

第五章 結論

5.1 研究結論

本研究結合「數位媒材」和「傳統媒材」在新與舊之間相互影響下思考新的可能，並且透過 CAD 和 CAM 來落實整個研究的構想，從電腦上進行設計到 RP 製造生產實體的模型建立一個數位構築的機制，提出當代自由形體組裝設計上新的方向。

傳統木構接合系統在研究中作為接頭設計的原型，所有發展出的接頭都來自於傳統木構，在分析木構接合系統的過程中發現其組裝構造時只需單一的材料也就是木材，無其它五金鐵件的輔助下，運用本身的接頭形式及可穩固接合處，如此精明的構造法卻因時代的交替，被其它的材料、工法所取代，但因近年來 CAD/CAM 技術蓬勃發展，提供給傳統木構接合系統一個嶄新的機會，重新發展的可能。因此，在透過分析和歸類傳統木構接合系統後，本研究透過 CAD/CAM 技術發展傳統木構接合於新的應用，研究的結果可以分成「數位接頭設計」和「接頭設計流程」兩方面來談。

「數位接頭設計」主要從傳統木構接合系統中，在符合傳統木構接合的特點下所採用的四類傳統木構接合，在 3D CAD 的環境中進行接頭的設計，精確的電腦化設計接頭過程擺脫舊有的限制。針對研究所提出自由形體組裝的議題，在 Maya 內發展接點接頭和接縫接頭分別提供給自由形體的骨架和表皮的組裝。完整紀錄接點接頭和接縫接頭在 Maya 內在製作的方式和列出製作過程的問題和解決的方法，並在反覆的測試下使其製作的方式更加精闢。透過兩個自由形體組裝上的範例，來檢驗接頭的適用性，從範例所提供的結果探究更多組裝上未浮現的問題，因而顯露出每個接頭適用於何種狀態下的組裝，此驗證過程可使設計出的接頭了解其適用之處。

「接頭設計流程」主要是將所設計出的接頭輸出實體的模型來測試組裝，並清楚的描述 CAD/CAM 之間轉換的過程，從 Maya 所設計出的數位接頭模型要轉換至 RP 裝置輸出實體的接頭模型，這間所需具備的條件逐一的列出。此外，透過 RP 裝置可輸出不同比例的接頭模型來測試組裝，因而得知何種尺度模型組裝時最為穩固，並從最小尺度的模型中可能得知 ABS 材料的精確度，在衡量輸出適宜的尺度和精確度的模型，可有效的節省材料的費用。流程的步驟是缺一不可的，如其中 stl 檔案所需條件三角平面、封閉型體和法向量朝向一致，若是在 Maya 內接頭模型未做好轉檔設定，將導致無法輸出實體模型或者是輸出後模型毀損的結果。因此建立此流程將提供模型可以正確的輸出，降低成本損耗風險和提高整體的工作效率。

數位媒材在設計的過程與設計的方法上不斷的扮演重要的角色，CAD/CAM 根本的改變建築物的造形、建造工法和生產流程成為建築設計領域的未來新趨勢。本研究將傳統木構接合系統從新發展新的應用，並且建立設計方法與流程的機制，提出一種新的可能適用於當代自由形體的組裝。

5.2 研究貢獻

透過整合和分析傳統木結構接合系統後，CAD/CAM 的輔助下傳統木結構接頭有了新的型態，研究所發展出的相交接頭和接縫接頭提供給了自由形體的骨架以及表皮在組裝上可能的新方向。近年來 CAD/CAM 的應用逐漸的滲入建築設計的過程，數位設計的方法已成為目前建築教育課程上重要的指標。本研究的成果建立了數位設計的方法以及數位製造生產的流程，無非是提供給建築教育在正為興盛的數位設計領域上參考的依據，並透過本研究的初探數位建造願導入更多的研究者及設計師可以探討更多數位設計的方法提供給自由形體建造上新的可能。

■ 研究成果：

- (a) 傳統木結構接合系統應用於自由形體組裝。
- (b) 提供四種接頭原型於自由形體骨架和表皮組裝可能的方式。
- (c) 建立了接頭數位設計的方法及流程。

■ 後續影響：

- (a) 提供給建築教育在數位設計課程上參考範例。
- (b) 提供給設計師及建築師在自由形體建造上的新的方向。
- (c) 激發更多研究者或者其他領域的學者探討數位設計的方法。



5.3 研究限制

本研究所探討自由形體組裝的議題，在 RP 裝置在尺度上受限於該機型最大輸出尺寸 8*8*12 立方英吋，無法製作完整比例的自由形體模型僅能製作局部的實體接頭模型，並且所設計出的接頭還處於實驗和測試的階段，尚未應用於實際的案例中。結合傳統木構接合系統來發展新的接頭應用於自由形體的組裝，研究所發展出的設計的方法和流程，只針對研究所探討的議題並非廣泛的數位設計的領域。研究所設計出的接點接頭和接縫接頭，僅各有兩個原型，主要在於此接合的方法仍處於初探性的構法，研究目的是提出此類的設計方法和製造流程來思考不同的數位建造方向。

5.4 未來研究

基於傳統木構接頭的多樣性，我們建議後續研究可以討論有關生產力的領域上，例如形狀文法(shape grammar)和基因演算(genetic algorithms)在電腦的運算下生產更多可能的組裝方式。研究著重於發展自由形體的組裝方法，其他關於組裝後在結構上可能面臨的問題，例如：在測

試接縫接頭應用於自由形體表皮組裝時，組裝的順序影響著接頭設置的類型，並且如何決定組裝的排列順序才能形成最佳的構造，使自由形體可以承受不同壓力、拉力及扭力的研究議題。本研究所建立的數位設計方法及數位製造生產流程的架構，仍需倚賴設計者進行絕大部分的操作，如何有效的減短操作步驟，使流程可以自動化是目前數位設計較為不足的，而現今也有研究者開始投入此方向的发展，例如 Dritsas 在 2004 年所發展的電腦程式 MiranScript，有效的縮短自由形體在電腦內製作骨架的過程，將其繁瑣的操作步驟自動化。



參考文獻

〔英文部分〕

- Bozdoc, M. CAD-History. [Online]. Available: <http://mbinfo.mbdesign.net/CAD-History.htm> (Feb. 18, 2006).
- Bunge, E. and Hoang, M. Architecture & Concept(2005, Jun). [Online]. Available: <http://www.narchitects.com/frameset-ps1.htm> (Jan. 4, 2006)
- Burry, M. 2004. The Sagrada Família west transept rose window, a rapid prototype. Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA.): Digital Fabricator. Waterloo, Toronto. Coach House Press. pp. 10-15.
- Fernandez, J. Building Technology III: Building Structural Systems, Fall 2004. [Online]. Available: <http://www.myoops.org/twocw/mit/Architecture/4-463Fall-2004/CourseHome/index.htm> (Jan. 12, 2006)
- Franken, B. 2003. Real as Data. Architecture in the digital age: Design and Manufacturing. Upenn. Spon Press. pp. 121-138
- Gehry, F. and Mitchell, W. 2001. Frank Gehry, Architect. Distributed Art Pub Inc. U.S.A.
- Giedion, S. 1967. Space, Time and Architecture-The Growth of a New Tradition, Fifth Revised, Enlarged Edition, Cambridge, Massachusetts.
- Glynn, S. NIO Architecten 2003. [Online]. Available: <http://www.galinsky.com/buildings/hoofddorpbus/index.htm> (Jan. 5, 2006)
- Hall, F. AR(2005, Dec 12). TAIRA NISHIZAWA ARCHITECTS. [Online]. Available: <http://www.arplused.com/arawards05/arawards05pdfs/ardec05NISHIZAWA.pdf> (Feb. 14, 2006).
- Kilian, A. 2003. Fabrication of Partially Double-Curved Surface out of Flat Sheet Material Through a 3D Puzzle Approach.
- Kocaturk, T., Veltkamp, M. and Tuncer, B. 2003. Exploration of Interrelationships between Digital Design and Production Processes of Free-Form Complex Surfaces in a Web-Based Database. CAAD FUTUTE. Tainan, Taiwan. Kluwer Academic. pp. 445-455.
- Kolarevic, B. 2003a. Architecture in the Digital Age: design and manufacturing. New York: Spon Press.
- Kolarevic, B. 2004. Designing and Manufacturing the material in the Digital Age. ACADIA.
- Kolarevic, B. 2003b. Design fabrication: from digital discourse. Indianapolis, Indiana. U.S.A. Bookmaster, Inc. pp. 54-55.
- Kolarevic, B. 2003c. Digital Fabrication: From Digital To Material. ACADIA.
- Kolarevic, B. 2001. Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in the Information Age. ACADIA 20. New York: Buffalo. pp. 268-278.
- Kvan, T. and Kolarevic, B. 2002. Editorial: Rapid prototyping and its application in architectural design. Automation in Constuction. pp. 277-278.
- Lars, S. 2004. NOX: Machining Architecture. Thames & Hudson. New York.
- Leach, H and Kolarevic, B. 2003. Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. Spon Press. United Kingdom.
- Lovett, T. RAPID PROTOTYPING AND TOOLING USING 3D SYSTEMS THERMOJET. [Online]. Available: <http://check.itgo.com/> (Oct. 11, 2005)
- Luca, F. D. and Nardin, M. 2002. Behind the Scene: Avant-garde Techniques in Contemporary Design. Basel, Boston, Berlin: Birkhauser.
- Mitchell, W. and McCullough, M. 1995. Ch18. Prototyign. Digital Design Media, 2nd edition. W. Mitchell and M. McCullough (eds). New York. Van Nostrand Reinhold.

- Mitchell, W.J. 1998. Antitectionics: The Poetics of Virtuality, In. J. Beckmann, (ed), The Virtual Dimension: Architecture, Representation and Crash Culture, Princeton Architectural Press, New York.
- Mitchell, W. J. 2004. Beyond the Ivory Tower: Constructing complexity in the digital age. Science and Society.
- Ryder, G., Ion, B., Green, G., Harrison, D. and Wood, B. 2002. Rapid design and manufacture tools in architecture. Automation in Construction. 11: 279-290
- Sass, L. 2004a. Design for Self Assembly of Building Components using Rapid Prototyping. Education in Computing Aided Architectural Design in Europe (eCAADe). p. 95-104.
- Sass, L. 2004b. Digital design fabrication. Design Computing and Cognition DCC'04. MIT, Cambridge, USA.
- Sass, L. 2004c. RULEBUILDING: A Generative Approach to Modeling Architectural Designs Using a 3-D Printer. Aided Design in Architecture (ACADIA).
- Sass, L., Shea, K. and Powell, M. 2005. Design Production: Constructing Freeform Designs with Rapid Prototyping. Aided Design in Architecture (ACADIA).
- Seely, J. C. 2004. Digital fabrication in the architectural design process. Master Thesis. MIT.
- Streich, B. 1991. Creating architecture models by computer-aided prototyping. Internation Conference for Computer Aided Architectural Design: Education, Research, Application (CAAD Futures). Zurich, Swiss Federal Institute of Technology. Kluwer Academic Publishers. pp. 535-548.
- Taha, A. K3DSurf. [Online]. Available: <http://k3dsurf.sourceforge.net/> (Oct. 20, 2005).
- Wachsmann, K. 1959. Wendepunkt im Bauen, Otto Krauskoph Verlag.
- 吉田信之, 2005, Architecture and Urbanism Feature: Structure & Materials, 新建築社, 第 412 期, 日本
- W.G.A. Furniture Designs. [Online]. Available: <http://www.lostlagoon.com/wgafurniture/woodworkingterms.html> (Sep. 22, 2005)
- Wikipedia. Woodworking joints. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Woodworking_joints (Sep. 28, 2005)

〔中文部分〕

- 王效青(編), 2003. 中國傳統建築術語辭典, 建築情報季刊雜誌社, 台北
- 邱茂林(編), 2003. 數位建築發展, 田園城市文化事業有限公司, 台北
- 陳啓仁、張紋韶. 2005. 認識木建築, 木馬文化, 台北
- 褚瑞基, 1999. 建築與科技論文集, 田園城市出版社, 台北
- 趙廣超, 2005. 不只是中國木建築, 三聯書店有限公司, 香港
- 劉育東(編), 2001. 數位建築的浮現, 胡氏圖書出版社, 台北
- 羅夢彬(譯), 1981. 木材接合法, 徐氏基金會, 台北
- 賴後權, 2003. 基因演算法於快速成型中網格最佳化與線上影像監視之研究(Genetic Algorithm for Mesh Optimization and Online Monitoring in Rapid Prototyping System), 大葉大學自動化工程學系碩士論文, 彰化, 台灣.