

## ◆ 報文 ◆

# ガス圧接継手の非破壊検査に関する検討

森濱和正\* 河野広隆\*\* 加藤俊二\*\*\*

## 1. まえがき

過去の巨大地震において、鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋のガス圧接部の破断現象が見られた。そこで筆者らは、ガス圧接継手鉄筋の地震を想定した高速引張試験や高ひずみ正負繰返し試験などを多数実施した<sup>1),2)</sup>。その結果、地震時に想定される種々の載荷条件下でも圧接による継手部が弱点になることはないことが明らかになった。

施工現場では施工条件が厳しく、さまざまな欠陥を生じる要因がある。そのような場合でも欠陥を見逃さず、ガス圧接継手部の品質確保を確実にするために、数種類の非破壊による検査方法について検討した結果の概要を報告する<sup>3)</sup>。

## 2. ガス圧接継手

標準的なガス圧接継手(以下、標準圧接)は、図-1のように鉄筋端面同士を突合せ、軸方向に圧縮力を加えながら、突合せ部分を酸素アセチレン炎で加熱し、接合端面を溶かすことなく、赤熱状態にし、ふくらみを持たせて接合した継手である。

接合の手順は、まず接合端面をグラインダーなどによって異物(さび、セメント、ペンキなど)を取り除き、きれいにする。そして、鉄筋端の突合わせ面の隙間が3mm以下になるように、直角に仕上げ、軽く面取りを行う。

次に、鉄筋端面同士を突き合わせ、圧力を軸方向に加えながら保持する。加熱初期には、アセチレン過剰炎(アセチレン還元炎)を用い、加熱による接合面の酸化を防ぎながら、突合せ部を一様に加熱する。

油圧ポンプにより、鉄筋の突合せ面に圧力を加え、中性炎で1200~1300°C程度に加熱する。圧接部にふくらみをつけるため、さらに加圧しながら炎を上下に動かし、圧接部をなだらかなふくらみ形状に仕上げる。ふくらみ径は鉄筋径の1.4倍以上が規格値であり、施工時には1.6倍程度確保

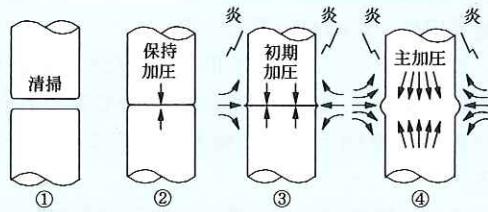


図-1 ガス圧接継手(標準圧接)

するように現場管理している。

## 3. 現行検査法の問題点と検討内容

現在、圧接の検査はJIS Z 3062により図-2のようにSV波(Secondary Vertical Wave)を用いた斜角2探触子法による超音波探傷(以下SV波法)が行われている。しかしながら、SV波は探傷可能領域が中心近傍である。ところが、欠陥を生じやすいのは、引張試験、曲げ試験の破断状況などから、圧接面外周部である。SV波はその部分にビームが当たりにくいという問題がある。そこで、外周部の欠陥探査に焦点を当てた検査法の検討を行った。

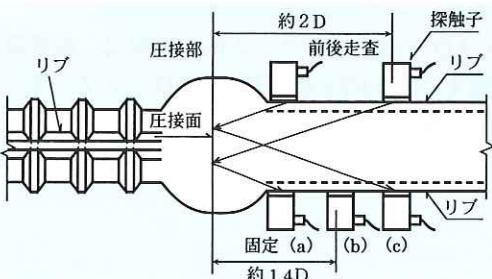


図-2 SV 波法

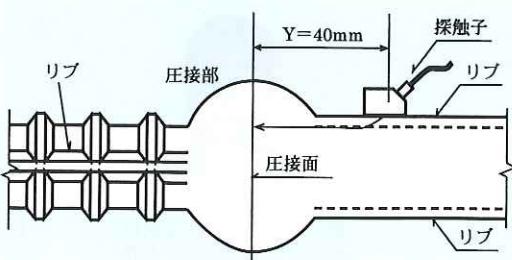


図-3 表面 SH 波法

1点目は、表面を伝わる横波を用いた超音波探傷(表面SH波法)によって超音波ビームを圧接面外周部に当てる試験(図-3)を試みた。SV波は、図-4(a)のように伝搬方向に対して直角に、かつ探傷面に垂直方向に向かって振動する波である。

これに対して、SH波(Secondary Horizontal Wave)の振動子は図-4(b)のように横方向に振動し、材料に入射してからも伝搬方向に対して直角の振動であり、探傷面に平行方向に振動する。この波を用いて表面とその近傍の欠陥を検出しようとするものである。

両超音波探傷法とも反射エコーの高さによって欠陥を検出しようとするものである。圧接面が健全であれば超音波は透過するが、欠陥があるとその面が反射面となり、高い反射エコーを検出する。

2点目は、熱間押抜法(以下単に押抜)の検討である。熱間押抜法とは、図-5のように標準圧接の直後、ふくらみ部分を押抜刃によって取り除いてしまう方法である。こうすることによって、不良な圧接面があった場合、加熱して真っ赤になっている部分に黒い線状の割れやへこみが現れ、不良箇所が目視によって確認できる方法である。熱間押抜法は目視による全数検査を目指して開発された工法である。目視検査は非常に簡便であるが、客観的な評価に乏しいことから、目視検査に加え、

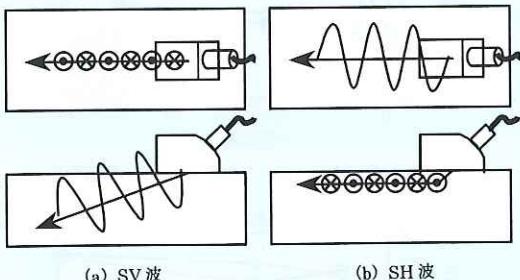


図-4 超音波の伝搬特性

SV波、表面SH波による超音波探傷、表面の割れやへこみを検出するために渦流探傷法の検討を行った。しかし渦流探傷法は、欠陥検出能力が低かったのでここではふれない。

#### 4. 実験方法

##### 4.1 実験概要

試験片は、圧接条件を変化させたり、圧接部に人工欠陥を与えるなど、欠陥を有する圧接継手を作成した。それらの継手は、外観検査、超音波探傷試験、渦流探傷試験を行った後、引張試験を行い、引張強さを求めた。

SV波による超音波探傷は、エコー高さ-24dBがJIS Z 3062による合否判定レベルになっていることから、ここでは-24dBを基準(0dB)にして測定した。SH波は、まだ合否判定レベルがないので測定値のままとした。

##### 4.2 欠陥作成条件

試験片の種類を表-1に示す。鉄筋の種類はSD345のD19~D51の4種類で、D25はリブの形状の異なる5種類についても試験した。継手の種類は一般に行われている標準的な圧接Sと、熱間押抜法Pの2種類である。D25の押抜は押抜径1.2D~1.4Dのものも作成した。

欠陥作成条件は、施工時に圧接面に付着することが考えられるセメントペースト付着欠陥B、さび付着欠陥C、ガス切断欠陥D、塗料付着欠陥Eと、圧接の技量に関わると考えられる接合面とバーナーのずれによる欠陥F、還元炎を用いずに中性炎加熱による欠陥Gである。さらに、超音波探傷の検出能力を確認するため内部及び外周部に人為的な欠陥(人工欠陥)を作った。内部欠陥Hを作るには、融点の高いタンクステン箔を切断面に付着させた。外周部欠陥Aは、電動金のこによって切欠(ノッチ)を入れた。試験片は1種類につき4本作成した。

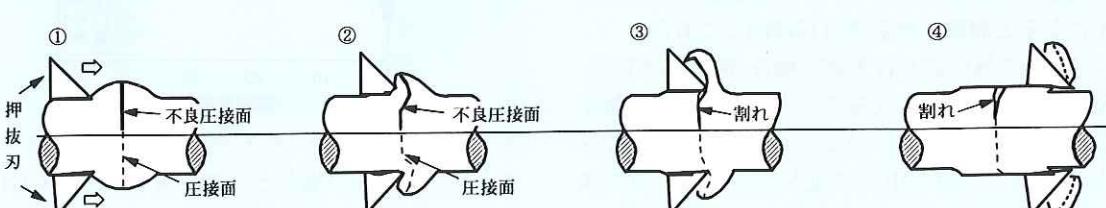


図-5 热間押抜法

表-1 試験片の種類

鉄筋の種類		継手の種類		圧接条件												
呼び名	リブの種類 <sup>*1</sup>	ふくらみ径 <sup>*2</sup>	圧接面の状態 <sup>*4</sup>						加熱条件 <sup>*4</sup>			人工欠陥				
			健全	ペースト <sup>*3</sup> B	さび	ガス切断	塗料	バーナーずれ	中性炎加熱	内部欠陥 <sup>*5</sup> H	外周部欠陥 <sup>*3</sup> A					
			A0	B1	B2	B4	C	D	E	F	G	H3	H6	H9	A1	A2
D19	m	S 1.6D	○	○			○	○	○							
		P 1.4D	○		○		○	○	○							
D25	m	S 1.6D	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	h		○												○	
	l		○											○		
	w		○											○		
	n		○											○		
	m	P 1.2D	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	h		○											○		
	l		○											○		
	w		○											○		
D38	m	S 1.6D	○				○	○	○							
			○				○	○	○							
D51	m	P 1.2D	○		○		○	○	○							
			○		○		○	○	○							

\*1 リブの形態 m : 中間、h : 高い、l : 低い、w : 広い、n : 狹い

\*2 継手の種類 S : 標準圧接、P : 押抜圧接

\*3 ペースト及び外周部欠陥の数字は、欠陥の大きさが鉄筋径の1/8、2/8、4/8であることを示す。

\*4 ペースト以外の圧接面の欠陥はすべて鉄筋径の4/8、加熱条件と合わせて圧接面の隙間を3mm設けた。

\*5 内部欠陥は直径3,6,9mmのタンクステン管を圧接面の中央に付着した。

## 5. 超音波探傷試験結果

### 5.1 人工欠陥およびペースト欠陥

D25 の内部欠陥、ノッチおよびペーストによる欠陥面積率 (=欠陥面積/圧接によって得られた接合面積) とエコー高さの関係を図-6~8 に示す。試験は 1 種類に当たり 4 本ずつ行ったが、ばらつきは小さく、以下の考察に大きな問題を与えないもので平均値で示した。

内部 (H) 欠陥の場合 (図-6)、SV 波は欠陥面積率が 1.4%でも高いエコーを検出し、中心部付近の欠陥の検出に有効であることがわかる。それに対して SH 波のエコーの増加はわずかであり、内部欠陥の検出能力は小さい。欠陥面積率がそれ以上になると面積の増加率はほぼ同じである。

ノッチの外周部 (A) 欠陥の場合 (図-7)、SV 波、SH 波とも 1/8(A1) 欠陥でも大きなエコーを検出している。欠陥が 2/8(A2)、4/8(A4) と大きくなるに従い、欠陥が中心に近付くので SV 波のエコーは増加傾向にあるが、SH 波は 0dB 程度ほぼ一定になっている。

ペーストによる外周部 (B) 欠陥の場合 (図-8) は、

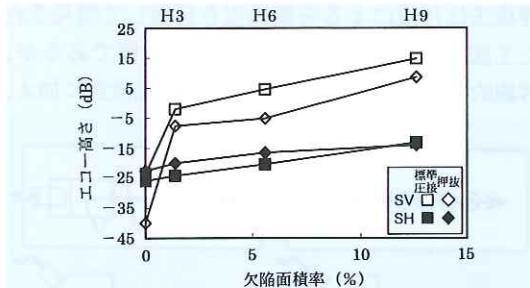


図-6 欠陥面積率とエコー高さの関係 (内部欠陥)

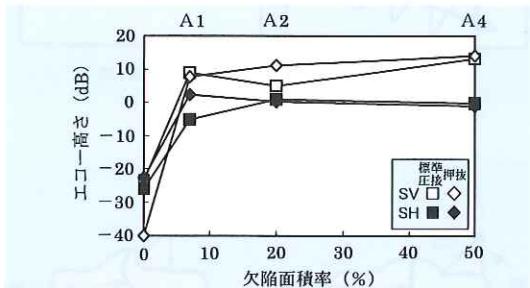


図-7 欠陥面積率とエコー高さの関係 (ノッチ外周部欠陥)

ノッチ (A) 欠陥の場合とは多少異なり、1/8(B1) 欠陥のエコーは SV 波、SH 波とも A1 欠陥ほど高くはない。2/8(B2) 欠陥の SH 波は SV 波より高くなっている。外周部欠陥検出の優位性を示して

いる。ノッチ欠陥とペースト欠陥の特に  $1/8$ (A1 と B1) 欠陥でエコー高さが異なるのは、次の理由によるものと考えられる。ノッチ欠陥部は完全に切れているので 100% 反射面となるため、超音波ビームの広がった部分の反射エコーが受振された。しかし、ペースト欠陥部は、ペーストと圧接面が密着しているため、反射が弱くなっているものと考えられる。 $4/8$ (B4) 欠陥では、欠陥が中央にまで達しているので SV 波は高いエコーを検出している。SH 波は 0dB 程度である。なお、B2 欠陥の押抜の SV 波のエコーが低いのは、外周部が押し抜かれることにより欠陥面積が小さくなつたためである。

## 5.2 鉄筋径ごとの各種欠陥

鉄筋径、各種欠陥とエコー高さの関係は図-9 のとおりである。主な特徴は以下のとおりである。

- ①SV 波、SH 波ともさび(C) 欠陥は標準圧接の場合エコーは低いが、押抜では高くなっている。
- ②ペースト  $2/8$ (B2) 欠陥は、SV 波は 0dB 以下と低いが、SH 波では -10~0dB 程度と比較的高い。
- ③バーナーのずれ(F)、中性炎加熱(G) のエコーはいずれも低い。
- ④SH 波の D19 では、健全(A0) と欠陥での差異

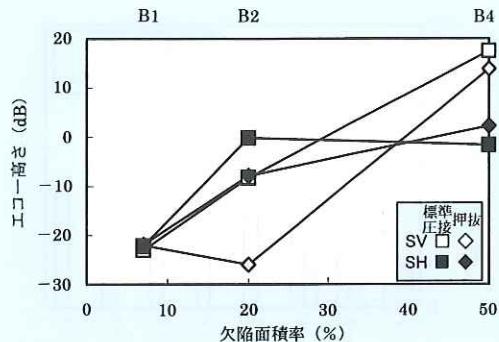


図-8 欠陥面積率とエコー高さの関係(ペースト欠陥)  
がない。その他の径では欠陥の種類による差異  
は大きくなっている。

このように超音波探傷は、欠陥の種類、鉄筋径、圧接方法によって検出能力が異なる。

## 6. 押抜試験片の目視試験結果

押抜試験片(D25)の目視による割れ、割れ+へこみの長さ、の結果は図-10 のとおりであった。さび(C)、塗料(E) 欠陥について比較すると、割れ+へこみは全て検出されており、検出能力は高い。それに対し目視による割れのみでは欠陥が検出されていないものがある。

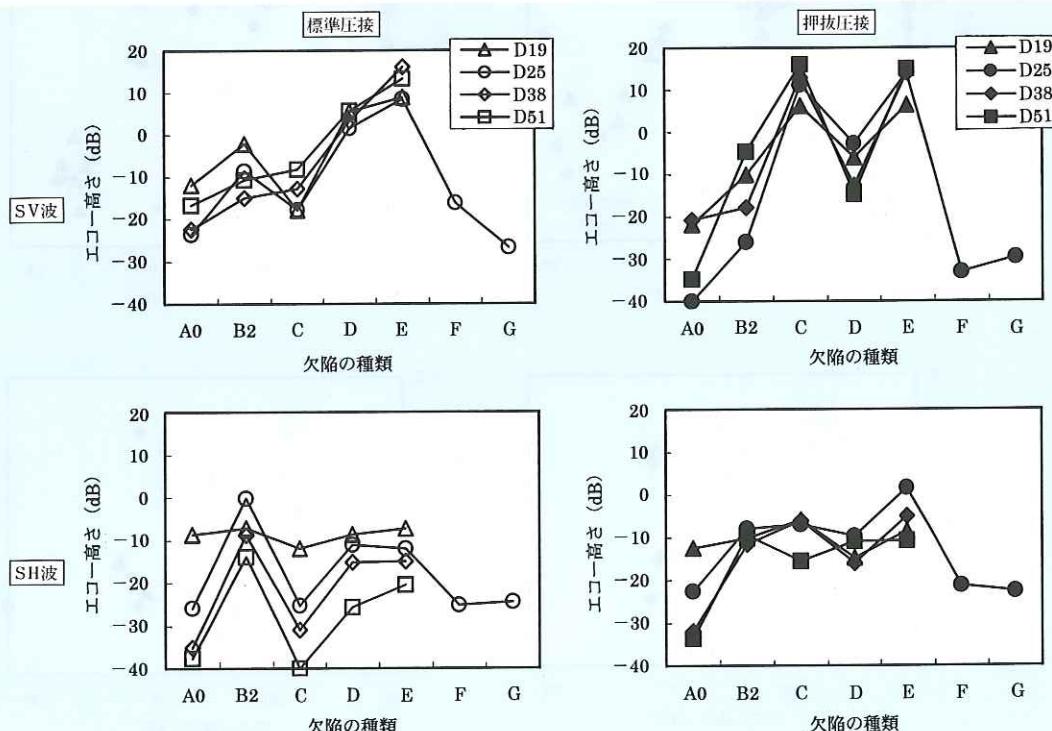


図-9 鉄筋径、各種欠陥と平均エコー高さの関係

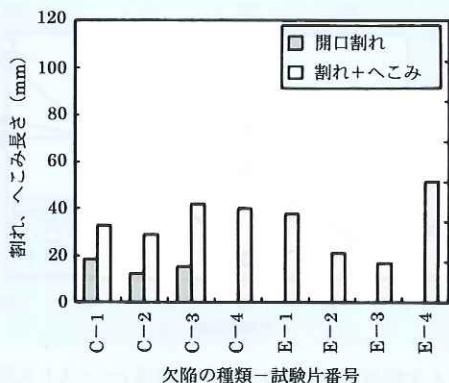


図-10 押抜の目視試験結果

## 7. 各種非破壊試験の信頼性

各非破壊検査結果と引張強度結果から、各非破壊試験の信頼性について検討した。図-11に超音波探傷と引張強さの関係を示す。SV波は0dBが合否判定レベルである。SH波はまだ合否判定レベルがないので図-11の結果から母材破断したものの最大エコー高さである-20dBを仮の判定値と

した。今回はSH波が使用可能かどうかを検討しており、この判定値が妥当かどうかは試験数を増やす必要がある。

図-11の白印は母材破断、黒印は圧接界面破断したものである。合否判定レベルより左側に黒印、右側に白印のあるものは誤判定ということになる。

目視検査についても同様に整理し、円グラフにまとめたものが図-12～14である。内側の円内の数字は引張試験の供試体数、円外の矢印の範囲が圧接面破断で判断した引張での合否区分、円内の矢印の範囲が非破壊試験で判断した合否区分、斜線部が各検査での誤判定比率である。それぞれの区分ごとに本数とカッコ内に比率(%)を示した。上部斜線部は非破壊検査で不合格と判定したにもかかわらず引張試験で母材破断した比率(以下、「安全側の誤判定」と呼ぶ)、一方、下部斜線部は逆に非破壊検査で合格と判定したにもかかわらず圧接面破断を生じた比率(以下、「危険側の誤判定」と呼ぶ)である。

超音波探傷の結果(図-12)は、SV波では安全

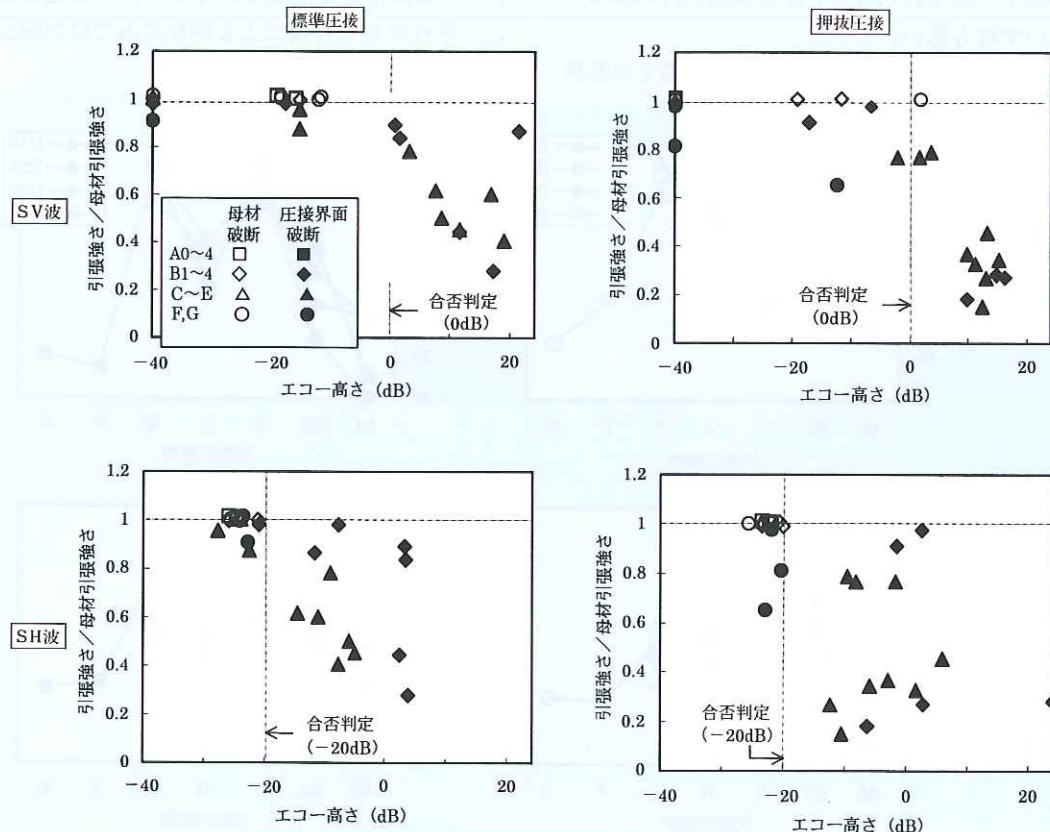


図-11 エコー高さと引張強さの関係

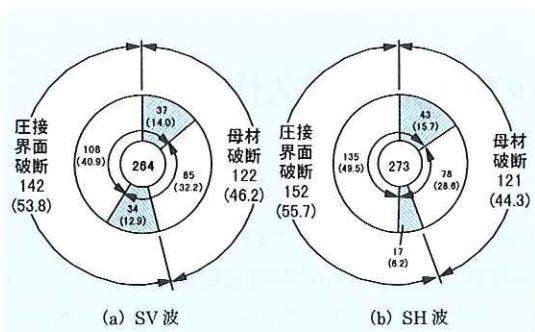


図-12 超音波探傷結果と引張試験結果の比較

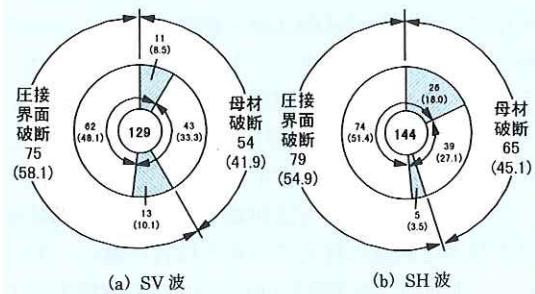


図-13 超音波探傷結果と引張試験結果の比較(押抜のみ)

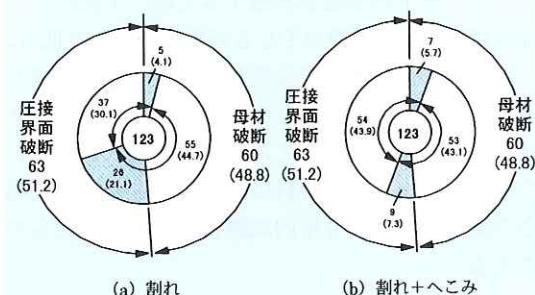


図-14 目視結果と引張試験結果の比較(押抜のみ)

注) 図-12~14 の数字は試験した鉄筋の本数、カッコ内は円グラフ中心の全本数に対する比率(%)である。

側、危険側とも 10%以上の誤判定があるのに対し、SH 波の安全側は SV 波と同程度であるが、危険側は 6.2%でほぼ半分の誤判定であった。さらに押抜のみ(図-13)では、SV 波の誤判定に対し、SH 波の危険側の誤判定はほぼ 1/3 であった。

押抜の目視検査では、割れのみであれば危険側の誤判定が 21%に対し、へこみも検出すれば 7%であった(図-14)。

## 8.まとめ

ガス圧接継手のように圧接外周部に欠陥を生じやすい場合には、表面 SH 波による超音波探傷、および熱間押抜法による目視検査の検出能力が高いことがわかった。熱間押抜法と表面 SH 波法を組み合わせることにより、欠陥検出精度がかなり向上するものと考えられる。

本実験は、(社)日本圧接協会との共同研究で実施したもので、継手の作成方法および現行の検査方法に関する検討を圧接協会が担当し、表面 SH 波法および渦流探傷、引張試験については土木研究所が担当しました。

## 参考文献

- 森濱和正、河野広隆、加藤俊二：各種鉄筋継手の力学特性、土木技術資料、Vol.41、No.3、pp.44-49、1999.3
- 鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書第 188 号(1997.8)、第 196 号(1998.3)、第 226 号(1999.3)
- 鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書第 227 号、1999.3

森濱和正\*



建設省土木研究所材料施工部  
コンクリート研究室主任研究員  
Kazumasa MORIHAMA

河野広隆\*\*



同 コンクリート研究室長  
Hirotaka KAWANO

加藤俊二\*\*\*



建設省土木研究所  
企画部企画課  
(前 材料施工部  
コンクリート研究室)  
Shunji KATO