



# 面對2050淨零碳排的 混凝土材料設計與 製造趨勢

台灣下水道協會  
黃柏諺 - 2025

# 大綱

顧客、品質、主動、積極、溝通



01

## 2050淨零碳排

Net Zero Emission

02

## 混凝土產品特性

Concrete Product features

03

## 製程3.0

The process of manufacturing 3.0

# 01 2050淨零碳排

Net Zero Emission





# 永續發展目標





# 5+2 產業創新計畫

綠能科技 • 亞洲矽谷 • 國防產業 • 智慧機械 • 生技醫藥 + 循環經濟 • 新農業





# 臺灣2050 淨零轉型

十二項關鍵戰略





# 2050 淨零路徑規劃

階段里程碑



## 建築

提升建築外殼設計、  
建築能效及家電能  
效標準

## 運輸

改變運輸方式，  
降低運輸需求，  
運具電氣化

## 工業

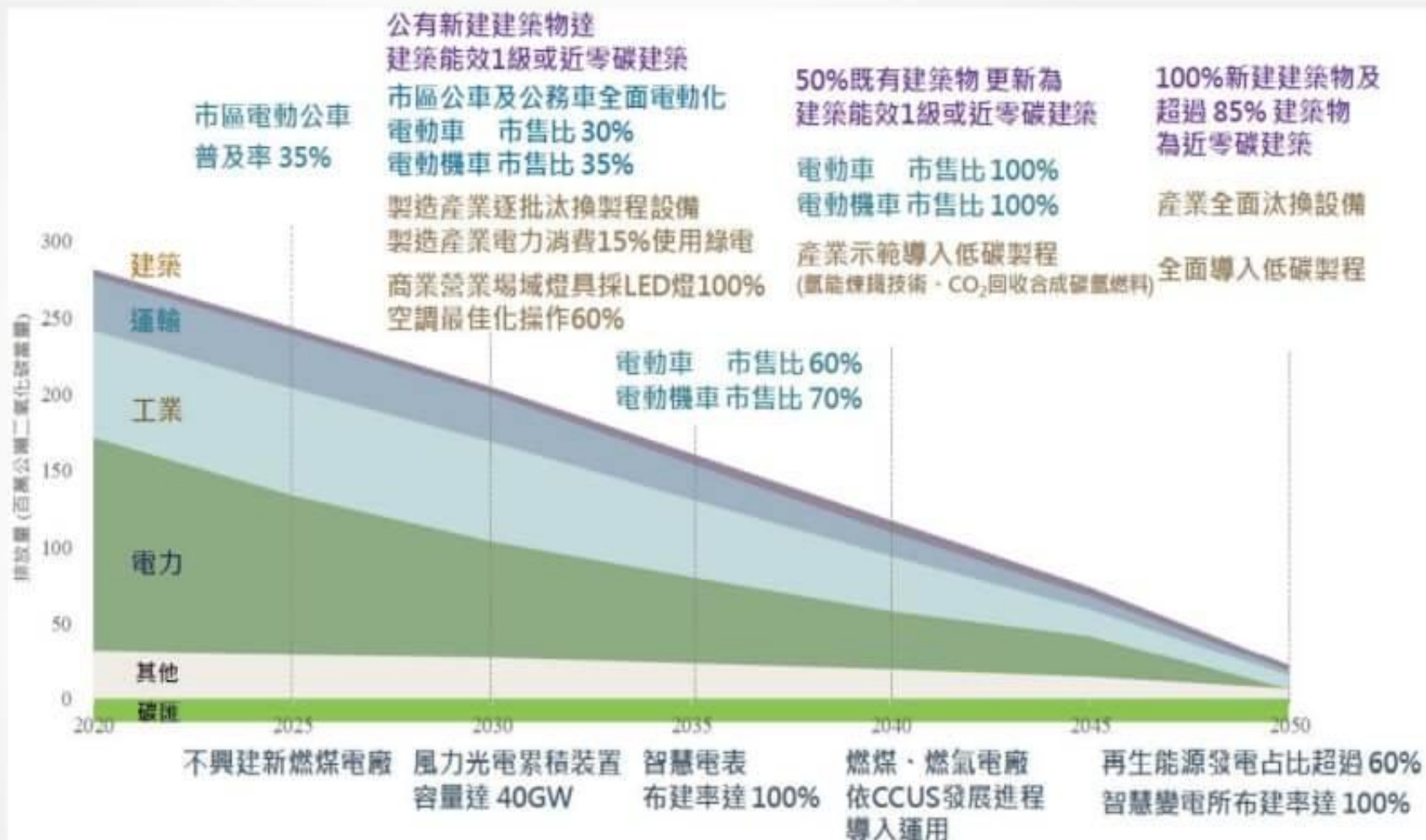
提升能效，燃料  
轉換，循環經濟，  
創新製程

## 電力

再生能源持續擴大，  
發展新能源科技、儲  
能、升級電網

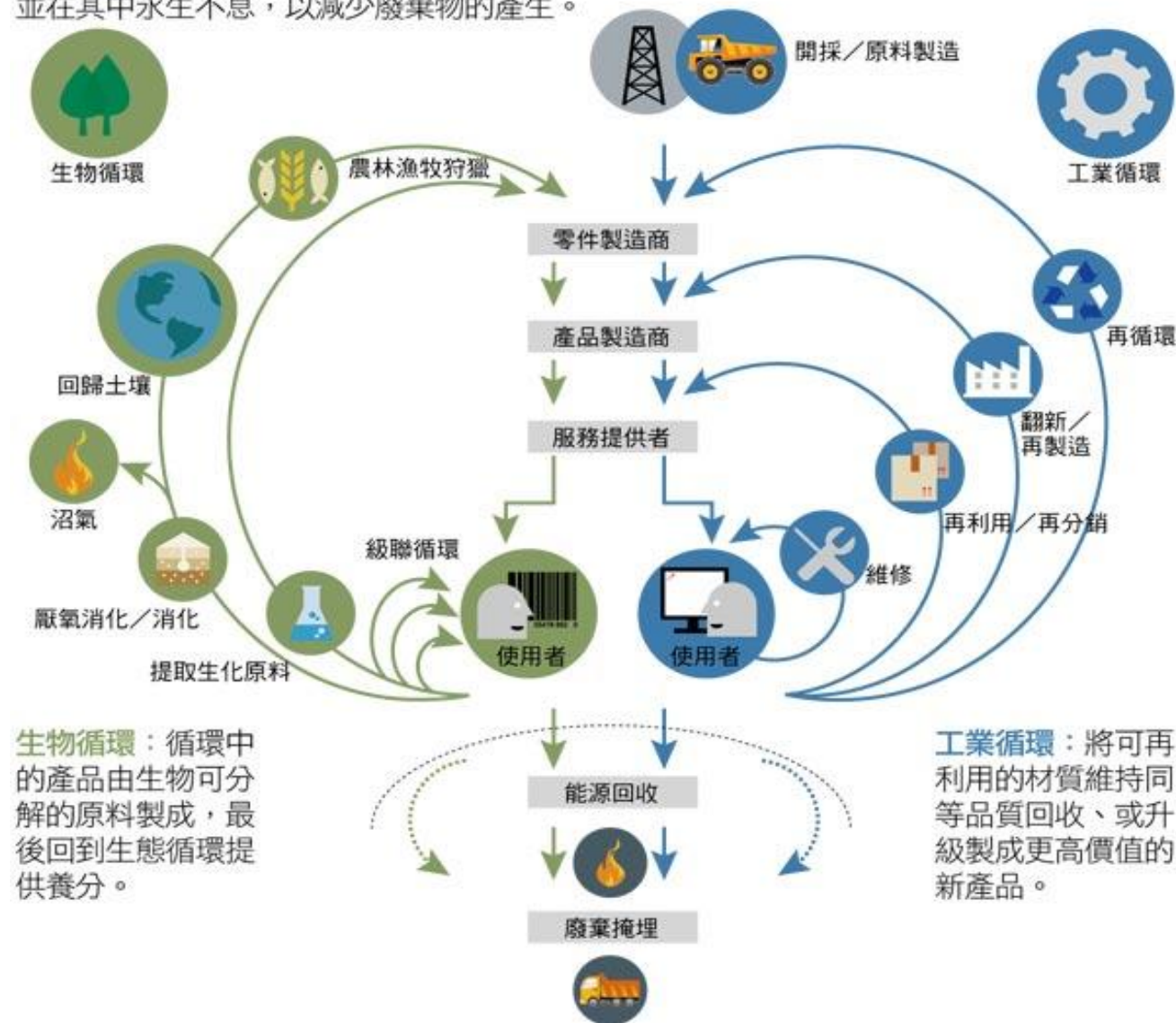
## 負碳技術

2030 進入示範階段  
2050 進入普及階段



## 循環經濟概念圖

在最理想的循環經濟系統中，所有產品、材料皆可被納入生物與工業兩個循環，並在其中永生不息，以減少廢棄物的產生。



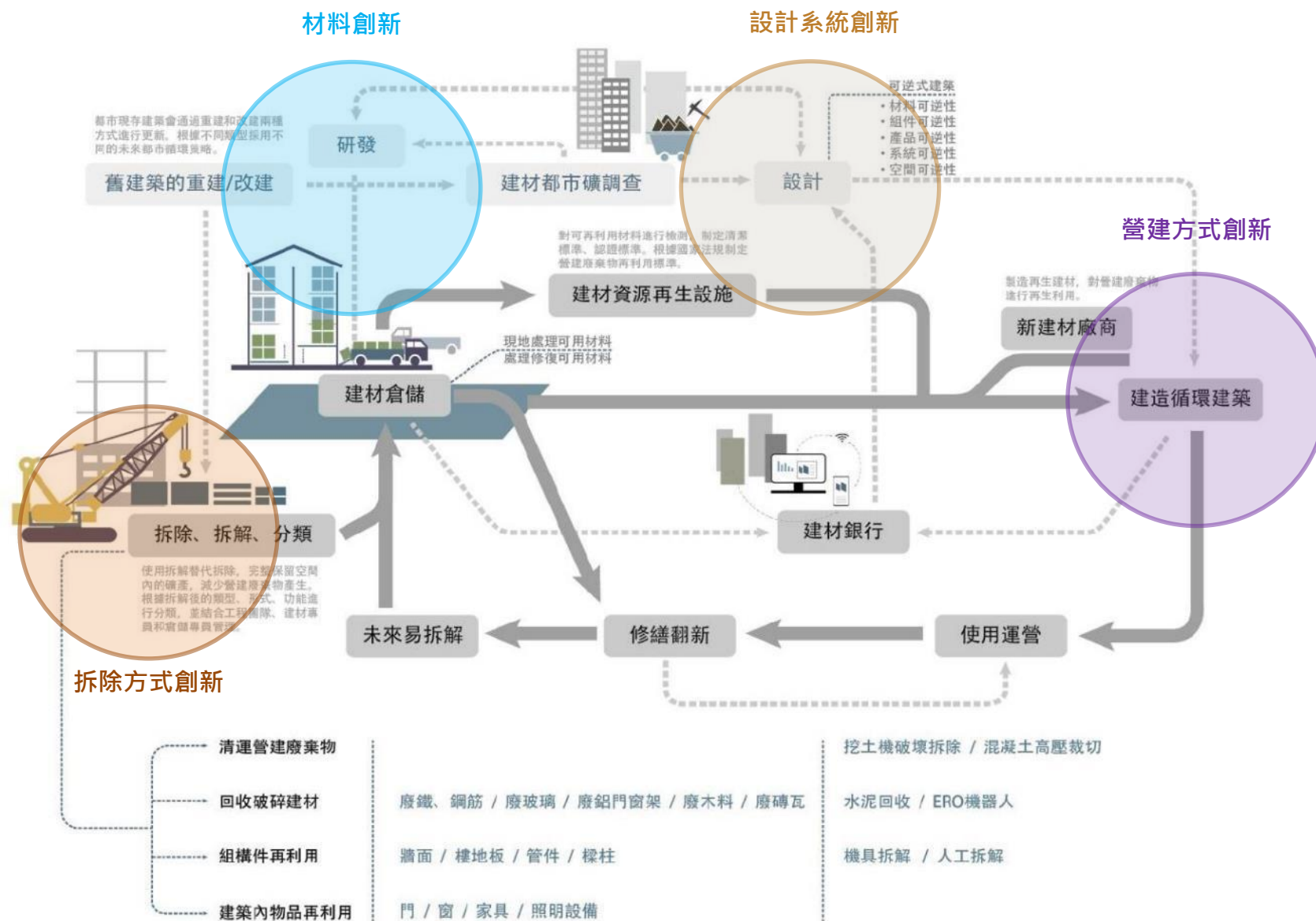


重複使用 **REUSE**

源頭減量 **REDUCE**

回收再利用 **RECYCLE**





出處: 成大建築 劉舜仁老師研究室

## 02 混凝土產品特性

Concrete Product features

### 即有印象

水泥通常不會單獨使用，一般會加入其它材料，常見的材料有砂、石等等，拌合後就變成『混凝土』材料。混凝土為複合性材料，其質感偏石材、成色偏冷灰色。



預鑄產品



# 混凝土

About concrete



## 混凝土是一種典型的複合材料

複合材料是由兩種或兩種以上的材料經過複合工藝而製備的多相材料，各種材料在性能上互相取長補短。

於混凝土中加入鋼筋、鋼筋網而構成的一種組合材料，兩者共同工作從而改善混凝土抗拉強度不足的力學性質，為混凝土加固的一種最常見形式。

# 摻料

| 摻料種類               |                | 需求效果  | 材 料  |
|--------------------|----------------|---|--|
| 速凝劑<br>(ASTMC494)  |                | 加速凝結和早強發展   | 亞硝酸鈣、三羧三乙酸、蟻酸鈣、硝酸鈣   |
| 減氣劑                |                | 減低含氣量   | 三磷酸鹽、矽樹脂、硼酸、水溶性碳酸脂   |
| 輸氣劑<br>(ASTM C260) |                | 增進耐久性（凍融、卻冰、硫酸鹽和鹼性反應）<br>增進工作性                      | 木脂鹽類、人造清潔劑、木質磺酸素鹽類、石油酸鹽、蛋白質鹽材料、脂肪及樹脂及其鹽類、硫酸基、苯烷基、磺化碳氫鹽                 |
| 鹼反應削減劑             |                | 減低鹼骨材反應膨脹   | 卜作嵐（飛灰、矽灰）、高爐石粉、鉀及鋇鹽、輸氣劑   |
| 粘結摻料               |                | 增加粘結強度  | 橡膠、聚氯乙烯、壓克力、聚醋酸乙烯、丁二烯－苯乙烯聚合物   |
| 著色劑                |                | 著色混凝土   | 氧化鐵、氧化鉻、氧化鈦、碳黑赭土、鈦藍 (ASTM C979)  |
| 阻銹劑                |                | 氯環境下減低鋼筋銹蝕活性  | 亞硝酸鈣、亞硝酸鈉、安息香鈉、磷酸及氟矽鹽、鋁氟酸鹽   |
| 防潮摻料               |                | 延遲水份滲入乾混凝土中   | 丁基硬脂酸、石油產物、硬脂酸或油酸胺，或鈣皂沫  |
| 細磨礦物摻料             | 膠結性材料          | 水硬性性質部份取代水泥   | 細磨粒化爐渣粉 (ASTM C989)；天然水泥；水硬性消石灰 (ASTM C141)                            |
|                    | 卜作嵐材料          | 卜作嵐反應<br>增加工作性、增加塑性、抗硫；減低鹼骨材反應、滲透、水化熱、部份取代水泥<br>填充料 | 矽藻土、貓眼角岩、粘土、頁岩、火山堆石、浮石 (ASTM C618, N 級)、飛灰 (ASTM C618, F 及 C 級)、稻殼灰、矽灰 |
|                    | 卜作嵐材料<br>膠結性材料 | 如膠結料和卜作嵐材料之說明                                       | 高鈣質飛灰 (ASTM C618, Class C)、細磨粒化爐石粉 (ASTM C989)、                        |
|                    | 標稱惰性           | 增加工作性填充料  | 大理石、白雲石、石英、花崗岩等之粉末   |
| 殺菌劑、殺蟲劑            |                | 阻止或控制細菌和菌類生長  | 聚鹵素化酚、氯丁乳劑、銅混合物  |
| 造氣劑                |                | 凝結前引起膨脹   | 鋁粉、肥皂鹽、松脂肥皂或蔬菜或動物粘膠、蛋白質  |
| 灌漿劑                |                | 調整水泥漿性質以符特殊應用                                       | 同輸氣劑、速凝劑、緩凝劑、工作性助劑   |

# 摻料(續)

|                             |                     |  |
|-----------------------------|---------------------|--|
| 減滲劑                         | 降低滲透性               | 矽灰、飛灰(ASTM C618)、細磨爐石粉(ASTM C989)、天然卜作嵐、減水劑、乳液   |
| 助泵劑                         | 增進泵送性               | 有機及合成高分子、有機聚合物、石蠟、焦油、瀝青、亞克力、有機乳化劑、皂土和焦化矽、天然卜作嵐(ASTM C618,N 級)、飛灰(ASTM C618,F 和 C 級)、消石灰(ASTM C141) |
| 緩凝劑<br>(ASTM C494B 型)       | 延長緩凝結時間             | 木質素、硼砂、糖、酒石酸及其鹽類   |
| 強塑劑<br>(ASTM C1017,1 型)     | 流動混凝土減低水膠比，減水至少 12% | 磷酸化三聚氰胺甲醛凝縮物<br>木質磺酸素、磺化苯酸凝縮物  |
| 強塑劑和緩凝劑<br>(ASTM C1017,2 型) | 流動混凝土俱緩凝效果減水        | 見強塑劑和減水劑   |
| 減水劑<br>(ASTM C494,A 型)      | 減水至少 5%             | 木質磺酸素、碳氧酸、碳水化合物<br>(亦將造成緩凝故常加入速凝劑)   |
| 減水和早凝劑(E 型)                 | 減水(至少 5%)和速凝        | 見減水劑(加入速凝劑)  |
| 減水和緩凝劑(D 型)                 | 減水(至少 5%)和緩凝        | 見減水劑   |
| 高度減水劑(F 型)                  | 減低用水量(至少 12%)       | 見強塑劑   |
| 高度減水緩凝劑(G 型)                | 減水(至少 12%)和緩凝       | 見強塑劑和減水劑   |
| 工作助劑                        | 增進工作性               | 輸氣摻料、細磨摻料(不含矽灰)、減水劑  |

註：「強塑劑」亦稱為「高效能減水劑」或「塑化劑」。這些摻料經常同時符合 ASTM C474 和 C1017 規範。

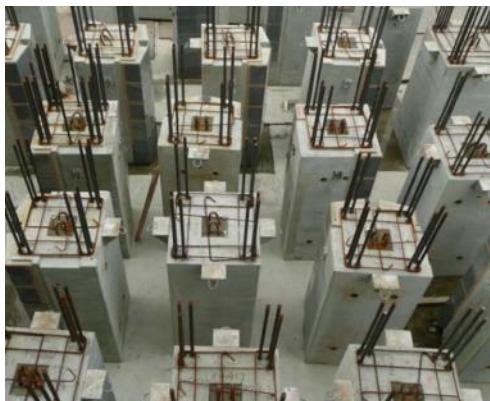


# 羅馬萬神廟 B.C. 27



# 預鑄建築

Prefabricated building



## 預鑄建築特色

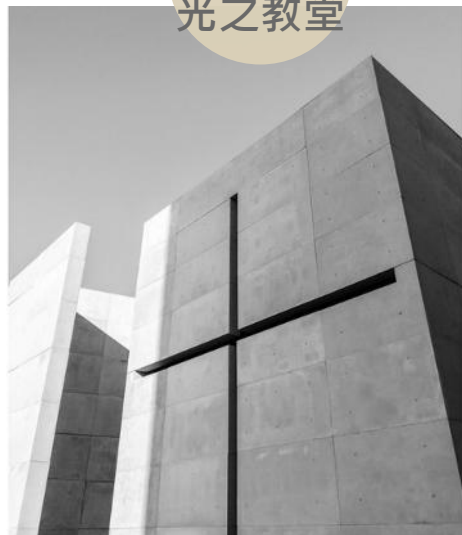
預鑄建築可以發揮其工業化的特性，以「預先生產」為基礎，降低現場所需要的人力，並減少勞動及人工成本，且不易因氣候因素對工期產生的影響。

- 『預鑄』，是透過事前設計與規劃，將捆筋、灌漿等部分工序轉移至工廠，預先製作出柱、樑、外牆板、樓版等構件
- 『省時』，減少約**1/3**的工時，且只需要一半的人力成本。由於構件採用預鑄方式，現場環境所需的工序減少，因此較容易維護工地環境。

# 他方運用

Utilization

安藤忠雄  
光之教堂



造型外牆



水管屋

## 可塑性特質

添加各式各樣的材料，來改變其材料特性。

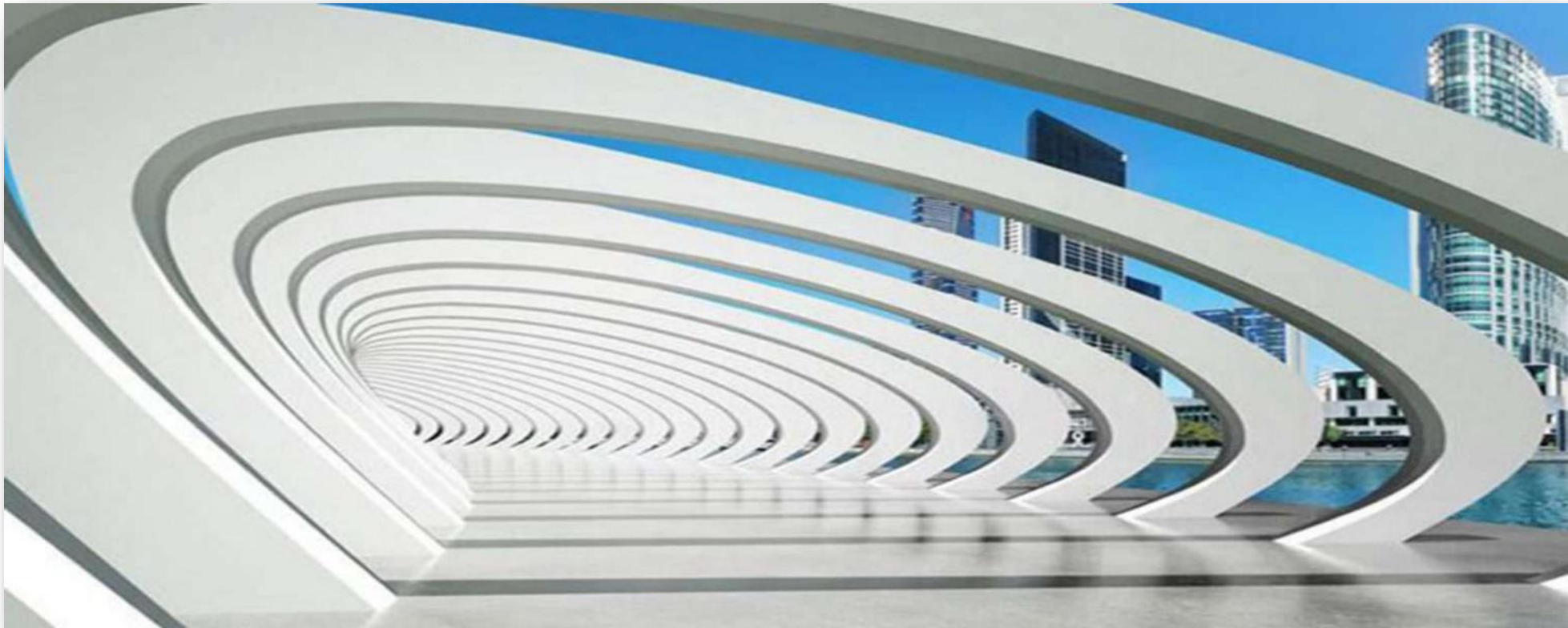
透過各式各樣的模具，來變化其造型。



## 超高性能混凝土 (UHPC)



UHPC (Ultra-High Performance Concrete)，也稱為活性粉末混凝土 (RPC, Reactive Powder Concrete)，是過去三十年中最具創新性的水泥基工程材料。





# UHPC性能及特徵

## 優越的物理性能

極高的強度(可達800Mpa)、防火、抗爆、抗冰雹、抗化學腐蝕。

## 超高耐久性

特殊配方：極低穿透性，高耐久性。

自愈能力：防腐蝕、氧化，再生微裂縫。

## 優越的工作性能

抵禦摩擦、火、凍融、冰雹，優良防水性能。

## 獨特的裝飾性能

高光潔度，自潔能力強，持久純色或混色效果。





# 產品工藝及分類

## 原料

水泥、矽灰、超高效減水劑、細骨料、纖維

## 設計理論

基於顆粒緊密堆積理論、水泥水化理論、隨機纖維相交理論。

## 獲取超高性能的主要途徑

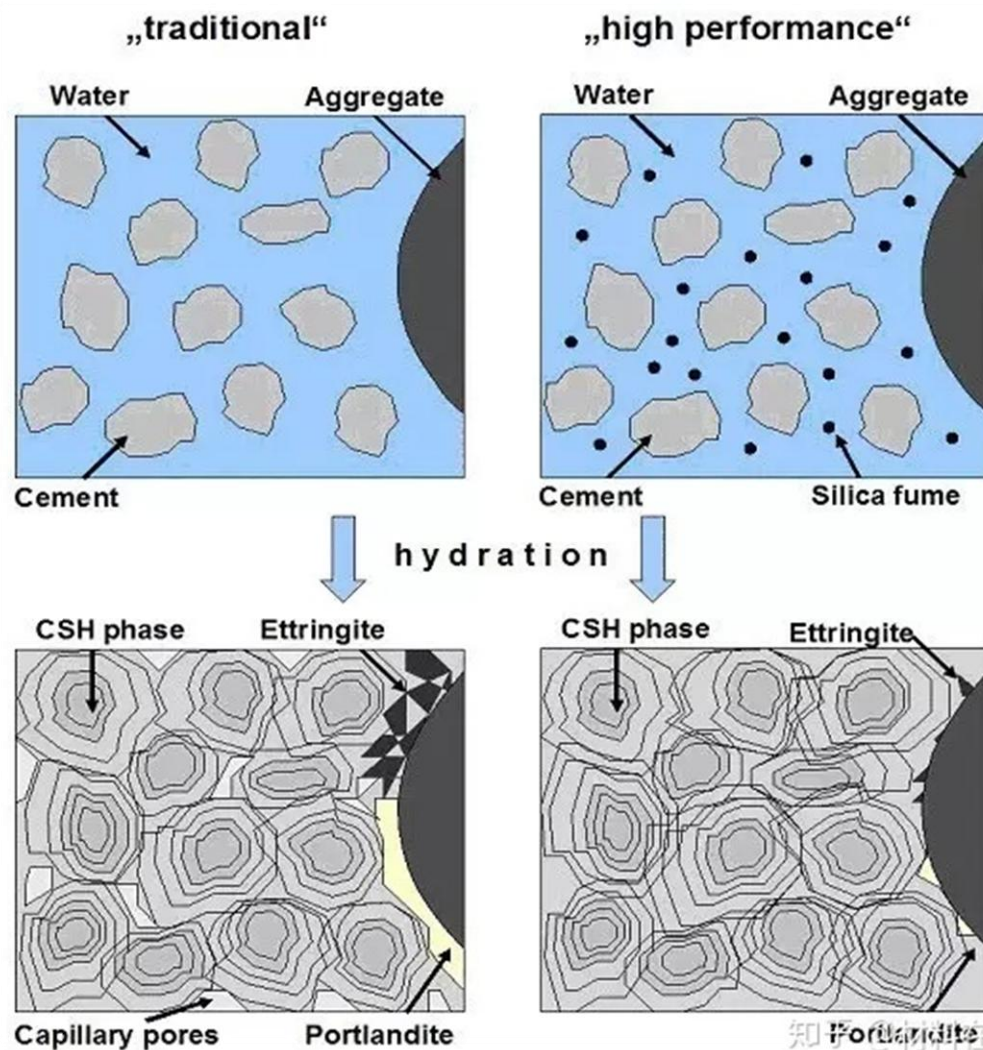
剔除粗骨料，均勻細骨料

優化細骨料級配

參入矽灰或卜作嵐材料等超細活性礦物摻合料

加壓和熱養護過程

添加短而細的鋼纖維或合成纖維



## 施工及安裝節點

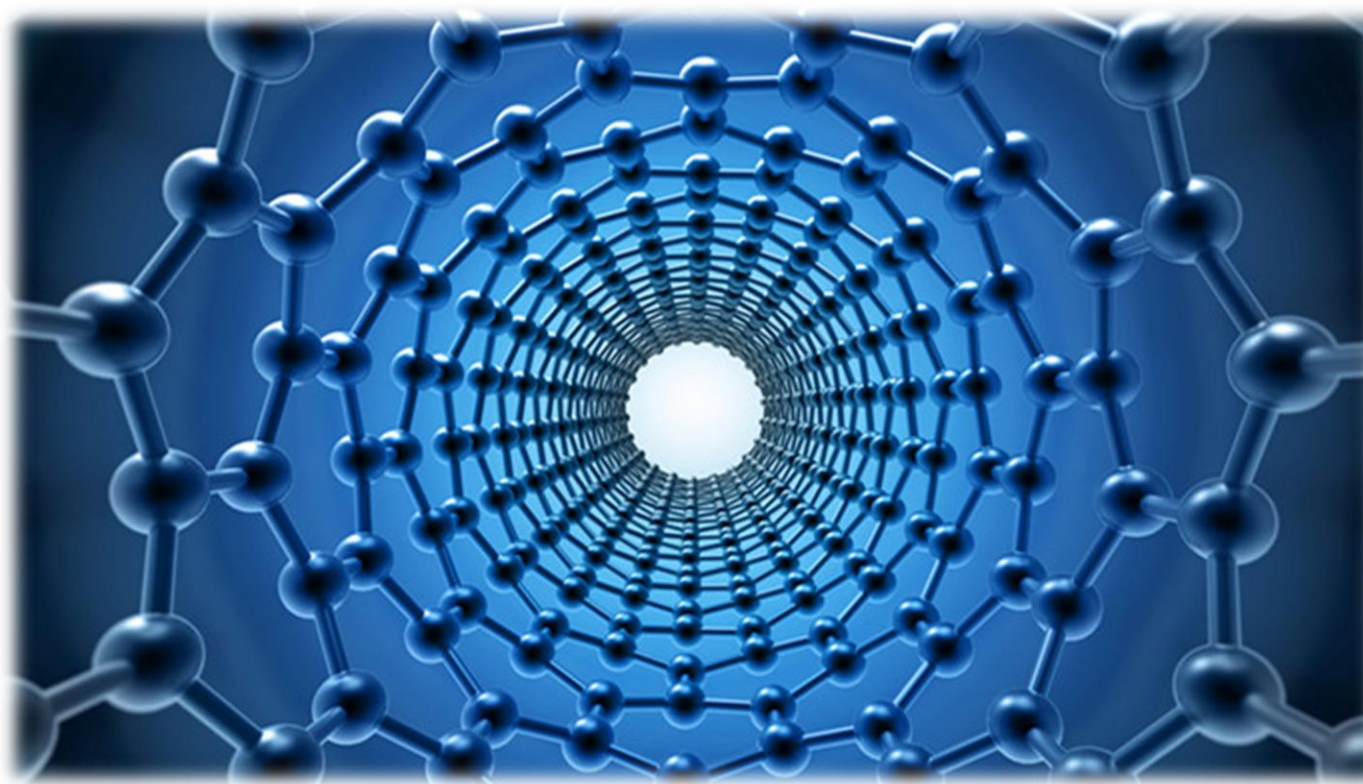


### 預鑄構件

通常為預鑄構件，其安裝通過預鑄構件與建築主體形成連接固定。

## 鹼激發材料(AAM)

鹼激發膠結材料是具有火山灰活性或潛在水硬性的矽酸鹽固體廢棄物（如爐石、飛灰、高嶺石等）與鹼性激發劑反應生成的一種膠凝材料。





## 鹼激發膠結材料環保效益顯著 未來發展前景廣闊

包括鹼-鋁矽酸鹽玻璃體類、鹼-燒黏土類、鹼-礦石尾礦類、鹼-碳酸鈣類四種類型。

具有製備簡單、成本低、原材料易得、能耗低、綠色環保、強度高、耐久性好等優點，是一種具有廣闊應用前景的低碳膠凝材料，是當前世界各主要國家研究的重點和熱點。



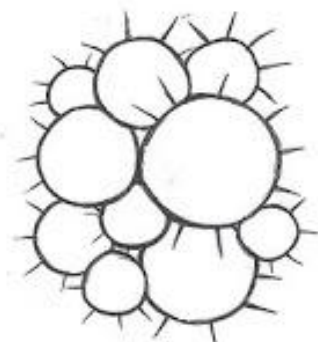
爐石鹼激發  
= 高爐石 + 矽酸鈉 + 鹼

循環材料鹼激發  
= (高爐石 + 部分取代高爐石) + 矽酸鈉

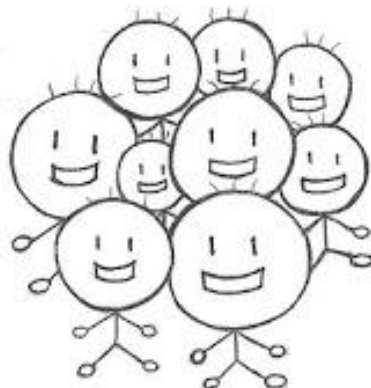
有高溫燒過未玻璃化含矽鋁元素

# 微觀結構

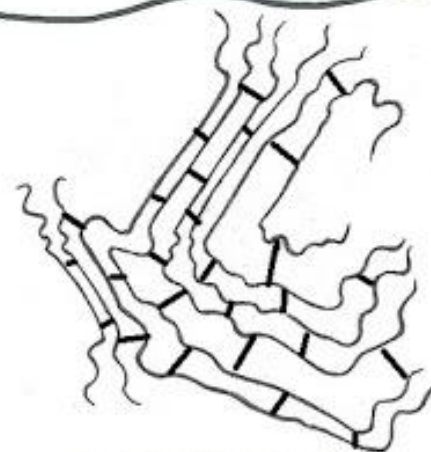
球狀堆積



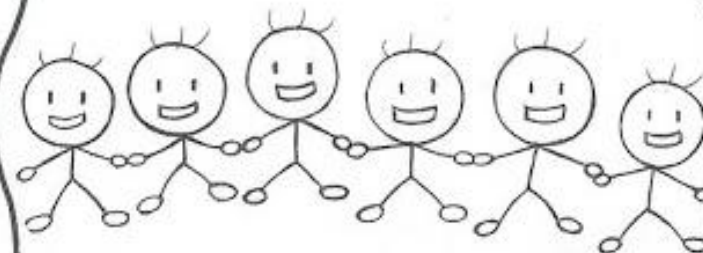
水泥



鏈狀連結

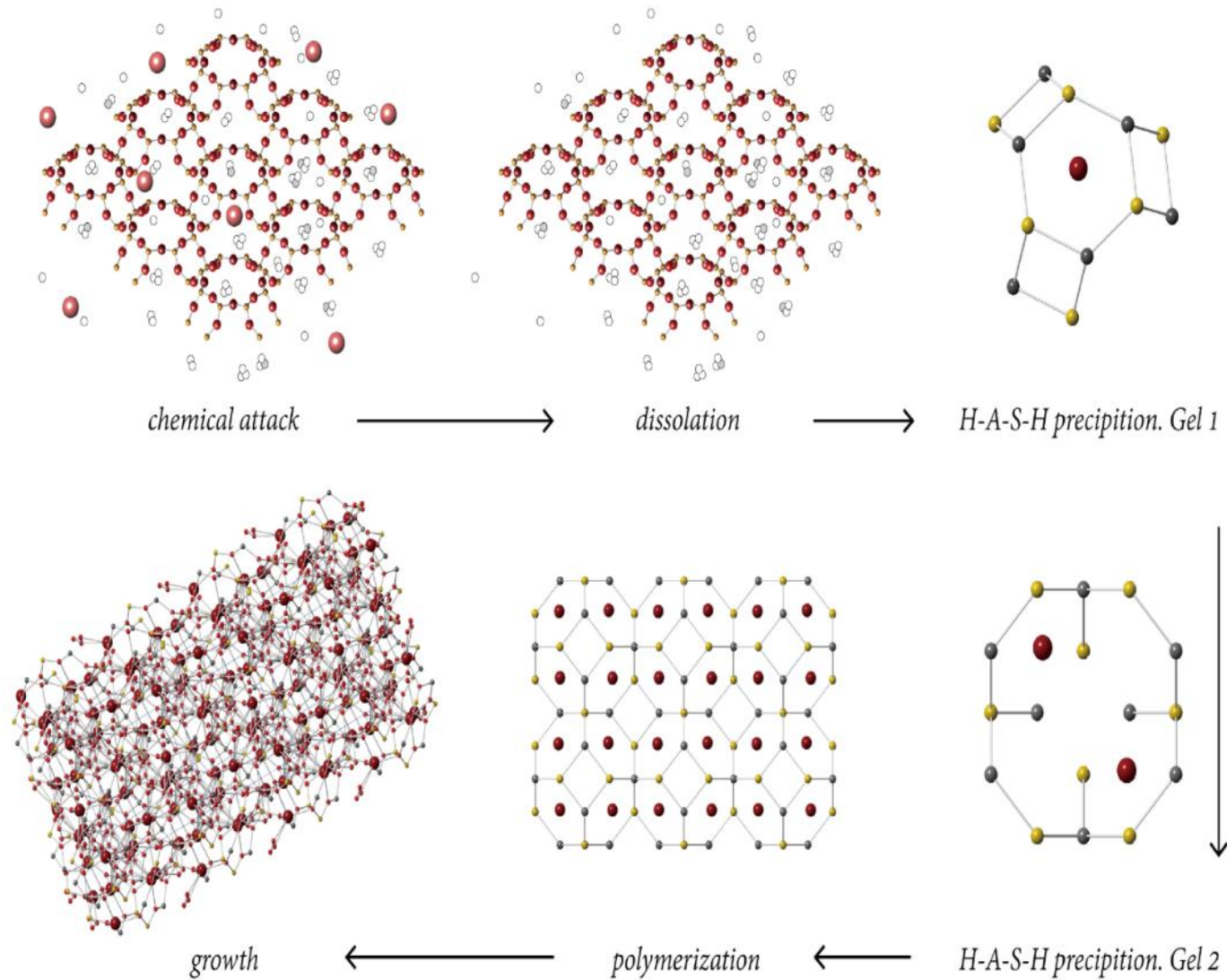


聚合物(如Epoxy)





# 鹼激發 *Alkali Activated Materials*



## 爐石鹼激發 *Alkali Activated Slag*

表 3.1 爐石成分表

| 項目    |                                | 含量     |
|-------|--------------------------------|--------|
| 二氧化矽  | SiO <sub>2</sub>               | 33.92% |
| 三氧化二鋁 | AlO <sub>3</sub>               | 13.70% |
| 三氧化二鐵 | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.42%  |
| 氧化鈣   | CaO                            | 42.69% |
| 氧化鎂   | MgO                            | 6.21%  |
| 氧化鉀   | K <sub>2</sub> O               | 0.35%  |
| 氧化鈦   | TiO <sub>2</sub>               | 0.46%  |
| 氧化錳   | MnO                            | 0.39%  |
| 比重    | Density                        | 2.9    |

鹼性矽酸鹽溶液  
= 骨架

(資料來源：中聯資源股份有限公司)

鹼激發技術 / 關鍵元素



都市鉱山からつくる！  
**みんなのメダル**★  
 プロジェクト

Y0 2020



公営プログラム  
 持続可能性



都市鉱山からつくる！  
**みんなのメダル**★  
 プロジェクト

TOKYO 2020









# 首間「會呼吸的房子」幕後 **NBA**冠軍一塊綠色水泥救家鄉

商周ESG | 撰文者：王茜穎 | 出刊日期：2024-02-22



2023年，**Partanna**第一間負碳住宅落成，執行長福克斯（圖）笑容滿面的捧著水泥磚。他告訴商周，這是4年辛苦工作的成果。（來源・Partanna提供）

（來源：商業周刊）



# 臺北空總實驗建築計畫 2019

## TCCLab ArchExperiment Project 2019



空總臺灣當代文化實驗場 | 共享吧



# 紅磚 未來式

08.13  
/  
08.14  
08:00~17:00

空總循環材料體驗工作坊

主持人  
郭文毅 / 樂土 執行長  
陳品蓁 / 成大建築系 專任講師  
專題講師  
陳必晟 / 成大環工系 助理教授

主辦單位：空總臺灣當代文化實驗場  
協辦單位：樂土 LOTOS  
支持單位：國立臺灣大學建築與城鄉研究所、國立中央大學建築研究所、國立成功大學建築系、國立成功大學環境工程學系



7-10.示範如何製作紅磚循環材料 ( 1 )



7-11.示範如何製作紅磚循環材料 ( 2 )



7-12.學員將採集礦物製為配方來源



7-13.配方調配



7-14.第一階段成果：空總循環材料 DNA



7-15.第一階段成果：空總循環材料 DNA

來源提供





# 臺北空總實驗建築計畫接力創作

## TCCLab ArchExperiment Project 2019



# 空總 - 紅磚未來式  
# 材料 C-Hub # 設計 DMO

圖片來源：臺灣當代文化實驗場 (TCC Lab)

來源提供



鹼激發  
+  
UHPC  
!?

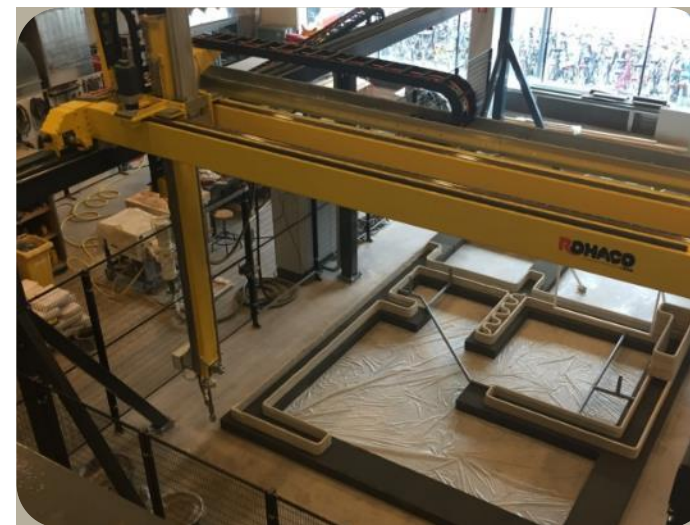


# 03 製程3.0

The process of manufacturing 3.0

## 技術結合

3D水泥列印全是由電腦所控制，而用於3D列印的混凝土，必須經過材料增強方可使用，水泥材料的增強可以夠過添加鋼纖、合成纖維、或是相關的生化材料等方式進行。



3D列印

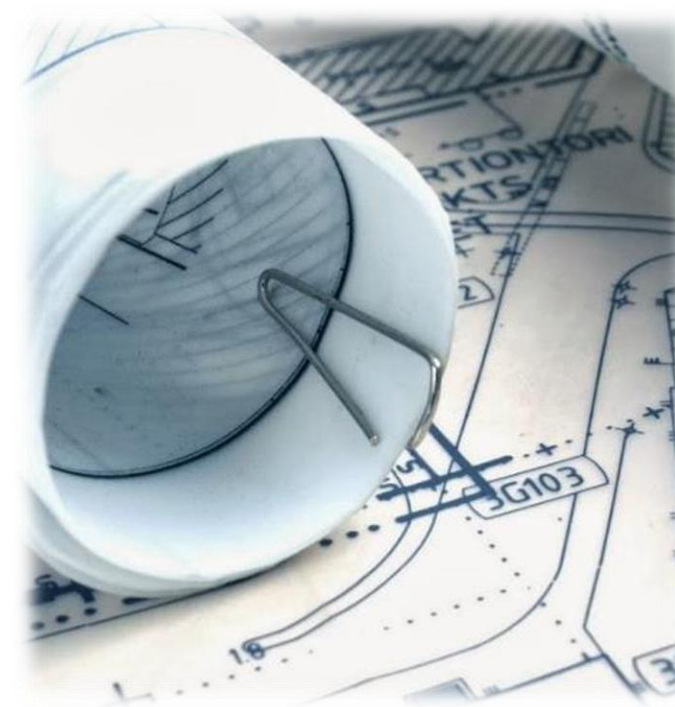
## 混凝土製程是一門藝術

主要生產方式有分濕式、乾式與半乾式。

濕式法中又分為附壁式振動、插入振動搗實、芯模振動、高速離心。

乾式法有高壓成型。

半乾式法有離心振動、振動即時翻模。



## 各式製程比較

|      | 附壁式振動 | 振動搗實 | 芯模振動         | 高速離心  | 高壓成型       | 離心振動  | 振動即時翻模 | 3D列印          |
|------|-------|------|--------------|-------|------------|-------|--------|---------------|
| 特點   | 成熟製程  | 成熟製程 | 地下成型<br>安全環保 | 外觀品質好 | 生產效率<br>最高 | 外觀品質好 | 高CP值   | 無須模具<br>高度客製化 |
| 人力需求 | 高     | 高    | 低            | 中     | 低          | 中     | 低      | 低             |
| 成本   | 低     | 低    | 中            | 中     | 高          | 中     | 低      | 低             |
| 產能效率 | 低     | 低    | 中            | 低     | 高          | 中     | 高      | 高             |
| 生產面積 | 大     | 大    | 小            | 中     | 小          | 中     | 小      | 小             |
| 技術門檻 | 低     | 低    | 中            | 高     | 低          | 高     | 中      | 高             |
| 碳排   | 中     | 中    | 中            | 高     | 低          | 高     | 中      | 低             |



# 3D列印

3D printing



## 建築成本 Cost Effective

3D列印可以大幅減少建築物的人工支出，只需要雇用3名員工。一位看著機器，一位盯著電腦，另一位在現場協調即可。



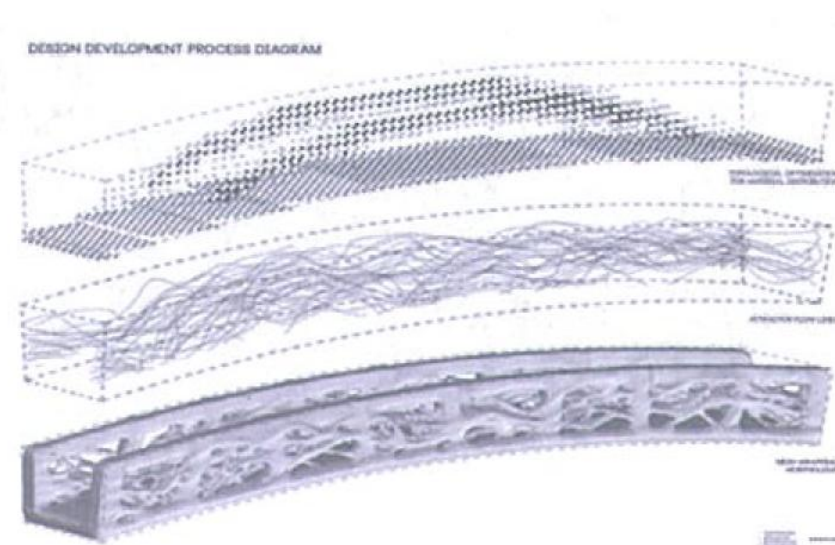
## 快速建造 Fast Design and Production

11.5坪的一幢小別墅，只要8小時就能印出，再經由人力裝配管線、窗戶、太陽能板，就大功告成。



## 結合運用 Assembling

工廠以3D列印相關「組件」，再運送至預定地結合組裝。



(來源：水泥基3D材料關鍵技術)



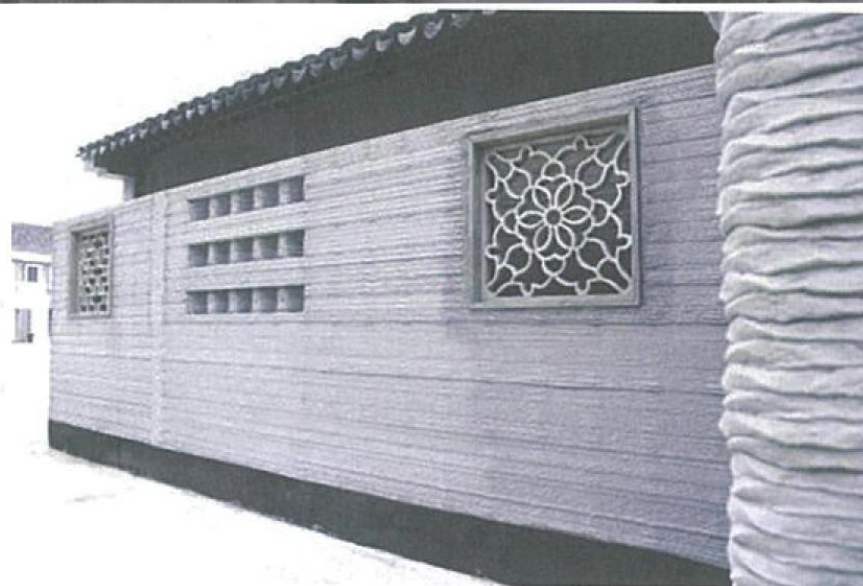


(來源：水泥基3D材料關鍵技術)

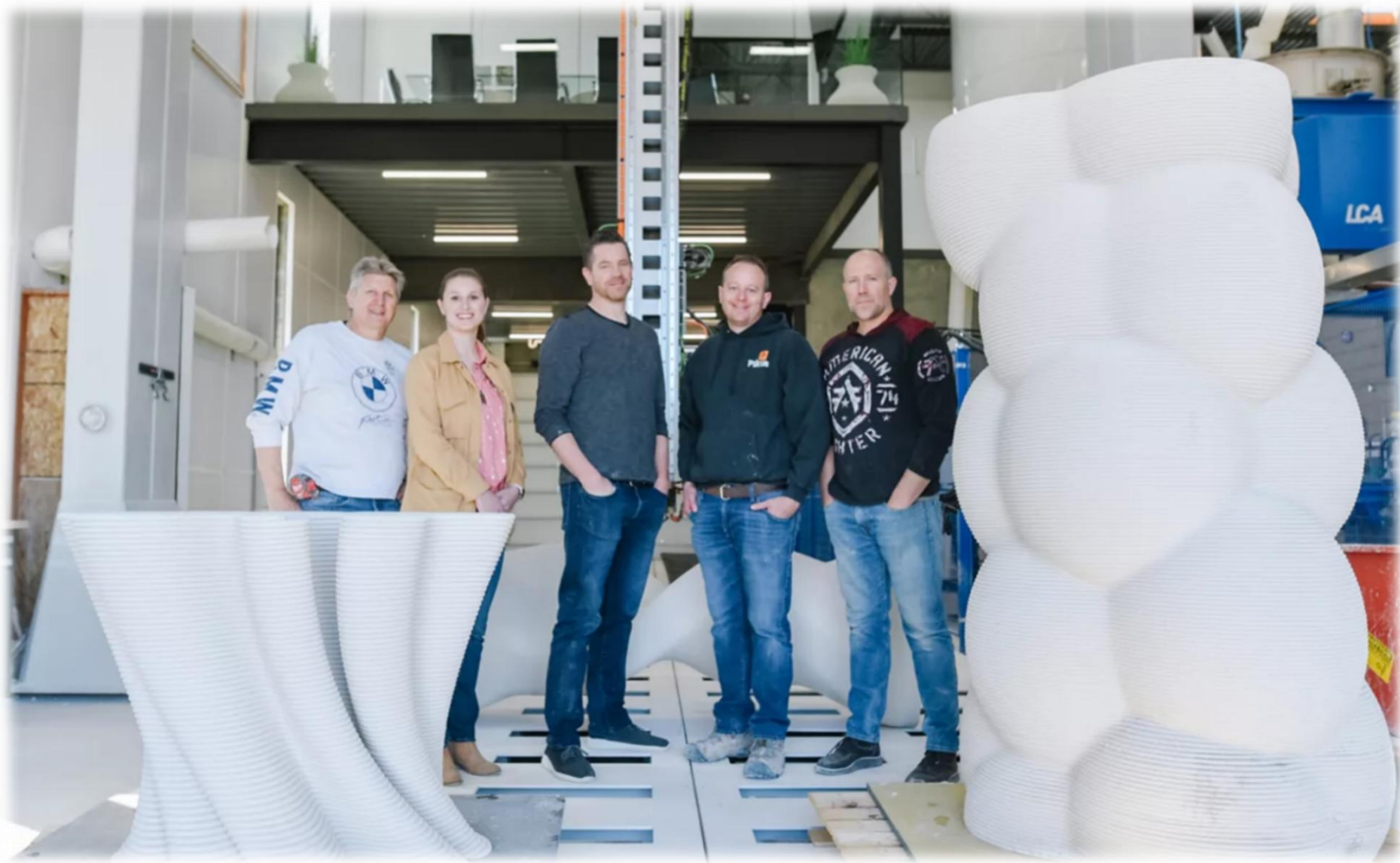




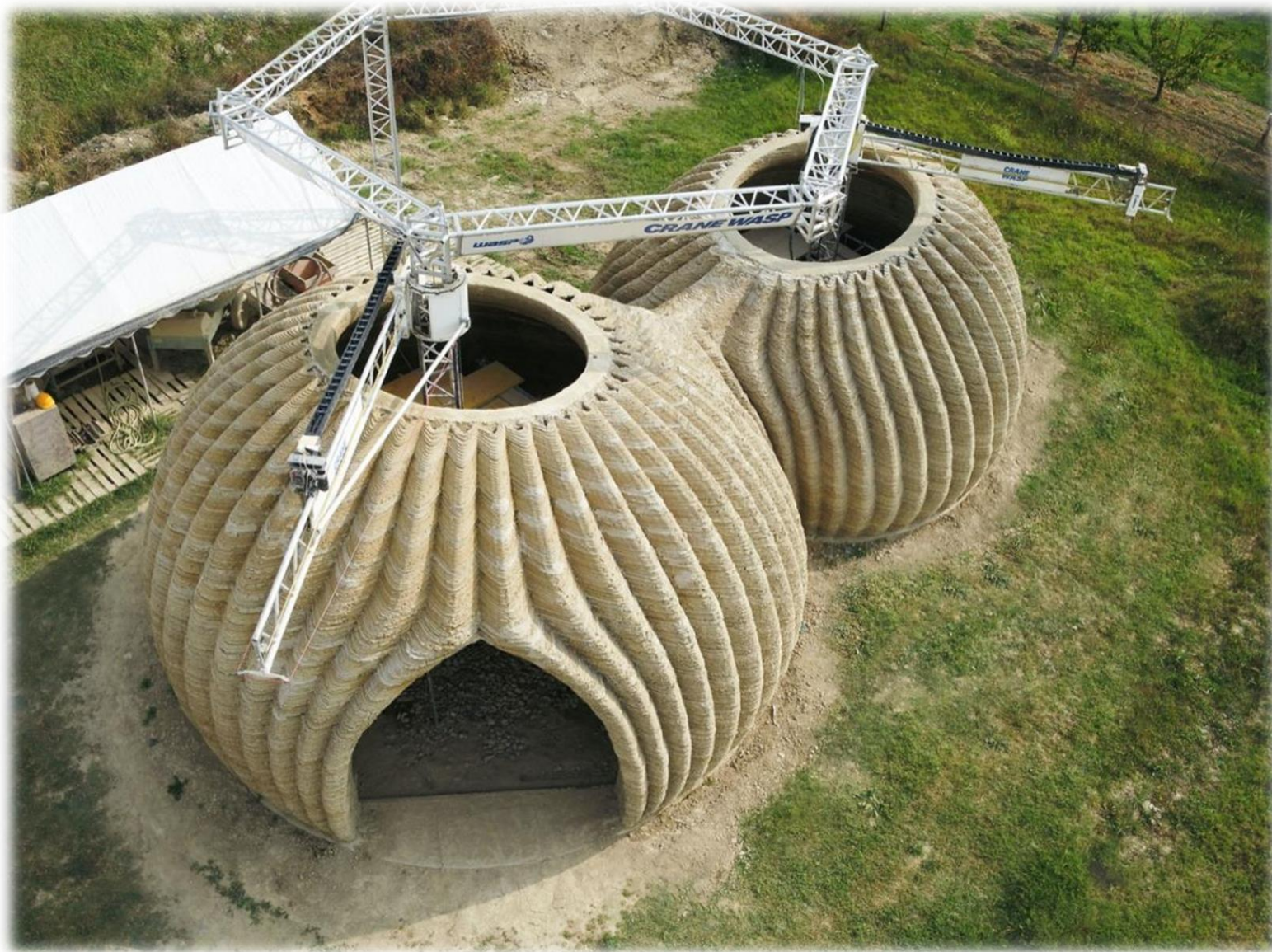
(來源：水泥基3D材料關鍵技術)















(節錄自明日誌臉書專頁)

# MIT 類水泥教育型 3D 列印機

2021年初，台灣廠商研發大型產品列印的技術，偕同設計設備外觀以及探討使用者經驗並應用於生產實務操作，設計出符合技術運用與創新的設備。



研發3D列印的材質：結合淤泥、蚵殼碎料、爐石、其他環境與製成再回收的材質

可利用此機台印製成型量產且跳脫以往需模具成型的經驗。再者，當產品有所損毀時，可經由回收再研磨的方式，100%回收再利用，重新在此機台成型，REBORN!!



來源提供



# 單元列印測試



來源提供



## 組構系統場域展示



來源提供





來源提供



