

國立交通大學

土木工程學系
博士論文

新數位建築建造媒材之規範

A Paradigm for Architectural Construction in Terms of Digital Media

研究生：梁凱翔

指導教授：劉育東

中華民國一〇三年六月

新數位建築建造媒材之規範

A Paradigm for Architectural Construction in Terms of Digital Media

研究生：梁凱翔

Student: Kai-hsiang Liang

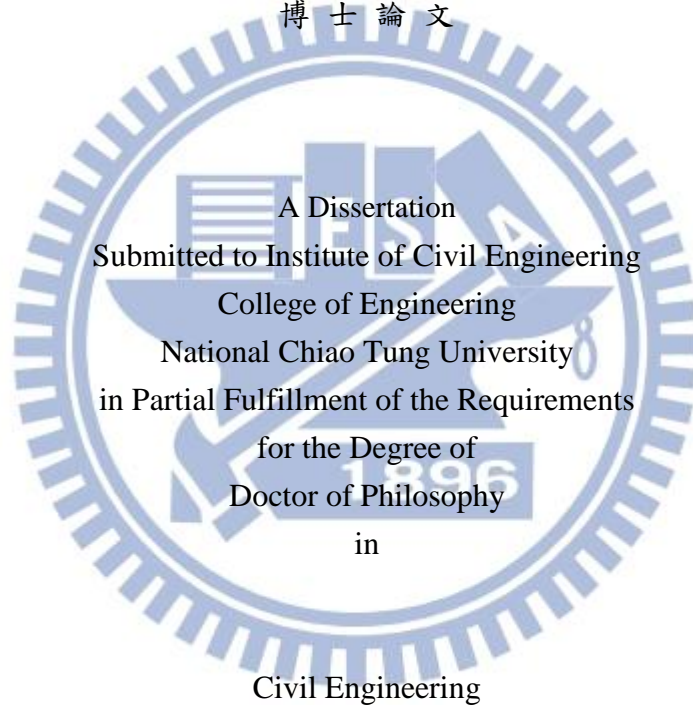
指導教授：劉育東

Advisor: Yu-Tung Liu

國立交通大學

土木工程學系

博士論文



June 2014

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇三年六月

中文摘要

建築媒材與建造流程息息相關，因為建造流程的需要，才有建築媒材的出現。最早記錄建築媒材的書是維楚菲厄斯的《建築十書》。此後，阿爾伯蒂的《建築十書》、瑟利歐的《建築》、以及帕拉底歐的《建築四書》記錄了當時的建築規範。前述提到的這些建築經典規範，將當時新出現的的建築媒材加以記錄與定義。而後，各國也一一制定符合建造流程的標準規範。

本研究分析了當代最主要的建造流程，將非數位建築的建造流程歸納為五個階段：「建築計畫」、「概念設計」、「設計發展」、「細部設計與施工圖」、「現場施工」。然而，這個流程早在數位媒材出現前就已經確立。因而本研究歸納當代數位建築建造流程的研究，並加以分析及彙整成六個階段：「早期設計」、「設計定案」、「施工圖階段」、「單元生產」、「預組裝」以及「組裝」。本研究比較兩者後發現，數位建築建造流程有新的階段出現。

本研究將建築媒材的焦點放在建築圖說。研究問題是在數位建造流程的各階段中，先找出其對應圖說，而後找出無法歸類在既有規範內的建築圖說。主要目標是將尚未被定義清楚的圖說提出規範。又因為數位建築圖說需要數倍於非數位建築圖說的圖量才得以呈現設計。所以本研究的次要目標是將規範程式化，此程式將會自動產生符合前述規範標準的數位建築圖說。

本研究有四種研究方法，分別應用在四個步驟。第一步是分析數位建築案例，歸納數位建築建造的各階段所對應之建築圖說，並分析之。然後找出新圖說，並歸納其要點以得到初步建築圖說規範。第二步是為了驗證初步規範是否可行，訪談前述數位建築案例之設計專家進以修正規範。為了次要目標，第三步是撰寫一個自動化產生符合規範的程式。最後，以設計數位建築為主的建築設計師為受測者進行認知實驗，驗證程式是否有需要調整之處。

結論是本研究發現在數位建築建造流程中有新的建築圖說產生：數位平面圖、數位結構剖面圖、數位單元生產圖、以及數位單元組裝圖，本研究將這四套圖制定規範。今日台灣的數位建築已經越來越普遍，本研究的貢獻是讓未來數位建築流程有定義清楚的新數位建築建造媒材之規範可供參考。研究的限制是案例數量有限，未來研究將收集及分析更多數位建築案例資料進行再驗證。

ABSTRACT

The advent of architectural media is closely related to construction processes, which leads to the inseparable relationship between each other. The earliest known record of architectural media is provided in *De Architectura Libri Decem* by Vitruvius. From then on, *De Re Aedificatoria* by Alberti, *L' Architettura* by Serlio, and *Quattro Libri* by Palladio offer classical architectural paradigms as well as the definitions of the newly-developed architectural media. Afterwards, each country has instituted the standards for construction processes.

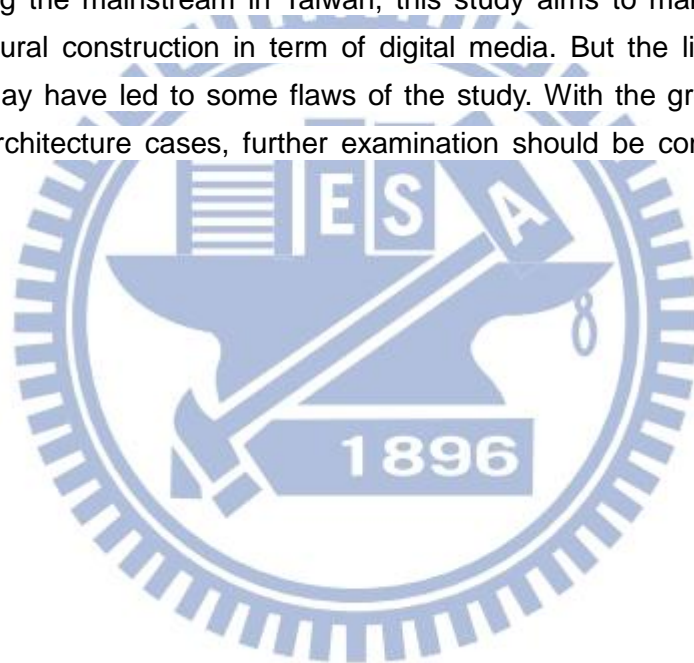
This study first analyzes the most significant non-digital construction process having been made long before the presence of digital media, and divides the process into five stages including architectural program, conceptual design, design development, detailed design, and construction. After reviewing previous research on contemporary digital construction process, this study suggests six stages of digital construction process as follows: early design, final design, unit construction plan, unit manufacture, pre-fabrication, and on-site assembly. As a result, there are new stages in digital construction process.

This study focuses on drawings of architectural media. By identifying the drawings of corresponding stages in digital construction process, one can then discover the drawings that can't be included in any existing standards. The main objective of the study is to categorize the aforementioned drawings. On the other hand, since the number of drawings needed for clear exhibition of digital construction process is far more than that for non-digital construction process, the secondary objective is to develop a program which is expected to produce drawings that are compatible with contemporary paradigms of digital construction process.

Four steps are carried out in this study, each of which is done with a particular research approach respectively. The first is to analyze the cases of digital architecture with an eye to finding out new drawings as well as defining preliminary paradigms for each. Following that comes along the verification of feasibility of the preliminary paradigm by interviewing chief designers of the

aforementioned digital architectural cases, in turn making proper adjustment to the preliminary paradigms. Third, to achieve the aforementioned secondary purpose, the study devotes to writing a program which is capable of automatically producing a program which matches the paradigm. Lastly, in order to justify whether there's need for any adjustment in the program, the study practices a cognitive experiment on designers who mainly design digital architecture.

This study finds four new sets of architectural drawings, including digital floor plans, digital structural sections, digital shop drawings, and digital assembly drawings, since the emergence of digital construction process. Paradigms are then well-defined in this study. As digital architecture is becoming the mainstream in Taiwan, this study aims to make paradigms for architectural construction in term of digital media. But the limited number of cases may have led to some flaws of the study. With the growing number of digital architecture cases, further examination should be conducted in future studies.



誌謝

回想起大學時代，當時的我，應該怎樣也不相信未來會選擇博士這條路吧。這個選擇，完全是因為在就讀研究所期間，所上讓我看到建築的無限可能：不自囿於傳統的技術、不受限於單一的領域、透過跨領域的合作、加上鍥而不捨的精神，因而有了這本論文的出現。

攻讀博士的這段時間裡，要感謝許多人對我的幫忙，無論是理論上、實務上、精神上、或是實質上。我常覺得，如果沒有這些革命情感、舊雨新知，漫漫博士路，單單一個人是走不久、走不完的。要感謝的人太多，包括老師、助理、學長姐、同學、學弟妹... 請原諒人數眾多無法一一列舉，但你們的幫助，永遠銘記在心。

除了直接給予幫助，心靈上的支持更是我得以努力不懈的動力。先要感謝父母，因為有了您們的大力支持，才能無後顧之憂地讀書。也要感謝妹妹，因為有妳幫忙持家，我才能夠任性地做想要做的事情，萬分感恩！也感謝一路支持我的 Ma，多年來的照顧，感激盡在不言中。

感謝 Li，在我是個窮學生、也過了而立之年的時候，依然不離不棄、情意相挺。這本論文的結束，也代表新生活的即將開始。往後的日子，雖然很多挑戰、很多不確定，但只要在彼此身邊，相信一切都能迎刃而解，未來的每一天，還請多多指教。

最後，感謝自己能堅持到今天。自認最大的優點，就是能夠保持樂觀地面對每一個挑戰，期勉我能繼續保持下去，開心地面對人生未來的每一刻。感謝自己，感謝吾愛，感謝家人，感謝交大建築所。

目錄

1	緒論	001
1.1	研究背景	001
1.2	研究問題	003
1.3	研究方法與步驟	006
2	文獻回顧	008
2.1	建築媒材	008
2.2	建築流程與對應圖說	019
2.3	小結	032
3	案例分析	034
3.1	建築流程與對應圖說假設	035
3.2	流程分析與圖說驗證	039
3.3	建築圖說分析	047
3.4	初步規範制定	051
4	專家訪談	053
4.1	數位平面圖	055
4.2	數位結構剖面圖	060
4.3	數位數位單元生產圖	064
4.4	數位單元組裝圖	069
4.5	訪談資料整理	073
4.6	初步規範修正	078

5	規範程式化	080
5.1	程式撰寫目的	080
5.2	程式撰寫流程分析	081
5.3	軟體選擇	081
5.4	程式目標	082
5.5	設計師繪圖習慣	082
5.6	程式撰寫步驟	086
6	認知實驗	094
6.1	實驗計畫說明	094
6.2	實驗結果與討論	102
6.3	小結	111
7	結論與建議	113
7.1	研究結論	113
7.2	研究限制	115
7.3	研究貢獻	115
7.4	未來研究	116
	參考文獻	117
	個人簡歷	124

1 緒論

1.1 研究背景

什麼是媒材？本研究中的中文「媒材」兩字是源自於英文 *medium*。*Medium* 在拉丁文的原意是「中間地帶、中等質量或中等程度」(a middle ground, quality, or degree)，一直到十七世紀，*medium* 出現了新的字意：「溝通的通道」(channel of communication)，此後 *medium* 在中文開始被翻譯為媒材(Little, 1973)。而後，雖然對於媒材的定義仍眾說紛紜且存在許多歧見，但整體的交集與共識為媒材是傳遞訊息的介質(intermediate agency)、方法(means)、工具(instrument)、或是管道(channel)(Little, 1973)，一直到六零年代，McLuhan(1964)更進一步宣稱媒材就是訊息本身(the medium is the message) (Hjørland, 2005)，本研究將以 McLuhan 的理論為基礎。

什麼是建築媒材？建築媒材是一種傳達建築訊息的媒材(technical media)。建築師在設計思考時，可以透過設計媒材將內心的思考流程做具體的呈現(representation)。簡而言之，建築媒材可以輔助建築設計者將設計概念轉化為實際作品(Schon and Wiggins, 1992; Bilda and Gero, 2006)。由於本研究理論架構建立在媒材就是訊息本身的基礎上，因此可定出建築媒材有三種主要的類型：口說、模型、以及圖說。由於建築口語表達難以留下記錄，在此先省略不提。針對後兩者進行研究之後，發現建築媒材的選擇會限制設計者的思維同時也帶來啟發，進而影響設計者的思考模式(Zevi, 1981; Lim, 2003)。

建築媒材的歷史始於建築設計需要留下記錄而發明建築圖說(Millon, 1994)；然後開始進入到以建築模型做為紀錄工具(Smith, 2004)；之後開始以圖說輔助設計，然後因為二度空間的建築圖說無法完整呈現三度空間的建築設計，再以模型彌補建築圖說之不足(Millon, 1994; Smith, 2004)。二十世紀，建築師為了要突破建築設計的限制，開始嘗試除了模型及圖說以外的自製建築媒材(Collins, 1960; Futagawa and Borrás, 1997)。

自製媒材僅能啟發對設計的想像，增加設計的可能性，但缺乏施工需要的高精準度，因而促成了數位建築媒材的產生。相較於非數位建築媒材，數位建築媒材多了在數位空間中呈現建築設計的可能性，並且成為建築領域廣泛使用的媒材(Boden, 1998)。一開始電腦輔助設計僅僅輔助二度空間圖說的呈現，節省實體設計媒材為了重複繪製圖說所必須花費大量時間以及人力，後來，數位媒材產生的

建築圖說將精準度大為提高(Lim, 2011)，更對設計產生積極性的影響，引發設計師更多創造力(Manolya et al., 1998; Verstijnen et al., 1998; Chen, 2001)。

本研究選擇以建築圖說為研究之重點。建築圖說所要傳達的內容包括以下幾種：(1)發展設計師思考中的設計；(2)和他人交流思想和概念；(3)記錄設計流程；(4)做為建造之依據；(5)表達定案的設計；(6)記錄既存的建築。

建築圖說依照繪製方法可以分為三種：正射投影法(orthographic projection)、斜射投影法(oblique projection)、以及透視投影法(perspective projection)，皆是希望能以二度空間呈現與模擬出三度空間的意象(Ching and Juroszek, 2011)。正射投影法例如正投影圖(orthographic drawing)；斜射投影法例如軸測圖(axonometric drawing)；透視投影法例如透視圖(perspective drawing)(Fraser and Henmi, 1994; Ching and Juroszek, 2011)。

若依照應用的方式，從設計到建造的建築圖說可以分為六種類型：參考圖(referential drawing)(Graves, 1977)、示意圖(diagram) (Fraser and Henmi, 1994)、想像圖(visionary drawing)(Magonigle, 1922)、呈現圖(presentation drawing)(Oechslin, 1987)、設計圖(design drawing) (Fraser and Henmi, 1994)、以及施工圖(construction drawing) (Smith, 2013)。

建築設計到建造的流程的兩個重點，同時也分據兩個端點：設計與施工。最早的建築流程並不重視設計，可以從建築的字源得知。中文的「建築」一詞對應到英文是"architecture"，"architecture"是源自於拉丁文"architectura"。"Architectura"這個字又來自於希臘文中的"ἀρχιτέκτων" (arkhitekton)，本意是"主要的"和"施工者"(ἀρχι- "chief" and τέκτων "builder, carpenter, mason")。由此可知，建築領域最開始被視為建造行為，且和施工者密不可分。原本人類就有遮風避雨的需求，因而世界上最早出現的建築類型是以功能取向的庇護所(shelter)，而這樣的庇護所是人人都能夠建造。而後，因為祭祀的需要，建築開始從常識進而成為專業，也不只重是建造，更開始重視設計。第一個將建築師確立為專業者則可以追溯至美索不達米亞人(Mesopotamians)，美索不達米亞人用巴圖(batu)這個詞代表建築師，更在漢摩拉比法典(Hammurbi)中明確規定出建築師責任(Knutson et al., 2009)。

一直到文藝復興以前，建築師是設計者也是施工者，當時的建築流程並沒有任何分工方式。但在文藝復興之後，建築的趨勢已經不再相同，無論是設計或是建造都難度大增，需要更專業的人進行團隊合作，同樣的，建築流程需要也更專業的分工(Knutson et al., 2009)。

因為建造流程需要分工，所以必須要清楚界定建造流程的流程，才能確定流程中每個人負責的部分。在二十世紀以前的建築流程並沒有一套公定的標準，大多數建築建造的流程都是以師徒制的方式一代傳遞一代將經驗流傳。這樣的結果導致難以將困難的設計和建造流程經驗普及化，也使得建築專業人才無法針對建築設計或建造流程進行檢討，一直到九零年代，才有學者試圖將建築流程歸納進而定義為模型(Walker, 1989; Hughes, 1991)，以促使建築設計與建造流程得以討論與進步。

1.2 研究問題與目標

雖然建築已經有上千年的歷史，但由於過去書籍不易保存，因此留傳下來的建築書中，最早將建築知識「規範化」的記錄僅可追溯到《建築十書》(De Architectura Libri Decem)。《建築十書》是由馬庫斯·波利歐·維楚菲厄斯(Marcus Pollio Vitruvius)在西元前 32 年至公元前 14 年間撰寫而成，書中清楚記錄建築規範，例如柱式(order)(Vitruvius, 1960)。此後，一直到文藝復興初期，萊昂·巴蒂斯塔·阿爾伯蒂(Leon Battista Alberti)為了將自《建築十書》以來的新增的建築規範留下紀錄，因此在 1452 年出版阿爾伯蒂版本的《建築十書》(De Re Aedificatoria)(Alberti, 1986)。

後來，文藝復興中期又出現了另一本建築規範著作《建築》(L' Architettura)，作者塞巴斯提安諾·瑟利歐(Sebastiano Serlio)除了整理出前述兩本著作的內容，同時也規範新出現的建築現象(Serlio, 1611)。同樣整理及規範新建築現象的還有文藝復興末期的奧克塔沃·安卓·帕拉底歐(Octavo Andrea Palladio)的《建築四書》(Quattro Libri)(Palladio, 1997)。

前述提到的這些建築著作，都是為了要將當時還沒有被記錄到的、新出現的、未被整理的建築現象加以規範，使後人一方面知道有這些新的現象產生，另一方面有規範可以遵守。而後，從帕拉底歐的《建築四書》至今，建築專業者(包括設計者以及施工者)清楚地定義了每個建築領域的規範，例如建築圖說的功能、類型、與定義(Fraser and Henmi, 1994; Graves, 1977; Magonigle, 1922; Oechslin, 1987)。

隨著設計和建造的難度增加、團隊合作的機會越來越多，因此清楚界定建造流程的流程變得十分重要(Knutson et al., 2009)。九零年代，開始有研究試圖將建築流程清楚定義(Walker, 1989; Hughes, 1991)，以促使建築設計與建造流程的進步。本研究分析了當代最主要的建築流程，包括美國建築師協會(AIA, The American Institute of Architects)所提出的設計流程：從概念設計、設計發展、施工圖說、招投標及合同協商、一直到建造管理。第二個建築流程是「通用設計與建

造流程協議」(Generic Design and Construction Process Protocol)，這個模型參考了很多過去研究的數據及案例分析，其中最主要的來源是英國皇家建築師學會(Kagioglou et al., 2000; Sanvido, 1990)，最後依照分析的結果，本研究將非數位建築設計到建造的流程歸納為「建築計畫」、「概念設計」、「設計發展」、「細部設計與施工圖」、「現場施工」，一共五個階段(圖 1-1)。

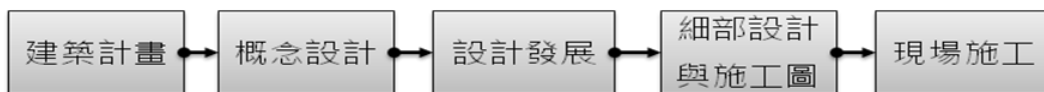


圖 1-1 非數位建築流程流程

但是這兩個流程都沒有因應數位媒材的出現而有所調整，原先尚未引入數位媒材的建築設計到建造的流程必須要有所調整，數位建築設計到建造流程與數位媒材的關係是重要的課題。因而本研究參考過去研究中數位建築設計到建造流程(Lee, 2005; Lim, 2011)，並加以分析及彙整成數位建築設計到建造流程的六個階段：「早期設計」、「設計定案」、「施工圖階段」、「單元生產」、「預組裝」、以及「組裝」(圖 1-2)。



圖 1-2 數位建築設計到建造流程

媒材有四種向度可以思考，包括增強、汰舊、恢復以及逆轉(McLuhan and McLuhan, 1988)，數位媒材四者兼具，並且成為有效的設計媒材(Boden, 1998)。不僅如此，相較於非數位媒材，數位媒材有更為精準的優點(Lim, 2011)，且對於設計思考能引發更多創造力(Manolya et al., 1998; Verstijnen et al., 1998; Chen, 2001)。從非數位的媒材轉為數位設計媒材，媒材大大的影響建築設計的發展(Lindsey, 2001; Friedman, 2002; Luca and Nardin, 2002; Spuybroek, 2004)，同時也深深地影響了建築設計到建造的流程。

從過去研究中得知，建築媒材的討論多是著重在建築設計媒材，有大量的論文討論建築設計媒材與設計思考、創造力、或是設計結果之間的關係，相較之下，少有文章討論建築施工媒材。本研究希望將焦點不只是放在建築設計媒材，同時也包括施工媒材的部分。前一小節有提到本研究將以設計圖與施工圖為研究的重點，除了因為建築設計到建造的媒材多以建築圖說之外，建築圖說有攜帶方便及容易傳遞、複製的好處，無論是傳統藍曬圖或是現代的可數位化的建築圖說，都是主要的設計到建造媒材。本研究將以建築設計圖與施工圖的研究分析為主，建

築口語表達及建築模型將於未來研究中再另行討論。進一步分析非數位建築設計到建造流程中所用到的圖說與數位建築設計到建造流程中所用到的圖說，本研究比較兩者的設計到建造流程，發現「單元生產」及「預組裝」兩個步驟是因應數位媒材的使用產生的新步驟(參考圖 1-3 及表 1-1)。

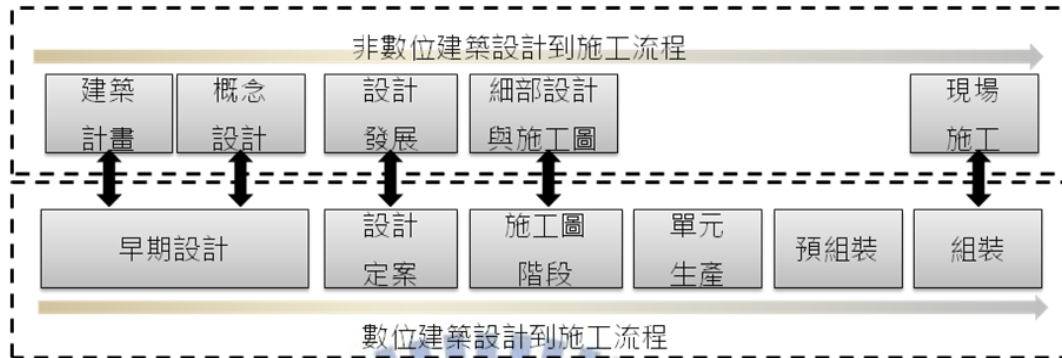


圖 1-3 非數位建築設計到建造流程與數位建築設計到建造流程比較圖

新的建築設計到建造步驟意味著可能會出現新的媒材以因應不同的分工，但目前官方的建築流程卻又停留在傳統的非數位建築設計到建造流程。如果新出現的媒材沒有被清楚定義內容以及其標準格式，也就代表沒有統一的表现方法，如此一來，做為建築師與施工者的建築圖說效度也會減低。本研究認為新的建築圖說已經出現，只是還沒有準確的規範且標準化。今日數位建築的設計到建造的流中，由於建造的案列與經驗仍不普及，往往必須由設計者與施工者雙方彼此之間不斷地嘗試才能協調出可行的建築圖說，尚未被精確的規範的圖說，因為沒有一定的標準，又缺少過去經驗做為前例，多數的施工者無法理解設計者的圖說所要表達的內容。在設計者與施工者溝通的流程中，因而必須耗費大量時間與大量人力。

詳述本研究的研究問題：今日台灣的數位建築已經越來越普遍，且從文獻回顧中得知，數位建築從設計到建造的流程中，已有不同於非數位建築的新階段出現。但是，尚未有過去研究詳細探討，在新出現的的各階段中，其對應圖說分別為何？是否有無法歸類在既有規範內、或是尚未被完善規範的新建築圖說？沒有被完善規範的圖說將會造成設計者及施工者溝通上的困難與錯誤。因此，本研究主要目標是在台灣的建築設計者繪製給施工者的圖說之中，將尚未被定義清楚的圖說提出標準規範，使得未來數位建築流程有一套定義清楚的新數位建築建造媒材之規範。

又因為從過去實務經驗中得知，關於數位建築的建築圖說，建築設計師必須多繪製數倍於非數位建築圖說的圖量，才得以完整的讓施工者了解每一個設計與施工的細部。如此一來，數位建築流程所花的時間也將遠多於非數位建築。所以

本研究的次要目標是透過目前數位建築設計者常用的設計軟體，撰寫一個自動化產生符合前一段所規範之新圖說的程式。未來只需要提供建築設計的數位模型以及相關數值，此程式將會為建築設計師自動化產生符合前述規範標準的數位建築圖說。

1.3 研究方法與步驟

建築圖學是一門應用科學，應用科學的研究方法基本上可以分為兩大類：「調查」以及「實驗」。前者是在研究問題本身所牽涉的範圍複雜，難以用數字或量化的方式，而必須用質性研究方法驗證時所採用；後者是當研究問題本身純粹，可以用量化研究方法驗證時所採用。

從過去文獻中得知，應用科學領域中的「調查」包括六種方法：現場調查法、訪談法、次級資料分析法、歷史比較法、觀察法、以及案例分析法。其重點是找出某一個現象的表徵，突顯此現象的特點。而本研究領域以建築圖學為核心，為了要能分析出數位建築在設計到建造流程中所生產的圖說，是否和過去既有規範的圖說有所不同，因此第一步將採用案例分析法。

案例分析是一種實徵探索(empirical inquiry)，適用於在真實的條件之下(相較於實驗環境)，研究案例中出現的現象。特別是這些現象又是複雜的內容，且隱藏於大量的背景之中最為適用(Yin, 1981a, 1981b, 1984)，例如建築圖說的比較與分析。案例分析有四個特性：(1)特殊性、(2)描述性、(3)啟發性、(4)歸納性。特殊性是表示案例分析往往著重於一種特定的情況、事件、人物或現象，很適合研究現況；描述性是表示分析的結果，可以深入描述案例本身所出現的現象；啟發性是表示案例分析適用於找出新的現象，並為此現象提出新的解釋及新的意義；歸納性是表示案例分析依賴歸納的推理流程，原理和普遍性原則由資料的檢視中形成，案例分析的目標在於發現新的現象(Wimmer and Dominick,2011)。

因此本研究的研究步驟第一步，先分析數位建築案例，歸納數位建築設計到建造的各階段所對應之建築圖說，並找出無法歸類於既有規範中的建築圖說。再分析前述無法歸類於既有規範中的建築圖說，找出其共通點以得到初步建築圖說規範。

研究步驟第二步，為了瞭解新建築圖說規範是否可行，將透過訪談法進行驗證，訪談前述數位建築案例之設計者。訪談法的重點在於受訪者的個人經驗，在訪談的流程中，透過訪談的問題逐漸將受訪者的經驗轉為知識場域，透過設計專家的經驗，進而了解或將其結論推及其他有類似經驗的人 (Kvale, 2007)。因此本

研究將以訪談的結果作為根據，進而修正案例分析步驟所得到的初步建築圖說規範。

在前一小節提到，數位建築的建築圖說往往必須多繪製數倍於非數位建築圖說的圖量，才得以完整的呈現每一個設計與施工的細部。研究步驟第三步將透過目前數位建築設計者常用的設計軟體，撰寫一個自動化產生符合前一段所規範之新圖說的程式，將規範程式化。最後研究步驟第四步，再透過應用科學的另一大類研究方法：「實驗」進行驗證，以設計數位建築為主的建築設計師為受測者進行認知實驗，驗證以第三步的程式是否有需要調整之處，並修正之。

表 1-1 研究步驟、研究方法、與內容簡述

研究步驟	研究方法	內容簡述
第一步	案例分析	分析數位建築案例，歸納數位建築設計到建造的各階段所對應之建築圖說，並找出無法歸類於既有規範中的建築圖說。再分析無法歸類於既有規範中的建築圖說，找出其共同點以得到初步新建築圖說規範。
第二步	專家訪談	為了瞭解新建築圖說規範是否可行，訪談第一步中所分析之數位建築案例之設計者，並根據訪談結果修正上一步所得到的規範。
第三步	規範程式化	撰寫一套程式來自動衍生符合第二步所得到的新規範建築圖說，以減少人力負擔。
第四步	認知實驗	以設計數位建築為主的建築設計師為受測者進行實驗，驗證以第三步的程式是否能應用於實務並取代人力繪製圖面。

2 文獻回顧

2.1 建築媒材

建築媒材多元，口說、模型、以及圖說都是建築媒材。建築媒材會影響設計結果的呈現，更進一步的說，媒材的特性會影響設計本身。不同媒材的特性不同，如果能發揮其優勢，可以達到其他媒材無法做到的效果；但媒材特性的限制也限制了設計本身，例如建築圖說限制內容的呈現為二度空間，而實體模型可以增加第三向度的思考。換句話說，媒材本身影響了設計者的思考與呈現方式(Rowe, 1987)。設計媒材的選擇將對設計者的思維帶來限制同時也帶來啟發，進而影響設計思考，不同媒材將會影響設計者的設計能力(Zevi, 1981; Liu and Lim, 2009; Lim, 2003)。

雖然對於媒材的定義仍眾說紛紜且存在許多歧見，但整體的交集與共識為媒材是傳遞訊息的介質(intermediate agency)、方法(means)、工具(instrument)、或是管道(channel)(Little, 1973)，後來，McLuhan(1964)更進一步宣稱媒材就是訊息本身(the medium is the message) (Hjørland, 2005)，本研究將以 McLuhan 的理論為基礎，因此可定出建築媒材有三種主要的類型：口說、模型、以及圖說。由於建築口語表達難以留下記錄，本研究先留至未來研究。

根據過去研究發現，媒材有四種向度的功能，包括增強(enhancement)、汰舊(obsolescence)、恢復(retrieval)以及逆轉(reversal)(圖 2-1)。所謂「增強」是強調媒材具有強化的功能(McLuhan and McLuhan, 1988)。例如數位媒材強化了複製的能力，以往非數位媒材要進行複製需要大量時間，今日數位媒材複製省時許多；所謂「汰舊」是指新的媒材出現將使舊的媒材重要性降低，甚至過時。例如數位模型出現之後，實體模型的製作需求就降低了；所謂「恢復」是指新的媒材出現將使過去消失的重新恢復，例如數位建築可以將建築與地景的關係，因為造型更加有機，因而兩者之間的結合可以更緊密；所謂「逆轉」是表示當新的媒材被發展到極致之後，媒材本身會帶來的逆轉變化，例如當數位媒材成為建築界普遍的工具，非數位媒材反而成為特殊的工具而引人注目(McLuhan and McLuhan, 1988)。

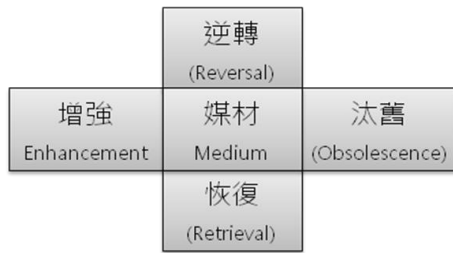


圖 2-1 媒材的四個向度

2.1.1 非數位媒材

早在西元前 4600 年，就已經有建築造型的模型，當時的建築模型僅做為祭品或禮物之用。現存最早的建築媒材的歷史紀錄來自古埃及時期。古埃及時期的建築師使用圖說作為建築媒材，圖說用來呈現最終建築設計的結果。在這個時期中，媒材之於建築師除了作為一種紀錄工具，由於古埃及時期建築圖說的呈現方式已經非常接近於現今的平面圖(圖 2-2)，因此當圖說繪製完成之後，施工者也可以利用繪有設計結果的圖說進行建造，進而達到輔助建造的作用(Millon, 1994; Liu and Lim, 2009)。



圖 2-2 古埃及建築圖(1550–1295 B.C.)(引用自 Roehrig, 2002)

到了古希臘時期，建築師開始製作實體建築模型。本時期的建築模型並非作為呈現整體建築造型之用，因為雖然有比例，但整體外形並不完整，也無法輔助建築設計到建造的流程。此階段的建築模型，是專門針對信仰宗教使用，用來作為儀式中祭祀的道具(Liu and Lim, 2009; Smith, 2004)。直到古羅馬時期開始出現從多個視角來表達建築設計的建築圖說(圖 2-3)，包括平面圖、立面圖以及剖面圖，此後建築師開始重視使用建築圖說(Vitruvius, 1960)。

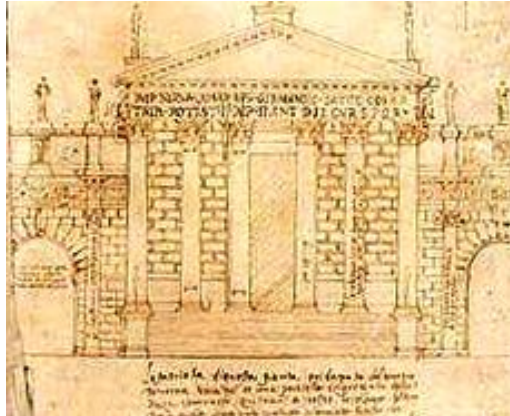


圖 2-3 古羅馬建築立面圖(引用自 Roehrig, 2002)

接下來的歌德時期，建築中裝飾的元素開始出現，煩瑣且精細的細部造成建造上的困難，因此，建築圖說在本時期被廣泛的使用，用以輔助建築建造的流程。從過去研究中得知，在歌德時期以前，建築媒材皆以圖說的繪製為主，實體模型等其他類型的使用極少(Lim, 2011)。

文藝復興時期，建築設計與建造工法已經相當成熟，不僅是建築日趨繁複，單純的圖說已經不足以說明清楚當代的細部設計，再加上結構也日漸複雜，建築師需要更精準的媒材。當時的建築師鑒於二度空間的建築媒材已經不敷使用，開始使用三度空間的實體模型來輔助建築設計與建造，以彌補二度空間平面圖說之不足。當時的建築師為了研究結構，甚至拿掉所有多餘的裝飾，以純粹的呈現結構系統來製作模型(Millon, 1994; Liu and Lim, 2009)。建築師發現實體模型除了作為建築設計的呈現以及建築結構模擬之外，也可以作為其他考量研究之用，例如建築比例、空間尺度甚至是光影變化(Millon, 1994; Liu and Lim, 2009, Smith, 2004)。



圖 2-4 文藝復興時期的畫作，內容描述瑪格麗特岡薩加(Margherita Gonzaga)接受聖厄休拉教堂(St Ursula)的模型(引用自 Wikigallery, 2011)

實體模型作為設計媒材在文藝復興時期廣泛的使用，模型的製作因為建築師及使用者的需要開始有多種不同的用途。除了先前提到的建築設計呈現、結構系統研究、光影變化等用途之外，文藝復興的實體模型也作為輔助設計思考的媒材，當時的建築師會利用實體模型的製作進行建築設計的討論與研究，因此同一個建築案會有多種不同階段的模型，甚至不只是單純等比例縮小的模型，還有可以從中間分開來體驗室內空間的剖模(圖 2-5)(Liu and Lim, 2009; Lim, 2011)。



圖 2-5 文藝復興建築空間設計研究用剖模(引用自 Parchin, 2011)

另外，建築設計中除了空間設計外，還有許多方面需要被考慮，例如量體之間的關係、顏色或是材質。實體模型作為媒材相較於二度空間平面媒材更能夠表達多方面的思考，甚至單就建築空間感的呈現而言，也較二度空間的圖說準確(Hohausen, 1970)。同時，實體模型相較於建築圖說容易理解空間關係(Porter and Neale, 2000; Breen et al., 2003; Smith, 2004)。因此，實體模型也作為建築師與業主的討論之用。

建築圖說對於設計者而言，因為受限於二度空間的圖紙，內容總是只能呈現局部的建築設計。建築圖說依照呈現方式可以分為三種：正射投影法(orthographic projection)、斜射投影法(oblique projection)、以及透視投影法(perspective projection)，皆是希望能以二度空間呈現與模擬出三度空間的意象。其中透視投影法就是鑒於建築圖說僅能呈現於二度空間的不足而發明。透視投影法的發展一開始為中央消點透視法，藉此方法二度空間的圖說也能夠以科學的方法紀錄三度空間(Frommel, 1994)。

建築媒材的歷史至此，皆為呈現設計師腦中的意念之用，部分建築媒材可以輔助建築設計，甚至成為建築師的重要媒材(Goldschmidt, 1991; Schon and Wiggins, 1992; Goel, 1995)。但前述所提的建築媒材仍無法使建築設計超脫垂直水平或簡單幾何所結構而成，主要原因是因為媒材的本身限制：當時的建築師多

使用紙筆以及尺規作圖，而尺規繪製出的線條為直線以及弧線，無法任意繪製出自由曲線。

2.1.2 前數位媒材

二十世紀初，當時的建築師為了要達到建築設計的突破，開始嘗試自製新的建築媒材，例如西班牙建築師高第(Antoni Gaudi)的沙包。建築師高第利用懸掛在天花板的倒吊模型上綁著沙包及細繩，此由沙包及細繩所組成的倒吊模型因為受到地心引力的牽引形成不同的下垂弧線，高第用其做為 1:10000 的設計研究模型，再利用當時的照片技術將整體拍攝下來，顛倒照片後再加上後製處理可以用來處理特殊建築物的結構計算(圖 2-6)(Collins, 1960; Futagawa and Borrás, 1997)。

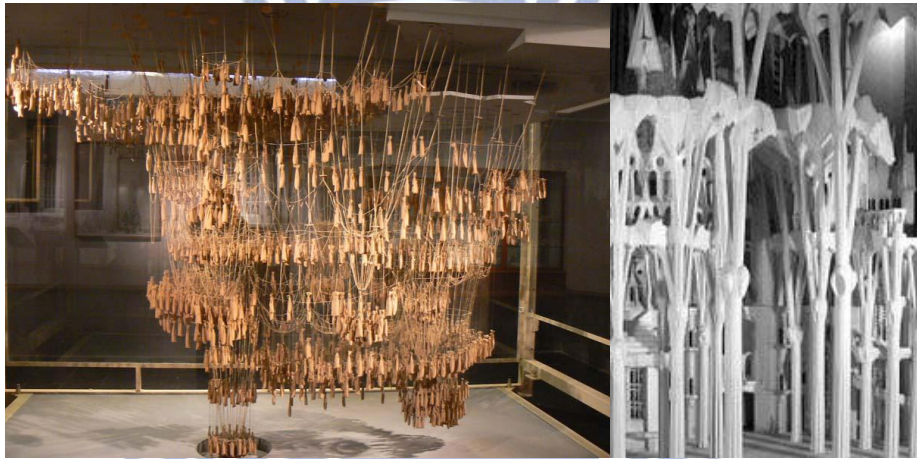


圖 2-6 高第發明的設計媒材及建築模型(引用自 Architektonix, 2011)

即使能夠如同高第，建築師使用自創的建築媒材而繪製出完整的建築圖說，與建築師配合的建造人員仍然沒有相關技術可以按圖建造，這問題往往使建築師必須被迫更改設計以去配合建築建造人員的施作能力。例如二十世紀中期，約翰烏戎(John Utzon)原始設計的雪梨歌劇院原先的設計便因為當時建造技術問題而被迫更動，即使是調整之後仍需要大量實體模型及精確建築圖說輔助(圖 2-7)(Fromonot, 1998; Murray, 2004)。



圖 2-7 雪梨歌劇院設計研究用模型(引用自 RIBA, 2011)

還沒有數位建築媒材之前，設計師在設計的流程之中，為了呈現設計與溝通的需要，必須要不斷地重複繪製相同的圖說，耗費相當多的人力與時間做重複的任務。等到電腦發明之後，開始利用電腦取代人力，將圖紙轉換成數位檔案，如此一來，圖說就更方便於傳遞與複製，這是電腦輔助設計的出發點。二十世紀中期，電腦因為計算上的需要而發明。同時電腦發展迅速，為了增進人機互動而發展出圖形化介面，因此提高了視覺回饋的能力。至此，圖形化介面對於設計領域而言已經可以進行操作，並且成為有效的建築媒材之一(Boden, 1998)。

六零年代之初，薩瑟蘭(Sutherland)發明以手繪圖說在圖紙上的壓力作為輸入方式的設計媒材：壓力板(Sketch Pad) (圖 2-8)(Sutherland, 1963)，此種壓力板讓設計者同樣以手繪的方式將輸出成數位檔，突破以往電腦只能用鍵盤輸入或是利用寫程式控制的方式，以設計師容易理解的圖像介面，配合輸入工具光筆的操作，在壓力板上模擬繪圖，電腦讀取光筆的座標，判別連續的座標連成一條軌跡，並能夠即時在電腦螢幕上反應電腦讀到設計師所繪製的圖像。此為第一個電腦輔助設計的案例，此時的建築圖說在數位空間中仍以二度空間呈現。



圖 2-8 Sketchpad 數位繪圖系統(引用自 Sutherland, 1963)

六零年代中期，開始出現簡單的三度空間數位建模方式。設計師思考設計仍然以紙筆為主，此時的數位三度空間模型只是作為設計呈現之用，三度空間建模系統為線框造型系統(wire-frame modeling)，此時期的電腦已經從開始進入到應用輔助設計階段。

到了七零年代，開始有建築師以數學及數位軟體產生建築草圖，這些草圖是由數位工具衍生出來的概略幾何圖形(autonomously generated diagrammatic geometries)，然後建築師僅從中選取心中理想的造型用以輔助設計，並沒有進一步的透過數位工具使其設計及建造的流程更精確。當時的三度空間建模系統為曲面造型系統(surface modeling)，曲面造型系統是用多個視角來描述同一件數位三度空間模型。也就是說用三視圖等多個視角以及輔助線的幫助來表達三度空間的立體感。

換句話說，所謂前數位的建築媒材有兩種：第一種是用非數位的媒材模擬數位媒材，例如高第使用沙包的方式。高第的設計造型來自於數學公式及物理模型，例如西班牙巴塞隆納的聖家堂(Ia Sagrada Familia)，若以傳統非數位媒材進行設計，必定曠日廢時，因而高第透過自製的新媒材加上攝影技術方能進行設計，但媒材的限制使得聖家堂一直無法完工，直到透過數位工具重新動工才讓完工日指日可待。

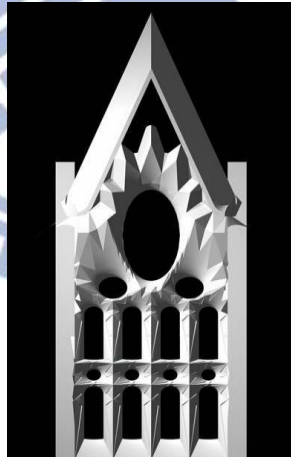


圖 2-9 以數位工具輔助建築建造的聖家堂模型(引用自 Rotheroe, 2011)

第二種前數位建築媒材是用簡單的數位工具產生草圖或草模，這種前數位建築媒材產生的草圖及草模僅提供建築師發想，多是作為造型的發想之用，這一類的建築師有前述提到的彼得艾森曼以及戈雷格林恩(Greg Lynn)，前者的案例例如辛辛那提大學的阿朗諾夫設計及藝術中心(Aronoff Center for Design and Art)(圖 2-10)，後者的案例例如胚胎住宅(Embryological Housing) (Brent, 2004)



圖 2-10 透過數位工具產生多種設計可能性(引用自 Davidson, 2006)

建築媒材的使用，一方面為了輔助建築師表達心中所想要表達的概念，同時，也幫助建築師自我概念的整理與釐清，可以說是建築師自我內在與外在環境的溝通；另一方面，建築師也利用設計媒材與外界溝通，包括其他建築師、建築建造人員以及業主。因此，建築媒材其中一項很重要的能力就是希望能夠輔助設計到建造的流程，並呈現設計師最後定案的設計給專業及非專業者，包括空間尺度、光影變化、顏色以及材料質感(Bai and Liu, 1998)。以約翰烏戎的例子，當建築媒材僅能輔助設計而無法輔助建造，建築師便開始尋求其他的設計媒材。

2.1.3 近期數位媒材

當電腦輔助設計剛開始引進設計領域時，數位建築媒材主要是輔助二度空間圖說的呈現，此時設計界已經出現了使用電腦輔助設計(computer-aided design, CAD)及電腦輔助製造(computer Aided Manufacturing/ computer-aided making, CAM)的設計師，根據數位媒材快速複製的效率遠超過實體媒材的能力，進而達到節省實體設計媒材為了重複繪製圖說所必須花費大量時間以及人力。同時，電腦輔助設計與先前實體模型的另一項優勢是能夠精準的繪製圖說，使設計師繪製心中的設計能更為精準(Lim, 2011)。

不但如此，建築媒材是為了幫助建築師呈現內心的設計，與能夠幫助與外界溝通最後完成的結果。數位建築媒材在這兩方面更勝於實體建築媒材，甚至對於建築師起了積極性的影響(圖 2-11)(Mitchell and McCullough, 1994)。數位媒材相較於實體媒材更能影響建築師在概念發想的階段，能夠引發更多設計的創造力(Manolya et al., 1998; Verstijnen et al., 1998; Chen, 2001)

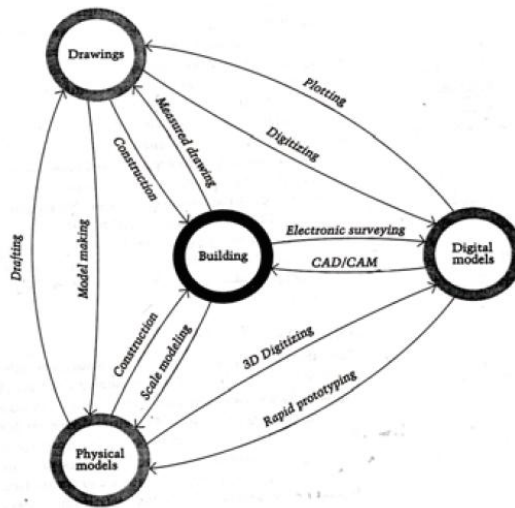


圖 2-11 建築傳統媒材與數位媒材的交互作用(引用自 Mitchell and McCullough, 1994)

法蘭克蓋瑞(Frank Gehry)是第一位將電腦視為建築媒材的建築師，當時法蘭克蓋瑞為了位於巴塞隆納的大型魚型雕塑而尋求麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology)的幫助，開啟了電腦輔助建築設計與電腦輔助建築製造時代的來臨(圖 2-12)(Liu and Lim, 2009)。根據電腦強大的計算能力，數位媒材得以完整地呈現建築師腦中的設計，並配合相關的數位建模軟體，以往人腦無法計算的結構系統與形式得以實踐。



圖 2-12 巴塞隆那魚，法蘭克·蓋瑞設計(西元 1989-1992 年)

七零年代末期到八零年代中期，工業設計領域已經廣泛的使用電腦輔助設計進行創作，當時的三度空間建模系統為實體造型系統(solid modeling)，主要是用在航太以及航空公司的需要，尚未進入到建築領域。

八零年代晚期至九零年代，三度空間建模系統為參數化實體造型系統 (parametric solid modeling)。此系統有別於以往的系統之處在於，以往的建模方式均為建築設計師輸入一個指令電腦完成一個動作，電腦只負責完成當下的指令，每一步動作都是獨立步驟，若其中一個環節想要修改，無論步驟有無因果關係都必須重新計算；而參數化實體造型系統則是設計師輸入的每一個步驟電腦都儲存於記憶體中，也就是說電腦記錄全部的建模流程和其中輸入的所有變數，若設計師輸入的動作有因果關係，則可以隨時回到設計流程中的任何一個環節，更改完畢之後，其原先後續的指令電腦會重新計算，因而省去重複動作的時間 (McMahon and Browne, 1993; Lim, 2011)。

九零年代以後至今日數位工具最具有影響力的是變數化實體建模 (variational solid modeling)，所謂變數化實體建模就是將參數化實體建模中的固定參數以變數取代之，此種建模系統較先前參數化實體造型系統開放度更大，無須每一步驟皆輸入準確的參數(圖 2-13)。因此，在建模流程之中，數位模型尺寸是可以隨時調整與輸入的，甚至，模型間的空間關係可以用聯立方程式的方式求解。因而可以即時的調整各種建模的可能性，也因為如此，所以也有人認為變數化實體建模也屬於參數化實體建模(parametric solid modeling)的一種。

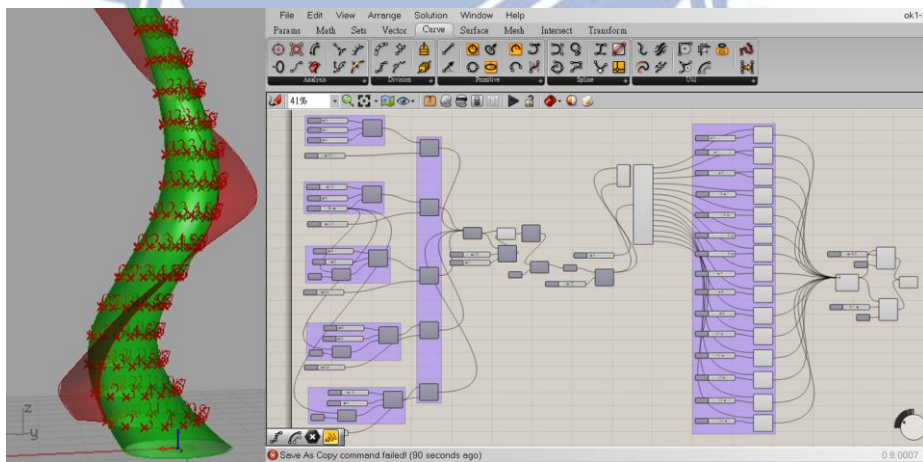


圖 2-13 變數化實體建模

到了二十世紀晚期，電腦輔助建築設計除了二度空間平面式的輔助繪製建築圖說外，相較實體媒材也有更佳的模擬建築空間之能力。數位媒材所模擬的空間呈現方式為數位三度空間模型，比起實體媒材也更容易快速建立以及編輯修改 (Abbo, 1996)。而電腦輔助建築設計發展至今，數位三度空間模型已經越來越接近於真實完成後的建築，無論是空間形式、光影的變化，顏色材料或是質感，甚至可以進行動態模擬以及根據物理引擎的輔助所模擬的如重力、彈性等物理狀態特性(Lim, 2011)

電腦輔助設計經歷過多種不同階段，從原先僅僅為取代紙張節省設計師重複動作的功能，而後數位媒材從數位二度空間進展到數位三度空間，此時電腦輔助設計已經加入實體模型的功能。到了參數化實體造型，電腦的計算能力被用來提高設計師的能力，設計師在設計的流程之中，可以隨時來回調整設計，此時的數位媒材能力是全新的使用方式；而變數化實體造型系統的發明，更賦予設計師莫大的設計彈性，無論是形狀或尺度都不必受限制，隨時可以調整，甚至只需要給予規則，電腦會計算合理的結果。不同以往的所有媒材，電腦輔助設計完全開放了設計師的設計思維，進而創造出不同以往的空間形式。

今日數位時代的建築設計流程與建造方式，遠比過去還要複雜，而有關數位時期的自由形體從設計到建造流程，過去研究已有深入的研究(Lim, 2011)。有關參數化設計的作品與研究大量出現(Al-Haddad, 2008; Baerlecken et al., 2010; Lemberski, 2010; Hnizda, 2009; Hudson, 2008)，卻仍甚少有研究建築圖說在參數化設計到建造流程中所扮演的角色。今日，如何透過數位媒體取代人力，例如協助繪製、自動生產圖說，甚至進一步透過新的媒材影響原先設計者的思考，已經成為當代建築媒材研究的重點之一(Al-Haddad, Rahimzadeh, and Fredrickson, 2013; Nguyen and Haeusler, 2013; Figueiredo and Vizioli, 2013; Zavoleas, 2014)。

2.1.4 小結

設計媒材是指在設計者的抽象概念與實際設計結果間的輔助角色，一方面為了輔助設計師自我概念的整理與釐清；另一方面，建築師也利用設計媒材表達心中所想要表達的概念(Schon and Wiggins, 1992; Liu and Lim, 2009)。設計媒材的選擇將對設計者的思維帶來限制同時也帶來啟發，進而影響設計者的思考模式(Zevi, 1981; Lim, 2003)，從最早的设计媒材之於建築師只是單純作為一種紀錄工具(Millon, 1994)；然後開始製作建築模型，但此時並非有助於建築設計(Smith, 2004)；之後實體模型作為設計媒材，以彌補二度空間平面媒材之不足 (Millon, 1994; Liu and Lim, 2009, Smith, 2004)；之後，新的建築媒材透視圖出現，開始有助於輔助設計思考(Frommel, 1994)。二十世紀，建築師為了要達到建築設計的突破，開始嘗試自製新的設計媒材(Collins, 1960; Futagawa and Borrás, 1997)，但新的媒材仍舊沒有突破設計師思考的窠臼。

表 2-1 電腦輔助設計年代表

時期	時代	設計媒材	設計媒材影響
非 數位 時期	古埃及時期	記錄圖說	紀錄
	古希臘時期	實體模型	宗教祭祀
	古羅馬時期	專業圖說	建築圖系統建立

	文藝復興時期	實體建築模型及透視圖	設計思考
前 數位 時期	二十世紀初	自製設計媒材	既有空間設計突破
	二十世紀中	數位設計媒材	設計圖說(節省時間、人力)
	六零年代	線框造型系統	數位化手繪圖
	七零年代	曲面造型系統	數位化三度空間
數位 時期	八零年代	實體造型系統	數位空間擬真
	九零年代	參數化實體造型系統	彈性數位三度空間建模
	二十一世紀	變數化實體造型系統	依變數創造多個建築設計

數位媒材出現，並且成為有效的設計媒材之一(Boden, 1998)。一開始電腦輔助設計僅僅輔助二度空間圖說的呈現，節省實體設計媒材為了重複繪製圖說所必須花費大量時間以及人力，同時，建築圖說也更為精準(Lim, 2011)，然後，數位媒材對於建築師起了積極性的影響，引發更多創造力(Manolya et al., 1998; Verstijnen et al., 1998 ; Chen, 2001)。到了二十世紀晚期，電腦輔助建築設計有更佳的模擬建築空間之能力，比起實體媒材也更容易快速建立以及編輯修改(Abbo, 1996)。電腦輔助設計後期，電腦的計算能力被用來提高設計師的能力，可以隨時來回調整設計；現今，只需要給予設計規則，電腦會計算合理的結果，達到了電腦自行做設計的程度，設計師只需要挑選計算後符合的結果。

建築媒材已經有上千年的歷史，而且在數位建築媒材出現前，建築師一直使用實體建築媒材進行建築設計，數位媒材出現之後，對於建築師在抽象概念與實際設計結果間激發了新的空間可能性以及新的創造力。建築數位媒材至今不過數十年，使用數位媒材的建築師所設計的建築物陸續出現以及完工，可以說數位建築的時代已經來臨(Liu and Lim, 2009)。從過去研究中可以發現，建築設計媒材的演進從非數位時期的純粹做為紀錄之用，到影響設計思考，到前數位時期建築設計媒材可以開創新的空間設計可能性、數位化建築圖說以節省人力、數位化三度空間、以及數位空間擬真，再進階到數位時期的彈性數位三度空間建模以及依變數創造多個建築設計。

2.2 建築流程與對應圖說

2.2.1 非數位建築流程

因為建築設計到建造的流程需要集合眾人之力一起分工合作，所以必須要清楚界定建造流程的流程，好確定流程中每個人負責的部分。在二十世紀以前的建築流程並沒有一套公定的標準，大多數建築建造的流程都是以師徒制的方式一代傳遞一代將經驗流傳。這樣的結果導致難以將困難的設計和建造流程經驗普及

化，也使得建築專業人才無法針對建築設計或建造流程進行檢討，一直到九零年代，才有學者試圖將建築流程歸納進而定義為模型(Walker, 1989; Hughes, 1991)，以促使建築設計與建造流程得以討論與進步。

本研究分析了兩個最主要的建築流程。第一個建築流程是依照 2011 年美國建築師協會(The American Institute of Architects, AIA)所提出的設計流程。可以分成五個主要階段：概念設計(schematic design, SD)、設計發展(design development, DD)、施工圖說(construction drawings/ construction documents, CD)、招投標及合同協商(bidding and contract negotiation, BID)、以及建造管理(construction administration, CA)，同樣地分析流程中與設計到建造有關的部分，可以去掉招投標及合同協商的流程，因而得到設計到建造的主要三個階段：概念設計、設計發展、以及施工圖說。

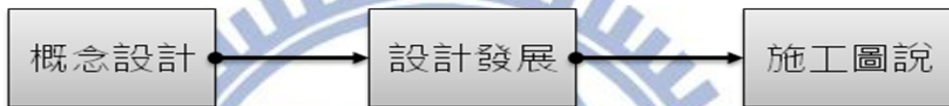
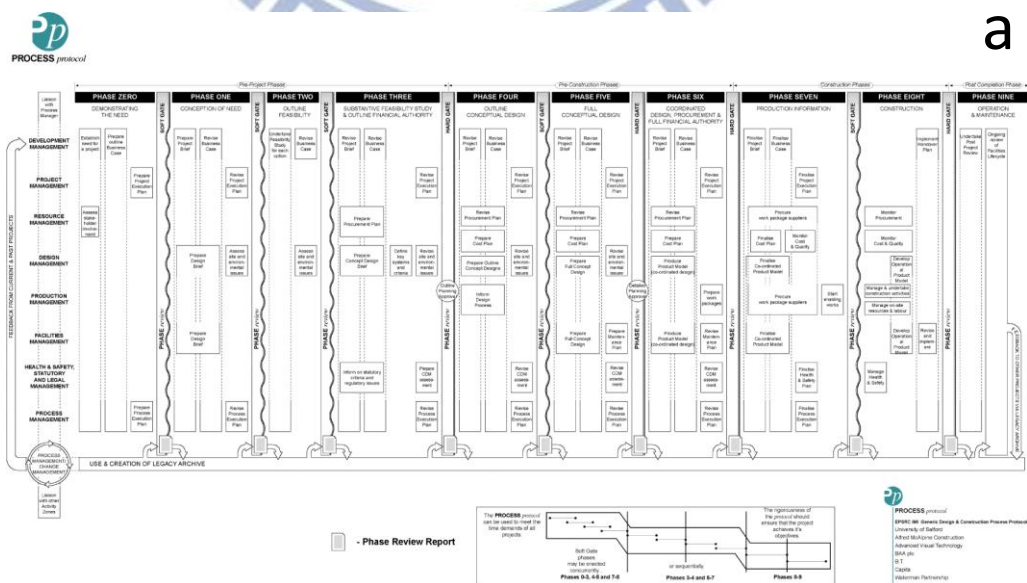


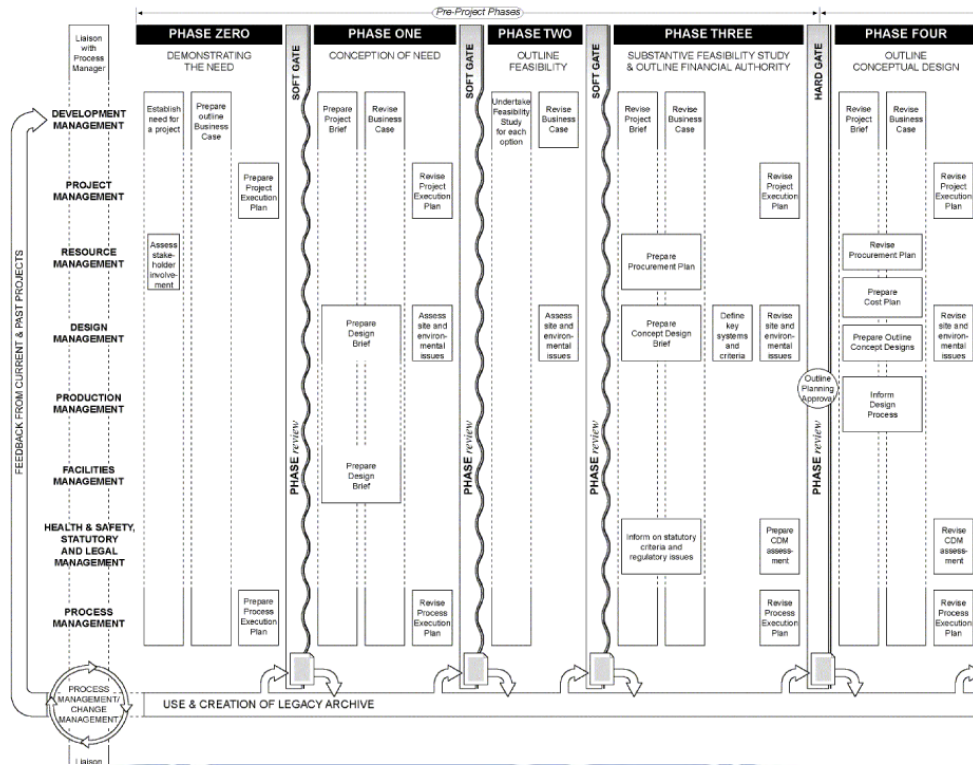
圖 2-14 美國建築師協會之設計流程中與設計到建造有關的三個步驟

第二個模型參考了很多過去研究的數據及案例分析，其中最主要的來源是來自英國皇家建築師學會 (Kagioglou et al., 2000; Sanvido, 1990)，名稱是「通用設計與建造流程協議」(Generic Design and Construction Process Protocol)(圖 2-15)。



a

b



c

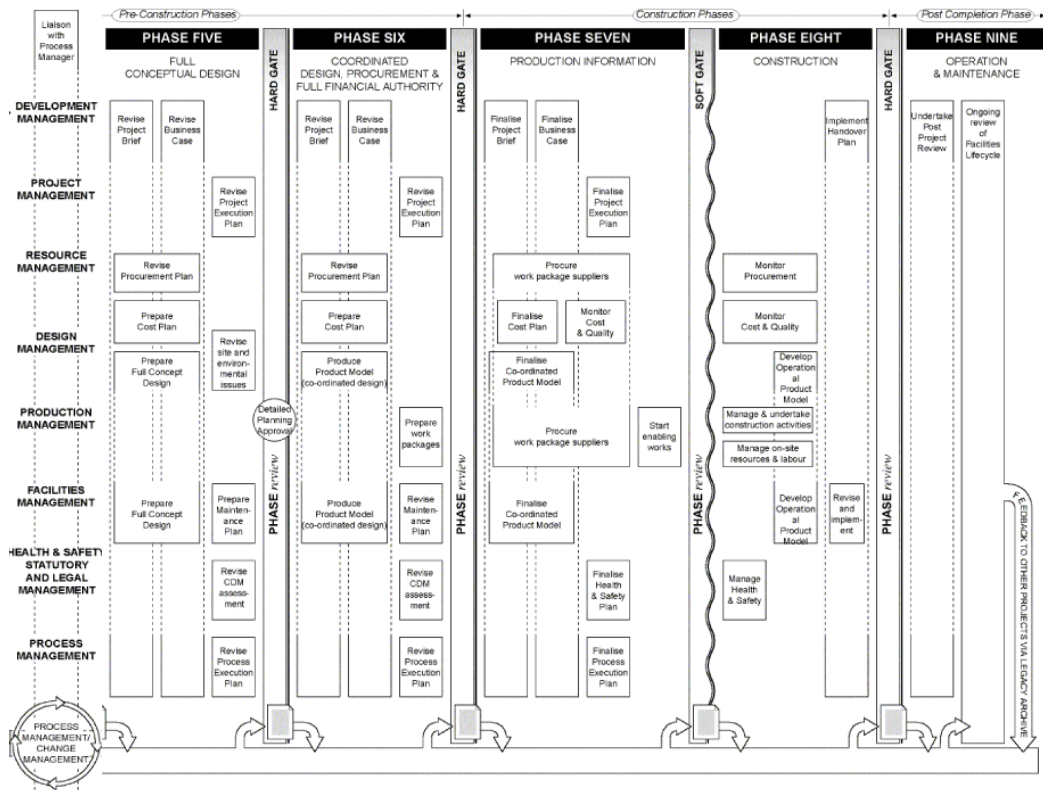


圖 2-15a 通用設計與建造流程協議全圖縮圖；2-15b 和 2-15c 為通用設計與建造流程協議細部圖 (引用自 Kagioglou et al., 2000)

通用設計與建造流程協議將設計與建造流程分成四大階段和十個子階段，四大階段依照先後順序為是建築計畫前準備 (pre-project)、建造計畫前準備 (pre-construction)、建造計畫 (construction)、以及建造完成後計畫 (post-construction)，隸屬於建築計畫前準備的有四個子階段，依照先後順序為展示需要(demonstrating the need)、需要成形(conception of need)、條列可行性 (outline feasibility)、和可行性研究和條列財務管理(substantive feasibility study and outline financial authority)；隸屬於建造計畫前準備的有三個子階段，依照先後順序為條列概念設計(outline conceptual design)、完整設計(full conceptual design)、以及設計採購協調和完整財務管理(coordinated design procurement and full financial authority)；隸屬於建造計畫的有兩個子階段，依照先後順序為建造資訊(production information)和建造(construction)；最後一個階段建造完成後計畫只有一個子階段：操作和維護(operation and maintenance)(圖 2-14)。

在通用設計與建造流程協議的流程當中，有許多不同領域的步驟參與其中，分析流程中與設計到建造有關的部分，只有第二階段的建造計畫前準備和第三階段的建造計畫，本研究將重點放在此兩個階段為主要研究的部分。其中包含了五個子階段，同樣地分析流程中與設計到建造有關的部分，則剩下四個子階段，依照順序分別是條列概念設計 (outline conceptual design)、完整設計 (full conceptual design)、建造資訊(production information)、和建造(construction)。



圖 2-16 通用設計與建造流程協議的流程中與設計到建造有關的步驟與其子步驟

前一小節提到在通用設計與建造流程協議的流程當中，與設計到建造有關的部分有四個階段，依照順序分別是條列概念設計(outline conceptual design)、完整設計(full conceptual design)、建造資訊(production information)、和建造 (construction)；又提到依照 2011 年美國建築師協會所提出的設計流程，設計到建造有關的部分，可以得到設計到建造的主要三個階段：概念設計 (schematic design)、設計發展(design development)、以及施工圖說(construction drawings/construction documents)。

本研究整合這兩個流程，將「條列概念設計」整合為「建築計畫」(architectural program)，將「概念設計」整合為「概念設計」(conceptual design)，將「設計發展」和「完整設計」整合為「設計發展」(design development)，將「建造資訊」和「施

工圖說」整合為「細部設計與施工圖」(detailed design)，將「建造」整合為「現場施工」(construction)。

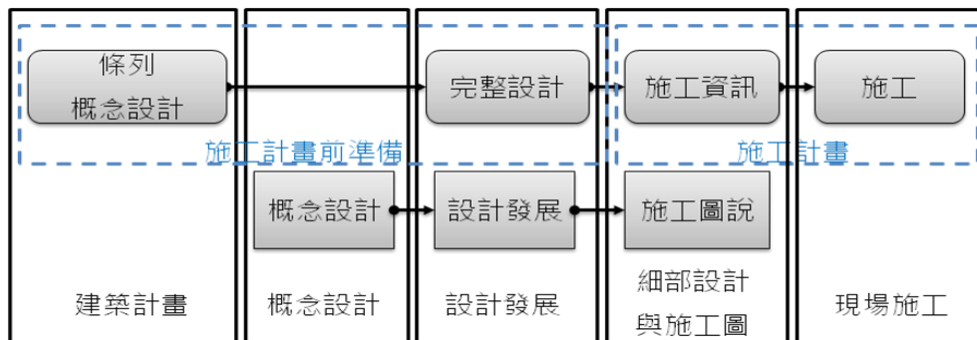


圖 2-17 整合設計與建造流程協議與美國建築師協會設計流程，歸納為五步驟

因此本研究將非數位建築設計到建造的流程歸納為「建築計畫」、「概念設計」、「設計發展」、「細部設計與施工圖」、「現場施工」，一共五個步驟。詳細說明如下：

建築計畫 (Architectural Program)

建築計畫是建築設計的第一階段。主要這一階段的目標是確定建築所要包含的機能與需求，主要提出者為業者，再將這些機能與需求交由建築師進行整合，並確定其可行性。

概念設計 (Schematic Design)

概念設計是建築設計的第二階段。主要這一階段的目標是發展一個明確界定，並提出可行的概念，其形式在客戶端可以理解和接受。次要目標包括：明確的機能、探索不同的設計方案。在這一階段，建築師與客戶密切合作，以確定適當的方案，或者設置建築物的必要性。方案(program)包括建築案的機能(function)、預期達到的目標(goal)，對設計的期望、預算和基地限制（如建築法規，使用分區和交通動線等問題）。

在概念設計階段，建築設計師需找出設計案目前遇到的問題、以及討論未來可能遇到的困難。等到清楚當下及未來的困難有哪些之後，建築設計的工作重點便可轉移到如何解決這些困難與問題，同時提出多種版本的設計方案。在概念設計的階段並不會談到細節，相反地，建築設計應著眼於整體規劃，確保沒有無法解決的問題存在於下一階段。在概念設計中，建築設計通常會提供許多概念草圖，以討論方案的可行性和建築法規的限制。

設計發展 (Design Development)

設計發展是建築設計流程的第三階段。在這個階段，設計方案已經大致確立，並且發展成一套完整的圖說。本階段所繪製的建築圖說應涵蓋所有方面的設計，包括確定的平面圖、外觀立面圖、剖面圖、以及配置圖。針對設計案中的關鍵區域，會需要天花板圖、屋頂圖、和細部圖說。

在前一個概念設計階段，建築設計可以由設計師獨立完成；而在設計發展階段，建築設計需要由多個專業領域的技師或是工程師互相確定設計是否可行，並且來回進行設計方面的調整。關於本階段所需要繪製的建築圖說，基本上與上一個階段有諸多重疊的部分，但是建築圖的內容會增加很多說明的部分，例如材料以及顏色選擇、甚至是水電工程系統(例如灑水系統)，並著手準備下一個階段施工圖說的部分。同時，本階段技師及工程師的規劃也會在建築圖中呈現，例如結構設計會出現在天花板圖中，所有的樑應該能支撐地板或承受天花板。在設計發展階段，因為設計方案已經相當完整，為了呈現設計可以利用呈現圖(presentation drawings)，例如渲染圖。用呈現圖非常準確地呈現的最終設計方案。

細部設計與施工圖 (Construction Drawings or Construction Documents)

第四階段的建築設計流程是細部設計與施工圖。這一階段的重點顧名思義就是細部圖、建造文件與施工圖。在這一階段，施工圖必須考慮到所有的細節，包括建築法規、以及種種基地當地的限制。這些文件不只用於建造，同時也用來申請設計案相關的證照，例如使用執照。本階段可以說整合前一階段的圖說，並著手進行建造的準備，因此包括所有建造的細節都應該被考慮在內，包括建造的材料、尺寸、以及方法。

現場施工 (Construction)

最後階段的建築設計流程是現場施工。這一階段的重點就是要實際建造與完成建築實體。在這一階段，現場施工必須將前一階段細部設計與施工圖的圖說加以整合，並按圖建造。



圖 2-18 本研究歸納之非數位建築流程五步驟

2.2.2 數位建築流程

數位時代的來臨，使得無論是前述提到的通用設計與建造流程協議(Generic Design and Construction Process Protocol)或是美國建築師協會(The American Institute of Architects, AIA)所提出的設計流程都必須要有所調整，最直接的衝擊就是設計到建造的流程。

在前一章提到，法蘭克蓋瑞(Frank Gehry)是第一位將電腦應用在建築設計與建造的建築師，電腦輔助建築設計與電腦輔助建築製造可以說始於其所設計位於巴塞隆納的大型魚型雕塑。近年來，有許多研究討論設計與數位媒材間的關係，現在我們可以清楚的了解到數位媒材對設計流程與結果所造成的影響，建築設計的媒材改變，從傳統非數位的媒材轉為數位設計媒材，在設計上造成的影響甚鉅(Lindsey, 2001; Friedman, 2002; Luca and Nardin, 2002; Spuybroek, 2004)。

從先前研究發現，數位建築設計到建造流程相較於非數位建築設計到建造流程步驟並不相同。若分析小尺度數位建築設計到建造流程，包括了以下步驟：早期設計、設計定案、施工圖階段、單元生產、以及組裝(Lee, 2005)，將原先非數位建築設計到建造流程中建造的最後兩個步驟「細部設計與施工圖」及「現場施工」當中多增加了「單元生產」。



圖 2-19 小尺度數位建築設計到建造流程(引用自 Lee, 2005)

若分析中尺度數位建築設計到建造流程，包括了以下步驟：早期設計、設計定案、施工圖階段、單元生產、預組裝以及組裝(Lee, 2005)，將原先非數位建築設計到建造流程中建造的最後兩個步驟「細部設計與施工圖」及「現場施工」當中多增加了「單元生產」和「預組裝」。



圖 2-20 中尺度數位建築設計到建造流程(引用自 Lee, 2005)

若分析大尺度數位建築設計到建造流程，包括了以下步驟：早期設計、設計定案、施工圖階段、以及數位建構(Lim, 2011)，值得注意的是數位建構包括五個子步驟：骨架與表皮單元、單元生產、實物模型、預組裝、以及現場組裝。

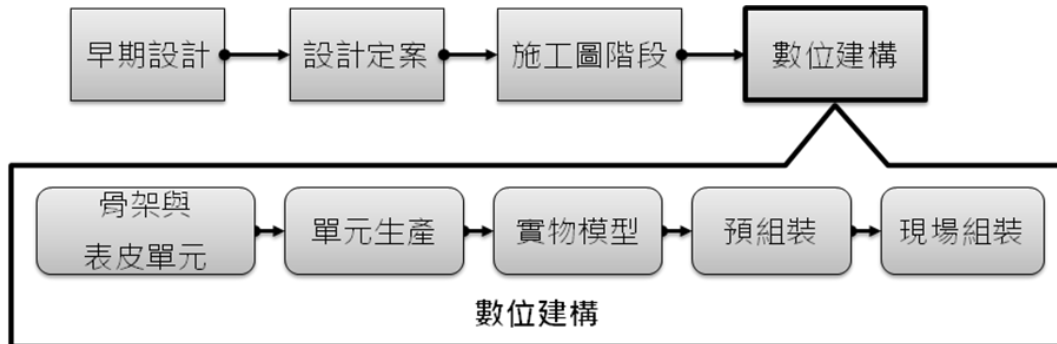


圖 2-21 大尺度數位建築設計到建造流程第四步驟數位建構與其子步驟(Lim, 2011)

本研究分析大尺度數位建構的五個子步驟，發現其內容與中尺度的「單元生產」、「預組裝」以及「現場施工」三個子步驟吻合，經過整理分析後，可以發現中尺度以及大尺度的數位建築有同樣的設計到建造流程，差別僅在於內容的精細與複雜程度。



圖 2-22 本研究分析大尺度數位建築設計到建造流程，將原先五個步驟重新歸納為三個步驟：「單元生產」、「預組裝」以及「現場施工」

同時，在非數位建築設計到建造流程中的最後一個階段「現場施工」和數位建築設計到建造流程中的最後一個階段「組裝」相比，也可以分析出明顯的不同，針對建築媒材的使用方面，「現場施工」是按照前一個步驟「細部設計與施工圖」所生產出來的建築圖說進行建造；而「組裝」除了依照前述的圖說之外，更依賴電腦輔助設計所產生之圖面，此類圖面在小尺度數位建築設計到建造流程是在「細部設計與施工圖」步驟中產生，而在中尺度數位建築設計到建造流程則是由「細部設計與施工圖」步驟中產生，再經過「預組裝」步驟的修正，才能得到最後建造階段可以使用的建築圖面(Lee, 2005; Lim, 2011)。

最後再次將數位建築設計到建造流程與非數位建築設計到建造流程互相比較，可以得出以下結論：數位流程中的早期設計可對應到非數位流程中的建築計

畫與概念設計；數位流程中的設計定案也就是非數位流程中的設計發展；數位流程中的施工圖階段對應到非數位流程就是細部設計與施工圖；數位流程中的組裝對應到非數位流程就是現場施工

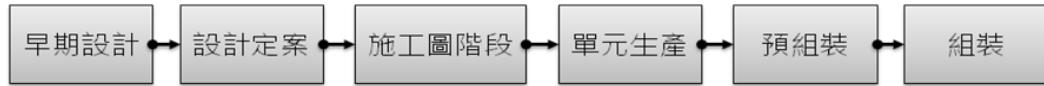


圖 2-23 數位建築設計到建造流程

因此本研究將數位建築設計到建造的流程歸納為「早期設計」、「設計定案」、「施工圖階段」、「單元生產」、「預組裝」、以及「組裝」，一共六個步驟。詳細說明如下：

早期設計

早期設計是數位建築設計的第一階段，相當於非數位建築設計的第一階段「建築計畫」以及第二階段「概念設計」。這一階段主要的目標是確定建築所要包含的機能與需求，主要提出者為業者，再將這些機能與需求交由建築師進行整合，並確定其可行性。此外，在此階段的也要發展一個可明確界定並可行的概念形式，並能夠說服客戶端。次要目標包括：明確的機能、探索不同的設計方案。在這一階段，建築師與客戶密切合作，以確定適當的方案，或者設置建築物的必要性。方案(program)包括建築案的機能(function)、預期達到的目標(goal)，對設計的期望、預算和基地限制（如建築法規，使用分區和交通動線等問題）。

在早期設計階段，建築設計師需找出設計案目前遇到的問題、以及討論未來可能遇到的困難。等到清楚當下及未來的困難有哪些之後，建築設計的工作重點便可轉移到如何解決這些困難與問題，同時提出多種版本的設計方案。在概念設計的階段並不會談到細節，相反地，建築設計應著眼於整體規劃，確保沒有無法解決的問題存在於下一階段。在概念設計中，建築設計通常會提供許多概念草圖，以討論方案的可行性和建築法規的限制。此外也必須要取得基地的相關資料，以建立三度空間的數位基地模型，而後開始發展配置以及量體的可能性(Lee, 2005)。

設計定案

設計定案是數位建築設計流程的第二階段，相當於非數位建築流程的第三階段「設計發展」。在這個階段，設計方案已經大致確立，並且發展成一套完整的圖說。本階段所繪製的建築圖說應涵蓋所有的設計圖，包括配置圖(Site plans)、平面圖(Floor plans)、立面圖(Elevations)、剖面圖(Sections)、以及細部圖(Details)。

在前一個階段，建築設計可以由設計師獨立完成；而在設計發展階段，建築設計需要由多個專業領域的技師或是工程師互相確定設計是否可行，並且來回進行設計方面的調整。在此階段中，又可以分成「設計發展」、「決定組裝結構方式」、以及「細部設計」三個子階段，有時候依照案例的不同，也會需要實體模型來輔助設計方案。

關於本階段所需要繪製的建築圖說，基本上與上一個階段有諸多重疊的部分，但是建築圖的內容會增加很多說明的部分，例如材料以及顏色選擇、甚至是水電工程系統(例如灑水系統)，並著手準備下一個階段施工圖說的部分。同時，本階段技師及工程師的規劃也會在建築圖中呈現，包括包括結構圖(**Structural drawings**)、以及結構細部圖 (**Structural details**)。在設計定案階段，因為設計方案已經相當完整，為了呈現設計可以利用呈現圖(**presentation drawings**)，例如渲染圖。用呈現圖非常準確地呈現的最終設計方案。

施工圖階段

數位建築流程的第三階段是「施工圖階段」，相當於非數位建築流程的「細部設計與施工圖」階段。這一階段的重點包括設計圖中的細部圖與施工圖。在這一階段，施工圖必須考慮到所有的細節，包括建築法規、以及種種基地當地的限制。這些文件不只用於建造，同時也用來申請設計案相關的證照，例如使用執照。本階段可以說整合前一階段的圖說，並著手進行建造的準備，因此包括所有建造的細節都應該被考慮在內，包括建造的材料、尺寸、以及方法。值得注意的是，數位建築施工的流程中，必須依據其施工方式，拆解成幾個單元以方便施工，例如混凝土結構的模板計算、鋼構的分割、玻璃的分割等等。這些分割方式也是此階段的重點，以提供下一個階段的資料。

單元生產

單元生產也可分成三個子步驟，包括「數位建築施工圖單元」、「單元加工」、以及「校正」。數位建築為了要精準施工，實務上分成預鑄及現場施工兩個部分。而預鑄的部分為了要施工需要及材料本身的限制，會被拆成好幾個單元。為了要生產這些單元，必須在此階段製作施工者可以理解以及儀器可以生產的圖面。

又根據圖說此類媒材的限制，所有的圖面皆必須以二度空間(平面)方式呈現，因此本階段將上一階段的相關資料，一一轉為可供生產的圖面。同樣地，本階段的相關圖面在我國的建築圖說規範中未曾被清楚定義。加工圖繪製出來後將送由營造廠施作局部大樣，也就是單元加工。

預組裝

第五階段的數位建築流程是預組裝。預組裝分成四個子步驟，包括「放樣」、「組裝」、「拆解」、以及「校正」。這階段的重點顧名思義就是將前一個階段的單元在工廠就先預組完成，除了提供設計者有機會進一步做設計修改之外，並同時可以進行相關結構測試、以及訓練施工人員了解如何施工、組裝、以及拆解。本階段以實做為主，配合施工圖階段的圖說做為組裝之索引，即可預組裝相關建築構件。預組裝階段可能會發現設計或建造未曾考慮到的問題，必須於此階段進行修正並解決之。

組裝

數位建築流程的最後階段是「組裝」，組裝分成四個子步驟，包括「放樣」、「組裝」、「校正」、以及「現場施工」。與前一階段「預組裝」十分接近，除了多了最後一個子步驟以外，差別只是地點的不同，將原先預組裝所預鑄的構建運至基地現場進行組裝。組裝相當於非數位建築流程的「現場施工」階段。這一階段的重點就是要實際建造與完成建築實體。在這一階段，現場施工必須將前一階段修正後的圖面為參考，並將拆卸後之建築構件運到基地現場進行組裝，此外還有將非預組裝之構建於現場施作完成。

2.2.3 既有建築圖說規範

在建築圖學中，示意圖、想像圖、參考圖並沒有一定的規範，但是對於設計圖和施工圖有所謂的標準與規範，這些規範及標準依照不同的國家而有所不同。雖然有所謂的國際標準化組織(International Organization for Standardization)，但不同國家仍然為當地的需要而制定自己的標準。

台灣遵守中華民國的法令，建築圖學規範也遵照中華民國國家標準(Chinese National Standards，縮寫 CNS)，中華民國國家標準是 1935 年由經濟部工業標準委員會(今日改為標準檢驗局)開始籌畫，隔年公布「標準法」，並隨之成立經濟部中央標準局。我國國家標準主管機關為經濟部標準檢驗局，其下設有「國家標準審查委員會」與「國家標準技術委員會」，負責各類別標準之審查與審定工作，國家標準分為 26 類，現有國家標準 14000 多種。

建築圖說在中華民國國家標準中被稱為「建築製圖」，在中華民國國家標準中總號為 11567，類號為 A1042。此規範的適用範圍包括建築設計、建築結構及建築設備之製圖及相關事項。一共有 16 個重點，其中包括 15 項規範(第一個重點是說明適用範圍)。16 個重點如下：

- 1.適用範圍
- 2.圖紙尺度及摺法
- 3.度量衡制
- 4.比例尺
- 5.文字及字體
- 6.標題欄
- 7.修改及修改欄
- 8.附註欄
- 9.圖號及圖樣佈置
- 10.指北針及箭頭流向
- 11.線條之種類及粗細
- 12.圖樣圖示準則
- 13.建築圖符號及圖例
- 14.建築圖表示法
- 15.建築結構圖表示法
- 16.建築設備圖表示法

本研究欲訂立之新建築圖面規範將仍然隸屬於中華民國國家標準，因此原先中華民國國家標準內的項目就不再贅述，其中，第十四點「建築圖表示法」有將中華民國建築設計圖面的內容分別表述，與本研究相關之中華民國國家標準建築設計圖說明以及其內容詳細說明請見表 2-2。

表 2-2 與本研究相關之中華民國國家標準建築設計圖說明以及其內容 (本研究整理)

圖名	主要內容	備考
配置圖	(一)基地方位 (二)都市計畫地籍套繪圖(包括四周鄰地、地號、界線、計畫道路等)。 (三)建築物之形狀 (四)建築物之位置 (五)建築物之尺度 (六)騎樓、防火間隔、空地 (七)排水系統及排水方向(未附排水系統配置圖者才需要註明)	
平面圖	(一)方位 (二)各層樓平面	(一)各層平面圖相同時可共用一個平面

	(三)各部份機能 (四)各部份尺度 (五)牆身構造及厚度 (六)門窗位置、符號、編號、及開啟方向 (七)樓梯位置、編號、及上下方向 (八)升降梯位置及編號 (九)走廊通道、樓梯之淨寬 (十)新舊溝渠及排水方向 (十一) 其他	(二)必要時一層平面圖加繪 建築物之位置、尺度、騎樓、防火間隔、以及空地
立面圖	(一)各向立面外型 (二)門窗開口位置 (三)建築線及高度限制 (四)建築物高度、簷高、屋頂突出物高度、及各層尺度 (五)外表材料 (六)避雷針	
剖面圖	(一)剖面狀況 (二)建築線及高度限制線 (三)建築物高度、簷高、屋頂突出物高度、天花板淨高等 (四)各部份尺度 (五)各部份材料	

雖然屬於設計圖的圖面包括設計圖包括配置圖(Site plans)、平面圖(Floor plans)、立面圖(Elevations)、剖面圖(Sections)、以及細部圖(Details)，但是中華民國國家標準並沒有規範「細部圖」的詳細內容。根據過去研究，細部圖事實上就是不同比例的平面圖、立面圖、或是剖面圖，當比例越大，圖中包括的資訊也越多(因為可以顯示的內容也變多了)，例如形狀、位置、尺度、結構、以及材料等。

第十五點「建築結構圖表示法」中，將中華民國建築施工圖面的內容分別表述，與本研究相關之中華民國國家標準建築施工圖說明以及其內容之詳細說明請見表 2-3。

表 2-3 與本研究相關之中華民國國家標準建築施工圖說明以及其內容 (本研究整理)

圖名	主要內容	備考
結構平面圖	(一)基礎、屋頂、屋頂突出物及各層結構平面	(一)一層、地下室、及基礎平面應繪製地界線及建築

	(二)柱、樑、版、牆、基礎、電梯、電扶梯、樓梯之位置、編號、及尺度 (三)註明材料規範、基土或基樁支承力等必要說明事項	線 (二)方位與座標應與建築平面圖一致 (三)鋼筋標稱依 CNS560(鋼筋混凝土用鋼筋)之規定 (四)基礎結構平面圖不考慮土壤之存在,由基礎版面上 1.5 公尺平切下視 (五)各層結構平面圖由各層地板面上 1.5 公尺平切下視 (六)頂層(屋架)結構平面圖,由屋面上 1.5 公尺下視
結構詳圖 (細部圖)	(一)柱、樑、版、牆、基礎、樓梯及其他各部份結構細部圖	

2.3 小結

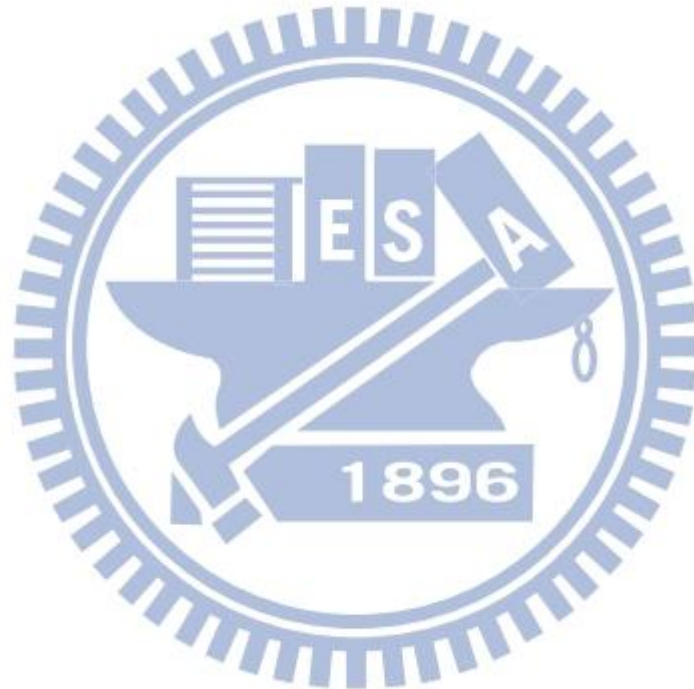
綜觀前兩小節，可以得知建築領域跟建造行為一直施工者的關係密不可分。早在還沒有文字的時代，人類就懂得建造。此後，一直到文藝復興以前，建築師一直是唯一的建設者；但在文藝復興之後，無論是設計或是建造都難度大增，需要更專業的人進行團隊合作，建築流程需要也更專業的分工(Knutson et al., 2009)。

因為建造流程需要分工，所以必須要清楚界定建造流程的流程，好確定流程中每個人負責的部分。在二十世紀以前的建築流程並沒有一套公定的標準，一直到九零年代，才有學者試圖將建築流程歸納進而定義為模型(Walker, 1989; Hughes, 1991)，以促使建築設計與建造流程得以討論與進步(Kagioglou et al., 2000; Sanvido, 1990)。本研究整合過去文獻中的流程，將非數位建築設計到建造的流程整合為五步驟：「建築計畫」、「概念設計」、「設計發展」、「細部設計與施工圖」、「現場施工」。

數位時代的來臨，建築設計到建造的流程都必須要有所調整，建築設計的媒材改變，從傳統非數位的媒材轉為數位設計媒材，在設計上造成的影響甚鉅(Lindsey, 2001; Friedman, 2002; Luca and Nardin, 2002; Spuybroek, 2004)。從先前研究發現，數位建築設計到建造流程與非數位建築設計到建造流程步驟並不相同(Lee, 2005; Lim, 2011)。本研究將數位建築設計到建造的流程整合為以下步

驟：「早期設計」、「設計定案」、「施工圖階段」、「單元生產」、「預組裝」、以及「組裝」。

因此，從文獻回顧中發現，相較於非數位建築設計到建造流程，數位建築設計到建造流程中有新的步驟出現，包括單元生產、預組裝以及組裝。同樣地，傳統非數位的流程中，每一個步驟都會有相對應的建築圖說，以供應不同分工者的需要。因此可以推測，數位建築設計到建造流程的新步驟也會有相對應的建築圖說，本研究假設其這些相對應的建築圖說可能會出現新的建築圖說。為了驗證此假設，本研究將透過案例分析驗證之。



3 案例分析

建築圖說已經有上千年的歷史，一直到建築十書才開始將建築圖說規範化，建築專業者逐漸定義了各種建築圖說標準，到了文藝復興時期，當時所使用的建築圖說都已經有完善的規範，例如平面圖、立面圖、以及剖面圖等等。

從文獻回顧中發現，相較於非數位建築設計到建造流程，數位建築設計到建造流程中有新的步驟出現，包括單元生產、預組裝以及組裝。同樣地，傳統非數位的流程中，每一個步驟都會有相對應的建築圖說，以供應不同分工者的需要。因此可以推測，數位建築設計到建造流程的新步驟也會有相對應的建築圖說，本研究假設其這些相對應的建築圖說可能會出現新的建築圖說。

如果新的建築圖說尚未被清楚分類或沒有被完善定義，沒有被完善定義的圖說將會造成建築設計者及施工者溝通上的錯誤或提供資訊的不足。建築圖說包括以下幾種功能：(1)發展設計師思考中的設計；(2)和他人交流思想和概念；(3)記錄設計流程；(4)做為建造之依據；(5)表達定案的設計；(6)記錄既存的建築。設計圖及施工圖至少要能達到(3)、(4)、以及(5)三種功能。如果新出現的媒材沒有被清楚定義內容以及其標準格式，也就代表沒有統一的表现方法，如此一來，做為建築師與施工者的建築圖說效度也會減低。

本研究認為新的建築圖說已經出現，只是還沒有準確的規範且標準化。台灣的數位建築案例與設計到建造的經驗仍不普及，往往必須由設計者與施工者雙方彼此之間不斷地嘗試才能協調出可行的建築圖說。尚未被精確的規範的圖說，因為沒有一定的標準，又缺少過去經驗做為前例，多數的施工者無法理解設計者的圖說所要表達的內容；反過來說，設計者也不了解施工者的需要。在設計者與施工者溝通的流程中，因而必須耗費大量時間與人力。

本研究問題是今日數位建築已經逐漸普遍，再加上從文獻回顧中得知，雖然數位建築設計到建造的流程中有新的階段出現，但尚未有研究探討不同數位建築流程的階段是否有其對應之圖說，以及是否有無法歸類在既有規範內、或是尚未被完善規範的新出現之建築圖說，沒有被完善規範的圖說將會造成設計者及施工者溝通上的錯誤。因此，本研究主要目標是找出數位建築流程與其對應的建築圖說，並為數位建築流程中無法歸類在既有規範內、或是尚未被完善規範的新出現之建築圖說提出標準規範，使得未來數位建築流程可以有一套可參考的圖說標準。

本研究將從選定的台灣數位建築案例中，先彙整其設計到建造流程的所有圖說並分析之，進而找出每個階段相對應的建築圖說，之後再歸納出無法被歸類在既有建築設計圖及施工圖，或甚至尚未被定義的新建築圖說，並歸納其內容以草擬出新建築圖說的名稱、整理出共同的公約，進而定義出初步的規範。

3.1 建築流程與對應圖說假設

從過去研究得知，若依照應用的方式，從設計到建造的建築圖說可以分為六種類型：參考圖(referential drawing)(Graves, 1977)、示意圖(diagram) (Fraser and Henmi, 1994)、想像圖(visionary drawing)(Magonigle, 1922)、呈現圖(presentation drawing)(Oechslin, 1987)、設計圖(design drawing) (Fraser and Henmi, 1994)、以及施工圖(Construction drawing) (Smith, 2013)。每個類型的詳細說明如下。

參考圖(Referential drawing)

參考圖(Referential drawing)一詞最早出自於邁克爾·格雷夫斯(Michael Graves)於 1977 年撰寫的文章”The Necessity for Drawings: Tangible Speculation” (Graves, 1977)。它是一種用於記錄、觀察、以及設計的圖面，且與現況息息相關。更進一步的說，參考圖的內容是以現況為基礎，加上作者使用上的需要所加註的文字而成(Fraser and Henmi, 1994)。

示意圖(Diagram)

示意圖(Diagram)是一種內容呈現簡化及抽象化的圖面。在簡化的流程之中，雖然會因此減少某些條件，例如物件的特質或屬性(qualities and attributes)，但是，作者同時也會因為希望清楚表達想要說明的概念以及想法，也會強化或突顯另一些條件(Fraser and Henmi, 1994)。

想像圖(Visionary drawing)

想像圖(Visionary drawing)的內容多為無視於物理法則的想像畫面，圖面中的建築不需要考慮重力、機能、尺度、以及材料。雖然嚴格來說，依照定義，想像圖也是屬於呈現圖的一種。但想像圖對建築師而言有著特殊的影響力：它創造了一個想像的空間刺激建築師對於未曾存在空間的想像(Fraser and Henmi, 1994)。

呈現圖(Presentation drawing)

呈現圖(Presentation drawing)是一種作者有意識地呈現完成的設計之圖面。這圖面的功能是用來說服讀者。一張圖面往往可能是由多張子圖面共同構成，且構成方式是經過作者刻意的安排(Fraser and Henmi, 1994)。除此之外，呈現圖也是非專業者比較容易理解的圖面，為了讓非專業者理解其內容，呈現圖內往往會包括人、車、樹等非建築本體但存在於日常生活的物件。同時其畫面所呈現的內容不只是線條，更會加上渲染以及表面紋理和陰影，以模擬更真實的視覺效果。

設計圖(Design drawing)

設計圖(Design drawing)是設計師用來思考設計之圖面，除此之外，設計圖還有助於找到並測試構想，並得以使設計師進入發想及發展設計階段。從設計概念到細部設計，設計師往往憑藉設計圖進行發明、或研究細節施工方式。設計圖也可以分成幾個階段：第一階段是最初始的，往往是概念圖或是速寫；第二階段是比較大張的、有比例的徒手繪製之圖面；第三階段，開始出現尺規作圖、硬筆線條的精確圖面(Fraser and Henmi, 1994)。屬於設計圖的圖面包括設計圖包括配置圖(Site plans)、平面圖(Floor plans)、立面圖(Elevations)、剖面圖(Sections)、以及細部圖(Details)。

施工圖(Construction drawing)

施工圖(Construction drawing)是由設計師所繪製，用來提供施工者建造之用的圖面，相較於前面幾種圖面，施工圖包括更多的細節、符號、以及文字說明。這些圖說是為了解決建造時將會實際遭遇到的問題，以及確認相關構件的材料、形狀、尺度、以及相對位置。施工圖包括結構平面圖(Structural plans)、結構剖面圖(Structural sections)、以及結構細部圖(Structural details)。

先前有提到本研究將非數位建築設計到建造的流程歸納為「建築計畫」、「概念設計」、「設計發展」、「細部設計與施工圖」、「現場施工」，一共五個步驟。各有相對應生產的建築圖說。每個步驟其分別對應的圖說如下：

建築計畫 (Architectural Program)

- 參考圖 (Referential drawing)
- 示意圖 (Diagram)
- 想像圖 (Visionary drawing)
- 設計圖 (Design drawing)，特別是配置圖(Site plan)

概念設計 (Schematic Design)

- 參考圖 (Referential drawing)
- 示意圖 (Diagram)
- 想像圖 (Visionary drawing)
- 設計圖 (Design drawing) , 包括配置圖 (Site plan) 、平面圖 (Floor plans) 、以及立面圖 (Elevations)

設計發展 (Design Development)

- 設計圖 (Design drawing) , 包括配置圖 (Site plan) 、平面圖 (Floor plans) 、以及立面圖 (Elevations) 、剖面圖 (Sections) 、以及細部圖 (Details)
- 呈現圖 (Presentation drawing)

細部設計與施工圖 (Construction Drawings or Construction Documents)

- 設計圖 (Design drawing) , 包括配置圖 (Site plan) 、平面圖 (Floor plans) 、以及立面圖 (Elevations) 、剖面圖 (Sections) 、以及細部圖 (Details)
- 施工圖 (Construction drawing) , 包括結構圖 (Structural drawings) 結構平面圖 (Structural plans) 、以及結構細部圖 (Structural details)
- 呈現圖 (Presentation drawing)

現場施工 (Construction)

現場施工階段並不會生產建築圖說。而是將先前繪製的建築圖說攜帶至現場使用。

本研究將數位建築設計到建造的流程歸納為「早期設計」、「設計定案」、「施工圖階段」、「單元生產」、「預組裝」、以及「組裝」，一共六個步驟。各有相對應的建築圖說。依照施工流程的分析，非數位建築流程的「建築計畫」和「概念設計」將會對應到數位建築流程的「早期設計」；非數位建築流程的「設計發展」將會對應到數位建築流程的「設計定案」；非數位建築流程的「細部設計與施工圖」將會對應到數位建築流程的「施工圖階段早期設計」；非數位建築流程的「現場施工」將會對應到數位建築流程的「組裝」。

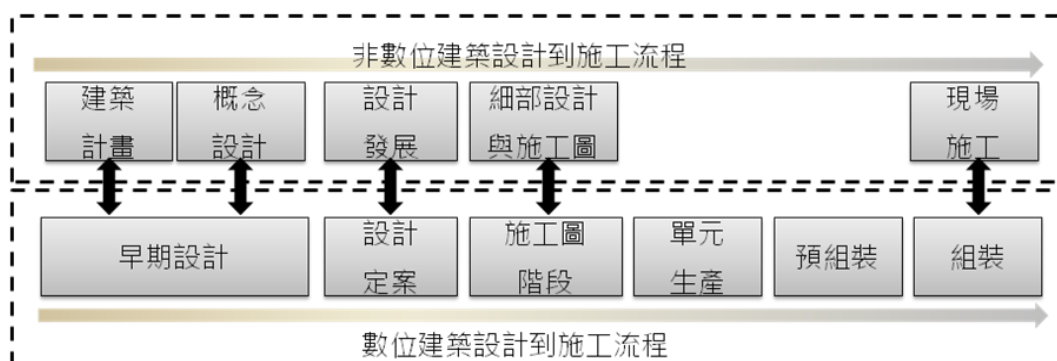


圖 3-1 數位建築設計到建造流程

另外，依照應用的方式，非數位建築流程從設計到建造的建築圖說可以分為六種類型：參考圖(referential drawing)、示意圖(diagram)、想像圖(visionary drawing)、呈現圖(presentation drawing)、設計圖(design drawing)、以及施工圖(construction drawing)，每一種類型都有其定義。

本研究假設，在數位建築設計到建造的建築圖說中，有無法歸納於既有(非數位建築)定義或規範的建築圖說。換句話說，前述無法被歸納的圖說，是因應數位建築設計到建造流程的需要而產生。這種不屬於前述六種類型的第七種圖說，本研究將其稱為：數位建築圖(digital architectural drawing)。本研究將數位建築圖定義為：僅因應數位建築從設計到建造流程的需要而產生之圖說。

數位建築圖是為了解釋數位建築的設計或其建造流程之說明圖面，此類圖說可以解決數位建築設計到建造流程中會遇到的問題。因而本研究假設數位建築流程的每個階段其分別對應的媒材如下：

早期設計

- 參考圖 (Referential drawing)
- 示意圖 (Diagram)
- 想像圖 (Visionary drawing)
- 設計圖 (Design drawing)，包括配置圖 (Site plan)、平面圖 (Floor plans)、以及立面圖 (Elevations)

設計定案

- 設計圖 (Design drawing)，包括配置圖 (Site plan)、平面圖 (Floor plans)、以及立面圖 (Elevations)、剖面圖 (Sections)、以及細部圖 (Details)
- 呈現圖 (Presentation drawing)

施工圖階段

- 設計圖 (Design drawing) , 包括配置圖 (Site plan)、平面圖 (Floor plans)、以及立面圖 (Elevations)、剖面圖 (Sections)、以及細部圖 (Details)
- 施工圖 (Construction drawing) , 包括結構圖 (Structural drawings)、以及結構詳圖 (Structural details)

單元生產

- 未知的建築圖 (Unknown architectural drawing)

預組裝

- 未知的建築圖 (Unknown architectural drawing)

組裝

數位建築的「組裝」如同非數位建築的「現場施工」。推測本階段並不會生產建築圖說，而是將先前繪製的建築圖說攜帶至現場使用。

3.2 流程分析與圖說驗證

案例分析方法與步驟

為了驗證前一小節的假設，本小節將以案例分析為研究方法，方法與步驟如下，第一步：分析案例從設計到建造的流程，將其依照數位建築流程分成六個階段；第二步：分類，將所有圖說分別歸類到每個階段內；第三步：分析，分析數位建築流程的每個階段是否符合原先的假設；第四步：找出無法符合既有定義或規範的建築圖說以及無法被歸納於既有定義或規範的建築圖說，留待下一小節進行進一步分析。

案例選擇

在案例選擇方面，因為本研究欲探討台灣的數位建築設計到建造流程中的設計圖與施工圖，因此案例必然為台灣的數位建築。為了避免選定太過特殊不具有代表性的案例，因此將選擇一個台灣近年的建築集體設計(**collective architectural design**)中的數位建築案例來進行分析，如此可確定(1)台灣案例、(2)最新工法、(3)建築機能相同、(4) 去除設計以外的干擾因子(例如業主喜好、基地環境、以及建築法規等)。

為了討論設計到建造的流程，案例必須為將會被實際建造的案例，因為這樣的案例無論在設計或建造的考量上都比紙上建築更加實際。最後本研究選擇以研究者於 2007 年曾經參與的「NEXT-GENE」集體創作住宅建築研究的案例做為分析對象。除了 NEXT-GENE 有前述的優點之外，本研究也因為曾參與記錄過案例的設計到建造流程，而確定擁有其設計到建造的完整資料。

「NEXT-GENE」是以建築博覽會的形式，每位建築師負責的基地大小、建築的機能、與限制條件完全相同，如建蔽率以及容積率。再從其中挑選出兩個建築案例進行分析，此兩個建築案例的主要設計師及施工者皆為台灣人，且設計師隸屬的單位皆為設計數位建築為主的設計單位：扎哈哈迪德建築師事務所(Zaha Hadid Architects)以及 AleppoZONE 研究室。

3.2.1 案例一：共生住宅

共生住宅 (Symbiotic Villa) 由扎哈·哈迪德建築師事務所(Zaha Hadid Architects)所設計，共生住宅基地位置在台灣新北市，樓地板面積為 627.2 平方公尺，建築高度 10.9 公尺。其坐落在台灣新北市自然保護區內，造型配合周圍的環境地貌採用流動性的形式。除了地下層之外，其量體幾何造型大體可分為兩個圓錐狀的造型撐起一個立方體，而地面層除了兩個圓錐狀之外皆為非常流通的視覺景觀，充分享受當地自然保護區的風景。

本案例的造型可以分成兩個部份：自由曲面的上半部以及圓錐狀的下半部。自由曲面的上半部造型來自於基地附近大量綠意的自然環境，圓錐狀的下半部來自於中國的陰陽哲學變化而成的幾何分割。本案例將整個形體區分為屋頂與基座兩個部份，建築構造結合鋼構與混凝土兩種結構系統。細節主要是反應在材料的使用及材料之間的介面轉換。材料除了鋼材及混凝土材料之外，還有玻璃材質。其細部著重在皮層和骨架之間的連結處理，以大面積的玻璃鑲嵌至整體形體中，以及骨架與金屬皮層間的接合方式。由於建築中有大量的自由曲面，因此在施作的流程中必須透過 3D 軟體，將曲面切割，分解為較小的區塊以利組裝。此外，為了避免材料無法負荷曲度的變化，透過電腦模擬來了解各個曲面的受力狀況，避免無法組裝的情況發生。

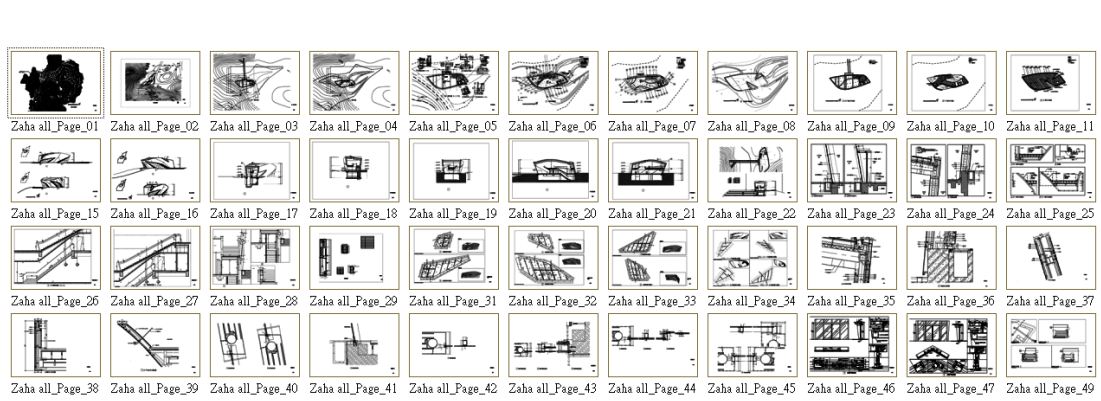


圖 3-2 共生住宅設計到建造之圖說(部分列舉)

根據案例分析，本案例在數位建築建築流程的六個步驟可得到的建築圖說如下：

早期設計

共生住宅的早期設計階段包括以下圖說：

- 示意圖 (Diagram)
- 設計圖 (Design drawing)，包括配置圖 (Site plan)、平面圖 (Floor plans)、以及立面圖 (Elevations)

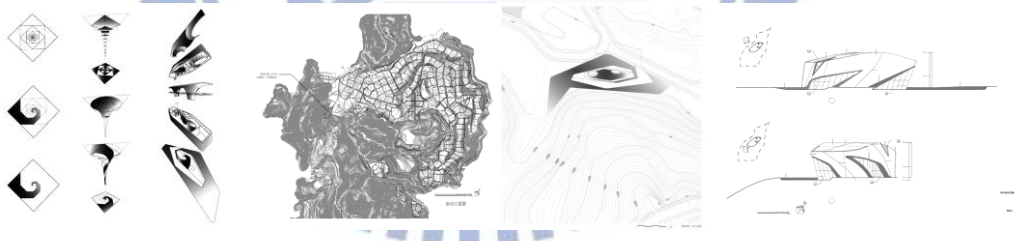


圖 3-3 共生住宅早期設計之圖說(部分列舉)

設計定案

共生住宅的設計定案階段包括以下圖說：

- 設計圖 (Design drawing)，包括配置圖 (Site plan)、平面圖 (Floor plans)、以及立面圖 (Elevations)、剖面圖 (Sections)、以及細部圖 (Details)
- 呈現圖 (Presentation drawing)

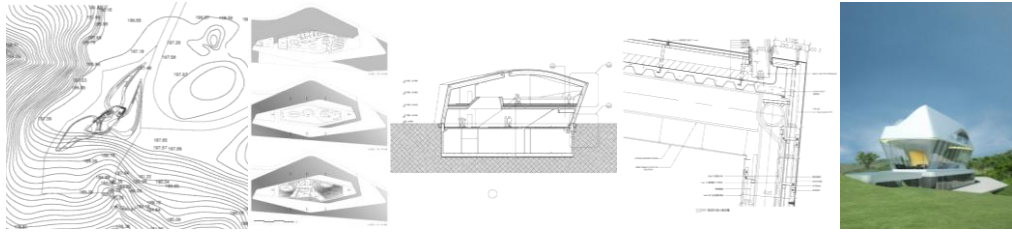


圖 3-4 共生住宅設計定案之圖說(部分列舉)

施工圖階段

共生住宅的施工圖階段包括以下圖說：

- 設計圖 (Design drawing)，包括配置圖(Site plan)、平面圖 (Floor plans)、以及立面圖 (Elevations)、剖面圖 (Sections)、以及細部圖 (Details)
- 施工圖 (Construction drawing)，包括結構圖 (Structural drawings)、以及結構詳圖 (Structural details)

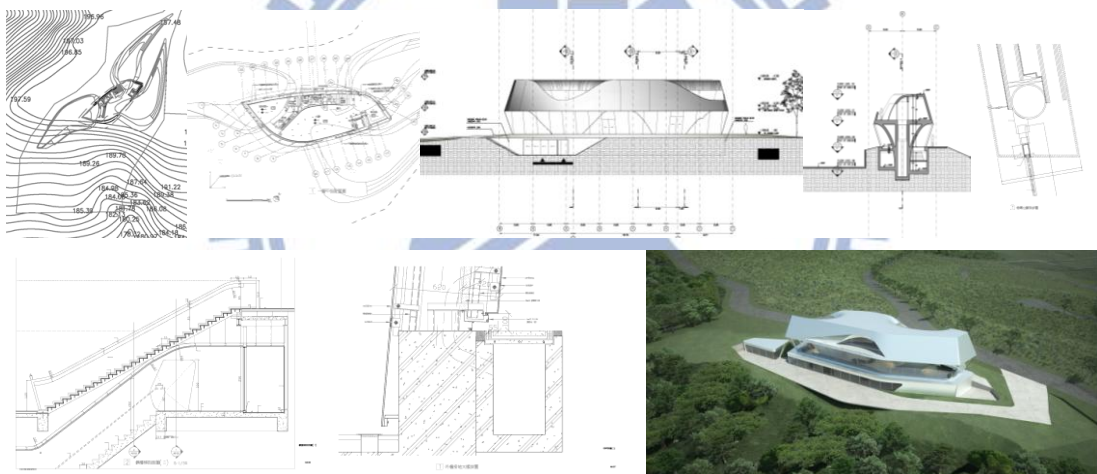


圖 3-5 共生住宅施工圖之圖說(部分列舉)

單元生產

共生住宅的單元生產階段包括以下圖說：

- 數位建築圖 (Digital architectural drawing)

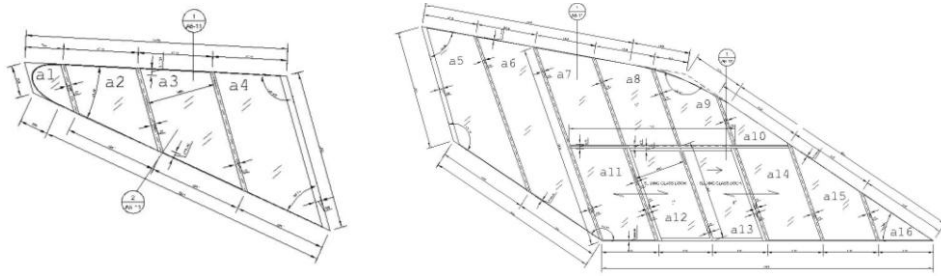


圖 3-6 共生住宅單元生產之圖說(部分列舉)

預組裝

共生住宅的預組裝階段包括以下圖說：

- 數位建築圖 (Digital architectural drawing)

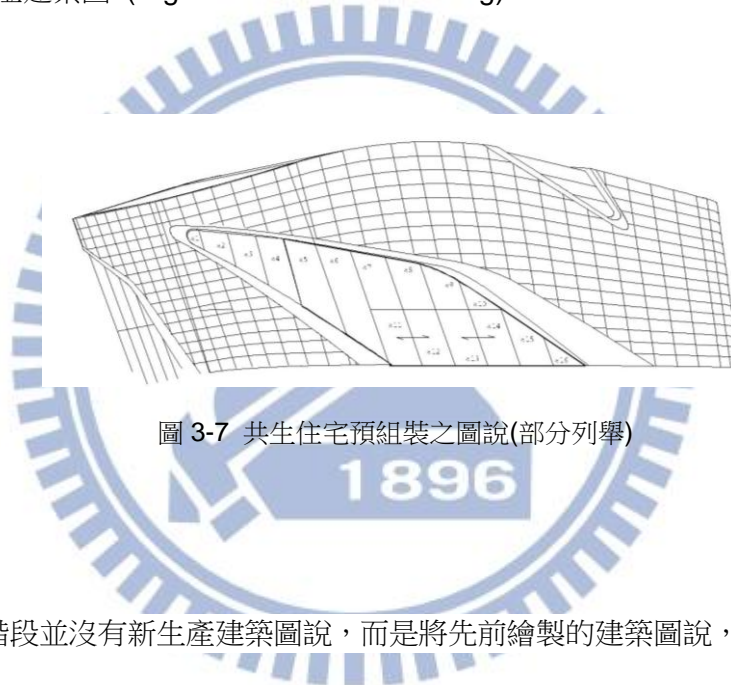


圖 3-7 共生住宅預組裝之圖說(部分列舉)

組裝

本階段並沒有新生產建築圖說，而是將先前繪製的建築圖說，攜帶至現場使用。

3.1.2 案例二：水墨狂草之屋

本研究選擇了位於台灣新北市的數位建築案例：「水墨狂草之屋」(Calligraphic House)進行分析。「水墨狂草之屋」基地位置在在台灣新北市，樓地板面積約為 585 平方公尺，建築高度 12.2 公尺，由 AleppoZONE 研究室所設計。其坐落在台灣新北市自然保護區內，造型配合周圍的環境地貌採用流動性的形式，其概念以在大地寫狂草的方式，讓建築與自然成為一體，因為數位的自由形體建築來自於大地、延伸出地景。

本案的造型設計思考一開始來自於書法藝術，利用 3D 建模軟體將平面的書法衍生成 3D 的造型，造型產生之後，建築師思考造型要如何構造成型，首先考慮的是構造工法，因為造型的因素，構造方法同樣也被限定結構方式及相對應的材料類型，建築構造上可分為骨架與皮層兩大部分的施作，先藉由骨架形塑出自由形體，再以金屬皮層披覆於骨架上形成建築表皮。本案最後採用兩種結構方式：一種是屋頂的鋼材結構，另一種是下方空間的混凝土結構。而細部方面，因應造型及機能的需要，除了鋼材及混凝土以外，必須透過玻璃來作為內外空間的區別。但由於需配合自由曲面造型，玻璃也必須切割成數塊自由曲面，也因此需要許多節點，例如用大量的節點的連結曲度不同的單元化皮層與骨架，同時也在骨架與表皮間設計出特製的節點，以適應不同曲度的形體之接合。為了要使施工流程順利，本案的主結構在設計流程中，需先在電腦程式內確認其交叉點之正確位置，並給予骨架編號，以便能在組裝流程中，正確、快速地進行。

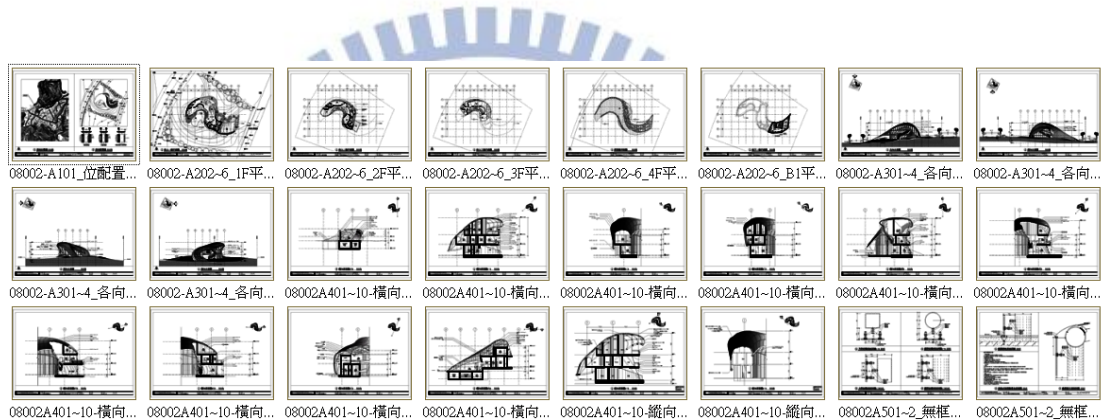


圖 3-8 水墨狂草之屋的設計到建造之圖說(部分列舉)

早期設計

水墨狂草之屋的早期設計階段包括以下圖說：

- 示意圖 (Diagram)
- 設計圖 (Design drawing)，包括配置圖 (Site plan)、平面圖 (Floor plans)、以及立面圖 (Elevations)



圖 3-9 水墨狂草之屋早期設計之圖說(部分列舉)

設計定案

水墨狂草之屋的設計定案階段包括以下圖說：

- 設計圖 (Design drawing) , 包括配置圖 (Site plan) 、平面圖 (Floor plans) 、以及立面圖 (Elevations) 、剖面圖 (Sections) 、以及細部圖 (Details)
- 呈現圖 (Presentation drawing)

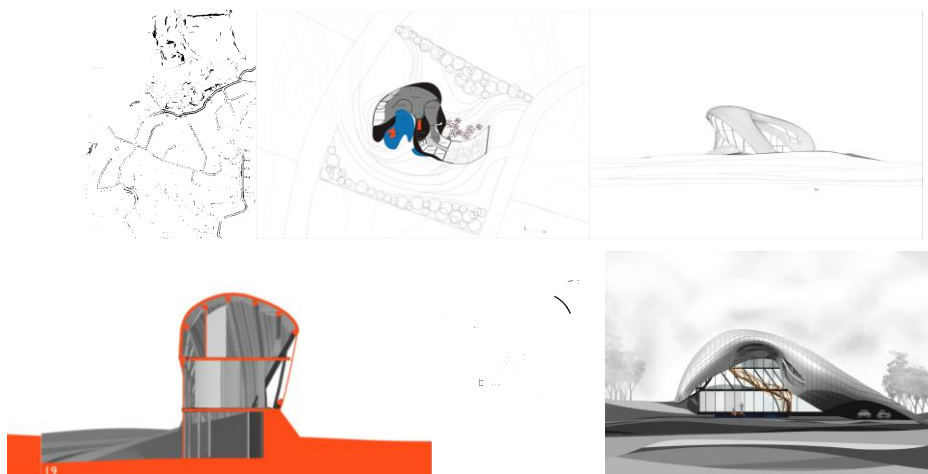


圖 3-10 水墨狂草之屋設計定案之圖說(部分列舉)

施工圖階段

水墨狂草之屋的施工圖階段包括以下圖說：

- 設計圖 (Design drawing) , 包括配置圖 (Site plan) 、平面圖 (Floor plans) 、以及立面圖 (Elevations) 、剖面圖 (Sections) 、以及細部圖 (Details)
- 施工圖 (Construction drawing) , 包括結構圖 (Structural drawings) 、以及結構詳圖 (Structural details)

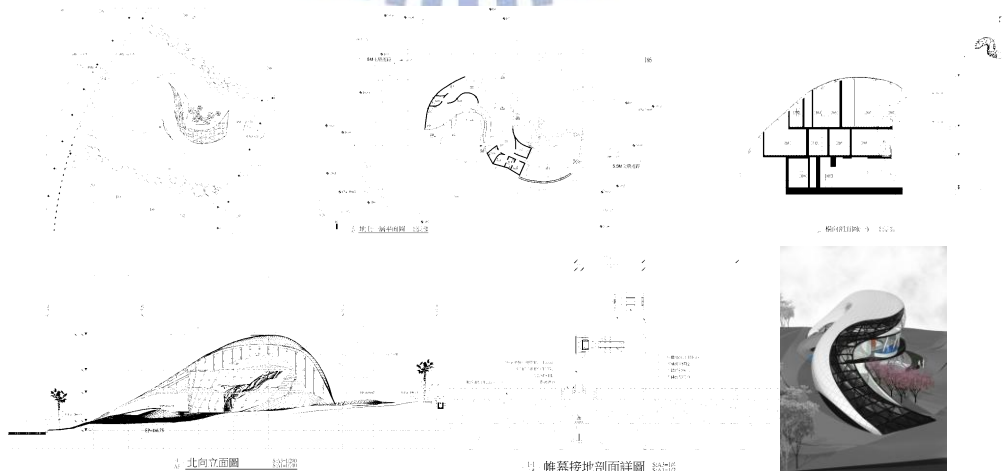


圖 3-11 水墨狂草之屋施工圖之圖說(部分列舉)

單元生產

水墨狂草之屋的單元生產階段包括以下圖說：

- 數位建築圖 (Digital architectural drawing)

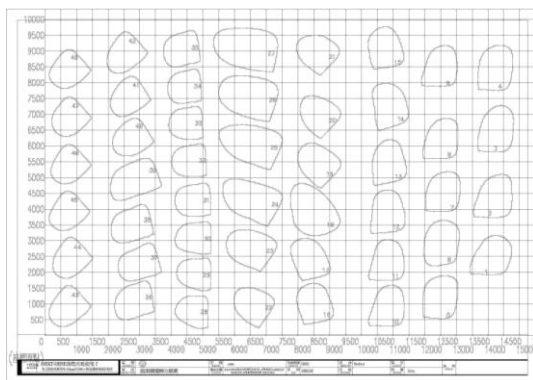


圖 3-12 水墨狂草之屋單元生產之圖說(部分列舉)

預組裝

水墨狂草之屋的預組裝階段包括以下圖說：

- 數位建築圖 (Digital architectural drawing)

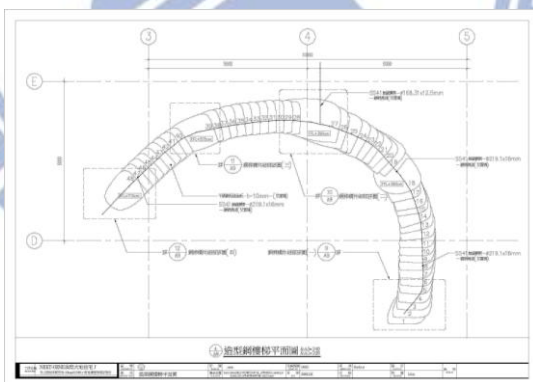


圖 3-13 水墨狂草之屋預組裝之圖說(部分列舉)

組裝

本階段並沒有新生產建築圖說，而是將先前繪製的建築圖說，攜帶至現場使用。

3.3 建築圖說分析

無論是共生住宅或是水墨狂草之屋，兩個案子的設計到建造皆符合本研究歸納的數位建築流程。從早期設計、設計定案、施工圖階段、單元生產、預組裝、到最後的組裝之圖說都已經完成。從過去研究得知，若依照應用的方式，非數位建築流程從設計到建造的建築圖說可以分為六種類型：參考圖(Referential drawing)、示意圖(Diagram)、想像圖(Visionary drawing)、呈現圖(Presentation drawing)、設計圖(Design drawing)、以及施工圖(Construction drawing)。本研究將共生住宅以及水墨狂草之屋在數位建築流程中，所有的圖說分門別類歸納進這六種類型，發現有兩種圖說和既有類型相似，卻也有些許不同處；另有兩種圖說無法歸類於既有類型。此四種圖說分別詳述如下。

(1) 數位平面圖

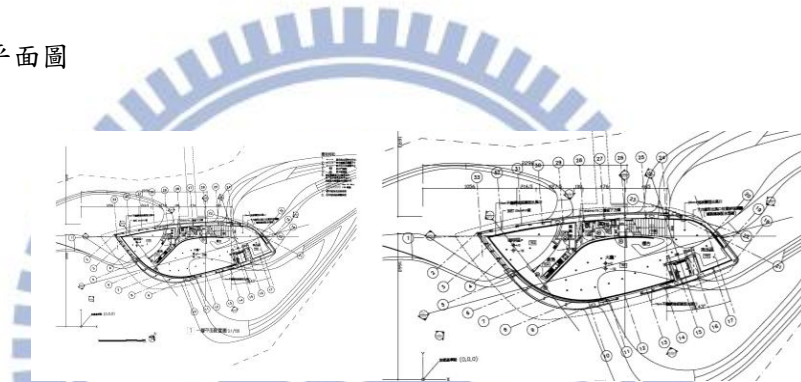


圖 3-14 共生住宅的數位平面圖，圖左為原圖，圖右為局部放大

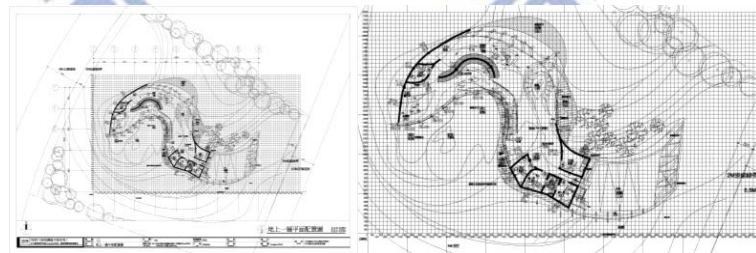


圖 3-15 水墨狂草之屋的數位平面圖，圖左為原圖，圖右為局部放大

此類平面圖依照其畫法可以歸類為「正投影圖(orthographic drawing)」，以正射投影法(orthographic projection)所繪製。依照其功能可以歸類為「設計圖(design drawing)」中的「平面圖(Floor plans)」。此圖與既有規範內的「平面圖」相似，但又有不同於既有規範處。不同之處在於大量加上「座標」的參考數據。根據過去經驗，非數位建築為了精準施工，也常將施工圖加上座標，例如在放樣的圖說上標示原點，以及將重要的結構標示出相對座標。但本研究將數位建築圖說分

析後發現，由於數位建築常有曲線、曲面、或是自由形體，這些非正交系統的建築元素在施工時，無法以簡單的幾條參考線輔助對齊，而必需要引進整個座標軸的概念，另外本研究也發現，共生住宅的數位建築平面圖中的剖面線大幅增加(水墨狂草之屋未標示剖面線)。由此可知，雖然本研究關注焦點為圖說的規範，但另一方面，本研究從數位建築的平面圖中再次確認，數位建築從設計到建造的建築圖說量遠大於非數位建築。

本研究為了區分此類平面圖與既有規範的平面圖，將其定義為「數位平面圖(Digital floor plans)」。其特徵有三點。第一點，其平面圖的相關規定與既有規範的平面圖無異；第二點，此類平面圖是為了要設計或建造數位建築之用；第三點，引進座標軸的概念，會清楚定義原點位置，甚至會將重要的建築結構或建築元素一一標示座標。

(2) 數位結構剖面圖

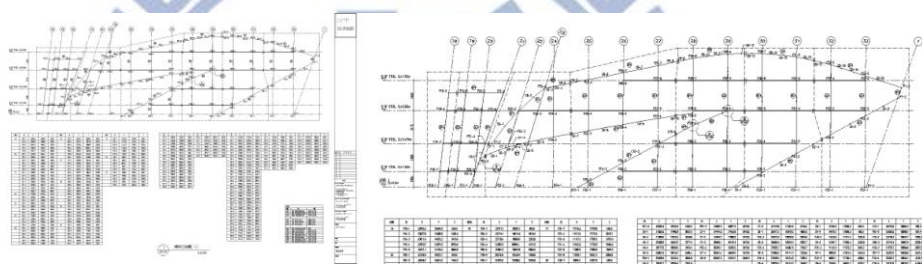


圖 3-16 共生住宅的數位結構剖面圖，圖左為原圖，圖右為局部放大

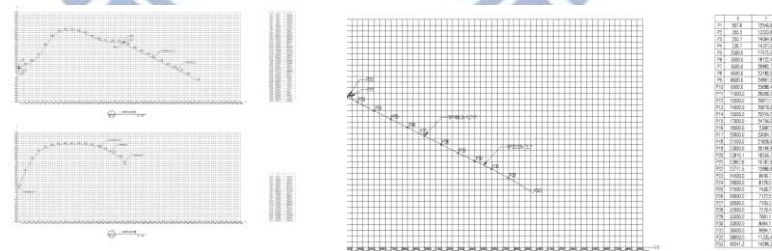


圖 3-17 水墨狂草之屋的數位結構剖面圖，圖左為原圖，圖右為局部放大

此類結構剖面圖依照其畫法可以歸類為「正投影圖(orthographic drawing)」，以正射投影法(orthographic projection)所繪製。依照其功能可以歸類為「施工圖(Construction drawing)」中的「結構圖(Structural drawings)」以及「結構詳圖(Structural details)」。另外，雖然此圖與結構圖相似，但以內容僅呈現結構剖面的方式，更接近設計圖(design drawing)中的剖面圖(Sections)。此圖與既有規範內的「剖面圖」相似，但又有不同於既有規範處。不同之處與前一種類型的「平面圖」

相同，但不只是大量引進「座標」的參考數據，而且還加上原來非數位建築剖面圖也會出現的參考線，例如標高線、以及比例尺等。可以說圖面上的每一個物件的形狀、尺寸(包括直線的長度、以及圓或弧的半徑)、相對於原點的位置都得以清楚呈現在二度空間的圖說上。

本研究為了區分此類圖說與既有規範的剖面圖，將其定義為「數位結構剖面圖(Digital structural sections)」。其特徵有四點。第一點，其剖面圖的相關規定與既有規範的剖面圖無異；第二點，此類剖面圖是為了要設計或建造數位建築之用；第三點，引進座標軸的概念，會清楚定義原點位置，甚至會將重要的建築結構或建築元素一一標示座標；第四點，測量角度。為了要清楚呈現建築元素剖面的資訊以利施工。

(3) 數位單元生產圖

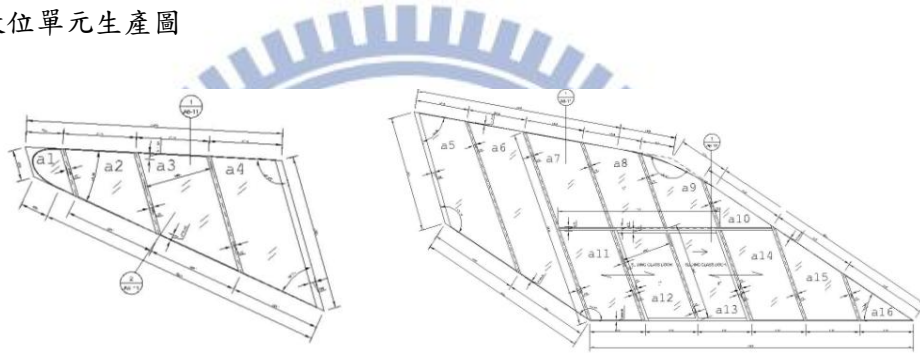


圖 3-18 共生住宅的數位單元生產圖

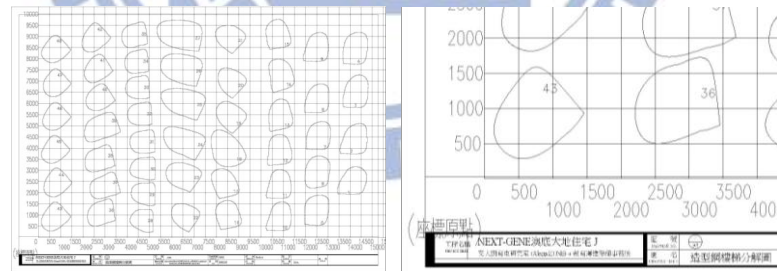


圖 3-19 水墨狂草之屋的數位單元生產圖，圖左為原圖，圖右為局部放大

此類圖說其畫法屬於「正投影圖(orthographic drawing)」，以正射投影法(orthographic projection)所繪製。依照其功能屬於「設計圖(design drawing)」中的「細部圖(Details)」。此圖與既有規範內的「細部圖」相似，但又有不同於既有規範處。除了原本細部圖規範內標示的尺寸之外，最重要的不同之處在於每一個建築單元上都有相關的編號，這些編號是為了數位建築單元生產階段之用，以方便下一個階段的預組裝及組裝。

本研究發現，此類圖說無法歸類於六種既有規範內，是一種因應數位建築設計到建造而產生的建築圖說，更精確的說，是為了輔助數位建築的「單元生產」階段而產生之，本研究將其定義為「數位單元生產圖」(Digital shop drawings)。其特徵有三點。第一點，此類細部圖是為了數位建築設計到建造的「單元生產」階段之用；第二點，將建築單元一一排列，且給予編號；第三點，清楚標註各單元相關的尺寸。

(4) 數位單元組裝圖

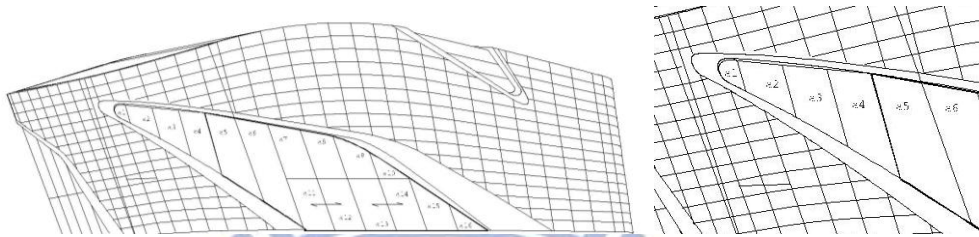


圖 3-20 共生住宅的數位單元組裝圖，圖左為原圖，圖右為局部放大

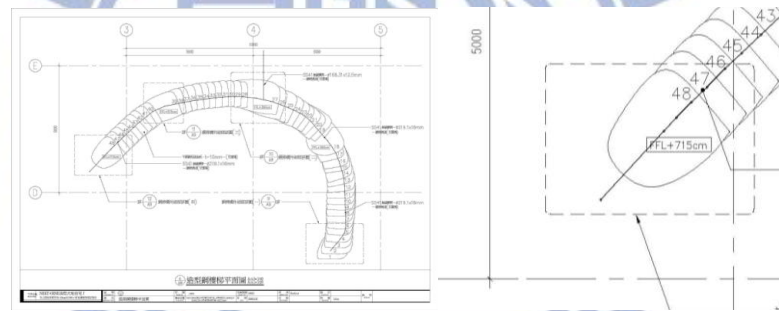


圖 3-21 水墨狂草之屋的數位單元組裝圖，圖左為原圖，圖右為局部放大

此類圖說其畫法有很多呈現方式，主要是為了能清楚表達其功能：組裝數位建築單元。此類圖說必須跟前一類圖「數位單元生產圖」互相參照，以達到順利組裝數位建築單元。換句話說，「數位單元組裝圖」上的內容就是「數位單元生產圖」組裝後的結果。為了順利組裝，圖說內的每一個建築單元也會有與對應數位單元生產圖相同的編號。同時，為了順利組裝，也會標示單元的相關數據及組裝後的相關的呈現結果。

本研究發現，此類圖說無法歸類於之前六種既有規範內，是一種因應數位建築設計到建造而產生的建築圖說，更精確的說，是為了輔助數位建築的「預組裝」及「組裝」階段而產生之，本研究將其定義為「數位數位單元組裝圖」(Digital assembly drawings)。其特徵有三點。第一點，此類圖面為了輔助「單元生產」、「預組裝」及「組裝」階段而產生；第二點，此類圖說會有與其對應的「數位單元生產

圖」，同時，兩種圖皆會有同樣的建築單元並且單元上有相同的編號；第三點，清楚標註各單元相關的尺寸以利單元組裝。

3.4 初步規範制定

前文中有提到，本研究經過案例分析，分析數位建築案例之後發現，有四種圖說無法完全歸類在既有六類圖說中。其中有兩種是建立在既有圖說規範的基礎上，又因為數位建築設計到建造的需要，而加上數位資訊，包括「數位平面圖」以及「數位結構剖面圖」；另外兩種，是因應數位建築設計到建造新增的流程「單元生產」以及「預組裝」而產生，包括「數位單元生產圖」、以及「數位單元組裝圖」。

先前本研究有提到，本研究問題是試圖找出無法歸類在既有規範內、或是尚未被完善規範的數位建築圖說。而這些沒有被完善規範的數位建築圖說將會造成設計者及施工者溝通上的困難與錯誤。因此，本研究必須將尚未被定義清楚的圖說提出標準規範，使得未來數位建築流程有一套定義清楚的、可參考的標準規範。

同時，為了要符合中華民國國家標準，以下五種圖說可依照實際需求，加上繪製(一) 度量衡制(單位)、(二) 比例尺、(三) 可辨識清楚的文字及字體、(四) 標題欄、(五) 修改及修改欄、(六) 附註欄、(七) 圖號及圖樣佈置、(八) 指北針及箭頭流向、(九) 線條之種類及粗細應符合國家標準並清楚呈現、(十) 圖樣圖示準則、以及(十一) 建築圖符號及圖例。

(1) 數位平面圖

數位平面圖(Digital floor plans)其特徵有三點。第一點，其平面圖的相關規定與既有規範的平面圖無異；第二點，此類平面圖是為了要設計或建造數位建築之用；第三點，引進座標軸的概念，會清楚定義原點位置，且會將重要的建築結構或建築元素一一標示座標。因此本研究將在原先非數位建築平面圖的既有規範中，加上數位建築設計到建造所需要的數據，即可得到數位平面圖的規範。

根據過去研究，平面圖的概念為「自指定高度水平剖開建築物，以正投影方式自上往下投影而得」。數位平面圖的概念與平面圖一致。此外，根據「中華民國國家標準建築設計圖說明」的第十四點「建築圖表示法」，平面圖可呈現的內容包括：(一) 方位、(二) 各層樓平面、(三) 各部份機能、(四) 各部份尺度、(五)

牆身構造及厚度、(六) 門窗位置、符號、編號、及開啟方向、(七) 樓梯位置、編號、及上下方向、(八) 升降梯位置及編號、(九) 走廊通道、樓梯之淨寬、(十) 新

舊溝渠及排水方向。除了前述十點，數位平面圖另外還需要呈現：(一) 座標原點、(二) 重要結構及建築單元的座標。

(2) 數位結構剖面圖

數位結構剖面圖(Digital structural sections)的特徵有三點。第一點，其剖面圖的相關規定與既有規範的剖面圖無異；第二點，此類剖面圖是為了要設計或建造數位建築之用；第三點，引進座標軸的概念，清楚定義原點位置，將重要的建築結構或建築元素標示座標(包括 X 座標、Y 座標、以及視情況標註 Z 座標)。因此本研究將在原先非數位建築剖面圖的既有規範中，加上數位建築設計到建造所需要的數據，即可得到數位結構剖面圖的初步規範。

根據過去研究，剖面圖的概念為「沿著剖面線垂直剖開建築物，以正投影方式投影而得」。數位結構剖面圖的概念與剖面圖一致。此外，根據「中華民國國家標準建築設計圖說明」的第十四點「建築圖表示法」，剖面圖可呈現的內容包括：(一) 剖面狀況、(二) 建築線及高度限制線、(三) 建築物高度、簷高、屋頂突出物高度、天花板淨高等、(四) 各部份尺度、(五) 各部份材料。除了前述五點，數位平面圖另外還需要呈現：(一) 座標原點、(二) 重要結構及建築單元的座標、(三) 若重要結構及建築單元非屬於正交系統，則因應施工的需要應註明彎折的角度。

(3) 數位單元生產圖

數位單元生產圖(Digital shop drawings)呈現方式接近「設計圖(design drawing)」中的「細部圖(Details)」，其特徵包括四點：第一點，此圖是為了數位建築設計到建造的「單元生產」階段之用；第二點，以正射投影法(orthographic projection)所繪製；第三點、除了原本細部圖規範內標示的尺寸、角度之外，需將每一個建築單元上標示編號，這些編號是為了數位建築單元生產階段之用，以方便數位建築的預組裝及組裝階段；第四點，視單元生產需要而清楚標註各單元相關的尺寸。符合以上四點才得以稱之為數位單元生產圖。

(4) 數位單元組裝圖

「數位單元組裝圖」(Digital assembly drawings)不限定以哪一種投影方式呈現，主要是為了能順利組裝數位建築單元。其特徵有三點。「數位單元組裝圖」的定義有三點。第一點，此類圖面是為了輔助數位建築的「單元生產」、「預組裝」及「組裝」階段而產生；第二點，此類圖說會有與其對應的「數位單元生產圖」。不只是互為圖組，兩種圖皆會有同樣的建築單元，並且單元上有相同的編號；第三點，清楚標註各單元相關的建築資訊，以利單元組裝。符合以上三點才得以稱之為數位單元組裝圖。

4 專家訪談

本研究根據前一小節關於數位建築案例的分析，歸納數位建築設計到建造的各階段所對應之建築圖說，並找出無法歸類於既有規範中的數位建築圖說，包括「數位平面圖」、「數位結構剖面圖」、「數位單元生產圖」、以及「數位單元組裝圖」。然後，同樣依照分析結果，將以上四種數位建築圖說分別制定出初步建築圖說規範。

在這一小節中，本研究將透過訪談負責設計及施工前一小節中兩個數位建築案例：共生住宅以及水墨狂草之屋的設計專家(Design experts)來評估初步規範，並依據訪談結果修正初步規範以得到新媒材定案版本。

訪談目標

在前一小節的本研究透過案例分析得到新媒材的規範雛型，這些新媒材規範雛型是由兩個不同的案例分析的結果彙整而成，從文獻回顧中得知，建築媒材有以下六點功能(1)發展設計師思考中的設計；(2)和他人交流思想和概念；(3)記錄設計流程；(4)做為建造之依據；(5)表達定案的設計；(6)記錄既存的建築。本研究將焦點放在第四點：做為建造之依據、以及第五點：表達定案的設計。

雖然在前一小節已經得到新建築圖說的初步規範，但是初步規範是否準確呈現原先建築圖說的內容？本小節將透過對原設計者的訪談確定這些新建築圖說的規範是否能表達設計者的設計、以及是否可做為施工流程的依據。

訪談對象

訪談對象為前一小節中的數位建築案例：共生住宅以及水墨狂草之屋各一位設計專家，一共兩位訪談對象，此外，設計專家的選擇，限定為參與設計流程的主要設計師。兩位訪談對象皆有 8 年以上設計數位建築以及實務經驗，現今皆為台灣建築設計事務所負責人，是台灣數位建築設計到建造的專家代表。

訪談內容提綱

訪談內容有三個部分：第一部分：配合建築案例(共生住宅以及水墨狂草之屋)中尚未被規範的建築圖說，包括「數位平面圖」、「數位結構剖面圖」、「數位單元生產圖」、以及「數位單元組裝圖」，四種分別詢問設計專家：「建築案例圖說所要表

達的內容有哪些特徵？」第二部分：配合本研究新制定的四種數位建築圖說之初步規範，分別詢問設計專家「本研究新定義的初步規範，分別是否有傳達原先建築案例圖說想要傳達的內容？」第三部分：關於四種建築案例圖說與本研究定義的四種數位建築圖說規範的繪製與生產，分別詢問設計專家「建築案例圖說是否因為數位建築的設計到建造而繪製？非數位建築有同樣的圖說嗎？在繪製流程中，是否有遇到問題或是困難？」

前兩個部份各又有數個子問題，第一個問題是關於機能，確定建築圖說本身要表達的內容，然後接著三個子問題探討的都是建築圖說中的基本因子，包括形狀(Ching, 1996)、比例(Legakis et al., 2001)、以及尺寸(Ching, 1996; Allen and Agrest, 2000)。就以上三點基本因子詢問受測者，探討原建築案例圖說及新制定之數位建築圖說是否明確表達三點基本因子特徵，同時在第二部分將兩者相互參照，可以確定初步數位建築圖說規範是否有遺漏原先建築案例圖說內的資訊。詳細內容請見下列三個表格：

表 4-1 訪談第一部分訪談主題及子問題一覽

第 一 部 分	主題一	建築案例圖說所要表達的內容有哪些？
	問題一	建築案例圖說的機能為何？(例如:平面圖) 是否有表達不清楚之處？
	問題二	建築案例圖說是否有表達內容的形狀？ 如果有，用了甚麼方式表達？(例如:線條)
	問題三	建築案例圖說是否有表達內容的比例？ 如果有，用了甚麼方式表達？(例如:1:500)
	問題四	建築案例圖說是否有表達內容的尺寸？ 如果有，用了甚麼方式表達？(例如:高 50 公分)

表 4-2 訪談第二部分訪談主題及子問題一覽

第 二 部 分	主題二	本研究定義的數位建築圖說規範是否有傳達出建築案例圖說內容的特徵？
	問題一	本研究制定的數位建築圖說初步規範，是否有傳達出建築案例圖說的機能？試比較兩者，並說出有何異同？
	問題二	本研究制定的數位建築圖說初步規範，是否有傳達出建築案例圖說的形狀？試比較兩者，並說出有何異同？
	問題三	本研究制定的數位建築圖說初步規範，是否有傳達出建築案例圖說的比例？試比較兩者，並說出有何異同？
	問題四	本研究制定的數位建築圖說初步規範，是否有傳達出建築案例圖說的尺寸？試比較兩者，並說出有何異同？

表 4-3 訪談第三部分訪談主題及子問題一覽

第三部分	主題三	數位建築圖說規範與建築案例圖說的繪製
	問題一	建築案例圖說是否因為數位建築的設計到建造而繪製？ 非數位建築有同樣的圖說嗎？
	問題二	繪製建築案例圖說時，是否有遇到問題或是困難？ 試簡單說明。

4.1 數位平面圖

第一部分

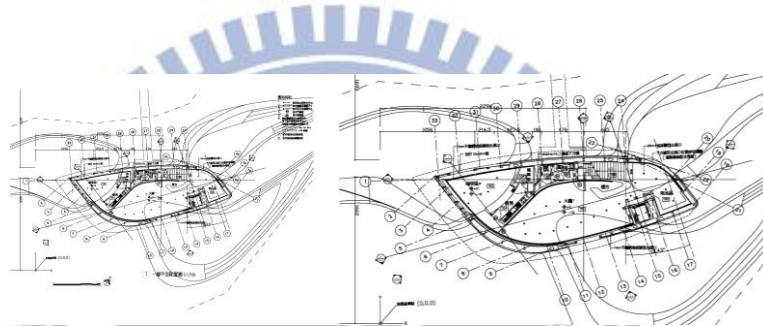


圖 4-1 共生住宅的數位平面圖(部分列舉)，圖左為原圖，圖右為局部放大

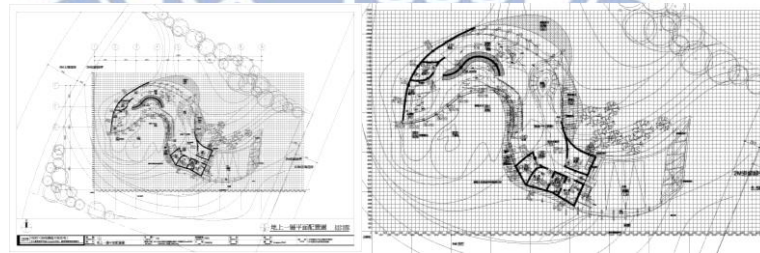


圖 4-2 水墨狂草之屋的數位平面圖(部分列舉)，圖左為原圖，圖右為局部放大

(1) 建築案例平面圖說的機能為何？是否有表達不清楚之處？

• 共生住宅設計專家：

共生住宅的這張圖說是屬於平面圖，一樓(地面層)的平面圖。它的機能是表達自地面層(也就是大廳)150公分處，水平剖開建築之後，往下可見的所有內容，如同一般建築的平面圖。要說特別之處，是這張圖說標示很多剖面圖的剖面線位

置，以及標註尺寸，而圖中的尺寸標註都有個參考點「原點(放樣基準點)」。圖中不清楚的地方是標註的位置，因為資訊太多，難以辨別標註的確實位置。

- 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的這張建築案例圖說的機能是一張平面圖，位置是一樓地面層。與其他平面圖的差異是圖中有一個座標框住整個建築，同時因為圖中的座標與建築重疊，所以內容不容易閱讀，這是表達比較不清楚的地方。

(2) 建築案例平面圖說是否有表達內容的形狀？如果有，用了甚麼方式表達？

- 共生住宅設計專家：

在這張共生住宅的平面圖中所謂的形狀就是指基地、建築本身、以及家具。基地指的是等高線；建築的本身包括結構，例如牆、柱，以及建築元素，例如窗戶、門；家具通常是以既有圖塊的方式呈現，例如馬桶、洗手台等等。這些物件的形狀都由粗細不同的線條以及不同的線型表達，例如實線以及虛線。

- 水墨狂草之屋設計專家：

在這張水墨狂草之屋的平面圖上的形狀，從外而內包括道路、基地內景觀、建築外牆、門、窗、建築室內元素，例如樓梯以及內牆等等、以及家具。形狀的表達方式包括粗細不同的線段，例如最粗的是剖到的建築結構，和不同的實虛線型。

(3) 建築案例平面圖說是否有表達內容的比例？如果有，用了甚麼方式表達？

- 共生住宅設計專家：

圖上表達比例的方式有幾種。第一種是比例尺，第二種是文字說明(例如：**S:1/150**)，第三種是從標註的數字和實際尺寸之比值來判斷。

- 水墨狂草之屋設計專家：

這張水墨狂草之屋的平面圖中，表達比例的方式包括文字說明(**S:A3=1/200;S:A1=1/100**)、標註的數字跟實際長度的比率、以及整個座標都可以做為比例的參考值。

(4) 建築案例平面圖說是否有表達內容的尺寸？如果有，用了甚麼方式表達？

- 共生住宅設計專家：

在這張共生住宅的平面圖上，尺寸可以從兩個地方得知。第一個是圖的比例，藉由圖的比例加上實際長度，經由運算可以得知圖上物件的尺寸；另一個則是經由標註上的數字。

- 水墨狂草之屋設計專家：

這張平面圖雖然有表達內容尺寸，但標註的文字與座標軸的文字重疊。此外，除了垂直水平的尺寸標註以外，並沒有其他類型，例如斜線的標註。

第二部分

本研究制定的「數位平面圖」之定義：第一點，其平面圖的相關規定與既有規範的平面圖無異；第二點，數位平面圖是為了要設計或建造數位建築之用；第三點，引進座標軸的概念，會清楚定義原點位置，甚至會將重要的建築結構或建築元素一一標示其座標。

- (1) 本研究制定的數位平面圖初步規範，是否有傳達出建築案例平面圖說的機能？試比較兩者，並說出有何異同？

- 共生住宅設計專家：

由於第一點就提到，數位平面圖的平面圖部分相關規定與既有規範的平面圖無異，因此有表達出共生住宅平面圖的機能。研究制定的數位平面圖初步規範和目前這張共生住宅平面圖的差異之處，主要是數位平面圖更凸顯「座標點」的重要性，原先的共生住宅平面圖只有用標註的方式「暗示」有座標的概念，每一個座標點只能另外重新測量位置才能抓出準確的值。本研究所制定的數位平面圖強調應標示重要的建築結構或建築元素的座標，將會讓施工單位更容易理解重要建築結構及建築元素準確的位置。

- 水墨狂草之屋設計專家：

數位平面圖的條件包括水墨狂草之屋平面圖的條件，因此兩者的機能也是一致的。兩者的差異在於，數位平面圖的條件更強調其使用的範圍：數位平面圖是為了要設計或建造數位建築之用。此外，原來的水墨狂草之屋平面圖並沒有特別標示重要的座標點，雖然可以透過座標軸推算，但推算的值不精準。而數位平面圖的強調應該要標示重要結構或建築元素的座標，將會讓讀圖的人，包括設計師及施工者，更方便理解圖上的內容。

(2) 本研究制定的數位平面圖初步規範，是否有傳達出建築案例平面圖說的形狀？試比較兩者，並說出有何異同？

• 共生住宅設計專家：

前面提到數位平面圖的定義包括了既有的平面圖定義，換句話說，也包括了共生住宅平面圖說的定義。因此在形狀的呈現上，兩者完全沒有差異。

• 水墨狂草之屋設計專家：

數位平面圖跟水墨狂草之屋平面圖說在形狀的呈現上面沒有差異，但要注意座標軸可能會影響圖中形狀的判讀。

(3) 本研究制定的數位平面圖初步規範，是否有傳達出建築案例平面圖說的比例？試比較兩者，並說出有何異同？

• 共生住宅設計專家：

數位平面圖和共生住宅平面圖說在比例上的規定，都來自於既有的平面圖，因此兩者之前沒有差異。

• 水墨狂草之屋設計專家：

數位平面圖與水墨狂草之屋平面圖說的比例呈現方式，可能的方式包括比例尺、文字註明。兩者沒有不同之處。

(4) 本研究制定的數位平面圖初步規範，是否有傳達出建築案例平面圖說的尺寸？試比較兩者，並說出有何異同？

• 共生住宅設計專家：

數位平面圖的尺寸，和共生住宅平面圖一致，都是來自於標註。但共生住宅平面圖的尺寸標註，只標註垂直水平的兩軸尺寸，且標註線又位於建築物之外，因此不容易理解圖中各重要的建築元素的尺寸。也許透過數位平面圖的定義，強化座標的概念，會讓圖上的尺寸更清楚。

• 水墨狂草之屋設計專家：

數位平面圖的尺寸表達方式，與水墨狂草之屋平面圖說完全一樣。這種以座標輔助的表達方式，雖然直線距離可以很容易判斷，但是非垂直水平的距離，例如斜線就難以判斷距離。因此數位平面圖強調座標點的註明，由座標點加上數學的運算之後，可以得知兩點間的長度，因而數位平面圖的尺寸較水墨狂草之屋的平面圖，有更多參考數據。

第三部分

(1) 建築案例平面圖說是否因為數位建築的設計到建造而繪製？非數位建築有同樣的圖說嗎？

• 共生住宅設計專家：

無論是否數位建築，在建築設計到建造的流程之中都必須繪製平面圖。但是數位建築平面圖說，也就是共生住宅平面圖，相較於既有的平面圖規範，更強化座標及座標點的存在，因而更適合用於自由形體的數位建築。

• 水墨狂草之屋設計專家：

數位平面圖所新增的條件，將會有助於數位建築從設計到建造的準確度。這是因為自由形體的數位建築需要多張剖面圖才得以讓施工者清楚設計本身，座標點的強化將會提供更多的數據與資訊。非數位建築並不需要繪製類似水墨狂草之屋的數位建築平面圖說。

(2) 繪製建築案例平面圖說時，是否有遇到問題或是困難？試簡單說明。

• 共生住宅設計專家：

這張共生住宅平面圖，在繪製的流程中與一般平面圖無異，但是並沒有標註非正交系統的物件尺寸，例如圓、拋物線、以及自由曲線等等。以上物件的尺寸都沒有被標註。是因為標註曲線(包含圓、拋物線、自由曲線)會遇到困難，同時對於施工的幫助不大。

• 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的平面圖，從設定的原點(放樣點)開始，僅標註以"5000"(單位公厘)為一個單位，包括垂直與水平方向的長度。其他的物件都沒有被標註，最主要的原因是太多標註會增加閱讀圖上資訊的困難。

4.2 數位結構剖面圖

第一部分

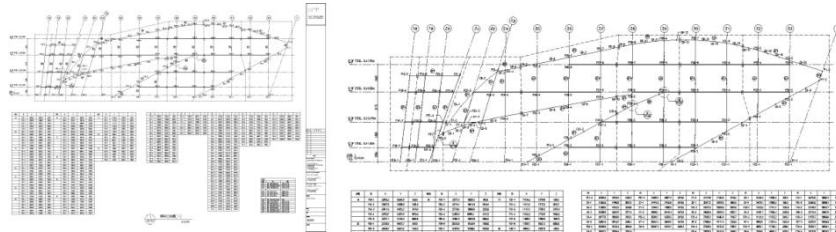


圖 4-3 共生住宅的數位結構剖面圖(部分列舉)，圖左為原圖，圖右為局部放大

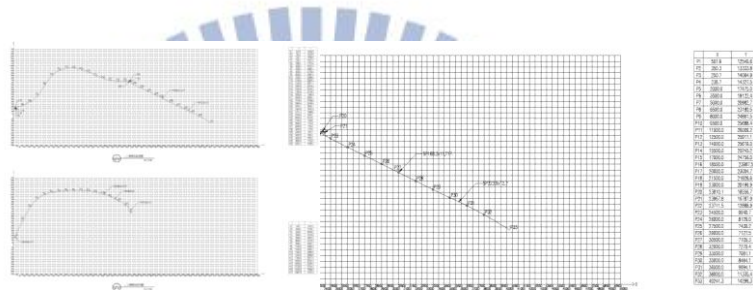


圖 4-4 水墨狂草之屋的數位結構剖面圖(部分列舉)，圖左為原圖，圖右為局部放大

(1) 建築案例結構剖面圖說的機能為何？是否有表達不清楚之處？

• 共生住宅設計專家：

共生住宅的這張圖說是屬於結構剖面圖。它的機能是垂直剖開建築的結構部分，針對結構部分呈現施工者需要的資訊，包括編號、位置、尺寸等等。特別的是，共生住宅的剖面圖同樣標示很多剖面圖的剖面線位置。整張圖有一半的位置在呈現圖中被剖到的結構之標號、X 軸座標、以及 Y 軸座標。共生住宅的結構剖面圖沒有不清楚的地方。

• 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的結構剖面圖說，機能為呈現剖到的結構(此處為鋼管)的資訊，包括結構的編號、位置、尺寸，這些資訊在圖的右半部被呈現。不清楚的地方是結構剖面圖中，因為座標軸與建築結構剖面重疊，因而在閱讀剖面圖時有些困難。

(2) 建築案例結構剖面圖說是否有表達內容的形狀？如果有，用了甚麼方式表達？

- 共生住宅設計專家：

在這張共生住宅的結構剖面圖中的形狀，就是指被剖到的結構部分，包括建築表皮、樑的位置、以及表皮的相關座標點。如同既有的結構剖面圖，這些物件的形狀都由粗細不同的線條以及不同的線型表達，例如實線以及虛線。

- 水墨狂草之屋設計專家：

在這張水墨狂草之屋的結構剖面圖上的形狀，包括屋頂(建築表皮)、以及結構鋼管。形狀的表達方式包括粗細不同的線段，以及不同的實虛線型。

(3) 建築案例結構剖面圖說是否有表達內容的比例？如果有，用了甚麼方式表達？

- 共生住宅設計專家：

共生住宅的結構剖面圖上表達比例的方式有兩種。第一種是文字說明(例如： $S:1/50$)，第二種是從標註的數字和實際尺寸之比值來判斷。

- 水墨狂草之屋設計專家：

這張水墨狂草之屋的結構剖面圖中，有三種表達比例的方式。這三種包括文字說明($S:1/100$)、標註的數字跟實際長度的比率、以及整個座標都可以做為比例的參考值。

(4) 建築案例結構剖面圖說是否有表達內容的尺寸？如果有，用了甚麼方式表達？

- 共生住宅設計專家：

在這張共生住宅的結構剖面圖上，尺寸可以從兩個地方得知。第一個是圖的比例，藉由圖的比例加上在圖上實際測量後的長度，經由運算後可以得知圖上物件的尺寸；另一個則是經由標註上的數字。

- 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的結構剖面圖雖然沒有直接表達內容尺寸，但透過圖的比例尺、座標軸以及座標的資訊仍然可以得知。

第二部分

本研究制定的「數位結構剖面圖」的定義有三點。第一點，其剖面圖的相關規定與既有規範的剖面圖無異；第二點，此類剖面圖是為了要設計或建造數位建築之用；第三點，引進座標軸的概念，會清楚定義原點位置，以及會將重要的建築結構或建築元素標示 X 座標以及 Y 座標(視情況標示 Z 座標)。

(1) 本研究制定的數位結構剖面圖初步規範，是否有傳達出建築案例結構剖面圖說的機能？試比較兩者，並說出有何異同？

• 共生住宅設計專家：

由於第一點就提到，數位結構剖面圖的相關規定與既有規範的剖面圖無異，因此有表達出共生住宅結構剖面圖的機能。研究制定的數位結構剖面圖初步規範，和目前這張共生住宅結構剖面圖相比，沒有任何差異之處。

• 水墨狂草之屋設計專家：

數位結構剖面圖的條件中，內括水墨狂草之屋結構剖面圖的條件，因此兩者的機能是一致的。兩者的差異僅在於，數位結構剖面圖的條件更強調為了要設計或建造數位建築之用。

(2) 本研究制定的數位結構剖面圖初步規範，是否有傳達出建築案例結構剖面圖說的形狀？試比較兩者，並說出有何異同？

• 共生住宅設計專家：

前面提到數位結構剖面圖的定義，來自於既有的剖面圖定義。換句話說，數位結構剖面圖和共生住宅結構剖面圖在形狀的呈現上，兩者之間完全沒有任何差異。

• 水墨狂草之屋設計專家：

數位結構剖面圖跟水墨狂草之屋結構剖面圖在形狀的呈現上面沒有差異，但要注意座標軸可能會影響圖中形狀的判讀。

(3) 本研究制定的數位結構剖面圖初步規範，是否有傳達出建築案例結構剖面圖的比例？試比較兩者，並說出有何異同？

• 共生住宅設計專家：

數位結構剖面圖和共生住宅結構剖面圖說在比例上的規定，都來自於既有的剖面圖，因此兩者之前沒有差異。

• 水墨狂草之屋設計專家：

數位結構剖面圖與水墨狂草之屋結構剖面圖說的比例呈現方式一致，兩者沒有不同之處。

(4) 本研究制定的數位結構剖面圖初步規範，是否有傳達出建築案例結構剖面圖的尺寸？試比較兩者，並說出有何異同？

• 共生住宅設計專家：

數位結構剖面圖的尺寸，和共生住宅結構剖面圖說一致，來自於標註以及座標點。共生住宅結構剖面圖的尺寸標註，只標註垂直水平，但是可以透過座標點的數學計算，計算出兩點間的尺寸，數位結構剖面圖也是如此。

• 水墨狂草之屋設計專家：

數位結構剖面圖的尺寸表達方式，與水墨狂草之屋結構剖面圖說完全一樣。這種以座標輔助的表達方式，雖然直線距離可以很容易判斷，但是非垂直水平的距離，例如曲線、斜線就難以判斷距離。因此數位結構剖面圖強調座標點的註明，由座標點加上數學的運算之後，可以得知兩點間的長度。

第三部分

(1) 建築案例的結構剖面圖是否因為數位建築的設計到建造而繪製？非數位建築有同樣的圖說嗎？

• 共生住宅設計專家：

無論是否數位建築，在建築設計到建造的流程之中都必須繪製數位結構剖面圖。但是數位結構剖面圖，也就是共生住宅的數位結構剖面圖，相較於既有的剖面圖規範，更強化座標及座標點的存在，因而可以得到更多訊息以強化施工所需要的精準度。

• 水墨狂草之屋設計專家：

數位結構剖面圖所新增的條件：引進座標軸的概念、清楚定義原點位置、以及會將重要的建築結構或建築元素，標示其 X 座標以及 Y 座標(視情況標示 Z 座標)。將會有助於數位建築從設計到建造的準確度。因為多個座標點可提供更多的數據與資訊。非數位建築並不需要繪製類似水墨狂草之屋的數位結構剖面圖。

(2) 繪製建築案例結構剖面圖時，是否有遇到問題或是困難？試簡單說明。

• 共生住宅設計專家：

這張共生住宅結構剖面圖，在繪製的流程中與一般結構剖面無異，但是由於每一個被剖到的結構，都必須要標示其座標，因而在座標的數據取得上耗費大量時間，光是共生住宅結構剖面圖上就要標示超過 150 個座標(包括 X 以及 Y 座標)。

- 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的結構剖面圖，從設定的原點開始，以”500”(單位公厘)為一個單位，繪製座標軸。座標軸與剖面線重疊造成增加閱讀上的困難。另外，以一張水墨狂草之屋的結構剖面圖為例，圖上有 54 個鋼管結構需要被標註座標，這些座標取得所花的時間超過製圖所花的時間的一半。

4.3 數位單元生產圖

第一部分

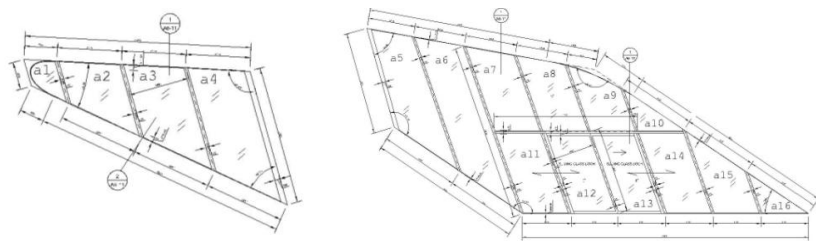


圖 4-5 共生住宅的數位單元生產圖

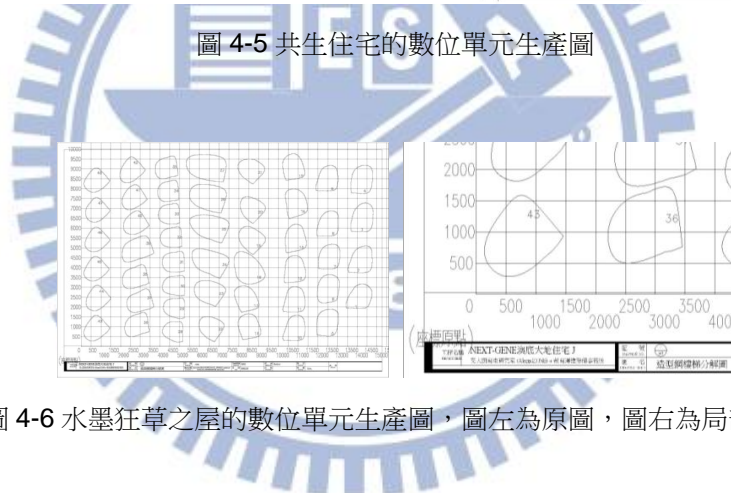


圖 4-6 水墨狂草之屋的數位單元生產圖，圖左為原圖，圖右為局部放大

(1) 建築案例數位單元生產圖的機能為何？是否有表達不清楚之處？

- 共生住宅設計專家：

共生住宅的數位單元生產圖，是因應共生住宅從設計到建造流程的需要而出現。由於共生住宅是數位建築，且為造型屬於自由形體，又沒有經過模矩化，因此建築的單元幾乎都不相同。為了在建造流程中，能夠精準施工，因此就需要繪製數位單元生產圖。所謂數位單元生產圖，顧名思義是為了要生產建築單元之用。以圖 4-5 為例，此圖是為了生產共生住宅窗戶的玻璃而繪製，每一片玻璃的大小、形狀都不一致。

- 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的數位單元生產圖，機能為輔助製造水墨狂草之屋的建築單元而繪製。由於水墨狂草之屋是自由形體，從外觀、內部空間、以及部分建築單元都是。為了要精準地建造出符合設計師所設計的自由形體，所以先繪製數位單元生產圖，並將此圖傳送給輔助建築單元製造的電腦，得以製造出精準的建築單元。以圖 4-6 為例，這張圖內的每一個封閉自由曲線，都是代表水墨狂草之屋屋內的自由形體樓梯的單元之一(樓梯的一階)。

(2) 建築案例數位單元生產圖是否有表達內容的形狀？如果有，用了甚麼方式表達？

- 共生住宅設計專家：

在這張共生住宅的數位單元生產圖中的每一片形狀，都是代表一片玻璃，一共有 16 片。每一片玻璃的形狀、尺寸、各對角角度都不一樣，由粗細不同的線條以及不同的線型表達，例如實線以及虛線。

- 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的數位單元生產圖上，一個個封閉的自由曲線是代表樓梯的一個個踏階，一共有 48 階。踏階形狀的表達方式，包括粗細不同的線段，以及不同的實虛線型。

(3) 建築案例數位單元生產圖說是否有表達內容的比例？如果有，用了甚麼方式表達？

- 共生住宅設計專家：

共生住宅的數位單元生產圖僅能從標註的數字和實際尺寸之比值來判斷圖的比例。

- 水墨狂草之屋設計專家：

這張水墨狂草之屋的數位單元生產圖中，因為沒有任何的標註，所以僅能從背景的座標軸做為比例參考值。

(4) 建築案例數位單元生產圖說是否有表達內容的尺寸？如果有，用了甚麼方式表達？

- 共生住宅設計專家：

在這張共生住宅的數位單元生產圖上，尺寸可以從兩個地方得知。第一個是圖的比例，藉由圖的比例加上在圖上實際測量後的長度，經由運算後可以得知圖上物件的尺寸；另一個則是經由標註上的數字。

- 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的數位單元生產圖並沒有直接標註尺寸，但透過圖上的座標軸以及座標的資訊，可以推估內容物件的尺寸。

第二部分

本研究制定的「數位單元生產圖」的定義包括四點：第一點，此圖是為了數位建築設計到建造的「單元生產」階段之用；第二點，以正射投影法所繪製；第三點，除了原本細部圖規範內標示的尺寸、角度之外，需將每一個建築單元上標示編號，這些編號是為了數位建築單元生產階段之用，以方便數位建築的預組裝及組裝階段；第四點，視單元生產需要而清楚標註各單元相關的尺寸。符合以上四點才得以稱之為數位單元生產圖。

- (1) 本研究制定的數位單元生產圖初步規範，是否有傳達出建築案例數位單元生產圖的機能？試比較兩者，並說出有何異同？

- 共生住宅設計專家：

共生住宅的數位單元生產圖是為了生產共生住宅的數位建築單元：形狀不規則、大小尺寸各異的玻璃而繪製。因此符合數位單元生產圖定義的第一點：為了數位建築設計到建造的「單元生產」階段之用。同時，共生住宅的數位單元生產圖也是以正射投影法所繪製；為了數位建築單元生產階段之需要，每一個建築單元上皆標示編號。因此研究制定的數位單元生產圖初步規範和共生住宅數位單元生產圖沒有任何差異之處。

- 水墨狂草之屋設計專家：

數位單元生產圖的條件中，最重要的條件是為了數位建築設計到建造的「單元生產」階段之用。水墨狂草之屋的數位單元生產圖是為了生產水墨狂草之屋內的自由形體樓梯單元(踏階)而繪製。此外，水墨狂草之屋的數位建築單元是由正射投影法所繪製；為了數位建築單元生產階段之需要，每一個建築單元(樓梯踏階)上皆標有編號。因此研究制定的數位單元生產圖初步規範和水墨狂草之屋數位單元生產圖沒有任何差異之處。

(2) 本研究制定的數位單元生產圖初步規範，是否有傳達出建築案例數位單元生產圖的形狀？試比較兩者，並說出有何異同？

• 共生住宅設計專家：

共生住宅數位單元生產圖和本研究制定的數位單元生產圖初步規範，在形狀的呈現上，兩者之間完全沒有任何差異，皆為正投影圖。

• 水墨狂草之屋設計專家：

數位單元生產圖跟水墨狂草之屋數位單元生產圖在形狀的呈現上面沒有差異，都是正向投影。

(3) 本研究制定的數位單元生產圖初步規範，是否有傳達出建築案例數位單元生產圖的比例？試比較兩者，並說出有何異同？

• 共生住宅設計專家：

共生住宅數位單元生產圖並沒有特別註明圖的比例，只能由標註上的數字和實際尺寸的比值推算圖的比例。

• 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋數位單元生產圖的背景為座標軸，因此雖然沒有任何的尺寸標註，仍可以從座標軸的數字與實際長度的比值估算圖的比例。

(4) 本研究制定的數位單元生產圖初步規範，是否有傳達出建築案例數位單元生產圖的尺寸？試比較兩者，並說出有何異同？

• 共生住宅設計專家：

共生住宅的數位單元生產圖，不只是標註詳細的尺寸，甚至標註了單元生產所需要的角度。數位單元生產圖的尺寸是為了單元生產的需要，因此尺寸、角度、形狀都很重要。共生住宅的數位單元生產圖和研究所制定的數位單元生產圖，在尺寸上的要求是一致的。

• 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的數位單元生產圖並沒有標註尺寸，原因是每一個單元都沒有任何的直線所構成。雖然如此，水墨狂草之屋的數位單元生產圖背景為一個座標軸，更精確的說，所有的單元都呈現在座標軸之中。因而解決單元都是自由形體，難以標註的困難。這種以座標輔助的表達方式，加上數學的運算之後，可以得知兩點間的長度、甚至是角度。

第三部分

(1) 建築案例的數位單元生產圖是否因為數位建築的設計到建造而繪製？非數位建築有同樣的圖說嗎？

• 共生住宅設計專家：

是的，從過去實作中經驗得知，如果設計是數位建築且為自由形體，在設計到建造的流程之中，必定會經過單元生產的流程。這是由於數位建築的建築單元必須大量客製化的結果。同樣的，共生住宅是數位建築且為自由形體，因此共生住宅的數位單元生產圖是因為設計到建造流程的需要而繪製。非數位建築，依照過去經驗不需要繪製數位單元生產圖。

• 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的數位單元生產圖是因為要單元生產自由形體的樓梯而繪製。非數位建築的圖說中，由於非數位建築的單元往往可以模矩化，進而大量生產，因此不需要繪製數位單元生產圖。

(2) 繪製建築案例數位單元生產圖時，是否有遇到問題或是困難？試簡單說明。

• 共生住宅設計專家：

繪製共生住宅數位單元生產圖，最大的困難點，就是如何標註尺寸。單元生產階段會需要用到的數據，都必須一一標註清楚。圖上物件的每一條直線都有標註。最困難的是，要如何標註在物件非直線的邊上。共生住宅數位單元生產圖中，有非直線邊緣的物件占全部 16 個物件中的 2 個，皆是以圓角方式處理。因此我在這張圖上的標註方式是先將圓角兩端得直線延伸，標示其角度，再標註圓角的直徑，如此一來，單元生產所需要的圓角資訊就標示清楚了。

• 水墨狂草之屋設計專家：

繪製水墨狂草之屋的數位單元生產圖，很快就發現，圖上的每個物件的任一條邊緣都不是直線。因此會造成標註上的困難。我的解決方法是置入一張等比例的座標軸於其中，藉由座標軸所產生的格線，讓圖上每個物件的尺寸有了參考數據。另外，圖上的物件的呈現方式，與另一張圖：「數位數位單元組裝圖」一致，如此一來才得以將兩張圖互相參照。

4.4 數位單元組裝圖

第一部分

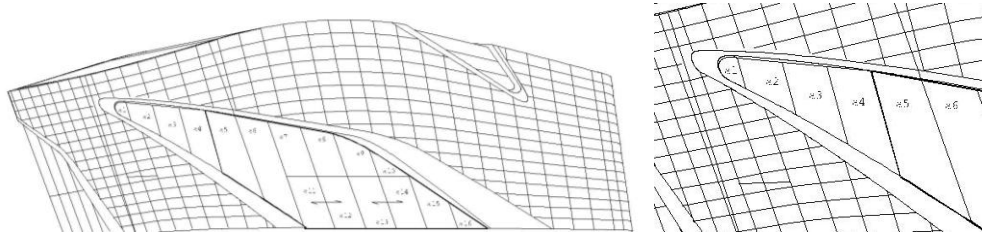


圖 4-7 共生住宅的數位單元組裝圖(部分列舉) ，圖左為原圖，圖右為局部放大

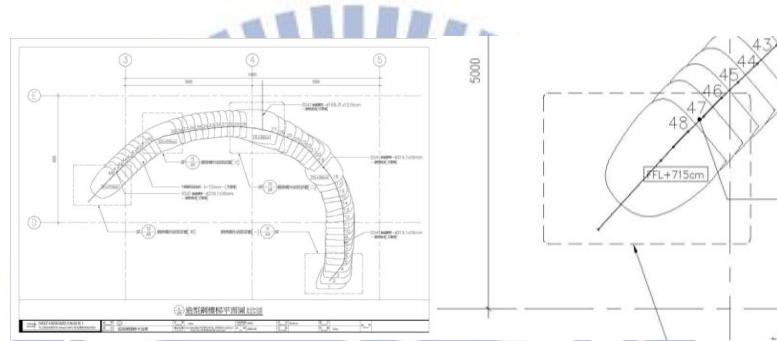


圖 4-8 水墨狂草之屋的數位單元組裝圖(部分列舉) ，圖左為原圖，圖右為局部放大

(1) 建築案例數位單元組裝圖的機能為何？是否有表達不清楚之處？

• 共生住宅設計專家：

共生住宅的數位單元組裝圖無法單獨存在，因為上面的資訊，例如編號，都是要和有同樣編號的物件的數位單元生產圖互相參照。共生住宅的數位單元組裝圖是共生住宅立面圖的一部份。上面的玻璃有編號，目的是用於建造流程中的「組裝」及「預組裝」。

• 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的這張數位單元組裝圖，是針對水墨狂草之屋屋內的自由形體樓梯的「預組裝」及「組裝」階段而繪製，提供相關建築資訊方便組裝之用。除了標示樓梯的相關建築資訊，同時每一階上面也有編號，和有同樣編號物件的數位單元生產圖視為圖組。

(2) 建築案例數位單元組裝圖說是否有表達內容的形狀？如果有，用了甚麼方式表達？

- 共生住宅設計專家：

在共生住宅的數位單元組裝圖的「形狀」，是針對要組裝的物件，以本圖而言就是玻璃。雖然玻璃以外還有很多其他物件，但其他物件都只是表示欲組裝的單元和週遭物件的相對位置而已。同樣的，這些物件的形狀都由粗細不同的線條以及不同的線型表達，例如實線以及虛線。

- 水墨狂草之屋設計專家：

在這張水墨狂草之屋的數位單元組裝圖上的形狀，主要是呈現樓梯單元在「預組裝」及「組裝」階段該怎麼被組合。形狀的表達方式包括粗細不同的線段和不同的實虛線型。

(3) 建築案例數位單元組裝圖說是否有表達內容的比例？如果有，用了甚麼方式表達？

- 共生住宅設計專家：

共生住宅的數位單元組裝圖並沒有標示比例，因為本圖的概念接近索引圖，另外有詳圖可以參考。因此本圖上沒有比例。

- 水墨狂草之屋設計專家：

這張水墨狂草之屋的數位單元組裝圖中，有兩種表達比例的方式，包括文字說明(S:A3=1/40; S:A1=1/20)、以及標註的數字跟實際長度的比率都可以做為比例的參考值。

(4) 建築案例數位單元組裝圖說是否有表達內容的尺寸？如果有，用了甚麼方式表達？

- 共生住宅設計專家：

如同先前所提到的，共生住宅的數位單元組裝圖，只是在「預組裝」及「組裝」時參考之用。因此沒有尺寸等建築資訊。

- 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的數位單元組裝圖有用標註方式表達內容尺寸，但僅標註在大範圍的幾個重要參考點，與其說是標註，更像是座標的概念。

第二部分

本研究制定的「數位單元組裝圖」的定義有三點。第一點，此類圖面是為了輔助數位建築的「單元生產」、「預組裝」及「組裝」階段而產生；第二點，此類圖說會有與其對應的「數位單元生產圖」。不只是互為圖組，兩種圖皆會有同樣的建築單元，並且單元上有相同的編號；第三點，清楚標註各單元相關的建築資訊以利單元組裝。符合以上三點才得以稱之為數位單元組裝圖。

(1) 本研究制定的數位單元組裝圖初步規範，是否有傳達出建築案例數位單元組裝圖說的機能？試比較兩者，並說出有何異同？

• 共生住宅設計專家：

共生住宅的數位單元組裝圖是為了組裝已生產的建築單元，因此在機能上符合數位數位單元組裝圖的第一點定義：此圖說是為了輔助數位建築的「單元生產」、「預組裝」及「組裝」階段而產生。因此在機能上完全一致。

• 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的數位單元組裝圖是為了組裝自由形體樓梯，也有相互參照的數位單元生產圖，完全符合研究所制定的數位單元組裝圖規範。

(2) 本研究制定的數位單元組裝圖初步規範，是否有傳達出建築案例數位單元組裝圖的形狀？試比較兩者，並說出有何異同？

• 共生住宅設計專家：

共生住宅的數位單元組裝圖中的形狀，主要是呈現玻璃(與同組的數位單元生產圖一致)，在形狀的呈現上，和研究所制定的數位單元生產圖規範相比，兩者沒有差異。

• 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的數位單元組裝圖和研究制定的數位單元組裝圖規範，重點都是呈現建築單元組裝後的結果。但是由於配合水墨狂草之屋數位單元組裝圖的另有 5 張剖面詳圖，加上本圖呈現方式接近頂視圖。因此部分建築單元的形狀因為前後距離的關係，有部分被遮蓋住，必須從其他圖中才能完整組裝。和制定的數位單元生產圖規範相比，在形狀的呈現上兩者沒有差異。

(3) 本研究制定的數位單元組裝圖初步規範，是否有傳達出建築案例數位單元組裝圖的比例？試比較兩者，並說出有何異同？

- 共生住宅設計專家：

共生住宅的數位單元組裝圖並沒有標示比例，雖然因為本圖的概念接近索引圖，且另外有詳圖可以參考。但由研究所制定的數位單元組裝圖定義，圖上應該要「清楚標註各單元相關的建築資訊以利單元組裝」，因此共生住宅的數位單元組裝圖應該要加上更多的建築資訊，例如比例尺或是以文字註明比例。

- 水墨狂草之屋設計專家：

單元組裝圖初步規範與水墨狂草之屋單元組裝圖的比例呈現方式一致，包括文字說明、以及標註的數字跟實際長度的比率都可以做為比例的參考值。

- (4) 本研究制定的數位單元組裝圖初步規範，是否有傳達出建築案例數位單元組裝圖的尺寸？試比較兩者，並說出有何異同？

- 共生住宅設計專家：

如同先前所提到的，共生住宅的數位單元組裝圖，只是在「預組裝」及「組裝」時參考之用。因此沒有尺寸等建築資訊。但研究所制定的數位單元組裝圖定義中提到，圖上應該要「清楚標註各單元相關的建築資訊以利單元組裝」，因此共生住宅的數位單元組裝圖應該要加上更多的建築資訊，例如標註或是座標軸。

- 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的數位單元組裝圖有以標註方式表達內容尺寸，但僅標註在大範圍的幾個重要參考點，與其說是標註，更像是座標。但足以呈現組裝所需要的建築資訊，因此與研究所制定的數位單元組裝圖相符。

第三部分

- (1) 建築案例數位單元組裝圖是否因為數位建築的設計到建造而繪製？非數位建築有同樣的圖說嗎？

- 共生住宅設計專家：

和共生住宅的數位單元生產圖一樣，從過去實作中經驗得知，數位建築在設計到建造的流程之中，會經過預組裝及組裝的流程，前者是為了測試組裝流程中是否會出現問題，後者將會發生在基地現場。因此，為了預組裝及組裝階段而產生的圖說：數位單元組裝圖，是因應數位建築設計到建造而繪製。同樣從過去經驗中得知，非數位建築因為沒有單元生產、預組裝流程，因而不需要數位單元組裝圖。

- 水墨狂草之屋設計專家：

水墨狂草之屋的數位單元組裝圖是因應組裝自由形體的樓梯單元之需要而繪製。非數位建築的圖說中，因為沒有單元生產階段，因此不需要繪製數位單元生產圖。

(2) 繪製建築案例數位單元組裝圖時，是否有遇到問題或是困難？試簡單說明。？

- 共生住宅設計專家：

繪製共生住宅數位單元組裝圖，最大的困難點，就是如何讓先前提到的共生住宅數位單元生產圖內的單元能夠順利、精準地組裝完成。僅靠一張數位單元組裝圖很難，必須配合各個角度的詳圖，才能順利完成預組裝及組裝階段。另一個重點，就是要能清楚辨認在一組的數位單元生產圖及數位單元組裝圖當中，每個單元的編號。如此一來，借由確認兩張圖上的同一個單元的各種角度，才方便理解組裝的方法。

- 水墨狂草之屋設計專家：

繪製水墨狂草之屋數位單元組裝圖，唯一的困難就是如何將建築單元組裝的方式呈現在圖上，依照過去經驗，數位單元組裝圖的呈現方式有很多種，例如爆炸圖、立面圖、剖面圖、以及透視圖等等，更常發生的事是需要多種圖面互相參照才得以順利組裝。

4.5 訪談資料整理

數位平面圖

(1) 機能

關於數位平面圖的「機能」因子，平面圖部分相關規定與既有規範的平面圖無異，主要是數位平面圖更凸顯「座標點」的重要性，強調應標示重要的建築結構或建築元素的座標，將會讓施工單位更容易理解重要建築結構及建築元素準確的位置。雖然也可以透過座標軸推算，但推算的值不精準。建議仍需要以標示座標的方式，讓設計師及施工者，更容易理解數位平面圖的內容。

(2) 形狀

關於數位平面圖的「形狀」因子，因為數位平面圖的定義包括了既有的平面圖定義，物件的形狀都由粗細不同的線條以及不同的線型表達，例如實線以及虛線。但要注意座標軸可能會影響圖中形狀的判讀。

(3) 比例

關於數位平面圖的「比例」因子，圖上表達比例的方式有幾種。第一種是比例尺，第二種是文字說明(例如：**S:1/150**)，第三種是從標註的數字和實際尺寸之比值來判斷，第四種是以座標軸的方式呈現。

(4) 尺寸

關於數位平面圖的「尺寸」因子，尺寸的建築資訊可以透過幾種方法得知：第一種是圖的比例，藉由圖的比例加上實際長度，經由運算可以得知圖上物件的尺寸；第二種是經由標註上的數字。假如圖中的物件非由直線組成、或是非直線但有標註的需要，建議強化座標的概念，會讓圖上的尺寸更清楚，因為由座標點加上數學的運算之後，可以得知兩點間的長度，有更多參考數據。

(5) 數位建築圖說

無論是否數位建築，在建築設計到建造的流程之中都必須繪製平面圖。但是數位建築平面圖，相較於既有的平面圖規範，更強化座標及座標點的存在，座標點的強化將會提供更多的數據與資訊，因而適用於數位建築。

(6) 問題及困難

繪製數位平面圖的困難在於如何標註，因為在標註流程中與一般平面圖無異，但是標註非正交系統的物件尺寸卻十分困難，一種解決的方式是透過原點(放樣點)加上座標軸，但要注意太多標註會增加閱讀圖上資訊的困難。

數位結構剖面圖

(1) 機能

關於數位結構剖面圖的「機能」因子，數位結構剖面圖緣自於結構剖面圖。它的機能是垂直剖開建築的結構部分，針對結構部分呈現施工者需要的資訊，包括編號、位置、尺寸等等。圖中除了結構剖面之外，另外有重要的建築資訊，包括結構之標號、座標位置(X 軸座標、Y 軸座標、以及視需要加上 Z 軸座標)。另外，要注意若座標軸與建築結構剖面重疊，會增加閱讀數位剖面圖的困難。

(2) 形狀

關於數位結構剖面圖的「形狀」因子，就是指被剖到的結構部分，包括建築表皮、樑的位置、以及表皮的相關座標點。如同既有的結構剖面圖，這些物件的形狀都由粗細不同的線條以及不同的線型表達，例如實線以及虛線。

(3) 比例

關於數位結構剖面圖的「比例」因子，共生住宅的結構剖面圖上表達比例的方式有四種。包括比例尺的繪製、文字說明(例如：**S:1/100**)、標註的數字跟實際長度的比率、以及座標軸，都可以做為比例的參考值。

(4) 尺寸

關於數位結構剖面圖的「尺寸」因子，數位結構剖面圖的尺寸可以從三個地方得知。第一個是圖的比例，藉由圖的比例加上在圖上實際測量後的長度，經由運算後可以得知圖上物件的尺寸；第二個則是經由標註上的數字；第三個則是透過圖的比例尺、座標軸以及座標的資訊仍然可以得知。透過座標點的數學計算，計算出兩點間的尺寸，數位結構剖面圖也是如此。

(5) 數位建築圖說

無論是否數位建築，在建築設計到建造的流程之中都必須繪製結構剖面圖。但是數位結構剖面圖，相較於既有的剖面圖規範，更強化座標及座標點的存在。同時，數位結構剖面圖將重要的建築結構或建築元素，標示其 X 座標以及 Y 座標(視情況標示 Z 座標)。將會有助於數位建築從設計到建造的準確度。因為多個座標點可提供更多的數據與資訊。

(6) 問題及困難

數位結構剖面圖，在繪製的流程中與一般結構剖面無異，但是由於每一個被剖到的結構，都必須要標示其座標，因而在座標的數據取得上耗費大量時間，且為重複的動作(點選建築結構或建築元素後，再將數位空間中的座標值註記在圖面上)。這些座標取得所花的時間超過製圖所花的時間的一半。

數位單元生產圖

(1) 機能

關於數位單元生產圖的「機能」因子，數位單元生產圖是因應數位建築從設計到建造流程的需要而出現，為了「單元生產」階段之用。為了在建造流程中，能夠精準施工，因此就需要繪製數位單元生產圖以生產建築單元之用。同時，數位單元生產圖應以正射投影法所繪製；為了建造流程中的生產、預組裝、及組裝階段之需要，每一個建築單元上皆標示編號。

(2) 形狀

關於數位單元生產圖的「形狀」因子，在數位單元生產圖中的每一個物件皆由粗細不同的線條以及不同的線型表達，例如實線以及虛線，以正投影法呈現。

(3) 比例

關於數位單元生產圖的「比例」因子，為了數位建築建造流程中的生產、預組裝、及組裝階段之需要，以及訪談的結果。本研究建議比例仍然應該要明確註明在圖上，可能註明的方式包括比例尺的繪製、文字說明(例如：**S:1/100**)、標註的數字跟實際長度的比率、以及座標軸，都可以做為比例的參考值。

(4) 尺寸

關於數位單元生產圖的「尺寸」因子，同樣為了數位建築建造流程中的單元生產之需要，本研究建議尺寸仍然應該要明確註明在圖上。尺寸的建築資訊可以透過幾種方法得知：第一種是圖的比例，藉由圖的比例加上實際長度，經由運算可以得知圖上物件的尺寸；第二種是經由標註上的數字。假如圖中的物件非由直線組成、或是非直線但有標註的需要，建議強化座標的概念，會讓圖上的尺寸更清楚，因為由座標點加上數學的運算之後，可以得知兩點間的長度，有更多參考數據。

(5) 數位建築圖說

數位單元生產圖，是因應數位建築設計到建造流程中的「單元生產」階段之需要而繪製。從過去實作中經驗得知，如果設計是數位建築且為自由形體，在設計到建造的流程之中，會經過單元生產的流程。這是由於數位建築的建築單元必須大量客製化的結果。數位單元生產圖是因應數位建築設計到建造的需要，而新出現的新圖說。

(6) 問題及困難

繪製數位單元生產圖，最大的困難點，就是如何標註尺寸。單元生產階段會需要用到的數據，都必須一一標註清楚。圖上物件的每一條直線都有標註。最困難的是，要如何標註在物件非直線的邊上。其中一種解決方法是置入一張等比例的座標軸於其中，藉由座標軸所產生的格線，讓圖上每個物件的尺寸有了參考數據。另外，圖上的物件的呈現方式，與另一張圖：「數位單元組裝圖」一致，如此一來才得以將兩張圖互相參照。一張數位單元生產圖可能有數張數位單元組裝圖形成圖組。

數位單元組裝圖

(1) 機能

關於數位單元組裝圖的「機能」因子，數位單元組裝圖無法單獨存在，因為上面的資訊，例如編號，都是要和有同樣編號的物件的數位單元生產圖互相參照，有共同單元、且單元上有相同編號的數位單元生產圖以及數位單元組裝圖互為「圖組」。數位單元組裝圖是為了輔助數位建築的「單元生產」、「預組裝」及「組裝」階段而產生。

(2) 形狀

關於數位單元組裝圖的「形狀」因子，所謂數位單元組裝圖的「形狀」，就是指要組裝的單元物件。這些單元物件的形狀都由粗細不同的線條以及不同的線型表達，例如實線以及虛線。有時候數位單元組裝圖中的單元物件的形狀不是完整呈現，例如頂視圖中部分建築單元的形狀因為前後距離的關係而被遮蓋住，必須從其他圖中才能完整組裝。因此一張數位單元生產圖可能和數張數位單元組裝圖形成圖組。

(3) 比例

關於數位單元組裝圖的「比例」因子，為了數位建築建造流程中的預組裝及組裝階段之需要，以及訪談的結果。本研究建議比例仍然應該要明確註明在圖上，可能註明的方式包括比例尺的繪製、文字說明(例如： $S:1/100$)、標註的數字跟實際長度的比率、以及座標軸，都可以做為比例的參考值。

(4) 尺寸

關於數位單元組裝圖的「尺寸」因子，同樣為了數位建築建造流程中的預組裝及組裝階段之需要，本研究建議尺寸仍然應該要明確註明在圖上。尺寸的建筑資訊可以透過幾種方法得知：第一種是圖的比例，藉由圖的比例加上實際長度，經由運算可以得知圖上物件的尺寸；第二種是經由標註上的數字。假如圖中的物件非由直線組成、或是非直線但有標註的需要，建議強化座標的概念，會讓圖上的尺寸更清楚，因為由座標點加上數學的運算之後，可以得知兩點間的長度，有更多參考數據。

(5) 數位建築圖說

從過去研究及前一小節的訪談中得知，數位建築在設計到建造的流程之中，會經過預組裝及組裝的流程，前者是為了測試組裝流程中是否會出現問題，後者將會發生在基地現場。因此，為了預組裝及組裝階段而產生的圖說：數位單元組

裝圖，是因應數位建築設計到建造而繪製。換句話說，數位單元組裝圖是因應數位建築設計到建造的需要，而新出現的新圖說。

(6) 問題及困難

繪製數位單元組裝圖，最大的困難點，就是如何讓同樣是組圖中的的數位單元生產圖，圖內的單元能夠順利、精準地組裝完成。僅靠一張數位單元組裝圖很難，必須配合各個角度的詳圖，才能順利完成預組裝及組裝階段。同時，另一個重點，就是圖組中的數位單元生產圖及數位單元組裝圖，每個單元的編號要能清楚辨認。如此一來，藉由確認兩種圖上的同一個單元的各種角度，才得以充分理解組裝的方法。

4.6 初步規範修正

數位平面圖

數位平面圖的初步規範並沒有需要修正之處。數位平面圖定義有三點：第一點，平面圖的相關規定與既有規範的平面圖無異；第二點，數位平面圖是為了要設計或建造數位建築之用；第三點，引進座標軸的概念，會清楚定義原點(放樣點)位置，且會將重要的建築結構或建築元素標示座標。

數位結構剖面圖

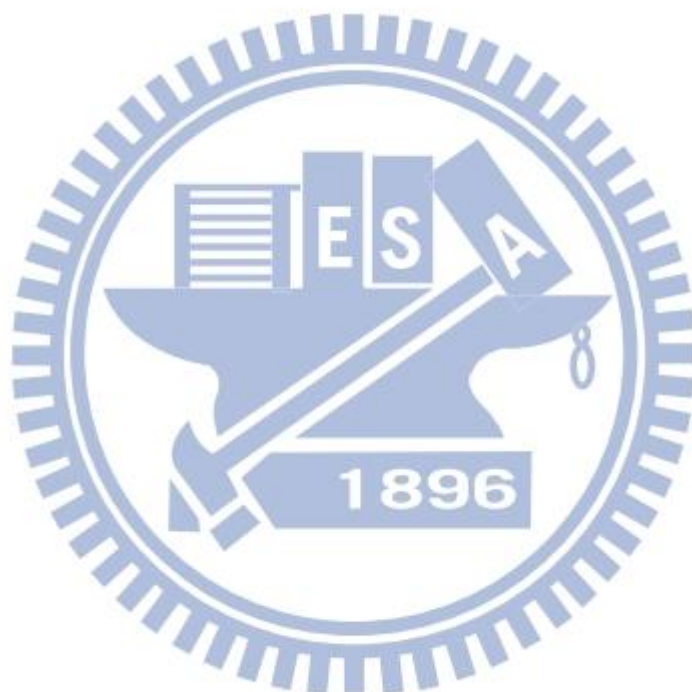
數位結構剖面圖的初步規範不需修正。因此本研究確認數位結構剖面圖的規範有三點。第一點，其剖面圖的相關規定與既有規範的剖面圖無異；第二點，此類剖面圖是為了要設計或建造數位建築之用；第三點，引進座標軸的概念，清楚定義原點位置，將重要的建築結構或建築元素標示座標(包括 X 座標、Y 座標、以及視情況標註 Z 座標)。

數位單元生產圖

根據前一小節訪談的結果，本研究認為「比例」為數位單元生產圖中重要的建築資訊，需要被呈現在圖中，因此修正數位單元生產圖的規範。數位單元生產圖的定義包括四點：第一點，此圖是為了數位建築設計到建造的「單元生產」階段之用；第二點，以正射投影法繪製；第三點，每一個建築單元皆需要標示編號，這些編號是為了數位建築單元生產階段之用，以方便數位建築建造流程中的預組裝及組裝階段；第四點，應註明單元生產階段需要的建築資訊，包括形狀、尺寸、比例等。符合以上四點才得以稱之為數位單元生產圖。

數位單元組裝圖

根據前一小節訪談的結果，本研究認為「形狀」、「比例」、和「尺寸」為數位單元生產圖中重要的建築資訊，需要被呈現在圖中，因此修正數位單元組裝圖的規範。「數位單元組裝圖」的定義有三點：第一點，數位單元組裝圖是為了輔助數位建築的「預組裝」及「組裝」階段而產生；第二點，此類圖說會有與其對應的「數位單元生產圖」。不但互為圖組、兩種圖皆會有同樣的建築單元，並且單元上有相同的編號；第三點，清楚標註各單元相關的建築資訊以利單元組裝，包括形狀、比例、和尺寸等。符合以上三點才得以稱之為數位單元組裝圖。



5 規範程式化

5.1 程式撰寫目的

因為數位建築設計者必須多繪製數倍於非數位建築圖說的圖量，進而導致數位建築設計到建造的流程相較於非數位而言耗費大量人力及時間。為解決此問題，本步驟將撰寫一套參數化程式來自動衍生符合前一章所得到的數位建築圖說新規範。

前一章本研究制定數位建築圖說規範之後，接下來的目標就是希望這個規範能夠落實在實務上。所謂落實在實務上，就是指設計師能夠獨立繪製出符合新規範的建築圖說，將其應用在設計案上。本研究將透過目前數位建築設計者常用的軟體，以撰寫程式碼的方式設計一個自動參數化產生新媒材的程式，未來只需要提供建築設計的數位模型以及給定相關數值，則此程式將會自動參數化產生新建築圖說。

程式撰寫的重點在於，將重複性的人力工作，交由電腦(程式)取代之。本研究從四種數位建築圖說中，選擇「數位結構剖面圖」做為程式撰寫的主題。有三點原因：第一點，數位平面圖要呈現的資訊繁複，不同案子的內容差異甚大，不屬於重複性的工作；第二點，數位單元生產圖主要的繪製方式，已有大量過去研究及既有的程式可以輔助完成；第三點，數位單元組裝圖，此種圖的呈現方式多元，沒有固定的呈現方式，因而不適合以程式輔助撰寫。

又根據前一章的訪談得知，數位結構剖面圖在繪製的流程中與一般結構剖面無異，但是由於每一個被剖到的結構，都必須標示其座標，因而在座標的數據取得上耗費大量時間，且為重複的動作，例如點選建築結構或建築元素後，再將數位空間中的座標值註記在圖面上。這些座標取得所花的時間，超過製圖所花的時間的一半。

倘若每一張數位結構剖面圖說都由人工繪製(每一點都是由人力確認座標後再註明在圖上)，將花費大量時間與人力成本，本研究將透過目前數位建築設計者常用的軟體，以撰寫程式碼的方式設計一個自動參數化產生符合數位結構剖面圖的程式，未來只需要提供建築設計的數位模型以及給定相關數值，則此程式將會自動參數化產生數位結構剖面圖說。

5.2 程式撰寫流程分析

開始程式撰寫以前，必須先了解目前數位建築的設計到建造主要的軟體有哪些。本研究所撰寫的程式將為這些主要的建築軟體之一所產生的數位模型，轉為符合規範的建築結構剖面圖說。

因此，程式撰寫流程分析步驟如下：第一步，研究當今數位建築設計師主要的建模軟體；第二步，分析設計師原先繪製數位結構剖面圖之繪圖習慣；第三步，分析數位結構剖面圖的規範，將數位結構剖面圖規範寫成條列式，以方便之後改寫成程式；；第四步，以儘量符合設計師繪圖習慣的方式，撰寫一套能夠自動繪製數位結構剖面圖之圖面的程式；第五步，增加程式功能，在數位結構剖面圖上標註文字及建築資訊；第六步，輸出完整數位結構剖面圖圖檔。

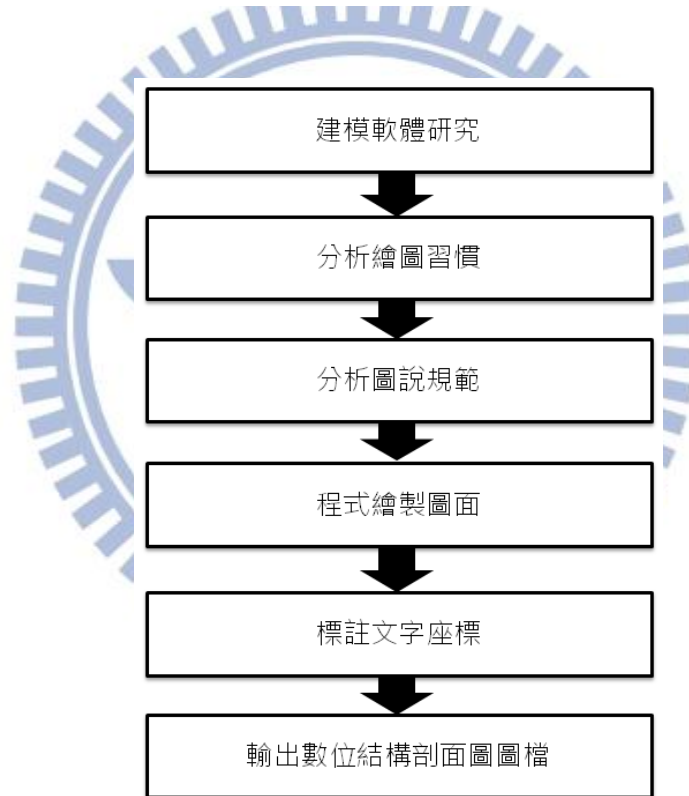


圖 5-1 程式撰寫流程圖

5.3 軟體選擇

台灣常用的建築建模常用的軟體包括：3DS MAX、Bonzai 3D、CATIA、FormZ、Maya、Rhinceros 3D(簡稱 Rhino3D)、Sketch Up 等，其中現在數位建築建模最常用的軟體為 Rhinceros 3D，主要原因是因為 Rhinceros 3D 本身

與 AutoCAD 的相容性高，且 Rhinoceros 有一個外掛程式(Plug-in)叫做 Grasshopper 方便數位建築進行程式撰寫、參數化設計以及建模，是最適合本研究撰寫程式之用。

Rhinoceros 3D 由位於美國西雅圖的 Robert McNeel and Associates (McNeel) 公司於 1992 年開始開發，1998 年發售 1.0 版，目前最新版為 Rhino 5.0。本研究將以 Rhino 5.0 做為平台，加上外掛程式 Grasshopper 進行數位結構剖面圖的程式撰寫

5.4 程式撰寫目標

程式可以分為兩個部份，第一部分是關於數位結構剖面圖的圖面；第二部分是著重在數位結構剖面圖的文字。關於圖面部分：步驟一，將設計完成後的建築結構模型，輸入進 Rhino 5.0；步驟二，經由繪製圖面的數位建築設計師給的條件：(1)在頂視圖上標出剖面線位置、(2)標示剖面線要投影的方向；步驟三，程式將自動化輸出一張剖面圖(圖上沒有任何文字)。

文字部份詳細步驟如下，步驟一：輸入/開啟第一部分的剖面圖；步驟二：選取要標示座標的重要建築結構；步驟三：程式將自動化將建築相關資訊輸出於圖上，包括編號、X 座標、Y 座標；步驟四，將數位結構剖面圖完整輸出(包括圖以及文字)。

5.5 設計師繪圖習慣

再撰寫數位結構剖面圖程式以前，本研究藉由專家訪談的機會，先了解設計師透過數位軟體繪製數位結構剖面圖的習慣。再分析這些繪圖習慣，將其拆解成數個步驟。本研究希望數位結構剖面圖程式會是設計師容易學習、容易使用的工具，因此，將在儘量少改變設計師習慣的情形之下，撰寫設定程式的使用方式。設計師繪圖習慣分解步驟如下：

- (1) 繪製一個參考點(建議參考平面圖的放樣點)，以做為標示座標之用。以剖面線為基準，旋轉所有數位檔案內容，使剖面線最後平行於X軸。

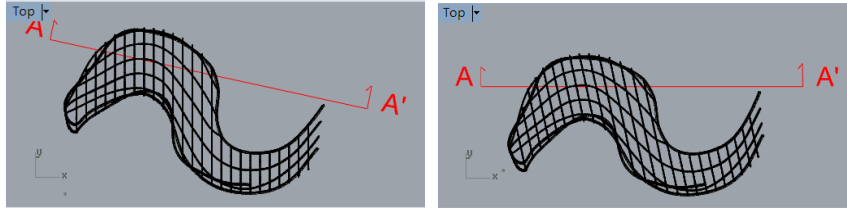


圖 5-2 設計師繪圖習慣第一步

(2) 以剖面線為基準，垂直於XY軸延伸成一道平面。

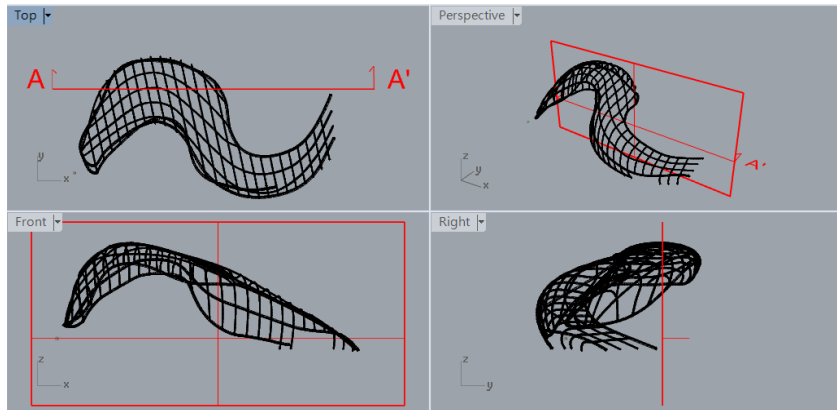


圖 5-3 設計師繪圖習慣第二步

(3) 以前一步驟的平面為基準，往剖面線的相反方向延伸成立方體，深度需覆蓋剖面線的相反方向的所有模型。

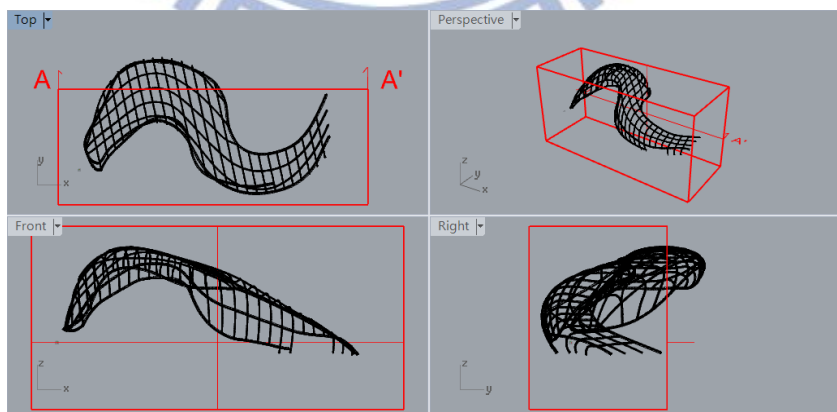


圖 5-4 設計師繪圖習慣第三步

(4) 將前一步驟的立方體與數位模型做差集(Solid difference)，消去立方體中，所有有和立方體中有交集的模型部分。

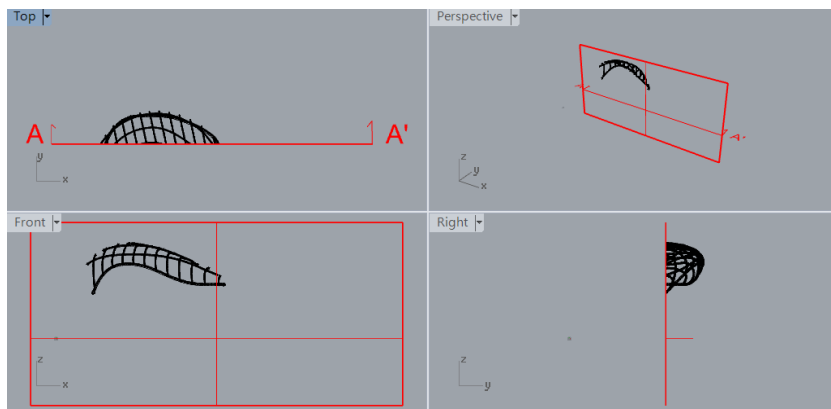


圖 5-5 設計師繪圖習慣第四步

(5) 標出圓管中心線，用以標示座標。

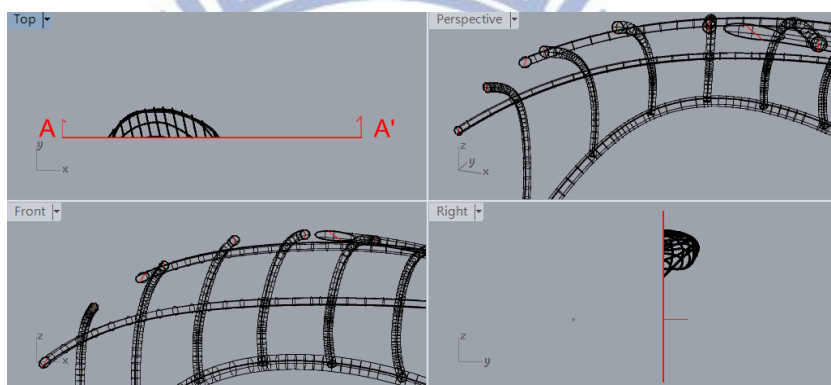


圖 5-6 設計師繪圖習慣第五步

(6) 將前視圖(Front view)使用”Make2D”投影在頂視圖(Top view)。此圖即為數位結構剖面圖的圖面部份。

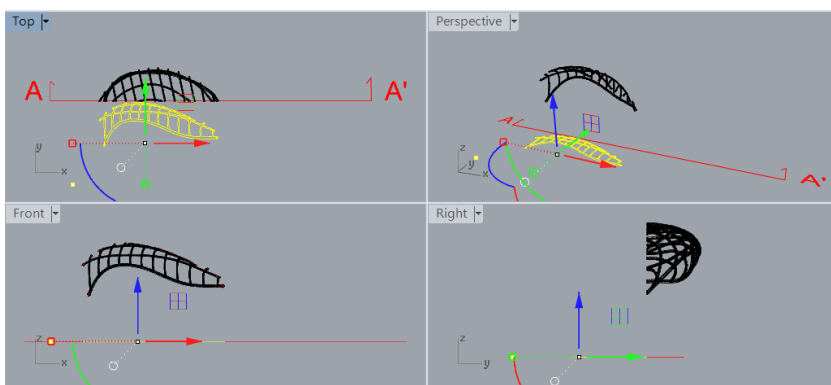


圖 5-7 設計師繪圖習慣第六步

- (7) 如果習慣用AutoCAD標示座標，則選取投影圖(包括參考點)，以”匯出選取物件”指令，匯出成AutoCAD檔案格式。如果習慣用Rhino 5.0標示座標，則不需匯出，直接標示。
- (8) 清除圖面及參考點以外的物件，將參考點設置在原點。將每根需標示的結構一一標示代號，以及座標，完成後即完成數位結構剖面圖的文字部分。下圖以AutoCAD檔案為例。



圖 5-8 設計師繪圖習慣第八步

- (9) 視需要輸出成圖檔，完成數位結構剖面圖。

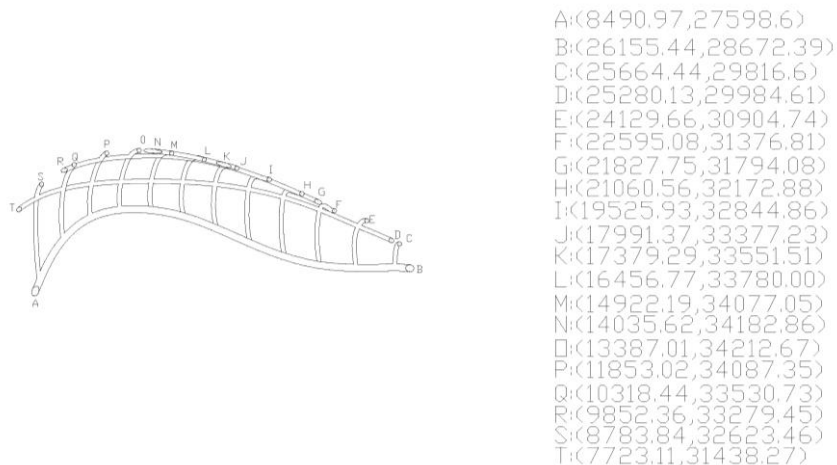


圖 5-9 設計師繪圖習慣第九步

5.6 程式撰寫步驟

圖面電腦應用

(1) 輸入模型

在 Rhino 5.0 中，開啟設計完成後的建築結構模型。為了將模型匯入程式寫作平台 Grasshopper，在程式內建立”Geometry”(圖示顯示為”GEO”)，再將所有的幾何模型，選擇”Set Multiple Geometries”，對應到程式內的”GEO”。

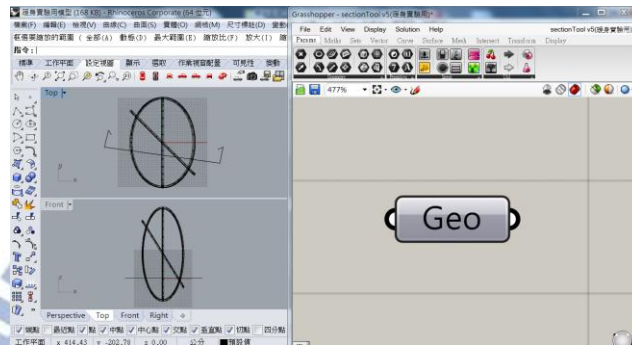


圖 5-10 圖面電腦應用程式撰寫步驟第一步

(2) 輸入剖面線以生產剖面

參考設計師的繪圖習慣，模型輸入之後，也要將剖面線輸入進 Grasshopper。程式之中。為了要將指定剖面線輸入至程式之中，本研究的方式是透過「輸入兩點連成一線」的方式，輸入兩個”Point”(程式顯示為 Pt)，程式使用者只需要在剖面線上任選兩點，選擇”Set one Point”，對應到前述的兩個 Pt 圖示，就可以將剖面線輸入至 Grasshopper。由於剖面線有方向性，本研究設定依照剖面線方向，上面的 Pt 圖示輸入點的位置，要在下面的 Pt 圖示輸入點的位置的左側。再輸入”Line”(程式顯示 Ln)，以建立程式內的剖面線。將兩個 Pt 圖示連結 Ln 圖示左邊的兩個輸入端，即成程式內的剖面線。

接著將指定剖面線生成剖面。生成面的圖示是 Construct Plane(程式顯示為 PI)。形成面的要素包括一點、跟指定的 X 軸和 Y 軸，選前述任一的 Pt 圖示連結點的輸入端，再以前述的 PI 圖示做為 X 軸。建立一個 Z 軸向量單位(程式顯示為 Z)為 Y 軸，即形成剖面。

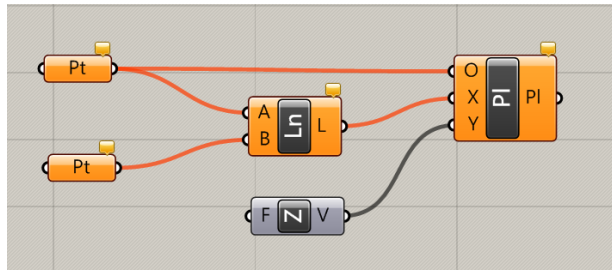


圖 5-11 圖面電腦應用程式撰寫步驟第二步

(3) 確認投影範圍

確認投影範圍，要先確認所有要投影的物件的最大邊界，程式內是用 Bounding Box(程式顯示為 BBox)。

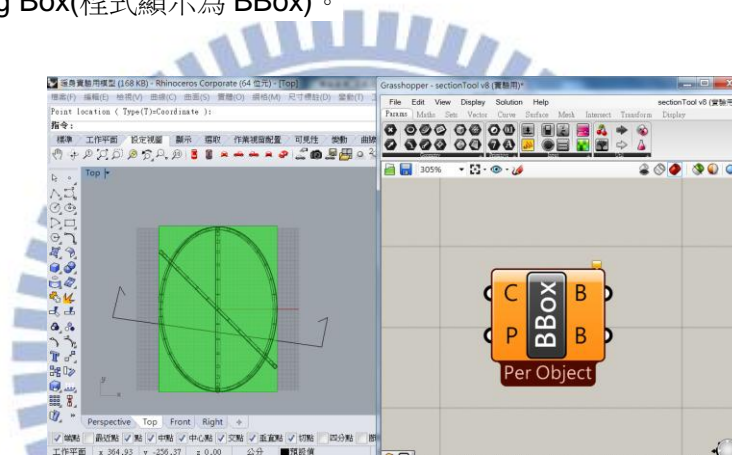


圖 5-12 圖面電腦應用程式撰寫步驟第三步

(4) 確認投影投影面及投影範圍

確認投影面及投影範圍，程式內是用 Plane Through Shape (程式顯示為 PxS)。

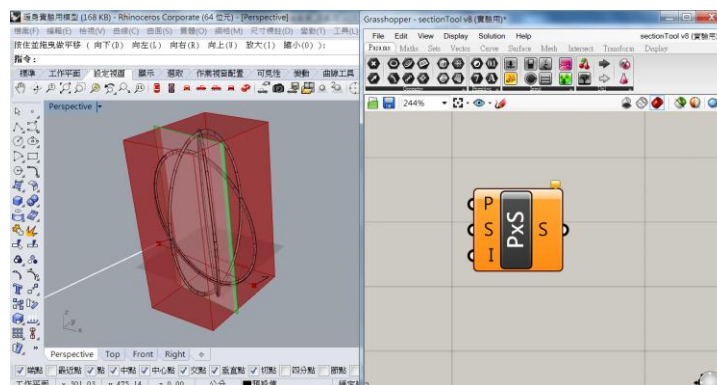


圖 5-13 圖面電腦應用程式撰寫步驟第四步

(5) 消去非剖面線方向之所有物件

用程式指令 **Box Rectangle**(程式顯示 **RoxRec**)將前一個步驟的投影範圍生成矩形性(如圖 5-14)，再以程式指令 **Solid Difference**(程式顯示 **SDiff**)將矩形與模型做差集(如圖 5-15)。

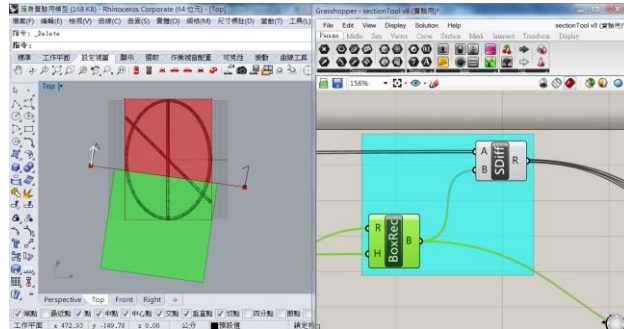


圖 5-14 圖面電腦應用程式撰寫步驟第五步之程式指令 **Box Rectangle**(程式顯示 **RoxRec**)

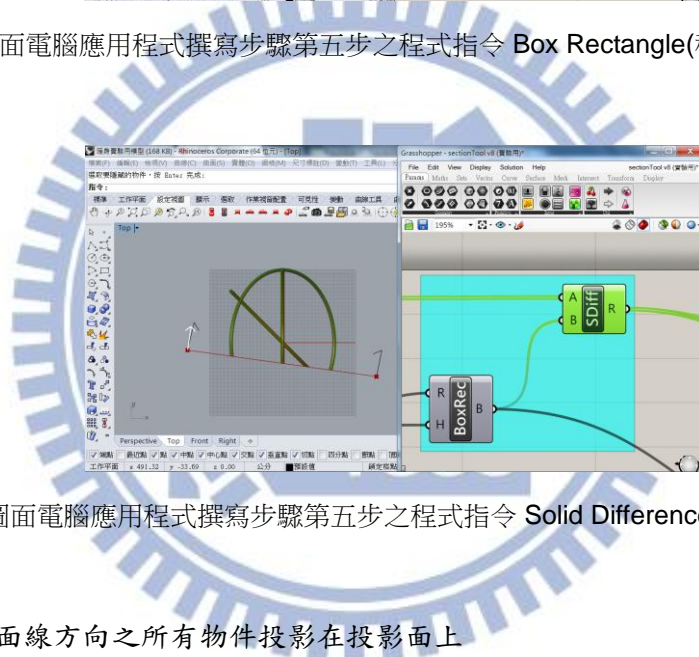


圖 5-15 圖面電腦應用程式撰寫步驟第五步之程式指令 **Solid Difference**(程式顯示 **SDiff**)

(6) 將剖面線方向之所有物件投影在投影面上

用程式指令 **Project**，將前一個步驟剩下的模型投影在步驟四的投影面上。

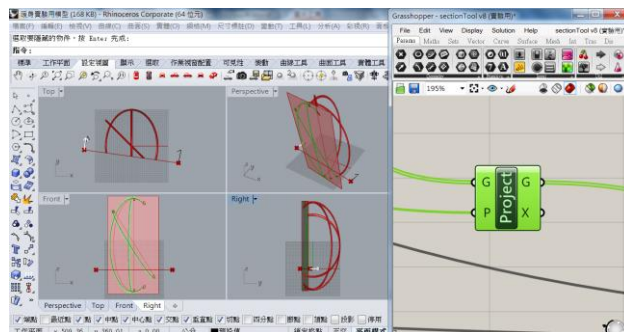


圖 5-16 圖面電腦應用程式撰寫步驟第六步

(7) 給定投影原點，顯示結構剖面圖在頂視圖上

用程式指令 Point (Pt, 本研究更改名稱為 OrientedPt)，將前一個步驟的投影面上的所有線條，顯示在頂視圖上。

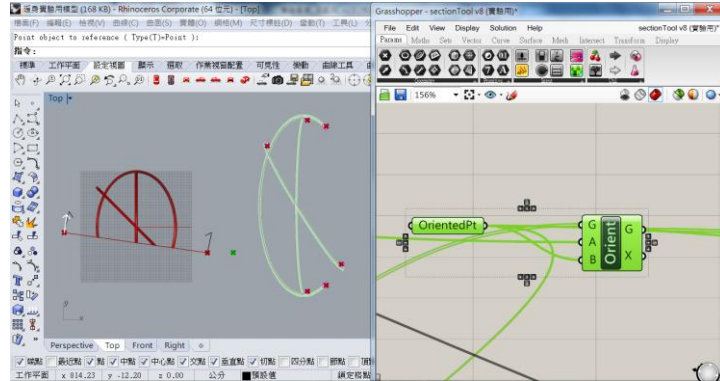


圖 5-17 圖面電腦應用程式撰寫步驟第七步

文字電腦應用

(1) 分別框選模型與剖面交集的部分(剖面線)

將剖面與模型作交集的部分(剖面線)，以程式 Bounding Box(程式顯示為 BBox)框選起來，再將這些範圍以程式 Rectangle(程式顯示為 Rec)，形成一個個矩形。

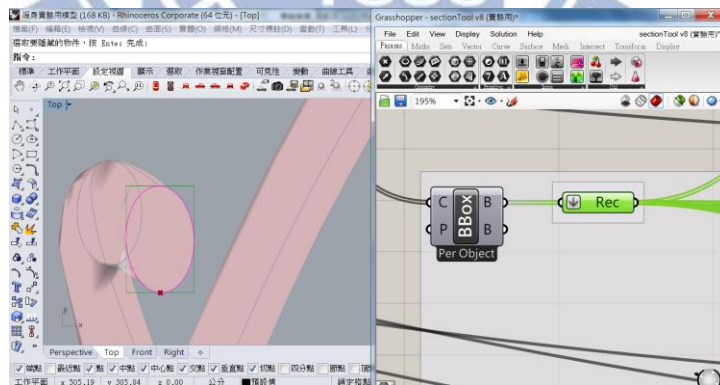


圖 5-18 文字電腦應用程式撰寫步驟第一步

(2) 記錄剖面線中心點座標

將前一步驟的剖面線外框，透過指令 Area 找出每一個外框的中心點座標，此座標就是數位結構剖面圖的結構座標。

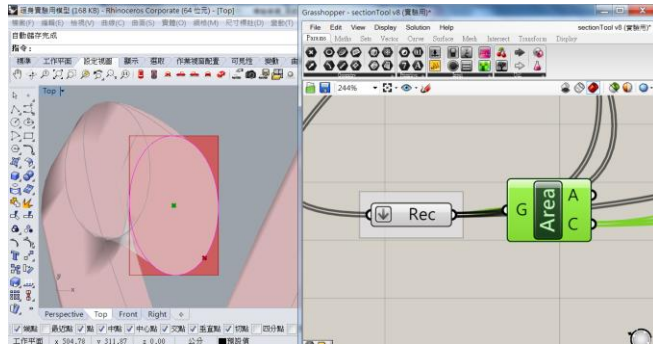


圖 5-19 文字電腦應用程式撰寫步驟第二步

(3) 剖面線編號

將第一步驟的剖面線外框，透過指令 `List Length(Lng)` 確認一共有幾個剖到的結構，再將每一個結構透流程式 `Series` 給予編號，並顯示在 Rhino 5.0 平台上。

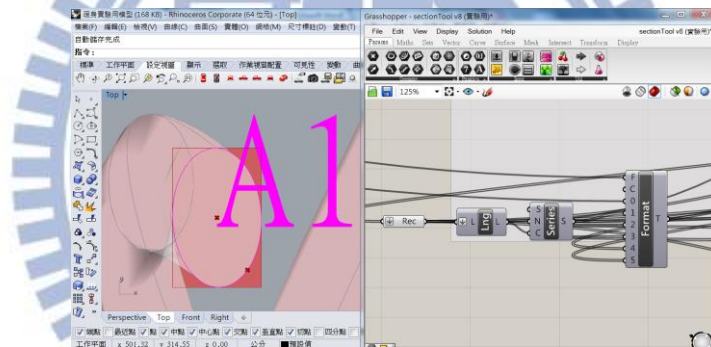


圖 5-20 文字電腦應用程式撰寫步驟第三步

(4) 設置座標顯示位置及文字相關參數

在 Rhino 5.0 平台內新增一個點，此點為結構剖面圖文字希望出現的參考點。新增一個程式 `Point(Pt)` 對應前述的點，再設定文字的大小，以及每一行文字之間間距之後，座標將會一一顯示在 Rhino 5.0 平台上。

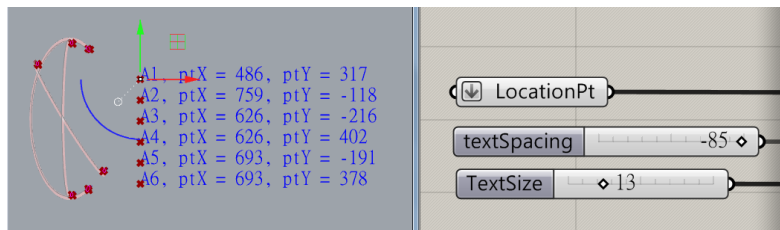


圖 5-21 文字電腦應用程式撰寫步驟第四步

(5) 數位結構剖面圖輸出(含圖及文字)

以“Bake”指令將數位結構剖面圖的圖及文字一一具象化在 Rhino 5.0 平台中，選取結構剖面圖的圖及文字，在 Rhino 5.0 的「檔案」內，找到「匯出選取的物件」並點選之。再輸入檔名以及存檔格式，即可得到數位結構剖面圖。

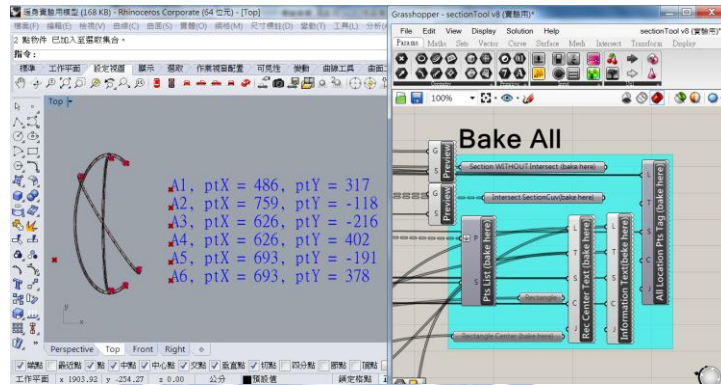


圖 5-22 文字電腦應用程式撰寫步驟第五步

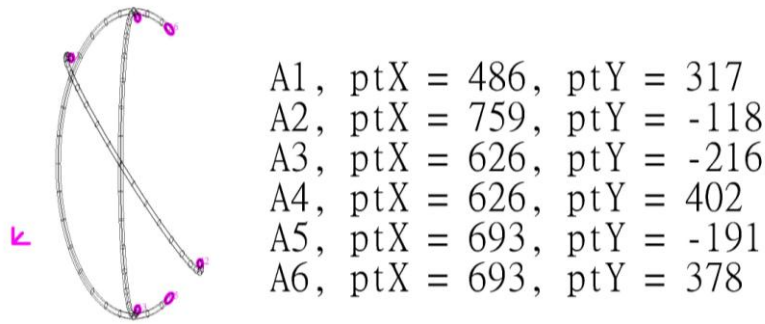


圖 5-23 程式數位結構剖面圖電腦應用結果

完整程式碼

圖 5-24 是完整的程式碼於電腦螢幕的截圖。接下來的四張局部程式碼(圖 5-25~28)，將由左至右詳細呈現程式碼內容。

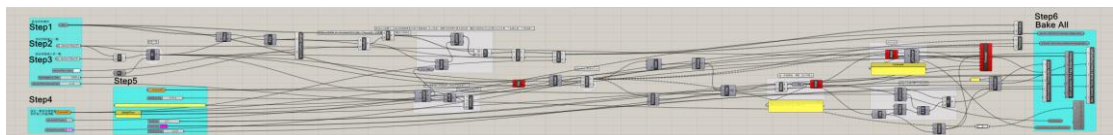


圖 5-24 完整程式碼一覽。

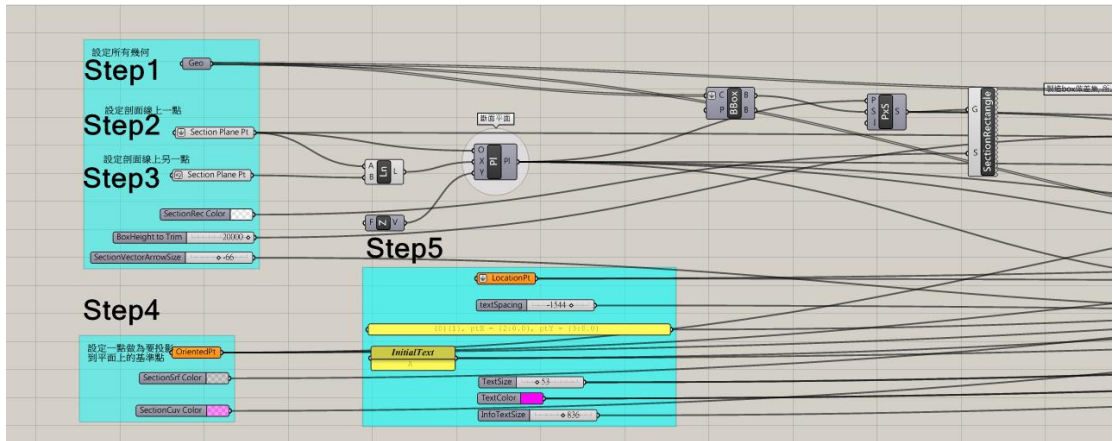


圖 5-25 局部程式碼之一

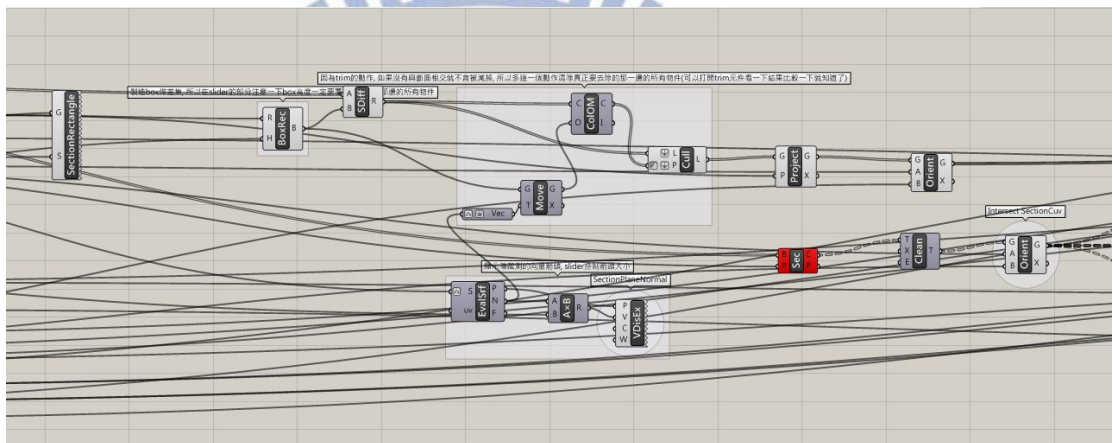


圖 5-26 局部程式碼之二

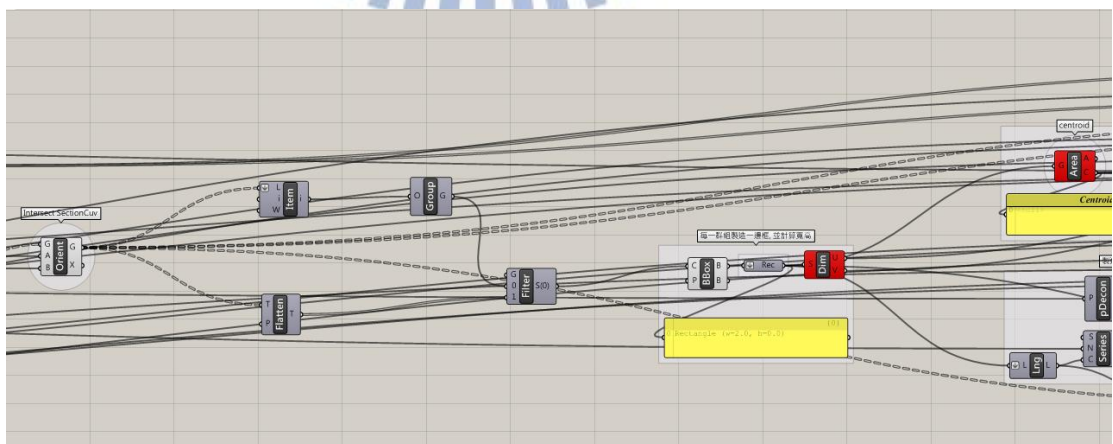


圖 5-27 局部程式碼之三

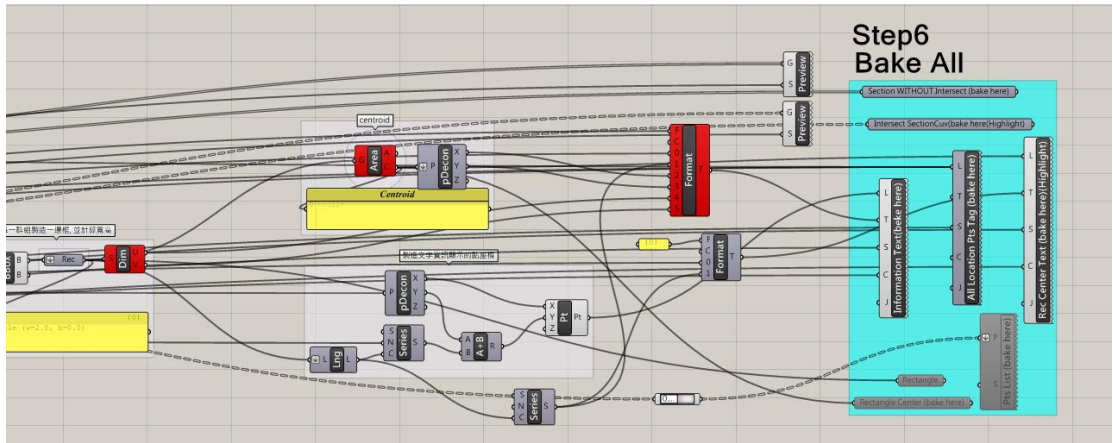
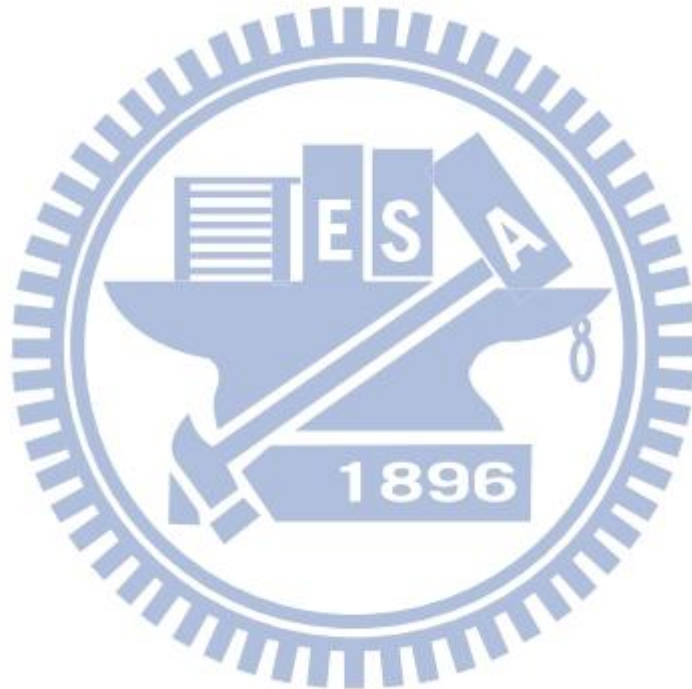


圖 5-28 局部程式碼之四



6 認知實驗

6.1 實驗計畫說明

6.1.1 實驗目的

上一章節本研究已經將規範程式化，原因是數位建築設計者必須多繪製數倍於非數位建築圖說的圖量，換句話說，數位建築設計到建造的流程相較於非數位而言耗費大量人力及時間。本研究撰寫的程式能夠自動產生符合數位結構剖面圖，未來只需要提供建築設計的數位模型以及給定相關數值，則此程式將會自動參數化產生數位結構剖面圖說。

程式撰寫的重點在於，將重複性的人力工作，交由電腦(程式)取代之。本研究希望此程式能夠落實在實務上。所謂落實在實務上，就是指設計師能夠獨立繪製出符合新規範的建築圖說，將其應用在設計案上。更重要的是，程式本身必須要比原先人工繪製圖面來的優越，包括了程式易用性(Usability)、以及圖面實用性(Utility)。

因此，為了驗證數位結構剖面圖是否可用於實務，本研究將進行實驗，實驗的對象為 15 位一年內有設計數位建築的事務所員工，測試的內容分成兩個部份：數位結構剖面圖程式的易用性以及實用性。

6.1.2 受測者選擇

本研究實驗的重點是驗證數位結構剖面圖是否可用於實務，因此受測者的身分皆為實務界人士：在建築師事務所上班的正職設計師。又因為數位結構剖面圖是專屬於數位建築設計到建造之用，所以建築師事務所限定為一年內有設計數位建築之事務所。每位受測者至少在事務所內工作一年，且平時工作時會用到數位設計軟體，包括本研究受測程式的 Rhinoceros 3D, Grasshopper, 以及 AutoCAD。之所以也需要使用 AutoCAD，是因為 AutoCAD 為台灣當今事務所最常使用的數位繪圖軟體，本程式最後輸出的檔案格式也是 AutoCAD 檔案(副檔名 DWG)。

因而本研究找了 15 位受測者：至少在一年內設計過數位建築的建築師事務所工作超過一年，平時工作所使用的軟體包括 Rhinoceros 3D, Grasshopper, 以及 AutoCAD。

6.1.3 受測項目

本研究所要測試的程式，其重點功能是将重複性的人力工作，交由電腦(程式)取代之，且得以應用在實務上。為了要能取代人力，程式本身必須要跟原先人工繪製的圖面一樣準確，且能夠讓使用者容易使用。過去研究發現，一個程式是否實用，包含了兩個項目：易用性(Usability)以及實用性(Utility)。所謂易用性，簡單說就是程式能夠容易使用的程度，以及使用程式時使用者的心情(Kortum, P. T. and Bangor, A. 2012; Nielsen, 2012)。所謂實用性，就是程式能夠提供的功能(Nielsen, 2012)。以數位結構剖面圖程式為例就是程式能夠生產出等於(或超越)人工所繪製的數位結構剖面圖。因此本實驗將針對易用性以及實用性進行測試。易用性測試(Usability testing)以及實用性測試(Utility testing)分別的項目如下：

從過去研究中得知，易用性測試包括(1) 可學習性(Learnability)、(2)效率(Efficiency)、(3)可記憶性(Memorability)、(4)錯誤率(Errors)、以及(5)滿意度(Satisfaction) (Nielsen, 2012)。本研究將基於以上五點，針對數位結構剖面圖程式進行測試。

除了易用性測試，另外也要進行實用性測試。所謂實用性，就是程式能夠提供的功能(Nielsen, 2012)，數位結構剖面圖的功能包含兩個部份：圖、以及文字。圖的部分又包含兩個子項目：投影線以及剖面線；文字包含一個子項目：標記文字。因此易用性測試將包含以下三點進行測試：(1)投影線、(2)剖面線、(3)座標數據。每個項目的詳細說明，一一列舉如下：

易用性測試

(1) 可學習性

「可學習性」是指使用者初次接觸程式(First time use)，學習如何使用程式的能力(Jeng, 2005; Sauro, 2013)。雖然受測者皆熟練於 Rhinoceros 3D 和 Grasshopper 這兩套軟體，但從未使用過本研究的數位結構剖面圖程式，因此本研究將在暖身實驗中示範程式使用的方法與步驟後，讓受測者立刻操作從輸入模型到輸出數位結構剖面圖的完整流程，並計算有幾次遇到困難發問的次數？以及操作完整流程所需要的時間？

(2) 效率

「效率」是指完成預定的任務或目的(Intended task or purpose)所花的代價，一般而言包含了幾個重要的要素：時間(time)、精力(effort)、以及成本(cost)(Nielsen, 2012)。本研究中所討論的「效率」是指完成指定任務後所花的時間。更精確的說，就是本研究在正式實驗中，計時受測者完成指定的 4 道剖面後所需要的時間。這個時間會與受測者使用數位軟體繪製同樣 4 道剖面圖所花的時間相比，以比較何者較有效率。

(3) 可記憶性

「可記憶性」對本研究而言是指在一段時間未操作數位結構剖面圖程式的情形之下，是否還會記得如何使用此程式(Nielsen, 2012)。詳細的說就是在暖身實驗之後，受測者將會有半小時的休息時間，接著進行正式實驗，在正式實驗中，讓受測者直接開始操作，研究者將記錄受測者操作完整流程所需要的時間(包括提問及解決困難的時間)，再將數據跟暖身實驗的數據相比較，以驗證是否操作完整流程所需要的時間增加？以驗證數位結構剖面圖程式是否具有可記憶性。

(4) 錯誤率

「錯誤率」對本研究而言，是指在正式實驗中，使用者使用數位結構剖面圖程式時，犯了多少錯誤(Nielsen, 2012)？錯誤包括三種可能性：自行解決問題、發問之後解決問題、以及發問之後問題仍無法解決，需要協助。同樣記錄受測者以自己的方式繪製數位結構剖面圖時犯了多少錯誤，本研究將記錄兩者排除錯誤的次數，以比較操作數位結構剖面圖程式與非操作數位結構剖面圖程式繪製數位結構剖面圖時，何者的錯誤率較高？

(5) 滿意度

「滿意度」對本研究而言，是指使用者在使用數位結構剖面圖程式時的滿意程度(Nielsen, 2012)。此項目會以簡易李克特態度量表(Liker Attitude Scale)的方式呈現，詢問受測者「您對於本數位結構剖面圖程式的滿意度為何？」包括五個選項：「非常不滿意」、「不滿意」、「沒有意見」、「滿意」、以及「非常滿意」，分別對應 1~5 分的權數，最後計算所有受測者的滿意度平均值。

實用性測試

(1) 投影線

「投影線」是指數位結構剖面圖中，除去被剖到的部分以外的線條。更詳細地說，建築物被剖開之後，除了被剖開的接觸面以外，其餘的部分都將以正投影方

式投影在剖面上。這些其餘的部分投影出來的線條，稱為投影線。投影線的測試方式是，對同一個模型的相同剖面位置產生的剖面圖，將數位結構剖面圖程式和受測者使用數位軟體所繪製的投影線加以疊合，測試是否完全重合？如果沒有完全重合，這些沒有重合的線條占全部投影線的多少比例？

(2) 剖面線

「剖面線」是指數位結構剖面圖中，被剖到的線條。更詳細地說，建築物被剖開之後，建築物和剖面接觸的面，以正投影方式投影在剖面上所產生的線條即為剖面線。剖面線的測試方式是，對同一個模型的相同剖面位置產生的剖面圖，將數位結構剖面圖程式和受測者使用數位軟體所繪製的剖面線加以疊合，測試是否完全重合？如果沒有完全重合，這些沒有重合的線條占全部投影線的多少比例？

(3) 座標數據

「座標數據」是指數位結構剖面圖中，將被剖到的結構的其位置的建築資訊。更詳細地說，被剖到的結構，因為需要建造的需要，所以會將每一個結構一一標上代號，再將每一個代號呈現位置的建築資訊，包括原點座標、X 座標、以及 Y 座標。座標數據的測試方式是，對同一個模型、同一個原點、且相同剖面位置產生的數位結構剖面圖，將程式和受測者使用數位軟體所繪製的同一個結構，所給的 X 座標和 Y 座標兩者比對，檢視座標是否有所差異？差異為何？

表 6-1 實驗項目、實驗因子、以及簡單定義說明

實驗項目		簡單定義說明
分類	實驗因子	
易用性測試	可學習性	「可學習性」是指使用者初次接觸程式，學習如何使用程式的能力。
	效率	「效率」是指完成預定的任務或目的所花的代價，在本研究中所討論的「效率」是指完成指定任務後所花費的時間。
	可記憶性	「可記憶性」對本研究而言是指在一段時間未操作數位結構剖面圖程式的情形之下，是否還會記得如何使用此程式。
	錯誤率	「錯誤率」對本研究而言，是指使用者在使用數位結構剖面圖程式時，犯了多少錯誤(包含沒有發問、自行解決的錯誤)，以及是否能夠自行排除錯誤。
	滿意度	「滿意度」對本研究而言，是指使用者在使用數位結構剖面圖程式時的滿意程度。

實用性測試	投影線	「投影線」是指數位結構剖面圖中，除去被剖到的部分以外的線條。更詳細地說，建築物被剖開之後，除了被剖開的接觸面以外，其餘的部分都將以正投影方式投影在剖面上。這些其餘的部分投影出來的線條，稱之為投影線。
	剖面線	「剖面線」是指數位結構剖面圖中，被剖到的線條。更詳細地說，建築物被剖開之後，建築物和剖面接觸的面，以正投影方式投影在剖面上所產生的線條即稱之為剖面線。
	座標數據	「座標數據」是指數位結構剖面圖中，將被剖到的結構的其位置的建築資訊。更詳細地說，被剖到的結構，因為需要建造的需要，所以會將每一個結構一一標上代號，再將每一個代號呈現位置的建築資訊，包括原點座標、X 座標、以及 Y 座標。

6.1.4 實驗步驟說明

暖身實驗

每一位受測者皆分開進行實驗。實驗的設備由本研究提供，受測者只能使用指定的設備進行操作。實驗的場所為獨立的空間，空間內除了受測者之外，只有研究者一名。暖身實驗的步驟一共有四個步驟。

(1) 實驗初始設置

開啟 **Rhinceros 3D** 後，載入暖身實驗用檔案。檔案內有一個暖身實驗用模型、以及一條剖線。

(2) 人工繪製數位結構剖面圖

請受測者以自己擅長的方式，在指定的位置上剖開模型，繪製數位結構剖面圖。

(3) 數位結構剖面圖程式教學

研究者將數位結構剖面圖程式的使用方式，按照使用步驟一一示範應用在另一個教學用模型上。

(4) 數位結構剖面圖程式應用

請受測者將上一步驟所學立即操作在暖身實驗用模型上，在指定的位置上剖開模型，繪製數位結構剖面圖。同時，為了測驗「可學習性」因子，研究者將計算受測者有幾次遇到困難發問次數，以及記錄操作完整流程所需要的時間。

正式實驗

和暖身實驗相隔 30 分鐘後，開始進行正式實驗。每一位受測者皆分開進行實驗。實驗的設備由本研究提供，受測者只能使用指定的設備進行操作。實驗的場所為獨立的空間，空間內除了受測者之外，只有研究者一名。正式實驗的步驟一共有四個步驟。

(1) 實驗初始設置

開啟 Rhinoceros 3D 後，載入正式實驗用檔案。檔案內有一個暖身實驗用模型、以及一條剖線。

(2) 人工繪製數位結構剖面圖

請受測者以自己擅長的方式，在指定的位置上剖開模型，繪製數位結構剖面圖，一共有十道剖面。同時，為了測驗「效率」因子，研究者將計時受測者完成指定的 10 道剖面後所需要的時間。為了記錄「錯誤率」因子，本研究將記錄受測者在人工繪製數位結構剖面圖時，發生錯誤的次數。

(3) 數位結構剖面圖程式應用

請受測者操作數位結構剖面圖程式應用在正式實驗用模型上，在指定的位置上剖開模型，繪製數位結構剖面圖，一共有十道剖面。同時，為了測驗「效率」因子，研究者同樣將計時受測者完成指定的 4 道剖面後所需要的時間。又為了記錄「可記憶性」因子，本研究將計算有幾次遇到困難發問的次數，以及操作完整流程所需要的時間。為了記錄「錯誤率」因子，本研究將記錄受測者在錯誤操作數位結構剖面圖程式時，發生錯誤的次數。

(4) 填寫滿意度量表

請受測者填寫滿意度量表。此項目會以簡易李克特態度量表(Liker Attitude Scale)的方式呈現，詢問受測者「您對於本數位結構剖面圖程式的滿意度為何？」包括五個選項：「非常不滿意」、「不滿意」、「沒有意見」、「滿意」、以及「非常滿意」，分別對應 1~5 分的權數，用以求得受測者的滿意度平均值。

6.1.5 實驗模型建置

教學用模型

教學用模型是為了要向受測者示範如何操作數位結構剖面圖程式，包括每一個步驟，最後輸出數位結構剖面圖。同時，因為怕影響暖身實驗中的「可學習性」因子，因此另外準備了一個示範實驗模型。教學用模型包含 1 個單環(圓管)模型，以及 1 條剖線。

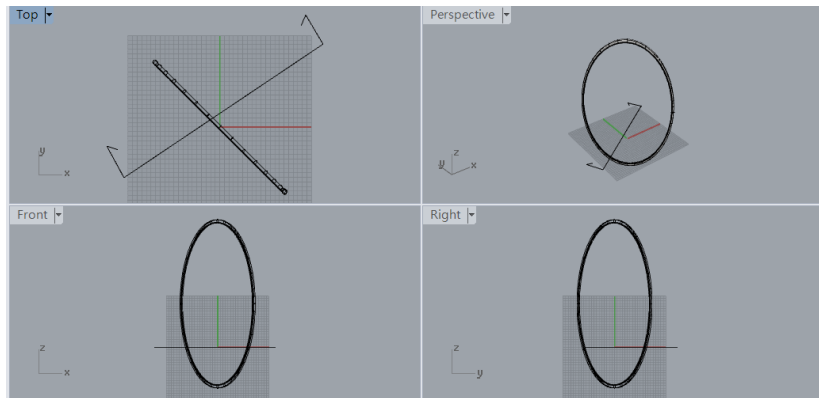


圖 6-1 教學用模型

暖身實驗模型

暖身實驗一方面是為了要讓受測者第一次操作數位結構剖面圖程式，包括每一個步驟，最後輸出數位結構剖面圖；另一方面，也讓受測者再次練習自己繪製數位結構剖面圖的方式。同時，在暖身實驗中，本研究將會記錄「可學習性」因子。暖身實驗模型包含 3 個單環(圓管)模型，以及 1 條剖線。

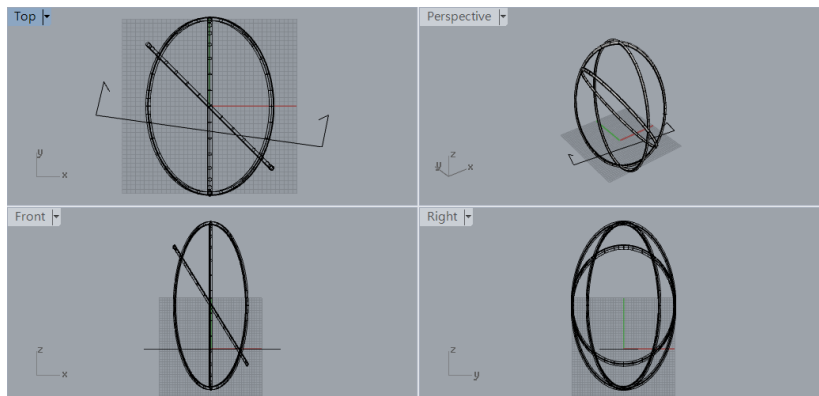


圖 6-2 暖身實驗用模型

正式實驗模型

正式實驗一方面是為了要讓受測者多次操作數位結構剖面圖程式，包括每一個步驟，最後輸出數位結構剖面圖；另一方面，也讓受測者以自己繪製數位結構剖面圖的方式多次繪製數位結構剖面圖。同時，在正式實驗中，本研究將會記錄「效率」因子、「可記憶性」因子、「錯誤率」因子。正式實驗的模型來自於由本研究重新繪製之後的水墨狂草之屋的鋼構模型，包含 41 個單環(圓管)模型，以及 4 條分別編號 A~D 的剖線。

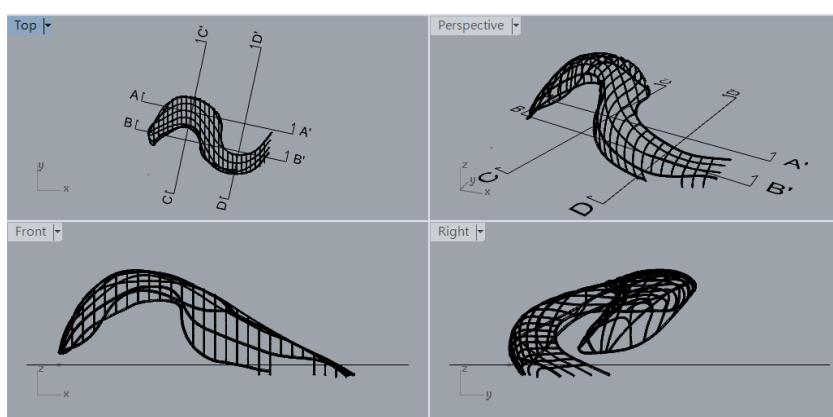


圖 6-3 正式實驗用模型

6.1.6 實驗環境與設備

實驗環境

獨立空間，空間內除了受測者之外，只有研究者一名。受測者在操作的流程中可以自由提問，研究者也會回應相關問題。實驗的全程皆有錄音錄影，以記錄相關的實驗因子數據。

實驗設備

一台筆記型電腦，作業系統為 Windows 7，內有安裝軟體包括 Rhinoceros 3D, Grasshopper, 以及 AutoCAD。

6.2 實驗結果與討論

6.2.1 可學習性

「可學習性」因子是指使用者初次接觸程式，學習如何使用程式的能力。雖然受測者皆熟練於 Rhinoceros 3D 和 Grasshopper 這兩套軟體，但從未使用過本研究的數位結構剖面圖程式，因此本研究將在暖身實驗中示範程式使用的方法與步驟後，讓受測者立刻操作從輸入模型到輸出數位結構剖面圖的完整流程，並計算有幾次遇到困難發問的次數，以及操作完整流程所需要的時間。

實驗結果顯示，15 位受測者當中，只有 4 位在流程中提出問題，其餘 11 位皆能在第一次操作時，在沒有遇到困難的情形下，順利輸出數位結構剖面圖，受測者在第一次操作數位結構剖面圖程式完整流程平均花 83 秒。換句話說，絕大多數的受測者即使是第一次操作數位結構剖面圖程式也不會遇到困難，4 位遇到困難的受測者，皆是因為對於 Grasshopper 的操作仍不熟悉。經由研究者說明之後，困難也很快排除。因而可以得知，在「可學習性」因子，數位結構剖面圖程式是一個容易學習的程式，同時可以很快的熟悉程式進行操作。詳細數據如下表：

表 6-2 「可學習性」因子實驗結果

受測者 編號	發問 次數	程式繪製 1 張數位結構剖面 圖時間(秒)
1	0	84
2	0	108
3	1	92
4	0	72
5	0	64
6	0	87
7	1	78
8	1	77
9	0	89
10	0	95
11	0	88
12	0	81
13	0	90
14	0	68
15	1	79
平均秒數		83

6.2.2 效率

「效率」是指完成預定的任務或目的所花的代價。本研究中所討論的「效率」是指完成指定任務後所花的時間。更精確的說，就是本研究在正式實驗中，計時受測者完成指定的 4 道剖面後所需要的時間。這個時間會與受測者使用數位軟體繪製同樣 4 道剖面圖所花的時間相比，比較何者較有效率。

實驗結果顯示，15 位受測者透過數位結構剖面圖程式，繪製 4 張數位結構剖面圖的平均時間是 361 秒(6 分鐘 1 秒)；而受測者以自己的方式繪製 4 張數位結構剖面圖的平均時間是 9682 秒(2 小時 41 分鐘 22 秒)。同一個模型，同樣的 4 道剖面線，非程式繪製所花的時間是程式繪製所花的時間的 26 倍。因此可以得知，數位結構剖面圖程式的確可以大量節省設計師繪製數位結構剖面圖的時間，也比較有效率。詳細數據如下表：

表 6-3 「效率」因子實驗結果

受測者 編號	程式繪製 4 張數位結構 剖面圖時間(秒)	非程式繪製 4 張數位結 構剖面圖時間(秒)
1	309	9048
2	448	9156
3	439	10215
4	313	9441
5	321	9315
6	312	9311
7	324	9431
8	366	10641
9	423	9455
10	356	9256
11	331	9326
12	364	11262
13	322	10456
14	434	9645
15	353	9266
平均秒數	361	9682

6.2.3 可記憶性

「可記憶性」對本研究而言是指在一段時間未操作數位結構剖面圖程式的情形之下，是否還會記得如何使用此程式。記錄方法是在正式實驗中，讓受測者直接開始操作，研究者將記錄受測者操作完整流程所需要的時間，再將數據跟暖身實驗的數據相比較，以驗證是否操作完整流程所需要的時間增加？

實驗結果顯示，在暖身實驗中，15 位受測者透過數位結構剖面圖程式，繪製 1 張數位結構剖面圖的平均時間是 84 秒；在停止使用程式的 30 分鐘後的正式實驗中，受測者透過數位結構剖面圖程式繪製 1 張數位結構剖面圖的平均時間同樣是 84 秒。顯示受測者並沒有遺忘程式操作步驟，換句話說，此數位結構剖面圖程式是可記憶性的。詳細數據如下表：

表 6-4 「可記憶性」因子實驗結果

受測者編號	暖身實驗中，程式繪製 1 張數位結構剖面圖時間(秒)	正式實驗中，程式繪製 1 張數位結構剖面圖時間(秒)
1	84	76
2	108	111
3	92	107
4	72	67
5	64	70
6	87	102
7	78	75
8	77	63
9	89	101
10	95	89
11	88	93
12	81	68
13	90	91
14	68	64
15	79	74
平均時間	84	84

6.2.4 錯誤率

「錯誤率」對本研究而言，是指在正式實驗中，使用者使用數位結構剖面圖程式時，犯了多少錯誤？錯誤包括三種可能性：自行解決問題、發問之後解決問題、以及發問之後問題仍無法解決，需要協助。同樣記錄受測者以自己的方式繪製數位結構剖面圖時犯了多少錯誤，本研究將記錄兩者排除錯誤的次數，以比較操作數位結構剖面圖程式與非操作數位結構剖面圖程式繪製數位結構剖面圖時，何者的錯誤率較高？

實驗結果顯示，在正式實驗中，請受測者自行繪製 1 張數位結構剖面圖，15 位受測者一共發生 4 次錯誤，錯誤原因包括按錯圖示(2 次)、以及目標選擇錯誤(2 次)；另一方面，15 位受測者透過數位結構剖面圖程式，繪製 1 張數位結構剖面圖一共發生 6 次錯誤，2 次是同一位受測者發生的錯誤。且 6 次錯誤中，其中 4 次錯誤的原因皆為不熟悉 Grasshopper 而造成，另外 2 次是因為操作步驟的順序有誤。換句話說，自行繪製 1 張數位結構剖面圖和透過數位結構剖面圖程式繪製相比，錯誤率並沒有顯著增加。詳細數據如下表：

表 6-5 「錯誤率」因子實驗結果

受測者編號	正式實驗中，自行繪製數位結構剖面圖的錯誤次數(次)	正式實驗中，操作數位結構剖面圖程式的錯誤次數(次)
1	0	0
2	1	2
3	1	1
4	0	0
5	0	0
6	0	1
7	0	0
8	0	0
9	1	1
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	1	1
錯誤總和	4	6

6.2.5 滿意度

「滿意度」對本研究而言，是指使用者在使用數位結構剖面圖程式時的滿意程度，此項目會以簡易李克特態度量表(Liker Attitude Scale)的方式呈現，詢問受測者「您對於本數位結構剖面圖程式的滿意度為何？」包括五個選項：「非常不滿意」、「不滿意」、「沒有意見」、「滿意」、以及「非常滿意」，分別對應 1~5 分的權數，最後計算所有受測者的滿意度平均值。

實驗結果顯示，15 位受測者中，有 14 位在李克特態度量表上選擇「非常滿意」，有一位選擇「滿意」，平均權數為 4.93，顯著接近「非常滿意」選項。經過口頭詢問，最多受測者反應滿意的原因為「製圖效率大幅提高」。詳細數據如下表：

表 6-6 「滿意度」因子實驗結果

受測者編號	滿意度選項	獲得權數
1	非常滿意	5
2	滿意	4
3	非常滿意	5
4	非常滿意	5
5	非常滿意	5
6	非常滿意	5
7	非常滿意	5
8	非常滿意	5
9	非常滿意	5
10	非常滿意	5
11	非常滿意	5
12	非常滿意	5
13	非常滿意	5
14	非常滿意	5
15	非常滿意	5
平均權數		4.93

6.2.6 投影線

「投影線」是指數位結構剖面圖中，除去被剖到的部分以外的線條。更詳細地說，建築物被剖開之後，除了被剖開的接觸面以外，其餘的部分都將以正投影方式投影在剖面上。這些其餘的部分投影出來的線條，稱為投影線。投影線的測試

方式是，對同一個模型的 A-A'剖面產生的剖面圖，將數位結構剖面圖程式和受測者使用數位軟體所繪製的投影線加以疊合，測試是否完全重合？如果沒有完全重合，這些沒有重合的線條占全部投影線的多少比例？

實驗結果顯示，將 15 受測者使用數位結構剖面圖程式和自行使用數位軟體所繪製的投影線加以疊合，皆為 100%重合，代表數位剖面結構程式投影線的精準度與使用者自行繪製一致，換句話說，數位剖面結構程式在投影線繪製上可以代替人工。詳細數據如下表：

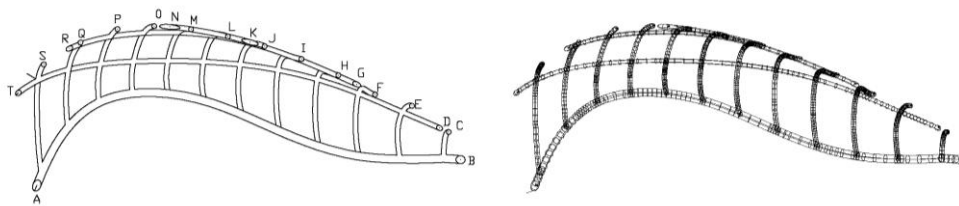


圖 6-4 圖左是受測者繪製之投影線，圖右是程式衍生之投影線

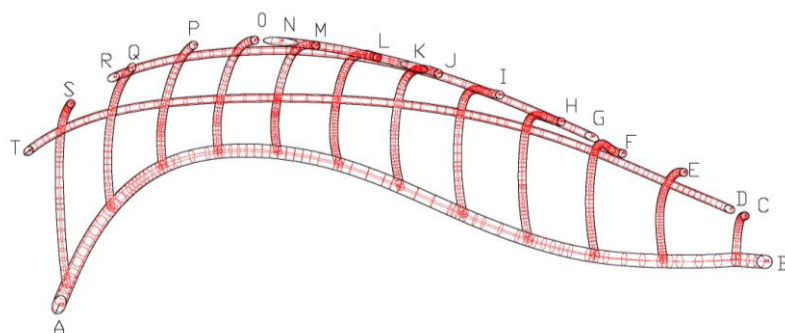


圖 6-5 將受測者繪製之投影線與程式衍生之投影線疊合之結果

表 6-7 「投影線」因子實驗結果

受測者編號	投影線重合比例
1	100%
2	100%
3	100%
4	100%
5	100%
6	100%
7	100%

8	100%
9	100%
10	100%
11	100%
12	100%
13	100%
14	100%
15	100%

6.2.7 剖面線

「剖面線」是指數位結構剖面圖中，被剖到的線條。更詳細地說，建築物被剖開之後，建築物和剖面接觸的面，以正投影方式投影在剖面上所產生的線條即為剖面線。剖面線的測試方式是，對同一個模型的對同一個模型的 A-A'剖面產生的剖面圖，將數位結構剖面圖程式和受測者使用數位軟體所繪製的剖面線加以疊合，測試是否完全重合？如果沒有完全重合，這些沒有重合的線條占全部投影線的多少比例？

實驗結果顯示，將 15 受測者使用數位結構剖面圖程式和自行使用數位軟體所繪製的剖面線加以疊合，皆為 100%重合，代表數位剖面結構程式剖面線的精準度與使用者自行繪製一致，換句話說，數位剖面結構程式在剖面線繪製上可以代替人工。詳細數據如下表：

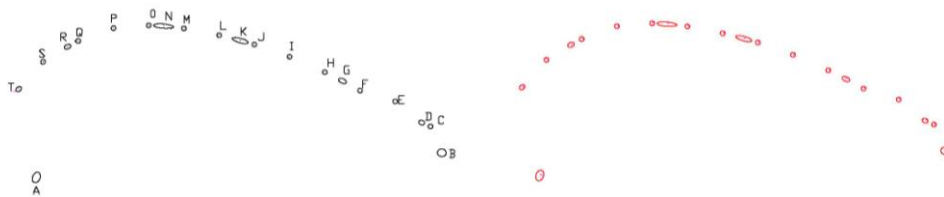


圖 6-6 圖左是受測者繪製之剖面線，圖右是程式衍生之剖面線

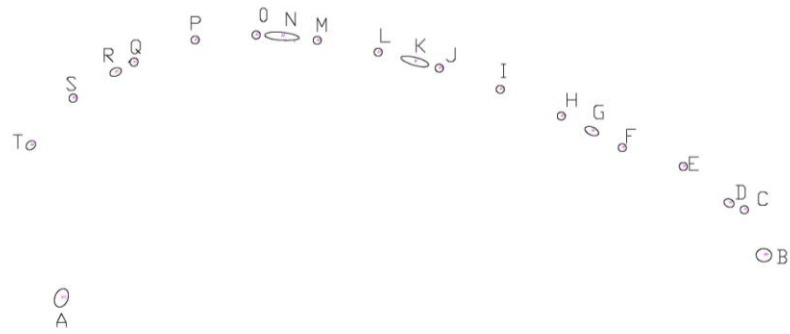


圖 6-7 將受測者繪製之剖面線與程式衍生之剖面線疊合之結果

表 6-8 「剖面線」因子實驗結果

受測者編號	剖面線重合比例
1	100%
2	100%
3	100%
4	100%
5	100%
6	100%
7	100%
8	100%
9	100%
10	100%
11	100%
12	100%
13	100%
14	100%
15	100%

6.2.8 座標數據

「座標數據」是指數位結構剖面圖中，將被剖到的結構的其位置的建築資訊。更詳細地說，被剖到的結構，因為需要建造的需要，所以會將每一個結構一一標上代號，再將每一個代號呈現位置的建築資訊，包括原點座標、X 座標、以及 Y 座標。座標數據的測試方式是，對同一個模型、同一個原點、且相同剖面位置產

生的數位結構剖面圖，將程式和受測者使用數位軟體所繪製的同一個結構，所給的 X 座標和 Y 座標兩者比對，檢視座標是否有所差異？差異為何？

在座標比對以前，必須先將兩張圖的座標進行換算，換算的原因是因為一開始的原點座標不同，所以顯示的座標數字也不一致。經過原點換算之後，實驗結果顯示，將 15 受測者使用數位結構剖面圖程式和自行使用數位軟體所繪製的座標數據，皆為 100%重合(小數點後四捨五入到整數位)，代表數位剖面結構程式座標的精準度與使用者自行標註的結果一致，換句話說，數位剖面結構程式在座標標註上可以代替人工。詳細數據如下表：

A19, ptX = 76342.8, ptY = 14038.6	A:(8490.97,27598.6)
A20, ptX = 94007.3, ptY = 15112.4	B:(26155.44,28672.39)
A1, ptX = 93516.1, ptY = 16256.6	C:(25664.44,29816.6)
A7, ptX = 93132.0, ptY = 16424.6	D:(25280.13,29984.61)
A8, ptX = 91981.5, ptY = 17344.7	E:(24129.66,30904.74)
A9, ptX = 90447.0, ptY = 17816.8	F:(22595.08,31376.81)
A4, ptX = 89679.6, ptY = 18234.1	G:(21827.75,31794.08)
A10, ptX = 88912.5, ptY = 18612.9	H:(21060.56,32172.88)
A17, ptX = 87377.8, ptY = 19284.9	I:(19525.93,32844.86)
A16, ptX = 85843.3, ptY = 19817.2	J:(17991.37,33377.23)
A3, ptX = 85227.0, ptY = 19984.0	K:(17379.29,33551.51)
A15, ptX = 84308.7, ptY = 20220.0	L:(16456.77,33780.00)
A14, ptX = 82774.1, ptY = 20517.1	M:(14922.19,34077.05)
A2, ptX = 81890.4, ptY = 20622.8	N:(14035.62,34182.86)
A13, ptX = 81239.5, ptY = 20652.7	O:(13387.01,34212.67)
A12, ptX = 79704.9, ptY = 20527.4	P:(11853.02,34087.35)
A11, ptX = 78170.3, ptY = 19970.7	Q:(10318.44,33530.73)
A5, ptX = 77704.5, ptY = 19719.5	R:(9852.36,33279.45)
A18, ptX = 76635.8, ptY = 19063.5	S:(8783.84,32623.46)
A6, ptX = 75575.1, ptY = 17878.3	T:(7723.11,31438.27)

圖 6-8 圖左是程式衍生之座標數據，圖右是受測者繪製之座標數據

表 6-9 「座標數據」因子實驗結果

受測者編號	座標重合比例
1	100%
2	100%
3	100%
4	100%
5	100%
6	100%
7	100%
8	100%
9	100%
10	100%
11	100%

12	100%
13	100%
14	100%
15	100%

6.3 小結

根據實驗結果顯示，數位結構剖面程式在「可學習性」因子中，15 位受測者當中，有 11 位在第一次操作時，沒有遇到困難、發問、且順利輸出數位結構剖面圖。換句話說，絕大多數的受測者即使是第一次操作數位結構剖面圖程式也不會遇到困難。因而可以得知，在「可學習性」因子，數位結構剖面圖程式是一個容易學習的程式，同時可以很快的熟悉程式進行操作。

數位結構剖面程式在「效率」因子中，實驗結果顯示，15 位受測者以自己的方式繪製 4 張數位結構剖面圖所花費的時間，是透過數位結構剖面圖程式所花費時間的 26 倍。因此可以得知，數位結構剖面圖程式的確可以大量節省設計師繪製數位結構剖面圖的時間，也比較有效率。

在「可記憶性」因子中，實驗結果顯示，在暖身實驗中，15 位受測者透過數位結構剖面圖程式繪製數位結構剖面圖的平均時間，和停止使用程式的 30 分鐘後的正式實驗中，受測者透過數位結構剖面圖程式繪製數位結構剖面圖的平均時間相同。顯示受測者並沒有遺忘程式操作步驟，換句話說，此數位結構剖面圖程式是可記憶性的。

在「錯誤率」因子中，實驗結果顯示，在正式實驗中，請受測者自行繪製數位結構剖面圖，和透過數位結構剖面圖程式，繪製數位結構剖面圖所發生的錯誤相比，後者只多了 2 次錯誤，錯誤的原因多為不熟悉 Grasshopper 而造成，有少數是因為操作步驟的順序有誤。換句話說，自行繪製數位結構剖面圖和透過數位結構剖面圖程式繪製相比，錯誤率並沒有顯著增加。

在「滿意度」因子中，實驗結果顯示，受測者中，93%的受測者在操作完數位結構剖面程式感到「非常滿意」。經過口頭詢問，最多受測者反應滿意的原因為「製圖效率大幅提高」。

在「投影線」因子中，實驗結果顯示，將受測者使用數位結構剖面圖程式和自行使用數位軟體所繪製的投影線加以疊合，皆為 100%重合，代表數位剖面結構

程式投影線的精準度與使用者自行繪製一致，換句話說，數位剖面結構程式在投影線繪製上可以代替人工。

在「剖面線」因子中，實驗結果顯示，將受測者使用數位結構剖面圖程式和自行使用數位軟體所繪製的剖面線加以疊合，皆為 100%重合，代表數位剖面結構程式剖面線的精準度與使用者自行繪製一致，換句話說，數位剖面結構程式在剖面線繪製上可以代替人工。

在「座標數據」因子中，經過原點換算之後，實驗結果顯示，受測者使用數位結構剖面圖程式和自行使用數位軟體所繪製的座標數據，皆為 100%重合(小數點後四捨五入到整數位)，代表數位剖面結構程式座標的精準度與使用者自行標註的結果一致，換句話說，數位剖面結構程式在座標標註上可以代替人工。

因此，透過認知實驗證實，數位結構剖面程式無論在易用性以及實用性上皆優於非使用數位結構剖面圖程式的繪圖方式。不但內容正確無誤，且容易操作。本研究認為，實驗的結果說明在數位媒材不只是停留在「數位化圖說」，而是能夠有機會將規範程式化，有效地發揮數位工具的運算能力。



7 結論與建議

7.1 研究結論

從西元前維楚菲厄斯的《建築十書》(De Architectura Libri Decem)第一次將建築知識「規範化」到文藝復興初期阿爾伯蒂的《建築十書》(De Re Aedificatoria)、藝復興中期瑟利歐的《建築》(L'Architettura)、以及文藝復興末期帕拉底歐的《建築四書》(Quattro Libri)，這些建築著作，都是為了要將當時還沒有被記錄到的、新出現的、未被整理的建築現象加以規範，使後人一方面知道有這些新的現象產生，同時也知道要遵守哪些規範(Vitruvius, 1960; Alberti, 1986; Serlio, 1611; Palladio, 1997)。

而後，建築專業者(包括設計者以及施工者)清楚地定義了每個建築領域，包括建築媒材的多種功能與類型(Fraser and Henmi, 1994; Graves, 1977; Magonigle, 1922; Oechslin, 1987)。建築媒材是輔助建築設計者將設計概念轉化為實際成品的工具(Schon and Wiggins, 1992; Liu and Lim, 2009; Bilda and Gero, 2006)；也可用來表達設計師的概念(Schon and Wiggins, 1992; Liu and Lim, 2009)，進而影響設計思考 (Zevi, 1981; Liu and Lim, 2009; Lim, 2003)。

數位媒材產生之後，成為更有效的建築媒材(Boden, 1998)。相較於非數位媒材，數位媒材更精準 (Lim, 2011)、能引發更多創造力(Manolya et al., 1998; Verstijnen et al., 1998; Chen, 2001)。數位媒材的出現，不但影響建築設計的發展 (Lindsey, 2001; Friedman, 2002; Luca and Nardin, 2002; Spuybroek, 2004)，同時也會進而影響建築設計到建造的流程。今日，如何透過數位媒體取代人力，例如協助繪製、自動生產圖說、甚至進一步影響原先設計者的思考，已經成為當代建築媒材研究的重點之一(Al-Haddad, Rahimzadeh, and Fredrickson, 2013; Nguyen and Haeusler, 2013; Figueiredo and Vizioli, 2013; Zavoleas, 2014)。

進一步分析非數位建築設計到建造流程中所用到的媒材與數位建築設計到建造流程中所用到的媒材，可以發現在非數位建築設計到建造流程的建築圖說中有未曾被清楚定義的建築圖說產生，本研究發現有兩套圖不同於既有的建築圖說規範：數位平面圖、以及數位結構剖面圖；另外有兩套圖，是因應數位建築從設

計到建造流程而出現的新數位建築圖說：數位單元生產圖、以及數位單元組裝圖，本研究將以上四套圖新增或制定圖說規範。

數位平面圖的規範有三點：第一點，平面圖的相關規定與既有規範的平面圖無異；第二點，數位平面圖是為了要設計或建造數位建築之用；第三點，引進座標軸的概念，會清楚定義原點(放樣點)位置，且會將重要的建築結構或建築元素標示座標。

數位結構剖面圖的規範有三點。第一點，其剖面圖的相關規定與既有規範的剖面圖無異；第二點，此類剖面圖是為了要設計或建造數位建築之用；第三點，引進座標軸的概念，清楚定義原點位置，將重要的建築結構或建築元素標示座標(包括 X 座標、Y 座標、以及視情況標註 Z 座標)。

數位單元生產圖的規範包括四點：第一點，此圖是為了數位建築設計到建造的「單元生產」階段之用；第二點，以正射投影法繪製；第三點、每一個建築單元皆需要標示編號，這些編號是為了數位建築單元生產階段之用，以方便數位建築建造流程中的預組裝及組裝階段；第四點，應註明單元生產階段需要的建築資訊，包括形狀、尺寸、比例等。

數位單元組裝圖的規範有三點：第一點，數位單元組裝圖是為了輔助數位建築的「預組裝」及「組裝」階段而產生；第二點，此類圖說會有與其對應的「數位單元生產圖」。不但互為圖組、兩種圖皆會有同樣的建築單元，並且單元上有相同的編號；第三點，清楚標註各單元相關的建築資訊以利單元組裝，包括形狀、比例、和尺寸等。

此外，因為數位建築設計者必須多繪製數倍於非數位建築圖說的圖量，進而導致數位建築設計到建造的流程相較於非數位而言耗費大量人力及時間。為解決此問題，本研究以數位結構剖面圖做為第一次實做，透流程式來自動衍生符合本研究新制定規範的數位結構剖面圖。另外，本研究撰寫的數位結構剖面圖程式，程式撰寫的重點在於，將重複性的人力工作，交由電腦(程式)取代之。本研究希望此程式能夠落實在實務上。所謂落實在實務上，就是指設計師能夠獨立繪製出符合新規範的建築圖說，將其應用在設計案上。更重要的是，程式本身必須要比原先人工繪製圖面來的優越，包括了程式的易用性(Usability)、以及圖面的實用性(Utility)。

最後，經由實驗證實，數位結構剖面圖程式無論在易用性以及實用性上皆優於非使用數位結構剖面圖程式的繪圖方式。不但內容正確無誤，且容易操作。本

研究認為，實驗的結果說明在數位媒材不只是停留在「數位化圖說」，而是能夠有機會將規範程式化，有效地發揮數位工具的運算能力。

7.2 研究限制

本研究限制有兩點，第一點限制是案例的數量。由於案例需要取得從設計到建造的原始圖說資料，但一方面建築的施工圖說往往涉及建築事務所的商業機密，另一方面相較於設計圖說，施工的相關圖說較少被完整出版，因而限制了案例的數量。另外，本研究案例分析選擇的第二個案例是 **AleppoZone** 研究室所設計的水墨狂草之屋，同時也是本文研究者參與過的設計案，在案例分析的過程中，有可能因此觀點會受到影響。

第二點是規範參數化所使用的程式撰寫，本研究選擇目前建築界最多人用來設計數位建築的軟體 **Rhinceros** 以及其外掛程式 **Grasshopper**，而非完全透過低階程式語言撰寫一套軟體。原因是因為自行撰寫軟體時，解決輸入(input)以及輸出(output)的問題將會成為程式撰寫最複雜的部分，而非本研究最關心的重點：自動參數化衍生符合新規範的建築圖說。因此，本研究選擇透過 **Rhinceros** 本身的功能處理輸入以及輸出的問題，如此一來，本研究可以將參數化的重點聚焦在撰寫「如何衍生出符合新規範的建築圖說」。

7.3 研究貢獻

今日台灣的數位建築已經越來越普遍，但相對於全球數位建築的發展而言，仍處在剛起步的階段。從文獻回顧中得知，數位建築從設計到建造的流程中，已有不同於非數位建築的新階段出現。本研究制定新出現的數位建築圖說規範並將其標準化，未來可透過標準規範，在台灣的數位建築在設計到建造的流程中有四套定義清楚的新數位建築建造媒材之規範。

從過去實務經驗中得知，關於數位建築的建築圖說，建築設計師必須多繪製數倍於非數位建築圖說的圖量，才得以完整的讓施工者了解每一個設計與施工的細部。本研究透過目前數位建築設計者常用的設計軟體 **Rhinceros** 及其外掛程式 **Grasshopper**，撰寫一個自動化產生數位建築圖說的程式。未來只需要提供建築設計的數位模型以及相關數值，此程式將會產生符合前述規範標準的數位建築圖說，發揮數位媒材的長處，同時彌補台灣在數位媒材的使用上，仍以採用大量人力為主的使用方式。

7.4 未來研究

由於本研究的案例數量有限。未來研究的第一步將收集及分析更多數位建築案例資料。此外，為了避免受到既有程式操作方式限制，未來研究的第二步是自行撰寫一套更符合設計師思維的數位圖說衍生程式。最後，本研究從四種數位建築圖說中選擇數位結構剖面圖寫成自動化程式，未來研究第三步將進一步撰寫另外三套數位建築圖說的自動化程式。



參考文獻

- Abbo, I. A.: 1996, *Effectiveness of Models, Full-scale Modeling in the Age of Virtual Reality*, (Proceedings of the 6th European Full-Scale Modeling Association Conference), Vienna University of Technology, Vienna, pp. 69-79.
- Ackerman, J.: 2002, *The Origins of Architectural Drawing in the Middle Ages and Renaissance*, in *Origins, Imitation, Conventions: Representation in the Visual Arts*, Cambridge, MA: MIT Press, pp. 27-66
- Al-Haddad, T.: 2008, *Parametric Modulations in Masonry*, CAADRIA 2008, Chiang Mai(Thailand), 9-12 April 2008, pp. 221-228.
- Al-Haddad, T., Rahimzadeh, K., and Fredrickson J.: 2013, *Concrete Continuum: Concept, Calculus, & Construction Connected Through Parametric Representation*, SIGraDi 2013 [Proceedings of the 17th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - ISBN: 978-956-7051-86-1] Chile - Valparaíso 20 - 22 November 2013, pp. 230-234
- Alberti, L. B.: 1986, *The ten books of architecture: the 1755 Leoni edition*. New York : Dover Publications
- Allen, S. and Agrest, D.: 2000, *Practice: architecture, technique and representation*, Amsterdam: G+B Arts International.
- Architektonix: 2011, <http://www.architektonix.com/maketing/history>
- Baerlecken, D., Manegold, M., Reitz, J., and Kuenstler, A.: 2010, *Integrative parametric form-finding processes*, Proceedings of the 15th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia, pp. 303-312
- Bai, R. Y. and Liu, Y. T.: 1998, *Toward a computerized procedure for visual analysis and assessment*, CAADRIA '98: pp. 67-76.
- Bilda, Z. and Gero, J. S.: 2006, *To sketch or not to sketch? That is the question*. Design Studies, 27(5), pp. 587-613.
- Boden, M. A.: 1998, *Creativity and artificial intelligence*, Artificial Intelligence 103, pp. 347-356.

- Breen, J., Nottrot, R. and Stellingwerff, M.: 2003, *Tangible virtuality- perceptions of computer-aided and physical modeling*. Automation in Construction. 12: pp. 649-653.
- Brent, A.: 2004, *Surface Values*, in AR: Digital Architecture, Andrew Benjamin (Guest Ed.), Andrew MacKenzie (Ed.), Architecture Review Australia, Special Issue, no. 90.
- Chen, S. C.: 2001, *The role of design creativity in computer media: a case study on expert and novice designers*, In Proceedings of the 19th Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe, Helsinki, pp. 226-231.
- Ching, F. D.K.: 1996, *Architecture-form, space, & order*, John Wiley & Sons
- Ching, F. D., and Juroszek, S. P.: 2011, *Design drawing*. Wiley.
- Collins, G. R.: 1960, *Antonio Gaudi*, New York: G. Braziller.
- Danby, M.: 1963, *Grammar of architectural design: with special reference to the tropics*, Oxford University Press
- Davidson, C.: 2006, *TRACING EISENMAN*, Thames & Hudson, New York.
- Figueiredo, T. R., and Vizioli, S. H. T.: 2013, *Estudo Comparativo entre as Novas Ferramentas Digitais Utilizadas no Desenho à Mão Livre [Comparative Study between the New Digital Tools Used in Freehand Drawings]*, SIGraDi 2013 [Proceedings of the 17th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - ISBN: 978-956-7051-86-1] Chile - Valparaíso 20 - 22 November 2013, pp. 87 - 91
- Franz, G.: 2006, *Space, Color, and Perceived Qualities of Indoor Environments*, In Environment, Health, and Sustainable Development - IAPS 19. M. Tolba, S. Soliman and A. Abdel-Hadi (Eds.)
- Fraser, I. and Henmi, R.: 1994, *Envisioning Architecture: An Analysis of Drawing*, New York: Van Nostrand Reinhold.
- Friedman, M.(Eds): 1999, *Gehry Talks: Architecture + Process*. New York, Rizzoli.
- Frommel, C. L. and Adams, N.: 1994, *The architectural drawings of Antonio da Sangallo the younger and his circle*, Cambridge, MA: MIT Press
- Fromonot, F.: 1998, *John Utzon: The Sydney Opera House*, Corte Madera, CA: Gingko Press.
- Futagawa, Y. and Borrás, M. L.: 1997, *Antonio Gaudi: Casa Batllo Barcelona, Spain, 1904-06, Casa Mila Barcelona, Spain, 1905-10*. GA, 17.

- Goel, V.: 1995, *Sketches of Thought*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Goldschmidt, G.: 1991, *The dialectics of sketching*, *Creativity Research Journal*. 4(2): pp. 123-143.
- Graves, M.: 1977, *The necessity for drawing: tangible speculation*, *Architectural Design* 6(77): pp. 384-394.
- Gün, O. Y.: 2013, *The Executed and the Observed in Sketches: Visual and Computational Processing for Explorative Drawings*, *Open Systems: Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2013) / Singapore 15-18 May 2013*, pp. 801-810
- Hjørland, B.: 2005, *Axiology*. In: Hjørland, B. and Nicolaisen, J. (eds.), *The Epistemological Lifeboat*. Available at: http://www.iva.dk/jni/lifeboat_old/Concepts/Medium.htm
- Hnizda, M.: 2009, *Systems-Thinking: Formalization of parametric process*, *Digitizing Architecture: Formalization and Content [4th International Conference Proceedings of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD 2009) / ISBN 978-99901-06-77-0]*, pp. 215-223
- Hohauser, S.: 1970, *Architectural and interior models: Design and construction*, Hoboken, NJ, U.S.A: John Wiley & Sons.
- Hudson, R.: 2008, *Frameworks for Practical Parametric Design in Architecture*, *Architecture in Computro [26th eCAADe Conference Proceedings]* pp. 847-854
- Hughes, W.: 1991, *Modelling the construction process using plans of work*, *Construction project modelling and productivity. Proceedings of an International Conference CIB W65, Dubrovnik*.
- Jeng, J.: 2005, *Usability assessment of academic digital libraries: Effectiveness, efficiency, satisfaction, and learnability*. *Libri*, 55(2-3), pp. 96-121.
- Kagioglou, M., Cooper, R., Aouad, G. and Sexton, M.: 2000, *Rethinking Construction : The Generic Design and Construction Process Protocol*, In *Engineering, Construction and Architectural Management*, 7 : 2, pp. 141-153.
- Knutson, K, Schexnayder, C. J., Fiori, C. M., Mayo, R. E.: 2009, *Construction management fundamentals*, Boston : McGraw-Hill Higher Education.
- Kortum, P. T. and Bangor, A.: 2012, *Usability Ratings for Everyday Products*

Measured With the System Usability Scale. International Journal of Human-Computer Interaction, 29(2), 67-76. doi: 10.1080/10447318.2012.681221

Kvale, S.: 2007, *Doing Interviews*, London: Sage.

Lee, Y. Z.: 2005, *A study on the process of free form design and construction*, PhD Thesis, NCTU, Taiwan. .

Legajis, J., Dorsey, J., and Gortler, S. J.: 2001, *Feature-based cellular texturing for architectural models*. In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp. 309–316.

Lemberski, D., Hemmerling, M.: 2010, *Mixer Modeling – An Intuitive Design Tool: Using a hardware controller to actuate parametric design software*, FUTURE CITIES [28th eCAADe Conference Proceedings], pp.453-458

Lim, C. K.: 2003, *An insight into the freedom of using a pen: pen-based system and pen-and-paper*, In Proceedings of the 22nd Conference on Association for Computer Aided Design in Architecture 2003, Indianapolis, Indiana, pp. 382–391.

Lim, C. K.: 2011, *A framework of CAD/CAM design and construction process for freeform architecture: a case study*, International Journal of Architectural Computing. 3(8): pp. 301-317.

Lindsey, B.: 2001, *Digital Gehry: material resistance/digital construction*, Basel: Birkhauser.

Little, W., Fowler, H.W. and Coulson, J.: 1973, *The Shorter Oxford English Dictionary*, Oxford University Press, UK.

Liu, Y. T. and Lim, C. K.: 2009, *New Tectonics: the classic and digital thinking in FEIDAD Award Basel*, Switzerland: Birkhauser.

Luca, F. D. and Nardin, M.: 2002, *Behind the Scene: Avant-garde Techniques in Contemporary Design*, Basel, Boston, Berlin: Birkhauser.

Magonigle, H. V. B.: 1922, *Architectural Rendering in Wash*, New York: Charles Scribner's Sons.

Manolya, K., Stephen, A. R. and Linden, J.: 1998, *Structure in idea sketching behavior*, Design Studies 19(4), pp. 485-517.

McLuhan, M.: 1964, *Understanding media: The extensions of men*. New York: McGraw-Hill.

McLuhan, M. and McLuhan, E.: 1988, *Laws of Media: The new science*, Toronto:

- University of Toronto Press.
- McMahon, C. and Browne, J.: 1993, *CAD/CAM - From principles to practice*, UK: Addison-Wesley.
- Millon, H. A.: 1994, *The Renaissance from Brvnelleschi to Michelango Rizzoli*, New York.
- Mitchell, J. W. and McCullough, M.: 1994, *Digital design media*, Wiley; 2 edition
- Murray, P.: 2004, *The saga of Sydney Opera House: The dramatic story of the design and construction of the icon of modern Australia*, London: Spon Press.
- Nguyen, D. D., and Haeusler, M. H.: 2013, *Assimilating Interactive Technology into Architectural Design – A Quest for developing an ‘Architectural Drawing’ for Urban Interaction Design as a Communication Platform Through Combining Physical Sensing Devices with Simulation Software*, Open Systems: Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2013) / Singapore 15-18 May 2013, pp. 365-373
- Nielsen, J.: 2012: *101: Introduction to Usability*,
<http://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability>,
Retrieved January 4, 2012
- Oechslin, W.: 1987, *Rendering-The Representative and Expressive Function of Architectural Drawings*, Daidalos 25: pp. 68-77
- Palladio, A.: 1997, *The four books on architecture*, translated by Robert Tavernor and Richard Schofield. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Parchin, S.: 2011, http://arthistory.about.com/od/special_exhibitions//bl_stpeters_review.htm, February 2011
- Porter, T. and Neale, J.: 2000, *Architectural supermodels*, Oxford: Architectural Press.
- RIBA: 2011, <http://www.ribapix.org/index.php?a=indexes&s=item&key=IYTox-OntpOjA7czoxMjoiT3BlcmEgaG91c2Vzljt9&pg=17>
- Roehrig, C. H.: 2002, *Life along the Nile: Three Egyptians of Ancient Thebes*, The Metropolitan Museum of Art Bulletin, v. 60, no. 1
- Rotheroe, K.: 2011, http://www.architectureweek.com/2002/0710/tools_1-1.html
- Rowe, P. G.: 1987, *Design Thinking*, Cambridge. MA: The MIT Press. Massachusetts.

- Sanvido, V.: 1990, *An integrated building process mode*, CIC Technical Report No. 1, Pennsylvania State University, USA.
- Sauro L.: 2013, *How To Measure Learnability*, <http://www.measuringusability.com/blog/measure-learnability.php>, Retrieved April 9, 2013
- Schon, D. A. and Wiggins, G.: 1992, *Kinds of seeing and their function in designing*, Design Studies, Vol 13 No 2, pp.135–156.
- Serlio, S.: 1611, *The first booke of architecture, made by Sebastian Serly, entreating of geometrie*, Translated out of Italian into Dutch, and out of Dutch into English London : Printed for Robert Peake
- Smith, A. C.: 2004, *Architectural model as machine: A new view of models from antiquity to the present day*. Oxford: Architectural Press.
- Smith, P. R.: 2013, *Exercises in architecture: learning to think as an architect*. Architectural Science Review.
- Spuybroek, L.: 2004, *NOX: Machining architecture*, New York: Thames & Hudson.
- Sutherland, I.: 1963, *Sketchpad-A man-machine graphical communication system*, Ph. D. Thesis. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Verstijnen, I. M., Hennessey, J. M., Leeuwen, C., van Hamel, R., and Goldschmidt, G.: 1998, *Sketching and creative discovery*, Design studies, Vol. 19, No. 4, pp. 519-546.
- Vitruvius, P.: 1960, *The ten books on architecture*, translated by Morris Hicky Morgan ; with illustrations and original designs prepared under the direction of Herbert Langford Warren. New York: Dover Publications
- Walker, A.: 1989, *Project Management in Construction*, 2nd edn. BSP Professional Books, Oxford.
- Wikigallery: 2011, http://www.wikigallery.org/wiki/painting_221571/Domenico-Feti/Margherita-Gonzaga-Receiving-the-Model-of-the-Church-of-St-Ursula
- Wimmer, R. D., and Dominick, J. R.: 2011, *Mass media research: An introduction* (9th ed.). Boston, MA: Wadsworth Cengage Learning.
- Yin, R. K.: 1981a, *The Case Study as a Serious Research Strategy*, Knowledge: Creation, Diffusion, Utilization, 3, 97-114
- Yin, R. K.: 1981b, *The case study crisis: Some answers*. Administrative Science

Quarterly, 26(1), 58-65.

Yin, Robert K.: 1984, *Case Study Research: Design and Methods*: Sage Publications, Newbury Park, page 17

Zavoleas, Y.: 2014, *Computational Thinking with Analogue and Digital Means, Rethinking Comprehensive Design: Speculative Counterculture*, Proceedings of the 19th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2014) / Kyoto 14-16 May 2014, pp. 843–852

Zevi, B.: 1981, *The modern language of architecture*, Van Nostrand Reinhold.



個人簡歷

梁凱翔，2006年畢業於東海大學建築系，2008年自國立交通大學建築所數位組取得理學碩士學位，主要的研究領域包括電腦整合設計與製造、數位建築媒材研究、人機互動。碩士論文為「重新定義數位媒材下之建築元素(Redefining Architectural elements by digital media)」。近年參與的研究計畫案包括：建築應藝音樂三所鳳甲美術館聯展(2010)、計畫導向跨領域實驗課程工作坊(2010)、臺北國際花卉博覽會天使生活館網頁設計(2010)、ArchiRock 展覽:克萊因穹頂+音牆(2011)、交通大學通識教育中心改造案 I(2012)、交通大學通識教育中心改造案 II(2013)。學術發表論文如下：

International Conference Papers:

1. Liang, K. H. (2011). *Differences between Designers and the Public Observing Virtual Reality*, The 6th International Conference on Planning and Design, pp. 436-443.
2. Liu, Y. T., Chen, Z. R., Liang, K. H., and Shao, W. Y. (2010). Seven local cases of new tectonics, in: Jeng, X. L. (ed), in *Digital flow of architecture: from creation to construction*, 162-169. Shanghai: Tongji University Press.
3. Liang, K. H. (2010). *Future architecture and past architecture in virtual reality*. In D.-Y. M. Lin and H.-C. Chen (eds), *Ergonomics for All*, pp. 421-425. CRC/Balkema, an imprint of Taylor & Francis: Leiden, The Netherlands.
4. Liang, K. H. (2009). *The Relationship between Architectural Media and Elements: The Emerging Undefined Digital Architectural Elements*, DeSForM 2009, pp. 128-134.
5. Liang, K. H. (2009). *Redefining Architectural Elements by Digital Media*, Human Centered Design – HCD 2009, HCII 2009, pp. 995-1002.

Taiwanese Conference Papers:

1. Liang, K. S. 2007. *圖說建築：虛擬實境介面對空間認知之效應 (Virtual Reality Interface on the Effects of Spatial Cognition)*, 設計學會第 12 屆研討會 (12th Institute of Design Conference), 2007.

Book Chapters:

1. Liang, K. S. 2009. *Redefining Architectural Elements by Digital Media*, M. Kurosu (Ed.): Human Centered Design, HCII 2009, LNCS 5619, ISBN 978-3-642-02805-2, pp. 995-1002.
2. Liang, K. H. 2008. *Calligraphic House in Next-Gen 20: Ao-Di Grand Land Architecture International Project*, Taipei. Out There: Architecture Beyond Building, La Biennale di Venezia 11th International Architecture Exhibition, Vol 4: 186-187. Venice: Marsilio. (the member of design team, AleppoZone)