

第五章 高強度螺栓接合

5.1 高強度螺栓之品質

高強度螺栓、螺帽、墊圈等之物理性質及尺寸，除契約另有規定者外，應符合本規範 2.4 節之規定。

解說：目前國內所生產、使用之結構用高強度螺栓主要有美國 ASTM 規格之 A325 及 A490 螺栓及日本 JIS 規格之 F10T 及 S10T 螺栓。同時生產日本及美國規格之螺栓，乃因目前國內所使用的設計規範主要係參考美國 AISC 規範；而鋼構廠之製造施工卻常依日本標準，以致目前國內建築工程大多使用日本規格之扭力控制型高強度螺栓，惟橋梁所使用之螺栓則仍以美規為主。

常見設計單位在設計時主要依照美國規範，而在使用日本規格的構材時則直接採用日本規範上的相關數值作為設計依據，如此將兩種不同規範直接混合使用，在觀念上並非正確，在整體工程上其安全性與經濟性則必須重新評估。事實上，不同規格的構材應依照同一規範的設計理念與計算方法，經合理轉換後的數值方可作為設計時的依據。

表 C5.1-1、表 C5.1-2 分別為 F10T 及 S10T 高強度螺栓之機械性質，表 C5.1-3 為美國 ASTM 高強度螺栓之機械性質。

表 C5.1-1 F10T 螺栓機械性質*

螺栓規格	降伏強度 (tf/cm ²) 0.2% offset	抗拉強度 (tf/cm ²)	伸長率(%) G.L.=5cm	面積收縮率 (%) min	硬度
F10T	9.0	10 ~ 12	14 以上	40	HRC27~38

*依據 CNS 12209

表 C5.1-2 S10T 螺栓機械性質

螺栓規格	降伏強度 (tf/cm ²) 0.2% offset	抗拉強度 (tf/cm ²)	伸長率(%) G.L.=5cm	面積收縮率 (%) min	硬度
S10T*	9.2	10~12	14	40	HRC 27 ~38

*依據 JSS IIB09-1996

表 C5.1-3 A325、A490 螺栓機械性質*

螺栓 規格	直 徑 mm	降伏強度 (tf/cm ²) 0.2% offset	抗拉強度 (tf/cm ²)		伸長率 (%) G.L.=5cm	面積收 縮率(%) min	硬度
			min	max			
A325	13~ 25	6.44	8.4	--	--	--	HRC 24 ~ 35
	28 ~ 38	5.67	7.35	--	14	35	HRC 19 ~31
A490	13~ 38	9.1	10.5	11.9	14	40	HRC 33 ~ 38

*依據 ASTM A325-00,ASTM A490-00

5.2 高強度螺栓接合部之精度

1.接合部於鎖螺栓前應將構件表面之鐵銹、鱗片、黑皮、污泥、油垢及螺栓孔之毛邊徹底清除。

2.高強度螺栓接合之板面

以高強度螺栓接合之板面若無法平整密接時，應依下列方法預先處理。

實際板厚度差	處 理 方 法
<1mm	不必處理
≥ 1mm	加墊片

3.構件與螺栓頭或螺帽之接觸面，其與螺栓軸線垂直面之傾斜度不得大於 1：20，否則應使用斜墊圈，如圖 5.2-1。

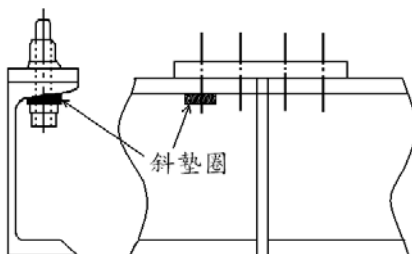


圖 5.2-1 斜墊圈示意圖

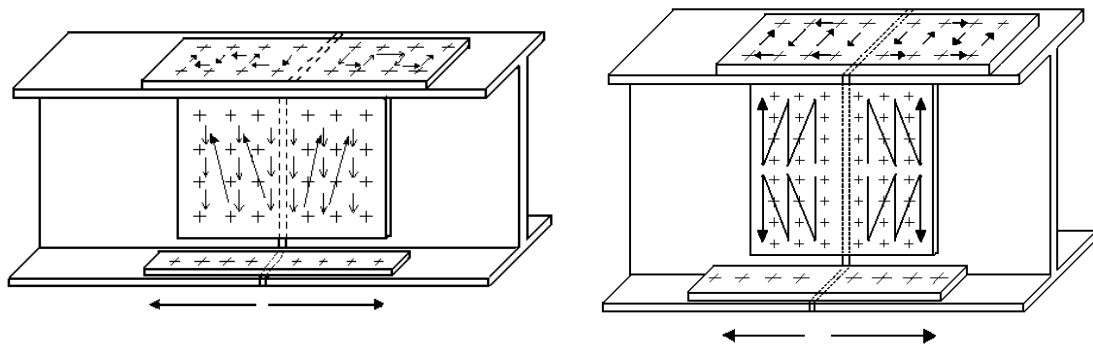
5.3 高強度螺栓之安裝

5.3.1 一般規定

- 1.高強度螺栓之螺牙不得有損傷，已使用過之螺栓或帶有傷痕銹蝕者，不得再使用，若有油污、污泥等者，使用前應清除。
- 2.高強度螺栓之安裝，不得錘擊入孔。
- 3.螺栓安裝時，如不能以手將螺栓穿入孔內時，可先用沖梢穿過校正，但不得使用 2.5kg 以上之鐵錘，如仍無效時，則以鉸孔方式擴孔，惟擴孔後之孔徑不得大於設計孔徑 2mm，如超出時應補鋅，經檢測合格後重新鑽孔。
- 4.高強度螺栓需使用動力鎖緊器鎖緊，如受空間之限制無法施工時得以手動扳手鎖緊。鎖緊方法應依 5.4 節規定辦理。
- 5.螺栓群之鎖緊工作，應由中間向兩側，依上下、左右交叉之方式進行，以避免相對應之螺栓受影響而鬆動。

解說： 由於高強度螺栓安裝時，其預拉力已超過其降伏拉力，若拆後將產生永久變形，此時若再重新安裝使用將導致其塑性變形量加大，致安全度不足，故使用過之螺栓不應再使用。

螺栓必須由中央部分向兩端進行，當栓鎖緊完成後，應再檢查是否有鬆動現象（如圖 C5.3-1）。



(a)腹板螺栓數量較少時由上向下依序鎖緊 (b)腹板螺栓數量較多時由中央向上
下兩端依序鎖緊

圖 C5.3-1 高強度螺栓鎖緊次序

5.3.2 兩次鎖緊

高強度螺栓鎖緊，除設計圖說另有指定者外，應分兩次鎖緊至其鎖緊軸力。

- (1)一次將接合構材鎖至緊貼狀態或達到第一次鎖緊軸力之需求，表 5.3-1。
- (2)第二次鎖緊至表 5.3-2 之鎖緊軸力。

表 5.3-1 F10T 或 S10T 第一次鎖緊軸力

螺栓標稱直徑 (mm)	鎖緊軸力 (tf)
12	0.5
16	1.0
20	1.5
22	1.5
24	2.0
28	3.0
30	4.0

表 5.3-2 F10T、S10T 螺栓的鎖緊軸力

螺栓標稱直徑 (mm)	鎖緊軸力 (tf)	
	F10T	S10T
M12	5.31~7.21	-
M16	9.87~13.4	11.2~13.6
M20	15.4~20.9	17.5~21.1
M22	19.1~25.9	21.6~26.1
M24	22.2~30.1	25.2~30.4
M27	28.9~39.2	32.8~39.6
M30	35.3~48.0	40.2~48.3

解說：高強度螺栓在安裝時除非規範有特殊規定，否則均需以旋轉螺帽法、直接拉力指示器或以扭力板鉗按規定的程序施予預拉力，而近年來扭矩控制螺栓（Torque Control Bolt 簡稱 T.C.Bolt）已廣泛應用於土木及建築工程結構物。以下則分別就 AISC 鋼構規範與日本鋼構規範對高強度螺栓安裝時預拉力施加的條件與預拉力的計算及高強度螺栓之作業流程作一說明。

1. 螺栓之安裝

AISC 規範規定 A325 及 A490 螺栓的使用，除非於設計規範中另有規定，否則均需符合美國結構接合協會（RCSC）核准之「結構接合使

用 ASTM A325 或 A490 螺栓之規範」。關於高強度螺栓的安裝部分，工作應力設計規範規定接頭分類屬於摩阻型及接頭承受直接拉力的螺栓必須依照表 C5.3-1 的鎖緊軸力安裝。對設計上無明確指定鎖緊軸力的承壓型螺栓，安裝時則仍需鎖至「緊貼狀態 (snug-tight)」或達到第一次鎖緊軸力之須求。而極限設計規範 (LRFD) 則要求高強度螺栓的安裝除了接合處的螺栓不承受拉力而允許接合板的相對滑動，且設計時不考慮鬆動與振動或反復載重造成疲勞效應之外時，依規定只需將螺栓鎖至「緊貼狀態」，否則需使安裝後的螺栓達到表 C5.3-1 所規定之預拉力。規範如此規定的目的，在使一定大小的剪力可以藉由摩擦力的方式傳遞。而所謂緊貼狀態係使用衝擊扳手鎖至數次衝擊或使用一般板鉗用人力鎖緊，使得接合面接觸的緊密狀態。一般而言，緊貼狀態下的螺栓內已有部分預拉力。原則上，在不使螺栓破壞或改變螺栓永久變形的前提下，螺栓的預拉力愈高愈好。工作應力設計規範與極限設計規範所規定的鎖緊軸力 (表 C5.3-1) 即是使螺栓有效應力達到表 C5.1-3 所示之螺栓試片所要求抗拉強度 70% 時之載重值。

2. JIS F10T、S10T 螺栓之安裝

日本在鋼構造設計規準 (ASD) 中，係以高強度螺栓安裝時預拉力所產生的摩擦強度作為抵抗長期或短期載重造成的剪力，而其鋼構造限界狀態設計規準 (LSD) 則要求接合處高強度螺栓提供的脫離強度與摩擦強度必須足以抵抗使用界限下於其應力方向的載重。而所謂脫離強度即是以螺栓預拉力乘以一折減值，目的在確保接合處在受到使用界限載重時仍為密接狀態。日本鋼構造規範的設計鎖緊軸力計算方式如下：

$$\text{設計預拉力} = 0.75 \sigma_y A_e \quad \text{for F10T \& S10T}$$

其中， σ_y ：螺栓試片之最小降伏應力值

A_e ：螺栓之有效應力面積

若 AISC 與以極限強度標示之規定預拉力 $0.7 \sigma_u A_e$ 相較，則 F10T 與 S10T 可轉換為 $0.675 \sigma_u A_e$ ，此二者皆較目前 AISC 之規定稍低，採用 F10T 與 S10T 進行設計時應參考規範選用適當之數值。

此外日本規範所列之高強度螺栓安裝方法與前述 ASTM 之規定相近。以旋轉螺帽法為例，表 C5.3-2 為日本規範與 ASTM 規範對旋轉螺帽法規定之比較。

表 C5.3-1 ASTM 之 A325 或 A490 螺栓之鎖緊軸力

螺栓等級	螺栓標稱直徑 mm, (inch)	鎖緊軸力 (tf)
A325	16 (5/8)	8.6
	19 (3/4)	12.7
	22 (7/8)	17.8
	25 (1)	23.2
A490	16 (5/8)	10.9
	19 (3/4)	15.9
	22 (7/8)	22.3
	25 (1)	29.1
	28 (1-1/8)	36.3
	32 (1-1/4)	46.4
	35 (1-3/8)	55.0
	38 (1-1/2)	67.3

註：上述之鎖緊軸力相當於設計規範所規定之最小預拉力，即最小抗拉強度之 0.7 倍。

表 C5.3-2 日本規範與美國 ASTM 規範對旋轉螺帽法規定之比較

種類 項目	鎖緊軸力 (tf)	
	F10T、S10T	ASTM A325 & A490
螺栓鎖緊標準迴轉角度	120 度	(1)兩面同時與螺栓軸成直角： 4D 以下：1/3 迴轉(120 度) 4D~8D：1/2 迴轉(180 度) 8D~12D：2/3 迴轉(240 度) (2)單面與螺栓軸成垂直，另一面為 1：20 以下之斜度(不使用傾斜墊片)： 4D 以下：1/2 迴轉(180 度) 4D~8D：2/3 迴轉(240 度) 8D~12D：5/6 迴轉(300 度) (3)兩同時與螺栓軸成垂直另一面為 1：20 以下之斜度(不使用傾斜墊片)： 4D 以下：2/3 迴轉(240 度) 4D~8D：5/6 迴轉(300 度) 8D~12D：1 迴轉(360 度)
角度許可差	±30 度	1/3 及 1/2 迴轉：±30 度 2/3(240 度)以上：±45 度

5.3.3 鎖緊前之試驗

高強度螺栓接合其螺栓需以軸力計及扭力扳手依下列公式確認螺栓之扭矩係數值。惟扭矩係數值 K 之大小，依螺栓表面處理之不同，可區分為如表 5.3-3 兩種不同之數值。

$$K = \frac{T}{dN} \times 1000$$

其中，K：扭力係數值

T：扭力 (kgf-m)

D：螺栓標稱直徑 (mm)

N：螺栓張力 (kgf)

表 5.3-3 扭矩係數值 K

區分	扭矩係數種類	
	A	B
同一製造批次之扭矩係數平均值	0.11~0.15	0.15~0.19
扭矩係數標準偏差	0.010 以下	0.013 以下

上述 A 類係指螺栓與螺帽接觸面經潤滑處理，B 類係指螺栓與螺帽接觸面無潤滑處理。

扭力係數值之試驗為同一製造批號之螺栓最少取樣 5 支求其平均值以為施工之依據。

5.4 高強度螺栓鎖緊方法

5.4.1 扭力控制法

螺栓鎖緊後以扭力扳手檢測，其檢測之容許誤差為設定值之±10%。

5.4.2 旋轉螺帽法

螺栓鎖至緊貼狀態後，依螺栓長度大小，如表 5.4-1，分別以手動扳手旋轉 1/3~2/3 迴轉。

表 5.4-1 旋轉螺帽法之旋轉量

螺栓長度≤4d	1/3 迴轉(120 度)
4d<螺栓長度≤8d	1/2 迴轉(180 度)
8d<螺栓長度≤12d	2/3 迴轉(240 度)
許可差	1/3 及 1/2 迴轉：±30 度 2/3(240 度)以上：±45 度

5.4.3 自動控制張力法

螺栓組如採用自動控制張力法施工時，得以目視檢查之，惟此類自動控制張力法施工前應先行校準預拉力大小。

解說： 採用自動控制張力法安裝之螺栓如扭矩控制螺栓、張力指示計螺栓組等，施工前應先行校準預拉力大小，安裝後得以目視檢查之。新開發產品亦須依據本規範之原則進行施工時之安裝檢測。

5.4.4 其他方法

螺栓組之安裝，如符合預拉力之要求，且不影響螺栓之受力行為，並經工程師同意者，亦可使用。