

◆ 報 文 ◆

各種鉄筋継手の超音波による検査方法の検討

森濱和正*

1. はじめに

鉄筋継手のほとんどは重ね継手、ガス圧接継手、溶接継手、機械式継手である。これらの継手を検査の観点から見ると、重ね継手は、コンクリートを介して応力を伝達する継手であることから、重ね長さ、鉄筋のあきが十分確保されていることを確認する必要があり、定規でそれらを測定すればよく、検査は簡単である。ところが、そのほかの継手は、鉄筋どうしを突き合わせて接合することによって応力を伝達する構造であり、十分に接合されていることを確認できる検査方法でなければならない。それぞれの継手の検査方法の現状と問題点は次のとおりである。

ガス圧接継手、溶接継手については、接合部の欠陥検出精度が高い検査方法でなければならない。ガス圧接継手の現在行われている検査方法は、1988年に制定されたJIS Z 3062による超音波探傷試験（以下、JIS法と呼ぶ）である。この方法は、二探触子K走査法と呼ばれる方法であり、図-1のように圧接面中心部の検出精度の高い方法である。しかし、ガス圧接の欠陥はふくらみ部分にできやすいことが知られている。そのため、ふくらみ部分を検査する方法として開発された熱間押抜法¹⁾と、表面SH波法を用いた超音波探傷法（図-2）が検討されている²⁾。

熱間押抜法の欠陥検出精度はJIS法より高い¹⁾。押抜径を大きくすることによって施工上の問題の改善、欠陥検出精度の向上につながる可能性があることが明らかになっている³⁾。

表面SH波法もJIS法より検出精度が高い可能性が示されているが²⁾、表面SH波が圧接部を伝搬する特性など基礎的な検討は行われていない。

溶接継手の検査にもJIS法が適用されている。溶接継手は、溶接の開始部分（ルート部）に欠陥を生じやすいことから、JIS法の適用にはガス圧接継手と同様の問題があり、表面SH波法の適用の可能性が考えられる。

機械式継手に至っては検査方法すらないのが現

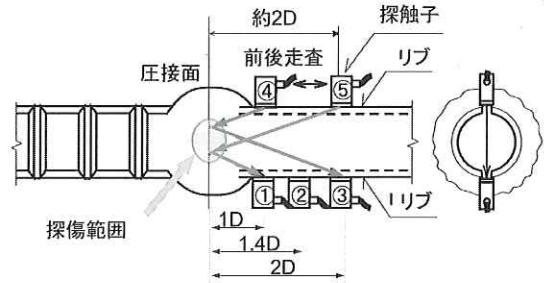


図-1 JIS法

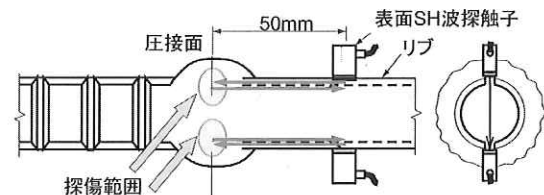


図-2 表面SH波法

状である。

ガス圧接継手、溶接継手、機械式継手の検査方法に関するこのような問題認識のもとに、検査方法の信頼性の向上のために、新たな試験方法の確立を目指し、2001年に（社）日本圧接協会に非破壊検査小委員会を設置していただいた。これまでの3年間に、ガス圧接継手、溶接継手についてはJIS法、表面SH波法の特性に依じた適用範囲の検討、機械式継手についてはスリーブやカプラ内の鉄筋挿入長さを測定する方法を確立することを目的に検討を行ってきた^{4)~10)}。これまでの検討結果と、今後の検討課題について紹介する。

2. ガス圧接継手、溶接継手の超音波探傷範囲の検討

2.1 検討概要と目的

JIS法と表面SH波法について、次の2点について検討した。

- ①音場の測定
- ②人工欠陥による探傷範囲の検討

超音波探傷は、送信された超音波が欠陥に当たり、ある強さ以上の反射波（エコー）を受信することによって行われる。そのため、探傷範囲は、

送信された超音波ビームがある強さ以上当たる範囲内となる。超音波の伝搬特性や探傷できる可能性がある範囲を知ることを目的に、最初に音場の測定を行なった。音場とは、超音波ビームの当たる範囲である。

次に、鉄筋端面に位置や大きさが異なる人工欠陥を作り、探傷の可否を確認することにより、探傷範囲の確認を行い、音場との関係について検討した。

2.2 音場の測定

2.2.1 測定方法

鉄筋D19、D25、D35、D51のガス圧接継手の圧接面を切断し、図-3のようにリブに送信探触子を設置し、圧接面は2mmの格子をけがき、その交点に受信探触子を設置して超音波ビームの強さを測定した。JIS法の送信探触子は、圧接面から1.0D、1.4D、2.0D（D：鉄筋径）の位置に設置した。1.4Dは理論上圧接面の中心位置にビームの中心が当たる距離である。1.0Dは送信探触子をふくらみまで近づけたとき、2.0Dは逆に受信探触子がふくらみに一番近づく位置となる（図-1の①）。表面SH波法の送信探触子位置は圧接面から50mm一定である。

溶接継手についても同様に音場を測定した。

2.2.2 測定結果

ガス圧接継手の音場測定結果を表-1に示す。表中のコンターは6dBごとに示しており、白い部分は-18~-24dBである。溶接継手も傾向は同じであり、以下ガス圧接継手についての検討結果を示す。

JIS法は、鉄筋透過時を基準レベル(0dB)とし、合否判定レベルを受信側で-24dBとしていることから、反射面となる圧接面ではその中間である-12dBの音場の範囲について検討した。音場の縦、横の範囲は図-4、5のようであった。縦軸は鉄筋径Dで除している。JIS法

の縦の音場範囲は、探触子位置が圧接面から離れるほど広がる傾向がある。表面SH波法の範囲はJIS法の1.4Dとほぼ同じであった。横の範囲は、探触子位置にはほとんど関係なくほぼ同じである。鉄筋径に対しては、縦、横とも鉄筋径が太くなるほど狭くなっており、探傷できる可能性がある範囲は狭くなることを示している。

ガス圧接のふくらみ径は、規格¹⁾では1.4D以上確保することになっており、平均は約1.6Dである。表-1のようにD19、D25は探触子位置を移動することにより縦の音場範囲は圧接面全体をほとんどカバーすることができるが、D35、D51はカバーできない部分がある。横の範囲は、図-5のようにD19でも0.6~0.8Dであり圧接面の1/2以下、D51では0.2~0.4D程度で圧接面の1/4以下

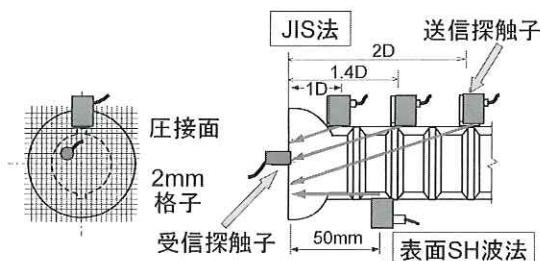


図-3 音場の測定方法

表-1 音場の測定結果

鉄筋径	D19	D25	D35	D51
表面SH波法				
JIS法	1.0 D			
	1.4 D			
	2.0 D			

でしかない。

音場の中心位置は図-6のようになった。縦軸は鉄筋の半径 r で除しているの、縦軸の0が鉄筋中心位置、+1が送信側のリブの位置、-1が反対側（JIS法の受信側）のリブの位置になる。JIS法の中心位置は、探触子が1.0Dのとき、0.7~0.5 r の位置にある。1.4Dのとき、D19、D25、D35は0.1~0.2 r であり、ほぼ理論どおり鉄筋の中心近くに音場の中心がきているが、D51のときは0.35 r であり、太くなると送信側に近づき、理論どおりにはビームが当たらず偏っている。2.0Dになるとその傾向はさらに顕著になり、D19は-0.5 r であるが、鉄筋が太くなるに従い中心位置は送信側に近づき、D51ではほぼ0 r であり、鉄筋径が大きくなるほど音場は偏っていることがわかった。

表面SH波法の縦の分布の中心（図-6）は、D19のときはほぼ鉄筋の中心0.1 r であり、太くなるに従い送信側のリブに近づきD51では0.8 r である。表面SH波法の音場の中心は、本来、送信側のリブの位置になるはずであるが、径が細いとリブの幅も細くなり、超音波がリブ内を伝搬しにくくなり、鉄筋内部を伝搬するようになる。太い鉄筋はリブの幅も広くなるため、リブ内を伝搬しやすくなり、分布の中心位置がリブの位置に近づいたものと考えられる。

これらの結果より、ふくらみ部の探傷に着目した場合、D35より細い場合はJIS法でも探傷範囲は広いが、D35より太く欠陥がふくらみ部分に形成された場合は、表面SH波法のほうが検出精度は高くなるものと考えられる。

2.3 人工欠陥による探傷範囲の検討

2.3.1 実験方法

次に、音場の測定結果と欠陥の探傷範囲が一致するかを確認するため、ガス圧接継手には位置・大きさの異なるセメントペースト欠陥を、溶接継手には融合不良の欠陥を入れ、JIS法、表面SH波法による探傷試験を行なった。

ガス圧接継手については、圧接前の鉄筋端面に付けたセメントペースト欠陥の位置は図-7、鉄筋径と欠陥の大きさは表-2のとおりである。欠陥位置の①~④はリブを結ぶ線上に欠陥を付け、①は鉄筋端面の中心、②は欠陥中心が鉄筋径の1/4の位置、③は欠陥が鉄筋外周に接する位置、④は欠陥中心が鉄筋外周になるように付けた。⑤~⑦は、リブを結ぶ線に対して45度の線上に、②~④と同様の欠陥を付けた。欠陥の大きさは、できるだけ鉄筋径に比例するようにした。また、共通の大きさの欠陥6mmも付けた。同じ種類の継手を2

本ずつ作製した。

溶接継手の欠陥は、溶接工の技量によって融合不良を作った。欠陥の大きさは、溶接の1層目だけ、2層目まで、3層目までの3種類を作製した。欠陥の大きさはばらつくことが予想されたので、同じ種類の継手を5本ずつ作製した。

ガス圧接継手、溶接継手とも、JIS法、表面SH波法による超音波探傷試験を行なったあと、引張試験を行ない、強度と破断面の観察を行なった。

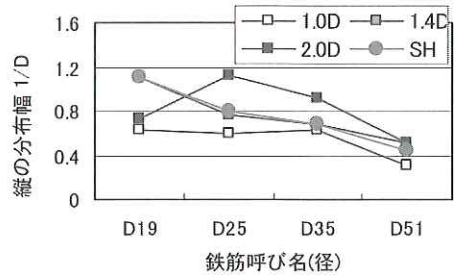


図-4 音場測定結果（縦方向の分布）

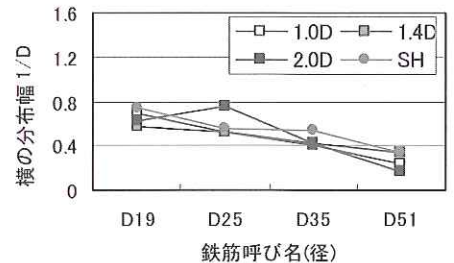


図-5 音場測定結果（横方向の分布）

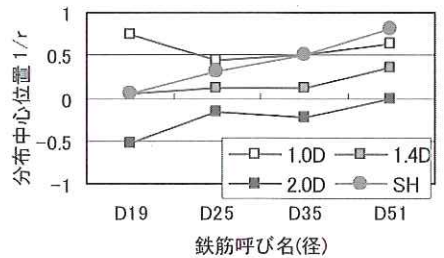


図-6 音場測定結果（ビーム中心位置）

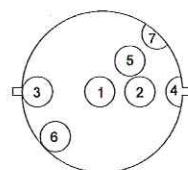


図-7 欠陥位置

表-2 欠陥の大きさ

鉄筋	欠陥の大きさ(mm)			
D25	3	6	9	12
D35	4.5	6	9	
D51	6	12		

2.3.2 ガス圧接継手の結果

(1) 圧接後の欠陥の形成

ガス圧接継手の超音波探傷試験結果の前に、引張試験後の破断面の状態を見ておく。破断面の例を写真-1に示す。写真-1はD35の結果であり、欠陥位置は①～③、欠陥の大きさは6mmの例である。欠陥位置①は、圧接前の欠陥の大きさは1/6Dであるが、圧接後ふくらみ径は1.6Dであり、欠陥はその約1/2 ≒ 0.8D程度になり、鉄筋径に近い大きさまで広がっており、付着させたペースト面積の20倍程度も広がったことになる。欠陥位置②、③のように中心から遠くなるに従い、圧接後の欠陥は中心からより遠くに形成されている。また、欠陥の広がり、半径方向は倍率が小さくなり、周方向は大きくなっているが、面積の倍率は小さくなっている。これらのことは、圧接前の鉄筋端面に異物が中心よりわずかにずれた位置に付着しているだけで、圧接後の欠陥はふくらみ部分にできやすくなることを意味しており、従来からいわれているとおりふくらみ部分に欠陥ができやすいことを示している。

(2) 超音波探傷結果

超音波探傷結果の一例を図-8、9に示す。鉄筋はD25の欠陥6mmおよびD35の欠陥9mmの場合である。外側の円は圧接面全面である。圧接面内の実線の円または楕円は欠陥であり、白は欠陥を探傷できず、色が濃いものは欠陥を検出、薄いものはエコー高さが欠陥検出の可否判定レベル程度、または2本ずつ試験した内の1本は検出したがもう1本は検出できなかったものである。破線の楕円は、音場の概形を表している。音場と欠陥が重なり、そのとき欠陥が検出できていれば音場と欠陥検出が一致していることになる。

欠陥①に注目すると、JIS法は検出できているが、表面SH波法では、D35は検出できているがD25は検出できていない。そのほかの欠陥は、JIS法では、D25はある程度中心から離れた位置に欠陥があっても検出できているが、D35はほとんど検出できていない。表面SH波法は、中心からある程度離れた欠陥の検出精度は高い。しかし、両方法ともリップの線上から離れた欠陥の検出は難しいことがわかる。これらの結果からは、音場と欠陥がある程度の面積以上重なると検出できていることがわかり、音場と探傷範囲の関連性は非常に高いことがわかった。

2.3.3 溶接継手の結果

次に溶接継手の場合を見ると、写真-2のようであった。D35の3層融合不良としたものであり、

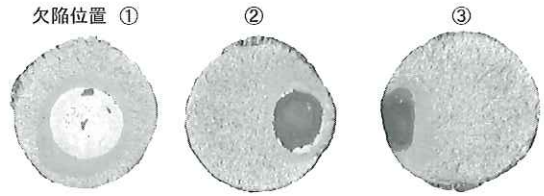


写真-1 破断面の欠陥状況

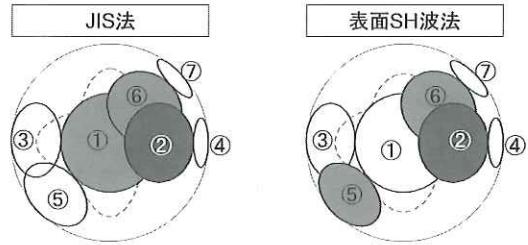


図-8 超音波探傷結果 (D25, 欠陥6mm)

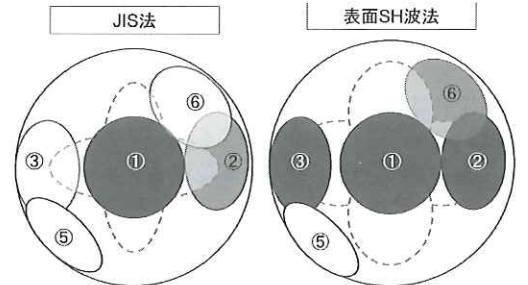
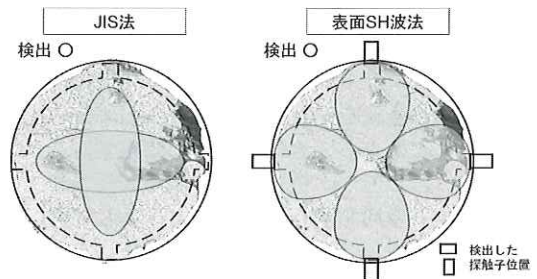
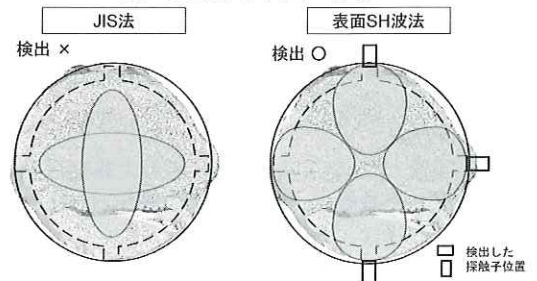


図-9 超音波探傷結果 (D35, 欠陥9mm)



(a) 欠陥が大きい場合



(b) 欠陥が小さい場合

写真-2 溶接継手の探傷結果

黒い部分が欠陥、楕円が音場である。欠陥の位置、大きさにばらつきがある。上段は大きい欠陥の場合であり、JIS法、表面SH波法とも欠陥を検出できている。下段は、小さい欠陥の場合であり、JIS法は検出できなかったが、表面SH波法は検出できた例である。下段の音場と欠陥位置の関係は、JIS法、表面SH波法とも同じように見えるが、表-1からわかるとおり表面SH波法はビームの強い位置に欠陥があり、JIS法は弱い位置となるため、違いが現れたものと考えられる。このように、溶接継手の場合も音場と探傷範囲の関係は高いことがわかった。

3. 機械式継手の挿入長さの測定方法

3.1 挿入長さ測定的重要性

機械式継手には多くの種類があるが、現在使用されているもののほとんどはカプラあるいはスリーブと呼ばれる鋼製のパイプに鉄筋を挿入し、隙間にグラウトを充填するタイプのものである。このような継手の耐力を確保するためには、鉄筋の挿入長さが規定どおり確保されていることが重要である。現在のところ挿入長さを測定する方法がなく、施工時に鉄筋に挿入する位置をマーキングしておき、そこまで挿入していることを確認する方法がとられている。

ところが、施工時にはさまざまな原因により規定どおりの長さが挿入されていないことがある。そのため、挿入長さの測定方法の開発を行うことにした。

3.2 挿入長さ測定方法の提案

耐震補強のアンカーボルトなどの定着長さは、端部から超音波を送信し、他端からのエコーを受信することによって比較的簡単に測定することができる。ところが、機械式継手の挿入長さをアンカーボルトと同じように測定しようとしても、鉄筋が長い場合超音波の伝搬経路が複雑になり、減衰も大きくなるため不可能である。そこで、図-10のようにカプラ近くのリブに表面SH波の送信探触子を設置し、鉄筋端面までの反射波の往復時間を測定することによって挿入長さを求める方法を考案し、その測定精度を検討した。

3.3 実験方法

実験は表-3のように2シリーズの実験を行なった。使用した鉄筋は、断面形状の異なる2社のもので、鉄筋径は3種類である。

シリーズIは、提案した方法が適用可能かを確認するための基礎的な実験であり、鉄筋単体について、鉄筋端面から100、200、300mmの位置に

探触子を設置し(図-11)、測定精度を求めた。

シリーズIIは、挿入長さを変化させた図-12、13のような継手を作製し、挿入長さを測定した。

3.4 実験結果

シリーズIの結果は図-14のとおりであった。測定距離が長くなるほど誤差は小さくなった。測定長さ100mmの場合の測定誤差は-4~+2%の範囲であり、それより長くなると精度は向上した。

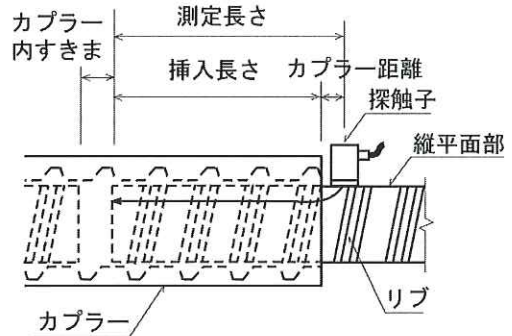


図-10 挿入長さ測定方法

表-3 挿入長さ測定実験の組合せ

使用した鉄筋	メーカー	T社、K社	実験方法
	鉄筋径	D25、D35、D51	
シリーズI	測定距離	100、200、300mm	図11
	挿入長さ	4/4 + 4/4、3/4、2/4、1/4	
シリーズII	挿入長さ	1/3 + 2/3	図13
	グラウト材	有機、無機	

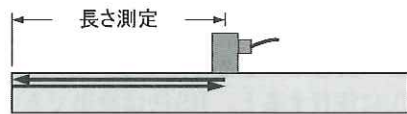


図-11 鉄筋単体の長さ測定

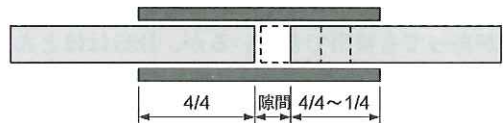


図-12 挿入長さを変化させた場合の測定

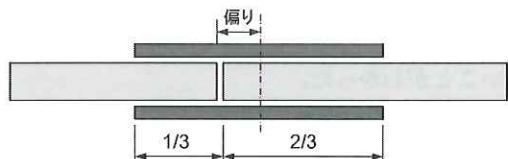


図-13 偏りのある場合の測定

機械式継手の性能を確保するためには、節が何山入っているかが重要であり、それを確認するために十分な精度を有している。

シリーズIIの結果は図-15、16のとおりである。図-15は片側の挿入長さを変化させ、グラウトの種類も変えた場合の結果である。図-14とほぼ同様の傾向があり、誤差は最大でも±6%以内である。図-16は、挿入長さに偏りを持たせた場合であり、この場合も誤差6%以内であり、継手性能の確認には十分な精度を有している。

4. まとめ

ガス圧接継手、溶接継手のJIS法、表面SH波法の音場の測定、人工欠陥による探傷範囲の検討を行い、音場と探傷範囲はほぼ一致すること、そのことからD35より細い鉄筋はJIS法でも欠陥検出精度は高いこと、D35より太い鉄筋は表面SH波法の方が検出精度は高くなることがわかった。し

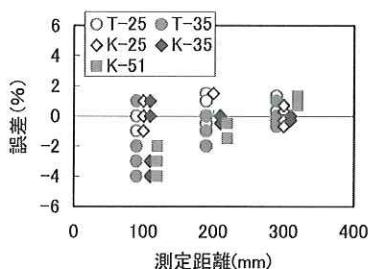


図-14 鉄筋単体の測定結果

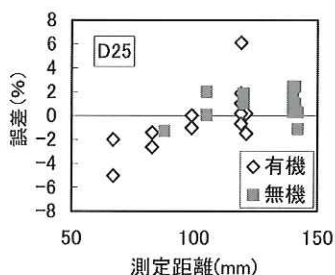


図-15 挿入長さを変化させた場合の測定結果

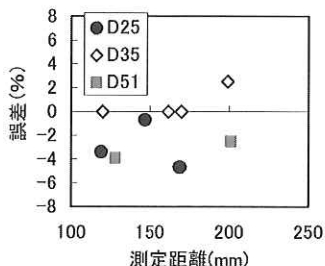


図-16 偏りがある場合の測定結果

かしながら、両方法ともリブの線上から離れた位置に欠陥がある場合の検出精度には問題があることがわかった。今後、探傷範囲を広げるための各種超音波探傷方法について検討する予定である。

機械式継手の挿入長さの検討では、提案した測定方法によって継手性能を確認するために十分な精度で測定できることがわかった。

最後に、鉄筋継手の検査方法の検討のために委員会を設置していただいた(社)日本圧接協会・技術委員会ならびに本委員会に参加いただいています。各委員の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) 大石橋宏次ほか：熱間せん断法による鉄筋ガス圧接部の品質評価とその信頼性—鋼ガス圧接部ふくらみの熱間せん断による非破壊検査（第4報）, 溶接学会論文集, Vol.14, No.3, pp.592-600, 1996
- 2) 森濱和正：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集, Vol.21, No.3, pp.325-330, 1999.7
- 3) 森濱和正ほか：鉄筋のガス圧接継手・熱間押抜法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.2, pp.841-846, 2002.6
- 4) 森濱和正ほか：超音波を用いた鉄筋継手の検査方法に関する研究 その1 圧接面の超音波の分布（音場）, 日本建築学会大会 学術講演梗概集 C-2 構造Ⅳ, pp.33-34, 2002.8
- 5) 吉野次彦ほか：同上その2 機械式継手の挿入長さの測定, 同上, pp.35-36, 2002.8
- 6) 森濱和正ほか：同上その3 超音波の分布と欠陥の検出, 同上, pp.819-820, 2003.9
- 7) 吉野次彦ほか：同上その4 機械式継手の挿入長さの現場測定, 同上, pp.821-822, 2003.9
- 8) 森濱和正ほか：同上その5 圧接・溶接継手の超音波探傷試験, 同上, pp.47-48, 2004.8
- 9) 森濱和正ほか：圧接・溶接継手の超音波探傷試験に関する検討, 土木学会第59回年次学術講演会第V部, pp.773-774, 2004.9
- 10) 吉野次彦ほか：鉄筋継手の挿入長さの測定方法, 同上, pp.775-776, 2004.9
- 11) (社)日本圧接協会：鉄筋のガス圧接工事標準仕様書

森濱和正*



独立行政法人土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術チーム主任研究員
Kazumasa MORIHAMA