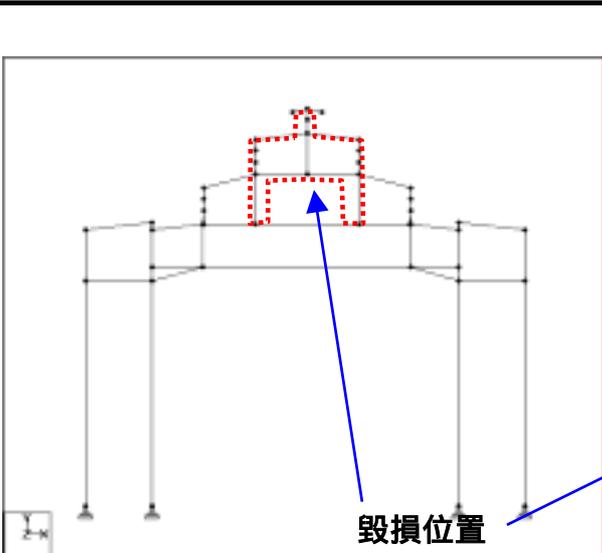
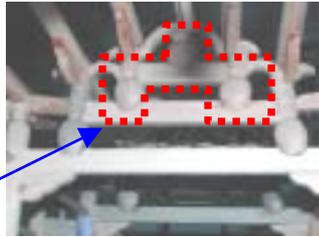
圖 5-9 處理流程示意圖(資料來源:張紋韶, 2001)

而依序對於木構架進行不同程度的毀損，而加以量測木結構在長向 sine wave 0.5Hz 振動型態下的基本週期，藉以探討在整體結構中，不同的局部毀損下，各種狀態的基本週期和未毀損前的基本週期的改變狀態。

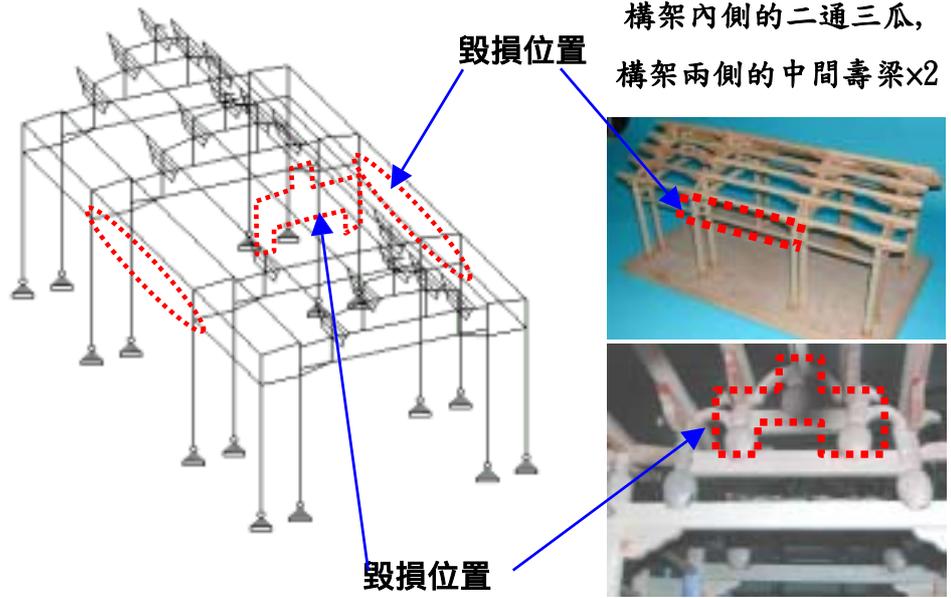
在疊斗式木構架的模型進行構件的局部拆解，以模擬整體木構架的局部毀損情形，依序做 6 個不同毀損程度的案例試驗，在地震平台的 0.5 Hz sine wave 振動反應，如實驗示意圖，以推算各案例試驗的基本週期，並與未毀損情形下的基本週期做一比較探討。



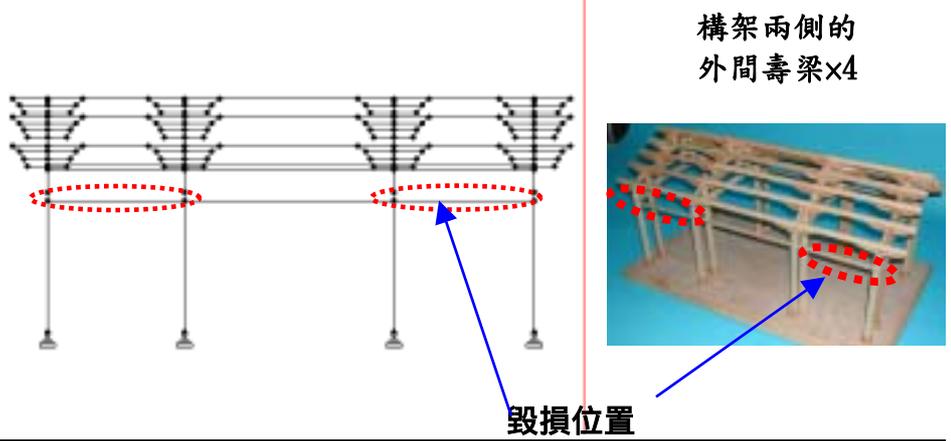
6 個不同毀損程度的案例如下：

案例	圖說	局部破壞位置
<p>案例 1</p>	 <p>毀損位置</p>	<p>構架外側的二通三瓜 (二通、三通 瓜筒、疊斗)</p> 
<p>案例 2</p>	 <p>毀損位置</p>	<p>構架兩側的 中間的壽梁x2</p> 
<p>案例 3</p>	 <p>毀損位置</p>	<p>構架內側的二通三瓜 (二通、三通 瓜筒、疊斗)</p> 

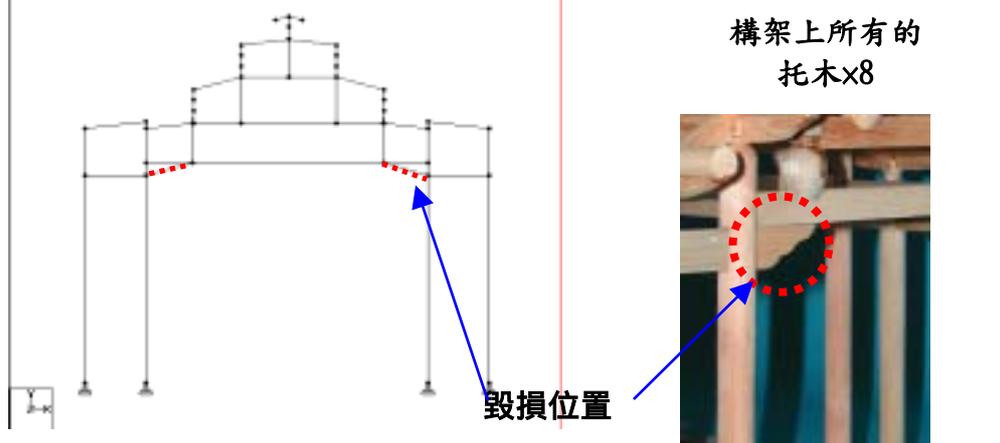
案例 4



案例 5



案例 6



## 一、實驗步驟

### (一)感測器安裝

實驗以 0.5 Hz 的 sine wave 的頻率振動，透過量測到的加速度值，來推導出實驗模型的基本週期，藉由將木構架的指定構件取下，模擬不同構件毀損下，基本週期的變化關係，以探討在不同局部毀損情形下，基本週期變化量的差異。

### (二)實驗平臺設備之架設

實驗平台則是以水平振動實驗平臺為主，透過振動台的 sine wave 0.5 Hz 的振動類型來操作。

### (三)實驗平臺設備之啟動

### (四)外力模擬之數值設定

水平振動實驗平臺透過振動台控制器的功能選擇，具有 sine wave、4G、5G、6G、7G、CHI-CHI 的振動類型來作為實驗外力設定，不過由於本次木構架實驗模型負荷振動極限的考量之下，大致選定以 sine wave 的 0.5 Hz 為振動模擬的外力。

### (五)實驗進行模擬

### (六)實驗訊號的擷取與判讀

藉由訊號擷取及處理設備將實驗的感測資料讀取到電腦，並由訊號轉換軟體轉換至作業平台 Lab View 系統，以即時顯示結構件加速度，並加以紀錄實驗數值。

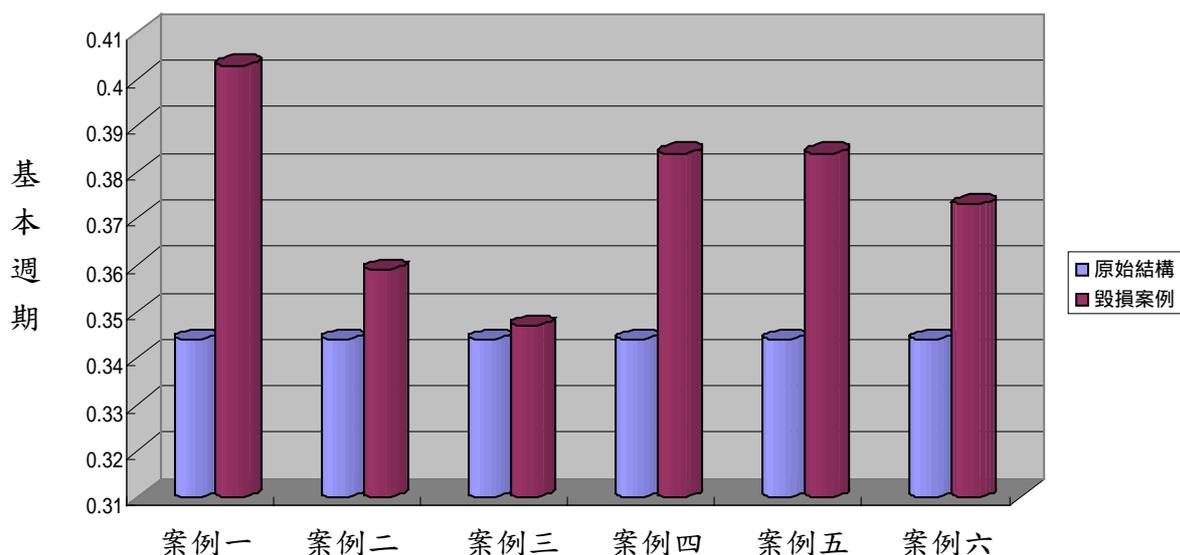
而對於案例分別六組的反應加速度歷時資料，利用快速傅立葉轉換，將資料轉換成頻率域，在"頻率-傅立葉振幅"圖上 peak 所對應到的頻率，分別求得模型結構物之頻率，並換算其基本週期。

## 二、實驗結果與分析

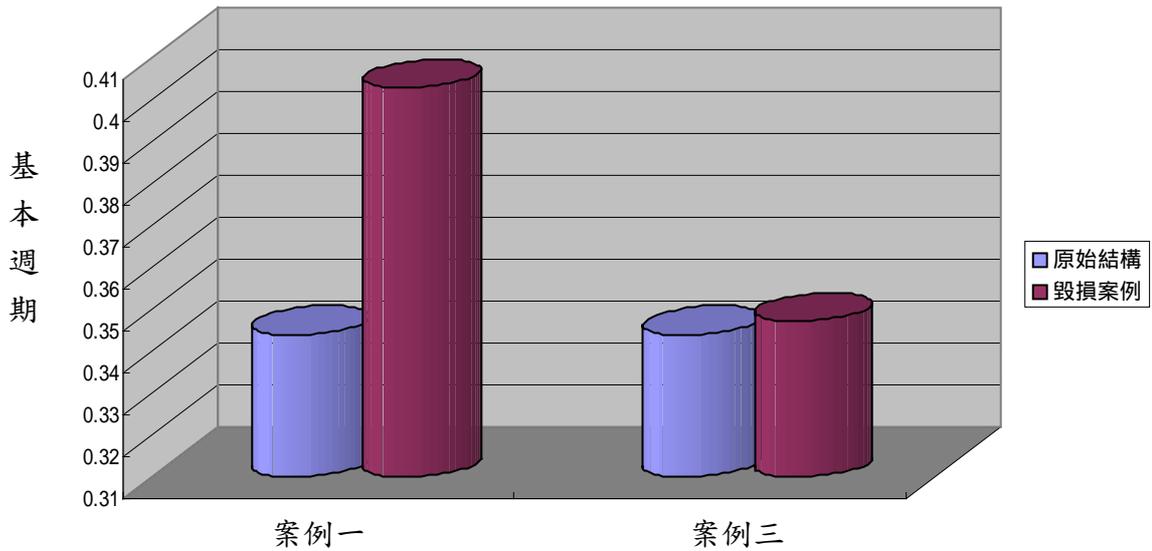
平行結構長向方向以頻率 0.5 Hz 的 sine wave 振動，量測木結構在模擬振動下的反應加速度，而推算出模型結構的基本週期。

	基本週期 T (sec)		基本週期 變化量 (%)
	原始結構	結構毀損後	
案例 1	0.344	0.403	17.2%
案例 2	0.344	0.359	4.36%
案例 3	0.344	0.347	0.87%
案例 4	0.344	0.384	11.63%
案例 5	0.344	0.384	11.63%
案例 6	0.344	0.373	8.43%

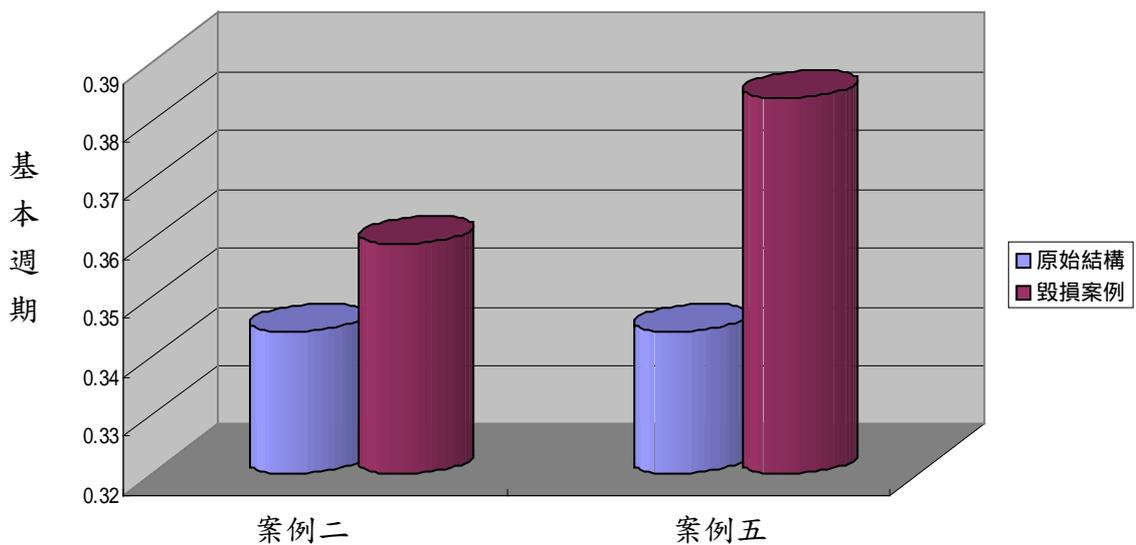
由實驗推算出結構模型的基本週期來看，明顯看出模型在模擬局部毀損的情形之下，透過對於局部毀損案例所量測推算出基本週期如下，整體模型在毀損後的之基本週期會比原本的未毀損前的基本週期來的增加。而對於各案例的模擬毀損行為就以基本週期的變化量來看，其實結構毀損的百分比如下：



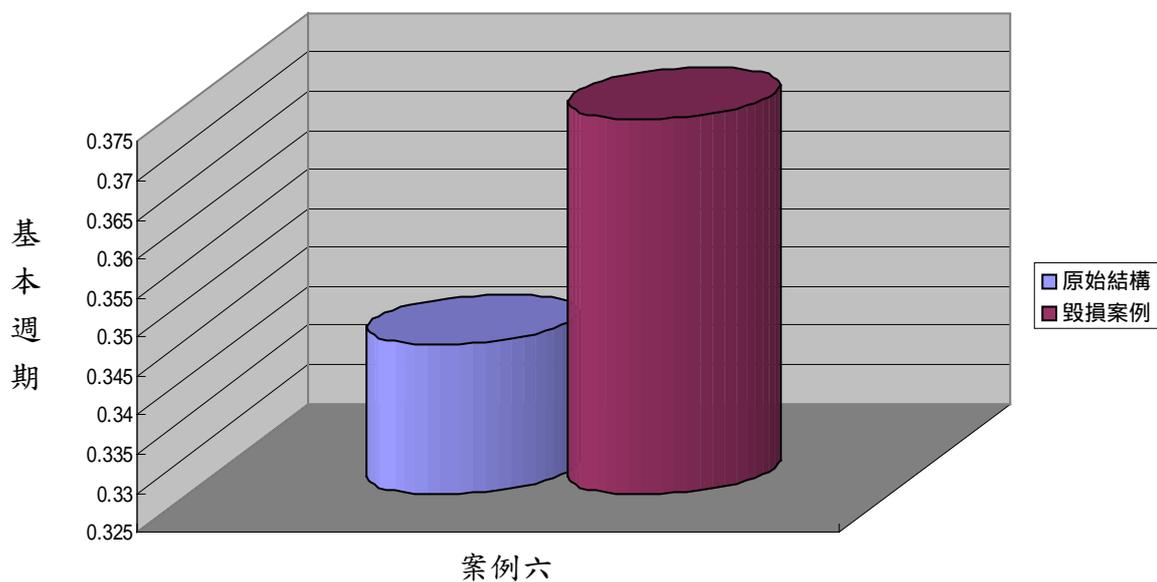
而就案例的局部結構毀損的對於整體構架的毀損程度，就各案例的毀損程度百分比來說，是以案例 1 為最，其次是案例 4 和 5，之後依序為案例 6、案例 2、案例 3，所以就構件進行局部毀損來說，對整體模型架構的毀損影響最大的是在架構上端的通和瓜筒以及疊斗、拱束部分，而其中就案例 1 和 3 來比照，此處的毀損又以兩旁的毀損比架構中間相同處的毀損在基本週期上變化較大。



此外，其次在壽梁部分從案例 2 和 5 來說，以外面兩間壽梁的毀損比中間壽梁的毀損對整體構架的威脅較大，其中又可見案例 4 是包含二通三瓜和壽梁的毀損，明顯可見對於整體構架的毀損百分比亦增加。



而就案例 6 來說，模擬托木毀損對整體結構的影響也有 8.43%，足見托木對構架的穩定也有關鍵。



## 第六章 結論與建議

### 6-1 結論

- 一、本研究蒐集資料中發現前人之研究大多偏於抽象歷史傳承及文化意義之敘述，而對於構造及力學之基礎研究相對較少。以金字塔來比擬古蹟暨歷史建築研究之涵構，上層部分可視為屬藝術、文化、空間意涵等之內容，下層部分則為材料、結構、構法與工法等之基礎內容。目前政府及民眾較重視上層，上下層研究不成比例，極需加強建構屬下層部分之基礎研究。
- 二、就構造觀點來探討，木構架構件個別差異與個體內差異性極大，宜建立古蹟結構特性之資料庫(如履歷表之功能)，詳細記載其變化情形。
- 三、檢視疊斗式木構架之數值模擬分析，發現與實際大木構架之結構行為尚有差異。原因在於使用結構分析電腦程式(STAAD.Pro)要完全模擬榫卯之行為，則極為困難，以及僅由量測木構架構件間的位移與變形，尚不易掌握疊斗式木構架之整體結構狀態。
- 四、古蹟暨歷史建築木構架結構狀態預警檢測機制，首先以微振動量測方式來識別古蹟暨歷史建築木構架結構的動態特性，經連續擷取微震動量數值識別其結構狀態，再輔以其他非破壞檢測方式做更細部的檢測。
- 五、修復補強後，可再由連續擷取之微震動量數值的變化，檢討修復補強之成效。

## 6-2 建議

- 一、加強古蹟暨歷史建築之下層基礎研究(材料、構法、工法、結構等)，提供相關研究之參考。
- 二、古蹟暨歷史建築宜建立個別之長期監測資料庫，詳細記載其結構狀態變化之狀況(類似履歷表)。監測資料長期累積，為預警之重要參考依據。
- 三、對重要的古蹟暨歷史建築進行微振動量測，以現場檢測方式建立台灣重要的古蹟暨歷史建築的動態特性基本資料庫。
- 四、選定某一古蹟暨歷史建築實際安裝微振動量測設備及地震紀錄儀，以自動擷取方式長時間記錄特定古蹟暨歷史建築物之微振動及強震反應資料，深入分析比對方式研究古蹟暨歷史建築物基本振動週期改變與受震害間之量化關係，以驗證古蹟暨歷史建築結構狀態預警檢測機制之可行性。
- 五、由實證過程及研究經驗，建立完整的古蹟暨歷史建築結構狀態預警檢測技術手冊，作為其他古蹟暨歷史建築建立其結構狀態預警檢測機制之參考。

## 引用文獻

01. 內政部建研所，2002. 3，《古蹟暨歷史建築保存修護科技專案中程綱要計畫書》，p9-10。
02. 蕭江碧、閻亞寧，2001，《古蹟保存與再利用防火課題之基礎調查研究》，內政部建研所。
03. 李重耀、李學忠，1999，《台灣傳統建築術語辭典》，藍第，p144。
04. 林會承，1987，《臺中市三級古蹟張廖家廟修復研究》，台中市政府。
05. Park, G., D. J. Inman, 2001, "Smart bolts: an example of self-healing structures", Smart Materials Bulletin, Vol.7, pp.5-8.
06. 李乾朗，1979，《台灣建築史》，雄獅，p23。
07. 內政部 編，1995，《古蹟解說理論與實務》，內政部，p185。
08. 閻亞寧，1991. 07，《台灣傳統建築大木作構材製作方式與組合程序(三~一)》，空間雜誌特別增刊:建築技術，p157。
09. 李乾朗，1983，《廟宇建築》，北屋，p22。
10. 李乾朗，1983，《臺灣古建築大木結構結體技術初探》，文建會。
11. 李乾朗，1982，《中華藝術大觀 6-建築》，新夏，p98。
12. 李允鈺，1982，《華夏意匠》，龍田出版社，p205。
13. 梁思成、林徽音，1981，《清式營造算例及則例》，狀元。
14. 蔡明哲、徐明福，1998. 09，《超音波檢測技術應用於臺灣古蹟大木構件新料擇用之初探》，建築學報，p50-51。
15. 王松永，1986，《木材物理學》，國立編譯館。
16. 李乾朗，1999，《台灣傳統建築匠藝二輯》，燕樓古建築，p78。
17. 閻亞寧，1992. 09，《台灣傳統建築大木作構材製作方式與組合程序(三~三)》，空間雜誌特別增刊:建築技術，p100。
18. 閻亞寧，1991. 07，《台灣傳統建築大木作構材製作方式與組合程序(三~一)》，空間雜誌特別增刊:建築技術，p160。
19. 黃斌，2003，《台灣傳統古蹟及歷史建築耐震能力之基礎研究(2)-疊斗式木構架結構特徵之調查與解析》期中報告，內政部建研所，p8-13。
20. 廖世芳，1988，《台灣傳統二維大木構架耐震研究》，淡江大學建築研究所碩士論文，p95-96。
21. 哈重福 編，1987，《木材的結構與設計》，台北:明文書局，p21。
22. 黃斌等，2001，《傳統式古蹟及歷史建築木竹構造震害及基本構材行為研究》，國科會研究報告(NSC89-2218-E006-214)。
23. 李乾朗，1995，《台灣傳統建築匠藝》，燕樓古建築，p87。
24. 余蔚莉，2003，《建築物結構狀態自動監測與監測資料應用之研究》，中國文化大學建築及都市計畫研究所。
25. 曾逸仁，1997，《台灣古蹟大木構件破壞類型及其非破壞檢測法之探索》，成大建研所碩士論文，p158。
26. 陳鴻毅，1992，《台灣傳統大木構架建築耐震分析-2D 動力分析》，淡江大學建築研究所。
27. 閻嘉義、金文森、閻亞寧、王千山、沈學銘，1995，《中國傳統建築木構造榫卯系統之結構行為》，中國水利工程，第七卷，第二期，p. 151~161。
28. 張紋韶，2001，《磚木混造古蹟建築之微震動量測》，成大建研所碩士論文。

# 參考文獻

## 一、中文部分

### (一)專書

01. 李誠 編，1956，《營造法式》，臺灣商務。
02. 中華林學會 編，1967，《臺灣主要木材圖誌》，中華林學會。
03. 盧毓駿，1971，《中國建築史與營造法》，中國文化學院。
04. 漢寶德，1982.3，《明清建築二論》，境與象。
05. 丁昭義 編，1983，《木材化學》，國立編譯館。
06. 程萬里 編，1983，《中國建築形制與裝飾》，南天書局。
07. 李乾朗，1983，《傳統建築》，北屋出版。
08. 王松永，1983，《商用木材》，中華民國林產事業協會。
09. 梁思成，1984.12，《營造法式註釋》，明文。
10. 劉致平，1984.9，《中國建築類型與結構》，尚林。
11. 杜仙洲，1984，《中國古建築修繕技術》，明文。
12. 李乾朗，1984，《傳統建築入門》，行政院文建會。
13. 梁思成，1984，《營造法式注釋》，明文書局。
14. 蔡如藩，1985，《木材力學性質》，徐氏基金會。
15. 杜潔祥 編，1986，《傳統建築論文集》，丹青。
16. 王松永 編，1986，《木材物理學》，國立編譯館。
17. 井慶升，1987，《清式大木作操作工藝》，丹青。
18. 姚承祖，1987，《營造法原》，明文書局。
19. 增田良介，1988，《機械控制用感測器技術入門》，機械技術。
20. 林會承，1989，《台灣傳統建築手冊—形式與做法篇》，藝術家。
21. 吳卓夫、葉基棟，1990，《營造法與施工》，茂榮。
22. 黃明山，1991，《台灣建築之美》，光復。
23. 洪伯溫，1992，《台北古蹟探索》，龍文。
24. 馬炳堅，1993，《中國古建築木作營造技術》，博遠。
25. 任憶安，1993，《華夏木材文化》，淑馨出版社。
26. 北京科學出版社 編，1993，《中國古代建築技術史》，博遠。
27. 吳良鏞，1994，《廣義建築學》，地景。
28. 佩楚塞里斯，1994，《新型感應器與保全電路》，機械技術。
29. 李乾朗，1995，《古建築之木結構》，燕樓古建築。
30. 李乾朗，1996，《臺閩地區的古蹟與歷史建築》，教育部人文及社會學科教育指導委員會出版。
31. 允禮 編，1997，《清工部〈工程做法〉》，上海古籍出版社。
32. 王海山 編，1998，《科學方法百科》，恩楷。
33. 浩司，1998，《感測器的動作分析和100%利用》，建興。
34. 金進堂，1998，《SenSor 感測器應用技術》，建興。
35. 王松漢，1998，《台灣傳統細木作榫卯集》，左羊。
36. 陳永增，鄧惠源，1999，《非破壞檢測》，全華。
37. 賴耿陽，1999，《感測器應用技術》，復漢。
38. 陳福春，1999，《感測器》，全華。
39. 李乾朗、俞怡萍，1999，《古蹟入門》，遠流。

40. 王瀛生、林裕仁，1999，《台灣產重要商用木材彩色圖鑑(一)》，行政院農業委員會林業試驗所。
41. 魯杰、魯輝、魯寧，2000，《中國傳統建築藝術大觀-斗拱卷》，四川人民出版社。
42. 趙廣超，2000，《不只中國木建築》，三聯。
43. 松井邦彥，2002，《感測器活用訣竅 141 則》，建興。

## (二)論文

01. 徐裕健，1980，《台灣傳統建築營建尺寸規制之研究》，成大建研碩士論文。
02. 林邦輝，1981，《臺灣傳統閩南式廟宇營建與施工之研究》，成大建研所碩士論文。
03. 黃頌恩，1987，《台灣傳統建築木構架之構成研究》，中原大學建研所碩士論文。
04. 吳玉成，1987，《中國傳統大式木構單體建築比例研究》，成大建研所，碩士論文。
05. 白肇亮，1987，《台灣地區建築物屋頂構法之研究》，成大建研所碩士論文。
06. 林柏年，1987，《斗拱在大木構架之結構意義》，中原大學建研所碩士論文。
07. 徐明福，1988，《斗拱結構行為定量分析之初探》，成大建研所碩士論文。
08. 李萬秋，1988，《宋式與清式斗拱系統之比較研究-結構行為之定量分析》，成大建研碩士論文。
09. 邱上嘉，1990，《臺灣一般傳統木構造民宅營造技術的多樣性研究：以嘉南平原匠師訪談為例》，東海建研所碩士論文。
10. 陳蕙如，1990，《清工部〈工程做法〉與梁氏〈清式營造算例及則例〉中大木做法之比較研究》，成大建研碩士論文。
11. 邱上嘉，1990，《臺灣一般傳統木構造民宅營造技術的多樣性研究：以嘉南平原匠師訪談為例》，東海建研所碩士論文。
12. 沈學銘，1993，《中國傳統建築腐蝕榫卯對木構架結構行為之探討》，中興大學土木工程研究所碩士論文。
13. 王千山，1993，《中國傳統建築全新榫卯對木構架結構行為之探討》，中興大學土木工程研究所碩士論文。
14. 馬浩雲，1996，《機械接點之有限元素模擬方法》，台灣大學機械工程學系碩士論文。
15. 何政忠，1997，《鋼結構系統之損壞偵測與動態特性識別》，台大土木工程學研究所碩士論文。
16. 林芳立，1997，《台灣廟宇構造類型變遷研究》，雲林技術學院工業設計所碩士論文。
17. 沈大豪，1999，《大木匠師陳專琳『篙尺』設計程序及其意義分析》，淡江建研所碩士論文。
18. 張志成，1999，《台灣南部地區民間信仰與廟宇建築之發展研究》，成大建研碩士論文。
19. 鄭孝威，1999，《台灣傳統木構架資料數位化之初步研究-以大龍峒保安宮之鼓樓為例》，台灣科大工程技術研究所碩士論文。
20. 李岳軍，1999，《傳統木構造建築修護資訊管理系統》，台灣科大工程技術研究所。
21. 廖芳佳，2000，《傳統大木匠師許漢珍廟宇作品之研究》，成大建研碩士論文。
22. 許桐郡，2000，《台灣地區古蹟建築大木構架節點構造系統的研究》，成大建研所碩士論文。
23. 張紋韶，2001，《磚木混造古蹟建築之微震動量測》，成大建研所碩士論文。

24. 陳建德，2002，《古蹟外部環境再利用之研究—以台閩地區第二級古蹟馬祖東犬燈塔為例》，成大建研所碩士論文。
25. 孫仁鍵，2002，《九二一地震古蹟及歷史建築緊急加固調查及施作技術表研擬》，成大建研所碩士論文。

### (三)研究報告

01. 漢寶德、洪文雄，1974，《板橋林宅調查研究及修復計畫》，東海大學建築系。
02. 漢寶德，1976，《彰化孔廟的研究與修復計畫》，境與象。
03. 漢寶德，1980，《鹿港龍山寺之研究》，境與象。
04. 吳卓夫，1983，《三峽祖師廟之研究》，中國市政專科學校建築學會。
05. 徐裕健，1983，《台北市三級古蹟艋舺地藏庵研究調查與修復建議》，台北市政府。
06. 林會承，1987，《桃園縣二級古蹟李騰芳古宅修復研究》，中原大學建築研究所。
07. 王鴻楷，1988，《臺灣霧峯林家建築圖集-頂厝篇》，自立報系文化出版部。
08. 王鴻楷，1988，《臺灣霧峯林家建築圖集-下厝篇》，自立報系文化出版部。
09. 李乾朗，1988，《宜蘭昭應宮調查研究》，昭應宮管理委員會。
10. 李乾朗，1990，《彰化節孝祠調查研究》，彰化縣政府。
11. 韓興興，1990，《彰化開化寺調查研究與修護計畫》，彰化縣政府。
12. 楊仁江，1992，《臺南三山國王廟之調查研究與修護計畫》，台南市政府。
13. 楊仁江，1992，《大龍峒保安宮調查研究與修護建議》，台北市政府。
14. 李乾朗，1993，《台閩地區傳統工匠之調查研究》，東海大學建築研究中心。
15. 李乾朗，1993，《淡水鄞山寺修護工程報告書》，台北縣政府。
16. 李乾朗，1994，《艋舺清水巖調查研究》，台北市政府。
17. 李乾朗，1994，《台閩地區近代歷史建築調查》，內政部。
18. 徐裕健，1997，《臺北縣第三級古蹟新莊武聖廟調查研究》，台北縣政府。
19. 成大建築系 編，1998，《古蹟建築大木構造修護技術原則性問題探討》，成大建築系。
20. 陳瑞華、蔡益超，1999，《建築物活載重調查分析與技術規則相關部分之修正建議》，內政部建研所。
21. 陳清泉，2002，《建築物耐震評估作業及震害資料庫建置之研究-子計畫一:建築物耐震評估方法之研修與作業準則之研擬》，內政部建研所。
22. 蕭江碧，2001，《木構造建築物設計與施工技術規範修訂之研究》，內政部建研所。
23. 蕭江碧、閻亞寧，2001，《古蹟保存與再利用防火課題之基礎調查研究》，內政部建研所。
24. 蕭江碧、閻亞寧，2002，《古蹟建築再利用防火安全計畫與適用技術之研究》，內政部建研所。

### (四)期刊

01. 李乾朗，1979，《古建築之木結構》，房屋市場月刊。
02. 李乾朗，1980，《台灣古建築營造術語》，房屋市場月刊。
03. 洪文雄，1983，《從現存實例及台灣工匠的體驗探討中國穿斗式屋架的演變》，東海學報。
04. 閻亞寧，1992.03，《台灣傳統建築大木作構材製作方式與組合程序(三~二)》，

- 空間雜誌特別增刊:建築技術, p. 90-104。
05. 林榮渠, 1994, 《土木構造物之振動控制》, 三聯技術雜誌, p. 23-37。
  06. 閻嘉義、金文森、閻亞寧、王千山、沈學銘, 1995. 06, 《中國傳統建築木構造榫卯系統之結構行為》, 中國土木水利工程學刊, p. 151-161。
  07. 簡顯光, 1996. 03, 《古蹟木構造應力破壞與修護技術 W. E. R 系統 [Wood-Epoxy-Reinforcement] 之應用》, 空間雜誌特別增刊:建築技術, p. 137-143。
  08. 許坤榮、蔡佩瑩、張峻誠, 1996. 03, 《日式傳統木構造建築及其營造系統--以國父史蹟館為例》, 空間雜誌特別增刊:建築技術, p. 113-129。
  09. 吳奕德, 1997, 《古蹟 v. s 公共安全--古蹟將是公共安全的潛在危機》, 漢光保存通訊, p. 6-10。
  10. 洪國榮、蔡育林, 1997, 《台灣傳統木結構用材之鑑定》, 林產工業, p. 557-582。
  11. 陳春杏、陳弘旭、張嘉祥, 1997. 02, 《傳統寺廟大木作桁構材損壞評估》, 高苑學報, p. 333-346。
  12. 陳弘旭、陳春杏、張嘉祥, 1997. 08, 《傳統寺廟大木作柱構材損壞評估》, 高苑學報, p. 273-284。
  13. 蔡明哲、洪崇彬、王松永, 1997. 06, 《古蹟大木結構系統研究(2)--垂直構件損壞之定量評估》, 林產工業, p. 300-313。
  14. 吳奕德, 1997. 05, 《古蹟名詞定義》, 漢光保存通訊, p. 6-10。
  15. 蔡明哲、洪崇彬、王松永, 1997. 09, 《古蹟大木結構系統研究(1)--大龍峒保安宮水平構件(楹)損壞之定量評估》, 林產工業, p. 335-349。
  16. 蔡明哲、徐明福, 1998. 12, 《超音波檢測技術應用於臺灣古蹟大木構件損壞評估之探討》, 建築學報, p. 45-55。
  17. 梁明德、廖宴聖、朱皖山、梁智信, 1998. 12, 《橋樑結構狀態變化過程的統計分析》, 土木工程技術, p. 31-45。
  18. 沈志隆, 1999. 02, 《淺談現代木構造》, 臺灣建築報導雜誌, p. 55-56。
  19. 楊志熙, 1999. 02, 《木構造建築空間應具備的要點》, 臺灣建築報導雜誌, p. 57-59。
  20. 大地編輯部, 1999. 08, 《傳奇家族-霧峰林家》, 大地, p. 32-81。
  21. 空間編輯部, 1999. 11, 《災後空間文化的再生--「921 震災後災區文化古蹟維護、保存與重建協調會」摘記》, 空間, p. 24-25。
  22. 黃吉賢、張坤煌, 2000, 〈電驅動智慧型複合材料〉, 《強化塑膠》, 第 85 期, p. 24-29。
  23. 陳文祥, 2001, 〈智慧型複合材料橋面版研究〉, 《強化塑膠》, 第 86 期, p. 56-62。
  24. 林芳怡, 2001, 《木構造(一)--重新認識久違的木材質》, 建築師, p. 58-61。

## 二、外文部分

01. Ettouney, Mohammed M., Raymond Daddazio, Adam Hapij, Amr Aly, 1998, "Health monitoring of complex structures", SPIE, Vol. 3326, pp. 368-379.
02. Otieno, Andrew W., Pengxiang Liu, Vittal S. Rao, Leslie R. Koval, 2000, "Damage detection using modal strain energy and laser vibrometer measurements", SPIE, Vol. 3985, pp. 283-292.
03. Park, G., D. J. Inman, 2001, "Smart bolts: an example of self-healing

- structures " , Smart Materials Bulletin , Vol.7, pp.5-8 .
- 04.Chong, Ken P., Nicholas J. Carino, Glenn A. Washer, 2001 , "Health monitoring of civil infrastructures" , SPIE , Vol.4337 , pp.1-16
  - 05.Farrar, Charles R. , Hoon Sohn, Michael L. Fugate, Jerry J. Czarnecki, 2001 , "Integrated structural health monitoring" , SPIE , Vol.4335, pp.1-8 .
  - 06.Barrish, Raymond A. , Kirk A. Grimmelman, A. Emin Aktan, 2001 , "Instrumented monitoring of the Commodore Barry Bridge" , SPIE , Vol. 3995, pp.112-116.

# 附錄A

研究計畫期初、期中與期末簡報評審意見與回應表

a. 研究計畫期初簡報評審意見與回應表

日期:2003/01/17 地點:內政部建研所

評審	主要意見	回應情形
楊仁江 教授	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 台灣的疊斗式構造從疊一斗到五斗都有，宜就該形式加以分類，並參酌大陸閩南已有之研究加以整合。</li> <li>2. 另從斗的結合點及榫卯方式加以分類，才能確立檢測成果成為可應用的資訊。</li> </ol>	<p>謝謝指導!</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究於數值模擬時，疊斗式木構架以疊三斗之形式模擬之。</li> <li>2. 本研究於數值模擬時，限於構件及材料之個別差異性，與接點基礎資料欲求不足，暫將榫卯方式皆以單向直榫模擬其半剛性行為。</li> </ol>
廖志中 教授	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 古蹟及歷史建築之監測系統的建立就防災體系而言，是一個相當重要的課題。</li> <li>2. 在計畫中有關監測系統的架構方法應更加明確加以敘述。</li> </ol>	<p>謝謝鼓勵!</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 架構監測系統之流程，請詳本文之研究發現(疊斗式木構架結構狀態預警檢測機制之建構)敘述。</li> </ol>
符宏仁 建築師	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 不同形式疊斗結構行為分析。</li> <li>2. 材質劣化對構造安全影響，與修復介入時機。</li> <li>3. 是長期監測或是定期檢測?</li> </ol>	<p>謝謝指導!</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 考量研究團隊人力與時間，研究範圍限於疊三斗之形式進行結構行為分析。</li> <li>2. 『老人的基礎醫療研究』古今中外不知凡幾，但個別差異性仍是最大障礙，古蹟及歷史建築也有相似的課題。本文僅能以本研究建立的數值模型及實體模型之感知實驗數據及圖形推論。</li> <li>3. 長期監測。</li> </ol>
鄭讚慶 建築師	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案研討構件行為建立預警系統，如可能也請建立檢測表應用在業界。</li> </ol>	<p>謝謝指導!</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將納入第二期研究。</li> </ol>
蔡得時 技師	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 計畫題目宜修正為議程所列題目。</li> <li>2. 研究設備宜加強介紹。</li> <li>3. 本研究只限於疊斗式大木構造是否範圍太小。</li> </ol>	<p>謝謝指導!</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已修正。</li> <li>2. 研究設備之介紹，請詳本文之研究發現(實驗模擬)敘述。</li> <li>3. 考量研究團隊人力與時間，研究範圍限於疊斗式。</li> </ol>

<p>徐裕健 教授</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫似可「以觀測變位及變位感知系統」作為預警檢測系統之主要議題。</li> <li>2. 可能產生結構變位之「位置」及損壞模式似可列表成為分析項目之一。</li> <li>3. 疊斗式以「碗口」或「榫卯」支承桁梁，影響結構行為甚大，宜分類描述。</li> <li>4. 「疊斗式」似可改為「抬梁式」。</li> </ol>	<p>謝謝指導!</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 納入探討。</li> <li>2. 受損部位及徵狀主要參考李乾朗所整理之模式。</li> <li>3. 本研究限於構件及材料之個別差異性，與接點基礎資料欲求不足，暫將榫卯方式皆以單向直榫模擬其半剛性行為。</li> <li>4. 本研究於數值模擬將對抬梁式與疊斗式作一比較探討。</li> </ol>
-------------------	--	---

b. 研究計畫期中簡報評審意見與回應表

日期:2003/06/20 地點:內政部建研所

評審	主要意見	回應情形
蕭江碧 所長	1. 本計畫應與相關子計畫於下年度開始進行整合，盡快呈現出具體的成果。	謝謝指導！ 1. 將於下年度開始整合。
黎小容 教授	1. 本計畫研究構想很好，值得研究。 2. 建議於結構行為探討時，不應省略托木的結構功能。 3. 除了位移變化的檢測外，宜加入非破壞的檢測方式來檢測無外移或內部的變化。 4. 採用 921 地震分析宜太過強烈，建議宜先採用中型地震來實驗模擬。 5. 樺頭只採用平接之方式，宜再多樣探討，且模型宜盡量減少與實務之差距。	謝謝鼓勵！ 1. 如不忽略托木進行結構行為探討，恐會使分析過於複雜。伸拉的不同將分別假設修正的 $\theta$ 值來探討。 2. 檢測先期主要是以微振動量測來觀察其整體結構的動態特性，後續則再輔以其他非破壞檢測方式作更詳細的檢測。 3. 地震力模擬分析將採漸進方式模擬。 4. 樺卯種類及其接合，尤其涉及看不見的部分，本研究盡量模擬實物並注意其個別之差異性。
黃德琳 教授	1. 動力分析請交代所採用的地震譜資料。 2. 國外有許多對於半剛性接頭的探討與資料，宜加以應用。 3. 靜力分析宜找出木構架受地震來時哪裡先破壞。 4. 宜加入案例的驗證。	謝謝指導！ 1. 地震譜資料，請詳本文之研究發現(疊斗式木構架之數值模擬分析)。 2. 本研究於數值模擬時，半剛性接頭之數據採用閻嘉義等人於 84 年樺卯接頭試驗之數據為主。 3. 將依靜力分析加以判讀。 4. 因受限於時間與經費的影響，經評估後本研究只採用模型模擬來驗證，案例實證則納入第二期研究。
廖志中 教授	1. 本計畫研究構思很好。 2. 建議有關感測器及遙測方面的資料，本人可加以提供參考。	謝謝鼓勵！ 1. 廖教授指教有關感測器及遙測方面已專程請教。

	3. 榫卯間之契合度與個別差異宜加以探討，盡量採用統一標準。	2. 榫卯種類及其接合，尤其涉及看不見的部分，本研究盡量模擬實物並注意其個別之差異性。
<b>溫卓炫 技師</b>	1. 所引用之力學資料數據與參數宜統一，可參考規範之標準。 2. 建議於結構行為探討時，不應省略托木的結構功能。 3. 動力分析採用 921 的地震加速度恐過大。	謝謝指導！ 1. 將修正加入。 2. 如不忽略托木進行結構行為探討，恐會使分析過於複雜。伸拉的不同將分別假設修正的 $\theta$ 值來探討。 3. 地震力模擬分析將採漸進方式模擬。
<b>閻亞寧 教授</b>	1. 可參考陳啟仁教授近期所研究之資料，與本計畫相關性極高。 2. 建議於結構行為探討時，省略托木之假設宜再商榷。 3. 期末預期成果如要加以應用，限於時間因素恐太倉促。 4. 北港朝天宮有相關監測之紀錄，可加以參考。 5. 用語宜統一。	謝謝指導！ 1. 閻教授指教有關前人之研究資料將盡量利用。 2. 如不忽略托木進行結構行為探討，恐會使分析過於複雜。伸拉的不同將分別假設修正的 $\theta$ 值來探討。 3. 本研究之期末預期成果將會止於書面機制之建立。進一步之實務操作方面將留待以後年度繼續進行。 4. 已專程前往瞭解。 5. 將修正統一。
<b>林鴻志 建築師</b>	1. 可參考陳啟仁教授近期所研究之資料，與本計畫相關性極高。 2. 木構架具有韌性的特質。 3. 接頭綁藤條箍緊之作用宜納入模擬。 4. 接點之模擬宜採用非線性分析。	謝謝指導！ 1. 有關前人之研究資料將盡量利用。 2. 將納入探討。 3. 本研究非採用足尺模型。接頭綁藤條箍緊之作用，宜採用足尺模型模擬之較適宜。 4. 限於目前分析程式僅能採用線性分析，接點模擬採用非線性分析將納入後續研究。
<b>梁華綸 秘書</b>	1. 建議針對不同的地震做地震平台試驗，以利在中級地震時即能以偵測儀器發現結構破壞情形。	謝謝指導！ 1. 地震力模擬分析將採漸進方式模擬。

	<p>2. 國內對於木結構的結構行為試驗，以平接為多，宜考慮接口方式，作為數據的調整。</p>	<p>2. 本研究於數值模擬時，限於構件及材料之個別差異性，與接點基礎資料欲求不足，暫將榫卯方式皆以單向直榫模擬其半剛性行為。</p>
--	---	---

### c. 研究計畫期末簡報評審意見與回應表

日期:2003/11/24 地點:北科大建築系設計館八樓

評審	主要意見	回應情形
林鴻志 建築師	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 半剛性結點採用之閻嘉義之MODEL 是否考慮到反復向之效應，其影響程度是否很大，還是已經足數分析。</li> <li>2. 所採用之分析中，其屋頂板是否採用 R I G I D P A N E L 剛係數？其影響是否非常大？</li> <li>3. 實際之歷史建築確實相當複雜，建議後續之研究時是否能找到極限側位移？特別是要考慮之結點之極限結點角相當大（閻嘉義之實驗可達20%），可能效應已非常明顯。</li> <li>4. 分析中所採用之動力分析法及輸入地震波可清楚列於文中。</li> <li>5. 本研究所得成果非常卓越，值得肯定。</li> </ol>	<p>謝謝指導！</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 引用閻嘉義之資料已考慮到反復向之效應。</li> <li>2. 受限非足尺模型，屋頂載重以剛性盤載重模擬。</li> <li>3. 建議內政部建研所列為研究方向。</li> <li>4. 測站資料將補充訂正於期末報告書中。</li> <li>5. 謝謝鼓勵！</li> </ol>
黃德琳 教授	<p>&lt;未來研究課題研究&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 木造結構，其耐震診斷、分析方法之建議規範。</li> <li>2. 木造結構，崩塌破壞模式探討。</li> <li>3. 接頭各形式之探討比較（全剛性、半剛性、全鉸接）</li> <li>4. 動力實驗之條例、參數之設定，可多範圍探討與比較。</li> </ol>	<p>謝謝指導！</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 提供本研究之分析過程及樁接相關假設。</li> <li>2. 理論上可用 staad .pro 模擬之，但實務上因木材之老化腐朽與個別差異性，以及欠缺各種樁接的極限彎矩資料，模擬上則有困難。</li> <li>3. 建議內政部建研所列入基礎研究方向。</li> <li>4. 本研究使用單一週期模擬主要之目的為要識別其基本週期。</li> </ol>
楊宣勤 主任	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 古蹟中木構造建築採疊斗式大木構造方式，多為我國傳統宗祠、寺廟、樓閣等類建築，其結構之完妥與否，影響該古蹟之保存甚鉅，其運用現代科技檢測方式之研究確有助於古蹟修護工作。</li> <li>2. 由於其研究已開始，運用電腦建置主体構架組合數位化資料，對於傳統疊斗式大木構造不易用目視方式發覺之檢視情</li> </ol>	<p>謝謝指導！</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝鼓勵！</li> <li>2. 謝謝指教，獲益良多。</li> </ol>

	形，更有助其檢視方法與修護之研究，較書面報告更有參考價值，值得後續加強推廣。	
<b>與會貴賓</b>	1. 縮小模型之尺寸效應建議應在文中說明考慮點。 2. 試驗結果若有不理想之處或未來建議，希望能在文中補充。 3. 希望能由理論模型推論木構架之破壞控制點為何？	謝謝指導！ 1. 補充訂正於期末報告書中。 2. 補充訂正於期末報告書中。 3. 謝謝指教，建議內政部建研所列為研究方向。
<b>陳亦信 技師</b>		
<b>王松永 教授</b>	1. 以半剛性來假設接頭是對的。 2. 使用極限應力或容許應力？ 3. 木結構因有接榫部位存在，於受外力時會吸縮許多能量而使得整個結構體可顯示較大的變形，否則木材本身是脆性材料、並沒延展性，由於有此榫接的存在，而顯出其變形狀態。	謝謝指導！ 1. 謝謝鼓勵！ 2. 因本研究僅作分析，尚未進行設計的研究，僅使用極限應力分析之。 3. 謝謝指教，獲益良多。
<b>趙文傑 專委</b>	1. 木構架耐震部分是否對不同材質做研究。 2. 應用性的研究會很重要。	謝謝指導！ 1. 建議內政部建研所列為研究方向。 2. 謝謝鼓勵！

# 附錄B

## 專家學者諮詢會議記錄

專家學者諮詢會議記錄

	日期：2003/10/8	地點：中國文化大學大廈館 B203
	與會人員：陳錦賜院長、李重耀建築師、呂良正教授、林慶元教授、高健章教授、符宏仁教授、黃德琳教授、蔡明哲教授、李翰濱、陳滄文、吳純明、施順隱。	
	主持人：李正庸教授、洪慶雲教授                      紀錄：陳滄文	
討論事項	<p>專家學者發言內容</p> <p><b>李正庸、洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 主席致詞(略)</li> <li>2. 簡報(略)</li> </ol>	
	<p><b>陳錦賜：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 此研究案環設學院乃全力支持，而研究案的研究動機最主要是在預警。</li> <li>2. 古蹟修復採用較客觀及現代的技術，安置監測的最佳位置。</li> <li>3. 研究案是以醫學的角度，來看監測。</li> <li>4. 建築物建置長期的監測，並在建築物設計階段即加入檢測能力的考量。</li> <li>5. 半倒最難解決，如何判斷，檢測的內容，重點宜界定清楚。</li> <li>6. 在不破壞原風貌的原則下，應用新的技術工具來改進木構造。</li> <li>7. 可藉由週期資料勿變異，來達到預警的研判。</li> </ol>	
	<p><b>李重耀：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 木造柱頭與基石之接頭之樺太簡單。</li> <li>2. 木柱與大梁之接樺頭之引起地震左右振晃時較弱。</li> <li>3. 這樣大木結構本身即頭大腳輕之作法，故柱基應有適當之強化避免損壞。</li> <li>4. 如日式木造住宅即有了柱頭有土台之作法者基礎較有蔭定，故較好之作法。</li> <li>5. 柱頭與基石之樺頭及柱與大梁之樺頭應加強開發研究之必要。</li> <li>6. 防震的考慮加新工法之搭配建立。</li> </ol>	
	<p><b>呂良正：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 監測目前之困難度較高，可嘗試基本振動週期(微振實驗可得到)。</li> <li>2. 模擬方面： <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)低振態應在長方向較為合理。</li> <li>(2)模擬時屋頂之重量要考慮。</li> <li>(3)接頭所用之參數(彎矩—轉角)與接合形式及大小都有關係，要由實驗來決定，不能一謂引用文獻數據。</li> </ol> </li> <li>3. 文獻上收集可再加強。</li> </ol>	

專 家 學 者 發 言 內 容	<p><b>高健章:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 用數位模型來分析整體古蹟結構體之耐震能力，為較可行之方法，惟因古蹟建築各部位桿件或接頭之老化程度不一，在分析模式上，需依各部位之真實狀況反應到各部位之模擬模式上，此比新建結構物之分析模擬更為複雜。但在分析上若不將其一一照實模擬，方可落實其分析結果。</li> <li>2. 接頭數值模型之建立，需來自實體試驗結果，惟應將老化因子融入，並配合非破壞檢測方法，確立老化因子之影響程度。</li> </ol>
	<p><b>林慶元:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 長期監測屬後期的動作，目前應以防止傾毀為主。</li> <li>2. 修護時期應建構資料庫，如修護參數、抗震能力等。</li> <li>3. 當務之急應以推估其抗震能力為主。</li> </ol>
	<p><b>符宏仁:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 期待本研究能建立量化的參考依據做為古蹟是否必需解體修復的規範。</li> <li>2. 簡報中 3D 動畫模擬木構架解體之次序宜依實際情形模擬。</li> <li>3. 最佳檢測方法能否建立。</li> </ol>
	<p><b>黃德琳:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 921 木構架破壞的情形，可做為本研究的立基。</li> <li>2. 本研究內容非常廣泛。</li> <li>3. 實驗模擬之 921 震波數據宜交代清楚。</li> <li>4. 建築物週期的變動可納入研究。</li> <li>5. 半剛接模擬之彈性係數宜謹慎使用。</li> <li>6. 建議能研究出最先破壞的徵兆，加強監測的意義</li> <li>7. 建議宜對地震波的特性、方向深入探討。</li> <li>8. 由於建築物受不定性的外力頗多，監測點需非常多才能有預警的功能。</li> </ol>
	<p><b>蔡明哲:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 較之於穿斗式與抬梁式構造，疊斗式的結構行為複雜許多，也由於疊斗式構造裝飾性構件多，模擬上的確困難很多。另結構的安全與否，牽涉因子很多，建議研究單位針對新的疊斗式結構與舊的疊斗式構造進行比較，並統計分析兩者監測的優先順序。</li> <li>2. 電腦模擬已簡化許多疊斗的細部構造，但結構的安全係數，與材料的容許應力是否考慮？</li> <li>3. 未來的實驗設計合理的載重必須嚴謹考量。</li> </ol>

# 附錄C

## 研究團隊研討記錄

〈古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例〉研究案

研 討 記 錄 (1)

	日期：2003/03/05	地點：建築計畫與技術研究室	
	與會人員：李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、陳滄文		
討論事項	主持人：李正庸教授 紀錄：陳滄文		
	研究案的焦點與執行力	<p><b>李正庸：</b></p> <p>1. 本次會議主要是請大家針對本研究案的焦點與執行上提出想法並進行討論。</p>	
		<p><b>陳滄文：</b></p> <p>1. 這是研究案的預估進度表，請大家提出看法。</p> <p>2. 在文獻回顧方面，主要是朝古蹟暨歷史建築木構架之主要構件型式、破壞理論、古蹟暨歷史建築木構架結構狀態監測與技術這三方面來進行。</p>	
		<p><b>李正庸：</b></p> <p>1. 文獻方面宜加入對木材特性的回顧。</p> <p>2. 疊斗式木構架的資料還需加強蒐集。</p> <p>3. 楊老師在台中有一個工地(霧峰林家花園)，可做為本研究案的的實證對象，計畫在春假期間前往考察。</p> <p>4. 疊斗式實驗模型製作將請楊老師所認識的師傅製作，師傅工作的地方是在新竹，近期內我們應該親自現場了解。</p>	
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <p>1. 木構架受外力影響，最易破壞的構件是樺頭，本研究可嘗試利用有限元素法，對樺頭來進行研究。</p>	
		<p><b>李翰濱：</b></p> <p>1. 在感測器經費預估上，加速計單價為 41600 元、傾斜計單價為 10400 元、線路費用約 10000 元。</p>	
		<p><b>陳滄文：</b></p> <p>1. 本研究在感測器經費預估上僅核報 27000 元，在有限經費下，實證計畫須做調整以利執行。</p>	
		<p><b>李正庸：</b></p> <p>1. 本研究基於預防勝於治療的觀念，希望能建構出一套遠端監測的系統，這也是本研究的貢獻之一。</p> <p>2. 感測器經費如太高，實證計畫可能調整至下一期研究案在建制，真正找一棟疊斗式木構架來安裝此預警系統。</p>	

	<p><b>洪慶雲：</b></p> <p>1. 依目前看來，本研究案可透過加速計、傾斜計、VIDEO 等來監測，如考量經費有限下，可首重結構體在地震模擬平台的監測與模擬。</p>
	<p><b>李正庸：</b></p> <p>1. 希望本研究的結論能夠呈現出非常具體的預警機制、細節都能清楚的交代。</p> <p>2. 檢測的內容是本研究的重點。</p> <p>3. 本研究以疊斗式木構架為例，而其他的木構架透過些許的調整也能夠加以運用本研究的成果。</p> <p>4. 因本研究是與內政部建研所協辦，盼能兼顧內政部建研所的立場。</p>
	<p><b>洪慶雲：</b></p> <p>1. 監測與診斷時間點的差異，我們可再加以思考與討論。</p>
結語	<p><b>李正庸：</b></p> <p>1. 希望大家能在一下個禮拜討論前，針對今天的討論事項再想一想。我們不急著今天就下定論，希望藉由多次的討論能讓我們的目標與執行層面上更具體。</p>

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例>研究案  
研 討 記 錄 (2)**

	日期：2003/03/12	地點：建築計畫與技術研究室
	與會人員：李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、吳純明、陳滄文	
討論事項	主持人：李正庸教授 紀錄：陳滄文	
	文獻回顧	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本次會議主要是請大家針對與本研究案相關的文獻進行討論。</li> <li>2. 藉由文獻回顧知道哪些是別人已經研究過的。</li> </ol>
	文獻回顧	<p><b>陳滄文：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在 3/7(五)，我與翰濱、純明三人至內政部建研所蒐集資料，成果相當豐富。另外也有在本校圖書館與央圖所蒐集的文獻，目前文獻相當豐富，需大家合力盡快消化與整理出重點。</li> </ol>
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在力學與監測方面就由我與翰濱同學來負責。</li> </ol>
		<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 藉由文獻回顧知道哪些是別人已經研究過的，才不至於做白工。</li> <li>2. 文獻方面就請大家分工合作，下次會議再個別報告與綜合討論。</li> <li>3. 霧峰林家花園與楊老師確定時間後，將於春假前幾天成行。</li> </ol>
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 春假期間因已安排出國緣故，本人恐無法與大家去霧峰林家花園，事後擬藉由攝影與調查紀錄來了解。</li> <li>2. 新竹之行本人則可以參與。</li> </ol>
		<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 診斷需要有明確的步驟、指標、判斷準則。</li> <li>2. 監測也需要有明確的判斷準則。</li> <li>3. 本研究宜先擬定出整個檢測對象的基本架構圖，再來針對探討檢測的項目，這樣有助於使本研究更有層次與系統。</li> </ol>
結語	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 文獻方面就請大家分工合作，下次會議再個別報告與綜合討論。</li> <li>2. 請滄文預擬整個檢測對象的基本架構圖，供下次討論用。</li> </ol>	

〈古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例〉研究案

研 討 記 錄 (3)

	日期：2003/03/19	地點：建築計畫與技術研究室
	與會人員：李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、吳純明、陳滄文	
討論事項	主持人：李正庸教授 紀錄：陳滄文	
	研究焦點與執行考量	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 會議開始前，請各位先閱讀前兩次的會議紀錄，並簽名。</li> <li>2. 由建築物的系統分類表，可以使我們釐清研究的範圍。</li> </ol>
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在古蹟木構造建築裡，木材質的老化或變化是我們應該注意的重點。</li> </ol>
		<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 我們應該對木材質的物理性質、化學性質等加以了解。</li> <li>2. 運用智慧建築的概念導入古蹟木構架裡。</li> </ol>
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在智慧建築的監測上，可運用於木構架的監測，例如力學、結構力學、溫度等來加以監測。</li> </ol>
		<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 我們也可以試著由結論或實務執行上的經驗往回推，使我們的焦點更明確。</li> </ol>
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實驗室的設備可運用集集地震的模擬平台來做監測試驗，所以模型的尺度須加以考慮平台的大小。</li> <li>2. 如果要做 full scale 的模型來實驗，建議下年度來執行，與台大實驗中心的接洽安排須提前來準備。</li> <li>3. 我們現在需思考要做幾個模型來試驗，模型的尺寸又是如何？</li> </ol>
		<p><b>李翰濱：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 木構架的模型形式以疊斗式為主，可參考霧峰林家的疊斗式木構造的尺寸與型式為基準。</li> </ol>
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 我們的邏輯大致可朝要了解木構造所以要做試驗，經由試驗的破壞可了解行為，從中獲知檢測的法則與依據。另外，理論的推敲與輔助也不可少，由這兩方面，可以使我們的研究成果理直氣壯。</li> <li>2. 我們現在應該針對我們要觀察的重點來擬定實驗設計，所以我們下一步需要的是疊斗式木構架的 cad 圖來供討論用，這方面要請陳滄文同學來負責。</li> </ol>

	<p><b>陳滄文：</b> 1. 我會盡快著手來建檔，建檔會依霧峰林家的型式為基礎，並輔以其他文獻來建檔。</p>
	<p><b>吳純明：</b> 1. 對於木材老化的因子，模型上如何解決新舊料間的差異？</p>
	<p><b>李正庸：</b> 1. 我們應先對材料的特性做探討，盡量降低變量因子。 2. 檢測猶如是建築醫生，我們應該要能發現與歸納出木構架毀壞的徵兆。</p>
<b>結 語</b>	<p><b>洪慶雲：</b> 1. 本研究需透過分工合作來進行，執行上請陳滄文同學來負責策劃，吳純明、李翰濱兩位同學請極力來配合執行，李老師與我(洪老師)就負責擔任監督與顧問的工作，有問題可以隨時提出來一起討論。</p>
	<p><b>李正庸：</b> 1. 下次會議就隔兩週再來進行，三位同學可利用這段時間進行文獻回顧的整理，將成果逐漸累積下來。</p>

〈古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例〉研究案

研 討 記 錄 (4)

	日期：2003/03/28	地點：台中霧峯林家
	與會人員：李正庸教授、洪慶雲教授、楊仁江教授； 吳純明、陳滄文、施順隱、李堅、鍾坤利、李奇芳。	
案 例 實 地 調 查	主持人：李正庸教授 紀錄：陳滄文	
	<p><b>李正庸：</b> 今天非常感謝楊仁江教授，可以帶給我們這次非常寶貴的機會，也剛好楊老師也正受委託修護霧峯林家景薰樓部分，因此藉著九二一地震所造成霧峯林家的破壞，冀望可以對本研究案有所幫助。</p>	
	<p><b>楊仁江：</b> 1. 我們可以看到九二一地震對於霧峯林家建築組群帶來非常大的傷害，比較可以看出來建物原規模或原材料的組群，只有景薰樓組群與頤園而已，其餘的組群破壞的非常嚴重。 2. 霧峯林家大致可分為六大建築群落。</p>	
	<p><b>李正庸：</b> 1. 現在就景薰樓組群請楊老師帶領會勘。 2. 依該建築第一進大木結構型式中的疊斗型式，是僅屬於疊一斗。 3. 如果修復方式只是用相似材料或原材料修復，並沒有使用加固或補強的方式，會不會造成再一次的九二一地震，相同的破壞情形會不會再次產生。</p>	
	<p><b>楊仁江：</b> 1. 因為礙於經費及修復進度，我們只能以修復的方式去做。 2. 我們可以看到修復時只能用目測以損壞部分，榫接部分無法檢視，所以地震一來常在接頭處產生破壞。</p>	
	<p><b>洪慶雲：</b> 針對加固或補強部分，竟然修復時有加入新的材料，也是文資法有所修正的，必要時可以加入新材料新工法，因此可以建議使用重點加固方式，例如做一鋼骨架構來支撐。</p>	
	<p><b>李正庸：</b> 1. 修復到如何程度的問題，是不是應該做到爾後不會被震毀的程度。 2. 此次會勘除以地震產生破壞型式之外，應著重於木構架之破壞情形。</p>	
	<p><b>洪慶雲：</b> 地震產生破壞之評析詳如下表。</p>	
	<p><b>李正庸：</b> 地震產生破壞之評析詳如下表。</p>	

	<p><b>楊仁江：</b> 地震產生破壞之評析詳如下表。</p>
	<p><b>李翰濱：</b> 頭圍部分是新舊建築物共存之建築群落，並且有火災焚毀情形。</p>
	<p><b>陳滄文：</b> 修復之前對於原材料之編號及儲存方式皆有系統處理。</p>
	<p><b>吳純明：</b> 霧峯林家可以看出大部份仍是以木石混合構造型式之建築物，即穿斗式木構架加上石砌承重牆構造混合。</p>
結語	<p><b>洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 我們可以利用今天會勘的經驗用到本研究案來，相信可以得到一些想法，例如以後的檢測方式與內容。</li> <li>2. 對於修復程度的課題，會不會撐得住下一個九二一地震，也可以讓我們有另一方面的思考。</li> </ol>
	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 雖然台中地區被列為三級古蹟的張廖家廟，雖然無法進入參觀，但我們依然可以從報告書中先做一初步了解，另外我們也可以發現古蹟與現今都市環境的相處課題。</li> <li>2. 這一次霧峯林家的會勘，我們非常謝謝楊老師，因為對本研究案有相當大的助益，尤其是地震對於大木結構破壞的情形。</li> </ol>

臺中霧峯林家建築群現場會勘紀錄及評述		
位置	現況照片	破壞評述
景薰樓組群		屋架結構受地震力從接續處鬆脫之情形

		<p>柱礎之型式，代表與柱之接頭型式接近鉸接方式</p>
		<p>柱底端之卡榫型式及卡榫剪力破壞情形</p>
		<p>屋架與柱榫接之桁梁脫落情形</p>
<p>景薰樓組群</p>		<p>柱上部結構側向位移情形</p>

		<p>門架柱底端因接近鉸接而產生旋轉傾斜情形</p>
		<p>屋架卡榫鬆脫情形</p>
<p>景薰樓組群</p>		<p>屋架卡損鬆脫情形</p>
		<p>短梁側向剪力破壞</p>

		<p>門架柱底端卡榫剪斷情形</p>
		<p>石柱底端卡榫被剪斷情形</p>
<p>景薰樓組群</p>		<p>專家學者實地會勘情形</p>
		<p>以斜稱增加木構造抵抗側向橫力之能力</p>

		<p>枋上短柱破壞情形</p>
<p>頤園</p>		<p>建築整體傾倒情形，但屋瓦完整，表示係整體構造破壞所導致</p>
<p>頤園</p>		<p>混合式木構造可保持『強柱弱樑』之設計理念</p>

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例>研究案  
研 討 記 錄 (5)**

	日期：2003/04/09	地點：建築計畫與技術研究室	
	與會人員：李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、吳純明、陳滄文		
討論事項	主持人：李正庸教授 紀錄：陳滄文		
	研究焦點與文獻回顧	<p><b>李正庸：</b></p> <p>1. 本研究案以擬人化的角度來探討古蹟暨歷史建築木構架的結構狀態，木構架就好比是人的骨架，而監測系統就好比是人的神經系統，現在請大家來討論一下這個概念對於本研究的影響。</p>	
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <p>1. 在監測系統的預警功能上，應只能針對中小型的地震，就好比是人體內的慢性病，對於意外性的傷害，如 921 大地震所造成的傷害，就不是本研究案所能掌控的。</p>	
		<p><b>李正庸：</b></p> <p>1. 本研究的研究範圍應該要開始收斂，使焦點能表達出來。 2. 本研究案除了模型的模擬外，是否應有一實例來操作？</p>	
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <p>1. 基於金錢及時間的考量，要有一實例來操作，有其困難性。 2. 我們可朝更具體的方向來思考，例如我們可建立整個監測實行計畫，連整個預算細節都有考慮進去。 3. 我們研究的焦點應分成兩部分，一是整體的木構架狀態，另一是局部的細部節點，這兩方面我們都應兼顧。</p>	
		<p><b>吳純明：</b></p> <p>1. 監測實行計畫裡，應考慮到感知器配置上的考量，盡量使其不妨礙觀瞻，無破壞到古蹟。</p>	
		<p><b>李翰濱：</b></p> <p>1. 經由文獻回顧得知，結構力學方面已有許多探討，但內容上還是有許多深入的空間。</p>	
		<p><b>陳滄文：</b></p> <p>1. 經由文獻回顧得知，在古建築木構架的監測方面，尚無人從事研究，在力學與材質方面已有許多人涉略。</p>	
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <p>1. 在整個監測計畫裡，需考慮到如何監測、使用什麼感應器、讀取的訊號如何判別、感應器的效度如何、模型與實例的模擬等等因子。</p>	

	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>現在我們應該要著手來進行實驗計畫與設計，首先應對模型的設計與型態來加以考量，除能表達出我們所要觀察到的重點，更應使模型盡量趨近於實體的狀況，而無相關的內容及與以簡化，將 proto type 原性建立起來。</li> <li>大家也可以思考一下我們研究案的深度是否已經足夠，一定要達到表裡如一。</li> </ol> <p><b>洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>在 proto type 原性的建立上，重量的考量可參考建築技術規則對於荷重的規範。</li> <li>模型大小也需考慮到實驗平台的大小，如模型太大則需設置轉換座來安置模型以利實驗。</li> </ol> <p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>以下請三位同學報告文獻回顧的摘要。</li> </ol> <p><b>吳純明：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>我所負責的五本書是台灣傳統建築匠藝、台灣傳統建築匠藝二輯、台灣傳統建築匠藝四輯、古蹟保存與再利用防火課題之基礎調查研究、古蹟建築再利用防火安全計畫與適用技術之研究這五本書，內容摘要如文獻回顧編號 11~15。</li> </ol> <p><b>李翰濱：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>我所負責的五本書是台灣地區古蹟建築大木構架節點構造系統的研究、木材的結構與設計、宋式與清式斗拱系統之比較研究-結構行為之定量分析、古蹟建築大木構造修護技術原則性問題之探討、台灣地區古蹟暨歷史建築保存修護相關研究及未來發展之探討這五本書，內容摘要如文獻回顧編號 6~10。</li> </ol> <p><b>陳滄文：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>我所負責的五本書是台灣傳統建築木構架之構成研究、商用木材、台灣古蹟大木構件破壞類型及其非破壞檢測法之探索、清式營造算例及則例、華夏意匠這五本書，內容摘要如文獻回顧編號 1~5。</li> </ol>
結語	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>文獻回顧方面仍需繼續整理。</li> <li>請陳滄文、吳純明同學負責實驗計畫的研擬。</li> <li>請李翰濱同學負責感測器方面的文獻。</li> </ol>

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例> 研究案  
研 討 記 錄 (6)**

	<b>日期：</b> 2003/04/16	<b>地點：</b> 建築計畫與技術研究室
	<b>與會人員：</b> 李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、吳純明、陳滄文	
<b>討 論 事 項</b>	<b>主持人：</b> 李正庸教授 <b>紀錄：</b> 陳滄文	
	<b>實 驗 計 畫</b>	<b>李正庸：</b> 1. 模型的尺寸大小有問題，如面闊等，宜與清式營造則例與算例做比較。 2. 斗口的大小與木構造的構成有模矩的關係。
		<b>洪慶雲：</b> 1. 現在的模型的比例如何?應考慮實驗平台的大小。
		<b>陳滄文：</b> 1. 模型的比例大約為 1/20。
		<b>洪慶雲：</b> 1. 可採用不同的斗口來進行模擬。
		<b>李正庸：</b> 1. 模型的比例大小應與工匠做討論，我們近期應盡快安排與工匠做細節的討論。
		<b>李翰濱：</b> 1. 建議應建置幾個草模來討論。
		<b>吳純明：</b> 1. 以建築技術規範木構造篇為基準，與清式構法做比較。
<b>結 語</b>	<b>李正庸：</b> 1. 文獻回顧方面仍需繼續整理。 2. 建立幾個討論用的疊斗式木構造的草模。 3. 以建築技術規範木構造篇為基準，與清式構法做比較。 4. 實驗計畫宜繼續加強以利執行。	

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例>研究案  
研 討 記 錄 (7)**

	<b>日期：</b> 2003/04/23	<b>地點：</b> 建築計畫與技術研究室	
	<b>與會人員：</b> 李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、陳滄文		
<b>討 論 事 項</b>	<b>主持人：</b> 李正庸教授 <b>紀錄：</b> 陳滄文		
	<b>實 驗 計 畫</b>	<b>李正庸：</b> 1. 疊斗式與清工部〈工程做法〉的尺寸宜做比較分析。 2. 木構架的結構狀態式我們研究的重點，實驗計畫應與之相呼應。先分析主要的結構，如柱、梁等，其後才是針對細節做分析。	
		<b>洪慶雲：</b> 1. 有了詳細的尺寸與模型後，接下來我們可使用電腦來進行結構分析，套入理論程式，或外力的模擬來分析。 2. 透過電腦的結構分析來找出結構行為的關鍵點與變化情形。	
		<b>陳滄文：</b> 1. 疊斗式尺寸的代表性不足，需繼續檢討。	
		<b>李正庸：</b> 1. 疊斗式的尺寸宜再多幾個案例分析，找出代表性的數據。 2. 引用文獻時，資料的來源宜標示清楚。	
		<b>李翰濱：</b> 1. 感知器的讀取與分析目前還需繼續來研擬。	
		<b>洪慶雲：</b> 1. 學生宜加強實做能力的訓練，以增強執行力。	
	<b>結 語</b>	<b>李正庸：</b> 1. 疊斗式的尺寸宜再多幾個案例分析，找出代表性的數據。 2. 疊斗式與清工部〈工程做法〉的尺寸宜做比較分析。 3. 草模宜拍照。	
		<b>洪慶雲：</b> 1. 實驗計畫宜繼續加強以利執行。 2. 電腦的結構分析宜著手進行操作。	

〈古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例〉研究案

研 討 記 錄 (8)

	日期：2003/04/30	地點：建築計畫與技術研究室
	與會人員：李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、陳滄文	
討論事項	主持人：李正庸教授 紀錄：陳滄文	
	期中簡報內容討論	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 期中簡報內容宜盡速來加以研擬，下週請先擬出本文的目錄出來，再進一步來規畫作業進度，確實來執行。</li> <li>2. 期中簡報內容宜達到整個研究內容的 70%~80%的成果。</li> <li>3. 研究成果力求唯一與感動兩項要素。</li> <li>4. 宜對構造進行系統分析，主要可分成主要構造、附屬構造、裝修構造。</li> <li>5. 宜撥出經費來回饋學校的支持。</li> </ol>
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本文目錄宜先擬出，以利掌握進度。</li> <li>2. 結構狀態的診斷，評估的基準是研究的重點。</li> </ol>
		<p><b>陳滄文：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 疊斗式尺寸的依據有二，一是參考黃頌恩的研究成果，但恐屬個案研究，二是蒐集所有屬於疊斗式木構造的古蹟建築圖面，進行尺寸分析與歸納，找出其代表尺寸，但資料蒐集不易是困難點。</li> </ol>
		<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 對於資料的解讀，切入點需理由充分。</li> </ol>
	<p><b>洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 如時間允許，採行第二種方式可能有新的發現，如時間不足或資料蒐集與分析不易，則採方式一行之。</li> <li>2. 尺寸宜盡早來建立，以利結構的分析。</li> </ol>	
	<p><b>李翰濱：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. STAAD. PRO 軟體的應用，目前還在盡速學習與操作中。</li> </ol>	
	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 匠師的訪談近期內會敲定。</li> <li>2. 模型的製作可考慮由本校的學生來製作。</li> </ol>	
結語	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 下次會議請擬出本文的目錄出來，並規劃進度。</li> <li>2. 研究成果力求唯一與感動兩項要素。</li> </ol>	

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例>研究案  
研 討 記 錄 (9)**

	<b>日期：</b> 2003/05/14	<b>地點：</b> 建築計畫與技術研究室	
	<b>與會人員：</b> 李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、陳滄文		
討 論 事 項	<b>主持人：</b> 李正庸教授 <b>紀錄：</b> 陳滄文		
	期 中 報 告 內 容 討 論	<b>陳滄文：</b> 1. 研究案目錄與進度如資料所示，請老師與同學指導。	
		<b>李正庸：</b> 1. 目錄需能表達出研究案的邏輯思路。 2. 文獻回顧宜加入英文與日文的文獻。 3. 研究背景宜強調整個大計畫的緣起，研究範圍宜加入台灣木構架歷史的定位。 4. 檢測範圍宜界定成診斷與監測兩大部分。 5. 研究之預期成果宜加入。 6. 期中報告內容宜呈現愈多愈好，才有機會吸收更多的評論與建議。	
		<b>洪慶雲：</b> 1. 第二章文獻回顧的份量太重宜拆成二章，並加強主要章節的份量。 2. 疊斗式木構架之材料力學性質此一節宜修正為木材的力學性質。 3. 有限元素法與半剛性接頭模式此一節宜修正為以半剛性接頭模式模擬木構架之榫卯接合。 4. 結構分析電腦程式 STAAD. Pro 觀念之建立此一節宜修正為結構分析電腦程式 STAAD. Pro 之簡介。 5. 前期預警檢測機制之前期兩字可刪除。 6. 結構狀態監測之定義宜加入。	
		<b>李正庸：</b> 1. 結構狀態的變化可界定成： (1)構造本身的結構變化。 (2)時間的因素，材質的變化可分昆蟲的腐蝕與人為的影響。 (3)位移(3向度)的變化，可分內力與外力的影響。	
		<b>洪慶雲：</b> 1. 結構行為分析可分靜力分析與動力分析兩部分，靜力分析包含剪力、彎矩、軸力、扭力、應力、變位等，動力分析包含共振等。	
		<b>李翰濱：</b> 1. STAAD. PRO 軟體的應用，目前已建構出純構架的數值模型。	

	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究成果宜建立出「SOP」標準操作程序。</li> <li>2. 研究成果宜盡力建構出動態模擬圖。</li> <li>3. 純構架的數值模型宜再確認正確性。</li> </ol>
<b>結語</b>	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 目錄需能表達出研究案的邏輯思路，宜再修正目錄與進度並切實執行。</li> <li>2. 文獻回顧宜加入英文與日文的文章。</li> </ol>
	<p><b>洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 結構狀態監測之定義可向余蔚麗詢問。</li> <li>2. 有限元素法與半剛性接頭模式宜再做探討。</li> </ol>

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例>研究案  
研 討 記 錄 (10)**

	日期：2003/05/21	地點：建築計畫與技術研究室
	與會人員：李正庸教授、李翰濱、吳純明、陳滄文	
討論事項	主持人：李正庸教授 紀錄：陳滄文	
	期中報告內容討論	<p><b>陳滄文：</b></p> <p>1. 修正上週所提之研究案目錄與進度如資料所示，請老師與同學指導。</p>
		<p><b>李正庸：</b></p> <p>1. 目錄的章節需環環相扣，每一章開始需有一導言說明撰寫此章節的理由，每一章或節結束後需有一小結對文獻做評述並轉化出自己的想法，另外也需承上起下與前後章節做連接。</p> <p>2. 文獻回顧需能對資料加以轉化，如引用的話需有充足的理由。</p> <p>3. 研究案的思路需再檢討，緒論、古蹟暨歷史建築木構架的基本研究、結構狀態、診斷、監測、預警檢測機制、實驗模擬、標準作業程序，依此脈落強化本研究案的邏輯思路。</p> <p>4. 摘要的寫法宜修正，宜分段摘要出本文的內容，而不是說明本計畫的研究。</p> <p>5. 簡報宜補充預定進度、報告事項與台中霧峰林家之實地調查。</p> <p>6. 說明文之上宜有關鍵語(三句話)。</p> <p>7. 威尼斯憲章的引用宜在確認。</p> <p>8. 研究動機是屬較抽象的問題意識，可從是否有意義?技術的可行性?能否建立 SOP?來修正。</p>
		<p><b>李翰濱：</b></p> <p>1. 文獻回顧的寫法經老師指導後，收穫良多。</p>
		<p><b>吳純明：</b></p> <p>1. 目錄第四章的邏輯性宜加強。</p>
結語	<p><b>李正庸：</b></p> <p>1. 五月底前需完成期中報告內容，請確實來執行。</p> <p>2. 關於期中簡報的細節宜再聯絡確認。</p>	

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例> 研究案  
研 討 記 錄 (11)**

	日期：2003/05/28	地點：建築計畫與技術研究室
	與會人員：李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、吳純明、陳滄文	
討論事項	主持人：李正庸教授 紀錄：陳滄文	
	期中報告與簡報內容討論	<p><b>李正庸：</b> 1. 對於六月二十日期中簡報進度提出說明。</p>
		<p><b>陳滄文：</b> 期中簡報預定進度是六月二十日，六月十日繳交期中報告書二十份、散稿一份及電子檔。</p>
		<p><b>李正庸：</b> 1. 有關於本研究案研究主題試著以時間軸方式來考量。 2. 研究主題之基礎及背景必須再次提出釐清。 3. 以往三樓以下建築物不需經由結構計算，對於我們的古蹟及歷史建築在思維上有何影響？ 4. 對於古蹟及歷史建築在檢測上有何依據？</p>
		<p><b>洪慶雲：</b> 1. 如果依結構史來看，先人造屋確實主要是以經驗值來構築，我們可以看出，有限元素法的產生，也逐漸才有 2D 分析運算方式，前後大抵也只有五十年左右。 2. 木構件監測依據主要是以樺接的 T 值來做研究基礎。</p>
		<p><b>李翰濱：</b> 本周針對標準型（三間五架）初步以 STAAD.Pro 做出分析。</p>
		<p><b>吳純明：</b> 本週續將文獻做彙整，尤其是以監測部分較為重要，例如有關新做與腐蝕兩種木料性質。</p>
	結語	<p><b>李正庸：</b> 1. 確定期中簡報內容及進度之後，請大家配合執行。 2. 下次預定做期中前最後會議日期定於六月三日下午二點。 3. 將霧峰林家花園以、張廖家廟會勘照片及會議記錄，做一評析置入期中簡報內容。 <b>洪慶雲：</b> 1. 期中簡報時。為求讓他人更易於了解，可以利用 3D 模擬的方式將木構造型式呈現動畫。 2. 有關木樺接 K 值方面之相關基礎研究，暫時以線性函數為主。</p>

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例>研究案  
研 討 記 錄 (12)**

	<b>日期：</b> 2003/06/03	<b>地點：</b> 建築計畫與技術研究室
	<b>與會人員：</b> 李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、陳滄文	
<b>討 論 事 項</b>	<b>主持人：</b> 李正庸教授 <b>紀錄：</b> 陳滄文	
	<b>期 中 報 告 與 簡 報 內 容 討 論</b>	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 今天的會議內容主要是針對期中報告再做一次確認及修正。</li> <li>2. 文獻部分以時間排序是較有系統，但是還是分為引用及參考兩部分。</li> <li>3. 報告書部份「預期成果」改為「期中研究成果與期末預期成果」。</li> <li>4. 實驗計畫內容還要稍做修正。</li> <li>5. 期中簡報部分應將動畫置入。</li> </ol>
		<p><b>陳滄文：</b></p> <p>以上根據會議記錄做修正及辦理。</p>
		<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 簡報部分要能分為兩部分，本人與洪老師簡報內容需適當的銜接。</li> </ol>
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 文獻回顧裡面之內容有直接關係才放進來。</li> <li>2. 引用部分最好能強調出來。</li> <li>3. 引用文獻部分最好要能夠轉化成自己的看法。</li> <li>4. 文獻回顧部份要能有分析、整合及評估的動作。</li> <li>5. 結構行為分析由李翰濱同學負責該部分。</li> </ol>
		<p><b>李翰濱：</b></p> <p>本次進度依會議記錄將結構行為分析的成果展現出來。</p>
	<p><b>結 語</b></p> <p><b>李正庸：</b></p> <p>期中報告預計於六月二十日上午舉行，事前需將資料備妥，並於六月十日將所附資料送達內政部建研所。</p> <p><b>洪慶雲：</b></p> <p>當日簡報內容部分請將結構動畫部分置入，讓簡報內容利於他人了解。</p>	

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例>研究案  
研 討 記 錄 (13) - 期 中 報 告 紀 錄**

	<b>日期：</b> 2003/06/20	<b>地點：</b> 內政部建研所
	<b>與會人員：</b> 蕭江碧所長、李正庸教授、洪慶雲教授、黃德琳教授、黎小容教授、廖志中教授、溫卓炫技師、閻亞寧教授、林鴻志建築師、梁華綸秘書、李東明博士、李翰濱、吳純明、陳滄文..等	
討論事項	<b>主持人：</b> 蕭江碧所長 <b>發表人：</b> 李正庸教授、洪慶雲教授 <b>紀錄：</b> 陳滄文	
	<b>蕭江碧所長：</b>	本計畫應與相關子計畫於下年度開始進行整合，盡快呈現出具體的成果。
	<b>黎小容教授：</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫研究構想很好，值得研究。</li> <li>2. 建議於結構行為探討時，不應省略托木的結構功能。</li> <li>3. 除了位移變化的檢測外，宜加入非破壞的檢測方式來檢測無外移或內部的變化。</li> <li>4. 採用 921 地震分析宜太過強烈，建議宜先採用中型地震來實驗模擬。</li> <li>5. 樁頭只採用平接之方式，宜再多樣探討，且模型宜盡量減少與實務之差距。</li> </ol>
	<b>黃德琳教授：</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 動力分析請交代所採用的地震譜資料。</li> <li>2. 國外有許多對於半剛性接頭的探討與資料，宜加以應用。</li> <li>3. 靜力分析宜找出木構架受地震來時哪裡先破壞。</li> <li>4. 宜加入案例的驗證。</li> </ol>
	<b>廖志中教授：</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫研究構思很好。</li> <li>2. 建議有關感測器及遙測方面的資料，本人可加以提供參考。</li> <li>3. 樁卯間之契合度與個別差異宜加以探討，盡量採用統一標準。</li> </ol>
	<b>溫卓炫技師(中華民國土木技師公會全國聯合會代表)：</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 所引用之力學資料數據與參數宜統一，可參考規範之標準。</li> <li>2. 建議於結構行為探討時，不應省略托木的結構功能。</li> <li>3. 動力分析採用 921 的地震加速度恐過大。</li> </ol>
	<b>閻亞寧教授：</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可參考陳啟仁教授近期所研究之資料，與本計畫相關性極高。</li> <li>2. 建議於結構行為探討時，省略托木之假設宜再商榷。</li> <li>3. 期末預期成果如要加以應用，限於時間因素恐太倉促。</li> <li>4. 北港朝天宮有相關監測之紀錄，可加以參考。</li> <li>5. 用語宜統一。</li> </ol>

	<p><b>林鴻志建築師</b>(中華民國建築師公會全國聯合會代表):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可參考陳啟仁教授近期所研究之資料，與本計畫相關性極高。</li> <li>2. 木構架具有韌性的特質。</li> <li>3. 接頭綁藤條箍緊之作用宜納入模擬。</li> <li>4. 接點之模擬宜採用非線性分析。</li> </ol>
	<p><b>梁華綸秘書</b>(國立文化資產保存中心籌備處代表):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議針對不同的地震做地震平台試驗，以利在中級地震時即能以偵測儀器發現結構破壞情形。</li> <li>2. 國內對於木結構的結構行為試驗，以平接為多，宜考慮接口方式，作為數據的調整。</li> </ol>
綜合答覆	<p><b>李正庸、洪慶雲:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝各位委員指正，將朝各位委員指正方向繼續研究。</li> <li>2. 實驗模擬模型與實務差距將盡量減少。</li> <li>3. 地震力模擬分析將採漸進方式模擬。</li> <li>4. 榫卯種類及其接合，尤其涉及看不見的部分，本研究盡量模擬實物並注意其個別之差異性。</li> <li>5. 各項用語將盡量統一。</li> <li>6. 閻教授指教有關前人之研究資料將盡量利用。</li> <li>7. 廖教授指教有關感測器及遙測方面將另專程請教。</li> <li>8. 再次謝謝各位委員指正，本研究之期末預期成果將會止於書面機制之建立。進一步之實務操作方面將留待以後年度繼續進行。</li> </ol>

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例> 研究案  
研 討 記 錄 (14)**

	<b>日期：</b> 2003/07/01	<b>地點：</b> 建築計畫與技術研究室	
	<b>與會人員：</b> 李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、陳滄文		
<b>討 論 事 項</b>	<b>主持人：</b> 李正庸教授 <b>紀錄：</b> 陳滄文		
	<b>期 中 報 告 評 審 意 見 回 應 與 實 驗 計 畫 討 論</b>	<b>李正庸：</b> 以下請各位針對期中報告的評審意見做回應，以及計畫未來本研究的執行內容。	
		<b>洪慶雲：</b> 1. 如不忽略托木進行結構行為探討，恐會使分析過於複雜。伸拉的不同可分別假設修正的 $\theta$ 值來探討。 2. 引用閩嘉義的榫卯 $\theta$ 值宜補充其實驗選用的榫卯類型。 3. 可考慮至北港朝天宮實地參觀其監測實況。 4. 接頭綁藤條箍緊之作用可納入模擬並加以註明。	
		<b>李正庸：</b> 1. 可考慮加入探討如何補強以及補強的效果。 2. 近期內可規劃拜訪廖志中教授，請教有關感測器及遙測方面的問題與資料。 3. 模型的製作宜加速來尋找匠師或模型公司來製作。 4. 文獻的回顧宜繼續來進行。 5. 期末的研究可朝(粗)抬梁式構架→(細)疊斗→榫卯。 6. 分析宜找出木構架受地震來時哪裡先移位或破壞。 7. 期末成果宜探討建立出紙上的檢測機制，包含監測與診斷。	
		<b>李翰濱：</b> 1. 用語宜統一，宜參考土木工程規範。 2. 榫卯資料可參考陳啟仁教授所主持之研究案報告。	
		<b>陳滄文：</b> 1. 鹿港龍山寺正殿大木構架之尺寸會盡力來尋找，以利模型的製作。 2. 會盡速尋找匠師或模型公司來製作模型。	
		<b>李正庸：</b> 1. 預計 7/16 首先至鹿港龍山寺參觀，稍後並至雲林科大拜訪廖志中教授，最後再到北港朝天宮參觀其監測情形。 2. 針對期中報告評審意見應逐條檢討並盡力修正。	
<b>結 語</b>	<b>洪慶雲：</b> 1. 模型製作部份由陳滄文來負責統籌，實驗設計由李翰濱來負責統籌。		

〈古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例〉研究案

研討記錄 (15)

	日期：2003/07/16	地點：彰化鹿港龍山寺
	與會人員：李正庸教授、洪慶雲教授、符宏仁建築師事務所陳錫正先生； 吳純明、陳滄文、李翰濱、施順隱。	
	主持人：李正庸教授 紀錄：吳純明	
案例實地調查	<p><b>李正庸：</b> 今天非常感謝符宏仁建築師事務所，可以給我們這次非常寶貴的機會，也剛好趕上落屋脊及山牆部分，因此難得可以很清楚看出龍山寺的破壞狀態，與該寺建造情形，冀望可以對本研究案有所幫助。</p> <p>另一方面，本研究案未來之實驗計畫中，有關模型的型制部分，有相當大的可能是依照龍山寺來做設計，因此龍山寺是我們重點實地調查之一。</p>	
	<p><b>洪慶雲：</b> 由於龍山寺的屋脊全數落下，可以清楚判斷出來，其實台灣地區純木構架建造的廟宇不多，大多屬於混合式構架，而龍山寺亦不例外，是屬於木結構加上磚石結構。</p> <p>期中簡報中提到，是否將雀替該構件省略，是值得再討論，不過在鹿港龍山寺中，大木結構中的雀替，不難看出裝飾的成分偏多。</p>	
	<p><b>陳錫正：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 經過委員們的開會，最後決議將屋脊全數落下，因此今天才有機會看到大木結構的現況，再來提供未來修繕的參考。</li> <li>2. 也只有將山牆及屋脊落下，始可知道損壞的部材受損狀態，及提供參考日後修繕的程度。</li> <li>3. 由於大木結構上的彩繪，是屬於相當具有保存價值，所以在龍山寺中，彩繪是保存的重點項目之一。</li> <li>4. 此次修繕可以發現在民國 75 年時，歷經一次修繕的動作，但該次修繕結果十分粗糙(例如利用鋼筋混凝土灌注於大木結構之中，再將其偽裝)。</li> </ol>	
	<p><b>洪慶雲：</b></p> <p>1. 此次修繕是否針對結構方面做徹底補強，若不從基礎做補強的措施，難保下一次大地震來時，還能繼續保存下去，另外有關利用化學藥劑來做補強，不曉得龍山寺在此次修繕的機會當中，是不是對傳統大木結構的結構行為有所影響。</p>	
	<p><b>陳錫正：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 針對利用化學藥劑加固或補強部分，不可否認在往後古蹟修復中是不可避免的，其對於原本之結構行為，是有可能會超越原有的結構性能。</li> <li>2. 如果採用抽換結構體來作修復，將會影響變動周邊的結構體，所以不採用全體抽換的方式。</li> </ol>	

	<p><b>李正庸：</b>  1. 經過陳先生的詳述，讓我們能夠對龍山寺有更進一步的認知，剛好也恰好碰上整個屋脊及山牆落下，再加上居高臨下的棧台，大木結構系統的狀態便一覽無遺。  2. 台灣傳統建築雖稱為木構造為大宗，但我們仍可看出混合構造（木石造）亦是非常容易見到的，不管是不是後人依使用型態而改變，抑或結構性補強，我們還是仍以純木構架下去發展。  3. 參訪完龍山寺，現在路上也有一些近代所建的廟宇，外表金碧輝煌、裝飾華麗與住宅區比鄰而居，不知大家心理有甚麼想法，可以試一試去探討一下。</p> <p><b>洪慶雲：</b>  龍山寺修繕及震害之評析詳如下表。</p> <p><b>李正庸：</b>  龍山寺修繕及震害之評析詳如下表。</p> <p><b>陳滄文：</b>  柱頭上的藤條，經拆卸下來後，發現是具有結構補強以及裝飾的作用。</p> <p><b>吳純明：</b>  經詢問後，龍山寺大木結構用材屬於福州杉。</p>
結語	<p><b>洪慶雲：</b>  1. 我們可以利用今天會勘的經驗用到本研究案來，相信可以得到一些想法，例如研究計畫中的模型形制等等。</p> <p><b>李正庸：</b>  1. 參訪完龍山寺後，現在前往雲林科大拜訪廖志中教授以及北港朝天宮。  2. 這一次龍山寺的參訪，我們非常謝謝符仁宏建築師事務所陳先生，因為對本研究案有相當大的助益，尤其是地震對於大木結構破壞的情形。</p>

位置	彰化鹿港龍山寺現場勘查紀錄與評述 (觀察其大殿屋頂拆解後之純木構架狀態)	
拜殿	 <p data-bbox="413 678 695 712">木構架已老化損壞。</p>	 <p data-bbox="1002 678 1284 712">柱與礎接合之細部。</p>
拜殿	 <p data-bbox="413 1111 759 1144">構材內部已遭蟲蛀損毀。</p>	 <p data-bbox="1002 1111 1476 1144">拜殿屋頂拆解後之純木構架狀態。</p>
大殿	 <p data-bbox="413 1543 887 1576">大殿屋頂拆解後之純木構架狀態。</p>	 <p data-bbox="1002 1543 1476 1576">大殿屋頂拆解後之純木構架狀態。</p>
大殿	 <p data-bbox="413 1975 727 2009">木構架老化損壞情形。</p>	 <p data-bbox="1002 1975 1220 2009">構件毀壞情況。</p>

大殿		
	棟架拆解後仍保存良好。	榫卯毀損情況。
大殿		
	榫卯毀損情況。	短柱接合之細部。
位置	<b>雲林北港朝天宮現場勘查紀錄與評述</b> (觀察其即將進入整修之木構架狀況)	
三川殿		
	木構架屬較飽滿紮實型構架。	木構架上彩繪已有些許脫落。
正殿		
	正殿內木構架保存情況。	正殿內木構架保存情況。

檐廊		
	木構架與牆體接合情況。	柱與牆體混合牆況。

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例> 研究案  
研 討 記 錄 (16)**

	日期：2003/07/29	地點：建築計畫與技術研究室
	與會人員：李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、陳滄文、吳純明	
	主持人：李正庸教授                      紀錄：陳滄文	
討論事項	<b>李正庸：</b>	
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 鹿港龍山寺正殿之結構頗複雜。</li> <li>2. 模型尺寸之依據宜修正為不完全依照某一特定建築，改以參考多方資料所建構之研究用模型實驗尺寸。</li> <li>3. 宜釐清本研究之邏輯架構，主客體之關係宜交代清楚。</li> <li>4. 宜對疊斗式木構架進行結構行為分析，需將每一構件詳細分析檢討，分析出屬結構方面的優缺點。</li> <li>5. 預警檢測機制詳細內容宜盡速來研擬，舉凡使用何種感測器、裝設位置、預警值與參考值的選定，都需再進一步探討。</li> <li>6. 監測後的診斷方式需交代清楚。</li> <li>7. 近期內將參訪台北大龍峒保安宮。</li> </ol>	
	<b>洪慶雲：</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 鹿港龍山寺正殿之完整結構分析難度頗高。</li> <li>2. 模型建構宜簡單化，模型匠師之尋找宜盡速來進行。</li> <li>3. 可藉由結構分析找出疊斗式木構架受力後之破壞情形。</li> <li>4. 實驗用之監測設備購置宜再與廠商確認。</li> <li>5. 數位模擬之木材特性與參考數據可比照規範。</li> </ol>	
	<b>吳純明：</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 近期內會再與模型公司或工匠進行接洽。</li> <li>2. 實驗完成時間宜提前至九月底。</li> </ol>	
	<b>李翰濱：</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 數位模擬之數據會參考規範加以修正。</li> <li>2. 結構分析程式軟體之操作會盡快來上手。</li> </ol>	
結語	<b>陳滄文：</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 期末報告書繳交日期為十月十五日，並於十一月中旬進行聯合簡報。</li> <li>2. 九月底前需提供研究案資料，以利建研所製作展板。</li> <li>3. 八月十五日以前需提出下年度之研究計畫提案表。</li> </ol>	
	<b>李正庸：</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 預定八月一日至台北大龍峒保安宮進行案例參訪。</li> <li>2. 期末報告相關時間宜再與建研所確認。</li> <li>3. 實驗計畫宜再加強，模型製作宜盡速與工匠進行接洽。</li> </ol>	

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例>研究案  
研 討 記 錄 (17)**

	日期：2003/08/01	地點：台北大龍峒保安宮
	與會人員：李正庸教授、洪慶雲教授、廖副董事長、李東明博士、陳滄文、李翰濱。	
	主持人：李正庸教授 紀錄：李翰濱	
案 例 參 訪	<p>李正庸： 今天非常感謝保安宮的廖副董事長，可以給我們這次非常寶貴的機會，可以進一步了解保安宮的現況以及修繕過程，冀望可以對本研究案有所幫助，現在請保安宮廖董事長，對於保安宮或其它古蹟修復，持何種態度或是看法提出看法。</p> <p>廖董事長：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 保安宮修復的技術方向，主要是改進現有修復的不對。</li> <li>2. 保安宮的修復含蓋整個完整的古蹟修復技術，包含現代工程，例如蟲害工程、水電工程及景觀工程等。</li> <li>3. “評鑑”在古蹟修復工程中是十分重要的，在修復的過程中就要有評鑑，而不是只有在工程結束後的驗收部分。</li> <li>4. 國內中央主管單位對於古蹟修復研究重複多，文化局、建研所、文資會…顯得有點浪費資源。</li> <li>5. 設計步驟應該以用途為主要設計訴求，尤其廟的龍虎邊不應該設廁所。</li> <li>6. 社區總體營造提供文化活動，阻止老舊社區人文水平降低，提昇社區素養。</li> <li>7. “南面為王”，能把廟往南為主是一個尊敬。</li> <li>8. 霧峰林家施工失敗包含             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 腳樁施工錯誤</li> <li>(2) 柱子和基樁之間的榫接處尺寸不合</li> <li>(3) 木結構用杉木，透過真空加壓，木材的本質優點都被取走</li> <li>(4) 公母榫做的不夠，卻大多用釘子來加強</li> <li>(5) 新舊建築物中間釘死，沒有伸縮縫</li> <li>(6) 屋頂瓦片附著力不夠</li> <li>(7) 裡頭的樑有些是假的</li> <li>(8) 斗子砌. 砂石亂塞不夠紮實</li> </ol> </li> </ol>	

	<p>9. 禁用 CCA 防潮處理，正確的木材殺菌防蟲，應該浸泡，而非只有一味的真空加壓，而有些多餘的處理藥水等，反而有反效果。</p> <p>10. 古蹟修復非只有設計，還要包含工程，如防蟲. 水電... 等工程，所以一個古蹟的修復，不應該只單靠一家小的建築事務所涵蓋。</p> <p>11. 木構造容易損害的部分</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 蟲害-白蟻. 蛀蟲. 腐朽菌，多是破壞在接頭的榫接破壞</li> <li>(2) 因為地震而受害較少</li> <li>(3) 保安宮正殿旁邊的古井抽水，不均勻沉陷，使得屋脊斷裂</li> <li>(4) 建築物的日常維修比大壞後的修復來的好，保養是很重要的，才能增加壽命。</li> </ul>
<b>結語</b>	<p><b>洪慶雲：</b></p> <p>1. 廖董事長確實為保安宮貢獻良多，相對對於古蹟修復看法亦顯卓越，因此保安宮的修復成績是大家有目共睹的。</p> <hr/> <p><b>李正庸：</b></p> <p>1. 今天非常廖董事長非常精闢的意見，相信不管對於古蹟之修復或者是對於本研究案，都有長足的助益，尤其是一些關於未來古蹟修復的建議，就顯得非常重要了。</p>

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例> 研究案  
研 討 記 錄 (18)**

	<b>日期：</b> 2003/08/12	<b>地點：</b> 建築計畫與技術研究室	
	<b>與會人員：</b> 李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、陳滄文、吳純明		
<b>討 論 事 項</b>	<b>主持人：</b> 李正庸教授 <b>紀錄：</b> 陳滄文		
	<b>實 驗 計 畫 討 論</b>	<b>李正庸：</b> 1. 模型之設計圖宜再檢討，除有尺寸依據來源外，也需衡量模型製作的可行性。 2. 宜請模型公司提出工料分析，如價格合乎預算，可考慮製作第二組。 3. 應針對研究案之邏輯架構進行回饋檢討。 4. 實驗計畫內容對於模型結構狀態從起始至終了的变化，應研擬有效的監測方式。 5. 下年度之研究方向可著重於木構架結構狀態的實證方面。	
		<b>洪慶雲：</b> 1. 模型之尺寸依據宜交代清楚。 2. 宜補畫模型之細部大樣圖。 3. 模型需增設屋頂荷重，可尋找相關數據假設之。 4. 宜與模型製作公司訂定契約，製造過程需能加以監工。 5. 實體模型宜盡快製作，九月中旬宜完成並開始進行實驗。 6. 數位結構分析之數據宜再確認，盡量準確。 7. 實驗用監測設備之購置應盡速與廠商確認並進行。	
		<b>李翰濱：</b> 1. 近期內會再與監測設備廠商進行確認。 2. 建議能提高購置監測設備的花費，以利實驗進行。	
		<b>陳滄文：</b> 1. 近期內會再與模型公司進行確認。 2. 研究案之邏輯架構與報告書之撰寫架構宜再回饋檢討。	
<b>結 語</b>	<b>李正庸：</b> 1. 應針對研究案之邏輯架構進行回饋檢討。 2. 實驗計畫內容對於模型結構狀態從起始至終了的变化，應研擬有效的監測方式。 3. 縮小比例實體模型之實驗結果應與數位模擬結果做比較探討。 4. 宜建立具參考價值之檢測結果。 5. 宜建立簡易檢測方式，提供參考。		

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例>研究案  
研 討 記 錄 (19)**

	日期：2003/08/26	地點：建築計畫與技術研究室
	與會人員：李正庸教授、李翰濱、陳滄文	
討論事項	主持人：李正庸教授                      紀錄：陳滄文	
	實驗計畫討論	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 模型的製作應親自與木匠當面溝通細節，近期內安排到鹿港一趟。</li> <li>2. 製作模型完成的時間應盡快於九月底前來完成，設計上盡量以不失真為原則。</li> <li>3. 模型材料的選擇應與木匠討論後再與以商榷。</li> <li>4. 實驗計畫仍需再加強。</li> <li>5. 感測器的報價宜盡速提出。</li> <li>6. 暫定於九月中旬召開專家座談會，請予以籌畫。</li> </ol>
		<p><b>李翰濱：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實驗計畫將加入另一組對照的實驗，重點在觀察梁柱間的變化。</li> <li>2. 感測器的報價會盡速詢問。</li> </ol>
		<p><b>陳滄文：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 近期內會親自去鹿港與木匠討論模型製作上的細節。</li> <li>2. 下次研討將提出期末報告書與建研所展板之初稿。</li> </ol>
結語	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 模型的製作應盡快於九月底來完成，設計上盡量以不失真為原則。</li> <li>2. 模型材料因縮小比例的限制，改採用紅木來替代杉木，增加製作上的可行性。</li> <li>3. 實驗計畫宜再繼續深入探討，感測器的購置除盡快與廠商洽談外，另需在預算的限制下加以取捨。</li> <li>4. 數位模擬宜增加對抬梁式與疊斗式的比較，分析比較童柱與疊斗之間，結構上的意義。</li> <li>5. 暫定於九月中旬召開專家座談會，請予以籌畫。</li> <li>6. 下次研討需提出期末報告書與建研所展板之初稿。</li> </ol>	

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例>研究案  
研 討 記 錄 (20)**

	<b>日期：</b> 2003/09/17	<b>地點：</b> 建築計畫與技術研究室	
	<b>與會人員：</b> 李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、陳滄文、吳純明		
<b>討 論 事 項</b>	<b>主持人：</b> 李正庸教授 <b>紀錄：</b> 陳滄文		
	<b>實 驗 計 畫 討 論</b>	<b>李正庸：</b> 1. 模型製作的時間應該掌控清楚，近期內宜再親自造訪木匠。 2. 展版的內容宜再與建研所相關人員討論。 3. 展版的重點宜強調實驗模擬與結論的部分，內容需表達清楚。 4. 實驗的事前準備動作宜再加強，盡速處理。	
		<b>洪慶雲：</b> 1. 感測器的報價偏高，宜再詢問。 2. 實驗設備的佈置宜盡快來處理。 3. 增加的小實驗模型，請木匠追加製作。 4. 屋頂的假設荷重放置以均勻散佈為主。	
		<b>李翰濱：</b> 1. 實驗設備的佈置會盡速與廠商聯絡與安排。 2. 數位模擬的力學行為分析會盡速來操作。	
		<b>吳純明：</b> 1. 屋頂的假設荷重會與廠商聯絡與訂做。 2. 期末報告書繳交日期為 10/17。	
		<b>陳滄文：</b> 1. 期末報告書的內容，原則上將依循原有的章節架構來填充。 2. 期末聯合發表會將於 11 月份於北科大建築系館舉行。 3. 展版內容會與新修正的期末報告書內容對照後而加以補充。	
	<b>結 語</b>	<b>李正庸：</b> 1. 期末報告成果力求唯一與感動。 2. 實驗成果需能得出量化的指標，提供檢測參考。 3. 由實驗所得到的數據，可用來推估預警機制之細節。 4. 模型製作的時間應該掌控清楚，近期內宜再親自造訪木匠。 5. 研究案整體時間掌控宜確實。 6. 實驗的事前準備動作宜再加強，盡速處理。 7. 展版的內容宜再與建研所相關人員討論。	

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例> 研究案  
研 討 記 錄 (21)**

	<b>日期：</b> 2003/09/24	<b>地點：</b> 建築計畫與技術研究室
	<b>與會人員：</b> 李正庸教授、洪慶雲教授、楊仁江教授、李翰濱、陳滄文	
討論事項	<b>主持人：</b> 李正庸教授 <b>紀錄：</b> 陳滄文	
	實驗計畫討論	<b>李正庸：</b> 1. 模型的製作與組裝過程宜詳加紀錄。 2. 感測器的費用、安裝與使用，宜再詳細了解清楚。 3. 專家座談會暫擬定於 10/8(三)晚上七點於城區部舉行。 4. 邀請之專家宜事先電話聯絡是否出席。 5. 北部以外之專家宜輔助交通費。 6. 宜針對抬梁式與疊斗式木構架進行數位模擬分析，瞭解其差異性。
		<b>洪慶雲：</b> 1. 最後的模型成品尺寸，需與原設計圖加以比對與修正。 2. 柱礎與底板之接合需牢固。 3. 底板需增設 X 與 Y 向之鎖孔。 4. 宜盡速與廠商聯絡安裝感測器和佈線之時間與細節。
		<b>楊仁江：</b> 1. 明間與次間之比例關係宜掌握清楚。 2. 後續研究建議將兩旁木構架修改為砌體山牆，使研究更符合實際情況。
		<b>李翰濱：</b> 1. 近期內會盡速與場商聯繫。 2. 動力分析部分也會盡速來完成。
		<b>陳滄文：</b> 1. 專家座談會會盡速來籌畫準備。 2. 模型的進度會再加以聯絡。
		<b>李正庸：</b> 1. 模型的製作與組裝過程宜詳加紀錄。 2. 專家座談會暫擬定於 10/8(三)晚上七點於城區部舉行，部分出席專家宜由老師親自電話邀請。 3. 研究案各相關時間宜掌握清楚。 4. 宜盡速與廠商聯絡安裝感測器和佈線之時間與細節。 5. 宜針對抬梁式與疊斗式木構架進行數位模擬分析，瞭解其差異性。
結語		

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例>研究案  
研 討 記 錄 (22)**

	日期：2003/10/29	地點：建築計畫與技術研究室	
	與會人員：李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、陳滄文		
討論事項	主持人：李正庸教授                      紀錄：陳滄文		
	實驗模擬與期末報告討論	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 期末簡報之相關事項宜再確認並加以準備。</li> <li>2. 結論與建議之撰寫表達方式宜再調整。</li> <li>3. 疊斗式木構架特性之內容需再強調，並加入與抬梁式木構架數值模擬之比較分析。</li> <li>4. 疊斗式木構架損壞之原因宜再補充探討。</li> <li>5. 摘要之內容宜修正。</li> <li>6. 基本振動週期之適用範圍與情況宜交代清楚。</li> <li>7. 古蹟及歷史建築需各別建立其檢查表，詳細記載其結構狀態變化過程。</li> </ol>	
		<p><b>洪慶雲：</b></p> <p><b>未來研究方向建議</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 古蹟及歷史建築結構狀態普查：先以巡檢方式，用微振設備逐一建立重要古蹟及歷史建築的結構動力特性參數—基本振動週期。</li> <li>2. 震後古蹟及歷史建築結構狀態巡檢：當發生某震度以上之地震(如80gal 或四級地震)後，再以巡檢方式，用微振設備逐一量測重要古蹟及歷史建築的結構動力特性參數—基本振動週期，檢核有無變化，以判定有無損毀。</li> <li>3. 長期研究建議：選定一有完整結構資料之重要古蹟及歷史建築(或修復完成)，廣設結構狀態感測器，以長期研究木結構的力學行為，建立合宜的電腦數值模擬之模式。</li> </ol>	
		<p><b>實驗建議</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 構架間之榫卯接合需確實。如否，恐喪失實驗之意義，宜再對模型做細微的調整。</li> <li>2. 偵測實驗設備與程式操作需再熟練，量測之數值需再確認其準確度。</li> </ol>	
		<p><b>李翰濱：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實驗之硬體與軟體部分會盡速來修正，並執行實驗。</li> <li>2. 實驗所得之資料會加以轉化以利分析。</li> </ol>	
<p><b>陳滄文：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 木構架間之榫卯接合會再加以檢核。</li> <li>2. 屋頂荷重與木構架間會用夾子牢固使其同步運動。</li> <li>3. 長向實驗完後會盡速來安置短向的實驗模擬。</li> </ol>			

結語	<p><b>李正庸：</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 期末簡報之相關事項宜再確認並加以準備。</li><li>2. 實驗完成後需對本研究案之內容再次討論與檢核。</li><li>3. 古蹟及歷史建築需各別建立其檢查表，詳細記載其結構狀態變化過程。</li></ol>
----	--

**<古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例> 研究案  
研 討 記 錄 (23)**

	<b>日期：</b> 2003/11/05	<b>地點：</b> 建築計畫與技術研究室	
	<b>與會人員：</b> 李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、陳滄文		
<b>討 論 事 項</b>	<b>主持人：</b> 李正庸教授 <b>紀錄：</b> 陳滄文		
	<b>實 驗 模 擬 與 期 末 報 告 討 論</b>	<b>李正庸：</b> 1. 探討不真實模型與實物之關聯性，瞭解兩者間之差距。實驗結果可推行至實務應用之結果又有哪些？將來要做的事情有哪些？ 2. 研究所得結論需檢視其是因果關係或是相互關係。 3. 研究成果對檢測內容的交代宜清楚。 4. 提出檢測另一課題，成本效益之考量可加以探討。 5. 勘查台中霧峯林家受 921 地震破壞之現象後，可提出相關建議。 6. 研究案本文需回饋修正，前後要能互相呼應。 7. 研究案已進入期末階段，相關事項宜加以彙整處理。	
		<b>洪慶雲：</b> 1. 目前所使用的加速規量測範圍為正負 4g，實驗設備性能的適宜性需再探討。 2. 實驗設備量測前需先歸零。 3. 量測所得的數據宜再經過濾波處理，轉化成可利用的訊息。 4. 可執行拆解某一構件之實驗，觀察其振動週期之變化。進而推論基本振動週期為檢測木構架有無損毀之要素。	
		<b>李翰濱：</b> 1. 近期內會對實驗數據加以轉化成有用的數據。 2. 桿件拉伸試驗會加以執行。	
		<b>陳滄文：</b> 1. 研究案本文會加以回饋修正，使前後能互相呼應。 2. 期末簡報相關準備事項會盡速來處理。	
<b>結 語</b>	<b>李正庸：</b> 1. 研究案已進入期末階段，相關事項宜加以彙整處理。 2. 研究案本文需回饋修正，前後要能互相呼應。 3. 可執行拆解某一構件之實驗，觀察其振動週期之變化。進而推論基本振動週期為檢測木構架有無損毀之要素。 4. 研究所得結論需檢視其是因果關係或是相互關係。 5. 勘查台中霧峯林家受 921 地震破壞之現象後，可提出相關建議。		

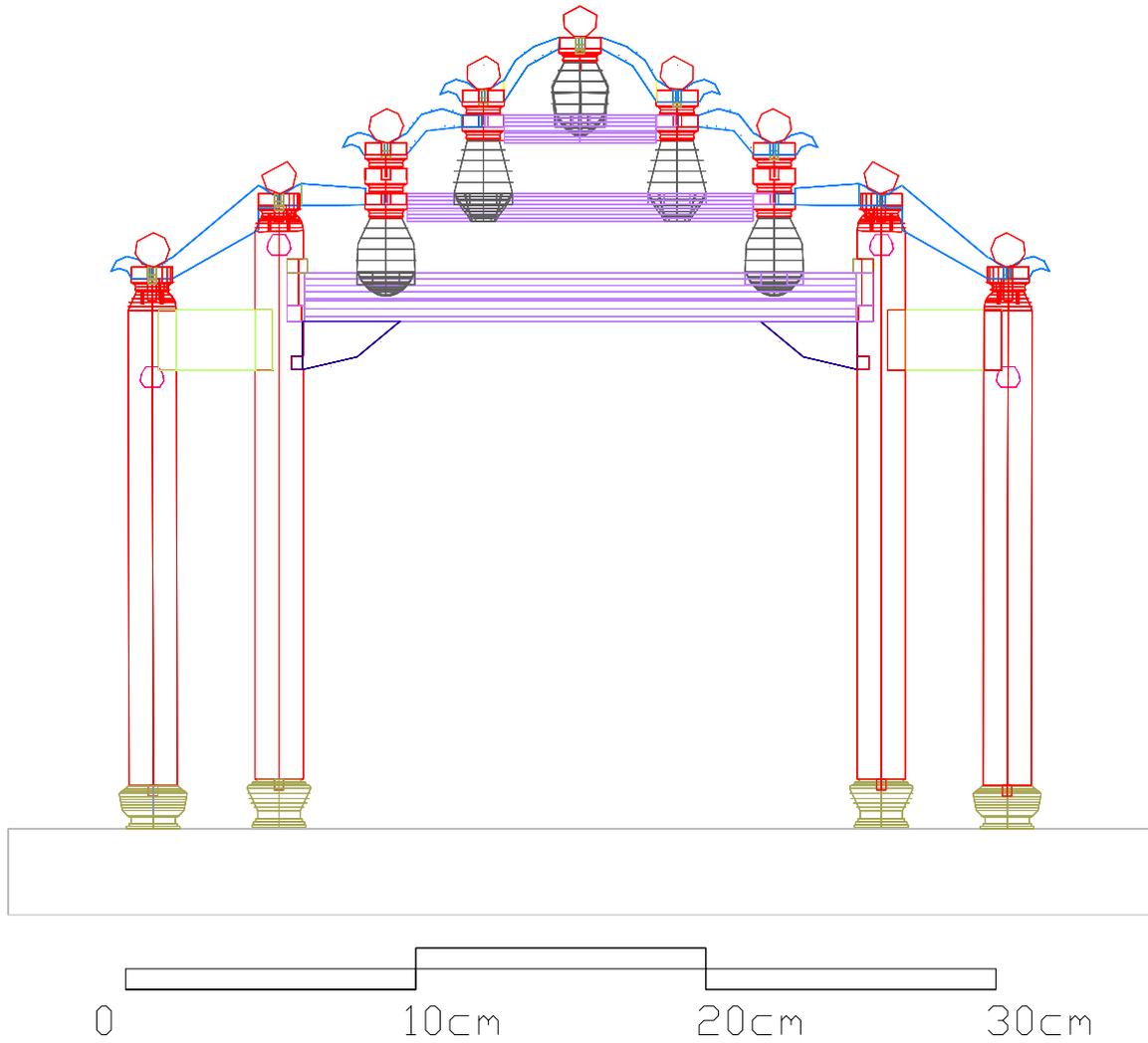
〈古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例〉研究案  
研 討 記 錄 (24)

	時間：2003年11月~12月	地點：建築計畫與技術研究室
	與會人員：李正庸教授、洪慶雲教授、李翰濱、陳滄文、吳純明	
討 論 事 項	主持人：李正庸教授                      紀錄：陳滄文	
	日 期	1. 實驗內容討論。
	2003/11/12	2. 期末簡報相關準備事項討論。
	2003/11/18	1. 研究計畫摘要本討論。 2. 期末簡報相關準備事項討論。
	2003/11/21	1. 研究計畫摘要本定稿討論。 2. 期末簡報之簡報稿討論。
	2003/11/24	1. 研究計畫期末簡報。 (北科大建築系設計館8樓)
	2003/11/26	1. 期末簡報評審意見回應。 2. 期末報告書修正討論。
	2003/12/03	1. 期末報告書定稿討論。 2. 研究計畫結案相關事項討論。

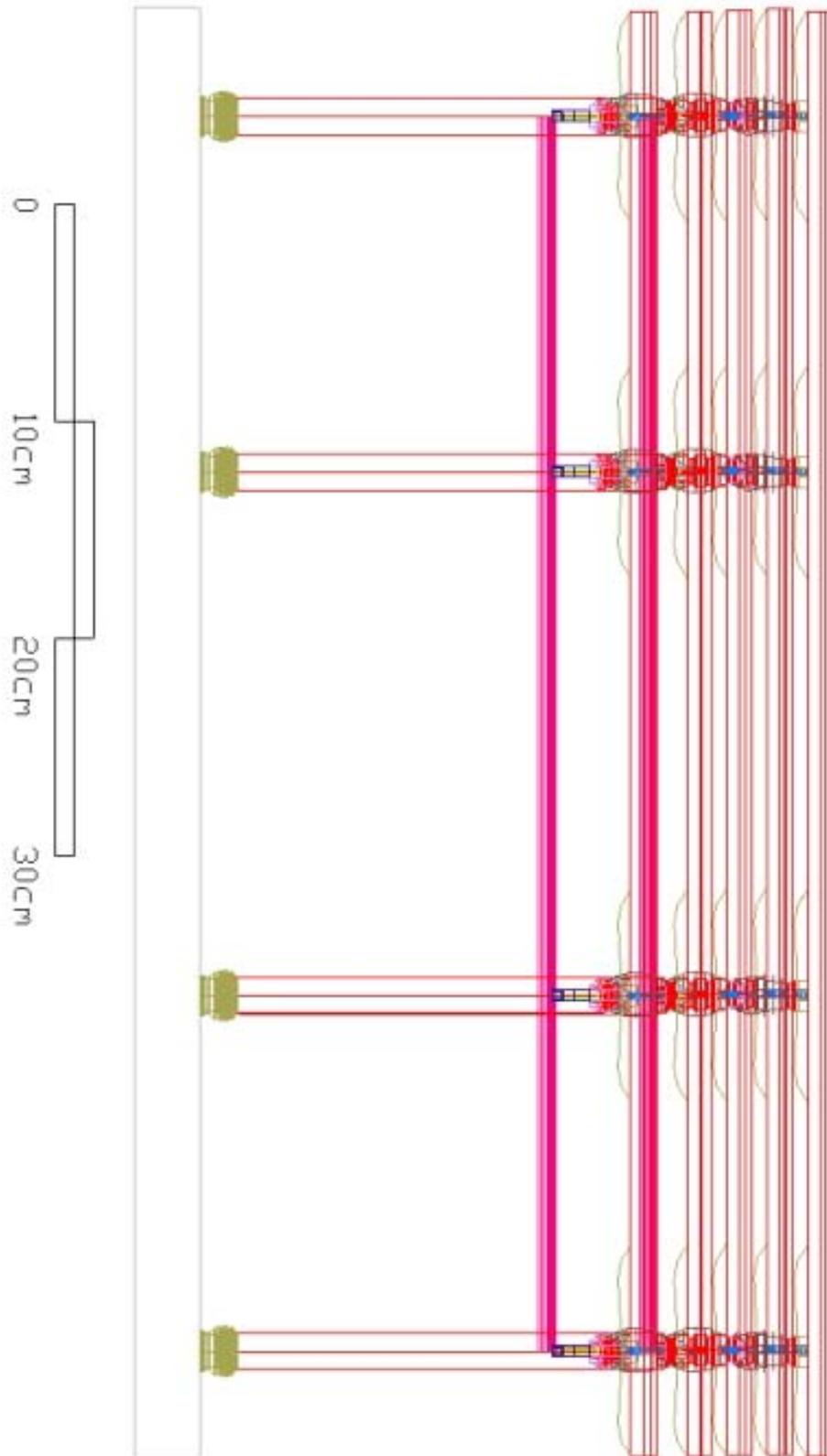
# 附錄D

## 疊斗式木構架實體模型尺寸資料

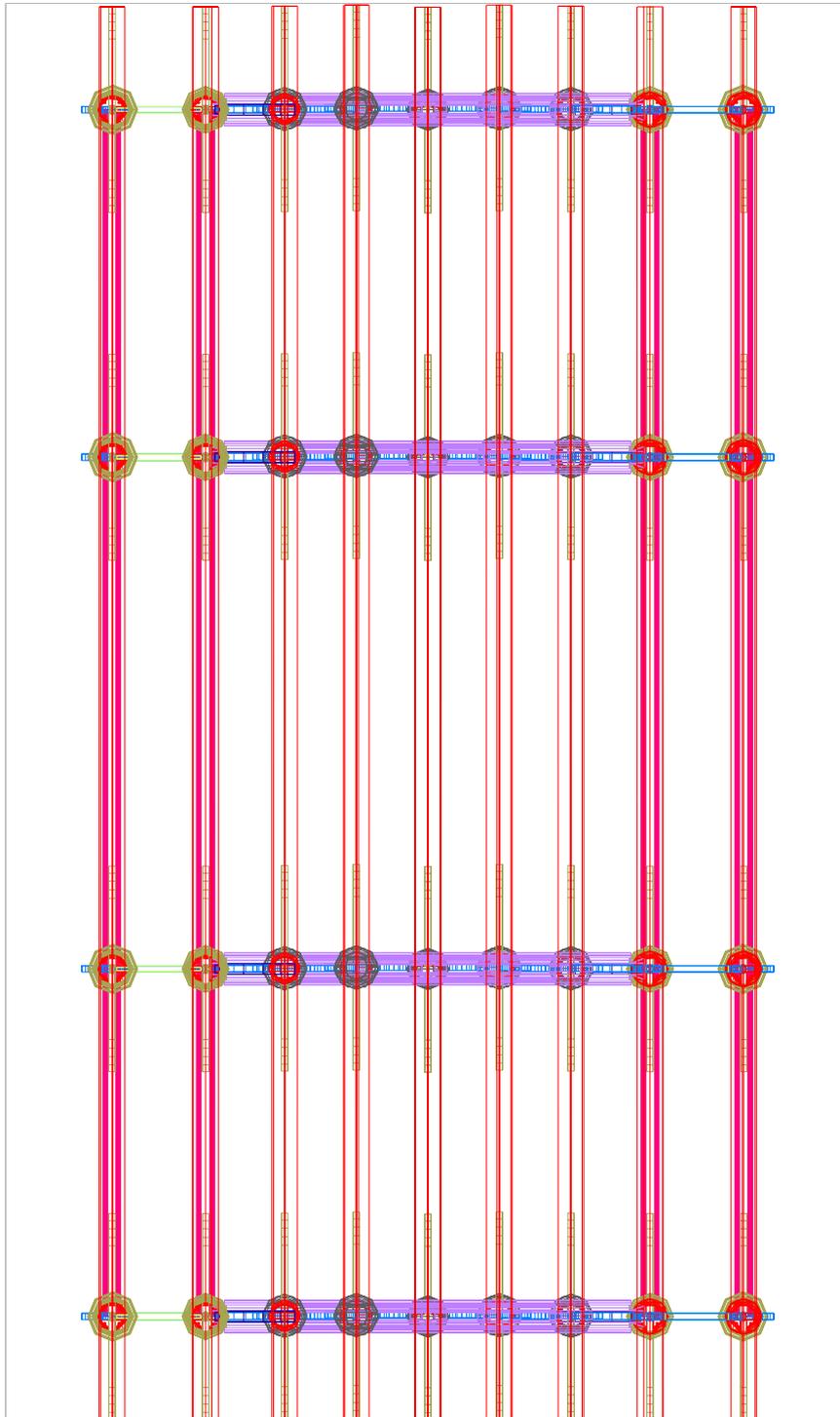
● 疊斗式木構架模型棟架立面圖



● 疊斗式木構架模型側面圖



● 疊斗式木構架模型平面圖



古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究—以疊斗式為例

內政部建築研究所

古蹟暨歷史建築木構架結構狀態之檢測研究-以疊斗式為例

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 27362389

地址：台北市敦化南路二段 333 號 13 樓

網址：<http://abri.gov.tw>

出版年月：九十二年十二月

版(刷)次：第一版

GPN：1009204435

ISBN：957-01-5916-2