

鋼骨箱型柱內橫隔板電熱熔渣銲 (ESW)問題探討

林克強

國家地震工程研究中心研究員
台灣科技大學營建系合聘教授

莊勝智、李昭賢、林志翰、林德宏
陳垂欣、蔡相明

January 18, 2019

1

簡報內容

- 箱型柱含ESW銲道之梁柱接合
- 傳統梁柱接合破壞模式
- 符合變形能力之梁柱接合形式
- ESW銲道品質問題
- 結論與建議

2

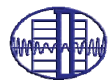


簡報內容

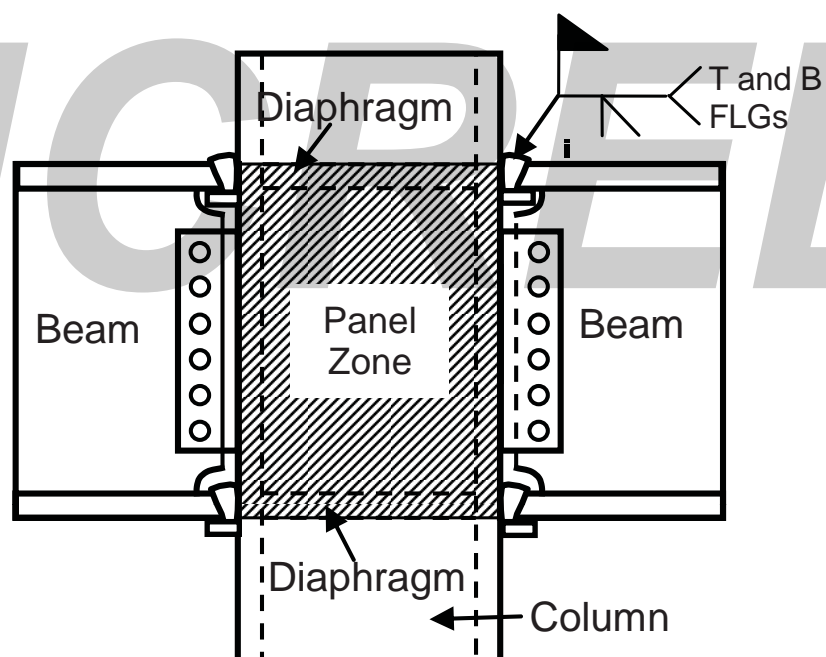
- 箱型柱含ESW銲道之梁柱接合
- 傳統梁柱接合破壞模式
- 符合變形能力之梁柱接合形式
- ESW銲道品質問題
- 結論與建議

NCREE

3

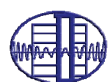


台灣典型鋼骨箱型柱梁柱接合



NCREE

4

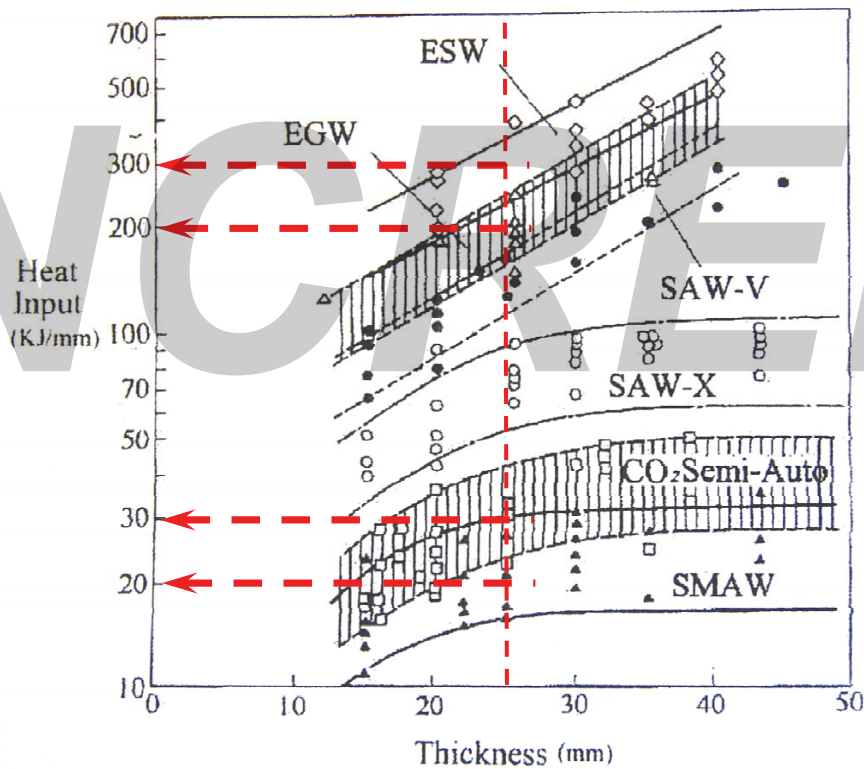


Fabricated Procedure of Diaphragms within Box Column

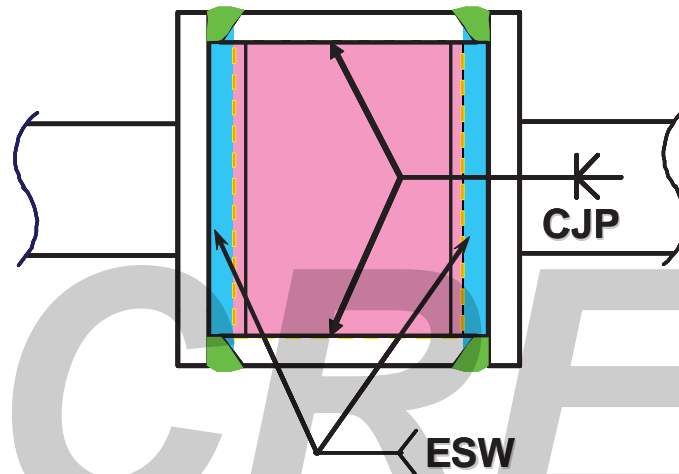
SESNET **ESW**
Simplified Electro-slag
Welding Process with
Non-consumable
Elevating Tip
 「非消耗性導管上升式電容渣銲接法」

5

ESW銲接之高入熱量



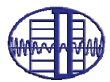
現行箱型柱內橫隔板與柱板ESW銲接



現行採用兩面ESW銲接



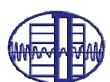
四面ESW銲接



NCCREE

簡報內容

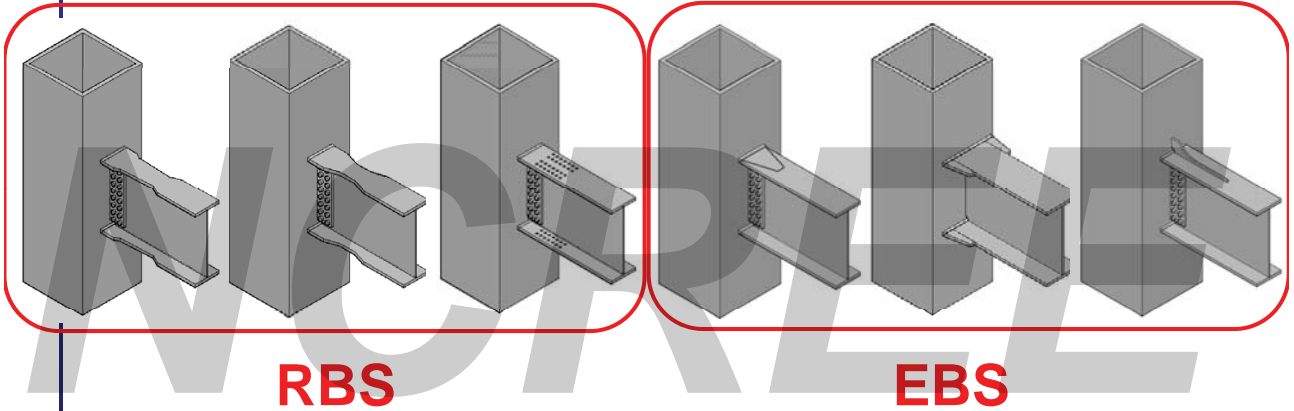
- 箱型柱含ESW銲道之梁柱接合
- 傳統梁柱接合破壞模式
- 符合變形能力之梁柱接合形式
- ESW銲道品質問題
- 結論與建議



NCCREE

Database

- 業界過去委託本中心試驗，共35組。
- 依設計單位設計結果製作。

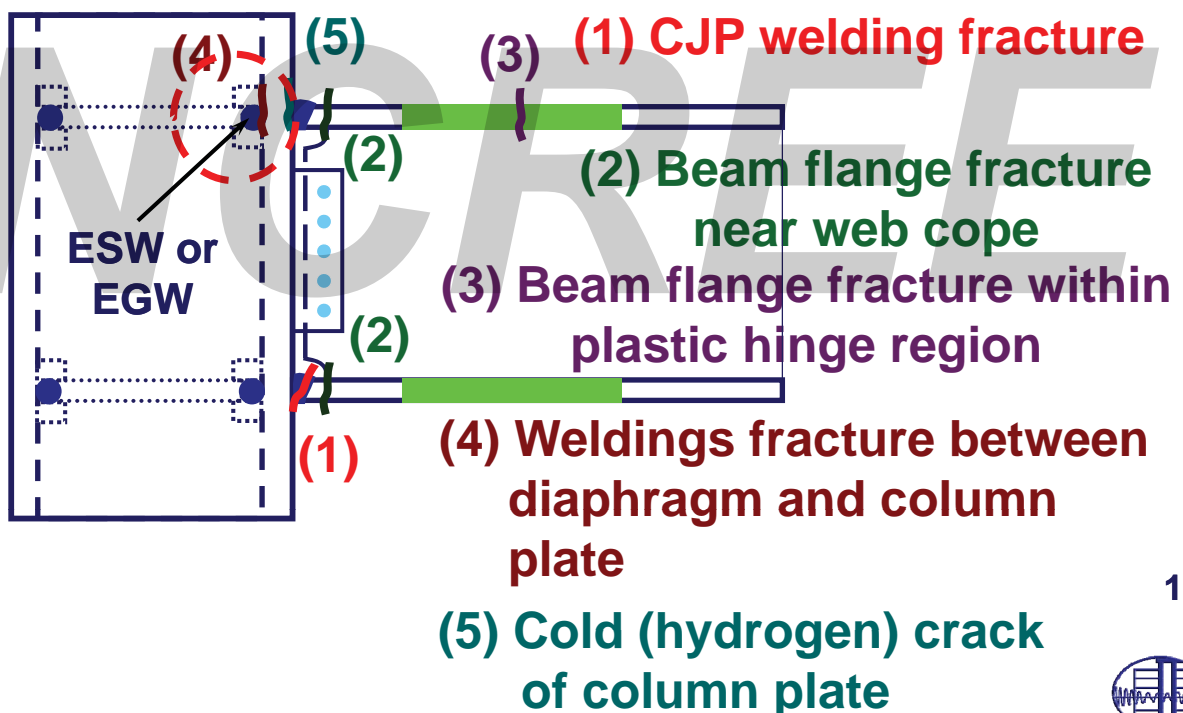


NCREE

- 試體材質 A572 GR50、SN490B。
- 試體均通過UT檢驗，方進行試驗。

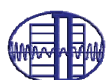


鋼骨梁柱接合的破壞種類

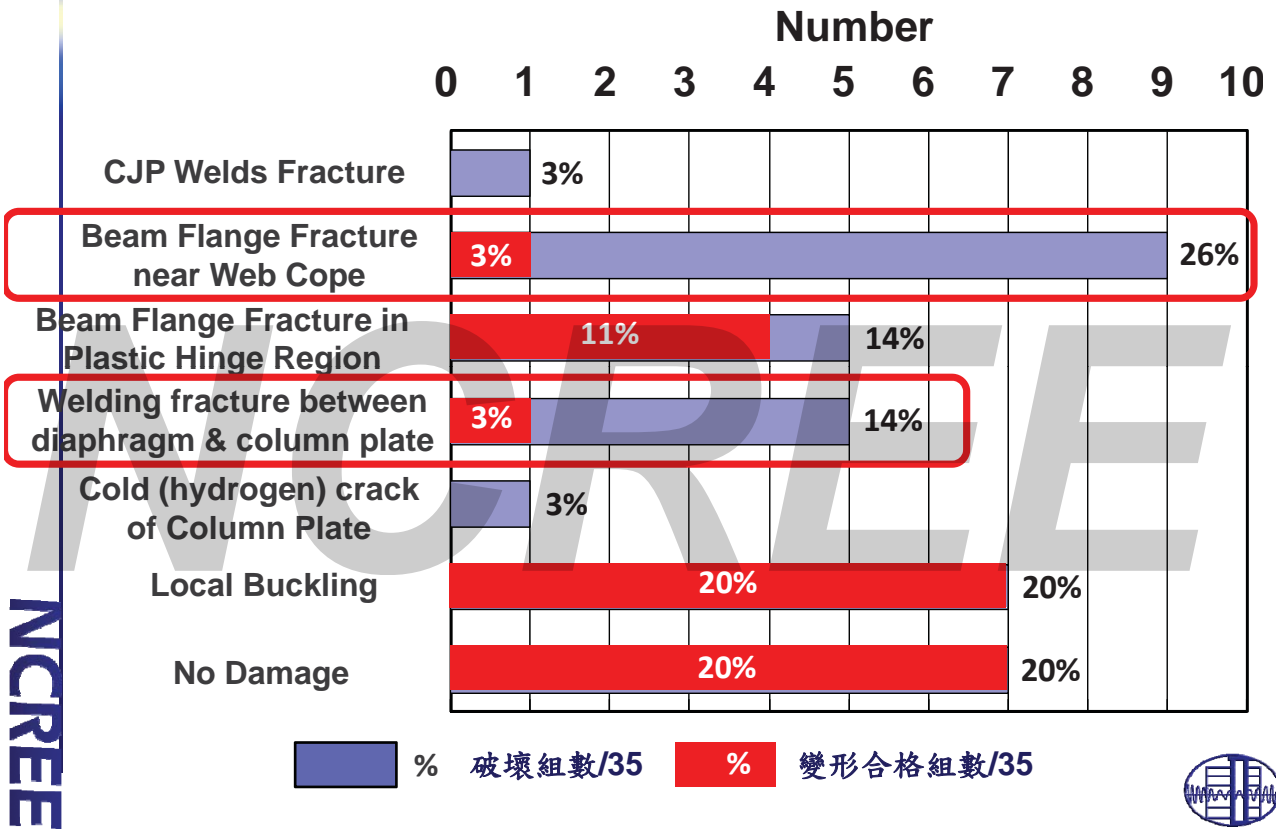


NCREE

10

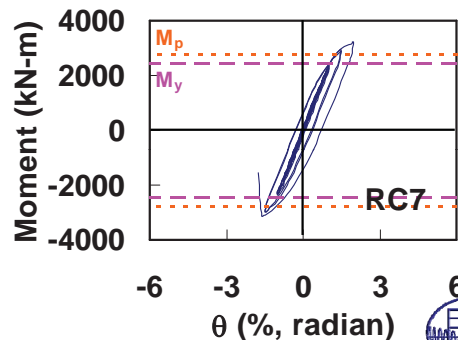


Statistic of Fracture Modes



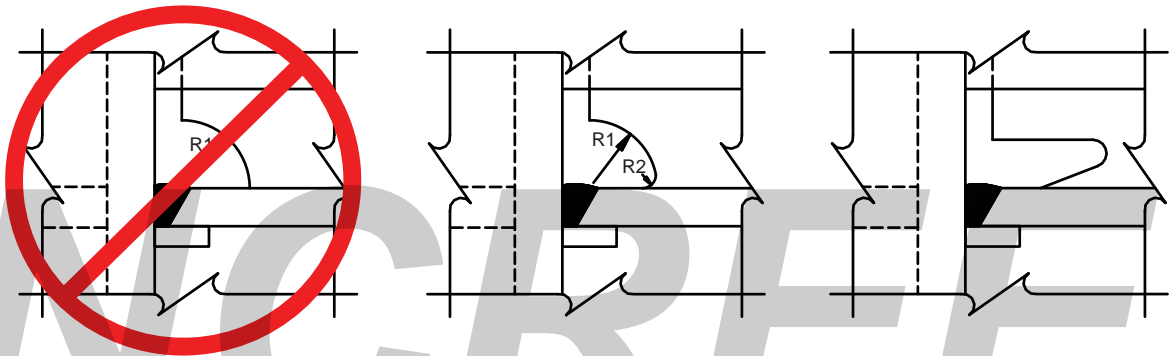
扇形開孔尖端附近斷裂之破壞模式

梁翼板在扇形開孔尖端附近斷裂



扇形開孔細節

weld access hole



四分之一圓
扇形開孔

雙圓弧
扇形開孔

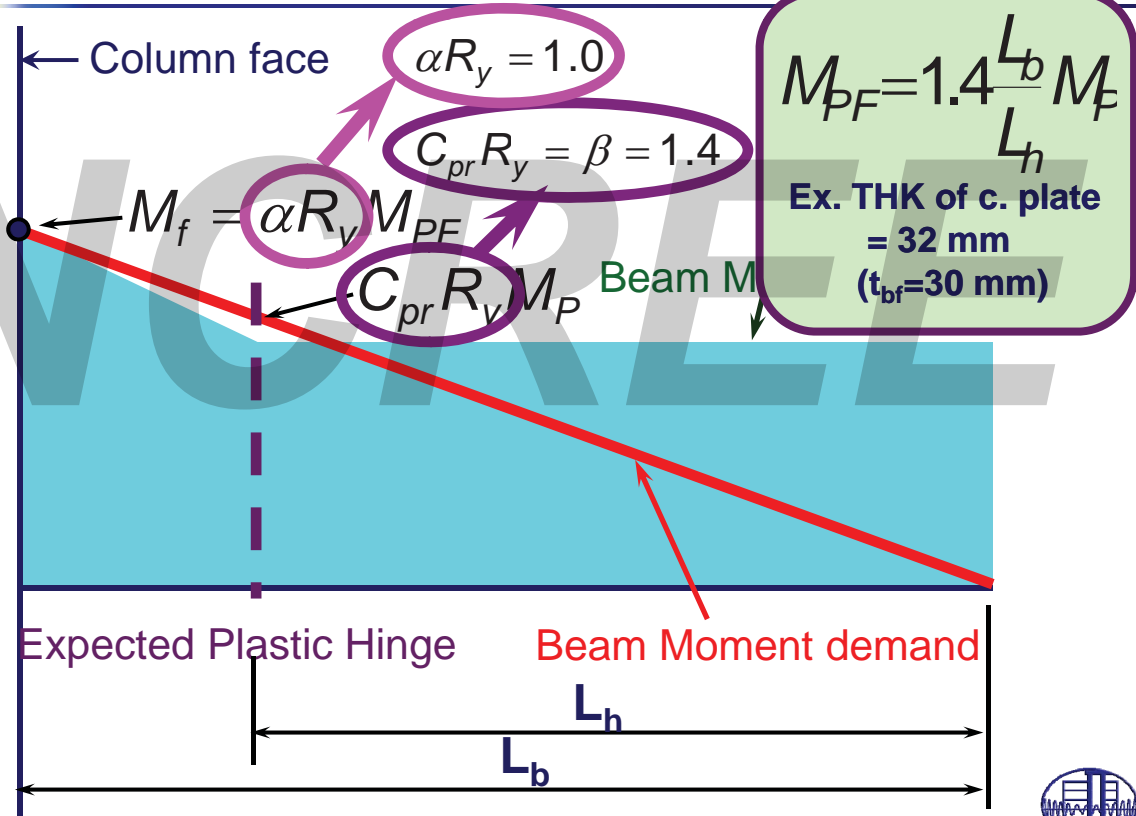
美式
扇形開孔

NCREE

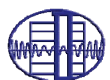
13



增強型梁柱接合設計



NCREE



簡報內容

- 箱型柱含ESW鉚道之梁柱接合
- 傳統梁柱接合破壞模式
- 符合變形能力之梁柱接合形式
- ESW鉚道品質問題
- 結論與建議

NCREE

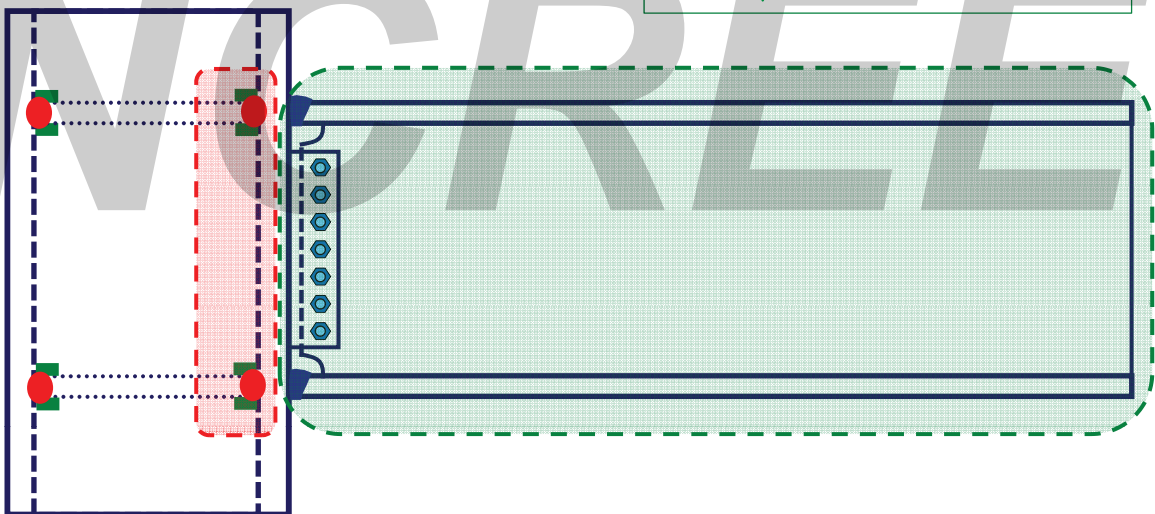
15



影響箱型柱梁柱接合耐震性能之因素

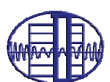
橫隔板與柱板接合之
電熱熔渣鉚接品質

梁柱接合細節與
設計方法



16

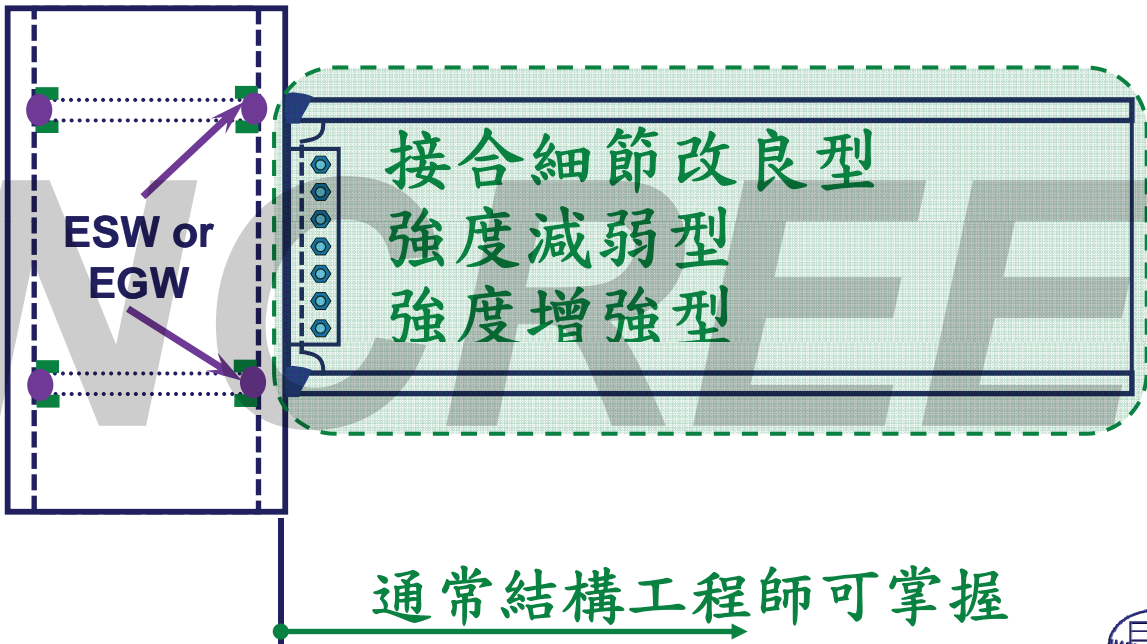
NCREE



柱梁柱接合細節與設計方法

「鋼構造梁柱抗彎接合設計手冊」科技圖書

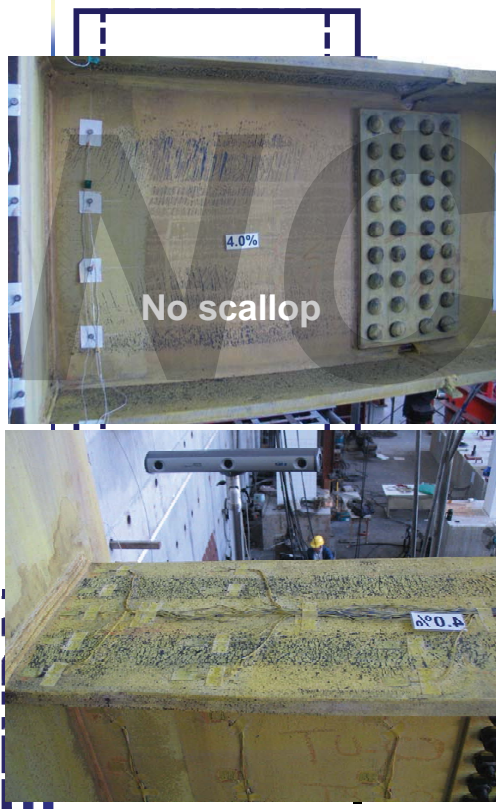
NCREE



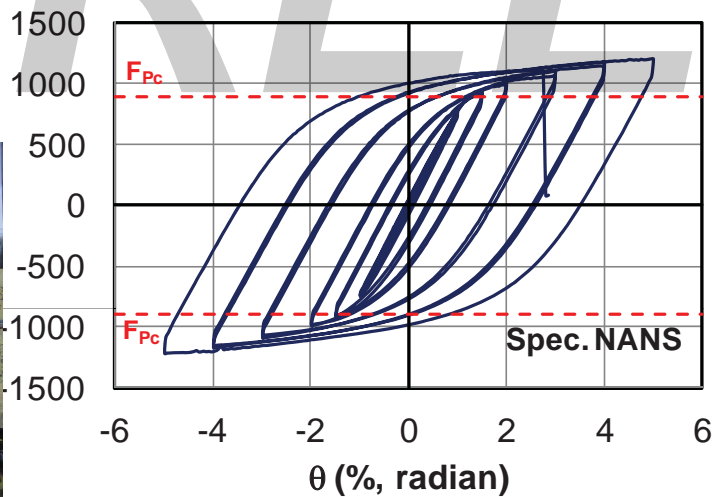
17



柱梁柱接合細節與設計方法



接合細節改良型

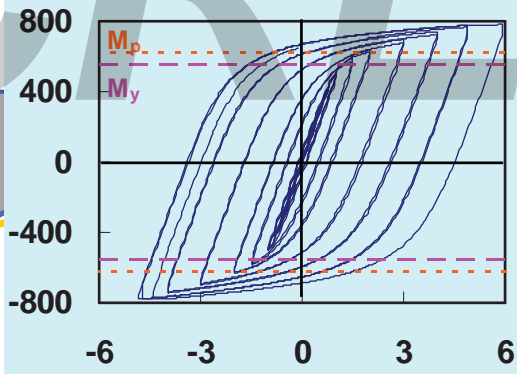
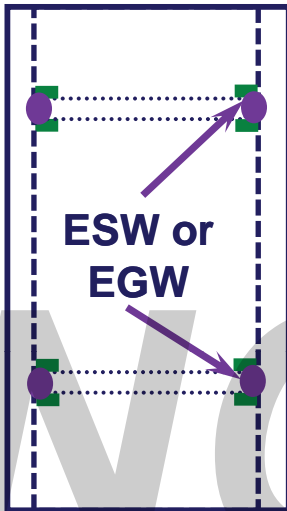


18



柱梁柱接合細節與設計方法

NCREE



● 塑鉸



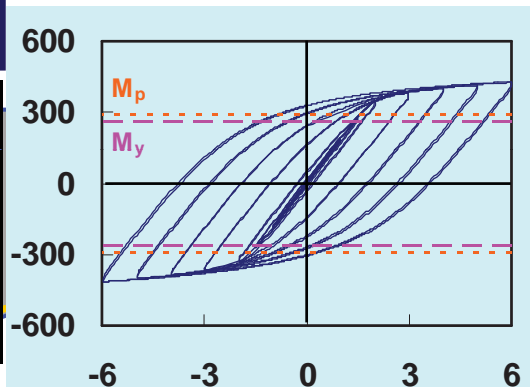
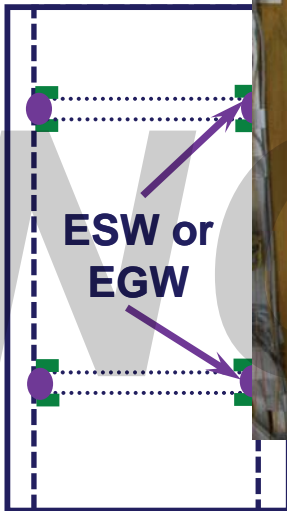
M_p



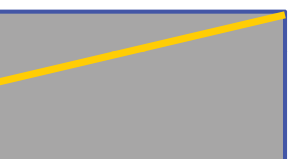
19

柱梁柱接合細節與設計方法

NCREE



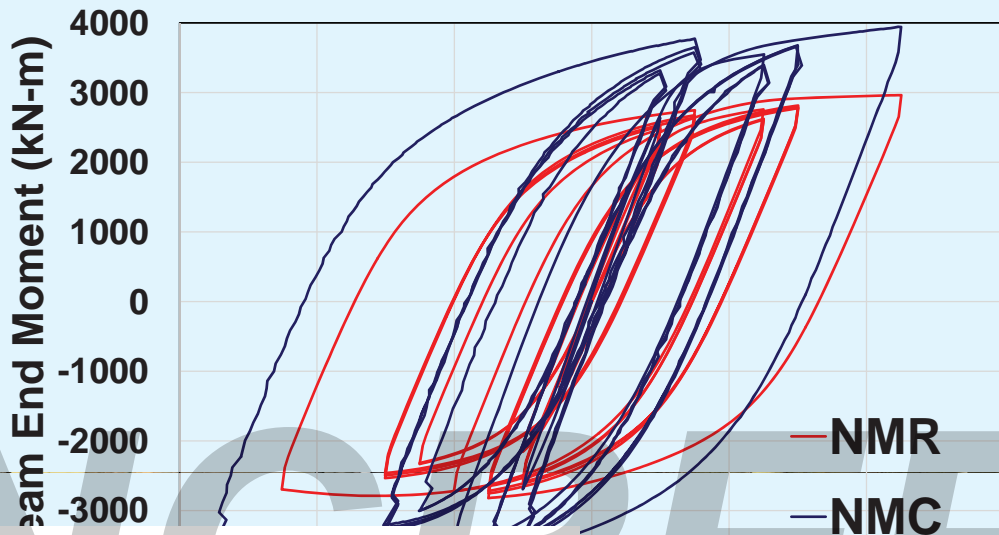
● 塑鉸



M_p

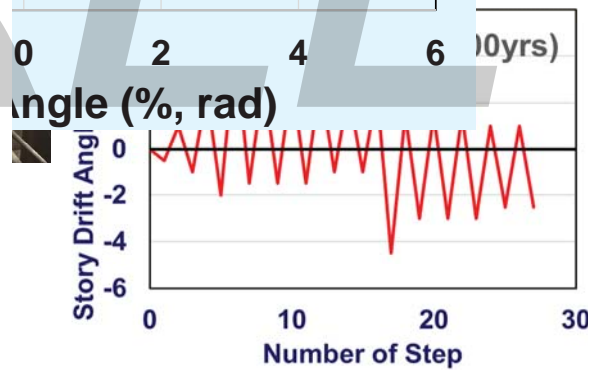


20



相同量構件在近斷層大變形需求下

- (1) 增強型與減弱型梁柱接合變形容量大致相同。
- (2) 增強型較減弱型梁柱接合強度大1.33倍左右。

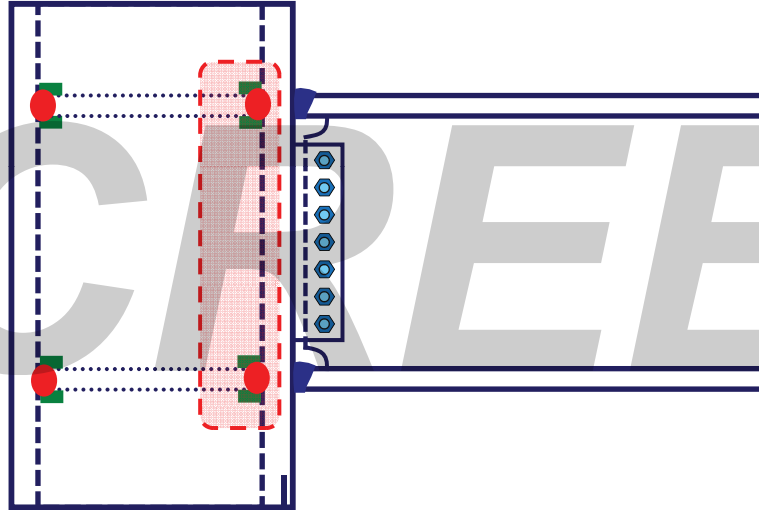


簡報內容

- 箱型柱含ESW銲道之梁柱接合
- 傳統梁柱接合破壞模式
- 符合變形能力之梁柱接合形式
- **ESW銲道品質問題**
- 結論與建議

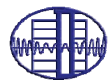
電熱熔渣銲(ESW)銲道品質

橫隔板與柱板接合之
電熱熔渣銲銲道品質



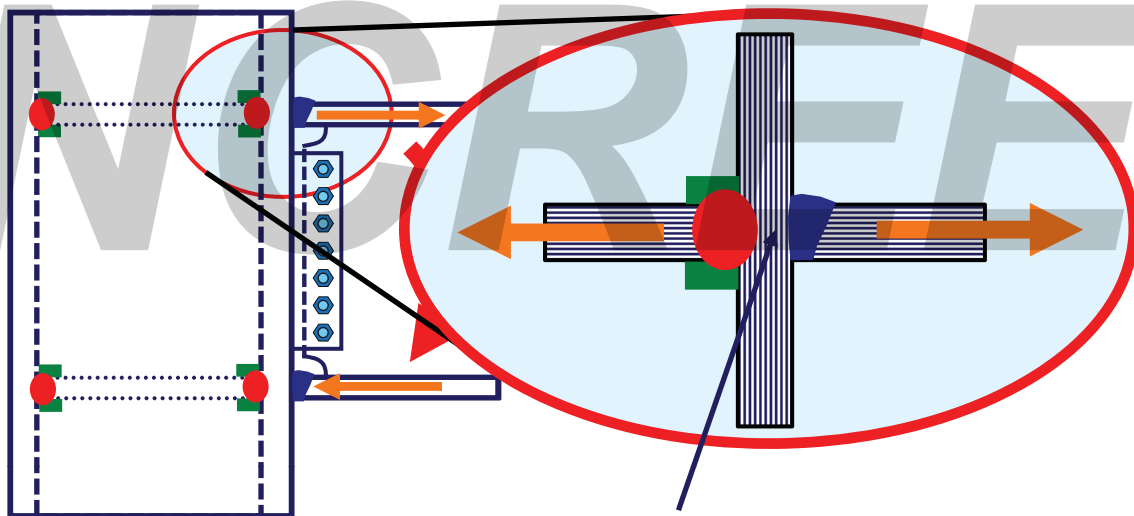
非結構工程師可掌握

23



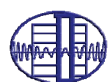
NCCREE

橫隔板與柱板接合之電熱熔渣銲 (ESW)受力行為



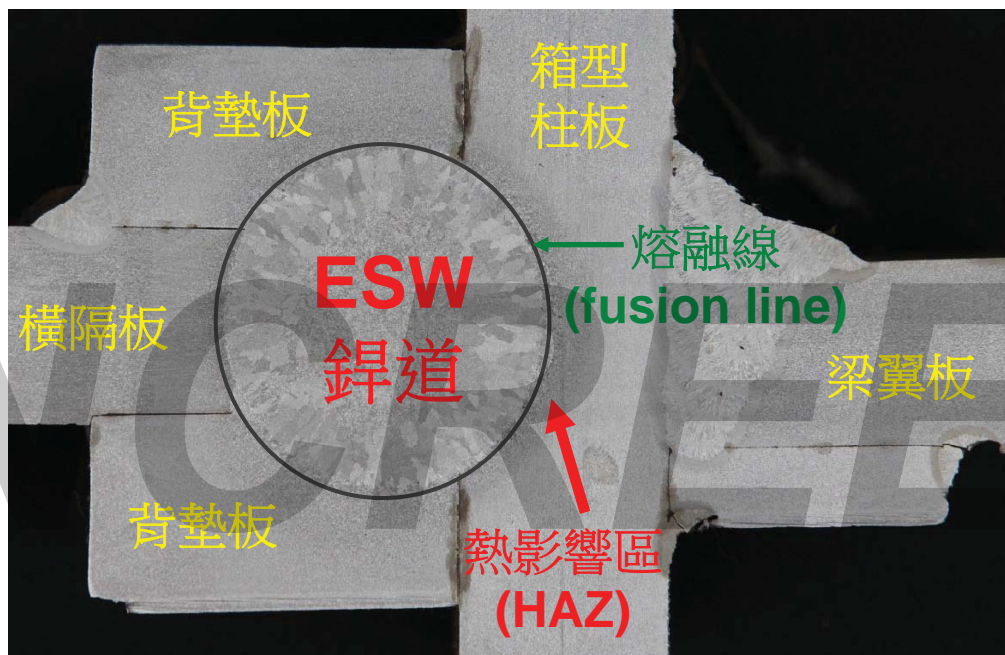
箱型柱板厚度
方向受拉

24

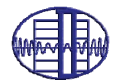


NCCREE

箱型柱電熱熔渣銲道的組成

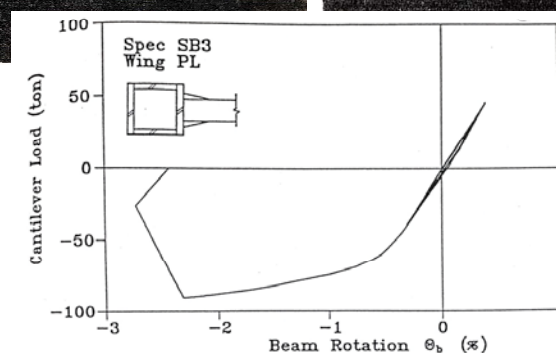
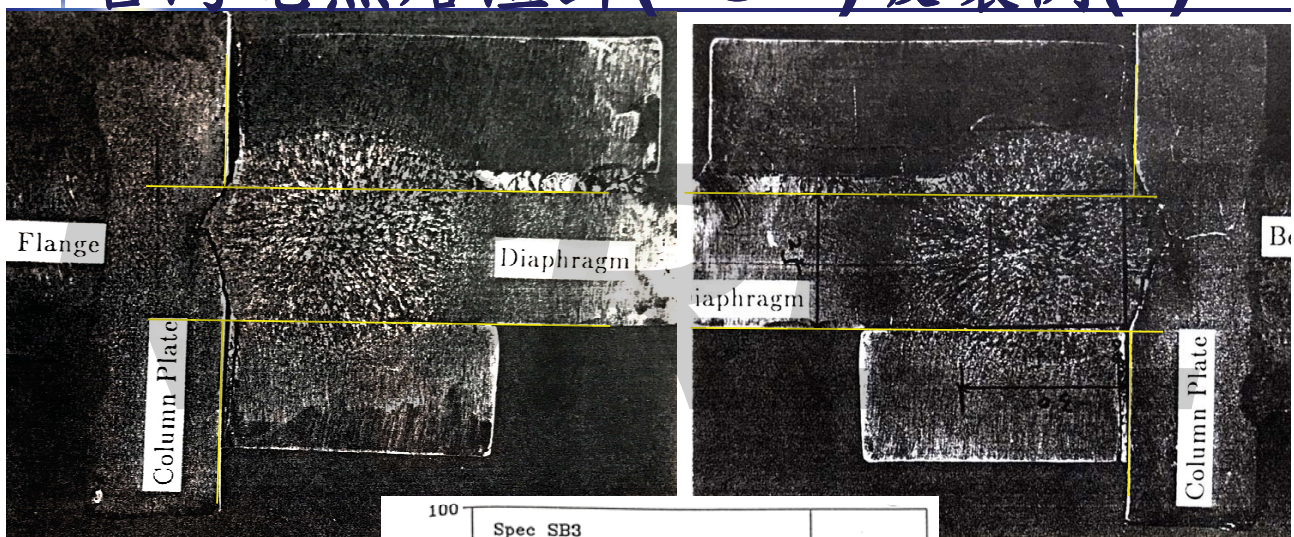


25

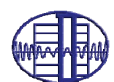


NCREE

台灣電熱熔渣銲(ESW)破壞例(1)

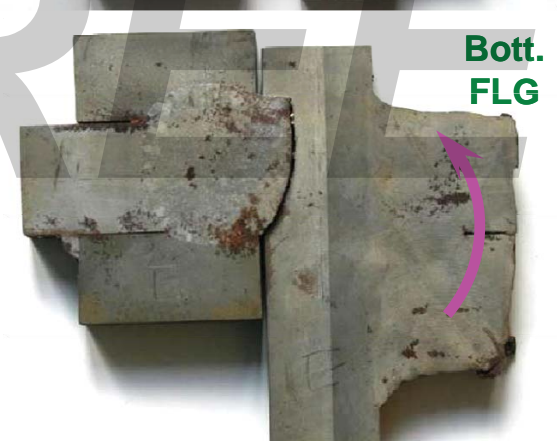
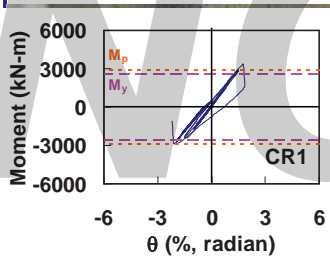
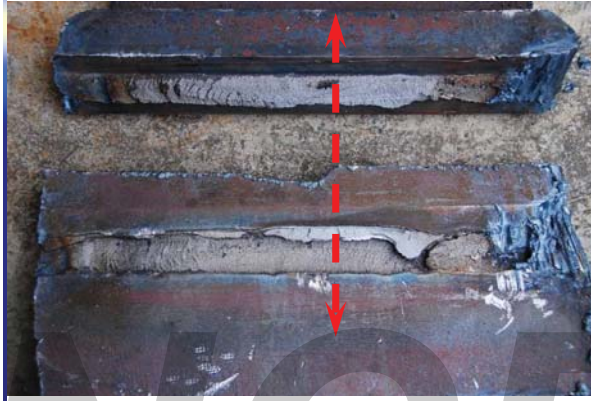


26



NCREE

台灣電熱熔渣銲(ESW)破壞例(3)

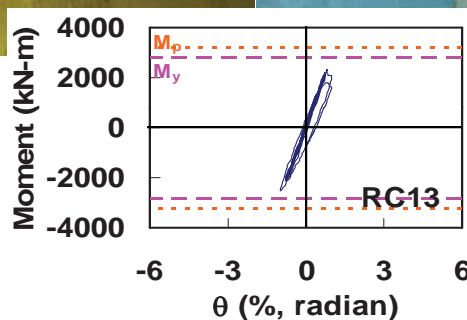


NCREEE

27



台灣電熱熔渣銲(ESW)破壞例(4)

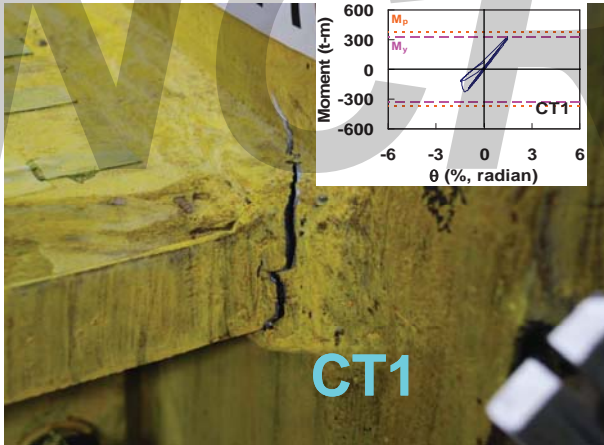


NCREEE

28

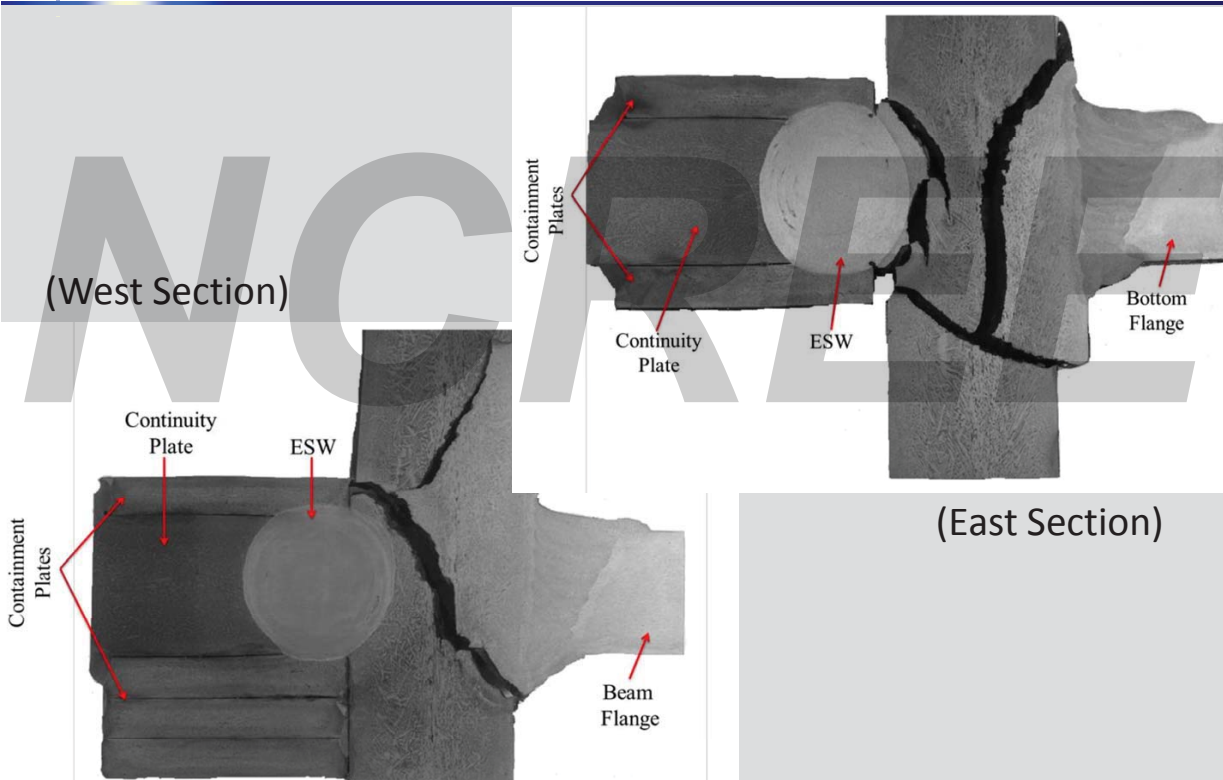


台灣電熱熔渣銲(ESW)破壞例(2)



NCREEE

美國試驗結果



30



(Prof. Uang UCSD)

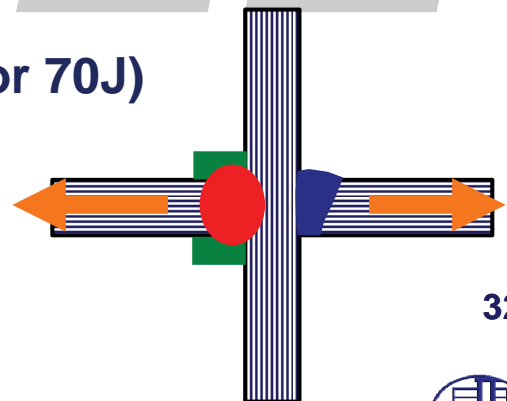


NCREE



決定ESW銲道品質的主要性質

- 拉力強度
含柱板面外、HAZ、銲道
(不得低於材料拉力強度)
- 衝擊韌性
以Charpy V-notch (CVN)評估
含柱板面外、HAZ、銲道
(不得低於27J) · (目標值47 or 70J)
- 硬度值
維克(Vickers)硬度
(不得高於350 Hv)
- 熔幅寬度
以UT檢測



影響箱型柱ESW銲道品質的因素

- 材料 → 鋼鐵生產
 - 鋼板母材
 - 銲材
 - 背墊板
- 銲接程序 → 鋼構件製造
 - 高入熱量造成HAZ粗晶化、衝擊韌性降低
 - WPS與實際接合形式是否相符
 - 銲接品質的可靠性。
- ESW銲道檢測 → 非破壞檢測
 - UT銲道熔幅檢測的可靠性
 - UT銲道熔幅檢測的合格標準

33



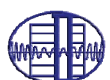
NCREE

結構工程師面對

箱型柱ESW銲道的議題

- 材料的性能
- WPS的適用性
- ESW銲道熱影響區(HAZ)的衝擊韌性
- ESW銲道檢測

34

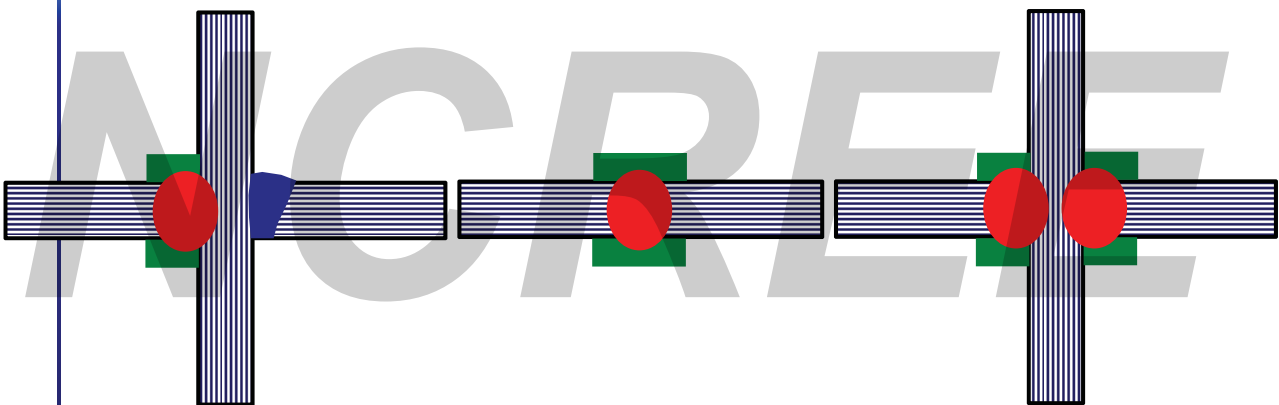


NCREE

	Type	P(%)	S(%)	CE / P _{cm}	R of fy	R of fu	fy/fu	ZR _N (%)	CVN	UT
A36	P, S	0.04	0.05	N / N	N	58~80	N	N	N	N
A572 GR50	P, S	0.04	0.05	N / N	N	N	N	N	N	N
A913 GR50	WF	0.04	0.03	0.38 / N	N	N	N	N	21° 54J	N
A992	WF	0.035	0.045	0.47 / N	50~65	N	0.85	N	N	N
SM-A	P, S	0.035	0.035	GR 490 (TMCP) t ≤ 50 mm	N	400~510	N	N	N	N
SM-B	P, S	0.035	0.035	0.38 / 0.20 50 < t ≤ 100	N	490~610	N	N	0° 27J	N
SM-C	P, S	0.035	0.035	GR 400 & Q N / N	N	N	N	N	0° 47J	N
SN-A 400	P, S	0.05	0.05	N / N	N	400~510	N	N	N	N
SN-B	P, S	0.03	0.015	(QT) 400	16~40mm	490~610	0.80	N	0° 27J	N
SN-C	P, S	0.02	0.008	0.36 / 0.26 490 0.44 / 0.29	235~355 325~445	490~610	0.80	3/25 1/15	0° 27J	Y

ESW 銲接常見之WPS接合試體

36



(a) T joint
實際接合

(b) Butt joint
國內常用接合
(引用AWS)

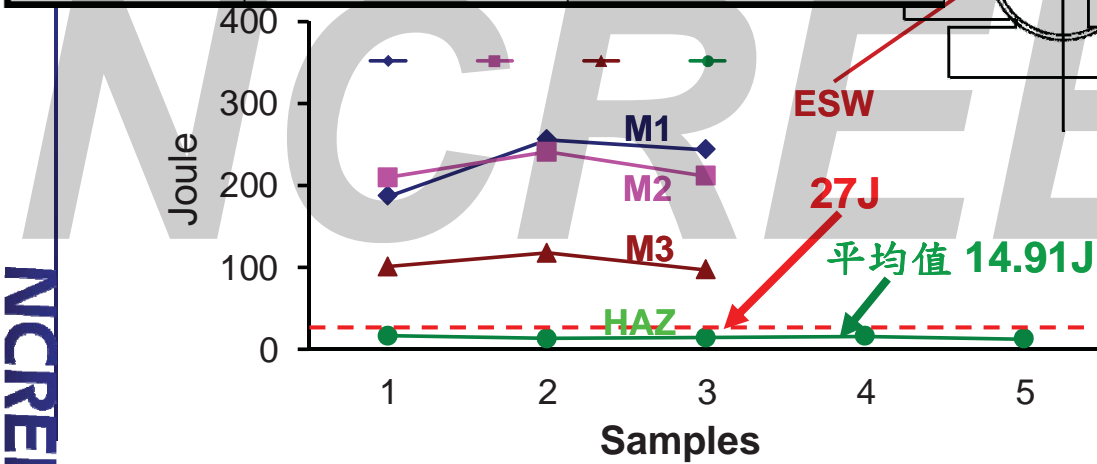
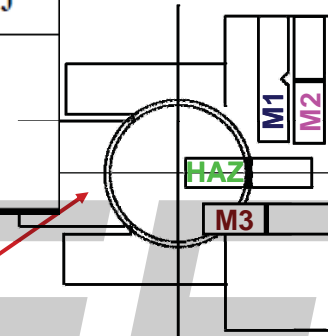
(c) Cross joint
JASS 6 (2007)

CVN分佈 (A572 GR50)

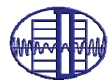
0°C

種類符號	試驗溫度°C	沙丕吸收能量 J
SN400B	0	27 以上
SN400C		
SN490B		
SN490C		

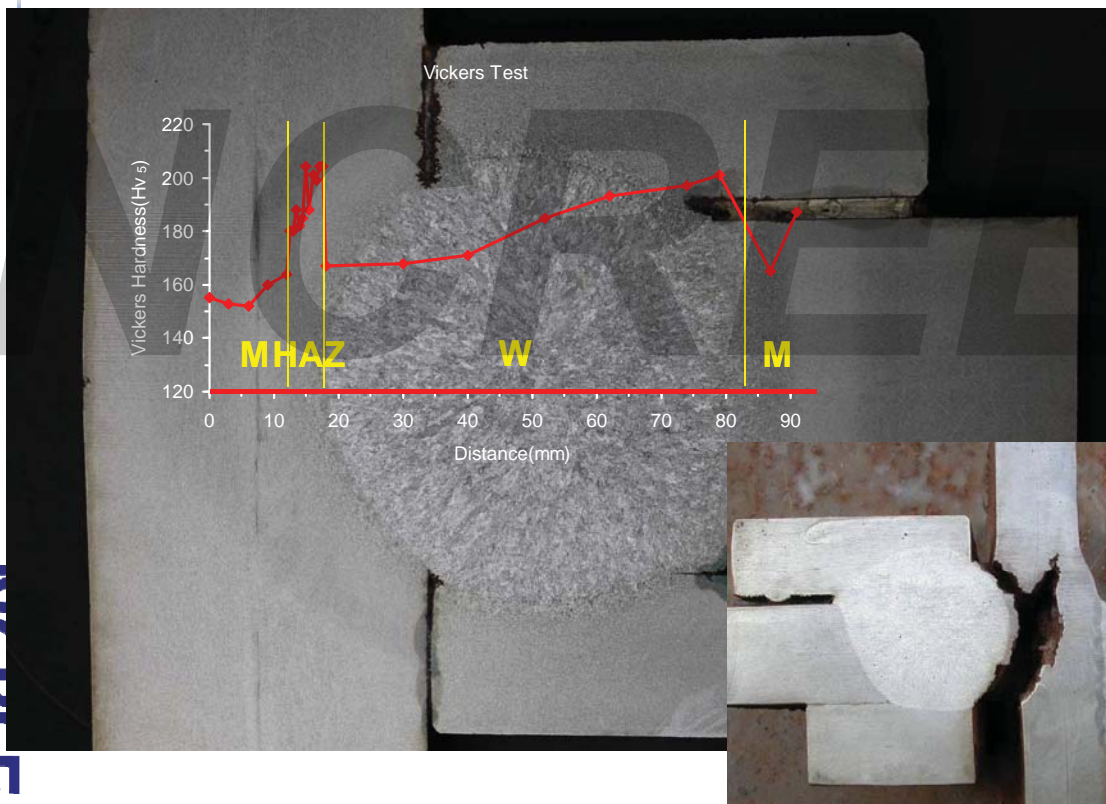
A572 GR50



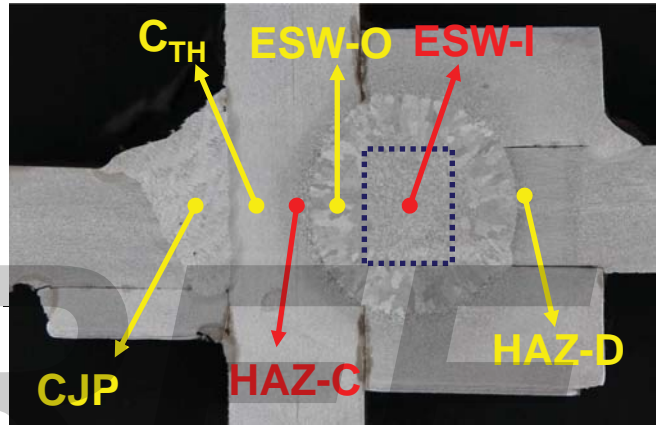
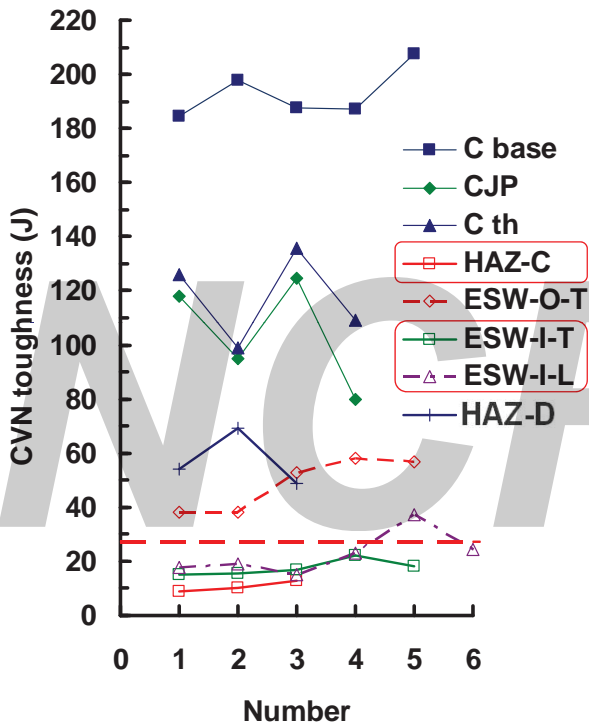
37



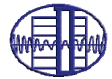
硬度分佈 (A572 GR50)



CVN分佈 (SN490B)

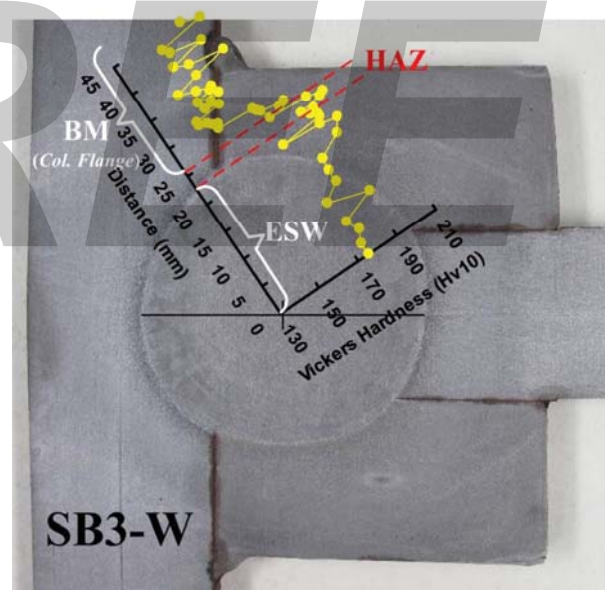
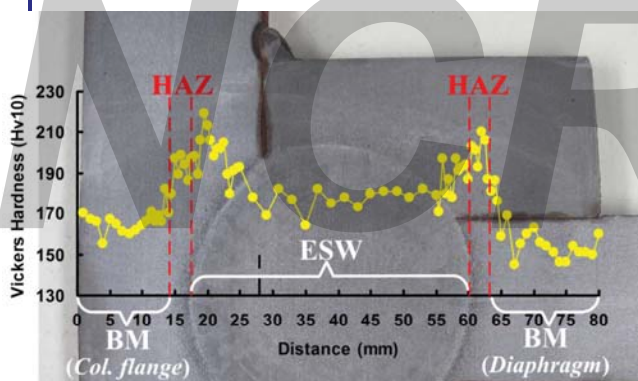


- SN490B Steel
- @0°C
- Material requirement: $\geq 27J@0^{\circ}C$



硬度分佈(SN490B)

SN490B



SB3-W

SB3-W

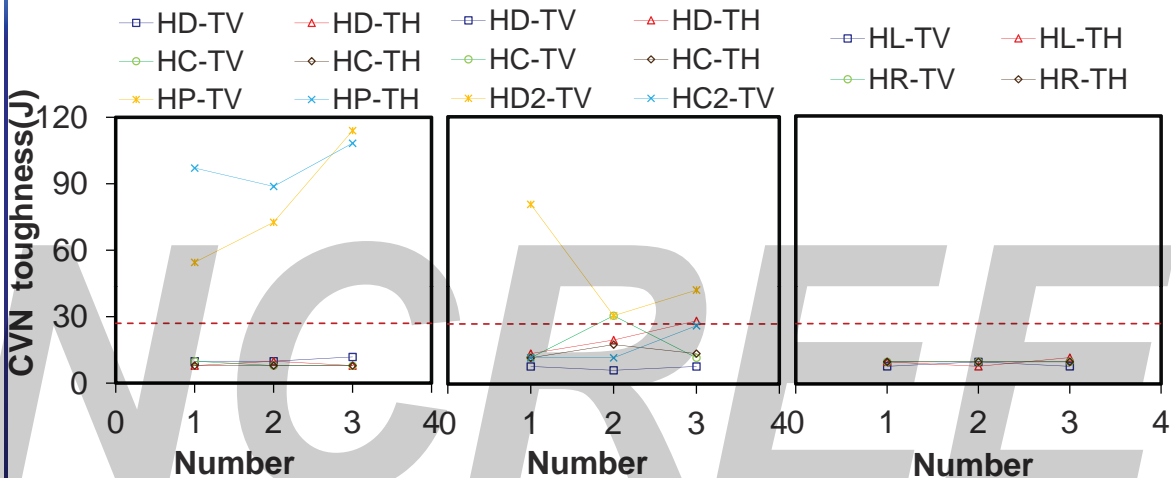
INVEE



ESW熱影響區之CVN值比較

SM570M CHW

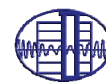
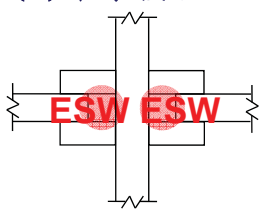
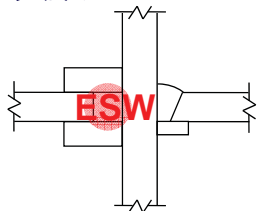
-5°C



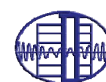
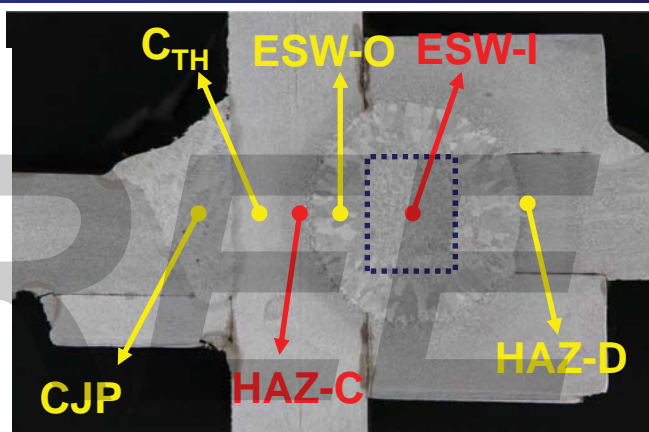
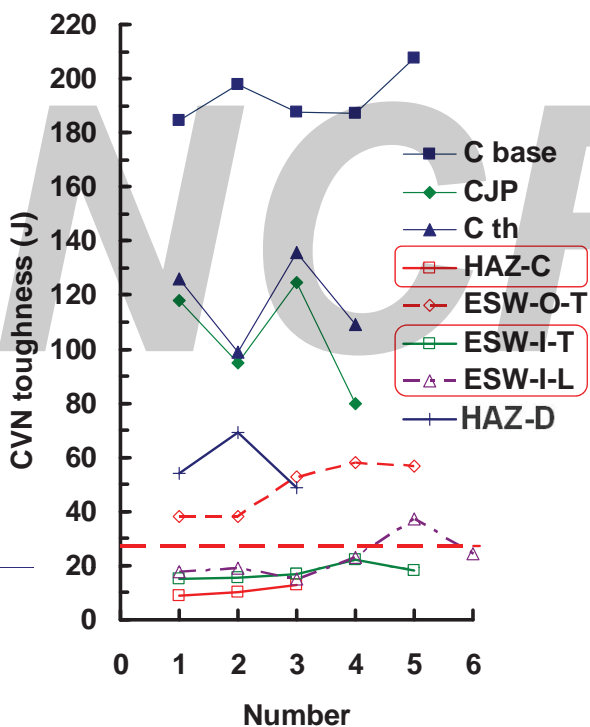
(a) T形接合

(b) 十字接合

(c) 對接接合



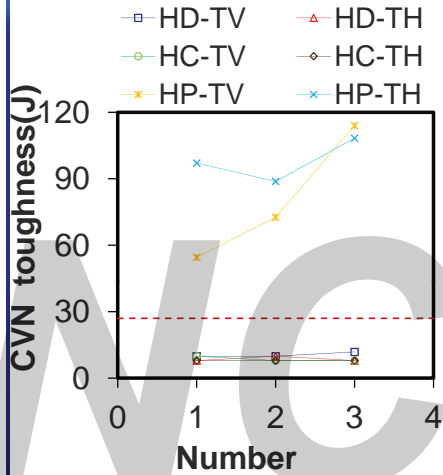
柱板與橫隔板HAZ的CVN值比較



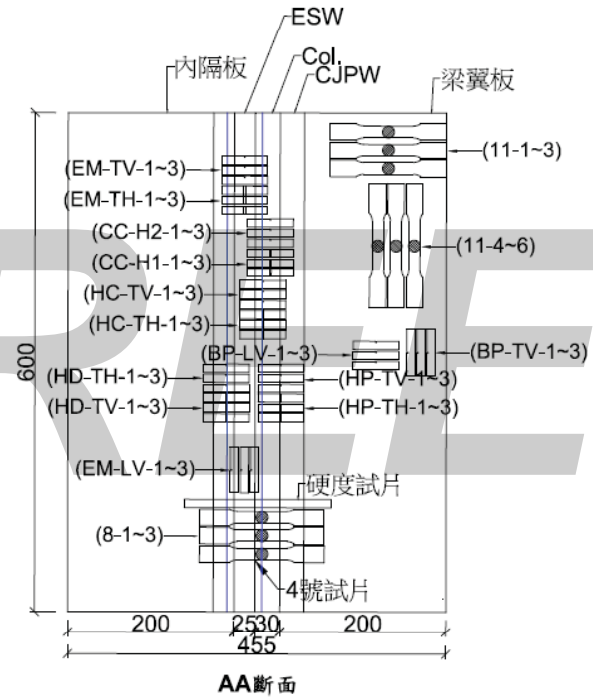
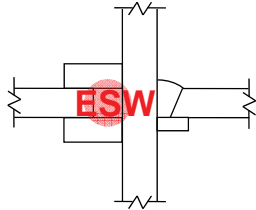
柱板與橫隔板HAZ的CVN值比較

SM570M CHW

-5°C



(a) T形接合



NCREE



日本對鋼板採用ESW銲接的要求

表-1 溶接部性能目標值

溶接部位	引張強度 (N/mm ²)	シャルピー-吸收エネルギー-規定値/目標値 (J)	最高硬さ (Hv10, Hv5)
BOX 柱角継手	590 以上	27/70 以上	350 以下
ダイアフラム	590 以上	27/70 以上	
梁フランジ	590 以上	47/70 以上	

[注] 1) 異種継手の場合の引張強度は低強度側の規格値を適用する。
2) シャルピー吸収エネルギーは、70 (J) 以上を設計上の目標値としている。

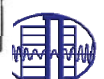
表-7 衝撃試験結果

SA 440

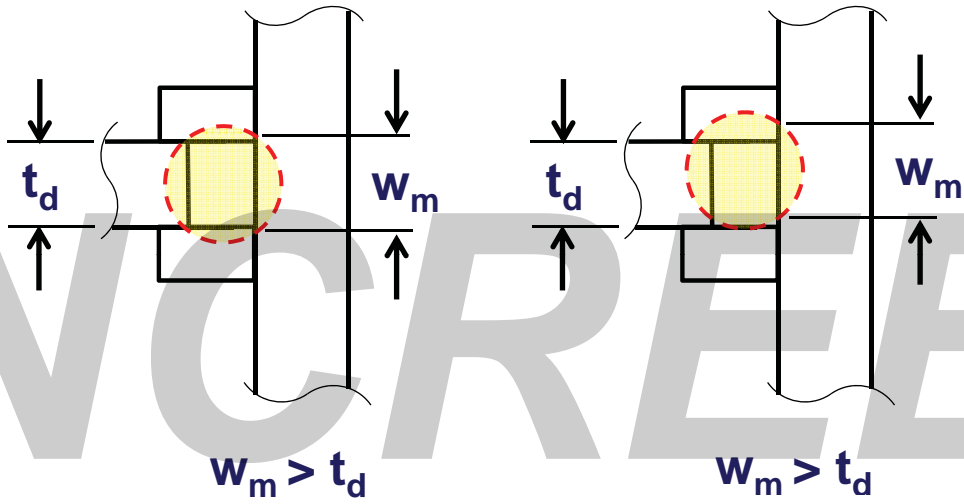
試験片	採取部位		A社 (J)		B社 (J)		試験片採取位置
			1	2	1	2	
1, 2, 3	E S 溶接	DEPO	43	88	124	139	
		BOND	124	139	169	113	
		HAZ	169	113	83	98	
4, 5, 6, 7, 8	T S A W 溶接	DEPO	83	98	91	80	
		BOND (フランジ)	91	80	138	98	
		BOND (ウェブ)	129	129	153	126	
		HAZ (ウェブ)	153	126	101	109	
9, 10, 11, 12, 13	CO ₂ 溶接	DEPO	101	109	188	214	
		BOND (柱)	188	214	177	260	
		BOND (梁)	215	118	215	118	
		BOND (梁)	215	118	208	97	
		HAZ (梁)	208	97	190	201	
14	CO ₂ 溶接	HAZ (柱)	190	201			
15	T S A W 溶接	DEPO (境界部)	-	78			

[注] シャルピー吸収エネルギーは3個の試験片の平均値とする。

NCREE



熔幅UT檢測



Qualified

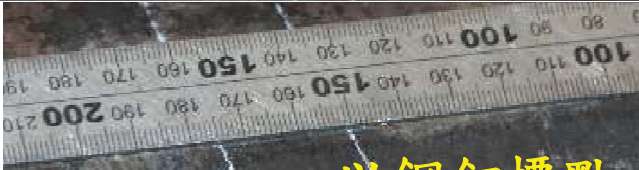
Disqualified

45



NCREE

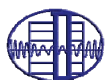
UT檢測基準



以鋼釘標點



46



NCREE

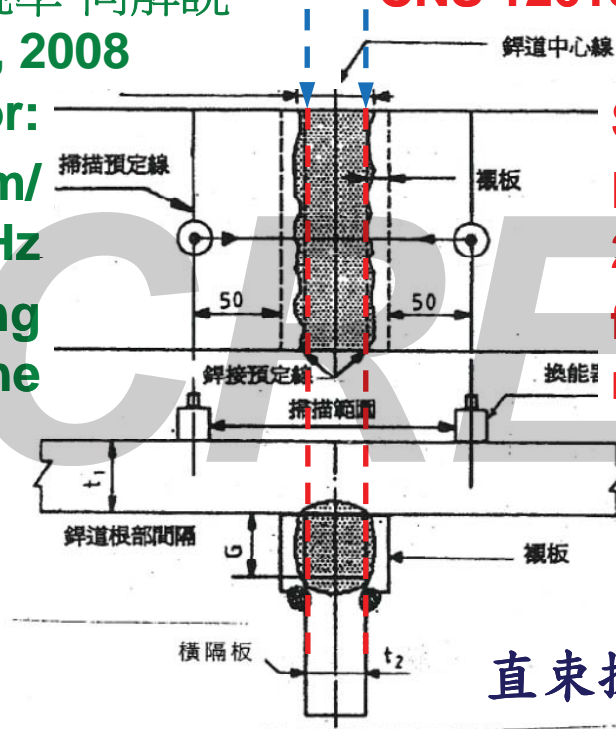
UT 直束熔幅檢測

鋼構造建築熔接部の超音波
探傷檢查規準同解説,
AIJ, 2008

Taiwan Standard
CNS 12618, Appendix A

Sensor:
D 10 mm/
5MHz
for inspecting
melting line

Sensor:
D 20-25mm/
2-5MHz
for inspecting
melting line



47



NCREE

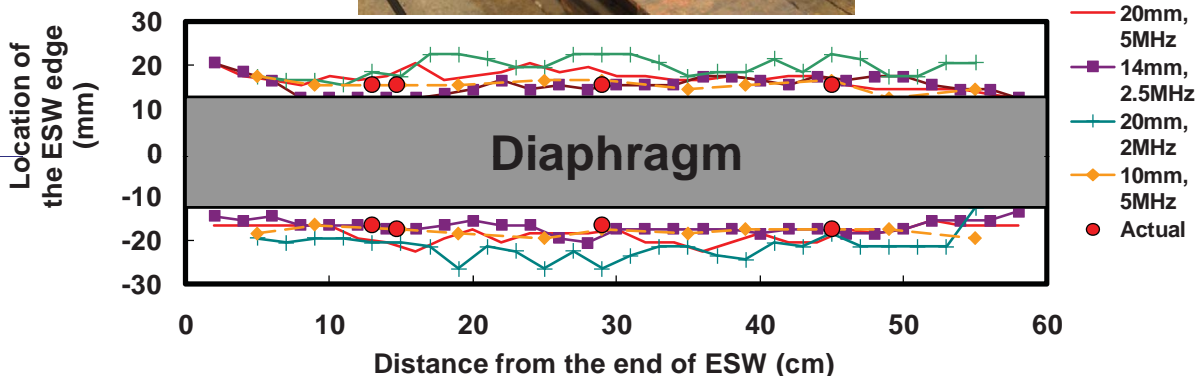
量測結果與誤差

UT Transducer:

- 20 mm / 2 MHz
- 14 mm / 2.5 MHz
- 20 mm / 5 MHz
- 10 mm / 5 MHz

Error:

- 2~7 mm
- 3~4 mm
- 2~5 mm
- 0~1 mm

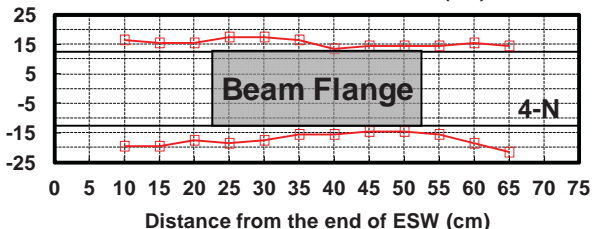
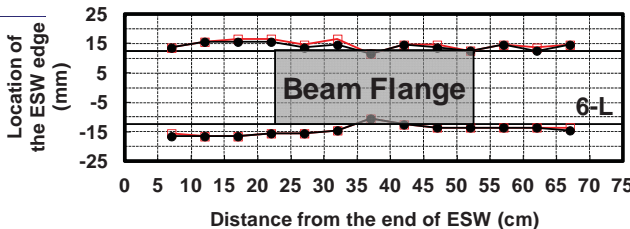
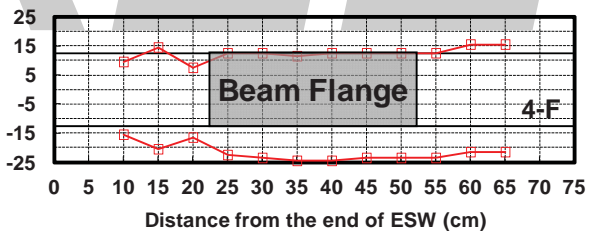
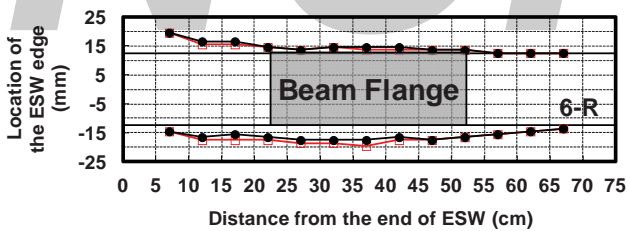
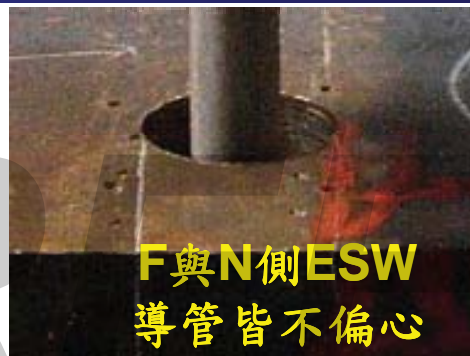
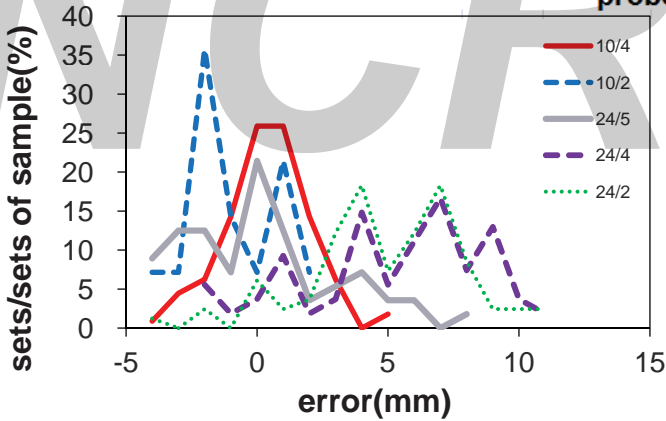
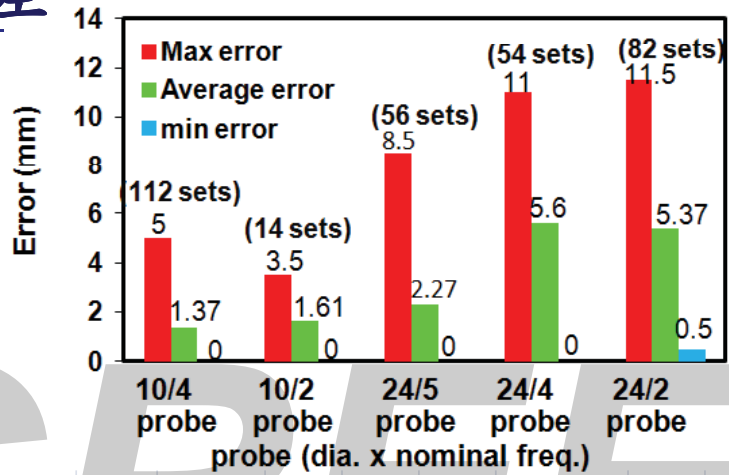


18

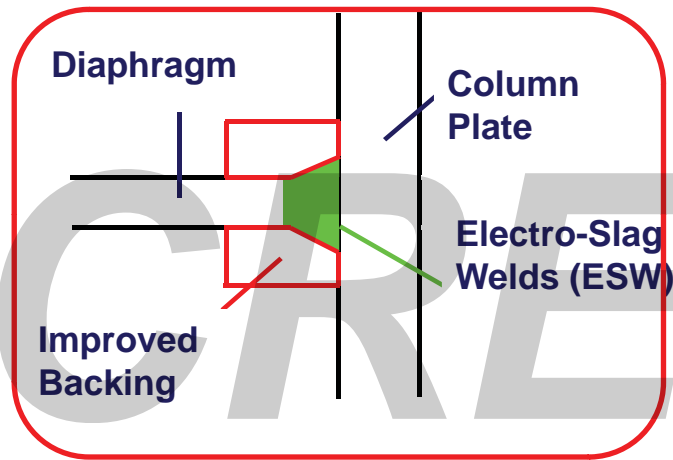


NCREE

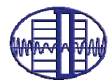
NCREE



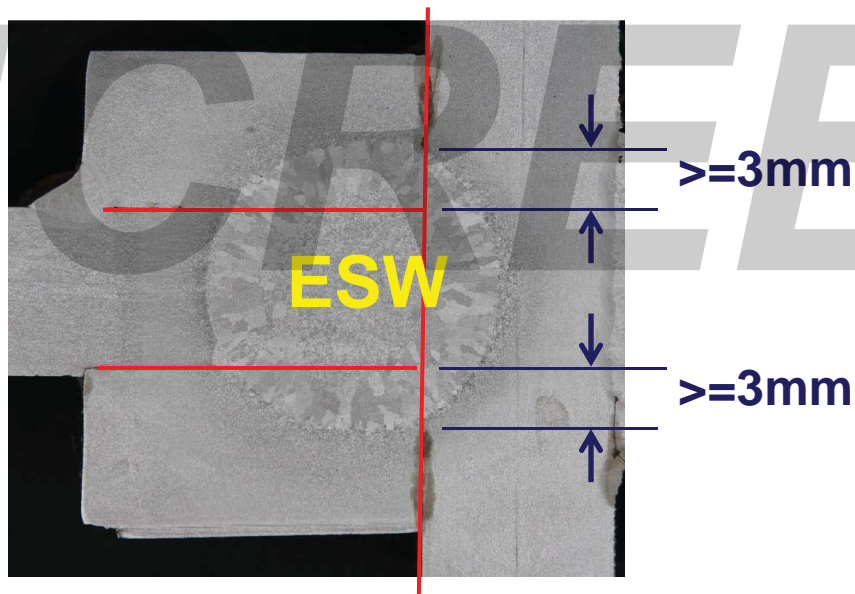
ESW 銲道改善接合細節



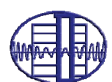
NCREEE



ESW 熔幅之合格標準



NCREEE

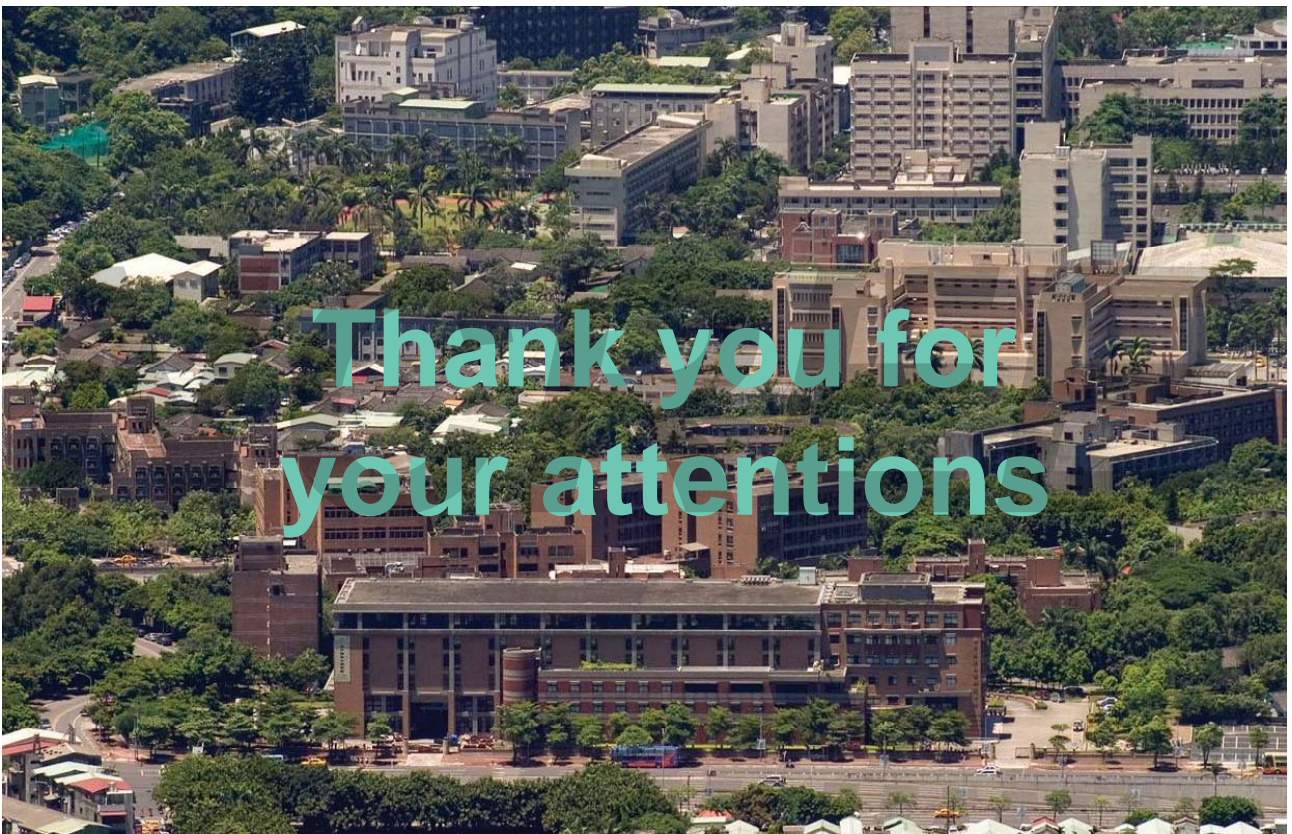
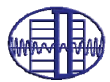


結論與建議

- 結構工程師可掌握設計方法與力學行為
- 高入熱量ESW的銲道品質須由
材料
銲接
檢測
共同努力讓箱型柱採用四面ESW

NCREE

53



NCREEE

NCREEE

電熔渣銲原理與試驗

NCREE

GOOD
GOODWELD

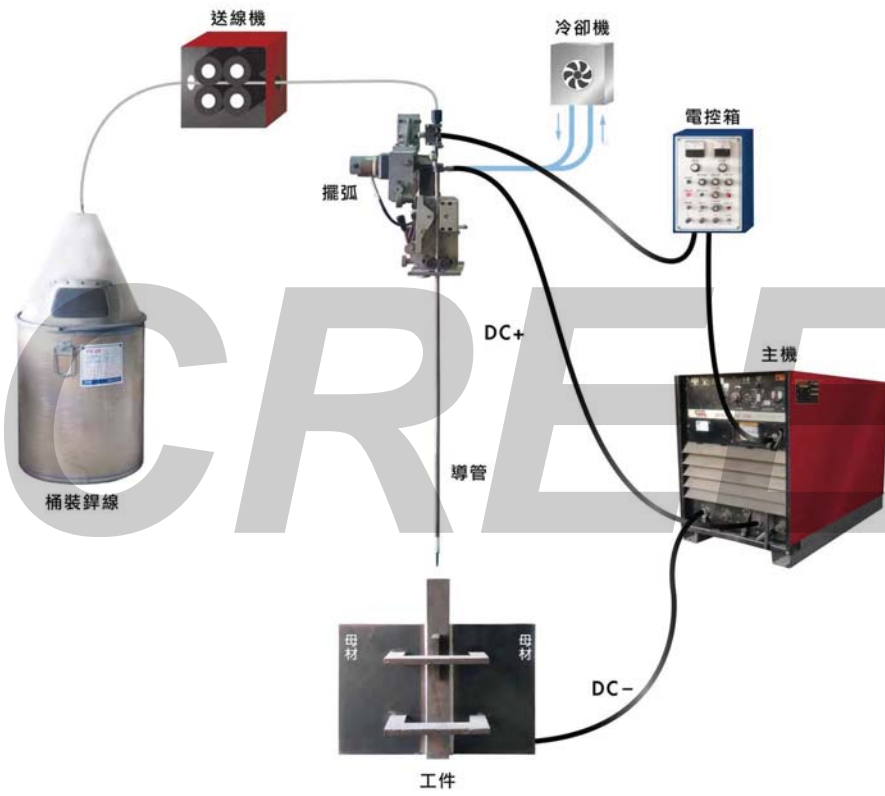
GOOD
GOODWELD

大綱

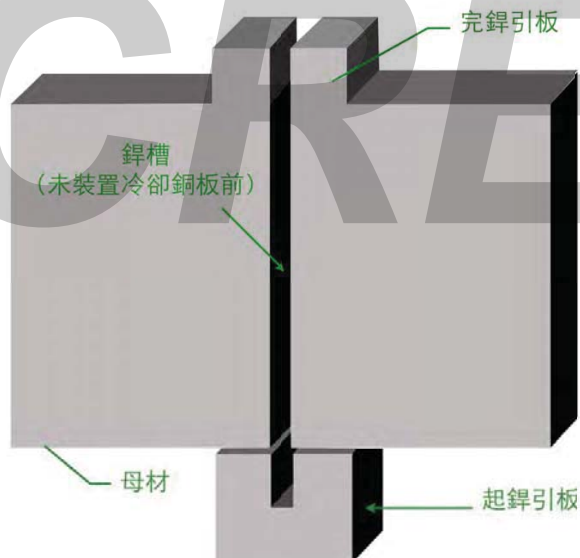
NCREE

- 電熔渣銲原理
- 各種參數對銲接的影響
- 美、日差異
- 試驗方式說明

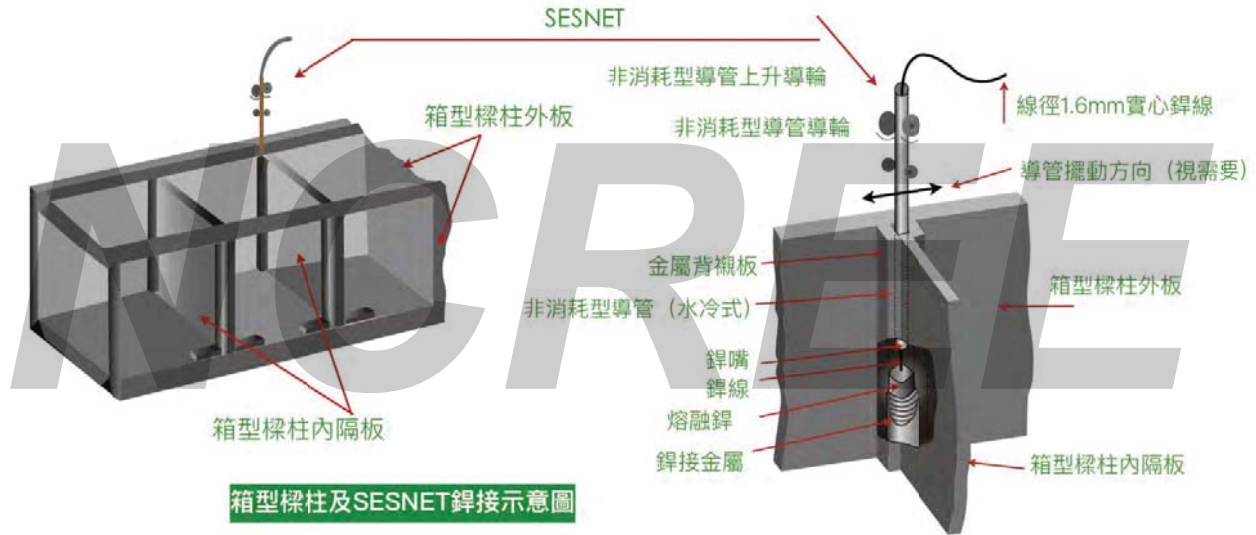
電熔渣鐳示意圖



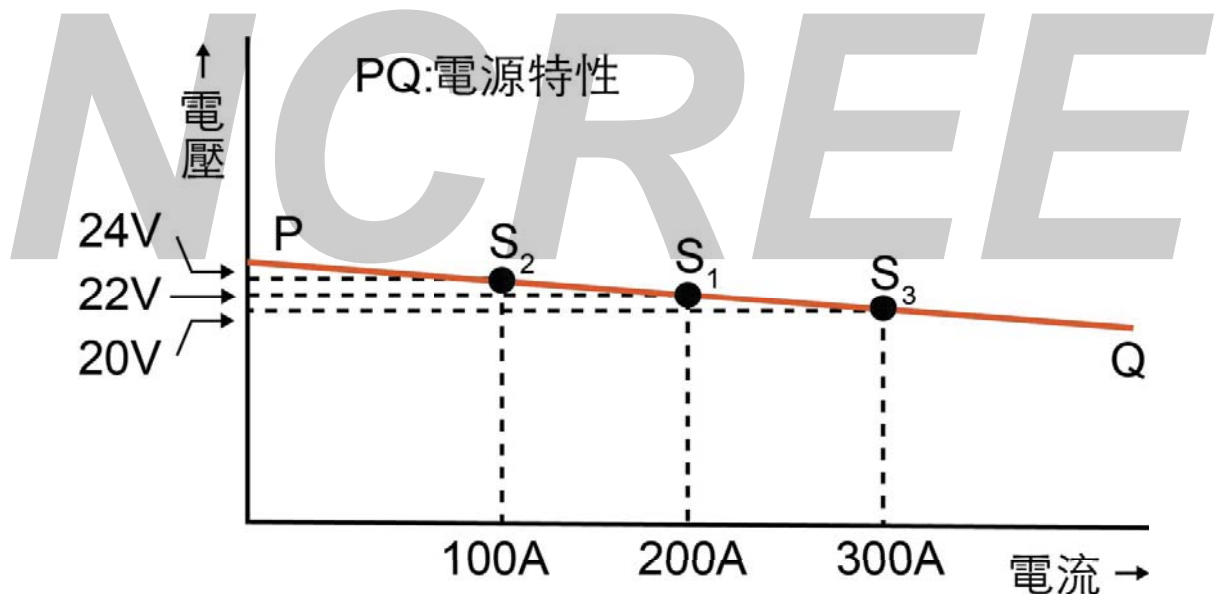
電熔渣鐳鐳材試驗材示意圖



箱型梁柱及電熔渣銲示意圖

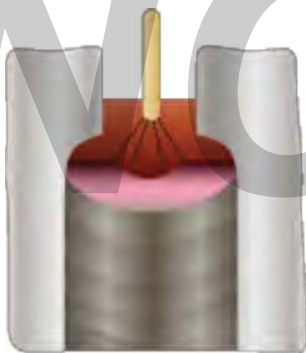


定電壓銲機特性曲線

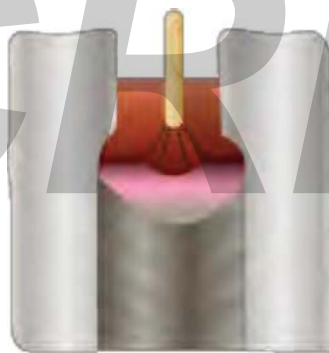




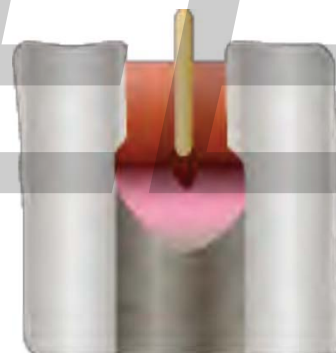
電流的影響



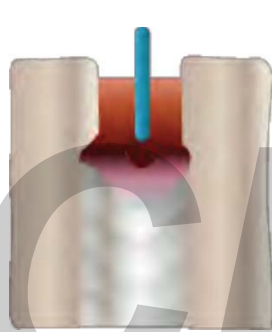
低電流



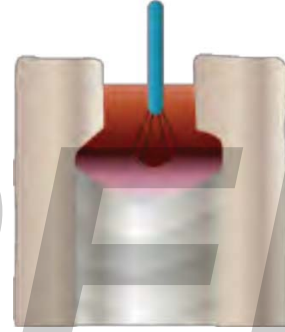
中電流



高電流



低電壓



高電壓

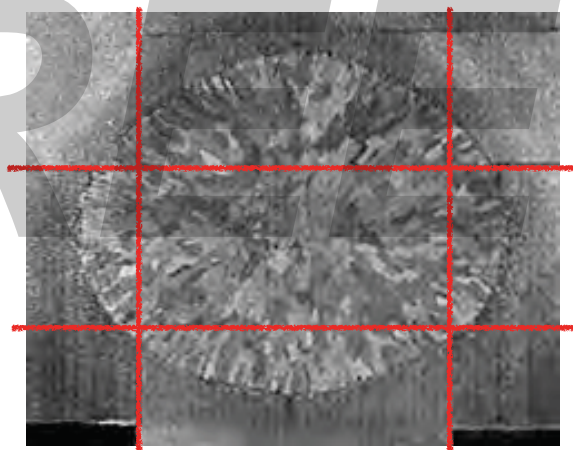


- **dilution**

mixing of melted parent meta and deposited meta
expressed as a ratio of the melted parent metal to the
total melted mass

- **dilution rate**

dilution expressed as a percentage

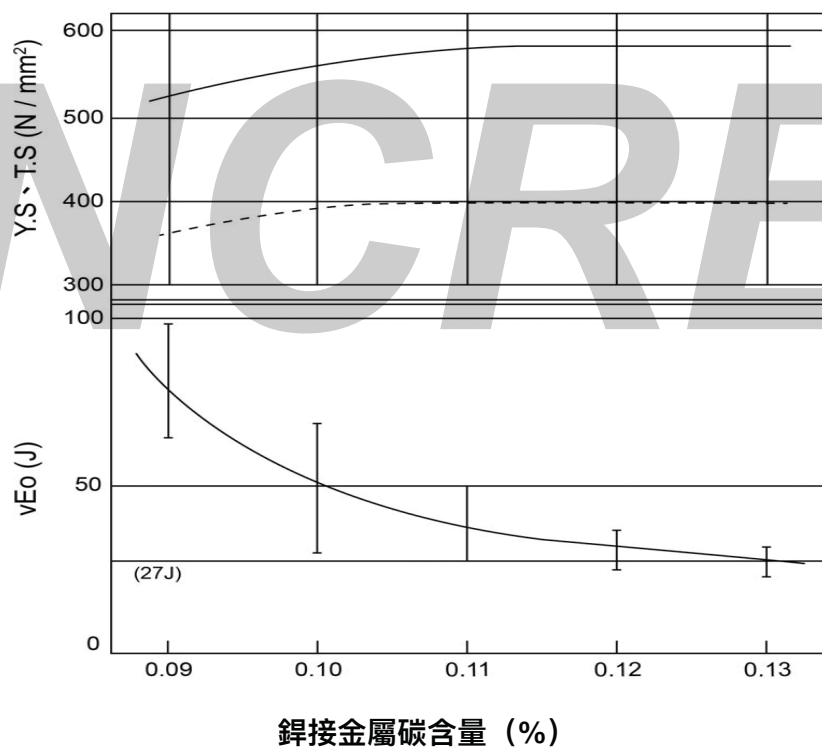


* 母材成分對鐸道性能的影響

碳含量對機械性質的影響

鐸線C: 0.05%

鋼材C: 0.13~0.18%



參考：鐵骨工事技術指針·工場製作篇

電熔渣銲接標準條件（摘要）

橫隔板厚	銲接電流	銲接電壓	導管擺幅
22	380	46	-
32	380	46	12
40	380	49	22
50	380	52	32
60	380	52	42

* 條件包含：兩端停止時間、銲線突出長度、銲藥添加量。
（參考：銲線送線速度、導管上升速度、入熱量、熔池深度）

GOOD
GOODWELD

美、日標準比較

GOOD
GOODWELD

中鋼焊材廠股份有限公司

項目	AWS A5.25M	JIS Z3353
適用範圍	實心銲線 合成型銲線 (metal cored) 銲藥	<ul style="list-style-type: none"> ●490~590MPa ●實心銲線 ●合成型銲線 (2013年版追加) ●銲藥 ●消耗性導管
分類	<ul style="list-style-type: none"> ●實心銲線依據銲線成分分類 ●合成型銲線依據銲接金屬成分分類 (搭配指定銲藥) ●銲藥依據銲接金屬之機械性質分類 (搭配指定銲線) 	<ul style="list-style-type: none"> ●銲線依據適用鋼種及銲線化學成分區分 ●銲藥依化學成分區分 ●消耗性導管被覆劑的有無及被覆劑的成分分類
銲材試驗條件	使用水冷銅套 銲線線徑：2.4mm，2.5mm，3.0mm I形槽對接 (50mmX25mm)、單V槽對接 (板厚25mm) 電流：500±50A；電壓：40±2V	使用水冷銅套 銲線線徑：1.6mm I形槽對接25X25mm 非消耗性導管 銲線1.6mm 電流：380±30A；電壓：48±3V
衝擊要求	FESXXZ: Not specified FESXX2: 20@-20°C FESXX3: 20@-30°C	400~550MPa YESXX1: 27@0°C，YESXX2: 40@0°C 590MPa YES601: 27@-5°C，YES602: 40@-5°C
實務應用	通常使用 水冷或銅套以維持其熔池 (主要用於對接)	主要用於鋼結構箱型柱內隔板銲接，因此只針對非消耗性導管規定試驗條件

AWS的附錄說明 (摘要) :

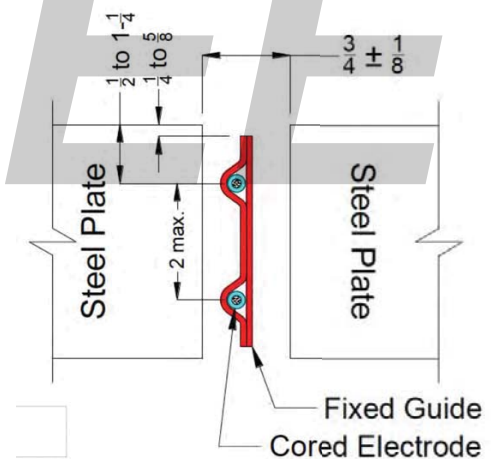
This specification requires a minimum of 15 ft-lbf [20 J] at the specified temperature while most other AWS filler metal specifications require 20 ft-lbf [27 J]. Considerable improvement in mechanical properties can be effected by a postweld heat treatment. Subcritical stress relieving heat treatments are generally less effective for electroslag welding than for arc welding. For this reason, many code requirements require an austenitizing, or normalizing, postweld heat treatment. All of the aforementioned postweld heat treatments (i.e., subcritical stress relief, austenitizing, normalizing) may have a pronounced effect on weld metal mechanical properties, both strength levels and Charpy V-notch toughness. The strength levels of the heat-treated weld deposit can be expected to be lower than those in the as welded condition. For this reason, the user is cautioned to conduct actual tests to determine the effect of the heat treatment on the mechanical properties obtained.

JIS的附錄說明 (摘要) :

元来、エレクトロスラグ溶接法においては、その溶接金属の性質は母材の希釈の影響を大きく受ける溶接法である。そのため、溶着金属ではなく溶接金属の引張試験及び衝撃試験の規定とした。また、この影響をできるだけ少なくするために、従来の水冷銅当て金を使用する規定と同じとした。また、従来の解説付表I (溶接条件の一例) を参考にして、非消耗ノズル式のエレクトロスラグ溶接法で試験する際の溶接条件を実態に合わせ、表IIのように規定した。なお、消耗ノズル式のエレクトロスラグ溶接の試験条件についても規定を設けるべきかどうかを検討したが、最近では消耗ノズル式の使用が非常に少なくなってきており、その実態が十分に把握できていない。また、市販されているワイヤ径、消耗ノズルの種類 / 寸法などが千差万別であることから、一義的に試験条件を定めることが困難と判断された。そこで、個々の製品に応じて試験方法を規定すべきとの観点から、受渡当事者間の協定によるものとした。さらに、試験板の材質に関する規定をワイヤの種類の追加に合わせ、表10を改正した。

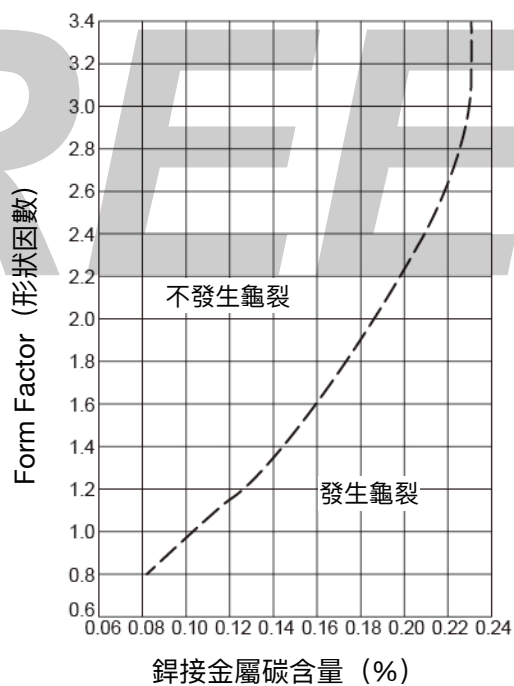
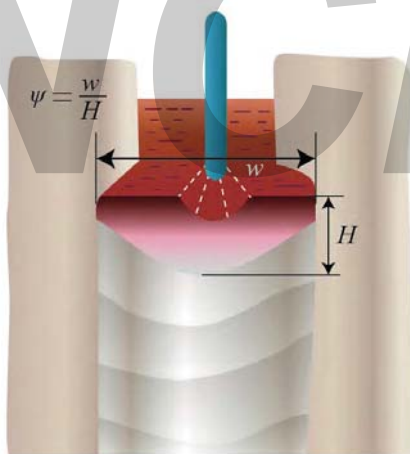
NGI-ESW or ESW-NG

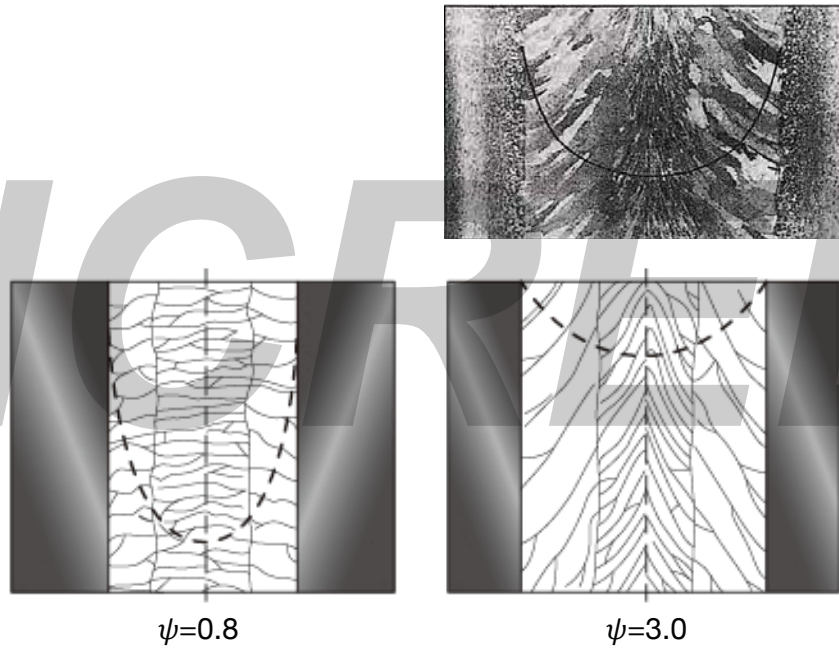
- Gap $\leq \frac{3}{4}$ inch
- Cored electrode(s) (提高熔填速度)
- Fixed guide (one sample cross section shown here)
- Computer controlled flux addition
- Water-cooled copper shoes with regulated flow and temperature (not shown for simplicity)
- Electrode oscillation prohibited



- SM570，對接32mm，銲道中央衝擊性能比較 (J)

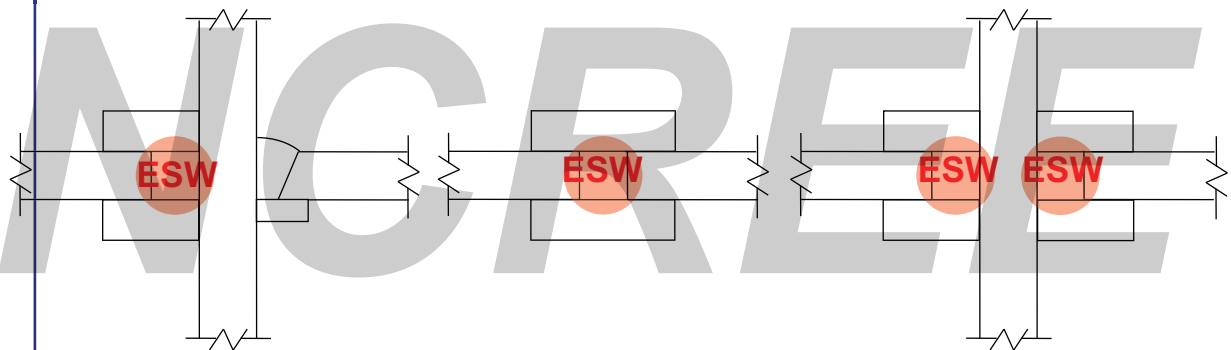
	鋼襯材	銅套水冷
TV	9.9	122.5
	11.8	133.9
	11.8	105.4
平均	11.2	120.6
TH	11.8	88.8
	11.8	122.5
	11.8	105.5
平均	11.8	105.6





ESW 銲接常見之WPS接合試體

21

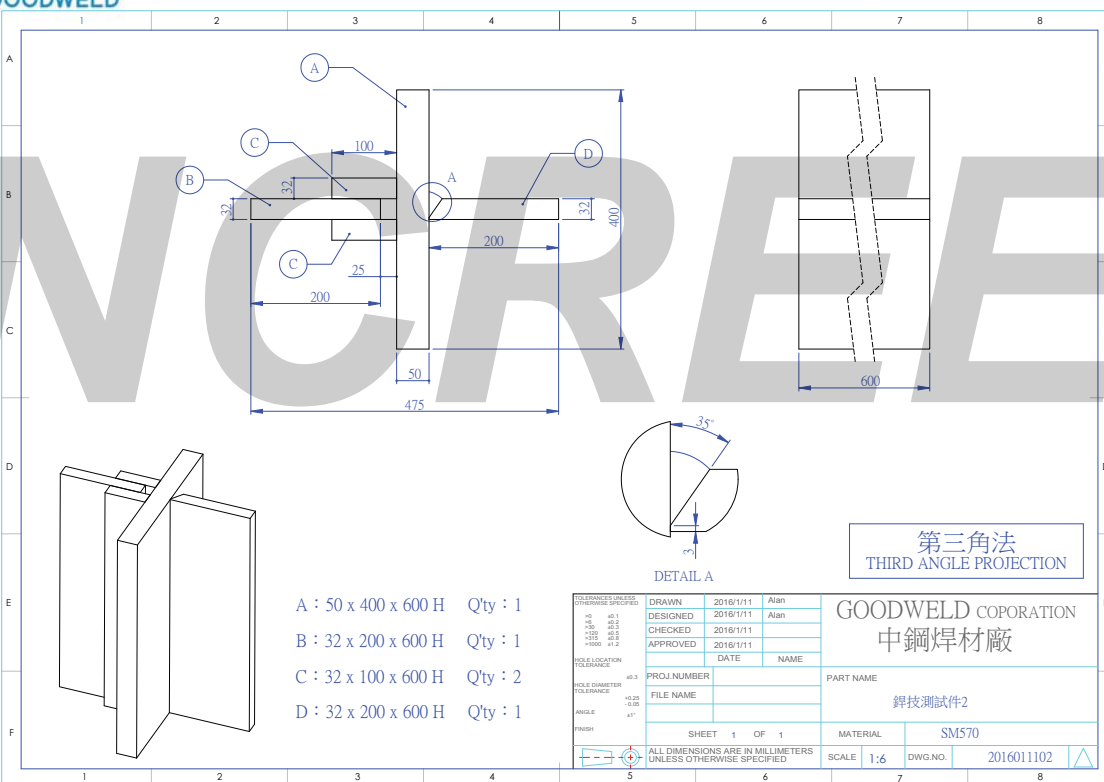
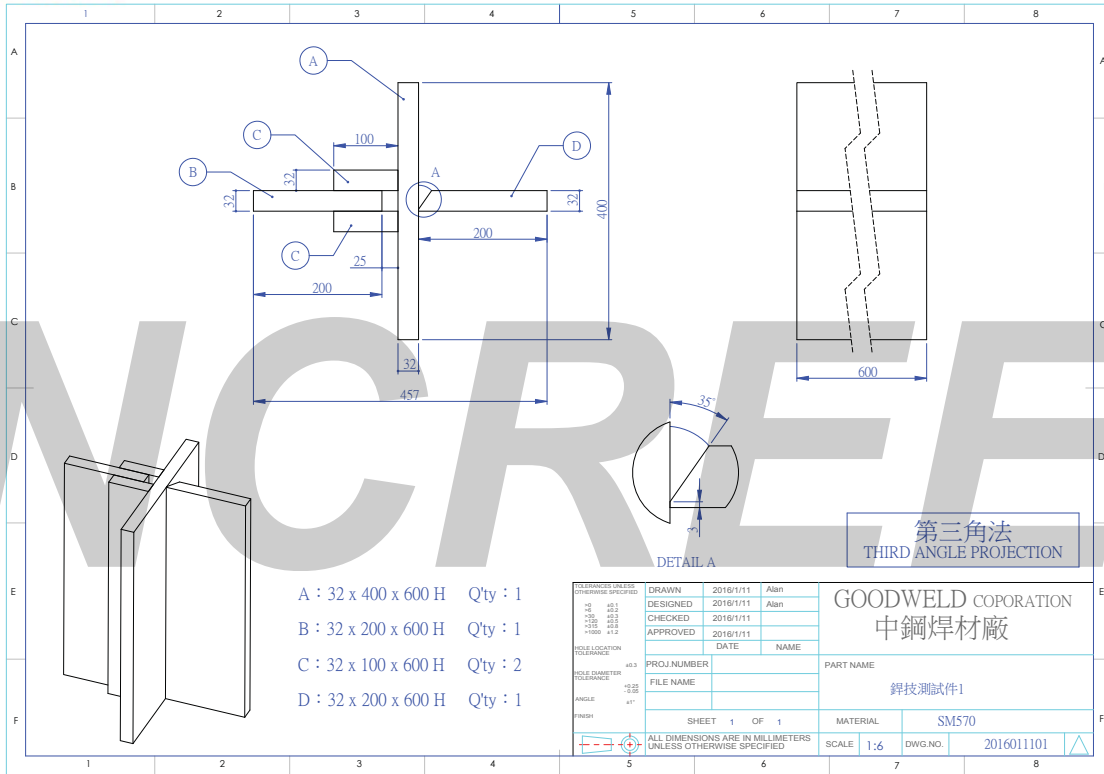


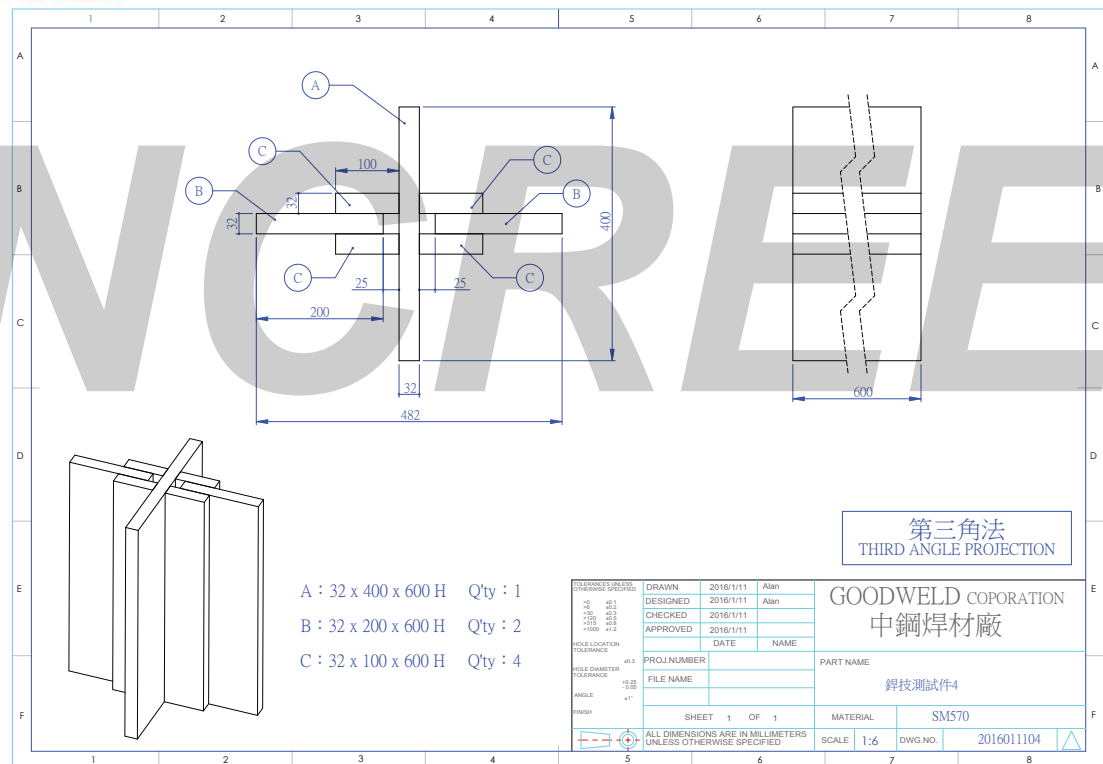
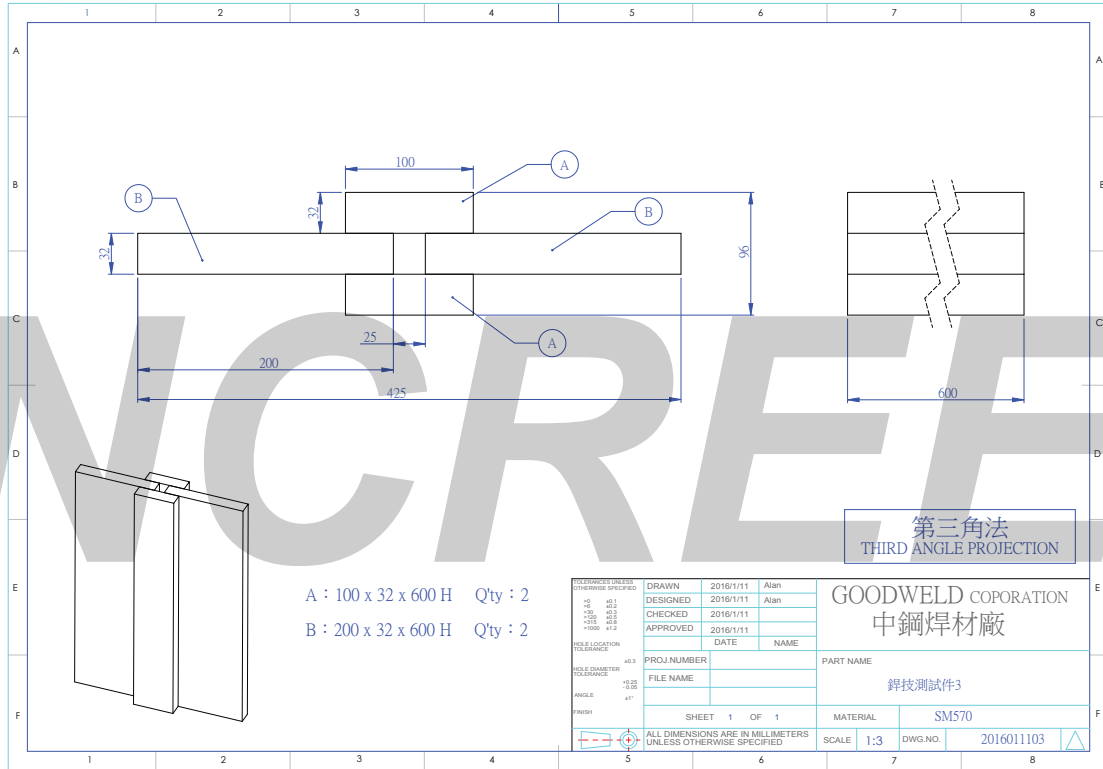
(a) T joint
實際接合

(b) Butt joint
國內常用接合

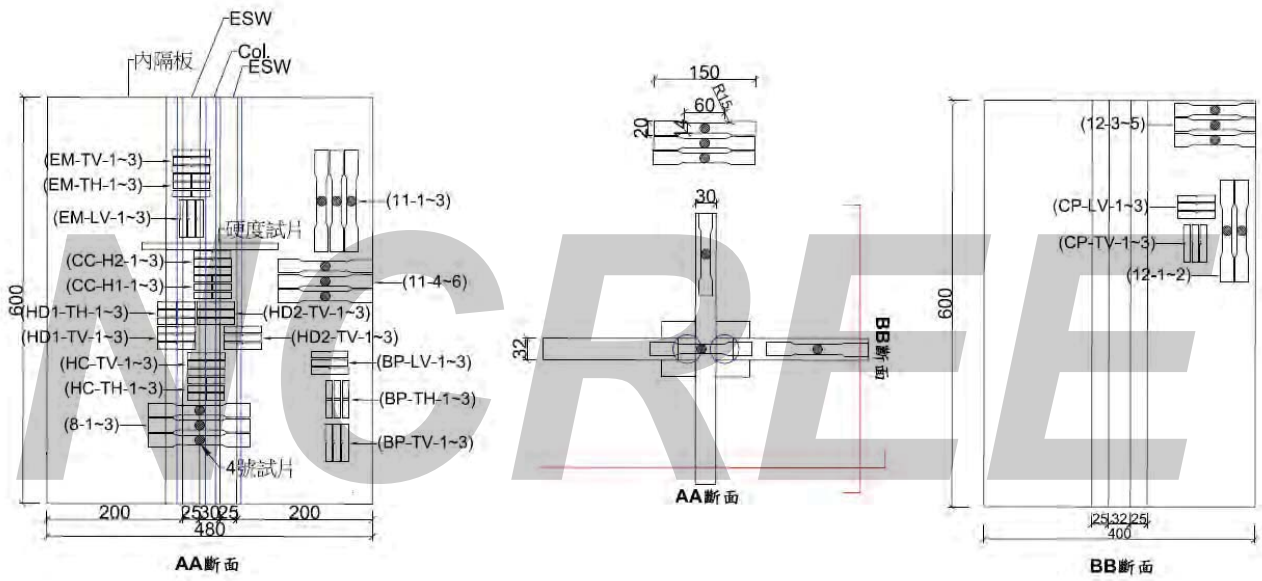
(c) Cross joint
JASS 6建議

380A、48V，入熱量約400~430J





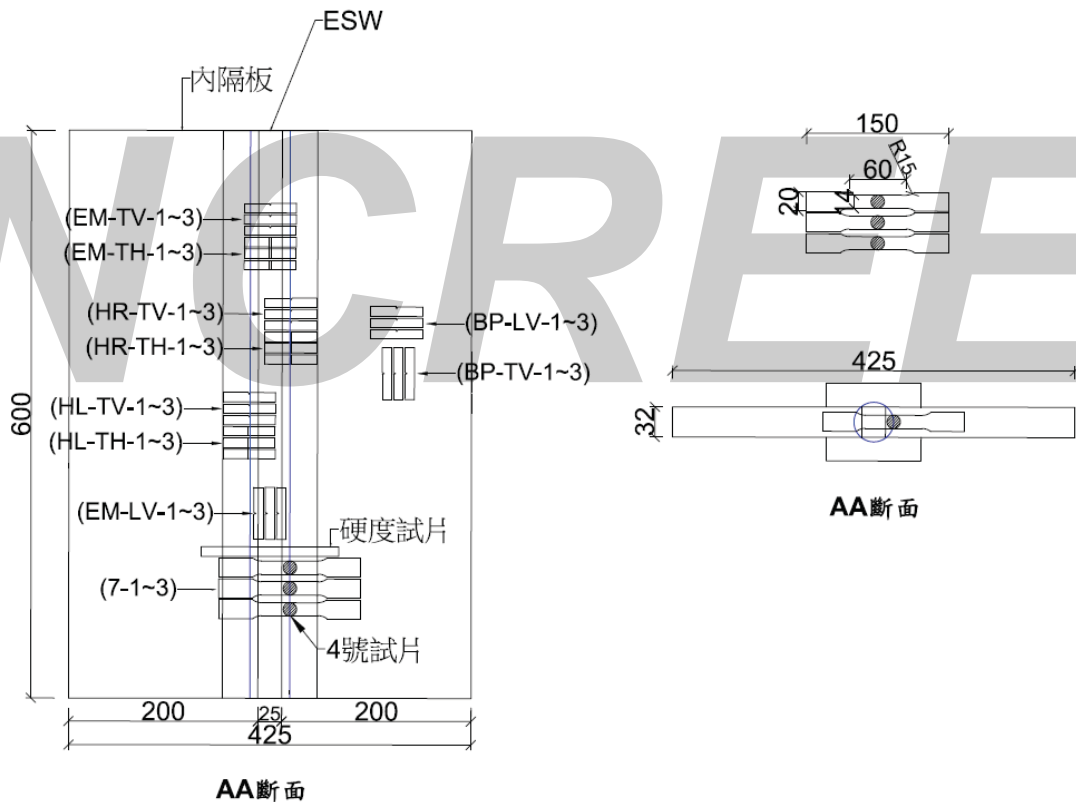
十字接試體圖



REE



對接試體圖

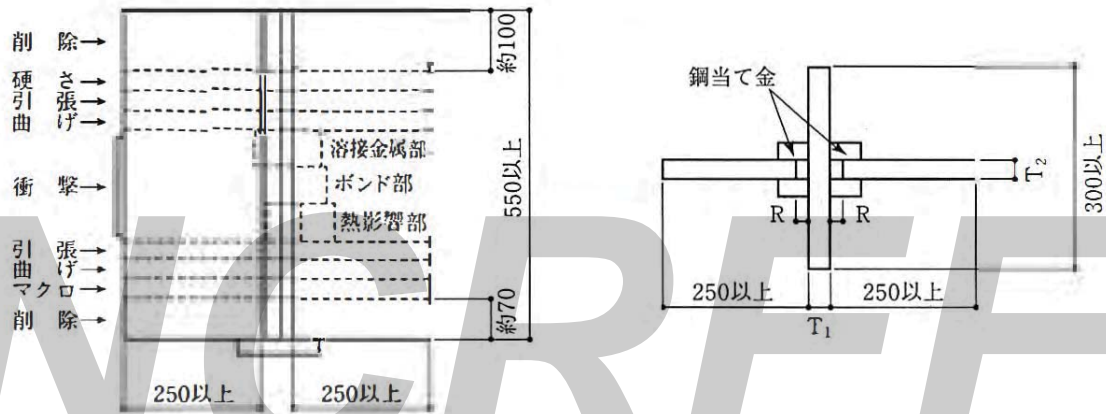


NCREE

25



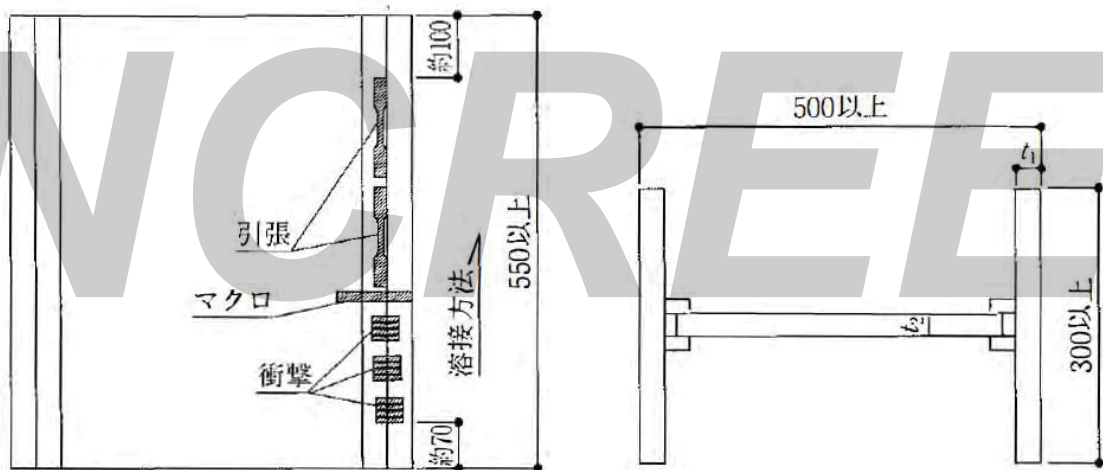
(舊) JASS 6 附則3. 電熔渣鋁接承認試験



[注] 1) ルート間隔Rは、実際の工事に適用するものと同じとする。
2) 当て金の形状寸法は、受験工場の社内規定による。

付図1 十字形完全溶込み溶接試験材の形状および試験片採取要領 (単位: mm)

(新) 附8. 電熔渣鋁接承認試験

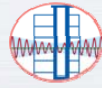


[注] 1) ルート間隔Rは、実際の工事に適用するものと同じとする。
2) 当て金の形状寸法は、受験工場の社内規定による。

図1 H字形完全溶込み溶接試験材の形状および試験片採取要領 (単位: mm)

NCREE

NCREE



鋼鐵箱型柱內隔橫板電熱熔渣銲接特性問題 與金相組織分析

敖仲寧 教授

imejna@ccu.edu.tw

嘉義縣民雄鄉

國立中正大學機械系



National Chung Cheng University

Materials Laboratory
Mechanical Engineering

Outline

- 鋼鐵材料銲接性簡介
- 適合電熱熔渣銲鋼鐵材料特性
- 電熱熔渣銲道顯微組織初探

鋼鐵材料銲接性 簡介--碳當量

- In welding, carbon equivalent (CE) calculations are used to predict heat affected zone (HAZ) hardenability in steels. These CE equations can be used to establish criteria to predict **cold-cracking**, as they can predict maximum hardness.

- 1967, International Institute of Welding (IIW)

$$C_E = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$$

- 1968, Y. Ito and K. Bessyo, IIW

$$C_{eq} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

- 1973, Japanese Welding Engineering Society (JWES)

$$C_{EWes} = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$$

SN系列鋼材碳當量規定值

厚度 碳當量 種類符號	40mm 以下	超過 40mm 100mm 以下
SN400B	0.36 以下	0.36 以下
SN400C		
SN490B	0.44 以下	0.46 以下
SN490C		

SN系列鋼材碳當量規定值

● 碳當量

- Martensite microstructure
- High hardness
- Welding cold cracking
- Brittle fracture
- Weldability without concern:
 $C_{eq} < 0.40$

● 稀釋率

- 銲道金屬+母材+ etc.
- 影響碳當量

SN系列鋼材冷裂敏感指數(cracking parameter)規定值

種類符號	銲接冷裂敏感指數%
SN400B	0.26 以下
SN400C	
SN490B	0.29 以下
SN490C	

SN系列鋼材銲接冷裂敏感指數 P_{cm} 規定值

HSLA steel $P_{cm} < 0.35$ OK!

After investigating 200 types of steel, Ito and Bessyo's P_c equation was established to be:

$$P_c = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B + t/600 + H/60$$

As a material parameter, P_{cm} , (the so-called **weld cracking parameter**) was proposed to be:

$$P_{cm} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

Ito and Bessyo developed a linear function between the pre-heating temperature and the cracking parameter for field applications:

$$T_{\text{pre-heating}} = 1440P_c - 392$$



鋼鐵材料銲接性簡介

TABLE 17.1 Typical Welding Problems and Practical Solution in Carbon and Alloy Steels, and Their Locations in the Text

Typical Problems	Alloy Types	Solutions	Locations
Porosity	Carbon and low-alloy steels	Add deoxidizers (Al, Ti, Mn) in filler metal	3.2 3.3
Hydrogen cracking	Steels with high carbon equivalent	Use low-hydrogen or austenitic stainless steel electrodes Preheat and postheat	3.2 17.4
Lamellar tearing	Carbon and low-alloy steels	Use joint designs that minimize transverse restraint Butter with a softer layer	17.6
Reheat cracking	Corrosion and heat-resisting steels	Use low heat input ^a to avoid grain growth Minimize restraint and stress concentrations Heat rapidly through critical temperature range, if possible	17.5



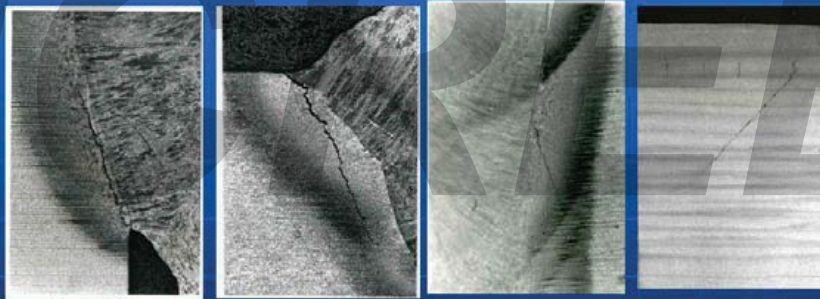
鋼鐵材料銲接性簡介

TABLE 17.1 Typical Welding Problems and Practical Solution in Carbon and Alloy Steels, and Their Locations in the Text

Reheat cracking	Corrosion and heat-resisting steels	Use low heat input ^a to avoid grain growth Minimize restraint and stress concentrations Heat rapidly through critical temperature range, if possible	17.5
Solidification cracking	Carbon and low-alloy steels	Keep proper Mn/S ratio	11.4
Low HAZ toughness due to grain growth	Carbon and low-alloy steels	Use carbide and nitride formers to suppress grain growth	17.2
		Use low heat input ^a	17.3
Low fusion-zone toughness due to coarse columnar grains	Carbon and low-alloy steels	Grain refining	7.6
		Welding	17.2

冷裂紋或氫致裂紋或延遲裂紋

Cold cracks



Root crack (HAZ)

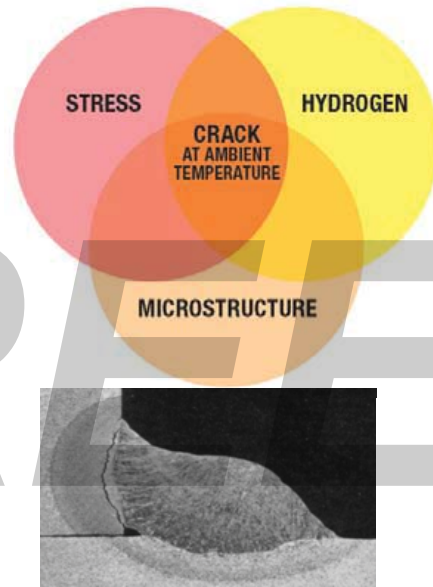
Toe crack (HAZ)

Under-bead crack (HAZ)

Transverse crack (Weld metal)

冷裂紋或氫致裂紋或延遲裂紋

- 冷裂紋或氫致裂紋三要素
 - Residual stress/welding stress
 - Moisture/contamination--Hydrogen
 - Susceptible microstructure (Martensite)—due to C_{eq}
- 防止冷裂紋或氫致裂紋
 - Stress relief/welding design
 - Cleaning/ shielding/ low H
 - Low carbon/ low C_{eq}
 - Preheat



熱裂紋或凝固裂紋

- 熱裂紋或凝固裂紋三要素
 - Large weld bead/ depth to width/high heat input
 - P, S, susceptible elements
 - Shrinkage strains
- 防止熱裂紋或凝固裂紋
 - Lower heat input/welding parameters
 - Cleaning/ low P, S, Ni etc
 - Low constraint

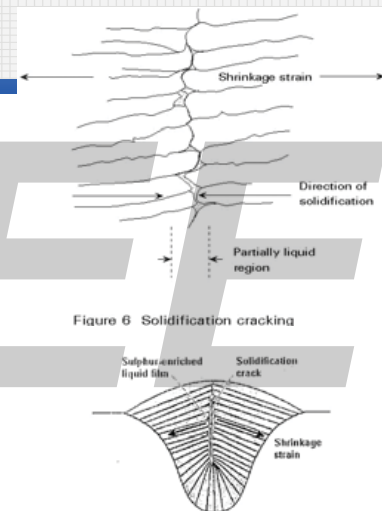
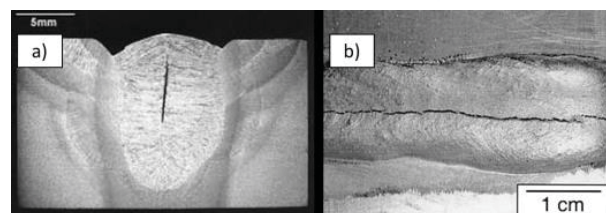
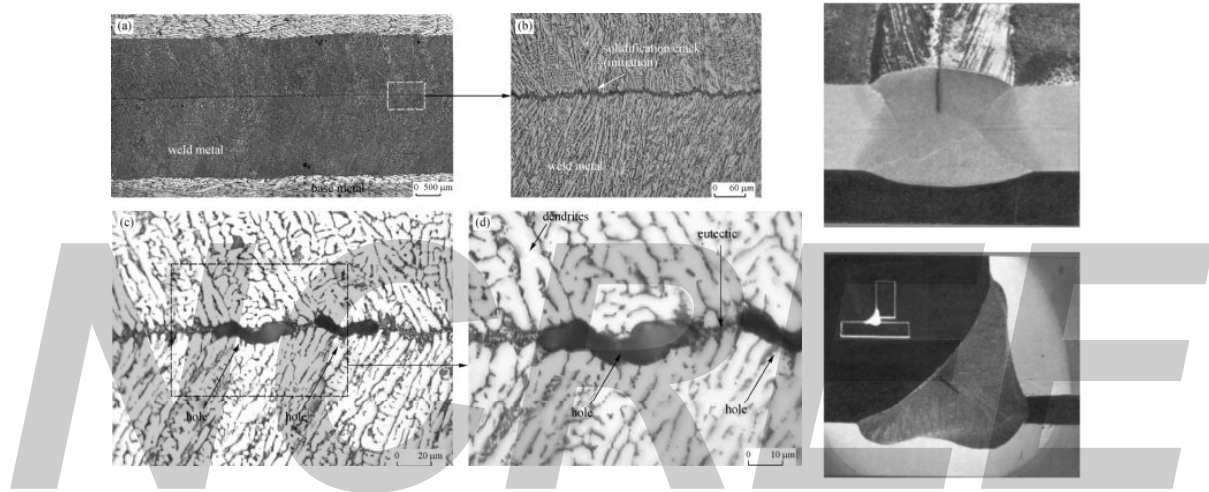


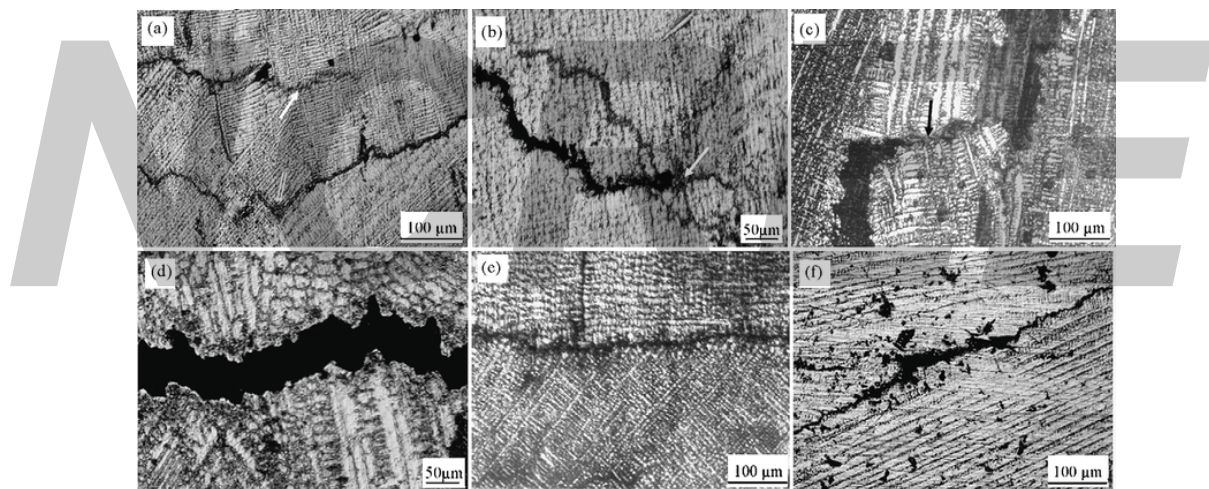
Figure 6 Solidification cracking



熱裂紋或凝固裂紋



熱裂紋或凝固裂紋

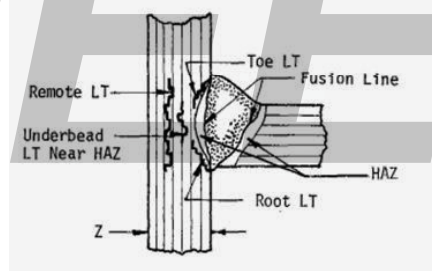
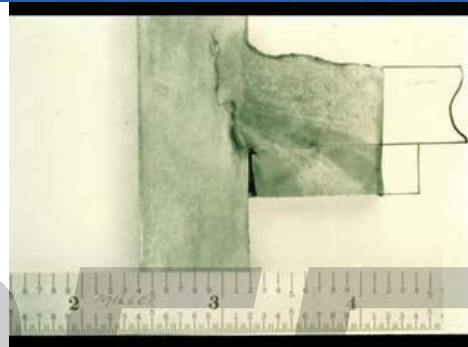
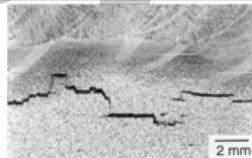
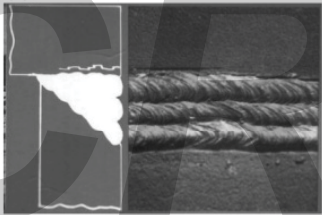
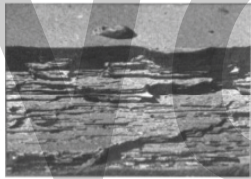


層狀撕裂 Lamellar tearing

Lamellar Tearing

• **Causes:**

- Poor ductility in through-thickness direction in rolled plate due to non-metallic inclusions
- Occurs mainly in joints having weld metal deposited on plate surfaces
- Prior buttering of surface beneficial for susceptible plate

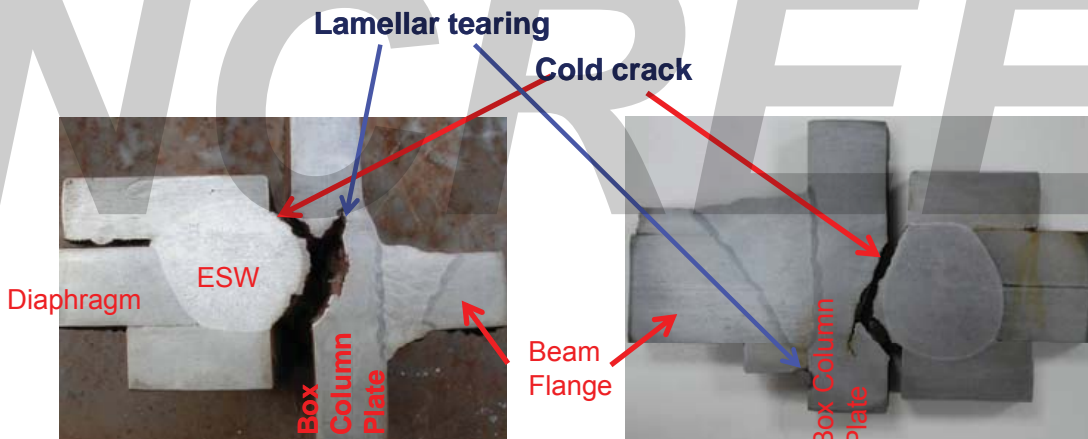


National Cheng Cheng University

13

Materials Laboratory
Mechanical Engineering

箱型柱內隔橫板電熱熔渣鐸道缺陷

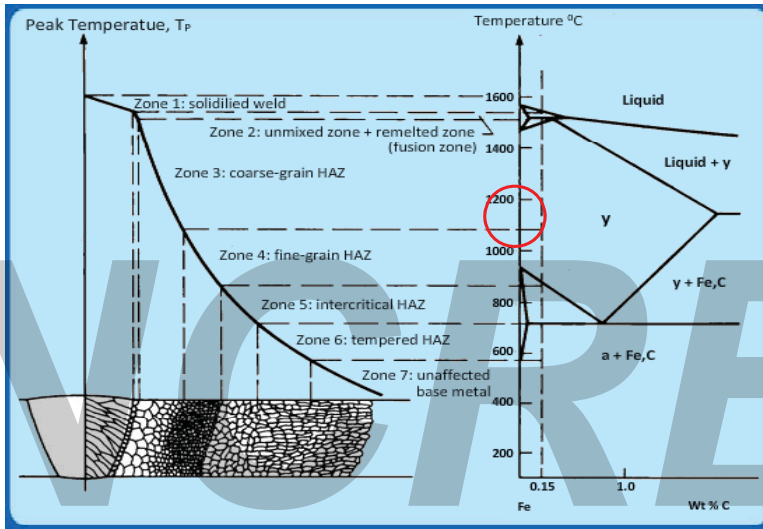


National Cheng Cheng University

14

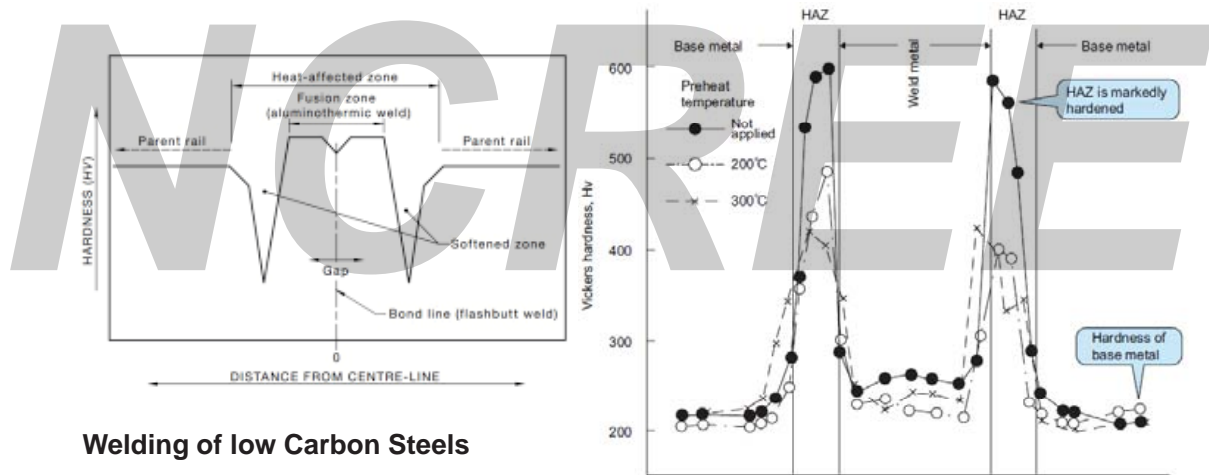
Materials Laboratory
Mechanical Engineering

鋼鐵材料銲接性簡介



銲道晶粒大小示意圖

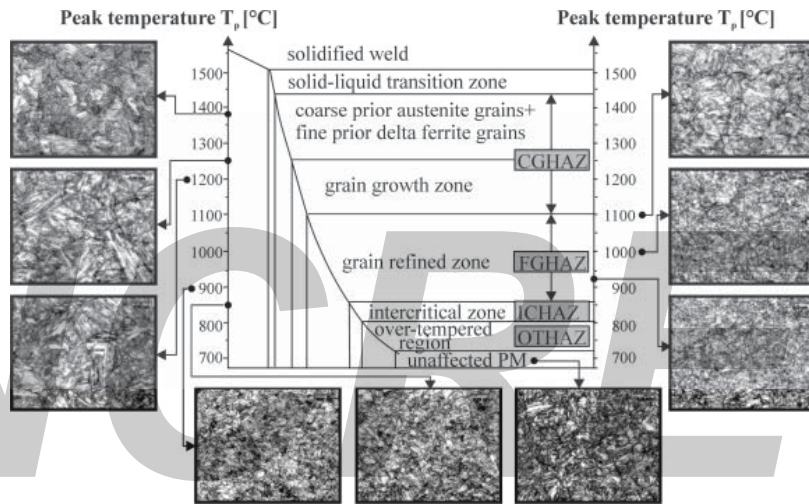
鋼鐵材料銲接性簡介—銲道硬度



Welding of low Carbon Steels

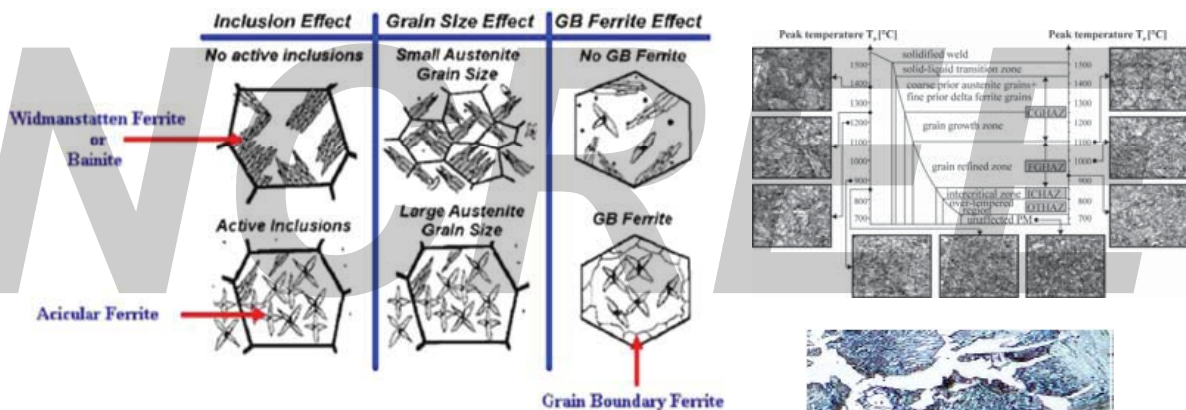
Welding of Medium/High Carbon Steels

鋼鐵材料銲接性 簡介—銲道顯微組織演化



銲道金相示意圖

鋼鐵材料銲接性 簡介—銲道顯微組織演化



銲道Ferrite形貌

適合電熱熔渣銲鋼鐵材料特性

High Toughness Steels for ESW

- High toughness through refined grains in HAZ due to dispersing of high-temperature-stable fine oxide inclusions.
- ◆ Inhibition of austenite grain coarsening by fine particles such as TiN
- Nippon Steel HTUFF steel— 490-590MPa grad, Mg, CA are added.

NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT No. 90 JULY 2004



National Cheng Cheng University

19

Materials Laboratory
Mechanical Engineering

Nippon Steel HTUFF steel

Table 1 Chemical composition and thickness of developed 590MPa steel plates for box columns

Chemical composition (mass %)							Thickness		
C	Si	Mn	P	S	Others	HTUFF	Ceq	Pcm	(mm)
0.10	0.16	1.56	0.006	0.002	Cu, Ni, Nb, V, Ti	Treated	0.39	0.23	60, 80

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

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

Table 2 Welding condition of developed 590MPa steel plates for box columns

Welding method	Welding pass	Welding heat input	Joint geometry	Skin plate	Diaphragm
ESW	Single pass	87kJ/mm	T joint	80mm	60mm



National Cheng Cheng University

20

Materials Laboratory
Mechanical Engineering

Nippon Steel HTUFF steel



Fig. 1 Microstructure near crack initiation site in HAZ near weld fusion line of electrogas arc welding joint of 490MPa class steel

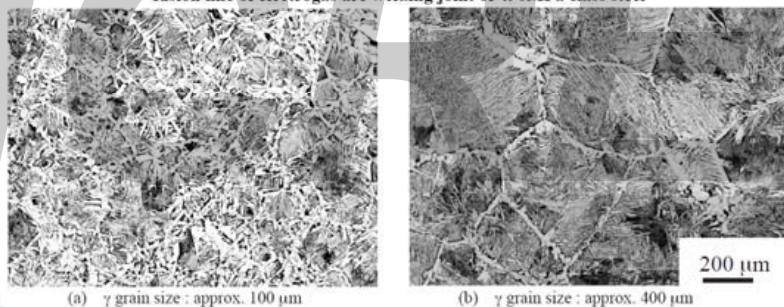


Fig. 2 Simulated HAZ microstructure of 490MPa class steel corresponding to SAW with 10kJ/mm



National Cheng Cheng University

21

Materials Laboratory
Mechanical Engineering

Nippon Steel HTUFF steel

WM FL HAZ

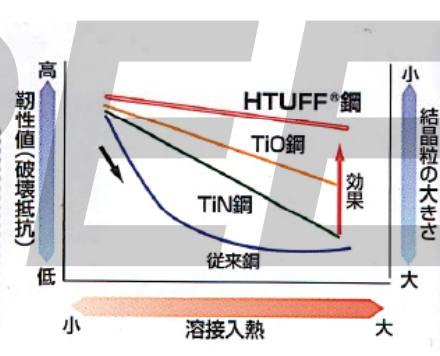
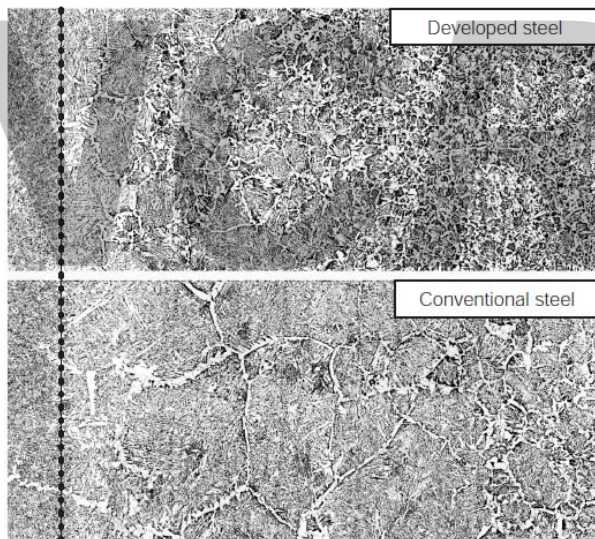
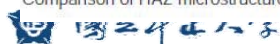


図7 開発鋼と従来鋼(TiN鋼)のESW継手におけるHAZ組織の比較

Comparison of HAZ microstructure in ESW joints between developed steel and conventional TiN steel



National Cheng Cheng University

22

Materials Laboratory
Mechanical Engineering

Fracture strength of electroslag welding joint with high-performance steel

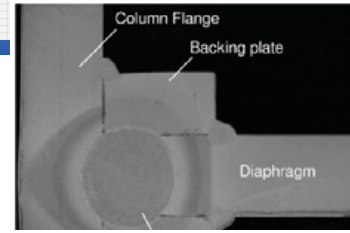
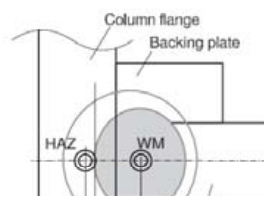


Table 1
Material properties.

Location	Material Name	Thickness	Yield Point [N/mm ²]	Tensile Strength [N/mm ²]	Fracture Elongation [%]	Yield Ratio [%]	Charpy Absorbed Energy @0 °C [J]
Column flange	SA440C [2]	36 mm	469 (440-540)	626 (590-740)	31 (>26)	75 (≤80)	316 (≥47)
Diaphragm plate							
Backing plate	SN490B	28 mm	385 (325-445)	497 (490-610)	30 (>21)	77 (≤80)	203 (≥27)

() The values in parentheses represent the specification requirements.

ESW wire (JIS Z3353)	YES62	0.05	0.23	1.88	0.003	0.001	0.25	0.02	0.05	0.65	-	-	(≤0.44)	(≤0.29)
	1.6φ	(≤0.18)	(≤0.80)	(≤2.50)	(≤0.030)	(≤0.030)	(≤0.50)	(≤2.50)	(≤1.00)					

C_{eq} : carbon equivalent [15] $C_{eq} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cu}{100} + \frac{Cr}{10} + \frac{V}{14}$ [%]
 P_{cm} : cracking parameter [15] $P_{cm} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cu}{100} + \frac{Cr}{10} + \frac{V}{14} + 5B$ [%]
 tr: trace amount.

Jun Iyama a,□, Yuka Matsumoto b, Takumi Ishii c, Hiroumi Shimokawa d, Masato Nikaido e, Satoshi Yamada



Journal of Constructional Steel Research 153 (2019) 495–508

National Cheng Cheng University

23

Materials Laboratory
Mechanical Engineering

Fracture strength of electroslag welding joint with high-performance steel

Table 1
Material properties.

Location	Material Name	Thickness	Yield Point [N/mm ²]	Tensile Strength [N/mm ²]	Fracture Elongation [%]	Yield Ratio [%]	Charpy Absorbed Energy @0 °C [J]
Column flange	SA440C [2]	36 mm	469 (440-540)	626 (590-740)	31 (>26)	75 (≤80)	316 (≥47)
Diaphragm plate							
Backing plate	SN490B	28 mm	385 (325-445)	497 (490-610)	30 (>21)	77 (≤80)	203 (≥27)

() The values in parentheses represent the specification requirements.

Table 2
Chemical composition [%].

Material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	C_{eq}	P_{cm}
Column flange	0.11	0.25	1.45	0.009	0.001	0.23	0.17	0.01	0.17	0.045	1 ppm	0.41	0.22
Diaphragm	(≤0.18)	(≤0.55)	(≤1.60)	(≤0.020)	(≤0.008)							(≤0.44)	(≤0.28)
Backing plate	0.12	0.24	1.16	0.024	0.010	0.06	0.03	0.11	0.01	0.06	tr	0.35	0.20
ESW wire (JIS Z3353)	0.05	0.23	1.88	0.003	0.001	0.25	0.02	0.05	0.65	-	-	(≤0.44)	(≤0.29)
	1.6φ	(≤0.18)	(≤0.80)	(≤0.030)	(≤0.030)	(≤0.50)	(≤2.50)	(≤1.00)					

C_{eq} : carbon equivalent [15] $C_{eq} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cu}{100} + \frac{Cr}{10} + \frac{V}{14}$ [%]
 P_{cm} : cracking parameter [15] $P_{cm} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cu}{100} + \frac{Cr}{10} + \frac{V}{14} + 5B$ [%]
 tr: trace amount.

Jun Iyama a,□, Yuka Matsumoto b, Takumi Ishii c, Hiroumi Shimokawa d, Masato Nikaido e, Satoshi Yamada



Journal of Constructional Steel Research 153 (2019) 495–508

National Cheng Cheng University

24

Materials Laboratory
Mechanical Engineering

Fracture strength of electroslag welding joint with high-performance steel

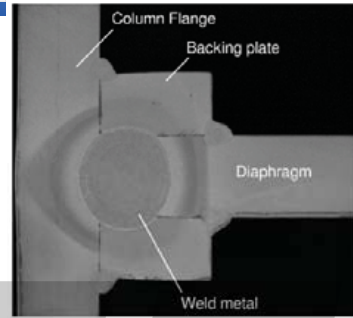
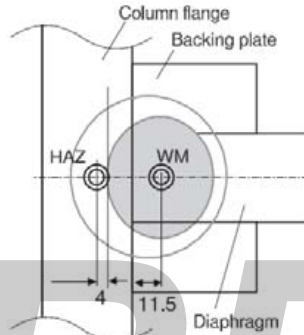
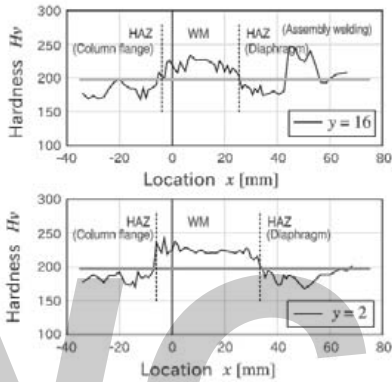


Fig. 4. ESW macro test.

Electroslag welding (ESW) conditions.

Specimen	Location	Wire	Flux	Current [A]	Voltage [V]	Speed [cm/min]	Heat input [kJ/cm]
EC1 and EC3	No. 1-S	Z3353	Z3353	380	50	2.02	564
EC2 and EC4	No. 2-S	YES62, 1.6φ	FES-CS	380	50	1.97	577

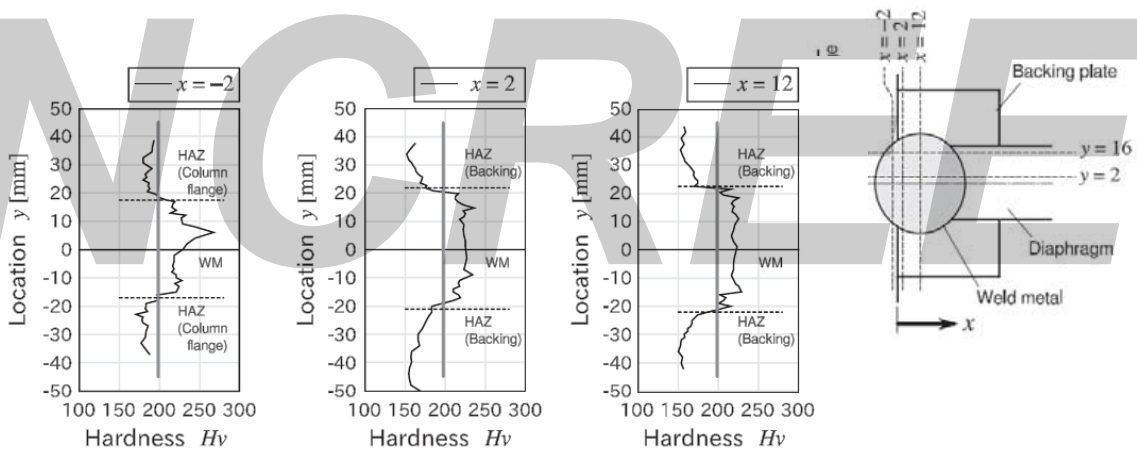
Jun Iyama a, Yuka Matsumoto b, Takumi Ishii c, Hiroumi Shimokawa d, Masato Nikaido e, Satoshi Yamada

Journal of Constructional Steel Research 153 (2019) 495–508



National Cheng Cheng University

Fracture strength of electroslag welding joint with high-performance steel



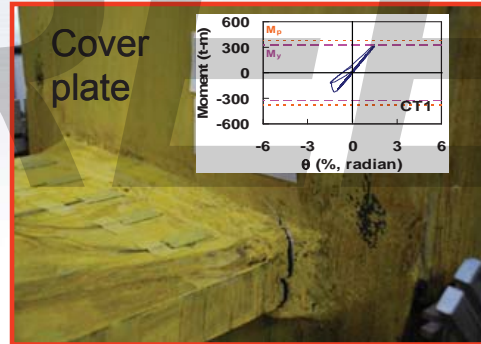
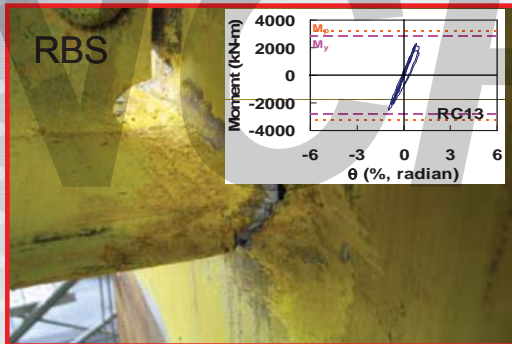
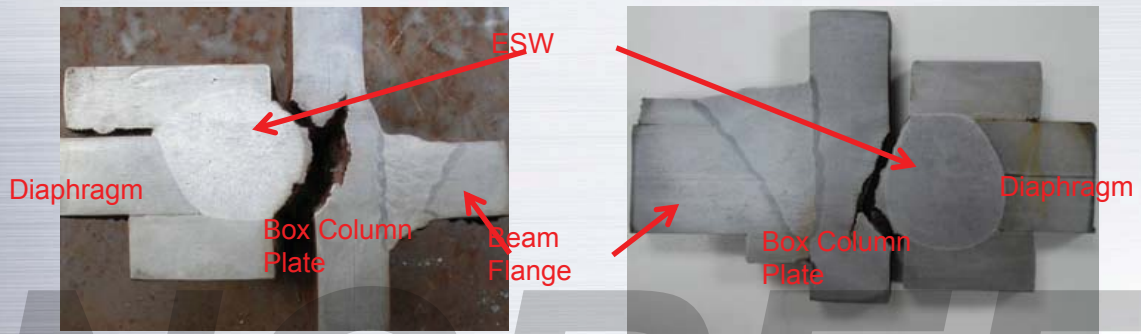
Jun Iyama a, Yuka Matsumoto b, Takumi Ishii c, Hiroumi Shimokawa d, Masato Nikaido e, Satoshi Yamada

Journal of Constructional Steel Research 153 (2019) 495–508



National Cheng Cheng University

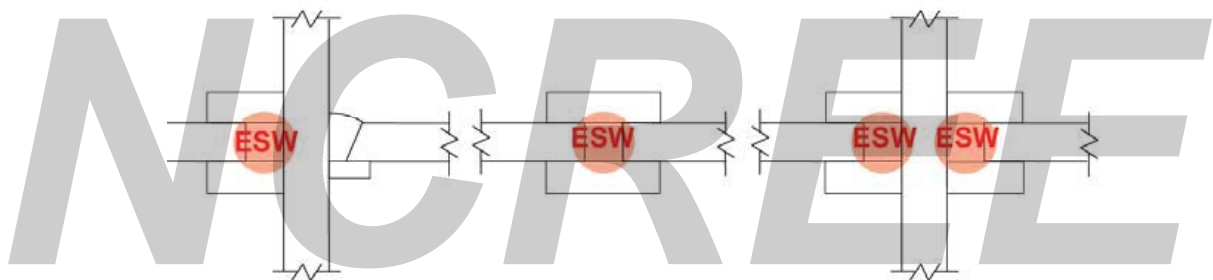
箱型柱內隔橫板電熱熔渣銲道試體



National Chung Cheng University, Materials Lab

Laboratory
Mechanical Engineering

各種ESW銲件試體



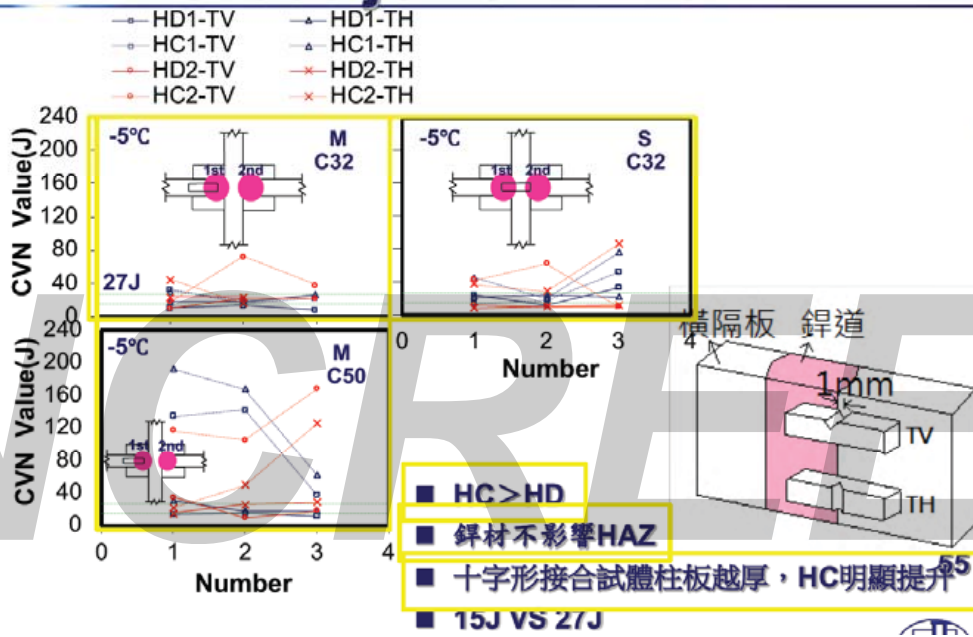
(a) T joint
實際接合

(b) Butt joint
國內常用接合

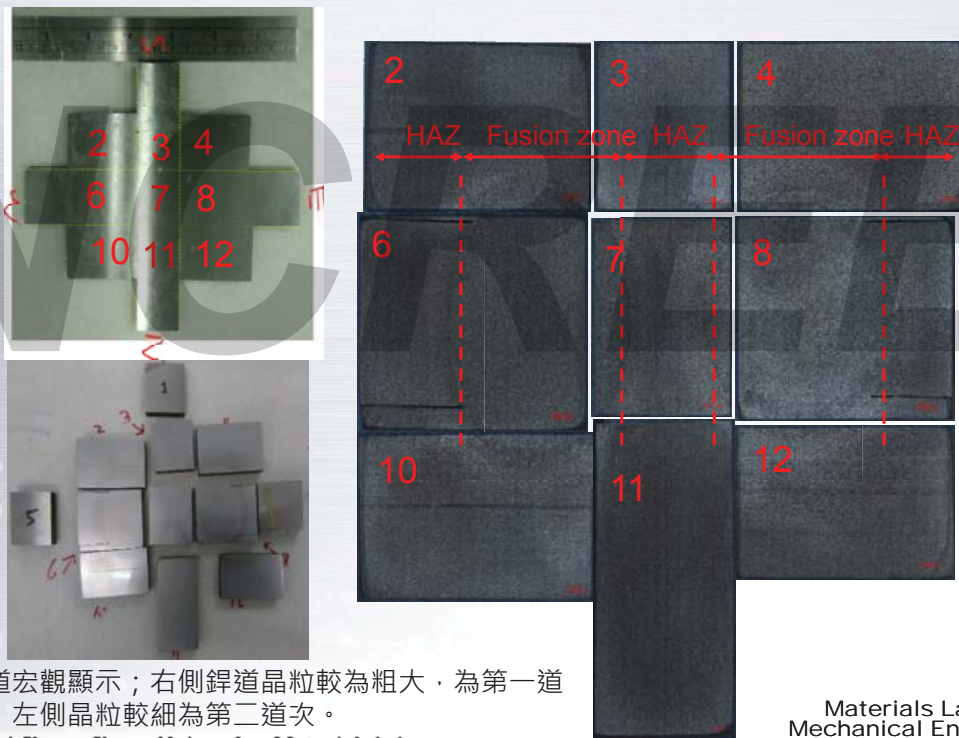
(c) Cross joint
JASS 6建議

380A、48V，入熱量約400~430J

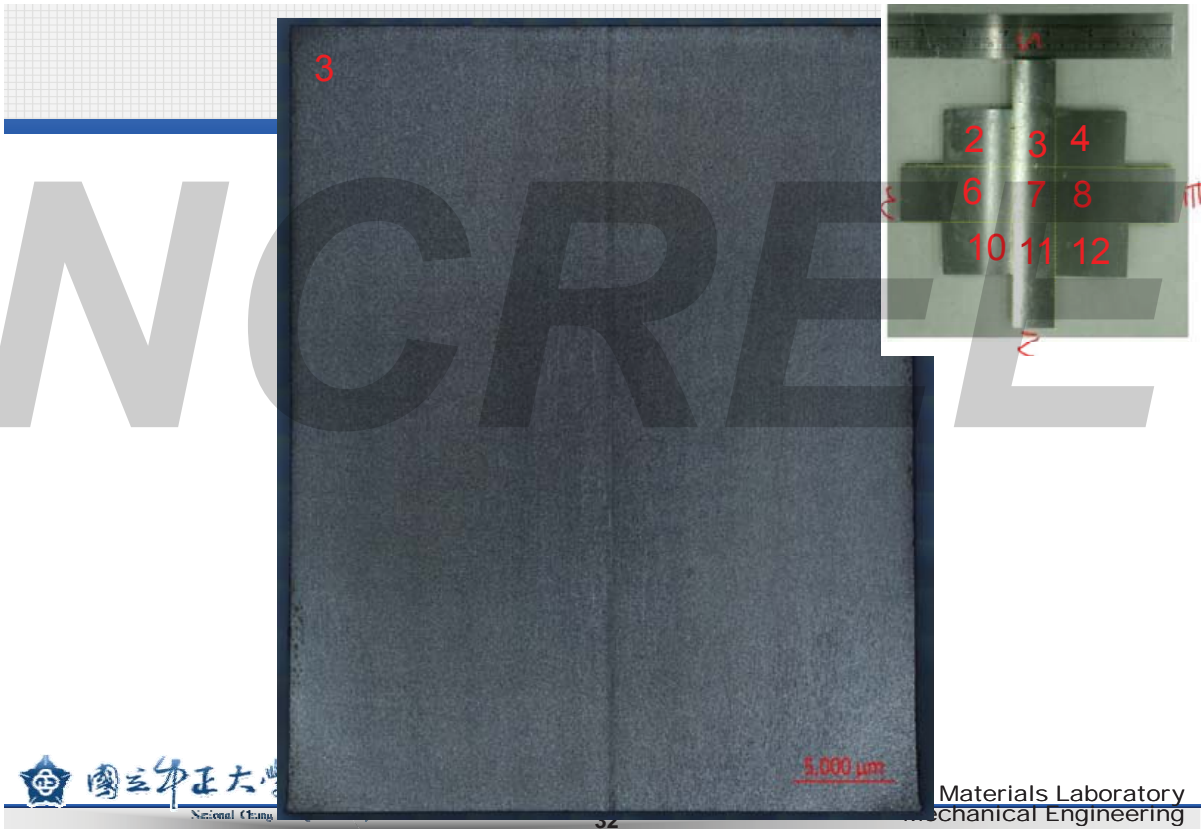
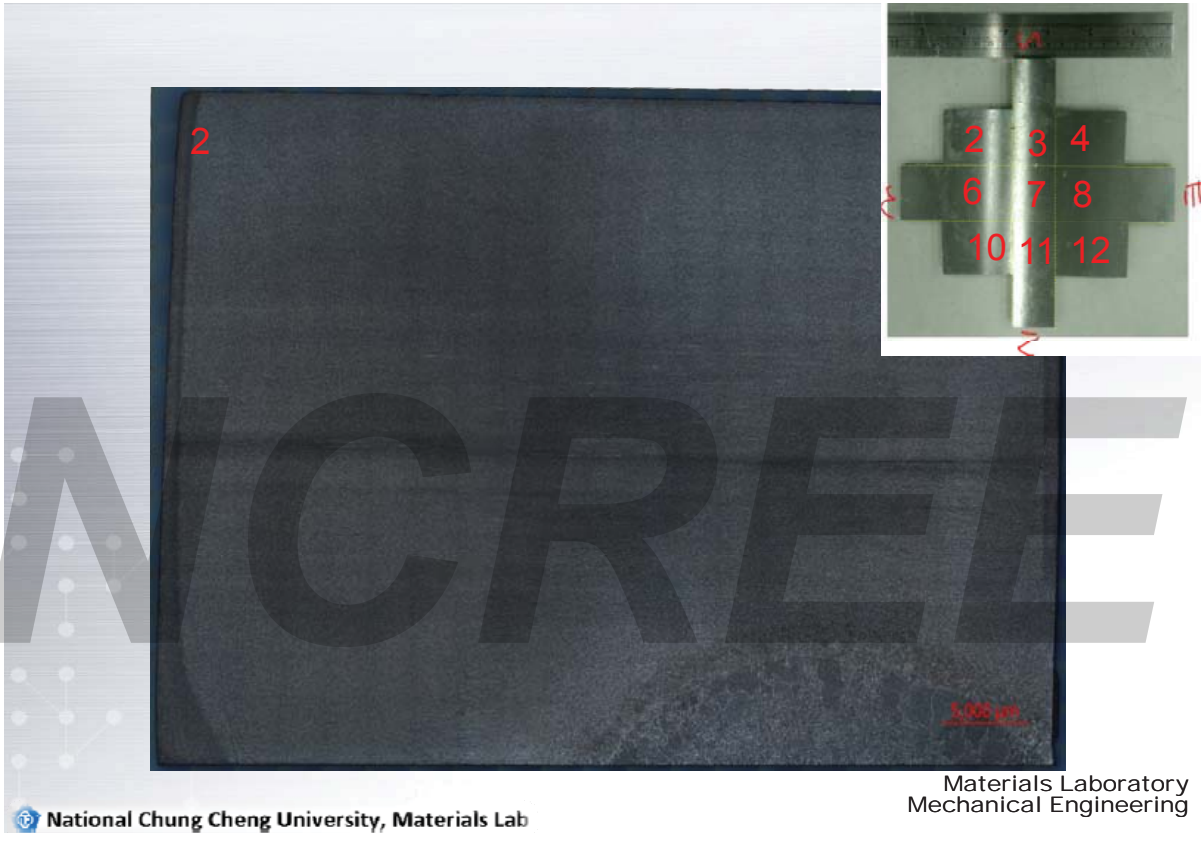
Cross joint HAZ CVN

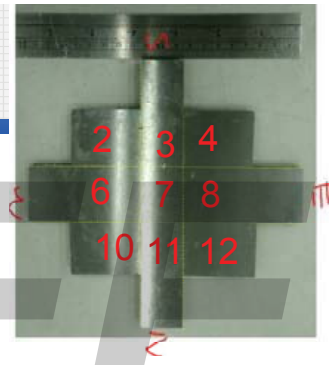
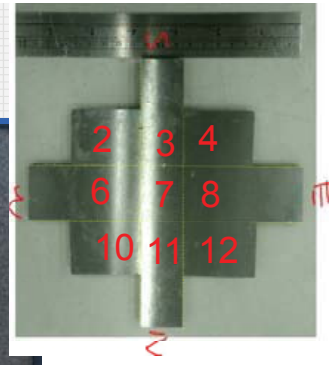


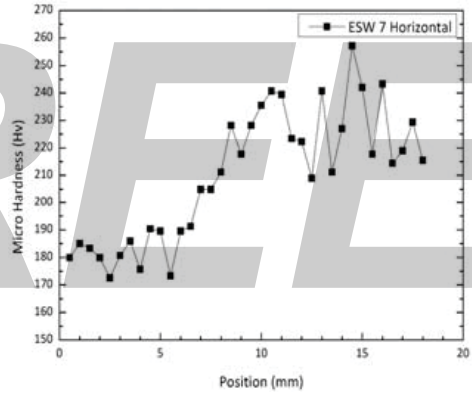
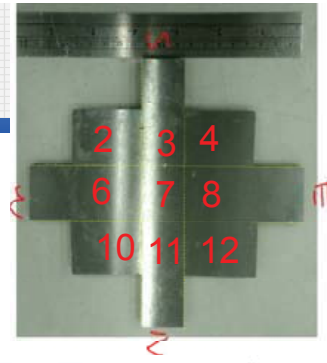
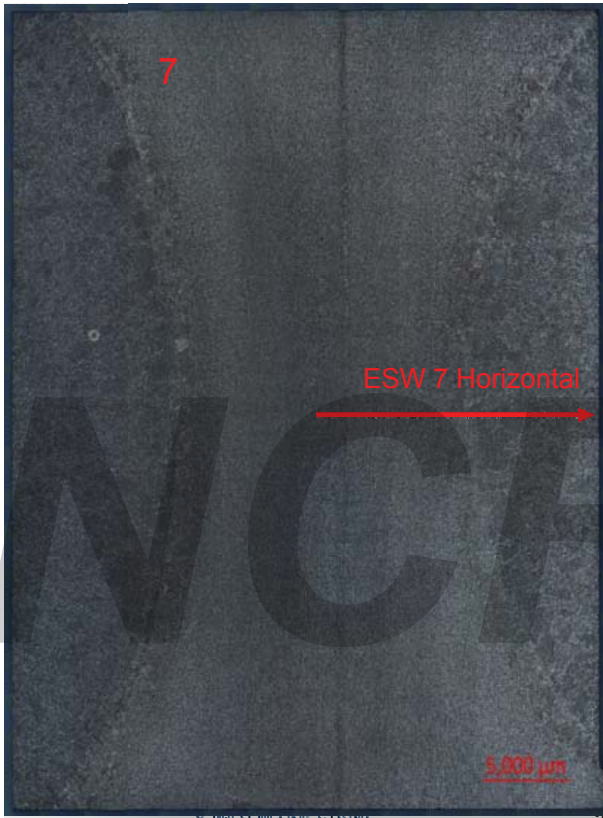
Cross joint jass 6 金相



- 鋁道宏觀顯示；右側鋁道晶粒較為粗大，為第一道次，左側晶粒較細為第二道次。

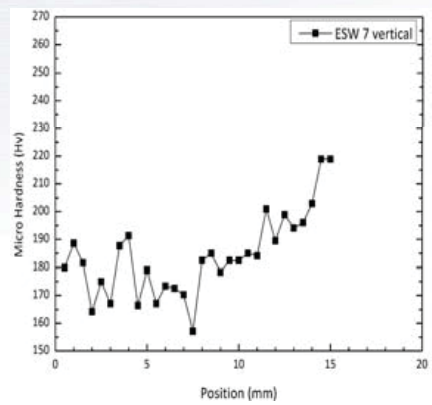
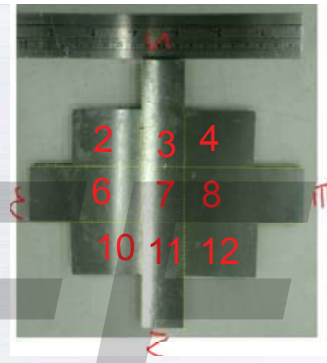
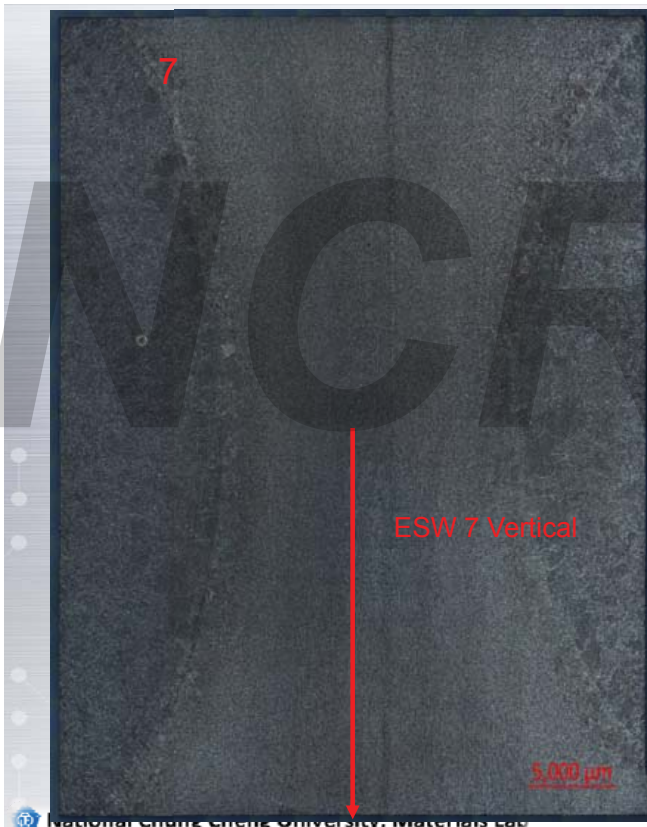




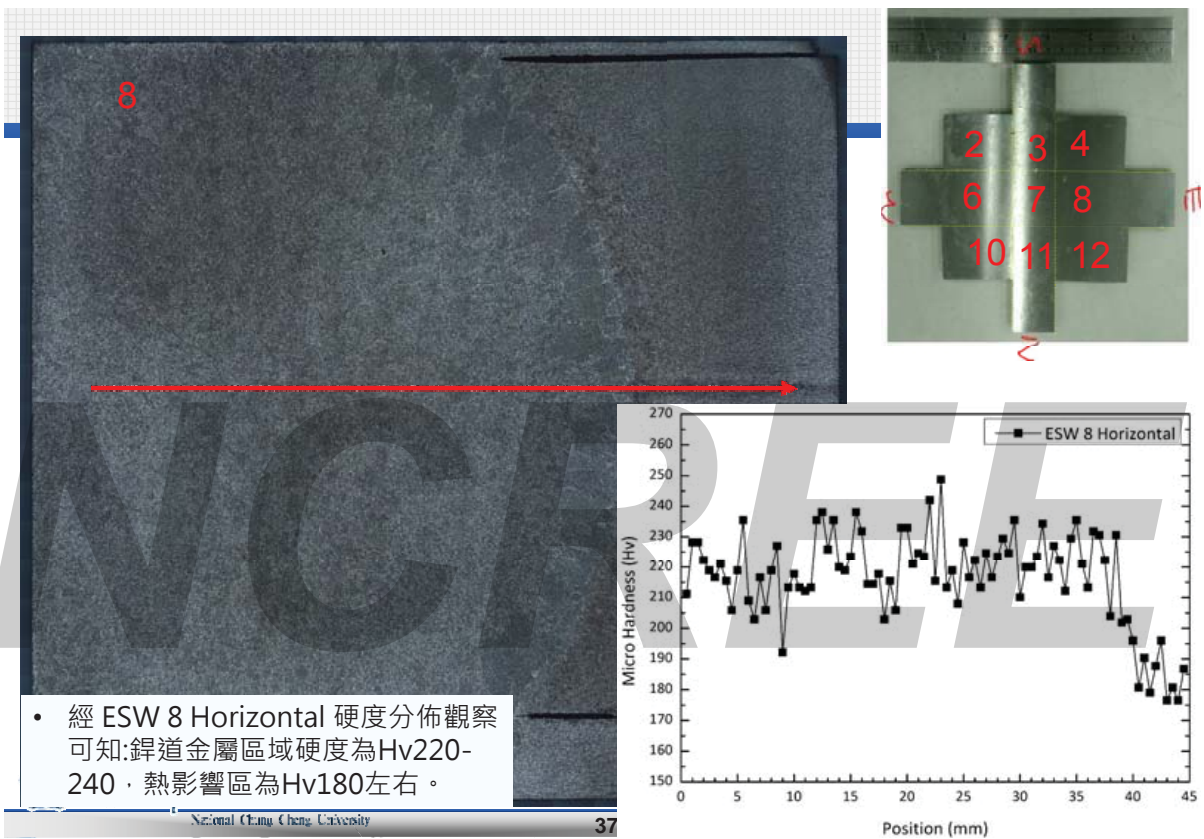


Materials Laboratory
Mechanical Engineering

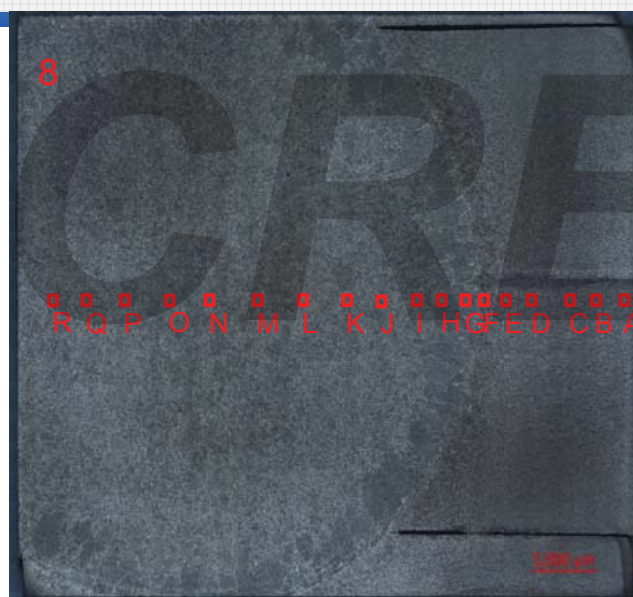
35

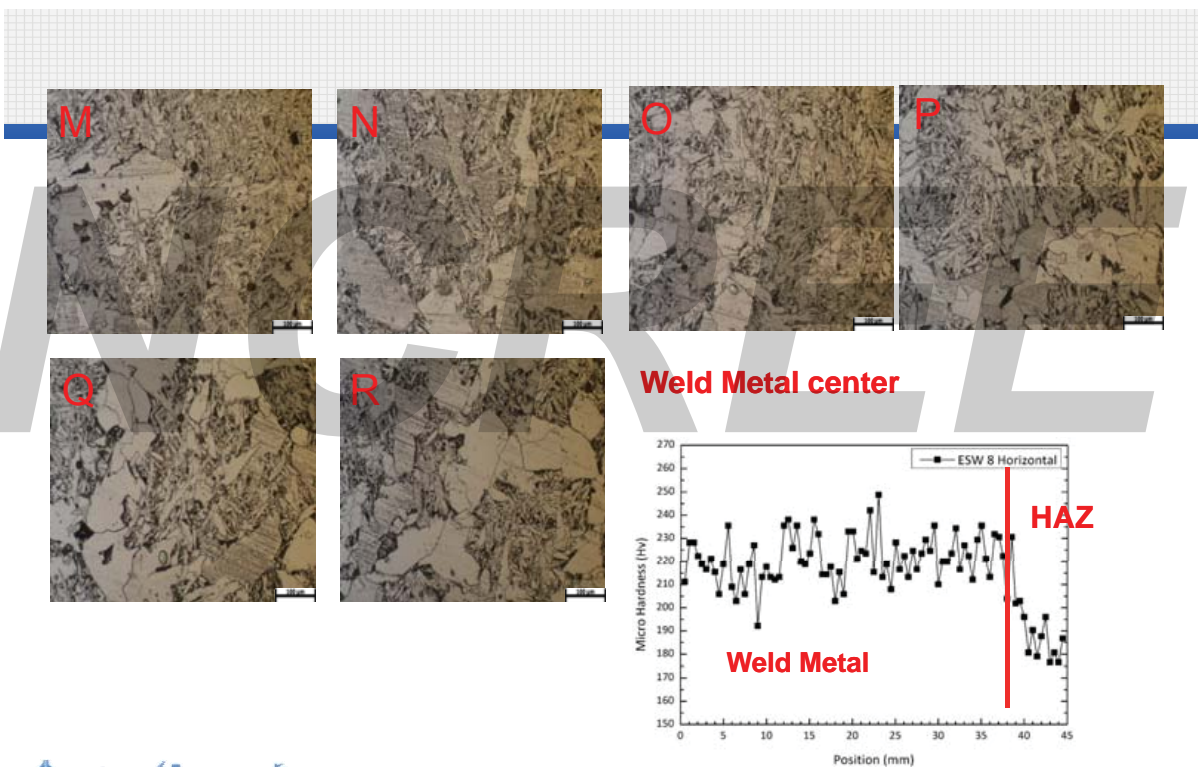
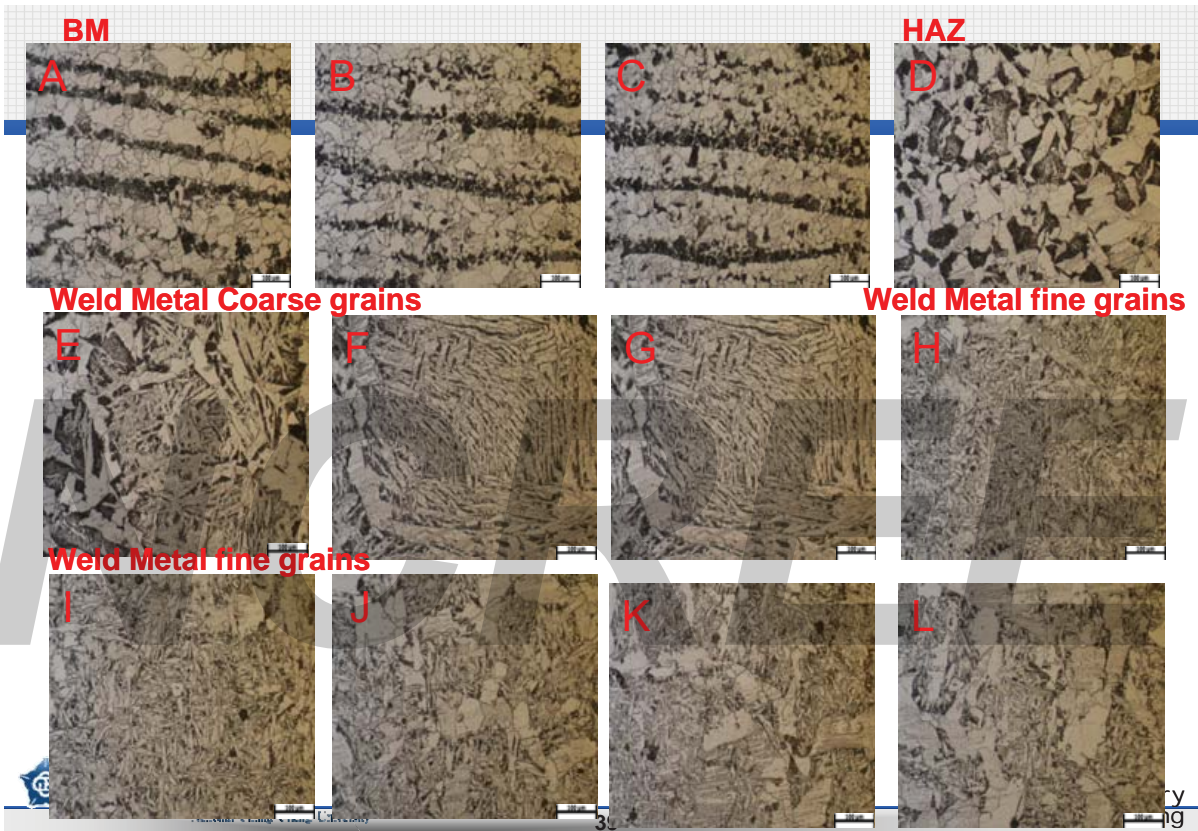


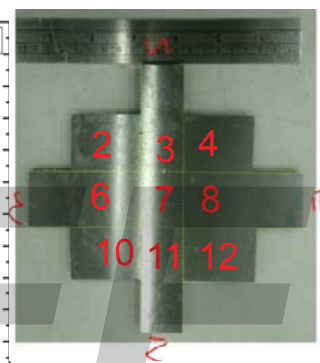
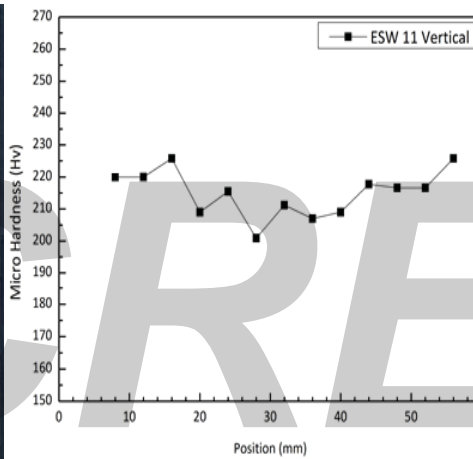
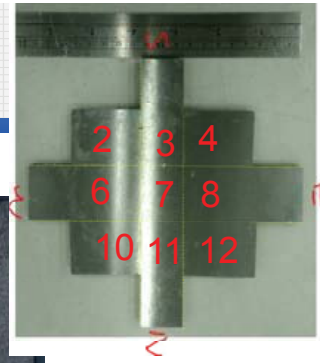
Materials Laboratory
Mechanical Engineering



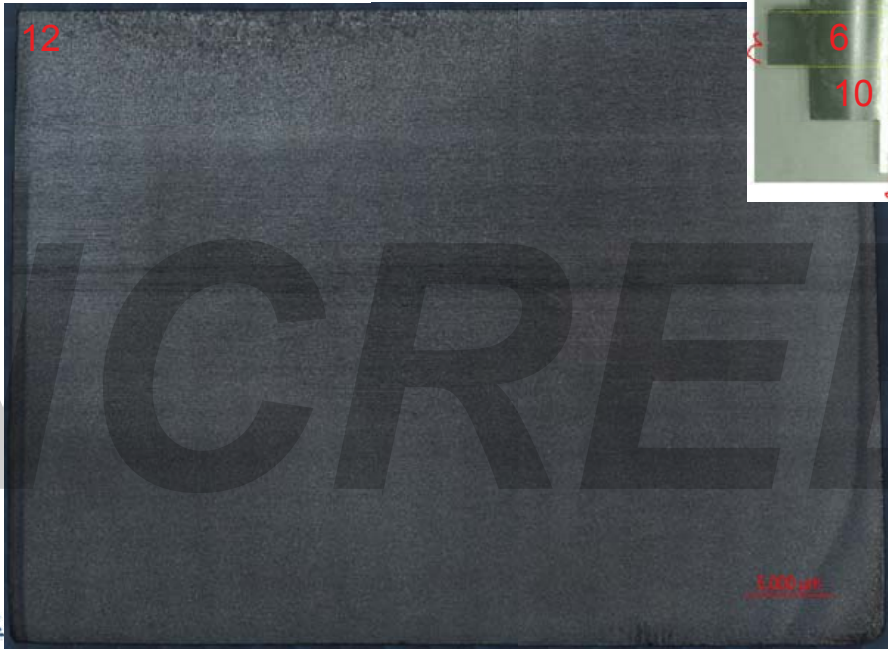
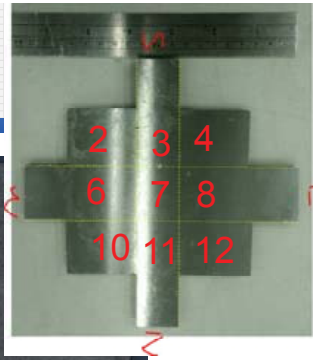
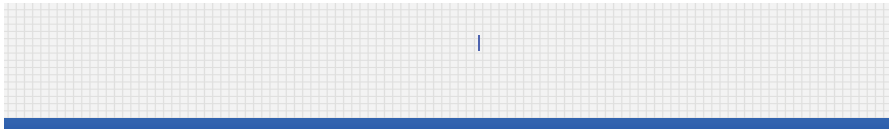
右側ESW鐸道顯微組織







- 由ESW 11 Vertical 硬度分佈趨勢可得知，母材硬度約為 Hv200-230。



NCREE



Q&A

NCREE





電熱熔渣鋁直束超音波檢測與標準

NCREEE

金屬工業研究發展中心 檢測組
鄭偉凡

金屬工業研究發展中心



大綱

1. 前言
2. CNS 12618 附錄A
3. 探頭尺寸與頻率對於熔幅量測的影響
4. 結論實際演練
5. 實際演練

金屬工業研究發展中心

1/22



1. 前言

鋼骨結構應用廣泛如橋樑、大樓及廠房等，大部分皆選擇使用銲接的方式進行組接，因此鋼結構銲道的品質就相當重要：

*銲道外觀：目視檢測(CNS 13021)進行初步的檢視

*細小表面缺陷：磁粒檢測(CNS 13341)或
液滲檢測(CNS 11398)

*針對於內部缺陷：超音波檢測(CNS 12618)
射線檢測(CNS 13020)進行之

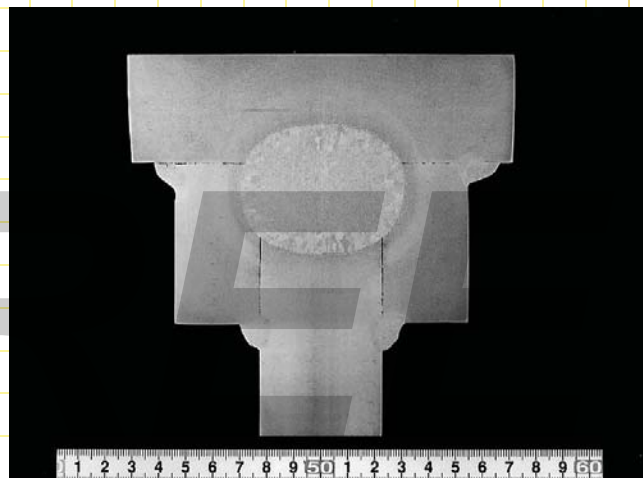
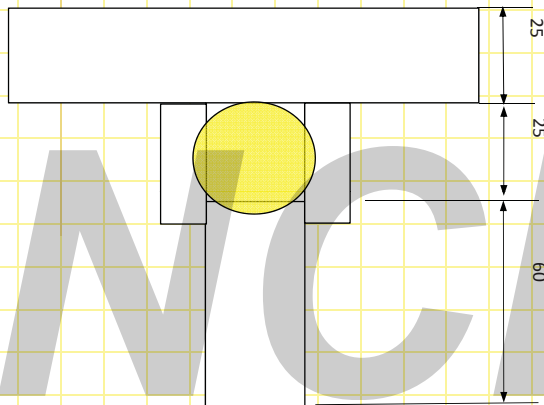
但若以施作的便利性及輻射安全上的考量，在施工現場大多採用鋼結構銲道超音波檢測(CNS 12618)作為確認鋼結構銲道品質方法。



1. 前言(續)

電熱熔渣銲接(ESW)是一種單道、高效率適用於厚板(25 mm以上)的銲接方法。電熱熔渣銲非常適合用於在垂直位置或接近垂直位置銲接各種大厚度(25 mm~300 mm)工件，其生產率高，熱效率高達80%(潛弧銲為60%)。

但其銲道形式無法使用CNS 12618本文中所提及之作法進行檢測，故須以附錄所述的方式針對方形全滲透銲道之熔幅及銲金進行直束超音波檢測。



電熱熔渣銲接(ESW) 銲道熱影響區巨觀圖例

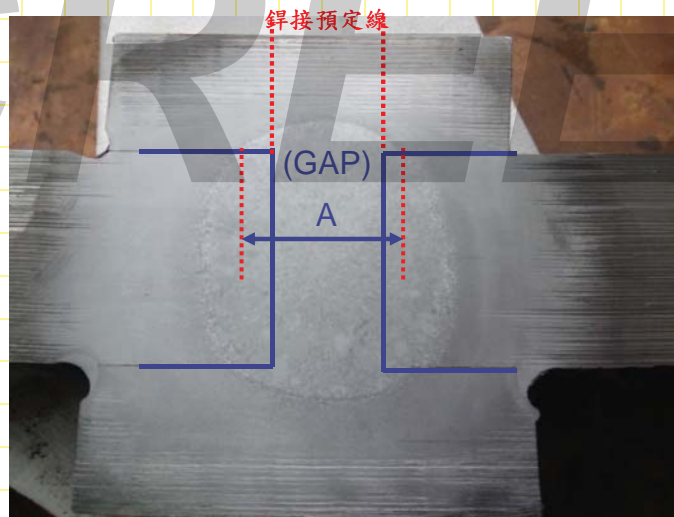
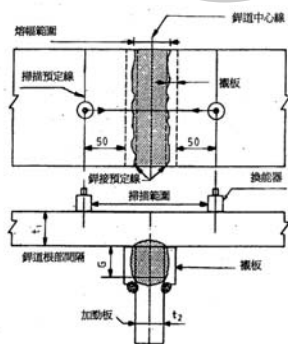


2. CNS 12618 附錄A

如上節所述，ESW銲接方式與一般銲接方式不同，故其檢測方法在CNS 12618中特以附錄方式加以規定，其檢測可分為兩大部分：

- (一) 銲金
- (二) 熔幅(A)

A需大於銲接預定線

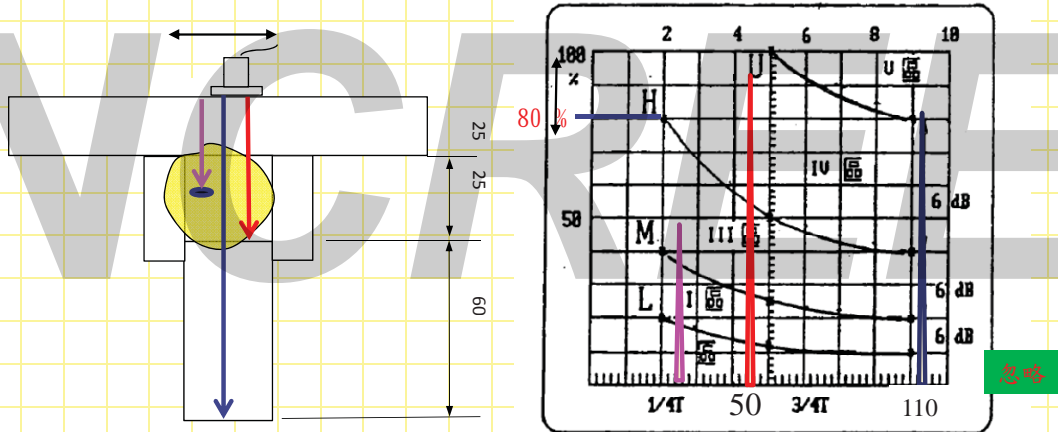


RMS 油槽壁厚自動掃描 超音波檢測



(一) 銲金檢查: 確認銲道內缺陷、未溶透...

換能器規定使用直束縱波, 4 MHz, 晶體尺寸20~25 mm, 利用RB-3型規塊上 $\Phi 3.2$ mm的側鑽孔, 以三邊不同射束路程以最大回波者調整至80%逐步繪製DAC曲線並標示為H線, 再以6 dB為間隔分別繪製M、L及U線如下圖3所示, 以現今的UT儀器可輕易繪製:

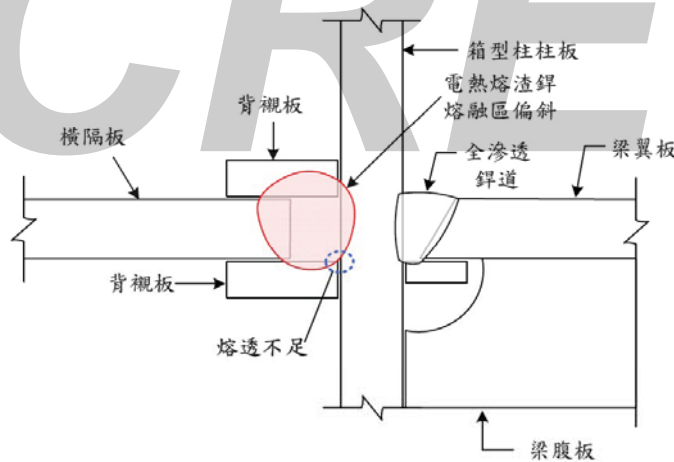


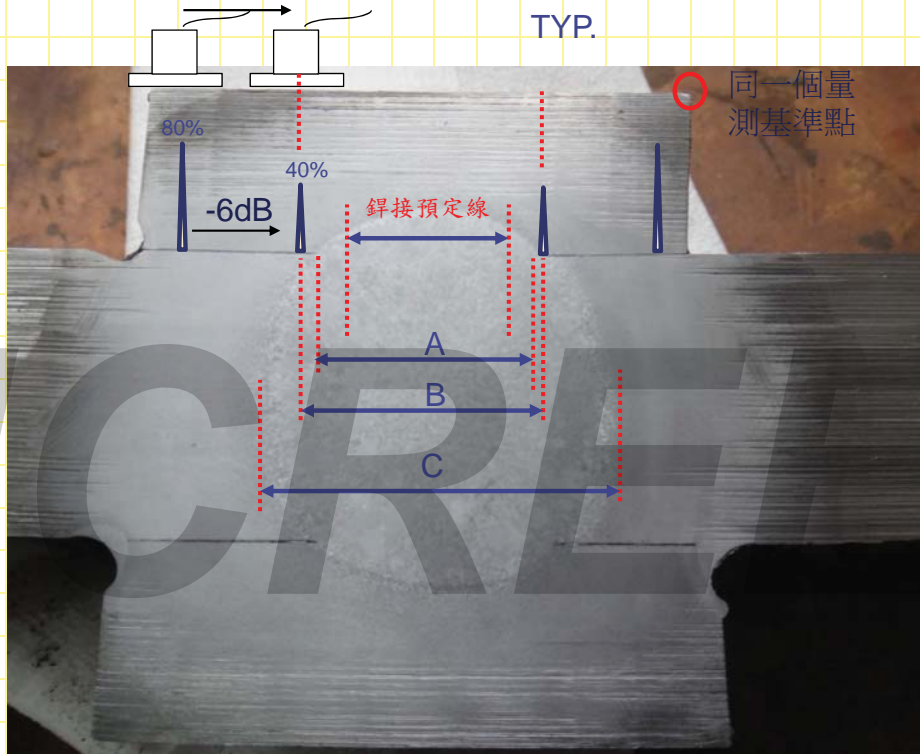
小缺陷容許的長度較長,
大缺陷的長度則越短越好



(二) 熔幅

熔幅是附錄A檢查的重點, 當ESW銲道發生熔幅不足或是偏熔時將會導致受力面積不足或是應力集中進而降低結構強度, 如下圖所示意





A:實際的熔幅

B:-6dB量到的熔幅(近A)

C:最大熔幅(量不到)

RMS 油槽壁厚自動掃描 超音波檢測



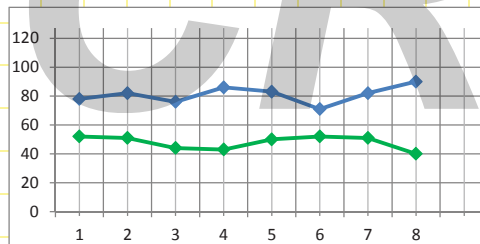
熔幅不足 巨觀圖例(熔幅小於焊接預定線)



實際案例

探頭外緣直徑(a) 30 mm

檢測位置	A面熔幅(右側側為量測基準)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
左側量測值(l)	63	67	61	71	68	56	67	75
右側量測值(r)	37	36	29	28	35	37	36	25
左側熔融邊界 ($L=l+0.5a$)	78	82	76	86	83	71	82	90
右側熔融邊界 ($R=r+0.5a$)	52	51	44	43	50	52	51	40
熔幅寬度(L-R)	26	31	32	43	33	19	31	50
左側銲接預訂量線 (P-L)	未明示，無法確定							
右側銲接預訂量線 (P-R)								

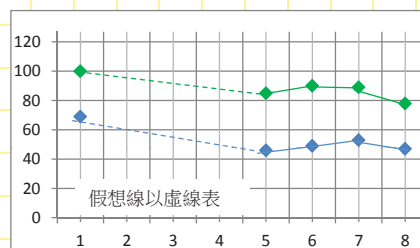


WPS-22A面熔幅變化曲線(右側為量測基準)



實際案例

檢測位置	B面熔幅(右側側為量測基準)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
左側量測值(l)	85	0	0	0	70	75	74	63
右側量測值(r)	54	0	0	0	31	34	38	32
左側熔融邊界 ($L=l+0.5a$)	100	15	15	15	85	90	89	78
右側熔融邊界 ($R=r+0.5a$)	69	15	15	15	46	49	53	47
熔幅寬度(L-R)	31	0	0	0	39	41	36	31
左側銲接預訂量線 (P-L)	未明示，無法確定							
右側銲接預訂量線 (P-R)								



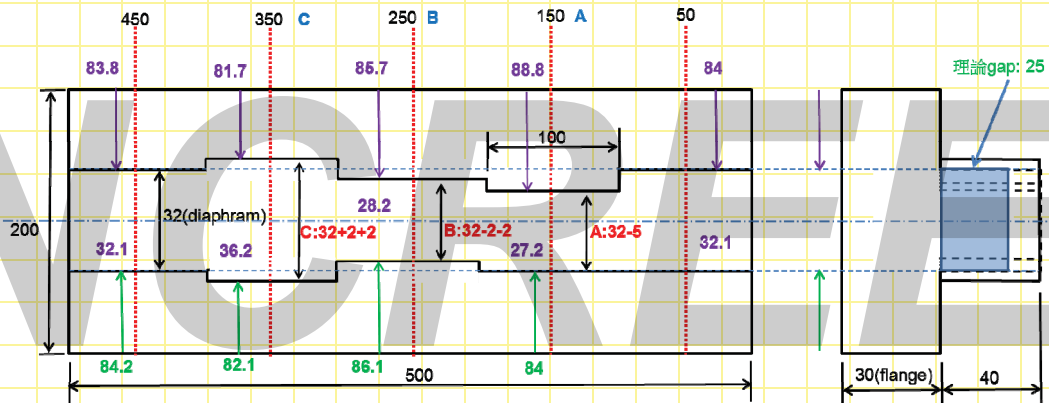
WPS-22 B面熔幅變化曲線(右側為量測基準)





1.3 探頭尺寸與頻率對於熔幅量測的影響

近來，業界討論，探頭尺寸與頻率對熔幅量測的差異頗大，故製作試片驗證之



gap=25

A: 單邊偏幅 -5mm

B: 雙邊熔幅 -2mm

C: 雙邊熔幅 +2mm



4MHz

探頭直徑 與頻率		A		B		C	
		88.8	84	85.7	86.1	81.7	82.1
10 ^φ	MB4F	89	84	86	86	82	82
	吳	89	85	86	85	82	82
	顏	87	85	85.5	85	82	81
	鄭	88	84	86	86	82	82
	AVG	88	85	86	85	82	82
	誤差值	1	-1	0	1	0	0
24 ^φ	K4G						
	吳	89	85	88	88	83	84
	顏	88	84	85	89	85	87
	鄭	87	86	86	88	81	83
	AVG	88	85	86	88	83	85
	誤差值	1	-1	-1	-2	-1	-3



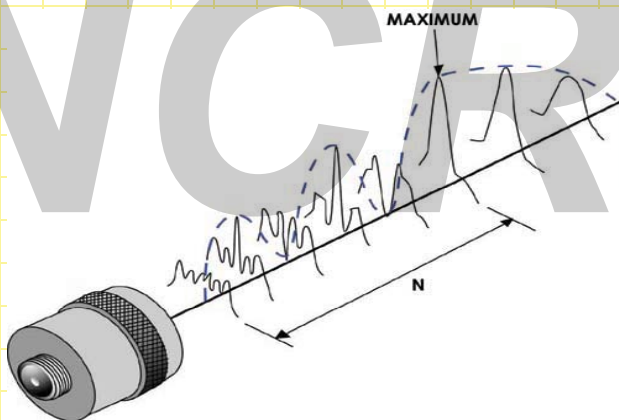
5MHz

探頭直徑 與頻率		A		B		C	
		88.8	84	85.7	86.1	81.7	82.1
		89	84	86	86	82	82
10 ϕ	KGK 5C10N						
	任	88	83	86	86	81	81
	溪	88	83	86	86	82	82
	興	88	83	86	86	82	81
	吳	89	83	85	85	80	80
	AVG	88	83	86	86	81	81
	誤差值	1	1	0	0	0	1
24 ϕ	GE B5S						
	任	91	80	85	85	86	82
	溪	90	82	88	85	86	83
	興	92	81	88	86	86	82
	吳	91	77	91	84	89	79
	AVG	91	80	88	85	87	82
	誤差值	-2	4	-2	1	-5	1



影響差異的可能原因：

1. 超音波探頭的近場距離(Near Field): $N = (D^2 - \lambda^2) / 4\lambda$



D: 探頭直徑
 λ : 波長 (音速 = $\lambda \times f$)
 音速固定時，兩者呈反比

近場內由於波前干涉音束最強點不一定在音束正中央，近場以後最強點才會在音束中央，一般量測時均假設中心點在探頭中央

D(mm)	λ	N	f
24	1.48	212.3096	4MHz
24	1.184	170.0811	5MHz
10	1.48	36.18955	4MHz
10	1.184	29.18505	5MHz



4. 結論:

- A. 因組裝的幾何狀態，UT無法發現最大熔幅
- B. 規範提及的做法是採用-6 dB法來定義邊界，理論上會比真實邊界還要大
- C. 上述結果與理論基礎相呼應，規範CNS 12618-78年初版與81年修訂版並無選用特定尺寸或頻率的探頭，而是設定一個範圍，由使用者決定，故在此情況下檢測人員為增加檢測效率，通常會選用單一探頭來執行鉚金與熔幅的檢測，這樣容易犧牲熔幅量測的準確性，引發不必要爭議，建議CNS 12618 應該修訂。



我的報告結束,謝謝大家的指教

報告完畢

NCREE

NCREE

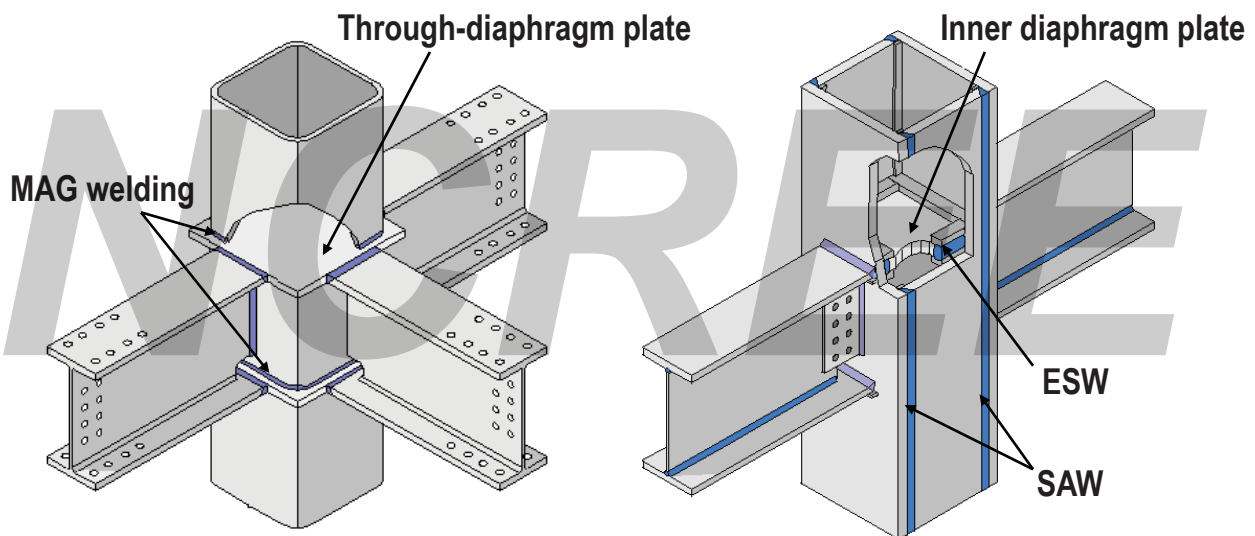
關於防止ESW (電熱熔渣焊接) 部分 脆性斷裂的技術

2019年1月18日

JFE鋼鐵株式會社



建築鋼結構的樑柱連接方式



- 建築鋼結構中最一般的方式
- 一般可應對至40mm的板厚
- 焊接熱量輸入基本為40kJ/cm以下
- 以機器人自動焊接為主

- 超高層大樓等使用的一般方式
- 可應對至19mm~100mm的板厚
- 焊接熱量輸入極大 (几百kJ/cm)
- 用ESW、SAW自動焊接施工

ESW施工状況實例



ESW施工



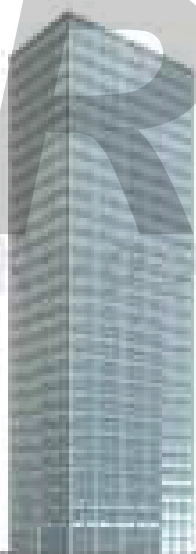
施工時の外表面

3

ESW施工状況實例

NCRREE

溶接四面水柱の製作



4

ESW部位脆性斷裂的危險性

どのような破壊が生じる可能性があるか？

5

ESW部位脆性斷裂の可能性

四面焊接箱型柱

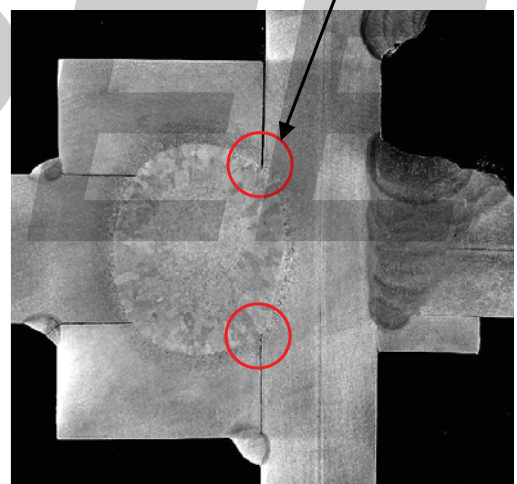
内隔板

H形鋼樑

ESW
(電熱熔渣焊接)

SAW
(潛弧焊接)

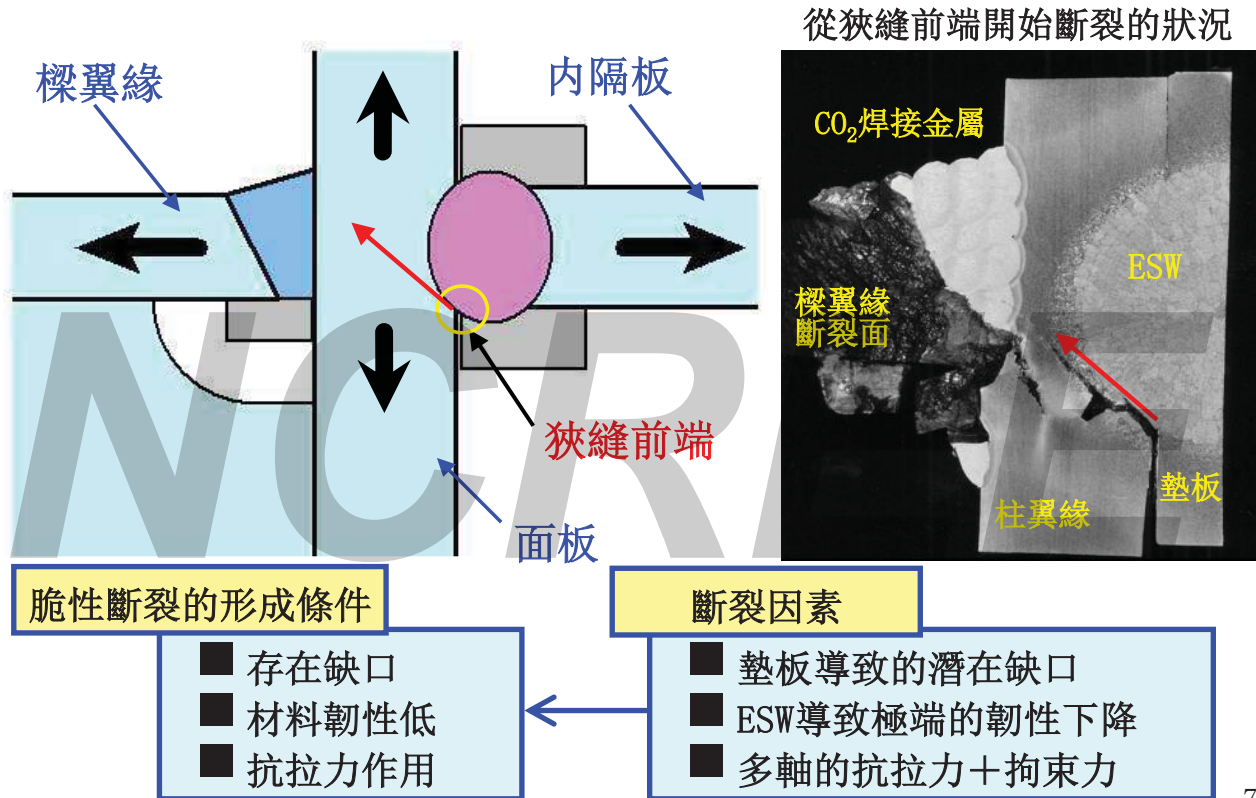
可能斷裂的位置



電熱熔渣焊接部分

6

斷裂因素② 多軸應力集中



7

小型研討委員會的目標、目的

課題・問題點:

- 脆性斷裂的危險性、發生條件不明確
- 對於ESW部分的過度要求 ⇒ 施工成本上漲的原因

目標、目的:

- | | | |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ 確立防止斷裂的技術 ■ 確定發生斷裂的條件 ■ 確保經濟合理性 | ➔ | <p>提高鋼筋結構的抗震可靠性</p> <p>避免過度要求</p> <p>普及推廣穩健的鋼筋結構</p> |
|---|---|--|

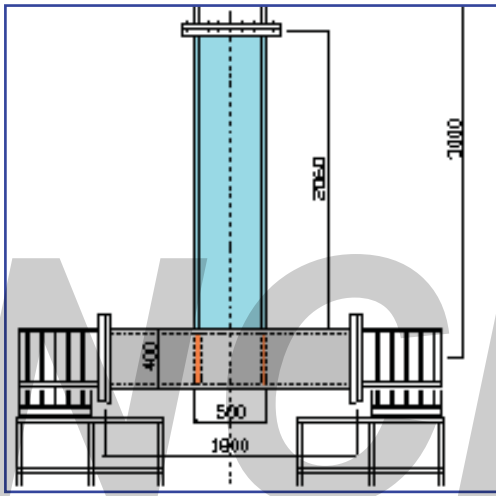
最終目標:

- 對象: 490N/mm²級鋼材**
- 整理和制定有關避免斷裂且經濟合理的設計施工技术指標

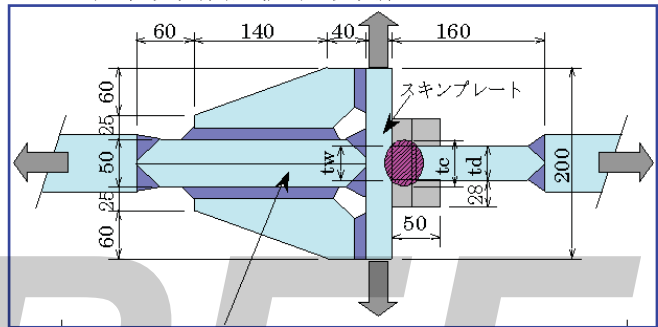
8

接合部分實驗掌握發生斷裂的條件

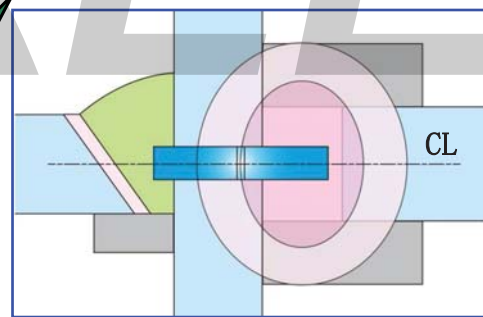
卜字形負荷實驗



十字實驗體抗拉實驗



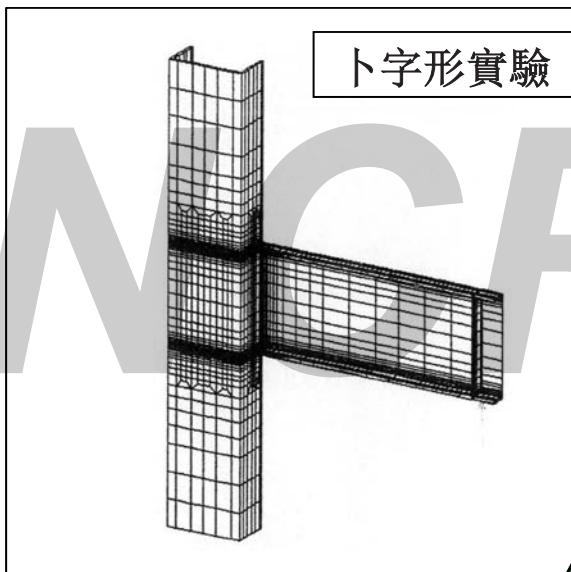
ESW部分Charpy衝擊實驗



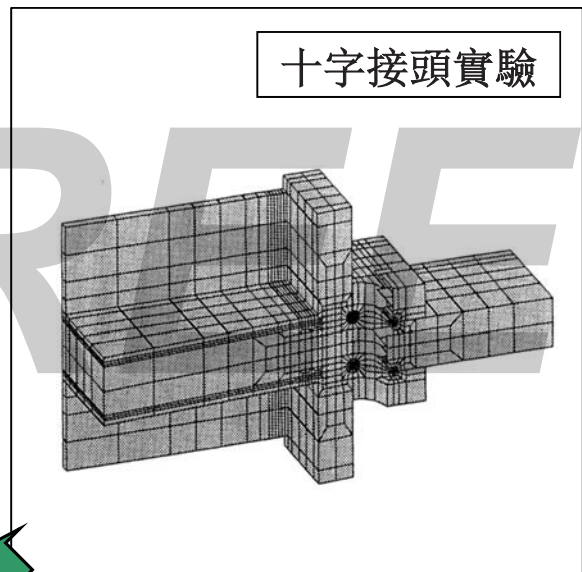
通過接頭部分實驗整理和分析斷裂耐力和Charpy衝擊值的對應關係

再現FEM分析掌握發生斷裂的條件

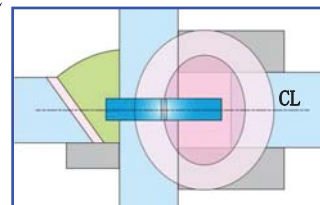
卜字形實驗



十字接頭實驗



整理和分析狹縫前端的局部應力與Charpy衝擊值的對應關係



Charpy
衝擊實驗

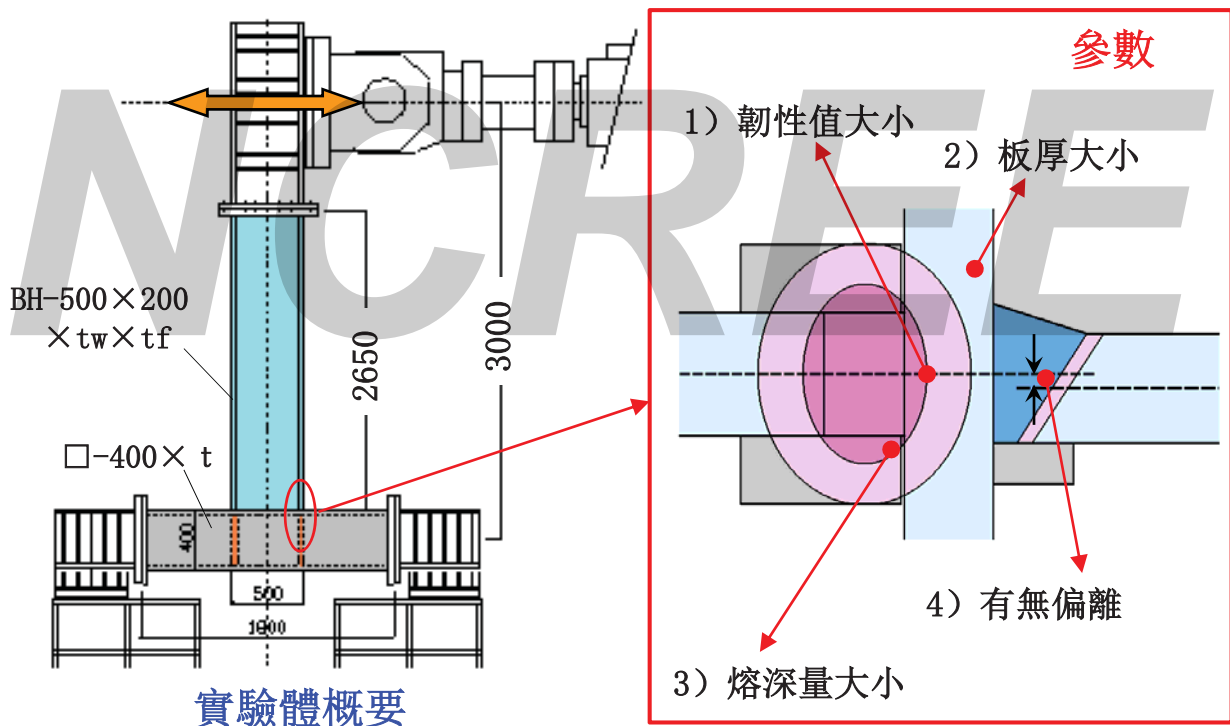
- ESW熔深量大小
- 隔板板厚大小
- 樑翼緣擴寬
- 面板板厚大小

多種因素繁複影響

(樑腹板的應力，柱翼緣的面外變形)

- 韌性值雖小但足夠的情況
- 鋼材必須保證充足韌性值的情況

11



12

十字接頭實驗的研討

軸力比、韌性值的影響

13

試驗片焊接條件

系列	試驗片 No.	□-D x B x t (mm)	DIA (mm)	R.G. (mm)	焊絲	電流 (A)	電壓 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (kJ/cm)
1	U0a-0	□-400x400x28	36	25	YES51 1.6 φ	400	48	2.10-2.40	486-540
	U0b-0								
	U0b-3								
	U0b-6								
	U2a-0								
	U2b-0								
2	No.4-1	□-600x600x40	40	25	YES52 1.6 φ	380	49	1.53-1.65	677-730
	No.4-2								
	No.5-1	□-600x600x36	36	25	YES51 1.6 φ	380	46	2.30-2.40	437-456
	No.5-2								
3	PL-28A	□-800x400x28	36	23	YES52 1.6 φ	360	49	2.24-2.34	452-470
	PL-40A					□-800x400x40	360	50	2.27-2.34
4	TH28-1	□-400x400x28	36	23	YES52 1.6 φ	360	45	2.37-2.50	372-425
	TH28-2								
	TH28-3					360	47	2.34-2.46	413-434
	TH28-4								

面板:SN490C, 內隔板:SN490B, DIA:內隔板厚, R. G. :根部間隔

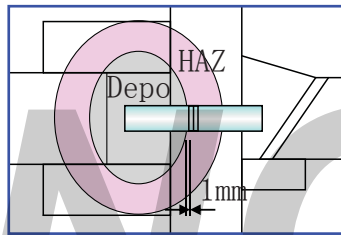
14

機械性質（拉伸試験結果）

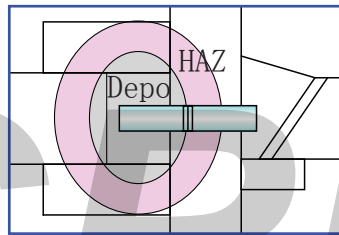
系列	試験片 No.	試験温度	面板-B.M		内隔板-B.M		ESW-W.M		面板-HAZ		vE(T)		
			YS	TS	YS	TS	YS	TS	YS	TS	W.M	F.L	HAZ
1	U0a-0	0°C	341	563	361	352	379	553	394	381	120	67	39
	U0b-0												
	U0b-3												
	U0b-6												
	U2a-0	-20°C	382	581	391	531	387	563	458	583	54	47	18
	U2b-0												
2	No.4-1	0°C	353	532	405	550	441	584	345	544	100	108	150
	No.4-2	-20°C	371	548	449	585	438	601	352	562	-	-	178
	No.5-1		353	552	377	586	456	662	433	591	-	-	16
	No.5-2	0°C	383	568	374	569	461	648	454	581	90	61	20
3	PL-28A	0°C	366	568	346	553	426	604	369	584	92	31	19
	PL-40A		350	549			449	617	365	579	118	40	40
4	TH28-1	-10°C	358	523	360	563	345	527	346	528	137	63	71
	TH28-2	-20°C	367	533	368	555	338	543	433	620	69	75	74
	TH28-3	-40°C	380	548	379	573	352	551	475	639	44	14	29
	TH28-4										14	18	19

YS:降伏應力(N/mm²), TS:抗拉強度(N/mm²), vE(T):Charpy衝擊值(J)

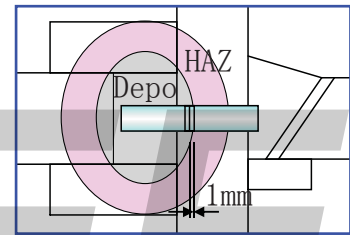
Charpy衝擊試驗結果(1)



HAZ(F.L.+1mm)



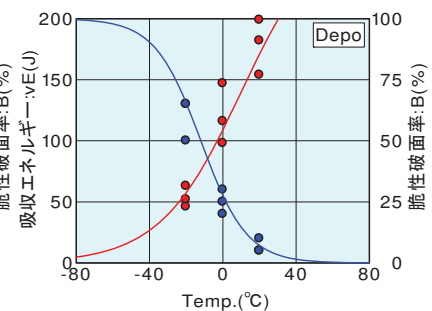
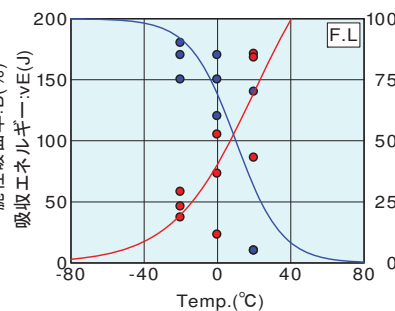
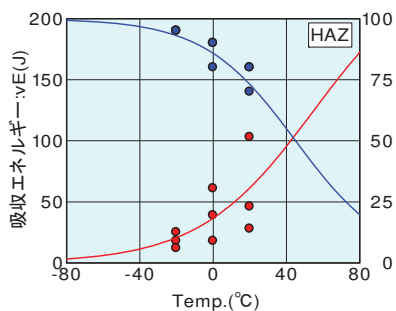
F.L.



W.M or Depo(F.L.-1mm)

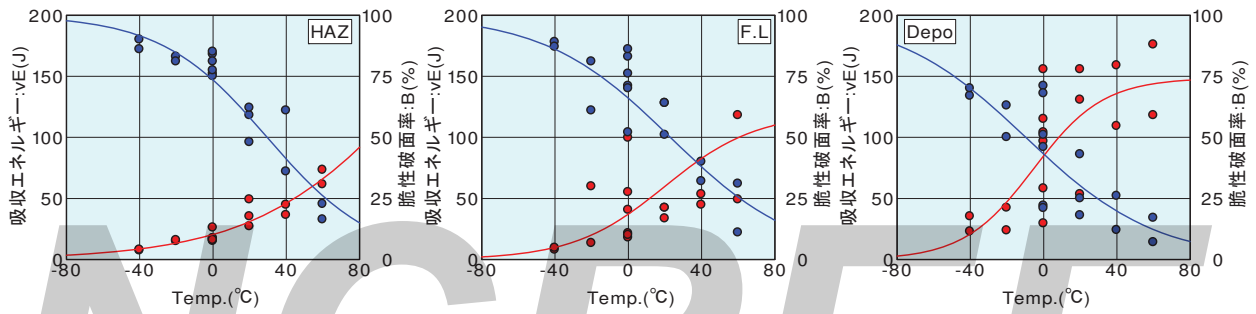
HAZ: F.L. + HAZ方向1mm, W.M(Depo): F.L. + Depo方向1mm

系列1: 400A, 48V, 486-540kJ/cm

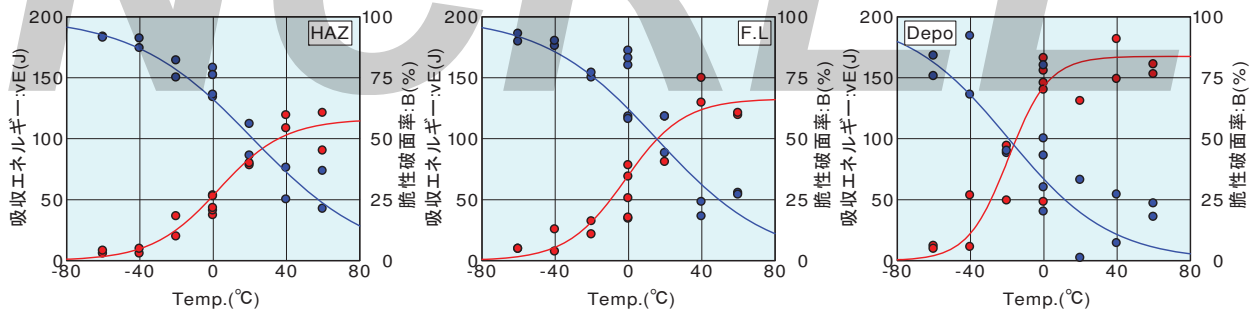


Charpy衝擊試験結果 (2)

系列3(PL-28A): 360A, 49V, 452-470kJ/cm 面板厚28mm



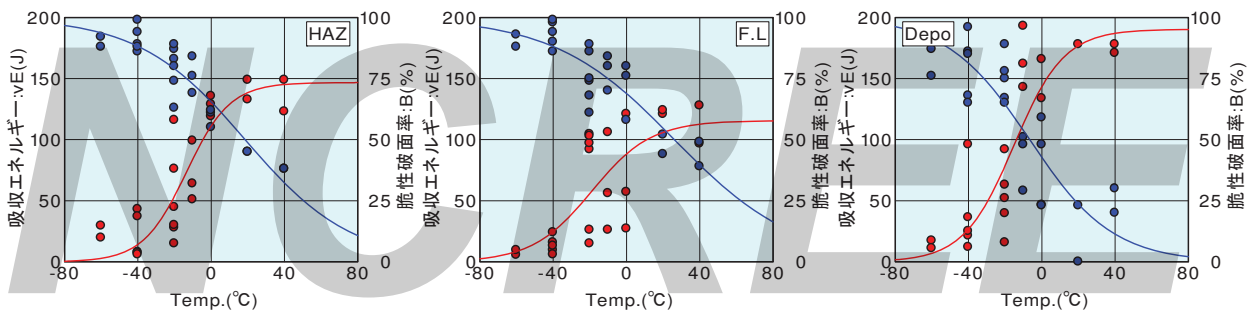
系列3(PL-40A): 360A, 50V, 462-476kJ/cm 面板厚40mm



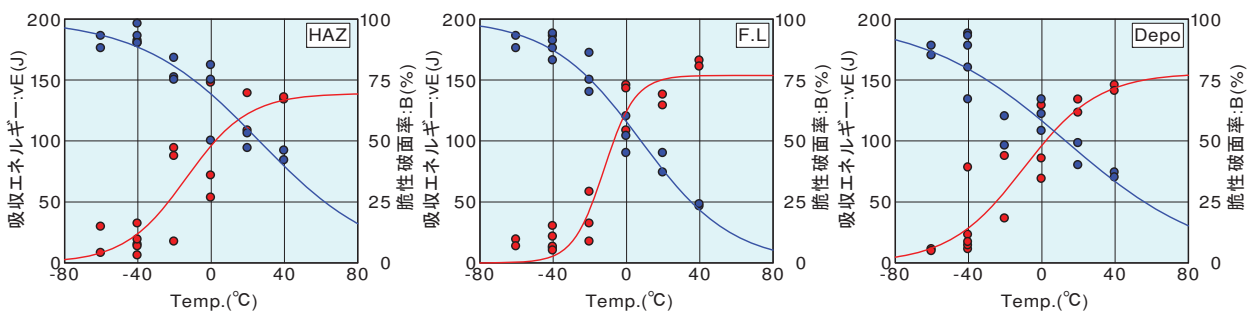
17

Charpy衝擊試験結果 (3)

系列4(TH28-1, 2, 3): 360A, 45V, 372-425kJ/cm 熔深量小

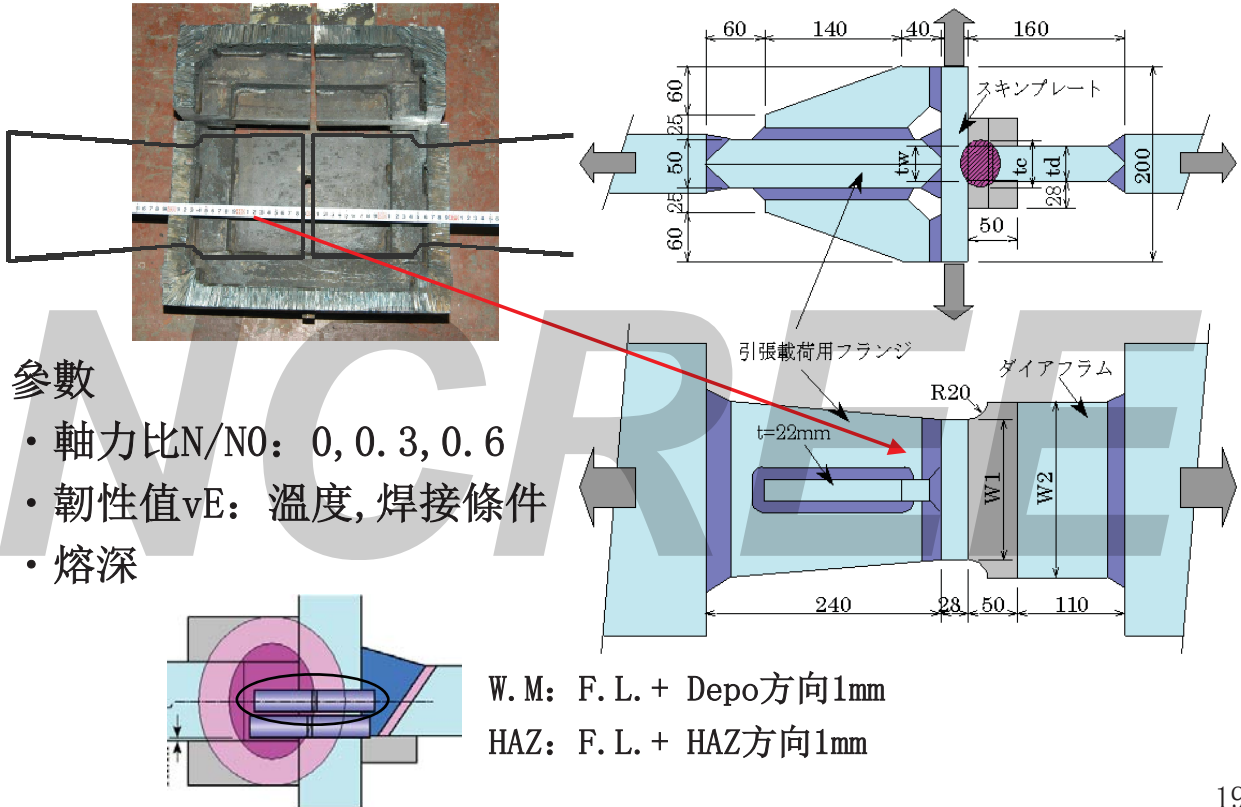


系列4(TH28-4): 360A, 47V, 413-434kJ/cm 熔深量大



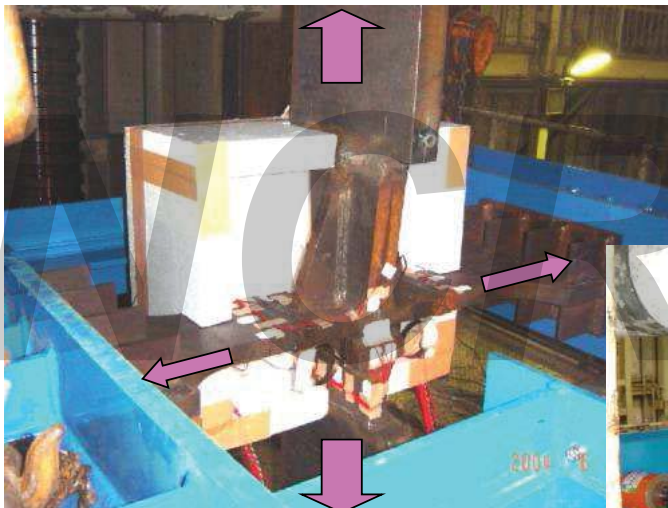
18

斷裂實驗概要



19

負荷情況



往實驗體安裝冷卻箱

實驗體配置情況



20

實驗結果

系列	試驗片 No.	試驗溫度	N/NO	ESW部, 試驗片幅(mm)					實驗結果			
				tw	td	tc	W1	W2	Pmax	Δu	vEbr	斷裂點
1	U0a-0	0°C	0	40.8	36.1	43.3	144	180	3479	17.1	120	W.M
	U0b-0		0	38.3	36.2	43.4	144	180	3577	7.15	120	W.M
	U0b-3		0.30	41.0	36.6	44.0	145	180	3264	5.57	120	W.M
	U0b-6		0.60	40.7	36.3	43.1	144	180	2027	0.95	39	HAZ
	U2a-0	-20°C	0	41.2	36.2	43.4	144	180	1980	0.86	18	HAZ
	U2b-0		0	39.9	36.2	44.0	144	180	2929	0.73	18	HAZ
2	No.4-1	0°C	0.61	49.0	40.6	59.5	114	150	3161	20.2	100	W.M
	No.4-2	-20°C	0.57	48.8	40.7	60.3	114	150	3020	10.3	100	W.M
	No.5-1		0.56	36.6	32.6	47.3	124	160	1566	0.75	16	HAZ
	No.5-2	0°C	0.61	37.4	32.5	47.3	124	160	3066	27.4	-	DIA
3	PL-28A	0°C	0.53	37.3	36.6	45.9	124	160	2216	1.71	19	HZ
	PL-40A		0.49	41.1	36.7	52.3	124	160	3268	19.3	-	DIA
4	TH28-1	-10°C	0.59	40.6	36.5	46.2	144	180	3869	39.2	74	DIA
	TH28-2	-20°C	0.61	42.2	36.5	49.4	144	180	3250	7.81	-	HAZ
	TH28-3	-40°C	0.58	37.4	36.5	46.0	144	180	2737	2.13	44	W.M
	TH28-4		0.56	45.5	36.5	50.1	144	180	1353	0.55	19	HAZ

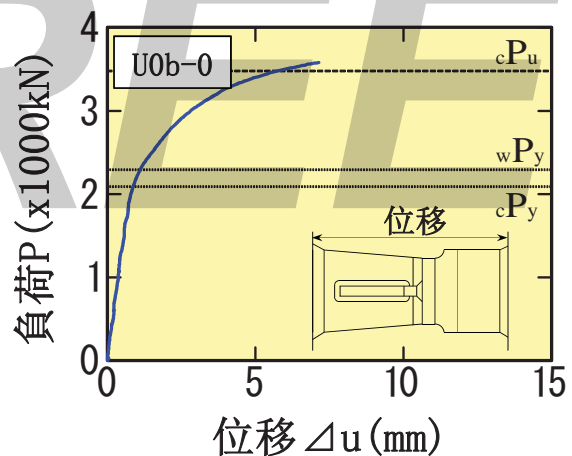
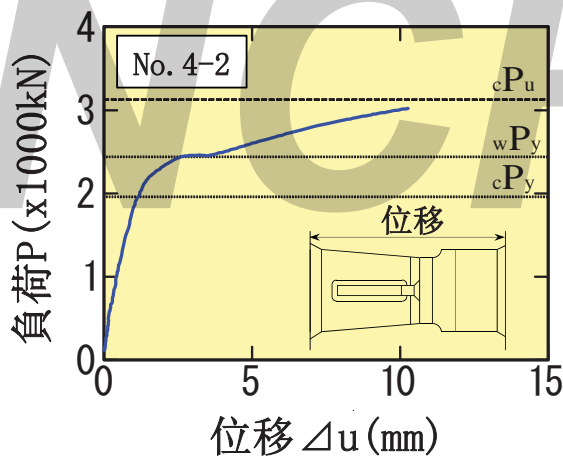
Pmax:最大荷重(kN), Δu :變移(mm), vEbr:斷裂點Charpy衝擊值(J)

21

實驗結果例 (斷裂Mode-1)

從ESW部分的狹縫前端起焊接金屬斷裂

韌性值:大, 面板軸力比:小



負荷條件: 2軸, 軸力比 0.57
實驗條件: -20°C, HAZ+1=100J

負荷條件: 1軸, 軸力比 0.0
實驗條件: 0°C, HAZ+1=39J

22

實驗結果例（斷裂Mode-1）

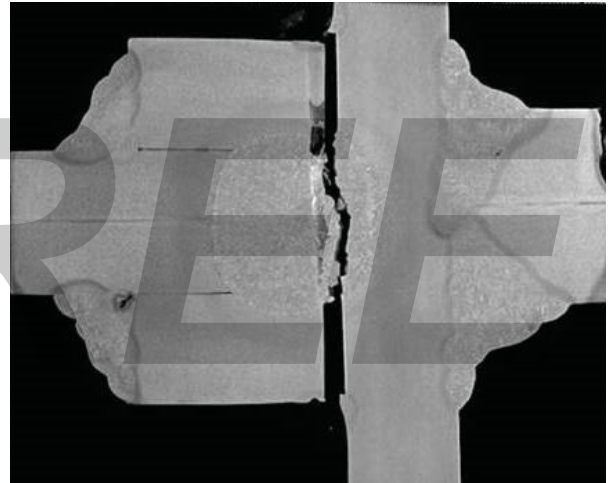
從ESW部分的狹縫前端起焊接金屬斷裂

韌性值:大, 面板軸力比:小



斷裂狀況例

No. 4-2



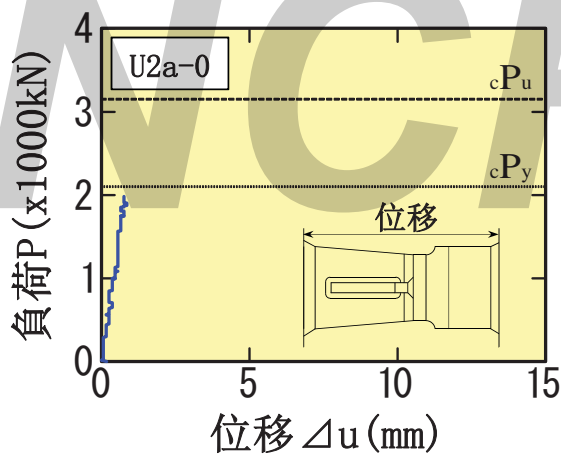
斷面宏例

23

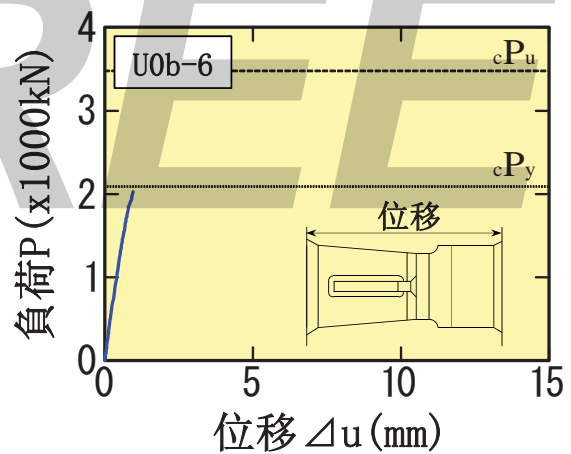
實驗結果例（斷裂Mode-2）

從ESW部分的狹縫前端起沿F.L, HAZ斷裂

韌性值:小, 面板軸力比:大



負荷條件: 1軸, 軸力比 0.0
實驗條件: -20°C, HAZ+1=18J



負荷條件: 2軸, 軸力比 0.6
實驗條件: 0°C, HAZ+1=39J

24

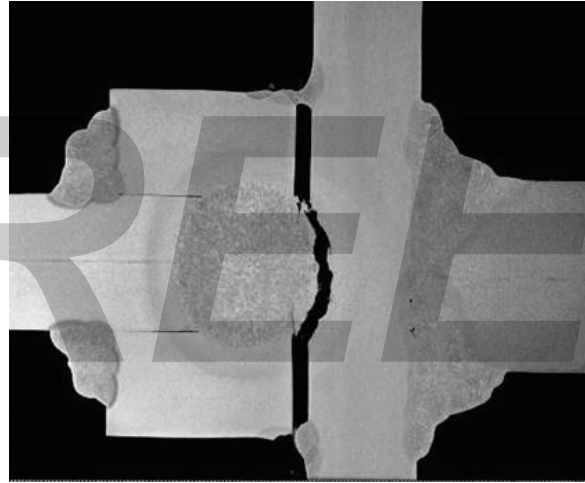
實驗結果例（斷裂Mode-2）

從ESW部分的狹縫前端起沿F. L，HAZ斷裂

韌性值:小，面板軸力比:大



斷裂狀況例



斷面宏例

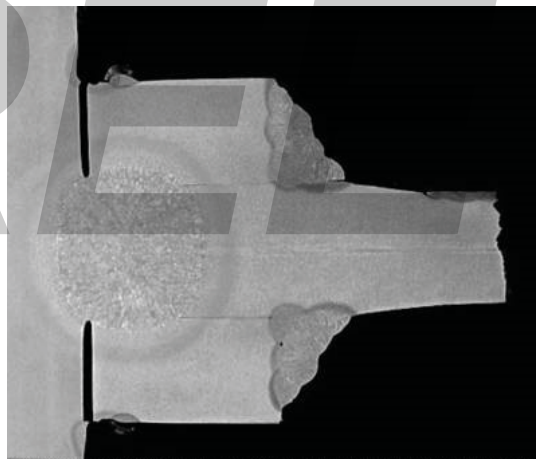
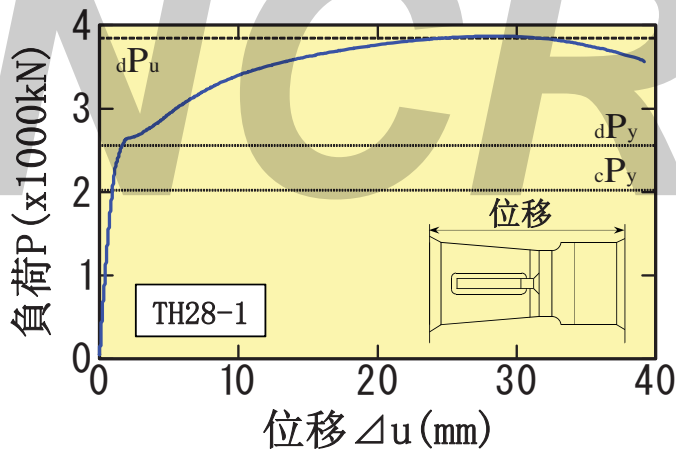
U0b-6

25

實驗結果例（斷裂Mode-3）

內隔板斷裂

韌性值:大，內隔板強度:小

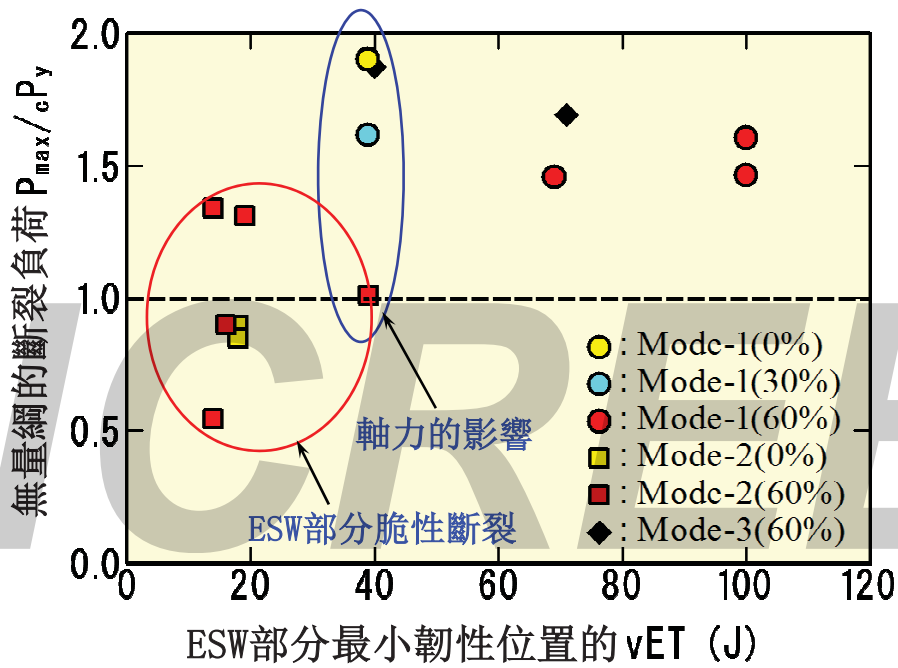


負荷條件: 2軸，軸力比 0.59

實驗條件: -10°C，HAZ+1=63J

26

對於斷裂的考察



【 cP_y : 基於面板降伏應力的計算值】

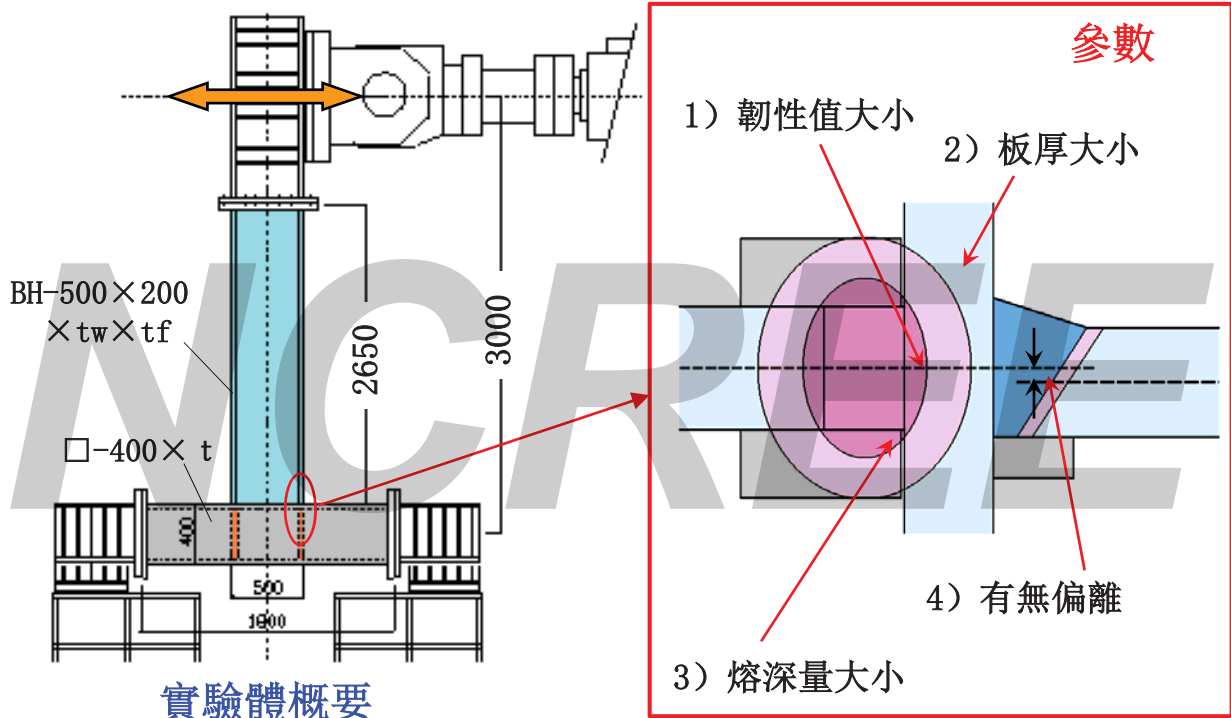
27



卜字形實驗體探究

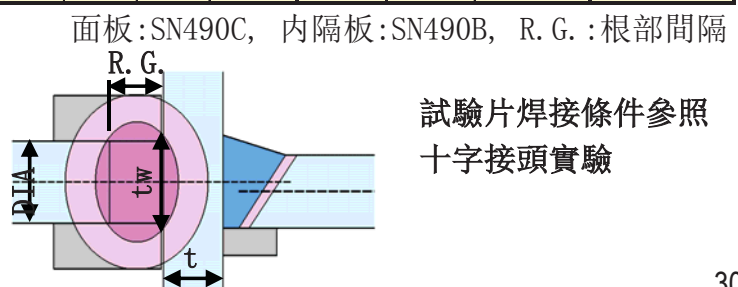
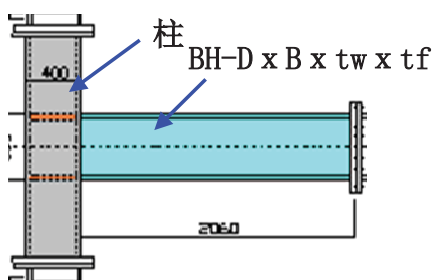
偏離量、韌性值的影響

28



29

系列	試驗片 No.	柱 □-D x B x t (mm)	BH梁 (mm)				DIA (mm)	R.G. (mm)	tw (mm)	偏離量 e (mm)	入熱量 (kJ/cm)
			H	B	tw	tf					
1	No.1	□-400x400x28	500	200	16	32	36	25	38.6	0	486-540
	No.2									+14	
	No.3									-14	
4	No.4	□-400x400x28	500	200	16	32	36	23	40.0	+14	372-425
	H-1									0	
	H-2									0	
	H-3									0	
3	L-1	□-400x400x28	500	200	16	32	36	23	38.6	0	452-470
	L-2	□-400x400x40									462-476



30

機械性質（拉伸試驗結果）

系列	試験片 No.	試験温度	柱										
			面板-B.M		内隔板-B.M		ESW-W.M		面板-HAZ		vE(T)		
			YS	TS	YS	TS	YS	TS	YS	TS	W.M	F.L	HAZ
1	No.1-3	0°C	341	563	352	534	379	553	381	570	120	67	39
4	No.4	-10°C	358	523	360	563	345	527	346	528	137	63	71
	H-1	-20°C	367	533	368	555	338	543	433	620	69	75	74
	H-2	-40°C	380	548	379	573	352	551	475	639	44	14	29
	H-3		14	18	19								
3	L-1	0°C	366	568	346	553	426	604	369	584	92	31	19
	L-2		350	549			449	617	365	579	118	40	40

系列	試験片 No.	試験温度	BH梁							
			Flange-B.M			Web-B.M			CO ₂ -Depo	
			tf	YS	TS	tf	YS	TS	YS	TS
1	No.1-3	0°C	32	367	542	16	359	522	524	611
4	No.4	-10°C	32	407	579	16	387	591	未實施	
	H-1	-20°C	40	366	565	22	398	603		
	H-2,3	-40°C		359	591		400	603		
3	L-1,2	0°C	32	356	564	16	386	525	524	638

YS:降伏應力(N/mm²), TS:抗拉強度(N/mm²), vE(T):Charpy衝擊值(J)

卜字形實驗體概要



實驗前



實驗體Set-Up

載荷前(冷却箱取付)



33

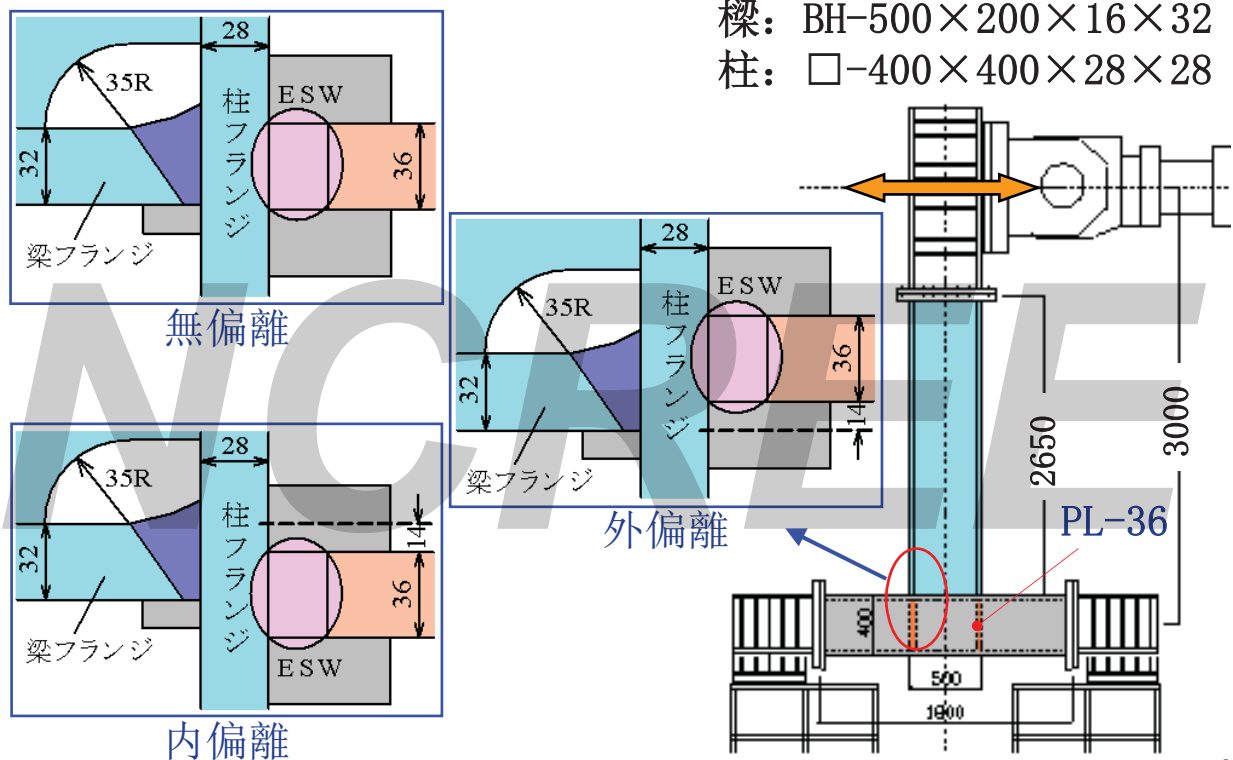


ESW脆性破壊が生じない場合は、大きく変形



34

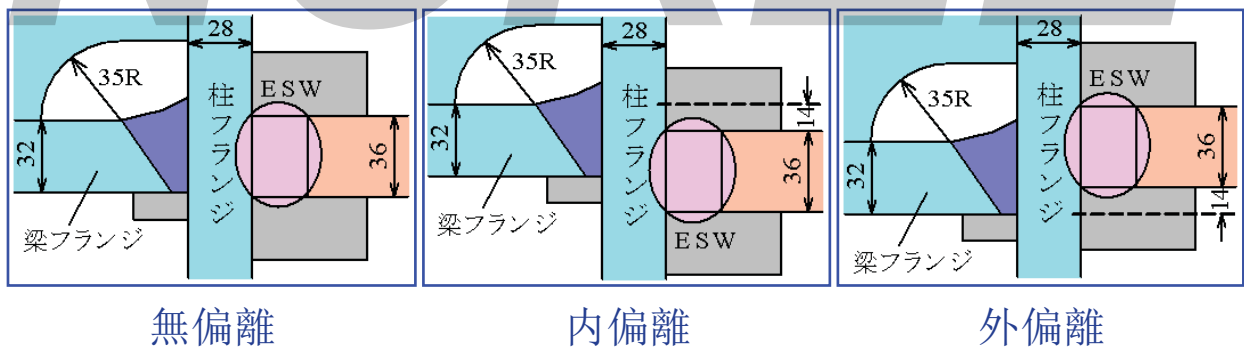
(1) 基於偏離的影響



35

實驗參數

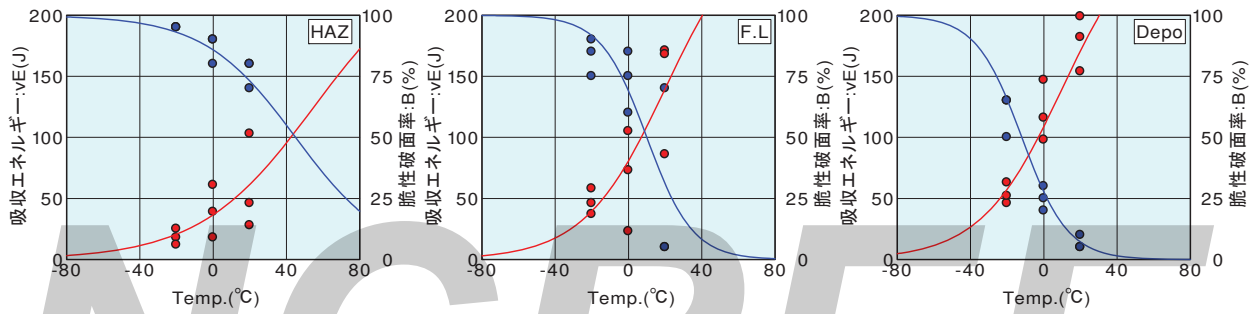
No.	面 板	試驗溫度	偏離量	偏離方向
No. 1	以往材料	0°C	0mm	-
No. 2			-14mm	翼緣背面内偏離
No. 3			+14mm	翼緣背面外偏離
No. 4	高韌性材料	-10°C	-14mm	翼緣背面内偏離



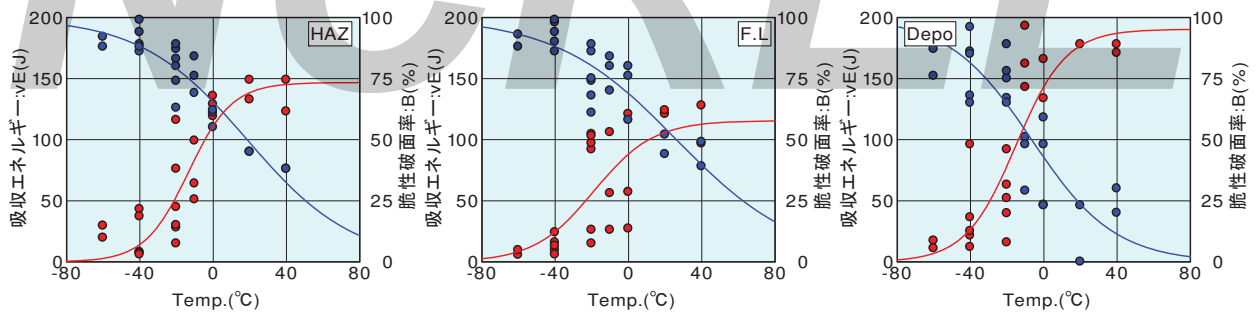
36

Charpy衝擊試驗結果(1)

系列1 (No. 1, 2, 3): 400A, 48V, 486-540kJ/cm

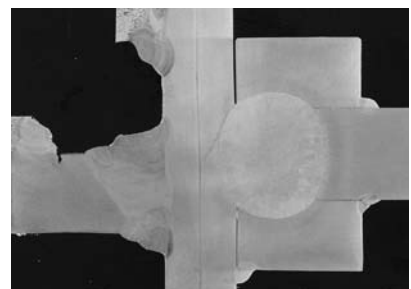
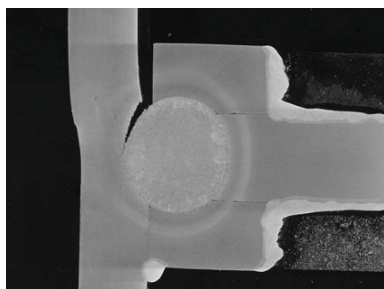
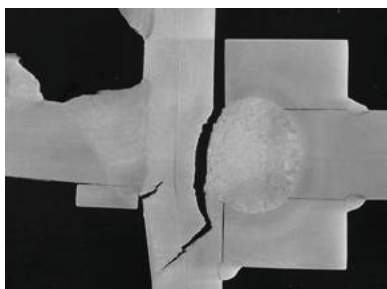
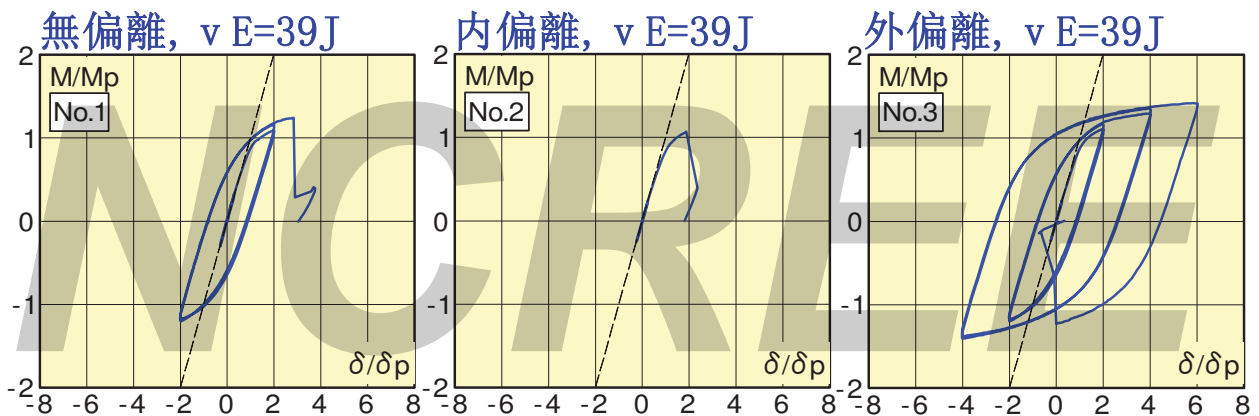


系列4 (No. 4): 360A, 45V, 372-425kJ/cm 熔深量小



37

實驗結果(1)



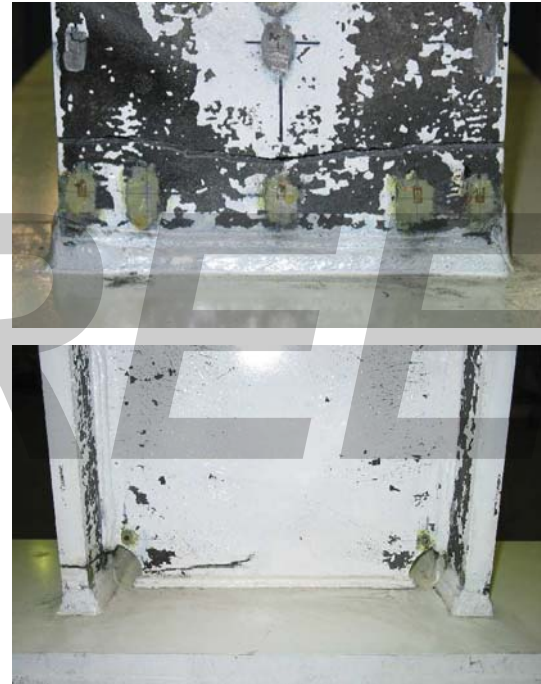
38

實驗後写真(1)

無偏離, $v E=39J$



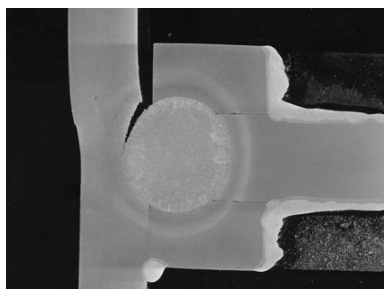
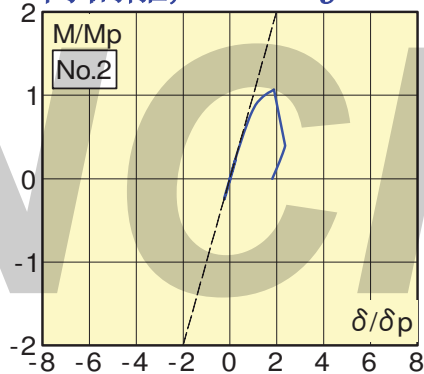
外偏離, $v E=39J$



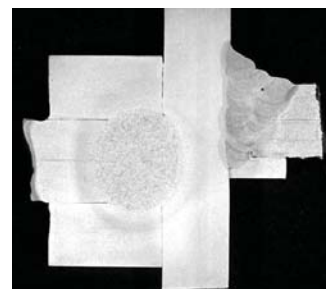
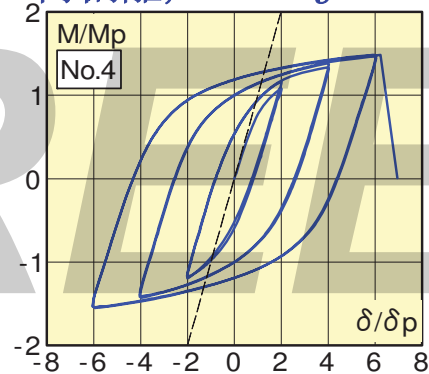
39

實驗結果(2)

内偏離, $v E=39J$



内偏離, $v E=71J$



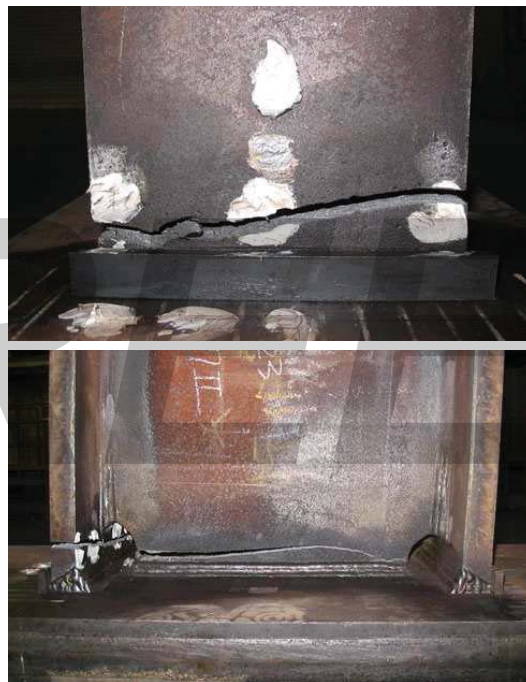
40

實驗後写真(2)

内偏離, v E=39J



内偏離, v E=71J



41

(2) 韌性値大小, 板厚の影響

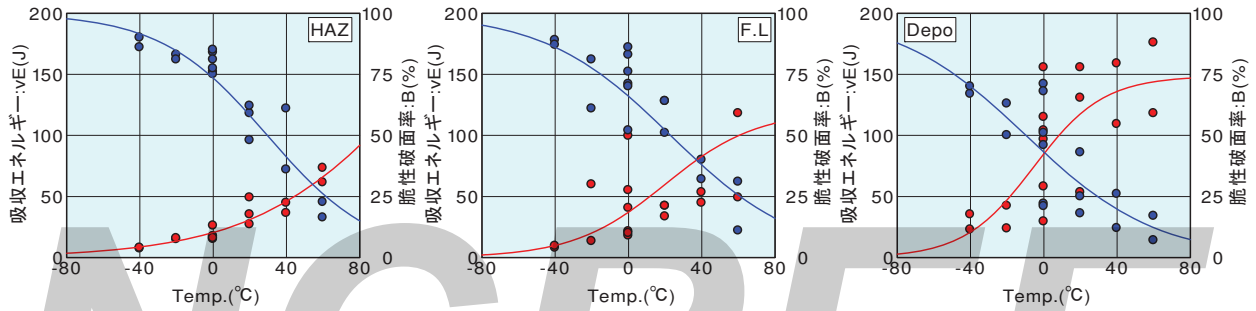
No.	柱		梁 斷 面	溫度 ℃
	斷 面	鋼 材		
L-1	□-400×28	以往材料	SN490B	0
L-2	□-400×40	SN490B	BH-500×200×16×32	0
H-1	□-400×28	高韌性材料 SN490C	SN490B	-20
H-2			BH-500×200×22×40	-40
H-3				-40

No.	柱 鋼 材	実験 溫度 ℃	Depo-1		F. L		HAZ-1	
			vET (J)	Cr (%)	vET (J)	Cr (%)	vET (J)	Cr (%)
L-1	以往材料	0	92	47	31	82	19	83
L-2	SN490B	0	118	58	40	83	40	77
H-1	高韌性材料 SN490C	-20	69	73	75	77	74	72
H-2		-40	44	82	14	97	29	91
H-3		-40	14	92	18	93	19	94

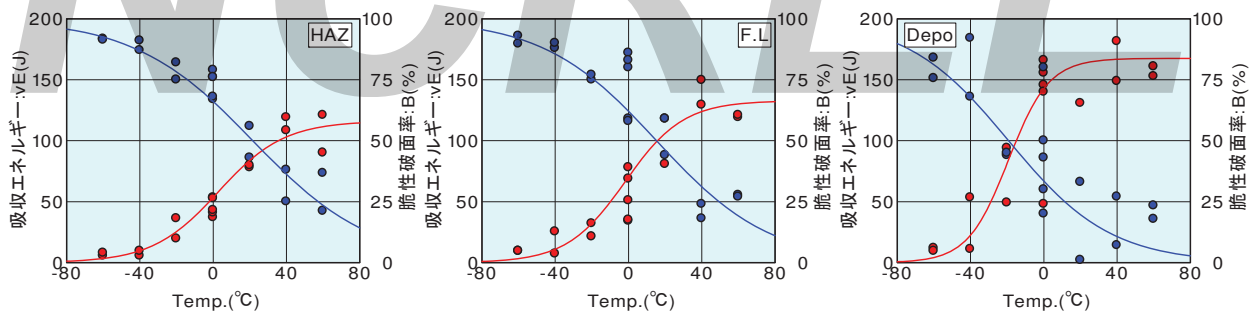
42

Charpy衝擊試験結果 (2)

系列3(L-1): 360A, 49V, 452-470kJ/cm 面板厚28mm



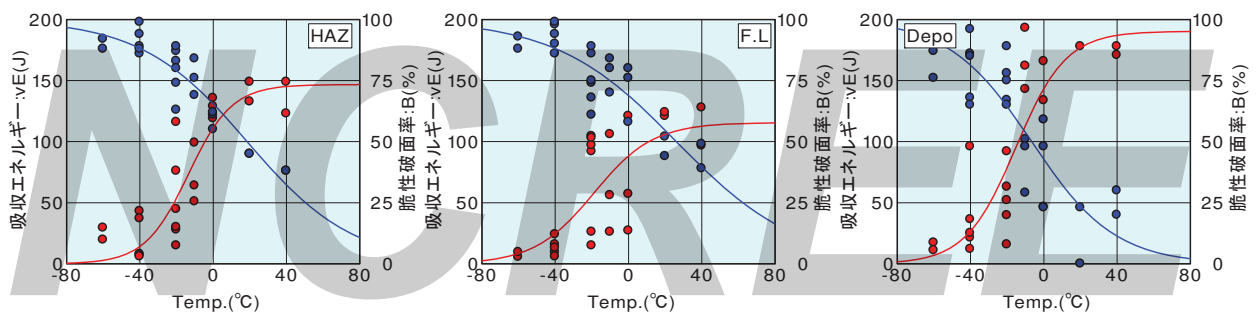
系列3(L-2): 360A, 50V, 462-476kJ/cm 面板厚40mm



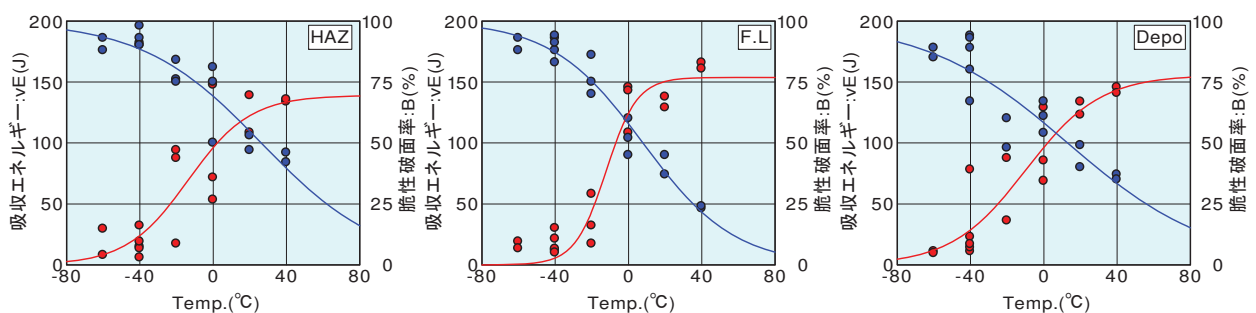
43

Charpy衝擊試験結果 (3)

系列4(H-1, 2): 360A, 45V, 372-425kJ/cm 熔深量小



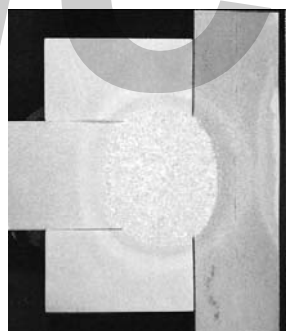
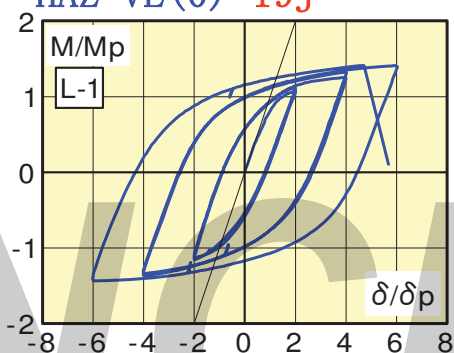
系列4(H-3): 360A, 47V, 413-434kJ/cm 熔深量大



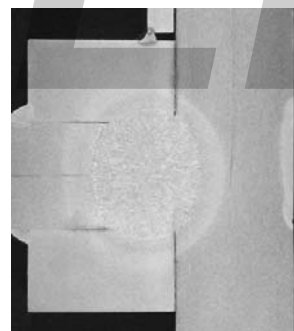
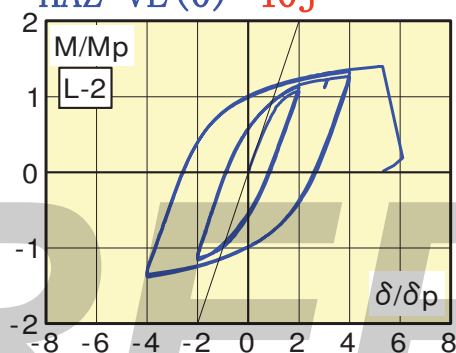
44

實驗結果 (3)

面板 $t=28\text{mm}$
HAZ-vE (0) = 19J



面板 $t=40\text{mm}$
HAZ-vE (0) = 40J



實驗後写真 (1)

面板 $t=28\text{mm}$
HAZ-vE (0) = 19J

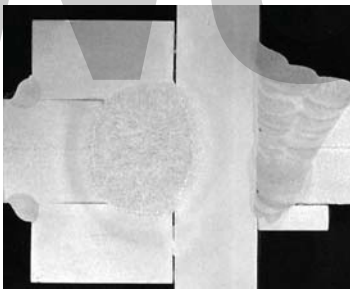
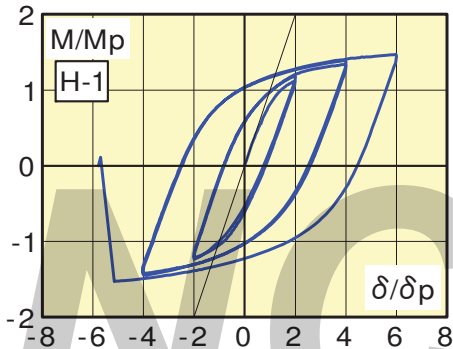


面板 $t=40\text{mm}$
HAZ-vE (0) = 40J

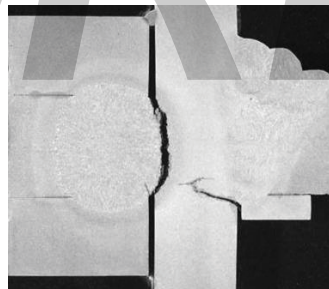
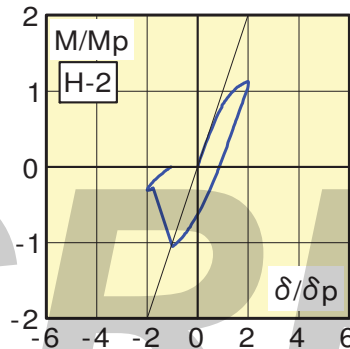


實驗結果 (4)

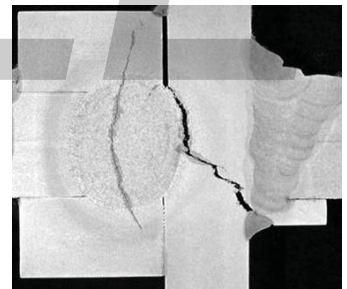
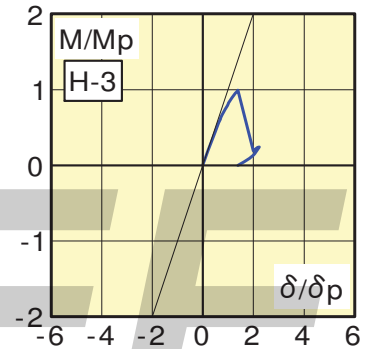
面板 $t=28\text{mm}$
HAZ-vE(-20)=74J



面板 $t=28\text{mm}$
HAZ-vE(-40)=29J



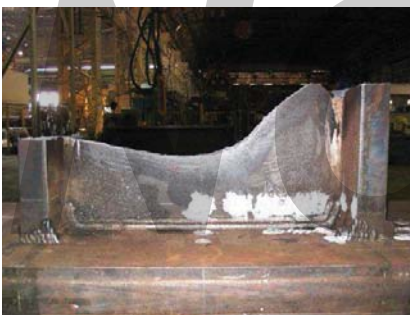
面板 $t=28\text{mm}$
HAZ-vE(-40)=19J



47

實驗後写真 (1)

面板 $t=28\text{mm}$
HAZ-vE(-20)=74J



面板 $t=28\text{mm}$
HAZ-vE(-40)=29J



面板 $t=28\text{mm}$
HAZ-vE(-40)=19J



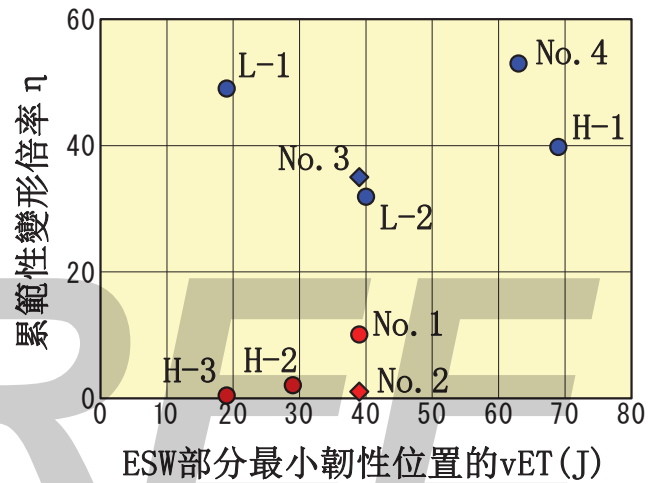
48

基於偏離的影響

No.	斷裂時期	$\frac{M_{max}}{M_p}$	$\frac{\delta_{max}}{\delta_p}$	η	斷裂位置
No. 1	4 $\delta_p(+1)$	1.24	2.84	8.17	ESW
No. 2	2 $\delta_p(+1)$	1.07	1.88	0.81	ESW
No. 3	6 $\delta_p(-1)$	1.42	6.02	34.9	梁端
No. 4	8 $\delta_p(+1)$	1.54	6.23	53.0	梁端

韌性值大小，板厚的影響

No.	斷裂時期	$\frac{M_{max}}{M_p}$	$\frac{\delta_{max}}{\delta_p}$	η	斷裂位置
L-1	6 $\delta_p(+2)$	1.44	6.03	48.5	梁端
L-2	6 $\delta_p(+1)$	1.40	5.31	31.5	梁端
H-1	6 $\delta_p(-1)$	1.47	6.00	39.3	梁端
H-2	2 $\delta_p(-1)$	1.13	2.01	1.66	ESW
H-3	2 $\delta_p(+1)$	0.99	1.39	0.39	ESW



韌性值 vET 大
↓
累範性變形倍率 η 大

L-1: 韌性值小，延性的材料主要原因(延性破面率20%)

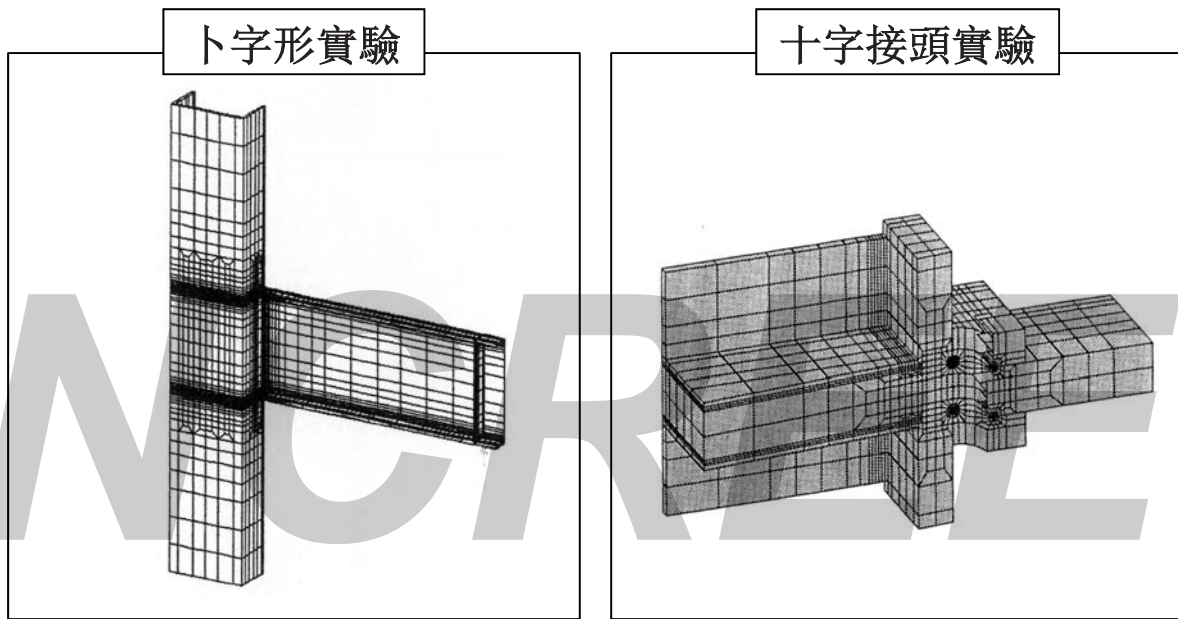
49

NCREE

FEM解析的討論

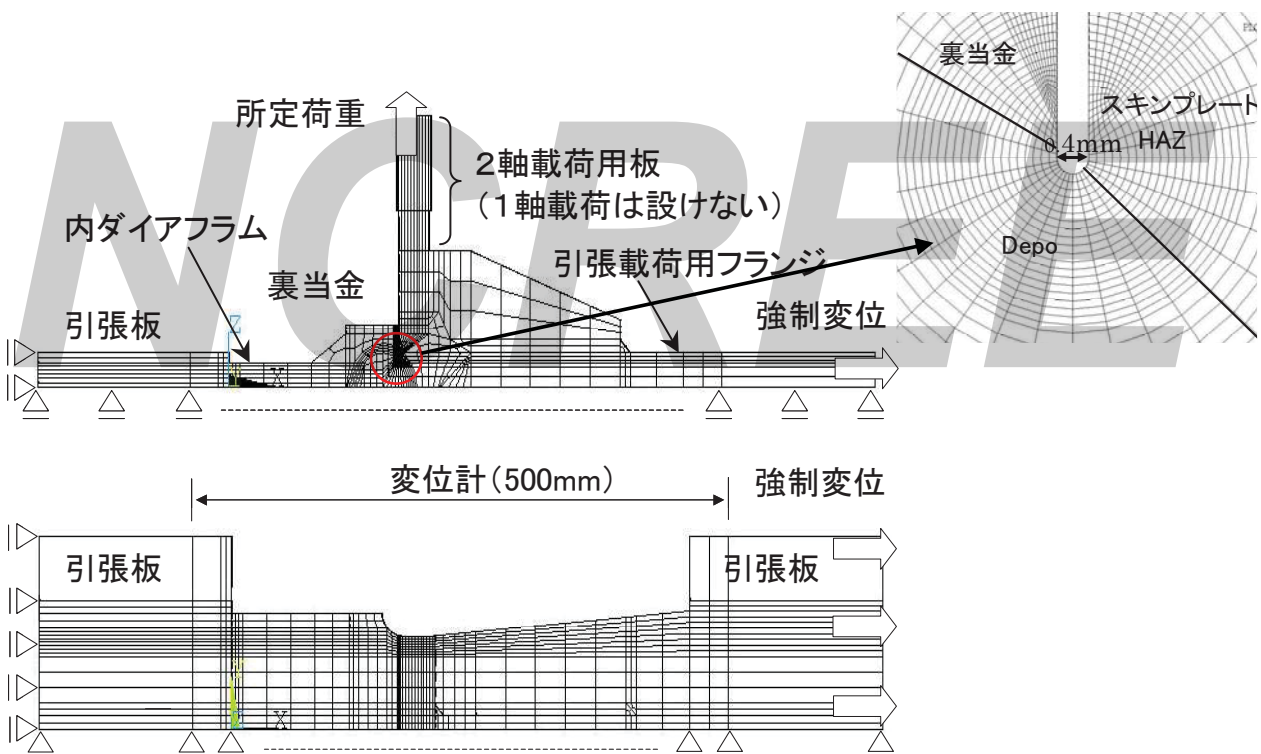
十字継手とト字形で統一的な評価は？

50



為破壞起點的局部的工作應力著眼

51

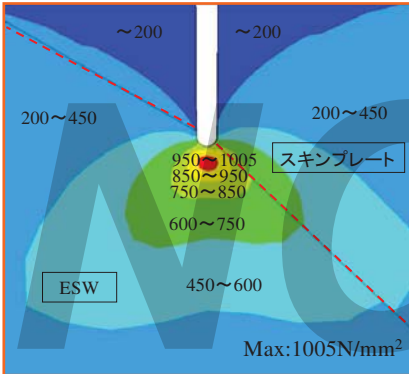


52

最大主應力的分佈 (彈性時)

1軸載荷

P=2013 kN

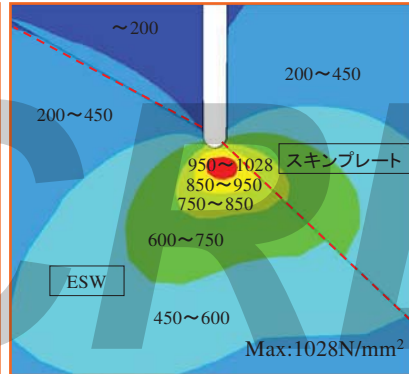


Depo Max: 1005

HAZ Max: 850

2軸載荷: 30%

P=2118 kN

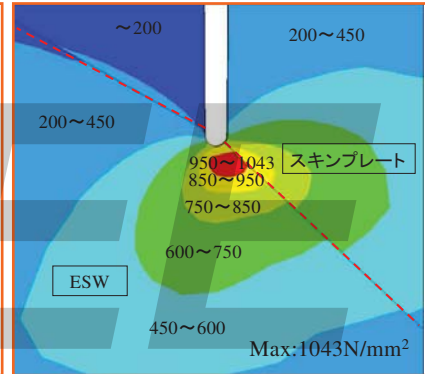


Depo Max: 1028

HAZ Max: 920

2軸載荷: 60%

P=2124 kN

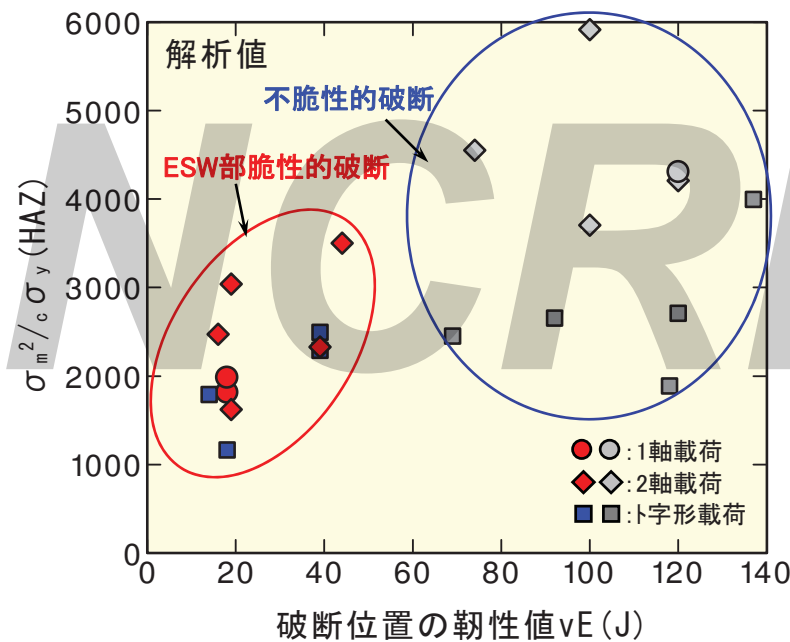


Depo Max: 1043

HAZ MAX: 950

53

破断時最大主應力與韌性值關係



Study Flow

内隔板應力估計

發生最大主應力的推定

σ_m^2 / σ_y 估計

必要韌性值

是考慮瘸腿斷裂時的ESW部最大主應力
種種的影響變成考慮可能

54

内隔板・電熱熔渣焊接部分 脆性斷裂預防指南

NCREE

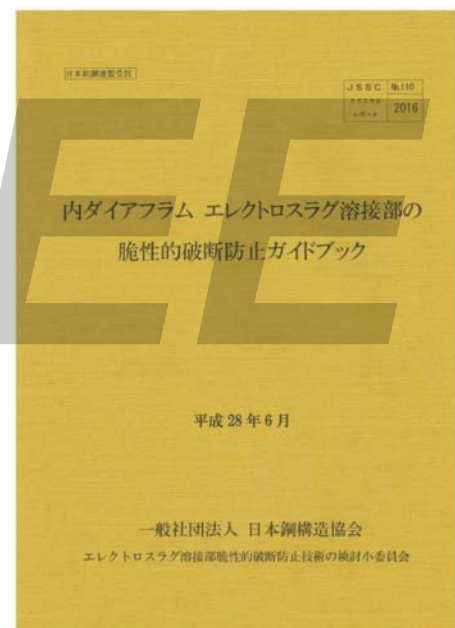
2016年6月刊行

55

此書的概要

CONFIDENTIAL

- 第1章 此書的定位
- 第2章 預防斷裂所需的設計・施工條件指標
- 第3章 預防斷裂的設計・施工條件的相關詳細研究
- 第4章 電熱熔渣焊接部分的持有韌性水平的相關調查・研究
- 附錄 預防斷裂的設計・施工條件的相關詳細研究的補充



56

此書的目的在于通过電熱熔渣焊接（ESW）接合內隔板的四面焊接箱型柱（BOX柱）中，預防柱樑接合部分以電熱熔渣焊接部分（ESW部位）為起點的脆性斷裂。

57

- 兵庫縣南部地震發現樑端焊接部分發生脆性斷裂
- 制定預防鋼構樑端焊接接合部分脆性斷裂的指南
- ESW部位的斷裂隱患和ESW部位的韌性要求
- 以明確ESW部位所需韌性為目的，實施實驗、分析研究
- 隨著普及CFT柱，減薄BOX柱面板
- 針對變動較大的現象，雖然實驗數據有限，但鑒於斷裂的危險性及其預防對策的必要性，總結設計・施工方面的注意事項

58

此書適用於抗拉強度 $490\text{N}/\text{mm}^2$ 級鋼材用於柱面板的四面焊接箱型柱內，安裝樑部的柱樑接合部分的電熱熔渣焊接部分。

- 以使用 $490\text{N}/\text{mm}^2$ 級鋼材的研究結果為基礎編寫此書
- 雖然不適用於 $490\text{N}/\text{mm}^2$ 級以上的鋼材，但預防斷裂的思路是相同的，憑藉同樣的研究提高安全性、可靠性。

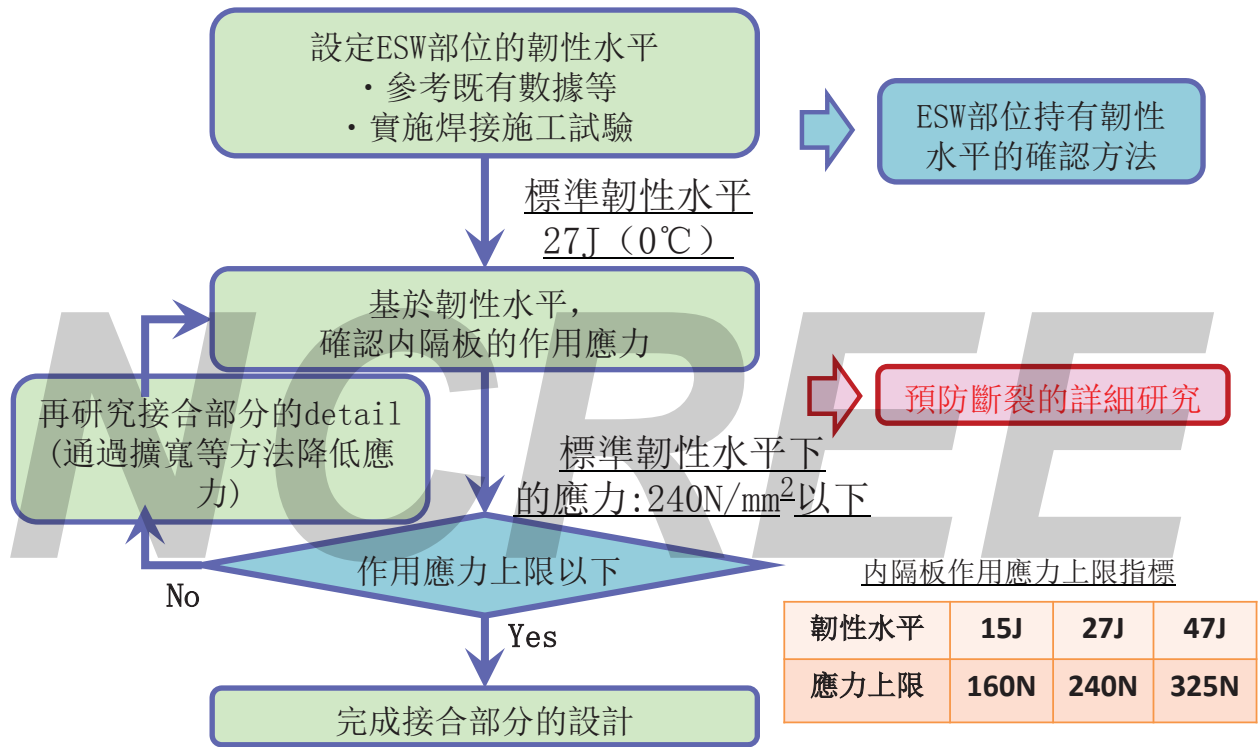
59

預防斷裂的基礎在於參照電熱爐渣焊接部分的韌性水平，降低作用於內隔板的抗拉應力。

- 無法依賴ESW部位樑端 CO_2 焊接部分的韌性水平
- 基本思路是參照ESW部位的實際韌性水平，降低作用於墊板狹縫前端的抗拉應力水平

60

預防斷裂的研究流程



61

實驗結果總結

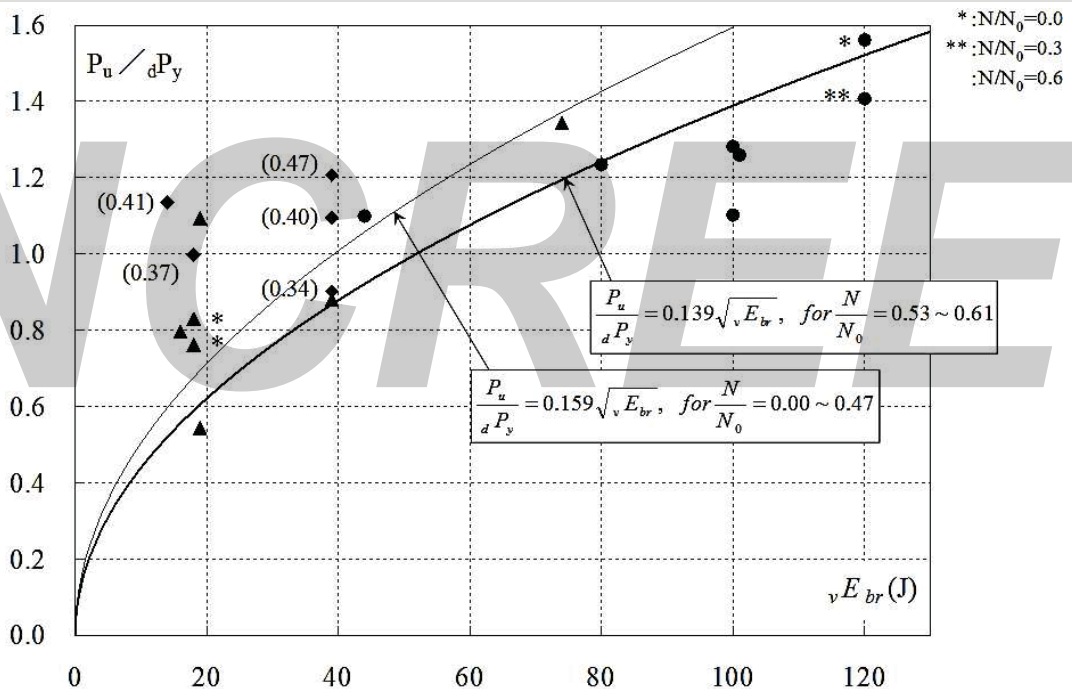


圖2.3 內隔板作用限度應力與發生脆性斷裂領域的夏比衝擊吸收能量的關係

62

對應焊接部分的韌性水平，降低作用於內隔板的抗拉應力

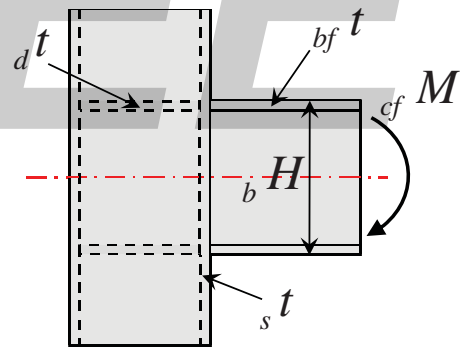
表2.1 內隔板的作用應力的上限值指標

ESW部位的韌性水平	15J以上	27J以上	47J以上
作用應力上限值指標	160N/mm ² 以下 (0.5×F)	240N/mm ² 以下 (0.75×F)	325N/mm ² 以下 (1.0×F)

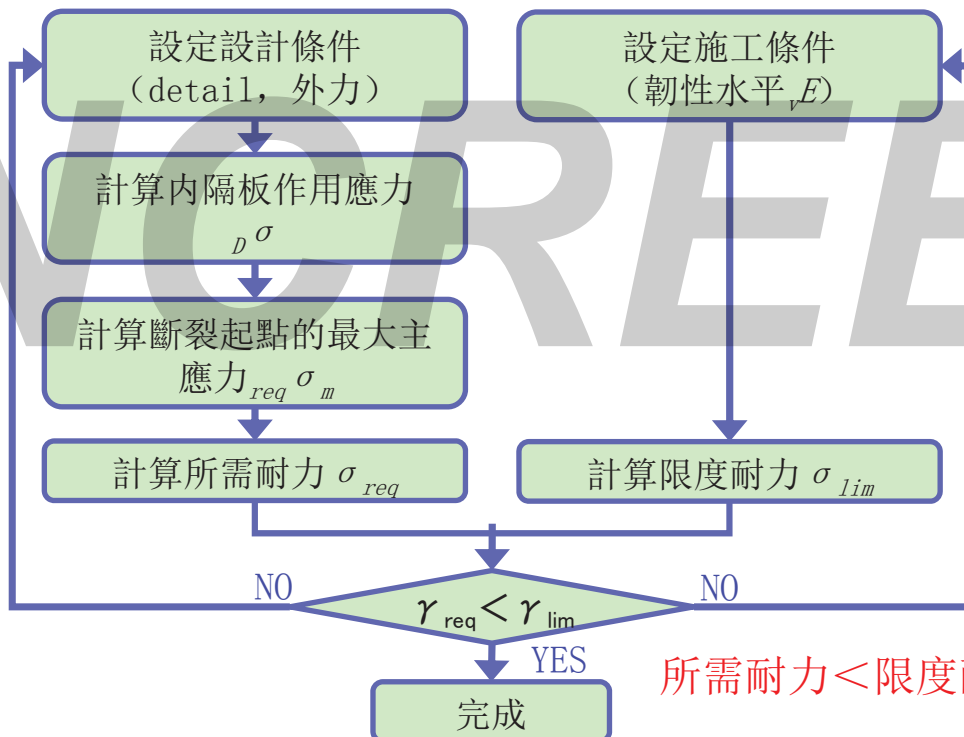
※F: 490N/mm²級鋼材的設計基準強度 (F=325N/mm²)

$${}_d\sigma = \frac{{}_{cf}M}{({}_d t + \Delta t) \cdot ({}_b H - {}_{bf} t) \cdot ({}_b B + 2 {}_s t)}$$

Δt : 熔深寬度 (mm) ※兩側熔深寬度和
 ${}_b B$: 樑緣寬 (mm) ※包括樑端擴寬部分



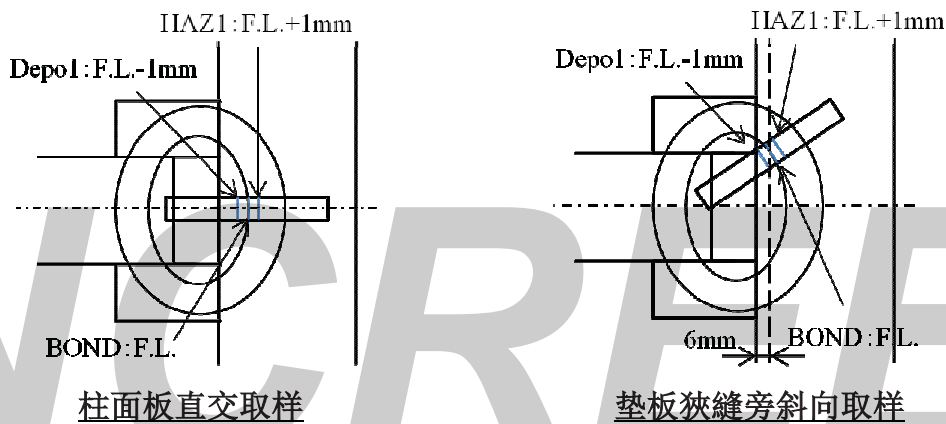
63



所需耐力 < 限度耐力

64

ESW 部位韌性等級 = Min.(Depo1ave., FLave., HAZ1ave.)



- 試片取樣選擇以上兩個方式的其中一個
- 以接合部分為中心在鋼材一側和焊接金屬一側共3處製作開槽試片
- 各開槽以3個為1組實施衝擊試驗并以平均值評價
- 定義各開槽平均值以內的最低值為ESW部位的韌性等級

65

JASS 6 目次

付 則

1. 削除（SAW サブマージアーク溶接の承認試験）
⇒ 工場製作編 付7. へ
2. 欠番
3. 削除（ESW エレクトロスラグ溶接の承認試験）
⇒ 工場製作編 付8. へ
4. 削除（スタッド溶接技術検定試験）
5. 完全溶込み溶接・部分溶込み溶接の開先標準
6. 鉄骨精度検査基準
7. 寸法精度受入検査基準（精度指針より）
8. 完全溶込み溶接に用いる開先の承認試験（工場製作編より）

67

【溶接】 5.2 溶接方法の承認

（1）新規追加：『設計図書の溶接基準図および付則5のいずれにも該当しない場合，付則8「完全溶込み溶接に用いる開先の承認試験」に従って試験を行い，工事監理者の承認を受ける』

（2）サブマージアーク溶接、エレクトロスラグ溶接の場合，当該工事の仕様を加味した試験を行ない，工事監理者の承認を受けることとし，旧付則1，3の各承認試験を削除し，工場製作編の付録7,8に移動した。

（3）溶接ロボットによる溶接を採用する場合の試験は，施工する部位に対応した試験を行ない，工事監理者の承認を得ることとした。また，試験を省略できる場合として，建築鉄骨溶接ロボット型式認証を取得している溶接ロボットの場合同，その認証範囲で使用することとした。

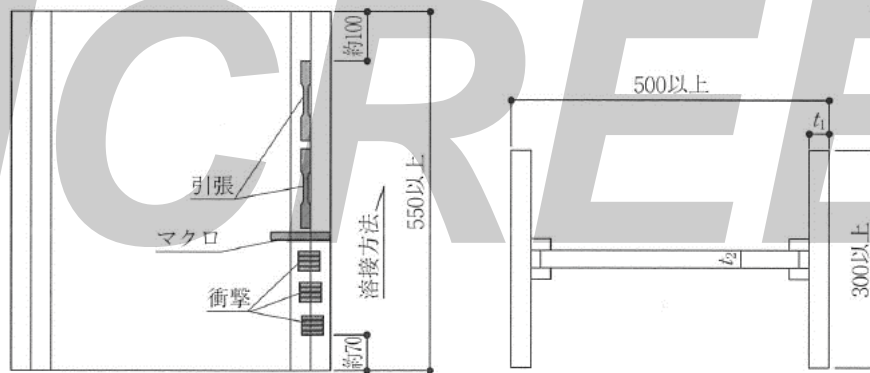
68

付則 8

ESW部施工試験例

表1

鋼材の種類	SN 400 B, CまたはSN 490 B, C
板厚	25 mm 以上



[注] 1) ルート間隔Rは、実際の工事に適用するものと同じとする。
2) 当て金の形状寸法は、受験工場の社内規定による。

図1 H字形完全溶込溶接試験材之形状，試験片採取位置

69

付則 8

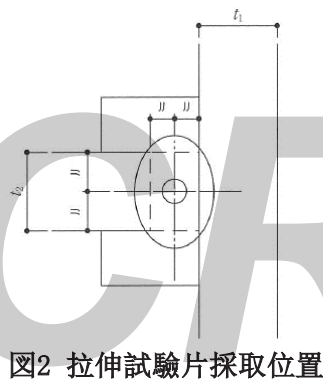


図2 拉伸試験片採取位置

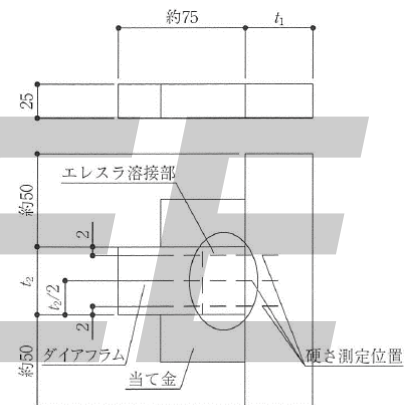


図4 宏試験片，硬度試験片

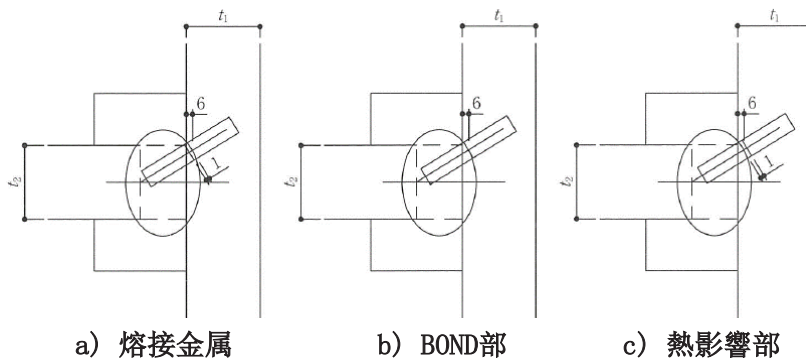


図3 衝撃試験片採取位置

70

感謝大家的聆聽

NCREEE

【參考文獻】

- 1) 下川弘海, 宋勇勳, 鈴木孝彦, 一戸康生, 藤原一成, 田淵基嗣, 岡本晴仁, 森田耕次: エレクトロスラグ溶接部の破壊性状に関する研究, 鋼構造論文集, Vol.12, No.46, pp.7-18, 2005.6
- 2) 宋勇勳, 下川弘海, 石井匠, 鈴木孝彦, 萱森陽一, 原田幸博, 森田耕次: 柱梁部分モデルのエレクトロスラグ溶接部の破壊性状に関する研究, 鋼構造論文集, Vol.16, No.64, pp.49-63, 2009.12
- 3) 宋勇勳, 石井匠, 下川弘海, 鈴木孝彦, 萱森陽一, 原田幸博, 森田耕次: 柱梁部分骨組架構モデルのエレクトロスラグ溶接部の破壊性状に関する研究, 鋼構造論文集, Vol.17, No.68, pp.85-100, 2010.12

NCREEE

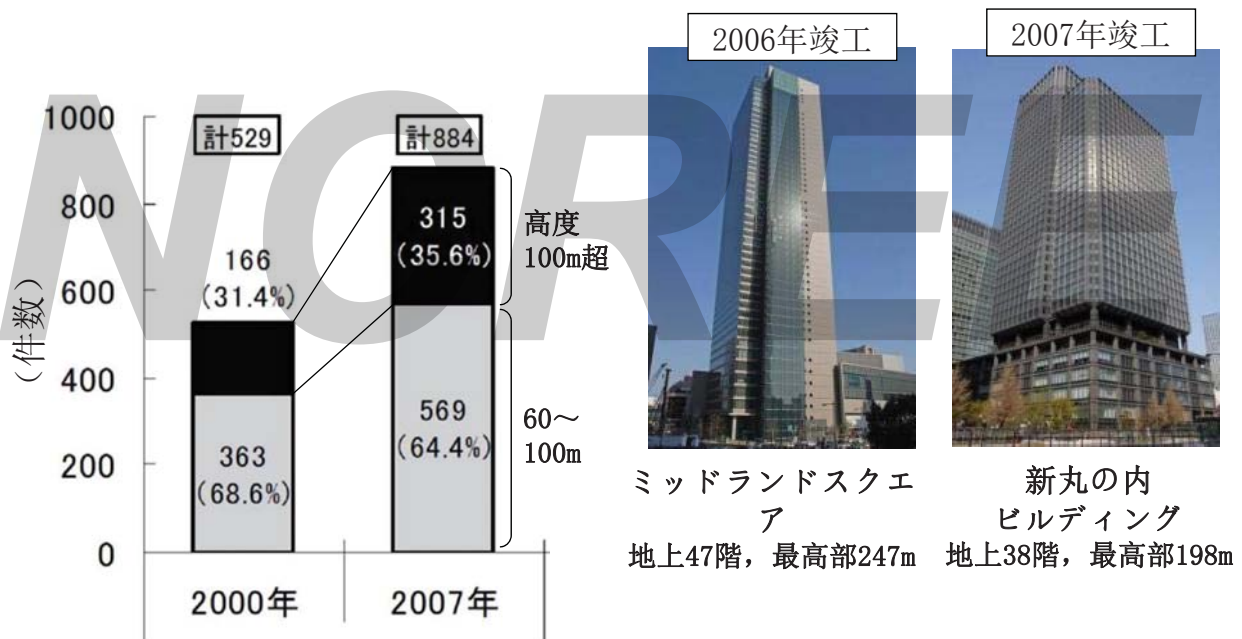
JFE鋼鐵 HAZ韌性確保技術 關於高HAZ韌性鋼

2019年1月18日

JFE スチール 株式会社

建材開發部

超高層大樓的增加（日本）



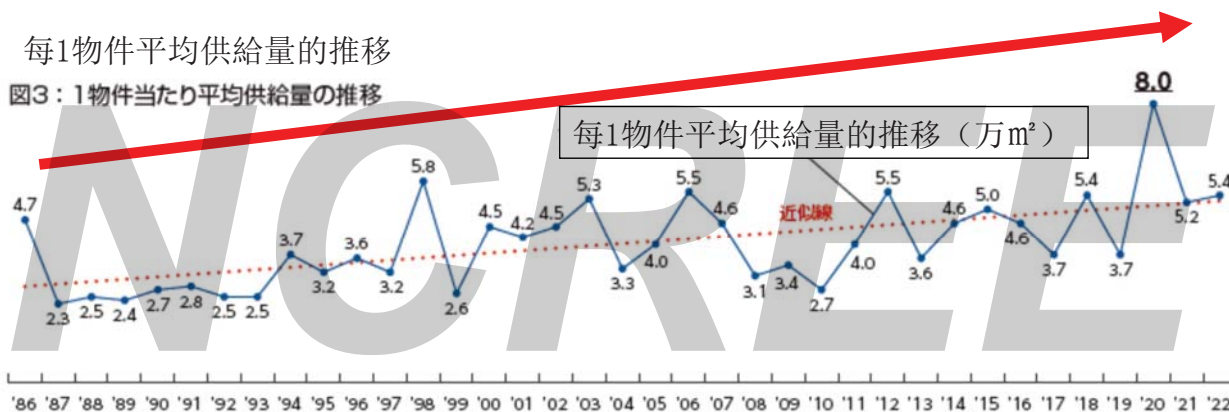
東京の高層建築物件数の變化（00年→07年）

（出典：東京都建築統計年報）



事務所大樓的大型化

事務所的大型化 ⇒ 20年建築面積大概2倍！



出典：森ビル 東京23区の大規模オフィスビル市場動向調査2018
 森Building 東京23区の大規模辦公大樓市場走向調査2018
<https://www.mori.co.jp/company/press/release/2018/04/20180427150000003654.html>

Copyright © 2018 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.



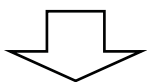
超高層大樓的安全性和經濟性

- 更高(貴)
- &
- 耐震安全性確保



安全性

- 大量很厚地粗的鐵骨必要



以前的問題點

- 鋼材使用量的增加
- 設計自由度的降低
- 施工工時, 費用的增大

經濟性 環境負荷

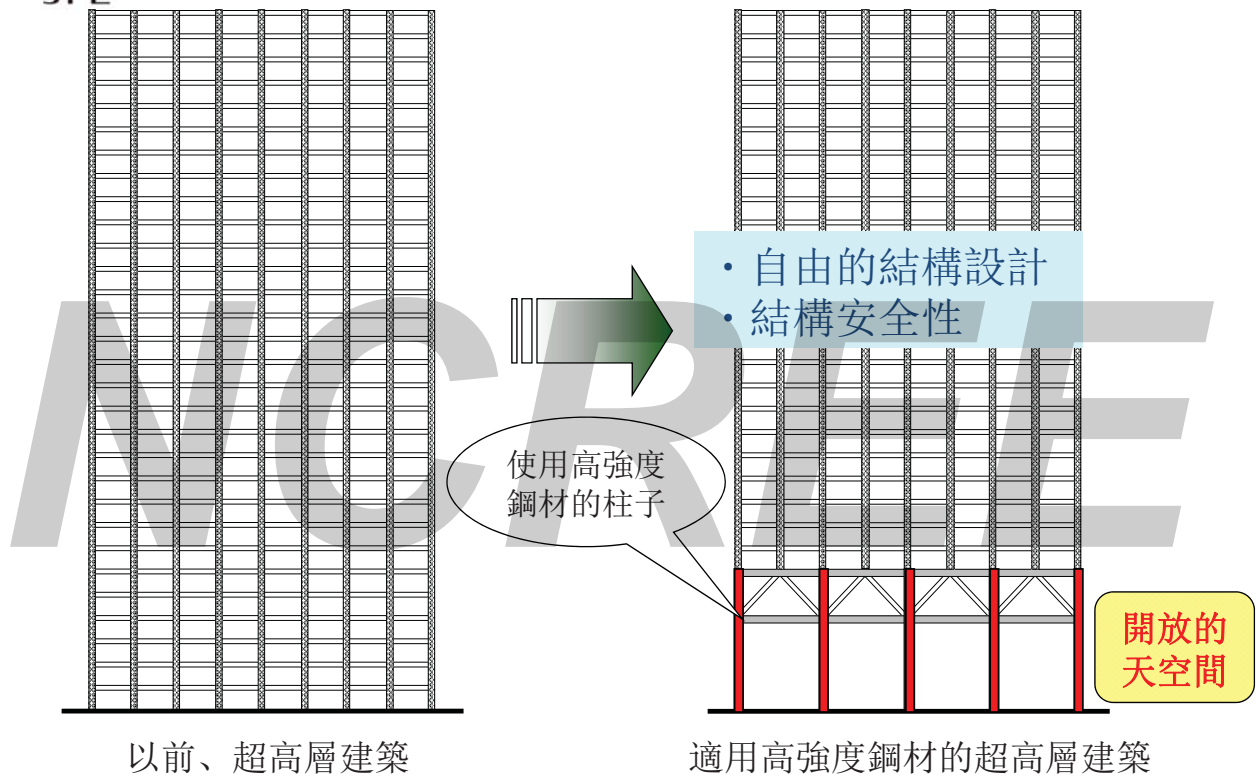


解決的辦法 (高HAZ韌性鋼的適用)

- 高強度鋼 (用少的鋼材堅韌的鋼結構)
- 超大供熱熔接 (熔接施工的效率提高)

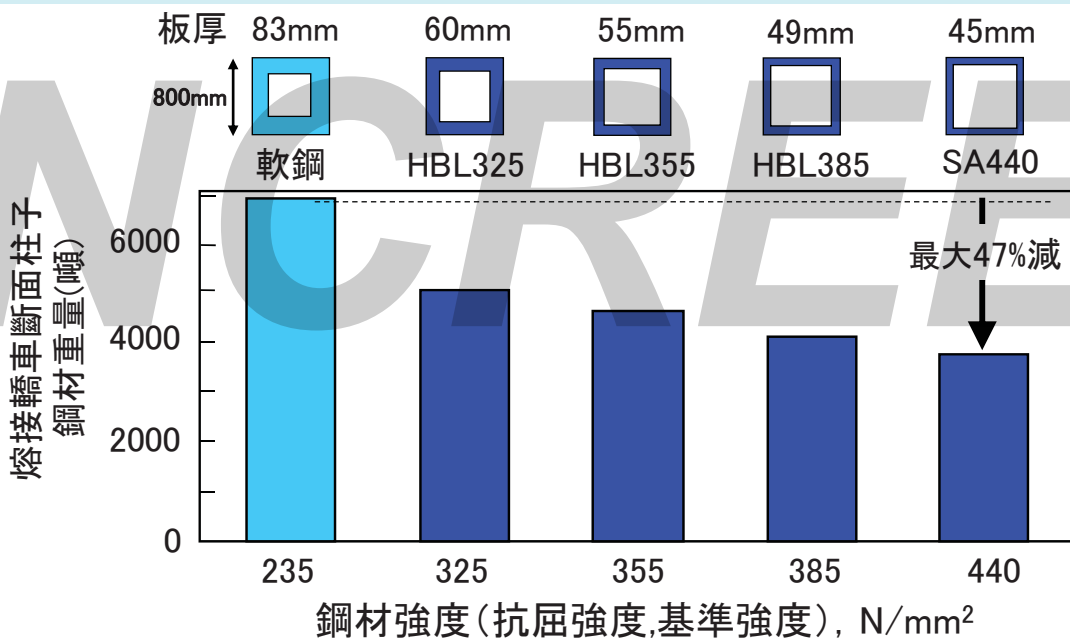


Copyright © 2014 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.



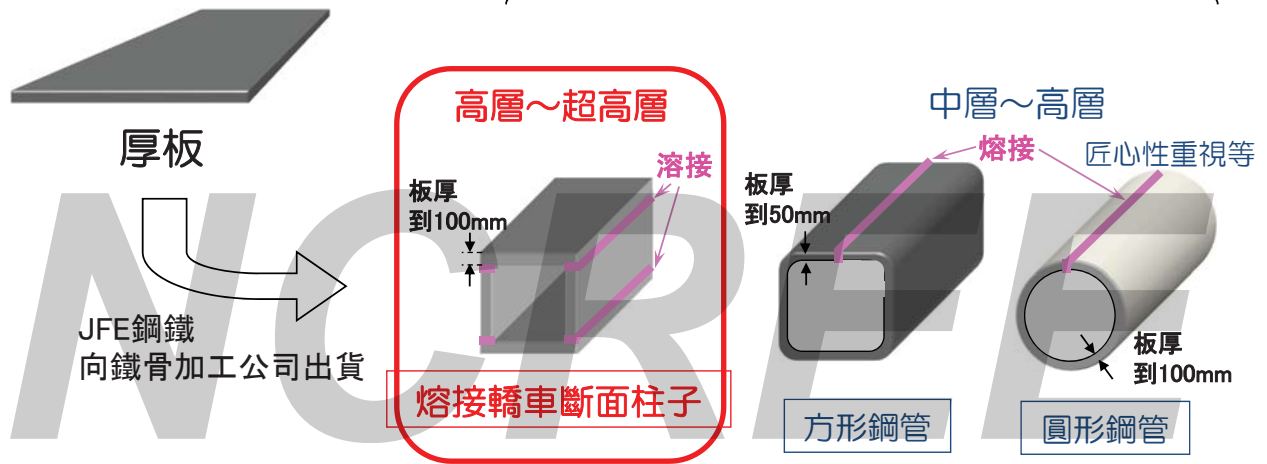
由高強度鋼適用的高層的經濟設計

通過高強度鋼的適用鋼材使用量變得少的經濟性提高

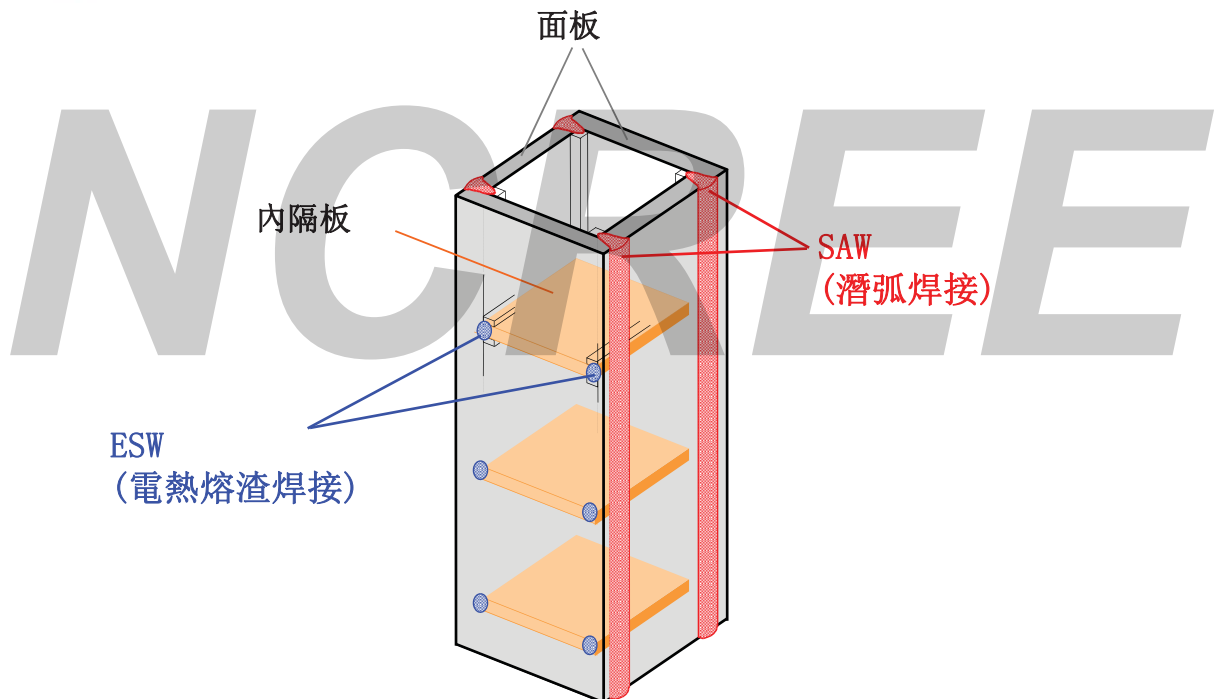


溶接箱形斷面柱 鐵骨重量和鋼材強度的關係
(估計鐵骨總量1萬噸規模的高層)

熔接為建築鐵骨(柱子)加工



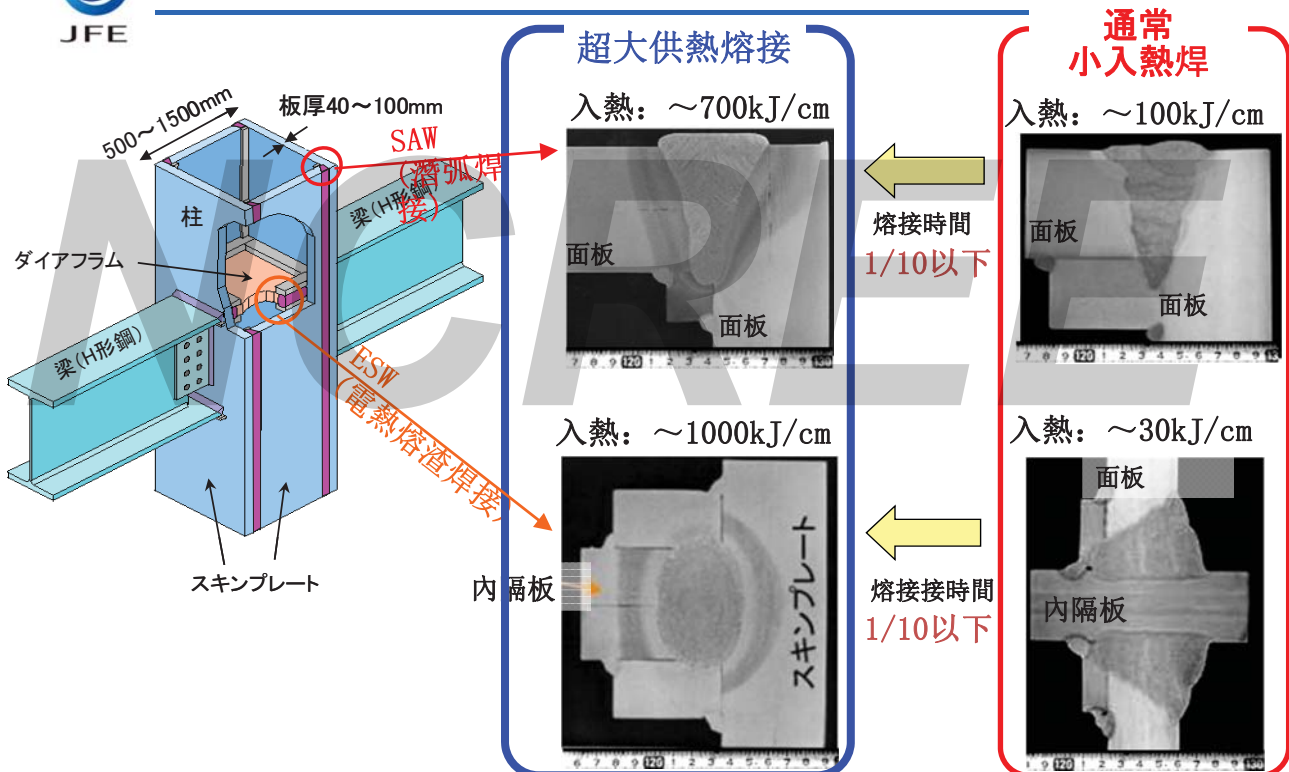
四面焊接箱型柱（BOX柱）的熔接施工



四面焊接箱型柱（BOX柱） 製造過程



四面焊接箱型柱（BOX柱） 超大供熱熔接適用

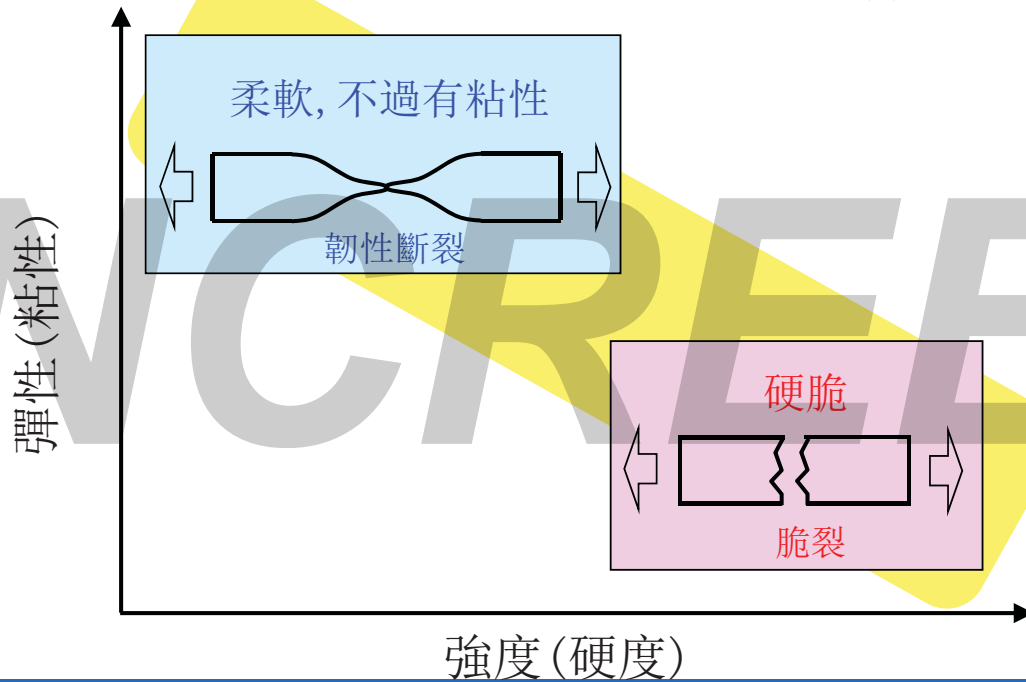


通過超大供熱熔接的適用格外地施工效率提高

高強度鋼適用的“課題”

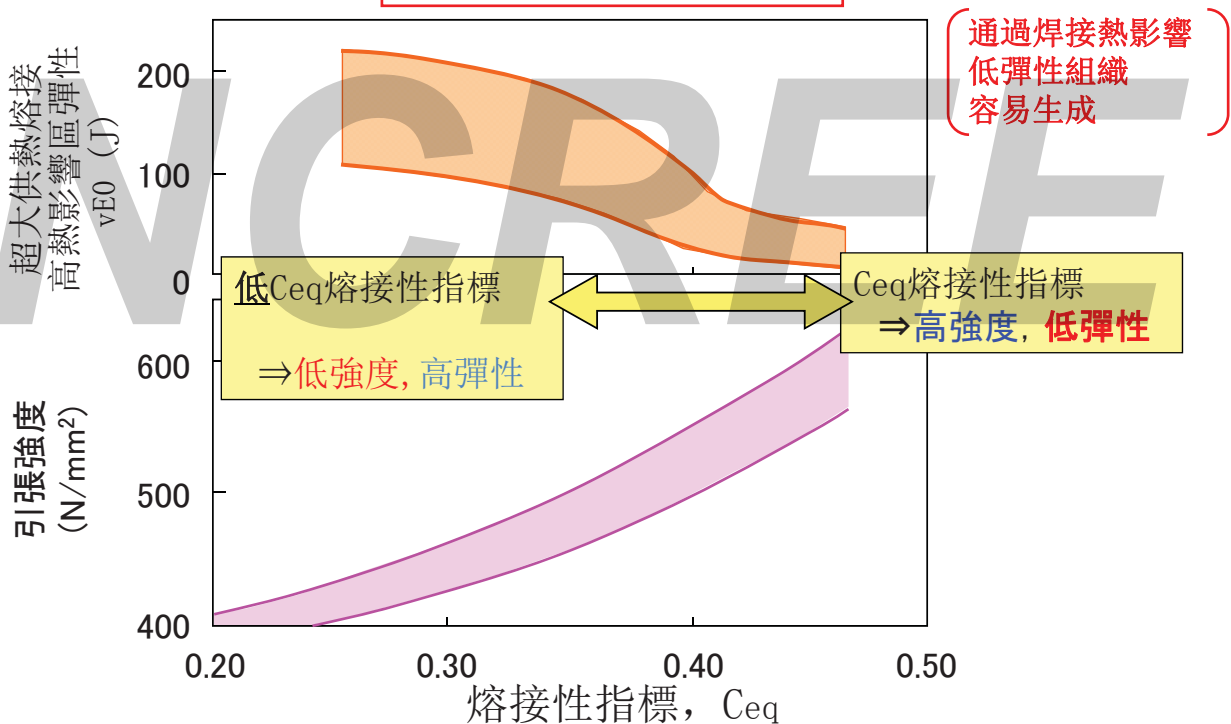
高強度鋼的彈性降低問題

⇒ 熔接高熱影響區顯著



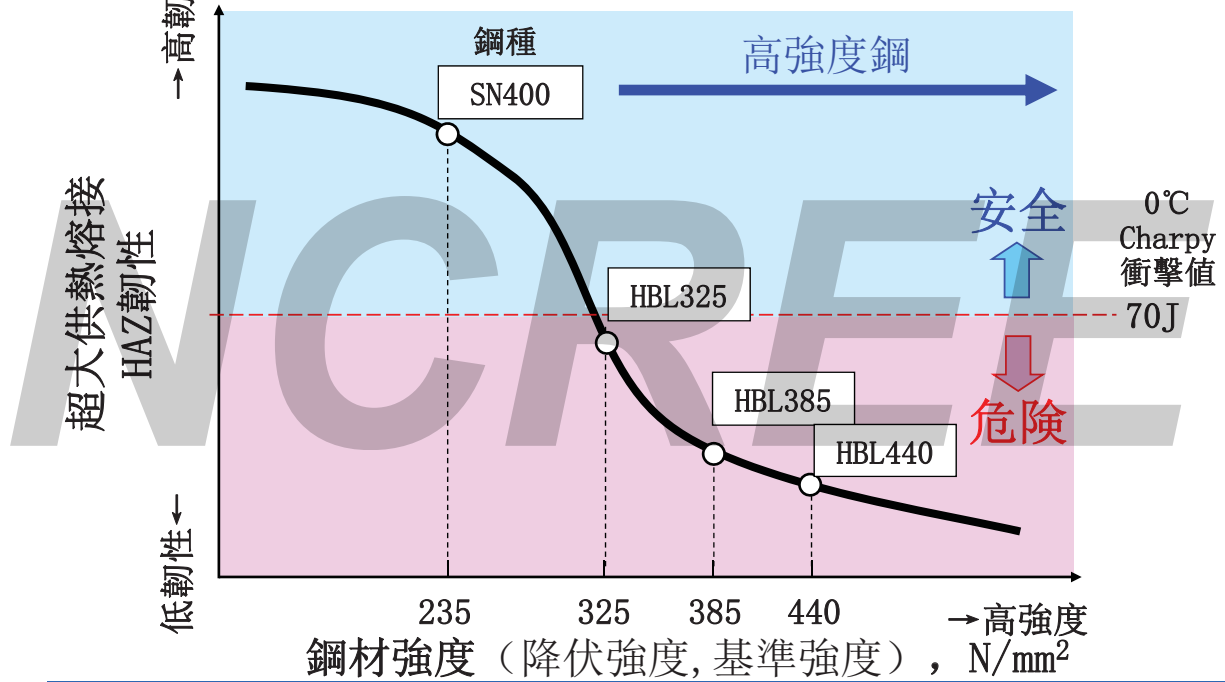
為何高強度鋼的焊件脆化容易做？

高強度化 → 碳, 合金元素的增加 → 熔接部韌性降低



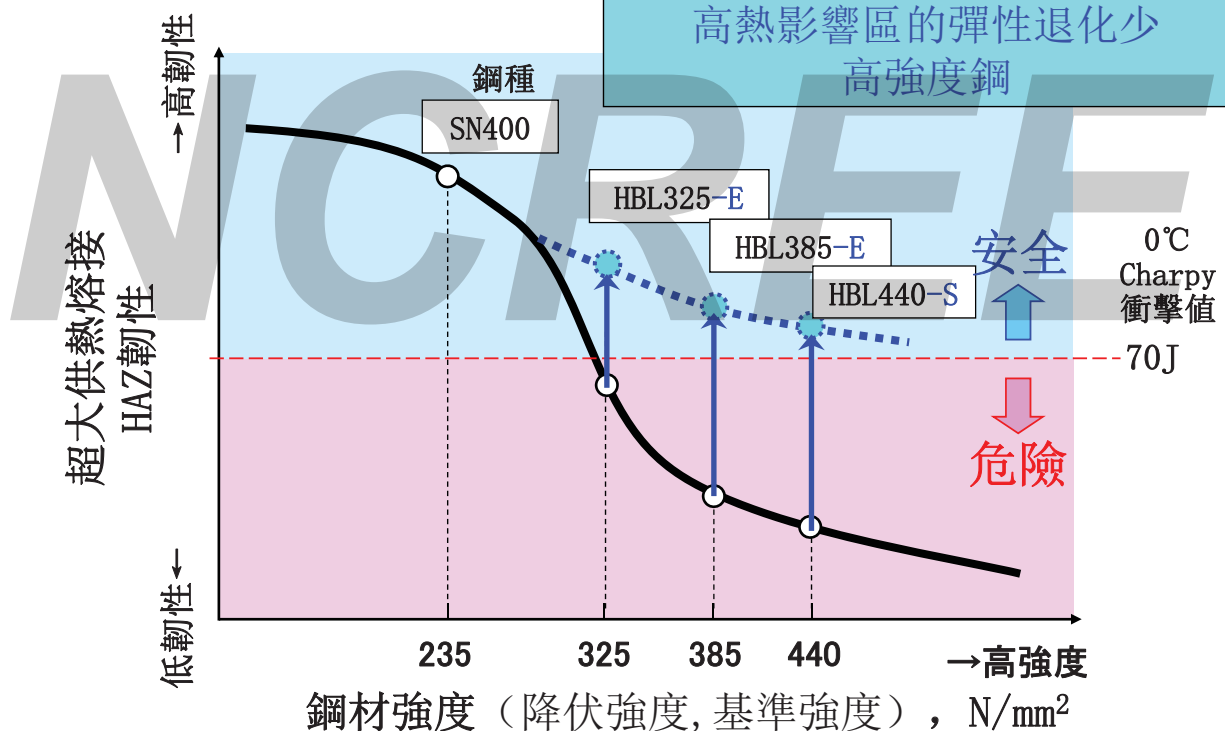
伴隨高強度化的焊件的彈性降低

高強度鋼的適用向擴大，
大供熱熔接高熱影響區的彈性改善必需



熔接部韌性低下 少 “高HAZ韌性鋼”

熔接也超大供熱
高熱影響區的彈性退化少
高強度鋼



不增加碳和合金元素高強度化做
生產工藝

滾軋後的鋼板水冷（加速冷卻）

①獨自冷卻裝置 “Super-OLAC”

熔接HAZ顯微結構變化防止
冶金技術（顯微結構控制）

細微粒子鋼中分散

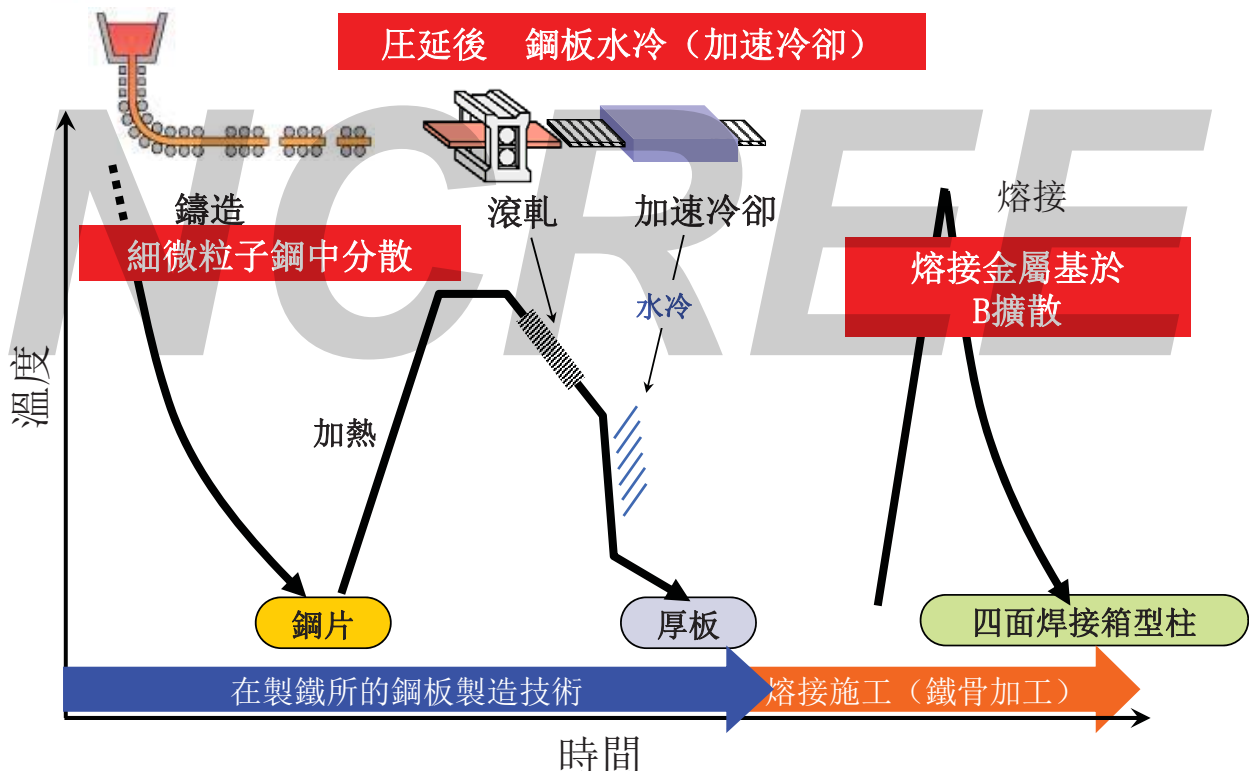
②Ti窒化物TiN（結晶粒增長的抑制）

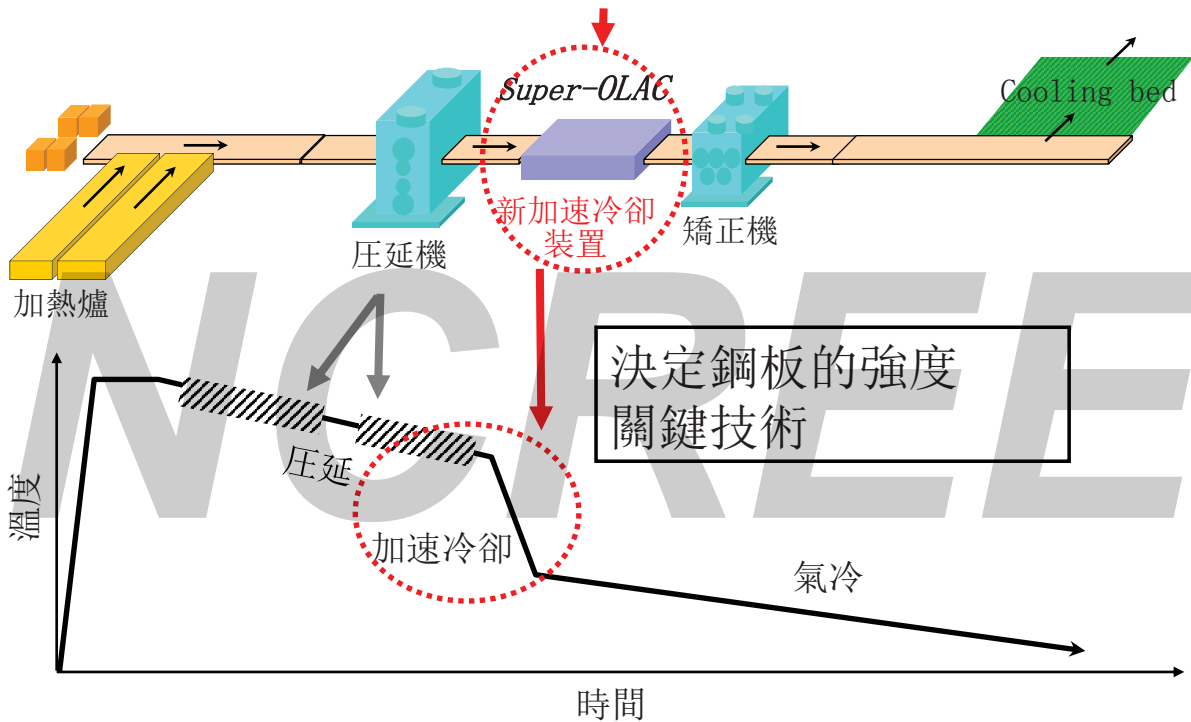
③Ca系酸化硫化物（顯微組織新形成）

熔接金屬 B擴散

④微量B基於高韌化

從鋼板製造在到熔接施工的各階段的對策

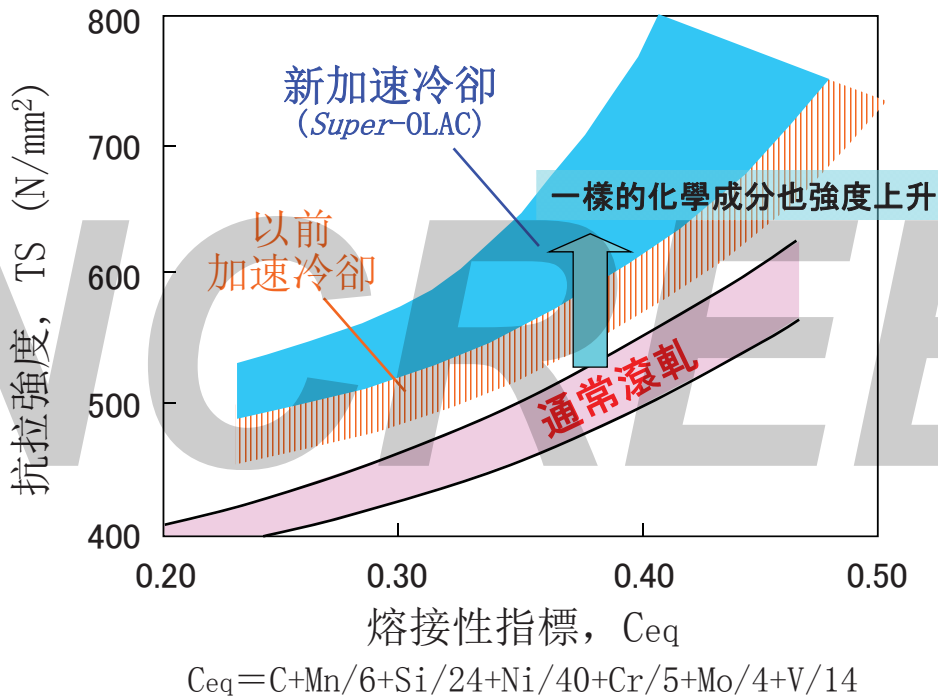




加速冷卻裝置 Super - OLAC



Super-OLAC基於加速冷卻 ⇒ Ceq熔接性指標 不增加高強度化



②Ti窒化物TiN（結晶粒增長的抑制）

TiN由細微分散的固定效果 ⇒ 結晶粒大而笨重化防止

結晶粒大而笨重化防止的原理

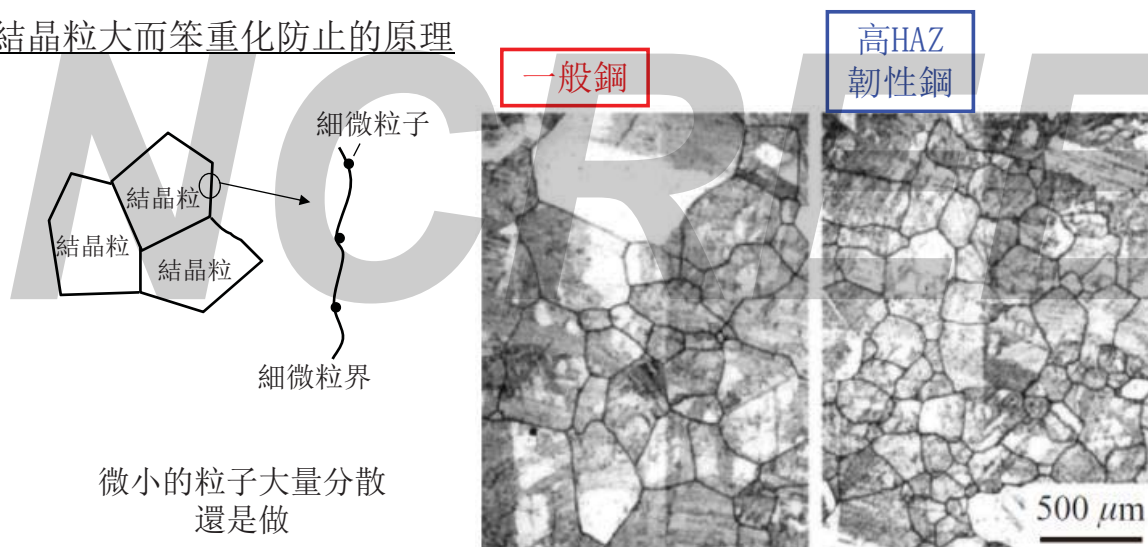
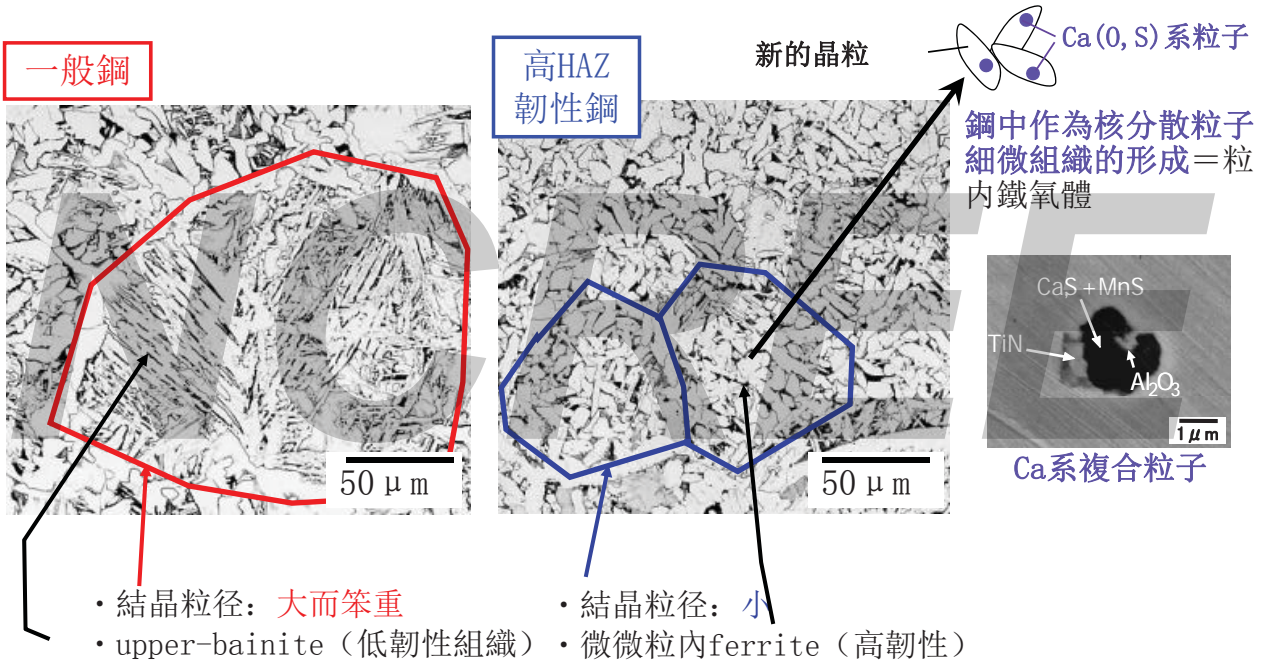


圖 HAZ粒直徑比較

③Ca系酸化硫化物（細微組織新形成）

Ca(0, S)系複合粒子的利用

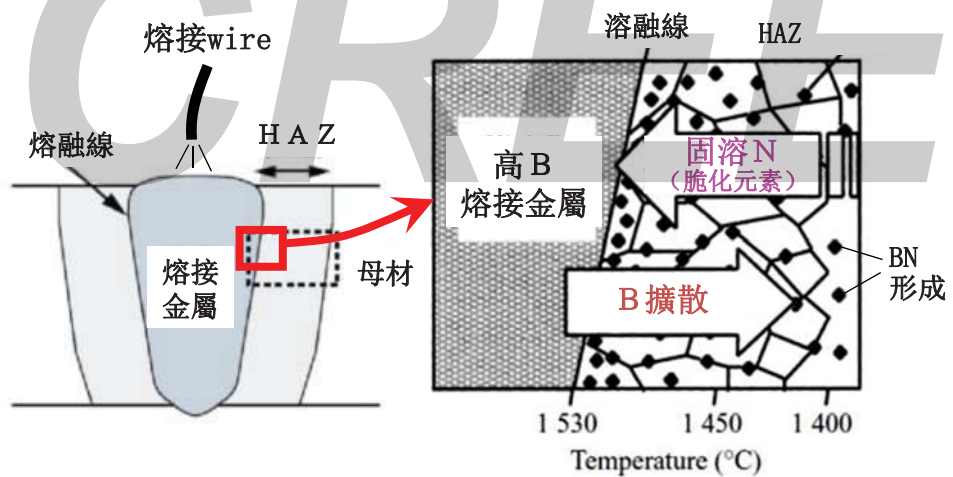
⇒形成向(到)晶粒內新的微細結晶粒



④微量B基於高韌性化

熔接金屬 ⇒ B擴散供給技術

= HAZ韌性確保有效 B獨創的控制技術





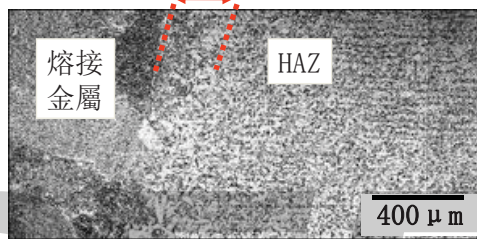
熔接熱影響部 (HAZ) 顯微結構之比較

一般鋼

高HAZ韌性鋼

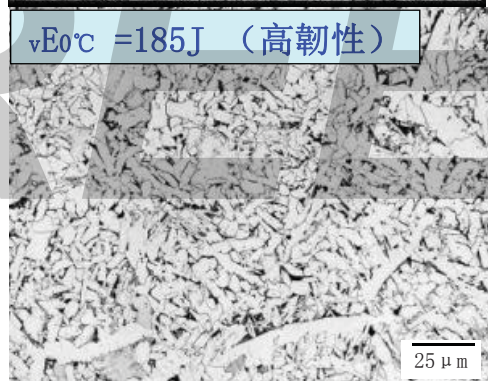
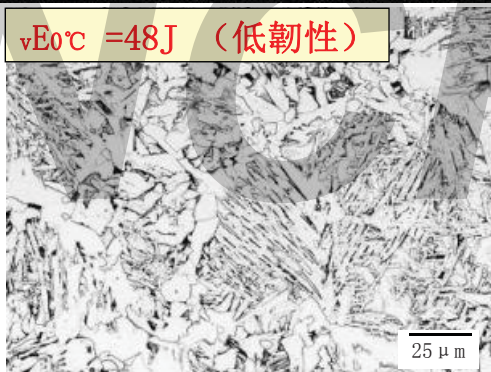
粗晶域: 2.1mm

粗晶域: 0.3mm



$vE_{0^\circ C} = 48J$ (低韌性)

$vE_{0^\circ C} = 185J$ (高韌性)



粗晶界ferrite+Upper Bainite

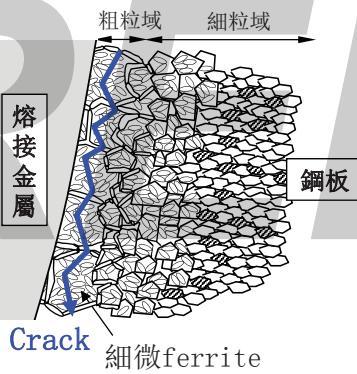
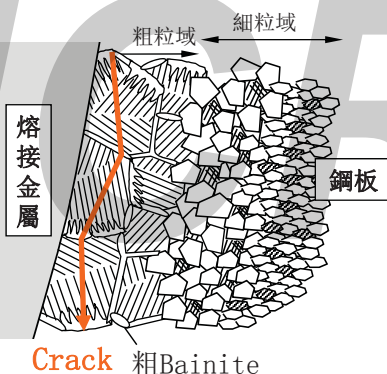
細微粒內ferrite



顯微結構細微化之韌性提高

一般鋼

高HAZ韌性鋼



顯微結構的細微化 ⇒ 裂縫 (crack) 傳播反抗增加
⇒ 韌性提高



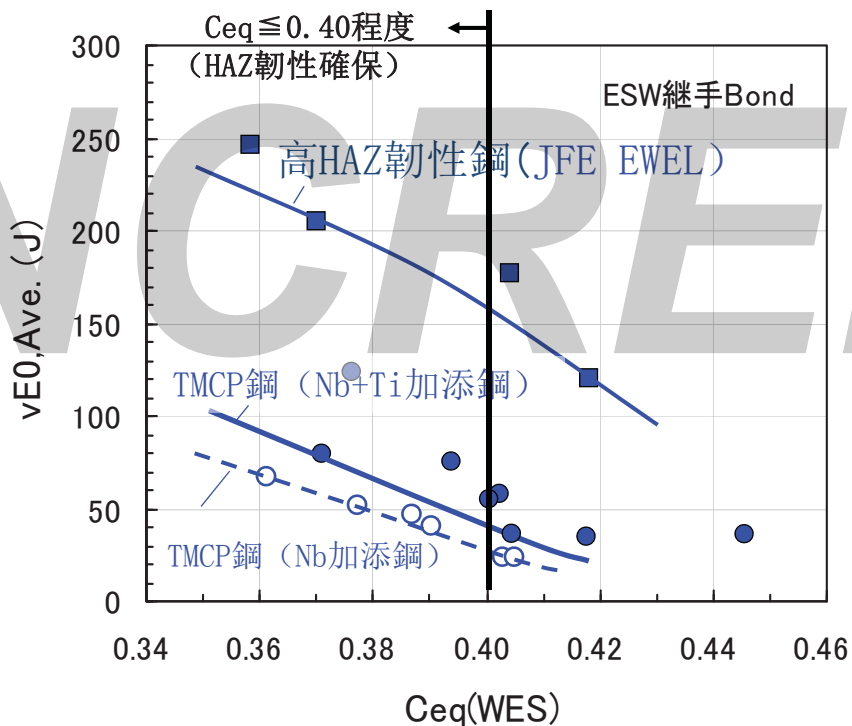
TMCP鋼・高HAZ韌性鋼之HAZ韌性提高策略

	TMCP鋼	高HAZ韌性鋼
(1) 不增加碳和合金元素高強度化做 獨自冷卻裝置 “Super-OLAC” TMCP基於高韌性化	○	○
(2) 結晶粒增長的抑制 TiN由細微分散的固定效果 ⇒結晶粒大而笨重化防止	△	○
(3) 細微組織新形成 Ca (O, S) 系複合粒子的利用	×	○
(4) 微量B基於高韌性化 熔接金屬⇒B擴散供給技術	×	△

○：利用
△：限定的利用
×：不利用



低Ceq化基於大供熱熔接 韌性提高





J F E 鋼鐵 建築構造用厚鋼板

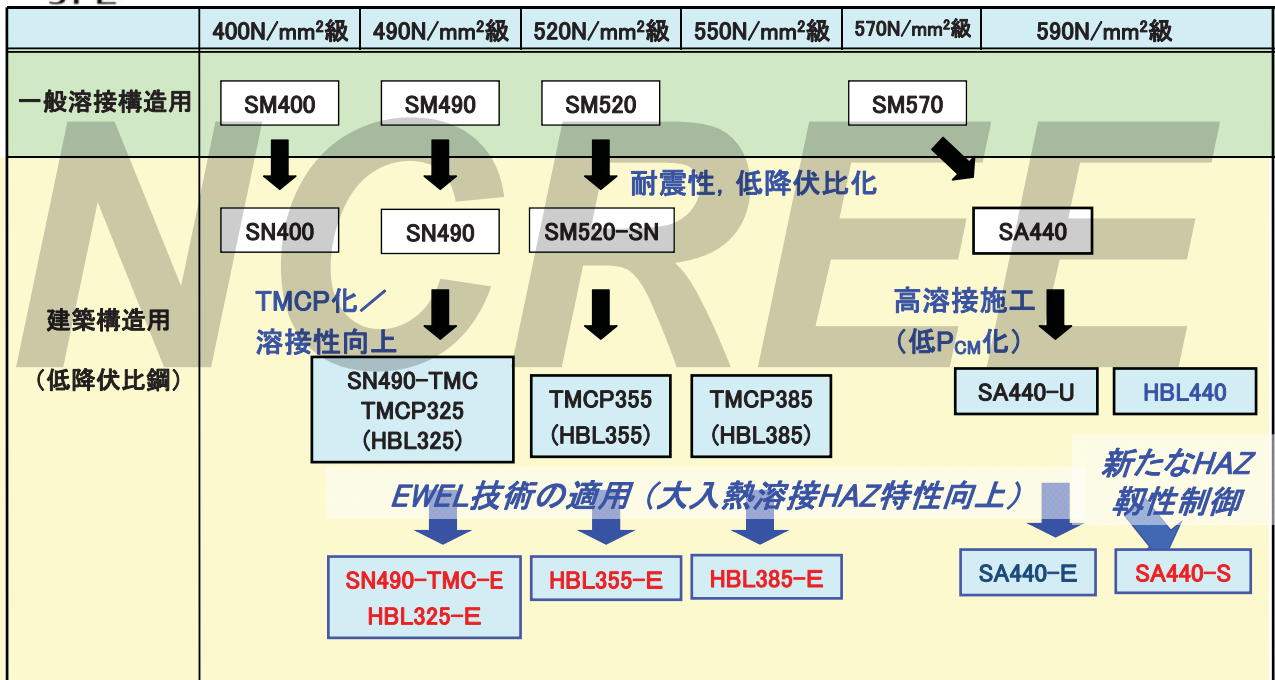
	低強度	400N/mm ²	490N/mm ²	520N/mm ²	550N/mm ²	590N/mm ²	780N/mm ²	規格
SM鋼		SM400	SM490 SM490Y	SM520		(SM570)		JIS
SN鋼		SN400	SN490	SM520B-SN				JIS
			SN490TMC SN490-TMC-E					
TMCP鋼			HBL325 HBL325-E	HBL355 HBL355-E	HBL385 HBL385B-L HBL385-E	HBL440 HBL440-S		大臣認定
高性能 低YR590鋼						SA440(-U) SA440-S		大臣認定
耐火鋼		SN400-FR	SN490-FR	SM520-FR				JIS
			HBL325-FR	HBL355-FR	HBL385-FR		大臣認定	
低降伏点鋼	LY100 LY225							大臣認定
80キ口鋼	紅字：高HAZ韌性鋼（JFE EWEL）						JFE-HITEN 780W	大臣認定
							HBL630-L (HOP)	大臣認定
							H-SA700	大臣認定
							JFE-HITEN 780T	大臣認定
製造 工序	熱処理	圧延まま、制御圧延					焼入-焼戻し	
		制御圧延+加速冷却(S-OLAC)					焼入-2相域焼入-焼戻し	

Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

27



大供熱熔接厚鋼板（JFE EWEL）



Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

28



適用例子 1 HBL355C-E 熔接施工考試結果(1)

JFE

(1) 厚鋼板 化學成分 (Ca, Ti加添)
化学組成 (mass%)

規格	板厚 (mm)	C	Si	Mn	P	S	Ceq	Pcm
HBL355C-E	60	0.08	0.19	1.52	0.008	0.001	0.35	0.17

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

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

(2) 機械特性

規格	板厚 (mm)	引張特性				Charpy衝擊値	
		YP (MPa)	TS (MPa)	E1 (%)	YR (%)	方向	vE 0°C
HBL355C-E	Spec.	355 ~ 475	520 ~ 640	21~	~80	L	平均值 ≧27J
	60	435	562	31	77	L	368

29

Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.



適用例子 1 HBL355C-E 熔接施工考試結果(2)

JFE

SAW 繼手性能

(1) 焊接條件

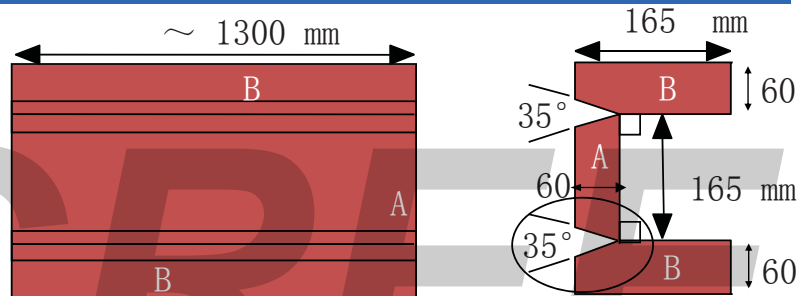


圖 試驗片形狀

表 2電極1pass SAW 焊接條件 (板厚60mm)

	ワイヤ径 (mm)	ワイヤ 突出し 長さ (mm)	電極間 距離 (mm)	電極 角度	溶接 電流 (A)	溶接 電圧 (V)	速度 (cm/分)	溶接 入熱 (kJ/cm)
先行極 (L)	6.4	40	90	-5°	2300	40	18	625
後行極 (T)	6.4	60		5°	1800	53		

焊接材料 (JKW) ; (Flux) KB-60IAD × (weldWire) KW55

30

Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

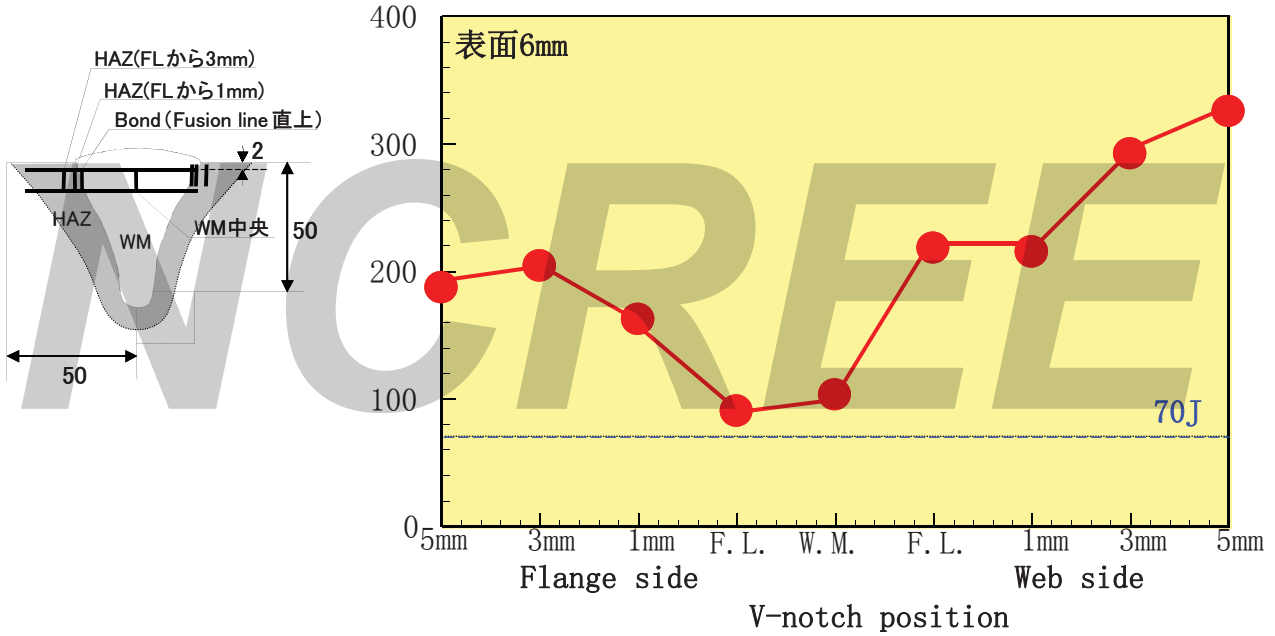


適用例子 1 HBL355C-E 熔接施工考試結果 (3)

JFE

SAW継手性能

(2) Charpy衝撃値 v_{E_0} (J) 平均値



Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

31

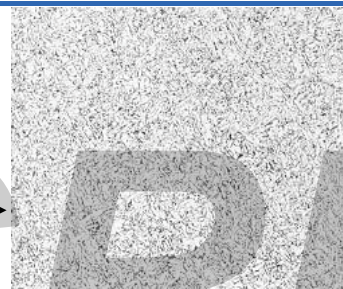
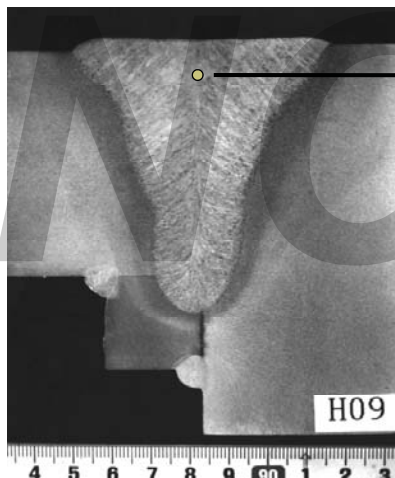


適用例子 1 HBL355C-E 熔接施工考試結果 (4)

JFE

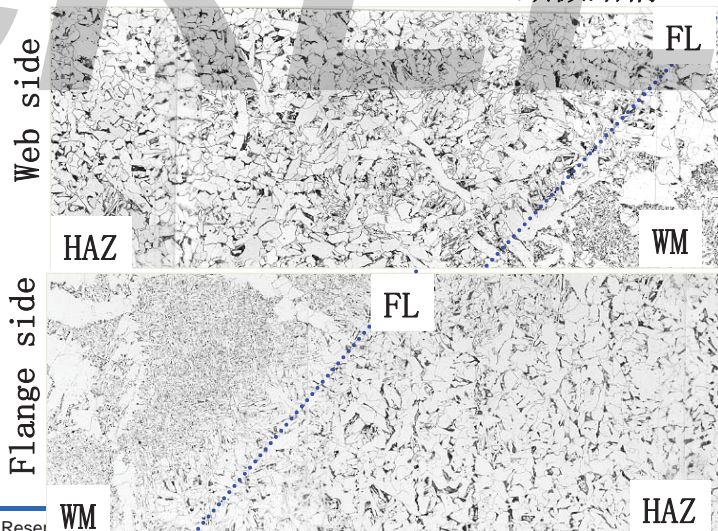
SAW継手性能

(3) 熔接 顯微結構



表面6mmWM中央部
顯微結構

表面6mmFnsionLine, HAZ
顯微結構



Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

32



適用例子 1 HBL355C-E 熔接施工考試結果 (5)

ESW継手性能

(1) 溶接条件等

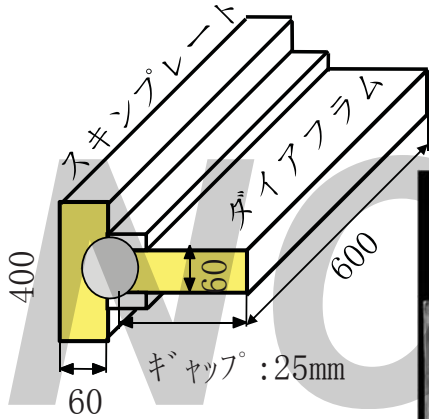
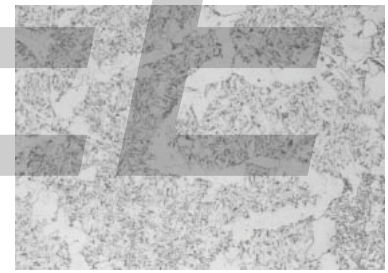
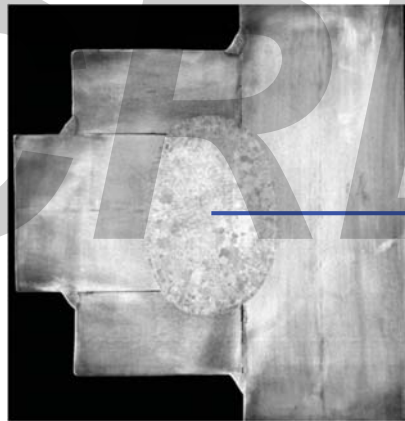


圖 試験片形状

表 ESW焊接条件

溶接材料	: KW60AD, KF-100AD (JKW)
wire径	: 1.6mm ϕ
電流	: 380A
電圧	: 52V
速度	: 1.18cm/min
供熱	: 1000kJ/cm



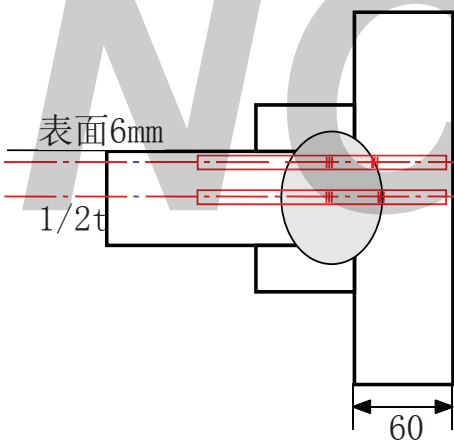
100 μ m



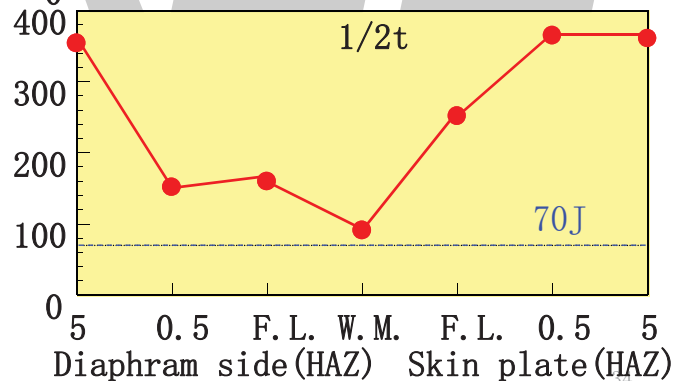
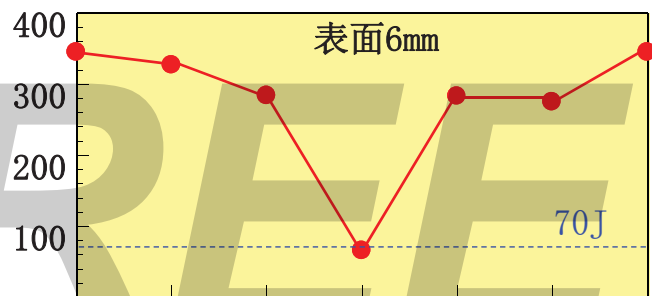
適用例子 1 HBL355C-E 熔接施工考試結果 (6)

ESW継手性能

(2) Charpy衝擊値



Charpy試験片採取位置

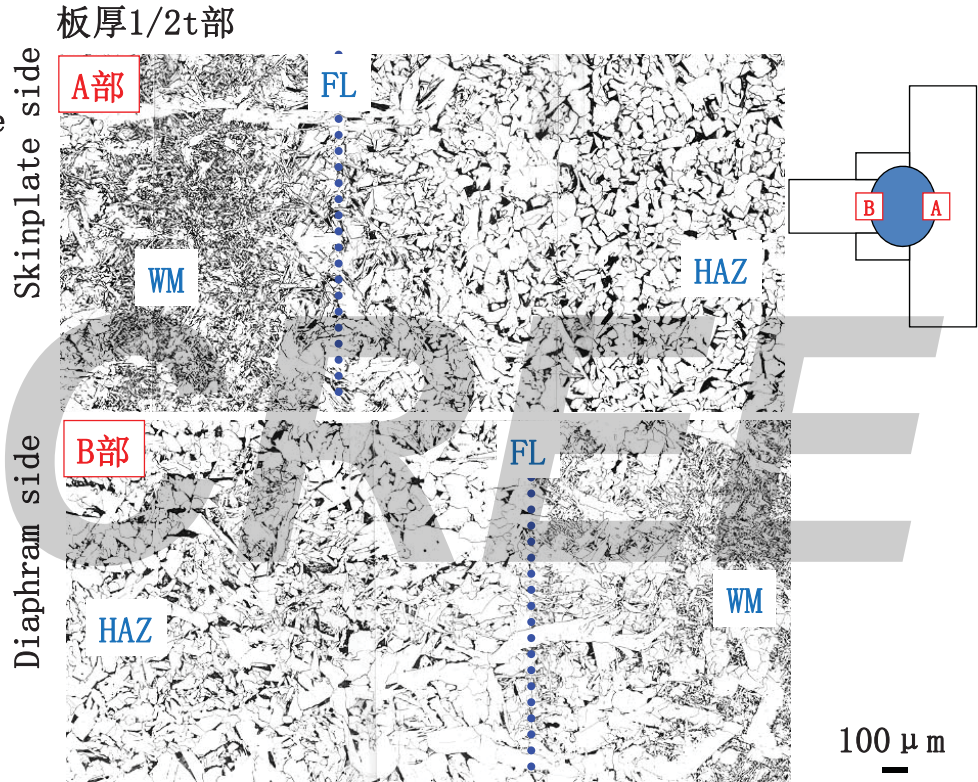




適用例子 1 HBL355C-E 熔接施工考試結果 (7)

ESW繼手性能

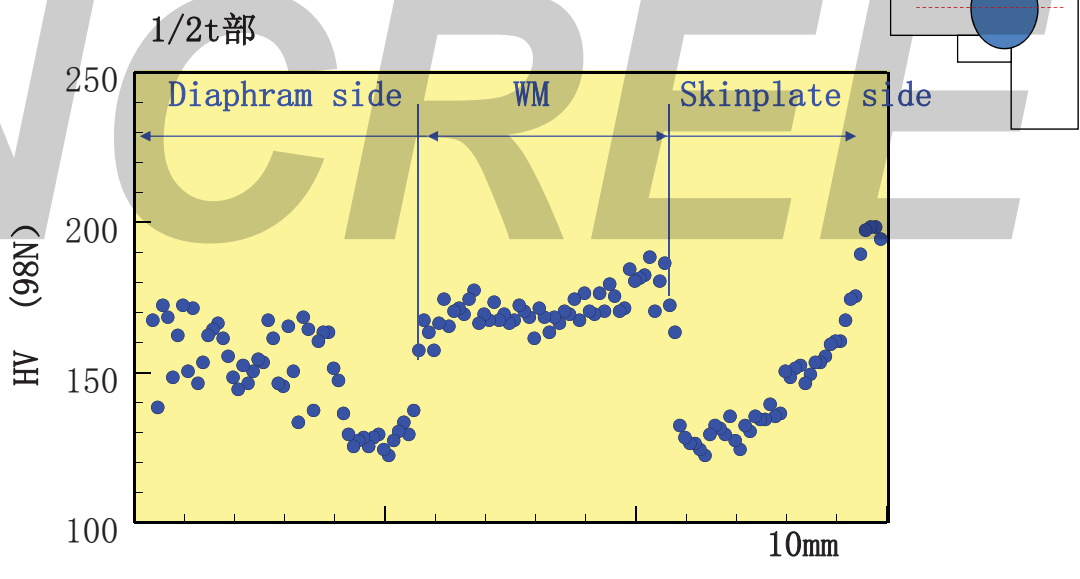
(3) Fusion Line
顯微結構



適用例子 1 HBL355C-E 熔接施工考試結果 (8)

ESW繼手性能

(4) 硬度分佈



ESW繼手硬度分佈



適用例子2 HBL385C-E 熔接施工考試結果(1)

厚鋼板 (Skinplate) 特性

(1) 化學成分

(%)

規格	C	Si	Mn	P	S	Ceq	P _{CM}
HBL385C-E	0.12	0.28	1.54	0.007	0.001	0.40	0.21

(2) 機械特性

規格	板厚 mm	YP N/mm ²	TS N/mm ²	YR %	E1 %	vE0 J	RA %
HBL385C-E	32	472	602	78	33	361	83
	40	473	604	78	32	346	84

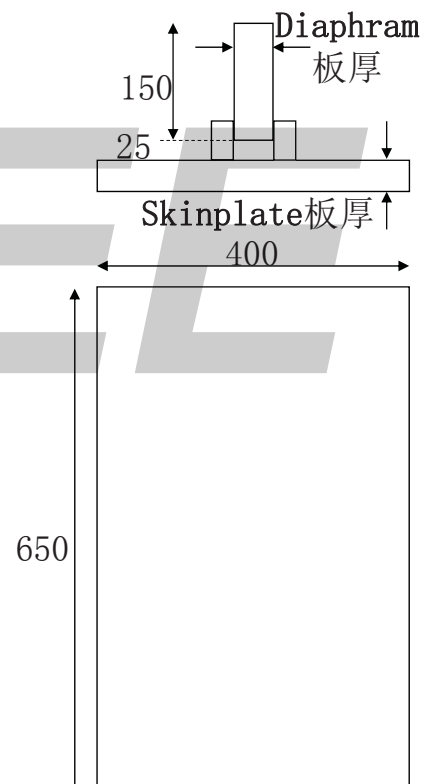


適用例子2 HBL385C-E 熔接施工考試結果(2)

試験体形状

Skinplate板厚 ≧ Diaphragm板厚

試験片	Skinplate		Diaphragm	
	鋼種	板厚 (mm)	鋼種	板厚 (mm)
①	HBL385C-E	32	一般材	45
②		40		55





適用例子2 HBL385C-E 熔接施工考試結果(3)

熔接條件

Skinplate		Diaphragm		熔接材料		熔接条件			熔接 供熱 (kJ/cm)
鋼種	板厚 (mm)	鋼種	板厚 (mm)	Wire	Flux	電流 (A)	電壓 (V)	熔接 速度 (cpm)	
HBL385C-E	32	一般材	45	KW-60AD	KF-100	380	48	1.95	562
	40		55			380	51	1.58	737

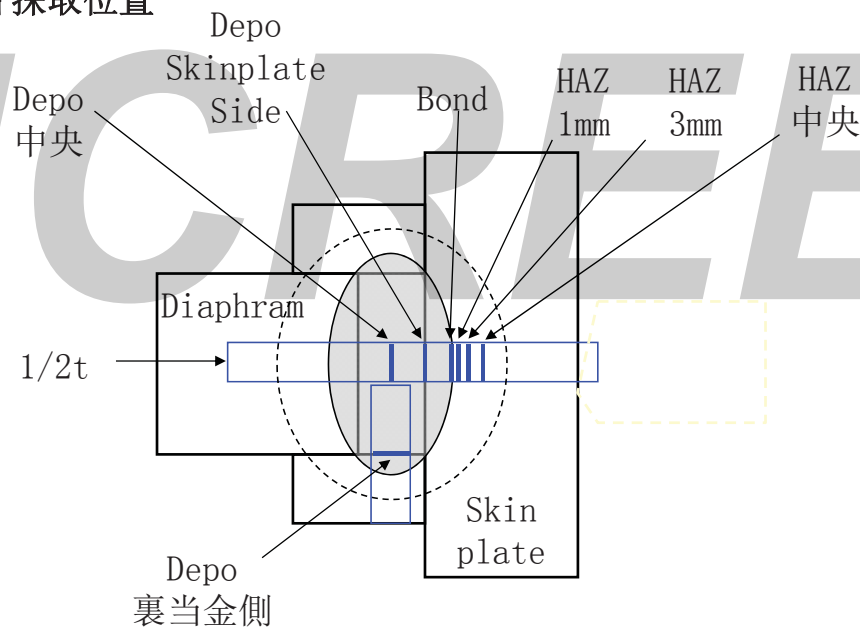
熔接Wire 化學成分

銘柄	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo	others
KW-60AD	0.05	0.24	1.89	0.006	0.003	0.15	0.01	0.6	Ti, B



適用例子2 HBL385C-E 熔接施工考試結果(4)

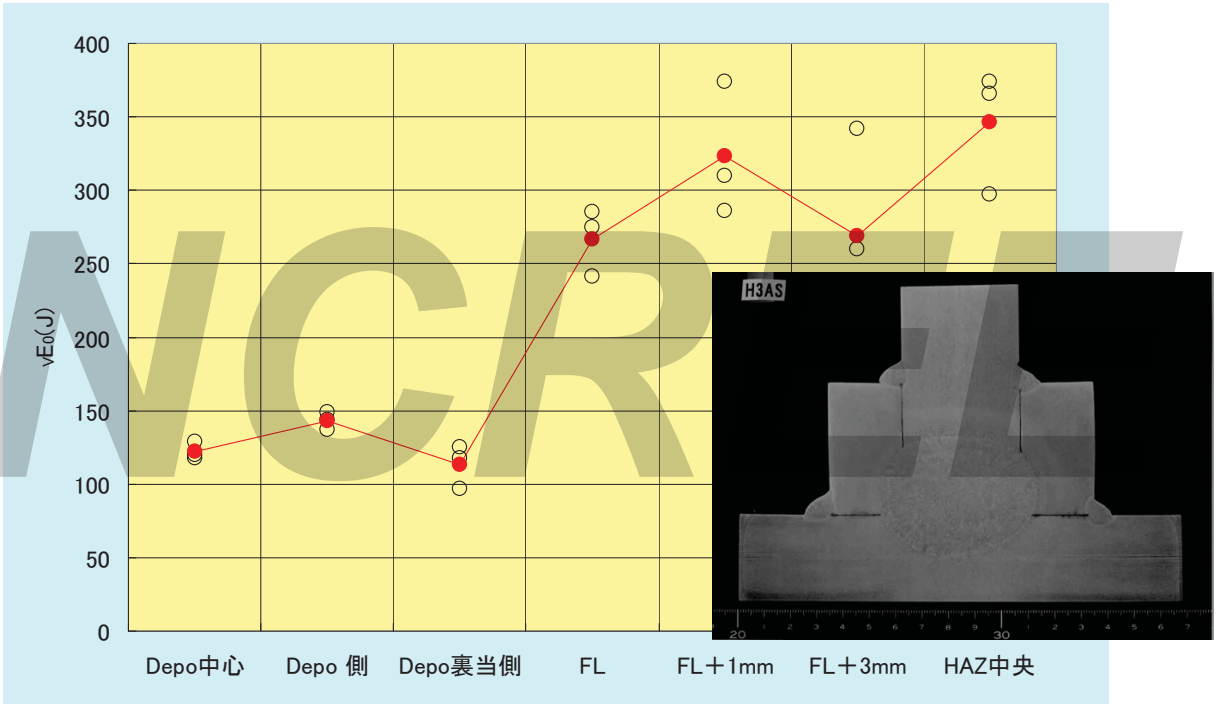
Charpy試験片採取位置





適用例子2 HBL385C-E 熔接施工考試結果(5)

Charpy衝擊値 Skinplate 32mm × Diaphragm 45mm



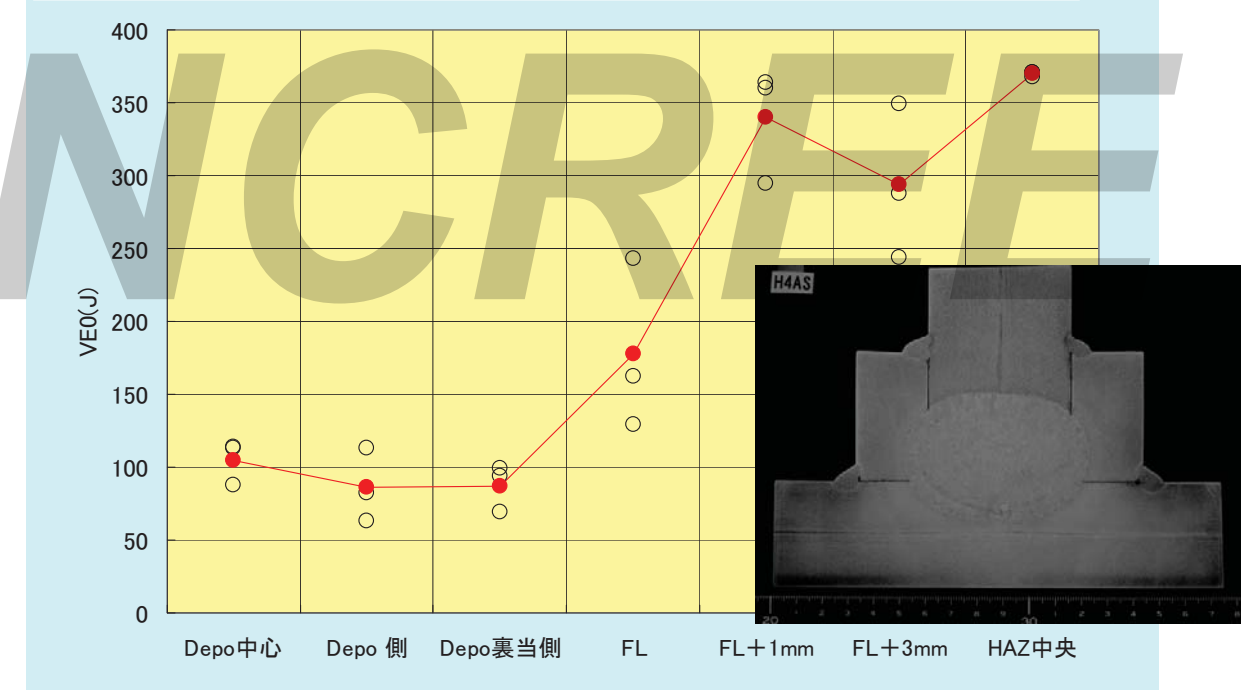
Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

41



適用例子2 HBL385C-E 熔接施工考試結果(6)

Charpy衝擊値 Skinplate 40mm × Diaphragm 55mm



Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

42

TMCP590N/mm²鋼材 “HBL440、HBL440-S”

JFE

	400N/mm ²	490N/mm ²	520N/mm ²	550N/mm ²	590N/mm ²	780N/mm ²	規格
SM鋼	SM400	SM490	SM520		SM570		JIS
SN鋼	SN400	SN490	SM520B-SN				JIS
		SN490-TMC SN490-TMC-E					
TMCP鋼		HBL325 HBL325-E	HBL355 HBL355-E	HBL385 HBL385B-L HBL385-E	HBL440 HBL440-S		大臣認定
高性能 低YR590N鋼					SA440(-U) SA440-S SA440-E		大臣認定
780N級鋼						HBL630-L (HOP)	大臣認定
						H-SA700	大臣認定
						JFE-HITEN 780T	大臣認定
製造 プロセス	圧延まま, 制御圧延					焼入-焼戻し	
			制御圧延+加速冷却(S-OLAC)		焼入-2相域焼入-焼戻し		

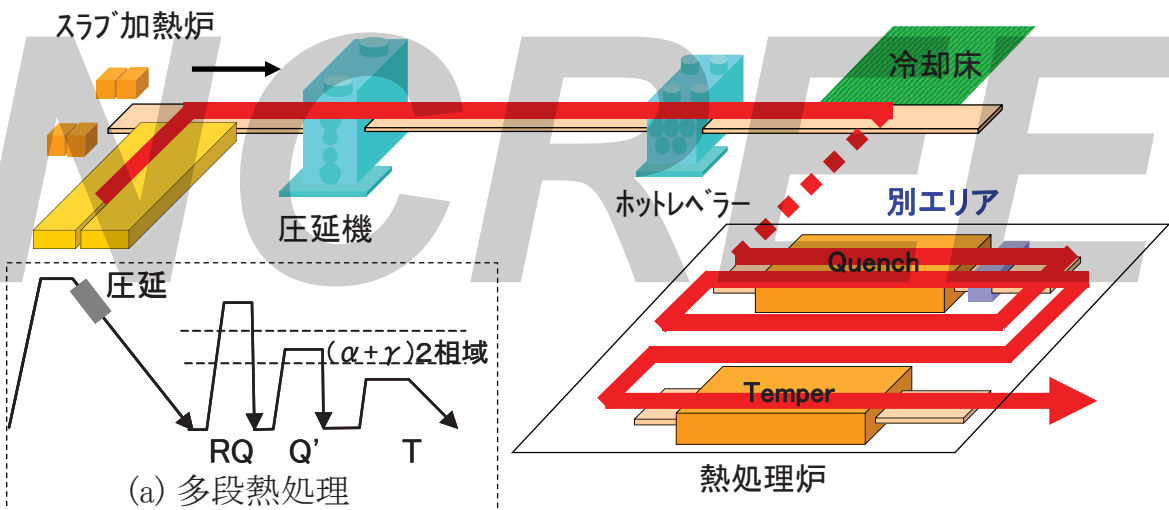
Copyright © 2014 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

43

特長① 納期短縮

JFE

従来の SA440 製造方法



- ・「焼入れ-二相域焼入れ-焼戻し」の3回の熱処理が必要
- ・エネルギー消費、CO₂発生大
- ・工期が長い(＋約1ヶ月)

Copyright © 2014 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

44

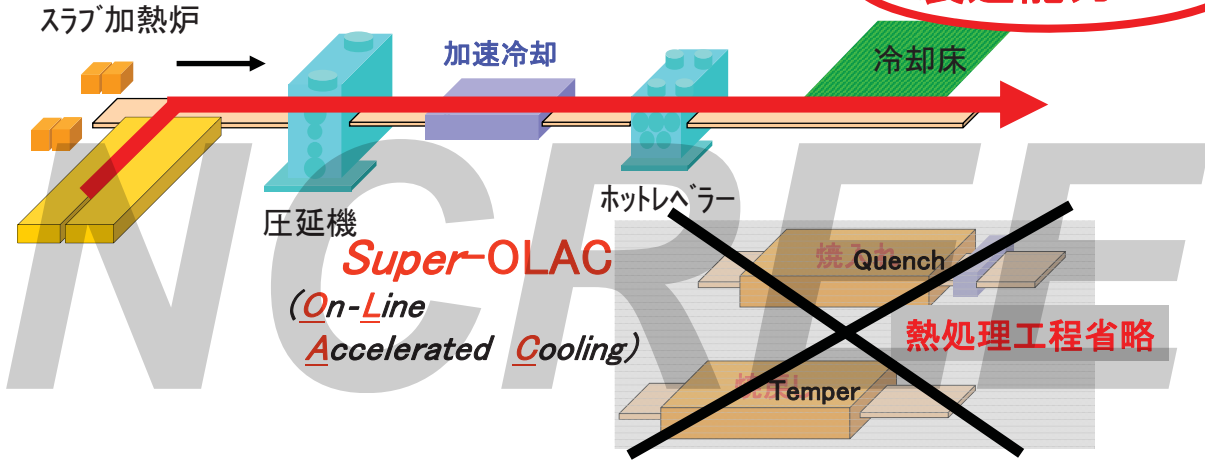


特長① 納期短縮

HBL440、HBL440C-S之製造方法

納期短縮

製造能力UP



<Super-OLACの特長>

- ・高冷却速度
- ・均一な温度分布



- ・強度, 靱性の向上
- ・材質の均質化
- ・溶接性の向上(炭素当量の低減)

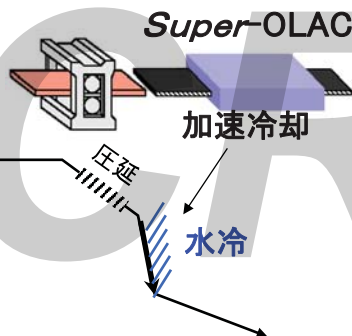


TMCP技術活用し高強度と低YRを達成

高強度
低YR

複相組織 : 軟質相 + 硬質相

今回の技術
[TMCP]



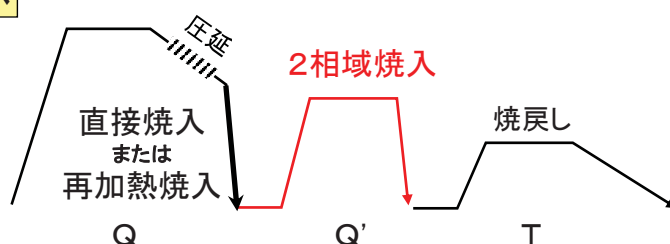
高精度の加速冷却技術
(冷却速度、冷開停温度)

最適成分設計

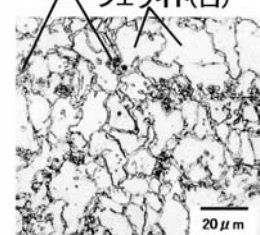
複相組織化による
高強度と低YR両立

590N級
世界初

従来プロセス
[Q-Q'-T]



硬質相 焼戻しマルテンサイト 軟質相 フェライト(白)



SA440の光顕組織例



特長② 溶接予熱条件の緩和

製品規格

化学成分

種類の記号	板厚 t (mm)	C	Si	Mn	P	S	炭素等量 Ceq	溶接割れ感受性組成 P _{CM}
HBL440B	19 ≤ t ≤ 100	0.12以下	0.55以下	1.60以下	0.030以下	0.008以下	0.44以下(t ≤ 40) 0.47以下(t > 40)	0.22以下
HBL440C					0.020以下			
SA440B	19 ≤ t ≤ 100	0.18以下	0.55以下	1.60以下	0.030以下	0.008以下	0.44以下(t ≤ 40) 0.47以下(t > 40)	0.28以下(t ≤ 40)
SA440C					0.020以下			0.30以下(t > 40)

$$C_{eq} = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$$

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

機械的性質

種類の記号	試験片	引張試験					シャルピー衝撃試験	
		板厚 t (mm)	降伏点 又は0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	降伏比 (%)	伸び (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (J)
HBL440B HBL440C	1A号	19 ≤ t ≤ 32	440以上 540以下	590以上 740以下	80 以下	15以上	0	70以上
		32 < t ≤ 40				16以上		
	4号	20 < t ≤ 100				20以上		
SA440B SA440C	1A号	19 ≤ t ≤ 50	440以上 540以下	590以上 740以下	80 以下	26以上	0	47以上
	4号	40 < t ≤ 100				20以上		

Copyright © 2014 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

47



HBL440の母材特性

化学成分	板厚 (mm)	化学成分 (重量%)						Ceq ^{*1}	P _{CM} ^{*2}
		C	Si	Mn	P	S	others		
HBL440	19	0.06	0.21	1.47	0.008	0.002	Cr, Mo, Nb, V, Ti	0.42	0.17
	50	0.05	0.21	1.47	0.010	0.001		0.41	0.16
大入熱仕様 HBL440-S	60	0.09	0.06	1.50	0.005	0.002	必要に応じて 添加できる	0.45	0.20
	100	0.08	0.07	1.49	0.005	0.002		0.45	0.20
HBL440 規格	t ≤ 40	≤	≤	≤	≤ 0.030 ^{*3}	≤	必要に応じて 添加できる	≤ 0.44	≤ 0.22
	40 < t	0.12	0.55	1.60	≤ 0.020 ^{*4}	0.008		≤ 0.47	
SA440 規格	t ≤ 40	≤	≤	≤	≤ 0.030 ^{*3}	≤	必要に応じて 添加できる	≤ 0.44	≤ 0.28
	40 < t	0.18	0.55	1.60	≤ 0.020 ^{*4}	0.008		≤ 0.47	≤ 0.30

*1 $C_{eq} = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$

*2 $P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$

*3 HBL440B(SA440B), *4 HBL440C(SA440C)

HBL440はC上限値を低く抑え、P_{CM} ≤ 0.22で規定

Copyright © 2014 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

48



HBL440の母材特性

機械的性質

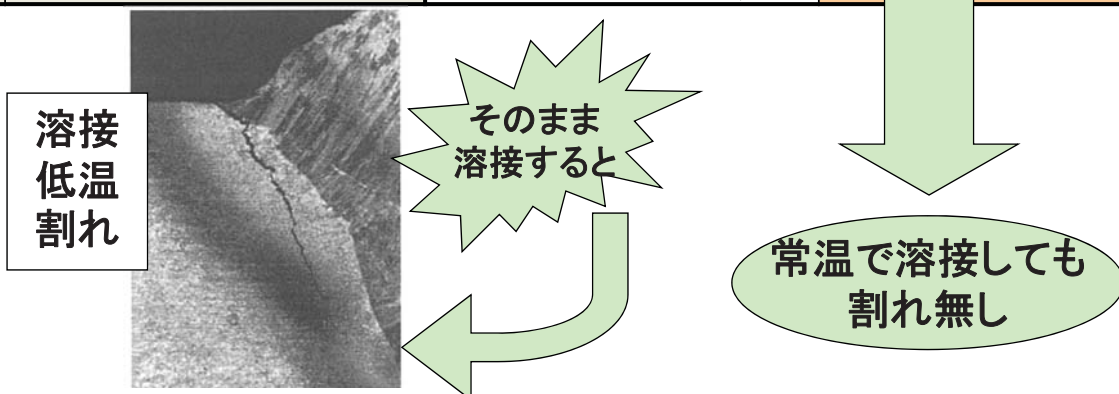
	板厚 (mm)	試験片	引張特性				衝撃特性	
			YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	YR (%)	EI (%)	vE0°C (J)	vTrs (°C)
HBL440	19	JIS 1A	490	619	79	18	358	-95
	50		484	612	79	31	380	-105
大入熱仕様 HBL440-S	60	JIS 4	482	631	76	29	347	-50
	100		471	603	78	28	340	-80
HBL440 規格	19 ≤ t ≤ 32	JIS 1A	440 ~540	590 ~740	≤ 80	≥ 15	≥ 70	-
	32 < t ≤ 40					≥ 16		
	20 < t ≤ 100	JIS 4	≥ 20					
SA440 規格	19 ≤ t ≤ 100	JIS 5	440 ~540	590 ~740	≤ 80	≥ 26	≥ 47	-
		JIS 4				≥ 20		

HBL440は高い衝撃特性を保有



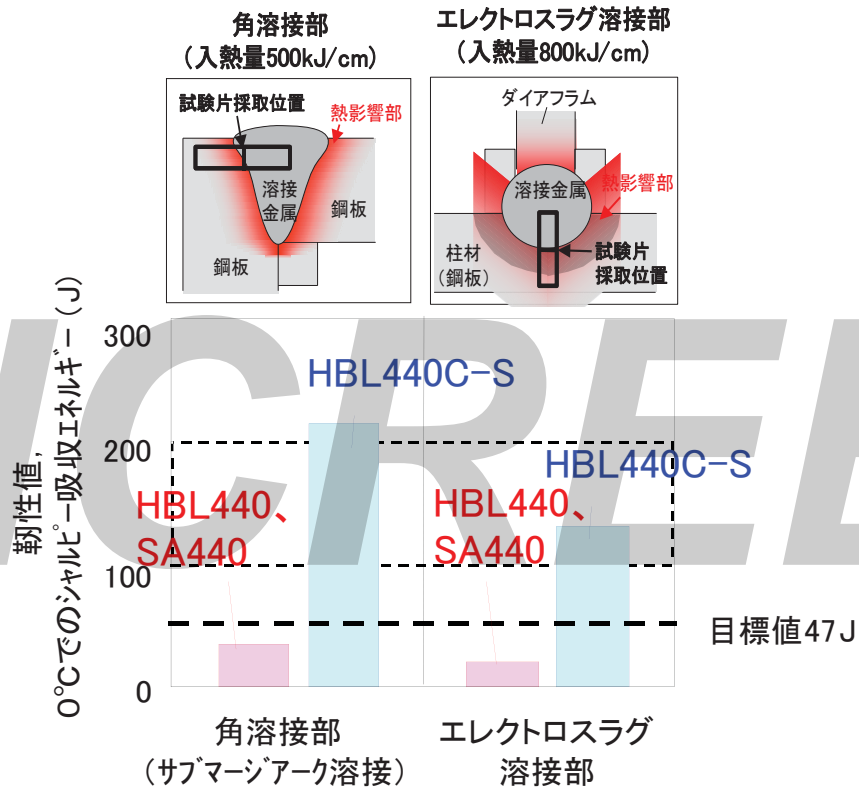
特長② 溶接予熱条件の緩和

		従来品SA440	新商品HBL440
化学成分	C(炭素)上限値	0.18%	0.12%
	P _{CM} 上限値	0.28%	0.22%
	溶接割れ感受性組成		
溶接条件	予熱	t ≤ 50mm: 60°C以上 t ≤ 75mm: 80°C以上 t ≤ 100mm: 100°C以上	予熱無し





特長③ 高耐震性(超大入熱溶接用)



Copyright © 2014 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

51



HAZ高靱性向上の新技術

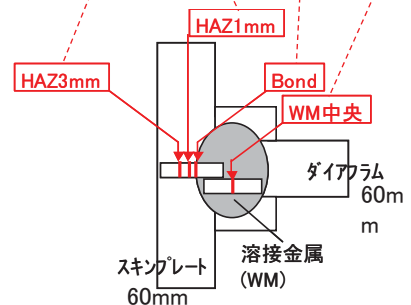
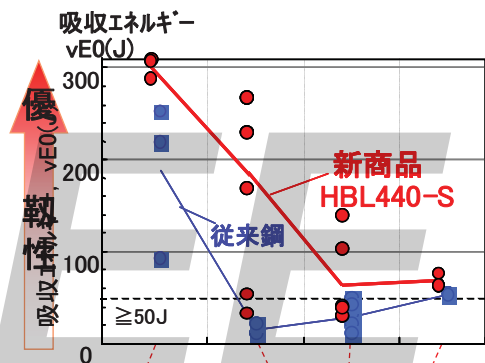
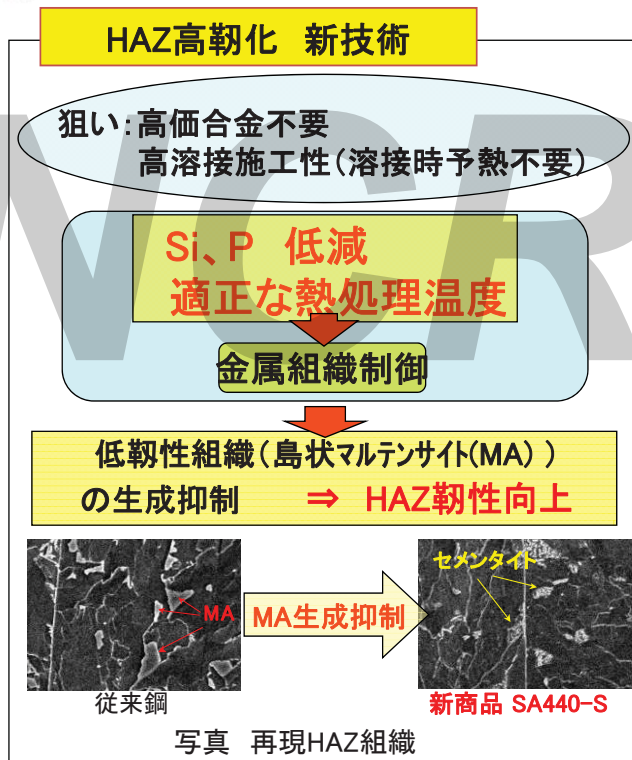


図 溶接継手部靱性(入熱78万J/cm)

Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

52



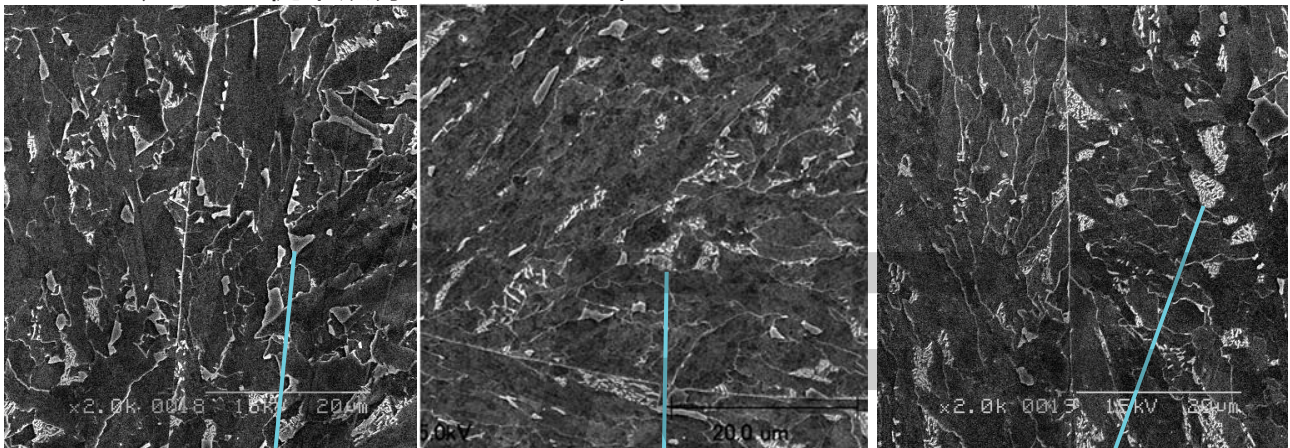
再現HAZ SEM組織

Si, P低減によるMA生成抑制

HBL440、SA440 従来成分

低Si

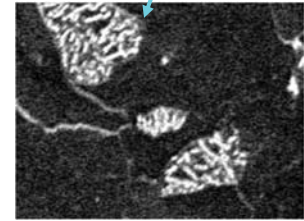
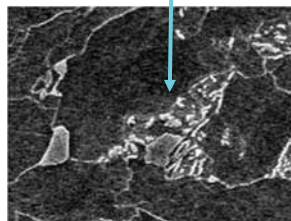
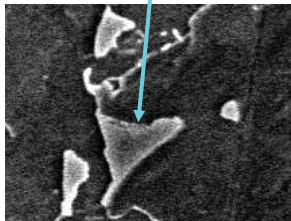
低Si-低P



MA分率 : 3.2%

2.0%

1.2%



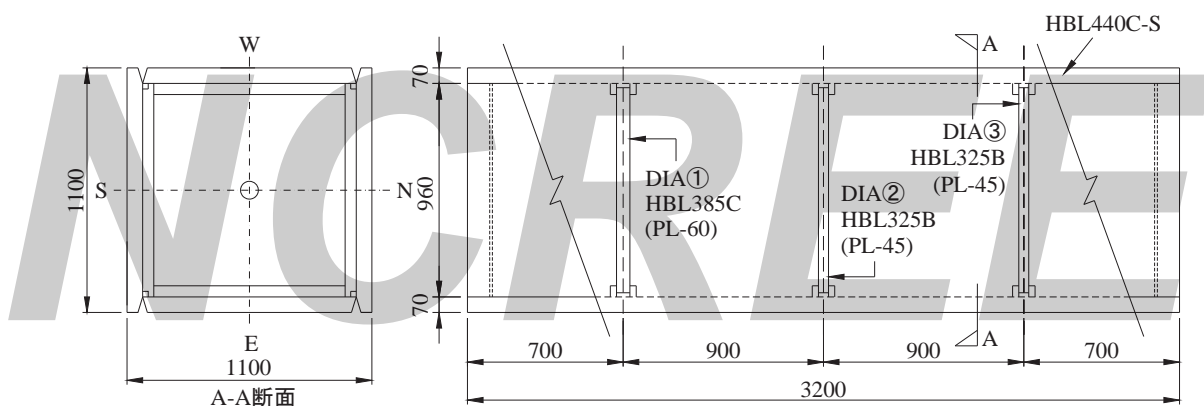
Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

53



適用例子3 HBL440C-S 熔接施工考試結果(1)

HBL440C-S熔接施工考試：試験片形狀、厚鋼板

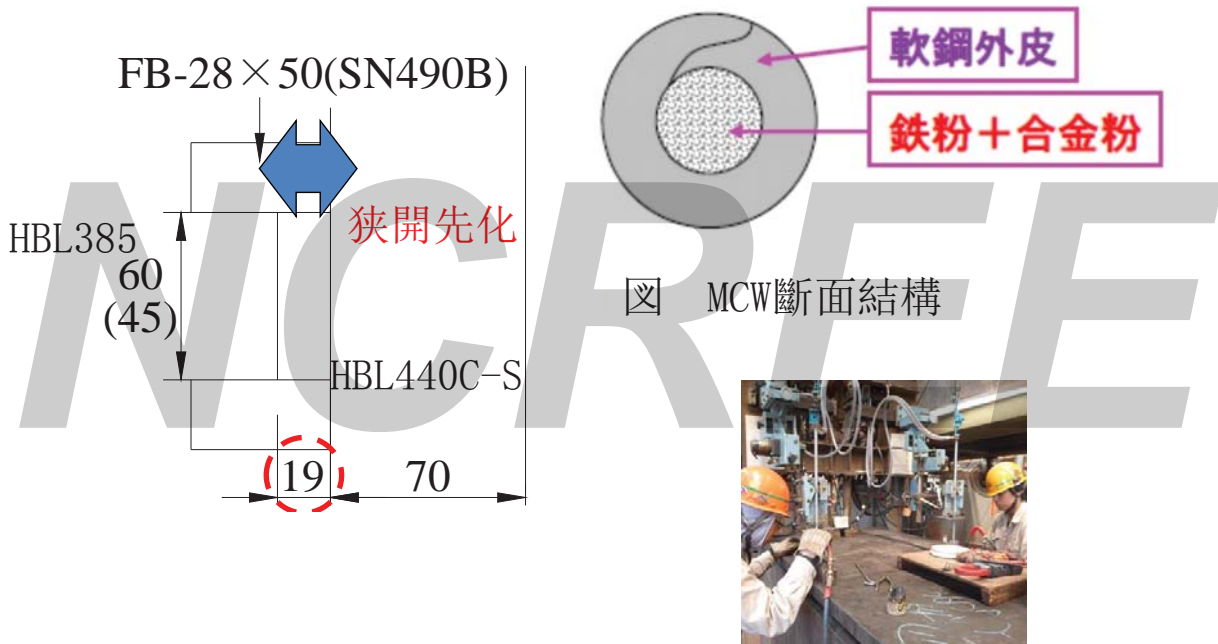


材質	化學成分 (%)							機械特性		
	C	Si	Mn	P	S	Ceq	Pcm	Yp	Ts	vE ₀
HBL440C-S ※1	0.08	0.06	1.46	0.004	0.001	0.44	0.19	493	622	294
HBL385C ※2	0.14	0.33	1.29	0.012	0.002	0.38	0.22	423	565	297
HBL325B ※2	0.12	0.34	1.35	0.014	0.002	0.38	0.20	415	546	303
SN490B ※3	0.11	0.25	1.15	0.022	0.013	0.35	0.19	397	532	184

※1: Skinplate、 ※2: Daiaphram、 ※ 3: 裏当金

Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

ESW熔接材料⇒ Metal Cored Wire (MCW)



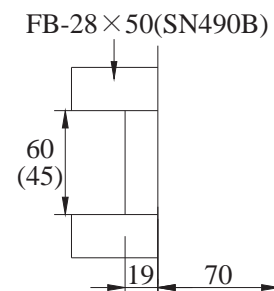
Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

表 ESW熔接材料

溶接法	溶接部位	規格	銘柄	メーカー
ESW	DIA①、②	JIS Z 3353	Wire: FG-60AD(1.6φ)	JKW/ 神戸製鋼所
		YES602-M/FES-CS	Flux: KF-100AD	
	DIA③	JIS Z 3353	Wire: KW-50C(1.6φ)	
		YES502-S/FES-CS	Flux: KF-100	

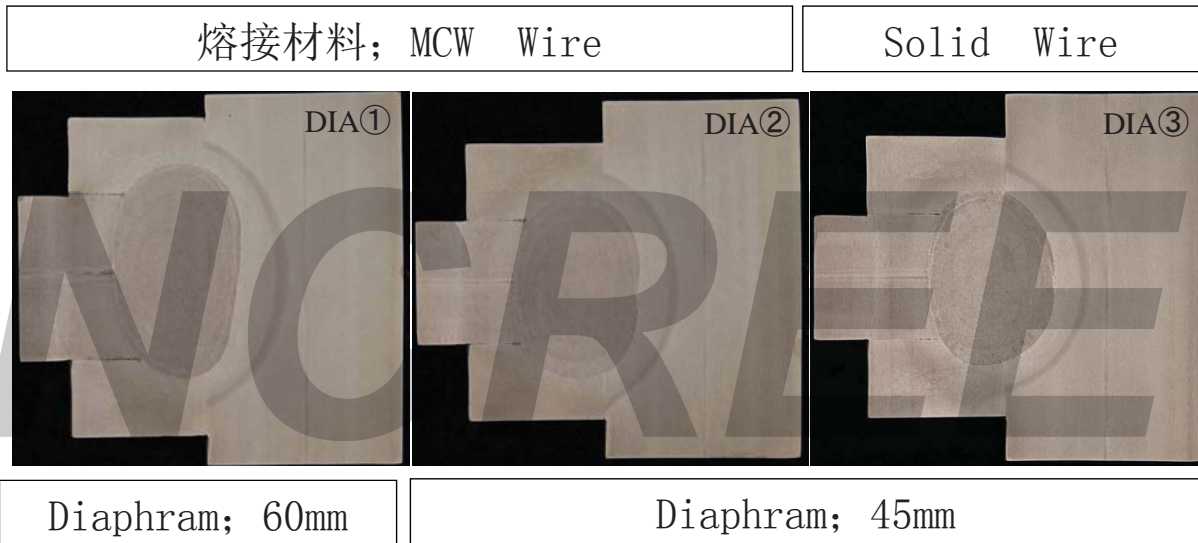
表 ESW溶接条件

溶接部位		電流 (A)	電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	入熱量 (kJ/cm)
DIA ① t=60mm	Flange側	360	54	1.32~1.37	852~882
	Web側	360	54	1.20~1.36	857~972
DIA ② t=45mm	FLANGE側	360	52	1.67~1.74	646~674
	Web側	360	52	1.56~1.68	669~721
DIA ③ t=45mm	Flange側	360	52	1.69	664~666
	Web側	360	52	1.59~1.63	687~706

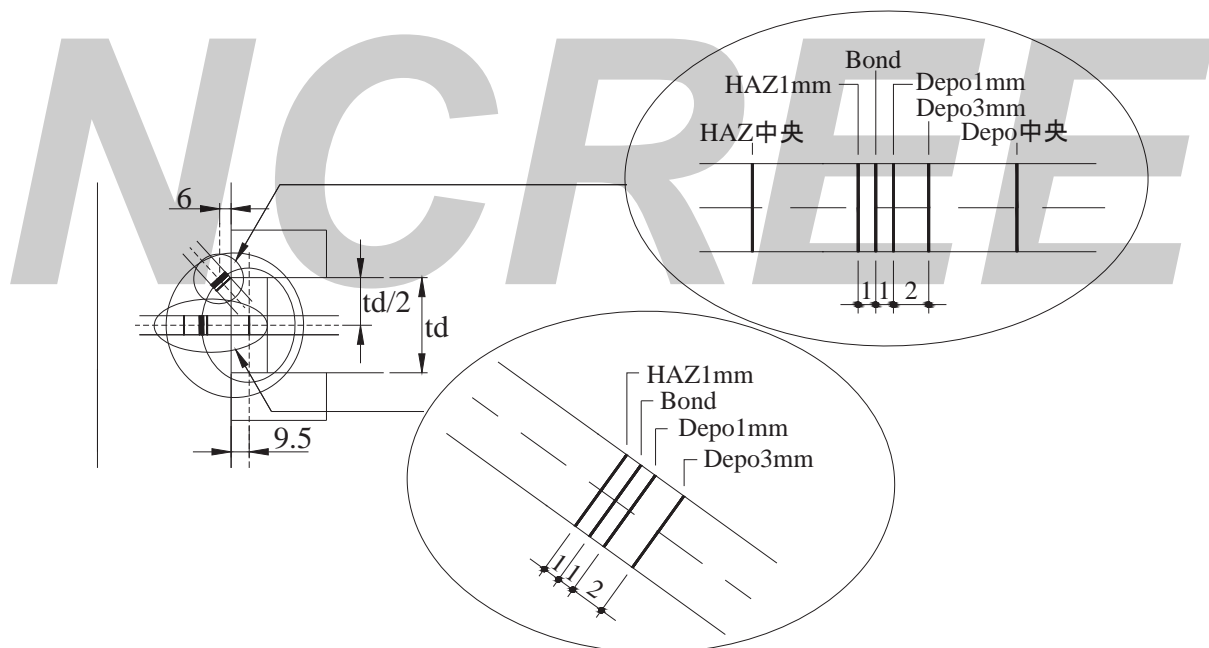


※()の内の表記は、DIA②③の板厚である。

ESW継手 Macro組織



実験結果: Charpy衝擊値





適用例子3 HBL440C-S 熔接施工考試結果(6)

熔接材料; MCW Wire								Solid Wire										
ダイアフラム	ノッチ位置	vE ₀ J		B.R. %		ダイアフラム	ノッチ位置	vE ₀ J		B.R. %		ダイアフラム	ノッチ位置	vE ₀ J		B.R. %		
		each	Ave.	each	Ave.			each	Ave.	each	Ave.			each	Ave.	each	Ave.	
DIA ①	斜め方向	Depo -3mm	183	183	1	0	DIA ②	斜め方向	Depo -3mm	204	196	11	DIA ③	斜め方向	Depo -3mm	145	165	13
			185		0					202		0				174		6
			182		0					181		0				176		5
		Depo -1mm	209	0	231	0			213	4								
			128	182	4	156			214	50	199	184			11			
			209		9	254				0	139				24			
	250	23	312		0	108	60											
	Bond	279	216	11	192	263	38	192	141	34								
		120		63	286		0	124		48								
		307		16	243		16	69		38								
	HAZ -1mm	274	295	16	313	284	0	72	84	35								
		303		0	295		0	112		29								
		153		0	151		0	195		1								
	直交方向	Depo 中央	120	143	26	9	DIA ②	直交方向	Depo 中央	108	133	18	DIA ③	直交方向	Depo -3mm	143	173	5
			157		0					141		15				181		5
			159		29					190		0				156		39
		Depo -3mm	217	181	0	188			187	0	164	164			13			
			167		20	184				0	171				41			
184			26		227	0				195	38							
Depo -1mm		169	145	45	257	220			0	182	156	34						
		81		60	177				38	91		70						
		31		75	229				23									
Bond		182	132	45	212	209			30									
		182		38	187				46									
		20		81	241				20									
HAZ -1mm	76	108	75	283	259	10												
	228		19	253		23												
	310		0	333		0												
HAZ 中央	319	319	0	331	327	0												
	328		0	316		0												

Diaphragm; 60mm

Diaphragm; 45mm

Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.



Copyright © 2016 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

本資料の無断複製・転載・webサイトへのアップロード等はおやめ下さい



BOX柱 超大入熱溶接部要求韌性

従来のSA440
要求韌性

通常仕様
鉄連「SA440設計・溶接施工指針」(2004)
 $vE_0 \geq 15J$

高HAZ韌性仕様
 $vE_0 \geq 70J$



鉄連／四面ボックス柱必要韌性検討委員会

必要韌性
指針

「エレクトロスラグ溶接部脆性破断防止技術指針(案)」(490N/mm²鋼)

$vE_0 \geq 15J$ (通常の柱:脆性破断の可能性が低い部位)

$vE_0 \geq 27J$ (通常の柱:脆性破断の可能性のある部位)

$vE_0 \geq 47J$ (重要な柱:脆性破断防止対策をすべき部位)

溶接施工試験必要性能の例

実物件
施工試験
必要性能

$vE_0 \geq 27J(ESW) \sim 47J(ESW) \sim 70J(ESW)$

$vE_0 \geq 27J(SAW) \sim 47J(SAW) \sim 70J(SAW)$

NCREE