

超音波を用いた材料評価技術の研究 (第1報)

—探傷における欠陥形状ならびに探傷条件の影響—

宮川 和幸・齊藤 修・大柴 勝彦

Material Evaluation by Ultrasonic Testing Method (1st report)

—Effects of Defect Shape and Investigation Conditions in Defect Searches—

Wako MIYAGAWA, Osamu SAITOH and Katsuhiko OSHIBA

要 約

探傷精度の向上を目的として、人工欠陥を各種の条件で探傷し、探傷条件が試験結果に及ぼす影響を検討した。その結果、直接反射波を映像化する反射法では欠陥が表面に近づくにつれて検出能が低下するが、底面エコーを映像化する透過法では時間分解能の影響を受けにくく、表面直下の欠陥でも検出が可能であることがわかった。また、探傷周波数が測定結果に及ぼす影響について検討した結果、周波数を上げると分解能は高くなるが超音波の減衰が大きくなる傾向が見られた。

1. 緒 言

非破壊検査には放射線透過試験、磁粉探傷試験、浸透探傷試験および渦流探傷試験等種々の方法^{1) 2) 3)}がある。なかでも超音波探傷試験は、X線では検出し難い面状欠陥に対して高い検出感度を有する特徴があり、接着部分の接合不良や材料内のクラック等の内部欠陥の検出に大きな威力を発揮する。超音波探査映像装置では欠陥は画像として表示されるが、探傷結果は探傷周波数や探傷速度等の測定条件の影響を受けやすい。そこで、本研究は探傷精度の向上を目的として、各種の探傷条件で人工欠陥を測定し、探傷条件が結果に及ぼす影響を検討した。

2. 実験方法

2-1 超音波探査映像法の原理

超音波探査映像装置での探傷は、通常試験体を水中に固定し探触子を走査する水浸法⁴⁾により試験体内部の欠陥を探索する。水浸法の原理を図1に示す。探触子で発生した超音波は水中から試験体内部へ進み、内部欠陥で反射したのち

逆の経路で探触子に戻り電気信号に変換される。この内部欠陥等からの反射波が到達するまでの時間は探触子から内部欠陥までの距離、すなわち欠陥深さに比例する。この状態で探触子を走査させることにより特定範囲の反射波の強度分布が得られる。このように欠陥からの反射エコーを検出、映像化する方法を反射法⁴⁾といい超音波探査映像試験では反射法が一般的に用いられている。

2-2 探傷法による表面近傍欠陥検出への影響

反射法では欠陥が表面に近づくにつれ、表面と欠陥からの反射エコーの時間差が小さくなるため、両エコーの分離が困難となり、表面直下の欠陥検出能が低下する。そこで材料表面を透過してくる超音波に注目し、透過波を検出、映像化する透過法⁴⁾で表面近傍欠陥の検出を行い、従来法(反射法)による探傷結果と比較検討した。

厚さ3mmの軟鋼板(SS400)に厚さ20 μ mのAl粘着テープを接着し、一部に未接着部分を形成して表面直下の人工欠陥とした(図2)。未接着部分の形状は、 ϕ 6の円形である。この試験片に対し、接着面の反射エコーを検出する反射法と

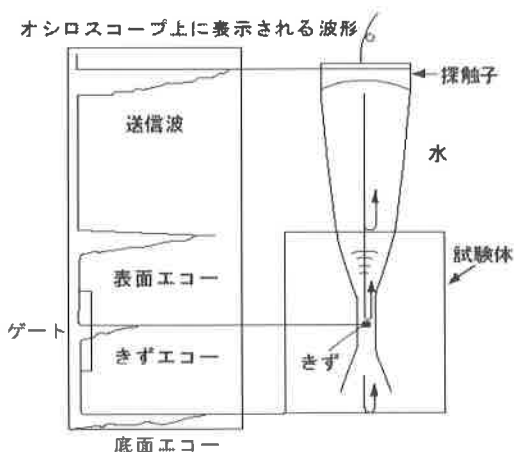


図1 水浸法の原理

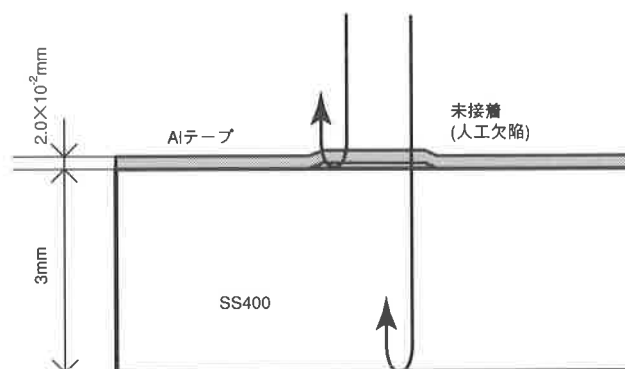


図2 表面近傍欠陥探傷用試料

軟鋼板底面に到達した超音波を検出する透過法により表面近傍欠陥の探傷を行った。超音波探査映像装置は日立建機株式会社製のAT-7000を使用し、探触子は同社製の焦点距離25.7mm、周波数5MHzと15MHzのものを用いた。走査間隔は0.1mm、走査範囲は15×15mmとした。

2-3 探傷精度に及ぼす探傷周波数の影響

厚さ10mmの軟鋼板 (SS400) 及び銅板 (C1020) の片面に直径5mm深さ3mmの平底穴と幅5mm深さ3mmの溝を加工して人工欠陥とした (図3)。この試験片を用い探傷結果に及ぼす探傷周波数、被探傷材の影響を検討するため実験方法2-2と同様の測定条件で人工欠陥の探傷を行った。

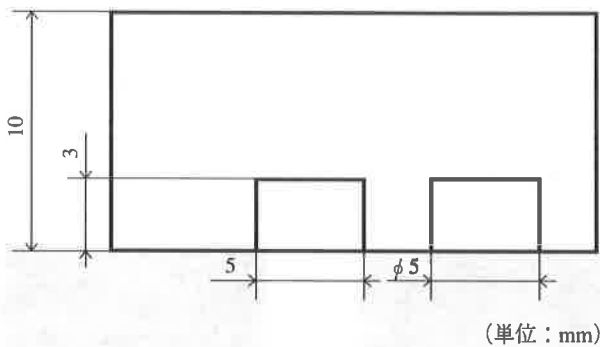


図3 人工欠陥形状 (溝及び平底穴)

3. 結果及び考察

3-1 表面近傍欠陥の検出に及ぼす探傷法の影響

図4は表面近傍の人工欠陥 (図2) を反射法により探傷した映像である。超音波検出ゲートは表面近傍に設定してある。15MHzでは人工欠陥の輪郭の一部がわずかに認められたものの、欠陥部はほとんど識別されていない。一方、材料底面に検出ゲートを設定した透過法では、図5に示すように欠陥部分は明瞭な映像として観察される。

反射法では欠陥からの反射超音波を直接検出するが、2-1に示すとおり欠陥位置が表面に近づくにつれ材料表面からの反射波と欠陥からの反射波の時間差が小さくなる。

AIの場合、音速は6,260m/sであるので、20 μ mの薄膜を往復するのに要する時間は6.4nsecとなる。それに対し、使用している超音波探査映像装置の時間分解能は50nsecであるため、表面波と剥離面からの反射波の分離は困難となる。

一方、底面エコーを検出する透過法では時間分解能の影響を受けにくいことから、表面直下の欠陥検出が可能となる。しかし、図5に示すとおり測定された欠陥のサイズは実際の人工欠陥より大きくなる傾向を示した。透過法では焦点を材料底面に設定している関係で、欠陥が存在する高さでは超音波は十分収束しておらず、ある幅を有している。そのため、図6に示すように走査する際に超音波の一部が欠陥により遮断され、底面に到達する超音波は減少する。こ

ことから透過法で映像化される欠陥は実際よりも大きく判定されるものと考えられる。

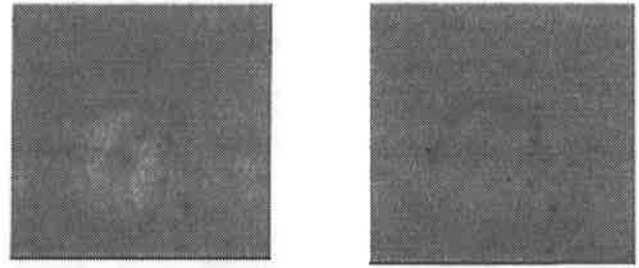


図4 反射法による探傷結果

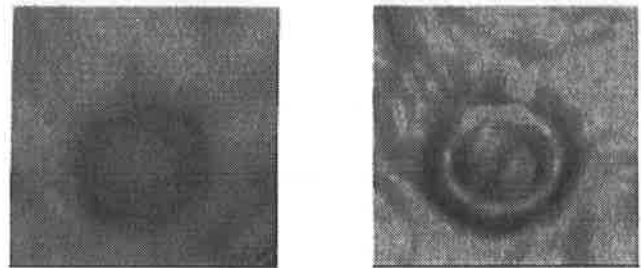


図5 透過法による探傷結果

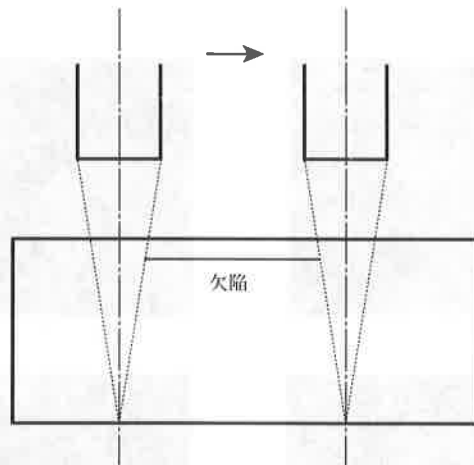


図6 透過法による検出誤差

3-2 探傷精度に及ぼす探傷周波数の影響

図7はSS400に設けた人工欠陥 (図3) に対する反射法による映像である。SS400の場合、5MHzと15MHzとの間で検出結果に大きな差異は認められない。反射波の強度を同程度にする送信波の強度は、5MHzの探触子使用時が36dB前後、15MHzの探触子使用時が38dB前後であり、SS400の場合反射波の減衰は探触子の周波数にあまり依存しないことがわかる。

C1020に設けた人工欠陥の探傷結果を図8に示す。人工欠陥の周辺部分で反射波強度が低く、欠陥境界部が不鮮明となる傾向を示した。5MHzの探触子を使用し送信波の強度を44dBにした場合と、15MHzの探触子を使用し送信波の強度

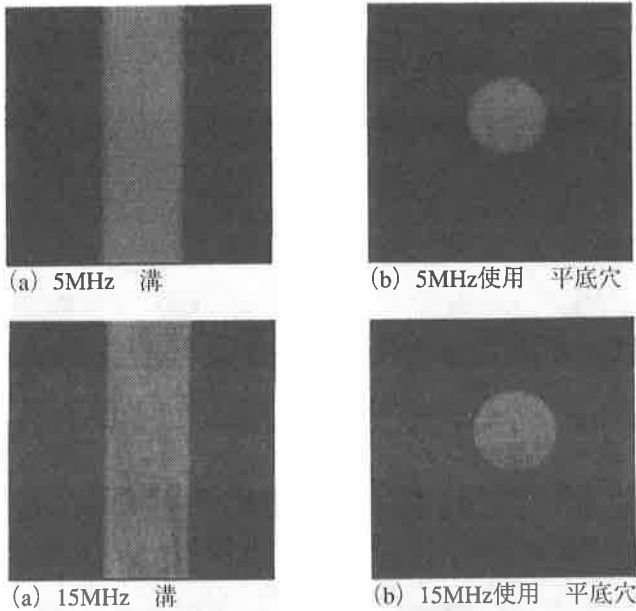


図7 人工欠陥探傷結果 (SS400)

を56dBにした場合、反射波の強度は同程度となったが、この結果は、探触子の周波数が高くなると反射波の減衰が大きくなることによる。

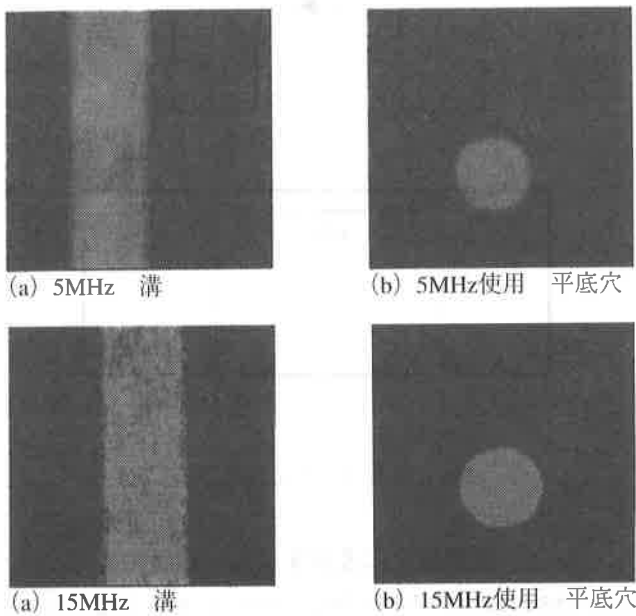


図8 人工欠陥探傷結果 (C1020)

一般的に、反射された超音波の音圧から論理的に反射源の寸法が推定できる反射源の最小寸法³⁾は、波長の1/2程度であるといわれている。鋼及びCuの音速と波長の関係⁴⁾は表1のとおりで、周波数を高くすると分解能は向上し、微細な欠陥を検出することが可能となる。図6においても同一欠陥探傷で、15MHzの探触子を使用した場合の方が5MHzより詳細な映像が得られた。

しかし、C1020の場合15MHzの探触子使用時は5MHzと比

表1 各物質中の音速と波長

物質	音速(m/s)	波長 (λ) (mm)	
鋼	5,900	1.180	0.393
Cu	4,700	0.940	0.313
周波数 (MHz)		5	15

較して欠陥形状を正確に検出していない。C1020においては、探触子の周波数が高くなると反射波の減衰が大きくなる。結晶粒が粗大化すると減衰が大きくなることが報告されているが、C1020はSS400に比較して明らかに大きな結晶粒径(図9)を有しており、これが減衰に大きな影響を及ぼしているものと推定される。また、周波数が高くなるにつれてその影響⁵⁾も大きくなるものと考えられる。

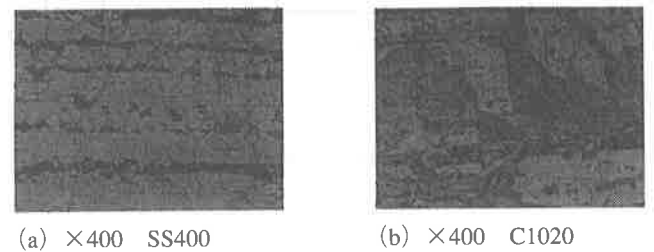


図9 組織観察結果

4. 結 言

探傷精度の向上を目的として、超音波探傷映像装置を用いて人工欠陥を各種の条件で探傷し、試験結果に及ぼす探傷条件の影響を検討した。その結果、表面直下の欠陥検出については、直接反射波を映像化する反射法より底面エコーを映像化する透過法が時間分解能の影響を受けにくく有効である。また、周波数を上げると分解能は高くなるが超音波の減衰が大きくなる傾向が見られ、これは被験材の結晶粒径の大きさが反射波に影響を及ぼしている。

参考文献

- 1) 日立建機株式会社：日立超音波探傷映像装置AT, microscopeシリーズ 上級編テキスト, P4-8
- 2) 日立建機株式会社:AT測定の手引き, P13-15
- 3) 島川正憲：超音波工学—理論と実際—, 工業調査会, P12-13 (1975)
- 4) 実吉純一他：超音波技術便覧, 日刊工業新聞社, P1324-1326 (1960)
- 5) 和田八三久他：超音波スペクトロコピー [基礎編], 培

- 風館, P153-155, (1990)
- 6) 御子柴宣夫他: 超音波スペクトロコピー [応用編], 培風館, P187-188, (1990)
- 7) 三原毅他: 超音波周波数解析によるFe系材料の結晶粒径評価, 非破壊検査, 35, 9A, P640 (1986)