

超音波斜角探傷試験による溶接欠陥高さの測定方法

藤 盛 紀 明
倉 持 貢
中 辻 照 幸

§ 1. まえがき

鋼構造建築溶接部では、どの程度の欠陥断面率まで許容し得るかという問題については、静荷重の場合には既にほぼ結論が得られている^{1),2)}。稀におこる大地震を想定した極低サイクル大歪下における場合の許容欠陥寸法についても筆者等によって明らかにされつつある^{3),4)}。

溶接部の検査結果の合否判定のためには欠陥の位置、長さおよび高さに関する情報が必要となるが、従来、欠陥高さを非破壊的に測定する有効な方法が無いため、欠陥高さを安全側に仮定して（例えば5mmとか8mm）合否判定を実施してきた⁵⁾。

しかしながら、例えばK型開先の突合せ溶接の場合には、ルートフェースの寸法が良く管理されていれば、発生する溶込み不良の高さは1mm以下である確率が非常に高く、この意味では現行の鋼構造建築溶接部の欠陥の合否判定規準⁶⁾は著るしく安全側である。それ故に、欠陥高さが非破壊的に測定できるようになればより合理的、かつ経済的な合否判定規準を定めることができる。

1972年に出されたASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IIIのMandatory Appendix G: Protection Against Nonductile Failure, 1971年に出されたSection XI: Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components等においては破壊力学が採用された。

破壊力学においては、欠陥高ささと長さおよびそれらの比の情報が必要である。そして、これらの寸法の非破壊試験法による測定精度が、構造物の経済性を大きく左右する。鋼材、溶接、設計手法に大きなエネルギーを費やすよりも、欠陥高さの測定精度を1mm向上させる方がより大きな効果を持っているといっても過言ではない。

塑性変形をそれほど伴わない破壊では、欠陥の長さが高さの5倍程度以上となると、破壊を左右する要因のほとんどは欠陥の高さであり、長さは主要な要因では無くなる⁸⁾。

超音波斜角探傷試験における欠陥長さの測定方法は、すでにほぼ完成の域に達しており、各種の規格の中にも採り入れられている⁷⁾⁻¹⁰⁾。しかし、欠陥断面率を知るためには、欠陥高さをも知ることが必要なことは自明である。

ただし、この場合にはDGSダイヤグラムを用いる方法のように¹¹⁾⁻¹³⁾、欠陥高ささと長さを個々に測定する方法ではなく、直接欠陥面積を求める方法もある。しかし溶接欠陥面積を測定する方法としては、DGSダイヤグラムが必ずしも有効でないことも報告されており¹⁴⁾、欠陥高さの測定方法の開発は、やはり必要である。

現在知られている非破壊検査方法の中では、溶接欠陥高ささをある程度の精度で測定し得る方法は、超音波探傷法のみであるといっても過言では無い。

筆者等は、既に超音波探傷による欠陥高さの測定方法について報告を重ねてきた^{15),16)}。

1977年のコペンハーゲンで開催された国際溶接学会（IIW）において、「Non-Destructive Determination of Type, Position, Orientation and Size of Weld Defects」というテーマのコロキウムが開催され、筆者等は「Present Status of the Study in Japan on Non-destructive Determination of Size of Weld Defects」というタイトルで、欠陥高さの測定方法についても論文を提出した¹⁷⁾。

本報告は前述の論文に、IIWのコロキウムに提出された他の論文¹⁷⁾⁻³¹⁾および日本非破壊検査協会（NDI）の202小委員会（溶接部の超音波探傷：委員長：藤盛紀明）のその後の研究成果³²⁾を踏まえて、超音波斜角探傷法による欠陥高さ測定方法の現状を報告し、大方の参考に供しようとするものである。

§ 2. 超音波斜角探傷試験による欠陥高さの測定方法とその精度

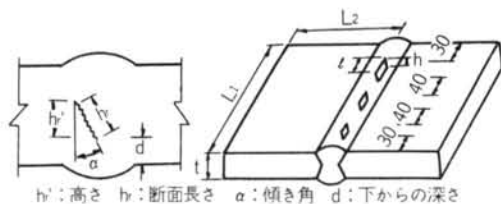
考えられる欠陥高さの測定方法を表一に示す。ND I 202 小委員会では、表中の□で囲まれた方法によって、溶接の割れ高さを測定した。測定方法の精度についてはこの結果を引用するので、次に、この実験の試験体について説明する。

(1) 実験に供した試験体

202 小委員会で測定に使用した試験片は図一1および表一2に示すように、1 個の試験体中に3 個の割れを挿入したものである。

これらの割れは、出来得るかぎり自然割れに近い状態を得るために、種々の脆性破面を有する脆性破壊試験片を元の試験片に押し合せて周囲を溶接し、これを各種寸法に切断して、溶接部に埋め込む方法をとった。埋込み試験片の製作方法を図二に示す。割れの高さは、この埋込み試験片の断面で測定した。後の埋込み溶接の始めの数層は、細径の被覆アーク溶接棒で行ったので、溶込みも少なく、挿入された割れの高さは、前述の測定値とほぼ一致していると考えられる。なお、本実験は未だ継続中であるため、最終試験体中の割れの高さを切断によって確認することは行っていない。そのため、一連の報告では、割れの実際の高さとして埋込み試験片の断面で測定した値を採用している。

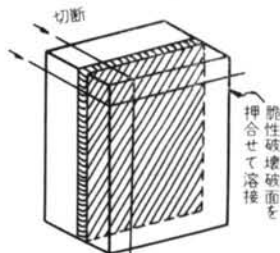
傾き角のない割れを有する試験体は、図三のように



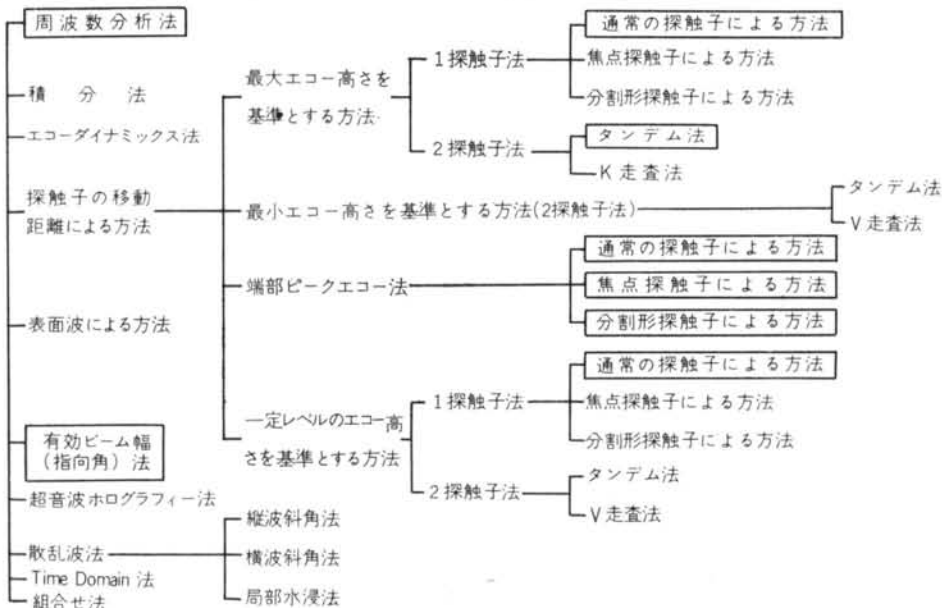
図一1 試験体形状および寸法

t (mm)	12	25	50
L_1 (mm)	225	225	225
L_2 (mm)	300	300	300
l (mm)	5, 15, 25	5, 15, 25	5, 15, 25
h (mm)	5	2, 5, 10	5
d (mm)	$t/3$	$t/3$ 0	$t/3$
θ (度)	0	0, 10, 20, 30	0, 30
個 数	1	18	1

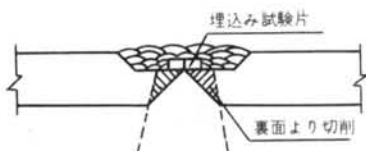
表一2 試験体の種類と個数(計画)



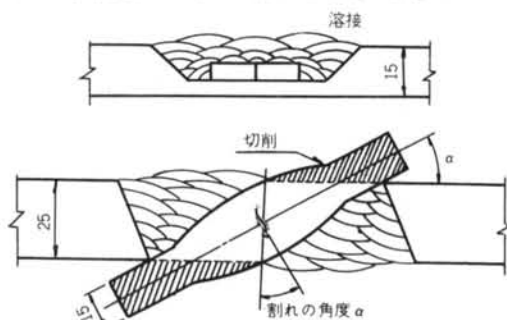
図二 埋込み試験片



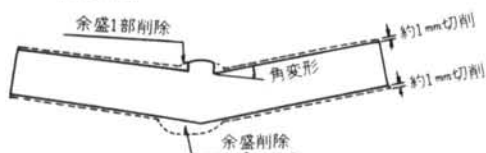
表一1 超音波探傷による欠陥高さ測定方法



図—3 傾き角度のない割れを有する試験体の作製方法



図—4 傾き角度のある割れを有する試験体作製用ブロックの溶接方法



図—5 試験体の仕上げ方法(上側は余盛の一部を残して、表面を約1%切削。下側は表面約1%を全面切削)

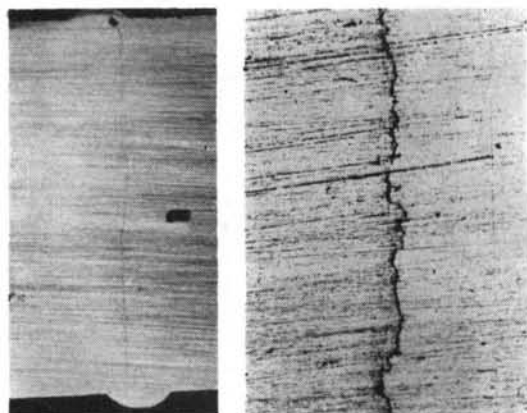
埋込み試験片を埋め込んで製作した。

傾き角のある割れを有する試験体は、予め図—4のようなブロックを作製したあと、これを図(b)のように溶接して作製した。割れの傾き角は 0° 、 10° 、 20° 、および 30° を計画したが、溶着金属量が多くなったため、最大 5° の角変形が生じた。そのため、割れの傾き角は計画値と異なっている。超音波の探傷面と割れのなす角度は、試験体の切断後でなければ不明のため、一連の報告では、傾き角についても計画値を実際の傾き角としてデータを整理した。

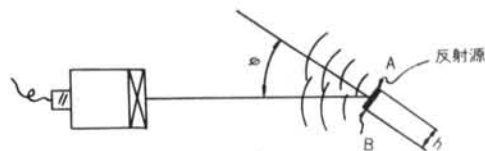
図—3、および図—4に示すような試験体の製作であるため、余盛幅が著るしく過大となり、このままでは実験が困難なため、図—5に示すような切削加工を行った。試験体と欠陥の構成を表—3に示す。表中には参考のために角変形量も示した。写真—1に埋込み割れの断面写真を示す。

なお、これらの割れ試験体は、船舶技術研究所の神尾昭氏の計画・指導の下に、日本溶接技術センター(三上博所長)が作製したものである。

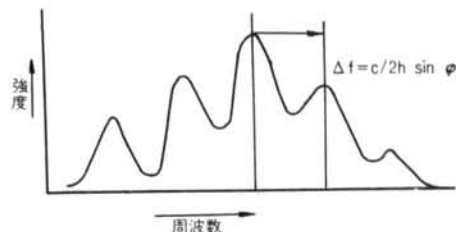
(2)各測定方法の概要



写真—1 埋込み割れの断面例



図—6 周波数分析法の原理



図—7 周波数分布、欠陥高さ、傾きの関係

①周波数分析法^{33)~36)}

図—6に示すように、超音波が平面波として反射源に入射したとき、そのエッジでは球面波が発生する。もし反射源の上下端で発生する球面波を同時に探触子で受信することができれば、そのビーム路程の違いにより、これらの球面波は互いに干渉する。これを周波数解析して寸法を推定しようとするものである。

図—6において、探触子と反射源が十分に離れていれば、点Aと点Bまでの距離は $2h \sin \phi$ となる。点Aと点Bより発生する球面波は、位相が一致したとき共振するから、音速を C としたとき共振する相隣れる周波数の間隔は $C/2h \sin \phi$ となる。すなわち、周波数解析したとき図—7になることが期待できる。

②積分法³⁷⁾

図—8の前後走査の走査グラフにおいて $\int_{x_1}^{x_4} D(x)dx$ または $\int_{x_2}^{x_3} D(x)dx$ の値から、欠陥高さを推定しよう

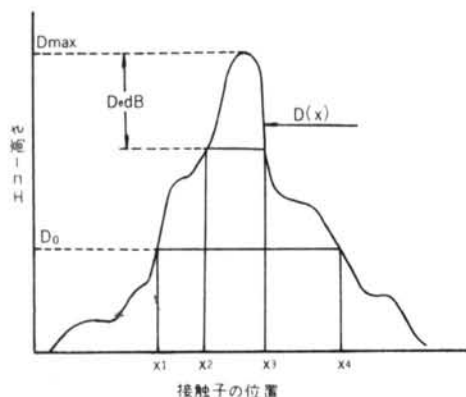
TP.	欠 陥 No.	欠 陥 形 状						角 変 形 (°)	TP.	欠 陥 No.	欠 陥 形 状						角 変 形 (°)
		α (°)	l_r (mm)	h_r (mm)	h_r' (mm)	S (mm ²)	S' (mm ²)				α (°)	l_r (mm)	h_r (mm)	h_r' (mm)	S (mm ²)	S' (mm ²)	
No. 1	5L-1	0	28.5	7.3	7.3	208	208	0	No. 11	2L2-2	30	22.0	5.3	4.6	117	101	2.0
	5M-1	0	19.0	7.1	7.1	135	135			2M-2	30	18.5	4.4	3.8	81	70	
	5S1-1	0	10.0	7.0	7.0	70	70			S2-2	30	9.0	4.8	4.2	43	38	
No. 2	2L-1	0	22.0	5.3	5.3	117	117	1.0~1.2	No. 12	5L-5	30	28.5	7.8	6.8	222	194	0.5
	2M-1	0	18.5	4.4	4.4	81	81			5M-5	30	18.0	7.0	6.1	126	110	
	2S1-1	0	7.0	4.8	4.8	34	34			5S3-1	30	10.0	7.2	6.2	72	62	
No. 3	5L-2	0	28.5	7.5	7.5	214	214	4.0~4.2	No. 13	10L-3	30	26.0	12.3	10.7	320	278	2.2~2.5
	5M-2	0	19.0	6.8	6.8	129	129			10M-4	30	18.0	13.2	11.4	238	205	
	5S1-2	0	10.0	6.8	6.8	68	68			10S2-2	30	10.0	12.2	10.6	122	106	
No. 4	10L-1	0	26.0	12.4	12.4	322	322	0.6	No. 14	2L3-2	0	22.0	5.5	5.5	121	121	2.0~2.1
	10M-1	0	18.0	12.0	12.0	216	216			2M-6	0	18.5	4.8	4.8	89	89	
	10S1-1	0	10.0	11.6	11.6	116	116			S3-2	0	9.0	4.8	4.8	43	43	
No. 5	2L1-2	10	22.0	5.3	5.2	117	114	0.8	No. 15	5L-6	0	27.0	6.6	6.6	178	178	0.6
	2M-2	10	18.5	4.4	4.3	81	80			5M-6	0	18.0	6.6	6.6	119	119	
	10S1-2	10	10.0	4.8	4.7	48	47			5S3-2	0	10.0	7.2	7.2	72	72	
No. 6	5L-3	10	28.5	7.9	7.8	225	222	行方不明	No. 16	10L-4	0	27.0	12.7	12.7	343	343	0.7
	5M-3	10	19.0	7.2	7.1	137	135			10M-5	0	18.0	12.2	12.2	220	220	
	5S2-1	10	10.0	7.0	6.9	70	69			10S3-1	0	10.0	12.1	12.1	121	121	
No. 7	10L-2*	10	26.0	13.0	12.8	338	332	0	No. 17	5L-7	30	27.0	6.7	5.8	181	157	1.0~1.8
	10M-2	10	18.0	11.2	11.0	202	198			5M-7	30	24.0	6.7	5.8	161	139	
	10S1-2	10	10.0	11.6	11.4	116	114			5S4-1	30	10.0	6.4	5.5	64	55	
No. 8	5L-3	20	28.5	7.9	7.4	225	211	1.0	No. 18	10L-5	30	27.0	12.2	10.6	329	286	2.0
	5M-3	20	19.0	7.2	6.8	137	129			10M-6	30	18.0	12.2	10.6	220	191	
	5S2-1	20	10.0	7.0	6.6	70	66			10S3-2	30	10.0	12.1	10.5	121	105	
No. 9	5L-4	20	28.5	9.7	9.1	276	259	1.2~1.7	No. 19	5L-8	0	27.0	6.8	6.8	184	184	1.0
	5M-4	20	19.0	7.0	6.6	133	125			5M-8	0	24.0	7.4	7.4	178	178	
	5S2-2	20	10.0	7.0	6.6	70	66			5S4-2	0	10.7	6.9	6.9	69	69	
No. 10	10L-7*	20	27.0	10.6	10.6	286	270	2.0~2.5	No. 20 (横割れ)	2L4	0	22.0	5.0	5.0			5.0
	10M-3	20	18.0	11.2	10.5	202	189			5L10	0	19.0	7.4	7.4			
	10S2-1	20	10.0	12.0	11.3	120	113			10L6	0	27.0	12.2	12.2			

No. 6 は実験中に試験体が行方不明となった。角変形に範囲のあるのは、試験体がねじれて左端と右端で異なっているためである。

S , S' は各々 h_r , h_r' に対応する欠陥面積。

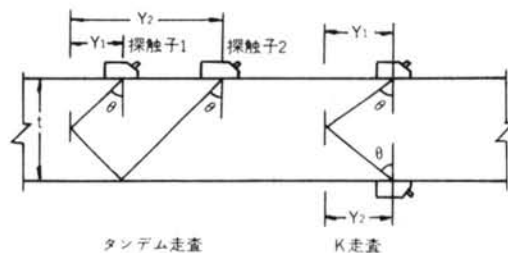
* 10L-2 と 10L-7 は入れ替わっている可能性がある。その場合、各々の h_r' と S' は値が異なってくる。

表—3 試験体と欠陥の構成



図—8 前後走査の走査グラフ

とする方法である。石井・富士は、左右走査の走査グラフ

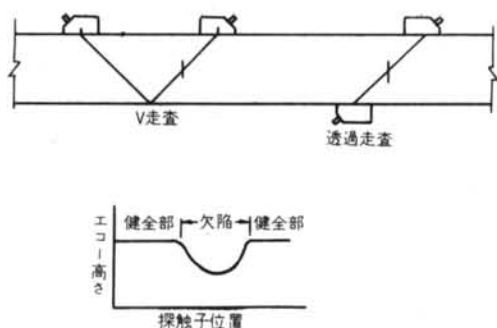


図—9 タンデム走査とK走査

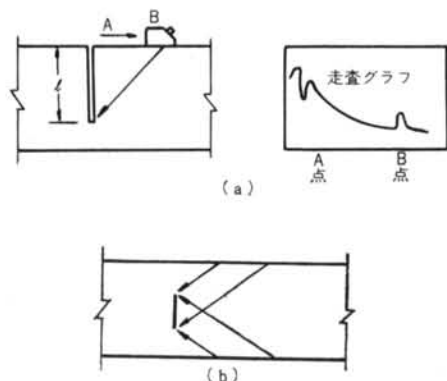
フにおいて走査グラフの面積を求め、これを見かけの欠陥断面積と定義している。しかし、この手法を欠陥高さの測定に応用した例は現在のところない。

③ エコーダイナミックス法^{38), 39)}

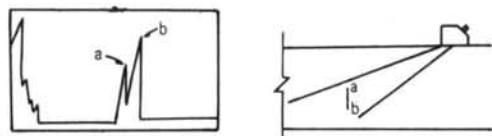
探触子を走査したとき、欠陥と探触子の相対位置およ



図—10 V走査と透過走査による方法



図—11 端部ピークエコー法



図—12 欠陥の上下端のエコーが分解されて得られる場合
び角度が変化し、これにともないビーム路程とエコー高さは変化する。この軌跡をエコーダイナミックスという。エコーダイナミックスは、探触子と欠陥の指向性、距離、超音波の減衰に依存する。もし、欠陥と他に影響をおよぼす因子とを分離できるならば、この方法は欠陥評価に利用することが可能である。欠陥高さの場合、その寸法は比較的小さい場合が多いので、探触子そのものの指向性がエコーダイナミックスの主要因となる。そのため、この影響をどのようにしてとり除くかが問題となる。

④探触子の移動距離による方法

⑤最大エコー高さを基準とする方法

図—8の $|x_3 - x_2|$ から欠陥高さを推定しようとする方法である。一般に、欠陥の板厚方向寸法は比較的小さいのが普通であるので、 $|x_3 - x_2|$ は欠陥寸法に無関係に指向性とビーム路程にのみ依存するデータとなる。した

がって、本方法はあまり有効でないと考えられる。

しかし、屈折角 60° を用いた場合には、モード変換された縦波と横波の干渉から、探触子の移動距離と欠陥の板厚方向寸法との間には良い相関関係があるという事実が確かめられている⁴⁰⁾。この結果は、エコーダイナミックス法との関連を考えれば、興味深い。

焦点探触子や分割形探触子を使用して音波の拡がりを押えれば、前後走査時の走査グラフは、より欠陥高さの情報を伝えると考えられる^{41), 42)}。

図—9に示すタンデム走査の場合、① $Y_1 + Y_2 = 2t \tan \theta$ となるように探触子1および探触子2を走査した時の走査グラフを使用する方法、②最大エコー高さの得られる位置に探触子1および探触子2を置き、その位置から探触子1を固定して探触子2を前後走査して得られる走査グラフを使用する方法、③探触子1および探触子2を最大エコー高さの得られた相対位置関係を保ちつつ、すなわち $(Y_1 - Y_2)$ を一定として前後走査した時の走査グラフを利用する方法がある。K走査の場合も同様である。

⑥最小エコー高さを基準とする方法

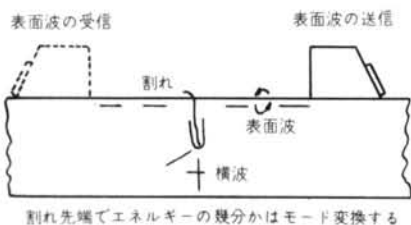
図—10に示す透過走査やV走査の場合には、④と同様な考え方が存在するが、最小エコー高さが基準となる。

⑦端部ピークエコー法

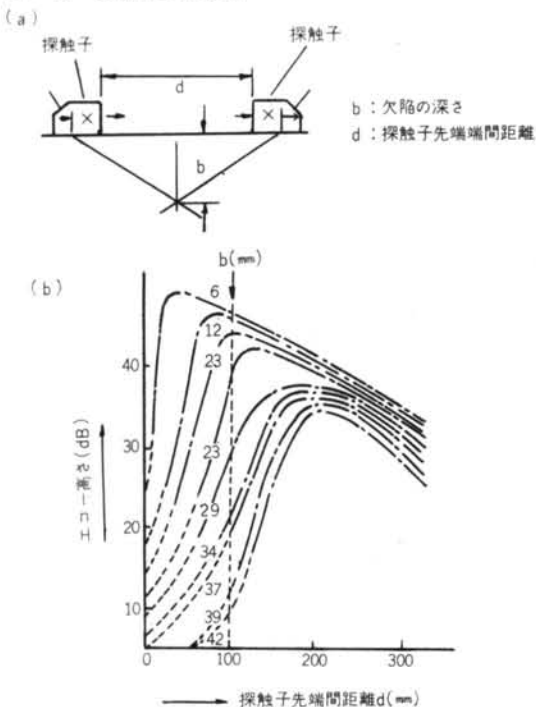
図—11(a)のA点より探触子を矢印の方向に移動させた場合、欠陥よりのエコー高さはしだいに低くなるが、欠陥の端部にビーム中心軸が入射した時、若干のピークエコーが得られることが確認されており、理論的解析も行われている⁴³⁾。表面に開口した欠陥で、 l が比較的大きい場合には ± 2 mm程度の精度で欠陥の板厚方向寸法の推定が可能で、すでに実用に供されている^{44), 45)}。ただし、欠陥先端に他の欠陥が付随した場合には精度が落ちる。屈折角は 45° の場合が一番明瞭にピークエコーを確認できる。

内部欠陥の場合にも、欠陥の上下端でのエコーが確認できる場合がある。欠陥が大きい場合には、図—11(b)のように色々な探傷面から探傷して欠陥端部のエコーをさがす。欠陥が小さい場合には、一方向からの探傷で、図—12に示すようにCRT上で欠陥の上下端のエコーが分解されて現われることがあり、この場合には各々のエコーのピーク値のビーム路程を求め、この差より幾何学的な計算で欠陥寸法を求めることができる。ただし内部欠陥の場合には、欠陥の上下端のエコーがいつでも現われるという訳ではないので、いつでも使用し得るということではないし、再現性にも問題がある。

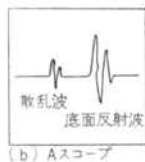
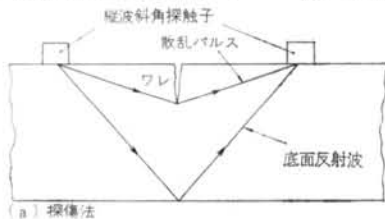
焦点探触子や分割形探触子のように音波を絞ると、欠陥端部のエコーをより明瞭に識別することができる⁴⁶⁾。



図—13 表面波による方法



図—14 散乱波法における d と b とエコー高さの関係



図—15 時間差法による割れ深さの測定

④一定レベルのエコー高さを基準とする方法

図—9の $|x_4 - x_1|$ から欠陥高さを推定しようとする方法である。

⑤表面波による方法^{47), 48)}

図—13に示すような方法で、音波の伝搬時間差から欠陥寸法を求めようとするものである。欠陥が表面に開口している必要がある。この方法専用の装置も開発され販売されている。

⑥有効ビーム幅(指向角)法^{49), 50)}

超音波ビームの拡がりを考慮して欠陥高さを測定する方法である。

⑦散乱波法⁵¹⁾

図—14(a)に示すような方法で、送信探触子で屈折角 $60^\circ \sim 70^\circ$ の縦波を入射させ、受信探触子で散乱波を受信する。探触子間隔 d とクラック深さ b と受信波のエコー高さとの間には同図(b)の関係が求められている。探傷面と探触子の接触状態が確保されれば、かなり有効であると思われる。実験室的には、 $\pm 0.3\text{mm}$ 程度の測定精度が得られている⁵²⁾。この方法の問題点は以下のである。

- ・表面に開口している割れは、 $3 \sim 4\text{mm}$ 以上でなければ適用できない。
- ・伝達損失の影響が大きい。
- ・欠陥の角度の影響を受ける。
- ・表面に開口した欠陥しか適用できない。

⑧Time-domain 法¹⁸⁾

⑦の散乱波法を拡張したもので、図—15に示す底面エコーと欠陥の先端で散乱したエコーの受信時の時間差によって、欠陥高さを推定する方法である。

⑨超音波ホログラフィー法²⁰⁾

試験材が特に厚い場合に利用できそうである。焦点探触子が利用される。タンデム法を利用する方法もある。

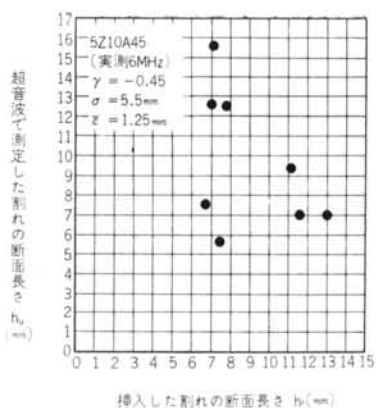
(3)ND I 202 小委員会で検討した欠陥高さ測定方法と測定結果

①周波数分析法⁵³⁾

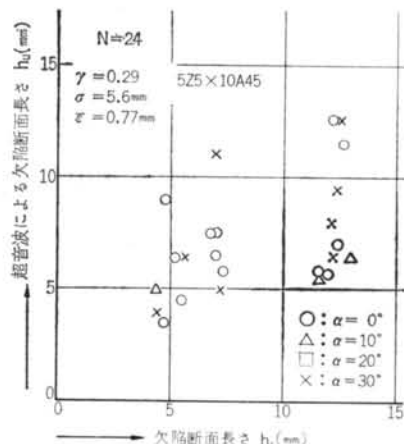
(2)の①で説明した方法で測定した。表—2に示した試験体のうち、Na 3, Na 7, Na 8, Na 12, 欠陥数12個を測した。結果は以下のである。

- ・有効な周波数分布が測定出来たのは12個の欠陥中8個、67%であった。
- ・音波が欠陥に垂直に入射するNa 8の試験体中の3個の欠陥からは、有効な周波数分布は得られなかった。
- ・有効な周波数分布が測定出来た8個の欠陥の超音波によって測定した割れの断面長さ h_u と、挿入した割れの断面長さの関係を図—16に示す。両者の間に有効な相関関係は得られなかった。

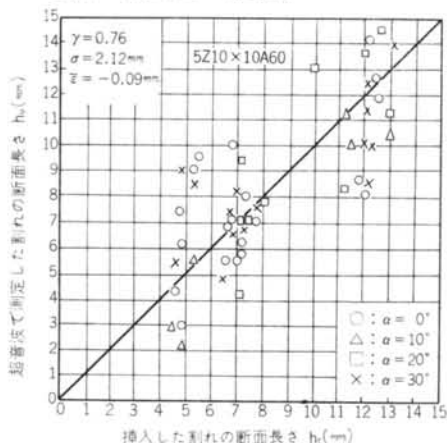
以上のように自然欠陥においては、欠陥の上下端で球面波が必ず反射されるとは限らず、また上下端に限らず



図—16 周波数分析法による溶接割れの断面長さの測定結果



図—17 タンデム法を用いた De 法 (4dB down法) による溶接割れの断面長さの測定結果



図—18 60°法による溶接割れの断面長さの測定結果
欠陥面等でも音波は乱反射され、受信されるエコーの周波数分布は複雑となる。

本方法を自然欠陥に利用するためには、未だ数多くの

問題が残されており、現状では適用困難といえる。

②タンデム探傷法⁵⁴⁾

タンデム探傷法では、スリット傷の実験によれば、限界寸法内では欠陥高さでエコー高さとの間に明瞭な相関が認められている⁵⁵⁾。広瀬らはこの問題についての理論式を導いており⁵⁶⁾、Mundry⁵⁶⁾ や Schlenger⁵⁸⁾ らはタンデム探傷法の AVG Diagram をも報告している。

しかし、割れに対する本方法の適用結果の 1 例は図—17 のようで、エコー高さで割れの断面長さの間には有効な相関関係は認められなかった。

単純最大 De 法 (最大エコー高さから De dB エコー高さが低下するまでの探触子移動距離から欠陥寸法を推定する方法) の場合、最も良好な De=4dB でも測定結果は図—19 のようで、有効な結果は得られなかった。したがって、タンデム探傷法は現状では割れの断面長さ (高さ) の測定には適用困難である。

③屈折角による補正最大 De 法⁵⁹⁾

小倉は(1)④⑤で説明したように、屈折角 60° の探触子を用いて前後走査を行なうと、最大エコー高さから 10dB エコー高さが低下するまでの探触子の前後走査の移動距離 L と、欠陥の断面長さ h との間に次の関係の成立することを発見した。

$$L = \beta h + \gamma \quad \dots\dots(1)$$

β と γ は探触子、板厚、欠陥の傾き角、音波の底面における反射回数 (直射法か 1 回反射法等) によって定まる定数である。今回の試験体に適合するような条件で定めた β と γ を用いて測定した結果が図—19⁶⁰⁾である。

なお、図—19 は板厚 25mm 以下の場合で、1 回反射法または 2 回反射法で測定したものである。

直射法で測定した板厚 50mm の試験体の場合には、非常に良い測定精度を示している。

④斜角焦点探触子による端部ピークエコー法⁶⁰⁾

斜角探触子のビームを収束する方法としては、音響レンズを利用するのが一般的で、諸外国ではこの方法によるのがほとんどである。山崎等は音響レンズによる方法では、くさび内の境界面で複雑な現象が生じるとして、凹面鏡による反射を用いた曲面反射式焦点探触子を作製した。この方式の 5Z10x10A45 ($R=105\text{mm}$) を用いて割れの断面長さを測定した結果を図—19⁶⁰⁾に示す。比較的良い精度で断面長さを測定出来ている。

⑤有効ビーム幅法

有効ビーム幅法として最も有名なものは、英国で実用化されている 20dB drop 法である⁶¹⁾。16mmφ の横穴を前後走査して、最大エコー高さから 20dB エコー高さが低下する範囲までを、有効ビーム幅として図—20⁶¹⁾のよ

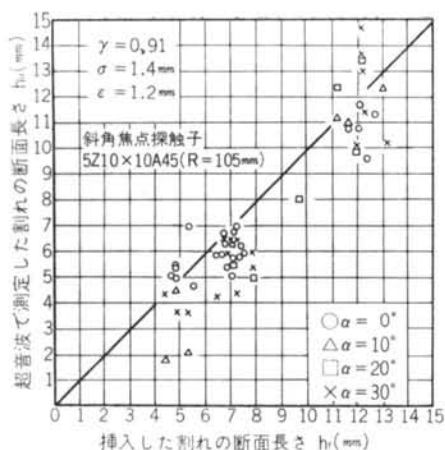


図-19 斜角焦点探触子の端部ピークエコー法による溶接割れの断面長さの測定結果

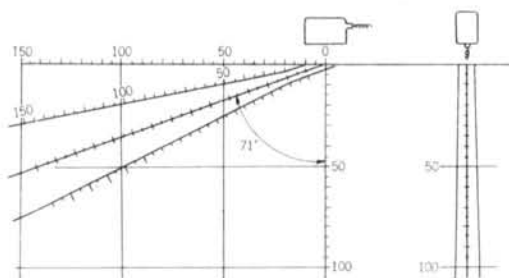


図-20 MWB70N4 探触子の 20dB drop beam spread

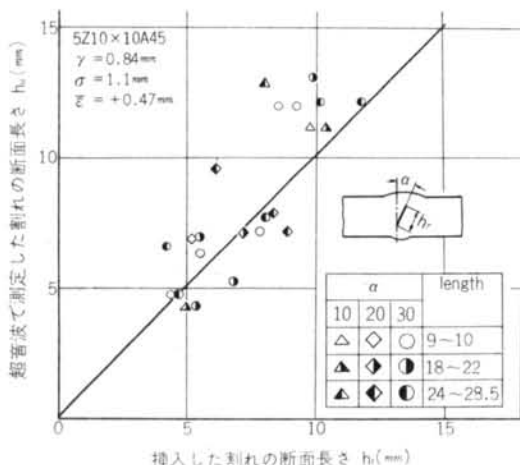


図-21 有効ビーム幅法による溶接割れの断面長さの測定結果 ($\alpha = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$)

うな透明シートに描く。実際の探傷においても欠陥エコーが最大から20 dB drop する点の探傷データから、図-20の有効ビーム幅を補正して欠陥高さを求める方法で、BS 3923, Part 1 や英国の準公的技量認定機関であ

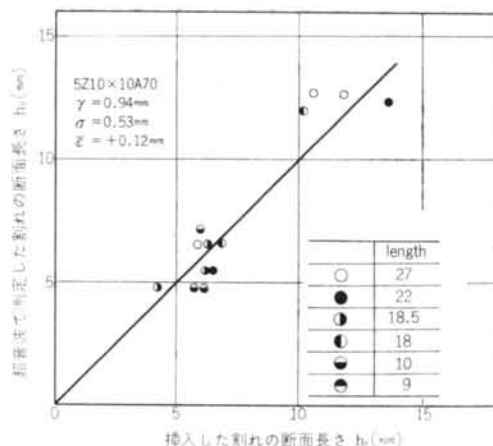


図-22 有効ビーム幅法による溶接割れの断面長さの測定結果 ($\alpha = 0^\circ$)

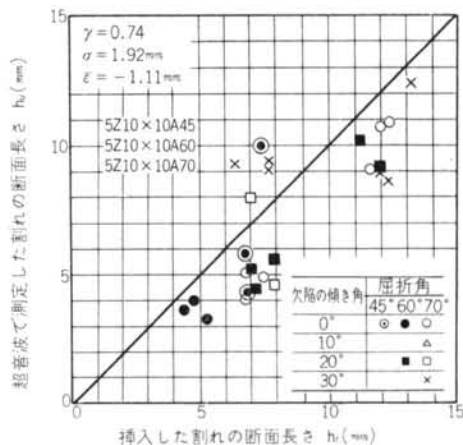


図-23 通常の斜角探触子を用いた端部ピークエコー法による溶接割れの断面長さの測定結果

る Steel Castings Research and Trade Association においても採用されている。

小野沢等は 3mmφ の横穴からの最大エコー高さを80%にして、そのままの探傷感度で前後走査して、3mmφ からのエコーがCRT上で消滅する時のビーム幅を有効ビーム幅として実験を行なった。結果は図-21⁶²⁾、図-22⁶²⁾に示すようである。

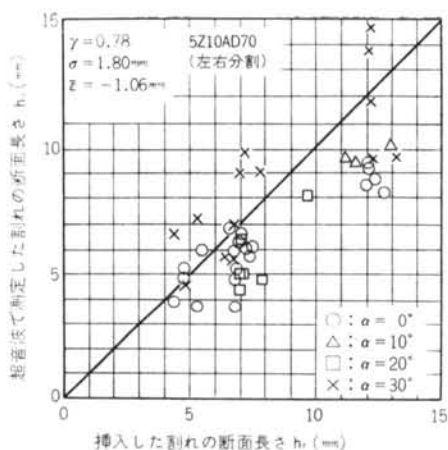
⑥通常の斜角探触子による端部ピークエコー法⁶³⁾

57個の割れのうち、ピークエコーが確認されたものは27個で、それらの測定結果は図-23のようである。

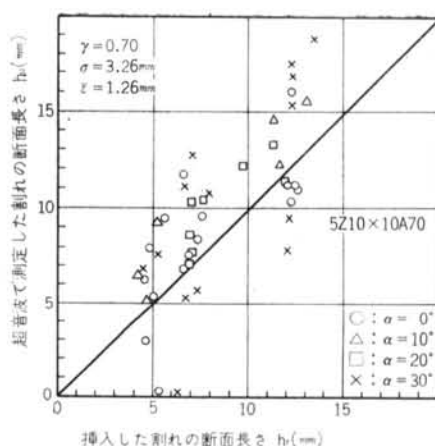
本方法によって端部ピークエコーを確認するには、熟練が必要である。また、熟練した技術者でも再現性に乏しい。

⑦2分割型斜角探触子による端部ピークエコー法⁶³⁾

57個の割れのうち、44個所が測定可能であった。結果



図—24 斜角2分割形探触子を用いた端部ピークエコー法による溶接割れの断面長さの測定結果



図—25 DACを使用したDs法による溶接割れの断面長さの測定結果

比較項目		研究の進捗状況	実用化の程度及び可能性	欠陥の種類・位置・方向に対する対応性	測定能率	検査対象物に対する適応性	再現性	装置・治具の簡易さ	測定精度
測定法									
周波数分析法		○	△ or ×	×	△ or ×	◎	○	△	?
エコーダイナミクス法		○	?	?	?	◎	?	△	?
ホログラフィー法		△	?	?	◎	△	?	×	?
積分法		×	?	?	◎	◎	?	○	?
De法	20dB drop法	◎	◎	△	○	◎	○ or △	○	△ or ×
	焦点探触子	×	△	○	◎	◎	?	○	?
	分割形探触子	×	△	○	◎	◎	?	○	?
	60°法	○	○	×	○	△	○	○	△
	タンデム走査	△	×	○	○	△	?	○	?
端部ピークエコー法	V走査	△	△	○	○	○	?	○	?
	通常の探触子	○	○ or △	△	○	◎	×	○	○
	焦点探触子	○	○	△	○	◎	○	○	○
	分割形探触子	△	△	△	○	◎	○	○	○
	通常の探触子	○	△	◎	◎	◎	○	○	△
Ds法	焦点探触子	×	○ or △	◎	◎	◎	?	○	?
	分割形探触子	×	△	◎	◎	◎	?	○	?
	タンデム走査	×	△ or ×	◎	◎	◎	?	○	?
	V走査	×	△ or ×	◎	◎	◎	?	○	?
	縦波斜角法	○	×	×	○	○	×	○	◎
散乱波法	横波斜角法	○	×	×	○	○	×	○	◎
	局部水浸法	○	△	×	△	△	◎	×	◎
	Time-Domain法	△	△	×	○	○	?	○	◎
	表面波法	○	◎ or ○	×	○	○	○	◎	?
有効ビーム幅法		○	○	○	○	◎	○	○	◎
組合せ法		△	?	?	?	?	?	?	?
表中の記号の意味		◎	研究完了	実用中	万能	JS Z 3060の欠陥指示長さの測定程度	万能	優	超音波厚さ計程度 σ: 1mm以下
		○	研究中	可能性充分	ほぼ万能	上記の2~3倍	やや制限される	良	バッテリー式Aスプ探傷器程度 σ: 2mm以下
		△	研究に着手	可能性ややあり	制限される	非能率	制限される	可	やや大型・複雑 σ: 3mm以下
		×	未研究	実用化困難	非常に限定される	数日後に判明	実験室のみにて利用可	不可	大型・複雑 σ: 5mm以下
		?	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明

表—4 超音波斜角探傷の欠陥高さ測定の総合比較

を図-24に示す。

⑧Ds法⁶⁴⁾

飯塚等⁶⁵⁾は、音波の進行方向に直交する3.2mmφのドリル穴の距離振幅特性曲線が平らになるようにDACをかけ、そのエコー高さがブラウ管の80%となるように感度調整し、エコー高さが10%以上となる範囲の探触子の移動距離から欠陥高さを測定した。結果は図-25⁶⁵⁾のようである。欠陥の方向がビームと直交していないと精度が悪くなる。当然のことながら、DAC調整用のRBと実際の試験片の音波の減衰の差の影響を受ける。

§ 3. 各測定方法の総合的比較

各測定方法の比較を表-4に示す。資料の無いものについては、従来の経験から推測してできるだけ?マークの無いようにした。比較項目のいくつかは相関があり、一義的に決められない場合もあるが大胆に記入した。

したがって、表-4は筆者の主観が大きく関与し、一般性に欠ける恐れがあるが、現時点における各測定法の能力等を比較する時の一助とはなると考える。

§ 4. あとがき

欠陥高さを非破壊的に測定する方法については、世界中で研究が進行中で、未だ決定的な方法は見出されていない。しかし、幾つかの有効な方法が考案されており、ごく近い将来には規格の中にも採用されるであろう。

＜参考文献＞

- 1) 日本鋼構造協会関西地区委員会 Study Group「SAWED」:「鋼構造物の欠陥評価方法—建築物の溶接接合部における欠陥の評価に関する研究」JSSC Vol. 12, No. 124 (1976)
- 2) 日本建築学会鉄骨非破壊検査小委員会
- 3) 中辻, 藤盛:「溶接部の欠陥評価に関する研究(その1)」日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和51年10月
- 4) 中辻, 藤盛:「溶接部の欠陥評価に関する研究(その2)」日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和52年10月
- 5) 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」
- 6) Birge Hansen: "Sense and Nonsense in the Application of Non-Destructive Inspection; Van Ouwerkerk Lecture" IIW (1977)
- 7) 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」
- 8) "JIS Z 3060: 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" (1975)
- 9) "BS 3923: Methods for Ultrasonic Examination of Welds, Part I, Appendix B" (1968)
- 10) "AWS D1.1-75: Structural Welding Code, 6, Inspection," (1975)
- 11) 木村:「金属材料の超音波垂直探傷の定量化に関する研究」東京工業大学学位論文 (1971)
- 12) "BS 3923: Method for Ultrasonic Examination of Welds, Part 2 & Part 3" (1972)
- 13) Krautkrämer: "Data Sheets for Ultrasonic Flaw Detector and Probes" (1969)
- 14) T. Fujimori: "Method of Setting Signal Level for Detection in Ultrasonic Angle Beam Testing for Welds in Steel Structures" 8th World Conference on NDT (1976) 2B
- 15) 藤盛:「超音波斜角探傷試験における欠陥の板厚方向寸法の測定方法について」非破壊検査 Vol. 25, No. 9 (1976)
- 16) 石井, 藤盛:「超音波斜角探傷試験による溶接欠陥高さの測定方法概論」非破壊検査 Vol. 26, No. 5 (1977) pp. 309~319
- 17) T. Fujimori, Y. Ishii & E. Isono: "Present Status of the Study in Japan on Nondestructive Determination of Size of Weld Defects. Part I: Determination of Weld Defects by Ultrasonic Angle Beam Examination. Part II: Determination of Height of Weld Defects by Ultrasonic Angle Beam Examination. Part III: Automatic Recording of Ultrasonic Testing" IIW—1977 コロキウム提出論文
- 18) T. J. Jessop: "Current Research to Improve the Characterization and Sizing of Weld Defects by Ultrasonic Testing" IIW—1977 コロキウム提出論文
- 19) Hermann Ziethe: "Quality Parameters of Welded Joints—Experiences Gained with Application of Nondestructive"

- tive Testing in the G.D.R." IIW—1977 コロキウム提出論文
- 20) E. Mundry, J. Kutzner, E. Nabel, H. Wüstenberg, E. Neumann & V. Schmitz: "Flaw Size Determination by Ultrasonic Pulse Spectroscopy, Acoustical Holography and Focusing Probes—a Critical Comparison" IIW—1977 コロキウム提出論文
 - 21) Hans-Jürgen Meyer: "Probability of Detecting Planar Defects in Heavy Wall Welds by Ultrasonic Techniques According to Existing Codes" IIW—1977 コロキウム提出論文
 - 22) Andrzej Skorupa: "Influence of Types of Weld Flaws on Assessment of Their Size by the DGS Method" IIW—1977 コロキウム提出論文
 - 23) J. P. Charlesworth & M. G. Silk: "The Role of Ultrasonic Time Domain Analysis in the Sizing of Weld Defects" IIW—1977 コロキウム提出論文
 - 24) José Ors: "Guidelines on the Use of Ultrasonics for Inspection of Welded Joints" IIW—1977 コロキウム提出論文
 - 25) J. M. Coffey & G. Oates: "Problems in Interpreting Ultrasonic Echoes from Weld Defects" IIW—1977 コロキウム提出論文
 - 26) F. H. Dijkstra: "Flaw Evaluation with Particular Reference to Flaw Size Estimation" IIW—1977 コロキウム提出論文
 - 27) M. Link: "Flaw Evaluation of Welds on Reactor Components" IIW—1977 コロキウム提出論文
 - 28) Ari Juva & Maarit Haavisto: "On the Effects of Microstructure on the Attenuation of Ultrasonic Waves in Austenitic Stainless Steels" IIW—1977 コロキウム提出論文
 - 29) Robert Saglio & Anne-Marie Touffait: "Determination of Weld Defects Characteristics Using Focussed Probes" IIW—1977 コロキウム提出論文
 - 30) Y. Le Penven & J. Dubresson: "Ultrasonic Testing of the Depth of Penetration of Electron Beam Welds on Heat Exchanger Tube to Tube Plate Assemblies" IIW—1977 コロキウム提出論文
 - 31) P. A. Ruault: "Influence de la Rugosité de la Surface des Defauts sur Leur Identification" IIW—1977 コロキウム提出論文
 - 32) 日本非破壊検査協会 202 小委員会: "超音波探傷による欠陥高さの測定法特集" 非破壊検査 Vol. 26, No. 5 (1977)
 - 33) H. L. Wheley & L. Adler: "Flaw Characterization by Ultrasonic Frequency Analysis" Material Evaluation Vol. 29, No. 8 (1971) pp. 182~188, 192
 - 34) E. Nabel & E. Neuman: "Evaluation of flaw Indications by Ultrasonic Pulse Amplitude and Phase Spectroscopy" 8th World Conference on NDT (1976) 3H
 - 35) J. Obratz: "Frequency Analysis in Ultrasonic Testing" 8th World Conference on NDT (1976) 3E
 - 36) W. G. W. Yee, F. H. Chang & J. C. Couchman: "Applications of Ultrasonic Interference Spectroscopy to Materials and Flaw Characterization" Material Evaluation Vol. 33, No. 8 (1975) pp. 193~199, 202
 - 37) 石井, 富士: "溶接部の内部欠陥と非破壊試験像とその実態との相関性" 非破壊検査 Vol. 21, No. 2 (1971) pp. 65~80
 - 38) H. Wüstenberg, J. Kutzner & V. Kaps: "Flaw Size Determination in Ultrasonic Inspection by Evaluation of the Echodynamic Pattern" 8th World Conference on NDT, (1976) 3H
 - 39) H. Wüstenberg & E. Mundry: "Consideration of the Ultrasonic Testing Method as an Information Transfer System" Brit. J. of NDT Vol. 15, No. 2 (1973)
 - 40) 小倉: "超音波斜角60°法による面欠陥の奥行測定" 非破壊検査 Vol. 26, No. 1 (1977) pp. 96~100
 - 41) E. Varcin & L. Chiret: "Ultrasonic Determination of the Dimensions of Defects" 8th World Conference on NDT (1976)
 - 42) H. Foulquier, M. Roule, R. Saglio & A. M. Touffait: "Application of Focussed Ultrasound to Measure the Dimensions of Defects in Welds" 8th World Conference on NDT (1976) 3H
 - 43) 渡辺, 山田: "斜角探傷による平面欠陥の深さ測定" NDI 資料 2490(1973)
 - 44) 富士, 大塚, 加藤: "部分溶込み溶接部の超音波探傷について" 非破壊検査 Vol. 21, No. 9 (1972) pp. 564~565
 - 45) 加藤, 古沢, 橋本: "部分溶込み溶接継目の超音波斜角探傷について" NDI 資料 2460 (1972)
 - 46) T. Fuji, T. Yamazaki & T. Fujita: "Development and Application of Focussed Probe for Ultrasonic Angle Beam Testing" 8th World Conference on NDT (1976) 2B

- 47) M. G. Silk & B. H. Lidington: "Defect Sizing Using an Ultrasonic Time Delay Approach" Brit. J. of NDT (March 1975) pp. 33~36
- 48) R. J. Hudgell, L. L. Morgan & R. F. Lumb: "Nondestructive Measurement of the Depth of Surfacebreaking Cracks Using Ultrasonic Rayleigh Waves" Brit. J. of NDT (Sep. 1974) pp. 144~149
- 49) C. Flambard, A. Lambert & G. Bouilly: "Nondestructive Determination of Depth of Open Cracks" 8th World Conference on NDT (1976)
- 50) G. DiGiacomo, J. R. Crisci & S. Goldspiel: "An Ultrasonic Method for Measuring Crack Depth in Structural Weldments" Material Evaluation Vol. 28, No. 9 (1970) pp. 189~193, 204
- 51) 小野沢, 石井: "超音波による溶接欠陥寸法の精度" 非破壊検査 Vol. 25, No. 9 (1976) pp. 596~597
- 52) M. J. Silk & B. H. Lidington: "The Potential of Scattered or Diffracted Ultrasound in the Determination of Crack Depth" NDT (June 1975) pp. 146~151.
- 53) 太田, 木村, 上野: "超音波周波数分析法による欠陥高さの測定" 非破壊検査 Vol. 26, No. 5 (1977)
- 54) 倉持, 藤盛: "タンデム法による欠陥高さの測定" 非破壊検査 Vol. 26, No. 5 (1977)
- 55) 大嶋: "斜角2探触子探傷法による平行開先炭酸ガス自動溶接部の検査法について" NDI 資料 2513
- 56) 広瀬他: "タンデム法による内部溶込み不良の検出について" NDI 202 小委 WG-8 資料
- 57) Mundry, et al.: "Ultrasonic Defect-Size Determination with Double-Probe and Single-Probe Technique"
- 58) Schiengerman, et al.: "Bertrag zur Ersatzfehlergrößen Bestimmung beim Ultraschallprüfen nach der Tandem-methode"
- 59) 小倉: "超音波斜角60°法による溶接割れ高さ測定" 非破壊検査 Vol. 26, No. 5 (1977)
- 60) 山崎, 藤田: "斜角焦点探触子の開発と欠陥高さの測定について" 非破壊検査 Vol. 26, No. 5 (1977)
- 61) 大久保: "英国の超音波探傷技量認定試験について" NDI 資料 2631 (1977)
- 62) 小野沢, 石井: "超音波探傷による欠陥高さの測定実験—有効ビーム幅法—" 非破壊検査 Vol. 26, No. 5 (1977)
- 63) 加藤, 桜井, 松村: "超音波探傷による欠陥高さの測定について—斜角一探触子及び分割形斜角探触子による端部ピークエコー法—" 非破壊検査 Vol. 26, No. 5 (1966)
- 64) 藤盛: "鋼溶接部の超音波斜角探傷試験における欠陥寸法の推定方法について" 非破壊検査 Vol. 21, No. 2 (1972)
- 65) 飯塚, 角, 石本: "DAC 回路を使用した超音波探傷による割れ高さの測定" 非破壊検査 No. 26, No. 5 (1977)