

# 鉄筋のアモルファス接合システム

## Diffusion Bonding System with an Amorphous Insert Metal for Steel Bars

佐々木千晃 / Chiaki Sasaki・プラントエンジニアリング事業部 エネルギー導管技術部 大阪導管技術室

北野健次 / Kenji Kitano・プラントエンジニアリング事業部 エネルギー導管技術部 専任部長

中嶋紀美雄 / Kimio Nakajima・プラントエンジニアリング事業部 エネルギー導管技術部 大阪導管技術室 参事

深田康人 / Yasuto Fukada・総合技術研究所 鋼管・鋼材研究部 主任研究員

樫本文雄 / Fumio Kashimoto・住友金属テクノロジー(株) 評価試験事業部 材料評価部 溶接技術チーム 係長

岸 伸典 / Shinsuke Kishi・刷新エネルギー・産業技術総合開発機構 主査

### 要 約

アモルファス接合システムとは、次世代接合技術として開発された接合法であり、鉄筋端面間にアモルファス金属箔を挿入し、接合部を高周波誘導加熱装置により加熱・加圧し、その間に生じるアモルファス金属箔中の元素の拡散現象を利用して接合を行うものである。

加熱・加圧および温度保持等の接合工程は、アモルファス接合装置により自動制御されるため、特に特殊な技量を必要とせず、高品質な継手が得られ、また、得られた継手の品質のバラツキが極めて小さいことなどの特徴を有する。

### Synopsis

A diffusion bonding system using amorphous metals which is an innovative method has been developed for the joining of steel bars.

This bonding process is as follows; after a thin amorphous foil is inserted to the bonding interface, the bonding portion is heated by induction coil with upset force, and then at the bonding temperature, the interlayer melts filling the gaps between the matching surfaces with a thin liquid layer.

While the parts are held at the bonding temperature, rapid diffusion of alloys in amorphous insert metal occurs between the interlayer and the base metal. This change of composition at the interface region causes the joint to isothermally solidify.

The diffusion bonding operation is automatically controlled and the operation of this system is not required to possess any special skills or welding techniques.

Moreover, the joint quality obtained by this bonding system is excellent and uniform.

## 1. はじめに

近年、材料の接合技術において精度・性能の高度化、あるいは高能率化の観点から界面接合が注目されつつある。界面接合とは、ろう付および拡散接合等材料を面と面で接合する方法であり、その中で接合界面に低融点材料(アモルファス金属等)を挿入し、液相を形成して、接合を行うものが液相拡散接合法である。この手法に外力によってアプセットを付加した接合方法が鉄筋のアモルファス接合法である。本接合法は、通常の溶接法に比べ加熱温度が低いいため、母材の変形が小さく、溶接熱影響部の材質劣化が小さいだけでなく、比較的量産性にも富んでいるという利点を有している<sup>1)2)</sup>。

ろう付法がこれまでの種々の利点を有しているにもかかわらず敬遠されがちな理由は、接合部の機械的性質や耐食性等の信頼性の低さである。例えば、耐熱合金のろう付にしばしば用いられる粉末 Ni-B ろうでは、Ni<sub>3</sub>B や Ni<sub>3</sub>P 等の金属間化合物が接合部に残存したり、また、バインダーと混ぜてペースト状で使用する場合には、未昇華のバインダーによる欠陥ができる等の金属組織学的問題がある<sup>3)4)</sup>。

一方、アモルファス接合法は、インサート材に液体急冷法によって非晶質(アモルファス)化させたり薄帯を接合に用いることで、酸化物による欠陥を減少させ、かつ、ろう材中の元素を速やかに母材内に拡散させることが可能である。

本接合法特徴は、以下の通りである。

- ①機械的性質が良好で歪みの少ない寸法精度の優れた接合部が得られる。
- ②短時間接合が可能で接合能率が高い。(特に太径)
- ③歪みの少ないスムーズな接合部が得られる。
- ④操作が簡単で技量を要さない。

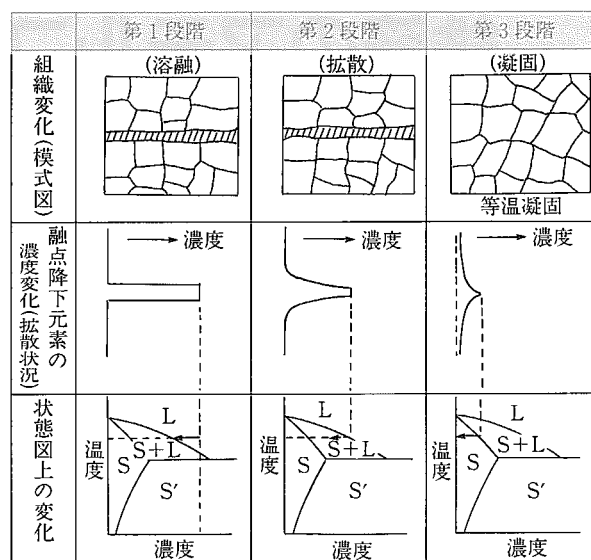
アモルファス接合法は、屋内給水・給湯用ステンレス鋼配管の接合法として既に5000リング以上の接合に適用されている<sup>5)</sup>。また、ケーブル保護管(100A~200A)等の実施工も数多く実績がある<sup>6)</sup>。さらに、本接合法が鉄筋の接合法として、有用な方法であるという報告もなされている<sup>7)</sup>。

## 2. 接合原理

アモルファス接合法は、アモルファス金属箔中の融点降下元素の拡散現象を利用した拡散接合法の一種であり、そのうちの液相拡散接合法に分類される。拡散接合法の基本原理は、平滑かつ清浄な金属面同士を接触させ、接触面間に原子間引力が作用する距離まで原子を熱拡散によって密着させて接合することである。しかし、現実の接合面には、ミクロ的な凹凸があり、かつ酸化被膜で覆われているため、健全な接合を得ることは容易ではない。しかし、液相を介した場合、原始的なつながりが容易に起こり、拡散接合が比較的容易に行える<sup>8)</sup>。

ボロン(B)等の融点降下元素含んだ低融点アモルファス金属箔を使用したアモルファス接合法の原理を第1図に示す。母材より低い融点を有するアモルファス金属箔を鉄筋端面間に挿入し、高周波誘導加熱装置により接合部をアモルファス金属箔の融点直上に加熱すると、アモルファス金属箔が溶融し、接合端面間の空隙が溶融金属で満たされる(第1段階)。その温度で一定時間等温保持する間に、アモルファス金属箔に含まれる融点降下元素が母材中に拡散するため、溶融金属中の融点降下元素の濃度が低下し(第2段階)、それに伴い溶融金属の融点が徐々に上昇する。融点降下元素濃度が凝固温度にまで低下すると、溶融金属が等温凝固し接合が完了する(第3段階)。

第2図に接合プロセスを示す。



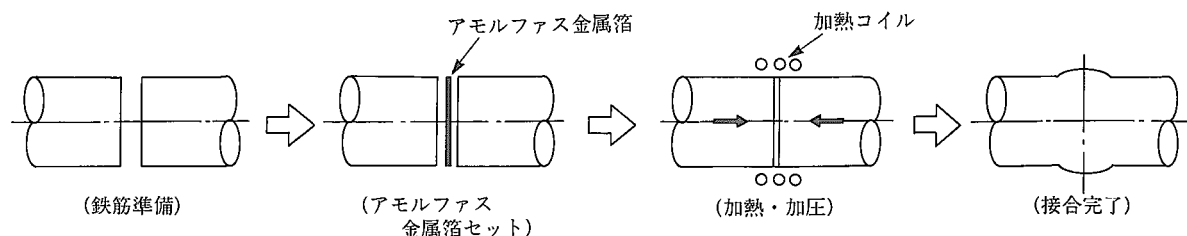
L: 液相(Liquid)  
S, S': 固相(Solid)

第1図 アモルファス接合法の接合原理

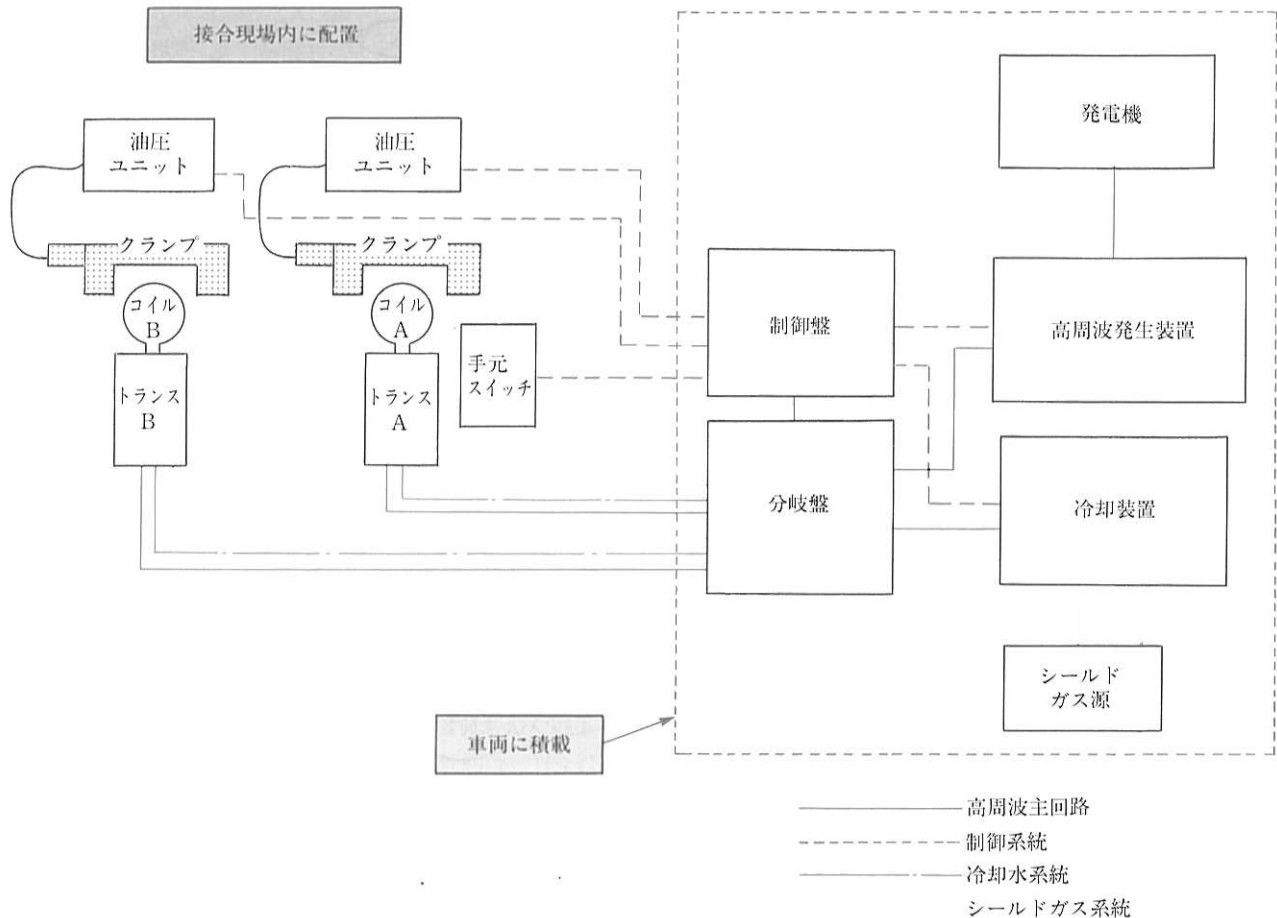
## 3. 接合装置

アモルファス接合装置は、鉄筋を加熱する加熱装置(高周波発生電源・接合機(加熱コイル/トランス一体型))、鉄筋に圧力を加える加圧装置(油圧ユニット)、これらの装置の動作を制御する制御装置、高周波発生電源および加熱コイル等の過熱を防止するための冷却装置、必要に応じて接合端面の酸化防止のためのシールドガス供給装置で構成される。

第3図に接合システムの装置構成の一例を示す。図の例は、制御装置に分岐盤を設け、1台の高周波発生電源で、2台の接合機の操作を可能にした接合システムであり、接合作業の効率化を図っている。アモルファス接合機を写真1に示す。



第2図 接合プロセス



第3図 接合システムの装置構成例

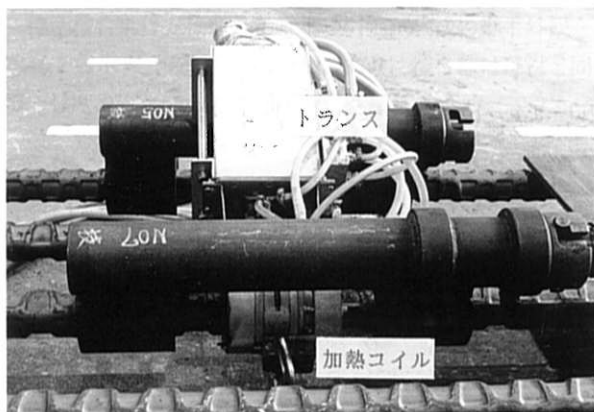


写真1 アモルフラス接合機

## 4. 接合システムの特徴

鉄筋のアモルフラス接合システムのフローチャートを第4図に示す。

### 4-1 第一の特徴(温度制御および接合部のギャップの有無の認識と解消加圧)

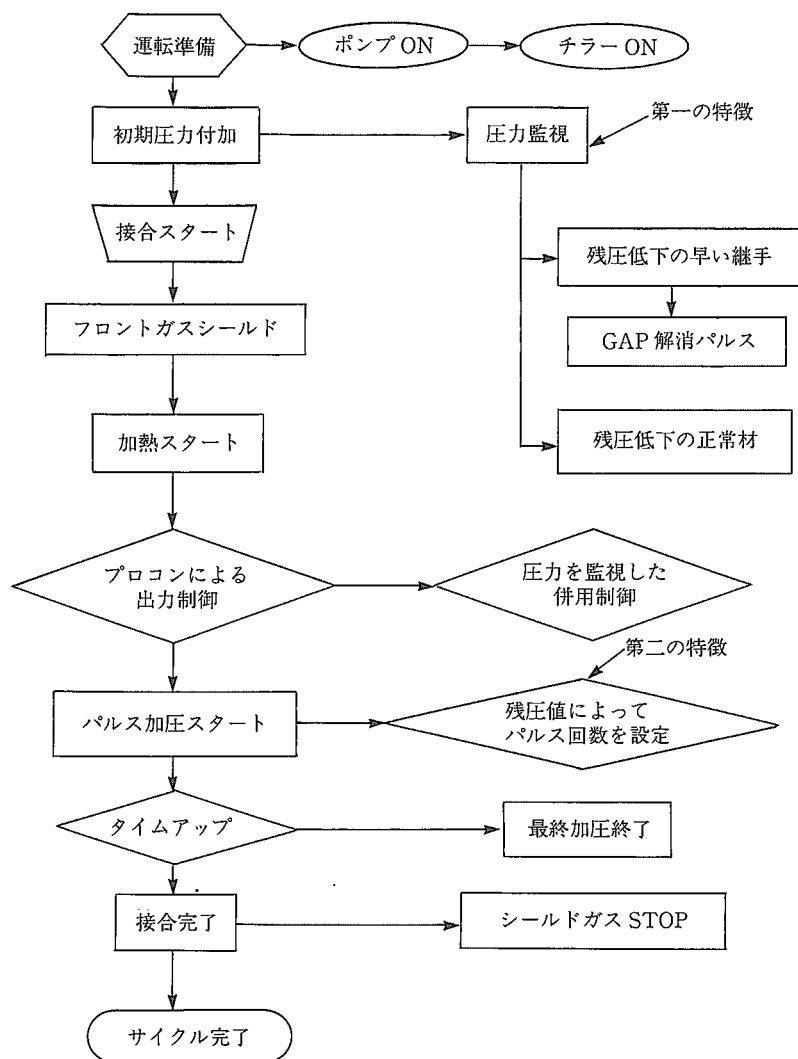
本接合法の自動制御システムは、第4図に示すように運転モード選択の自動により自己制御でスタートし、シールド

ドガス量・冷却水量が所定値を満たしていればシーケンサにより、加熱が開始される。

接合温度の制御は、高周波発生電源の出力変化条件を、プログラムコンピュータにより設定し、加熱を行うものである。プログラムコンピュータには、加熱時間と出力を数段階のステップにしてあらかじめ入力し、接合サイズ(鉄筋径等)毎にそのステップパターンを選択すれば自動的に加熱が進行するものである。

また、鉄筋のアモルフラス接合法では、加熱前に接合部にクランプの油圧によって、一定の初期圧を付加している。この初期圧は加熱が進行するのに伴い、鉄筋の軟化によって低下していく。そして、この現象のタイミングと値をシーケンサで監視し、制御することで、加熱温度の過剰または温度不足を判断でき、この圧力変化のパターンも併用して温度制御を行う。

さらに、残圧の低下するタイミングの早いものは、接合部にギャップが存在していると判断し、その程度によって、ギャップを解消するために低下した初期圧に再度加圧を加えて接合時のギャップの間隙をできるだけ速いタイミングで少なくし、完全密着に端面を近づけ、継手の性能を向上させることが可能な接合システムである。



第4図 接合システムフローチャート

## 4-2 第二の特徴

鉄筋のアモルファス接合法では、条件(端面ギャップや断面形状等)の異なった継手に適正なアプセットを付加するため、加熱開始より一定時間経過後の残圧値を読み取ってギャップ量を自動的に判断し、最適なアプセットの回数とその付加時間を選択するもので、全ての継手に対して、適正なアプセット量を付加することが可能な接合システムある。

たとえばD51サイズの一例は、アプセット回数は9～12、一回の付加時間0.5秒、各アプセット付加間隔は約15秒程度である。

## 5. アモルファス接合継手の性能

### 5-1 接合条件

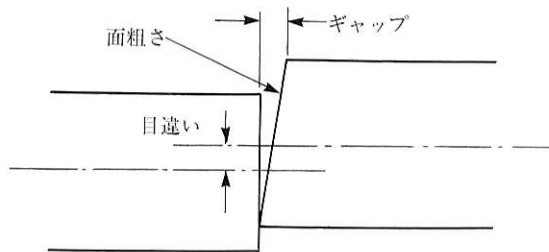
土木学会コンクリート委員会において、本接合法を鉄筋の継手に適用する場合の問題点や施工方法について、基本接合条件範囲の検討、端面性状、芯ずれ等の接合品質に及ぼす影響の調査など、種々の角度から調査研究を重ねた。

その結果、適切に施工された場合には信頼できる継手を得られることが確認されたため、その成果として、本接合法に関する指針(案)「鉄筋のアモルファス接合継手設計・施工指針(案)」がとりまとめられ、平成6年2月に刊行された<sup>9)</sup>。

この指針(案)に規定されるアモルファス接合法の標準接合条件を第1表に示す。また、第5図に示すように、装置への鉄筋のセットあるいは端面処理等バラツキが発生するが、接合品質を確保するため、その端面性状は第2表の様に規定される必要がある。

第1表 接合標準条件

項 目	条 件
接 合 温 度	1 250±50℃
接合保持時間	120 秒以上
初期加圧力	30 MPa 以上
アプセット量(縮み代)	1/4×鉄筋径程度(mm)
シールドガス流量	100 ℓ/min 以上



第5図 接合時の鉄筋セット状況

第2表 接合鉄筋の精度

接合面の粗さ	目違い(芯ずれ)	接合面のギャップ
$R_{max} \leq 100 \mu m$	公称直径の 1/10 または 4 mm の いずれか小さい 方の値以下	公称直径の 1/10 または 3 mm の いずれか小さい 方の値以下

## 5-2 継手性能評価試験

前節の標準接合条件および施工管理基準で接合した継手の性能評価試験を実施した。試験に供した鉄筋は、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」に適合するSD 345の直径約 51 mm (D 51)の異形鉄筋である。また、アモルファス金属箔は、液体急冷法により作製された市販のアモルファス金属箔でNi系のものを用いた。ここでNi系アモルファス金属箔はJIS Z 3265「ニッケルろう」に規定されるB-Ni 3の組成を有する材料である。

標準接合条件で接合した継手の引張試験後の継手外観を写真2に示す。破断箇所は母材であり、接合部は母材と同等の強度を有していることが確認された。

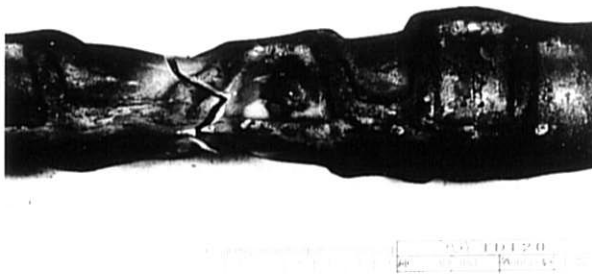


写真2 D 51 引張試験後外観

引張試験と同条件で接合した継手の曲げ試験を実施した。曲げ半径はJIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」に規定される公称直径の2.5倍とした。曲げ試験後の継手外観を写真3に示す。曲げ表面に割れ等の欠陥もなく良好な曲げ性能を有している。

また、異なった径の鉄筋の接合性能についても調査をした。鉄筋はD 51とD 38を使用し、標準接合条件で接合し、接合のままの引張試験を行った。引張試験後の継手外観を写真4に示す。破断はD 38側の母材で生じており、異径鉄筋の接合も適用可能なことが確認された。

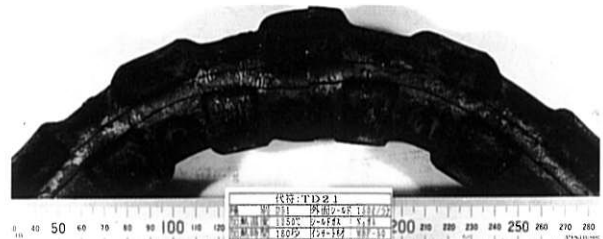


写真3 D 51 曲げ試験後外観

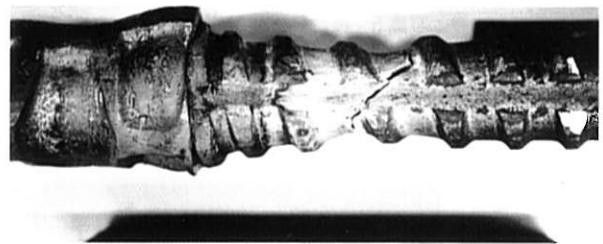


写真4 異径鉄筋継手(D 51/D 38)の引張試験後外観

## 6. アモルファス接合法の現場適用状況

本接合法を鉄筋コンクリート基礎工事の鉄筋接合に適用した。その時の状況を写真5～9に示す。現場で接合作業を行う際は、写真5に示すように接合装置一式をトラック等に積載して接合現場近傍に停車する。また、制御装置等は積載したままの状態、接合機、油圧ユニット、クランプ(鉄筋支持器)、手元スイッチのみをケーブル延長により現場内に持ち込み、接合作業を行う。今回の延長ケーブル長さは50 mとした。

写真6, 7は、D 32の接合状況の一例。写真8, 9は、D 51の接合状況の例である。どちらの場合も、トラックに積載の制御装置等は各1台で、前述した様に接合機(加熱コイル/トランス一体型)を2台用い、その2台で交互に加熱を行った現場施工例で、高周波発生電源の効率化を図った。

これらの現場施工で得られた結果として、2台の接合機によるコンビネーション接合が大いに実力を発揮し、接合作業の効率化を図ることができた。しかし、今後の施工性の向上に向け、ハード面では若干の改良が必要であることを再確認しており、さらなるコストダウン、装置のコンパクト・軽量化に鋭意取り組んでいる。

また継手性能については、品質管理として、第3表に示す外観検査および超音波探傷検査を全数実施し、良好な結果が得られた。

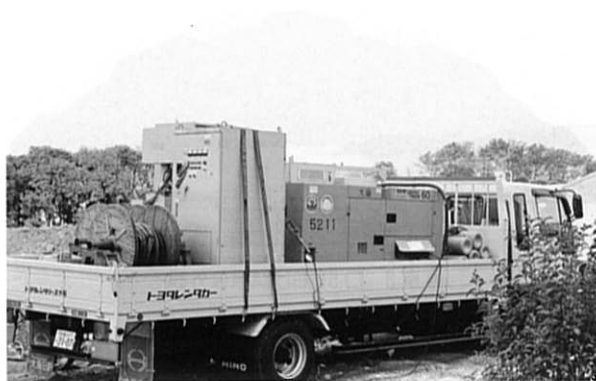


写真5 接合装置積載状況

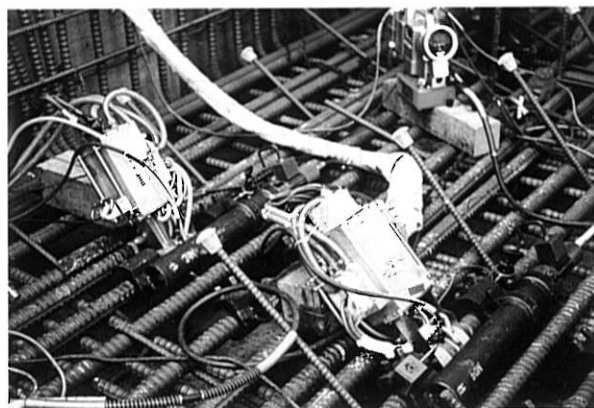


写真8 D51 接合作業状況



写真6 D32 接合作業状況

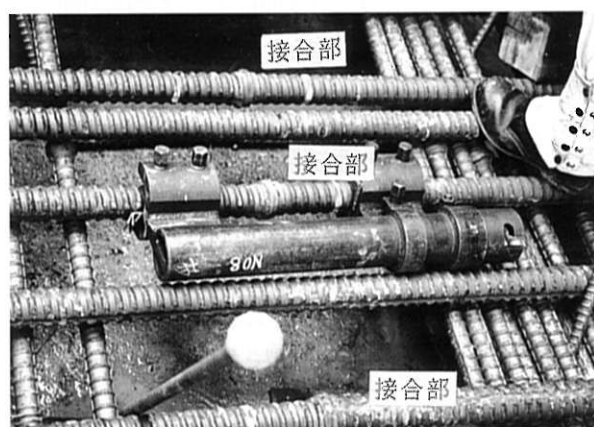


写真9 D51 接合後継手外観

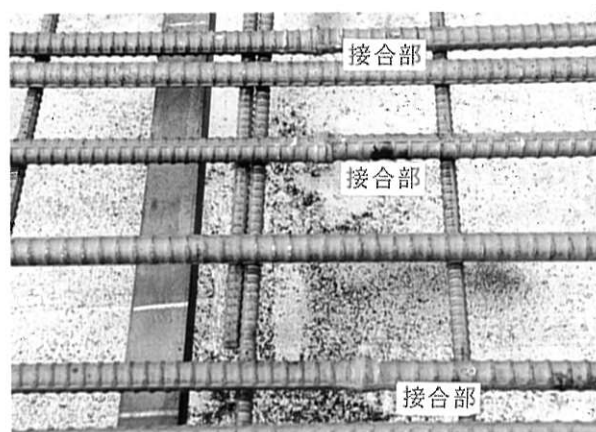


写真7 D32 接合後継手外観

第3表 品質管理基準

検査項目		内容
外観検査	インサート材の有無	アモルファス金属箔の溶融凝固の有無の確認
	ふくらみ量	ガスシールド有 鉄筋直径の1.1倍以上
		ガスシールド無 鉄筋直径の1.2倍以上
	鉄筋中心軸の偏心量	直径の1/10 または4mmのいずれか小さい方の値以下
超音波探傷検査	ふくらみの頂部と接合面のずれ	±4mm 以内
	超音波探傷検査	JIS Z 3062「鉄筋コンクリート用異形棒鋼のガス圧接部の超音波探傷試験方法および判定基準」に準じる

## 7. おわりに

アモルファス接合法の特徴は、簡便な操作で高品質な継手を高能率に安定して得られることにある。本接合法は、鉄筋継手の高品質・高能率化、労働環境の改善、技能者不足の解消等を目的とした次世代接合技術として開発されたものである。

アモルファス接合法は、従来の溶融溶接法に比べ、母材の熱影響による劣化および変形も小さい。また接合工程は、アモルファス接合装置により自動制御されるため、作業者の熟練や技量も必要としない画期的な接合方法であるとともに、継手性能も良好である。

現場施工も実施し、接合継手の現場への適用性と品質も確認された。

したがって、今後これらの有効性が広く認識され、新しい鉄筋継手として、適用実績も拡大していくものと考えられる。



佐々木千晃 / Chiaki Sasaki

プラントエンジニアリング事業部  
エネルギー導管技術部大阪導管技術室  
(問合せ先：06(411)7721)

## 参考文献

- 1) D.S. Duvall, W.A. Owzarski and D.F. Paulonis: Weld. J., 53(1974)203
- 2) G.S. Hoppin, III and T.F. Berry: Weld. J., 49(1970)505 s
- 3) N. De Cristofard and C. Henschel: Weld. J., 57(1978)33
- 4) 鈴木ら：溶接学会誌，50-7(1981)646
- 5) 北野ら：配管技術，80-5(1989)65
- 6) 深田ら：CAMP-ISIJ，6-2(1993)458
- 7) 小溝ら：溶接学会全国公演概要集，第46集(1990)No.201
- 8) 小溝ら：溶接技術，38-7(1990)72
- 9) (社)土木学会：鉄筋のアモルファス接合継手設計・施工指針(案)，(1994)