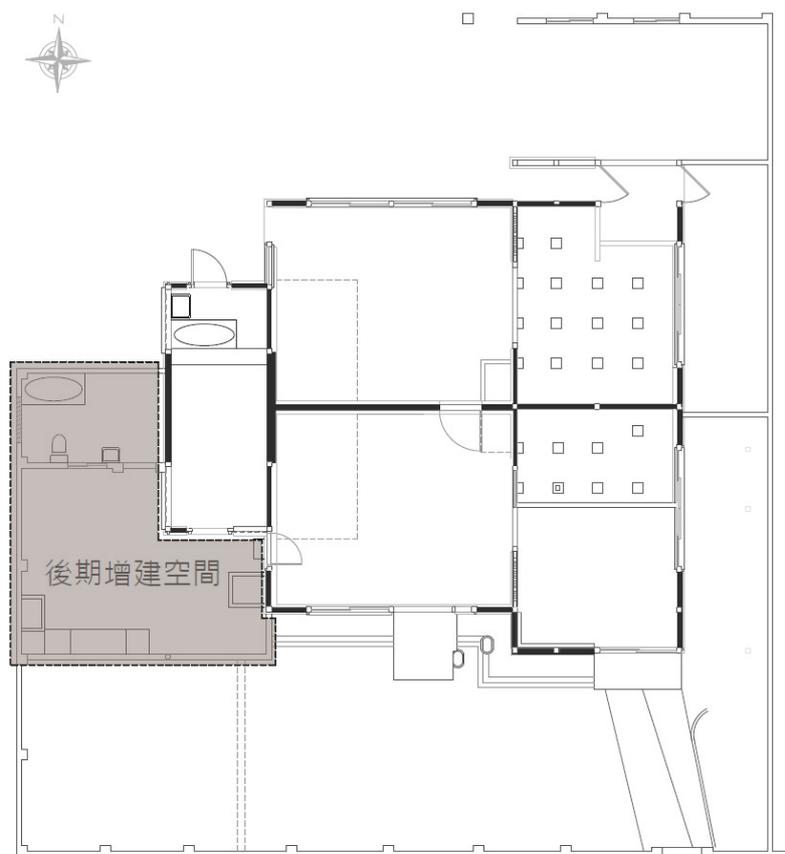


第二節 結構安全評估

一、 建築結構系統與現況損壞

臺中刑務所浴場為日式木造軸組一層樓之建築物，現況平面圖如【圖 6-2-1】所示。由於作為公共浴場使用，故空間平面以東西向隔間牆為中軸線屬南北對稱的型式。且後期因使用需求尚於建築物西側增建半 B 之磚砌構造空間【圖 6-2-5】。未來修復設計時，將會拆除上述後期增建之牆體，以恢復臺中刑務所典獄官舍之原貌。修復平面圖如【圖 6-2-6】所示。故本次評估是以修復後之樣貌進行結構安全評估。



【圖 6-2-1】臺中刑務所浴場現況平面圖



【圖 6-2-2】臺中刑務所浴場正立面



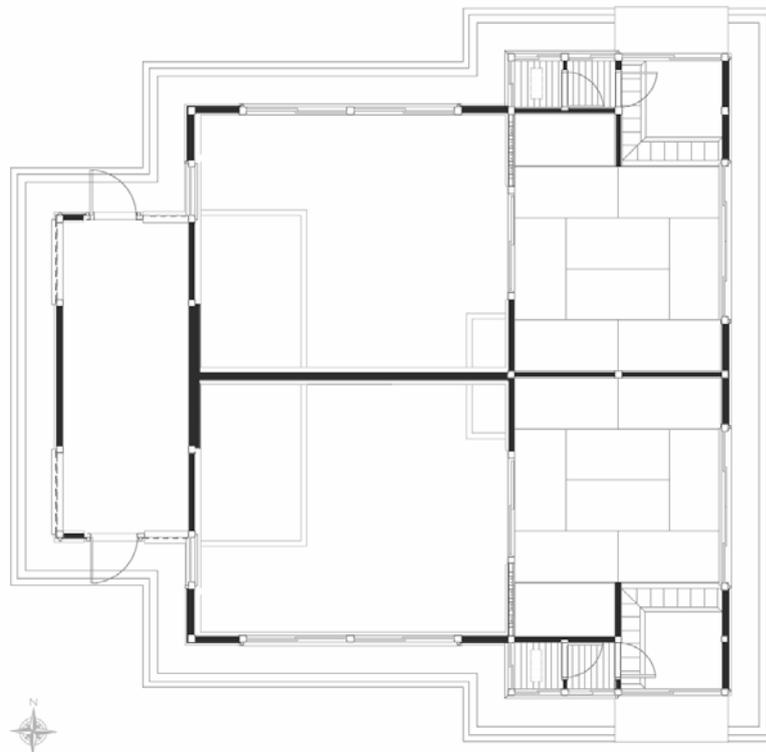
【圖 6-2-3】臺中刑務所浴場背立面



【圖 6-2-4】臺中刑務所浴場之室內空間



【圖 6-2-5】後期增建空間



【圖 6-2-6】臺中刑務所浴場復原平面圖

(一) 結構系統

臺中刑務所浴場之結構主體由屋架、柱、牆體以及基礎所構成。屋架主要屬西式之貝魯奇式(Belgie Truss)或可稱華倫式(Warren Truss)木屋架，為支撐及承屋頂受載重作用之主要構架。柱樑構架猶如建築的骨架，且將建築所承受之各種外力，透過柱樑構架來進行傳遞。而建築物之壁體主要均為編竹夾泥牆(日文：小舞壁)。日式木造建築的牆體除了是分隔空間的元素，也為抵抗水平作用力的主要構造。基礎則是磚造之連續基礎(布基礎)，做為上部建築物的支承並將載重傳遞到土壤。

臺中刑務所浴場結構系統之構成元素，主要可分為基礎、牆體與屋頂三部分，各結構元素依其載重傳遞之順序分別敘述如下：

1. 屋架

臺中刑務所浴場的屋頂型式為「切妻造」【圖 6-2-7】，即類似中國傳統建築之懸山式屋頂。其屋架屬西式之貝魯奇式 (Belgie Truss) 或可稱華倫式 (Warren Truss) 木屋架【圖 6-2-8】，且為便於排出室內之水蒸氣本案尚有設置太子樓。木屋架每榀跨距約為 9.07 m ，高約 2.65 m ，主要是由水平大料(陸樑)、人字大料(合掌)、正同柱(真束)、腰肢斜角撐(方丈)、桁條(母屋)、水平夾撐(梁挾)、火打樑(燧梁)、敷桁等構件所組合而成，如【圖 6-2-9】所示。

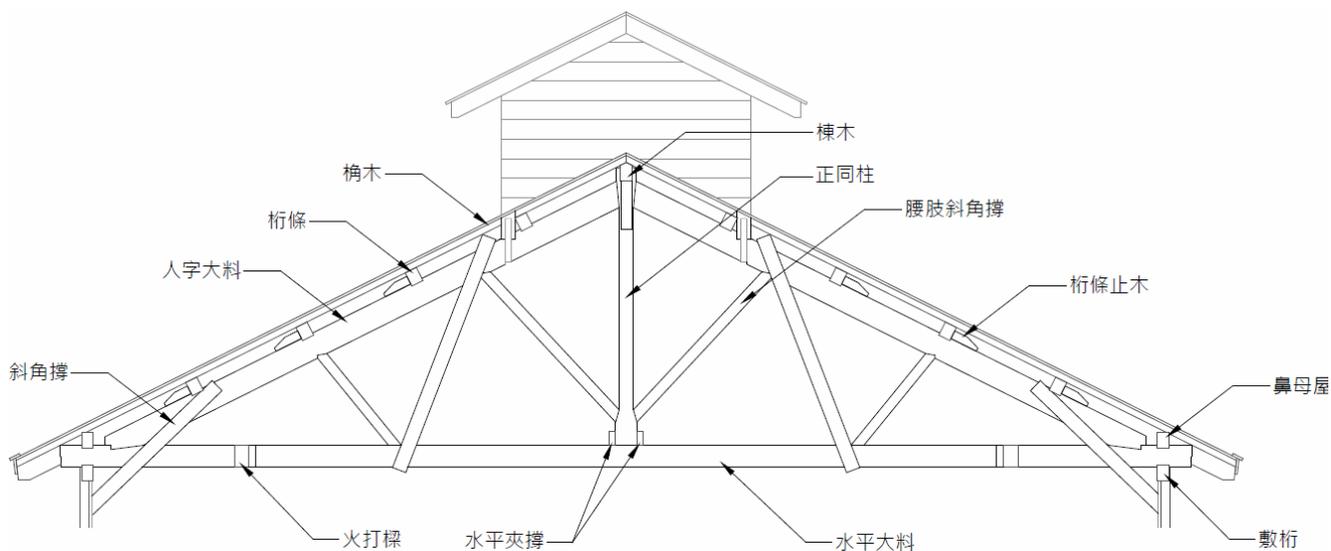
本案木屋架結構主要是由水平大料、人字大料、正同柱、斜角撐等四種主要的構材組合而成的平面三角形構架。當木屋架承受垂直力作用時，其力學行為於理論上各個構材僅有軸向壓力與軸向拉力，其屋架桿件內力示意圖如【圖 6-2-10】所示。其中，通常貝魯奇式或華倫式桁架內並無設置垂直構件，因此刑務所浴場於木屋架內設置正同柱之為較不同之處。



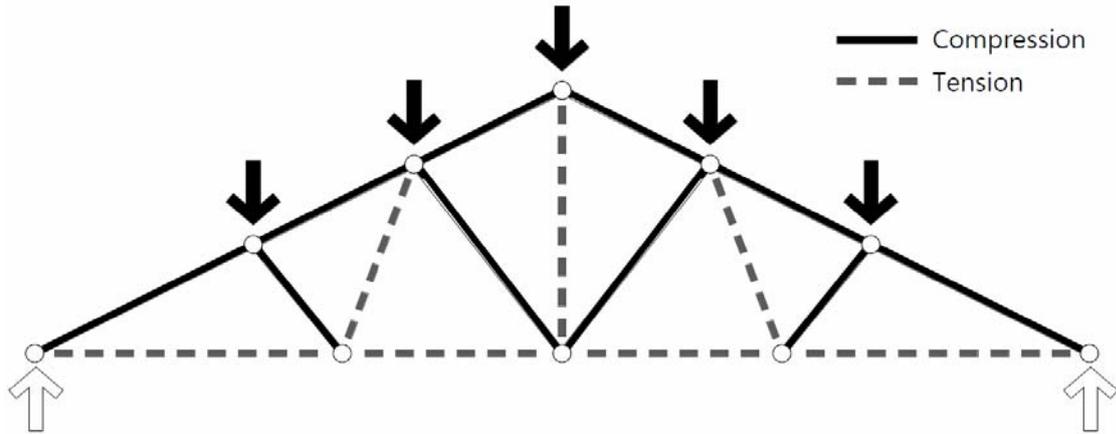
【圖 6-2-7】臺中刑務所浴場之切妻造屋頂



【圖 6-2-8】臺中刑務所浴場之貝魯奇式木屋架



【圖 6-2-9】臺中刑務所浴場—貝魯奇式(或華倫式)木屋架



【圖 6-2-10】臺中刑務所浴場－貝魯奇式(或華倫式)木屋架於垂直力作用下之桿件內力圖

於垂直力的傳遞上，人字大料承受了來自桁條及其上部之桷木(椽木)、屋面板、屋瓦等之屋頂荷重，並將此力經由屋架桿件傳至屋架兩端的支承，最後再由柱或壁體將這些力量傳至基礎。而木屋架的端部是置於牆頂上之敷桁，並用螺桿與縱向之鼻母屋結合，將木屋架夾住，以防止錯動。此外，屋架端部尚以斜角撐(方丈)與木柱固定【圖 6-2-11】，且每間隔一組屋架亦設有火打樑【圖 6-2-12】，除了使得屋架端部更加穩固外，亦可提升整體屋架水平構面之剛度與穩定性。

木造屋架與屋架之間，則是以縱向之屋架剪刀撐做連接【圖 6-2-13】，其固定方式是以螺栓將剪刀撐固定於相鄰兩屋架之正同柱上，且剪刀撐交叉空隙尚墊有「飼木」，並採螺栓連結【圖 6-2-14】。屋架剪刀撐之作用主要在確保屋架面外穩定性，可抵抗縱向之水平地震力，防止屋架面外破壞及傾倒。除上述之剪刀撐外，固定於正同柱下方兩側之水平夾撐同樣亦有縱向連結之功能，使得屋架整體之縱向穩定度更為提升，然而現況之水平夾撐目前已遭受切除【照片 6-2-15】。

另外，本案棟木與正同柱縱向尚有施做木作斜撐補強【照片 6-2-16】，除可分攤中脊支承附近之剪力，並可減少屋脊之變形量及增加縱向之穩定性。



【圖 6-2-11】屋架端部以方丈與木柱固定



【圖 6-2-12】屋架端部之火打樑



【圖 6-2-13】屋架之縱向剪刀撐



【圖 6-2-14】剪刀撐以飼木與螺栓作連結



【圖 6-2-15】屋架之水平夾撐已遭受切除



【圖 6-2-16】棟木與正同柱之斜撐加固

2. 牆體

臺中刑務所浴場之牆體除中間東側隔間牆、南側玄關外牆及浴場西側空間外牆外，其餘均為編竹夾泥牆(日文：小舞壁)。其中，中間東側隔間牆為板條灰泥牆【圖 6-2-17】；南側玄關外牆為框組式構造外覆雨淋板【圖 6-2-18】；而浴場西側空間外牆則僅採雨淋板構造【圖 6-2-19】，建議未來修復時，恢復編竹夾泥牆外覆雨淋板之構造型式。

本案之編竹夾泥牆採傳統日式「真壁造」之做法。土壁厚度除中間兩道隔間牆較厚外(分別為 14 cm 及 18cm)，其餘牆體包括中塗層與表面上塗層總厚度約 6 cm 至 10 cm，室內側之壁面皆採白灰粉刷；而室外側之壁面因考慮到耐候的因素，故在牆體外側採用雨淋板的構法【圖 6-2-20】。

牆體構法可由室內部分破損之牆體觀察其內部構造，如【圖 6-2-21】、所示。壁體之邊界由立柱與上下檻木組成，再立間柱與水平貫木，接著就是竹片的編綁，並利用麻繩將各竹片與貫木固定，完成後進行黏土的塗抹，俟兩側底層泥土硬化後，最後再依次進行找平、中塗及上塗的程序。且由現況損壞之牆體可知，臺中刑務所浴場之外牆壁體內尚有設置木斜撐(11.5 cm×11.5 cm)【圖 6-2-22】，除可提昇牆體之剛度外，亦使得垂直構面在受到外力作用時不易變形。

由於日式木造建築的樑柱結點性質並非剛性，因此牆體除了可維持整體架構的穩定，並可藉著構材抵抗剪力變形的模式，來提供水平的抵抗能力，故壁體強度的高低與壁體數量的多寡，控制著整體建築的耐震能力。



【圖 6-2-17】中間東側隔間牆為板條灰泥牆



【圖 6-2-18】南側玄關外牆採框組式構造



【圖 6-2-19】西側空間外牆採雨淋板構造



【圖 6-2-20】編竹夾泥牆外覆雨淋板



【圖 6-2-21】編竹夾泥牆內部構造



【圖 6-2-22】外牆壁體內部設置木斜撐

3. 基礎

臺中刑務所浴場的基礎為配置在建築物外牆及結構牆體底下之磚造連續基礎(布基礎)【圖 6-2-23】。力學上，磚造連續基礎透過木地板的傳遞，承受了來自屋架、柱、牆體等載重，並將上述載重傳遞至土壤，係為支撐建築物並將載重傳遞至土壤之主要構造。有關連續基礎之構法詳第四章第二節，由於公共浴場之特殊使用性質，故本案浴池空間之磚造基牆高度較其他空間來的高。且刑務所浴場之木造樓板已遭移除，僅可於現場發現舊有之磚墩基礎【圖 6-2-24】。



【圖 6-2-23】磚造之連續基礎



【圖 6-2-24】木床板之磚墩基礎

(二) 結構現況損壞

臺中刑務所浴場之現況損壞情形依其構成元素，分別說明如下：

1. 基礎

目前部分磚造基礎之表面保護層有剝落與龜裂的情形【圖 6-2-25】、【圖 6-2-26】，且由室內側可發現多處基牆出現白華現象【圖 6-2-27】、【圖 6-2-28】。此為外牆窗戶毀壞佚失或上方屋頂漏水，因而使得牆體受到濕氣與雨水的侵襲與滲入，在長時期受到外界濕氣影響而造成水氣逐漸滲入內部，且經長期處於反覆水分飽和與蒸發的循環狀態下，使得灰縫顆粒間之膠結組織易遭破壞而成粉末狀。又由於雨水中含有酸性物質，牆體在受到雨水入侵時，會使得灰漿中之石灰質或碳酸鈣遭到溶解，當表面的水分蒸發時，亦使內部之可溶性鹽類與水一起向外被帶出，水分蒸發後，便形成白色粉末固著於磚牆表面，即稱為「白華」。

上述之情形除了有礙觀瞻之外，亦會造成牆體內部之磚材與灰縫材料缺損、劣化。灰縫在不斷流失的情況下，逐漸喪失其連結能力，也必將影響材料的力學強度，進而降低抵抗外力作用的能力。



【圖 6-2-25】磚造基牆保護層龜裂



【圖 6-2-26】磚造基牆保護層劣化、剝落



【圖 6-2-27】磚造基牆之白華現象



【圖 6-2-28】磚造基牆之白華現象

2. 牆體

目前臺中刑務所浴場之部分牆體有粉刷層浮凸及剝落的情形，如【圖 6-2-29】所示。此為牆體因剪力變形而產生表面灰泥粉刷層開裂之現象，其損壞行為大多先發生在柱樑框架角隅處及其四邊之牆體。且室內北側隔間牆尚有破損嚴重的情形，現況牆體下半部之編竹及土壁已佚失【圖 6-2-30】，由其底部整齊之切口，研判應為後期人為拆除所致。

另外，刑務所浴場北側牆體因上方屋頂有漏水的情形，在長期受到雨水侵襲下使得牆體開始劣化，進而導致土壁嚴重破損、流失【圖 6-2-31】。而在牆體外側，部分雨淋板有腐朽、劣化的情形，甚至損壞掉落，使得柱樑構材、土壁易受雨水及外在環境之風化而產生劣化與損壞【圖 6-2-32】、【圖 6-2-33】。

除上述之損壞外，建築物北側尚還受到植物侵襲附生的影響，現況已與建築物融為一體【圖 6-2-34】。並對屋頂及牆體造成額外之損壞。對於植物附生的情形需特別留意。因植物生長的部位，水分含量通常會較其他部位高，在日積月累的作用下，使得構材較易產生劣化的情形。除此之外，植物根、莖的蔓延也會侵入構造物而導致構材的損壞【圖 6-2-35】，尤其雨水更因此順著根、莖流入，更會加劇構材之劣化【圖 6-2-36】。且未來當植物持續成長時，也容易因強風吹襲而拉扯其攀附之屋面、牆體部位，亦會造成構材之鬆動，進而使木屋架及牆體受到風雨侵襲影響而劣化、損壞。



【圖 6-2-29】粉刷層浮凸



【圖 6-2-30】隔間牆壁體損壞嚴重



【圖 6-2-31】屋頂漏水嚴重、土壁劣化流失



【圖 6-2-32】雨淋板腐朽剝落、土壁外露



【圖 6-2-33】雨淋板腐朽剝落、土壁外露



【圖 3-4-34】北側植物附生侵襲



【圖 6-2-35】植物氣根侵入牆體構造



【圖 6-2-36】植物氣根侵入造成牆體劣化

3. 屋架

臺中刑務所浴場之屋頂多有漏水的情況【圖 6-2-37】，使得屋架之木構件因受潮而產生水潮及腐朽菌，木材在長期受到日照雨淋及高濕、高溫的環境下，促使微生物有較理想的條件來攻擊木材，其長時間的侵蝕木料，進而導致木構件之發霉、腐朽【圖 6-2-38】。尤其又以位於山牆面及太子樓之木構件出現大面積之受潮及嚴重腐朽的情形【圖 6-2-39】。木料受潮腐朽之問題會使得構材之斷面尺寸減少並影響材料強度，進而造成結構安全上之疑慮。

此外，位於正同柱下方兩側之水平夾撐目前已遭受切除【圖 6-2-40】，失去原本縱向拉繫之功能，未來應依原樣予以修復。



【圖 6-2-38】臺中刑務所浴場屋頂破損漏水



【圖 6-2-39】木屋架構件受潮、發霉、腐朽



【圖 6-2-40】山牆面木構件受潮、腐朽嚴重



【圖 6-2-41】水平夾撐遭受切除

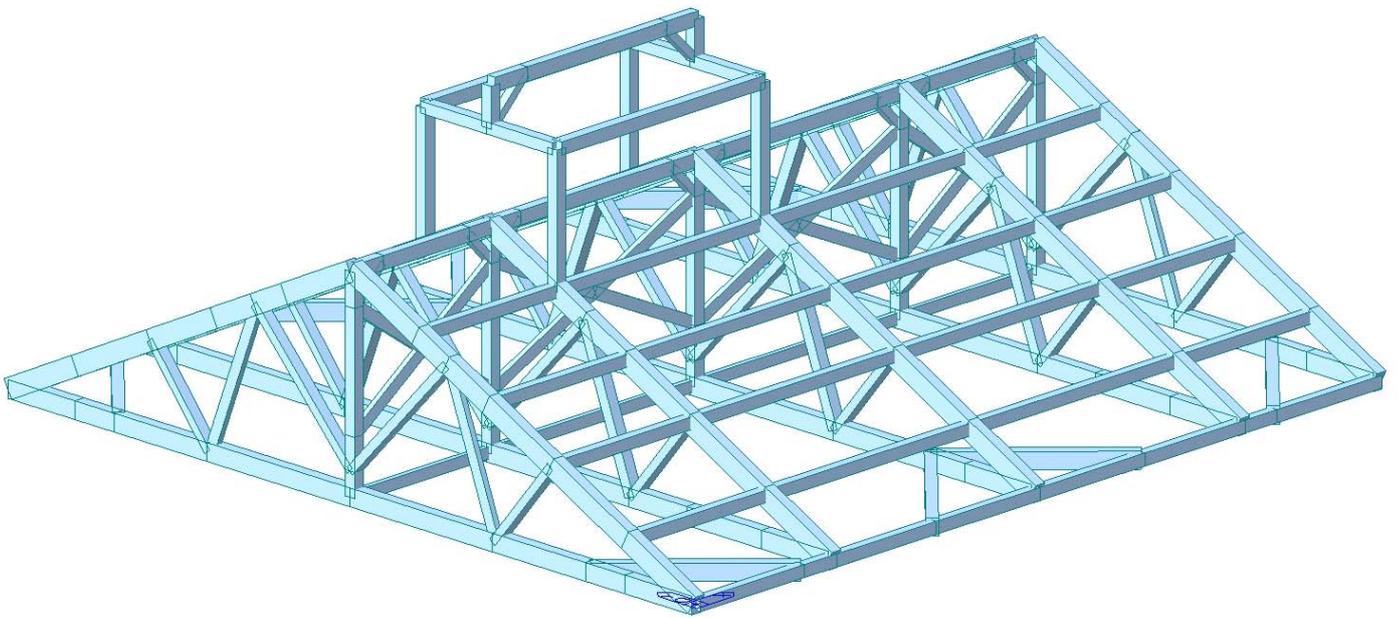
二、結構耐震安全評估方法

由於臺中刑務所浴場屬日式木造軸組之建築物，故結構耐震安全評估方法同第四章第二節。

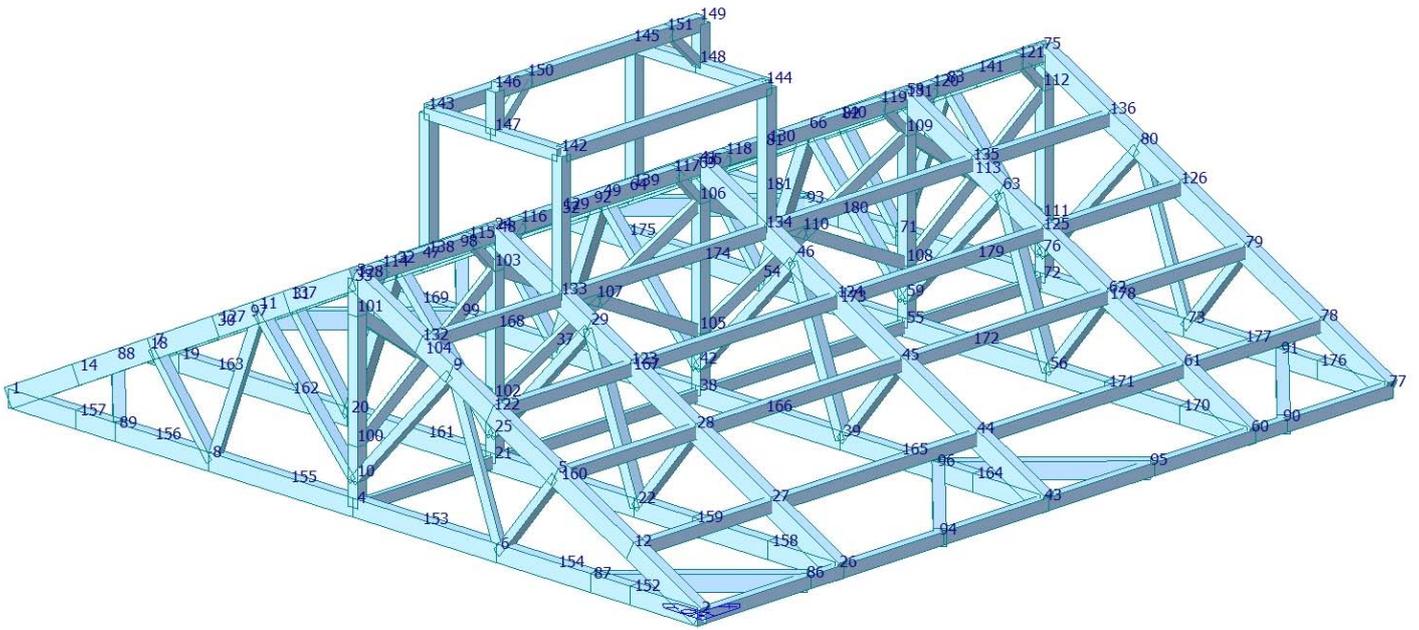
三、結構安全評估

(一) 木屋架承重結構安全評估

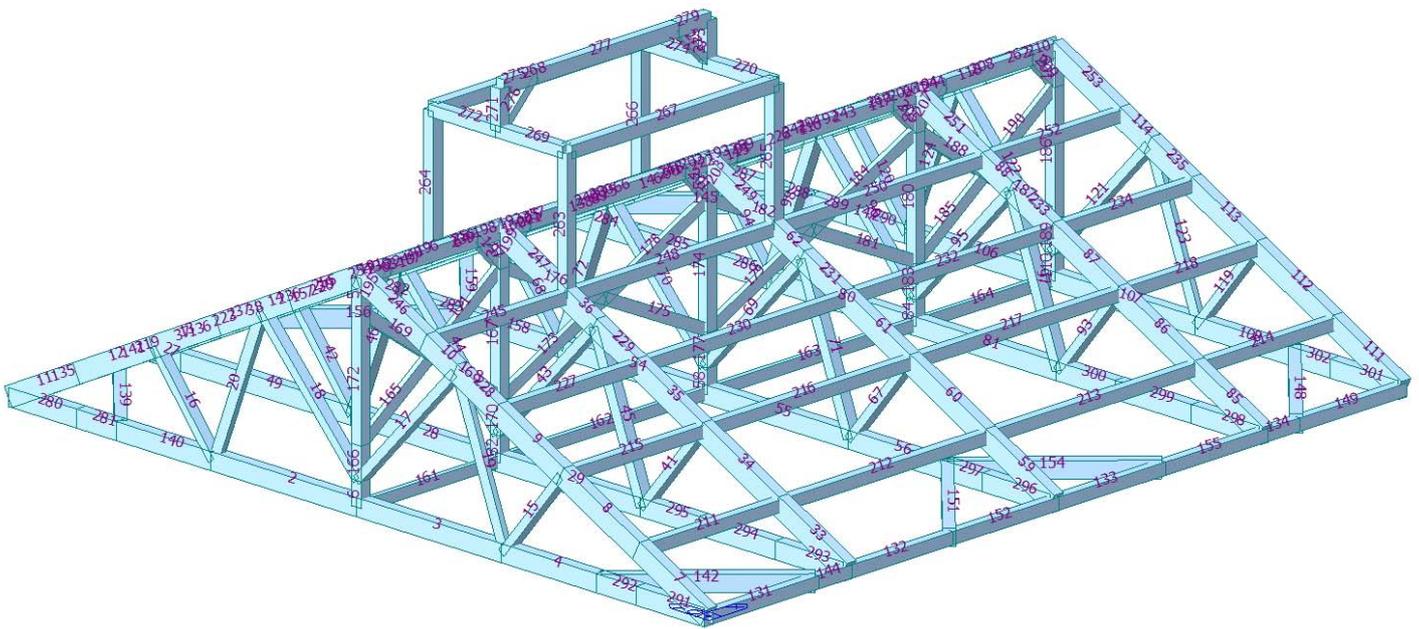
臺中刑務所浴場木屋架之結構安全評估，即將靜載重及活載重之作用情況合併考慮，並使用 Midas / Gen Ver.795 (2012V1.1) 程式來進行分析，進而檢討斷面應力是否合乎規定。結構分析模型如【圖 6-2-42】所示，【圖 6-2-43】為分析模型節點編號，【圖 6-2-44】、【圖 6-2-45】則為桿件編號、斷面性質設定情形。



【圖 6-2-42】臺中刑務所浴場－屋架結構模型分析



【圖 6-2-43】模型節點編號



【圖 6-2-44】桿件編號及斷面性質設定

1. 靜載重

靜載重：依建築技術規則構造篇，水泥瓦之屋面單位重為 45kgf/m^2 。假設屋頂(含椽條、掛瓦條、屋面板及屋瓦等)單位重 55kgf/m^2 ，且重量平均分攤於屋面上；而天花板單位重取 15kgf/m^2 ，作用於水平大料。

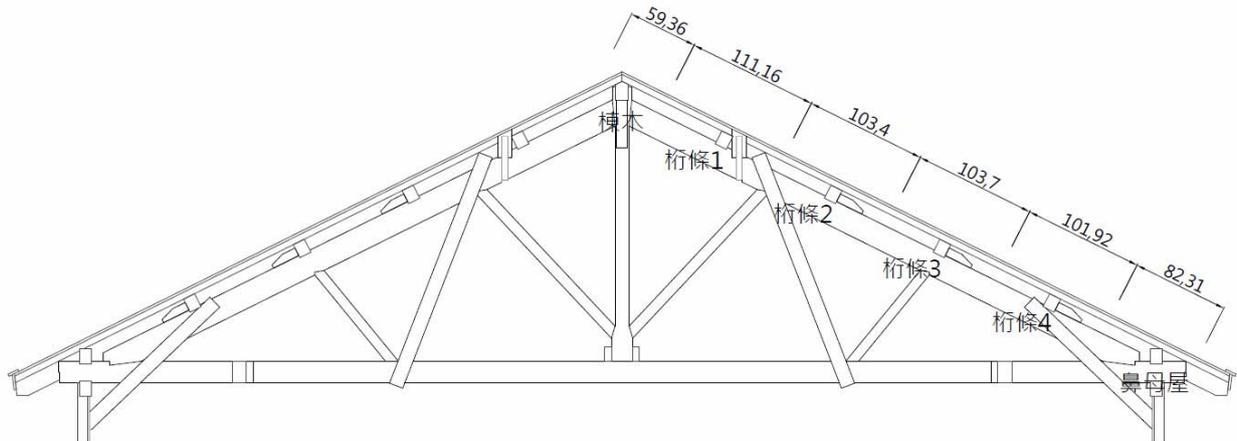
根據桁條及棟木所負擔之範圍，計算其單位載重，如【圖 6-2-46】所示。

棟木單位載重	$= (0.59 \times 2) \times 55 = 64.9\text{ kgf/m}$	，	use 65 kgf/m
桁條 1 單位載重	$= 1.11 \times 55 = 61.1\text{ kgf/m}$	，	use 62 kgf/m
桁條 2、桁條 3 單位載重	$= 1.04 \times 55 = 57.2\text{ kgf/m}$	，	use 58 kgf/m
桁條 4 單位載重	$= 1.02 \times 55 = 56.1\text{ kgf/m}$	，	use 57 kgf/m
鼻母屋單位載重	$= 0.82 \times 55 = 45.1\text{ kgf/m}$	，	use 46 kgf/m

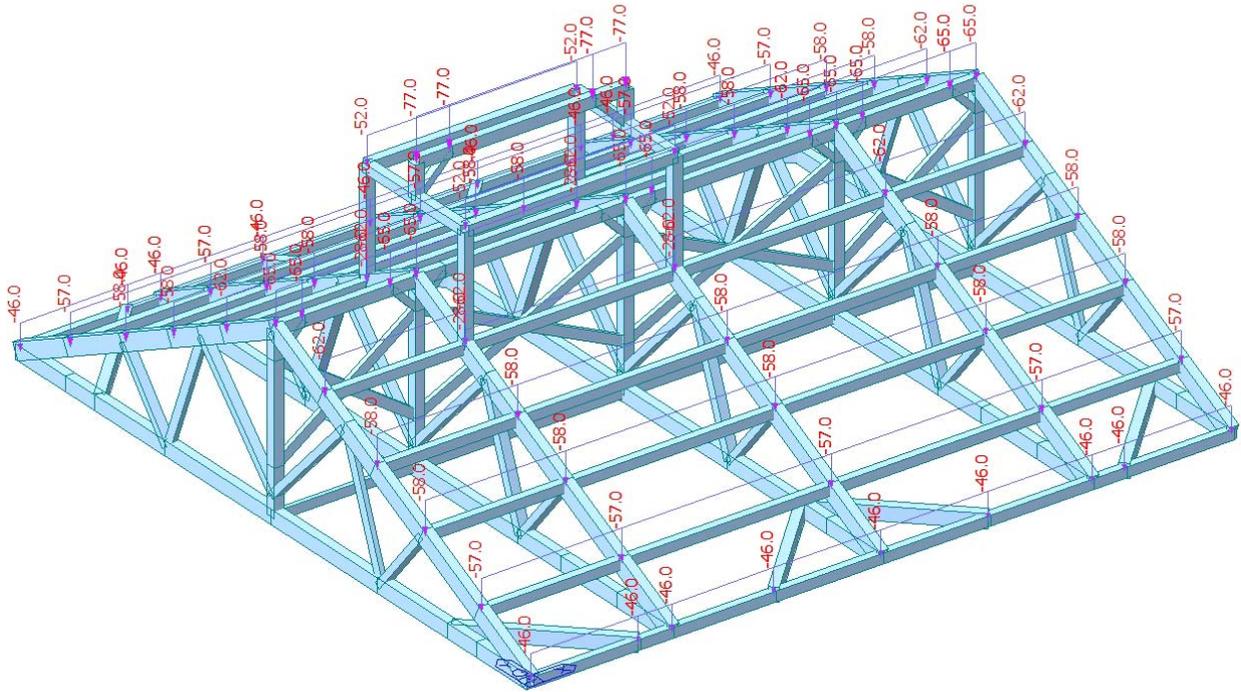
天花板吊木間距以 90cm 計算，各屋架之負擔範圍分別為 85cm 、 228cm 、 273cm

故：	$0.90 \times 0.85 \times 15 = 11.48\text{ kgf}$	，	use 12 kgf
	$0.90 \times 2.28 \times 15 = 30.78\text{ kgf}$	，	use 31 kgf
	$0.90 \times 2.73 \times 15 = 36.86\text{ kgf}$	，	use 37 kgf

承載太子樓之屋架同樣依上述之計算方式求出棟木與桁條之單位載重。屋架之靜載重如【圖 6-2-47】所示。



【圖 6-2-46】棟木及桁條負擔載重範圍



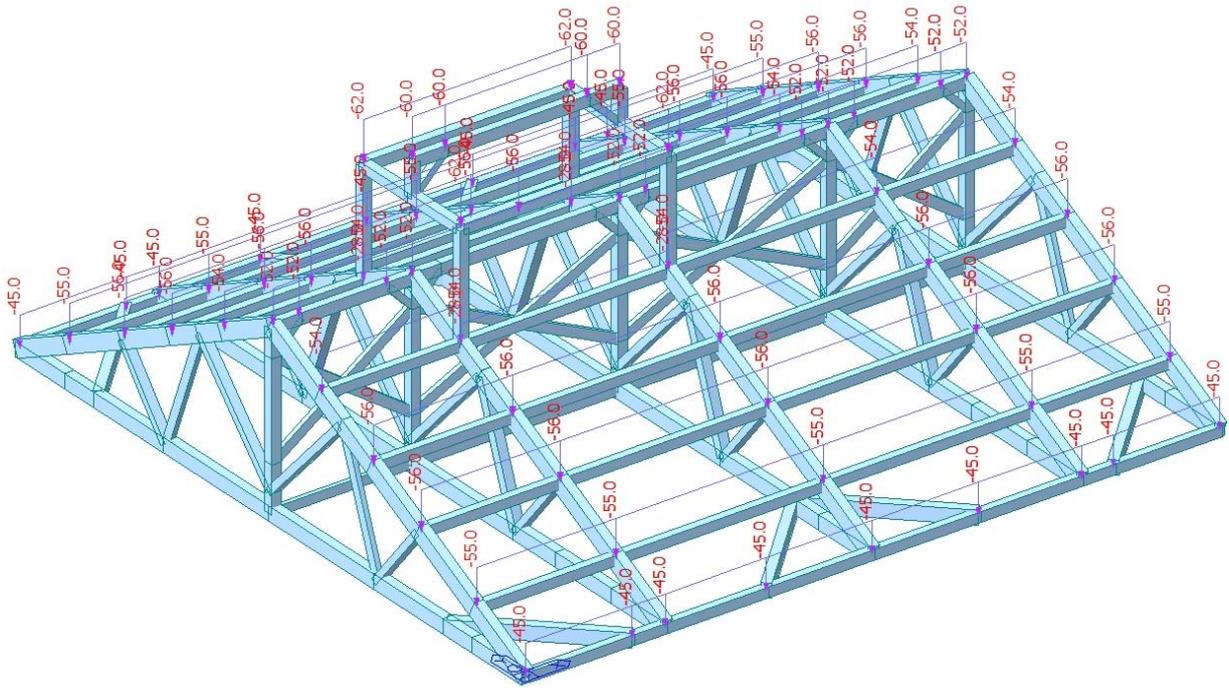
【圖 6-2-47】木屋架靜載重

2. 活載重

活載重：依建築技術規則規定，不作用於之斜屋頂，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 $60 kgf/m^2$ 。

桁條水平間距分別為 $86cm$ 、 $89cm$ 、 $92cm$ 、 $91cm$ 、 $75cm$ ，單位載重分別計算如下，並將計算結果之活載重，作用在桁條上【圖 6-2-48】。

棟木單位載重	$= 0.86 \times 60 = 51.60 kgf/m$	， use $52 kgf/m$
桁條 1 單位載重	$= 0.89 \times 60 = 53.40 kgf/m$	， use $54 kgf/m$
桁條 2、桁條 3 單位載重	$= 0.92 \times 60 = 55.20 kgf/m$	， use $56 kgf/m$
桁條 4 單位載重	$= 0.91 \times 60 = 54.60 kgf/m$	， use $55 kgf/m$
鼻母屋單位載重	$= 0.75 \times 60 = 45.00 kgf/m$	， use $45 kgf/m$



【圖 6-2-48】木屋架活載重

3. 載重組合

【表 6-2-2】規範表 3.5-1 載重組合

載重狀態		一般地區	多雪地區
長期	經常	D+L	D+L+S ₂
短期	積雪時	D+L+S ₁	D+L+S ₁
	暴風時	D+L+W	D+L+W D+L+S ₃ +W
	地震時	D+L+E	D+L+S ₃ +E
	火災時	D+L	D+L+S ₂

符號 D：靜載重；

L：活載重（有施工載重時應計入）；

S₁：雪載重，依屋頂斜率或落雪情況得適當折減；

S₂：多雪地區之雪載重（最深積雪量之值的 70%），依屋頂斜率或落雪情況得適當折減；

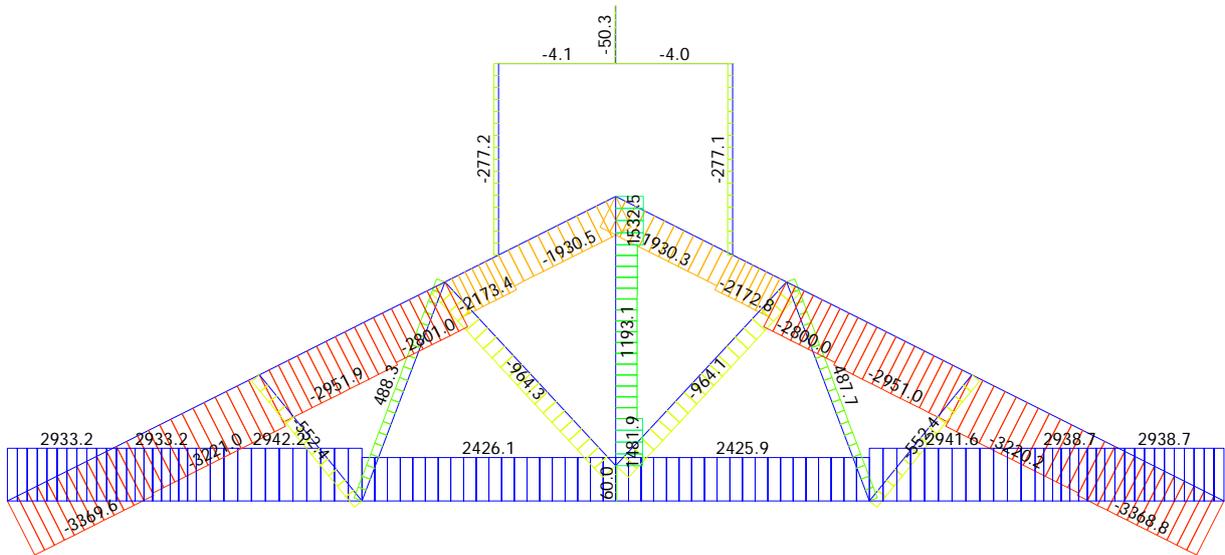
S₃：多雪地區之雪載重（最深積雪量之值的 35%），依屋頂斜率或落雪情況得適當折減；

W：風力；

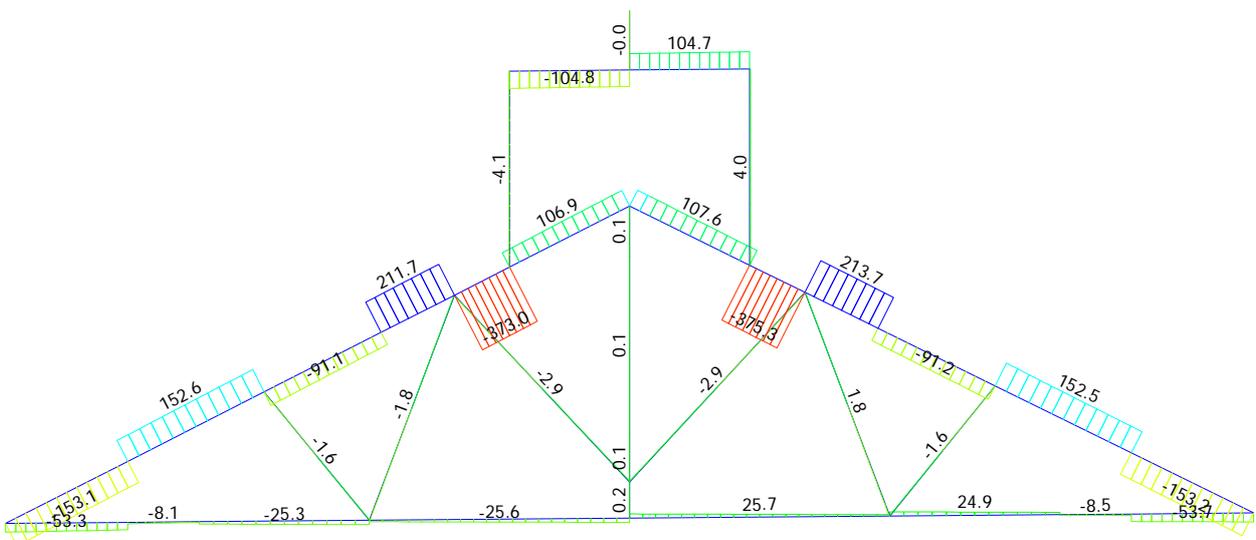
E：地震力。

4. 長期荷重評估

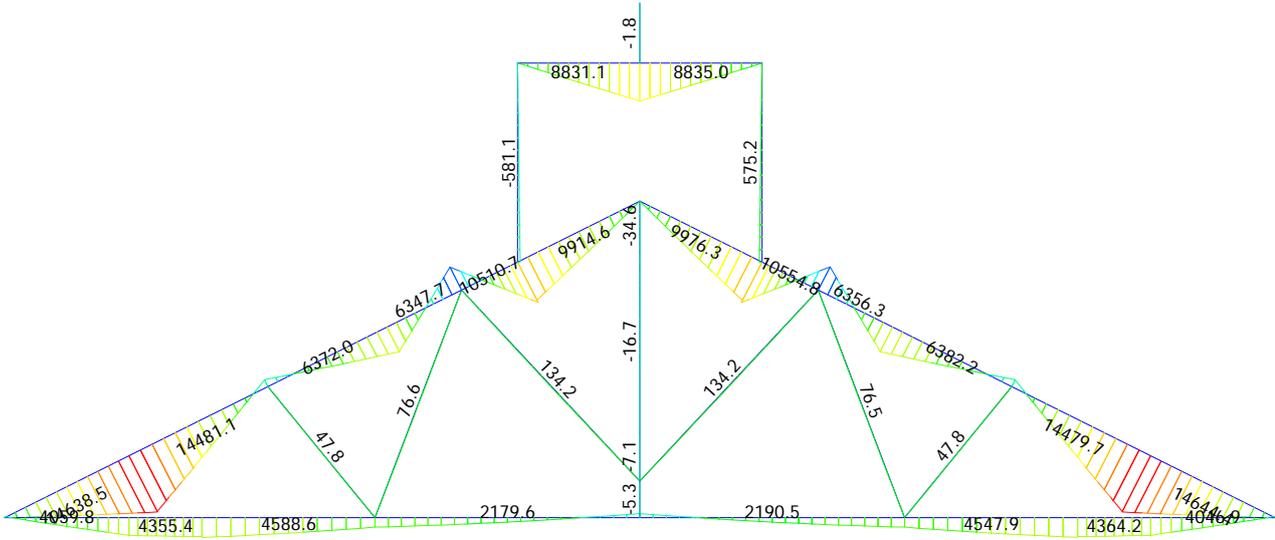
長期荷重考慮靜載重 (D) 及活載重 (L) 同時作用 (D+L) 時，其屋架各桿件之內力如【圖 6-2-49】~【圖 6-2-51】所示。人字大料(斷面：12.3cm×21cm)有最大軸力 $N=3369.6 \text{ kgf}$ (壓力)，最大彎矩 $M=14638.5 \text{ kgf-cm}$ ，對應剪力 $Q=153.1 \text{ kgf}$ 【圖 6-2-52】。另外，人字大料尚有有最大剪力 $Q=375.3 \text{ kgf}$ 。



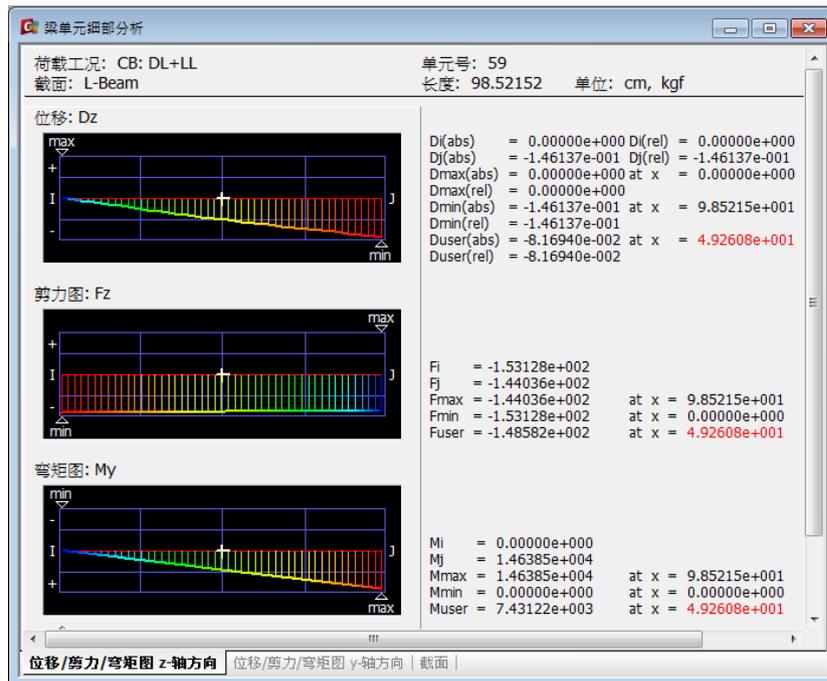
【圖 6-2-49】屋架桿件軸力圖 (D+L) (單位：kgf)



【圖 6-2-50】屋架桿件剪力圖 (D+L) (單位：kgf)



【圖 6-2-51】屋架桿件彎矩圖 (D+L) (單位: kgf/cm)



【圖 6-2-52】屋架人字大料最大內力

(1) 同時承載彎矩及壓力構材之斷面依下式計算：

$$\frac{N}{A_c} + \frac{\gamma E_c \cdot M}{I_c} \leq \gamma E_c$$

(規範 5.37)

式中，N：設計用軸向壓力 (kgf)

M：設計用彎矩 (kgf·cm)

A_e ：淨斷面積 (cm^2)

f_c ：容許壓應力 (kgf/cm^2)

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)

η ：挫屈折減係數

人字大料：

$$\text{構材細長比 } \lambda_x = \frac{l_k}{i} = \frac{l_k}{\sqrt{I/A}} = \frac{l_k}{h/3.46} = 99/(21/3.46) = 16.31$$

$$\lambda_y = \frac{l_k}{i} = \frac{l_k}{\sqrt{I/A}} = \frac{l_k}{b/3.46} = 99/(12.3/3.46) = 27.85$$

挫屈折減係數 η 與構材細長比 λ 有關，依下式計算

$$\lambda_x < 30, \eta_x = 1$$

$$\lambda_y < 30, \eta_y = 1$$

$$\text{容許挫屈應力 } f_{kx} = \eta_x f_c = 1 \times 60 = 60 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{ky} = \eta_y f_c = 1 \times 60 = 60 \text{ kgf/cm}^2$$

$$Z_{ex} = \frac{bh^2}{6} = \frac{12.3 \times 21^2}{6} = 904.05 \text{ cm}^3$$

$$Z_{ey} = \frac{hb^2}{6} = \frac{21 \times 12.3^2}{6} = 529.52 \text{ cm}^3$$

$$C_f = 1.00$$

$$\frac{N}{A_e} + \frac{\eta f_c}{f_b} \times \frac{M_y}{Z_{ey} C_f} = \frac{3369.6}{12.3 \times 21} + \frac{1 \times 60}{75} \times \frac{14638.5}{529.52 \times 1.0} = 35.16 \text{ kgf/cm}^2$$

$$< f_{ky} = \eta_y \times f_c = 60 \text{ kgf/cm}^2 \quad \dots \text{OK}$$

(2) 受彎構材之剪應力依下式計算：

$$\frac{\alpha Q}{A_e} \leq f_s \quad (\text{規範 5.17})$$

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/cm²)，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。

$$\text{人字大料：} \frac{\alpha Q}{A_e} = \frac{3}{2} \times \frac{375.3}{12.3 \times 21} = 2.18 \text{ kgf/cm}^2 < f_s = 6 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

5. 小結

由上述計算得知，本案屋架之人字大料構件承受最大軸力、剪力和彎矩。人字大料在最大軸力和彎矩作用下，其容許挫屈應力大於最大軸力和最大彎矩同時所造成之應力。人字大料之容許剪應力大於最大剪力所造成之應力，故原設計斷面屬合理安全，臺中刑務所浴場木屋架在無損壞之下，其承重能力尚無疑慮。

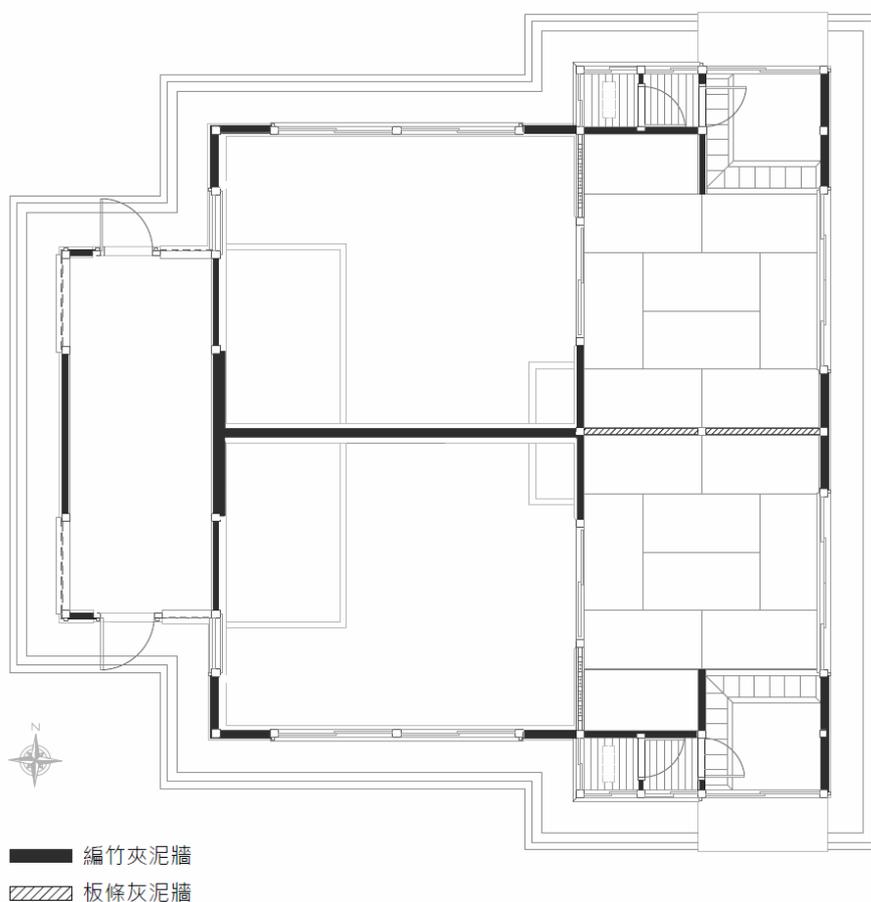
評估結果，臺中刑務所浴場之木屋架在長期荷重下安全尚無疑慮。

(二) 牆體耐震結構安全評估

※ 建築依照原構法修復後之精密診斷，劣化系數 C_{dw} 均取 1.0

1. 建築物概要

建物名稱	臺中市市定古蹟臺中刑務所浴場
所在地	臺中市西區自由路一段 89 巷 28 號、30 號、32 號
結構系統	單層日式軸組系統
樓地板面積	1F：106.34m ² (32.17 坪)
屋頂構造型式	洋小屋構造，水泥瓦(棧瓦)屋面
牆體構造型式	外牆外覆雨淋板、內側編竹夾泥壁體(土壁厚度 9cm) 內牆為編竹夾泥壁體(土壁厚度 6cm、8cm、14cm、18cm) 及 板條灰泥牆
柱頭柱腳接合方式	榫接及螞蝗釘
樓板(橫隔版)構造型式	陸樑平面配置火打樑
基礎型式	Ⅲ(磚砌布基礎)
形狀加成係數	1.0 (短邊長 9.10m > 6.0m)



【圖 6-2-53】臺中刑務所浴場修復平面圖

2. 建築物載重

(1) 屋頂載重 W_{roof}

◆ 屋頂單位重量

屋架重量(含棟木、桁條、敷桁、桷木、吊鞍、水平夾撐、屋面板等) = 44.08 kgf/m^2 ，取 45 kgf/m^2 ；天花板單位重則以 15 kgf/m^2 計。另外，依建築技術規則構造篇，水泥瓦之屋面單位重為 45 kgf/m^2 (斜面積)。且臺中刑務所浴場之屋面坡度為 $4.9/10$ ($\cos \theta = 26.105^\circ$)。故本建築屋頂之單位面積重量計算如下：

$$\text{水泥瓦投影面積之單位重量} = 45 / \cos \theta = 50.11 \text{ kgf/m}^2$$

$$\text{屋頂單位重量} : 45 + 50.11 + 15 = 110.11 \text{ kgf/m}^2 \text{ (含天花板)}$$

◆ 屋頂重量

臺中刑務所浴場之屋頂投影面積為 106.34 m^2 ，故本案屋頂重量計算如下：

$$\text{屋頂重量 } W_{\text{roof}} : 110.11 \times 106.34 = 11709.10 \text{ kgf}$$

(2) 窗台以上牆體載重 W_{wall}

◆ 牆體之單位重量

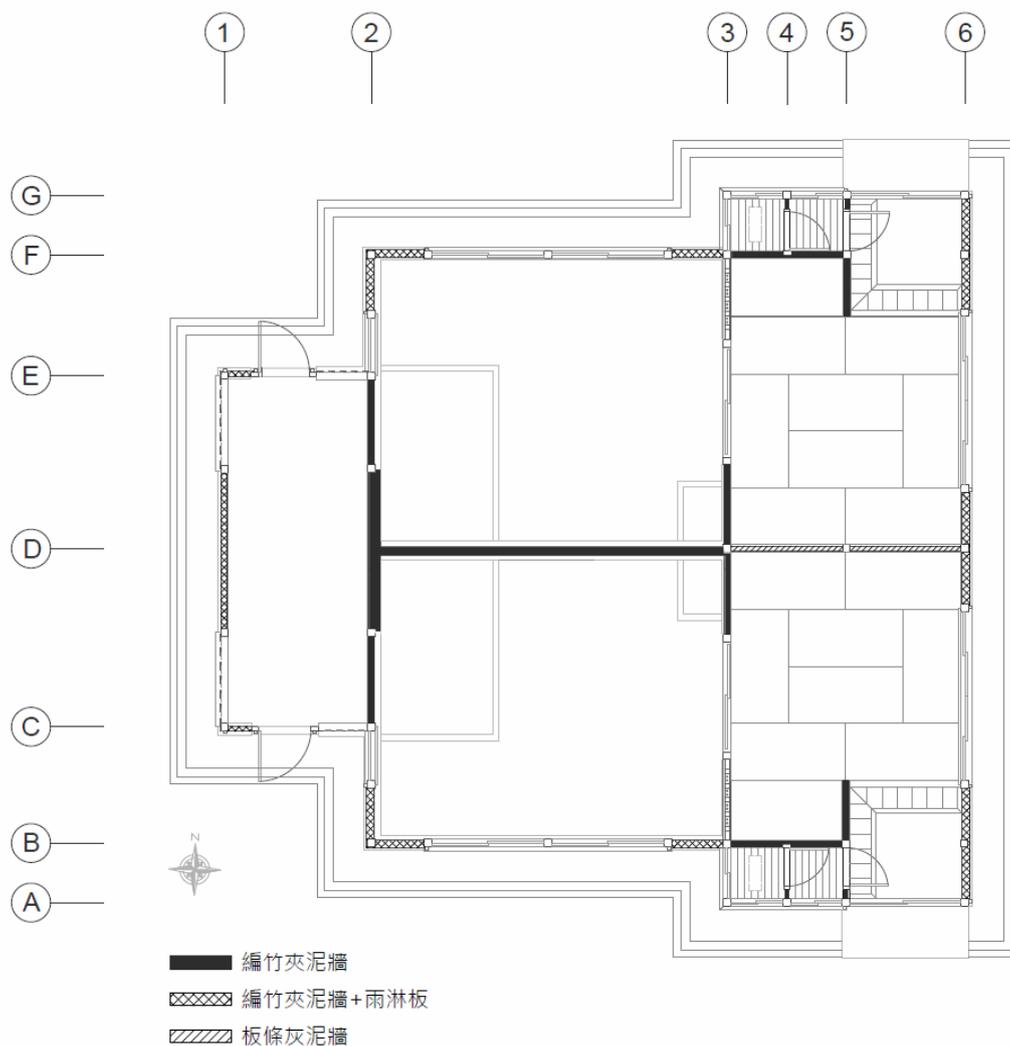
- 外牆載重以 130 kgf/m^2 計
 - 木框架重量以 10 kgf/m^2 計
 - 外牆雨淋板、上部板條灰泥重量以 15 kgf/m^2 計
 - 編竹夾泥牆(9cm)重量以 105 kgf/m^2 計

- 內牆載重依不同厚度分別以 50 kgf/m^2 、 80 kgf/m^2 、 100 kgf/m^2 、 170 kgf/m^2 、 215 kgf/m^2 計
 - 木框架重量以 10 kgf/m^2 計
 - 板條灰泥牆重量以 40 kgf/m^2 計
 - 編竹夾泥牆(6cm)重量以 70 kgf/m^2 計
 - 編竹夾泥牆(8cm)重量以 90 kgf/m^2 計
 - 編竹夾泥牆(14cm)重量以 160 kgf/m^2 計
 - 編竹夾泥牆(18cm)重量以 205 kgf/m^2 計

◆ 牆體重量

臺中刑務所浴場之牆體位置如【圖 6-2-54】所示，並依照各構造型式之牆體單位重量，計算牆體重量如【表 6-2-3】、【表 6-2-4】所示。經過計算，臺中刑務所浴場之牆體重量 $W_{wall} = 17548.05 \text{ kgf}$ 。

$$\text{牆體重量 } W_{wall} : 7558.98 + 9989.07 = 17548.05 \text{ kgf}$$



【圖 6-2-54】臺中刑務所浴場牆體位置圖

【表 6-2-3】臺中刑務所浴場 X 向牆體重量計算表

X 向 牆體	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 (kgf/m ²)	重量 W _{wall} (kgf)
A	3.65	3.65	2.55	—	2.99	2.99	130	389.09
B	9.08	5.46	2.55	9.23	6.28	15.51	130、100	1814.13
C	2.19	1.72	1.46	0.69	0.81	1.49	130	194.30
D	8.91	—	2.55	22.72	0.00	22.72	170、50	2763.95
E	2.19	1.72	1.46	0.69	0.81	1.49	130	194.30
F	9.08	5.46	2.55	9.23	6.28	15.51	130、100	1814.13
G	3.65	3.65	2.55	—	2.99	2.99	130	389.09
合計								7558.98

【表 6-2-4】臺中刑務所浴場 Y 向牆體重量計算表

Y 向 牆體	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 (kgf/m ²)	重量 W _{wall} (kgf)
1	5.43	2.90	1.46	3.69	—	3.69	130	480.19
2	9.10	2.16	2.55 (山牆高 2.78)	30.35	2.89	33.24	100、57.5 130、215	3779.49
3	10.93	8.20	2.55	6.96	10.06	17.02	100、130	1747.45
4	1.63	1.24	1.46	0.57	1.03	1.60	80	127.89
5	3.56	1.24	1.46、2.55	5.49	1.03	6.52	80、100	620.04
6	10.93	5.45	1.46、2.55 (山牆高 2.78)	24.63	7.30	31.93	130、57.5	3234.02
合計								9989.07

(3) 建築物重量 W

$$\text{建築物重量 } W = W_{\text{roof}} + W_{\text{wall}} = 11709.10 + 17548.05 = 29257.15 \text{ kgf}$$

考慮其他門窗等重量取 $29350 \text{ kgf} = 287.92 \text{ kN}$

3. 法規設計地震力

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

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

式中： S_{aD} ：工址設計水平加速度反應譜係數

I ：用途係數，臺中刑務所浴場為臺中市市定古蹟，供公眾使用，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，容許應力法取 $\alpha_y = 1.2$

F_u ：結構系統地震力折減係數

臺中刑務所浴場位於臺中市西區，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
臺中市	西區	0.8	0.45	1.0	0.5	屯子腳、車籠埔斷層

臺中刑務所浴場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：

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

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

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，由於無相關土壤鑽探報告，故其工址之地盤分類假設屬第三類地盤(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} ($S_1^M=0.5$)
第三類地盤	1.0	1.5	1.0	1.4

臺中刑務所浴場位於臺中市西區自由路一段 89 巷 28 號、30 號、32 號 (24.131629, 120.670007)，根據經濟部中央地質調查所網頁查得，距車籠埔斷層 $r \leq 8\text{km}$ 。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：

$$N_{AD}=1.07, N_{VD}=1.22, N_{AM}=1.10, N_{VM}=1.30。$$

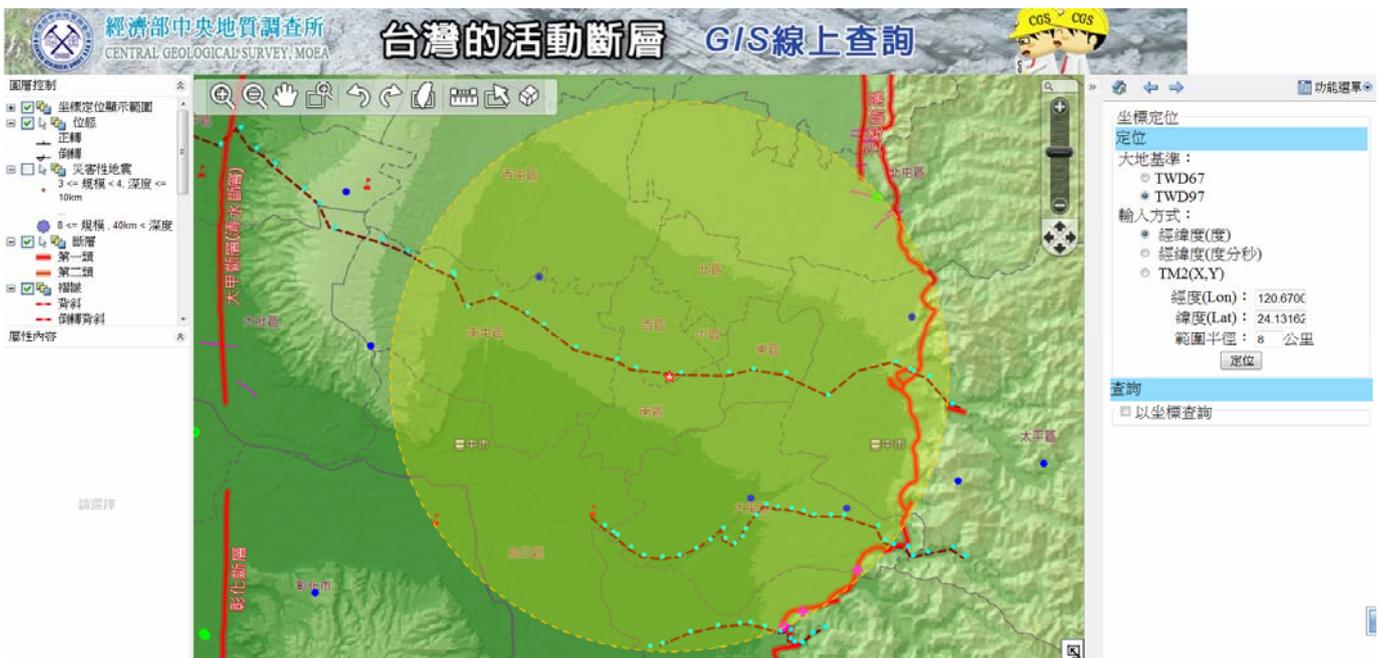
規範表 2-4-1 近車籠埔斷層調整因子 N_A 與 N_V

(a) 設計地震之調整因子

N_A	$r \leq 2 \text{ km}$	$2\text{km} < r \leq 5 \text{ m}$	$5\text{km} < r \leq 8 \text{ km}$	$8\text{km} < r \leq 12 \text{ km}$	$r > 12 \text{ km}$
	1.23	1.16	1.07	1.03	1.00
N_V	$r \leq 2 \text{ km}$	$2\text{km} < r \leq 5 \text{ m}$	$5\text{km} < r \leq 8 \text{ km}$	$8\text{km} < r \leq 12 \text{ km}$	$r > 12 \text{ km}$
	1.36	1.32	1.22	1.10	1.00

(b) 最大考量地震之調整因子

N_A	$r \leq 2 \text{ km}$	$2\text{km} < r \leq 5 \text{ m}$	$5\text{km} < r \leq 8 \text{ km}$	$8\text{km} < r \leq 12 \text{ km}$	$r > 12 \text{ km}$
	1.25	1.20	1.10	1.03	1.00
N_V	$r \leq 2 \text{ km}$	$2\text{km} < r \leq 5 \text{ m}$	$5\text{km} < r \leq 8 \text{ km}$	$8\text{km} < r \leq 12 \text{ km}$	$r > 12 \text{ km}$
	1.50	1.45	1.30	1.15	1.00



另外，距屯子腳斷層 $r > 10\text{km}$ ，則可查規範表 2-4-3。其中：

$$N_{AD}=1.00, N_{VD}=1.00, N_{AM}=1.00, N_{VM}=1.00$$

規範表 2-4-3 近屯子腳斷層調整因子 N_A 與 N_V

(a) 設計地震之調整因子

N_A	$r \leq 2 \text{ km}$	$2\text{km} < r \leq 5 \text{ m}$	$5\text{km} < r \leq 10 \text{ km}$	$r > 10 \text{ km}$
	1.28	1.20	1.10	1.00
N_V	$r \leq 2 \text{ km}$	$2\text{km} < r \leq 5 \text{ m}$	$5\text{km} < r \leq 10 \text{ km}$	$r > 10 \text{ km}$
	1.31	1.25	1.15	1.00

(b) 最大考量地震之調整因子

N_A	$r \leq 2 \text{ km}$	$2\text{km} < r \leq 5 \text{ m}$	$5\text{km} < r \leq 10 \text{ km}$	$r > 10 \text{ km}$
	1.26	1.17	1.05	1.00
N_V	$r \leq 2 \text{ km}$	$2\text{km} < r \leq 5 \text{ m}$	$5\text{km} < r \leq 10 \text{ km}$	$r > 10 \text{ km}$
	1.42	1.32	1.15	1.00

因此， $N_{AD}=1.07$ ， $N_{VD}=1.22$ ， $N_{AM}=1.10$ ， $N_{VM}=1.30$ 。

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

$$S_{DS} = S_S^D \cdot F_{aD} \cdot N_{AD} = 0.8 \times 1.0 \times 1.07 = 0.856$$

$$S_{MS} = S_S^M \cdot F_{aM} \cdot N_{AM} = 1.0 \times 1.0 \times 1.10 = 1.10$$

$$S_{D1} = S_1^D \cdot F_{vD} \cdot N_{VD} = 0.45 \times 1.5 \times 1.22 = 0.8235$$

$$S_{M1} = S_1^M \cdot F_{vM} \cdot N_{VM} = 0.5 \times 1.4 \times 1.30 = 0.91$$

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：

$$\text{短週期與中長週期之分界 } T_0^D = S_{D1} / S_{DS} = 0.8235 / 0.856 = 0.962 \text{ s}$$

S_{DS}	S_{D1}	$T_0^D = S_{D1} / S_{DS}$	較短週期	短週期	中週期	長週期
			$T \leq 0.2 T_0^D$	$0.2 T_0^D \leq T \leq T_0^D$	$T_0^D < T \leq 2.5 T_0^D$	$2.5 T_0^D < T$
0.856	0.8235	0.962	$S_{aD} = S_{DS}(0.4 + 3T / T_0^D)$	$S_{aD} = S_{DS}$	$S_{aD} = S_{D1} / T$	$S_{aD} = 0.4 S_{DS}$

◆ 工址設計水平譜加速度係數 S_{aD}

臺中刑務所浴場為單層木構造建築，建築物之基本週期 T ，可依下列經驗公式計算之，其中 h_n 為基面至屋頂面高度，取中脊高與屋簷高之平均為 6.07m。

$$T = 0.085 h_n^{3/4} = 0.085 \times 6.07^{3/4} = 0.329 \text{ s} \quad \text{【規範式 2-9】}$$

$$0.2 T_0^D = 0.192 \text{ s} < T \leq T_0^D, \text{ 屬於短週期,}$$

$$\text{工址設計水平譜加速度係數 } S_{aD} = S_{DS} = 0.856. \quad \text{【規範表 2-5(a)】}$$

◆ 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，臺中刑務所浴場之基本振動週期 0.329 秒，位於 $0.2 T_0^D \leq T \leq 0.6 T_0^D$ 區間內，其關係式如下：

$$F_u = \sqrt{2R_a - 1}; 0.2 T_0^D \leq T \leq 0.6 T_0^D \quad \text{【規範式 2-15】}$$

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

臺中刑務所浴場之結構系統是以木料組合成屋架與柱樑木牆，磚造勒腳牆之上為編竹夾泥木牆，此結構系統在受水平力作用時，主要藉木牆來抵抗橫力，屬具輕構架嵌版牆之承重牆系統，其韌性容量 R 查規範表 1-3 如下，取 $R=3.2$ 。

基本結構系統	抵抗地震力結構系統敘述	R	高度限制(m)
承重牆系統	1.輕構架牆 (1) 具剪力嵌版	3.2	12

因此，容許韌性容量 $R_a = 1 + \frac{(R-1)}{1.5} = 1 + (3.2-1)/1.5 = 2.467$ ；

$$\text{結構系統地震力折減係數 } F_u = \sqrt{2R_a - 1} = 1.983$$

◆ 最小設計水平總橫力 V

$\frac{S_{aD}}{F_u}$ 依【規範 式 2-2】修正， $\frac{S_{aD}}{F_u} = 0.856/1.983 = 0.432$ ，修正後命名為：

$$\left(\frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m = 0.52 \frac{S_{aD}}{F_u} + 0.144 = 0.368 \quad ; \quad 0.3 < \frac{S_{aD}}{F_u} = 0.368 < 0.8$$

最小設計水平總橫力

$$V = \frac{I}{1.4 \cdot \alpha_y} \cdot \left(\frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m \cdot W = \frac{1.25}{1.4 \times 1.2} \times 0.368 \times W = 0.274 \times W$$

◆ 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，地震設計最小總橫力不得低於 V^* ：

$$V^* = \frac{IF_u}{4.2\alpha_y} \cdot \left(\frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m \cdot W = \frac{1.25}{4.2 \times 1.2} \times 1.983 \times 0.368 \times W = 0.181 \times W \quad \text{【規範 式 2-16a】}$$

◆ 避免最大考量地震崩塌之設計地震力 V_M

為避免建築物在最大考量地震下崩塌，地震設計最小總橫力不得低於 V_M ：

一般工址最大水平譜加速度係數 S_{aM} ，可查規範表 2-5(b)如下：

較短週期	短週期	中週期	長週期
$T \leq 0.2 T_0^M$	$0.2 T_0^M \leq T \leq T_0^M$	$T_0^M < T \leq 2.5 T_0^M$	$2.5 T_0^M < T$
$S_{aM} = S_{MS}(0.4 + 3T/T_0^M)$	$S_{aM} = S_{MS}$	$S_{aM} = S_{M1}/T$	$S_{aM} = 0.4 S_{MS}$

$$S_{MS} = S_S^M F_a N_A = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.10 = 1.10 ; S_{M1} = S_1^M F_v N_V = 0.5 \cdot 1.4 \cdot 1.30 = 0.91 \quad \text{【規範 式 2-4】}$$

$$T_0^M = S_{M1} / S_{MS} = 0.91 / 1.10 = 0.827 \text{ s}$$

$$S_{aM} = S_{MS} = 1.10 , \quad 0.2 T_0^M \leq T \leq T_0^M$$

$$\frac{S_{aM}}{F_{uM}} = 1.10 / 2.324 = 0.473$$

$$\left(\frac{S_{aM}}{F_{uM}} \right)_m = 0.52 \frac{S_{aM}}{F_{uM}} + 0.144 = 0.390$$

【規範 式 2-16d】

由【規範 式 2-16c】：

$$V_M = \frac{I}{1.4 \alpha_y} \cdot \left(\frac{S_{aM}}{F_{uM}} \right)_m \cdot W = \frac{1.25}{1.4 \times 1.2} \times 0.390 \times W = 0.290 \times W$$

故設計地震力地震力 $V = 0.290W = 0.290 \times 287.92 \text{ kN} = 83.58 \text{ kN}$

4. 必要耐力 (Qr)

最小設計水平總橫力 V (kN)	×	形狀加成係數	=	必要耐力 Qr (kN)
83.58		1.0		83.58

5. 壁體耐力 (Q_w) 與剛性 (S_w)◆ 基準耐力 P_{w0} 與基準剛度 S_{w0}

臺中刑務所浴場之牆體除室內一道壁體為板條灰泥牆外，其餘均為編竹夾泥牆，且牆厚分別為 60mm、80mm、140mm 及 180mm。此外，由現況損壞之外牆內部發現木造壁體尚有設置斷面 115mm×115mm 之木斜撐，根據其與框架之接合方式並依【表 4-2-8】可知基準耐力之接合折減係數為 0.6，故木製斜撐之基準耐力為： $4.8 \times 0.6 = 2.88$ kN。

本案之壁體基準強度與基準剛度根據【表 4-2-7】~【表 4-2-11】整理如下：

【表 6-2-5】臺中刑務所浴場牆壁體基準耐力與基準剛度

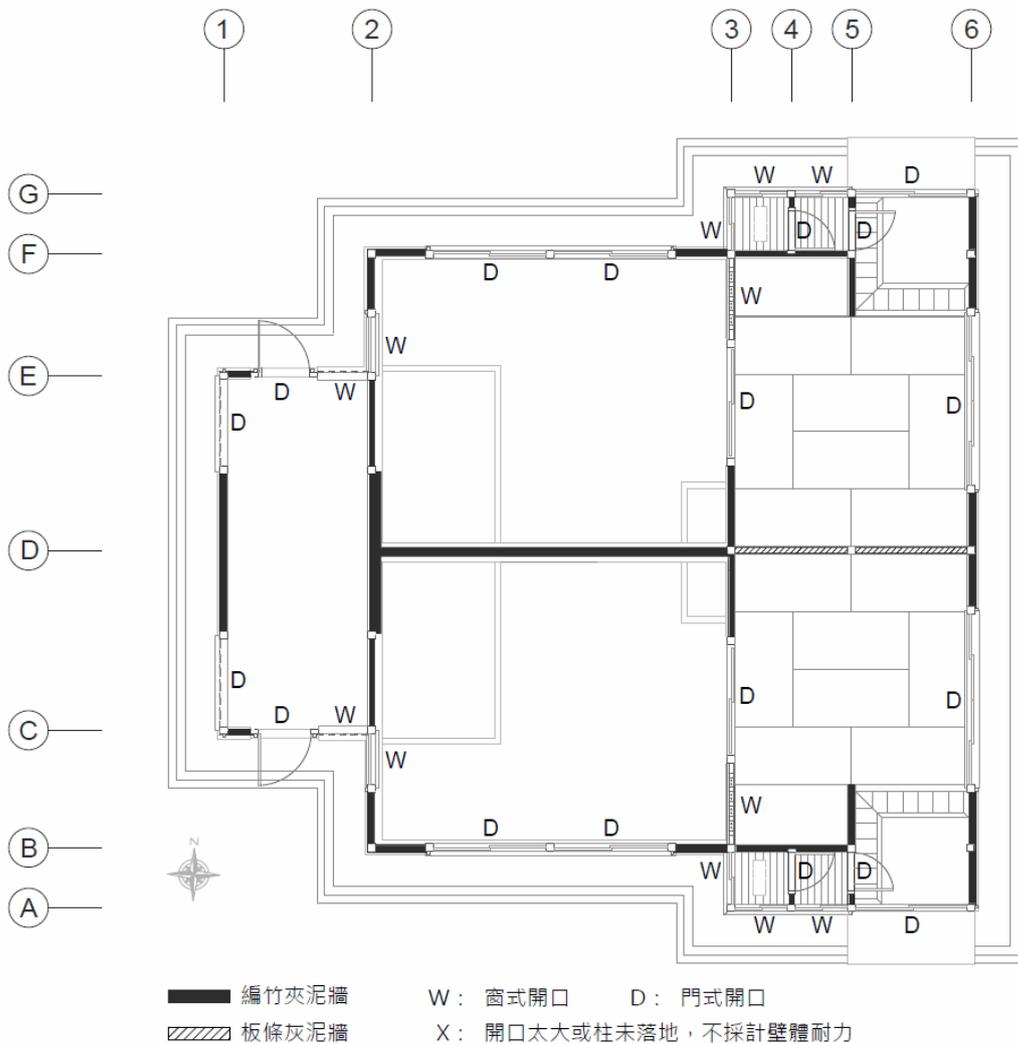
編號	壁體類型	各層構造		基準耐力 (kN/m)	基準剛度 (kN/rad/m)
1	外牆	外側	雨淋板	0	0
		框架	9cm 土壁	3.9	700
			木斜撐(11.5x11.5)	2.88	830
		內側	—	—	—
		合計		6.78	1530
2	內牆	外側	板條灰泥	1.1	160
		框架	—	—	—
		內側	板條灰泥	1.1	160
				合計	
3	內牆	外側	—	—	—
		框架	6cm 土壁	2.2	400
		內側	—	—	—
				合計	
4	內牆	外側	—	—	—
		框架	8cm 土壁	3.5	640
		內側	—	—	—
				合計	
5	內牆	外側	—	—	—
		框架	14cm 土壁	3.9	700
		內側	—	—	—
				合計	
6	內牆	外側	—	—	—
		框架	18cm 土壁	3.9	700
		內側	—	—	—
				合計	

◆ 接合部耐力折減係數 C_f

臺中刑務所浴場屬一層之木造建築，其壁強度倍率 C 分為 2.2 kN/m、3.5 kN/m、3.9 kN/m、6.78 kN/m。基礎為磚造基礎，屬第 III 類基礎，而柱接合部則為第 III 種接合方式，由【表 4-2-12】，其接合部耐力折減係數 C_f 分別為 0.7、0.35、0.2。

◆ 壁體耐力 Q_w 與剛性 S_w

臺中刑務所浴場之壁體與開口編號參照【圖 6-2-55】。以下根據各牆體之壁長、接合部折減係數、開口折減係數等，計算 X 向、Y 向的壁體耐力與剛性，如【表 6-2-6】、【表 6-2-7】所示。



【圖 6-2-55】臺中刑務所浴場牆體及開口位置圖

【表 6-2-6】臺中刑務所浴場 X 向壁體耐力與剛度

方向	牆線	壁體 類型	基準耐力 (kN/m)	基準剛度 (kN/rad/m)	壁長 (m)	開口 係數	接合部 係數	劣化 係數	耐力 (kN)	剛度 (kN/rad)
X	A	外牆(W)	3.9	700	1.83	0.4	0.35	1	1.00	179.34
		外牆(D)	3.9	700	1.83	0.15	0.35	1	0.37	67.25
	B	外牆	6.78	1530	1.78	1	0.2	1	2.41	544.68
		外牆(D)	6.78	1530	3.68	0.15	0.2	1	0.75	168.91
		內牆	3.5	640	1.83	1	0.35	1	2.24	409.92
		內牆(D)	3.5	640	1.78	0.15	0.35	1	0.33	59.81
	C	外牆	3.9	700	0.47	1	0.35	1	0.64	115.15
		外牆(W)	3.9	700	0.87	0.4	0.35	1	0.48	85.26
		外牆(D)	3.9	700	0.92	0.2	0.35	1	0.25	45.08
	D	內牆	3.9	700	5.32	1	0.35	1	7.26	1303.40
		內牆	2.2	320	3.65	1	0.7	1	5.62	817.60
	E	外牆	3.9	700	0.47	1	0.35	1	0.64	115.15
		外牆(W)	3.9	700	0.89	0.4	0.35	1	0.49	87.22
		外牆(D)	3.9	700	0.90	0.2	0.35	1	0.25	44.10
	F	外牆	6.78	1530	1.78	1	0.2	1	2.41	544.68
		外牆(D)	6.78	1530	3.68	0.15	0.2	1	0.75	168.91
		內牆	3.5	640	1.84	1	0.35	1	2.25	412.16
		內牆(D)	3.5	640	1.78	0.15	0.35	1	0.33	59.81
	G	外牆(W)	3.9	700	1.84	0.4	0.35	1	1.00	180.32
		外牆(D)	3.9	700	1.82	0.15	0.35	1	0.37	66.89
	合計									29.85

【表 6-2-7】臺中刑務所浴場 Y 向壁體耐力與剛度

方向	牆線	壁體類型	基準耐力 (kN/m)	基準剛度 (kN/rad/m)	壁長 (m)	開口係數	接合部係數	劣化係數	耐力 (kN)	剛度 (kN/rad)
Y	1	外牆	3.9	700	2.52	1	0.35	1	3.44	617.40
		外牆(D)	3.9	700	2.91	0.15	0.35	1	0.60	106.94
	2	外牆	6.78	1530	1.82	1	0.2	1	2.47	556.92
		外牆(W)	6.78	1530	1.85	0.4	0.2	1	1.00	226.44
		內牆	3.5	640	2.89	1	0.35	1	3.54	647.36
		內牆	3.9	700	2.53	1	0.35	1	3.45	619.85
	3	外牆(W)	3.5	640	1.83	1	0.35	1	2.24	409.92
		內牆	3.5	640	2.73	1	0.35	1	3.34	611.52
		內牆(W)	3.5	640	2.73	0.3	0.35	1	1.00	183.46
		內牆(D)	3.5	640	3.64	0.15	0.35	1	0.67	122.30
	4	內牆	2.2	400	0.46	1	0.7	1	0.71	128.80
		內牆(D)	2.2	400	1.24	0.2	0.7	1	0.38	69.44
	5	內牆	3.5	640	1.93	1	0.35	1	2.36	432.32
		內牆	2.2	400	0.46	1	0.7	1	0.71	128.80
		內牆(D)	2.2	400	1.36	0.2	0.7	1	0.42	76.16
	6	外牆	6.78	1530	5.48	1	0.2	1	7.43	1676.88
		外牆(D)	6.78	1530	5.45	0.1	0.2	1	0.74	166.77
	合計									34.51

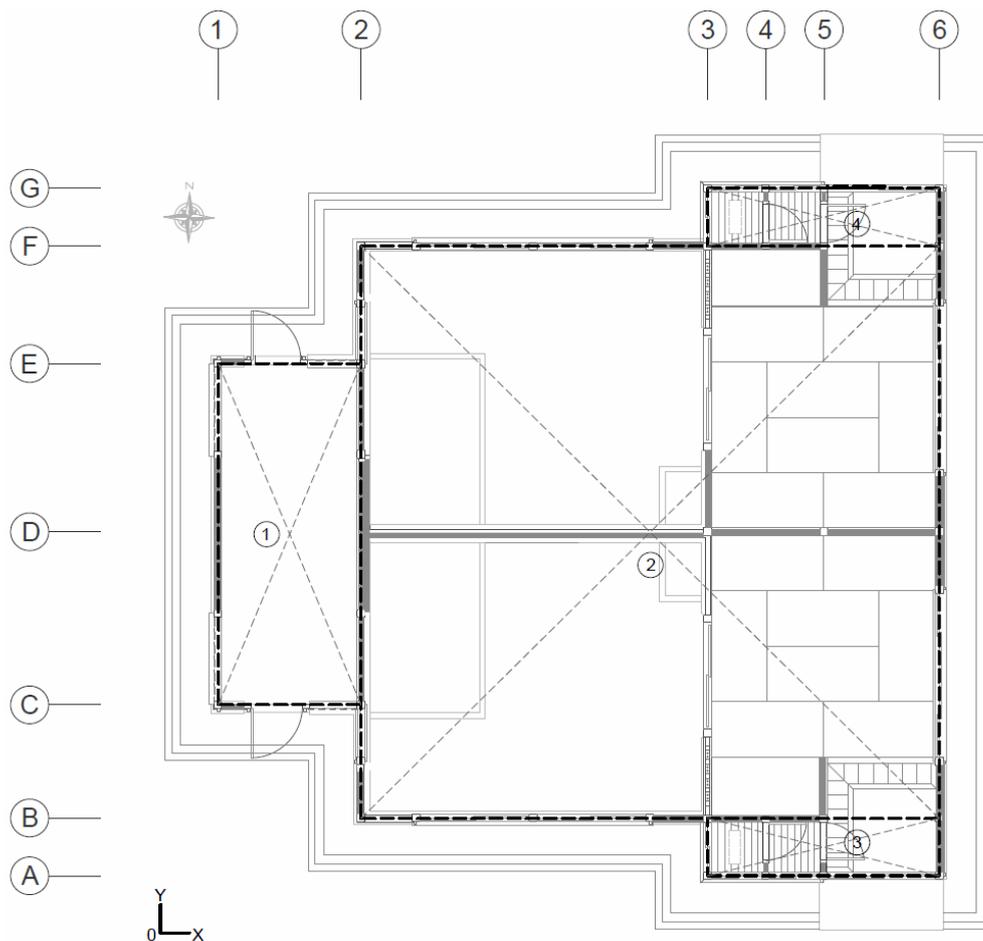
6. 軟弱層剛度折減 (F_s)

臺中刑務所浴場為單層建築，無需針對軟弱層進行剛度折減，故剛度折減係數 $F_s = 1.0$ 。

7. 偏心折減 (F_{ep})

【圖 6-2-56】為臺中刑務所浴場之面積計算及所屬重心座標示意圖。【表 6-2-8】~【表 6-2-10】則分別為重心與剛心位置之計算。【表 6-2-11】即根據上述之計算結果求得偏心率，進而由偏心率與配置折減係數 ($B \times C$) 的關係求得偏心折減係數。其結果分別如下：

$$F_{epx} = 1.00 \quad ; \quad F_{epy} = 1.00$$



【圖 6-2-56】臺中刑務所浴場面積計算及所屬重心座標

【表 6-2-8】臺中刑務所浴場重心位置計算

重心位置計算表							
分區 編號	面積 A (m ²)	與 x 軸距離 y (m)	A · y	$y_g = \Sigma A \cdot y / \Sigma A$	與 y 軸距離 x (m)	A · X	$x_g = \Sigma A \cdot x / \Sigma A$
				(m)			(m)
1	12.20	6.34	77.32	6.37	2.04	24.82	7.21
2	82.90	6.37	528.08		7.72	639.58	
3	3.32	1.37	4.53		10.45	34.69	
4	3.36	11.38	38.21		10.45	35.07	
Σ	101.78		648.14				

【表 6-2-9】臺中刑務所浴場剛心位置計算(y_s)

牆體剛心位置計算表					
位置	牆線	剛度 I_x (kN/rad)	與 x 軸距離 y (m)	$I_x \cdot y$	$y_s = \Sigma I_x \cdot y / \Sigma I_x$ (m)
y_s	A	179.34	0.91	163.20	6.38
		67.25	0.91	61.20	
	B	544.68	1.83	996.76	
		168.91	1.83	309.11	
		409.92	1.83	750.15	
		59.81	1.83	109.45	
	C	115.15	3.63	417.99	
		85.26	3.63	309.49	
		45.08	3.63	163.64	
	D	1303.40	6.38	8315.69	
		817.60	6.38	5216.29	
	E	115.15	9.05	1042.11	
		87.22	9.05	789.34	
		44.10	9.05	399.11	
	F	544.68	10.92	5947.91	
		168.91	10.92	1844.52	
		412.16	10.92	4500.79	
		59.81	10.92	653.10	
	G	180.32	11.84	2134.99	
		66.89	11.84	791.92	
	合計	5475.64		34916.76	

【表 6-2-10】臺中刑務所浴場剛心位置計算(x_s)

牆體剛心位置計算表						
位置	牆線	剛度 I _y (kN/rad)	與 y 軸距離 x (m)	I _y · x	x _s = ΣI _y · x / ΣI _y (m)	
x _s	1	617.40	0.91	561.83	7.34	
		106.94	0.91	97.32		
	2	556.92	3.16	1759.87		
		226.44	3.16	715.55		
		647.36	3.16	2045.66		
		619.85	3.16	1958.73		
	3	409.92	8.62	3533.51		
		611.52	8.62	5271.30		
		183.46	8.62	1581.39		
		122.30	8.62	1054.26		
	4	128.80	9.54	1228.75		
		69.44	9.54	662.46		
	5	432.32	10.46	4522.07		
		128.80	10.46	1347.25		
		76.16	10.46	796.63		
	6	1676.88	12.27	20575.32		
		166.77	12.27	2046.27		
	合計		6781.28			49758.16

【表 6-2-11】臺中刑務所浴場偏心折減

	x 方向壁體		y 方向壁體	
	ys	yg	xs	xg
剛心位置	ys	6.38	xs	7.34
重心位置	yg	6.37	xg	7.21
偏心距離	ey	0.01	ex	0.12
彈力半徑	rex	5.85	rey	5.25
偏心率	Rex	0.00	Rey	0.02
偏心折減	Fepx	1.00	Fepy	1.00

8. 柔性樓板之剛度折減

樓層	方向	偏心率	樓板構造	樓板倍率	總樓板倍率	樓板剛度折減 F_{efx}
1	x	0.06	屋頂面:坡度 1:2 以下，寬 18cm 杉板 9mm 以上，垂木間距 50cm 以下， JIS-N50 釘著間距 15cm 以下	0.20	0.56	1.00 (偏心率<0.3 無需折減)
			陸樑水平構面：設置火打樑	0.36		

樓層	方向	偏心率	樓板構造	樓板倍率	總樓板倍率	樓板剛度折減 F_{efy}
1	y	0.00	屋頂面:坡度 1:2 以下，寬 18cm 杉板 9mm 以上，垂木間距 50cm 以下， JIS-N50 釘著間距 15cm 以下	0.20	0.56	1.00 (偏心率<0.3 無需折減)
			陸樑水平構面：設置火打樑	0.36		

9. 保有耐力 (Q_d)

臺中刑務所浴場之保有耐力計算如【表 6-2-12】所示：

【表 6-2-12】臺中刑務所浴場保有耐力計算

樓層	方向	壁耐力 (kN)	軟層剛度折減 F_s	偏心折減 F_{ep}	樓板剛度折減 F_{ef}	保有耐力 Q_d (kN)
1	x	29.85	1.00	1.00	1.00	29.85
1	y	34.51	1.00	1.00	1.00	34.51

10. 上部構造評點 (Q_d / Q_r)

臺中刑務所浴場之上部構造評點 (Q_d/Q_r) 計算如【表 6-2-13】所示：

【表 6-2-13】臺中刑務所浴場上部構造評點計算

方向	保有耐力 P_d (kN)	必要耐力 Q_r (kN)	上部構造評點 P_d/Q_r	診斷
X	29.85	83.58	0.36	有嚴重破壞或傾倒危險
Y	34.51	83.58	0.41	有嚴重破壞或傾倒危險

最後計算結果為：X 向=0.36

Y 向=0.41

對應總和評分與診斷結果判定關係表【表 4-2-18】：

X 向為 $0.36 < 0.7$ ，其診斷結果為『有嚴重破壞或傾倒危險』。

Y 向為 $0.41 < 0.7$ ，其診斷結果為『有嚴重破壞或傾倒危險』。

11. 評估結果討論

由精密診斷法(保有耐力診斷法)評估之結果顯示，臺中刑務所浴場依原構法修復後之上部構造評點僅為 0.36 與 0.41，顯示本建築原始結構系統之耐震能力無法符合目前法規耐震能力之要求。其主要原因為壁量不足及基礎構造可提供之強度不足所致。壁量不足即直接影響建築物整體之保有耐力；此外，由於磚砌布基礎在評估方法中屬第 III 類基礎，配合木框架柱頭柱腳之接合型式採樺接與螞蟻釘接合，此種構造方式對應其壁體耐力，接合部折減係數則分別為 0.35 及 0.2，亦即僅能使牆體發揮其 35%及 20%之水平耐力。

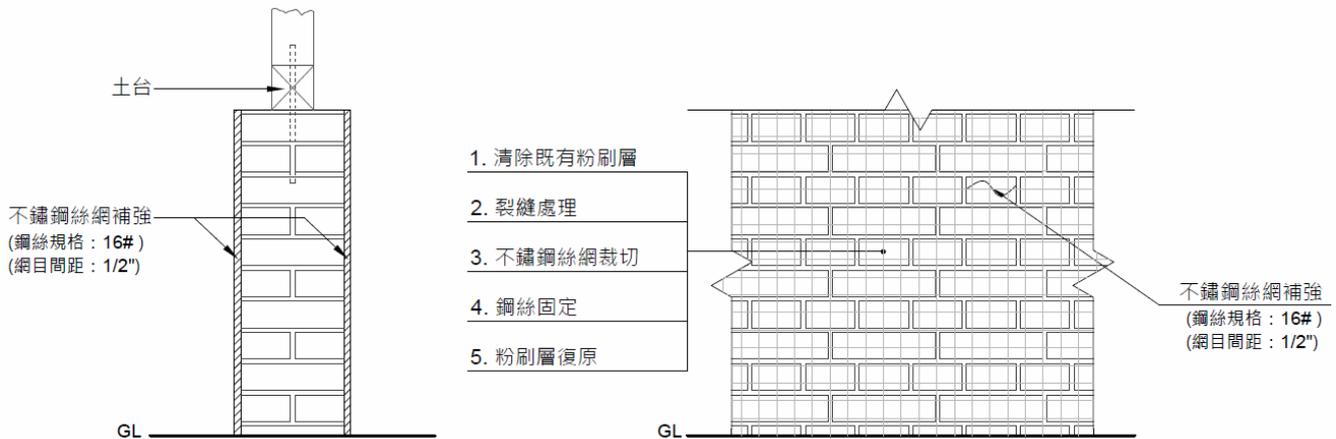
四、修復補強建議

壁量不足及基礎構造型式不當，對於建築之安全性有相當大的影響。故針對前述造成臺中刑務所浴場耐震性能不足之因素，提出下列補強建議並進一步計算補強後之結構耐震能力。

(一) 結構補強建議

1. 基礎

上部結構在水平地震力作用下，牆體框架除了會對基礎傳遞水平剪力外，亦會對基礎產生向上拉拔力，磚砌布基礎很容易因此產生開裂破壞，而無法提供牆體所需之反力。建議在布基礎雙側以不鏽鋼絲網進行補強，不鏽鋼絲網規格為#16 (線徑 1.6 mm)，網目間距則為 1/2"，並且利用其粉刷層使鋼絲網與牆體結合為一體，如【圖 6-2-57】所示。



【圖 6-2-57】磚砌布基礎補強示意圖

2. 壁體

在不增加壁體設置之考慮下，建議針對壁量較少之方向牆體採結構合板補強，可使原有壁體位置增加其耐力，且面材依原樣施作亦不會對外觀造成影響。另外，針對壁體適度的採結構合板補強亦可避免為符合法規規定之耐震強度於修復時設置過多的補強鐵件。

建議於臺中刑務所浴場之雙向(X 向、Y 向)適當位置施做結構合板補強。所有補強用之結構合板均採用厚度 7.5mm 以上，鐵釘之規格為 JIS-N50 同級品(直徑 2.8mm，釘長 50mm)，合板四周釘著於木框架上，間距 200mm 以下，在此施作方式下，每一單側補強可增加壁耐力 2.5kN/m。此外，補強之壁體須配合採用第 I 型接合鐵件（日本建設省告示 1460 號）。

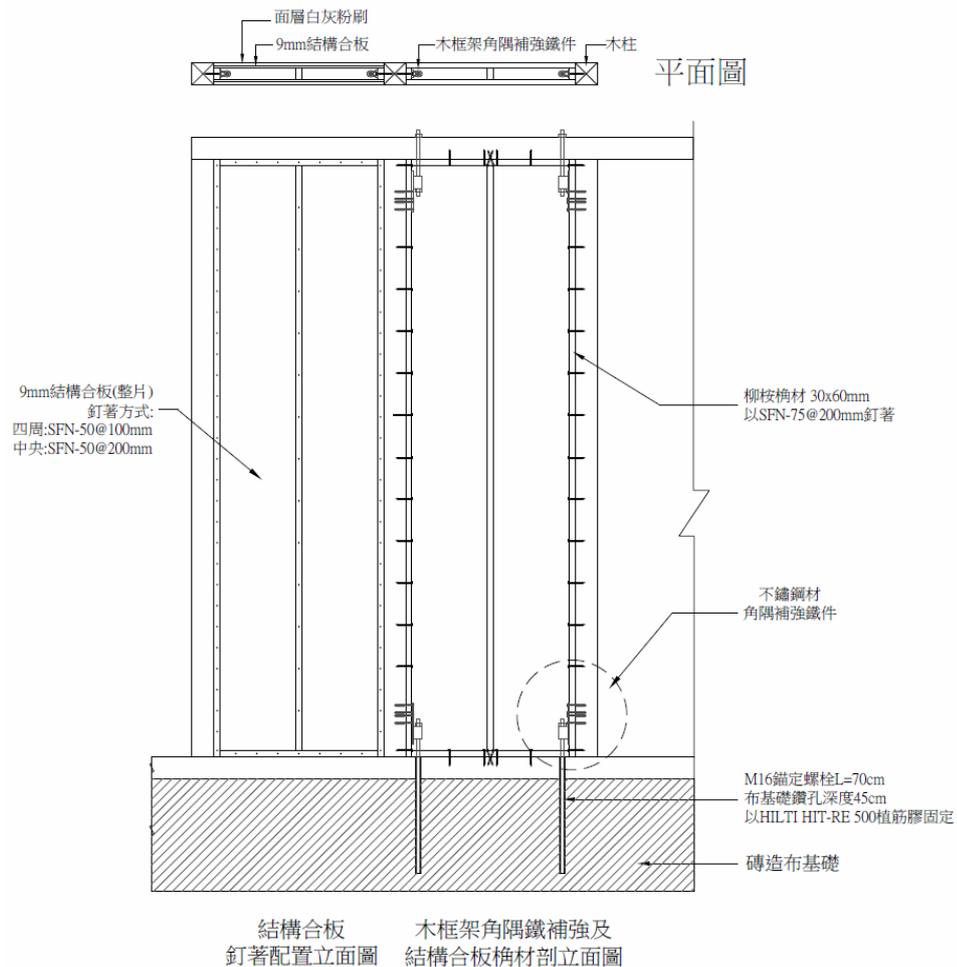
3. 壁體木框架結點

由於原始木框架構造結點僅採樁接並配合螞蟻釘傳遞軸拉力，此結合方式無法使壁體耐力完全發揮，建議在壁體補強處之木框架柱頭柱腳施作第 I 型接合鐵件（日本建設省告示 1460 號）補強，如【圖 6-2-58】所示。則可將接合部耐力減低係數 f 提高至 1.00。



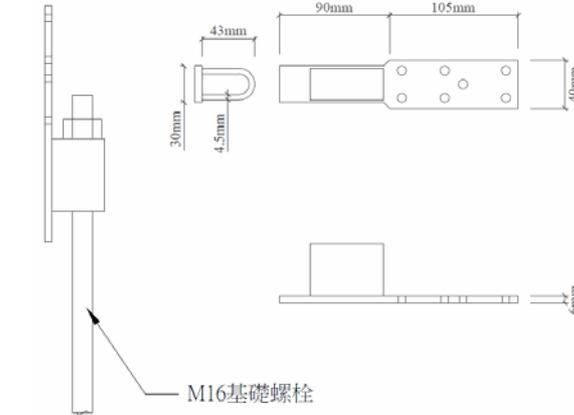
【圖 6-2-58】第 I 型接合鐵件補強（日本建設省告示 1460 號）

有關結構合板補強及木框架結點角隅鐵件補強之平面、剖立面示意圖如【圖 6-2-59】所示。須於木框架四周釘著 3cm 厚之桷材以固定結構合板，底部的角隅補強鐵件採用基礎螺栓穿過土台後與磚造布基礎做接合，並以鐵釘與側邊木柱接合；而頂部之角隅補強鐵件則以螺栓與上方水平木料做接合，並同樣以鐵釘與側邊木柱接合。而【圖 6-2-60】則為角隅補強鐵件之大樣圖。



【圖 6-2-59】木框架結點角隅鐵件補強立面圖

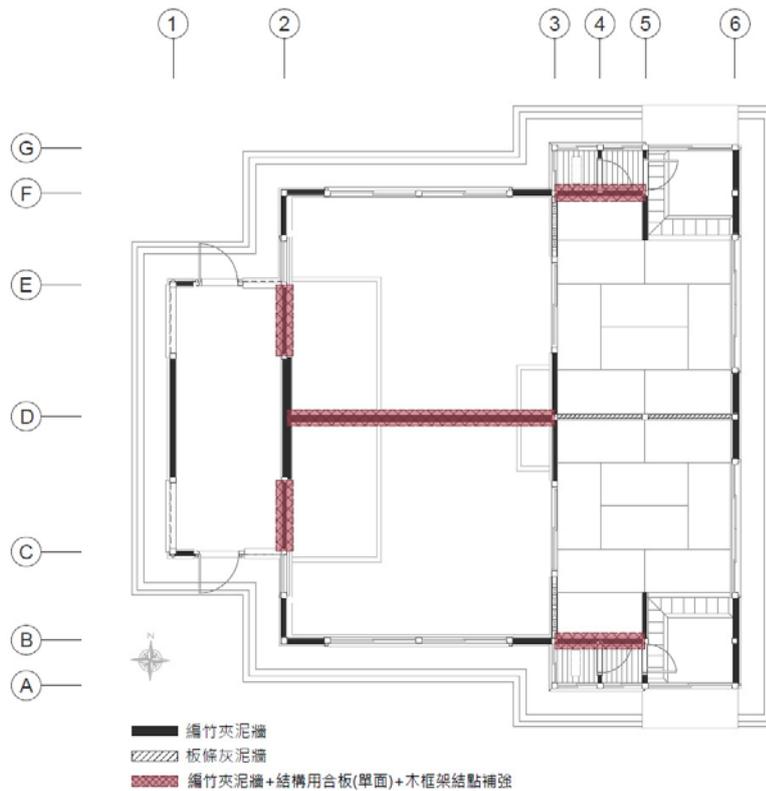
1. 補強鐵件 JIS G 3131 : 6(t)x40x195mm
2. 木螺絲:TBA-65D 7支
3. 錨定螺栓:M16 CNS 3934 Grade4.8



【圖 6-2-60】不鏽鋼角隅補強鐵件大樣圖

(二) 補強後牆體耐震能力評估

根據上述之建議補強方式，臺中刑務所浴場於基礎雙側採不鏽鋼絲網貼覆補強，並選擇於南北向(Y 向)兩處及東西向(X 向)三處牆體進行單面結構用合板補強及木框架結點補強，配合基礎補強後之型式，接合部耐力減低係數 f 可提高為 1.00；部分壁體之接合部耐力減低係數 f 則亦提高為 0.60。其壁體之補強方式與位置，如【圖 6-2-61】所示



【圖 6-2-61】臺中刑務所浴場壁體補強位置圖

本案補強後之壁體基準強度與基準剛度如【表 6-2-14】所示。補強後 X 向、Y 向的壁體耐力與剛性，如【表 6-2-15】、【表 6-2-16】。【表 6-2-17】則為上部構造評點 (Qd/Qr) 之計算結果。根據評估結果顯示經補強後，可使 x、y 方向之評點達 1.00 與 0.96，建築物於正常情況下安全。

【表 6-2-14】臺中刑務所浴場牆壁體基準耐力與基準剛度 (補強後)

編號	壁體類型	各層構造		基準耐力 (kN/m)	基準剛度 (kN/rad/m)
7	內牆	外側	構造用合板 (t=7.5mm)	2.5	360
		框架	8cm 土壁	3.5	640
		內側	—	—	—
		合計		6.0	1000
8	內牆	外側	構造用合板 (t=7.5mm)	2.5	360
		框架	14cm 土壁	3.9	700
		內側	—	—	—
		合計		6.4	1060

【表 6-2-15】臺中刑務所浴場 Y 向壁體耐力與剛度 (補強後)

方向	牆線	壁體 類型	基準耐力 (kN/m)	基準剛度 (kN/rad/m)	壁長 (m)	開口 係數	接合部 係數	劣化 係數	耐力 (kN)	剛度 (kN/rad)	
Y	1	外牆	3.9	700	2.52	1	0.6	1	5.90	1058.40	
		外牆(D)	3.9	700	2.91	0.15	0.6	1	1.02	183.33	
	2	外牆	6.78	1530	1.82	1	0.35	1	4.32	974.61	
		外牆(W)	6.78	1530	1.85	0.4	0.35	1	1.76	396.27	
		內牆 (構造用合板)	6.0	1000	2.89	1	1	1	17.34	2890.00	
		內牆	3.9	700	2.53	1	0.6	1	5.92	1062.60	
	3	外牆(W)	3.5	640	1.83	1	0.6	1	3.84	702.72	
		內牆 (構造用合板)	6.0	1000	2.73	1	1	1	16.38	2730.00	
		內牆(W)	3.5	640	2.73	0.3	0.6	1	1.72	314.50	
		內牆(D)	3.5	640	3.64	0.15	0.6	1	1.15	209.66	
	4	內牆	2.2	400	0.46	1	0.7	1	0.71	128.80	
		內牆(D)	2.2	400	1.24	0.2	0.7	1	0.38	69.44	
	5	內牆	3.5	640	1.93	1	0.6	1	4.05	741.12	
		內牆	2.2	400	0.46	1	0.7	1	0.71	128.80	
		內牆(D)	2.2	400	1.36	0.2	0.7	1	0.42	76.16	
	6	外牆	6.78	1530	5.48	1	0.35	1	13.00	2934.54	
		外牆(D)	6.78	1530	5.45	0.1	0.35	1	1.29	291.85	
	合計									79.91	14892.80

【表 6-2-16】臺中刑務所浴場 X 向壁體耐力與剛度 (補強後)

方向	牆線	壁體類型	基準耐力 (kN/m)	基準剛度 (kN/rad/m)	壁長 (m)	開口係數	接合部係數	劣化係數	耐力 (kN)	剛度 (kN/rad)
X	A	外牆(W)	3.9	700	1.83	0.4	0.6	1	1.71	307.44
		外牆(D)	3.9	700	1.83	0.15	0.6	1	0.64	115.29
	B	外牆	6.78	1530	1.78	1	0.35	1	4.22	953.19
		外牆(D)	6.78	1530	3.68	0.15	0.35	1	1.31	295.60
		內牆 (構造用合板)	6.0	1000	1.83	1	1	1	10.98	1830.00
		內牆(D)	3.5	640	1.78	0.15	0.6	1	0.56	102.53
	C	外牆	3.9	700	0.47	1	0.6	1	1.10	197.40
		外牆(W)	3.9	700	0.87	0.4	0.6	1	0.81	146.16
		外牆(D)	3.9	700	0.92	0.2	0.6	1	0.43	77.28
	D	內牆 (構造用合板)	6.4	1060	5.32	1	1	1	34.05	5639.20
		內牆	2.2	320	3.65	1	0.7	1	5.62	817.60
	E	外牆	3.9	700	0.47	1	0.6	1	1.10	197.40
		外牆(W)	3.9	700	0.89	0.4	0.6	1	0.83	149.52
		外牆(D)	3.9	700	0.90	0.2	0.6	1	0.42	75.60
	F	外牆	6.78	1530	1.78	1	0.35	1	4.22	953.19
		外牆(D)	6.78	1530	3.68	0.15	0.35	1	1.31	295.60
		內牆 (構造用合板)	6.0	1000	1.84	1	1	1	11.04	1840.00
		內牆(D)	3.5	640	1.78	0.15	0.6	1	0.56	102.53
	G	外牆(W)	3.9	700	1.84	0.4	0.6	1	1.72	309.12
		外牆(D)	3.9	700	1.82	0.15	0.6	1	0.64	114.66
合計									83.29	14519.30

【表 6-2-17】臺中刑務所浴場上部構造評點計算 (補強後)

方向	保有耐力 Pd (kN)	必要耐力 Qr (kN)	上部構造評點 Pd/Qr	診斷
X	83.29	83.58	1.00	正常情況下安全
Y	79.91	83.58	0.96	正常情況下安全

最後計算結果為：X 向 = 1.00

Y 向 = 0.96 \approx 1.00

對應總和評分與診斷結果判定關係表【表 4-2-18】：

X 向為 $1.00 \geq 1.0$ ，其診斷結果為『正常情況下安全』。

Y 向為 $1.00 \geq 1.0$ ，其診斷結果為『正常情況下安全』。

五、小結

根據評估結果，臺中刑務所浴場之木屋架在長期荷重下安全尚無疑慮，研判不需補強。然而在法規地震力檢討下，建築物之耐震性能則有所不足。故針對建築物現況壁體量不足與基礎構造型式不當之情形，採用布基礎雙側以不鏽鋼絲網貼覆補強，壁體則增加結構用合板並於木框架結點以不鏽鋼之角隅鐵件補強，則可提昇建築物整體之耐震性能。

【表 6-2-18】為臺中刑務所浴場之牆體耐震結構安全評估診斷結果。經基礎補強後，須於建築物之東西向（X 向）三處牆體進行結構用合板單面補強，並同時於該三處壁體之木框架結點以角隅鐵件補強，補強後上部構造評點提昇為 1.00，正常情況下安全；而建築物之南北向（Y 向）則須於兩處牆體進行結構用合板單面補強，且同樣於該兩處壁體之木框架結點以角隅鐵件補強，補強後上部構造評點則提昇為 1.00，正常情況下安全。

【表 6-2-18】臺中刑務所浴場－牆體耐震結構安全評估診斷結果

建築物	方向	補強方式	上部構造評點 Pd/Qr		診斷結果
			補強前	補強後	
臺中刑務所浴場	X	1.布基礎雙側貼覆不鏽鋼絲網補強 2.木框架結點補強（三處） 3.結構用合板補強（三處）	0.36	1.00	正常情況下安全
	Y	1.布基礎雙側貼覆不鏽鋼絲網補強 2.木框架結點補強（兩處） 3.結構用合板補強（兩處）	0.41	1.00	正常情況下安全