

第一章 緒論

1-1 研究問題與目的

設計為黑箱作業。一些理論家和方法論者，將設計研究視為一種問題解決(problem-solving)的觀察，是一種針對設計過程的觀察。另外也有許多研究者觀察與研究的重點在於設計者在設計過程中的設計行為本身；例如Schon (1992)年所提出設計是一種看-動-看的理論模型。在設計研究中，設計者本身的設計行為以及設計過程即為研究者作為研究設計過程中所要探討的問題的主要參考依據。設計過程可被分為資料蒐集、設計概念發想與發展、細部設計與計劃案實現等階段 (Jones, 1992)。其中設計概念發想與發展階段被認為是設計者的創造力以及本身對於設計想法主導整個過程的關鍵階段 (Huang & Liu, 2001)。

Gero (2003)提出人類利用工具建構經驗，並且根據那些經驗來適應這些工具。設計時所使用的媒材不僅被認為對設計工作的發展、空間認知以及設計溝通方式有直接影響，同時也暗示著設計可能進行的方式 (Herbert, 1994)。設計媒材 (design media)是輔助設計者把他腦中抽象的想法呈現出來的工具 (Schon and Wiggins, 1992; Liu, 1996)，因此，不同設計媒材的特性與運用，不同媒材有不同的使用方法與呈現方式，會改變設計過程中的設計方法與步驟，進而影響設計者的思考模式，因此在設計過程中，設計者的思考會受他所使用的不同設計媒材所影響 (Liu, 1996; Lim, 2003)由此可知設計媒材在設計過程中扮演著非常重要的角色。

近幾年，電腦輔助設計 (CAD)與電腦輔助製造 (CAM)的發展，開始被運用在設計的領域上，包括工業設計、船體設計建造、航空工業以及電影工業 (Mitchell, 1977; Groover and Zimmers, 1984; Callicott, 2001)。1992年，Frank Gehry為第一位將電腦輔助設計與電腦輔助製造帶入了建築設計領域的建築師；Frank Gehry將電腦輔助設計與電腦輔助製造應用在他的巴塞隆納魚雕塑品的設計過程與建造(Liu, 1996; Mitchell, 1998; Linsey, 2001)。藉由電腦輔助設計與電腦輔助製造的運用，建築的表現形式有了更大的可能性與自由度，反應這種建築表現形式以及設計過程最大的變化可以說是自由形體建築設計。自由形體設計最大的外在表現特徵在於極度自由化和曲線化，這樣的建築形式從設計到生產的過程，皆需要電腦做為主要媒材。在Frank Gehry的設計過程中，數位媒材仍只作為輔助性的角色。以設計過程的角度做為討論，Frank Gehry的設計過程仍建立在傳統建築設計過程與方式的架構上；例如仍透過草圖的繪畫做為設計最初的發想以及透過大量的模型製作做

(Lindsey,

2001)。隨著數位媒材更進一步的發展與運用，設計過程也朝著逐漸數位化的模式而改變 (Rahim, 2000; Kolarevic, 2003)。數位媒材不只改變建築設計最後的表現形式，也大大的改變了設計的過程與行為 (Lynn, 1999)。當數位媒材有足夠能力引導設計時，透過數位媒材的使用，使用媒材與設計過程有了更進一步的改變；數位媒材不只是輔助設計者的角色，而是更進一步的主導整個設計的發展。在近幾年，運用數位媒材進行建築設計的方式已在建築設計界形成一股潮流 (Zellner, 1999)，有許多設計者與設計團隊如Greg Lynn、dECOi、UN Studio、NOX...等等，開始跳脫傳統建築設計過程與方式的束縛，發展出另一種設計上的思維，而這樣的設計思維與數位媒材的使用，兩者之間的關係是密不可分的。因此，在這股潮流中，似乎說明數位媒材已經完全性的介入設計過程。

傳統的設計過程中實體模型為草圖之外另一種經常使用的輔助設計媒材；依使用階段與功能的不同有著各種操作及表現的類型，如設計發展初期的概念模、檢討基地環境關係的量體模型、建築內部的室內剖面模型，甚至是表現結構的結構模型和表現細部的細部模型 (賴宗德, 1997)。過去，設計者習慣以製作實體模型的方式去轉換對空間的想像與創造力，進而發展設計構想 (Millon, 1994)。數位媒材開始融入設計過程，設計者的設計行為也隨使用媒材的不同而產生差異，其中最大的差異就在於對實體模型的依賴 (Lynn, 1999)。設計者在使用數位媒材進行設計操作時，設計者可以在數位虛擬環境下快速建構出3D模型(此模型在此論文中定義為數位模型)，在數位環境進行二度的思考同時，電腦可立即回應非常精確的三度空間影像，設計者同時間在腦中建構出三度空間上的思考，所以並不需要依賴實體模型的操作過程去了解三度的空間感受(Becker et al., 2005)。由上述推論，運用數位媒材進行設計的過程中，實體模型的操作似乎是可以被取代的。然而，在所多的研究中皆認為實體模型的真實視覺與觸覺感知在建築空間的設計過程中扮演不可或缺的重要角色 (Mitchell, 1997)。

有鑒於前述，本研究所提出的問題是：以數位媒材進行建築設計時，在設計過程中，設計者是否需要實體模型，假設需要，那需要什麼樣的實體模型進行設計操作？假設不需要，那實體模型所帶來的真實視覺感受與觸覺感知如何被數位媒材替代。本研究之目標欲試圖從設計者使用數位媒材的設計過程中，分析運用實體模型與數位模型進行設計操作的程序。並進一步分析及探討運用實體模型與數位模型在數位設計過程中，「模型」檢視設計的程序。

1-2 研究方法與步驟

本研究選擇案例研究為研究方法的原因有二，第一，企圖降低探討設計行為中的黑箱思考範圍，假設以實驗作為研究方法，研究結果容易偏向設計思考方向的細節性分析內容，本研究希望分析的層面是屬於較上階層次的大方向探討。第二，假設以設計思考的口語實驗或是設計者訪談為研究方法，在實驗者及訪談者的選擇上，未必能找到具有足夠能力及代表性的設計者作為研究對象。因此在研究方法上，選擇直接透過對案例的分析作為本研究的研究方法。觀察國際建築業界

CAD/CAM新數位設計媒材在設計過程中，對整個設計過程具有非常大的影響及改變 (Lindsey, 2001; Ragheb, 2001; Friedman, 2002; Oosterhuis et al., 2004; Schodek et al., 2005)。有鑑於此，本研究企圖從國際建築業界的真實案例分析中，探討實體模型與數位模型的操作在數位設計過程中所扮演的角色。

受數位媒材的影響，使得設計的可能性得到更大的解放，因此數位設計過程相較於傳統設計過程，顯得更加多元化，而這樣多元化的發展主要分為兩個階段，第一個階段屬於數位媒材輔助設計造型的發展 (Lindsey, 2001)，而第二個階段為數位媒材開始解放整個建築設計的設計方式，設計者以新形態的數位建構(digital fabrication)來進行設計操作 (Lynn, 1995; Zellner, 1999; Leach, 2001; Rosa, 20030)。本研究企圖分別對兩個階段的設計者的設計方式作深入性分析與探討，為求分析結果的量多而深入，避免量少而淺，因此在前後階段，先各從一位建築師著手進行分析作為初期研究。在分析對象的選擇上，由於僅選擇一位設計者進行分析，因此設計者必須具有普遍的代表性，可以涵蓋大家的特質，而不是太過於偏向個人特質的設計者。在第一階段具有這樣條件的設計者有Frank Gehry、AleppoZONE，在第二階段則有Greg Lynn、NOX、UN Studio、dECOi及Bernard Franken。

在第一階段，選擇國際知名的美國建築師Frank Gehry的設計案例進行分析。原因有二，第一，1992年他率先將CAD/CAM技術的輔助運用在建築設計上，並成功在巴塞隆納製作出形體自由的魚形雕塑，此舉被認定為數位建築設計的開端 (Friedman, 2002)。此後Gehry開始大量運用CAD/CAM媒材建造出許多自由形體建築作品，而這些作品常被研究者作為討論CAD/CAM應用的分析素材。第二，Frank Gehry雖為數位建築的領航者之一，但早期Frank Gehry透過傳統媒材進行傳統的設計過程；習慣運用草圖作為設計概念發想的方式，以及運用大量模型的製作進行3度空間的轉化與設計操作，因此Gehry的數位設計過程仍深受過去所習慣的傳統設計媒材與過程影響 (Lindsey, 2001; Ragheb, 2001; Friedman, 2002)，這樣的影響反應在數位設計過程上，也就與跳脫傳統設計過程而以新形態的數位建構(digital fabrication)來進行設計操作有很大的不同。

其次選擇數位建築領域極具知名度的建築師Greg Lynn的設計案例進行分析。主要因為Lynn為新興的年輕數位建築設計者之一，其專長為藉由CAD系統的輔助，利用電腦動態模擬及自由生成系統來輔助設計思考，產生新的設計形體概念 (Lynn, 1995)。這樣的設計過程完全跳脫過去傳統設計過程的思考與操作模式，而是一種全新的運用數位建構 (digital fabrication)過程來進行建築設計的方式，因此也常做為研究CAD/CAM應用於建築設計的素材。

本研究分別選擇Frank Gehry與Greg Lynn的二件案例作案例研究素材，並依序在研究的前半部，先進行Frank Gehry的案例分析，後半部再進行Greg Lynn的案例分析。為先求對設計者的設計過程有初步性的了解，研究步驟第一步為設計過程分析。在對設計過程有初步的了解，並藉由分析清楚知道數位媒材如何輔助設計操作以及模型在設計過程中被操作的程序後，步驟二與步驟三，分別以實體模型與數位模型檢視因子分析兩者在設計過程的各個程序中運用「模型」檢視設計的重點。

Step1 : Frank Gehry 案例分析

Step 1.1 設計過程

Step 1.2 實體模型的操作因子

Step 1.3 數位模型的操作因子

Step 1.4 綜合分析

Step2 : Greg Lynn 案例分析

Step 1.1 設計過程

Step 1.2 實體模型的操作因子

Step 1.3 數位模型的操作因子

Step 1.4 綜合分析



第二章 文獻回顧

2-1 設計過程的探討

從設計思考的角度去探討設計過程，許多學者認為研究設計的基礎點在於將設計視為如何解決問題的過程。設計問題依定義清晰與否區分為定義良好的問題和定義不良的問題：定義良好的問題所提出的解答有明確的規範、它的問題空間是可被界定的、規則通常是清楚的、問題的目標是已知的、可搜尋最理想的解答或可判斷其對錯值；定義不良的問題沒有明確的規範可以測試所提出的可能解答、問題空間無法界定、規則通常不清楚、問題的目標是未知的、可搜尋出符合要求的解答或可判斷其好壞 (Newell, Shaw, and Simon, 1960)。

Dorst and Dijkuis (1995) 提出設計的研究可分為兩種類型：一種是將設計視為一個理性的問題解決過程；另一種則認為設計是動作中的反應過程，此節先從較上層次的設計程序探討程序間階段性的轉變，再以較微觀的設計行為 (design action) 來探討設計過程中的行為如何促使設計師進行下一階段的设计操作發展。

設計活動被認知為一系列複雜的設計問題解決過程 (Goldschmidt, 1997)。設計問題就其組織和表述方面而論是被動的，設計者則根據設計目標提供一個主動的回應，在設計過程中兩者是共同作用的。一個設計問題的解決即是在問題空間中，經由搜尋的行為，直到找到解答的過程。

2-1-1 設計程序的探討

設計過程可視為針對設計問題、一連串設計目標的依序執行，以達成一個可接受的解決方案。對於設計過程的探討，有許多研究者提出各類的程序模型。Jones (1992) 提出設計過程可被分為資料蒐集、構想發想與發展、細部設計與計劃案實現等階段。Acher (1964) 提出操作性設計模型(圖 2-1)；他將設計區分為三個階段以及六種程序，並強調各個程序之間的關連性及回饋行為。三階段包括分析階段、創造階段與評估階段。六程序是指建築計劃、資料搜集、分析、整合、發展與溝通。

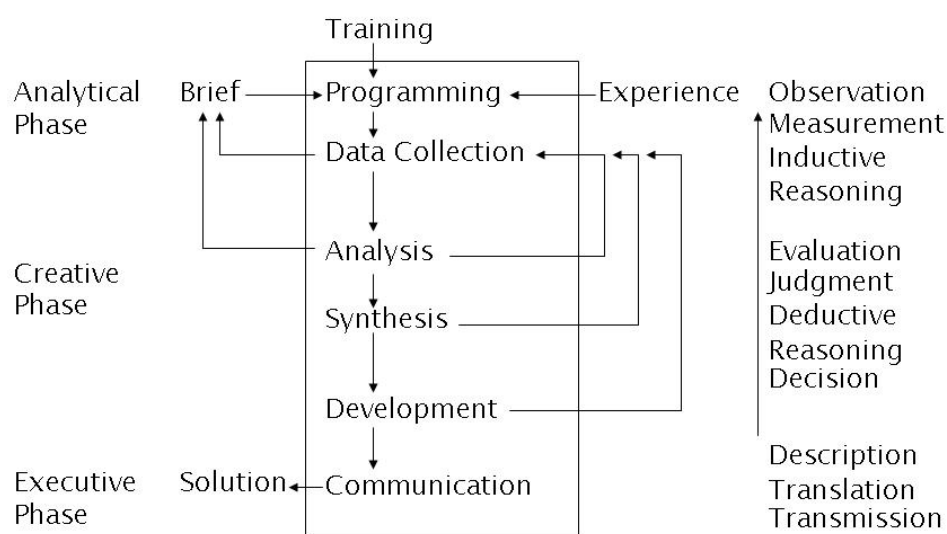


圖 2-1 Acher(1964)提出的操作性設計模型程序

Lindsay (2001)也以使用的操作媒材將設計程序分為八個步驟，將其用來分析 Frank Gehry 的設計方式；八個步驟分別為建構一個程序、圖與速寫、具煽動性的圖、設計程序模型、設計定案模型、數位化、造型的完成與理性化/正規化。設計問題的解決會因設計者的不同而有不同的解決方式，因此設計過程也因而有所不同，這些差異也就形成所謂個人設計過程的不同方式。而針對這些設計過程中的不同方式的觀察，可以從三個方面做切入 (Eisentraut & Gunther, 1997)：(1) 設計階段的進程 (course of the design phases)：觀察不同設計者完成設計所需的總時間；三種設計階段包括澄清工作內容、概念設計和具體化設計，觀察不同階段所花費的時間比例、階段間切換的頻率、不同設計階段在整個設計進程中的出現和分佈。(2) 設計過程中的呈現 (representation in the design process)：觀察設計者在不同設計時期所完成文件的具體性和完整度；紀錄不同時期的設計文件在具體性和完整度上的分級、起始的文件和結束的文件為何，以及設計者在不同種呈現方法上的變換。分析的內容包括具體呈現和抽象呈現兩種圖面的數量多寡和所佔比例、設計者在解決新問題時是否使用較為抽象的圖面呈現方式、使用哪一種圖面呈現去分析自己的解決方案、是不是所有的概念和靈感都會被文件化 (速寫或畫下來或寫下來)、是否有初步的設計規劃、整合性的文件 (綜合並分析不同的案子解決方案) 的運用、設計者主要關注的是細部設計或者整個大問題的解決，和設計過程中其他重要的特徵。(3) 設計解決的方式 (design solutions)：評估設計者所提出的解決方案，是否滿足設計任務的需求 (機能上)，以及是否考慮到使用的安全性和使用者的需求。

2-1-2 設計行為的探討

一九八〇年後，許多學者開始由設計者的設計行為作為探討設計的切入點 (Schon, 1983； Schon and Wiggins, 1992)。Schon (1983)提出反思 (reflection)的觀點。此觀點清楚地為此提供一個基本認知的想法；他指出設計的探討應著重於設計師處理問題的方式與行為，像是他在之後以建築設計為對象提出“看-動-看” (seeing-moving-seeing) 理論模型：設計者藉由觀看自己所畫出的草圖刺激設計者本身產生下一步的動作。Hebert (1993) 將設計詮釋為設計者在草圖上不停地“畫-反應-畫” (stroke-response-stroke) 的結果，設計者透過前一筆畫出的動作，經過視覺思考的反應判斷再決定下

一次畫的動作。Gero (1995) 指出在繪圖過程中，包含二種形式的轉換類型：水平轉換和垂直轉換。水平轉換表示概念草圖從一種想法轉換至另一種全然不同的想法；垂直轉換說明同一種想法的一連貫性的草圖，從較前期的概念發想到後期的細部設計。當設計者在設計過程中，透過繪畫草圖以及操作草模時，其設計行為的不確定性是觸發設計過程中的轉換以及觸發設計者產生出更多可能性的想法。

除了前段所描述設計者在設計過程中的行為外；“溝通”也是設計行為中一個重要的元素。溝通是一種資訊交換以及意思傳達的歷程，亦是一種人與人之間交換觀念與傳遞思想的過程。它包含兩種基本行為：第一，訊息呈現 (display) 包含語言的及非語言的溝通；第二，訊息解釋 (interpretation)。在基本的語言溝通之外，非語言的溝通亦佔了很大的互動因素，包括觸覺的與視覺的、空間接近性、姿勢、外表、注視方向等，透過傳遞者與接受者的相互注意和反應，建立二人或多人的互動。在建築設計的環境中，可能出現的溝通對象包括設計者與設計者之間、設計者與業主、設計者與學者之間。在過程中的可能溝通行為包括對話、手勢、評論式言語等形式；這樣的行為模式提供設計者除了訊息呈現以外更多的刺激。

2-2 傳統設計媒材的探討

從人類開始從事設計活動開始，不斷運用各種不同的媒材來進行與表達心中的概念與想法。當設計者在腦中透過自己的想像，進而產生出概念與想法，此時，必須經由適當的媒材（圖和模型）將腦中的概念與想法具體化；這樣的具體化過程不管是對設計者本身或是對於業主而言都是非常重要的 (Liu, 1996)。對設計者而言，可以在這具體化的成果中重新在腦中刺激出新的想法，新的想法產生後，同樣再透過適當的媒材將其具體化，然後再刺激設計者產生想法；建築設計就建立在這樣不斷循環的過程中。

從前一段的描述中，可以得知媒材對於設計者在操作設計時的重要程度。在理想的設計過程中，媒材皆可將設計者的想法成功的具體化；不過當媒材無法將設計者的想法具體化時，通常設計者就必須在設計上有所妥協而無法將自己的想法完全發揮。當隨著時代的進步，設計者所使用的媒材有所突破時；可以將過去不能具體化的創作想法具體化，那麼創作及產生出來的設計表現形式也將隨之有所改變與突破 (Liu, 1996)。

任何設計在完成前，都是設計者依不同的需要和個人的創作理念，用一些適當的表現方式描述出來，作為自我編修以及與他人溝通之用；透過這不斷的溝通與編修，逐步將設計者腦中的概念與想法具體實現。這種由腦中意念想法、經實際手頭上的呈現、再成為最後建築實體的過程是建築發展過程中未曾改變的。由過去的研究與理論可歸納出設計者在設計過程中所藉助的媒材工具主要為草圖與實體模型；且伴隨著草圖與實體模型發展設計構想時也會有不同的視覺思考以及觸覺思考行為產生。

2-2-1 草圖

草圖對設計者是不可或缺的，是設計者將腦中想法與概念具體化的一個方式 (Lansdown, 1987)。草圖在設計過程中除了作為紀錄的功用之外，更可透過圖解 (diagram)、平面圖、立面圖、剖面圖及透視圖等等參與設計過程 (Hebert, 1993; Schon and Wiggins, 1992)。另外，從手繪草圖在設計過程中可看出手繪行為具有至少兩個重要的角色：設計的重新詮釋 (reinterpretation) 及設計的不預期發現 (unexpected discovery) (Suwa, 1998)，因此，除了利用手繪動作把腦海中的抽象設計概念與想法具體描繪下來之外，也有找尋設計中不預期的發現及重新詮釋設計的意義存在。

Goldschmidt (1991)提出不同形式之間看的辯證及轉換被認為能刺激新想法。Schon (1992)認為草圖不單只是一種呈現設計者想法的方法，也是具有輔助設計思考的功能。例如“速寫-檢視-修改” (sketch-inspect-revise) 的設計過程即是設計者將腦中的概念想法畫在紙上，然後設計者再透過所繪畫出來的草圖中做視覺上的思考並發現無預期的結果再進行修改。藉由設計者與設計媒材 (草圖) 的交流，產生出一種無預期的發現與新的設計可能性。

Kavaki et al (1999)將草圖作為推論設計問題的觸發物，並將認知行為劃分成四個動作範疇：身體性、感知性、機能性和概念性。Suwa, Purcell 和 Gero (1998)就以此四個動作範疇研究草圖的認知行為。他們將設計行為描述成 (1)身體動作-指身體的活動，例如畫草圖的行為，(2)感知動作-對視覺空間的感知活動，(3)機能動作-非視覺空間訊息的描述性活動，以及 (4)概念動作-非因身體的生理活動及視覺空間感知而引發想法的概念性活動。

2-2-2 實體模型

歷史發展

從歷史的角度去探討模型的發展，主要可分為幾個階段。

在文藝復興之前，最早可以追溯到古希臘時期縮小比例的陶土神廟，這時期的的小型建築實體模型 (maquette)(圖 2-2)並非用來從事實際設計案的表現手法，事實上它們僅是用來作為祭物，而沒有任何建築設計方面的用途 (Liu, 1996; Smith, 2004)。在文藝復興之前，建築設計過程中，大多僅使用平面的設計媒材，而 2D 圖面仍然只能傳達抽象的視覺思考與視覺概念化的語彙，在實體空間上的思考以及操作，在此時期是並未被提及的。

文藝復興時，這樣的情況開始改變。Filippo Brunelleschi 認為設計者的許多想法只透過二度空間的圖的表現是不夠的，更需要三度空間的實體模型從事立體的呈現，才能把許多形式、空間、結構等變化，精確而完整的表現出來 (Liu, 1996)。因此他在佛羅倫斯大教堂圓頂的設計過程中開始大量運用手作實體模型 (hand-make physical model)(圖 2-3)(Million, 2004; Smith, 2004)，從圖中可了解到他透過模型清楚呈現設計在空間與結構上的關係。實體模型在文藝復興時期的建築設計過程與方式中，扮演非常重要的角色，在設計操作過程中，設計者除了繪製大量的圖面之外，更必須透過手作實體模型讓設計者能在圖面有限的表示法之外做探討；運用實體模型來探討空間關係與結構系統，

同時考量在細部的裝飾以及整體比例上的關係，甚至於空間光影上的掌握 (Liu, 1996; Smith, 2004)。當以模型作為設計媒材時，突破了過去只以二 D 圖面作為媒材時，在處理設計思考上的限制，在設計的呈現上，藉由模型三度空間的表現，使得設計概念以及設計空間更具體化；空間、結構與建築形式更清楚得表達。自此之後二 D 圖面與三 D 模型操作的配合，就一直是設計最基本的手法以及操作過程。



圖 2-2 古希臘時期的手作實體模型

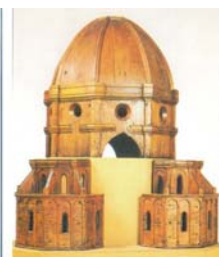


圖 2-3 文藝復興時期
的手作實體模型



圖 2-4 Estereo Estatica
模型



圖 2-5 Rodolf Steiner 與其設計模型

在文藝復興之後一直到數位時代之前，Liu (2000)稱為「前數位時期」的數十年間，陸續有許多建築師為了實現對設計與空間的獨特想像，因此發展出更多樣化且極為複雜費時的實體模型操作方式。這其中包括西班牙建築師Antonio Gaudi，他創造了一套獨特的模型作為設計媒材，稱之為Estereo Estatica(圖 2-4)，藉由這個模型，Gaudi才得以完成其所想像的非幾何造型的”有機建築”(organic architecture)(Futagawa and Borrás, 1997)。其他包括德裔美籍建築師Erich Mendelsohn、法國建築師Le Corbusier、美國建築師Eero Saarinen以及John Utzon建築師等，同樣倚重於設計者親自使用各種材料手工去製作的手工比例模型 (hand-make scaled model)(圖 2-5)的方式進行設計操作(Smith, 2004)。手工比例模型的運用讓這些建築設計者得以將腦中的設計想像實際落實出來，並完成不同以往具有自由曲線的建築設計表現形式 (Liu, 1996)。

模型角色

設計者在設計過程中，除了運用 2D圖面的平面圖、立面圖、剖面圖及透視圖之外，也可以呈現三度空間的模型來輔助設計上的思考 (Porter and Neale, 2000; Breen et al., 2003; Smith, 2004)。實體模型在傳統設計過程中是伴隨著草圖而不可或缺的媒材工具，可以輔助不同設計階段的設計想法的呈現。在建築設計過程中，模型具有不同的呈現方式，在設計過程中的許多階段，模型皆可輔助設計者與他人理解設計，更可輔助設計進一步的思考，這些不同的模型大致可以分成五種：(1)建築計劃模型，(2)概念模型(conceptual model)，(3)設計程序模型(development model)，(4)設計定案模型(presentation model)，(5)1:1 比例的大模型(mock-up) (Knoll and Hechinger, 1992; Porter and Neal, 2000; Lindsey, 2001)。

建築計劃模型是在設計初期的建築計劃階段用來呈現建築空間使用需求量的大小，同時也藉以探討量體與量體之間的關係 (Lindsey, 2001)。概念模型是在概念發展階段用來呈現抽象想法之用，因此也可稱之為抽象模型(abstract model)。設計程序模型則運用於設計發展階段，主要是用來具體呈現出設計者的設計想法，並從其中去發展設計的各種可行性，因此也可稱為可行性模型(feasibility

model)。設計定案模型則是運用於設計完成的階段，這個階段的模型除了表現完整的設計形體之外，也會呈現設計在細部上的表現以及模擬真實材料的應用。設計定案模型另一個主要的功能在於用於與業主溝通之用。1:1 比例的大模型則是設計者用來測試在實際建造時，在結構上所需要面對的問題以及材料上的應用。

許多研究者對模型在設計過程中所產生的影響作為探討。他們觀察到，設計過程中的草圖及實體模型同時有助於設計中的非預期發展 (Suwa et al., 1998)。實體模型更被指出可提供設計者無拘束的轉移視點與觀察位置的特性，實體模型提供一種全環境的視覺呈現，傾向於強調全面的狀況，使設計者可掌握整體佈局且可以發現更多細部問題。模型的元件具有可被移動性，可以被集中或是全面的改變。模型存在於與設計者相同的空間之中，可以用來輔助建造實現的想法 (Lindsey, 2001)。實體的概念模型扮演了很重要的角色，如同代表著一種轉化我們空間想像的元素及更多元的可能性。另一方面，模型具有量體、材質、結構等三度空間呈現 (Hohausser, 1970)。Abbo(1996)也指出模型的“空間性”特質(spatial characteristic)，如深度及距離的表現，讓設計者更容易去理解空間設計的三度空間關係。

2-3 數位媒材與數位設計過程的探討

中世紀以前設計者僅透過傳統平面媒材如紙、筆及尺規去操作設計，並以平、立、剖面圖傳達三度空間的設計概念；文藝復興時期，設計者首度在設計階段使用實體模型協助思考，此後設計媒材的運用就一直沒有突破性的變化，直到電腦這個新媒材的出現，設計者開始大量使用數位影像、3D 模型和模擬動畫等素材去表達空間感或空間關係 (Mitchell and McCullough, 1995)；而複合性數位媒材的運用，更促進建築師對空間形體的掌握和氛圍的塑造，並協助後續建築物實體建造的過程，將建築的可能性導向另一層次。

在「前數位時期」的數十年間，有一些建築師像是 Gaudi、Steiner、Ushida & Findlay、Utzon 等人，試圖突破既有媒材的限制，嘗試更大膽且獨創的設計行為與操作方式。為了彌補圖面無法敘述的建築形式及空間感受，雕塑性的、非尺規性的、非複制性的模型被大量地使用，以協助建築師設計意念的傳達、與業主和執行者的溝通，以及最後實際建築物的完成。

90 年代後，數位媒材在設計過程中，開始大量被設計者使用；同時隨著數位媒材不斷地發展，數位媒材與設計過程的關係也隨之改變；由原本的輔助性工具角色轉變為主導設計思考的設計媒材。這樣的轉變促使整個設計過程中，設計者在概念發想、設計思考及設計行為...等隨之改變，而這新形態的設計過程即所謂的數位設計過程 (Lynn, 1995; Lindsey, 2002)。

2-3-1 設計性數位媒材的發展

由於數位媒材與技術的發展，數位媒材成為能讓設計者表達概念與想像力的強大而有力的生產與表現工具 (Brady, 2003)。建築設計者依靠圖像 (representation)去具體化並賦予他們的設計想法可見的

外形。建築設計中的概念設計階段，外部圖像（在傳統媒材上）通常以草圖的形式被呈現出來；在數位媒材開始運用於設計操作後，設計者試圖在概念設計時整合數位圖像的使用，以建構一種數位的設計媒材（Zafer, 2001）。

上述設計者在設計過程中將設計想法呈現出來的過程，是過去設計者在設計過程中使用電腦的主要原因，而這樣的操作與目的使得 CAD 的定義成為 Computer-Aided-Drafting。基於此理解，CAD 包含了四類的設計活動：(1)幾何學式的建構、(2)分析、(3)設計想法修正和評估、(4)為施工圖面做準備。然而上述的四種功能並未與 CAD 的另一個意義 Computer-aided-Design 建立起任何關係，因為此四種功能並未介入設計的每個階段，尤其是 CAD 對於建築形式創造力的影響。（Asanowicz & Asanowicz, 1995）

若是純粹將電腦視為建築設計過程的基本工具，它的可能性相當侷限：(1)概念性的草圖繪製、(2)形式的創造-建模、(3)形式的視覺化，在 2D 草圖、設計圖和 3D 模型的算圖 (rendering) 部份，設計者可以選擇視點、攝影機角度和光源；在影像編修的部分，可以透過算圖模型與基地照片的合成拼貼圖像、(4)輸出的部份，結合電子化的草圖、模型、算圖和文字，創造複合媒材的表現。（Asanowicz, 1997）

在一般傳統觀念底下，設計結果通常是以圖像的方式所表達，設計過程中許許多多的圖集則是被用來表現或者用來重現設計理念的媒介與溝通工具；在這樣的基礎上 CAD 只是工具；然而 CAD 應該是媒材而非工具（Glanville, 1994）。近期我們可以發現許多建築設計者所利用的數位媒材工具用途已不僅止於表現最後的設計結果，更多數位媒材工具於設計思考中已有不同的角色定義。如在 Zellner 《Hybrid Space》一書中列舉當前透過數位設計過程進行建築設計的十二位指標性的建築設計者，列表如表 2-1。

Kolatan / Mac Donald Studio	New York	1988-
Morphosis	Los Angeles	1972-
Stephen Perrella / Hypersurface Systems	New York	1991-
dECOi	Paris	1991-
ONL [Oosterhuis_Lenard]	Rotterdam	1989-
Winka Dubbeldam / Archi-tectonics	New York	1994-
Reiser+Umemoto	New York	1986-
NOX	Rotterdam	1990's
Marcos Novak	Los Angeles	1990's
Greg Lynn / FORM	Los Angeles	1994-
OCEAN	Global	1995-
UN Studio	Amsterdam	1988-

表 2-1 十二位使用電腦媒材與數位技術從事建築設計的領導實踐者。（Zellner, 1999）

因此，電腦如何從工具轉變為設計媒材 (medium)則成為數位時代建築設計者重要的課題之一，其重點在於：發揮它在設計思考上的協助，並提高設計者的創造性 (Luescher, 1996)。

2-3-2 電腦輔助設計(CAD)的發展

CAD 的發展可說是從 1963 年 Ivan Sutherland 發展出 Sketch Pad 開始；利用手寫板將傳統紙和筆的傳統操作模式轉換成數位模式，這也是最早電腦輔助設計系統 (computer-aided design, CAD)的應用，而後由於工業設計上的需要，在 1960 年代開始有簡單的線架構的 CAD 應用，到了 1970 年代，發展以面為基礎的繪圖方式：表面建模 (surface modeling)應用在 CAD 上；除此之外，像是非均勻有理 B 樣曲線 (non-uniform rational B-spline, NURBS)以及 1980 年後更融入參數化 (parametric)的技術。基於上述 CAD 的技術日趨成熟，電腦輔助設計系統便逐漸在設計過程中顯露出其重要性，然而在 80 年代之後電腦輔助設計系統便大量被引用。

CAD 在數位時代中，大至的發展以及對數位設計過程的影響可分為以下三個階段(Asanowicz, 1999)：(1)第一代的 CAD 是協助設計者搜尋機能性解決方案的工具。從系統方法的觀點分析設計，創造一種開放性的思考方式。典型的策略有：分析-綜合-評估、差異性的分析-變換綜合-會合評估，和綜合-分析-評估等三種。這一代 CAD 的缺點在於缺乏圖面化的介面。(2)第二代的 CAD 發展出圖形化介面而轉型成繪圖的機器，設計者不需要了解程式語言就能運用這些軟體。這些軟體在設計過程中的典型使用如下：在草圖階段將概念電子化、在設計研究的早期階段拓展設計方案的廣度、進一步發展設計方案時的合作、使用 3D 算圖向業主呈現建築可能的樣子。在這一代的 CAD 仍僅為設計工具而非設計媒材，只用於輔助設計作品最後的呈現。(3)第三代 CAD 從工具轉型成設計媒材，CAD 由過去僅是工具的角色轉換成自身具有設計思考的能力，除此之外，也提供設計者另一種設計的環境，例如直接在虛擬空間 (VR, Virtual Reality)中做設計，而這樣的轉變刺激設計者在產生設計構想時更有效率以及更具多元性。

電腦的使用在設計的繪圖、呈現和傳達等方面開啓新的領域。以下為由電腦輔助設計探討在設計過程中的不同階段(從形的自動繪製，到設計的呈現和傳達)，從各個面向去輔助設計操作的方式 (Belibani & Gadola, 1997)：(1) 創造：使用電腦去創造建築有許多不同的方式。(2) 形：形式上的自由，和對整個空間控制的無限制性。(3) 結構：簡化繪圖過程和結構元素的定義，並允許在 3D 視景上做較佳的確認。(4) 圖像呈現：數位圖像的呈現是設計者與電腦互動時最決定性的面向。(5) 建築中的複合媒材：建築不只是複合媒材發展過程的結果，而是在形式內容本身以複合媒材的形式出現。(6) 模型與真實：建築數位原型的顯現是對整個建築形象的想像，是對未來真實建築的可靠預視。(7) 數位建構：使設計者對既存的、未曾被建造的和已不存在的建築物的探索和虛擬空間的試驗成為可能。(8) 分析：透過邏輯性或機能性部件的解構去分析形式元素和結構組成。

2-3-3 電腦輔助設製造(CAM)的發展

當建築生產方式改變時，建築空間形式也開始隨之改變 (Giedion, 1967)。CAM (computer-aided manufacturing) 近幾年來的發展，對建築設計以及建築設計實際落實的施工方式產生極大的影響，

The role of the physical models in the digital design process

而這樣的影響也就反應在建築的表現形式上。過去因為使用傳統建造工法因而使得複雜的建築造型設計與建造顯得造價昂貴且難以設計、生產和建造。這樣的問題與困難都在 CAM 廣泛的運用在建築設計與建造上而得以解決與落實。

CAM 的發展從 1950 年代美國開始研究讓電腦自動控制機器開始，這樣的自動化控制系統稱為 數值控制 (numerical control, NC)，而後才稱為電腦數值控制 (computer numerical control, CNC)。然而在過去，CAM 多半只能在大型的工作站運用，一直到 1970 年代微處理機的出現，使得個人電腦開始發展，也因此帶動了研發配合個人電腦的小型 CAM 硬體。一直到 1980s~1990s 後，藉由 CAD 開始廣泛的被設計者使用，CAM 開始運用在設計之上。

CAM 的技術主要可以分為三個部份：(1)CNC 技術、(2)RP 技術、(3)3D 掃描技術。在 CNC 技術方面，為一種將數位環境中的模型透過電腦數據的轉換，以不同的切割方式精準的切割出來，切割技術包括：(1)電腦數控銑床(CNC milling)(圖 2-6)、(2)電腦數據打槽機(CNC routing)(圖 2-7)、(3)電腦數控水刀切割(CNC waterjet machining) (圖 2-8)、(4)電腦數控雷射切割(laser cutter) (圖 2-9)、(5)Roland CAMM-1 vinyl cutter(圖 2-10)。在 RP 技術方面，與 CNC 技術相反，是一種堆疊式的建模方式，模型製作的過程是將材料一層一層的堆疊而成，建構的設備包括：(1)立體印刷術(stereo lithography, SLA) (圖 2-11)、(2)熔融擠製成型(fused deposition modeling, FDM) (圖 2-12)、(3)選擇性雷射燒結(selective laser sintering, SLS) (圖 2-13)、(4)層壓式成型 (laminated object modeling, LOM) (圖 2-14)。



圖 2-6 CNC milling



圖 2-7 CNC routing



圖 2-8 CNC waterjet
Machining



圖 2-9 Laser cutter



圖 2-10 Roland
CAMM-1 vinyl cutter

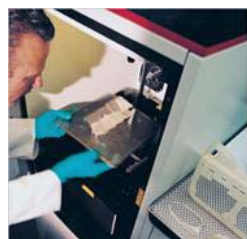


圖 2-11 stereo lithography
SLA

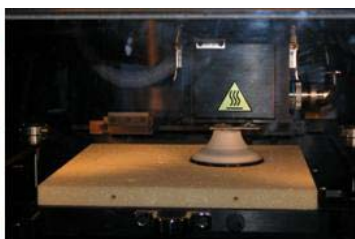


圖 2-12 fused deposition modeling
FDM



圖 2-13 selective laser sintering
SLS



圖 2-14 laminated object
modeling, LOM

從表述 (representation)的觀點來看，建築實體模型在所有表現性的呈現手法中 (包括數位 3D 模型)，皆較其它呈現手法更能輔助設計者在思考設計的呈現以及檢視，因此實體模型一直是傳統設計過程中非常賴以為重的表現方式。傳統上，製作實體模型是依靠設計者的手工；設計者必須先去理解 2D 圖面，包括平面圖、立面圖及剖面圖上的空間關係，並將之轉化成三度空間的想像並動手製作成實體模型。由於 CAD 的出現，使得在建築設計的外形相較於過去複雜許多，也因此在此實體模

The role of the physical models in the digital design process

型的製作上更顯得困難以及費時，同時通常也較缺乏精確性。因此，在數位設計過程中，實體模型逐漸較少被設計者運用在設計表現上 (Kenzari, 2005)。

藉由汽車工業、航太工業等其它領域的製造技術轉移到建築設計領域，使得建築設計的發展開啓新的向度。由於這些新技術的引入，使得上述數位設計過程中，製作實體模型所遇到的困難得以解決。透過快速成型技術 (rapid prototype, RP)和 CAM 的技術，設計者可以直接將數位模型精確輸出成實體模型。另外，透過其他領域的軟體技術，如 CATIA、MAYA…等，提供建築設計者解決建造的過程中必然碰到的複雜問題，如結構性的分析、自由曲線分割分析與落實建構…等等。藉由整合數位環境下的設計、分析、製造與組建，設計與製造之間的豁口得以彌合 (Mitchell & McCullough, 1995)。



第三章 Frank Gehry 案例研究

3-1 分析前討論

3-1-1 對象與素材

Frank Gehry 為第一位將數位媒材帶入建築設計過程的建築師。於 1929 年出生於加拿大多倫多，1947 年遷居至加州洛杉磯市，畢業於南加大及哈佛大學設計學院研究所。1962 年創立 Frank Gehry 建築師事務所。早期 Frank Gehry 透過傳統媒材與設計方式從事建築設計工作，習慣運用草圖做為設計概念發想的方式，以及運用大量模型的製作進行空間設計上的操作。1986 年之後數位媒材開始運用在他的設計過程之中。在這之後，他所設計的作品外在的表現形式產生極大改變，其中最大的特色就在於流線的外型以及極具自由度的彎曲表現形式。除了外在設計形式的改變之外，其設計過程也隨著使用媒材的不同而有了變化 (Levene, 1995; Lindsey, 2001; Ragheb, 2001)。此章節探討 Frank Gehry 於 1986 年之後運用數位媒材在設計過程上的主要作品，列表如表 3-1。

設計案例	城市/國家	年份
iowa university laboratories building	Iowa City / Iowa / United States	1987-1992
entertainment centre at eurodisneyland	Paris / France	1988-1992
vitra headquarters	Basel / Switzerland	1988-1994
american center	Paris / France	1988-1994
walt disney concert hall	Los angeles, California / United States	1989-2003
lewis residence	Cleveland, Ohio / United States	1989-1995
toledo center for the visual arts	Toledo, Ohio / United States	1990-1992
frederick r. weisman museum	University of Minnesota / United State	1990-1993
the children's museum	Boston, Massachusetts / United States	1991
guggenheim museum	Bilbao / Spain	1991-1997
EMR communication & technology center	Bad Oeynhausen / Germany	1992-1995
nationale-nederlanden office building	Prague / Czech Republic	1992-1996
anaheim community ice center	Anaheim, california / United States	1993-1995
center for molecular studies	Cincinnati, Ohio / United States	1993

the new zollhof	Alemania / Germany	1994-1999
dz bank building	Berlin / Germany	1995-2001
experience music project	Seattle, Washington / United States	1995-2000
peter B. lewis building	Cleveland, Ohio / United States	1997-2002
richard b. fisher center for the performing arts	New York / United States	1997-2003
the ray and mari stata center	MA / United States	1998-2003
hotel at winery marques de riscal	Alava / Spain	1998-
guggenheim museum new york	New York / United States	1998-
corcoran gallery of art	Washington, DC / United States	1999-
millennium park music pavilion and great lawn	Chicago / United States	1999-
the new york times headquarters	New York, New York / United States	2000
jerusalem museum of tolerance	Israel	2000
venice gateway	Venice / Italy	2001-
le clos jordan winery	Ontario / Canada	2002-
museo puente de vida	Panama City / Panama	2003-

表 3-1 Frank Gehry 於 1986 年後，運用數位媒材在設計過程上的主要作品表。

案例研究的參考資料，包含與研究對象有關的文字論述以及視覺資料，即文獻與作品本身。資料來源，選擇以 Gehry 本人和評論家共同著作的 *Gehry talks* (Friedman, 1999) 以及 *el croquis* 系列書籍 *Frank Gehry 專集* (Barcelo, 1995)、研究 Frank Gehry 設計過程的研究者著作 *Digital Gehry: Material Resistance Digital Construction* (Lindsey, 2003) 為主要依據。

選取作品的方式，設定的範圍在 Gehry 1986 年後運用電腦在設計過程中之後的作品。對於案例的選擇，因為目前具有完整詳細設計過程且公開的案例並不多，因此本研究所選擇的案例較少，但選擇上，基於資料的取得及資料量的考量，選擇較常被研究數位建築設計領域的研究者作為案例討論，並且具有大量設計過程資料的代表性作品。本研究挑選三件參考資料較齊全的作品，分別為 Lewis residence 與 Guggenheim museum Bilbao 設計案。

3-1-2 分析架構

(1). 設計過程

回顧過去對設計過程的探討，在設計的程序上 Archer (1964) 提出操作性設計模型；研究者將設計分成三個階段和六種程序，並強調各個程序之間的關連性及回饋行為。三階段包括分析階段、設計創造與發展階段和評估階段。許多研究指出，數位設計過程以及設計者在其中的設計行為皆較傳統設計過程複雜許多 (Lim, 2003; Won, 2001)，因此探討模型在各個分析對象的數位設計過程中所扮演的角色前，必須先了解他們的設計過程以及在設計過程中如何運用數位媒材。有鑑於此，第一層次本

研究以操作性設計模型中的三個階段，並同時整合 Lindsey 於 2003 年分析 Gehry 設計過程的架構進行本研究的設計過程分析。架構分別為：建築計劃、概念發展、設計發展、設計定案。

(2). 實體模型的操作因子

利用二度空間的平面、立面、剖面以及透視圖來表現設計者腦中所形成的設計概念是一直以來不變的設計方式。到了文藝復興時期，基本上，上述的設計方式仍未改變，但卻有了不同的需求。這個時期的建築設計者 Filippo brunelleschi 認為 2D 向度的表現媒材已經不足於呈現腦中想像的複雜形體之間的關係，而且也無法表達及解決一些結構上的問題。因此模型開始被應用在建築的設計過程當中，設計者運用表現三度空間的模型來考慮設計的形式、空間關係、結構系統與細部裝飾關係，甚至掌握空間光影變化等 (Millon, 1994; Liu, 1996; Smith; 2004)。除了由設計媒材發展的角度去討論模型作為設計使用媒材所扮演的角色之外，更有許多研究者提出實體模型對於設計上的輔助關係。Hohaus (1970)指出模型具有形式量體、材質、結構等三度空間呈現，是一種比 2D 圖面更可以精準表現空間的設計媒材。實體模型藉由其三度空間的特性以及真實的觸覺感知可以讓設計者更容易理解設計的空間關係以及設計形式的真實表現 (Porter and Neale, 2000; Breen et al., 2003; Smith, 2004)。Abbo (1996)也指出模型的“空間性”特質 (spatial characteristic)如深度及距離的表現，可以讓設計者更容易去理解空間設計的三度空間關係。

由上述可歸納出實體模型在設計過程中，所能給予設計者在思考設計上的輔助功能：透過形式、空間、結構、材料及光影等檢視因子檢視設計者原始腦中的構想，並更進一步刺激新的設計想法。這些檢視因子在傳統的設計過程中，得以透過實體模型帶給設計者在設計操作上的輔助，那麼同樣的輔助功能也應該在數位設計過程中的實體模型操作上反應出來。在數位設計過程中，設計者如何運用實體模型的檢視因子來輔助設計操作將是本章節的分析重點。

形式：

形式是一種透過形的建構去表達設計理念的手法。當所使用的手法在外在表現上表達出某種特定的表現性與特徵，其所表現出的意涵也就形成一種特定的形式。建築形式美感主要包括了比例、尺度、平衡、對稱、韻律、統一、變化與對比等 (Liu,1996)。當運用形式因之檢視實體模型時，即檢視設計外在表現的建築形式美感。

空間：

空間是藉由建築元素所圍塑出的氛圍感知。空間的氛圍感知是建築設計中非常重要的一環。它屬於外在形式裡的內部表現。設計者可以透過建築元素的組織與安排，使空間上的感知符合概念上所要表達的感覺與想像。透過實體模型的空间因子檢視，重點仍在於比例、尺度、平衡、對稱、韻律、統一、變化與對比等；不同形式在於外在，空間強調的是內部的感受。

結構：

結構是設計者將其建築設計方案實際落實的方法，解決結構問題，設計者腦中的設計想像才有落實的可能。在想像階段，並沒有實際限制的考量(如地心引力)，因此想像與落實之間產生落差，另一

方面結構的設計同樣反應出概念上的邏輯。因此實體模型的結構因子在檢視上，一方面檢視實際落實的可能性與方式，另一方面也檢視結構上的邏輯與概念之間的關係。

材料：

材料的應用是呈現建築設計質感與表現性的重要來源，同時材料的質感呈現的狀態增加建築被感知的能力，不僅止於視覺的明暗色彩，更是一種材料的質感亦或觸感。透過材料因子檢視實體模型時，分為兩種方式：第一，模型的材料為擬真性—透過真實的材料感知，檢視設計實際落實所表現的質感與表現性；第二，模型材料為概念性—以概念性的材質來增加設計概念的表現性。

光影：

光影是建築表現中一個重要元素，是由建築設計與環境(光線)之間的互動所產生的變化。如何引導光進入設計中，再透過設計手法藉由光產生影，利用兩者之間的變化產生更多的趣味性，皆屬實體模型透過光影因子要檢視的範圍。

(3). 數位模型的操作因子

在數位媒材，如 3D 建模軟體、演算法與電腦科技如 CAD 介入設計過程，實體模型已不是數位設計過程唯一可操作的模型形式 (Lynn, 1995; Lynn, 2002)，數位模型也同樣被運用在其中。這些數位模型最大的特徵就在於環境本質上的無重力狀態、材料的非物質性以及動態的操作過程與表現性 (Ruby, 2001; Ham, 2003)。

數位模型在設計操作上，可分為輔助工具和設計媒材的角色 (Asanowicz, 1999)。以工具的觀點作探討，主要是應用電腦的軟體界面在無重力狀態的數位環境中建構模型以及 3D 算圖顯示。透過這樣的運用，設計者可以藉由 3D 算圖的顯示快速得到空間與材質效果在視覺上的回饋，進而刺激出新的想法。同時，因為數位模型在無重力的數位環境中建構，結構合理性是可被忽略的條件。跳脫結構的限制之後，設計得以從形式轉變為更直接的表現 (Lynn, 1999; Lynn, 2002)。另一方面，透過數位環境下精準地建構操作，設計者可以探討設計建造的方式與結構的合理性 (Lindsey, 2001)。

以設計媒材的觀點作探討；在數位媒材應用下，許多的數位設計過程開始依賴參數設定與指令操作為主的數位設計環境，如此的應用發展出一套與過去傳統設計過程有極大差別的設計操作方式 (Ruby, 2001; Liu, 2001; Ham, 2003)。新的數位建構模型方式往往透過參數與指令直接在物件上操作，連續動態的形變演化過程成為設計操作非常重要的機制 (Kolarevic, 2000)。

由上述數位模型的特徵以及反應在操作上所扮演的不同角色，對於數位模型如何輔助設計者在數位設計過程上的思考，本章節即以空間、材質、表現、操作為數位模型的操作因子並作為分析數位模型在數位設計過程中所扮演的角色的架構。

空間：

空間是藉由建築元素所圍塑出的氛圍感知。在數位的環境中沒有真實比例的大小關係，並且可以在視覺上更自由的從任意角度以及視點的縮放檢視空間的氛圍。檢視上，數位模型雖然不能以實際的

視覺感知進行體驗與檢視，但另一方面可獲得較高的視點自由度與空間感知可能性。

材質：

物質化的材料在數位環境中轉換為非物質性的參數設定。透過參數設定，使得數位模型呈現出算圖技術上的擬物質化的表現。同時也因物件並沒有自我本質上的材質，因此透過人為參數上的設定，可以檢視不同材質的抽象表現，藉以刺激設計者更多的想像。

表現：


無重力的數位環境中，結構的承重與合理性是可被忽略的條件。跳脫結構的限制之後，設計形式得以被解放，型態變為一種更直接的表現，型態上更直接表達出設計概念與想法。

操作：

透過明確的電腦指令編修以及參數設定，數位模型可以快速產生。一方面以輔助工具觀點來說，設計者可以運用軟體介面在軟體環境中，以精準及合理的構築方式建構出數位結構模型。另一方面以設計媒材觀點來說，設計者更可透過參數設定的改變，使得型體設計的形變是自動生成與演化。

3-2 案例分析

3-2-1 路易斯住宅案 (Lewis Residence)



Lewis 住宅案為建在克里夫蘭市郊區的 Lyndurst 山頂上，其總面積為 22000 平方呎的住宅建築。它在空間上的機能為部份區域是公共的開放入口空間，而另一部份為私密的住宅空間。這個複合型態的主體建築包括了客廳、餐廳、兩個主臥室、入口大廳、圖書室、運動區域以及一個內閉式的游泳池。整個建築座落在擁有複雜的地景設計以及戶外雕塑品的基地。此設計案除了有 Philip Johnson 共同合作之外，更有許多藝術家的參與；因此不管是在基地所賦予的條件上或共同參與人員的背景上，此設計案都提供了 Gehry 一個去追求純粹造型設計的絕佳機會。

在這案子之前，數位媒材一直要到評估階段才會被 Gehry 操作於設計過程上；而此設計是第一個在設計發展步驟，數位媒材就開始應用在其中，同時這也是 Gehry 第一個坐在電腦前，運用數位媒材做出些許設計的案子。因此本研究選此案子為個別案例分析的對象。

(1). 設計過程

這個設計的概念為將多樣性的材料包括石材、金屬以及玻璃所建構而成的建築元素去組構出一個曲線性的複合體。Gehry 將每個建築單元視為一個藝術品，同時也將整體建築設計視為一個藝術品的創作。對於此設計案，Gehry 將設計重點放在外在形式上的操作，同時配合不同材質的運用，表現出建築與藝術品之間的結合。

建築計劃

在設計過程上，即便 Gehry 將此設計案視為一個藝術品的設計，其開端仍與其它所有案子一樣，

開始於建築最基本的問題：空間機能的配置。因此在建築計劃階段，Gehry 便運用量體模型配合基地模(圖 3-1)去思考空間上的配置，這些模型造成了許多不同計劃物件的視覺計算，可以允許安排與重新安排，同時對機能與量體彼此的關係提出建議。除了上述運用在基地模上討論的量體模型外，在思考配置的同時製作另一個量體模型(圖 3-2)決定各個量體的基本形式。

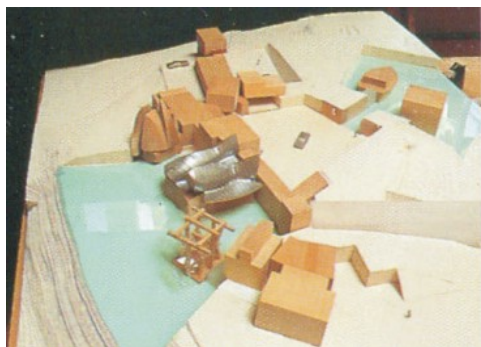


圖 3-1 量體模型



圖 3-2 量體模型

概念發展

此設計案在概念發展階段，相較於其它案子 Gehry 大量的運用手繪草圖與實體模型的配合，並且著重於整體性的構想；此設計案只運用實體模型進行概念發展，並且將每個空間單元單獨視為一個藝術品，焦點聚集在獨立單元量體的設計，設計初步先不考慮建築機能與使用空間上的問題，而是單就純粹外在形式。在這看似藝術品的創作中，直接運用實體模型進行形式與材質的探討，利用撕過的紙張、木材、石頭、石膏、金屬網還有其他可以捕捉概念中的「潛藏能量」之特性的任何材料，快速打造出一系列的概念實體模型(圖 3-3)。當各個設計單元體設計完成後，重新放置在原本的配置上做整體性的探討如圖 3-4，藉此進行各個單元在轉化為建築使用空間上的初步設計，透過這樣的過程，逐漸將偏重於藝術創作的過程拉回到建築設計上。



圖 3-3 快速打造的一系列概念實體模型



圖 3-4 將各單元放回基地作探討

設計發展

當概念性的模型確定後，Gehry 開始著手於外部皮層與皮層內部的空間設計。這個階段的設計過程在設計思考方面，主要運用一系列設計程序實體模型(圖 3-5)的操作方式去轉化概念模型到空間模型；逐步將各個概念單元體加入空間使用的機能。同時在外部皮層的設計是以整體性的架構作為設計構想，藉由皮層的設計，連接起原本為分散各自獨立單元，成為一個連貫性的空間組織。在皮層實體模型的使用材料上，由於 Gehry 追求更加自由彎曲的表現，因此選擇最容易塑型與切割的黏土

作初步性的操作(圖 3-6)；黏土的柔軟性及易塑性可以提供 Gehry 快速彎曲出流線的造型，並以此得到視覺上與觸覺上的回饋，並進一步刺激出新的法想；Gehry 除了黏土外，也使用稍硬且較易定型的樹脂蠟(圖 3-7)。Gehry 在設計過程中，先後運用這兩種材料在實體模型的操作上找尋理想中皮層的設計表現。



圖 3-5 設計發展模型

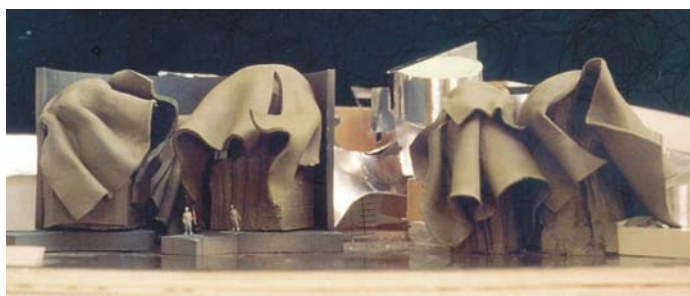


圖 3-6 黏土製實體模型



圖 3-7 樹脂蠟製實體模型

媒材的使用上，除了大量使用實體模型之外，在皮層某些部份 (馬頭入口大廳造型設計)為 Gehry 運用電腦直接在數位環境中發展出造型設計(圖 3-8)而非透過實體模型。這是 Gehry 第一個在設計發展的步驟中使用數位媒材發展出的造型。



圖 3-8 馬頭入口大廳造型設計 CATIA 模型

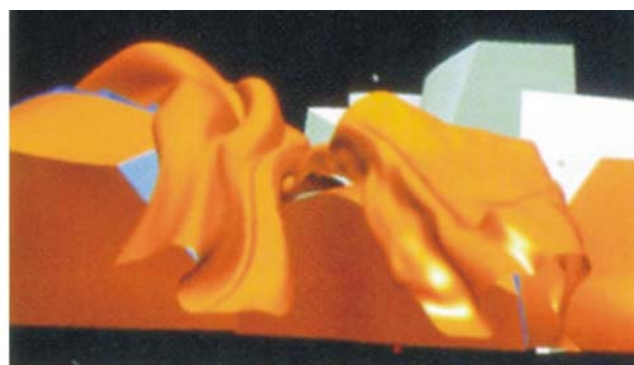


圖 3-91 CATIA 模型

設計定案

當許許多多的設計程序模型開始整合為同一個方向，同時開始解決基地與機能的關係，初步定案模型就會開始被製作出來。這些設計初步定案模型以手工完成後，隨即運用 CAM 的技術(Faro 數位儀)將之數位化為 CATIA 數位模型，同時配合上述直接在數位環境發展的馬頭造型進行編修(圖 3-9)，並再透過 CAM 的技術輸出成精確且接近最後實際落實的設計定案模型。在 CAM 的技術上，運用「快速鑄型」(Rapid Prototyping)技術製造出局部實體模型(圖 3-10)與整體實體模型(圖 3-11)，這些

模型稱之為檢查模型，此方案運用 CAM 輸出的方式為立體石版印刷術(圖 3-10)與雷射切割紙張堆疊模型(LOM, 層壓物件製造)(圖 3-11)。這些 CAM 所輸出的模型被拿來與設計模型比較，並讓設計者再度回到真實空間去做編修微調，這種混合程序對於設計程序的貢獻，可以精確地讓數位模型在直接與真實材料操作的互動下，提供觸覺回饋的補充，同時也用來檢核數位模型，驗證數位資料的準確性，被稱之為檢查模型；主要操作程序如圖 3-12 所示。與前者初步定案模型一樣，這兩種大尺度的模型可以提供更精確的結構發展，外牆、開窗及材料選擇的細部發展亦然。當混合程序發展到最後的結果時，設計定案模型也就產生出來。



圖 3-10 立體石版印刷局部模型



圖 3-11 雷射切割紙張堆疊整體模型

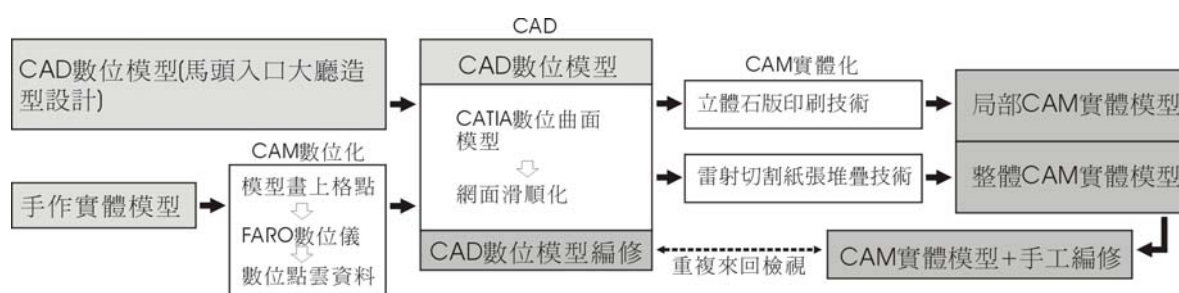


圖 3-12 應用數位媒材輔助實體與數位模型混合操作程序

小結

Lewis Residence 設計案雖然最後並未實際建造，但對 Gehry 之後的設計產生非常大的影響。由於此設計案選擇以藝術雕塑的操作方式進行初步設計，並且在整體造型上也較過去的設計案複雜許多，因此在概念發展與設計發展階段，相較於之前的設計案，製作更多同時也更加倚重實體模型，同時也實驗性的操作更多元化的材料，並從其中刺激 Gehry 在設計上更多的想像。另一方面，此設計案在數位媒材的運用上與過去的設計案有所不同。Gehry 在過去的設計過程中，數位媒材僅運用在設計最後的階段，而此設計案，數位媒材在設計發展步驟就被運用到設計過程作為發展造型的工具，這樣的改變擴展了 Gehry 前後期數位媒材的運用。整體來說，Gehry 在設計初期主要以手作實體模型為主要設計媒材，一直到設計發展階段後期才開始應用數位媒材的輔助，主要以 CATIA 數位模型以及 CAM 的技術製作出局部及整體性的實體模型，來回檢視設計並加以編修。圖 3-13 為整個數位設計程序。

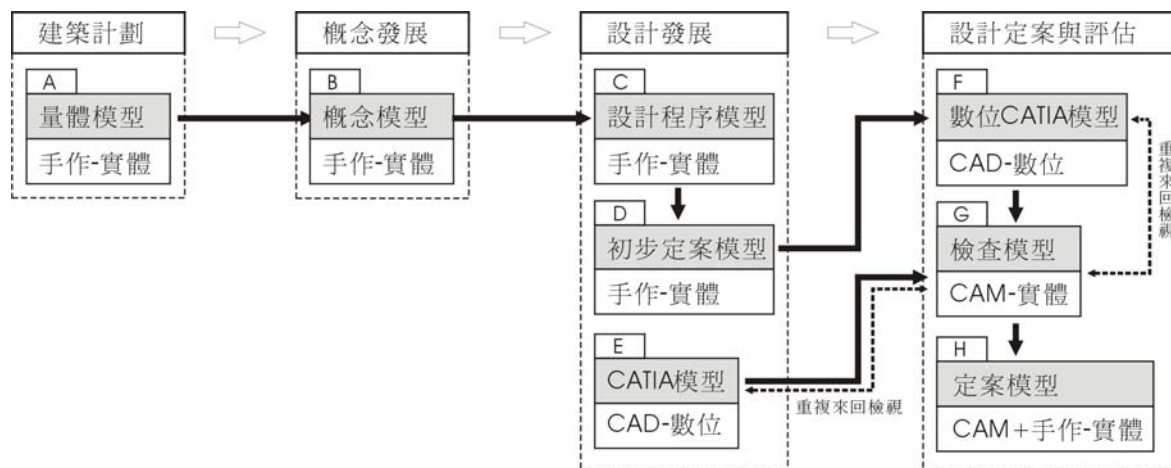


圖 3-13 Lewis Residence 數位設計過程

(2). 實體模型的操作因子

A. 量體模型

在「形式」因子方面，量體模型分為兩階段的操作，第一階段模型(圖 3-14)先以方正形式的大小量體先探討基本使用空間的需求量，同時探討量體在基地模型上的配置形式，以及各個量體之間的大小、長短比例關係。第二階段模型(圖 3-15)，除了同樣做上述的探討外，更增加了各個量體的形式變化以及整體形式上的韻律的探討。在「空間」因子方面，藉由模型去探討量體圍塑出的虛空間與量體之間的虛實關係以及反應在基地上的空間比例關係。在「材料」因子方面，除了使用不同的模型材料製作設計量體與基地模型外，在基地模型上的製作上，也初步透過藍色的材料反應出基地環境的部份現實情況(水面)，提供設計者在視覺上的輔助。「結構」及「光影」因子方面，則因此階段為設計初期，所以並未著重在兩者的探討。



圖 3-14 量體模型



圖 3-15 量體模型



圖 3-16 單一形式、材料概念實體模型

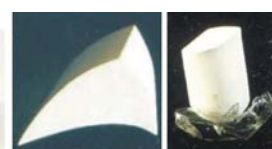


圖 3-17 不同材料、形式與虛實空間的組構概念實體模型

B. 概念模型

在「形式」因子方面，概念模型以圖 3-15 量體模型的基本形式，重新在這一系列的模型中，將每個單元視為一個獨立的個體(圖 3-16,17)，並以藝術觀感的角度探討純粹在形式上流線造型的韻律表現，以及透過組構不同形式的個體去發掘更多在形式表現上的可能性(圖 3-17)。在「空間」因子方面，一方面透過空間位置上的檢視去進行組構不同材料、形式以及虛、實空間的操作，另一方面也透過所組構完成後所表現出的空間感去作模型上的調整。在「材料」因子方面，運用多元化材料的不同質感去探討材料與形式配合下所表現出的美感(圖 3-18)。在「光影」因子方面，部分材料因為是透明材質，因此可以帶出與光影互動的效果，這些效果可輔助形式、材料與空間上的操作。在此階段仍未著重在「結構」因子上的探討。

C.設計程序模型

設計程序模型的操作大至可分為兩個階段，第一階段的操作以概念模型作為初步的基礎，在「形式」因子方面，將概念模型的形式表現做進一步在尺度比例上的調整，使其轉變為具有內部使用空間的形式表現(圖 3-19)，另一方面也透過新形式的構想去強化原本概念模型在材料上的視覺表現(圖 3-20)。在「空間」因子方面，設計程序模型藉由使用機能的加入，將部份概念形態的空間轉變為實際使用形態的空間，透過模型的操作可以直接感受在內部空間的空間感。在設計發展階段，外部形式的表現更直接的影響內部空間的空間感受，因此透過形式、空間之間的彼此檢視，把設計案推往更細部的發展。在「材料」因子方面，擴大原本材料單純的材質表現，加強材料表面的視覺及觸覺效果，如圖 3-19 中，用粗糙的金屬皺褶的紙片取代原本的石頭材料，這樣的材料操作改變可以表現出更強烈的設計概念，同時可以提供在形式與空間的操作上更多的可能性。在「結構」因子方面，透過模型的製作，直接初步檢視結構的合理性，如從圖 3-19 中可看出木頭高棧道的主要結構為兩端的巨型雕塑品，而其餘的木條則為輔助性結構，在模型製作的過程中，這樣的結構系統可以撐起圖中的平台，也就足以初步驗證這樣的結構是具有合理性的。在「光影」因子方面，在操作的過程中，除了專注在模型本身的檢視外，同樣也關注於周圍光線投射在模型上的光影變化，這樣的光影變化可以輔助 Gehry 在形式、空間及材料上的操作，由圖 3-21 可看出在設計結構混雜地促立在兩旁的空間，透過光的投射所產生出的光影效果，確實可以加強空間的層次，藉由這樣反覆的檢視並反應在形式、空間及材料的操作上，可以逐漸將設計發展出更豐富的表現。



圖 3-18 多元性的材料操作



圖 3-19 設計程序模型



圖 3-20 延伸概念模型材料的形式操作



圖 3-21 運用設計程序模型檢視光影的效果

第二階段的操作分為前後兩個方案，第一個方案延續第一階段的探討，除了以上述所提的「形式」、「空間」、「材料」、「結構」及「光影」的操作將仍為概念量體的部份轉變為使用空間，另一部份在「形式」因子方面，藉由上一階段的粗糙紙片的散射形式(圖 3-20)，發展出以流暢線性的散射方式組構在一起的碎形尖銳長條形式的皮層設計(圖 3-22)。在「材料」方面，配合形式上的尖銳表現，將前一階段的皺褶金屬紙片改以光滑的鏡面金屬材料進行材料上的操作。在「空間」因子方面，透過模型的操作，可以檢視配合鏡面金屬的質感配合形式上的表現所塑造出極為銳利及堅硬的空間感受，藉由檢視的結果來確定在形式及材料上的操作是否符合設計期望。在「光影」因子方面，藉由模型在自然光線下的操作，去檢視鏡面金屬的反光材質所反應出的光影變化是否符合 Gehry 在設計想法上的想像。第二個方案，在「形式」因子方面，為藉由第一個方案對皮層設計的操作與檢視，進而所提出的另一個皮層形式的設計(圖 3-23)：以大面積自由彎曲的連續曲面為主要形式；並藉由模型的操作去探討整體形式的曲線韻律美感以及比例的協調關係。在「空間」因子方面，透過模型的操作，可以檢視自由彎折的曲面表現所塑造出的柔和空間感受，藉由檢視的結果來確定在形式上的操作是否符合設計期望。在「材料」因子方面，選擇具有柔軟以及容易塑型特性的樹脂蠟，藉此方便彎折造型的操作，藉此探討更多形式操作的可能性。在兩階段的「結構」因子方面，隨著形式

操作逐漸趨於確定，因此也能以更接近真實結構的建構方式去進行模型的結構操作，藉此檢視在結構處理上的合理性。在前後方案完成後，透過這兩個模型在形式、空間、材料上的檢視與比較，得以讓 Gehry 選擇較理想的方案進行後續的設計發展。



圖 3-22 設計程序模型第二階段的方案一模型

圖 3-23 設計程序模型第二階段的方案二模型

圖 3-24 初步定案模型

圖 3-25 透過模型的操作更加確定皮層的形式，以及皮層與內部空間的關係

D.初步定案模型

此階段延續設計程序模型的操作，持續將部份設計單元體藉由設計程序模型的第一階段所論述的「形式」、「空間」、「材料」以及「結構」在模型上操作，使各個設計單元體在此階段完全轉換為建築使用空間(圖 3-24)。在「形式」因子方面，延續設計程序模型第二階段的第二方案的皮層形式設計作發展，並藉由模型的形式操作使皮層的形式設計更具有自由彎曲的變化，以及起伏轉折的韻律表現(圖 3-25)，同時也將自由面的設計形式延伸到其它的設計單元體，並作整體設計形式的協調性的檢視。在「空間」因子方面，在進行外部皮層形式的操作同時，也關注內部圍塑出的空間的起伏韻律以及高低變化的比例關係。在皮層形式確定後，透過模型在空間上的操作去進行室內空間的安排，同時檢視各個空間大小、高低的比例關係。在「光影」因子方面，除了在自然的光影下去進行模型的操作之外，同時運用內部打光，模擬室內光源下的空間感受，藉此輔助設計者能更清楚了解室內空間的感受。在「結構」因子方面，在形式與空間逐漸得以確定，因此也能以更精準的結構去進行空間上的建構，並且讓整體設計顯得更具合理性。在「材料」因子方面，大至上皆承接設計程序模型，仍以容易操作的材料作為操作的媒材。

G.檢查模型+H.定案模型

在此設計案所輸出的檢查模型分為局部大比例模型以及整體模型。透過極具確定性的局部大尺度模型(圖 3-26,27,28)，在「形式」因子方面，透過檢查模型的形式操作，除了將初步定案模型較任意彎曲且較複雜變化的皮層設計形式藉由形式韻律及彎曲比例的檢視去進行簡化，藉以增加在落實上的可能性外，同時也藉由輸出及檢視的過程，將皮層設計形式發展成定案階段。在「空間」因子方面，著重在自由曲面皮層下的內部空間比例關係，以及忽高忽低的空間韻律檢視。在「結構」因子方面，透過精確的模型操作建構出精確的結構系統並操作細部結構的接合(圖 3-26,27)，同時藉此探討結構與空間交互影響所產生的視覺感受是否具有協調性的美感。在「材料」因子方面，以真實材料操作模型(圖 3-27,28)，真實材料所表現出的質感配合形式與空間上的表現，可以使得操作上更接近設計最後完成的狀態。透過輸出全部的模型(圖 3-29)，在「形式」因子方面，可以操作形式上的整體比例、建築單元體之間形式差異的協調性以及自由形體起伏彎曲所產生的形式韻律。在「空間」因子方面，同樣可藉由整個模型作整體的空間操作，但相對於局部模型來說，較著重在設計單元的外部空間以及單元與單元所共構出的空間操作，並檢視各個空間之間的比例關係，以及其所表現出的空間感受。在「結構」因子方面，因為所輸出的模型為極精準的 CAM 模型，因此也能以更精準的結構去進行模型操作上的建構(圖 3-31)。在「材料」因子方面，因為輸出模型皆為 CAM 材料，因此

並為有過多的討論。在「光影」因子方面，在自然的光影下去檢視 CAM 所輸出的模型，並進行部份的手作操作。



圖 3-26 局部大尺度
檢查模型

圖 3-27 大尺度檢
查模型

圖 3-28 局部大尺
度檢查模型

圖 3-29 定案模型

圖 3-30 定案模型



圖 3-31 定案模型

圖 3-32 CATIA 數位模型

圖 3-33 CATIA 數位模型

(3).數位模型的操作因子

E.CATIA數位模型

在「操作」因子方面，透過 CATIA 軟體界面，直接在數位環境中建構出此模型(圖 3-32)，在「表現」因子方面，不考慮現實結構上的支撐，直接透過軟體介面直接在數位環境中，藉由曲面彎曲變化的表現檢視去彎曲出此馬頭造型。在「空間」因子方面，運用電腦軟體的打光進行算圖，模擬出光線與皮層造型交互影響下的光影效果，加強造型上的立體視覺感受，藉此檢視造型所創造出的空間表現。在「材質」因子方面，運用電腦算圖模擬出金屬材質配合曲面皮層的視覺效果，藉此可以預先了解接近真實材料應用在所設計的造型上時產生的效果，藉此可以輔助在造型上的操作。

F. CATIA數位模型

在「操作」因子方面，此模型部份為實體模型運用 CAM 的技術輸入進電腦，透過 CATIA 的軟體界面建構出的數位模型(圖 3-33)，並作為轉輸出成實體模型之用，另一方面，圖 3-33 中右邊的馬頭造型是直接在數位環境中操作出來的，因此在這模型直接做兩者的整合。在「表現」因子方面，不考慮結構性支撐，直接透過此模型的曲面彎曲變化的表現檢視去進行兩個表皮造型上設計及整合。在「空間」因子方面，除了檢視表皮設計底下所圍塑出的空間所表現出的空間感受之外，同時也檢視兩個皮層造型在空間中的相對位置關係，以及其所共構出的空間感受。在「材質」因子方面，將自由形體與其他設計單元體分別用不同顏色的材質作區分，方便操作上的進行。

(4).綜合分析

在 Lewis Residence 設計案，Gehry 以一種近似藝術創作的方式進行建築設計，不管是在造型或是材料都盡其可能的解放過去的束縛，並尋求任何新的可能性，而在這極具創造性的案子的設計過程中，模型佔有非常重要的角色，並在每個階段輔助設計的進行。

在建築計劃階段，Gehry 承習過去的習慣，先以量體模型的操作決定設計案最基本的「形式」與「空間」因子的操作架構，形式的架構與空間上的配置為概念模型所延用；透過概念模型在「形式」、「空

間」與「材料」因子的操作，將多元的概念性材料及延伸原有的形式，整合出可做為設計發展的單元體。設計發展階段的初期，這些概念性的單原體透過設計程序模型進行發展，配合「結構」因子的操作逐漸轉變為建築使用空間，過程中，透過兩個方案在「形式」與「空間」以及「材料」因子的比較及相互檢視，逐漸整合出「形式」與「空間」因子的設計、「結構」因子的建構方式及「材料」因子的運用。「形式」與「空間」在初步定案模型發展至確定後進入設計定案階段，一方面運用 CAD/CAM 的技術將部份實體模型輸入電腦，另一方面也透過檢視初步定案模型發展出在「形式」與「空間」的設計結果，直接以電腦的「操作」因子進行部份設計的「表現」與「空間」因子設計，並以數位模型的「材質」因子模擬決定設計最後的建構材料以及部份定案模型的材料，最後再由 CATIA 數位模型的「操作」因子做前後兩者數位模型的整合，完成後透過 CAM 技術輸出檢查模型並做整體「形式」、「空間」、「材料」及「結構」因子的相互檢視，圖 3-34 為整個「模型」輔助設計發展程序。

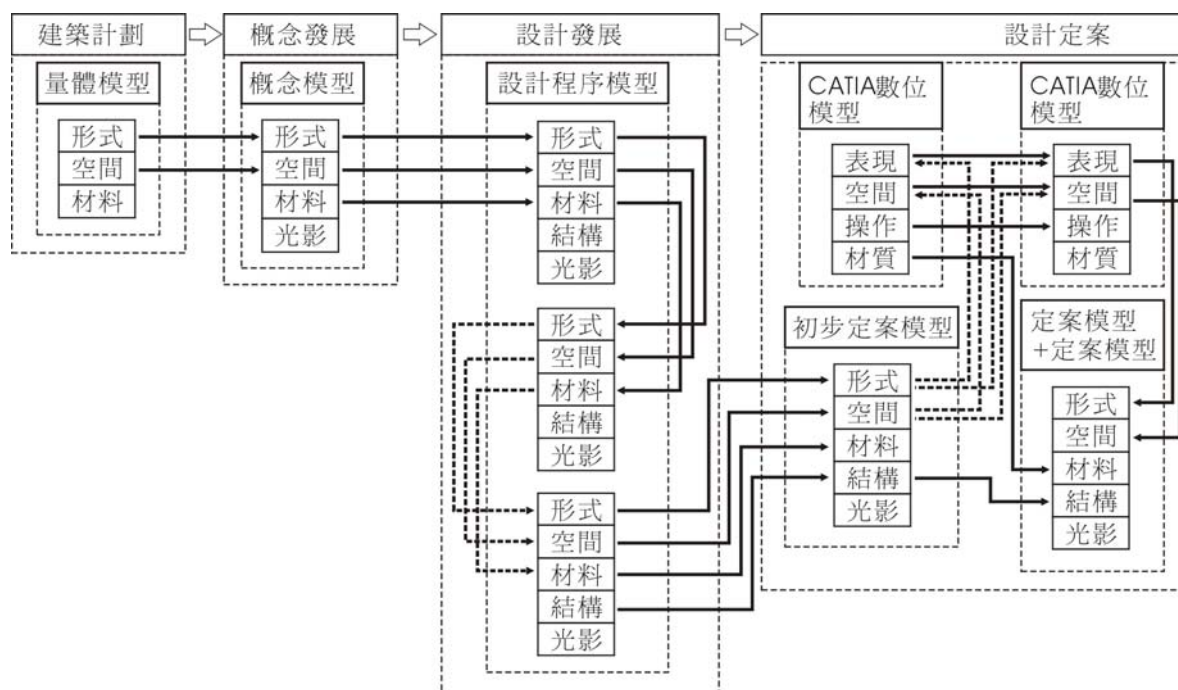


圖 3-34 不同階段，各個「模型」輔助設計發展程序圖

3-2-2 畢爾包古根漢美術館 (Guggenheim museum in Bilbao)

Bilbao 是位於西班牙的一個河岸工業都市。Guggenheim 美術館的基地位於 Nervion 河邊，藉由美術館的興建，企圖創造一個新的城市入口意象。此設計案採取競圖的方式，整體計劃期望設計案提供現代藝術品的展示空間，同時恢復親水面向的空間，整合具歷史意義的河岸工業與地方商業，使基地的潛力發揮到最大。此設計案為 Gehry 最著名的設計案之一，材料的選擇上，Gehry 運用鈦金屬 (Titanium) 及玻璃帷幕作為主要自由形體的外牆材料，另外在方形建築的外牆則選用西班牙的石灰石 (Limestone)，企圖以這三種主要材料所表現出的混合交錯質感以及兩種對比的建築形式讓整個美術館就像是一個大型現代藝術品。由於造型上的複雜程度以及極具流線性的形體設計，因此在設計過程中大量倚賴 CAD/CAM 的輔助。

(1). 設計過程

建築計劃

建築計劃階段，Gehry 先透過對基地的觀察，得到基地上正確的資訊並了解其中建築尺度及與基地的關係；除此之外也透過與業主的溝通了解到業主的需求後，Gehry 就開始透過快速勾勒草圖(圖 3-35)進行配置上的探討，配置所著重的重點也就在於機能要求與基地周邊的關係，探討如何將設計融入於現有的都市涵構中。從圖 3-35 中，可看出他在最初配置上就希望能有兩棟方形的建築，同時利用這兩棟建築去銜接舊有的都市，同時圍塑出主體設計空間的位置。決定配置後，再由這樣的建築計劃構想進行初步設計的量體配置操作，並以量體模型(圖 3-36)作為主要操作媒材。

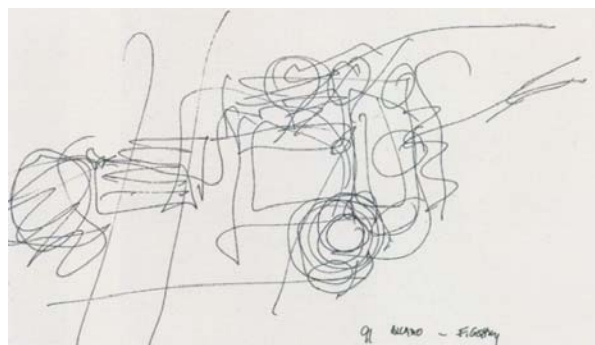


圖 3-35 配置計劃草圖

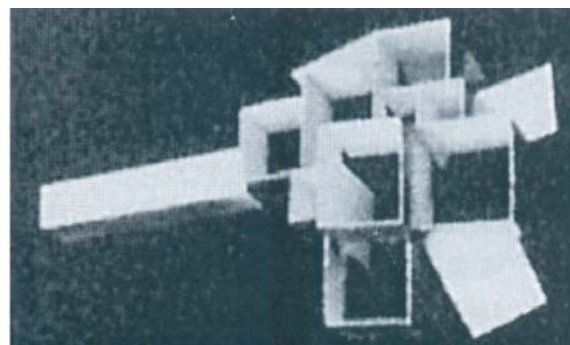


圖 3-36 量體模型

概念發展

概念發展階段，透過草圖的繪畫，Gehry 可以快速將腦中的想法以及概念透過自由的線條表現出來。除了草圖之外，模型的參與在此過程中也扮演重要的角色，這些實體模型扮演著將草圖轉換到真實空間作形式、空間與材料的探討，同時在製作過程中提供更多向度的真實視覺與觸覺回饋去檢視腦中的想法，並進一步刺激出新的想法，因此 Gehry 操作設計的方式一向取決於模型上的操作。在操作程序上，Gehry 運用一系列的草圖(圖 3-37)並配合上階段的定案量體模型(圖 3-36 以及大量的概念模型(圖 3-38)作設計上的概念發展。在模型的材料選擇方面，為了能快速的彎曲製作出草圖所勾勒出的自由曲線形體的想像，Gehry 選擇厚紙板作為操作媒材。



圖 3-37 一系列手繪概念草圖

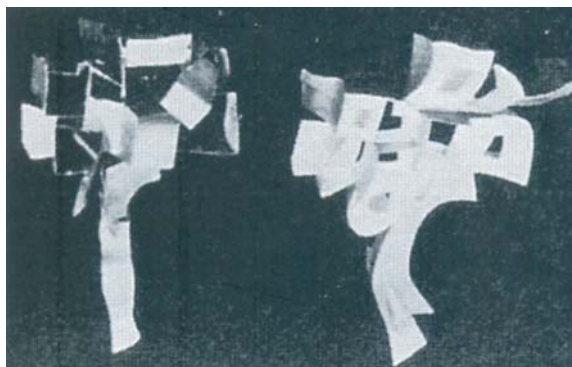


圖 3-38 紙作概念模型

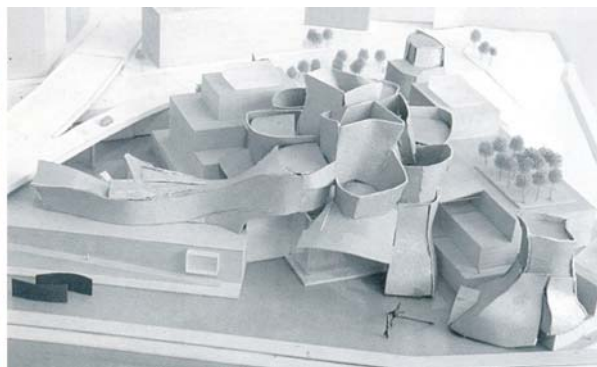


圖 3-39 紙作初步設計程序模型

設計發展

概念實體模型確定後，Gehry 即以概念實體模型作為發展設計程序模型的基礎形體，再運用設計程序模型做更進一步建築形式與使用空間的探討，逐步將設計概念落實到建築設計上，如圖 3-39 為初步設計發展階段定案的設計程序模型；此模型為 1991 年，Gehry 參加競圖時的模型。當概念模型轉換到設計程序模型後，更進一步透過製作一系列不同比例的設計程序模型(圖 3-40)，針對設計的局部與整體的發展，提出多樣性的設計方案，並從中整合出最後的初步定案模型(圖 3-41)。在過程中，設計程序模型被建造、再建造、撕開、重新建造，這樣的過程提供 Gehry 得以快速在真實三度空間中直接操作，並且讓實做程度多於智性程度。這樣的過程一直延續到整體設計透過設計程序模型操作到符合 Gehry 的期望。



圖 3-40 紙作不同比例的設計程序模型



圖 3-41 初步定案模型

設計定案

初步定案模型確定完成後，設計的形式與空間設計也就大至確定。接著 Gehry 開始運用數位媒材輔助數位化的發展，首先就是將手作初步定案模型透過 CAD/CAM 的技術數位化成 CATIA 數位模型(圖 3-42)以進行後續的操作。數位化的過程第一步就是在模型上以等距繪出格點(圖 3-43)，再如圖 3-44 以 FARO 數位儀描繪轉輸入為掃描點雲資料(3-45)，接著將這些數位點雲資料轉成 CATIA 數位曲面模型(圖 3-46)。當數位化的過程完成後，Gehry 為了檢查所轉換的數位模型與原本的手作模型之間的精準性，因此接著透過 CAM 技術的 CNC milling 輸出成精準的實體模型(檢查模型，圖 3-47)；操作程序如圖 3-48。

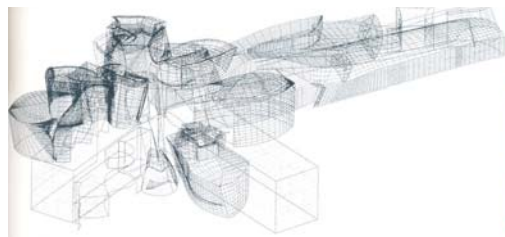


圖 3-42 CATIA 數位模型



圖 3-43 將實體模型上繪製格點



圖 3-44 運用 FARO 數位儀過程

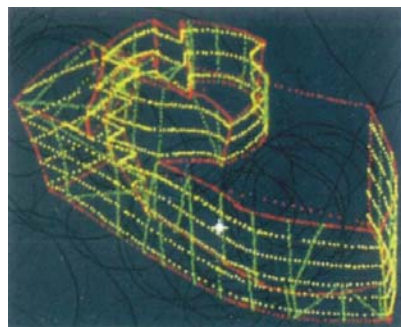


圖 3-45 掃描雲點資料

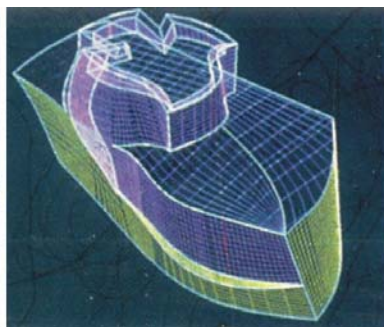


圖 3-46 CATIA 曲面模型



圖 3-47 CNC milling 模型

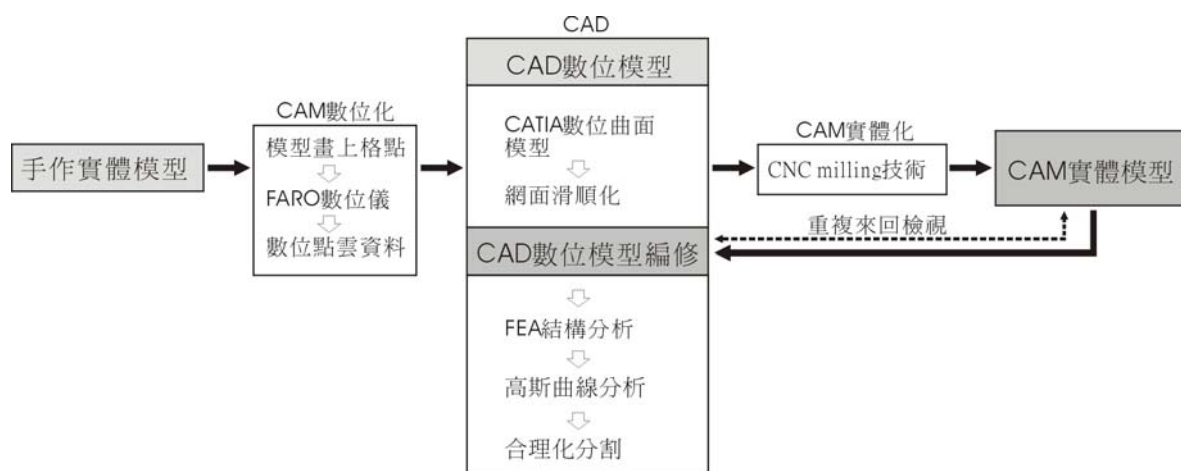


圖 3-48 應用數位媒材輔助實體與數位模型混合操作程序

這樣重新輸出的實體模型除了可以驗證數位模型的精準性之外，同時也提供 Gehry 能再次以更精準，更接近最後實際建造的實體模型上做設計上的檢視與微調(圖 3-49)，並再回到 CATIA 模型上進行修改；如圖 3-50，Gehey 直接在數位模型上做調整。藉由實體與數位模型之間來回反覆的檢視及調整，最後由定案的 CATIA 數位模型透過 CAM 輸出定案模型(圖 3-51)。

CATIA 定案數位模型除了運用在形體發展之外，在結構設計上也可以透過 CATIA 的軟體界面作發展。主要結構設計分為骨架與表皮兩方面。在骨架上，Gehry 在 CATIA 模型中進行 FEA 結構分析(Finite element structural analysis, FEA)(圖 3-52)，將主要鋼骨結構設計出來；在表皮上，則運用 CATIA 模型中的高斯曲線分析(Gaussian analysis)(圖 3-53)以及合理化分割系統(CATIA patterning optimization program)，將表面合理化的分割出來。



圖 3-49 在 CAM 輸出的實體模型上操作



圖 3-50 調整 CATIA 模型



圖 3-51 定案模型

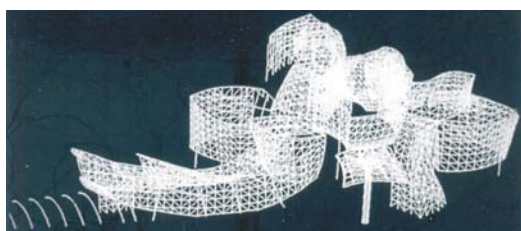


圖 3-52 CATIA 模型進行 FEA 結構分析

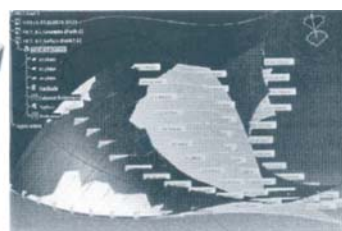
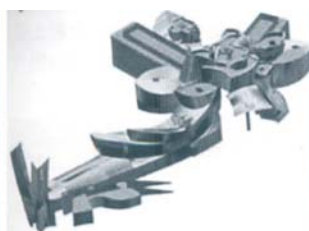


圖 3-53 CATIA 模型進行高斯曲線分析及合理化分割系統分析

小結

Guggenheim museum 設計案在設計初期的建築計劃以及概念發展階段，主要以手繪草圖與手作模型為主要操作媒材。手繪草圖最直接的將 Gehry 的設計想法表現出來，手作實體模型扮演將草圖想像轉化為在真實三度空間操作的角色，並且可透過真實視覺與觸覺回饋去作發展。在設計發展階段，整體來說完全倚賴手作實體模型，以實做為主要進行的操作方式，運用一系列不同比例的設計程序模型以及反覆的操作模型行為，逐漸將設計的概念與機能上的需求整合發展為初步定案模型。設計定案階段，數位設計媒材的輔助開始運用在設計過程中，透過 CAD 的 CATIA 數位模型以及 CAM 所輸出的檢查模型來回檢視設計，一方面做最後形體發展上的確認，另一方面也做數位模型與初步定案模型關係上的精準性檢查，最後以 CAM 技術將定案的 CATIA 模型輸出成定案模型，除此之外，CATIA 模型也藉由軟體上的界面發展為結構分析模型。圖 3-54 為整個數位設計程序。

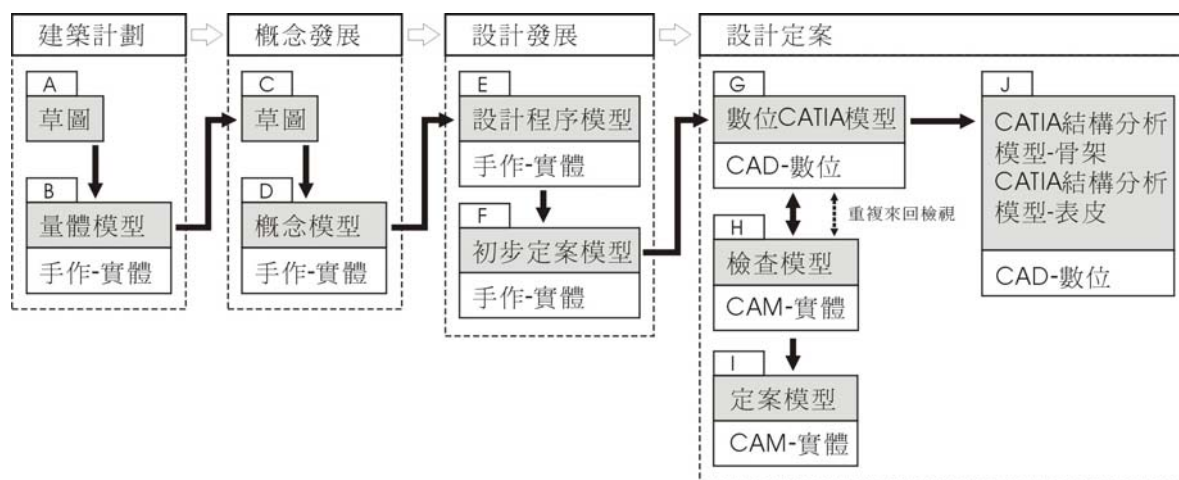


圖 3-54 Guggenheim museum 數位設計過程

(2).實體模型的操作因子

B.量體模型

在「形式」因子方面，根據草圖及基地關係所提出的配置構想，透過操作量體之間在三向度上的形式比例關係，在形式上提出設計案最原始的基本形體的形式。在「空間」因子方面，藉由模型的操作，處理量體之間在空間上的相對位置的比例關係，並同時探討內部空間組織的安排(圖 3-55)。此階段的模型操作僅專注在形式與空間的探討，在「材料」因子方面，皆以方便操作的紙板進行製作，同時也並未著重於「結構」及「光影」上作探討。

D.概念模型

在「形式」因子方面，將原本為方正的量體形式透過形式操作上的韻律美感以及比例關係，將概念想法(一群在河面上跳動的魚)轉化成帶有律動感覺的曲面造形去表現躍動的魚的想像。在「空間」因子方面，藉由外部形式的轉變以及配合量體在空間上的重新組構操作，使得自由曲面所圍塑出的空間感變得更具變化性(圖 3-56)。此階段仍專注在形式與空間的探討，「材料」上仍皆以方便操作的紙板進行製作，同時仍未著重在「結構」及「光影」上作探討。



圖 3-55 量體模型

圖 3-56 一群河面上跳動的魚概念模型

圖 3-57 初步設計程序模型

圖 3-58 設計程序模型

E.設計程序模型

在「形式」因子方面，將承接概念模型的概念設計形式，藉由考慮實際使用機能上的形式操作，以大小比例關係及曲面彎曲的韻律表現去檢視設計。在操作自由形體的形式設計的同時，也將其放回基地模型上與原先草圖上所構想的 L 型方正形體作結合(圖 3-57)，透過檢視自由形體與方形量體之間的形式對比以及兩者共構出的空間關係，在自由形體的曲面韻律及與彼此間相互連結出的協調關係做更進一步的操作。在「空間」因子方面，在加入實際使用空間的思維後，將各個量體更詳細的在三度空間中做長、寬、高的比例大小及組構的相對位置的探討。一方面也檢視自由形體及 L 型方正形體的結合所共構出來的空間關係上的空間協調感，另一方面也在空間的組織上進行更合理的編排，最後提出初步的方案(圖 3-57)。在「材料」因子方面，將設計與基地以及設計上的自由曲面形式與方正形式分別用不一樣的材料進行，藉此方便形式與空間上的操作。在此階段並未著重在「結構」及「光影」因子方面的討論。

當自由形體與方正形體設計初步整合後，在「形式」因子方面，透過製作許多不同方案以及不同大小比例的模型(圖 3-58)，著重於各個獨立量體在曲面形式變化的更多可能性的探討，另一方面，在外部皮層有開窗形式的操作加入(圖 3-59)，模型的操作可檢視形式上開窗的虛空間與量體之間的比例關係。在「空間」因子方面，藉由三度空間的操作去探討自由彎曲的量體在空間中的相對彎曲變化關係。在內部空間感受的探討上，也可以檢視開窗所造成的空間視覺效果。在「光影」因子方面，除了在自然的光線下檢視整個設計之外，由於在外部皮層有開窗形式的操作，因此可藉由自然光線去檢視光線透過窗戶所產生的光影變化的效果是否增加空間上的層次感。在「材料」因子方面，仍以紙板作為操作媒材，紙板可以快速建構出變化性較大的不同方案，由此可以輔助在形式因子方面

去檢視各個方案在形式變化上的比例關係以及協調性。在此階段並未著重在「結構」因子的討論。



圖 3-59 外部皮層的開窗形式操作



圖 3-60 高塔設計初步設計程序模型



圖 3-61 大尺度設計程序模型

除了設計主體之外，圖 3-60 為設計案中高塔設計的一系列模型，操作的重點在高塔的形式探討。在「形式」因子方面，透過模型的操作，在形式上以不同比例大小的分割塊面去拼湊出高塔，藉此表現出不同分割比例的視覺感受，再以此感受去檢視每個方案在形式上的美感表現。在「空間」因子方面，透過三度空間的操作，可以從中去檢視外在皮層及內部空間所表現出的空間韻律感，同時可以透過大尺度模型的操作，去了解設計基地環境互相之間的細部空間關係(圖 3-61)。在「材料」因子方面，加入不同材料的應用，一方面增加檢視上更接近實際情況的準確性，另一方面也刺激設計者有更多設計上的想法。在「結構」因子方面，透過較大尺度的模型操作，可以實際遇到並解決結構以及細部上的問題；如圖 3-61 中，從主要的結構體與曲面之間的結構支撐，以及主結構與次結構的連接到如何將樓梯懸掛在主結構與次結構之間的細部問題皆可在模型的操作過程中做檢視。

F.初步定案模型

在「形式」因子方面，可將設計程序模型在各個方案所提出在形式設計做整合，並透過較確定的模型操作做整體自由曲面所表現出的韻律美感以及自由形體與方正形體兩者形式上的協調。同時也關注到設計與基地所共同建構出的空間關係(圖 3-62)。在「空間」因子方面，一方面在三度空間中，透過模型的操作過程，檢視各個量體在空間中的相對彎曲變化關係以及相對位置，另外也透過模型直接表現出的空間感去檢視設計的各個空間細節所表現出來的空間感。在「結構」因子方面，由於形式與空間的發展得以確定，因此在結構上能確定最後的建構方式去製作出模型，同時也利用更大尺度模型的操作，去檢視設計結構的可行性(圖 3-63)。另外模型曲面的表面有繪製網格線(圖 3-64)，利用繪製的過程可以探討最後建造時的曲面分割形式以及實際建造時的皮層建構方式；另一方面，這些網格線同樣也作為將實體模型轉換為數位模型的基準線。在「材料」因子方面，將自由形體、L 形方正形體及基地模分別用不同材料操作，一方面讓模型在操作上更方便，另一方面則是方便模型在視覺表現上的檢視。在「光影」因子方面，除了在自然的光影環境下操作模型外，並未著重其它的討論。



圖 3-62 初步定案模型



圖 3-63 大尺度
結構模型



圖 3-64 模型表面繪製網格線



圖 3-65 檢查模型



圖 3-66 完整組構檢查
模型

H.檢查模型

在「形式」因子方面，主要透過檢查模型檢視原先手工的實體模型轉換至數位模型的外在形式的精

確性(圖 3-65)。在「空間」因子方面，透過這些輸出量體模型所組構出的完整設計模型(圖 3-66)，能讓設計者以更精確的標準去進行設計細節在空間中的相對位置的檢視以及操作。在「材料」因子方面，CAM 輸出部份的材料操作僅將輸出的自由形體模型做顏色的處理，藉此將其在模型的視覺表現上突顯出來，其餘手作的部份則以真實材料進行操作，藉此精確的製作出所要傳達的設計想像。在「結構」因子方面，除了高塔的骨架以及少許的手作部份外，並未有過多的操作與討論。在「光影」因子方面，除了在自然的光影環境下操作模型外，並未著重其它的討論。

I.定案模型

在「形式」因子方面，此模型主要形體的設計形式大至已確定，僅在細節的形式表現上做調整。在「空間」因子方面，透過大尺度模型的操作，除了外部的細部空間的處理外，同時可以檢視室內空間的細節。在「結構」因子方面，主要在於設計中較細節的結構檢視，如：玻璃帷幕自身的結構性分割(圖 3-67)以及 3-68 圖中玻璃帷幕與實體金屬量體銜接的細部及屋簷內部的支撐結構。透過大尺度模型的操作，一方面可藉由真實重力環境下去解決結構上的問題，另一方面在「材料」因子方面，也以擬真性的材料盡可能讓模型接近於真實建造出的樣子。在「光影」因子方面，透過特殊的室內光源打光(圖 3-68,69)，藉以更了解設計案中細微的空間感受。



圖 3-67 玻璃帷幕
操作模型

圖 3-68 細部結構
操作及室內打光

圖 3-69 定案模型

圖 3-70 CATIA 數位表面模型

圖 3-71 CATIA 結構分析模型

(3).數位模型的操作因子

G.CATIA數位模型

在「操作」因子方面，將一系列的節點運用 3D 數位儀轉輸入進 CATIA 軟體中，這些節點將被發展為數位表面(圖 3-70)。在「材質」因子方面，各個設計量體分別用不同的顏色材質作區分，方便在造形表現上的操作。在「表現」與「空間」因子方面，因為整體造形表現仍以實體模型的操作結果為主，因此在數位模型僅作細微的修改，並未做太多的討論。

J. CATIA結構分析模型

在「操作」因子方面，CATIA 結構分析模型以前一階段的數位模型透過 CATIA 軟體的介面進行結構分析與檢視(3-71)圖，透過數位軟體的操作，完整的骨架結構系統可以馬上在數位模型上建構出來，並可輸出圖面作為後續施工的精準依據。此階段主要運用數位媒材的操作去落實建造的過程，因此並未著重在「空間」、「材質」以及「表現」的討論。

(4).綜合分析

在建築計劃階段，以量體模型的操作決定設計案最初的设计在「形式」及「空間」因子上的組織與安排，到了概念發展階段，最初的设计形式及空間架構開始因為概念的置入而開始有了改變，在「形

式」因子方面，由方重量體轉變為帶有律動感覺的曲面造型，造型內部的「空間」因子關係也隨之轉變為較不規則的空間形態。在設計發展階段，逐漸將概念模型的形式操作及空間組織架構的安排，透過加入使用機能的考量，擴展為實際使用空間的操作，並且更透過一連串的設計程序模型進行在「形式」、「空間」及「材料」因子上的操作，以及在「光影」因子方面的檢視，並提出許許多多發展上的可能性的結果，作為初步定案模型後續操作之用。除了主體設計之外，高塔的設計也在此階段進行更進一步的操作，操作的內容包括「形式」、「空間」、「材料」、「光影」以及「結構」。初步定案模型的操作則將設計程序模型所提出的各種可能性，整合為一個最佳結果，同時在外在「形式」因子確定的情況下進行內部「結構」因子方面的操作，使得整體設計變為可建構。當初步設計定案模型完成後，透過 CAM 的技術將實體模型的各個設計單元轉輸入進 CATIA 的環境，並藉由 CATIA 的「操作」及「表現」因子去做外在形式設計的最後確認，並再透過 CAM 的技術輸出成檢查模型，而檢查模型重新將各個輸出的設計單元體組成設計主體，透過組構的過程可以重新檢視設計在「形式」因子方面以及以外的「空間」因子設計。在設計過程的最後，透過定案模型的操作，做最後「形式」、「空間」、「材料」及「結構」因子上的確認，圖 3-72 為整個「模型」輔助設計發展程序。

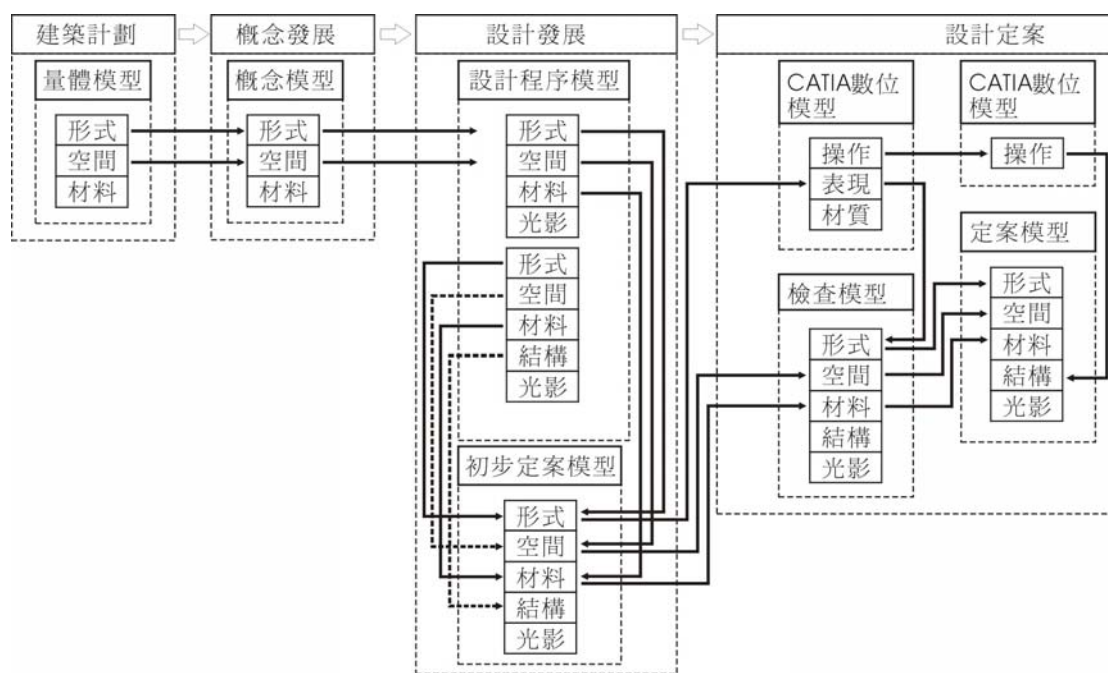


圖 3-72 不同階段，各個「模型」輔助設計發展程序圖

第四章 Greg Lynn 案例研究

4-1 分析前討論

4-1-1 對象與素材

Greg Lynn為新一代的建築設計者，1994年於美國南加州成立Greg Lynn/FORM事務所。Greg Lynn的設計操作方式有別於傳統建築設計的操作模式 (Lynn, 1999; Lynn and Rashid, 2002)，在建築設計中提出「animate form」的概念，即以連續的、動態的自由曲面賦予造型不一樣的表現形式，並善於應用電腦輔助設計與製造等數位工具來實踐，以下為其運用數位設計媒材作為設計操作的主要作品，列表如表 4-1。

設計案例	城市/國家	年份
Cardiff Bay Opera House Competition	Cardiff / UK	
Yokohama Port Terminal	Yokohama / Japan	
Artists space	New York / United States	
Triple Bridge Gateway Competition	New York / United States	
Korean Presbyterian Church of N.Y.	Long Island / United States	199
Hydrogen House Vistors Pavilion & Information Center	Schwechat / Austria	199
NYSE 3DTF virtual Reality Environment	New York / United States	1997-2000
Embryological House		199
Guggenheim Virtual Museum	New York / United States	199
Eyebeam Museum of Art and Technology Competition	New York / United States	200
Soft Ball Project	Venice / Italy	
X-Ray Wall System	Venice / Italy	
Predator, Wexner Center for the Arts	Columbus / Ohio	
Flux Space 1.0 Installation	San Francisco / United States	
Flux Space 2.0 Pavilion	Venice / Italy	
Airport Urbanism	Venice / Italy	
Lords on Sunset	Los angels / United States	

Chess Set for Deitch Projects	New York / United States	
Transformation of Kleiburg Block-Housing Renovation	Amsterdam / Netherlands	
Hydra-Pier	Haarlemmermeer / Netherlands	
Central Building: BMW Factory Leipzig	Leipzig / Germany	
Slavin House	Venice / United States	200

表 4-1 Greg Lynn 運用數位媒材在設計過程上的主要作品表。

案例研究的參考資料，包含與研究對象有關的文字論述以及視覺資料，即文獻與作品本身。資料來源，選擇以 Greg Lynn 本人所著作的 *animate form* (Lynn, 1999)、Greg Lynn 本人及其研究室共同主持人所合著的 *Greg Lynn and Hani Rashid Architectural Laboratories* (Lynn and Rashid, 2002) 以及 Greg Lynn/Form 研究室網站為主要依據。

從圖表中 Greg Lynn 主要作品列表中的作品，可看出其作品分為兩部份，其一為試驗性的建築空間裝置設計案，其二為建築設計案；選取作品的設定範圍，因考慮到與前一章 Frank Gehry 作品的類型相同，因此選定第二類型的建築設計案作品。對於案例的選擇，與上一章相同，同樣基於資料的取得及資料量的考量，選擇具有較大量設計過程資料的代表性作品作為研究案例。本研究挑選三件參考資料較齊全的作品，分別為 Triple Bridge Gateway Competition 與 Yokohama port terminal competition 設計案。



4-1-2 分析架構

(1). 設計過程

同第三章，分為四個階段，分別是建築計劃、概念發展、設計發展與設計定案階段。

(2). 實體模型的操作因子

同第三章，分為形式、空間、結構、材料及光影，五個因子。

(3). 數位模型的操作因子

同第三章，分為空間、材質、表現及操作，四個個因子。

4-2 案例分析

4-2-1 Triple Bridge 門戶/ 港務局巴士終點站 (Triple Bridge Gateway Competition)

Triple Bridge 門戶/ 港務局巴士終點站為一個競圖案，基地座落於紐約的第八大道，其設計目標有兩

個，第一個是設計一個具有遮蔽性的屋頂，另一個為從 Lincoln 隧道到港務巴士終點站的巴士坡道底側的照明計劃。此設計案為第一個在設計過程中使用動力學的設計案，並且透過在統計資料上的假設性的定量分析作設計操作，以下為其設計過程與“模型”操作因子分析：

(1). 設計過程

建築計劃

此案為競圖設計案，因此在建築計劃階段也就依競圖所提出需達到的設計需求進行建築計劃的討論，其所提出的設計需求為具有遮蔽性的屋頂以及巴士坡道底側的照明規劃，Greg Lynn 也就依此分別進行設計上的操作。

概念發展

Lynn 主要以動力學的概念作為此設計案的主要設計概念，在概念發展階段主要分為兩個階段，第一階段，Lynn 先利用 Maya 軟體的操作去模擬穿越基地的行人、汽車和巴士的流動(圖 4-1)，這些模擬的概念模型所產生的流動力的強度被用來轉化去建立一個穿越基地的引力場。第二階段，為了從前一階段的引力場去找尋出一個設計形式，因此在 Maya 概念模型的引力場中引入具有彈性並且會依據引力的影響而改變位置和形狀的幾何粒子。這些粒子被用來補捉一系列顯示某個給定時段內活動循環的位相 (phase portrait)(圖 4-2)，也就成為本設計案造型形式的概念模型。



圖 4-1 透過 Maya 去模擬穿越基地的行人、汽車和巴士的流動



圖 4-2 透過粒子被用來補捉一系列顯示某個給定時段內活動循環的位相(phase portrait)

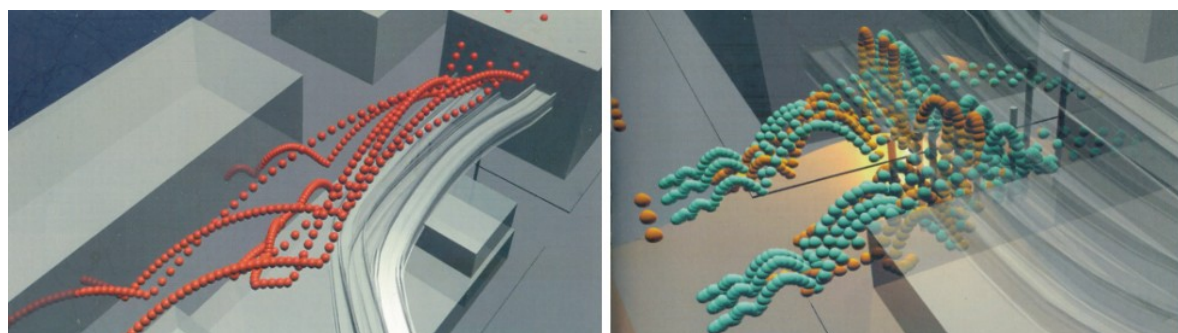


圖 4-3 幾何粒子所共同組構出的軌跡

設計發展

在設計發展階段，前一階段透過動力影響的幾何粒子連續的位相所組構出來的軌跡被轉換成曲線性的引線，Lynn 將這些曲線性的引線 sweep(CAD 中的指令，需要軌跡線與截面)成管狀的結構物(圖 4-4)，這些管狀的結構物成為本設計的主要形體(master geometry)；這樣的過程也將原為概念模型的操作轉變為設計程序模型的操作。透過設計程序模型的操作，將這些主要的管狀結構物依據機能的

合理性及曲面的順化做調整，除此之外，更在這些結構物之間設計出張力面(圖 4-5)，藉此去滿足建築計劃上所提出具有遮蔽性的屋頂的機能需求。

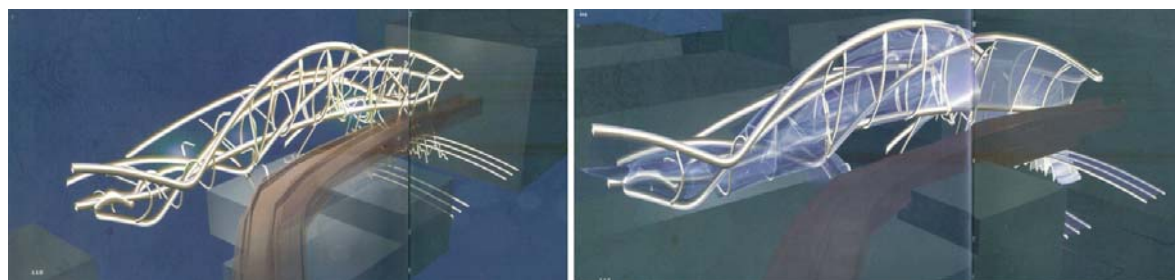


圖 4-4 主要形體

圖 4-5 將結構物間拉出張力面

設計定案

藉由設計程序模型的操作，當主要形體大致確定後，其模型在設計過程的角色也就從設計程序模型轉變為定案模型。同時以定案模型進行空間模擬(simulation)來檢視設計的空間感(圖 4-6)，除了數位的定案模型之外，也將部份的數位模型資料透過 RP(rapid prototype)設備(stereo-lithography, SLA)製作 CAD/CAM 實體模型(圖 4-7)，利用 RP 技術，模型可以由 3D 模型檔案直接輸出，因此可以快速輸出設計過程的檢查模型，其主要操作程序如圖 4-8 所示；而 Greg Lynn 設計過程的檢查模型並非檢查數位模型的精準性，而是輔助設計者在真實空間上的設計檢視。



圖 4-6 空間模擬

圖 4-7 CAD/CAM 模型

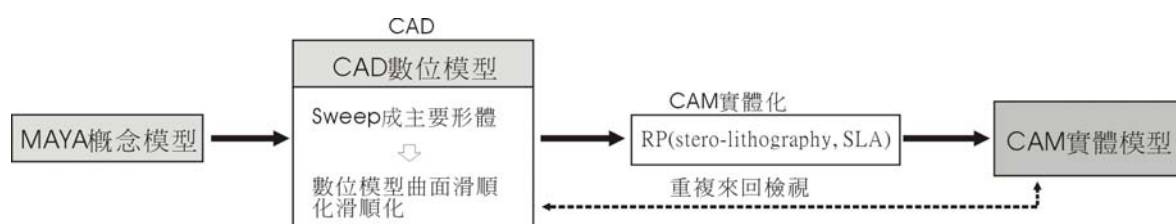


圖 4-8 應用數位媒材輔助實體與數位模型混合操作程序

小結

從上述設計過程分析中，可看出相較於 Frank Gehry, Lynn 從概念發展階段到設計定案階段都運用數位媒材輔助，並大量倚賴數位模型的操作。綜合各過程的詳述與分析，此設計案的設計過程可以歸納為圖 4-9。在建築計劃階段，Lynn 直接以競圖所提出的機能需求進行設計操作，接著以動力學的概念作為此設計案的主要概念，並以數位模型的模擬操作發展出概念模型。在設計發展階段，持

續以數位模型的操作將概念模型發展為主要形體。在設計定案階段，除了以數位模型進行空間模擬外，也利用 CAM 的技術將數位模型輸出為檢查模型，藉以在真實環境中檢視設計。

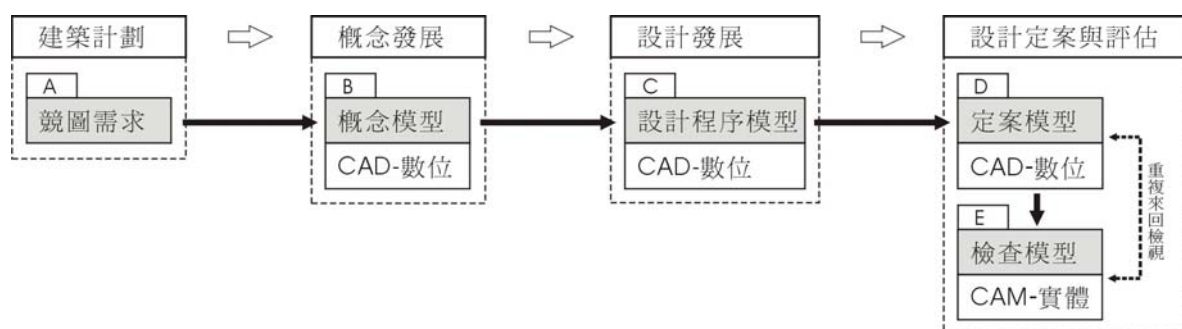


圖 4-9 Triple Bridge Gateway Competition 數位設計過程

(2). 實體模型的操作因子

D.實體設計程序模型

在「形式」因子方面，可以將數位模型轉換到真實空間上作整體比例，以及曲面彎曲變化的檢視(圖 4-10)。在「空間」因子方面，所分段輸出的模型為有厚度的彎曲片狀量體，在組合的過程中，一方面需藉由三度空間的相對位置去對位並檢視整體空間的協調外，同時也可將不同段的模型上下、左右措置亦或拉開(去產生不可預期的空間變化，藉以刺激新的設計想法。在「結構」因子方面，以等距離的玻璃片去代替數位模型中的結構分割，並將所輸出的實體模型卡在玻璃中間作為組裝的方式(圖 4-11)，藉以方便形式與空間上的整體檢視。在「光影」因子方面，在真實的空間中，可配合自然的光影變化去檢視有別於數位環境的空間模擬的真實空間視覺感受。此階段較無著重在「材料」因子方面的討論。



圖 4-10 實體設計程序模型



圖 4-11 運用玻璃作結構檢視



圖 4-12 第一階段
概念模型

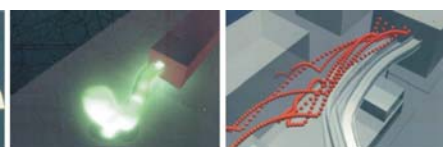


圖 4-13 第二階段
概念模型

(3).數位模型的操作因子

B.概念模型

概念模型分為兩個階段，第一階段在「操作」因子方面，將基地上行人、汽車與公車的行徑路線設定為控制參數的因子，透過模擬行人、汽車與公車的行徑路線並將其轉變為參數上的設定去建立出引力場，並在引力場中由設定的初始位置(圖 4-12 中右邊的方形量體)連續釋放出雲霧狀的量體。基地上周邊事件的活動強度關係到參數上的設定，因此可以透過分析不同的基地活動所產生的強度去作參數上的改變，藉此調整引力場的強度，而所產生出的雲霧量體也就隨之有所不同(圖 4-12)。在「表現」因子方面，透過連續性的釋放出雲霧狀的量體，以及在引力場的影響下，雲霧狀的量體自然產生皺摺與擠壓變形的表現。在「空間」因子方面，擠壓出的雲霧狀量體自然的在三度空間中產

生變形，藉由這樣三度空間的檢視去了解形體變化與參數設定之間的相對應關係。在「材質」因子方面，將不同參數設定所產生出的雲霧狀量體用不同顏色材質去表現，藉此方便在視覺上的檢視。

第二階段在「操作」因子方面，在上一階段所建構出的引力場中放入具有彈性的幾何粒子，並依基地的關係作初始值的設定，讓幾何粒子依引力在基地中自由彈跳，再透過電腦記錄其連續跳動的軌跡(圖 4-13)。藉由不同參數的設定去改變引力場的強度，使得粒子可以產生無數條的軌跡，而後再從中去選擇出較符合設計需求及想像的軌跡形式作為後續的設計發展。在「表現」因子方面，在引力場中所放入的粒子，在引力的作用以及參數上的設定下，產生符合動力學上的運動位移，其所表現出來的軌跡形態是弧線形式的動態表現。在「空間」因子方面，藉由在數位環境中所建構的基地模，可以讓 Lynn 對設計環境有初步性的了解，同時也將粒子移動的軌跡放入基地內作整體空間感上的檢視。在「材質」因子方面，將基地與粒子以及不同引力場中的粒子與粒子之間用不同顏色的材質作區分，藉以方便設計上的視覺檢視。

C.設計程序模型

在「操作」因子方面，分為骨架的建構以及骨架之間的張力曲面生成。透過電腦的操作，選定幾條概念模型的幾何粒子軌跡，並 sweep 成管狀的主要結構物(圖 4-14)，並再根據這些主要結構物去自動衍生出另一向度的次要結構嵌條，接著根據這兩向度的結構拉出三向度的自由曲面(圖 4-15)。在「表現」因子方面，在粒子的軌跡轉變為初步結構形變後，原本各自單獨的線性表現形態藉由另一個向度的連結，使其轉變為一個整體動態曲面的動態表現形態。另一方面也檢視這些曲所表現出的空間視覺感受是符合在概念上所提出的動態形式，並根據這樣的檢視作設計上的微調(圖 4-16)。在「空間」因子方面，透過數位環境中的三度空間檢視去探討各個骨架之間以及同根骨架上的各個波峰與波谷節點的相對位置所形成的空間美感。在「材質」因子方面，分別以圖 4-15 及圖 4-16，在結構金屬運用不同反光度的材質和在張力曲面運用半透明與不透明的材質，去展現出兩種不同樣的空間視覺感受，一方面讓設計的表现更加多元化，另一方面也輔助在空間上的檢視。



圖 4-14 管狀主要結構物

圖 4-15 由結構物間拉出曲面

圖 4-16 設計程序模型

圖 4-17 以打光技術模擬真實情況

圖 4-18 以擬人角度去檢視整體空間感受

D.定案模型

在「操作」因子方面，在數位定案模型大至確定後，一方面運用軟體的打光技術去投射光線在張力曲面上，企圖模擬真實情況下的光影變化(圖 4-17)，另一方面也透過軟體界面的各種角度攝影機的設定，企圖去模擬真實建造後的視覺感受。在「空間」因子方面，透過擬人角度的算圖顯示，可以讓設計者模擬實際進入內部空間，並以內部空間的尺度感去檢視整體的空間感受(圖 4-18)。在「表現」及「材質」因子方面，則與上階段設計程序模型大致相同。

(4).綜合分析

本設計案為 Lynn 第一個運用動力學為設計概念的設計案，主要以數位模型的運用為主。在建築計

劃階段，Lynn 僅對基地現有情況加以分析並提出設計構想，並未以實體亦或數位模型加以輔助設計的操作。在概念發展階段，數位概念模型的運用分為兩個階段，第一階段提出以動力學的概念作為設計手法，並決定「操作」的方式。第二階段延續上一階段的操作，運用數位概念模型的操作去自動衍生出本設計案的設計「表現」形式。在設計發展階段，則延續前一階段的「表現」形式，直接再透過設計程序模型的「操作」將其轉變為設計案的主要初步形體，再透過「表現」及「空間」因子的檢視去做設計上的微調，在「材質」上也開始加入擬真性的材質運用去輔助整個設計在表現及空間上視覺感受的檢視。除此之外，也透過 RP 的技術將數位模型輸出為實體設計定案模型，實體模型的輸出在本階段可以以「形式」及「空間」因子的檢視結果去輔助數位模型的表現及空間因子的檢視過程，在設計定案階段，持續運用「操作」的打光去加強視覺上的效果外，也以多樣化的角度去顯示設計，並以「表現」、「空間」及「材質」因子做檢視，圖 4-19 為整個「模型」輔助設計發展程序。

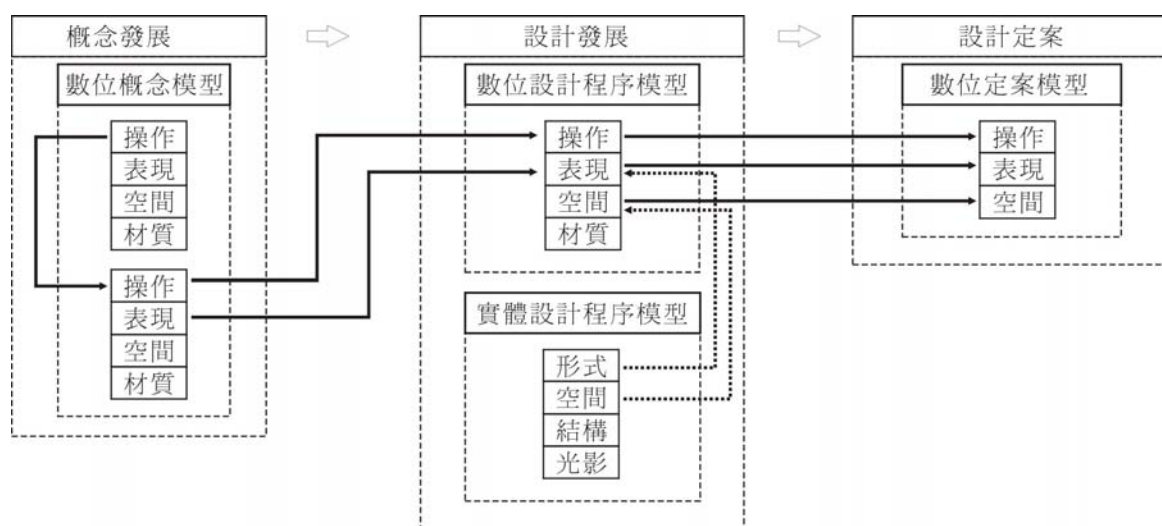


圖 4-19 不同階段，各個「模型」輔助設計發展程序圖

4-2-2 橫濱港競圖案(Yokohama port terminal competition)

此設計案的基地座落於橫濱的港灣，由於在基地位置與使用機能上的關係，使得橫濱港是一個在多方面進行交流的地點，包括乘客與當地居民的交流、城市與花園的交流、陸地與海的交流以及運輸工具與貨物的交流。因此本設計案以建築設計的轉換手法去轉化上述各種的交流作為本設計案的操作方式，以下為其設計過程與“模型”操作因子分析：

(1). 設計過程

建築計劃

本設計案將基地現有的動態形式的交流看作是一種流體的經驗以及不間斷性的位移，因此在設計上，以緩和且連續性的建築設計手法去做此設計案的整體規劃以及空間上的組織。除了設計手法外，在空間需求與建築計劃上，主要分為兩個部份，分別為市民休憩空間與過港旅客空間。

概念發展

Lynn 主要以內外交錯的概念想法去轉化基地現有的動態交流，並作為此設計案的主要設計概念，同時透過數位環境中的概念模型去做概念發想。在手法上，Lynn 運用兩種材質的圓管分別代表外部皮層以及建築計劃量體(圖 4-20)，然後分別將兩種材質的圓管互為內外，同時再藉由參數的設定去擠壓內、外圓管的其中一端，使其中一端完全變平，而管身則因此自然產生形變(圖 4-21)，而形變的結果使內外的圓管產生交錯，在外部圓管凹陷的部份有內部圓管凸出來。這樣的操作方式以及數位模型所表現出來的形式既符合所提出的內外交錯概念也提供 Lynn 在後續設計形體發展的初步構想。

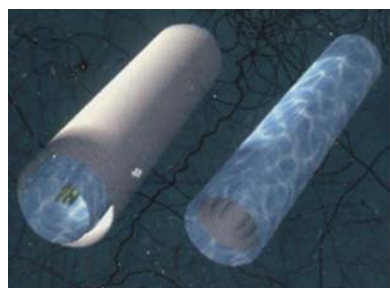


圖 4-20 概念模型

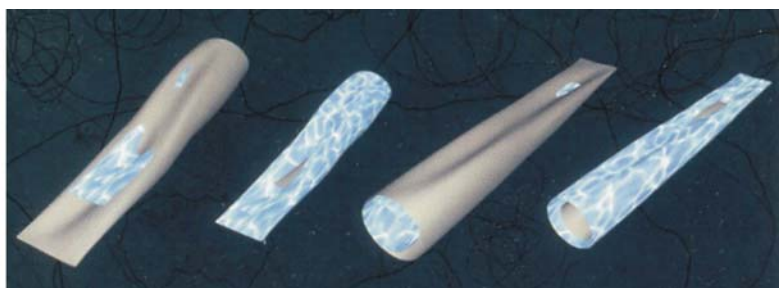


圖 4-21 透過參數的設定使概念形體產生形變

設計發展

設計發展階段，Lynn 仍以數位模型的操作為其主要的操作媒材，並延用概念發展階段的操作方式將兩個分別為內、外的長方形管狀體數位模型運用參數式設計過程(parametric design process)進行設計形體的發展。這樣的設計過程一開始並沒有預設或想像的設計形體，設計形體的形變由電腦參數持續改變的動態過程產生，Lynn 只需決定何時停止參數的變化而選擇所要的形體，再將之設定為設計發展的設計形體，圖 4-22 為其發展的最後結果。當基本的主要形體確定後，將形變後的內、外管狀體在數位環境中做結合成為「主要形體」(圖 4-23)，並透過數位顯示技術上的輔助，直接在數位環境中做使用空間的配置與設計，並以連續性剖面去檢視設計(圖 4-24)；過程中，除了主要在數位模型的操作發展外，同時也將部份的數位模型資料透過 RP(rapid prototype)設備(stereo-lithography, SLA)轉輸出成 CAD/CAM 設計程序模型(圖 4-25)；除了以 RP 輸出實體模型外，同時也運用雷射切割技術(Laser-Cut)將數位模型轉輸出切割，並組裝成實體模型(圖 4-26)；透過輸出實體的設計程序模型，可以將以數位模型操作為主的設計過程重新拉回到現實的環境中做設計上的檢視，透過在數位設計程序模型上的操作，以及往反數位模型與實體模型的來回檢視，逐漸將設計概念及設計初步的主要形體落實為真實的建築設計使用空間；主要操作程序如圖 4-27。



圖 4-22 設計形體模型

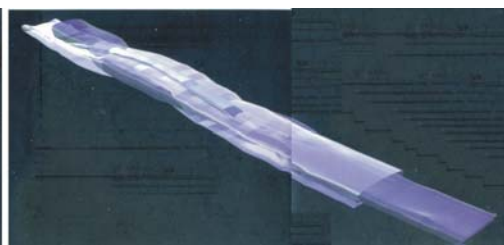


圖 4-23 主要形體模型

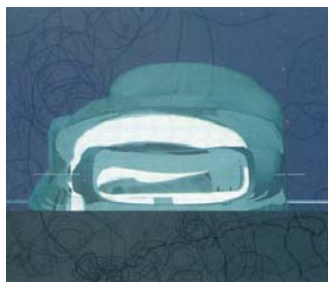


圖 4-24 數位設計程序模型



圖 4-25 運用 RP 輸出的檢查模型



圖 4-26 運用雷射切割所輸出的實體模型

設計定案

當 Lynn 運用數位設計成程序模型的操作，將建築使用空間的設計完成後，一方面運用數位模型進行空間模擬(圖 4-27)，藉以檢視設計之外，同時也透過 CAD/CAM 製作實體的定案模型。製作的過程分為骨架與表皮兩部份；在骨架方面，將設計發展階段所發展形體最後定案的各個斷面骨架透過雷射切割技術精準的切割出來(圖 4-28)；表皮的部份，Lynn 將整個表皮藉由骨架的分割分為 45 段，分別以 RP 的技術(stereo-lithography, SLA)直接輸出為實體模型。當骨架與表皮分別透過不同的 CAM 技術完成後，再以手作的方式將其組裝成整體的實體模型(圖 4-29)。



圖 4-27 空間模擬

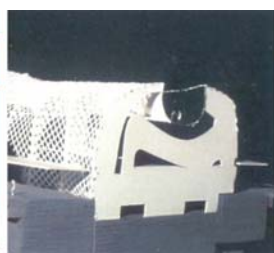


圖 4-28 雷射切割骨架模型



圖 4-29 定案模型

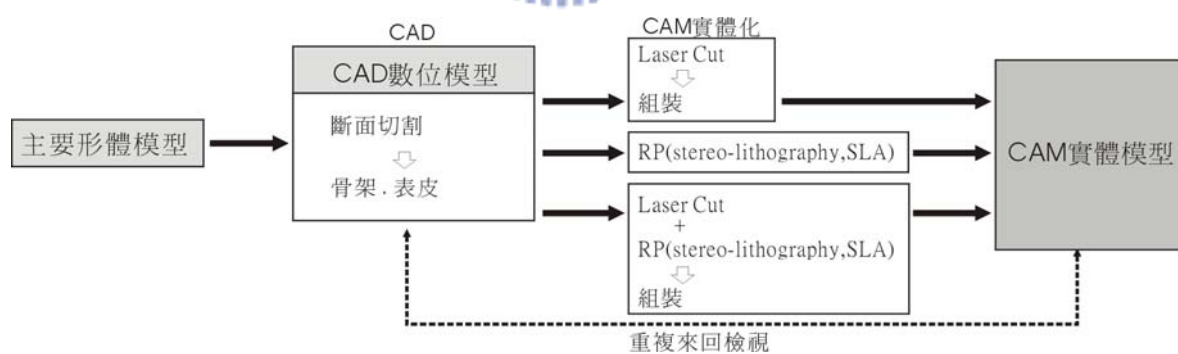


圖 4-30 應用數位媒材輔助實體與數位模型混合操作程序

小結

此設計案主要仍以數位模型的操作為主，在設計過程中同時大量的倚賴 CAD/CAM 新設計媒材的輔助。在建築計劃階段，針對基地形態的分析，提出設計策略，接著在概念發展階段透過概念模型的形體操作將設計概念表現出來。在設計發展階段，以參數式的設計過程將設計概念運用設計程序模型，以數位操作衍生成設計形體，從動態的形體演變中截取最理想的造型作為設計的主要形體，同時也運用 CAM 的技術將數位模型輸出成實體模型。在主要形體確定後，直接以設計程序模型在數位環境中做空間機能的配置，在過程中也將數位模型輸出成實體模型，作為輔助在設計上的檢視；

藉此逐漸將整體外部造型與內部空間設計完成，因此設計程序模型也隨之轉變為定案模型。在設計定案階段，除了以數位定案模型進行空間模擬外，也進行骨架與表皮的分割，並透過 CAM 輸出成實體的定案模型，藉以讓設計在真實環境中表現出來。圖 4-31 為整個數位設計程序。

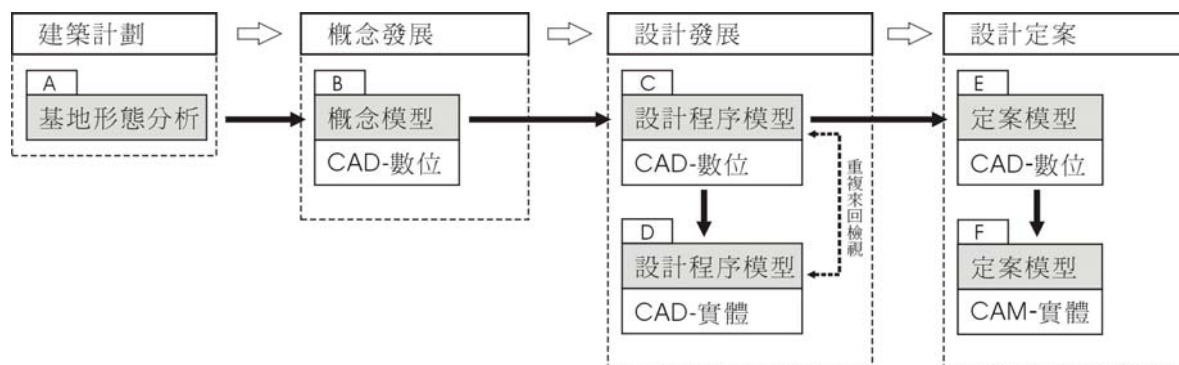


圖 4-31 Yokohama port terminal competition 數位設計過程

(2). 實體模型的操作因子

D.設計程序模型

實體的設計程序模型分為兩個階段，第一階段為著重在設計形體的設計，透過 CAM 輸出的模型(圖 4-32)。在「形式」因子方面，透過將數位模型轉輸出成實體模型，可以將主要形體從較無尺度感的數位環境拉回到真實環境中做各個主要形體的比例，以及組構後各的各個形體之間的相對位置及比例關係的探討。在「空間」因子方面，可在真實環境中，以實際的空間相對位置去檢視各個設計形體模型所表現出的視覺感受，以及兩個形體在組構過後相互之間所產生的凹凸空間的空間感受。在「材料」因子方面，RP 所輸出的模型材料為半透明的材料，可表現出一種非真實性的概念表現。在此階段並未著重在「結構」與「光影」因子上的討論。

第二階段為主要形體確定後，針對空間配置以及使用空間的設計所輸出的 CAM 實體模型(圖 4-33,34)。在「形式」因子方面，透過斷面的檢視方式，可分別從整體(圖 4-33)以及片段(圖 4-34)去檢視設計的形式表現：透過圖 4-31 模型去檢視連續斷面共構的曲面所表現出的上下起伏韻律美感，以及圖 4-34 中的模型可以檢視各個量體逐漸上升與下降的交錯變化關係。在「空間」因子方面，透過斷面的模型，可檢視在同一平面上的相對空間關係；將其連續組裝後，則可檢視藉由這些斷面共構出的空間所表現出的整體空間美感；另一方面由於模型材料為透明的模型材，因此可藉由斷面重疊的檢視方式，去檢視量體與虛空間在縱向(前後遠近)的變化與相對關係。在「結構」因子方面，斷面的實體部份提供後續設計在結構上的討論與發展的參考依據。在「材料」因子方面，雷射切割所切割的模型材料為透明的材料，除了可以提供空間檢視上的輔助之外，同樣也可表現出一種非真實性的概念表現。在此階段並未著重在「光影」因子上的討論。

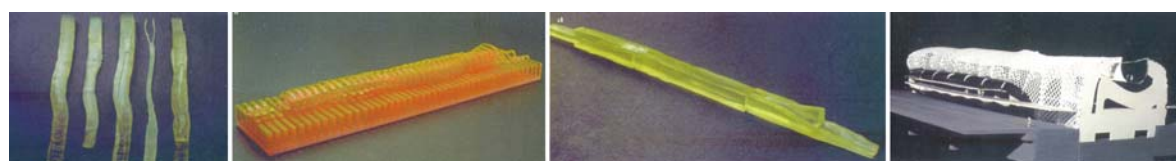


圖 4-32 設計程序模型 圖 4-33 連續剖面的設計程序模型 圖 4-34 單一剖面的設計程序模型 圖 4-35 定案模型

F.定案模型

在「形式」因子方面，透過 CAM 輸出模型加上手工組裝的製作過程，去將整個設計完整的在真實環境中呈現出來(圖 4-35)，藉此做整體設計形式的檢視，包括主要形體之間互為內外的形式表現、虛實表現的形式變化、自由曲面的韻律表現以及量體之間相對位置的比例關係。在「空間」因子方面，將 CAM 分開輸出的骨架與皮層，透過三度空間的操作去組構出完整的模型，藉由完整且精確的模型所表現出接近真實建造完成後的視覺感受去檢視設計的細部空間表現，像是兩種皮層形式所產生出內、外空間及半開放空間之間的虛實交錯變化。在「結構」因子方面，透過同樣間距的切面作為本設計案的主要支撐結構骨架；模型的製作過程，也就以這些 CAM 所切割出的切面去建構出初步的結構系統，接著再依這些骨架去製作後續的部份，包括外包的皮層及內部的隔間。在「材料」因子方面，將兩個主要形體分別用兩種不同模型材料去表現，一個為實心的 CAM 輸出材，一個為網狀的模型材；一方面方便於模型的操作，另一方面也方便於輔助設計上的形式與空間檢視。在「光影」因子方面，由於兩個主要形體的外在形式有所不同，一個為實體，一個為可穿透的網狀，因此可藉由光透過兩者所產生不同的光影變化去檢視在空間上的虛實表現。

(3). 數位模型的操作因子

B.概念模型

在「操作」因子方面，在數位環境中建構出兩個圓形管，並將其中一個圓管的半徑設定為可放入另一個圓管內的大小，同時將兩個圓管互為內外(圖 4-36)。之後透過電腦參數的設定去先後分別擠壓圓管的兩側，使其一邊完全變為平坦的狀態，這樣的操作使得由圓形側到平坦側的中間管身自然產生形變(圖 4-37)。在「表現」因子方面，藉由單一側的擠壓為平坦的操作，在中間管身自然形變的過程中，兩個互為內外的圓管開始產生交錯，而這樣由內到外及由外到內的交錯表現，也就符合 Lynn 在概念發展階段所提出的概念表現。在「空間」因子方面，透過數位環境中三向度的空間檢視，去設定兩個互為內外的圓管之間的相對位置。在「材質」因子方面，分別將兩個圓管用不同的材質去表現，一個是單一顏色且不具透明度的灰色材質，另一個是水波紋且具有透明度的仿水材質；以這兩種材質不同的視覺感受去分別代表建築的外殼，以及內部活動的空間量體。



圖 4-36 將兩個圓管互為內外



圖 4-37 擠壓圓管的單側，使管身自然產生形變



圖 4-38 以參數式運算產生出的設計形體

C.設計程序模型

在「操作」因子方面，主要分為兩個階段，第一個階段先在數位環境中建構出兩個長方形管，隨後透過幾個參數的設定將兩個長方形管進行參數式運算的形變(圖 4-38)。在參數的設定上，主要的變數為單一側所需擠壓成的特定高度，以及兩邊長方形管的切面的相對位置；透過變數的微調及參數

式的運算，整個管身也就自動以動態的形式開始產生形變，再從動態的形變過程中，選定出兩個最理想的造型，並將其一個以管徑由小到大，另一個以由大到小，反方向的做結合(圖 4-39)。第二階段透過數位算圖顯示的技術，以連續性的剖面去檢視設計(圖 4-40)，並直接透過剖面的檢視去調整設計。在「表現」因子方面，透過參數式設計過程的操作，整個管身開始由原本四四方方的長管轉變為管徑由小到大，管身彎曲起伏的長管，長管的部份表皮甚至出現經過擠壓所產生的皺摺表現(圖 4-38)。在兩個長管結合為一個後，因為其管身彎曲的變化不同，因此產生互相交錯的表現(圖 4-39)。在「空間」因子方面，同樣分為兩個階段，第一階段在兩個長形管完成形變後，在其選擇形體及組合的過程中，必須藉由三度空間的檢視去定出兩個長方形管結合的相對位置，以及檢視所選擇的長方形管組合後所產生的外在空間感是否為最理想的情況(4-39)。第二階段重點則在於內部的空間配置，透過從連續的斷面去檢視同一平面的空間安排，像是圖 4-40 中空間上下漸變的大小比例變化，以及上下空間的相互關係。在「材質」因子方面，延用概念模型相同的材質，分別以灰色材質去代表過港人士的遮蔽空間，仿水材質去代表市民活動空間(圖 4-38)。在兩個長管結合後(圖 4-39)，重新分別用高、低透明度的藍色材質去表現代表封閉實體以及半開放空空間的視覺感受，藉由透明度的高低去表現所賦予這兩個量體不同的空間機能。



圖 4-39 將兩個設計形體做結合 圖 4-40 以連續剖面作設計檢視 圖 4-41 定案模型 圖 4-42 擬人角度的空間模擬

E.定案模型

在「操作」因子方面，在設計程序模型大致確定後，以幾個垂直於設計體的面去對整個設計體進行等距的分段切割，並將切割面與設計形體疊合的部份設定為主要支撐骨架。除此之外，在最後模型完成後，透過攝影機及燈光的各種角度設定，企圖去模擬真實建造後的情況(圖 4-41,42)。在「表現」因子方面，藉由定案模型做整體設計表現(兩個不同結構形式與空間形式的主要設計形體，以流體形式的表現緩和且自然的交錯結合在一起)的檢視，可確定最後所呈現出的設計結果是有回應到最初轉化自然交流的設計構想。在「空間」因子方面，運用擬人視線角度去運算模擬出人實際進入設計案中所能看到的空間表現(圖 4-42)，一方面讓設計者與業主可以藉此更精確的了解設計所呈現出的結果，另一方面去進行設計中更細節的空間微調。在「材料」因子方面，將兩個設計形體分別選用不同顏色的材料去表現；具穿透性的設計形體選擇以白色去表現，而封閉的設計形體選擇深咖啡色去表現，藉此去加強兩者在視覺表現的差異性。

(4).綜合分析

此設計案相較於上一個設計案雖然使用較多的實體模型，但仍是以數位模型的運用為主。在建築計劃階段，Lynn 僅對基地現有情況加以分析並提出設計構想，並未以實體亦或數位模型加以輔助設計的操作。在概念發展階段，以內外交錯的概念作為轉化動態交流的設計手法，並以數位概念模型的「操作」，「材質」因子的運用及「表現」、「空間」因子的檢視，將這樣的構想法初步落實到造型上的表現。在設計發展階段，延用概念發展階段數位模型的「操作」方式，在數位環境中將兩個對

應基地形狀的方形長管進行參數式運算的形變操作，在動態的形變過程中再藉由數位模型的「表現」、「空間」及「材質」因子的檢視選定最理想的設計形體，同時將組合為本設計案的主要形體。主要形體初步完成後，運用數位模型連續剖面的「操作」，以「空間」間因子的檢視進行內部空間的組織及安排。在設計過程中，除了依賴數位設計程序模型的操作外，也運用 CAM 技術輸出實體模型，作為輔助設計上的檢視。實體模型的輸出在本階段一方面可以以「形式」及「空間」因子的檢視結果去輔助數位模型的「表現」及「空間」因子的檢視過程，另一方面也藉由輸出「材料」與數位材質的不同而提供設計另一種的表現方式與視覺感受。在設計定案階段，主要運用數位模型的「操作」進行空間模擬，再針對空間模擬所帶來的視覺感受，以「表現」、「空間」及「材質」因子去做最後的檢視。另外也透過數位模型進行結構的操作，並藉由輸出及組裝實體模型的過程，以「結構」因子去做結構合理性的檢視，另一方面也做「形式」及「空間」上的檢視，圖 4-43 為整個「模型」輔助設計發展程序。

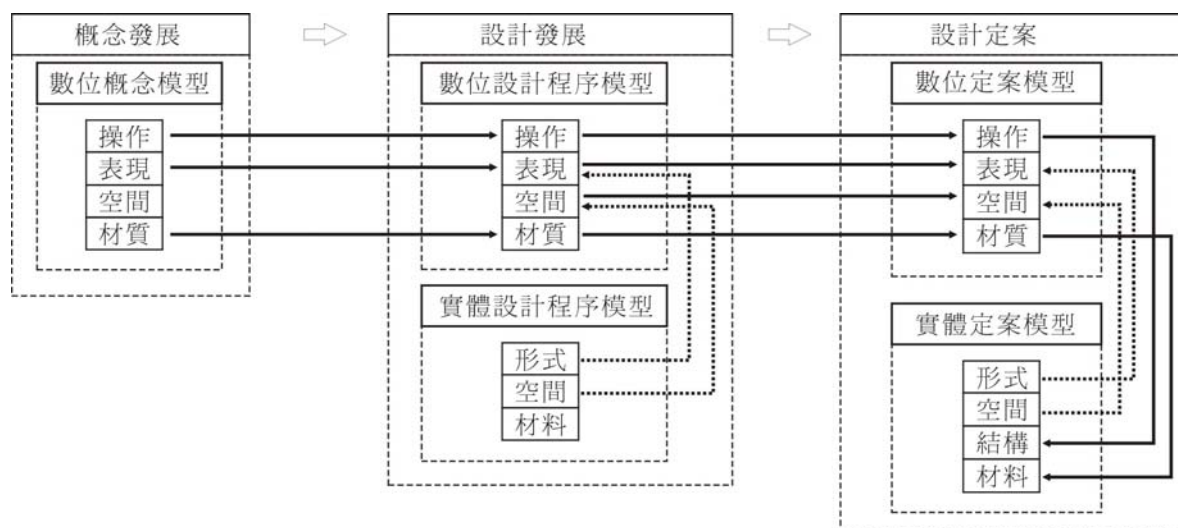


圖 4-43 不同階段，各個「模型」輔助設計發展程序圖

第五章 結論

5-1 研究結果與比較

透過第三、第四，兩個章節分別對於兩位設計者：Frank Gehry 及 Greg Lynn，以及兩個章節中的三個階段：設計過程、實體模型操作因子及數位模型操作因子的分析及討論，可分別獲得以兩種不同操作數位媒材方式下，「模型」在兩種不同數位設計過程中所扮演角色的研究結果。

第三章Frank Gehry的案例屬於數位媒材輔助設計造型發展的設計方式。第一階段的分析先藉由對案例的分析，將設計的過程及步驟整合出「設計過程程序」（圖 3-13、3-54），從中可清楚了解在各個階段所需要的不同「模型」，以及相互之間的操作順序。Gehry在「模型」的操作上，以實體模型為主，數位模型為輔。在設計過程的每個階段皆有實體模型的參與，實體模型的運用，包括建築計劃階段的實體量體模型；概念發展階段的實體概念模型；設計發展階段的實體設計程序模型以及實體初步定案模型；設計定案階段的檢查模型以及定案模型。整個設計過程一直到設計發展階段的後期，數位模型才被運用在設計操作上，數位模型的運用，包括設計發展階段的CATIA模型；設計定案階段的CATIA模型。

第二階段的分析，分別以實體模型與數位模型的操作因子去分析前一階段所分析出在「設計過程程序」中的不同「模型」，將模型的運用程序與操作因子整合出「模型輔助設計發展程序」（圖 3-34、3-72）。由研究結果可了解到各個「模型」如何藉由操作因子去輔助設計上的操作，在實體模型方面，實體量體模型著重於形式與空間因子的操作去進行量體配置的規劃；實體概念模型著重於形式、空間及材料因子的操作去進行概念形體的生成；實體設計程序模型著重於形式、空間、材料及結構因子的操作去將概念形體轉換為可使用的建築空間；實體初步定案模型著重於形式、空間、材料及結構因子的操作將整個設計作整合；檢查模型著重於形式、空間因子的探討進行數位、實體轉換間精確性的檢視；實體定案模型透過形式、空間、材料及結構因子的整合去表現設計並作為與業主溝通的媒介。在數位模型方面，CATIA 模型著重於表現、空間及材質因子的操作做造形上的發展；CATIA 模型以表現、空間、操作因子的操作去將設計與後續建造上做連接，包括結構上的骨架與表皮分析。

第四章Greg Lynn的案例屬於以數位建構來進行設計操作的設計方式。第一階段的分析與第三章相同，所整合出的「設計過程程序」如圖 4-9、4-31。Greg Lynn Gehry在「模型」的操作上，以數位模

型為主，實體模型為輔。實體模型的運用，僅包括設計發展階段的實體設計程序模型；設計定案的實體定案模型。而數位模型的運用相較於實體模型則要來的重要許多，包括概念發展階段的數位概念模型；設計發展階段的數位設計程序模型；設計定案階段的數位定案模型。

第二階段的分析，同樣與第三章相同，所整合出的「模型輔助設計發展程序」如圖 4-19、4-43。在實體模型方面，實體設計程序模型著重於形式及空間因子上的檢視，藉此去彌補數位設計程序模型在進行設計形體的造型設計和主要形體的操作，以及將主要形體轉變為建築使用空間時，真實空間感知上的不足；實體定案模型著重於操作、表現、空間及材質因子的檢視，一方面藉由實體建構的過程去使得數位模型在結構設計上更具合理性，另一方暗彌補數位定案模型在表現設計時，真實感知上的不足。在數位模型方面，數位概念模型著重於操作及表現因子的操作去進行概念形體的生成；數位設計程序模型著重於操作、表現、空間及材質因子的操作去將概念形體轉換為主要形體，並同時將主要形體轉變為可使用的建築空間。數位定案模型著重於操作、表現、空間及材質因子的操作，一方面去表現設計並作為與業主溝通的媒介，另一方面藉由建構數位模型的過程去做結構上的設計。

由上述的研究結果可回應第一章所提出的研究問題，實體模型不管是在數位媒材輔助設計造型發展的數位設計過程，或是在以數位建構來進行設計操作的數位設計過程中，仍是不可被數位模型完全取代的。在數位媒材輔助設計造型發展的數位設計過程中，仍非常倚重於實體模型的運用，特別是每個實體模型在形式與空間因子上的操作，其原因在於當設計者可以藉由數位媒材的應用而能追求更複雜的造型時，實體模型所具有的空間操作以及即時性的形式檢視對於設計者來說，就顯得特別重要。但是由第四章的研究內容也了解到，相較於數位媒材輔助設計造型發展的數位設計過程，在以數位建構來進行設計操作的數位設計過程中，實體模型的重要性似乎不再像在前者中來的重要，特別是在設計的初期，包括建築計劃階段、概念發展階段以及設計發展階段的初期。這兩者之間的改變也就說明，實體模型藉由以形式、空間因子去做設計操作的過程逐漸被數位模型的操作因子所取代，形體的設計不再需要設計者透過形式與空間因子上的操作與檢視去做發展，取而代之的是數位操作上的形體自動衍生設計方式。

5-2 研究貢獻、研究限制與未來研究

研究貢獻在於透過本研究的案例分析，驗證無論是在數位媒材尚未完全介入設計過程，或是已經完全介入設計過程的數位設計過程中，實體模型仍是不可完全被取代的；同時也進一步了解在數位設計過程中的各個階段「模型」所扮演的角色，以及如何透過「模型」的操作因子去輔助設計者在設計上的思考。研究分析的結果，可作為後續研究者探討傳統媒材與數位媒材對於數位設計過程影響方面的研究參考與依據。

由於數位媒材對於設計過程所能提供的多樣性，使得數位時代的各個建築設計者在數位設計過程能有更多元性的操作方式。受限於研究規模與階段性研究目標，本研究所提出的關於「模型」在數位

設計過程中的角色的討論，僅透過對二位較具代表性的建築設計者的局部案例分析而來，因此研究所分析出的現象也就較受侷限。

數位媒材因為科技的進步而有更新的發展，因此數位媒材將不斷使得設計過程有更多元性的操作方式，因此希望未來可以基於更多不同設計者運用數位設計媒材的不同方式的分析與討論，將本研究目前所提出對於「模型」在數位設計過程中所扮演角色的討論，作更全面性的分析及研究，進而獲得更具普遍性的討論與研究結果。



參考文獻

英文參考文件

- Archer, LB.** 1964, "Systematic Method for Designer." In N Cross, (ed), *Development in Design Methodology*, John Wiley & Sons Ltd, London.
- Asanowicz, A. and Asanowicz, K.** 1995, CAD and CAD, CAD Space. Pp. 181-192.
- Asanowicz, A.** 1997, Computer-Toll vs. Medium, Challenges of the Future, eCAADe.
- Asanowicz, A.** 1999, Computer in Creation of Architectural form, AVOCAAD. pp. 131-142.
- Asanowicz, A.** 1999, Evolution of Computer Aided Design: Three Generation of CAD, *Architecture Computing from Turing to 2000*, eCAADe. pp. 94-100.
- Barcelo, M.** 1995, Frank Gehry, el croquis, Italia.
- Becker, M., Tessmann, O. and Liu, Y. T. (Ed)**, 2005, *AugmentedFRAME, FEIDAD 2005*, Birkhauser, Taiwan.
- Belibani, R. and Gadola, A.** 1997, On Digital Architecture, Challenges of the Future, eCAADe.
- Brady, D. A.** 2003, Ideation: Metaphorical. Exploration and Digital Media, eCAADe 21. Graz University of Technology, Australia, pp. 187-190.
- Callicott, N.** 2001, *Computer-Aided Manufacture in Architecture*. Oxford: Architecture Press.
- Dorst, K and Dijkhuis, J.** 1995, Comparing paradigms for describing design activity, *Design Studies*, 16:261-274.
- Eisentraut, R. and Gunther, J.** 1997, Individual styles of problem solving and their relation to representations in the design process, *Design Studies* 18. pp. 369-383.
- Friedman, M. (ed)**. 2002, *Gehry Talk: Architecture + Process*. New York, NY: Universe Publishing.
- Futagawa, Y. and Borrás, M.** 1997, Antonio Gaudi: Casa Batllo Barcelona, Spain, 1904-06, Casa Mila Barcelona, Spain, 1950-10. Ga, 17.
- Gero, J. S. and McNeill, T.** 1998, An approach to the analysis of design protocols, *Design Studies*, 19, pp. 21-61.
- Giedion, S.** 1967, *Time and Architecture-The Growth of a New Tradition*. Cambridge: Massachusetts.
- Glanville, R.** 1994, Representations Fair, Honest and Truthful, CAAD conference.
- Goldschmidt, G.** 1991, The dialectics of sketching. *Creativity Research Journal*. 4: 123-143.
- Goldschmidt, G.** 1994, On visual design thinking: the vis kids of architecture, *Design Studies*, 15, pp. 158-174.
- Goldschmidt, G.** 1997, Capturing indeterminism: representation in the design problem space, *Design Studies* 18. pp. 441-445.
- Groover, M. P. and Emory W. Zimmer, J.** 1984, *CAD/CAM Computer-aided and manufacturing*.
- Ham, J. J.** 2003, The Computer as a tectonic Design Tool: Comparison between Virtual and Actual Construction, 21th eCAADe, Austria, pp. 265-268.
- Herbert, D.H.** 1993, *Architecture Study Drawing*, New York: Van Nostrand Reinhold.
- Herbert, D.H.** 1994, *A Critical Analysis of Design Process and Media*, Applications for
- Hohausser, S.** 1979, *Architectural and interior models: Design and construction*. Hoboken, NJ, U.S.A: John Wiley & Sons.
- Computer-Aided Design, in the Proceedings of ACADIA'94.
- Huang, S.Y. and Liu, Y.T.** 2001, Some phenomena of creativity in design with computer media. In proceedings of the 5th international conference on computational Models of Creative Design, pp. 241-262.
- Jones, C.J.** 1992, *Design methods*. 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York, MA.

- Kavakli, M. et al.** 1999, "Sketching interpretation in novice and expert designers." in JSaT Gero, B., (ed), Visual and Spatial Reasoning in Design, Key Centre of Design Computing and Cognition, university of Sydney, Sydney, Australia, pp: 209-220.
- Kenzari, B.** 2005, Crysallizing Design Intentions, Using CNC, Laser and Rapid Prototyping Technologies, CAADRIA 2005.
- Knoll, W. and Hechinger, M.** 1992, Architecture Model: construction techniques.
- Kolarevic, B.** 2000, Digital Architecture, Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA): Eternity, Infinity and Virtuality in Architecture, Washington D.C. pp. 251-256.
- Kolarevic, B. (ed).** 2003, Architecture in the Digital Age: design and manufacturing. New York: Spon Press.
- Leach, N. (ed).** 2001, Designing for a digital world. Great Britain: WILEY-ACADEMY.
- Lim, C.K.** 2003, Is a pen-based system just a pen or more than a pen. National Chiao Tung University. Hsinchu, Taiwan.
- Lindsey, B.** 2001, Digital Gehry: material resistance/digital construction. Basel: Birkhauser.
- Liu, Y. T.** 1996, Understanding of Architecture in the Computer Era, pp. 106-153, Taiwan.
- Liu, Y. T.** 2000, Understanding Architecture in the Computer Age. Ann Arbor, michigan: Proctor.
- Liu, Y. T.** 2001, Defining Digital Architecture: 2001 FEIDAD Award, Birkhauser, Berlin.
- Luescher, A.** 1996, Visual Communication in Architecture Design, EAAE Conference.
- Lynn, G.** 1995, Folding in architecture: John Wiley & Sons.
- Lynn, G.** 1999, Animate Form, New York: Princeton Architecture Press.
- Lynn, G. and Rashid, H.** 2002, Greg Lynn and Rashid Architecture Laboratories. Rotterdam: NAI Publishers.
- Millon, H.A.** 1994, The Renaissance from Brunelleschi to Michelangelo, Rizzoli, New York
- Mitchell, W. J. and McCullough, M.** 1995, Digital Design Media, New York: John & Sons.
- Mitchell, W. J.** 1997, The Virtual Studio, ACADIA Quarterly, 16,6-12.
- Mitchell, W. J.** 1998, Articulate design of free-form structures. AI in structural Engineering. Ascona, Switzerland. Springer. pp 223-234.
- Newell, A., Shaw, J.C. and Simon, H. A.** 1960, A variety of intelligent learning in a general problem solver, in M.C. Yovits & S. Cameron (eds.), Self-organizing systems: Proceeding of an interdisciplinary conference. New York, NY: Pergamon Press. pp 153-189.
- Oosterhuis, K., Bier, H., Aalbers, C. and Boer, S.** 2004, ONL Architecture. ACADIA/AIA 2004. pp.
- Porter, T. and Neale, J.** 2000, Architecture supermodels. Oxford: Architecture Press.
- Ragheb, J. F.** 2001, Frank Gehry, Architect. New York: Guggenheim Museum Publications.
- Rahim, A. (ed).** 2000, Contemporary Processes in Architecture. Architecture Design (AD): John Wiley and Sons Limited.
- Rosa, J.** 2003, Next generation architecture: Folds, Blobs, and Boxes. New York: Rizzoli International Publications, Inc.
- Ruby, A.** 2001, Architecture in the Age of Digital Producibility, in P.C. Schmal et al. (des), Digital | Real-Blobmeister-First Built Projects, Birkhauser, Boston, pp 206-211.
- Schodek, D., Bechthold, M., Griggs, K., Kao, K M. and Stenberg, M.** 2005, Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Schon H A and Wiggins G.** 1992, Kinds of seeing and their function in designing. Design studies Vol 13 No2. pp. 135-156
- Schon, D.** 1983, The reflective practitioner, Basic Books, New York, USA.
- Scrivener, S. A. R. et al.** 2000, Uncertainty and sketching behavior, Design Studies, 21 : 465-481.
- Smith, A. C.** 2004, Architecture model as machine: A new view of models from antiquity to the present Automation in Construction. 11: 303-311.
- Suwa, M. et al.** 1998, "How an Architect Created Design Requirements." In G Goldschmidt and W Suwa, M., Gero J.S. and Purcell, T. 1998, Unexpected discoveries and invention of design requirements: A key to creative design. In J. S. Gero and M. L. Macher(eds), Computational Models of Creative Design IV, Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney. Pp. 297-320.
- Porter, (eds), Design Thinking Research Symposium: Design Representation, MIT, Cambridge, pp: 101-124.
- Van Berkel, B.** 1999, Mediation, AVOCAAD'99.
- Won, P. H.** 2001, The comparison between visual thinking using computer and conventional media in the

concept generation stages of design, Automation in Construction, 10: 319-325.

Zafer, B. 2001, Cognition in Traditional versus Digital Media during Conceptual Design. Bilkent University Ankara Turkey.

Zellner, P. 1999, Hybrid Space: New forms in digital architecture. New York: Rizzoli.

中文參考文件

劉育東，1996，建築的意涵 胡適圖書，台北，台灣。

賴宗德，1997，建築設計呈現方式於建築形式上之初探，國立交通大學應用藝術研究所碩士論文，新竹，台灣。

參考網站

Gehry Technologies--<http://www.gehrytechnologies.com>

Greg Lynn Form--<http://www.glform.com>

