亦具有通風功能，以降低室內熱氣及維持二樓木結構材料強度。另在第二進正廳立面上方和第一進左右次間、左右廂房牆體下方有設置通氣孔，亦可增加室內空氣的流通，而以上各種裝置於不同部位的通風口，皆會加裝隔網、鏤空金屬板等材料，以防蟲、防鼠進入室內，但現況大多用木板、鐵網或其他用品遮蔽，建議將來修復再利用時予以復原。

【表 4-7- 5】通風構造調查與修復建議表

設備項目	功能特色	現況破壞與說明	修復建議
通風構造	各部位通風構造除具有維持室內空氣流通外，亦有降低屋頂熱氣、維持木構造避免濕氣過重材料腐壞，和防止小動物進入室內築巢等功能。	現況各部位通風口有五金構件損毀、銹蝕或佚失、雜物推放等情形，建議於未來再利用時予以復原。	各部位通風口五金構件銹蝕部分應除銹上漆處理，損毀、佚失部分應予以設計復原。木構造通風口部分應予以清潔、防腐檢修。屋頂瓦隴通風口應檢修有無造成漏水情形，或瓦片的損壞，如未來再利用時屋瓦全部更新，應維持通風口的設置。

【圖 4-7- 67】屋頂山牆設置通氣孔

【圖 4-7- 68】屋頂瓦隴可見設有通氣孔

【圖 4-7- 69】天花板與屋頂層間鏤空木雕具通風功能

【圖 4-7- 70】屋頂木結構、天花板與鏤空木雕現況

【圖 4-7- 71】外牆可見設置增加室內天花板通風及二樓採光通風之窗扇

【圖 4-7- 72】正廳立面上方開窗

【圖 4-7- 73】左右廂房牆體下方設有長 47cm 高 38cm 的通氣孔

【圖 4-7- 74】右廂房通氣孔外側設置鐵網防止動物進入室內

【圖 4-7- 75】第一進左次間通氣孔堆放雜物

第八節 附屬建築

一、門樓

門樓與舊有圍牆為一個整體造型，舊有門樓是主建物之縮小版，因此不論在女兒牆的形式，甚至表面裝修、材質、工法，以及裝飾圖形皆與主建物相同。其主要構造為磚造，外側以洗石子粉刷腰身，上壁面以白色灰泥粉刷；女兒牆為磚砌，表面以洗石子粉刷裝飾。有精緻之壁飾、牛腿、燈飾、樓梯，本身正面裝飾較為精細，背面則較為粗糙。

目前現有燈飾已遺失，女兒牆上之壁面有風化現象，壁面有受潮痕跡，尤其背面圍牆粉刷層剝落嚴重，另臺基有龜裂痕跡，有輕微變形。

【圖 4-8- 1】精緻的門樓與主建物同造型

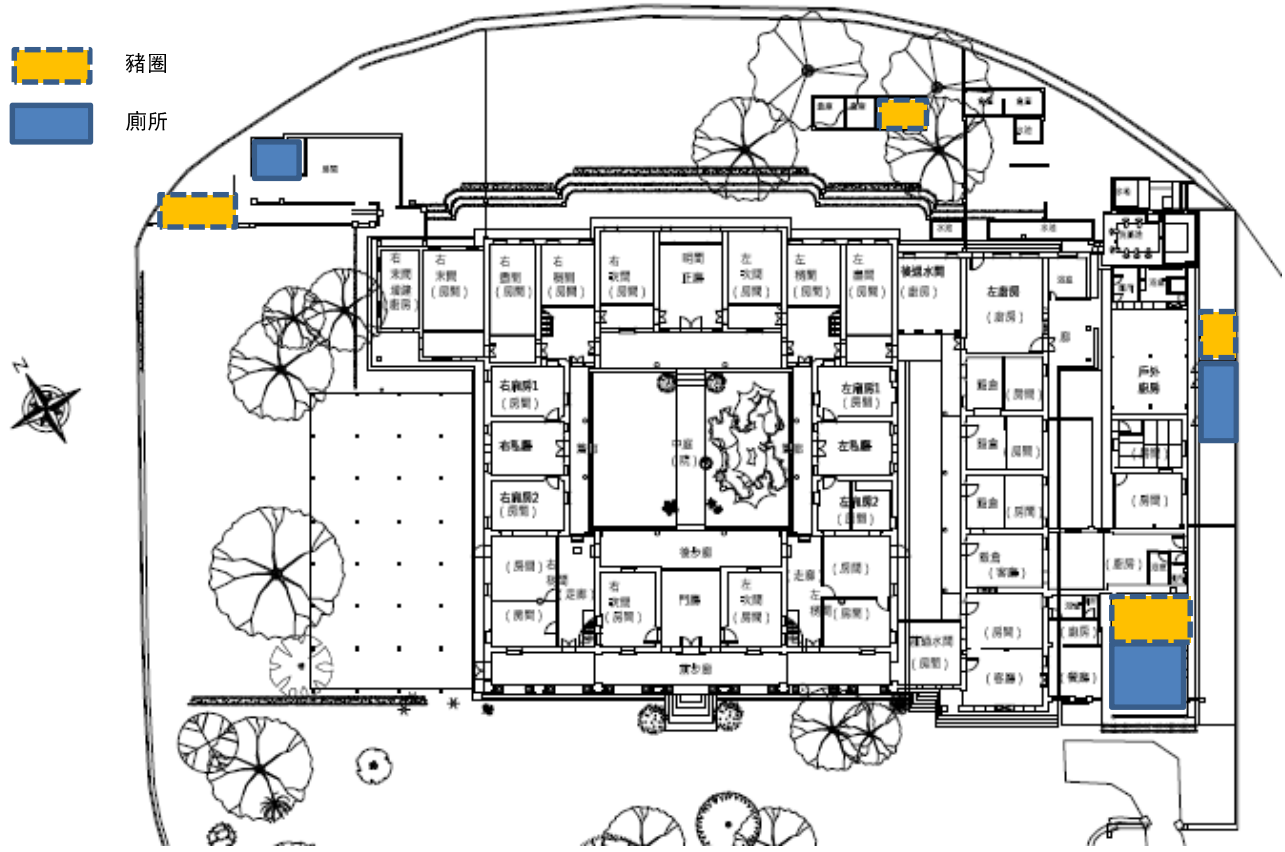
【圖 4-8- 2】門樓背立面裝飾較正面粗糙

【圖 4-8- 3】女兒牆上精緻的洗石子泥塑

【圖 4-8- 4】雨庇受潮粉刷層剝落

二、豬舍

豬舍位於右護龍後側有兩間，左護龍後側有三間，另外側廁所旁均有一間，分別為各房所有；其旁另有飼養雞隻。豬圈構造主要是以 1B 磚疊砌 1 米左右高，於前放置飼料槽，有溝渠於其旁，便於清掃。現況位於建物左側之豬圈保存尚可，右側豬圈磚造圍籬已崩塌。



【圖 4-8- 5】豬圈與廁所位置

【圖 4-8- 6】宅地左後側的農舍和豬圈

【圖 4-8- 7】宅地右後側倒塌的豬舍和廁所

【圖 4-8- 8】左側原有的豬舍和廁所

三、洗滌池

洗滌池由大小卵石排成兩相連接之圓，一大一小，一淺一深。由牆出水口引水圳入至小水池，其深 60 公分，主要為張家婦女洗衣之處。水池四周有卵石排成六座，形狀似座椅與洗衣板。因原有屋頂已損壞，目前有用木料搭接固定。

【圖 4-8- 9】洗滌池

【圖 4-8- 10】原有屋頂已損壞

【圖 4-8- 11】原有屋頂柱樁

【圖 4-8- 12】形狀似座椅與洗衣板的卵石

【圖 4-8- 13】由牆面漫流下來的水圳

【圖 4-8- 14】洗滌池的屋頂已損壞

四、泡澡池

位於左護龍後側的廁所，為早期張家的沐浴空間，由約 170 公分的圍牆分割兩成間，共用一個方形水池；右側空間則由兩扇門入，目前無法進入，內部堆積雜物。左側空間則由另一入口進入，內側有共用的半水池以及方形浴池和一個沐浴木桶。各設備皆保存完善，無龜裂與損壞，但因有一水路經外牆水道進入，水道路線受阻，浴室地坪常淹水且潮濕，內部設備物品易受潮損壞。

【圖 4-8- 15】早期的衛浴空間，現堆積雜物

【圖 4-8- 16】共用水池

【圖 4-8- 17】木製洗澡桶

【圖 4-8-18】方形水池，保存良好

修復建議：

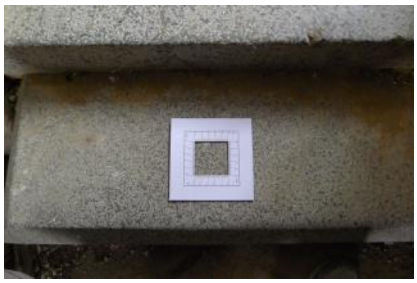
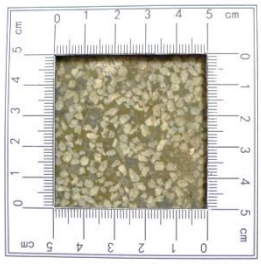
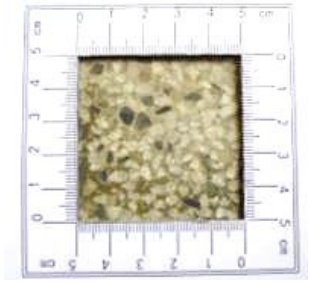
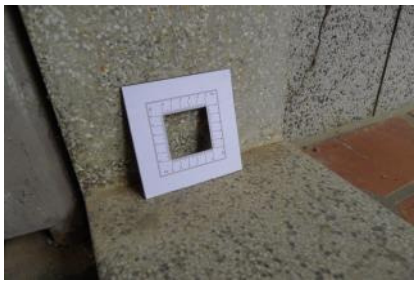
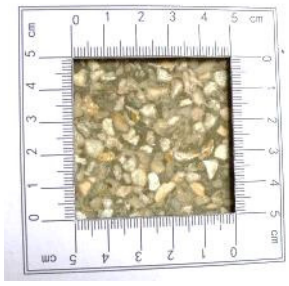
應修復原有水道路線，以避免此處的水路受阻，無法順利流出，而四處漫延，導致地坪長期淹水受潮。.

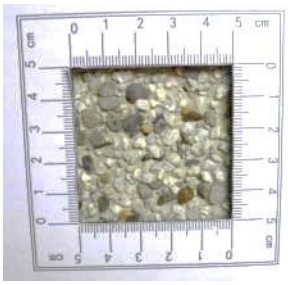
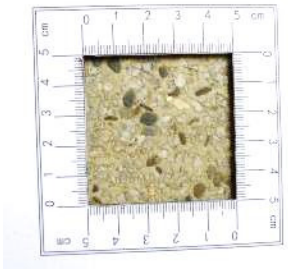
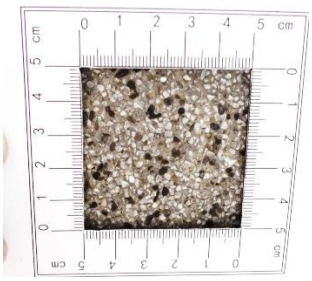
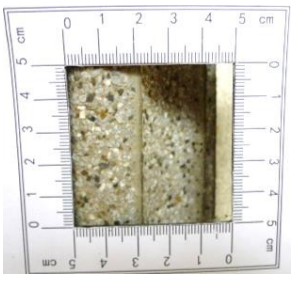
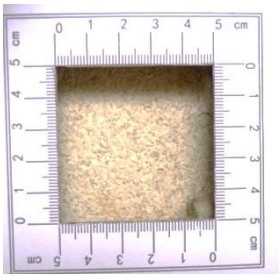
第九節 特殊裝修（共同裝修）

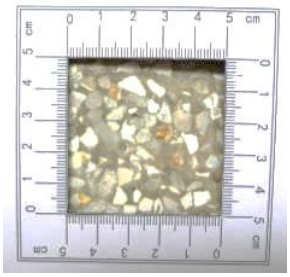
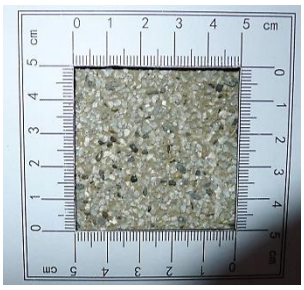
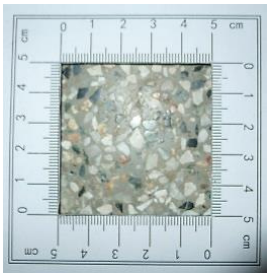
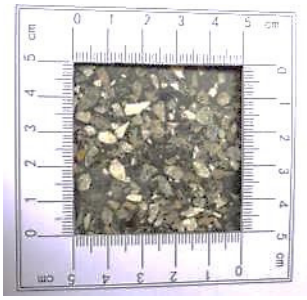
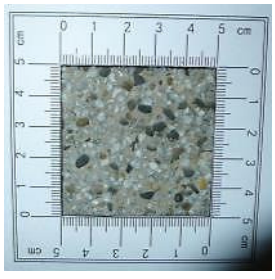
一、洗石子

張宅有許張宅有許多洗石子構材，主要位於建物立面及步廊下的廊柱，另有許多傢具包括洗面台、桌椅、神桌、飯桌等亦由磨石子工法修，目前散佈於宅內各處，保存狀況良好，但有部分放置於戶外，任其堆放垃圾，風吹日曬，易風化龜裂。

【表 4-9- 1】洗石子調查表

空間位置	洗石子種類、材料說明	損壞狀況與修復建議
 磨石子踏階石	 灰底+寒白石+特白石	位於建物各個出入門下。 損壞狀況：僅有部分踏腳石有龜裂痕跡。 修復建議：維持原樣，或用石材黏著劑修補。整體保存狀況良好。
 磨石子門檻	 灰底+白石+黑石+黃石	位於建物各個出入口 損壞狀況：僅有部分有龜裂和缺口痕跡。 修復建議：維持原樣，缺口處填補新石子或用石材黏著劑修補。整體保存狀況良好。
 磨石子門框	 黃底+白石+黑石+黃石	位於建物各個出入口 損壞狀況：無。 修復建議：維持原樣 。整體保存狀況良好。

 洗石子踢腳	 灰底+寒水石+宜蘭石	位於建物中庭及一、二進立面。 損壞狀況：僅有部分有龜裂痕跡。 修復建議: 維持原樣, 或用石材黏著劑修補裂縫。 整體保存狀況良好。	
 洗石子地坪邊	 灰底+黃石+黑石	位於建物中庭及一、二進步廊之地坪。 損壞狀況：一進右側地坪，及中庭右側步廊龜裂損壞嚴重；其他位置僅有部分有龜裂痕跡。 修復建議：微小裂縫維持原樣，或用石材黏著劑修補裂縫。損壞嚴重者，恐需拆除部分重新裝修。	
 洗石子-柱礎	 灰底+蛇文石+黑石+特白石	位於建物中庭及一、二進立面之柱廊。 損壞狀況：僅有部分有龜裂痕跡。 修復建議: 維持原樣, 或用石材黏著劑修補裂縫。 整體保存狀況良好。	
 磨石子-柱身	 黃底+寒水石+特白石	位於建物中庭及一、二進立面之柱廊。 損壞狀況：僅有部分有龜裂痕跡。 修復建議: 維持原樣, 或用石材黏著劑修補裂縫。 整體保存狀況良好。	
 洗石子-門聯	 黃底+寒水石+黃石	 白底+寒水石+特白石	位於建物中庭左右護龍之門聯。 損壞狀況：無。 修復建議：維持原樣 。 整體保存狀況良好。

 磨石子-二進門-群堵	 灰底+大白石+寒水石	位於建物二進立面。 損壞狀況：僅有部分有龜裂痕跡。 修復建議: 維持原樣, 或用石材黏著劑修補裂縫。 整體保存狀況良好。	
 洗石子-群堵	 灰底+寒水石+黑石	位於建物二進立面之步廊。 損壞狀況：僅有部分有水漬痕跡。 修復建議：維持原樣 。 整體保存狀況良好。	
 磨石子椅	 灰底+蛇文石+黑石+寒水石	位於建物中庭及一、二進步廊共有六座。 損壞狀況：僅有部分有龜裂痕跡。 修復建議：維持原樣 。 整體保存狀況良好。	
 磨石子椅靠	 黑底+大白石+黃石	位於建物中庭及一、二進步廊有兩座。 損壞狀況：無。 修復建議：維持原樣。 整體保存狀況良好。	
 洗石子柱身	 黃底+紅石+特白石	 灰底+紅石+黑石	位於建物一進立面。 損壞狀況：部分有龜裂痕跡和破損 修復建議：維持原樣，或用石材黏著劑修補裂縫。損壞嚴重者需鑿開重新裝修。

二、磁磚

建材會反映時代的背景人文，磁磚正是其中一種，它在早期被裝飾於台灣傳統民宅，使建築顯現其屋主的身份地位與時代潮流。目前裝飾於張宅的磁磚有兩類，一種為無紋樣的素面磁磚，表面上釉約 10.5 公分 x6 公分，以顏色排列，裝飾於建物面積較大的牆體及門框，如面二進後廳的正面以藍色磁磚裝飾腰堵，以青綠色磁磚裝飾對聯堵，以白色磁磚裝飾身堵及頂堵【圖 4-9-1】；左右護龍私廳的正立面主入口壁面則以白色磁磚裝飾對聯堵。【圖 4-9-2】

【圖 4-9- 1】二進正面以藍綠色及白色及、藍色素面釉磚裝飾 【圖 4-9- 2】二進正面以藍綠色磁磚裝修門框，藍色磁磚裝修門框，藍色磁磚裝修

另一種則是日治時期在臺灣地區盛行，以磁磚為裝飾風潮的馬約利卡磁磚（Majolica Tile）一般稱為彩磁， 其主要製造於大正初期至昭和初期，由日本公司製造外銷國外，並以其殖民地為主要銷售通路，因此日治時期臺灣地區的馬約利卡磁磚 99%來自日本。其為具有紋樣的磁磚，因產品由工廠大量出產，在工法上，匠師僅需具有黏著技術，不需藝術學養，施工時效快，價格又較傳統裝飾剪黏、磚雕、石雕、彩繪便宜，故一時成為風潮。

彩磁依其種類約可分為四種：一是「仿英國製的維多利亞磁磚」：即日製「仿維多利亞磁磚」，其紋樣是以新藝術時期(Art Nouveau)的圖紋和英國國花薔薇(玫瑰)為代表，磁磚尺寸約 150mm~153mm 之間。二是「日產紋樣馬約利卡磁磚（Victorian Tile）」:由日本公司設計紋樣且具有專利，主要圖紋以日本山水、田園景致、風景等為主體。其手法上最多的有噴畫加手繪的噴畫手繪磁磚(Stencil Tile)，另一種 Tube Lining 是以機器壓印後再以人工來上釉彩，之後在送去進隧道窯內培燒；此磁磚多為 4 至 6 片的組合。三是「中國吉祥紋樣馬約利卡磁磚」由中國商社代理公司提供紋樣，再由日本製造，主要紋樣有桃子、牡丹、石榴、佛手等吉祥物。四是「日-台合作馬約利卡磁磚」由日產白色素面磁磚為底，加上臺灣匠師繪製紋樣燒製的磁磚，為戰後臺灣手繪、印刷磁磚的前身。[45]

張宅的彩磁依不同的尺寸裝飾於建物的脊堵（6”x6”）、上馬路（6”x3”）、牌頭（6”x3”與 3”x3”）、墀頭（6”x3”）[46]。以重複的紋樣產生另一種不同的圖紋，增加裝飾的精彩度與律動。其中以日製「仿維多利亞磁磚」為多，主要裝飾於脊堵和上馬路，多為幾何造形搭配自然植物之紋樣，

[45]蔡日祥，《日治時期臺灣地區建築上使用彩磁裝飾之研究-以雲林嘉義台南地區傳統民宅為主》，淡江大學建築碩士論文，中原大學建築系圖書館，2001 年。70 頁。

[46] 6 英吋介於 150～153 公釐 （6x2.54 公分=15.24 公分）

如【表 4-9-2】C-2 為例，其具有專利之紋樣為日本「不二見燒」所製。少部分裝修張宅的磁磚有「日產紋樣馬約利卡磁磚（Victorian Tile）」[47]，如【表 4-9-2】F-2 所示，其裝飾於墀頭的彩磁為日本風景，一般傳統建築較少引用此種不具有隱喻的紋樣。其詳細彩磁調查如【表 4-9-2】所示。

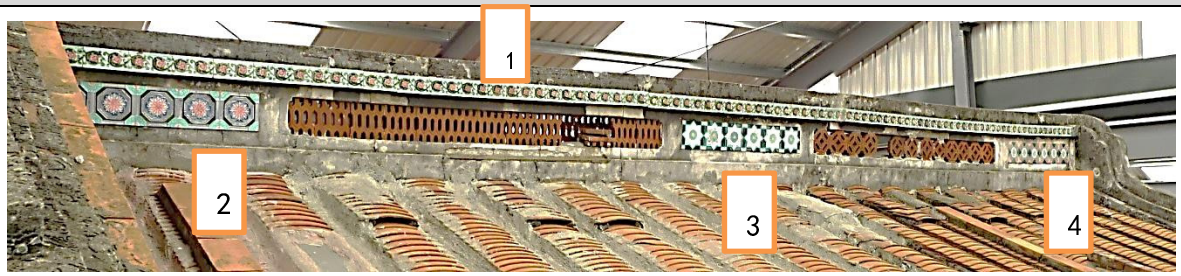
從張宅建物本身融合著閩、洋、和風的語彙來看，建物內的彩磁亦融合著各國不同的紋樣風格如英國國花薔薇與幾何圖飾、日本山水風景、中國吉祥鳥獸等，均讓此棟建築的裝飾更繽紛多彩。

修復建議：張宅彩磁僅有部分因長年的風吹日曬，而有細微的裂紋和剝落現象，但就整體而言，保存狀況良好，唯在一進右側有部分屋脊斷裂，脊堵上之磁磚部分剝落遺失，二進右側屋頂倒塌，屋脊上的彩磁損壞遺留於現場。建議為便於彩磁日後可原貌復原，平日應將剝落的彩磁妥善保管，待日後再利用修復時，可重新清潔，黏貼原處。

【表 4-9-2】張天機宅彩磁紋樣表

<table>
<tr><td colspan="4">A　位於屋頂牌頭上的彩磁</td></tr>
<tr><td>裝飾位置</td><td colspan="2">
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>編號</td><td>彩磁紋樣</td><td>組合之彩磁紋樣</td><td>尺寸（長 x 寬）英吋、顏色、紋樣、損壞說明</td></tr>
<tr><td>1</td><td> </td><td> </td><td>・位置：位於左右護龍的牌頭上，為「中國吉祥紋樣馬約利卡磁磚」，浮雕磁磚，單片（6”x6”）
・紋樣說明：圖紋寫實，以漸層粉紅色之牡丹花為中心，加上淡綠底，深綠葉簡單陪襯 。
・象徵隱喻：牡丹花為富貴花。取其花開富貴之意 。
・現況：表面色澤紋樣保存良好，各屋頂牌頭處之磁磚均在無遺失。</td></tr>
<tr><td>2</td><td> </td><td> </td><td>・位置：位於一、二進面向屋頂的牌頭上，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚，單片（3”x3”）
・紋樣說明：幾何圖樣，以藍綠色藤蔓纏繞，兩朵漸層粉紅色花朵，配上深綠葉 。
・單片（3”x3”）之磁磚，原為用於轉角處之磁磚，在此則無考慮其原有用法。
・現況：表面色澤紋樣保存良好，各屋頂牌頭處之磁磚均在，無遺失。</td></tr>
</table>

[47] 蔡日祥，《日治時期臺灣地區建築上使用彩磁裝飾之研究-以雲林嘉義台南地區傳統民宅為主》，淡江大學建築碩士論文，中原大學建築系圖書館，2001 年。

B 位於一進正面左右稍、盡間之屋頂上馬路與脊堵的彩磁			
裝飾位置			
編號	彩磁紋樣	組合之彩磁紋樣	尺寸（長 x 寬）英吋、顏色、紋樣、損壞說明
1			・位於屋脊上馬路，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚，單片（6”x3”）；數片組合成一列 ・淡綠色底，浮雕橄欖綠葉，紅色花朵 ・由幾何形式的捲連纏枝和紅花構成，一片磁磚兩朵花串枝，各片相接，產生生動韻律。 ・現況：左側屋頂之磁磚，表面色澤紋樣保存良好，僅在表面有龜裂細紋；右側屋脊損壞，部分位於上馬路的磁磚已遺失。
2			・位於脊堵上的邊側，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚，單片（6”x6”）；6 片相連成一列。 ・整體以粉色系為主，由粉紅蓮花紋為中心，外底為藍色水紋框底，以淡紫八角為框、外加深綠八角底、淡紫四邊框，粉綠外四角，點綴粉紅邊。 ・單片以浮出水面之浮雕蓮花紋為主，各片相連時如六朵蓮花座。（蓮花象徵清靜純潔，為八吉祥之一，有花中君子之稱。） ・現況：左右側屋頂之磁磚，表面色澤紋樣保存良好無遺失。
3			・位於脊堵上的中心位置，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚，單片（6”x6”）；6 片相連成一列。 ・單片以粉綠浮雕輪菊紋為中心，再加上白底淡綠八角星框，外以深綠色四邊，點綴淡黃邊。使其整體呈現另一種幾何花紋，成為各片相接的中心。 ・象徵：菊為花之隱逸者，其來自晉陶淵明的種菊東離下，代表君子情操，亦象徵長壽，是日本與中國皇家於重陽節喜用的紋飾。） ・現況：左右側屋頂之磁磚，表面色澤紋樣保存良好無遺失。
4			・位於脊堵上的邊側，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚，單片（6”x6”）；6 片相連成一列。 ・單片以寫實的粉綠浮雕菊花為中心，四角以四分之一的粉紅菊點綴，四邊為二分一深綠色菱形花紋，整體形成交叉紋路。6 片組合則呈現交叉纏繞菊花，有延年益壽的隱喻。 ・象徵：菊為花之隱逸者，其來自晉陶淵明的種菊東離下，代表君子情操，亦象徵長壽，是日本與中國皇家於重陽節喜用的紋飾。） ・現況：左右側屋頂之磁磚，表面色澤紋樣保存良好無遺失。

C　位於一進背面左右稍、盡間屋頂之上馬路與脊堵的彩磁

裝飾位置

編號	彩磁紋樣	組合之彩磁紋樣	尺寸（長 x 寬）英吋、顏色、紋樣、損壞說明
1			・位於屋脊之上馬路，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚，單片（6”x3”）；數片組合成一列 ・以金黃色有西洋臉譜之太陽為中心，兩側以朝陽似洛神紅花對稱排列，再滾深綠色邊框，整體呈現出鮮豔圖飾，為彩磁中少見的圖紋。 ・現況：左側屋頂之磁磚，表面色澤紋樣保存良好，僅在表面有龜裂細紋；右側屋脊損壞，部分位於上馬路的磁磚斷裂，傾倒於屋頂上。
2			・位於脊堵上兩邊側的浮雕磁磚，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚（為「不二見燒」製），單片（6”x6”）；各有 6 片，各自相連成一列。 ・圖紋以寫實紅薔薇（玫瑰）為中心，白底滾綠邊葉形框，跳脫於叢生的浮雕綠葉中。此磁磚紋樣是日本仿製英國維多利亞磁磚最常見的紋樣設計之一。 ・象徵隱喻：薔薇別名玫瑰花、長春花，為其四季不絕之花朵，有祥瑞之意。 ・現況：左右側屋頂之磁磚，表面色澤紋樣保存良好無遺失。
3			・位於脊堵上的中心位置，為浮雕磁磚，單片（6”x6”）；6 片相連成一列。 ・以紅色宣草花紋為中心，再加上白底滾綠邊幾何形框 。 ・象徵隱喻：宣草別名忘憂草、宜男草。主要取自博物誌中所載：「宣草，食之令人好歡樂，故謂忘憂草。婦人有孕，配其花則生男，亦名宜男草…」。隱喻以生男為重為喜。 ・現況：表面色澤紋樣保存良好無遺失。

D	位於二進正面左右稍、盡間屋頂之上馬路與脊堵的彩磁		
裝飾位置			
編號	組合之彩磁紋樣	尺寸（長 x 寬）英吋、顏色、紋樣、損壞說明	
1		• 位於上馬路的位置，為浮雕磁磚，單片（6”x3”）；數片相連成一列。 • 四角綠色圖紋，圍向以白底綠邊框的橢圓四接菱形中的紅色菊紋。 • 象徵隱喻：中國傳統圖紋中的菊花有長壽之意。 • 現況：表面紋樣仍留存，但顏色有重新粉刷的痕跡。	
2		• 位於脊垛的位置，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚，單片（6”x6”）；數片相連成一列，原拼裝方式應為四片一組。現一組 6 片相連成一列，此屋脊共有三組相同紋路，平均分置於中間，與左右兩側 • 幾何圖紋，以白底綠色菱形花朵為中心，四邊接綠色框，四片組合成另一朵黃底草綠色四葉幾何花。 • 現況：表面紋樣仍留存，但原白色部分重上淡綠色漆，而黃色部分則上淡紅色漆。 （註：左圖為他處與本建物紋樣相同之磁磚）	
E	位於二進背面左右稍、盡間屋頂之脊堵上的彩磁		
裝飾位置			
編號	彩磁紋樣	組合之彩磁紋樣	尺寸（長 x 寬）英吋、顏色、紋樣、損壞說明
1			• 位置：位於脊堵上，，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚，單片（6”x6”）；6 片相連成一列一組，共有 3 組，共同對稱放置於脊堵的中心與兩邊，原拼裝方式應為 4 片一組。 • 紋樣：幾何形式，以紅色花紋為中心，白底再加上以淡藍色幾何四片葉形框，融於草綠色底的花園步道。 • 現況：表面色澤紋樣保存良好無遺失，僅有部分污澤和細縫。（同 F-4 磁磚）。

F	位於中庭墀頭上的彩磁		
裝飾位置			
	中庭二進右側墀頭	中庭一進左側墀頭	中庭一進右側墀頭
編號	組合之彩磁紋樣	尺寸（長 x 寬）英吋、顏色、紋樣、損壞說明	
1		・位置：位於中庭之屋頂墀頭，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚 ，單片（6”x6”） ；4 片一組。 ・紋樣：洗石子框，幾何圖飾，以白底藍花為中心，至於褐色雙圓中，周邊再滾以淡藍與深藍色，不規則形邊。 ・說明：為幾何形式之花朵圖紋，一般臺灣傳統建築較為少見 。（因幾何磁磚之圖紋較無隱喻，傳統民宅較不喜用。） ・現況：表面色澤與紋樣因風吹日照有風化現象，部分顏色剝落，表面有龜裂痕跡。但整體而言，圖樣仍清楚可見，保存狀況尚可。	
2		・位置：位於面向中庭之柱頭上 ，為「日產紋樣馬約利卡磁磚（Victorian Tile）」，浮雕磁磚，單片（6”x6”），4 片一組。 ・紋樣：以洗石子為框，白邊，白帆，金色天空，淡綠色遠山，藍綠色湖，深綠色植栽，以及咖啡色日式建築，整體以「之」字形構圖於中。 ・說明：以轉印手法所製，為當時具專利之日本山水圖紋，此圖在一般臺灣傳統建築較為少見 。（因日本磁磚之圖紋較無隱喻，傳統民宅較不喜用。） ・現況：表面色澤與紋樣因風吹日照有風化現象，部分顏色剝落，表面有龜裂痕跡。但整體而言，圖樣仍清楚可見，保存狀況尚可。	
3		・位置：位於面向步廊之柱頭上 ，為「中國吉祥紋樣馬約利卡磁磚」，浮雕磁磚，單片（6”x6”） ，2 片一組。 ・紋樣：如國畫般之圖紋，以藍綠色孔雀為中心，站立於褐色有紅花開放的樹枝頭。 ・象徵隱喻：孔雀有吉祥之意，據易經記載，孔雀具有九德，人們因欣賞而常以孔雀為紋樣用於設計上，例如清代一品官帽皆有孔雀尾裝飾，俗稱「紅頂花翎」有高官之意。另孔雀也有雀屏中選之意。 ・現況：表面色澤與紋樣因風吹日照有部分污澤，花瓣綠葉顏色剝落，表面有細微龜裂痕跡。但整體而言，圖樣仍清楚可見，保存狀況良好。	

G 位於一進正面左右平台邊的女兒牆旁的矮牆面上的彩磁

裝飾位置

編號	彩磁紋樣	組合之彩磁紋樣	尺寸（長 x 寬）英吋、顏色、紋樣、損壞說明
1			・位於左側平台邊的女兒牆上，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚，單片（6”x6”）；數片相連成一列。原拼裝方式應為四片一組， ・以紅色薔薇花紋為中心與四邊，再加上以淡綠底的幾何形框 ，融於草綠色標形草中。 ・象徵隱喻：薔薇別名玫瑰花、長春花，為其四季不絕之花朵，有祥瑞之意。 ・現況：表面色澤紋樣保存良好無遺失，僅有部分污澤。
2			・位於左側平台邊的女兒牆上，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚，單片（6”x6”）；數片相連成一列。原拼裝方式應為四片一組。 ・紋樣說明：以深綠色及白色為底對稱相交，白底二分之一加上似紅色石榴紋為中心，四片組成呈現兩種菱形幾何紋樣。 ・現況：表面色澤紋樣保存良好無遺失，僅有部分污澤。
3			・位於右側平台邊的女兒牆上，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚（「不二見燒」燒製），單片（6”x6”）；數片相連成一列，原拼裝方式應為四片一組。 ・以紅色薔薇花紋為中心 ，白底再加上以淡藍色幾何四片葉形框 ，融於草綠色葉中。 ・象徵隱喻：薔薇別名玫瑰花、長春花，為其四季不絕之花朵，有祥瑞之意。 ・現況：表面色澤紋樣保存良好無遺失，僅有部分污澤和細縫。（同 C-2 磁磚）
4			・位於右側平台邊的女兒牆上，，為日製「仿維多利亞磁磚」的浮雕磁磚，單片（6”x6”） ；數片相連成一列，原拼裝方式應為四片一組。 ・以紅色花紋為中心 ，白底再加上以淡藍色幾何四片葉形框 ，融於草綠色底的花園步道。 ・現況：表面色澤紋樣保存良好無遺失，僅有部分污澤和細縫。（同 E-1 磁磚）。

三、玻璃彩繪

（一）匠師與技法

張天機宅的玻璃彩繪主要位在後廳神龕面，這個部位一般傳統建築的裝飾法是以木雕隔屏、花罩及樑枋彩繪為主，但其採用當時新式的裝飾藝術—玻璃彩繪，極為特別，彩繪落款為「壬申年…石莊作」，即 1932（昭和 7）年，石莊則為日治時期的知名彩繪匠師劉沛。劉沛乃石岡人，生於 1884（光緒 10）年，習藝自豐原畫師謝來發，初時從事繪製糊紙作品，後來參與建築彩繪並闖出名號，在中部頗具盛名，其作品落款有劉沛然、石莊、石癲、作雲等，執業範圍以台中、南投地區為主，尤以家鄉周邊鄉鎮參與的工作最多。受到日治時期新技術及題材的影響，劉沛的畫風活潑不拘泥於傳統彩繪，故亦擅長玻璃彩繪，其作品細膩、題材多元，除忠孝節義故事、文人武將神仙人物、清供瓶花、四聘等等，亦常出現時尚人物，在當時相當新穎。劉沛一派的師承如下：

謝來發→劉沛→劉福銀（子）→劉昌洲（孫）→羅文祥（昌洲外甥）

→劉昌武（孫）

→張志焜

台灣玻璃彩繪由來可追溯至清中葉閩粵流行之鑲嵌彩繪平板玻璃的木作家具，傳入台灣後亦因匠師受聘來台而將此匠藝引入，至日治時期平板玻璃技術精進，除了運用在門窗亦成為建築的裝飾材之一[48]，於是昭和年間民間建築或藝品使用玻璃彩繪裝飾者大增。其技法最大特色是「反畫」，因為繪製完成後以翻轉過來的面為觀賞正面，所以上彩順序與一般木作彩繪剛好相反，繪製前備紙本草稿，常見的工序是先勾勒佈局後，愈表層的要先畫，背景則是最後完成；以人物畫為例，眼及唇等表達臉上神韻的部位須先點上色彩，臉部要一氣喝成。若是字體不論正楷或是草書，則須寫「反字」，其難度較高，匠藝好壞也最易由這裡觀察出來，劉沛所書字體完全看不出是反寫而成，可見功力之高。用色以熟桐油混合礦物色粉為主，故較一般彩繪慢乾，需儘量降底環境濕度，比較特別的色澤如金使用金箔，銀使用水銀。劉沛的彩繪中有一特色，是在垛頭的硬團中暗藏「卍」字紋[49]。

【圖 4-9-3】神岡筱雲山莊正廳神龕以精緻木雕及傳統彩繪見長

【圖 4-9-4】彰化益源大厝正廳傳統神龕的作法

[48] 童怡婷，〈日治時期臺灣玻璃產業發展探析〉，《藝術學 STUDY OF THE ARTS》 第廿七期，2011.05，P106~107。

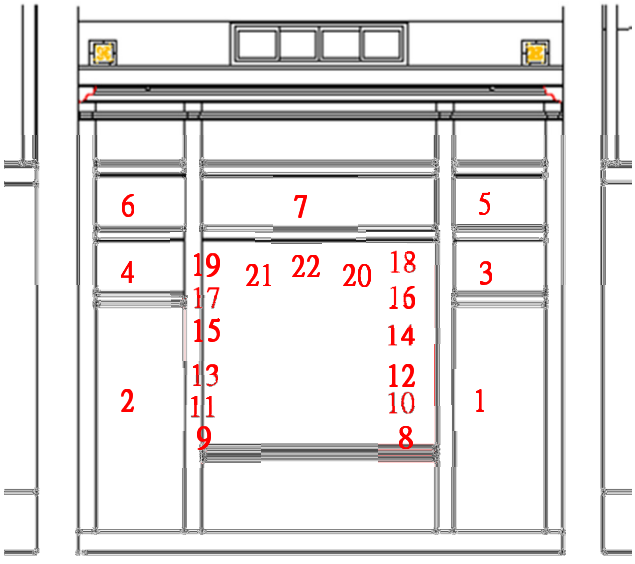
[49] 以上師承及技法等，均訪問劉沛後代傳人羅文祥先生得知。

【圖 4-9- 5】張天機宅的後廳形制與常見的傳統建築相似，但以玻璃彩繪為裝飾手法

【圖 4-9-6】張天機宅的玻璃彩繪為石莊的作品

【圖 4-9-7】垛頭硬團上下各暗藏有「卍」字紋

（二）現存作品調查



【圖 4-9-8】張天機宅後廳玻璃彩繪位置編號圖

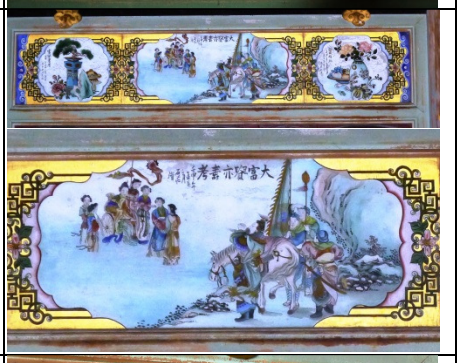
張天機宅後廳神龕玻璃彩繪中，亦如同建築傳統與西洋搭配的手法，在畫面分隔及部分題材上採

用傳統彩繪的形式，因為是住宅所以選用慈孝、富貴、長壽等傳統人物故事或文字或花鳥為核心，但亦搭配當時流行的西洋畫風的風景畫，最特別的是左右格扇上的兩片身堵，採用時尚的婦女配上穿著整齊制服的童子，甚至手持日本國旗，相當具有時代性的意義。在用色上，除了傳統彩繪常用的設色外，此處亦使用許調合色，如紫、咖啡、橘色等等，都是受到日治時期西洋畫風的影響，加上玻璃彩繪具反光效果，所以整體顯得特別鮮麗。左右門扇上方的兩幅金色題字為社口林家的清末秀才林柏璿（幼名春寶，號鑄園，鄉人稱其為「大秀才」）[50]所題，再由劉沛臨摹而成，由此亦可見張天機與林家的關係匪淺。

【表 4-9-3】張天機宅後廳神龕玻璃彩繪調查表

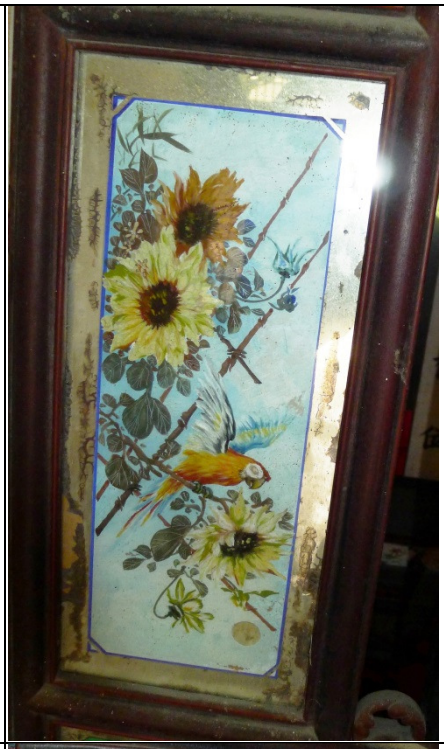
編號	構件名稱	主要設色	構圖題材	文字內容	照片
1	左格扇門身板	以白色為底，用色有青、綠、白、黃等	以時尚婦女及孩童為題材的西洋風景式畫風，婦人著洋裝站立，孩童著整齊的制服，戶外的景致具透視消點。主題的四周邊框，則以傳統式的花卉彩繪裝點	石莊	
2	左格扇門身板	以白色為底，用色有青、綠、白、黃等	以時尚婦女及孩童為題材的西洋風景式畫風，婦人著傳統改良式的洋裝坐著，孩童著整齊的制服與母親依偎，並手持日本國旗，戶外景致及室內裝潢，均具西洋風。主題的四周邊框，則以傳統式的花卉彩繪裝點	石莊	

[50] 資料來源：台灣記憶網頁。

編號	構件名稱	主要設色	構圖題材	文字內容	照片
3	左側上堵	以藍框、綠色抹紋為底，金色字	以金色大字為主題，形如額題，字的順序向中軸排列，署名下有兩顆紅印	丹山彩鳳 林柏璿	
4	左側上堵	以藍框、綠色抹紋為底，金色字	以金色大字為主題，形如額題，字的順序向中軸排列，署名下有兩顆紅印	碧海亢龍 林柏璿	
5	左側頂堵	綠底硬團垛頭，垛仁內白底，用色有青、黃、紅等	以二十四孝中唐朝的唐夫人故事為題材，四個人物各分二組於左右，主題在右，搭配左側兩小兒，彼此視線交流，中間以佈置有盆景及水果、書冊的書桌	乳姑不怠 壬申之春 劉沛然 畫意	
6	右側頂堵	綠底硬團垛頭，垛仁內白底，用色有青、黃、紅等	以漢文帝親嚐湯藥故事為題材，四個人物各分二組於左右，主題為在左的臥床老婦，搭配左側三人，左側佈置有瓶花及香爐的茶几	仁孝臨天下 壬申春月石莊	
7-1	中間頂堵（中央垛仁）	垛仁淡青為底，用色有青、綠、紅、黃等，垛頭以金為底，硬團框線為墨綠	構造上為堵板，但在構圖上採用樑枋分三垛的概念，中垛以仙人賜郭子儀福壽的傳統故事為題材，分為左右二組呈斜對角配置，右下以四位男性及軍馬為主，左上以身坐輪椅婦人為核心，共七位女性	大富貴亦壽考 壬申年孟春立月石莊繪	
7-2	中間頂堵（左側垛仁）	垛仁淡青為底，用色有青、綠、紅、黃等	左右垛以瓶花、盆景哄托中垛的主題，此處為兩朵盛開富貴的牡丹花，前有佛手後有多子的水果盤，前後搭配錯落有致	詩賜錦袍 壬申年春王元月右寫春景一律 石莊仿古	

7-3	中間頂堵（右側垛仁）	垛仁淡青為底，用色有青、綠、紅、黃等，垛頭以金為底，硬團框線為墨綠	此處為松樹盆景，前有茶花、怪石，後有香爐，前後搭配錯落有致	富貴壽考 華（畫）在壬申年孟春 石莊劉沛然繪	
8	龕罩左底堵	白色為底，用色有黑、紅、黃、綠等	以動物為題材，兩隻兔子一黑一白，一抬頭望月一低頭吃草，背後是三朵盛開的牡丹花	無	
9	龕罩右底堵	藍色為底，用色有黑、紅、黃、綠等	以動物為題材，一隻大公雞向中軸而立為主題，周圍是菊園景致	無	
10	龕罩左裙堵	以淡藍為底，用色有青、白、黃、綠、紅等	以孟郊的〈遊子吟〉詩為故事題材，配合畫面狹長，背景畫長形的格扇窗，母親坐於大灶旁低頭細細縫製衣服，童子站立在側	慈母手中線 游子身上衣 壬申年立春月 石莊繪	

11	龕罩右裙堵	以淡藍為底，用色有青、白、黃、綠、紅等(毀壞較嚴重，不易辨別)	以唐代張敞為妻畫眉為故事題材，配合畫面狹長，背景畫長形的畫框，婦人端坐，男子背對為其畫眉	京兆寫眉 石莊仿古	
12	龕罩左腰堵	以銀框、綠色抹紋為底，銀色字	以銀色具藍色陰影的大字為主題，字的順序向中軸排列，署名下有一顆紅印	貴壽無極	
13	龕罩右腰堵	以銀框、綠色抹紋為底，銀色字	以銀色具藍色陰影的大字為主題，字的順序向中軸排列，署名下有一顆紅印	福祿其臻	
14	龕罩左腰堵	以銀色為框，藍色為底，用色已損壞，無法辨別	應搭配右側亦以花鳥為題材，畫面毀損嚴重	不詳	

15	龕罩右身堵	以銀色為框，藍色為底，用色有黃、橘、綠等色	以花鳥為題材，向日葵由左上向右下活潑排列，中央偏下一隻鸚鵡	無	
16	龕罩左頂堵	以白色為框，淡藍為底，用色有紅、綠、黃等	兩隻蝴蝶一上一下呈斜向排列，飛舞在花叢中	無	
17	龕罩右頂堵	以白色為框，淡藍為底，用色有紅、綠、黃、紫等	兩隻孔雀一上一下站立在松樹幹上呈斜向排列	無	

18	龕罩上書卷左堵	青、綠、白、黃等	以富士山居中為遠景，靜謐的湖泊、松樹等的西洋畫風景題材	無	
19	龕罩上書卷右堵	青、綠、白、黃等	以富士山居中為遠景，靜謐的湖泊、帆船、松樹等的西洋畫風景題材	無	
20	龕罩上書卷左中堵	以銀框、綠色抹紋為底，銀色字	以銀色大字為主題，形如書卷，字的順序向中軸排列，署名下有一顆紅印	青錢萬選　壬申孟春	
21	龕罩上書卷右中堵	以銀框、綠色抹紋為底，銀色字	以銀色大字為主題，形如書卷，字的順序向中軸排列，署名下有兩顆紅印	金鑑千秋　石莊書	
22	龕罩上書卷中堵	以藍底卷草紋為框、藍色為底，銀色效的貼螺片字	以銀色大字為主題，形如書卷，字的順序由左向右，兩側邊框加上蘇式彩繪垛頭的紋飾	祖德流芳	

除了神龕面玻璃彩繪，祖先牌位、長生祿位及祭具等家具類，亦以玻璃彩繪裝飾，與神龕搭配成套，由其技法、構圖及色彩來看，推測亦是匠師劉沛的作品【圖 4-9-9~11】。其他尚有現存放於後進閣樓上的閒置家具，有梳粧台、宮燈等【圖 4-9-12~16】，都是木作鑲嵌玻璃彩繪的型式，宮燈六面分別以八仙人物及仕女間隔裝飾，上方則以吉祥動物為題材，玻璃的透明及油彩的鮮豔可以想像當宮燈高掛，燈火點亮時是多麼氣派。這些家具在畫風上與劉沛有異，可能是添購時即繪製完成的作品，也表示昭和年間玻璃彩繪深入民間各式藝品。

前廳與中庭相連的後屏左右門上方綣環板的位置，亦各有一幅玻璃彩繪，兩者均為西洋風景畫，

龍邊一眼望去盡是綠意，以一對勾肩著整齊制服的孩童走在蜿蜒小路上為主軸，男孩手持日本國旗、女孩左手指向遠方的聚落，那裡有一座鳥居，可能意味著他們要向神社走去，四周的矮樹叢有些像似茶園【圖 4-9-17】；虎邊則是湖畔景致，水面上帆船點點、岸上有洋樓及汽車，遠處有一尖塔似乎是教堂，左側逼近畫面的是一座高聳佈滿白雪的岩山，右側則佈置了遠山【圖 4-9-18】。此兩幅筆觸及手法與後廳的劉沛作品有神似之處，雖然沒有落款，但推測亦是他為張天機宅所畫製。

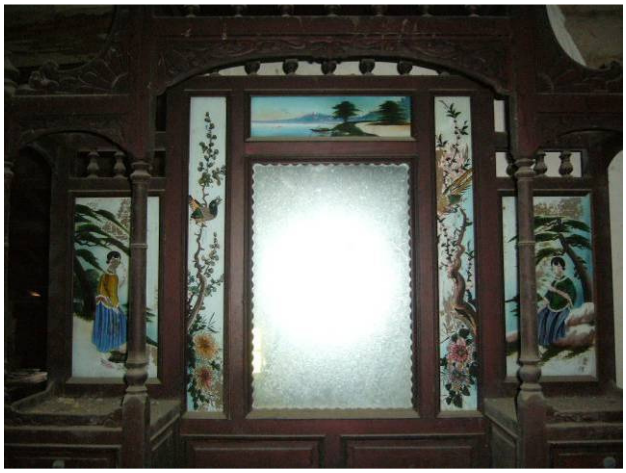
【圖 4-9-9】祖先牌位前置放供杯的供台，以團字紋玻璃彩繪裝飾

【圖 4-9-10】祖先牌位上方木雕有鮑魚飾，玻璃彩繪亦選西洋畫風的題材搭配

【圖 4-9-11】祖先牌位木雕屏座四周均鑲玻璃彩繪

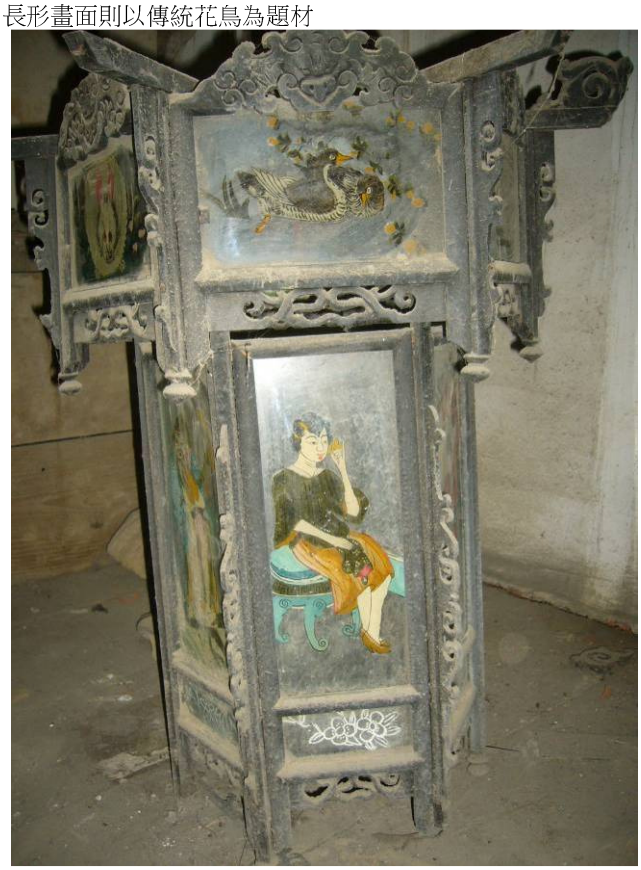
【圖 4-9-12】長生祿位牌木雕屏座四周均鑲玻璃彩繪

【圖 4-9-13】鑲嵌有玻璃彩繪的梳粧台



【圖 4-9-2】仕女及西洋風景畫是最常使用的題材，鏡面兩側狹長形畫面則以傳統花鳥為題材

【圖 4-9-15】宮燈上以兔子，下則八仙人物為題材



【圖 4-9-3】宮燈上以鴛鴦，下則時尚仕女為題材

【圖 4-9-17】前廳後屏龍邊門上的玻璃彩繪

【圖 4-9-4】前廳後屏虎邊門上的玻璃彩繪

（三）修復建議

多數作品保存狀況良好，但因為整體環境太潮濕後廳神龕左右下緣處部分有嚴重剝落、脫漆現象，由其背後觀之，平板玻璃繪製完成先以紙張包住，有的紙張可看出是使用報紙，安裝後再以木板固定保護，現場木板材固定良好的大多保存狀況較佳，木板佚失者其紙張及作品長期曝露在潮濕的空氣中，導致紙張脆化及粉末化【圖 4-9-20】。依現況判斷，保存良好者維持原樣作簡單清理則可，但須改善整體環境並定期除濕，背紙及背板佚失者則進行漆料修補及背後保護層新作；但整體畫面剝落受損過高者，經向劉沛後人羅文祥先生請教，建議此類作品則採原件保存或請專業修護作彩繪加固，使不再惡化的處理，以免修繕過程中反而破壞原貌，致使原作的珍貴宕然無存。

【圖 4-9-5】剝落較為嚴重者

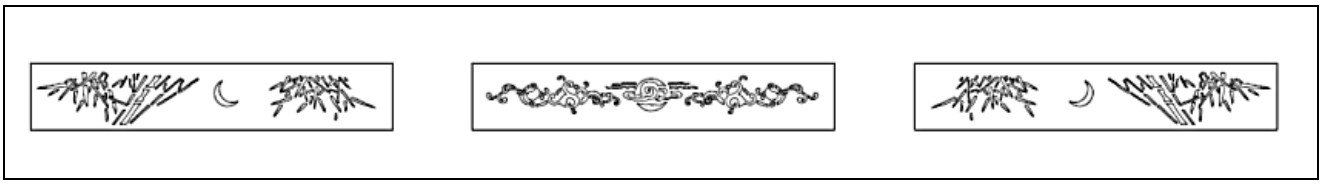
【圖 4-9-20】左圖的背面可見板材不存，背紙粉狀化

【圖 4-9-21】玻璃彩繪背後以板材封住保護

【圖 4-9-22】部分背紙可見有字體，採用的是報紙

四、欄間

位於張天機宅中庭的欄間，為日式建築內部空間的元素，在此形成了閣樓空間的通氣口和採光。由一進入中庭，圍繞於四周的簷廊，各有五幅不同的畫，每一開間有三幅，以中軸為中心左右對稱。一進以日雲畫的欄間為中心軸，對稱月竹；左右次間之欄間則以繁花、菊、蓮為樣式。二進簷廊之欄間則以鶴來（賀來）及幾何花為為中心軸，左右欄間有為花鳥、竹蘭。左右護龍樣式較為簡單，僅有兩種圖飾，為幾何花式與長形。

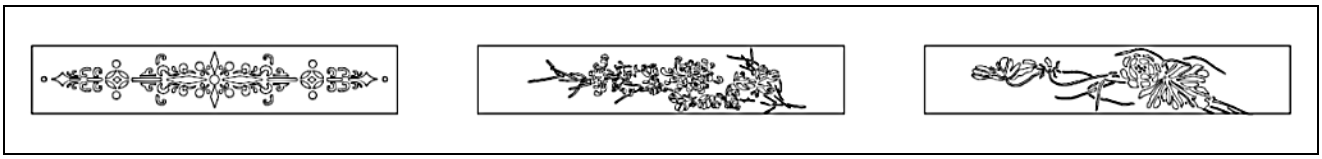


【圖 4-9- 23】一進後步廊，中間簷廊下的欄間

【圖 4-9- 24】左右護龍私廳簷廊下的欄間，為簡單的花飾

【圖 4-9- 25】一進明間之簷廊欄間，以日雲為中心

【圖 4-9- 26】一進明間之簷廊欄間，左右以月竹對稱

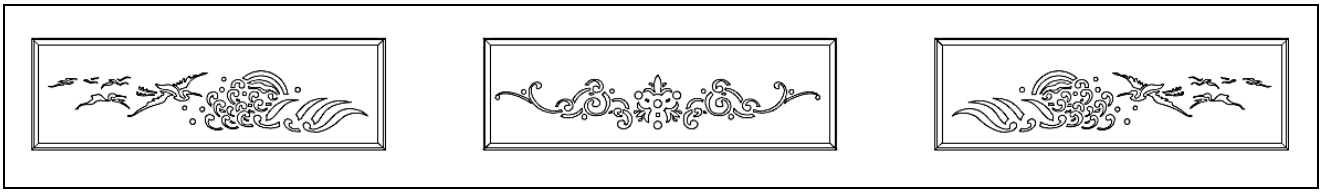


【圖 4-9- 27】一進後步廊右次間簷廊下的欄間

【圖 4-9- 28】繁花樣式

【圖 4-9-29】菊花樣式

【圖 4-9- 30】蓮花樣式

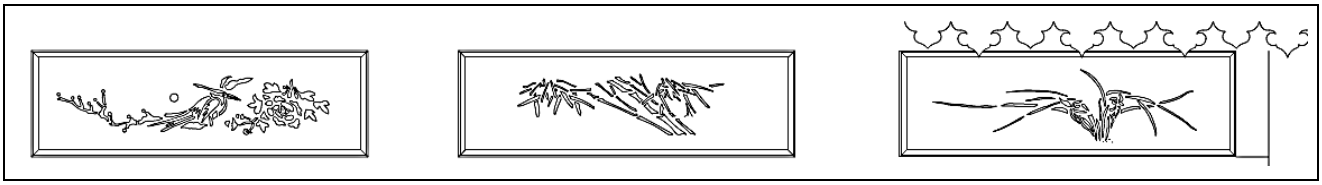


【圖 4-9-31】一進後步廊，中間簷廊下的欄間

【圖 4-9- 32】左右護龍簷廊花飾

【圖 4-9- 33】任其丟棄的洗石子家具

【圖 4-9- 34】放於左二護龍房內的供桌

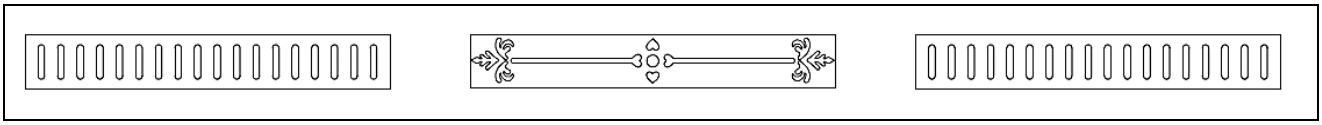


【圖 4-9- 35】二進後步廊，左右簷廊下的欄間，為花鳥、竹蘭

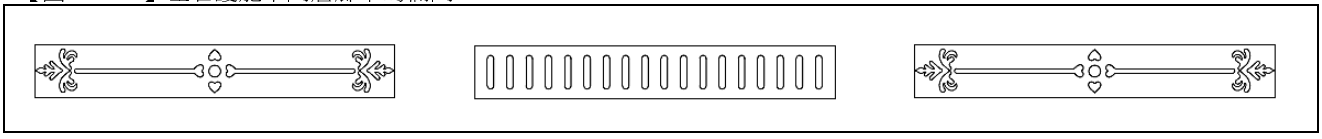
【圖 4-9- 36】二進次間簷廊下的欄間，蘭花樣式

【圖 4-9- 37】二進次間簷廊下的欄間，簷廊下的青竹樣式

【圖 4-9- 38】二進次間簷廊下的欄間，簷廊下的花鳥樣式



【圖 4-9- 39】左右護龍中間簷廊下的欄間



【圖 4-9- 40】左右護龍次間簷廊下的欄間

五、櫥櫃

張天機宅的櫥櫃約有三十四個，依其尺寸大小及形式，則可分為十二種，但實際上主要的有三種形式，第一種為有櫥框之外開窗扇，原色木，櫃內分為三層，為宅內最多形式，位於各房間。目前保存良好，僅部分有重漆油漆。第二種位於左二護龍第一間房，其櫥櫃尺寸為第一種的兩倍寬，為原木表面有鳥眼木紋圖飾為左右推拉的形式，目前保存良好。第三種主要位於廚房，為半透視之櫥窗，有細緻格子櫺，與宅內窗扇同形式，保存狀況良好，僅有部分表面有污漬灰塵。

【圖 4-9- 41】部分櫥櫃表面上漆

【圖 4-9- 42】原櫥櫃之窗扇與窗框

【圖 4-9-43】櫥櫃內部分為三層

【圖 4-9- 44】櫥櫃門扇有鳥眼木紋圖飾

【圖 4-9- 45】廚房櫥櫃為半透視，有井形的格條裝飾

【表 4-9-4】張天機宅櫥櫃調查表

編號	空間位置	櫥櫃編號（樓層-種類-數量編碼）	高	寬	深	離樓板（F.L）高	損壞狀況與保存
1	一進	CB1 -1	60	63.5	36	110	原木開拉窗保存良好，五金遺失
2	一進	CB1 -2	60	63.5	36	110	原木開拉窗保存良好
3	一進	CB2-1	121	81	36	115	原木開拉窗保存良好，五金遺失
4	一進	CB2-2	121	81	36	115	原木開拉窗保存良好，表面上油漆
5	一進	CB3-1	238	77	36	54	原木開拉窗保存良好
6	一進	CB3-2	238	77	36	54	原木開拉窗保存良好，表面上油漆
7	一進	CB4-1	105	81.5	36	113.75	原木開拉窗保存良好
8	一進	CB4-2	105	81.5	36	113.75	原木開拉窗保存良好
9	左一護龍	CB5-1	105	81.5	35	125	原木開拉窗保存良好
10	左一護龍	CB5-2	105	81.5	35	125	原木開拉窗保存良好，五金遺失
11	左一護龍	CB5-3	105	81.5	35	125	原木開拉窗保存良好
12	右護龍	CB5-4	105	81.5	35	125	原木開拉窗保存良好，表面上油漆
13	右護龍	CB5-5	105	81.5	35	125	原木開拉窗保存良好
14	右護龍	CB5-6	105	81.5	35	125	原木開拉窗保存良好，五金遺失
15	二進	CB5-7	105	81.5	35	125	原木開拉窗保存良好
16	二進	CB5-8	105	81.5	35	125	原木開拉窗保存良好，五金遺失
17	二進	CB5-9	105	81.5	35	125	原木開拉窗保存良好
18	二進	CB5-10	105	81.5	35	125	原木開拉窗保存良好
19	二進過水間	CB5-11	105	81.5	35	125	原木開拉窗保存良好，五金遺失
20	左一護龍	CB6-1	117	64	36	120	原木開拉窗保存良好，表面上油漆
21	左一護龍	CB6-2	117	64	36	120	原木開拉窗保存良好，五金遺失
22	右護龍	CB6-3	117	64	36	120	原木開拉窗保存良好
23	右護龍	CB6-4	117	64	36	120	原木開拉窗保存良好，五金遺失，表面上油漆
24	一進	CB7-1	60	38	24.5	113.5	原木開拉窗保存良好
25	一進	CB7-2	60	38	24.5	113.5	原木開拉窗保存良好
26	一進	CB8-1	115	121	34.5	85	原木推拉窗，有鳥眼木紋，保存良好
27	一進	CB8-2	115	121	34.5	85	原木推拉窗，有鳥眼木紋，保存良好
28	一進	CB9-1	115	185	34.5	85	原木推拉窗，表面有上漆
29	左外護龍廚房	CB9-2	115	185	34.5	85	原木推拉窗，表面有上漆
30	左外護龍廚房	CB9-3	115	185	34.5	85	原木推拉窗，表面有上漆
31	左外護龍廚房	CB10-1	115	121	34.5	85	原木推拉窗，表面有灰塵污漬
32	左外護龍廚房	CB10-2	115	121	34.5	85	原木開拉窗
33	左外護龍廚房	CB11	86.5	61	29.5	114	原木開拉窗保存良好
34	左外護龍廚房	CB12	60	53	29.5	54	原木開拉窗保存良好

第十節 家具及文物

張天機宅第遺留自清代、日治、光復後及民國六ｏ年代的重要文物資料，可謂是臺灣一部生活史、文化史及工藝史。不僅種類多元，材質亦相當豐富，其工藝精巧足以代表不同年代的造詣與文化。放置在閣樓中的文物，唯環境較為惡劣，應於此次調查研究後，立即啟動文物清理和維護計畫。本研究只是文物調查之開端，文物的建檔實乃一個重要的工程，必須設立一個專案文物清理計畫，才能完整呈現張家宅第早期的文化、工藝美學。待未來建築本體修復時，文物亦被妥善清理與維護，放置在建築空間內，呈現另一面向的家族生活史。

依據宅第的現況調查，所有文物大致堆放於一樓室內空間、一進和二進中庭以及屋頂閣樓等三個區域居多。一樓室內空間主要為家具類文物居多，部分家具仍繼續使用中【照 4-10-1、2】；屋頂閣樓堆置大量的器物，種類繁多，包括有家具、器具、地契文書、衣服和服飾等，大部分為家族祖先遺留下來的文物，並存放相當長的時間，目前無使用的需求，而被堆放在閣樓中【照 4-10-3】。

所有的文物，依據時間分類，可分為清代、日治、光復後以及民國六ｏ年代。能夠清楚標示出年代者大部分為紙類文書。

根據調查及統計分類，文物依據材質不同，可分為十一大類，分別為木、紙、竹、藤、陶、皮、鐵、瓷、布、金屬、玻璃等。其中以木質、紙質、竹編和布類為最大宗。宅第初步的文物調查分類如【表 4-10-1】所示。

【圖 4-10- 1】大廳目前正使用之神桌與上、下桌

【照 4-10-2】屋頂閣樓堆放的器物(略顯雜亂)

依照下述文物約可分為家具、器具、地契文書、衣服和服飾等，如下簡述。（文物清查狀況，詳附錄四）

【表 4-10-1】－張天機宅第文物調查明細

材質	文物種類	空間存放位置
木	家具、器具、宮燈、衣帽架、衣箱、椅條、桌、床架、古箏、門扇、皮箱、椅、桌櫃、洗臉盆、雕畫、音響、蓋頭櫃、電視、帽箱、書桌、木櫃、工具箱、時鐘、衣帽架、梳妝台、牲品架、水桶、蒸籠、鏡台、針線盒、木門、洋琴、二胡、鏡屏座、神桌、八仙桌、書櫃	一樓室內空間、屋頂閣樓
紙	手稿、清代地契、日治地契、印刷品、財產帳冊、收納盒、日文參考書、教科書、相片、地圖、明信片、慶賀匾、家書、火柴盒、證件、卷軸、剪紙	屋頂閣樓
竹	竹簍、竹椅、賽鴿籠、茶几、竹篩、竹燈籠、嬰兒床、茶壺籃、竹籃	屋頂閣樓
藤	藤椅、藤衣箱、藤箱	屋頂閣樓
陶	陶缸、水缸、綠釉花椅	一樓室內空間、屋頂閣樓
皮	皮箱	
鐵	手工具、鋸子、手工機具	一樓室內空間、屋頂閣樓
瓷	碗、盤、洗臉架	屋頂閣樓
布	布料、衣服、八仙彩、桌裙、祝賀布簾、居家衣服、服飾、帽子、鞋子	屋頂閣樓
金屬	咖啡壺、電風扇、獎杯、獎牌、水壺、油燈架、鋼琴、薰香盒、燭臺、武士刀	屋頂閣樓
玻璃	鏡子、牛奶燈具、宮燈、油燈	屋頂閣樓

一、家具:

張天機宅遺留許多文物及舊家具，其中最多的家具為洗石子家具，主要放置於屋內，多為供桌與飯桌，其二為放置於戶外的多為景觀家具，有從一進入口至二進廳堂的花盆，共三對（詳測繪圖-景觀家具 A25 ，A26）以及一對魚池；而位於步廊下有三對座椅，但兩座洗水台，一個位於一進的精緻泥塑洗手台，一個位於二進左過水間前的洗手台。其他另有精細之木雕家具，如一、二進的供桌與「紅眠牀」及位於一進左右次間的祖父鐘、保險櫃。

二、器具：

有早期張家人陶冶身心的樂器古箏以及其他等樂器。現均放置於閣樓蒙塵，或本身器具已損壞被放置於閣樓，；另有早期放置於廳堂的宮燈和當時的主入口的門牌等。目前這些文物部分放張宅閣樓，部分由張家子孫保管。

【圖 4-10- 3】精緻的洗石子洗面台

【圖 4-10- 4】任其丟棄的洗石子方桌

【圖 4-10-5】放於左二護龍房內的供桌

【圖 4-10- 6】精緻的木製梳妝台

【圖 4-10- 7】洗石子魚池

【圖 4-10- 8】一進入口的兩側花盆

【圖 4-10- 9】中庭花台

【4-10- 10】二進入口的洗石子座椅

【圖 4-10- 11】位於一進次間的祖父鐘及保險櫃

三、地契文書：

舊照片與地契文書為此宅相當重要的物品，目前均由張家人保存。另也有記錄當時收租之帳冊，參加日治時期的組合會社，以及捐贈地方公益之收據；亦有日治時期的課本、明信片，獎狀，個人擔任機關之任職令等等。是撰寫此家族重要之史料。

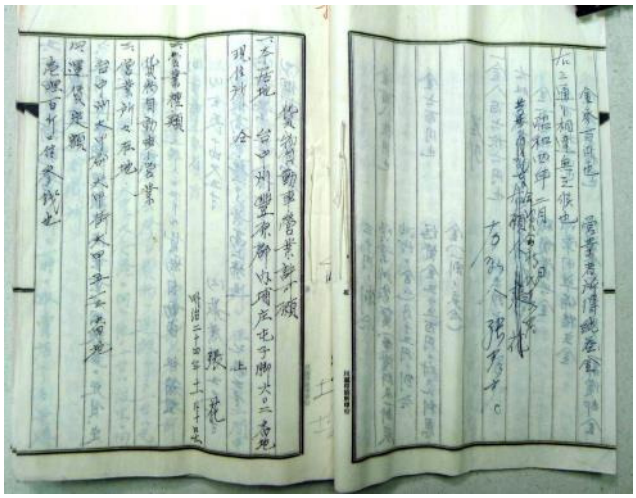
四、其他衣服和服飾等

為早期家族之生活用品與衣物，是張天機及其四個兒子早期生活的顯現，有古老的籐箱、皮箱、大衣、早期的嬰兒車甚至更有，裹小腳所用的纏布工具，以及張家日治時期商號張三嶔的掛布，四房之子參加烏坵海戰之布簾等，目前各物品依各房所之使用空間，堆放於其上的閣樓。

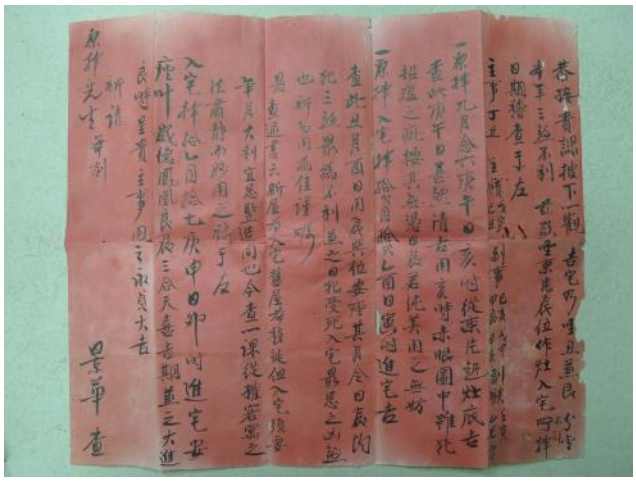
張宅大多將文物放置於閣樓，目前應有鋼棚架保護，屋頂損壞所造成的漏水現象已無，故文物需立即處理的狀況已消失，重要之文件則由張家人保管。

【圖 4-10- 12】早期的門牌

【圖 4-10-13】玻璃宮燈



【圖 4-10-14】家族收租帳冊



【圖 4-10-15】入戶祈求的紅紙

損壞狀況：

1. 放置於屋頂閣樓的文物，由於近年受到屋漏滲水影響，許多文物或器具受水分影響而產生腐朽、開裂。此外，閣樓內因空氣流通，大部份的文物或器物皆有一層厚厚的粉塵。

2. 在室內一樓的家具文物，部分仍使用中，如大廳的神桌、寢室家具等，目前現況仍完好，並無發現腐朽或蟲蝕的痕跡。唯二進廚房以及早期的洗衣空間區域，受到屋漏及水分的影響，許多家具已生腐朽和蟲蛀現象。

3. 以材質觀察，生物性材料如木材、紙張、竹、藤等，這類材質文物容易受天候或生物因子作用，而產生不同程度的劣化，特別是紙類文物。

4. 據觀察分析，紙類文物受濕氣和早期屋漏影響，部分文書資料已產生肉眼可見的劣化，如受潮、水漬、腐朽等；其次是木質文物。而陶、瓷類文物材質為無機物，受天候和生物因子影響甚小，部分金屬類文物因濕氣作用而產生鏽蝕現象。

修復建議：

（一）文物清冊建立

張天機宅第的文物種類繁多，具有文化及珍貴的價值，然現況絕大部分被堆放在屋頂閣樓中，未能詳細記錄與造冊；再加上現有張家子孫恐無人力和專業作文物建檔工程。為避免文物於不良環境中劣化而消失殆盡，同時在未來宅第修復過程中能妥善保存文物，避免施工過程中遺失，目前宜建立相關文物的清冊，以作為後續文物建檔之參考依據。

（二）珍貴文物的釐清

由於文物種類繁多，這其中也涵蓋了張家重要的文書資料、家具和相關器物，應作特別建檔與管理區隔工作。透過調查過程中，可將發現的重要文獻資料、照片等，預先轉交給張家子孫作妥善管理，並透過請教或諮詢方式，了解重要文物的名稱、緣起、用途等。作為後續文物清理時之重要標的物。另外一方面，除找出珍貴文物外，這些文物的現況應作適當描述，待後續清理時之持拿或管理之參考。

（三）階段性文物管理與維護

根據調查發現，宅第文物種類、材質和劣化現況不盡相同，為確立和維護文物的完整性，文物應作適當的管理機制，依據文物現況將文物分為：

1. 現況、現地保存
2. 簡易清潔、現地保存
3. 簡易清潔、覓地保存
4. 重度清潔、覓地保存
5. 緊急加固、覓地保存
6. 清潔、加固、覓地保存

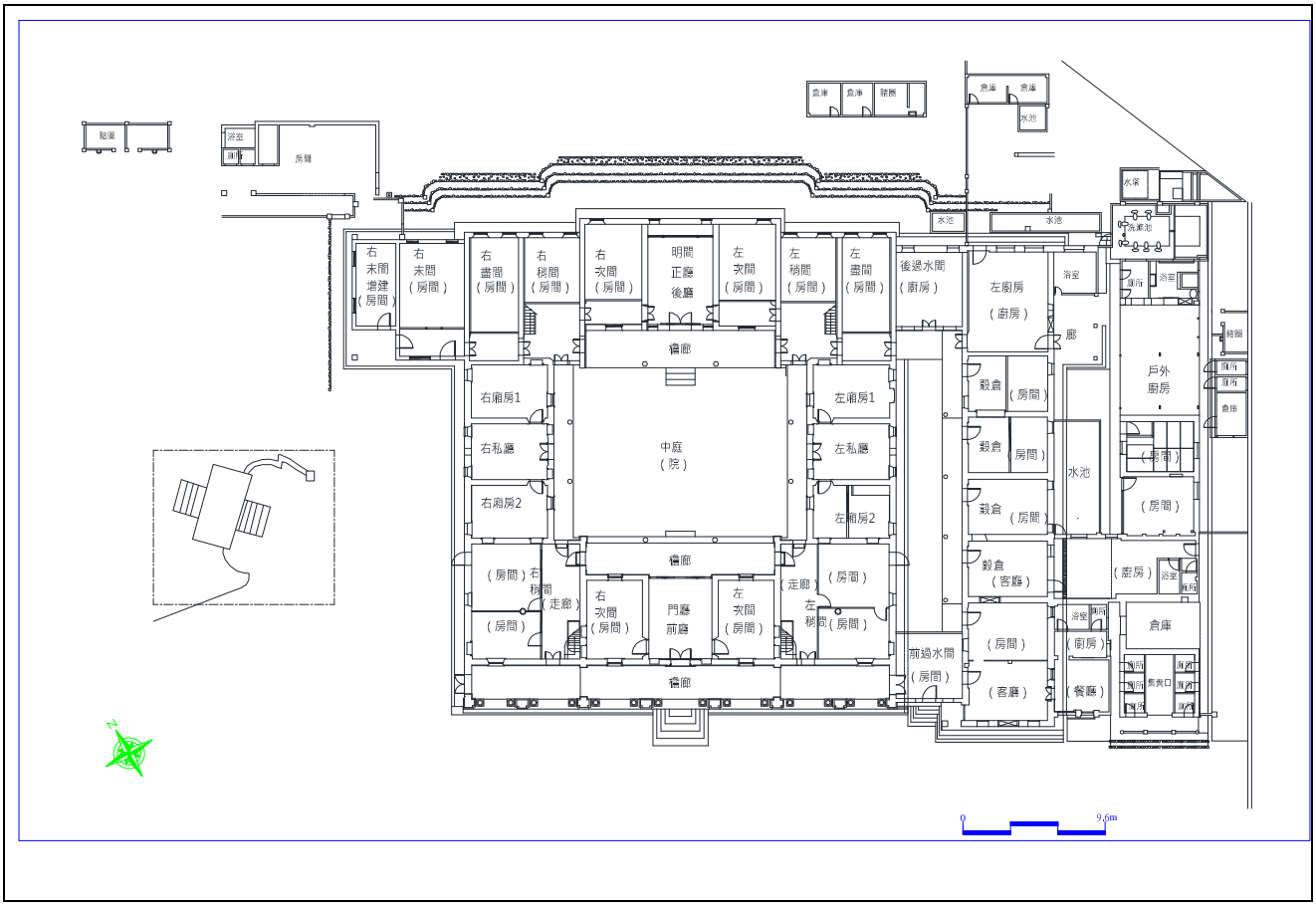
（四）專案文物調查與造冊

因此宅第的調查研究主要鎖定在建築本體上，故家族遺留下來的珍貴文物恐無法在本研究案中巨細靡遺的呈現出來；為完善建立相關文物資料，建議規劃一個完善的文物清理計畫，將文物造冊並遴選出珍貴文物，作為後續古蹟本體修復及家族文物呈現之重要參考資料。

第五章　結構系統及安全評估

張天機宅除前廊部分採 RC 構造外，整體建築主要屬紅磚及土坯砌體承重牆與擱檩式構造混合使用之結構系統。整個建築群主要依循中軸線對稱，並採座北朝南的方式配置，其全區平面配置圖如【圖 5-1-1】所示。

張天機宅各棟均為磚及土坯砌體構造之建築物，2 樓部分採木樓板，牆體底部為卵石牆基。有關各棟建築物之構造與現況，另於各節做進一步敘述與說明。



【圖 5-1-1】張天機宅全區平面圖

第一節 結構系統

一、 結構系統傳力機制

張天機宅整體建築主要屬土埕砌體承重牆與擱檩式構造混合使用之結構系統。因此，在分析結構系統傳力機制時，以承重牆與擱檩式構造為代表進行討論。

1. 垂直載重傳遞機制

擱檩式無大木構架系統，因此受垂直載重作用時，屋頂重量主要是由土埕砌體山牆負擔，部分則由背牆承擔。屋頂之垂直載重係經由楹、樓板樑傳至牆體，再由牆體傳遞至基礎。

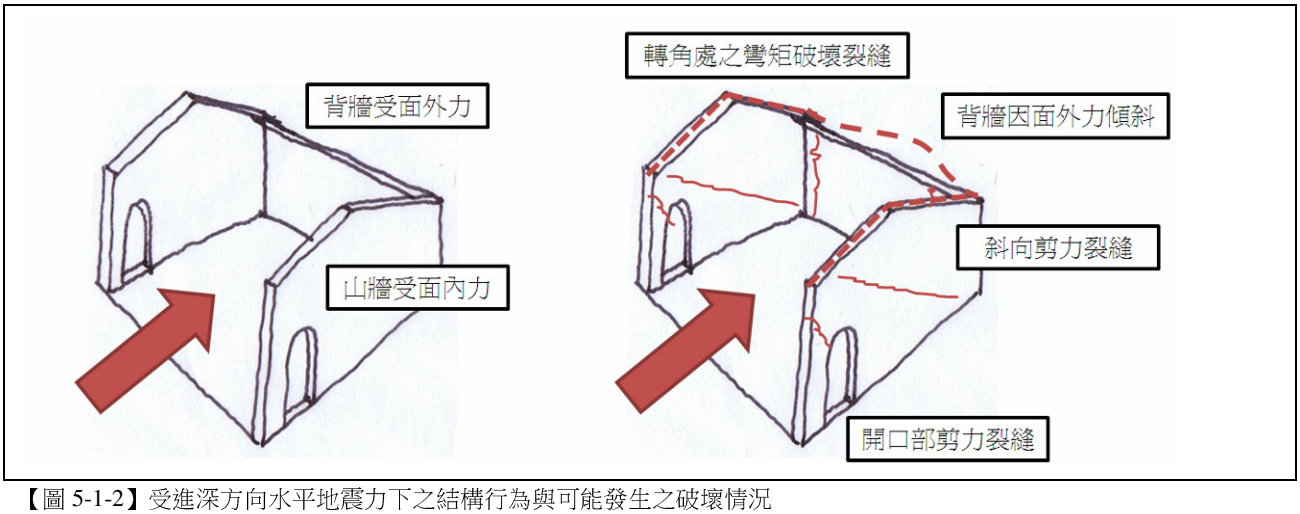
2. 水平載重傳遞機制

水平載重主要是由地震力造成，而地震力是經由地表加速度的作用，對建築物產生之慣性力，且地震力的大小與質量成正比。其水平地震力主要由紅磚或土埕砌體山牆與背牆抵抗，再由牆體傳遞至基礎，其力學的傳遞路徑依序為：屋頂→牆體→基礎。

二、 耐震不利因素與目前修復補強方式

當張天機宅之建築物受到水平地震力作用時，水平力由大木構架與土埕砌體牆共同承擔(左、右學舍則以土埕砌體牆承擔)，由於土埕砌體牆剛度遠大於大木構架，因此土埕砌體牆分配到大部分之水平力。然而在受到不同方向地震力作用時，其主要牆體之傳力機制及力學行為並不相同。故以下將水平力分成進深方向與面闊方向進行討論：

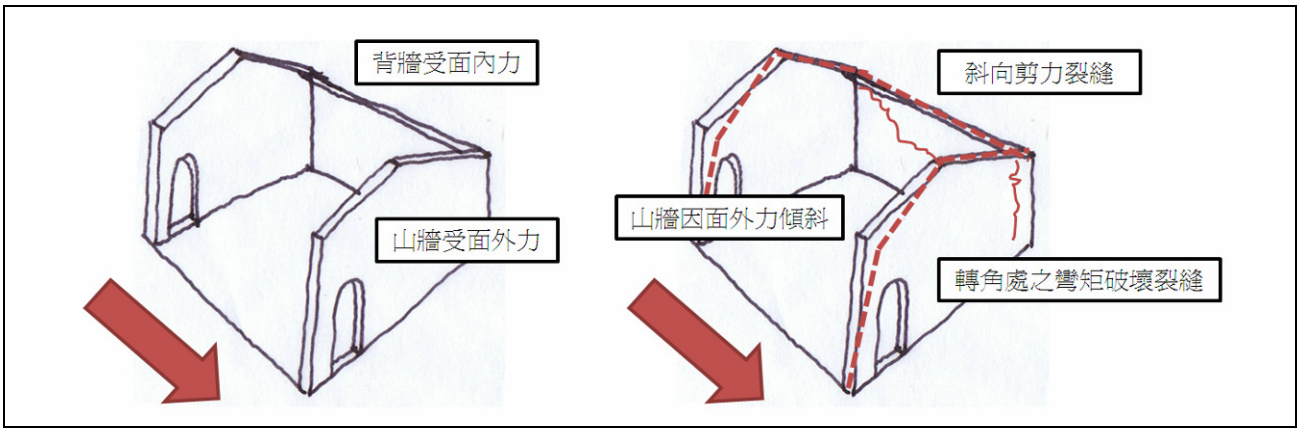
受進深方向水平力作用時，左、右山牆承受面內剪力以承擔大部分水平力，易於開口部產生斜向之剪力裂縫，背牆則承受面外力，易於轉角處產生垂直裂縫。



【圖 5-1-2】受進深方向水平地震力下之結構行為與可能發生之破壞情況

受面闊方向水平力地震力作用時，主要由背牆受面內剪力來承擔，背牆容易產生斜向之剪力裂縫。而山牆則受面外力作用，山牆之一端為自由端，容易產生較大之變形，另一端與背牆相接，在轉

角處可能因受到彎矩而產生垂直裂縫。



【圖 5-1-3】 受面闊方向水平地震力下之結構行為與可能發生之破壞情況

另外，由於土坍牆材料係固結之泥土，具有抗壓功能，但抗拉、抗剪能力不足，因此土坍砌牆體在地震力作用下，易產生脆性破壞。且當土坍牆超過一定長度缺乏面外方向(即與土坍牆面正交方向)之牆體協助抵抗水平地震力，易產生面外撓曲破壞，甚至傾倒。

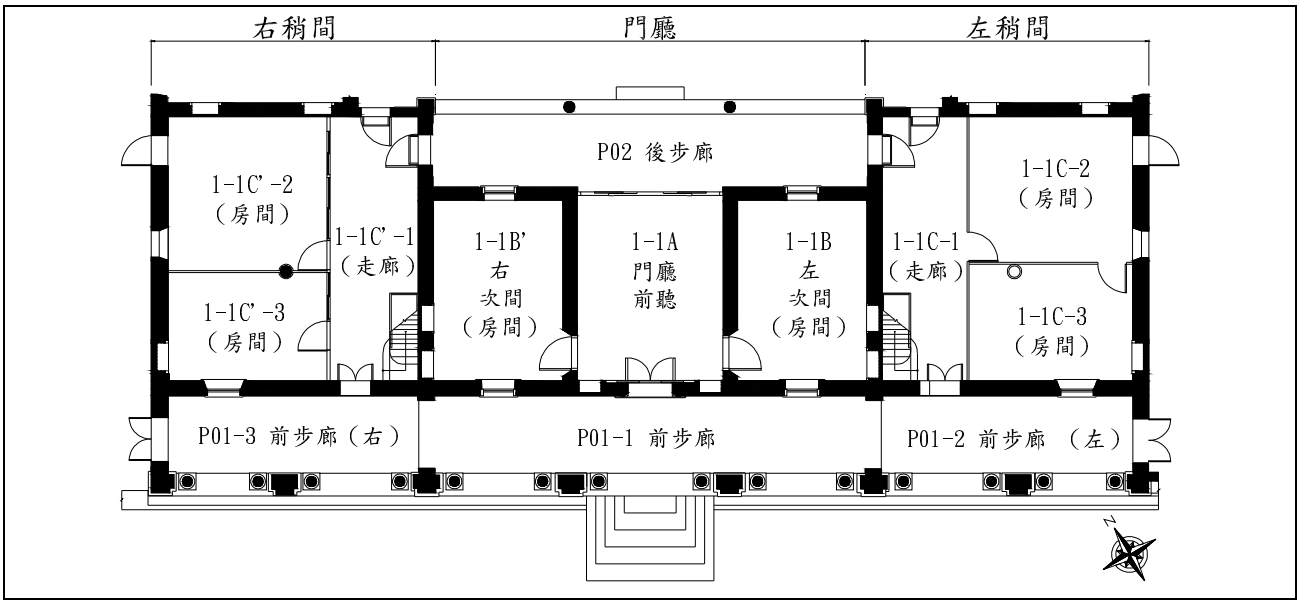
為避免上述之耐震不利因素，故於修復階段，張天機宅各棟建築物之室內牆面皆採不銹鋼絲網貼覆補強，鋼絲網規格為#18(線徑 1.2mm)或#16(線徑 1.6mm)，網目間距則均為 1/2”結。關於各棟之補強位置另於各節做進一步敘述與說明。

牆體補強之主要概念為藉由鋼絲網之拉張強度及韌性來改善土坍牆於地震時脆性破壞之缺點，並且增加其韌性及面內、面外之耐震能力；可避免受到面外力作用時，牆體之接合介面產生分離、脫開的情形，並將兩向牆體拉繫住，提高建築物整體之耐震性能。另外，於室內牆體施作不銹鋼絲網補強，即可利用其粉刷層使鋼絲網與斗砌磚結合為一體，亦不會造成外觀上的改變。

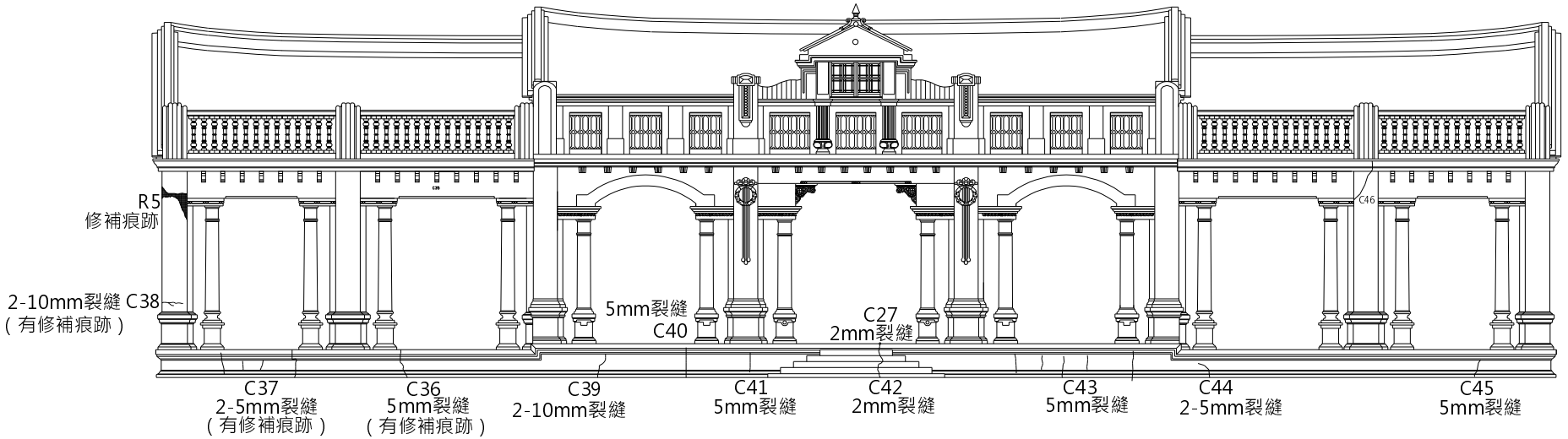
第二節 現況損壞調查

一、 前廳

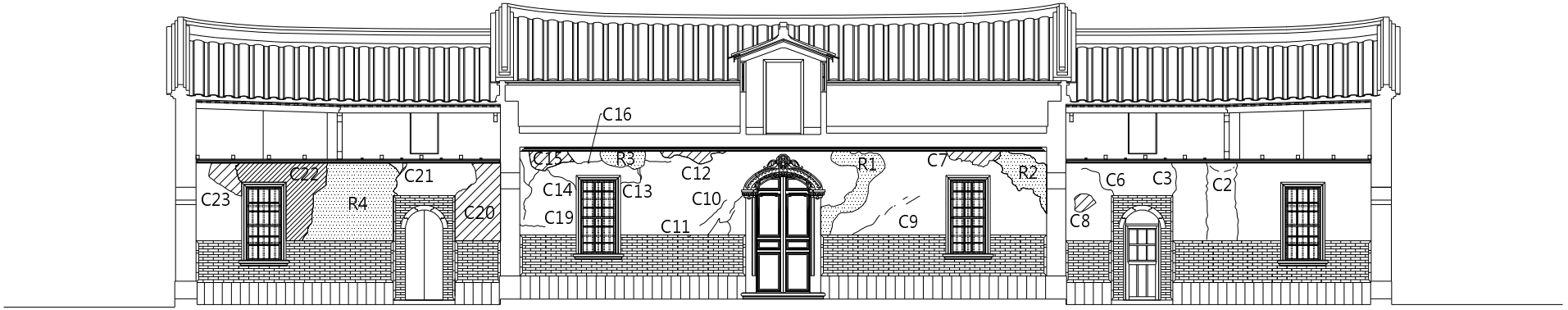
前廳建築群包含門廳、左稍間、右稍間與前後步廊等空間【圖 5-2- 1】，主要的破壞紀錄集中於前步廊兩側之牆面。前步廊南面牆面外側（南側）【圖 5-2- 2】，裂縫 C37~C45 為廊道下部垂直裂縫，研判可能為基礎不均勻沉陷所造成，牆體中間基礎下陷，使牆體下部無法承受過大張應力造成局部垂直裂縫。前步廊北向牆面【圖 5-2- 3】之 C3、C6、C13、C14、C20、C21、C22、C23 等開口部角隅裂縫，研判為東西向地震造成之面內破壞，其中 C22 破壞有面外錯動。C2 垂直裂縫研判為建築物經南北向地震受彎造成之面外破壞。另由修補痕跡 R1、R2 研判，該處亦為面內角隅裂縫。



【圖 5-2- 1】前廳建築群



【圖 5-2- 2】西南向立面圖（正立面）

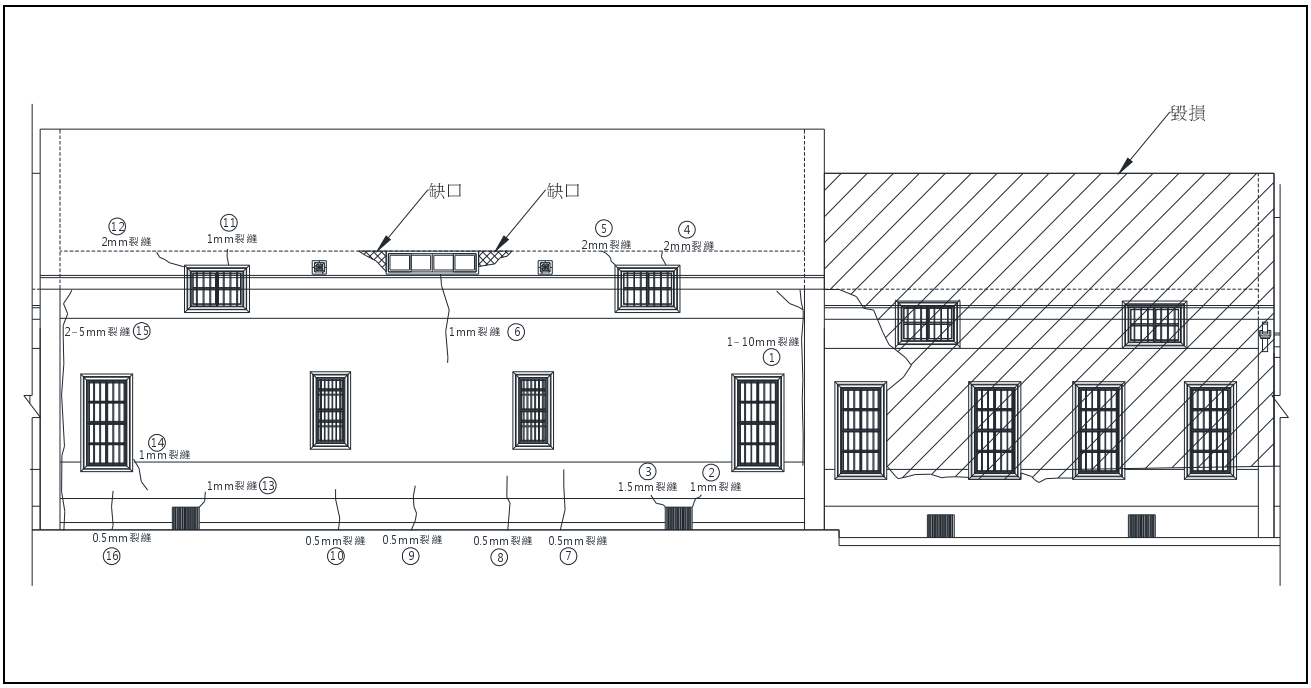


對照表					
損壞				修補	
C2	3mm裂縫	C15	粉刷剝落	R1	修補痕跡
C3	3mm裂縫	C16	0.5mm裂縫	R2	修補痕跡
C6	3mm裂縫	C17	0.5mm裂縫	R3	修補痕跡
C7	粉刷剝落	C18	3mm裂縫	R4	重新砂漿粉刷
C9	1mm裂縫	C19	0.5mm裂縫		
C10	0.5mm裂縫	C20	網狀裂縫		
C11	2mm裂縫	C21	10mm裂縫		
C12	粉刷剝落	C22	粉刷剝落，可見土磚		
C13	2mm裂縫	C23	粉刷剝落		
C14	2mm裂縫				

【圖 5-2- 3】前步廊北側牆面損壞情形(依序為右稍間、右次間、門廳、左次間、左稍間)二

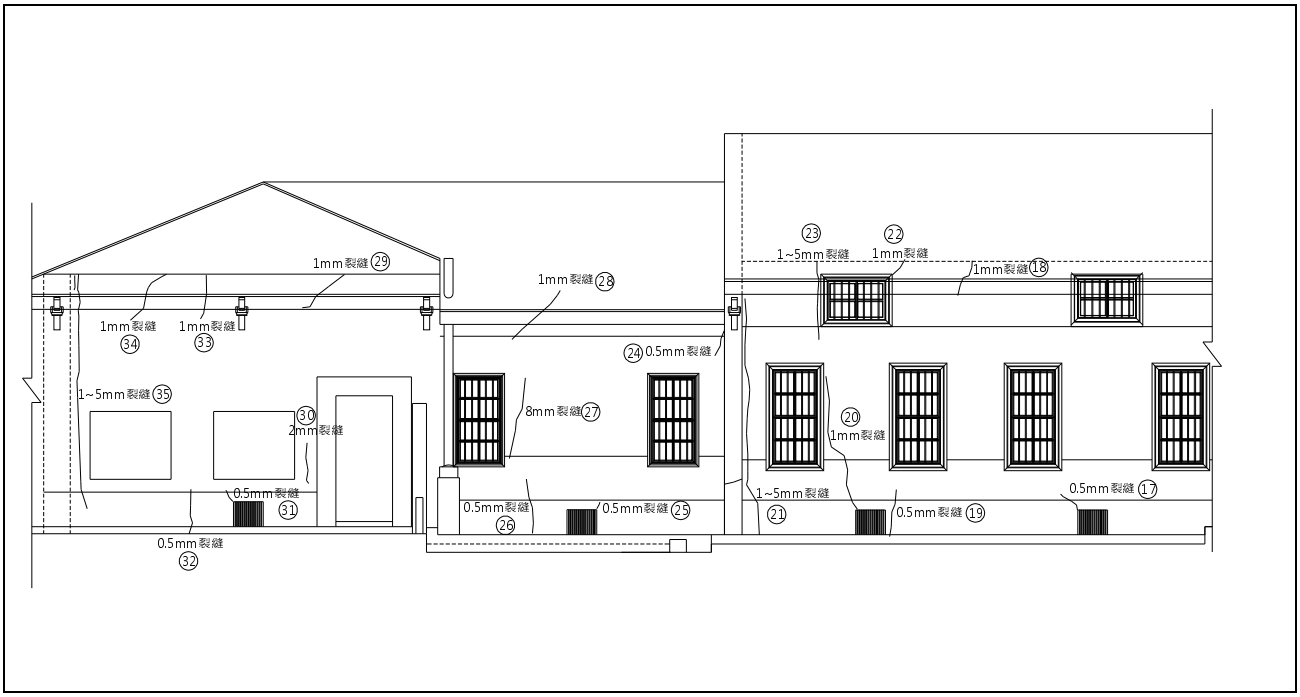
二、後落建築

後落建築物北側牆面室內外均有明顯之垂直及斜向裂縫，左次間至右盡間之牆面詳【圖 5-2- 4】，其中右稍間與右盡間現況已倒塌毀損。左、右次間之磚柱與土坱磚交接處有垂直裂縫①、⑮，研判可能為磚、土材質介面沒有交丁，牆體受南北向面外地震力作用下，磚、土脫離產生垂直裂縫。次間與正廳牆面之斜向裂縫②、③、⑤、⑫、⑬、⑭發生於開口部且由主要裂縫發展方向研判是右稍間與右盡間已倒塌，造成牆體西側無支撐，當東西向面內地震力作用時，屋頂向西變形較大，加上牆體開口部會有應力集中現象，使開口部先開裂並產生由西往東斜上發展裂縫。裂縫⑥為牆體中間上部垂直裂縫，發生原因為牆體承受南北向面外地震力時產生撓曲破壞，過大之張應力使土坱牆產生垂直裂縫。裂縫⑦~⑩為牆體中間下部垂直裂縫，研判可能為基礎不均勻沉陷所造成，牆體中間基礎下陷，使牆體下部無法承受過大張應力造成局部垂直裂縫。



【圖 5-2- 4】後落北側立面圖(依序為左次間、正廳、右次間、右稍間、右盡間)

後落建築物北側左稍間至左廚房之牆面詳【圖 5-2- 5】，牆面發生斜向裂縫⑰、⑱、㉒、㉔、㉗、㉘、㉙，由裂縫發展方向，研判是建築物高度由西往東逐漸降低，當牆面受東西向面內地震力作用時，屋頂向西變形時會受西側較高建築支撐，減少屋頂向西變形，因此屋頂向東會有較大變形。裂縫㉓、㉝、㉞為牆體中間上部垂直裂縫，發生原因可能為牆體承受南北向面外地震力時產生撓曲破壞，過大之張應力使土坱牆產生垂直裂縫。裂縫⑲、⑳、㉖、㉜為牆體中間下部垂直裂縫，研判可能為基礎不均勻沉陷所造成，牆體中間基礎下陷，使牆體下部無法承受過大張應力造成局部垂直裂縫。左盡間及左廚房之磚柱與土坱磚交接處有垂直裂縫㉑、㉟，研判可能為磚、土材質介面沒有交丁，牆體受南北向面外地震力作用下，磚、土脫離產生垂直裂縫。



【圖 5-1-【圖 5-2- 5】後落北側立面圖(依序左廚房、後過水間、左盡間、左稍間)

三、左外護龍建築

左外護龍之西側牆面詳【圖 5-2- 6】及【圖 5-2- 7】所示，本側牆面出現大量斜向裂縫。裂縫①為水平裂縫，可能為土坍牆受面內南北向地震力作用時，局部灰縫之抗剪強度無法承受地震力，造成水平裂縫發生。裂縫③為垂直與斜向裂縫並發生於門框旁及角隅處，由於門框與土坍牆材質不同，且兩者接合處並無交丁，因此當牆體受東西向面外地震力作用時，門框與牆體容易脫離並產生垂直裂縫，此垂直裂縫鄰近窗角，當南北向面內地震力作用時，屋頂產生變形，應力集中於窗角，使窗角開裂並產生角隅斜向裂縫，並與裂縫③之垂直裂縫連結一起。裂縫④、⑥為斜向裂縫，研判為南北向面內地震力作用下，使窗口角隅產生應力集中現象，進而開裂產生斜向裂縫。裂縫⑤為牆體上部垂直裂縫，發生原因應為牆體承受東西向面外地震力時產生撓曲破壞，使土坍牆產生垂直裂縫。

【圖 5-2- 6】左外護龍西側立面圖(依序左廚房、穀倉、穀倉)

裂縫⑦、⑧、⑨、⑩、⑪均屬為開口角隅斜向裂縫，詳【圖 5-2- 7】，當南北向面內地震力作用時屋頂產生變形，加上牆體開口部會有應力集中現象，使裂縫先於開口部開裂並產生角隅斜向裂縫。

【圖 5-2- 7】左外護龍西側立面圖(依序穀倉、穀倉、房間、客廳)

第三節 耐震評估方法

一、耐震評估方法

西元 1935 年中部發生墩仔腳大地震，當時后里庄建物大半夷為平地，而本宅亦受損。嗣於民國 88 年 921 大地震發生後，有部分受損，大部分主體仍尚完好。

目前國內並無專門針對土坯建築物發展出相關之耐震評估方法，故本案引用張嘉祥等(2007)之研究報告，該報告係參考國外學者 Vera, R. et al. (2000)，針對土坯建築物較常發生之破壞模式：剪力破壞、彎矩破壞，並根據我國【建築物耐震設計規範及解說】(2011)做部分修正來進行評估。

另外，由於在受到不同方向之地震力作用時，其主要牆體之傳力機制及力學行為並不相同，因此，評估時依牆體受力之不同分成面內及面外兩部分，並經由本評估方法計算並預測土坯建築物對抗剪力破壞及牆面撓曲的行為是否產生裂縫，主要評估步驟如下：

1. 面內－剪力耐震評估

（1） 計算建築物之基底剪力：

基底剪力根據「建築物耐震設計規範及解說」，計算方式如下：

$$V = \frac{S_{aD} \cdot I}{1.4 \cdot \alpha_y F_u} \cdot W = C.S. \times W$$

式中：

V ：基底剪力

S_{aD} ：工址設計水平譜加速度係數

I ：用途係數

α_y ：起始降伏地震力放大係數

F_u ：結構系統地震力折減係數

$C.S.$ ：水平地震力係數

W ：建築物全部淨載重

（2） 結構體淨載重：

$$W = W_{roof} + W_{wall} = A \times q + (\Sigma L_x + \Sigma L_y) \times \gamma \times H \times t$$

式中：

A：建物樓地板面積

q：單位面積屋頂重量

γ：土坯單位體積重量

H：窗台線以上之高度

t：牆厚

（3） 土坍牆對於面內地震力之抵抗力：

$$V_r = \tau \times \Sigma L_i \times t$$

式中：

V_r：土坍牆總抗剪力

τ：土坍牆抗剪應力

ΣL_i：地震力方向的牆體總長。若總長低於 1.3m 則予以忽略

t：牆厚

（4） 剪力耐震安全指數 Io：

土坍構造抵抗面內剪力破壞的安全係數，可被視為抗剪力 V_r 與建物所受剪力 V_u 的比值，即 $I_o = \frac{V_r}{V_u}$

2. 修正因子

針對剪力破壞及牆面彎曲，本評估方法定出其安全係數（I_o），I_o 值越高，表示建築物愈安全，I_o 值越小表示越不安全，其值小於 1.0，表示容易受到破壞而產生裂縫。評估方法需要考量結構體受到風雨造成的材料變質、結構系統的不規律性及材料品質不佳等因素，皆會造成安全係數的降低。

（1） 變質因子（Fd）：

$F_d = 1.0$，結構未變質時

$F_d = 0.8$，結構稍微變質（低於 20% 的材料變質）

$F_d = 0.6$，結構嚴重變質（超過 20% 的材料變質）

（2） 規律性因子（Fr）：

Fr＝1.0，結構規律

Fr＝0.8，結構稍不規律（低於 20% 的尺寸不規律）

Fr＝0.6，結構不規律（超過 20% 的尺寸不規律）

（3） 品質因子（Fc）：

Fc＝1.0，構造品質極佳

Fc＝0.8，構造品質規律

Fc＝0.6，構造品質不佳

綜合以上修正因子（FR）可被估計為 $FR = F_d \times F_r \times F_c$，而整個土坍砌體構造的安全程度則降為 $I = I_o \times FR$ 。

3. 面外－撓曲破壞評估（山牆）

（1） 山牆在面外地震力作用下，底部所受彎矩：

$$M_u = C_s \times W_{roof} \times h/2 + C_s \times W_{wall} \times h/3$$

式中：

Cs：地震力係數

W_{roof}：屋頂載重

W_{wall}：牆體本身載重

h：山牆高

（2） 牆體斷面模數 S 與其所受之軸壓應力 W/A：

$$S = \frac{I}{t/2} = \frac{bt^3/12}{t/2} = \frac{bt^2}{6} \quad ; \quad W/A = q \times L/A$$

式中：

b：土坯牆長度或高度

t：土坯牆厚

q：作用於單位長度牆體的全部重量

L：牆體總長

A：有效斷面積

（3） 面外撓曲應力檢核：

檢討其所受之撓曲拉應力 f_t 是否超過最大容許拉應力，其計算公式如下：

山牆底部之面外撓曲拉應力：$f_t = \frac{M_u}{S} - \frac{W}{A}$

4. 面外－撓曲破壞評估（山牆下方矩形牆體及長向牆體）

（1） 牆體在橫向地震力作用下所受彎矩 M_u：

$$M_u = \frac{I}{1.4\alpha_y}\left(\frac{S_{aD}}{F_u}\right)_m \frac{q \cdot x^2}{k}$$

式中：

q：作用於單位長度牆體的全部重量，包含牆自重及屋頂重量

x：剪力作用距離

k：牆頂束制係數，未補強結構可設為 2。

（2） 作用於單位長度牆體的全部重量 q：

$$q=\gamma \times H \times t + q \times B/2$$

式中：

γ：土坍牆單位重量

q：單位面積屋頂重量

B：地震方向的建物尺寸

（3） 牆體斷面模數 S 與其所受之軸壓應力 W/A：

$$S=\frac{I}{t/2}=\frac{bt^3/12}{t/2}=\frac{bt^2}{6} \quad ； \quad W/A=q \times L/A$$

式中：

b：土坍牆長度或高度

t：土坍牆厚

q：作用於單位長度牆體的全部重量

L：牆體總長

A：有效斷面積

（4） 面外撓曲應力檢核：

檢討其所受之撓曲拉應力 f_t 是否超過最大容許拉應力，其計算公式如下：

水平方向之面外撓曲拉應力： $f_t=\frac{M_u}{S}-\frac{W}{A}$

垂直方向之面外撓曲拉應力： $f_t=\frac{M_u}{S}$

二、法規地震力計算

地震力依建築技術規則及建築物耐震設計規範及解說計算。靜力分析之受地震之最小設計水平總橫力 V 依下式計算：

$$V = \frac{S_{aD} \cdot I}{1.4 \cdot \alpha_y F_u} \cdot W \qquad \textbf{【規範 式 2-1】}$$

式中：S_{aD} ：工址設計水平加速度反應譜係數

I：用途係數，張天機宅為供公眾使用之建築物，屬第三類建築物，I=1.25

W :建築物全部靜載重

α_y :起始降伏地震力放大倍數，本案牆體材料為土坯磚，保守取 $\alpha_y = 1.0$

F_u :結構系統地震力折減係數

張天機宅位於台中市后里區，其一般工址短週期及一秒週期之設計水平譜加速度係數 S_S^D 及 S_1^D 與最大考量水平譜加速度係數 S_S^M 及 S_1^M 如下：

【規範 表 2-1】

市	區	S_S^D	S_1^D	S_S^M	S_1^M	臨近之斷層
台中市	后里區	0.8	0.45	1.0	0.55	屯子腳、車籠埔斷層

張天機宅鄰近屯子腳及車籠埔斷層，故計算其一般工址短週期及一秒週期之設計水平譜加速度係數 S_{DS} 及 S_{D1} 與最大考量水平譜加速度係數 S_{MS} 及 S_{M1} 時，需考慮近斷層效應，依下式計算：

$$S_{DS} = S_S^D F_a N_A \quad ; \quad S_{MS} = S_S^M F_a N_A \qquad \textbf{【規範 式 2-6】}$$

$$S_{D1} = S_1^D F_v N_V \quad ; \quad S_{M1} = S_1^M F_v N_V \qquad \textbf{【規範 式 2-7】}$$

式中 F_a 與 F_v 為反應譜等加速度與等速度段之工址放大係數，由工址所在位置之 S_S (S_S^D 、 S_S^M)、S_1 (S_1^D 、 S_1^M)與地盤分類查表求得。由於無相關地基調查及土壤試驗報告報告書可參考，故其工址之地盤分類假設為第三類地盤(軟弱地盤)。 F_a 與 F_v 查**規範表 2-2(a)、表 2-2(b)**如下：

地盤分類	F_{aD} (S_S^D =0.8)	F_{vD} (S_1^D =0.45)	F_{aM} (S_S^M =1.0)	F_{vM} (S_1^M =0.55)
第三類地盤	1.0	1.5	1.0	1.4

張天機宅位於台中市后里區南村路 332 號(24.299329,120.714254)，根據經濟部中央地質調查所網頁查得，距車籠埔斷層 r＜5km。故其反應譜等加速度與等速度段之近斷層調整因子 N_A 與 N_V ，可查

規範表 2-4-1。其中：

$$N_{AD}=1.16\ ,\ N_{VD}=1.32\ ,\ N_{AM}=1.20\ ,\ N_{VM}=1.45\ 。$$

另外，距屯子腳斷層 r＜2km，則可查**規範表 2-4-3**。其中：

$N_{AD}=1.28\ ,\ N_{VD}=1.31\ ,\ N_{AM}=1.26\ ,\ N_{VM}=1.42$

因此，$N_{AD}=1.28\ ,\ N_{VD}=1.32\ ,\ N_{AM}=1.26\ ,\ N_{VM}=1.45$。

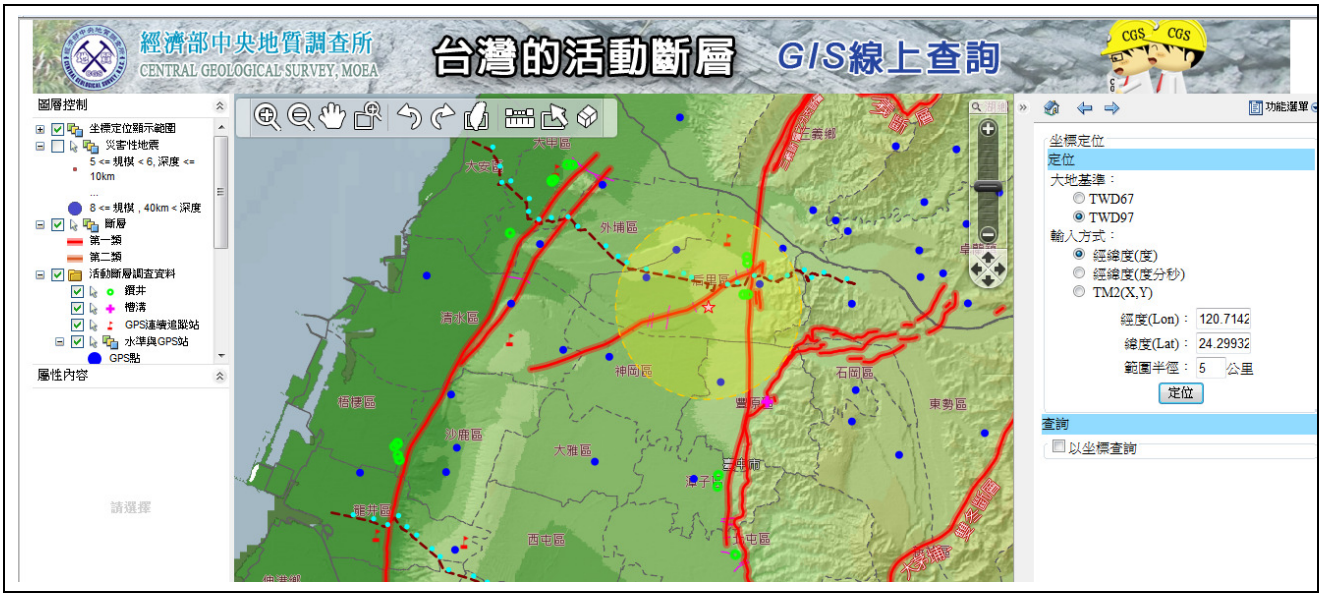
因此可得本工址之 S_{DS} 與 S_{D1} 及 S_{MS} 與 S_{M1}：

$$S_{DS}=S_S^D\cdot F_{aD}\cdot N_{AD}\quad =0.8\times1.0\times1.28=1.024$$

$$S_{MS}=S_S^M\cdot F_{aM}\cdot N_{AM}\quad =1.0\times1.0\times1.26=1.26$$

$$S_{D1}=S_1^D\cdot F_{vD}\cdot N_{VD}\quad =0.45\times1.5\times1.32=0.891$$

$$S_{M1}=S_1^M\cdot F_{vM}\cdot N_{VM}\quad =0.55\times1.4\times1.45=1.117$$



受進深方向水平地規範表 2-4-1 近車籠埔斷層調整因子 NA 與 NV

(a) 設計地震之調整因子

N_A	r≦2 km	**2km＜r≦5 km**	5km＜r≦8 km	8km＜r≦12 km	r＞12 km
	1.23	**1.16**	1.07	1.03	1.00
N_V	r≦2 km	**2km＜r≦5 km**	5km＜r≦8 km	8km＜r≦12 km	r＞12 km
	1.36	**1.32**	1.22	1.10	1.00

(b) **最大考量地震之調整因子**

N_A	r≦2 km	**2km＜r≦5 m**	5km＜r≦8 km	8km＜r≦12 km	r＞12 km
	1.25	**1.20**	1.10	1.03	1.00
N_V	r≦2 km	**2km＜r≦5 m**	5km＜r≦8 km	8km＜r≦12 km	r＞12 km
	1.50	**1.45**	1.30	1.15	1.00

規範表 2-4-3 近屯子腳斷層調整因子 NA 與 NV

(a) **設計地震之調整因子**

N_A	**r≦2 km**	2km＜r≦5 m	5km＜r≦10 km	r＞10 km
	1.28	1.20	1.10	1.00
N_V	**r≦2 km**	2km＜r≦5 m	5km＜r≦10 km	r＞10 km
	1.31	1.25	1.15	1.00

(b) **最大考量地震之調整因子**

N_A	**r≦2 km**	2km＜r≦5 m	5km＜r≦10 km	r＞10 km
	1.26	1.17	1.05	1.00
N_V	**r≦2 km**	2km＜r≦5 m	5km＜r≦10 km	r＞10 km
	1.42	1.32	1.15	1.00

工址設計水平譜加速度係數S_{aD}，以建築物基本振動週期 T 以及短週期與中長週期之分界T_0^D可查**規範表 2-5(a)**如下：

短週期與中長週期之分界$T_0^D = S_{D1} / S_{DS}$=0.891/1.024=0.870

S_{DS}	S_{D1}	$T_0^D = S_{D1} / S_{DS}$	較短週期	短週期	中週期	長週期
			$T \leq 0.2T_0^D$	$0.2T_0^D \leq T \leq T_0^D$	$T_0^D < T \leq 2.5T_0^D$	$2.5T_0^D < T$
1.024	0.891	0.870	$S_{aD} = S_{DS}(0.4+3T/T_0^D)$	$S_{aD} = S_{DS}$	$S_{aD} = S_{D1}/T$	$S_{aD} = 0.4S_{DS}$

◆ **工址設計水平譜加速度係數S_{aD}**

張天機宅各棟建築物主要為磚及土坍砌體構造之單層建築，建築物之基本週期 T，可依下列經驗公式計算：

$$T = 0.05h_n^{3/4} \qquad \textbf{【規範 式 2-9】}$$

其中h_n為基面至屋頂面高度，本案取中脊高與屋簷高之平均值。【表 5-3-1】則為張天機宅各棟建築物基本週期 T 之計算結果。

【表 5-3-1】張天機宅之基本週期 T

建築物高度及基本週期	前落	左護龍	右護龍	後落	左外護龍
h_n	5.71m	4.18m	4.18m	5.86m	4.35m
T	0.185s	0.146s	0.146s	0.188s	0.151

前落、後落：$0.2T_0^D$ ＝0.2×0.870＝0.174s ≦ T ≦ T_0^D

左右護龍、左外護龍：T ≦ $0.2T_0^D$

由上式及【表 5-3-1】可知，張天機宅各棟分屬於短週期與較短週期。故其工址設計水平譜加速度係數S_{aD}依下列公式計算**【規範 表 2-5(a)】**：

工址設計水平譜加速度係數－較短週期：$S_{aD} = S_{DS}(0.4 + 3T / T_0^D)$

短週期：$S_{aD} = S_{DS}$

【表 5-3-2】則為張天機宅各棟建築物S_{aD}之計算結果。以前落為例：

$$S_{aD} = S_{DS} = 1.024$$

【表 5-3-2】張天機宅各棟建築物之工址設計水平譜加速度係數 S_{aD}

工址設計水平譜加速度係數	前落	左護龍	右護龍	後落	左外護龍
S_{aD}	1.024	0.926	0.926	1.024	0.941

◆ **結構系統地震力折減係數F_u**

結構系統地震力折減係數F_u，以結構系統容許韌性容量R_a與結構基本振動週期 T 來求得，由於張天機宅各棟建築物除前落及後落之基本振動週期位於$0.2T_0^D \le T \le 0.6T_0^D$外，其餘均位於$T \le 0.2T_0^D$之區間內，故其關係式如下**【規範 式 2-15】**：

較短週期：$F_u = \sqrt{2R_a - 1} + \left(\sqrt{2R_a - 1} - 1\right) \times \dfrac{T - 0.2T_0^D}{0.2T_0^D}$ ； $T \le 0.2T_0^D$

短週期：$F_u = \sqrt{2R_a - 1}$ ； $0.2T_0^D \le T \le 0.6T_0^D$

式中R_a為結構系統容許韌性容量：$R_a = 1 + \dfrac{(R-1)}{1.5}$ **【規範 式 2-13】**

張天機宅建築群之結構系統主要屬土坍砌體造之承重牆系統，牆體上方為擱檩式屋架，此結構系統在承受水平力作用時，主要是藉由土坍造承重牆來抵抗橫力。保守起見，不考慮有韌性容量，故其韌性容量 R=1.0。

因此，**容許韌性容量**$R_a = 1 + \dfrac{(R-1)}{1.5}$ ＝ **1+(1.0-1)/1.5＝1.00；**

結構系統地震力折減係數 $F_u=\sqrt{2R_a-1}=\mathbf{1.0}$

$$F_u=\sqrt{2R_a-1}+\left(\sqrt{2R_a-1}-1\right)\times\frac{T-0.2T_0^D}{0.2T_0^D}=\mathbf{1.0}$$

◆ **最小設計水平總橫力 V**

【表 5-3-3】為張天機宅各棟建築物之 $\frac{S_{aD}}{F_u}$ 計算結果。以前落為例：

$$\frac{S_{aD}}{F_u}=1.024/1.0=1.024\text{；}0.8\leqq\frac{S_{aD}}{F_u}=\mathbf{1.024}$$

【表 5-3-3】張天機宅各棟建築物 S_{aD}/F_u 之計算結果

$\frac{S_{aD}}{F_u}$	前落	左護龍	右護龍	後落	左外護龍
	1.024	0.926	0.926	1.024	0.941

由於張天機宅各棟建築物之 $\frac{S_{aD}}{F_u}$ 均大於 0.8，依**【規範 式 2-2】**修正，修正後命名為：$\left(\frac{S_{aD}}{F_u}\right)_m=0.70\frac{S_{aD}}{F_u}$。【表 5-3-4】則為張天機宅各棟建築物之 $\left(\frac{S_{aD}}{F_u}\right)_m$ 計算結果。以前落為例：

$$\left(\frac{S_{aD}}{F_u}\right)_m=0.70\frac{S_{aD}}{F_u}=0.7\times1.024=\mathbf{0.717}$$

【表 5-3-4】張天機宅各棟建築物 $(S_{aD}/F_u)_m$ 之計算結果

$\left(\frac{S_{aD}}{F_u}\right)_m$	前落	左護龍	右護龍	後落	左外護龍
	0.717	0.648	0.648	0.717	0.659

最小設計水平總橫力 *V*

張天機宅各棟建築物之最小設計水平總橫力 V 依下式計算：

$$V=\frac{I}{1.4\cdot\alpha_y}\cdot\left(\frac{S_{aD}}{F_u}\right)_m\cdot W$$

【表 5-3-5】則為張天機宅各棟建築物之最小設計水平總橫力 V 計算結果。以前落為例：

$$V=\frac{I}{1.4\cdot\alpha_y}\cdot\left(\frac{S_{aD}}{F_u}\right)_m\cdot W=\frac{1.25}{1.4\times1.0}\times\mathbf{0.717\times W=0.640\times W}$$

【表 5-3-5】張天機宅各棟建築物之最小設計水平總橫力 V

最小設計水平總橫力	前落	左護龍	右護龍	後落	左外護龍
V	0.640W	0.579W	0.579W	0.640W	0.588W

◆ 避免中小度地震降伏之設計地震力 *V**

為避免韌性較佳之建築物在地震不大時即產生降伏，故地震設計最小總橫力不得低於V^*，並依下列公式計算：

$$V^* = \frac{IF_u}{4.2\alpha_y} \cdot \left(\frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m \cdot W \qquad \textbf{【規範 式 2-16a】}$$

【表 5-3-6】則為張天機宅各棟建築物避免中小度地震降伏之設計地震力V^*之計算結果。以前落為例：

$$V^* = \frac{IF_u}{4.2\alpha_y} \cdot \left(\frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m \cdot W = \frac{1.25}{4.2 \times 1.0} \times 1.0 \times 0.717 \times \text{W} = \mathbf{0.213} \times \mathbf{W}$$

【表 5-3-6】張天機宅各棟建築物之 V*

避免中小度地震 降伏之設計地震力	前落	左護龍	右護龍	後落	左外護龍
V^*	0.213W	0.193W	0.193W	0.213W	0.196W

◆ 避免最大考量地震崩塌之設計地震力 V_M

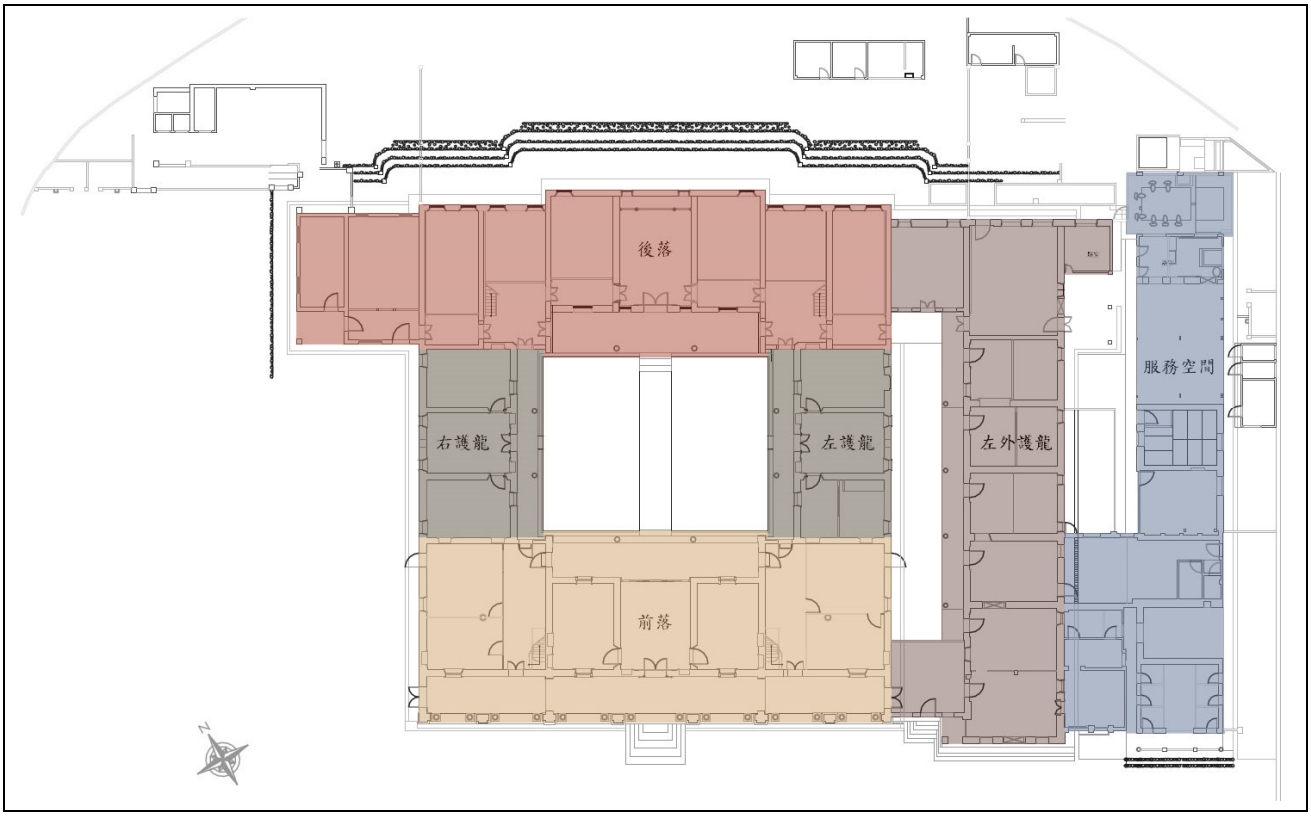
由於本案為古蹟，且韌性容量 R 已保守取 1.0 計算，因此設計地震力取 475 年回歸期之設計水平總橫力，不必再檢討 2500 年回歸期之最大考量地震力。故張天機宅各棟建築物之**最大水平地震力係數 Cs** 如【表 5-3-7】所示。

【表 5-3-7】張天機宅各棟建築物之水平地震力係數 Cs

水平地震力係數 Cs	設計地震力	中小度地震力
前落	0.640	0.213
左護龍	0.579	0.193
右護龍	0.579	0.193
後落	0.640	0.213
左外護龍	0.588	0.196

第四節 張天機宅耐震評估

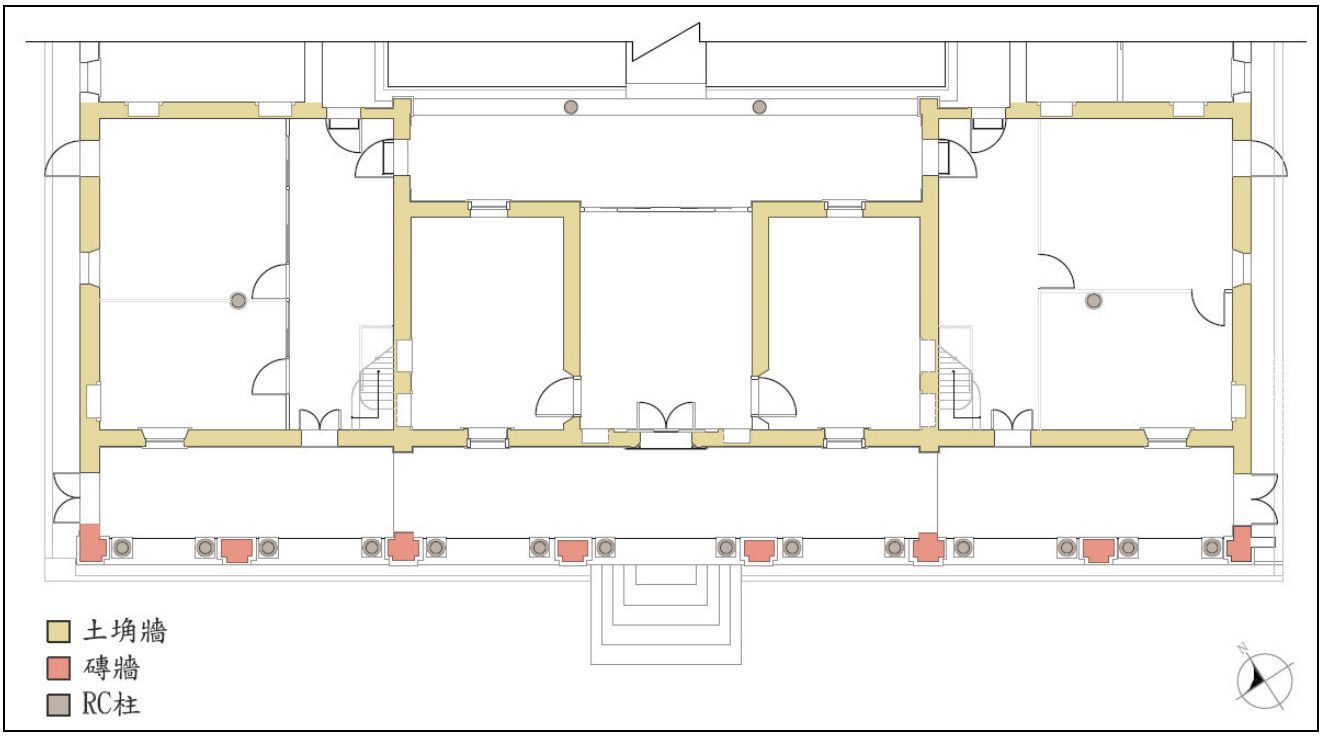
后里張天機宅平面屬台灣傳統合院進深兩進之「兩落一院帶護龍」形式，圍塑出中庭之建築空間均有設置簷廊，整個宅第之建築空間共可分為 (1)前落 (2)後落 (3)左護龍 (4)右護龍 (5)左外護龍 (6)服務空間等六個部分，其空間分區如【圖 5-4-1】所示。在進行結構安全耐震評估時，將分別依上述之各分區空間予以檢討與建議。



【圖 5-4-1】后里張天機宅空間分區平面圖

一、 前落耐震評估

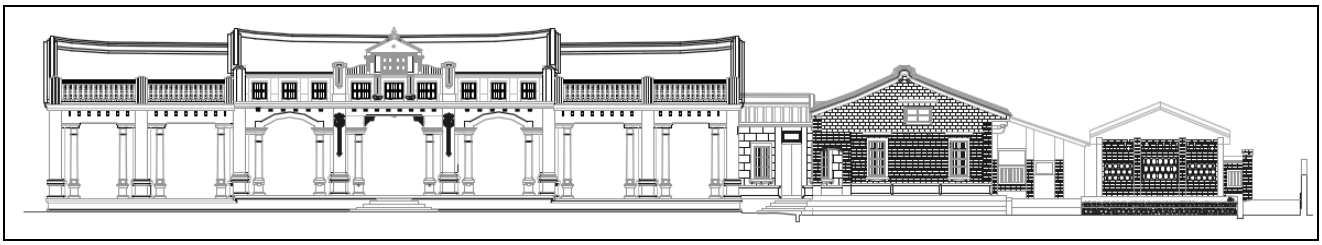
后里張天機宅之前落主要屬土坍砌體構造之單層建築物，面寬共為七開間。並於前落之正面設置寬約三公尺的七開間步口簷廊，背面亦有設置三開間之後簷廊，廊柱均為 RC 柱。且由於受到日治時洋式建築風格的影響，外觀上，前簷廊之平拱與弧拱以西式廊柱與磚牆支承，並於女兒牆、欄杆、牛腿、拱基與拱邊等構造細部予以裝飾，呈現出有別於台灣傳統宅第之建築風格。另外，除前、後簷廊外，其餘前落空間均有設置閣樓夾層。其平面圖如【圖 5-4-2】所示。



【圖 5-4-2】張天機宅－前落平面圖

前落屋頂除中央三開間之前簷廊為 RC 平屋頂外，其餘均為硬山型式，屋面是由板瓦所構成之仰合瓦屋頂，屋架則採擱檩式構造。其中，前、後簷廊之屋架也同樣呈現西式風格，採由上、下弦及斜撐所構成之簡單三角形屋架。

室內空間是以斗砌磚牆體所分隔圍塑，且牆體底部砌卵石牆基。正立面與背立面牆體於台度以上為白灰粉刷之土坉牆面，台度以下牆面則為順砌之清水紅磚面材所構成；而兩向側立面為避免外牆受到雨水的侵襲，因此於台度以上的牆面均採穿瓦衫之構法，台度以下同樣為順砌之清水紅磚面材所構成。各向剖、立面圖詳【圖 5-4-3】~【圖 5-4-5】。



【圖 5-4-3】張天機宅－全區正立面圖

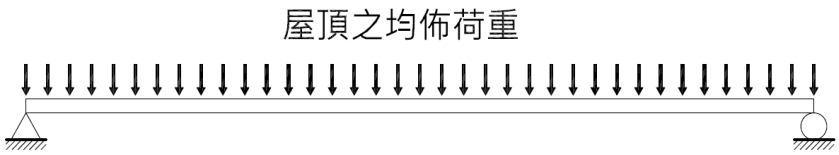
【圖 5-4-4】張天機宅－前落背立面圖

【圖 5-4-5】張天機宅－前落剖面圖

由於本建築屬土坍砌體承重牆之結構系統，此結構系統在承受水平力作用時，主要是藉由土坍造承重牆來抵抗橫力，當受到不同方向地震力作用時，其主要牆體之傳力機制及力學行為並不相同。因此，評估時依牆體受力之不同，分成面內之剪力耐震評估及面外之撓曲破壞評估共兩部分，分別進行評估。另外，由於傳統建築的屋頂重量特別大，因此亦需探討屋架之木構件在載重作用下，構件是否安全。以下分別針對本案之木屋架、牆體進行評估，評估時假設屋架之木構件及牆體皆已依原樣修復完成。

（一）木屋架承重結構安全評估

后里張天機宅之屋架主要屬硬山擱檁式，即為直接將楹木（檁木）擱置於山牆上之作法。因此，可將楹木之力學行為視為一簡支樑。在垂直載重作用下，楹木承擔上方由椽條、望磚、灰泥、板瓦等所組成之屋頂荷重（均佈荷重），並直接經由楹木傳遞至兩側山牆，如【圖 5-4-6】所示。



【圖 5-4-6】楹木受力示意圖

故木屋架之結構安全評估，即針對楹木將靜載重及活載重之作用情況合併考慮，進而檢討斷面應

力是否合乎規定。在此，為檢核各木構件之結構安全，本評估依現行【木構造建築物設計及施工技術規範】 (2003 年 5 月版)計算各構件之容許強度。木材之容許應力假設為普通結構材(針葉樹) IV 類：

【表 5-4-1】普通結構材(針葉樹) IV類之容許應力

樹種		長期容許應力				短期容許應力 $_{S}f$
		$_{L}f_{c}$	$_{L}f_{t}$	$_{L}f_{b}$	$_{L}f_{s}$	
針葉樹	IV類	60	45	75	6	長期容許應力之 2 倍

1. 靜載重

前落屋面除中央三開間之前簷廊為 RC 平屋頂外，其餘均是由板瓦所構成之仰合瓦屋頂。依前落之屋面構造形式，計算其單位面積重量，如【表 5-4-2】所示。

【表 5-4-2】前落－屋面之單位面積重量計算

項目	單位	數量	單位重	重量（kgf）
板瓦 24*18*0.6	片	109	0.52	56.68
苫背鋪土灰泥砂漿	m^3	0.025	2000	50.00
望磚	m^3	0.01	2000	20.00
椽條	m^2	1	15	15.00
合計				141.68

屋面坡度＝0.399 (θ =21.742°)

投影面積之單位重量＝(141.68)/cos θ ＝153 kgf/m^2　取 160 kgf/m^2

2. 活載重

依建築技術規則規定，不作用途之斜屋頂，且載重面積(水平投影面)在 60 m^2 以上者，其水平投影面之活載重每平方公尺不得小於 $60 kgf/m^2$ 。

3. 材料性質與結構分析

由於前落各空間之楹木斷面尺寸及水平間距均有所不同，故進行載重安全評估時，取該空間楹木之最大間距及最小之斷面尺寸為代表予以分析。

（1） 明間

楹木取最小之斷面尺寸為 15 cm (d)，跨距為 426.8 *cm*，最大水平間距為 57cm。

斷面積 A＝$\pi \times \left(\frac{15}{2}\right)^2$ ＝176.71 cm^2，斷面模數 $S = \frac{\pi \times d^3}{32} = \frac{\pi \times (15)^3}{32}$ ＝331.34 cm^3。

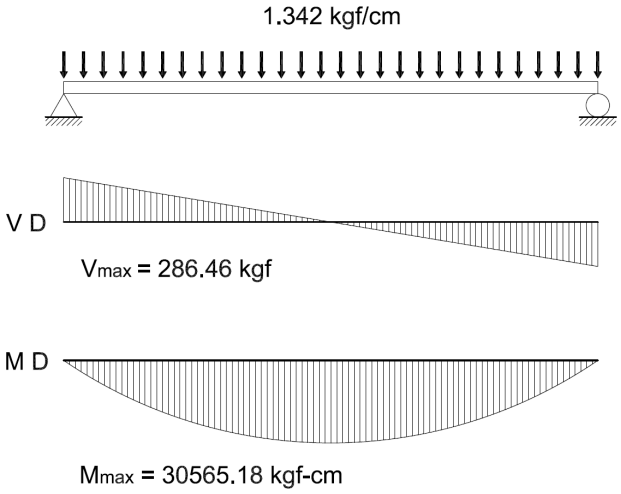
靜載重均佈力 W_D＝160×0.57＋500×（0.075×0.075×π ）＝100.04 *kgf/m*

活載重均佈力 W_L＝60×0.57＝34.20 *kgf/m*

W＝W_D＋W_L＝100. 04＋34.20＝134.24 *kgf/m*＝1.342 *kgf/cm*

$$M = \frac{wl^2}{8} = \frac{1.342 \times (426.8)^2}{8} = 30565.18\ kgf\text{-}cm$$

$$V = \frac{wl}{2} = \frac{1.342 \times 426.8}{2} = 286.46\ kgf$$



【圖 5-4-7】前落明間－楹木受力、剪力、彎矩圖

（2） 次間

楹木取最小之斷面尺寸為 14 cm (d)，跨距為 376.3 *cm*，最大水平間距為 54cm。

斷面積 A＝$\pi \times \left(\frac{14}{2}\right)^2 = 153.94\ cm^2$，斷面模數 $S = \frac{\pi \times d^3}{32} = \frac{\pi \times (14)^3}{32} = 269.39\ cm^3$。

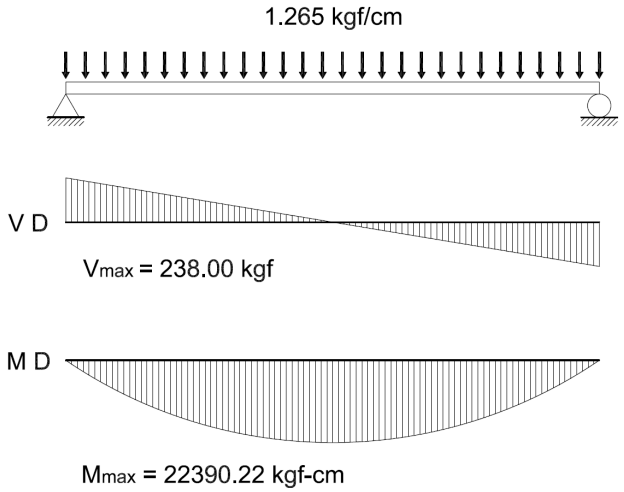
靜載重均佈力 W_D＝160×0.54＋500×（0.07×0.07×π ）＝94.10 *kgf/m*

活載重均佈力 W_L＝60×0.54＝32.40 *kgf/m*

W＝W_D＋W_L＝94. 10＋32.40＝126.50 *kgf/m*＝1.265 *kgf/cm*

$$M = \frac{wl^2}{8} = \frac{1.265 \times (376.3)^2}{8} = 22390.22\ kgf\text{-}cm$$

$$V = \frac{wl}{2} = \frac{1.265 \times 376.3}{2} = 238.00\ kgf$$



【圖 5-4-8】前落次間－楹木受力、剪力、彎矩圖

（3） 稍間

楹木取最小之斷面尺寸為 13 cm (d)，跨距為 383.9 *cm*，最大水平間距為 56cm。

斷面積 A＝$\pi\times\left(\frac{13}{2}\right)^2$＝132.73 cm^2，斷面模數 $S=\frac{\pi\times d^3}{32}=\frac{\pi\times(13)^3}{32}$＝215.69 cm^3。

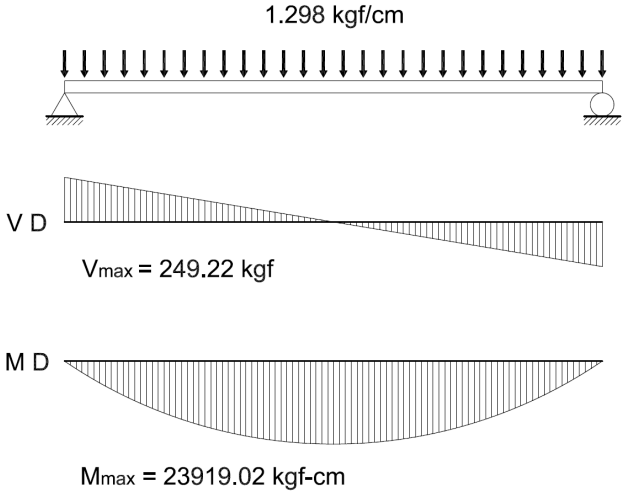
靜載重均佈力 W_D＝160×0.56＋500×（0.065×0.065×π ）＝96.24 *kgf/m*

活載重均佈力 W_L＝60×0.56＝33.60 *kgf/m*

W＝W_D＋W_L＝96.24＋33.60＝129.84 *kgf/m*＝1.298 *kgf/cm*

$$M=\frac{wl^2}{8}=\frac{1.298\times(383.9)^2}{8}=23919.02\ kgf\text{-}cm$$

$$V=\frac{wl}{2}=\frac{1.298\times383.9}{2}=249.22\ kgf$$



【圖 5-4-9】前落稍間－楹木受力、剪力、彎矩圖

4. 受彎構材之斷面檢核

受彎構材之斷面依下式計算：

$$\frac{M}{Z_e} \le f_b \times C_f \qquad \text{（規範 5.14）}$$

式中 M：設計用彎矩（kgf，cm）

f_b：容許撓曲應力（kgf/cm^2）

Z_e：有效斷面模數（cm^3）

C_f：尺寸調整係數（梁深 30cm 以下，取 1.00）

張天機宅前落楹木之斷面均小於 30cm，故尺寸調整係數 C_f =1.00。

$$f_b \times C_f = 75.0 \times 1.00 = 75\ kgf/cm^2$$

（1） 明間：$\frac{M}{Z_e} = 30565.18/331.34 = 92.25\ kgf/cm^2 > 75\ kgf/cm^2$ **N.G.**

（2） 次間：$\frac{M}{Z_e} = 22390.22/269.39 = 83.11\ kgf/cm^2 > 75\ kgf/cm^2$ **N.G.**

（3） 稍間：$\frac{M}{Z_e} = 23919.02/215.69 = 110.90\ kgf/cm^2 > 75\ kgf/cm^2$ **N.G.**

5. 受彎構材之剪應力檢核

受彎構材之剪應力依下式計算：

$$\frac{\alpha Q}{A_e} \le f_s \qquad \text{（規範 5.17）}$$

式中 α：由斷面形狀決定之，矩形取 3/2，圓形取 4/3 。

Q：剪力（*kgf*）

f_s：容許剪應力（kgf/cm^2），受彎構材支點處無切口時，其容許剪應力可採用不會劈裂所對應之值（1.5 倍）。

A_e：有效斷面積。

（1） 明間：$\frac{\alpha Q}{A_e} = \frac{4}{3} \times \frac{286.46}{176.71} = 2.16\ kgf/cm^2 \le 6\ kgf/cm^2$ **O.K.**

（2） 次間：$\frac{\alpha Q}{A_e} = \frac{4}{3} \times \frac{238.00}{153.94} = 2.06\ kgf/cm^2 \le 6\ kgf/cm^2$ **O.K.**

（3） 稍間：$\frac{\alpha Q}{A_e} = \frac{4}{3} \times \frac{249.22}{132.73} = 2.50\ kgf/cm^2 \le 6\ kgf/cm^2$ **O.K.**

6. 評估結果

根據評估結果可知，在靜載重與活載重同時作用之條件下，張天機宅前落各空間楹木之**最大撓曲應力均大於容許應力，顯示構材斷面較為不足，有安全上之疑慮**。

(二) 面內－剪力耐震評估

1. 法規地震力計算

法規地震力計算已於本章第二節中求得。其中，張天機宅前落之最大水平地震力係數 C_s **=0.640**。

2. 建築物 重量 W

張天機宅前落主要屬土坍砌體之構造型式，屋瓦則採用仰合瓦。計算建築物之重量時，土坍砌體的單位體積重量取 1800 kgf/m^3 計，鋼筋混凝土的單位重量以 2400 kgf/m^3 計；而楹、樓板樑、木地板等木構件單位體積重則取 500 kgf/m^3 計。

（1）屋面之單位重量(投影)

前落仰合瓦屋頂之單位面積重量計算，如【表 5-4-2】所示。經計算，其投影面積之單位重量取 160 kgf/m^2。

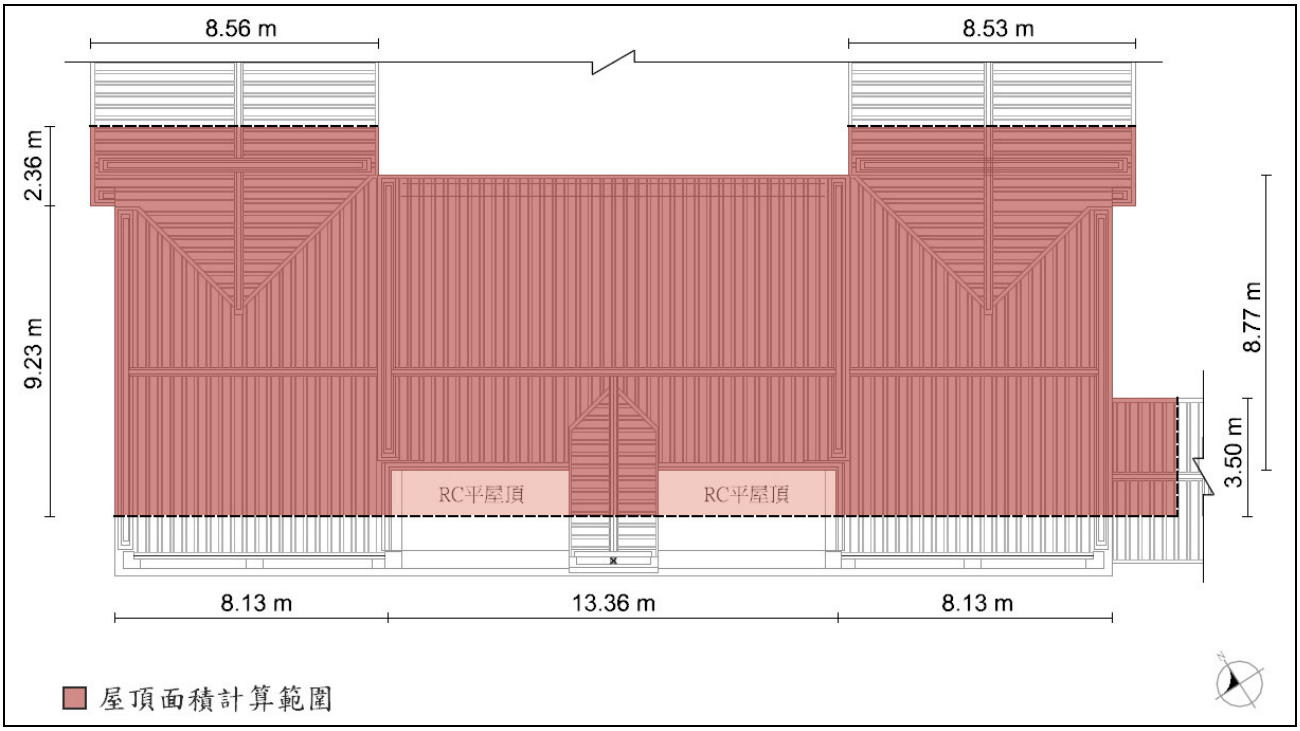
（2）屋面重量

由於張天機宅前落之前簷廊尚有一半的屋頂重量傳遞至前落正立面牆體，且左、右護龍與前落連接之廂房及前過水間亦同樣有一半之屋頂重量傳遞至前落牆體，因此屋頂重量之面積計算範圍如【圖 5-4-10】所示。其屋頂投影面積及屋面重量之計算如下：

屋面投影面積：(8.53＋8.56)×2.36＋9.23×8.13×2＋13.36×8.77
＋1.96×3.50＋1.39×2.66＝318.14 m^2

RC 平屋頂面積：1.48×13.36＝19.77 m^2

屋面重量 W_{roof}：318.14×160＋19.77×0.33×2400＝66561.95 kgf



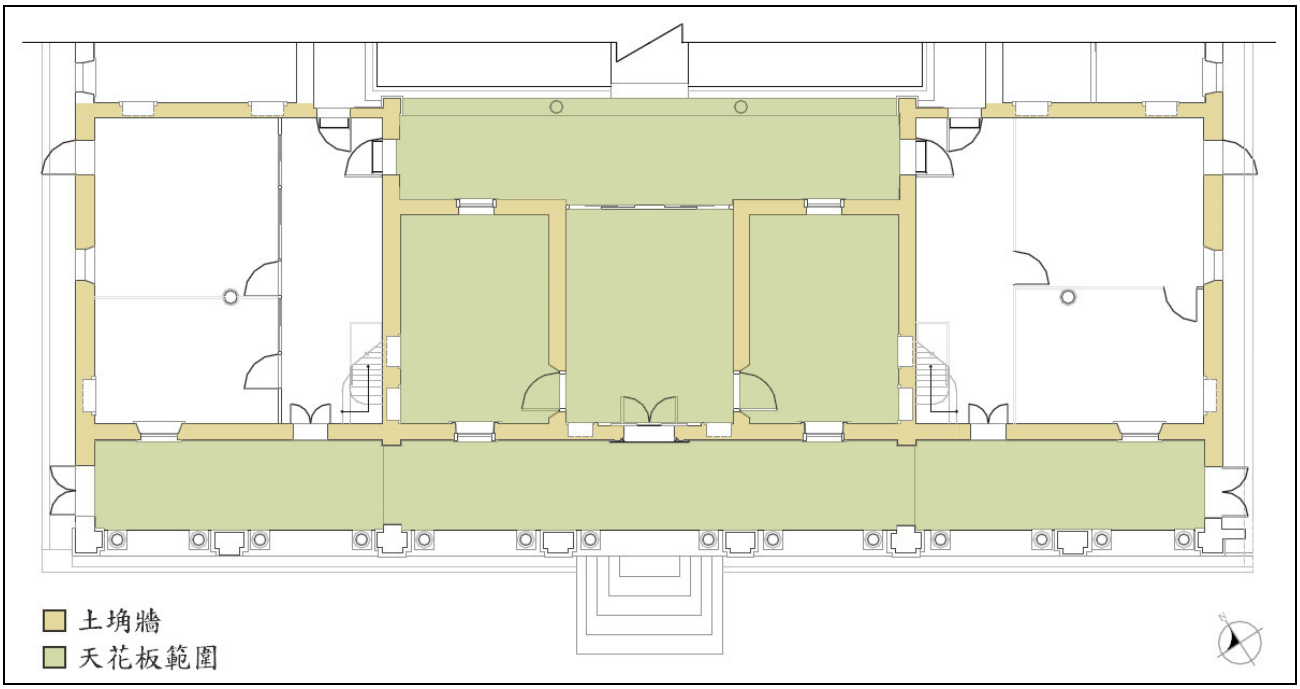
【圖 5-4-10】張天機宅－前落屋頂平面圖

（3） 天花板重量

張天機宅前落之前後簷廊、前廳及左、右次間尚有施作天花板，其位置如【圖 5-4-11】所示。依建築技術規則構造篇，天花板單位重取 20 kgf/m^2。以下則為前落之天花板重量計算：

天花板面積：4.26×5.64＋3.77×5.28×2＋2.57×12.71＋1.13×28.16＝128.32 m^2

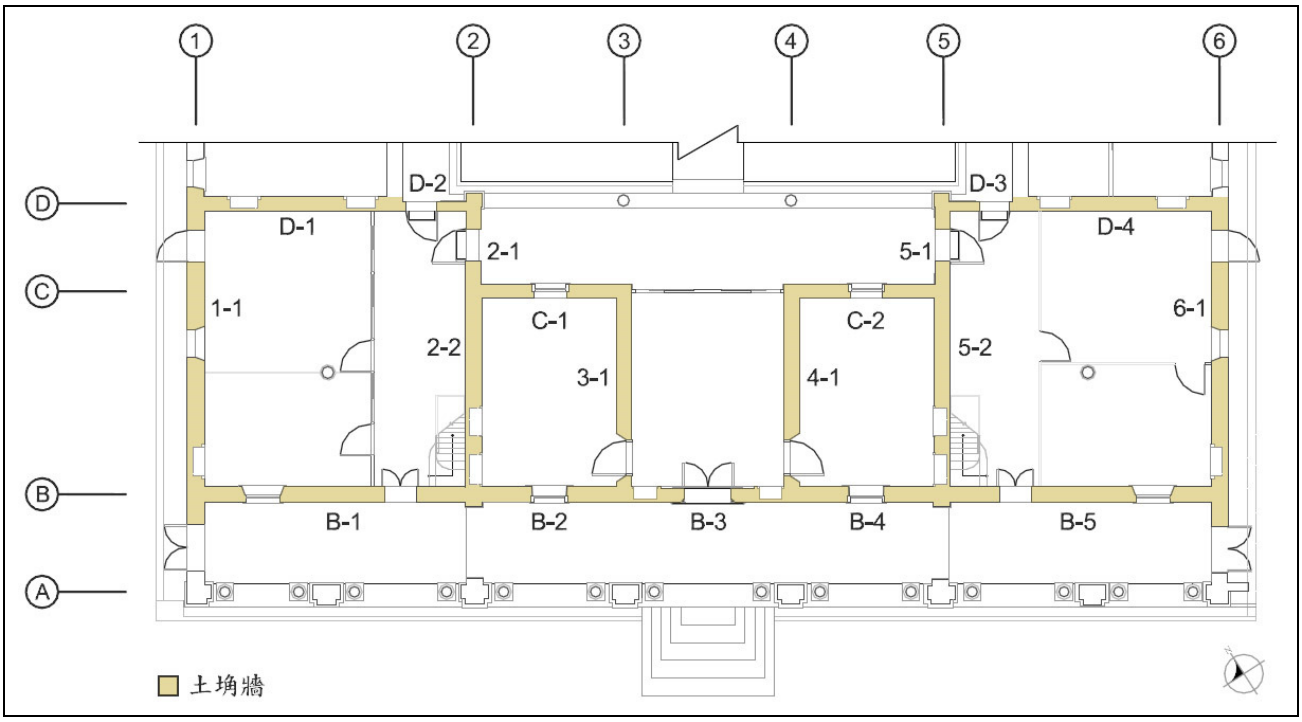
天花板重量 $W_{ceiling}$：1285.32×20＝2566.46 kgf



【圖 5-4-11】張天機宅－前落天花板位置圖

（4）牆體重量

張天機宅前落之牆體編號如【圖 5-4-12】所示，並依其編號分別計算牆體重量【表 5-4-3】。經計算，前落之牆體重量 W_{wall}＝243383.52 *kgf* 。



【圖 5-4-12】張天機宅－前落牆體編號圖

【表 5-4-3】張天機宅前落－牆體重量計算表

X 向牆體 (東西向)	牆厚 (m)	牆體總長 (m)	開口總長 (m)	窗台線以上高度 (m)	實牆面積 (m^2)	開口上部面積 (m^2)	總面積 (m^2)	牆體單位重量 (kgf/m^2)	重量 W_{wall} (kgf)
B-1	0.425	7.52	1.89	3.55	17.36	3.52	20.88	1800	15975.05
B-2	0.425	4.20	0.96	3.13	10.13	1.08	11.21	1800	9044.72
B-3	0.425	4.68	2.56	2.86	6.07	3.55	9.62	1800	8307.72
B-4	0.425	4.20	0.96	3.13	10.13	1.08	11.21	1800	9044.72
B-5	0.425	7.55	1.89	3.55	18.39	3.52	21.92	1800	16766.44
C-1	0.370	3.77	0.91	4.26	12.20	1.19	13.39	1800	8920.64
C-2	0.370	3.77	0.91	4.26	12.20	1.19	13.39	1800	8920.64
D-1	0.404	5.57	1.60	至山牆底：2.64 (山牆高：1.35)	14.42	2.28	16.71	1800	12148.48
D-2	0.265	1.97	0.85	2.64	2.96	1.10	4.05	1800	1933.42
D-3	0.265	1.97	0.85	2.64	2.96	1.10	4.05	1800	1933.42
D-4	0.404	5.57	1.60	至山牆底：2.64 (山牆高：1.35)	14.42	2.28	16.71	1800	12148.48

Y 向牆體(南北向)	牆厚 (m)	牆體總長 (m)	開口總長 (m)	窗台線以上高度 (m)	實牆面積 (m^2)	開口上部面積 (m^2)	總面積 (m^2)	牆體單位重量 (kgf/m^2)	重量 W_{wall} (kgf)
1-1	0.493	9.19	2.47	至山牆底：2.73 (山牆高：2.22)	28.36	3.11	31.47	1800	27924.44
2-1	0.420	2.19	0.90	3.05	4.97	1.76	6.73	1800	5087.69
2-2	0.454	5.65	1.58	至山牆底：3.94 (山牆高：1.37)	18.50	3.88	22.38	1800	18290.24
3-1	0.425	5.64	1.02	至山牆底：3.75 (山牆高：1.31)	20.74	2.81	23.54	1800	18010.78
4-1	0.425	5.64	1.02	至山牆底：3.75 (山牆高：1.32)	20.74	2.81	23.54	1800	18010.78
5-1	0.420	2.19	0.90	3.05	4.97	1.76	6.73	1800	5087.69
5-2	0.454	5.65	1.58	至山牆底：3.94 (山牆高：1.37)	18.50	3.88	22.38	1800	18290.24
6-1	0.474	9.23	2.47	至山牆底：2.73 (山牆高：2.22)	28.31	3.11	31.42	1800	26810.79
閣樓磚牆	0.140	1.34	—	—	2.73	—	2.73	1900	727.14
								合計	**243383.52**

（6）木構件重量

張天機宅前落之木構件包括楹木、木棟架及閣樓樓板樑與木地板，依其組構形式分別計算各木構件之重量，如【表 5-4-4】所示。經過計算，前落之木構件重量 $W_{wood}=9358.11\ kgf$ 。

【表 5-4-4】張天機宅前落－木構件重量計算表

構件	數量 (m^3)	單位重 (kgf/m^3)	重量 (kgf)
楹	8.98	500	4489.93
樓板樑	3.29	500	1646.53
木地板	3.52	500	1761.46
通、柱、樑	2.03	500	1014.58
其他	—	—	445.62
		合計	**9358.11**

（7）建築物重量 W

建築物重量 W $=W_{roof}+W_{ceiling}+W_{wall}+W_{wood}$

$=66561.95+2566.46+243383.52+9358.11=321870.04\ kgf$

考慮其他門窗等重量取 322900 *kgf*

（8）基底剪力 Vu

基底剪力 V_u＝0.640W＝0.640×322,900＝206656.00 *kgf*

3. 牆體總抗剪力 $V_r = \gamma \times \Sigma L_i \times t$

根據【歷史建築震損及維護方式之研究－(二)砌體構造】p261，文中提及採用新砌土坯磚的抗剪能力約 1.7kgf/cm²，而【福興農會穀倉調查研究報告書】P5-36，其土坯剪力強度介於 1.04 kgf/cm^2~2.7kgf/cm^2，考量本地維護程度、使用時間及補強等因素，取 $\tau = 1.2$ kgf/cm^2 ＝ 1.2×10^4 kgf/m^2。各牆體之抗剪力如下表：

【表 5-4-5】張天機宅前落－各牆體抗剪能力

X 向牆體 (東西向)	牆厚 (m)	牆體總長 (m)	開口總長 (m)	有效斷面積 (m^2)	土坯牆抗剪強度 τ (kgf/m^2)	牆體總抗剪力 $Vr=\tau\Sigma L_i \times t$ (kgf)
B-1	0.425	7.52	1.89	2.39	12000	28702.80
B-2	0.425	4.20	0.96	1.38	12000	16524.00
B-3	0.425	4.68	2.56	0.90	12000	10827.30
B-4	0.425	4.20	0.96	1.38	12000	16524.00
B-5	0.425	7.55	1.89	2.40	12000	28855.80
C-1	0.370	3.77	0.91	1.06	12000	12720.60
C-2	0.370	3.77	0.91	1.06	12000	12720.60
D-1	0.404	5.57	1.60	1.61	12000	19261.10
D-2	0.265	1.97	0.85	0.30	12000	3561.60
D-3	0.265	1.97	0.85	0.30	12000	3561.60
D-4	0.404	5.57	1.60	1.61	12000	19261.10
					合計	**172520.51**
Y 向牆體 (南北向)	**牆厚 (m)**	**牆體總長 (m)**	**開口總長 (m)**	**有效斷面積 (m^2)**	**土坯牆抗剪強度 τ (kgf/m^2)**	**牆體總抗剪力 $Vr=\tau\Sigma L_i \times t$ (kgf)**
1-1	0.493	9.19	2.47	3.31	12000	39755.52
2-1	0.420	2.19	0.90	0.54	12000	6501.60
2-2	0.454	5.65	1.58	1.85	12000	22173.36
3-1	0.425	5.64	1.02	1.96	12000	23562.00
4-1	0.425	5.64	1.02	1.96	12000	23562.00
5-1	0.420	2.19	0.90	0.54	12000	6501.60
5-2	0.454	5.65	1.58	1.85	12000	22173.36
6-1	0.474	9.23	2.47	3.20	12000	38450.88
					合計	**182680.32**

由【表 5-4-5】可知：X 向(南北向)牆體抗剪能力 $V_r = 17.25\times10^4\ kgf$

Y 向(東西向)牆體抗剪能力 $V_r = 18.27\times10^4\ kgf$

4. 面內耐震安全指標係數 $I_o = \frac{V_r}{V_u}$

土坍砌體構造的面內耐震安全指標係數 I_o，可由牆體總抗剪力 V_r 除以建築物所受之剪力 V_u 得出，如下式：

$$I_o = \frac{V_r}{V_u}$$

並且上述之 I_o 須考慮結構體受到風雨造成的材料變質、結構系統的不規律性及材料品質不佳等影響因素，故尚須乘以修正因子 FR，修正後之 $I = I_o \times FR$ 。

$$FR = F_d(\text{變質因子}) \times F_r(\text{規律性因子}) \times F_c(\text{品質因子})$$

由於本案未來將對劣化之構材及損壞之部位予以修復，故 $F_d = 1.0$、$F_c = 1.0$；且由張天機宅前落之平面、立面圖可知，主要抵抗水平橫力之土坍承重牆分佈狀況，於 Y 向為對稱；但於 X 向則均集中於前落之南側(即正立面)，因此結構稍不規律，故 $F_r = 0.8$。

$$FR = F_d \times F_r \times F_c = 1.0\times0.8\times1.0 = 0.8$$

代入上述數值，即可求出修正後面內耐震安全指標係數 I，詳【表 5-4-6】。

【表 5-4-6】張天機宅左前落－牆體之面內耐震安全指標係數 I

方向	總抗剪力 V_r (kgf)	基底剪力 V_u (kgf)	面內耐震安全指標係數 I_o	修正因子 FR	修正後面內耐震安全指標係數 I	診斷結果
X 向牆體（東西向）	172520.51	206656.00	0.83	0.80	0.67	**有安全疑慮**
Y 向牆體（南北向）	182680.32	206656.00	0.88	0.80	0.71	**有安全疑慮**

5. 評估結果

由【表 5-4-6】可知，張天機宅前落土坍牆體之修正後剪力耐震安全指數 I 值，於 X 向(東西向)為 0.67，**有安全疑慮**；而於 Y 向(南北向)則為 0.71，同樣**有安全疑慮**。顯示在法規地震力作用下，張天機宅前落之土坍牆體於 X 向及 Y 向之抗剪能力均較為不足。

（三）面外地震力分析及耐震評估

牆體受面外地震力之破壞模式，主要為撓曲拉應力所造成之水平或垂直裂縫。根據【歷史建築震損及維護方式之研究-(二)砌體構造】p263，撓曲應力強度 f_t 採用 2.8 kgf/cm^2，而【福興農會穀倉調查研究報告書】P5-36，其土坯撓曲強度則介於 1.03 kgf/cm^2~3.44 kgf/cm^2，平均為 2.25 kgf/cm^2。然而因未對其灰縫之撓曲應力進行強度試驗，且考量本地維護程度、使用時間及補強等因素，假設灰縫之撓曲應力強度為 1.4 kgf/cm^2。

由於土坯磚受面外地震力作用時，大多於灰縫產生裂縫，故撓曲應力強度由灰縫控制，本案 f_t 採用 1.4 kgf/cm^2＝1.4×10^4 kgf/m^2。以下分別針對山牆、山牆下半部矩形牆體及長向牆體進行檢討與評估。

1.山牆

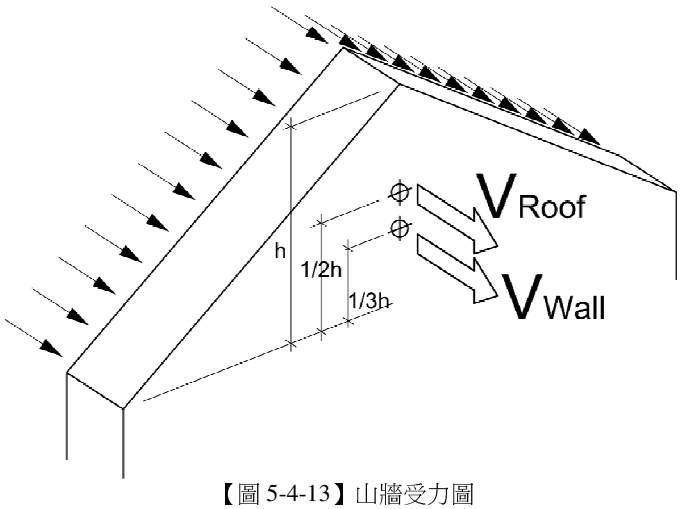
山牆受面外地震力作用之行為類似於懸臂系統，其底部有最大彎矩，常形成水平裂縫而破壞。因此，必須檢討其受到地震力所產生之撓曲應力是否超過最大之容許拉應力。

山牆之結構受力分析如【圖 5-4-13】所示。山牆所受之地震力可分成屋面載重及牆體本身自重所造成之水平力兩個部份。山牆高 h，屋面載重之合力位於山牆 h/2 處，自重合力則作用於山牆 h/3 處。張天機宅前落之地震力係數 C_s=0.640，故山牆底部最大彎矩如下式計算：

山牆底部彎矩 $M_u = M_{u-roof} + M_{u-wall}$

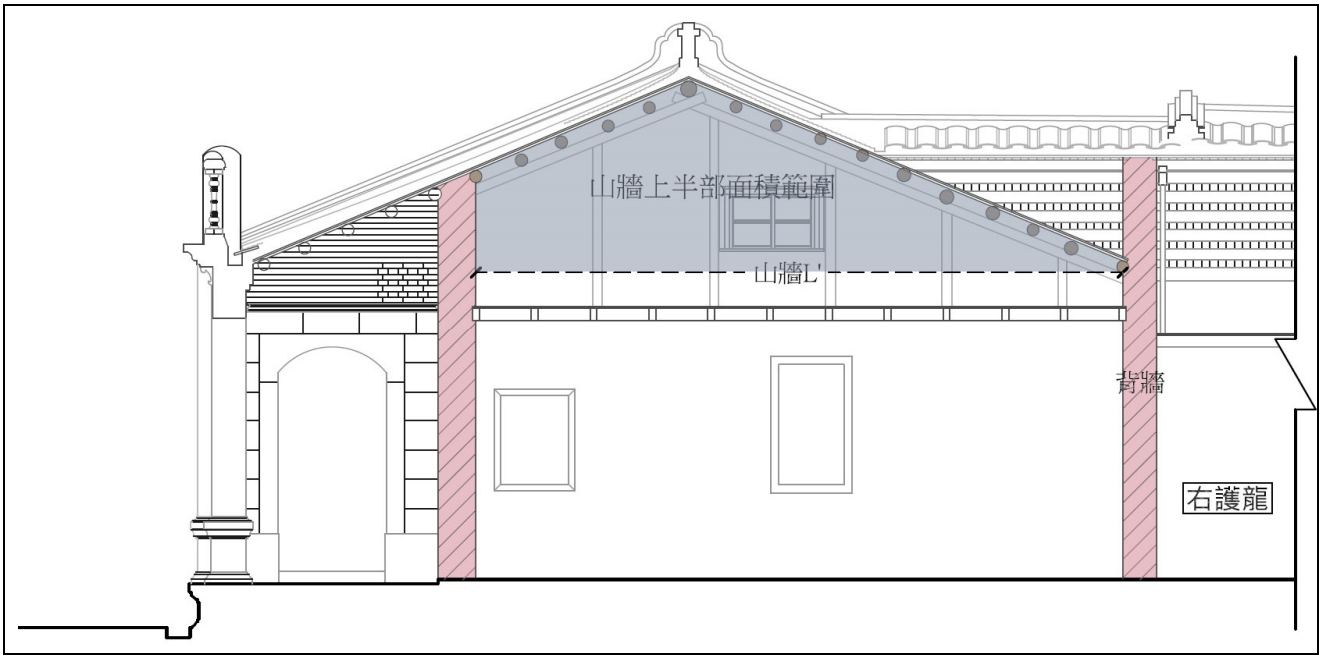
$$= V_{roof} \times h/2 + V_{wall} \times h/3$$

$$= 0.640 \times W_{roof} \times h/2 + 0.640 \times W_{wall} \times h/3$$



【圖 5-4-13】山牆受力圖

在此，由於前落山牆上半部面積範圍非三角形【圖 5-4-14】，為計算方便，簡略假設形心仍在三角形上，因此牆體自重合力作用之高度仍取 h/3。



【圖 5-4-14】前落山牆上半部面積範圍示意圖

（1） 山牆底部地震力彎矩 M_u

張天機宅前落之牆體編號如【圖 5-4-12】所示。分別計算各山牆(D-1、D-4、1-1、2-2、3-1、4-1、5-2、6-1)所負擔之屋面、棰木載重 W_{roof} 及牆體本身自重 W_{wall}。並計算於地震力作用下所產生之彎矩 M_u。如【表 5-4-7】所示。

【表 5-4-7】張天機宅前落－山牆底部彎矩 M_u

山牆編號	牆厚 t (m)	牆體總長 L (m)	淨長 L' (m)	高度 H (m)	W_{wall} =L'×t×H/2×γ （kgf）	$M_{u\text{-}wall}$ =Cs×W_{wall}×H/3 (kgf-m)	W_{roof} (kgf)	$M_{u\text{-}roof}$ =Cs×W_{roof}×H/2 (kgf-m)	M_u =$M_{u\text{-}wall}$+$M_{u\text{-}roof}$ (kgf-m)
D-1	0.404	5.57	5.13	1.35	2860.37	823.79	4803.16	2074.97	2898.75
D-4	0.404	5.57	5.13	1.35	2860.37	823.79	5997.65	2590.98	3414.77
1-1	0.493	9.19	7.72	2.22	8028.04	3802.08	4148.91	2947.39	6749.47
2-2	0.454	5.65	5.28	1.37	3195.66	933.99	4716.23	2067.59	3001.58
3-1	0.425	5.64	4.96	1.31	3178.35	888.24	4746.56	1989.76	2878.00
4-1	0.425	5.64	4.96	1.31	3178.35	888.24	4746.56	1989.76	2878.00
5-2	0.454	5.65	5.28	1.37	3195.66	933.99	4716.23	2067.59	3001.58
6-1	0.474	9.23	7.72	2.22	7590.15	3594.70	4148.91	2947.39	6542.08
備註：土埆單位體積重量 γ=1800 kgf/m^3									

（2） 牆體斷面模數 S 與其所受之軸壓應力 W/A

牆體之斷面模數 $S=\dfrac{I}{t/2}=\dfrac{bt^3/12}{t/2}=\dfrac{bt^2}{6}$ 。在計算山牆底部之面外彎矩時，若牆體有開口部，b

則取其淨長。而牆體所受之軸壓應力則為作用於山牆之全部重量 W 除以該牆體的有效斷面積 A。其計算詳【表 5-4-8】。

【表 5-4-8】張天機宅前落－山牆斷面模數 S 與所受之軸壓應力 W/A

山牆	牆厚 t (m)	淨長 L' (m)	有效斷面積 A (m^2)	作用於山牆之全部重量 $W=W_{wall}+W_{roof}$ (kgf)	軸壓應力 W/A (kgf/m^2)	牆體斷面模數 $S=L'\times t^2/6$ (kgf-m)
D-1	0.404	5.13	2.07	7663.53	3697.69	0.1395
D-4	0.404	5.13	2.07	8858.02	4274.03	0.1395
1-1	0.493	7.72	3.81	12176.95	3199.44	0.3127
2-2	0.454	5.28	2.40	7911.89	3300.58	0.1814
3-1	0.425	4.96	2.11	7924.90	3759.44	0.1493
4-1	0.425	4.96	2.11	7924.90	3759.44	0.1493
5-2	0.454	5.28	2.40	7911.89	3300.58	0.1814
6-1	0.474	7.72	3.66	11739.06	3208.03	0.2891

（3） 面外撓曲應力檢核

山牆在受到面外地震力作用時，常沿著其底部灰縫產生水平裂縫。因此必須檢討山牆在地震力作用下所受之撓曲拉應力 f_t 是否超過最大容許拉應力，即灰縫之撓曲應力強度 1.4 kgf/cm^2。計算結果詳【表 5-4-9】。而對於山牆所受之面外撓曲拉應力 f_t，其公式如下：

山牆底部之面外撓曲拉應力：$f_t=\frac{M_u}{S}-\frac{W}{A}$

【表 5-4-9】張天機宅前落－山牆之面外撓曲應力檢核

山牆	M_u (kgf-m)	軸壓應力 W/A (kgf-m)	牆體斷面模數 S=L'×t2/6	撓曲拉應力 M_u/S - W/A ($kgf-cm^2$)	法規地震力評估結果
D-1	2898.75	3697.69	0.1395	1.71	**有安全疑慮**
D-4	3414.77	4274.03	0.1395	2.02	**有安全疑慮**
1-1	6749.47	3199.44	0.3127	1.84	**有安全疑慮**
2-2	3001.58	3300.58	0.1814	1.32	基本完好
3-1	2878.00	3759.44	0.1493	1.55	**有安全疑慮**
4-1	2878.00	3759.44	0.1493	1.55	**有安全疑慮**
5-2	3001.58	3300.58	0.1814	1.32	基本完好
6-1	6542.08	3208.03	0.2891	1.94	**有安全疑慮**
備註：撓曲應力強度 f_t =1.4 kgf/cm^2					

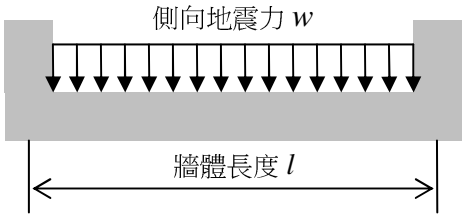
（4） 評估結果

根據評估結果可知，張天機宅前落之山牆在受到面外方向的法規地震力作用時，除左、右次間與梢間之隔間牆(山牆 2-2、5-2)為基本完好外，其餘牆體之撓曲拉應力 f_t 均大於 1.4 kgf/cm^2，即**有於其底部產生水平裂縫之疑慮**。

2. 山牆下半部矩形牆體及長向牆體

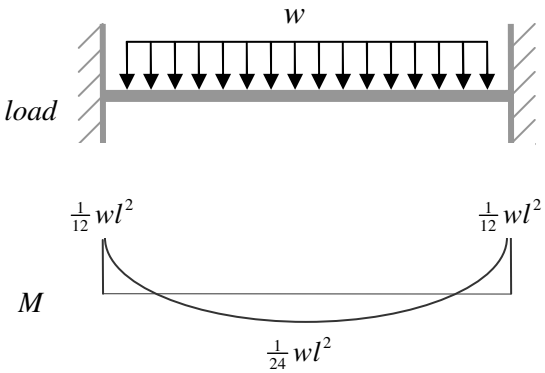
（1） 地震產生彎矩於單位長度之大小

$M_u = \frac{I}{1.4\alpha_y}\left(\frac{S_{aD}}{F_u}\right)_m \frac{q \cdot x^2}{k}$ ，由於張天機宅前落之最大水平地震係數 Cs =0.640，故 $M_u = \frac{I}{1.4\alpha_y}\left(\frac{S_{aD}}{F_u}\right)_m \frac{q \cdot x^2}{k} = 0.640\frac{q \cdot x^2}{k}$。有關山牆下半部牆體及長向牆體垂直裂縫之分析如【圖 5-4-15】：（牆體兩側有支撐）



【圖 5-4-15】牆體受力示意圖

① 如果兩端束制效果極佳，類似 Fixed end（固定端），兩端彎矩較大（ $M_{\max} = \frac{1}{12}wl^2$ ），會產生垂直裂縫。

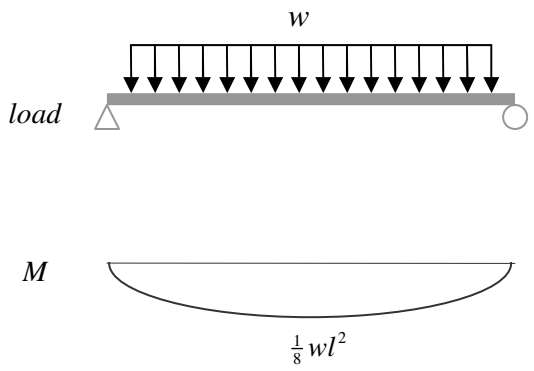


【圖 5-4-16】牆體兩端束制受力示意及彎矩圖

$$M_{\max} = \frac{1}{12}wl^2 = \frac{4}{12}\times w(\frac{l}{2})^2 = \frac{1}{3}w(\frac{l}{2})^2 \quad , k = 3$$

$$M_c = \frac{1}{24}wl^2 = \frac{4}{24}\times w(\frac{l}{2})^2 = \frac{1}{6}w(\frac{l}{2})^2 \quad , k = 6$$

② 如果兩端束制效果不佳，類似鉸接，則中央會有最大向上彎矩 $M_{max}=\frac{1}{8}wl^2$ 。

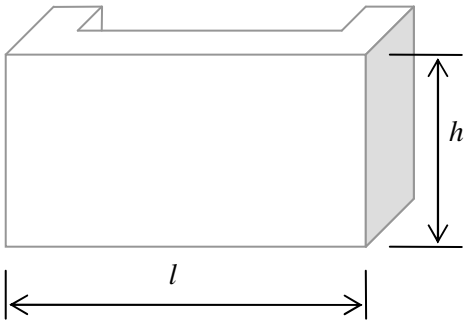


【圖 5-4-17】牆體兩端束制不佳的受力示意及彎矩圖

$$M_{max}=\frac{1}{8}wl^2=\frac{4}{8}\times w(\frac{l}{2})^2=\frac{1}{2}w(\frac{l}{2})^2 \quad , \mathrm{k}=2$$

綜合上述分析，一般土坍牆體之束制應介於鉸接與固接之間，中央彎矩介於 $\frac{1}{24}wl^2 \sim \frac{1}{8}wl^2$ 之間，即 k 介於 2~6 之間。

雖張天機宅前落之部分牆體有磚柱將其予以圍束，但圍束效果不佳。故本案擬對牆體中央或端部之垂直裂縫以 k=3 分析評估。



【圖 5-4-18】牆體長度及高度示意圖

又牆體底部亦有束制，如果牆體高度不高，則面外變形由牆體高度所控制，因此，上述 $\frac{l}{2}$ 不必大於 h，即評估時取 h、$\frac{l}{2}$ 兩者較小值進行耐震評估即可。

（2） 作用於單位長度牆體之全部重量 q

山牆下半部矩形牆體除承受本身牆體之自重外，亦需承擔來自牆頂上方構造之載重，如：山牆上半部牆體、屋面、楹、樓板、天花板等重量。其作用於單位長度牆體之全部重量 q，如下式計算：

山牆下半部矩形牆體 $q = q_{wall} + q_{\text{牆頂載重}}$

$$= \gamma \times t \times H + (\text{山牆上半部 } W_{wall} + W_{roof} + W_{floor} + W_{ceiling}) \div L$$

其中： γ 為土坯砌體單位體積重量 (kgf/m^3)

H 為牆高 (m)

L 為山牆總長 (m)

t 為牆厚 (m)

長向牆體則同樣仍需承擔簷廊之屋頂重量及相關之木構件重量，故作用於單位長度牆體之全部重量 q，同上式計算方式。在此，由於前落中央三開間之牆體(B-2、B-3、B-4)，受到上方 RC 樓板與牌樓面之束制，因此較不易於牆頂或開口處產生面外之裂縫，故本次僅對該處樓板上方之牆體進行評估。【表 5-4-10】則為張天機宅前落各牆體作用於單位長度牆體全部重量 q 之計算。

【表 5-4-10】張天機宅前落－作用於單位長度牆體之全部重量 q

X 向牆體 (東西向)	厚 t (m)	牆體總長 L (m)	牆高 H(m)	$q_{wall}=\gamma\times t\times H$ (kgf/m)	牆頂載重 (kgf)	牆頂載重作用於單位長度牆體之重量 $q_{牆頂載重}$ (kgf/m)	作用於單位長度牆體之全部重量 q (kgf/m)
B-1	0.425	7.52	4.47	3419.55	1455.84	193.60	3613.15
B-2	0.200	4.20	1.26	453.60	—	—	453.60
B-3	0.220	4.68	2.21	875.16	1154.46	246.68	1121.84
B-4	0.200	4.20	1.26	453.60	—	—	453.60
B-5	0.425	7.55	4.47	3419.55	1455.84	192.83	3612.38
C-1	0.370	3.77	5.15	3429.90	4995.78	1325.14	4755.04
C-2	0.370	3.77	5.15	3429.90	4995.78	1325.14	4755.04
D-1	0.404	5.57	3.70	2690.64	8051.62	1445.53	4136.17
D-2	0.265	1.97	3.23	1540.71	774.06	392.92	1933.63
D-3	0.265	1.97	3.23	1540.71	774.06	392.92	1933.63
D-4	0.404	5.57	3.70	2690.64	9248.61	1660.43	4351.07
Y 向牆體 (南北向)	**厚 t (m)**	**牆體總長 L (m)**	**牆高 H(m)**	**$q_{wall}=\gamma\times t\times H$ (kgf/m)**	**牆頂載重 (kgf)**	**牆頂載重作用於單位長度牆體之重量 $q_{牆頂載重}$ (kgf/m)**	**作用於單位長度牆體之全部重量 q (kgf/m)**
1-1	0.493	9.19	3.25	2884.05	13513.02	1470.40	4354.45
2-1	0.420	2.19	3.22	2434.32	3841.05	1753.90	4188.22
2-2	0.454	5.65	5.09	4159.55	8676.27	1535.62	5695.17
3-1	0.425	5.64	4.96	3794.40	8896.69	1577.43	5371.83
4-1	0.425	5.64	4.96	3794.40	8896.69	1577.43	5371.83
5-1	0.420	2.19	3.22	2434.32	3841.05	1753.90	4188.22
5-2	0.454	5.65	5.09	4159.55	8676.27	1535.62	5695.17
6-1	0.474	9.23	3.25	2772.90	13039.94	1412.78	4185.68
備註： γ =1800 kgf/m^3							

（3） 評估用不同 x 值

山牆下半部矩形牆體及長向牆體除了檢討是否產生水平裂縫外，還要檢視是否會產生垂直裂縫。在檢查牆體底部是否會產生水平裂縫時，其 x 值的選擇如下：(a)牆體無開窗，為牆頂至卵石層或 2/3 高度之間距。(b)牆體有開窗，則為牆頂至窗檯底邊之間距 hi；在檢查牆體是否會產生垂直裂縫時，其 X 值的選擇則取 H 及 1/2L 較小者。各牆體 X 值如【表 5-4-11】所示。

評估用不同 x 值：

檢核水平裂縫 $x_1 = h_1 = 2/3H$ (牆無開窗)

or $x_1 = h_2$ (牆體無開窗，牆頂至卵石層的間距)

or $x_1 = h_3$ (牆體開窗，牆頂至窗檯底的間距)

檢核垂直裂縫 $x_2 =$ 1/2L； H (取較小者)

【表 5-4-11】張天機宅前落－牆體 x 值

X 向牆體 (東西向)	牆體總長 L (m)	高 H (m)	淨高 h_1=2/3H (m)	淨高 h_2=牆體至卵石層 (m)	淨高 h_3=牆頂至窗台 (m)	X_1=hi (m)	X_2=(L/2、H 較小者) (m)
B-1	7.29	3.30	—	—	2.37	2.37	3.30
B-2	4.20	1.26	0.84	—	-	0.84	2.10
B-3	4.68	2.21	1.47	—	-	1.47	2.34
B-4	4.20	1.26	0.84	—	-	0.84	2.10
B-5	7.30	3.30	—	—	2.37	2.37	3.30
C-1	3.77	5.15	—	—	2.48	2.48	1.89
C-2	3.77	5.15	—	—	2.48	2.48	1.89
D-1	5.14	3.70	—	—	2.64	2.64	2.57
D-2	1.97	3.23	2.15	—	-	2.15	0.99
D-3	1.97	3.23	2.15	—	-	2.15	0.99
D-4	5.14	3.70	—	—	2.64	2.64	2.57
Y 向牆體 (南北向)	**牆體總長 L (m)**	**高 H (m)**	**淨高 h_1=2/3H (m)**	**淨高 h_2=牆體至卵石層 (m)**	**淨高 h_3=牆頂至窗台 (m)**	**X_1=hi (m)**	**X_2=(L/2、H 較小者) (m)**
1-1	9.19	3.25	—	—	2.73	2.73	3.25
2-1	2.19	3.22	2.15	—	—	2.15	1.10
2-2	5.65	5.09	—	—	3.94	3.94	2.83
3-1	5.64	4.96	3.31	—	—	3.31	2.82
4-1	5.64	4.96	3.31	—	—	3.31	2.82

5-1	2.19	3.22	2.15	—	—	2.15	1.10
5-2	5.65	5.09	—	—	3.94	3.94	2.83
6-1	9.23	3.25	—	—	2.73	2.73	3.25

（4） 牆體所受彎矩 M_u

牆體所受彎矩 M_u 為：$0.640\frac{q\cdot x^2}{k}$。本案假設其束制條件，k＝3 進行分析評估。將上述之數值代入，即可求得各牆體所受之彎矩 M_u，詳【表 5-4-12】。

【表 5-4-12】張天機宅前落－牆體所受彎矩 M_u

X 向牆體 (東西向)	X (m)		作用於單位長度牆體之全部重量 q (kgf/m)	k	M_u (kgf-m)	
	X_1=hi	X_2=(L/2、H 較小者)			X_1=hi	X_2=(L/2、H 較小者)
B-1	2.37	3.30	3613.15	3	4329.53	8394.06
B-2	0.84	2.10	453.60	3	68.28	426.75
B-3	1.47	2.34	1121.84	3	519.51	1310.45
B-4	0.84	2.10	453.60	3	68.28	426.75
B-5	2.37	3.30	3612.38	3	4328.61	8392.27
C-1	2.48	1.89	4755.04	3	6239.02	3604.42
C-2	2.48	1.89	4755.04	3	6239.02	3604.42
D-1	2.64	2.57	4136.17	3	6149.86	5828.06
D-2	2.15	0.99	1933.63	3	1912.74	400.23
D-3	2.15	0.99	1933.63	3	1912.74	400.23
D-4	2.64	2.57	4351.07	3	6469.38	6130.86
Y 向牆體 (南北向)	X (m)		作用於單位長度牆體之全部重量 q (kgf/m)	k	M_u (kgf-m)	
	X_1=hi	X_2=(L/2、H 較小者)			X_1=hi	X_2=(L/2、H 較小者)
1-1	2.73	3.25	4354.45	3	6923.37	9812.04
2-1	2.15	1.10	4188.22	3	4117.35	1071.31
2-2	3.94	2.83	5695.17	3	18860.71	9696.22
3-1	3.31	2.82	5371.83	3	12530.30	9113.37
4-1	3.31	2.82	5371.83	3	12530.30	9113.37
5-1	2.15	1.10	4188.22	3	4117.35	1071.31
5-2	3.94	2.83	5695.17	3	18860.71	9696.22
6-1	2.73	3.25	4185.68	3	6655.03	9431.73

（5） 牆體斷面模數 S 與其所受之軸壓應力 W/A

牆體之斷面模數 $S=\frac{I}{t/2}=\frac{bt^3/12}{t/2}=\frac{bt^2}{6}$ 。在計算面外彎矩的位置若牆體有開口部時，b 則取其淨長。而牆體所受之軸壓應力則為作用於牆體之全部重量 W 除以該牆體的有效斷面積 A。其計算詳【表 5-4-13】。

【表 5-4-13】張天機宅前落－牆體斷面模數 S 與所受之軸壓應力 W/A

X 向牆體(東西向)	牆厚 t (m)	牆高 H (m)	牆體總長 L (m)	開口總長 l (m)	開口高度 h (m)	有效斷面積 A (m^2)	作用於單位長度牆體之全部重量 q (kgf/m)	軸壓應力 W/A (kgf/m^2)	水平 $S=(L-l)t^2/6$ (m^3)	垂直 $S=(H-h)t^2/6$ (m^3)
B-1	0.425	4.47	7.52	1.89	—	2.39	3613.15	11359.53	0.1694	0.1346
B-2	0.200	1.26	4.20	—	—	0.84	453.60	2268.00	0.0280	0.0084
B-3	0.220	2.21	4.68	0.97	—	0.82	1121.84	6432.50	0.0299	0.0178
B-4	0.200	1.26	4.20	—	—	0.84	453.60	2268.00	0.0280	0.0084
B-5	0.425	4.47	7.55	1.89	—	2.40	3612.38	11341.96	0.1703	0.1346
C-1	0.370	5.15	3.77	0.91	2.00	1.06	4755.04	16911.00	0.0654	0.0719
C-2	0.370	5.15	3.77	0.91	2.00	1.06	4755.04	16911.00	0.0654	0.0719
D-1	0.404	3.70	5.57	1.60	—	1.61	4136.17	14353.38	0.1081	0.1006
D-2	0.265	3.23	1.97	0.85	2.16	0.30	1933.63	12834.42	0.0131	0.0125
D-3	0.265	3.23	1.97	0.85	2.16	0.30	1933.63	12834.42	0.0131	0.0125
D-4	0.404	3.70	5.57	1.60	—	1.61	4351.07	15099.12	0.1081	0.1006
Y 向牆體(南北向)	**牆厚 T (m)**	**牆高 H (m)**	**牆體總長 L (m)**	**開口總長 l (m)**	**開口高度 h (m)**	**有效斷面積 A (m^2)**	**作用於單位長度牆體之全部重量 q (kgf/m)**	**軸壓應力 W/A (kgf/m^2)**	**水平 $S=(L-l)t^2/6$ (m^3)**	**垂直 $S=(H-h)t^2/6$ (m^3)**
1-1	0.493	3.25	9.19	2.47	—	3.31	4354.45	12079.06	0.2722	0.1317
2-1	0.420	3.22	2.19	0.90	2.15	0.54	4188.22	16929.14	0.0379	0.0315
2-2	0.454	5.09	5.65	1.58	—	1.85	5695.17	17414.26	0.1398	0.1749
3-1	0.425	4.96	5.64	1.02	—	1.96	5371.83	15430.15	0.1391	0.1493
4-1	0.425	4.96	5.64	1.02	—	1.96	5371.83	15430.15	0.1391	0.1493
5-1	0.420	3.22	2.19	0.90	2.15	0.54	4188.22	16929.14	0.0379	0.0315
5-2	0.454	5.09	5.65	1.58	—	1.85	5695.17	17414.26	0.1398	0.1749
6-1	0.474	3.25	9.23	2.47	—	3.20	4185.68	12057.09	0.2531	0.1217

（6） 面外撓曲應力檢核

由於土坍砌體牆受到面外地震力作用時，大多於灰縫產生裂縫，故必須檢討其所受之撓曲拉應力 f_t 是否超過最大容許拉應力，即灰縫之撓曲應力強度 1.4 kgf/cm^2。其計算結果詳【表 5-4-14】、【表 5-4-15】。而對於水平與垂直不同方向之面外撓曲拉應力 f_t ，其公式分則別如下：

水平方向之面外撓曲拉應力： $f_t=\frac{M_u}{S}-\frac{W}{A}$

垂直方向之面外撓曲拉應力：$f_t = \frac{M_u}{S}$

【表 5-4-14】張天機宅前落－各牆體之面外水平撓曲應力檢核

面外水平裂縫檢核					
X 向 牆體 (東西向)	M_u (kgf-m)	軸壓應力 W/A (kgf/m^2)	水平 $S=(L-l)t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應力 M_u/S - W/A (kgf/cm^2)	法規地震力 評估結果
B-1	4329.53	11359.53	0.1694	1.42	**有安全疑慮**
B-2	68.28	2268.00	0.0280	0.02	基本完好
B-3	519.51	6432.50	0.0299	1.09	基本完好
B-4	68.28	2268.00	0.0280	0.02	基本完好
B-5	4328.61	11341.96	0.1703	1.41	**有安全疑慮**
C-1	6239.02	16911.00	0.0654	7.85	**有安全疑慮**
C-2	6239.02	16911.00	0.0654	7.85	**有安全疑慮**
D-1	6149.86	14353.38	0.1081	4.25	**有安全疑慮**
D-2	1912.74	12834.42	0.0131	13.31	**有安全疑慮**
D-3	1912.74	12834.42	0.0131	13.31	**有安全疑慮**
D-4	6469.38	15099.12	0.1081	4.48	**有安全疑慮**
Y 向 牆體 (南北向)	M_u (kgf-m)	軸壓應力 W/A (kgf/m^2)	水平 $S=(L-l)t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應力 M_u/S - W/A (kgf/cm^2)	法規地震力 評估結果
1-1	6923.37	12079.06	0.2722	1.34	基本完好
2-1	4117.35	16929.14	0.0379	9.16	**有安全疑慮**
2-2	18860.71	17414.26	0.1398	11.75	**有安全疑慮**
3-1	12530.30	15430.15	0.1391	7.47	**有安全疑慮**
4-1	12530.30	15430.15	0.1391	7.47	**有安全疑慮**
5-1	4117.35	16929.14	0.0379	9.16	**有安全疑慮**
5-2	18860.71	17414.26	0.1398	11.75	**有安全疑慮**
6-1	6655.03	12057.09	0.2531	1.42	**有安全疑慮**
備註：灰縫撓曲應力強度　f_t=1.4 kgf/cm^2					

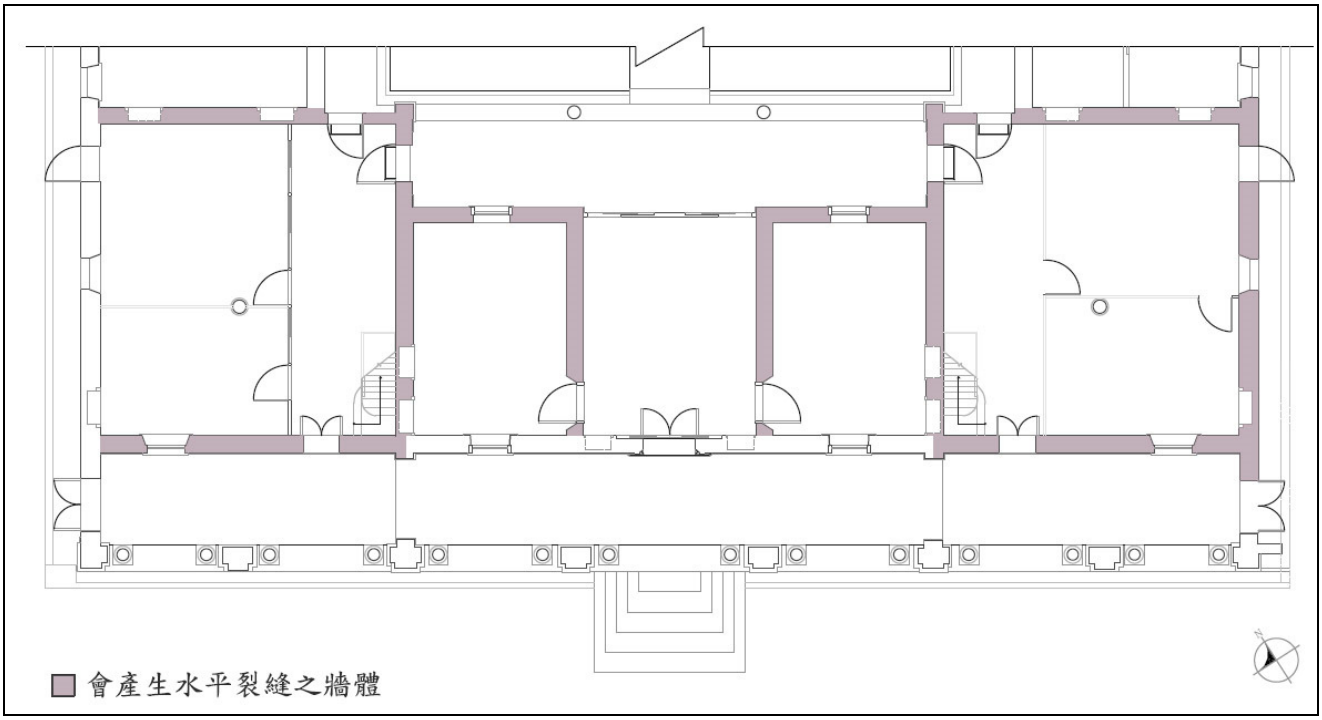
【表 5-4-15】張天機宅前落－各牆體之面外垂直撓曲應力檢核

面外垂直裂縫檢核				
X 向 牆體 (東西向)	M_u (kgf-m)	垂直 $S=(H-h)t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應力 M_u/S (kgf/cm^2)	法規地震力 評估結果
B-1	8394.06	0.1346	6.24	**有安全疑慮**
B-2	426.75	0.0084	5.08	**有安全疑慮**
B-3	1310.45	0.0178	7.35	**有安全疑慮**
B-4	426.75	0.0084	5.08	**有安全疑慮**
B-5	8392.27	0.1346	6.24	**有安全疑慮**
C-1	3604.42	0.0719	5.02	**有安全疑慮**
C-2	3604.42	0.0719	5.02	**有安全疑慮**
D-1	5828.06	0.1006	5.79	**有安全疑慮**
D-2	400.23	0.0125	3.20	**有安全疑慮**
D-3	400.23	0.0125	3.20	**有安全疑慮**
D-4	6130.86	0.1006	6.09	**有安全疑慮**
Y 向 牆體 (南北向)	M_u (kgf-m)	垂直 $S=(H-h)t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應 M_u/S (kgf/cm^2)	法規地震力 評估結果
1-1	9812.04	0.1317	7.45	**有安全疑慮**
2-1	1071.31	0.0315	3.41	**有安全疑慮**
2-2	9696.22	0.1749	5.55	**有安全疑慮**
3-1	9113.37	0.1493	6.10	**有安全疑慮**
4-1	9113.37	0.1493	6.10	**有安全疑慮**
5-1	1071.31	0.0315	3.41	**有安全疑慮**
5-2	9696.22	0.1749	5.55	**有安全疑慮**
6-1	9431.73	0.1217	7.75	**有安全疑慮**
備註：灰縫撓曲應力強度　f_t=1.4 kgf/cm^2				

（7） 評估結果

水平裂縫

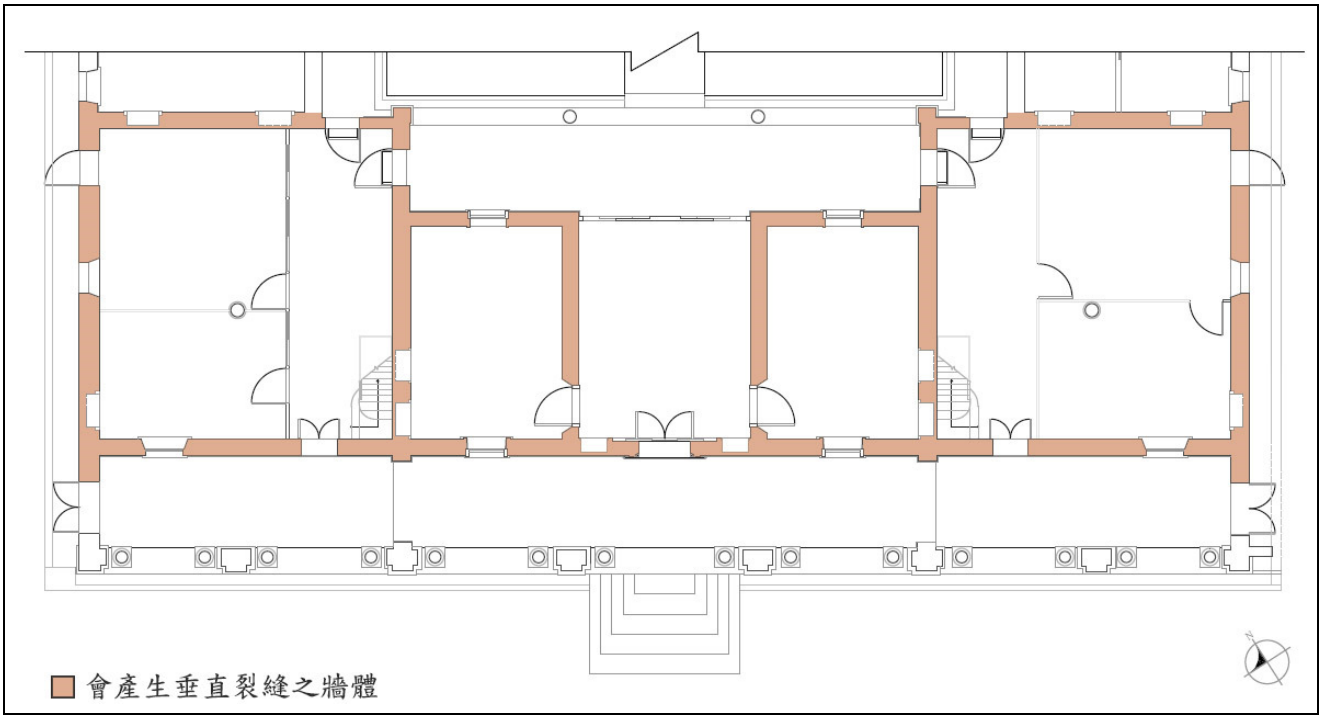
根據評估結果可知，張天機宅前落之牆體在受到面外方向的法規地震力作用時，除位於樓板上方之中央三開間牆體(B-2、B-3、B-4) 及右稍間外牆(1-1)外，其餘牆體之撓曲拉應力 f_t 均大於 1.4 kgf/cm^2，即有產生水平裂縫之疑慮。會產生水平裂縫之牆體位置如【圖 5-4-19】所示。



【圖 5-4-19】張天機宅前落－產生水平裂縫之牆體位置圖

垂直裂縫

根據評估結果可知，張天機宅前落之牆體在受到面外方向的法規地震力作用時，所有牆體之撓曲拉應力 f_t 均大於 1.4 kgf/cm^2，即均有產生垂直裂縫之疑慮。會產生垂直裂縫之牆體位置如【圖 5-4-20】所示。



【圖 5-4-20】張天機宅前落－產生垂直裂縫之牆體位置圖

(四) 修復補強建議

1. 屋架

根據評估結果可知，張天機宅前落各空間之楹木在靜載重與活載重同時作用的條件下，最大撓曲應力均大於容許應力，顯示構材斷面較為不足。因此，以下針對前落各空間之楹木斷面尺寸予以建議：

（1） 明間

楹木建議最小之斷面尺寸為 16.5 cm (d)，跨距為 426.8 *cm*，最大水平間距為 57cm。

斷面積 A＝$\pi\times\left(\frac{16.5}{2}\right)^2$＝213.82 cm^2，斷面模數 $S=\frac{\pi\times d^3}{32}=\frac{\pi\times(16.5)^3}{32}$＝441.01 cm^3。

靜載重均佈力 W_D＝160×0.57＋500×（0.0825×0.0825×π ）＝101.89 *kgf/m*

活載重均佈力 W_L＝60×0.57＝34.20 *kgf/m*

W＝W_D＋W_L＝101. 89＋34.20＝136.091 *kgf/m*＝1.361 *kgf/cm*

$$M=\frac{wl^2}{8}=\frac{1.361\times(426.8)^2}{8}=30987.67\ kgf\text{-}cm$$

$$V=\frac{wl}{2}=\frac{1.361\times426.8}{2}=290.42\ kgf$$

受彎構材之斷面檢核：$\frac{M}{Z_e}$＝30987.67/441.01＝70.26 kgf/cm^2 ≦ 75 kgf/cm^2 **O.K.**

受彎構材之剪應力檢核：$\frac{\alpha Q}{A_e}=\frac{4}{3}\times\frac{290.42}{213.82}$＝1.81 kgf/cm^2 ≦ 6 kgf/cm^2 **O.K.**

（2） 次間

楹木建議最小之斷面尺寸為 15 cm (d)，跨距為 376.3 *cm*，最大水平間距為 54cm。

斷面積 A＝$\pi\times\left(\frac{15}{2}\right)^2$＝176.71 cm^2，斷面模數 $S=\frac{\pi\times d^3}{32}=\frac{\pi\times(15)^3}{32}$＝331.34 cm^3。

靜載重均佈力 W_D＝160×0.54＋500×（0.075×0.075×π ）＝95.24 *kgf/m*

活載重均佈力 W_L＝60×0.54＝32.40 *kgf/m*

W＝W_D＋W_L＝95. 24＋32.40＝127.64 *kgf/m*＝1.276 *kgf/cm*

$$M=\frac{wl^2}{8}=\frac{1.276\times(376.3)^2}{8}=22591.79\ kgf\text{-}cm$$

$$V=\frac{wl}{2}=\frac{1.276\times376.3}{2}=240.15\ kgf$$

受彎構材之斷面檢核：$\frac{M}{Z_e}$ ＝22591.79/331.34＝68.18 *kgf/cm²* ≦ 75 *kgf/cm²* **O.K.**

受彎構材之剪應力檢核：$\frac{\alpha Q}{A_e}=\frac{4}{3}\times\frac{240.15}{176.71}$ ＝1.81 *kgf/cm²* ≦ 6 *kgf/cm²* **O.K.**

（3） 稍間

楹木建議最小之斷面尺寸為 15 cm (d)，跨距為 383.9 *cm*，最大水平間距為 56cm。

斷面積 A＝$\pi\times\left(\frac{15}{2}\right)^2$ ＝176.71 cm^2，斷面模數 $S=\frac{\pi\times d^3}{32}=\frac{\pi\times(15)^3}{32}$ ＝331.34 cm^3。

靜載重均佈力 W_D＝160x0.56＋500×（0.075×0.075×π ）＝98.44 *kgf/m*

活載重均佈力 W_L＝60x0.56＝33.60 *kgf/m*

W＝W_D＋W_L＝96.24＋33.60＝132.04 *kgf/m*＝1.320 *kgf/cm*

$$M=\frac{wl^2}{8}=\frac{1.320\times(383.9)^2}{8}=24324.15\ kgf\text{-}cm$$

$$V=\frac{wl}{2}=\frac{1.320\times383.9}{2}=253.44\ kgf$$

受彎構材之斷面檢核：$\frac{M}{Z_e}$ ＝24324.15/331.34＝73.41 *kgf/cm²* ≦ 75 *kgf/cm²* **O.K.**

受彎構材之剪應力檢核：$\frac{\alpha Q}{A_e}=\frac{4}{3}\times\frac{253.44}{176.71}$ ＝1.91 *kgf/cm²* ≦ 6 *kgf/cm²* **O.K.**

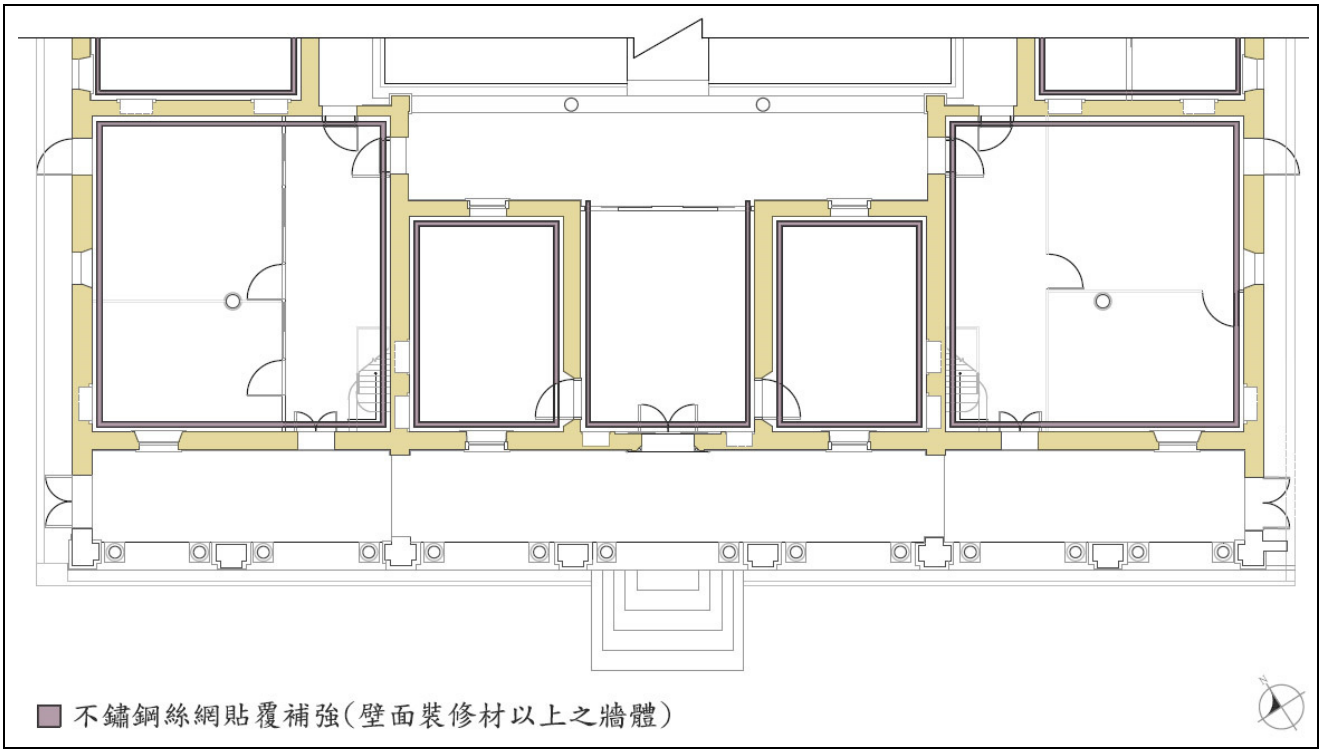
根據評估結果可知，張天機宅前落各空間之楹木依上述建議的斷面尺寸計算後，**所受之最大撓曲應力及剪應力均小於容許應力，故構材之斷面符合規範要求**。因此，未來進行修復設計時，除現況木料有腐朽、劣化嚴重應予抽換外，明間楹木直徑小於 16.5cm 者；次間、稍間楹木直徑小於 15cm 者，亦建議予以抽換，以達長期荷重作用下之結構安全。

2. 牆體

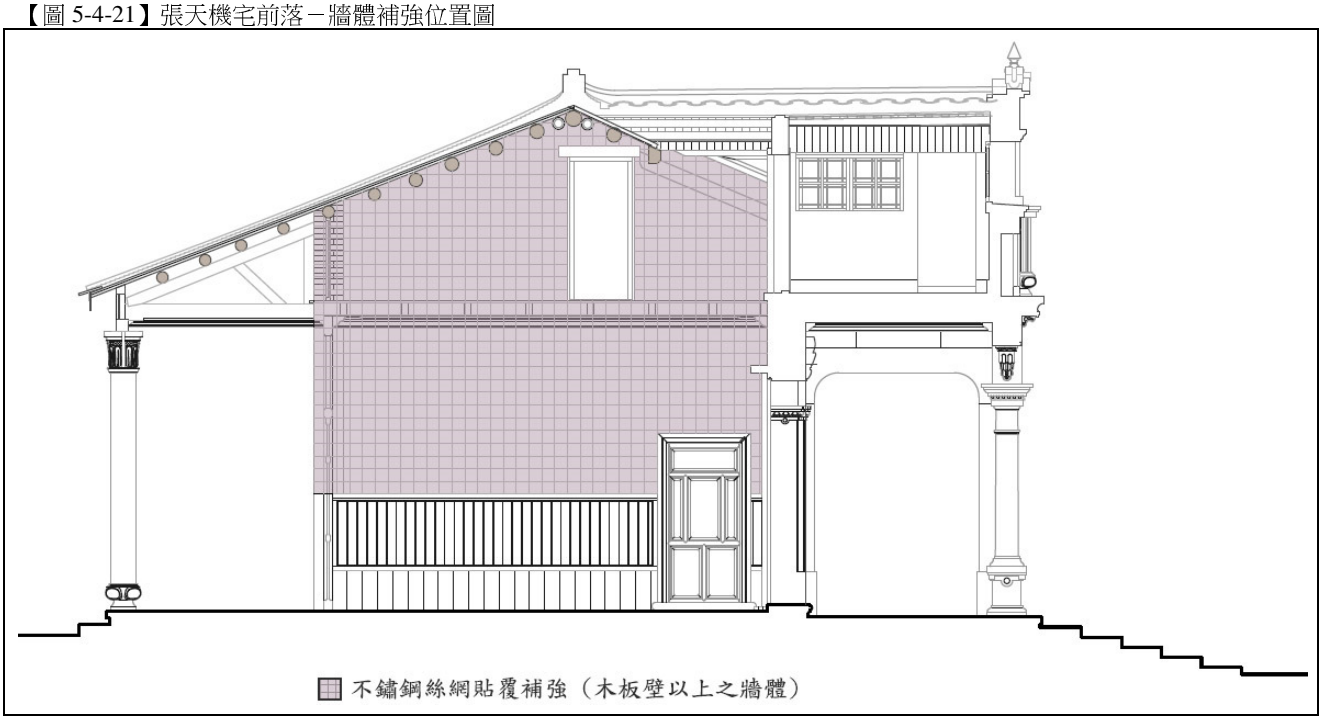
根據評估結果可知，后里張天機宅前落對於面內之剪力耐震評估，於 X 向(東西向)及 Y 向(南北向)均**有安全疑慮**。顯示在法規地震力作用下，前落之土坍牆體於東西、南北向之抗剪能力均較為不足；而對於面外力之耐震評估，前落所有牆體均**有產生垂直裂縫的疑慮**，且多數牆體(包括山牆底部)亦**會有產生水平裂縫的疑慮**。

有關后里張天機宅之耐震不利因素與建議修復補強方式，於本章第一節已有相關之討論。故張天機宅前落於修復階段，建議所有室內牆面皆採不銹鋼絲網貼覆補強，鋼絲網規格為#16(線徑 1.6 mm)，網目間距則為 1/2”。 張天機宅前落之牆體補強位置如【圖 5-4-21】所示。

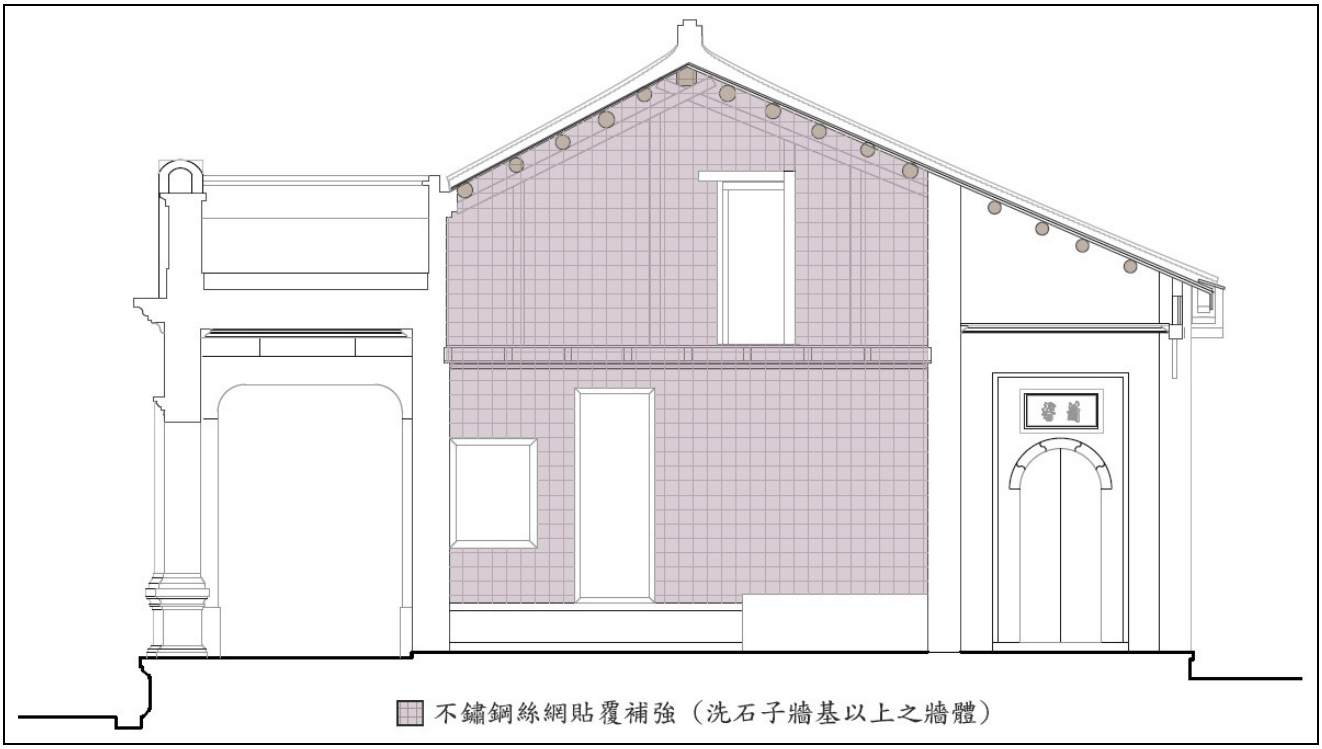
而不鏽鋼絲網貼覆補強之範圍，則根據面內、面外之耐震評估結果，並考量古蹟修復之理念與精神，以及原有室內裝修(如：木壁板、洗石子牆基等)之保存維護予以決定。因此，明間牆體之補強範圍為木壁板以上之牆體，如【圖 5-4-22】所示；次間牆體之補強範圍則為洗石子牆基以上之牆體，如【圖 5-4-23】；而稍間牆體由於外觀上並無施做裝修材，故整面牆體均予以補強，如【圖 5-4-24】。



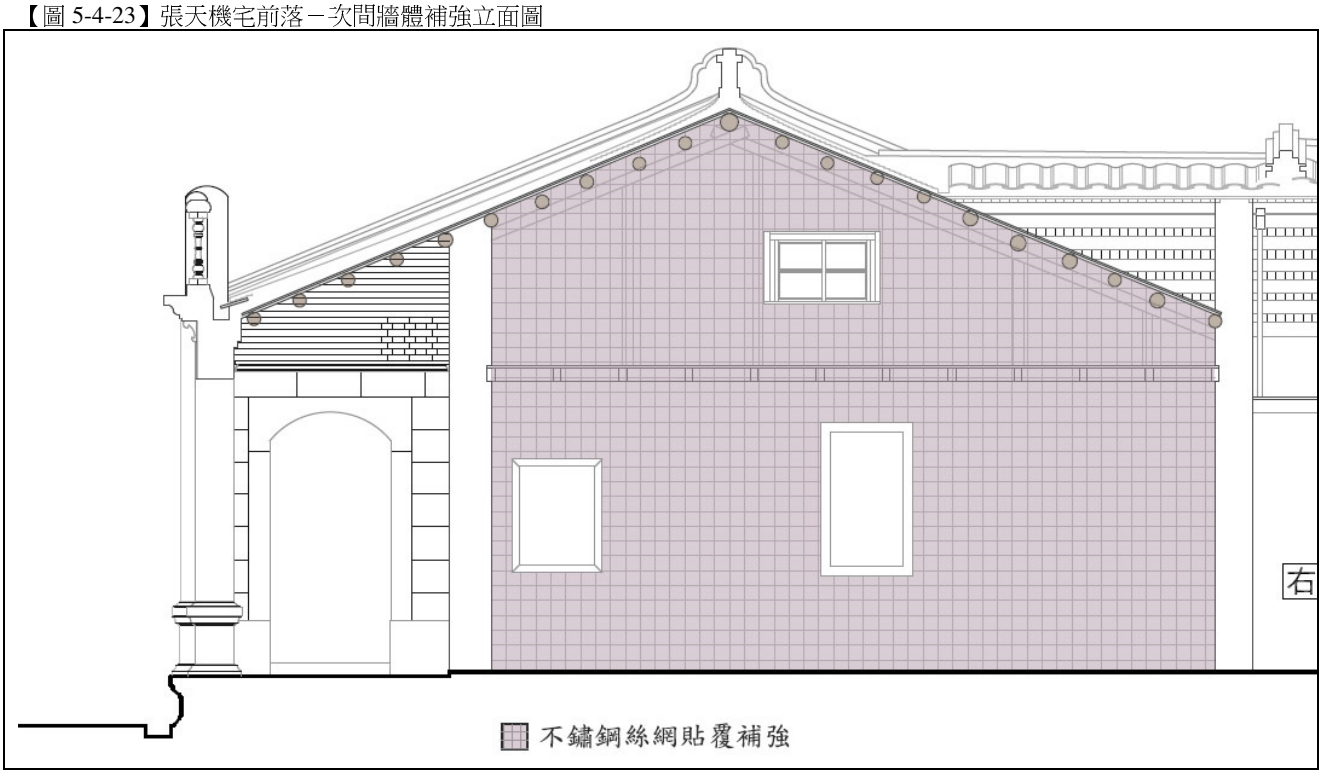
【圖 5-4-21】張天機宅前落－牆體補強位置圖



【圖 5-4-22】張天機宅前落－明間牆體補強立面圖



【圖 5-4-23】張天機宅前落－次間牆體補強立面圖



【圖 5-4-24】張天機宅前落－稍間牆體補強立面圖

（五）牆體補強後之耐震評估

1.法規地震力計算

張天機宅之前落經不銹鋼絲網修復補強後，可改善土坍牆於地震時脆性破壞之缺點，並且增加

其韌性及面內、面外之耐震能力。亦可避免在受到面外力作用時，牆體之接合介面產生分離、脫開的情形。因此，修復補強後其韌性容量取 R=2.0。

容許韌性容量 $R_a = 1 + \frac{(R-1)}{1.5} =$ 1+(2.0-1)/1.5＝1.67

結構系統地震力折減係數 $F_u = \sqrt{2R_a - 1}$ **＝1.528**

◆ **最小設計水平總橫力 V**

$\frac{S_{aD}}{F_u}$ **＝1.024/1.528＝0.670** ； $0.3 < \frac{S_{aD}}{F_u} = 0.670 < 0.8$

$\left(\frac{S_{aD}}{F_u}\right)_m = 0.52\frac{S_{aD}}{F_u} + 0.144 = 0.52 \times 0.670 + 0.144$ **＝0.493**

最小設計水平總橫力 $V = \frac{I}{1.4 \cdot \alpha_y} \cdot \left(\frac{S_{aD}}{F_u}\right)_m \cdot W = \frac{1.25}{1.4 \times 1.0} \times 0.493 \times W$ **= 0.440×W**

◆ **避免中小度地震降伏之設計地震力** V^*

$V^* = \frac{IF_u}{4.2\alpha_y} \cdot \left(\frac{S_{aD}}{F_u}\right)_m \cdot W = \frac{1.25}{4.2 \times 1.0}$ **× 1.528 × 0.493 × W = 0.224× W**

◆ 基底剪力 V_u

基底剪力 V_u＝0.440W＝0.440 ×322,900＝142076.00 *kgf*

2. 面內－剪力耐震評估

（1） 不鏽鋼絲網補強提供之抗剪力

由於前落修復時，室內牆面皆採不銹鋼絲網貼覆補強(鋼絲網規格為#16，網目間距則為 1/2”)，並利用其粉刷層(厚度為 3cm)將鋼絲網與土坍砌體牆結合為一體，對於面內地震力作用下，亦能提供抗剪強度(其中，牆體 D-1、D-4、2-2、3-1、4-1、5-2 為雙面補強。)。因此，牆體總抗剪力尚須加上不鏽鋼絲網提供之抗剪強度 V_s 與水泥砂漿之抗剪強度 V_c。其計算式如下：

不鏽鋼絲網之抗剪強度 V_s＝0.5Fy×As×L/b

其中： Fy 為鋼絲網降伏強度，Fy＝21 kgf/mm^2

As 為鋼絲網線斷面積

L 為牆體淨長

b 為網格寬度

水泥砂漿之抗剪強度，參考混凝土抗剪強度＝$0.53\times(fc')^{1/2}$。抗壓強度 fc'則保守以 140 kgf/cm^2 計，因此，水泥砂漿單位面積之抗剪強度＝$0.53\times(140)^{1/2}=6.27$ kgf/cm^2。

故水泥砂漿之抗剪強度 $V_c=6.27\times L\times t$

其中：L 為牆體淨長，t 為粉刷層厚度

【表 5-4-16】為各牆體所貼覆不鏽鋼絲網能提供之抗剪強度。【表 5-4-17】則為將水泥砂漿打底之粉刷層一併納入考慮，最後牆體施作不鏽鋼絲網補強所能提昇之抗剪強度。

【表 5-4-16】張天機宅前落－不鏽鋼絲網提供之抗剪強度

X 向牆體 (東西向)	牆體淨長 L (cm)	鋼絲網線斷面積 As (mm^2)	網格寬度 b (cm)	鋼絲降伏強度 Fy (kgf/mm^2)	不鏽鋼絲網抗剪強度 Vs (kgf)
B-1	562.80	2.01	1.27	21.00	9355.58
B-2	324.00	2.01	1.27	21.00	5385.94
B-3	212.30	2.01	1.27	21.00	3529.12
B-4	324.00	2.01	1.27	21.00	5385.94
B-5	565.80	2.01	1.27	21.00	9405.45
C-1	286.50	2.01	1.27	21.00	4762.57
C-2	286.50	2.01	1.27	21.00	4762.57
D-1 (雙面)	397.30	2.01	1.27	21.00	13208.85
D-2	112.00	2.01	1.27	21.00	1861.81
D-3	112.00	2.01	1.27	21.00	1861.81
D-4 (雙面)	397.30	2.01	1.27	21.00	13208.85
合計					**72728.47**
Y 向牆體 (南北向)	牆體淨長 L (cm)	鋼絲網線斷面積 As (mm2)	網格寬度 b (cm)	鋼絲降伏強度 Fy (kgf/mm^2)	不鏽鋼絲網抗剪強度 Vs (kgf)
1-1	672.00	2.01	1.27	21.00	11170.84
2-1	129.00	2.01	1.27	21.00	2144.40
2-2 (雙面)	407.00	2.01	1.27	21.00	13531.34
3-1 (雙面)	462.00	2.01	1.27	21.00	15359.90
4-1 (雙面)	462.00	2.01	1.27	21.00	15359.90
5-1	129.00	2.01	1.27	21.00	2144.40
5-2 (雙面)	407.00	2.01	1.27	21.00	13531.34
6-1	676.00	2.01	1.27	21.00	11237.33
合計					**84479.45**

【表 5-4-17】張天機宅前落－牆體補強提供之抗剪強度

X 向牆體(東西向)	牆體淨長 L (cm)	粉刷層厚度 (cm)	水泥砂漿單位面積抗剪強度 (kgf/cm^2)	水泥砂漿抗剪強度 Vc (kgf)	不鏽鋼絲網抗剪強度 Vs (kgf)	牆體補強之抗剪強度 Vs+Vc (kgf)
B-1	562.80	3.00	6.27	10586.27	9355.58	19941.84
B-2	324.00	3.00	6.27	6094.44	5385.94	11480.38
B-3	212.30	3.00	6.27	3993.36	3529.12	7522.48
B-4	324.00	3.00	6.27	6094.44	5385.94	11480.38
B-5	565.80	3.00	6.27	10642.70	9405.45	20048.14
C-1	286.50	3.00	6.27	5389.07	4762.57	10151.63
C-2	286.50	3.00	6.27	5389.07	4762.57	10151.63
D-1 (雙面)	397.30	3.00	6.27	14946.43	13208.85	28155.28
D-2	112.00	3.00	6.27	2106.72	1861.81	3968.53
D-3	112.00	3.00	6.27	2106.72	1861.81	3968.53
D-4 (雙面)	397.30	3.00	6.27	14946.43	13208.85	28155.28
合計						**155024.10**
Y 向牆體(南北向)	牆體淨長 L (cm)	粉刷層厚度 (cm)	水泥砂漿單位面積抗剪強度 (kgf/cm^2)	水泥砂漿抗剪強度 Vc (kgf)	不鏽鋼絲網抗剪強度 Vs (kgf)	牆體補強之抗剪強度 Vs+Vc (kgf)
1-1	672.00	3.00	6.27	12640.32	11170.84	23811.16
2-1	129.00	3.00	6.27	2426.49	2144.40	4570.89
2-2 (雙面)	407.00	3.00	6.27	15311.34	13531.34	28842.68
3-1 (雙面)	462.00	3.00	6.27	17380.44	15359.90	32740.34
4-1 (雙面)	462.00	3.00	6.27	17380.44	15359.90	32740.34
5-1	129.00	3.00	6.27	2426.49	2144.40	4570.89
5-2 (雙面)	407.00	3.00	6.27	15311.34	13531.34	28842.68
6-1	676.00	3.00	6.27	12715.56	11237.33	23952.89
合計						**180071.87**

由【表 5-4-17】可知，牆體施作不鏽鋼絲網補強所能提昇之抗剪強度分別為：

X 向(東西向)牆體提升之抗剪強度＝15.50×10^4 kgf

Y 向(南北向)牆體提升之抗剪強度＝18.01×10^4 kgf

張天機宅前落各方向之總抗剪力(V_t)則為牆體之抗剪強度(V_r)加上施作不鏽鋼絲網補強之抗剪強度(V_s+V_c)，詳細計算如【表 5-4-18】所示。

【表 5-4-18】張天機宅前落－總抗剪力 V_t (補強後)

方向	牆體抗剪力 V_r (kgf)	補強抗剪力 V_s+V_c (kgf)	總抗剪力 V_t (kgf)
X 向牆體 (東西向)	172520.51	155024.10	327544.60
Y 向牆體 (南北向)	182680.32	180071.87	362752.19

（2） 面內耐震安全指標係數 $I_o=\frac{V_r}{V_u}$

【表 5-4-19】張天機宅前落－牆體之面內耐震安全指標係數 I (補強後)

方向	總抗剪力 V_t (kgf)	基底剪力 V_u (kgf)	面內耐震安全指標係數 I_o	修正因子 FR	修正後面內耐震安全指標係數 I	診斷結果
X 向牆體 (東西向)	327544.60	142076.00	2.31	0.80	1.84	**基本完好**
Y 向牆體 (南北向)	362752.19	142076.00	2.55	0.80	2.04	**基本完好**

（3） 評估結果

由【表 5-4-19】可知，張天機宅前落之牆體經不鏽鋼絲網貼覆補強後，其修正後面內耐震安全指標係數 I，於 X 向(東西向)為 1.84；於 Y 向(南北向)則為 2.04。顯示在法規地震力作用下，張天機宅前落之牆體於東西向、南北向均有充足之抗剪能力，且結構體仍「**基本完好**」。

3. 面外地震力耐震評估－山牆

（1） 山牆底部地震力彎矩 M_u

張天機宅前落之牆體經不鏽鋼絲網貼覆補強後，其地震力係數 C_s＝0.440。【表 5-4-20】為地震力作用下所產生之彎矩 M_u。

【表 5-4-20】張天機宅前落－山牆底部彎矩 M_u (補強後)

山牆編號	牆厚 t (m)	牆體總長 L (m)	淨長 L' (m)	高度 H (m)	W_{wall} =L'×t×H/2×γ （kgf）	$M_{u\text{-}wall}$ =Cs×W_{wall}×H/3 (kgf-m)	W_{roof} (kgf)	$M_{u\text{-}roof}$ =Cs×W_{roof}×H/2 (kgf-m)	M_u =$M_{u\text{-}wall}$+$M_{u\text{-}roof}$ (kgf-m)
D-1	0.404	5.57	5.13	1.35	2860.37	566.11	4803.16	1425.93	1992.04
D-4	0.404	5.57	5.13	1.35	2860.37	566.11	5997.65	1780.54	2346.65
1-1	0.493	9.19	7.72	2.22	8028.04	2612.82	4148.91	2025.46	4638.28
2-2	0.454	5.65	5.28	1.37	3195.66	641.84	4716.23	1420.87	2062.71
3-1	0.425	5.64	4.96	1.31	3178.35	610.41	4746.56	1367.38	1977.78
4-1	0.425	5.64	4.96	1.31	3178.35	610.41	4746.56	1367.38	1977.78
5-2	0.454	5.65	5.28	1.37	3195.66	641.84	4716.23	1420.87	2062.71
6-1	0.474	9.23	7.72	2.22	7590.15	2470.30	4148.91	2025.46	4495.76
備註：土埆單位體積重量 γ=1800 kgf/m^3									

（2） 不鏽鋼絲網補強之撓曲強度 M_s

由於張天機宅前落於牆體之室內側施作不鏽鋼絲網貼覆補強，當受到面外地震力作用下，亦能提升牆體之抗撓曲強度(其中，牆體 D-1、D-4、2-2、3-1、4-1、5-2 為雙面補強。)。故尚須計算牆體施作該項補強所能提昇之面外撓曲強度 M_s，其計算詳【表 5-4-21】。其公式如下：

不鏽鋼絲網之面外撓曲強度 M_s= 0.5Fy×As×(L'/b)×(2/3 t)

其中： Fy 為鋼絲網降伏強度，Fy＝21 kgf/mm^2

As 為鋼絲網線斷面積 (mm^2)

L' 為牆體淨長 (m)

b 為網格寬度 (m)

t 為牆厚 (m)

【表 5-4-21】張天機宅前落山牆－不鏽鋼絲網之抗撓曲強度 M_s

山牆編號	牆厚 t (m)	牆體淨長 L' (m)	鋼絲網線斷面積 As (mm^2)	網格寬度 b (m)	鋼絲網降伏強度 Fy (kgf/mm^2)	不鏽鋼絲網面外撓曲強度 M_s (kgf-m)
D-1(雙面)	0.404	5.13	1.13	0.0127	21.00	4593.61
D-4(雙面)	0.404	5.13	1.13	0.0127	21.00	4593.61
1-1	0.493	7.72	1.13	0.0127	21.00	4217.83
2-2(雙面)	0.454	5.28	1.13	0.0127	21.00	5313.06
3-1(雙面)	0.425	4.96	1.13	0.0127	21.00	4672.25
4-1(雙面)	0.425	4.96	1.13	0.0127	21.00	4672.25
5-2(雙面)	0.454	5.28	1.13	0.0127	21.00	5313.06
6-1	0.474	7.72	1.13	0.0127	21.00	4055.28

（3） 面外撓曲應力檢核

【表 5-4-22】為張天機宅前落山牆之面外撓曲應力檢核結果。其中，在計算山牆於地震力作用下所受之撓曲拉應力 f_t 時，山牆底部之地震力彎矩 M_u 尚需扣除不鏽鋼絲網補強之抗撓曲強度 M_s，其面外撓曲拉應力 f_t 之計算公式如下：

山牆底部之面外撓曲拉應力： $$f_t = \frac{M_u - M_s}{S} - \frac{W}{A}$$

【表 5-4-22】張天機宅前落－山牆之面外撓曲應力檢核 (補強後)

山牆	M_u (kgf-m)	不鏽鋼絲網面外撓曲強度 M_s (kgf-m)	軸壓應力 W/A (kgf-m)	牆體斷面模數 $S=L'\times t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應力 $(M_u-M_s)/S - W/A$ ($kgf-cm^2$)	法規地震力評估結果
D-1	1992.04	4593.61	3697.69	0.1395	-2.23 (*備註 2)	**基本完好**
D-4	2346.65	4593.61	4274.03	0.1395	-2.04 (*備註 2)	**基本完好**
1-1	4638.28	4217.83	3199.44	0.3127	-0.19 (*備註 3)	**基本完好**
2-2	2062.71	5313.06	3300.58	0.1814	-2.12 (*備註 2)	**基本完好**
3-1	1977.78	4672.25	3759.44	0.1493	-2.18 (*備註 2)	**基本完好**
4-1	1977.78	4672.25	3759.44	0.1493	-2.18 (*備註 2)	**基本完好**
5-2	2062.71	5313.06	3300.58	0.1814	-2.12 (*備註 2)	**基本完好**
6-1	4495.76	4055.28	3208.03	0.2891	-0.17 (*備註 3)	**基本完好**

備註 1：撓曲應力強度 f_t =1.4 kgf/cm^2 。　　備註 2：鋼絲網補強之抗撓曲強度大於牆體所受彎矩。
備註 3：牆體垂直軸壓應力大於撓曲拉應力。

（4） 評估結果

根據評估結果顯示，張天機宅前落之牆體經不鏽鋼絲網貼覆補強後，各山牆之撓曲拉應力 f_t 均小於 1.4 kgf/cm^2，顯示在受到面外方向的法規地震力作用時，各山牆之結構體仍**「基本完好」**。

4. 面外地震力耐震評估－山牆下半部矩形牆體及長向牆體

（1） 牆體單位長度所受彎矩 M_u

張天機宅前落之牆體經不鏽鋼絲網貼覆補強後，其地震力係數 C_s＝0.440。因此，牆體所受彎矩 M_u 為：$0.440\frac{q \cdot x^2}{k}$。本案假設其束制條件，k＝3 進行分析評估。將上述之數值代入，即可求得各牆體所受之彎矩 M_u，詳【表 5-4-23】。

【表 5-4-23】張天機宅前落－牆體所受彎矩 M_u (補強後)

X 向牆體 (東西向)	X (m)		作用於單位長度牆體之全部重量 q (kgf/m)	k	M_u (kgf-m)	
	X_1=hi	X_2=(L/2、H 較小者)			X_1=hi	X_2=(L/2、H 較小者)
B-1	2.37	3.30	3613.15	3	2975.28	5768.46
B-2	0.84	2.10	453.60	3	46.92	293.26
B-3	1.47	2.34	1121.84	3	357.01	900.55
B-4	0.84	2.10	453.60	3	46.92	293.26
B-5	2.37	3.30	3612.38	3	2974.65	5767.23
C-1	2.48	1.89	4755.04	3	4287.50	2476.98
C-2	2.48	1.89	4755.04	3	4287.50	2476.98
D-1	2.64	2.57	4136.17	3	4226.23	4005.08
D-2	2.15	0.99	1933.63	3	1314.45	275.04
D-3	2.15	0.99	1933.63	3	1314.45	275.04
D-4	2.64	2.57	4351.07	3	4445.81	4213.17
Y 向牆體 (南北向)	X (m)		作用於單位長度牆體之全部重量 q (kgf/m)	k	M_u (kgf-m)	
	X_1=hi	X_2=(L/2、H 較小者)			X_1=hi	X_2=(L/2、H 較小者)
1-1	2.73	3.25	4354.45	3	4757.79	6742.90
2-1	2.15	1.10	4188.22	3	2829.47	736.21
2-2	3.94	2.83	5695.17	3	12961.21	6663.31
3-1	3.31	2.82	5371.83	3	8610.91	6262.77
4-1	3.31	2.82	5371.83	3	8610.91	6262.77
5-1	2.15	1.10	4188.22	3	2829.47	736.21
5-2	3.94	2.83	5695.17	3	12961.21	6663.31
6-1	2.73	3.25	4185.68	3	4573.38	6481.55

（2） 不鏽鋼絲網補強之撓曲強度 M_s

由於張天機宅前落於牆體之室內側均有施作不鏽鋼絲網貼覆補強，當受到面外地震力作用下，亦能提升牆體之抗撓曲強度(其中，牆體 D-1、D-4、2-2、3-1、4-1、5-2 為雙面補強。)。故尚須計算牆體施作該項補強所能提昇之面外撓曲強度 M_s，其計算詳【表 5-4-24】。而對於水平與垂直不同方向之面外撓曲強度，其公式分則別如下：

檢核水平裂縫：

不鏽鋼絲網之水平面外撓曲強度 $M_s= 0.5Fy\times As\times(L'/b)\times(2/3\ t)$

檢核垂直裂縫：

不鏽鋼絲網之垂直面外撓曲強度 $M_s= 0.5Fy\times As\times(H'/b)\times(2/3\ t)$

其中： Fy 為鋼絲網降伏強度，$Fy=21\ kgf/mm^2$

As 為鋼絲網線斷面積 (mm^2)

L’ 為補強淨長 (m)

H’ 為補強淨高 (m)

b 為網格寬度 (m)

t 為牆厚 (m)

【表 5-4-24】張天機宅前落－不鏽鋼絲網之抗撓曲強度 M_s

X 向牆體(東西向)	牆厚 t (m)	補強淨長 L' (m)	補強淨高 H' (m)	鋼絲網線斷面積 As (mm^2)	網格寬度 b (m)	鋼絲網降伏強度 Fy (kgf/mm^2)	不鏽鋼絲網水平面外撓曲強度 Ms (kgf-m)	不鏽鋼絲網垂直面外撓曲強度 Ms (kgf-m)
B-1	0.425	5.40	4.47	2.01	0.0127	21.00	2542.42	2105.34
B-2	0.200	4.20	0.72	2.01	0.0127	21.00	930.90	159.58
B-3	0.220	3.71	2.21	2.01	0.0127	21.00	904.53	538.82
B-4	0.200	4.20	0.72	2.01	0.0127	21.00	930.90	159.58
B-5	0.425	5.41	4.47	2.01	0.0127	21.00	2547.13	2105.34
C-1	0.370	2.87	2.51	2.01	0.0127	21.00	1174.77	1029.20
C-2	0.370	2.87	2.51	2.01	0.0127	21.00	1174.77	1029.20
D-1 (雙面)	0.404	3.97	3.70	2.01	0.0127	21.00	3557.58	3313.13
D-2	0.265	1.12	1.07	2.01	0.0127	21.00	328.92	314.24
D-3	0.265	1.12	1.07	2.01	0.0127	21.00	328.92	314.24
D-4 (雙面)	0.404	3.97	3.70	2.01	0.0127	21.00	3557.58	3313.13

Y 向 牆體 (南北向)	牆厚 t (m)	補強 淨長 L' (m)	補強 淨高 H' (m)	鋼絲網線 斷面積 As (mm^2)	網格 寬度 b (m)	鋼絲網 降伏強度 Fy (kgf/mm^2)	不鏽鋼絲網水平 面外撓曲強度 Ms (kgf-m)	不鏽鋼絲網垂直 面外撓曲強度 Ms (kgf-m)
1-1	0.493	6.72	3.25	2.01	0.0127	21.00	3671.48	1775.64
2-1	0.420	1.29	1.07	2.01	0.0127	21.00	600.43	498.03
2-2 (雙面)	0.454	4.07	4.55	2.01	0.0127	21.00	4095.49	4578.49
3-1 (雙面)	0.425	4.62	3.50	2.01	0.0127	21.00	4351.97	3296.95
4-1 (雙面)	0.425	4.62	3.50	2.01	0.0127	21.00	4351.97	3296.95
5-1	0.420	1.29	1.07	2.01	0.0127	21.00	600.43	498.03
5-2 (雙面)	0.454	4.07	4.55	2.01	0.0127	21.00	4095.49	4578.49
6-1	0.474	6.76	3.25	2.01	0.0127	21.00	3551.00	1707.21

（3） 面外撓曲應力檢核

【表 5-4-25】、【表 5-4-26】為張天機宅前落各牆體之面外撓曲應力檢核結果。由於前落於牆體之室內側尚有施作不鏽鋼絲網貼覆補強，因此，對於水平與垂直不同方向之面外撓曲拉應力 f_t，其公式則分別如下：

水平方向之面外撓曲拉應力： $f_t = \frac{M_u - M_s}{S} - \frac{W}{A}$

垂直方向之面外撓曲拉應力： $f_t = \frac{M_u - M_s}{S}$

【表 5-4-25】張天機宅前落－各牆體之面外水平撓曲應力檢核 (補強後)

面外水平裂縫檢核						
X 向 牆體 (東西向)	M_u (kgf-m)	不鏽鋼絲網水平 面外撓曲強度 Ms (kgf-m)	軸壓應力 W/A (kgf/m^2)	水平 $S=(L-l)t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應力 $(M_u-M_s)/S$ - W/A (kgf/cm^2)	法規地震力 評估結果
B-1	2975.28	2542.42	11359.53	0.1694	-0.88 (*備註 3)	基本完好
B-2	46.92	930.90	2268.00	0.0280	-3.38 (*備註 2)	基本完好
B-3	357.01	904.53	6432.50	0.0299	-2.47 (*備註 2)	基本完好
B-4	46.92	930.90	2268.00	0.0280	-3.38 (*備註 2)	基本完好
B-5	2974.65	2547.13	11341.96	0.1703	-0.88 (*備註 3)	基本完好
C-1	4287.50	1174.77	16911.00	0.0654	3.07	**有安全疑慮**
C-2	4287.50	1174.77	16911.00	0.0654	3.07	**有安全疑慮**
D-1	4226.23	3557.58	14353.38	0.1081	-0.82 (*備註 3)	基本完好
D-2	1314.45	328.92	12834.42	0.0131	6.23	**有安全疑慮**
D-3	1314.45	328.92	12834.42	0.0131	6.23	**有安全疑慮**
D-4	4445.81	3557.58	15099.12	0.1081	-0.69 (*備註 3)	基本完好
Y 向 牆體 (南北向)	M_u (kgf-m)	不鏽鋼絲網水平 面外撓曲強度 Ms (kgf-m)	軸壓應力 W/A (kgf/m^2)	水平 $S=(L-l)t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應力 $(M_u-M_s)/S$ - W/A (kgf/cm^2)	法規地震力 評估結果
1-1	4757.79	3671.48	12079.06	0.2722	-0.81 (*備註 3)	基本完好
2-1	2829.47	600.43	16929.14	0.0379	4.18	**有安全疑慮**
2-2	12961.21	4095.49	17414.26	0.1398	4.60	**有安全疑慮**
3-1	8610.91	4351.97	15430.15	0.1391	1.52	**有安全疑慮**
4-1	8610.91	4351.97	15430.15	0.1391	1.52	**有安全疑慮**
5-1	2829.47	600.43	16929.14	0.0379	4.18	**有安全疑慮**
5-2	12961.21	4095.49	17414.26	0.1398	4.60	**有安全疑慮**
6-1	4573.38	3551.00	12057.09	0.2531	-0.80 (*備註 3)	基本完好

備註 1：灰縫撓曲應力強度 $f_t=1.4\ kgf/cm^2$。　　備註 2：鋼絲網補強之抗撓曲強度大於牆體所受彎矩。
備註 3：牆體垂直軸壓應力大於撓曲拉應力。

【表 5-4-26】張天機宅前落－各牆體之面外垂直撓曲應力檢核 (補強後)

面外垂直裂縫檢核					
X 向 牆體 (東西向)	M_u (kgf-m)	不鏽鋼絲網垂直 面外撓曲強度 Ms (kgf-m)	垂直 $S=(H-h)t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應力 $(M_u-Ms)/S$ (kgf/cm^2)	法規地震力 評估結果
B-1	5768.46	2105.34	0.1346	2.72	**有安全疑慮**
B-2	293.26	159.58	0.0084	1.59	**有安全疑慮**
B-3	900.55	538.82	0.0178	2.03	**有安全疑慮**
B-4	293.26	159.58	0.0084	1.59	**有安全疑慮**
B-5	5767.23	2105.34	0.1346	2.72	**有安全疑慮**
C-1	2476.98	1029.20	0.0719	2.01	**有安全疑慮**
C-2	2476.98	1029.20	0.0719	2.01	**有安全疑慮**
D-1	4005.08	3313.13	0.1006	0.69	基本完好
D-2	275.04	314.24	0.0125	-0.31 (*備註 2)	基本完好
D-3	275.04	314.24	0.0125	-0.31 (*備註 2)	基本完好
D-4	4213.17	3313.13	0.1006	0.89	基本完好
Y 向 牆體 (南北向)	M_u (kgf-m)	不鏽鋼絲網垂直 面外撓曲強度 Ms (kgf-m)	垂直 $S=(H-h)t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應力 $(M_u-Ms)/S$ (kgf/cm^2)	法規地震力 評估結果
1-1	6742.90	1775.64	0.1317	3.77	**有安全疑慮**
2-1	736.21	498.03	0.0315	0.76	基本完好
2-2	6663.31	4578.49	0.1749	1.19	基本完好
3-1	6262.77	3296.95	0.1493	1.99	**有安全疑慮**
4-1	6262.77	3296.95	0.1493	1.99	**有安全疑慮**
5-1	736.21	498.03	0.0315	0.76	基本完好
5-2	6663.31	4578.49	0.1749	1.19	基本完好
6-1	6481.55	1707.21	0.1217	3.92	**有安全疑慮**
備註：灰縫撓曲應力強度 f_t=1.4 kgf/cm^2。			備註 2：鋼絲網補強之抗撓曲強度大於牆體所受彎矩。		

（4） 評估結果

根據【表 5-4-25】、【表 5-4-26】可知，在受到面外方向的法規地震力作用時，張天機宅前落之部分 X 向（C-1、C-2、D-2、D-3）及部分 Y 向（2-1、2-2、3-1、4-1、5-1、5-2）牆體，**會有產生水平裂縫之疑慮**；而對於垂直裂縫的檢核，同樣部分 X 向（B-1~B-5、C-1、C-2）及 Y 向（1-1、3-1、4-1、6-1）牆體，**會有產生垂直裂縫之疑慮**。顯示前落之牆體經不鏽鋼絲網補強後，雖能提升其面外之耐震能力，但依然有部分牆體所受之撓曲拉應力 f_t 大於灰縫之撓曲應力強度 1.4kgf/cm^2，即在受到法規地震力(475 年迴歸期)作用下，仍會有產生損壞之虞。

然而，根據【文化資產維護管理教育推廣公聽會-法令宣導手冊】p47，古蹟補強應具合宜之耐震能力(以地震後及時檢查與修復為主要策略，符於現行耐震規範不為必要條件)，於文化資產再利用之案例，其耐震能力仍宜維持 30 年回歸期之**中小度地震不致嚴重損害造成人員傷亡**(現行規範為 475 年回歸期，中小度地震約為 475 年設計地震力之 1/4)。

因此，張天機宅前落各牆體經補強後，於中小度地震力作用時所受之撓曲拉應力 f_t 應不得超過最大容許拉應力(1.4kgf/cm^2)。【表 5-4-27】為考量中小度地震力（C_s＝0.224）作用時，前落各牆體所受之面外彎矩。【表 5-4-28】、【表 5-4-29】則為各牆體之面外垂直與水平撓曲應力檢核結果。

【表 5-4-27】張天機宅前落－牆體所受彎矩 M_u (補強後，中小度地震力)

X 向牆體 (東西向)	X (m)		作用於單位長度牆體之全部重量 q (kgf/m)	k	M_u (kgf-m)	
	X_1=hi	X_2=(L/2、H 較小者)			X_1=hi	X_2=(L/2、H 較小者)
B-1	2.37	3.30	3613.15	3	1514.94	2937.16
B-2	0.84	2.10	453.60	3	23.89	149.32
B-3	1.47	2.34	1121.84	3	181.78	458.54
B-4	0.84	2.10	453.60	3	23.89	149.32
B-5	2.37	3.30	3612.38	3	1514.62	2936.53
C-1	2.48	1.89	4755.04	3	2183.09	1261.22
C-2	2.48	1.89	4755.04	3	2183.09	1261.22
D-1	2.64	2.57	4136.17	3	2151.89	2039.29
D-2	2.15	0.99	1933.63	3	669.28	140.04
D-3	2.15	0.99	1933.63	3	669.28	140.04
D-4	2.64	2.57	4351.07	3	2263.69	2145.24
Y 向牆體 (南北向)	X (m)		作用於單位長度牆體之全部重量 q (kgf/m)	k	M_u (kgf-m)	
	X_1=hi	X_2=(L/2、H 較小者)			X_1=hi	X_2=(L/2、H 較小者)
1-1	2.73	3.25	4354.45	3	2422.55	3433.32
2-1	2.15	1.10	4188.22	3	1440.70	374.86
2-2	3.94	2.83	5695.17	3	6599.52	3392.79
3-1	3.31	2.82	5371.83	3	4384.46	3188.85
4-1	3.31	2.82	5371.83	3	4384.46	3188.85
5-1	2.15	1.10	4188.22	3	1440.70	374.86
5-2	3.94	2.83	5695.17	3	6599.52	3392.79
6-1	2.73	3.25	4185.68	3	2328.65	3300.24

【表 5-4-28】張天機宅前落－各牆體之面外水平撓曲應力檢核 (補強後，中小度地震力)

面外水平裂縫檢核（中小度地震力）						
X 向 牆體 (東西向)	M_u (kgf-m)	不鏽鋼絲網水平 面外撓曲強度 Ms (kgf-m)	軸壓應力 W/A (kgf/m^2)	水平 $S=(L-l)t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應力 $(M_u-M_s)/S$ - W/A (kgf/cm^2)	法規地震力 評估結果
B-1	1514.94	2542.42	11359.53	0.1694	-1.74 (*備註 2)	**基本完好**
B-2	23.89	930.90	2268.00	0.0280	-3.47 (*備註 2)	**基本完好**
B-3	181.78	904.53	6432.50	0.0299	-3.06 (*備註 2)	**基本完好**
B-4	23.89	930.90	2268.00	0.0280	-3.47 (*備註 2)	**基本完好**
B-5	1514.62	2547.13	11341.96	0.1703	-1.74 (*備註 2)	**基本完好**
C-1	2183.09	1174.77	16911.00	0.0654	-0.15 (*備註 3)	**基本完好**
C-2	2183.09	1174.77	16911.00	0.0654	-0.15 (*備註 3)	**基本完好**
D-1	2151.89	3557.58	14353.38	0.1081	-2.74 (*備註 2)	**基本完好**
D-2	669.28	328.92	12834.42	0.0131	1.31	**基本完好**
D-3	669.28	328.92	12834.42	0.0131	1.31	**基本完好**
D-4	2263.69	3557.58	15099.12	0.1081	-2.71 (*備註 2)	**基本完好**
Y 向 牆體 (南北向)	M_u (kgf-m)	不鏽鋼絲網水平面 外撓曲強度 Ms (kgf-m)	軸壓應力 W/A (kgf/m^2)	水平 $S=(L-l)t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應力 $(M_u-M_s)/S$ - W/A (kgf/cm^2)	法規地震力 評估結果
1-1	2422.55	3671.48	12079.06	0.2722	-1.67 (*備註 2)	**基本完好**
2-1	1440.70	600.43	16929.14	0.0379	0.52	**基本完好**
2-2	6599.52	4095.49	17414.26	0.1398	0.05	**基本完好**
3-1	4384.46	4351.97	15430.15	0.1391	-1.52 (*備註 3)	**基本完好**
4-1	4384.46	4351.97	15430.15	0.1391	-1.52 (*備註 3)	**基本完好**
5-1	1440.70	600.43	16929.14	0.0379	0.52	**基本完好**
5-2	6599.52	4095.49	17414.26	0.1398	0.05	**基本完好**
6-1	2328.65	3551.00	12057.09	0.2531	-1.69 (*備註 2)	**基本完好**

備註 1：灰縫撓曲應力強度 $f_t=1.4\ kgf/cm^2$。　　備註 2：鋼絲網補強之抗撓曲強度大於牆體所受彎矩。
備註 3：牆體垂直軸壓應力大於撓曲拉應力。

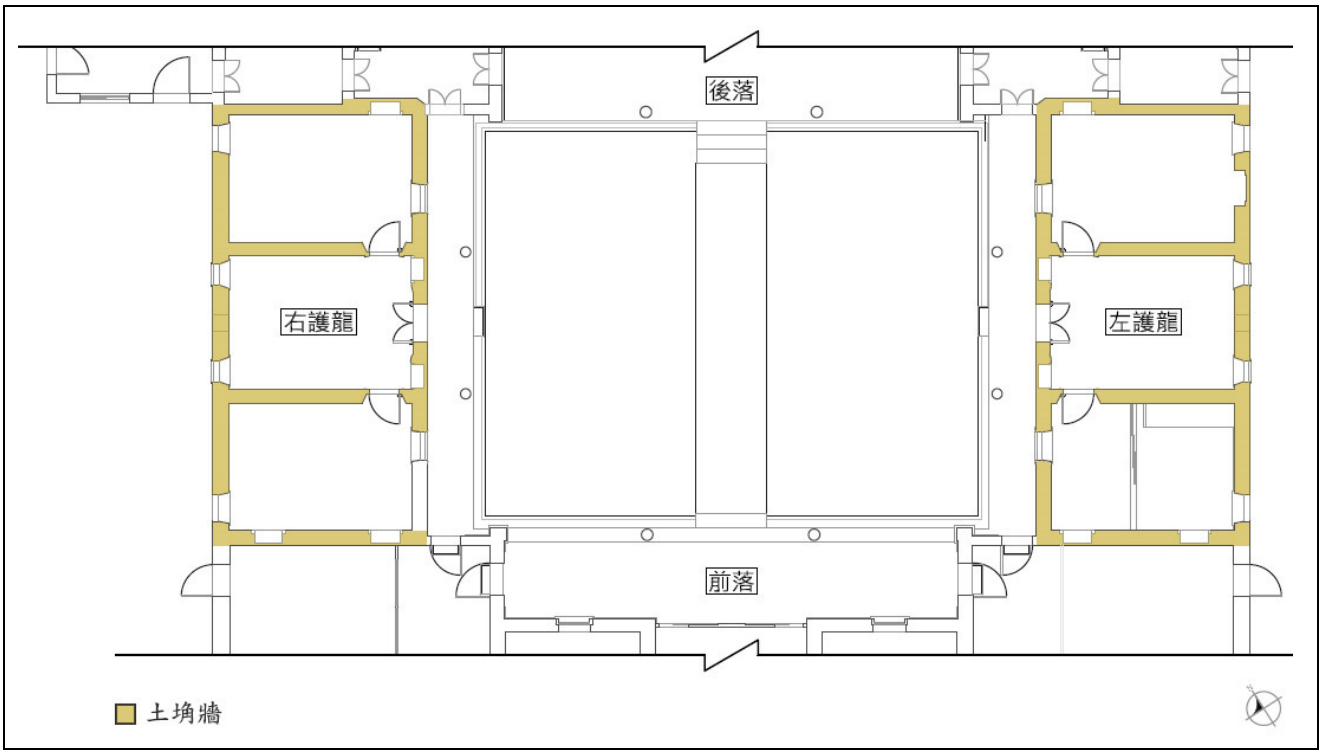
【表 5-4-29】張天機宅前落－各牆體之面外垂直撓曲應力檢核 (補強後，中小度地震力)

面外垂直裂縫檢核 (中小度地震力)					
X 向 牆體 (東西向)	M_u (kgf-m)	不鏽鋼絲網垂直 面外撓曲強度 Ms (kgf-m)	垂直 $S=(H-h)t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應力 $(M_u-Ms)/S$ (kgf/cm^2)	法規地震力 評估結果
B-1	2937.16	2105.34	0.1346	0.62	**基本完好**
B-2	149.32	159.58	0.0084	-0.12 (*備註 2)	**基本完好**
B-3	458.54	538.82	0.0178	-0.45 (*備註 2)	**基本完好**
B-4	149.32	159.58	0.0084	-0.12 (*備註 2)	**基本完好**
B-5	2936.53	2105.34	0.1346	0.62	**基本完好**
C-1	1261.22	1029.20	0.0719	0.32	**基本完好**
C-2	1261.22	1029.20	0.0719	0.32	**基本完好**
D-1	2039.29	3313.13	0.1006	-1.27 (*備註 2)	**基本完好**
D-2	140.04	314.24	0.0125	-1.39 (*備註 2)	**基本完好**
D-3	140.04	314.24	0.0125	-1.39 (*備註 2)	**基本完好**
D-4	2145.24	3313.13	0.1006	-1.16 (*備註 2)	**基本完好**
Y 向 牆體 (南北向)	M_u (kgf-m)	不鏽鋼絲網垂直 面外撓曲強度 Ms (kgf-m)	垂直 $S=(H-h)t^2/6$ (m^3)	撓曲拉應力 $(M_u-Ms)/S$ (kgf/cm^2)	法規地震力 評估結果
1-1	3433.32	1775.64	0.1317	1.26	**基本完好**
2-1	374.86	498.03	0.0315	-0.39 (*備註 2)	**基本完好**
2-2	3392.79	4578.49	0.1749	-0.68 (*備註 2)	**基本完好**
3-1	3188.85	3296.95	0.1493	-0.07 (*備註 2)	**基本完好**
4-1	3188.85	3296.95	0.1493	-0.07 (*備註 2)	**基本完好**
5-1	374.86	498.03	0.0315	-0.39 (*備註 2)	**基本完好**
5-2	3392.79	4578.49	0.1749	-0.68 (*備註 2)	**基本完好**
6-1	3300.24	1707.21	0.1217	1.31	**基本完好**
備註 1：灰縫撓曲應力強度 f_t=1.4 kgf/cm^2。　　備註 2：鋼絲網補強之抗撓曲強度大於牆體所受彎矩。					

根據評估結果可知，在受到面外方向的中小度地震力作用時，張天機宅前落各牆體於垂直裂縫及水平裂縫的檢核均為「**基本完好**」。顯示其耐震能力尚能符合中小度地震不致嚴重損害造成人員傷亡之基本條件。且又因牆體尚有施作不鏽鋼絲網貼覆補強，亦可防止牆體於過大的地震中產生崩塌造成人員傷亡的情形。

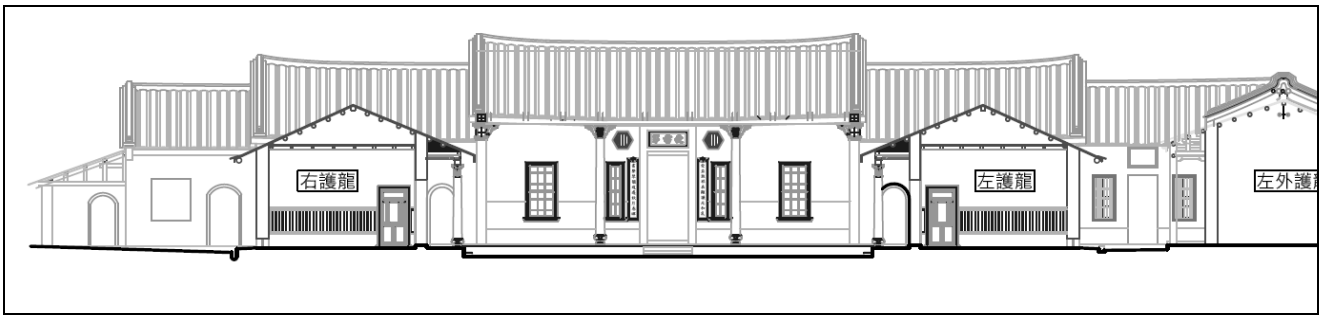
二、左、右護龍耐震評估

后里張天機宅之左、右護龍屬土坿砌體構造之單層建築物， 面寬為三開間，面向中庭亦有設置簷廊。且除中央私廳外，兩側廂房均有設置閣樓夾層。其平面圖如【圖 5-4-25】所示。



【圖 5-4-25】張天機宅－左、右護龍平面圖

左、右護龍之屋頂均為硬山型式，屋面是由板瓦所構成之仰合瓦屋頂，屋架則採擱檩式構造。其室內空間是以斗砌磚牆體所分隔圍塑，且牆體底部砌卵石牆基。正立面除中央私廳門扇外緣採一丁掛之磁磚貼面外，其餘牆體於台度以上為白灰粉刷之土坿牆面，台度以下牆面則為順砌之清水紅磚面材所構成；而背立面為避免外牆受到雨水的侵襲，因此於出簷起之斗拱以下至台度以上的牆面採穿瓦衫之構法，出簷起斗拱以上牆面採白灰粉刷，台度以下則同樣為順砌之清水紅磚面材所構成。各向剖立面詳【圖 5-4-26】~【圖 5-4-28】。



【圖 5-4-26】張天機宅－橫向剖立面圖 1