

アンカーボルトの非破壊検査技術

池津 和輝^{*1} 福本伸太郎^{*2} 佐々木孝明^{*3}
Ikezu Kazuki Fukumoto Shintaro Sasaki Takaaki

アンカーボルトはインフラ構造物のみならず多くの場所で使用されているが、腐食による減肉や固着剤の劣化により脱落の危険が生じる。現在では、目視点検やハンマーによる打音検査にて異常を検知しているが、判定に個人差があることや測定データが残らないなどの課題がある。超音波を用いて健全性の評価を行う手法も提案されているが、ねじ山からの反射エコーによるノイズの発生や、アンカーボルトが長い場合は超音波が拡散／減衰するなど、適用には問題が多い。

そこで本稿では、探傷結果を画像として得られるフェーズドアレイ法を用いて、アンカーボルトの減肉を検知する手法を紹介する。試験で使用した超音波探触子は、超音波シミュレーションでアンカーボルトの検査に適した探触子(特許申請中)を用いた。その結果、アンカーボルトの模擬減肉を検出することができた。

キーワード：アンカーボルト、超音波探傷試験、フェーズドアレイ法

1. はじめに

近年、トンネルや橋梁などのインフラ構造物に使用されているアンカーボルトの健全性が問題視されている。アンカーボルトの健全性を確認する手法としては、目視検査やハンマーを使用した打音検査が一般的である。しかし、目視検査では外面のみしか確認できず、打音検査では検査員の経験による検査となり、定量的な評価が行えないという問題がある。また、検査員の高齢化などにより、経験を有した熟練の検査員が減少しているという問題もある。このことから、定量的にアンカーボルトの健全性を評価する手法が求められている。

アンカーボルトは経年劣化により埋設部分が腐

食減肉することが多い。そのため、健全性を評価する上で、腐食減肉を精度良く検出する技術が期待されている。

アンカーボルトの腐食減肉を非破壊検査で探傷する技術の1つとして超音波探傷法がある。この検査方法は、アンカーボルトの頭部へ超音波探触子を密着させ、アンカーボルトの内部へ超音波を入射して、検査するものである。この手法を用いて、疲労亀裂などを探傷する場合、欠陥が超音波の入射方向に対して垂直方向であることが多いため欠陥を検出しやすい。しかし、腐食減肉の場合、欠陥が超音波入射方向に対して垂直方向ではないことが多いため、検出性が悪い。

最近一般化してきたフェーズドアレイ法をアンカーボルトの検査へ適用する事例が増えている⁽¹⁾。

*1：検査事業部 技術部

*2：研究開発センター 研究開発グループ

*3：検査事業部 副事業部長 兼 技術部長

フェーズドアレイ法は従来の一振動子式の超音波探傷法と異なり、超音波ビームの収束や入射角を任意に設定でき、さらには探傷結果を画像化することにより欠陥の検出性を向上させている。当社ではフェーズドアレイ法を用いてアンカーボルトの腐食減肉の検出性を検討し、一般の超音波探傷法より検出性が向上することを確認している。既存のフェーズドアレイ探触子では、探触子サイズや振動子の配置が、アンカーボルトの検査用として問題点がある。

そこで本稿ではM16×L250mm(ねじピッチ2mm)のアンカーボルトに発生する腐食減肉の検出をターゲットとし、超音波のシミュレーションを用いて新規に探触子の検討をした。その結果アニュラアレイ探触子が最も適していると判断し、アニュラアレイ探触子を設計・製作し、アンカーボルトの模擬試験体を用いて検出性を確認した⁽²⁾。

2. 探傷技術開発

2.1 超音波のシミュレーション

超音波のシミュレーションは、フランス原子力庁サークレ研究所(CEA-SACLAY)が開発したソフト(CIVA)を用いてアニュラアレイ探触子を設計・製作した。探触子の径はアンカーボルトのねじ部を除いたφ12mmに合わせ、探傷面の形状(円形)にあったアニュラアレイ方式とした。以下にアニュラアレイ探触子の概要を示す。

- (1) 探触子タイプ : 垂直
- (2) 素子配列 : アニュラアレイ
- (3) 探触子径 : φ12mm
- (4) リング数 : 8リング
- (5) 周波数 : 7MHz
- (6) フォーカス位置 : 深さ40～140mm
- (7) 試験体 : アンカーボルト
(M16×250mm)

図1にアニュラアレイの素子配列を示す。この

開発したアニュラアレイ探触子について、超音波シミュレーションを行い、検出性の確認を行った。シミュレーションは16×16×250mmの直方体の一面にボルトのねじ形状を導入し、ねじ山減肉(深さ2.375mm)およびねじ谷減肉(深さ3.175mm)の2種類の模擬減肉を対象に、ねじ谷の位置を焦点とし、垂直方向に1mmピッチでフォーカスをかけた。

図2にシミュレーション結果を示す。ねじ山分の腐食減肉を想定したねじ山減肉(図2(b))の場合は、腐食減肉部からの反射エコー強度が低く、健全なねじ部からの反射エコー強度と比較して、減肉部からの反射エコーが無いことを明瞭に見分けることができる。

次に、ねじの谷部の腐食(図2(c))の場合は、減肉部より深い位置のねじ部反射エコー強度が低い。このことから反射エコーが低い部分に減肉部が存在すると判断可能である。

なお、実際の試験では、超音波探触子の密着性などの問題もあり、シミュレーション結果よりS/N比は低下することが予測される。

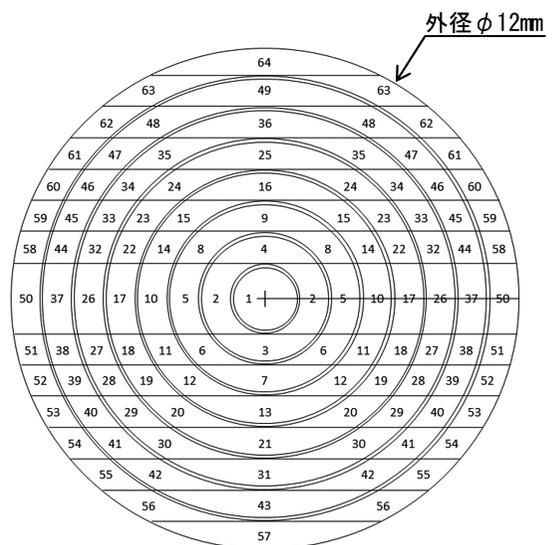


図1 アニュラアレイ素子配列

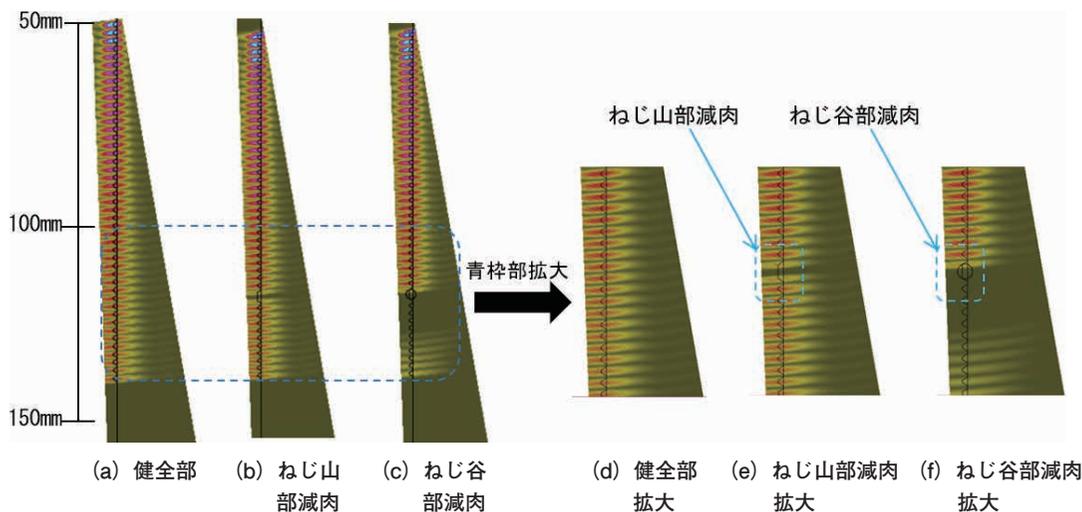
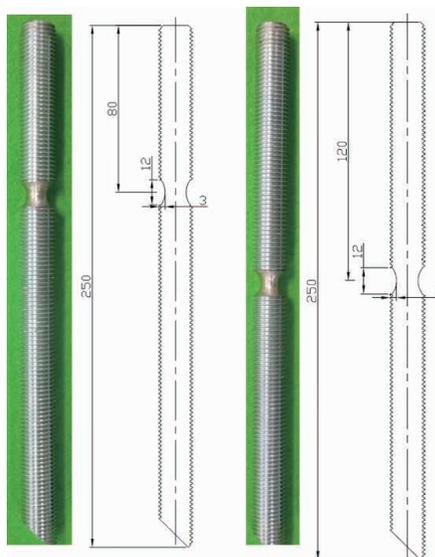


図2 シミュレーション結果

2.2 アンカーボルト模擬試験体および試験方法

試験に使用したアンカーボルト（鋼製）はシミュレーションに用いたものと同寸法であり、それぞれの試験体に全周減肉を模擬した人工欠陥を付与した。例（試験体 No.6 および No.9）を図3に示す。また、各アンカーボルトに付与した人工欠陥を表1に示す。

探傷装置は、M2M社製のフェーズドアレイ探傷装置 Multi2000（図4）を使用した。探触子はシミュレーション結果を反映したアニュアラレイ探触子（図5）を試作し、試験に使用した。接触媒質にはグリセリンを用いた。



(a) 試験体 No.6 (b) 試験体 No.9

図3 試験体例

表1 試験体条件

試験体No.	人工欠陥(減肉模擬)			
	有無	t: 頂部からの位置(mm)	d: 深さ(mm)	l: 長さ(mm)
1	無	-	-	-
2	有	50	2	12
3	有	50	3	12
4	有	50	4	12
5	有	80	2	12
6	有	80	3	12
7	有	80	4	12
8	有	120	2	12
9	有	120	3	12
10	有	120	4	12

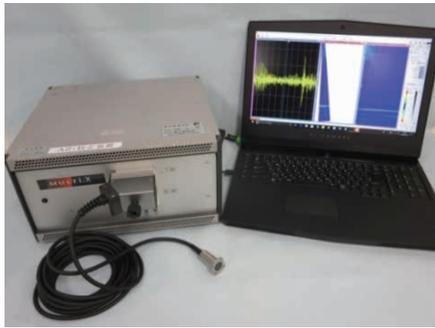


図4 探傷装置外観



図5 アニュアラレイ探触子外観

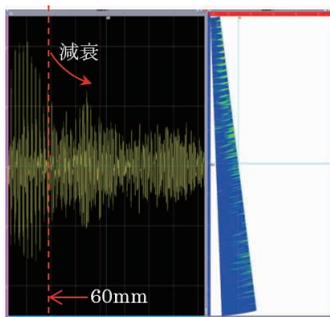
2.3 試験結果および考察

試験結果を図6に示す。各図とも左側にRF波形、右側にセクタースキャン画像を示している。人工欠陥を施していない試験体 No.1 (図6(a)) では、アンカーボルトの頭部から60mm程度までのねじ部からの反射エコー強度は高いが、60mm以降は反射エコーの強度が低くなった。深い位置のねじ部からの反射エコーは減衰などの影響により

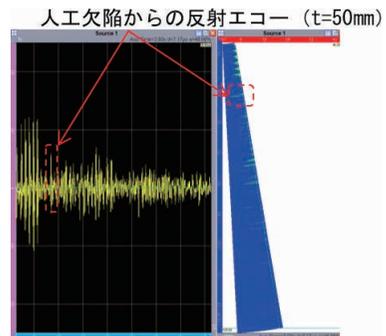
強度が低下したと推定される。

人工欠陥位置 (t) が50mmの試験体 No.2 ~ 4 (図6(b) ~ (d))の試験結果では、深さ (d) 2mm、3mm および4mmの人工欠陥を検出した。しかし、ねじ部分からの反射エコーも強度が高く、減肉の形状・大きさによっては検出が困難になる可能性がある。

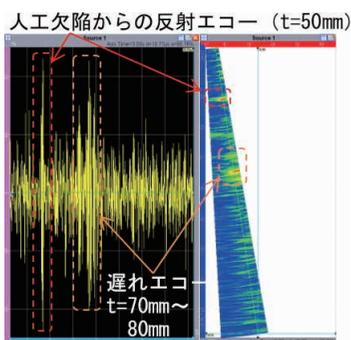
次に、人工欠陥位置 (t) が80mmの試験体 No.5



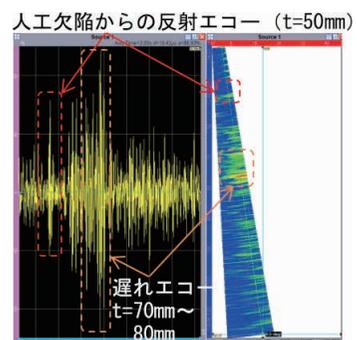
(a) 試験体 No.1 (人工欠陥なし)



(b) 試験体 No.2 ($t=50\text{mm}$, $d=2\text{mm}$, $l=12\text{mm}$)



(c) 試験体 No.3 ($t=50\text{mm}$, $d=3\text{mm}$, $l=12\text{mm}$)



(d) 試験体 No.4 ($t=50\text{mm}$, $d=4\text{mm}$, $l=12\text{mm}$)

図6 試験結果 (その1)

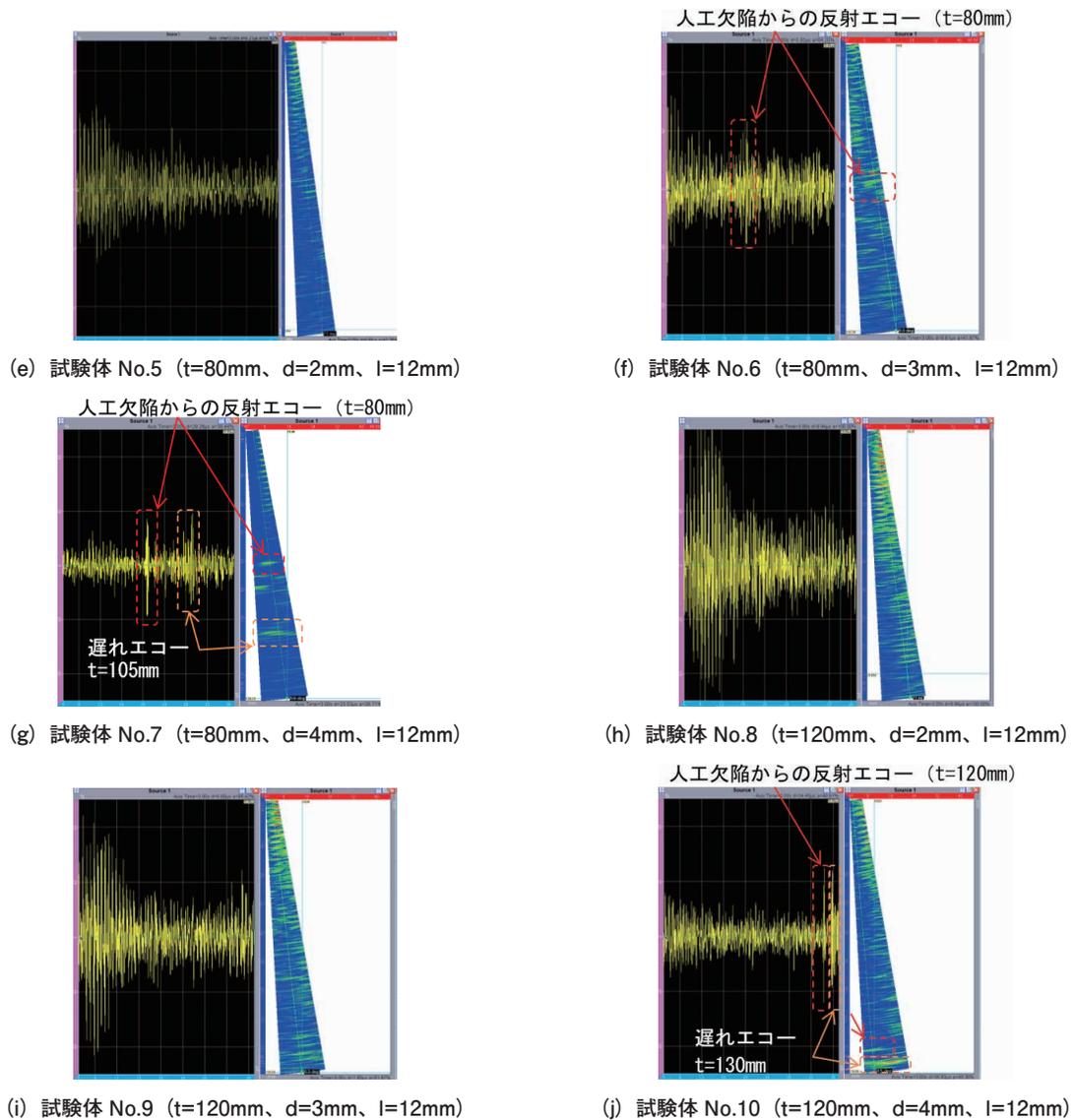


図 6 試験結果 (その 2)

～7(図 6 (e) ～ (g)) および 120mm の試験体 No.8 ～10 (図 6 (h) ～ (j)) の結果では、深さ (d) 4mm の人工欠陥は検出できたが、2mm および 3mm は検出が困難であった。検出が困難だった原因として、人工欠陥位置 (t) が深くなるに従って減衰 / 拡散損失の影響が大きくなり、ねじ部と人工欠陥からの反射エコーの S/N 比が低くなる。また、人工欠陥が浅いと超音波が反射する面積が低くなることから、反射エコー強度は低くなるため、人工欠

陥の検出性が低下したと考えられる。

また、試験体 No.3、4、7 および 10 では人工欠陥が無い部分からの反射エコーの強度が高い。この原因として人工欠陥の反射エコーの一部が超音波の入射方向に対して垂直に反射せず、側面での反射を繰り返す、またはモード変換により横波に変換したため、探触子に到達するまでに遅れが生じた。人工欠陥より深い位置で強度が高くなった遅れエコーが生じたためと考えられる。

3. おわりに

人工欠陥を有する M16×L250mm のアンカーボルトを対象とし、超音波のシミュレーションを行い、アニュラアレイ探触子(φ12mm、周波数7MHz)を設計・製作して試験を実施した。

その結果、人工欠陥では深さ4mm程度の減肉を検出することが可能であった。今後はアニュラアレイ探触子の再検討や運用方法の検討を進めていき、インフラ検査の一助となるべく改善を図る。

参考文献

- (1) 林山、福富広幸、熊野秀樹、伊藤圭介：埋め込み基礎ボルトにおける減肉欠陥の検出及びその深さの推定、日本機械学会論文集A編、77巻、783号、2011、pp.12-19
- (2) 福本伸太郎、西土隆幸、川崎拓：シミュレーションを活用したフェーズドアレイ探触子の試作、IIC REVIEW、No.62、2019/10、pp.53-58



検査事業部
技術部

池津 和輝

TEL. 045-791-3523

FAX. 045-791-3547



研究開発センター
研究開発グループ

福本伸太郎

TEL. 045-791-3522

FAX. 045-791-3547

検査事業部
副事業部長
兼 技術部長

佐々木孝明

TEL. 045-791-3523

FAX. 045-791-3547