

鋼製橋脚隅角部を対象としたフェイズドアレイ法による超音波探傷試験のきず検出性能について

土 木 研 究 所 正 会 員 〇 藤 木 修
 同 上 正 会 員 高 橋 実
 同 上 正 会 員 村 越 潤
 東 京 工 業 大 学 フ ェ ロ ー 三 木 千 壽

1. はじめに

鋼製橋脚隅角部では、構造上、複数の溶接線が交差しているため溶接作業に高い技量が必要であり、さらに狭い交差部では溶接作業性も悪いことから、鋼製橋脚隅角部を設計、製作する上では、板組や溶接手順、溶接作業者の技量などに配慮するとともに、適切な非破壊検査法を用いることにより、溶接品質を確保することが求められている。隅角部の非破壊検査には、従来から検査技術者の走査による超音波探傷法（手探傷：MUT）が用いられることがあるが、MUT は検査技術者の技量に依存する部分が大きく探傷結果の記録性や再現性に乏しく、また隅角部の構造が複雑であるため検査自体が難しい。これらの理由から、より検出性能に優れた超音波探傷法を用いることを検討する必要がある。本報告では、高い性能が期待できるフェイズドアレイ法による超音波探傷法に着目し、鋼製橋脚隅角部を模擬した試験体を用いてきず検出性能確認試験を行った結果の一部を報告する。

2. フェイズドアレイ探傷装置の仕様

表－1 探傷装置の主な仕様

探傷器	使用可能素子数	128 素子 (内シフト 16° ロープ 4ch 使用可)
	同時使用素子数	32 素子
	ゲイン値	60dB/0.1dB ステップ
	周波数帯域	0.5～15MHz (±3dB)
	遅延時間	0～5 μ sec/5nsec ステップ
	パルス電圧	96V, 48V, 12V
	パルス立ち上がり時間	10nsec 以下
探触子	チャンネル周波数	100MHz, 50MHz, 25MHz, 12.5MHz
	分解能	12bit
	周波数	3.5MHz (鋼中)
	素子配列	リニア配列
	素子数	64 素子
ウェッジ (垂直用, 斜角用)	素子配列ピッチ	1mm ピッチ
	素子幅	10mm
ウェッジ (垂直用, 斜角用)	材質	ポリスチレン

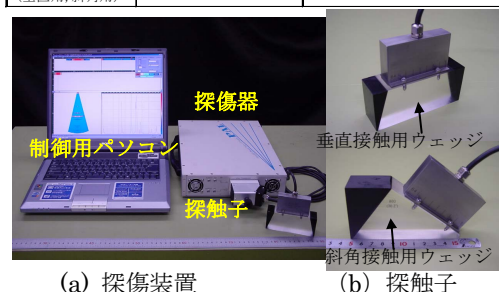
図－1 に試験体の探傷に用いた探傷器および探触子の外観、表－1 に探傷装置の仕様を示す。探傷器は市販のフェイズドアレイ探傷器（日本クラウトクレマー製：PAL-2）と制御用ノートパソコン（ソニー製：VAIO ノート）を用いた。探触子は、探傷目的、被検査材の条件などに応じて製作するのが一般的であるため、対象とする隅角部の探傷を想定し検討した結果を踏まえて製作した（IMASONIC 製）。さらに電子走査による探傷角の範囲を大きくするために、探触子の前面に取り付ける 2 種類（垂直接触用、斜角接触用）のウェッジ（KGK 製）を製作し、条件によって使い分けることとした（図－1 (b) 参照）。

3. 試験体製作および内在きず

性能確認試験には、新設隅角部を模擬して製作した試験体 2 体を用いた。試験体は、CO₂ ガスシールドアーク溶接法による多層盛り溶接により製作した。図－2 に試験体形状と 3 溶接線交差部の開先形状を示す。試験体の溶接部には、既存の隅角部溶接施工試験結果および新設隅角部の溶接手順などから、隅角部の溶接部に発生する可能性のあるきずを抽出・整理した結果を踏まえ、製作過程で作為的に溶接条件や開先形状を変えることにより、きずを作成し内在させた。内在させたきずとしては、溶接パス間の融合不良、開先面とパス間に発生した融合不良、開先ルート部の未溶着部、溶接割れである。

4. 探傷方法

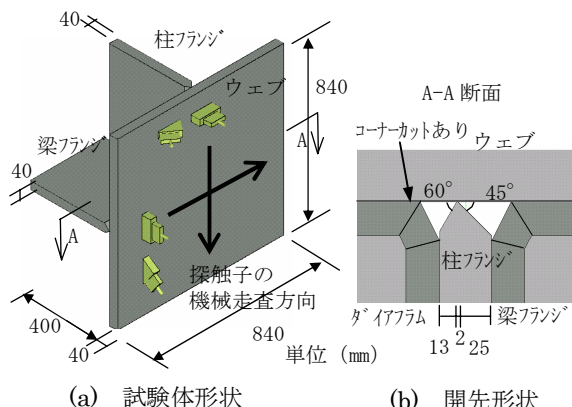
図－3 に 3 溶接線交差部に対するウェブ外面からのフェイズドアレイ法による走査方法を示す。3 溶接線交差部の探傷は、ウェブ外面に探触子を接触させ、フェイズドアレイ法の特徴である電子的な走査による超音波ビームの集束制御と探傷角度の制御を探触子の振動素子の配列方向に行いながら、振動素子の配列直



(a) 探傷装置

(b) 探触子

図－1 フェイズドアレイ探傷装置



(a) 試験体形状

(b) 開先形状

図－2 試験体形状

キーワード：鋼製橋脚，非破壊検査，超音波探傷，フェイズドアレイ法

連絡先：構造物研究グループ（橋梁構造チーム） 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 TEL029-879-6793

角方向に探触子を機械的に走査した。電子走査のうち超音波ビームの集束制御では、探傷面からの深さ位置が 35mm から 65mm までの範囲に対して、10mm の間隔で超音波ビームを集束させた。また、探傷角度の制御では、垂直接触用ウェッジを用いる場合には探傷角を -45° から $+45^{\circ}$ まで、斜角接触用ウェッジを用いる場合には探傷角を 40° から 70° まで変化させた。この電子走査に加えて複数の機械走査を行うことで、溶接部の任意の位置に複数の角度で超音波ビームを入射させた。

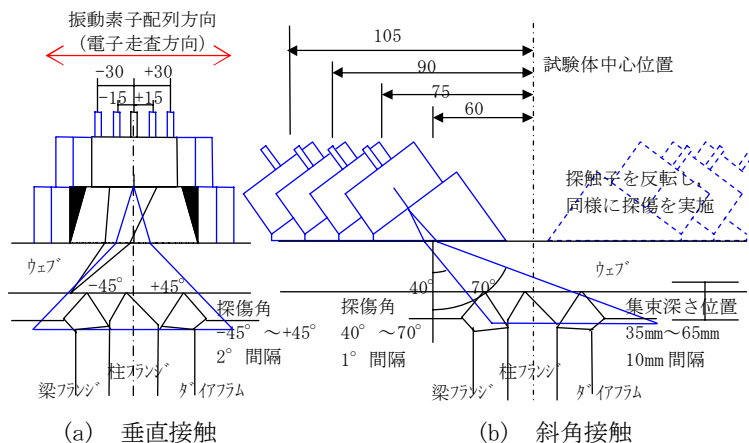


図-3 電子走査による探傷方法

5. 破壊試験によるきずの確認

探傷終了後、溶接部に内在するきずの寸法、位置、種類を破壊試験により確認した。破壊試験では、試験体から適度な大きさに切り出した溶接部のブロックを、ウェブ外面と平行にフライス加工により 0.25mm から 1.0mm の間隔で切削し、切削断面毎にマクロ試験および写真撮影を行い、内在きずの有無を確認した。図-4に断面マクロ写真の例を示す。その結果、2 試験体の 3 溶接線交差部（交差部中心から 100mm 程度の溶接部範囲内）に、最大きず長さ 6mm 以上のきずが 16 個確認された。最大きず長さは、断面マクロ面内の長さおよび複数の断面に連続する長さのうちの最大寸法とした。

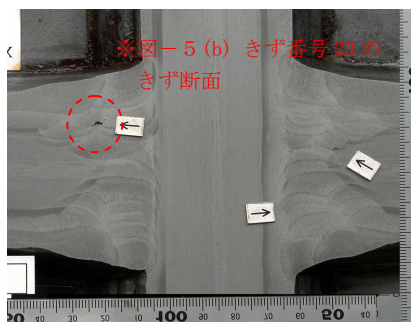


図-4 破壊試験による断面マクロ写真の例

6. 性能確認試験結果

性能確認試験の結果、フェイズドアレイ法による超音波探傷試験法では、破壊試験から得られた溶接部に内在するきず 16 個のうち 13 個を検出することができた（検出率 81.3%）。次に図-5に示すように、検出されたきずのうち、発生部位や種類の異なる 2 個を抽出して、フェイズドアレイ法により入射した複数の探傷角と、そのときのエコー高さを確認した。エコー高さは、直径 3mm の横孔に超音波ビームを集束させた場合のエコー高さを、画面上 80%に設定した感度で探傷した値とした。その結果、図-5(a)では、すべての探傷角で、きずからのエコーを受信しているが、図-5(b)では、探傷角によってはエコーを得られなかった。このように反射角の指向性のあるきずに対して、より検出性能を向上させる方法の一つとして、フェイズドアレイ法などの方法により、超音波ビームを複数の角度から入射させる方法（複数の探傷角を用いる方法）が有効であることが確認された。

本報告は、土木研究所と東京工業大学、日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、本州四国連絡橋公団、名古屋高速道路公社、福岡北九州高速道路公社、広島高速道路公社、(社)日本橋梁建設協会、(社)日本鉄鋼連盟、(社)日本非破壊検査工業会による共同研究の一環として実施したものである。

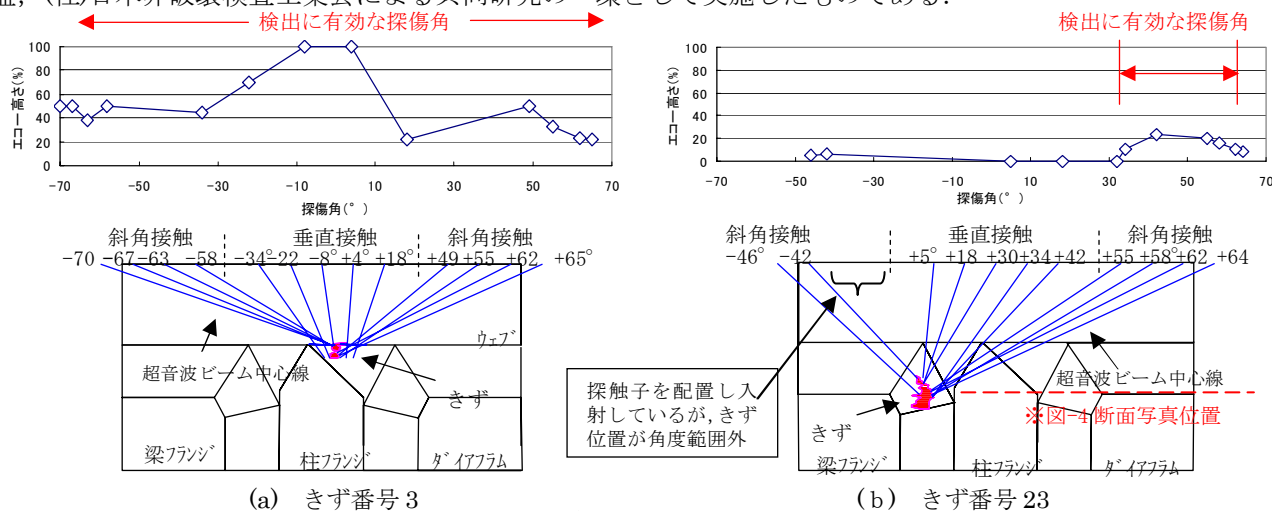


図-5 探傷角とエコー高さの関係