論文 鉄筋のガス圧接継手・熱間押抜法に関する検討

森濱 和正*1

要旨:鉄筋のガス圧接継手の検査の信頼性向上のため,目視で全数検査が可能な熱間押抜法について,押抜径を大きくした場合の検査精度や強度特性の検討を行なった。これまでの押抜径に比べ大きくすると,圧接ふくらみ部の外周付近に欠陥があるような場合は,検査の信頼性,継手部の強度,衝撃特性も改善される可能性があることが明らかになった。

キーワード:鉄筋,ガス圧接継手,熱間押抜法,押抜径,目視,全数検査,強度特性

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。

しかしながら,施工時に欠陥を生じる要因は多々ある。そこで今後の対応策として,受け取り時に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の検討が重要と考え,超音波探傷方法と熱間押抜法について検討した。超音波探傷試験方法は,JIS Z 3062で規格化されている SV 波を用いた探傷法(従来法と呼ぶ)による検査がすでに実施されてるが,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。また圧接方法も改良されてきており,鉄筋の切断にはシア切断機に代わり直

角切断機が使用されるようになったり、火口の多いバーナーが使われるようになり、きずを生じることは少なくなってきている。わずかにきずを生じる可能性として、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)がある。そこには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欠陥を生じやすいといわれている。

このようなことから外周部を探傷することが 重要と考え,その一つの方法として,これまで に超音波探傷法の表面 SH 波を用いる方法につ いて検討し,きずが外周部にある場合は従来法 より信頼性の高い探傷を行うことができること を明らかにした³。

本報では、2点目の方法として熱間押抜法について検討した。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、割れやへこみとなって現れることから、目視により全数の検査ができる方法として注目されている方法

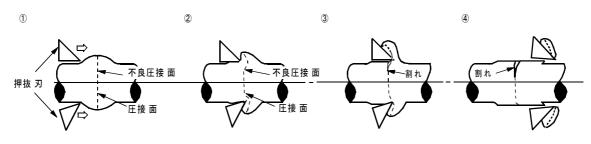


図 - 1 熱間押抜法

^{*1} 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(正会員)

であり,信頼性の高い方法といわれている ^{4.5}。 ところが,主に次のような 2 点の問題も明らか になっている ⁶。

熱間押抜法による圧接時間は,押し抜く時間だけ標準圧接法より長くなるはずであるが,実際には図・2の「前回」のように短くなっているで、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ふくらみが小さいときに押し抜くこともあるということであり,加熱時間の不足が懸念される。

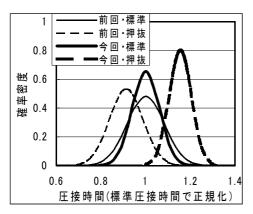


図 - 2 圧接時間 (標準圧接法と熱間押抜法の比較)

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⁾,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,圧接部の断面はふくらみを押し抜いて小さくなるため,引張試験時にひずみを測定すると図 - 3のように標準圧接法の場合は塑性域にまでは達っしていない

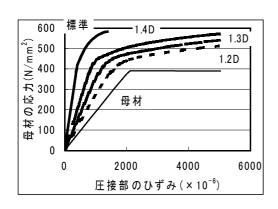
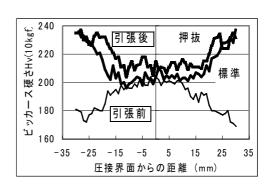


図 - 3 圧接部の引張ひずみ



図・4 ビッカース硬さの比較

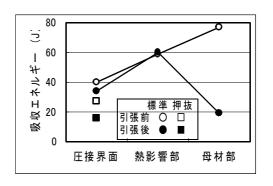


図 - 5 シャルピー衝撃試験結果の比較

が,熱間押抜法の通常の押抜径1.2D の場合は 塑性ひずみを生じている。

引張試験前後のビッカース硬さ試験の結果を図・4に、シャルピー衝撃試験の結果を図・5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、母材部は小さい。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い。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ないが,母材部は逆に圧接部よりも硬く,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・3のように押抜の1.2D は塑性変形を受けたためと考えられる。

これらの問題を押抜径を大きくすることによって解決できないかと考えた。 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ものと考えられる。 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ものと考えた。

これまでの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、熱間押抜法の最も重要な目視に よる検査の精度向上を図ることができないか、 また強度特性も改善できないかの基礎的な検討 を行なった。これらの実験結果を示し、押抜径 を大きくすることによりそれらの改善が図られ る可能性があることを明らかにした。

2.実験概要

2.1 試験片の種類

試験片は鉄筋 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、健全に対しセメントペースト(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。欠陥の大きさは、図・6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

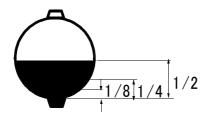


図 - 6 欠陥の大きさ,形状

表 - 1 試験片の種類

圧接	ふくら	健全	ヘ゜ースト		さび	ガス	塗料	
方法	み径		1/8	1/4	1/2		切断	
標準	1.6D	0	0	0	0	0	0	0
	1.2D	0	0	0	0	0	0	0
押抜	1.3D	0		0		0	0	0
	1.4D	Ö		0		O	0	Ö

の1/8および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(ちぢみ)量を測定した。熱間押抜法の圧接時間は,押し抜く前までは標準圧接法と同じになるようにした。

2.2 目視観察,超音波探傷試験

押抜直後に圧接部に割れ・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と、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。

2.3 引張試験

1種類4本の内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。

2.4 マクロ・ミクロ観察と硬さ試験

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、圧接界面の表面近傍、表面と中心の中間部、軸中心の圧接界面、熱影響部、母材部の5点のミクロ写真(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。

- 3. 圧接時間,外観,形状·寸法測定結果
- 3.1 圧接時間,アプセット量,ふくらみ・ 押抜径の測定結果

圧接時間と,アプセット量,ふくらみ・押抜

表 - 2 圧接部の測定結果

圧接方法	目標径	本数	圧接時間(秒)		アプセット量/D		ふくらみ径/D	
			平均	標準 偏差	平均	標準 偏差	平均	標準 偏差
標準	1.6D	85	80.5	4.9	1.13	0.09	1.60	0.04
押抜	1.2D	85	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

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でも明らかなように「今回」は標準圧接法よりも熱間押抜法のほうが10秒程度長く、指示どおりに圧接されている。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。

3.2 破断面,マクロ組織観察結果

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

マ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。マクロ組織が「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 ×と表わした。マクロ観察を行なった IJ, 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マクロ観察では欠陥の有無 がわから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 のマクロ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, 健全なものまで 圧接界面を害する恐れはない。

3.3 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

表 - 3 マクロ組織と引張破断位置の関係

	て陥	判定	標準		押抜	
の	種類	試験	1.6D	1.2D	1.3D	1.4D
健	全	引張				
		マクロ	0	0	0	0
	1/8	引張	Δ			
۸°		マクロ	Δ	0		
-	1/4	引張		•	Δ	
ス		マクロ	0	Δ	×	Δ
1	1/2	引張				
		マクロ	×	×		
さて	ļ	引張	•			
		マクロ	0	Δ	Δ	Δ
ガ		引張			Δ	•
切		マクロ	Δ	Δ	Δ	0
塗	料	引張				
		マクロ	0	Δ	×	Δ

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: 〇,明確: △, 結合してない部分あり: ×

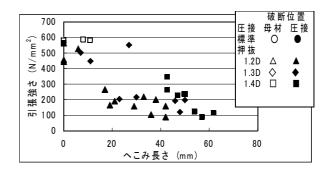


図 - 7 目視検査と引張強さ

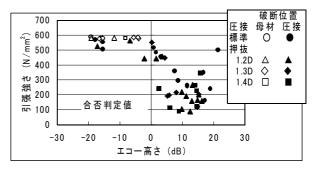


図 - 8 従来法と引張強さ

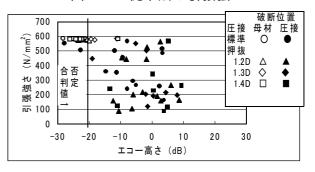


図 - 9 表面SH波法と引張強さ

波探傷によるエコー高さと引張強さの関係を図 - 7~9に示す。熱間押抜法の判定は,割れ・

へこみの有無であるが,図 - 7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ものが見られる。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。

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、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

表 - 4 各種検査結果と引張破断位置の関係

	マ陥	判定	標準	押抜					
	種類	試験	1.6D	1.2D	1.3D	1.4D			
健		引張							
		押抜·目視		000	000	000			
		従来法	000	000	000				
		SH波法	000	000	ΔΟΟ	000			
	1/8	引張							
		押抜·目視	-	000					
		従来法	0×0	000					
		SH波 法	000	000					
۸°	1/4	引張							
1-		押抜·目視		0×0	\triangle 0 0	ΔΔΟ			
ス		従来法	0×0	x x 0	000				
1		SH波法	000	000	$\triangle \bigcirc \triangle$	ΟΔΟ			
	1/2	引張							
		押抜·目視		000					
		従来法	000	000					
		SH波法	000	000					
さ('J	引張							
		押抜·目視		000	000	000			
		従来法	$\times \times O$	000	000	000			
		SH波法	$\times \times O$	000	000	000			
ガ.		引張							
切	断	押抜·目視		X X X	000	0 × 0			
		従来法	000	0 0 ×		0×0			
		SH波法	000	000	Δ 0 0	000			
塗	料	. 引張							
		押抜·目視		000	000	000			
		従来法	000	000		000			
		SH波法	000	000	000	000			
<u> </u>	ᄩ	7. 舟 材 破 断	■·圧接果	西破魠					

引張 □:母材破断,■:圧接界面破断

押抜, 従来法, SH波法の判定 O: 一致, Δ:安全側, ×:危険側

表 - 5 判定ミスの本数

圧接	径	押抜∙目視		従习	₹法	表面SH波法	
方法		安全側	危険側	安全側	危険側	安全側	危険側
標準	1.6D	-	ı	0	4	0	2
押抜	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		5 1		60		72	

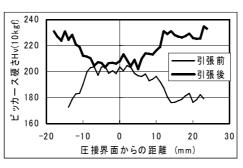
ん,超音波探傷を実施した場合でも信頼性が向上することを示している。目視は主観が入りやすいが、超音波探傷を用いることにより客観性を高めることもできる。

3.4 引張ひずみ

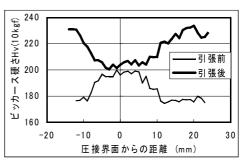
引張試験時の圧接部のひずみ測定結果は図 - 3のとおりであった。押抜径が大きくなるほど断面積も大きくなるのでひずみは小さくなっているが,1.4D(断面積は通常の鉄筋断面の約2倍)でも降伏ひずみよりは大きくなっている。

3.5 硬さ試験結果

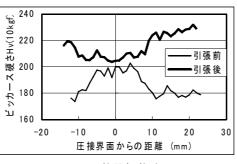
引張試験前・後のビッカース硬さ試験結果は 図 - 10のとおりであった。標準圧接法,熱間押 抜法の1.2D に対 して押抜径が1.3 D,1.4D に大きく なっても,図-4 の場合と同様,引 張前の圧接部の 硬さは母材部よ り高くなってい るが,引張後は塑 性変形した母材 部は圧接部より も高くなってい る。押抜径の大 きさの違いはほ とんど見られな い。押抜部分は 塑性変形は小さい ので(図 - 3),引



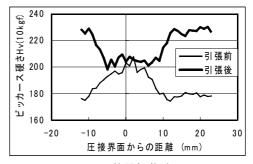
(a)標準圧接法



(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 - 10 ビッカース硬さの比較

張後の硬さもほとんど影響を受けていないものと考えられる。

4.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。

目視検査は,通常の押抜径1.2D と同等程度 以上の信頼性がある。

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。

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、さらにはその自動 化を図ることにより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: ガス圧接鉄筋の高速,繰返し,低温引張試験,コンリート工学年次論文報告集,Vol.20,No.3,pp.229-234,1998.6

2)(社)日本圧接協会,鉄筋が A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:鉄筋のが ス圧接継手部の表面 SH 波法による非破壊評価,コンリート工学年次論文報告集,Vol.21,No.3,pp.325-330,1999.74)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-鋼が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

5)森濱和正,河野広隆,加藤俊二: ガλ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

6)建設省土木研究所,(社)日本圧接協会:鉄筋の が λ圧接継手に関する共同研究報告書(4)が λ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

7)建設省土木研究所,(社)日本圧接協会:鉄筋の が λ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.12-22,19 97.8