

~扣件達人講座~

螺紋幾何學

文 ■ 福岡俊道 翻譯 ■ 曾柏勳

前言

螺絲被使用在各種工業產品，包括機械、建築物、精密機器到電子機器等。螺絲的使用目的多元，且使用到的螺紋零件更是包含多種形狀。那麼，螺絲的最大特徵是什麼？針對這個問題，我的回答是「螺紋的螺旋構造」。我想請各位讀者試著回想各種種類的螺絲。不論是哪種類型的螺絲，其上都會加工出「螺旋構造」來讓公與母螺紋互相接合。螺紋的存在，讓螺絲能實現緊固的效能，也能在反轉時將螺絲鬆脫下來。螺絲與焊接接頭和鉚釘不同，因為螺絲是具高度彈性(可旋緊/旋鬆)的機械部件。雖說螺絲的鬆脫對技術人士來說是一項最頭疼的問題，但螺絲的可鬆脫性確實是螺絲的特徵，這樣的特徵使得操作者能在保修或檢驗時揭開緊固的部位，然後再重新組裝回去。

本文將採用初階的數學原理解說「螺紋的螺旋構造」，藉此為螺絲相關的技術人士提供重新檢視螺絲幾何學的機會。

螺紋形狀與螺旋構造

所謂圓周運動是指在平面上的某一定點周圍做等距移動。若在圓柱表面上一邊做圓周運動，同時又往特定軸方向移動，產生的軌跡就會形成「螺旋」。若將螺旋的形狀沿著圓柱的軸方向設為Z軸，將圓柱的直徑設為d，將圓周角設為 θ ，就會得出以下公式：

$$x = \frac{d}{2} \cos \theta, y = \frac{d}{2} \sin \theta, z = \frac{d}{2} \theta \tan \beta \quad (1)$$

圖1是依據上述公式描繪出的螺旋構造。若將一個直角三角形的兩個邊(也就是 πd 與L)圍繞直徑d的圓柱，那麼此三角形的斜面就會變成螺旋狀。將此螺旋旋轉一周所產生的距離設為前導L，再將螺旋與水平面形成的角度稱為導角 β ，那麼d與L與 β 之間的關係就會如下所示：

$$\tan \beta = \frac{L}{\pi d} \quad (2)$$

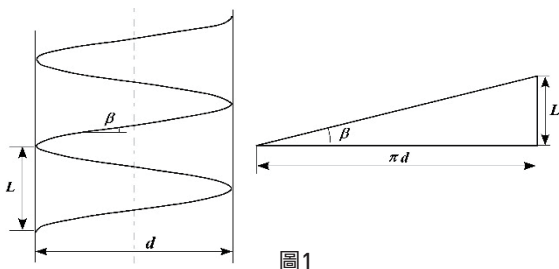


圖1



此時，若將點聚集形成的三角形與梯形圍繞在圓柱上，就會形成三角螺紋與梯形螺紋。圖2顯示的是單螺紋與雙螺紋的三角螺紋形狀，若將比鄰的螺紋上相對應的兩個頂點之間的距離稱為螺紋間距P (Pitch)，那麼螺紋的螺紋數目i與螺紋間距P與導角L之間的關係可以下面公式表示出來：

$$L = iP \quad (3)$$

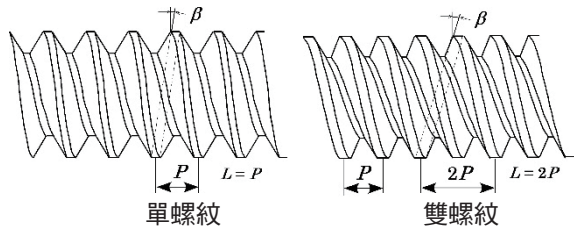


圖2

當然，在單螺紋中螺紋間距P與前導L相等。至於多重螺紋，由於其特徵是每旋轉一圈所產生的距離較大，所以也用在動力傳遞的用途。在緊固用途方面，多重螺紋會應用在緊急切斷閥使用的進料螺桿上，由於只需較少的旋轉次數就能達到物品緊固目的，所以多重螺紋也會應用在化妝品的瓶蓋上。像這樣的多螺紋，由於其導角較大，因此擁有多種特性。三角螺紋若與四角螺紋和梯形螺紋相比則較不易鬆脫。此外，螺紋的作動效率之所以會低，是因為螺紋的側面相對於軸的直角橫切面傾斜了30度。另一方面，若導角越大，則螺紋的作動效率越高。由此可知，較大的導角會提高螺紋的作動效率，若同時利用「三角多螺紋」具備適度抗鬆脫的特性，就有可能構想出嶄新的動力傳遞機制或靜止機制。多螺紋的適用範圍可望擴大。

螺紋橫切面的形狀

圖3顯示的是各種螺紋，其形狀通常是沿著螺紋的軸切面來表示。那麼，對軸做直角橫切後產生的橫切面會是什麼形狀？圖4(a)與(b)分別是對單三角螺紋的軸進行水平與垂直剖切後形成的剖面形狀。圖4(a)的軸剖面形狀，以半個螺紋間距來說，可分為螺紋根部(A-B)、螺紋側面(B-C)、螺紋頂端(C-D)這三個部分。自螺紋的軸心至各部位的距離，稱為r，若把各個距離r放在軸的直角橫切面上，就會得出圖4(b)所示之「螺紋實際的剖面形狀」，其剖面的下半部(A-B' -C' -D')與X軸呈現線性對稱關係。如此，以單螺紋來說，若將一個螺紋間距的軸剖面形狀在一個平面上展開，就會得出實際的剖面形狀，這與螺紋的形狀(例如梯形等等)本身無關。

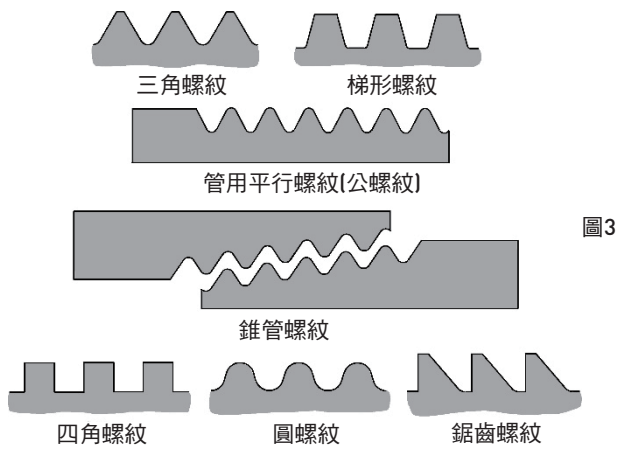


圖3

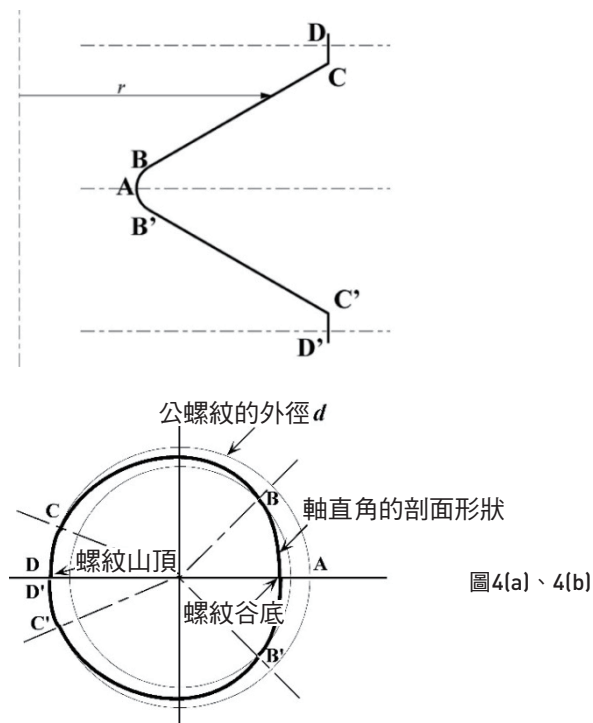


圖4(a)、4(b)

圖5是以螺紋的公稱直徑為基準變數，繪出的公制粗牙螺紋的實際剖面形狀。實線表示實際的形狀，虛線是以公稱直徑 d 繪出的圓。實際的剖面形狀若遇到公稱直徑越小的螺紋，就會越偏離圓的形狀。這是因為，若遇到公稱直徑越大的螺紋，螺紋間距 P 與公稱直徑 d 之間的比例 P/d 就會變得更小。圖6是以螺紋的公稱直徑為基準變數，繪出的三角三螺紋與梯形螺紋的實際剖面形狀。這兩個實際剖面形狀的面積全都可用初等函數來表示，因此可以用簡單的計算得出來。

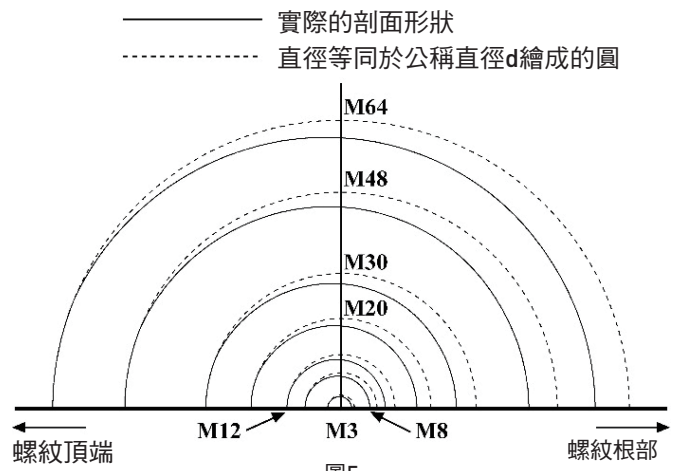


圖5

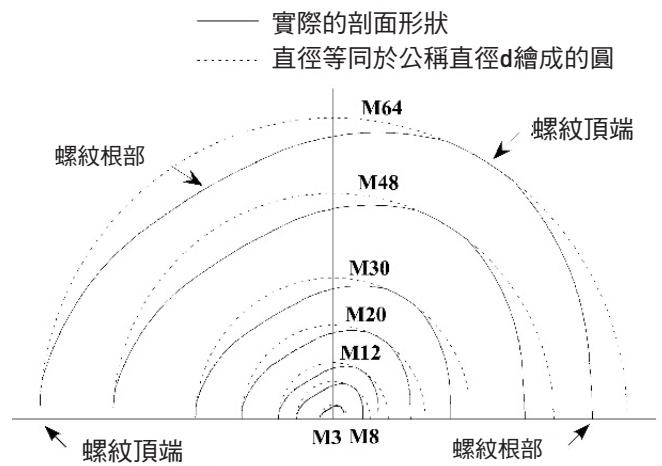


圖6 (a) 三螺紋

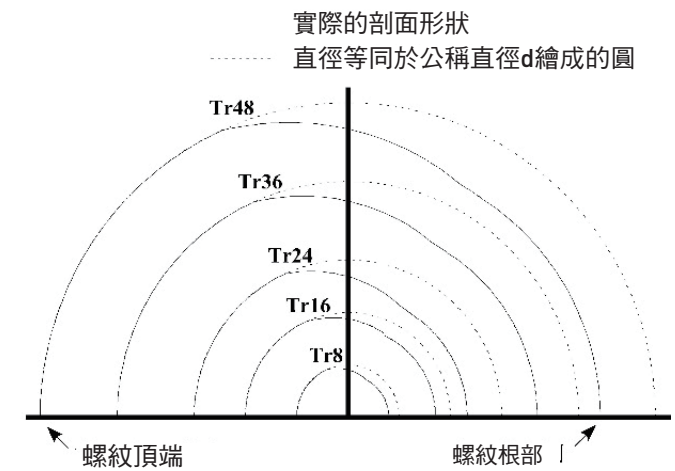


圖6 (b) 梯形螺紋

螺紋部件的非相似性

螺紋的基本形狀無關公稱直徑，大都相似。但由於公稱直徑越大則螺紋間距 P 與公稱直徑 d 之間的比例 P/d 會越小，因此在這點上，螺紋部件(其圓柱體內或圓筒內側攀附了螺紋)的形狀就不會相似。圖7是比較了M6至M64粗牙公螺紋，將其各個螺紋間距的大小以等長的線所繪出的形狀。從圖中可得知，公稱直徑越大，相對地螺紋間距就會變得越小。這種螺紋零件的非相似性，就是緊固強度與疲勞強度會隨著公稱直徑不同而變化的一大原因。換句話說，小直徑螺紋之強度評價的思考邏輯無法直接套用在直徑大的螺紋上。尤其是在螺紋間距方面，基本上最大值就是6mm，就算是公稱直徑超過100mm的大螺紋也會因此使採用小的螺紋間距。由此，在某些實例中，就算緊固作業中的軸應力相同，且透過外力在螺絲上產生的相同的應力變化，最終也會產生與小螺紋不同的力學特性。

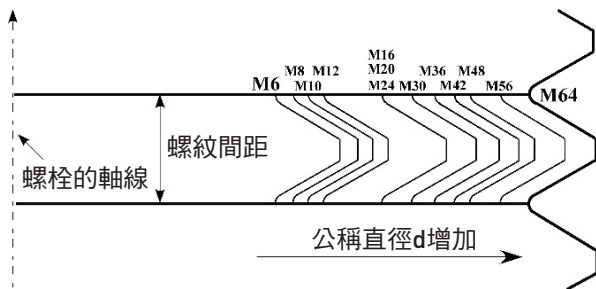
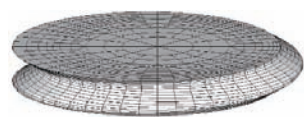


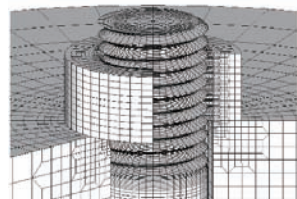
圖7

螺紋實際剖面形狀的電腦模型圖

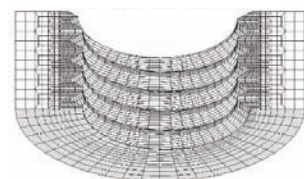
日本自古以來就有一種稱作「金太郎飴」的糖果，不論你從哪個剖面切下去會得出同一個模樣。由此，我們也可以把螺紋的形狀想成「被扭動過的金太郎飴」。換句話說，若將圖5、6所示的「實際剖面形狀」進行軸向轉動，就能正確地再現出螺紋的形狀。圖8(a)就是以此方式製成之



單螺紋間距的公螺紋電腦模型



螺栓緊固件的整體模型圖



螺帽模型的要素分割圖

單螺紋間距的公螺紋電腦模型。圖8(b)與(c)顯示螺栓緊固件的整體模型圖以及螺帽模型的詳細構成要素分割圖。圖9(a)與(b)顯示公的三螺紋模型以及錐管螺紋的有限元素模型。利用這些模型，就能解析各種力學特性，包括螺紋的緊固特性、螺紋谷底的應力集中度，以及位於螺紋谷底且會大大影響疲勞強度的應力震幅等等。

圖8 [a], [b], [c]

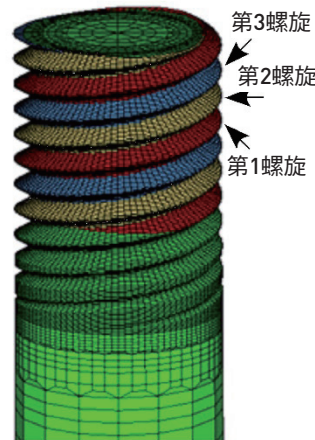


圖9 (a) 三螺紋

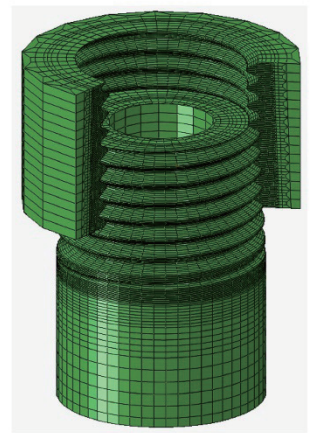


圖9 (b) 錐管螺紋

結語

本文藉由重新檢視螺紋的幾何學，明示了各種螺紋的實際剖面形狀與公稱直徑之間關係，也說明了各種不同公稱直徑的螺紋部件也彼此不相似。此外，利用實際的剖面形狀，就能製作可完全再現出螺紋部件形狀的電腦模型，且能解析出各種力學特性。有關螺紋部件的非相似性對力學特性產生的各種影響，將會在有機會時另行介紹。

參考文獻

Toshimichi FUKUOKA, "Threaded Fasteners for Engineers and Design - Solid Mechanics and Numerical Analysis -", CORONA Publishing Co. Ltd.

作者名：福岡 俊道
(ふくおか としみち)

Toshimichi FUKUOKA

研究所時期從事數值解析方面的熱應力研究，之後在神戶商船大學任職，並在大阪大學透過有限要素解析的螺絲力學研究取得了博士學位。



在1988年的美國密西根大學花費約1年的時間學習計算力學，1997年擔任神戶商船大學教授，2003年擔任神戶大學教授。其中一項著作是刊載於日本機械學會誌的「技術人員須知的螺絲力學~以材料力學與數值解析為解說的視點-(技術者のためのねじの力~材料力と解析で解き明かす~)」。

福岡俊道是日本扣件業界知名的學者，可說是日本扣件研究的先驅，除了在學界發表多篇研究專文與出版專書之外，也接受日本螺絲研究協會的邀請發表文章，此外也曾接受athome-academy.jp網站的特別專訪。他為日本扣件技術者撰寫許多深入淺出的知識著作，相信此次邀請福岡俊道在惠達雜誌投稿能讓日本之外的讀者更了解日本的扣件技術觀點。