

# 論文 斜め K 走査法による鉄筋溶接継手の超音波探傷に関する検討

森濱 和正<sup>\*1</sup>・渡辺 博志<sup>\*2</sup>

**要旨:** 鉄筋溶接継手の検査は、ガス圧接継手の検査方法である JIS Z 3062 による探傷試験 (JIS 法) が準用されている。しかし、溶接継手とガス圧接ではきずの種類などが異なるため、JIS 法を用いることには問題がある。そのため、きずを入れた溶接継手試験片を作製し、日本鉄筋継手協会規格 JRJS 0005 による斜め K 走査法 (JRJS 法) と、JIS 法による探傷実験を行なった。きずは、鉄筋断面に対して位置、面積を変化させた。実験の結果、JIS 法は鉄筋中央部のきずの検出には優れているが、鉄筋外周部の検出はできない。それに対し、JRJS 法は外周部の検出精度が高いことが明らかになった。

**キーワード:** 異形棒鋼, 溶接継手, 超音波探傷, JIS 法, JRJS 法

## 1. はじめに

鉄筋溶接継手の超音波探傷検査は、ガス圧接継手の検査方法である JIS Z 3062 (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きず (以下、キズと記述する) の種類、発生しやすい位置、形状、大きさなどが異なる。そのため、JIS 法の適用にあたって、特に位置に関して次のような問題がある。

JIS 法は、後述する JRJS 0005 では直角 K 走査法と呼ばれている方法であり、**図-1** のように鉄筋両側のリブ上で送信・受信探触子を走査することにより、リブを結ぶ線 (以下、リブ軸と呼ぶ) 上にキズがあれば、そこからの反射波を受信することによって探傷する方法である。そのため、溶接断面の中央部のキズの探傷には優れている。しかし溶接継手は、溶接初層部である外周部に溶込み不良のキズを生じやすいため、JIS 法では探傷できないキズが多い。

外周部の探傷を行うため、ガス圧接継手についてであるが、土木研究所と日本鉄筋継手協会 (当時の日本圧接協会。以下、継手協会と呼ぶ) の共同研究により、表面 SH 波法による実験が行われ、JIS 法よりも外周部の探傷精度が高いことが確認された<sup>1)</sup>。そのため、継手協会において、溶接継手についても表面 SH 波法による検討が行われた。しかし、表面 SH 波法は探触子をリブ上に配置しているため、溶接継手のようにリブ軸中心に直角な方向の初層部の、リブから離れた位置に生じたキズを探傷しにくいことが明らかになった<sup>2)</sup>。

その後、継手協会では、溶接継手の外周部全周を探傷する方法として斜め K 走査法の検討が行われた<sup>3)</sup>。斜め K 走査法とは、**図-2** のように探触子を鉄筋軸に対して 20 度首振りを行なって走査することによって、溶接部断面図のように超音波が外周部を伝搬することから、外周部の探傷が期待されている方法である。多くの検討の結

果、2008 年度に規格 JRJS 0005 が制定された。以下、この探傷方法を JRJS 法と呼ぶこととする。

土木研究所では、JRJS 法の適用の可能性を確認するために、JRJS 法の伝搬経路、探傷の信頼性などの検討を行なっている。前報<sup>4)</sup>では、鉄筋断面にドリル穴による人工キズを設けた試験片による検討を行い、JIS 法は超音波がリブ軸上を伝搬し、その線上にあるキズの探傷精度は高いが、外周部に設けたキズの探傷はできないことを示した。それに対し JRJS 法は、リブ軸上のキズの探傷はできないものの、理論的に求められる超音波の伝搬経路上にあるキズは探傷できることが確認できたことから、ほぼ理論上の経路を伝搬していることが推定された。

今回は、実際に溶接継手試験片を作製し、JIS 法、JRJS 法による探傷実験を行なった。試験片にはあらかじめ溶接部に溶込み不良のキズを入れたものを作製した。キズは、鉄筋断面に対して位置、大きさを変化させ、前報の人工キズの場合と同じように鉄筋内を超音波が理論どお

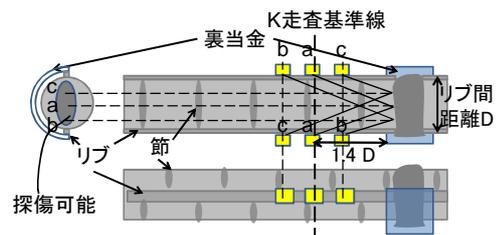


図-1 JIS 法の概要

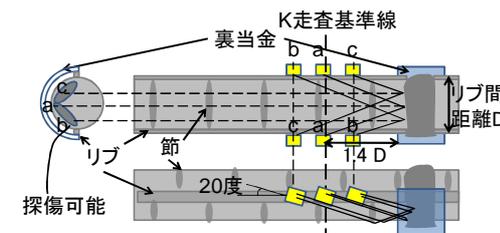


図-2 JRJS 法 (斜め K 走査法) の概要

\*1 土木研究所 材料資源研究グループ基礎材料チーム (正会員)

\*2 土木研究所 材料資源研究グループ基礎材料チーム 工博 (正会員)

りに伝搬し、JIS 法は溶接断面中央部の探傷、JRJS 法は外周部を探傷できるかの確認実験を行なった。

## 2. 実験概要

実験は次の手順で行なった。

- (1) 試験片の作製
- (2) X線透過法によるキズ位置、大きさの検出
- (3) 代表的なキズの詳細な探傷実験
- (4) キズの位置・面積と各探傷方法適用性の関係

以下、項目ごとに実験方法および実験結果を示す。

## 3. 試験片の作製

試験片は、SD345-D32の竹節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、通常用いられている炭酸ガスアーク溶接を行なった。溶接部には図-3のようにキズを入れた。キズは鉄筋断面の中央、0度、90度（リブ位置から右回りの角度で呼ぶ）の3箇所、大中小3種類の大きさのキズを入れた9種類（3箇所×大きさ3種類）とした。裏当金最奥部の90度キズが、超音波探傷にとって最も厳しい条件と想定した。1種類当たり10本ずつ、全部で90本作製した。キズは、運棒操作により計画した位置・大きさの溶込み不良、融合不良となるようにした。キズを入れた鉄筋をA側、その開先面をA面、もう一方の鉄筋をB側、その開先面をB面とした（図-6参照）。

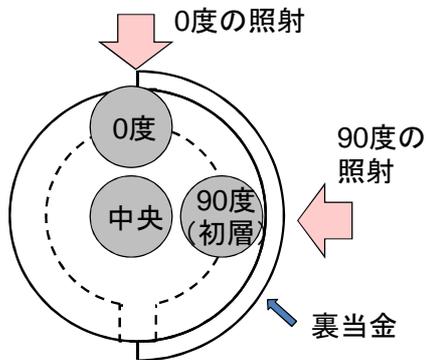


図-3 キズの位置とX線透過方向

## 4. X線透過法によるキズ位置、大きさの検出

実際に生じたと考えられるキズの位置と大きさを求

めるため、図-3のように0度と90度の方向からX線を透過させ、図-4のようにフィルムに写ったキズの長さを測定した。キズの位置は、図-3のように中央、0度、90度（初層部）に3分類した。

キズの面積は、0度と90度のX線写真から測定したキズの長さを長軸、短軸とする楕円と仮定して求めた（図-4）。超音波探傷実験に用いた試験片は、各位置の30本ずつであり、鉄筋の公称断面積に対するキズ面積の比率（以下、キズ面積率と呼ぶ）は、中心部は7.1~31.6%、0度位置は2.0~41.0%、90度（初層）位置は2.7~47.3%であった。

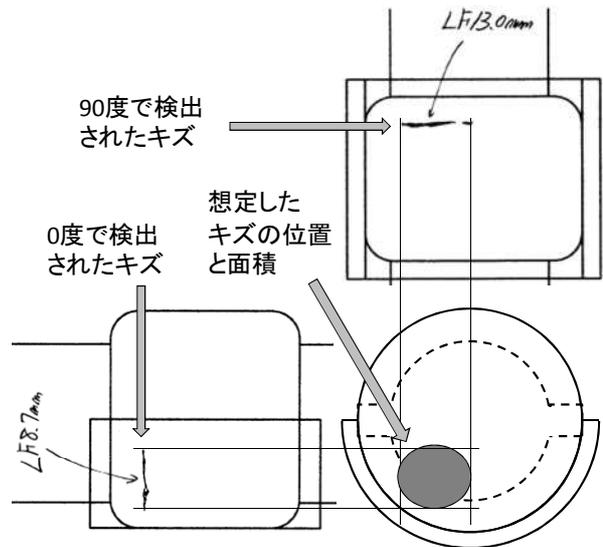


図-4 キズの位置と面積の求め方

## 5. 代表的なキズの詳細な探傷実験

### 5.1 試験片の選定

キズの位置と送信・受信探触子の位置関係を確認するための詳細な探傷実験を行うため、90本の試験片の中から表-1の探傷予測のもとに5本の試験片を選定した。選定した試験片のキズの位置と、超音波伝搬経路の予測は、図-5のとおりである。

キズの位置・大きさごとの探傷予測は、これまでの検討結果から、超音波の伝搬経路上にキズがある場合は探傷可能(O)、そうでない場合は探傷不可能(X)とした。具体的には、中央のキズは、JIS法は探傷可能であるが、

表-1 キズの位置・大きさと探傷予測

キズ位置	中央	0度		90度(初層)	
キズ面積率	12.9%(中)	2.4%(小)	11.8%(中)	9.8%(小)	19.1%(中)
JIS法	○(△)	△(×)	○(○)	×(×)	△(×)
JRJS法	×(△)	△(○)	△(○)	○(△)	○(○)

凡例 ○：探傷可能，△：条件によって探傷可能か不可能か異なる，×：探傷不可能

( )内は、図-5のX線透過試験から予測される探傷の可能性。

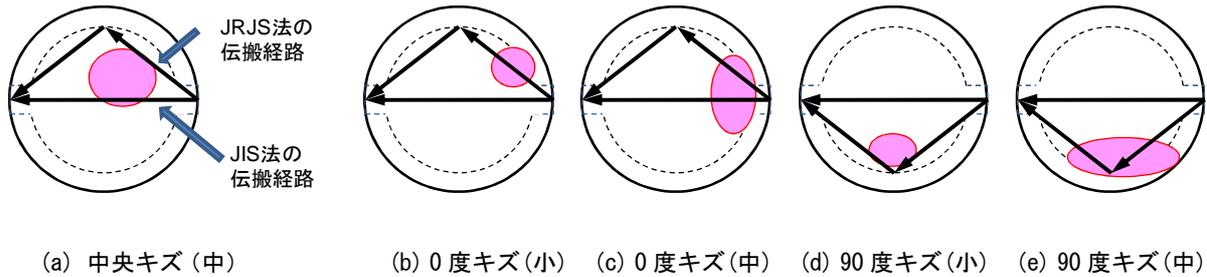


図-5 キズ位置・大きさと超音波伝搬経路

JRJS 法は不可能、逆に 90 度（初層）のキズは、JRJS 法は探傷可能であるが、JIS 法は基本的には不可能である。キズの大きさが中るとき JIS 法が△になっているのは、キズの広がり中心部付近まで達している場合は探傷が可能なる場合もあり得ることを示している。0 度のキズの場合、JIS 法はキズの大きさが中るとき探傷可能であるが、小のときは探触子を溶接部に近づけてキズ面に超音波が当たる場合は探傷できる可能性があることを示している。JRJS 法は、キズが超音波の伝搬経路まで広がっている場合は探傷できる可能性があることを示している。

### 5.2 詳細な探傷実験の方法

試験片の A 側および B 側から JIS 法および JRJS 法を適用して探傷実験を行なった。実験に用いた探触子は、JIS Z 3062 の附属書 C に規定されているものと、JRJS 0005 の附属書 3 に規定されているものである。いずれの探触子も屈折角は 70 度であるが、接触面が JIS 法のものには半径 16mm の凹状になっているが、JRJS 法は平滑になっている。

#### (1) 探触子走査位置ごとのエコー高さ測定

キズの位置、大きさは X 線透過試験によって予測できていることから、キズの中心に超音波ビームが当たると予測される位置に送信探触子を固定し、受信探触子は最大のエコーが受信されると予測される位置に対してその前後を 2mm ずつ探触子を移動させてエコー高さを測定した（図-6）。また、逆に最大のエコーが受信されると予測される位置に受信探触子を固定し、送信探触子をキズの中心に超音波ビームが当たると予測される位置に対してその前後を 2mm ずつ探触子を移動させてエコー高さを測定した。

#### (2) 走査基準線ごとの探傷

実際の探傷は、キズ位置がわからないため、次のように行う。JIS 法によってリブ間の中心に超音波が当たる位置、JRJS 法によってリブ間の中心に直角方向の外周部に超音波が当たる探触子位置は、溶接部から 1.4D（D：リブ間距離）の距離となる（図-7）。この位置を基準（走査基準線をけがしておく）に、送信探触子を溶接部に近づける（遠ざける）場合、受信探触子を遠ざける（近づける）ように連動させて探傷し、エコーの最大値を求

める。

実験では、送信・受信探触子の位置関係が明確になるように、また、(1)の結果より、キズの状態などにより送信・受信探触子とキズの位置が理論通りにならない可能性があることから、0.7D、2.1D にも走査基準線をけがいておき、送信探触子を 0.7D 位置に固定した場合、受信探触子を 2.1D の距離に移動し、その近くを走査し、最大エコーが得られたときのエコー高さ、探触子距離を記録し

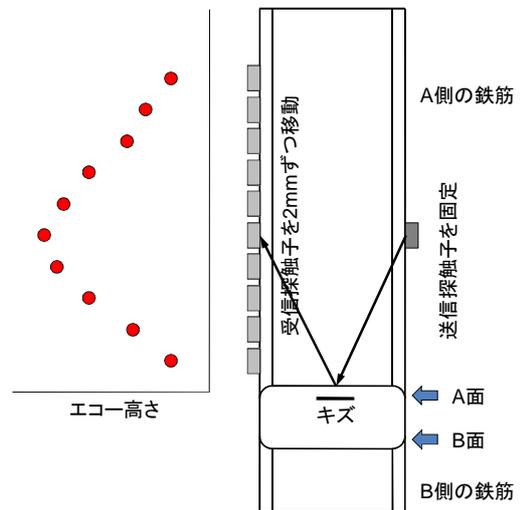


図-6 走査位置ごとのエコー高さ測定（送信探触子固定の場合）と、結果の模式図

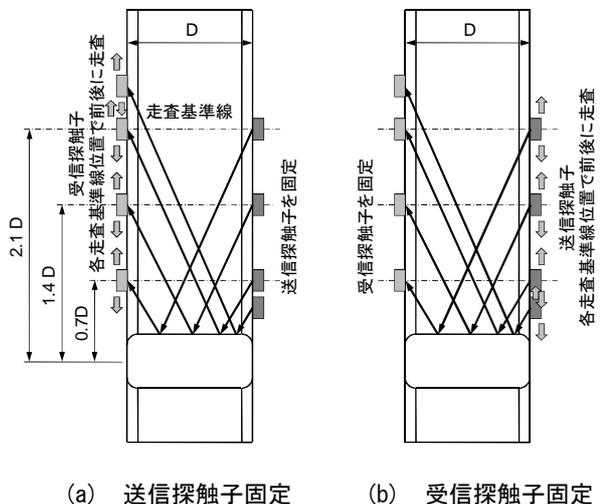


図-7 走査基準線ごとの探傷実験

た(図-7(a))。この操作を走査基準線ごとと、溶接部に最も近づけられる位置において行なった。また、受信探触子を走査基準線ごとに固定し、送信探触子を走査しながら同様の測定を行なった(図-7(b))。

### 5.3 実験結果

#### (1) 探触子走査位置ごとのエコー高さ測定結果

送信・受信探触子の溶接部からの距離とエコー高さ測定結果の一例を図-8に示す。この結果より、エコーの最大値とそのときの距離を、最大値の測定結果の前後数点ずつを三次曲線で回帰して求めた。

最大エコー高さが測定された送信・受信探触子の距離を図-9に示す。理論上、両者の和は、JIS法、JRJS法ともに $2.8D$ になり、図の斜線付近にプロットされるはずであるが、結果はかなりばらついている。特にJRJS法のずれは大きい。1つのキズであっても、キズは広がりがあり、またキズの中の状態が異なっていることなどから最大のエコーを受信できる探触子の位置関係が異なるものと考えられる。

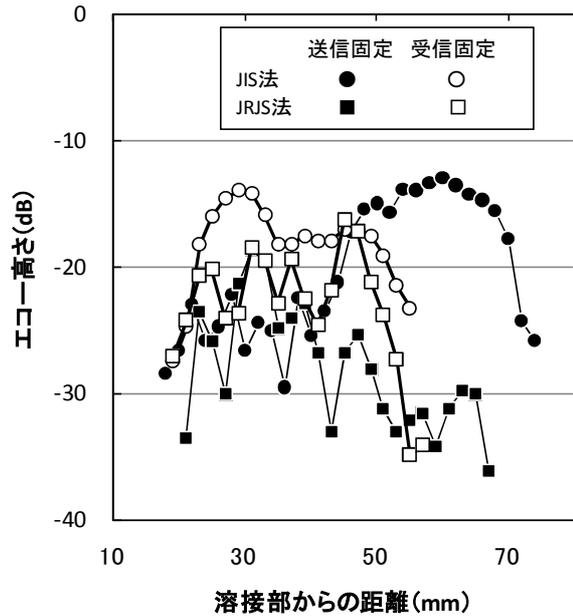
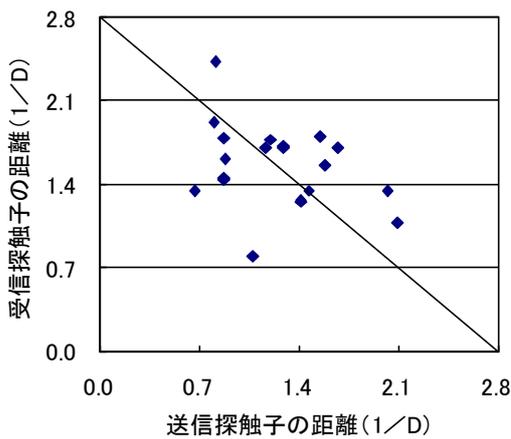
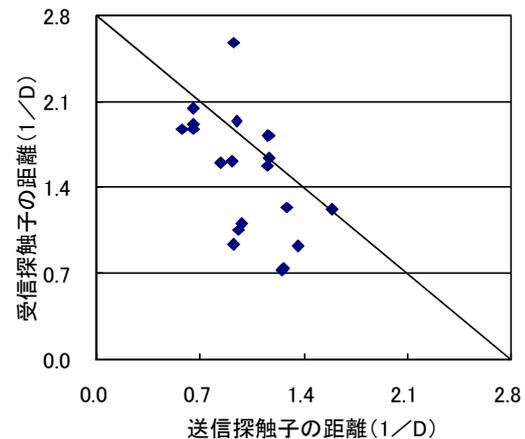


図-8 溶接部の距離とエコー高さ (キズ：中央)

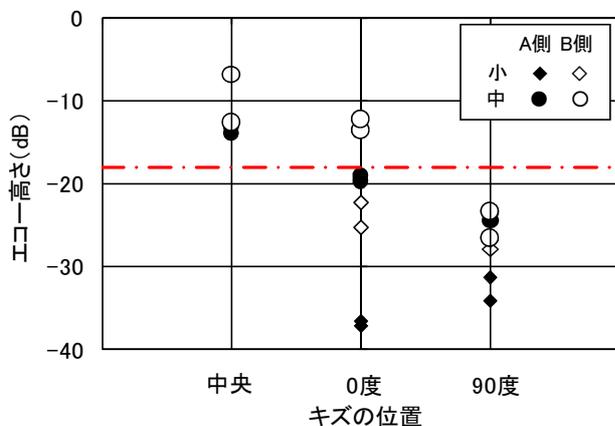


(a) JIS法

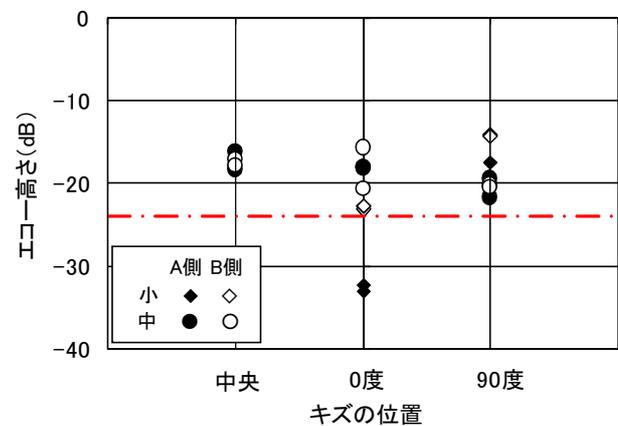


(b) JRJS法

図-9 最大エコー高さを受信したときの送信・受信探触子の溶接部からの距離



(a) JIS法



(b) JRJS法

図-10 キズ位置とエコー高さの関係

キズの位置ごとの最大エコー高さを図-10に示す。図中の一点鎖線はJRJS 0005の判定基準である。透過走査による基準エコーから判定基準を求めているため、JIS法は-18dB、JRJS法は-24dBが判定基準となる。図-5のキズ位置、伝搬経路と、エコー高さを比較する。

JIS法は、中央のキズは判定基準よりも大きい。0度のキズ中も判定基準より大きいのが、そのほかは判定基準よりも小さく、予測と一致している。

JRJS法についても0度のキズ小のA側からの測定以外は判定基準以上であり、予測と一致している。JIS法と比較しても、中央のキズのエコー高さは小さく、90度のキズは大きくなっており、JRJS法の特徴を表している。

A側、B側からの探傷結果を比較すると、キズを付けていないB側からのエコー高さ（白抜きの記号）のほうが高い傾向がある。実現場においては、どちらの面にキズができていたのかは不明であり、両側からの探傷が必要であることを示している。

(2) 走査基準線ごとの探傷から得られた最大エコー高さ測定結果

(1)の走査位置ごとの測定結果から得られた最大エコー高さを比較対象に、走査基準線ごとに探傷を行なった

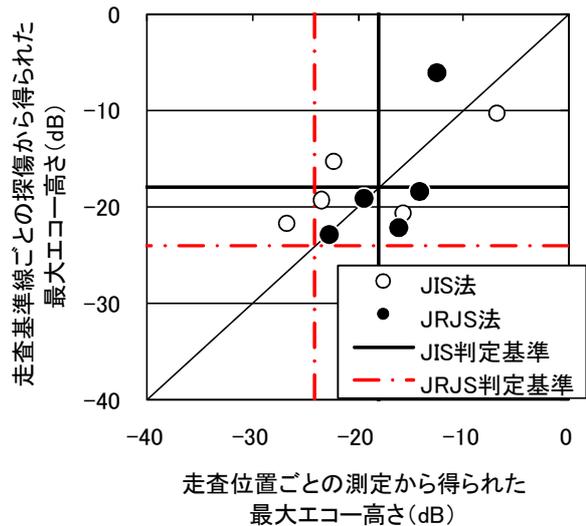


図-11 走査位置ごとと、走査基準線ごとの探傷による最大エコー高さの比較

結果から得られた最大エコー高さとの関係を図-11に示す。両者には±6 dB程度のばらつきがあるものの、ほぼ対応関係にあり、5.2(2)のように走査基準線ごとに探傷子を移動し、その近くを走査することによってほぼ探傷できるものと考えられる。

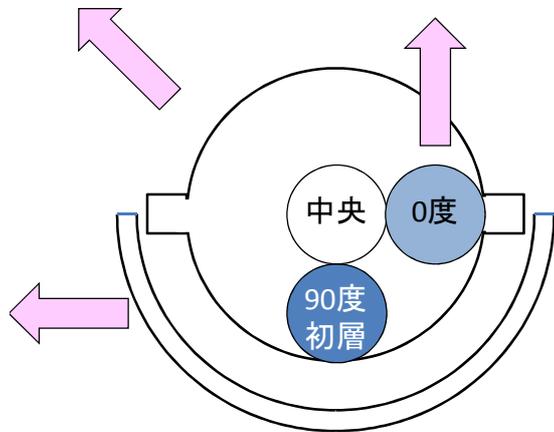
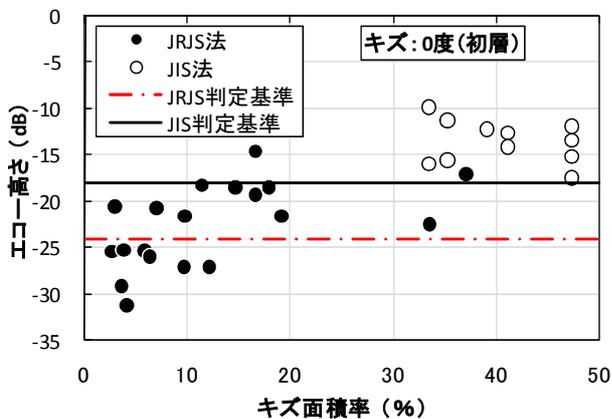
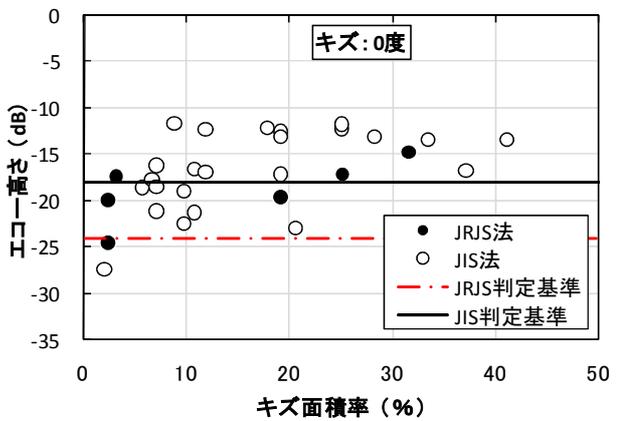
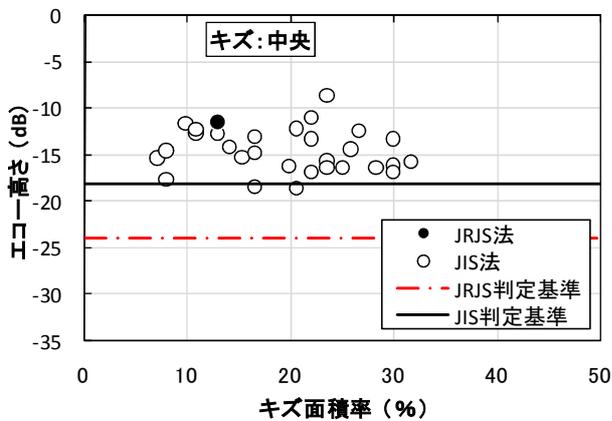


図-12 キズの位置・面積と各探傷方法適用性の関係

## 6. キズの位置・面積と各探傷方法適用性の関係

### 6.1 実験方法

キズ位置を中央、0度、90度に分類した30本ずつの試験片について、5.1(2)の探傷実験を行い、JRJS法、JIS法のエコー高さの高い方を求めた。また、そのときの送信・受信探触子と溶接中心位置までの距離を測定した。

### 6.2 実験結果

探傷結果は図-12のとおりであった。黒丸はJRJS法のエコー高さがJIS法よりも高かった結果、白丸はJIS法が高かった結果であり、キズの位置、大きさに対して探傷しやすい方法を示している。太い実線はJIS法の判定基準、一点鎖線はJRJS法の判定基準であり、白丸と実線、黒丸と一点鎖線が対応している。

JIS法による中央部キズの探傷は、仮定されているとおりであり、探傷精度が高いことを示している。また、キズ面積率7%以上の場合、ほぼ判定基準以上であった。

0度位置のキズは、リブに近い小さいキズ(面積率数%)の3点の黒丸はJRJS法によって検出できたが、キズがリブ軸を外れた位置に形成されていたため、JIS法では検出できなかった。20~30%あたりの3点の黒丸は、リブ軸に直交した細長いキズであり、リブから中心に数mm程度のキズであったため、JIS法では超音波が当たりにくく、JRJS法のほうが高いエコーが検出されたものと考えられる。そのほかのキズはJIS法のほうが高い。

90度(初層)位置のキズは、キズ面積率20%以下はすべてJRJS法のエコー高さが高く、キズが大きくなり(今回の結果は30%以上)、鉄筋中心に達するような場合はJIS法のエコーが高くなっている。キズ面積率20~30%の作製ができていないためJRJS法とJIS法の検出限界は明確ではないが、キズを円と仮定した場合、25%のとき鉄筋径の1/2の円、つまりキズが鉄筋の中心に接することから、90度位置のキズ面積率20%程度を超える大きいキズはJIS法によるほうが探傷しやすくなるものと考えられるが、それ以下のキズや、リブ軸を越えないキズはJRJS法のほうが探傷しやすいものと考えられる。

エコー高さと判定基準の関係は、JIS法、JRJS法ともキズ面積率が10%程度を超えるとほとんど判定基準を

上回っている。

## 7. まとめ

キズを設けた溶接継手試験体によるJIS法、JRJS法による探傷実験の結果、次のことが明らかになった。

- (1) 探傷方法によって探傷できるキズの位置・大きさは異なる。JIS法は中央部のキズ、JRJS法は外周部のキズの検出に有効である。
- (2) 溶接のキズは広がりがあり、その中でも状態が異なるため、最大のエコー高さが求められる送信・受信探触子の位置は、キズの中心から理論上求められる位置とは異なることが推定された。
- (3) 融合不良の場合、融合不良を生じた鉄筋の反対側の鉄筋からの探傷のほうがエコー高さは高くなる傾向があった。

以上の結果は、開先面に対して平行な方向からX線透過法によってキズの位置・大きさを推定して考察したものである。また、ガス圧接継手のように継手強度を保証できるかどうかを確認するためには、引張試験結果との対比が欠かせない。そのため今後は、引張試験を行い、引張強度を求め、破断面の観察を行いキズの状態・位置・大きさを確認し、探傷結果との比較を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 森濱和正, 河野広隆: 鉄筋のガス圧接継手部の表面SH波法による非破壊評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.3, pp.325-330, 1997.7
- 2) 森濱和正, 池ヶ谷靖, 吉野次彦: 鉄筋のガス圧接継手, 溶接継手の超音波探傷検査に関する検討, 日本非破壊検査協会シンポジウム「コンクリート構造物への非破壊検査の展開」, Vol.2, pp.237-242, 2006.8
- 3) 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
- 4) 伊佐見和大, 森濱和正, 渡辺博志: 斜めK走査法による鉄筋溶接継手の超音波伝搬経路の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.607-612, 2011.7