

カプラー圧接継手の性能評価に関する研究

ON EVALUATION OF PERFORMANCE OF COUPLER-PRESSURE WELDED JOINTS

笛戸松二*・林 健治**・宮口茂樹***・河治 功****

By Matsuji SASADO, Kenji HAYASHI, Shigeki MIYAGUCHI and Isao KAWAJI

The authors developed a new method of jointing reinforcing bars, coupler-pressure welding, in order to control the quality of joints even by the inspection of their appearance and establish the pressure welding technology such as mechanical method of joints that was allowed to omit inspecting by failure tests on cut out test specimens. In this report the performance of joints made by this method is evaluated from the results of performance tests of joints based on recommendations of joints in reinforcing bars, and some factors influenced on the fatigue strength of the joints are discussed.

Keywords : coupler-pressure welding, joint performance, fatigue strength

1. 緒 言

ガス圧接法は、接合しようとする2本の鉄筋端面を突き合わせ、鉄筋軸方向に圧縮力を加えながら突合せ部をガス炎で加熱し、赤熱状態で加熱部を膨らませて接合する熱間固相接合法である¹⁾。この工法により製作された継手、ガス圧接継手は、接合する鉄筋の軸線が一致する一体継手であるので、部品接合に用いられている摩擦圧接継手と同様に力学的に望ましい形式の継手である²⁾。それゆえ、施工管理が確実に行われ、所要の継手性能が確保されれば、経済性の観点からもガス圧接法は最も利用度の高い鉄筋接合法である。

しかしながら、ガス圧接法は継手性能が人的要因および現場作業条件に大きく左右され、また、外観でその良否が判定できないなど、継手の信頼性に不安な面がある。さらに、電炉鉄筋のガス圧接性に関する研究の不足により³⁾、現状ではそれに対して十分に適切な工法が開発さ

れていない。

しかも、このようなガス圧接継手を検出し、適切な品質管理を可能ならしめるために考案された超音波探傷検査法⁴⁾や熱間せん断押抜き検査法⁵⁾は、抜取り検査法と比較して優れているが、原理的に接合部の全断面の検査は非常に困難である。また、いずれも不良な継手を検出する手段でしかなく、これらの検査のみでは工程中に品質を取り入れることはできない⁶⁾。

したがって、高炉鉄筋や電炉鉄筋にかかわらず、一貫した工法で継手を製作することができ、また、機械的継手のように外観検査だけで、抜取り検査等を省略できる圧接技術を確立することは重要な課題となる。

このような観点から、ガス圧接法と同様に施工が容易で経済的であり、機械的接合法と同様に一貫した工法による信頼性の高い継手を得ることを目的として新しい鉄筋接合法、カプラー圧接法^{注1)}が開発された⁷⁾。本報告は、この工法により製作された継手、カプラー圧接継手の継手性能を明らかにするものである。

* 故前長岡技術科学大学教授（本報告は故人の総括のもとにまとめられたものである）

** 正会員 工修 長岡技術科学大学助手 工学部建設系
(〒949-54 長岡市上富岡町1603-1)

*** 正会員 東海ガス圧接株式会社 (〒410 沼津市大岡488-1)

**** 正会員 工修 新潟県（研究当時長岡技科大院生）
(〒952-15 佐渡郡相川町 相川土木事務所)

注) 圧接とは、一般に、加熱部に機械的な圧力を加えて接合する溶接方法であり、本工法のような機械的くさび効果を期待する接合法とは本質的に異なる側面を有するが、本報告では、作業工程が類似している点から便宜上カプラー圧接法とよぶことにする。

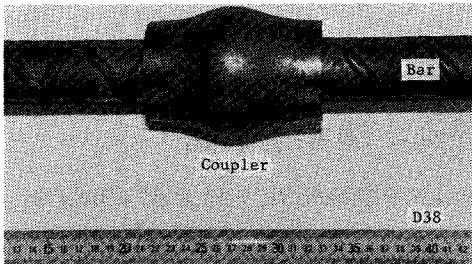


図-1 カプラー圧接継手の外観

2. カプラー圧接法

鉄筋のガス圧接機構についてはいまだに定説はないが、脆弱なフラット破面を生じない良好な接合を得るために、圧接部の結晶粒が接合面を越えて均一な組織となる A、変態点以上で圧接し、接合面の介在物を破壊・分散させ、その濃度を物理的に低下させなければならぬと考えられている^{8), 9)}。

カプラー圧接法は、当初、このような観点から、ガス圧接継手の圧接部の接合状態をよくするために種々の実験および試行錯誤を経て考案された⁷⁾。この接合法は、鉄筋の外側に中空円筒のカプラーを通して 2 つの鉄筋を突き合わせ、圧接部とカプラーをバーナーで加熱し、加熱と加圧により圧接部の鉄筋とカプラーを同時に膨らませて鉄筋とカプラーとを一体化する機械的な接合機能を有する工法である。図-1 に示すようにカプラーの存在により鉄筋が外側に膨らむのを押さえ、結果として、鉄筋軸方向の加圧力が増大し、接合面における介在物の機械的な破壊・分散を期待でき、良好な接合を得ることができる。また、カプラーと鉄筋膨らみ部とのくさび効果により、鉄筋軸方向力を伝達できるため、機械的継手同様の効果が期待できる。

以下に、その作業工程および特徴について述べる。

(1) 作業工程

カプラー圧接法の作業工程は、ガス圧接法の作業工程と基本的には同じであり、図-2 に示すように次の 4 つの工程から成る。

工程 (1)：ガス圧接用鉄筋支持器 A に鉄筋 B を取り付けカプラー C を通し、もう一方の鉄筋 D を取り付ける。

工程 (2)：電動油圧ポンプ E を鉄筋支持器 A にセットする。そして、まず、X の部分を、次に、X, Y の部分をガス圧接用バーナーを用いて中性炎で加熱する。

工程 (3)：工程 (2) の X, Y の部分が適度に加熱（カプラーと鉄筋の幅焼き）されたならば、Z の部分にストップバーを挿入し、カプラー C を鉄筋の X の位置（接合部中央）へ移動させ、ポンプを作動させて鉄筋軸方向

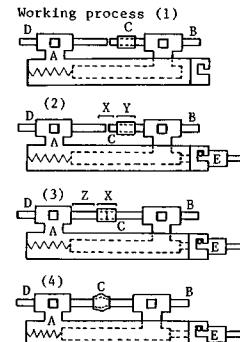


図-2 カプラー圧接法の作業工程

に加圧し、カプラー C の外側から X の部分を加熱する。

工程 (4)：加熱と加圧を継続すると、鉄筋がカプラー内部で膨らみ、それによりカプラーも膨らむ。カプラーが所要の膨らみ径になるまで操作を続けると、鉄筋とカプラーの間でくさびを形成し、接合が完了する。

以上より明らかなように、工程 (4)においてカプラーの膨らみ径を管理することによって良好な継手を得ることが可能となる。それゆえ、工程中に継手の品質を取り入れることができる。また、圧接の作業が完了した後、カプラーの膨らみ径や膨らみ幅等を膨らみ径・幅測定用治具で測定し、所要の膨らみ径になっているかを確認（外観検査）することによって、品質検査を行うことができる。

(2) カプラー圧接法の特徴

カプラー圧接法は、基本的にはガス圧接法と同様に接合面を加熱・加圧することにより、鉄筋およびカプラーを膨らませて鉄筋を接合させる工法である。そこで、ガス圧接法とどの点が異なるかをその作業工程と、図-3 に示す継手製作時における加圧力と温度の経過 (D 38) の関係を参照して明らかにする。ここで、図中の実線はカプラー圧接法の例であり、破線はガス圧接法（二段アプロセット法）の例である。また、加熱・加圧工程はカプラー圧接法の例を示す。

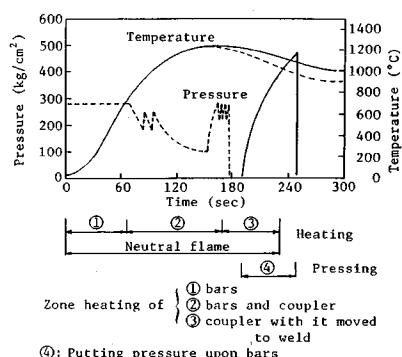


図-3 継手製作時における加圧力と温度の経過

1) カプラーの膨らみ径が所要の値以上であれば、次章で述べるように種々の耐力性能を有する継手であることが保証されるので、膨らみ径を測定することにより、工程中に品質を取り入れることが可能となる。また、圧接作業終了後、外観検査だけで全数の継手の品質を判定でき、抜取り検査や超音波探傷等の煩雑な検査を省略することも可能である。

2) くさび効果による機械的な接合機能を有する継手であるので信頼性が高く、高炉鉄筋や電炉鉄筋にかかわらず、また、材質の異なった鉄筋でも一貫して継手を製作することができる。ただし、径の異なった鉄筋を継ぐことは、現状では難しい。

3) 煩雑な前処理の1つである圧接面のグラインダー仕上げを省略することも可能であり、建設現場の鉄筋接合法に向いている。

4) ガス圧接法と異なり初期に圧接面を密着する必要がないので、加圧操作が簡単である。しかし、鉄筋の他にカプラーも膨らませなければならないので、最大加圧力は高くなる。

5) 火力が同程度のバーナーを用いた場合、ガス圧接法より加熱時間は若干長くなるが、加熱炎は初期から中性炎でよいので、加熱操作が容易である。

以上で明らかなように、カプラー圧接法は、ガス圧接法と同様に経済的で施工が容易であり、また、機械的接合法と同様に高い信頼性を有する全く新しい型式の鉄筋接合法といえる。

3. カプラー圧接継手の性能評価

カプラー圧接継手の性能を評価する場合、施工性と経済性のほかに継手の力学的性能を評価することも重要なポイントである。特に、鉄筋コンクリート部材の健全性および安全性の見地から、継手が所要の力学的性質を具備しているか否か検討しなければならない。

ところで、鉄道構造物の部材や道路橋の床版などは、応力振幅の大きい活荷重応力を繰り返し受けるために、他の鉄筋コンクリート部材に比べて苛酷な荷重状態にさらされており、継手がその性能の中で最も基本的である静的耐力性能を保有するだけでなく、疲労に対する安全性を満足する必要がある。

以上の観点から、また、カプラー圧接継手の確性試験の結果から得られたカプラーの材質、寸法および膨らみ径等、すなわち、1) カプラー材には市販の鋼管 STKM 13A を用いること、2) カプラー長さは対象とする鉄筋の公称直径の3倍とすること、3) 膨らみ径はカプラー外径の1.16倍以上とすること⁷⁾、これらが適切であるか否かを確認するために、静的耐力性能試験および高サイクル繰返し耐力性能試験等を実施した。

本章では、この継手性能試験を通して、カプラー圧接継手は、カプラーの膨らみ径が所要の値以上であれば、くさび効果を利用した機械的継手であり、母材相当の静的耐力性能を有し、また、ガス圧接継手とはほぼ同等の高サイクル繰返し耐力性能を有する信頼性の高い継手であることを明らかにする。

(1) 実験概要

供試材として鉄筋には SD 35-D 22, D 25, D 32, D 35, D 38, カプラー材には鉄筋に対応する径の STKM 13 A を用いた。それらの化学成分および機械的性質を表-1 に示す。

カプラー圧接継手の性能を評価するために、ガス圧接継手の性能と比較することにし、ガス圧接継手では施工管理の行き届いた状態で、カプラー圧接継手では建設現場での苛酷な条件を想定し、また、くさび効果のみで十分な強度を有することを調べる目的で故意に圧接面を酸化させるといったガス圧接法では接合が非常に難しい状態で、上記の材料を用いて継手を製作した。その際、ガス圧接継手の膨らみ径は各径ともに鉄筋公称径 d の1.65倍とした。また、カプラー圧接継手の鉄筋膨らみ径を同じく1.65d とするためにカプラー膨らみ径は1.19d~1.23d (鉄筋径によって異なる値: 実測値) とした。

試験項目は、基本的には、土木学会鉄筋継手指針¹⁰⁾に準じて実施した継手の引張試験と高サイクル疲労試験の2種類であるが、D 38の継手については、圧接部の温度測定、マクロ組織試験およびピッカース硬さ試験を併せて実施した。試験片には表-2 に示すように番号を付け、分類した。

表-1 供試材の化学成分と機械的性質

Symbol	Designation of out. dia. × thick. (mm)	Chemical composition (%)						Mechanical properties		
		C ×100	S I ×100	Mn ×100	P ×1000	Cu ×1000	Si ×100	Yield point (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elonga- tion (%)
SD35	(Standard)	<27	--	<160	<50	<50	<50	>35	>50	>18%
	D22	22	38	142	36	18	46	44	63	26
	D25	23	40	134	25	20	45	43	63	32
	D32	23	43	144	32	22	47	43	64	32
	D35	23	45	140	35	26	46	42	63	34
STKM 13A	D30	22	42	127	27	31	43	41	61	34
	(Standard)	<25	<35	30~90	<40	<40	--	>22	>38	>30
	38.1× 6.0	16	23	50	18	9	24	29	43	51
	45.0× 7.0	15	24	51	17	10	23	31	45	63
	57.0× 9.3	14	25	49	20	9	22	26	41	66
	60.3× 9.5	14	25	49	20	9	22	29	44	64
	65.0×10.0	14	25	47	17	10	22	29	43	64

Remark : *) min. 18% under D32 and min. 20% over D25

表-2 試験片の種類

TDD-22	L Nominal diameter
	D : Deformed bar
	R : Round bar
	D : Bar without joint
	C : Coupler-pressure welded joint
	G : Gas pressure welded joint
	T : Tension test
	F : Fatigue test
	M : Macro-structure test

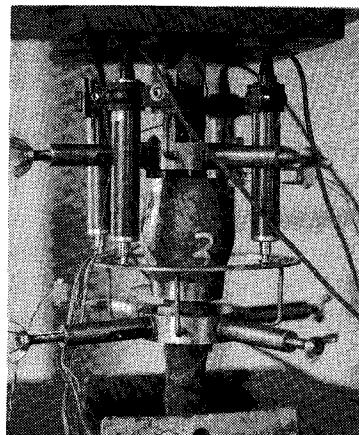


図-4 引張試験状況

引張試験では、図-4に示すように各径とともに継手両端部からそれぞれ20 mmの位置を標点とし、この間にダイヤルゲージを設けて伸び量を、カプラー端部とダイヤルゲージ取付け部との間にクリップゲージを設けて鉄筋の抜出し量を測定した。

高サイクル疲労試験は完全片振り引張で行い、繰返速度は3 Hz、高サイクル側で10 Hzとし、繰返し数200万回を基準とした。また、200万回繰返し載荷時の残留変形量をクリップゲージで測定した。

なお、その他の試験の詳細については省略する。

(2) 実験結果と考察

a) 加熱温度

圧接部中心点に白金ロジウム熱電対を、節付け根の湾曲部に相当する位置とカプラー端の鉄筋部にクロメル・アルメル熱電対を取り付けて、カプラー圧接継手製作時の温度の経過を測定した結果を図-5に示す。比較のために、ガス圧接継手（圧接部中心のみ）の測定結果も同図に示している。

最大加熱温度は、圧接部中心でガス圧接法では約1250°Cで；カプラー圧接法では約1200°Cである。冷却速度を比較すると、カプラー圧接法はガス圧接法よりも速い。

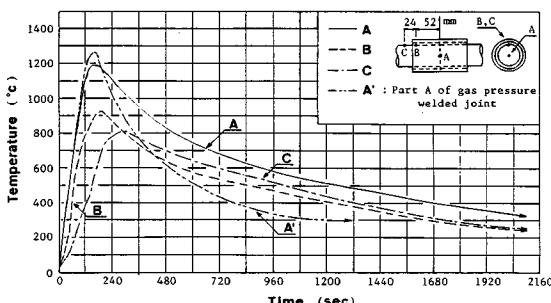


図-5 継手製作時の温度の経過

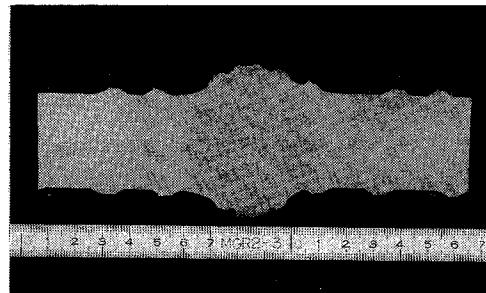


図-6 ガス圧接継手のマクロ組織

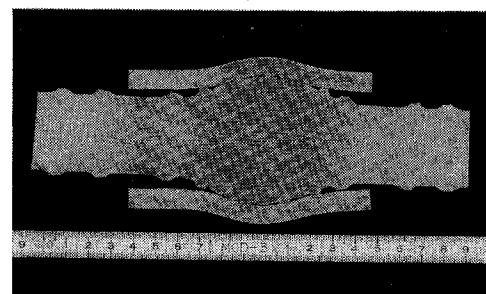


図-7 カプラー圧接継手のマクロ組織

その速度がやや遅いので、熱履歴による材質の変化は少ないものと思われる。しかし、材料の再結晶温度（約800°C）を超える領域、すなわち、圧接部中央から節付け根の湾曲部までは熱履歴の影響を少なからず受けるものと考えられるので、今後ともにさらに詳しく調べる必要があろう。

b) マクロ組織

ガス圧接継手とカプラー圧接継手の圧接部の接合状態およびメタルフローなどを観察するために、塩酸法によるマクロ組織試験を行った結果をそれぞれ図-6、7に示す。

圧接部のメタルフローを観察すると、ガス圧接継手では力の加わる方向は中心部でほぼ軸方向であり、外周部に近いほど軸方向から軸直角方向へ傾いている。一方、カプラー圧接継手では中心部および外周部とともに軸方向に加圧されている。これは、カプラー圧接継手では鉄筋が外側に膨らもうとする力に対してカプラーにより鉄筋の膨らみを押さえようとする力が作用するためである。それゆえ、鉄筋端面の処理を行った状態でカプラー圧接継手を製作すれば、加圧力も大きいので、ガス圧接法よりも良好な接合が期待できる。

c) 硬さ分布

ガス圧接継手およびカプラー圧接継手の圧接部近傍の硬さ分布を求めた結果をそれぞれ図-8、9に示す。ここで、A-A'は鉄筋表面から2 mmの位置に、B-B'は鉄筋軸中心に沿って2 mmピッチで測定した箇所を示す。

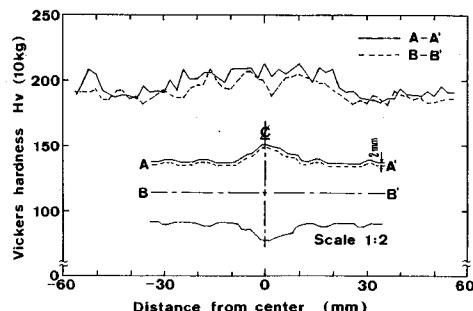


図-8 ガス圧接継手の硬さ分布

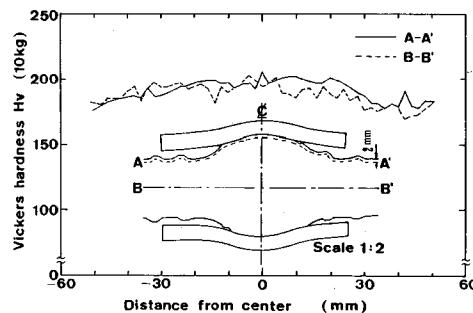


図-9 カプラー圧接継手の硬さ分布

圧接面に沿った箇所も測定したが、硬さの変化はあまりみられなかつたので省略した。

両図より明らかなように、圧接部の硬さはカプラー圧接継手よりもガス圧接継手の方が若干高くなっているが、両者に顕著な差異は認められない。

d) 静的耐力性能

ガス圧接継手およびカプラー圧接継手はすべて母材側で引張破断した。また、カプラー圧接継手では、鉄筋の呼び名 D 38 に対応する継手 (TCD-38) を除いて、その他の径の継手は降伏時に金属音を呈し、引張破断後に圧接部を縦割りした結果、圧接面の分離が確認された。

D 25, D 32, D 38 の母材、カプラー圧接継手およびガス圧接継手の荷重-伸び曲線を図-10 に示す。カプ

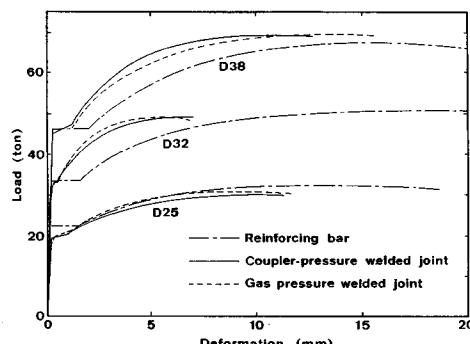


図-10 継手の荷重-伸び曲線

表-3 静的耐力性能の判定結果

Designation of test specimens	Strength	Axial stiffness	Residual deformation at 0.95σ _y Max. 0.3 (mm)	Judgement	
	Rupture stress (kg/mm ²) Min. 50	Apparent modulus of elasticity (×10 ³ kg/mm ²) at 0.7σ _y			
TCD-22	60.2	3.68 (1.73)	3.97 (1.86)	0.01	Class A 1.73>1.0 1.86>0.9
TCD-25	61.2	2.28 (1.14)	2.15 (1.08)	0.04	Class A 1.14>1.0 1.08>0.9
TCD-32	61.3	2.45 (1.11)	2.54 (1.15)	0.02	Class A 1.11>1.0 1.15>0.9
TCD-35	60.1	2.80 (1.41)	2.68 (1.35)	0.02	Class A 1.41>1.0 1.35>0.9
TCD-38	60.4	2.35 (1.12)	2.35 (1.12)	0.05	Class A 1.12>1.0 1.12>0.9

Remark: Values in the brace are the ratio of modulus of elasticity of joint portion and reinforcing bar.

ラー圧接継手は、母材と比較するとガス圧接継手と同様に伸び能力は劣るもの強度および剛性はほぼ等しい。また、ガス圧接継手と比較して、伸び能力、強度および剛性は同等であると評価できるが、D 38 の伸び能力については若干劣ることが確認された。なお、カプラーの表面に貼付したひずみゲージの出力結果から、鉄筋降伏時でも軸方向の最大ひずみが降伏ひずみの 1/8 であり、カプラーは鉄筋に対して十分な強度を有することを確認している。

次に、カプラー圧接継手の静的耐力性能を判定した結果を表-3 に示す。カプラー圧接継手の引張強度は全径ともに母材の規格値 50 kg/mm² を上回り、軸方向剛性は母材の規格降伏点の 70 % および 95 % の応力に対して同一径の母材のそれを上回っている。また、継手の残留変形量は、すべての径において 0.05 mm 以下であり、指針の上限値 0.3 mm に比して十分小さい。よって、カプラー圧接継手は静的耐力性能として A 級を満足する。

以上より、カプラー圧接継手は、前処理が行われず圧接面がガス切断のままのような状態であっても、母材相当の静的耐力性能を有する継手であることが判明した。

e) 高サイクル繰返し耐力性能

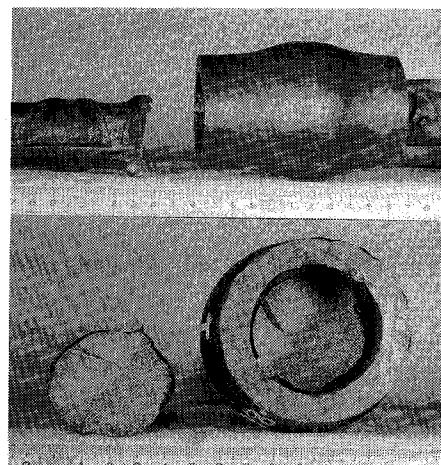


図-11 カプラー圧接継手の疲労破壊状況

カプラー圧接継手はすべて圧接部の節付け根で亀裂が発生し、疲労破壊した（図-11参照）。これは、ガス圧接継手の場合と同様に、継手製作時に圧接部近傍の節の周囲が圧縮され、その結果、その部分の応力集中が高くなつたことによる。なお、破断後に圧接部を縦割りした結果、比較的に細い径の継手（FCD-22, FCD-25）を除いて接合線が明瞭にみられるものの圧接面の分離は認められなかつた。

図-12は母材、カプラー圧接継手およびガス圧接継手について応力範囲 S_r と破断までの繰返し数 N_f との関係を調べたものである。カプラー圧接継手は、ガス圧接継手と同様に母材より疲労強度が低下しているが、ガス圧接継手とほぼ同等の疲労強度を有する。

カプラー圧接継手の高サイクル繰返し耐力性能の判定結果を表-4に示す。ここで、カプラー圧接継手は指針の 10 kg/mm^2 以上の全応力振幅で 200 万回載荷後、除荷時の残留変形量が 0.2 mm 以下という条件をすべての径について満足している。よつて、カプラー圧接継手は高サイクル繰返し耐力性能を有する継手であり、カプラー圧接法は鉄道構造物のような活荷重を繰り返し受けける鉄筋コンクリート構造物の鉄筋継手工法として非常に有効なものとなろう。

しかし、200 万回疲労強度を各径について比べると、比較的に太い径（D 38）の継手の疲労強度が細径よりも若干低くなつてゐる。また、ガス圧接継手では、D 25 で 11.1 kg/mm^2 、D 32 で 16.7 kg/mm^2 、D 38 で 18.7 kg/mm^2 （鉄筋母材では各径ともに約 22 kg/mm^2 ）であり、

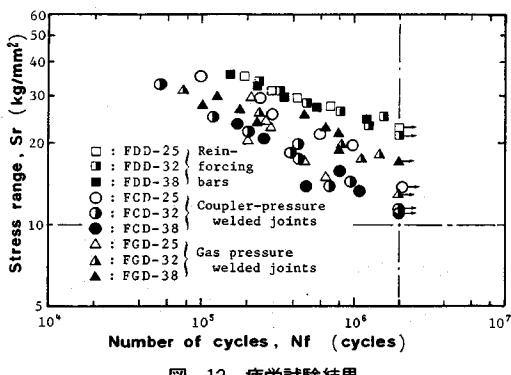


図-12 疲労試験結果

表-4 高サイクル繰返し耐力性能の判定結果

Designation of test specimens	Fatigue strength performance		
	Stress range (kg/mm^2) Min.10	Consequence of 2 million cycles of loading	Residual deformation (mm) Max.0.2
FCD-22	13.9	Didn't rupture	0.01
FCD-25	13.8	ditto	0.00
FCD-32	11.5	ditto	0.01
FCD-35	11.0	ditto	0.01
FCD-38	11.1	ditto	0.00
Judgement	All specimens qualifies for the strength performance in high cycle repetition.		

太径ではカプラー圧接継手の 200 万回疲労強度はガス圧接継手のそれよりも若干小さい。このような疲労強度に差がみられる原因を明らかにすることはカプラー圧接法を開発・応用するうえからも重要なポイントになるので、次章で詳細に検討することとした。

4. 疲労強度に影響を及ぼす因子

ガス圧接法は熱間固相接合法であり、溶融接合法とは異なるが継手の疲労強度に影響を及ぼす因子は溶接継手の場合と同じである。また、カプラー圧接法の場合も原理的にはガス圧接法と類似した側面をもつ。それゆえ、両工法によって製作された継手の疲労強度に差異をもたらせる因子として

① バーナーによる入熱の結果、圧接部周辺に生じる軸方向引張残留応力が両継手で差があること、および、カプラー圧接継手の場合にはさらにカプラーの焼ばめ効果による軸方向引張応力の増加

② 圧接部節付け根の応力集中に差があること、および、カプラー圧接継手では圧接面が分離した場合、軸力がカプラーを介して伝達されることになり、応力の流れが不均一になること

③ 継手製作時の加熱および加圧により熱履歴を受けた部分の材質変化の差

④ 施工に起因する目違い・角変形等の初期不整に差があること

⑤ ミクロフィッシャが加圧により狭められた節付け根に生じやすくなることなどが挙げられる。

これらの中で、④については実測の結果、D 38 に対して目違いが平均で 0.7 mm 、試験片の長さ 600 mm に対して角変形が平均で 2.5 mm と非常に小さく、二次曲げ応力による疲労強度の低下はほとんどないものと思われる¹¹⁾ので、また、⑤については前章のマクロ組織の観察結果から、両継手ともにミクロフィッシャは認められなかったので、上述の因子とは考えられない。そこで、

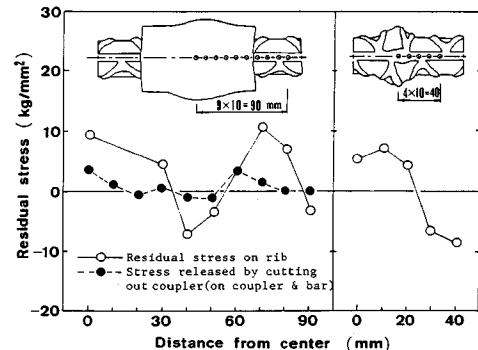


図-13 継手の残留応力分布

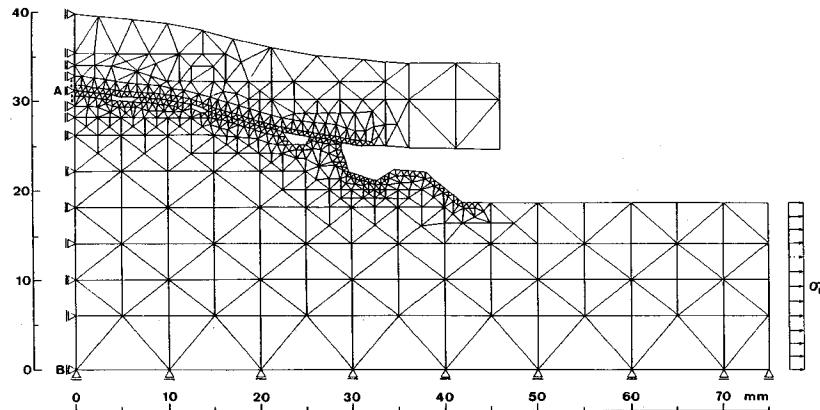


図-14 カプラー圧接継手の要素分割

以下、①～③のみ検討する。

(1) 残留応力

溶融接合による継手では、継手に占める溶接部の割合が一般的に小さく、溶融池が凝固する過程で周りの熱の影響を受けていない部分によって変形が拘束されるために、凝固後、残留応力を生じ、ビード近傍では材料の降低点に近い値となる。一方、ガス圧接継手やカプラー圧接継手では、一般的な溶接継手より熱影響が少なく、熱による変形も継手部全体にわたるために変形拘束が小さいので、残留応力は比較的に小さいものと予想される。

ひずみゲージを試験片に貼付した後、鋸でキャラメル状に切断し、応力を解放させること（応力解放法）により残留応力を測定した結果を図-13に示す。ここで、カプラー圧接継手において●印はカプラーのみを切断したときのカプラー上および鉄筋リブ上の値であり、○印はカプラーを取り外した後に、鉄筋膨らみ部にゲージを貼付し、リブ上ののみ測定した値である。

カプラー圧接継手では、自己平衡から若干外れているが、ほぼ満足すべき値を与え、疲労破壊の起点となった節付け根の湾曲部近傍で残留応力は、ガス圧接継手と同程度で約10kg/mm²であり、比較的に小さい値となっている。なお、●印の結果より焼ばめ効果は期待できない。

以上のように、疲労強度に及ぼす残留応力の影響は両継手ともに同程度と考えられ、残留応力は継手の疲労強度に差異をもたらす要因ではない。しかし、残留応力が継手の疲労強度を低下させる因子であることは明らかであり、継手への要求性能に応じて、幅焼きにより900°C前後で均一に加熱し徐々に冷やすこと（残留応力を除く焼なましの実施）によって疲労強度を向上させることも可能である。

(2) 応力集中

ガス圧接継手およびカプラー圧接継手の節付け根の応

力集中を定量的に把握することを目的として、有限要素法による応力解析を実施した。解析に使用した形状は、試験片の実際の断面を忠実に再現するために、疲労破壊した試験片の形状に近い未試験材を縦割りし、断面の写真を10倍に拡大して輪郭を取り、それを用いた。

要素分割は、図-14に示すように形状が圧接部および鉄筋軸中心に関して対称であることを考慮して断面の1/4について行い、解析には三角形定ひずみ要素を用い、要素の最小寸法を0.34mmに統一した。

境界条件は、ガス圧接継手では圧接部で軸方向、軸中心で直徑方向の変位を拘束し、軸方向に公称一樣引張応力 $\sigma_n = 1 \text{ kg/mm}^2$ を負荷した。また、カプラー圧接継手も同様な場合と、図-14の節点AからBまでの軸方向の拘束を解除した場合の2ケースについて解析した。

解析によって得られた継手の応力分布を図-15、16に示す。ガス圧接継手では、節付け根における応力集中率が2に近い値となっている。カプラー圧接継手では、圧接部の接合が良好な場合には第1番目の節付け根における応力集中率が2を越え（ガス圧接継手の応力集中率と比較すると14%増）、接合が不良の場合には次の2番目の節付け根の値がさらにその値を上回っている（同19%増）。これは、カプラー圧接継手の方が膨らみ部の

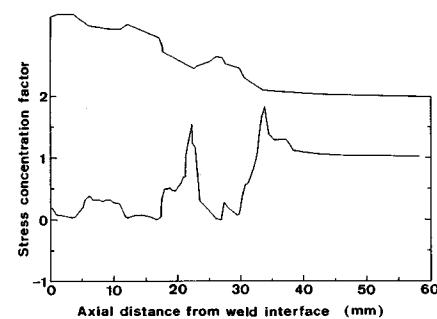


図-15 ガス圧接継手の応力分布

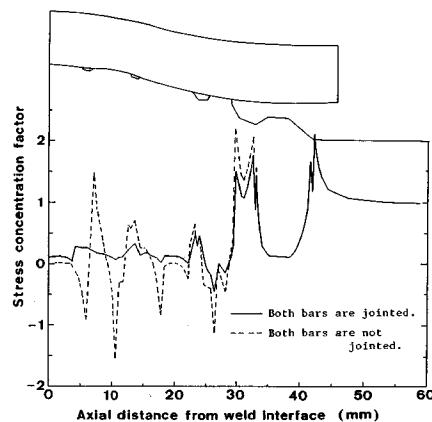


図-16 カプラー圧接継手の応力分布

節間隔が狭くなつたためであり、また、圧接面が分離した場合には応力の流れが不均一になつたことによる。

それゆえ、この応力集中によりカプラー圧接継手の疲労強度がガス圧接継手のそれより低い値となつたものと考えられる¹²⁾。

(3) 熱履歴による材質の変化

熱履歴による材質の変化を調べるために、図-17に示す節付け根部近傍から Charpy 試験片を取り出して衝撃試験を実施した。試験温度は 0°C , -25°C , -50°C , -75°C , -100°C , -125°C , -150°C であり、鉄筋母材、ガス圧接継手およびカプラー圧接継手とともに 3 体の平均値を採った。同図にその結果を併せて示している。

母材と両継手の靭性値は各試験温度でほぼ一致し、硬さ試験の結果と同様にカプラー圧接継手とガス圧接継手の節付け根部の靭性値に差は認められない。また、ガス圧接継手と母材について別途実施した $0.8 d$ (d : 鉄筋公称径) 切削丸棒疲労試験の結果では熱影響部の疲労強度は母材のそれにほぼ等しい^{13), 14)}。それゆえ、両継手と

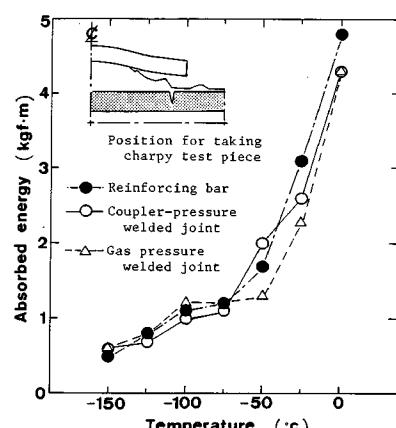


図-17 Charpy 衝撃試験結果

もに材質の変化は少なく、これが疲労強度低下の直接の要因とは考えられない。

しかしながら、継手の韌性を改善することは、継手の極低温時の破壊性能を向上することにも関連するので、熱影響による材質の変化を定量的に把握し、必要に応じて焼ならし等¹²⁾の対策を講じることも重要である。

5. 結 言

鉄筋の種類にかかわらず一貫した工法で継手を作成することができ、機械的継手のように外観検査だけで継手の品質を確保でき、抜取り検査を省略できる圧接技術を確立することを目的として、これらの条件を満足する新しい鉄筋継手工法、カプラー圧接法が開発された。本報告では、この工法により製作された継手、カプラー圧接継手の性能を評価するために、土木学会鉄筋継手指針に準じて継手性能試験を実施し、静的耐力性能および高サイクル繰返し耐力性能等を調べた。また、継手の疲労強度に影響を及ぼす因子について 2, 3 の検討を行つた。

その結果を要約すると次のとおりである。

(1) カプラー圧接継手は、カプラーと鉄筋膨らみ部とのくさび効果により鉄筋軸方向力を伝達できるため、機械的継手と同様に機械的な接合効果を期待できる。また、継手製作時に、カプラーの膨らみ径を管理することによって所要の継手を得ることができるので、工程中に継手の品質を取り入れることが可能である。

(2) カプラー圧接継手は、継手製作時に厳しい制約を受けても母材相当の静的耐力性能を有し、十分な高サイクル繰返し耐力性能を保有する継手である。また、ガス圧接継手の疲労強度と比較すると、太径で若干劣るものの各径ともにほぼ同程度の疲労強度となっている。

(3) カプラー圧接継手の疲労強度がガス圧接継手のそれより低い値となった要因は、カプラー圧接継手の方が膨らみ部の節間隔が狭くなり、また、圧接面が分離した場合に応力の流れが不均一になり、節付け根部の応力集中が高くなるためである。

以上より、カプラー圧接法は建設現場における鉄筋継手工法に適しており、その継手の疲労特性を改善することによって、今後の発展が期待される。

なお、カプラー圧接法に対してガス圧接法と同様の施工管理を行えば、くさび効果を期待しなくとも、良好な接合を得ることができることはいうまでもない。

最後に、カプラー圧接法を開発するにあたりご尽力頂き、本報告をまとめるにあたりご助言頂いた岐阜大学工学部 森脇良一教授、長岡技術科学大学 丸山久一助教授に対して深く謝意を表します。また、実験に多大な協力を賜わった長岡技術科学大学 高野一男技官、(株)神鋼

技術試験センター、東海ガス圧接工業所に対し、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本圧接協会技術委員会：鉄筋ガス圧接機構に関する基礎研究の現状、コンクリート工学、Vol.15, No.7, pp.17~22, 1977.7.
- 2) 村田二郎：鉄筋のガス圧接技術の現況、コンクリート工学、Vol.21, No.2, pp.13~22, 1983.2.
- 3) 日本圧接協会・普通鋼電炉工業会：電炉製異形棒鋼のガス圧接性に関する研究報告書、1981.4.
- 4) 日本圧接協会：鉄筋ガス圧接部の超音波探傷検査、1980.6.
- 5) 大石橋宏次：鉄筋のガス圧接と継手の品質管理、鉄道技術研究資料40-11, pp.403~410, 1983.11.
- 6) 横川孝男：鉄筋のガス圧接を早死させる要因 12か条、建築技術、No.407, pp.63~72, 1985.7.
- 7) 宮口茂樹ほか：鉄筋コンクリート棒鋼の新しい接合法、土木学会第38回年次学術講演会講演概要集、V, pp.29 ~30, 1983.9.
- 8) 白岩俊男・伊藤慶典ほか：ガス圧接材のフラット破面について、鉄と鋼、第52年、No.10, pp.60~63, 1966.10.
- 9) 橋本達哉・田沼欣司：炭素鋼の圧接について、金属技術材料研究所研究報告、Vol.10, No.3, pp.46~56, 1967.3.
- 10) 土木学会：鉄筋継手指針、コンクリート・ライブライヤー第49号、1982.2.
- 11) 日本材料学会編：金属材料疲労設計便覧、養賢堂、pp.243, 1978.10.
- 12) 高野重雄・横川孝男ほか：自動ガス圧接による鉄筋の接合に関する研究、土木学会論文報告集、No.299, pp.113~125, 1980.7.
- 13) 渡辺正紀・永井欣一ほか：軟鋼の溶着部、熱影響部における疲れ強さに関する研究、溶接学会誌、pp.435~443, 1967.4.
- 14) 村木潤次郎・石黒隆義ほか：高張力鋼熱サイクル再現部の疲労特性について(第一報)、溶接学会誌、pp.213~221, 1967.3.

(1986.3.17・受付)