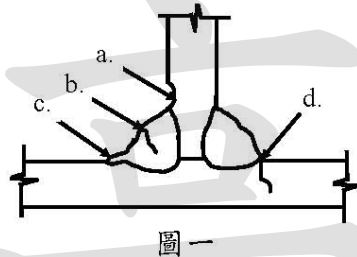


# 《鋼結構設計》

- 一、請說明剛結構銲道檢測常採用之五種非破壞檢測方法，若圖一中填角銲道銲皆發現 a、b、c、d 四種瑕疵，請說明此四種瑕疵之名稱及其對應適合之一種非破壞檢測方式。(25分)



試題評析	五種NDT方式每年上課都有提醒同學要記，果然考出來了！圖片中四種瑕疵對於沒接觸過鋼結構實務考生會比較棘手，但至少能寫出b為裂縫。
考點命中	1. 《國考鋼結構精解》，高點文化出版，程中鼎編著，例題9.6。 2. 《鋼結構設計講義》，程中鼎編著，P7-22~P7-27。

解：

## 1. 鋼結構銲道檢測常採用之五種非破壞檢測方法

### (1) 目視檢驗(Visual Test, VT)

目視檢驗為對銲道外觀形狀及尺寸進行檢查，並同時對銲道周遭的母材表面進行目視檢測。目視檢測是最重要也最基本的銲道檢驗，施工後電銲人員應對銲道進行初步的目視檢測，現今鋼結構工程也會要求監造方進行 100% 目視檢驗。

目視檢驗的項目有填角銲腳長、填角銲喉厚、表面龜裂、銲冠高度、銲蝕、表面氣孔、重疊、弧擊(arc strike)...等。

### (2) 放射性檢驗(Radiographic Test, RT)

以放射線(X光、γ射線、中子射線)照射銲道並在其後設置底片，紀錄銲道及熱影響區的穿透式影像。為非破壞性試驗中最確實、可靠的方法，但放射線會對人體造成危害，檢測人員需進行劑量管制，僅在銲接品質要求很高的工程才會使用。

放射源的能量通過鋼板時會被鋼板吸收，因此對於較厚的鋼板(7 cm 以上)較不適合用 RT。

### (3) 超音波檢驗(Ultrasonic Test, UT)

超音波檢驗是目前最常使用的非破壞性試驗方法，其用途極為廣泛。利用超音波在鋼材中的折射及反射原理探查銲道缺陷。若遇到裂縫或其他缺陷則入射波將反射或折射，透過反射波反射時間及方向可反推缺陷位置，是一個方便且有效的方法。

UT 缺點是其精準度受操作人員的影響很大，必需有合格證照的檢驗人員才可以操作。對於較薄鋼板(8 mm 以下)由於入射波與反射波距離太近，不容易判讀缺陷位置，因此較不宜採用 UT。

(4) 磁粒檢驗(Magnetic Particle Test, MT)

磁粒檢測方法是先將鋼材磁化使鋼材表面產生磁場，接著將鐵粉均勻噴灑在欲檢測之銲道表面，當銲道有裂縫或其他缺陷時鐵粉分佈會有扭曲現象，由此判定鋼材表面或近表面層之缺陷，如表面裂縫、氣孔和夾渣。

(5) 滲透液檢驗(Liquid Penetration Inspection Test, PT)

滲透液檢驗係先以清潔液清潔銲道表面，接著將滲透液塗抹在銲道表面，若表面有裂縫則滲透液會滲入裂縫，等滲透液滲入裂縫後將銲道表面滲透液清除，再噴上顯像液，待顯像液滲入裂縫後，利用毛細現象將裂縫內之染色液帶出裂縫表面，便可以清楚看到裂縫位置。

滲透液試驗只能檢測表面裂縫，對於內部其他缺陷無法檢測。

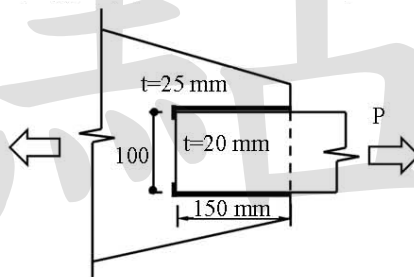
2. 說明a至d四種瑕疵名稱及其對應適合之一種非破壞檢測方式

瑕疵	名稱	適合之一種非破壞檢測方式
a	銲蝕 (Under Cut)	銲蝕為表面缺陷，採用目視檢測(VT)即可判斷。
b	表面裂縫 (Face Crack)	裂縫若為表面則直接採用目視檢測(VT)即可判斷；若表面不易察覺則可採用磁粒檢驗(MT)或滲透液檢驗(PT)進行判斷。
c	重疊 (Overlap)	重疊為表面缺陷，採用目視檢測(VT)即可判斷。
d	銲趾裂縫 (Toe Crack)	銲趾裂縫是發生在母材與銲道交界位置，深度可能已經在較深位置，建議採用超音波檢驗(UT)判斷。

二、圖二所示拉力構材為 SM400 鋼材， $F_y = 2.5 \text{ tf/cm}^2$ ， $F_u = 4.1 \text{ tf/cm}^2$ ， $E = 2040 \text{ tf/cm}^2$ ，板厚分別為  $t = 20 \text{ mm}$  及  $t = 25 \text{ mm}$ ，採用填角銲道疊接，請分別繪製發生拉力斷裂及塊狀剪力破壞之模式，依現行鋼結構極限設計法規範，塊狀剪力破壞拉力強度依式(1)及式(2)計算後擇一，且不大於  $0.6F_u A_{nv} + F_u A_{nt}$ 。請詳細說明式(1)中  $0.6F_y A_{gv}$  之  $0.6F_y$  所代表之意義；又，請詳細說明塊狀剪力破壞式(1)及式(2)擇一且不大於  $0.6F_u A_{nv} + F_u A_{nt}$  之原因。(20分)

$$\phi R_n = \phi(0.6F_y A_{gv} + F_u A_{nt}) \leq \phi(0.6F_u A_{nv} + F_u A_{nt}) \dots\dots\dots(1)$$

$$\phi R_n = \phi(0.6F_u A_{nv} + F_y A_{gt}) \leq \phi(0.6F_u A_{nv} + F_u A_{nt}) \dots\dots\dots(2)$$

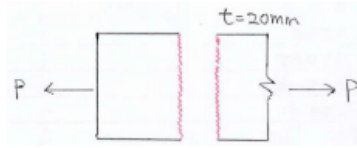


圖二

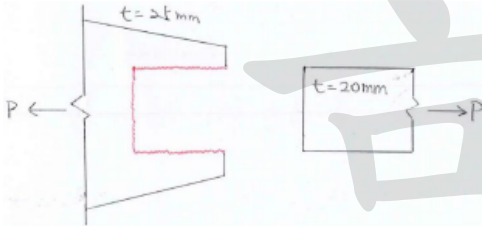
試題評析	畫出破壞模式並不困難屬於送分； $0.6F_y$ 意義就是材料力學破壞理論，上課亦有提過；最後為規範精神，若不熟稔規範較難回答。
考點命中	1. 《鋼結構設計講義》，程中鼎編著，P1-30~P1-31。

解：

## 1.繪製拉力斷裂與塊狀剪力破壞模式



拉力斷裂破壞示意圖



塊狀剪力破壞示意圖

2.詳細說明式(1)中 $0.6F_y A_{gv}$ 之 $0.6F_y$ 所代表意義

延性材料如鋼及鋁，一般採用**最大畸變能理論**(Maximum Distortion Energy Theory, Von Mises Criterion)與最大剪應力理論來評估微(元)素是否達到破壞，以下使用最大畸變能理論(Maximum Distortion Energy Theory, Von Mises Criterion)來推估鋼材**降伏剪應力強度** $\tau_y$ 。

最大畸變能理論又稱 Von Mises 準則，此準則論述當材料點最大畸變能 $u_d$ 小於 $u_{d,yield}$ 為安全。考慮應力作用下最大畸變能 $u_d$ 可寫為：

$$u_d = \frac{1}{12G} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2] + \frac{\tau_{xy}^2}{2G} + \frac{\tau_{yz}^2}{2G} + \frac{\tau_{xz}^2}{2G}$$

當材料在平面純剪應力作用，假設僅有剪應力 $\tau_{xy}$ 作用而其餘應力值為零，上式可進一步寫為：

$$u_d = \frac{\tau_{xy}^2}{2G}$$

在僅有單軸向拉力作用且達降伏應力， $\sigma_x = \sigma_{yield}$ 且其它值為零， $u_{d,yield}$ 寫為：

$$u_{d,yield} = \frac{\sigma_{yield}^2}{6G}$$

當 $u_d = u_{d,yield}$ **材料恰達破壞**，可以寫出最大剪應力值 $\tau_{xy,max}$ ：

$$u_d \leq u_{d,yield} \Rightarrow \frac{\tau_{xy}^2}{2G} \leq \frac{\sigma_{yield}^2}{6G} \Rightarrow \tau_{xy}^2 \leq \frac{\sigma_{yield}^2}{3} \Rightarrow \tau_{xy,max} = \frac{\sigma_{yield}}{\sqrt{3}} = 0.577\sigma_y$$

上式代表當作用剪應力達到 $0.577\sigma_y$ 材料就會發生降伏，規範以此當作基準並取整數值**0.6**作為降伏剪應力 $\tau_y$ 強度，故 $\tau_y = 0.6\sigma_y = 0.6F_y$ 。

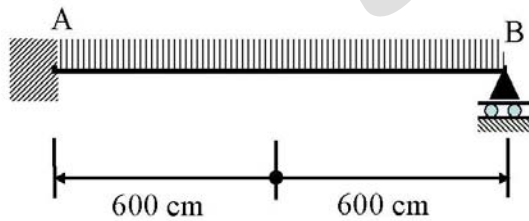
3.詳細說明塊狀剪力破壞式(1)及式(2)擇一且不大於 $0.6F_u A_{nv} + F_u A_{nt}$ 之原因

塊狀剪力破壞發生時通常**拉力斷裂**或**剪力撕裂**這兩種模式會有一者先產生而非同時出現，因此若直接將兩者的極限強度相加並不是一個合理的強度估算方法，根據相關試驗結果顯示將一個斷面的**極限強度**加上另一個垂直斷面的**降伏強度**可以得到較為合理的計算結果。

現行鋼結構極限設計法規範乃採破壞時一面進入極限狀態而另一面進入降伏狀態並將兩面強度加總作為塊狀剪力的強度計算方式。

另外塊狀剪力破壞為一種極限狀態(拉裂或剪裂)而非降伏狀態，因此用來計算強度的公式用極限強度較大項( $F_u A_m$ 或 $0.6F_u A_{nv}$ )搭配降伏強度仍符合實際狀態。

三、耐震結構系統中有一如圖三所示承受均布載重 ( $w$ ) 之鋼梁，該鋼梁採用 SM490 鋼材， $F_y = 3.5 \text{ tf/cm}^2$ ， $F_u = 4.9 \text{ tf/cm}^2$ ， $F_r = 1.16 \text{ tf/cm}^2$ ， $E = 2040 \text{ tf/cm}^2$ 。該梁在A點與鋼柱彎矩接合處及B點有充分側向支撐。自表一選擇一符合極限設計法規範耐震設計需求且可有效發揮斷面性質之最適當斷面，並詳細說明原因，為說明原因者不予計分。請計算所選擇斷面塑性彎矩強度及形狀因子後，再依極限設計法規範檢核該斷面是否足以發揮其塑性極限強度，若無法發揮其塑性強度請說明如何改善以使其可發揮塑性極限強度；或可發揮其塑性強度亦請說明理由，並計算其塑性極限強度。(45分)



圖三

表一

$d \times b_f \times t_w \times t_f$ (mm)	BH 700 × 300 × 9 × 19	BH 700 × 300 × 12 × 25	BH 700 × 300 × 9 × 19	BH 700 × 300 × 9 × 19
$A(\text{cm}^2)$	156	228	428	600
$J(\text{cm}^4)$	153	350	1610	4380
$C_w \times 10^3(\text{cm}^6)$	9910	12800	40400	52700
$X_1(\text{tf/cm}^2)$	107	144	294	439
$X_2(\text{cm}^2/\text{tf})^2$	5.82	1.82	0.0844	0.0185
$I_x(\text{cm}^4)$	154000	198000	205000	268000
$I_y(\text{cm}^4)$	8550	11300	75000	104000
$r_x(\text{cm})$	29.8	29.5	21.9	21.1
$r_y(\text{cm})$	7.02	7.03	13.2	13.2
$r_T(\text{cm})$	7.99	8	14	14
$S_x(\text{cm}^3)$	4400	5670	8180	10700
$S_y(\text{cm}^3)$	570	751	3000	4170

<b>試題評析</b>	本題為新穎考題，要考的是考生對於鋼結構設計規範是否熟稔，尤其是耐震設計章節部份，考場上至少要把塑性設計斷面與 $L_p$ 算出，至少可以得到分數。
<b>考點命中</b>	

解：

1.從表格選取符合耐震設計需求且可有效發揮斷面性質之最適當斷面並說明

(1)確認斷面是否為塑性設計斷面

當斷面**所有肢材寬厚比皆小於 $\lambda_{pd}$** ，此斷面歸類為**塑性設計(耐震設計)斷面**(Plastic Section)。將題意各斷面翼板寬厚比 $\lambda_f$ 與腹板寬厚比 $\lambda_w$ 算出，再分別與 $\lambda_{pd} = 14/\sqrt{F_y}$ 及 $\lambda_{pd} = 138/\sqrt{F_y}$ 比較，計算結果如表格第二行至第六行。

係因BH 700×300×9×19翼板 $\lambda_f$ 值超出 $\lambda_{pd} = 14/\sqrt{F_y}$ 規定，故該斷面不滿足塑性設計斷面先予以剔除，其餘三個斷面先保留之。

(2)檢核梁翼板塑性斷面模數是否大於全斷面塑性斷面模數的70%以上

當梁翼板塑性斷面模數小於全斷面塑性斷面模數70%之梁斷面，在結構試驗結果顯示其塑性變形能力較低，應儘量避免使用。先計算第二個至第四個斷面全斷面塑性模數 $Z_x$ 及梁翼板塑性模數 $Z_{x,f}$ ，並將 $Z_{x,f}/Z_x$ 比值標示，結果如表格第七行至第十行。

第二個至第四個斷面其 $Z_{x,f}/Z_x$ 皆大於70%，因此這三個斷面繼續保留。

(3)振動檢核

規範於撓度及振動小節，規定應考慮由行人走動或其他原因引起之建築物內之振動，其梁之深度不宜小於跨度之1/20。

鋼梁全長為1200 cm，故梁深度建議宜大於 $1200/20 = 60$  cm，第二個斷面深度為70 cm符合此條件，第三個及第四個斷面深度皆為50 cm不滿足60 cm，因此最終僅保留第二個斷面。

(4)最適當斷面

故本題選取第二個斷面-BH 700×300×12×25作為**最適當斷面**。

斷面	BH 700×300×9×19	BH 700×300×12×25	BH 500×500×16×36	BH 500×500×25×50
檢核種類				
翼板 $\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f}$	$\lambda_f = 7.895$	$\lambda_f = 6$	$\lambda_f = 6.944$	$\lambda_f = 5$
滿足 $\lambda_{pd} = \frac{14}{\sqrt{F_y}} = 7.483$	×	✓	✓	✓
腹板 $\lambda_w = \frac{h}{t_w}$	$\lambda_w = 73.556$	$\lambda_w = 54.167$	$\lambda_w = 26.75$	$\lambda_w = 16$
滿足 $\lambda_{pd} = \frac{138}{\sqrt{F_y}} = 73.764$	✓	✓	✓	✓
是否為塑性設計斷面	NO	YES	YES	YES
全斷面塑性模數 $Z_x(\text{cm}^3)$	-	6330	9084.736	12250
梁翼板塑性模數 $Z_{x,f}(\text{cm}^3)$	-	5062.5	8352	11250
$Z_{x,f}/Z_x(\%)$	-	79.976%	91.934%	91.837%
$Z_{x,f}/Z_x$ 是否大於70%	-	YES	YES	YES
梁深度(cm)	-	70	50	50
跨度1/20值(cm)	1200/20 = 60			
梁深度大於跨度1/20	-	YES	NO	NO

2.計算選擇斷面塑性彎矩強度及形狀因子

BH 700×300×12×25斷面強軸塑性彎矩強度 $M_{px}$ 與強軸形狀因子 $f_x$ ：

$$M_{px} = F_y Z_x = (3.5)(6330) = \underline{22155 \text{ tf-cm}}$$

$$f_x = Z_x/S_x = 6330/5670 = \underline{1.116}$$



3.依極限設計法檢核該斷面是否足以發揮其塑性極限強度

鋼梁強軸彎矩強度應分別考慮：

- (1)梁斷面肢材局部挫屈強度(與結實性有關)
- (2)梁桿件整體挫屈強度(與側向支撐長度有關)

BH 700×300×12×25斷面已滿足塑性設計斷面，代表不會有肢材局部挫屈問題，接著檢討側向支撐長度如下：

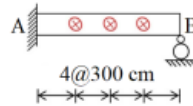
$$L_p = \frac{80r_y}{\sqrt{F_y}} = \frac{(80)(7.03)}{\sqrt{3.5}} = 300.615 \text{ cm}$$

本題僅有在A點與B點有側向支撐，故 $L_p < L_b = 1200 \text{ cm}$ ，這表示側向支撐長度過長使得梁彎矩強度達不到強軸塑性彎矩 $M_{px}$ 就會發生挫屈(LTB)，而**無法發揮其塑性極限強度**。

(依現今極限設計法耐震設計規定，側向支撐間距應滿足 $170r_y/F_y = (170)(7.03)/3.5 = 341.457 \text{ cm}$ ，惟本題因 $L_p = 300.615 \text{ cm} < 341.457 \text{ cm}$ 故仍由 $L_p$ 值控制)

4.因無法發揮其塑性強度，說明如何改善

採增加側向支撐以減少無支撐長度方法進行改善。從A點開始每隔300 cm增加一側向支撐，使無支撐長度降低為 $L_b = 300 \text{ cm} < L_p$ ，如此鋼梁可同時滿足結實性與側向支撐長度規定，使其發揮塑性極限強度。



四、請依現行極限設計法規範說明摩阻型高強度螺栓接合是否可與銲接共同分擔載重及其原因。(10分)

<b>試題評析</b>	簡單的基本觀念問答，題庫班每年都會教喔！
<b>考點命中</b>	1. 《國考鋼結構精解》，高點文化出版，程中鼎編著，例題6.7.1。

解：

依現行極限設計法規範**摩阻型**接合設計之高強度螺栓「可」與銲接**共同分擔載重**，惟須先**鎖緊高強度螺栓後再銲接**。若先銲接則銲接熱量將使鋼板產生扭曲變形而影響摩阻面之密接作用，導致影響其摩阻強度。若摩阻型螺栓在銲接前先鎖緊，則摩阻型螺栓與銲接可假設在共同剪力面可分擔剪力，螺栓附近之銲接熱量尚不致改變螺栓的機械性質。

參考公式：請自行選擇適合的公式，並檢查其正確性，若有問題應自行修正。

$$C_b \left\{ M_p - (M_p - M_r) \left[ \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \right\} \leq M_p, \phi = 0.9$$

$$C_b = 1.75 + 1.05(M_1/M_2) + 0.3(M_1/M_2)^2 \leq 2.3$$

$$\lambda_{pd} = 14/\sqrt{F_y}, \lambda_p = 17/\sqrt{F_y}, \lambda_r = 37/\sqrt{F_y - F_r}$$

$$\lambda_{pd} = 138/\sqrt{F_y}, \lambda_p = 170/\sqrt{F_y}, \lambda_r = 260/\sqrt{F_y}$$

$$L_p = \frac{80r_y}{\sqrt{F_{yf}}}, L_r = \frac{r_y X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 F_L^2}}, M_r = F_L S_x,$$

$F_L = (F_{yf} - F_r)$  或  $F_{yw}$  取小值

$$M_{cr} = \frac{C_b S_x X_1 \sqrt{2}}{L_b / r_y} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 X_2}{2(L_b / r_y)^2}}$$

$$\text{當 } F_u A_{nt} \geq 0.6 F_u A_{nv} \text{ 時} \quad \phi R_n = \phi (0.6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt}) \leq \phi (0.6 F_u A_{nv} + F_u A_{nt})$$

$$\text{當 } 0.6 F_u A_{nv} \geq F_u A_{nt} \text{ 時} \quad \phi R_n = \phi (0.6 F_u A_{nv} + F_y A_{gv}) \leq \phi (0.6 F_u A_{nv} + F_u A_{nt})$$

$$\phi = 0.75$$