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)—

大石橋宏次**, 上山 且芳**

Reliability of Quality Estimation by Hot Shearing Method of

Steel Bar Gas Pressure Welds*

—Non-destructive Inspection Method of Gas Pressure Welds with Bulge Removal by Hot Shearing (Report 4)—

by Hirotsugu Oishibashi** and Katsuyoshi Ueyama**

The previous reports have clarified that the quality of gas pressure welds is influenced by local area expansion factor (α) and weld temperature (T); hot shearing method helps evaluate the quality of welds; and that a line flaw, if bonding work is poor, is caused by tensile stress which occurs at shearing edge.

In this paper, a study about the influence of bulge removal on weld's strength, and the reliability of quality estimation by hot shearing method of steel bar gas pressure welds is reported. The conclusions are as follows:

- (1) The quality of gas pressure welds scarcely declines by hot shearing.
- (2) Whether hot shearing is applied or not, the influence of various factors, such as welding process, surface condition, and gap between surfaces, on weld's strength is constant.
- (3) In bending test, the acceptable rate of welds submitted to hot shearing is lower than that of welds without hot shearing.
- (4) The fatigue strength of welds is scarcely influenced by hot shearing.
- (5) The reliability of hot shearing method is higher than that of penetrant method or ultrasonic method.

Key Words: Gas pressure welding, Weld defect, Non-destructive inspection, Hot shearing

1. 緒 言

鋼ガス圧接部の品質は局部面積拡大度(α)とその位置での圧接温度(T)によって支配され、圧接部破断面中のいわゆるフラット破面の有無によって評価できる¹⁾こと、圧接部ふくらみの熱間せん断後の圧接部表面形態はその圧接部の界面性状及び破面形態と良好な対応を示すことから、表面の線状きずの有無によって圧接部の品質評価がかなりの程度可能である²⁾こと、また、有限要素法による圧接部の解析から、線状きずはせん断刃の刃先下方及び前方に生じる引張応力によって発生する³⁾こと等を前報までに報告した。

本報では、ガス圧接部ふくらみを熱間せん断することによる圧接部の強度への影響の有無、熱間せん断後の表面の線状きずの有無を目視で検査することの信頼性等について、鉄筋ガス圧接部で検討した結果を報告する。

2. 供試材、実験装置及び実験方法

2.1 供試材

実用の鉄筋を試験対象とするため、工事現場に既に搬入されていたものを実験に供した。Table 1に供試材とした熱間圧延異形棒鋼 SD345、呼び名 D32(公称直径31.8 mm)の化学成分及び機械的性質を示す。同一チャージ番号の鉄筋だけでは試験片本数が不足するため2種類を使用し、ガス圧接後、一方は引張及び曲げ試験に、他方は疲労試験に供した。

2.2 実験装置

本実験に用いた鉄筋ガス圧接器の構造の概略を Fig. 1 に示す。一般に使用される鉄筋支持器(ガス圧接器)とはほとんど同じであるが、可動側クランプ部にふくらみをせん断するためのハステロイ製の刃を設けたこと及び加圧用シリンダーのストロークをやや長く(約150 mm)した点が異なっている。適用鉄筋最大径は32 mmである。

Fig. 2 にガス圧接及び圧接部ふくらみのせん断手順を示す。鉄筋を突合せ、固定及び可動クランプ部のボルトを締めて鉄筋を固定し、せん断刃をセットした後、油圧シリンダーによって鉄筋を加圧する。その後、(a)リングバーナに点火して突合せ部を加熱し、(b)ふくらみを形成させつつ圧接を行う。通常はこの状態でバーナを消火してガス圧接を終了するが、本法では次の工程が加わる。すなわち、圧接終了後一旦加圧を止め、せん断刃と可動側クランプ部との連結レバーを外した後、再び加圧して(c)せん断刃を前進させ、(d)赤熱したふくらみをせん断除去して工程を終える。

2.3 実験方法

2.3.1 ガス圧接方法及び作業

ガス圧接方法は、一般の土木工事で広く用いられている二段アブセット法⁴⁾、三段アブセット法⁴⁾及び自動圧接法⁴⁾の3種類とした。施工条件は各圧接方法で実際に行われている標準的な条件とした。Table 2に本実験における鉄筋端面間の隙間0 mmの場合の各圧接方法での圧接時間 t と圧接部の面積拡大度 K ¹⁾を示す。同表より、圧接時間 t 及び K で表したふくらみの大きさは、いずれも、二段アブセット法、三段アブセット法、自動圧接法の順に小さくなる事が分かる。

2.3.2 鉄筋端面の処理と隙間

種々の品質の圧接部を得るために、鉄筋端面のさびの種類とその付着面積を変化させた。すなわち、接合する2つ

*原稿受付 平成7年10月25日 昭和60年2月抵抗溶接研究委員会で発表

**正 員 財団法人鉄道総合技術研究所 Member, Railway Technical Research Institute

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of specimens.

Material	Chemical composition (wt%)								Mechanical properties		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Sn	Yield point (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
SD345 (1)	0.28	0.27	1.08	0.014	0.018	0.16	0.26	0.016	402	596	25
SD345 (2)	0.25	0.25	1.07	0.026	0.029	—	—	—	412	627	24

(1): for tensile and bending test (2): for fatigue test

Fig. 1 Gas pressure welding apparatus for reinforcement bars.**Table 2** Welding time and area expansion factor on each gas pressure welding process.

Process	Numbers of test piece	Welding time t (s)			Area expansion factor K		
		min	max	av	min	max	av
Two-step upsetting	7	175	225	200	2.3	3.0	2.5
Three-step upsetting	6	125	136	128	2.2	2.4	2.3
Automatic	6	91	101	96	2.0	2.2	2.1

の鉄筋端面のうち、一方は全断面をグラインダー研削し、他方は(1)全断面をグラインダー研削、(2)断面積の約2/3をグラインダー研削し、残りの約1/3にいわゆる赤さびを残留、(3)全断面に赤さび付着、(4)ガス切断を行ったまま（いわゆる黒さびが全断面に付着）とした。なお、自動圧接法の場合にのみ、両端面ともガス切断後グラインダー研削を行うが、端面全体をグラインダー研削面とせず、切断時の凹みが多い部分に切断面の黒さびを残存させたものを追加した。

また、隙間の目標値を0, 3, 5 mmとした。しかし、手作業によってグラインダー研削やガス切断を行った結果、目標値を外れるものが認められたため、データの整理上、0~1.5 mm未満を0 mm, 1.5~4 mm未満を3 mm, 4 mm以上を5 mmとした。

以上の各条件を Table 3 に示すように組合せ、ふくらみを残したままのものとこれを熱間せん断で除去したものとを作製した。表中の数字は引張及び曲げ試験に供した圧接部の本数を示す。なお、鉄筋は水平に支持した状態で圧接を行った。

2.3.3 ガス圧接部の検査及び試験項目

圧接部には以下の3種類の非破壊検査を行った。

(a) 超音波探傷検査

日本圧接協会規格 NAKS0001-1977「鉄筋のガス圧接部

(a) Gas pressure welding (early stage)

(b) Gas pressure welding (final stage)

(c) Start of hot shearing

(d) Finish of hot shearing

Fig. 2 Gas pressure welding and hot shearing procedures.

Table 3 Gas pressure welding processes and welding conditions.

Gap (mm) Surface condition		Two-step upsetting process				Three-step upsetting process				Automatic process				Total
		0	3	5	a total	0	3	5	a total	0	3	5	a total	
With hot shearing	Grinder finish	6/6	17/6	10/4	33/16	6/6	6/5	5/1	17/12	6/6	5/5	7/7	18/18	68/46
	Rusty (Rusty part:Grinder finish part =1:2)	—	—	—	—	9/0	—	—	9/0	3/6	6/3	3/6	12/15	21/15
	Rusty (All over the surface)	6/6	3/1	—	9/7	2/1	3/3	1/0	6/4	3/0	0/2	3/1	6/3	21/14
	As gas cutting	2/1	3/0	—	5/1	6/6	5/3	2/2	13/11	3/0	0/3	2/1	5/4	23/16
	Grinder finish (Gas cutting face remains on both faces)	—	—	—	—	—	—	—	—	1/1	5/6	3/2	9/9	9/9
	a total	47/24				45/27				50/49				142/100
Without hot Shearing	Grinder finish	4/3	3/3	—	7/6	3/3	1/2	2/1	6/6	3/3	3/3	3/3	9/9	22/21
	Rusty (Rusty part:Grinder finish part =1:2)	—	—	—	—	—	—	—	—	4/3	4/3	1/3	9/9	9/9
	Rusty (All over the surface)	2/3	3/4	—	5/7	4/1	—	3/3	7/4	5/6	1/0	3/3	9/9	21/20
	As gas cutting	3/3	3/3	—	6/6	3/3	—	3/3	6/6	2/0	7/9	—	9/9	21/21
	a total	18/19				19/16				36/36				73/71
Total		65/43				64/43				86/85				215/171

Tensile test/Bending test

(a) No line flaw

(b) Line flaw

(c) As weld

Fig. 3 Appearances of gas pressure welds.

Table 4 The number of specimens for mechanical strength tests.

		Hot shearing	Numbers of test piece	a total	Total
Gas pressure weld	Tensile test	○	1 4 2	2 1 5	4 0 8
		—	7 3		
	Bending test	○	1 0 0	1 7 1	
		—	7 1		
	Fatigue test	○	1 5	2 2	
		—	7		
Base metal	Tensile test	3			2 6
	Fatigue test	2 3			

の超音波探傷検査規準⁵⁾に則り、専用探傷器を用いて合否を判定した。合格の場合は圧接部強度として鉄筋の JIS 規格の引張強さを保証できる⁴⁾とされている。

(b) 外観目視検査

熱間せん断を行った供試体については、圧接部表面中央付近の外周に沿った線状きずの有無を目視で調べ、割れ及び凹みの形態で線状きずが部分的にも認められた場合にその供試体を不合格とした。Fig. 3(a)及び(b)に合格及び不合格(半周に及ぶ凹み状態の線状きず有)の外観例を、また、(c)に熱間せん断を行わなかった圧接部の外観例を示す。

(c) 浸透探傷検査

熱間せん断を行った供試体について、外観目視検査終了後、浸透探傷検査を実施した。検査の結果、表面に割れが認められた場合、その圧接部を不合格とした。

検査後の圧接部に対して、金属組織試験、引張、曲げ及び疲労試験を実施した。Table 4 に示すように強度試験の供試体総数は408本である。疲労試験は、熱間せん断の有無によらず、全て、自動圧接法、端面グラインダー仕上げ及び隙間 0 mm の供試体を対象とした。なお、比較のために、鉄筋母材26本を引張及び疲労試験に供した。各試験要領は以下のとおりである。

(1) 金属組織試験

圧接部の縦断面マクロ・ミクロ組織を調べた。

(2) 引張試験

JIS Z 3120 (鉄筋コンクリート用棒鋼ガス圧接継手の検査方法)によって、引張強さと破断位置、つまり圧接面か母材かを調べた。なお、引張強さを求める場合の断面積は供試鉄筋の公称断面積を用いた。

(3) 曲げ試験

JIS Z 3120 に従い、JIS Z 2248 (金属材料曲げ試験方法)

の押曲げ法により、内側半径64 mm、支点間距離224 mm、曲げ角度90°以上とした。曲げ試験後、破断或いは割れの有無及びそれらの発生位置を肉眼で調べた。

(4) 疲労試験

動的荷重容量 ± 400 kNの電気油圧式疲労試験機によって、完全片振引張応力、繰り返し速度15 Hzで行った。試験材の長さは350 mm(圧接材では圧接部を中央にした)とし、チャック部での破断を避けるために供試体とチャックとの間に銅板を介した。

3. 鉄筋ガス圧接部の各種試験結果

3.1 鉄筋ガス圧接部の金属組織試験結果

圧接部の材質に及ぼすふくらの熱間せん断の影響の一つは、不完全な圧接界面を变形させ開口させることである。しかし、これは圧接界面に塑性変形を与えることで目視検査を可能とする本検査法の原理でもある。もちろん良好な圧接部の界面は、熱間せん断による塑性変形に十分耐え得るので開口することはない。

その他の影響はせん断面近傍のメタルフローとそれともなう組織変化である。この部分は熱間で強加工されるため、せん断中もしくはせん断後にオーステナイト粒の再結晶が起こり得る。そのため、冷却後の結晶粒径が熱間せん断を行わない場合と異なる可能性がある。

Fig. 4に熱間せん断した圧接部の外観例とその縦断面マクロ組織及び表層のミクロ組織を示す。(a)では線状きずが、(b)では下方に割れが認められ、また、(c)ではメタルフローを生じた表層(図中の右下方)のフェライト・パーライト粒が微細化していることが分かる。

また、Fig. 5及びFig. 6は、二段アプセット法、グライン

Fig. 4 An appearance, a macrostructure and a microstructure in longitudinal section.

ダー仕上げ及び隙間0 mmで、熱間せん断を行った場合と行わない場合の縦断面マクロ組織及び圧接部各部のミクロ組織例である。図中、No. 1, No. 2及びNo. 3は圧接界面とその近傍の組織、No. 4及びNo. 5は A_3 及び A_1 変態点付近に加熱された熱影響部の組織、また、No. 6は母材部の組織である。両図を比較すると、No. 2~No. 6のそれぞれの組織には大差はないが、表層のNo. 1に差異がある。すな

Fig. 5 A macrostructure and microstructures at longitudinal section (after hot shearing).

Fig. 6 A macrostructure and microstructures at longitudinal section (as weld).

まち、熱間せん断を行った Fig. 5 No. 1 の組織は熱間せん断を行わない Fig. 6 No. 1 に比べてかなり細かい。また、Fig. 5 No. 1 はその内側である No. 2 に比べても小さな結晶粒となっている。

これら Fig. 4 (c) 及び Fig. 5 No. 1 に見られるような結晶粒の微細化が圧接部の性能にいかなる影響を及ぼすかについては詳細に検討していないが、一般的に結晶粒の微細化によって靱性等の機械的性質が向上するため、この場合の品質も劣化することはないと思われる。

以上の結果から、圧接部の冶金的性質に対する熱間せん断の影響については、特別に問題視する必要はないものと考えられる。

3.2 鉄筋ガス圧接部の引張、曲げ及び疲労試験結果

3.2.1 引張試験結果

Fig. 7 は二段アプセット法による圧接部の引張強さを端面処理状態別及び隙間別に整理したものである。横軸の A ～ H は最下段に示す各種端面処理状態と対応している。図中の () 内の数値は各条件での供試体数であり、丸印が平均値を、実線及び破線の範囲が変動幅をそれぞれ示している。熱間せん断を行った供試体の一部にせん断直後に圧接部で分離するものが認められたが、このような供試体の引張強さは 0 MPa とした。熱間せん断の有無にかかわらず、グラインダー仕上げの平均値が高く変動幅が小さいのに対し、全面さび付着及びガス切断までは平均値は低くなり変動幅が大きくなる。また、全面さび付着では熱間せん断によって平均引張強さが低下する傾向にある。

Fig. 7 Tensile test results by two-step upsetting process.

Fig. 8 Tensile test results by three-step upsetting and automatic processes.

Fig. 8 に三段アブセット法及び自動圧接法による圧接部の結果を示す。Fig. 7 同様、いずれの圧接方法においても、最も安定した引張特性の圧接部が得られるのは、熱間せん断の有無にかかわらずグラインダー仕上げであるが、Fig. 8 では、熱間せん断によって平均引張強さがやや低下する傾向にある。また、前図で認められた全面さび付着の熱間せん断の有無による差異が、三段アブセット法、隙間 0 mm を除いて、同様に認められる。なお、Fig. 8 では、熱間せん断の有無によらず、ガス切断ままの場合が全面さび付着の場合に比べてやや引張強さが大きい傾向にある。

両図において、熱間せん断を行うことによって平均引張強さが低下する傾向が認められるのは、グラインダー仕上げ及び全面さび付着である。グラインダー仕上げの場合には、熱間せん断を行わないものが全て母材破断であるのに対し、熱間せん断を行ったものの中に圧接部で破断するものがあることによる。このように熱間せん断を行った供試体の引張強さが若干低下する傾向を示すのは、圧接部のふくらみ部が引張荷重をある程度負担できること、及び、全面さび付着の圧接部に代表される不十分な圧接界面が熱間せん断時に表層付近で割れを生じることによるものと考えられる。

以上の結果、圧接方法、端面の処理状態及び隙間の引張強さに与える影響は、熱間せん断の有無によって大きく変化することはない。隙間 3 mm 及び 5 mm のグラインダー仕上げには熱間せん断によって強度低下を生じさせる不十

分な圧接界面のものが含まれており、良好な引張特性を得るには、グラインダー仕上げと隙間 0 mm の確保が必要であると判断できる。

3.2.2 曲げ試験結果

Fig. 9 に曲げ試験結果に及ぼす端面処理状態及び隙間の影響を圧接方法別に示す。曲げ試験では、圧接面での破断或いは割れが生じることなく 90° まで曲がった供試体を合格と判定した。図中斜線で示すように、グラインダー仕上げ以外で合格するものは極めて少ない。また、グラインダー仕上げの中に、前節の引張試験では母材破断であった(a)二段アブセット法の隙間 3 mm 及び(c)自動圧接法の隙間 0 mm においても、熱間せん断を行った場合に不合格のものがある。これらのことから曲げ試験は引張試験に比べてより厳しいことが分かる。

また、曲げ試験結果には圧接方法による差異が明瞭に現れている。つまり、(b)三段アブセット法では、グラインダー仕上げであっても隙間 5 mm の場合には熱間せん断の有無にかかわらず全て不合格であり、隙間 0 mm の場合にも圧接部破断が認められる。したがって、三段アブセット法は他の二つの圧接方法に比べて不十分な圧接部を形成させやすいものと判断される。これは、前掲 Table 2 に示したように本法による圧接部の面積拡大度 K が他の圧接方法の場合の中間値であることから、品質を左右する他の要因¹⁾、すなわち、圧接部の温度が低いことによるものと考えられる。

Fig. 9 Bending test results of gas pressure welds.

Fig. 10 Fatigue test results of gas pressure welds.

さらに、曲げ試験結果では熱間せん断の有無による差異もかなり明確であり、熱間せん断によって曲げ合格率が低下している。これは、熱間せん断後の供試体は曲げ治具の曲率にほぼ沿う形状で曲がるのに対し、熱間せん断を行わないものは、ふくらみの剛性のために圧接界面における曲げ変形が少なく、ふくらみの付け根部で湾曲しやすいことも一因と推定される。

以上の結果から、良好な曲げ特性を得るには、端面のグライNDER仕上げと隙間0mmの確保はもちろん、現在標準とされている圧接条件を見直し、面積拡大度の増加或いは圧接温度の上昇を図る必要があるものと判断される。このことは、面積拡大度の最も大きい二段アップセット法による圧接部 (Table 2) が最も安定した曲げ特性を示すことでも示唆される。

3.2.3 疲労試験結果

Fig. 10 に熱間せん断を行った圧接部、熱間せん断を行わない圧接部及び母材の繰り返し数 10^7 回までの疲労試験結果を示す。図中の応力は試験荷重と鉄筋公称断面積とによって、また、各線は最小二乗法によって求めた。Fig. 10 で 2×10^6 回における疲労強度を求めると、熱間せん断を行った圧接部は164.6 MPa、熱間せん断を行わない圧接部は

Fig. 11 Specimens after fatigue test.

174.5 MPa、母材は197.9 MPaとなる。なお、圧接界面で破断する供試体はなく、母材での破断は鉄筋のふしの立ち上がり部が約2/3、ふし間の平行部が約1/3を占める。熱間せん断を行わない圧接部の破壊起点はふし部と平行部で、ほぼ半数づつであった。一方、熱間せん断を行った圧接部では、ふし部と平行部とに起点を有するものが全体の半数を占め、残りは熱間せん断の最終せん断位置を起点としていた。

Fig. 11 に最終せん断位置に起点のある供試体の外観、破断面及び縦断面マクロ組織を示す。AT-11 では、(b)外観に見られるように、せん断開始側ふくらみの立ち上がり部にも亀裂が生じている。図中矢印で示す起点部に注目すると、AT-3 では熱間せん断による表層金属の母材側へのオーバーラップで生じるV字溝の底に起点があるのに対し、AT-11 ではV字溝の壁面に起点が存在する。

Fig. 10 における熱間せん断の有無による約10 MPaの強度差は、Fig. 11 の起点発生位置や各実験点のばらつき等から有意差があるとはいえず、両者は同レベルの疲労強度を有するものと判断される。

4. 熱間せん断法の品質評価の信頼性

従来から微細な表面きずの検査法として多用されている浸透探傷法及び鉄筋ガス圧接部の強度保証のために導入、規格化された専用器による超音波探傷法と本検査法の検出能力を比較することにより、熱間せん断法の非破壊検査法

Table 5 Comparison of tensile & bending test results and inspection results.

		Base metal rupture (Bending angle 90°)	Welds rupture (< 90°)	Total	
The results of test	Tensile	62	73	135	
	Bending	45	55	100	
		Acceptable judgment	Unacceptable judgment	Numbers of right judgment	Ratio of right judgment (%)
Hot shearing method	Tensile	61	63	124	91.9
	Bending	42	49	91	91.0
Penetrant method	Tensile	62	50	112	83.0
	Bending	46	43	89	89.0
Ultrasonic method	Tensile	59	54	113	83.7
	Bending	43	42	85	85.0

としての信頼性を検討した。

4.1 圧接部破断に対する信頼性

Table 5 上段に、熱間せん断を行った全圧接部に対して、引張試験で母材破断及び圧接面破断したそれぞれの供試体数を、また、曲げ試験で圧接面に亀裂を生じることなく90°以上曲がった供試体数及び90°未満で圧接面破断或いは亀裂の発生をみた供試体数をそれぞれ示す。また、同表下段には、引張、曲げ試験前の各検査法で合格と判定され母材破断もしくは圧接面に亀裂を生じることなく90°以上曲がった本数及び不合格と判定され圧接面破断もしくは角度90°未満で圧接面に亀裂が発生した本数、すなわち、合格が正しく判定できた各本数とそれらの和、さらに、正しい合格判定が行えた比率を示す。

上段の引張及び曲げ試験結果の合計が前掲 Table 3 の値と異なるのは、熱間せん断直後に破断した圧接部は浸透及び超音波探傷を省略したために、それらを削除したことによる。上段の引張及び曲げ試験の数値と下段の各検査法における数値とが一致すれば、検査法としての信頼度は、本実験の範囲内で100%であると評価できる。しかし、いずれも下段の値が小さく、誤判定をしていることが分かる。

Fig. 12 は誤判定の本数とその比率を検査法別に円グラフで示したものである。内側の円内の数字は引張或いは曲げ試験の供試体数、破線が圧接面破断と亀裂で判断した引張或いは曲げ試験での合格区分、実線及び矢印範囲が各検査法による合格判定区分、斜線部が各検査での誤判定比率、円外の数字がその本数である。上部斜線部は検査で不合格と判定したにもかかわらず引張、曲げ試験で母材破断或いは90°以上曲がった比率、一方、下部斜線部は逆に検査で合格と判定したにもかかわらず圧接面破断或いは亀裂が生じた比率である。

各検査法ともに一部誤判定を行っているが、その比率は(a)熱間せん断法が最も小さい。熱間せん断法の浸透探傷法に対する優位性は、線状きずと判定できるものの中に、表面で開口せず圧接面でのわずかな段差として現れるものがある²⁾ことによると理解できる。

4.2 引張強さ基準値に対する信頼性

鉄筋母材の引張強さの JIS 規格値は490 MPa である。前章で示したように、圧接面破断した場合でも490 MPa 以上の引張強さを示す供試体が存在する。そこで、引張試験用

Fig. 12 Comparisons of tensile & bending test results and inspection results (breakage at weld interface).

Fig. 13 Comparisons of tensile test results and inspection results (tensile strength ≥ 490 MPa).

供試体を対象に、引張強さ490 MPa を合格判定基準とした場合の各検査法の信頼度を整理した。

Fig. 13 に、Fig. 12 同様、各検査法において誤判定を行った比率及び本数を示す。母材破断のものの中には引張強さ490 MPa を下回るものではなく、また、圧接面破断の中には同値を上回るものがある。したがって、下部の斜線部の比率、すなわち、検査で合格と判定したにもかかわらず引張強さが490 MPa を下回る割合は、Fig. 12 に比べると各検査法とも小さくなる。また、逆の場合を含めた誤判定の比率は、やはり(a)熱間せん断法が最小であることが分かる。ちなみに、引張強さ490 MPa を合格判定基準とした場合の各検査法の本実験における信頼度(正しく判定できる割合)は、熱間せん断法97%、浸透探傷法及び超音波探傷法89%となる。

Fig. 14 は各検査法で合格と判定したにもかかわらず、圧接面破断した供試体の引張強さをプロットし、それらの平

Fig. 14 Tensile strengths of specimens misjudged by each inspection method.

均値を示したものである。図中の一点鎖線は鉄筋母材のJIS基準値490 MPaである。図から明らかなように熱間せん断法では誤判定した圧接部の引張強さの平均値が490 MPaを上回り、最低値が420 MPa程度である。一方、他の検査法では平均値が490 MPa未満となり、浸透探傷法では50 MPa、また、超音波探傷法では130 MPa程度のものを合格と判定している。すなわち、熱間せん断法は低強度レベルの圧接部に対して極めて精度良く合否判定が行える検査法であることが分かる。

以上の結果より、熱間せん断法は、誤判定の比率が小さいばかりでなく、誤判定を行った場合の圧接部の強度レベルが高いことから、浸透探傷法及び超音波探傷法に比較して、ガス圧接部の品質を保証するためのより実用的な検査法と評価できる。

5. 結 言

現在多用されている3種類の圧接方法を適用し、端面処理状態及び突合せ部の隙間を種々変化させた鉄筋のガス圧接部について、圧接部のふくらみを熱間せん断することによる強度への影響及び他の検査法と比較した場合の本検査法の信頼性について検討した。以下、本報で明らかになったことを列記する。

1) 熱間せん断を行うことによって圧接部表層近傍の結晶粒が微細化するが、微細な金属組織が圧接部の品質劣化をもたらす可能性は少ないものと考えられる。

2) 圧接方法、端面の処理状態及び隙間の引張強さへの影響は、熱間せん断によって大きく変化することはない。しかし、端面のグラインダー仕上げの場合に、隙間が大き

くなると熱間せん断を行った圧接部の強度レベルがやや低下した。これは、ふくらみ部が引張荷重をある程度負担していること及び不十分な圧接界面が熱間せん断時に開口することによると考えられる。

3) 曲げ試験では熱間せん断の有無による差異が認められ、熱間せん断を行った場合の合格率が低下した。これは、熱間せん断後の供試体が曲げ治具の曲率にほぼ沿って曲がるのに対し、ふくらみを有するものは、その付け根部で湾曲しやすいことも一因と考えられる。

4) 熱間せん断の有無の供試体及び母材の 2×10^6 回における疲労強度は、それぞれ164.6 MPa、174.5 MPa及び197.9 MPaであり、熱間せん断の有無による供試体はほぼ同等の疲労強度を有すると判断される。

5) 圧接部の品質判定基準を引張試験及び曲げ試験での圧接面破断及び曲げ角度 90° 未満での亀裂の発生とした場合、合否を正しく判定できる割合は、熱間せん断法による目視検査が最も高く、次いで浸透探傷法、超音波探傷法であった。

6) この基準を鉄筋の引張強さのJIS規格490 MPaとした場合、熱間せん断後の圧接部に対する各検査法の信頼度は、熱間せん断法は97%、浸透及び超音波探傷法が89%となった。また、誤判定の場合にも、熱間せん断法では、平均引張強さは490 MPaを上回っており、最小値は420 MPaであった。

6. 謝 辞

本研究の遂行にあたり、元大阪大学西口公之教授及び大阪大学仲田周次教授には種々の御指導、御助言を頂いた。また、元(財)鉄道総合技術研究所大原宗行、小林明夫両氏、(財)鉄道総合技術研究所工藤松一、辰己光正両氏、元日本国有鉄道構造物設計事務所青木桂一氏には種々の実験に御協力頂いた。さらに、供試材の手配から搬入は元日本国有鉄道東京第三工事に、圧接器は(株)白山製作所に、ガス圧接及び検査は(株)東京ガス圧接、(株)全溶、(株)須山工業所及び(株)日本ガス圧接に御協力頂いた。ここに記して謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 大石橋, 上山: ガス圧接部の品質と評価に関する基本的検討—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1報)—, 本会論文集, 投稿中。
- 2) 大石橋, 上山: 熱間せん断による品質評価メカニズムに関する検討—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2報)—, 本会論文集, 投稿中。
- 3) 大石橋, 赤間, 上山: 有限要素法による鋼ガス圧接時及び熱間せん断時の変形と応力の解析—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3報)—, 本会論文集, 投稿中。
- 4) 日本圧接協会編: 建設技術者のための圧接工学ハンドブック, 技報堂(1984)。
- 5) 日本圧接協会編: 鉄筋のガス圧接工事標準仕様書, 日本圧接協会(1979)。