
技術備忘錄 第 002 號：H 梁扇形孔細部設計與施工

100 年 12 月 30 日

H 型鋼梁在梁柱接頭處與柱連接或是梁本身之續接，翼板常使用銲道進行接合，此時梁腹板通常需要設置扇形孔 (weld access hole) 以利銲接之進行。國內通常依受力型態將梁分成大梁與小梁，大梁通常會承擔地震力引致之反復載重並提供所需之塑性轉角及消能容量，而小梁基本上僅承擔垂直載重而不承擔反復載重。大梁與柱之接合使用翼板全滲透銲道-腹板螺栓的接合型式時，腹板即須設置扇形孔，小梁與小梁續接或懸臂梁與柱連接時，翼板可能採用銲道進行接合，此時也需設置扇形孔。大梁及小梁對扇形孔細部設計與施工之要求不同，現分成梁柱接頭處扇形孔及小梁扇形孔分別討論如後。

梁柱接頭扇形孔

梁柱接頭處，梁與柱使用翼板全滲透銲道-腹板螺栓的接合型式時，扇形孔的形狀與施工方式對梁柱接頭韌性的發展有顯著的影響。在減弱式梁柱接頭 (reduced beam section) 或加強式 (strengthened beam section) 梁柱接頭被發展出來之前，扇形孔除了需要考慮到裂縫的抑制外，還需要兼顧塑性轉角的提供。但是在上述梁柱接頭被發展出來後，塑性轉角由梁的其他部位來提供，如減弱式接頭由翼板切削區來提供，而加強式接頭則由緊鄰翼板蓋板 (使用蓋板的情況) 的梁段來提供。因此，扇形孔的細部設計與施工，以在反復應力作用下裂縫的抑制為主要考量。

要抑制裂縫發展，最重要的是要避免過度的應力集中，因此扇形孔沿著應力方向，其幾何形狀應保持平順，而切割面粗糙度也要受到控制。在扇形孔形狀方面，日本「建築鐵骨設計基準及解說」[1] 中建議的扇形孔 (如圖 1) 及 AWS D1.8 [2] 所建議的扇形孔 (如圖 2) 都可以符合形狀保持平順的要求。

在施工方面，以自動銑刀設備製作的扇形孔，除了幾何形狀準確度高外，扇形孔切割面的粗糙度也很低，施工品質佳。但是每套自動銑刀設備僅能針對某一特定的扇形孔細部進行施工，目前國內的自動銑刀設備，基本上僅能製作日本設計準則建議之扇形孔。另一方面，自動銑刀設備的加工能力有其限制，當梁翼板太寬、梁過深、梁翼板太厚或是梁不夠長時，即無法使用自動銑刀設備製作扇形孔，此時火焰切割加上切割面研磨為最可行的方法。使用火焰切割加上切割面研磨製作扇形孔時，日本設計準則建議之扇形孔及 AWS D1.8 建議之扇形孔皆可使用。綜合上述，將最適合國內目前使用的善形孔細部設計配合施工方法敘述如後。

當 H 斷面之尺寸在自動銑刀設備加工能力範圍內時，建議採用日本設計準則建議之扇形孔（簡稱「弧形耐震扇形孔」）幾何形狀及自動銑刀設備進行施工。弧形耐震扇形孔細部如圖 3 所示，不論上、下翼板，扇形孔形狀如 ABDE 曲線，其細節敘述如下：

- (A1) AB 為一段以 E 點（上翼板）或 G 點（下翼板）為圓心、 r_1 為半徑之圓弧。當翼板厚度較小時 r_1 採用 35 mm，隨著翼板厚度增加下翼板之 DE 線段逐漸變小，當 DE 線段之長度小於 10 mm 時， r_1 應改採用較大的數值，通常採用 45 mm。
- (A2) BD 為一段以 C 為圓心、 r_2 為半徑之四分之一圓弧。 r_2 固定為 10 mm。
- (A3) DE 為一直線段且為 BD 圓弧之切線。

當 H 梁之尺寸超出自動銑刀設備之加工能力範圍時，可以直接採用弧形耐震扇形孔（圖 3）或 AWS D1.8 建議之扇形孔，配合火焰切割及切割面研磨施工方式製作扇形孔。使用弧形耐震扇形孔時其細部與使用自動銑刀設備製作者相同，直接參考圖 3，以及 (A1)、(A2)、(A3)、(B5) 等各項之描述或規定。使用 AWS D1.8 建議之扇形孔，其細部如圖 4 所示（簡稱 AWS 耐震扇形孔）。不論上、下翼板，AWS 耐震扇形孔形狀如 ABDEF 曲線所示，其細節敘述如下：

- (B1) AB 為一水平線段。A 點可能需要自梁端基線退縮，退縮量視剪力連接板鉚道尺寸而定。 a_1 應在 $3t_f \pm 12$ mm 之間（註：決定 a_1 時應注意 D 點不宜距離翼板韌性切削區過近），其中 t_f 為梁翼板之厚度。 $a_2 = a_3 + r$ 。
- (B2) BD 為一段以 C 為圓心、半徑為 r 之圓弧。 r 不得小於 10 mm， a_3 不得小於 $(0.75t_f$ 與 20 mm) 之大者，但不需大於 $t_f + 6$ mm。
- (B3) DE 為一段與梁翼板交角不大於 25° 之直線。DE 線段與 EF 線段在交接處（圖中 E 點虛線圓圈處），應以弧形曲線平順的連接，一方面降低應力集中，一方面方便研磨。
- (B4) EF 為一直線段。 $b + 0.5t_f \leq a_4 \leq b - 0.25t_f$ ，其中 b 為 t_f 與 12 mm 之大者。
- (B5) 所有的切割面均需以研磨的方式處理至平順，表面粗糙度不得大於 $13 \mu\text{m}$ 。

火焰切割及切割面研磨施工方式製作扇形孔，宜先依其幾何形狀製作適當的模子，切割時火嘴靠著模子移動進行切割，切割曲線應自目標曲線（即 ABDEF 曲線）退後 1 至 2 mm，完成切割後再將切割曲線研磨至目標曲線。

梁使用 BH 斷面且腹板厚度較大（約大於 22 mm）的時候，腹板與翼板間可能存在一縱向隙縫，此道隙縫會出現在扇形孔切割面，如圖 3 之 D 點處及圖 4 之 E 點處。由於縱向隙縫與應力方向平行，對裂縫的發展不敏感，而圍繞鉚道在腹板端部與應力方向垂直，容易發展出裂縫，故不宜以圍繞鉚道填補該隙縫。

小梁扇形孔

小梁不承受反復應力，因此扇形孔幾何形狀以容易施工為主要考量。以自動銑孔設備製作之弧形耐震扇形孔（圖 3），施工容易且品質佳，不但適合使用於梁柱接頭扇形孔，也很適

合使用於小梁扇形孔，最受到推薦。小梁扇形孔的製作亦可採用火焰切割加上切割面研磨的方式製作，但是比較費工且品質控制較不容易，應盡量避免之。若仍需以火焰切割加上切割面研磨的方式製作，此時建議採用圖 5 所示之弧形小梁扇形孔。扇形孔形狀如 ABC 曲線所示，其細節敘述如下：

- (C1) AB 為一段以 C (上翼板) 或 D (下翼板) 為圓心、 r 為半徑之四分之一圓弧。 r 不得小於 (20 mm 與 t_w) 之大者，但可不必超過 50 mm。AB 弧與 BC 線段在交接處 (圖中 B 點虛線圓圈處)，容許以弧形曲線平順的連接。
- (C2) BC 為一直線段。
- (C3) 切割面應以研磨的方式去除所有的刻痕 (notch)。

參考文獻：

- [1] 日本財團法人公共建築協會，「建築鐵骨設計基準及解說」，平成 10 年。
- [2] AWS (2009), Structural Welding Code-Seismic Supplement, ANSI/AWS D1.8/D1.8M:2009, American Welding Society.



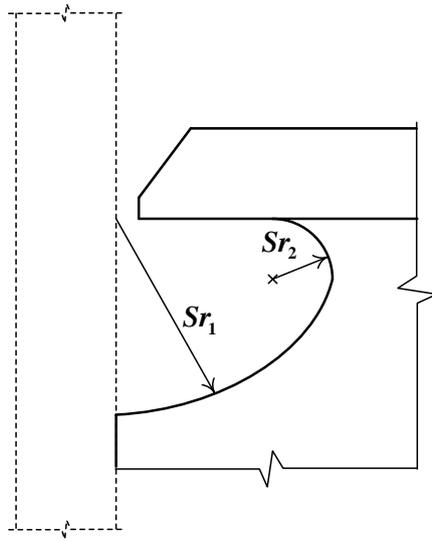
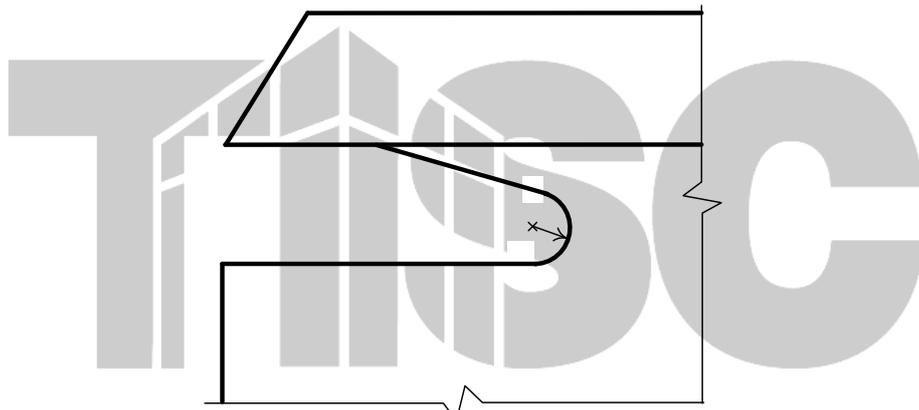
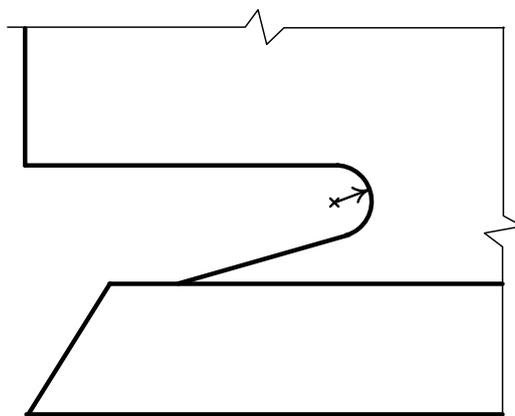


圖 1 日本設計準則建議之扇形孔幾何形狀[1]

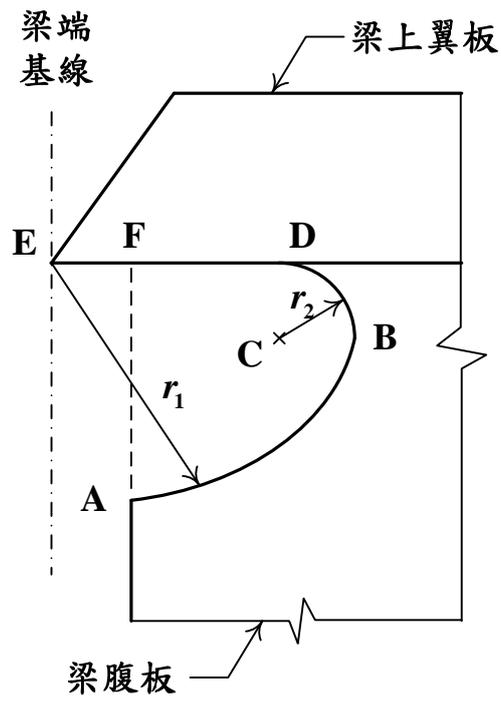


(a) 上翼板下緣

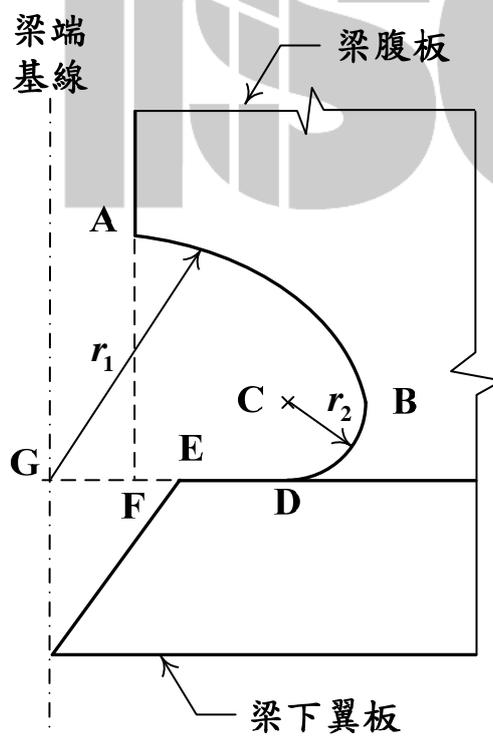


(b) 下翼板上緣

圖 2 AWS D1.8 建議之扇形孔幾何形狀[2]

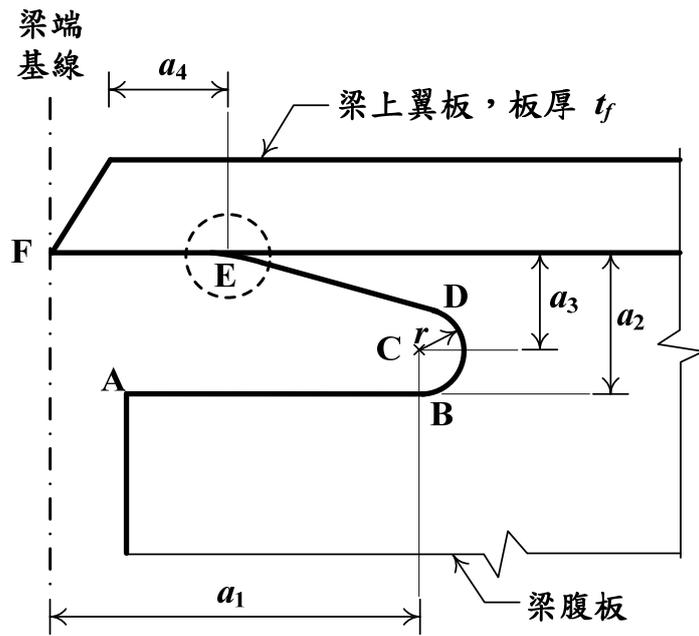


(a) 上翼板下緣

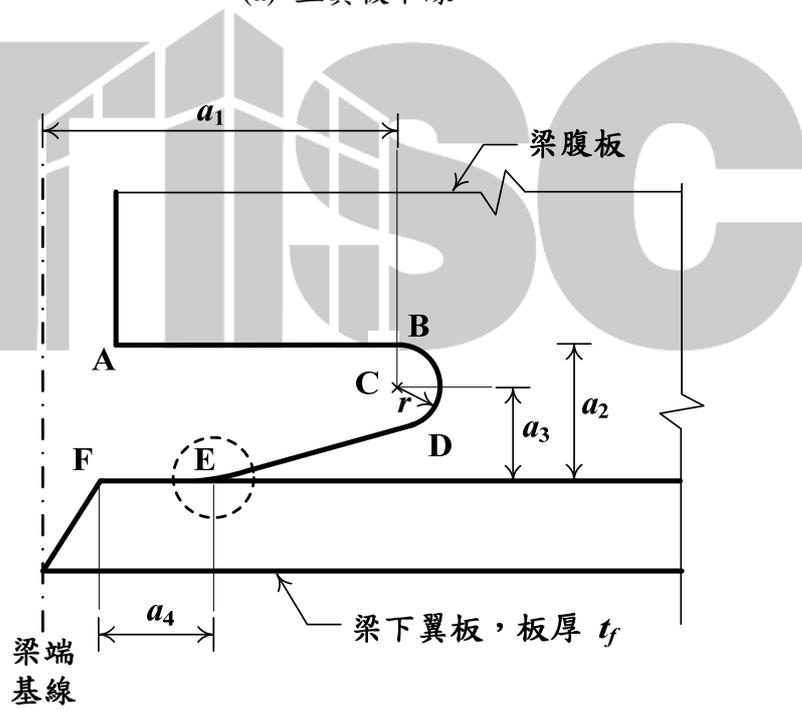


(b) 下翼板上緣

圖 3 使用自動銑刀設備時之扇形孔細部 (弧形耐震扇形孔)

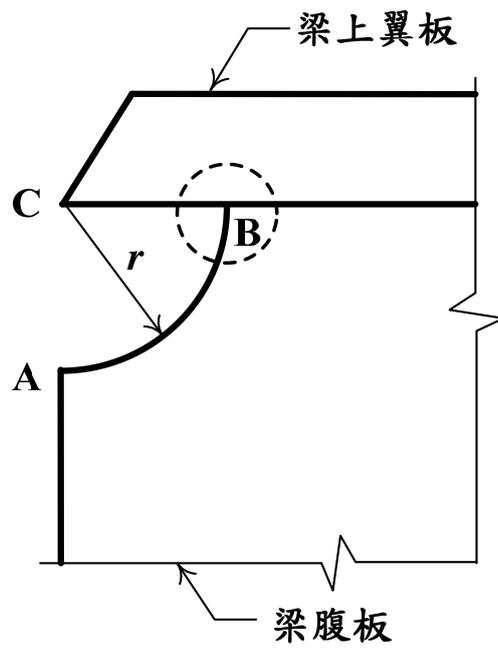


(a) 上翼板下緣

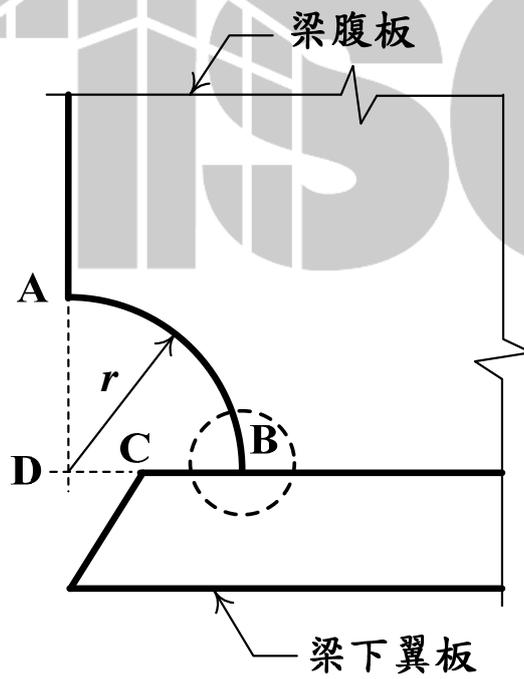


(b) 下翼板上緣

圖 4 使用手工製作時之扇形孔細部

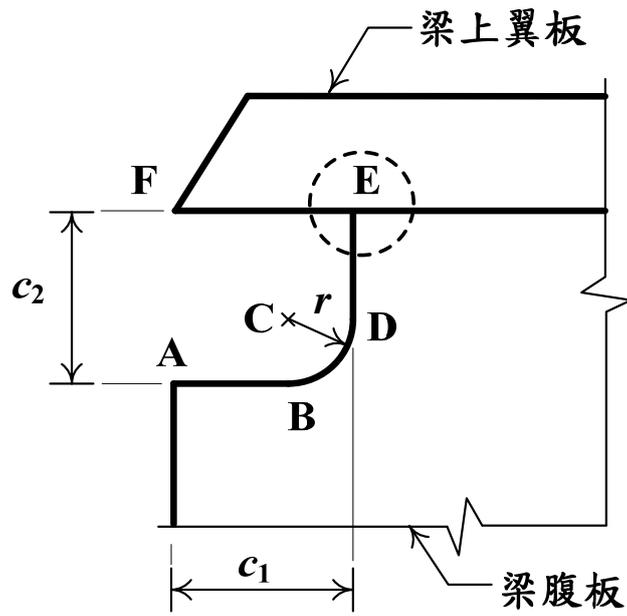


(a) 上翼板下緣

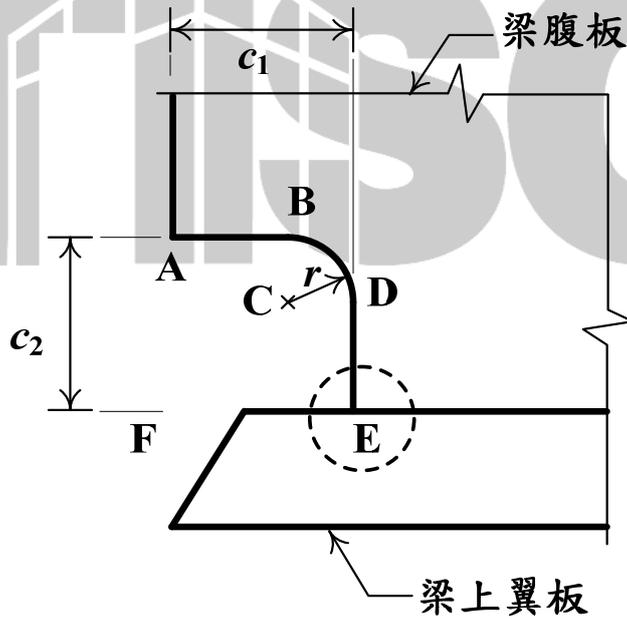


(b) 下翼板上緣

圖 5 弧形小梁扇形孔細部 (方案一)



(a) 上翼板下緣



(b) 下翼板上緣

圖 6 弧形小梁扇形孔細部 (方案二)