



## 1. 前言

軸部直徑與螺栓孔徑等長的絞孔螺栓廣泛應用在傳遞大量動力的軸用接頭上。以絞孔螺栓緊固的軸用接頭最典型的使用案例，就是傳動軸的專用接頭，它會將船的主引擎產生的動力傳遞到推進器。這種軸用接頭可能會導致單一支絞孔螺栓斷裂就使船體無法航行的重大事故。我的前一篇投稿解說的焦點放在螺栓軸與螺栓孔的耦合，它會大大影響絞孔螺栓的斷裂。本文則會解說軸的錯位，這是造成軸用接頭斷裂

的另一個主因。軸用接頭的使用目的是要傳遞原動軸與被動軸這兩個軸之間的動力。此時，一定要將這兩個軸配置在同一個軸線上。但實際上，軸用接頭無法避免某種程度上的錯位，因此用來緊固軸用接頭的絞孔螺栓有時會承受很大的應力振幅。考量以上各點，針對左右著疲勞強度的因子，也就是應力振幅與錯位之間的關係，我會根據三次元有限元素解析的結果來做說明。

## 「扣件事故 / 起因 / 方策」連載講座

# 傳動軸的接頭損壞 ~軸的對齊與疲勞破壞~

文/ 福岡俊道

## 2. 軸用接頭的錯位

以凸緣的固定軸用接頭來緊固軸部時，有可能會發生圖1(a)、(b)、(c)所示的錯位。這三個圖各自稱為平行錯位、軸向錯位、角度錯位；又可各自稱為偏心、軸向間隙、偏角。此時由於受到栓合件整體剛性的影響，軸用接頭的力學動向不僅會隨著錯位的程度，也會隨著接頭與軸承間距以及螺栓的軸應力而產生變化。在平行錯位和角度錯位方面，由於會造成彎折應力在運轉時作用在軸系(shaft system)上，所以必須細心地將兩個軸設置在同一條軸線上。然而，如果像船的推進器一樣，軸系的整體重量很大的話，由於受到軸本身的重量和軸承基礎部分撓曲的影響，無可避免地會發生某種程度的平行錯位和角度錯位。另一方面，在軸向錯位方面，實際上因為接頭而出問題的狀況似乎相對較少，但程度要多大才會影響接頭的力學動向，其臨界值的釐清是很重要的。

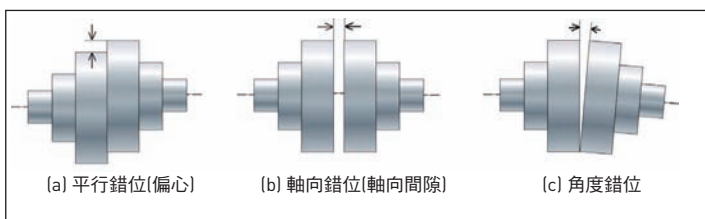


圖 1

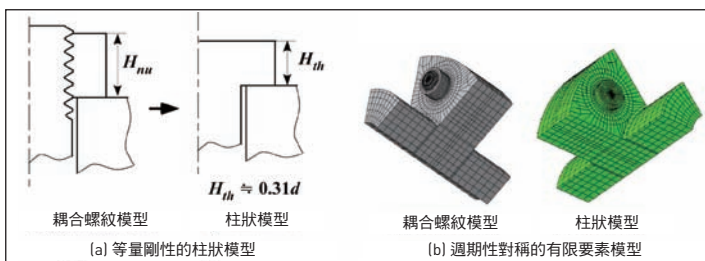


圖 2

## 3. 透過螺栓螺帽的等價模型使計算更有效率

為了衡量軸的錯位對接頭的力學動向造成的影響，必須以整個接頭或二分之一模型來解析。此時若把耦合螺紋部位的形狀忠實地模型化出來，解析模型的元素數量就會變很大，使計算變得困難。因此，將耦合螺紋部位替換成剛性與外力(剪切荷載)相同的圓柱狀。假設該圓柱的直徑是螺帽的平均外徑，則改變其高度使剛性趨於一致。圖2(a)是與耦合螺紋部位等高之高度 $H_m$ 的觀點。圖中的 $H_m$ 是螺紋的高度，等同於耦合螺紋部位的長度。圖2(b)是用來計算出 $H_m$ 的軸用接頭解析模型。左側是耦合螺紋部位的模型，右側是等價模型。螺栓的公稱直徑是M16，模型的各部位尺寸參照了JIS B1451標準。在下一小節，我會利用等價模型製作整支軸用接頭的模型。此外，螺栓的軸應力是100MPa，接觸面的摩擦係數是0.2，螺栓軸部與螺栓孔的耦合誤差為正負0 m。施加在接頭上的剪切力值為作用於各個螺栓剖面的平均剪切應力達到20MPa時的數值。在計算等價高度 $H_m$ 的解析作業中，有對圓柱部位的高度做一些變化。最終的模型形狀與模型化的耦合螺紋部位剪切力的分攤率一致，藉此將 $H_m$ 定為公稱直徑的0.31倍。

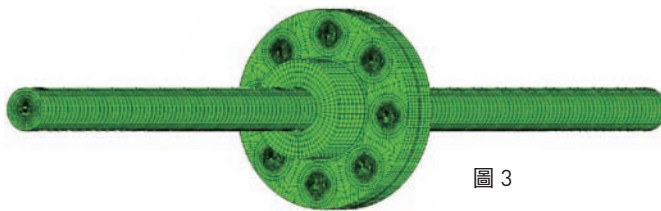


圖 3

## 4. 錯位的影響

為了衡量錯位的影響，我們在軸用接頭的兩側各裝上軸，以其模型進行解析。如圖3所示，這兩支軸都是實心，直徑48mm，並設定了接觸條件，使插入凸緣內的部分與內表面合為一體。解析模型是左右對稱，全長1,000mm。在錯位的程度方面，偏心量設為軸全長的百分之一，也就是10mm。軸向間隙設為0.2mm、0.6mm、1mm這三種變化，各自相當於軸全長的萬分之二、萬分之六、萬分之十。偏角的角度分別設為0.01度、0.03度、0.05度、0.07度、0.1度、0.3度這六種變化。解析結果如下所示。

首先並未認定平行錯位會對剪切力的分攤率與彎折應力有顯著的影響。換句話說，平行錯位鮮少對軸承間距相對較長的軸用接頭造成很嚴重的問題。接著在軸向間隙的影響方面，所設定的0.2mm、0.6mm、1mm這三個數值對應的是初期緊固狀態下的「凸緣介面有完全接觸」、「居於接觸與分隔之間的狀態」、「完全分隔」。圖4是絞孔螺栓軸部承接剪切力分攤率 $R_{rm}$ 的結果。括弧內的數值是軸向間隙的數值，0mm所指的是無錯位的狀況。軸向間隙為0.2mm時，比起無錯位的狀況，整體上 $R_{rm}$ 的數值會變大。軸向間隙若變得更大，便會失去接觸凸緣介面周圍，因此可得知 $R_{rm}$ 的數值會急遽變大。此時若把軸應力增加到三倍的300MPa，在初期緊固狀態下的接觸面會貼緊，因此錯位的影響幾乎不會出現了。換句話說，軸向間隙的影響會隨著軸應力的增加而緩和下來。

很重要的是要將凸緣形固定軸用接頭上接合的兩個軸配置在同一個軸線上，但裝上了軸承的根基其剛性就會很低，有案例顯示受到根基變形的影響，會產生相當於角度錯位的狀態。圖5是偏角的大小對剪切力分攤率造成的影響。 $\alpha=0$ 度代表偏角不存在。 $\alpha$ 若大於0.03度，偏角的影響就會大幅顯現。該圖未顯示的是，在彎折應力方面，對應剪切力分攤率的 $\alpha$ 若大於0.03度，偏角的影響就會大幅顯現。對此，雖然把螺栓軸應力從100MPa提升到300MPa，卻未見到效果如同軸向間隙的狀況。此外還有試著把軸系的長度減成一半的500mm，但剪切力分攤率 $R_{rm}$ 之值的差異最大只有到2%到3%。基於以上結果，即使提高軸應力，降低應力振幅的效果很低，也不太會被軸系的長度影響到，因此偏角對軸用接頭的強度有重大的影響，可說是一個危險的錯位。

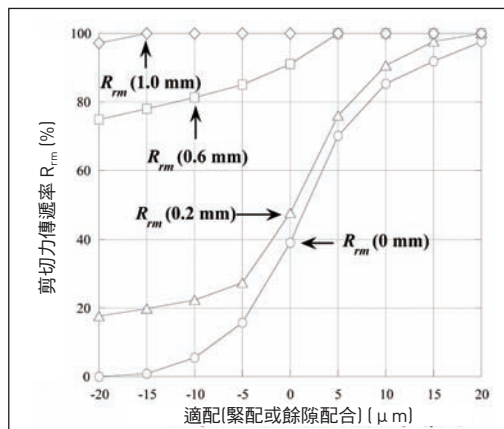


圖 4

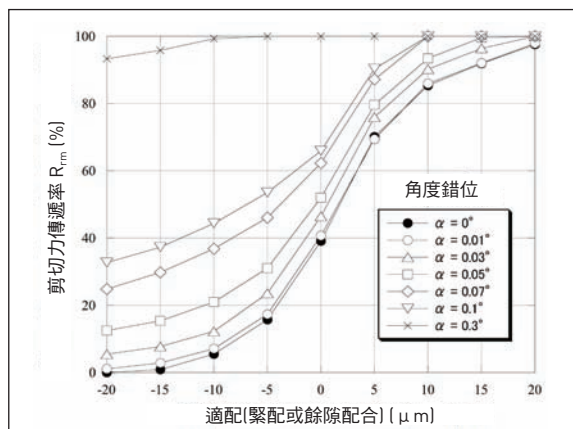


圖 5

## 5. 結語

本文解說了設置軸用接頭時，兩個軸的錯位(一定會發生，即使程度有差)造成的影響。在平行錯位方面，只有少數幾個有限的例子顯示，軸系的長度長，錯位若是在某個程度的範圍內會發生問題。在軸向錯位方面，錯位程度若沒那麼大，只要提升螺栓的軸應力就能去除影響。但在角度錯位方面，即使把軸應力設定高一點，效用也很有限。不論是剛性高或低的軸都會有問題，所以角度錯位是一種需要小心的錯位。在下一篇投稿中，我會從既有的震動次數的觀點來解說栓合件發生的共振現象。

## 參考文獻

1. Toshimichi Fukuoka, "Threaded Fasteners for Engineers and Design – Solid Mechanics and Numerical Analysis –", pp. 290-298, Corona Publishing Co., Ltd. (2015)
2. Japanese Industrial Standards, Rigid flanged shaft couplings B1451 (1991) (in Japanese).
3. Mancuso, J. R., Couplings and Joints (1999), pp.23–29, Dekker.