

第一章 前言

台灣現存古蹟及歷史建築木構架中之牆體，依照構造類型大致可分為日式木造牆體與傳統之編泥牆兩大類。前者出現於日治時期日本人所引進台灣之各類型建築構造的木骨泥牆壁體或現存雨淋板建築之內壁構造，大致可分為「真壁」及「大壁」兩種。後者的編泥牆則是傳統漢人穿斗式木構架中最常見的填充材。這類牆體由於比熱小，吸、散熱快速，正午時分雖無法抵擋暑氣，夜晚卻因易於排散潛熱而得到較涼爽的室內環境，且其白色光滑的壁體，亦有助於反射熱輻射，且土壁具有調節濕度之效果，適合作為熱帶地區之室內隔牆。

前面述及日式的木造牆體中，大壁以木條橫釘後外再鏝以白灰泥。真壁構造包括「貫」、「間渡竹」、「竹小舞」等構件，先將整根竹管（間渡竹）插入壁體四周柱梁邊框且壁體間「貫」等木構件預先置入鑿好的小穴中等距離水平垂直排列，再將剖開的竹片（竹小舞）利用繩子結固在間渡竹上，但不固定在柱及橫架材上；最後在骨架材外部抹上壁土（荒壁土塗）完成壁體（圖 1-1）。

有關日式木造牆體之構造記錄、物理性能與力學性能等議題在日本已有相當深入的研究；反觀台灣有關傳統編泥牆之構件名稱、壁體構法及尺寸等僅有相當少部分調查紀錄，但對於其力學特性則沒有相關研究。因此本文選擇以台灣傳統編泥牆作為討論對象，首先調查紀錄並分析其壁體構法、施工步驟及構件尺寸等等壁體構造特徵，並依照上述調查整理結果進行規劃針對編泥牆進行力學試驗，以研究其力學特性。基於此，本研究之研究流程如下所示：

1. 透過國內、外竹材資源等相關文獻，了解國內竹材分佈及竹材重要特徵，藉以訂定調查範圍並紀錄各種竹材在台灣傳統編泥牆之運用狀況。
2. 利用田野調查及傳統匠師訪談，詳細紀錄壁體材料、構法、工法及尺寸等壁體基本資料及匠師施作經驗，並依此作為下一階段力學試驗的依據。對於材料配比或壁體養護時間等無法由實體案例調查或匠師訪談了解之相關資訊，則參考國內外類似壁體相關材料文獻，並以實驗室分析之。
3. 透過足尺寸之壁體水平力實驗以觀察評估壁體力學特徵。試體製作乃根據調查資訊、匠師經驗及相關竹材力學文獻回顧，考慮可能影響壁體剛度之重要因子，選擇適當尺寸以複製壁體。同時參考國內外木竹骨泥牆或木質輕框架剪力牆水平力實驗等相關文獻，規劃實驗流程，並學習其評估方法。

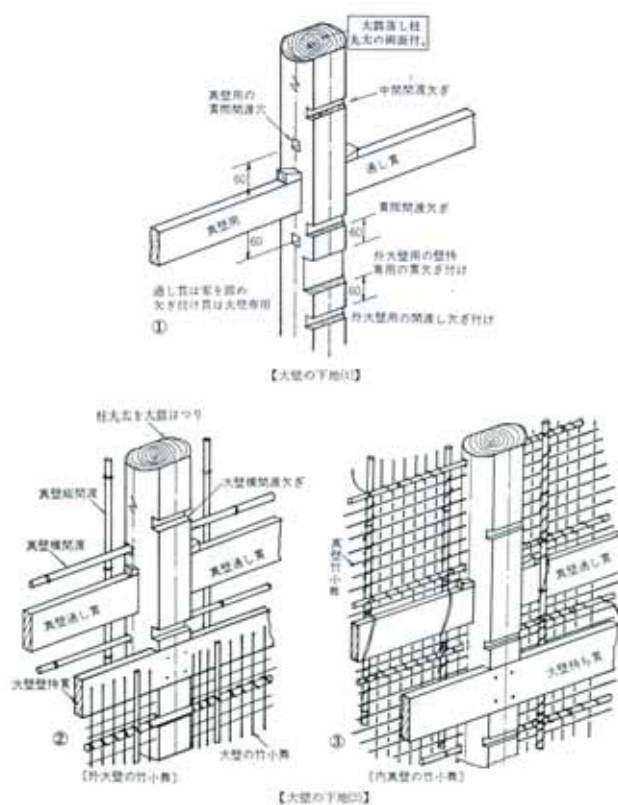


圖 1-1. 日式真壁構造 【圖片來源：《續図解木造建築の知恵》，長尾勝馬】

而前述第三項力學試驗的步驟則包括：

1. 依據調查結果，首先利用力學試驗分析出影響編泥牆水平抵抗力之影響因子，並以之作為下一步試驗的依據。
2. 在分析出影響編泥牆水平抵抗力之影響因子後，首先利用四邊皆為鉸接之木框架內填充編泥牆進行試驗，以瞭解純粹傳統編泥牆之水平抵抗力。

第二章 文獻回顧

文獻回顧將就材料及構造試驗兩方面做回顧，透過材料方面的文獻回顧將認識台灣竹材生產之歷史與空間概況、台灣主要經濟竹材之外貌特徵、竹材力學特徵及竹材防腐處理等等；而藉由類似構法壁體之構造實驗以學習操作壁體試驗之方法。

2-1 台灣的竹種與竹材

竹類為單子葉植物隸屬禾本科竹亞科 (Bambusoideae) 或另成為竹科，全世界約有 65 屬 1200-1500 種左右，性喜溫暖潮濕氣候，因此多分佈於熱帶到溫帶等溫暖潮濕氣候之地區。而亞洲為竹類生產分佈中心，以中國及日本最多。由歷代志書記載可知台灣早期亦遍佈竹林，惟部分竹名不見於現代。日治時期引進較近代化的竹類分類系統，有佐佐木舜一及金平亮三等人將台灣竹類分為 5 屬 22 種。1971 年江濤引用林維治「台灣竹類分類」，包括固有種與引進種共 53 種，其中經濟價值最高者為桂竹 (*Phyllostachys makinoi*)、荊竹 (*Bambusa stenostachya*)、長枝竹 (*Bambusa dolichoclada*)、麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus*)、綠竹 (*Bambusa oldhami*) 及孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens*) 等六種，其中孟宗竹為外來竹種，其餘皆為台灣固有種；前兩種為溫帶單桿型竹 (Hardy running-type)，後四種則為熱帶叢狀型竹 (Tropical clump-type)。而台灣目前生長約有 79 種，其中 17 種為固有種。

就竹材數量來說，1951 年王子定、郭寶章根據日治時期「台灣總督府殖產局」《台灣林業統計》及「台灣省長官公署統計室」《台灣省五十一年來統計提要》兩份文獻，列表整理台灣 1921 年-1942 年「歷年竹材之種別生產量」，其中以桂竹最多，其他則為荊竹、長枝

竹、麻竹、綠竹及孟宗竹（圖 2-1）。1973 年《台灣之竹林資源》，透過 1963-1969 年期間拍攝的航空照片配合地區樣區調查，結果麻竹佔最大之分佈面積，其餘為桂竹、荊竹、綠竹、孟宗竹。

關於台灣的竹材產地，〈臺灣建築の史的研究〉一書說明台灣的竹建材使用材料包括桂竹、荊竹、長枝竹及麻竹，其中產地以台中州下最多（台中州竹山郡竹山庄），依次為台南州（台南州嘉義郡下的山村）、台北州、新竹州及高雄州等等。而根據 1973 年的調查，以嘉義縣、南投縣為最多，其後則為台南縣、雲林縣、台北縣等，詳如下圖 2-2 所示。

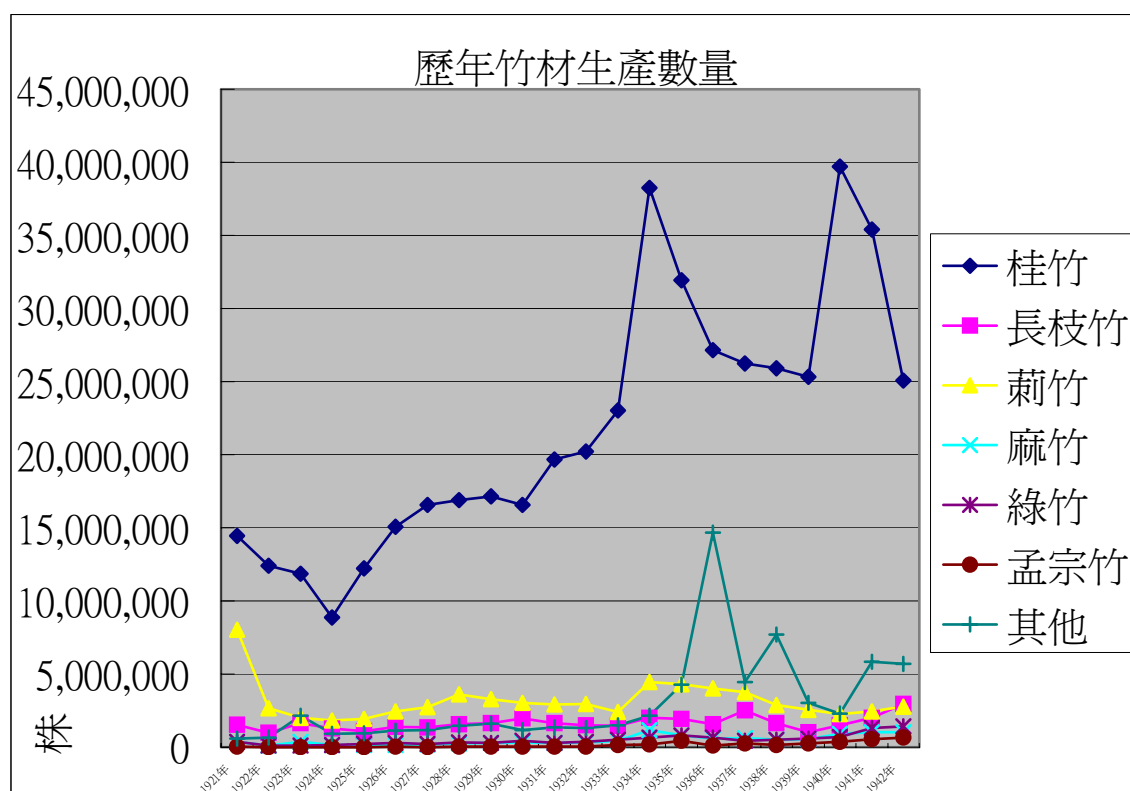


圖 2-1 1921 年-1942 年歷年竹材產量變動圖【資料來源：《台灣林業統計》】

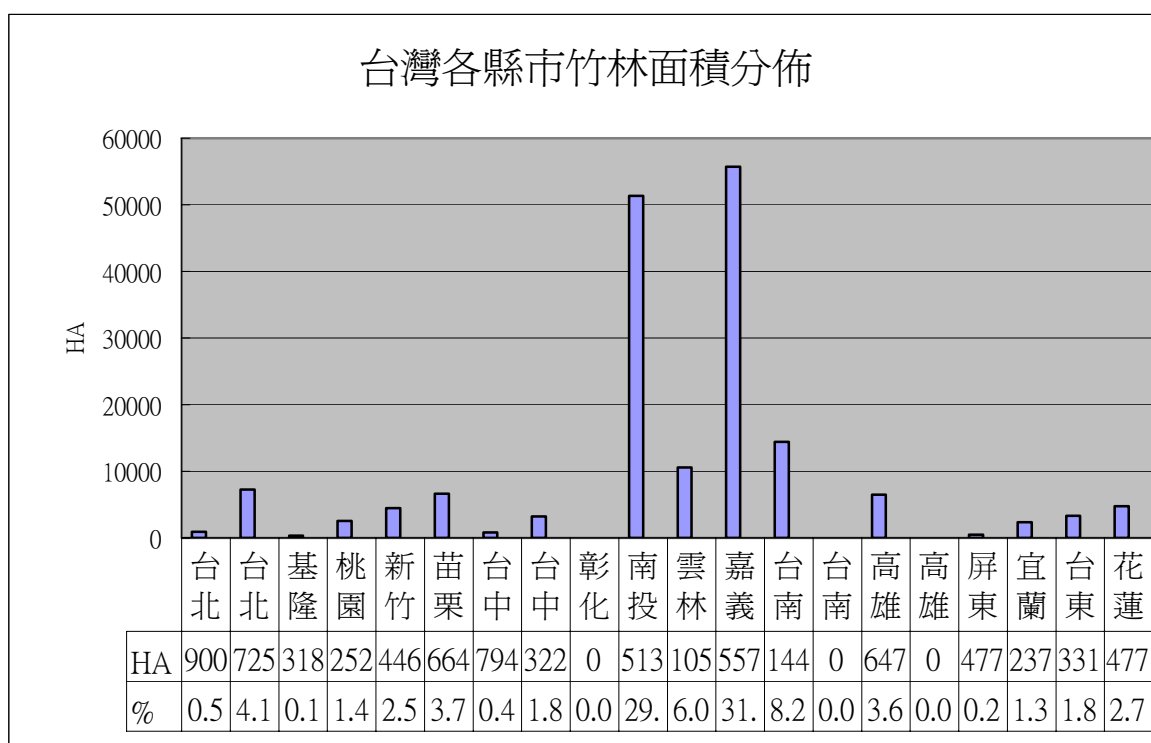


圖 2-2 1963-1969 年間台灣各地竹林面積分佈 【資料來源：《台灣之竹林資源》】

2-2 台灣的編泥牆調查研究

武田武一紀錄台灣竹幹造及木造建築時，曾大略提及其中的填充材；：「竹幹造是切取直徑約 4 寸前後的藤竹幹，適當的開孔後，以橫向的小竹插入，縱橫組合包括柱及樑，其間尚編組竹網作為壁骨架，於其上塗土。」、「木造是以臺灣固有的木材、即紅檜、亞杉、阿里扁柏等作為骨幹建造，其間夾著『小舞』以土塗覆。」。竹中久雄調查台灣中南部之竹造建築，其〈本島に於ける一般竹造建築に就て〉為日治時期紀錄台灣傳統編泥牆最詳盡的文獻之一。文中以日式「真壁」之構件名稱描述台灣傳統編泥牆構造，就壁體骨架包括「間度竹」與「竹小舞」兩部分，「間度竹」為寬約 4 公分較厚之竹片，「竹小舞」則為寬約 3 公分的竹片；塗覆壁體骨架的壁土則包括「荒壁土」及石灰「上塗」兩部分；施作壁體時先將「間度竹」水平插入兩柱之中，以 10-30 公分等距離配置，但上下貼緊壁體邊框，「竹小舞」則在「間度竹」間兩面交織填滿壁體；在山牆上端「間度竹」則是垂直配置，

以「竹小舞」水平編織壁體；待骨架材完成之後先於其上塗覆「荒壁土」，壁土乾燥後將裂縫整平，最後以石灰施以「上塗」完成壁體（圖 2-3）。

洪文雄亦紀錄台灣竹造穿斗式壁體構造（圖 2-4），其中較寬的水平構件稱為「籬更」，較窄的垂直構件則為「籬仔」。因此，於台灣傳統穿斗式屋架中的台灣傳統編泥牆，乃先以較厚的竹片在壁體中均勻配置，再以較薄的竹片於較厚的竹片間前後穿梭佈滿整面壁體完成壁體骨架，最後抹上土、灰完成壁體。



圖 2-3 台灣傳統編竹影像紀錄

【資料來源：〈本島に於ける一般竹造建築に就て〉】

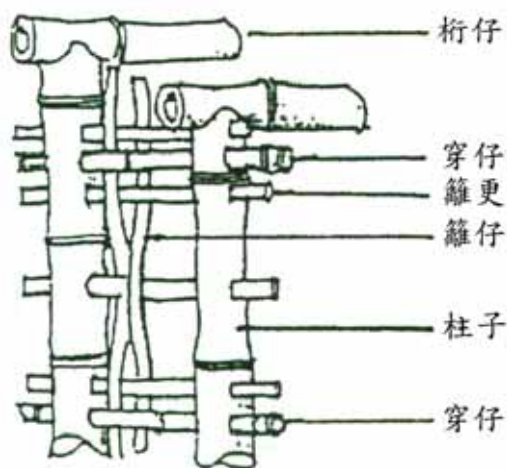


圖 2-4 台灣傳統編泥牆構造示意圖

【資料來源：〈台灣漢人之竹構造〉】

2-3 竹材的力學特徵

竹材的強度性質除了在各竹種間具有差異之外，於竹材各部位，平行、垂直竹材纖維方向等均有力學上之差異。早於 1916 年日本便有針對臺灣產竹種之比重及拉張、彎曲強度從事研究。1939 年台灣由於鐵筋缺乏，藤澤國太郎為了從事竹筋混凝土之研究，先以當時台灣產量最多的桂竹從事張力試驗，試體平均抗張強度為 2250kg/cm。1942 年武知幸文則以嘉義產麻竹作為力學試驗材料，測試包括拉張

強度、橫剪斷及縱剪斷等竹材物理性質，以研究竹竿各高度、內外皮側之強度性能，其中較高處的竹材有較強的力學性能，拉張強度比超過 2 倍以上 $(134.1, 869.9) \text{ cm} : (507, 1210) \text{ kg/cm}^2$ ，竹片壓縮強度比亦大約等於 2 倍 $(265, 503) \text{ kg/cm}^2$ ，竹筒壓縮強度比亦超過 2 倍 $(149, 321) \text{ kg/cm}^2$ ；而外皮側強度大於內皮測，其中聚地面 1 公尺處的竹杆，其外皮側與內皮側的張力強度比大約是 2.5：1。

1968 年黃武雄針對 8 種台灣產竹材：長枝竹、桂竹、孟宗竹、薊竹、蘆竹、綠竹、金絲竹及竹變，依據竹竿高度截取上部、中部兩段及下部等 4 段進行縱向張力強度試驗、縱向壓縮強度試驗、靜彎曲強度試驗及剪斷強度試驗，其試驗結果如圖 2-5 至圖 2-8，所有試材枝強度均隨高度上升而提高；平均縱向張力強度以長枝竹最佳，桂竹、薊竹次之，其平均強度超過 3000 kg/cm^2 ；縱向壓縮強度以長枝竹及桂竹最佳，薊竹及孟宗竹次竹，其平均強度均超過 700 kg/cm^2 ；靜彎曲強度亦以長枝竹最佳，薊竹次之，孟宗竹及桂竹再次之，其平均強度在 $1500\text{--}2000 \text{ kg/cm}^2$ 左右；剪斷強度則以桂竹最佳，孟宗竹次之，薊竹及長枝竹再次之，平均強度在 $150\text{--}200 \text{ kg/cm}^2$ 之間。因此，長枝竹、桂竹、薊竹及孟宗竹等竹種為台灣 6 種主要經濟竹種中強度性能較佳之竹種。

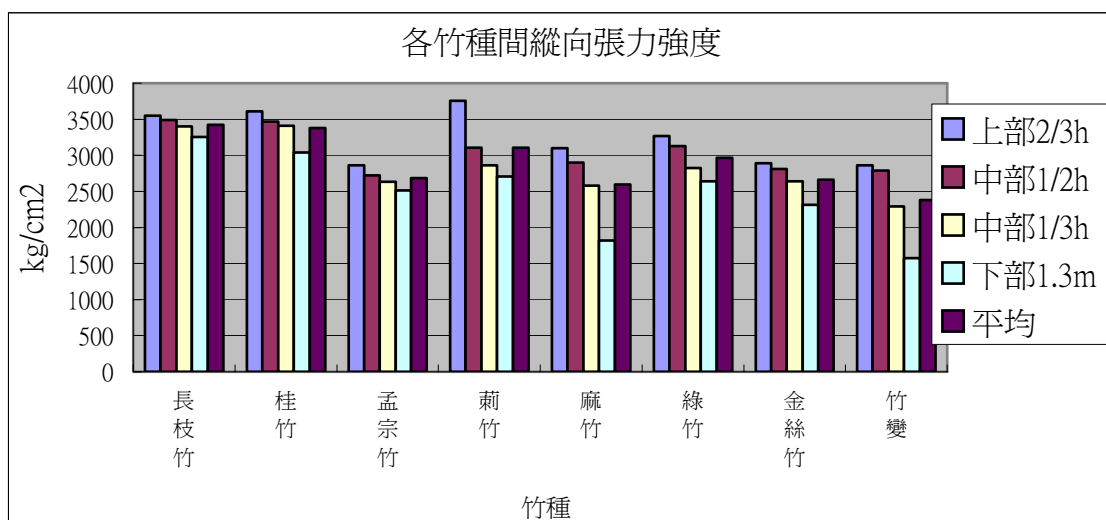


圖 2-5 各竹種間縱向張力強度【資料來源：《台灣主要經濟竹材力學性能之研究》】

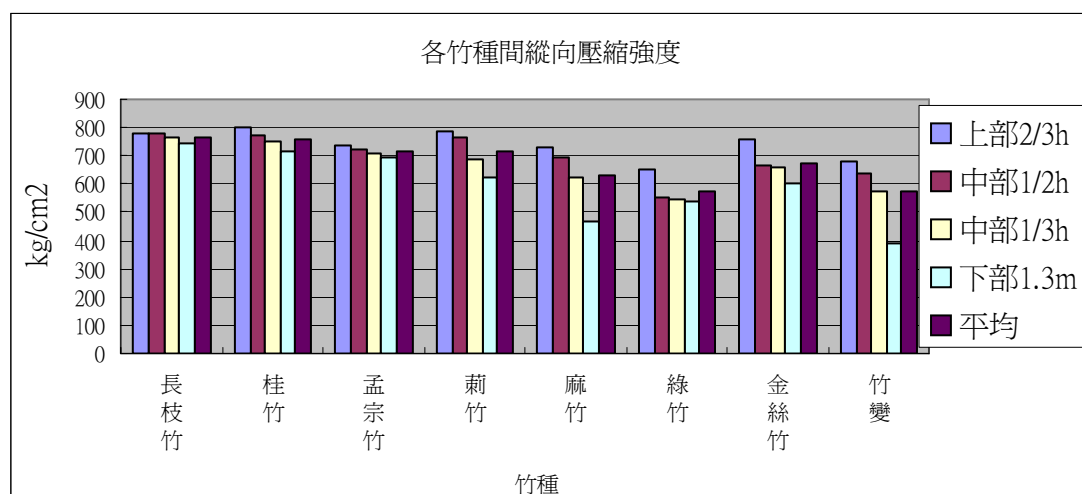


圖 2-6 各竹種縱向壓縮強度【資料來源：《台灣主要經濟竹材力學性能之研究》】

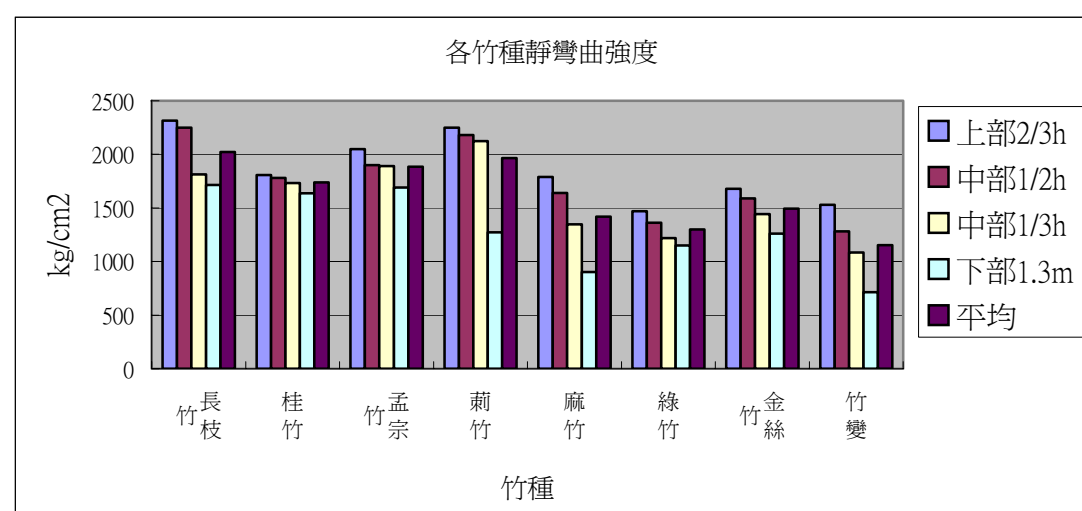


圖 2-7 各竹種靜彎曲強度【資料來源：《台灣主要經濟竹材力學性能之研究》】

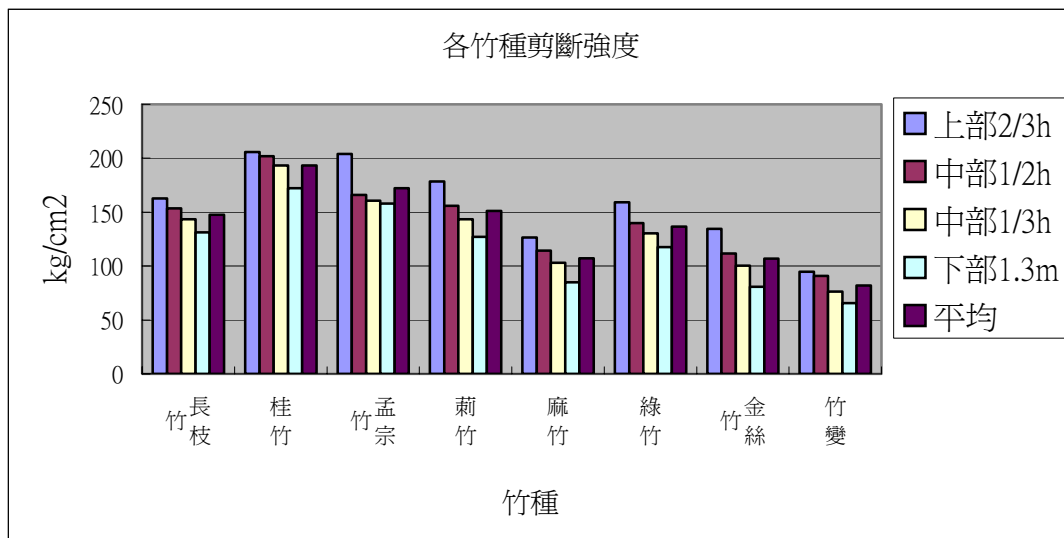


圖 2-8 各竹種剪斷強度【資料來源：《台灣主要經濟竹材力學性能之研究》】

在國外文獻方面，冼幸娟、冼定國選擇中國性能好而產量較大的毛竹 (*Phyllostachys Pubescens*) 和篙竹 (*Bambusa pervariabilis*)，研究兩種類不同部位沿壁厚分層竹材的力學性能與生物組織結構的關係。實驗截取竹材之上下兩段，針對其裏、中、外三部分做拉張、壓縮及彎曲試驗。結論認為竹材上部（指在 80% 竹篙範圍內）的力學性能高於靠根部的性能，如毛竹的拉伸強度上部的 σ_{Tut} 約比下部的 σ_{Tdt} 高 15%；壓縮強度 σ_{Cut} 比 σ_{Cdt} 大 2%；彎曲強度 σ_{But} 約比 σ_{Bdt} 高 17%，彎曲模數 E_{But} 比 E_{bdt} 大 4%；而沿壁厚徑向外層的強度模數最高，內層最低，中層的強度與整片相近，其比例大約是 5:2.5:1。Oscar Hidalgo 年於哥倫比亞，意圖解決竹筋混凝土在握裹力、竹材吸水體積膨脹造成強度下降的問題，認為竹材內部包含將近 70% 的竹壁為竹材較軟的部分，也是吸收水分後容易膨脹之處，最大張力強度約 706kg/cm^2 。而竹竿外部包含 30% 的竹壁強度為內部之 3 倍，且密度較高不易吸水。

此外包括竹齡、栽種過程、乾燥等均會影響竹材力學強度。1989 年唐讓雷就各家研究歸納整理影響竹材強度性質因素，包括「竹齡」、

「竹桿高度變異」、「竹節的影響」、「施肥作業」等等因素；以 3-5 年生之竹林竹材強度為最高，比重與強度由上桿部向下遞減，竹節對竹材一般強度性質有負面的影響，但在縱向剪力方面則有增強的效果。經施肥作業後的竹材，比重增加，可是竹材一般強度性質則會下降。而「碳化處理及其他化學處理」，如著色與防腐，對竹材強度性質則有不同正面或負面之影響，視處理條件或化學藥劑種類而定。1995 年，Surjono Surjokusumo 和 Naresworo Nugroho 研究印尼的 *Dendrocalamus asper*，則發現竹材生育地對竹材力學強度的影響，其中生長在潮濕土壤的 *D. asper* 有較高的含水率，竹材密度較低；生長在較乾燥土壤的竹子尺寸較穩定、竹材的密度較高，因為從綠竹到氣乾的時候，由於含水率較低，其收縮率也較低，且在乾燥土壤生長的竹子，有較高比例的 *sclerenchyma tissue*/維管組織，綑綁竹幹。竹子的力學性能，包括 MOR、MOE，壓力、張力和剪力強度，在乾燥土壤生長的竹子均優於潮濕土壤生長的竹子。

竹材乾燥後由於密度增加，可提高力學強度，而經不同溫度乾燥處理後的竹材由於內部的物理及化學變化，亦影響竹材之力學表現，許建發、吳金村及林弘基、洪國榮分別探討桂竹及蔴竹、麻竹、孟宗竹等經不同溫度（氣乾、60℃、80℃、100℃及 120℃）乾燥處理後之物理及化學變化。後三種竹種之引張強度、剪力強度及靜曲強度皆隨窯溫升高而增加，但麻竹以 80℃為最大，皆呈上段>中段>下段之趨勢；三種竹種之引張強度蔴竹>孟宗竹>麻竹。剪斷強度孟宗竹>蔴竹>麻竹。靜曲強度蔴竹>麻竹>孟宗竹。而桂竹在引張強度亦隨乾燥溫度而升高，剪力強度及劈裂強度於 80℃乾燥處理後為最高。

2-3 輕質木框架水平耐力壁之相關研究

輕質木框架水平耐力壁之研究在台灣尚未受到重視，日本早於

1937—1938 年便有田邊平學、勝田千利、後藤一雄等人，針對日本「木造無壁骨組」及「木造有壁骨組」從事靜反覆水平載重實驗以比較兩者間之差異，並嘗試求出耐力壁強度計算公式。由「有壁骨組」及「無壁骨組」之荷重變位曲線發現，有壁骨組在圈環的先端有明顯的鼓起，反應壁體在木框架上所提供之剛度；但有壁骨組在荷重變大之後曲線也急速擴大，因為變形程度增加之後，伴隨壁土的龜裂、從小舞脫離，造成剛度急速下降。

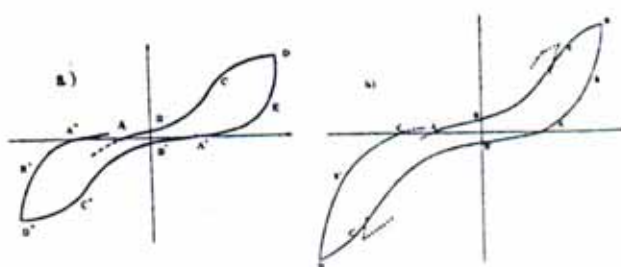


圖 2-9 有壁及無壁骨組的遲滯模式

【資料來源：〈交番水平荷重を受くる木造有壁骨組（真壁）の實驗〉】

河野輝夫為了直接了解壁體剛度，乃設計一特殊試體：在一長寬各約 120 cm 的正方形壁體，於其木框架四角接點作鉸接，而施以壁體靜反覆水平力載重。由實驗結果發現不同構法之壁體平均強度在 $130\text{--}170\text{ kg/cm}^2$ 之間。

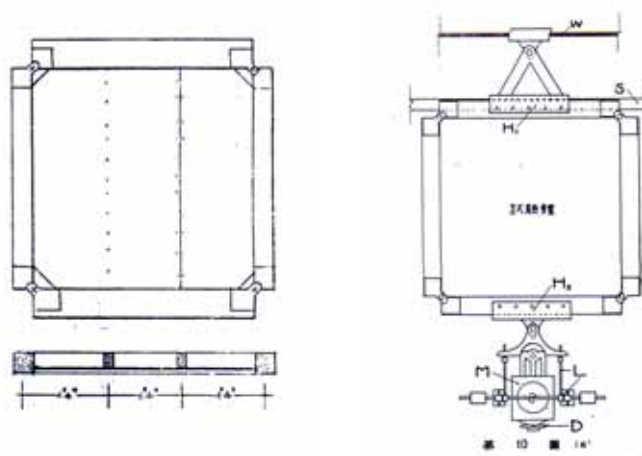


圖 2-10 河也輝夫試驗裝置

【資料來源：〈木造壁體の剪斷抵抗の實驗的研究〉】

1972 年，根據川島謙一〈木造軸組壁の構造耐力〉，日本當時已有「建築基準法施行令第 46 條第 3 項」及「日本建築學會木構造設計規準」對木造建築的「軸組壁」強度作規範，其中包括「木舞土塗壁」及「木摺土塗壁」皆視為耐力壁，是以不同壁的種類和斜撐的種類，以不同的係數做耐力評價，算出耐震耐風上必要的壁量，兩個係數可依相加乘的方法做計算。川島謙一則是以實際實驗來評斷新材料、新工法下的木框架壁體。其實驗同樣對壁體施以靜反覆水平加載，除了更合乎壁體之正常狀態外，更考慮加入對於壁體之千垂載重，模擬包括壁體上層之屋頂載重、壁載重及板載重等等。實驗裝置如圖所示：在兩試驗體梁的中央架設的橫架材的中心位置為加力點。

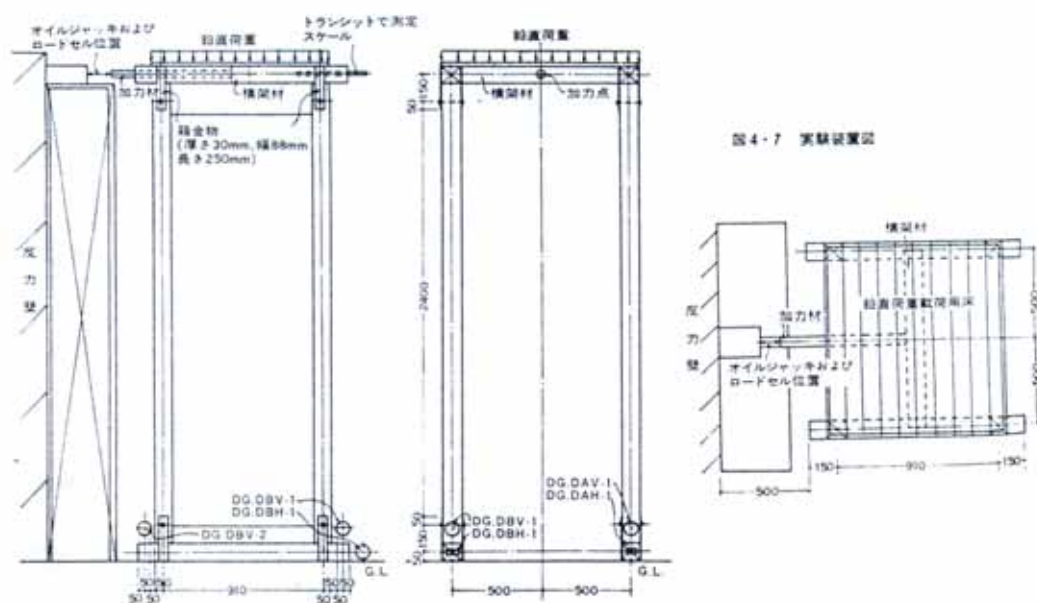


圖 2-11 川島謙一試驗裝置 【資料來源：〈木造軸組壁の構造耐力〉】

2003 年，大橋好光及三芳紀美子乃以實驗重新認識日本土壁強度，其實驗討論之變因包括：壁體有無、貫數目的影響、黏土扮合浸泡時間的影響及土的影響等四個項目；由實驗結果發現，無壁木框架壁倍率為 0.1，兩面覆土的標準壁體壁倍率為 1，根據日本建築基準

法：壁倍率 1，壁耐力 = $(1.96\text{kg/m}) \times (\text{壁體長度})$ ，兩面雙層覆土（中塗）的壁倍率為 2.3-2.4，最大可達 3.3；而增加貫數目對壁體剛度無明顯影響，塗壁黏土浸泡時間亦不影響壁體剛度，但黏土種類則明顯影響壁體剛度。

在美國，ASTM E564-76 〈Standard Method of STATIC LOAD TEST FOR SHEAR RESISTANCE OF FRAMED WALLS FOR BUILDINGS〉，用來分析典型框架牆面的靜剪耐力（static shear capacity），以評定牆面在結構中的剪力硬度及接合狀況。此單向水平載重之實驗裝置與日本類似，更規範加載速度：由 0 到期待設計載重的增載速率不可少於 10 分鐘，且載重數值接近 1/3 或 2/3 的預估極限載重的時候，需移除載重並記錄牆體回復狀況，時間需長達 5 分鐘。由實驗結果可評估包括極限剪力強度及剪力剛度：

1. 極限剪力強度：由以下的公式以決定極限剪力強度 S_u ：

$$S_u = P_u / b$$

S_u = 牆體的極限剪力強度，單位是 (N/m)。

P_u = 量測時的最大載重 (N)。

b = 平行載重方向，固定框架中心線間的剪力牆長度(m)。

2. 剪力剛度：用一個參考載重的變形值以評估牆體剛度，建議的參考強度為 0.33 P_u (1/3 的最大載重)。當選訂的參考載重超過彈性範圍，則選擇一個較小的值以小于彈性範圍。剪力剛度 G' 由下述公式決定：

$$G' = (P/d) \times (a/b)$$

G' = 剪力剛度，包括與連接系統間的剪力變形因素 (N/m)。

P = 在牆體上部的加載 (N)。

d = 試驗後全部的變形量 (m); 包括純粹的剪力變形, 及
錨定端或連接系統內部的變形。

a = 牆體高度 (m)。

b = 牆體長度 (m)。

1997 年 Jared Bernard Jamison 針對新的木框架剪力牆 Structurally Insulated Panels (SIPS) 從事研究, 除希望了解 SIPS 之力學特性外, 並分別以單向加載及迴圈加載來比較兩種壁體水平力實驗方法評估結果間之差異。在單向加載方面比較兩種不同施力形式, 其一以每秒變位 0.01in 將壁體直接破壞, 每分鐘記錄 10 個變位點; 另一種則依照 ASTM E564 之施力方式, 除了在 5 分鐘內施力達到 10% 預期的極限載重, 並卸載 5 分鐘之外, 在任一加載階段於測定變位之前, 力量為維持至少一分鐘, 另外在 1/3 和 2/3 極限載重之後, 會卸載休息 5 分鐘, 以觀察牆體復原狀況。實驗結果之降服點依據 Equivalent Elastic-Plastic Curve Analysis 的能量法則定出, 降服應變 $= F_{yield}/K_e$, 韌性度 $D = \text{最大應變} / \text{降服應變}$ 。結論認為兩種單向載重下的實驗結果相同。與迴圈載重實驗相比, 牆體的最大耐力、剛度、 E 值等等之實驗結果與單向載重亦無大的差異, 因此建議以迴圈實驗取代單向加載, 可瞭解更多牆體能量吸收的資訊。

1995 年, Aim Abdurachim Idris 和 Anita Firmanti Lovian 為了提出適當的技術以生產最適宜的建築材料, 並使用印尼當地天然材料製造板材用於輕寬架系統中, 乃針對竹材補強做研究, 欲瞭解其用在輕框架建築之性能。使用材料包括椰子樹為框架、竹片, 火山灰與石灰、砂混合成灰泥等等, 對不同類型壁體做水平剪力強度試驗, 並比較包括灰泥配比、竹片包附與否、竹片構法等三種變因。實驗結果認為椰子樹是木框架很好的替代材料, 經鐵釘固定的木框架符合印度

木構造標準 (PKKI-1961)。在灰泥部分，火山灰-石灰和砂的最佳比例是 1：3，可作為竹編層的覆蓋層。而經包覆的竹片可增加竹片與灰泥間的握裹力，因可避免竹材吸水膨脹造成強度上的影響。

第三章 台灣傳統編泥牆現況調查、分析與施作紀錄

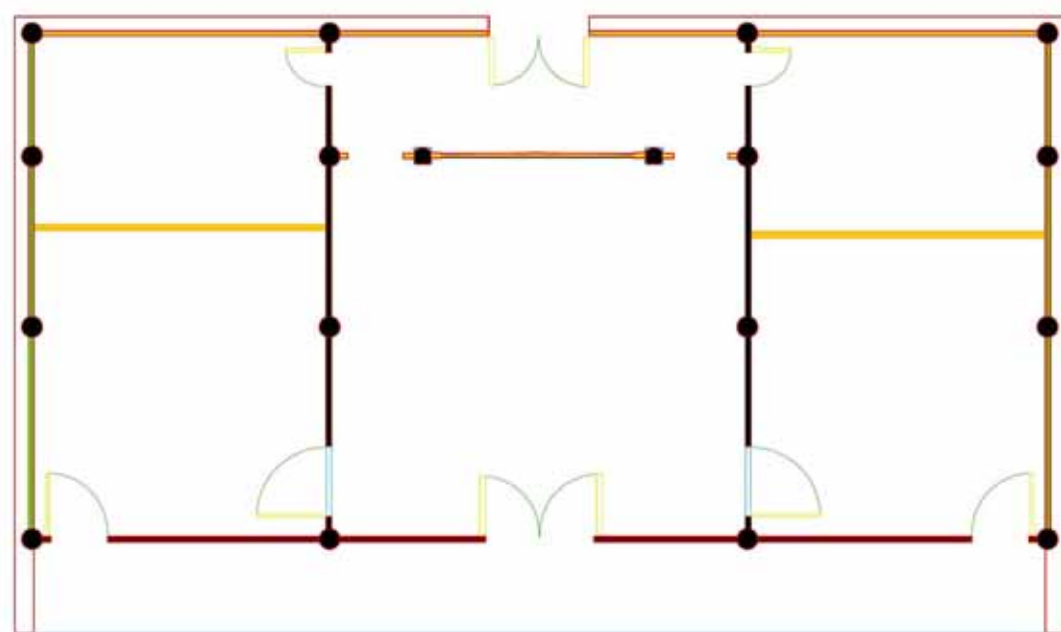
為了針對台灣傳統編泥牆進行試驗，本研究首先透過田野調查以了解台灣傳統編泥牆在建築物之位置、構成材料、構造方式及尺寸等特徵，並透過匠師訪談與詳細紀錄壁體實際製作之相關程序與細部構造特徵；而田野調查取回之壁體樣品的成分則透過實驗室分析之；本章節結果將做為下一張試體規劃之參考。在進度方面，目前調查案例包括台南縣 51 處、嘉義縣 16 處及雲林縣 17 處等共 84 處，有 8 位受訪匠師，訪談內容包括匠師施作程序，編泥牆施作材料（包括材料來源、竹材防腐處理等）、構件名稱、施作工具等。受訪匠師之基本資料整理如表 3-1。

表 3-1 受訪匠師相關基本資料

匠師姓名	訪問地點	工種	訪問日期
廖自成	台南縣新營市太子宮	土水	2003. 8
許復春	台南縣七股鄉	竹	2003.
廖枝德	台南縣後壁鄉福安村	大木	2003. 12. 2
胡狄青	台南縣東山鄉南勢村	兼	2003. 12. 7
楊**	台南縣新營市姑爺里	兼	2004. 2
王金龍	雲林縣北港鎮扶朝里	土水	
蘇炳木	雲林縣北港鎮	竹	2004. 1
陳水寶	台南市東區	土水、兼做大木	2004. 5. 21

3-1 台灣傳統編泥牆之構造調查

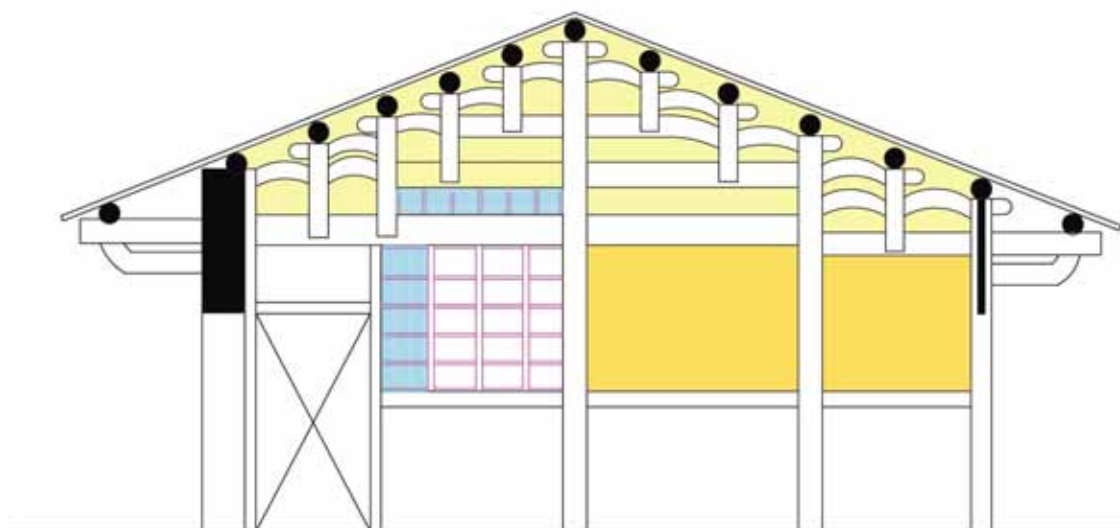
由田野調查發現，傳統編泥牆分佈位置在室內隔間牆多位於穿斗式架扇中段及上段，而在立面方面則主要為前、後簷牆台度以上之身堵、頭堵；在部分案例中則做為正身室內神龕壁或暗間之前後隔間牆，其分佈位置整理如圖 3-1 至 3-3 所示。



- 最常見
- 常見
- 普通
- 竹造穿斗可見

台灣傳統編竹泥牆平面位置示意圖

圖 3-1 傳統編泥牆平面位置示意圖



- 牆體中段
- 牆體上段

台灣傳統編竹泥牆架扇位置示意圖

圖 3-2 傳統編泥牆架扇位置示意圖



圖 3-3 傳統編泥牆立面位置示意圖

單元壁體由穿斗式架扇之穿仔等水平構件及柱或柱側之枋等垂直構件構成壁體邊框，內部包括壁體骨架及覆土層等兩部分。內部骨架構法大致符合竹中久雄及洪文雄對於台灣地區竹造建築壁面之描述，以較寬較厚的「籬梗」均勻配置於壁體中，再以較窄較薄的「籬仔」前後穿梭於「籬梗」間佈滿壁體；其中位於穿斗架扇中段或前、後簷牆，神龕壁及隔間牆身堵之壁體骨架，其「籬梗」為水平配置，「籬仔」則垂直佈滿壁體，但木造穿斗式屋架單元壁體寬度若過大，於其中會設置扁平表面不平整之木棒「暗梗、暗棒」以增加壁體剛度。在架扇上段或前、後簷牆、神龕壁及隔間牆頭堵等部位之壁體骨架，則整個構件安排會旋轉 90° ，以「籬梗」垂直配置，「籬仔」水平編織，架扇上段與山牆斜坡處之壁體亦同，其「籬梗」長度隨屋頂高度退縮，「籬仔」反之。另外在部分竹造穿斗式建築的簷牆最上層，可見以兩根「籬梗」上下水平貼緊壁體邊框，「籬仔」以 45° 斜向編織之特殊構造。覆土層則分為兩層，內層先將米糠土塗附於壁體骨架上作為壁體最主要的土層，外層再施以約 0.2-0.3 公分之白灰作為防水層。詳細構造如圖 3-4 所示：

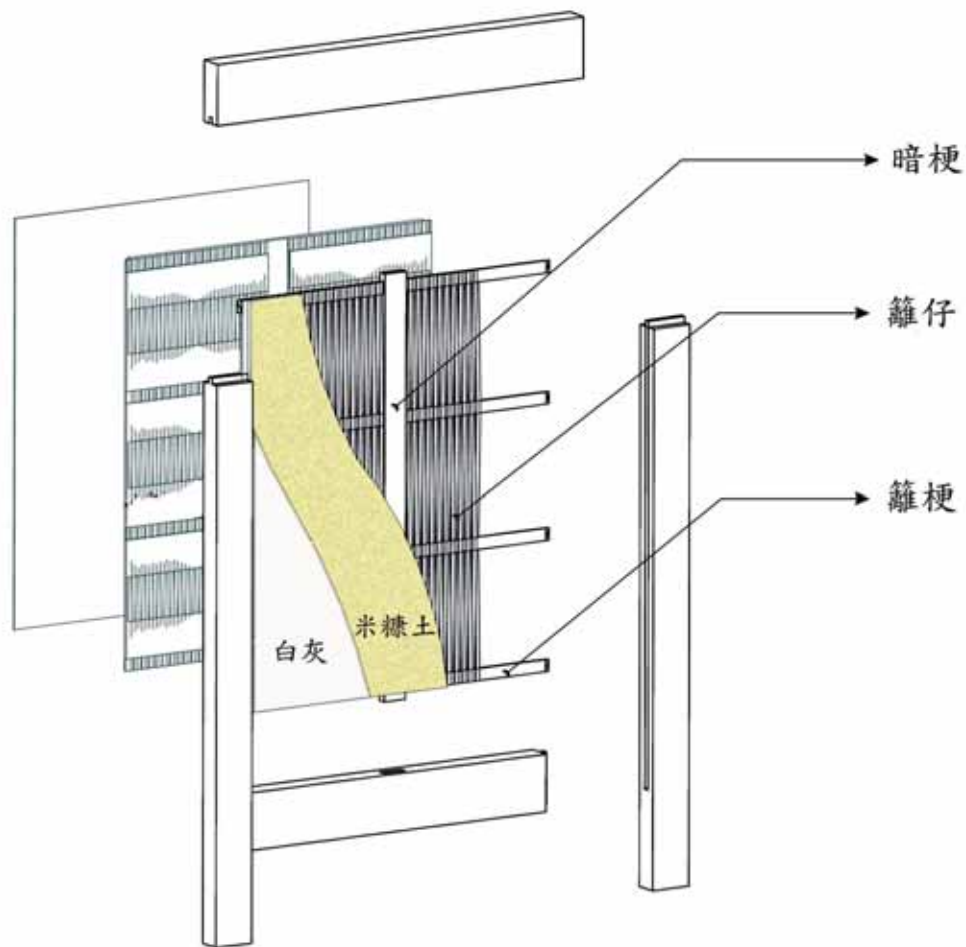


圖 3-4 傳統編泥牆構件名稱示意圖



圖 3-5 山牆部編泥牆骨架做法



圖 3-6 交叉斜編之編泥牆

而觀察壁體邊框與內部壁體之關係，多數木、竹造穿斗式壁體邊框與壁面交接處多為平面無凹榫，僅在穿斗式構架邊框有深約 1-2 公分之暗榫與「暗梗」搭接，而「籬梗」則直接插入壁體邊框（木造）

或鑿洞後插入或穿過竹柱（竹造）。但由少數調查案例仍可見於水平或垂直邊框設置凹榫，包括修復前的新港大興宮、拆除前的麻豆郭宅等，而新修新營太子宮於壁體四周木框則皆開鑿凹榫。就細部構件來說，經調查後發現「籬梗」主要由蔴竹所構成，以其竹材性能強韌且竹肉厚方便加工，竹片弦向與壁面平行，即由壁體兩面分別可見「籬梗」之竹皮側及竹肉內側，「籬梗」兩端直接插入木造穿斗式壁體邊框。「籬仔」之主要材料亦為蔴竹，其他竹材尚包括桂竹、麻竹等，依據竹肉厚度有兩種構法，其中竹肉較薄之竹管如桂竹、蔴竹上段，其竹片以弦向平行壁面，即以竹皮及竹肉內側接觸「籬梗」，東山胡狄青匠師稱之為「倒竹」，新營姑爺楊匠師以動詞形容為「剖倒ㄟ」，相鄰之「籬仔」常見以正、背面交互配置；竹肉較厚的竹管如蔴竹中下段或麻竹，則垂直或斜向剖製籬仔，稱之為「ㄅ一ㄣ（站）竹」，動詞為「剖ㄅ一ㄣ ㄟ」，詳見下圖 3-7：

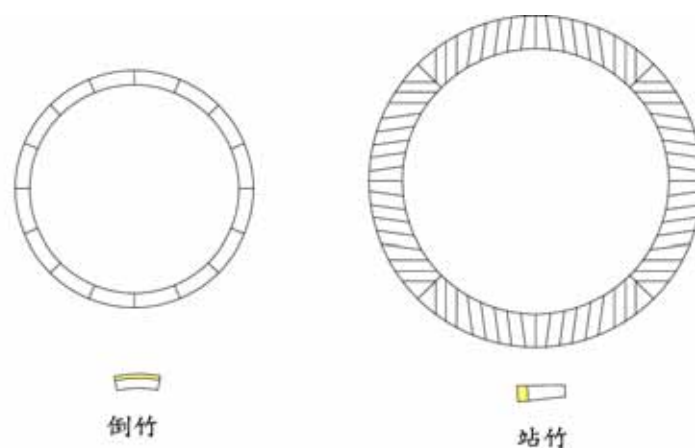


圖 3-7 剖竹方式示意圖



圖 3-8 於嘉義縣大林鎮發現之倒竹「籬仔」。



圖 3-9 台南縣麻豆鎮發現之站竹「籬仔」。

由案例調查發現，「剖丂一丫 丂」的「籬仔」遠多於「剖倒丂」，除受材料幾何形狀影響之外，部分匠師（復春師、枝德師、狄青師及一些年長的民眾）均認為係因覆土層不易塗覆在竹皮上，尤其以桂竹皮為最。此外五節芒（俗稱管筋，學名 *Miscanthus floridulus*）為調查發現之特殊「籬仔」材料，其莖部可直接在「籬梗」間前後穿梭編織壁體，兩端需削尖避免「籬仔」過度突出造成覆土層過厚；常見於台南縣東山鄉及白河鎮，以其容易取得之故，其他地區如台南縣善化、麻豆、下營、柳營、後壁、北門及嘉義東石等地，亦可看到五節芒「籬仔」。



圖 3-10 生長於南 174 縣道 48.5 公里處路旁邊坡之五節芒。



圖 3-11 於台南縣善化鎮發現之五節芒「籬仔」。

3-2 台灣傳統編泥牆壁體尺寸與材料配比分析

本研究為瞭解傳統編泥牆相關構造特性，乃針對台南縣與嘉義縣等地之編泥牆透過田野調查方式紀錄牆體之幾何尺寸、構造方式（包括籬梗、籬仔編織方向等），再利用統計分析傳統編泥牆之構造特性。本節首先針對調查結果分析傳統編泥牆體之構造特性（包括幾何尺寸、各部材詳細情形）進行說明，再針對其材料配比進行分析。

3-2-1 編泥牆壁體尺寸分析：

由於不同位置之壁體其幾何比例亦會不同，因此在此首先將壁體位置分為四大類，包括：簷牆中段、簷牆上段、隔間牆中段與隔間牆上段。其中隔間牆皆為穿斗式木構架而構架內填充編泥牆。在簷牆中段方面，牆體寬度除了有一個案例牆體寬度達到 270 公分左右外，其餘大多集中在 45 公分至 120 公分之間，而所調查的 70 道簷牆中段其平均寬度約為 90 公分，標準差約為 44 公分。相較於牆體寬度，牆體高度則分佈較為集中。70 道牆體中，牆體高度較平均分散於 80 公分至 120 公分之間，其平均高度約為 100 公分，標準差約為 19 公分。在簷牆中段之高寬比方面，經過分析可以發現所調查之 70 道簷牆中，除少數牆體高寬比較為特殊外（共 7 道牆之高寬比超過 3 或小於 0.2），其餘牆體之高寬比皆集中在 2-0.3 之間。再進一步分析我們可以發現，簷牆中段的編泥牆其平均高寬比約為 1.17 而標準差約為 0.36 左右。在簷牆上段部分，由於本研究至今僅調查 7 道簷牆上段部分，由於數量太少因此在此不利用統計方法進行分析。惟此七道簷牆上段編泥牆寬度皆介於 45-270 公分之間，而高度則介於 10-53 公分之間；而高寬比則介於 0.11-0.54 之間。

在隔間牆中段部分，本研究至今調查隔間牆中段壁體共 25 個案例。由於壁體皆填充於穿斗式木構架之間，因此高度及寬度皆受限於

木構架的尺寸。經過分析發現，壁體寬度相當平均的分佈在 40-220 公分之間，而高度則分佈在 50-160 公分之間。在壁體高寬比方面，除了有一個案例高達 25 以外，其餘 24 個案例接相當平均的分佈於 0.5-2 之間。此外，此 25 個案例的高寬比平均為 1.14，標準差為 0.53。在隔間牆上段部分，牆體寬度相較於簷牆之寬度更為集中，而在所調查之 9 個案例中可以發現牆體寬度大多集中於 40-140 公分之間，高度除了一個較特殊的案例外，大多集中在 20-40 公分之間。經過調查後發現，隔間牆上段之平均寬度為 86 公分，標準差約為 39 公分；而平均高度約為 34 公分，標準差為 9 公分。在壁體的高寬比方面，除了一個案例壁體高寬比高達 1.65 以外，其餘壁體之高寬比皆集中在 0.25-0.8 之間。

由前面兩段的討論可以知道，簷牆中段之高寬比與隔間牆中段之高寬比類似，皆為 1.1 左右，而相較於簷牆中段，隔間牆中段的高寬比之變異明顯較大，此應與隔間牆部位之壁體其高度及寬度皆受限於穿斗式木構架之故。表 3-2 為前面兩段壁體相關幾何資料的整理結果。在牆體高度部分，由表 3-2 可知，不論是簷牆或是隔間牆中段，其平均牆體高度皆在 100 左右，而牆體上段則皆在 30 公分左右。相較於牆體高度，牆體寬度則變異較大。

表 3-2 壁體相關幾何資料的整理結果

	高度 (cm)		寬度 (cm)		高寬比	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
簷牆中段	100	19	90	44	1.17	0.36
簷牆上段*	30.9	16.3	145.8	91.5	0.25	0.14
隔間牆中段	107.8	25.6	111.9	48.5	1.14	0.53
隔間牆上段	34	9	86	39	0.56	0.44

*：簷牆及隔間牆上段由於僅分別調查個與 9 個案例，因此較不具統計意義，上表所列之數據僅供參考。

3-2-2 暗梗數量與壁體幾何條件關係

不論在簷牆或隔間牆中段，當壁體寬度太大時，壁體內部會置入適當數量的暗梗以提高面內剛度，因此暗梗數量與簷牆或隔間牆中段壁體寬度有相當大的關係。在所有調查案例中可以發現，暗梗高度皆與牆體高度相當，而寬度主要集中在 4-8 公分之間。暗梗數量與簷牆中段寬度關係如圖 3-12 所示，與隔間牆中段寬度如圖 3-13 所示。由圖 3-12 與 3-13 可知，無論在簷牆或隔間牆方面，牆體小於 100 公分時期暗梗數量皆在 2 個以內，而 100-150 公分的案例中，暗梗數量皆為 2-3 支（其中以 3 支明顯較多），150-200 公分的牆體中，暗梗數量則從 2-4 支皆有。

當匠師在決定暗梗數量時，應是將牆體寬度考慮後利用暗梗將牆體在內部做適當的隔間分配，亦即每隔一段距離會設置一根暗梗。欲得到如上述的資訊，除了可以透過匠師訪談外，亦可透過將田野調查資料作進一步分析。欲分析暗梗間距時，我們可以利用下式計算：

$$\text{暗梗間距} = \text{牆體寬度} / (\text{暗梗數量} + 1)$$

在經過計算後發現，簷牆的平均暗梗間距為 44.5 公分，而隔間牆的平均暗梗間距則為 46.3 公分，皆相當接近一尺半（約 45.7 公分）。在地域性差異部分，再針對前簷牆與隔間牆的暗梗間距依據建築物所在地區區分為台南地區與嘉義地區兩大類，針對暗梗間距進行 t 檢定以檢查是否有顯著的差異，分析後發現無論在台南地區或嘉義地區，簷牆與隔戶牆內暗梗間距平均值並沒有顯著的差異，也就是說兩者平均值都差不多在 45 公分左右。

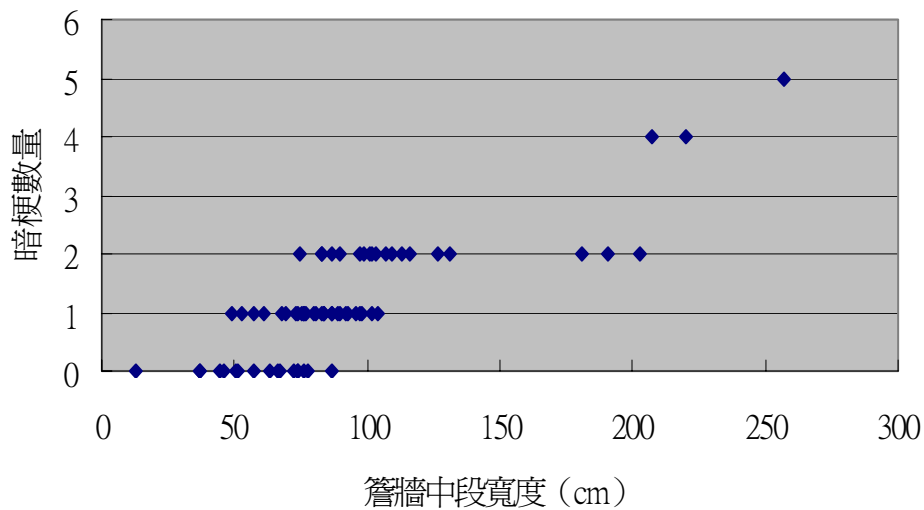


圖 3-12 簷牆中段寬度與暗梗數量關係

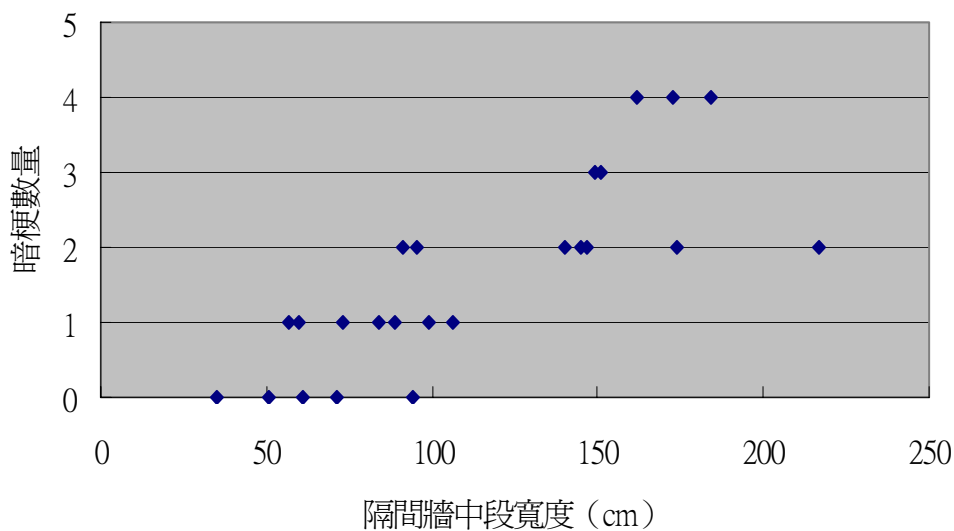


圖 3-13 隔間牆中段寬度與暗梗數量關係

3-2-3 籬梗與牆體幾何關係

在簷牆與隔間牆中段部分為了用籬仔（竹片或五節芒）編織牆體內部，除了暗梗外做為垂直補強材外，亦會使用籬梗做為編織的骨架。一般來說，籬梗間距如果過小，則施工相當不易，而如果間距過大，則牆體面內剛度又會過小。經過調查後發現，籬梗多為竹片，長度與前一節所述之暗梗間距相當，而寬度則多介於 2-3 公分之間。為瞭解籬梗間距是否有一共同的經驗值，本研究透過田野調查並紀錄各

個牆體的籬梗數量，在分析中籬梗間距可利用下式計算：

$$\text{籬梗間距} = \text{牆體高度} / (\text{籬梗數量} - 1)$$

在計算後發現，在所有調查案例中，簷牆部位的籬梗間距為 25.1 公分，而隔間牆部位的籬梗間距則為 24 公分；標準差則分別為 6.4 與 8 公分。由此我們可以發現，籬梗間距無論在那個部位的牆體皆相當接近，且變化亦不大。在針對建築物所在地區進行分析後發現，這個尺寸並沒有顯著的區域性差異。

3-2-4 米糠、土重量配比實驗

在調查過程中發現塗土往往摻雜米糠，為瞭解匠師在施作時的混合比例，本研究在實驗室中進行實驗以分離米糠與塗土，其實驗步驟如下：

- (1) 取適當量之土塊，以精度 0.01g 的電子磅秤秤重。



- (2) 以研鉢將秤重後的土塊分次擣碎。
- (3) 以標準篩 16、20、30 號篩將米糠與土分離。觀察得知，土塊碾碎後可全部通過 30 號篩，部分未完全碾遂之土塊再經一次研鉢碾碎之後亦可通過 30 號篩；而大部分米糠均停留於 16 號篩上，少數在 20 號篩上，更少數於 30 號篩上，幾乎沒有米糠碎屑能通過 30 號篩。



(4) 因此將未通過各篩餘留下來之物品分別秤重，可得米糠與土之配比比值。

(5) 實驗結果與分析：

試體名稱	總重	No 16	No 20	No 30	底層	累加總重	損失	比值	平均
麻豆大埕 01	97.88g	5.93g	0.27g	—	90.36g	96.56g	1.32g	0.068	0.065
麻豆大埕 02	55.81g	2.57g	0.62g	—	52.05g	55.24g	0.57g	0.061	
麻豆大埕 03	53.63g	2.70g	0.60g	—	50.00g	53.30g	0.33g	0.066	
大內內庄 01	53.96g	1.15g	0.14g	0.04g	52.20g	53.53g	0.43g	0.024	0.024
大內內庄 02	53.85g	1.07g	0.14g	—	52.30g	53.51g	0.34g	0.023	
北港扶朝 01	57.71g	1.13g	0.17g	0.06g	56.17g	57.50g	0.21g	0.023	0.022
北港扶朝 02	53.07g	0.91g	0.15g	—	51.84g	52.90g	0.17g	0.020	
北門北港 01	59.20g	0.57g	0.36g	0.26g	57.90g	59.09g	0.11g	0.020	0.026
北門北港 02	72.21g	1.44g	0.39g	0.21g	70.10g	72.14g	0.07g	0.029	
北門北港 03	82.85g	1.60g	0.45g	0.22g	80.48g	82.75g	0.1g	0.028	
下營下營 01	64.99g	4.23g	0.32g	0.07g	60.15g	64.77g	0.22g	0.075	—
下營下營 02	62.32g	0.80g	0.30g	0.20g	60.86g	62.16g	0.16g	0.018	
善化善化 01	76.12g	0.03g	0.03g	0.07g	75.90g	76.03g	0.09g	0.000	—
善化善化 02	67.44g	0.13g	0.07g	0.07g	67.06g	67.33g	0.11g	0.003	
鹽水大莊	46.51g	0.40g	0.17g	0.20g	45.66g	46.43g	0.08g	0.016	0.016
東石栗子崙	64.98g	2.07g	0.09g	0.05g	62.73g	64.95g	0.03g	0.034	0.034

* 比值 = (No 16 + No 20) / 總重，為米糠重與土重之比，詳見實驗討論。

本研究在調查過程中所收集的試體皆是壁體材料掉落至地面所撿拾之試體，在下營與善化案例兩個中，由於下營案例所撿拾之兩塊牆體其米糠的比值差異非常大，因此其平均值並不代表任何意義；而在善化的案例中，兩個試體的比值皆相當接近 0，因此需在進一步做確認是否壁體中包含米糠。除了前面說明的這兩個案例外，由表 2-3 可以發現，米糠的比值介於 0.016-.065 之間，且多集中在 0.2-0.3 之間。

3-3 台灣傳統編泥牆施作方法

3-3-1 匠師竹材防腐處理

竹齡是匠師選擇竹材的重要考慮因素，在訪談中，包括蘇炳木、胡狄青、許復春等匠師均認為老竹或成熟竹材較佳。而根據訪談之匠師經驗，3-4 年生蔴竹即成熟可利用，若竹材沒有乾黃，十幾年的老竹則更佳。根據本研究針對匠師訪談及林宜君針對民雄鄉東湖仔劉順匠師訪談紀錄後整理發現，匠師多選擇立冬後到隔年 1 月砍伐之竹材作為建材。根據訪問之傳統匠師經驗，新竹取來後需乾燥一段時間才能施作，大概當竹材表面白裡透黃即視為乾燥之竹材。

部分受訪的匠師(包括許復春、廖枝德及新營姑爺楊姓匠師等人)乃將新砍下來的竹材浸置於鹹水漁塭達 40 天，或於水塘中浸泡 2-3 個月，撈起乾燥後再使用。另有部分受訪的傳統匠師認為鹽分也具有防腐之效果，乃將鹽水或鹽巴直接塗覆於竹材上。但在嘉義新港大興宮古蹟修護案例中則是於新作編泥牆骨架材上塗刷防腐劑。

3-3-2 壁體骨架施作方法

壁體施作主要亦包括兩個部分，即壁體骨架施作及土灰層施作等兩大部分，其中編籬屬於木匠師傅之工作，抹土則由土水司傅負責，

但亦有兩者兼備之匠師。在壁體骨架材部分，主要記錄於壁體邊框及暗梗等大木作完成之後之籬梗、籬仔剖製、安裝等步驟；土灰層則紀錄其包括扮合及抹壁的整個施作過程。穿斗式屋架完成後即可施作，包括暗梗安裝、籬梗剖製及安裝、籬仔剖製及安裝等 5 個步驟。

1. 暗梗安裝：

- (1) 於上下邊框開鑿榫口，上邊框榫口與暗梗斷面密合，深約 2 公分；下邊框榫口，寬與暗梗厚度相同，長約暗梗寬度之 1 倍，其中與暗梗搭接處深約 2 公分，未與暗梗搭接處榫口深與暗梗距成反比，作為安裝暗梗時之導軌。



圖 3-14 於斗六竹圍仔，暗梗與上邊框之搭接。



圖 3-15 於斗六竹圍仔，暗梗與下邊框之搭接。

- (2) 將暗梗傾斜放入上下邊框榫孔，延下方導軌將暗梗敲正，完成暗梗安裝。

2. 籬梗剖製：

- (1) 取用竹肉厚在 0.7 公分左右之蔴竹，確定尺寸之後以鋸子截取竹管至適當長度。
- (2) 以柴刀削除外節。
- (3) 以柴刀剖製竹片，先對半剖，再依序剖下寬度約 1 寸（3 公分左右）左右之竹片。

(4) 削除竹片內層竹節。

(5) 籬梗兩端以柴刀削尖，其中竹肉側削除較多，竹皮側僅稍微去除。



圖 3-16 後壁廖枝德匠師使用之柴刀。



圖 3-17 許復春匠師以柴刀將「籬梗」兩端削尖。

3. 籬梗安裝：

(1) 確定籬梗數量與安裝之位置。

(2) 以 8 分刺仔於一側邊框上插洞，以鐵鎚敲擊輔助刺仔。或可直接以籬梗插洞。

(3) 將籬梗一端平行壁面傾斜插入一邊的孔洞之後，另一邊則直接以鐵鎚敲由上往下或由下往上敲入邊框中直到籬梗與地面平行，因而在木邊框或暗梗上的某一邊會留下籬梗刻痕；籬梗兩端更深入邊框 0.5-1 公分。



圖 3-18 許復春匠師以 8 分「刺仔」及鐵鎚於壁體邊框或暗梗之一端敲出刻痕。



圖 3-19 將籬梗一端插入預先鑿好的刻痕中。



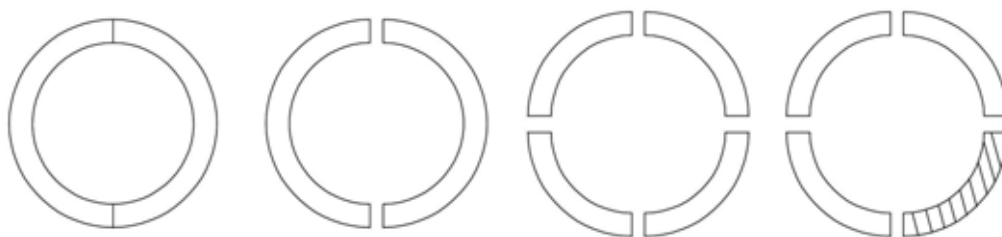
圖 3-20 以傾斜方式將籬梗另一端置入邊框內。



圖 3-21 直接以鐵鎚敲由上往下或由下往上敲入邊框中直到籬梗與地面平行。

4. 籬仔製作：

- (1) 確定尺寸之後以鋸子截取竹管至適當長度。
- (2) 以柴刀削除外節。
- (3) 以柴刀剖製竹籬，將竹管對半或剖成四等份之後，在許復春匠師剖站竹之實例，先削除內部竹節，再根據竹肉厚度及不同的籬梗間距決定籬仔剖法及剖製厚度，若籬梗間距較大，則籬仔厚度剖較厚，籬梗間距較小則籬仔較薄；觀察七股許復春匠師剖製之籬仔，籬仔寬度約 1 公分，厚度大約 0.3 公分左右。



許復春匠師剖製籬仔示意圖

圖 3-22 剖至籬仔示意圖

新營太子宫修護匠師廖自成剖倒竹之實例，則先以柴刀剖製一皮皮之籬仔，再去掉依序以柴刀削除竹內節。



圖 3-23 廖自成匠師以柴刀剖製籬仔。



圖 3-24 再依序以柴刀削除竹片內節。

五節芒在剝去外層葉子之後可直接作為籬仔，但頭尾兩端需削尖避免籬仔過於外張影響抹土【枝德師】。

5. 編壁：

以籬仔直接在籬梗中前後穿梭，「倒竹」的做法在相鄰之「籬仔」間則以正、背面交互配置。新營太子宮兩堵簷牆上段壁體之案例，由於長度較長，分別為 274 cm 及 173 cm，現場施作匠師認為此長度之籬仔不易剖製，且在籬梗中將有穿梭較困難等施作上之問題，因此在壁體中段作搭接。



圖 3-25 新營太子宮匠師編籬時之情形。



圖 3-26 新營太子宮籬仔搭接之做法。

3-3-3 土灰層施作方法

土灰層主要包括土層及灰層兩部分，土層主要由黏土及米糠混合而成，亦可添加斬碎之稻草，由於施作較為麻煩而少見【復春師】，

其中黏土為一般稻田中之土壤【龍師】，東山鄉胡狄青匠師則認為以赤土最佳，米糠即為稻米殼，作為黏土中的纖維材料；灰層即麻絨混和白灰，有石頭灰及牡蠣灰兩種，經化學作用轉化成碳酸鈣（ CaCO_3 ）藉以保護壁體防止其受水侵襲，一般厚度不超過 0.3 公分；但在田野調查中亦發現只上灰層未上土層的案例，其牆厚為 3 公分。觀察新營太子宮古蹟修護工程的土灰層施工步驟，大致分為么土、揉土、養灰、抹土及抹灰等步驟。

1. 么土：乃在黏土中添加米糠，加水浸泡 1 星期至 1 個月不等；么土的目的除了將米糠浸軟，使其與土漿充分混合；另一方面則使水分充分滲透分解土塊。么土的過程中尚包括揉土，用腳踩踏土塊使其崩解，並取出土堤中之石塊或較大無法擊碎的土塊，惟黏土若事先篩過，可省略此步驟。在新營太子宮現場觀察到的么土過程，先以黏土築堤圍成半徑 95cm、高約 20cm、堤厚約 20cm 之圓形水塘，將水倒入水塘後與黏土攪拌均勻，再添加以米糠，據現場監造表示，一立方公尺的土方需混入 1 包黑色大垃圾袋壓實的米糠，相當於兩包未壓實的米糠量；多數匠師則憑經驗添加米糠，認為米糠含量較多之黏土不易乾裂，但施作也較為困難，而米糠含量少的案例則容易產生乾裂。



圖 3-27 新營太子宮之修護施作實例，么土過程。



圖 3-28 黏土與米糠充分混和攪拌後之情形。

2. 養灰：將麻絨及石頭灰或牡蠣灰置於水筒中浸泡，使氧化鈣轉變成為氫氧化鈣，並與麻絨充分拌合。

3. 抹土：骨架材完成之後，受訪的部分匠師表示需等到屋頂工程完成之後，才能將準備好的米糠土抹上骨架，換句話說就是需等到屋頂重量固定之後，才施作壁體土灰層【廖自成匠師】；亦有匠師認為骨架材完成之後便可施作土灰層，壁體施作與屋頂無關，但通常還是會先施作屋頂工程，如此編壁抹土較為涼爽，工作較為輕鬆【胡狄青匠師】。

抹土工程依序在壁體兩面施作，基本要有兩道手續：

- (1) 先以鐵製抹刀將米糠土壓入壁體骨架中，在表面稍微抹平。
- (2) 待片刻後土乾縮出現裂痕，則先以自製的木片或鋁片將壁面裂縫或突起整平，並以鐵製抹刀抹土作最後修平。

由於土層在乾燥過程中將持續出現裂痕，部份受訪匠師表示，抹壁工作需重複 3-4 次，直到裂縫不再發生。田野調查中取王金龍匠師認可之可工作之水與米糠土配比，經實驗室烘箱秤重分析，水分與米糠土之重量比在 24.07%。而由劉聰連匠師拌和之黏土，水與米糠土的比例則在 23.04% 及 23.12%。



圖 3-29 劉聰連匠師將以抹刀將米糠土壓入壁體



圖 3-30 新營太子宫匠師以鐵製抹刀將壁面稍

骨架中。	作整平。
	
圖 3-31 新營太子宮匠師待壁面稍乾後以鋁片將壁面整平。	圖 3-32 最後以鐵製抹刀將壁面整平。

抹灰：待土層未乾之前即要施作抹灰，以新營太子宮的案例等待約一天；但東山胡狄青匠師則認為需等待三天土乾之後，才能抹白灰，而土未乾抹灰亦可，但水氣會滲到白灰中，牆壁會較黃而較不漂亮。

抹灰與抹土類似，先以鐵製抹刀將白灰抹在壁體上，雙面各約 0.3 公分厚，再以「催仔」鋼製抹刀催光；其中硬值鋼鏟與貼鏟刀相對有較少的孔隙比，因此與塗壁材的附著力較少藉以用來磨出平滑的壁面。據東山鄉胡狄青匠師表示，一道 1m×1m 平方的壁面，其大約只需 5 分鐘時間便可完成抹灰工程，結束整個壁面工程。

	
圖 3-32 新營太子宮抹灰時之壁土乾燥狀況。	圖 3-33 新營太子宮匠師抹灰用之工具，左為「催仔」，右為鐵製抹刀。



圖 3-34 新營太子宮匠師先以鐵製抹刀在壁面上抹上白灰。



圖 3-35 最後以「催仔」將壁面打亮。

第四章 台灣傳統編泥牆結構特性探討

4-1 實驗目的與範圍

本研究中實驗的目的在針對傳統編泥牆剛度的影響因子進行試驗，並加以分析。在瞭解影響傳統編泥牆強度的因子以後，可方便作為日後研究之參考並釐清編泥牆在傳統木構造中所扮演的角色

4-2 編泥牆剛度的影響因子

本實驗的目的在於探討影響傳統編泥牆面內剛度的影響因子，透過田野調查結果分析可以整理出可能影響壁體面內剛度的因子包括牆體高寬比、籬梗材料、長度與間距及籬仔材料與寬度等，以下將之整理如表 4-1 所示。由於經費上之限制，因此實驗將先行討論可能影響壁體剛度較大且容易控制之因子，包括籬梗長度、籬梗間距、籬仔材料與編法及土灰有無等四項變因。

表 4-1 傳統編泥牆強度影響因子

可能因子			說明
1	幾何條件	高寬比	根據現有案例調查，台灣傳統編泥牆中段之高寬比分佈從 0.33-9.52，上段之高寬比 0.6-11.9，不同的尺寸比例對壁體剛度可能造成影響。
2	籬梗	籬梗材料	不同材料可能對壁體剛度造成影響。
		籬梗長度	暗梗數量越多，籬梗跨距越短，可能提高壁體剛度，但暗梗對於土灰層之握裹能力較差，亦可能有負面影響，有待實驗觀察之。由調查發現，籬梗跨距分佈從 20-103 公分。
		籬梗間距	影響籬仔穿插彎折之難易度，進而影響籬仔剖切厚度；籬梗分佈從 9.5-48 公分，對壁體剛度可能造成影響。
3	籬仔	籬仔材料與編法	不同材料可能對壁體剛度造成影響。且由於竹材為非等向性材料，竹材厚度所造成之倒竹或站竹之籬仔編法可能影響壁體剛度。並受訪的傳統匠師並普遍認為，竹皮側向外土灰層比較抹不住。
		籬仔寬度	不同籬仔寬度會造成籬仔間隙數量上的差異，對壁體剛度可能造成影響。
5	土灰有無或種類		可能影響壁體剛度。

4-3 試體規劃、製作及實驗方法

考慮穿斗式民宅架扇部位及簷牆部位之中段壁體，並考慮實驗場地空間限制後將試體內部「寬、高、邊框厚度」設定為 90 cm×90 cm×6 cm，籬梗材料皆為蔴竹，而籬梗間距考慮田調分析結果之尺寸分佈（11-40 cm，以 21-30 cm 為最多）；籬梗長度亦考慮田調分析結果之尺寸分佈（主要分佈在 21-50 cm）；邊框厚度亦為多數實際壁體尺寸。為了簡化木框四端接點對於壁體剛度之複雜交互影響，乃在試體邊框四接點作鉸接，壁體邊框可自由在平面上變形以直接求取壁體剛度。詳細試體規劃如下表 4-2 及 4-3：

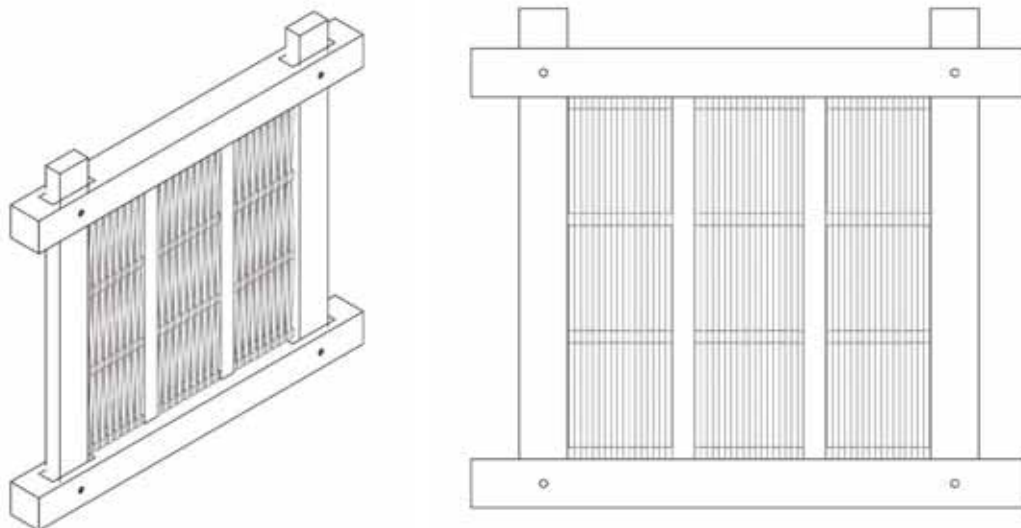


圖 4-1 實驗試體示意圖

表 4-2 試體因子規劃

變化程度	A 籬梗長度	B 籬梗間距	C 籬仔材料與編法	D 土灰有無
1	26 cm	15 cm	蔴竹站竹	有覆土
2	42 cm	26 cm	蔴竹倒竹	無覆土
3	90 cm		桂竹倒竹	
4			五節芒	

表 4-3 試體規劃

	實驗	暗梗數	籬梗長度	籬梗數量	籬梗間距	籬仔材料	籬仔編法	土塗有無
對照組	1	1 根	42 cm	6 根	15 cm	蔴竹	站竹	有
討論籬梗長度	2	2 根	26 cm	6 根	15 cm	蔴竹	站竹	有
	3	0	90 cm	6 根	15 cm	蔴竹	站竹	有
討論籬梗間距	4	1 根	42 cm	4 根	26 cm	蔴竹	站竹	有
討論籬仔材料	5	1 根	42 cm	6 根	15 cm	蔴竹	倒竹	有
與邊法	6	1 根	42 cm	6 根	15 cm	桂竹	倒竹	有
	7	1 根	42 cm	4 根	26 cm	五節芒	-	有
討論有無塗土	8	1 根	42 cm	6 根	15 cm	蔴竹	站竹	無

4-4 實驗方法

本實驗將試體下邊框固定於實驗架上，施水平力以量測試體剛度；除了實驗架本體由 4 根 W 型鋼以螺栓組合之外，尚包括試體施力裝置、固定裝置、應力及變位測定裝置。將試體上架後採用單向荷載的施力方式將試體推至破壞為止。

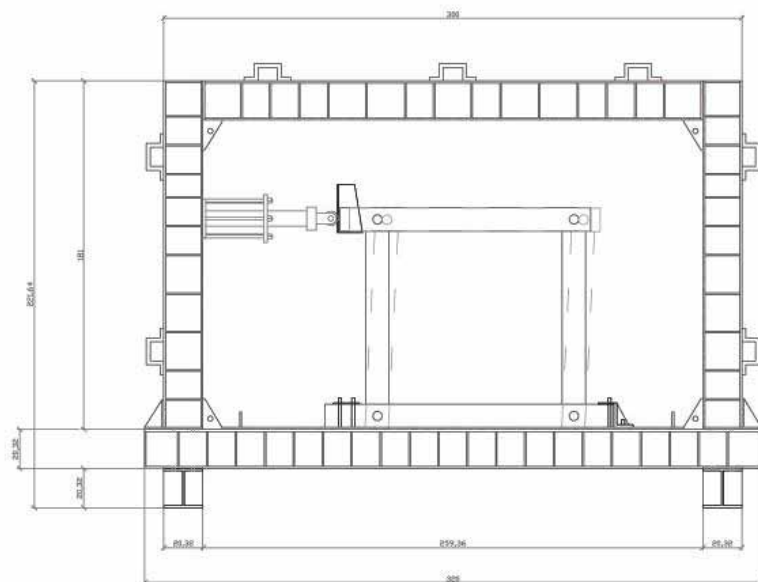


圖 4-2 實驗裝置圖

4-4 試體破壞模式

整理八組試體的實驗結果（參見附錄 A）後發現，除 D2 為無壁土試體，A3 為無暗梗試體外，其餘六組試體壁土之最初期破壞狀況皆沿暗梗處發生裂痕，裂痕隨變位增加而擴大；其後於暗梗兩側壁土出現壁土開裂狀況，依裂痕狀況可區分為（0、A1、B2、C4）與（C2、C3）兩群；另外 A3 及 D2 則單獨說明討論：

1. 0、A1、B2、C4 試體：除 C4 為五節芒籬仔之外，其餘三組籬仔構法皆為豎竹。其壁土主要破壞模式在壁土上均出現均佈之垂直裂縫，而少有水平或斜向裂縫；壁土受力擠壓後被割裂成小土片，陸續向外側剝出，以小塊小塊的土片脫落而下，卸載後尚有大面積壁土附著於骨架材上。其中豎竹籬仔由較粗糙之竹肉側面與壁土握裹，剖製時並刻意留下大量鬚鬚，而五節芒試體與豎竹籬仔試體破壞狀況相同，由於五節芒莖幹由互生葉子層層包覆，莖幹在葉片剝除後亦留下表面粗糙多鬚鬚之特點，因此兩類型籬仔試體之壁土破壞模式相似，將試體破壞狀況製圖如圖 4-3 所示。
2. C2、C3 試體：兩組之籬仔構法皆為倒竹，其裂痕尚維持垂直均佈之樣貌，但相鄰兩垂直裂縫間出現大量水平或斜向裂縫，變位愈大而龜裂態勢愈顯著，伴隨大片土片掉落，卸載後壁體出現較大面積骨架裸露之狀況，試體破壞狀況製圖如圖 4-4 所示。比較（0、A1、B2、C4）及（C2、C3）兩群試體之破壞模式，（0、A1、B2、C4）試體由於表面較為粗糙，於實驗結束時壁土僅出現垂直均佈之裂縫，而（C2、C3）試體則以半數光滑的竹皮側與壁土接觸，在實驗終止時產生壁土大量掉落之現象，因此推測具粗糙表面之（0、A1、B2、C4）與壁土間有較佳之握裹力，而（C2、C3）試體與壁土間之握裹力較差，以此證實部分匠師認為竹皮側與壁土握裹力較差之論點。

3. A3 試體：此為無暗梗、籬梗長度較長之試體（90 cm），破壞初期於壁體中央出現垂直向之裂縫，與一般豎竹壁體相似，垂直裂縫往左右擴張而均勻配置；隨著變位增大，整堵壁體逐漸向面外突出，此時壁土與編竹材已脫開而出現較多較短的水平或斜向裂縫，最後成龜裂狀，但壁土仍以小塊小塊的土片掉落，卸載後於壁面上尚留存大片壁土。壁土突出破壞狀況如圖 4-5、4-6 所示。
4. D2 試體：此為無壁土試體，壁體旋轉勁度相對非常軟弱。當水平力由左向右推移時，其暗梗隨邊框變位而向右傾斜，傾斜後之暗梗與左右邊框保持平行；籬梗左端隨邊框或暗梗向右下方位移而旋轉，右端則逐漸從邊框或籬梗中脫落；籬仔則受到擠壓而填滿空隙，部分作面外旋轉。於實驗後觀察各骨架材之接點狀況，均未發生嚴重明顯之破壞。

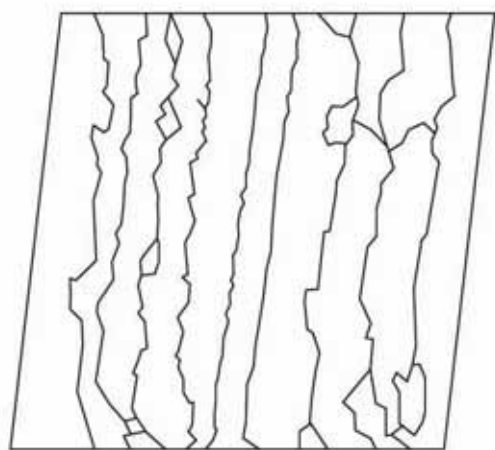


圖 4-3 豎竹或五節芒籬仔壁體破壞示意圖

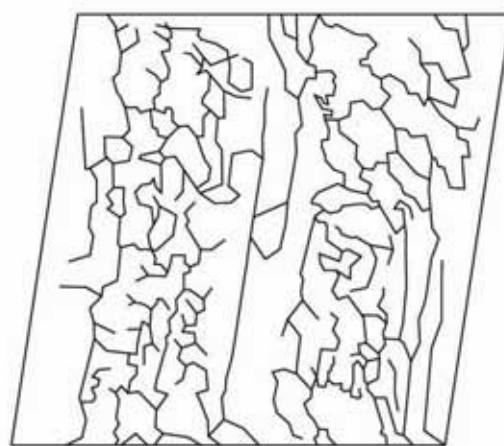


圖 4-4 倒竹籬仔壁體破壞示意圖



圖 4-5 A3 試體背面壁土凸出狀況。



圖 4-5 A3 試體正面壁土呈凹陷狀。

4-5 實驗結果討論

八組試體的實驗結果如表 4-4 所示，載重變形曲線圖如圖 4-7 所示。由表可知各組試體之變異性及其主要結構特性，如初始勁度、最大強度及強度下降率，將由各變異因子討論其對於結構特性之影響。

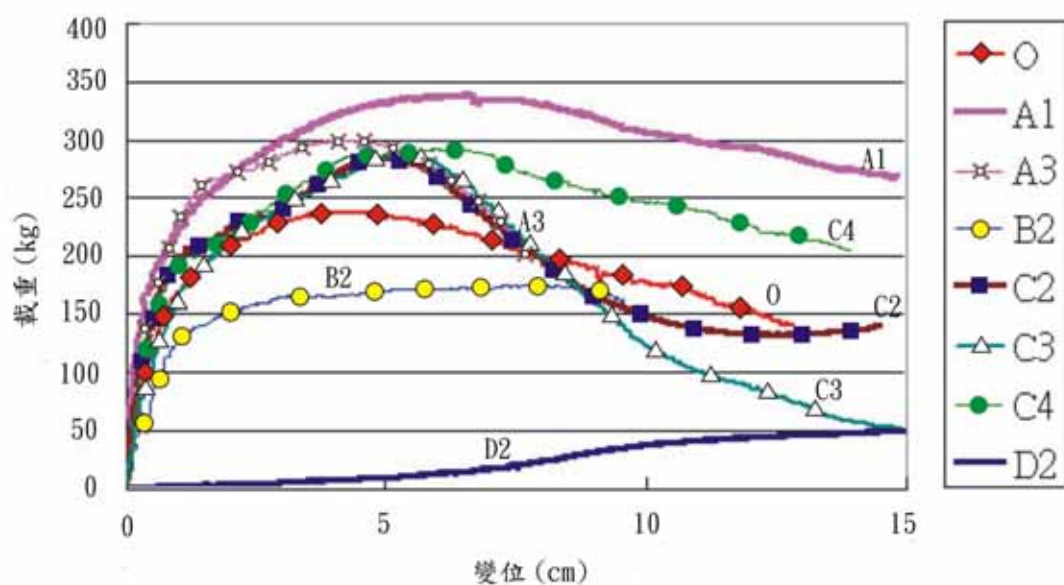


圖 4-7 各組試體載重變位曲線圖

表 4-4 八組試體的結構特性比較

	暗梗 數量	籬梗 長度	籬梗 數量	籬仔 材料	籬仔 編法	籬仔 厚度	壁土 有無	初始勁度 (kg/cm)	最大強度 (kg)	強度下降率 (kg/cm)
0	1	42 cm	6	蔴竹	豎竹	0.3 cm	有	316.01	237.4	-12.5
A1	2	26 cm	6	蔴竹	豎竹	0.3 cm	有	528.44	339.2	-8.18
A3	1	90 cm	6	蔴竹	豎竹	0.3 cm	有	428.28	299.7	-38.25
B2	1	42 cm	4	蔴竹	豎竹	0.3 cm	有	192.67	172.8	ND
C2	1	42 cm	6	蔴竹	倒竹	0.5 cm	有	416.87	284.3	-35.40
C3	1	42 cm	6	桂竹	倒竹	0.3 cm	有	278.92	286.2	-41.83
C4	1	42 cm	4	五節 芒	-	d=1.5 cm	有	389.45	292.2	-12.1
D2	1	42 cm	6	蔴竹	豎竹		無	7.67	51.2	ND

4-5-1 初始勁度

由實驗結果發現，D2 無壁土試體之初始勁度與有壁土試體差異甚大，顯見壁土在壁體勁度上扮演重要之角色，而骨架材為壁體提供之勁度較小。B2 試體則為有壁土試體中初始勁度最小者，僅有 192.67kg/cm，推測主因在於其籬梗數較少為 4 根而籬梗間距較大為 27 cm，籬仔穿梭於籬梗間緊密度較差，進而影響壁土勁度之表現。而 C4 試體之籬梗數雖同樣為 4 根，但 27 cm 之籬梗間距已為五節芒籬仔彎曲之極限，意即 C4 試體在籬梗與籬仔間已有充分之緊密度而不影響該試體在初始勁度上之表現，C4 試體之初使勁度為 359.45kg/cm。由圖 4-7 可比較 0、D2 及 B2 試體在初始勁度上明顯之差異。

A1 試體則為初始勁度中最高者，其試體最大特徵在於內部包含兩根暗梗，但值得注意的是 A3 試體，其試體內部沒有暗梗，由兩根

暗梗試體初始勁度普遍大於一根暗梗的趨勢可知，暗梗數量增加其試體初始勁度也應該增加，但該試體卻較其他一根試體之初始勁度為高，這樣的原因有可能係試體間之差異所引起，但由於僅進行一組試體實驗，而無法做進一步之討論，因此本研究初步認為試體內部暗梗數可能影響試體初始勁度，但有必要再進行持續研究。

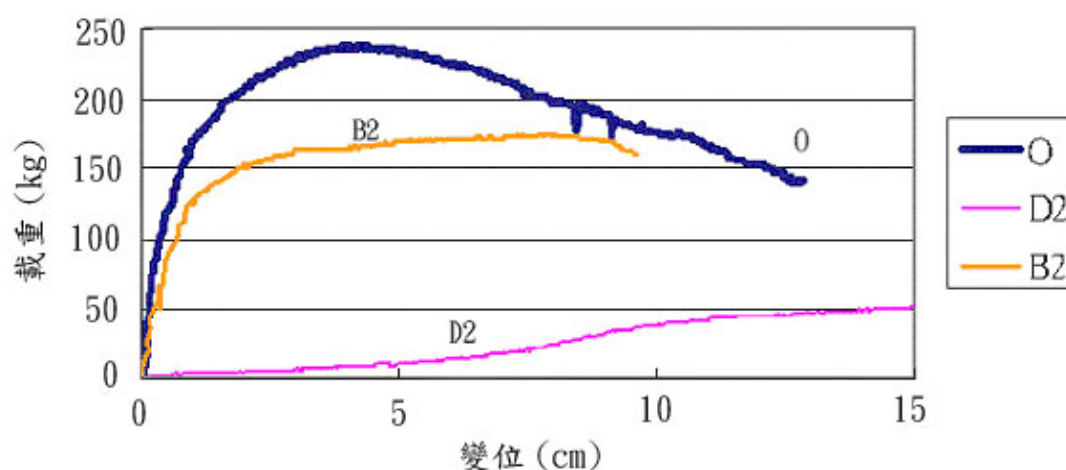


圖 4-7 O、D2、B2 試體載重變位曲線圖

另外比較（A3、C2、C4）及（O、C3）兩群試體之初始勁度如圖 4-8，則發現籬仔厚度較厚的試體具有較大的初始勁度，其中 O 及 C3 之籬仔厚度皆在 0.3 公分左右，C2 及 C4 之籬仔厚度分別為 0.5 公分及直徑 1.5 公分，在試體製作過程中即發現，籬仔厚度增加，其編織後的緊密程度亦愈高，而實驗結果亦證實其初始勁度愈大，可見壁體的初始勁度與內部編織後之鬆緊度有關。

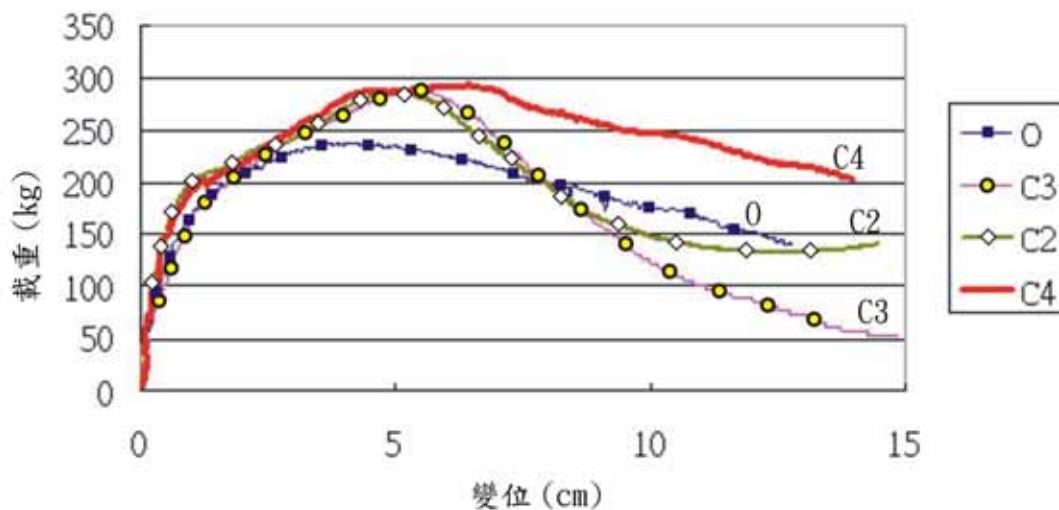


圖 4-8 0、C2、C3、C4 試體載重變位曲線圖

4-5-2 最大強度

由實驗結果發現，D2 無壁土試體之最大強度明顯偏低，顯見壁土在壁體強度上所扮演的角色。而有壁土試體以 B2 試體之最大強度最低，可見籬梗間距較大，籬梗與籬仔間密合度較差之試體，其壁體牆度亦降低。和初始勁度相同，A1 試體亦為強度最大之試體，推測其與兩根暗梗之特徵有關，然 A3 無暗梗試體在試體最大強度上亦有偏高之趨勢，即 A3 無暗梗試體之最大強度大於其他一根暗梗試體，其原因可能由試體差異性引起，值得進一步實驗研究之。而 0、C2、C3、C4 四組相異籬梗材料、構法之試體，在試體最大強度上未呈現明顯落差（分佈從 237.4~292.2kg），以此推測籬仔材料、構法之因子對壁體最大強度未造成影響。

4-5-3 強度下降率

在本研究之 8 組試體中，除 D2 試體由於強度未明顯上升及 B2 試體強度上升較緩，達最大衝程時試體載重變位曲線僅稍稍越過最大強度，因而未取得壁體強度下降率資訊外，由圖 4-9 可看到其餘六組試體在試體強度下降時，由試體載重變位曲線之斜率明顯分成兩群，分別為（A1、C4、0）及（C2、A3、C3）；由表 4-3 可知，A1、C4 及 0

試體之強度下降率在 $-0.8\sim-1.2$ 之間，其籬仔分別為豎竹及五節芒，由實驗時之破壞狀況發現，此三組試體籬仔與壁土之握裹較佳，於實驗過程中壁土僅微微掉落，裂縫狀況大致為垂直均佈，因而在實驗後半階段壁體強度緩緩下降；而 C2、C3、A3 試體強度下降率在 $-38\sim-41$ 間，其中 C2、C3 試體籬仔均為倒竹，兩試體之籬仔與壁土握裹較差，在實驗後半段均有大片土片掉落，因而壁體強度急速下降；至於 A3 試體雖為豎竹籬仔，壁體於實驗後半段亦僅有少量土片掉落，但由於籬梗長度過大，於實驗後期壁體出現明顯外凸現象，壁面上出現大量斜向或水平小裂縫，以此判斷該試體在實驗後期其壁土與骨架間已有鬆脫之現象，造成壁體強度大幅下降之結果。由實驗結果發現，壁土剝落程度愈大，壁體於實驗後期之強度衰減也愈快。

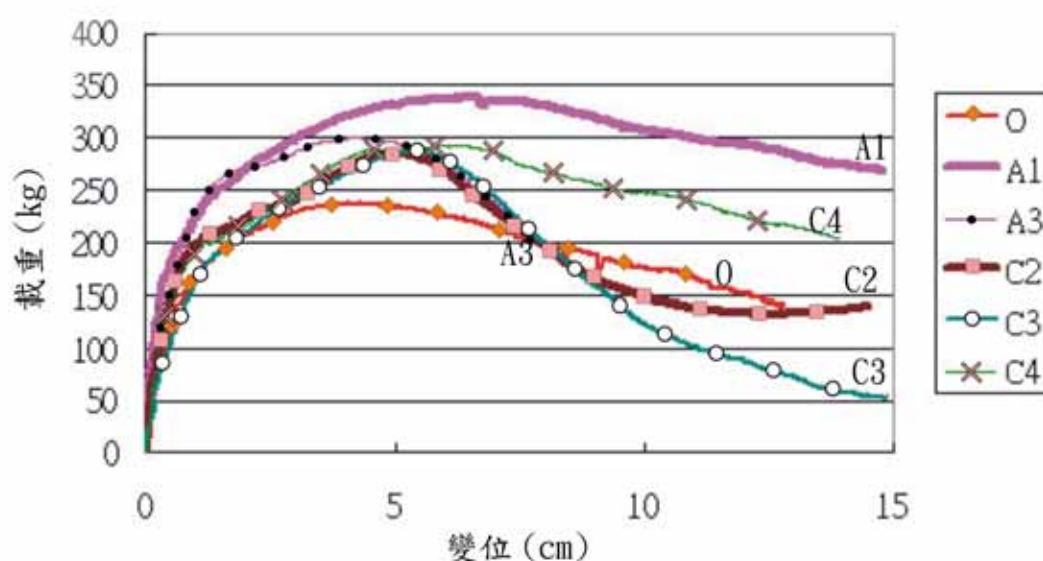


圖 4-9 0、A1、C4、A3、C2、C3 試體載重變位曲線圖

4-6 小結

歸納前面之實驗結果，本實驗得到以下四點與壁土有無、籬仔材料與構法、籬梗數量、暗梗數量（籬梗長度）相關之結論。

1. 由實驗發現，壁土明顯影響壁體強度及勁度，壁體骨架在壁體強度及勁度上作用甚低，若扣除 B2 試體之影響，其餘六組有壁土試體之平均初始勁度為無壁土試體之 51.24 倍，平均最大強度則為無壁土試體之 5.66 倍。
2. 相異籬仔材料與壁土間之握裹力，影響壁體後期強度下降特性，其中與壁土握裹較佳之豎竹及五節芒籬仔試體，其試體強度下降較緩而具有較佳之結構特性；倒竹籬仔與壁土握裹力較差，造成試體在越過最大強度後強度急速下降之特性。
3. 由籬梗數量影響籬仔與籬梗間之鬆緊程度，進而影響試體之初始勁度與最大強度，其中籬梗數愈少與籬梗間之密合亦愈鬆，該試體之初始勁度即強度愈小；反之則試體初始勁度及強度較佳。
4. 由實驗結果之趨勢發現，暗梗數較多之試體其壁體之初始勁度及最大強度均有較高之傾向，至於 A3 無暗梗試體之初始勁度及最大強度為何大於所有單暗梗試體？由於本研究於各組試體間僅各做一組實驗，A3 試體實驗數值偏高之原因值得進一步以實驗討論之；但暗梗數較少之試體，由於籬梗長度過大，試體於受力後產生壁面向面外凸出破壞之現象，進一步造成壁土與壁體骨架脫離造成壁體強度急速下降之結果。由以上結果得知，在適當寬度內配置暗梗，有助於提高壁體初始勁度及最大強度，更可防止壁體向面外凸出，壁土與骨架材脫離而壁體強度急速下降之現象。

五 結論與建議

5-1 結論

本研究在經過實際調查及實體實驗後，可獲得以下主要結論：

1. 簷牆中段牆寬主要分佈在 45-120 公分之間，牆高分佈於 80-110 公分間，高寬比介於 0.3-2 之間。架扇中段牆寬分佈在 40-180 公分間，牆高集中分佈在 100-120 公分之間，高寬比在 0.5-2.4 間。比較架扇中段及簷牆中段之尺寸分佈，架扇中段之尺寸分佈較為集中，主要受穿鬬式木框架限制所致，而平均高度及寬度均大於簷牆中段。
2. 暗梗間距（籬梗長度）分佈由 20-103 公分，無論架扇或簷牆之平均暗梗間距（籬梗長度）均在 45 公分左右。而籬梗間距分佈在 9.5-48 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。
3. 八組受測試體中，無壁土之試體其強度及勁度甚低，骨架材及骨架材接點在受力變形後未產生明顯破壞；有壁土試體之壁土破壞模式主要則分為三種，分別為（1）垂直向且均佈之裂縫，壁土微微掉落，為豎竹或五節芒籬仔之模式。（2）龜裂，壁土大片掉落，為倒竹籬仔之破壞模式。（3）壁土發生面外突出造成壁土與骨架材脫離龜裂，由於籬梗長度過長所致。此外，沿暗梗處由於暗梗與壁土握裹力很差，裂縫極容易沿暗梗發生。
4. 分析實驗結果後發現，暗梗數量、籬梗數量及壁土有無均為影響壁體初始勁度及強度之因子，其中壁土在壁體初始勁度與強度上扮演絕對重要之角色，有壁土試體在初始勁度及最大強度等結構特性之表現上均較佳；而籬梗數量影響籬仔與籬梗間之鬆緊度，籬梗數量較少之試體則籬仔與籬梗密合較鬆，試體之初始勁度及

最大強度均較弱，反之則較強；由實驗亦發現，暗梗數較多之試體其壁體之初始勁度及最大強度均有較高之傾向。

5-2 建議

建議一

提出傳統編泥牆補強方案：立即可行建議

主辦機關：內政部建研所

協辦機關：文建會

由本研究的研究成果可知，暗梗數量、籬梗數量及壁土有無均為影響壁體初始勁度及強度之因子，且壁土在受到水平力作用後的剝落情形會影響到牆體剛度下降的情形。因此未來應針對此項重要的結論提出補強的建議。除了考慮可以利用額外增加結構構件（如斜撐等）補強外，未來是否可利用重新抹土來回復牆體的剛度亦是一個可以繼續發展的方向。

建議二

進行穿斗式木構架中木堵板牆的研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建研所

協辦機關：文建會

傳統穿斗式木構架中的隔間牆不外乎編泥牆及木堵板牆，而在整個穿斗式木構架的構件中力學行為及其相關工法尚未被深入研究的僅剩下木堵板牆。而這樣的木堵板牆除了扮演著隔間牆的角色外，初步看來在結構上亦扮演著相當吃重的角色。因此為了日後提出穿斗式完整的耐震評估方式，實在有必要在針對傳統木堵板牆的力學行為及工法進行研究，並釐清其在整個結構上所扮演的角色。

建議三

進行穿斗式木構架足尺實驗：中長期建議

主辦機關：文建會、民政司

協辦機關：內政部建築研究所

本研究為穿斗式木構架結構行為的基礎研究，有了這些基礎研究的成果未來便可以提出相關的評估方法及補強建議，並擬定相關的規範。而在提出這些規範之前，為確保研究的嚴謹性，必須先利用整架的試體針對過去的研究成果加以檢討並作修正，以檢討構件與構件間組合後對整個結構產生的交互作用。相信這樣的研究成果及進行方式不但在實務上是可以被信賴的，且在研究方法及成果上亦是豐碩的。

參考文獻

- [1] 田種玉，1995，《日據時期台灣雨淋板建築歷程之探究》，中原大學建築研究所碩士論文。
- [2] 武田武一，1938，《臺灣旅行談》，建築學研究，p253。
- [3] 竹中久雄，1942，《本島に於ける一般竹造建築に就て》，台灣建築會誌，vol. 14，no3，pp211-223。
- [4] 洪文雄，1993，《台灣和人之竹構造》，文建會第六次古蹟修護技術研討會專輯，pp97-108
- [5] 大倉三郎，1943，《熱帶建築計劃汎論(2)》，台灣建築會誌，Vol. 15，No. 1。
- [6] 台灣省農林航空測量隊、省林務局與省立屏東農業專科學校等，1973，《台灣之竹林資源》
- [7] 王子定與郭寶章，1951，《台灣之竹林與竹材》
- [8] 江濤，1971，《台灣之竹類資源及其經營》，中華林學季刊，Vol. 4，No. 4
- [9] 吳順昭與王秀華，1976，《臺灣竹材之構造研究》
- [10] 黃武雄，1968，《臺灣主要經濟竹材力學性能之研究》，國立台灣大學森林學研究所論文 pp3-6。
- [11] 武知幸文，1942，《竹造建築の研究》，台灣建築會誌，vol. 14，No. 4。
- [12] 藤澤國太郎，1939，《竹筋コンクリート梁の彎曲實驗》，台灣總督府工業研究所彙報，no5。
- [13] Jules J. A. Janssen，2000，《Designing and Building with Bamboo》，INBAR Technical Report 20。
- [14] 葉民權，1994，《孟宗竹機械性質之探討》，中華林學季刊，Vol. 27，No. 1，pp107-118。

- [15] 冼幸娟與冼定國，1990，《竹材的微觀結構及其與力學性能的關係》，竹子研究匯刊。
- [16] Oscar Hidalgo，1995，《Study of Mechanical Properties of Bamboo and its Use as Concrete Reinforcement：Problems and Solutions》，BAMBOO, PEOPLE AND THE ENVIRONMENT，Volume 3—Engineering and Utilization。
- [17] 唐讓雷，1989，《竹材之強度性質》，林產工業。
- [18] Surjono Surjokusumo and Naresworo Nugroho，1995，《A Study on Dendrocalamus asper as Concrete Reinforcement》，BAMBOO, PEOPLE AND THE ENVIRONMENT，Volume 3—Engineering and Utilization。
- [19] 許建發、吳金村，1986，《高溫乾燥對桂竹物理化學性質之影響》，林產工業，Vol. 5，No. 4，pp29-38。
- [20] 林弘基、洪國榮，1996，《乾燥溫度對竹材機械性質之影響》，林產工業，Vol. 15，No. 3，pp445-462。
- [21] 田邊平學、勝田千利、後藤一雄，1937，《交番水平荷重を受くる木造無壁骨組の實驗》，日本建築學會論文集，pp35-44。
- [22] 田邊平學、勝田千利、後藤一雄，1938，《交番水平荷重を受くる木造有壁骨組（真壁）の實驗》，日本建築學會論文集，pp130-135。
- [23] 河野輝夫，1938，《木造壁體の剪斷抵抗の實驗的研究》，日本建築學會論文集，No. 8，pp. 24-33。
- [24] 川島謙一，1972，《木造軸組壁の構造耐力》，建築技術（日本），No. 251，pp147-161。
- [25] 大橋好光、三芳紀美子，2003，《傳統的構法を用いた・木質構造の設計—土壁》，建築技術（日本），pp130-133。
- [26] 鴛海四郎，2000，《軸組構法の各部要素の試験方法と評價方法》，

- 建築技術（日本），pp.174-175。
- [27] Jared Bernard Jamison，1997，《MONTONIC AND CYCLIC PERFORMANCE OF STRUCTURALLY INSULATED PANEL SHEAR WALLS》，Masters of Science in Civil Engineering。
- [28] Aim Abdurachim Idris and Anita Firmanti Lovian，1995，《The Use of Bamboo for Reinforcement in Light-frame Construction System》，BAMBOO, PEOPLE AND THE ENVIRONMENT，Volume 3—Engineering and Utilization。
- [29] 鈴木忠五郎，1938，《左官鋺の研究》，建築學研究。
- [30] 黃斌、徐明福，2001，《木竹構造與震害關係探討—編竹夾泥牆及板壁》，歷史建築震損及維護方式之研究（一）木竹構造。
- [31] David Yeomans，2003，《The Repair of Historic Timber Structures》，p57。
- [32] Jules J. A. Janssen，2000，《Designing and Building with Bamboo》，INBAR Technical Report 20。