

狭開先（レ型 25°開先）により溶接を実施した鉄骨造の施工報告

A Construction Report about a Steel Structure Welded Using Narrow Grooves
(single-bevel 25-degree groove angle)

五十嵐 一 浩¹

Kazuhiro Igarashi

屋 敷 一 宏²

Kazuhiro Yashiki

【要旨】

平成7年の阪神大震災を契機に鉄骨溶接の信頼性が問題となり、レ型35°開先における入熱・パス間温度管理が義務付けされると共に、その管理が重視されるようになった。こうした状況の中で筆者らは鉄骨製作工場の管理能力を向上させるため、レ型25°開先による入熱・パス間温度、溶接欠陥、ひずみ、施工時間等の総合管理に対する適正溶接条件、施工方法に対する実験を行い、データを検証した。そして、新築の構造物に対して応用実証するため、「ワシントン春坂店新築工事」の鉄骨製作において実施施工を行った。その結果、目標通りの施工品質の向上を確認することができた。実験データと実施施工についてここに報告する。

【キーワード】 溶接開先 入熱・パス間温度 溶接ひずみ

1. はじめに

柱・梁の接合に代表される鉄骨建築の部材接合には、溶接が広く利用されている。この場合、完全溶け込みが求められる継手では溶接の作業性や溶接品質の安定性を考慮し、裏当て金を使用する35°レ型開先で溶接されるのが一般的である。近年こうした継手の溶接に対し、溶接中のパス間温度・入熱量を管理する溶接施工が義務付けられ、溶接作業での負担が増大することになった。すなわち、35°開先による完全溶け込み溶接については開先の空隙部容量が大きくなることから、開先部に必要な溶着金属量が多くなり、

作業時間が長くなり溶接部の温度上昇が大きくなる

溶着金属が多くなることでひずみ（実構造物では残留応力）の発生が多くなる

といった問題が生じるようになる。したがって、35°開先では溶接部の温度上昇が避けられず、この事がパス間温度・入熱量管理の必要性を問われる大きな要因とな

っていると考えられる。これを改善するためには、開先形状を狭くすることが有効であると考えられた。

以上を背景として、25°開先の施工技術の確立と有効性を実験によって確かめ、更に新築の実構造物の継手溶接で検証することによって汎用性を確認した。

なお、実験を進めるにあたって「柱・梁完全溶け込み継手への25°開先溶接の研究会」を編成し、アドバイザーとして下記の諸先生の参加を頂いた。2ヶ月毎に「アドバイザー会議」を開催する中で実験の方法及び検討を行って実験を進めた。

アドバイザー

職業能力開発大学校 教授 安田克彦氏

福井工業大学工学部 教授 辻岡静雄氏

福井県立工業試験場 元機械金属部長 定池幹夫氏

1. 北陸支店 建築部工務課

2. 木下工業株式会社 品質管理第2課

2. 実験による 25° 開先溶接の有効性の検討

2.1 試験方法及び試験体

(1) 試験方法

試験の概要は以下のとおりである。

溶接姿勢：下向き

溶接材料：YGW11 (1.2mm 及び 1.4mm)

エンドタブ：フラックスタブ

鋼材材種：SS400

溶接条件：電 流・・・280～390A

電 圧・・・32～42V

溶接速度・・・27～60cm/min

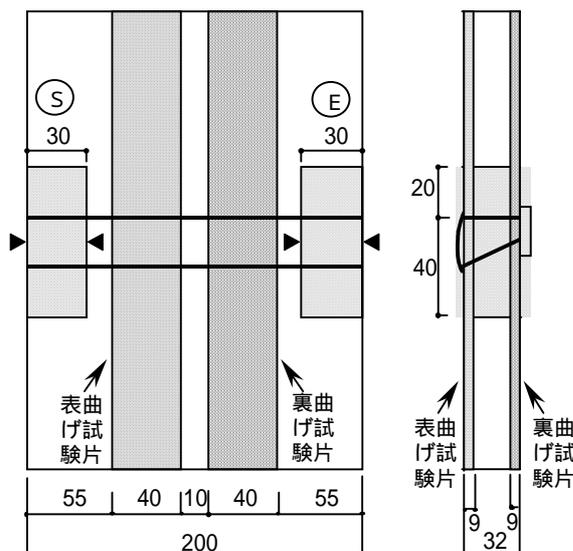
パス間温度・入熱管理条件：

350, 40, 000J/cm

試験方法：UT検査及びマクロ検査、表曲げ、裏曲げ

(2) 試験体の形状

実験で使用した試験体の形状を図-1に示す。



マクロ試験片は図面上の斜線部を使用し、で指し示す面について試験を行なう。

上図にて表曲げ・裏曲げ試験片を表す。

Sは溶接スタート側を表し、Eは溶接エンド側を表す。

図-1：試験片

2.2 溶接作業における問題点の発生と対策の検討

図-1の試験片を用いての実験に際して、以下に示す問題点が発生した。

開先角度を狭くしたため、開先内にトーチを差し

込むことが困難になり、板厚が厚くなる程溶接ワイヤーの突き出し長さを長くしなければならない。上記の問題によって、溶接初層に溶け込み不良及びブローホール発生危険性が大きくなる。

そこで、初層の溶け込みを確実にする為の対策として溶接条件の見直しを含めて検討を行った。検討は溶接電流・電圧及びトーチ保持角の2項目を重点に行なった。

(1) 溶接電流・電圧及び溶接ワイヤーの検討

まず通常の溶接電流・電圧に設定して初層溶接の実験を行なった。そのマクロ試験の結果より、溶け込み不良、スラグ巻き込み、微小割れの欠陥発生が見られた。その時の溶接条件は以下のとおりであった。

溶接ワイヤー 1.2mm

溶接電流 280±20A

溶接電圧 37±5V

次に溶接電流電圧を通常より高めに設定して再度同様の実験を行なった。その結果、高い電流電圧を使用する事で大幅な改善が図れる事が判明した。目安としては溶接電流を300A程度に、電圧は電流に伴い比較的高く設定する事とした。

しかしこの実験で使用した1.2mm溶接ワイヤーでは、電流及び電圧がほぼ最大条件となるため、

- ・ 溶着金属が高温になる
- ・ アーク雰囲気不安定になる

という現象が発生した。そのため、溶接ワイヤーの検討を行なう必要が生じた。そこで、1.2mm及び1.4mmワイヤーの場合の溶け込み比較を始終端部のマクロ試験にて行なった。図-2は1.2mmのワイヤーで溶接した試験片における溶接部の欠陥発生位置を示す。

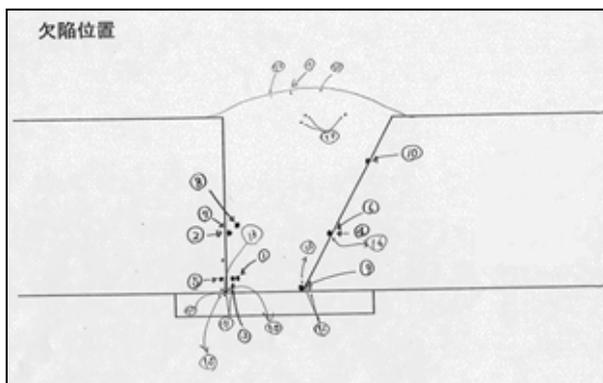


図-2：1.2mmワイヤー使用における欠陥の発生

上述の1.2mm ワイヤーでは、アーク雰囲気不安定な為、欠陥発生につながった。こうした結果について検討を行い、1.4mm ワイヤーを使用して安定化を図った。

溶接条件は以下と設定し、実験を行なった。

溶接電流 320～390A

溶接電圧 38～42V

結果として1.4mm ワイヤーを使用した場合の溶接では欠陥の発生は見られず、25°開先においても溶け込みの良好な溶接が可能であるという結果が得られた。

1.4mm ワイヤーを使用した場合のマクロ試験片を写真-1に示す。

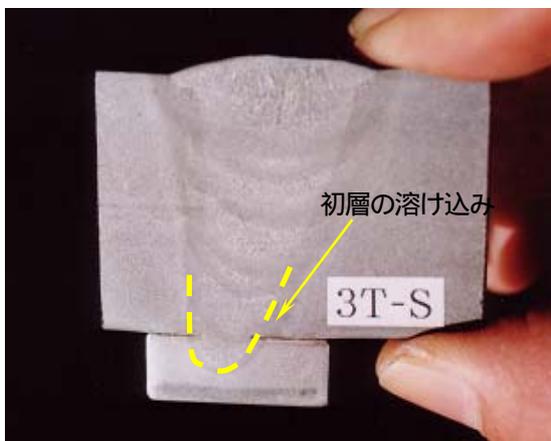


写真 1

(2) トーチ保持角の検討

溶接トーチ保持角が溶け込みに与える影響を調べるための実験を行い、25°開先の一層目の溶接に最も適したトーチ保持角の判断をマクロ試験により行なった。その結果、後退角の溶接が前進角の溶接よりも溶け込みが良好であり、25°開先に対して有効である事が確認出来た。しかし溶接工の意見を聞いたところ、前進角は狙い位置が正確に把握出来るとの見解であった。対策として、両方のトーチ操作に慣れると共に、一層目は後退角、二層目以降は前進角として使い分けを行なう事とした。

(3) ルートギャップの検討

25°開先溶接の効果を高めるため、ルート間隔を5mmと狭く設定することを検討した。1.4mm ワイヤーを使用した実験の結果、やや溶け込みの浅くなる事が判明した。そのマクロ試験片を写真-2に示す。

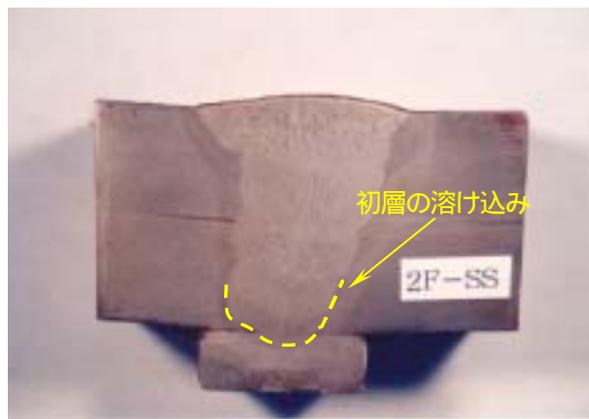


写真 2

更に、溶接工の技量によっては、溶け込み不良等の欠陥発生危険性が考えられた。その為、ルート間隔を6mmに設定し、実験を行なった。写真-3(a)がその場合の曲げ試験の結果である。欠陥の発生は見られなかった。



写真-3(a) 曲げ試験結果(裏曲げ)

(4) 溶接積層の設定

25°開先においては最終層ビード幅が35度に比べ小さくなる事から、35mm程度の板厚なら1パス仕上げ溶接を行なうことが可能となった。この部分の曲げ試験結果が写真-3(b)である。

試験結果により通常の曲げ試験において何ら問題の無い性能が得られる事が確認出来た。更にマクロ検査についても無欠陥であった。



写真-3(b) 曲げ試験結果(表曲げ)

2.3 25°開先溶接の効果の検証

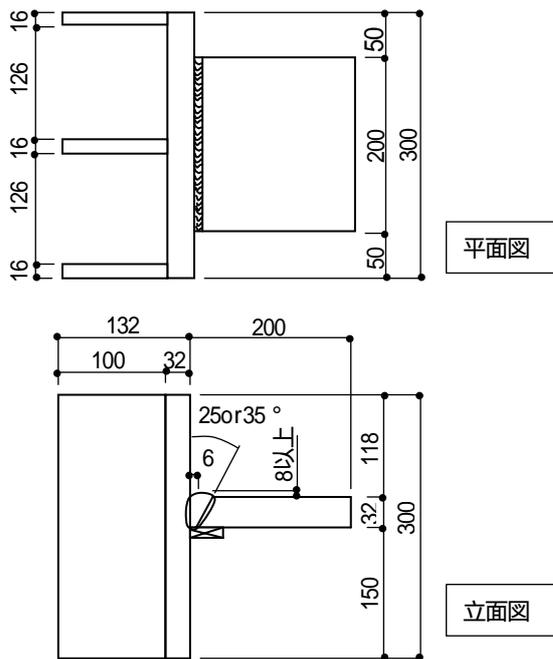


図 - 3 : 十分に拘束を行った試験片

従来の溶接施工法に工夫を加える事で、25°開先の溶接を安定して良好な継手に仕上げる施工法を確立することが出来た。

25°開先溶接による溶接歪み(実構造物では残留応力)の低減効果を調べる為、図-3の様に溶接による変形を1方向に抑える目的で、試験片に拘束板を取り付け25°開先及び35°開先の溶接試験を行なった。溶接終了後それぞれの角変形量を計測し比較した。その結果が写真-4である。それぞれの差は2°程度であったものの実態で示した差異は顕著であり、25°開先で行なった溶接施工がひずみ発生や継手周辺の残留応力の低減に有効である事が確認出来た。



また25°開先溶接で十分可能となった各層1パス溶接は歪み発生の低減にも有効となる事も併せて確認することが出来た。25°開先各層2パス溶接との比較が写真-5である。

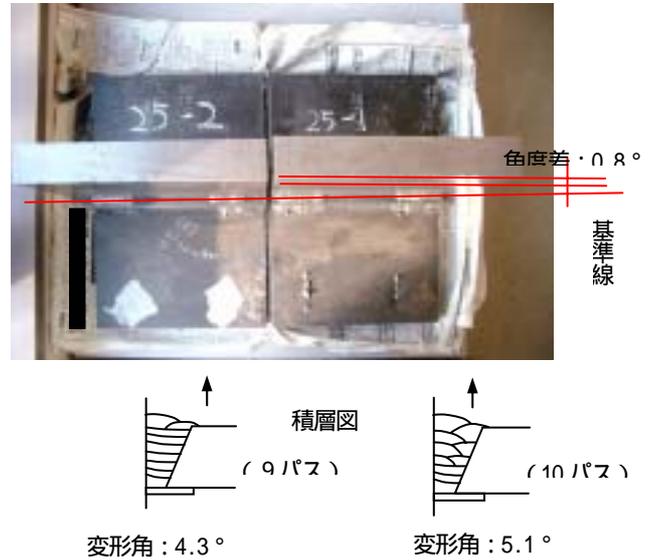


写真 5 : 溶接積層が歪みに及ぼす影響

2.4 25°開先溶接実験のまとめ

25°開先は開先内の面積の減少により溶接パス数を抑えることができる。この事により板厚が厚い程、作業時間を短縮することができ、それに関連して総入熱量の低減及びパス間温度クールタイムを短縮する効果が大であると言える。冬季(工場内:約10以下)などの作業環境条件においてはパス間温度管理が必要のない溶接施工も可能と考えられる。

3. ワシントン春坂店新築工事に於ける25°開先溶接の検証

3.1 工事概要

工事名称	(仮称)ワシントン春坂店新築工事
工事場所	福井県坂井郡春江町江留中
発注者	株式会社豊栄観光
設計管理	有限会社建築設計21
施工	飛鳥建設株式会社北陸支店
工期	自 平成15年 7月15日 至 平成15年12月15日



写真 - 6 : ワシントン春坂店鉄骨工事全景

敷地面積 19,542 m²
 建築面積 3,596 m²
 延床面積 5,648 m²
 構造 S造
 階数 地上：2階 PH：1階

3.2 鉄骨工事概要

製作工場 木下工業株式会社
 工期 平成15年8月～平成15年10月
 製作重量 900 t
 柱台数 56台
 梁台数 184台
 総溶接継手数 3,062箇所
 25°開先継手数 740箇所

3.3 25°開先による溶接の施工

ワシントン工事の鉄骨製作において設計者の了解を得ることが出来、25°開先溶接の実証を行なうこととした。25°開先での溶接施工は仕口及び内ダイヤフラムで行なった。具体的な施工位置を図-4に示す。性能の実証は溶接内部欠陥、溶接時間、パス間温度入熱管理の3点に絞って検証する事にした。

(1) 25°開先溶接の施工箇所

溶接箇所及び部位は以下のとおりである。

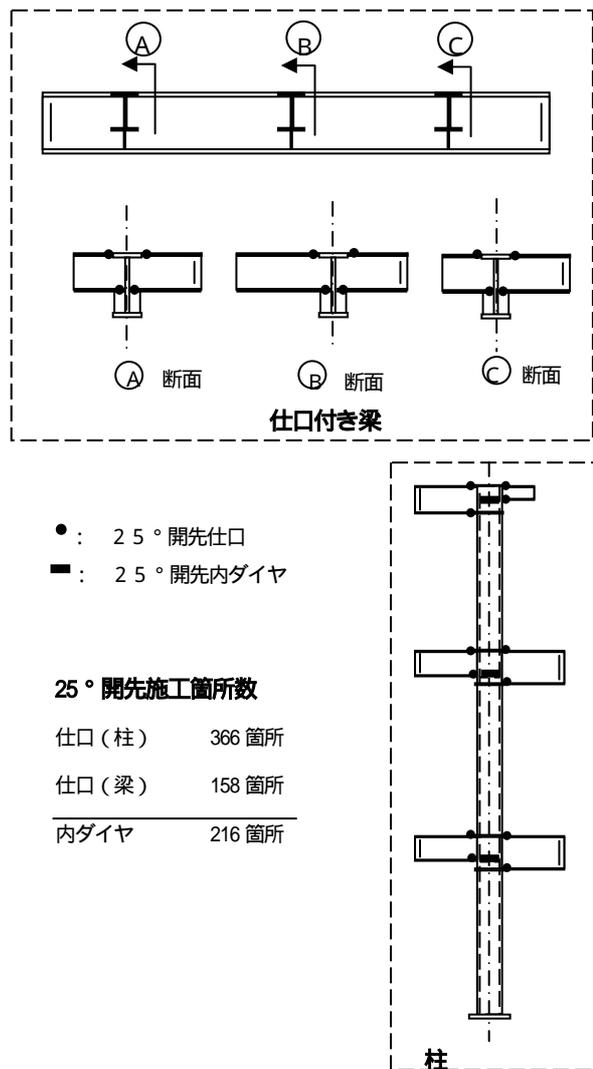


図 - 4 : 25°開先の施工位置

(2) 溶接施工の概要

溶接の概要は以下のとおりである。

溶接条件

電 流：280～390A

電 圧：32～42V

溶接ワイヤー：YGW11(1.4mm)

エンドタブ：フラクスタブ

鋼材材質：SS400

トーチ保持角：一層目後退角

二層目以降前進角

溶接姿勢：下向き

ルートギャップ：6mm以上

ガス流量：30ℓ/min

検査方法：UT検査

なお、溶接積層図は図-5に示す。

板厚	ℎ° 7数	積層図
9 11	3	
18 20	4	
24 26	5	
28	6	
34	7	

仕上げの都合で最終層を2パスにする場合もある。

図-5：溶接積層図

(3) 溶接作業者の選定

25°開先での溶接施工にあたって、溶接作業者はAW検定試験の合格者に限定した。更に、作業者全員が25°開先溶接施工法を理解している事。

試験片の超音波探傷検査を行って全員が合格し、

ほぼ100%欠陥が見られない事。

以上の2項目が達成・確認出来るまで社内検定を行い、その後施工に入った。

(4) 溶接施工結果の確認

施工品質管理の方法と結果は以下のとおりであった

超音波探傷検査：全数(740箇所)

740箇所のうち2箇所で初層に於ける溶け込み不良による欠陥が発生したが、その他は全数合格であった。合格率は99.7%であった。

第三者検査機関による検査：

建築工事共通仕様書に基づくAQL4.0%第6水準の抜き取り検査7ロット(内25°開先62箇所)溶接欠陥についての指摘無し。合格率は100%であった。

3.4 施工結果からの検証

(1) 溶接時間の検証

25°開先で施工した溶接時間について、以前に施工した35°開先溶接時間のデータとの比較を図-6示す。ただし、使用したワイヤーは35°が1.2mm、25°は1.4mmである為、正確な比較にはならないが改善参考資料として添付する。

図6に見られるように、実施工において作業時間が短縮される事が確認できた。なお、図-6～8のグラフに使用するデータの溶接長は全て比率を合わせて250mmに換算して整理を行った。

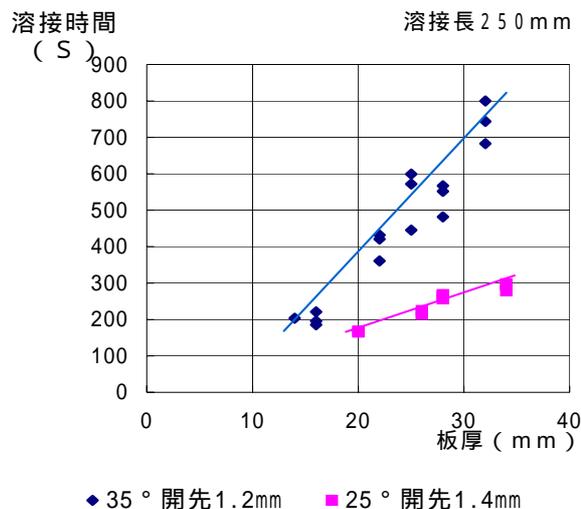


図-6：板厚と溶接時間の関係

(2) パス間温度入熱管理の検証

パス間温度入熱管理について、25°開先で施工した実績データを35°開先の実績データと比較して検証を行った。この場合も(1)同様に使用したワイヤーが35°は1.2mm、25°は1.4mmである為、正確な比較にはならないが、改善参考資料として添付する。

比較は総入熱量・パス数について行なった。総入熱量の比較を図-7に示し、パス数の比較を図-8に示す。パス間温度に関しては気温・湿度・溶接パス数・パス間温度調整時間等の影響を与える要素が多いため、データにばらつきが見られる事が想定された。その事から、比較対象としなかった。

4. 考察とまとめ

ワシントン春坂店新築工事における鉄骨継手溶接作業において、実験段階で35°に対して比較確認されていた25°開先による溶接施工の有効性を実証する事が出来た。効果を実証できた項目は以下に示すとおりである。

25°開先溶接は施工可能である。

総入熱量が少なく施工できる。

溶着金属が少なく施工できる。

溶接作業時間を短縮する事ができる。

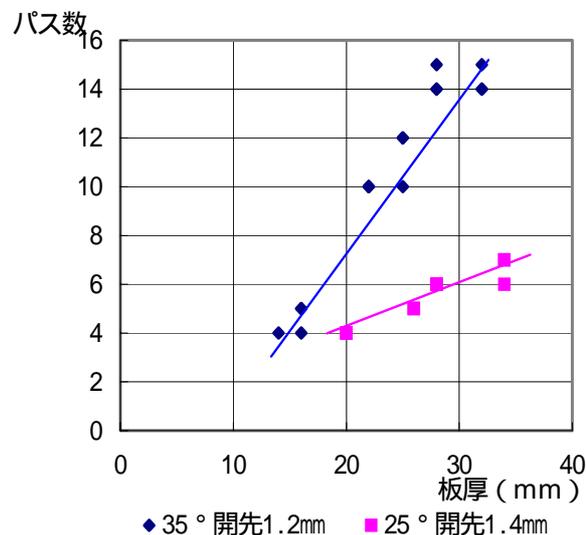


図-8：板厚とパス数の関係

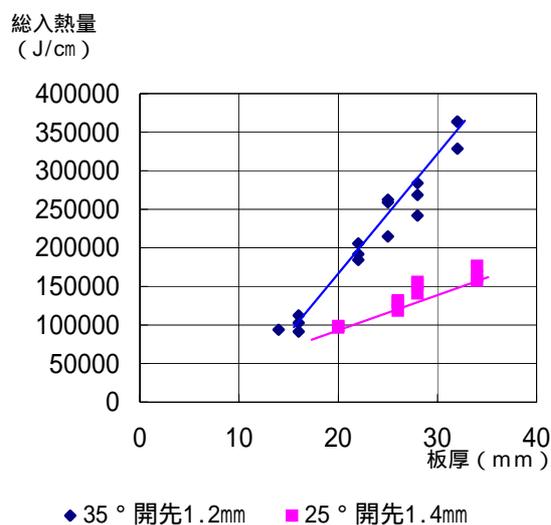


図-7：板厚と総入熱の関係

以上の事から歪の発生が小さくなり、結果的には内部応力が少なくなっていると考えられる。しかしながらワシントン工事の施工においては、25°開先を行なう事によるパス間温度及びパス間温度クールタイムに与える影響を明確に捉えることが出来なかった。理由として、現在一般的に行なわれている測定方法では正確なデータを取るには不十分であった。今後は残留応力を含めて継手性能実験を行い、更なる検討を進めていく予定である。

ワシントン春坂店新築工事における25°開先による施工は、実験成果の実証が主眼であったが、上記～の成果から総合的なコストダウンが可能であると言える。特に現場溶接施工においては、溶接作業時間の短縮は、品質及びコストの両面において大きなメリットであると考えられる。