

第五章、結構系統與安全評估

第一節、結構系統

本次調查研究之歷史建築臺中市西區民生路 56 巷 1 號日式宿舍及列冊追蹤建物日式木造建築。對於日式木造建築，結構系統則包括屋架系統、由日式軸組系統與日式木造壁構成之屋身結構、以及基礎結構所組成。主要由日式木構造軸組屋頂(照 5-1)、編竹夾泥牆(照 5-2)、磚造基礎(照 5-3、照 5-4)所構成。本章節主要針對結構系統與載重作用下之行為進行探討。



照5-1 日式木構造軸組屋頂



照5-2 竹編夾泥牆



照5-3 磚造基礎-1



照5-4 磚造基礎-2

一、垂直力傳遞機制

日式木造建築的承重系統主要是由柱樑構架所構成，在垂直力的傳遞上，屋頂構造及天花之重量主要由屋架所承擔，並經由屋架傳遞到水平大樑下方支承之木柱，或經由屋架傳遞到兩端支承的敷桁，再由敷桁傳遞到木柱。當屋架之垂直載重經屋架樑傳遞至木柱後，柱子所受之垂直載重再傳遞給其下方之檻木，檻木直接傳遞至下方基礎，最後由基礎承擔建築物的載重，並將力量傳遞到土壤。

二、水平力傳遞裝置

水平力的傳遞上，由於木造建築屋身構造較輕，但屋頂的重量相對較大，因此地震發生時，主要之水平外力為屋頂質量在加速度作用下產生之水平力，亦即相當於一個強大的外力施加於屋頂，水平力經由屋架傳遞至柱樑構架後，主要之水平力由牆體承擔，最後再傳遞至下方基礎。屋頂之水平外力經屋架傳遞至柱樑構架後，會對柱頭、柱腳將會產生甚大之剪力及彎矩。然對於木造柱樑構架而言，由於亦採木榫結合形式，抗彎矩能力並不高，地震力作用下會因無法抵抗外力而產生變形甚而傾倒。此時柱樑構架間之竹編夾泥壁體成為木造建築中維持構架的穩定性及抵抗水平地震力的主要元素。

第二節、主要組構元素

一、木軸組與土壁

對於日式木造建築物而言，其主體結構主要由木軸組與軸組構架間之壁體所構成。木軸組系統主要負責承擔垂直載重，然而對於日治時期之木造宿舍而言，柱樑構架之節點多採用榫接，且並可見如現代日式木造建築於節點採用鐵件加固，但柱樑節點仍並非完全剛性節點，在水平外力作用下，柱樑構架易產生顯著之水平變位。因此日式木造建築在柱樑構架間，多會配置牆體或斜撐以提高構架之穩定性，亦可增加水平力作用下抵抗剪力變形之能力。本次計畫標的之主要為編竹夾泥牆體，在構造上主要由垂直立柱與水平橫樑所構成的框架為單元(圖 5-1、圖 5-2)。

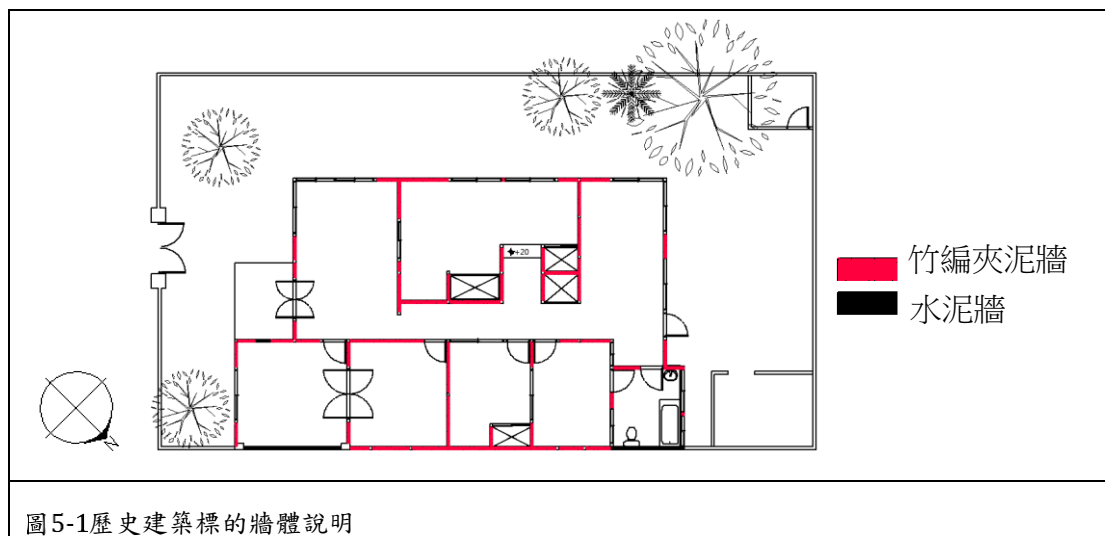


圖5-1歷史建築標的牆體說明

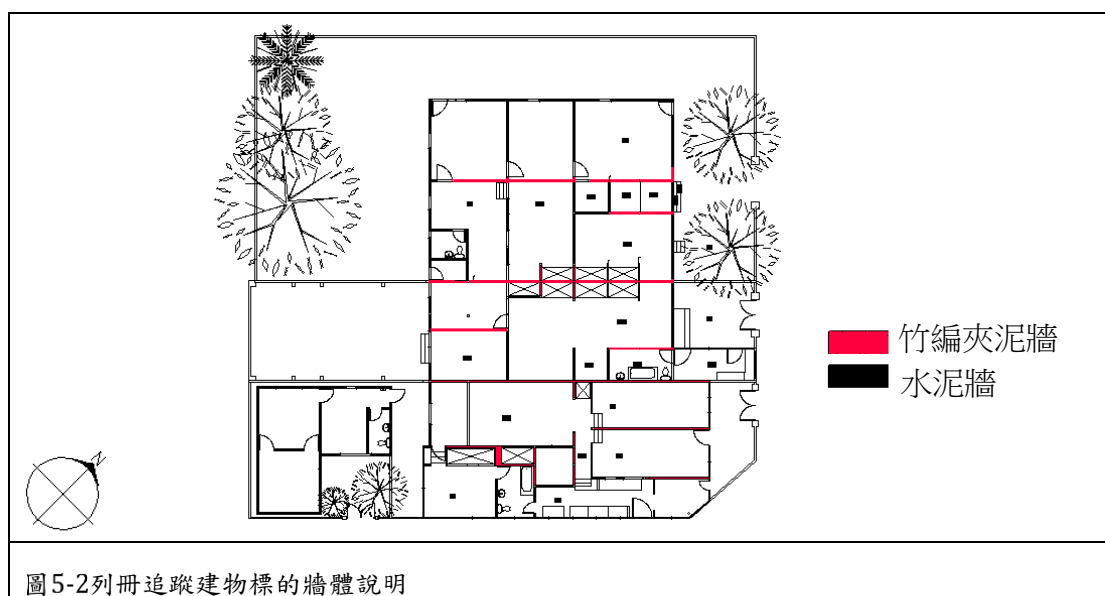


圖5-2列冊追蹤建物標的牆體說明

二、屋架

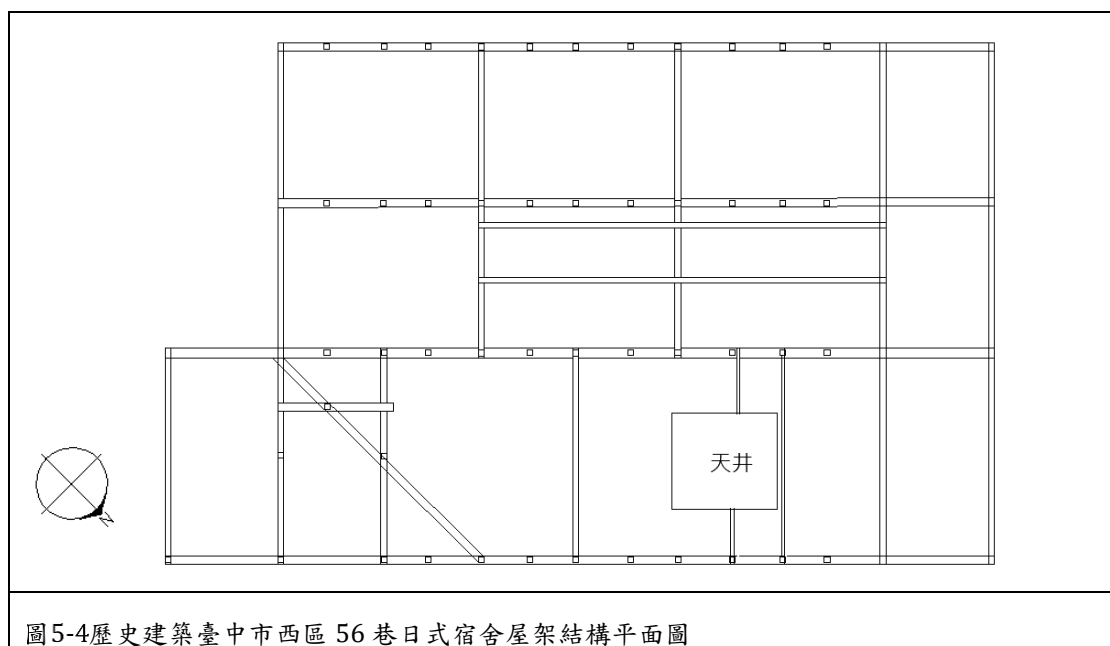
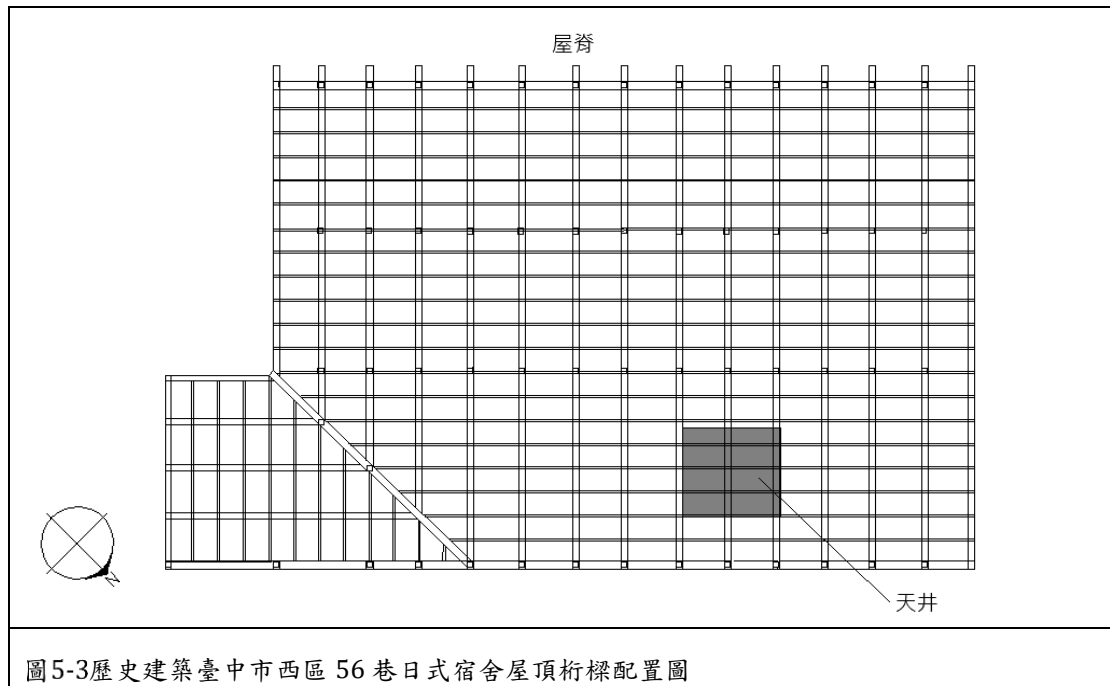
本計畫標的歷史建築與列冊追蹤 192 巷 2、4 及 4-2 號，屋頂包括屋架、桁木、屋瓦等構件，屋架為分別為和小屋組及洋小屋組，本次調查作業則分別紀錄測繪歷史建築西區民生路 56 巷日式宿舍及列冊追蹤建物屋頂及屋架各項圖面(圖 5-3~圖 5-12)。此二者屋架主要為桁架系統，透過構件之軸向強度傳遞所承受之垂直載重與水平載重。對於屋架之結構安全主要可分為三方面探討：

(一) 架面內向之安全：對於兩者屋架而言，其屬於桁架系統，構件藉由榫接與螞蝗釘接合。在面內力作用下，桁架系統具有較佳之面內剛度與強度，可抵抗變形，有助屋架之面內穩定度。

(二) 架面外之傾斜抵抗：當單一屋架受到面外力作用時，其僅依靠木樑端部之固定來抵抗面外傾倒，強度相當有限。一般為改善屋架之面外穩定度，在相鄰屋

架間會施作補強構件，將個別屋架連繫成一立體構架，一同抵抗面外傾斜。本建築在屋頂有配置剪刀撐等構件，有助改善面外地震力作用時之變形。

（三）架之平面剛度：屋架平面剛度會影響下方木軸組與土壁之受力行為，本棟屋架水平樑端部藉由軒桁與敷桁依靠於水平樑旁之螺栓鎖固以夾緊水平樑端部，以抵抗側向力。就屋架平面而言，屋架端部與柱樑構架間或相鄰水平樑間，並無水平斜撐構件，整體屋架之平面剛度較弱，抵抗屋架平面變形的能力也較弱。



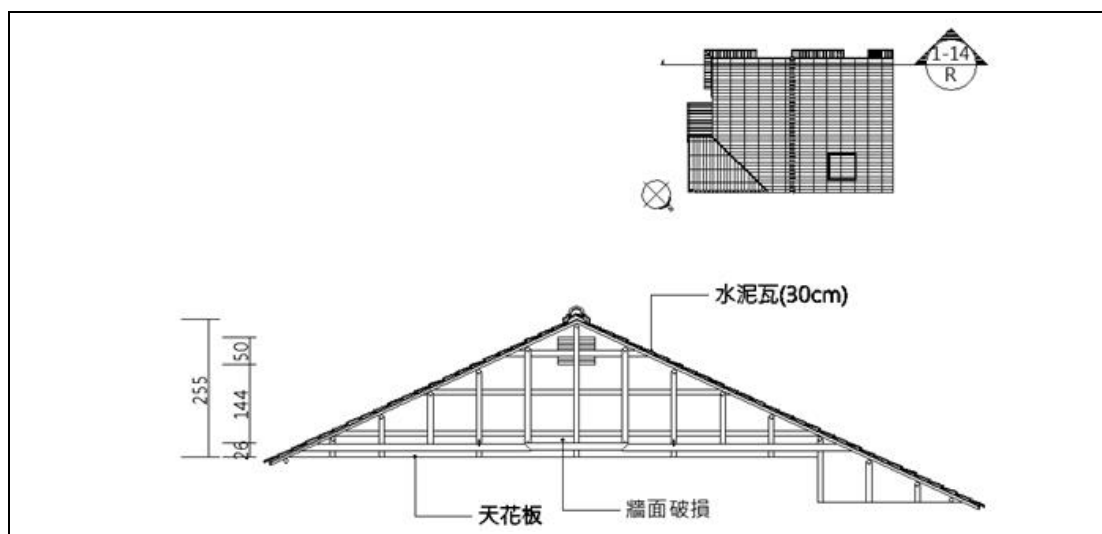


圖5-5歷史建築臺中市西區 56 巷日式宿舍屋架結構平面圖

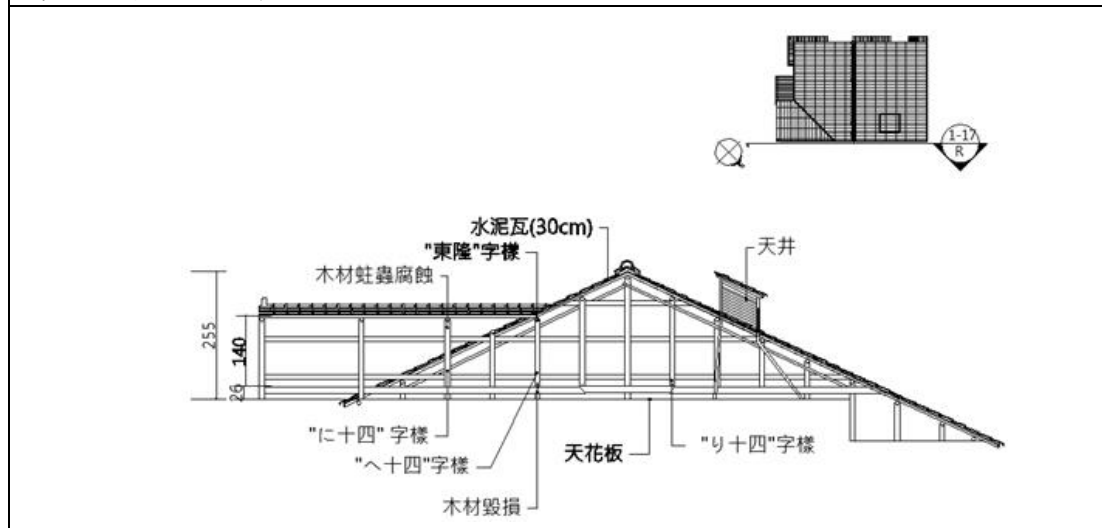


圖5-6歷史建築臺中市西區 56 巷日式宿舍屋架結構平面圖

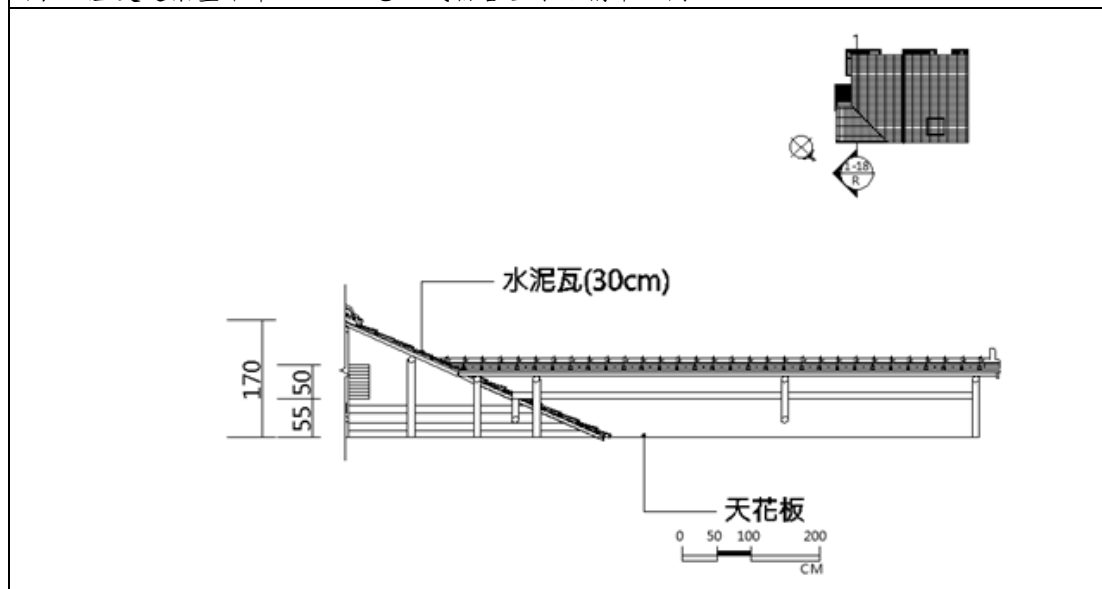


圖5-7歷史建築臺中市西區 56 巷日式宿舍屋架結構平面圖

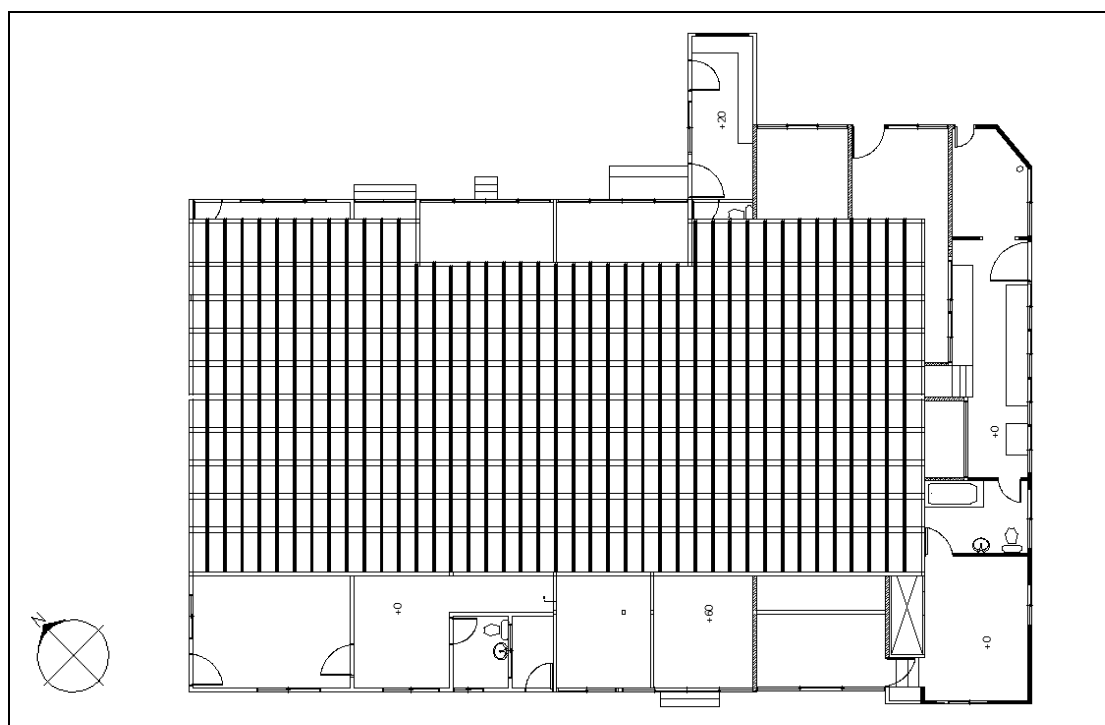


圖5-8列冊追蹤建物屋頂桁樑配置圖

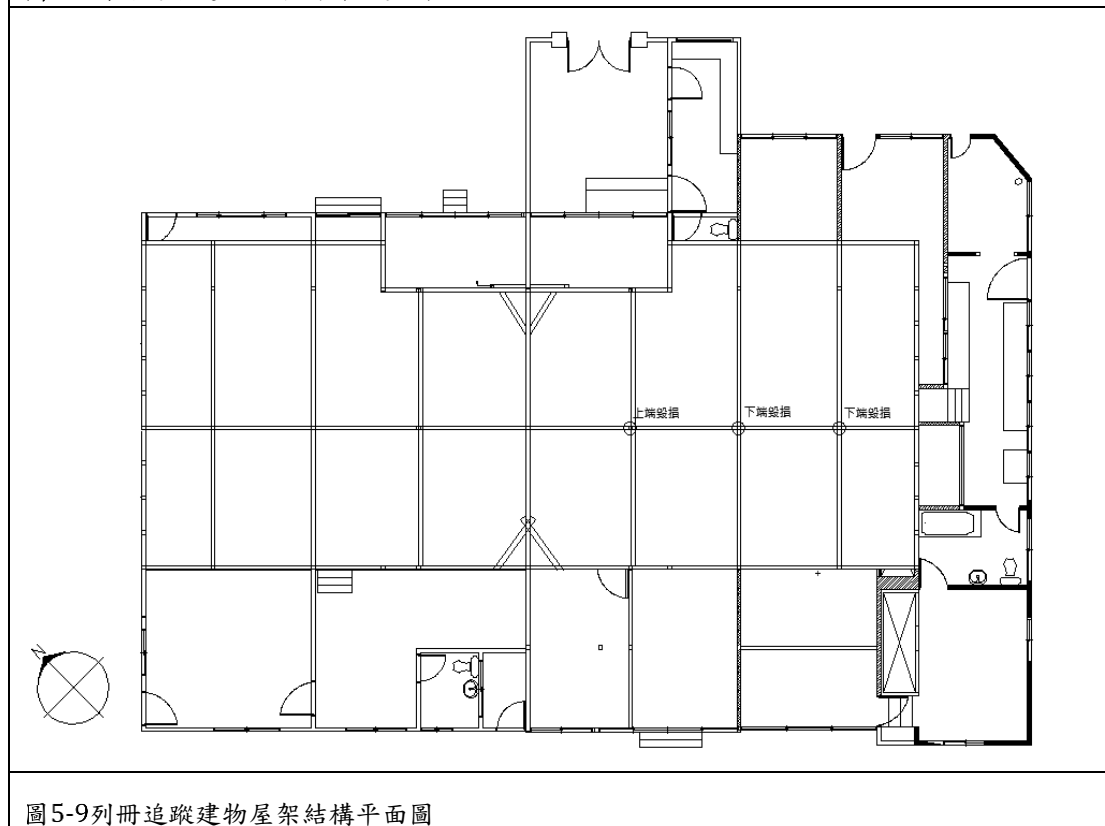


圖5-9列冊追蹤建物屋架結構平面圖

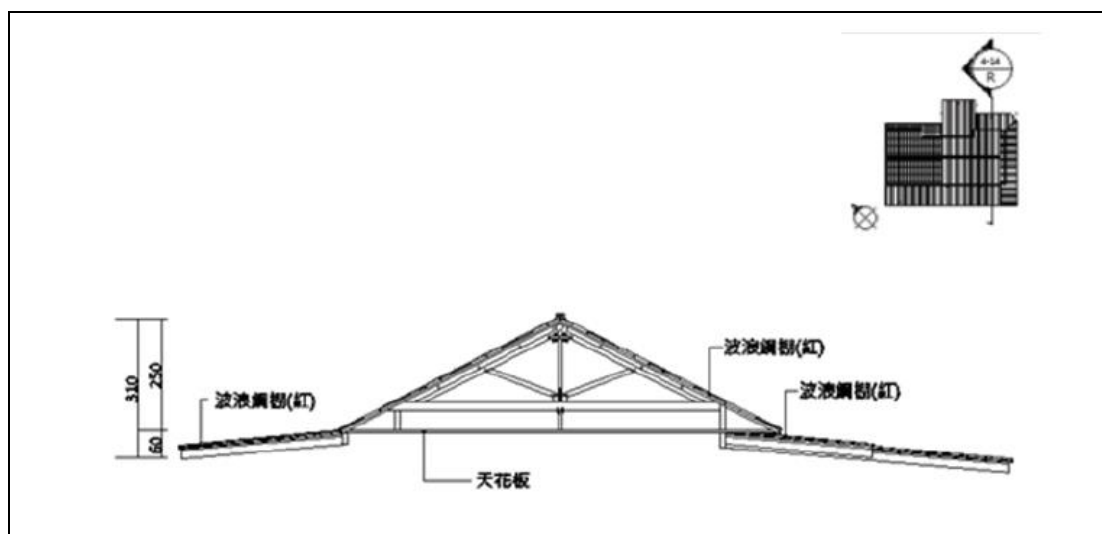


圖5-10列冊追蹤建物屋架結構立面圖

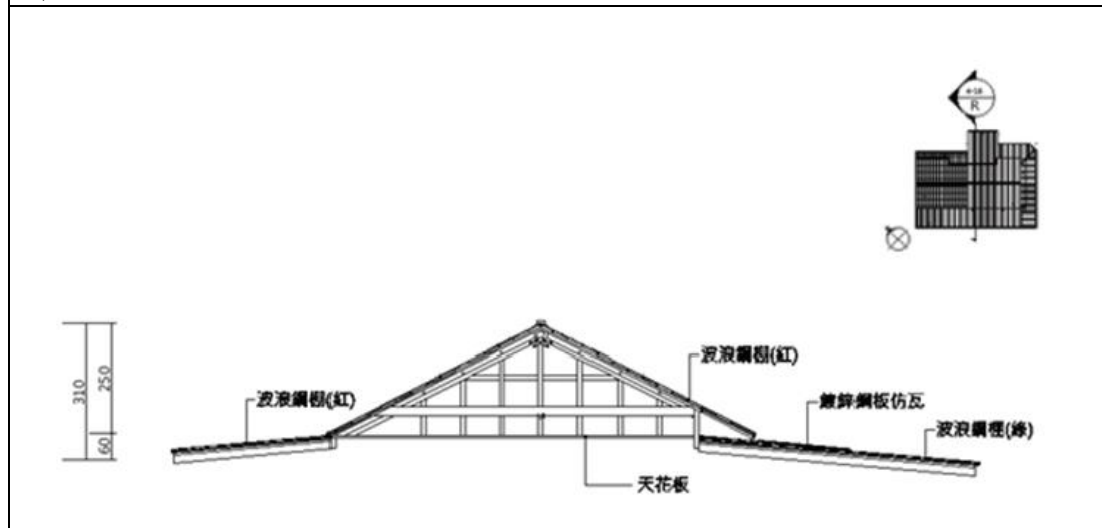


圖5-11列冊追蹤建物屋架結構立面圖

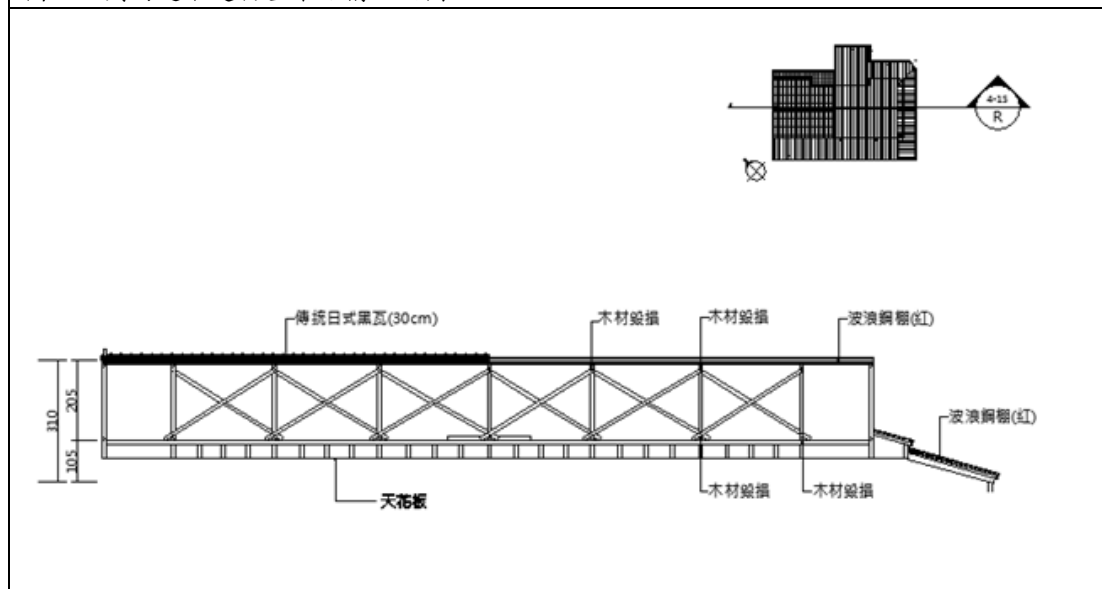


圖5-12列冊追蹤建物屋架結構立面圖

三、 基礎

西區民生路 56 巷 1 號基礎形式為磚砌連續基礎(布基礎)，列冊追蹤建築群之基礎形式亦同；木軸組系統藉由下方木地檻與基礎固定。建築物四周外牆連續基礎及結構牆體底下之獨立基礎，用以承受與傳遞上方版之載重。力學上，磚造連續基礎透過木地檻的傳遞，承受了來自屋架、柱、牆體等載重，並將上述載重傳遞至土壤，為支撐建築物並將載重傳遞至土壤之主要基礎構造。(照 5-5~照 5-12)



照5-5 56 巷 1 號外部連續基礎



照5-6 2 號外觀通風口可見獨立基礎



照5-7 2 號緣側下方可見獨立基礎



照5-8 2 號緣側下方可見獨立基礎

第三節、木構造材料檢測評估

本次計畫首以諮詢專業木作匠師現場協助木材種類判斷，並另委請「中華木質構造建築協會-木材品質檢驗中心」進行木材樹種鑑定，根據鑑定結果顯示本次計畫標的歷史建築與列冊追蹤建物所構築木材樹種以杉木及檜木為主；此外，亦請檢驗中心於現場進行木構材料非破壞性含水率及強度之檢測（照 5-9~照 5-18）（詳附錄三）。檢測方式則係將現場長 230-280 cm、寬 11.5 cm 之立柱木構件以 60 cm 為一區段，最後一區段不滿 60 公分者，依所剩之原長度檢測，並將立柱構件由上至下區分為 4 或 5 區段，分別進行初步之目視與敲擊評估後，再檢測其含水率與縱向超音波速值。其中，經目視評估具顯著劣化缺陷，然無法確定其劣化深度之部位，將於該處施作進一步之橫向超音波速檢測及鑽孔抵抗值評估，以究明材質劣化範圍，並提供作為未來修復施工之參考依據。

	
照5-9 屋柱材料初判	照5-10 匠師現場協助木料初判



照5-11 屋頂、屋架木料初判-1



照5-12 屋頂、屋架木料初判-2



照5-13 敲擊判斷



照5-14 超音波檢測



照5-15 鑽孔抵抗儀檢測



照5-16 含水率檢測



照5-17 歷史建築木料檢測現況





一、 檢測方法

（一）目視與敲擊評估

目視評估與敲擊評估均為感官檢視的一種方法，其主要係利用感官感覺與經驗來評估木構件之劣化型態與程度，雖為傳統之調查方法，但至今仍為古蹟調查研究中首要之施作流程之一。其中，目視評估法主要係觀察構件是否有歪斜、位移或斷裂等現象，並檢視是否具有生物危害痕跡（如白蟻遮蔽管或腐朽痕），評估劣化種類與範圍。而敲擊評估法則係以木槌敲擊構件，藉由構件回響與振動判斷損壞情形及可能受損的範圍。

（二）含水率檢測

含水率之檢測方式以便攜型之電器水分計（Electrical moisture meter）進行，本案使用 DELMHORST J2000 電阻式含水率計（含水率量測範圍 6-40%）進行木構件含水率之檢測。

（三）超音波儀檢測與分級

本案之檢測方法除基本之縱向超音波速檢測外，更加入橫向超音波速之檢測，所使用之超音波儀型號為 Sylvatest Trio，頻率為 22 kHz，發送及接收探頭為圓錐狀，於構件表面夾角 45° 之方式量測超音波傳遞時間，並藉超音波傳遞時間計算超音波速值。其計算公式如下：

$$V_p = L \div t$$

V_p 為縱向超音波速值， L 為超音波傳遞距離， t 為超音波傳遞時間。而橫向超音波法則係於待測木構件表面以垂直之方式，量測同一水平面之徑向超音波傳遞時間，並計算其橫向超音波速值（ V_v ），藉上述兩種超音波速值即可較客觀地評估木構件材質之現況。

超音波速值分級依據係參考大木作非破壞性診斷之操作手冊與木作非破壞診斷設備建置規劃之研究中之分級方式，並以現場目視及敲擊評估後無顯著缺陷及敲擊異音者作為健全之指標，並界定縱向超音波速 3141 m/s 與橫向超音波速 1099 m/s 為健全木構件之下限值（A 級），再如(表 5-1)所示，縱向超音波速減低

率介於 0-20%（縱向超音波速值：3141-2512 m/s）抑或橫向超音波速減低率介於 0-20%（橫向超音波速值：1099-879 m/s）者區分為 B 級，依次以每減低 20%區分為 C、D 兩級，而縱向超音波速值低於 1256 m/s 或橫向超音波速值低於 440 m/s 者則為最低之 E 級。

表5-1縱向與橫向超音波速分級依據

超音波速等級	超音波速減低率（%）	縱向超音波速值（m/s）	橫向超音波速值（m/s）
A	-	>3141	>1099
B	0-20	3141~2512	1099~879
C	20-40	2511~1885	878~659
D	40-60	1884~1256	658~440
E	<60	1256>	440>

（四）鑽孔抵抗值評估

鑽孔抵抗法係利用固定功率之電鑽鑽入硬針或軟針，藉鑽入時之速度或電阻值推算其鑽孔抵抗值，並將深度-抵抗值之結果以圖像方式呈現。本案所使用之機型為 IML RESI F400 之鑽孔抵抗儀，其為手持自動式儀器，係藉由鑽入硬針檢測構件內部材質。

二、 檢測分析結果

（一）民生路 56 巷 1 號立柱木構件之檢測分析

本案於民生路 56 巷 1 號之日式宿舍歷史建築中所檢測立柱木構件(圖 5-13)，含水率與縱向超音波速值檢測結果顯示，其平均之含水率介於 10.8-12.7%之間，屬正常之氣乾含水率範圍（10-14%）。惟受測立柱 11 接地測區段之含水率具偏高之趨勢（16.9%），推論係由於該區段為接地側，可能有地底潮氣之反潮現象或潮氣積聚等情形，未來應多注意保持乾燥，避免生物危害。

另一方面，受檢立柱木構件於縱向超音波速分級中多屬 A 級之構件，具較高之縱向超音波速值，且目視評估無顯著之缺陷亦無敲擊異音之現象，於後續修復流程中僅需進行表面清潔並保留現貌即可。惟立柱 7 木構件雖表層現有的水泥漆之塗裝，然全支構件於敲擊評估時均具顯著之異音，由表層水泥漆之不規則狀隆

起推斷構件表層曾受淺層之白蟻蝕害(圖 5-14)，導致其平均縱向超音波速值降至 2349 m/s (C 級)，並進行進一步之橫向超音波速值與鑽孔抵抗值之檢測。另於目視評估中則發現另有立柱 12 具有縱裂之情況(圖 5-15)，惟其最大縱裂深度僅 2 cm，並未超過構件橫向尺度之 1/3，故尚未有立即性之機械性質影響，建議以填縫補強方式進行修復，避免生物性危害侵入即可。

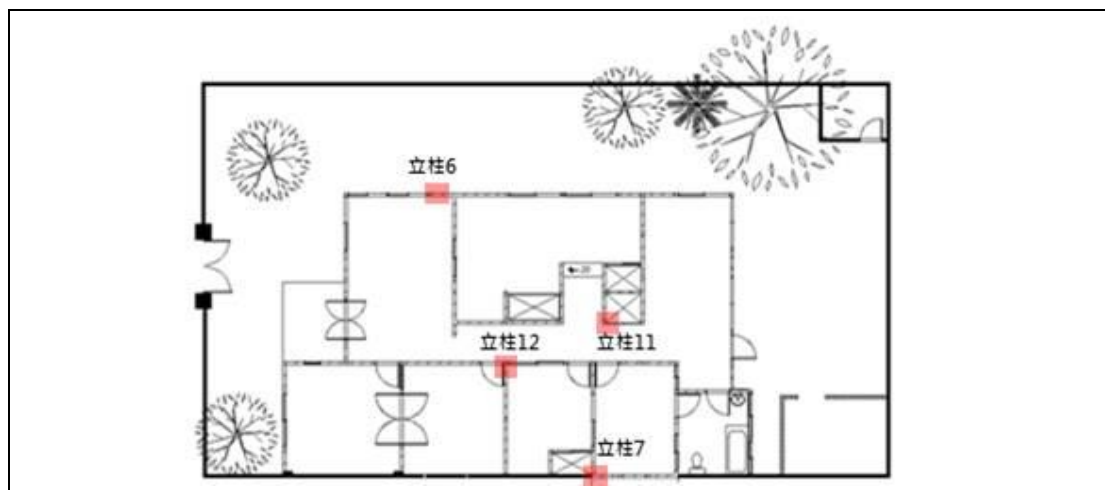


圖5-13民生路 56 巷 1 號檢測立柱木構件位置圖

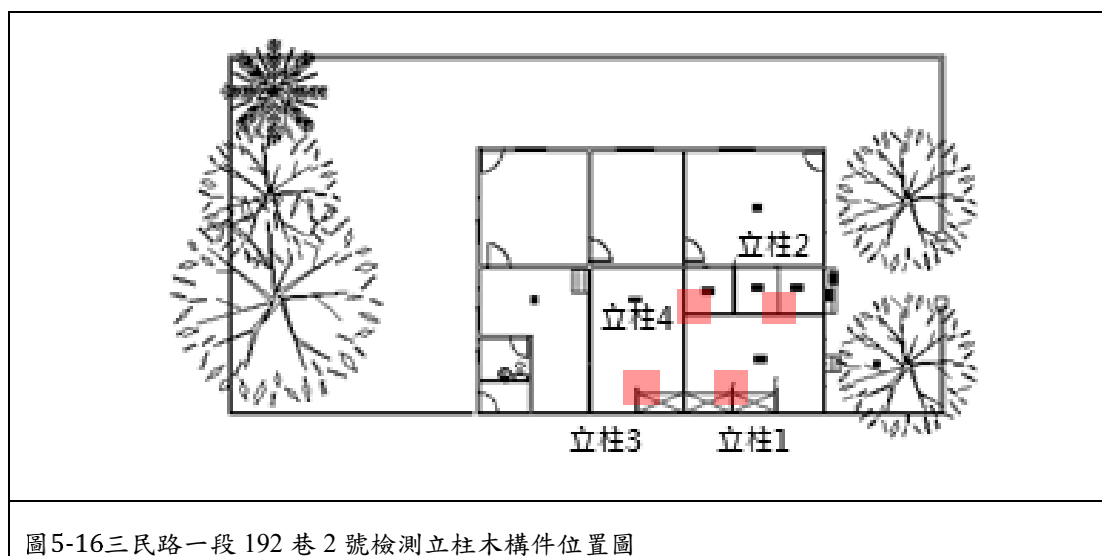


圖5-14立柱 7 之白蟻蝕害貌

圖5-15立柱 12 區段之縱裂情況

（二）三民路一段 192 巷 2 號立柱木構件之檢測分析

三民路一段 192 巷 2 號屋內受檢測立柱木構件(圖 5-16)，檢測結果顯示其平均之含水率介於 11.4-12.2%之間，均屬正常之氣乾含水率範圍（10-14%），目視評估中亦無發現有滲漏水產生之水痕殘留。



而超音波儀器檢測結果，立柱 3 與立柱 4 兩構件於各區段之縱向超音波速值均大於健全木構件之縱向超音波速值下限（3141 m/s），兩者於縱向超音波速分級中均屬 A 級之構件，且目視評估無顯著之缺陷亦無敲擊異音之現象，故於後續修復流程中僅需進行表面清潔並保留現貌即可。其餘構件立柱 1 與立柱 2 區段之縱向超音波速值均顯著低於健全構件之下限值，且外觀均有明顯受白蟻蝕害之情況，故進行進一步之橫向超音波速值與鑽孔抵抗值之檢測。結果顯示，立柱 1 木構件區段之橫向超音波速值介於 199-325 m/s（E 級）之間，鑽孔抵抗值則介於 3.9-6.8%，顯示此構件除了近接地側之區段外，其餘區段內部均有受白蟻嚴重蝕害之現象。

而立柱 2 構件與立柱 1 具相似之趨勢，兩者於外觀上均有大面積受白蟻蝕害之現象（圖 5-17、圖 5-18），亦有小型之受蝕害孔洞及表面層狀剝離的情況產生。

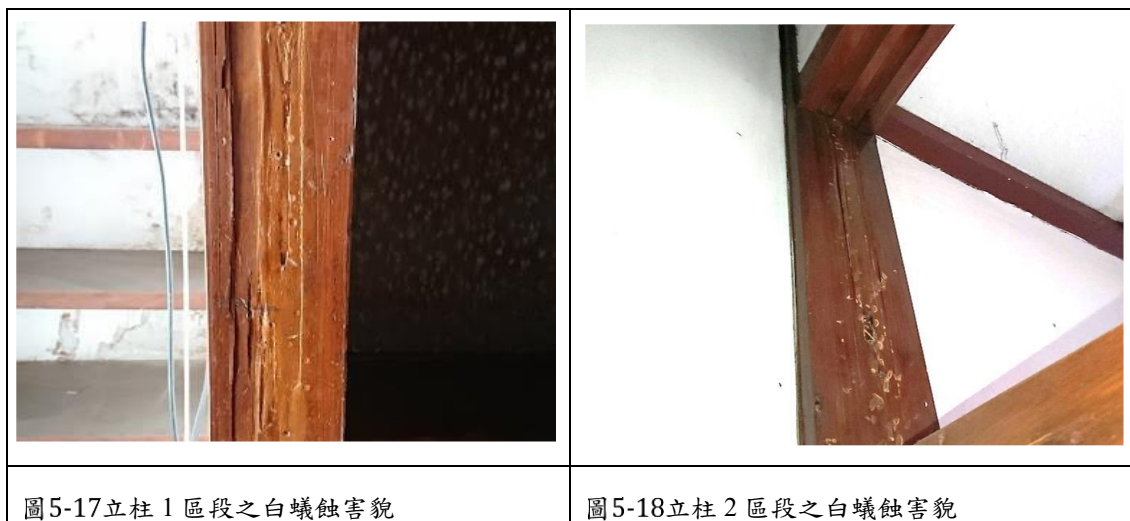


圖5-17立柱 1 區段之白蟻蝕害貌

圖5-18立柱 2 區段之白蟻蝕害貌

（三）三民路一段 192 巷 4 號立柱木構件之檢測分析

本案於三民路一段 192 巷 4-2 號屋內共檢測立柱木構件(圖 5-19)，含水率與縱向超音波速值檢測結果顯示，立柱 5 與立柱 9 之平均含水率分別為 13.0%及 11.8%，兩者各區段含水率均屬正常之氣乾含水率範圍(10-14%)，且目視評估中並無發現有滲漏水產生之水痕殘留情況。

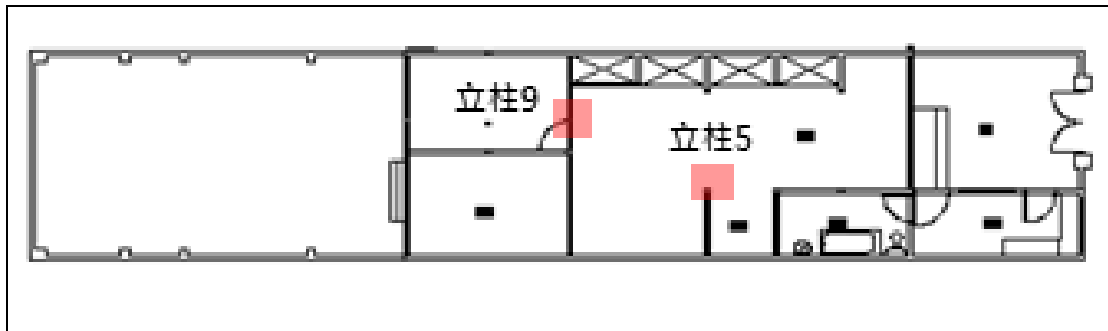
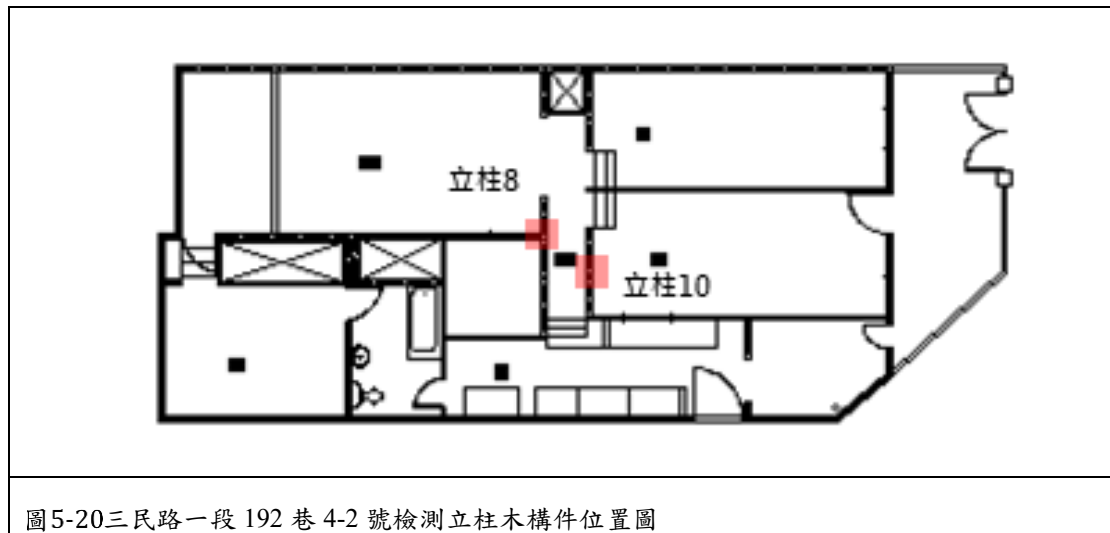


圖 5-19 三民路一段 192 巷 4 號檢測立柱木構件位置圖

另一方面，立柱 5 與立柱 9 兩構件之平均縱向超音波速值則分別為 3730 m/s 與 3471 m/s，兩者各區段之縱向超音波速值均大於健全木構件之縱向超音波速值下限(3141 m/s)，於縱向超音波速值之分級中亦均屬 A 級之構件，且目視評估無顯著之缺陷亦無敲擊異音之現象，故於後續修復流程中僅需進行表面清潔並保留現貌即可。

（四）三民路一段 192 巷 4-2 號立柱木構件之檢測分析

本案於三民路一段 192 巷 4 號屋內共檢測 2 支立柱木構件(圖 5-20)，含水率與縱向超音波速值檢測結果顯示，立柱 8 與立柱 10 平均含水率分別為 12.7%及 15.1%，其中後者於近天花板側與接地側區段兩處之含水率具偏高之趨勢(15.1%與 17.8%)，雖目視評估並無發現有滲漏水產生之水痕殘留，然仍建議應加強檢視上方屋架處與下方接地處，並保持乾燥，以避免有後續生物性危害之產生。

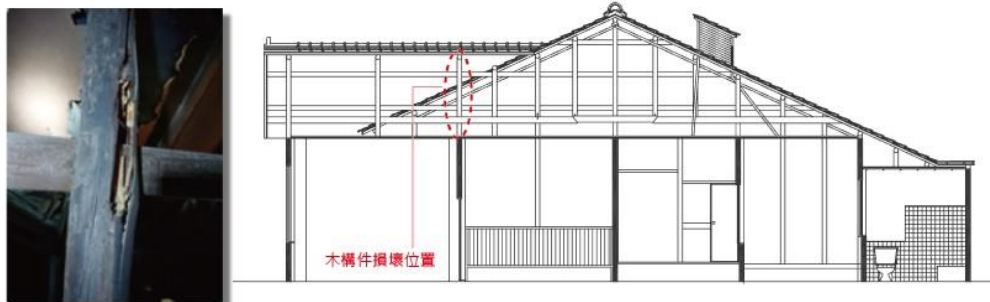


另一方面，立柱 8 與立柱 10 構件之平均縱向超音波速值分別為 3508 m/s 與 2693 m/s，立柱 8 各區段之縱向超音波速值均大於健全木構件之縱向超音波速值下限（3141 m/s），於縱向超音波速值之分級中屬 A 級之構件，且目視評估無顯著之缺陷亦無敲擊異音之現象，故於後續修復流程中僅需進行表面清潔並保留現貌即可。立柱 10 之構件部份區段之縱向超音波速值介於 2230-2752 m/s 之間（B、C 級），說明此些構件區段具部分之缺陷與白蟻蝕害之情形存在，故進行進一步之橫向超音波速值與鑽孔抵抗值之檢測。結果顯示，立柱 10 之木構件除了近天花板側之區段外，其餘區段均有受白蟻蝕害之現象。再以立柱之鑽孔抵抗值圖譜說明該構件區段之白蟻蝕害現象屬構件表層之淺層蝕害，僅有部分受蝕害後之剝離情況產生。故於後續之修復作業中建議刨除受蝕害之部分，確認受蝕害之構件周圍已施作抗蟲蟻之防治作業流程後，再以填縫或補強之方式進行修復即可。

第四節、簡易修繕施作

本案前節木構造材料檢測結果因部份柱體含水率偏高，故建議未來應特別注意屋架、樓板處之滲漏水與接地處之反潮積聚情況，因此應合約計畫工作內容要求於本節先以提出歷史建築屋架部份之必要性緊急修繕施作建議，並於後續計畫執行期間施作完成。主要針對屋架損壞部分，外加適當形式之加固材料固定於局部損壞構件之堅實部位(圖 5-21~圖 5-23)，由加固材料取代損壞部位傳遞載重，暫時回復該構件之承載功能。

現況損壞位置：



建議修繕方式：

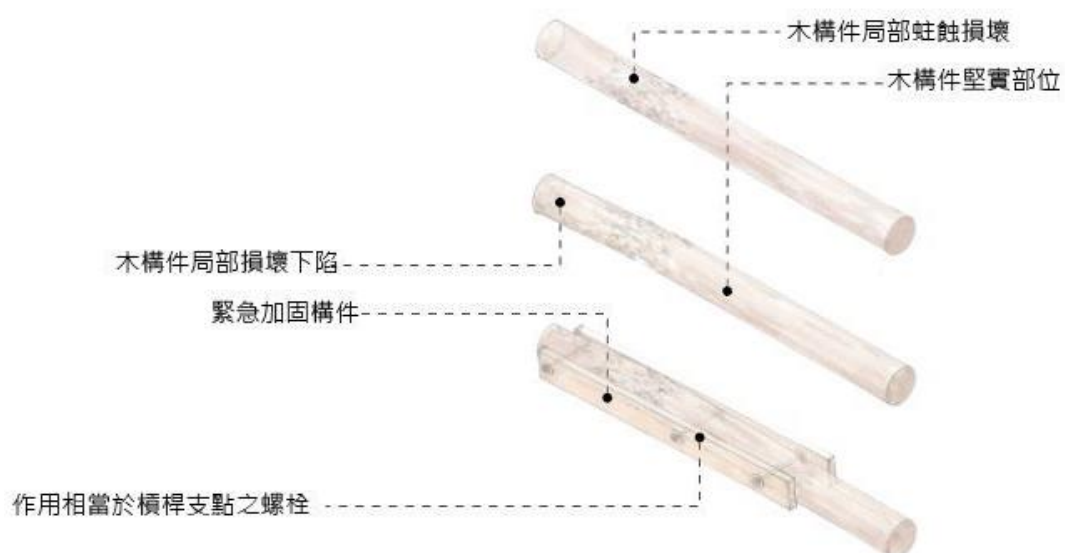


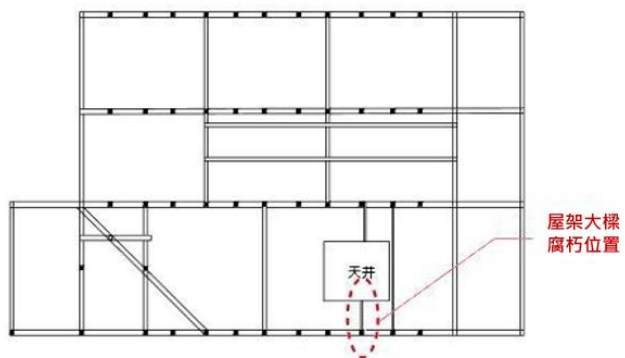
圖5-21「東」損壞部位簡易修繕建議方式

圖片來源:彰化銀行繼光街宿舍修復及再利用計畫成果報告書

修繕照片：



現況損壞位置：



建議修繕方式：

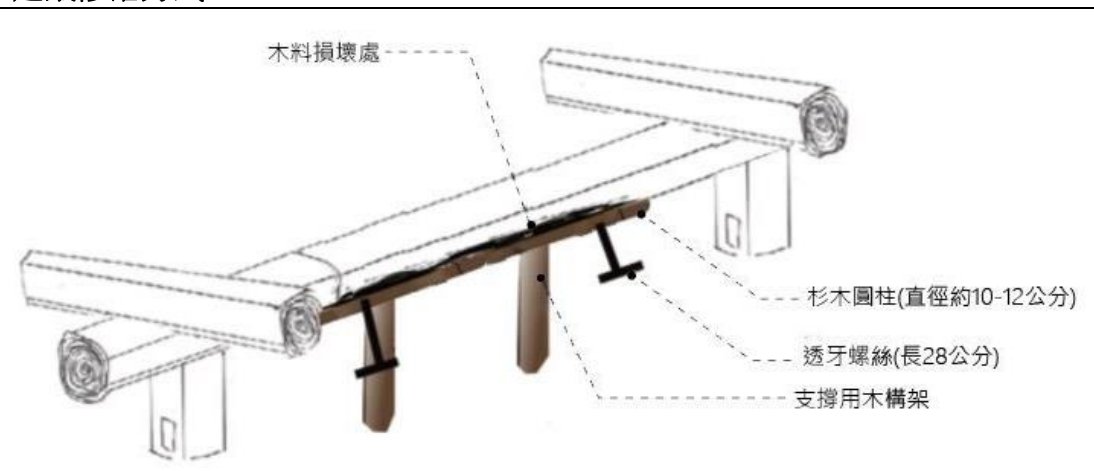


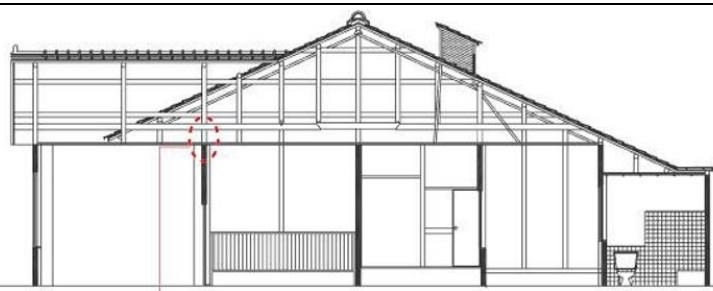
圖5-22桁樑損壞部位簡易修繕建議方式

圖片來源:本研究繪製

修繕照片：



現況損壞位置：



屋架柱腳腐朽位置

建議修繕方式：

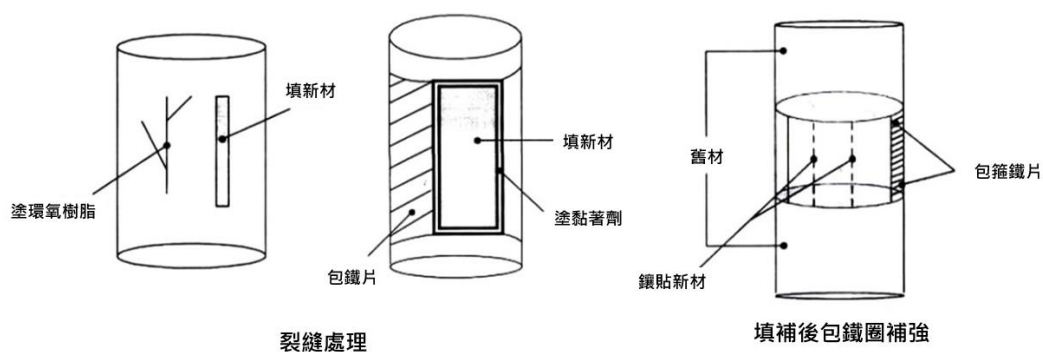


圖5-23屋架柱腳腐朽部位簡易修繕建議方式

圖片來源:臺灣工藝研究發展中心-日式木構造與修復

修繕照片：



第五節、小結

本章節透過結構系統檢討，藉以瞭解與掌握本次調查標的物，以及加強磚造增建之結構安全。以下針對本章節之結構調查彙整如下：

（一）依據目視與敲擊評估結果及縱橫向超音波速值與鑽孔抵抗值之分析，本案歷史建築受檢立柱木構件多數無顯著之目視缺陷及敲擊異音，且於超音波速分級中屬 A 級之健全木構件，僅需進行清潔後即可以現貌保留，另因具有淺層生物性危害，建議應施以小面積之補強及定期進行監測(詳 p.5-14、p.5-15)。列冊追蹤建物木構件由於受大面積之白蟻蝕害，及具有部分區段蝕空之情況產生，故建議後續進行局部或全支構件之抽換與仿作(詳 p.5-16、p.5-18)。

（二）於目視評估後可發現本案檢測立柱木構件中並無顯著之水痕殘留情況，然含水率之檢測結果顯示有部分構件近天花板側之區段，以及接地側之區段具含水率偏高之情形，且構件附近之木地板有少許變形隆起之現象，因此建議於後續之修復作業中應特別注意屋架、樓板處之滲漏水與接地處之反潮積聚情況，或施以防水層阻隔及防止滲漏水修護工程，保持乾燥，避免後續生物性危害之產生。

（三）除民生路 56 巷 1 號之日式宿舍歷史建築外，其餘三間於本案受測之日式宿舍係屬連棟之結構，三者具共用屋架之情況，由於部分受嚴重白蟻蝕害之立柱構件區段係屬連接樓板與屋架之柱體上方區塊，且於目視評估時，曾於屋內發現疑似白蟻副巢之結構存在於隔間牆內，故建議此三間連棟式之日式宿舍木構造建物應於後續進行逐支地毯式之木構件檢測，以確保後續之修復施工與再利用工程上之安全性。