

溶接欠陥の検出性に対する斜角探触子の選定に関する理論的検証

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 板谷俊臣^{*7} 正会員 中込忠男^{*8}

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

溶接継手の内部品質を確保するため、超音波探傷試験(UT)は必要不可欠であるが、使用する斜角探触子の周波数・振動子寸法・屈折角によって溶接欠陥の検出性は異なる。周波数は、アメリカでは2MHz、ドイツでは4MHzが主に使用され、ドイツを参考に日本では5MHzが主流となった。

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」2018(以下、学会 UT 規準と略)では、周波数が3MHzも追加されたが、各々の検出性は検証されていない。

そこで、本報では斜角探触子における溶接欠陥の検出性による差異を理論的に検証した。

2. 溶接欠陥と超音波ビームの入射角

建築で多用されている裏当て金付きレ形開先において、発生が予想される欠陥に対して使用探触子における屈折角 θ と超音波ビームの入射角 β との関係を図2.1に、開先角度と屈折角における欠陥面へ入射角との関係を表2.1に示す。

3. 斜角探触子

2018年に改定された学会 UT 規準では、周波数 f が5MHz, 2MHzに加え、その中間である3MHzが追加され、振動子寸法が5~20mm、屈折角 θ が45度、65度、70度となるため、実際に使用が予想される探触子の形式を図3.1に示す。

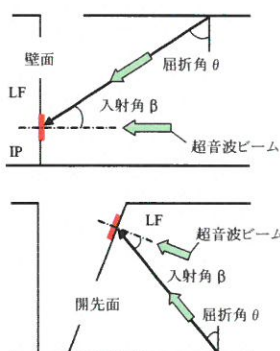


図2.1 欠陥面への入射角と屈折角

表2.1 欠陥面への入射角

検出対象欠陥		壁面の 溶込不良 (IP) 融合不良 (LF)		開先面の 融合不良 (LF)	
開 先 角 度				30度	35度
		欠 陥 面 へ の 入 射 角 β			
屈 折 角 θ	45度	45度	15度	10度	
	65度	25度	5度	10度	
	70度	20度	10度	15度	

表3.1 斜角探触子の形式

		2M14×14A45	2M20×20A45
3M5×10A45	3M10×10A45	3M14×14A45	
	4M 8×9A45		
5M5×10A45	5M10×10A45		
			2M20×20A65
3M5×10A65	3M10×10A65	3M14×14A65	
	4M 8×9A65		
5M5×10A65	5M10×10A65	5M14×14A65	
			2M20×20A70
	3M10×10A70	3M14×14A70	
	4M 8×9A70		
	5M10×10A70		

4. 探傷条件の設定

学会 UT 規準において、板厚が75mm以下ではA2系 STB の $\phi 4 \times 4$ を用いてエコー高さ区分線の作成及び探傷感度の調整が行われるため、本報では表4.1に示す探傷条件とした。

表4.1 探触子における探傷条件の設定

エコー高さ 区分線の作成	屈折角における探傷感度の調整		
	45度	65度	70度
A2系STB- $\phi 4 \times 4$	U線 (Ho+6dB)	M線 (Ho-6dB)	H線 (Ho+0dB)

5. 使用探触子におけるエコー高さ

UTでは、欠陥面へ超音波ビームが垂直に入射するほどエコー高さ H_o が高く、図5.1に示すように入射角がずれるほどエコー高さが低くなり、欠陥を検出できなくなるため、面状欠陥におけるエコー高さ H_o を(5.1)式及び(5.2)式により算出した¹⁾。

$$Ho[dB] = 20 \cdot \log \{ (\gamma_f \cdot \delta_f / \gamma_s \cdot \delta_s) (\sin Z / Z)^4 \} \quad \cdots (5.1)$$

$$Z = 1.414 \cdot D \cdot \pi \cdot f \cdot h_b \cdot \sin \beta \cdot C_s \cdot (D + 1.414 \cdot h_b) \quad \cdots (5.2)$$

ここで、

γ_f : 欠陥の形状反射率、 γ_s : 標準穴の形状反射率、

δ_f : 欠陥の界面反射率、 δ_s : 欠陥の界面反射率、

h_b : 欠陥高さ、 C_s : 横波音速、 D : 見かけの振動子寸法である。算出したエコー高さの一例を図5.2に示す。

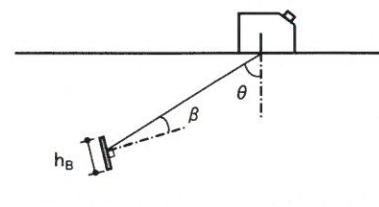


図5.1 欠陥面への超音波ビームの入射角のずれ

6. 各探触子における欠陥の検出性

学会 UT 規準における欠陥の評価は、エコー高さがL線 ($H_o - 12dB$) を越えるものを対象とし、エコー高さの領域と欠陥評価長さを用いており、欠陥高さを5mmと想定している。

そのため、各探触子において、裏当て金付きレ形開先における壁面の溶接不良IP及び融合不良LF、開先角度が35度及び30度の場合の開先面の融合不良LFを対象とした場合の検出可能な欠陥高さの上限値を表6.1に整理した。

6.1 壁面の溶接不良及び融合不良

何れの探触子においても、欠陥面に対する超音波ビームの入射角 $\beta \geq 20$ 度となり、欠陥先端反射となるため、L検出レベルを越えないか、または検出可能な欠陥高さの上限値が3mm以下となる。したがって、エコー高さの領域により欠陥高さを評価することはできない。

Theoretical verification of the selection of angle probe for ultrasonic testing for the detectability of welding defects

*1 Kasahara Motohiro *2 Hiroshige Takaaki *3 Yokota Kazunobu *4 Hattori Kazunori
*5 Nakano Tatsuya *6 Shima Toru *7 Itatani Toshiomi *8 Nakagomi Tadao

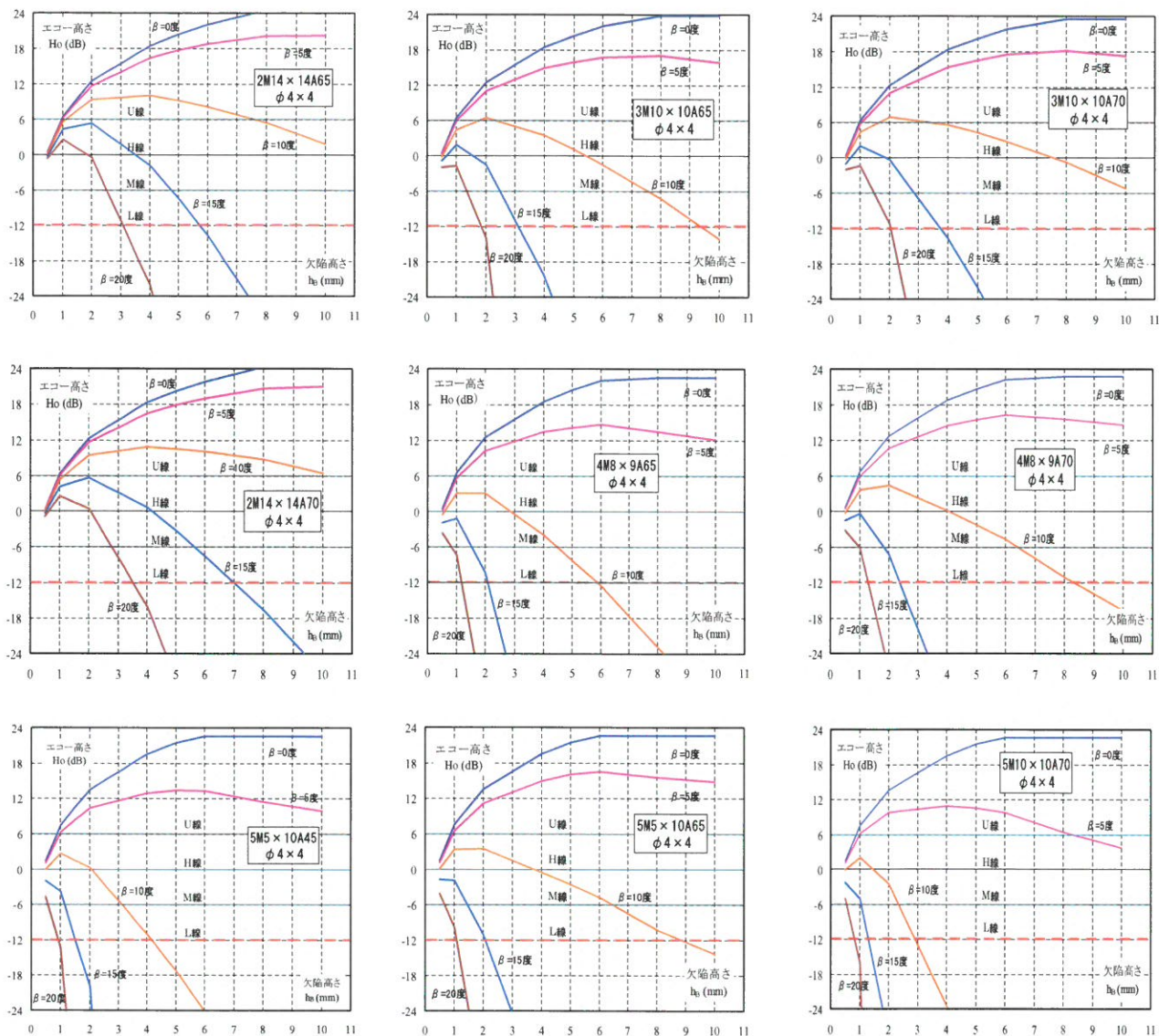


図 5.2 欠陥高さに対する超音波ビームの入射角によるエコー高さ（ビーム路程:W=100mm）

6.2 開先面の融合不良

探触子の周波数・振動子寸法・屈折角によって、開先面の融合不良を検出できる欠陥高さが異なり、周波数が高いほど、振動子寸法が大きいほど検出性が低くなる。

7. まとめ

裏当て金付きレ形開先に発生が予想される溶接欠陥の検出性について、使用する斜角探触子における周波数・振動子寸法・

屈折角について理論的な検証を行った結果、使用する探触子によって著しく欠陥評価が異なることから、検出対象欠陥及び開先角度等を考慮し確実に欠陥を検出するためには、適正に欠陥評価ができる斜角探触子を選定する必要がある。

【参考文献】

- 1) 仙田・廣瀬・裏垣：傾きを持った平面上欠陥の傾きについて
：非破壊検査 vol.23 No.2 p.92 1978

表 6.1 各探触子における検出な欠陥高さの上限値

×：検出不可 ○：制限無し 単位：(mm)

検出対象欠陥			探 触 子 の 形 式																							
			2MHz						3MHz						4MHz			5MHz								
			14×14			20×20			5×10		10×10		14×14		8×9	5×10		10×10								
			45度	65度	70度	45度	65度	70度	45度	65度	45度	65度	70度	45度	65度	70度	45度	65度	70度	45度	65度	45度	65度	70度		
壁 面	溶込不良 (1P) 融合不良 (LF)	×	≦2	≦3	×	≦1	≦2	×	≦2	×	≦1	≦2	×	≦1	≦1	×	≦1	≦1	×	≦0.5	×	≦1	≦0.5			
開先面	開先角度 (LF)	30度	≦4	○	≦10	≦3	○	≦10	≦6	○	≦2	○	≦10	≦2	○	≦6	≦1	○	≦8	≦1	○	≦1	≦10	≦2		
		35度	≦10	≦10	≦7	≦7	≦9	≦4	○	○	≦6	≦9	≦3	≦4	≦5	≦2	≦4	≦6	≦2	≦4	≦9	≦2	≦2	≦1		

*1 (有)アクエーションハート *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 永井製作所 *8 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 Itatani Toshiomi *8 Shinshu University