

## 介紹

### 1. 使用範圍

預力混凝土 (prestressed concrete) 作業，常應用於需較大跨度之鋼筋混凝土工程施工。針對突破鋼筋混凝土材料性質的限制，如本身自重過大、抗拉強度不足、容易產生裂縫等缺點之改善；鋼筋混凝土工程之施工過程中運用預力作業，可使構材所需之斷面減小，量重減輕，進而獲得更大跨度、更大空間之構造物；並在配合標準化的預鑄單元，使施工期限得以縮短，品質得以更好。

在當今大規模公共工程建設、更高更大的建築物興建，預力混凝土作業日益倍受到工程師之重視也廣泛地應用在土木建築工程上。預力混凝土作業技術，早在1950年左右引進臺灣地區，應用於臺灣糖業公司之小火車鐵路橋樑工程與鳳梨加工廠場房之構築；從此在橋樑工程中廣加應用，範圍遍及一般道路、快速道路、高速公路、捷運系統以及近日將興建的高速鐵路等橋樑；近年也應用在房屋建築工程方面，如台北市峨嵋街立體停車場、桃園中正機場航空站大廈、高雄楠梓加工出口區大禮堂等大型建築物。

預力混凝土作業施工單位分布甚廣，主要有土木、水利及建築工程業與預鑄混凝土構件施工之專業機構。

預力混凝土作業系統，通常分為直向預力及圓向預力二種。而構件之預力作業分為先拉法、後拉法二種作業方法。

(1) 直向預力混凝土作業，常用於道路橋樑、高架路面、跨海大橋或需要大空間和大跨度建築物之鋼筋混凝土樑、板、柱、樁等工程

(2) 圓向預力混凝土作業，大多用於水利管道或貯水槽、工廠倉儲或壓力容器、火力發電廠或焚化爐的煙囪、薄殼建築或圓弧屋面等，圓形和橢圓形鋼筋混凝土構造物興建工程之預力作業。

前述兩者預力作業系統，皆各自發展出甚多工法。因應不同工法則作業所用模板、施工架、吊掛設備與高強度鋼材、預力鋼材或套管、端錨等作業所需之機具和材料亦有差異；但基本上都需要利用到千斤頂來對鋼筋混凝土構件施行預力作業。

預力混凝土作業過程，雖因工法不同而各有差異，但整體而言其作業

內涵可歸納成兩大部份：

(1) 鋼筋混凝土施工作業：

鋼筋組配 --> 模板組立 --> 混凝土材料拌合 -->  
混凝土輸送 --> 混凝土澆置 --> 鋼筋混凝土構件養護  
--> 預鑄單元間的接頭製作

(2) 預力鋼材作業：

預力設備安置 --> 端錨及附件安裝 --> 套管與接頭裝置  
--> 預力鋼材裁切 ---> 預力鋼材裝入套管內 -->  
預力作業 --> 預力測量 --> 預力鋼材突出端錨部份修整  
---> 套管內灌漿

上述工作階段完成後，即進行構件之安裝整體而言，其應按標準作業程序來施工，以安全作業程序循序漸進且連續不斷直到工程完成。

2. 名詞解釋

(1) 預力混凝土 (prestressed concrete)：

混凝土構材先行引入內應力，其數量大小與位置分佈，使其能與受到外在載重所引起的應力得以平衡。在混凝土構材內，預力通常利用鋼材施加拉力來產生。

其工法又分：先拉法、後拉法及懸臂工法。

(2) 先拉法：構件之鑄造在完成模板、鋼板後，尙未澆置混凝土就須加預力之鋼材先行施加預力再澆置混凝土。俟混凝土養護達一定強度後拆模，再將預力鋼材自錨座上切除即完成預力混凝土構件。

(3) 後拉法：構件之模板、鋼板及預力所須之套管配置完成後，澆置混凝土，俟混凝土經養護凝固達預定強度時，拆除模板，並將預力鋼材(通常為高拉力鋼絲、鋼索)至設計拉力後固定即完成後拉法之預力構件。

危害

1. 潛在危害、災害類型、災害防止對策：

(1) 倒塌：

由於採用預力混凝土作業之工程通屬較大規模者，其使用之模板本身或使用強度不足、組立及拆除不當甚至於混凝土澆注，施工，本身強度不足、超額載重及集中應力，使模板崩塌而造成作

業勞工的傷亡。此外，在構築期間遇上天候變化，如大雨、地震，也容易使鋼筋混凝土構件增加額外載重或鬆動而產生破壞。

防止對策：

於施工前妥善設計、依設計施工並定期檢核、設計時需考慮天候變化造成的超額載重；施工過程依照標準作業程序或安全作業程序。於大雨及地震後確實檢查設施狀態，確定安全後才可繼續作業。如能夠設置監測及預警系統，更加確保作業勞工的安全。

(2) 墜落：

預力混凝土構件之作業，即鋼筋、模板、混凝土澆置及預力作業如於高處進行作業，作業勞工暴露於墜落危害，則有可能造成傷亡。

防止對策：

於作業台上設置護欄、安全母索、安全護網以及警告標誌，勞工作業時應確實使用安全帶等個人防護具。

(3) 物體飛落：

物料吊運、模板組立、混凝土澆置、模板拆除時，乃至於構件吊裝都容易造成物體飛落，因而造成災害。

防止對策：施工機具、材料器具等確實安裝固著於結構物上，並於施工前，確實架設防護網；勞工作業時應全程使用安全帽等個人防護具。並嚴格限制不相關人員進入工作範圍。

(4) 切割傷：

後拉法預力作業時，如果施加之預力逾預力鋼絲、鋼索之極限強度，則鋼絲拉斷自套反拆射出，則可能傷及施加預力人員。

防止對策：作業前檢視壓力表正常，施加預力時隨時注意壓力表讀數，絕對不逾規定預力值，人員作業位置不得位於預力鋼鍵正前方。

2. 防護裝置之構造、作動、功用等原理：

(1) 監測及警示系統：用於監測整體工程構造物在施工期間產生之不當變化，在模板甚至於構造物破壞倒塌、崩塌前，適時於產生災害前發出警訊，及時採取補救設施。

(2) 作業台安全護欄、安全母索：作業台應依營造安全衛生設施標準之有關規定裝置護欄、或設置安全母索，以防止勞工作業時墜落。

- (3) 安全網：視作業場所之狀況，依相關規定裝設安全網，主要在於防止作業勞工墜落。安全網之各部強度以及安裝均應符合國家標準CNS之要求。

### 作業程序

今就以國內最常使用之預力混凝土後拉法，以工廠及工地現場預鑄單元施工作業，所使用設備及施工程序來說明作業安全標準：

1. 作業前應先辦理勞工安全教育及自護安全訓練
2. 清理製造場與工地之裝卸、運送、儲存及安裝之作業現場清理
3. 規劃施工動線
4. 建立安全衛生設施
5. 建立安全監測預及警示系統
6. 張貼安全事項及警示標誌
7. 安置預力混凝土作業所使用施工設備
8. 吊運材料
9. 配置模板及鋼筋
10. 安裝端錨
11. 進行套管施工與定位
12. 裁切預力鋼材及續接施工
13. 預力鋼材裝入套管
14. 前述9至13項作業程序檢核
15. 運送混凝土之拌合或預拌混凝土之運送
16. 澆灌混凝土
17. 養護混凝土
18. 測定混凝土強度（通常需達到設計之 $f_c$ 或 $280\text{kg/cm}^2$ ）
19. 施預力
20. 測定預力
21. 灌漿套管內部
22. 封裝套管端部
23. 修剪預力鋼材
24. 製作預鑄單元間的接頭
25. 拆卸模板
26. 整理及修補預力混凝土構件

27. 前述 14～26 項作業程序檢核
28. 進行構件單元間的接頭之封裝
29. 前述作業程序連續循環
30. 作業完成

#### 相關法令、標準

1. 勞工安全衛生法第二十三條：對勞工應施以災變預防安全衛生教育訓練(含預力混凝土作業)。
2. 勞工安全衛生法第二十五條：訂定安全衛生工作守則，報備後實施(含預力混凝土作業)。
3. 營造安全衛生設施標準第十條：勞工於二公尺以上高度之屋頂、開口部份、階梯、樓梯、坡道、工作台等場所從事作業，應於該處設置護欄或護蓋等防護設備。但如使勞工佩掛有安全帶而無墜落之虞者，不在此限。
4. 營造安全衛生設施標準第一一六條：模板支撐材料不得有損傷，變形或腐蝕。
5. 營造安全衛生設施標準第一一七條：模板支撐應依模板形式，預期荷重及混凝土澆置之法等妥為設計；對曲面模板應以繫桿控制模板之上移。
6. 營造安全衛生設施標準第一一八條：模板支撐作業主管之職責：
  - 一、分配及在現場監督勞工作業。
  - 二、監督勞工使用安全帽、安全帶。
7. 營造安全衛生設施標準第一二六條：對於支撐混凝土輸送管之固定架之設計，應考慮可能之荷重及振動、輸送帶、管端及彎曲處應妥善固定。
8. 營造安全衛生設施第一二七條：混凝土澆置作業：
  - 一、作業前指定安全出入口。
  - 二、澆置前，詳細檢查模板支撐各部之連接及斜撐；澆置期間派模工人巡視，遇異常狀況應即停止作業，修妥後始得恢復作業。
  - 三、澆置樑、模板或曲面屋頂應注意偏心載重。
  - 四、澆置期注意避免過大振動。
9. 營造安全衛生設施標準第一二九條：模板之吊運應：
  - 一、使用起重機具或索道吊運模板時，以鋼索捆繫牢固。

二、吊運垂直模板或將模板吊於高處時，在未設妥支撐受力或安放妥當前，不得放鬆吊索。

10. 營造安全衛生設施標準第一三一條：於拆模後之部分結構物施工時，非經周詳設計考慮，不得荷重超過容許荷重。
11. 建築技術規則第342條：預力混凝土所用鋼材應符合國家標準與規定。
12. 建築技術規則第355條：混凝土自拌合機至最後澆置應用適當輸送法，且輸送時間不可超過1.5小時。
13. 建築技術規則第四百八十條：預力混凝土之強度應符合規定與需要。
14. 建築技術規則第四百九十條：預力筋件之套管與尺度應符合規定。

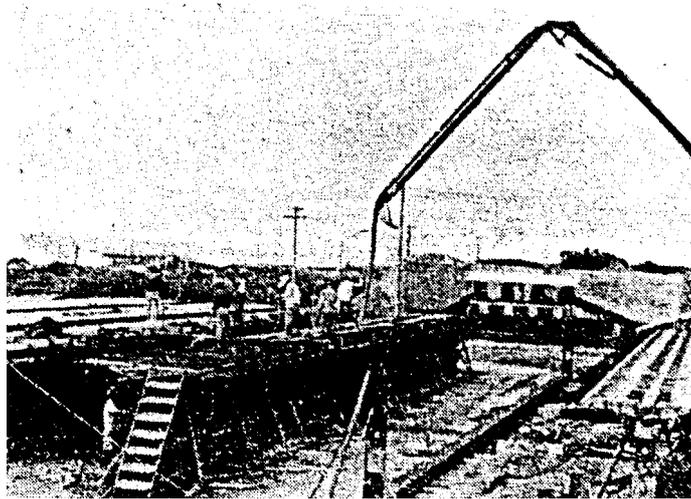


圖1 預鑄樑混凝土澆置(資料來源：摘自施工機械 蔡茂生著)

### 災害案例

某工程公司承攬鐵路局山線雙軌工程之某段路基、橋涵、立體交叉及高架橋工程，80年11月7日，所僱勞工在高架橋上清理橋面，罹災者在高架橋帽樑上搭設之施工架上，從事預力鋼絞索預留孔之清理工作，於上午八時二十分許，其同事發現罹災者倒在高架橋下，乃呼喚在橋面上之其他人員下橋前往探視，發現罹災者被鋼絞索刺穿左胸當場死亡。

預力鋼絞索係由七隻鋼線絞成，直徑約12.7公厘，長約10.5公尺，預加應力450kg/cm<sup>2</sup>，其兩端使用兩片錐型夾片固定於橋面版下之預留孔，刺穿罹災者左胸之鋼絞索斷裂落在高架橋下，施工架距地面高約5.5公尺。

災害發生原因：罹災害以錘子敲擊鋼絞索不平之夾片，致另一端夾片鬆

脫，射出鋼索。

改善對策：

1. 預力鋼絞索拉伸使用夾片固定後，應嚴禁工作人員敲擊夾片，且其可能射出之方向範圍亦應禁止工作人員進入。
2. 預力施加完畢後應立即完成相關封端作業如不及完成則應設置護圍並加警告標示。
3. 應訂定標準作業程序，俾使勞工據以作業，避免作業方法錯誤引起災害。
4. 對勞工應實施從事工作所必要之安全衛生教育及預防災變之訓練，並將本案例作為訓練教材，提高勞工安全衛生知識，防止類似災害發生。

參考資料

1. 行政院勞工委員會，民國80年，台北，勞工安全衛生法。
2. 行政院勞工委員會，民國80年，台北，勞工安全衛生法施行細則。
3. 行政院勞工委員會，民國83年，台北，營造安全衛生設施標準。
4. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，民國八十七年，台北。
5. 行政院勞工委員會，民國84年，台北，職業災害實例專集(營造業)。
6. National Safety Council, 1983, U.S.A., General Excavation, Industrial Safety Data Sheets。
7. National Safety Council, 1983, U.S.A., Trench Excavation, Industrial Safety Data Sheets.