

鋼板超音波檢測之國際規範評估與比較

彭朋畿¹、程彥嘉²

¹ 中龍鋼鐵公司 冶金技術處 組長

² 中龍鋼鐵公司 冶金技術處 高級檢測師

摘 要

台灣地狹人稠，因此建築逐漸向上發展，以發揮最大使用效益。由於鋼結構耐震佳、工期短與造型多等優勢，故已逐漸成為高層建築之首選。同時台灣處環太平洋地震帶，尤其近期南台灣地震所造成之災害，更讓台灣深刻體會鋼結構之必要性。

建築耐震鋼材已普遍為國內所接受，其中超音波檢測可檢測鋼材內部之瑕疵或缺陷，已是鋼材耐震指標之一。由於各國超音波檢測規範差異頗大，故本文擬介紹國內常用之四種國際鋼板超音波規範，包括日本 JIS、中華民國 CNS、美國 ASTM 與歐盟 EN，以提供工程業界參考與評估。

一、前言

鋼結構工程應用範圍非常廣泛，其中針對鋼板品質之超音波檢測，已為工程業界普遍接受之品管方式之一，並有相關規範予以判讀及允收(接受基準)。一般國內常見之建築鋼材包括 JIS 或 CNS 之 SN 中 C 系列，以及 CSC SM570M 之 C 或 CHW 鋼板規範，均會強制規定執行超音波檢測，上述鋼材機性要求如表 1 或表 2 所示。

表 1 JIS SN490B / C 機性要求

規格鋼種	厚度範圍 mm	降伏強度	抗拉強度	降伏比	伸長率			厚度方向斷面 縮減率(%)		衝擊試驗		UT 要求
		N/mm ²	N/mm ²	%	厚度範圍mm	試片規格	%	均値	單値	溫度 (°C)	衝擊能 (J) min.	
JIS SN490B	6 ≤ T < 12	325 min.	490~610	-	6 ≤ T ≤ 16	No.1A	17	-		0	27	-
	12 ≤ T < 16	325~445		80	16 < T ≤ 50	No.1A	21					
	16 ≤ T ≤ 40	325~445		80	40 < T ≤ 65	No.4	23					
	40 < T ≤ 100	295~415		80								
JIS SN490C	6 ≤ T < 12	-	490~610	-	T=16	No.1A	17	25	15	0	27	有 (16mm 以上鋼 板)
	12 ≤ T < 16	-		-	16 < T ≤ 50	No.1A	21					
	16 ≤ T ≤ 40	325~445		80	40 < T ≤ 65	No.4	23					
	40 < T ≤ 100	295~415		80								

表 2 CSC SM570M 機性要求

規格鋼種	厚度範圍 mm	降伏強度 N/mm ²	抗拉強度 N/mm ²	降伏比 %	伸長率		厚度方向 斷面縮減 率(%)		衝擊試驗		UT 要求				
					試片規 格	%	均值	單值	試片 位置	溫度/衝擊值(min.)					
CSC SM570M-A	13 ≤ T ≤ 16	420~540	570~720	85 以下	No.5	19 以上	-		t/4	(-5°C)/47J	有				
	No.5				26 以上										
	No.4				20 以上										
CSC SM570M-B	13 ≤ T ≤ 16	420~540	570~720	85 以下	No.5	19 以上	-		t/4	(-5°C)/47J	有				
	16 < T ≤ 20				No.5	26 以上									
	20 ≤ T ≤ 40				No.4	20 以上									
	40 < T ≤ 50			No.4	20 以上										
	50 < T ≤ 60			80 以下	No.4	20 以上						25	15	t/4	(-5°C)/47J
CSC SM570M-C	T=16	420~540	570~720	85 以下	No.5	19 以上	25	15	t/4	(-5°C)/47J	有				
	16 < T ≤ 20				No.5	26 以上									
	20 < T ≤ 50				No.4	20 以上									
	50 < T ≤ 80				No.4	20 以上						25	15	t/4	(-5°C)/47J
CSC SM570M-CHW	T=16	420~540	570~720	85 以下	No.5	19 以上	25	15	t/4	(-5°C)/47J	有				
	16 < T ≤ 20				No.5	26 以上									
	20 < T ≤ 50				No.4	20 以上						25	15	t/4	(-5°C)/47J
	50 < T ≤ 80													t/4	(-5°C)/47J
														t/2	(-5°C)/27J

財團法人台灣非破壞檢測協會於民國 67 年成立，共授證七種非破壞檢測方法，包括放射線檢測法(RT)、超音波檢測法(UT)、磁粒檢測法(MT)、液滲檢測法(PT)、目視檢測法(VT)、渦電流檢測法(ET)及洩漏檢測法(LT)。其中鋼結構技術除渦電流檢測法(ET)與洩漏檢測法(LT)外，其他四種是較常見之方法。

依據 NDT 人員資格相關規範，人員資格至少具備中級檢測師方能簽屬評估檢測報告，另人員資格具備高級檢測師方能簽屬檢測程序書。本文將介紹超音波檢測法應用於鋼板之檢測規範，以提供業界評估與參考。

二、超音波檢測

2.1 超音波之發射與接收

超音波探頭主要是由壓電薄片(鋁鈦酸鉛、硫酸鋰、石英等)、背面填料、導線，以及耐磨層組成。壓電薄片經極化後，具有壓電特性，其兩面鍍上金屬膜，接上導線以利電壓分佈於表面，利用反壓電效應(壓電材料變形)，可將電能轉為機械能而發射超音波，另再利用壓電效應可將機械能轉為電能而接收超音波。由上述可知壓電特性影響超音波知發射與接收，因此通常製造探頭常使用壓電變形常數或壓電壓力常數評估壓電材料[1]。

探頭背面填料則用金屬粉末(如銀、鋁等)和膠調成，用以適當吸收後散之超音波能量，使其脈波具有適當鑑別力(分辨瑕疵之能力)。由於超音波檢測所採用之壓電式探頭是依據其本身的機械振動來產生訊號，故須與受測物表面維持良好的接觸。另為預防壓電晶體薄片磨損或破裂，因此一般都會在壓電晶體的前緣

黏貼塑膠耐磨層，或在探頭與受測物間塗抹耦合劑，甚至直接使用浸泡於水中的浸液式探頭等，以保護探頭[1]。

2.2 超音波之檢測參數

超音波之檢測參數是非常重要的條件，一般至少包括頻率(或波長)、靈敏度與鑑別力，其他亦包括探頭、掃描方式、掃描速率與耦合劑。上述頻率(或波長)、靈敏度與鑑別力等重要參數之選擇，取決於檢測者或委託者需檢測之最小瑕疵(或缺陷)，通常頻率越高，其檢測瑕疵可越小(波長越小)，但能量衰減會增加。因此一般鋼板或鐸道超音波檢測頻率多為 2 至 5 MHz，但若針對鑄件材料，頻率多為 0.5 至 1 MHz。例如圖 1 所示為鋼板自動超音波檢測設備，其超音波檢測頻率為 4 與 5 MHz。

另頻率會與鑑別力有關，一般頻率越高，其鑑別力會越好，同時探頭設計亦會影響鑑別力。鑑別力可分為入射面鑑別力、內部瑕疵鑑別力與背面鑑別力，其可由檢測之要求決定[2]。



圖 1 鋼板自動超音波檢測設備

2.3 鋼板超音波之訊號分析

超音波檢測法可依訊號之分析方式、發射方式及顯示方式來分類，一般鋼板超音波檢測訊號分析方式採用脈波回波法，超音波探頭髮射方式使用直束法，超音波儀器顯示方式使用 A 掃描。

超音波之信號檢測方式有很多種，如脈波回波法、投補法及透射法等，其中脈波回波法為鋼板超音波檢測最常用之方法(如圖 2 所示)。上述脈波回波法是最常用且重要之方法，大部分規範多指定此方法評估或檢測。其主要利用探頭接收到瑕疵回波或強度減弱甚至消失的背面回波，作為檢測依據。當探頭接收到瑕疵回波時，可利用信號出現時間換算為音束路徑長度，進而計算出瑕疵所在位置，

同時藉由藉由信號之高低、形狀或動態變化，以評估材料之相關特性[2]。

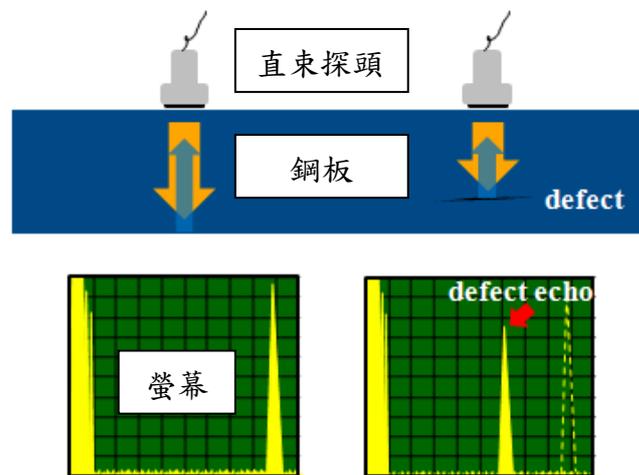


圖 2 鋼板超音波檢測之脈波回波法

2.4 超音波檢測法發展

早期超音波單一晶片檢測法主要使用特定角度傳入試體中，如直束探頭產生之超音波，以垂直進入試體表面。另斜束探頭產生之超音波，以偏斜方向進入試體表面，例如 AWS D1.1 規範之 45、60、70 度[3]。目前由於相位陣列式的發展，促使工業用超音波檢測法在檢測能力與效率皆邁向新里程碑。相位陣列式超音波 (PAUT) 與傳統超音波單一晶片檢測法最主要差異為相位陣列法使用多晶片，並以不同激發與接收之延遲時間，依據豪斯更斯原理產生不同波前行進波式，並藉由波的干涉作用而發射出不同大小、角度、聚焦距離之音束，以進行扇形掃描或線性掃描等檢測方式。其可使超音波檢測速度、瑕疵檢出、訊號判讀以及檢測適用性大幅提升，故 PAUT 將成為未來超音波檢測技術之重點發展方向(如圖 3 所示)。

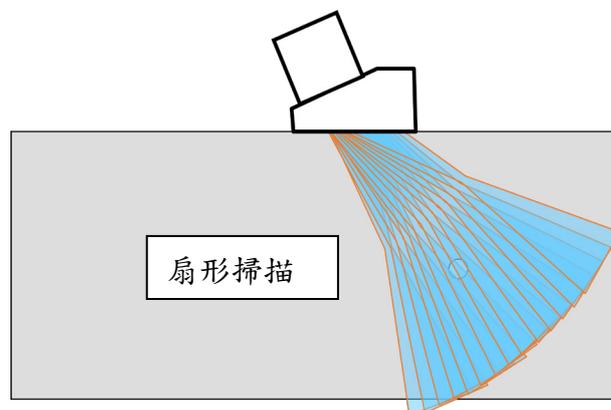


圖 3 陣列式超音波檢測

三、國際鋼板超音波檢測規範

3.1 日本 JIS G0901 規範

日本超音波檢測規範為 JIS G 0901" Classification of Structural Rolled Steel Plate and Wide Flat for Building by Ultrasonic Test"，其儀器校正規範為 JIS Z 2352" Method for Assessing the Overall Performance Characteristics of Ultrasonic Pulse Echo Testing Instrument"。

3.1.1 校正與查核

定期校正項目包括感度範圍(Margin of Sensitivity)、垂直(增幅)線性度 (Vertical Linearity)、時間軸線性度(Linearity of Time Base)、RA 直束鑑別率(RA Straight Beam Resolution)、不感區(Dead Zone)。

檢測儀具系統查核時機包括檢測前、後，或操作時間超過 4 小時者(至少每 4 小時查核一次)，以及更換儀具或更換檢測人員時。其中查核項目包括水平全尺度範圍及螢幕水平線性度、掃描感度與螢幕垂直線性度。

3.1.2 瑕疵分級與評定

瑕疵分級依不同探頭型式分級，以雙晶換能器掃描時，以瑕疵回波最大波高來區分瑕疵等級。使用直束換能器掃描時，以瑕疵回波最大波高來區分瑕疵等級(如表 1 所示)。

表 1 直束換能器掃描時之瑕疵分級

瑕疵等級	分 類
中瑕疵	$50 \% < F1 \leq 100 \%$ (當 $B1 \geq 100 \%$) 或 $50 \% < F1/B1 \leq 100 \%$ (當 $B1 < 100 \%$)
大瑕疵	$F1 > 100 \%$ (當 $B1 \geq 100 \%$) $F1/B1 > 100 \%$ (當 $B1 < 100 \%$) 或 $B1 \leq 50 \%$

瑕疵評定依估積率(Space Factor)，以轉換後之瑕疵單元數目總和除以整個鋼板尺寸單元總數計算。接受基準分為 X、Y 二級(Class X、Class Y)，其瑕疵最大容許如表 2 所示。鋼板瑕疵超過表 2 之容許量時，判定為不合格。

表 2 鋼板品質分級

級別	估積率	局部估積率(%)
X	$\leq 15\%$	無限制
Y	$\leq 7\%$	$\leq 15\%$

3.2 中華民國 CNS 12845 規範

中華民國超音波檢測規範為 CNS 12845" 結構用鋼板超音波直束檢測法"，其儀器校正規範為 CNS 11224" 脈波反射式超音波檢測儀系統評鑑"。

CNS 12845 之校正或評定方式與 JIS G0901 規範相近，但感度設定方式不同。CNS 12845 感度設定是將鋼板正常部之底波高度調整為 80% 垂直全尺度，再依規定進行調整設定。JIS G0901 是將 STB-N1 規塊之平底孔波高，再依規定進行調整設定。

3.3 美國 ASTM 規範

美國超音波檢測規範為 ASTM A435" ASTM A 435/A 435 M, Standard Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Steel Plates."，其儀器校正規範為 ASME Sec. V" ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V, Article 4 and 5." [4]。

3.3.1 校正與查核

定期校正項目超音波檢測儀之螢幕垂直線性與振幅控制線性，其需符合超音波儀器校正(ASME Sec. V)之要求。檢測儀具系統查核時機包括檢測前、後，或操作時間超過 4 小時者(至少每 4 小時查核一次)，以及更換儀具或更換檢測人員時，其中查核項目包括水平全尺度範圍及掃描感度。

3.3.2 瑕疵評定

檢測者須記錄使底面回波完全消失之瑕疵，有關瑕疵範圍是移動換能器遠離瑕疵中心，直到瑕疵回波與底面回波同高，以此時換能器中心點位置為瑕疵邊緣。另接受基準為有任何一個記錄的瑕疵尺寸無法被 3" (75 mm) 或二分之一板厚(取較大者)直徑之圓包圍者，判定為不合格。上述與中華民國與日本超音波檢測規範明顯不同，請業者應有效確認與查核。

3.4 歐盟 EN 規範

歐規鋼板超音波檢測方法是依據 EN 10160: Ultrasonic testing of steel flat product of thickness equal or greater than 6 mm (reflection method)，其檢測設定、瑕疵評估與接受基準如表 3 所示，針對其所使用之超音波檢測設備，並需經過定期系統評鑑，以確保檢測結果之準確性與有效性。

依據 EN12668-3: Non-destructive testing- Characterization and verification of ultrasonic examination equipment 規定，直束超音波檢測設備每週評鑑項目包含：水平線性、垂直線性、靈敏度、訊雜比及脈波寬度。

3.5 四國規範比較

本文介紹國內常用之四種國際鋼板超音波規範，包括日本 JIS、中華民國 CNS、美國 ASTM 與歐盟 EN，以提供工程業界參考與評估。相關檢測設定、瑕疵記錄與合格基準，經整理比較後請參考表 3。

表 3 鋼板厚度 60mm 以內之超音波檢測國際標準比較表

規範	檢測設定	瑕疵記錄	合格基準																	
JIS G0901	感度設定： 將 STB-N1 規塊之平底孔波高，依下表進行調整設定： <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>板厚(mm)</th> <th>波高</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13 ≤ T ≤ 20</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>20 < T ≤ 40</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>40 < T ≤ 60</td> <td>70%</td> </tr> </tbody> </table>	板厚(mm)	波高	13 ≤ T ≤ 20	25%	20 < T ≤ 40	50%	40 < T ≤ 60	70%	以瑕疵波高(F)與底波高(B)評估瑕疵等級： (1)中瑕疵： $50% < F \leq 100%$ (當 $B \geq 100%$ 時) 或 $50% < F/B \leq 100%$ (當 $B < 100%$ 時)	<table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>等級</th> <th>佔積率</th> <th>局部佔積率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X 級</td> <td>≤15%</td> <td>無限制</td> </tr> <tr> <td>Y 級</td> <td>≤7%</td> <td>≤15%</td> </tr> </tbody> </table>	等級	佔積率	局部佔積率	X 級	≤15%	無限制	Y 級	≤7%	≤15%
板厚(mm)	波高																			
13 ≤ T ≤ 20	25%																			
20 < T ≤ 40	50%																			
40 < T ≤ 60	70%																			
等級	佔積率	局部佔積率																		
X 級	≤15%	無限制																		
Y 級	≤7%	≤15%																		
CNS 12845	感度設定： 將鋼板正常部之底波高度調整為 80%垂直全尺度，再依下表進行調整設定： <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>板厚(mm)</th> <th>增益</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13 ≤ T ≤ 20</td> <td>+10 dB</td> </tr> <tr> <td>20 < T ≤ 40</td> <td>+12 dB</td> </tr> <tr> <td>40 < T ≤ 60</td> <td>+14 dB</td> </tr> </tbody> </table>	板厚(mm)	增益	13 ≤ T ≤ 20	+10 dB	20 < T ≤ 40	+12 dB	40 < T ≤ 60	+14 dB	(2)大瑕疵： $F > 100%$ (當 $B \geq 100%$ 時) 或 $F/B > 100%$ (當 $B < 100%$ 時)	<table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>等級</th> <th>瑕疵密度</th> <th>局部瑕疵密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 級</td> <td>≤7%</td> <td>≤15%</td> </tr> <tr> <td>2 級</td> <td>≤15%</td> <td>無限制</td> </tr> </tbody> </table>	等級	瑕疵密度	局部瑕疵密度	1 級	≤7%	≤15%	2 級	≤15%	無限制
板厚(mm)	增益																			
13 ≤ T ≤ 20	+10 dB																			
20 < T ≤ 40	+12 dB																			
40 < T ≤ 60	+14 dB																			
等級	瑕疵密度	局部瑕疵密度																		
1 級	≤7%	≤15%																		
2 級	≤15%	無限制																		
ASTM A435	感度設定： 將鋼板正常部之底波高度調整至 50%~75%垂直全尺度範圍內。	當出現鋼板底波全消失時，以瑕疵波與鋼板底波等高之處為界，評估瑕疵範圍。	瑕疵可被直徑 75mm 或 1/2 板厚之圓形所包含。																	

EN 10160	<p>(1)評估曲線建立： 利用規塊分別建立平面與ϕ5mm平底孔DAC曲線，並比對鋼板正常部之底波高度與規塊平面DAC曲線之增益差異，將ϕ5mm平底孔DAC曲線作對等調整成為評估曲線。</p> <p>(2)感度設定： 將鋼板正常部之底波高度調整至80%~100%全尺度範圍內。</p>	<p>瑕疵波高達評估曲線以上時，以降6dB法評估瑕疵範圍。</p>	雙方協議接受等級，包含內部S ₀ ~S ₃ 與邊緣E ₀ ~E ₄ 之合格條件如下：																																																						
			<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">等級</th> <th rowspan="2">單一瑕疵面積 (mm²)</th> <th colspan="2">群集缺陷</th> </tr> <tr> <th>採計瑕疵面積 (mm²)</th> <th>密度 (個/1mx1m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S₀</td> <td>≤5000</td> <td>>1000</td> <td>≤20</td> </tr> <tr> <td>S₁</td> <td>≤1000</td> <td>>100</td> <td>≤15</td> </tr> <tr> <td>S₂</td> <td>≤100</td> <td>>50</td> <td>≤10</td> </tr> <tr> <td>S₃</td> <td>≤50</td> <td>>20</td> <td>≤10</td> </tr> </tbody> </table>	等級	單一瑕疵面積 (mm ²)	群集缺陷		採計瑕疵面積 (mm ²)	密度 (個/1mx1m)	S ₀	≤5000	>1000	≤20	S ₁	≤1000	>100	≤15	S ₂	≤100	>50	≤10	S ₃	≤50	>20	≤10	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">等級</th> <th colspan="2">單一瑕疵</th> <th colspan="2">群集瑕疵</th> </tr> <tr> <th>長度 (mm)</th> <th>面積 (mm²)</th> <th>採計瑕疵長度 (mm)</th> <th>密度 (個/1m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E₀</td> <td>≤100</td> <td>≤2000</td> <td>>50</td> <td>≤6</td> </tr> <tr> <td>E₁</td> <td>≤50</td> <td>≤1000</td> <td>>25</td> <td>≤5</td> </tr> <tr> <td>E₂</td> <td>≤40</td> <td>≤500</td> <td>>20</td> <td>≤4</td> </tr> <tr> <td>E₃</td> <td>≤30</td> <td>≤100</td> <td>>15</td> <td>≤3</td> </tr> <tr> <td>E₄</td> <td>≤20</td> <td>≤50</td> <td>>10</td> <td>≤2</td> </tr> </tbody> </table>	等級	單一瑕疵		群集瑕疵		長度 (mm)	面積 (mm ²)	採計瑕疵長度 (mm)	密度 (個/1m)	E ₀	≤100	≤2000	>50	≤6	E ₁	≤50	≤1000	>25	≤5	E ₂	≤40	≤500	>20	≤4	E ₃	≤30	≤100	>15	≤3	E ₄	≤20
等級	單一瑕疵面積 (mm ²)	群集缺陷																																																							
		採計瑕疵面積 (mm ²)	密度 (個/1mx1m)																																																						
S ₀	≤5000	>1000	≤20																																																						
S ₁	≤1000	>100	≤15																																																						
S ₂	≤100	>50	≤10																																																						
S ₃	≤50	>20	≤10																																																						
等級	單一瑕疵		群集瑕疵																																																						
	長度 (mm)	面積 (mm ²)	採計瑕疵長度 (mm)	密度 (個/1m)																																																					
E ₀	≤100	≤2000	>50	≤6																																																					
E ₁	≤50	≤1000	>25	≤5																																																					
E ₂	≤40	≤500	>20	≤4																																																					
E ₃	≤30	≤100	>15	≤3																																																					
E ₄	≤20	≤50	>10	≤2																																																					

4. 結論與建議

鋼結構技術大致分為設計、施工與檢驗，上述都與鋼材直接相關。其中鋼材規範種類較多，同時超音波檢測規範差異頗大，因此建議業者應謹慎查核相關要求，以滿足設計需求。

5. 參考資料

- [1]吳學文、黃啟貞、陳必貫、葉競榮，超音波檢測法（初級），中華民國非破壞檢測協會（1988）。
- [2]葉競榮、徐鴻發，超音波檢測法（中級），中華民國非破壞檢測協會，1990年。
- [3]AWS D1 Committee, “Structural Welding Code-Steel”, American Welding Society (2008).
- [4]ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, “ASME Sec. V Nondestructive Examination”, American Society of Mechanical Engineers (1998).