

特集：土木材料の信頼性向上に向けて

# 鉄筋溶接継手の新しい超音波探傷試験方法の探傷精度

森濱和正\* 渡辺博志\*\*

## 1. はじめに

鉄筋の継手には、重ね継手、ガス圧接継手、溶接継手、機械式継手の4種類がある。重ね継手は、コンクリートを介して力を伝達する継手であるため、地震時のように大きな荷重が作用した場合、コンクリートが破壊され継手としての機能が損なわれる可能性がある。このため、地震時に大きな荷重が作用するようなところにはガス圧接継手、溶接継手のように鉄筋同士を直接接合する継手と、鋼管などを介して力を伝達する機械式継手が用いられる。

これらの継手のうち、検査方法の確立していない溶接継手の超音波探傷方法について検討した結果を報告する。超音波探傷は、キズのように接合していないところに超音波が当たると反射して、大きいエコーを受信することによって合否を判定する検査方法である。溶接継手の検査は、現在、ガス圧接継手の検査方法であるJIS Z 3062（鉄筋コンクリート用異形棒鋼ガス圧接部の超音波探傷試験方法及び判定基準）（以下、JIS法と呼ぶ）が準用されている。しかし、溶接継手とガス圧接継手ではキズの種類、発生しやすい位置、形状、大きさなどが異なるため、JIS法の溶接継手への適用には問題があるものと考えられる。そこで、まず2章では、ガス圧接継手とJIS法についてその概要を説明する。次に3章では、溶接継手と発生しやすいキズの種類や位置と、今回JIS法に代わる新しい超音波探傷試験方法として検討した斜めK走査法の概要と検討課題について述べる。4章では、斜めK走査法の探傷精度の検討結果について述べる。

## 2. ガス圧接継手とJIS法の概要

ガス圧接継手は、鉄筋端面同士を押し付けておき、アセチレンガスによって鉄の溶融温度に近い1,200~1,300℃程度まで加熱しながら加圧することによって、図-1のようなふくらみを形成して作製した継手である。この継手は、この施工過程から

鉄筋同士を突き合わせた面（圧接面）にキズができる可能性はあるが、それ以外の部分には力学的に問題となるようなキズができる可能性はほとんどない。

このようなことから、ガス圧接継手の超音波探傷試験は、圧接面が対象となる。ガス圧接継手に適用されているJIS法は、図-1に示すように鉄筋両側のリブ上で送信・受信探触子を配置する方法である。探触子は、屈折角（入射する角度）が70度のものを使用しているため、断面中央に超音波が当たるのは、圧接面から1.4D（D：リブ間距離）離れた位置に探触子を設置したときである（図-1の探触子a）。そのとき圧接面中央にキズがあれば、反射して圧接面から1.4D離れた反対側のリブで受信される。

送信探触子と受信探触子をふくらみに最も近づけたとき（送信探触子bと受信探触子c）に超音波が当たる範囲が探傷できる範囲となる。JIS法は、図-1の右図の鉄筋横断面図のようにリブを結ぶ線（以下、リブ軸と呼ぶ）上のキズが探傷できる方法であり、圧接面のキズがリブ軸に重なるように広がっていれば、探傷できる方法である。

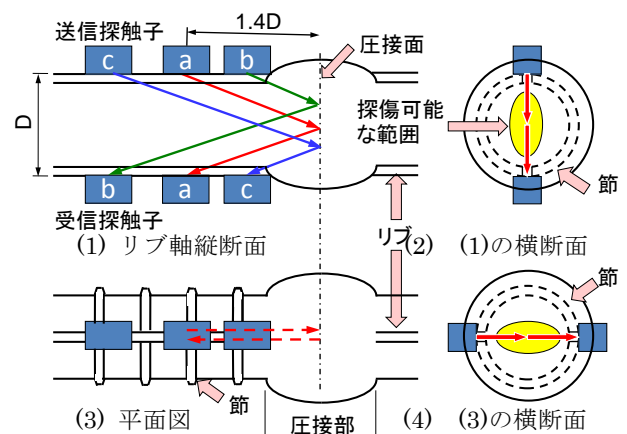


図-1 ガス圧接継手とJIS法の概要

## 3. 溶接継手に生じやすいキズと斜めK走査法

### 3.1 溶接継手

溶接継手には多くの種類があるが、ほぼ図-2のように溶接している。鉄筋同士を10mm程度離して

Flaw detection accuracy of the new ultrasonic testing method for welded joints of reinforcing bar

(ルートギャップ) 向かい合わせ、両方の鉄筋を裏当て金によって通電させるとともに、囲って溶接金属が流れないようにしている(エンクローズ溶接)。溶接ワイヤはシールドガスによって大気から保護している。溶接は裏当て金の底の部分からはじめ(初層部)、全断面にわたって積層溶接する。

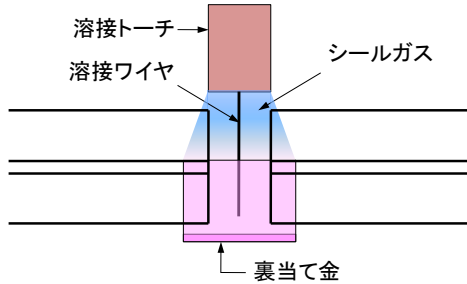


図-2 鉄筋の溶接継手

### 3.2 溶接継手に生じやすいキズ

溶接部には、図-3のように、外観ではピット、内部にはブローホールと呼ばれる気孔や、割れなど、さまざまなキズを生じる可能性があるが、特に問題なのは強度に大きな影響を及ぼす可能性がある初層部の溶込み不良である。

初層部は、せまいルートギャップの底になるため、十分に熱を加えにくいことから溶込み不良を生じやすい。しかも面積が広く継手部の強度に影響を与える可能性が高いことから、初層部の溶込み不良を探傷できることが重要である。

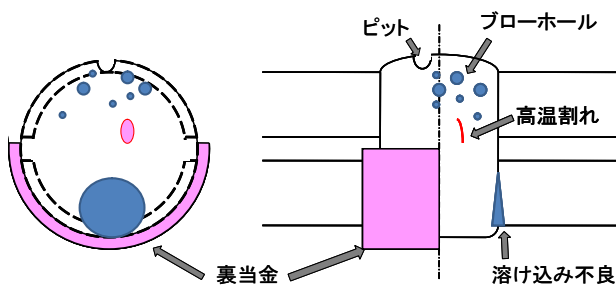


図-3 溶接継手に生じやすいキズ

### 3.3 斜めK走査法

これまで溶接継手の検査に準用している JIS 法は、図-1 で説明したとおり、リブ軸上のキズしか超音波が当たらないため探傷できる範囲は小さい。溶接継手の場合、図-3 のようにリブ軸以外(以下、外周部という)にある溶込み不良やブローホール、割れなどを探傷できることが必要である。しかし JIS 法は、探触子を設置するリブの近傍以外の外周部に超音波が当たらないため、溶接継手で生じやす

いキズを探傷できる可能性は少ない。

外周部に生じたキズを探傷する方法として斜めK走査法が提案されている<sup>1)</sup>。斜めK走査法とは、図-4(3)のように探触子を鉄筋軸に対して20度傾けて(首振り)、(1)のように走査することにより、(2)、(4)のように鉄筋断面内を理論上「く」の字状に探傷できる、という方法である。探触子の走査法は、JIS法と同様に、(1)のように探触子が1.4Dの位置で探傷する場合、(2)のaの位置(初層部)を探傷できる。(1)の送信b、受信cのように溶接部に探触子を最接近させることにより、(2)のb、cの位置を探傷することができる。その際の理論上の伝搬経路は、(3)のように送信探触子からリブを斜めに入射し、鉄筋外周面とキズを反射しながら伝搬し、反対のリブに斜めに入り、受信探触子で受信する、という複雑な経路となる。

(3)の探触子を上向きに20度首振りして同様に走査することによって、鉄筋断面内を(2)、(4)のように菱形状に探傷できる方法であり、超音波が理論どおりに伝搬すれば外周部を探傷できる可能性が高い方法である。

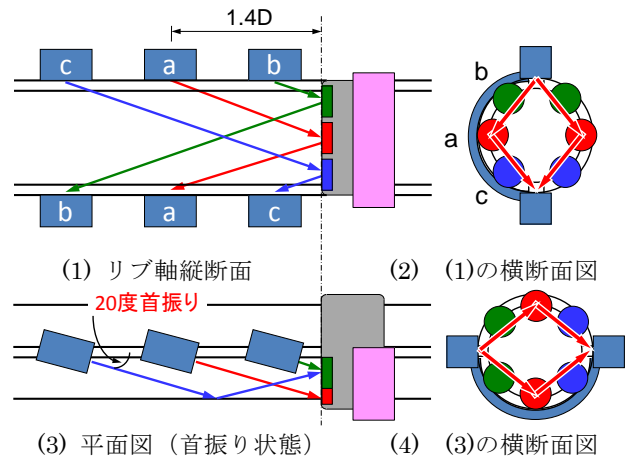


図-4 斜めK走査法

ただし、斜めK走査法では、異形鉄筋の側面で反射する超音波を用いるため、節で超音波が乱反射し探傷精度の低下が懸念される。このため、キズの有無を判断する合否判定レベルが明確になっていない。

### 3.4 斜めK走査法の検討課題

斜めK走査法による探傷が有効なのかを確認するために、次の項目について検討した。

- (1) リブを斜めに入射・受信、周面反射の影響
- (2) 人工キズによる伝搬経路の推定
- (3) 基準レベルと合否判定レベル
- (4) 溶接継手試験片による探傷精度

これらの結果については、文献2)にまとめている。そのうち(4)の探傷精度の結果と、その結果に基づく合否判定レベルについて次章で報告する。

なお、そのほかの項目について簡単に結論のみを次に示す。

(1)の影響は大きく、JIS法よりも10dB程度低下した。6dBで振幅は1/2になるので、斜めK走査法はJIS法よりも振幅が1/4程度も低下することがわかった。

(2)については、ほぼ理論どおりに伝搬しているものと推定される結果が得られた。

(3)の基準レベルとは、無キズの鉄筋を用いて、探傷時の伝搬経路と同等の距離を透過させたパルスの最大値であり、合否判定レベルを設定するための基準となる。合否判定レベルは、キズからのエコー高さと継手の引張強度との関係から設定されるため、(4)の探傷精度と併せ次章で述べる。

## 4. 斜めK走査法の探傷精度

### 4.1 実験方法

溶接継手試験片は、SD345のD19、D25、D32、D38、D51の5種類の鉄筋を用いて作製した。

溶接は、ルートギャップを10mm確保し、炭酸ガスシールドアーク溶接を行なった。

溶接部には図-5のように鉄筋断面の中央と、右回りに0度、90度の3箇所にキズを入れるように計画した。キズの大きさは、各位置で大、中、小とし、それぞれ数本ずつ作製した。

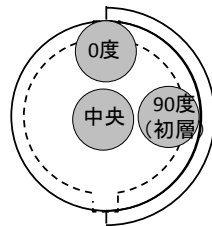


図-5 溶接部のキズ位置

### 4.2 探傷方法

探傷実験は、斜めK走査法とJIS法について行なった。図-6のように送信探触子を溶接部に最接近、0.7D、1.4D、2.1Dの位置に設置した。受信探触子は、逆に遠い位置、2.1D、1.4D、0.7D位置で前後に走査し、エコーの最大値を求めた。探傷結果と、その後に行なった引張

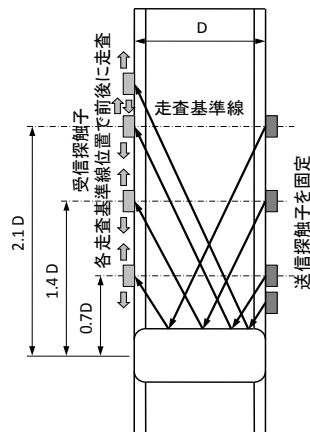


図-6 探傷方法

試験結果と比較した。

### 4.3 引張試験

探傷精度を確認するため、引張強度とキズ面積率を求めた。引張試験はJIS Z 2241に準じて行なった。キズ面積率は、破断面でキズ面積を測定し、公称断面積で除して求めた。

図-7は、引張試験を行なった全試験片のキズ面積率と引張強度の関係を、キズの位置ごとに分類して示した。図中の一点鎖線は、規格引張強さ490N/m<sup>2</sup>である。

引張強度はキズの位置によって傾向が異なり、鉄筋外周に接している0度キズ(■)と90度キズ(■)は、中央キズ(□)と比較してキズ面積率が同じ場合、引張強度は小さい傾向がある。同じキズ面積でも、外周に接しているキズは内部のキズよりも強度が低下するため、検査における外周部のキズの探傷はより重要である。

規格引張強さ以下の結果について、キズ面積率10%(図中の縦線)以下の結果は、そのほとんどがD38とD51であった。D19、D25は、キズ面積率10%以下の結果はなく、D32は規格引張強さ付近にわずかにあるだけであった。この結果より、D32以下の鉄筋はキズ面積率が10%以下であれば規格引張強さをほぼ満足した。

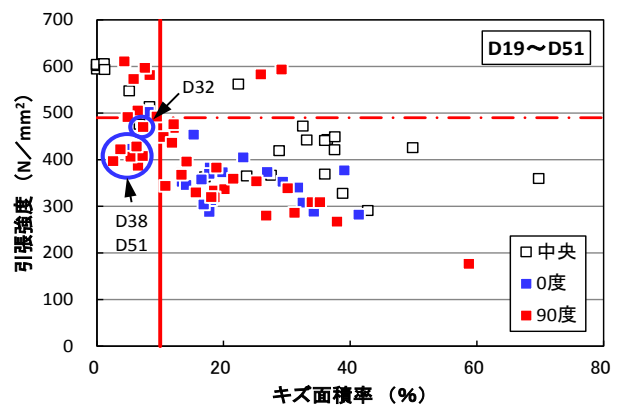


図-7 キズ面積率と引張強度の関係

### 4.4 探傷精度に関する検討

図-8と図-9に斜めK走査法とJIS法の引張強度と探傷結果の関係を示す。一点鎖線は規格引張強さ、縦の太い実線は合否判定レベルの候補であり、ここでは文献1)を参考に斜めK走査法は-24dB、JIS法は-18dBを仮定して検討した。

図-8と図-9の規格引張強さと合否判定レベルで区切られた部分の右上を第1象限とし、左回りに第2

象限、第3象限、第4象限とすると、第1象限は、強度が規格値を上回っているにもかかわらず超音波探傷の合否判定レベルを下回っており、「安全側の誤判定」である。第2象限は強度、探傷結果とも「合格」で一致、第4象限は強度、探傷結果とも「不合格」で一致している。第3象限は、強度は不合格にもかかわらず超音波探傷では合格と判定されており「危険側の誤判定」である。

図-8、図-9ともにエコー高さが大きくなるほど引張強度が低くなる傾向を示しており、ある程度の相関関係を有している。

図-8の斜めK走査法は、「安全側の誤判定」がやや多いものの、「危険側の誤判定」はD19で1点、D51で3点だけであり、探傷精度は高い。合否判定レベルの-24dBはほぼ妥当である。図-7の結果より、合否判定レベルを-24dBと設定した斜めK走査法によって合格すれば規格引張強さがほぼ保証されるものと考えられる。

一方、図-9のJIS法は、90度キズ(■)は、0度キズ(■)と中央キズ(□)よりも左に寄っており、キズの位置によってエコー高さと引張強度の関係が異なっている。90度キズは「危険側の誤判定」となっている試験片が多数を占めており、探傷精度は極めて低い。中央キズ、0度キズはJIS法で探傷しやすい位置であり「危険側の誤判定」はわずかである。この結果より、JIS法は図-1の探傷方法のとおり、リブ軸上の0度と中央キズの探傷には適しているが、90度キズには適していないことは明確である。合否判定レベルを-18dBではなく、それより厳しい値として例えば-24dBに設定しても、90度キズの判定精度は改善しないことが分かる。

## 5. まとめ

鉄筋溶接継手の斜めK走査法による超音波探傷方法について検討し、次のことがわかった。

- (1) 外周部のキズは、強度に及ぼす影響も大きいことから、探傷は重要である。
- (2) 初層部のキズの探傷は、JIS法はほとんど不可能であるが、斜めK走査法の探傷精度は高い。
- (3) 斜めK走査法による探傷試験に合格することにより、規格引張強さがほぼ保証される。

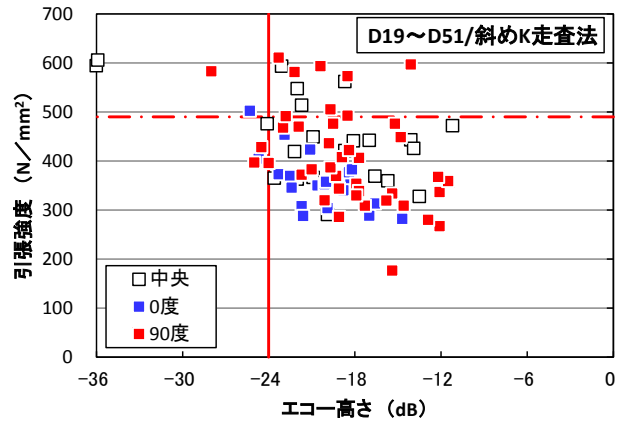


図-8 斜めK走査法のエコー高さと引張強度の関係

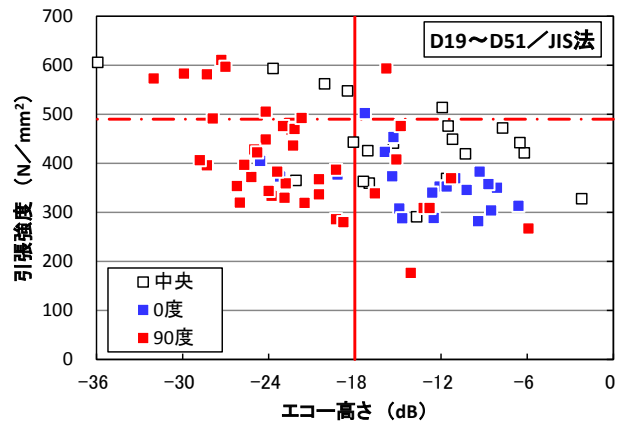


図-9 JIS法のエコー高さと引張強度の関係

## 参考文献

- 1) 倉持貢、森濱和正：鉄筋エンクローズ溶接継手の超音波斜角探傷検査法に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.30、No.3、pp.685～690、2008.7
- 2) 森濱和正、渡辺博志：鉄筋溶接継手の超音波探傷試験方法に関する検討、日本非破壊検査協会、シンポジウム「コンクリート構造物の非破壊検査」論文集、Vol.4、pp.131～140、2012.8

森濱和正\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所材料資源研究グループ基礎材料チーム 総括主任研究員  
Kazumasa MORIHAMA

渡辺博志\*\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所材料資源研究グループ基礎材料チーム 上席研究員、工博  
Dr.Hiroshi WATANABE