

## 22. フラッシュ接合システムの開発と アンダーピニング工事への展開

株竹中工務店：\*梅國 章、日本鋼管工事㈱：藤井 充、  
(財)溶接研究所：加藤 勉

### 1. はじめに

建築分野では、溶接作業の効率化と溶接技能者の高齢化や熟練技能者不足の問題に対応して、溶接ロボットの開発と導入が盛んに行われてきた。特に、鉄骨製作工場内における溶接ロボットは、切断を含めた自動化の一連として製作ラインの中に位置付けられ、最も効率的な部位に適用され、大きな効果を上げている。建築現場においても、溶接ロボットの開発が盛んに行われ、大型の工事を中心に適用されている。しかしながら、建築現場における建築鉄骨用の溶接ロボットは、労務の軽減に起因したアークタイムの向上には有効であるが、溶接技能者が用いるのと同じ、ガスシールド半自動アーク溶接を用いているため、施工効率の改善は十分とはいえない。近年、投資効率を重視する考えから、建設の開始から施設の稼動までの期間の短縮が、従来にも増して求められている。そのため、建築分野においても、自動車産業におけるスポット溶接のような自動化に適した革新的な高施工効率の接合法の開発が不可欠である。

一方、循環型・低環境負荷型社会の確立に対応して、建物の長寿命化のために行われるアンダーピニング：基礎・杭の補強工事が増加している。その中で、構造物の直下に鋼管杭を増設するアンダーピニングの場合、作業空間の高さが確保出来ないため、杭の施工が制約を受け、短く分割された鋼管杭を継ぎ足しながら圧入作業を何回も繰り返す必要がある。狭い空間での鋼管杭の溶接と圧入作業は作業環境が悪く、溶接の高速化と高品質化および圧入作業の自動化が求められている。

本開発では、建築工程のクリティカルパスとなる溶接工程を大幅に短縮する技術の開発を行い、最終的に、その技術がキーとなり、その他の施工法にも大きな影響を与えることによる、大幅な短工期化の実現を目指した。その結果、フラッシュ溶接をベースとした革新的なH形鋼接合技術を確立し、さらにアンダーピニングに対応した鋼管杭接合・圧入システムに発展させ、実工事に適用し、効果を確認したので報告を行う。

### 2. フラッシュ接合システム

#### (1) 接合法の絞り込み

本開発では、従来の接合方法にとらわれることなく、①工期（ワンオーターの相違）②脱技能（自動焦点カメラ並の操作性）③耐候性（風速 15m/sec 以下、降雨時作業可）の目標を達成可能な接合法の検討を行った。表1に示すH300x300のH形鋼を接合した場合の比較検討結果から、最も可能性のあるフラッシュ溶接に接合法を絞り込んだ。フラッシュ溶接は図1に示すように、接合する部材をクランプ（把持）し、部材間に大電流（数万アンペア）を流すことにより発生する火花（フラッ

シュー)により接合端面を加熱溶融させた後に、クランプにより把持された部材同士の加圧(アプセット)により、酸化物や不純物を接合部材断面より外側に押し出して余盛りを形成し、溶接する方法である。この溶接法は、機械部品や新幹線のレールの溶接に用いられており、①開先不要②完全自動③品質安定の利点を有する一方、問題点として①大電気容量給電設備が必要②装置寸法、重量及び初期導入コストが大等の問題から建築部材への適用は不可能と考えられていた。

## (2) 電気容量の低減

建築鉄骨への適用性を、写真1の工場設置型の大型(重量50トン)のフラッシュ溶接装置を用いた鋼管の溶接により検討した。実験パラメーターは電流とフラッシュ時間とし、低電流化とフラッシュ時間を長時間化した場合における、良好な接合部品質を確保可能な溶接条件の範囲を明らかにした。試験体は図2に示す試験体を用い、鋼種をSS400とし、直径200mm、断面積は $100\text{cm}^2$ と $200\text{cm}^2$ とした。また、フラッシュ時間は200-300secとした。写真2には断面積 $100\text{cm}^2$ 試験体の各溶接条件での接合部外観を示す。55KVA以上の電力で良好な接合部が得られた。図3には電力と接合可能断面積の関係を既往のデータとの比較として示す。既往のデータは主として1-2秒程度に1カ所の接合を行うための工場設置型装置のデータであり、この溶接条件を建築構造物に使われる比較的大断面の断面積 $1000\text{cm}^2$ の部材に適用するとして外挿すると、約20000KVAといった非常に大きな電力が必要になる。これに対し、本実験で得られたデータでは、既往のデータ

表1 接合法の比較(H300x300)

溶接法	施工場所		溶接時間 (min)	溶接品質	耐候性	設備費	脱技能
	工場	現場					
フラッシュ溶接	○	○	5	○	○	×	○
ガス圧接	○	○	20	○	○	△	△
アーケ溶接	—	○	60	○	×	△	×
テルミト溶接	—	○	40	△	○	○	△
拡散接合	○	○	(10)	△	×	×	△

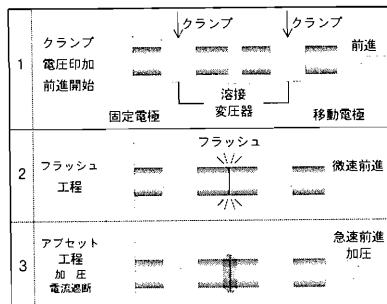


図1 フラッシュ溶接の原理

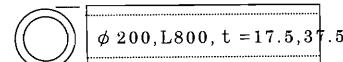


図2 試験体形状

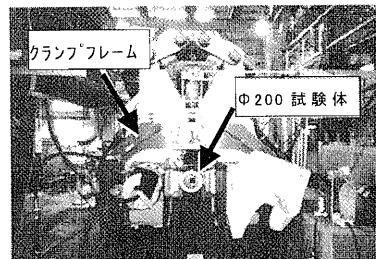


写真1 工場設置型フラッシュ溶接装置

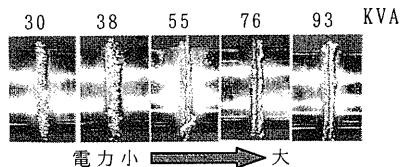


写真2 フラッシュ溶接部外観

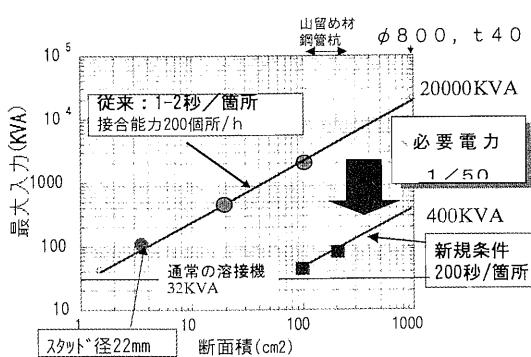


図3 必要電力と接合可能断面積

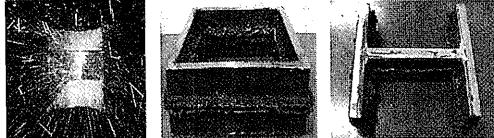


写真3 各種断面のフラッシュ溶接試験

に対し、1/50程度の電力で接合が可能となり、 $1000\text{cm}^2$ の断面積の部材でも約400KVAの電力で接合可能であると推測され、必要電力は実現可能な数値となった。また、写真3に示すようにボックス、H形等各種断面の鉄骨に適用可能であることを確認した。

## 2.1 H形鋼システムの開発

### (1) 軽量化・低コスト化

前述のように、断面積が $200\text{cm}^2$ を越えるような部材の接合に用いるフラッシュ溶接装置は50トン以上の重量であった。建築鉄骨の現場溶接に適用するには、革新的な機構による装置の軽量化が必要であり、クランプ方式と加圧方式を抜本的に見直し、総重量2トンを目標とした装置の検討を実施した。図4に示す種々の応力解析を行うことにより、装置形状とクランプ位置の最適化を行うことにより軽量化を図った。製作されたH形鋼用の装置を図5に示す。装置は油圧アクチュエータの両端にフランジを把持するクランプが、また接合部近傍にトランスとフランジへ通電する電極が配置されており、従来不可欠であった巨大なクランプフレーム(写真1)を省略した。その結果、装置重量は1.8トンと目標の2トンを下回り、非常に軽量でコンパクトな構造となった。上・下フランジに装置が対称にセットされるよう、水平移動用の台車に懸架されている。その他、フラッシュ溶接時間を入力情報に従って自動的に調節するコントローラ及び発電機などの電源ユニットで構成されている。H700x300の溶接時間は従来の半自動アーク溶接が60分に対し、フラッシュ接合システムでは5分と、1/10の時間で接合が完了することが確認された。

### (2) 性能確認試験

写真4にH形鋼用フラッシュ接合システムによる施工試験状況(フラッシュ過程)を示す。H588x300に対する施工試験により作製した接合部の引張試験では、全て母材破断となり、接合部の十分な強度が確認された。溶接部の断面マクロに示すように、接合部は圧接コブに似た断面となるため、形状に起因する応力集中が懸念された。このため、実大の曲げ試験や繰返し載荷試験により、断面形状の影響を検

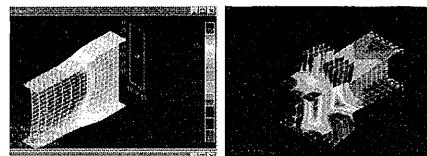


図4 応力解析結果

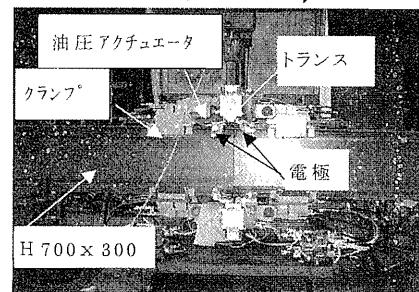
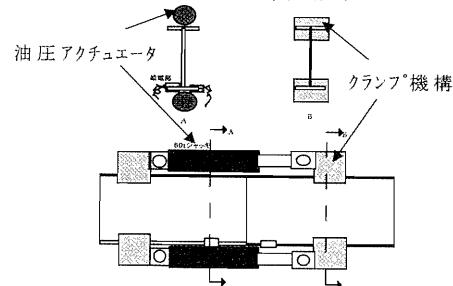
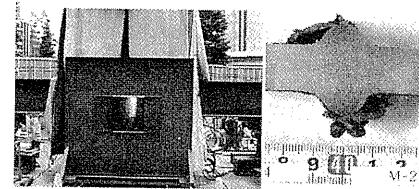
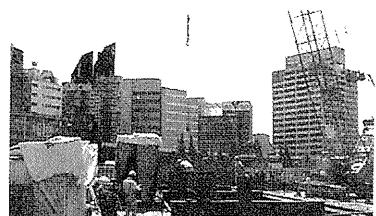


図5 H形鋼フラッシュ溶接装置



フラッシュ溶接状況 断面マクロ  
写真4 施工試験状況



ヤード全景  
発電機 400KVA  
コントローラ  
写真5 A 作業所適用状況

討したが、接合部は通常の裏当金付きの溶接部よりも応力集中が小さいことが明らかとなり、良好な性能が確認された。

### (3) プロジェクト適用

施工性の評価と実施工時の問題点を抽出するために、山留芯材のH形鋼の接合に適用した。写真5には都内A作業所での施工状況を示す。必要な装置は、フラッシュ溶接装置とそのコントローラ、電源には400KVAの発電機を使用し、ロールH形鋼 H588x300の接合に適用した。溶接性や接合部品質は良好であった。抽出された問題点としては ①山留芯材の精度の問題によりセッティング時間が長い ②単ラインであるため装置の非稼働時間が長いことであった。

そのため、H形鋼の位置決めジグを作製すると共に、図6に示すような複ライン化により対策を講じた。複ライン化においては、溶接ラインとセッティングラインの間に装置を配置し、回転テーブルにより装置の向きを変えられるようにした。この改良の効果を横浜市内B作業所の山留工事にシステムを適用することにより検証した。写真6に適用状況(装置回転)を示す。改良により施工効率は向上し、12箇所/日の施工が可能となり、高カボルト接合に対し、開先加工や裏当金が不要であることなどから、大幅なコスト低減が可能となった。

## 2.2 鋼管杭接合・圧入システム：フラッシュパイリングシステムへの展開

### (1) アンダーピング工事

既存建物の基礎部分の補強を行うアンダーピニング工事では、施工空間に制約があり、作業環境が悪い状態での溶接が不可避であったその一例である免震化工事では、図7に示すような杭頭を連結する新設耐圧盤を支持するための钢管杭の増設が必要である。また、仮設的に上部構造の荷重を支持する場合にも、钢管杭の増設が必要になる。掘削度量を低減するためにも、掘削深度は低く抑えられ、作業空間の高さHはフォークリフトなどの重機が作業可能な2.5m前後となること

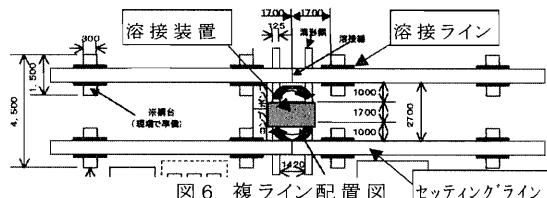


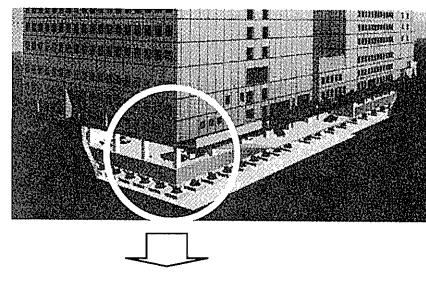
図6 複ライン配置図



写真6 B作業所適用状況(複ライン)

表2 装置仕様(H鋼)

適用H形鋼サイズ	H400x200-H700x300
最大断面積	250cm <sup>2</sup>
アクチュエータ(引側)	60トン×2台
トランク	45KVA×4台
装置重量	1.8トン
移動	台車にて人力移動・回転
発電機	200-400KVA



杭頭免震改修における適用例

**特徴：施工空間に制限有り  
ジョイント箇所多数**

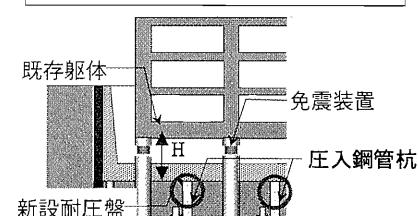


図7 免震化工事の特徴

が多い。この空間において、杭長 20m 程度の鋼管杭を施工するには、鋼管杭のピースを 1-1.5m に短尺化する必要があり、接合部が膨大となる問題点があった。そのため、H 形鋼接合システムの開発で得たノウハウを用い、鋼管杭の接合及・圧入システム(フラッシュバイリングシステム)の開発を行った。

## (2) システム原理

フラッシュ溶接には図 1 に示すように、クランプ機構と部材同士を加圧する機構が不可欠である。また、フラッシュ溶接の間、サーボバルブにより部材を微

振動させることで良好なフラッシュの発生のための変位制御が行われている。そのクランプ機構、加圧機構、及び制御機構を鋼管杭の圧入工事にも利用することとした。具体的には、H 形鋼用システムでは部材を横にして接合していたが、これを立てた状態にし、まず鋼管杭の接合はフラッシュ溶接を行い、溶接に必要なクランプ機構で鋼管杭を把持し、加圧機構で圧入することとした。フラッシュ溶接のアセット時にはアクチュエータを縮め引張り方向に用い、圧入時には伸び側の圧縮方向に用いる。その作業フローは図 8 に示すように、①クランプはリング状とし、開状態で鋼管を横から挿入②クランプを閉じ、上下のクランプ機構により鋼管を把持しながら通電、その後、油圧アクチュエータを縮め、鋼管同士を加圧することにより溶接③上下クランプ機構の解除④反力プロックを既存躯体に接触させ、下クランプのみで鋼管把持⑤下クランプで鋼管を把持したまま、油圧アクチュエータを伸ばし、既存躯体を反力に鋼管を地盤に圧入する。図 9 に本システムと在来工法と比較を示す。①ピース長が長く、溶接箇所数

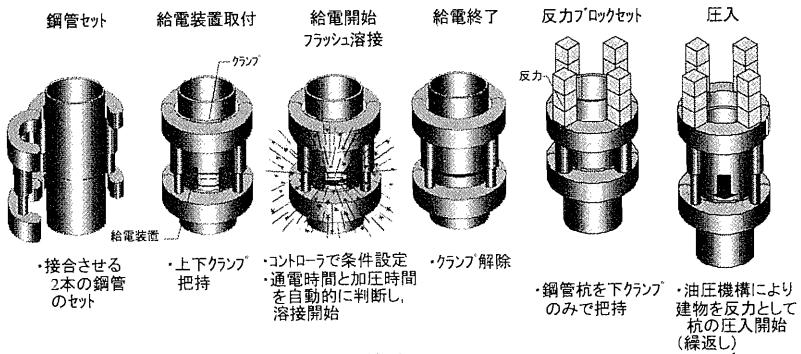


図 8 フラッシュ接合・圧入フロー

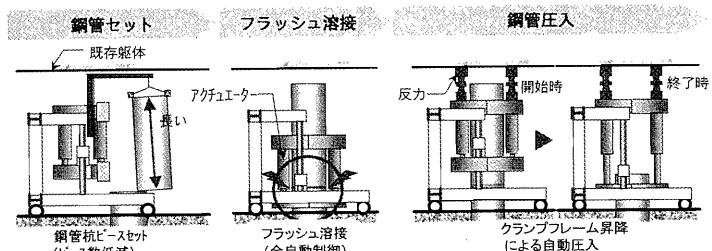
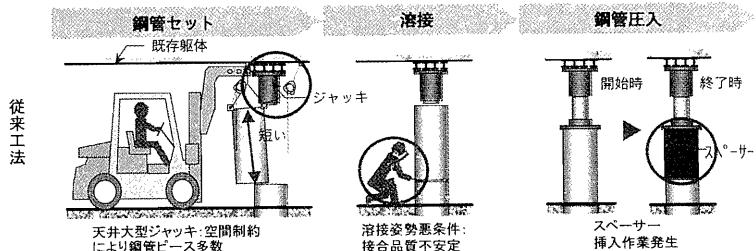


図 9 在来工法との比較

表 3 装置仕様 (钢管)

適用钢管サイズ*	φ 400-500
最大断面積	150cm <sup>2</sup>
アクチュエータ(引側:溶接)	25トン×4台
アクチュエータ(押側:圧入)	50トン×4台
トランス	35KVA×4台
装置重量	3.8トン
移動	キャスターにて入力
発電機	300KVA

低減可②全自動溶接による溶接品質の安定③スペーサー不要による高効率が本システムの特長である。表3に装置の主な仕様を示す。

### (3) 鋼管杭施工法の検証

フラッシュ溶接部の余盛りが圧入荷重と支持能力に与える影響を把握すると共に、圧入杭の打ち止め管理手法など施工管理手法の確立を目的として、在来工法との比較による施工実験を実施した。結果を図10と図11に示す。圧入荷重及び支持荷重ともフラッシュ溶接と在来工法の差異は認められず、本システムによる杭は十分な支持力を有した。また、実プロジェクト適用時には漏洩電流がテナントのコンピュータに与える影響が考えられたため、事前の計測により問題がないことを確認した。

### (4) プロジェクトへの適用

免震改修への適用状況を写真7,8に示す。その結果、溶接技能者1名と圧入作業者3名で施工を行う在来工法に対し、オペレータを含み2名での施工が可能となり、50%の省人化と高品質の接合部が実現されることが確認された。一方、装置の移動は今後の更なる検討が必要であることが明らかとなった。

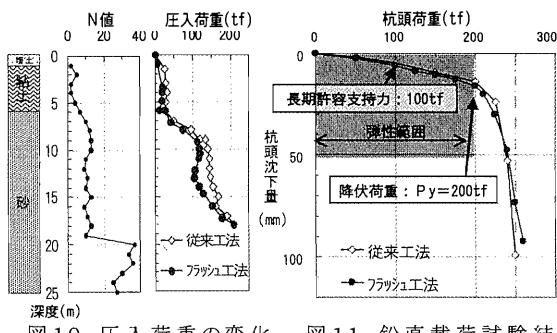


図10 圧入荷重の変化

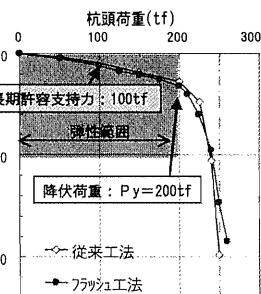


図11 鉛直載荷試験結果

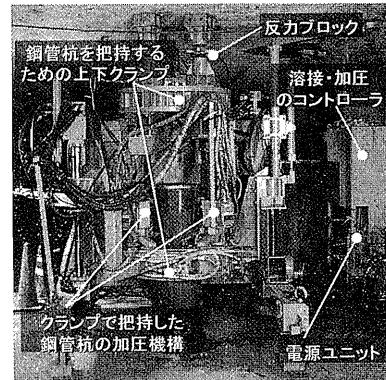


写真7 装置全景

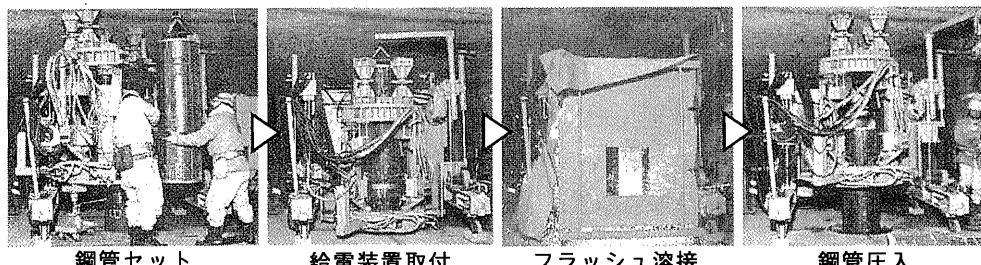


写真8 免震改修工事における施工状況

### 3.まとめと今後の展開

本開発のまとめを以下に示す。

- ① 従来の溶接に比べ、約1/10の接合時間・低コストのH鋼接合システム確立した。
- ② 免震改修工事に対応した钢管杭の接合・圧入システム(フラッシュパайリングシステム)を構築し、実工事に適用し、その有効性を確認した。

今後、建築鉄骨に要求される諸性能に対する接合部性能の評価とシステムの改良により、地上の本設鉄骨への適用を検討してゆく予定である。

なお、本開発の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構の研究助成により行われた。