

溶接管理技術者の体験紹介

フェーズドアレイ法による鋼構造溶接部の超音波探傷検査

株式会社 ジャスト
池ヶ谷 靖

1. はじめに

私は建築や橋梁の鋼構造溶接部の検査を行っている。

近年、種々の要求から鋼構造物では厚板化・高強度化が進み、溶接割れを超音波探傷試験で確実に検出されることが求められている (図 1)。また、新設だけでなく、既存の鋼構造溶接部の健全性の調査 (例えば部分溶込み溶接部の不溶着部の高さ測定) や大地震等での損傷の評価で超音波探傷試験による溶接内部の調査が用いられるようになってきている (図 2)。

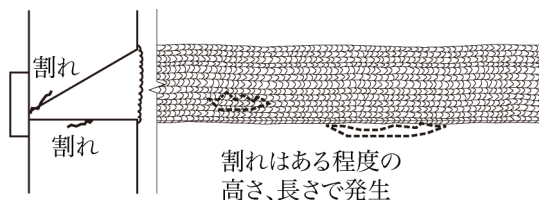


図 1 高強度の鋼溶接部の割れ

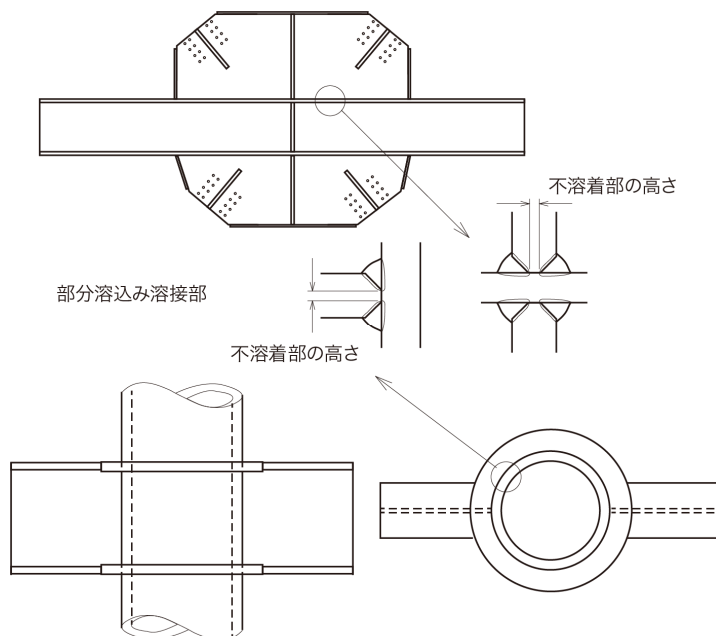


図 2 部分溶込み溶接部の不溶着部

それらの超音波探傷試験では、従来行われてきた A スコープ表示による斜角一探触子法では不十分なところ (例えば、欠陥の高さを測ることが困難、割れ発生の有無の確認が困難等) があり、その問題を解決するため、本稿で紹介するフェーズドアレイ UT 法 (以下、Phased Array UT=PAUT 法と略す) を適用するため、実験・検討を行い、有効な結果が得られている。

従来溶接部の探傷試験に広く適用されてきた斜角一探触子法と PAUT 法の比較を図 3 に示す。

斜角一探触子法では、一定の屈折角の斜角探触子用い、探触子を前後走査することによって溶接部全断面に超音波が到達して、溶接不完全部からのエコーを検出するものである。そのためエコーが検出された場合には、エコーのピークを求め（この作業自体かなりの熟練を必要とする）、Y 距離（探触子－溶接部距離）を測定して妨害エコーか溶接不完全部からのエコーか判別したり、Y 距離と W（ビーム路程）と屈折角から溶接不完全部の位置を推定する必要があり、熟練した技術者が高い注意力を必要とする探傷試験である。

それに対して、PAUT 法では探触子からの超音波ビームは広がり少ないビームをステアリング範囲内（例えば、40°～75°）で繰り返し振ることによって、一定の Y 距離で溶接全断面に超音波ビームが到達して、得られたデータを自動的に処理することによってエコー高さの変化やピークも求め、妨害エコーと溶接不完全部からのエコー判別を容易に行える探傷結果を表示できるものである。そのため、検査技術者がある程度の訓練を受けると確実な超音波探傷試験が実現できる。

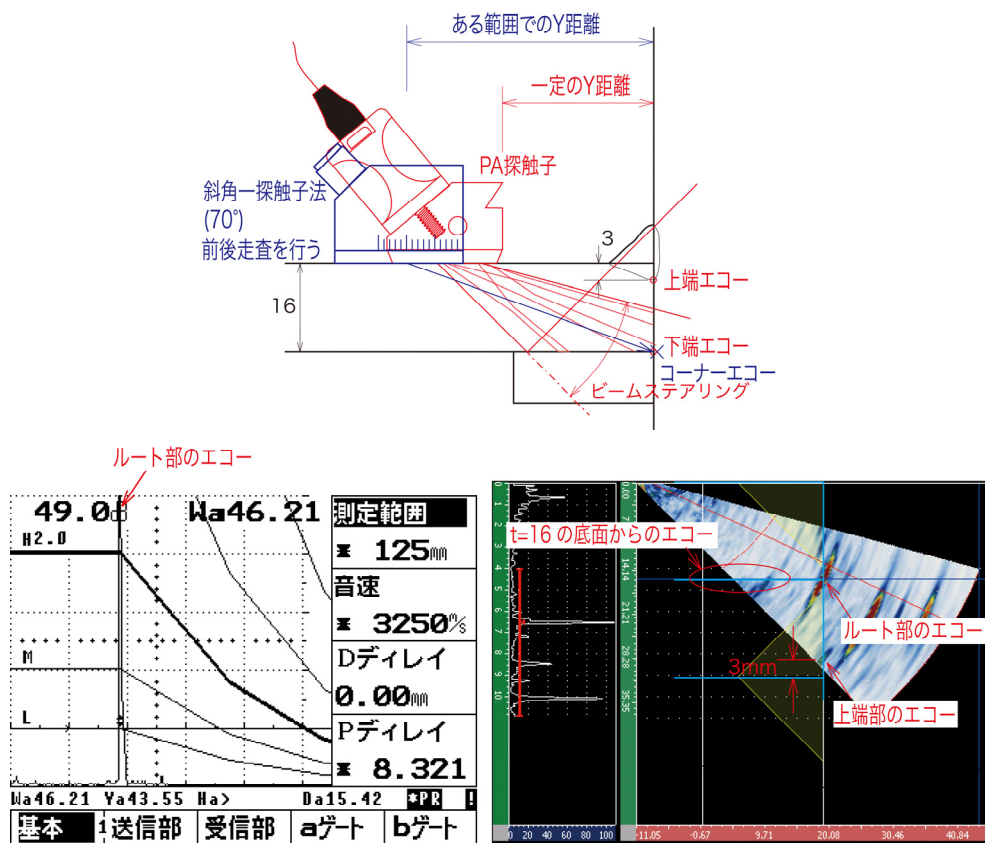


図 3 斜角一探触子法と PAUT 法の探傷結果の比較

その結果を受けて、PAUT 法の現場での有効性を確認するための実証試験を行い、現場での有効性が確認され、実際の現場で用いられるようになってきている。

2. 厚板化・高強度化における超音波探傷試験の問題点と対応

鋼構造物の厚板化・高強度化によって、溶接部での比較的大きな割れの発生が危惧されることに加えて、構造物の安全性確保の観点から溶接割れなど溶接不完全部の位置や大きさをより正確に把握しておく必要性が高まっている。さらに適切でない超音波探傷試験での不合格の溶接補修による溶接継手の性能の劣化の可能性が予想される。

これらの問題の高まりに対して、従来の規格・基準に基づいた斜角一掃触子法では対応できない面がある。それは、①妨害エコーときずエコーの判別が難しくなること、②規格・基準に合格となるきずエコーでも余分な安全を見てかなり厳しい検査を行い不合格にする場合があること、③補修溶接によって溶接部の性能がどの程度劣化したか評価を行う適切な方法がないことである。

①については、図4に示すように、PAUT法を適用することによって、溶接近傍の妨害エコーときずエコーの全てが探傷器の画面に表示され、その画面と開先形状を重ねることによって、妨害エコーときずエコーの判別が容易になる。

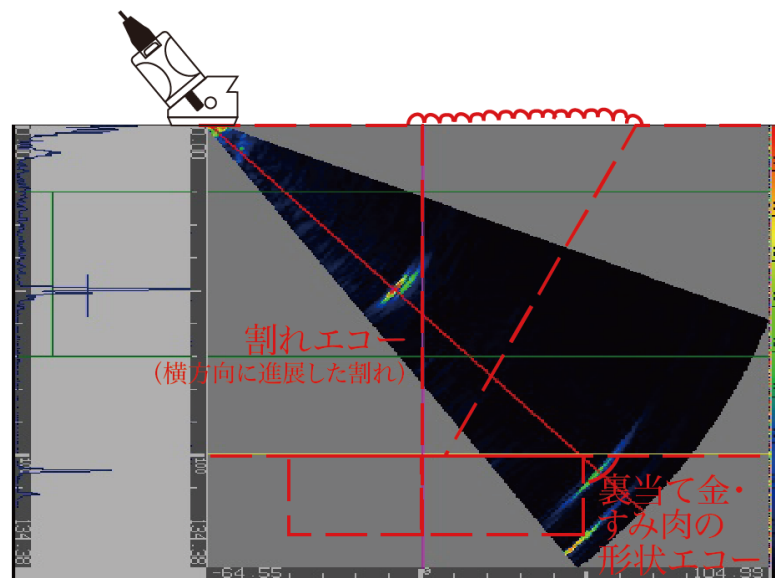


図4 開先形状を重ね合せによるエコーの反射源の確認

②については、新築の鉄骨製品では溶接部の超音波探傷検査において、社内検査と受入れ検査が実施されることが多いが、受入れ検査で不合格を出されないために（極端な場合は評価の対象となるきずエコーが検出されないため）、社内検査でかなり厳しい基準で超音波探傷検査を実施することがある（極端な場合には、6dB以上高い感度で探傷する、検出したエコーを全てきずエコーと判別する等）。そこで、PAUT法を適用することによって、社内UT検査が過剰に厳しい評価になっていないことを確認し、不要な補修が行われることが無いようにすることができる。具体的には、きずエコーと妨害エコーの確実な判別、きずエコーが検出される範囲をPAUT法で確認して、その範囲に限定して斜角一掃触子法できずエコーの再評価を行うことである。

③については、PAUT法を適用することによって、溶接欠陥の高さを測定し、さらに、溶接欠陥の方向やおおよその断面形状の推定等を行う。これによって、割れであるかないかのある程度の推定が可能となり、構造設計者が補修の可否を最終判断するための情報を提供することができる。現状、補修による溶接継手の劣化を明確に評価できるとは言えない面があることを考慮するならば、可能なら、溶接欠陥に関する従来の斜角一掃触子法より多い情報を活用して補修溶接を回避することは有効と考えられる。

3. 既存鋼構造物の溶接部の超音波探傷試験

既存の鋼構造物の溶接部の調査では、設計図書通り施行されていることが重要であるが、高度成長期に製作された鋼構造物には、設計図書通り製作されていないものがある。さらに、設計図書が保存されていなかったり、設計図書の不備で構造上完全溶込み溶接でなければならない溶接部が溶接記号や開先基準図で完全溶込み溶接の指示がなかったりすることがある。そのため、それらの部材が完全

溶込み溶接ではなく部分溶込み溶接やすみ肉溶接で施工されていることがある。実際に大地震が発生した場合、それらの溶接部は破断に至り、鋼構造物の倒壊に至る事がある。

そこで、既存の鋼構造物の溶接部では超音波探傷試験を用いて、溶接部が完全溶込み溶接であることを確認する事が重要となる。また、何らかの外力（例えば、大地震による外力）を受けた鋼構造物では、溶接部の表面あるいは内部に割れが発生していないか確認する事が必要である。

ここで、上記の確認に対して、従来は斜角一探触子法が適用されてきたが、きずエコーが全く検出されない健全な溶接部では問題がないが、何らかのきずエコーが検出される溶接部では、構造設計者が要求する情報（例えば、不溶着部の高さ、割れ発生の有無等）を得ることはできない。

そこで、PAUT 法を適用することによって（TOFD 法は鋼構造物では T 継手が多いので適用困難）、検出されたきずエコーから溶接欠陥の高さや部分溶込みや開先無しの溶接部の不溶着部の高さの測定を行った。図 5 に PAUT 法による不溶着部の高さ測定結果の一例を示す。

また、PAUT 法の探傷器の画面表示から、割れが発生している可能性が高いかどうかの情報、さらに反射源のおおよその断面形状や割れの進展方向などの情報を得る事ができた。

この不溶着部の高さの PAUT 法による測定の信頼性については、完全溶込み溶接試験体、種々の不溶着部の高さをもつ部分溶込み試験体、開先無しの溶接試験体を製作して、PAUT 法の測定箇所を試験体を切断してマクロ試験を行い対応を確認している。

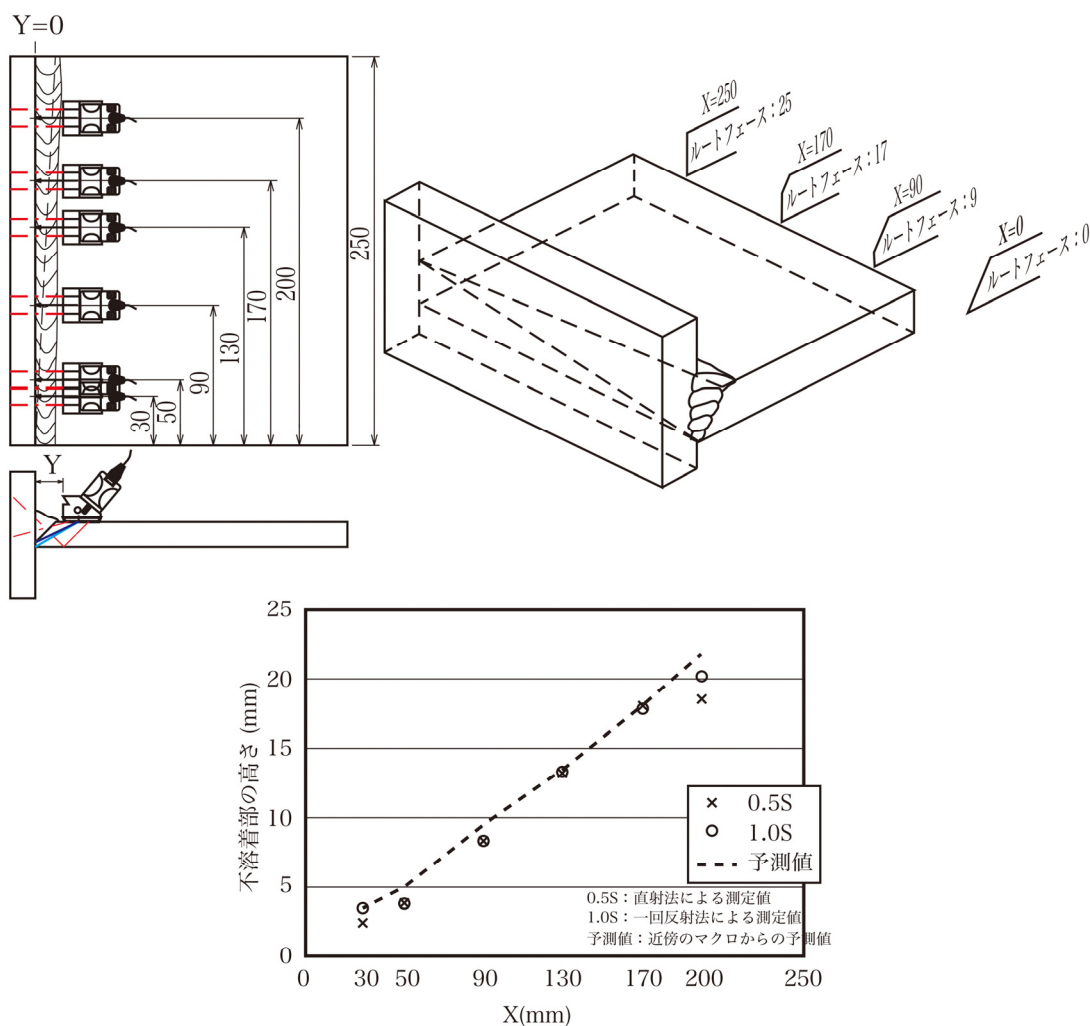


図 5 PAUT 法による不溶着部の高さ測定結果

また、各種溶接欠陥の試験体を製作して、PAUT法の画面表示とX線透過写真による欠陥種別との対応によってPAUT法による欠陥種別の確認を試みた。図6、図7、図8及び図9には、開先面の融合不良、集中ブローホール、現場で検出された開先面の融合不良、及び溶込み不良のそれぞれのPAUT法表示画面を示す。

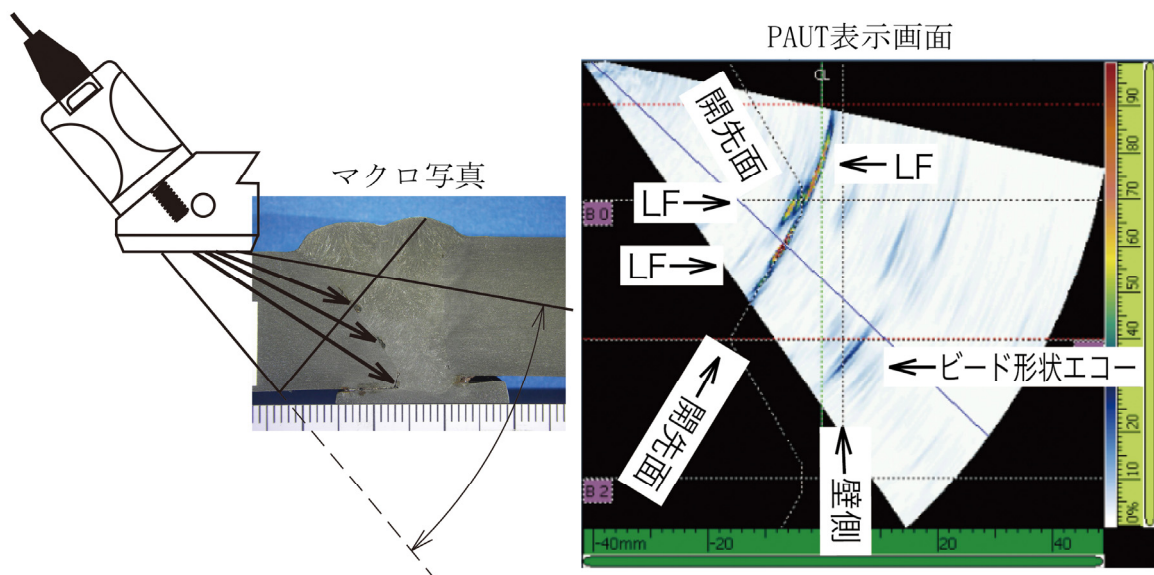


図6 開先面の融合不良のPAUT法画面

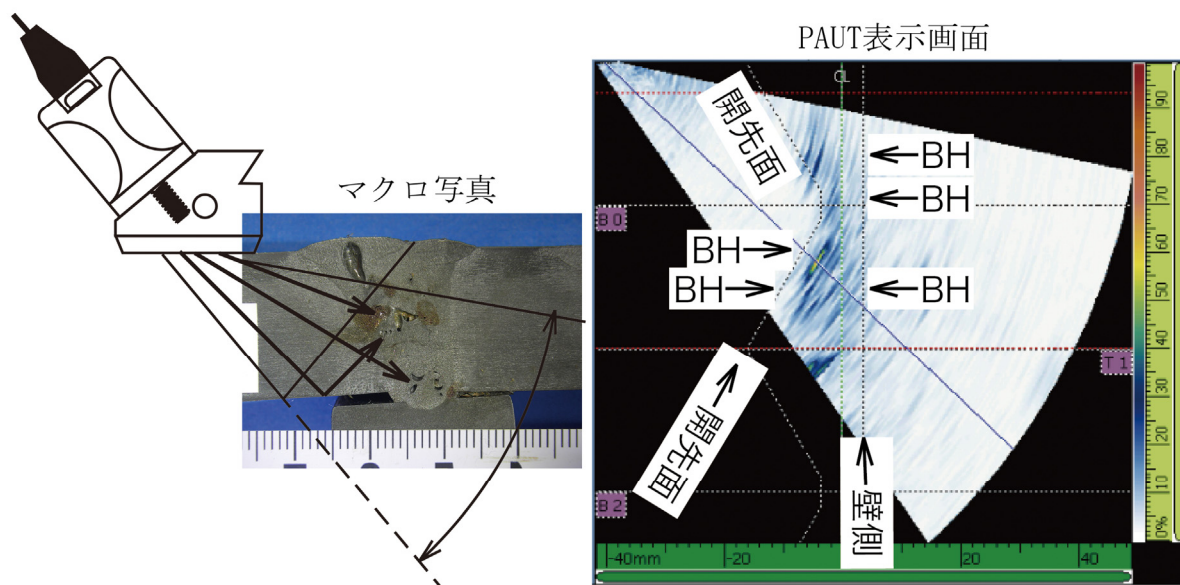


図7 集中ブローホールのPAUT法画面

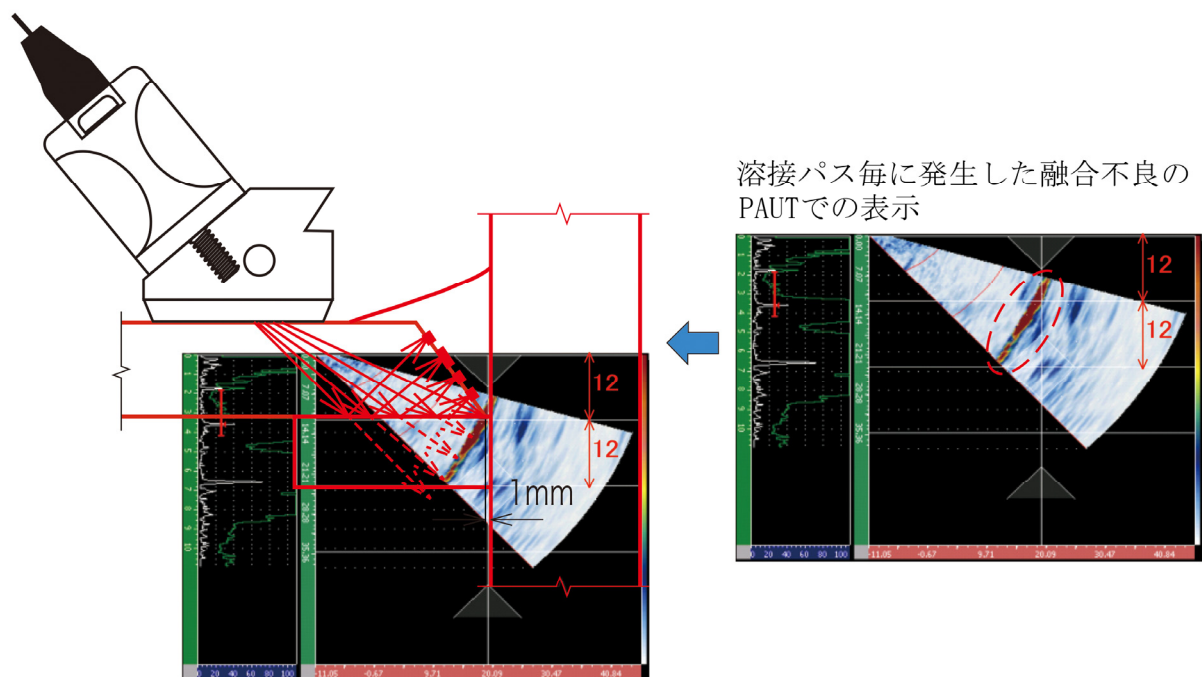


図 8 現場で PAUT 法検出された開先面の融合不良

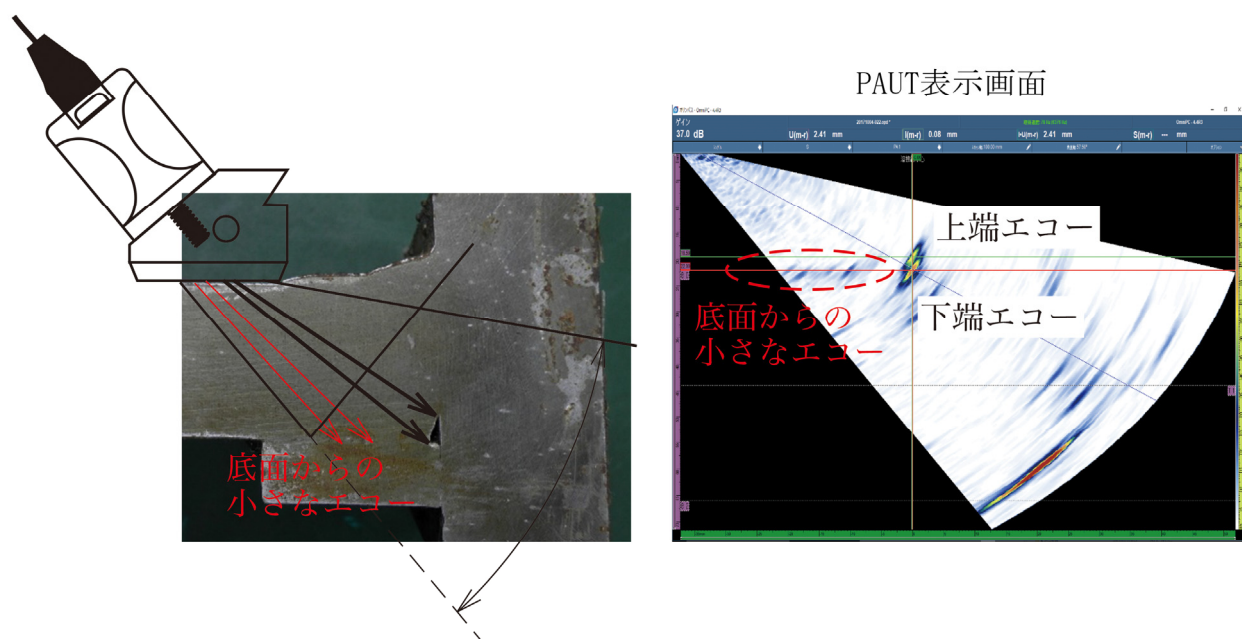


図 9 溶込み不良の PAUT 法画面

これらの試験体による実験・検討結果をふまえて、現場で実用的に既存の鋼構造物の溶接部の不溶着部の高さの測定や割れの発生の有無についての情報を構造設計者に与えるための溶接部の超音波探傷試験による調査を行っている。

4. 今後について

PAUT 法では信頼できる結果を得るためには、板厚・開先形状に対応した溶接線方向に対して直交した方向 (Y 方向) の位置とビームステアリング*の適正な位置を選択する事が重要である。さらに、PAUT 法で得られた探傷器の画像を適正に解釈することも重要である。

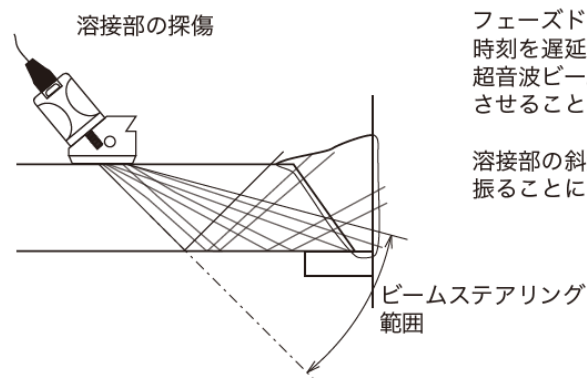
そのため、各種板厚、開先形状・継手種類、各種溶接欠陥を含む試験体で探触子の Y 距離を変え、ビームステアリング範囲を変え、PAUT 法結果とマクロ試験の結果や X 線透過試験の結果の対応を確認してデータを蓄積することが重要と考えている。

また、実際の現場で予想しないような PAUT 法での表示が出た場合、想定される溶接部の状態の試験体を製作して確認試験を行うことも重要である。

なお、すべてのケースで試験体を製作することはコスト的にも困難であり、必要に応じてシミュレーションによって PAUT 法の結果の妥当性を確認することも有効な手段であり、今後活用したいと考えている。

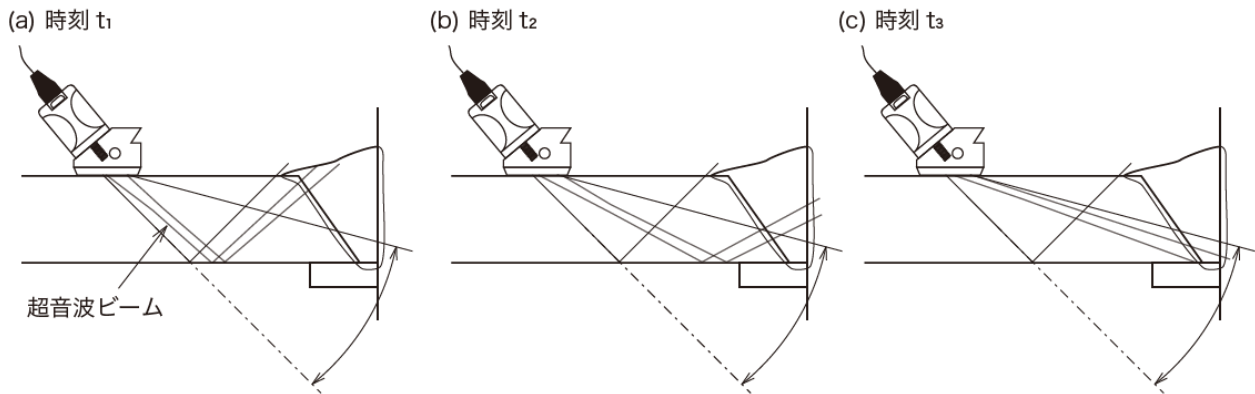
脚注

• ビームステアリング



フェーズドアレイでは、分割された振動子への電圧の印加の時刻を遅延させることによって、超音波ビームを絞ったり、超音波ビームを偏向させることができる。このビームを偏向させることをビームステアリングという。

溶接部の斜角探傷では、下記の (a)~(c) のようにビームを振ることによって、溶接部の全断面の探傷が可能になる。



池ヶ谷 靖 (いけがや せい) 溶接管理技術者特別級

株式会社ジャスト 仙台営業所
保有資格 JSNDI 総合管理 全部門レベル3
技術士 (建設部門、機械部門)