

鉄骨製作管理から見た NBFW 法一考察

NBFW Method from the Viewpoint of Steel Frame Manufacture Management

中野 秀二*¹ 大月 喜作*² 田中正俊*³
 Shuuji NAKANO Kisaku OTSUKI Masatoshi TANAKA

Summary

High-performance cold-press forming steel square pipe BCP325T for building structures, for which design restrictions were eased compared with traditional cold forming steel square pipe (BCP, BCR), was developed and authorized by the relevant government ministry. In the steel materials, it is mandatory to apply NBFW methods (Non-Brittle-Fracture Welding) in the joints between columns and girders. Our analysis of construction and quality control when using this welding method for actual steel frame manufacturing is presented.

キーワード：冷間成形角形鋼管（BCP BCR） 建築構造用高性能冷間プレス成形角形鋼管（BCP-T）
 NBFW 法（Non Brittle Fracture Welding） 施工管理 品質管理

1. まえがき

従来の冷間成形角形鋼管（BCP、BCR）の規定では、角形鋼管の平坦部に対して機械的性質を規定しているのみで、加工硬化の影響を受ける角部に関する規定は無かった。これに対して角部についても0℃で70J以上の靱性を保証した「建築構造用高性能冷間プレス成形角形鋼管BCP325T」（以下BCP325Tと言う）が開発され大臣認定を取得し、従来の冷間成形角形鋼管（BCP、BCR）に比べ、種々の設計制限の緩和が可能となった。

ただし、従来の冷間成形角形鋼管（BCP、BCR）に課せられている種々の設計制限を緩和するためには、柱主材にBCP325Tを用いると共に、「冷間成形角形鋼管設計・施工マニュアル（改訂版）平成15年9月 日本建築センター」（以下施工マニュアルと言う）に規定されている、脆性破壊を防止する溶接積層方法〔NBFW法（Non Brittle Fracture Welding）〕（以下NBFW法と言う）を適用することが必須条件である。

今回、NBFW法を適用した鉄骨製作の施工機会が得られたので、本報では特にNBFW法を用いる場合の施工および品質保証という観点から一考察を述べるものとする。

2. NBFW法の概要

NBFW法について、施工マニュアルの133～134ページ

に述べられている概要をそのまま記載することで説明する。なお、BCP325Tの溶接に関する一般的事項は施工マニュアルの114～132ページに述べられている。

NBFW法は冷間プレス成形角形鋼管を柱主材に、柱梁接合部に通しダイヤフラム形式を用いた場合の、柱端の溶接に用いるものであり、その模式図と溶接施工の手順の概略を施工マニュアルより抜粋する。

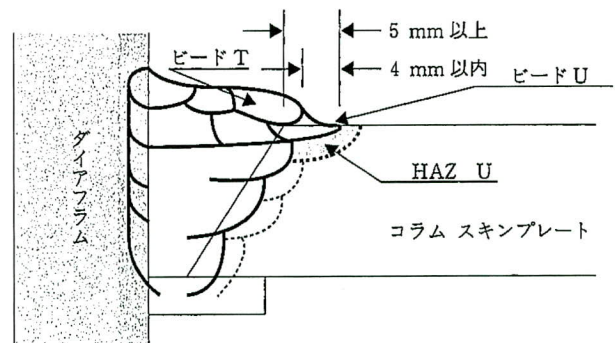


図-1 NBFWの模式図

NBFW法の溶接施工の手順

- ①初層から最終層前までの各層・各パスは施工マニュアル116～132ページに従って溶接施工する。
- ②最終層前の層は、溶接した後に残っている開先深さが1mm～2mmになるように仕上げる。
- ③最終層の積層方法は、3パス以上に分けて施工する。

*¹松本工場品質管理部次長

*²松本工場製造部部長

*³松本工場品質管理課

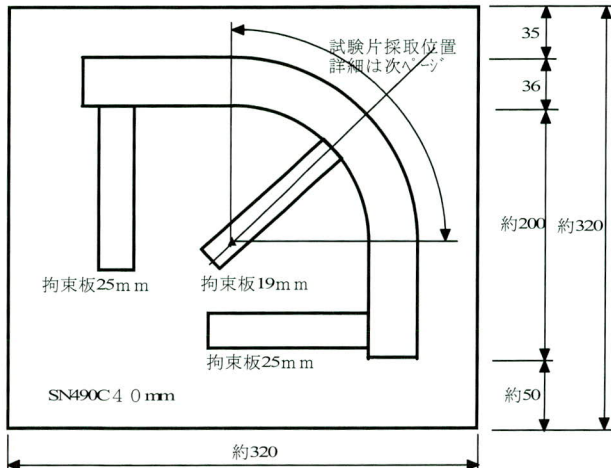


図-3 半自動溶接試験体（角部）

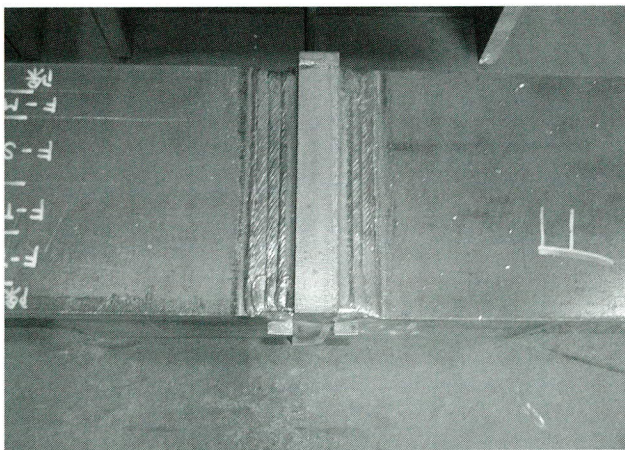


写真-1 平坦部試験体外観

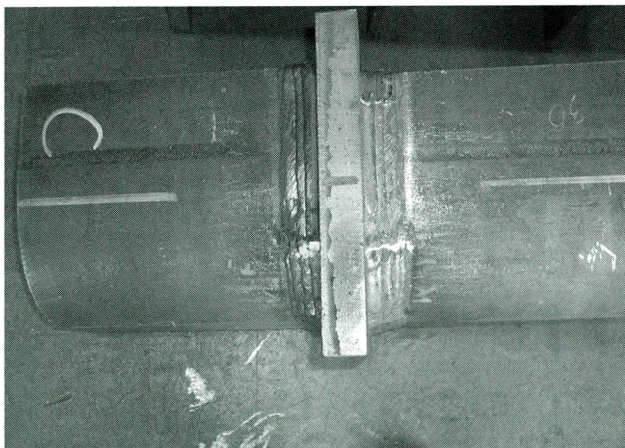


写真-2 角部試験体外観

都合上、図-2, 3に示した二部位に分割して施工試験を実施した。

その結果、写真-1, 2に示すように炭酸ガス半自動溶接は可能であるが以下の問題点が確認され、数量と工期の観点から実施工での採用は難しいと判断された。

炭酸ガス半自動溶接の適用が難しいと判断される理由を整理すると下記のとおりである。

- ・ビードUの位置を溶接施工時に分かるように何らかのガイド（けがき線又はガイド物を置く）が必要である。
- ・ビードUのコラムスキンプレート上面開先先端よりの最小値5mm以上の確保は必須という条件から、大き目になる傾向がある。
- ・ビードTの位置を溶接施工時に分かるように何らかのガイドが必要であるが、その簡便で適切な方法がない。
- ・d寸法の規定を安全側で保持するためには、ビードUとビードTを重ねる気持ちで溶接しないと、許容値（今回の設定6mm）をオーバーする傾向がある。
- ・施工マニュアルの135ページには、場合によって一部立向き溶接が許容されると述べられているが、NBFW法の仕上層はその特性から下向き溶接になるため、角部の溶接において製品の反転回数・ビード継ぎが多くなり実務的でない。

なお、併せて実施した衝撃試験、引張り試験等の機械試験は規定値を満足し良好な結果であった。

(3) 自動溶接の対応状況

2004年4月時点での大手溶接ロボットメーカーのNBFW法への対応を調査した結果、取り組み始めた状況あるいは、ほぼ開発を終了してユーザーへのサービス開始という状況であった。半自動溶接での対応は困難と判断する中で、溶接ロボットメーカーと共同して工事の本施工に間に合うように準備した。

自動溶接施工試験体の形状は、

コラム：□-550×550×25 ダイアフラム：40mm

開先形状：レ形 開先角度：35° ルート間隔：7mm

である。実際に使用する溶接ロボットにてメーカー指導のもと施工試験を実施した。溶接条件を調整することで写真-3, 4に示すように良好な外観と内部の品質についても超音波探傷検査で欠陥の無い溶接を確認できた。

写真-3は確認のために仕上のビードUとビードTの終端部をずらしたものであるが、溶接状態がよく確認できる。注目すべき点は写真左側の仕上がった状態では分りにくいですが、ビードTの下にビードUが確実に溶接され

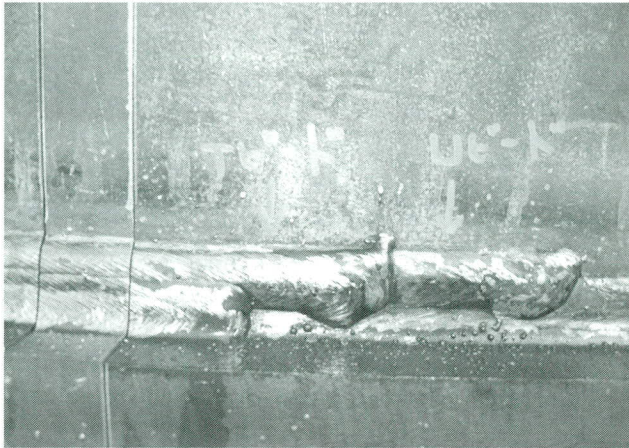


写真-3 仕上ビード状況

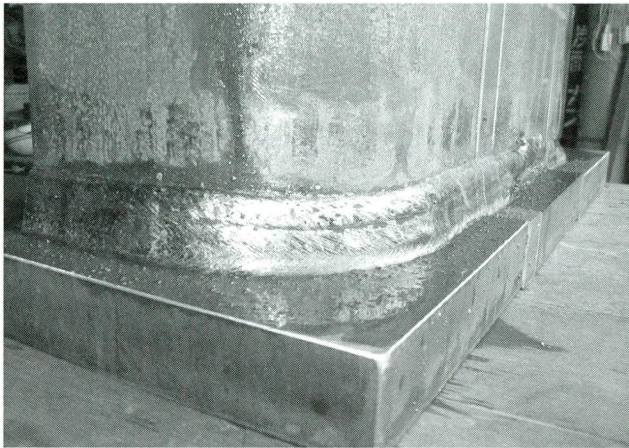


写真-4 溶接完了

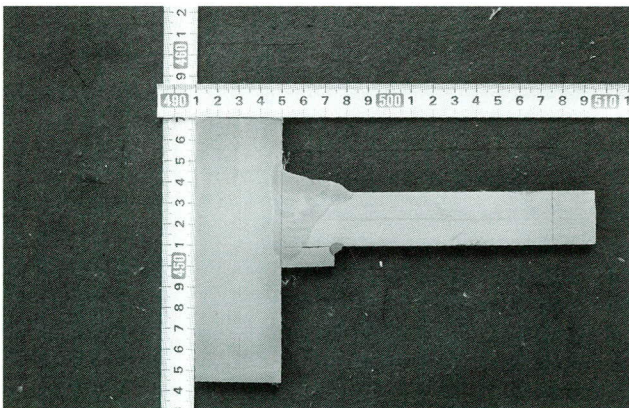


写真-5 マクロ試験

ていることである。この場合のd寸法は2mmに設定している。写真-4はコーナー部の仕上がった状態である。写真-5はマクロ試験である。

(4) 品質保証

図-4に示すようにNBFW法の品質保証は、その特徴であるビードUとビードTが、確実になされていること

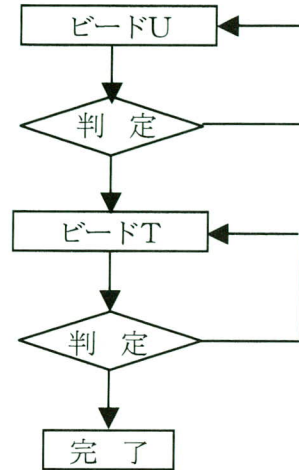


図-4 NBFW法の外観判定の基本フロー

をいかに保証するかにある。

1) ビードUの品質保証

「ビードUのコラムスキンプレート上面開先先端よりビード止端距離（以下w寸法と言う）は最小値5mm以上の確保は必須とする」を、どの様に検証するかについて前述した施工試験から方向付けをした。w寸法を溶接後に検証する方法として、

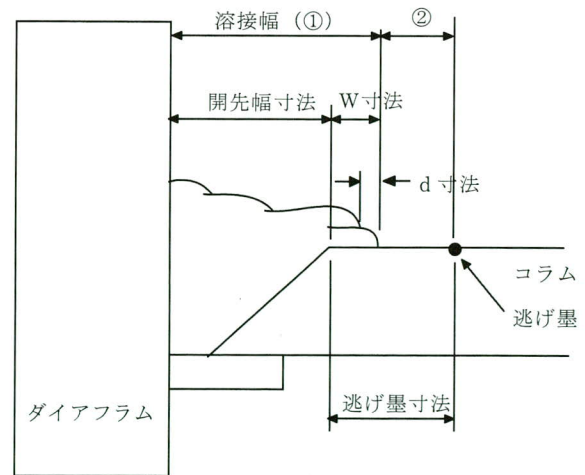


図-5 W寸法 d寸法

a) 溶接幅 (①) から溶接前の開先幅寸法を減ずる方法
 b) 逃げ墨寸法から残り寸法 (②) を減ずる方法
 が考えられるが、施工試験の結果 a)、b) 二つの方法には以下に示す得失があることが分った。

a) の方法

・溶接前の開先幅寸法をコラム近傍に記入する必要がある。

・溶接による開先幅寸法の収縮量を考慮する必要がある。この収縮量は実施した施工試験および製品の初品の検証より一溶接線当たり、1.5～2mm見込む必要があることが分った。表-2は測定例であるが、収縮量は表中のa) - b) で示される。

表-2 測定法によるw寸法差 単位mm

部位	開先幅	溶接幅	②寸法	a) 測定寸法	b) 測定寸法	a) - b)
1	24	31	92	7	8	-1
2	24	31	91	7	9	-2
3	24	30	93	6	7	-1
4	24	31	92	7	8	-1
5	23	30.5	91	7.5	9	-1.5

凡例

- 開先幅：溶接前の開先幅寸法（実測値）
- 溶接幅：溶接後の溶接幅寸法
- ②寸法：逃げ墨寸法を100mmとした時の残り寸法
- a) 測定寸法：（溶接幅寸法） - （開先幅寸法）
- b) 測定寸法：100 - （②寸法）
- a) - b)：（a) 測定寸法） - （b) 測定寸法）

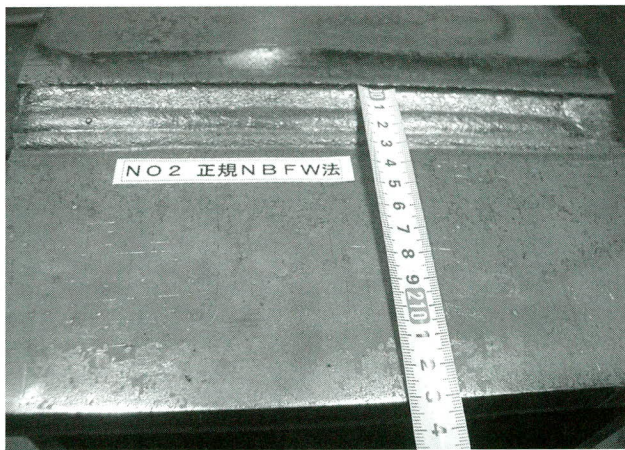


写真-6 d寸法4mm

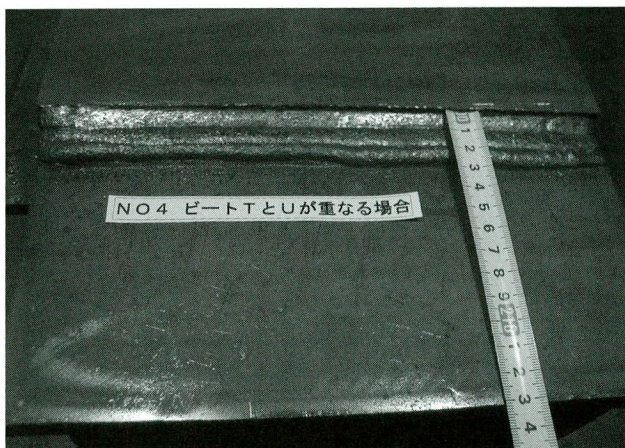


写真-7 d寸法0mm

b) の方法

- ・溶接前に開先先端から正確な位置に逃げ墨を記入する必要がある
- ・溶接による収縮量の考慮は必要ない。

この二法の内、b) の逃げ墨を記入する方法は、精度、けがき手間、および後工程の溶接・超音波探傷検査により不明瞭になる危険性から施工上は実務的でない判断した。

2) ビードTの品質保証

「ビードTは、ビードUの溶接部止端部から6mm以内にビードTの溶接部止端部があること」を、どの様に検証するかについて明確にする必要がある。

ビードTとビードUが明確に判別されるように溶接されている場合は、その距離すなわちd寸法を測定する。

問題になるのは、ビードTがビードUに重なって溶接され判別が困難な場合の判定方法である。

この点について、d寸法を4mmとしたものと0mm（ビードTとビードUを重ねた場合）とした試験を行い、第

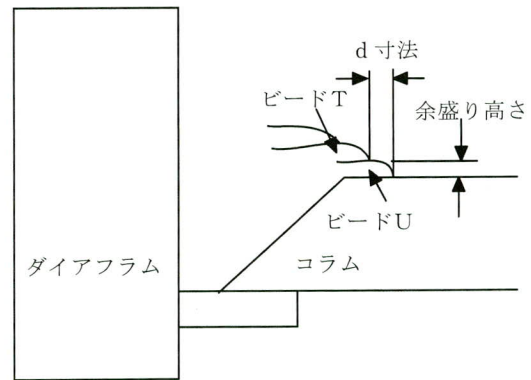


図-6 ビードUとビードTが判別可能な場合

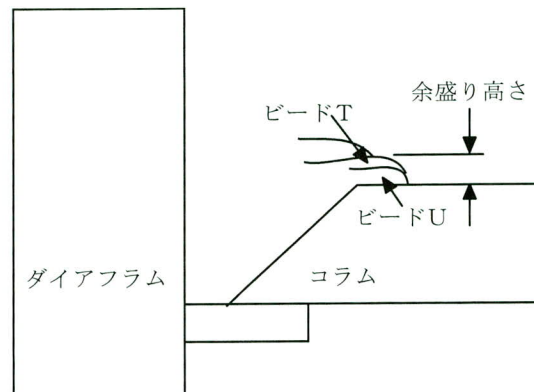


図-7 ビードUとビードTが重なる場合

ービードの余盛り高さを測定することで判別し、しきい値は、

余盛り高さ $\geq 5\text{mm}$ はビードTとビードUが重なる場合、余盛り高さ $< 5\text{mm}$ は重なっていない場合、

と判別できた。(図-6, 7参照)

3) NBFW法の外観検査判定フロー

これまでの結果を外観検査判定法として以下のフローを整理した。

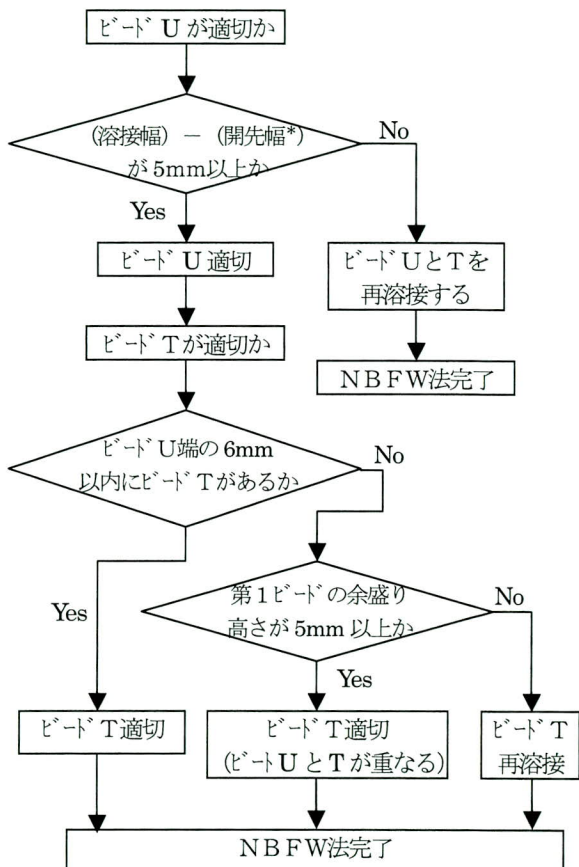


図-8 外観検査判定フロー

フローの中の開先幅*は、溶接前に測定した実測値から収縮量を考慮して2mmを減じた数値とする。

6. 実施工例

実施工の例を製作管理面から報告する。

NBFW法を管理するためには、従前の溶接法に比べてビードUとビードTの溶接位置について保証する必要がある。「5. 試験結果」を反映して管理することになるが、

要点を以下に整理する。

a) ビードUとビードTの寸法許容

- ①ビードUのコラムスキンプレート上面開先先端よりの最小値5mm以上の確保は必須とする
- ②また、最大値は13mmまでを目安とする
- ③ビードTとビードUの間隔は、0mm（ビードTとビードUが重なっても良い）でも良い。また、6mmまで許容する。

b) 半自動溶接の適否

- ①半自動溶接は可能であるが、実務的に採用は難しい。
- ②自動溶接（ロボット溶接）とする。

c) 自動溶接の対応

- ①ソフト性能を施工試験で確認して実施工で対応できた。

d) 品質保証

- ①図-8のフローに従い実施する。その具体的方法として組立した時点で、開先幅（記入する値は実測値から2mmを減じた値）を全数その近傍に記入した。状況を写真-8に示す。（写真中の赤色の数字）

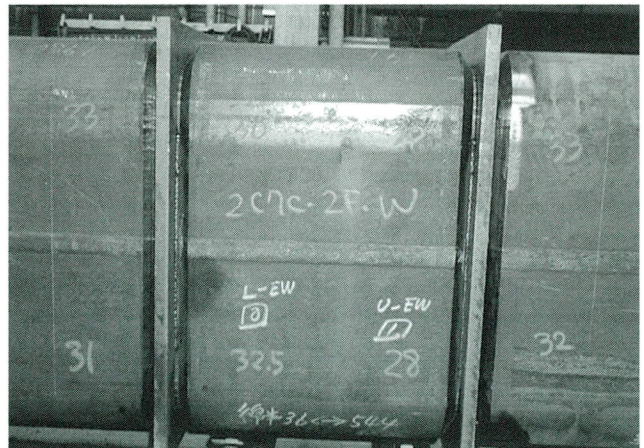


写真-8 開先幅の記入状況

- ②実際の管理表の例を表-3で紹介する。

- ・ビードUのw寸法は、製品に記入された開先幅の値と溶接幅からその差を管理表に記入する。
- ・ビードTのd寸法は実測値を記入する。結果的にd寸法は自動溶接することで、施工マニュアルどおり4mm以下を満足することが出来た。
- ・溶接外観を写真-9（柱梁接合部）、写真-10（NBFW

表-3 NBFW 外観検査表 (例)

製品記号	ダイヤ位置	部位	溶接長	開先幅B	溶接幅A	w=A-B	d左	d右	月日	合否	備考
2C7A	A (上1)	北	698	30	41	11	2	2	7/20	◎合・否	
		南	698	30	41	11	2	1.5	7/20	◎合・否	
		東	698	30	40	10	2.5	2	7/20	◎合・否	
		西	698	30	40	10	1	1.5	7/20	◎合・否	
	B (上2)	北	698	31	36	5	2.5	2	7/20	◎合・否	
		南	698	32	38	6	2	2	7/20	◎合・否	
		東	698	31	38	7	1.5	2	7/20	◎合・否	
		西	698	34	40	6	2	2	7/20	◎合・否	
	C (上3)	北	742	31	38	7	1.5	2	7/20	◎合・否	
		南	742	34	39	5	1.5	2	7/20	◎合・否	
		東	742	31	39	8	3	2	7/20	◎合・否	
		西	742	32	37	5	1	1.5	7/20	◎合・否	
記入要領											
1. 開先幅Bは測定2ヶ所の内、大きい方の値とする											
2. 溶接幅Aは上記の位置の値とする											
3. W<5 W>13 d>6の個所がある場合は備考欄に記載する											

記号凡例

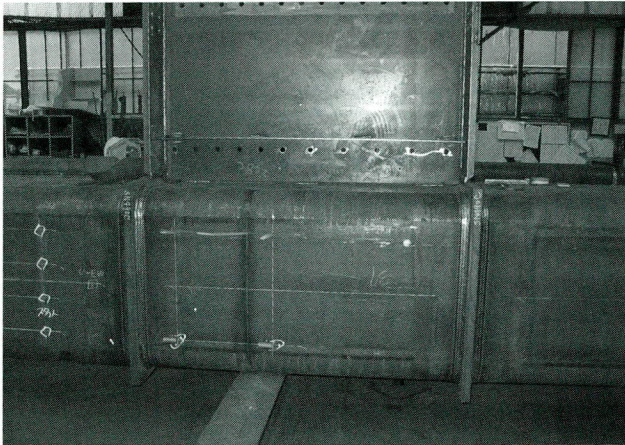
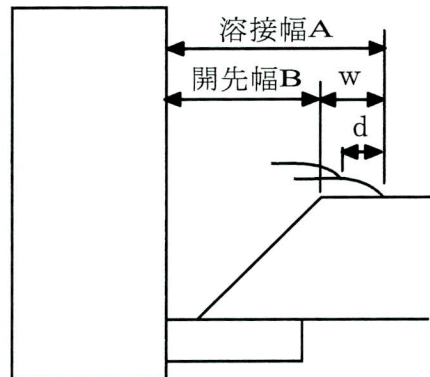


写真-9 柱梁接合部



写真-10 NBFW 法溶接外観

法溶接外観) に示す。手前からビードU、ビードTである。

7. まとめ

今回、初めてNBFW法を施工する機会があり、本工法について鉄骨製作の管理から見た一考察を述べた。

溶接材料、溶接条件等については施工マニュアルに従って施工することで説明を割愛させて頂いた。

今回の施工では本工法のポイントである、ビードUおよびビードTについて良好な結果であった。特にビードTについては「ビードTとビードUの止端距離をやや大きく許容する(6mm)とした」が自動溶接(ロボット溶

接)することで4mm以内に管理できた。

また、外観検査記録のビードUの位置は理論的には、コラムの板厚を変数として一元的に検証出来るはずであるが、組立精度(開先角度・ルート間隔等)による開先幅のバラツキのため、写真-8に示すように製品に全数記入する方法とした。今後、NBFW法に対する自動溶接の適用例が多くなり、信頼性が高まることで、外観検査方法を簡便に出来ると思われる。

また、本報では溶接による開先幅寸法の収縮量を管理上2mmと設定したが、板厚あるいは溶接順序によって変動する要素があるので、それぞれ加工工場において確認されるのが望ましい。

なお今後、多くの鉄骨製作会社でNBFW法を施工する場合、現在、提供されている資料のみでは情報が乏しい。NBFW法開発サイドへは、①半自動溶接せざるを得ない場合の対処 ②ビードU、ビードTの許容寸法の考え方 ③溶接補修 ④製作管理等について詳細な鉄骨製作側へ

の統一した手引き書の発行を要望致します。

一考察ですが今後、本報告がNBFW法を施工される鉄骨製作会社の参考になれば幸いと存じます。

最後に、御指導頂いた多くの方々にお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 冷間成形角形鋼管設計・施工マニュアル(改訂版) 平成15年9月、日本建築センター
- 2) 建築構造用高性能冷間プレス成形角形鋼管BCP325Tを用いた鉄骨柱構造の鉄骨製作標準, 2004年5月, コラム製作メーカー
- 3) 「全断面靱性を保証した冷間成形角形鋼管の構造特性」(NKK基礎技術研究所 他)

2004.12.28 受付

グラビア写真説明

志村一号橋

県道糸原杵築線は、国東半島の海岸沿いを走っており、本橋の架設箇所は海岸から若干離れた谷間に、耐侯性鋼材の無塗装仕様として架けられました。架設方法は当初、全径間にベント設備1基で単材架設という計画でしたが、曲率がR=100mの曲線钣桁のため、形状管理の困難さ、横倒れ座屈防止等を考慮して、主桁を対傾構、横構等の二次部材で予め組立て擬似箱桁として架設作業を行いました。(渡部陽一)

相生陸橋

環状第8号線は、大田区の羽田空港を起点とし、世田谷、杉並などを経由し、北区まで達する全長44.2kmの都市計画道路で、平成17年度に全線開通の予定です。相生陸橋は、この環状第8号線上において、都道である補助201号線、首都高速5号線と3層に交差する箇所に設置されます。本陸橋の架設は、弊社と東急建設が共同で開発した『QS工法』を用いて行います。この『QS工法』はまず、側径間の架設をクレーンによるベント架設工法で行い、次に架設された側径間の桁の上で、中央径間の架設桁を組立て、リフト付きの大型搬送車(ドーリー)で交差部にいっきに引き出して架設を行う新技術です。この工法は、都道の交通規制を最小限に押さえ、短時間で架設する事が可能になり、また上空の首都高速へ影響を与えることなく施工する事が可能です。都市部における道路の特徴でもある立体交差部の、工期の短縮・最小限の交通規制が求められる現場に適した架設工法です。但し本工事では、QS工法の特徴のひとつである上下部一体のセットバックは行いません。(渡部陽一)