

技術備忘錄 第 003 號

銲接組合 H 型鋼之銲道設計

完成日期：106 年 1 月 19 日

編撰委員：陳正平、陳正誠(召集人)、陳煥煒、梁宇宸、張敬昌、廖國偉、
廖源輔、蔡武松、鄭光壯、羅遠智

鋼結構銲接接合應依不同之需求來指定銲道型式及尺寸，如果不經過檢討直接指定全滲透銲道，徒增施工困難及成本，上述情況常見於銲接組合 H(BH)型鋼桿件之縱向銲道^[1]。反之，有些結構桿件需採用全滲透銲道時，如僅採用填角銲或部分滲透銲道時，將影響結構安全。

銲道之型式及尺寸會影響製作成本，包含開槽加工、銲接施工、銲接檢驗及銲接後矯正等。圖 1 為 BH 型鋼 T 型接合，在發揮腹板之全板剪力強度條件下，採用三種銲道型式之銲接成本曲線^[2]，成本計算包含開槽加工及銲接施工，但不包含背剝、銲接檢驗及銲接後矯正之費用等。依據該曲線，銲道型式(a)及(c)之最低成本轉換厚度約為 20mm，即腹板厚度不超過 20mm 時以採用圖 1(a)之填角銲道較為經濟，而當腹板厚度超過 20mm 時則以採用圖 1(c)之部分滲透開槽填角補強銲道較為經濟。由上述討論可知圖 1(b)的銲道型式在各種腹板厚度下均非為最經濟之銲道型式。相較於圖 1(b)，採用全滲透銲道尚會增加背剝及銲接檢驗之成本，故全滲透銲道成本將遠高於圖 1(a)及(c)之銲道型式。雖然該文獻發行年份距今較久，且各鋼構廠之製作成本稍有不同，但仍不失為設計者良好之參考資料。根據現有銲接設備與製程評估之最低成本轉換厚度約介於 25~28mm 之間。

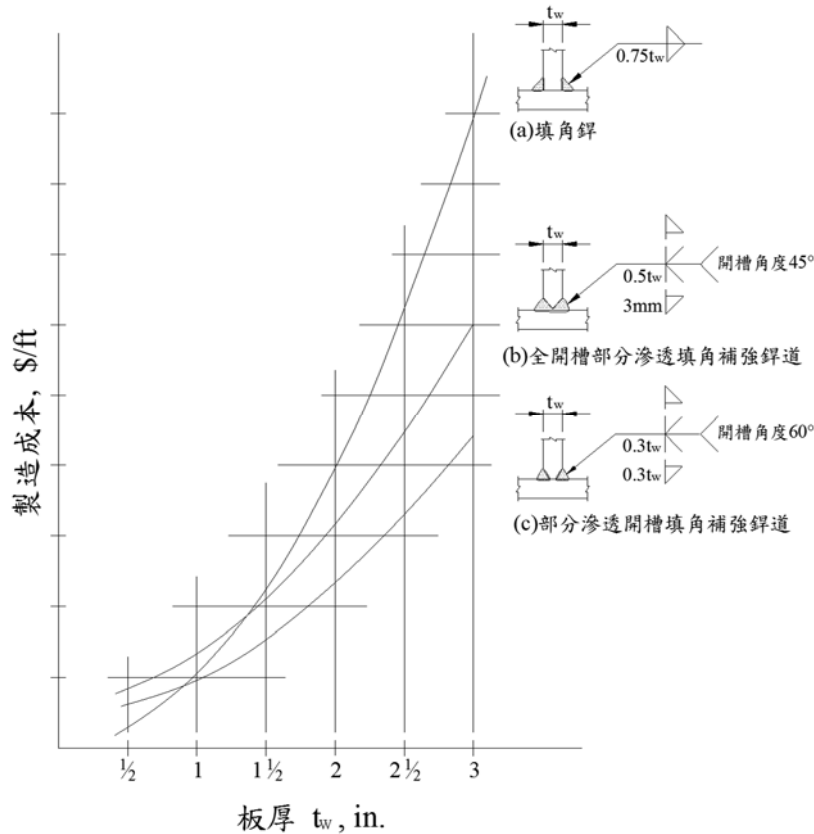


圖 1 BH 型鋼 T 型接合不同銲道型式之成本

一般情況下，BH 型鋼腹板與翼板間之銲道強度僅須滿足發揮腹板全板剪力強度之需求，此時可採用之銲道型式及所需尺寸可參考附錄 A 之第 1.1 及 2.1 節。當 BH 型鋼翼板承受面外集中載重或其他狀況，使得腹板與翼板間之銲道承受額外應力，此時銲道應檢討其強度及韌性需求並據以進行細部設計。當檢討結果銲道須滿足發揮腹板全板拉力強度時，除特殊情況下須採全滲透銲道外，可採用較經濟之填角銲道或部分滲透開槽填角補強銲道，其銲道型式及所需尺寸可參考附錄 A 之第 1.2、2.2 及 3 節。以下僅列舉六種 BH 型鋼腹板與翼板間銲道可能承受額外應力及特殊韌性需求之情況進行說明。

1. BH 型鋼翼板承受面外地震反復載重之情況

圖 2 為大梁與 BH 型鋼柱連接之情況，BH 型鋼柱翼板在大梁翼板處承受地震引致之面外反復集中載重。根據 AISC 358-16 之要求，BH 型柱於梁柱接頭區及其上下方各 30cm 範圍內之組合銲道應採用全滲透銲道。但因國內設計上通常於此種梁柱接頭之 BH 型鋼柱腹板兩側配置厚度不小於梁翼板厚度之連續板，且連續板與翼板之接合採全滲透銲道，如圖 2 所示，而 AISC 規範並無此要求。此做法使集中載重主要經由連續板傳遞，僅小部分之集中載重需透過組合銲道傳遞至 BH 型鋼柱腹板，且全滲透銲道施作通常需要背劇，將增加接頭區額外之熱循環及銲接變形，對受力行為不盡然有利。採用最小根面之部份滲透開槽外加填角補強銲道，一方面可避免接頭區額外之熱循環及銲接變形，另一方面除了可提供足夠之銲道強度且腹板與翼板間之縫隙大致已熔透(如圖 3 所示)，因此 BH 型柱於梁柱接頭區及其上下方各 30cm

範圍內柱之組合銲道，應無需使用全滲透銲道，可採用最小根面之部份滲透開槽外加填角補強銲道取代之，惟此銲道應足以發揮腹板全拉力強度(詳附錄之 \bar{S}_1)。

圖 4 為梁上柱及耐震間柱與 BH 型鋼梁接合之情況，此時 BH 型鋼梁之翼板會承受面外地震反復集中載重，其受力行為同於圖 2 之 BH 型鋼柱，故 BH 型梁於梁柱接頭區及其左右側各 30cm 範圍內梁之組合銲道，應無需使用全滲透銲道，可採用最小根面之部份滲透開槽外加填角補強銲道取代之，惟此銲道應足以發揮腹板全拉力強度。

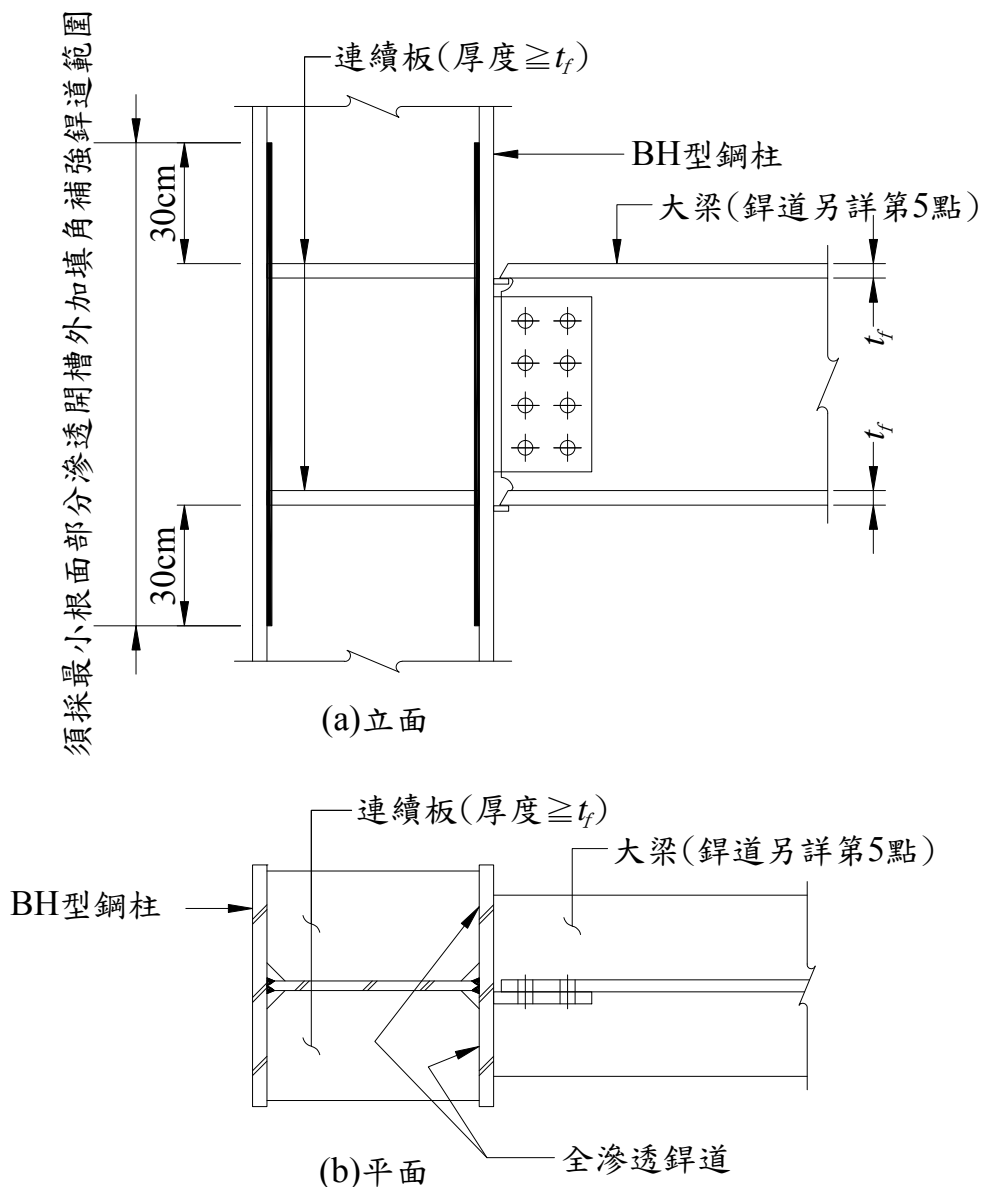


圖 2 大梁與 BH 型鋼柱接合示意圖

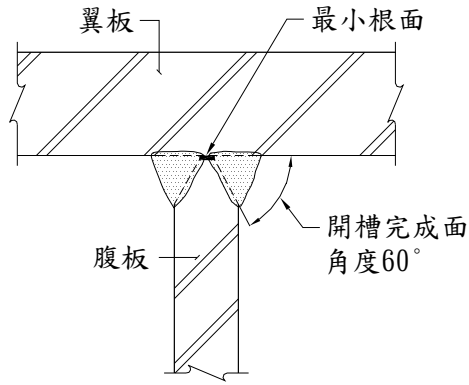


圖 3 最小根面部份滲透開槽外加填角補強銲道示意圖

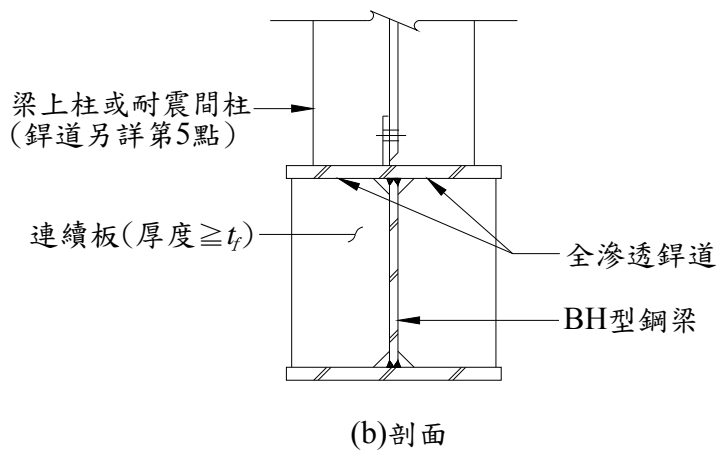
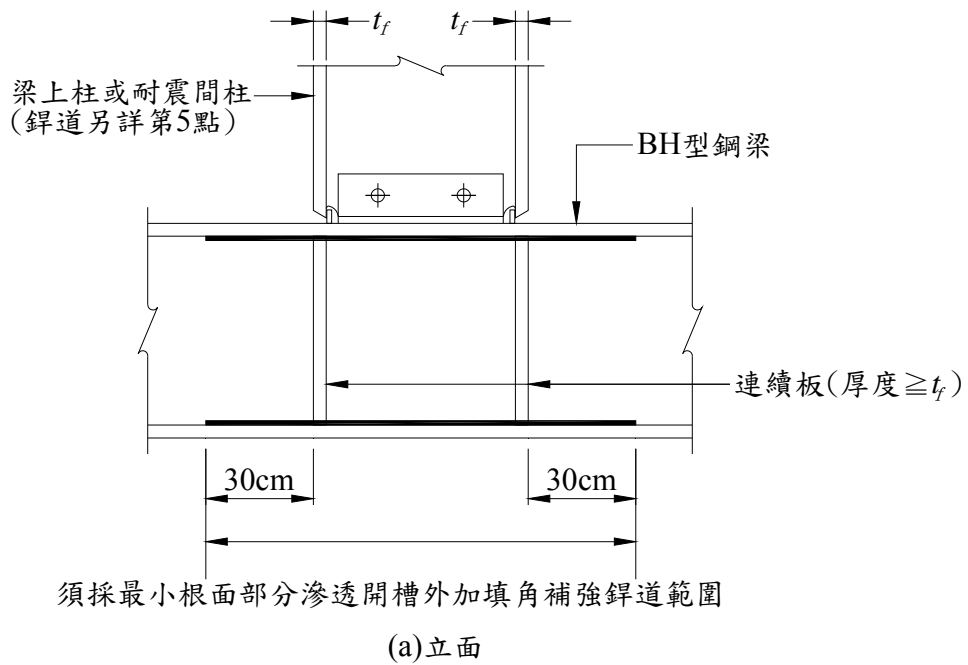


圖 4 梁上柱及耐震間柱與 BH 型鋼梁接合示意圖

為避免接頭之加勁板與 BH 型鋼組合銲道產生衝突，通常須於加勁板角隅處截角，截角可為圓弧或三角斜切，如圖 5 所示。採用圓弧截角時，圓弧半徑通常為 30~35mm，採用三角斜切截角時，其兩直角邊截角尺寸則通常為 30mm。此截角會造成連續板與翼板之接合斷面減少，設計者應依據實際截角尺寸計算連續板與 BH 型鋼翼板之有效接合寬度及強度，當 BH 型鋼翼板寬度大於接合桿件之寬度時，計算連續板與 BH 型鋼翼板有效接合寬度時，可自接合桿件鋼板外緣延伸不超過一倍 BH 型鋼翼板厚度之距離，如圖 4 所示。當接合強度無法滿足需求時，應調整連續板厚度以符合需求。

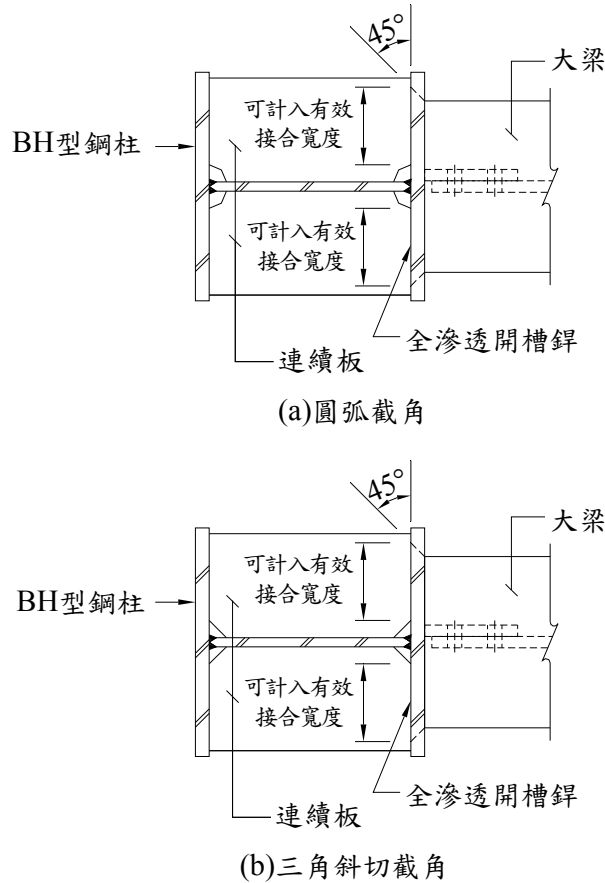


圖 5 BH 型鋼連續板之截角及有效接合寬度示意圖

2. BH 型鋼翼板承受非地震引致之面外載重之情況

圖 6 為 BH 型鋼柱、圖 7 為 BH 型鋼梁之翼板承受非地震力造成之面外集中載重且不承受高週次疲勞載重的狀況，此時可於腹板兩側配置不小於 BH 型鋼深度一半之加勁板或不配置加勁板。當腹板兩側有配置加勁板時，BH 型鋼組合銲道可採滿足發揮腹板全板剪力強度之銲道即可，但加勁板與翼板之接合則須採滿足發揮加勁板全板拉力強度之銲道，且加勁板之厚度應配合加勁板與翼板之有效接合寬度進行檢討，使加勁板具有足夠之強度可傳遞翼板所承受之面外集中載重，有效接合寬度之計算同前述。當腹板兩側無加勁板時，為確保集中載重可傳遞至 BH 型鋼之腹板，此時除應依規範檢核翼板局

部彎曲、腹板局部降伏、腹板壓皺及腹板側向挫屈強度等外，且組合鉚道之剪力強度應足以發揮腹板全板剪力強度，而該組合鉚道之拉力強度應足以承受因翼板面外載重產生之拉力。

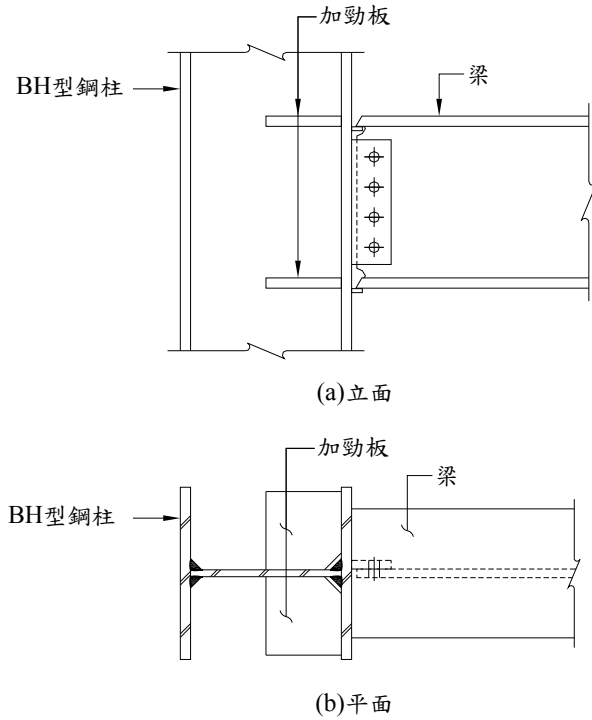


圖 6 梁與 BH 型鋼柱接合示意圖

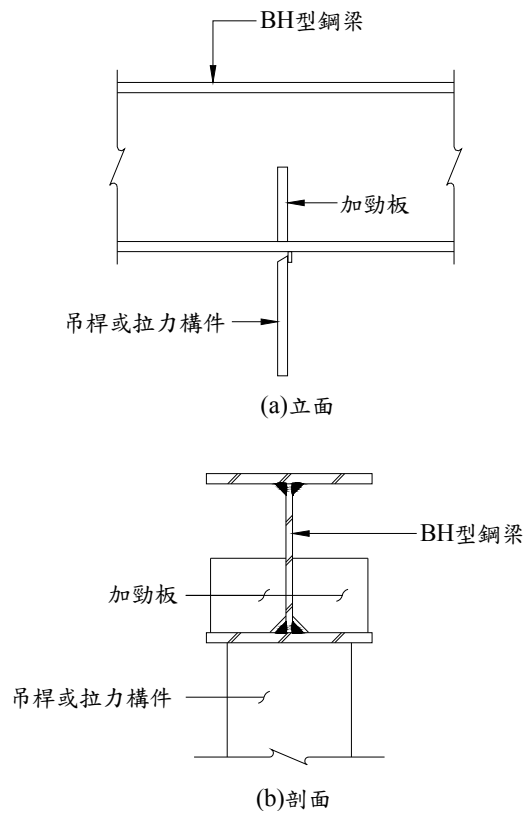


圖 7 吊桿及拉力構件與 BH 型鋼梁接合示意圖

3. BH 型鋼用於天車道梁之情況

一般常見之天車有單軌及雙軌天車。

使用於雙軌天車之天車道梁，如圖 8 所示，常因天車軌道載重對腹板之偏心以及天車行駛時產生之側向衝擊載重，造成 BH 型鋼組合鋁道承受垂直於鋁軸之拉應力。若組合鋁道未採用全滲透鋁道，則腹板與翼板間之縫隙有如一道初始裂縫，將大幅降低鋁道之抗疲勞能力。為避免組合鋁道產生高週次疲勞破壞，腹板與上翼板間之組合鋁道應採用全滲透鋁道。

使用於單軌天車之天車道梁，如圖 9 所示，通常採用熱軋 I 型鋼。若有特殊情況採用 BH 型鋼時，因其腹板與下翼板間之組合鋁道會承受垂直於鋁軸之拉應力，若該組合鋁道未採用全滲透鋁道，則腹板與下翼板間之縫隙有如一道初始裂縫，將大幅降低鋁道之抗疲勞能力。為避免組合鋁道產生高週次疲勞破壞，腹板與下翼板間之組合鋁道應採用全滲透鋁道。

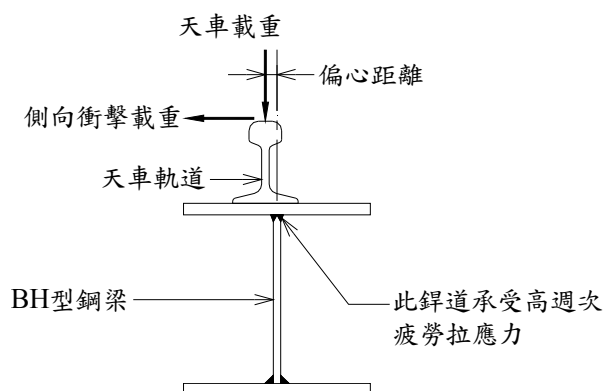


圖 8 BH 型鋼使用於雙軌天車道梁示意圖

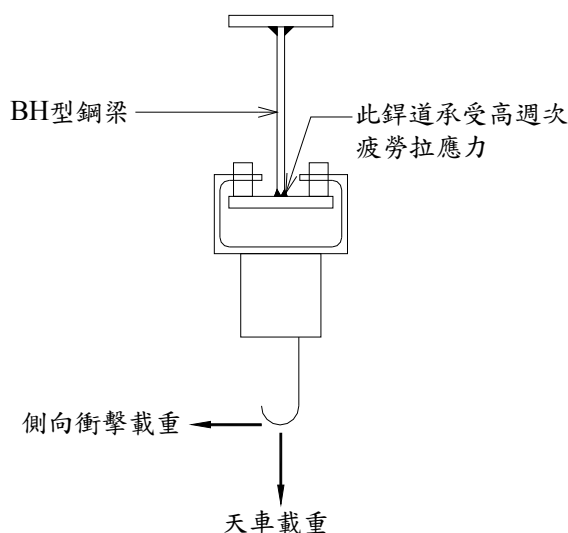


圖 9 BH 型鋼使用於單軌天車道梁示意圖

4. BH 型鋼用於偏心斜撐構架連桿梁之情況

於設計地震力作用下，偏心斜撐構架之連桿梁預期會發生剪力降伏、撓曲降伏或兩者同時發生。為確保連桿梁之塑性變形能力，梁腹板與翼板間之組合銲道，於連桿梁段及斜撐接合段應使用全滲透銲道，如圖 10 所示。

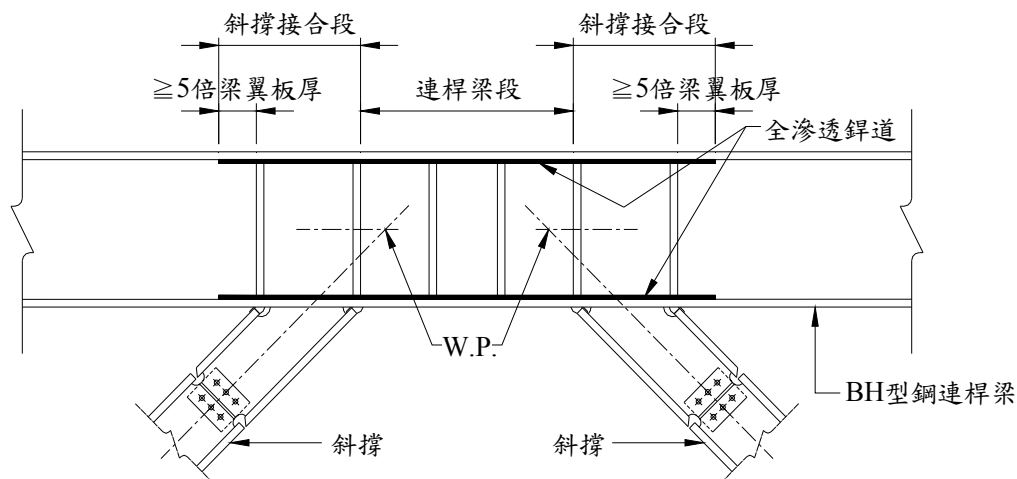


圖 10 BH 型鋼連桿梁須採全滲透銲道範圍示意圖

5. BH 斷面於梁柱接頭塑性鉸區之組合銲道要求

AISC 358-16 要求 BH 型鋼梁腹板與翼板間之組合銲道，於柱面至塑性鉸區外一倍梁深間之範圍應採用全滲透銲道，如圖 11 所示，以確保梁塑性鉸區於翼板發生局部挫屈時，翼板與腹板間能維持其連續性。但是全滲透銲道施作通常需要背剷，這將增加塑性鉸區梁翼板額外之入熱量及銲接變形，不利於塑性鉸區塑性轉角容量之發展。上述範圍之組合銲道如採用具最小根面之部份滲透開槽外加填角補強銲道，而銲道尺寸以發揮腹板全拉力強度進行設計，除可確保梁塑性鉸區於翼板發生局部挫屈時，翼板與腹板間能維持其連續性，又可避免塑性鉸區因額外之入熱量及銲接變形影響其塑性轉角容量之發展。綜合上述，BH 斷面於梁塑性鉸區採用具最小根面之部份滲透開槽外加填角補強銲道，在梁柱接頭發展出足夠之韌性前應不致產生銲道破壞，故如圖 2 所示之大梁及圖 4 所示之耐震間柱等會產生塑性鉸的構件，於接合面至塑性鉸區外一倍構材深度之範圍至少應採用具最小根面之部份滲透開槽外加填角補強銲道，且此銲道應足以發揮腹板全拉力強度。前述範圍除採具最小根面之部份滲透開槽外加填角補強銲道外，若經試驗證明其他銲道型式、銲接細部及梁柱接頭型式之組合，能發揮所需之塑性轉角容量時，則該組合亦可使用。

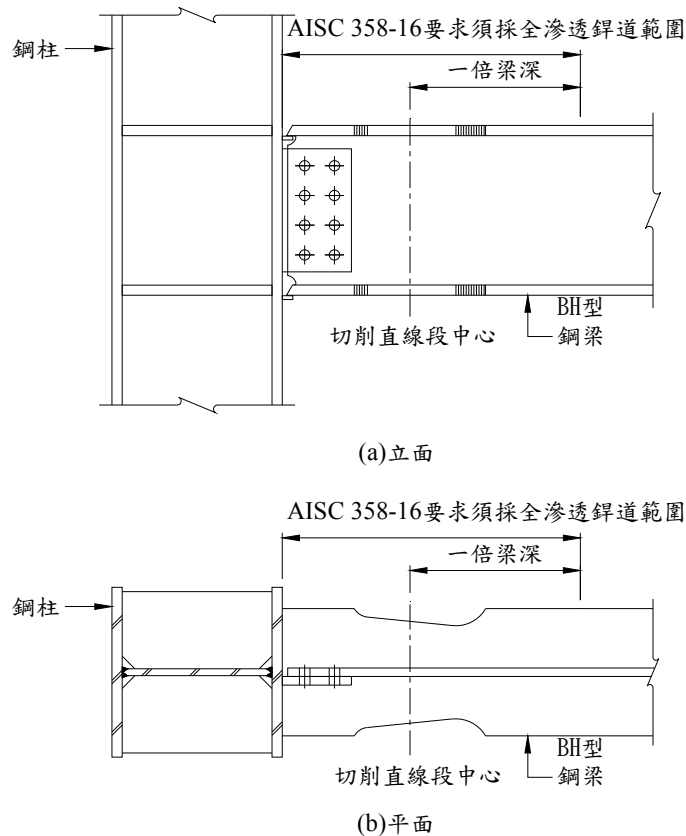


圖 11 AISC 對於 BH 斷面組合釐道在塑性鉸區之要求

6. BH 斷面於梁柱接頭鄰近扇形孔處之組合釐道要求

圖 2 所示之大梁及圖 4 所示之耐震間柱，在梁柱接頭處該 BH 斷面之翼板常於工地採釐接方式進行接合，此時該 BH 斷面之腹板需設置扇形孔(weld access hole)以利釐接施工連續完整。有關扇形孔之形狀與施作方式，可參考本協會第 002 號之技術備忘錄「H 梁扇形孔細部設計」。由於 BH 斷面扇形孔的幾何形狀、平順度與施工方式對於梁柱接頭韌性之發展有很大影響，以下針對三種不同扇形孔之施作方式及順序說明鄰近扇形孔處之 BH 斷面組合釐道要求，並彙整於表 1。

(1) 自動銑刀加工

BH 斷面之扇形孔如於釐接組合完成後採自動銑刀設備施作，除了幾何形狀的準確度較高之外，其切割面的平順度亦甚高，故此作法為目前最佳的加工方式。採用自動銑刀方式施作扇形孔時，因扇形孔切割面的平順度較佳，且較無不利於梁柱接頭塑性轉角容量發展之因素，因此若經接頭試驗證明塑性鉸區可使用除具最小根面之部份滲透開槽外加填角補強釐道外之其他釐道型式，則該釐道型式亦可使用於鄰近扇形孔處。

(2) 先組銲後火焰切割

當 BH 型鋼梁尺寸超過自動銲刀設備可施作之範圍，BH 型鋼梁之扇形孔可於銲接組合完成後採火焰切割方式施作。當 BH 型鋼梁腹板與翼板間之組合銲道採填角銲道或部分滲透開槽外加填角補強銲道施作時，焰切過程中之高溫會將如圖 12 所示之局部腹板熔蝕，將造成扇形孔幾何形狀之不平順，後續即便採銲道修補，仍難以排除此缺陷，且易造成銲道與主要應力方向垂直，將更容易引致裂縫之發展。故扇形孔如採先組銲後火焰切割方式施作，鄰近扇形孔處腹板與翼板間之組合銲道，建議應採最小根面部份滲透開槽外加填角補強銲道施作，如圖 3 所示，將腹板與翼板間縫隙儘可能填滿，以避免上述局部腹板熔蝕現象之發生。縱使經接頭試驗證明塑性鉸區可使用除具最小根面之部份滲透開槽外加填角補強銲道外之其他銲道型式，鄰近扇形孔處仍須採最小根面部份滲透開槽外加填角補強銲道施作，其範圍建議至少為扇形孔根部向內 100mm 之範圍，如圖 13 所示，通常自鋼梁端部向內 150mm 之範圍即可滿足需求。

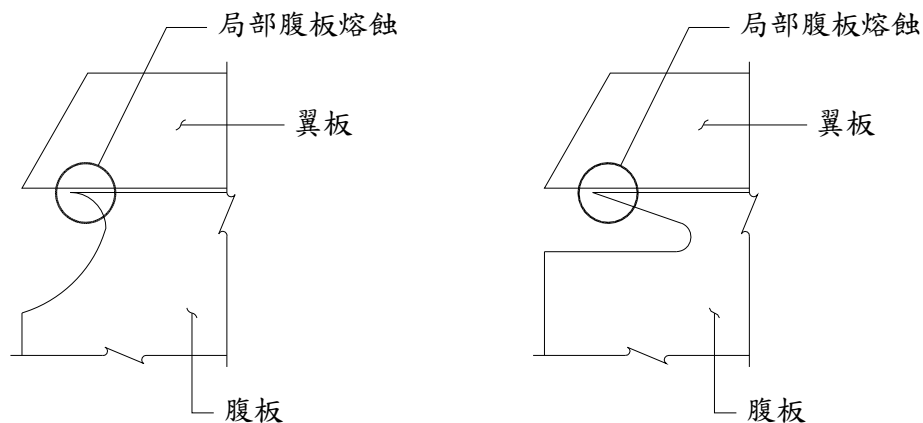


圖 12 採火焰切割施作扇形孔時局部腹板熔蝕示意圖

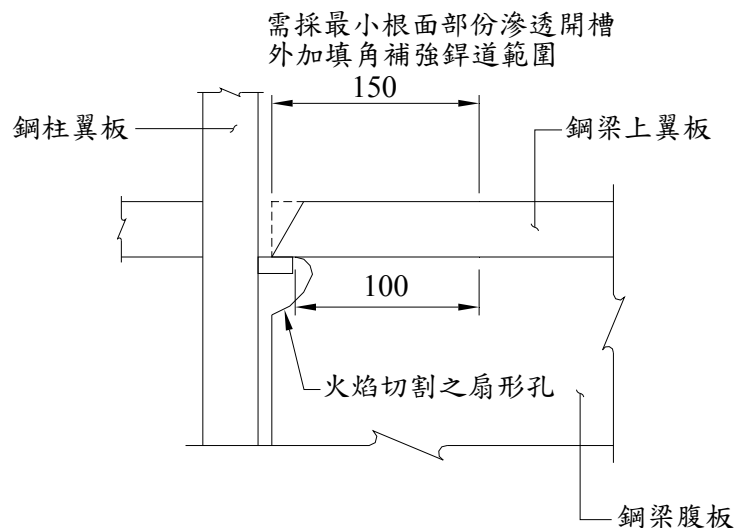


圖 13 採火焰切割施作扇形孔時最小根面部份滲透開槽銲道範圍示意圖

(3)先火焰切割後組銲

BH 型鋼梁之扇形孔如於銲接組合完成前，先採 NC 設備於腹板進行切割，切割完成後再進行銲接組合，則於施作組合銲道過程中會將局部腹板熔蝕(如圖 12 所示)，將造成扇形孔幾何形狀之不平順，後續即便採銲道修補，仍難以排除缺陷，且易造成銲道與主要應力方向垂直，將更容易引致裂縫之發展，故應避免採此方式施作扇形孔。

表 1 鄰近扇型孔處之組合銲道要求

扇型孔施作方式	扇型孔幾何形狀	鄰近扇型孔處之組合銲道要求	備註
自動銑刀加工 (優先採用)	弧形耐震扇型孔	最小根面部份滲透開槽外加填角補強銲道	
		填角銲道或部分滲透開槽外加填角補強銲道	須經接頭試驗驗證
先組銲後火焰切割 (自動銑刀加工設備無法施作時採用)	弧形耐震扇型孔 AWS 耐震扇型孔	最小根面部份滲透開槽外加填角補強銲道	
先火焰切割後組銲	不建議採用		

參考文獻：

- [1] Design Guide 21 : Welded Connections - A Primer for Engineers, AISC, June 2006.
- [2] The Procedure Handbook of Arc Welding, 12th Edition, Lincoln Electric Company, June 1973.

附錄 A T形接合銲道尺寸計算-腹板發揮全剪力強度

以下計算以單位長度為之，並假設翼板與腹板採相同材質。
取腹板設計剪力強度 ϕV_n 為銲道設計力：

$$\phi V_n = 0.9 \times 0.6 \times F_y \times t_w$$

A.1 採填角銲道

銲道尺寸如圖 A1 所示，腳長尺寸為 S_2 。

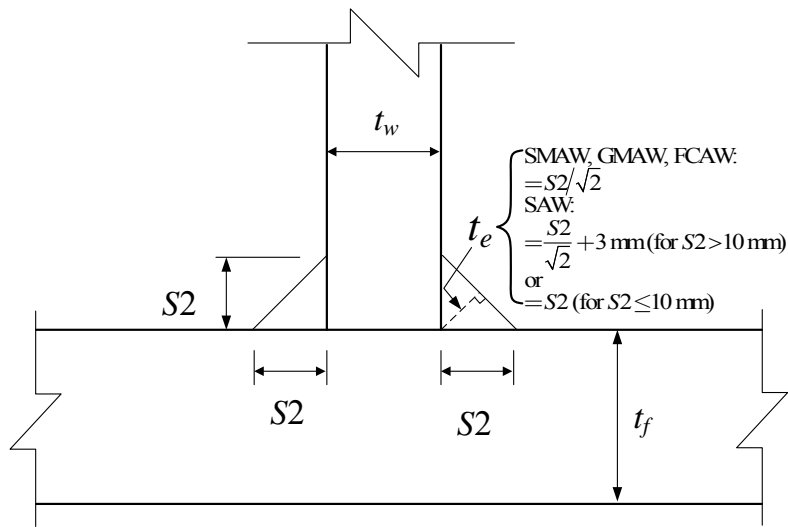


圖 A1 雙邊填角銲道接合示意圖

- (a) 極限狀態為銲道有效銲喉破壞

銲道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 0.6 \times F_{EXX} \times S_{2_a} \times \cos 45^\circ$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } S_{2_a} = 0.849 \frac{F_y t_w}{F_{EXX}}$$

採用 AWS E70XX 銲條時，所需 $S_{2_a} = 0.173 F_y t_w$

採用 AWS E80XX 銲條時，所需 $S_{2_a} = 0.152 F_y t_w$

- (b) 極限狀態為銲道與母材交界面破壞

銲道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 0.6 \times F_u \times S_{2_b}$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } S2_b = 0.6 \frac{F_y t_w}{F_u}$$

所需鐸道尺寸 $S2 = \max(S2_a, S2_b)$

依據鋼結構設計規範，若使用潛弧鐸接（SAW），鐸道尺寸等於或小於 10mm 時以鐸道尺寸為其有效鐸喉；大於 10mm 時有效鐸喉可以取理論鐸喉厚加 3mm。各種不同母材及鐸條之組合下，使用 SMAW、GMAW 及 FCAW 鐸接方法時所需鐸道尺寸如表 A1 所示，使用 SAW 鐸接方法時所需鐸道尺寸如表 A2 所示。

表A1			
SMAW,GMAW,FCAW腹板發揮全剪力強度時所需填角鐸道尺寸 S2 (mm)			
腹板 厚度 t_w	母材與鐸條強度之組合		
	母材 $F_y=2.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.1 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E70系列	母材 $F_y=3.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.6 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E70系列	母材 $F_y=4.7 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=5.8 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E80系列
6	3	4	5
8	5	5	6
10	5	7	8
12	6	8	9
14	7	9	10
16	7	10	12
18	8	11	13
20	9	13	15
22	10	14	16
25	11	16	18
28	13	18	20

備註： 1. 本表僅適用於使用低氫系鐸條之條件。
2. 須依據翼板厚度決定鐸接時之預熱及道間溫度。

表A2 SAW腹板發揮全剪力強度時所需填角鐸道尺寸S2 (mm)			
腹板 厚度 t_w	母材與鐸材強度之組合		
	母材 $F_y=2.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.1 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E70系列	母材 $F_y=3.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.6 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E70系列	母材 $F_y=4.7 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=5.8 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E80系列
6	3	3	4
8	5	5	5
10	5	5	6
12	5	6	7
14	6	7	8
16	6	8	9
18	7	9	10
20	8	10	11
22	9	11	12
25	10	12	14
28	11	13	16

備註： 1. 本表僅適用於使用低氫系鐸條之條件。
2. 須依據翼板厚度決定鐸接時之預熱及道間溫度。

A.2 採開槽半滲透鐸接

鐸道形狀及尺寸詳圖 A2。使用 GMAW 或 FCAW 選用開槽角度 45° (鐸接姿勢採平鐸或水平鐸)，使用 SAW 選用開槽角度 60° (鐸接姿勢採平鐸)，有效喉厚均不須減 3mm，詳 AWS D1.1 預檢定接頭編號 BTC-P5-GF 及 TC-P5-S。

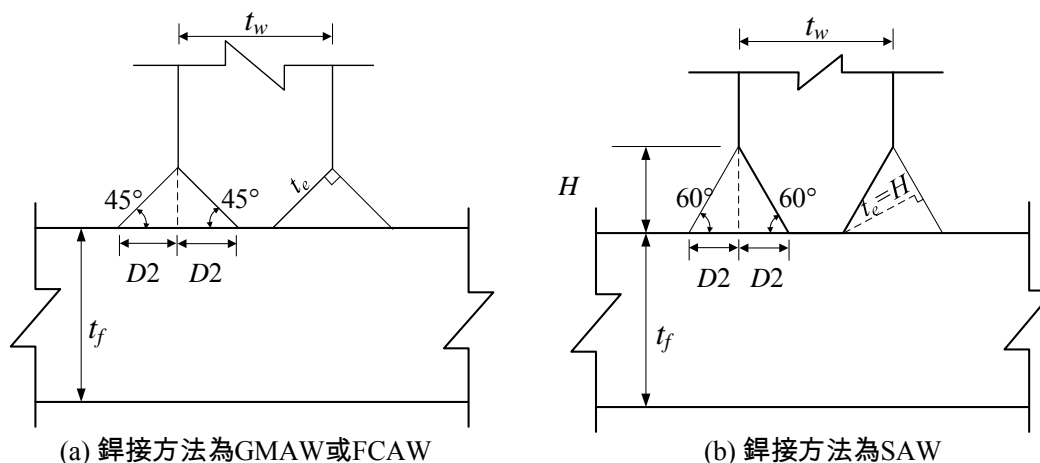


圖 A2 開槽半滲透外加填角銲道示意圖

當銲接方法為 GMAW 或 FCAW 時

(a) 極限狀態為銲道有效銲喉破壞

銲道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 0.6 \times F_{EXX} \times \sqrt{2} \times D2_a$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } D2_a = 0.424 \frac{F_y t_w}{F_{EXX}}$$

採用 AWS E70XX 銲條時，所需 $D2_a = 0.0865 F_y t_w$

採用 $F_{EXX} \geq 5.9 \text{ tf/cm}^2$ 之 AWS E80XX 銲條時，所需 $D2_a = 0.0719 F_y t_w$

(b) 極限狀態為銲道與母材交界面破壞（腹板與銲道接觸之母材小於翼板，故腹板控制）

銲道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 0.6 \times F_u \times \sqrt{2} \times D2_b$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } D2_b = 0.424 \frac{F_y t_w}{F_u}$$

所需開槽深度 $D2 = \max(D2_a, D2_b)$

各種不同母材及銲條之組合下所需開槽深度如表 A3 所示。

表A3 GMAW,FCAW腹板發揮全剪力強度時，所需部分滲透開槽鐳外加填角補強尺寸 $D2(\text{mm})$			
腹板 厚度 t_w	母材與鐳條強度之組合		
	母材 $F_y=2.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.1 \text{ tf/cm}^2$ 鐳條AWS E70系列	母材 $F_y=3.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.6 \text{ tf/cm}^2$ 鐳條AWS E70系列	母材 $F_y=4.7 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=5.8 \text{ tf/cm}^2$ 鐳條 $F_{EXX} = 5.9 \text{ tf/cm}^2$
	$D2$	$D2$	$D2$
18	5	6	7
20	6	7	7
22	6	8	8
25	7	9	9
28	8	10	10
32	9	11	11
36	10	12	13
40	11	13	14
45	12	15	16
50	13	17	18

備註： 1. 本表僅適用於使用低氫系鐳條之條件。
2. 須依據翼板厚度決定鐳接時之預熱及道間溫度。
3. 開槽角度為45°。

當鐳接方法為 SAW 時

(a) 極限狀態為鐳道有效鐳喉破壞

鐳道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 0.6 \times F_{EXX} \times \sqrt{3} \times D2_a$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } D2_a = 0.346 \frac{F_y t_w}{F_{EXX}}$$

採用 AWS E70XX 鐳條時，所需 $D2_a = 0.0707 F_y t_w$

採用 $F_{EXX} \geq 5.9 \text{ tf/cm}^2$ 之 AWS E80XX 銲條時，所需 $D2_a = 0.0587 F_y t_w$

(b) 極限狀態為銲道與母材交界面破壞（腹板與銲道接觸之母材同翼板）
銲道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 0.6 \times F_u \times 2 \times D2_b$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } D2_b = 0.300 \frac{F_y t_w}{F_u}$$

$$\text{所需開槽深度 } D2 = \max(D2_a, D2_b)$$

各種不同母材及銲條之組合下所需開槽深度如表 A4 所示。

表A4			
SAW腹板發揮全剪力強度時，所需部分滲透開槽銲外加填角補強尺寸 $D2$ (mm)			
腹板 厚度 t_w	母材與銲條強度之組合		
	母材 $F_y=2.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.1 \text{ tf/cm}^2$ 銲條AWS E70系列	母材 $F_y=3.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.6 \text{ tf/cm}^2$ 銲條AWS E70系列	母材 $F_y=4.7 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=5.8 \text{ tf/cm}^2$ 銲條 $F_{EXX} = 5.9 \text{ tf/cm}^2$
	$D2$	$D2$	$D2$
18	4	5	5
20	5	5	6
22	5	6	7
25	5	7	7
28	6	7	8
32	6	8	9
36	7	9	10
40	8	10	12
45	9	12	13
50	10	13	14

備註： 1. 本表僅適用於使用低氫系銲條之條件。
2. 須依據翼板厚度決定銲接時之預熱及道間溫度。
3. 開槽角度為 60° 。

附錄 B T形接合銲道尺寸計算-腹板發揮全拉力強度

以下計算以單位長度為之，並假設翼板與腹板採相同材質。
取腹板設計拉力強度 ϕT_n 為銲道設計力：

$$\phi T_n = 0.9 \times F_y \times t_w$$

B.1 採填角銲道

銲道尺寸如圖 B1 所示，腳長尺寸為 S1。

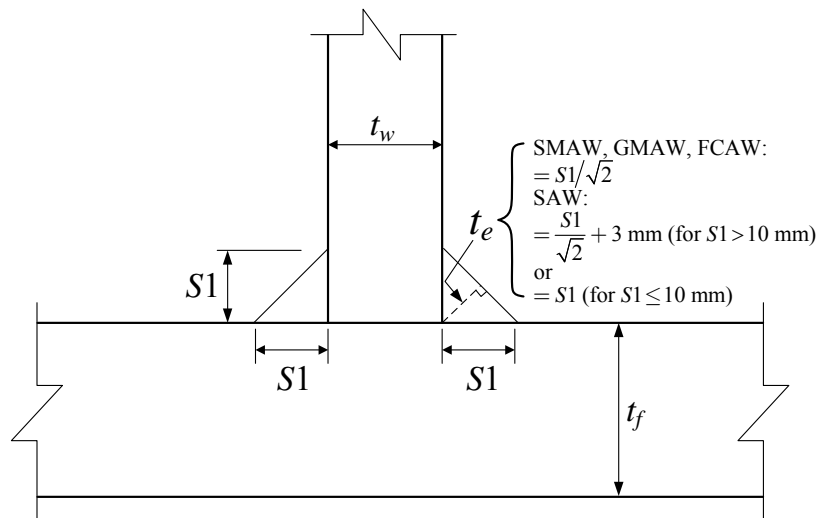


圖 B1 雙邊填角銲道接合示意圖

- (a) 極限狀態為銲道有效銲喉破壞

銲道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 0.6 \times F_{EXX} \times S1_a \times \cos 45^\circ$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } S1_a = 1.414 \frac{F_y t_w}{F_{EXX}}$$

採用 AWS E70XX 銲條時，所需 $S1_a = 0.289 F_y t_w$

採用 AWS E80XX 銲條時，所需 $S1_a = 0.253 F_y t_w$

- (b) 極限狀態為銲道與母材交界面破壞

銲道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 0.6 \times F_u \times S1_b$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

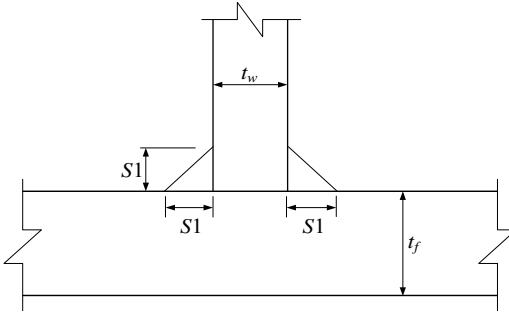
$$\text{求得 } S1_b = \frac{F_y t_w}{F_u}$$

所需鐸道尺寸 $S1 = \max(S1_a, S1_b)$

依據鋼結構設計規範，若使用潛弧鐸接 (SAW)，鐸道尺寸等於或小於 10mm 時以鐸道尺寸為其有效鐸喉；大於 10mm 時有效喉厚可以取理論喉厚加 3mm。各種不同母材及鐸條之組合下，使用 SMAW、GMAW 及 FCAW 鐸接方法時所需鐸道尺寸如表 B1 所示，使用 SAW 鐸接方法時所需鐸道尺寸如表 B2 所示。

表B1			
SMAW,GMAW,FCAW腹板發揮全拉力強度時所需填角鐸道尺寸S1 (mm)			
腹板厚度 t_w	母材與鐸條強度之組合		
	母材 $F_y=2.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.1 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E70系列	母材 $F_y=3.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.6 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E70系列	母材 $F_y=4.7 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=5.8 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E80系列
6	5	7	8
8	6	9	10
10	8	11	12
12	9	13	15
14	11	15	17
16	12	17	20
18	14	19	22
20	15	21	24
22	17	23	27
25	19	26	30
28	21	29	34

備註： 1. 本表僅適用於使用低氫系鐸條之條件。
2. 須依據翼板厚度決定鐸接時之預熱及道間溫度。



表B2 SAW腹板發揮全拉力強度時所需填角鐸道尺寸 S1 (mm)			
腹板 厚度 t_w	母材與鐸條強度之組合		
	母材 $F_y=2.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.1 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E70系列	母材 $F_y=3.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.6 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E70系列	母材 $F_y=4.7 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=5.8 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E80系列
6	4	5	6
8	5	7	7
10	7	8	9
12	8	10	11
14	9	11	13
16	10	13	15
18	11	14	18
20	13	16	20
22	14	18	22
25	16	22	26
28	18	25	29

備註： 1. 本表僅適用於使用低氫系鐸條之條件。
2. 須依據翼板厚度決定鐸接時之預熱及道間溫度。

B.2 採部分滲透開槽鐸外加填角補強鐸道型式一

鐸道形狀及尺寸詳圖 B2。使用 GMAW 或 FCAW 選用開槽角度 45° (鐸接姿勢採平鐸或水平鐸)，使用 SAW 選用開槽角度 60° (鐸接姿勢採平鐸)，有效喉厚均不須減 3mm，詳 AWS D1.1 預檢定接頭編號 BTC-P5-GF 及 TC-P5-S。

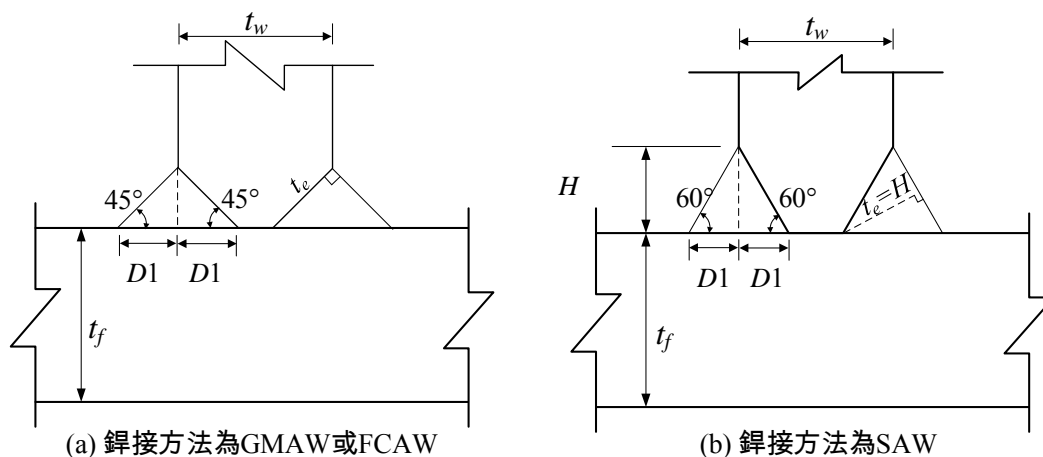


圖 B2 部分滲透開槽銲外加填角補強銲道型式一

當銲接方法為 GMAW 或 FCAW 時

(a) 極限狀態為銲道有效銲喉破壞

銲道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.8 \times 0.6 \times F_{EXX} \times \sqrt{2} \times D1_a$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } D1_a = 0.663 \frac{F_y t_w}{F_{EXX}}$$

採用 AWS E70XX 銲條時，所需 $D1_a = 0.135 F_y t_w$

採用 $F_{EXX} \geq 5.9 \text{ tf/cm}^2$ 之 AWS E80XX 銲條時，所需 $D1_a = 0.112 F_y t_w$

(b) 極限狀態為腹板母材開槽面與銲道交界面破壞

開槽面母材剪力撕裂強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 0.6 \times F_u \times \sqrt{2} \times D1_b$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } D1_b = 0.707 \frac{F_y t_w}{F_u}$$

(c) 極限狀態為翼板母材開槽面與銲道交界面破壞

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times F_u \times 2D1_c$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$D1_c = 0.3 \frac{F_y t_w}{F_u}$$

綜合(a)、(b)、(c) $D1 = \max(D1_a, D1_b, D1_c)$

各種不同母材及銲條之組合下所需開槽深度如表 B3 所示。

表B3 GMAW, FCAW腹板發揮全拉力強度時，所需部分滲透開槽鐸外加填角補強尺寸 $D1(mm)$			
腹板 厚度 t_w	母材與鐸條強度之組合		
	母材 $F_y=2.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.1 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E70系列	母材 $F_y=3.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.6 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條AWS E70系列	母材 $F_y=4.7 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=5.8 \text{ tf/cm}^2$ 鐸條 $F_{EXX} = 5.9 \text{ tf/cm}^2$
	$D1$	$D1$	$D1$
18	詳備註5	詳備註5	詳備註5
20	詳備註5	詳備註5	詳備註5
22	9.5	詳備註5	詳備註5
25	11.0	詳備註5	詳備註5
28	12.5	詳備註5	詳備註5
32	14.0	詳備註5	詳備註5
36	16.0	詳備註5	詳備註5
40	17.5	詳備註5	詳備註5
45	19.5	詳備註5	詳備註5
50	22.0	詳備註5	詳備註5

備註： 1. 本表僅適用於使用低氫系鐸條之條件。
2. 須依據翼板厚度決定鐸接時之預熱及道間溫度。
3. 開槽角度為 45° ， $D1$ 之定義圖例。
4. 本表不適用者可採用圖B3之作法。
5. 此種型式最小根面不符合AWS之規定。

當鐸接方法為 SAW 時

(a) 極限狀態為鐸道有效鐸喉破壞

鐸道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.8 \times 0.6 \times F_{EXX} \times \sqrt{3} \times D1_a$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } D1_a = 0.541 \frac{F_y t_w}{F_{EXX}}$$

採用 AWS E70XX 銲條時，所需 $D1_a = 0.110 F_y t_w$

採用 $F_{EXX} \geq 5.9 \text{ tf/cm}^2$ 之 AWS E80XX 銲條時，所需 $D1_a = 0.0917 F_y t_w$

(b) 極限狀態為腹板母材開槽面與銲道交界面破壞

開槽面母材剪力撕裂強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 0.6 \times F_u \times 2 \times D1_b$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } D1_b = 0.500 \frac{F_y t_w}{F_u}$$

(c) 極限狀態為翼板母材開槽面與銲道交界面破壞

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times F_u \times 2 D1_c$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$D1_c = 0.3 \frac{F_y t_w}{F_u}$$

$$\text{綜合(a)、(b)、(c) } D1 = \max(D1_a, D1_b, D1_c)$$

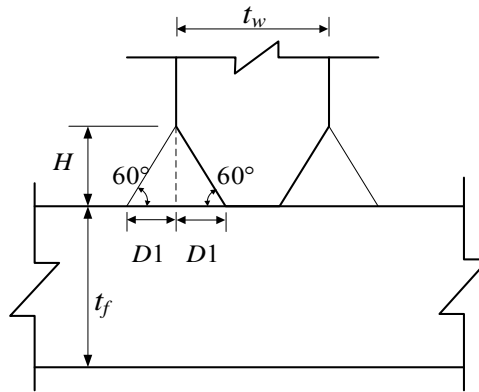
各種不同母材及銲條之組合下所需開槽深度如表 B4 所示。

表B4

SAW腹板發全拉力強度時，所需部分滲透開槽銲外加填角補強尺寸D1(mm)

腹板厚度 t_w	母材與銲條強度之組合		
	母材 $F_y=2.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.1 \text{ tf/cm}^2$ 銲條AWS E70系列	母材 $F_y=3.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.6 \text{ tf/cm}^2$ 銲條AWS E70系列	母材 $F_y=4.7 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=5.8 \text{ tf/cm}^2$ 銲條 $F_{EXX} = 5.9 \text{ tf/cm}^2$
	D1	D1	D1
18	5.5	詳備註5	詳備註5
20	6.5	詳備註5	詳備註5
22	7.0	詳備註5	詳備註5
25	8.0	詳備註5	詳備註5
28	9.0	11.0	詳備註5
32	10.0	12.5	詳備註5
36	11.0	14.0	詳備註5
40	12.5	15.5	詳備註5
45	14.0	17.5	19.5
50	15.5	19.5	22.0

- 備註：
1. 本表僅適用於使用低氫系銲條之條件。
 2. 須依據翼板厚度決定銲接時之預熱及道間溫度。
 3. 開槽角度為 60° ，D1之定義詳圖例。
 4. 本表不適用者可採用圖3之作法。
 5. 此種型式最小根面不符合AWS之規定。



B.3 採部分滲透開槽銲外加填角補強銲道型式二

當採圖 B2 的形式時，因依據強度需求來開槽無法滿足最小根面之要求時，可以改採圖 B3 的形式來設計銲道，圖 B3 是直接開槽至規範規定之最小根面，GMAW 及 FCAW 時，最小根面為 3mm；SAW 時最小根面為 6mm。

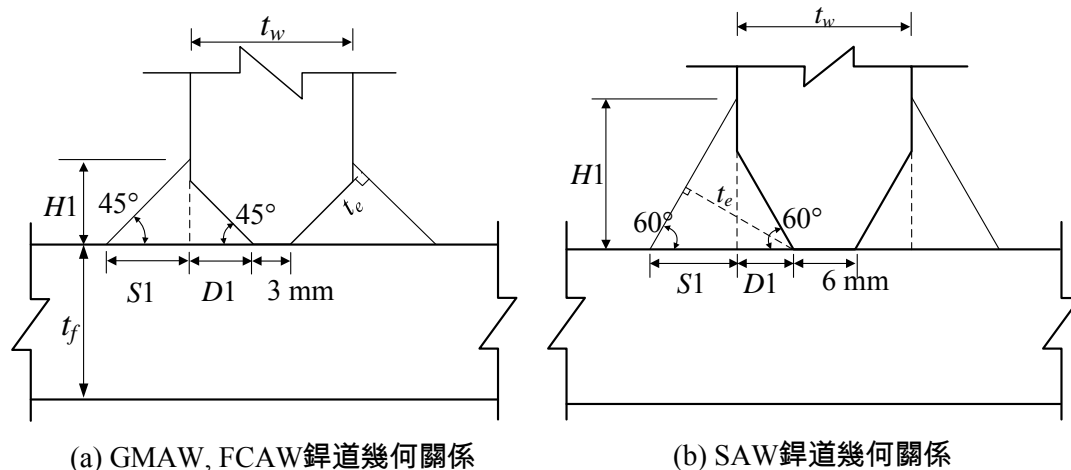


圖 B3 填角補強尺寸與開槽深度不相等($D1 \neq S1$)

當銲接方法為 GMAW 或 FCAW 時

- (a) 極限狀態為銲道有效銲喉破壞

銲道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.8 \times 0.6 \times F_{EXX} \times t_e$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } t_e = 0.938 \frac{F_y t_w}{F_{EXX}}$$

由幾何關係可求得補強填角之尺寸 $S1$

當 $t_e \leq \sqrt{2}D1$ 時

$$S1_a = \sqrt{t_e^2 - D1^2}$$

當 $t_e > \sqrt{2}D1$ 時

$$S1_a = \sqrt{2}t_e - D1$$

- (b) 極限狀態為銲道與腹板母材交界面破壞

開槽面母材剪力撕裂強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 0.6 \times F_u \times \ell$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

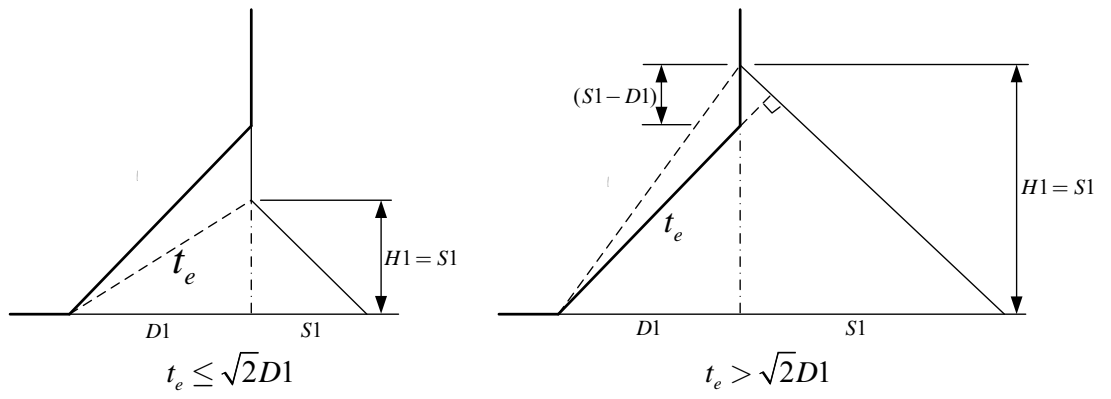
$$\text{求得 } \ell = 1.0 \frac{F_y t_w}{F_u}$$

當 $\ell \leq \sqrt{2}D1$ 時

$$S1_b = 0$$

當 $\ell > \sqrt{2}D1$ 時

$$S1_b = \sqrt{\ell^2 - D1^2}$$



(c) 極限狀態為翼板母材開槽面與銲道交界面破壞

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times F_u \times (D1 + S1_c)$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$S1_c = 0.6 \frac{F_y t_w}{F_u} - D1$$

綜合(a)、(b)、(c) 所需加強填角尺寸 $S1 = \max(S1_a, S1_b, S1_c)$

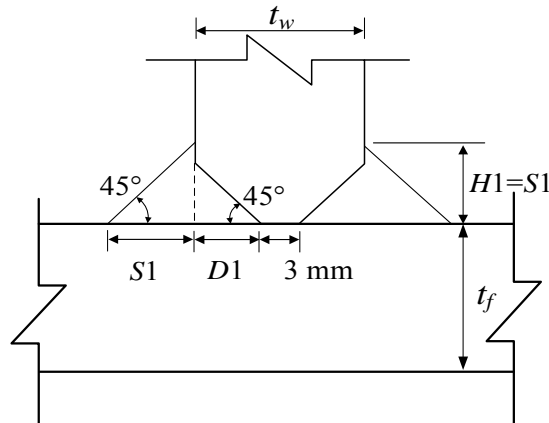
各種不同母材及銲條之組合下所需開槽深度如表 B5 所示。

表B5

GMAW,FCAW腹板發揮全拉力強度時所需部分滲透開槽銲外加填角補強所需尺寸
D,S (mm)

腹板厚度 t_w	母材與銲條強度之組合					
	母材 $F_y=2.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.1 \text{ tf/cm}^2$ 銲條AWS E70系列		母材 $F_y=3.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.6 \text{ tf/cm}^2$ 銲條AWS E70系列		母材 $F_y=4.7 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=5.8 \text{ tf/cm}^2$ 銲條 $F_E = 5.9 \text{ tf/cm}^2$	
	D1	S1	D1	S1	D1	S1
18	7.5	8.0	7.5	11.0	7.5	12.0
20	8.5	9.0	8.5	12.0	8.5	13.0
22	9.5	5.0	9.5	13.0	9.5	14.0
25	11.0	5.0	11.0	14.5	11.0	16.0
28	12.5	5.0	12.5	16.5	12.5	18.0
30	13.5	5.0	13.5	17.5	13.5	19.0
32	14.5	5.0	14.5	18.5	14.5	20.0
36	16.5	5.0	16.5	21.0	16.5	22.5
40	18.5	5.0	18.5	23.0	18.5	25.0
45	21.0	5.0	21.0	26.0	21.0	28.0
50	23.5	5.0	23.5	28.5	23.5	31.0

- 備註：
1. 本表僅適用於使用低氫系銲條之條件。
 2. 須依據翼板厚度決定銲接時之預熱及道間溫度。
 3. 開槽角度為 45° ，D1,S1之定義詳圖例。
 4. 與表B3擇一使用。



當銲接方法為 SAW 時

(a) 極限狀態為銲道有效銲喉破壞

銲道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.8 \times 0.6 \times F_{EXX} \times t_e$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } t_e = 0.938 \frac{F_y t_w}{F_{EXX}}$$

由幾何關係可求得補強填角之尺寸 $S1$

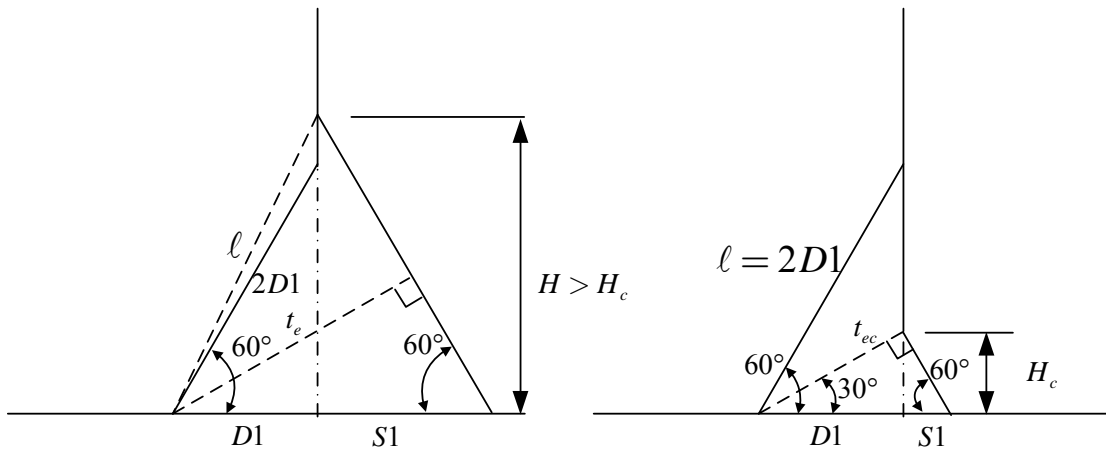
當 $t_e \leq t_{ec}$ 時

$$S1_a = \sqrt{\frac{t_e^2 - D1^2}{3}}$$

當 $t_e > t_{ec}$ 時

$$S1_a = \frac{2}{\sqrt{3}} t_e - D1$$

其中 $t_{ec} = 2H_c = \frac{2}{\sqrt{3}} D1$ 為一臨界有效喉厚，如下圖所示。



(b) 極限狀態為銲道與母材交界面破壞

銲道設計強度：

$$\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 0.6 \times F_u \times \ell$$

$$\text{令 } \phi V_n = \phi R_n$$

$$\text{求得 } \ell = 1.0 \frac{F_y t_w}{F_u}$$

當 $\ell \leq 2D1$ 時

$$S1_b = 0$$

當 $\ell > 2D1$ 時

$$S1_b = \frac{\sqrt{\ell^2 - D1^2}}{\sqrt{3}}$$

所需加強填角尺寸 $S1 = \max(S1_a, S1_b)$

各種不同母材及銲條之組合下所需開槽深度如表 B6 所示。

表B6

SAW腹板發揮全拉力強度時所需部分滲透開槽銲外加填角補強所需尺寸 D, S, H
(mm)

腹板 厚度 t_w	母材與銲條強度之組合								
	母材 $F_y=2.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.1 \text{ tf/cm}^2$ 銲條AWS E70系列			母材 $F_y=3.5 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=4.6 \text{ tf/cm}^2$ 銲條AWS E70系列			母材 $F_y=4.7 \text{ tf/cm}^2$ 母材 $F_u=5.8 \text{ tf/cm}^2$ 銲條 $F_E = 5.9 \text{ tf/cm}^2$		
	$D1$	$S1$	$H1$	$D1$	$S1$	$H1$	$D1$	$S1$	$H1$
18	6.0	4.0	7.0	6.0	8.0	14.0	6.0	10.0	17.0
20	7.0	4.5	8.0	7.0	8.5	15.0	7.0	10.5	18.0
22	8.0	4.5	8.0	8.0	9.5	16.0	8.0	11.0	19.5
25	9.5	4.5	8.0	9.5	10.0	17.5	9.5	12.5	21.0
28	11.0	4.5	8.0	11.0	11.0	18.5	11.0	13.5	23.0
32	13.0	5.0	9.0	13.0	12.0	20.5	13.0	15.0	25.5
36	15.0	5.0	9.0	15.0	13.0	22.5	15.0	16.5	28.0
40	17.0	5.5	10.0	17.0	14.0	24.5	17.0	18.0	30.5
45	19.5	5.5	10.0	19.5	15.5	27.0	19.5	19.5	33.5
50	22.0	5.5	10.0	22.0	17.0	29.0	22.0	21.5	37.0

- 備註：
1. 本表僅適用於使用低氫系銲條之條件。
 2. 須依據翼板厚度決定銲接時之預熱及道間溫度。
 3. 開槽角度為 60° ， D, S, H 之定義詳圖例。
 4. 與表B4擇一使用。

