

用輕型鋼構一齊造屋：我們在朝陽科大綠建築屋

Practice Recording of Light-Weight Steel House of Design Principle and Tectonic :
Green Building Eco-house at Chaoyang University of Technology

何喬木

朝陽科技大學建築系 助理教授/建築師

何喬木

弘德營造公司 董事長



本文摘錄 2006-2008 年期間朝陽科技大學建築系以綠建築設計理念進行造屋 (design and construction of Green building) 的一個發想與構築的實作過程 (practice

process)，主要以減法設計(與自然共生)與減量營造(以少載多)是為本案主軸。社會期待科技大學之教研任務是需與產業界進行技術合作之研發創新，綠建築(Green Architecture)策略上是可透過結構設計的科學化經濟化、構造材料總體之輕量化、與施工程序的工業化加以實踐。本次造屋則實際以低樓層冷軋型輕鋼結構興建一綠建築生態屋，並於短短 32 施工日達成約 100 m²之建築壹層本體，除自然共生之環控手法考量，另著重以輕型鋼構屋之建築生產過程記錄：設計階段之圖稿、與營建階段之構工法工務記錄。受篇幅之限，僅留頭尾，快速瀏覽本案的發想與成果，中間繁瑣的過程暫且不論。

1 綠建築之困境與對應

人類快速的擴展，已經對地球生態環境造成嚴重的破壞，各種環境的警訊，如：溫室效應、能源短缺、物種滅亡等問題，讓人類不得不重新思考對環境應有的態度。在各種永續發展的運動中，又以「綠建築(Green Architecture)」的建築設計概念最受重視，環顧世界各國無不大力推廣此一想法，不止美國、英國、日本、加拿大、中國等國家都有相關政策大力執行中。台灣過去缺乏生態與環境保護觀念，因此建築物過度開發造成環境的破壞相當嚴重，當走向已開發國家之列，營建工人成本高漲、人力資源短缺已是時之所趨，再加上水泥開採設限、高耗能、與廠區塵土污染對國土環境的衝擊、砂石的短絀、未來二氧化碳排放量的管制，再者，水泥在製造生產與用於營建時所產生的環保問題，以及鋼筋混凝土建築物(reinforced concrete construction, RC 造)在拆除重建時的困難，面對民眾環保意識的高漲時代，在在顯示，使用具環保減碳且可回收的建築材料，似乎是台灣未來建築發展的一個重要趨勢。有鑑於此，

其一，台灣在全球永續發展的潮流下，自 1997 年開始整合與發展綠建築相關技術，經由政府大力規劃推動綠建築與法令制度的落實，已有越來越多優良的綠建築作品出現在台灣各地。此時建築產業界也推出不少以綠建築為口號的建築案，各式行銷廣告讓民眾產生混淆，學生往往只能概略的瞭解綠建築卻無真正的體會與參與，甚至是建築師對於綠建築亦乏完整的概念。

其二，1999年921集集大地震之後，災區50%以上RC造建築因種種因素倒塌，國內民眾對RC造及磚構造(masonry construction)建築物的信任開始動搖¹。加上近年來環保意識的高漲，混凝土被認為其生產過程高耗能、高污染，材料取得有害生態環境，

¹ 林文賢(1999)在〈鋼構造之發展與應用：鋼構造建築之差異〉指出，將位於斷層上被破壞之建築物除外，則921地震中鋼筋混凝土建築物破壞的主要原因分下列9點：(1)混凝土強度不夠，(2)地質鑽探不實造成設計或施工不當，(3)箍筋未依建築圖施作，(4)主筋搭接長度不足，(5)騎樓式的透天厝(PILOTIS, 柯比意倡議的建築型式)，其結構系統不利於耐震，(6)騎樓柱內埋設管路設備，以致結構體斷面不足，(7)沙拉油桶對結構的影響(無結構性作用但會影響結構體精準度)，(8)設計不當，與(9)建築材料強度不夠。而輕鋼構在施工時基本上就避免(1)、(3)、(4)、(6)及(7)項的弱點，而鋼材的高強度、均一性、延展性及輕量化的特性，使得輕鋼構住宅在結構安全有多一層的保障。

而且廢棄物難以回收再利用，各界均呼籲減少混凝土的用量。而具有高韌性、高強度且容易回收的鋼鐵材料相對成了最佳的替代選擇。以往鋼鐵材料多應用於高層或高單價的建築物，如今產官學界也開始投注心力推動應用在一般建築物，特別是輕型構造物。而輕型鋼結構建築構材的可回收轉用、輕量化、耐震性能與健康永續性能，在環保及安全性的考量下，提供低層住宅另一種構造方式的選擇性。

其三，若要有效的推廣綠建築，則需對於實質技術，亦即建築構造方法施工規劃進行探討，瞭解在綠建築的概念下，未來建築的生產過程中，建築構法應用的可能性與處理的方法等。建築工程的實質面，包括規劃設計階段的構造方法選擇、以及施工階段的施工方法選擇，但規劃設計階段的構法選擇往往對於接續之施工階段有決定性影響，例如工法、使用、與更新等，故，對實質技術探討首先應從合理化(reasonable)、適中化(appropriate)之建築構法加以考量，使建築物生命週期之各階段達到綠建築的目標，讓規劃設計者及一般民眾對於綠建築的意象從概念轉化到實質技術的落實層面。

回顧上述臺灣現行建築大環境及綠建築推廣之回應，應能理解長期存在於臺灣本地之建築構工法(Building System and Construction Method)所意指之對象並非新創之內容，都是長期以來經歷考驗且具安定性的構工法體系。立基於此脈絡，若從臺灣百年構造技術史所積累先人智慧之構工法，包括有：有原住民的茅草造、泥磚造(土确泥磚造)、木構造、熟磚(煉瓦)造、加強磚造、先驅的 RC 造、以及新興的帷幕牆 SRC 構造等，綠建築的選項還可有哪些？可以是木構造、雙層壁體磚造、輕型鋼構屋、還是回歸到最熟練的 RC 構造？！[圖 1-1]



圖 1-1 從臺灣百年構造技術史看待綠建築的選項

對永續經營及環境保育之各種不同的觀點出發即產生許多相關的手法，而這些手法包括環境共生、能源、資源、施工、使用等多方面的的手法，因此將其分類找出

與建築構法相關的技術，進而將這些構法轉化成可用的形式(類型法則)。探討綠建築技術相關的營建觀念與技術手法，可從：1.建築生產合理化²、2.開放式營建系統³、3.構件再生⁴與材料輕量化⁵、與 4.綠建築技術⁶。(楊逸詠，1998)

2 綠建築生態屋發想

輕型鋼構屋(或稱為冷軋型鋼結構建築)屬於簡單設計與簡單施工的構工法，應該是綠建築可推廣的主力產品選項，可惜臺灣過度傾向鋼筋混凝土構造而無 2X4 木構造的沿襲，以致於大眾對於營建與設計都沒有輕量化構造體的認知與實踐，一切都從大學基礎養成教育談起吧！適逢朝陽科技大學設計學院何友鋒教授暨院長提案「教育部補助技專校院發展學校重點特色專案計畫」三年總計劃『永續建築及都市發展中心』之第三年度(2006.04 提案)「生態教育示範屋(Eco House)」的建置計畫，在綠建築、時程、預算、與工區條件的壓縮之下，大膽提案採用輕型與簡易工法的輕型鋼構屋之設計研發與施作。

希冀此種簡單設計、簡易建造之輕型鋼構工法，得以交流推廣與技術提昇，進而落實於臺灣土地。

2006 年度朝陽科大「綠建築生態教育示範屋」建置計畫約 800-1200 萬元預算，最終核定 360 萬元上限(2007 年 07 月)，由郭柏巖與董皇志兩位教授於 2007 年初底展開校園基地選址、規劃設計與營建施工。

「生態屋」的建置計畫期盼在設計初期便導入「綠建築設計」的觀念，使新建建築物在規劃設計時就充分考慮，在建築物生命週期之日後使用階段即能對綠化、節能、保水、節水……等方面發揮最佳成效，長遠來看對於節約地球資源、有效利用國家能源與保護環境生態均可發揮極大的正面功能，校方更可以利用此建築作為最佳的示範、宣傳與教育之推廣。建置目的可以為下列兩點：

1.推廣合適於台灣的綠色科技應用與技術。21 世紀可以說是注重「永續發展」

² 建築生產合理化主要係指施工階段之合理化生產，其次為規劃設計階段之考慮。可從：a.設計模矩觀念之應用、b.建立品管標準、c.工業化組件之應用、d.施工程序之標準化、e.施工機械化、f.講求價值工程等，使達到最佳效益。

³ 開放式營建是 60 年代由 John Habraken 所提出，其強調的是因應生活型態的不同或改變所採取的二階段供給方式，使空間利用的效率達到多樣化的需求，因此對於外來建築生產的型態之本質會產生重大的轉變。開放式營建的目標，就是希望使組合整個建築物的技術次系統能夠盡量獨立地安裝。基本上有兩類技術系統，分別是支架系統及填充系統。(John Habraken, 1994)

⁴ 構件再生理念所關注於使建築物於再生過程中，對於各種能量形式的消耗減至最低。由於在建築物的建造及解體、廢棄階段的耗能佔較大比例，故構件再生為追求建築物再生過程中耗能之有效減低，致需建築物各部位應是可變動、可獨立之非相互依存關係的構件所組成、並具備特定之組合條件之相容性亦能提高建築物之再生性。

⁵ 建築構件並非是固定、不可變動的高依存性解除，而認為建築物各部位的構件使具備特定的組合規則之相容性與構件本身的獨立性。當建築改裝或解體時，具備高度轉換的可塑性，利於構件本身為單元予以轉換、替換，而無須另外施予能量來解除其與其他構件之相依存關係。

⁶ 綠建築技術可從：a.建築節約能源、b.環境負荷的減低(low environment impact)、c.自然環境的親和性(high contact to the natural environment)等層面著手，追求與地球環境之親和性、舒適及健康。

的綠色環保新世紀，台灣的永續發展是一個嚴肅的議題，其中又以營建開發(包括了綠色營建、綠色建築、生態工法等相關領域)扮演相當重要的角色。由於台灣為處於亞熱帶氣候區域，具有其地理的獨特性，除參考其他先進國家的相關作法外，基於風土與民情的不同，更可因本計畫發展與應用本土性設計與建築技術，在台灣推廣適中的綠色科技應用與技術。

2.作為校內綠設計專業學程的整合，落實科技學程與未來就業的接軌。擁有綠建築設計的能力對於學生畢業後投入職場具備極大優勢，本計畫可望整合作為校內綠設計相關之專業學程，讓學生可在計畫執行期間親身實地的參與學習，加深同學對於綠建築的觀念與應用，對於落實科技學程與未來就業的接軌有相當助益。

當其時，參考的建築案例，除臺灣本地學術單位之研發，還有多方考察與紙上蒐集的案例，以利於初期的設計發想、與有限經費之下的企劃定位。案例有：國外某生態屋[圖 2-2]、成大及中山大學的節能實驗屋[圖 2-3]、臺灣大學設置的綠房屋[圖 2-4]、雲林科技大學的潔綠屋(鋼構建築/郭俊沛) [圖 2-5]、臺大鳳凰谷茶園(木建築/洪育成)[圖 2-6]、鹿谷鄉內湖國小(木建築/郭俊沛)[圖 2-7]、與日本沖繩縣建築教授福島駿介自宅(RC 構造)[圖 2-8]。



圖 2-2 國外某生態屋



圖 2-2.1 國外某生態屋內部



圖 2-3 成大及中山大節能實驗屋



圖 2-4 臺灣大學設置的綠房屋



圖 2-5 雲林科技大學的潔綠屋



圖 2-5.1 潔綠屋之剖面示意



圖 2-6 臺灣大學鳳凰谷茶園



圖 2-7 鹿谷鄉內湖國小

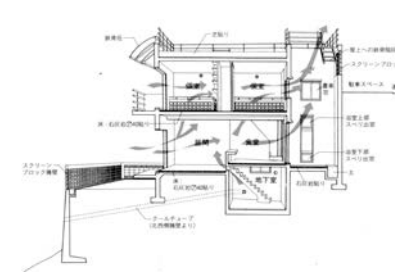






圖 2-8 沖繩縣福島駿介自宅

經由上述建置目的與案例探討，歸結綠建築實踐與生態環境考量的可行方式的構工法，仍不外是：

1. RC 構造：可將覆土形式與屋頂綠化加入。[圖 2-9]
2. 磚石構造：就地取材的產製磚，厚牆或雙重壁造的斷熱性能加入。[圖 2-10]
3. 木建築：碳足跡減量與積層木的運用。[圖 2-11]
4. 熱軋鋼構建築：結構強化、部份乾式施作與材料可回收性。與
5. 輕型鋼構屋：取代熱軋鋼的重量、容易施工、與預組化的施工期短的效益。[圖 2-12]

評估各種案例發想及構造別的同時，亦訪價得知不同構造別的工程造價，以本案地下一層加地上二層的 200 m²(60 坪)面積其初步訪價情形說明如下[表 1-2]，合理的工程總價應該要有 60 坪 X 10 萬元/坪=600 萬元(含裝修及水電費用)。在 2007 年設計初期之構工法策略是以地下層採用 RC 構造+地上二層採用熱軋型鋼構造進行，適逢 2007 年全球鋼價飆漲最高之際，已有預算不足的窘迫，但此時尚未將輕型鋼構屋作為選項！是在一連串的轉折之後，才在縮小容積規模的設計變更、緊迫的工期、有限的預算、工區無法重型吊裝、需先去說服未曾打造輕型鋼構屋的營造廠共同創造臺灣在地化第一棟樣品屋的 vision(願景)，於 2008 年 03 月首次與喬盛營造廠何喬木董事長洽談起，同年 09 月完工達成生態屋的輕型鋼構建築工程。

表 1-2 各種構造別的工程造價與工期預估(2007 年)

RC 構造	雙層壁之磚構造	木建築	輕型鋼構屋
(粗胚) 5-7 萬元/坪	4-5 萬元/坪	10-12 萬元/坪	7-10 萬元/坪
2F/1B--工期 90-120 日	2F/1B--工期 90-120 日	2F/1B--工期 40-60 日	2F/1B--工期 40-60 日
			
圖 2-9 覆土形式的 RC 構造	圖 2-10 厚牆或雙重壁造的磚石構造	圖 2-11 碳足跡減量與積層木的木建築	圖 2-12 易施工、與預組化的輕型鋼構屋

3 發想

階段一. 選址與綠建築發想期 (2006/04~2007/04)

既然是「生態屋」的綠建築設計，從建築物生命週期(building life cycle)各階段即能對採光通風、綠化節能、保水節水、再生能源…等方面著手。循著 1992 年造訪日本沖繩縣福島駿介教授自宅設計的軌跡[圖 4-5][表 4-2]，再加上對於臺灣沿襲之建築構工法的反省，一者在校內選址尚未定案的狀態下，二者提出較為烏托邦的綠建築理念之下，提出下列可資遵循與運用的策略：[圖 3-1] [圖 3-2] [圖 3-3] [圖 3-4]

- (1) 排除高耗能的鋼筋混凝土構造(RC 造)，代之以可回收再生建材的鋼構造或

木構造。

- (2) 敷地共生原則，配合坡地之設計挑戰性，以覆土形式或干欄式柱礎最少擾動地層。再者，地中冷卻通風或地板下方導風，達成自然通風效益。
- (3) 基地透水鋪面及保水性，可考慮滯洪池或生態水池。
- (4) 東西日照無遮蔽穩定，於朝南向斜屋頂面裝置再生能源，如集熱或光電板，再者，形成雙層屋頂有利於隔熱、集水等建築性能提昇。
- (5) 基地之氣流風向穩定，有利於自然導風通風；配合室內挑高或通風塔產生浮力通風。
- (6) 室內及外部屋面之參訪動線規劃(可看見屋面構造及光電板)。
- (7) 建築構造部位的可視性，表達斷熱斷水防震等性能之構造細部。
- (8) 構築多棟試驗小屋(室)，採用多元的材料，如木構、茅茸、鋼構、砌體、RC 等建材；並於屋面與牆體設計成可拆卸組立模組，利於壁體熱透耗能及開口通風之實驗進行。
- (9) 覆土型地下空間之通風設計(或 open-cut)，及嘗試以光束管或光纖管進行照明導光。
- (10) 形構校園景觀重要景點，產生景觀及空間自明性(identity)。
- (11) 身心無障礙設計或通用設計導入，符合人性及未來趨勢。

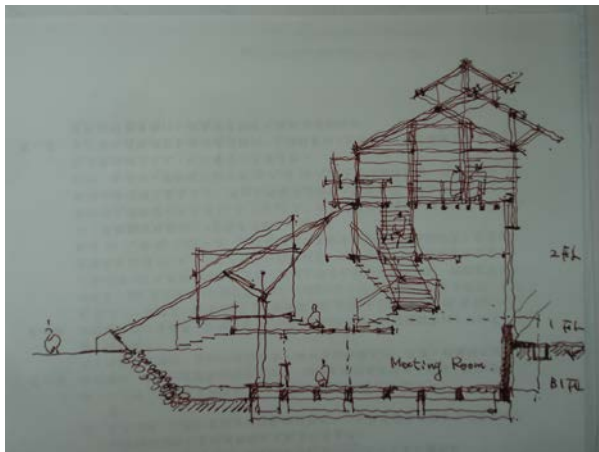


圖 3-1 通風塔、覆土型、斜屋面光電板、參訪動線之設計發想

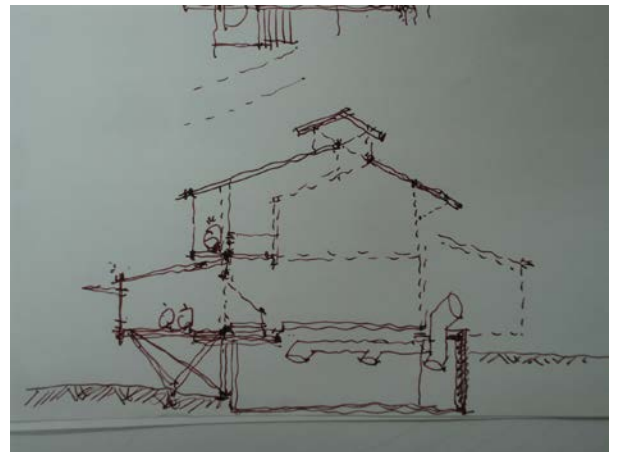


圖 3-2 試驗小屋、光束管、浮力通風、覆土形式或干欄式柱礎之設計發想

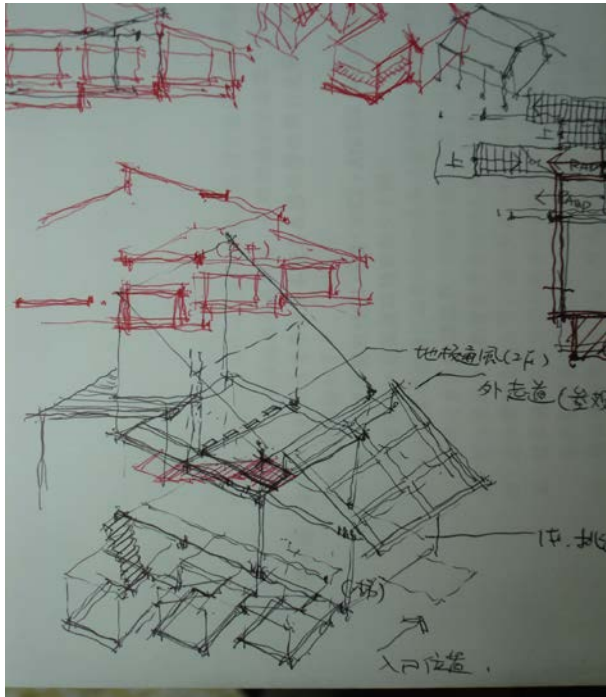


圖 3-3 前方試驗小屋 3 間、室內及外部屋頂之參訪動線、斜屋面光電板之設計發想

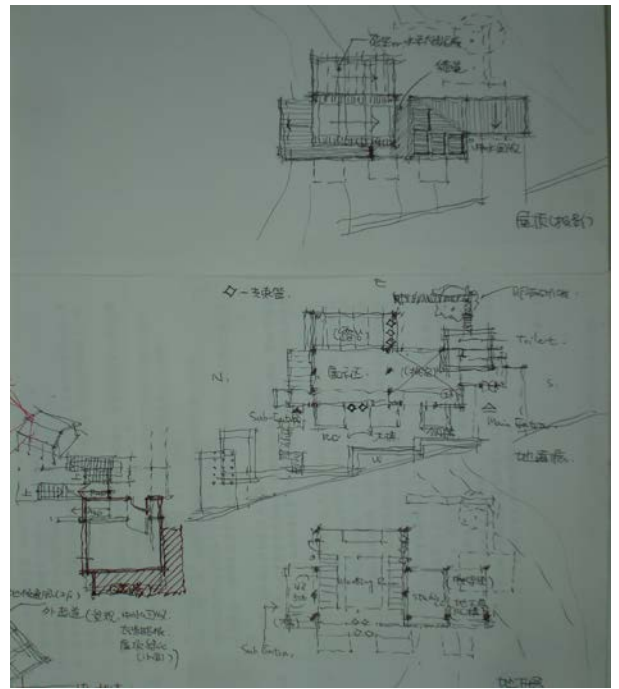


圖 3-4 覆土型地下層+open-cut 通風採光、試驗小屋 3 間、斜屋面雨水收集之平面圖設計發想

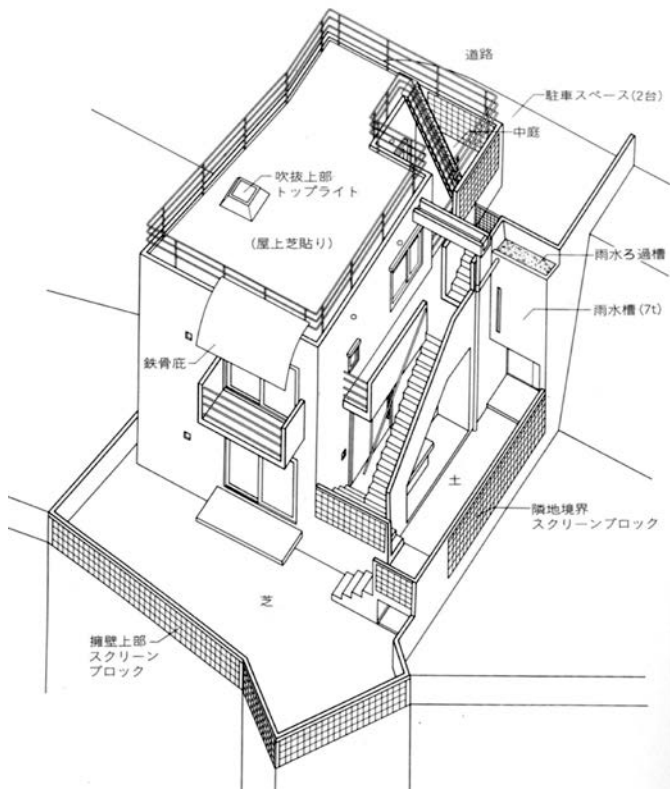
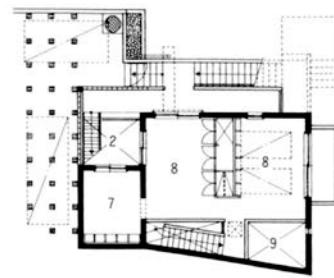
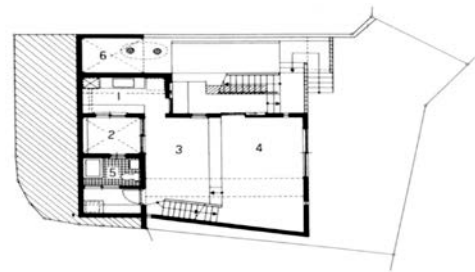


圖 3-5.1 建物全貌投影圖



2階平面図 Second level

圖 3-5.2 二層平面圖



1階平面図 First level

圖 3-5.3 一層平面圖

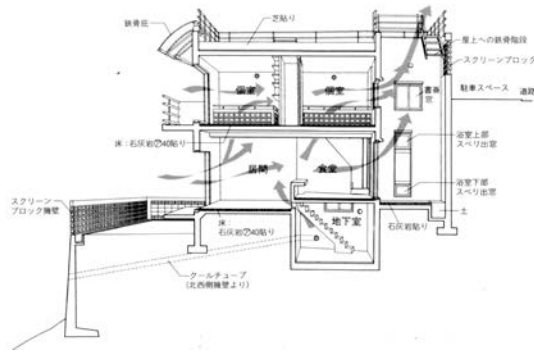


圖 3-5.4 建物剖面：覆土型地下建築、屋頂採綠化作為隔熱層及雨水過濾層地下覆土二層、塔式天井之通風採光

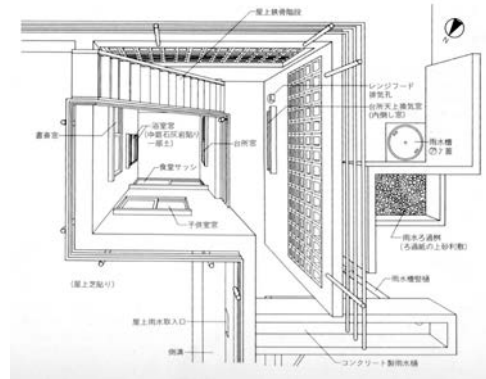


圖 3-5.5 天井俯視：通風採光、屋頂雨水回收(天撲滿)及過濾儲存

圖 3-5 日本沖繩縣建築教授福島駿介自宅(RC 構造) (筆者 1992 參訪及自攝；野沢正光，1993:130-135)

發想階段二. 基地 A 與設計初期 (2007/04~2007/11)

基地 A 確定後，但教育部預算凍結在立法院尚未有著落，仍開始委託建築師陳榮富進行申請建築線、建造執照書類審理工作、朝向合法建物並申請綠建築標章。將郭及董兩位手中草稿釐清尺寸及概念[圖 3-7]，交由邱燦文及陳榮富建築師接續執行[圖 3-8]，以熱軋 H 型鋼構作為地上二層+RC 造地下一層壁體與筏基礎[圖 3-9]。經多次討論與定案之後，2007 年 10 月復委託結構計算、機電設計及工料分析估算期間，接獲校方通知配合第二校區之長期發展計劃，變動興建地點至「基地 B—幼稚園旁落羽松坡地」。

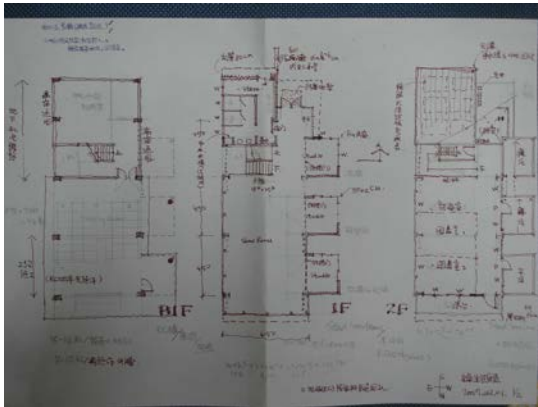


圖 3-7.1 基地 A 的設計平面草稿(董皇志設計)

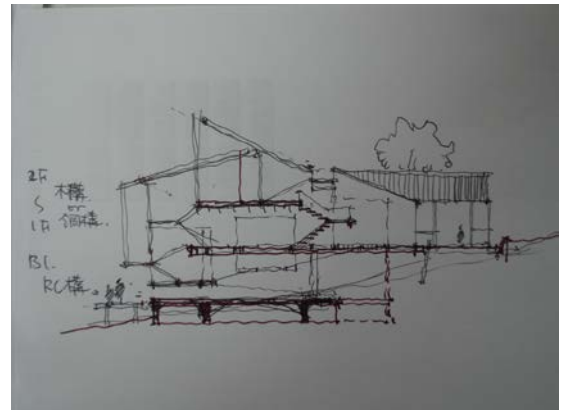


圖 3-7.2 基地 A 的量體及剖面設計草稿(董皇志設計)



圖 3-8.1 基地 A 的外觀設計(邱絜文繪製)



圖 3-8.2 基地 A 的剖面設計(邱絜文繪製)

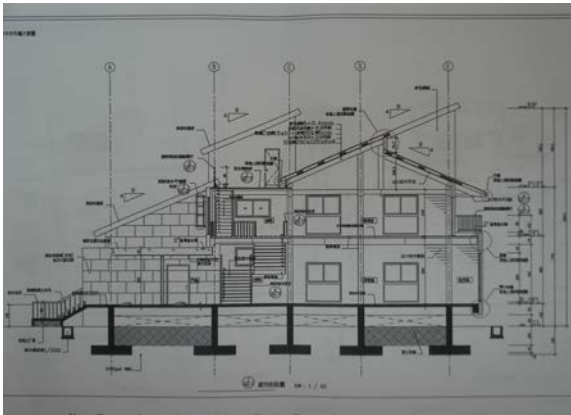


圖 3-9.1 基地 B 的南北向剖面圖，二層樓高

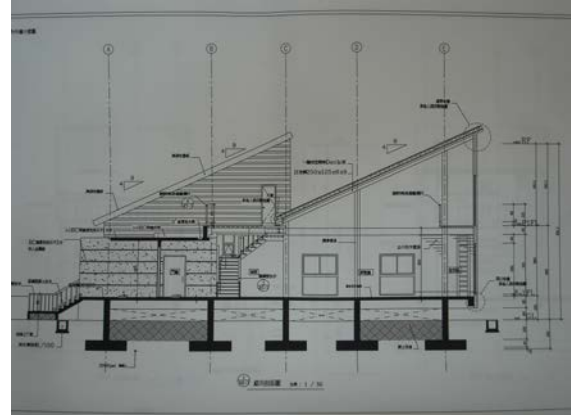


圖 3-9.2 基地 B 的南北向剖面圖，縮減為一層樓高

發想階段三. 基地 D 與設計大轉變期 (2008/01~2008/05)

再次接獲校方通知配合校區發展，重行變動興建地點，多次磋商後，移至離設計學院最近的「基地 D—第一宿舍後方，介於山壁與宿舍之間平坦地」。在 2007 年設計初期之構工法策略是採取地上二層熱軋型鋼構造+地下層 RC 構造，恰逢 2008 北京奧運工程需求造成國際鋼價飆漲最高之際，已有預算不足的窘迫，但此時尚未將輕型鋼構屋作為選項，因基地再次更迭致使工區無法重型吊裝、結案日期迫在眉梢、與建物規模縮小的壓力下，勢必採取工業化組裝及乾式施作方有機會完成本生態屋工程興建。或是 2X4 木構造、或是輕型鋼構屋就逐漸成為首要選項！評估各種構造別的同時亦訪價得知其工程造價：木構造 12 萬元/坪，遠貴於輕型鋼構 6-9 萬元/坪，且木構造需要每年的維護費用持續之。配合著新建築配置方案與框組式牆體(開口部)的構想[圖 3-10] [圖 3-11] [圖 3-12]，開始去說服未曾打造輕型鋼構屋的營造廠共同創造臺灣在地化第一棟樣品屋的 vision(願景)，於 2008 年 03 月首次拜訪隔熱浪瓦屋板的弘德營造廠何喬木董事長洽談起，獲得肯首與技術共同研發承諾[圖 3-13]，推翻熱軋 H 型鋼結構體的原始構想，全面改採用冷軋輕型鋼，用料僅原本 1/10 噸數，相當環保的作法，外飾壁體與金屬屋面亦採用複層施作其斷熱性能良好！一時間，「業主—建築師—營造廠」三方攜手共同研發本土化的輕鋼構設計與構工法技術，

於短短 2 個月間完成建築設計、工料估算、與電子公告招標書類作業。

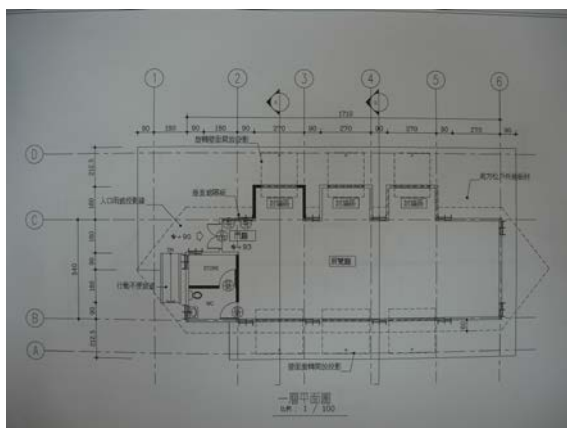


圖 3-10 基地 D 的單層配置方案(董皇志)

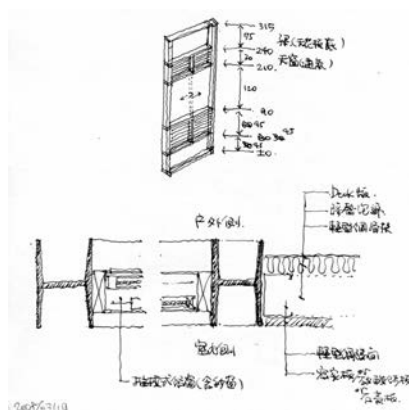


圖 3-11 基地 D 的框組式牆體(開口部)細部(董皇志)

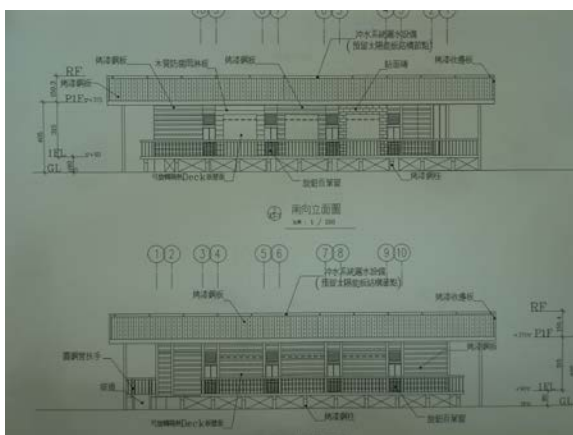


圖 3-12 基地 D 的模矩化立面設計

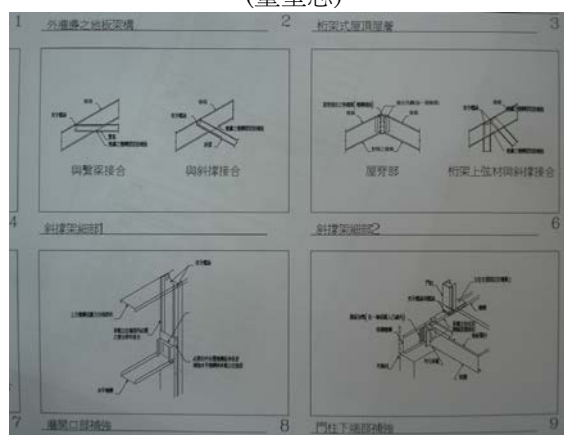


圖 3-13 輕型鋼構之結構細部發展

發想階段四. 完成發包期 (2008/05~2008/06)

雖然全案採用輕型鋼結構，外飾壁體與金屬屋面採用複層斷熱層施作，其圖說完全按照一般建築圖說、機電圖說及空白估價單[圖 3-14]，在 1 個月的電子標單公告後，於 2008 年 6 月公開招標程序由投標 4 家廠商中按最低金額決標，營造廠提具施工計劃準備、訂料備料、決標日起 10 日內完成簽約手續即刻破土及放樣。

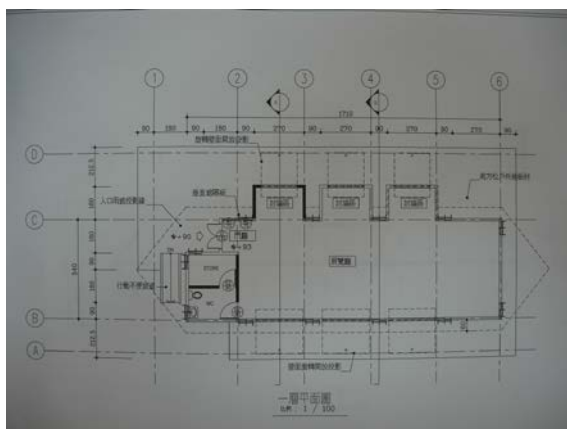


圖 3-14.1 基地 D 的一層平面圖

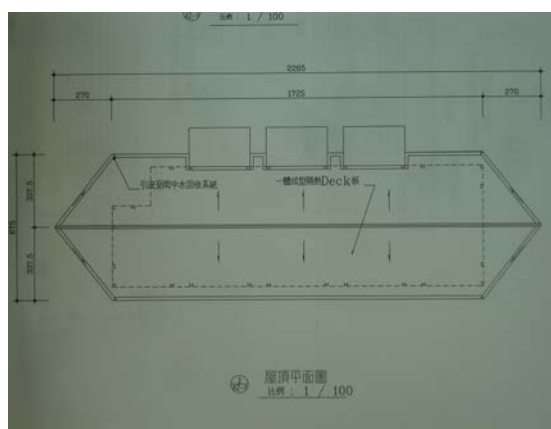


圖 3-14.2 基地 D 的屋頂平面圖

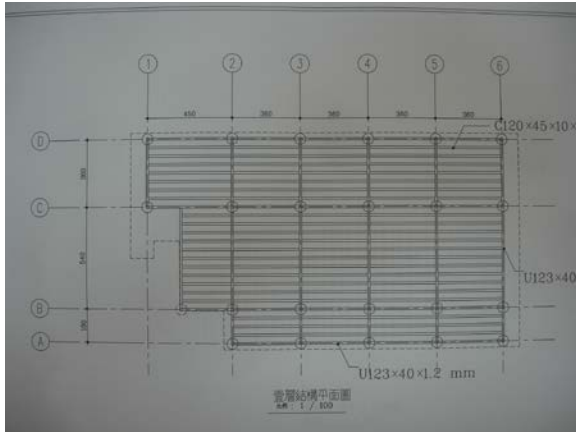


圖 3-14.3 基地 D 的樓版結構平面圖

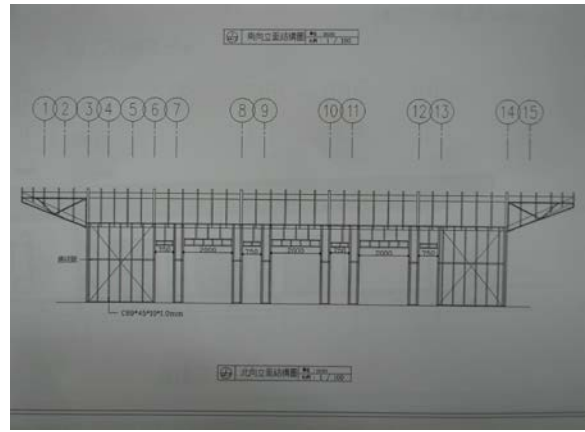


圖 3-14.4 基地 D 的牆體結構立面圖

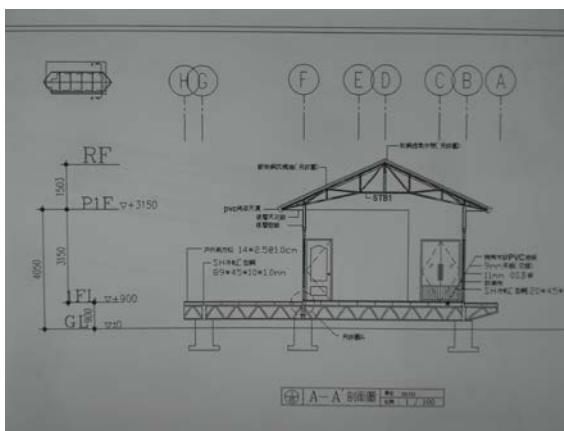


圖 3-14.5 基地 D 的南北向剖面結構圖

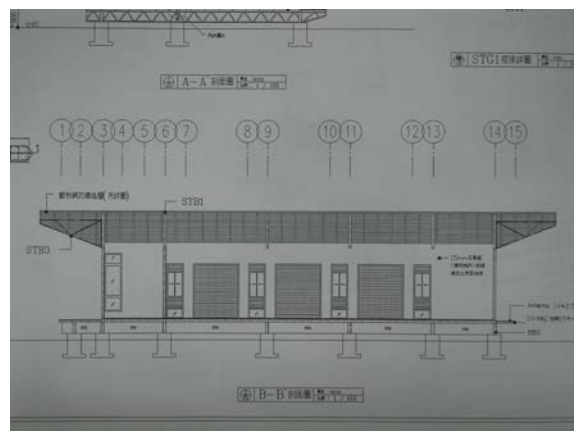


圖 3-14.6 基地 D 的東西向剖面結構圖

4 構築 1：施工計劃圖說

朝陽科大生態屋於 2008 年 6 月完成工程招標及簽約程序，內容為壹層輕型鋼構屋類似馬來西亞的高腳式船屋概念而來[圖 4-1][圖 4-2]，基礎部採 RC 造獨立基腳+水平桁架地梁(60cm 梁高)將地面層樓版離地架高 90cm、地上結構體採輕型鋼構框組壁體(牆版式)、屋頂部採南北向雙落水之山形屋頂桁架(或稱人字形)，性能設計則將外飾壁體與屋面採用複層金屬版斷熱層施作。框組壁式工法是將壁體單元拆解成大型框架版，可於工廠生產框架構件、或以線材在地組立框架構件，至於結構覆面板(sheathing)或外飾板先或後組裝則視現場吊裝能量(舉重)可自由決定。承包營造廠與筆者討論結果：1.全面乾式施工可縮短時程，2.廠內拆解成單元框架牆體水平式組立+在地小搬運+單元框架牆體乾式組裝+外飾壁板組裝，3.平台式構築工法，4.輕型鋼接合工法：接合板銜接補強+自攻螺絲鎖合，與 5.採用雙層金屬板屋頂+透氣中屋脊(類似太子樓通風模式)等。[表 4-1]



圖 4-1 馬來西亞的高腳式船屋



圖 4-2 馬來西亞度假村的水上高腳式船屋

表 4-2 『綠建築生態屋』所採用的輕形鋼構構工法策略 (2008 年 06 月)

構工法	內容項目
構法	乾式組立施工 獨立基腳(RC 造)+水平桁架地梁(離地 90cm)+框組壁體(X 型金屬拉撐條)+山形屋頂桁架
工法	平台式構築工法 廠內模組化+現場小搬運 接合部：接合板銜接補強+自攻螺絲
工程進度 (現場施 作流程)	1.基礎部→ 2.架高樓板部→ 3.框架牆體部→ 4.屋頂部施作 → 5.內外牆及地坪裝修部→ 6.水電及雜項部

弘德營造廠依照發包之工程合約上載設計圖說(working-drawing)，將之繪製成現場製作詳圖(shopping-drawing)以利於拆料訂料分料、接合部之接合繫板形狀與螺絲間距數量、及施工要項記載。以下依施工順序從「基礎部—地上結構體—外部裝修+內裝修」之製作詳圖列舉：1.RC 造獨立基腳，2.水平桁架梁，3.輕型鋼構框組牆體單元，與 4.山形屋頂桁架。

構築 2：營建大事紀

臺灣地區在於輕型鋼構屋之技術應用，大都是襲用日本 KC 工法(框組壁式之工法衍生)，在結構牆體(承重牆系統)幾乎全都可預組立成中型或大型版片，其構材亦不需要特殊加工，可在現場或是工廠裁切，在工地現場可以一根一根的組立、或可在工地現場預整平地坪再預組好整片牆版、或在工廠內預組成版片，再運至現場乾式組立施工。

考慮朝陽科大綠建築生態屋的施工條件，有幾項工法上的實質因素：

1.輕量化的構件以利搬運及簡單人力組裝。由於工址屬於無法大中型吊裝，僅能小型吊裝再運用人力水平搬運及組立的型態。

2.綠色營建技術的堅持。由於不採用重量的熱軋型鋼與其銲接接合，代之以輕量的薄版冷軋型鋼與快速效率的自攻螺絲接合(self-drilling screw)。

3.乾式施工與中型牆版組立，提昇組裝品質與加速工期。冀望如日本輕型鋼構住宅自基礎部到上部結構體組立完畢與室內裝修止，可望在 45 日曆天內達成任務。

基於以上工法(生產面)的考量，與參酌平台式工法的施作流程(process)⁷，所以營造廠的施工計畫與流程擬定，必需在構法早期即考慮到上述生產因素，而衍生出不同構法，乃有施工方法的差異、次系統之間的組構方式、以及不同的細部構法與工法的「構工法組合」之組構方式設計，例如：本次施工之工序採用平台式工法、在廠之框組牆部品產製預組化(但又要輕量搬運)、桁架梁構架用於地梁部與山形屋架等等。配合實作過程加以紀錄與添加的的施工詳實內容類如當時(2008 年 6 月)所擬定的施工流程構想[圖 4-3]。

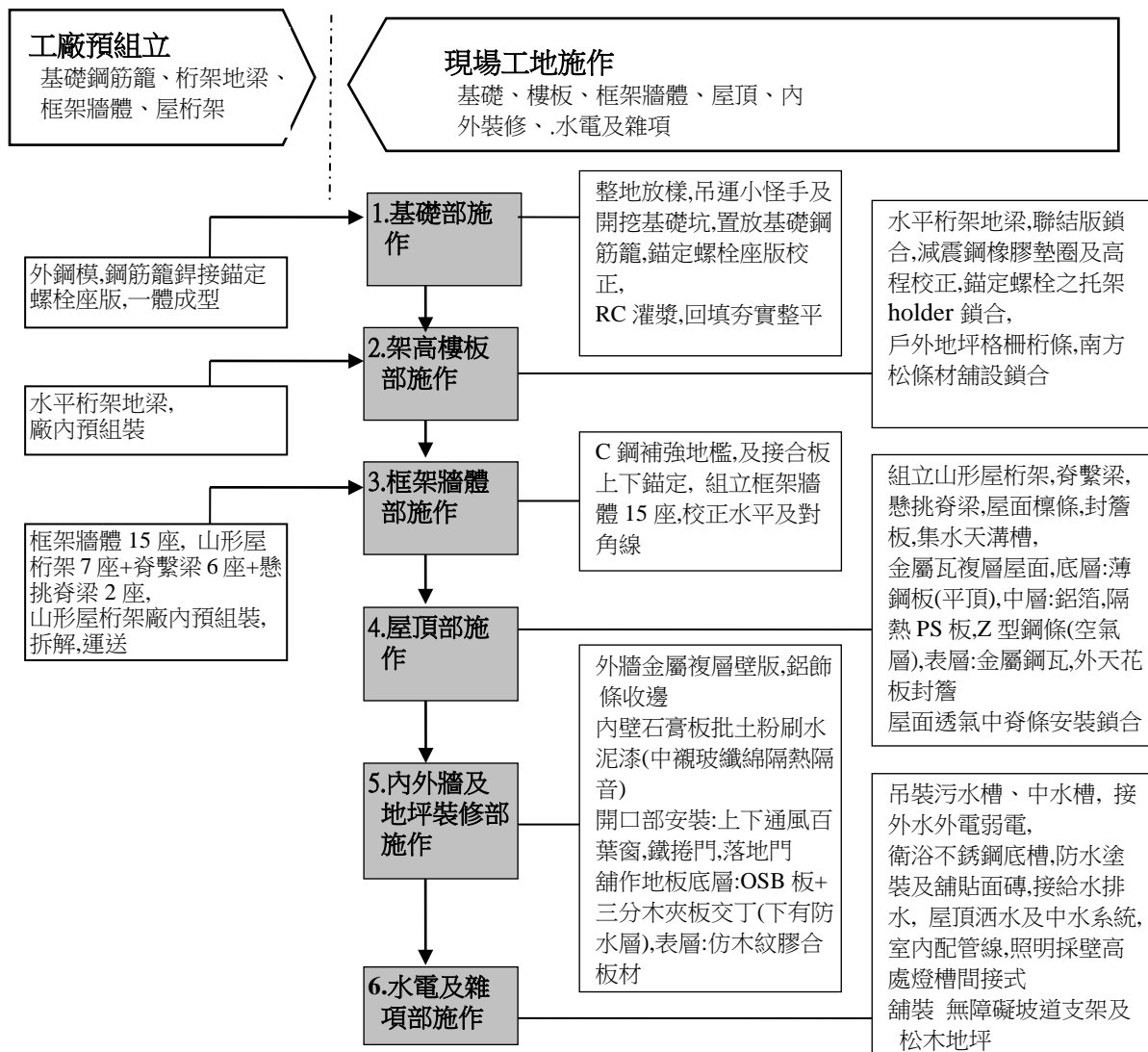


圖 4-3 生態屋輕型鋼結構的施工程序

⁷ 平台式構架的施作流程(process)依序是：01 放樣(基地測設)→02 開挖及基礎配置→03 構築地面層平台(platform)→04 豎立地面層的牆體構架→05 構築上方層樓版平台→06 豎立二層牆體→07 構築閣樓樓板與屋頂→08 整體構架完成(屋面披覆完成)。

基於上述輕型鋼構屋構工法的理解與構築實作之於朝陽科大『綠建築生態屋』之構造設計(tectonic design)與營建過程(process of construction)，重要實作成果如下：

- 1.總工期 32 日，遠優於鋼筋混凝土造(RC 造)的 120 日。
 - 2.乾式施工，採取輕型桁架之構架施作，以及因為薄鋼版構件不適用銲接則採用自攻螺絲鎖合。
 - 3.構件的輕量化(框架牆單元 240kg)，克服工區無法使用大型吊裝的困擾。
 - 4.建築物總重量為 RC 造的 1/8-10 自重，對於地震傷害降低、與建築物輕量化有助於綠建築之節能減碳議題的落實。
 - 5.擅用自然風土的條件，如獨立基腳的干欄式建築最少擾動地被及透水性鋪面、運用自然通風條件、與深挑出簷的屋面形式等。
- 以上的努力與成果，使能成為可用、可觀看、可操作之綠建築教育示範屋。

5 成果與討論

困境與突破：問題與對應之道

目前學界與業界對輕型鋼構屋的認識還有限，許多基本的認知例如：輕型鋼構是什麼？現行的構工法有什麼問題？問題應該如何改進？都還沒有一致的見解。希冀經由本次技術報告，聚焦於構築理論(Tectonic Theory)與實務操作(profession Practice)的交融關係，以下之問題與對應(Q & A, Question and Answer)：

實作過程(process of construction)的經驗分享與回饋，藉此朝陽科大綠建築生態屋的綠色設計理念與營建過程之輕型鋼構屋之構工法，其策略選項遠與其優劣成果作一檢討。建築工程的實質作為包括規劃設計階段的構造方法選擇，以及施工階段的施工方法選擇。然而規劃設計階段的構法選擇往往對於下階段的施工有決定性的影響，如工法及使用、更新等，因此對於實質方面的探討，應先從建築構法加以考量。[表5-1]

表 5-1 實作過程的經驗分享與回饋之於朝陽科大輕鋼構屋之構工法

問題描述	對應課題與策略
1.國內現階段輕鋼構造新產品及工法之運用，面臨初期推廣瓶頸，部分建築業者係自行開發系統工法，而多數輕鋼構造產品則為由代理、經銷或授權之業者自行推廣，因此真實業績與經驗成為重要因素。	1.透過已有的國外考察經驗、與臺灣輕型鋼構的案例經驗，從建築設計階段、施工計劃到現地施工階段的全程參與協調，彌合工作介面，使能於最短時效內達成任務。
2.構法主系統的設定與其他部位構法的選擇性，尤其是外牆(性能)系統與支架體系系統「複合」的關係，是選擇支架體	2.合理化與複合化工法漸進式的朝向房屋工業化生產發展，漸次取代傳統沿用之營建方式。例如系統模板、輕鋼構造(桁架)、複層式斷熱外牆板、整體浴室及

<p>構工法的要素。其餘如基礎、屋頂、樓板、隔間、設備等部位，則次之。</p> <p>3.針對低層輕鋼構屋的組構方式、構法性能等，從生產性及經濟性的切入，以供設計與施工者在面臨輕鋼構屋的構法主系統選項有更多決策資訊依據與系統化。</p> <p>4.輕鋼構建築所使用之主構材則為冷軋型鋼，與熱軋型鋼構材相比較之下，冷軋型鋼構材的厚度則顯得薄弱，其在接合部上所使用的接合方式與相關配件，則需要相當的實驗分析做為設計基礎。</p>	<p>多種乾式輕型隔間系統引進採用。</p> <p>3.建設與營造業者引進輕型鋼構屋之構工法，為現階段建築產業為克服勞動力缺工及建築品質低落所做之生產合理化嘗試，理由應不單是降低成本，還包括施工方法之改進、建築構法之構造方法與綠建築設計的突破。</p> <p>4.建築構件模矩化、工廠之預組化、乾式施工與工期縮短的優勢，是輕型鋼構屋之構工法長項。此種簡易工法的綜合性的構工法研發已是時勢所趨，加速產學界的夥伴合作關係，以及在設計與施工之整合界面彌合。</p>
--	---

技術成果

回歸到輕型鋼構造屋之設計與構築實作，其技術成果呈現有二：

1.輕型鋼構工法技術：模組化壁體單元在廠預組、接合板銜接補強＋冷作自攻螺絲鎖合替代熱銲接合、平台式構築工法、輕型水平桁架大跨度＋水平樓版架高透空、複層金屬外壁及屋面版之斷熱構工法、仿太子樓的屋頂透氣中脊瓦開發等。

2.綠建築理念與技術：室內自然對流通風、深挑出簷的屋面遮陽蔽雨、中空雙層金屬板屋頂＋透氣中屋脊(類似太子樓通風模式)、獨立基腳的干欄式建築(高腳屋)最少擾動地被與大地透水性鋪面、雨水回收中水系統與澆灑散熱、太陽能光電的綠能開發、輕量化鋼材取代 RC 結構的低資源耗用及回收使用等。

對於輕鋼構屋產業之總體建議有三：

1.輕型鋼構由於質量輕、強度大、加工容易等優點，可快速導入災後重建及偏遠山區之興建使用。

2.經由美日澳等國引進之建材及工法，有其本土適應性需克服。已公告之施工規範及施工說明書修正調整，可以就其性能、設計、施工介面等進行系統研發與建立技術文件資料庫。

3.結構體與建築裝修面之構造介面，恰是建築環控設計之綠色思維所面對之性能課題：通風、斷熱、斷水、透光、遮陽等自然對象物。

中文關鍵詞：冷軋型鋼，輕型鋼構屋，構法工法，介面

Keyword: Cold-Formed Steel, Light-Weight Steel House, Building System and Construction Method, Interface,