

鋼溶接部の超音波斜角探傷試験に関する研究（その4）

—探傷面のあらさの影響と接触媒質の効果に関する実験—

藤 盛 紀 明

§ 1. まえがき

超音波探傷試験においては欠陥からのエコーの高さを色々な目的に使用している。例えばあるエコー高さを与える部分を欠陥として検出するか、あるいは単なる不連続部として見逃がすかもエコー高さの大小によって判別するし、検出された欠陥の等級分類や合否判定にもエコー高さを利用する場合が多い。エコー高さによって欠陥寸法を推定する場合もある。

エコー高さは、探傷面の状態と接触媒質によって大きな影響を受けることは良く知られているが、これに関するデータは少なく、^{1),2)} 本格的な研究は皆無と云ってよい。

溶接部の超音波探傷試験においては探触子の移動の妨害となるような溶接スパッタが探傷面に附着する場合が多く、これを除去するために探傷面をデスクサンダ、ポータブルグラインダ、鉄片、砥石の破片などで処理するのがほとんどである。したがって探傷面はこれらで仕上げられた状態か、黒皮の状態か、黒皮の一部が剝離した状態か、あるいはそれらが発錆した状態である。

これらの表面状態を表面あらさで表示して、そのエコー高さに与える影響を接触媒質の効果とあわせて検討した結果、表面あらさ、接触媒質および周波数の、エコー高さに与える影響について一応の結論が得られたので報告する。

§ 2. 実験方法および測定装置

実験使用したに探傷装置を表一に示す。

探 傷 器	三菱電機製FD170-B
減 衰 器	特注品、総合80dB、0.1dB ステップ
探 触 子	5Z10×10A70, 2Z10×10A70

表一 使用装置

実験は以下の要領で行なった。

測定用試験片中に模形欠陥を設け、探傷面をできるだけ平滑に仕上げ探傷面のあらさを測定する。濃度100%のグリセリンを接触媒質として2MHz および5MHzの周波数の探触子によって模形欠陥を直射法によって探傷する。探触子には1.5kgのおもりを載荷して圧力による誤差を少なくする。模形欠陥からのエコーをブラウン管の50%の目盛に合わせて、その時のアッテネータの値を読み取って S_0 (dB) とする。電源電圧の変動などによるアッテネータの表示値の変動を補正するために、測定の前後に基準試験片中の模形欠陥からのエコー高さをアッテネータで読み取る。測定用試験片の探傷面をあらして、その表面あらさを測定する。測定の対象となる接触媒質を探傷面に塗布して、周波数2MHz および5MHzの探触子で、測定用試験片中の模形欠陥を前述と同じ要領で探傷して、その時のアッテネータの値を G (dB) とする。式(1)のように G と S_0 の差を H_0 で表示する。

$$H_0(\text{dB}) = S_0(\text{dB}) - G(\text{dB}) \quad \dots(1)$$

ただし、これは数字が増すと増幅する仕組みのアッテネータの場合である。

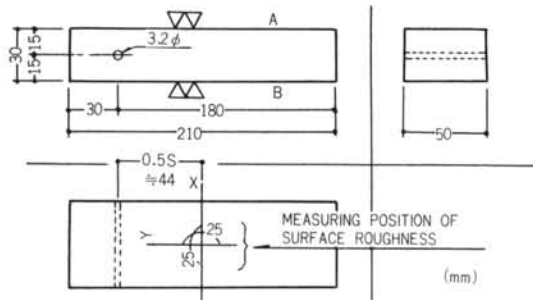
H_0 は測定に使用した周波数、接触媒質および表面あらさにおける、探触子から試験材中に音波が入射するとき、および試験材中から探触子に音波が再入射するときの、音圧の見掛けの損失、あるいは効率を示している。すなわち H_0 がマイナスであれば音圧損失があることを示している。

「見掛けの」という表現は、表面あらさ約 20μ で、接触媒質に濃度100%のグソセリンを使用した場合の H_0 を零と仮定しているためである。

本論文では H_0 を「往復接触効率」と呼ぶ。

§ 3. 試験体および表面加工方法

実験に使用した試験体の形状を図一に示す。材質は



図一 試験片

S S41である。反射源用模形欠陥は直径3.2mmの貫通横穴とした。A、B両面を測定に使用した。試験体の総数は34体である。アッテネータの表示値の変動補正用基準試験片の形状は図一と同じで、材質はSNCM-8を820℃～870℃にてオイルクエンチし、580℃～680℃にて焼戻したものである。

試験片の表面が平滑な状態での貫通横穴からのエコーの強さは、全ての試験片においてほぼ同一で、 S_0 の値は ± 1 dBの変動幅内にある。この時の試験片の表面あらさはJIS B0601-1970「表面あらさ」の十点平均あらさで 20μ ($20\mu R_z$, $L=25$ mm)である。表面あらさのエコー高さに与える影響は、この程度までのあらさでは無視しうることを予備実験で確認している。

S_0 の測定後ポータブルグラインダ、ディスクサンダ(#20, #24, #30, #40), ベルトグラインダ(#40, #100, #240, #400), 帯鋸を用いて試験体表面を種々のあらさに加工した。

§ 4. 表面あらさの表示方法

表面あらさはJIS B0601-1970「表面あらさ」の十点平均あらさで表示した。基準長さは25mmとし、図一に示す x , y 両方向の2個の測定値の平均値を採用した。表面あらさの平均的な値という意味で十点平均あらさを採用したが、この実験の範囲では十点平均あらさと最高あらさは大差なく、 Z を S と読み換えてもよい。

基準長さを1mmなどの短い値にした場合にはうねりが考慮されず、往復接触効率と表面あらさとの間には明瞭な関係は認められなかった。探触子の底面(25mm×14mm)を充分覆うように基準長さを25mmとした。

グラインダなどで加工された表面は方向によってあらさが著しく異なり、一方向のみの測定値では往復接触効率と表面あらさとの間に明瞭な関係が認められなかった。そのため探触子の接する面を基盤目状に測定して平

均したりしてみたが、検討の結果 x , y 二方向の値を平均したもので充分であることが判明した。

表面あらさの測定に使用した装置は三豊製作所製の超アラサ検査機AB-2型で、原則として縦倍率1000倍、横倍率20倍で測定した。

§ 5. 接触媒質

超音波を試験材中に能率良く伝達するために探触子と試験材との間に塗布する液体を接触媒質と呼んでいる。一般にはマシン油などの鉱物油、水、グリース、グリセリン、ペースト、水ガラスなどが使用される。本実験で検討した接触媒質を表一に示す。CMCは繊維素酸グリコールでベントナイト泥水中などに混和する糊である。CMC(X-1)はCMCをベースとして接触媒質用に試作したものである。グリセリン、CMC、CMC(X-1)は水を混合して各種の濃度のものを使用した。CMCは体積で水25に対して1、CMC(X-1)は水6に対して1のものを濃度100%とした。

§ 6. 実験結果

図二～図二九に往復接触効率 H_0 と表面あらさとの関係を示す。図中の白三角はディスクサンダ加工、黒三角はポータブルグラインダ加工、白丸は帯鋸加工、黒丸は

接 触 媒 質	音響インピーダンス($\times 10^6$ kg/m ² S)
モーターオイル	1.28 ⁶⁾
水	1.43~1.55 ^{6), 7)}
CMC 100%	水 < CMC(X-1)
CMC 75%	
CMC 50%	
CMC 25%	
CMC(X-1) 100%	約 1.68 ⁷⁾
CMC(X-1) 75%	約 1.64 ⁷⁾
CMC(X-1) 50%	約 1.61 ⁷⁾
CMC(X-1) 25%	約 1.56 ⁷⁾
グリセリン 100%	約 2.38 ⁷⁾
グリセリン 75%	約 2.17 ⁷⁾
グリセリン 50%	約 1.96 ⁷⁾
グリセリン 25%	約 1.75 ⁷⁾

表一 接触媒質

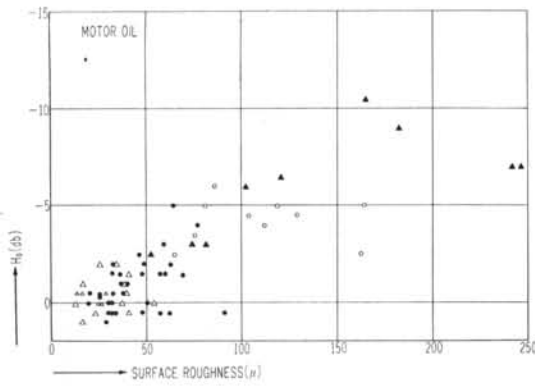


図-2 Motor Oil, 2 MHz

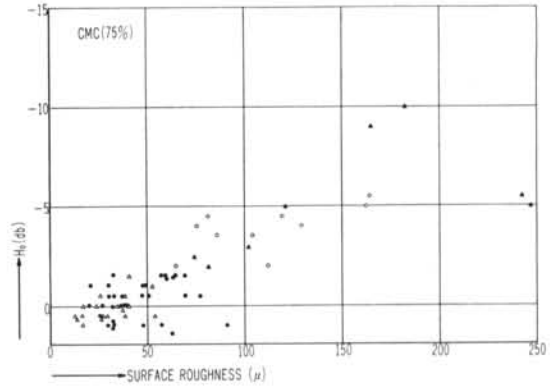


図-5 CMC(75%), 2 MHz

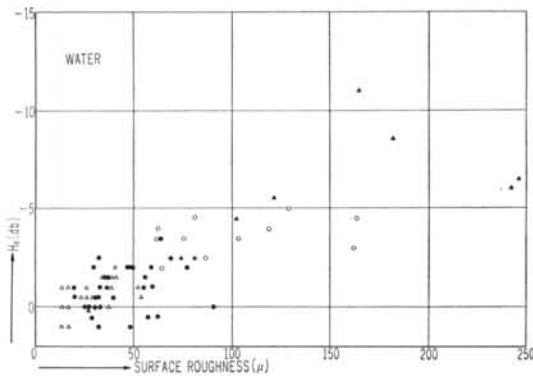


図-3 Water, 2 MHz

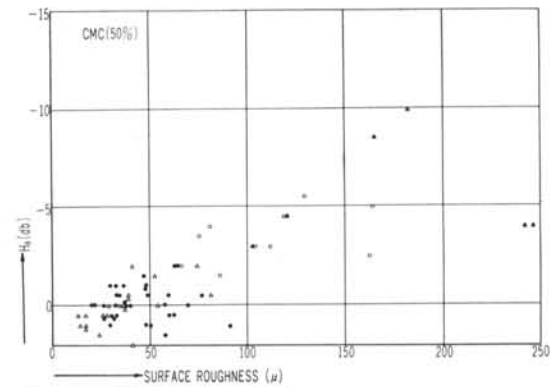


図-6 CMC(50%), 2 MHz

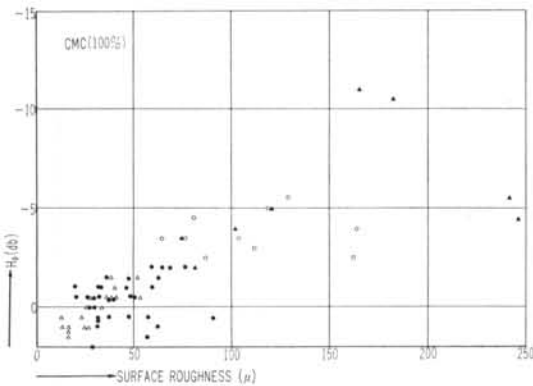


図-4 CMC(100%), 2 MHz

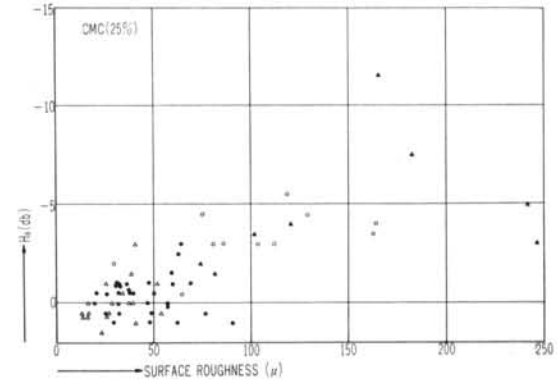


図-7 CMC(25%), 2 MHz

ポータブルグラインダ加工である。図-30、図-31は、2 MHz および 5 MHz について、測定値の平均値を曲線で近似して、各接触媒質の効果を比較したものである。実験の結果を要約すると次のようになる。

- (a) 表面あらしが大きくなれば往復接触効率は減少するが、表面あらしがある程度以上になると逆に増加の傾向がある。
- (b) 音響インピーダンスの大きい接触媒質を使用する

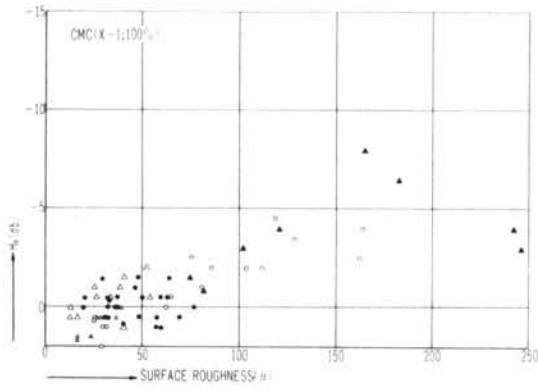


図-8 CMC X-1(100%), 2 MHz

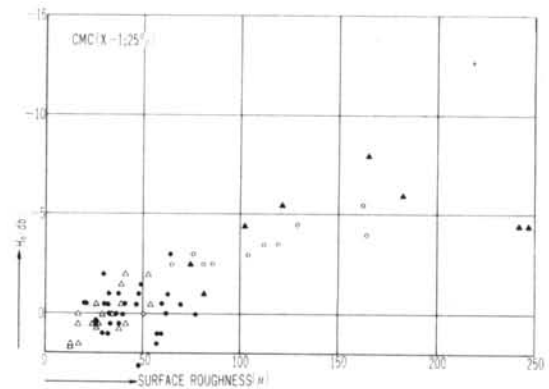


図-11 CMC X-1(25%), 2 MHz

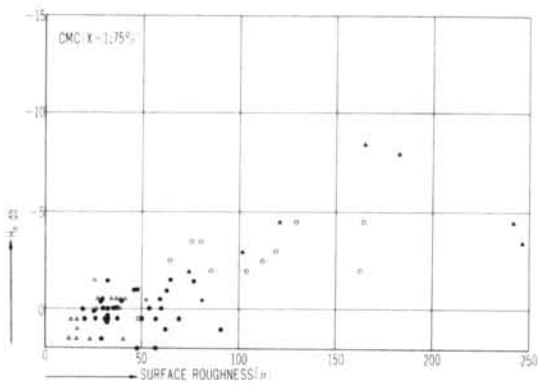


図-9 CMC X-1(75%), 2 MHz

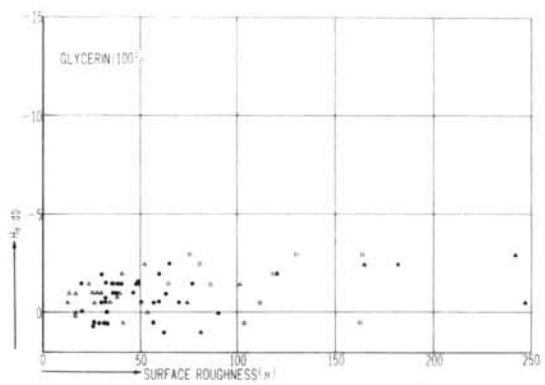


図-12 Glycerin(100%), 2 MHz

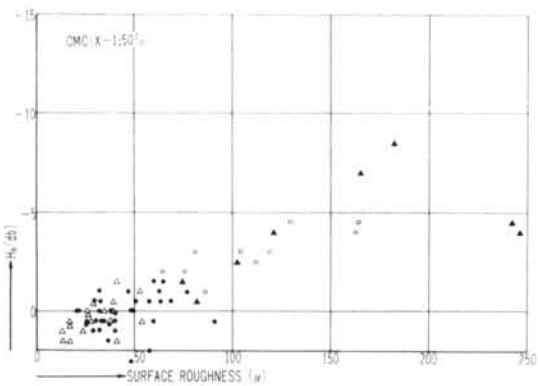


図-10 CMC X-1(50%), 2 MHz

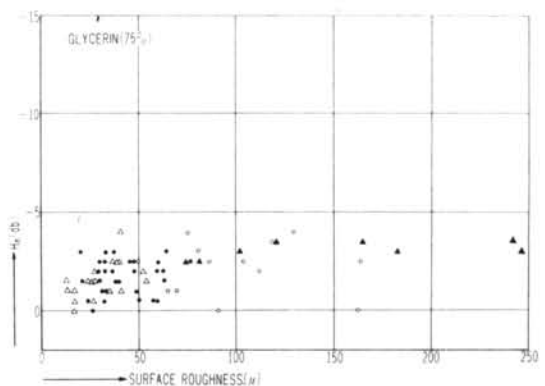


図-13 Glycerin(75%), 2 MHz

ほど、往復接触効率は表面あらしの影響を受けにくい。

(c) 周波数が高いと往復接触効率は表面あらしの影響を受けやすい。

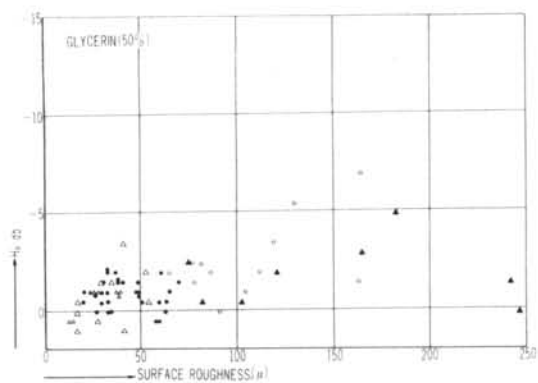


图-14 Glycerin(50%), 2 MHz

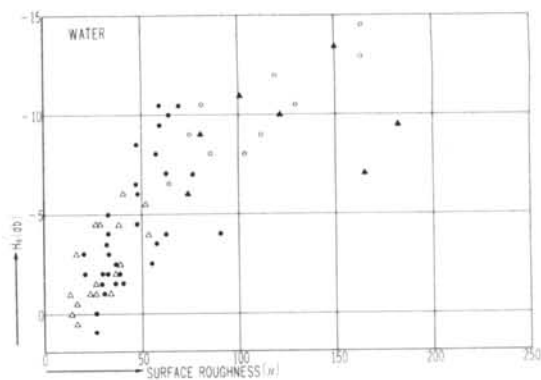


图-17 Water, 5 MHz

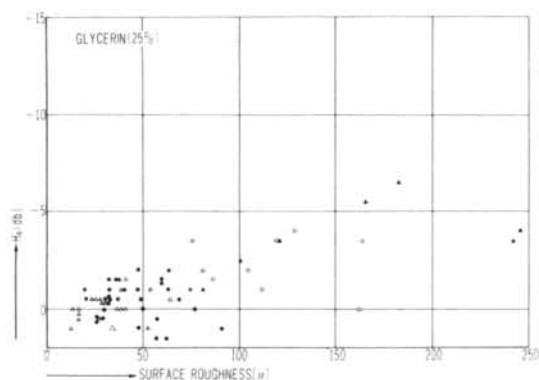


图-15 Glycerin(25%), 2 MHz

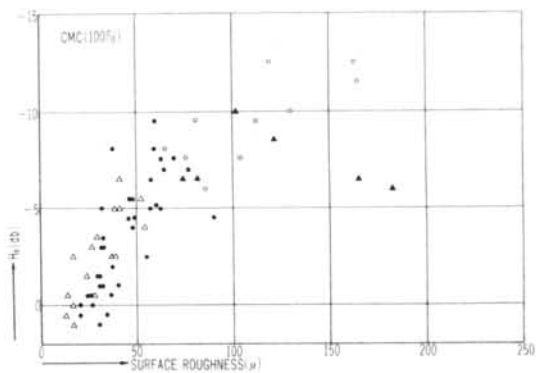


图-18 CMC(100%), 5 MHz

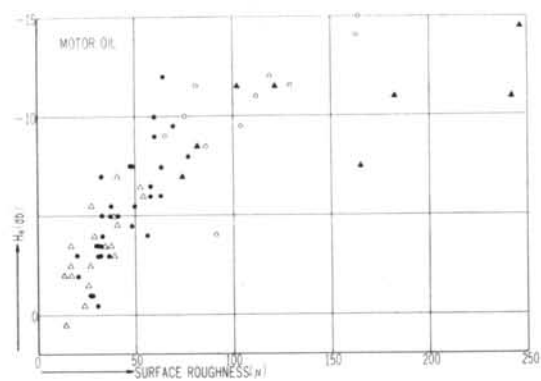


图-16 Motor Oil, 5 MHz

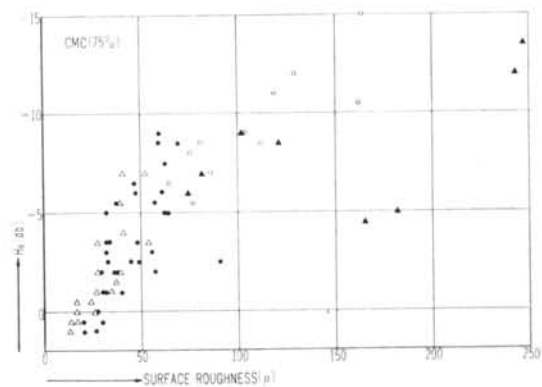


图-19 CMC(75%), 5 MHz

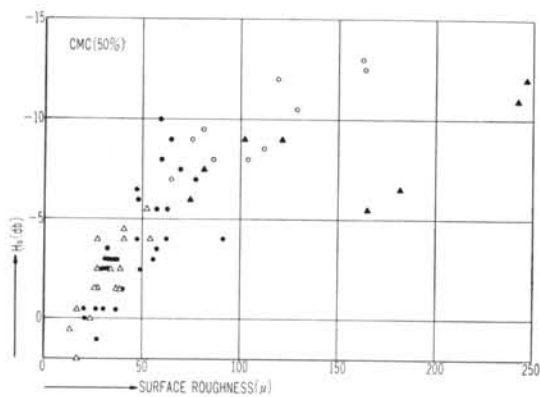


图-20 CMC(50%), 5 MHz

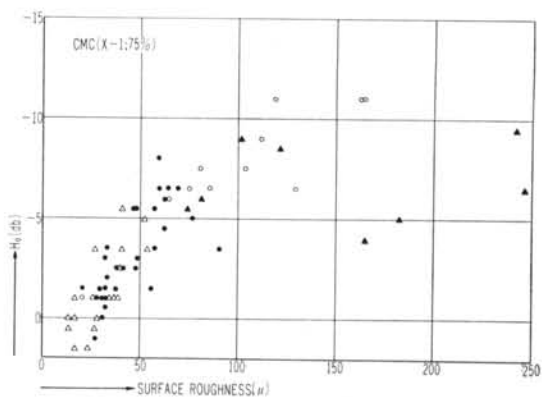


图-23 CMC X-1(75%), 5 MHz

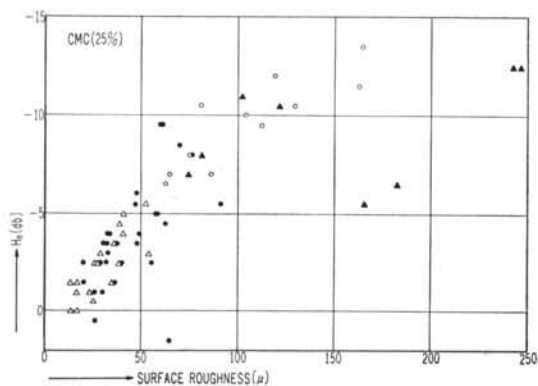


图-21 CMC(25%), 5 MHz

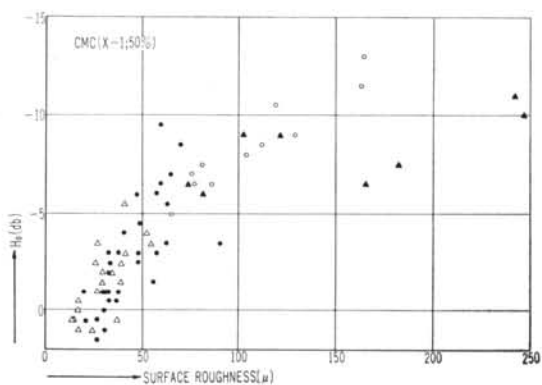


图-24 CMC X-1(50%), 5 MHz

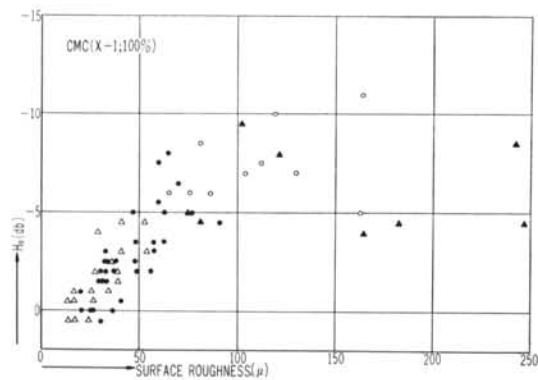


图-22 CMC X-1(100%), 5 MHz

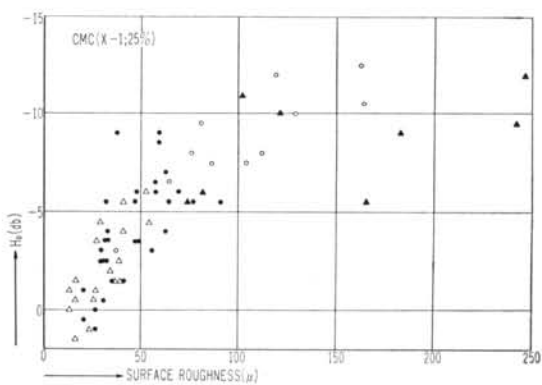


图-25 CMC X-1(25%), 5 MHz

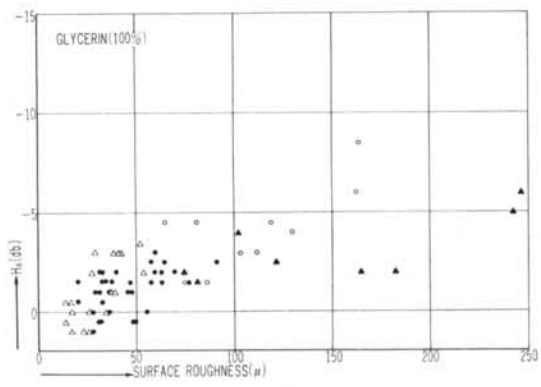


図-26 Glycerin(100%), 5 MHz

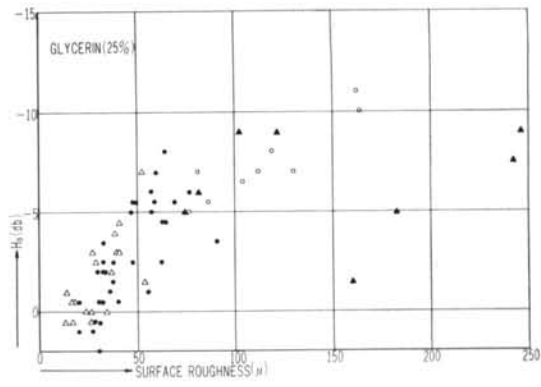


図-29 Glycerin(25%), 5 MHz

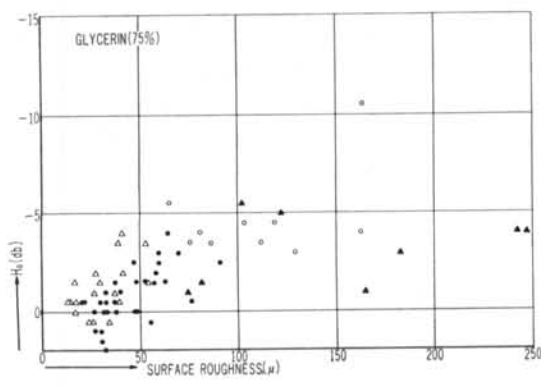


図-27 Glycerin(75%), 5 MHz

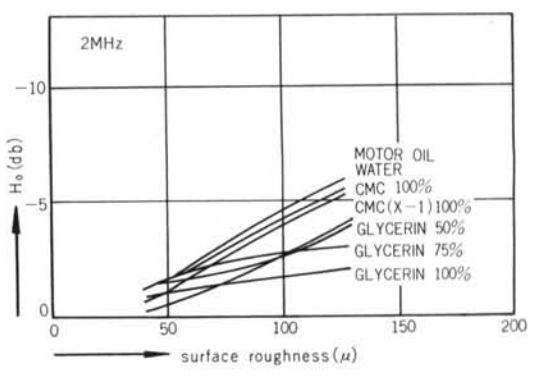


図-30 接触媒質の効果の比較 (2 MHz)

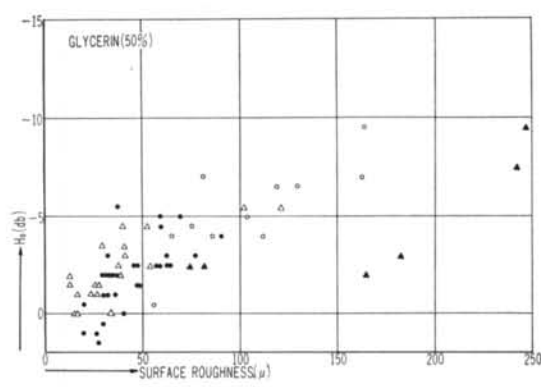


図-28 Glycerin(50%), 5 MHz

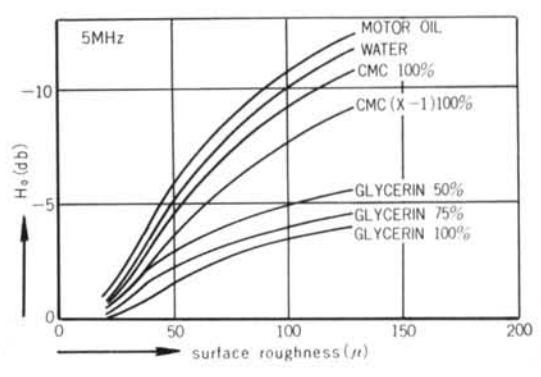


図-31 接触媒質の効果の比較 (5 MHz)

§ 7. 考 察

超音波探傷では、図-32に示す P' のように P_i の通過波が損失なくして戻ったと考えると、往復通過率 T_p を式(2)のように定義している。

$$T_p = \frac{P_i}{P_o} \times \frac{P'}{P_i} \quad \dots(2)^3$$

垂直探傷などのように振動子—接触媒質—鋼など音響インピーダンスがそれぞれ Z_1 , Z_2 , Z_3 と異なる時の音圧往復通過率 T_i は式(3)となる。

$$T_i = \frac{4 \frac{Z_1}{Z_3}}{\left(\frac{Z_1}{Z_3} + 1\right)^2 \cos^2 P + \left(\frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_2}{Z_3}\right)^2 \sin^2 P} \quad \dots(3)^4$$

ここで $Z_1: \dots$

$$P = 2\pi d / \lambda$$

d : 接触媒質の厚さ

λ : 接触媒質中の波長

斜角探傷の場合、探触子の楔および鋼中で縦波、横波が存在し問題は複雑となる。井元は鋼中の屈折角が 45° の場合について計算して垂直探傷の場合と類似の結果を得ている。⁵⁾ ただし、接触媒質の厚さ d が接触媒質中の音波の通過距離となしとしている。

表面あらさ (R_z) が大きくなれば接触媒質の厚さが増加したのと同じ効果があり、 $d = \alpha R_z$ と考えてもよい。したがって接触媒質中の屈折角を θ' とすれば、音圧往復通過率 T_i' は式(4)のように考えることができる。

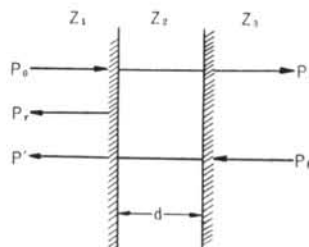


図-32 層面からの反射

$$T_i' = \frac{\gamma}{1 + \beta \sin^2 P} \quad \dots(4)$$

ここで $P = 2\alpha\pi R_z / \lambda \cos \theta'$

H_o と T_i' との間には式(5)のような関係がある。

$$H_o = 20 \log_{10} \frac{T_i'}{T_i' R_z = 20\mu} \quad \dots(5)$$

式(5)において、 R_z が大きくなれば H_o は減少するが、 R_z が $\lambda \cos \theta' / 4d$ を越すと H_o は増加する。また λ が大きいと、すなわち周波数が小さいと H_o は R_z の影響を受けにくい。これは実験結果の(a), (c)を良く説明している。

H_o が R_z の影響を受けにくくするためには式(4)の係数 β が小さい程よい。屈折角 70° の斜角探傷の場合の β は未知であるが、垂直探傷の場合には次のようになる。

$$\beta = \frac{Z_2^4 - (Z_3^2 + Z_1^2)Z_2^2 + Z_1^2 Z_3^2}{(Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3)^2} \quad \dots(6)$$

β は $Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_3}$ で極小となる。 Z_1 にアクリルの音響インピーダンス、 $3.3 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ S}$, Z_3 に鋼の音響イン

周波数	2 MHz						5 MHz						
	ショットブラスト		ショットブラストおよびプライマー		ショットブラスト、プライマーおよびベイント		ショットブラスト		ショットブラストおよびプライマー		ショットブラスト、プライマーおよびベイント		
表面あらさ (μ)	46	62	50	49	18	16	46	62	50	49	18	16	
接 触 媒 質	モーターオイル	-5.0	-6.0	-4.5	-7.0	-9.0	-6.5	-10.0	-10.0	-7.5	-10.5	+1.5	+3.5
	水	-5.5	-5.5	-5.0	-7.5	-8.5	-7.5	-10.0	-8.0	-7.5	-10.0	+0.5	+3.5
	CMC 100%	-4.5	-5.0	-4.5	-6.5	-8.0	-6.5	-10.5	-5.0	-4.0	-7.0	+1.5	+5.0
	CMC 75%	-2.5	-3.0	-2.5	-4.5	-5.0	-3.5	-9.5	-8.0	-6.5	-7.5	+2.0	+4.5
	CMC 50%	-2.5	-3.0	-1.5	-4.0	-5.5	-4.0	-9.5	-8.5	-6.0	-7.5	+2.5	+4.5
	CMC 25%	-2.5	-3.0	-2.0	-4.5	-6.0	-4.5	-9.0	-8.0	-6.0	-7.0	+1.5	+3.5
	Glycerin 100%	-1.0	-1.0	-1.5	-2.5	-4.0	-3.0	-4.5	-4.5	-3.0	-4.5	+2.0	+4.0
	Glycerin 75%	-0.5	-1.5	-0.5	-3.0	-4.5	-3.5	-4.5	-3.5	-2.5	-4.0	-2.5	+5.0
	Glycerin 50%	-2.0	-2.5	-2.0	-4.5	-5.0	-3.5	-7.5	-2.5	-1.0	-4.5	+4.0	+3.5
	Glycerin 25%	-2.5	-3.0	-1.5	-3.5	-5.5	-5.0	-7.5	-7.5	-6.0	-8.0	-8.5	-6.5

表-4 ショットブラスト、プライマーおよびベイント塗布面の H_o (dB) (ベイント厚 $300\mu \sim 400\mu$)

ピーダンス $45.4 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 S$ を入れると $Z_2 = 12.2 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 S$ となる。 Z_3 に鋼の横波の音響インピーダンス $24.6 \text{ kg/m}^2 S$ を入れると $Z_2 = 9.0 \text{ kg/m}^2 S$ となる。現在使用している接触媒質の音響インピーダンスは $1.3 \text{ kg/m}^2 S \sim 4 \text{ kg/m}^2 S$ であるから、接触媒質の音響インピーダンスが大きいほど式(4)の係数 β が小さくなり、 H_0 は R_Z の影響を受けにくくなる。これは実験結果の(b)の傾向とよく一致している。

表-3は板厚9mm~30mmのSS材の圧延のままのものを実際に近い状態にして、表面あらさを§4.と同じ方法で測定したものである。

溶接スパッタを砥石のついたポータブルグラインダで除去した面は、超音波の往復接触効率を著しく無くすることがわかる。周波数2MHzを使用する場合には、著しく探傷面をあらさないかぎり、どの接触媒質を使用してもあまり問題はない。周波数5MHzを使用する場合には、少なくとも濃度75%以上のグリセリンを使用すべきであると考ええる。

参考までに表-4に、ショットプラストした面、それにプライマーを塗布した面、およびさらにその上にペイントを吹付けた面の往復接触効率を示す。

ショットプラスト面は往復接触効率を低下させる。プライマーは往復接触効率に余り影響を与えず、どちらかといえば、あらい表面への塗布は良い結果をもたらすよ

表面状態	表面あらさ(μ)
ミルスチール、ワイヤブラシで清掃	14~21
一部剝落したミルスチール、ワイヤブラシで清掃	34~51
発錆したミルスチール、ワイヤブラシで清掃	16~30
デスクサンダチ仕上げ	14~54
ポータブルグラインダー仕上げ	75~243
ショットプラスト処理	46~62

表-3 表面状態と表面あらさ(板厚9mm~20mm)

うである。ペイントは周波数2MHzでは悪い影響を、周波数5MHzでは良い影響を与えているが、その理由は不明である。本実験に使用したペイントの塗膜は金属面へ良く密着しており、ショットプラストであれた面を平滑にするような効果をもたらしている。このような状態が現場においていつもみられるとは思われず、やはり探傷面へのペイントの塗布は一応避けるべきものと考ええる。

未筆ながら本実験に協力して頂いた当時武蔵工業大学の浅利、織本、鈴木のろ氏に謝意を表する。

またSNCM-8の熱処理は東京工業大学金属工学科の田中研究室に依頼した。

ショットプラスト、プライマー塗布、ペイント吹付けの試験片は石川島播磨重工業の岸上氏が日本非破壊検査協会202小委員会に提供したものである。

<参考文献>

- 1) Günter Bunken, Hans Kärchter: "Zur Frage der Fehlergrößenbestimmung in Schweißnähten nach dem Ultraschall-Reflexionsverfahren" Materialprüfung 10(1968) Nr. 10 Oktober. p. 330
- 2) 富士岳: "接触媒質のテスト" ND I 2404-70 原案作製委員会資料, UW-35
- 3) 日本学術振興会製鋼第19委員会編: "超音波探傷法" 日刊工業新聞社 p. 30
- 4) 同上 p. 34
- 5) 井元鑑二: "超音波の反射屈折の計算(続報)" 電気試験所彙報第16巻第7号 p. 541~p. 542
- 6) 日本学術振興会製鋼第19委員会編: "超音波探傷法" 日刊工業新聞社 p. 31
- 7) 松本庄次郎他: "接触媒質の音響特性" ND I 資料2386, 昭46. 1. 29
- 8) 実吉純一他: "超音波技術便覧" 日刊工業新聞社 p. 16~p. 21, p. 74~p. 91
- 9) 藤盛紀明: "超音波斜角探傷試験における表面あらさの影響と接触媒質の効果に関する実験" ND I 資料2406, 昭46. 7. 2.

