

厚板溶接継手の基礎的検討

Fundamental Examination of Welded Joints of Thick Plates

猪瀬 崇*¹ 坂根 秀和*² 内田 賢司*³ 澁谷 敦*⁴
 Takashi INOSE Hidekazu SAKANE Kenji UCHIDA Atsushi SHIBUYA

Summary

This paper reports the results of fundamental examinations including reduction of welding volume and groove selection to prevent welding deformation in the shop or field welded joints using steel plates with the thickness of 50 mm or more.

キーワード：厚板，狭開先，開先形状，溶接時間，溶接変形

1. はじめに

平成8年の道路橋示方書改定において溶接構造用圧延鋼材のC材とSM570について適用板厚が50mmから100mmに拡大され、さらに平成14年の改定では溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材のSMA400CW、SMA490CW、SMA570Wについても適用板厚が100mmまで拡大された。これにより、設計の自由度が高くなり橋梁の長支間化や少数主桁橋などの合理化橋梁の採用が可能となっている。

一方、工場および現場における溶接施工の面で見ると、厚板であればあるほど溶接継手部の溶着量が増えることになり、以下の問題が起りやすくなると考えられる。

- ①溶着量が多くなるため、溶接変形や溶収縮が大きくなる。
- ②溶着量の増加にともない、溶接欠陥の発生確率が高くなる。
- ③溶接作業時間が増える。

本報告では、50mm以上の板厚で構成された工場・現場溶接継手における溶接品質の確保、溶接作業能率の向上、および溶接変形の軽減を目的に開先形状や溶接方法の基礎試験を行った。なお、本報告でいう「厚板」は板厚50mm以上の鋼板をいう。

2. 厚板を使用した溶接施工試験実績

平成8年および平成14年の道路橋示方書が適用され、

かつ工場および現場溶接継手で最大板厚50mm以上の鋼板が使用された工事のうち、溶接施工試験を行った工事の一例を表-1に示す。表中、-EXは予熱低減鋼を、-Hは降伏点一定鋼を示す。

表-1に示した板厚70mm以上の橋梁は、そのほとんどが少数主桁橋といった合理化橋梁の主桁全断面現場溶接の継手で、片面裏波溶接で溶接施工を行う継手である。また、板厚50mm～70mmの鋼板を使用した工事では、工場での板継溶接や鋼製橋脚工事が多い。特に、都市部における鋼製橋脚の隅角部で、板厚50mm以上の鋼板が使用されることが最近増えている。

表-1 厚板を使用した溶接施工試験の一例

形式	継手部位	最大板厚	材質
少数主桁橋	主桁の全断面現場溶接継手	100mm	SM570Q-H
少数主桁橋	主桁の全断面現場溶接継手	90mm	SM570Q-H-EX
少数主桁橋	主桁の全断面現場溶接継手	80mm	SM570Q-H-EX
少数主桁橋	主桁の全断面現場溶接継手	80mm	SM570Q-H-EX
少数主桁橋	主桁の全断面現場溶接継手	78mm	SM570Q-H-EX
鋼製橋脚	隅角ブロックの工場および現場溶接	77mm	SM570TMC-H-EX
少数主桁橋	主桁の全断面現場溶接継手	73mm	SM520C-H-EX
鋼製橋脚	隅角ブロックの工場溶接部	59mm	SM570TMC-H-EX
鋼製橋脚	工場での板継溶接部	58mm	SM570Q-H-EX
鋼製橋脚	隅角ブロックの工場および現場溶接	58mm	SM570TMC-Z35S-H
鋼製橋脚	隅角ブロックの工場および現場溶接	56mm	SM570Q-H-EX

*¹(株)宮地鐵工所 千葉工場製造部製造1グループ係長

*²(株)宮地鐵工所 工事本部工事部東京工事グループ主任

*³(株)宮地鐵工所 千葉工場技術研究所生産技術グループ

*⁴(株)宮地鐵工所 千葉工場技術研究所生産技術グループ課長代理

3. 工場溶接継手における基礎的検討

(1) 検討の目的

ここでは、厚板で構成される鋼製橋脚隅角部の完全溶け込み溶接部に着目し、この溶接継手の溶着量を低減させ、工場製作に要する時間の短縮を目指した。溶接継手の狭開先化の検討、そして半自動溶接のワイヤ径の違いによる施工時間を比較して、厚板で構成された部材の施工計画を立てる上での基礎データを収集した。

(2) 開先形状の選定

社内標準において、板厚 16mm 以上の完全溶け込み溶接継手に適用している開先形状を図-1 に示す。先行溶接側 45°、後行溶接側 60° の開先角度を設計値として、開先加工の誤差を考慮して±5° の範囲内であれば良好な溶接ができるとしている。

溶接作業時間の短縮の試みとして、社内標準に定める許容値のマイナス側（狭開先側）の開先角度を設定し、溶着量を減らすことを考えた。この場合、先行溶接側 40°、後行溶接側 55° の開先角度となる。また、図-1 に示す開先幅 h_1 と h_2 の差は板が厚くなるほど大きくなり、先行溶接側と後行溶接側の溶着量に差が生じる。特に後行溶接側のガウジング量の増大にもつながることから、 h_1 と h_2 がほぼ等しくなり、かつ開先内の面積が最小となる開先深さを計算した。その結果、図-2 の開先形状となり、この開先形状を基本として検討を進めた。

(3) 試験体の選定

表-2 に本検討における 5 つの試験ケースを示す。試

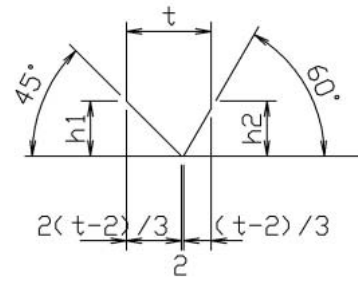


図-1 完全溶込み溶接部の開先形状

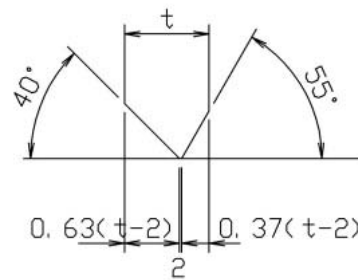


図-2 提案する開先形状（狭開先）

験ケース 1～4 の板厚は 86mm で、試験ケース 1 および 2 では図-2 に示す開先形状を、試験ケース 3 および 4 では図-1 に示す開先形状としている。いずれも溶接材料に JIS Z 3312 YGW21 のソリッドワイヤを使用し、試験ケース 1 および 3 では径 1.2 φ の溶接ワイヤを、試験ケース 2 および 4 では径 1.4 φ の溶接ワイヤを用いた。これらの 4 つの試験ケースで開先形状、および使用する溶接ワイヤ径の違いによる溶接作業時間を比較した。

また、試験ケース 5 は開先加工の誤差範囲を確認するものである。開先加工の誤差範囲を従来どおり±5° とすると、+5° の場合は図-1 に示す先行溶接側 45° 後行溶接側 60° の開先角度となり、問題なく溶接できる

表-2 試験ケース

試験ケース	板厚(mm)	開先形状		溶接材料	
		開先角度(°)	開先深さ(mm)	規格	ワイヤ径
1	86	先行溶接側：40 後行溶接側：55	先行溶接側：53 後行溶接側：31	JIS Z 3312 YGW21	1.2 φ
2					1.4 φ
3		先行溶接側：45 後行溶接側：60	先行溶接側：55 後行溶接側：28		1.2 φ
4					1.4 φ
5	83	先行溶接側：35 後行溶接側：50	先行溶接側：51 後行溶接側：30		1.2 φ

と考えられるが、 -5° となった場合には先行溶接側 35° 、後行溶接側 50° と非常に狭開先となる。特に先行溶接側の初層溶接時の高温割れが懸念されるため、開先角度の下限値（先行溶接側 35° 、後行溶接側 50° ）となる試験ケースを準備した。

(4) 試験溶接

図-2で示した開先形状は、板厚 50mm 以上の完全溶込み溶接継手に適用することを想定しており、表-1にも示すようにその多くで 570N/mm^2 級の鋼材が使用されている。試験溶接では、溶接材料に JIS Z3312 YGW21 のソリッドワイヤを使用し、全ての試験ケースで溶接姿勢は下向きとした。

試験ケース5では、先行溶接側における初層の高温割れの有無を確認するため、後行溶接側の裏ハツリで先行溶接側の初層のビードをハツリ取らないように、一部の区間でルートフェイスを大きくし裏ハツリをせずに後行溶接側の溶接を行った。

試験体は、鋼製橋脚隅角部をイメージした T 継手の試験体とした。写真-1に試験体形状を示す。

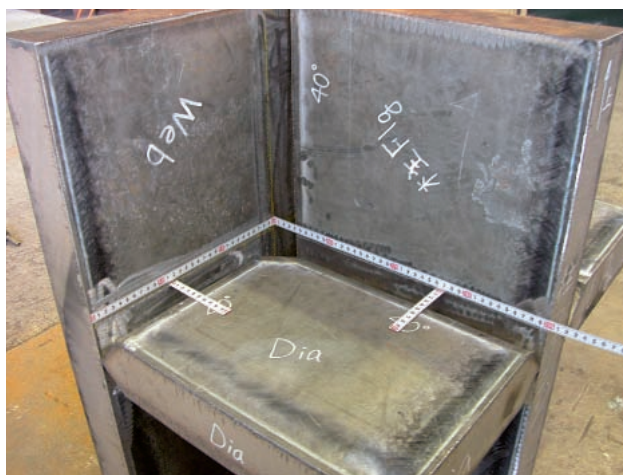


写真-1 試験体形状

(5) 試験結果

1) 初層の高温割れの確認

初層の高温割れを確認するため、試験ケース5のマクロ試験を行った。裏ハツリを行って完全溶け込み溶接とした区間のマクロ写真を写真-2に、裏ハツリを行わず部分溶け込み溶接とした区間のマクロ写真を写真-3に示す。

写真-3から、部分溶け込み溶接とした区間では、先行溶接側のルート部に溶け込み不良がみられる。しかし、

先行溶接側および後行溶接側の初層で高温割れの発生はみられない。さらに、初層以降の溶接部でも融合不良やブローホールといった内部欠陥も検出されていない。

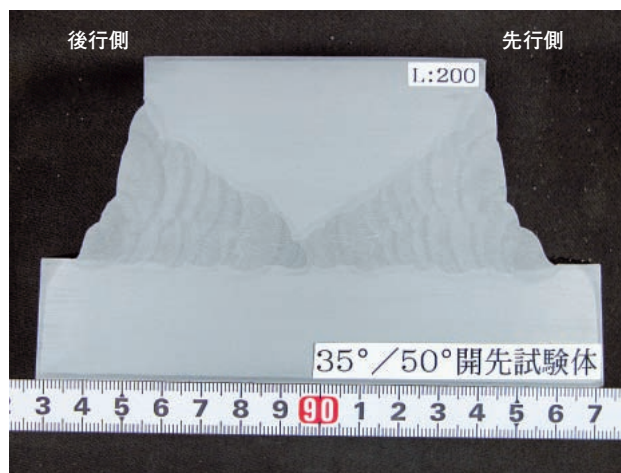


写真-2 試験ケース5のマクロ (裏ハツリあり)

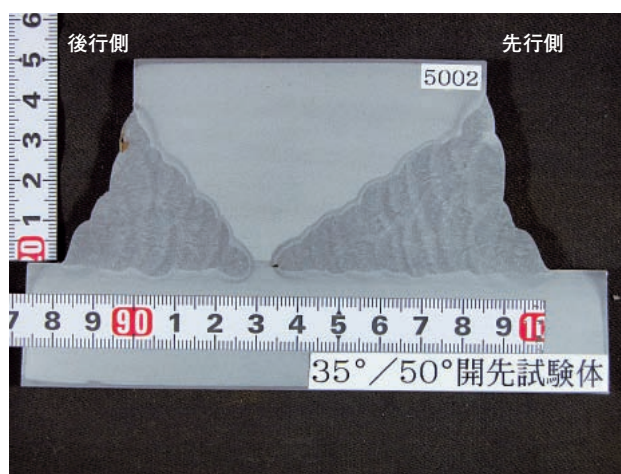


写真-3 試験ケース5のマクロ (裏ハツリなし)

2) 溶接パス数およびアークタイムの比較

試験ケース1~4の試験結果として、表-3に開先内の面積・溶接パス数・アークタイムの合計時間の比較を示す。表中の<>内の数値は、従来の開先形状を用いた試験ケース3の試験結果を「1」として、各試験ケースの比率を計算したものである。また、溶接パス数は余盛の部分を含まず、開先がすべて埋るまでのパス数である。写真-4に試験ケース1のマクロ写真を、写真-5に試験ケース3のマクロ写真を示す。

表-3から、提案する開先形状を用いることにより溶接パス数で0.88、アークタイムで0.84に低減している(試験ケース1)。さらに、 1.4ϕ のワイヤ径を使用することで溶接パス数は0.72、アークタイムは0.74となる(試

験ケース2)。従来の開先形状のままでも1.4φのワイヤ径を使用することにより溶接パス数で0.86、アークタイムで0.81となり試験ケース1と同様の結果が得られている（試験ケース4）。

これらより、今回の試験結果で開先内の面積が減った分だけ、溶接パス数および溶接時間が減るという結果が得られた。

表-3 試験ケース1~4の試験結果

項目	試験ケース			
	1	2	3	4
ワイヤ径(φ)	1.2	1.4	1.2	1.4
開先内面積(mm ²)	1848 <0.82>		2247 <1.00>	
溶接パス数(パス)	118 <0.88>	97 <0.72>	134 <1.00>	116 <0.86>
アークタイム(分)	711 <0.84>	626 <0.74>	843 <1.00>	686 <0.81>

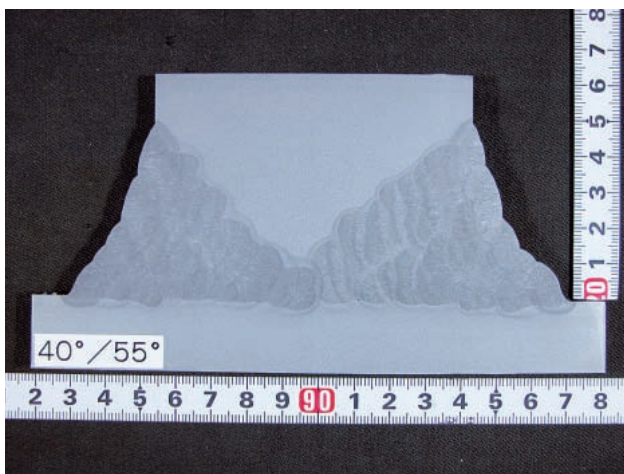


写真-4 試験ケース1のマクロ

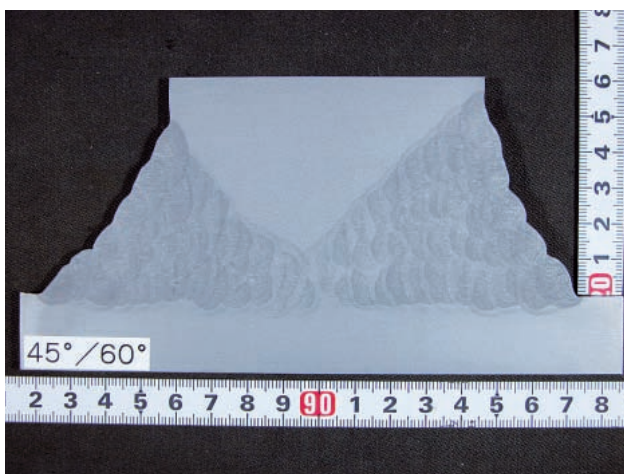


写真-5 試験ケース3のマクロ

3) 狭開先を適用する板厚の設定

前述のとおり、開先部分の面積が減った分だけ溶接パス数が減り溶接時間も短縮ということが確認できたので、ここではどの板厚から図-2に示す開先形状を適用するかの検討を行った。

表-4に今回溶接施工試験を行った板厚86mmの試験ケース1（狭開先）および試験ケース3（従来開先）の開先部分の面積と、仮に板厚50mmにこの開先を適用した場合との面積の比較を示す。

板厚86mmの場合は狭開先と従来開先の面積の差が399mm²あり、これを6mm脚長のすみ肉溶接の面積(18mm²)で割ると約22パス分の面積となり、溶接パス数の減少と溶接時間短縮に対するメリットが大きい。反面、板厚50mmの場合は、面積の差が127mm²でこれを6mm脚長のすみ肉溶接の面積で割ると7パス分程度であり、狭開先とするメリットが小さい。

以上より、図-2に示す開先形状は、板厚50mm以上の完全溶込み溶接部に適用することを提案する。

表-4 開先部分の面積比較

板厚	86mm		50mm	
	従来開先	狭開先	従来開先	狭開先
開先部分の面積(mm ²)	2247	1848	736	609
面積の差(mm ²)	399		127	

4) ワイヤ径について

今回の試験溶接では、溶接時間の低減の一要素としてワイヤ径1.4φも使用し、1.2φとのアークタイム・パス数を比較した。結果は前述の表-3に示した。

本検討では機械試験を行っていないが、入熱量を考慮した溶接条件の検討および機械試験による継手性能の確認を行えば、溶接時間の低減に大きく寄与できると考えられる。これは今後の検討課題としたい。

4. 現場溶接継手に関する基礎的検討

(1) 検討の目的

現場溶接継手は、レ形またはV形の開先形状を有する片面裏波溶接法が一般的に用いられている。しかし、ウェブ材に配置される鉛直継手や水平継手に対しては、

立向きや横向きの溶接姿勢であるため、両面からの溶接施工が可能と考えられる。ここでは、立向きの溶接姿勢で施工されるウェブ材の鉛直継手に着目し、裏ハツリをともなうX形開先の試験体を製作して試験溶接を実施した。変形量、溶接收縮量、および溶接作業時間などを片面裏波溶接法と比較して、厚板の現場溶接部の開先形状を選定する上での基礎データを収集した。

(2) 試験体形状

試験体は、**図-3**に示す溶接長700mm、板厚87mmの突合せ溶接継手とし、開先形状および拘束材の設置条件を変えた3体の試験体を製作した。各試験体の開先形状および拘束材の設置条件を**表-5**に示す。

試験体Aは片面裏波溶接法のV形開先、試験体BおよびCは裏ハツリを伴うX形開先としている。試験体Aの開先角度は35°、試験体BおよびCの開先角度は先行溶接側35°、後行溶接側40°である。また、試験体BとCでは拘束材の配置面を変えており、試験体Bでは後行溶接側に、試験体Cでは先行溶接側に配置している。

いずれの試験体も、過大ギャップを想定して10mmとし、目違いについては0mmとした。**写真-6**に試験溶接の状況を示す。

表-5 試験体開先形状

試験体名称	開先形状図
試験体A (V形開先)	
試験体B (X形開先)	
試験体C (X形開先)	

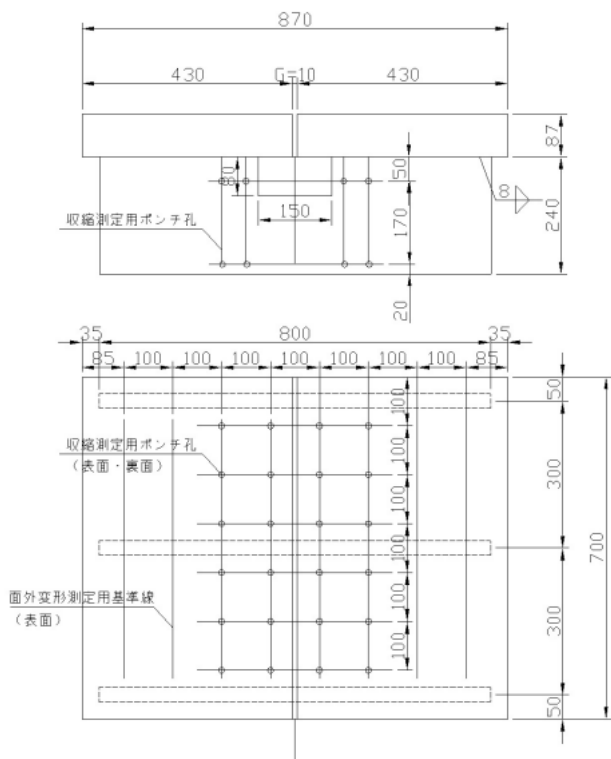


図-3 試験体形状



写真-6 試験溶接の状況

(3) 角変形および溶接收縮の計測方法

角変形の計測は、マグネットベースと水系を使った基準線から板面までの距離を差し金で測定した。また、溶接收縮は継手をはさんで100mm、200mm、300mmの位置にポンチで標点を打ち、ノギスで収縮量を測定した。

収縮測定状況を写真-7に、角変形の測定状況を写真-8に示す。



写真-7 溶接収縮測定状況



写真-8 角変形の測定状況

(4) 試験結果

1) 溶接パス数およびアークタイムの比較

結果として、表-6に開先内面積および溶接パス数およびアークタイムの合計時間の比較を示す。表中< >に示す数字は、V形開先を有する試験体Aの結果を基準とした場合の比率を示す。

溶接パス数は、試験体Aに比べX開先を適用した試験体B・試験体Cのほうが少なく、開先内面積の比率とほぼ同じであった。また、アークタイムも開先内面積の比率と同じく試験体B・試験体Cのほうが少なくなる結果となった。これは、前章に示した工場溶接部の開先検討の結果と傾向が一致している。

X形開先を有する試験体B・試験体Cは、片面裏波溶接となる試験体Aと異なり、裏はつりをとまない、かつ

拘束材が設置されている側からを溶接する場合は、棒継を生じるので棒継部のカスケード処理など、アークタイム以外の作業時間が増えるが、今回の施工試験ではこれらの作業時間はすべてあわせても20分程度であり、作業時間の増大にはつながらなかった。

表-6 試験結果比較 その1

項目	試験体A	試験体B	試験体C
開先内面積 (mm ²)	3219 <1>	2176 <0.68>	2176 <0.68>
溶接パス数 (パス)	41 <1>	32 <0.76>	28 <0.68>
アークタイム (分)	396 <1>	252 <0.64>	265 <0.67>

2) 収縮量および角変形量の比較

収縮量および角変形量の比較結果を表-7に示す。

表-7 試験結果比較 その2

項目	試験体A	試験体B	試験体C
収縮量 (mm)	約3.0	約2.5	約2.5
角変形量 (mm)	最大4.0	最大3.0	最大3.0

X形開先を有する試験体B・試験体Cのほうが収縮量および角変形量が小さくなった。試験体B・試験体Cの方が溶着金属部の面積が小さいためと考えられるが、開先部分の面積の比率の差ほど生じていない。

溶接の進行にともなう収縮量変化を観察すると、V形開先を有する試験体Aでは板厚の半分まで溶接が完了した時点の収縮量と溶接完了時点の収縮量でほとんど変化が無い。また、試験体B・試験体Cは先行側溶接完了後と後行側溶接完了後で収縮量の変化がほとんど変化が無い。すべての試験体において開先内の半分程度まで溶接金属で埋れば収縮量の進行はほとんど無いという結果になった。この傾向は面外変形量に対しても同じ傾向であった。

(5) 実橋の現場溶接継手への反映

経験的に橋梁の現場溶接における収縮量は2mmとされているが、今回の試験結果をみるとその値を超えている。

今回の試験は単純な突合せ溶接継手であるが、継手部の拘束度によって収縮量が変わることが予想されるの

で、部分的に継手部を抜き出したり、実物大の試験体などを用いてさらに検討を進める必要があると考えている。

開先形状については、裏はつりをともなう開先にしたほうが収縮量および面外変形が小さくでき、溶接時間も短くすむメリットもあるが、現場での騒音の問題や、エレクトリオンおよび補剛材などで棒継部が生じ、欠陥発生のリスクが高いという欠点もある。これらの問題については今後の課題としたい。

4. まとめ

厚板を有する、工場溶接ならびに現場溶接部について行った基礎的な検討結果を以下にまとめる。

工場溶接においては、

- ①板厚 50mm 以上の完全溶込み溶接継手に狭開先（先行側 40° 後行側 55°）を用いることで、従来の完全溶込み溶接継手（先行側 45° 後行側 60°）に比べて開先内の面積が減少する比率分だけ、アークタイムの合計時間も減少する。

②狭開先を適用しても初層の高温割れなどの内部欠陥はなく、健全な溶接ができる。

③溶接ワイヤ径を $\phi 1.2$ から $\phi 1.4$ にすることで作業時間を減らすことができる。

現場溶接においては、

④板が厚くなると片面裏波溶接の開先ではなく裏はつりをともなう開先形状としても作業時間が減少する。

⑤いずれの開先においても溶着金属で半分程度まで開先が埋れば、溶収縮および角変形の進行が止まる。

⑥厚板を使用すると、収縮量は約 3.0mm となる。

今後は、更なる施工試験や機械試験を実施しながら検討を進めていき、厚板溶接の工場および現場溶接部の開先形状を社内標準化したいと考えている。

<参考文献>

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅱ鋼橋編），2002.3.

2010.2.17 受付

グラビア写真説明

S J 14 工区 B・D 連結路（2）上部・橋脚工事

本工事は、高速3号渋谷線と中央環状線を結ぶ大橋ジャンクションの一部です。

大橋ジャンクションは高速道路と再開発とを一体的に建設する事業で、トンネル部から高架部へ繋がる巨大ループの屋上には立体都市公園が整備され、ループの直ぐ脇には居住を中心とした高層ビルが建設されます。

現場は異種の工事が輻輳する狭隘な位置での架設工事となり、各施工会社と調整しながら運営しました。連結路の一部は、現在の高速3号渋谷線の上空を通る構造となるため交通量の多い高速3号渋谷線の夜間通行止めをして、大型クレーンによる一括架設を採用しました。

完成後の春には、目黒川の桜と相まって道行く人の目を愉ませてくれることでしょう。

(株)宮地鐵工所 清水 達也