

921 震災後台灣鋼構造建築之構築表現

施植明* 張有一** 何文群***

國立台灣科技大學建築系

* scm@mail.ntust.edu.tw

** changyuyi@gmail.com

*** wishho@msn.com

摘要

921 震災後台灣逐漸在低層建築的設計上運用鋼構造工法，建築師開始嘗試以地域性的角度思考鋼構造的構築方式並呈現出具表現性的構築形式，有別於過去高層建築運用鋼構造所偏重的工程技術。本研究以構築術（tectonic）的觀點探討 921 震災之後台灣新一代建築師運用鋼構造技術在低層建築上所呈現的構築表現。透過骨架系統、圍封系統與附屬構造的組構關係以及三者之間接合關係進行案例分析後，發現相較於國外以組構系統化構件為主的工業化構築表現，台灣卻因為系統化構件與現場技術人力在成本上的差異，而呈現了工匠技術支持下的一種具工藝化地域特色的拼湊式構築術。

關鍵詞：構築術、鋼構建築、台灣當代建築

論文引用：施植明、張有一、何文群（2011）。921 震災後台灣鋼構造建築之構築表現。

設計學報，16（1），19-40。

一、前言

1-1 研究背景

過去台灣建築的發展，在材料與營建工法上主要以鋼筋混凝土構造為主，其建築風貌呈現出全球化現象下的普同性構築方式，而屬於鋼構造的建築作品則多著重在高層建築領域上的工程技術發展，因此並未有運用地方特色思考構造特性的建築表現，不僅無法反映建築呼應在地環境的特殊表情，在建築本體的構築方式與外在的形式表現之間也沒有明顯的對話與回應。由於 921 震災後對建築結構性與施工時效性的需求，鋼構造構築方式逐漸出現在新生代建築師的操作中，並呈現出因地制宜的構築手法與特殊樣貌的建築呈現，在構築形式背後似乎隱含著對材料與工法的在地性思考。

法蘭普頓（Kenneth Frampton, 1930-）在《構築文化研究》（*Studies in tectonic culture*）中論及對「場所」的認知時認為，「現代建築文化的任何描述都必須承認結構工程扮演了決定性的角色」（Frampton, 1995），說明了「構築性」的意義連結了建築在地性表現與全球化通用工法間的關係，而這關係的探討正可透過對現代建築的決定性角色—結構工法來切入，進而發掘建築營建技術背後的在地性意涵是如何透過構築方式呈現於具體的建築作品之上。

本研究針對 921 震災後台灣當代鋼構造建築作品進行構築性的分析，首先對於技術層面的構造方式進行分析，進一步再從形式操作手法探究鋼構造構築形式在「骨架」與「圍封」之間的構築關係，嘗試建立「構築理論」與台灣當代鋼構造建築的論證基礎。在研究方法上採取相關構築理論來建構案例分析架構，藉此探討台灣當代鋼構造建築是否也已發展出有別於台灣長久以來以鋼筋混凝土構造為主的構築性思維。

1-2 研究目的

基於不同的構築方式應有不同的思維模式，1920 年代開始發展的現代建築便揚棄了由磚石構築所建立的古典建築美學，試圖建立足以反映鋼筋混凝土構築特性的建築美學，同樣的，1970 年代出現的高科技建築也試圖創造由金屬構造與玻璃材料呈現的一套新的建築美學。由此可見構築方式不僅只是技術性層面的問題而已，其中更隱含了值得進一步探究的構築性思維。本文試圖透過對本土鋼構造建築的探討，跳脫構造形式上的討論與評斷，而是延伸到對形式之下其結構邏輯的發覺與體認，藉此提供當代建築另一種的構築思維：內在與外在形式關係的重構或是一種物我關係的建立，並使以往在台灣較不普遍的鋼構造構築手法有一清楚的呈現。

二、構築術文獻探討及鋼構造分析架構

在《構築文化研究》一書中透過對於古希臘字 *tekton* 的詞源追溯，以及德國建築理論家森帕爾（Gottfried Semper, 1803-1879）所提出的建築四元素—土方、框架／屋頂、爐床、圍覆，法蘭普頓延伸到對場所、人種／民族學的認知，進而界定了「構築性」議題的探討。法蘭普頓將森帕爾提出的建築四元素分為兩個層面：土方和框架／屋頂屬於「建築存有（ontological）」，而爐床和圍蔽則屬於「建築表象（representational）」（Frampton, 1995），因此透過存有／表象的觀點，其建立了「構築理論」的論證基礎。

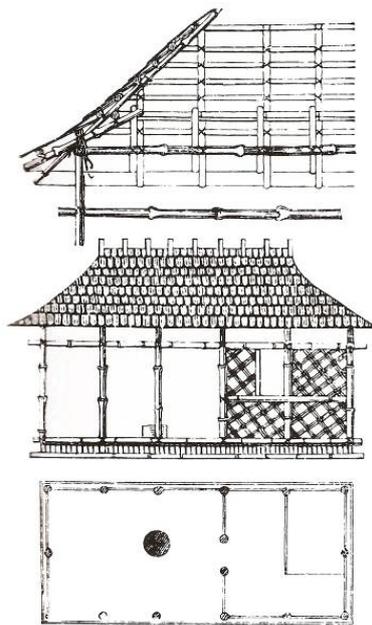


圖 1. 加勒比原始小屋¹

法蘭普頓認為森帕爾的想法受到克萊姆（Gustav Klemm, 1802-1867）描述一個太平洋小島小屋的意涵所啟發。克萊姆對此小屋的描述則得自一個十八世紀後期隨庫克船長（captain James Cook）到南太平洋的德國探險家的紀錄。由於森帕爾早期對希臘建築多彩飾法的研究基礎，使他認為大部分在圍封構造中的建築元素包含了轉化的象徵意義，例如在對結構骨架來說是非必要的牆體和屋頂上，他認為建築的象徵價值就等同於建築的圍封構造，森帕爾在 1851 年出版的《建築四元素》（The four elements of architecture）中提出了「衣飾理論」（bekleidungstheorie）：骨架與圍封兩者的關係如同「穿衣」的概念（Semper, 1989）。當森帕爾在 1851 年倫敦的萬國博覽會上看見水晶宮的建造與展覽會場上展出的加勒比原始小屋時（如圖 1），也使他提出了與 1753 年羅吉耶（Marc-Antoine Laugier, 1713-1769）原始茅屋理論相對的人類學觀點，森帕爾認為具有延展性的構架（tensile frame）與填充牆體（infill）是更為基本的建築要素（Frampton, 1995）。因此在「衣飾理論」的概念下，森帕爾不僅詮釋了希臘建築在材料轉變上的象徵意義，也可說是對後來骨架式構築形式的一種預見。

另一方面，對於當代鋼結構技術工法的實際施工層面問題，《鋼結構手冊》（Steel construction manual）中由材料特性、構件組合原則以及整體結構原則的觀點，將建築設計與構造觀念相結合，清楚的闡明從材料到建造的整個應用領域中的內容，書中將整體結構原則區分為二維與三維框架兩種結構體系（Schulitz, Sobek & Habermann, 2000）。而在《鋼構建築》（Building with steel）中，則由結構系統、構件組合方式以及材料三個面向來探討鋼結構的工法與技術，在結構系統的原則下針對不同部位的構築元素探討其骨架構件的接合方式，主要分成柱礎、柱與樑的組合、以及斜撐構件等面向（Reichel, Ackermann, Hentschel, & Hochberg, 2007）。在當代探討鋼構造結構技術上，由構件接合所形成的骨架式結構系統已有別於以往磚石承重牆的單一結構系統，呈現出「骨架」與「圍封」系統的構造關係。

因此在法蘭普頓對構築術的探討所提出「存有／表象」的論證基礎背後，本文即透過由德國建築師與理論家森帕爾所提出的「衣飾理論」概念，區分出骨架式構築術的基本組構關係：「骨架」與「圍封」系統。根據「衣飾理論」的概念回應上述現代鋼構造系統當中的「結構體與圍封體」的構造關係，據此將鋼構造的案例分析架構分成三個部份：骨架系統（skeletal system）、圍封系統（enveloping system）及附屬構造（attached members）。在骨架系統（S）中主要分析「主結構框架」、「次結構框架」、「基礎處理」；在圍封系統（E）中主要分析「皮層構件」；在附屬構造（A）中主要分析樓梯、遮陽、雨庇、欄杆等建築物的附屬構件。分析過程中針對三者之間的接合方式更進一步分析其構築手法，目的在於藉此了解本土鋼構造構築手法其發展的可能性與所面臨的限制性，如圖 2 所示。

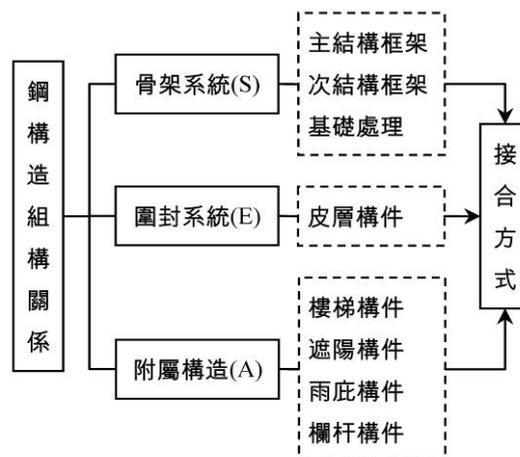


圖 2. 鋼構造建築分析架構圖

三、案例分析與研究

3-1 研究案例說明

近年來由於新建材與工程技術的大量開發與應用，造成新空間型態的出現，在台灣當代建築作品中，呈現出了有別於過去而具時代意義的新樣貌。在以地域性的觀點探討 921 震災後（1999 年）鋼構造發展的研究目的下，本研究案例的選擇分成兩個方向：第一類是在 921 震災之後，在結構安全與施工效率之重建導向目的下，設計意圖屬於被動要求的鋼構造建築作品；第二類則是在設計思考中強調了主動表現鋼構造特性意圖的非重建導向的作品。試圖透過分析兩種不同設計意圖下的代表案例，探討鋼構造建築在 921 震災後於台灣本土的構築性發展狀況，如表 1 所示。

表 1. 低層鋼構造建築研究案例彙整表

案例類型	案例名稱	設計年份	建築用途	規劃設計者	
震災後重建導向	潭南國小	2001	學校	姜樂靜 建築師	
	南投縣921震災後重建校園			民國國中－教室大樓	林洲民 建築師
	民國國中－圖書館				
	民國國小－簇群教室				
	民國國小－專科教室				
非重建導向	龍骨梯	2006	公園設施	葉世宗 建築師	
	綠光咖啡屋				
	台南縣南瀛綠都心（新營五號公園改造）				半球溫室
	太陽能廣場				
	服務導覽中心				

3-2 案例分析

3-2.1 震災後重建導向之案例分析

對於震災後以重建目的為導向的案例中，選擇位於南投縣內三個均以鋼構造為建築主體設計的重建校園類型的作品，其分別是姜樂靜建築師設計的潭南國小，以及由林洲民建築師設計的民國中、國小。以這三個案例中的五個以鋼構造處理的建築體進行構築性探討，試圖透過在重建目的下訴諸鋼構造施工方式的構造表現，探討低層鋼構造建築在本土初步發展時的構築想法。

1. 南投縣潭南國小

潭南國小在平面上呈西北到東南長向的矩形形式，骨架系統的主結構框架是由 RH 型鋼的預製構件組構而成，基礎的部份則以錨栓方式接合至基礎的混凝土基座上。圍封系統分成三個部分，屋頂的圍封由 T 型鋼板與隔熱材構成，二樓樓板以鋼承板與混凝土組合而成，而結構框架之間的立面填充是由預鑄水泥板、礦化板、金屬門窗和石板共四種不同的材料構成。附屬構造的雨庇、欄杆和樓梯則是利用不同形式的型鋼構件與金屬織狀的鐵絲網組構而成，如圖 3。



圖 3. 潭南國小（東南向）

在接合方式上，屬於骨架系統的屋頂通風塔是以 RH 型鋼（150×150×7×10 mm）與焊接的中介支承板（9 mm）以螺栓方式接合組構；通風塔底端再與坡面屋頂框架的 RH 型鋼（350×175×7×11 mm）以焊接方式接合，如圖 4 所示。另外在二樓外圍的出挑走廊部位則是以三種構件形成一組結構框架單元：分別為上部的 RH 型鋼（200×200×8×12 mm）以及下部變斷面腹板的 RH 型鋼（150~300×300×10×15 mm），上部與下部的型鋼構件透過兩個一組的 L 型鋼所形成的張力桿件以螺栓方式懸吊接合，如圖 5 所示。在骨架系統與圍封系統的接合上，門窗構件、石板以及預鑄的水泥板是與型鋼腹板的外側面接合，而礦化板材料則是接合至型鋼兩片翼板內的腹板上，因此建築師在思考骨架系統與圍封系統的接合處理時，型鋼構件形成了兩種不同向度的構件表現性。而附屬構造的弧形雨庇、欄杆則是以 C 型鋼、鋼棒、方型鋼管混合焊接與栓接方式接合在主體結構的 RH 型鋼上。

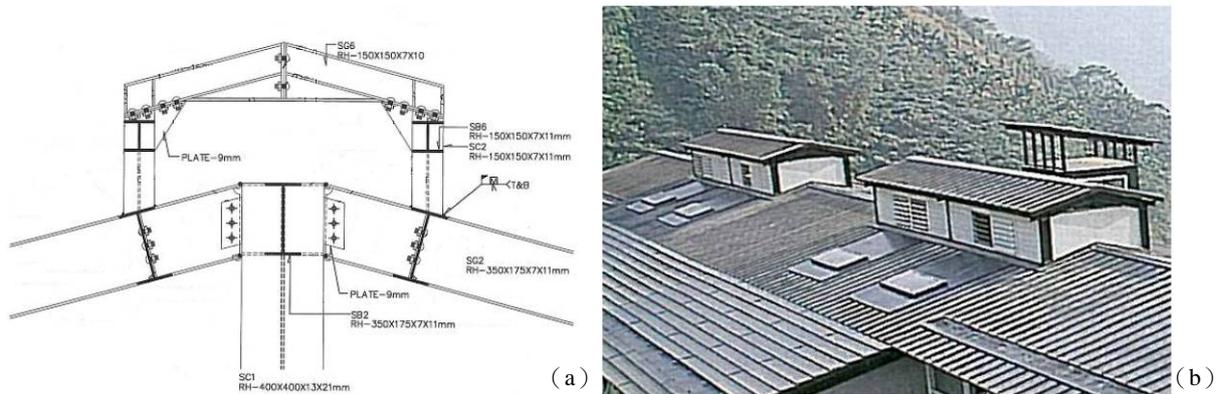


圖 4. 潭南國小：(a) 屋頂結構框架細部圖² (b) 屋頂結構框架外觀照片³

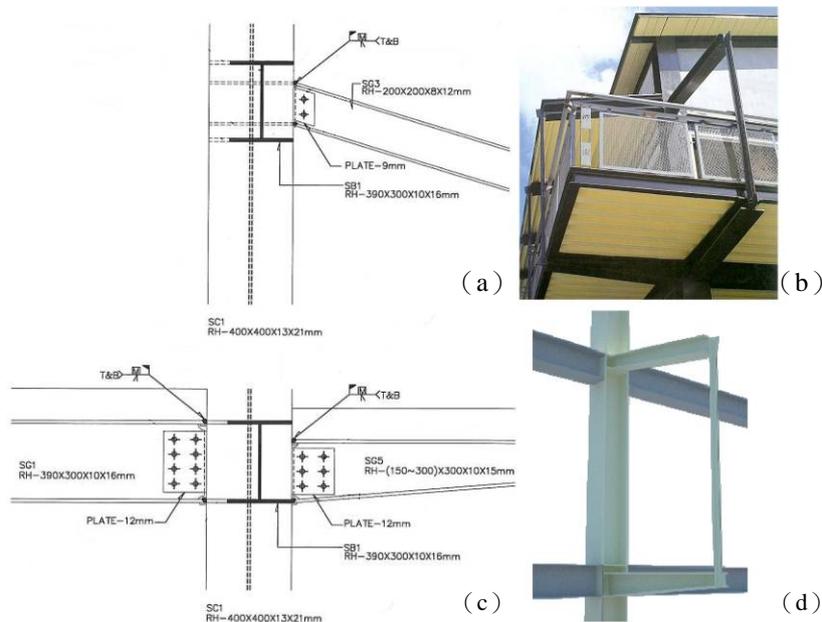


圖 5. 潭南國小：(a) 主結構框架細部圖-出挑走廊上部² (b) 主結構框架細部圖-出挑走廊下部² (c) 主結構框架外觀照片 (d) 主結構框架 3D 示意圖

2. 南投縣民和國中教室區

民和國中教室區建築體在平面上呈東西長向的矩形形式，骨架系統在垂直向度上有兩種方式，在北側二層的建築體上是由 RH 型鋼包覆混凝土而形成 SRC 構造柱體，南側單層教室直接以外露的 RH 型鋼處理柱體，在水平向度上則以 RH 型鋼樑構成長軸方向的小樑以及南北短軸方向的屋頂框架，如圖 6、圖 7 所示。主要的立面圍封系統以兩種方式處理，分別是面向東西側的空心水泥隔間牆，以及面向南北側的系統式門窗及實木飾板，屋頂圍封則是以雙層絕緣材及鋼承板組構。屬於附屬構造的二樓陽台是以鋼管及鋼板構件焊接組構成欄杆構件，並以 C 型鋼（ $200 \times 200 \text{ mm}$ ）作為陽台底部的懸臂框架；另外，附屬構造中的遮陽構件有兩種類型，北側二樓以型鋼與實木組構成水平遮陽板，南側一樓出簷屋頂下則是利用結構圓鋼管、H 型鋼以及實木構件組成斜向的遮陽板。



圖 6. 民和國中教室區

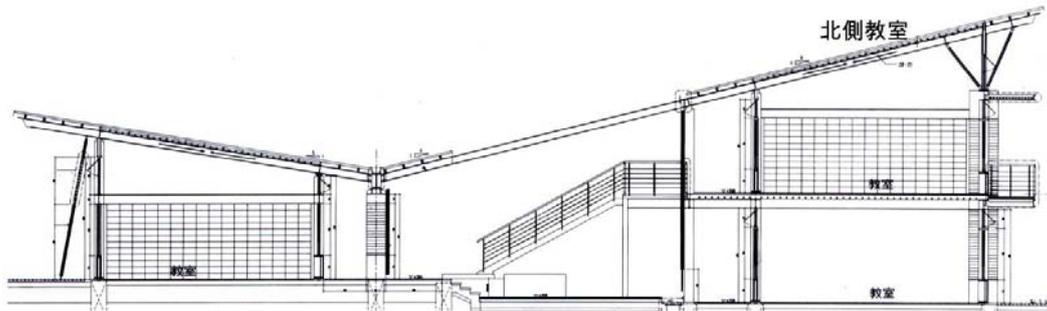


圖 7. 民和國中教室區—短向剖面圖⁴

在骨架系統的接合方式上，SRC 柱與 RH 型鋼樑的結合有兩種方式，一種是利用鋼板焊接整合成一個連結垂直柱體與水平向度 RH 型鋼樑的接頭，如圖 8 所示。第二種則是利用鋼管構件以三維的角度栓接北側抬升屋頂的鋼樑。在骨架與圍封系統的接合上，東西側的空心水泥磚接合在 RH 型鋼柱的腹板間隔內，南北側的系統門窗及實木飾板則是以固定在型鋼翼板上的木框架作為整合的分割框架系統。而骨架系統與附屬系統的結合處理，北側二樓的陽台構造是以型鋼構件與骨架系統上的鋼樑透過中介板以栓接方式接合，如圖 9 所示。

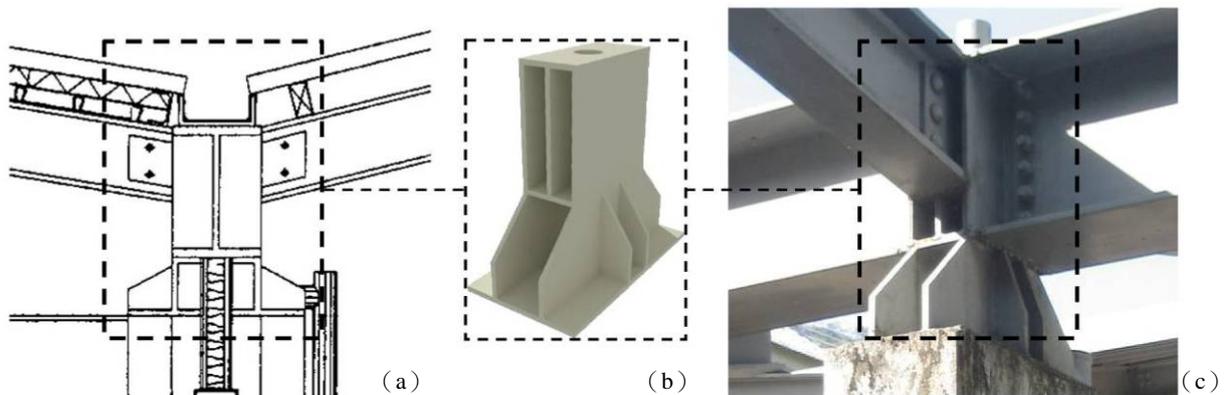


圖 8. 民和國中教室：(a) 屋頂結構框架細部圖⁴ (b) RH 型鋼樑柱頭 3D 示意圖 (c) RH 型鋼樑柱頭細部照片

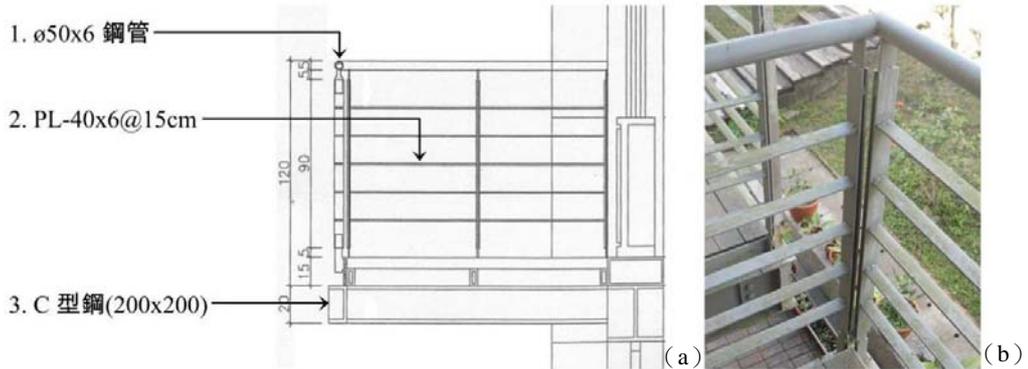


圖 9. 民國國中教室：(a) 北側教室二樓陽台欄杆細部圖⁴ (b) 北側教室二樓陽台欄杆細部照片

3. 南投縣民國國中圖書館

民國國中圖書館在平面上呈圓形，其鋼構造的骨架系統可以分成內層的樓層框架與外層的屋頂棚架，內外兩層結構均以 RH 型鋼為主要構件，在外層骨架結構的一樓部分以清水混凝土包覆形成 SRC 的構造體，一樓以上的外層 RH 型鋼構件則向心集中構成一個的錐狀屋頂棚架。圍封系統部分除了以混凝土包覆的一樓與二樓以磚牆砌築的圍封牆體外，圖書館頂部天窗的圍封處理則是直接以系統門窗填入處理，圖 10 所示。

在骨架系統本身的接合方式上，屋頂棚架是藉由圓鋼管與內層的樓層框架以栓接方式接合。骨架與圍封的接合處理則是在外部屋頂棚架上利用水平向的實木做為 RH 型鋼構件之間的填充材料，如圖 11 所示。另外，屬於附屬構造的雨庇構件，是透過埋設在清水混凝土構造中的鉸接支承座接合出簷的 H 型鋼構件，上部再以張力鋼棒吊掛 H 型鋼構件，H 型鋼構件之間則是透過鋼管作為連結而形成雨庇的框架，主出入口的雨庇構造是以雙層膠合玻璃（6 mm+6 mm）作為圍封材料，其餘窗戶開口部位的雨庇構造則是以實木材料作為圍封材料，如圖 12 所示。



圖 10. 民國國中圖書館

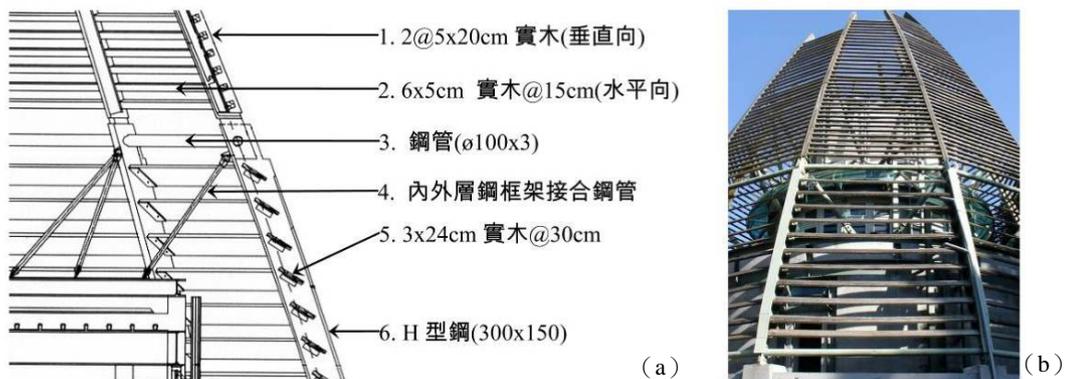


圖 11. 民國國中圖書館：(a) 屋頂結構框架細部圖⁴ (b) 屋頂結構框架外觀照片

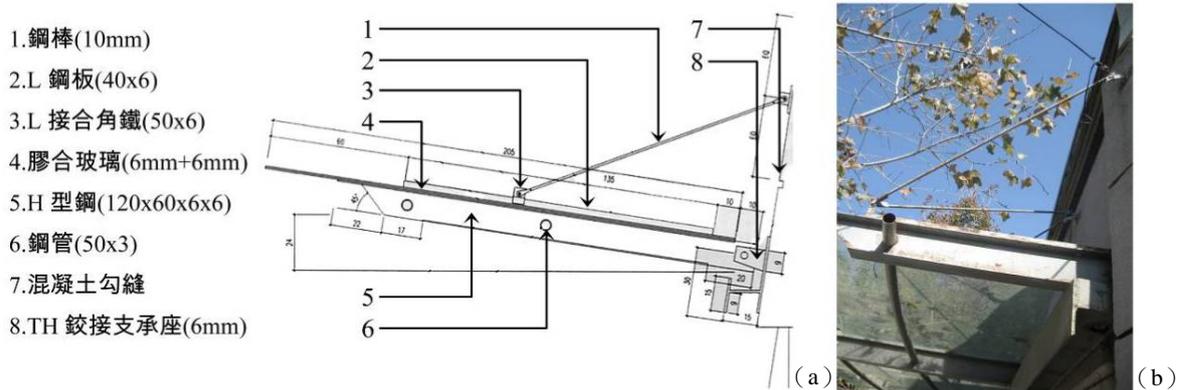


圖 12. 民和國中圖書館：(a) 雨庇構造細部圖⁴ (b) 雨庇構造細部照片

4. 南投縣民和國小簇群單元教室

民和國小簇群單元教室的鋼構造屋頂，是在平面呈方形的四面混凝土牆體基礎上的屋頂棚架，主要的鋼構造骨架系統可以分成內外兩層，透過鋼管構件栓接內外層的 RH 型鋼而構成錐狀的形式。內層的型鋼骨架以鋼承板及 15 cm 的混凝土作為圍封材料，外層的骨架則以實木構件作為具有遮陽功能的圍封材料，如圖 13、14 所示。



圖 13. 民和國小一簇群單元教室

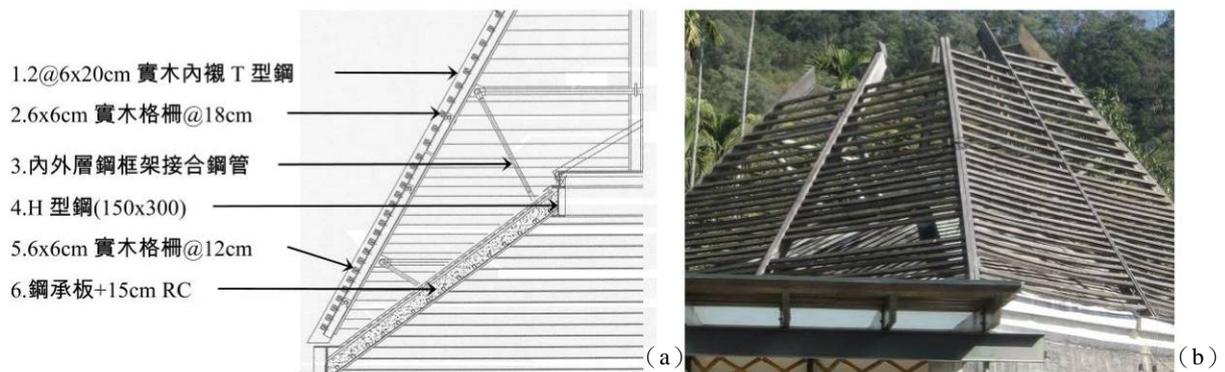


圖 14. 民和國小簇群單元教室：(a) 屋頂結構框架細部圖⁴ (b) 屋頂結構框架外觀照片

而屬於附屬構造的雨庇有兩種方式，一種是利用鋼管與 C 型鋼構成框架，鋼板組構成的 T 字型支架以螺栓方式接合雨庇框架與混凝土結構，結構補強部分以 L 型鋼焊接而成，並使用鋼棒接合雨庇與混凝土結構體，再利用實木構件做為水平方向的圍封材料，如圖 15 所示；另一種方式是利用 H 型鋼（200×200）與鋼管（76×4）構成主要的支承結構，另一側則用 H 型鋼與混凝土結構以錨栓方式接合，利用 L 型鋼在焊接至兩側 H 型鋼上面並與實木構件做螺栓接合構成完整個雨庇框架，在與實木構件垂直方向的實木隔柵與強化玻璃作為水平面的遮雨與遮陽圍封材料，如圖 16 所示。

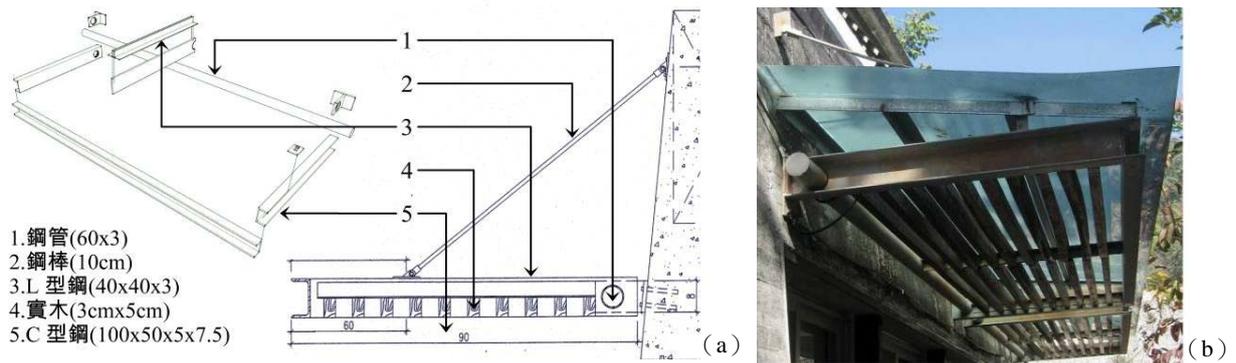


圖 15. 民國國小簇群單元教室：(a) 雨庇構造細部圖⁴ (b) 雨庇構造細部照片

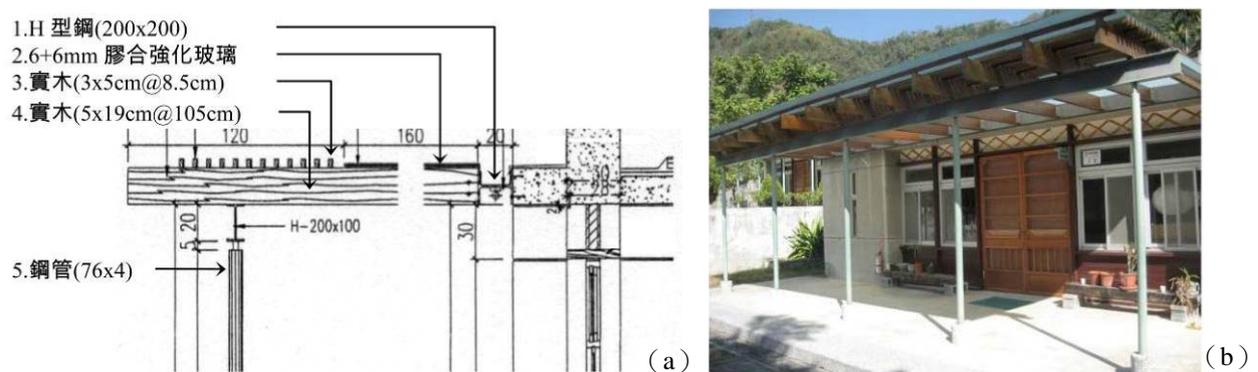


圖 16. 民國國小簇群單元教室一 (a) 雨庇、遮陽構造細部圖⁴ (b) 雨庇、遮陽構造外觀照片

5. 南投縣民國國小專科教室

民國國小專科教室建築體在平面上呈南北長向的矩形形式，骨架系統是由 RH 型鋼包覆混凝土而形成 SRC 構造柱體，在水平向度上以 RH 型鋼樑構成建築體短軸方向的屋頂框架，如圖 17、18 所示。主要的立面圍封系統與民國國中教室的處理方式相同，分別以空心水泥隔間牆以及系統式門窗及實木飾板處理。屬於附屬構造中的遮陽構件以兩種方式處理，面對簇群教室單元的西側以型鋼與實木組構成水平遮陽板（與民國國中教室北側的處理手法相同）；面對跑道的東側則是利用出簷屋頂面下的結構圓鋼管、H 型鋼以及實木構件組成斜向的遮陽板（與民國國中教室南側的處理手法相同）。



圖 17. 民國國小—專科教室

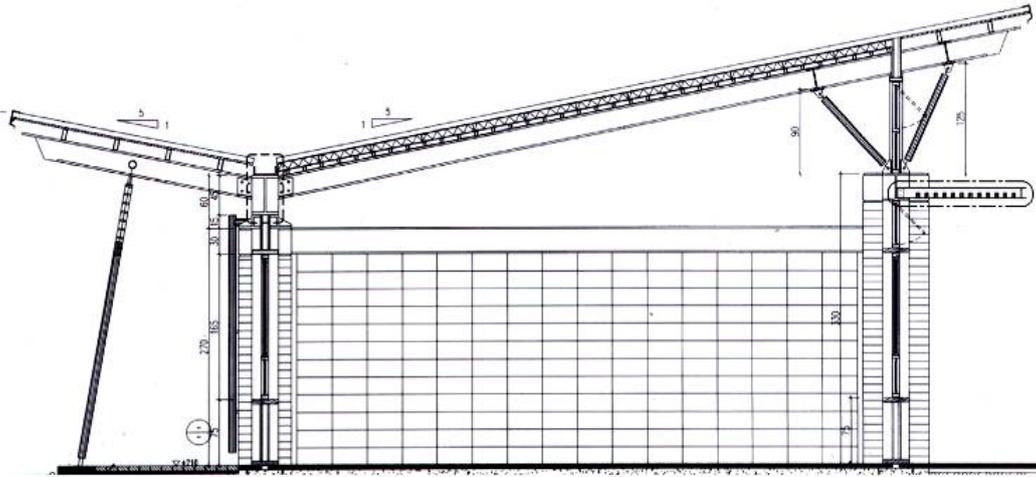


圖 18. 民國小專科教室：短向剖面圖⁴

在骨架系統本身的接合方式上，SRC 柱與 RH 型鋼樑的接合有兩種方式，第一種是與民和國中屋頂框架使用一樣的接合手法，利用鋼板整合成一個連結垂直柱體與水平向度 RH 型鋼樑的接頭，第二種則是利用鋼管構件以三維的角度栓接西側抬升屋頂的鋼樑，如圖 19 (a) 所示。在骨架與圍封系統的接合上，南北側的空心水泥磚接合在 RH 型鋼柱的腹板間隔內，東西側的系統門窗及實木飾板則是以固定在型鋼翼板上的木框架作為整合的分割框架系統。而骨架系統與附屬系統的結合處理，西側的水平遮陽則是透過型鋼構件與骨架系統上的鋼樑以中介板的栓接方式接合，如圖 19 (c) 所示；東側的斜向遮陽則是以焊接至屋頂鋼樑並固定在混凝土墩座上的結構圓鋼管接合水平方向的實木構件。

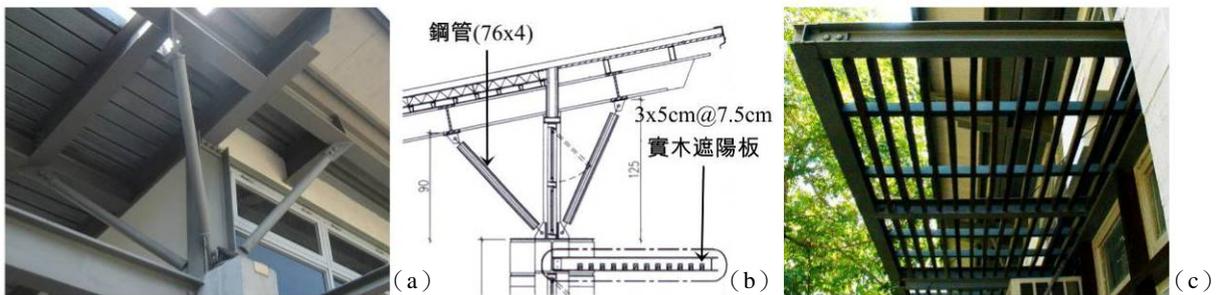


圖 19. 民國小專科教室：(a) 鋼管構件栓接西側屋頂鋼樑 (b) 屋頂構造細部圖⁴ (c) 西側的水平遮陽照片

3-2.2 非重建導向之案例分析

對於非震災後以重建目的為導向的案例分析中，選擇位於台南縣治所在地的新營市，台南縣政府對面名為「南瀛綠都心」的公園內的低層鋼構造作品。案例選擇的考慮因素在於，葉世宗建築師在設計論述中強調了對鋼材輕盈特性之喜好以及近年來其幾乎皆以鋼構造為其建築表現，因此以他在 2005 年完成的南瀛綠都心公園建築群上多種機能類型的鋼構造建築為分析對象，由於建築師強調在這些案例中，主要皆以台灣本土的鋼材與技術為主，因此在構築性所探討的場所意涵上是極適合的研究案例，也試圖透過建築師主動在於鋼構造表現上的設計想法，探討本土的低層鋼構造建築逐漸發展表現性的構築想法。

1. 龍骨梯

由骨架系統與附屬構造構成的龍骨梯，主結構是由線狀單一曲線的圓鋼管構件（直徑 273 mm）所形成的龍骨。主結構所產生的軸向扭力以及其上的載重透過三組構件支撐，於龍骨梯中間平台的部位以直徑與龍骨相同的鋼管焊接龍骨並剛接於牆體，龍骨梯的上段與下段再分別以鋼管（直徑 48.6 mm）鉸接於牆體，另外也透過龍骨鋼管自身的大口徑特點承受整體結構的扭力；屬於附屬構造的樓梯構件則透過建築師構思的接合方式和骨架系統的龍骨構成整體，如圖 20 所示。



圖 20. 龍骨梯外觀照片

骨架與附屬構造的接合方式是以主龍骨鋼管上焊接的兩片結構用鋼板（厚度 10 mm）作為中介翼板，梯階支撐構件的弧形碳鋼管再以上下弦的形式焊接至中介翼板上；弧形碳鋼管兩端以十字型鋼板（厚度 6.0 mm）焊接至兩片欄杆鋼板的夾合間隙中，欄杆底端的圓孔套接梯身構件的結構碳鋼管（直徑 60.4 mm）。透過上述方式，梯階支撐構件與兩側的梯身構件即透過欄杆鋼板構件接合一起；弧形碳鋼管與強化玻璃的梯階面之間，以焊接的爪具托座栓接不銹鋼系統玻璃爪具以及玻璃夾具，再接合至梯階面的玻璃鉗孔，如圖 21 所示。

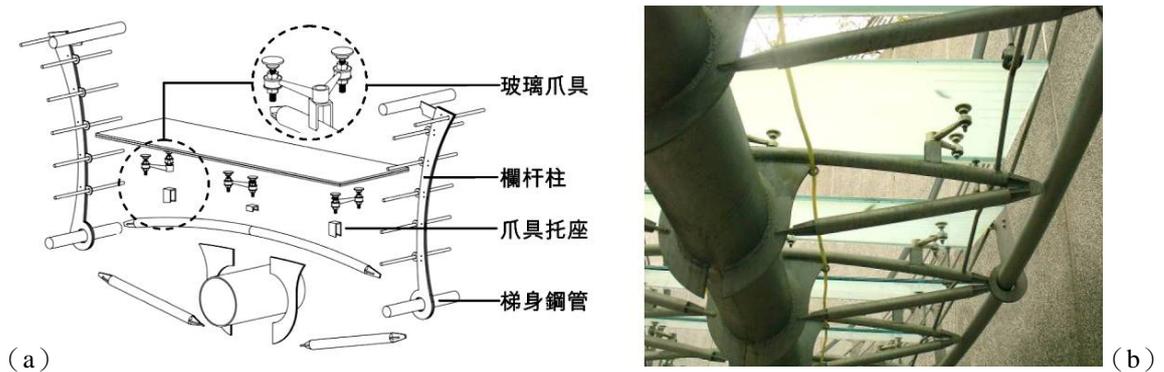


圖 21. 龍骨梯：(a) 龍骨梯構造細部 3D 示意圖 (b) 龍骨梯構造細部照片

2. 綠光咖啡屋

由骨架、圍封系統與附屬構造構成的綠光咖啡屋，主結構框架由直線形圓鋼管構件焊接成桁架柱樑框架，在與地面基礎接合的部份以錨栓接合，形成剛接的地面端基礎。除了以剛性的結構框架支撐玻璃屋頂面與玻璃牆面之外，於剛性框架間再以張力纜索支撐牆面玻璃板；圍封系統分成屋頂面的雙層結構玻璃與牆面的結構玻璃；附屬構造則有屋頂面上的鋁百葉及入口處的雨庇構件，如圖 22 所示。



圖 22. 綠光咖啡屋外觀（北向立面）

本案的接合方式可以藉由水平向度的屋頂面、雨庇構件以及垂直向度的玻璃牆面來探討。在水平向度上，桁架樑上部透過兩種手法支撐玻璃屋頂面：星形爪具與強化玻璃背擋。在屋頂面玻璃交接點處以焊接在桁架樑上弦鋼管的星形爪具支撐；屋頂玻璃板的中間點，以焊接在桁架樑上的鋼板構件接合透明強化膠合玻璃（10 mm + 10 mm）作為玻璃屋頂面的支撐背擋。屋頂面外部安裝的鋁製遮陽板以扁鋼構件焊接至桁架樑上，扁鋼構件穿過屋頂面玻璃板間以矽氧樹脂密封黏接的連接縫。雨庇構件的斜向拉桿透過玻璃牆面內桁架柱上焊接的鋼板構件支撐，焊接的鋼板構件穿過牆面玻璃板間以矽利康密封黏接的連接縫；水平的雨庇玻璃板則藉由焊接至桁架柱的 T 型鋼構件上的玻璃爪具支撐，如圖 23 所示。在垂直向度上，立面的玻璃牆面藉由桁架柱上焊接的星形爪具支撐四片玻璃板的接點，在柱距之間以鋼纜索系統上緊固纜索的抗拉鋼棒焊接星形爪具，再藉著星形爪具支撐玻璃板，如圖 24 所示。

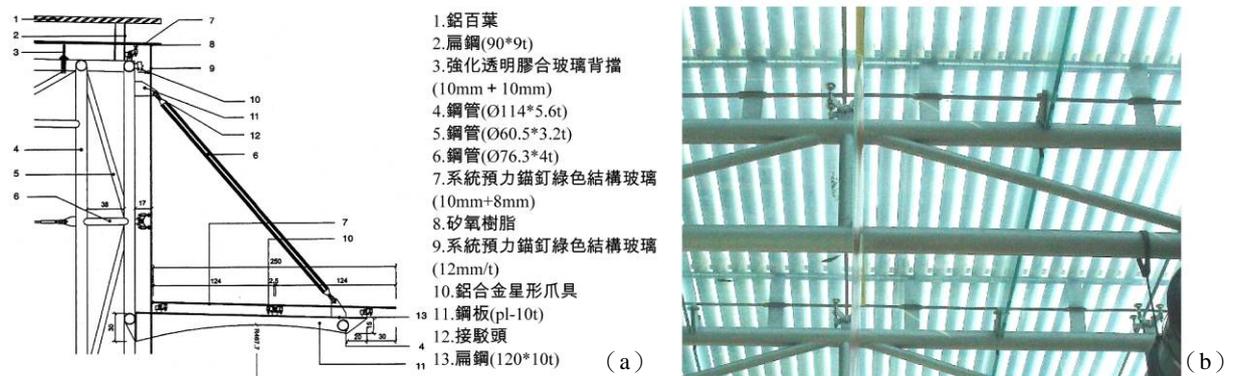


圖 23. 綠光咖啡屋：(a) 屋頂面及雨庇構件細部圖⁵ (b) 屋頂面及雨庇構件細部照片

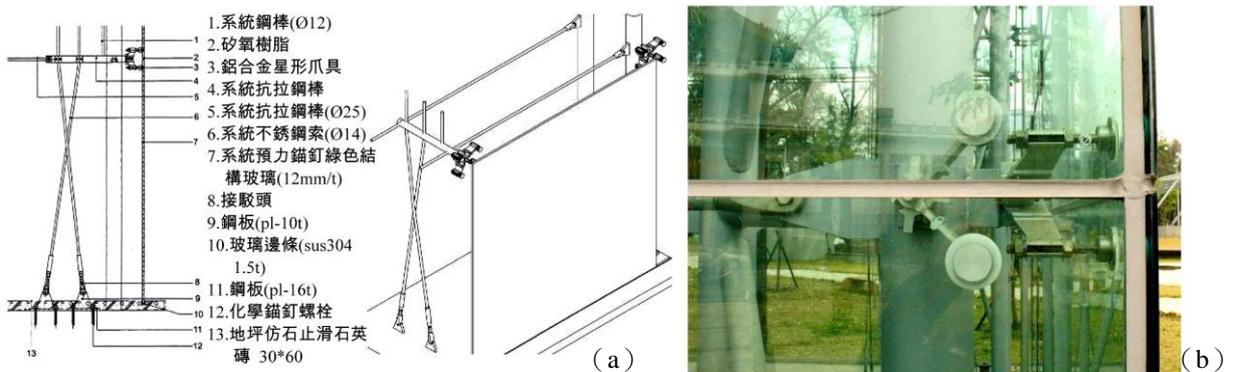


圖 24. 綠光咖啡屋：(a) 玻璃牆面細部及 3D 示意圖⁵ (b) 玻璃牆面細部照片

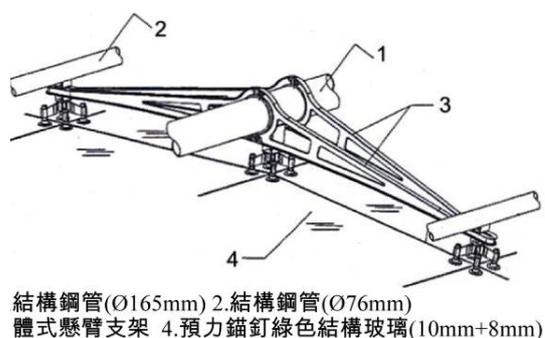
3. 半球溫室

由骨架系統與圍封系統構成的半球溫室，主結構框架是由線狀單一曲線的拱構件所形成，拱構件種類有南向球體的主、次結構圓鋼管、北向球體的板片狀箱型拱以及中間東西方向的組合型鋼，三者之間的連接以及拱構件地面基礎端以剛接方式處理；圍封系統의 皮層構件分別是南向球體的綠色預力錨釘結構玻璃，以及北向球體鋼板框架內的透明強化膠合玻璃，如圖 25 所示。



圖 25. 半球溫室外觀

在骨架與圍封系統的接合方式上，南向球體的鋼管結構框架與玻璃頂面間，鋼製的一體式懸臂支架以螺栓夾具方式固定在主結構鋼管（直徑 165 mm）上，懸臂支架兩端上部透過焊接在次結構鋼管上的鋼管座而以螺栓方式固定，懸臂支架兩端下部以爪具托座加以螺栓接合星形爪具，再透過玻璃夾具懸掛不同形狀與大小的玻璃板構件，如圖 26 所示。



(b)

圖 26. 半球溫室：(a) 屋頂面細部 3D 示意圖⁵ (b) 屋頂面細部照片

4. 太陽能廣場

由骨架系統與圍封系統構成的太陽能廣場，主結構框架由線狀單一曲線的弧形圓鋼管以及直線形的圓鋼管構成一個三維框架，兩側扇形框架內各九支次結構鋼管以鉸接方式接合至主結構鋼管，次結構鋼管之間再加上直線形的拉力鋼管結合。地面基礎端部分，是四支主結構鋼管（兩支直線形、兩支弧形），以剛接方式接合至地面端的 H 型鋼上；圍封系統以太陽能光電板膠合結構玻璃構成，也使玻璃板同時具備遮陽功能，如圖 27 所示。



圖 27. 太陽能廣場外觀

在骨架與圍封系統的接合方式上，屋頂框架及屋頂面是透過不銹鋼纜索系統（直徑 14 mm）接合：鋼纜索在主結構鋼管上的接點是透過焊接的鋼板構件接合，鋼纜索與次結構鋼管的交接點是利用焊接在鋼管上的鋼板與鋼索緊固件接合，如圖 28 所示。而在鋼纜索與光電板玻璃面的接合處，是以鋼纜索交點上的緊固件焊接星形爪具，再透過玻璃夾具支撐屋頂面之光電板玻璃面，如圖 29 所示。

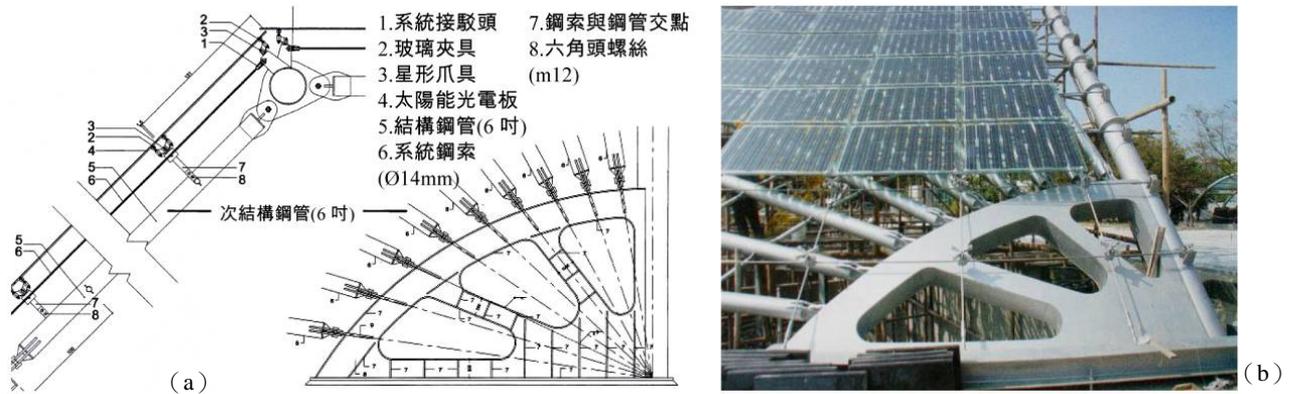


圖 28. 太陽能廣場：(a) 結構框架、鋼纜索及光電板構件細部圖⁵ (b) 鋼纜索及光電板施工照片

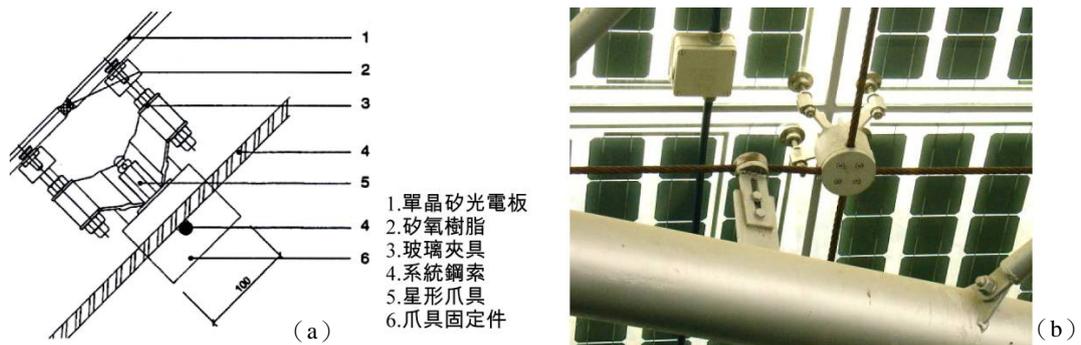


圖 29. 太陽能廣場：(a) 鋼纜索及光電板構件接合細部圖⁵ (b) 鋼纜索及光電板構件接合照片

5. 服務導覽中心

由骨架、圍封系統與附屬構造構成的服務導覽中心，主結構框架由 H 型鋼及矩形鋼管構成屋頂框架，由圓鋼管構成支撐屋頂框架的支柱。圓鋼管與屋頂框架在建築物的長軸向以鉸接方式連接。北向五組斜向鋼管支柱的地面端以鉸接方式接合至混凝土墩座，其餘垂直鋼管支柱則以剛接方式處理地面端基礎；在圍封系統的皮層構件中，外層大面弧狀屋頂面使用德國進口的綠色系統中空板（厚度 10 mm），二樓內層屋頂面以綠色預力錨釘雙層結構玻璃（厚度 10 mm+8 mm），二樓牆面則以綠色預力錨釘結構玻璃圍封（厚度 12 mm）；附屬構造主要有電梯及樓梯，其主要構件以 H 型鋼為主，如圖 30 所示。



圖 30. 服務導覽中心外觀

本案接合方式的探討可以分成兩個面向：二樓內層骨架與圍封之間的接合處理，透過桁架樑鋼管上弦焊接的二片三角形鋼板，以螺栓接合玻璃板背擋，另再以星形爪具與玻璃夾具以螺栓接合方式固定在三角形鋼板上部，內層屋頂面即透過玻璃板背擋及玻璃爪具兩種方式支撐，如圖 31 所示。另外，屬於附屬構造的樓梯構件之間的接合處理，以鋼板夾具（材質 sus304）支撐玻璃梯階面兩端至 H 型鋼的梯身構件上，梯階面的玻璃板中間的支撐以不銹鋼固定件與配合彎矩力的倒山形玻璃板背擋。另外，梯欄杆柱下端以鋼板（厚度 20 mm）直接焊接至梯身構件的 H 型鋼的腹板上，如圖 32 所示。

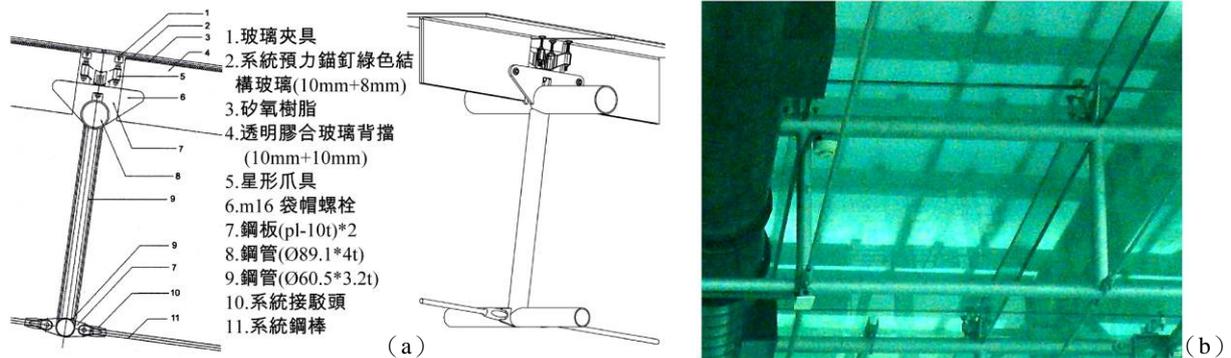


圖 31. 服務導覽中心：(a) 2 樓內層屋頂面細部及 3D 示意圖⁵ (b) 2 樓內層屋頂面細部照片

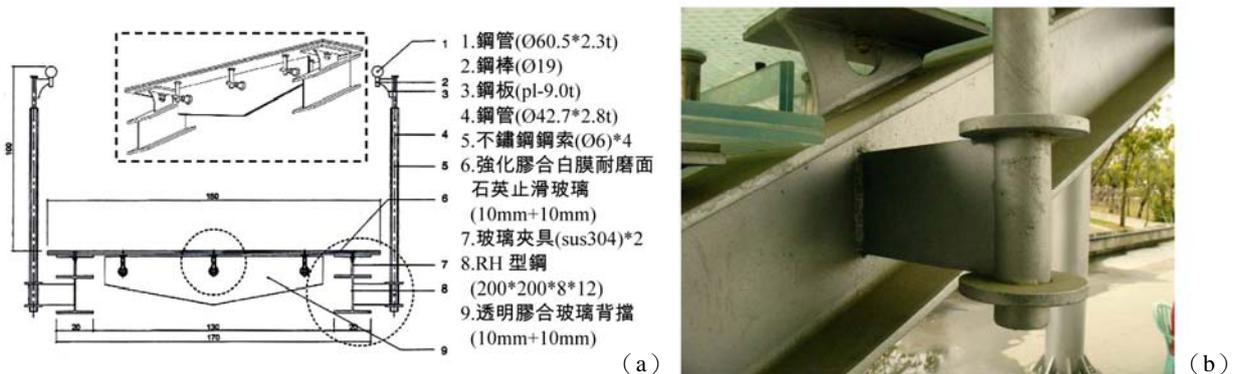
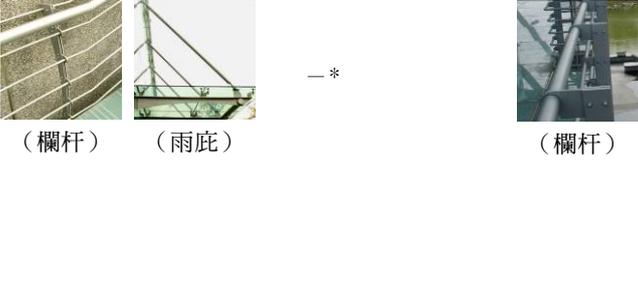


圖 32. 服務導覽中心—(a) 樓梯構造細部及 3D 示意圖⁵ (b) 樓梯構造細部照片

3-3 案例比較探討

透過三種構築系統的角度探討本土的鋼構造建築作品，顯示出了鋼構造構築思維逐漸轉變的構築方式，如下頁表 2 所示。比較重建導向與非重建導向案例在構築系統上的差異可以發現，震災後以重建目的為導向的鋼構造作品，為了因應重建的施工效率與防震的結構性能，大多強化了骨架系統的構築表現，並多以直線形式構成的幾何形發展結構框架，在這種以骨架系統為主的構築表現中，圍封系統的構築材料仍多以過去慣常使用的系統門窗、實木飾板、鋼承板灌注混凝土板等方式填入結構框架內。另一方面，在非重建導向的鋼構造案例上，骨架系統與圍封系統之間的關係，開始轉變了過去這種填入框架作法的構築方式，而是開始在骨架系統與圍封系統之間嘗試以不同構件與不同材料處理接合，骨架系統的幾何形式也開始出現非直線形的幾何結構框架。

表 2. 研究案例整體構築系統—形式匯整表

案例	震災後重建導向					非重建導向				
	潭南國小	民和國中		民國國小		南瀛綠都心公園				
	案例1 主體建築	案例2 教室區	案例3 圖書館	案例4 族群教室	案例5 專科教室	案例1 龍骨梯	案例2 綠光咖啡屋	案例3 半球溫室	案例4 太陽能廣場	案例5 服務導覽中心
構築系統	以直線形H型鋼為主要構件					以直線、曲線形式鋼管構件為主要構件				
										
圍封系統	以填入式圍封構件為主要構件					以構件組裝玻璃為主要構件				
										
附屬構造										
	(樓梯)	(樓梯)	(雨庇)	(遮陽)	(遮陽)	(樓梯)	(遮陽)	(樓梯)	(樓梯)	
										
	(雨庇)	(遮陽)		(遮陽)	(遮陽)	(欄杆)	(雨庇)			(欄杆)
	(欄杆)	(欄杆)								

*：案例中未包含此部分構件

進一步探討上述這種本土鋼構造構築方式的發展趨向在重建導向案例與非重建導向案例上的差異，以下再針對案例在構築系統中的構件特性與接合方式進行探討。在探討構件的處理特性上，區分成鋼材成品構件及訂製構件，其中的成品構件再區分成不改變鋼材制式規格、形式的不加工構件，以及藉由改變制式鋼材形式以完成組構的加工構件；訂製構件則是無法以單純加工方式處理鋼材，而需特別訂製或開模製造的構件。而在探討接合方式上，則區分成需要現場工匠技術進行焊接以及採用預製方式進行計劃組裝的兩種接合手法，如下頁表 3 所示。

在重建導向的案例中，除了民和國中教室大樓（案例 2）、民國國小專科教室（案例 5）在骨架系統中的 SRC 柱頭，是利用鋼板焊接加工而成的鋼製柱頭構件，並以輔以現場焊接方式進行接合之外，在以重建為導向的案例中，主要構築方式多是以成品構件為主，並透過中介支承板以螺栓接合的預製組裝方式進行建造，因此構築性表現呈現工業化的特徵。在非重建導向案例中，綠光咖啡屋與服務導覽中心，骨架與圍封系統是以不加工的鋼材組構而成，呈現出構件使用的系統化。但其他三個案例則使用較多的

非系統化的構件，在龍骨梯案例中，其組構構件均為加工後的構件（龍骨鋼管、弧形碳鋼管、鋼翼板）；而在半球溫室案例中，除了玻璃爪具為成品構件外，其餘在骨架、圍封系統上使用了加工構件（半拱形鋼管）與訂製構件（懸臂式夾具）；在太陽能廣場中，在骨架系統上使用了加工構件的鋼管，在圍封系統上使用了訂製的光電板膠合玻璃。在接合方式中則可以發現骨架系統、圍封系統與附屬構造三者之間的接合方式是以工匠技術介入的現場焊接方式多於預製組裝方式，非重建導向案例中的半球溫室與服務導覽中心，在骨架與圍封系統所構成的建築整體上考慮了預製組裝的構築方式；二個不使用系統化構件的龍骨梯與太陽能廣場案例，整體組構是藉由本土鐵工匠現場焊接技術；案例中的綠光咖啡屋案例，其在材料上使用了系統化的構件，但在接合方式的處理時，又必須透過工匠的現場焊接處理骨架系統（鋼管桁架）、圍封系統（玻璃板）與附屬構造（鋁百葉、雨庇）之間的接合，呈現出工藝化的構築手法。

表 3. 研究案例整體構築性分析表

案例	構築分析	骨架系統 構造形式		構件 特性			接合 方式		構築性表現	
		主要構件	構件形式	成品	成品 加工	訂製 構件	現場 焊接	預製 組裝	工業化	工藝化
1	潭南國小	H型鋼	直線	.				.	.	
2	民國中一 教室大樓	H型鋼	直線		.		.	.	.
3	民國中一 圖書館	鋼管 H型鋼	直線	.				.	.	
4	民國小一 簇群教室	H型鋼 C型鋼	直線	.				.	.	
5	民國小一 專科教室	H型鋼	直線	.	.		.	.	.
6	南瀛綠都心一 龍骨梯	鋼管	曲線		.		.			.
7	南瀛綠都心一 綠光咖啡屋	鋼管	直線	.			.			.
8	南瀛綠都心一 半球溫室	鋼管	曲線		.	.		.	.
9	南瀛綠都心一 太陽能廣場	鋼管	直線 曲線		.	.	.			.
10	南瀛綠都心一 服務導覽中心	鋼管 H型鋼	直線	.	.		.	.	.

因此，透過對各案例構件特性、接合方式的比較後發現，在重建導向與非重建導向的鋼構造案例之間，其整體構築性的表現呈現出一種工業化與工藝化的基本差異。藉由對於構件特性與接合方式的比較，以及兩類型案例在整體構築性表現上所具有的工業化與工藝化的差異下，將構築細部的處理歸納出下述八種具表現性的鋼構造構築手法，如表 4 所示。第一種手法是鋼板加工構件的柱樑接頭，利用鋼板構件焊接構成 SRC 柱上端接合 RH 型鋼樑的整合式接頭，透過柱樑接頭亦可以整合屋頂上的雨水天溝以及雨水排水管；第二種手法是不同向度支撐鋼管的柱樑接頭，利用鋼管構件以螺栓的方式將上揚屋頂面的 RH 型鋼樑框架與垂直向的 SRC 柱接合，並藉此留設出教室空間內側向高窗的部位；第三種手法是內外兩層鋼構框架的錐狀屋頂棚架，透過鋼管構件連接內外兩層的型鋼構件，並利用型鋼構件的方向性（T 型鋼、

H 型鋼)，將實木格柵構件接合至型鋼構件上；第四種手法是處理水平向度承重玻璃板的玻璃爪具，將圍封系統在垂直向度上常使用玻璃爪具手法用於水平向度可承重的梯階面玻璃上；第五種手法是結構框架與強化玻璃背擋、玻璃爪具的組合，以強化玻璃構件及玻璃爪具作為水平向度屋頂玻璃板的支撐構件，呈現出構件使用的變化性，並可藉由玻璃構件的透明特性及爪具的輕質特性創造出結構的透明性；第六種手法是懸臂式支架與玻璃爪具的組合，透過訂製的懸臂支架構件連結主、次結構的圓鋼管，並以懸掛方式支撐圍封系統，呈現出外露骨架的表現性；第七種手法是鋼纜索系統與玻璃爪具的組合，以具輕質特性的鋼纜索系統支撐圍封系統，形成骨架與皮層構件之間接合的張力效果；第八種手法是以不銹鋼固定件、鋼板夾具與結構玻璃背擋的組合，以強化玻璃構件作為梯階面下部的支撐構件，透過系統化夾具的組裝式處理，達成結構透明的特色。

表 4. 具形式表現性的細部構築手法表

圖示	手法說明	組構關係
	鋼板加工構件的柱樑接頭	S-S
	不同向度支撐鋼管的柱樑接頭	S-S
	內外兩層鋼構框架的錐狀屋頂棚架	S-S
	水平向度承重玻璃板的玻璃爪具	S-A
	結構框架、玻璃爪具、強化玻璃背擋的組合	S-E
	懸臂式支架與玻璃爪具的組合	S-E
	纜索系統與玻璃爪具的組合	S-E
	玻璃固定件、結構玻璃背擋與玻璃夾具的組合	S-A

在上述這八種手法的組構關係中，如表 4 所示，可以看出皆以骨架系統為組構基礎，在重建導向的案例中，設計者主要的構築表現的都是骨架（S）與骨架（S）之間的組構關係，但在非重建導向的案例中，構築手法的表現嘗試在骨架（S）、圍封（E）、附屬構造（A）三者之間進行處理，且在同樣的組構關係中，設計者也開始嘗試以不同的構件形式以及接合處理來表現鋼構造構築特性時，構築手法開始藉由鐵工匠的焊接技巧，呈現了較多的工匠式的「工藝化」構築特色。

透過對於上述案例整體構築系統與細部構築手法的比較可以發現，初期重建導向案例中「工業化」偏多的構築性表現，逐漸轉變到後來非重建導向案例中較具「工藝化」的構築性表現。在重建導向的案例中，潭南國小的設計建築師姜樂靜為了訴求學習布農族祖先的搭接工法以及節能、優良環保的概念而選擇以鋼構造為主要工法；民和國中與國小的設計建築師林洲民為了訴求構材的知性辯證而選擇以結構體外露的鋼構造，以提供最經濟的斷面積與豐富的造形（劉育東等編，2006），在這樣的設計訴求下，鋼構造工法仍以工業化概念的預製組裝方式為主。而在非重建導向的案例中，南瀛綠都心的設計建築師葉世宗在訴求鋼構造的輕盈特質下，自行進行細部接頭設計以彌補台灣鋼構廠商無法處理的構件設計問題，並為了避免造價過高而使用本土的工法進行實踐（張有一，2008）。設計者為達成鋼構造的表現性，開始結合了人力成本較國外低廉的本土鐵工匠現場焊接的技術以進行細部接合的設計，藉此也可以看見 1970 年代高科技建築發展下普同認知的鋼構造建築，其構件系統化及預製組裝的工業化特色，在台灣本土反而融入了較多設計者設法解決形式問題的工藝化特色。設計者為達成鋼構造空間形式的表現，以加工構件或是訂製的構件配合現場焊接工法來處理鋼構造的接合處理。

四、結 論

透過對於研究案例中鋼構造構築形式的探討，在震災後重建導向的案例中，潭南國小將布農族家屋傳統的木構造轉化成鋼構造的骨架系統，不僅透過骨架系統明確的表達出設計意涵，也清楚呈現出圍封材料填入骨架系統的構築手法；民和國中教室區（東西長向）以及民和國小的專科教室（南北長向），在骨架系統、圍封系統以及附屬構造三者之間幾乎使用相同的構築手法，除了在柱頭與遮陽部位上表現出使用工業化構件的構築表現外，對於地域環境的考量似乎未能反應在構築手法的表現上；民和國中圖書館以及民和國小的簇群教室，透過雙層鋼構框架的錐狀屋頂形式，呈現了鋼構造在骨架系統上可以呈現的形式彈性，也透過鋼構件的特性整合實木材料的接合處理。在重建導向的五個研究案例中，可以發現設計者在骨架系統上的強調，表現出了反映重建時效及結構性能的鋼構造構築形式。

在非重建導向的案例中，龍骨梯的主要構築元素—龍骨鋼管，以厚重的構件支配了整體的構築形式，附屬構件的樓梯元件再以輕巧的方式依附在主結構鋼管上；綠光咖啡屋藉由內部的骨架系統與鋼纜索系統支撐外部的圍封系統，使其玻璃板構件得以透明方盒的外觀形式融入環境；半球溫室的骨架以外露的方式表現了球面構築形式的變化性，也藉此形式發揮了在公園地景中柔化街道轉角的功能；太陽能廣場簡單的外觀形式是以鋼管骨架結合能源科技的太陽能電池所構成，背後的構築技術是本土自行施作的玻璃膠合光電池技術以及緊湊佈置的鋼纜索系統，以達成其外在形式的簡潔感；服務導覽中心則是透過對於大跨度鋼構造的掌握，以上揚的大面曲線屋頂引進通風效果，並同時考量空間機能與建築物物理環境而產生的高腳屋造型，創造一個具景觀連接意義並可供活動使用的場所。在非重建導向的五個研究案例中，設計者均以不同的構件以及接合方式來表現出考量技術及地域環境的鋼構造構築形式。

透過鋼構造組構關係與接合方式的分析，台灣目前鋼構造構築表現中的這種工業化與工藝化交互運用的情形，即是因為受到本土的鋼構件成本與技術的限制，所以無法像國外的鋼構造普遍使用由廠商整

體開發出的成品與構件進行構築行為。在西方國家以組構系統化產品的方式進行建造的過程，在台灣卻因為構件的成本考量而必須融入人工成本相較於國外低廉的工匠技術，西方國家鋼構造建築的「工業化」構築方式在台灣又融入了現場工匠技術的「工藝化」表現，這樣的鋼構造構築方式在西方國家不僅不易實現，整體鋼構造建築的組構品質也較無法精確控制，若是設計階段對於整體結構系統化思考的不明確，極易造成構築邏輯的紊亂現象。但是相對的，在相較於國外工業化系統組裝的表現性上，台灣本土所擁有的工藝化技術條件，也能使得設計者在細部處理上可以表現出更多的主觀設計意涵與地域特色。

在羅 (Colin Rowe, 1920-1999) 與柯特 (Fred Koetter, 1938-) 所撰的《拼貼城市》(Collage city) 中曾引用當代著名的文化人類學家李維史陀斯 (Claude Lévi-Strauss, 1908-2009) 的說明：「在我們中間仍然存在著一種行為，從技術層面來講，它使我們很好地理解什麼樣的科學是我們傾向稱作爲『先驗』的，而不是從思維層面所認爲的『原始的』，這就是通常在法語中所稱的『拼湊』(bricolage)」(Rowe & Koetter, 1984, p. 102)。透過本文的案例分析可以發現，設計者因為建造經費、施工技術等因素影響，其爲表達鋼構造構築特色的呈現，只能利用現品或自行在預算限制下進行接合細部的構築手法，由受限制的觀點來看，無論是在材料的使用層面、構件的設計層面、以及細部接合的處理方式上，均可以發現台灣目前鋼構造的構築方式呈現出這樣的「拼湊」手法：在條件與技術限制的情況下，利用可以取得的現有材料及可以掌握的工法進行設計需求的處理，呈現出同時表現工業化與工藝化構築性的鋼構造建築。

誌謝

本研究爲行政院國家科學委員會專題研究計畫之部分研究成果，編號：NSC 97-2211-E-011-114，承蒙經費補助，特此銘謝。

註釋

1. 圖 1：Frampton, K. (1995). *Studies in tectonic culture* (p. 85). Cambridge, Mass.: MIT Press.
2. 圖 4 (a)、5 (a)、5 (b)：姜樂靜建築師事務所提供。
3. 圖 4 (b)。圖源：姜樂靜建築師事務所 (2001)。潭南國小。《*建築師*》，27 (12)，68-75。
4. 圖 7、8 (a)、9 (a)、11 (a)、12 (a)、14 (a)、15 (a)、16 (a)、18、19 (b)。圖源：仲觀聯合建築師事務所 (2004)。南投縣民和國中。《*傢飾雜誌*，特刊》，60-71。
5. 圖 23 (a)、24 (a)、26 (a)、28 (a)、29 (a)、31 (a)、32 (a)。圖源：葉世宗建築師事務所 (2008)。建築結構 台南縣南瀛綠都心。《*傢飾雜誌*，特刊》，120-129。

其餘未標示圖面爲本研究拍攝、繪製。

參考文獻

1. Frampton, K. (1995). *Studies in tectonic culture*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
2. Reichel, A., Ackermann, P., Hentschel, A., & Hochberg, A. (2007). *Building with steel*. Munich: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co.
3. Rowe, C., & Koetter, F. (1984). *Collage city*. Cambridge, MA.: MIT Press.

4. Schulitz, H. C., Sobek, W., & Habermann, K. J. (2000). *Steel construction manual*. Birkhauser Basel & Boston.
5. Semper, G. (1989). *The four elements of architecture & other essays*. (H. Mallgrave, & W. Herrmann, Trans.). New York: Cambridge University Press. (Original work published in 1851)
6. 張有一 (2008)。南瀛綠都心鋼構造建築之構築研究 (附錄一：葉世宗建築師訪談記錄)。未出版之碩士論文，國立台灣科技大學建築研究所，台北市。
Chang, Y.-I. (2008). *A tectonic study of the steel-construction of Nan-Ying Green City in Tainan county*. Unpublished master's thesis, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei. [in Chinese, semantic translation]
7. 劉育東/主編 (2006)。全球在地化台灣新建築 2000-2005。台北市：藝術總經銷。
Liu, Y.-T. (Ed.) (2006). *Glocalization - New architecture in Taiwan 2000-2005*. Taipei: First Page Publications. [in Chinese, semantic translation]

Glass and Steel Architecture in Taiwan Following the 1999 Earthquake

Chih-Ming Shih* Yu-I Chang** Wen-Chun Ho***

* scm@mail.ntust.edu.tw

** changyuyi@gmail.com

*** wishho@msn.com

Abstract

In the wake of the major earthquake which struck the island on September 21, 1999, glass and steel construction techniques have increasingly been adopted for the design of low-rise buildings in Taiwan. At the same time, architects have begun to experiment with regionalized forms of glass and steel architecture, resulting in more expressive architectural techniques which are distinct from those previously used for high-rise buildings.

This paper adopts the tectonic perspective to make an in-depth examination of the expressive forms relating to the glass and steel building techniques utilized by the new generation of architects in the design of low-rise structures in post-earthquake Taiwan. An analysis of the skeletal systems, enveloping systems, and attached members of a number of glass and steel structures was undertaken in order to elucidate the compositional relationship between the elements of each system and how they are assembled. It was found that in comparison to the industrial architectural practices of other countries which rely heavily on standardized component systems, due to cost differences of components and labor, the steel and glass buildings of Taiwan make extensive use of technical welding and exhibit a kind of tectonic *bricolage* characterized by the extensive use of locally available materials and skills.

Keywords: Tectonic, Steel-structure Architecture, Contemporary Architecture in Taiwan.