

鋼結構用鋼材與鐸材

天泰鐸材：顧問 馮春源

1、單元

1995年1月17日日本發生了規模7.2級的阪神大地震，造成了極其慘重的生命財產損失。在這次災難中，鋼結構建築的倒塌遠較水泥建築為少，顯見在安全性上，鋼結構建築優於水泥建築。加上近年來鋼鐵科技的不斷進步，以及耐震設計理念的更新，使得鋼結構物的安全性不斷提昇，未來必然成為建築趨勢。近來，橋樑、道路、高層建築物、船舶、車輛、壓力容器、其他各種產業機械等構造物愈來愈大形化。又隨著各產業的各種多樣化，這些構造物的使用環境，例如腐蝕、溫度環境也各種各樣。由於製造這些構造物時經常採用鐸接，所以用在這些構造物的鋼料，一般須具有優良的鐸接性。高強度鋼(high tensile strength steel)是為了適應上述的使用情況或要求所發展出來的鋼料。初期的高強度鋼大多以正常化狀態用於大型構造物，因此開發時著重於在軋延狀態或正常化狀態就能有高強度，並且鐸接性要良好。

雖然正常化狀態的碳鋼，其含碳量高者強度也高，但是因為含高碳的碳鋼實施鐸接時，鐸接部分附近的材料，鐸接後的冷卻速度較快，會產生和淬火相同的效果，這使部分變為硬脆的麻田散鐵組織，容易破斷。基於上述理由我們只能採用含碳量較低的鋼，以避免鐸接時發生脆弱的現象。但是正常化狀態的低碳鋼之強度較低，所以必須設法來改良它的機械性質才能適合上述的各種要求。含碳量低的鋼在正常化狀態時，肥粒鐵的量比波來鐵多。例如0.2%C碳鋼內約有75%肥粒鐵，25%波來鐵。這時假如能把肥粒鐵的強度增加，則因為肥粒鐵量很多，所以對整個組織而言，增加它的強度的效果相當的大。通常在 α 鐵內添加特殊元素時，硬度和抗拉強度都會增加。

最初，高強度鋼是利用上面的現象，把特殊元素固溶在鋼內使組織內的肥粒鐵強化，而來改變鋼的機械性質。然而隨著高強度鋼的使用範圍之擴展，為了適應各種使用情況或要求，目前發展出各種系列的鋼料。這些鋼料大別之可分為(1)強度、鐸接性優良的高強度鋼，(2)耐候性優良的耐候性高強度鋼，(3)低溫缺口韌性優良的低溫用鋼三種。一般的抗拉強度 50kgf/mm^2 以上的低碳低合金系的構造用鋼總稱為高強度鋼。高強度鋼因熱處理方法的不同，可以分為非調質鋼和調質鋼。非調質鋼是淬火·回火處理鋼以外的總稱，以軋延狀態、正常化狀態、退火狀態使用它。調質鋼是施以淬火·回火後使用的鋼。本單元將介紹有關鋼結構物的優越性以及結構用鋼材的製造過程、規格種類、材質特性及發展趨勢，期使鐸接界同好能多一分瞭解而更能保障構造物的安全。

2、鋼結構物的優越性

鋼結構物雖然並非十全十美，有其缺點，請參考表1，特性上有易銹蝕、高溫強度下降及低溫韌性變差的缺點，但近年來，各鋼鐵廠不斷地努力研發，發展出各種新式鋼種，已可適度改善這些缺點。

整體而言，鋼結構物的優點仍普受大眾所注目，不論在安全性、經濟性、美觀性或適用性上，均表現得相當優越，請參考表2。因此，鋼結構物仍為未來結構的趨勢。

3、結構用鋼材的製造過程

鋼結構所用的素材有H型鋼(含直接軋軋成形及鐸接而成)及鋼板，而以鋼板為大宗。鋼板的生產流程，請參考圖1。鋼液經過精煉之後，經連續鑄造而成鋼胚，一般鋼胚經分切後堆儲冷卻，再依排程進加熱爐加熱均溫，通常溫度須達 1200°C 。紅熱的鋼胚須經高壓水除銹，再送入軋機軋延。近來，由於節約能源的考量，鋼廠大多儘量採行熱進爐或直接軋延的措施以降低成本。在提升品質上，則採用TMCP(Thermal Mechanical Control Process)，中文稱作熱機控制製程，

可以降低鋼板的碳當量而提昇韌性及改善銲接性。

表 1 鋼結構物的缺點

項目	缺點
特 性	<ul style="list-style-type: none"> ●易銹蝕 ●高溫強度下降 ●低溫韌性變差
施 工	<ul style="list-style-type: none"> ●細長構件易挫曲 ●銲接切割易造成殘留應力、變形及材質劣化 ●通常需做塗裝維護

表 2 鋼結構物的優越性

建築設計目標	鋼結構物的優越性
安全性	耐震性佳：鋼結構物與鋼筋混凝土自重比約 1:1.6，自重輕，耐震性佳。
經濟性	工期短：可在工廠大量生產，同時施工，現場組裝施工接合簡便，成本經濟。
美觀性	設計空間大：由於鋼材强度高，結構物設計上除了力學的考量外，更可進行外觀美學的造形設計。
適用性	應用範圍廣：例如可用於大跨距建築，鑽油平台等特屬用途。

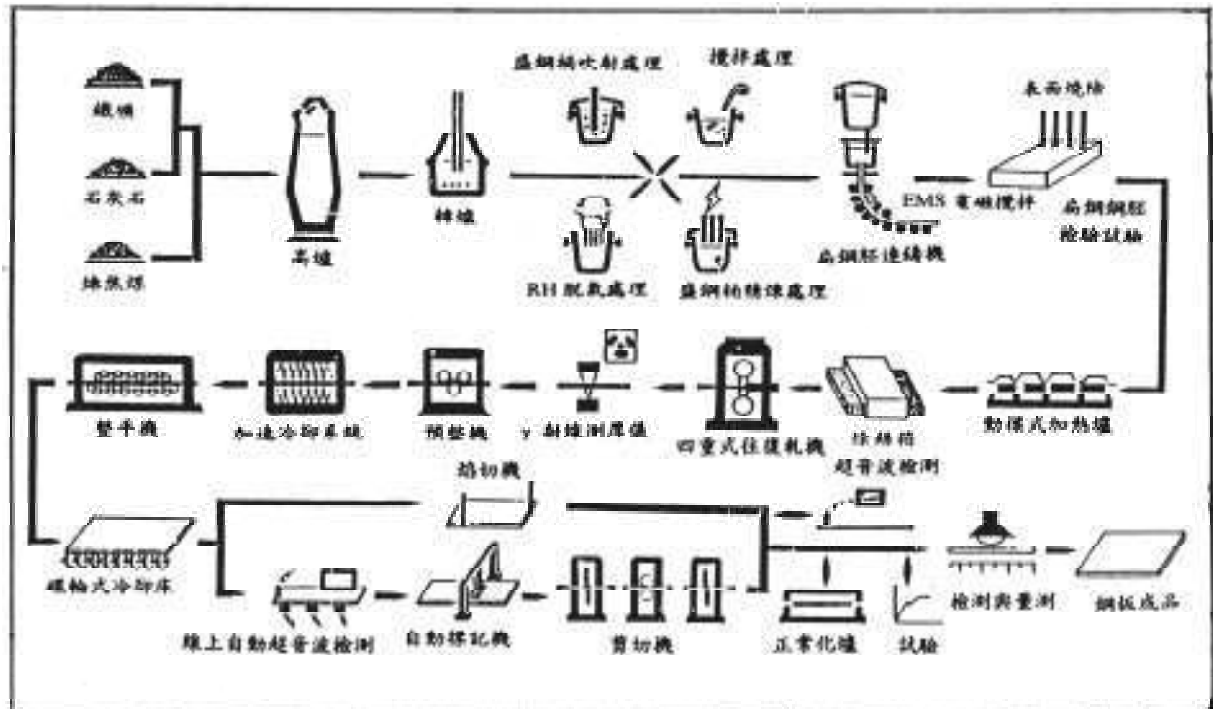


圖 1 鋼板的生產流程

4、鋼構用鋼板的分類與用途

廣義而言，鋼板的用途與結構分不開，依其使用特性可概分為鋼構橋樑建築、船用、壓力容器、耐蝕、石油管路及機械構造等六類。若依其抗拉強度下限則可分為 300、400、500 及 600N/mm²

強度級鋼板，其常見之規格如表 3 所示。以下概略介紹各分類之用途。

表 3 常用鋼板規格分類表¹⁾

強度等級及 使用特性	300 N/mm ² (30 kg/mm ²) 級	400 N/mm ² (40 kg/mm ²) 級	500 N/mm ² (50 kg/mm ²) 級	600 N/mm ² (60 kg/mm ²) 級
結構	JIS G3101 SS330 ASTM A283-Gr. A/B/C	JIS G3101 SS400 G3106 SM400 A/B/C G3136 SN400 A/B/C ASTM A36 A283 Gr. D A572 Gr. 42/50 A573 Gr. 58/65	JIS G3101 SS490 G3106 SM490A/B/C SM490YA/YB SM520B/C G3136 SN490B/C ASTM A572 Gr. 60/65 A573 Gr. 70 A709 Gr. 50	JIS G3106 SM570
船用	--	AB/BV/LR/CR Gr. A/B/D/E NK Gr. KA/KB/KD/KE NV Gr. NVA/NVB/NVD/ NVE GL Gr. GI-A/GL-B/GL- D/GL-E	AB/BV/LR/CR Gr. AH/DH/EH-32/36 NK Gr. KA/KD/KE-32/36 NV Gr. NVA/NVD/ NVE-32/36 GI Gr. GI-A/-D/-E-32/36	--
壓力容器	ASTM A285 Gr. A/B/	JIS G3103 SB410 SB450 G3115 SPV235 ASTM A285 Gr. C/D A515 Gr. 60/65 A516 Gr. 55/60/65	JIS G3103 SB480 G3115 SPV315 SPV355 ASTM A515 Gr. 70 A516 Gr. 70 A537 Class 1/2	JIS G3115 SPV450 SPV490
機械構造	AISI/SAE 1006~1012	JIS G4051 S10C~S20C AISI/SAE 1015~1023	JIS G4051 S22C~S40C AISI/SAE 1025~1043	JIS G4051 S45C~S55C SAI/SAE 1045~1060
耐蝕	--	JIS G3114 SMA400A/B/C ASTM A709 Gr. 50	JIS G3114 SMA490A/B/C ASTM A242 Type 1 A588 Gr. A/B 中鋼規格 SCR-TEN 2	JIS 3114 SMA 570
管線用	--	Plate for API 5K-A/B/X42	Plate for API 5L-X46/X52/X56/X60/ X65	Plate for API 5L-X70

4.1 結構用鋼

為最常使用的一類，含一般結構用鋼如 A36，A283，A572，SS330，SS400，SS490...等，以及銲接結構用鋼如 SM400，SM490，SM520...等。其用途包括機器支架、房屋建築、橋樑、機器設備...等。最近，又出現另一種建築結構用鋼(SN 規格鋼料)，提昇了鋼結構建築的耐震性及一些相關特性，由於其規格要求較嚴，日後將會取代上述兩種鋼料，細節將在發展趨勢中加以說

明。

4.2 船舶用鋼

為驗船協會核可的鋼板，國內中鋼公司已取得美國(ABS)、英國(LR)、德國(GL)、法國(BV)、挪威(NV)、日本(NK)及中國(CR)等七國驗船協會的認可執照，可生產造船用鋼。

4.3 壓力容器用鋼

主要用途為鍋爐、氣體貯槽、瓦斯鋼瓶...等壓力容器之胴身及端板，主要規格為 JIS 之 SB 材料及 SPV 材。

4.4 機械構造用鋼

主要規格為 JIS 之 SXXC 材，主要用於機械設備之底座，亦有用於塑膠模具，其接合方式較少採用銲接。

4.5 耐蝕用鋼

包含(1)使用於耐大氣腐蝕環境中的結構用鋼，其鋼種如 A242、A588...等。(2)專為橋樑結構設計之橋樑結構用鋼，如 A709 等。(3)特殊耐蝕用鋼，如耐硫酸露點腐蝕用鋼(SCR-TEN 2)等。

4.6 石油管路用鋼

為使用於輸送油氣管路所用的鋼板，典型鋼種為美規之 API 鋼材，一般對品質要求頗高，且對應所使用之用途與環境會有不同的韌性及強度要求。目前國內中鋼公司已可生產 API 5L X65 等級的鋼板。

美國材料試驗協會(ASTM)、日本工業標準(JIS)及中國國家標準(CNS)常用之規格名稱如表 4 所示，提供參考。

表 4 常用規格名稱²⁾

美國材料試驗協會(ASTM)	日本工業標準(JIS)	中國國家標準(CNS)
A36 – 結構用碳鋼	G3101 SS 系列 – 一般結構用碳鋼	2473 – 一般結構用軋鋼料
A113 – 火車車輛用碳鋼	G3106 SM 系列 – 銲接結構用鋼材	2947 – 銲接結構用軋鋼料
A131 – 船用碳鋼及高強度低合金鋼	G3114 SMA – 耐大氣腐蝕熔接結構用鋼料	4269 – 耐大氣腐蝕銲接結構用熱軋鋼料
A283 – 一般結構用中、低強度級碳鋼	G3125 SPA-H – 高耐大氣腐蝕性高強度低合金料	4620 – 高耐大氣腐蝕性軋製鋼料
A242 – 高強度低合金鋼 (耐大氣腐蝕性鋼材)		
A441 – Mn-V 型高強度低合金鋼		
A572 – Nb-V 型高強度低合金鋼		
A573 – 改善韌性之結構用碳鋼		
A588 – 耐大氣腐蝕之結構用高強度低合金鋼		
A709 – 橋樑用碳鋼、高強度低合金鋼及合金鋼		

5、鋼板的材質特性

鋼板的材質一般決定於鋼板的微觀組織及化學成份，而影響微觀組織的因素很多，諸如化學成份、扁鋼胚品質、熱處理條件、軋延條件、冷卻條件等，請參考圖 2。

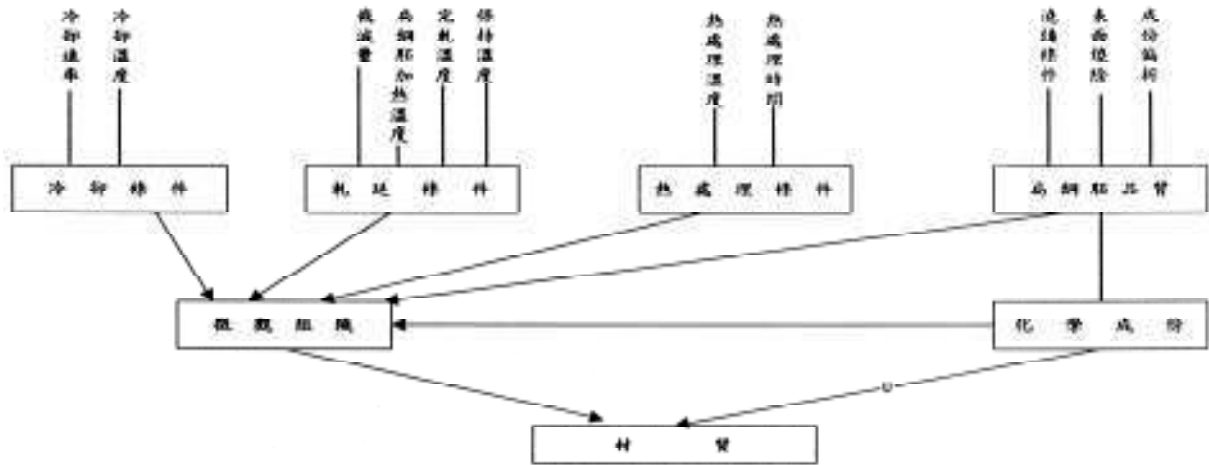


圖 2 影響材質的因素

鋼板材質所表現出來的特性，稱作材質特性，廣義而言，材質特性可以分為外觀材質特性(含銹皮狀況、表面缺陷、尺寸精度及形狀)及內部材質特性(含機械性質、加工性、耐蝕性、異向性及內部缺陷)如圖 3 所示，狹義而言，則大多指機械性質、加工性、耐蝕性等。以下就常用材質特性加以說明。

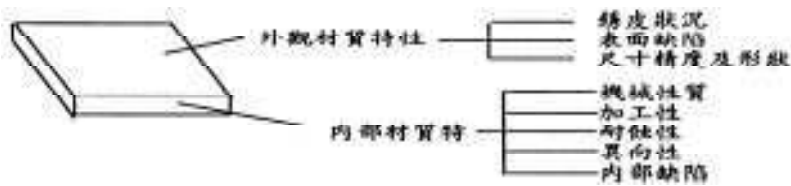


圖 3 鋼板材質特性的分類

5.1 機械性質

為材料的基本性質，常被規定在規格中，包含的項目主要有強度、硬度、延性(伸長率)及韌性(衝擊值)等。這些特性必須藉著材料試驗才可獲得，在考慮實用性、經濟性及簡便性等之條件下，鋼構用鋼材較常採用拉伸試驗及衝擊試驗。以下分別敘述強度、延性及韌性等特性。

(1) 強度

強度為材料單位面積可承受的外力極限，鋼板強度的常用單位有 kgf/mm^2 ， N/mm^2 ， $\text{ksi}(\text{psi})$ 等。由於採用高強度(或稱高張力)鋼板，可以減少厚度(重量)降低用料成本、增加跨距及提高運輸工具的承載重量等，因此已成用料趨勢，各鋼廠也不斷開發此種鋼料。常用的強度有兩種，即降伏強度與抗拉強度。

降伏強度：為材料受力後，剛產生永久變形(或塑性變形)而無法彈性回復至原始長度時的強度，近似於產生永久變形的最小強度。

抗拉強度：為材料受力產生永久變形後，可承受最大應力時的強度。一般抗拉強度與硬度成正比關係。

(2) 延性

延性為材料受力變形在斷裂前的變形比率，鋼板規格常以拉力試驗的伸長率來表示，請參考圖 4。一般而言，延性與強度兩者是對立的，即強度升高，延性即下降，加工性劣化。故鋼板經冷加工後，往往強度上升，延性下降。

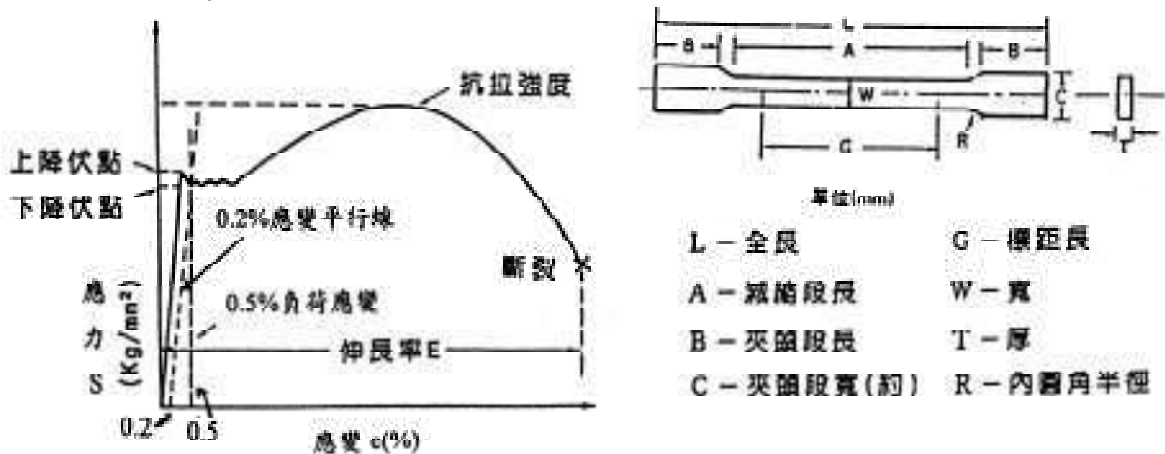


圖 4 拉力試驗之應力、應變示意圖及矩形拉伸試片示意圖

(3) 韌性

韌性為材料在塑性範圍內吸收能量的能力，亦即阻止裂縫急速延伸的能力。可視為強度與延性所組合而成之參數，請參考圖 5，韌性可視為在應力應變曲線下之總面積，面積愈大者韌性愈佳。規格上，大多以開 45° V 型槽的試片作沙丕(charpy)衝擊試驗所得之吸收能量，來作為判斷韌性的基準。

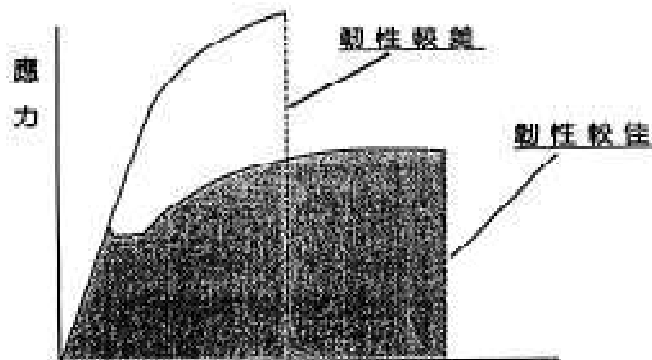


圖 5 曲線下的面積可代表韌性

一般而言，鋼材在高溫時韌性較佳，低溫時則脆化，從高溫至低溫的過程中，有一延性轉脆溫度，此溫度的決定方法有很多種，請參考圖 6，如平均能量標準(曲線上最大與最小能量之平均)，指定能量標準，或依試片斷面之韌、脆外觀比例(稱作破斷外觀轉移溫度;FATT)。此外對韌性之要求，尚有一種形式，即指定在某一溫度下，衝擊值必須在某一最低值以上。此種要求形式常被應用於船板、橋樑用鋼、石油管線用鋼管，必須考慮使用環境溫度之場合，此種要求形式較為實用。一般而言對 35kgf/mm² 降伏強度的高張力鋼板，至少要有 3.5kg-m CVE 的吸收能量才能阻止破裂的起源，至於阻止破裂的延伸則需要 4.8kg-m CVE 以上的吸收能量，若是淬火型更高強度者則需要更高的衝擊吸收能量。

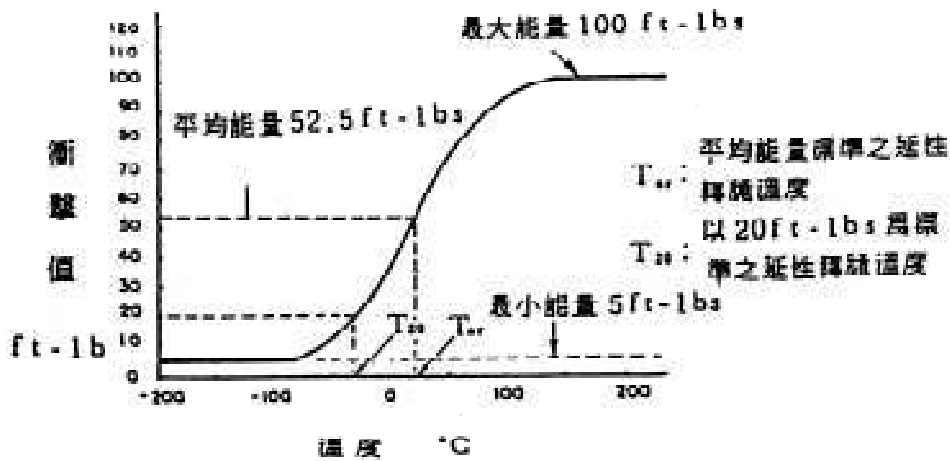


圖 6 沙丕(charpy)衝擊延性轉脆破裂曲線

5.2 加工性

結構用鋼材最常加工的方式為銲接與彎曲，少部份有輥壓成形。在此僅介紹彎曲性及銲接性。

(1) 彎曲性

一般以厚度的多少倍為彎曲半徑的基準，作為成形加工的參考，對鋼板而言，由於受到軋延加工的關係，材料性質在縱向(軋延方向)、橫向(垂直軋延方向)及厚度方向(有時稱作 Z 方向)均不同。對彎曲而言，彎曲方向垂直軋延方向(橫向試片彎曲)較差。此外，材料本身介在物(Inclusion)的形態及大小、位置均會影響彎曲性。若有設計資料，最好也能核對一下是否有彎曲加工單位是否對規格有所要求，若有，則在訂貨時也應提出。

(2) 銲接性(Weldability)

銲接性係指鋼材在銲接後其銲道品質所能達到水準的能力。由於銲接性的評估必須在銲接完成之後，因此鋼材的銲接性並不完全決定於鋼材本身舉凡與銲接作業有關之銲道設計、銲接製程、銲接程序(procedure)之檢定及最終使用條件等也都會影響鋼材的銲接性。圖 7 為影響銲接性的因素圖示，可供參考。至於銲接性評估的要項，如圖 8 所示，包含有銲道機械性質、銲接龜裂敏感性、銲道腐蝕性質及銲道物理性質等四大項，但由於腐蝕性一般決定於銲材的合金成份，物理性質除磁性外很少評估，因此，對結構用鋼材而言，銲接性評估要項係指銲接龜裂敏感性及銲道機械性質。若僅考慮母材的銲接性，則常需評估熱影響區的各項性質，包括金相組織、硬度變化、衝擊值變化、破壞韌性及冷裂敏感性等。評估鋼材冷裂敏感性之各種碳當量公式及說明，請參考表 5。鋼廠在生產要求良好銲接性之鋼材時，一般都將碳、硫、磷等成份壓低，而強度方面的降低則採提高錳或添加微量合金來加以補償，如此便可生產符合規格要求且具有優良銲接性的鋼材。



圖 7 影響銲接性的因素

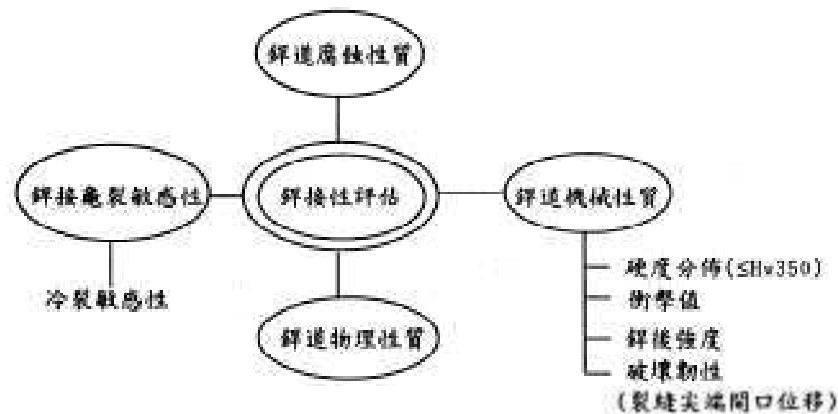


圖 8 銲接性的評估要項

表 5 評估鋼材冷裂敏感性之各種碳當量公式及說明³⁾⁴⁾

成份 成份係數 公式	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	B	相關係數 r(%)
Ceq (wes. jis) ¹	1	1/24	1/6	-	1/40	1/5	1/4	-	1/14	-	77.2
CE (IIW)/(IIS) ²	1	-	1/6	1/15	1/15	1/5	1/5	-	1/5	-	78.1
Graville	1	-	1/16	-	-1/50	1/23	1/7	1/8	1/9	-	82.6
P _{II} (TANAKA)	1	1/20	1/10	1/20	-	1/30	1/20	-	-	-	82.8
Dueren	1	1/25	1/16	1/16	1/60	1/20	1/40	-	1/15	-	84
Pcm (Ito) ³	1	1/30	1/20	1/20	1/60	1/20	1/15	-	1/10	5	84.9
Stout	1	-	1/6	1/40	1/20	1/10	1/10	-	-	-	86.6
CEN=CE(NSC) ⁴	1	1/24*	1/6*	1/15*	1/20*	1/5*	1/5*	1/5*	-1/5*	5*	91.1

說明：

- 適用於含碳量較高(C≥0.18%)，抗拉強度為 41-72kg/mm² 間之鋼種，Ceq≤0.44%時不易產生冷裂，超過 0.44%時，應預熱。
- 用於高強度低合金鋼，通常設定在 0.40%以下。
- 本式適用於預測含碳量較低(C≤0.17%)，抗拉強度在 41-92kg/mm² 間之鋼種的冷裂敏感性，通常 Pcm 值在 0.23 以下時，鋼材可不預熱。
- 有加註 * 記號之項目須再乘以補償係數 A(C)，A(C)為碳含量的函數，公式如下：A(C)=0.75+0.25 tanh [20(c-0.12)]，其典型值如下：

C(%)	0	0.08	0.12	0.16	0.20	0.26
A(C)	0.500	0.584	0.750	0.916	0.980	0.998

此公式係日人 Yurioka 其同伴於實際中發現 Ceq(WES.JIS)與 CE(IIW)式對 C≥0.20%之鋼種較適用，而 Pcm 則對 C≤0.16%者較有效，因此綜合兩式並加入補償係數而得 CEN 式。

5.3 耐蝕性

鋼材的耐蝕性均來自合金元素的添加，例如 Cu、Cr、P、Ni 等均可提高耐蝕性。結構用鋼材的耐蝕性，主要係針對耐大氣腐蝕性(簡稱耐候性)而言，各鋼廠大多對其所生產的耐候鋼冠以特殊產品名稱以迴避專利問題。一般而言，耐候鋼的耐候性為一般碳鋼的兩倍以上。其耐候性主要係藉著鋼材表面經長期乾濕循環所生成的緻密性氧化膜(銹皮)。通常此種保護性的銹皮生成需 1~2 年，此期間其外觀與一般鋼料所差無幾，其後，外觀顏色會逐漸由暗黃轉為褐色以至暗褐色而生成緻密性皮膜。耐候鋼由於會產生此種緻密的保護性皮膜，因此可以裸露使用，但對於要求極高之用途，或基於景觀之需求，仍須配合上漆使用，且在上漆情況下，耐候鋼的重漆週期仍比一般碳鋼為長，可以節省維護費用。鋼結構物的腐蝕速率受當地之氣候(溫濕度、雨量、風速)、空氣中之鹽份、灰塵及硫酸氣體等之影響甚大，一般接近工業地區或海邊，其腐蝕速率較快，因此在設計階段即應考慮耐蝕鋼種，有關詳細的耐腐蝕鋼料可參考“參考文獻”5)。

5.4 異向性

鋼材經過軋延後，其微觀組織受到整合，會造成各晶格方向上性質的差異，此即所謂的“異向性”，以結構用鋼板而言，主要表現在彎曲性及強度上。以彎曲性而言，彎曲方向垂直軋延方向者，性質較差。而強度方面，則會受到軋延量的大小、軋延時轉向情況以及完軋溫度等因素的影響會造成軋延方向與寬度方向強度的差異，一般而言兩者差異不大。此外，在板厚方向由於一些非金屬介在物如磷、硫等會在厚度中央附近形成偏析現象，因此厚度方向的強度較差，嚴格而言，厚度方向性質較差與內部缺陷有關。

5.5 內部缺陷

鋼板較嚴重的內部缺陷主要有(1)中心線裂(Center Crack)(2)夾層(Lamination)(3)偏析(Segregation)，分述如下(略，請參考表 6、圖 9 及第 10 單元之 10.3.2)。

表 6 層狀撕裂(Lamellar Tear)的成因與對策

成份	對策	備註
○板厚延性不良	○降低硫含量 ○提昇板厚方向斷面縮率 Φ_z	普通拘束度：S \leq 0.008% $\Phi_z \geq 15\%$ 較大拘束度：S \leq 0.006% $\Phi_z \geq 25\%S$
○接頭設計不良	○檢討接頭設計	

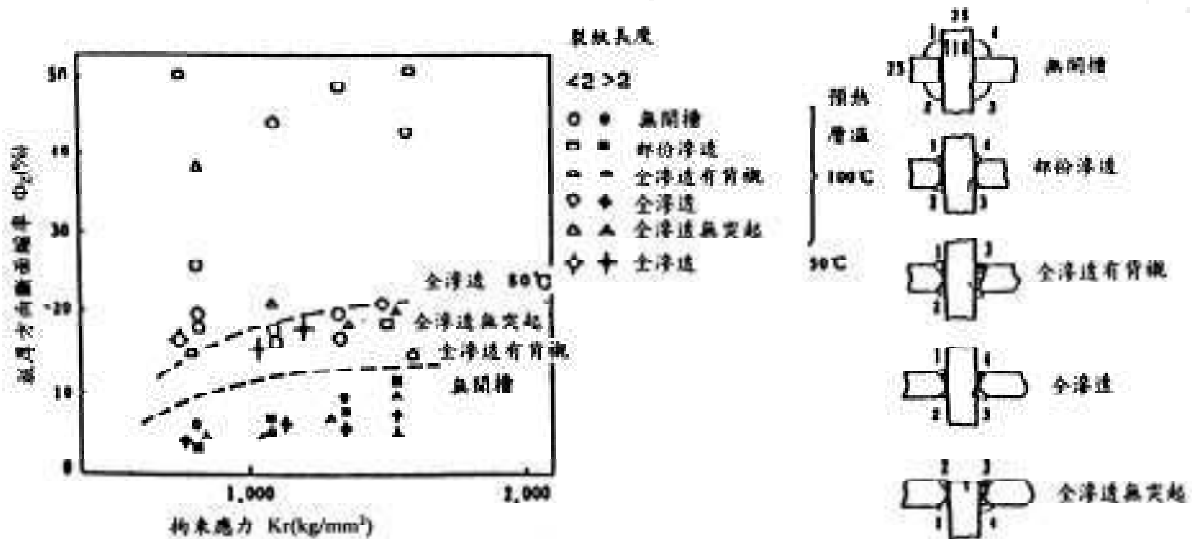


圖 9 各種接頭形式與層狀撕裂的關係⁶⁾

5.6 回火脆性

對淬火鋼料實施回火的主要目的在於增加韌性，但是經過回火的鋼，它的衝擊值不一定會隨回火溫度的上昇而成比例的增加，有時反而會降低。這種因回火而發生衝擊值下降的現象叫做回火脆性(temper brittleness)。回火脆性有(1)回火 300°C左右時所發生的低溫回火脆性和(2)回火 500°C或更高溫時所發生的高溫回火脆性。

第圖 10 表是把四種碳鋼回火時，它的硬度和衝擊值的變化。隨著回火溫度上昇，硬度漸次下降，而衝擊值是在 200°C以前略會增加，但是在 200°C~400°C反而大幅下降，呈示顯著的脆化。這就是低溫回火脆性或者叫做 500°F脆性。這種脆性多見於含有 0.2~0.4%C 的構造用合金鋼。

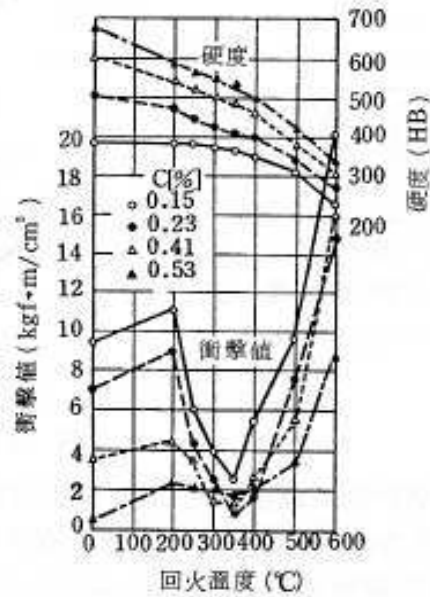


圖 10 各種碳鋼回火時硬度和衝擊值的變化

在淬火 Ni-Cr 鋼回火到各溫度時的衝擊值變化中，在 450~550°C 的範圍有顯著的脆化，但是這種脆化不受冷卻速率的影響。然而在回火 600~650°C 時，回火後急冷(水冷)者和慢冷者之間，它的衝擊值有顯著的差異。例如回火 600°C 持溫 30 分時，急冷和慢冷所得的衝擊值分別約 7kgf-m 和約 1.5kgf-m。也就是急冷材料具有高韌性，而慢冷材料呈示顯著的脆化。從前，500°C 附近的不受冷卻速率影響的脆化叫做一次回火脆性，而回火 600~650°C 後慢冷時所引起的脆性叫做二次回火脆性。目前這兩種回火脆性被認為是相同的現象。也就是 500°C 左右所發生的脆化是本質上的現象，假如回火溫度更高時，引起這種脆化的原因會消失而回復韌性。但是回火後慢冷時，因為通過 500°C 附近的冷速慢，所以在這溫度附近再度出現 500°C 脆化的原因，致使慢冷的材料呈示脆化現象。

6 鋼構用鋼材的發展趨勢

鋼構用鋼材的發展趨勢，近年來的需求主要在於都市建築，由於目前國內的高樓大廈不斷地興建，且樓層數目不斷地提高，其衍生的問題相當多，諸如建築法規的配合、結構設計的改變、安全性的考量與審核...等都應該有主管單位出面整合，且最好鋼構業界能與鋼廠溝通，提出具體的需求，以促進鋼廠開發符合業者需求的新鋼種。以上將介紹日本建築用厚鋼板的發展趨勢，由於國內鋼構業的發展在日本之後，加上地理環境類似，因此兩者發展趨勢應雷同，祇是時間上會有差距而已。

都市建築的需求，如圖 11 所示，主要有(1)地上空間的有效利用，因而走向高層化。(2)新結構形式的採用，趨向室內空間的擴大，造成巨大化。(3)大地震時不致倒塌，以提高安全性。(4)耐火被覆減少以降低施工成本。基於上述的市場需求，使得鋼廠必須往高強度鋼、窄降伏點鋼、低降伏點鋼、低降伏比鋼以及耐火鋼等方面研發。此外，國內屬海島型氣候，耐蝕鋼料的使用亦將增加。圖 11 將說明相關鋼料的特色。

6.1 建築結構用鋼板(SN 材)

日本於 1994 年推出 JIS G3136 建築結構用鋼(SN 材)，企圖取代 SS 材或 SM 材，並提昇鋼材品質，作為建築專用鋼材。推出初期，由於成本增加，日本建築業仍持觀望態度，但不久發生了阪神大地震，促使日本政府與業界決心推展 SN 材，規定自 1997 年年中開始，建築結構均須使

用 SN 規格鋼料。中國國家標準(CNS)也於 1997 年 2 月 3 日公布 CNS G3262(總號 13812)建築結構用軋鋼料，對應 JIS G3136。目前，雖然此種鋼料國內業者尚未普遍使用，但由於其品質較高，較能夠保障鋼結構物的安全，未來必然成為建築結構的用料趨勢。此種鋼料，國內中鋼公司已有生產。其特色在於耐地震性、抗破壞韌性及抗銲接撕裂性均加以提昇，並提昇尺寸及內部品質，使得鋼料的安全性更為提高，其相關的主要管制項目，請參考圖 12。高強度建築結構用鋼板的生產大多配合熱機控制制程(TMCP)。

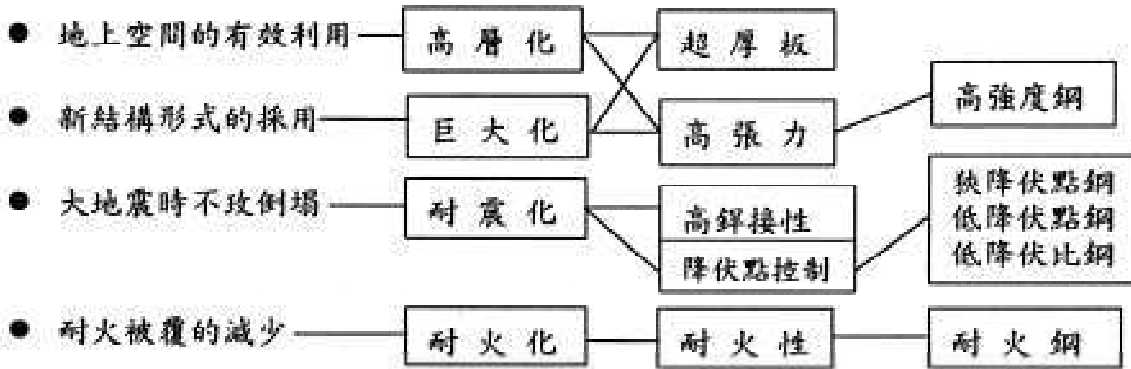


圖 11 都市建築的需求與鋼料特性的關係

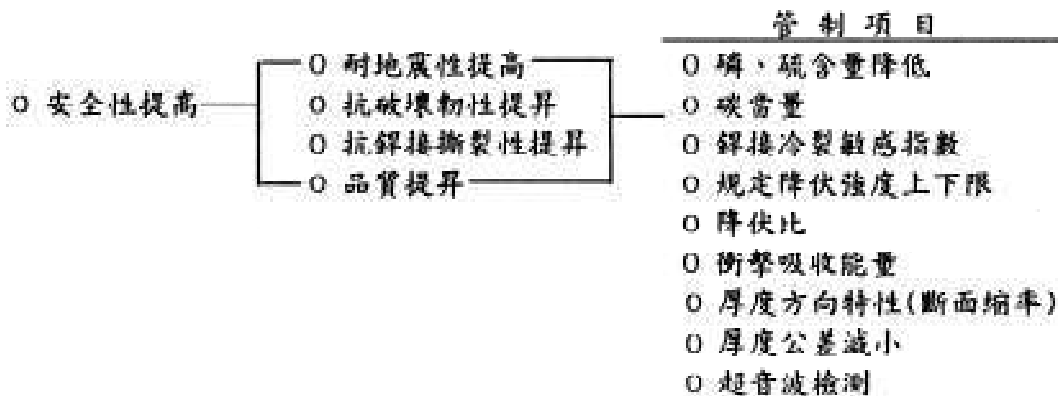


圖 12 建築結構用鋼的特色

6.2 窄降伏點鋼板⁷⁾

此種鋼料的發展，主要是因應耐震性的需求。一般而言，鋼鐵製造廠家所生產的鋼料均依規格規定放行，而規格範圍均相當寬鬆，因此同一規格的鋼種，其降伏強度會因爐次、厚度、製程條件的變異而有相當程度的差異。而這些鋼料若組裝在同一建築結構物上，雖然降伏強度都會在規格值以上，但由於變異大，在局部較脆弱的部份會有先行崩壞的危險。如果整體建築物的降伏強度變異縮小，那麼地震時所造成的塑性變形會較均勻，亦即能夠吸收更多的地震能量，耐震性自然較佳。

鋼板的降伏強度受到肥粒鐵的比例、肥粒鐵晶粒大小、固溶強化、析出強化及加工硬化等控制。因此，要低降伏強度的變異必須考慮這些因素，再將化學成份、再加熱條件、軋延條件等作最佳控制才能達到目的。以新日鐵 40 公斤級的鋼料來看，其降伏強度變異範圍在 8kgf/mm^2 以內。

6.3 低降伏點鋼板⁷⁾

此種鋼板主要是作為整體建築結構物之吸震組件，當地震發生時由於此種鋼板的降伏強度極低，因此最先產生塑性變形而吸收地震能量，因而保護了其餘的主結構。其應用例子有蜂巢式

制震器(Honeycomb damper)、未結合支柱(Unbond brace)及制震間柱等。請參考圖 13~16。

圖 13 中所示未結合支柱係利用低降伏點鋼的塑性變形來吸收地震能量，並利用方形鋼管內灌混凝土以防鋼板挫曲。圖 14 及圖 15 為蜂巢式制震器的構造及安裝示意圖，其安裝位置在牆壁附近。此種鋼板的主要規格為板厚 20mm，降伏點 216~245N/mm²，抗拉強度 $\leq 402\text{N/mm}^2$ ，伸長率 $\geq 40\%$ 。蜂巢式制震器的好處，與無蜂巢式制震器比較，由於當地震發生時蜂巢式制震器可以藉由塑性變形來吸收結構的變形量，因此結構內其他組件的鋼性若有所不足，也比較沒有關係，其他組件的素材厚度也可以稍減。

圖 16 所示為制震間柱的安裝狀態(制震系統)，制震間柱使用在 H 形柱，板厚為 12~19mm，此種鋼板會先行產生剪斷降伏，其降伏強度為 98 N/mm² 左右，屬極低降伏點鋼。由於利用其振盪衰減，對反覆荷重的復元性高，不會造成應變硬化。此種制震系統已證實對防震有效。

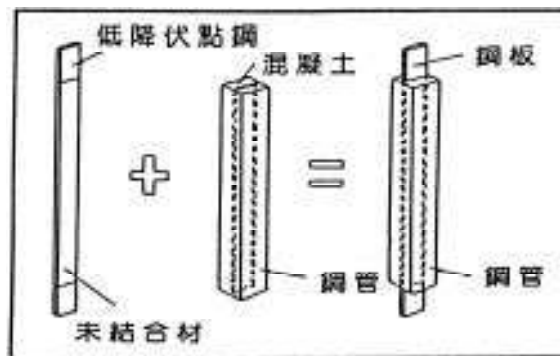


圖 13 低降伏點鋼在未結合支柱之應用

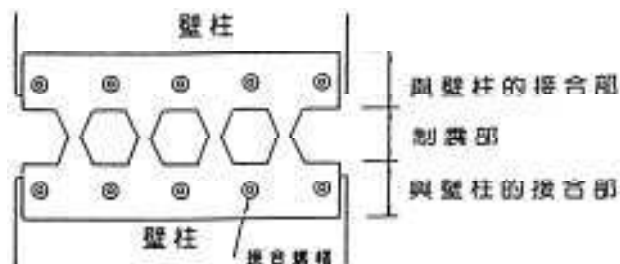


圖 14 蜂巢式制震器的構造

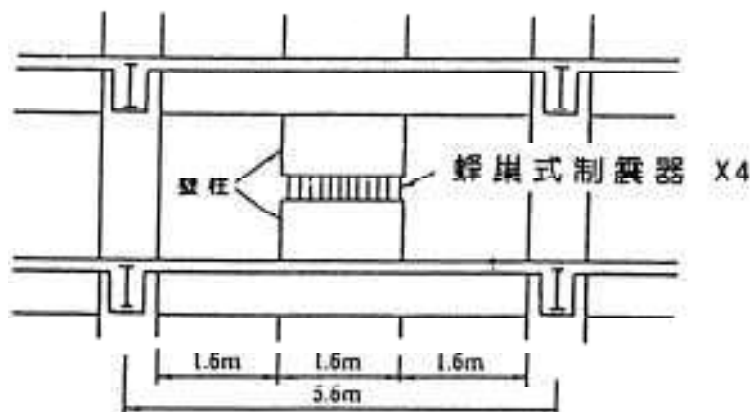


圖 15 蜂巢式制震器安裝示意圖(立面圖)

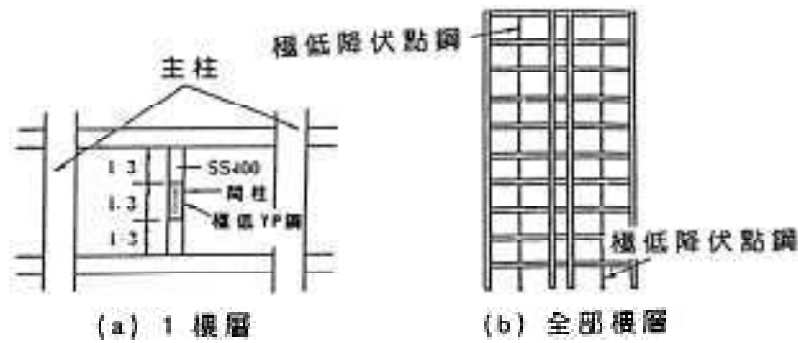


圖 16 制震間柱安裝示意圖

新日鐵的低降伏點鋼及極低降伏點鋼的機械性質如表 4-7 所示。

表 7 極低降伏點及低降伏點鋼的機械性質

鋼種	板厚 (mm)	方向	YP (kgf/mm ²)	TS (kgf/mm ²)	E1 (%)	YR (%)	製法
極低 YP 鋼	25	直角方向	8.5	27.3	48	31	正常化處理
低 YP 鋼	12	壓延方向	24.3	34.2	55	71	僅壓延
		直角方向	23.4	33.9	55	69	僅壓延

6.4 低降伏比鋼板⁷⁾

降伏比(YR: Yield Ratio)的定義為降伏強度/ 抗拉強度的比值，此值越低表示材料從降伏發生到破斷前可因加工硬化而增加負荷的能力越大。因此當結構物在外力作用下產生應力集中時，可以因局部的加工硬化而抵抗進一步的局部變形，使整個應變能均勻的分佈到較寬廣的區域，防止局部區域因應變量過大而產生破斷，危及整個結構安全，因此降伏比愈低的鋼材在地震發生時，其所能吸收的地震能量愈大，耐震性也就愈佳。參考圖 17，圖中係假設降伏點相同的兩種鋼料，鋼料 1 之降伏比較高，而鋼料 2 之降伏比較低，圖中曲線下的面積內鋼料 2 比鋼料 1 為大，顯示鋼料 2 所能吸收的外界能量比鋼料 1 為大，因此其耐震性較佳。有關日本新耐震設計的理念，請參考圖 8。

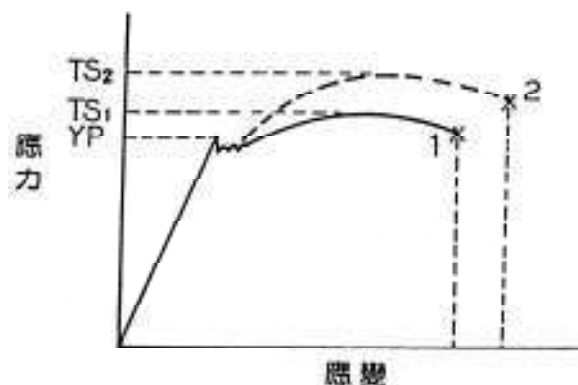


圖 4-17 降伏比的高低比較(假設降伏點相同的情況)

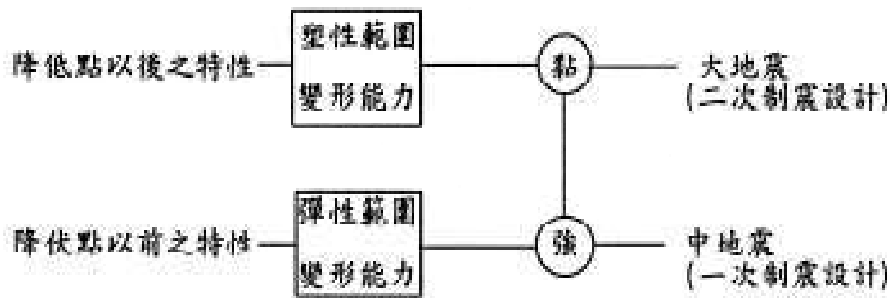


圖 18 日本新耐震設計之理念

新日鐵低降伏比鋼料的化學成份及機械性質，請參考表 8，另新日鐵尚有低 YR-HT490N 級鋼稱作 BUILTEN。

表 8 低 YR-HT590N 級鋼及低 YR-HT780N 級鋼的化學成份(WT%)及機械性質

種類	製程	板厚	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	Ceq	降伏強度 N/(mm ²)	抗拉強度 N/(mm ²)	伸長率 (%)	降伏比 (%)
低 YR-HT590N	DQ-L-T	80mm	0.12	0.47	1.44	0.24	0.32	0.06	0.11	0.04	-	0.43	493	663	28	74
低 YR-HT780N	DQ-L-T	30mm	0.12	0.25	0.86	0.17	0.09	0.74	0.38	0.04	6ppm	0.52	706	847	24	83

6.5 耐火鋼

一般建築用的結構用鋼隨著溫度的升高，其降伏強度會下降，約在 350°C 時，降伏強度會下降到僅為常溫下的 2/3。因此，鋼構大樓都必須採耐火被覆。而耐火被覆會增加施工成本、工時以及縮小室內空間，這些因素促成了耐火鋼的開發。在日本已發展出耐火鋼，當溫度高達 600°C 時，其降伏強度才降至原來的 2/3。由於此種耐火鋼的開發，耐火被覆得以減少，甚或省略，因此可以節省工時，降低成本，另一方面也增加了室內空間。此外，此種鋼料的開發也促成“新耐火設計法”的誕生。

日新鐵所發展的耐火鋼如表 9 所示，其高溫降伏強度與一般鋼料之比較，請參考圖 19，耐火鋼的化學成份、衝擊試驗及高溫強度如表 10~表 12 所示。另耐火鋼(FR 鋼)與一般鋼之 Y 槽銲接冷裂試驗結果，請參考圖 20，顯示耐火鋼的預熱溫度比一般鋼料為低，為 TMCP 鋼料。

表 9 新日鐵的耐火鋼用厚鋼板

種類	鋼種等級	規格名	板厚(mm)	備考
一般耐火鋼	40kgf/mm ² 級鋼	NSFR400A, NSFR400B, NSFR400C	6-100	
	50 kgf/mm ² 級鋼	NSFR490A, NSFR490B, NSFR490C	6-100	
	50 kgf/mm ² 級 TMCP 鋼	NSFR490B-TMC, NSFR490C-TMC	40-100	考慮銲接性 (低 Pcm, 低 Ceq)
	53 kgf/mm ² 級鋼	NSFR520B, NSFR520C	6-40	
	53 kgf/mm ² 級 TMCP 鋼	NSFR520B-TMC, NSFR520C-TMC	40-100	考慮銲接性 (低 Pcm, 低 Ceq)
耐火鋼 (Cu-Ni 系)	40 kgf/mm ² 級鋼	NSFR400AW, NSFR400BW, NSFR400CW	6-100	考慮耐候性
	50 kgf/mm ² 級鋼	NSFR490AW, NSFR490BW, NSFR490CW	6-100	
耐火鋼 (CU-Cr 系)	40 kgf/mm ² 級鋼	NSFR400AW, NSFR400BW, NSFR400CW	6-100	考慮耐候性
	50 kgf/mm ² 級鋼	NSFR490AW, NSFR490BW, NSFR490CW	6-100	
耐火耐候性鋼	50 kgf/mm ² 級鋼	- - -	6-50	同時滿足 JIS 耐候鋼之規格

表 10 耐火用鋼板的化學成份與機械性質

規格記號	板厚 (MM)	化學成份(WT%)							抗拉試驗(L 方向)					彎曲 試驗
		C	Si	Mn	P	S	Ceq	Pcm	下降伏點 (kgf/mm ²)	上降伏點 (kgf/mm ²)	TS (kgf/mm ²)	伸長率 (%)	降伏比 (%)	
NSFR400A	32	0.09	0.10	0.60	0.009	0.004	0.31	0.15	33	35	45	31	73	合格
NSFR490A	32	0.10	0.20	1.11	0.019	0.003	0.42	0.20	41	43	55	27	75	合格

$$Ceq(\%)=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14$$

$$Pcm=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B$$

降伏比=下降伏點/抗拉強度

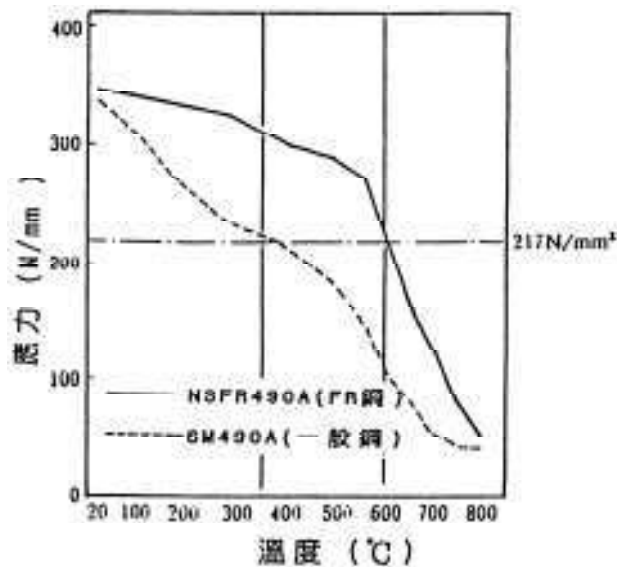


圖 19 NSFR 鋼與一般鋼之高溫降伏強度之比較

表 11 沙丕(Sharp)衝擊試驗

規格記號	板厚(mm)	衝擊試驗		
		試驗溫度 (°C)	最小值 (kgf-m)	試片
NSFR400A	32	0	36.2	JIS No.4
NSFR490A	32	0	24.3	JIS No.4

表 12 高溫(600°C)抗拉特性

規格記號	板厚(mm)	降伏強度 (kgf/mm ²)	抗拉強度 (kgf/mm ²)	伸長率 (%)
NSFR400A	32	19	27	40
NSFR490A	32	25	36	32

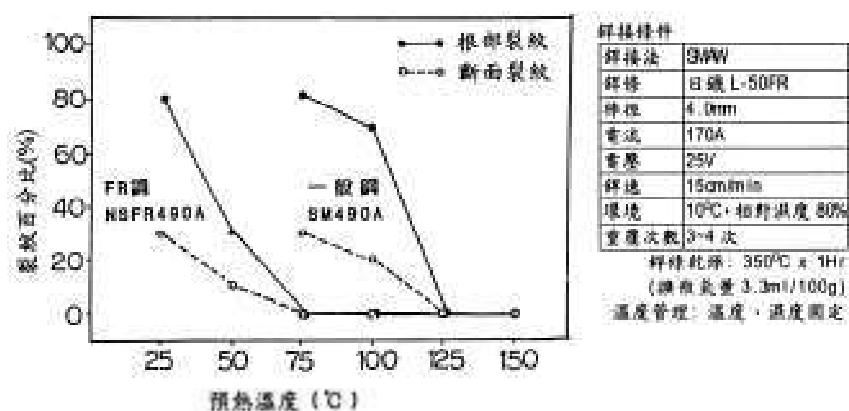


圖 20 Y 槽銲接裂縫試驗結果

7、鋼結構銲接材料的選用

碳鋼銲材和低合金鋼結構鋼銲材，主要用於鋼結構的銲接。這類銲材的選用主要是根據被銲母材的化學成份、力學性能和抗裂性能等的要求，結合銲接結構的形狀、剛性大小、工作條件、受力情況和施工條件等進行綜合考慮。必要時還需進行銲接性試驗來選用銲材和採取必要的技術措施。

7.1 銲材選用原則

一般來說，該類銲材選用的基本原則是：

- (1) 碳鋼或低合金鋼的銲接，一般按照銲接接頭與母材等強度的原則，選用強度級別相當的銲材，必須綜合考慮銲道金屬的韌性、塑性和強度。
- (2) 同一強度等級的酸性銲條和低氫系銲條的選用，主要取決於銲接結構的複雜程度、剛性大小、鋼板厚度、工作條件(靜負載或動負載)、鋼材銲接性的難易和對抗裂性能的要求等。當母材結構複雜、剛性大、銲接性差(母材中的碳、硫、磷等雜質量偏高等)、工作條件要求高的重要結構等銲接時，一般應選用低氫系鹼性銲條。但對強度等級較低的也可選用酸性銲條。