

構造部材の状態変化による欠陥画像の研究

北見工業大学	正員	山崎 智之
北見工業大学	正員	菅原 登
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、構造物はそれ自体が表面に粗さをもっており、ペイントされそして砂塵が付着している。特にある年数を経過した構造物は、自然環境による錆や腐食、あるいはペイントの剝離などが生じている。したがって、これらの部材表面の種々の状態が、内部欠陥の画像に及ぼす影響について検討することが必要となる。

構造部材の欠陥検出及びその健全性の評価は、大別して、部材の製造過程、構造物の製作過程、保守管理の過程などの段階において行われるが、本論文では、構造物の製作及び保守管理上の段階において、部材内部の欠陥検出に着目し、超音波パルスエコー法による欠陥画像の検出に関する研究について述べる。今回は鋼材のテストピースを対象として、基礎的な研究を行ったものであるが、実際の構造部材表面の状態を表わす基準として表面粗さによる表現を用いた。また、応力状態の変化によるV型切り欠き部分の画像の変化については、有限要素法による計算結果と、受信音圧を相対的数値により表わし、画像変化追跡の一助とした。

2. 部材表面の状態による画像への影響

構造部材表面の種々の状態として、テストピースの表面仕上げを凹凸にしたもの、ペイントしたもの、砂を付着したものを準備した。テストピースはSS41の鋼材(40×6×200mm)の中央に、ドリルホール($\phi=4\text{mm}$)の内部欠陥を作った。また、応力の状態変化による欠陥変化の追跡として、テストピースはSS41の鋼材(60×6×200mm)の中央片側端面に、V型切り欠き(幅5mm、深さ20mm)を作った。画像処理には超音波探査映像装置AT5000(日立建機株式会社, 1989)、焦点型垂直探触子10MHz・25MHzを使用し、探傷法は水浸法によった。また、表面粗さの測定にはゲージセンサー(測定単位1 μm)を使用した。

(1) 表面仕上げを凹凸にした場合

テストピースの表面に、ヤスリまたはグラインダーを使用して、内部欠陥上部に凹凸を作り、粗さはJIS B 0601-1982を参照して十点平均粗さとして測定した。

一例として、図1は表面粗さが0.1046mmの場合について、内部の欠陥画像を得るために、ゲイン(受信超音波の増幅調整)を変化させたときの画像である。この図から、ゲインの選定いかんによって、内部欠陥のほかに、表面の凹凸による影響が画像に現われ、内部欠陥と表面粗さによる画像の識別が困難となる。しかし、適当なゲインを選定すれば、表面粗さによる影響は受けず、内部欠陥の検出を明確にできる。すなわち、表面粗さが画像に及ぼす影響は、ゲインの選定に関係

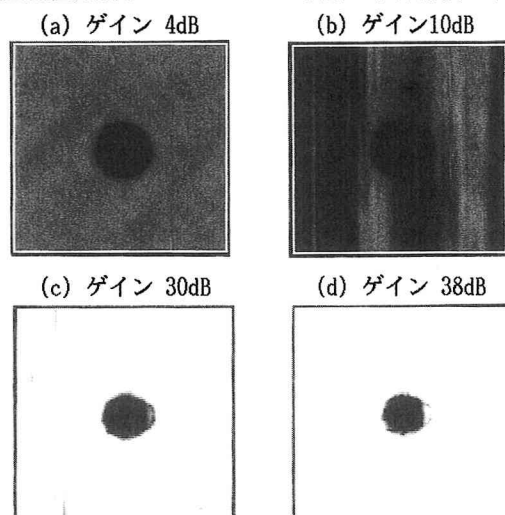


図1 表面を凹凸にした場合の画像

Study on Image of Internal Flaws under Various Conditions of Structural Members

by Tomoyuki YAMAZAKI, Noboru SUGAWARA, Toshiyuki OSHIMA and Shuichi MIKAMI

することができる。

また、図2は内部欠陥のみを検出したときの画像のゲインと表面粗さの関係を表わしている。この図から、表面粗さに影響されない内部欠陥の画像を得るゲインは、それぞれの粗さによって変化することがわかる。概略的には、粗さの増大にともないゲインもある程度直線的に増加している。なお、この図から、粗さが約0.2mmを越えれば表面粗さの影響を画像から消すことができなくなることが予想される。

以上のことから、ゲインの選定によって表面粗さの影響が欠陥のように映し出されるのは、超音波の散乱が起こるからである。したがって、反射波を増幅させるためゲインを変化させるか、路程による画像と比較して欠陥を判断する必要がある。

(2) 表面をペイントした場合

テストピースの表面に、ペイントを1層から8層まで塗り、厚さを測定した。そして、ペイントの種々の厚さによる内部欠陥の画像を得る適当なゲインを、底面と欠陥界面に焦点を合わせた場合について求めた。

一例として、図3はゲインを20dBと一定にし、ペイントの厚さを変化させた場合の欠陥画像である。この図から、ペイントの厚さが増せば欠陥画像の鮮明さが薄れてくるが、割と低いゲインにおいても欠陥の識別はできる。

また、図4は一樣な画像を得たときのゲインとペイントの厚さとの関係を表わし、画像は底面及び欠陥界面に焦点を合わせ、2つのテストピースを使い2回実験を行った結果である。この図から、ペイントが厚くなるにしたがいゲインも大きくなり、ペイントの厚さが0.3mm付近よりゲインの増えかたが増大している。また、2回の実験からゲインの増えかたはペイントの塗った層数には関係がなく、ペイントの厚さに関係していることがわかる。欠陥界面の画像はペイントの厚さが0.8mm程度になると欠陥の識別ができなくなった。

以上のことから、ペイントは一樣の厚さに近い状態に塗られていれば、表面の凹凸による超音波の散乱は少なく、ある程度低いゲインでも内部欠陥の識別はできる。しかし、ペイントの厚さが増せば（底面の場合1.5mm程度、界面の場合0.8mm程度）ペイント内部における超音波の減衰やペイントとテストピースの境界面における反射により欠陥検出が不可能になると考えられる。

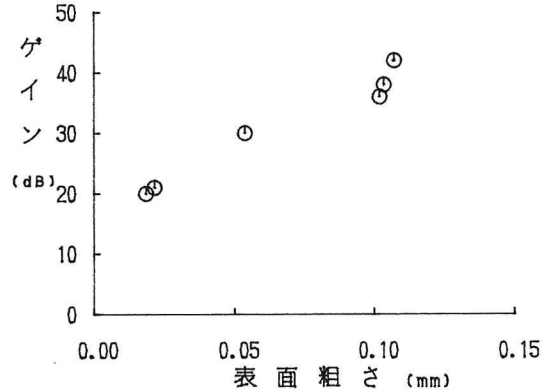


図2 表面粗さとゲインの関係

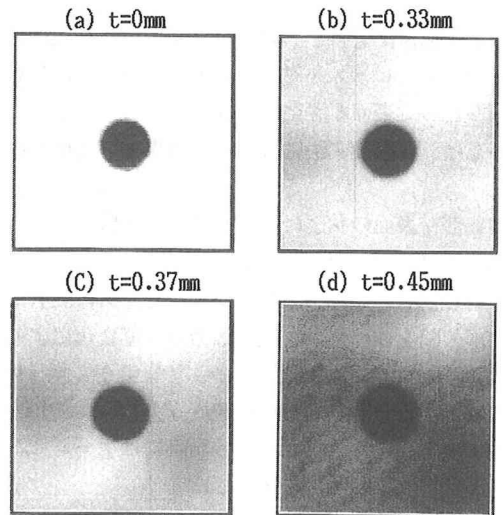


図3 ペイント厚さを変化させた場合の画像

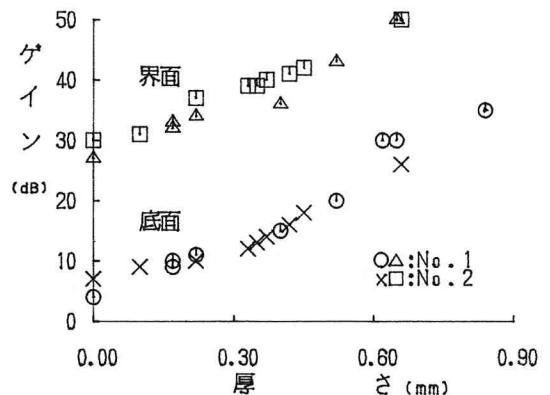


図4 ペイント厚さとゲインの関係

(3) 表面に砂を付着させた場合

テストピースの表面に、粒径 0.074, 0.15, 0.2, 0.3mm の砂をそれぞれを粗・中・密の3段階に分けて付着させ、その表面粗さは全測定点の平均で表わした。

一例として、図5は粒径 0.3mmの砂を中程度に付着させた場合について、内部欠陥の画像を得るために、ゲインを変化させたときの画像である。この図から、ゲインが38dB以外ときには、付着した砂の影響が内部欠陥とまぎらわしい形で映し出されている。これは、砂の粗さが表面の凹凸となり、超音波の散乱を起こしているからである。

また、図6は砂の粒径別の平均粗さと欠陥のみを識別できる画像のゲインとの関係を表わしている。この図から、欠陥のみを識別できる画像のゲインは、砂の粒径にはほとんど影響されないが、概略的には、平均粗さが 0.1 mm以下の場合適当なゲインは20dB前後であり、粗さが 0.15~0.2mm程度では適当なゲインは30 dB前後であることがわかる。

以上のことから、一概に断定はできないが、粒径の小さい砂では、適当なゲインは砂の粒径より平均粗さに関係していると考えられる。しかし、0.5mm以上の粒径に対しては平均粗さが小さくても欠陥画像への影響は消すことができず、欠陥を検出する場合は、ある程度大きい粒径の砂は取り除く必要がある。

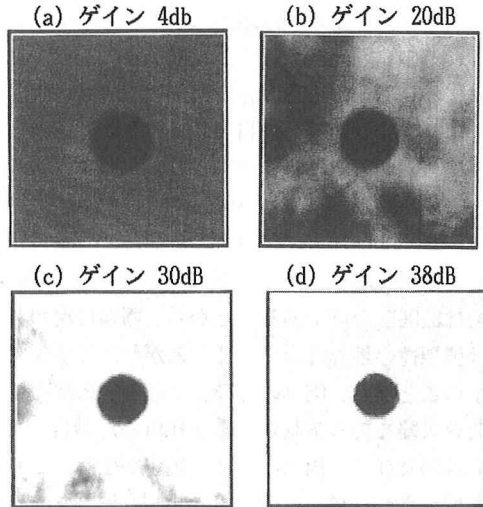


図5 砂を表面に付着させた場合の画像

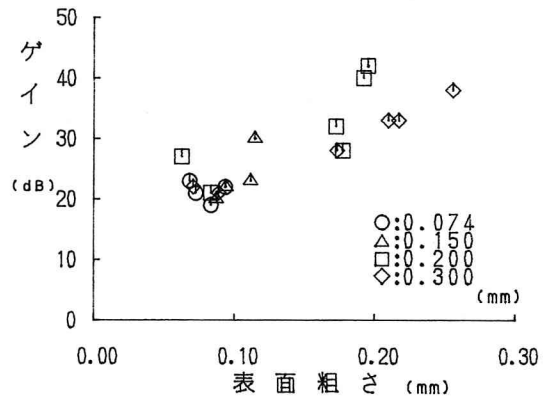


図6 砂による表面粗さとゲインの関係

3. 応力作用状態における画像の変化

テストピースの長手方向に単純引張荷重を加え、荷重段階ごとの画像を得た。一例として、図7は引張荷重が0t, 3t, 5t, 7tの場合の画像である。また、図8

は引張荷重が3t, 5t, 7tの場合について受信音圧を相対比として 256段階に分けたものを、画像の横 1ライン分をグラフ化したものである。図中の () 内の数値は切り欠き先端を 0mmとし、先端から下方への距離を表わしている。図9は有限要素法による応力計算の結果であり、弾塑性域の境界線を荷重段階毎に表わしている。

これらの図から、荷重が作用すれば切り欠き先端部及びその周辺部に応力集中を生じ、さらに荷重が増大

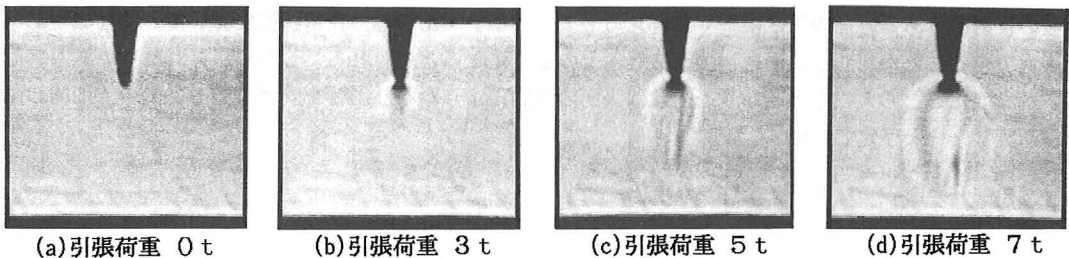


図7 種々の載荷状態における画像

すれば、その部分から塑性域に入っ、塑性歪の集中を生じ、その範囲が拡大していく様子がわかる。

図8において、音圧比の差が大きい部分は、図7の荷重により変化した部分に相当している。これらと、図9及び有限要素法により計算した応力分布と比較すれば、載荷荷重が5tまでは 3100Kg/cm^2 付近に、6t~8tでは $3200\sim 3300\text{Kg/cm}^2$ の付近に、載荷により生じた画像の変化が現われていることがわかる。この鋼材の降伏応力は 3100Kg/cm^2 であることから、画像に現われた変化は弾塑性の境界線上であることがわかる。

以上のことから、図7の載荷による画像の変化は、切り欠き欠陥を持つ部材に荷重が作用した場合、切り欠き先端部及びその周辺部に応力集中が生じ、さらに荷重を増大させれば、その部分から塑性域となり塑性歪の集中が生じ、伸びた部分の影響がわずかながら部材の表面に凹凸を生じさせた結果であることがわかったが、図7の載荷による画像の変化は、ある程度の塑性域部分を表わしていると推定される。

4. あとがき

構造物は、部材をボルトあるいは溶接などで接合して組み立て、現場では静荷重または動荷重を受けている。したがって、それぞれの過程において、欠陥を検出しても、その欠陥が直接あるいは間接的に破壊に進展するものか、それとも破壊に至らない無視し得るものかは、その構造物の使用目的、重要度、環境の変化などから、一義的に判定することは難しい。しかし、客観的に評価できる域に近づけることは、予期し得ない破壊事故を防止する上で不可欠のことである。

今回は、基礎的な研究としての範囲を越えるものでないが、実験を通して言えることは、工場あるいは現場において構造部材の内部欠陥検出にあたっては、表面を平にそして清浄にする事が望ましい。しかし、実際にはペイントした部材あるいは砂塵の付着した部材が一般的であり、このような場合には適当なゲインの選定が必要となる。ただし、この場合ゲインを大きくすることにより表面上のペイントや塵などの影響は消すことができても、内部の微細な欠陥を見落とす恐れがある。なお、今回は表面の粗さのみを考えたが、超音波の反射面である底面の粗さについても考える必要がある。また、応力作用状態において、塑性域をある程度表現できることが判明し、構造物の維持管理上の参考になるとと思われる。しかし、これについても表面のわずかな変化をとらえたものであり、画像は表面の状態によりかなり影響を受けるので、この点に関しては今後研究したいと予定している。

参考文献

- 1) 日本学術振興会：超音波探傷法，日刊工業新聞社，1982.
- 2) O.C.Zienkiewicz, Y.K.Cheung, 吉識雅夫 監訳：マトリクス有限要素法，倍風館，1970.

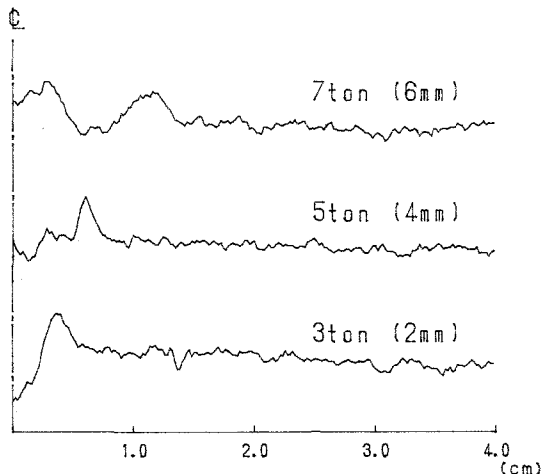


図8 種々の断面における受信音圧 (相対比)

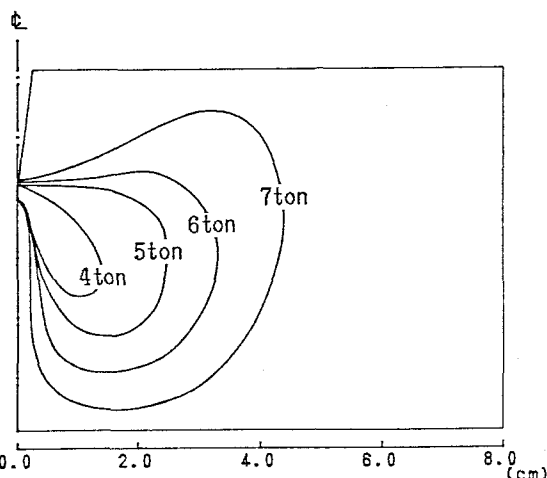


図9 種々の荷重段階における弾塑性境界域