

第四章 數位設計製造

本章節將透過從上階段所發展出的接合方式挑戰自由形體的組構，以兩個範例來探討自由形體在骨架在多角度接合時以及表皮曲度複雜時組裝上的議題。範例將藉由 Maya 編寫 MEL 和 K3Dsurf 的 PE 產生一個具有生產力的方法創造出特有的形體結構，再結合相交接頭和接縫接頭的組裝方法以及接頭設計的流程(圖 52)來探討自由形體的組裝。

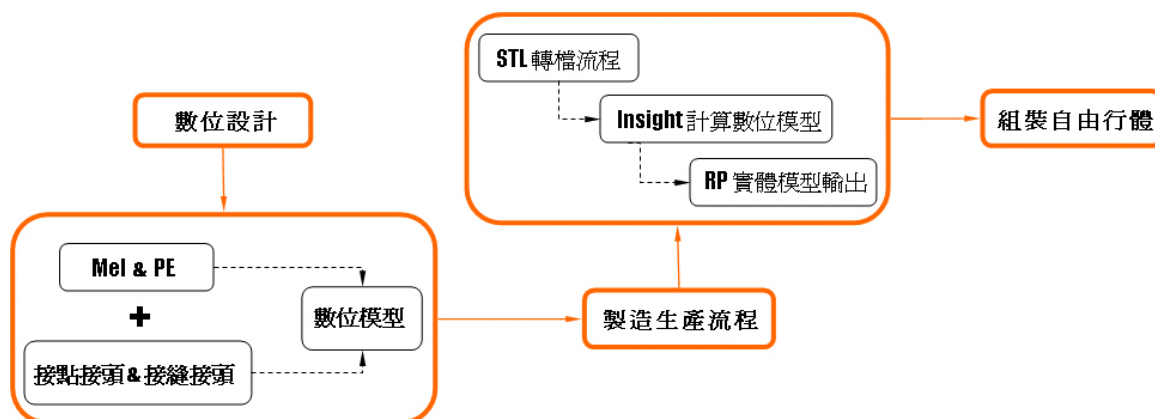


圖 52. 數位設計 - 接頭設計的流程

4.1 設計自由形體 - MEL 和 PE

MEL :

MEL 是 Maya 所專用的腳本語言，MEL 可用於執行 Maya 中幾乎所有的功能，透過運用 MEL 能編寫複雜動畫運算式、創造巨集以便執行重複的命令、編寫程式以及創造自訂的使用者介面元件。本研究透過 Maya 內部 MEL 進行自由形體骨架的數位設計，MEL 編寫的內容將提供一種機制，使得在設計自由形體時骨架的會以等分的方式排列，且每根骨架會以不同角度進行接合。MEL 運作方式如下所敘述(圖 53)：

- (a) 選定骨架作為基本單元。
- (b) 設定複製骨架的數量，所複製出的骨架參數同步受控制於最原先的骨架。
- (c) 設計者透過操作空間裡的 x, y, z 座標，位移，旋轉，縮放大小影響骨架的生長的型態，每根骨架被等分的分布在空間裡，並且以巧妙的角度接合在一起，產生具複雜和幾何的結構物。

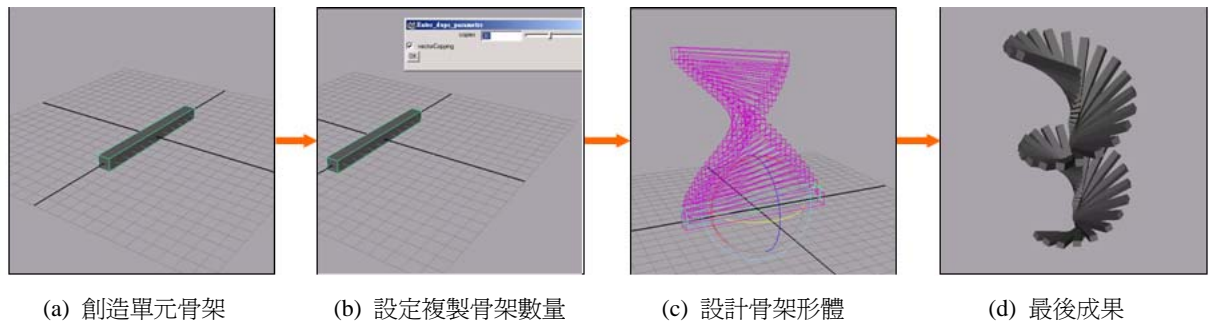


圖 53. 數位設計 – MEL 運作流程

本階段運用 MEL 的功能下，在 Maya 內設計了四組自由形體的骨架，每組的自由形體各具其特殊造型外，骨架以三度空間的方式互相接來引發自由形體組裝上的議題(圖 54)。本研究將選取第 a 組的自由行體骨架，透過接頭設計程序，RP 輸出實體模型來探討組裝的過程和落實接頭設計的應用。

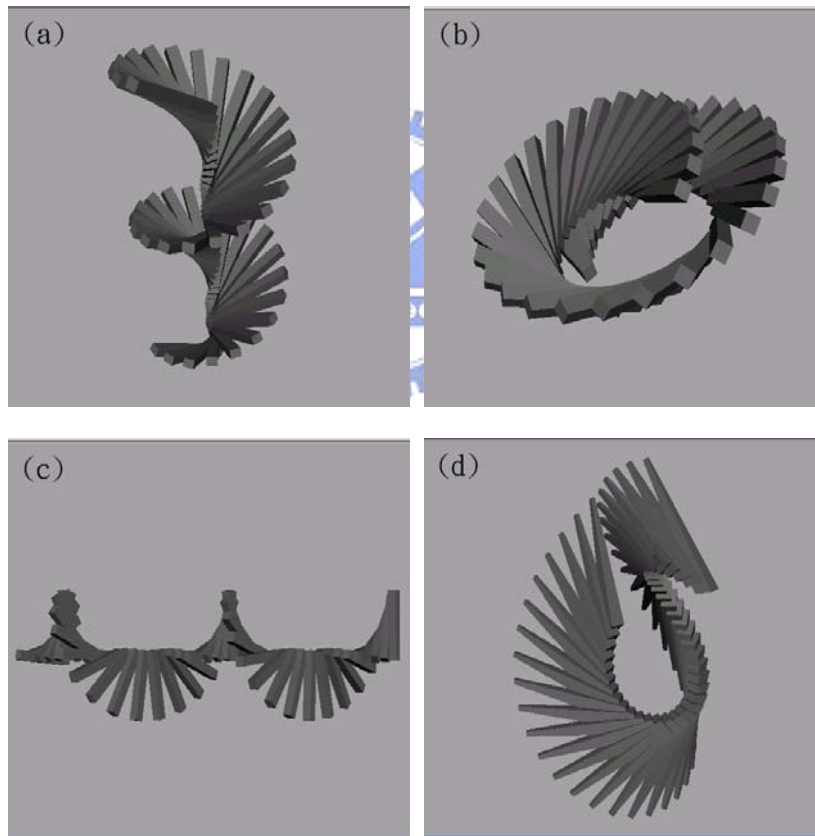


圖 54. 數位設計 – 自由形體骨架(a, b, c, d)

PE :

K3Dsurf 程式是作用在視覺化和操作 3~6D 的數學模型，透過撰寫 PE 來形成表面或者曲線。K3DSurf 提供給每個有興趣的使用者在不需具備任何特殊的能力操作 3D 數學製圖的功能。在此

利用撰寫 K3DSurf 的 PE 進行自由形體表皮的數位設計，藉由 K3DSurf 內的數學式設定使表皮隨程式的變動產生許多複雜曲度的自由形體。PE 運作方式如下所敘述(圖 55)：

(a) 設定 X,Y,Z 三軸的數學式。

$$X = f(u - u^3/3 + u*v^2)$$

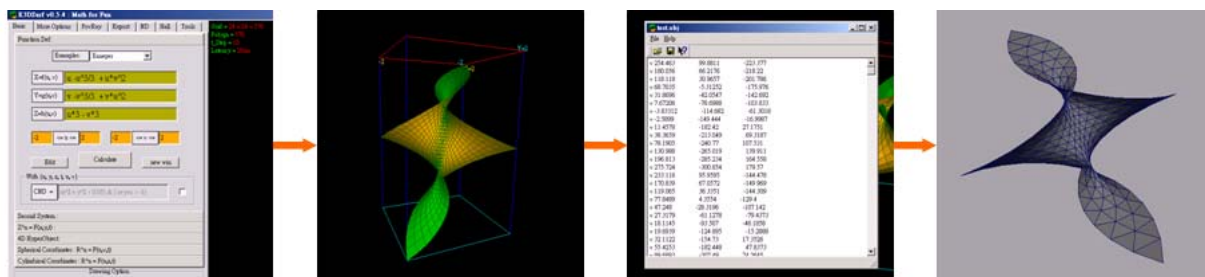
$$Y = g(v - v^3/3 + v*u^2)$$

$$Z = h(u^3 - v^3)$$

(b) 產生 3D 數學模型，透過下述屬性的參數來影響表皮的分布，U 軸面分布(Line)、V 軸面分布(Colu)、表皮總面數(Grid)。

(c) 3D 數學模型輸出 obj 檔案格式。

(d) Maya 讀入 obj 檔案，重新設定模型比例(Scale)。



(a) 設定數學式

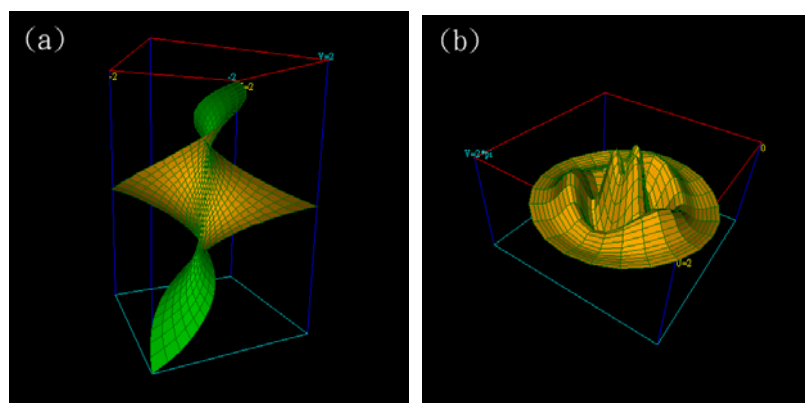
(b) 3D 數學模型

(c) 輸出 obj 檔案至 Maya

(d) 最後成果

圖 55. 數位設計 – PE 運作流程

在 K3DSurf 的 PE 輔助下設計了四組自由形體的表皮(圖 56)，每組的自由形體在不同數學式的影響下表皮隨機的運動，使得每組自由形體的表皮產生大量翻轉、摺疊形成複雜曲度的造型，本研究將選取 a 組的自由行體表皮來探討組裝的過程和落實接頭設計的應用。



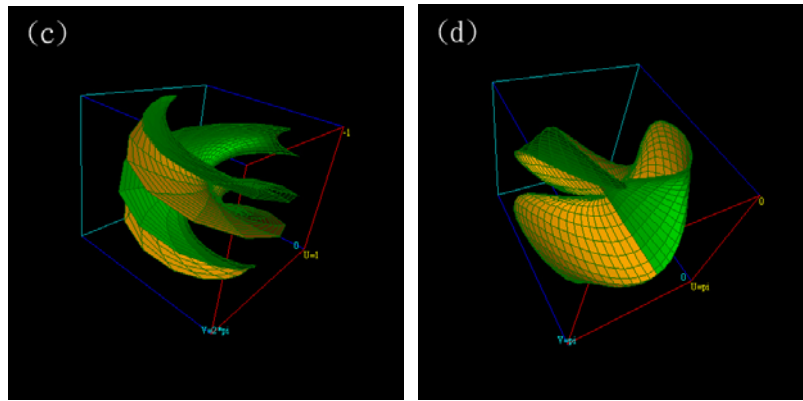


圖 56. 數位設計 – 自由形體的表皮(a, b, c, d)

4.2 組裝設計：自由形體的骨架

自由形體骨架組裝的議題，將從 MEL 所製造出的骨架結構體來進行組裝設計(圖 57)。接頭的形式透過傳統木構接頭的卯榫和楔形榫頭所設計出的接點接頭類型二，在 Maya 內將接頭設置於結構體上，並且討論接頭設置過程，再透過接頭設計的製作流程，最終將以 RP 裝置輸出實體模型呈現完成組裝後的自由形體。

在這個範例中結構體以螺旋的方式向上構築，接頭在三度空間中相互交接，骨架的數量總計為 40 支，由於需設置接頭的數量的繁多，所以在 Maya 製作的過程中會以三支骨架模型為一個單位來施作接頭的設置，其餘的骨架模型暫時影藏起來以便作業，在設置接頭的過程可以因此減少視覺上的干擾，並且在選取骨架模型時不會因其它的模型造成選取上的錯誤，反而增加製作的時間。

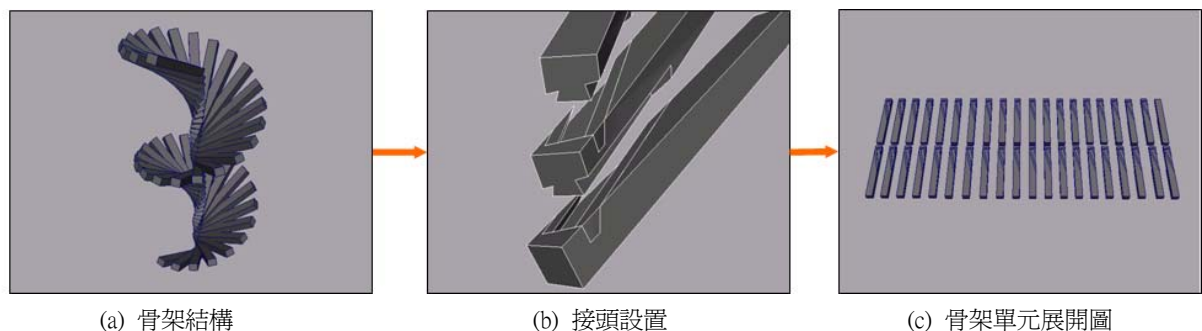


圖 57. 數位設計 – 組裝自由形體的骨架

在 Maya 設置接頭過程中因結構物的每一骨架以不同的角度接合，絕大部分的骨架會有兩個接點與其他骨架在不同的角度上接合，所以設置接頭於結構物的骨架時操作的過程是非常繁重的，由於部分設置接頭的過程是一直重複的手續，因此為了簡化手續可以將重複部份以 MEL 的方式將其記錄下來作成簡易的按鈕，例如在設定接合的深度時使用”move -r 0 -0.25 0 ;”，配合

深度與角度不同可以設定適用的 MEL，這個方法解決了不少繁雜操作也節省了設置接頭所花費的工作時間。



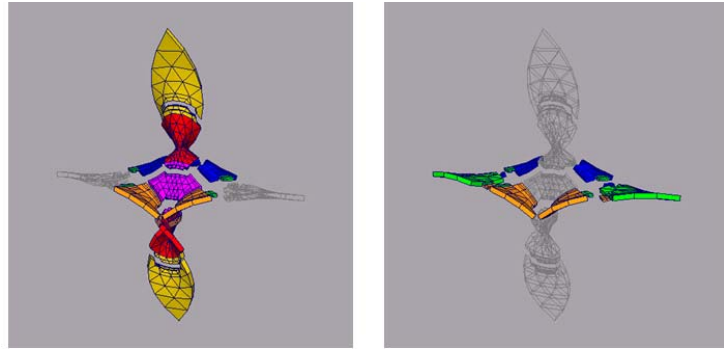
圖 58. 組裝自由形體的骨架

組裝實體骨架過程中(圖 58)，每個接頭在卡入後非常的密合，但在接頭尾部須施加力道才能完全卡入。組裝完成的自由形體骨架，整體而言結構平穩牢固，唯有接頭的側邊因接頭卡入的深度較淺，使的該處為結構較為脆弱之處。

4.3 組裝設計：自由形體的表皮

在此所探討自由形體表皮組裝的議題，將從 K3Dsurf 撰寫 PE 製造出的曲度複雜的表皮來進行組裝設計，該接頭的形式透過傳統木構接頭的楔形榫頭和卯榫所設計出的接縫接頭類型一以及搭接和對接所設計出的類型二，結合這兩種接縫接頭善用其特有的接合屬性，並在 Maya 內將接頭設置於表皮上，並討論接頭設置的過程，再透過接頭設計的製作流程，最終以 RP 裝置輸出實體模型呈現完成組裝後的自由形體。

在這個範例中 PE 所產生的形體表面產生大弧度的曲面，甚至在曲面的交會處表皮的內側與外側相互交換產生交疊、翻轉、扭曲等動作，形成複雜曲面的數學造型。在進行接頭設置前，需將曲面體分割成數各單元來進行接頭的設置，但是此範例的曲面體無法分割成矩陣的配置，其因在於曲面體獨特的造型影響著正規的組裝順序，例如由上而下或者是由左由右依序的來設置接頭。

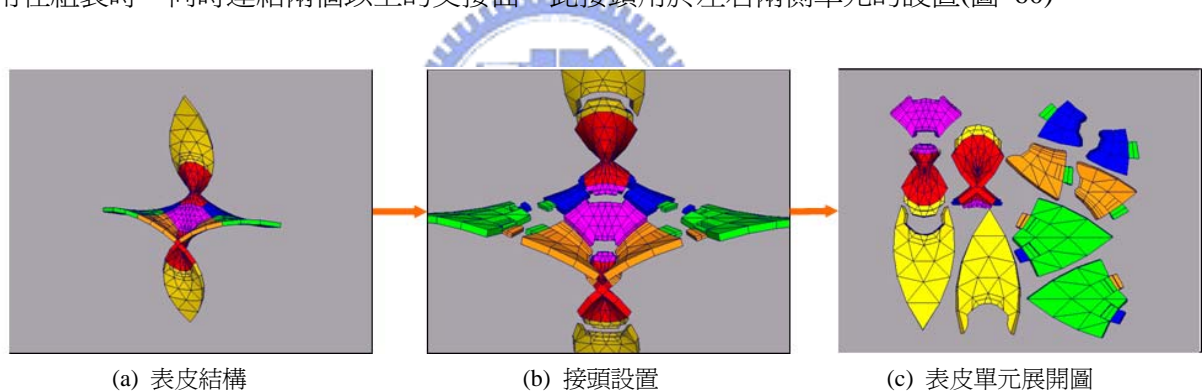


(a) 接縫接頭類型一配置

(b) 接縫接頭類型二配置

圖 59. 接縫接頭分配圖

曲面體被分割成 11 塊來進行接頭的設置時，發現每塊單元與單元之間交接面的數量差異之大，從獨有一個的交接面直到二個、三個，甚至是六個接合面，因此，須重新思考在組裝上的方法。為解決此困境主要關鍵的施作方法就是搭配兩種不同的接頭屬性(圖 59)。接縫接頭類型一，運用楔形樺頭和卯榫有著可以大幅提高結構強度的屬性，作為單元之間關鍵的接頭，特別是在曲面交會處的單元，該單元為連結上下結構的交接點。接縫接頭類型二，搭接和對接可運用在組裝時，同時連結兩個以上的交接面，此接頭用於左右兩側單元的設置(圖 60)。



(a) 表皮結構

(b) 接頭設置

(c) 表皮單元展開圖

圖 60. 數位設計 – 組裝自由形體的表皮

在設置接頭的過程中接縫接頭的類型一雖扮演著主要連結結構的接頭，其缺點在於組裝時無法同時運用在兩個交接面上，需要透過類型二來擬補其不足處。類型二接頭在設置的過程中發現在接合角度上的限制，也就是單元內有兩個以上的接頭時，在接合的角度須是一致的，不能隨曲度的不同而個別設置需統一接頭的朝向，才能順利組裝，因此，類型二接頭的設置為適用於曲度較為平緩的表皮，如此以來調整接頭朝向的幅度才不需太大。接頭在設置的過程中同樣與範例一有著操作步驟過於繁雜的問題，可使用簡單的 MEL 來減少工作的時間。



圖 61. 數位設計 – 組裝自由形體的表皮

在組裝自由形體的表皮時(圖 61)，因採用兩種接縫接頭的原型來設置表皮的接頭，在類型一接頭的組裝過程中發現接頭的卡入的深度越深，表皮結構就越牢固；類型二接頭組裝後極為牢固、完全密合，若是要在拆解接頭，可能造成接頭毀損。自由形體的表皮在組裝後，每個接頭皆可施行其功能，由其是類型二接頭組裝後極為穩固，唯有在局部類型一的接頭深度不足使的該處結構較為不穩固、容易脫落。

4.4 討論



本章節所探討自由形體的骨架和表皮在組裝上的兩個議題，透過 MEL 和 PE 來製造無法預期的形體，主要是在測試相交接頭和接縫接頭面臨複雜的自由形體構造時是否可以適用。

MEL 設計出的自由形體主要在提供給接點接頭來進行骨架的組裝，但是 MEL 在產生形體的過程中需要去顧慮接點接頭的接合厚度不能太薄，不然接頭會無法進行設置，也透露出接點接頭的接合形式適用性的限制。在範例中絕大部分的骨架上下方都有設置接頭，但接點接頭在設置過程的細節上必需使用 Maya 的布林，但是布林的功能在此軟體上極為不穩定，製作若是產生錯誤時常需重新建模，因此可能要尋求其它的工業軟體例如 Catia, SolidWorks, Rhino 來取代 Maya 在此方面的問題。

PE 設計的自由形體則是提供接縫接頭來進行表皮的組裝，PE 所產生的數學模型的表皮通常的特徵就是造型複雜，接縫接頭在設置的過程需要耗費精力來思考組裝的順續和採用接頭的類型。範例中曲面體複雜的造型，考驗著接縫接頭的應用，不同的組裝順序決定著接頭的類型，搭配屬性不同接頭，結合各別的功能來完成此艱鉅的組裝，是此範例衍生出需重視的問題。

從範例中提高接頭設置的困難度，也測試了接頭適用性，討論整個設置接頭的過程和面臨的問題，並且尋求解決的辦法，來修改和調整接頭的應用，也使設計接頭的流程更加的完善，但勢必會面臨在組裝上無法解決的問題，需要在從傳統木構中發展更多的接頭來使這接合的方式，可以面對更多在自由形體組裝上的議題。

結構方面，在與台灣科技大學營建工程系林英俊教授討論後，本研究將其建議歸納成下列兩點：

(a) 自由形體的骨架

骨架的接頭是運用接點接頭的類型二所組成，而其在結構上將會面臨三個受力的問題：(1)骨架的構造是累加向上疊起的，其面臨垂直剪力時，載重將會逐層向下累加導致最下層的受力負擔相當龐大。(2)每根骨架在構造上可以視為懸臂樑，載重發生時將會產生彎矩的力量，並受力將會集中於接合點。(3)骨架的構造為立體的結構體，接合處每個接頭角度均不相同，受力時將會面臨扭力的影響。

上述的三點問題，關鍵將會是接頭是否可以承受外力。剪力的部份，需思考如何將其受力平均分攤於每個接點上，或是增加一個完整的結構體，例如：曲度與構造物相同的柱，將其每個接頭嵌入柱中，來均化其受力；為了增加對抗彎矩的力量，需再增加接頭卡入的深度與配合五金的嵌入來強化構造；扭力的影響將會是曲度的構造物必會遭遇的問題，需透過精密的結構計算，配合不同的五金構件，例如：鋼索來強化構造。

(b) 自由形體的表皮

表皮的接頭是運用接縫接頭的類型一與類型二所組成，表皮的構造在結構上將會面臨兩個問題：(1)表皮的構造是邊與邊相互連接所構成，因此，在產生垂直剪力時，接合處受力會是直接影響的。(2)當產生垂直剪力時，相同的彎矩的力量即會產生，並也會考驗接合處承受外力的程度。

接縫接頭的類型一，承受剪力與彎矩的關鍵將會是在卯榫處，卯榫的強度將會決定著表皮構造是否可以承受外力，並建議在接合處運用五金嵌入補強構造。接縫接頭的類型二，承受剪力與彎矩的關鍵將會是在搭接的厚度，唯有強化此處此構造才不受外力而造成破壞，但此處若是採用木材在受力時必定無法承受，因此建議可以結合其他材料，例如：鋼料來強化構造。

關於 RP 技術在本研究應用於自由形體的組裝測試，對於此技術如何應用在實際的建造上，可能為初期時，透過 RP 輸出實體的模型，預覽設計的成果，並檢測建造的工法可能面臨的問題，相對的 RP 可以自動化的生產複雜的實體模型，CNC 提供相同功能，並且突破 RP 在輸出模型大小上的限制可以輸出更大型的物件，在材料上，RP 使用 ABS 塑膠作為塑形的材料，而目前以聚苯乙烯泡沫塑膠具有相同的可塑性，並且為現行的自由形體在建造時所採用(圖 62)。

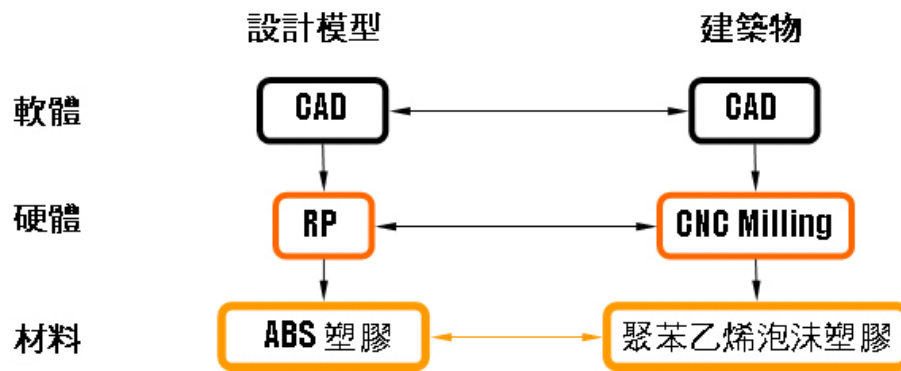


圖 62. 設計模型與建築物對照表

