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¹⁾。

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²⁰。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³³。

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



*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 ⁷。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。



(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	ペースト			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	0		0		0	0	0

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・ヘこみの有無を目 視により観察した。温度が常温まで低下した後, 割れ・ヘ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 口写真(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

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

表-2 圧接部の測定結果

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



結合してない部分あり:×





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

欠陥		判定	標準	押 抜					
の	種類	試験	1.6D	1.2D	1.3D	1.4D			
健全		引張							
		押抜·目視	-	000	000	000			
		従来法	000	000	000				
		SH波法	000	000	$\triangle O O$	000			
	1/8	引張							
		押抜·目視	 	000					
		従来法	0×0	000					
		SH波法	000	000					
^ °	1/4	引張							
-		押抜·目視	 	0×0	$\triangle O O$	$\Delta \Delta O$			
λ		従来法	0×0	$\times \times O$	000				
1		SH波法	000	000	$\land \circ \land$	$0 \land 0$			
	1/2	引張							
		押抜·目視	-	000					
		従来法	000	000					
		SH波法	000	000					
さて	۲ ۲	引張							
		押抜·目視	 	000	000	000			
		従来法	× × O	000	000	000			
		SH波法	x x O	000	000	000			
ガン	ス	引張							
切断		押抜 · 目 視		ххх	000	0 × 0			
		従来法	000	00 ×		0 × 0			
		SH波 法	000	000	$\triangle 0 0$	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			
引	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,△:安全側,×:危険側

表-5 判定ミスの本数

圧接	径	押抜・	・目視	従习	そ法	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		I	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		51		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



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,コンクリート工学年次 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: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.325-330,1999.7 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 - 鋼カ 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

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(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

7)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.12-22,19 97.8