

# 第一章 導論

## 1.1 研究背景

現代建築的成就與發展在許多方面仍倚賴著構築術(tectonics)的演進。建築包含的結構體系、構造材料、細部接點，甚至是工程程序等都是影響著構築術的形成，這些構築術的應用不只是建築物本體能被建成的條件，而是能形成空間的意義與建築物相互呼應(Wachsmann, 1959; Giedion, 1967)。中國在構築術的發展早已是行之有年了，幾千年來，木建築已變成中國建築的同義詞，由其在細部接點的發展上，以其優美的藝術形象、精湛的技術工藝、獨特的結構體系，廣泛的影響著鄰近的國家，形成一個獨立自足的建築傳統(陳啓仁, 2005)。

傳統構築術並非只是解決建築構造上的問題或者是達到建造的效率，而是它所能給予建築師在設計上的啓發應該是多元的，隨之受到影響的是建築設計的過程、工程建造和空間形式上認知的改變(Kolarevic, 2003b)。在現代，電腦的發展日異倍增的進步，已經為建築帶來數位化的生產技術，其中有個關鍵的因素就是電腦軟硬體的快速進步，使得 CAD 與 CAM 等科技大幅的縮短建築設計過程中所消耗的時間、減低工程建造上的成本，並強烈的影響今日建築設計和製造上的實行(Mitchell, 1998)。

在 CAD/CAM 系統的輔助下，從實質模型到數位工具所產生的數位模型，其之間最大的改變是透過三度空間來提升設計者的控制力和自由度，包括可預視性，提升建築設計過程中表現形式的視覺溝通；可調整性，參數化的模型建模，可依設計者的構想即時的編修；模擬性，可依巨集程式設定變化性或衍生性。數位工具已扮演著觸媒之作用，使得設計的程序與思考更加結合與互動。數位化的設計在於實踐，也就是許多數位建築標榜其為「數位實際」，而非虛擬空間(邱茂林, 2003)。

CAD/CAM 應用在建築領域的成就，主要在於改變了建築的設計過程，從以往利用 2D 圖說和手工製作實體模型的表現法來說明設計，數位設計的方式擺脫了舊有的侷限將實體和虛擬相互轉換來輔助設計的過程。近年來，有關數位製造的過程，在 CAD/CAM 技術的輔助下建築師將形體塑造的更自由更解放，因而也帶動了新的建造方式，給於建築新的結構系統、細部接頭和表皮材料，因而衍生許多複雜的問題於自由形體的設計方法、製造生產以及施工組裝上，並已超出傳統建築所能負荷的範圍，為了突破此瓶頸，我們需要倚靠 CAD/CAM 的技術，由此可知，CAD/CAM 在當代建築設計上扮演著重要的角色(Kolarevic, 2001; Mitchell, 2004)。

## 1.2 研究問題與目標

現行 CAD/CAM 提供了研究者和設計者在工業製造和建築教育發展上許多新的可能。相對地，也產生許多有別於傳統媒材在探討結構問題的方式(Kocaturk et al., 2003; Kolarevic, 2003a)。因此，許多的研究者開始投入數位建造上的研究，特別在探討不同的自由形體和結構物的建造方式(Kolarevic, 2003c., 2004)。如 Frank Greg、Peter Elsenman、Greg Lynn、NOX、UN Studio、ONL、Bernard Franket 等人及建築事務所都試圖建造複雜的建築型體，其中最具代表性為在 1990 年 Frank Gehry 用電腦進行巴塞隆納那魚的設計時就代表了數位建築的開始，在 1992 年畢爾包古根漢美術館的完工整個設計到施工過程的突破，當時 Frank Gehry 事務所開始向工業設計領域學習，引進航空工業製作出的實體模型等，的軟體 CATIA，以輔助設計過程中的動態、複雜的建築形式，設計的初期 Frank Gehry 事務所大量製造模型，包含手工的實體模型、電腦的虛擬模型、以及從電腦中輸出資料直接由 RP 和 CNC 裝置輸出實體模型，充分的應用 CAD/CAM 的技術，並且制定出一套設計流程(Gehry and Mitchell, 2001; Leach and Kolarevic, 2003)，流程如下：

- (a) 手繪設計草圖，經考量建築機能、基地環境、空間配置等發展概念的手工模型(圖 1)，進行設計討論和評估建造問題。
- (b) 初期概念的手工模型再製作成具體且完整的實體模型，在通過 3D 數位探測器(3D digitizer probe)(圖 2)轉換為電腦中的 3D 點雲(point cloud)資料。
- (c) 在將電腦中的 3D 點雲資料經由 CATIA 轉成 3D 建築表皮模型，並且進行結構設計、細部設計、材料模擬等等(圖 3)。
- (d) 將 CATIA 內的數位模型輸出到 RP 和 CNC，製作實體模型(圖 4)。
- (e) 再針對實體模型進行評估、修改、再掃描，重回電腦中進行分析和修改等，循環的設計過程來調整設計和確保建築施工時的品質(圖 5)。

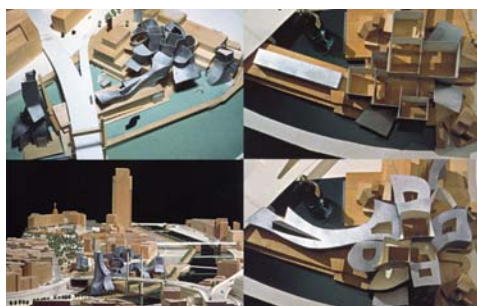


圖 1. 手工模型

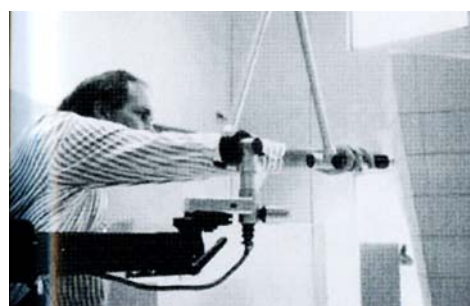


圖 2. 3D 數位探測器

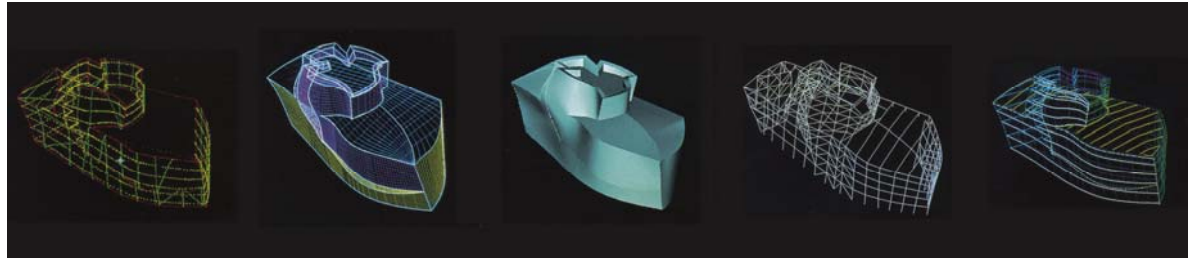


圖 3. CATIA 的資料轉換



圖 4. 實體模型



圖 5. 完工圖示

我們可以在真實的設計案例中得知 CAD/CAM 對於設計複雜型體與真實建造上提供輔助的潛力及影響力。新一代的建築設計師在探討自由形體時，開始大量應用 CAD/CAM 的技術，除了使形體的造形解放外，新的材料、結構細部和表皮等都不斷的發展新構想。

材料方面，在 NOX 事務所在 2004 年荷蘭所建造的 D 塔和尼奧建築師事務所在 2003 年初斯巴恩醫院前庭的霍夫多普巴士站，這兩個案例在製作自由型體時，都以 CNC 切削聚苯乙烯泡沫塑膠來製作模具，前者在利用手工操作將環氧樹脂及玻璃纖維合成板覆蓋到模具上，後者利用手工操作將聚酯纖維附加在模具上，CNC 只需簡單的根據雙重曲線的數據資料便可對該泡沫塑膠進行切造型，分割成塊狀的單元後，再被運到現場拼接組裝完成(Lars, 2004.)。

結構方面，以建築師 Frank Gehry 在建造畢爾包美術館、迪士尼音樂廳和 2004 年完工的芝加哥千禧公園露天音樂廳等建築案所累積豐富的工程經驗，並發展出一套流程，此外，也有其它的设计師試圖發展不同的結構工法，如 Bates Smart 在 2003 年墨爾本所建造的聯邦廣場，建築內部的以一種被稱為風車狀網格的數學幾何學系統，形成了由鋼及玻璃組成的新型結構形式；安尼建築師事務在 2004 年紐約 P.S.1 當代藝術中心建造一個臨時性構築物天棚，採用剛剛割下的新竹竿，設計師挑戰是採用本身具有易變特性的天然素材，將精確的幾何結構體再現出來，在經過各種測試錯誤後，他們創造出一整套靈活的施工原則、細部處理的方法(Narchitects, 2004)。

案例中也透露出建築師為了挑戰複雜的結構系統，思考著不同建造的方式，在 CAD/CAM 系統的輔助下排除每個環節上的問題，並著手進行施工，但是在細部接頭這方面的設計時常的被忽略，習慣的使用強硬的卯鎖、鉚釘或者是點焊的方式來組裝結構體，外觀上顯得相當粗糙

不具美感，施工的過程也需耗費大量的鐵工，在時間上、經濟上實在不合乎成本利益。

隨著電腦及資訊技術的迅速發展和日趨完善，CAD/CAM 技術在機械、電子、航太以及建築等得到了廣泛的應用。近年來 RP; 2,5D and 3D CNC 銑床(CNC Milling)和電腦數值控制機具(CNC Routing)等設備在建築設計的領域中逐漸成爲不可缺重要因子，亦成爲現今設計者作爲輔助思考和應用的工具(Mitchell 2004; Kolarevic, 2003b, Streich, 1991)。在建築設計過程，RP 裝置提供模型製作新的輔助功能，可以解決複雜形體的製作，也可以由電腦模型精準輸出 1:1 的實體模型來檢視設計，比較起傳統手工模型在製作上的不精準且耗費人力和時間，RP 提供了精確的輸出實體模型，讓設計者更容易用來感受複雜形體的空間性或作爲複雜形體結構的測試(Sass, 2004a, 2004c)。關於 RP 應用在建築研究的領域中，以 Mark Burry 在 2000 年運用 CAD/CAM 技術完成在 1926 年 Gaudi 逝世後未完成的聖家堂(Sagrada Familia church)爲例，他運用了造船工業用的參數化(parametric)軟體—CADD5 結合 RP 技術重新設計與建造教堂翼部 35m 高的玫瑰窗戶。在 Gaudi 這個聖家堂的案例中，利用 RP 技術在製作大量的臘製模型，目的在反覆的檢視、修正設計的構想，並且提供尺寸給工匠精準的施工。RP 也經常的被應用在探討結構細部上，其中以 Sass 在 2005 年時研究如何透過 RP 裝置和雷射切割機去製造一個特殊比例的自由形體模型，RP 主要在發展結構細部的接頭而雷射切割機則負責製造結構的表皮，研究的過程透過反覆的製造生產、檢視和修改設計，目的發展出更多適合在自由形體組裝的結構接頭。

在建築的領域中，接頭是結構得以連貫的依據，造型得以塑造的原因，在東方，木建築是最原始的房屋構造型態之一，其構造系統的種類極爲豐富，每一種的構造型態取決於不同的接合方式，但是木建築在二十世紀以後逐漸沒落，主要因木材雖是一種建築材料，但是在人類漫長的生活，木材扮演著生活上普遍的燃燒材料，加上工業革命的開始，建築師開始尋求新的材料及構造方式，加上新式的建築材料製造效率的提高，不論在質和量上，皆能解決木材短缺的問題。雖然在近代木建築慢慢的又被注視到，其因永續建築、綠建築的訴求下再次崛起，但是木建築的接合構法卻未能倖免，僅能在一般的傳統建築或者傳統家具中尙可看見其蹤影(陳啓仁, 2005; 趙廣超, 2005)。

木建築在其木構接合上的發展，因不同時代以及背景的需求，更是發展了無數的構築接合方式，純粹的接合法使的建築結構在建造組裝上十分的簡易，並且在外觀上毫無突出的異物，相較於現今自由形體的結構組裝方式就顯得更有智慧且美觀，傳統木構接合系統最大的限制在於建造的方式採用水平垂直的構築工法，製造上需依賴熟練的匠師的工藝，建造的效率往往不符現代營建成本的考量，但是受限於傳統技法的限制可能拓展新的應用嗎？是否可能結合到自由形體組裝結構的方式？因此，本研究將運用 CAD/CAM 數位媒材研究傳統的木構接合方式，產生一套整合與衍生式的設計機制應用在當代自由形體建造上。

### 1.3 研究步驟

本研究先期將從實際的自由形體案例中，分析 CAD/CAM 技術影響自由形體在結構系統、細部接頭和工程材料的因子，並且統整這些因子來建立出數位製造的流程。本研究將專注在細部設計的探究，以自由形體的骨架與表皮設計為目的，藉由 CAD/CAM 系統的輔助下重新塑造原有的木構造接合系統，並建立接頭設計流程來提升研究的效率和檢視發展的過程。本研究分成以下五個步驟進行：

#### 步驟1 分析木構接合系統

此步驟將從文獻中分析和歸類出的傳統木構造接合系統的特點，並選取出適用於研究發展的接頭。提出特點的目的在保留傳統木構接頭原有功能性，使設計接頭的過程可以有著清楚的方向。

#### 步驟2 接頭設計與原型流程

此流程(圖 6)闡明如何在數位化環境下，接頭從設計構想直到原型之間所應具備的條件，逐步的探討 CAD 和 CAM 媒材轉換的過程，以及在細節應注意事項，使得研究所發展的接頭可以順利生產來進行組裝的測試。

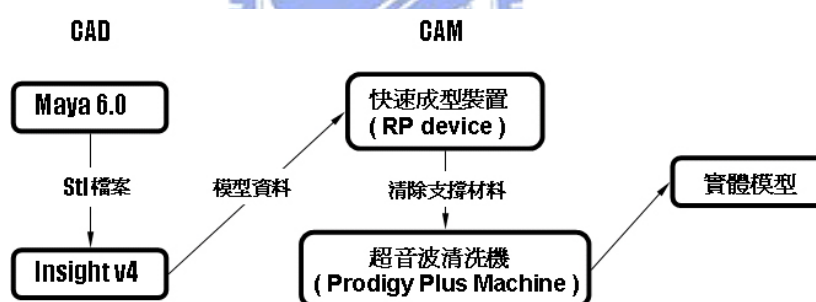


圖 6. CAD/CAM 媒材

#### 步驟3 設計組裝

接頭設計是根據符合特點下的傳統木構接合系統作為根基，並著手發展適用於自由形體的骨架和表皮組裝的接頭，依照接頭設計的流程，從設計組裝到組裝測試以及最後的實體組裝，確實的落實該流程來檢驗接頭的可行性。

#### 步驟4 組裝測試

在此主要探討從數位模型設計到實體模型輸出這過程影響實體模型組裝的因素，以及不同比例的模型在實體組裝上所面臨的問題，透過實做的過程尋求解決問題的方法和探討 RP 裝置在

研究過程中所發現的優點以及缺點，並且紀錄從 RP 裝置輸出實體模型到組裝的過程，圖解的描述模型在實際組裝後的成果，來驗證整個接頭設計的發展。

## 步驟5 數位設計製造

本步驟將從通過檢定測試的接頭中使用其組裝的方式來挑戰自由形體的組構，分別以兩個範例來探討自由形體在骨架和表皮組裝上的議題。

### ■ 設計自由形體 – MEL 和 PE

範例將藉由 Maya 嵌入語言(Maya embedded language, MEL)和 K3Dsurf 參數方程式(Parametric Equations, PE)產生一個具有生產力的方法創造出特有的形體結構，MEL 將創造自由形體骨架在 3 度空間接合時產生的形體；PE 將創造自由形體的表皮曲度複雜時產生的形體，進而去探討這兩者在組裝上的議題。

### ■ 組裝設計 – 自由形體骨架與表皮

本階段將從 Maya MEL 和 K3Dsurf PE 產生的形體中各挑選其一個範例，在 Maya 內進行接頭的設置，並且討論接頭設置過程、製作上的限制以及改善的方式，再透過 RP 裝置輸出實體模型，進行組裝流程與適用性的檢驗。

