

輕型鋼構屋之實作經驗與長效性能

何喬木¹，董皇志²，蔡錦裕³

【摘要】

配合長效建築的時代趨勢，以及民辦之朝陽科技大學其教育示範與產業技術研發之創新任務，2006--2008 年指定內建築系以預算台幣 340 萬元興建一棟干欄式長屋型態的輕型鋼構屋，名稱為「綠建築生態示範屋」，結構體到室內裝修之施工實踐僅於 32 施工日內達成約 90 米平方之建築本體、戶外架高松木地板約 30 米平方。雖僅是一樓層建築物，其長效建築理念仍可透過結構體的輕量化與工業化組裝迅捷加以實踐，主體結構採用冷軋型輕鋼結構之框組式牆體構造，環境控制之斷熱、通氣、與採光則採用自然共生手法，以下報告文本聚焦於輕型鋼構屋之構工法的設計過程與長效性能之檢討。

此一實作經驗之技術成果如下：

1.輕型鋼構工法技術：框組壁式工法之在廠預組、自攻螺絲接合替代銲接、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：自然對流通風、干欄式(高腳屋)的大地透水鋪面、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。

對於輕鋼構屋產業整體而言與建議有三：

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.經由美日澳等國交流之建材及工法，仍有其本土適應性需克服。尚未完備之施工規範及施工說明書，可以就其性能、設計、施工等作系統性研發與建立技術文件資料。

3.結構體與建築裝修面之介面，恰是建築環控設計之綠色思維所面對的課題：通風、斷熱、透光、遮陽等自然物理對象物。

期待此種簡單設計、簡易建造之輕鋼屋之構工法，得以廣泛交流推廣與技術提昇。

中文關鍵詞：冷軋型鋼，輕型鋼構屋，構法工法

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

¹ 台灣輕型鋼構建築協會第四、五屆理事長(2011-2015)，寶島營建與建設公司董事長

² 台灣輕型鋼構建築協會第四、五屆理事暨教育訓練主委(2011-2015)，朝陽科技大學建築系副教授，台灣建築師

³ 台灣輕型鋼構建築協會第七屆副理事長(2018-)，和家建材有限公司董事長

一、長效性能(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到重視，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，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。

其次，對於長效性能(綠建築)的推廣，多見於宣導及概念性陳述，距離落實仍有一段路，致使好的概念尚難在一般規劃設計加以實現，因此，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。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.開放式營建系統、3.構件再生 與材料輕量化、與 4.綠建築技術。(楊逸詠，1998)

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]



圖 1 從臺灣百年構造技術史看待綠建築的選項

二、朝陽科大『綠建築生態屋』的背景

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，以致於基層營建與設計都需從基層開始。適逢朝陽科技大學設計學院何友鋒教授暨院長提案之「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。此一難得機緣，乃有此一個案研究與紀錄：聚焦於輕型鋼構屋之構工法的技術引用與研發過程，採取學理思維與實務操作之交互記錄此次本土性經驗之設計研發與構築經驗。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，進而落實建築產業。

三、長效性能的技术成果

除了輕型鋼構屋之構工法的技術成果，回歸到綠建築生態屋的綠色理念與宣言，若以林憲德(2004)所提出的《綠建築設計技術彙編》之九大指標、四指標群(生態、節能、減廢、健康)、與技術項目92項作為基準目標，再回顧於本章4-1設計構圖『1.綠建築發想』對採光通風、綠化節能、保水節水、再生能源…等方面綠色設計，經過營造實作(practice)得以實現，作一總合檢討，合計提出19項技術實作成果[表1]，除初期發想階段所提的11項綠色與環境親近的設計，此外再添增8項綠色營建計技術。以[表2]配合施工照片圖說翔實說明之。

表 1 朝陽科大綠建築生態屋之綠色建築的技術成果彙總

初期發想階段所提的 11 項	實作後添增 8 項綠色營建計技術
1.排除高耗能的鋼筋混凝土構造(RC 造)，代之以可回	12.屋頂設置透氣中屋脊排熱、與牆體之上下式通氣百

<p>收再生建材的鋼構造或木構造。</p> <p>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。</p> <p>3.基地透水鋪面及保水性，可考慮滯洪池或生態水池。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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)。</p> <p>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。</p> <p>8.構築多棟試驗小屋(室)，採用多元的材料，如木構、茅草、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。</p> <p>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。</p> <p>10.形構校園景觀重要景點，產生景觀及空間自明性(identity)。</p> <p>11.身心無障礙設計或通用設計導入，符合人性及未來趨勢。</p>	<p>葉窗，加速室內通風對流效果。</p> <p>13.上下式通氣百葉窗，加速室內對流效果。</p> <p>14.配合乾式石膏板隔間牆，採行整體衛浴施作方式。</p> <p>15.室內照明管線採明管設計及間接投射均佈照明。</p> <p>16.複層式金屬外飾牆板配合防潮布及玻纖綿，預防壁體結露。</p> <p>17.設置中水槽(地撲滿)回收雨水，並澆灑屋面散熱。</p> <p>18.雨水污水分流系統，雨水回收使用，污水淨化後放流。</p> <p>19.基礎部 vs 水平桁架梁中間夾有減振膠墊。</p>
--	---

說明：7.項目屬於建築構造的教育展示功能。

10.及 11.項目屬於環境親近的設計或屬於通用設計。

表 2 朝陽科大綠建築生態屋之綠色建築回饋檢討

台灣綠建築技術彙編			朝陽科大綠建築生態屋之實作成果	
	九大指標	綠建築設計技術	綠色設計與營建技術	圖說或照片
I 生態 指標 群	T1 生物多樣性指標(9 項技術)	T1-01 社區綠網系統 T1-02 表土保存 T1-03 生態水池 T1-04 生態水域 T1-05 生態邊坡與圍籬 T1-06 多孔隙環境(濃縮自然) T1-07 中庭生物多樣性設計 T1-08 校園生物多樣性設計 T1-09 反光公害防止	(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。	 (2)
	T2 綠化指標(6項技術)	T2-01 生態綠化 T2-02 牆面綠化 T2-03 牆面綠化澆灌 T2-04 人工地盤綠化 T2-05 綠化防排水 T2-06 綠化防風透氣		
	T3 基地保水指標(5 項技術)	T3-01 透水鋪面 T3-02 景觀儲流滲透水池 T3-03 貯留滲透空地 T3-04 滲透井與滲透管 T3-05 人工地盤貯留	(3)基地透水鋪面及保水性，可考慮滯洪池或生態水池。	 (3)

				
II 節 能 指 標 群	T4 日常節能 指標(41 項 技術) 外殼節能 通風節能 空調節能 照明節能 新能源及 其他	T4-01 建築配置節能 T4-02 適當的開口率 T4-03 外遮陽 T4-04 開口部玻璃 T4-05 開口部隔熱與氣密 T4-06 外殼構造及材料 T4-07 屋頂構造及材料 T4-08 帷幕牆	(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。 (6)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。	 
		T4-09 善用地形風 T4-10 季風通風配置 T4-11 善用中庭風 T4-12 運用植栽控制氣流 T4-13 開窗通風性能 T4-14 大樓風之防治 T4-15 風力通風 T4-16 浮力通風 T4-17 通風塔	(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。 (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。 (13)上下式通氣百葉窗，加速室內對流效果。	 
		T4-18 空調分區 T4-19 空調主機節能設計 T4-20 風扇空調並用系統 T4-21 大空間分層空調 T4-22 空調回風排熱 T4-23 吸收式冷凍機及熱源台數控制 T4-24 儲冷槽系統 T4-25VAV 空調系統 T4-26VRV 空調系統 T4-27VWV 空調系統 T4-28 全熱交換器系統 T4-29CO2 濃度外氣控制系統 T4-30 外氣冷房系統 T4-31 建築能源管理系統		
		T4-32 照明光源 T4-33 照明方式 T4-34 間接光與均齊度照明 T4-35 照明開關控制 T4-36 開窗面導光 T4-37 屋頂導光 T4-38 善用戶外式簾幕	(9)覆土型地下室之通風設計(或 open-cut)，及嘗試以光束管或光纖管進行照明導光。 [未實現]	

		T4-39 太陽能熱水系統 T4-40 太陽能電池 T4-41 住宅節能	(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。	 (4)
III 減廢 指標 群	T5CO2 減量 指標(5 項 技術)	T5-01 簡樸的建築造型 與室內裝修 T5-02 合理的結構系統 T5-03 結構輕量化 T5-04 木構造 T5-05 再生建材利用	(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。	 (1)
	T6 廢棄物減 量指標(7 項 技術)	T6-01 土方平衡 T6-02 營建自動化 T6-03 乾式隔間 T6-04 整體衛浴 T6-05 營建空氣污染防 制 T6-06 明管設計 T6-07 舊建築再利用	(14)配合乾式石膏板隔 間牆，採行整體衛浴施 作方式。 (15)室內照明管線採明 管設計及間接投射均 佈照明。	 (14)  (15)
IV 健康 指標 群	T7 室內環境 指標(11 項 技術)	T7-01 噪音防制 T7-02 振動音防制 T7-03 室內採光 T7-04 通風平面計劃 T7-05 室內污染控制 T7-06 室內空氣淨化設 備 T7-07 預防壁體結露、白 華 T7-08 地面與地下室防 潮 T7-09 調濕材料 T7-10 綠色建材(含生態 塗料、接著劑) T7-11 綠色裝修設計	(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。 (16)複層式金屬外飾牆 板配合防潮布及玻纖 綿，預防壁體結露。 (13)屋頂設置透氣中屋 脊排熱、與牆體之上下 式通氣百葉窗，加速室 內通風對流效果。 (19)基礎部 vs 水平桁架 梁中間夾有減振膠墊。	 (8)
	T8 水資源指 標(4 項技術)	T8-01 省水器材 T8-02 中水利用 T8-03 雨水再利用 T8-04 植栽澆灌節水	(4)雙層屋頂有利於隔 熱、集水等建築性能提 昇。 (17)設置中水槽(地撲 滿)回收雨水，並澆灑 屋面散熱。	 (4)
	T9 污水及垃 圾改善指標 (4 項技術)	T9-01 雨污水分流 T9-02 垃圾集中場改善 T9-03 人工濕地污水處 理 T9-04 廚餘堆肥	(18)雨水污水分流系 統，雨水回收使用，污 水淨化後放流。	

經過設計與構築實作，回饋到設計初期的發想與目標擬定：一棟好的「綠建築」不僅「消耗最少地球資源、製造最少廢棄物的建築」更廣義包括了「生態、節能、減廢、健康等觀念的建築」。期望藉由本次生態屋的輕型鋼構屋實作，視覺上「看」起來像綠建築，實質功能上要融合「低能源建築節能技術、資源高效率循環利用、健康高品質居住環境」等概念。按照初期的四個目標檢視，本生態屋大致上業能達成此目標設定。[表3]

表3 生態屋的綠色理念與實踐回饋檢討

初期的綠建築理念與目標擬定		已實作的生態屋回饋檢討
1.生態設計	保留基地內完整的綠帶，減低生物棲息環境的干擾，並採用當地原生物種或歸化種的植栽為原則，也可進行立體綠化等手法降低室內溫度。同時維持良好的基地透水性能，以被覆地或透水鋪面處理。	1)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。 2)基地透水鋪面及保水性，可考慮滯洪池或生態水池。
2.節能設計	中部陽光強烈，因此需要重視屋頂構造的隔熱能力以及外遮陽設計。除了建築外殼設計外，並適當的搭配太陽能光電與遮陽結合設計的BIPV概念，正確宣導再生能源之使用方式。	1)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。 2)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。 3)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。(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。 4)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。 5)上下式通氣百葉窗，加速室內對流效果。 6)覆土型地下室之通風設計(或 open-cut)，及嘗試以光束管或光纖管進行照明導光。[未實現] 7)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。
3.減廢設計	尊重地形地貌的開發，以減低當地營建過程所製造的環境污染。將木構、鋼構與鋼筋混凝土搭配使用，應用新的建築概念呈現綠建築風貌。	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輕型鋼構造或木板材。 2)配合乾式石膏板隔間牆，採行整體衛浴施作方式。 3)室內照明管線採明管設計及間接投射均佈照明。
4.健康設計	建築設計需考慮自然通風，並結合通風塔之設計達到自然換氣的目的，儘量朝向零空調需求的設計。建築物內的用水設備全面採用獲得節水標章的用水器具，同時利用建築屋頂作為集雨區域，將雨水導入地下筏基可供廁所與澆灌使用。	1)屋頂設置透氣中屋脊排熱、與牆體之上下式通氣百葉窗，加速室內通風對流效果。 2)斜屋頂面收集雨水回收使用，設置中水槽(地撲滿)儲存回收雨水，並提供植物澆溉及澆灑屋面散熱。 3)雙層屋頂有利於隔熱、集水等建築性能提昇。 4)設置中水槽(地撲滿)回收雨水，並澆灑屋面散熱。 5)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。 6)複層式金屬外飾牆板配合防潮布及玻纖綿，預防壁體結露。 7)雨水污水分流系統，雨水回收使用，污水淨化後放流。 8)基礎部vs水平桁架梁中間夾有減振膠墊。 9)地中冷卻通風或地板下方導風，達成自然通風效益。[未實現]

大體而言，冷軋型鋼構件應用於建築工程時所具備的優點可略述如下：(Yu, 1991)

1.對於較輕的載重及/或較短的跨距，使用冷軋型鋼構件比熱軋型鋼較為經濟。

2.由於製造方式的特異性，冷軋型鋼可輕易製作成所需之特殊形狀，並可獲得較佳之強度對重量比(strength-to-weight ratios)。

3.製造完成之巢狀冷軋型鋼構件在包裝與運送上，不但節省空間且相當經濟。

4.冷軋型鋼承版或鋼片，除了可提供屋頂、牆板與樓版建築外，另可安置電器或其他設施之管路與導管。

5.如果與鄰近的支撐構件有良好的結合，冷軋型鋼承版或鋼片，不僅可承受垂直載重，更可設計為抵抗橫向力之剪力膜版(shear diaphragm)。

綜言之，與其他建築材料如木材和混凝土比較之下，冷軋型鋼構件又能提供下列之優點：(潘吉齡，2001:72)

1.重量輕、高強度與高勁度(high strength and stiffness)。

2.製造便捷與可大量製造、方便運輸與處理、裝設快速與簡易、無需假設工程。

3.不可燃性(noncombustibility)、不易腐壞及防蟲害、品質劃一、施工上不受氣候影響。

4.可準確地細部規劃與施工、在惡劣溫度下不會收縮與潛變(nonshrinking and noncreeping at ambient temperatures)。