

# 狭開先溶接部のタンデム探傷用ハンディホルダーの開発

倉持 貢  
藤盛 紀明

## § 1. まえがき

最近、極厚部材の現場溶接法として開先断面積の少ない狭開先溶接法（ナローギャップ溶接）が開発、実用化されつつある。この溶接法は省力化、高能率化をめざすものであり、材料の節減や工期の短縮など多くのメリットをもたらすものと期待される一方、その工事例は少なく、かつ、未解決な問題点も少なくない。その1つが検査方法である。

われわれは、先に「建築鉄骨溶接部用超音波自動探傷装置」の開発を進めてきたが、ここに狭開先溶接部のタンデム探傷用ハンディホルダー（以下、タンデム探傷装置という）を開発したので報告する。

## § 2. タンデム探傷法について

### 2.1 狭開先溶接法の概要とタンデム探傷の原理

建築鉄骨の現場溶接法は、これまで手溶接、ノンガス半自動溶接、および炭酸ガス半自動溶接が用いられてきた。これらの溶接には一般に角度の大きい開先加工を行なうため、最近の極厚部材の溶接においては溶着金属の著しい増大などの問題が生じてきた。この問題に対し鉄骨業者および溶接機器メーカー各社は、I型開先または鋭角度のレ型開先のまま溶接できる自動溶接法、すなわち狭開先溶接法の開発を急いでいる。

開先形状の相異を 図-1 に示す。開先加工を行なった従来法を破線で、狭開先溶接法の開先を実線で示す。

この図から分るように、狭開先溶接では開先断面積を非常に減少することができる。しかも、その溶接金属量の差は  $\Delta V \div \frac{1}{2} l^2 \cdot \tan \theta$  で示され、板厚が厚い場合には非常に増加するものである。

この溶接法で最も発生頻度の高い欠陥は、融合不良や溶込み不良であり、その他にブローホール、割れなどがある。これらの中で最も特徴のある欠陥は、 図-2 に示

すような開先面に沿って発生する融合不良である。

溶接部の検査は斜角一掃触子法（以下、斜角一掃法という）による方法が一般的であるが、一般の厚板溶接部の場合には、さらに複数の屈折角の併用が規定されている<sup>1)</sup>（ 図-3 参照）。この意味は、欠陥検出率をさらに高めるためということができる。しかし、開先面に沿って発生する融合不良のように反射指向性の強い欠陥は、複数の屈折角を併用しても斜角一掃法では、 図-4 のように鏡面反射現象を生じることが考えられ、検出不可能となるか、もしくは非常に過小評価する危険性が多い。この現象は屈折角  $45^\circ$  で顕著にあらわれるため、厚板用と

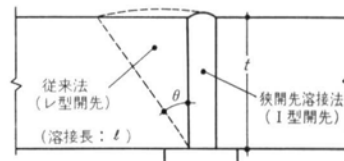


図-1 従来法と狭開先溶接法との開先形状の相違

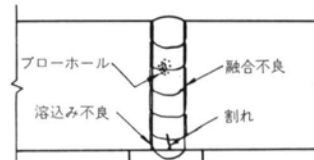


図-2 欠陥種類と発生位置

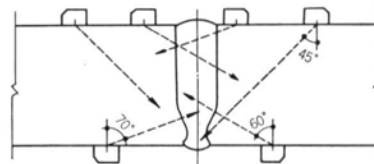


図-3 斜角一掃法による厚板溶接部の探傷方法

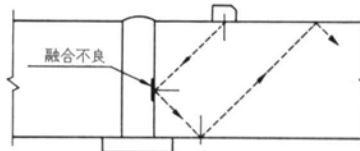
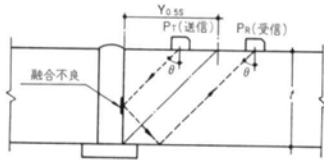
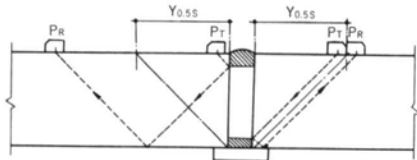


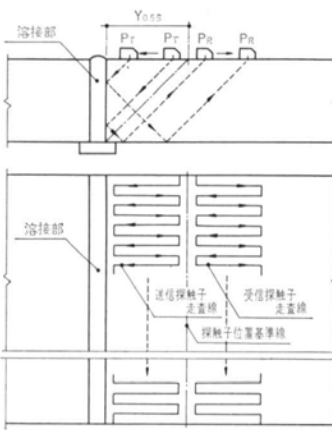
図-4 斜角一掃法の場合の鏡面反射



図一五 タンデム探傷の原理



図一六 タンデム探傷におけるデッドゾーン



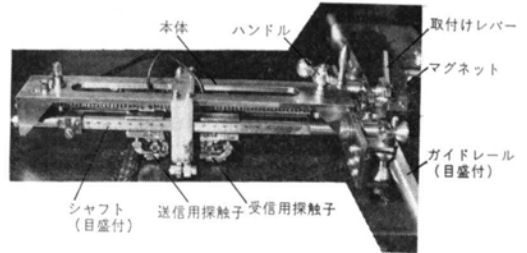
図一七 タンデム探傷における走査線

して屈折角  $45^\circ$  の使用を規定している建築学会規準は問題である。

一方、タンデム法は図一五のように超音波の送信、受信を2個の探触子が分割して担当するため、この種の欠陥の検出能率が非常によい。しかも、送・受信探触子の位置関係は、屈折角  $(\theta)$  と板厚  $(t)$  が決まれば単純な幾何学によって設定でき、探触子を前後に走査することにより板厚の上下方向に存在する欠陥を検出することができる。したがって、タンデム探傷装置は常にビーム軸をとらえるように配置することが重要であり、しかもこの関係を満足させつつ探触子を連動させる装置が必要である。

ただし、タンデム法は、2個の斜角探触子を溶接部の片側で前後に配列したものであるため、図一六に示すように試験材の上下端にデッドゾーンが生じる。この範囲は溶接部への接近限界距離や探触子の外形寸法によって決まるものであり、装置の開発や実作業においては十分考慮しなければならない。

また図一五のように、開先面からの反射によってビー



写真一 1 タンデム探傷用ハンディーホルダー

名称	項目	仕様
探傷器		ポータブル探傷器
タンデム探傷装置	重量	約3kg
	外形寸法	70mm(高さ)×60mm(幅)×400mm(長さ)
	探触子	5Z5×10A45, 2個
	前後走査駆動	チェーン
	前後走査範囲	100mm(板厚100mmまで探傷可能)
	左右走査駆動	ガイドレール上を平行走査
	左右走査範囲	ガイドレール長さにより可変
ガイドレール	長さ	長さ: 300mm, 400mm, 500mm, 600mm, 800mm(目盛付き)
固定用マグネット	重量	約2.5kg (2個)

表一 1 タンデム探傷装置の構成および仕様

ム軸をとらえるように探触子位置を設定した場合、溶着金属内部の欠陥はこのビーム軸からはずれることになり、その検出能力は急激に低下する。

このような意味から、狭開先溶接部の検査は、開先面に発生する融合不良の検出を目的としたタンデム法と溶着金属内部に発生する欠陥、および表面近傍の融合不良の検出を目的とした斜角一探法の併用が有効である。

## 2.2 タンデム探傷装置の概要

本装置を写真一1に示す。また本装置の構成および仕様を表一1に示す。探触子の振動子寸法は試験材の上、下端のデッドゾーンを少なくする目的から5mm(高さ)×10mm(幅)とした。操作は以下のようである。

本装置の試験材への取付けは永久磁石によって行なわれる。ガイドレールと本体との着脱は、取付けレバーの切替で容易に可能である。ハンドルを回転させると、チェーンに連結した探触子が前後に連動し、図一7に示すような方形走査を繰返しつつ溶接部全域を探傷する。探触子の左右方向の位置はガイドレール上の目盛から直読できる。さらにまた、探触子溶接部距離もシャフト上の目盛から直読できる。

	タンデム法	斜角一探触子法																																																																						
		屈折角 60°	屈折角 70°																																																																					
使用規格	建築学会「鋼構建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説」および JIS Z 3060-1975「鋼溶接部の超音波探傷試験方法および試験結果の等級分類方法」を準用する。																																																																							
探傷器	三菱電機製 FD-210	三菱電機製 FD-210P	三菱電機製 FD-210P																																																																					
探触子	東京計器製 5Z5×10A45 2個	KGK, 5Z10×10A60	KGK, 5Z10×10A70																																																																					
接触媒質	グリセリン 100%	グリセリン 100%	グリセリン 100%																																																																					
探傷方法	上,下の開先面を上柱および下柱の片面, 両側から探傷	片面, 両側で直射法および1回反射法で探傷	片面, 両側で直射法のみで探傷																																																																					
探傷感度	RB-A5の標準穴(12φ)をわらい, そのエコー高さをCRT80%にする。	STB-A2の4φ×4mmの標準穴のエコー高さをH線に合わせる。																																																																						
検出レベル	上記探傷感度で, 目盛板の40%をこえるエコーを欠陥とする。	M検出レベル																																																																						
欠陥指示長さの測定	基準感度で若干の前後走査をしながら左右走査を行ない, エコー高さが20%をこえる範囲の探触子移動距離とする。	基準感度で, 若干の前後走査をしながら左右走査を行ない, エコー高さがL線を越える範囲の探触子移動距離とする。																																																																						
欠陥の評価点	<ul style="list-style-type: none"> <li>タンデム法で得られるエコー高さは, すべて領域IIとし, 右表による。</li> <li>斜角一探法は右表にする。</li> </ul>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>領域</th> <th>II</th> <th>III</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>評価点</td> <td>18-75</td> <td>18-75</td> </tr> <tr> <td>1点</td> <td>t/3以下</td> <td>t/4以下</td> </tr> <tr> <td>2点</td> <td>2t/3以下</td> <td>t/2以下</td> </tr> <tr> <td>3点</td> <td>t以下</td> <td>3t/4以下</td> </tr> <tr> <td>4点</td> <td colspan="2">3点を越えるもの</td> </tr> </tbody> </table>		領域	II	III	評価点	18-75	18-75	1点	t/3以下	t/4以下	2点	2t/3以下	t/2以下	3点	t以下	3t/4以下	4点	3点を越えるもの																																																				
領域	II	III																																																																						
評価点	18-75	18-75																																																																						
1点	t/3以下	t/4以下																																																																						
2点	2t/3以下	t/2以下																																																																						
3点	t以下	3t/4以下																																																																						
4点	3点を越えるもの																																																																							
合否の判定	<ul style="list-style-type: none"> <li>各探傷法とも以下による。</li> <li>欠陥の評価点にもとずき, 4点を不合格とする。但し3点の欠陥を含む2個以上の欠陥のある場合には, 欠陥の最も密な300mmをとり, その範囲内の合計点が6点以上の場合も不合格とする。</li> </ul>																																																																							
検査数	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th colspan="3">I区</th> <th colspan="3">II区</th> </tr> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接数</td> <td>92</td> <td>59</td> <td>152</td> <td>92</td> <td>59</td> <td>152</td> </tr> <tr> <td>検査数</td> <td>92</td> <td>59</td> <td>152</td> <td>92</td> <td>59</td> <td>104</td> </tr> <tr> <td>抜取率</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>68.4%</td> </tr> </tbody> </table>	項目	I区			II区				A	B	C	A	B	C	溶接数	92	59	152	92	59	152	検査数	92	59	152	92	59	104	抜取率	100%	100%	100%	100%	100%	68.4%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th colspan="3">I区</th> <th colspan="3">II区</th> </tr> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接数</td> <td>92</td> <td>59</td> <td>152</td> <td>92</td> <td>59</td> <td>152</td> </tr> <tr> <td>検査数</td> <td>92</td> <td>59</td> <td>152</td> <td>92</td> <td>59</td> <td>152</td> </tr> <tr> <td>抜取率</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>	項目	I区			II区				A	B	C	A	B	C	溶接数	92	59	152	92	59	152	検査数	92	59	152	92	59	152	抜取率	100%	100%	100%	100%	100%	100%
項目	I区			II区																																																																				
	A	B	C	A	B	C																																																																		
溶接数	92	59	152	92	59	152																																																																		
検査数	92	59	152	92	59	104																																																																		
抜取率	100%	100%	100%	100%	100%	68.4%																																																																		
項目	I区			II区																																																																				
	A	B	C	A	B	C																																																																		
溶接数	92	59	152	92	59	152																																																																		
検査数	92	59	152	92	59	152																																																																		
抜取率	100%	100%	100%	100%	100%	100%																																																																		

表-2 検査の概要

### 2.3 本装置の特長

本装置の特長は以下のようである。

- ポータブル型なので1人で取扱いが可能である。
- 垂直面でも使用できる。
- 欠陥の位置が容易に読みとれる。
- 短時間の練習で誰でも探傷できる。

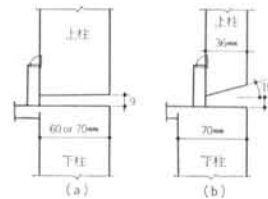


図-8 柱接合部の開先形状

## § 3. 狭開先溶接部のタンデム探傷例

### 3.1 検査の概要

タンデム探傷装置を用いた狭開先溶接部の現場探傷例について述べる。検査の対象となった溶接部は柱接合部で, その開先形状を図-8(a), (b)に示す。

タンデム法および斜角一探法による検査の概要を表-2に示す。斜角一探法は全般にわたって JIS Z 3060 を

準用し, 合否判定だけを建築学会規準に依った。タンデム法は, JIS Z 3060において探傷感度, 検出レベルのみを規定しているだけで, その他についての詳細な規定はない。したがって, 欠陥指示長さの測定方法は斜角一探法の場合と同様, 基準感度から -12dB 以上のエコー高さを示す探触子の左右方向の移動範囲とした。また, 検出レベル以上の欠陥エコー高さの領域は, すべて領域IIとして評価した。

なお, タンデム法で検査した部分は上柱および下柱の

両開先面のみである。写真一2, 3 に現場探傷風景を示す。

### 3.2 開先面に発生した欠陥に対する各探傷法の比較

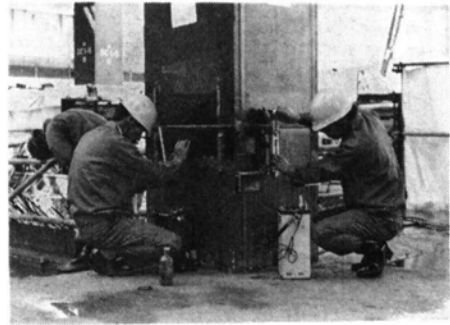
ガウジングを行なって確認された欠陥を分類すると、最も多い欠陥種類はブローホールで、これに次いで融合不良、スラグ巻込み、割れなどであった。しかも、タンデム法の対象となる開先面の融合不良は比較的低い発生率であった。

表一3 はタンデム法で検出された欠陥について、斜角一探法の検出度合を対応させたものである。縦列に検出した探傷方法、横列に欠陥の評価点、および欠陥数を示した。欠陥は全部で35個であり、このうち27個はタンデム法のみで検出している。屈折角 $60^\circ$ で検出したものは4個、屈折角 $70^\circ$ では2個、 $60^\circ$ 、 $70^\circ$ の両者では2個であり、斜角一探法によって検出される欠陥の非常に少ないことがわかる。

表一3 をグラフ化したものが図一9, 10 である。図一9 (a), (b)は、タンデム法と各斜角一探法との欠陥の評価点の対応を示したものである。横軸にタンデム法で検出された欠陥の評価点を、縦軸に屈折角 $60^\circ$ 、 $70^\circ$ の場合の評価点を示す。この結果、タンデム法で検出される軽欠陥(評価点1, 2の欠陥)に対しては、屈折角 $60^\circ$ 、 $70^\circ$ ともにほとんど検出していない。また、重欠陥(評価点4点の欠陥)に対しては、屈折角 $60^\circ$ 、 $70^\circ$ は検出していないか、極めて過小評価しているといえる。一部、タンデム法で検出される1点の欠陥を斜角一探法では2~3点と大き目に評価しているが、この場合、過大評価の程度は問題でない。

図一10 (a), (b)は欠陥の評価点の要素である欠陥指示長さに着目して、タンデム法と各斜角一探法との検出度合を対応させたものである。結果は図一9 (a), (b)とほぼ同じ傾向である。

ただし、検出されたこれらの欠陥はすべて確認されたものではないので、タンデム法、斜角一探法のいずれの評価がより実際の欠陥と合致しているかはいえない。ガウジングによって確認された欠陥を表一4 に示す。これらは35個の欠陥のうち11個をガウジングして得られた結果である。この3個の欠陥は、図一9 (a), (b)では評価点4点の欠陥に対応し、図一10 (a), (b)では、欠陥指示長さがタンデム法で78mm, 80mm, 83mmと評価された欠陥に対応するものである。したがって、少なくとも欠陥長さの長いものに対しては、タンデム法の評価の方が実際の欠陥に近いものであり、斜角一探法は極めて過小評価しているといえる。



写真一2 現場探傷風景



写真一3 タンデム法による現場探傷風景

	評 価 点 (点)				合 計
	4 点	3 点	2 点	1 点	
タンデム法のみで検出	1	0	6	20	27 (77%)
タンデム法と屈折角 $60^\circ$ で検出	T -1点 $60^\circ$ -1点	T -1点 $60^\circ$ -3点	T -4点 $60^\circ$ -1点	1	4 (11%)
タンデム法と屈折角 $70^\circ$ で検出	T -1点 $70^\circ$ -2点	2			2 (6%)
タンデム法、屈折角 $60^\circ$ 、 $70^\circ$ で検出	T -1点 $60^\circ$ -1点 $70^\circ$ -1点	1	T -4点 $60^\circ$ -2点 $70^\circ$ -4点	1	2 (6%)

表一3 開先面に発生した欠陥に対する各探傷法の比較

### 3.3 JIS Z 3060 におけるタンデム法の検出レベルについて

超音波探傷における定量化にとって、探傷感度や検出レベルをどの程度にするかは最も重要なことである。ここでは現場で得られた溶接欠陥をもとに、タンデム法の検出レベルについて述べる。

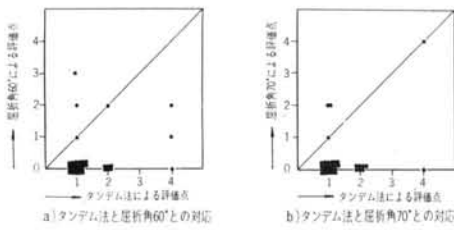


図-9 開先面に発生した欠陥に対する各探傷法の評価点の比較

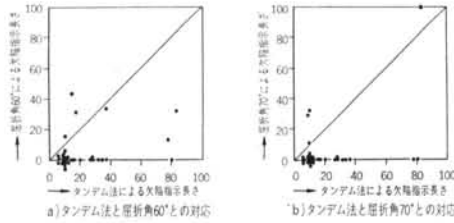


図-10 開先面に発生した欠陥に対する各探傷法の欠陥指示長さの比較

欠陥種類	欠陥奥行き寸法 $H_R$	欠陥長さ $L_R$	エコー高さ $H_{ob}$ / $H_o$
融合不良	2 (mm)	85 (mm)	+7.2 (dB)
融合不良	2 (局所7) (mm)	60 (mm)	+6.0 (dB)
ブローホール+スラック巻込み	9~11 (mm)	53 (mm)	0 (dB)

$H_{ob}$ : 溶接欠陥から得られるエコー高さ  
 $H_o$ : タンデム法の検出レベル(RB-A5, 12mmφのエコー高さ, CRT 80%を探傷感度とし, 40%を検出レベルとする)

表-4 確認された欠陥の種類と寸法

表-4 に示したように確認された欠陥は数が少なく、横方向寸法が比較的長いものであるが、この結果においては基準の探傷感度とほぼ同様のエコー高さで、欠陥の奥行き寸法 2mm の融合不良を検出している。したがっ

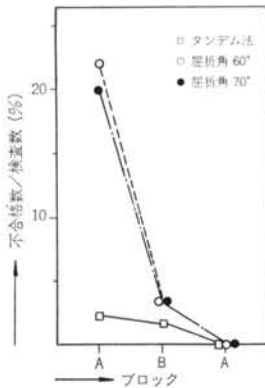


図-11 不合格溶接部の発生率

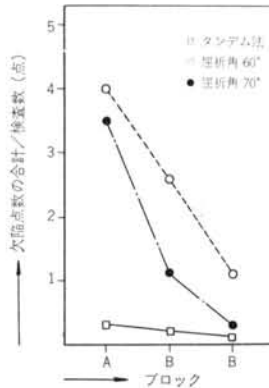


図-12 1 溶接線中の平均欠陥点数

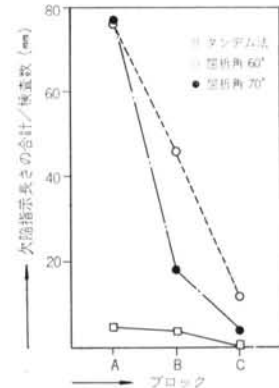


図-13 1 溶接線中の平均欠陥指示長さ

て、基準感度の $1/2$ のエコー高さを検出レベルと規定した JIS Z 3060 では 2mm 以下の欠陥も検出していると推定される。

### 3.4 結果のまとめ

タンデム法と併用した屈折角 $60^\circ$ ,  $70^\circ$ の探傷結果を図-11, 12, 13 に示す。縦軸は欠陥の検出度合を、横軸は溶接順序を表わすブロックを示す。結果は、開先面に発生した欠陥よりも、溶着金属内部で発生した欠陥の方が多いことを示している。

以上の結果を要約すると次のようである。

- (a) タンデム法は開先面に発生する欠陥（特に融合不良）だけを検出する。
- (b) しかも、この種の欠陥の検出率は、斜角一探法よりも極めて高い。
- (c) タンデム法と同時に検出しても、斜角一探法による欠陥の評価は非常に過小評価する危険性がある。
- (d) 溶着金属内部の欠陥検出は、斜角一探法が有効である。

## § 4. あとがき

厚板の狭開先溶接法は、現場溶接法として今後ますます採用されていくものと思われ、同時にタンデム探傷の要請も増加するものと考えられる。

タンデム法における欠陥の判別法は、斜角一探法の手順に比較して単純明解である。ただし、欠陥の定量化はまだ不十分で、特に探傷感度や検出レベルをどの程度とするか、また欠陥の寸法をいかに評価するかなどは今後の問題である。これらは数多くの溶接自然欠陥との対応

から定めていかなければならないと考える。

タンデム探傷装置の現場溶接部への適用性については先にのべたような成果が得られた一方、重量の軽減、探触子保持機構の耐久性、角継手およびエレクトロソール位置での不感帯など検討する必要がある。

今後は、装置の改良とともに欠陥の定量化に取り組んでいきたい。

なお、本装置は、(株)東京計器と共同開発したものである。

#### <参考文献>

- 1) JIS Z 3060—1975：“鋼溶接部の超音波探傷試験方法および試験結果の等級分類方法”
- 2) 松本庄次郎他：“タンデム法による溶接部溶込み不足の探傷について（第1報，第2報）” NDI資料 2429，昭和48年春季大会講演概要
- 3) 佐迫俊夫他：“平行開先溶接部の超音波探傷試験方法について” 日本建築学会大会学術梗概集（北陸）昭和49年10月