

~扣件達人講座~

螺紋疲勞強度的提升方式

使用細螺栓的理由

文 / 福岡俊道

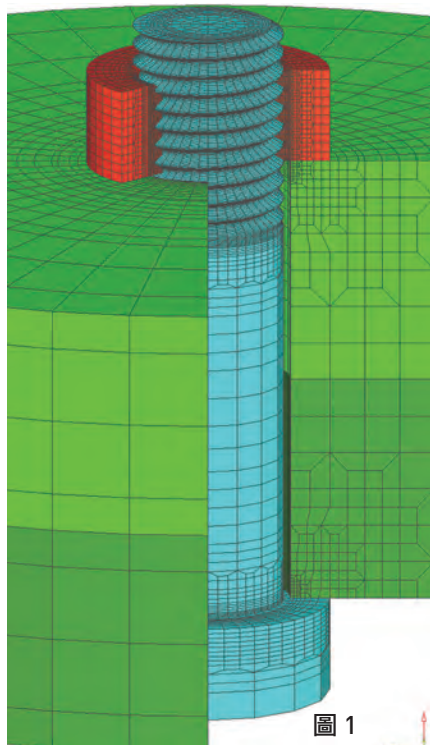


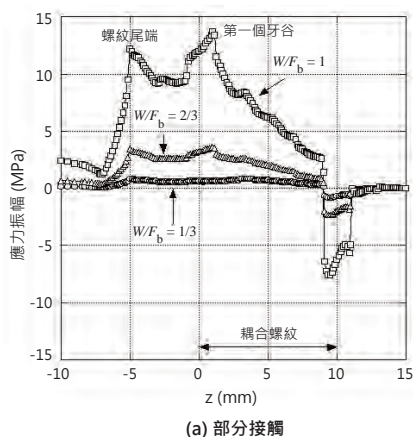
圖 1

1. 前言

與材料實驗中使用的圓棒等形狀簡單的材料相比，螺紋的疲勞是個非常複雜的現象。為何疲勞破壞不會發生在螺帽那一側，而會發生於接近螺帽座面之螺栓的螺紋谷底？另一方面，在機械本體上加工出母螺紋然後把螺栓緊固上去之後，龜裂的現象可能會發生在接合件上的母螺紋的深處。本文利用螺紋的螺旋模型，透過揭示應力振幅沿著螺紋谷底發生的變化，來闡明這些現象。此外，為了避免發生疲勞破壞，坊間至今提出了各種的方法。我將從螺紋的緊固條件、螺紋零件形狀和材料/栓合件形狀的觀點，介紹具體且有效提升疲勞強度的方式。

2. 評估應力振幅沿著螺紋谷底發生的變化

我會透過採用了螺紋螺旋模型的有限元素解析來得出應力抗幅沿著螺紋谷底分布的狀況，並點出疲勞破壞的發生位置和最大應力振幅之間的關係。含螺紋的零件當中，使用最廣的就是螺栓和螺帽的組合。圖1是正確重現出螺紋之螺旋形狀的有限元素模型。為簡單起見，我們把外力假設為拉伸荷載，對稱地重複作用於螺栓軸心。圖2(a)和(b)是解析結果的其中一例，揭示了應力振幅沿著公螺紋谷底分布的狀況。圖說的數值是外力 W 與螺栓軸力 F_b 之間的比。圖2(a)顯示被緊固物的接觸面有部分接觸之狀態。兩者的比若超過1，應力振幅就會顯著增加。此時，接近螺帽座面之螺栓第一節螺絲的谷底就會出現應力振幅的最大值。外力若再加大，接觸面就會完全分離，所以應力振幅就會急遽增加，如圖2(b)所示。如以上所述，可得知在螺栓/螺帽組成的栓合件上，疲勞破壞容易發生在螺栓第一節螺紋谷底的周邊。



(a) 部分接觸

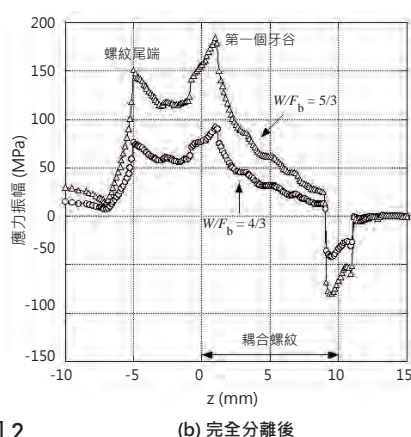
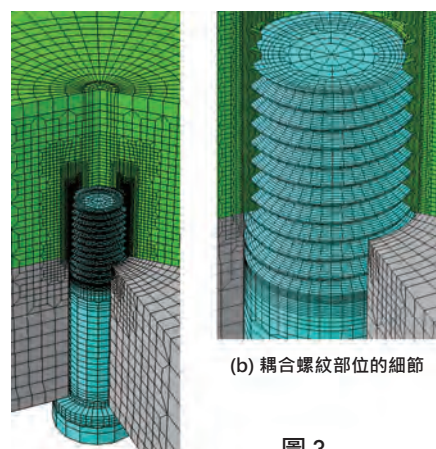


圖 2

(b) 完全分離後

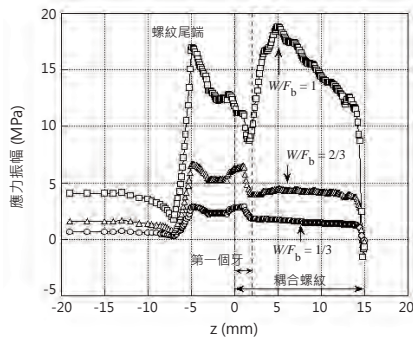


(b) 耦合螺紋部位的細節

圖 3

(a) 接合部位的有限元素模型

若目標的栓合件尺寸很大，也有人會在本體上加工出母螺紋，然後把螺柱或六角螺栓緊固上去。此時，如同前面我所說明的，螺栓可能會發生疲勞破壞，而耦合的螺紋最深處之母螺紋的谷底也可能會發生龜裂的現象。圖3是為了檢驗這個現象而製成的有限元素模型。其外力的施加方式等同於螺栓/螺帽組合的例子。解析的結果顯示於圖4(a)、(b)，各自顯示出應力振幅沿著螺紋與母螺紋谷底分布的狀況。由於接觸面未完全分離，所以應力振幅的最小值很小，但母螺紋的最大值變成了螺栓那一側的近1.5倍。也就是說，應力振幅明確的高峰值出現在母螺紋最深處的螺紋谷底。雖然圖中未標示出來，但母螺紋那一側上的螺紋谷底發生的應力絕對值相對很低。圖3的解析模型是假設全體都使用同樣的材料，但以實際使用的栓合件來說，其母螺紋那一側的材料強度大多比較低。因此，在本體上加工出母螺紋的栓合件中，可見到母螺紋那一側而非螺栓出現斷裂。



(a) 公螺紋(螺紋)

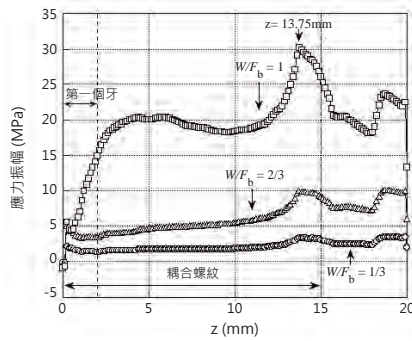


圖 4 (b) 母螺紋(主體)

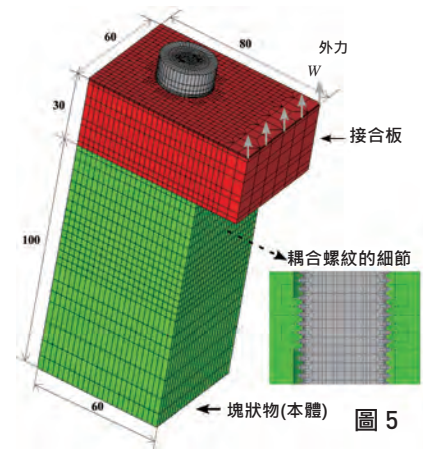


圖 5

3. 承受偏心荷載之實際構造物的疲勞振幅與其評估

前一段的解析是假定外力完全是以軸對稱的方式作用。另一方面，在實際使用的栓合件上，外力通常是以非軸對稱的方式作用。此時，如我在前一期投稿的專文中所述，有一些案例是大於外力的力道作用在螺栓上。由此，我們透過圖5所示的栓合件模型，來得出外力以非軸對稱之方式作用時產生的應力振幅。在圖內的模型中，由於螺紋形狀是呈現軸對稱，所以就要透過「耦合螺紋部位的平均應力振幅」來評估疲勞強度。外力是以彎折荷載的型態作用於螺栓。外力若變大，最初就會從被緊固物之接觸面的右側開始分離。接著，分離的現象會從螺栓孔的右側延伸到左側，最後螺栓的左側也會分離。一旦進入此狀態，就會有非常大的力道作用在螺栓上。圖6是解析結果的一個例子。縱軸是螺栓軸力，橫軸是外力。該圖顯示接觸面分離時的樣貌。一旦分離到螺栓軸的左側，螺栓軸力就會急遽增加。圖7是使初期螺栓軸應力 b_i 發生變化後的結果。縱軸與橫軸，是各自外力作用時的軸力 F_b 與外力 W 除以各自的初期螺栓軸力之後得出的數值。兩者的關係與初期的螺栓軸力無關，且大致可以用一條線來呈現。此外，如箭頭所示，舉例來說假如把初期的螺栓軸力增加到兩倍，就可以把外力作用所導致的軸力增加量拉低。另外，雖然圖中並未顯示螺栓軸力與應力振幅之間的關係，但若將外力或螺栓軸力這兩者之一的力道增加到兩倍大，應力振幅就會變成兩倍。由此，外力變大時，就必定要把螺栓軸力提高到那個比率之上。

4. 疲勞強度的提升方式

影響疲勞強度的最大因素，就是外力對栓合件作用時的應力振幅大小，但外力的大小，大多會牽涉到機械或機器的性能而發生變化。對此，本段落會假定外力為一個固定值，為各位介紹提升疲勞強度的方式。

(1) 把螺栓軸力的設定值拉高：當外力發生作用，使接觸面開始分離時，應力振幅就會急遽增大。此時藉由升高螺栓軸力，就能盡可能地抑制分離的發生。因此透過高軸力接合的高強度螺栓的使用就會有效用。

(2) 使用低剛性的螺栓：圖8是為了提高疲勞強度而使用的低剛性螺栓。藉由把公稱直徑相同之螺栓的軸部變細，或是把軸部變成中空，使剛性下降。結果螺栓在承受外力時會容易變形，因此就能抑制螺栓軸力的增加。若使用低剛性的螺栓，雖然靜態強度會下降，但疲勞強度會增加。以發生金屬疲勞問題的栓合件來說，通常它的靜態強度在某種程度上仍有一些餘地，因此會使用低剛性的螺栓。須注意的是，圖中所示的中空螺栓由於抗彎折的鋼性很強，所以即使將它用在承受彎折荷載的栓合件上，也幾乎不會有效果。

(3) 採用能讓軸力變化量縮小的螺栓配置：從我上一篇投稿文中的圖8就可得知，在承受栓合件中常見的偏心荷載時，螺栓若在可行的範圍內脫離支點的位置，作用於螺栓的彎折力矩(Moment)就會變小，而能抑制應力振幅。圖9顯示兩個具體的對應策略。

(4) 對栓合件的形狀下一點功夫：若難以改變螺栓的位置，那就如圖10所示，在栓合件的端部追加突起的形狀，藉此實現上述的概念。

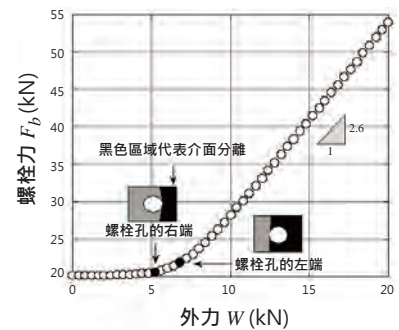


圖 6

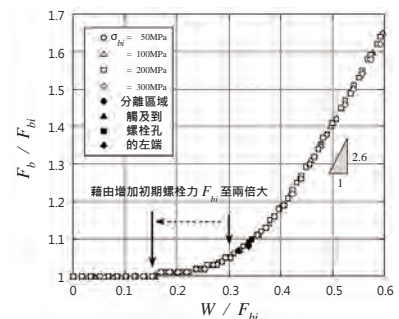


圖 7

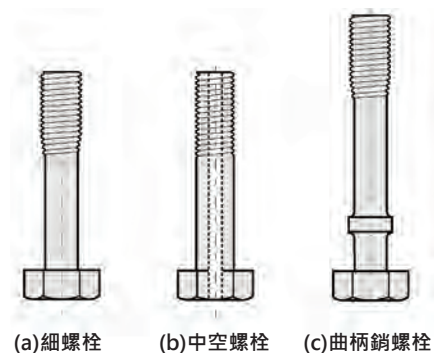


圖 8

(5) 其他：靜態強度高的材料，其疲勞強度也高。但因為問題在於同時加工的話會有困難，所以螺紋的尺寸精準度可能會降低。尤其是在本體上車工出母螺紋時，由於無法使用滾軋加工，因此多會使用切削加工，使得經過加工程序(從開孔穴一路到滾絲)加工出來的螺紋精準度會比一般的螺栓螺帽之螺紋還要低。換句話說，在高強度材料上加工出母螺紋時，即使材料的疲勞強度很高，加工精準度還是會下降，所以要注意螺紋的疲勞強度有可能不會上升。

5. 結語

日本有一句諺語叫做「柳枝迎風」，意思是說細又柔的柳枝承受風力時，透過搖動，大的風力就不會作用在柳枝上。這句話也是用來告誡世間的人們不要頑固。這一點就如同本文所介紹的邏輯一樣，將公稱直徑相同之螺栓的軸部變細後就能提高疲勞強度。也就是說，我們可以這樣解釋：由於低剛性的螺栓承受外力時會容易變形，所以軸力的變化就會變小。

參考文獻

Toshimichi Fukuoka, "Threaded Fasteners for Engineers and Design – Solid Mechanics and Numerical Analysis –", pp.185-207, Corona Publishing Co., Ltd. (2015) ■

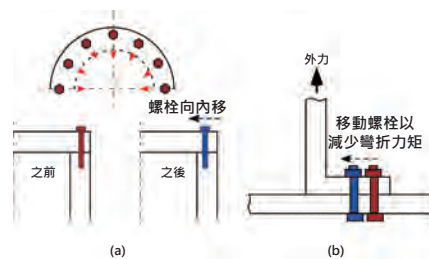


圖 9

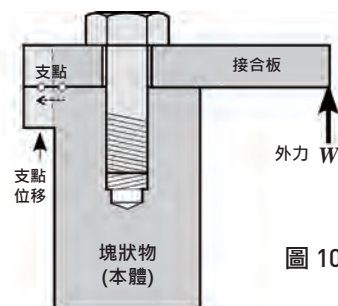


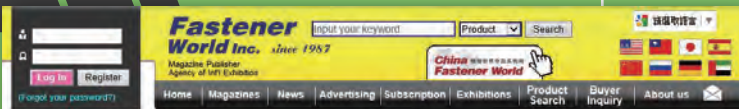
圖 10

只要小小投資，讓您大大得利

匯達全球採購網Banner

www.fastener-world.com.tw

< 電腦版 >



< 手機版 >



< 平板版 >



Banner廣告專區

讓您中外客戶不漏失

一個有效Banner能夠在網路宣傳時發揮強大效果，現在，您的福利來了，匯達螺絲採購網開放Banner廣告空間，要您以既經濟又有效率的方式，如齒輪般將您的事業觸角延伸世界各地，準確提高曝光率，吸引目標客戶群。

意者請來電06-295-4000洽詢