

輕型鋼結構模矩化設計方法論

陳上元¹ 劉泰佑¹ 蔡立偉²

(¹逢甲大學建築專業學院研究所；²逢甲大學土木及水利工程博士學位學程)

摘要： 全世界發展輕鋼結構房屋已有數十年之久，惟其關鍵技術乃在於建立一個經濟、快速、有效的連接系統。本研究利用本文作者自行發明的專利“輕鋼構建築物結構”之 C 型鋼連接系統並導入 BIM 系統應用於輕鋼結構模組化設計之研究。本研究提出輕鋼結構最佳模矩化設計方案，自設計端解決製造及施工端所可能發生之問題，達到降低施工總成本、減少總工期及避免產生的困擾，意即面向製造和裝配的設計(DFMA)。再搭配本研究建立的鋼結構施工手冊，可做為施工流程之指引及降低人為判斷錯誤之行為，加強施工效益及效率，使其過程符合經濟、快速、環保。本最佳模矩化設計方案針對輕鋼結構建築非常實用，可建造使用者滿意、維護容易、結構安全之中低樓層建築。

關鍵字： 輕鋼結構、模組化設計、建築資訊模型、裝配式建築、開放式建築

1. 缘起与目的

臺灣近十多年來，應用冷軋型鋼於建築物的情況，已相當普遍，冷軋型鋼構材使用的範圍也相當廣泛，如樓板、帷幕牆之支撐系統、建築物內之輕隔間、工廠、餐廳及一般住宅等。諸如此類的輕鋼構建築，絕大多數係以冷軋型鋼材料組合而成，方便、迅速且品質輕，地震發生時所造成的搖晃程度，亦較鋼筋混凝土構造輕微，是較有安全感的建築構造型式。此外，鋼構造建築之耗能量，僅為混凝土構造之 83%，二氧化碳排放量僅為其 71% [1]，就環境保育觀點而言，鋼構造非常適合在地震帶地區推廣採用。其研究目的如下：

- 全球輕鋼構建造日愈大量需求的情況，建立一個有效的連接系統，將 BIM 的觀念應用此連接系統 [2-3]，並導入輕型鋼結構模組化設計，透過 BIM 系統的整合，將提出最佳模矩化設計方案。
- 應用鋼結構具有高強度、高韌性、耐震性佳及施工迅速等特性，由建築生命週期之推估，從材料生產、施工建造、維護使用及拆除回收再利用，利用建築模型資訊化的特點延伸鋼結構組裝圖(組裝程式步驟)。

2. 文献回顾

輕鋼構 (Light-gauge Steel-framed, LGS) 建築是一種工業化、輕量化且高品質的綠色建築工法，從 1940 年開始廣泛使用，美國輕型鋼構建築在推廣之初，1992 年只有 500 棟，1998 年成長為住宅市場的 10%，2000 年已達 20%。在澳洲市場佔有率為 15%，且每年均卓越成長。日本為防火、耐震、耐久的高品質住宅，並同時提供較低的火災、地震保險與房屋稅等優惠方法。LGS 建築雖然名為“輕鋼構”，但是耐震性能卻在一般的鋼筋混凝土建築之上，相較之下，LGS 建築可減少對砂石的需求、施工時期縮短一半，也可減少勞動成本，同時安

全性也高，並可減少 30% 二氧化碳排放量，在到達使用年限而必須拆除時，主結構可以再回收重新利用。輕鋼構建築運用在新建的建築裡，大多為搭配混凝土結構的形式，而全模組化的輕鋼構件運用於建築的案例更為鮮少。與混凝土結構相較之下，輕鋼構之優點不僅重量少於混凝土結構的 30% 至 50%，又因斷面小較小因此兩者相比之下，可增加建築有效面積 8%，因此輕鋼構建築可為未來建築之發展方向[4]。

3. 竹節式鋼結構概要

本研究之竹節式鋼構，旨在利用現有成熟技術及材料規格，其中使用國際標準規格的皿頭內六角螺絲及拉帽使用連接器載體將 C 型鋼連結成一系統。此系統之特點，組裝容易且施工性能佳。本研究利用此系統特點將這四種構件三維資訊化、結構杆件參數化並加入模矩參數與邏輯判斷式(圖 1)。

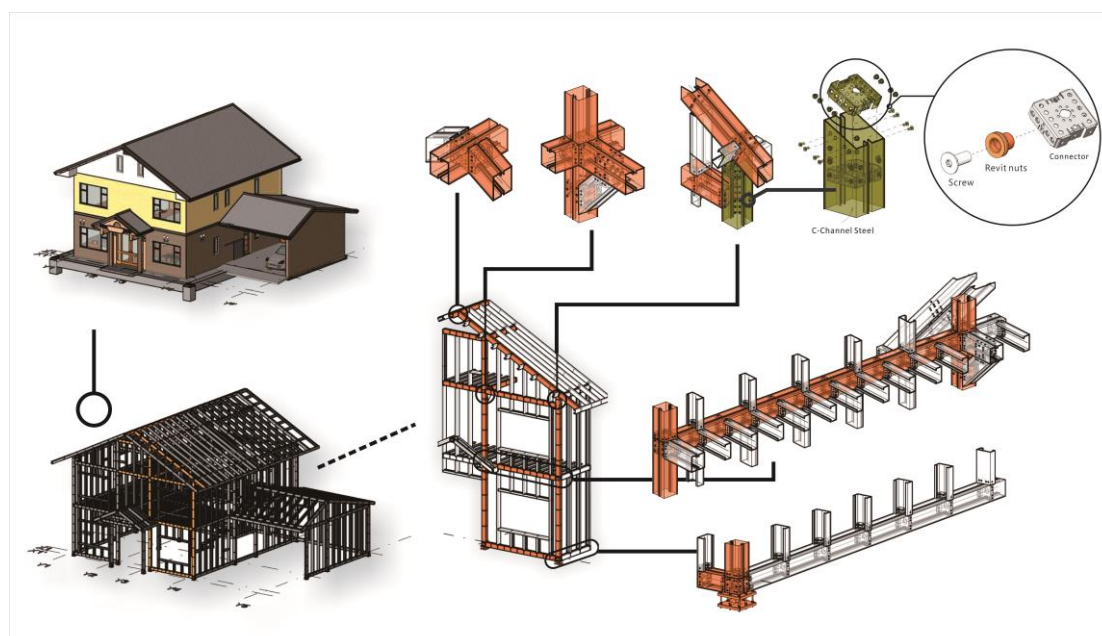


圖 1 連接器模矩化設計概要圖

- **C 型鋼特性**：金屬電鍍或熱浸鍍鋅防銹而不可焊接，C 型鋼經熱卷板冷彎加工而成，壁薄自重輕，截面性能優良，強度高，與傳統槽鋼相比，同等強度可節約材料 30%。C 型鋼廣泛用於鋼結構建築的檁條、牆梁，也可自行組合成輕量型屋架、托架等建築構件。
- **模矩概念**：使用模矩，便於加工容易組構簡單，進而使建物擴建與空間延展彈性強。運用模矩尺寸可使內外封裝材互相搭配，達到構件組裝容易及省料之目的。

3.1 設計方法與步驟

- **參數共用之設定**

本研究採用 Revit 結構杆件的族群設計方法，族群是具有共用性質（稱為參數集）和一個相關圖形表現法的元件群組，因此透過族群參數能夠建立構件與屬性資料的關聯性[5,6]。本研究之系統，包含螺絲、拉帽、及連接器載體皆為單一個體模型，使用共用的設定可讓層迭的五金組合構件不致重複計算或遺失(圖 2)。

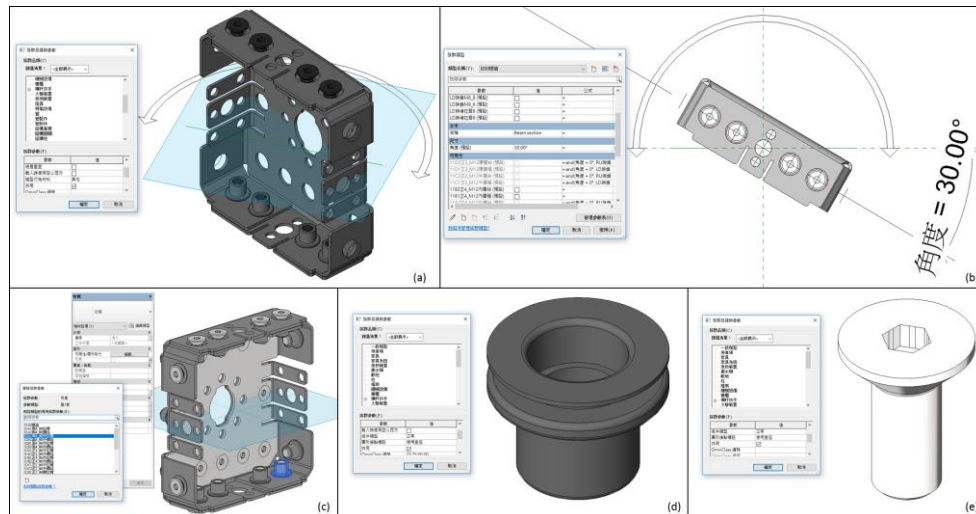


圖 2 族群參數之設定

● 結構杆件的設計

結構杆件中有柱、結構框架(梁、椽)，使設計與製造精確，最終必須完美產出材料明細表；因此設計單一杆件必須有通用性、真實性、模矩化的規律性。為達到通用性，杆件設計就必須加以邏輯性的選擇與判斷(圖 3-a,b)。真實性是讓設計過程容易判斷設計有無錯誤或干涉。模矩化的規律性，是杆件可以因長度拉伸改變而自動計算產出(圖 3-c)。

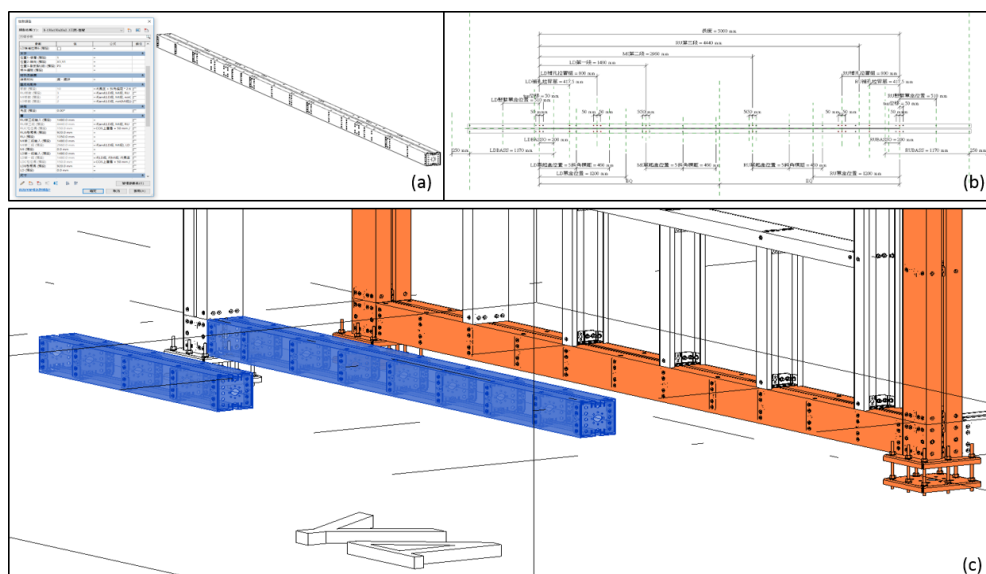


圖 3 結構杆件的設計

● **模矩式設計**

平面: 平面模矩安排，須以外牆陽角為計算範圍，國際板材尺寸皆在 915x1830 mm、1220x2440 mm 尺寸為主，因此模矩基數會是 305mm。本研究所使用模矩方塊週邊線即是底板封裝完成面，因此實務面柱中心至柱中心就不是模矩倍整數(圖 4-a)。梁的拉伸起始與結束的連接器必須選擇對稱(圖 4-b)，因此封板時能將板之縫對接於杆件之上。

立面: 在設計立面高度時也儘量讓封裝底板為 305 模矩數。有此思考模式可形成封板鎖裝系統，牆面或地板杆件加裝拉帽，以模矩點利用鎖裝容易的鎖板華司將板材固定於結構體上(圖 4-c)

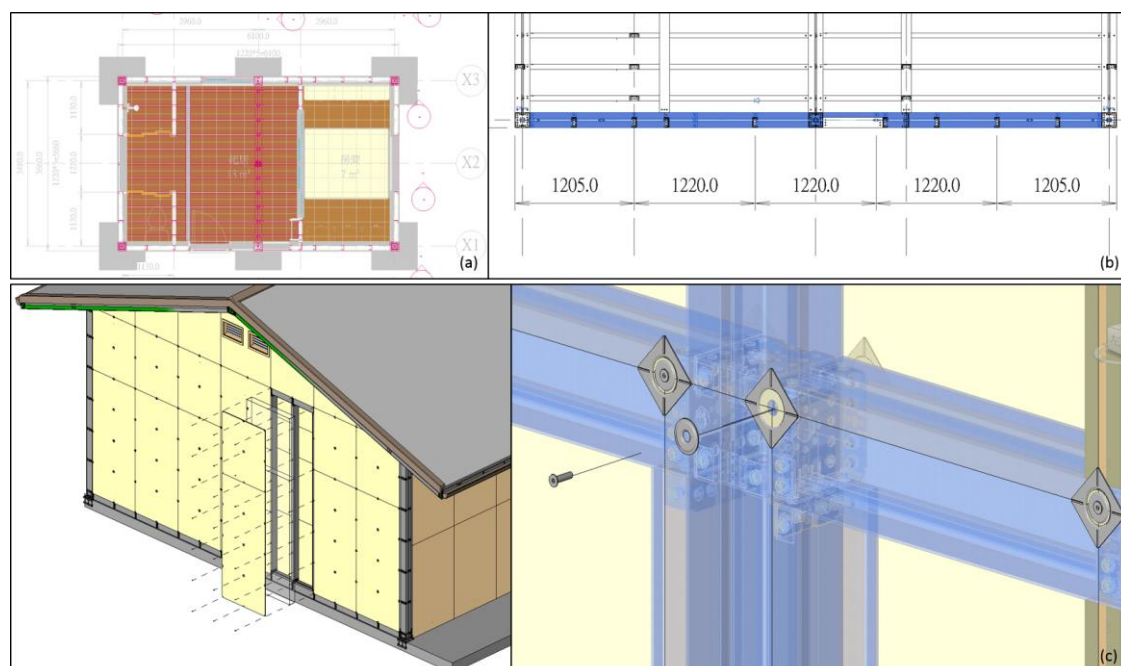


圖 4 模矩式設計

3.2 生產設計

快速 C 鋼的生產: 所有建築用材產業中最有效率的生產方式應該就是 C 型鋼滾壓快速成型(圖 5-a)，C 型鋼成型機由裝料架、整形系統、成型系統、校正系統、電腦控制系統、液壓系統、沖孔、剪切系統組成，所生產的產品廣泛應用於鋼結構標準廠房及各種簡易棚等場合，是製作鋼結構單位不可缺少的設備之一。C 型鋼機用於將連續的鋼管線上切斷成預先設定長度的成品管，採用非接觸數位感測器，IPC 和 IPC 控制，定尺精度高。

模矩化的設計可產生真確的明細表與滾壓成型機數字對接而自動化生產，因此要讓房屋經濟、快速、安全與工業化，生產方式與設計是必須要考慮的。本論與實作中的杆件設計就可很明確在明細表產生(圖 5-b)。



圖 5 快速 C 鋼的生產與名細表產生

4. 结论与建议

輕鋼構建築對於環境百利而無害，期能盡速訂定適合對臺灣環境所需的輕鋼構建築規範，促進市場需求之輕量化建材的研發量產，使其生產過程符合經濟、快速、環保，成為使用滿意、維護容易之低層耐震建築主流。從能源再利用的觀念，如何以最節約能源、最有效利用資源的方式，在最低環境負荷情況下，提供最安全、健康、效率及舒適的居住空間，並將建築材料回收再利用，以達到人及建築與環境共生共榮、永續發展。本研究提出以下結論：

(1) 本研究將建造服務透過 BIM 的整合，建造過程資訊化透視化，使建造團隊與業主做最緊密溝通與減少矛盾與錯誤點。一般業主鮮少是接受過讀圖與識圖的能力，唯有透過快速的 APP 資訊提供業主 3D 與實境虛擬，才能達到客戶最精准的需求。(2) 鋼構材遠勝於其他建築方式的構材；而鋼構材中又以 H 型及 C 型鋼構建材為最可能回收利用，將 H 型及 C 型鋼有系統計畫的推展於低層建築，對國家整體自然環境，減少資源的浪費，以加速綠建築的推廣。

4.1 建議

輕鋼構建築的運用在國外已甚為普及，如美、日等多國政府亦訂定其相關的規範，而國內雖然已有輕鋼構建築，卻無相關規範的訂定，以致於產生適法上的問題。由本分析得知，輕鋼構建築對於環境百利而無害，期能盡速訂定適合對臺灣環境所需的輕鋼構建築規範，促進市場需求之輕量化建材的研發量產，使其生產過程符合經濟、快速、環保，成為使用滿意、維護容易之低層耐震建築主流。也希望此種構造與容易組裝的形式，成為開放式建築的主流架構，讓建屋不再是困難之事，讓年輕人期許著一個比較輕鬆的家營建過程。

The Design Methodology of Light Gauge Steel Structure Modular

Shang- Yuan CHEN¹ Tai-Yu LIU¹ Li-Wei CAI²

(¹Feng Chia University Department of Architecture, ¹Feng Chia University Department of Architecture, ²Feng Chia University Department of Civil and Hydraulic Engineering)

Abstract: The LGS structure building technology has been developing worldwide for decades. The critical technology of the LGS structure building is to develop an economic, fast, and effective connection system. In this study, the author uses the C channel steel connection system of his own invention patent “LIGHTWEIGHT STEEL CONSTRUCTION” for an LGS modular design program study, in which the BIM system technology was introduced. This paper proposed an optimal design program for LGS structure modular, which from the design stage can solve all the issues that may happen during the manufacture and construction stages, i.e., Design for Manufacturing and Assembly (DFMA), to save cost, time, and troubles. In addition, the use of the developed LGS structure construction manual in this paper to guide the construction process can reduce the human errors and enhance the construction benefit and efficiency to achieve an economic, fast, and environmentally sound process. This proposed optimal modular design program is very useful for the LGS structure construction of the low to medium- rise buildings that are customer satisfying, easy maintenance, and structurally safe.

Keywords: LGS, Modular design, BIM, Prefabricated construction, Open Building

参考文献

- [1]陳瑞玲. 林憲德, 建築產業生命週期二氧化碳減量評估應用之研究, 2008:5-17
- [2] Dongping Cao. Guangbin Wang. Heng Li. Martin Skitmore. Ting Huang. , Weiyu Zhang., Practices and effectiveness of building information modelling in construction projects in China, 2014:113-122
- [3] Farzad Jalaei. Ahmad Jade., Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. 2015:95-107
- [4] Steel and Composite Structures, Research on cold-formed steel connections: A state-of-the-art review, Volume 20, Issue 1, 2016:21-41
- [5] Hyun Woo Lee. Hyuntak Oh. Youngchul Kim. Kunhee Choi., Quantitative analysis of warnings in building information modeling (BIM), 2015:23-31
- [6] Mehmet Yalcinkaya. Vishal Singh., Patterns and trends in Building Information Modeling (BIM) research: A Latent Semantic Analysis. 2015:68-80