

◆ 報 文 ◆

熱間押抜法によるガス圧接継手鉄筋の検査の精度に関する検討

森濱和正*

1. まえがき

過去の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継手部が破断した例が見られた。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塑性域での正負繰返し試験など各種載荷条件下で引張試験を行なった。その結果、(社)日本圧接協会のガス圧接継手標準仕様書に基づいて入念に施工すれば地震時に想定される種々の載荷条件下でも圧接継手部が弱点にはならないことが明らかになった¹⁾。

さらに、最近では、圧接方法が改良され、鉄筋の切断にシア切断機に代わる直角切断機や、火口(ひぐち)の多いバーナーの使用などにより圧接面の中心部分で欠陥を生じること少なくなっている。このため、加圧することにより形成されるふくらみ部分(圧接部の外周部)において、鉄筋端面に付着した異物などが押し出されることなどによって生じる外周部での欠陥が残された課題として上げられている。

一方、このような施工時の欠陥を検査し、仕様どおりの品質の継手が得られているのかを検査する方法として超音波探傷方法がある。この超音波探傷試験方法は、すでに縦波(SV波)を用いた斜角二探触子K走査法(従来法と呼ぶ)がJIS Z 3062で規格化され、実際に現場で検査に用いられている。しかしながら、この方法は圧接界面の中心とその近傍しか探傷できないといわれている²⁾。このため筆者らは外周部を探傷する方法として、超音波探傷法の表面SH波を用いる方法について検討し、欠陥が外周部にある場合は従来法より信頼性の高い探傷法であることを明らかにした³⁾。

本報では、外周部を探傷する二つ目の方法とし

て熱間押抜法の改善方法についての検討結果を報告する。熱間押抜方法は、通常行われている圧接方法(標準圧接法と呼ぶ)の直後に図-1のように押抜刃によってふくらみを押し抜く方法である。不良箇所がある場合、不良箇所は押し抜き面に割れやへこみとなって現れ、目視できる。また、この方法は簡便であるために全数の検査ができ⁴⁾、最近注目されている方法である。筆者らもすでに文献1), 3)でも熱間押抜法で試験した試験片の目視や超音波探傷による検査結果と引張試験結果の比較について報告し、信頼性の高い方法であることは確認している。ところが、熱間押抜法には次節に示すような問題もあることから、押抜刃の径(押抜径)を大きくする方法について検討した。その結果、押抜径を大きくすることにより検査精度や検査後の接合部の強度の改善が図られる可能性があることが明らかになった。

2. 熱間押抜法の問題点と改善方法

2.1 熱間押抜法の問題点

熱間押抜法はこれまで実験室で数多くの試験片を作製し、目視検査や引張試験などで直接問題になったことはないが、現場へ適用するに当たっては、次の2点が問題になる可能性がある⁵⁾。

(1) 加熱時間の不足

1点目は、圧接時間の問題である。熱間押抜法は標準圧接法の後に押し抜く方法であるから、押し抜く時間だけ標準圧接法より長くなるはずである。しかし、圧接から押し抜きまでの時間を計測すると図-2の前回のように熱間押抜法で検査を行った時間は標準圧接法のみ時間より短くなって⁶⁾。この結果は実験室のものであるが、現場でも押し抜きやすくするために加熱および圧接

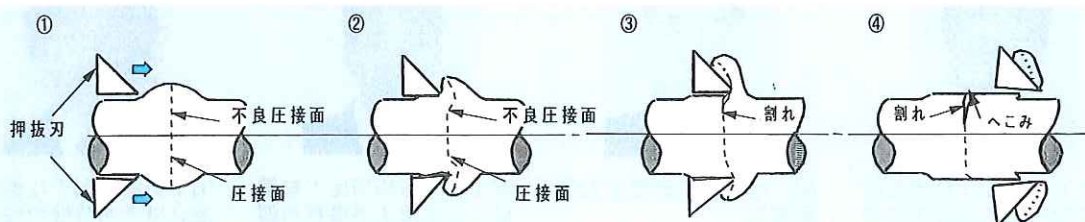


図-1 熱間押抜法

時間を十分に取らず、ふくらみが小さい内に押抜き検査を行うこともあるということであり、十分な接合がなされないことが懸念される。

加熱時間が短いと、押し抜く前のふくらみが規程どおりの大きさになっているか、あるいは極端な場合には所定の圧接温度にまで達しているかなどの品質上の問題が生じることになる。

図-3に面積拡大度、圧接面の加熱温度とフラット破面発生の有無の関係を示している⁷⁾。面積拡大度とは、圧接前の鉄筋の断面積に対する圧接後に圧接面の面積が増大した倍率である。フラット破面とは、鉄筋端面に酸化膜など欠陥があるとき、圧接して引張や曲げ試験を行なうと生じる平坦な破断面のことである。図-3で明らかなように、加熱温度が低く面積拡大度が小さいほどフラット破面を生じやすいことがわかる。つまり加熱時間が短いと欠陥を生じる恐れが高くなるということであり、圧接時間の確保は圧接作業にとって極めて重要なことである。

(2) 力学的特性の問題

2点目は圧接面の力学的特性の問題である。実験室で作製した試験片に対してこれまで多くの引張試験を行なった結果¹⁾、標準圧接法、熱間押抜法とも圧接界面に人為的に欠陥を設けたもの以外は圧接界面で破断したものはなかった。

しかし、熱間押抜法で検査した圧接部の断面積は、ふくらみを押し抜くことによって小さくなっている。引張試験を行なって圧接部のひずみを測定すると、図-4のように母材は降伏点 390N/mm^2 のときのひずみは 2000×10^{-6} 程度である。標準圧接法の場合は最大荷重時でも塑性ひずみまでは達していないが、熱間押抜法の通常用いられている押抜径 $1.2D$ の場合は母材の応力度に換算して 450N/mm^2 程度以上になると塑性ひずみを生じている。

引張試験前と、地震などにより塑性ひずみを生じたことを想定して引張試験後にビッカース硬さ試験を行なった結果を図-5に、シャルピー衝撃試験

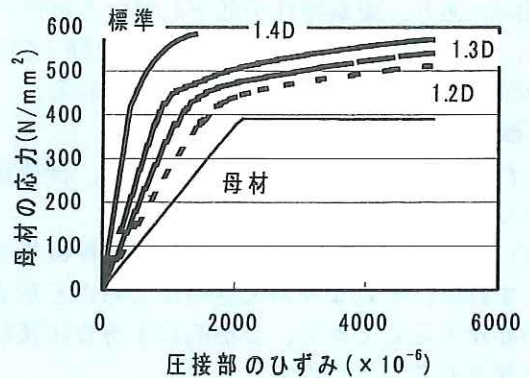


図-4 圧接部の引張ひずみ

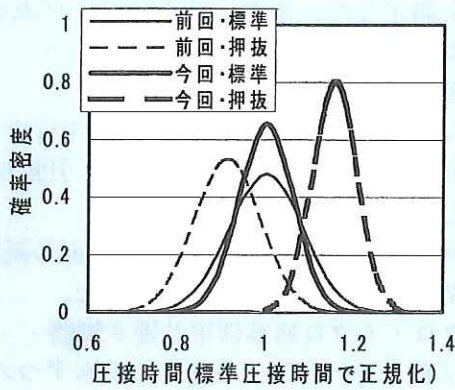


図-2 圧接時間 (標準圧接法と熱間押抜法の比較)

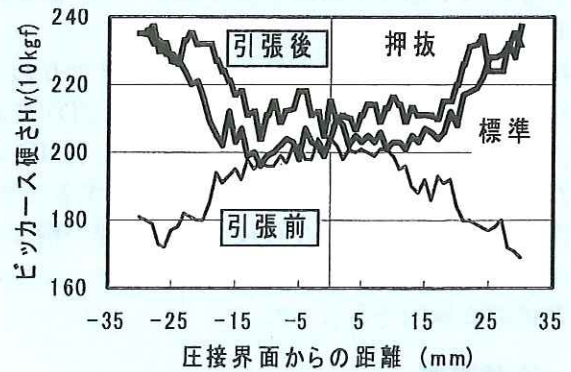


図-5 ビッカース硬さの比較

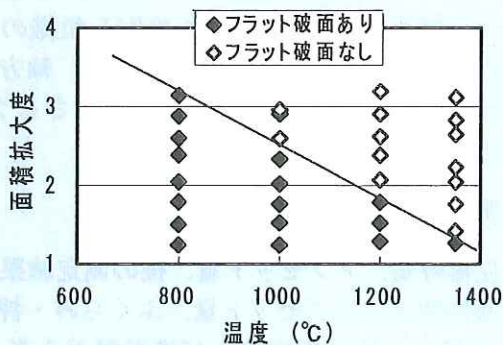


図-3 面積拡大度、加熱温度とフラット破面の関係

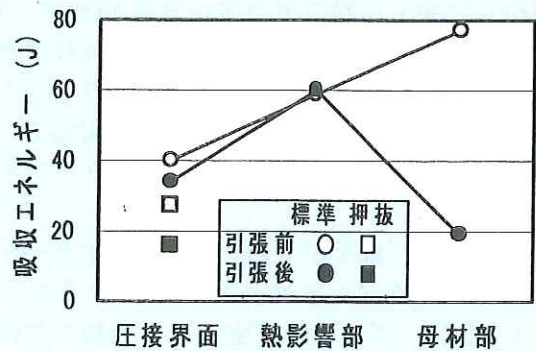


図-6 シャルピー衝撃試験結果の比較

験の結果を図-6 に示す。引張前の硬さは熱の影響を受けている圧接部が高く、母材部は小さくなっている。硬さが高いということは脆く衝撃に対して弱いことを示しており、図-6 の衝撃試験結果も圧接界面、熱影響部の吸収エネルギーが小さく衝撃に対して弱く、母材部は吸収エネルギーが高く衝撃に対して強いことを示している。

引張後の圧接部の硬さ、吸収エネルギーはほとんど変化していないが、母材部は塑性変形を受けて逆に圧接部よりも硬くなり、吸収エネルギーも小さくなり衝撃に対して弱くなっている。標準圧接法と熱間押抜法を比較すると、わずかではあるが熱間押抜法の方が硬く、吸収エネルギーも小さい傾向があり、衝撃特性が低下している可能性がある。この原因は、図-4 のように押抜径 1.2D の場合は塑性変形を受けたためと考えられる。

2.2 改善方法

これらの問題を改善する方法として、押抜径を大きくすることを考えた。その理由は、

(1) の加熱時間の不足に対しては、押抜径を大きくすれば、それよりも大きいふくらみを形成する必要があることから、必然的に十分な圧接時間が確保されるようになる。

(2) の衝撃特性の低下に対しては、断面積が大きくなるので応力が緩和されることから、衝撃特性も改善される。

現在使われている押抜径はリブの高さよりわずかに大きい鉄筋呼び名 (D) の 1.2 倍 (1.2D) である。これに対し、径を大きくして 1.3D、1.4D にした場合について、加熱時間を十分確保すること、熱間押抜法の最も重要な目視による検査の精度を向上させ、強度特性の改善ができないか、について基礎的な検討を行なった。

3. 実験概要

3.1 試験片の種類

試験片は最も圧接需要の多い鉄筋 SD345-D25 を用い、表-1 のように熱間押抜法の押抜径は通常の 1.2D に加え 1.3D、1.4D の 3 種類の径のものを作製した。比較用に標準圧接法も、現場でのふくらみ径の管理目標の平均である 1.6D になるように作製した。

圧接界面は、健全なものと、現場で生じやすいと考えられるセメントペースト (以下、単にペースト)、さび、ガス切断、塗料の 4 種類の欠陥を設けた。圧接前の欠陥の大きさは、図-7 のようにペースト欠陥は鉄筋径の 1/4、ただし熱間押抜

法 1.2D および標準圧接法は鉄筋径の 1/8 および

表-1 試験片の種類

試験片	ふくらみ径	欠陥の種類						
		健全	ペースト			さび	ガス切断	塗料
			1/8	1/4	1/2			
標準	1.6D	○	○	○	○	○	○	
押抜	1.2D	○	○	○	○	○	○	
	1.3D	○		○		○	○	
	1.4D	○		○		○	○	

○：試験片作製

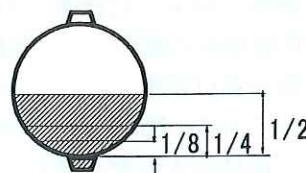


図-7 欠陥の形状・大きさ

1/2 も作製した。そのほかの欠陥は鉄筋径の 1/2 とした。

試験片は 1 種類につき 4 本ずつ作製した。作製時には圧接時間とアプセット量 (圧縮を加えふくらみができることによるちぢみ量) を測定した。

3.2 目視観察、超音波探傷試験

押抜直後に圧接部の割れ・へこみの有無を目視により観察した。温度が常温まで低下した後、割れ・へこみがある場合はその長さ、ふくらみ・押抜径を測定した。また、従来法および表面 SH 波法による超音波探傷試験を実施した。

3.3 引張試験

1 種類 4 本のうち 3 本は引張強度試験を行なった。圧接界面にはひずみゲージを貼付し、引張ひずみを測定した。

圧接界面で破断した試験片は、破断面の観察と、電子顕微鏡による成分分析を行なった。

3.4 マクロ・ミクロ組織観察と硬さ試験

引張試験を行わなかった残りの 1 本ずつの試験片と、引張試験後の試験片は、軸方向に切断・研磨し、断面のマクロ写真 (倍率 1 倍) と、圧接界面のマクロ写真 (倍率 100 倍) を撮影し組織の観察を行なった。その後、圧接界面全長と、軸方向に表面から 5mm の位置のビッカース硬さを 2mm ピッチで測定した。

4. 実験結果

4.1 圧接時間、アプセット量、径の測定結果

圧接時間と、アプセット量、ふくらみ・押抜径の鉄筋径との比の平均および標準偏差を表-2 に示す。圧接時間は、図-1 の今回でも明らかかなよう

に、目標どおり標準圧接法よりも熱間押抜法のほうが10秒程度長くなっている。アプセット量も両者ほぼ同じであり、熱間押抜法の押し抜く直前のふくらみは、標準圧接法とほぼ同じものが形成されたものと考えられる。

標準圧接法のふくらみ径はほぼ目標どおり平均1.60Dであった。押し抜いた径は、ほぼ一定値が得られている。

表-2 圧接部の測定結果

試験片	目標径	本数	圧接時間(秒)		アプセット量/D		ふくらみ・押し抜径/D	
			平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
標準	1.6D	28	80.5	4.9	1.13	0.09	1.60	0.04
押抜	1.2D	28	93.0	4.0	1.22	0.10	1.25	0.02
	1.3D	20	88.6	7.8	1.12	0.13	1.29	0.01
	1.4D	20	88.4	5.6	1.19	0.15	1.40	0.01

4.2 破断面、マクロ・ミクロ組織観察結果

引張後の圧接界面の破断面は、ペースト、ガス切断、塗料欠陥は黒色のフラット破面、さび欠陥は灰色のフラット破面であった。成分分析の結果、それぞれの主成分、すなわちペースト部はCa、塗料部はTi、さび、ガス切断部はFeが検出された。

マクロ・ミクロ組織観察の結果を表-3のように引張界面破断(詳細は表-4参照)との関係で示した。界面が判然としないというのは、よく結合しているように見え、界面がわからない状態、明確とは界面がはっきりしており欠陥がある、結合していないというのは明らかに結合しておらず開いている部分がある状態であり、○△×で表わした。マクロ・ミクロ組織観察を行なったのは1本のみだったので引張の結果とは必ずしも一致しないが、引張の3本とも圧接界面破断したにもかかわらず組織観察では欠陥が明確でなかったのは標準圧接法のペースト1/4と塗料欠陥であった。標準圧接法はそのほかの欠陥についても全般に欠陥が分かりにくかった。それに対し熱間押抜法の欠陥を入れたものの組織はほとんど何らかの欠陥があることがわかった。この違いは、欠陥があり結合が弱い部分を押し抜くことによりさらに結合が弱くなるためと考えられる。押し抜径の違いによる差異は明らかではなかった。なお、健全な断面は押し抜いても異常は認められず、圧接界面を害する恐れはなかった。

4.3 目視観察、超音波探傷と引張強さ結果

熱間押抜法による割れ・へこみの長さ、超音波探傷によるエコー高さと引張強さの関係を図-8~10

に示す。熱間押抜法の判定は、ガス圧接継手標準

表-3 マクロ・ミクロ組織と破断位置の関係

欠陥の種類	判定試験	破断位置				
		標準 1.6D	押抜 1.2D	押抜 1.3D	押抜 1.4D	
健全	引張	□	□	□	□	
	マクロ	○	○	○	○	
ペースト	1/8	引張	△	□		
		マクロ	△	○		
	1/4	引張	■	▲	△	□
		マクロ	○	△	×	△
	1/2	引張	■	■		
		マクロ	×	×		
さび	引張	▲	■	■	■	
	マクロ	○	△	△	△	
ガス切断	引張	■	■	△	▲	
	マクロ	△	△	△	○	
塗料	引張	■	■	■	■	
	マクロ	○	△	×	△	

引張 界面破断0本: □, 1本: △, 2本: ▲, 3本: ■
マクロ 界面判然としない: ○, 明確: △, 結合していない部分あり: ×

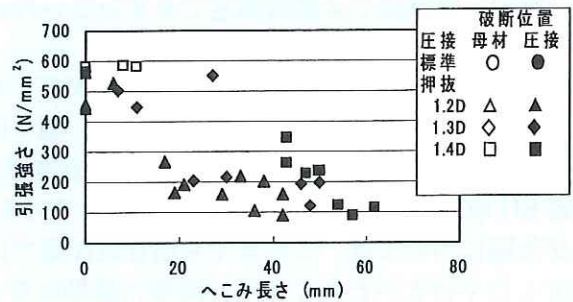


図-8 目視検査と引張強さ

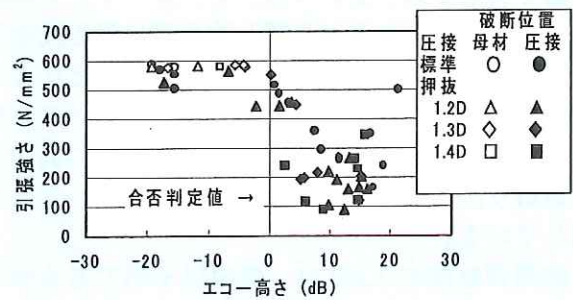


図-9 従来法と引張強さ

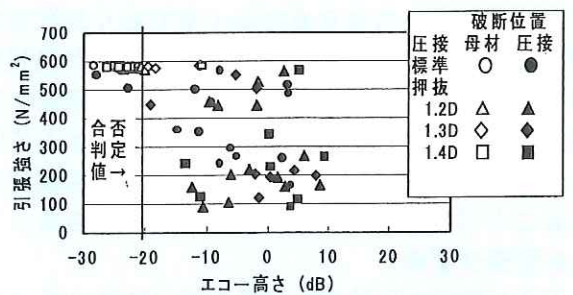


図-10 表面SH波法と引張強さ

仕様書では割れ・へこみの有無であるが、図-8に

はその長さとの関係を示した。従来法の合否判定値は JIS Z 3062 に基づいている。表面 SH 波法の合否判定値は、基準エコー高さに対して -20dB を仮の値としている³⁾。いずれの方法も、一部の試験片は合格と判定しても圧接界面で破断したり、逆に不合格であっても母材破断したのが見られる。これらを詳細に比較し、各判定方法の信頼性を比べるため、引張破断位置と合否判定結果の関係を試験片 1 本ずつについて比較したのが表-4 である。

表-4 の引張試験による破断位置が母材部の場合を□、圧接界面の場合を■とした。判定試験で、合格と判定したもので母材破断した場合、または不合格と判定したもので圧接界面破断したものは、判定と破断位置が一致しており○とした。不合格と判定されたが母材破断した場合は安全側の判定ミスであり△、その逆は危険側の判定ミスであり×とした。表-4 をまとめたものが表-5 である。なお、従来法で 4 種類測定できていないのは測定もれである。

表-4 および 5 より、従来法は安全側の判定ミスはないものの、危険側の判定ミスが多い。個々に見ると、標準圧接法の場合、さび欠陥が従来法、表面 SH 波法とも 3 本の内 2 本が判定ミスである。さび欠陥については、これまでも超音波探傷では判定しにくいといわれており、同様の結果になっている。同じさび欠陥でも押し抜いた後の超音波探傷で判定ミスがないのは、マクロ・ミクロ組織観察でも考察したとおり押し抜く前は超音波を透過するほど結合していても、押し抜くことにより結合が弱められるためと考えられる。ペースト欠陥の 1/8 と 1/4 の場合の従来法も 1 本ずつ判定ミスがあり、外周付近の欠陥は探傷しにくいことを示している。

熱間押抜法の 1.2D は、理由は不明であるがガス切断が 3 本とも判定ミスになっている。1.2D のそのほかの欠陥と、1.3D, 1.4D は、いずれの判定方法でも判定ミスは 0 または 1 本であり良好な結果であった。このことは、熱間押抜法の目視判定の信頼性が高いことはもちろん、超音波探傷を実施した場合でも信頼性が向上することを示している。目視は主観が入りやすいが、超音波探傷を用いることにより客観性を高めることもできる。

4.4 引張ひずみ

引張試験時の圧接部のひずみ測定結果は図-4 のとおりであった。押抜径が大きくなるほど断面積も大きくなるのでひずみは小さくなっているが、

表-4 各種検査結果と破断位置の関係

欠陥の種類	判定試験	標準	押抜			
		1.6D	1.2D	1.3D	1.4D	
健全	引張	□□□	□□□	□□□	□□□	
	押抜・目視	---	○○○	○○○	○○○	
	従来法	○○○	○○○	○○○	---	
	SH 波法	○○○	○○○	△○○	○○○	
ペースト	1/8	引張	■□□	□□□		
		押抜・目視	---	○○○		
		従来法	○×○	○○○		
		SH 波法	○○○	○○○		
	1/4	引張	■ ■ ■	■ ■ □	■ □ □	□ □ □
		押抜・目視	---	○ × ○	△ ○ ○	△ △ ○
		従来法	○ × ○	× × ○	○○○	---
		SH 波法	○○○	○○○	△ ○ △	○ △ ○
	1/2	引張	■ ■ ■	■ ■ ■		
		押抜・目視	---	○○○		
		従来法	○○○	○○○		
		SH 波法	○○○	○○○		
さび	引張	■ ■ □	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
	押抜・目視	---	○○○	○○○	○○○	
	従来法	× × ○	○○○	○○○	○○○	
	SH 波法	× × ○	○○○	○○○	○○○	
ガス切断	引張	■ ■ ■	■ ■ ■	■ □ □	■ ■ □	
	押抜・目視	---	× × ×	○○○	○ × ○	
	従来法	○○○	○○ ×	---	○ × ○	
	SH 波法	○○○	○○○	△ ○ ○	○○○	
塗料	引張	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
	押抜・目視	---	○○○	○○○	○○○	
	従来法	○○○	○○○	---	○○○	
	SH 波法	○○○	○○○	○○○	○○○	

引張 □：母材破断, ■：圧接界面破断
 押抜, 従来法, SH 波法の判定 ○：一致, △：安全側, ×：危険側

表-5 判定ミスの本数

試験片	径	押抜・目視		従来法		表面 SH 波法	
		安全側	危険側	安全側	危険側	安全側	危険側
標準	1.6D	-	-	0	4	0	2
	1.2D	0	4	0	3	0	0
	1.3D	1	0	0	0	4	0
	1.4D	2	1	0	1	1	0
合計		3	5	0	8	5	2
総本数		51		60		72	

1.4D (断面積は通常の鉄筋断面の約 2 倍) のひずみも降伏ひずみよりは大きくなっている。

4.5 硬さ試験結果

引張試験前後のビッカース硬さ試験結果は図-11 のとおりであった。標準圧接法、熱間押抜法の 1.2D, 1.3D, 1.4D とともに図-5 の場合と同様の傾向を示している。

押抜径の大きさの違いは明確ではなかった。こ

の理由は、標準圧接法 1.6D と押抜径 1.2D を比較しても硬さの違いはわずかであり、押抜径が 1.2D に対して 1.3D, 1.4D 程度の違いでは、なおさら硬さの違いは現れにくいのである。

ただし、ひずみ量は図-4のように径が大きくなるほど小さくなっており、わずかではあるが硬さ

も小さくなり、衝撃特性は改善方向にあるものと考えられる。

5. まとめ

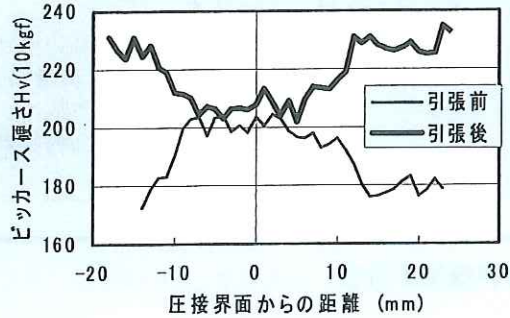
熱間押抜法の押抜径を大きくしたときの目視検査の信頼性と強度特性について検討した結果、試験片が少ないため断定するまでには至らないが、次のような傾向があることがわかった。

- ①目視検査は、通常押抜径 1.2D と同等程度以上の信頼性がある。
- ②押抜後の超音波探傷も、標準圧接法の場合よりも信頼性は向上する。
- ③圧接部の引張ひずみも小さくなるので、衝撃特性が改善される可能性がある。

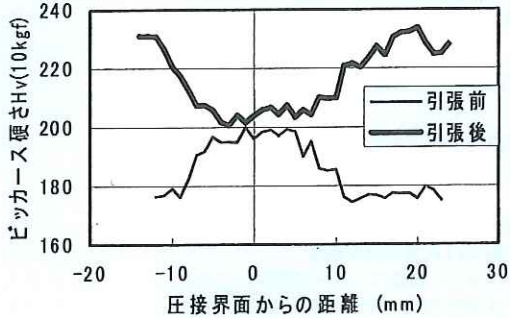
以上のことより、押抜径を大きくした熱間押抜法を採用することにより圧接部の信頼性は高くなる。さらには熱間押抜法の自動化を図ることができれば、人為的な操作を減らすことができるため、ガス圧接継手の信頼性はより向上するものと考えられる。

参考文献

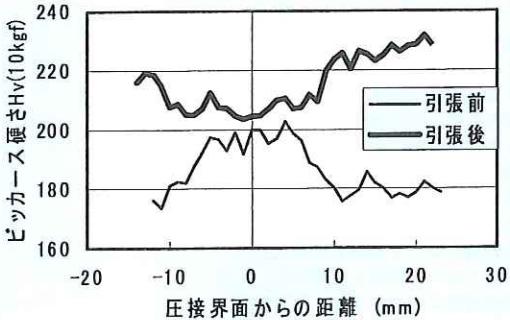
- 1) 森濱和正、河野広隆、加藤俊二：各種鉄筋継手の力学特性, 土木技術資料, Vol.41, No.3, pp.44-49, 1999.3
- 2) (社) 日本圧接協会：鉄筋ガス圧接部の超音波探傷検査, pp.107-124, 1994.8
- 3) 森濱和正、河野広隆、加藤俊二：ガス圧接継手の非破壊検査に関する検討, 土木技術資料, Vol.41, No.11, pp.60-65, 1999.11
- 4) 大石橋宏次、上山且芳：熱間せん断法による鉄筋ガス圧接部の品質評価とその信頼性—鋼ガス圧接部ふくらの熱間せん断による非破壊検査(第4報)—, 溶接学会論文集, Vol.14, No.3, pp.592-600, 1996.
- 5) 建設省土木研究所、(社) 日本圧接協会：鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書(4) ガス圧接継手の非破壊検査, 共同研究報告書第227号, pp.5-6, 1999.3
- 6) 建設省土木研究所、(社) 日本圧接協会：鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書(1) 載荷速度の影響, 共同研究報告書第188号, pp.12-22, 1997.8
- 7) (社) 日本圧接協会：鉄筋のガス圧接入門, pp.30, 1994.5



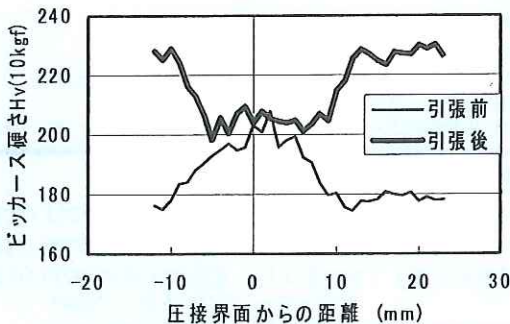
(a) 標準圧接法



(b) 熱間押抜法 1.2D



(c) 熱間押抜法 1.3D



(d) 熱間押抜法 1.4D

図-11 ピッカース硬さの比較

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