

# 結合建築資訊建模 (BIM)、辨識技術 與人工智慧 (AI) 技術於建築物預鑄 工法應用

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 110 年 12 月

# 結合建築資訊建模 (BIM)、辨識技術與 人工智慧 (AI) 技術於建築物預鑄工法 應用

研究主持人：王榮進

協同主持人：曾仁杰

研究員：林之謙、陳士明、厲妮妮、黃昱翔

研究助理：曾韶順、王文廷

研究期程：中華民國 110 年 3 月至 110 年 12 月

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 110 年 12 月

# 目錄

目錄.....	iii
圖次.....	v
摘要.....	vi
<b>第一章 研究方法及進度說明</b> .....	<b>1</b>
一、研究背景 .....	1
二、研究目的 .....	1
三、研究重要性 .....	1
四、研究方法 .....	2
五、研究採用方法之原因 .....	7
六、重要儀器之配合使用情形 .....	7
七、研究步驟 .....	8
八、研究進度 .....	9
<b>第二章 蒐集之資料、文獻分析</b> .....	<b>12</b>
<b>第三章 研究成果</b> .....	<b>15</b>
一、蒐集影像資料 .....	15
二、BIM 模型資料蒐集 .....	166
三、資料標注 .....	17
四、點雲模型演算法建立 .....	17
五、4D BIM 模型架構建立 .....	18
六、結合模型 .....	19
七、建立虛擬視覺模型 .....	20
八、影像定位演算法 .....	21
九、反投影演算法 .....	22
十、深度學習模型訓練結果 .....	27
十一、場域測試 .....	23
<b>第四章 結論與建議</b> .....	<b>309</b>
一、結論 .....	309
參考文獻 .....	35

附錄一 ..... 35

## 圖次

圖 1-1、目前利用影像建立三維點雲模型的兩種主流方法 .....	2
圖 1-2、影像三維模型重建過程，其中 X1、X2、X3 為從影像 P1、P2、P3 反投影出之三維點位.....	3
圖 1-3、4D BIM 模型架構.....	4
圖 1-4、運用 SLIC 後之影像超像素 (左上); 點雲網格模型之法向量視覺化 (右上); BIM 模型深度視覺化 (左下); 點雲網格模型深度視覺化 (右 下) .....	6
圖 1-5、預鑄元件進度捲積網絡深度學習模型架構 .....	6
圖 1-6、蒐集影像資料方式 .....	8
圖 1-7、360 相機拍攝範例 .....	8
圖 1-8、進度及準確度分析流程圖 .....	9
圖 2-1、進展情況、竣工模型之 4D BIM 模型，彩色編碼疊加一起(左) (M. Golparvar-Fard 等人，2012 年)，雷射掃描竣工模型(中) 和 4D BIM 模 型(右) (Turkan 等人，2012a) .....	13
圖 2-2、利用從 BIM 模型中檢索到的補丁到 2D 進行材料分類，並深度測試， 排除遮擋區域 (K. Han 和 Golparvar-Fard，2015) (左)。通過對比檢測 和材料分類後的竣工與規劃，提取進度狀態(右).....	13
圖 2-3、第一列顯示透過 4D 點雲和 BIM 同步的進度；第二列顯示基於位置 的 4D BIM 模型和進行中的跟踪與點雲的集成；第三列顯示 4D BIM， 其中分包商負責的任務用顏色編碼，以傳達誰在什麼位置從事什麼工作 .....	14
圖 3-1、360 相機拍攝室內環境 (上) 室外環境 (下) .....	18
圖 3-2、經由超像素分割針對 BIM 模型渲染之虛擬影像(左) 將在地面真相 之切高區塊套對自原始相片，比對經由自動切割之區塊相對真實影像能 看出確實能夠精準切割 (右) .....	18
圖 3-3、點雲模型 .....	19
圖 3-4、4DBIM 模型.....	19
圖 3-5、利用對齊的方式獲得轉換矩陣。對齊前 (上)、對齊後 (下) ....	20
圖 3-6、將點雲模型貼合至 BIM 模型之成果.....	21
圖 3-7、現地照片 (上) 點雲模型和照片疊合的成果 (下) .....	22
圖 3-8、BIM 模型與照片 (上) BIM 模型點雲模型與照片 (下) .....	23
圖 3-9、原始拍攝彩色影像 (左) 三維網格模型深度地圖 (中) 三維模型法向量 地圖 (右) .....	23
圖 3-10、準確度圖表，最終準確度能夠到達大於 99%.....	23
圖 3-11、損失函數圖表 .....	25

圖 3-12、原始測試相片利用團隊訓練之模型，其結果能夠看出確實能夠分割出構建與非構建，綠色區塊為構建，紅色區塊為非構建.....23

圖 3-13、竹南停車大樓工地預定進度表（上）和二層結構圖（含吊裝計畫）（下） .....23

## 表次

表 3-1、訓練參數 .....	25
表 3-2、研究團隊經由篩選所選取之影像數目統計量表，以及透過運動恢復 過程中所重建之點雲總數.....	29

## 摘要

關鍵詞：進度管控、預鑄、深度學習

近年來為照顧弱勢及青年族群的居住需求，社會住宅等建築物之興建數量大幅成長，然面對營造業缺工、技術工老年化及工安環保要求逐漸提高的問題，部份社會住宅等建築工程開始思考導入預鑄工法之可行性。預鑄工法先行於預鑄廠完成構件，再於工地現場進行構件吊掛與組裝，不僅可大量減少工人需求、減少假設工程及施工廢料、工安事故發生機率、工期，亦可提高工程品質穩定度。

依據行政院核定之「社會住宅興辦計畫」，政府預定於 113 年前直接興建 16 萬戶社會住宅，及包租代管 12 萬戶。為於短期間內興建大量社會住宅等建築物，並兼顧營造業缺工、技術工老年化、工安環保要求，及確保施工品質等，採用預鑄工法興建社會住宅等建築物將為未來新建建築工程之推動重點。近年來，國內 BIM 的使用逐步提高，再加上人工智慧與辨視技術(如 RFID、影像辨視、QRCode)應用已然成熟，因此本計畫以社會住宅等建築預鑄工程為標的，研究應用 BIM、辨識技術與人工智慧等技術於建築物預鑄工程之管理。

本研究為求有效應用工地現場蒐集之巨量影像資料，針對預鑄工法，利用、延伸電腦視覺演算法建立現地點雲模型呈現工程現場進度，並結合 4D BIM 模型建立虛擬視覺模型。此虛擬視覺模型可作為提取進度特徵資訊之基礎，另外加上計算攝影、電腦圖學技術，可系統性蒐集進度特徵資訊，包括點雲及 BIM 的法向量、深度等。最後運用深度學習卷積神經網路判斷預鑄元件安裝進度。本研究採用之方法主要可以分為三個模組：(一) 虛擬視覺模型建立、(二) 特徵資訊蒐集、(三) 深度學習模型分析。

研究流程主要依據方法分為以下步驟：蒐集影像資料、建立點雲模型、建立 4D BIM 模型、結合點雲模型及 4D BIM 模型建立虛擬視覺模型、進行所有 BIM 元件及點雲網格模型反投影至所有影像資料、所有影像資料超像素處理、將超像素中兩模型之深度、法向量及顏色資訊結合、輸入深度學習模型、分析工程進度。

本期研究結果發展出一系統包括影像資料的蒐集規則，模型轉換與貼合，整合虛擬視覺模型進而後續由深度學習分析工程進度。研究結果初步證實運用深度學習、BIM、點雲模型進行預鑄工程進度分析之可行性。

# 第一章 研究方法及進度說明

## 一、研究背景

營建工程進度之有效管控是工程管理中一大重點，唯工程進度之回報仍仰賴大量人力之現地視察及清點。近期工程進行中，工地為了掌握進度、品質及成本，開始大量運用許多照片、影片、縮時攝影等影像記錄。然而目前這些巨量影像資料，在沒有自動化、系統性的整理與分析下，仍然缺乏有效應用。於現行 BIM 技術普及、人工智慧技術及影像拍攝設備日益成熟，成本快速下降下，如何利用智慧影像辨視，進行營建工程進度偵測自動化是本研究之主要目的。

預鑄工法有品質穩定、施工快速、人力需求低之優點，其造價偏高之缺點於近年營建產業工資上漲、大量缺工，以及因疫情管制外勞人力更為不足下，相較於傳統之鋼筋混凝土建築已不明顯。本研究擬以預鑄建築之鋼構組裝為主要研究對象及範圍，於既有之 BIM 模型及預定工程進度資料下，結合人工智慧與影像辨視，藉由 360 相機所記錄之工地現場影像資料，實作工程進度監測自動化。

## 二、研究目的

針對預鑄工程，應用 BIM、辨視技術與人工智慧等技術於建築物預鑄工程之管理，包含以下功能：

1. 利用 BIM、人工智慧、辨識技術等前瞻技術開發預鑄工程建築構件施作控管系統，即時偵測預鑄建築構件於施工階段是否依設計圖說正確安裝，並控管施作進度管理架構及流程之研擬。
2. 建置預鑄工程建築構件施作控管系統，控管建築構件施做位置正確性及施作進度。
3. 提出預鑄工程建築構件施作控管系統之系統標準。

## 三、研究重要性

BIM 近年於國內外公共工程採用之普及率日益漸增，僅管推廣成效卓鉅，其實際應用仍較侷限。目前 BIM 於建築產業，其應用多著重於設計過程中之衝突檢查、界面整合、結構計算、估算數量等需求，對於工程進度管控之相關應用則亦多僅著重於 BIM 模型依工程進度之 4D 展演，本研究擬以工程進度自動偵測為主題，對於 BIM 之延伸應用而言，於國內外目前之應用，皆具有前瞻性及創新性。

建築工程進度自動偵測涉及多項資通訊技術之整合，包含人工智慧、影像辨識、BIM 模型空間比對、點雲技術等，其進入門檻相對較高，若能以國內公共工程案例實作，其成果示範將有助於擴大 BIM 於建築產業的應用範疇與效益，隨之而來亦能有助於未來 BIM 之推廣。

#### 四、研究方法

本研究為求有效應用工地現場蒐集之巨量影像資料，將針對預鑄工法，利用、延伸電腦視覺演算法建立現地點雲模型呈現工程現場進度，並結合 4D BIM 模型建立虛擬視覺模型。此虛擬視覺模型可作為提取進度特徵資訊之基礎，另外加上計算攝影、電腦圖學技術，可系統性蒐集進度特徵資訊，包括點雲及 BIM 的法向量、深度等。最後運用深度學習卷積神經網路判斷預鑄元件安裝進度、正確度。本研究採用之方法主要可以分為三個模組：(一) 虛擬視覺模型建立、(二) 特徵資訊蒐集、(三) 深度學習模型分析。以下將詳細討論各模組之技術細節以及應用方法。

##### (一) 虛擬視覺模型建立

##### 一、 影像式點雲模型

近十年來，利用影像建立三維點雲模型的技術愈趨成熟，其中主要分為兩種技術主流：(一) 傳統運動恢復結構 (Structure from Motion, SfM) 及多視立體 (Multiview Stereo) 途徑 (SfM-MVS) 之場景重建；(二) 運用 BIM 模型作為已知資訊以限制多視立體及運動恢復結構之三維場景重構。

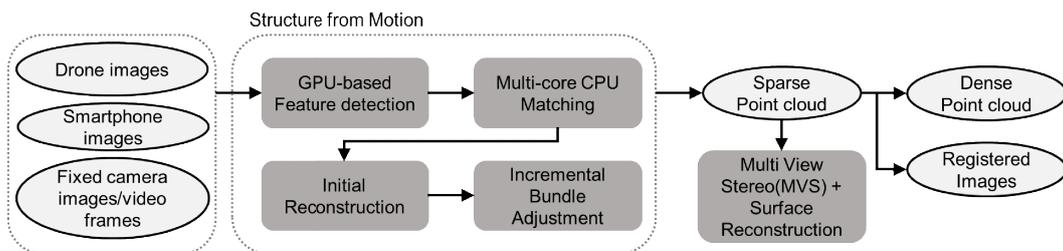


圖 1-1、目前利用影像建立三維點雲模型的兩種主流方法

在運動恢復結構的過程中，演算法主要透過偵測影像中的特徵點，並透過與其他影像中的相似特徵點進行匹配，計算出三維座標點位。這之中將使用 SIFT 及其一與黑塞矩陣 (Hessian Matrix) 結合之變異形式進行特徵點偵測。這兩種方法皆透過位置、旋轉、大小、亮度等相關資訊進行匹配。三維座標點位則是透過 Nister's 5-point 演算法及線性轉換理論 (Direct Linear Transform) 來擷取相機的外方位、內方位、位置參數，最後由 RANdom SAmple Consensus (RANSAC) 演算法剔除錯誤的匹配。整個過程中，需要先由眾多匹配的特徵點中挑出一對擁有最高百分比正確率開始計算基礎矩陣 (Fundamental matrix)。影像依序加入三

維重建模型中，整個過程在無法加入任何三維點位後停止，其中在加入影像的過程中，我們也將運用光束平差法（Bundle Adjustment）將影像中的反投影誤差最小化（方程式1）。

$$\operatorname{argmin}_{\mathbb{P} \setminus \mathbb{P}_a, t} \sum_{i=1}^N [\sum_{u \in \text{tracks}_a} \|\text{project}(\mathbb{P}_i, X_u(t_u)) - u\|] \quad (1)$$

此三維重建模型過程的輸出為稀疏點雲（Sparse Point Cloud），為下一步多視立體的輸入。

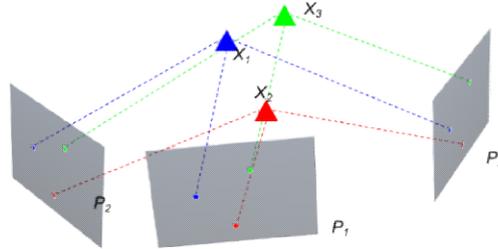


圖 1-2、影像三維模型重建過程，其中 X1、X2、X3 為從影像 P1、P2、P3 反投影出之三維點位

透過傳統運動恢復結構所建立的稀疏點雲可以再由 BIM 模型之已知資訊約束最後的光束平差法過程，增加點雲的完整度以及減少誤差。此方法主要將 BIM 模型與影像事先對齊整合，如此可以將三維模型與二維影像之間的關係建立約束關係，並在加入其他影像時將相機之位置及旋轉方位更有效的計算。

在稀疏模型建立後，多視立體演算法可以將點雲密度提高，並生成三維網格模型。目前三種方法皆可在不同情況下建立高密度點雲模型，包括 PMVS (Furukawa and Ponce, 2010)、MVE (Fuhrmann et al., 2014) 及 COLMAP (Schönberger et al., 2016; Schönberger and Frahm, 2016)。這三種方法運用之技術各有不同。其中 PMVS 透過運動恢復結構過程中推算的相機模型，推估出每一點雲區塊中相對應的所有相關影像。在稀疏點雲的基礎下，PMVS 推估周圍三維點位並由相關影像填補像素顏色資料，同時也由最初區塊之匹配特徵點過濾出錯誤的資料，確保填補之三維點位及顏色正確性。MVE 不同之處在於應用各個不同影像之重疊處的深度資訊建立網格模型，並填補像素。其輸出則同時包括一全點雲模型表面網格模型。而 COLMAP 則是更進一步將像素深度及估算的法向量嵌入點雲，並以空間模型約束期影響選擇。其中多視立體由四個方向、深度及法向量迭代式的運算，並計算出最後的高密度點雲。這三個方法各適合不同場景之應用，可以在確定應用的場域決定演算法。此結果生成工程現場實際進度點雲模型。

## 二、 4D BIM 建築資訊模型

目前 4D BIM 模型大多由商業軟體如，Autodesk Revit 或 Navisworks、Bentley Synchro 所建立，此 4D BIM 模型之使用彈性並不高，常需透過 API 等方式才能

提取相關資訊。也能發展一運用 Autodesk Forge 之網路平台架構，建立具有高度應用價值之4D BIM 模型，如將空間資訊、後設資料直接顯示。另外，排程資訊則將透過應用網路開源軟體讀入如 Microsoft Project、Primavera P6等排程資料，進行4D BIM 模型建置。

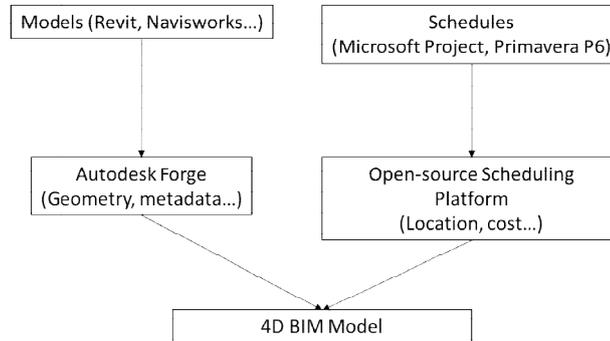


圖 1-3、4D BIM 模型架構

4D BIM 模型在此研究中同樣重要，作為比較之基準，4D BIM 將與排程做結合，並預計至工項甚至作業等級之排程。

### 三、 結合建築點雲模型與4D BIM 模型

為直接比較點雲模型及4D BIM 模型以進行進度分析，研究必須將點雲模型及4D BIM 模型結合。由上述運動恢復結構及多視立體所建立之點雲，並無單位及空間系統。為進行有意義之比較，可以利用 BIM 模型結合點雲，並賦予點雲模型相同單位，並移位至正確空間系統中。此過程可以使用相似轉換 (Similarity Transform) 進行 (方程式2)，此方法至少需要三個以上相對應的點位建立空間關係，計算出轉換矩陣。除手動方法外，亦可運用自動偵測方式進行，例如運用 QR code 式之條碼，可以部設於工地中，並在 BIM 模型中標注，如此即可自動計算出對應關係。本研究稱結合後之模型為「虛擬視覺模型」，其包含的資訊包括：所有工地影像資料、由影像資料建立之點雲模型、影像位置、排程、BIM 模型以及4D BIM 模型。

$$\sum_{i=1}^N \|d_i - \hat{s}Rm_i - \hat{T}\| \quad (2)$$

#### (二) 特徵資訊蒐集

虛擬視覺模型將工地現場進度紀錄，並由4D BIM 提供應有進度，其中資訊即可作為自動化分析進度之基準。本研究將應用模型中，所有影像、點雲模型、BIM 模型、兩模型之深度及法向量作為特徵資料進行後續進度資料分析。但由於模型三維資訊體積大、運算量高，較不易直接進行深度學習分析，本研究使用兩模型相對應的所有影像作為主要特徵資訊提取來源。主要藉由上述章節之運動恢復結構中，運算得出之相機外方位、內方位、位置參數，可以將點雲網格式模型及 BIM 模型反投影至影像。此結果可以得到影像中，兩模型相對映的區塊，以

BIM 模型為例，預鑄樑、板之影像對應區塊即可提取。但其中也會遇到如，遮擋、視角等相關問題。以下針對相關技術細節做介紹。

### 一、 影像超像素 (Superpixel)

由於模型反投影至影像之區塊並不一致，此研究採用超像素進行資料標準化。以 BIM 模型之反投影為例，預鑄樑與板反投影之區塊會有顯著差異，但由於下一步驟中的分析需求包括標準化輸入，所以必須將輸入區塊標準化。同樣以點雲網格模型為例，點雲網格大小不一，反投影區塊同樣需要進行標準化。超像素藉由影像中相似之顏色、分界、曲向分割出影像區塊並稱為超像素。這些超像素相對單一像素提供更多資訊可供物件偵測、分割等做分析。此研究所使用之超像素方法為 SLIC (Simple Linear Iterative Clustering)，其中使用 L\*a\*b 色彩空間 (CIELAB color space) 作為基準，建立一五為座標系作為影像區塊分割標準 (圖 1-4)。

### 二、 點雲網格、BIM 模型法向量

法向量常作為模型分析之特徵資訊。此研究應用點雲網格及 BIM 模型之法向量作為特徵資料。模型法向量之提取為估算每一影像中所有點雲網格或模型元件之相對方向。我們可以影用表面正向渲染作為基準來估算其法向量，並應用下列公式 (方程式3) 計算。其中 N 為法向量、f 為影像、e 為元件、R、G、B 為像素顏色量值。

$$N_e^f = \cos^{-1} \left( \begin{bmatrix} -1 + 2 * R_e^f \\ -1 + 2 * G_e^f \\ -1 + 2 * B_e^f \end{bmatrix} \cdot \vec{N}^f \right) \quad (3)$$

### 三、 點雲網格、BIM 模型深度

另一常用特徵資料為模型深度資訊。類似法向量，所有元件、網格在每一影像中皆有相對應之深度資訊可以藉由渲染過程中進行提去。其中 D 為深度、I 為像素平均量值、C near 為影像之近面、C far 為影像之遠面 (方程式4)。

$$D_e^f = C_{near}^f + (1 - I_e^f) \times (C_{far}^f - C_{near}^f) \quad (4)$$

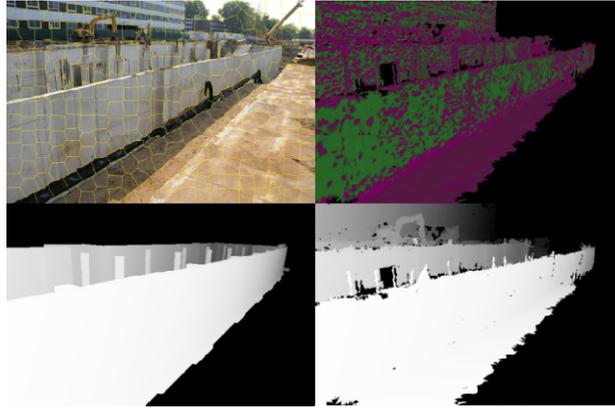


圖 1-4、運用 SLIC 後之影像超像素 (左上)；點雲網格模型之法向量視覺化 (右上)；BIM 模型深度視覺化 (左下)；點雲網格模型深度視覺化 (右下)

### (三) 深度學習模型分析

#### 一、二元式進度分析網絡模型架構

此預鑄元件進度分析將使用卷積網絡深度學習模型架構，模型將直接輸出元件是否存在於相對應影像位置的二元式結果。此模型使用 ResNet 為網絡架構，並將上述之影像超像素、點雲網格、BIM 模型法向量及模型深度作為輸入。其中將應用此模型在 ImageNet 中預先訓練過之模型作為參數基礎，將最後一層網絡抽換成各預鑄元件存在與否之二元結果。其中影像輸入尺寸為  $224 \times 224 \times 3$ ，法向量輸入矩陣為  $1 \times 3$ ，而深度則為  $1 \times 1$  的量值。在輸入模型前，我們將所有特徵資料平面化，而最後輸出結果經由歸一化指數函式 (Softmax) 輸出預鑄元件存在與否之機率，而最大之機率即為結果。每一預鑄元件將可分析出是否安裝，透過總和即可計算出最終進度。

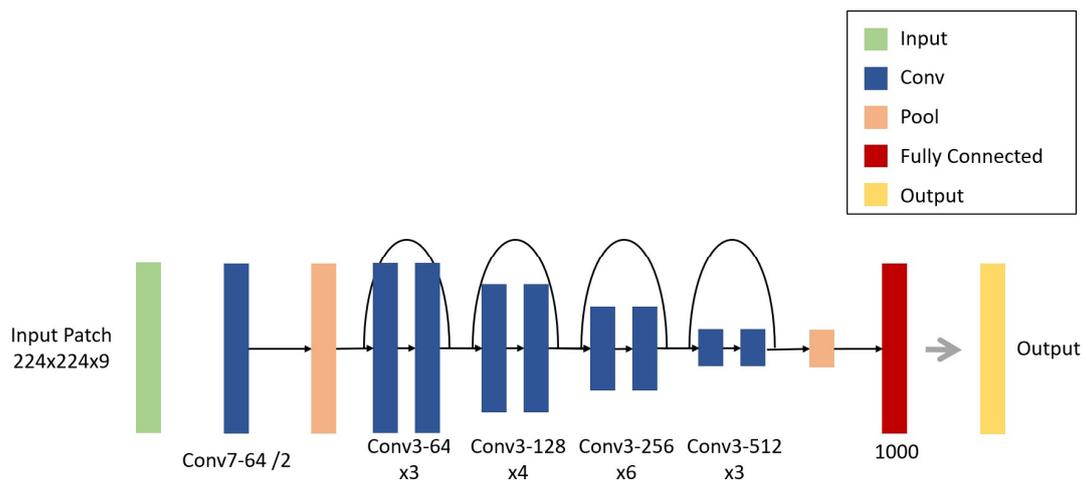


圖 1-5、預鑄元件進度捲積網絡深度學習模型架構

#### 二、安裝精準度分析

預鑄元件之安裝精準度分析在進度分析過後，則可針對結果為已安裝之元件進行討論。主要方法可透過 BIM 元件原有之邊界框過濾出點雲中與元件有關之點位資料。其中可直接針對三維座標中，點雲之網格模型與 BIM 元件進行距離分析。但由於點雲之疏密程度不一，另外也將針對 BIM 模型反投影至所有相關影像資料之邊界框進行邊界分析。

## 五、研究採用方法之原因

### (一) 影像式點雲

目前工地影像資料蒐集來源越來越多，其中包括手機、無人機、固定式攝影機、360相機等，但這些影像資料多作為紀錄缺乏有效應用。影像式點雲透過上述蒐集方式即可建立三維空間模型作為進度分析用。三維掃描儀為另一種建立點雲的方式，但儀器設備極為昂貴，蒐集資料過程繁瑣、處理時間長，較不適合作為進度分析用之方式。

### (二) 特徵資料

特徵資料採集方式為集合目前國內、外運用於物件偵測、材料分析等之最先進方法及應用。其中法向量及深度為目前深度學習應用中，與影像資料相關之應用所必須考慮的特徵資料。這之中也有研究證明應用法向量可以有效增加辨識率之精準度。

### (三) 深度學習模型

深度學習模型架構採用影像分析中最基礎的方式進行，此模型之卷積神經網絡深度較深，針對影像可以提取出更有效的特徵資訊。此模型也在不同影像資料辨識中進行過訓練，故相關訓練資料可以加以運用提取相關參數作為已知。

## 六、重要儀器之配合使用情形

主要使用儀器為蒐集影像儀器，本研究主要透過環景相機蒐集相關資料。其中環景相機影像在本研究所蒐集資料方式主要透過影片紀錄並後續擷取利用。將需由研究人員將相機放置在自拍棒及穩定器，並在工地蒐集目標建物、預鑄元件資料。另外需事先調查工地可以架設位置，並分析相機角度等影響因素，最後決定佈置方式。



圖 1-6、蒐集影像資料方式

其中拍攝方式以透過環繞所有欲建模之目標物為原則，其中必須注意拍攝過程走動速度、光照、轉彎角度、以及最後可以完成迴路為佳。以下為拍攝方式範例。

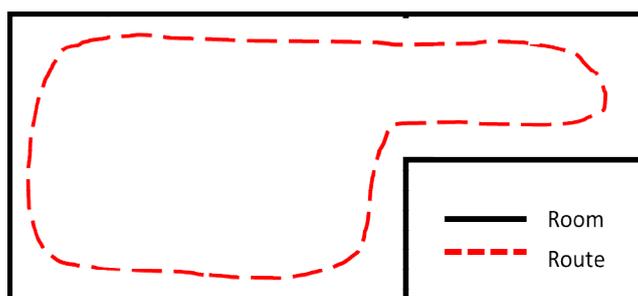


圖 1-7、360 相機拍攝範例

## 七、研究步驟

研究流程主要依據方法分為以下步驟：蒐集影像資料、建立點雲模型、建立 4D BIM 模型、結合點雲模型及 4D BIM 模型建立虛擬視覺模型、進行所有 BIM 元件及點雲網格模型反投影至所有影像資料、所有影像資料超像素處理、將超像素中兩模型之深度、法向量及顏色資訊結合、輸入深度學習模型、分析進度、分析安裝準確度。所有流程可參照以下流程圖（圖 1-9）。

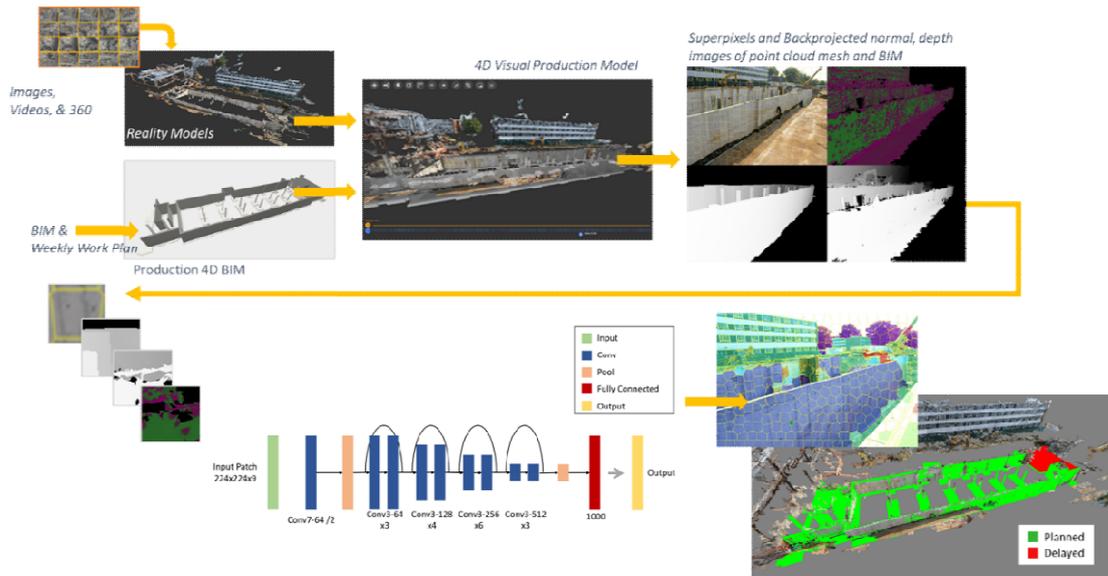


圖 1-8、進度及準確度分析流程圖

## 八、研究進度

### (一) 蒐集影像資料

針對國內尚無針對預鑄工法之大型影像資料庫的問題。目前解決方法可以先藉由一般建築影像資料作為基礎在加以延伸，以環景相機、無人機鏡頭拍攝現地狀況，目前已獲得臺大土木研究大樓以及人文大樓的相關影像資料。

### (二) 模型資料蒐集

臺大土木研究大樓為一預鑄結構，以此為基礎將視需求評估是否需要額外建立專有影像資料庫。

### (三) 資料標注

深度學習影像資料需進行大量資料標注，過程繁瑣且耗時。主要需完成的標注有兩部分，一部分是標注各種不同物件，區分不同屬性；一種是標注元件是否安裝完成。

### (四) 點雲模型演算法建立

本研究透過已經蒐集之影像資料來進行建立，首要步驟即為將蒐集到之影像資料透過運動恢復結構和多視立體來進行快速計算並建立點雲位置及其所攜帶的空間資訊，根據已知的訊息轉換成後續可供利用之點雲模型。

### (五) 4D BIM 模型架構建立

本研究將藉由 SYNCHRO 4D PRO 將繪製完成的 3D BIM 模型分項標注至相對應的時間，確保模型中的工序與實際施工時序相對應，即可完成 4D BIM 模型

架構之建立。

#### (六) 結合模型

將點雲模型及 BIM 模型之座標統一為相同方向及單位。利用 BIM 模型當參考座標，將點雲透過平移、旋轉、縮放多次來回重複，即可得到粗略的相似轉換 (Similarity Transform)，再透過轉換矩陣就能將點雲模型和 BIM 模型完整結合。

#### (七) 建立虛擬視覺模型

點雲模型建置時，除了點雲模型本身，還會有攝影點位，現地照片等相關重要資訊，將其統一整合是一重要步驟。利用 Blender 的應用程式介面 (Application Programming Interface, API) 進行轉換矩陣計算，可快速地將所有空間資訊轉換至正確座標上。

#### (八) 影像定位演算法

取用經轉換過的攝影點位座標，確認該攝影點位的拍攝視角內，有無包含其對應到的點雲模型，並同時將拍攝的照片輸入疊合，確認轉換後的攝影點位是否維持在正確位置，如果位置正確，將能夠經由攝影點位看到拍攝照片與點雲模型位置內容完全重合。

#### (九) 反投影演算法

用反投影的方式，將 BIM 模型轉換成攝影點位拍攝到的平面影像資訊，若點位轉換皆正確，可得到 BIM 模型與現地照片位置完全吻合的結果。

#### (十) 超像素演算法

超像素演算法可以將原始照片資訊做處理，捕捉特徵將原先較無關聯的原始圖片切成許多有相同特性的小區域，有效將後續影像處理的難度降低，並加速處理的過程。

#### (十一) 深度、法向量演算法

深度的部分可藉由影像點位演算法中的攝影點位以及模型的距離經由計算後取得；法向量同樣需要經由計算後取得，藉由提取模型中的位置資訊，就可計算出每個點洞應到的法向量。

#### (十二) 深度學習模型建立

借助現行已被廣泛使用的影像辨識模型架構，將先前處理完成的影像資訊進行訓練；完成訓練後，機器將能正確的判斷輸入影像中的構件是否被妥善安裝以及是否符合預期的進度。

(十三) 安裝進度準確率估算

運用現地獲得之影像資料，用以訓練之深度學習模型進行辨識，即可得知元件安裝的進度準確率以及是否符合工進的要求。

## 第二章 蒐集之資料、文獻分析

隨著科技的進步和多年的數據收集，建築中影像資料呈現指數增長以及電腦視覺的技術快速發展，在跨領域研究建築問題上為營建產業及建築工程管理領域提供了很多獨特的機會。然而，儘管在過去幾年中此領域已經取得了多項重大成就，但仍然存在許多問題，使得目前研究仍充滿許多挑戰性。在使用可視數據監控施工進度的研究和商業解決方案上仍然需要解決幾個關鍵問題，以便可使過程能夠自動化。儘管最近基於圖像及影像 3D 重建演算法有突破性的發展，使其更有機會實際應用於產業，然而點雲技術的準確性和完整性仍存有許多改善空間，以確保在不同環境下能產生一致性的比對結果。雖然如此，儘管點雲技術應用於現有的自動比對領域仍處於起步階段，但已克服許多進度監測自動化之障礙，使得此類技術應用於實務更為可行。

實務上，有關工程進度之監測回報，目前多仰賴工地指定的項目工程師，以在工地周圍行走視察時，根據觀察各項目完成數量、或是實際測量進度變化來決定該期間各工程項目進展。其中亦可能利用行動裝置 App 應用程式和或相關軟體來簡化進度記錄過程，以提高監測作業之工作效率及降低錯誤率。然而，一方面此方式大多仍然取決於相關觀察者的主觀評估，另一方面僅管於回報後，相關之進度資訊亦可以鏈接到 BIM 的資訊模型，提供相對客觀檢驗之機會，但是將進度資訊鏈結到 BIM 也是一個耗時的工作。若能利用資通訊技術將工程進度之監控自動化，不僅可大幅減少監控作業之人力時間及錯誤率，其監測資訊亦更為客觀。

有關工程進度之自動監測判讀，現有的技術中 Golparvar-Fard 等(2010,2012)提出利用 3D 點雲圖像和 BIM 模型來推理建物元素的占有率和可見度，並利用人工智慧機器學習技術方法來推測施工進度。Turkan 等(2012b)利用 Golparvar-Fard 等(2010,2012)技術進一步介紹了一種區分混凝土建築對象的不同操作細節方法，例如模板的開口大小或是鋼筋的綁紮間距。Bosché 等(2014)則是使用激光掃描點雲模型與 BIM 進行了比較，以監視掌握機械電氣管道系統的進度。上述幾種方法皆是以監測佔有率為研究基礎的相關技術(圖 2-1)。儘管這些技術實現了工程進度的自動判讀，但於檢測操作細節和點雲中，有關建物元素遮擋及可見度方面能力仍非常有限。

另外一類技術則是以監測外觀為研究基礎的技術，K.Han 和 Golparvar-Fard (2015)引入了一種電腦視覺方法，將點雲中的建物元素反推到相對應的圖像中，並提取圖像補丁來檢測元素的材質。這種推理方式可以實現更多細節的進度監控判斷。Han 等(2018)則進一步利用圖像補丁的幾何特徵方式來提升監測元素材質的準確性(圖 2-1)，唯此方法無法檢測出各元件的幾何特徵。

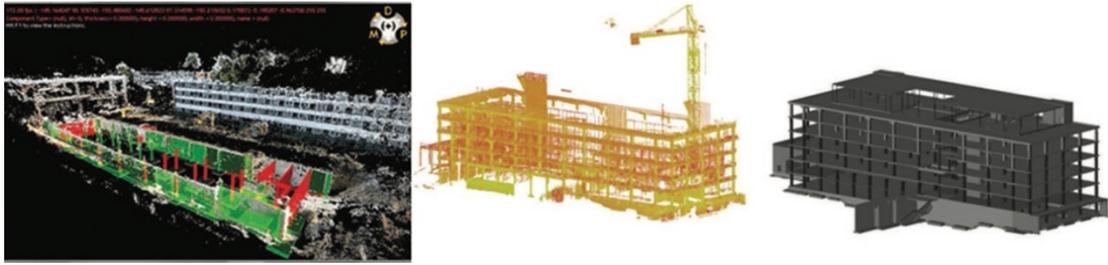


圖 2-2、進展情況、竣工模型之 4D BIM 模型，彩色編碼疊加一起(左) (M. Golparvar-Fard 等人，2012 年)，雷射掃描竣工模型(中) 和 4D BIM 模型(右) (Turkan 等人，2012a)

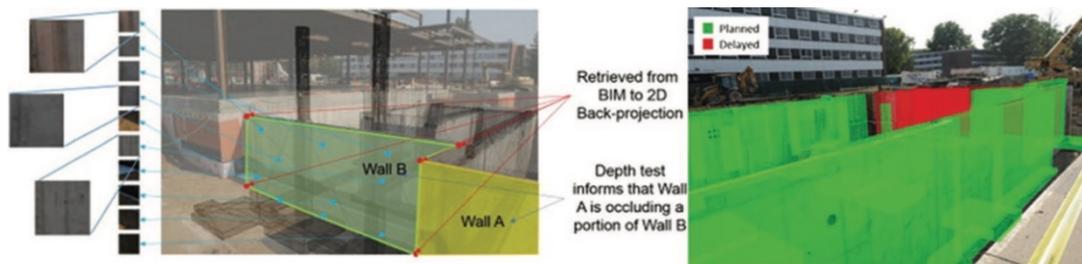


圖 2-3、利用從 BIM 模型中檢索到的補丁到 2D 進行材料分類，並深度測試，排除遮擋區域 (K. Han 和 Golparvar-Fard，2015) (左)。通過對比檢測和材料分類後的竣工與規劃，提取進度狀態(右)

儘管現有工程進度自動判讀技術有了良好的改善，但要將這些方法應用於全面的項目仍需要：

- (1) 解決 4D BIM 中缺乏模型細節資訊的問題
- (2) 解決竣工時得面臨可見性問題
- (3) 創建大量為解決可見性問題所需要可用於外觀監測的建築材料庫
- (4) 發展可利用 BIM 模型中之幾何特徵資訊、外觀和相互依賴性等信息，進行整合監視施工進度的方法。

Lin (林之謙教授) 和 Golparvar-Fard (2018) 利用現實捕獲模型有效地傳達進度以進行項目控制決策，開發了可視化生產管理系統來增強計劃和協調能力。可視化生產管理系統可接收在不同時間和位置捕獲的圖像，以自動生成 4D 建成的點雲。通過“工作分解結構”之提前計畫和 BIM 做位置連結，可以創建基於位置的 4D 模型，並與管理平台合併，以基準測試和監視“誰在哪個位置做什麼工作”。再則，通過智能手機生成的可視化模型，可以記錄每個項目、每個組織和每個位置的工作時數。根據該研究所展示之前瞻性計畫，可進行實際生產率和預估的比較，並且每週皆可特別標示顯示潛在延遲風險最高的施工位置。參與之營造廠商可以通過現實捕獲來了解當前的進度，並可以通過顏色編碼的 4D BIM 模型了解每週的工作計劃 (圖 2-4)。通過此案例研究，該技術通過現實捕獲進行進度跟踪可以增強對正在進行的工作的辨識以及改善資訊流程。可視化的生產管理系統亦可使專案參與者直接執行工作任務，而無需解決 4D BIM 與實際進行中

的工作之間的細節水平差異，根據協調會議的承諾傳達績效偏差，衡量即將完成的任務的準備情況根據當前計劃任務的相互依賴性及其約束，並突出顯示可能存在潛在性能問題的位置。



圖 2-5、第一列顯示透過 4D 點雲和 BIM 同步的進度；第二列顯示基於位置的 4D BIM 模型和進行的跟踪與點雲的集成；第三列顯示 4D BIM，其中分包商負責的任務用顏色編碼，以傳達誰在什麼位置從事什麼工作

由於上例研究所顯示相對於過往工程進度自動判讀技術之優點，本研究擬以林之謙教授發展之技術為基礎，透過影像轉為點雲，再轉成 BIM 視覺化的機器學習模型，能避免上述所提及的耗時、主觀的進度控制和辨識材質的準確性，於本研究利用國內實際建築案例實作展現，以達到研究計畫目的。

## 第三章 研究成果

### 一、蒐集影像資料

#### (一) 先期測試

本研究為求有效應用工地現場蒐集之大量影像資料和針對國內尚無針對預鑄工法之大型影像資料庫的問題，本團隊將利用先進的電腦視覺演算法建立工地現場多時間點的點雲模型以真實比對工程現場在不同時間點的完成進度，其所需蒐集影像之方式主要會透過環景相機進行現場蒐集。

深度學習仰賴大量資料蒐集，此研究必須蒐集大量影像資料進行模型架構之調整。其中預鑄元件相關影像資料在國內、外尚未建立任何影像資料庫。此研究必須重新建立其相關影像資料庫。此研究解決方法為實際至竹南科技廠停車大樓之預鑄工程興建現場進行資料蒐集作業。

研究團隊透過先前已經成功多次在各個室內外環境進行拍攝作業，拍攝地點有國立台灣大學土木研究大樓室內和其大樓周遭戶外環境、辛亥路統一超商長星門市、目前正在施工階段的國立台灣大學人文大樓施工現場、台北體育局室內辦公室等多樣化的場域拍攝，並且使用多種拍攝器材和工具包含環景相機、無人機鏡頭、光達深度相機、雙目深度相機等各式儀器蒐集資料，因此本團隊能夠根據不同場域所需靈活的切換拍攝器材，以達到最佳的蒐集資料方式，研究團隊經由先前豐富之拍攝經驗，此次抵達竹南之預鑄工地現場進行環景相片之拍攝。





圖 3-1、環景相機拍攝室內環境（上）室外環境（下）

## （二）工地資料蒐集

本研究最終選定竹南某科技廠房停車大樓為影像資訊收集場域，其施工方法採取預鑄工法，符合本次研究目標，研究團隊在預鑄構件吊裝施作作業同時多次進行工地現地照片拍攝，並且根據過往經驗特別選在正午工地陽光充足且較少有物體移動的時間點進行拍攝，還有其建構三維模型演算法對於移動物體較為敏感正午工班休息時刻較為理想之拍攝時間。本次研究拍攝工具之選定利用環景相機以影片式進行拍攝，利用其能蒐集三百六十度影片之便利性使研究團隊能更有效率蒐集影像，研究團隊更利用三軸穩定器來穩定環景相機之姿態，所攝影之影像相對無利用穩定器材之攝影方式較少模糊影像的產生，所能產生之影像品質能夠更加清晰，且針對須建構之構建研究團隊會保證其每個角度都能拍攝進入團隊之蒐集資料庫，避免造成建構三維模型時缺少部分角度以致建構未達完整理想。

研究團隊總共拍攝抵達竹南科技廠房停車大樓拍攝數十次，透過研究人員密集篩選與分析，研究團隊總共選取了十七組影像資料為基準來進行後續分析利用，針對影像之處理，研究團隊利用開源軟體 VLC 之影片場景擷取功能進行單位影像之提取，研究團隊再透過自身豐富之建模經驗分析工地不同日期之條件狀況，在利用環景影片提取成單位式影像時，採取不同頻率之提取以利後續點雲建構能夠有效之建立使用，其環景相機之硬體效能，能以每秒 30 幀之能力進行影像攝影，在不同拍攝條件下，團隊選擇每 30 幀或每 60 幀為擷取頻率進行單位影像提取，意即每秒或者每兩秒從環景影片中進行環景影像之擷取。

## 二、BIM 模型資料蒐集

本次研究以竹南科技廠房停車大樓為主要實驗場域，BIM 模型是由其業主提供。其所提供的 BIM 模型為利用商用軟體 Tekla 進行原始建模，再利用 BIM 之統一交換格式 IFC 格式進行輸出給予研究團隊，但原始之 BIM 模型並未建置

樓層資訊或者利用 Tekla 之時間資訊進行建模，為了後續使用上之方便，本團隊重新將模型中的構件按照樓層以及構件類型進行了分組重建，藉由重整構建資訊讓資訊視覺化的部分能更加清楚。

### 三、資料標注

本研究採用 BIM 模型從不同角度渲染(Rendering)影像並自動標記影像中之構建做為其地面真相(Ground Truth)，本研究利用運動恢復結構(Structure from Motion, SfM)重建點雲模型之同時將擁有每張相片之攝影姿態與其空間資訊，研究團隊透過轉換矩陣(Transformation Matrix)將 BIM 模型與點雲模型進行對齊貼合，在對齊之同時從重建點雲所存取之相機姿態與參數也能夠在軟體中自動對齊至 BIM 模型中，研究團隊再將對齊完整之模型和矯正之相機姿態匯入開源軟體 Blender 中，再利用 Python 和其軟體所擁有之函式庫將每個 BIM 構建根據不同種類部位自動分割並給予不同色彩，最後利用該軟體根據三維模型渲染不同角度二維影像之功能，透過模擬不同已知相機之姿態與位置，渲染模擬不同位置和姿態之 BIM 模型之二維圖片，此時每張根據 BIM 模型與相機姿態所渲染圖像中應能包含之 BIM 構建，再利用 SLIC 即能將影像中之構建進行自動切割，自動標記出所需之所有構建，即能做為地面真相給予深度學習模型利用。研究團隊在針對 SLIC 自動分割針對 BIM 模型之渲染相片，將利用演算法自動切割每張相片為一百個區域，並且選定特定閾值即能自動切割作為地面真實之構建已供後續訓練使用。

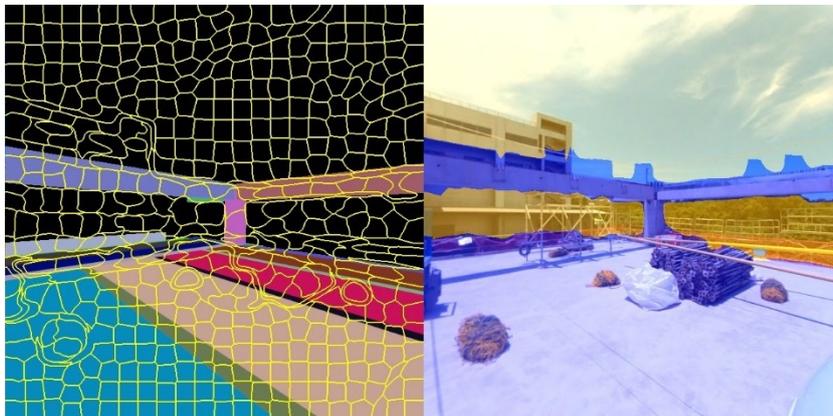


圖 3-2、經由超像素分割針對 BIM 模型渲染之虛擬影像(左) 將在地面真相之切高區塊套對自原始相片，比對經由自動切割之區塊相對真實影像能看出確實能夠精準切割 (右)

### 四、點雲模型演算法建立

研究團隊在點雲模型的演算法使用上使用運動恢復結構來進行點雲模型之

重建。本研究團隊使用開源軟體 OpenSfm 利用運動恢復結構進行重建，不同於傳統點雲重建軟體幾乎都由 CPP 所進行編譯的，OpenSfm 除了在處理大型非線性問題相關外，幾乎都使用了較為平易近人的 Python 程式語言編寫並提供眾多可調參數，本研究利用之環景相片會根據六個不同角度切割為六張平面相片再進行重建，本研究選擇 SIFT 為特徵點之選擇，其選擇閾值調整為 0.01 以在點雲密度與重建時間取得平衡，根據不同拍攝條件，選擇不同光束平差法（Bundle Adjustment）條件，在路徑單純以及環境穩定下，研究團隊選擇區域之光束平差法矯正時只取鄰近影像，基於全局之光束平差法則待到所有影像計算完成在進行其運行，以加速點雲建模建立，但在路徑較不單純環境也相對複雜的情況，研究團隊也能夠適時切換至方式在區域光束平差法矯正時至取用更多影像，基於全局之光束平差法則更高頻率進行以建立更完整之點雲模型，該軟體其運行會將模型建立過程分成多個小模型以利多續運算進而加速運算運動恢復結構的速度以致能在疏鬆點雲建立過程更加快速。

由運動恢復結構 (Structure from Motion, SfM) 及多視立體 (Multiview Stereo) 建立點雲。成果可參照下圖 (圖 3-3)。

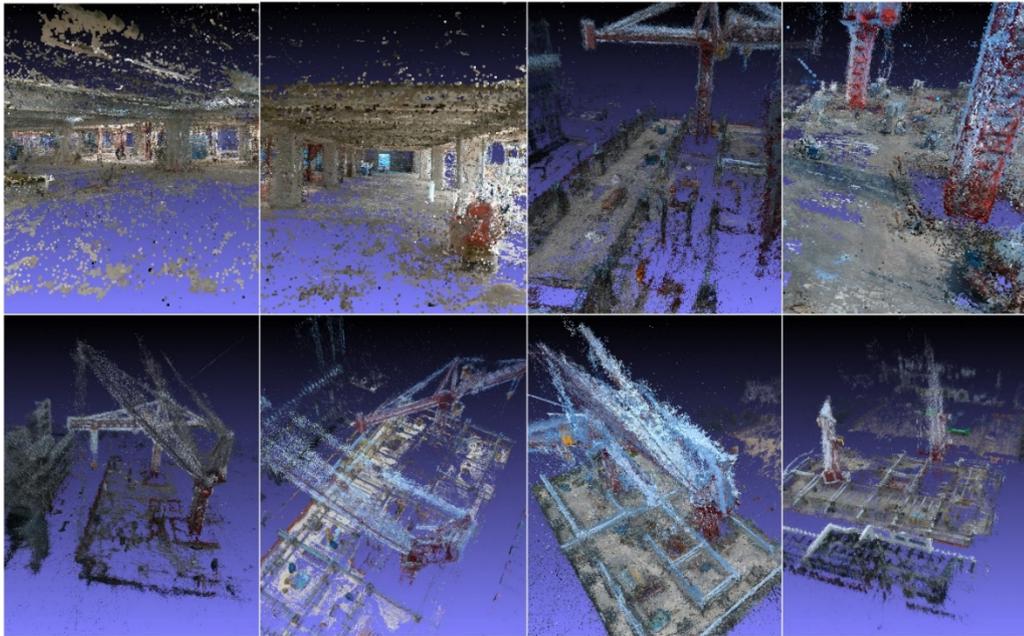


圖 3-3、點雲模型

## 五、4D BIM 模型架構建立

本研究為後續準確地進行排程進度現實情況和預估情形進行排程比對，擁有時間資訊的 4D BIM 模型將是預估排程中相當重要的角色，本團隊將藉由 Bentley 公司的 SYNCHRO 4D PRO 將繪製完成的 3D BIM 模型藉由相容的檔案格式導入該軟體中，並再加上由專業排程軟體所已經安排好的進度時程檔案進行匯入整合，並透過選集樹之配對，將時間資訊和模型空間資訊一一對齊，即可完成 4D

BIM 模型架構之建立，清楚的比對不同時期 BIM 模型的預計外觀。

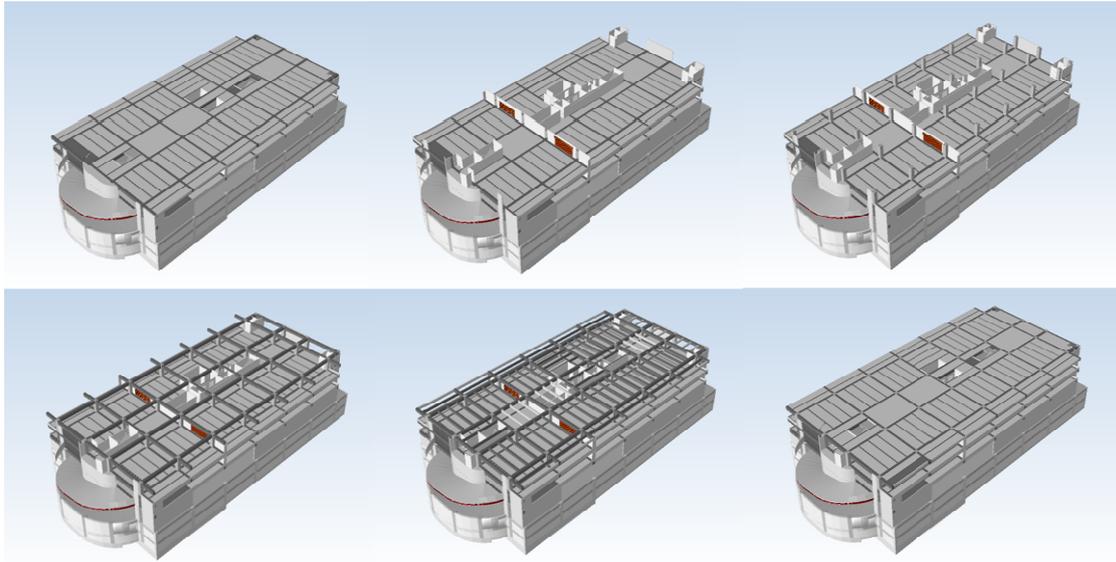


圖 3-4、4DBIM 模型

## 六、結合模型

經由運動恢復結構所產生之點雲模型因純粹依靠視覺推導定位的方式來重建三維空間模型，其所空間資訊為相對之關係，並無與真實世界對齊，所以和擁有正確空間資訊之 BIM 模型會產生大小以及方位上的誤差，須將兩者之座標和空間域統一為相同方向及單位，在兩模型正確重疊對齊後，我們即可進行時程比較。

研究團隊利用 BIM 模型當真實參考座標，將點雲透過選定之參考點在參考點對齊 BIM 模型後根據這些參考點就能計算出相似轉換(Similarity Transform)，再透過轉換矩陣就能成功的將點雲模型和 BIM 模型成功對齊以利後續進度比較，研究人員利用開源軟體 CloudCompare 為點雲以及 BIM 模型之對齊工具，首先將轉為 OBJ 檔之 BIM 模型匯入 CloudCompare 中，再將點雲檔案以 PLY 之格式匯入該軟體，再透過對其工具，以 BIM 為參考基準，同時在點雲模型以及 BIM 模型中點選對應點位，在選取至少三個點位以上後，即可以利用程式自動將點雲模型之大小以及方位自動對齊至 BIM 模型上，從對其的過程中團隊也能得到轉換矩陣(Transformation Matrix)，在後續由 OpenSfM 所產生之相機姿態資料即能透過此矩陣轉換至正確之空間座標。

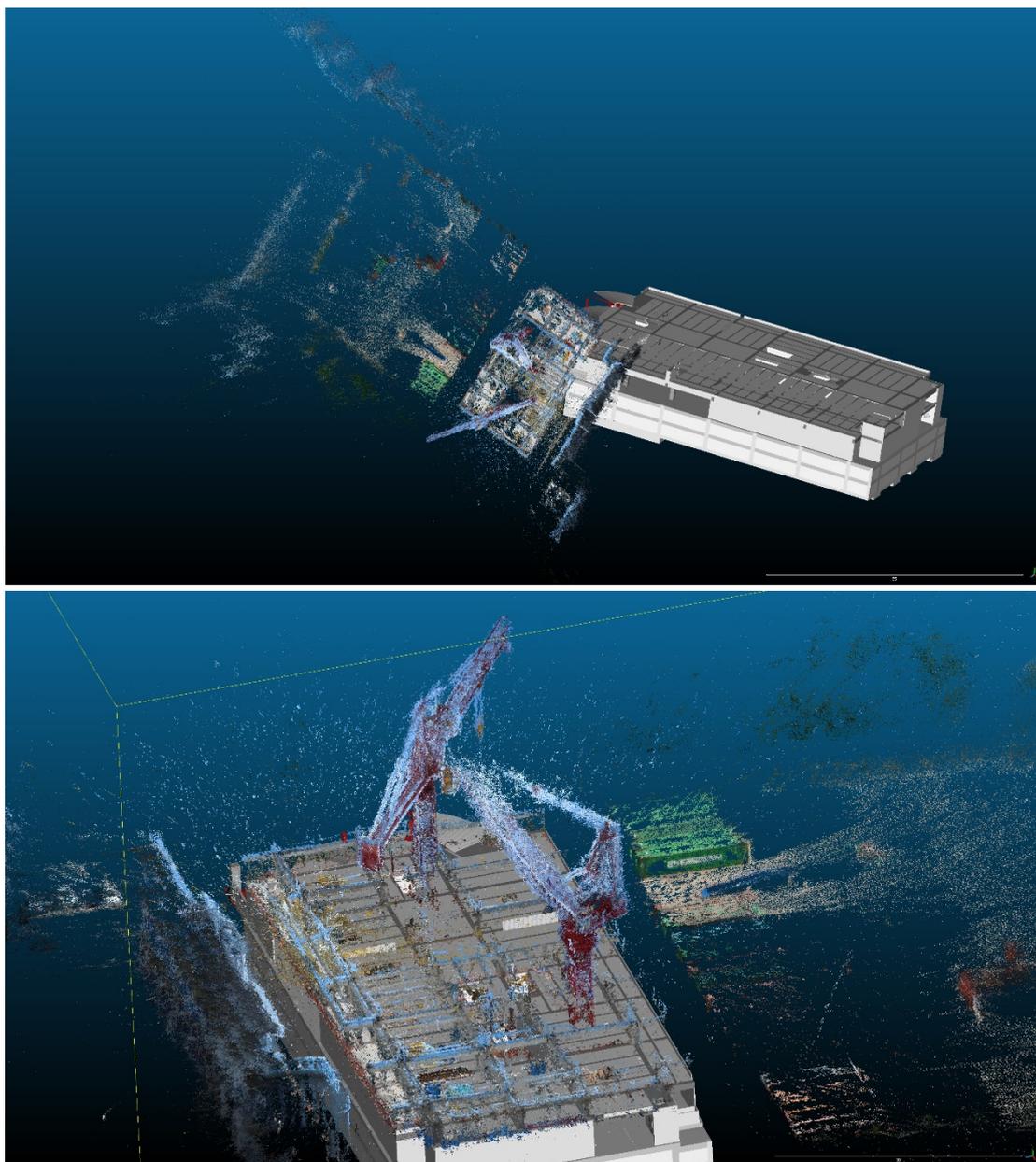


圖 3-5、利用對齊的方式獲得轉換矩陣。對齊前（上）、對齊後（下）

## 七、建立虛擬視覺模型

虛擬視覺模型可使我們快速比對不同的模型，將原先完全獨立的兩模型進行更完整的整合比較。虛擬視覺模型的建立，使得我們能夠同時利用點雲模型所建立的即時工地資料，與 BIM 模型中的預計進度或目標做來回的比對與分析，以判斷排程上的議題，視覺化出來的效果也能讓觀看的人快速理解實際現地的狀況，另外這部分也同時會同時加入現地照片拍攝位置的座標資訊，因而也能夠進一步的取用拍照點位與拍攝對象的相對位置關係。

將點雲模型、BIM 模型、攝影點位資訊、拍攝照片等資料依照不同檔案格

式輸入至 Blender 整合，藉由應用程式介面（Application Programming Interface, API）的輔助，再進行轉換矩陣計算，並加上計算程式的撰寫將可快速地將所有空間資訊轉換至正確座標上，即可得到對齊的 BIM 模型與點雲模型。成果可參照下圖（圖 3-6）。



圖 3-6、將點雲模型貼合至 BIM 模型之成果

## 八、影像定位演算法

在經由前述步驟正確定位各式模型後，可以進行進一步的比對，觀察是否原先建置點雲模型時所使用的影像資料使否都有妥善定位到相對應的位置，最直接的方法可以取用經轉換過的攝影點位座標，確認該攝影點位的拍攝視角內，有無包含其對應到的點雲模型，並同時將拍攝的照片輸入疊合，來回比對即可確認轉換後的攝影點位是否維持在正確位置，如果位置正確，將能夠經由攝影點位看到拍攝照片與點雲模型位置內容完全重合，重合情形可參考下圖（圖 3-7）所示。

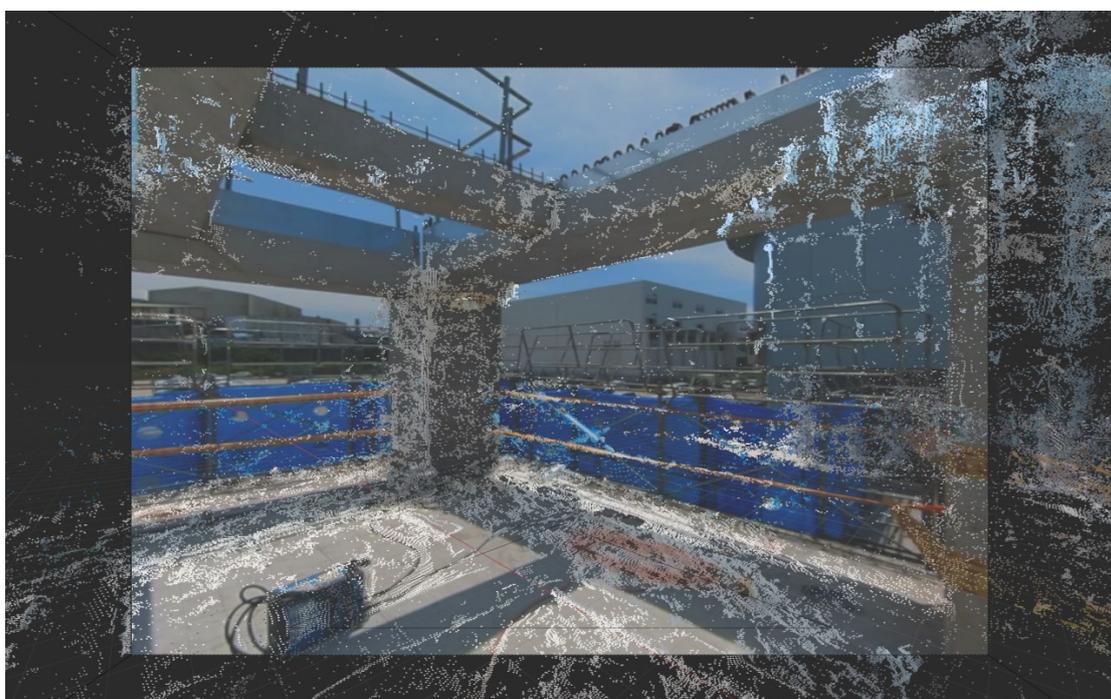


圖 3-7、現地照片（上）點雲模型和照片疊合的成果（下）

## 九、反投影演算法

前述步驟已完成將攝影點位經由轉換矩陣的方式轉換到其相對應的正確空間座標上，但由於這些攝影點位是與原先建置點雲模型資料時的照片所相關，因而若想得到此拍攝點位上 BIM 模型所對應到的位置，則必須透過反投影的方式將 BIM 模型中的立體空間資訊轉回到原攝影點位相對應的平面影像資訊；實際

將 BIM 模型轉回照片拍攝點位的平面資訊，以及再加上點雲模型交叉比對的結果，可參照下圖（圖 3-8）所示。

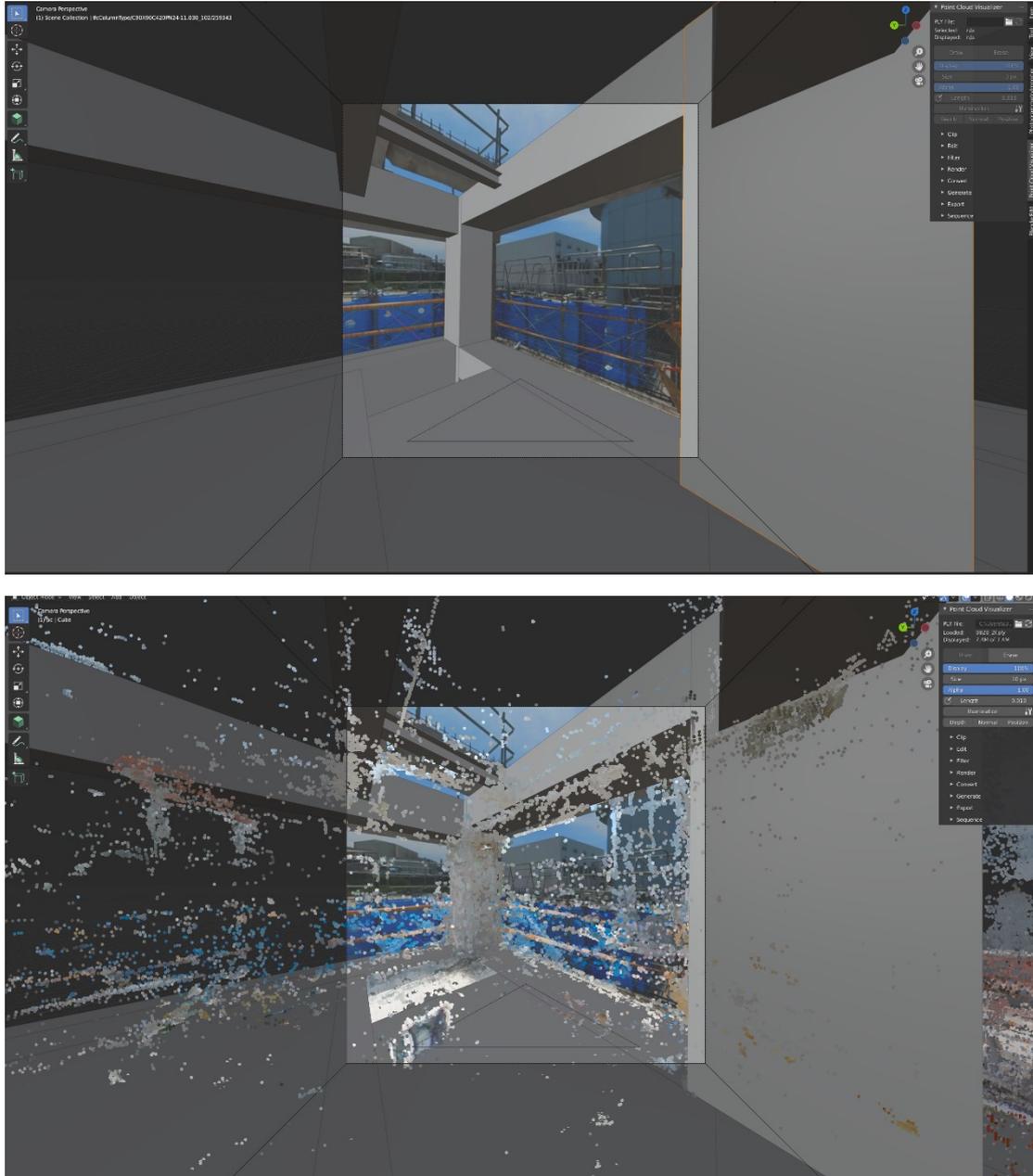


圖 3-8、BIM 模型與照片（上） BIM 模型點雲模型與照片（下）

## 十、深度學習模型訓練結果

本次研究利用人工智慧深度學習之方式訓練辨識模型，根據前述小節關於點雲以及 BIM 模型匯入開源軟體 Blender 後，我們可以該軟體之渲染引擎開始製作所需之深度學習虛擬影像資料，首先在點雲模型之基礎上，透過對於原始點雲之採樣和去除離群值後，及可得到相對平滑之三維立體網格模型，團隊再利用渲染

功能和運動恢復過程中得到之相機姿態，在三維網格模型中模擬拍攝和在 BIM 模型中一致之相機姿態產生正在真實施工中之建物情形，並取用對於三維網格模型渲染之深度地圖(圖 3-11 中) 以及法向量地圖(圖 3-11 右) 作為其中訓練資料，另外研究團隊為了提升訓練精準度，也會再加入真實之彩色相片(圖 3-11 左) 作為訓練之資料。

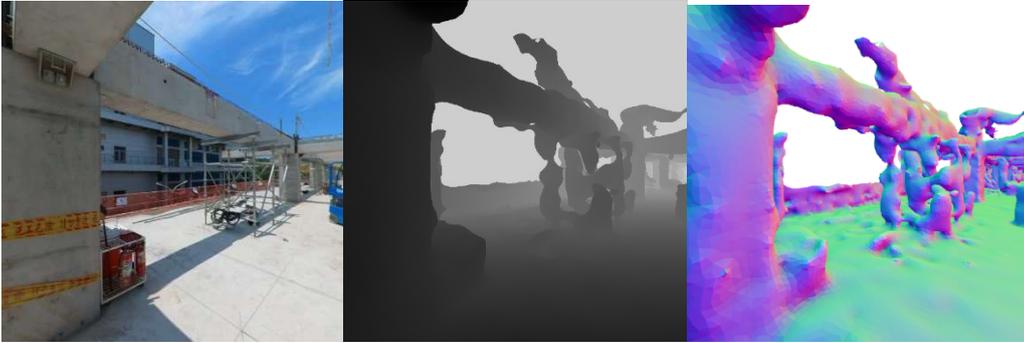


圖 3-9、原始拍攝彩色影像(左)三維網格模型深度地圖(中)三維模型法向量地圖(右)

透過現地攝影以及虛擬渲染，研究團隊及擁有真實彩色相片，三維網格模型深度地圖，三維網格法向量地圖，團隊將再針對真實彩色相片進行超像像素切割，其選定切割區域為每張相片一百個超像素進行切割，從團隊所蒐集數萬張之影像中再挑出 1932 張，再將 1932 張彩色相片分割為 193200 個超像素區域，根據超像素區塊疊合深度地圖以及法向量地圖最終得到訓練所需之資料，其資料將由 193200 個七維資料所構成，在訓練時再將資料分割為百分之八十為訓練集，百分之二十為驗證集 (圖 3-12)。

研究團隊訓練模型之架構選用 ResNet-34 作為骨幹架構，輸入為 224\*224\*9 之張量地圖，在訓練時設定訓練批次(Batch Size)大小為 142，驗證批次大小為 2，總共訓練 500 輪，選用之優化器為 Adam，學習速率設定 0.0001，經由完整訓練後，其訓練結果其準確度可以達到 99%之準確度 圖(3-13)。

訓練參數	設定值
張量地圖大小	224 x 224 x 9
訓練	500

批次大小	訓練集 : 142, 驗證集 : 2
學習速率	0.0001
優化器	Adam

表 3-1、訓練參數

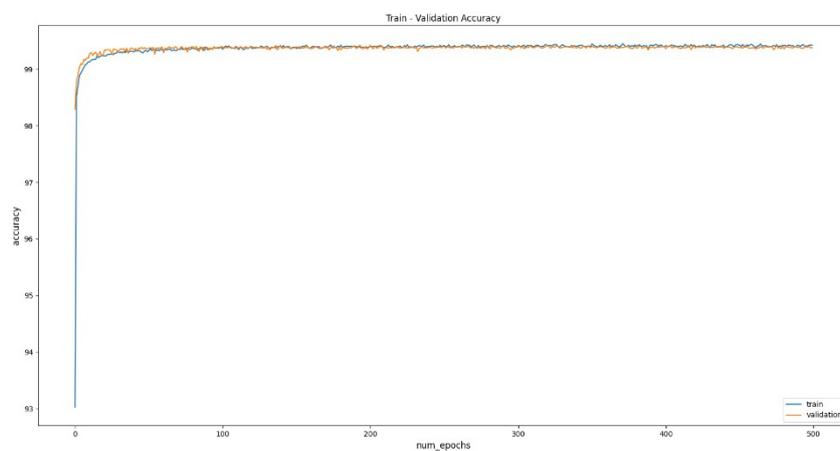


圖 3-10、準確度圖表，最終準確度能夠到達大於 99%

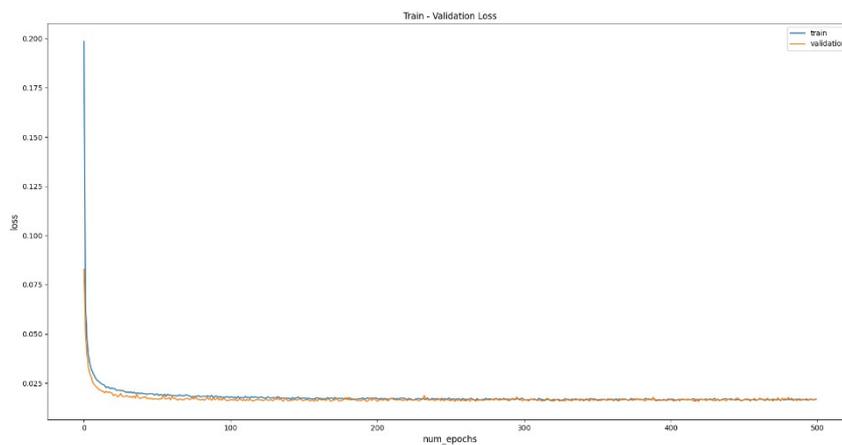


圖 3-11、損失函數圖表

研究團隊也將訓練結果可視化，以能清楚的以可視化之方式觀看訓練成果，團隊隨機從蒐集之資料庫選擇五張相片，用 SLIC 分割出每張一百個

超像素區塊，一共五百個超像素放入模型中測試結果，可以看出其訓練之模型確實能準確分辨未知相片之構建與非構建(圖 3-15)。

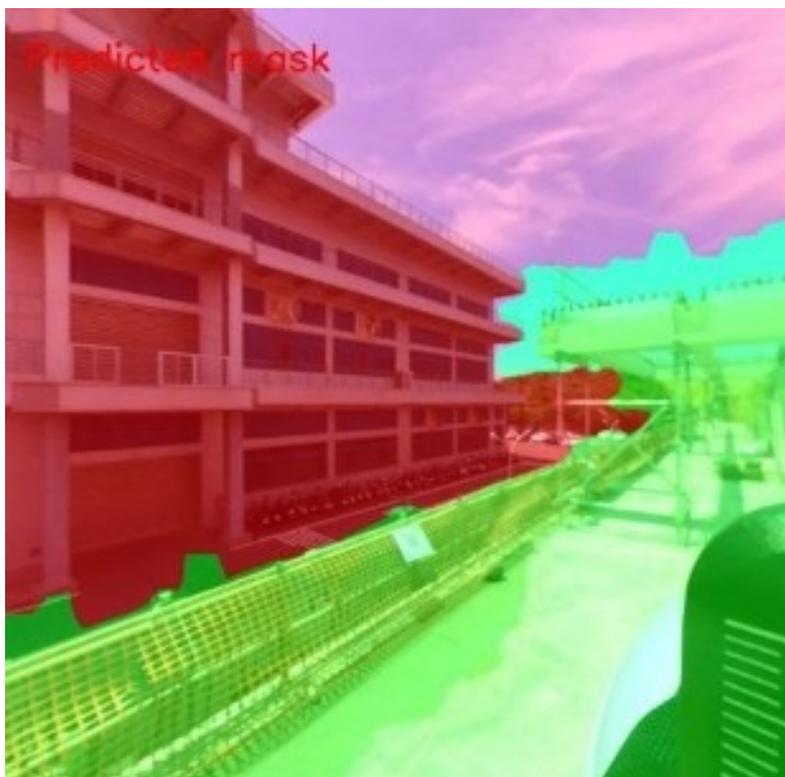


圖 3-12、原始測試相片利用團隊訓練之模型，其結果能夠看出確實能夠分割出構建與非構建，綠色區塊為構建，紅色區塊為非構建



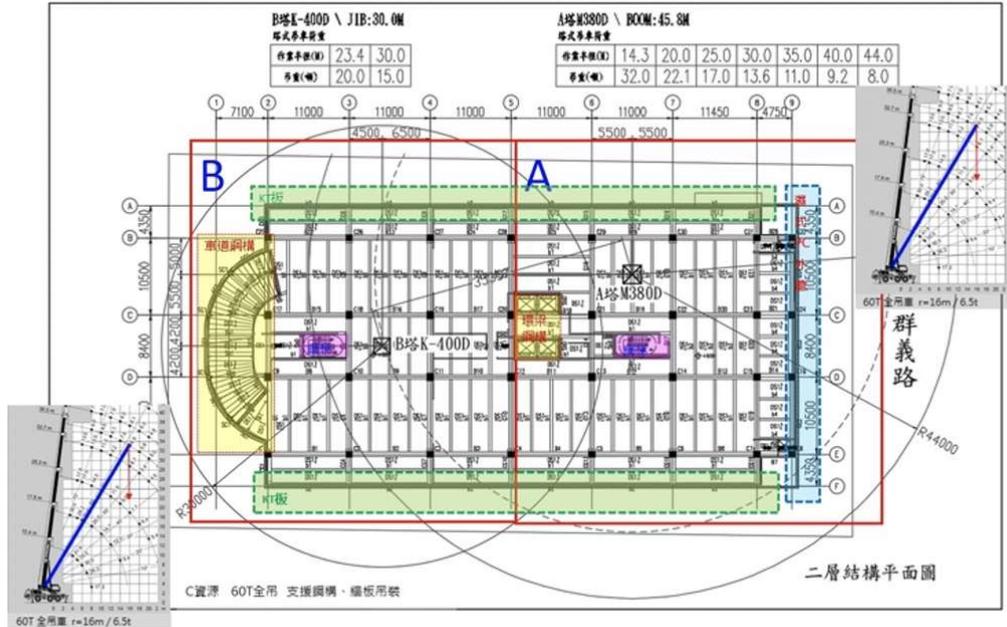


圖 3-13、竹南停車大樓工地預定進度表（上）  
和二層結構圖（含吊裝計畫）（下）

資料蒐集

本研究在期程內固定每週蒐集 360 影像資料，並按照前述章節方法蒐集，總共包括 17 支影片，及近三萬張影像進行進行後續分析(表 3-2)。

日期	樓層	擷取環景影像數	分割影像總數目	點雲個數
2021.08.18	1F	163	978	4741587
2021.08.18	2F	108	648	2799069
2021.08.19	2F	128	768	6535456
2021.08.20	2F	181	1086	7412102
2021.08.31	1F	219	1314	6082793
2021.08.31	3F	209	1254	5894728
2021.09.01	3F	309	1854	6470623
2021.09.07	4F	220	1320	12668842
2021.09.08	4F	326	1956	4260569
2021.09.09	2F	354	2124	8568333
2021.09.09	4F	482	2892	29360208
2021.09.10	4F	420	2520	9845446
2021.09.17	5F	365	2190	30247578
2021.09.24	3F	260	1560	3120984
2021.09.24	4F	440	2640	7958891

2021.10.06	5F	302	1812	6005156
2021.10.06	7F	418	2508	13999027
	總共	4904	29424	171642015

表 3-2、研究團隊經由篩選所選取之影像數目統計量表，以及透過運動恢復過程中所重建之點雲總數

### 排程建立

本研究針對施工排程中預鑄相關的施做項目進行工項分類且編排，將每樓層依據業主提供之參考工期及構建資訊分成鋼板、板牆、柱、小樑、大樑以及現場樓地板之灌漿作業及養護工程等，一個循環週期約為十天左右，並藉由 SYNCHRO 4D PRO 建立時間軸模擬展示。

### 模型準備

本研究根據研究人員蒐集施工現場之環景影片資料，利用多項開源軟體輔助運算生成點雲模型，並透過取樣重建得到三維網格模型，並利用 BIM 模型為基準對齊取得運算矩陣供後續使用，在進行前述運算後即能得到相機參數及姿態，再利用開源軟體 Blender 匯入三維網格模型以及 BIM 模型，再藉由軟體渲染兩模型，得到三維網格模型之深度地圖和法向量地圖，以及針對 BIM 構建之二維構建分割畫面，再綜合原始彩色即完成深度學習模型訓練資料之準備。

### 模型訓練及測試結果

在模型訓練上，研究人員選擇 ResNet-34 為骨幹架構，透過前述訓練資料選擇 1932 張相片為訓練資料，其中百分之八十為訓練集，百分之二十為驗證集，上述資料再行超像素分割後，利用單位超像素為輸入，並且成功訓練出精準度大約 99% 之模型，此模型再透過隨機選擇測試集透過視覺化效果展示模型辨識之結果，其確實能成功辨識構建存在與否。

## 第四章 結論與建議

### 一、結論

#### (一) 預鑄工程管理與科技應用專家座談會

本計畫共舉辦了兩場專家座談會，除了向與會專家介紹本案之技術、探討其可能應用與改善建議之外，也期許從產官學專家座談中，能從業主、設計單位、預鑄廠及營造廠商角度，更充份了解目前我國於預鑄工程推動之現況、障礙與改善，以及對於 BIM 基礎下工程管理自動化之可能應用。因此座談會訂定的討論議題分三大分項：預鑄工程目前之競爭優劣勢、預鑄工程管理自動化應用，以及未來推動的建議。邀請專家之組成則包含業主方（如國家住宅及都市更新中心柯茂榮副執行長）、設計單位（如吳大維建築師、陳潔生建築師）、預鑄廠商（如潤弘精密預鑄事業處詹耀裕總經理、蘇怡先 業務副總經理、王瑞禎研發副總經理；亞利預鑄林湫湟經理）、營造施工廠商（如遠揚營造魏世玉副總經理、林泰煌顧問、張圻襄理）BIM 及自動化學者與專家（如育沛研創設股份有限公司周慧瑜總經理、台灣大學土木系曾惠斌教授、台科大營建工程系蔡孟涵及紀乃文教授）。兩次座談會之會議記錄詳見附錄一「主要會議記錄」中之最後兩場會議記錄，於此處則綜合闡述本計畫從中學得之重要結論。

整體而言，預鑄工法有品質穩定較容易控制、施工速度快等優勢，由於其減少現場繁雜之鋼筋混凝土澆置作業，亦有助於安衛管理，許多過去擔憂之微震或是漏水問題亦能有效克服。唯其成本相對傳統混凝土工法仍高，此亦為民間建築市場較少採用預鑄之主因，此亦是未來推廣之重點。

從公共工程主要業主之一國家住宅及都市更新中心，其仍配合行政院推動預鑄工程之政策，對於其下之社會住宅亦積極規劃採用更多之預鑄工法。然而，受限於原本國內預鑄廠量能有限（主要為潤弘精密及亞利預鑄，以及小型之元件加工廠商），加上近期科技及半導體廠房突增之大量需求已吸納不少量能，所剩餘之量能極為有限，加上社會住宅之興建亦有時程之壓力，而導致其規劃採用預鑄工法更為謹慎。因此，行政院推動預鑄之政策宜長期穩定，並附予實質之誘因獎勵（例如目前於都更，預鑄仍被歸類為鋼筋混凝土，無法與鋼構相同享有容積之獎勵），給予國內預鑄廠商有足夠的信心及時間去擴廠，以提高供給量能。

從預鑄產業而言，假設政府有長期穩定之政策下，長期除透過擴廠以提高供給量能之外，亦可思考覓地整合小型加工廠商之量能，強化供應鏈夥伴關係，提供業主單站式服務。另外，如潤弘精密為解決預鑄廠供給量能滿載之限制，推行游牧式預鑄的作法（於工地現場針對部份元件組建臨時性預鑄加工設備作為小型

生產線以減輕預鑄廠之負擔)宜值得參考。

預鑄相對於傳統之鋼筋混凝土工法，有品質較為穩定之優勢，但從成本效益而言，預鑄工法亦高於傳統工法。僅管由於台商回流設廠、中美貿易戰去中及去美化效應，以及近期晶片嚴重短缺，半導體廠商積極擴廠，導致鋼價及施工工資上漲、傳統工法之成本已然大符提高之下，預鑄工法之成本仍是較高，頂多是差距變小而已，目前在科技廠房搶工及搶料下，預鑄工法成本接近鋼構。因此除了政府政策推動外，為提高民間市場使用預鑄工法之意願，如何有效降低預鑄成本是重要課題，以下提供如何有效降低預鑄成本之幾種可行之策略思維或作法。

### 1. 案例選擇

並非所有建築皆適合採用預鑄工法，例如工地寬敞及建築設計單元重覆數量夠多始能有效降低預鑄成本。相對於傳統工法，預鑄需要更多的大尺寸構件之吊裝作業，過於侷限之工地會導致構件過度分割及接組而成本上升。建築設計若自由度過高導致重覆單元不夠多，則預鑄成本亦無法有效下降。同樣地，於較侷限之空間，建築設計往往也得容納較多因地制宜的客製化，而使預鑄成本上升。

### 2. 以預鑄觀點進行建築設計

建築師若未能於計畫一開始便決定採用預鑄工法，而是依傳統之建築設計，於設計完成始決定採用預鑄工法，則其設計將因缺乏模組化、單元化之思維，導致預鑄構件種類繁雜以及對應之接頭亦不同，而成本上升。除此之外，例如原本鋼構方式的設計若臨時改為預鑄，亦會擴大結構斷面，亦可能進而延伸設計之修改，或需改使用新規範鋼筋與高強度混凝土減少斷面。若能於設計一開始，便以適合預鑄之模組及單元化思維進行發揮設計之創意及客製化，則預鑄成本將能有效降低。

### 3. 建築類型之選擇

設計較為單純之建築類型，如停車大樓、標準廠房，相對於設計較為複雜之建築設計，其較有使用預鑄工法之成本優勢。具工期壓力或是高生產值型（如半導體廠、大型商場）之類型，僅管其採預鑄工法並無成本優勢，但其由於採預鑄工法所獲得工期縮短而能早日生產或營業，其所獲得之額外營利已可彌補其所增加之成本。

從設計單位之角度，建築師較不傾向使用預鑄工法主要原因有二，一是對於預鑄工法相對於傳統工法較不熟悉，以及二是認為預鑄工法將大幅限制其所能使用之建築設計語彙及創意自由度。針對預鑄工法較不熟悉之問題，除目前市場需求相對小因而於其職業生涯中較不容易接觸（目前多數為預鑄廠商內部或長期配合之建築師），此有待政府政策實質長期推動下慢慢改善。另一方面則可從建築設計養成教育著手，如美國之建築設計教育對於木構造及預鑄建築有較多的介紹及訓練，而國內建築設計教育或是土木工程教育則多偏重於傳統鋼筋混凝土及

鋼構，因此建議建築研究所可充實預鑄之標準教材以及培育種子師資，逐步導入國內大學建築設計教育。

從政府政策推動上，則主要可考慮強化並給予實質之獎勵誘因或甚至強制特定類別之公有建築優先考量預鑄工法等措施。例如，目前公辦都更容積或權配獎勵僅有 SRC 或 SC，尚無預鑄工法之類別，以致預鑄工法與傳統鋼筋混凝土工法無差異，而其較高成本之特性，僅管有較優之品質控管，於考量成本型之競標案亦難以採用。以中國為例，僅管工資低於台灣，其預鑄之推動比台灣晚起步，但近年推展的速度及規模都已超過台灣，主因是其政策的強制力，其政府對於推新工法給予直接獎勵，或是採用半強制性的方式並行，並且讓勞務人力逐漸趨向專業，而不是往低價類型發展。中國推動預鑄之起因與工業 4.0 與環保霾害（建築工地被歸類為該污染項目之一）有關。其參考各個國家的規範並且在二到三年便完成訂定，由於其大多都市仍在建設中，為維護市容景觀以及產業轉型、少子化缺工等，所以在推動預鑄部分願極力去推動，近年來成效顯著。

再則，政府除配合教育界預鑄專業之培育外，亦可盡速訂定預鑄接頭、鐵件的標準圖，以供設計單位利用，不僅降低建築師使用之門檻、節省其設計製圖時間，由於接頭構件標準化，亦有助於預鑄廠商重覆利用，藉由更大經濟規模而降低成本。

從自動化的角度，一方面可著重於預鑄廠內生產之自動化，例如導入機械手臂處理鋼筋架構，或影像辨視品檢構件尺寸及鋼筋綁紮之正確性。另一方面由於預鑄構件之製造詳圖需大量的繪製，現有繪製人員嚴重不足，除了增加培訓之外，其繪製是否有可能自動化或半自動化亦是可能的研發方向。

從流程改造之角度，則在 BIM 基礎下可推動近年美日等國積極推動之整合專案交付（IPD）模式，使預鑄廠商、營造施工單位於規劃初期或是設計階段，便能提早參與，透過與設計單位之溝通，除有效控制計畫預算及時程外，亦能與反饋預鑄構件模組最佳化之訊息供設計單位考量。

## **（二） 結合建築資訊建模（BIM）、辨識技術與人工智慧（AI）技術於建築物預鑄工法應用**

本計畫提出一套結合建築資訊模型、人工智慧辨識技術應用於預鑄工法之安裝進度分析系統，並由詳細討論各階段之技術開發細節，主要包括資料蒐集、模型建立至資料分析共包含 11 項模組完成整理流程：蒐集影像資料、BIM 模型資料蒐集、資料標注、點雲模型演算法建立、4D BIM 模型架構建立、結合模型、建立虛擬視覺模型、影像定位演算法、反投影演算法、場域測試及深度學習模型訓練。其中在蒐集影像資料中，建立 360 影像資料蒐集準則，並導入開發快速、

穩定、有效蒐集資料之方法。在 BIM 模型資料蒐集中，討論若需應用人工智慧辨識方法分析預鑄工法之工程進度，BIM 模型所應具備之條件及排程資訊等。再來針對人工智慧所需之資料標注進行相關說明，並提出一自動化標注方法以加強整體效率。在點雲模型演算中說明如何透過已蒐集之影像資料建立點雲模型。在 4D BIM 模型建立架構，提出透過應用 IFC 模型的輸出方式，由 Synchro 導入模型，最後再透過 Blender 呈現。在建立虛擬視覺模型中結合 BIM 及點雲模型，呈現整體進度。結合之虛擬視覺模型則可以開始進行影像定位及應用反投影演算法將各別 BIM 模型構建分離。最後解說深度學習模型如何透過由前述方法所擷取之深度、法向量等相關資訊作為輸入，分析各構件是否安裝與否並最終比對工程進度。

本研究將預鑄工程進度管控之流程，透過 BIM 及人工智慧辨識之應用解構為不同步驟並加以開發。並在研究中開發出不同演算法、架構加以分析，最後由深度學習模型判斷，並可達 99% 準確度分析工程進度。整體方法預計將可透過系統化方法，有效提升工程進度追蹤目前耗時及人力密集之問題。並由於預鑄工法為目前工程上推動產業升級之必要途徑，更可加強應用 BIM 及人工智慧方法加以推動。然而由於資料集等因素，仍有相關建議及限制如下章節所述。

### (三) 建議及研究限制

研究進行之結果符合預期，而結果也證實運用深度學習、BIM、點雲模型進行預鑄工程進度分析之可行性。然而在進行中也遇到相關困難。其中一些困難預計可以在未來相關研究可以進行更深入的探討。初步建議如下：

#### 1. 預鑄工程進度資料庫擴增

目前預鑄工程進度資料僅限於單一工地，雖然預鑄工法構件有可能類似，但在深度學習訓練資料集上仍然過於單一化，造成結果有擬和過度 (overfitting) 之可能性。未來必須要增加試驗場域及整體資料庫建立，以增加整個系統之擴充性及實用度。

#### 2. 預鑄資料庫建立

目前影像資料庫仍以一般建築相關元件作為資料蒐集對象。在與幾家廠商聯絡過後，可以針對預鑄相關元件進行資料庫建立。主要考慮針對不同元件，在預鑄場完成後，或進工地施工前，先進行資料採集，並建立三維模型。在安裝後透過比對，再進行分析。另外，由於預鑄模型在生產前及有模型可作為參考，亦可考慮透過在虛擬環境中進行資料蒐集，建立虛擬影像資料作為資料擴增應用。

#### 3. 整體系統整合

目前各個模組尚為各自獨立運行，缺乏一整體系統整合。然而，整合系統亦

具相當難度，主要因為各系統包含許多不同技術，並在目前階段仍需使用商用軟體進行。為整合統一完整系統，必須將商用軟體之使用，改為自行開發相關軟應用。這之中包括，轉換空間座標的 Autodesk Navisworks 及資訊視覺化之 Blender。其中 Autodesk Navisworks 之替代較為容易，因為目前僅應用其較易使用之界面操作進行，可以自行運用相關開元軟體進行開發。目前調查顯示可運用 Open 3D 或者 Three.js 進行。資訊視覺化部份，牽涉層面則較為廣泛，複雜度較高。目前應用之 Blender 軟體，雖可同時呈現點雲、BIM 及影像，但在點雲呈現仍然限制較多。可另外開發以雲端為基礎之平台進行系統界面整合。

#### 4. 資料自動化方式

目前資料蒐集仍為手動，造成須多不確定性。即時在人員受過完整訓練後，根據實際現地不同狀況，蒐集成果產生之點雲完成性及準確性會有影響。若能透過較為自動化，或者半自動導引提示方式將可保證最後點雲生成結果。可以進行方式為透過開發手機軟體等。但目前研究仍針對個模組之實際應用程度進行討論。

#### 5. 從預鑄物件分類到物件辨識

目前整體系統架構為應用預鑄物件分類作為基礎，其主要技術奠基於超像素之擷取，並針對每一超像素進行分類。在資料標注階段，現在也以分類進行標準，然而目前考慮同時直接針對物件進行標注，以增加未來直接使用物件辨識方法執行之基礎。

#### 6. 從預鑄物件分類到物件辨識

目前整體系統架構為應用預鑄物件分類作為基礎，其主要技術奠基於超像素之擷取，並針對每一超像素進行分類。在資料標注階段，現在也以分類進行標準，然而目前考慮同時直接針對物件進行標注，以增加未來直接使用物件辨識方法執行之基礎。

#### 7. 測試場域之選擇

本研究期程至 110 年 12 月 31 日，需於 110 年 10 月 15 日以前提出期末報告，故三個考量之工程中，唯有潤宏精密竹南工地為較為可行方案，目前主要之攝影監視器材陸續採購中，預計七月可進工地了解記錄，並開始拍攝預鑄吊裝作業及工程進度影片及照片。

## 參考文獻

1. Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F., & Savarese, S., 2010. D4AR-4 Dimensional augmented reality- tools for automated remote progress tracking and support of decision-enabling tasks in the AEC/FM industry, in: Proceedings of the 6th International Conference on Innovations in AEC.
2. Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F., & Savarese, S., 2012. Automated progress monitoring using unordered daily construction photographs and IFC-based building information models. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 147–165. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CPPPPP.1943-5487.0000205](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CPPPPP.1943-5487.0000205).
3. Bosché, F., Guillemet, A., Turkan, Y., Haas, C., & Haas, R., 2014. Tracking the built status of MEP works: assessing the value of a scan-vs-BIM system. *Journal of Computing in Civil Engineering* 28.
4. Turkan, Y., Bosché, F., Haas, C., & Haas, R., 2012a. Automated progress tracking using 4D schedule and 3D sensing technologies. *Automation in Construction* 22, 414–421.
5. Turkan, Y., Bosché, F., Haas, C., & Haas, R., 2012b. Toward automated earned value tracking using 3d imaging tools. *Journal of Construction Engineering and Management* 139, 423–433. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000629](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000629).
6. Han, K., Degol, J., & Golparvar-Fard, M., 2018. Geometry- and appearance-based reasoning of construction progress monitoring. *Journal of Construction Engineering and Management* 144, 4017110. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001428](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001428).
7. Han, K. K. & Golparvar-Fard, M., 2015. Appearance-based material classification for monitoring of operation-level construction progress using 4D BIM and site photologs. *Automation in Construction* 53, 44–57.
8. Jacob J Lin, Jae Yong Lee, Mani Golparvar-Fard, 2019. Exploring the Potential of Image-Based 3D Geometry and Appearance Reasoning for Automated Construction Progress Monitoring. ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering 2019, 162-170. doi: <https://doi.org/10.1061/9780784482438.021>
9. Lin J.J., Golparvar-Fard M. (2020) Construction Progress Monitoring Using Cyber-Physical Systems. In: Anumba C., Roofigari-Esfahan N. (eds) *Cyber-Physical Systems in the Built Environment*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41560-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41560-0_5)

11015B0011

## 附錄一、主要會議記錄

一、會議名稱：「結合建築資訊建模 (BIM)、辨識技術與人工智慧(AI)技術於建築物預鑄工法應用」第 1 次工作會議

二、時間：110/04/20(二)下午 03:00

三、地點：新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓，內政部建築研究所

四、人員：詳簽到簿

五、討論要點：

1. 針對本開發研究計畫所參考之國內外相關文獻、研究方向與研究架構進行簡報說明。
2. 針對計畫案資料收集的進度，提出更多工地能收集更多資料，並提升該技術準確度。

六、委員提問與回覆：

陳建忠組長

1. 建物的座標和各個模型之間的關係，在之後需要更花時間來進行核對嗎？

回覆：

1. 因為我們是純用影像，但是如果使用無人機有座標 GPS 系統，BIM 模型有 GPS 資料，點雲模型也有 GPS 資料，該兩模型就可以組合，現在技術是使用單純影像，但是相對比較便宜，或是利用 QRcode 的定位來尋找正確的位置。

委員提問：

1. 這個技術應用在傳統工程及預鑄工程的差別？
2. 該技術的模型精細度，如果很精細的話在這個技術上有沒有困難？
3. 這個技術會利用在物聯網(IoT)上嗎？
4. 在現場拍攝到的影像，需要帶回去做效果編輯嗎？
5. 目前有空拍機等，需要做後處理，但是這個技術比空拍機更先進嗎？
6. 這個處理是自動處理還是人工使用操作的？
7. 在一個建案的中的工序是否和模型的工序一致可以利用該技術確認出來嗎？
8. 技術開發完成後，建議這個案子的技術使用設備價格建議為多少？

回覆：

1. 因為相較 RC 工程而言，預鑄工程提供資訊比較完整且較單純，對於半完成施工項目之進度量測亦較無爭議。例如，於使用 RC 工程來做施工項目進度辨識時，若有部份柱子在封模板，部份是在綁鋼筋，此層樓結構柱施工項目進度之計算還涉及權重（或成本）等問題，較為複雜也無一致性之

統一作法；相對而言，無場鑄之預鑄構件比較單純，每個柱構件不是 100% 就是 0%，因此只要知道該層樓結構柱的總數量，該層結構柱之整體進度便可直接計算，並無爭議。

2. BIM 模型是預估性的模型，點雲模型是現在式的模型，如果模型不精確的話，在點雲模型時會不知道該對應比對的物件為何。反之，若模型夠精確，可以比對的東西便可更多。
3. 看需不需要即時數據，如果針對影像就不需要用到 IoT，未來可以整合利用預鑄構件上的 QRcode 辨識，該如何組裝，BIM 接上 AR 技術可以直接辨識出正確預鑄裝置位置，可以提升建造速度。若架設在 web 上可以有類似 IoT 的效果。
4. 不需另外的編輯，如果很暗或是特殊原因，會進行照片的後處理，但是是不建議的，拍照時需要加上額外光源時，就要在拍照時使用，不建議在照完之後才使用。
5. 您說的後處理是空拍機的話，該技術是需要的，在取得影像之後還是會要經過影像演算法的程式跑過。
6. 演算法是自動的，但是還是需要手動輸入程式指令協助跑動，目前使用 360 度影像，需要先轉檔之後再輸入至演算法裡，但在後面的人工的處理比較多是在 BIM 和點雲的結合上會比較多花時，因為座標需要人工來做座標確認，前面跑點雲比較不需人工處理。
7. 前往攝影的頻率如果比較高，即可知道先後工序，或是利用固定在同一個地點攝影機的方式來收集資料。通常以天的頻率來說是足夠的，像是灌漿前後及需一天進行兩次拍攝。
8. 未來會有個 SOP，適合的情境，該有的設備，哪些已經是自動化，到時都會提出，那時候再進行更進一步的評估。

#### 陳建忠組長

1. 對貴團隊有高度成果期待，報告成果及論文的發表及推廣，目前所知的技術認知，在未來使用時可以有什麼轉變方式，並盡量使用結果數據來推廣該技術。
2. 在未來的開會中時，可以多邀請業主來當聽眾，可以提升使用該技術的動機

會議名稱：與建築中心場域合作工作會議

時間：110/05/17(一)下午 01:30

人員：李明濤經理、建築防火實驗室建案黃工程師、陽明交大(曾仁杰、黃芃豫、陳鈺祥、)、台大(林之謙教授、曾銘順)

會議要點：

1. 團隊成員研究進度報告

- 台大土木結構大樓室內元件辨視
- 台大人文大樓案場進度了解
- 相關技術說明

2. 目前建築中心防火實驗室的預定進度

- 辦公室棟 5 月已開工，目前為開挖作業，預計基礎工程 6 月底完成，7 月開始地面結構工程，唯此棟為純 RC 構造。
- 實驗室棟預計 7~8 月基礎工程，9 月中始能開始地上結構，為主結構仍為 RC 構造，只有屋頂為鋼構預鑄，估計可能要到 12 月才有可能施作。
- 此案 BIM 數位模型估計尚需 2 個月始能完成(7 月中旬)，確定只有 3D 模型，包含建築結構、MEP，未來會於維運管理階段使用。唯確認沒有 4D 時間資訊。

討論議題：

1. 目前確認建築防火實驗室之工程進度無法配合研究案之結案時程，是否有其它備案？

- 若建研所同意可以以 RC 構造來測試結案，則技術上仍能克服，亦可使用防火實驗室 RC 構造之部分地面樓層施工階段為測試對象(後續由曾老師與建研所討論)
- 台北社會住宅部份，安康社宅為預鑄，唯已完工，亦不適合。另有一案為預鑄，唯印象中可能今年開不了工(煩請李經理後續確認)
- 潤宏精密目前在建預鑄案為科技廠房，現場業主不允許影像記錄，故難以配合。
- 李經理期望能使用目前完成使用之萬隆 Living 3.0，唯就已完成之空間，能辨視什麼才會有實務應用意義，目前尚無適當想法。

2. 可考量協助建築中心前瞻技術應用之部份

- 團隊或可協助防火實驗室 BIM 的 4D 視覺化展演。若二個月後，中心可提供團隊 BIM 模型及進度排程，則團隊可協助建立 4D 模型，並錄製展演成果。

**會議名稱：與 X 預鑄廠商合作工作會議**

**時間：110/06/04(五)上午 11:30**

**人員：王副總經理、曾仁杰**

**討論要點：**

1. 團隊研究技術介紹
2. 研究請求協助事項說明
3. 選定竹南的 X 公司工地為可能可行的研究測試對象。
4. 後續與鍾工地主任（0921-981834）了解目前預鑄部份之預定進度，依可配合研究時程結案之進度，決定所需研究之範圍及樓層。
5. 後續再依範圍向王副總索取相關的樓層設計資料。



**會議名稱：與 Y 預鑄廠商合作工作會議**

**時間：110/06/10(四)上午 9:00**

**人員：Y 預鑄廠商（陳廠長等人）、遠揚建設、遠揚營造，曾仁杰、林之謙**

**討論要點：**

1. 團隊研究技術介紹
2. 研究請求協助事項說明
3. 了解遠揚建設新北市板橋亞東園區立體停車場預鑄工程進度，並建立張襄理為工地聯絡窗口。
4. 預鑄場現場參觀，及預鑄構件取樣試拍。

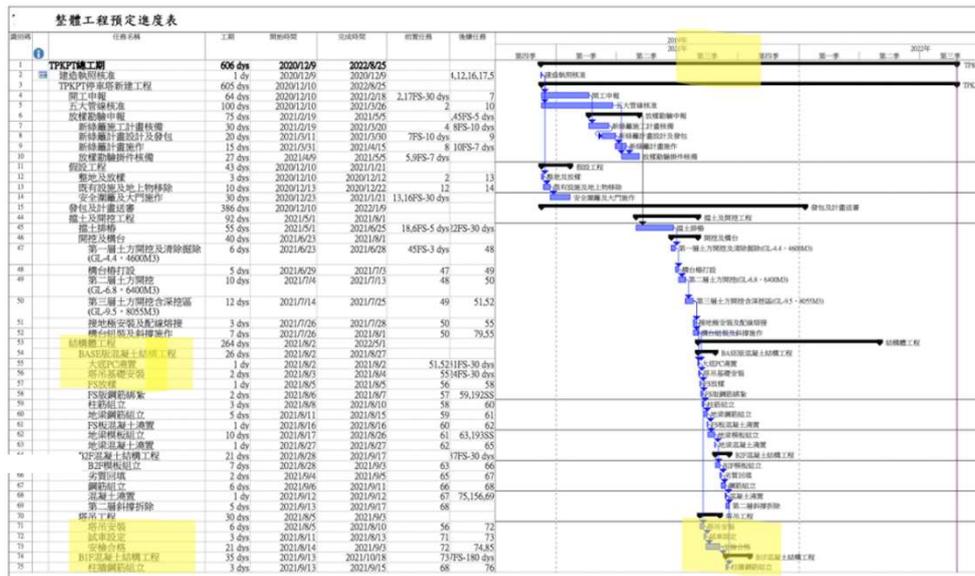
會議名稱：遠揚停車場塔工地（新北市板橋遠東通訊園區，亞東醫院附近）

時間：110/06/21(一)上午 11:00

人員：遠揚營造張圻襄理、曾仁杰

討論要點：

1. 取得預定施工進度表
2. 介紹施工方式及目前進度概況。
3. 介紹參觀預鑄現場。
4. 工地可全力協助團隊，目前依表定進度，大約開挖到二樓是落在團隊的研究期間。
5. 唯因疫情影響施工人員及料件，另本案對業主而言，進度非重要之關鍵因素，業主可能隨時會有變更設計，可能無法依預定進度進行，而導致無法配合建研所研究截止日期。
6. 工程會有來函，皆允許公共工程適當展延工期，建議團隊亦可向建研所申請合理展延工期，則本研究可配合之時間段更佳。





內政部建築研究所 110 年度協同研究「結合建築資訊建模 (BIM)、辨識技術與人工智慧(AI)技術於建築物預鑄工法應用」、「國內建築資訊建模(BIM)技術之機電繪圖規範研究」，及「建築資訊建模 (BIM) 開源及自由軟體本土化評估及發展路徑規劃」等 3 案期中審查會議紀錄

- 一、時間：110 年 7 月 15 日 (星期四) 上午 9 時 30 分
- 二、地點：本所簡報室
- 三、主持人：王副所長安強 紀錄：謝宗興、黃昱翔
- 四、出席人員：如簽到簿
- 五、簡報內容：略。
- 六、綜合討論意見：

(一)「結合建築資訊建模 (BIM)、辨識技術與人工智慧(AI)技術於建築物預鑄工法應用」案：

中華民國全國建築師公會 劉理事長國隆：

1. 請說明 4D BIM如何與點雲結合？。
2. 是否需要非預鑄工法如：建築中心新建大樓。每個建設案都會有保密的條件，如何取得其全力認同協助？
3. 若工程管理無法執行，網路與實際的工地人員如何配合？
4. 如何偵測與實際現場的操作模式分析比較？

中華民國全國建築師公會 何建築師欽欽：

1. 點雲與BIM模型套疊之精確度無進一步說明，GL+0 對應之EL 高程及測量點位是否可精確套疊。
2. 未見預鑄物件分類，超像素分類架構為何，同尺寸物件施作於不同位置，是否可正確標註辨識。
3. 建議明確說明研究的預鑄構件為何。
4. 是否能透過套疊分析，找出現場與預鑄構件誤差較大，可能影響安裝之位置，提前找出問題。

中華民國電機技師公會 劉技師火炎：

本案主要在土建預鑄掃描，未來有其他假設性工程是否會影響其AI判斷準確性。

台灣物業管理學會 林常務監事世俊：

1. 建議應用範圍例如建築結構(梁柱)、建築裝修(牆)、建築設備(牆預埋管線)及梁(開孔及過牆管)。
2. 進度控制(AI應用)請結合進度管理軟體(MS project或Primavera P6)及合約金額，才能計算出完成工程進度百分比率，並確立工程進度是否符合工程進度或進度落後。
3. 建議此案再延伸應用於施工檢查表。

社團法人新北市建築師公會 林組長大目：

1. 建築預鑄構造因分為不同類型，鋼骨構造與鋼筋混凝土構造預鑄構件之品質、組裝，存在極大差異，建議敘明本研究範圍，其他則列入後續研究計畫。
2. 預鑄元件、物件分類及資料庫建立，補充說明引用分類來源。

陳教授上元：

預鑄存在有組裝的程序及組裝的完成度的問題：

- (1)超像素法僅能回答組裝的完成度。藉由VGG-16的2D形狀辨識與比對能力來回答完成度問題。
- (2)然而組裝的順序、程序問題該如何解決。
- (3)卷積神經網路，更適合用來檢測工程瑕疵，瑕疵檢測可作為衍生效應。

黃建築師鄧堯：

1. 是否一定是預鑄工法才能應用?目前案例上看不出來只能預鑄工法相關性。
2. VGG-16 這個已經被訓練得模型他的內容大概是甚麼是否可以補充。關於工程方面物件的訓練辨識、流程、樣品數量、模型訓練結果請詳述。此外這個模型是否未來會開放出來給大家使

用？

3. 目前這個研究除了使用AI圖像辨識外，關於BIM模型的比對或建立是否有機器學習比對，請具體說明？

蘇副理瑞育：

1. 計畫欲透過AI辨識預鑄構件安裝定位，以確保快速取得施工進度管控，以科技方式解決傳統人工作業的缺失與效率不足。本公司研發團隊也透過AI辨識演算隧道橋樑裂縫，但辨識率最佳僅接近 8 成，難做到精確判斷，目前透過AI辨識僅能作為輔助、快篩預警之用，但技術能在演進，關注及參與研究其適用性仍是非常重要的。
2. 預鑄構件內大部分嵌有RFID感應卡，進場安裝經過門架感應，到點定位再次感應確認，流程應不複雜，目前物流業者運用此技術管理物流進度，相較AI演算辨識其效率更高，相似構件誤判機率極低，所以AI的應用場合是很重要的。AI辨識是否應用於非預鑄住宅，結合UAV掃描做進度管控，並延伸品質查驗，發揮模糊比對AI學習的優勢，但難度更高，可供研究團隊未來延伸發展參考。
3. 研究成果建議增加透過AI辨識與傳統管理其效率及正確率之比較，以佐證研究價值。

李總經理孟崇：

1. 肯定以預鑄工程場域運用影像 3D技術結合AI進行 4D進度自動偵測的價值。
2. 因為之前場域未定，建議場域確定後，微調工作範圍及內容。
3. 關於 4D網路平台，建議依工作時程或仍以navisworks 4D功能亦可，畢竟Forge 4D相關API尚未完善。
4. 建議本研究案進行第二期更深入廣泛研究。

李教授東明：

目前國內缺工日益嚴重，宜採取類似科技方式提昇建設產業之自動化。

5. 遙測技術(點雲、掃描等非接觸性測量)日新月異，可透過大數據AI運算，取代原有人工作業。
6. 建議應規範未來作業SOP，讓業界可參考採用。
7. 成果說明會應邀請業者參與。

邱教授晨璋：

1. 本計畫運用點雲模型演算法建立、建立虛擬視覺模型、影像定位演算法、反投影演算法、超像素演算法、深度、法向量演算法、深度學習模型建立及安裝準確率估算等方法，建議研究團隊以案例說明實際操作上各方法運用上的相互間如何搭配使用及SOP，以及主要及輔助關係的邏輯，得以讓本案BIM及AI技術整合使預鑄工法配合設計圖說，更能展現其功能。
2. 結合建築資訊建模(BIM)、辨識技術與人工智慧(AI)技術，如趨於成熟，營建工程自動化偵測將邁入另一階段，亦請研究團隊針對未來可以自動化偵測施工項目先後順序，以分年分期規劃完成施工自動化偵測藍圖。

黃研發替代役昱翔：

1. 請研究團隊確實掌控研究進程，不因疫情及場域而影響後續的研究進程。
2. 本案所開發的相關演算法，建議應釐清本所之資料使用及軟體交付規範，以免衍生出後續成果驗收困難。
3. 本所協同研究報告書有固定格式，請依格式修正。

陳組長建忠：

1. 預鑄案不限制預鑄，但應包含預鑄。
2. 為往後建築 4.0(數位建築)鋪路，其中有i-Construction中如何建構一營建工地即工廠之概念是一前端性想法，本研究可啟為一

努力目標。(看木工師傅現場施工時，仍會使用制式工作台即知)

3. 預鑄應以單一組件之場域就應有掌握，建築管線才能在施工適時更有效的發展。

王副所長安強：

開發預鑄工程建築構件施作控管系統，此種技術有無可能申請專利，請評估。本案如涉軟體交付及資安稽核事宜，請依規定辦理。

執行團隊回應（曾教授仁杰）：

1. 在建案已有 4D BIM（含元件的進度資訊）下，工地現場監工以 360 度攝影機於工地現場自定位及樓層參考點起，連續拍攝得到實景現況影片。此影片將從 2D 轉成點雲影像（具備 3D 座標資訊），接著透過深度學習網路模型辨視點雲特徵及幾何，分類為各預鑄構件類別，最後與 BIM 及其預定進度資訊比對，並將差異（落後或超前）顯示。
2. 依目前經驗，點雲和 BIM 套疊精度可控制於 2~5mm。主要誤差來自於現場攝影，約 2cm，高程目前無法自動辨視，對於該層拍攝回來的 360 影像得標註起始點於 BIM 模型相對位置（含樓層）。只要給定拍攝之起始點參考座標，該段連續影片中不同位置樣貌相同之預鑄構件仍可準確分辨。
3. 就本案而言，將會以可合作之實際案例為主，團隊會補足所需的勞力、BIM 資訊及 4D 模型，以確保順利完成委託服務內容。由於工地進度拍攝者無需特別能力，工務所後製整合者需 BIM 之操作能力。期末報告將會研擬標準作業程序及未來採用時廠商應具備之能力。
4. 依目前實作經驗，掃描會受到影響，並且點雲亦會有許多外在物件噪點。但透過深度學習模型的針對深度特徵的學習過程，可以將此部份影響降低。此部份待於實際案場測試驗證後，將

會有更可靠的評估數據。

5. 本案假設管理者已透過如Naviswork等軟體，將Microsoft Project的進度資訊導入BIM模型中元件之屬性。實獲值之計算是很好的研究主題，只要相關的資訊能有效整合，自動計算之困難度不高，但自動辨視進度非預鑄（R.C.）較預鑄複雜，包含遮蔽問題（如已封模或部份封模之柱筋綁紮進度之辨視）、BIM模型沒有的臨時設施（如支撐、鷹架）干擾、半完成元件進度計算等問題。
6. 目前預鑄構件之材質資料庫是與合作預鑄廠現有之預鑄構件種類建置，期末報告將建議後續應如何逐步建置完整資料庫之構想。
7. 遮蔽問題大致可分兩類，一是隔間造成攝影視角的遮蔽，由於人或攝影機仍可進入該空間，可透過拍攝者從主動線分歧進入該空間再回到主動線解決，仍可準確辨視。另一種遮蔽是如委員所舉之例，當一旦遮蔽拍攝者不方便進入拍攝，此類情況可透過增加BIM元件的更細分割，更小單位的4D時間進度資訊，以及增加實境進度拍攝的頻率，只要有機會於元件被封閉或遮蔽前拍攝，即可正確顯示該時間時該元件之進度資訊。
8. VGG16為機器深度學習CNN模型的一種模型架構。開放資源中可找到訓練好且能直接辨視的模型，主要是針對生活一般性物件（如動物、人、車牌、手寫字體）。通常是應用生活物件資料庫Image Net，而建築物辨識則可應用此模型重新訓練。
9. 超像素主要應用圖中相似之材質、顏色、亮度等特徵，分割相鄰的像素，得到相對較有意義之不規則像素塊。超像素將圖形像素分組、複雜度降低，可以加快圖形之處理效率。本研究應用之技術為SLIC (simple linear iterative clustering)。可以快速針對多為度之圖像進行像素分組。

10.就本案情境而言，AI演算辨視之正確率、訓練樣本數、案例預鑄構件種類、影片拍攝時工地環境干擾因素（工人、臨時設施、逆光），確切的準確率數據待於實際案例測試驗證後將會有更完整客觀的數據。QR Code或是RFID於無漏掃描之情況下，確實準率高，唯仍得一個一個元件進行掃描記錄。影像AI辨視的好處是只需每個空間進行拍攝，於進度記錄之效率及成本上較有優勢。

七、會議結論：

- （一）本次會議 3 案期中報告，經徵詢在場審查委員意見，審查結果原則同意通過。請業務單位詳實記錄審查委員及出席代表意見，供執行團隊參採，於期末報告中妥予回應，如期如質完成研究計畫。
- （二）請執行團隊掌握研究時程，並請留意成果報告格式，以符規定。
- （三）「結合建築資訊建模（BIM）、辨識技術與人工智慧(AI)技術於建築物預鑄工法應用」案涉應用程式開發，故於辦理期末驗收時，請依本所「辦理軟體開發案廠商結案應交付項目之驗收規範」，檢視及驗證本案所交付之資料。

八、散會：下午 12 時 40 分。

## 預鑄工程管理與科技應用專家座談會 第一場

- 一、會議名稱：「預鑄工程管理與科技應用專家座談會」第 1 次專家座談會議
- 二、時間：110/8/31(二)上午 10:00
- 三、地點：新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓，內政部建築研究所第四會議室

### 四、與會專家：

- 陳建忠組長（內政部建築研究所）
- 陳士明研究員（內政部建築研究所）
- 勵博士（內政部建築研究所）
- 吳大維 建築師（鑄力聯合建築師事務所）
- 周慧瑜總經理（育沛研創設股份有限公司）
- 林之謙教授（國立台灣大學土木系）
- 林泰煌顧問（遠揚營造）
- 林湫湫經理（亞利預鑄）
- 柯茂榮 副執行長（國家住宅及都市更新中心）
- 陳潔生建築師（潘冀聯合建築師事務所）
- 詹耀裕 總經理（潤弘精密預鑄事業處）
- 蔡孟涵教授（台科大營建工程系）

### 五、議程：

研究計畫介紹

討論議題：

1. 預鑄工程目前之競爭優劣勢
  - 量化成本效益、地震、防水、過度標準化、成本
  - 集合住宅、停車大樓、廠房
2. 預鑄工程管理自動化應用
  - 預鑄構件製程資訊化、自動化、智慧化現況
  - 預鑄工程現場管理資訊化、自動化、智慧化現況
3. 預鑄工程邁向未來

各專業（業主、建築師、營造廠商）如何認知或調整配合？

對相關主管機關建言

#### 六、討論要點：

曾仁杰教授（協同主持人）：

針對本開發研究案所參考之國內外營建產業近況說明，藉由現階段營建產業工地已有許多影像的紀錄但仍然有許多人工步驟，本研究希望能使用 360 度攝影機進行工地拍攝，整合其他軟體資訊並透過 4D BIM 顯示顯示其進度、構件，達到營建業自動化的期望。

林之謙教授（研究員）：

針對本研究案的專業技術做整體介紹，電腦如何透過演算法與結合排程達到進度比對、自動化與準確性是未來研究探討的主要方向。

陳建忠組長（內政部建築研究所）：

本所積極協助國家住都中心關於預鑄工法應用與研究，由於少子化、缺工等因素，預鑄比例漸漸的提升，然而目前預鑄的缺點在於價格高與產能不足，此外國家制訂共同經費項目內也目前尚未編列預鑄工法，期望在未來能由政府推動預鑄工法、制定共同經費項目，產能則期望能透過工地即工廠的方式來解決預鑄，自動化部分則期望透過本研究來探討未來能更實際運用的方式。

曾仁杰教授：

未來預鑄的比例提升，但目前預鑄廠供應能力有限，加上科技業搶產能，預鑄廠是否有機會能夠透過製造過程自動化或模組化的提升來增加產能？

詹耀裕總經理（潤弘精密）：

1. 市場面因科技廠大幅建廠，目前產能已達到極限產能的 140%，而鋼構也被搶走，但預期未來廠房需求變少後，仍會回歸到建築面。另外

，如公辦都更目前政府尚未將預鑄列為工法之一，期望政府能盡快納入預鑄考量。

2. 預鑄節能方面也是一大目標，國外已有相關的規範，但政府目前仍為推動，例如施作加勁保溫外牆，期望政府盡快訂定相關機制。
3. 公司正在嘗試機械手臂處理鋼筋架構解決廠內缺工問題，長遠計畫是透過人工智能與機械手臂達到全自動化。除了工廠缺工，預鑄構件的繪製人員也很短少，相關人員的培訓也是一大重點。此外預鑄廠需要極大的場地才能進行生產，未來亦有考慮如組長所述於工地附近建立一小型生產線來做小物件的預鑄（游牧式預鑄），減少預鑄廠的負擔。

曾仁杰教授：請教目前鋼模成本的影響，以及游牧式預鑄的現場工人培訓的難度。

詹耀裕總經理（潤弘精密）：

1. 影響成本的主要因素是建築師構件的模組化程度，鋼模成本雖然較高，但木模的價格也提升，使目前鋼模回收成本降低，使設計方設計的花俏程度也可比以往高，甚至科技業搶工料，預鑄的成本已經比現場澆鑄成本更低。
2. 游牧式預鑄工人仍須具備基本的預鑄知識，但構件較小因此上手難度不會太高。

曾仁杰教授：請設計單位分享預鑄設計之經驗，以及變更設計相對對於預鑄工法工程之影響。

陳潔生建築師（潘冀聯合建築師事務所）：

1. 由於工料上漲、安衛問題（ISO EHS環保安衛規範）、預鑄成本與鋼構相近、興建速度快，預鑄也逐漸受到業主的接納。
2. 目前瓶頸在於政府配套不夠、廠商配合、使用預鑄構件斷面加大影響建照審核進度。目前也導入美國建築師學會提出的IPD使設計初期營

造廠也能提出如何降地營造成本，並與建築師討論。因政府目前仍採分標，期望也能導入該方式，若是統包就沒有上述分標的問題。

3. BIM的建置完善也將使變更設計能夠更輕易達成。

詹耀裕總經理（潤弘精密）：

1. 變更設計有可能使的已生產預鑄構件無法使用，可透過人工方式修改或是由建築師部分更改設計，但後者屬特殊案例，陳建築師提及鋼構變更為預鑄將使構件斷面放大，目前已使用新規範的鋼筋與高強度混凝土盡量減少柱體放大的部分。

曾仁杰教授：請教柯副執長住都中心推動預鑄之相關政策與標準規範。

柯茂榮副執行長（住都中心）：

1. 隨著人機料成本提高，預鑄比例將逐漸提升，期望未來政府能盡快提出預鑄工法的配套措施，例如於公辦都更能盡快納入預鑄工法，以促進市場發展。
2. 因住都中心的工程費用是由租金來支付，透過預鑄能夠縮短時間完工便能提早開始回收，目前中心在招標時已提出當中的構件部分為預鑄。
3. 預鑄廠產能滿載是目前遭遇之主要困境，此外預鑄工法需整合建築師、營造廠等單位，人力資源的培養也是未來的重點，避免技術已成熟但相關人力資源不夠。

曾仁杰教授：請教預鑄工程管理資訊化或自動化之可能方向。

林泰煌顧問（遠揚營造）

1. 公共工程共同項目費用已追不上現在的需求，NEW RC（台灣新型高強度鋼筋混凝土結構系統）應用但國內尚未開始生產所匹配的高強度鋼筋，隨都更、工料上漲使得預鑄更被重視。此外NEW RC內會運用到蓮根梁，在BIM先規劃好吊裝過程也將使得預鑄更為順利與對國內

預鑄發展更完善。

林湫湫經理（亞利預鑄）：

1. 預鑄工法成本一定略高於傳統RC，此外NEW RC由於採用的材料強度皆提升，將可做為鋼構的替代方案，公司也正在努力推動NEW RC，且預鑄對於廠房與高樓在成本與工期非常有競爭力，例如若使用預鑄一層樓只需7到8天即可完工，對於住都中心便能夠有更多的時間回收成本。
2. 由於預鑄是採組裝的方式，因此組裝過程更為重要，例如前面提即得蓮根樑誤差僅能有5mm。而組裝過程最大的問題在於安裝不準確而影響後續工序，若未來能夠結合AI與BIM提升組裝的準確度，即可減少預鑄漏水的問題。
3. 建議政府盡快訂定預鑄接頭、鐵件的標準圖，可讓建築師事務所按照此標準圖建置，藉此降低預鑄過程接頭的成本與預鑄產業的發展。

曾仁杰教授：請問陳建築師，若有標準圖後施工圖製作是否可有機會達到自動化？

陳潔生建築師（潘冀聯合建築師事務所）：

1. 建築師繪製的圖面可分為細部設計圖與製造圖，由於成本計算，有些接頭會按照基本規範，但每間預鑄廠的做法不太一樣，會於初期考慮預鑄情況進行設計。

詹耀裕總經理（潤弘精密）：

1. 按照公司先前於國外的經驗，若是有標準接頭的圖說，即可讓廠商依照標準圖來施作。

曾仁杰教授：吳建築師曾有許多預鑄工法之設計經驗，是否分享經驗？

吳大維建築師（鑄力聯合建築師事務所）：

1. 目前設計預鑄的案子會考量預鑄的比例、必要的問題，來協助業主選

擇預鑄的需求，此外預鑄可不搭鷹架的特性也減少了安衛問題與提高建造速度。此外為減少建築師變更設計的負擔，也極力提出配套方案來協助建築師。

曾仁杰教授：周總經理是BIM應用之專家，可否分享對於BIM應用的建議？

周慧瑜總經理（育沛研創設）：

1. 由於公司著墨在BIM應用於施工規劃較多，如何與預鑄達到搭配與加值是主要的方向。此外推廣仍舊需要國家進行主導，若由廠商將不利於預鑄產業的發展。
2. 市場誘因則源自於人機料成本上漲，使得預鑄逐漸受到重視，由於環境的變化也使得新世代的人不願投入工地現場，如何將工地工廠化也是主要方向。風險則應考量如何於吊裝過程降低風險。
3. 因許多營造廠或分包商仍較為傳統，培育人才並達到整合是未來預鑄工法努力的方向。
4. BIM可進行輔助設計、生產預鑄構件的精準度、介面的整合與現場施工吊裝的規劃，然而受限於成本考量，多數只有著墨在輔助設計與介面整合，若政府能完善規劃與要求其他應用的措施，將能更順利推動預鑄工法。

曾仁杰教授：請蔡孟涵教授也分享BIM應用的建議。

蔡孟涵教授（台灣科技大學營建工程系）

1. 相關政策的推動是預鑄工法最大的努力方向，此外若能結合其他資通訊技術，例如利用訊息提醒工料運送進度也將提升未來BIM運用。

## 預鑄工程管理與科技應用專家座談會 第二場

一、會議名稱：「預鑄工程管理與科技應用專家座談會」第 2 次專家座談會議

二、時間：110/9/13(一)下午 14:30

三、地點：新北市新店區北新路三段 200 號 15 樓，內政部建築研究所

四、與會專家：

王瑞禎 副總經理（潤弘精密 研發部）

紀乃文 教授（台科大營建工程系）

張圻 襄理（遠揚營造）

曾惠斌 教授（台大土木工程學系）

魏世玉 副總經理（遠揚營造）

蘇怡先 副總經理（潤弘精密 預鑄業務）

五、議程：

研究計畫介紹

討論議題

1. 預鑄工程目前之競爭優劣勢

量化成本效益、地震、防水、過度標準化、成本  
集合住宅、停車大樓、廠房

2. 預鑄工程管理自動化應用

預鑄構件製程資訊化、自動化、智慧化現況  
預鑄工程現場管理資訊化、自動化、智慧化現況

3. 預鑄工程邁向未來

各專業（業主、建築師、營造廠商）如何認知或調整配合？  
對相關主管機關建言

六、討論要點：

曾仁杰教授（協同主持人）：

針對本開發研究案所參考之國內外營建產業近況說明，藉由現階段營建產業工地已有許多影像的紀錄但仍然有許多人工步驟，本研究希望能使用 360 度攝影機進行工地拍攝，整合其他軟體資訊並透過 4D BIM 顯示顯示其進度、構件，達到營建業自動化的期望。

林之謙教授（協同研究員）：

針對本研究案的專業技術做整體介紹，電腦如何透過演算法與結合排程達到進度比對、自動化與準確性是未來研究探討的主要方向。

王瑞禎副總經理（潤弘精密）：

1. 在做預鑄的時候要把它拆出來，傳統鋼筋混凝土只要材料、模板、綁鋼筋的工人，但預鑄需要系統的工作，因此需要建立完整的預鑄施工系統，期望政府能夠過政策的方式來推動，例如有類似耐震標章的獎勵等。今天若是預鑄也有相關獎勵將可推動廠商去往該方面發展。

曾仁杰教授：從都更角度而言，建議能有什麼獎勵？

蘇怡先副總經理（潤弘精密）：

1. 以中國為例來說，他們會為了推新工法直接獎勵，或是採用半強制性的方式並行，並且讓勞務人力逐漸趨向專業，而不是往低價類型。
2. 建廠與建築的差別在於時間，必要性的差別。建築對於時間比較彈性，早期偏好個人設計能力因此外觀變化多，但預鑄由於偏向工業化，需要特定的模組方能生產。實際上自動化目前要推動仍有許多困難，可能樓板能夠有機會自動化。而柱、樑因為鋼筋可能配的不一、機電開口相關，仍然會偏向人力發展。但若是科技廠房比較有機會，不過現況來說僅樓板或外牆比較有機會可以做到全自動化。此外台灣目前比較偏向舊換新的都更方式，若權配沒有優勢的話會被排除，目前仍以SRC、SC為都更較偏好的方式，若政府能夠正視這方面的問題，將有助於預鑄的改善。

曾仁杰教授：從推動的角度，對目前產業或政府的建議？

曾惠斌教授（台灣大學土木系）：

很贊成潤弘所提出的看法，並且提出以下四點：

1. 若要做預鑄就應從設計端業主開始，目前預鑄分為設計製造跟組裝，其中組裝是整個預鑄最難的部分，由設計端出發將可以使這個部分發

展。

2. 政府若要推動定要在政策部分做調整，例如目前分標仍是採用設計與施工標分開，將使預鑄無法在一開始便納入考量，統包則比較沒有這方面的問題。
3. 相關法規例如梁柱設計規範等應該盡快將預鑄部分補齊。
4. 隨著少子化與外籍勞工因疫情關係難以進來，台灣未來勢必要走向預鑄，期望能盡快有適當的獎勵將使預鑄推動更為順利

曾仁杰教授：在先前的專家會議中，目前統包確實較有機會，目前與建研所討論的過程，建研所已有意在預鑄相關單價部分開始進行規劃，也請魏副總及蘇副總分享您們的看法。

魏世玉副總經理（遠揚營造）：

1. 遠揚很早就投入預鑄的部分，一開始是由亞泥開始，但它把預鑄當作製品，而亞利也是往預鑄隔間板發展，並未往工程方面發展。本公司近十年由於考量缺工情形勢必將持續，因使致力想推動預鑄，由於粉刷、模板、焊工已漲價三到六成，即便價格上漲仍然找不到相關人力，此外外勞也因為疫情也進不來，外勞就算能進來，也只能做一般的工作，專業仍然沒有人力。
2. 亞利許多工程目前偏向於為預鑄而預鑄，而非一開始就走預鑄，而是設計完才將其考慮做預鑄，在成本上面就沒有競爭力，目前一開始就考慮了預鑄的就是停車場大樓，但停車場大樓造型複雜在預鑄成本會很高，目前公家單位有看到預鑄，但獎勵部分仍未出來，社會住宅又比較偏向小區域的無法跟日本大區域的都更案相比，期望政府盡快推動相關獎勵與政策，否則單由廠商推動著實困難。
3. 此外台灣住宅比較偏向花樣設計的方式，而預鑄外型較不花俏，但若能夠往整體區域開發，也將提升整個區域的環境素質。此外在設計上若能一開始就進行模組化，也將讓預鑄發展更為順利，但目前設計分開讓接頭部分難以克服。此外預鑄目前一個困難也有在於未來接頭的

部分要如何說服住戶每隔一段期間就要進行相關膠條的更新也是一大難題。

蘇怡先副總經理（潤弘精密）：

1. 廠房由於有時間誘因，預鑄在這方面有優勢，但在一般住宅部分時間較無優勢，因為可能預到提早完工但經濟不景氣的關係造成房子較難銷售，此外新世代的人受到社會的觀感，年輕人較難願意投入相關行業，若未來能夠將相關的觀感變更的話或許將能提升年輕人的從業意願。此外也有業主也會透過以前的成本來砍價，但隨著工料大幅上漲，以前的成本已不復存在。

曾仁杰教授：請教大陸致力推動裝配式建築的最主要動機為何？

王瑞禎副總經理（潤弘精密）：

1. 實際上大陸推動因素有工業 4.0、環保等相關，由於中國霾害嚴重，即便並非所有霾害皆由於建築工地造成，但由於建築工地被歸類在其中因此才算在內。例如即便公司預鑄場已盡力做好環保措施，但產業設定就是高污染的行業，做的再環保也會是為高污染產驗。

蘇怡先副總經理（潤弘精密）：

1. 大陸參考了各個國家的規範並且在二到三年便完成訂定，台灣雖然很早就有想法但並未盡快落實，再看到中國已將規範訂定完善後近年來才開始有意願推動，由於大陸大多都市仍在建設中，為維護市容景觀以及產業轉型、少子化缺工等，所以在推動預鑄部分便極力去推動，將其視為國家主要政策。

張圻襄理（遠揚營造）：

1. 預鑄由於公司目前成熟度仍遜於潤弘，成本方面較無優勢，主要就是政策的推動，由於民間對價格較有意見，統包的部分目前有試做一個案子當中的停車塔，其中一停車塔雖然一開始訂為鋼構，但很適合預鑄，當初有向業主與 P C M 溝通提出預鑄的部分其中 P C M 是很贊成

的，但最後業主較為保守仍被否決，因此若政策與規範能夠補齊，將有助於推動預鑄。

曾仁杰教授：

1. 舉個經驗，一開始潤弘推動預鑄仍有許多科技廠較為保守不願意採用，主要原因在於微震的部分有所疑慮，但後來以交大奈米中心作為示範，後來興建完成後對於微震確認可行慮，潤弘在科技廠房興建市場中才開始較為順利，接下來請紀教授分享一下意見。

紀乃文教授（台灣科技大學營建工程系）：

1. 首先是BIM元件以哪些資訊可以應用在預鑄的標準化，此外由於預鑄有數位製造的特性，例如先前曾拜訪MEP廠商管線吊架接頭使用BIM模型做為數位製造的參數讓廠商去製造。而預鑄也有相似的影子，因此也在研究有哪些元件資訊能夠進行參數化並讓BIM能夠加值應用。此外預鑄的特性也讓BIM更有發展空間，之前參加過AutoDesk的論壇討論AI跟BIM的結合，目前主要偏向透過AI選擇合適的設計方案，若能夠將預鑄元件標準化且參數化，有基本的預鑄樣本，也許在透過AI選擇最佳化方式時預鑄也會是其中的考量。此外本案工地的大數據要如何囊括到AI學習的目標是值得研究的項目，因為目前AI最重要就是訓練的樣本，若能透過BIM的結合來建立虛擬的訓練樣本也是值得探討的議題。

曾仁杰教授：能不能讓建築師在設計過程產出的爆炸圖（細部展開圖）有參數化或規則化的機會？

蘇怡先副總經理（潤弘精密）：

1. 目前台灣由於相關基地不夠大，且受限於基地位置等很難有原則性，且建築的部分建築設計較結構設計更為強勢，因為主要仍是由建築設計出整體造型再由結構進行相關的設計。此外預鑄場在拿到設計圖之後有機會做成參數化，但會變成是個公司的內部資訊。此外台灣的量體規模尚不足在整個產業統一，仍偏向為公司的競爭優勢。

曾仁杰教授：請陳研究員分享目前建研所同步在進行有助於預鑄工程推動的項目。

陳士明研究員（內政部建築研究所）：

1. 政府目前積極推動預鑄工程，例如本研究案以及另一個研究誘因與獎勵的研究。
2. 前面提供的意見非常實際，也期望能提供更多的意見給建研所。

曾仁杰教授：另外，住都中心柯副執行長於上次會議提及，基於配合政府之政策，原想規劃更多採預鑄工法之社會住宅，亦曾拜訪亞利與潤弘，但由於得知目前產能滿載，導致其不敢大幅規劃採預鑄工法之案件。

蘇怡先副總經理（潤弘精密）：

1. 由於近年適逢科技廠辦大舉興建以及住宅開工量也創高，此外考量到住宅多位於市中心，預鑄大型機具也難以進入，且由於興建高度不高因此仍偏向場鑄，若有相對大的重劃區，若運輸動線有相關規劃確實也較有預鑄的可能。

曾仁杰教授：在座專家對於預鑄管理的自動化或是相關政策是否有進一步之提議？

魏世玉副總經理（遠揚營造）：

1. 未來建築智慧化應該結合設計才能發揮出來，像是減碳或汙染物減少，若是外觀比較系統化確實將使的在吊裝與製造部分更為容易，但是因建築師仍偏向設計花樣因此幾乎每個案子都是客製化，使得預鑄也只能有一部份，格柵或是造型仍舊要場鑄。若未來政府想提高市場預鑄比例提高，有些東西是必要做犧牲的，例如對建築師提出期望能偏向預鑄系統化的設計。此外預鑄的吊掛也是有危險性，也希望政府在工安這方面能夠有所規範與配套措施與作為領頭羊帶動廠商推動整個預鑄市場。