

預力混凝土設計講義

第一回

504740-1



社團法 人 考友社 出版發行

預力混凝土設計講義 第一回 目錄

第一講 預力混凝土之特性與原理	1
命題重點	1
壹、預力混凝土之基本概念	1
貳、預力混凝土斷面	1
參、預力混凝土與鋼筋混凝土抗彎能力之比較	3
肆、預力混凝土之優缺點	4
伍、預力混凝土材料之要求	5
陸、預力混凝土之設計原理	6
柒、充分預力與部份部力	9
精選試題	11
第二講 預力混凝土工法及預力損失	14
命題重點	14
壹、物理法	14
貳、化學法（膨脹水泥法）	16
參、機械法	16
肆、預力損失	18
伍、摩擦損失	19
陸、滑動損失	21
柒、混凝土彈性縮短所造成預力損失	24
捌、混凝土潛變所造成預力損失	26
玖、混凝土乾縮所造成預力損失	28
拾、鋼腱鬆弛所造成預力損失	28
拾壹、總預力損失	29
精選試題	31
第三講 斷面應力計算	40
命題重點	40
壹、概論	40
貳、容許應力	40
參、斷面性質	42
肆、斷面容許總彎矩	44
精選試題	48

第一講 預力混凝土之特性與原理



壹、預力混凝土 (Prestressed Concrete) 之基本概念

一、鋼筋混凝土的定義

由材料力學可知鋼筋為一延展性極佳的延性材料，而混凝土則擅長抗壓，為一脆性材料，故鋼筋混凝土即利用此二種材料在斷面中形成的一對力偶來抵抗橫向載重 (transverse loading)。

二、預力混凝土的意義

混凝土因為不擅長抗拉，(故鋼筋混凝土學中四個基本假設即有假設混凝土不受拉)，中性軸以下開裂部份對整體斷面強度遂無貢獻，殊為不經濟，故利用外加軸力(依實際配置決定)，使全面上均處於壓力狀態或絕大部份斷面為壓力，少部份為拉力，俾能充分利用混凝土良好的抗壓特性，簡言之

$$\text{預力混凝土} = \text{鋼筋混凝土} + \text{預力}$$

貳、預力混凝土斷面

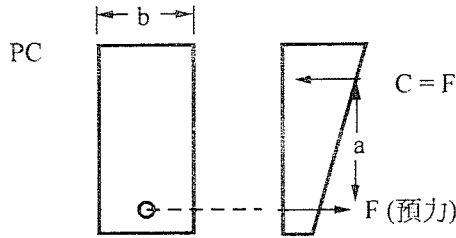
一、預力混凝土斷面特性

- (一) 全斷面均為壓應力，無拉應力(全預力斷面或充分預力)可發揮混凝土抗壓特性，不產生裂縫。
- (二) 斷面無論在施預力階段或工作載重階段中均存在壓應力使得因潛

504740-1

變 (creep) 及收縮 (shrinkage) 因素所造成之變形較之鋼筋混凝土斷面重要。

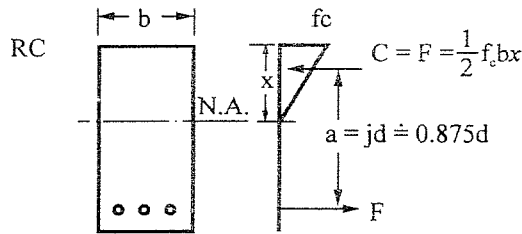
(三) 受橫向載重作用而撓曲時，斷面內力偶距可隨外彎矩大小變化不似鋼筋混凝土斷面幾乎為一定值 (jd)，如下圖比較。



圖(一)

$$M_{外} = M_{內} = F \cdot a$$

$$a = \frac{M_{外}}{F}, \quad F \text{ 固定, } a \text{ 隨 } M_{外} \text{ 變化調整, 非定值。}$$



圖(二)

$a \doteq 0.875d$ 幾乎為定值，不隨 $M_{外}$ 調整，調整的是 F 及 C 。

(四) 混凝土斷面可視為彈性材料，適用材力公式。

(五) 預力的大小需使斷面在各階段中均符合容許應力之要求，一般均先挑定一預力大小，藉預力鋼鍵的配置達到以上目的。

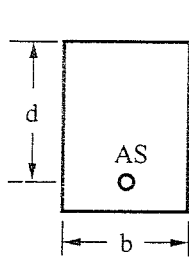
二、斷面導入預力的影響

(一) 因全斷面幾乎均為壓應力，故以壓應力為正，拉應力為負。

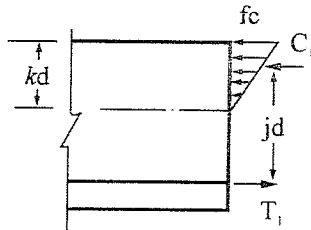
- (二) 因為預力的介入，混凝土由脆性材料變為具有彈性的材料，在計算應力及變位時可使用材料力學之基本公式。
- (三) 以工作應力法 (Working Stress Design) 分析設計。
- (四) 預力混凝土梁沒有最小梁深的規定。

參、預力混凝土與鋼筋混凝土抗彎能力之比較

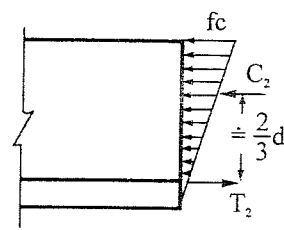
一、矩形混凝土斷面比較



圖(三) 矩形斷面



圖(四) RC 梁



圖(五) PC 梁

二、說明

未施加預力之鋼筋混凝土斷面，若混凝土之容許壓應力為 f_c ，則斷面之容許彎矩

$$M_{RC} = \frac{1}{2} f_c k j b d^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{8} \cdot \frac{7}{8} f_c b d^2 = \frac{1}{6} f_c b d^2$$

施加預力之預力混凝土斷面之容許彎矩

$$M_{PC} = \frac{1}{2} f_c b h \cdot \frac{2}{3} h = \frac{1}{3} f_c b h^2 \cdot \frac{1}{3} f_c b d^2$$

故：(一) 相同的斷面尺寸，相同的材料， $M_{PC} = 2M_{RC}$ ，即預力混凝土斷面之抗彎能力是鋼筋混凝土的兩倍。

(二) 相同的外彎矩，相同的材料，令 $M_{PC} = M_{RC}$ ，則預力混凝土斷面之梁深 $\doteq 0.7$ 鋼筋混凝土斷面梁深，即 $d_{PC} \doteq 0.7 \times d_{RC}$ 。

再就二者之拉力比較：

$$T_1 = C_1 = \frac{f_c}{2} kbd = \frac{3}{16} f_c bd$$

$$T_2 = C_2 = \frac{f_c}{2} bh \doteq \frac{1}{2} f_c bd$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{16}{3} \doteq 3$$

故知 PC 構材中預力鋼腱所受拉力約為 RC 構材中普通鋼筋的 3 倍。RC 結構因耐震設計需求而避免使用過高拉力強度的鋼材，而在 PC 構材而言，其抵抗之外力均為橫向載重，不需耐震，故可使用高拉力鋼材。

肆、預力混凝土之優缺點

一、優點

- (一) 預力混凝土梁在受設計之工作載重時，拉應力控制在容許範圍內，斷面不產生裂縫。
- (二) 抗彎能力強，適用於大載重或長跨度結構。
- (三) 斷面較小，可留較多淨空，且節省材料。
- (四) 復元性高，受超載時雖有裂縫產生，但超載消除後，裂縫立即密合。
- (五) 跨度較大，可節省下部結構數目。
- (六) 因軸壓力(預力)的存在，使斜拉應力降低，剪力腹筋的需要量減少。
- (七) 使用鋼料少，適合不產鋼料之地區。
- (八) 保養費用低廉。

二、缺點

- (一) 使用模板較多，錨定費用高昂。
- (二) 設計較複雜，施工品管要求較嚴格。

- (三) 耐火性較鋼筋混凝土差。
- (四) 斷面較小，剛度與勁度均較小，承受活載重時振動較大。
- (五) 承受高應力之預力鋼線，比承受低應力或無應力之普通鋼筋更易腐蝕，此種現象稱之為應力腐蝕 (stress corrosion)，輕微的腐蝕即會對預力鋼鍵造成損害，故防蝕工作特別重要，於露天的預力構材最好使用全預力 (充分預力)。

伍、預力混凝土材料之要求

一、預力鋼材之種類

計有：應力解除裸鋼線 (uncoated stress-relieved wires)、應力解除鋼絞線 (stress-relieved strand)、高拉力合金鋼棒 (high tensile alloy bars)。

- (一) 鋼線 (wires)：只有一種斷面形狀，其標稱直徑為 2.0，2.9，5.0，7.0，8.0，9.0 (mm)， $E_s = 2.04 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ，極限拉應力 $f_{pu} = 17500 \text{ kg/cm}^2$ ，降伏拉應力 $f_{py} = 14000 \text{ kg/cm}^2$ 。
- (二) 鋼絞線 (strands)：可分為兩股絞線及七股絞線兩種，兩股絞線使用之標稱直徑為 2.0 及 2.9 mm ϕ ，七股使用者為 9.3，9.5，10.8，11.1，12.4，12.7，15.2，其中最常用的是 12.7 mm ϕ 及 15.2 mm ϕ 兩種， $E_s \doteq 1.9 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ， $f_{pu} \doteq 19000 \text{ kg/cm}^2$ ， $f_{py} \doteq 16000 \text{ kg/cm}^2$ 。
- (三) 鋼棒 (bars)：係由熱軋鋼以伸展、拉製或熱處理方式製造，常用之 $f_{pu} = 9500 \text{ kg/cm}^2$ ， $f_{py} = 8900 \text{ kg/cm}^2$ ， $E_s \doteq 1.9 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 。

二、預力鋼材應使用高拉力鋼鍵 (tendon)

預力斷面中的預力來源係為預力鋼材受拉伸長之反作用力，為使預力損失僅為施加預力之一小部份，因此須使用高拉力鋼鍵。例如：一梁長 30m，施加預應力 $f_s = 12000 \text{ kg/cm}^2$ ，則其預力伸長量

504740-1

$$\delta_p = \frac{12000 \times 3000}{2 \times 10^6} = 18 \text{ cm}$$

若預力損失為 2cm，約僅佔施加預力量之 11% (2cm/18cm)。但若使用普通鋼筋， $f_s = 2800 \text{ kg/cm}^2$ ，預力伸長量僅

$$\delta_p = \frac{2800 \times 3000}{2 \times 10^6} = 4.2 \text{ cm}$$

若預力損失為 2cm，則幾乎有一半的預力消失，損失比率太大。

三、混凝土的 f'_c 要求較高的原因

- (一) 因為斷面減小，需要較高之斷面承壓強度。
- (二) f'_c 高可減少混凝土之收縮及潛變所造成之預力損失。
- (三) f'_c 高，其彈性模數 E_c 亦較高，可減少梁之撓度及振動。
- (四) f'_c 提高可更進一步減小斷面，減輕自重。
- (五) 增加剪力強度，減少剪力腹筋量。

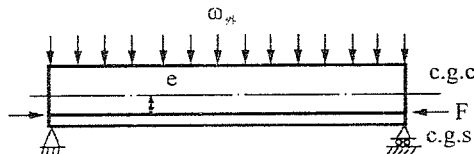
一般而言，預力用混凝土大多使用 $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ 以上強度。

陸、預力混凝土之設計原理

混凝土斷面應力控制之三種觀念：

一、應力合成法

如前所述，脆性的混凝土材料因為預力的導入而變成彈性材料。混凝土被想像為承受兩種力系，即外載重及預力，而前者所造成之拉應力由後者造成之壓應力來平衡。



$$\text{外應力 (載重): } f_{\text{外}} = \pm \frac{M_{\text{外}}}{S}, \quad (f_{\text{外}})_{\text{TOP}} = + \frac{M_{\text{外}}}{S_T}, \quad (f_{\text{外}})_{\text{BOT}} = - \frac{M_{\text{外}}}{S_B}$$