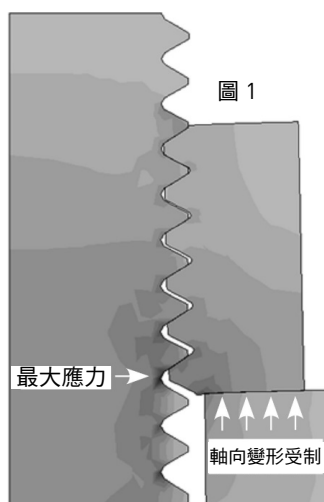


扣件博士： 螺紋的靜態強度與疲勞強度

問：螺絲的哪個部位受力很大？



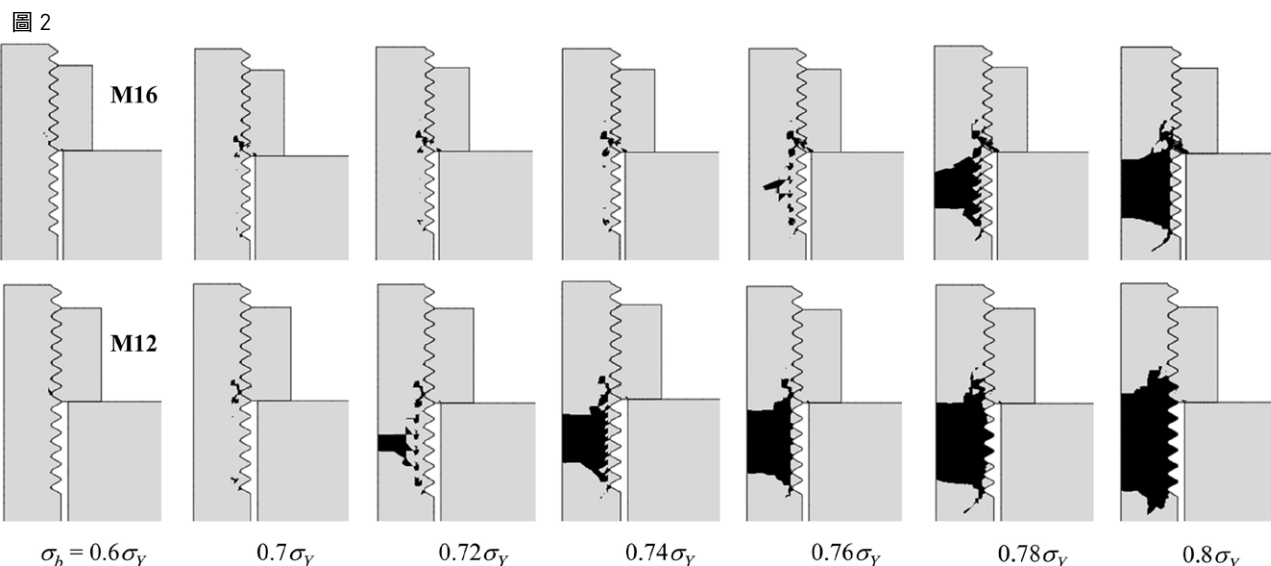
答：圖 1 是對螺栓施加軸向力（單純的拉力）時，耦合螺紋部位出現的馮米斯應力 (von Mises stress) 分佈。馮米斯應力是將作用於目標零件的各種應力分量替換為單一應力的應力，用於確定材料的屈服強度。一般來說，最大應力會出現在最靠近螺帽座面的螺栓牙底。此部分通常會發生塑性變形，但會以黑色呈現的高應力區域集中在谷底周圍的狹窄區域，因此不會立即影響螺栓的強度。除此之外，螺絲的切割部位和螺栓頸部下方圓角部位的應力也很高，因此要注意這些地方的加工精度和材料缺陷。

問：螺帽的高度是依照規格來決定的，但是如果把高度做得更高，螺紋部位的強度會增加嗎？

答：螺帽的高度通常為螺紋公稱直徑的 0.8 倍左右。增加螺帽高度，是會降低圖 1 所示螺栓牙底的最大應力，但其效果有限。如同我在此專欄第三篇投稿文的第五題「螺紋負載分配比」中所做的解釋，原因是螺紋的基本機械特性是先耦合的螺紋會承受較大的負載。因此，考慮到螺紋零件的重量增加等負面影響，可以說螺帽的高度規格是有其理由的。

問：不要讓螺紋發生塑性變形是不是比較好？

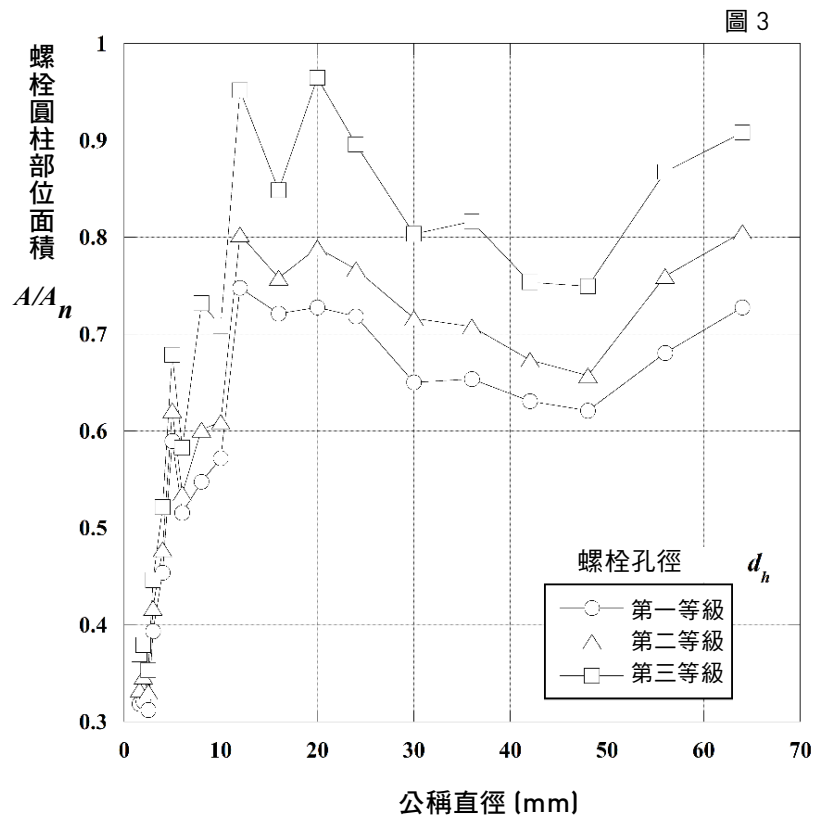
答：螺栓的塑性變形通常開始於第一個牙底的周圍，只要塑性變形的區域不顯著擴散，就不會影響螺紋零件的強度。圖 2 是以螺栓材料屈服應力為基準下，提高螺栓軸向應力 σ_b 時塑性變形的演變狀況。



可以看出，當比率超過 0.7 時，塑性區域突然擴大。如果進一步再提高軸向應力，尚未耦合的螺紋部位的中心附近將達到完全屈服的狀態，過度擰緊而導致的斷裂常常會從該區域開始發生。至於承受重複負載時的疲勞強度，只要在有塑性變形的範圍內，就沒有特別的問題，因為其動向就和彈性變形相似。詳細資訊請參閱參考資料。

問：用高強度螺栓鎖固低強度材料時，可能會出現座面下沉的問題，對此您有什麼建議？

答：座面凹陷是指用高軸向力鎖緊螺栓時，螺帽座面和螺栓頭部座面發生塑性變形，隨著時間的推移，軸向力逐漸減少的現象。為了防止這種情況，需要將座面表面壓力抑制到一定程度。以被緊固材料的臨界面表面壓力與抗拉強度之比來說，碳鋼為 70 ~ 85%，不銹鋼為較低的 35 ~ 50%，鋁合金為 80 ~ 95% 左右。另一方面，以耐壓縮的灰鑄鐵來說，其抗拉強度高出兩到三倍。另一件需要注意的事情是螺栓軸橫切面積與螺帽座面面積的比例。圖 3 所示為兩者之比與公稱直徑的關係。舉例來說，如果該比例為 0.7，則螺栓軸向應力有 70% 的表面壓力將作用在螺帽座面上。從圖中可以看出，隨著公稱直徑和螺栓孔徑的增大，兩者的比值增大，座面面積相對減少，會有較大的表面壓力作動，因此請注意。



問：螺紋什麼時候會發生疲勞失效？

答：影響這現象的因素很多，但影響最大的是重複負載引起的應力振幅。當超過所謂的「疲勞極限」值時，就會發生這種情況。即使形狀相同，疲勞極限也會根據施加的負載類型(例如拉伸、彎曲或剪切)而有很大變化，並且還受到螺絲的尺寸和材料的影響。這使得評估螺紋的疲勞強度變得困難，也是事故不斷發生的原因。

參考資料

1. 福岡俊道, "The Mechanics of Threaded Fasteners and Bolted Joints for Engineering and Design", pp.81-86, pp.93-96, pp.143-215, ELSEVIER. [2022]

著作權所有：惠達雜誌 / 撰文：福岡俊道

