

超音波探傷試験における斜角探触子の選定が溶接欠陥の検出性に及ぼす影響

正会員 ○笠原基弘*1 正会員 廣重隆明*2 正会員 横田和伸*3 正会員 服部和徳*4
正会員 中野達也*5 正会員 嶋 徹*6 正会員 中込忠男*7

超音波探傷試験 斜角探触子 周波数 屈折角 溶接欠陥 開先角度

1. はじめに

日本建築学会「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説」2008(学会UT規準)では、周波数5MHzまたは2MHz、屈折角70度または65度が標準となっているが、JIS Z 3060:2015「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」では周波数は2MHz以上5MHz以下、屈折角は45度、60度、65度または70度と改定された。

そこで、斜角探触子の選定が溶接欠陥の検出性に影響する度合いを確認することを目的として実験を行った。

2. 溶接試験体

溶接試験体は、鋼種がSN490B、板厚は19mm及び40mm、レ形溶接の壁側及び開先面側に発生する溶込不良(IP)及び融合不良(LF)を模して鋼片を挿入して作製した。作製した溶接試験体の形状を図2.1に示す。開先角度は30度及び35度とした。試験体は欠陥高さは $h_m=5\sim 10\text{mm}$ を想定し、5枚、合計10体を作製した。切断後のマクロ試験による欠陥断面の例を図2.2に示す。欠陥高さは両端部の平均値とした。

3. 使用機器及び探傷条件

使用した探傷器及び探触子を表3.1、探傷条件を表3.2に示す。屈折角60度は横波の往復反射率が低下し、溶込不良(IP)の検出性が低下するため実施していない。

4. 実験結果

実験結果を表4.1に示す。探触子は周波数毎に略記した。超音波探傷試験(UT)では、図4.1に示すように欠陥面に垂直に入射するほど欠陥からの反射エコー高さ H_o が高くなる

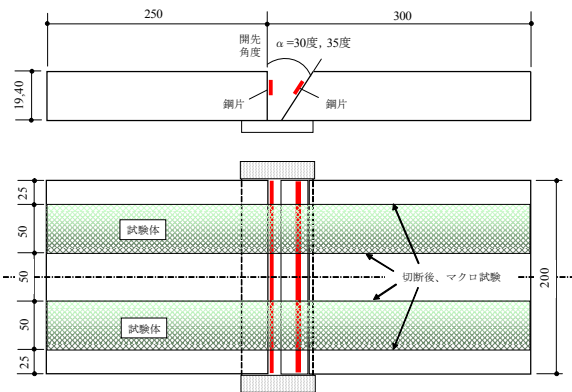


図 2.1 溶接試験体の形状



図 2.2 マクロ試験による欠陥断面

表 3.1 探傷器及び探触子

探傷器	汎用デジタル探傷器 UI-S7			
	3M5×10A45	3M5×10A65	2M14×14A65	2M14×14A70
探触子	3M5×10A45	3M5×10A65	3M10×10A65	3M10×10A70
	4M8×A45		4M8×9A65	4M8×9A70
	5M5×10A45	5M5×10A65	5M10×10A65	5M10×10A70

表 3.2 探傷条件

DAC	STB-A21-φ4×4	測定範囲		
探傷感度	STB-A21-φ4×4を基準	45度	65度	70度
		U線(Ho+6dB)	M線(Ho-6dB)	H線(Ho±0dB)
探傷方法	直射法及び一回反射法	接触媒質:グリセリンペースト	検出レベル:L線(Ho-12dB)	

表 4.1 探傷結果

板厚 (mm)	想定 欠陥	開先 角度	欠陥 高さ (mm)	探傷 方法	測定範囲 (単位: H線 ±dB)															
					2MHz				3MHz				4MHz				5MHz			
19	LF	30度	7.5	直射	17.0	12.0	1.0	19.0	14.5	12.5	0.0	21.0	9.0	-3.5	10.0	7.5	4.5			
				反射	13.0	9.5	-1.5	18.5	16.0	3.5	1.0	20.0	4.0	-9.0	7.0	6.5	-3.0			
			7.8	直射	15.0	13.0	-2.5	19.0	13.5	1.5	-8.0	19.0	5.0	-5.0	9.0	5.5	2.5			
		反射	15.0	11.5	-2.5	20.0	13.5	6.0	-6.0	19.0	7.0	-11.5	7.5	6.5	-5.0					
		35度	5.0	直射	11.0	7.0	7.0	13.0	7.0	-1.0	-1.0	13.0	-3.0	-4.0	3.0	-2.0	-7.5			
				反射	12.0	1.0	7.0	12.0	1.5	-6.0	-3.0	8.0	-2.0	-6.0	-1.0	-3.0	-9.0			
	9.9		直射	0.0	3.0	8.5	13.0	1.5	6.5	-8.0	10.0	7.0	-0.5	2.0	1.5	-1.5				
	反射	13.0	2.0	6.0	10.5	2.5	-2.5	-6.0	14.0	7.0	-5.0	-6.0	-4.0	-8.5						
	40	LF	30度	1.5	直射	15.0	9.0	-3.5	13.0	11.5	4.5	0.0	15.0	2.5	-11.0	5.0	8.0	-5.0		
					反射	17.0	15.0	-4.0	12.0	12.0	8.5	-1.0	17.0	8.0	-9.0	8.0	9.0	-3.0		
				12.3	直射	18.0	8.5	-3.0	20.0	13.5	5.0	-3.0	19.0	8.0	-13.0	8.0	4.5	-6.5		
			反射	24.0	10.5	-4.0	23.0	19.0	2.5	-3.0	21.0	2.0	-15.0	10.0	6.0	-9.0				
35度			8.0	直射	2.5	-0.5	5.0	11.5	-6.0	-6.0	3.0	-5.0	-5.0	-5.5	-3.0	-6.0	-12.5			
				反射	11.5	5.0	3.0	12.0	-4.0	2.5	6.0	1.0	-5.0	-8.0	-6.0	-7.0	-9.0			
		12.5	直射	7.0	-1.5	5.5	11.5	-1.0	-2.5	2.0	0.0	-4.0	-7.5	-8.0	-4.0	-13.0				
反射		9.0	2.0	1.0	13.0	0.0	0.5	-2.0	5.0	-4.5	-10.0	-7.0	-8.0	-15.0						
IP		35度	1.7	直射	-3.0	0.5	-14.5	-3.0	-9.0	0.0	-10.0	-5.0	-5.0	-10.0	-9.0	-5.5	-8.0			
				反射	7.5	9.0	-6.5	1.0	-6.0	-4.0	-1.0	1.0	7.0	-12.5	-3.0	-1.0	-11.0			
			6.5	直射	-4.5	-5.5	-7.0	-6.0	-8.5	-7.0	-6.0	-6.0	-7.0	-13.0	-10.5	-9.0	-15.0			
		反射	6.0	-2.0	-5.5	5.5	-7.0	-8.0	-13.0	1.5	7.0	-18.0	-3.5	-5.0	-18.0					

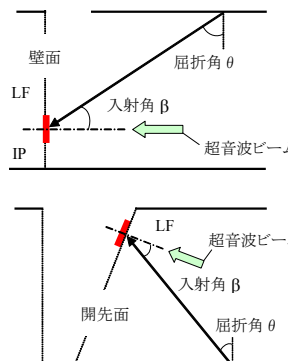


図 4.1 欠陥面への入射角と屈折角

表 4.2 欠陥面への入射角

検出対象欠陥	壁側の溶込不良(IP)融合不良(LF)		開先面側の融合不良(LF)	
	開先角度	30度	35度	
欠陥面への入射角 beta				
屈折角 theta	45度	45度	15度	10度
	65度	25度	5度	10度
	70度	20度	10度	15度

が、屈折角によって欠陥面への入射角 β が異なることから、欠陥の傾きにより検出性に差異が生じる。欠陥面への入射角 β が大きくなるほどエコー高さ H_o は低下するが、その程度は探触子寸法と周波数との積が大きくなればなるほど低下する。

各検出対象欠陥と各屈折角における欠陥面への入射角 β は表4.2ようになる。入射角 $\beta=5\sim 45$ 度における欠陥高さ h_m とエコー高さ H_o の関係を図4.2から図4.7に示す。なお、図中において探触子の表記は、高さ方向の振動子寸法だけを記載している。

Influence of selection of angle probe in ultrasonic testing on detectability of weld defect

*1 Kasahara Motohiro *2 Hiroshige Takaaki *3 Yokota Kazunobu *4 Hattori Kazunori
*5 Nakano Tatsuya *6 Shima Toru *7 Nakagomi Tadao

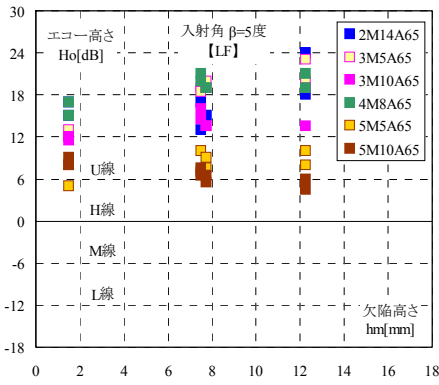


図 4.2 欠陥高さとエコー高さ ($\beta = 5$ 度)

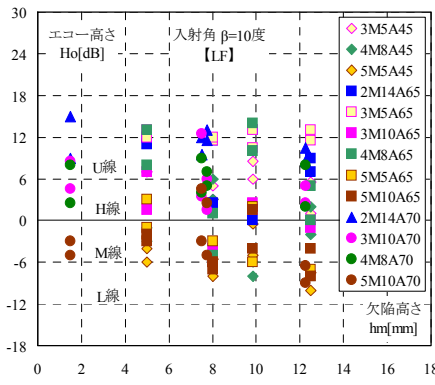


図 4.3 欠陥高さとエコー高さ ($\beta = 10$ 度)

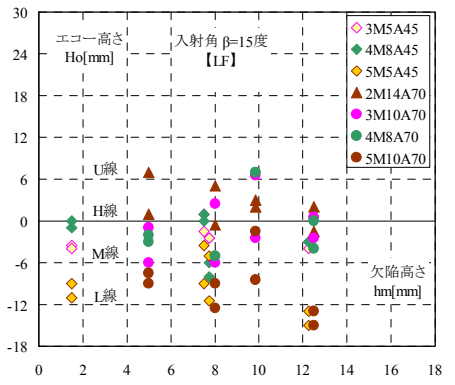


図 4.4 欠陥高さとエコー高さ ($\beta = 15$ 度)

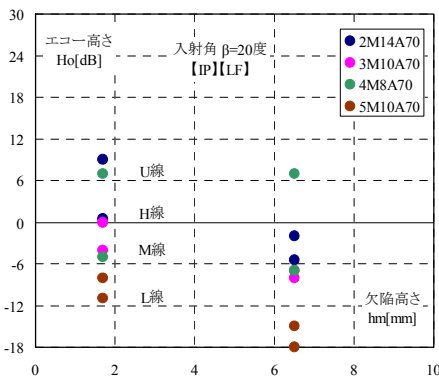


図 4.5 欠陥高さとエコー高さ ($\beta = 20$ 度)

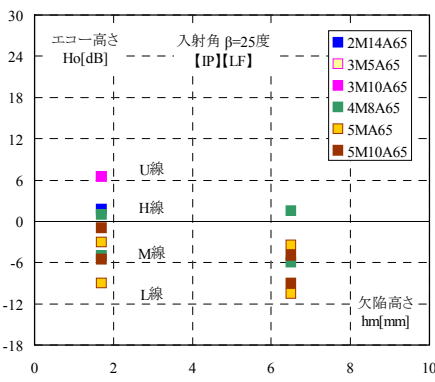


図 4.6 欠陥高さとエコー高さ ($\beta = 25$ 度)

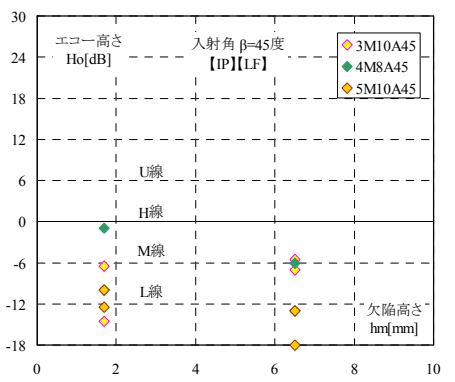


図 4.7 欠陥高さとエコー高さ ($\beta = 45$ 度)

4.1 入射角が $\beta = 5$ 度の場合

図 4.2 は開先角度 $\alpha = 30$ 度で、屈折角が 65 度を用いた場合の開先面の融合不良 (LF) を検出する場合である。何れの探触子でもエコー高さ H_o は非常に高くなっている。

4.2 入射角が $\beta = 10$ 度の場合

図 4.3 は開先角度 $\alpha = 30$ 度に屈折角 70 度、または開先角度 $\alpha = 30$ 度に屈折角 45 度及び屈折角が 65 度を用いた場合に、開先面の融合不良 (LF) を検出する場合である。何れの探触子でも検出レベルを超えているが、周波数が低い方がエコー高さ H_o が高いことがわかる。

4.3 入射角が $\beta = 15$ 度の場合

図 4.4 は開先角度 $\alpha = 30$ 度に屈折角 45 度、または開先角度 $\alpha = 35$ 度に屈折角 70 度を用いた場合に、開先面の融合不良 (LF) を検出する場合である。欠陥高さが大きい場合、周波数が 5MHz で屈折角が 45 度及び 70 度ではエコー高さ H_o が低下し検出できなくなる。

4.4 入射角が $\beta = 20$ 度の場合

図 4.5 は壁側に生じた I 形の溶込不良 (IP) または融合不良 (LF) を屈折角 70 度で検出する場合である。周波数が 5MHz と高くなるとエコー高さ H_o が低くなり、欠陥高さが大きくなると L 検出レベルを超えず検出できていない。

4.5 入射角が $\beta = 25$ 度の場合

図 4.6 は壁側に生じた I 形の溶込不良 (IP) または融合不良 (LF) を屈折角 65 度で検出する場合である。何れの探触子でも検出はできているが、周波数が高く、振動子寸法が大きくなる

ほどエコー高さ H_o が低くなり、欠陥高さが大きくなるほど検出できない可能性が高くなる。

4.6 入射角が $\beta = 45$ 度の場合

図 4.7 は壁側に生じた I 形の溶込不良 (IP) または融合不良 (LF) を屈折角 45 度で検出する場合である。欠陥高さが大きくなるほどエコー高さ H_o が低くなり、周波数が 3MHz または 5MHz の場合にその傾向が強い。

5. まとめ

斜角探触子の周波数及び屈折角が建築溶接部で対象となる溶接欠陥の検出性に及ぼす影響を確認した。

- ① 欠陥面への入射角が 5 度以内と小さい場合には、エコー高さは非常に大きくなる。
- ② 入射角が大きいかほどエコー高さは低くなり、その傾向は欠陥高さが大きいほど顕著になる。
- ③ 入射角 (屈折角) に対して欠陥面と大きな傾きを有する欠陥を検出する場合には、周波数を 3 ~ 4MHz と低めかつ振動子寸法も小さめの探触子を使用すべきである。
- ④ I 形状を有する壁側の溶込不良及び融合不良を検出する場合には、周波数 3MHz 及び 5MHz で屈折角 45 度及び周波数 5MHz で屈折角 70 度の探触子は適さない。
- ⑤ 欠陥高さが大きい壁側の溶込不良及び融合不良、開先面の融合不良を検出する場合の屈折角は 65 度が最も適していると考えられる。

謝辞

本研究にあたり、日本建築学会 鉄骨非破壊検査小委員会 (主査: 原田幸博 (千葉大学)) の委員各位よりご意見・ご助言を頂いた。ここに記して謝意を表します。

*1 (有)アクトエーションハート *2 (株)竹中工務店
 *3 (株)NTTファシリティーズ *4 (一財)ベターリビング
 *5 宇都宮大学 *6 戸田建設(株) *7 信州大学

*1 Act-Creation-Heart Co.,Ltd. *2 Takenaka Corporation
 *3 NTT Facilities Inc. *4 Center for Better Living
 *5 Utsunomiya University *6 TODA Corporation *7 Shinshu University