

傳統穿鬥式木構造安全  
評估手冊與推廣  
(期末報告)

內政部建築研究所研究報告

中華民國 96 年 11 月

# 傳統穿鬥式木構造安全 評估手冊與推廣

研究主持人：毛犖

共同主持人：徐明福

研 究 員：張紋韶

內政部建築研究所研究報告

中華民國 96 年 11 月

## 目次

第一章	總論	1
	第一節 研究計畫背景	1
	第二節 研究方法與進行步驟	2
	第三節 適用對象	3
	第四節 計畫的執行進度	3
第二章	穿鬪式架扇名詞釋義及組構程序	5
	第一節 穿鬪式架扇之定義及構造形式	5
	第二節 穿鬪式架扇各構件名詞釋義	9
	第三節 穿鬪式架扇組構程序	30
第三章	穿鬪式木構造概論	49
	第一節 穿鬪式木構造調查分析	49
	第二節 九二一地震下穿鬪式木構造的震害情形	53
	第三節 穿鬪式木構架結構特性	57
	第四節 傳統穿鬪式木構造的使用材料	58
第四章	穿鬪式木構造構件強度評估	61
	第一節 穿鬪式木結構安全評估流程	61
	第二節 架扇面內梁柱接點類型研判	63
	第三節 牆體結構強度評估	67
	第四節 接點結構強度評估	68
	第五節 結論	74
第五章	穿鬪式木構造整體結構安全評估	75
	第一節 穿鬪式木構造評估實例簡介	75
	第二節 試體 MWW 結構安全評估說明	78

第三節 試體 MMW 結構安全評估說明	84
第四節 小結	89

## 第一章 總 論

### 第一節 研究計畫背景

國內現存的古蹟及歷史建築中，仍有大量的穿鬥式木構架。這些傳統穿鬥式木構架木構架的分佈大多集中在彰化、南投、雲林、嘉義、台南、高雄等地區，而且大多作為居住的用途。國內的傳統木構造在被指定為古蹟或歷史建築以後，往往會經過修復調查的階段後，再進入修復設計的程序，而在這個程序中，由於過去對於國內傳統木構造的研究較不足，因此負責執行修復設計的建築師並沒有有關傳統木構造結構安全與行為的基礎知識，而即便是諮詢結構技師亦可發現這些專業人員亦沒有足夠的相關知識，因此往往僅是『哪裡壞的修哪裡』的況狀，其結果在九二一地震時可以發現，許多剛剛修復完成的傳統木構造皆發生傾斜或崩塌的現象，可以說是國內文化資產的一大損失。

基於上述理由，我們認為要避免這樣的錯誤端賴國內產官學界的相互合作，透過國內學術界的研究成果結合政府部門的推廣，將有關國內傳統木構造最新的資訊與正確的觀念傳達給古蹟相關從業人員，而業界也可以將本身遇到的問題透過研討的方式提供學術界作參考，唯有透過這樣的方式才能使國內古蹟修復的品質能更進一步的提升。

過去在內政部建築研究所的支持下，『結構修復技術整合型研究計畫』在連續四年的研究累積中已針對國內傳統穿鬥式木構架之接點、牆體甚至於足尺的架扇等進行力學研究。並在進一步分析實驗結果以後透過技術報告、期刊與研討會文章等形勢將所有的研究成果呈現出來。然而由於這些技術報告與發表的文章並未經過一套適當的邏輯來加以整理，因此若能將過去成果有系統的整理，並推廣到古蹟修復業界，除了可以讓古蹟從業人員瞭解到穿鬥式木構造的結構行為及如何進行安全評估除了能使國內古蹟相關從業人員在未來在進行設計及施工時，可以避免不可挽回的錯誤外，對於我們傳統知識的保存亦有相當大的幫助。

在國外的案例中我們可以發現相當多的案例係由學術界將其研究成果透過建築師公會或其他機構舉辦研討會，並將過去的研究成果推廣至業

界，藉以提昇業界的施工水準。因此本研究乃針對內政部建築研究所的『結構修復技術整合型研究計畫』九十二～九十五年度四年共八個計畫，加上本研究團隊於九十六年度同時亦有一個計畫『傳統穿鬥式木構造編泥牆側向勁度推定之研究』正在進行中，因此乃將這九個計畫之研究成果整理成冊，並加以推廣。

## 第二節 研究方法與進行步驟

過去本研究團隊利用實證實驗的方法，在過去四年中累積相當多的實驗與調查資料，而今年的另一個研究案亦正持續進行中，務求將前面四年所遺留下來未解決的部分加以補強。而本報告在進行時，擬先整理過去所出版的文獻，透過有系統的整理傳統穿鬥式木構造的歷史演變、分佈狀況、材料種類、構造形式、結構計算方式與結構安全評估方法。因此研究內容包括：

1. 整理過去有關傳統穿鬥式木構造的名詞釋意、分佈狀況、材料種類、構造形式、結構計算方式與結構安全評估的研究成果，並且邀請國內專家學者與參與施工修復的建築師及匠師舉辦小型的研討，探討有關國內穿鬥式木構造相關知識。
2. 將上述的成果整理成手冊，以方便日後推廣與未來政府研訂古蹟修復工法程序與規範之參考。
3. 未來將在台北、台中、台南各辦一場研討會，開放國內古蹟從業人員及相關學者專家自由參與，介紹國內傳統穿鬥式木構造相關知識。

### 第三節 適用對象

基於推廣的概念，本研究完成後所擬定出來的推廣手冊其適用對象主要是現在在線上或未來有意加入國內古蹟修復工作的建築師與其他相關的從業人員（包括監工、設計師、結構工程師等）。由於這些對象的知識範圍差異頗大，因此在內容方面希望可以涵蓋從較簡單的概念到較複雜的計算，使使用者都可以找到適合自己的內容。因此內容除了包括圖表、流程圖以外，尚包括了有關進來研究所推導的各種計算方式。在內文中，除了較複雜的計算以外，亦儘量提供概算式，供建築師在很短的時間之內完成概算，而較複雜且精細的計算則放在附錄中。

### 第四節 計畫的執行進度

前面提過本計畫的內容包括了資料收集、與專家座談、手冊的撰寫與三場座談會。其中有關資料收集方面，自三月份本計畫開始實行起便持續進行，雖然至今已暫告一個段落，但仍會持續注意有沒有適當的內容以補充進入報告中。另外，在計畫中我們預計舉辦兩場與專家學者的小型座談會，現已在規劃中，預計將於九月初與九月底將舉辦兩場，分別與不同的專家學者舉行座談，以聽取更多的意見。

另外本計畫擬在期中簡報時提出文獻整理結果、名詞解釋、傳統穿鬥式木構造破壞模式、結構安全評估流程說明及評估方法等內容，其中評估方法部分僅用部分的内容搭配初步計畫的格式來說明，待期中審查過後聽取審查專家學者的意見再做修正。而在期末審查最後定稿之後，本計畫擬分別在台北（內政部建築研究所）、台中（暫訂為台灣省建築師公會）及台南（成功大學建築系）舉辦研討會，開放國內古蹟從業人員及相關學者專家自由參與，介紹本計畫的成果及國內傳統穿鬥式木構造相關知識。計畫部分的甘梯圖如圖 1-1 所示。

工作項目	月次											備註
	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月		
資料整理	■	■	■	■	■	■	■					
與專家學者座談					■	■	■					
期中簡報						■						
手冊撰寫						■	■	■	■			
期末簡報									■	■		
舉行研討會										■	■	

圖 1-1 計畫執行之甘梯圖

資料來於：本研究繪製



## 第二章 穿鬪式架扇名詞釋義及組構程序

台灣傳統穿鬪式架扇乃是指位於進深方向且用於區隔空間之木構架。依照過去的田野調查得知，穿鬪式架扇主要是由水平與垂直結構元件、輔助構件，以及牆體所構成。其中牆體是指施作於穿鬪式架扇的隔間牆，如磚牆、木堵板牆及編泥牆。因此本章會針對這些木構件詳細說明其位置及名稱，另外有關穿鬪式架扇的組構方式，則是以過去調查的結果為依據，說明其組構的方式與程序。

### 第一節 穿鬪式架扇之定義及構造形式

應用於傳統建築的木構架，訪談的匠師通稱為「架扇」，此名稱並無因不同的構法而異。一般民宅的木構架則為「民室仔」的架扇作法，過去是以「穿斗式」稱之。但就字面上的字義而言，「穿」為水平構件「穿過」垂直構件的作法；而「斗」字在《台灣傳統建築術語辭典》中則解釋：「斗拱組件中，為斗形木構件，其上端有十字形卯口者稱為斗。」（李重耀，1999：22）但在此種屋架構法中並無此種作法的出現，因此「斗」字若為名詞使用，則與此種構築方式大相逕庭（圖2-1）。

依照匠師訪談的結果，此種構法的的閩南發音為其「穿（Chhn'g）」、「鬪（Ta'u）」，且兩字都是動詞使用，意指此種構架是利用穿的動作加以組立，而「穿斗式」一詞的來源及其適切性，則有待更進一步的釐清及討論。而本研究則以匠師說法為主，將此種構法的木構架稱呼為『穿鬪式』架扇。



圖 2-1 穿鬪式架扇

資料來源：本研究拍攝

在構造形式方面，如圖 2-2 所示，穿鬥式架扇是垂直水平構件及牆體所組成。垂直向部分，包含「落地柱」、「短柱」、「牆體邊框」等，有時若架扇有出簷的情況，於簷口還會增加一落地柱。水平向構件包含主要的「大樑」、「彎曲構件」以及「牆體邊框」。另外，落地柱或短柱上方則是會放置平行面闊方向的圓木。穿鬥式架扇的規模方面，民宅的正廳規模是決定整體建築群做重要的關鍵，而本研究過去主要是針對民宅正廳的穿鬥式架扇進行調查，依照結果顯示共可區分為 9、10、11、13、15 架不同規模的架扇。至於「架」的解釋，照圖 2-2 所示，每一落地柱或短柱上方的圓木稱為一架，因此該圖的總架數為 11 架，以此類推。

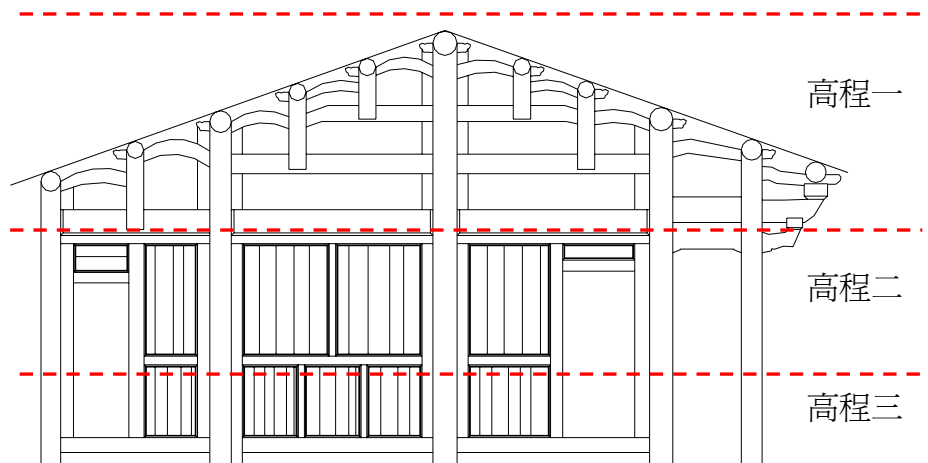


圖 2-2 穿鬥式架扇構造示意圖

資料來源：本研究繪製

如圖 2-2 所示，穿鬥式架扇除上述的主體構件外，會於各元件間加入填充材構成完整的隔間系統，其材料經過調查後主要為磚牆、木堵板牆與編泥牆。於該圖中可發現，穿鬥式架扇的牆體由水平樑劃分成三個區域，其中高程（一）為架扇主要的結構位置，其餘兩區域則是分別於落柱間置入牆體。因此各高程填充材的種類經過調查後，可區分區分為 A、B、C、D、E、F 六種組合。各段牆體體分佈及材料種類整理如表 2-1 及圖 2-3。

表 2-1 架扇壁體材料組合之數量統計表

組合類型	高程一	高程二	高程三
A	編泥牆	編泥牆	木堵板
B	編泥牆	木堵板	木堵板
C	編泥牆	木堵板	磚
D	編泥牆及木堵板	木堵板	木堵板
E	編泥牆及木堵板	木堵板	磚
F	木堵板	木堵板	木堵板

資料來源：陳偉傑，2006

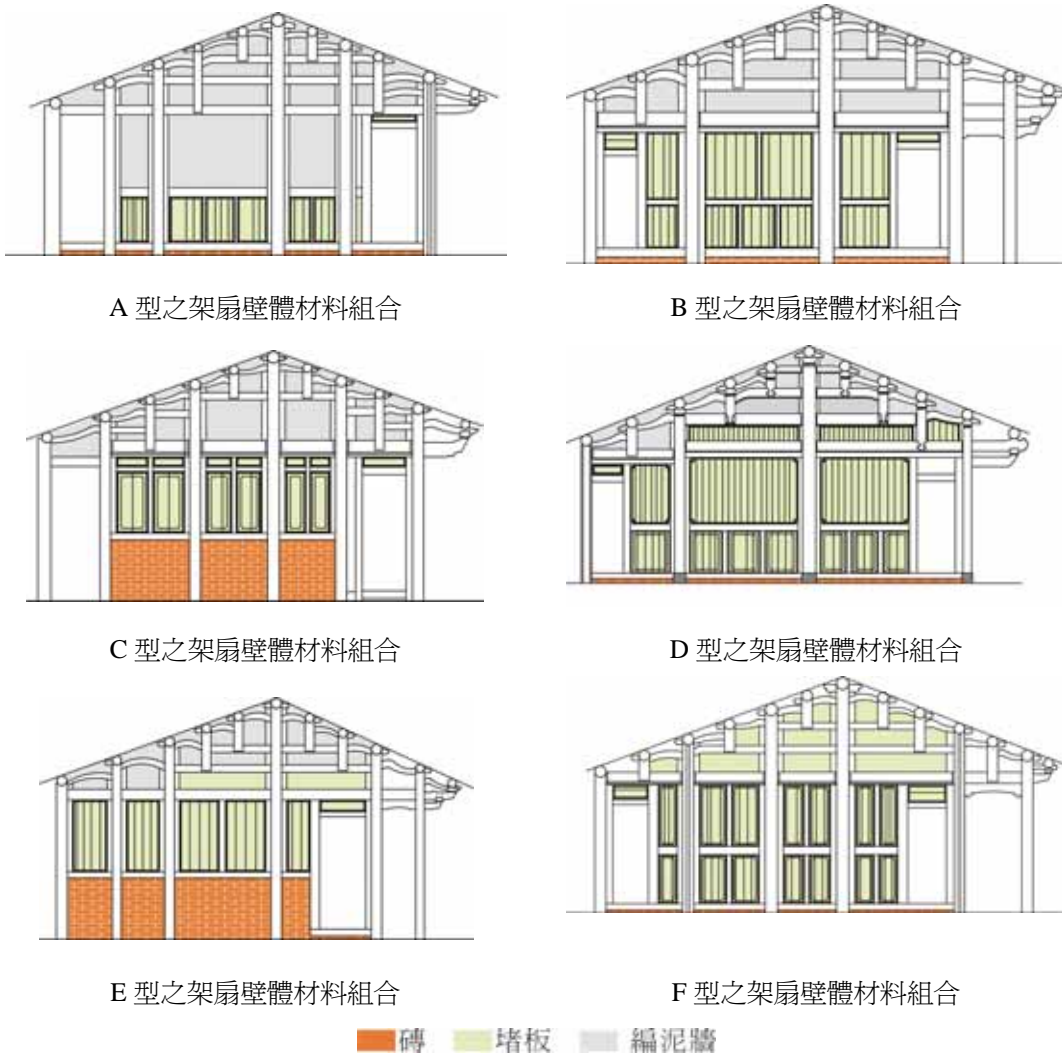


圖 2-3 雲嘉南地區穿鬪式架扇各段壁體材料組合示意圖

資料來源：陳偉傑，2006

將壁體材料組合整理表 2-1 發現，A、B、C 三類出現的頻率最高，依次為 D 類、E 類及 F 類。在調查案例中，各類在樣本數量上的差異，依照匠師之說法可能受到屋主需求、壁體材料特性、施作的難易程度的影響。在壁體特性方面，架扇底部的磚層主要目的隔絕濕氣，且若磚作為下腰堵的壁體材料時，其防潮效果最佳（吳權坤匠師），因此下腰堵採用磚造案例數量僅次於採用木堵板壁者。在施作的難易程度方面，匠師均認為架扇穿材以上的壁體採用木堵板壁，在施工上非常耗時，有時屋頂的雨水會由隙縫滲入板材，因此木堵板壁較不適用於此部位（吳權坤匠師）。除此外，各部位壁體材料的變化，受訪匠師認為多與屋主的經濟能力有關。

## 第二節 穿鬪式架扇各構件名詞釋義

有關穿鬪式架扇各構件的名稱，本研究依照構件位置加以分類，主要分為主體構件、輔助構件以及牆體三大類。主體構件係指穿鬪式架扇主要的結構元件；輔助構件則是指固定牆體之邊框等。牆體部分，本研究則是針對木堵板牆、編泥牆加以說明其位置、構法及組裝方式等。

### 壹、穿鬪式架扇主體構件名詞釋義

此類主要指穿鬪式架扇的大木構件，包含水平及垂直兩個向度的構件，而各區域的構件位置與名稱可參考圖 2-4 及表 2-2。

#### (一) 垂直方向構件

##### 1. 柱仔

如圖 2-4 所示，穿鬪式架扇的落地柱稱之為「柱仔」。依照落地柱位置觀之，位於架扇中央之落地柱通稱為「中柱」（圖 2-5），在中柱前後的落地柱稱為「前、後副柱」，而在前後檐牆者則為「前、後角柱」。若民宅正身為出廊起時，則會有「步口柱」的出現。

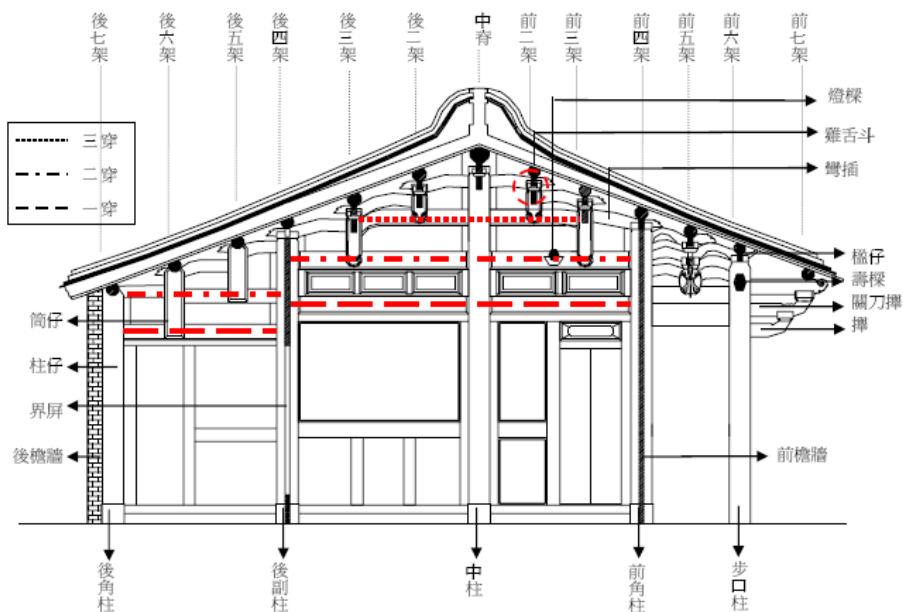


圖 2-4 穿鬪式架扇構件名稱示意圖

資料來源：黃珮榛，2004

## 2. 筒仔

由圖 2-4 可知，垂直木構件有部分接合於水平構件上且不落地的短柱，傳統匠師稱之為「筒仔」(圖 2-6)。另外有稱此種構件為「瓜柱」或「童柱」。



圖 2-5 穿鬪式架扇之柱仔

資料來源：本研究拍攝



圖 2-6 筒仔

資料來源：本研究拍攝

### (二) 水平方向構件

#### 1. 穿

平行進深方向水平構件方面，穿過數根柱仔的水平構件，在辭典中是以「通」來稱呼，與匠師的稱法差異頗大，有稱為「lon 仔」<sup>4</sup>、「抽仔」及「穿」三種，大部分是以「lon 仔」稱呼為最多，此種稱法較常使用於對竹仔厝的水平構件稱呼，但因木造架扇與竹造架扇之構架原理相同，推斷匠師以此通稱水平構件。而依其所在位置不同，辭典中以大通、二通、三通來區分，而台南匠師則以「下、中、上」或「一、二、三」來區分水平構件所在之相對位置(圖2-7)。

#### 2. 彎插及關刀擗

如圖2-4所示，平行進深方向且單獨承接楹仔的水平構件，常呈彎曲弧形狀，匠師則以「彎插」及「蝦尾插」稱呼(圖2-8)，無依其位置不同而稱呼有異。至於出檐部分部分的水平構件，「屐(Kia、h)」與「擗(Kia、h)」之字義相同，因狀如關刀，則稱為「關刀擗」(圖2-9)。





圖 2-7 穿

資料來源：本研究拍攝



圖 2-8 彎插

資料來源：本研究拍攝



圖 2-9 關刀擗

資料來源：本研究拍攝

### 3. 楹仔

如圖2-4所示，平行於面闊方向之水平構件方面，以柱承接者，匠師皆稱為「楹仔」；在中柱上者，則為「中脊」。在《台灣傳統建築術語辭典》中，陽坡面中脊前之楹仔分別為二步桁、四步桁等，陰坡面中脊後之楹仔則為三步桁、五步桁等；而在《台灣古建築圖解事典》中，則是自中脊以下之楹仔，不分陰陽坡，分別稱為二架楹、三架楹、四架楹等。而台南地區匠師則以陽坡為前，陰坡為後，區分為前（後）二架、前（後）三架等，以此類推。

表2-2 穿鬮式架扇主體構件名稱及位置表

構件向度	構件位置		引用名稱	索引編號
垂直構件	柱仔	位於中脊處落柱	中柱	A1
		中柱前簷方向落柱	前副柱	
		中柱後簷方向落柱	後副柱	A4
		前簷牆之落柱	前角柱	A2
		後簷牆之落柱	後角柱	A5
		民宅正身為出廊起落柱	步口柱	A3
	位於穿與穿間之短柱		筒仔	A10、A11
水平構件	平行進深方向水平構件方面，穿過數根柱仔的水平構件	由底層算起，最下側之水平構件	一穿	A6
		中間層之水平構件	二穿	A7
		第三層水平構件	三穿	A8
	平行進深方向且單獨承接楹仔的水平構件，常呈彎曲弧形狀	彎插	A14至A21	
	出檐部分部分的水平構件，形狀如關刀	關刀樺	A22	
平行於面闊方向之水平構件方面，以柱承接者，以陽坡為前，陰坡為後，區分為前（後）二架、前（後）三架等，以此類推。	楹仔	A23至A33		



## 貳、輔助構件及牆體部位名稱

### (一) 固定牆體之邊框

訪談的匠師稱之為堵框，且其「線框 (sàn-khong)」、「線條仔 (sàn-tiâu-á)」等名稱，為傳統穿鬪式架扇中木堵板壁之邊框。水平向之堵框依其位置可再細分為「頂堵框」(téng- tó-khong)、「腰堵框」(io- tó-khong)、及「下堵框」(ē- tó-khong) 等。至於各類堵框的位置與名稱如表 2-3 所示。

#### 1. 頂堵框

緊靠第一穿下方，另有「引」、「通引」等稱呼。

#### 2. 腰堵框

位於台度之邊框，將架扇中第一穿以下的填充壁體區分為上腰堵及下腰堵等兩部分。

#### 3. 下堵框

位於架扇最下層貼近地面處之堵框即稱為下堵框。垂直地面之堵框則統稱為「堵框」或線框。

在堵框的構造關係上，常見下堵框如穿仔般穿過中柱，而與中柱前後落柱作「雙榫」搭接，其上緣則開鑿溝槽以容納板材及垂直地面之堵框。垂直地面之堵框兩端設有榫頭可插入頂下堵框溝槽，緊鄰落柱一側以竹釘與落柱固定，另一側則開鑿溝槽以容納板材及腰堵框。頂堵框則以竹釘固定於第一穿上。堵框間的構造關係詳如圖 2-10。

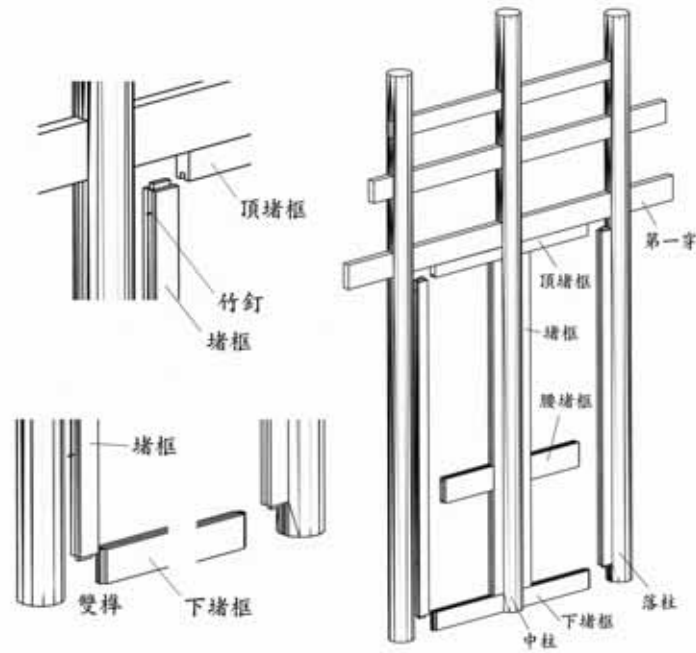


圖 2-10 堵框構造示意圖

資料來源：本研究繪製

## (二) 牆體部位名稱

### 1. 下腰堵

下腰堵係指穿鬥式架扇「下堵框」(ē-tó-khong)與「腰堵框」(io-tó-khong)間之隔間牆(表 2-3)。其材料可採用磚造、編仔壁及木堵板壁。此部位的壁體與「上腰堵」相同，主要是作為架扇的隔間用，且有時會在施作線框將壁體劃分為若干單元。壁體表面的裝修方面，無論採用編仔壁或木堵板壁，多以彩繪為主，因此區域的壁體主要為間格明間與次間用，且壁體的面積大於「開天堵」，故壁面的裝修甚少採用雕刻。下腰堵採用木堵板壁者，其堵板的種類則以「堵板」(tó-pán)與「膨肚」(phêng-tō)為主。

三種壁體材料的施作程序方面，若採用木堵板壁時，須待落柱、下堵框及線框依序組裝後，再逐一將板材放入下堵框與線框的溝槽內；壁體採用磚造時，則必須待架扇木構件及上腰堵施作完成後，在進行疊砌磚牆；若採用編仔壁，則需在架扇所有木構件組裝完成後，再行施作。因此下腰堵的施作程序會受到壁體材料的影響，基本上架扇的施作是以「由下至上」為原則，當下腰堵採用木堵板壁作為隔間，則必須由下腰堵不為開始施作，因木堵板壁與木構

件的接合乃是仰賴彼此間的溝槽與榫卯構造，因此必須由下至上施工。至於編仔壁與磚牆，其施工時考量其過程可能會影響架扇整體的穩定，且材料上與架扇、木堵板壁不同，因此會選擇於木構件與木堵板壁組立完成後，再行施作。

### 2. 上腰堵

如表 2-3 所示，上腰堵係指指穿鬪式架扇第一穿或「頂堵框」(têng-tó-khong) 與「腰堵框」(io- tó-khong) 間之隔間牆，且與下腰堵相同，會採用線框將壁體劃分為若干單元。材料方面，多以木堵板壁與編仔壁為主，其中以上腰堵採用木堵板壁的情況甚多，其裝飾上與下腰堵相同，會於壁體面向明間處施以彩繪。由於此部位壁體的功用與開天堵、下腰堵相同，為界定空間用，原則上不採用透雕形式，強調完全的視覺隔離。

壁體的施作程序，此部位若以木堵板壁為主時，首先需將落柱、線框、下堵框等構件組立，接著施作下腰堵部位的木堵板壁，而後將組裝腰堵框，最後方能將上腰堵的板材逐一放入腰堵框、線框的溝槽內。若下腰堵採用磚牆、上腰堵為木堵板壁，其施作則必須先從上腰堵部位施工，待所有木構件與木堵板壁完成後，在進行磚牆疊砌。基本上此部位的施作程序同樣受到壁體材料的影響，施作前必須視下腰堵的材料決定施工的流程。

### 3. 開天堵

台灣傳統穿鬪式架扇隔間系統中，施作於架扇門開口上方之壁體稱開天堵。此部位壁體材料，可採用編仔壁及木堵板壁。以木堵板壁作為壁體材料時，其種類較為豐富，可施作「堵板」(tó-pán)、「膨肚」(phêng-tō) 及「雕刻堵」(tiau-khek-tó)。開天堵在形式上雖具有裝飾性，但其功用仍是具定空間用，原則上不採用具有通透性質的壁面處理。如採用雕刻堵時，僅是於木堵板壁表面施作雕刻，無將其鏤空，以保有阻隔視覺的功用。壁面處理方面，無論是於開天堵表面施作彩繪、雕刻等，皆是位於面向明間處，而面向次間的部位則多無處理。

施作方面，若開天堵採用木堵板壁時，大木匠師會先將第一穿以下的「線框」(sàn-khong)」、穿材、落柱等構件依序安裝後，再將開天堵放入穿材與線框以鑿設完成的溝槽內。壁體為編仔壁時，則必須待整個穿鬪式架扇木構件組立完成後，再進行編仔壁之施作。



### 參、牆體名稱、種類及構造

有關施作穿鬮式架扇的牆體，本次主要介紹傳統編泥牆及木堵板牆兩種，並說明其構造名稱及構造形式，另外有關兩種壁體相關名詞解釋整理如表 2-4。

#### (一) 傳統編泥牆

台灣傳統編仔壁在雲嘉南地區之名稱多樣，包括有「堵仔壁 (tó-á-piah)、竹編仔壁 (tek -pi<sup>n</sup>- á-piah)、堵仔壁 (tó-á-piah)、籬仔編壁 (lî-á-pian-piah)」等，為台灣傳統厝中，穿鬮式架扇或其立面簷牆柱、梁構架間的主要填充材(圖 2-11)。

編仔壁構造上包括骨架及包覆骨架的覆土層。在骨架方面，先以平均長度約 30 至 45 公分的「籬梗」在牆體中均勻配置，平均間隔約為 20 至 25 公分，所用材料為竹材；再以「籬仔」垂直「籬梗」前後穿梭於「籬梗」間佈滿牆體，籬仔用材包括竹材、五節芒及菸葉等；若牆體寬度超過「籬梗」平均長度，牆體中可置入垂直「籬梗」的杉木—「暗梗」以提高牆體整體剛度。完成牆體骨架後，最後抹上粗糠土、白灰完成覆土層。

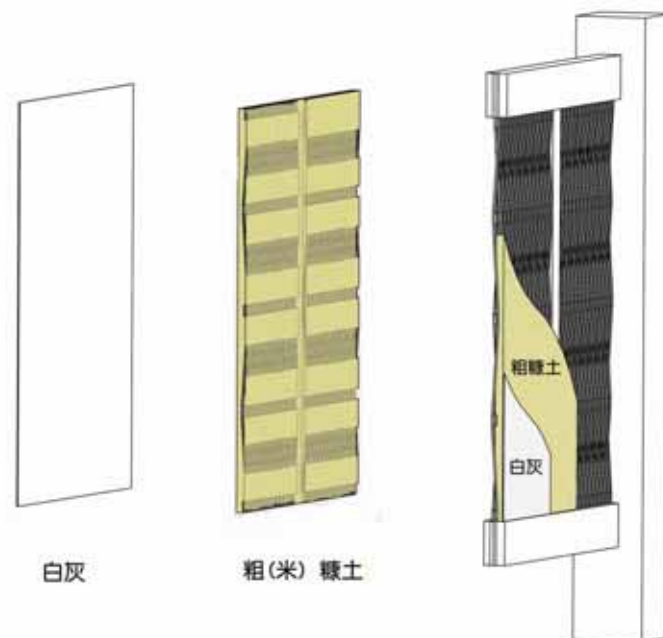


圖 2-11 粗糠土與編仔壁構造關係圖

資料來源：蔡侑樺，2004

## 1. 粗糠土

粗糠土為漢式傳統編仔壁構造中用來包覆牆體骨架材的主要材料；主要將米糠加水拌合於黏土中和成粗糠土，米糠作為防止黏土龜裂的纖維材料。粗糠土與編仔壁構造關係圖詳見圖 2-11。

粗糠土拌和過程中，黏土與米糠在水中通常共同浸泡 1 星期至 1 個月不等的時間，稱為漚土 (au-thō)，主要作用包括將米糠浸軟，使其在濕軟的狀況下與黏土充分混合；另一方面將黏土塊浸泡於水中亦可使水分充分滲透分解土塊。

## 2. 籬仔

籬仔為台灣漢式傳統編仔壁骨架主要構材之一，編織於籬梗間佈滿壁體。作為籬仔的材料 (圖 2-12)，在台灣依其隨手取得材料之便利性與經濟性而有蔴竹、桂竹、麻竹等竹材或五節芒 (俗稱菅蓆，學名 *miscanthus floridulus*)、菸葉等。竹籬仔構法包括豎竹、倒竹兩種，其乃緣於欲經濟善用整支不同部位竹材，依竹材竹肉厚度剖製而成；竹籬仔寬度約 0.8 至 2 公分之間，長度與壁體長向尺度同，厚度約為 0.2 至 0.3 公分。五節芒莖部直徑約為 1.5 公分，去除包覆莖部的葉片後可直接使用為籬仔，但兩端需削尖避免「籬仔」過度突出，造成覆土層過厚。在菸葉產地，如美濃地方，則以菸葉代之五節芒莖。

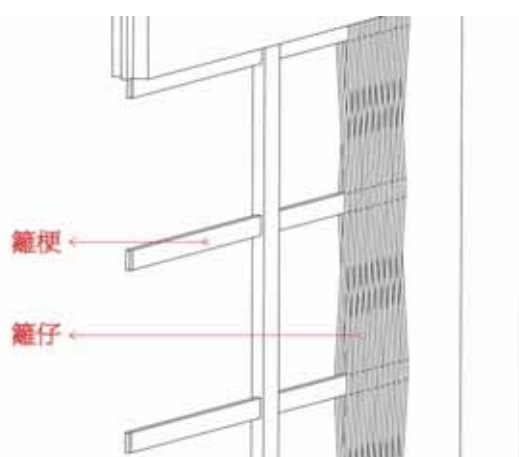


圖 2-12 籬梗、籬仔構造關係圖

資料來源：蔡侑樺，2004

### 3. 籬梗

籬梗為台灣漢式傳統編仔壁骨架之主要構材之一，籬梗於壁體中均勻配置後，使「籬仔」穿梭於相鄰籬梗間，構成牆體之骨架（圖 2-13）。

籬梗的主要材料為蔴竹。其竹片弦向與牆面平行，亦即由牆體兩面分別可見「籬梗」之竹皮側及竹肉內側，厚度約 0.5 至 1 公分。構造上，「籬梗」兩端削尖直接插入穿鬮式木構材之邊框或「暗梗中」，深約 0.5 至 1 公分，平均間距約 20 至 25 公分左右。

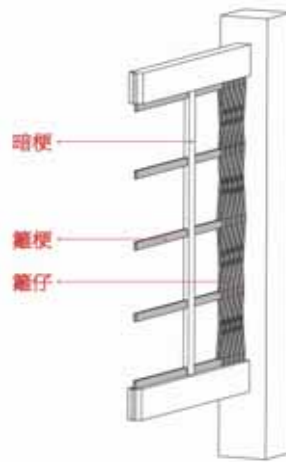


圖 2-13 籬梗、暗梗與籬仔構造關係圖

資料來源：蔡侑樺，2004

### 4. 暗梗

圖 2-13 所示，暗梗為台灣傳統編仔壁骨架構材之一。當編仔壁牆體寬度過大時，牆體中可置入垂直籬梗的暗梗以提高牆體整體剛度。

暗梗主要材料為杉木，寬度大多在 4 至 8 公分之間，高度則與牆體高度一致，其垂直深入上下邊框各約 1.5 至 2 公分；由於籬梗的平均長度在 30 至 45 公分左右，因此牆體中暗梗平均間距同樣在 30 至 45 公分之間。

### 5. 蔴竹

蔴竹學名 *Bambusa stenostachya* Hackel，桿高 8-24 公尺，桿徑 5-12 公分，桿肉厚 0.8-3 公分，為台灣原生種竹材中管徑大、產量大且力學性能較佳的竹材之一。由於蔴竹節中帶刺，經常環植於聚落周圍作為屏蔽，蔴竹

亦成為聚落中容易取得之柱梁建築材料，由 1717 年《諸羅縣志》記載：「荊竹高四、五丈，大者圍尺五、六寸。旁枝橫生而多荊堅利，人不敢犯；密者可禦盜。草屋取為梁柱，器物資用，用甚廣。」可見一斑。在台灣漢式編仔壁構造中，荊竹為籬梗及籬仔主要構材之一，竹材經採伐乾燥後即可施作，先以鋸子擷取適當長度竹管，再以柴刀劈裂竹管分別製成籬梗及籬仔。由於荊竹竹肉較厚，作為籬仔時以豎竹籬仔居多。

## 6. 倒竹

倒竹為台灣漢式傳統編仔壁中竹籬仔構法之一，其名稱或又以動詞形容為「剖倒丌 (phó-tō-ê)」。乃使用竹肉較薄的竹材作為籬仔，故剖製後的竹片需以竹管弦向平行壁面，意即以竹皮及竹肉內側接觸「籬梗」，予以編織。而相鄰之「籬仔」常見以正、背面交互配置 (圖 2-14)。

## 7. 豎竹

豎竹為台灣漢式傳統編仔壁中籬仔構法之一，其名稱或又以動詞形容為「剖豎丌 (phó-khi-ā-ê)」。當使用竹肉較厚的竹材作為籬仔時，剖製後的竹片需以竹管弦向垂直壁面，予以編織 (圖 2-15)。



圖 2-14 倒竹

資料來源：蔡侑樺，2004



圖 2-15 豎竹

資料來源：蔡侑樺，2004



## (二) 木堵板牆

木堵板壁係指台灣傳統穿鬪式架扇柱梁構造內之木板隔間牆，主要包括木牆板及安裝木牆板的邊框。木牆板依其外觀形式可區分為平直型、凸肚型及表面施有花草與雕刻者等三種，詳見圖 2-16 至 2-18。平直型直接被稱為堵板(tó-pán)(圖 2-16)；凸肚型有「膨肚(phêng-tō)」、「鮎肚(liam-tō)」、「桃花彎(thô-hoe-oan)」(圖 2-17)、「花堵(hoe-tó)」等稱呼；施有雕刻者則被部分匠師稱之為「雕刻堵(tiau-khek-tó)」(圖 2-18)。邊框則有「堵框 tó-khong」、「線框(sàn-khong)」、「線條仔(sàn-tiâu-á)」等名稱，依其位置可細分為「頂堵框」、「下堵框」、及「腰堵框」等。

多數木堵板壁皆由數片木板拼接而成。為確保壁體緊密接合，於木牆板間鑿有榫口，並以二至三根竹釘固定。當穿鬪式架扇之落柱及穿仔等主構體大致組立完成後，會先行固定中柱，將上下堵框及靠近中柱的垂直堵框固定於落柱及穿材後，再將「下腰堵」木隔板順序置入下堵框及垂直堵框框溝槽。之後，先取腰堵框一側的榫口插入垂直向堵框溝槽，使腰堵框下側的榫口與「下腰堵」木隔板密接。「上腰堵」之木隔板安裝程序與「下腰堵」大略相同，最後裝上另一側垂直向堵框，將靠近另一側垂直堵框之落柱與垂直堵框緊結，並固定落柱。此即完成木堵板壁整體之施作。



圖 2-16 平直型堵板

資料來源：陳偉傑，2006



圖 2-17 凸肚型堵板

資料來源：陳偉傑，2006



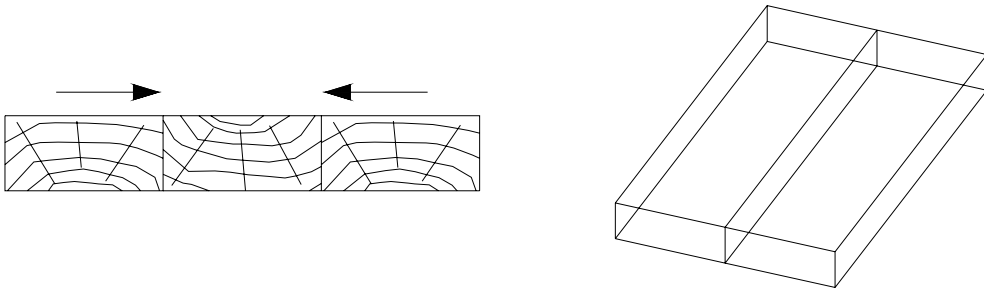
**圖 2-18 雕刻堵**

資料來源：陳偉傑，2006

### 1. 船板接口（公母啣）

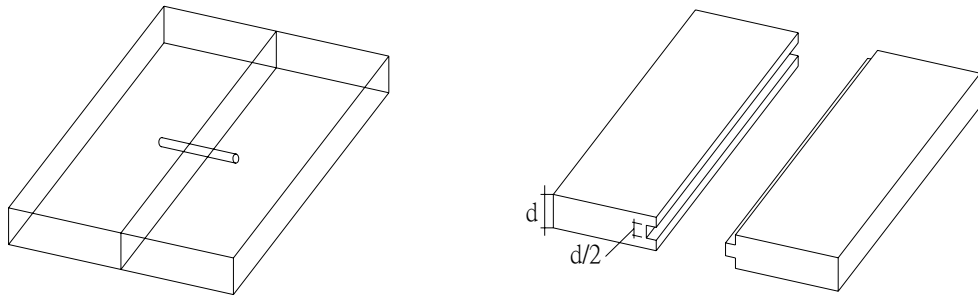
板材的邊接模式如圖 2-19 所示可分為邊對接法、圓門法、榫槽法、木栓法及船板疊法（龔肇鑄，1978）。在傳統穿鬪式架扇之木堵板壁實例中，多數板牆皆由數片木板拼接而成，且依照接口的形態，其形態為船板接口之形式，而匠師稱之為「公母啣」（kong-bū-hâm），另有「文武啣」（bûn-bú-hâm）、「頂下啣」（têng-ē-hâm）等名稱。此概以公母、文武、頂下等二元對立之名詞詮釋搭接兩片板材之榫口特徵。船板接口（公母啣）大樣如圖所示，板材與板材間並輔以竹釘固定（圖 2-20）。

製作船板接口（公母啣）的工具包括「邊刨」及「平刨」。其中「邊刨」底部木塊呈 L 型，具有垂直、斜向等兩片刀片，垂直向的刀片用來切斷垂直木理方向纖維，斜向刀片則切斷平行木理方向纖維；「平刨」僅設置斜向刀片用以修飾表面。製作船板接口（公母啣）時，將「邊刨」置於板材邊，正向或反向刀口水平移動「邊刨」，逐漸削去板材搭接處之材邊厚度直到原有厚度的一半為止，最後再以平刨修整拼接榫口表面，即完成板材之接口。



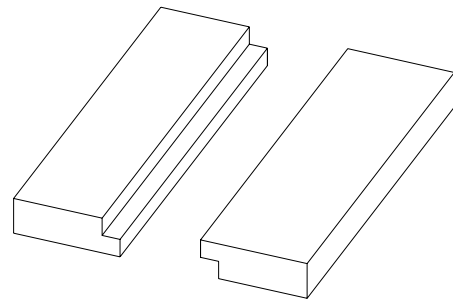
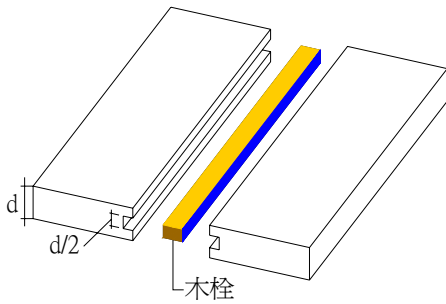
板材在拼裝時，每片單板斷面將年輪交錯組合，企圖使年輪方向成線性，減少翹曲的問題

邊對接法



圓門法

榫槽法

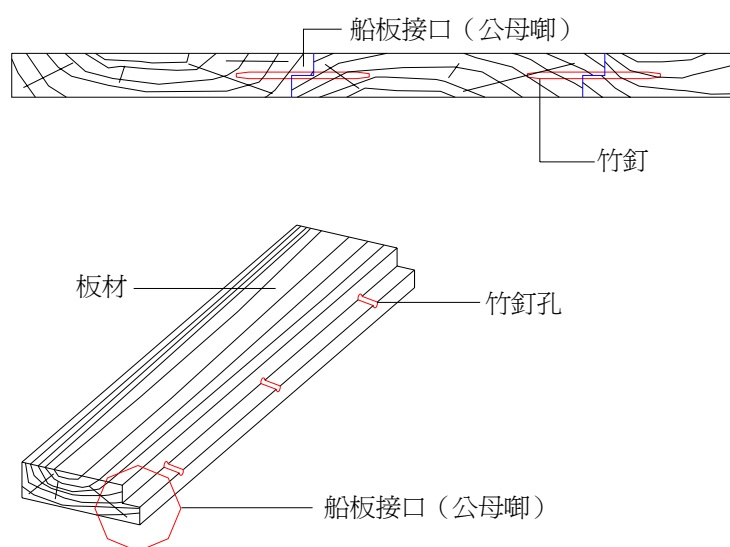


木栓法

船板疊法

圖 2-19 板材邊接種類示意圖

資料來源：本研究繪製



**圖 2-20 船板接口 (公母啣) 示意圖**

資料來源：陳偉傑，2006

## 2. 溝槽 (邊啣)

邊啣即為堵框之溝槽 (圖 2-21)，用來容納穿鬮式架扇中木堵板牆之板材及堵框之榫頭。施作邊啣的主要工具為溝刨，由一對垂直刀片及一組斜向刀片構成，垂直刀片用來切斷垂直木理方向之纖維，斜向刀片則切斷平行木理纖維。製作邊啣時，先選擇適合壁體厚度的溝刨，將溝刨置於下堵框上緣中央，水平移動「溝刨」達一定深度，最後再以平鑿刀修整榫口表面，即完成固定牆體的溝槽。



**圖 2-21 溝槽 (邊啣)**

資料來源：陳偉傑，2006

### 3. 竹釘

在穿鬪式木構架中，竹釘多是應用於木堵板壁、落柱與線框的接點處(圖 2-22 及 2-23)。材料則多以蔴竹為佳，基本上取材的部位盡量避免有竹節的區域，由於為接合板材，竹釘的形體選擇較平直為佳。竹釘防腐處方式則分為用海沙、過油等高溫處理及日晒兩種。

運用於木堵板壁的竹釘，其主要的功用是確實固定板材，因板材間雖有施作船板接口(公母啣)搭接，但此類的接合並無提供固定的功用，故尚須於接口處另以 2-3 支竹釘接合板材。至於施作於木堵板壁的竹釘數量，匠師竹釘孔的設定，多是先取頂端及尾端尺寸，若壁體高度尺寸較大時，在於中央處再加設 1 支竹釘。關於木堵板壁的作法上，首先需決定每一單元壁體所需的拼版數量後，便將每片板材裡外刨平，再以「邊刨」製作接口，接著依照所需的竹釘數量，於每片板材的接口處鑿設釘孔。最後將竹釘先行插入第一片板材，再將另一片板材依照釘孔位置將其接合，基本上木堵板壁單元之施作方法皆以此流程進行施作。

此外，落柱與線框的接合，亦會利用竹釘加強構件的穩固。由於穿鬪式架扇落柱的形態多為圓柱形，因此線框與落柱的接合面呈弧形曲面或傾斜狀，而為使兩構件能緊密的接合，會於介面間另加設竹釘，使線框能固定於落柱。



圖 2-22 竹釘

資料來源：陳偉傑，2006



圖 2-23 邊框之竹釘

資料來源：陳偉傑，2006

#### 4. 線邊

係指在穿鬥式架扇木堵板壁的表面，有施作如畫框般木作的線腳（圖 2-24）。此類構件裝飾性質較濃厚，主要位於每單元壁體的四周，其一邊緊連「堵框」、「線框」等。基本上線邊在穿鬥式架扇的運用，僅施作於材料採用木堵板壁的部位，例如「下腰堵」、「上腰堵」、「開天堵」等採用木堵板壁時，皆會施有此類的裝飾。此外，「門扇」或「神龕壁」為木堵板壁時，也會採用線邊修飾牆體。線邊的施作方面，必須待架扇木堵板壁施作完成後，在選擇適當尺寸的木條，以鐵釘將其固定於牆面，有時也會於線邊表面施以彩繪等處理。


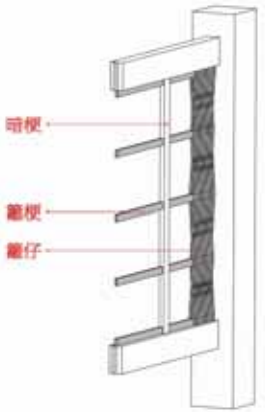









圖 2-24 線邊

資料來源：陳偉傑，2006



表 2-4 傳統編泥牆與木堵板牆構造名稱對照表

牆體形式	構造形式與類型說明	引用名稱	圖片索引
傳統編泥牆	漢式傳統編仔壁構造中用來包覆牆體骨架材的主要材料	粗康土	
	台灣漢式傳統編仔壁骨架主要構材之一，編織於籬梗間佈滿壁體	籬仔	
	為台灣漢式傳統編仔壁骨架之主要構材之一，籬梗於壁體中均勻配置後，使「籬仔」穿梭於相鄰籬梗間，構成牆體之骨架	籬梗	
	為台灣傳統編仔壁骨架構材之一。當編仔壁牆體寬度過大時，牆體中可置入垂直籬梗的暗梗以提高牆體整體剛度	暗梗	
木堵板牆	平直型堵板	堵板	
	凸肚型堵板	鮎肚	
	表面施作有雕刻之堵板	雕刻堵	
	傳統穿鬪式架扇之木堵板壁實例中，多數板牆皆由數片木板拼接而成，而木板拼接處榫口	船板接口 (公母啣)	

<p>為堵框之溝槽，用來容納穿鬪式架扇中木堵板壁之板材及堵框之樺頭。</p>	<p>(溝槽) 邊啣</p>	
<p>應用於木堵板壁、落柱與線框的接點處。</p>	<p>竹釘</p>	
<p>係指在穿鬪式架扇木堵板壁的表面，有施作如畫框般木作的線腳</p>	<p>線邊</p>	

## 肆、接點

有關木構件接點方面，本次主要針對平行進深方向「穿」的搭接形式，由於該構件的接點多是隱藏於柱仔中，且在穿鬪式架扇尚未解體的情況無法確認穿的接合形式。因此本次說明的接點種類多以過去穿鬪式建築解體調查與匠師訪談的結果為依據。

### (一) 連續型接點

穿鬪式木構架中，「穿」的接合方式大致可分為燕尾樺搭接、斷開對接及連續型三種。連續型接點指「穿」構件直接穿過柱仔之樺孔，故構件本身為一完整的構材，無作任何的加工（圖 2-25）。

### (二) 燕尾樺搭接

構件採用搭接的原因，主要是當木材實際的長度若與原設計穿材長度不符時，匠師必須以搭接方式組合穿材。燕尾樺之特徵，主要是穿材搭接處一端呈「梯型」，而另一端則為「梯型樺孔」（圖 2-26），且搭接部位皆隱藏於落柱樺孔內，若無經過解體難以察覺接點位置及形式。施作方面，首先將一端的穿材穿過落柱，並調整其位置，接著進行另一端穿材搭接。當燕尾樺搭



接完成後，搭接部位必須完全隱藏於落柱中。

### (三) 斷開對接

此類接點之形式與燕尾榫搭接不同，指構件的接合無施作任何的榫接構造，僅將兩「穿」直接放入落柱的榫孔內（圖 2-27）。

### (四) 斷開十字對接

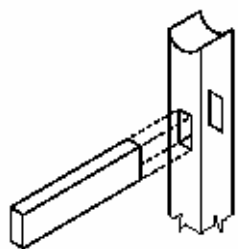
這類的接點在過去解體調查中僅發現一個案例，這樣的接法對於避免兩根梁相互錯開有一部分幫助，但是作為組成接點的梁構件，這樣的接法並不合理，而且也沒有效果，因此在後面的討論中不予討論（圖 2-28）。

### (五) 鉤逗榫

此類接點在穿鬪式架扇中，主要運用於「下堵框」(ē-tó-khong)及「頂堵框」(téng-tó-khong)與落柱搭接部位。鉤逗榫之形態，即將堵框與落柱接合處削除一部份，使榫頭有如鉤子般。施作方面，首先必須將穿鬪式架扇之落柱固定，再將堵框之鉤逗榫放入與先鑿設好的榫孔，此時堵框安置必須以斜向作業，先將鉤逗部位放入榫孔，再逐漸將堵框其餘部位插入。基本上在施作時，由於榫孔與構件接合時仍會有尺寸不符問題，此時匠師必須於現場進行榫頭的修正，使堵框能順利與落柱接合（圖 2-29）。

### (六) 踏步燕尾榫

在穿鬪式架扇中，門檻門楣與落柱接合、燈梁的接點形式大致有兩種，包括(1)利用直榫與落柱相接、(2)踏步燕尾榫。而踏步燕尾榫的形式與一般燕尾榫不同，首先必須將構件分為兩層，底層形態平直，而上層則製作成燕尾榫形態，使得接點有如階梯般。在搭接踏步燕尾榫的榫孔方面，其形態有如「凸」字形，較小榫孔主要是放置燕尾榫。至於較大榫孔則是容納構件底層的平榫，但此部位榫孔的長度必須略大於踏步燕尾榫平榫之寬度，因再完成門檻、門楣等構件接合後，必須再放入「楔子」，使構件能與落柱緊密的接合（圖 2-30）。



連續型

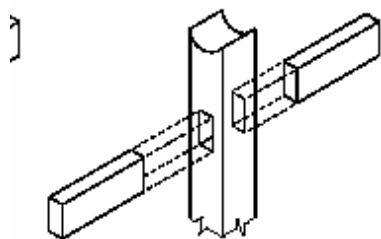
圖 2-25 連續型接點

資料來源：本研究繪製



圖 2-26 燕尾榫搭接

資料來源：本研究拍攝



斷開對接

圖 2-27 斷開對接

資料來源：本研究繪製



圖 2-28 斷開十字對接

資料來源：本研究拍攝



圖 2-29 鉤逗榫

資料來源：本研究拍攝



圖 2-30 踏步燕尾榫

資料來源：本研究拍攝

### 第三節 穿鬪式架扇組構程序

穿鬪式架扇的組構程序經過匠師訪談後得知，各構件組立的過程往往受到場地及構件尺寸等影響，會於現場作適當的調整。雖然匠師多認為壁體的組裝無標準程序，但其仍有原則存在，基本上整體施作的程序仍可分為設計、備料、基礎放樣、各構件加工及最後組立。另外，在組立的方法上仍可區分為兩種模式，(一)部分構件先於地面組裝立起後，再進行其餘木構件的安裝。(二)為所有木構件於地面組裝後，再將架扇立起。

#### 壹、壁體組立的基本原則

- 一、匠師在將架扇各構件及壁體之尺寸決定後，便進行放樣及備料的工作，準備的材料包括所有的木構件及木堵板壁所需的板材，接著依照設計尺寸將所有構件（包括大木結構、木堵板壁、線框或各段堵框）進行加工。換句話說所有木構件的加工必須一併處理，再進行架扇及壁體的組立。
- 二、在組立架扇的大木構件（落柱及穿材）前，若基地面積較大，可將落柱及穿材等先行在地面組裝後再立起，或是將所有木構件於地面層組裝完成後再將架扇立起。一般的情況會先組裝中柱、前後架柱（落柱以架扇橫跨的架數決定）及第一層的穿材，再將架扇之雛形立起。中柱必須要先固定（因穿鬪式架扇之坡度乃由中柱上之中脊為起始點），其餘的落柱在立起後暫不固定，如此才能進行壁體、線框或堵框的安裝。
- 三、地坪若設有隔絕濕氣用之磚層（圖 2-31），必須在落柱固定前先疊砌完成，因磚層主要是介於落柱間，依照放樣的位置疊砌，以確立各落柱之位置。
- 四、基本上穿鬪式架扇壁體的組裝，以「由下至上」及「由上至下」的施作為原則。



圖 2-31 木堵板壁的線框  
或堵框樁頭的加工，必須一  
併處理

資料來源：陳偉傑，2006

五、壁體材料的不同，組立的程序會有所差異。根據雲嘉南地區穿鬮式架扇調查得知，磚、木堵板壁及編泥牆三種材料的施作，依照次序為堵板、磚及編泥牆。木堵板壁必須安裝於線框或堵框的溝槽內，由前節木堵板壁單元施作結果得知，若將框架與大木構件組立後，再安裝壁體基本上不可行，因其總高度及寬度值之計算皆留有嵌入溝鑿深度，故每單元皆超出壁體範圍。

磚造壁體的部分，根據現況調查皆施作在架扇的下腰堵，主要是磚造壁體自重大，不宜施作於上腰堵及穿材以上的壁體，且在施作時必須在各木構件及木堵板壁安裝完成後再進行疊砌，若在組立過程前已將磚層疊砌好，在灰漿尚未凝固前，組立的過程可能會影響下腰堵磚層的穩定性。編泥牆的施作程序，訪談的匠師皆認為是所有壁體中最後施作的項目。由於編泥牆所需籬梗、籬仔及暗梗等骨架材，乃搭接於線框、堵框或穿材，其過程可能會影響整體架扇的穩定，不宜先行施作。

六、無論架扇的主體結構、壁體構件或材料等，在組立的過程中，其構件之接點往往會有尺寸不合的問題，此時匠師會依照實際狀況作調整，使施作過程能順利進行。

## 貳、架扇組構程序解析

前述已說明架扇的組立的方法可分為。(二) 為所有木構件於地面組裝後，再將架扇立起。以下則分別說明兩類組裝之程序。

(一) 部分構件於地面組裝後先行立起，在依序安裝其它木構件。此部分依照各段牆體在不同牆體材料的條件下，說明其組構程序。

一、A類：穿材以上為編泥牆；上腰堵為編泥牆；下腰堵為木堵板壁。其組立流程可參考圖 2-32。

### 1. 主體構件之組立

主體構件主要包括落柱與穿材。首先將第一層穿材插入中柱之樁孔中，之後再組合前、後三架柱，此時便可將架扇的雛形立起。中柱必須要使其固定於基地所設定之位置，而前、後三架柱則是暫時搭接於穿材上(圖 2-32)，主要為保留足夠空間，以便進行邊框及木堵板壁的安裝。

### 2. 穿材以下區間，邊框及木堵板壁之安裝

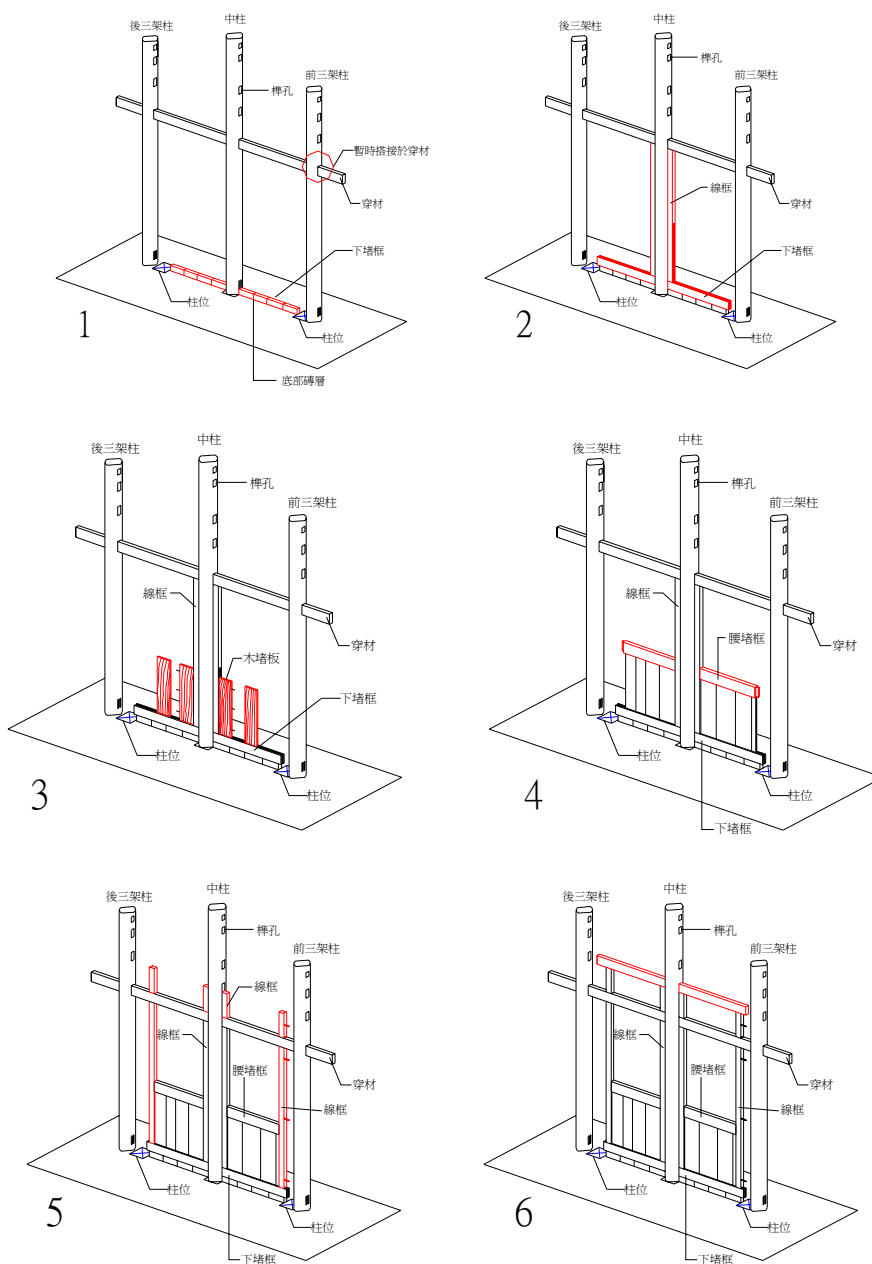
首先將下堵框與中柱旁之線框一併組立，由於 A 類上腰堵為編泥牆，因此無設置上堵框。各邊框安裝後，各片板材以單板拼接方式，將板材逐一放入線框與下堵框之溝槽內，而每片板材接合皆由竹釘固定。當下腰堵壁體安裝結束後，便可安置腰堵框。至此階段下腰堵及各邊框施作已完成，就可組合前、後三架柱旁之線框，以固定穿材以下的壁體及框架。

### 3. 穿材以上區間邊框之安裝

此區域之程序同樣依照「由下至上」原則進行。先將中柱與前、後三架柱旁線框相繼安裝於第一層穿材上，接著便可組立第二層之穿材。基本上此區間安裝方式主要先安置垂直向之線框，而再組立水平向之穿材或彎插等構件，由於此區域之壁體皆採用編泥牆，且其必須等待架扇所有構件完成後再進行施作，各構件皆可先依序組裝，不受編泥牆施作的影響。

#### 4. 固定前、後三架柱

如圖 2-32 中流程 12 所示，在前述的構件相繼組立後，將前、後三架柱推回原設定之位置，使穿材及線框能與落柱緊密接合，此過程主要為確保整體構架的穩固。至於架扇前後四、五架落柱、邊框或壁體組立等，則是依照上述相同的程序進行，待架扇所有構件或木堵板壁安裝結束，最後再進行編泥牆之施作。



## 第二章 穿鬪式架扇名詞解釋及組構程序

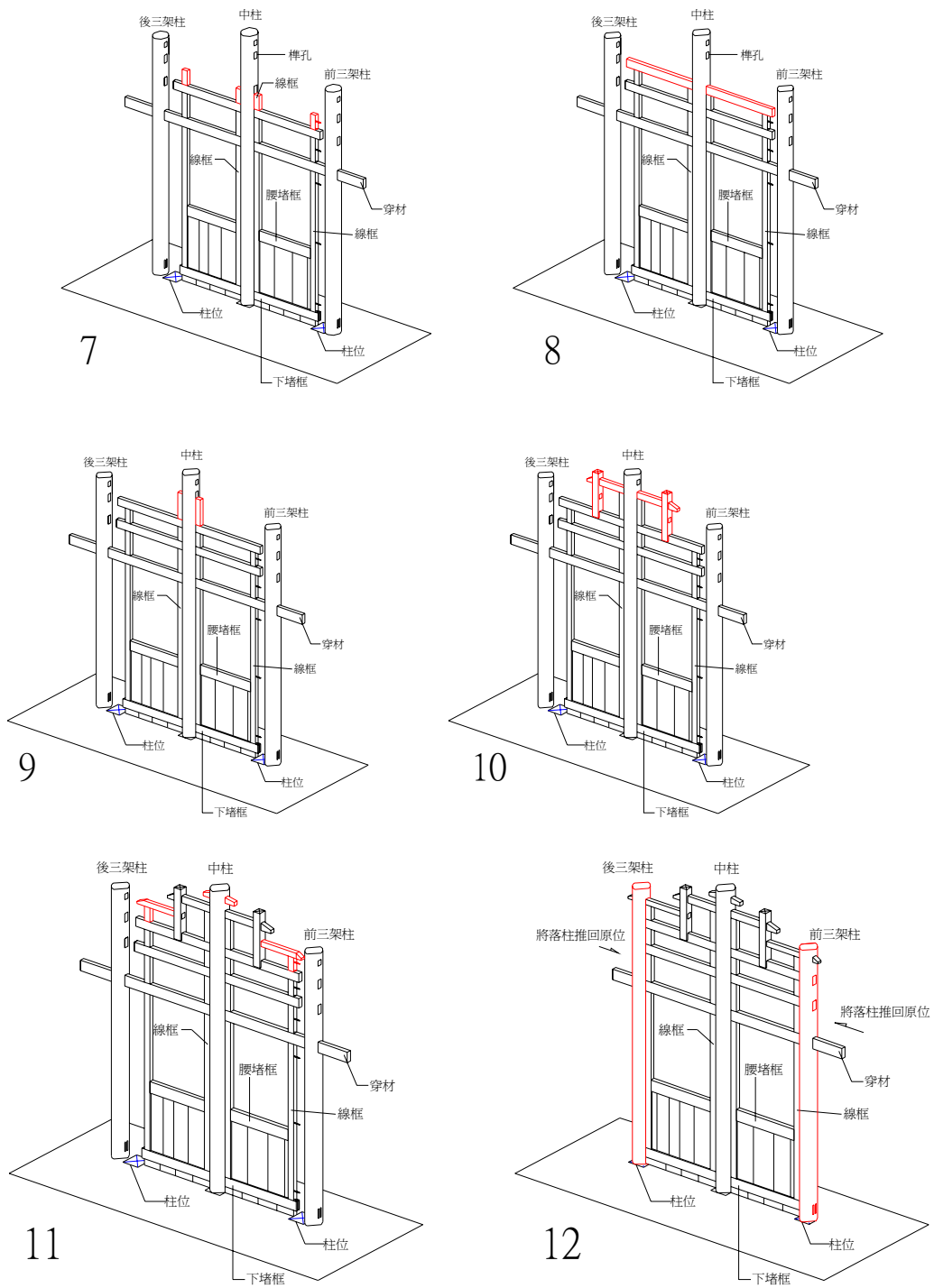


圖 2-32 A 類壁體組立程序

資料來源：陳偉傑，2006

二、B類：穿材以上為編泥牆；下腰堵及上腰堵皆為木堵板壁。其組立流程可參考圖 2-33。

### 1. 主體構件之組立

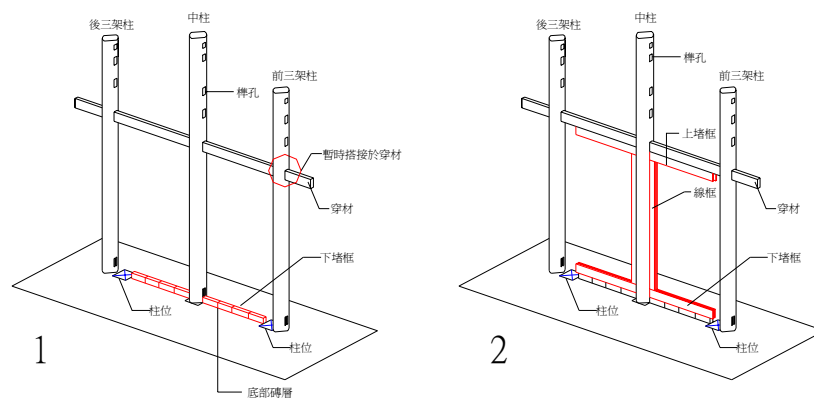
B類與A類在此階段的程序大致相同，但由於上腰堵採用木堵板壁的案例，由現況調查得知，會有增設上堵框的情況。

### 2. 穿材以下區間，邊框及木堵板壁之安裝

如圖 4-32 所示，在中柱與第一層穿材固定後，必須先將下堵框、線框與上堵框相繼固定於大木構件，接著進行下腰堵壁體的安裝。上腰堵部分，其方式與下腰堵相同，將板材以單片依序放入腰堵框、線框及上堵框之溝槽，待此區域的壁體施作後，便搭接前後三架柱旁之線框，以確保上、下腰堵之穩固。

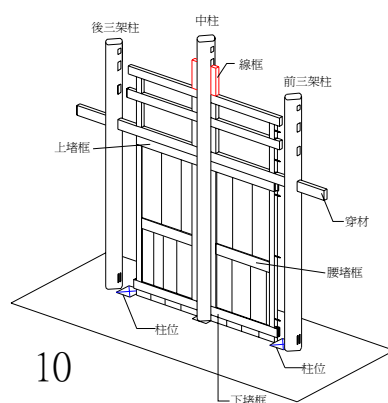
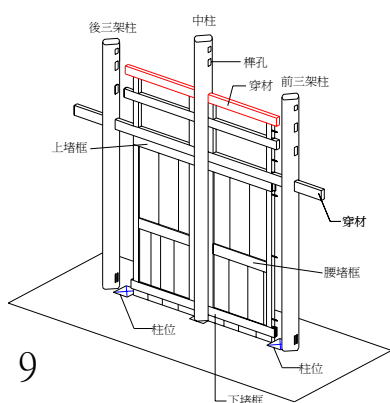
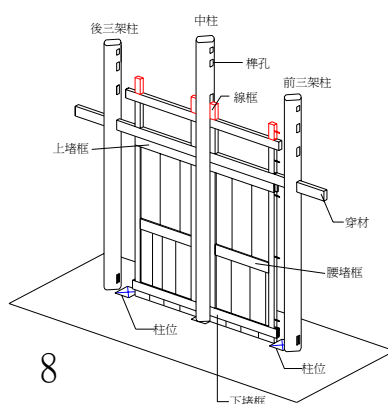
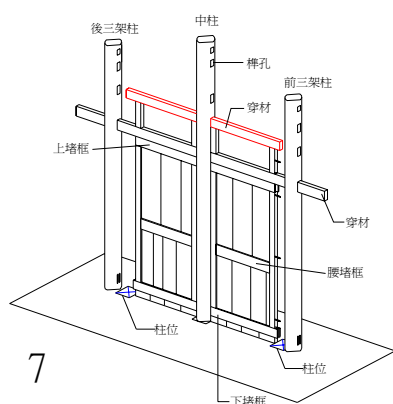
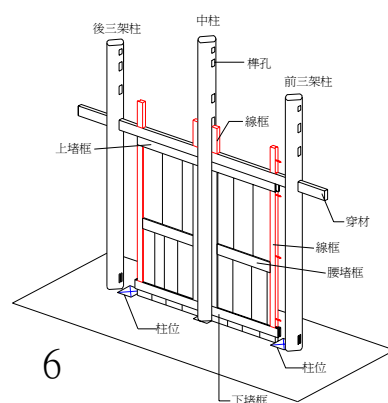
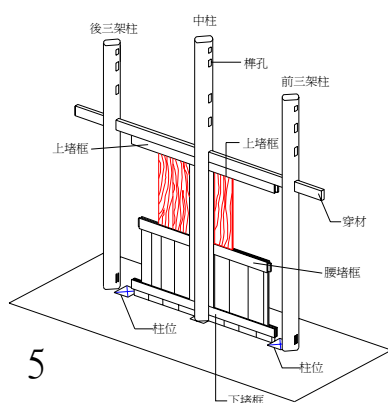
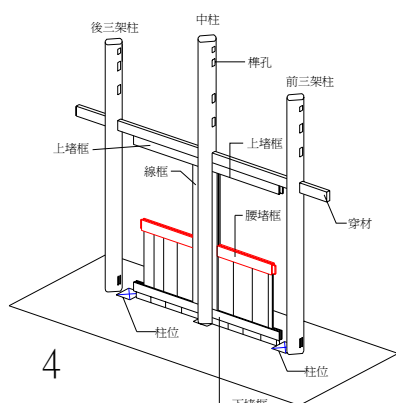
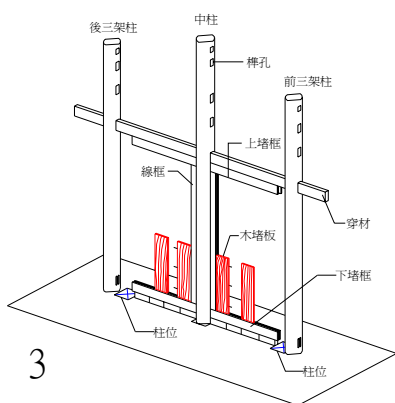
### 3. 穿材以上區間邊框之安裝

此區間的壁體，B類與A類皆採用編泥牆，因此施作的程序皆相同，以「由下至上」方式進行。每層的構件，先組裝垂直向線框，接著放置水平向之構件（穿材或彎插）等。最後將前後三架柱推回原位，完成架扇之雛形。





## 第二章 穿鬪式架扇名詞解釋及組構程序



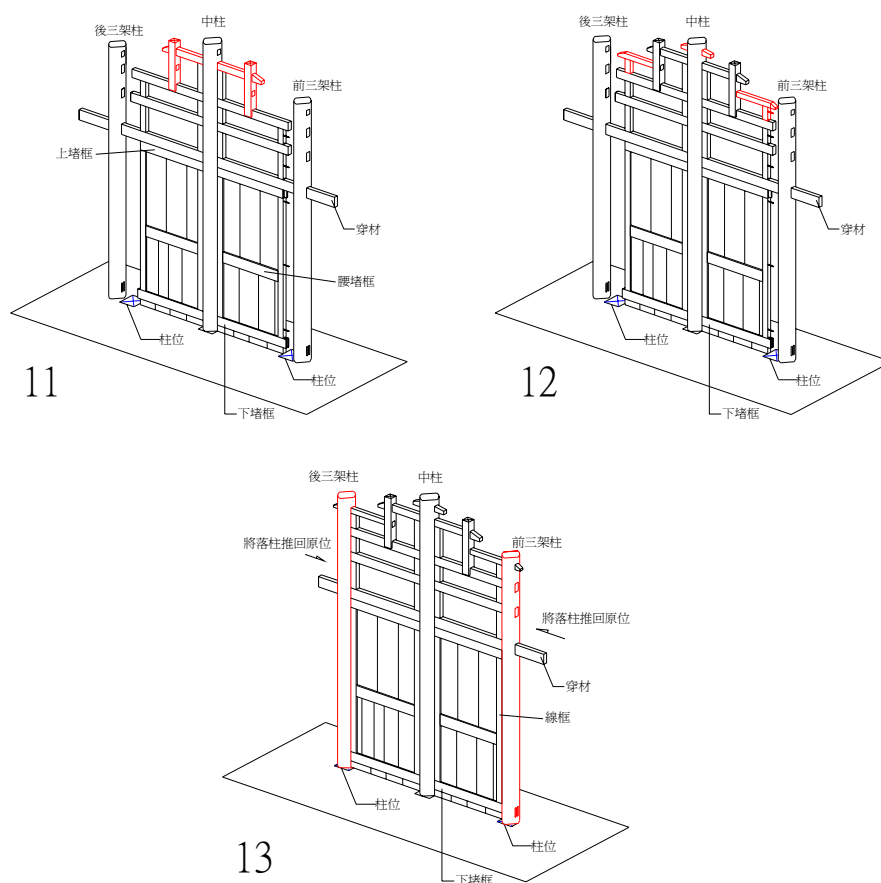


圖 2-33 B 類壁體組立程序

資料來源：陳偉傑，2006

三、C 類：穿材以上為編泥牆；上腰堵為木堵板壁；下腰堵為磚牆。其組立流程可參考圖 2-34。

### 1. 主體構件之組立

基本上 C 類在此階段的施作流程大致上與 A 類、B 類相同，先行組立中柱及第一層之穿材，而前後三架柱則是暫時搭接於落柱上，但因其下腰堵採用磚造，因此壁體與邊框的安裝作業需由上腰堵部位開始進行。

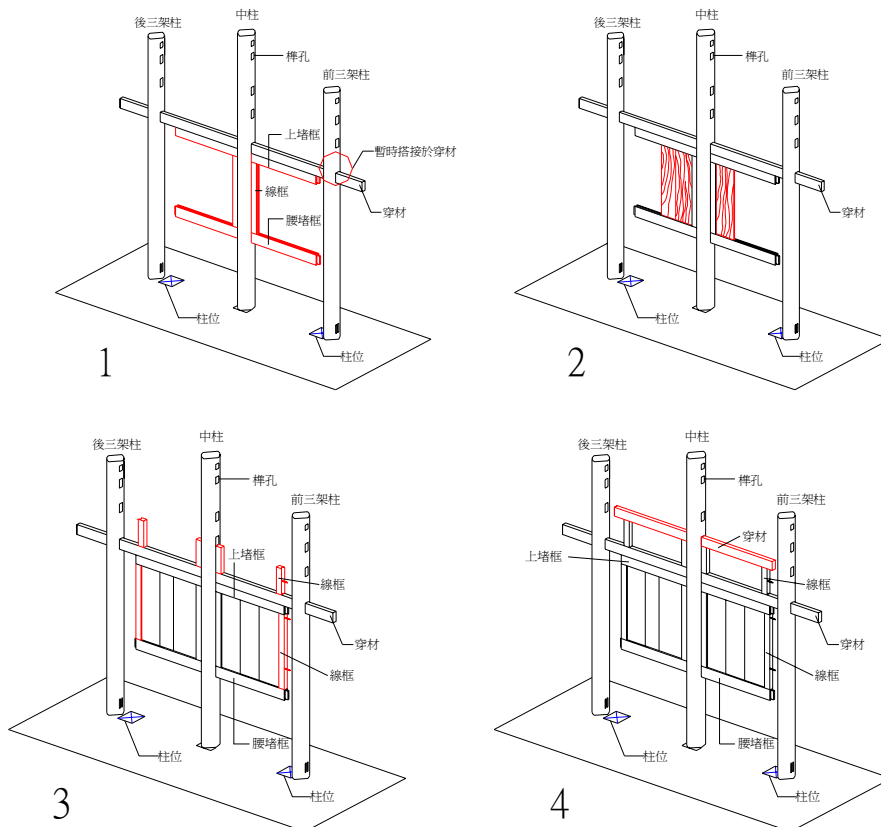
### 2. 上腰堵壁體安裝

如圖 2-33 所示，下腰堵採用磚牆，其施作必須待架扇所有構件組裝結束後再進行砌磚，因此必須先從上腰堵部位開始施作。首先組立腰堵框、中柱

旁之線框及上堵框，由於邊框接合主要採用榫接及溝槽搭接，因此作業必須一併進行。木堵板壁的安裝，與 B 類、A 類相同，以單片方式組立，待上腰堵木板填裝完成，便可將前後三架柱之線框與壁體搭接。

### 3. 穿材以上壁體安裝及落柱之定位

因 C 類同樣採用編泥牆構造，故穿材以上區域依序將各構件組立，接著將前後三架柱放置回原位。當架扇之構件（包括落柱、穿材、彎插及木堵板壁等）施作結束，便進行下腰堵磚牆疊砌。此流程與 A、B 類最大差異，在於 C 類下腰堵採用磚造壁體，因此需等待所有木構件組立後再進行施工；A、B 類磚層主要分佈於下堵框的下側，且僅一皮至二皮的範圍，因此可先行施作，不會影響架扇各構件的組裝。編泥牆之施作，與 A、B 類相同，為壁體最後施作之程序。



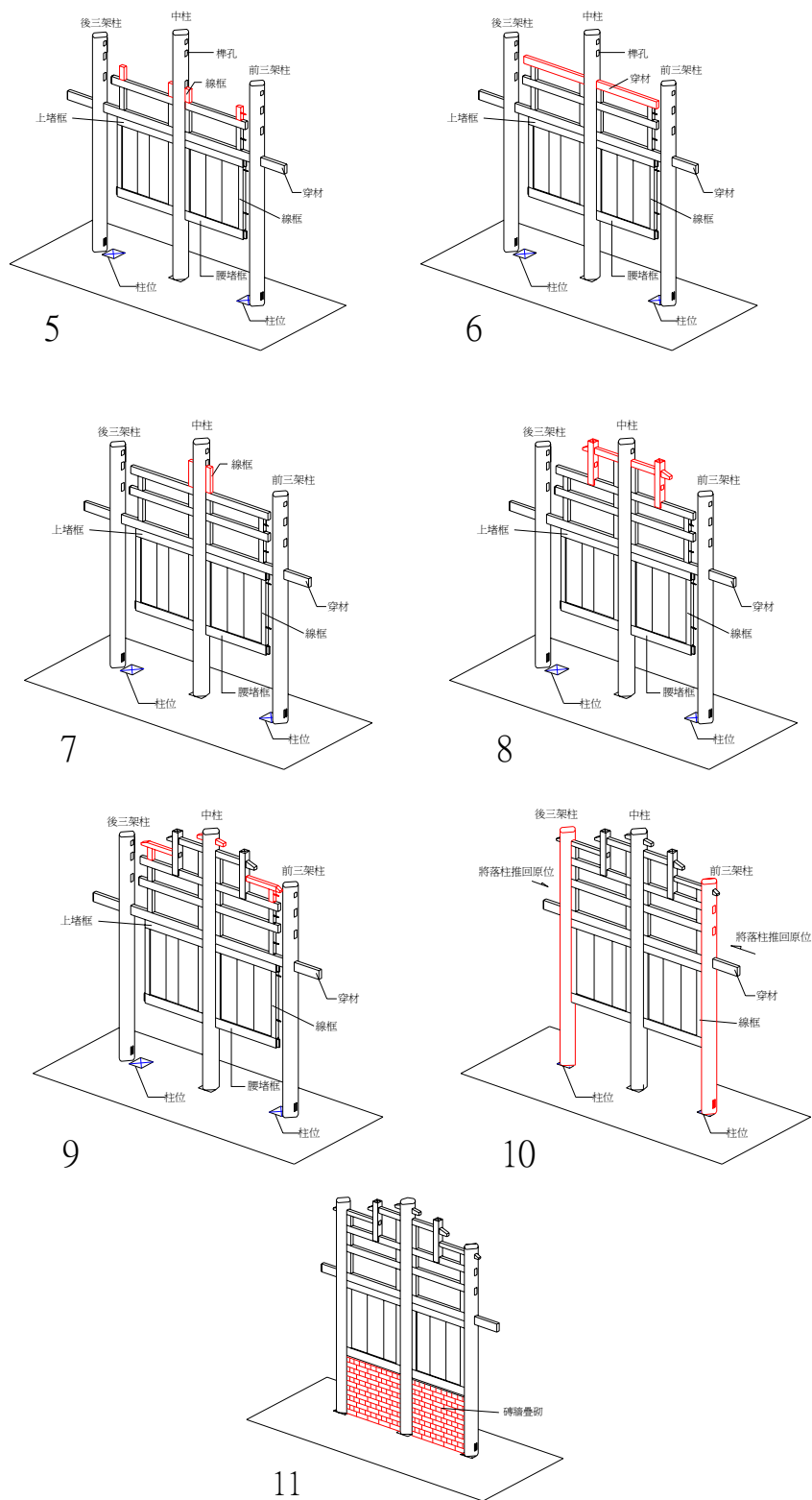


圖 2-34 C類壁體組立程序

資料來源：陳偉傑，2006

## (二) 所有木構件接於地面層組裝

此類的組構程序與第一種模式的差異在於前者是「由上至下」進行安裝，而後者則是「由下至上」，且此種模式皆於地面層安裝。另外，在前述組構原則中提及，架扇的安裝必須視現場的規模而決定程序，因此第二種的組構程序可能在施工現場較為寬廣的條件下方可進行。其組構之流程如圖 2-34 所示。

### 一、確認各落柱之位置

首先將各落柱置於地面層，並確認各落柱之間距後，以中柱為基準進行架扇最上層的彎插、穿材（最上層之穿材）及筒仔的組裝（圖 3-35，流程 1 至 6）。接著待此區域的木構件安裝結束後便將線框組立，以固定彎插或穿材。

### 二、由上至下依序安裝穿材與彎插等構件

當前述作業施作完成後，便依序將次一層的穿材與彎插組立。當此部分施工結束後，分別將第一穿先行放入其餘落柱的榫孔內，由於第一穿的長度較大，尚須透過榫卯接合，此時先將第一穿的榫卯搭接後再將其推回中柱內，並確認其它落柱與中柱間的距離是否符合原設定的間距（圖 2-35，流程 9 至 13）。

### 三、由內至外分別安裝其餘木構件

當第一穿部分的作業完成後，依照由內至外的程序分別將筒仔、彎插等構件進行施作，並確認各構件的接合程度後便完成架扇之雛形（圖 2-35，流程 14 至 18）。

### 四、將架扇立起

最後待確認架扇所有木構件的接合狀態後，便可將架扇立起，即完成穿鬪式架扇的組構作業。另外值得注意的是，在訪談中匠師對於此類的組構模式，認為若架扇的壁體採用木堵板牆時，必須与其它木構件一併組裝，此點與第一種組構程序相同，因木堵板牆的穩定必須仰賴架扇各木構件的榫卯方能穩固。

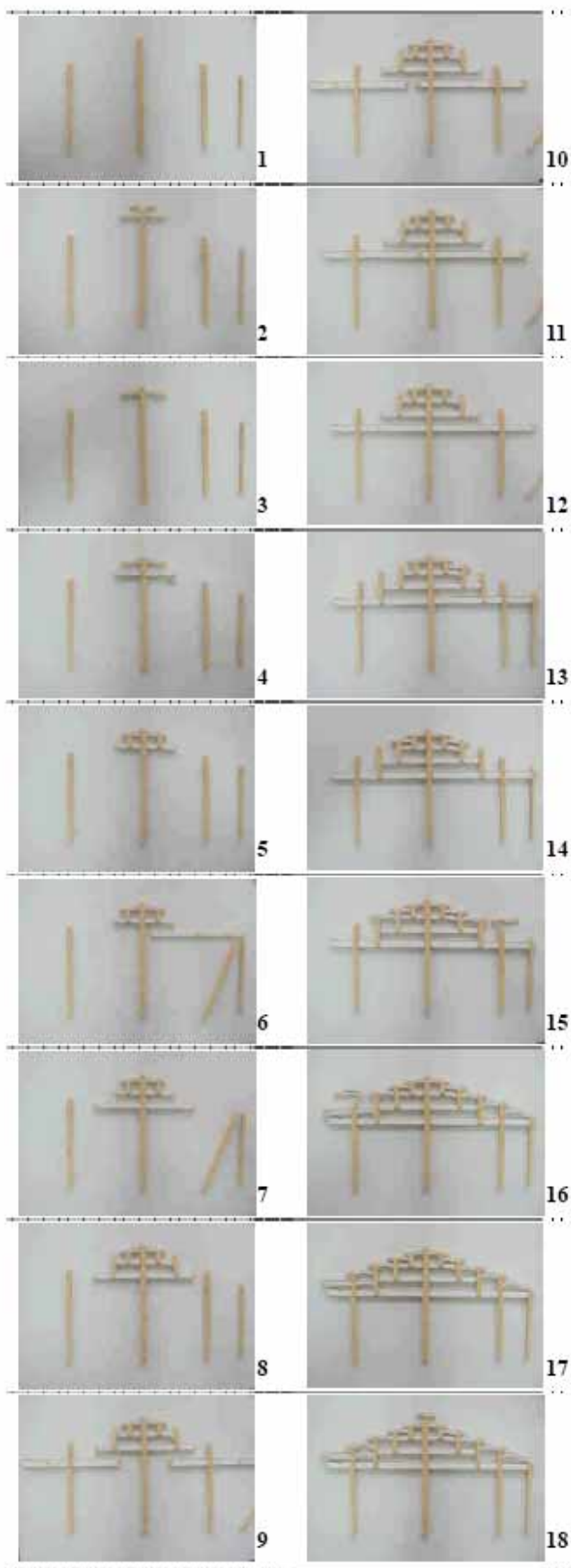


圖 2-35 架扇組構流程  
資料來源：

### 參、架扇組構程序解析

根據匠師的訪談，我們發現穿鬪式木構架的組立方式往往是依照工地現場的不同條件而有不同的方法，在此我們透過九十五年度的計畫中執行傳統穿鬪式木構架的機會，記錄了穿鬪式木構架的組立方式。匠師在基礎上位好點以後，將中柱立起，並利用榫卯系統固定在下方鋼製基座上，再利用臨時支撐將中柱固定住(如圖2-36)。將中堵堵板牆所需要的上堵框穿過第一穿的下方，以作為中、下兩腰堵板必所需要的外框(如圖2-37)，然後再將後三架柱立起，並利用上堵框上面的榫卯系統固定(如圖2-38)。接著再裝上下堵框，作為中柱與後三架柱之間堵板需要的下框(圖2-39)，並開始安裝木堵板壁所需要的抱柱(如圖2-40)，值得注意的是匠師在抱柱與落地柱之間利用矩形的楔子搭配白膠以強化連結。



圖 2-36 匠師組立中柱

資料來源：本研究拍攝



圖 2-37 安裝上堵框

資料來源：本研究拍攝

接著在抱柱之間安裝上堵板(如圖 2-41)，其中堵板係大木匠師先在工地現場製作，採用公母啣配合竹釘將兩片堵板先裝成一片，並利用木膠加以



黏結。在下堵板安裝完畢後，匠師在下堵板上端安裝腰堵框，以作為下堵板的上框與上堵板的下框（如圖 2-42），接著再安裝上堵板。

在中柱與後三架柱之間的堵板安裝完成後，接著將後五架柱立起，並利用上堵框將之扣住以維持穩定，接著利用相同的程序將後三架柱與後五架柱之間的堵板安裝完成（如圖 2-43）。在後半部的堵板完成後，接著前三架柱立起（如圖 2-44），並準備安裝第一穿。由於第一穿需要長度非常的長，因此匠師乃利用燕尾榫搭接，並將燕尾榫部位隱藏在中柱內部。接著利用相同的程序組裝中柱與前三架柱間的堵板後，將前五架柱立起（如圖 2-45），並安裝門框（如圖 2-46）與上堵框（如圖 2-47），最後再將第一穿拉到定位後，利用楔子打入穿材與柱材之間，以固定梁與柱（如圖 2-48）。



**圖 2-38 匠師組立後三架柱**  
資料來源：本研究拍攝



**圖 2-39 安裝下堵框**  
資料來源：本研究拍攝





圖 2-40 組立抱柱

資料來源：本研究拍攝



圖 2-41 安裝堵板

資料來源：本研究拍攝



圖 2-42 安裝腰堵框

資料來源：本研究拍攝



圖 2-43 堵板安裝完成

資料來源：本研究拍攝



圖 2-44 組立前三柱

資料來源：本研究拍攝



圖 2-45 立起前五架柱

資料來源：本研究拍攝



圖 2-46 安裝門框

資料來源：本研究拍攝



圖 2-47 安裝上堵框

資料來源：本研究拍攝



圖 2-48 將楔子打入

資料來源：本研究拍攝

到了這一個階段，堵板的部分可以說已經完成，接下來便是安裝第二穿及第三穿。而由於匠師將第二穿與中柱連接的部位利用燕尾榫搭接，因此必須先將燕尾榫部位在中柱外面先卡住（如圖 2-49），再將燕尾榫藏在中柱內部（如圖 2-50）。第二穿完成後，由於第三穿是連續構件，因此直接將之穿過落柱。在第二穿及第三穿完成後，便開始組裝彎插與筒仔（如圖 2-51），完成後亦利用楔子塞住柱與梁之間的開口部位。至此整個架扇的木作部分已經完成，接著是編泥牆的部分。

由過去田野調查的結果可知，位於架扇中堵或下堵部位的編泥牆其籬梗大多為水平向，而籬仔則大多為垂直向編織；而位於上堵部位的編泥牆則恰好相反。在編好內部竹骨架後，在外面抹上一層粗糠土。由於本架扇試體編泥牆位於上堵的部位，因此籬仔呈水平向編織。首先分別在邊框兩邊及中間置入一垂直向的籬梗（如圖2-52），再利用籬仔做水平向的編織（如圖2-53）。在內部骨架編織完成後，在竹骨架外面抹上一層粗糠土（如圖2-54）。在粗糠土乾燥的過程中會有乾裂的現象出現，因此每隔一至二日便需要利用濕的粗

糠土再將裂開的裂縫部位填補起來，直至不會有新的裂縫產生為止。



圖 2-49 在中柱外部組裝燕尾樑

資料來源：本研究拍攝



圖 2-50 將第二穿定位

資料來源：本研究拍攝



圖 2-51 將第二穿定位

資料來源：本研究拍攝





圖 2-52 在邊框敲入籬梗

資料來源：本研究拍攝



圖 2-53 編織籬仔

資料來源：本研究拍攝



圖 2-54 在骨架外面塗抹米糠土

資料來源：本研究拍攝

## 第三章 穿鬪式木構造概論

### 第一節 穿鬪式木構造調查分析

在過去的研究中，我們曾經分別針對穿鬪式木構造進行過解體與田野調查等兩種調查，解體調查的目的在於使我們瞭解穿鬪式木構造的構造細部特徵，而田野調查的目的則主要在調查穿鬪式木構造的材、尺寸及形式等。

#### 壹、解體調查

為了瞭解穿鬪式木構造內部接合的形式，我們利用機會針對南投張厝、嘉義縣新港大興宮後廳堂及台南縣麻豆郭厝進行解體調查。南投張宅原本位於南投市中心，在九二一地震後發生傾斜倒塌現象，為了日後保存因此將之解體保存，待日後做展示之用。而嘉義縣新港鄉的大興宮現為嘉義縣縣定古蹟，我們利用其後廳堂在進行修復的機會進行解體調查。而麻豆郭厝位於麻豆鎮內，興建至今約 80 年，於民國 92 年拆除。解體調查的結果大致可歸納為接點與壁體兩大重點。

#### 一、接點：

1. 梁柱接點主要可分為連續、斷開對接與燕尾榫搭接等三種形式（如圖 3-1）。例如在新港大興宮後廳堂的案例中，這四個接點中有三個接點的穿材為連續構件，僅一個接點為斷開，且製作燕尾榫搭接；而在麻豆郭厝的案例中，我們發現該建築物的接點全部都是斷開對接。



**圖 3-1 南投張宅解體調查情形**

資料來源：張紋韶，2005

2. 在兩個平行架扇進身的方向，往往會透過繫梁或燈梁來互相連接，而解體調查發現這個部位的接點大多利用踏步燕尾榫與鈎逗榫相連接。

二、牆體：傳統穿鬥式木構造的壁體大致可分為編竹泥牆與木堵版壁等兩類。

1. 在木堵版壁方面，多數板牆皆由數片木板拼接而成，而木板拼接處榫口利用公母啣搭接在一起，並輔以竹釘以避免面外變形。
2. 在編泥牆方面，內部編織材的材料主要包括桂竹、荊竹、麻竹與五節芒。而在內部透過籬梗來幫助竹材或是五節芒編織，但是為了避免牆體的寬度過大，因此亦會在內部安排暗梗以避免過大的面外變形。其內部編織方式如圖 3-2 與 3-3 所示。

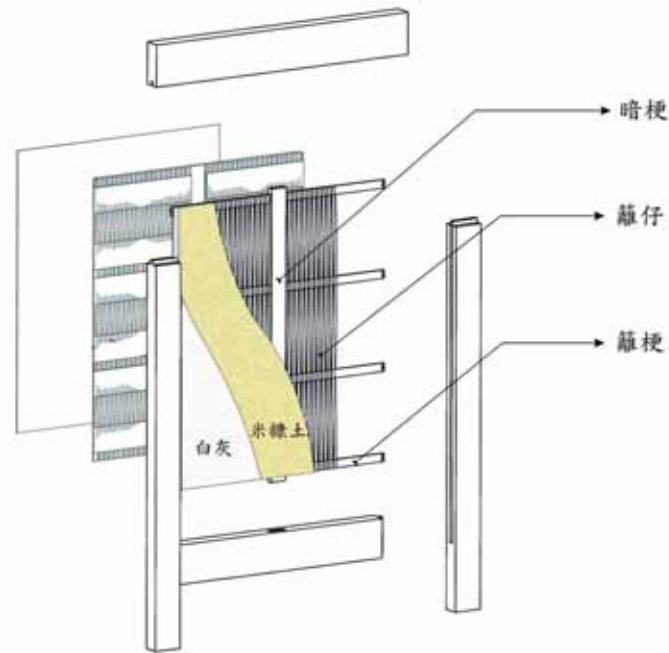


圖 3-2 傳統編泥牆構件名稱示意圖

資料來源：蔡侑樺，2004



圖 3-3 邊泥牆內部編織形式

資料來源：本研究拍攝

## 貳、田野調查

在本整合型研究案的第一年，我們針對了彰化、南投、嘉義、台南與高雄等地做了大規模的田野調查，共調查約 87 個案例[1]，而隨後則又針對台南地區的傳統穿鬮式木構造進行進一步的調查，另外增加了 21 個案例[2]，得到的結論如下：

1. 民宅正身規模以 11 架者為最多；而 9 架其次[2]。



2. 穿鬮式木構架架扇填充牆體的材料方面如圖 3-3 所示。由該圖可知，若將整個架扇依照高程分為 A、B、C 三種不同高程，在高程 C 的位置中，約有 79% 案例的牆體是木堵板牆，僅約有 21% 為編泥牆或磚牆。在高程 B 與 A 的位置中，分別有 54% 及 9% 的比例是利用木堵板牆構成[3]。

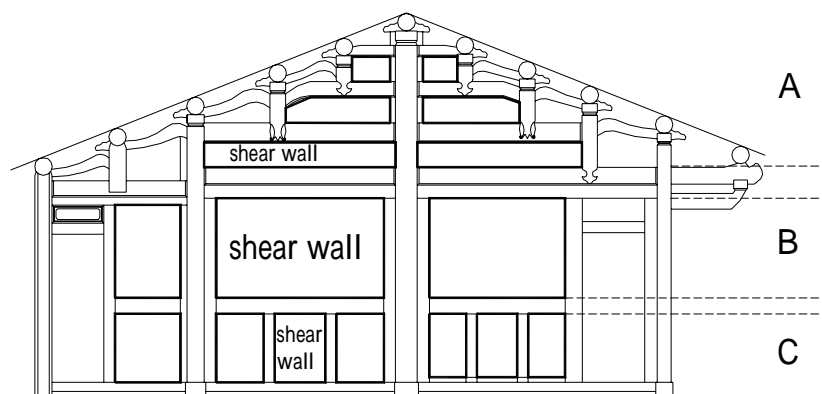


圖 3-4 穿鬮式木構架架扇牆體示意圖

資料來源：本研究繪製

3. 木堵版壁體單版尺寸大多介於 10cm 至 20cm 之間，而壁體寬度越大，則拼接的單版數量越多。另外整片壁體寬度大多介於 40cm-60cm 之間，而高度則介於 70cm-90cm 之間，版材的厚度則約為 2cm。在竹釘數量方面，多為兩根或三根，而竹釘數量則依照壁體高度而有所變化。
4. 架扇中段牆（圖 3-4 高程 B）寬度分佈在 40-180 公分間，牆高集中分佈在 100-120 公分之間。各部位牆體之籬梗平均間距均在 22 公分左右，但五節芒籬仔由於厚度較厚，因此以五節芒作為籬仔之籬梗間距平均間距較大為 33.2 公分，尺寸分佈在 27-48 公分之間。

## 第二節 九二一地震下穿鬥式木構造的震害情形

九二一地震造成許多古蹟與歷史建築物的損壞，在地震發生後，有許多單位加入勘災調查的行列，例如內政部建築研究所與行政院文建會，也留下了相當寶貴的資料。本研究重新整理不同單位所做的勘災調查報告，其中發現在受損的古蹟與歷史建築中，約有約 70% 是木構造，而其中穿鬥式木構架就已經佔了約 44%（如圖 3-5），而在這 70% 受到損壞的木構造中，我們發現受損皆相當嚴重，嚴重破壞、傾斜與崩塌的比例高達約 80%（如圖 3-6）。由此我們可以知道，國內木構造在九二一地震中受損相當嚴重，其中穿鬥式木構架的損壞程度最為嚴重（如圖 3-7、3-8、3-9）。

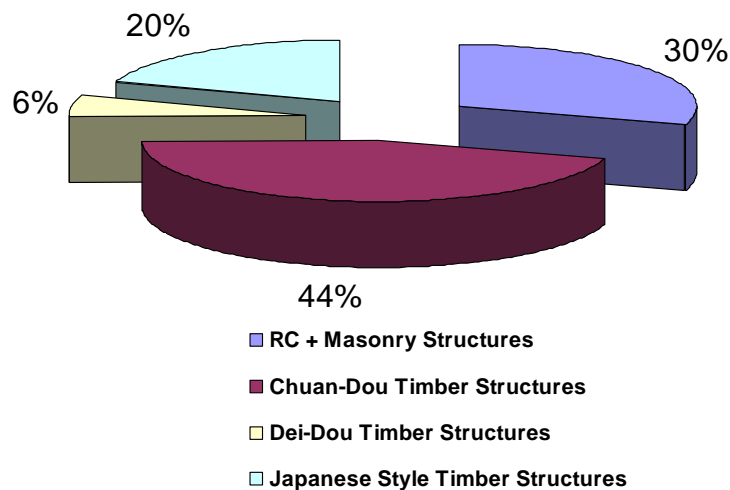


圖 3-5 九二一地震中受損的古蹟與歷史建築物構造比例

資料來源：張紋韶，2005

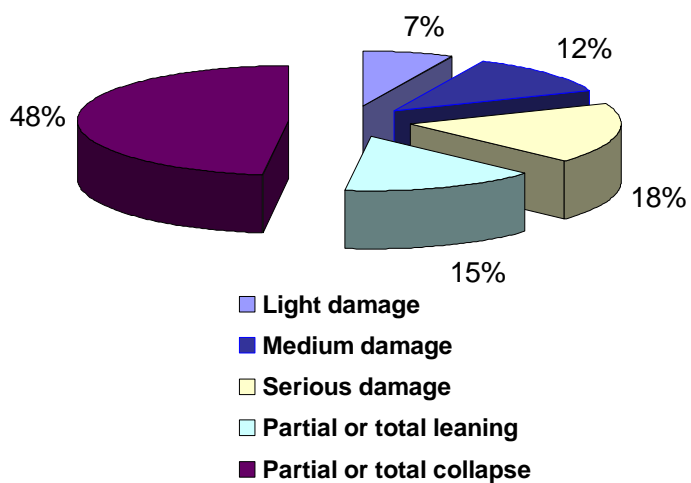


圖 3-6 受損的木構造的受損程度

資料來源：張紋韶，2005



圖 3-7 霧峰林宅在九二一地震中崩塌的狀況

資料來源：張紋韶，2005



圖 3-8 石岡鄉民宅崩塌情形

資料來源：張紋韶，2005



圖 3-9 東勢民宅崩塌情形

資料來源：張紋韶，2005

經過歸納，導致傳統穿鬮式木構架損壞嚴重的原因包括：

1. 木構架本身受到面外地震力的作用，而架扇的面外地震抵抗能力相當薄弱（往往僅靠一根燈梁來維繫），因此很容易發生面外崩塌的破壞（圖 3-10）。
2. 由於穿鬮式木構架本身的水平側向勁度不高，尤其許多架扇的梁柱接點皆非前面調查所述的連續構材，因此剛度不高，同時上面又支承著相當重的屋頂，因此 P- 效應往往會相當明顯。另外，由於架扇本身勁度不高，因此在受到地震力作用時，可能會因為過大的變形而將上方的屋瓦甩開（圖 3-11）。
3. 架扇外圍的磚牆發生崩塌而壓垮穿鬮式木構架本身。
4. 兩平行的架扇之間僅依靠一兩根梁來維繫，因此地震力來襲時很容易導致兩個架扇的變形不同步，進一步使架扇上方的桁條脫落（圖 3-12）。



圖 3-10 穿鬥式木構架面外傾斜



圖 3-11 穿鬥式木構架屋頂屋瓦被甩落

資料來源：張紋韶，2005

資料來源：張紋韶，  
2005



圖 3-12 由於變形不同步導致桁條脫落屋頂崩塌

資料來源：張紋韶，2005

由過去的勘災報告並針對受到破壞的穿鬥式木構架進行比對後我們可以發現，穿鬥式木構架大多發生傾斜，而發生局部或整體崩塌比例與疊斗式木構架相比並不高，但是我們發現在許多發生傾斜的案例中，許多梁柱接點皆為斷開對接的型態。

### 第三節 穿鬪式木構架結構特性

九十五年度我們進行了傳統穿鬪式木構架足尺的力學試驗，在搭配過去九二一地震的勘災資料我們可以歸納出穿鬪式木構架有以下幾個結構特性：

1. 穿鬪式木構架不論在進身方向或是面鬪方向其水平勁度皆非常的小，因此在受到地震力作用下很容易發生變形。
2. 由實驗資料（圖 3-13）可以發現，穿鬪式木構架在受到地震往覆力作用時，其遲滯迴圈會有擠壓（Pinching）的現象，他的主要原因在於許多結構元件在經歷過大變位以後會發生不可回覆的變形，而其影響為在受到往覆荷載時，其吸能效果並不佳。

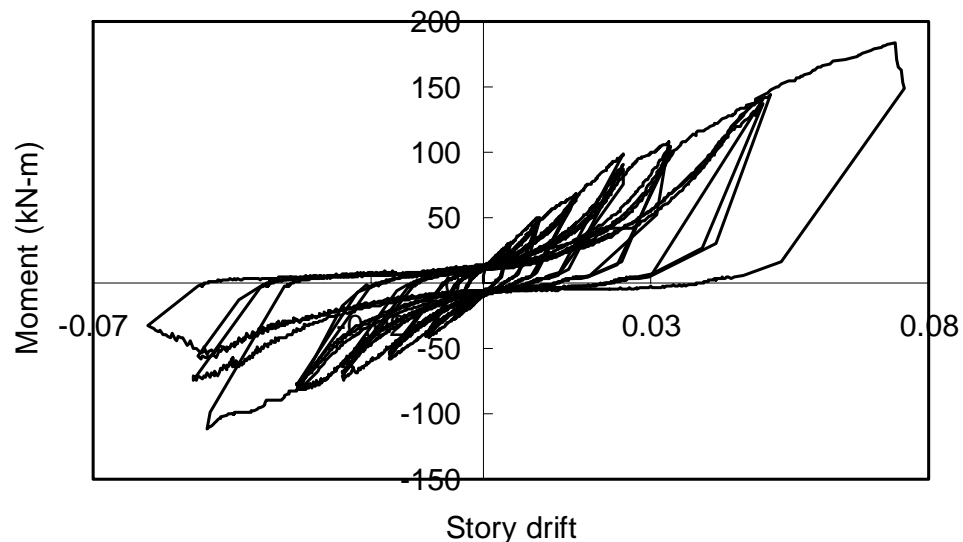


圖 3-13 穿鬪式木構架受到往覆荷載時的遲滯迴圈

資料來源：徐明福等，2006

3. 實驗結果顯示，穿鬪式木構架內填充木堵板牆體其強度與吸能效果皆較填充編泥牆牆體的架扇還要高。



#### 第四節 傳統穿鬥式木構造的使用材料

由於穿鬥式木構架一般使用於民宅，因此取材以便利為主要考量因素，通常是採就地取材的方式，並以木、竹為基本骨架。「本省林木茂盛，但因地形陡峭，故紅檜、扁柏等高山良木均遲至日據以後才開採。日治以前，本省的木料除平地可取得之肖楠、茄苳、赤皮、樟等之外，主要為來自福州之『福杉』。」[4]而過去在漳泉兩地大量移民入台之際，其壓艙之物大多為產於閩江上游的福杉，自然成為了當時良好的建築用材之一。隨著日治以後，台灣林業發展而陸續開採，以及福杉來源的短缺，匠師對於建築用材的使用也因大環境的變遷而有所改變，逐漸大量使用台灣本島所出產的木材，而檜木因質材強韌，成為許多匠師主要使用的構造材料，但也有匠師使用柳杉、福杉，甚至柳安等材料[5]。另外，田野調查的結果顯示，約僅有33%的比例個古蹟與歷史建築物係利用檜木所興建，而杉木建造的加起來共佔了約63%。

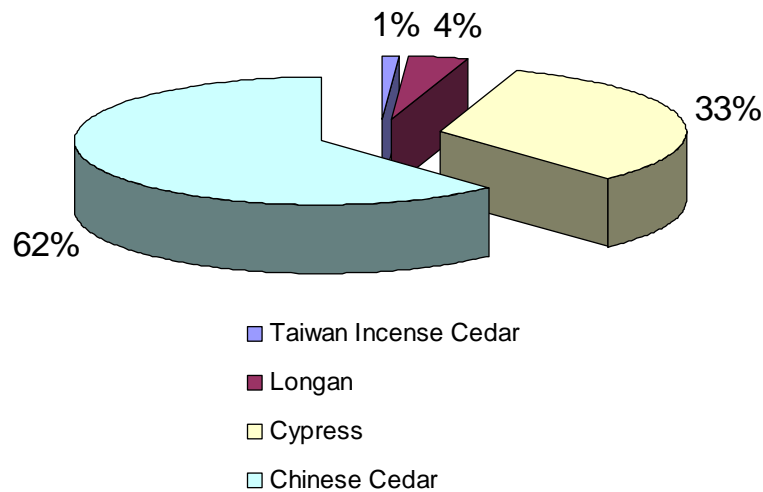


圖 3-14 田野調查結果

資料來源：本研究繪製

至於在竹材的使用上，因台灣早期竹林茂盛，取得容易、價格低廉，所以易成為一般民居中常見的建材；尤其是在靠近山區盛產竹子的鄰近地區，

竹材更是為一般民宅所普遍使用，種類大部分則以刺竹、麻竹及桂竹為主。除了作為穿鬪式屋架主要構材的木竹材料以外，在骨架間的壁體填充材主要有磚、板壁及編竹夾泥等，會因所在牆面位置不同而有所變化；編竹夾泥牆的材料主要是利用竹條、木片或五節芒，以直交相互編織的方式，形成一網狀的密集面架，固定於穿鬪式骨架間，並覆以泥土（粗糠土、壤土或黏土中加粗糠、稻草等），外抹白灰而成。





## 第四章 穿鬪式木構造構件強度評估

### 第一節 穿鬪式木結構安全評估流程

在現有的耐震分析中，一般認為振動時歷分析（Time-History Analyses）較能反應出建築物在真正受到地震時的反應，但其缺點主要在需要大量的計算及耗時耗力，因此本研究採用的方法主要依據成大建築系許茂雄教授發展出來的『靜態推垮曲線法』。

其方法為分別先反算個別構件的力量—變形圖，可假設為線彈性，在變形諧和的前提下，將各個結構構件所分擔的外力累加起來，得到整個結構物的力量—變形曲線。這樣的好處是可以同時得到各個構件的破壞時機，而可以進一步推導等值彈性基底剪力，並換算成地表加速度。

Itani 與 Cheung 指出，在含牆體的木構架受到地震力作用時，構件本身的彎曲抵抗力對於整個構架的側向勁度影響很小，可以忽略[1]。因此本研究的評估方法其主要概念如圖 4-1 所示。由圖 4-1 可知，水平力  $V$  主要由八個接點（Joint A 到 Joint H）及三道牆體（Wall A 到 Wall C）來抵抗，因此可以用下式表示：

$$V \times H = \sum M = M_{\text{Joint A}} + M_{\text{Joint B}} + M_{\text{Joint C}} + M_{\text{Joint D}} + M_{\text{Joint E}} + M_{\text{Joint F}} + M_{\text{Joint G}} + M_{\text{Joint H}} + M_{\text{Wall A}} + M_{\text{Wall B}} + M_{\text{Wall C}}$$

前面提到，根據解體調查發現傳統穿鬪式木結構中梁柱接點雖然外觀都相同（柱穿過梁），但是梁在柱中的接法卻不同，這些接法包括了連續型、斷開對接與燕尾榫搭接三種。因此在調查時，首先要針對每個接點調查出其接合型態並做下記錄。接點型態的研判將在本章第二節中說明，而在瞭解每一個接點的形式以後，再依據本章第四節的說明進行概算。因此整個流程圖如下圖 4-2 所示。另外，牆體根據調查結果主要為木堵板牆與編竹泥牆，其強度概算法將在第三節中說明。

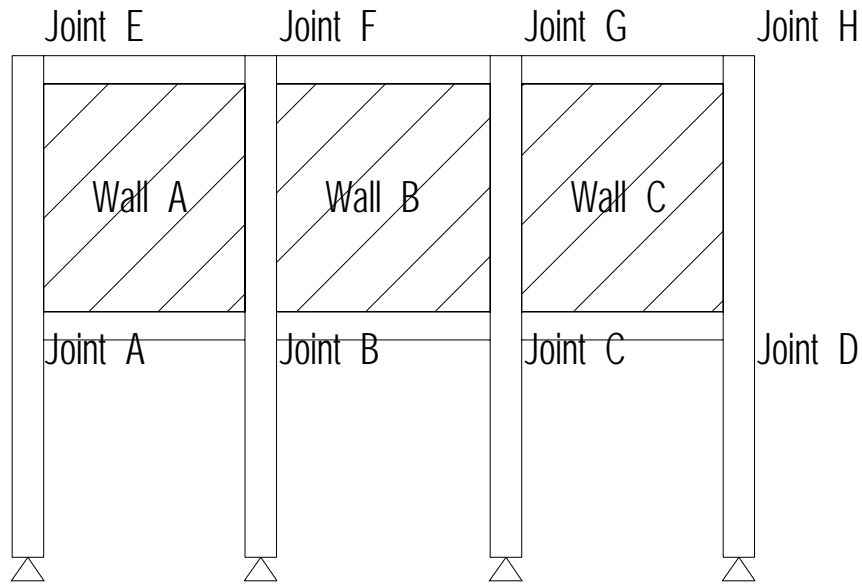


圖 4-1 計算容量曲線概念示意圖

資料來源：本研究繪製

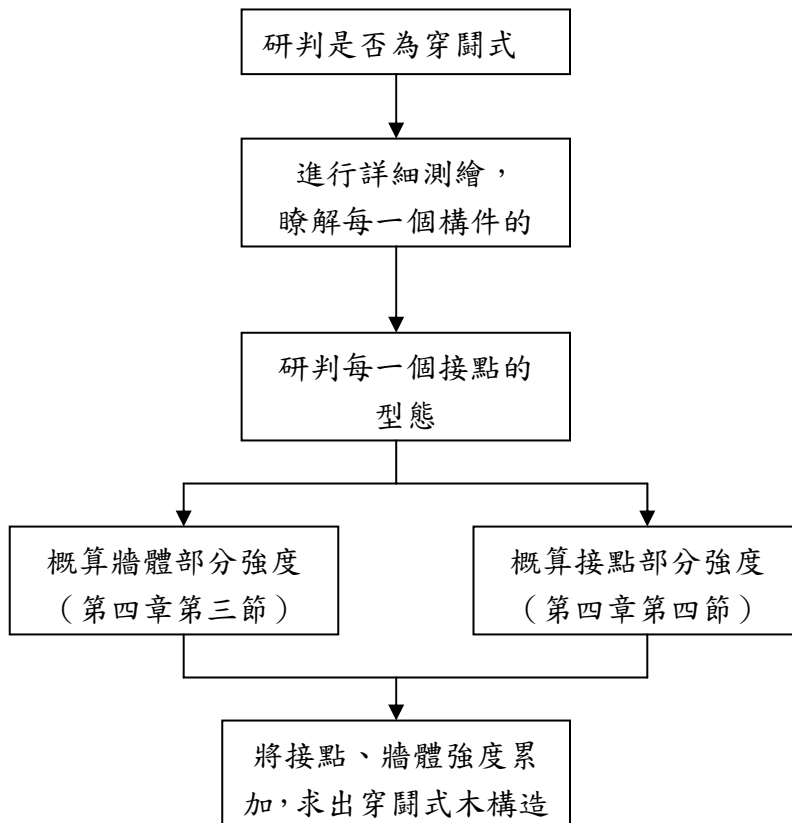


圖 4-2 結構強度計算流程圖

資料來源：本研究繪製

## 第二節 架扇面內梁柱接點類型研判

### 設備需求：

1. 高頻 (>10KH) 加速規兩顆
2. 高頻率 (>10KH) 多通道(>2CH)資料擷取器
3. 超音波計時器

### 操作流程：

1. 將兩顆加速規（震源端與接收端各一顆）固定在梁柱接點的兩端（如圖 4-3），距離固定為 30cm。
2. 串連超音波計時器與高頻率資料擷取器，並連接在加速規上。
3. 將計時器與資料擷取器設定為敲擊後自動開始記錄。
4. 利用敲擊槌敲擊震源端的加速規，並同時透過超音波計時器記錄應力波從震源端到接收端所需要的時間。
5. 利用資料擷取器記錄敲擊時震源端的最大震幅與接收端的振動時歷記錄，並求得最大震幅（H1 與 H2）（如圖 4-4 與 4-5）。
6. 計算應力波速在接點中的速度（透過 4-1 式計算）與兩個加速規的最大震幅比（透過 4-2 式計算）。

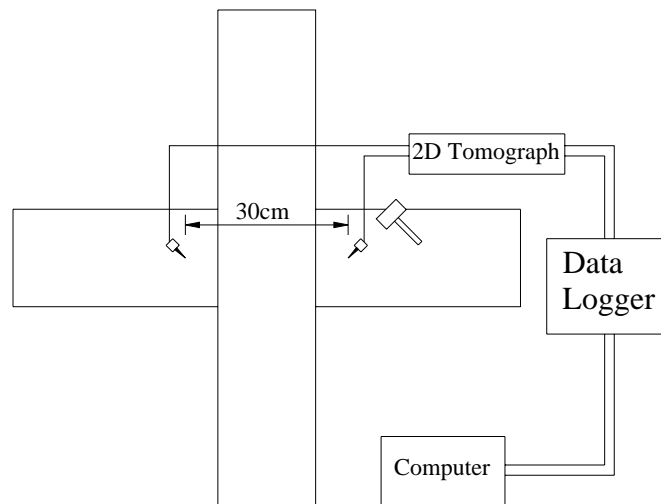


圖 4-3 接點研判實驗裝置

資料來源：本研究繪製

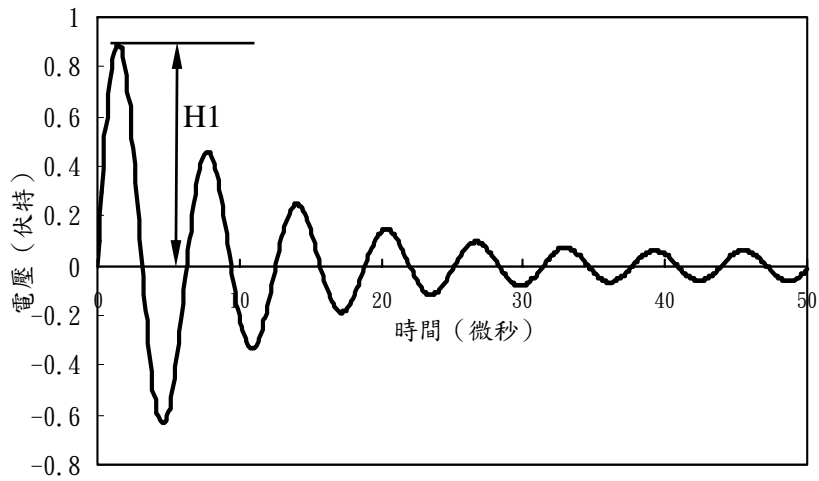


圖 4-4 震源端振動時歷紀錄

資料來源：本研究繪製

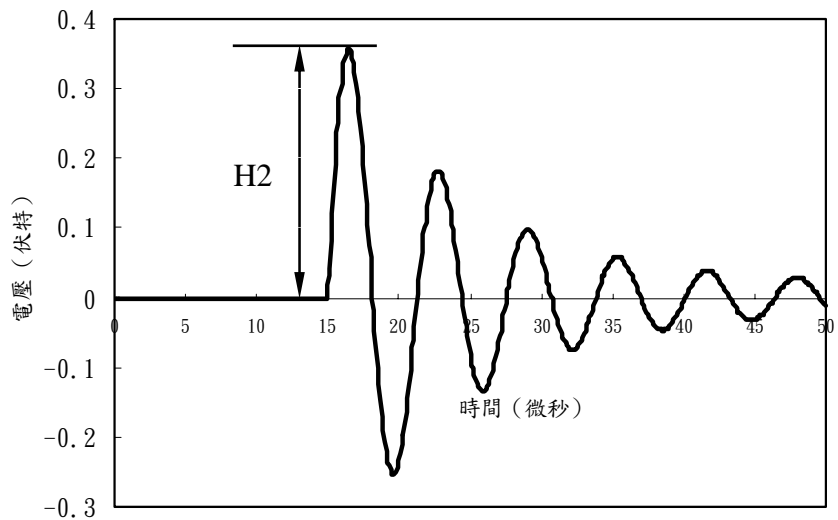


圖 4-5 接收端振動時歷紀錄

資料來源：本研究繪製

$$V = \frac{0.3m}{T(\text{sec})} \dots\dots\dots(4-1)$$

$$ATR = \frac{H2}{H1} \dots\dots\dots(4-2)$$

**研判方法**

1. 先比較接點兩端的應力波速，如果應力波大於 3500m/s，則該接點應為連續型態的接點（如圖 4-6）。如果應力波小於 3500，則應比較最大震幅比。

2. 若應力波速小於 3500m/s，且震幅比大於 0.15，則研判該接點型態為燕尾榫搭接；小於 0.15 則該接點型態可能為斷開對接（圖 4-7）。

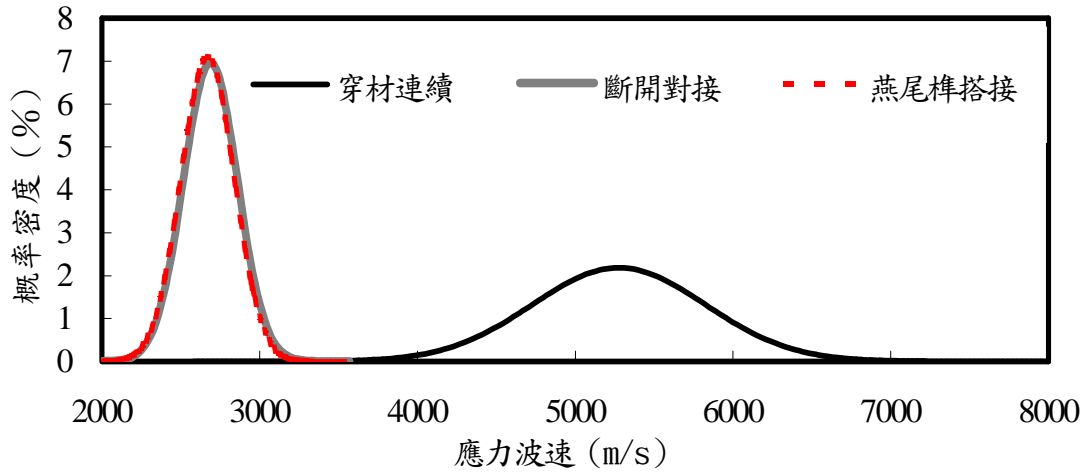


圖 4-6 不同形式接點應力波速概率密度分佈

資料來源：本研究繪製

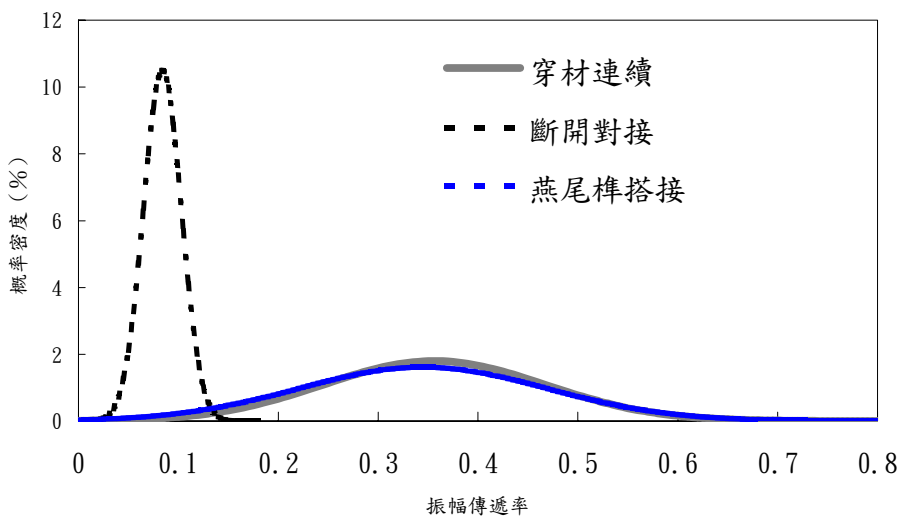


圖 4-7 不同形式接點振幅傳遞率概率密度分佈

資料來源：本研究繪製

在過去的研究中發現，柱子的軸向力大小對於研判的結果並沒有太大的影響，因此本方法適用於不同部位的架扇面內梁柱接點。

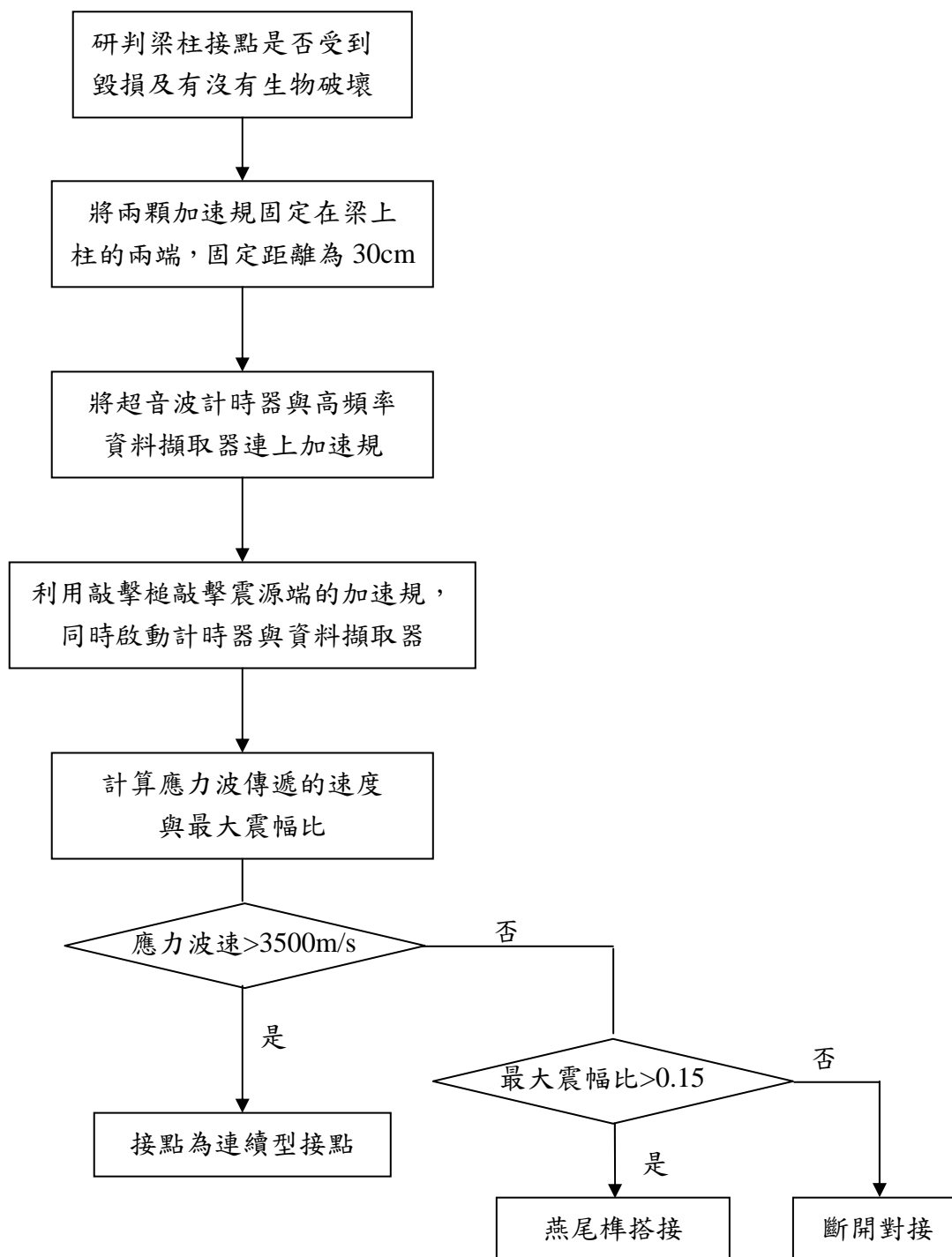


圖 4-8 接點研判流程圖

資料來源：本研究繪製

### 第三節 牆體結構強度評估

穿鬮式木構造構架內填充材一般包括木堵板牆與編竹泥牆兩大類，於本整合型計畫過去已發表木堵板牆體強度的詳細評估方式，下面小節再將該詳細評估方式進一步簡化，以使未來能夠在針對穿鬮式木構造進行尺寸的調查後，直接帶入求得該部位的強度。而詳細的評估方式與參考文獻則附於附錄 B 中。

#### 壹、木堵板牆體強度評估

過去研究報告顯示，木堵板牆體的強度係由 (1) 木堵板單元與上下兩橫梁垂直局部壓縮 (Partial Compression)；(2) 木堵板單元與上下兩橫梁之間的摩擦力；及 (3) 竹釘的剪力強度所提供，但為簡化木堵板牆體的強度評估計算，本報告針對附錄 B 中的詳細評估做了以下的簡化假設：

1. 忽略纖維傾斜角對於彈性模數的影響：一般來說木材的彈性模數會隨著纖維方向的改變而改變，而其關係可由 Hankinson's Formula 來加以估算，但為簡化計算，在本報告中將此影響加以忽略。
2. 將木材的順紋方向的彈性模數設為  $70 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ ，逆紋方向彈性模數假設為順紋方向的 1/20；因此木材的順紋方向彈性模數為 6.86Gpa；逆紋方向則為 0.343Gpa。
3. 木材逆紋方向的降服壓縮應變設為 1.5%。
4. 竹釘的強度可忽略：根據詳細分析後發現，竹釘的目的係在避免堵板的面外變形，而其所提供的強度僅佔所有強度中的 4-7%，因此本報告為簡化計算將之忽略。

基於上述兩項假設，則木堵板牆體的水平側向勁度與強度可依照下面兩式計算：

$$K = 3.43 \times 10^8 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot W_b + \frac{1}{4} \cdot H_b \right) \cdot \left( \frac{\xi}{1 + \xi} \right) \cdot \left( \frac{n_u \cdot T_b \cdot W_b^2}{Bd} \right) \dots \dots \dots (4-3)$$

$$M_y = 5.145 \times 10^6 \cdot n_u \cdot T_b \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot W_b + \frac{1}{4} \cdot H_b \right) \cdot \left( \frac{\xi}{1 + \xi} \right) \dots \dots \dots (4-4)$$

上式中， $K$  與  $M_y$  分別為木堵板牆體的水平側向勁度與降服彎矩，單位皆



為 N-m/rad。而  $n_u$ 、 $T_b$  與  $H_b$  則分別為單位壁體中堵版的數量，以及堵版的厚度與高度（單位為米）； $Bd$  與  $W_b$  則分別代表木堵板單元上部梁的深度與寬度（單位為米）， $\xi$  則為木堵板單元上部梁深度與下部梁深度的比值，因此並沒有單位。

## 貳、編竹泥牆強度評估

由於本整合型研究計畫在 96 年尚有一委託研究案『傳統穿鬥式木構造編竹泥牆側向勁度推定之研究』，其中包含了針對不同尺寸與比例的編竹泥牆進行力學試驗，待其完成後，將會針對編竹泥牆強度評估做進一步的說明。

## 第四節 接點結構強度評估

根據過去針對傳統穿鬥式木構架解體調查可以發現，其木接點大致可分為連結架扇間與架扇內梁柱接點，連結架扇間的接點主要為鈎逗樺與踏步燕尾樺；而架扇內的梁柱接點則主要分為連續型、燕尾樺搭接與斷開平接等三種不同的形式。本節分別針對這些種類的接點強度評估方式進行說明：

### 壹、踏步燕尾樺與鈎逗樺

根據匠師訪談與實體調查顯示，踏步燕尾樺與鈎逗樺的尺寸有一定的比例規制，其主要受到梁尺寸的影響。踏步燕尾樺與鈎逗樺大多使用在連結兩個平行架扇之間的梁與柱子的接點，如圖 4-9 所示。

本整合型計畫在過去曾針對傳統穿鬥式木構造中踏步燕尾樺與鈎逗樺接點進行一系列的試驗，並求得評估該種類接點的旋轉進度與極限彎矩強度的概算式，詳細實驗與研究過程如附錄 C，另外將評估方式整理如下：

鈎逗樺：

$$K_i = 71.60 \times W^2 + 23.05 \times H \times D + 3108.20 \dots\dots\dots (4-5)$$

$$M_u = 122.10 \times W - 192.36 \dots\dots\dots (4-6)$$

踏步燕尾樺：

$$K_i = 425.16 + 86.14 \times H \times W \dots\dots\dots (4-7)$$

$$M_u = 182.25 - 8.67 \times W^2 - 2.68 \times H \times D \dots\dots\dots (4-8)$$

上面四式中， $K_i$  與  $M_u$  分別代表接點的旋轉勁度與極限彎矩 (N-m/rad.)，而  $W$ 、 $H$ 、 $D$  則如圖 4-10 所示，分別代表接點梁的寬度、高度與梁與柱子接合的深度 (單位皆為 cm)。

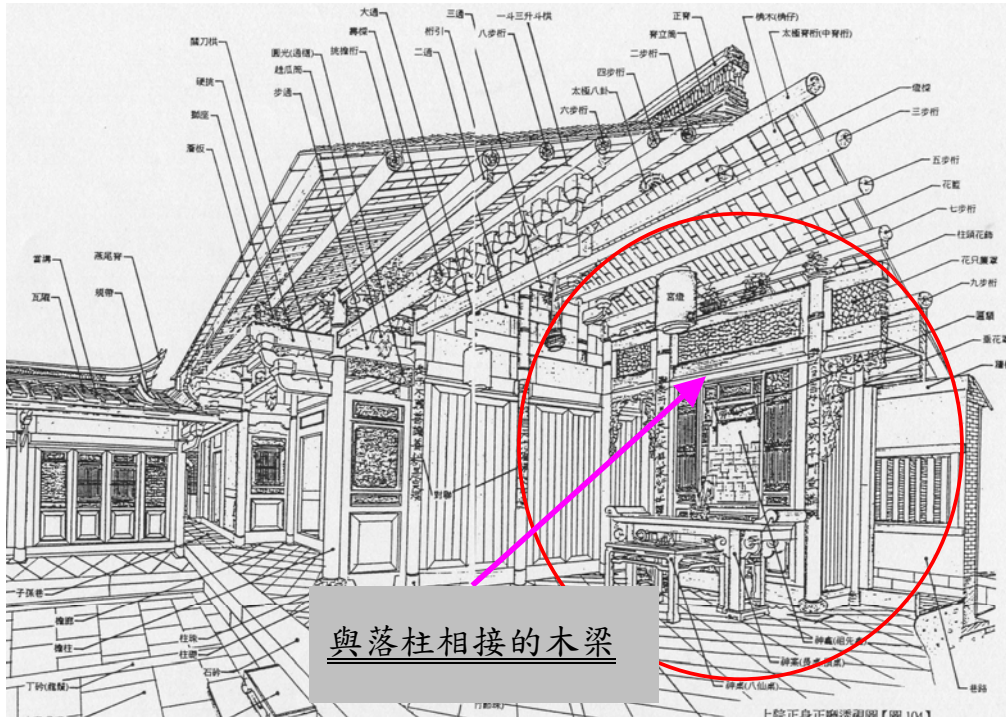


圖 4-9 鈎逗樑與踏步燕尾樑的使用位置

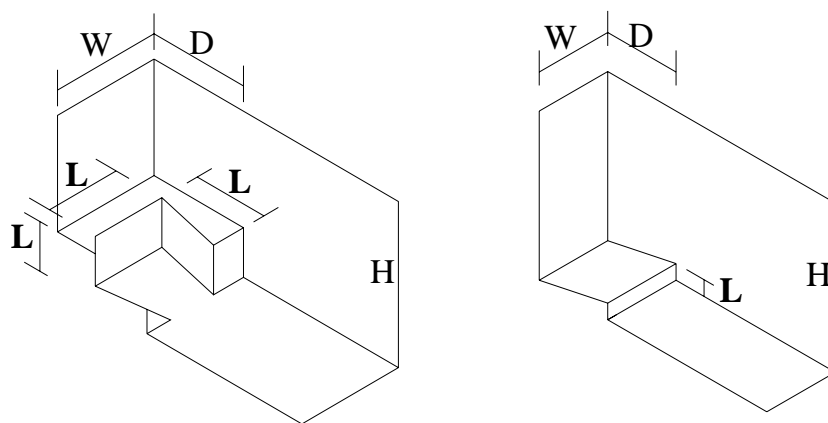


圖 4-10 踏步燕尾樑與鈎逗樑尺寸說明

資料來源：本研究繪製

## 貳、連續型梁柱接點強度概算

由於在這個整合型計畫中，本研究團隊已針對連續型梁柱接點受到彎矩作用時的行為進行詳細分析，但為了簡化計算，本報告僅利用參考文獻[3]中的分析方式加以修正，這樣的作法可以簡化計算，而詳細分析的步驟與相關文章則附於附錄 D 中。

由於穿鬥式木構架架扇內梁柱接點的一個特色在於由於梁柱接點為兩個不同構件（梁與柱）所構成，因此梁與柱接合的部位不可能完美的接合在一起而成為一個整體，這樣的現象使得接點的彎矩—旋轉行為會有一個初始滑移（Initial Slip），在這個階段接點幾乎沒有辦法提供彎矩的抵抗力，其行為與鉸接（Hinge）非常類似。因此整個彎矩—旋轉行為如圖 4-11 所示。因此欲評估連續型梁柱接點首先必須要依照下式評估接點的初始滑移：

$$IS_c = \frac{Gap}{C_w} \dots\dots\dots(4-9)$$

其中  $IS_c$  為初始滑移（Initial Slip, 單位為 rad.）， $Gap$  與  $C_w$  分別為柱與梁構材之間的缺口（cm），柱材的寬度（cm）。

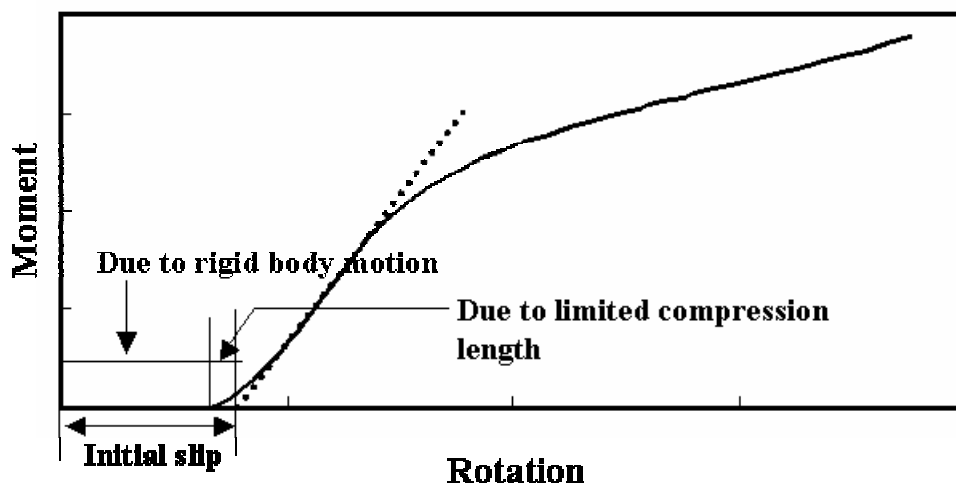


圖 4-11 接點的彎矩—旋轉行為

資料來源：本研究繪製

至於評估旋轉勁度與極限彎矩，我們亦假設木材的順紋方向的彈性模數為  $70 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ ，逆紋方向彈性模數假設為順紋方向的 1/20；因此木材的順紋方向彈性模數為 6.86Gpa；逆紋方向則為 0.343Gpa，並可用下面兩式來評

估：

$$K_{i,C} = 2.37 \times 10^7 \times \frac{Cw^3 \cdot Bw}{Bd} + 4378.9 \dots\dots\dots(4-10)$$

$$M_u = 1.164 \times 10^7 \cdot Cw^2 \cdot Bw + 215 \times \frac{Bd}{Cw} + 225 \dots\dots\dots(4-11)$$

式中  $K_{i,C}$ 、 $M_u$ 、 $Cw$ 、 $Bw$  與  $Bd$  分別為接點的旋轉勁度與極限彎矩（單位為 N-m/rad.），柱子寬度（m）、梁斷面寬度（m）與梁斷面深度（m）。

### 參、斷開平接接點強度概算

過去本研究團隊亦已針對斷開平接型梁柱接點受到彎矩作用時的行為進行詳細分析，但為了簡化計算，本報告僅利用參考文獻[3]中的分析方式加以修正，這樣的作法可以簡化計算，而詳細分析的步驟與相關文章則附於附錄 E 中。

而欲概算斷開平接型接點首先亦應先計算接點的初始滑移，其計算式如下所示：

$$IS_{FC} = \frac{2Gap}{Cw} \dots\dots\dots(4-12)$$

其中  $IS_{FC}$  為初始滑移（Initial Slip，單位為 rad.）， $Gap$  與  $Cw$  分別為柱與梁構材之間的缺口（cm），柱材的寬度（cm）。

另外，初始勁度與極限彎矩的概算是在先假設木材的順紋方向的彈性模數為  $70 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ ，逆紋方向彈性模數假設為順紋方向的 1/20 的前提下，可用下面兩式概算：

$$K_{i,FC} = 3.57 \times 10^6 \times \frac{Cw^3 \cdot Bw}{Bd} + 2.47 \times 10^6 \dots\dots\dots(4-13)$$

$$M_{FC} = (1.35 \times 10^5 \times Cw \times Bw - 605.3) \dots\dots\dots(4-14)$$

式中  $K_{i,FC}$ 、 $M_{FC}$ 、 $Cw$ 、 $Bw$  與  $Bd$  分別為接點的旋轉勁度與極限彎矩（單位為 N-m/rad.），柱子寬度（m）、梁斷面寬度（m）與梁斷面深度（m）。

#### 肆、燕尾榫搭接接點強度概算

燕尾榫搭接接點在受到彎矩作用時，如圖 4-12 所示，其結構行為如下：

- (a) 在受到彎矩之前，兩段梁構件利用燕尾榫搭接在一起，而其上方與柱子開口部上方有一縫隙。
- (b) 當接點受到彎矩作用時，整根梁開始發生旋轉，在這個階段整根梁呈現剛體旋轉運動，此時接點並沒有任何彎矩抵抗力，直到梁構件接觸到柱子開口部為止。
- (c) 當彎矩與旋轉角繼續增加時，受到彎矩作用側與開口部接觸點發生明顯的壓縮破壞，而且榫孔的部位亦發生裂縫。

要概算燕尾榫搭接接點的彎矩—旋轉角關係，首先必須要先用 (4-9) 式來預估此類接點的初始滑移，接著再概算接點的旋轉剛度與極限彎矩。在與前面兩類接點同樣的假設前提下，燕尾榫搭接接點的旋轉勁度與極限彎矩可用下面兩式來概算：

$$K_{i,DC} = 2.13 \times 10^5 \times Bw - 2847.98 \dots\dots\dots(4-15)$$

$$M_{DC} = 1258.95 \times Bw - 41.05 \dots\dots\dots(4-16)$$

式中  $K_{i,DC}$ 、 $M_{DC}$ 、 $Bw$  分別為接點的旋轉勁度與極限彎矩（單位為 N-m/rad.）與梁斷面寬度（m）。

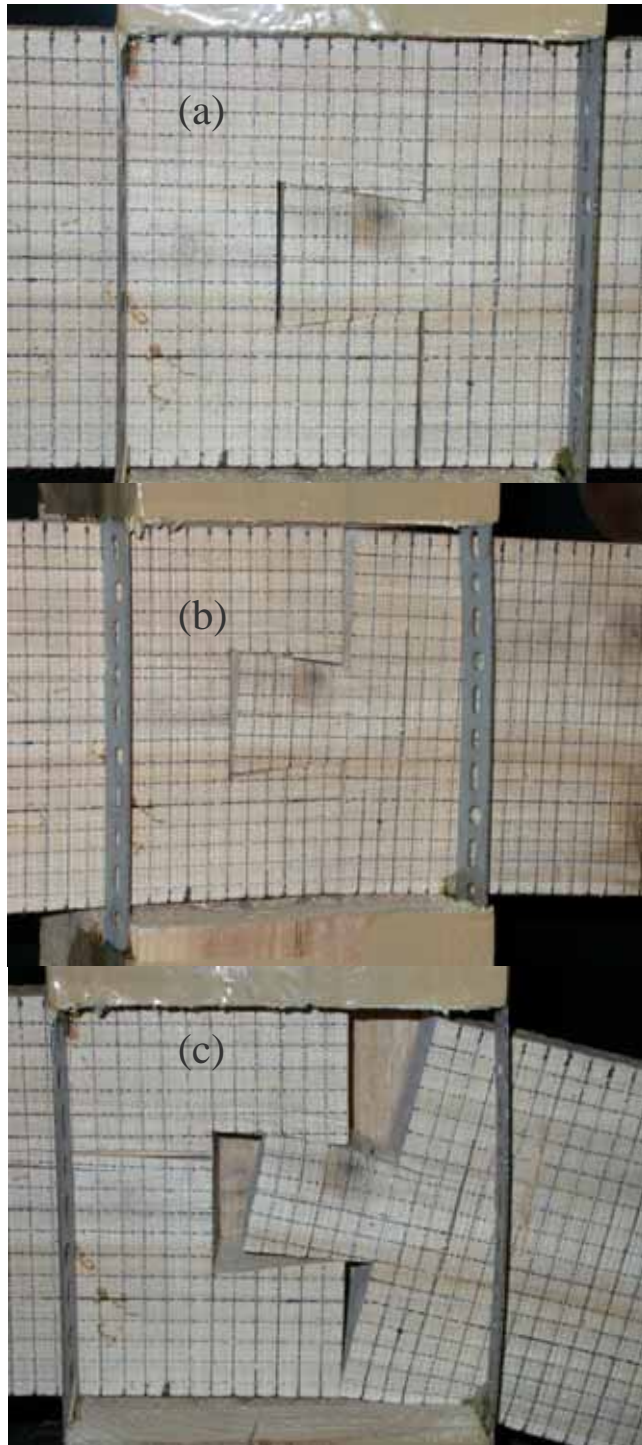


圖 4-12 燕尾榫搭接接點受到彎矩作用時結構行為

## 第五節 結論

由前面幾個小節我們將各個結構構件的詳細評估方式列於附錄 A 至附錄 E，而在內文的部分將評估概算式進行簡化後，以利未來僅需要測量構件尺寸即可代入概算。

## 第五章 穿鬪式木構造整體結構安全評估

### 第一節 穿鬪式木構造評估實例簡介

由於過去九二一地震發生後的勘災報告並沒有針對遭到破壞的傳統穿鬪式木構架進行尺寸的調查，而在地震過後這些受損的傳統木建築亦已經全部被拆除，以致於沒有辦法利用這些寶貴的資料來針對結構安全評估的適用性進行檢討，殊為可惜。基於此，本整合型計畫在去年的研究案『傳統穿鬪式木構架足尺力學試驗』針對兩架足尺的傳統穿鬪式木構架進行試驗，用來檢討本報告所建議的結構安全評估方式。在考量空間限制以後選擇台南縣鹽水鎮歡雅里大莊 88 號趙厝為藍本（如圖 5-1），在實際量測架扇及構件（包括梁、柱等）的尺寸後繪圖由大木匠師製作足尺試體。整個架扇的高度約 3.6 m，寬度約 6.6m，共 11 架。在材料方面，不管是木堵板牆或是架扇材料皆使用福杉（*Cunninghamia lanceolata*）。



圖 5-1 試體藍本（台南縣鹽水鎮歡雅里大莊 88 號趙厝）

資料來源：本研究拍攝

在前述的兩架足尺架扇中，各個構件的尺寸大小如表 5-1 所示。另外，試體 WWM 與 WMM 的差異主要在架扇內壁體材料（編竹泥牆與木堵板牆體）的



配置位置不同，其示意圖如圖 5-2 與 5-3 所示。實驗裝置則如圖 5-4 所示。

表 5-1 試體尺寸表

木構架規模 共 11 架 面內 9 架 前挑簷 1 架 後挑簷 1 架 5 落柱			
進深方向 (cm)		垂直方向 (cm)	
進深長度	485	中柱	360
中柱至前二架	50	前三架柱	324
前二架至前三架	50	前五架柱	280
前三架至前四架	55	後三架柱	318
前四架至前五架	70	後五架柱	270
前五架前六架	85	地面層至第一穿	213
中柱至後二架	55		
後二架至後三架	65		
後三架至後四架	65		
後四架至後五架	75		
後五架後六架	90		

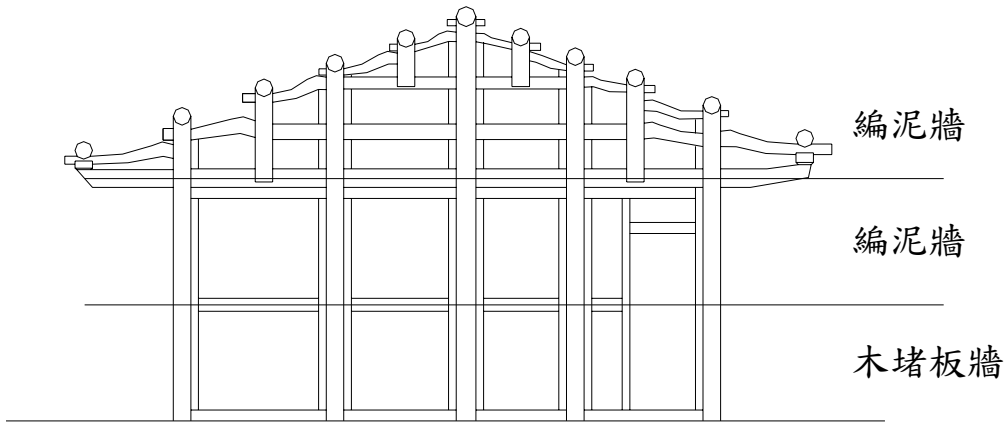


圖 5-2 試體 MMW 示意圖

資料來源：本研究繪製

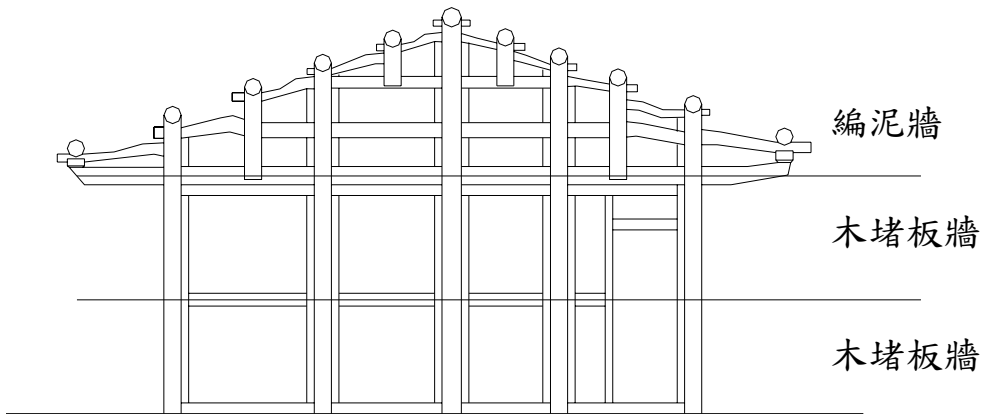


圖 5-3 試體 MWW 示意圖

資料來源：本研究繪製



**圖 5-4 實驗裝置圖**

資料來源：本研究拍攝

## 第二節 試體 MWW 結構安全評估說明

### 壹、詳細評估法

由下圖我們可以知道，MWW 整個架扇的水平抵抗主要來自三個機構，包括 (1) 接點 TJ1 至 TJ18；(2) MW1 至 MW12；及 (3) WW1 至 WW14。由前面章節說明我們可以瞭解，TJ9 及 TJ15 為燕尾榫搭接，而 TJ3、TJ8、TJ10、TJ12、TJ14、TJ16、TJ18 則是連續型接點，TJ1、TJ5、TJ6、TJ7、TJ11 則是平接接點。而在編泥牆方面，在該構架中採用的構造形式與表 3-1 中的代號 A3 類似，因此剪力抵抗係數採用 1.1。

在計算過程中，我們首先將所有的元件的水平抵抗力乘上適當的力臂，然後在相加以後可以得到整個構架可以承受的因為水平測向力以及二次彎矩所產生的彎矩總和。待求出總和後，再反推該架構所能反抵抗的水平側向力。

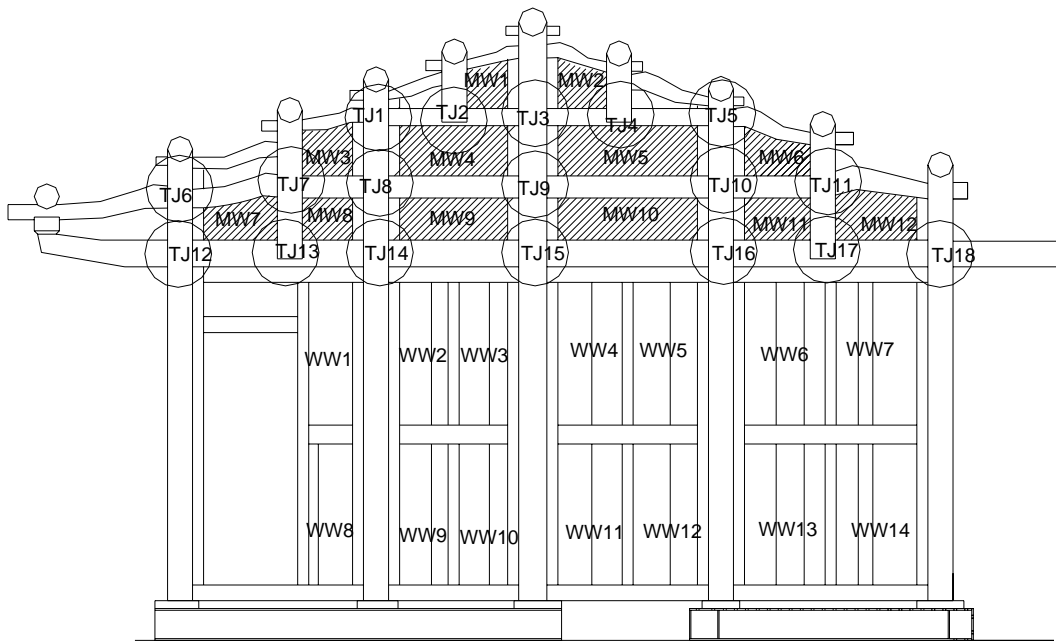


圖 5-1 試體 MWW 抵抗水平力機構

資料來源：本研究繪製

**編泥牆抵抗力：**

在圖 5-1 中，編泥牆體共有 12 道具有抵抗能力，MW1 與 MW2 總長度為 0.57m，而高度為 0.23m，因此總抵抗力為  $0.57\text{m} \times 1.96\text{kN/m} \times 0.23\text{m} = 0.257\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。而 MW3 至 MW6 的高程皆相同，皆約 0.35，且總長度約 2.47m，依據前面計算方式我們可以得到總抵抗力為 1.69 kN·m；依據同樣的方法，我們可以計算出 MW7 至 MW12 的總抵抗力約為 1.73kN·m。因此我們可以瞭解編泥牆的總抵抗力約為 3.707kN·m。而根據國外的研究結果顯示，整個編泥牆體在側向變位達到 1/60 時，會失去作用，因此我們可以將整個編泥牆抵抗力繪製如圖 4-5 所示一般。

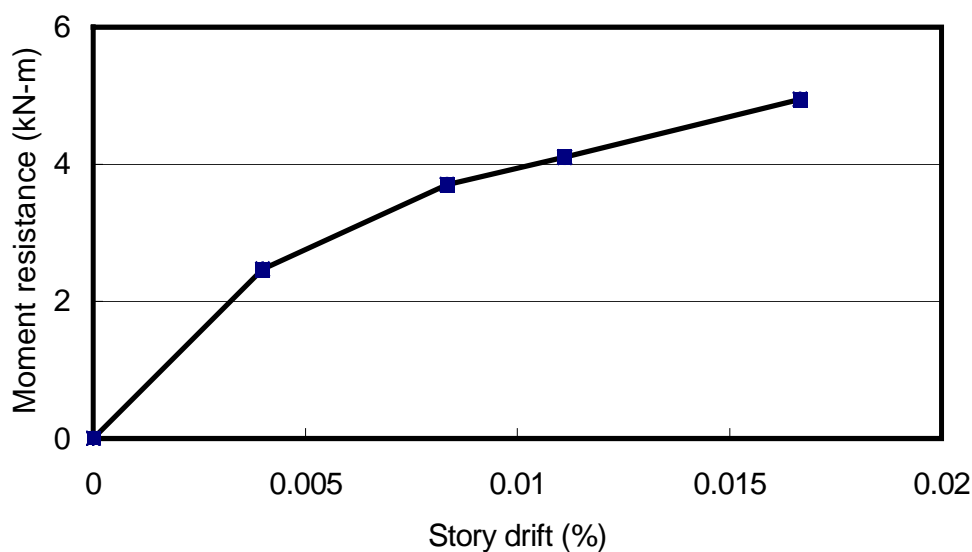


圖 5-1 編泥牆總抵抗力

資料來源：本研究繪製

#### 木堵板牆抵抗力

而在木堵板牆方面，我們依照前面說明依序將 WW1 至 WW14 的抵抗力計算出來，分別可求出各個木堵板牆的抵抗力。例如我們可將 WW1 的水平抵抗力繪製如圖 5-2。因此我們將所有的牆體抵抗強度分別累加，得到如圖 5-3 的圖。由圖 5-3 我們可以瞭解到，木堵板牆體的極限抵抗力出現在約 5% 的層間變位，約為 84kN-m，可見對於抵抗水平作用力來說，木堵板牆的效果與編泥牆的效果相比好相當多。另外要注意的是，由於木堵板壁在產生旋轉的時候，對於上樑與下樑會產生局部壓縮 (partial compression 或稱 embedment)，因此其抵抗力會逐漸增加，並不會像編泥牆一般整個失去作用，這也是傳統木堵板壁的结构特性。

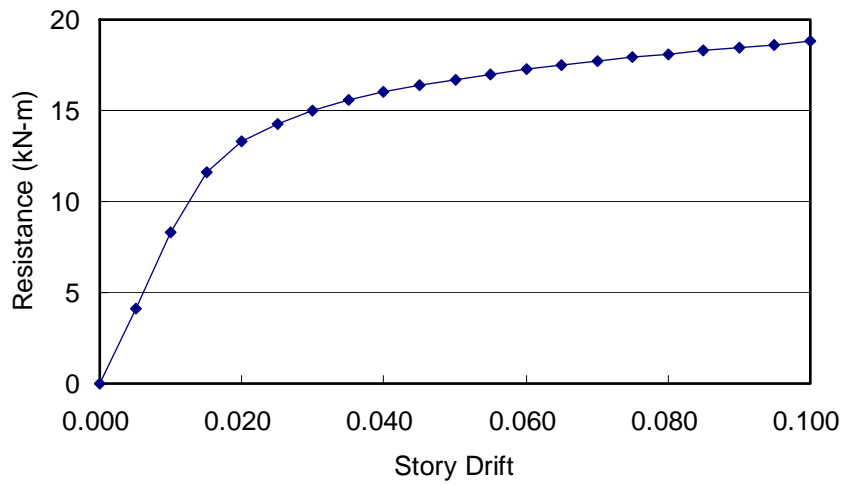


圖 5-2 牆體 WW1 總抵抗力

資料來源：本研究繪製

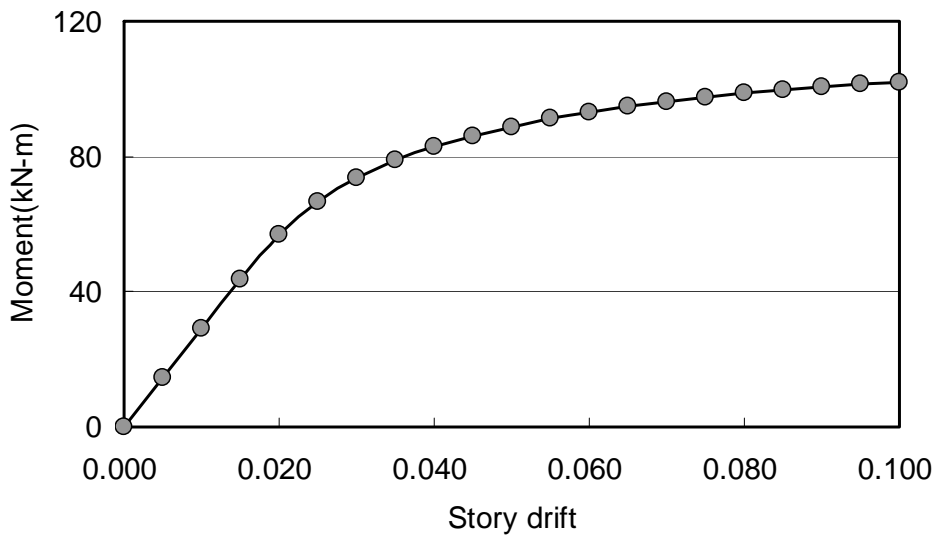


圖 5-3 所有木堵板壁的總抵抗力

資料來源：本研究繪製

### 接點的抵抗力

由於前面述及在接點中，TJ9 及 TJ15 為燕尾榫搭接，而 TJ3、TJ8、TJ10、TJ12、TJ14、TJ16、TJ18 則是連續型接點，TJ1、TJ5、TJ6、TJ7、TJ11 則是

平接接點。因此我們依據前面章節所說明的方法來分別計算各個接點的抵抗力，舉例來說，在考慮接點編號 TJ3 以後，我們可以將接點的彎矩-旋轉關係繪製如圖 5-4 所示，而在考慮各種不同接點並分別計算後，我們可以把所有接點彎矩-旋轉關係的總和繪製如圖 5-5。由圖 5-5 我們可以瞭解到，整個架扇的水平力抵抗機構中，木堵板牆體所扮演的角色最為重要，其次則為接點，再來才是編竹泥牆體。

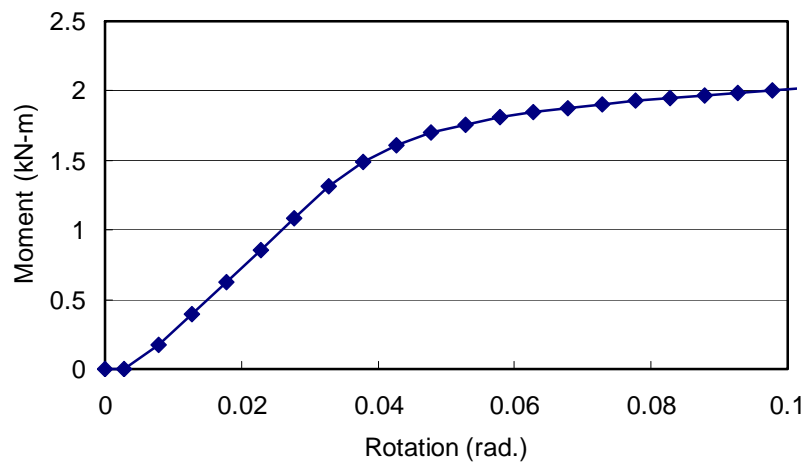


圖 5-4 接點 TJ3 的彎矩-旋轉角關係

資料來源：本研究繪製

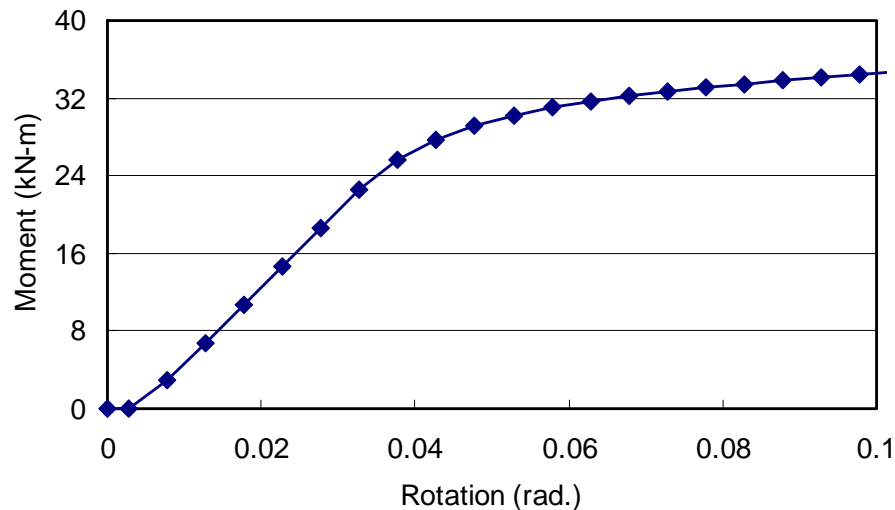


圖 5-5 所有接點的彎矩-旋轉角關係之總和

資料來源：本研究繪製

依據前面的說明，我們如果將所有的水平力抵抗機構之抵抗能力相加，則可以得到如圖 5-6 所示的推垮曲線，而我們在該曲線可以看到編泥牆大約在 1/60 的變位開始產生破壞。

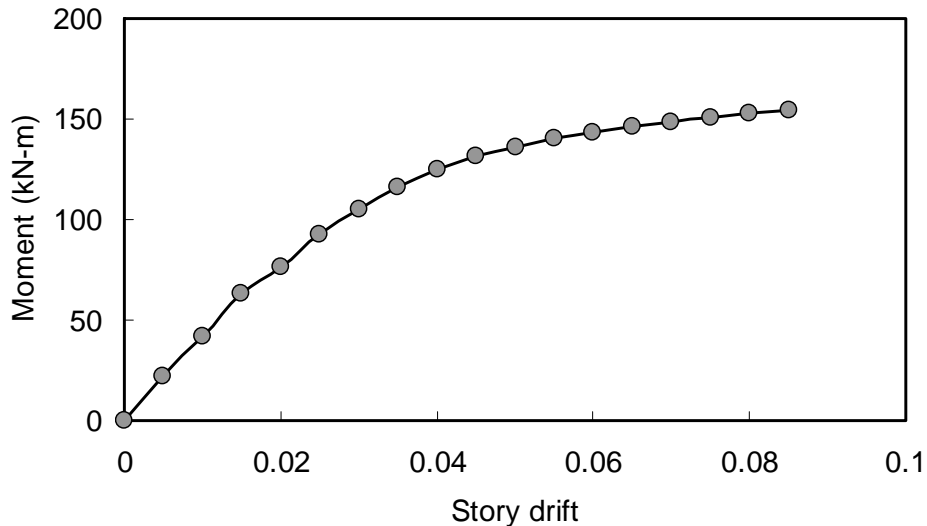


圖 5-6 整個架扇的靜力推垮曲線

資料來源：本研究繪製

預測與試體實驗時的遲滯迴圈比較如圖 5-7 所示，由圖 5-7 可知，在初始的線性階段，整個預測的效果可以說是相當的好，唯進到非線性階段的後期，整個架扇仍然有相當不錯的抵抗力，但是在預測的結果上並沒有顯示出來。這樣的原因係因為當初在建立文獻中的理論模型時，對於非線性階段取的相對保守，亦即沒有考慮木材受到局部壓縮時，周遭材料所會提供的幫助，因此理論模型的強度在這一個階段與實際實驗結果相比會相對較小。



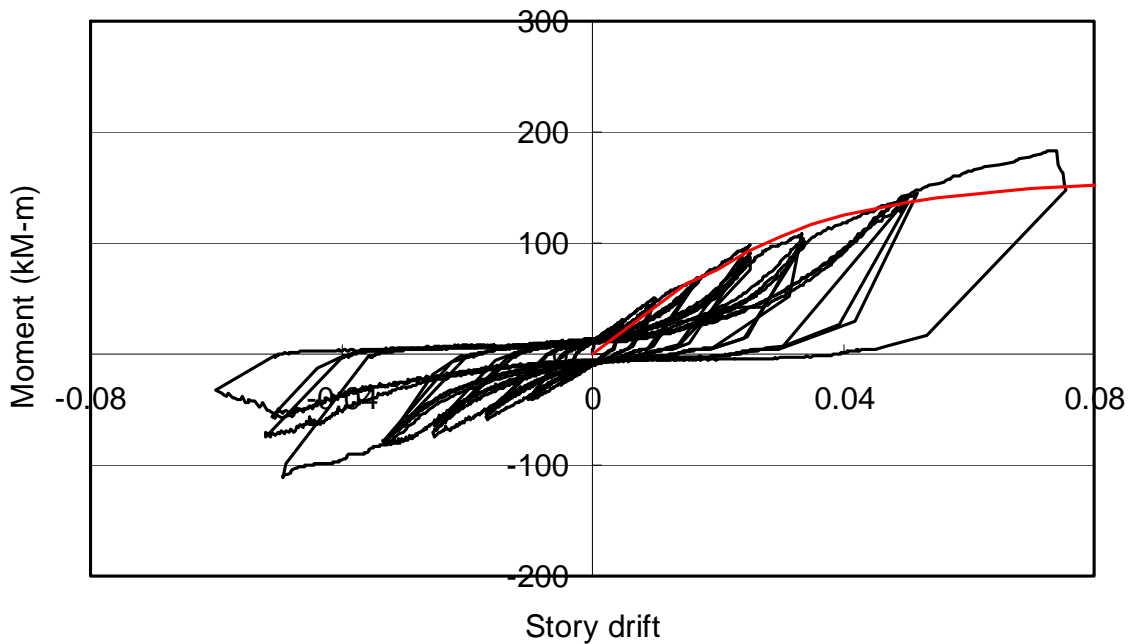


圖 5-7 實驗結果與預測結果之比較

資料來源：本研究繪製

## 貳、概算法

由於上一章已說明，用以推估編竹泥牆概算方式的實體實驗現在仍在進行中，因此未來在期末報告中將會提出針對完整的概算方式。

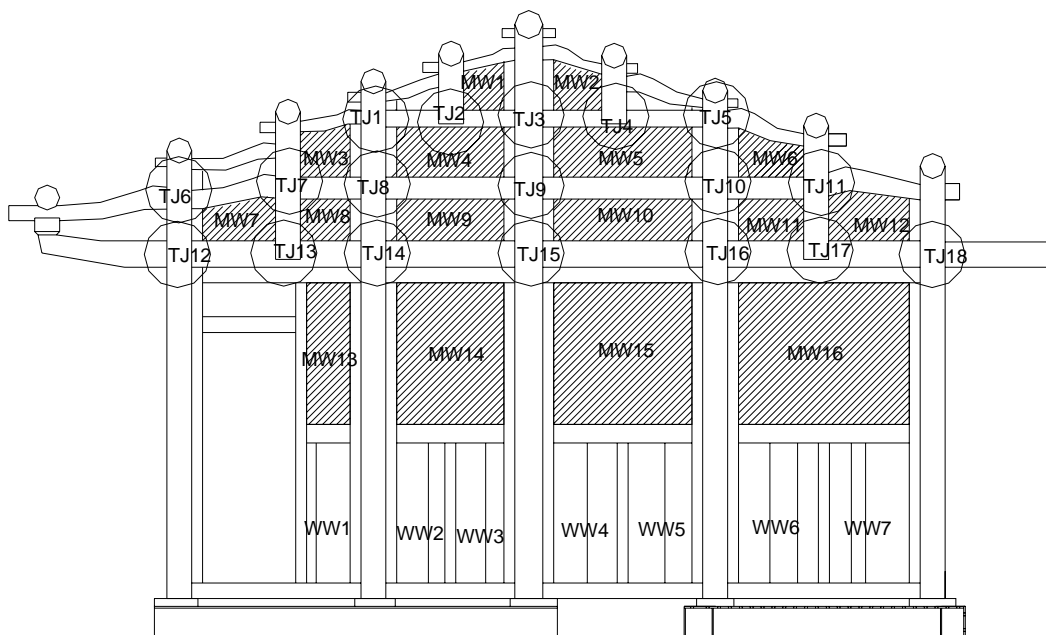
## 第三節 試體 MMW 結構安全評估說明

### 壹、詳細評估法

由圖 5-8 我們可以知道，MMW 整個架扇的水平抵抗主要來自三個機構，包括(1)接點 TJ1 至 TJ18；(2)MW1 至 MW16；及(3)WW1 至 WW7。如同架扇 MWW 一樣，TJ9 及 TJ15 為燕尾榫搭接，而 TJ3、TJ8、TJ10、TJ12、TJ14、TJ16、TJ18 則是連續型接點，TJ1、TJ5、TJ6、TJ7、TJ11 則是平接接點。而在編泥牆方面，我們設定剪力抵抗係數採用 1.1。在計算過程中，我們首先將所有的元件的水平抵抗力乘上適當的力臂，然後在相加以後可以得到整個構架可以承受的因為水平測向力以及二次彎矩所產生的彎矩總和。待求出總和後，再反推該架構所能反抵抗的水平側向力。

**編泥牆抵抗力：**

在圖 5-8 中，編泥牆體共有 16 道具有抵抗能力，其中中堵有四道，上堵有 12 道。與試體 MWW 相同，MW1 與 MW2 總長度為 0.57m，而高度為 0.23m，因此總抵抗力為  $0.57\text{m} \times 1.96\text{kN/m} \times 0.23\text{m} = 0.257 \text{ kN-m}$ 。而 MW3 至 MW6 的高程皆相同，皆約 0.35，且總長度約 2.47m，依據前面計算方式我們可以得到總抵抗力為 1.69 kN-m；依據同樣的方法，我們可以計算出 MW7 至 MW12 的總抵抗力約為 1.73kN-m。另外，我們可以計算編泥牆 MW13 至 MW16 之總長度為 2.96m，壁體高度為 0.91m，計算起來抵抗力應為 5.279kN-m。因此我們可以瞭解編泥牆的總抵抗力約為 8.986 kN-m。而根據國外的研究結果顯示，整個編泥牆體在側向變位達到 1/60 時，會失去作用，因此我們可以將整個編泥牆抵抗力繪製如圖 5-9 所示一般。



**圖 5-8 試體 MMW 各結構元件編號**

資料來源：本研究繪製

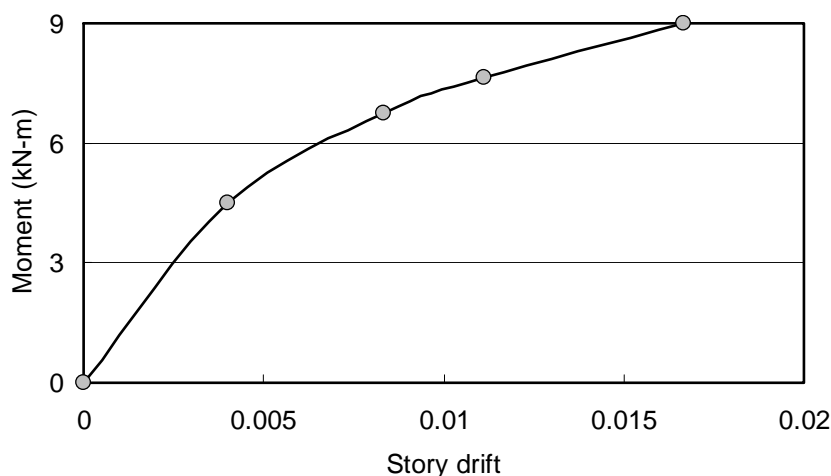


圖 5-9 編泥牆總抵抗力

資料來源：本研究繪製

#### 木堵板牆抵抗力

而在木堵板牆方面，我們依照前面說明依序將 WW1 至 WW7 的抵抗力計算出來，分別可求出各個木堵板牆的抵抗力。例如我們可將 WW1 的水平抵抗力繪製如圖 5-10。因此我們將所有的牆體抵抗強度分別累加，得到如圖 5-11 的圖。由圖 5-11 我們可以瞭解到，木堵板牆體的極限抵抗力出現在約 5% 的層間變位，約為 64kN-m，可見對於抵抗水平作用力來說，木堵板牆的效果與編泥牆的效果相比好相當多。另外要注意的是，由於木堵板壁在產生旋轉的時候，對於上樑與下樑會產生局部壓縮 (partial compression 或稱 embedment)，因此其抵抗力會逐漸增加，並不會像編泥牆一般整個失去作用，這也是傳統木堵板壁的结构特性。

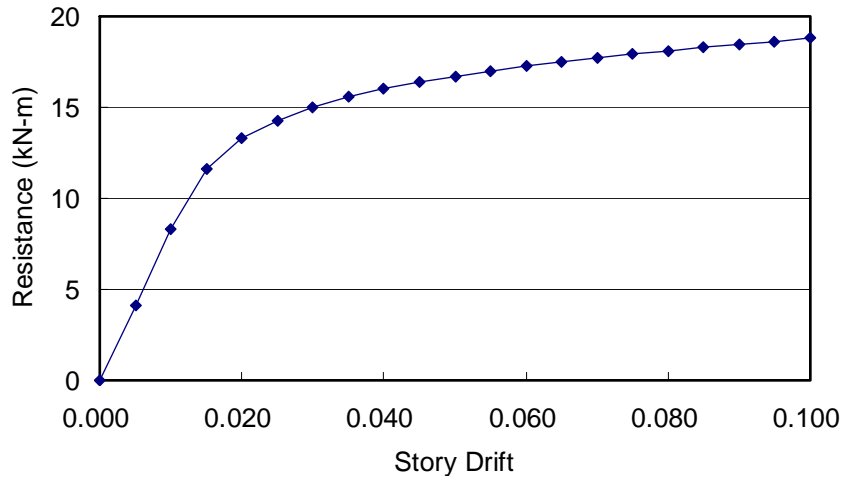


圖 5-10 牆體 WW1 總抵抗力

資料來源：本研究繪製

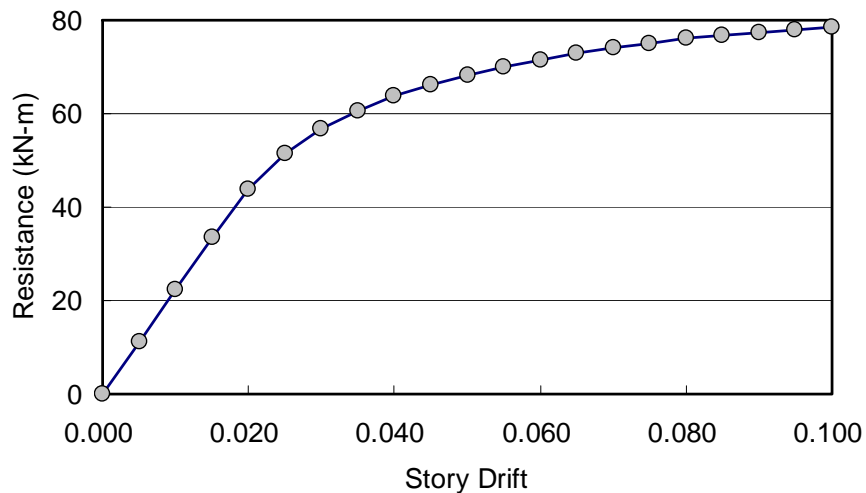


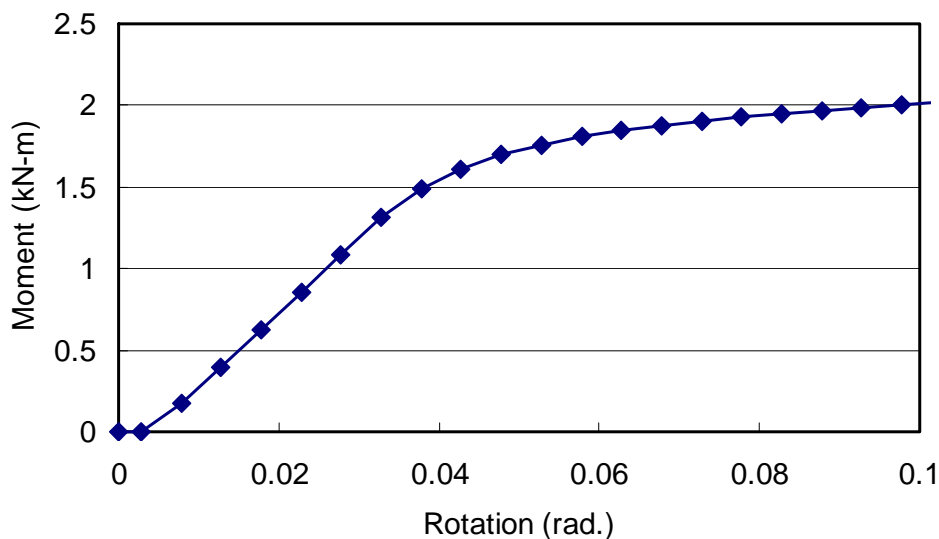
圖 5-11 所有木堵板壁的總抵抗力

資料來源：本研究繪製

### 接點的抵抗力

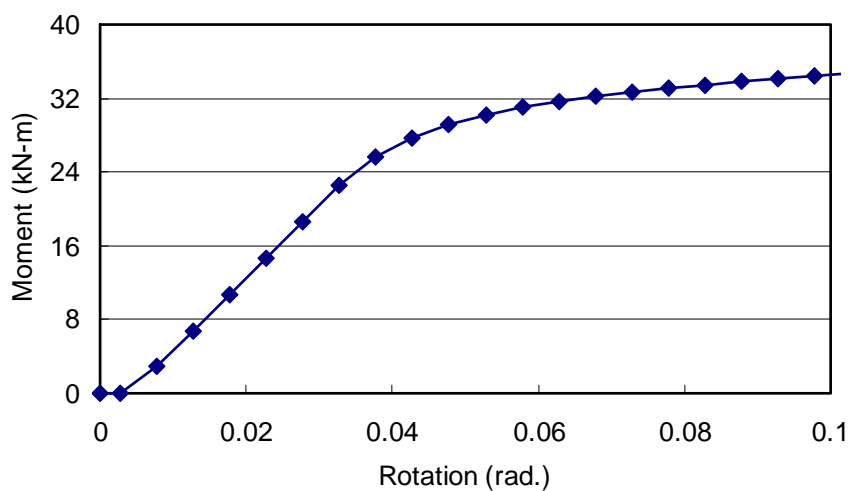
由於前面述及在接點中，TJ9 及 TJ15 為燕尾榫搭接，而 TJ3、TJ8、TJ10、TJ12、TJ14、TJ16、TJ18 則是連續型接點，TJ1、TJ5、TJ6、TJ7、TJ11 則是平接接點。因此我們依據前面章節所說明的方法來分別計算各個接點的抵抗力，舉例來說，在考慮接點編號 TJ3 以後，我們可以將接點的彎矩-旋轉關係繪製如圖 5-12 所示，而在考慮各種不同接點並分別計算後，我們可以把所有

接點彎矩-旋轉關係的總和繪製如圖 5-12。



**圖 5-11 接點 TJ3 的彎矩-旋轉角關係**

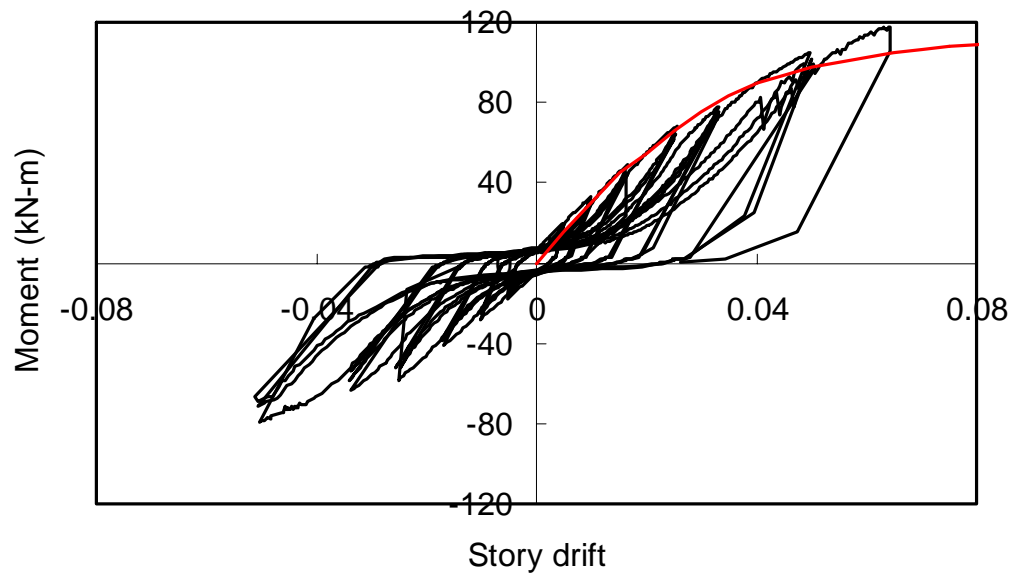
資料來源：本研究繪製



**圖 5-12 架扇 MMW 所有接點的彎矩-旋轉角關係之總和**

資料來源：本研究繪製

依據前面的說明，我們如果將所有的水平力抵抗機構之抵抗能力相加，則可以得到推垮曲線，而我們在該曲線可以看到編泥牆大約在 1/60 的變位開始產生破壞。預測與試體實驗時的遲滯迴圈比較如圖 5-13 所示，在初始的線性階段，整個預測的效果可以說是相當的好，進到非線性階段後期整個架扇仍然有相當不錯的抵抗力，但是在預測的結果上並沒有顯示出來。其相關原因應與前一節所述相同。



**圖 5-13 MMW 實驗結果與預測結果之比較**

資料來源：本研究繪製

## 貳、概算法

### 第四節 小結

