

A close-up photograph of a wooden structure, possibly a chair or table, showing several wooden beams joined together. The wood has a natural, light brown finish. Several black metal fasteners, likely bolts or screws, are visible, securing the joints. The background is softly blurred, showing more of the structure and some light filtering through, creating a bokeh effect.

©

設計要點

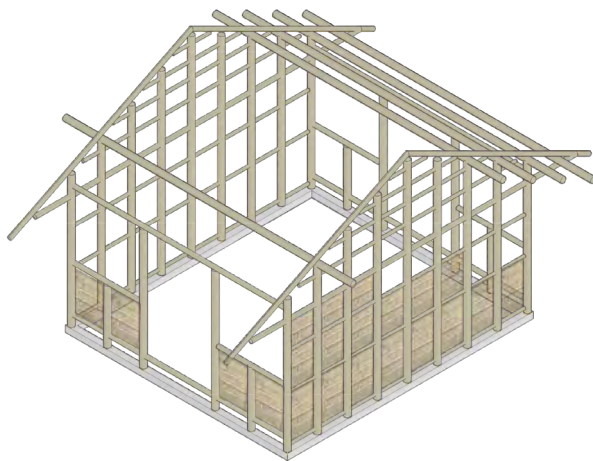
竹構設計的五個要點

1. 定位與優勢

(1) 無毒：低碳排放、快速成長、樸實自然的質感是竹子最大優勢，這樣的優勢使竹子成為友善土地的建材，加工的過程盡可能維持它的優勢，不讓化學成分讓它的優勢打折。

(2) 低造價：台灣竹山有大片的竹林，四年即可成材，相較於木構造需要仰賴進口，原產於台灣的竹材價錢比較平易近人，並且能促進台灣產業。

(3) 歷史文化價值：台灣早期居民改良中國傳統穿斗木構，就地取材，使用蔴竹代替木材，搭配編竹夾泥牆，成為冬暖夏涼，會呼吸的竹管厝。除了竹管厝，台灣原住民的早期家屋也常使用竹子搭建。



2. 竹子的限制

(1) 長度：

雖然竹子可以成長到 10-12 公尺，但是末端的竹子太細並且有分岔，不適合做結構材。一般使用的孟宗竹長度在 6.6 公尺內，桂竹在 8.1 公尺內，盡量避免超過這個長度，或是採組合的方式，以多支竹子取代單一桿件。

(2) 無側撐長度：

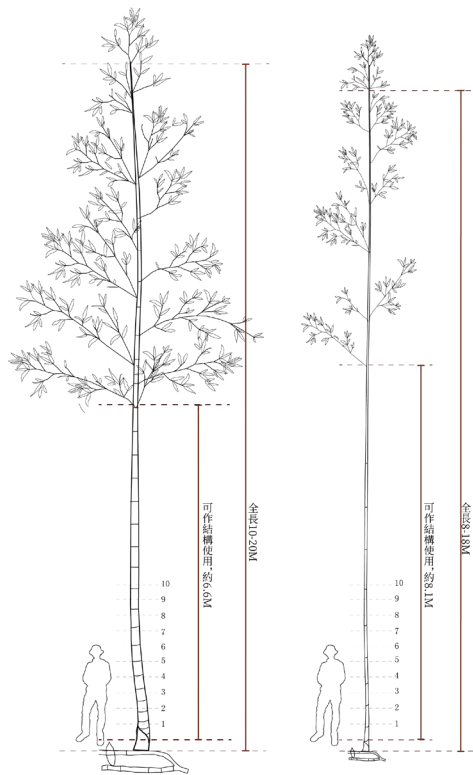
竹子不像木頭直徑可以達近百公分，設計時以多支竹子組合以加大結構斷面，或是減少構件的長度，以避免挫屈。

(3) 竹節：

竹節是讓竹子成為良好結構材的重要關鍵，保持竹節的完整使竹子完全發揮強度。

(4) 管徑：

變化的管徑是竹子作為建材最難掌控的部分，除了每支竹子的管徑都不一樣，從竹頭到竹尾的管徑變化也相當大，適用不同管徑的接頭成了設計的重點。



孟宗竹

編號	1	2	3	4	5
竹子斷面					
直徑(CM)	12.7-9.9	11.4-9.3	11.2-9.3	10.8-9	10.7-9
管厚(CM)	1.2-1.1	1.2-1	1.1-1	1-0.95	0.95-0.9
編號	6	7	8	9	10
竹子斷面					
直徑(CM)	10.6-8.8	10.6-8.5	10.3-8.4	10-8.2	9.5-8
管厚(CM)	0.95-0.85	0.9-0.85	0.9-0.85	0.9-0.8	0.9-0.7

桂竹

編號	1	2	3	4	5
竹子斷面					
直徑(CM)	6.5-5.5	6.6-5.5	6.7-5.5	6.8-5.5	6.7-5.4
管厚(CM)	0.8-0.6	0.65-0.55	0.6-0.45	0.55-0.4	0.5-0.4
編號	6	7	8	9	10
竹子斷面					
直徑(CM)	6.7-5.4	6.8-5.4	6.7-5.3	6.6-5.1	6.3-5.1
管厚(CM)	0.45-0.35	0.45-0.4	0.5-0.35	0.45-0.35	0.35-0.3

3. 規範明列

1. 接頭強度試驗
2. 材料含水率抽測
3. 孟宗竹塗裝厚度抽測
4. 竹子選材尺寸
5. 搭配鐵件使用不銹鋼或熱勁鍍鋅

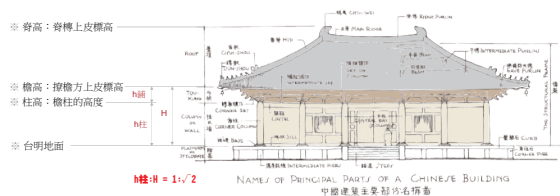
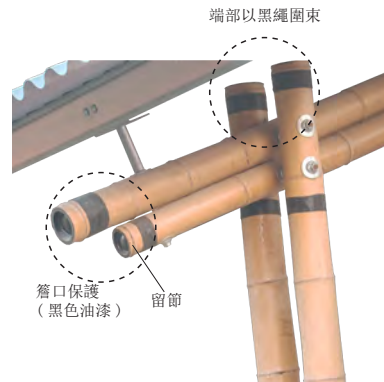
4. 耐候設計對策

(1) 深出簷比例：
避免陽光直射及雨水淋濕，參考哥倫比亞著名竹構築，以及日本、中國的古老佛寺，採用高度與出簷為3比2的比例作為設計標準。

(2) 簷口保護：
為避免重蹈早期民居失敗經驗，將特別容易受潮的第一層竹桿外端，以護木油或油性漆充分塗抹，防止水份浸潤。

(3) 柱礎材料：
以鐵件（熱浸鍍鋅）與混凝土基座接合，防止水分經由毛細作用傳導至竹材。

(4) 端部留節：
竹桿末端（特別是比較脆弱的竹尾）保留竹材以維持竹子強度，並且能避免積水。（施工期間也需要考慮進去）



5. 竹接頭設計

(1) 竹節：
竹子在靠近竹節處纖維排列比較緊密，其比起兩竹節中間，結構強度比較高，而且不容易開裂；因此，在接頭設計與施工時，盡量靠近竹節，可以降低開裂機會，但要避免破壞竹節。

(2) 鑽孔：
竹材是單向性纖維，任何鑽孔都會使一部分的受力減少傳力。因此，盡量減少鑽孔的數量與大小。

(3) 端部：以鐵圈或線材纏繞，可以減少竹子開裂的情況，增加竹接頭強度。

(4) 濕氣：竹材的耐後的重點根木材一樣，在於含水率的控制，除了在竹子表面塗刷保護漆/油，還要特別要注意竹桿件的端部，如鐵件的結露現象會引響竹子含水率變化劇烈而容易開裂。

端部上漆



保留竹節



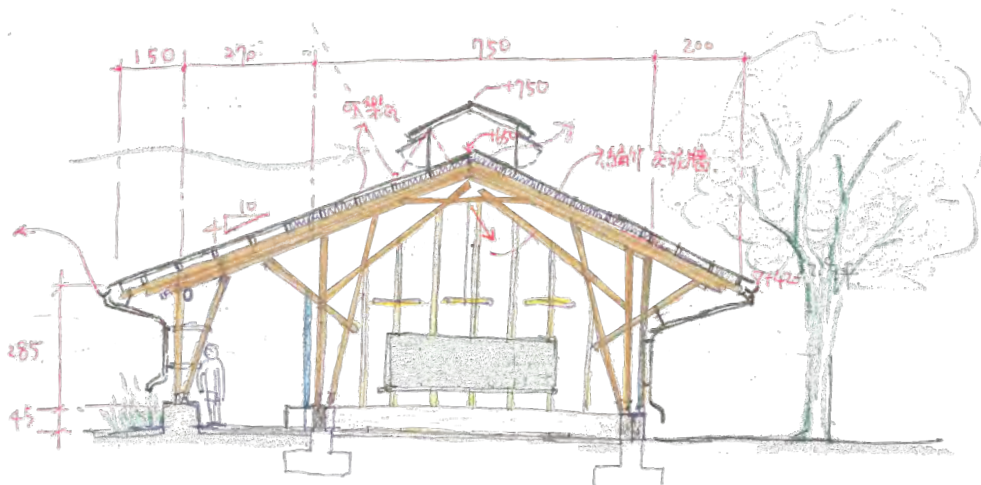
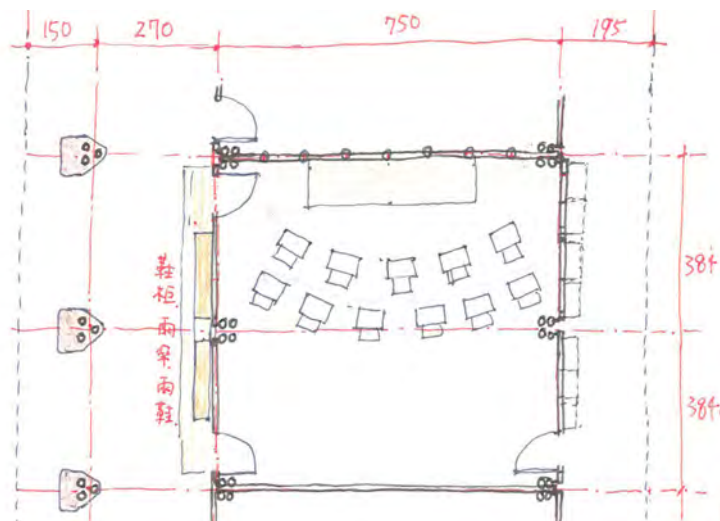
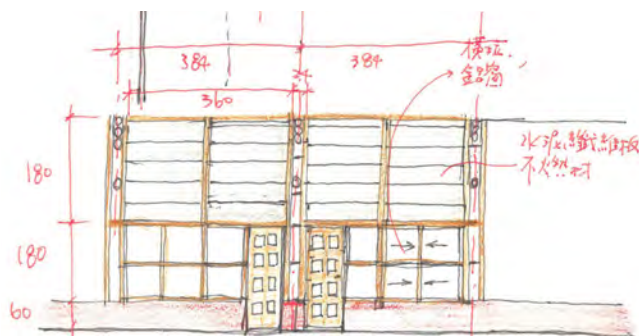
實例設計操作流程

1. 單元設計
2. 配置與法規檢討
3. 包覆系統設計
4. 細部接頭設計
5. 預算編列
6. 施工監造



本處以華德福大地為例，按步驟說明一個竹構造的案子是怎麼被設計出來的，雖然設計並不是單純造著階段線性的進行，而是時常來回反覆，但為了說明方便，以下用依順序說明流程。

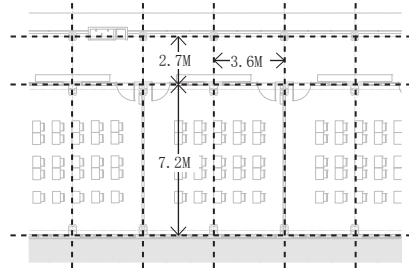
©
設計要點



1. 單元設計

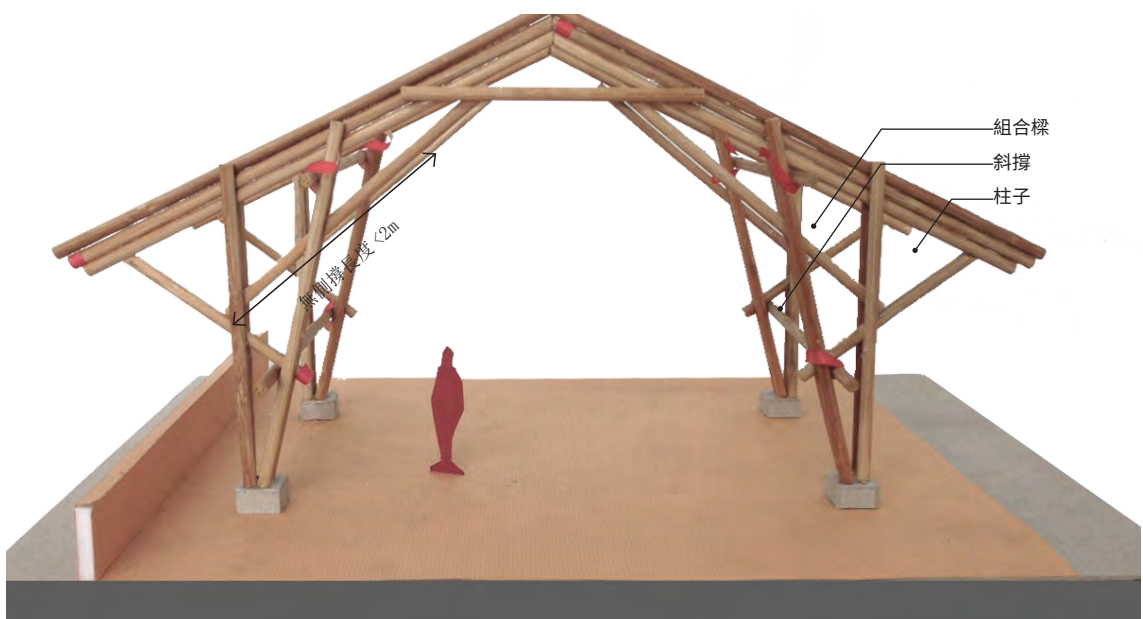
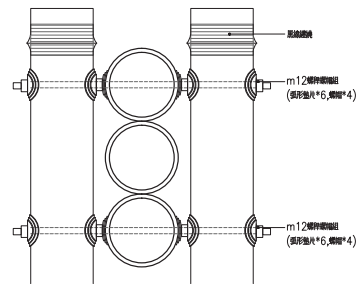
- 決定跨距

1. 本案為小學教室，每班最多 25 人，採用簡單、重複的構架。
2. 橫向跨距設定為適合教室的大小 7.2 公尺，縱向則考慮銜接每組竹架的竹子長度要小於竹子可做結構材的長度 6 公尺，並扣掉前後搭接各一公尺的長度，故決定縱向跨距為教室的一半 3.6 公尺。



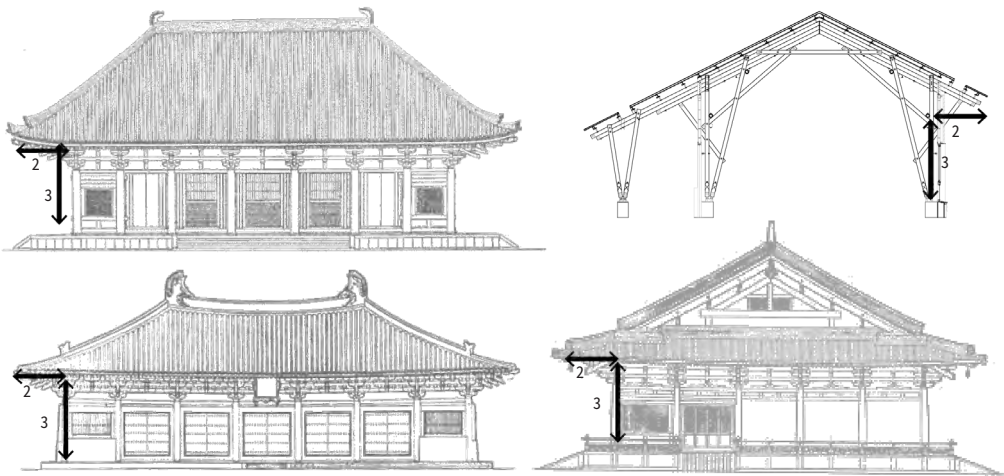
- 構造、接頭設計

竹子具有良好的軸力，設計成桁架是相當經濟的做法，考慮施工的便利性，節點接頭採兩支竹子夾一支竹子，並以螺桿貫穿鎖固的方式。



- 深出簷比例 3 : 2

避免陽光直射及雨水淋濕，參考哥倫比亞著名竹構築，以及日本、中國的古老佛寺，採用高度與出簷為 3 比 2 的比例作為設計標準。



- 柱子、斜撐、組合樑

強壯的柱子用四支竹子組成，底端與基礎以角接方式接合，頂端打開成 V 字形，柱子之間夾著兩個方向的斜撐，支撐著順著屋頂形狀的組合樑，竹樑需要承受較大的彎矩，故並排三支竹子以增加竹樑的斷面。

- 無側撐長度 < 2 公尺

細長的竹子有挫曲的疑慮，設計竹子長度 2 公尺內一個支撐點，分散應力。



2. 配置與法規檢討

- 依規定退縮

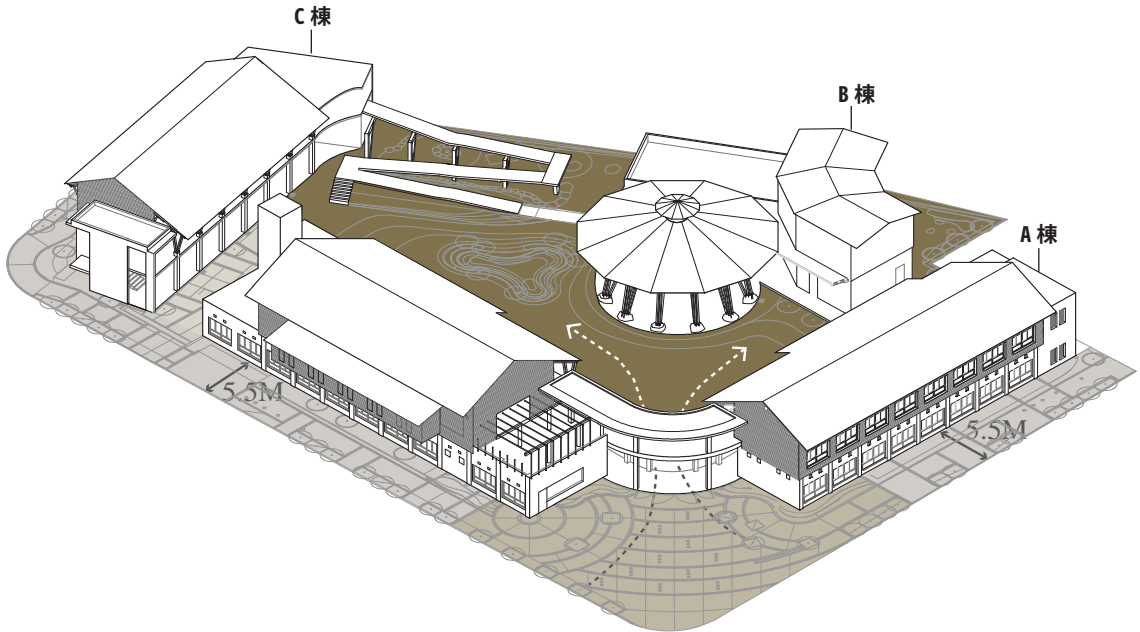
1. 台中市騎樓及無遮簷人行道設置標準
騎樓及無遮簷人行道寬度，自道路境界線至建築物地面層外牆（柱）面應為四公尺以上。
2. 建築技術規則施工篇第 133 條
一、臨接應留設法定騎樓之道路時，應自建築線退縮騎樓地再加一·五公尺以上建築。

故本案校舍自建築線退縮 5.5 公尺。

- 非防火構造規模限制

- 建築技術規則施工篇第 69 條
下表之建築物應為防火構造。
D 類全部：1. 三層以上之樓層 2. 總樓地板面積二 000 平方公尺以上。

故本案將每幢規模控制在 2000 平方公尺以下、兩層樓的規模。

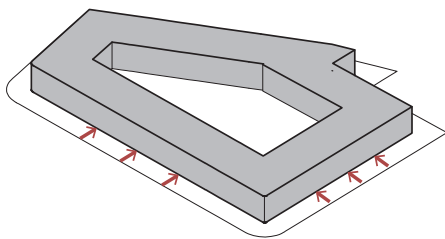


- 非防火構造防火區劃與防火間隔

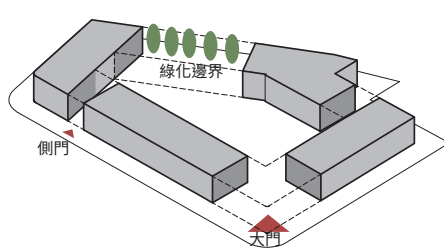
1. 建築技術規則施工篇第 80 條
非防火構造之建築物，其主要構造使用不燃材料建造者，應按其總樓地板面積每一、〇〇〇平方公尺以具有一小時防火時效之牆壁及防火門窗等防火設備予以區劃分隔。
2. 建築技術規則施工篇第 81 條
非防火構造之建築物，其主要構造為木造等可燃材料建造者，應按其總樓地板面積每五〇〇平方公尺，以具有一小時以上防火時效之牆壁予以區劃分隔。
3. 建築技術規則施工篇第 84-1 條
非防火構造建築物之外牆及屋頂，應使用不燃材料建造或覆蓋。
4. 建築技術規則施工篇第 110-1 條
非防火構造建築物，除基地鄰接寬度六公尺以上道路或深度六公尺以上之永久性空地側外，建築物應自基地境界線（後側及兩側）退縮留設淨寬一·五公尺以上之防火間隔。一基地內兩幢建築物間應留設淨寬三公尺以上之防火間隔。
前項建築物自基地境界線退縮留設之防火間隔超過六公尺之建築物外牆與屋頂部分，及一基地內二幢建築物間留設之防火間隔超過十二公尺之建築物外牆與屋頂部分，得不受本編第八十四條之一應以不燃材料建造或覆蓋之限制。

故本案竹構造規模皆 <500 平方公尺，各幢竹構造之間距離 >12 公尺，鋼筋混凝土構造者因為與竹構造屬於同一幢，認定為非防火構造以不燃材料建造，依施工篇 80 條檢討每幢每層樓規模 <1000 平方公尺，依樓層區劃。

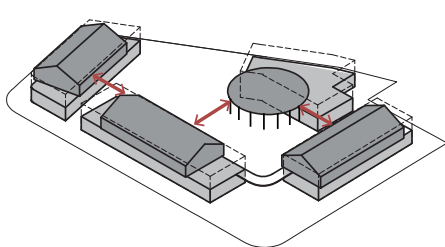
1. 依規定退縮 5.5m



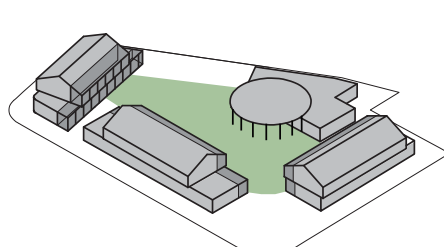
2. 控制規模在 2000m² 以下



3. 竹構造部分 <500m²，距離 >12m



4. 以半戶外走廊環抱中庭草原



3. 包覆系統設計

竹材的斷面不斷變化，在包覆系統的設計上不像其他方正材料，可以輕易調整垂直水平。傳統竹屋會使用茅草、土牆、瓦片等可塑性高的材料作為竹構的披覆。本案在考慮耐久性與造價下，選擇金屬屋頂與土牆 + 木頭雨淋板作為外殼，以下分別說明牆面與屋頂系統的構成：

- 牆壁

本案牆壁主要分成兩種系統，一種是 RC 牆，除了用在一樓 RC 構造、廁所，還有二樓的局部，作為剪力牆，穩定垂直竹子桁架方向的結構。另一種是土牆，可以配合竹子彈性調整。RC 牆不贅述，以下說明土牆的設計。

(1) 土牆

具有良好的調節濕氣與空氣的功能，但是要達成支撐自身結構強度需要一些拉力構件的協助（如編竹夾泥牆）、足夠的厚度（夯土牆）或者兩者兼顧（如土磚），本案將土牆搭配免拆模板系統，利用現場拌水泥砂漿的機具攪拌黏土、稻殼、木削以及水，再用壓送機將土牆混合物灌注到鋼網牆內。

(2) 白灰

室內表面使用傳統白灰塗抹。取材自礦石或是牡蠣殼，白灰是天然、無毒又不易燃的材料，除了環保，它還有調節溫度與濕氣的功能。買來的白灰（生石灰 / 氧化鈣）加水與麻絨攪拌，經過至少一、兩個月的養灰（越久越好），成為熟石灰（氫氧化鈣），才能作為面層塗在牆上，經過一段時間，牆上的白灰會慢慢吸收空氣中的二氧化碳作，經化學反應後變成碳酸鈣，即大理石的成分。白灰雖然需要花長時間養灰、施作也有一定的技巧，但可以讓房子自然地呼吸。白灰牆與竹子之間的縫隙用玻璃纖維網連結，可以預防將來在交界面產生裂縫。

(3) 雨淋板

土牆外選用杉木雨淋板作為外牆，透氣又防水。施作上在鋼網牆外鋪一層透濕防水布，然後木角料直接隔著防水布釘在土牆上，最後在由下而上鎖上水平杉木板，從內到外都選擇可以透氣的材料，企圖營在一個健康的學習環境。

土牆

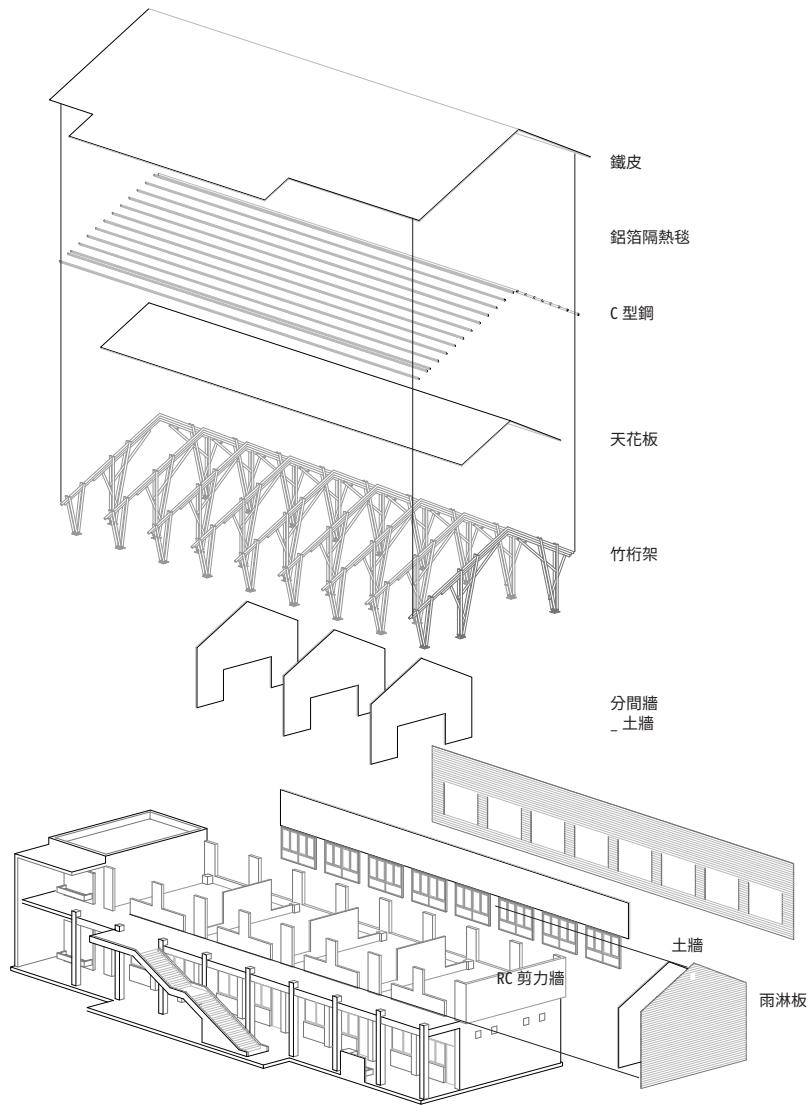


白灰



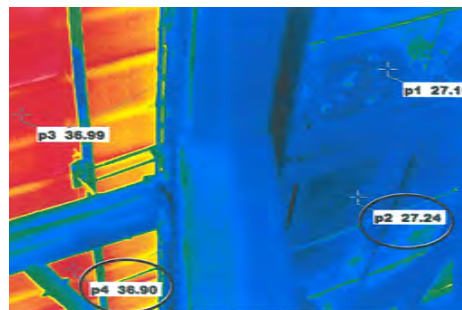
雨淋板



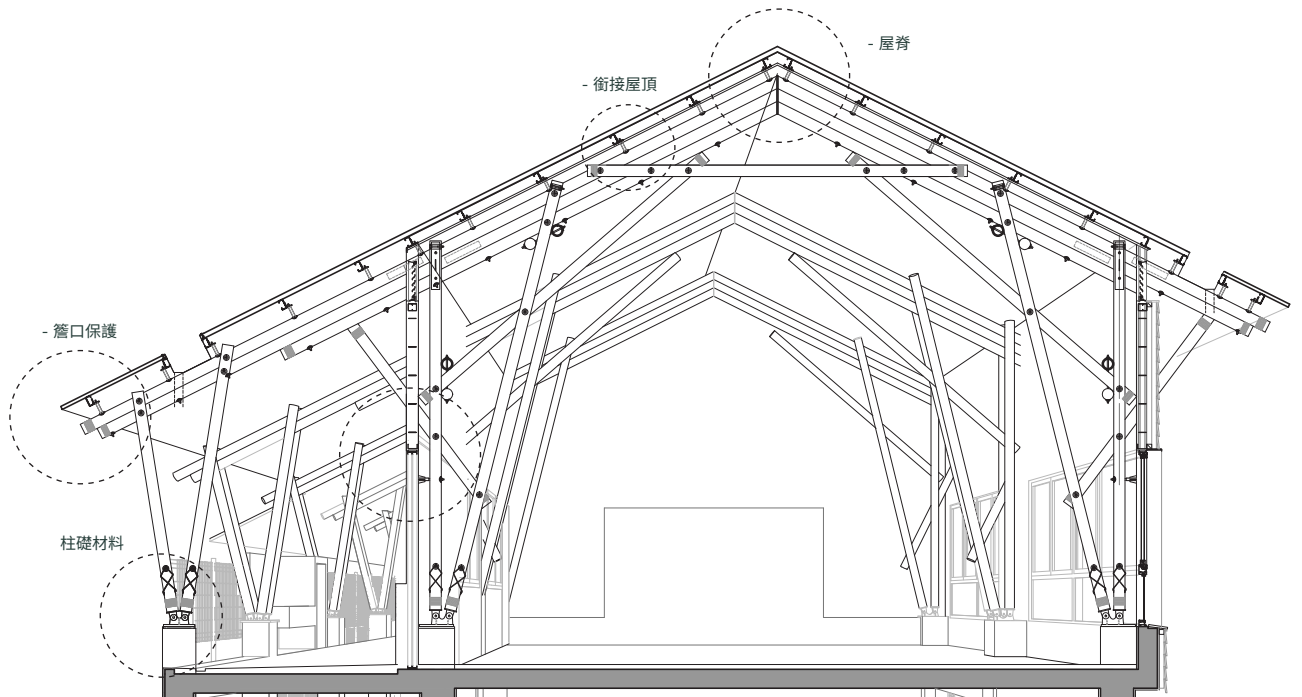


- 屋頂

本案的屋頂選擇最經濟的鐵皮夾發泡材三明治板，竹桁架之間用垂直桁架方向的 C 型鋼作為小樑，銜接屋頂板，竹管跟 C 型鋼之間以細鋼管作為調整屋頂平整的方式，室內的屋頂板下方選用小氣泡鋁箔隔熱毯作隔熱，再依空間以矽酸鈣板或木絲水泥板封在 C 型鋼下方做為天花板，實測這樣的屋頂有良好的隔熱效果。外氣溫度攝氏 30.7，沒鋪隔熱的走廊屋頂溫度高達 37 度，反觀有作隔熱的室內天花板則是 27 度。



4. 細部接頭設計



- 簷口保護

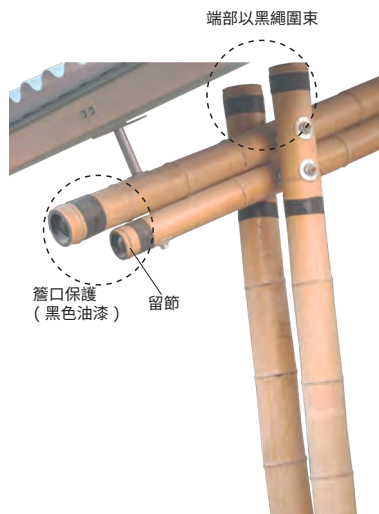
為避免重蹈早期民居失敗經驗，將特別容易受潮的第一層竹桿外端，以護木油或油性漆充分塗抹，防止水份浸潤。

- 端部留節

竹桿末端（特別是比較脆弱的竹尾）保留竹節以維持竹子強度，並且能避免施工期間雨水積於竹管內造成發霉。

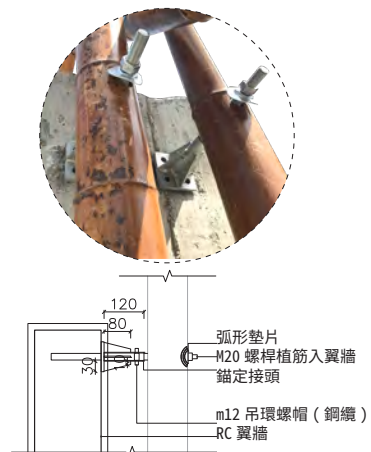
- 端部圍束

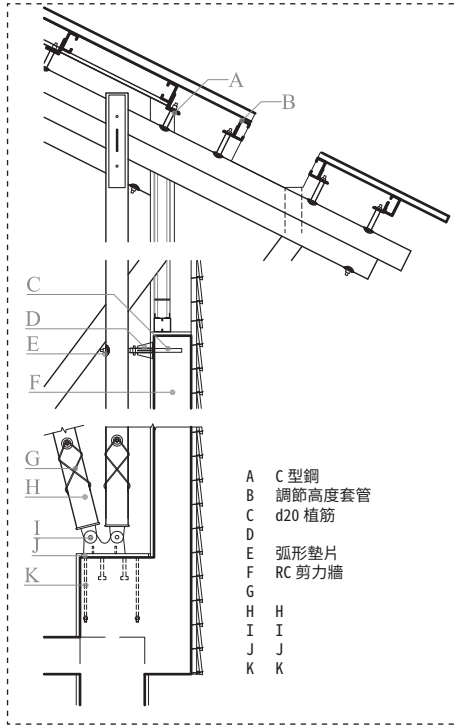
竹子要避免劈裂，除了高溫乾燥，在比較脆弱的部位，如竹尾端、有穿孔的位置上，用繩子纏繞維束，也能有效預防。



- RC 翼牆與竹架接合

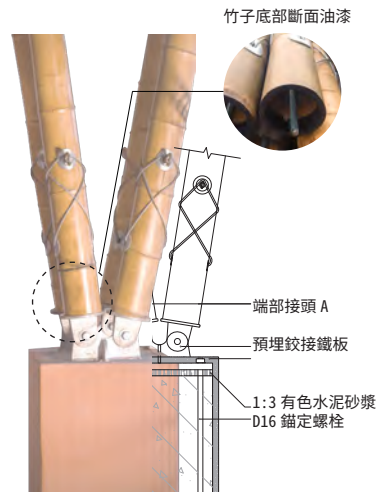
M20 螺桿貫穿竹桿、植筋入 RC 牆，串接竹構與 RC 剪力牆。





- 柱礎材料

以鐵件（熱浸鍍鋅）與混凝土基座接合，防止水分經由毛細作用傳導至竹材。



- 屋脊

透過鐵件結合兩向六支孟宗竹，以竹管包覆鐵管，用螺桿貫穿對鎖。

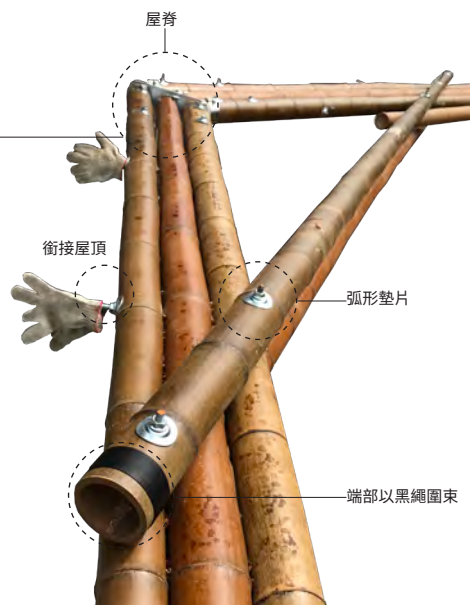


- 銜接屋頂

貫穿組合樑的螺桿，預留足夠長度以銜接屋頂 C 型鋼小樑。

- 弧形墊片

螺桿貫穿竹壁部位使用弧形墊片，以分散竹管壁穿孔造成的應力集中。



5. 預算編列

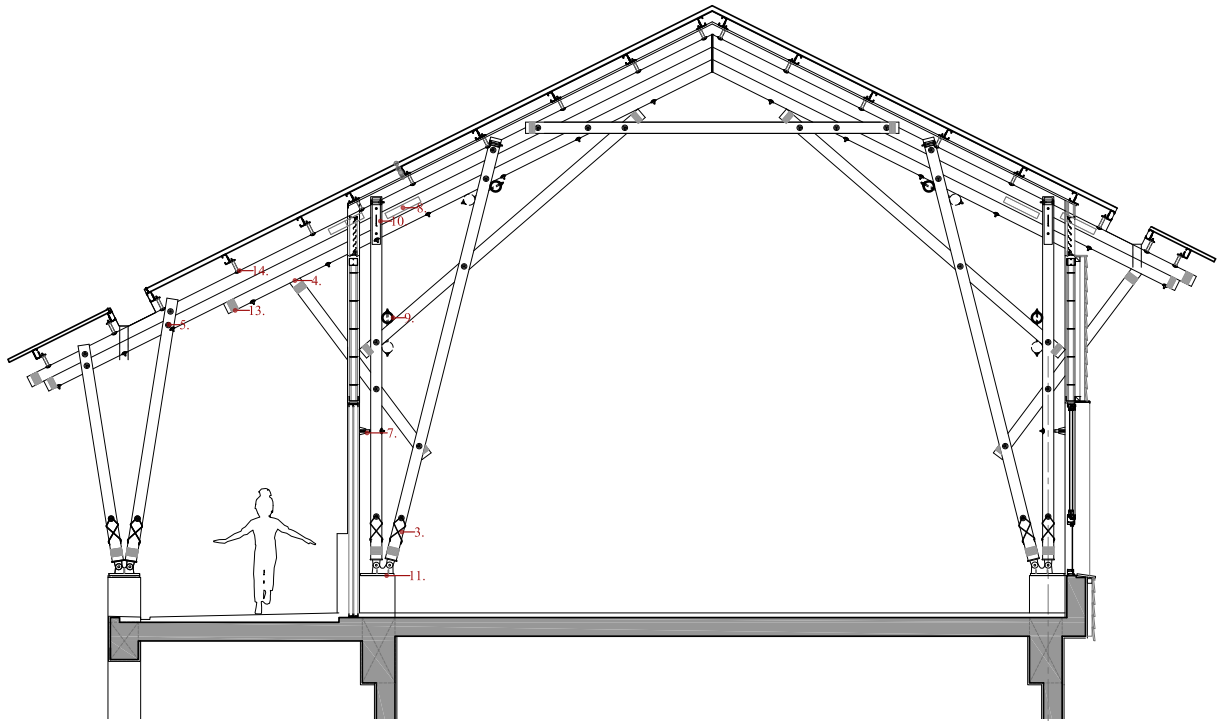
- 實作費用

本案預算有限，將主要經費用在教室內部，與孩童最緊密接觸的土牆、竹構等，其他地方盡可能選用在地、平價的材料。
下列為學校結算後（2017 年最終發包價加上追加費用）的價錢，可供同業參考。

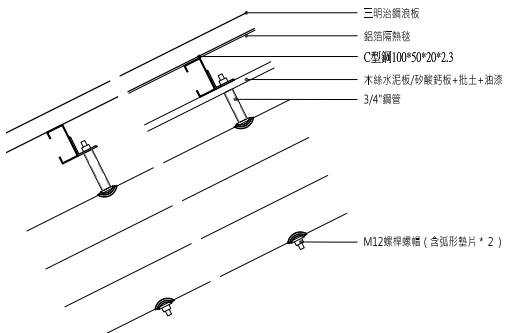
全校 ----- 每坪 7.6 萬、
竹構部分 ----- 每坪 8.2 萬、
鋼筋混凝土部分 --- 每坪 7.4 萬、
竹構造僅計算構架與屋頂，即為單純竹棚的型態、沒有外牆，其單價為 ----- 每坪 3.4 萬。

- 竹架構部分詳細表

	項目	單位	預算單價(元)	備註
1	孟宗竹(含殺青、乾燥、運輸)	支	1200	每架 37 支
2	油性潑水劑塗裝(一底一度)	支	240	每架 26 支
3	竹接頭 A(端部銜接)	個	1320	每架 12 個
4	竹接頭 B(含蛇口處理)	個	660	每架 2 個
5	竹接頭 C(對鎖)	個	420	每架 26 個
6	竹接頭 D(屋架中間)	個	1260	每架 1 個
7	竹接頭 E(RC 牆連接)	個	480	每架 4 個
8	竹接頭 G(續接器)	個	660	每架 9 個
9	水平繫樑	組	800	每架 2 組
10	不鏽鋼斜拉桿, D=15mm	組	1740	每架 2 組
11	基礎底板(含熱浸鍍鋅)	個	5000	每架 3 個
12	切口處不銹鋼束環	個	186	每架 10 個
13	竹端未黑繩纏繞	處	96	每架 32 處
14	銜接 C 型鋼五金	處	18	每架 34 處
竹構架材料與接頭小計		架	115035	
15	吊貨卡車租用(組立用)	天	10800	每架 1/3 天
16	內部施工架租用(含活動輪)	組	3000	全部 2 組
17	假設支撐	式	18000	全部 1 式
18	現場組立工	工	2400	每架約 10 工
竹構架組裝小計		架	28600	



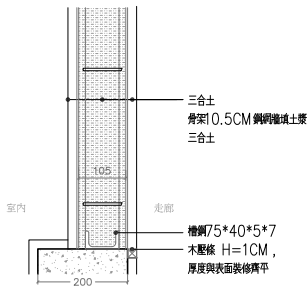
- 包覆系統費用 _ 屋頂



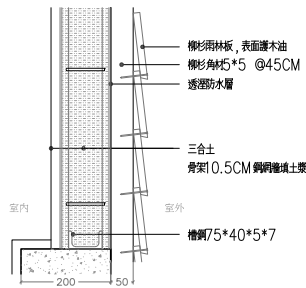
項目	單位	單價 (元)
1 三明治鋼浪板	m ²	700
2 鋁箔隔熱毯	m ²	260
3 木絲水泥板	m ²	1100

項目	單位	單價 (元)	備註
1 三合土	m ²	1550	
2 鋼網牆	m ²	1500	含骨料、網子、土、稻殼
3 雨淋板	m ²	1550	含骨料、護木漆

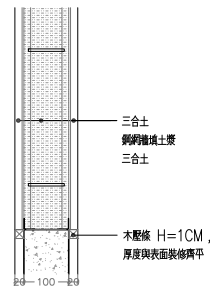
- 包覆系統費用 _ 牆壁



A 走廊



B 外牆



C 隔間牆

6. 施工與監造

本案工程由瑞助營造承攬，竹構造部分分給大藏旗下的常民居股份有限公司，常民居再找到竹山的竹工藝師傅做竹架構的施工。以下敘述整個竹構施工的過程與監造的重點：

1. 購買竹材

(1) 當作結構用的竹材需要竹農小心挑選，以間伐方式，選擇四年以上竹子，又砍下來的竹材需要經歷殺青、乾燥、烤直的程序，所以需要預留足夠的時間給廠商準備竹材，一般來說至少需要兩、三個月。



(2) 列清楚的料單，購買竹材時需要清楚交代需求的長度（孟宗竹 22 尺以內、桂竹 27 尺以內）、數量、管徑（通常會規定頭徑尺寸，孟宗竹頭尾直徑相差 3-6 公分，貴竹頭尾徑相差 2-4 公分），並需要預留乾燥的過程竹子水分散失竹管會內縮 0.5~1 公分。

2. 分類裁切

(1) 篩選竹子，竹材乾燥的過程會使一些原本強度欠佳的竹子裂開，或是在早晚氣溫變化劇烈的季節，竹子容易裂開，若竹子裂開超過兩結，強度受影響，不適合用做結構材，但如果裂痕未延伸越過竹結，稍加處理（使用快乾點在裂痕上，防止裂痕繼續蔓延到下一結）即可以正常使用。



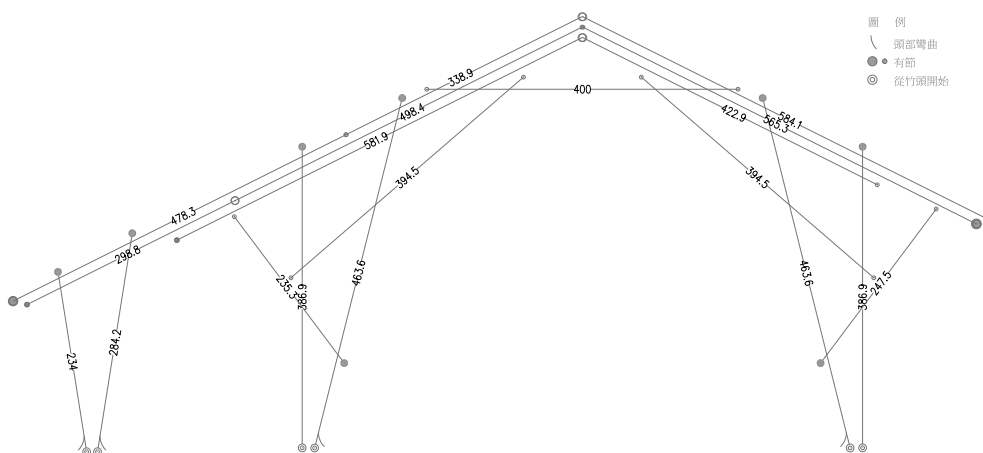
竹子開裂處可以用竹粉填塞，然後點快乾



(2) 依照使用的位置分配竹頭與竹尾，主要結構如柱子通常使用最強壯的竹頭，次要構造如斜撐、組合梁則接受使用竹尾。非結構使用如屋面、天花板與牆面，則不受限制，可以利用挑選結構材時被淘汰的竹子。

(3) 裁切時需要留意有些部位需要端末留竹結，如柱子頂端，目的是維持末端的結構強度，預防竹子端末劈裂並防止末端竹節內積水。

下面施工圖標示了每個部位竹子的選材



3. 清洗與塗裝

(1) 雖然在殺青的時候會用熱水清洗竹材表面，但是乾燥過後的竹子表面有焦黑的水漬，塗裝前需要再清洗一遍。

(2) 竹子清洗完，經過一天，待其乾燥後在竹子表面塗刷油性潑水劑。



買竹子監造重點：

1. 確認竹子長度、管徑、數量。
2. 確認竹子存放地方要避免積水。

竹子分類監造重點：

1. 確認竹子沒有劈裂。
2. 確認竹頭竹尾的分配是否正確。
3. 確認要留結的地方是否確實。

4. 接頭製作

- (1) 鐵件要預留一、兩周的時間，交圖給鐵工廠雷切、熱浸鍍鋅
- (2) 部分接頭，若無刮傷竹材的疑慮會在工廠先製作完成減少現場工項。



5. 工廠預組

- (1) 標準化的構架先在工廠預組，再拆解成適合運輸的尺寸送至現場。
- (2) 雨天不適合竹構造的施工，在工廠事先處理，降低天候影響。



6. 現場施工

- (1) 乾式構造現場施工快速，進場前做好準備可以省掉不少時間。
- (2) 盡可能避免炎熱多雨的夏季，除了下雨天機具不能運作以外，潮濕的環境容易使竹子表面發霉，碰上颱風還可能引響工期。
- (3) 竹材穿螺桿或是有裂縫後，在戶外容易積水，所以要挑該竹節內最低點鑽一小孔排水，避免積水導致竹材表面發霉，引響美觀。
- (4) 現場堆放竹子時切勿直接將竹子放置地面，需使用棧板、淘汰的竹子等物將竹子墊高，以防地面濕氣滲入竹材，並要在上方用防水布蓋著，以防下雨時水分在竹結內淤積。

7. 後續保養

- (1) 位於乾燥的室內竹材幾乎不需要保養；但是位於室外的竹材，特別是會日曬雨淋的部分則需要特別注意，完工後定期要補塗壓克力防水漆。
- (2) 保持環境通風乾燥，過於潮濕的環境下，竹子容易發霉，雖然經過高溫乾燥的竹子發霉僅在竹皮表面，不影響結構，但有美觀及健康的疑慮。

現場監造重點：

1. 確認竹子墊高堆放、防水布覆蓋。
2. 確認竹節內無積水。
3. 確認竹架安裝高度一致。





從竹子到竹房子：給所有人的竹構築指南 | 線上專業版

發行人：社團法人臺灣竹會理事長甘銘源

出版：社團法人臺灣竹會

企劃撰稿：陳鈺雯

內容協力：陳冠帆、吳鈺嫻、杜怡萱、鄭少耘

專案管理：林雋雅

圖文資料：大藏聯合建築師事務所提供

地址：雲林縣斗六市太平路 99 號

電話：05-5379-755

信箱：bamboostw@gmail.com

網站：www.taiwan-bamboo.org

編輯企劃統籌：雨禾國際有限公司 | Green Media 綠媒體

主編：林美慧、藍雅萍

www.greenmedia.today/

線上版上線日期：中華民國 109 年 10 月

線上版修正：中華民國 109 年 12 月