

研究ノート

各種材料の超音波探傷に関する研究（第1報）

— 球状黒鉛鑄鉄品に対する内部探傷の試み —

神奈川技能開発センター 木村 栄治

Study of Ultrasonic Test in Various Materials (1st report)

— The Investigation of Spheroidal Graphite Iron Castings —

Eiji Kimura

要約 本稿は、超音波機器を用いて、球状黒鉛鑄鉄品の内部探傷を試みた際の実験経緯を示したものである。この実験のきっかけは、向上訓練における企業側からの要望である。そして、これは、神奈川技能開発センターにおいて平成元年度から新規の向上訓練として開講予定の「検査技術 II」の一部となるものである。ここでの内容は、鑄造工程において、日本非破壊検査協会の技量認定資格試験保持者が直面する問題に触れながら、その解決の指針と超音波探傷機器製作の基礎的な考え方を示したものである。その内容は、大別すると次の二つに分けられる。

第一の分野は、超音波探傷機器の歴史的発展経緯から機器の特徴及び性質を述べ、また、鑄造企業がなぜ放射線透過試験よりも超音波による探傷を望むのかその原因を述べている。

第二の分野では、先ず、机上の検討に基付いた実験を行い、その失敗の考察を理論的に行った。その後、考察に基付き新しい機器を試作した。そして、その機器を用いて、球状黒鉛鑄鉄品の探傷を行い、破壊検査によるデータと比較しながら超音波による球状黒鉛鑄鉄品の内部探傷が可能であるとの結論を導きだしたものである。そして、その考察では本実験が超音波の特性を生かして、セラミックス等の組織研究の一助となるであろうことを予想している。

I はじめに

近年、鑄造工場は、円高によりコストの削減とそれに伴う鑄仕上げ工程の縮小を実施してきた。一方、ユーザーからは、機械的性質の向上と組織の均一化が要求されるようになり、その中でも内部欠陥の改良に対する要求は特に厳しいものとなってきた。そして、この様子は、素形材メーカーから派遣されてきた向上訓練受講者の質問からも容易に窺い知ることができるものであった。

そのような状況から、非破壊検査関連の受講者が相当数潜在していると考えられたので、平成元年度から神奈川技能開発センターにおける非破壊検査の向上訓練の一つに、「粗晶組織の金属に対する超音波探傷」をテーマとし、その解決方法と指針を示す講座を設けることにした。その準備段階として、球状黒鉛鑄鉄品に対して一連の超音波探傷実験を行い、一定の成果を収めたので、こ

こに報告^{*}する。

II 超音波探傷機器の展開経緯

1. 鑄造工程からの超音波探傷試験に対する要望

従来、自動車部品となる鑄造品の内部欠陥は、鑄仕上げ工程による補修の徹底と機械加工工程での補修により対処されてきた。しかし、工程毎の独立採算性の導入と鑄仕上げ工程の縮小により、鑄造工程の次工程となる機械加工工程において、鑄造品の内部欠陥が発見されると、鑄造工程は、欠陥品の返却を受け、更には、機械加工工程における工賃及び機械損料までも厳しく請求されるようになったのである。それゆえ、鑄造工程としては、内部欠陥の無い健全な鑄造品を提供する必要に迫られたのである。そこで、鑄造工程としては、高品位化をはかるために、従来から行われていた方案、溶湯の温度、鑄物砂の性質等、鑄造方法の改良を行いながらも皆無にでき

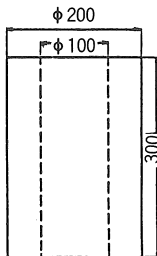
^{*} 今回は、球状黒鉛鑄鉄品の探傷に主眼を置いたために、プローブ等の機器製作に関する詳述は避けた。これらの報告は、次報以降で行う予定である。

ない内部欠陥に対する策として、欠陥の規模及び位置を検出し、次工程に送る前に製品を精選したり、機械加工工程に対して欠陥部分を避けて加工を行うように指示を出し製品の返品を絶無にすることも検討するようになってきた。その欠陥検出方法であるが、従来は、放射線透過試験法が一般に用いられてきた。しかし、この方法は、コストが相当かかるものであった。

そこで、素形材メーカーから、放射線透過試験法に比べて安全でしかもコストが低い⁽¹⁾圧延鋼用の超音波探傷試験機器を鋳鉄品に応用したいとの要望が高まってきたのである。

2. 鉄鋼材料に対する超音波探傷の位置付け

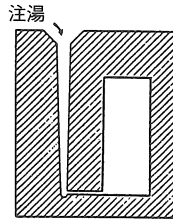
今までの球状黒鉛鋳鉄品に対する超音波の応用は、黒鉛形状の判定⁽²⁾もしくは、機械的性質⁽³⁾⁽⁴⁾に係わるものに限られていた。それに対して、超音波による圧延鋼用の内部探傷機器は、相当数、市場に出回っていた。そして、マイクロエレクトロニクスの進歩により、コンピュータの操作が簡単かつ正確⁽⁵⁾になり手動操作に比べて水浸探傷試験が容易になった。そのため、複雑な形状の製品についても内部探傷が可能となってきた。従来、超音波探傷試験は、造船、建設関係⁽⁶⁾において、溶接部の品質検査の充実をはかるために研究が行なわれ、それと共に機器の開発が展開されてきた。そのために、これらの機器は、溶接部などに生じた偏析及び粗晶組織部分には敏感に反応するように、逆に組織変化が無い圧延部分に対しては反応しないように性格付け^{**}が行われてきた。それ故に、圧延鋼用の超音波探傷機器を使用して、基地組織の結晶粒が大きく、しかも粗大な黒鉛結晶粒が存在する球状黒鉛鋳鉄品を探傷することは非常に困難を極めたのである。



(図-1) 被探傷材の形状

そこで、市販されている低価格の圧延鋼用超音波探傷機器を一部改良しながら(図-1)に示す形状の球状黒鉛鋳鉄品2種のFCD45の内部探傷を試みることにした。

なお、このチルドロールは、(図-2)に示すようにむくり上げ堰を用いて鋳込んだ物である。



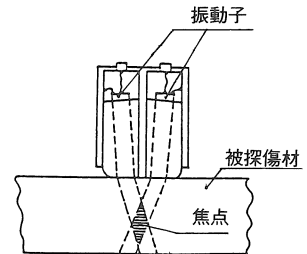
(図-2) 鋳造方案

III 実験の経緯

1. 試作した Z40ND による試み

1 回目の実験は、0.4Z40ND と 1Z40ND の分割型プローブを用いて行った。この二種類を試作した理由は、以下のとおりである。

- 1) 周波数を低く抑えることにより粗大な結晶粒の影響を少なくした。
- 2) 圧電素子としては、水晶よりも10倍ほど感度が良いジルコン・チタン酸鉛を選定した。
- 3) 圧電素子直径が大きいほど指向性が鋭くなる性質を利用するためにプローブ直径をなるべく大きくして感度を上げた。
- 4) 分割型のプローブにすることで、(図-3)に示すように、欠陥が出ると思われる箇所には焦点を絞り、かつ焦点部分以外での反応がエコーに極力出ないようにした。



(図-3) 超音波の焦点形成

そして、端面の一つから超音波による内部探傷を行った。しかし、事前の検討にも拘らず、1Z40ND は、林状エコーが激しく、また、0.4Z40ND は、林状エコーさえも拾えず数値として確認するには至らなかった。

測定が不可能であった原因としては、

- 1) 1 MHz₂ では、内引け、ざく巢などの内部欠陥ばかりでなく、粗大な黒鉛結晶粒さえも定量的に判定してしまう事

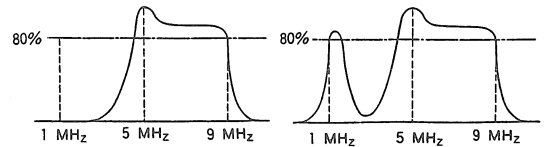
** 市販の機器が 2~5 MHz 程度の狭帯域周波数を用いていることは、この特性を示すものである。

- 2) 球状黒鉛鋳鉄品の内部で、密度が相当変化するので、超音波の速度に著しい影響を及ぼす事
 - 3) 0.4MHzでは、FCD45 に対して周波数が低過ぎる事
- 以上の3点が掲げられる。

1 番目の対策としては、従来から言われるように、更に周波数を低くすれば解決するが、下げ過ぎても0.4Z40NDのように、感度の面からの問題が生じてこよう。そこで、欠陥の検出及び位置の確認の二つを目標にして、次のような検討を進めた。

2. 上部広帯域型を基本としたプローブの試作

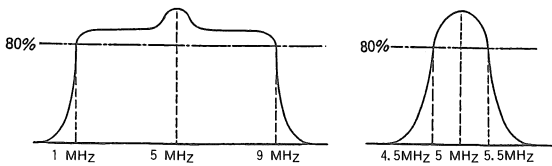
結晶粒界による林状エコーの発生は、 $\lambda = c/f$ (λ : 波長、 c : 速度、 f : 周波数) により周波数を低く抑えれば解決するが、前述のように余り下げ過ぎても探傷が不可能になってしまう。この事から、一般に市販されているプローブと比較して、メイン周波数が同一であっても上部域で相当の広がりを持つ上部広帯域型の周波数特性を有するニオブ酸鉛で作った圧電素子のプローブを用いる⁽⁷⁾ことで前節に掲げた原因に対して、ある程度の成



(図-8) 不完全な上部広帯域型の周波数

(図-9) 不完全な上部広帯域型の周波数

試作の条件を全て同一にしても常に(図-4)のような発信状態にできる訳ではなく(図-8)もしくは、(図-9)のような不完全な上部広帯域型の周波数形態を示すことが多い。この原因としては、圧電素子の形状、ダンパ及び吸音材の材質は勿論であるが、接着による影響が一番大きい⁽¹⁰⁾ものと思われる。



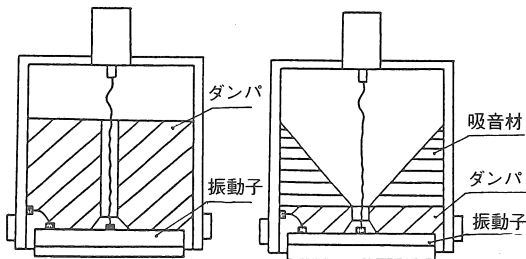
(図-4) 上部広帯域型プローブの周波数特性

(図-5) 上部狭帯域型プローブの周波数特性

果を収める⁽⁸⁾ことが予想された。上部広帯域型の周波数特性を(図-4)に、一般に市販されている上部狭帯域型の周波数特性を(図-5)に示す。そこで、市販されている5Z10Nに倣い、試作から着手することにした。

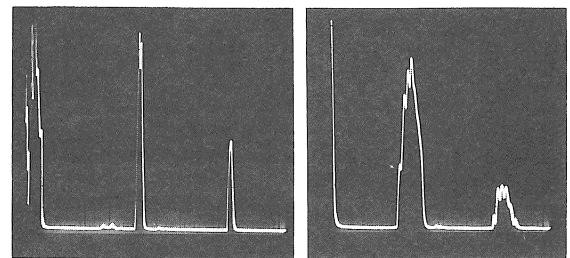
3. 上部広帯域型プローブによる FCD45 の探傷とその確認

実験は、5C10N の上部広帯域型プローブと上部狭帯域型プローブを用いて、直方体のSS41の底面エコーの検出を試みた。この時の上部広帯域型のエコーの形状を(図-10)に、上部狭帯域型のエコーの形状を(図-11)



(図-6) 市販プローブの構造

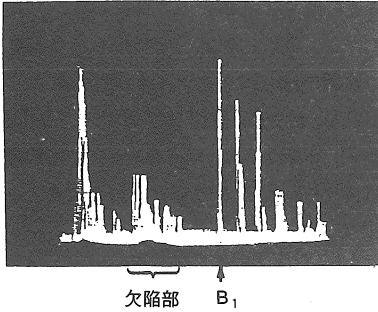
(図-7) 試作した5C10Nの構造



(図-10) 上部広帯域型によるプローブ底面エコー

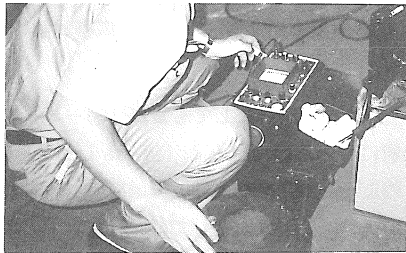
(図-11) 上部狭帯域型による底面エコー

に示す。次に、(図-1)の内部欠陥の探傷を試みた。その時のエコーの形状を(図-12)に示す。また、探傷



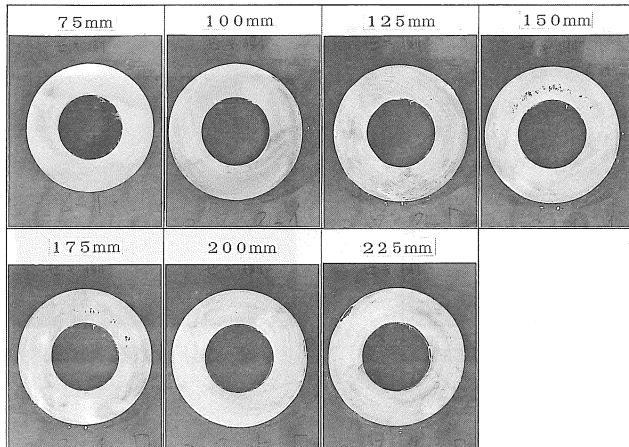
(図-12) FCD45 を探傷したエコー
(測定範囲500mm)

している様子を(図-13)に示す。このエコーによれば、



(図-13) FCD45 の探傷

長手方向120mmから200mmの間に内部欠陥が集中していることが推定された。次に、それを確認するために、長手方向に対して垂直に上部75mmから225mmまで25mm毎にドーナツ状に輪切りした後、その切断面に対し浸透探傷試験を行った。この時の試験結果を(図-14)に示す。



(図-14) 浸透探傷試験による欠陥判定

これによっても120mmから200mmの間に浸透探傷試験の内部欠陥である赤色部分が集中している⁽¹¹⁾ことが確認された。

IV 考察

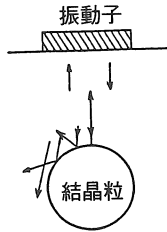
以上の実験により、球状黒鉛鋳鉄品に対する超音波探傷試験は、上部広帯域型プローブを用いれば可能であることが確認された。そして、同プローブの特徴として以下の3点が掲げられる。

- 1) 分解能が良好である。
- 2) 周波数帯が広いので、ねずみ鋳鉄品など更に減衰率の大きい物に対しても十分対応が可能である。
- 3) 感度が若干、上部狭帯域型よりも劣る。

3番目の問題は、今後も接着剤、圧電素子の材質、ダンパ及び吸音材の改良により改善が期待される。特に、接着の方法によっては、接着面に空気が混入して、プローブの性質に著しい悪影響を及ぼしている。この対策であるが、例えば、エポキシ系の二液の接着剤を用いる場合には加熱と減圧により脱泡してから使用すれば接着面に空気が混入するのを防ぐことができるとの意見⁽¹²⁾もある。また、セラミックス系の圧電素子は、加工が困難であること及び割れ易いなどの短所があるので、今後、加工のし易さからは、PVDF(ポリフッ化ビニリデン)等の高分子系の圧電素子を利用するなどの対策も歩留まり向上の点から急務ではないかと考えられる。

これらのことから、超音波探傷機器をライン上に設置すれば、欠陥箇所の補修及び機械加工工程への指示が速やかに行われることが期待できる。また、最近、球状黒鉛鋳鉄品に対してJIS表示許可工場制度が施行⁽¹³⁾さ

れたところであるが、その品質管理部門においてもプローブの軌跡と共にエコーをレコーダに出力して内部欠陥を明記し、そこに超音波の周波数により分かった黒鉛形状と機械的性質を併記すれば鋳造品の品質保証が今後更に発展するものと思われる。また、CAD、CAM及び



(図-15) 結晶粒による超音波の散乱

CAT⁽¹⁴⁾などの関連からも注目したい分野である。

今回の一連の実験は、初期の目的は達成したが、超音波と結晶粒界の関係について非常に多くの疑問を残したままとなった。その中で、特に、林状エコーの発生の原因については、(図-15)に示すように結晶粒が粗大であると結晶粒により超音波が散乱されやすい⁽¹⁵⁾からとされてきた。しかし、超音波の伝搬は、 $c \propto k / \rho$ (c : 超音波の速度、 k : 物質の弾性係数、 ρ : 物質の密度)に依存し、それは、音速で黒鉛の球状化率を判定⁽¹⁶⁾することとも関係している。このことから、結晶粒の性状の違い、すなわち結晶粒と結晶粒との密度差により生じる反射と言う考え方もできるのではないだろうか。これを基本として実験を進めれば、周波数の分布及び特性を変えた様々なプローブを採用してセラミックス等の粒界を調べることも可能であろう。しかし、実験も未だ進展していないことからこれらの問題は今後の検討課題としておきたい。

V 結論

以上をまとめると、次のような結論と今後の指針が示されよう。

- 1) 超音波による球状黒鉛鋳鉄品の内部探傷は可能である。
- 2) この超音波探傷試験機器は、放射線透過試験機器に比べて、インシャルコストが十分の一以下であり、中小零細企業でも導入が可能である。
- 3) 超音波による内部探傷で欠陥が見つかりと瞬時に生産工程へのフィードバックが可能であり、導入すれば品質管理の格段の進歩が見込まれる。

- 4) 超音波の周波数を変化させると共にそれに合わせて、増幅機器の周波数も調整すれば、結晶粒の性状を調べることも可能である。

なお、本報告を行うに当たり、(株)東京計器産業事業部の諸氏には、機器の使用について様々な助言及び便宜をはかって頂いた。また、この報告の機会を与えて頂いた神奈川技能開発センターの立田三郎所長はじめ関係諸氏にお礼申し上げたい。

(註)

- (1) 放射線透過試験機に比べて、機器などの購入に要するコストは十分の一以下である。
- (2) 鹿毛秀彦他「鋳鉄の超音波試験による材質の判定」日本鋳物協会第102回講演集，昭和57年
- (3) Report from the Werkstoffkunde-Institute of the Schwebische Heuttenwerke GmbH Wasseraffingen: Giesserei, 66, 1980.
- (4) A. G. Fuller, P. J. Emerson: American Foundrymen's Society Trans., 88, 1980.
- (5) 拙稿「鋳造工程のME化に関する一考察(第3報)」第14回職業能力開発研究発表会予稿集所収，職業訓練研究センター，昭和62年
- (6) 現在のように建設関係において超音波探傷が盛んに行われるようになったのは建設省告示第1103号，昭和56年6月1日，が出てからである。
- (7) 当然、増幅機器にも上部広帯域に合わせた変更が必要である。
- (8) 鹿毛秀彦 私信
- (9) 今回は、エポキシ樹脂にW粉を混ぜ、遠心分離したものをを用いた。
- (10) 森健次は、氏の報告「高トルク圧電モータの研究(第1報)」日本機械学会第64期全国大会講演，昭和61年，に対する拙問に同様の意見を述べている。
- (11) 写真撮影の後、欠陥部を有する面を切削し、120mmから欠陥が存在することを確認した。
- (12) 武井昇 私信
- (13) 通商産業省告示第173号，昭和62年4月28日，により鋳造工程に対する初のJIS表示許可工場制度が導入された。
- (14) CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing), CAT (Computer Aided Testing).
- (15) 「非破壊検査技術シリーズ 超音波探傷試験A」(社)日本非破壊検査協会，昭和56年，p.182
- (16) 前掲「鋳鉄の超音波試験による材質の判定」

