

I—13

超音波パルスエコー法による構造部材内部の画像処理解析

北見工業大学	正員	菅原 登
北見工業大学	正員	山崎 智之
北見工業大学	正員	大島 俊之
北見工業大学	正員	三上 修一

1. まえがき

一般に構造物の破壊は、部材内部または継手部分に存在する微細な欠陥が、外力や環境によって緩慢にあるいは急激に成長することにより起こるものである。すなわち破壊は、欠陥の発生とその伝播の過程によって生ずる。したがって構造物の信頼性をより適確に評価するには、欠陥の検出と欠陥の進展状況を把握することが重要な要素となる。

本論文では、特に鋼構造物を前提とし、実験室におけるテストピースを対象に、超音波パルスエコー法による欠陥の画像処理について述べる。なお直接接触法では、探触子と被検体の探傷面とはペンキなどの接触媒質を通して接触するので、表面の粗さによって超音波の波形が変化する影響を受けるが、水浸法は、探触子から放射された超音波が、ある程度の深さの水中を伝播したのち被検体に入射するので、前者に比べて表面の粗さによる影響は、はるかに少ない。このことから実験は水浸法によった、また有限要素法による応力解析及びブレイクメーターによる応力測定を行って、欠陥進展追跡の参考とした。

2. 超音波による欠陥検出の基本原則

図1のように媒質の異なる境界面に入射角 θ_i で当たった音波は、反射角 θ_r の反射波と屈折角 θ_t で進入する通過波の成分に分かれ、次の反射屈折の式が成り立つ。

$$\frac{\sin \theta_r}{\sin \theta_i} = \frac{C_2}{C_1} \quad (1)$$

ここで、 C_1 は媒質 I の音速、 C_2 は媒質 II の音速である。式(1)において屈折角 θ_t が 90° になるような入射角を臨界角といい、全反射の状態となる。斜角探傷法では、この臨界角以上の入射角を使用している。

また音波が境界面に垂直に当たったとき、入射する音圧を P_o とすれば、媒質 I に反射波の音圧 P_r 、媒質 II に通過波の音圧 P_t を生ずる。このときの音圧反射率 γ_p は式(2)、往復通過率 T_p は式(3)のように表される。

$$\gamma_p = \frac{P_r}{P_o} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

$$T_p = \frac{P_t}{P_o} \cdot \frac{P_t'}{P_t} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} = 1 - \gamma_p^2 \quad (3)$$

ここで、 Z_1 は媒質 I の音響インピーダンス、 Z_2 は媒質 II の音響インピーダンスで密度と音速の積である。式(2)において符号が負になるのは、反射のとき $\sin(\omega t - kx)$ の符号が変わるからであり、 Z_1

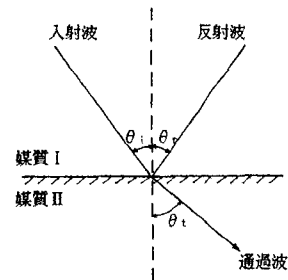


図 1

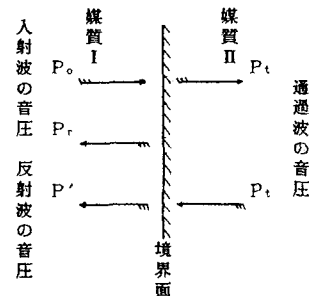


図 2

及び Z_z の大小に関係する。これは入射波の位相が変化するためである。またエコー高さは音圧に比例する。このような超音波の特性を利用して、欠陥探傷の検出に応用している。

3. 超音波パルスエコー法による欠陥の画像処理解析

実験に用いた超音波探傷装置の主要部分は、探傷装置、走査装置、データー処理装置、画像処理装置、ソフトウェアなどから構成されている。その概要は次のとおりである。

焦点型垂直探触子 (水浸用)

周波数 10MHz

焦点距離 約40mm (水中)

3軸スキャナー (直交座標型)

走査範囲 500×600×250mm

走査ピッチ 0.05～9.95mm (0.05mmピッチ可変)

走査速度 10～150mm/s

画像処理

濃度表示 エコー強度256階調, Cスコープ表示

カラー表示 16色, Cスコープ表示

反射波の解析においては、被検体の測定深さに応じた時間軸のゲートを設定し、このゲートを通じた波形の最大振幅を、欠陥エコー高さに比例した信号出力として取り出すことができる。またこの電圧と可変できる基準電圧を比較電圧回路に通すことにより、オン・オフの出力がえられる。すなわち欠陥エコーのAD変換を画像処理のデーターとして、欠陥図形を二次元表示する。

実験を行った結果の一部を図3及び図4に示した。図3はSS41の鋼材(60×9×200mm)の中央に、ドリルホール(φ1.6mm)があるとき、応力0の状態あるいは引張応力作用状態における欠陥検出の画像である。また図4はSS41の鋼材(67×6×200mm)の中央片側端面に、V型切り欠き(切り欠き幅5mm, 深さ20mm)があるとき、応力0の状態あるいは引張応力作用状態における欠陥検出の画像である。

(1) 図3の考察

応力0の状態と引張応力作用状態の欠陥画像(ドリルホール)を比較すると、いずれの場合も欠陥そのものの実体は、明白に画像処理されている。しかし引張応力作用状態の場合には、欠陥の近傍は既に塑性領域になっており、極く微細なクラックの発生が予想されるのに、クラックと推定される画像は現れていない。欠陥周辺部分に薄い白色の変化が生じたのは、応力集中によりその部分の金属組織に変化が生じたと見ることができる。なお実験中に破壊近くで円形のドリルホールが、楕円形に変形したことは肉眼でも確認されている。

(2) 図4の考察

引張応力を徐々に大きくすれば、V型切り欠き先端部分に変化が生じ、クラックの発生と推定できる画像が現れている。さらに高精

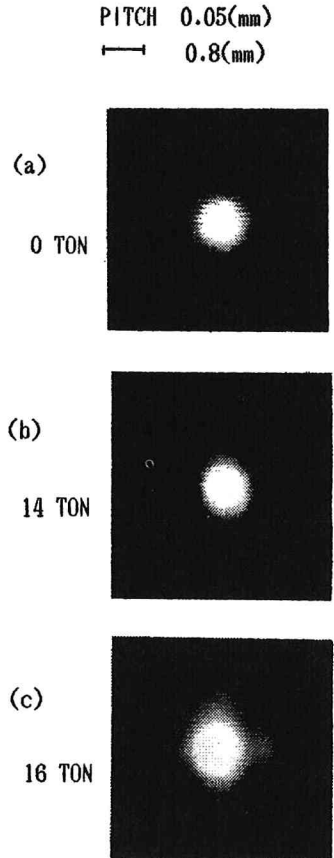


図 3

度の探傷が可能ならば、引張応力のもっと小さい状態から、極く微細なクラックの検出ができることは予想される。

これから総体的に考察すれば、欠陥そのものの画像処理については成果を得たが、ドリルホールの場合において、欠陥画像変化の追跡に関しては、なお検討の余地がある。

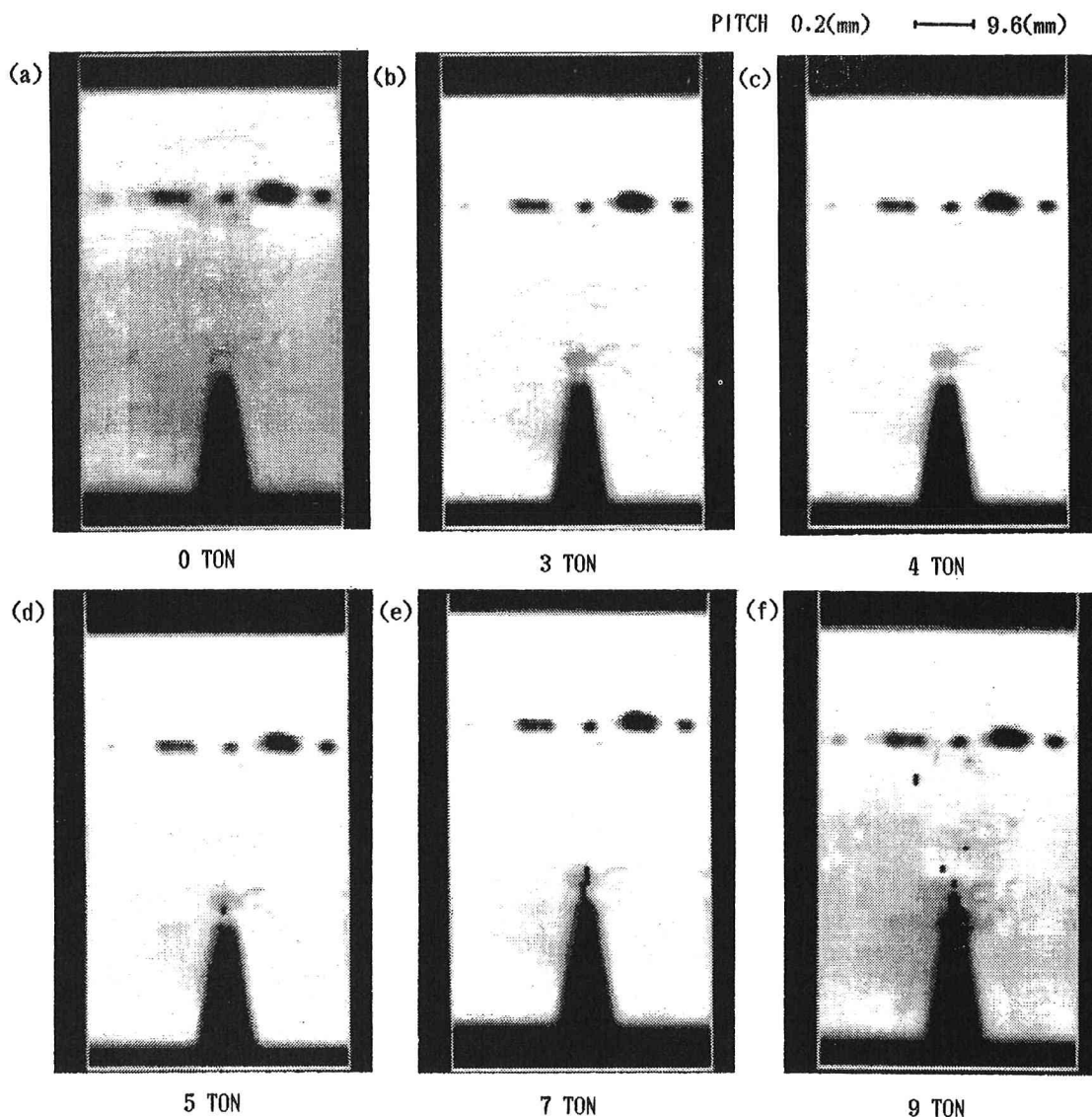


図 4

4. 有限要素法による応力解析とストレンゲーターによる応力測定

応力作用下において、超音波パルスエコー法による欠陥画像変化の追跡を確認するために、切り欠きの存在するテストピースについて、有限要素法による応力解析とストレンゲーターによる応力測定を行った。テストピースは、画像処理の実験の場合と同じ S S 41 の鋼材 (67×6×200mm) 中央片側端面に、切り欠き (切り欠き幅5mm, 深さ20mm) がある。応力を数値計算あるいは実測した結果の一部を、図5及び図6に示した。図5は点A (切り欠き先端より 5mm上の点)、点B (切り欠き先端より25mm上の点) における応力一ひずみ

図であり、有限要素法解析の際にヤング係数 E を決定することに利用した。また図6は引張荷重3 tの場合について、有限要素法及びストレンゲーターによる応力図である。

(1) 図5の考察

応力集中による応力分布は、切り欠き先端部分が最大で、上に離れるにしたがって小さくなるから、点Aは点Bよりはやく弾性限に達する。

(2) 図6の考察

有限要素法による計算結果とストレンゲーターによる実測値は、かなり接近している。またこの図から破壊は、切り欠き先端部から進行することがわかる。

これらを、先の欠陥画像変化の追跡図と対比すると、画像変化追跡の場合、応力集中による破壊は、定性的ではあるが計算結果及び応力測定結果と類似した傾向を推定することができる。

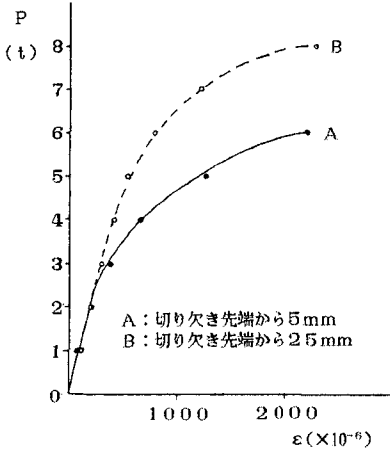


図 5

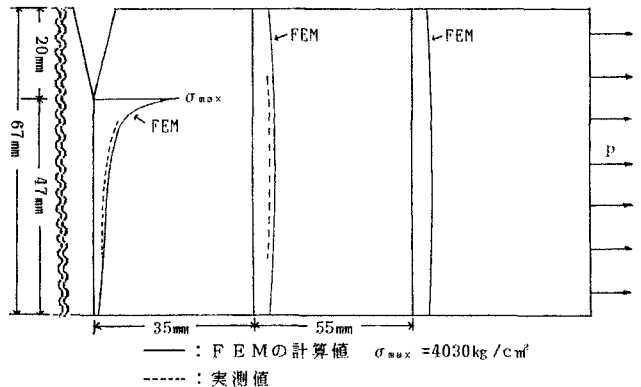


図 6

5. あとがき

超音波探傷は、本来部材内部の欠陥や継手部分の欠陥を非破壊的に検出するものであつて、欠陥の有無、位置、形状、分布状況などを定性的にとらえている。そしてこれらの情報をもとにして、信頼性の評価に応用しているのが実状である。したがって欠陥の検出から、定量的な危険度を判別することは、極めて困難なことである。しかし構造物の健全度を評価する上で、クラック進行初期の段階での情報は、非常に有効なものとなる。

一般に鋼材の欠陥検出に当たっては、周波数10MHz程度の超音波が適当とされていたが、クラック進行初期の段階では50MHz程度の超音波との併用を考えた方がよいと思われる。ただしこの場合、周波数を高くすれば分解能が良くなって欠陥検出の精度は上がるが、逆に減衰が大きくなるために深い内部欠陥を見落とす恐れがある。

今回の超音波パルスエコー法による欠陥の画像処理については、一応の成果は得られたが、幾つかの問題点は残されているので、今後この点に関してさらに究明することを予定している。

参考文献

- 1) 宮本博：有限要素法と破壊力学，培風館，1972。
- 2) 日本学術振興会：超音波探傷法，日刊工業新聞社，1974。
- 3) 戸川隼人：マイコンによる有限要素解析，培風館，1982。
- 4) A. Alippi, W. G. Mayer: Ultrasonic methods in Evaluation of Inhomogeneous Materials, Martinus Nijhoff Publishers, 1987。