

傾斜角及び回転角を有する鋼床板デッキプレートの 片面サブマージアーク溶接

One-side Submerged Arc Welding of Steel Floor Deck Plate having Inclination and Rotation Angles



田村 修一*¹
Shuichi TAMURA



三枝 洋昭*²
Hiroaki SAEGUSA



村上 貴紀*³
Takanori MURAKAMI



岩 崎 健 治*⁴
Kenji IWASAKI



西 田 正 人*⁵
Masato NISHIDA

要 旨

「横浜港臨港道路南本牧ふ頭本牧線（Ⅰ・Ⅱ工区）高架橋上部工事」の鋼床版デッキプレートの縦シームの現場突合せ溶接は、支点ブロックの地組立溶接を除き、サブマージアーク溶接による施工を計画している。本橋の縦断勾配と横断勾配は大きく、過去の実績で例が少ない条件のため、本橋の勾配でのサブマージアーク溶接の溶接条件を確認するために溶接施工試験を行った。

キーワード：片面サブマージアーク溶接，溶接施工試験

1. はじめに

現在建設中の南本牧ふ頭と本牧ふ頭を連結する横浜港臨港道路は、ふ頭間を連結することでコンテナ輸送効率化を図るとともに、高速道路ネットワークとの直結による横浜港の集荷環境が強化され、さらに南本牧ふ頭へのアクセスとして大規模災害時のリダンダンシー確保にも寄与する。

「横浜港臨港道路南本牧ふ頭本牧線（Ⅰ・Ⅱ工区）高架橋上部工事」は、Ⅰ工区のⅠA1～ⅠP3の3径間連続非

合成钣桁、Ⅱ工区のⅠP3～ⅡP4の4径間連続鋼床版箱桁（上り線、下り線）であり、本工事の工事概要を下記に示す。

発注者：国土交通省 関東地方整備局 京浜港湾事務所
工事名：横浜港臨港道路南本牧ふ頭本牧線（Ⅰ・Ⅱ工区）高架橋上部工事

路線名：臨港道路南本牧ふ頭本牧線

受注者：MMB・宮地特定建設工事共同企業体

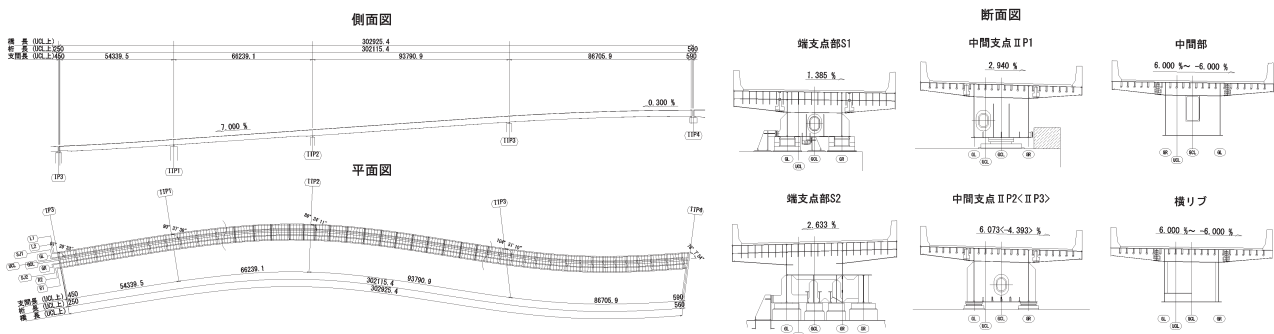


図-1 Ⅱ工区上り線橋梁一般図

*¹ 千葉工場技術研究所生産技術グループ副主任

*² 千葉工場技術研究所生産技術グループ

*³ 千葉工場技術研究所生産技術グループリーダー

*⁴ エム・エムブリッジ(株)

*⁵ 工事本部橋梁工事部橋梁工事グループ係長

II工区の鋼床版箱桁における鋼床版デッキプレートの縦シームの現場突合せ溶接は、支点ブロックの地組立溶接を除き、片面サブマージアーク溶接による施工を計画している。本橋の縦断勾配と横断勾配は大きく、過去の実績で例が少ない条件のため、本橋の勾配での片面サブマージアーク溶接の溶接条件を確認するために溶接施工試験を行った。

本工事範囲のうち、特に縦断勾配と横断勾配が大きい「II工区上り線(図-1)」に着目し、この橋梁の縦断勾配(鋼重等によるたわみ分のキャンパーも含む)と横断勾配を格点ごとにまとめたものを表-1に示す。

表-1 II工区上り線の縦断勾配と横断勾配

上り線	縦断勾配(%)	横断勾配(%)	上り線	縦断勾配(%)	横断勾配(%)
S1			C26	7.4	3.6
C1	5.0	1.5	C27	7.3	3.0
C2	5.2	1.5	C28	7.1	2.4
C3	5.4	1.5	C29	7.0	1.8
C4	5.6	1.5	C30	6.8	1.2
C5	5.8	1.5	C31	6.7	0.6
C6	6.0	1.6	C32	6.6	0.03
C7	6.2	2.0	C33	6.6	0.6
C8	6.5	2.3	C34	6.7	1.2
C9	6.7	2.7	C35	6.7	1.7
II P1	6.8	2.9	C36	6.6	2.3
C10	6.9	3.4	II P3	地組立	
C11	7.0	3.7	C37	6.3	3.5
C12	7.1	4.1	C38	6.1	4.1
C13	7.1	4.4	C39	5.9	4.7
C14	7.0	4.8	C40	5.6	5.2
C15	7.0	5.1	C41	5.3	5.8
C16	6.9	5.5	C42	4.8	6.0
C17	6.8	5.9	C43	4.2	6.0
C18	6.9	6.0	C44	3.7	6.0
C19	6.9	6.0	C45	3.2	5.8
C20	7.1	6.0	C46	2.6	5.3
II P2	7.2	6.1	C47	2.0	4.9
C21	7.4	6.0	C48	1.5	4.5
C22	7.5	5.9	C49	1.0	4.0
C23	7.6	5.4	C50	0.4	3.6
C24	7.6	4.8	C51	0.1	3.2
C25	7.5	4.2	S2		

2. 溶接施工試験要領

(1) 鋼材

試験体の材質は全てSM490YAとした。使用した鋼材の化学成分及び機械的性質を表-2に示す。

表-2 鋼材の化学成分及び機械的性質

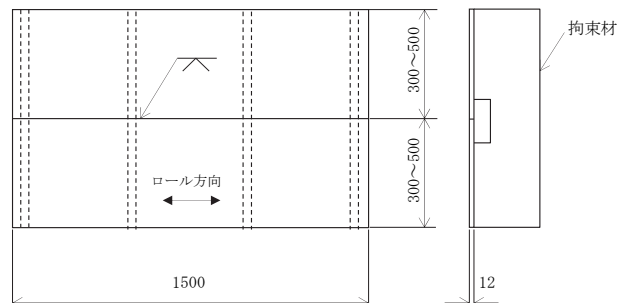
鋼材の種類	板厚(mm)	C	Si	Mn	P	S	Cu
SM490YA	12	0.16	0.28	1.40	0.01	0.00	0.01

Ni	Mo	Cr	Nb	Ceq	Pcm
0.01	0.01	0.04	0.01	0.41	0.24

降伏点(耐力)	引張強さ	伸び
N/mm ²		%
436	552	27

(2) 試験体形状

試験体形状を図-2に示す。また、試験体は再利用したため、試験体の幅は300~500mmとなった。



材質:SM490YA

図-2 試験体形状

(3) 開先形状

開先形状は、製作誤差及び架設誤差を考慮し、ルートギャップは1~10mm、目違いは道路橋示方書の規定の通り板厚の10%以下となる1.2mm以下で計画していることから、本試験では表-3に示す通りルートギャップは標準、最小及び最大の3種類、目違いは0mmと最大の2種類とし、合計6ケースの組み合わせとした。なお、開先角度は全て50°とした。

表-3 サブマージアーク溶接による鋼床版デッキプレートの開先形状及び本試験での開先形状

開先形状	本試験の開先形状(目標値)		
	試験体タイプ	ルートギャップ G(mm)	目違い S(mm)
	①	1	0
	②	1	1.2
	③	5	0
	④	5	1.2
	⑤	10	0
	⑥	10	1.2

(4) 本試験の縦断勾配及び横断勾配

過去の実績で、縦シームの横断6%の経験が少ないことから、表-4に示すように、本試験では縦断勾配は最小値1%と最大値8%とその中間値4%の3ケース、横断勾配は最大値の6%のみを想定して行った。試験体設置状況を写真-1に示す。

目違いの方向は、図-3に示すように横断勾配(回転角)により表側のアンダーカットが生じやすく、さらに溶込み不良が生じやすくなる横断勾配が高い側の板面が高くなるようにした。

表-4 本試験の縦断勾配及び横断勾配

試験体	縦断勾配 <傾斜角>	横断勾配 (回転角)
Case1	1%	6%
Case2	4%	6%
Case3	8%	6%

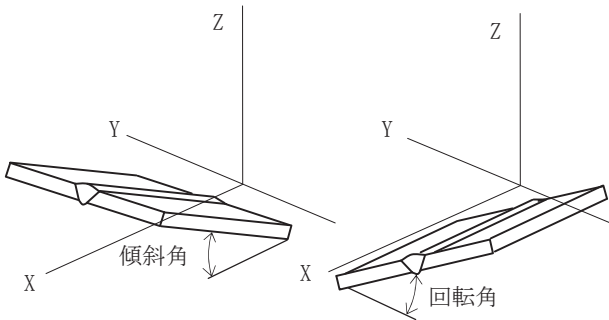


写真-1 試験体設置状況

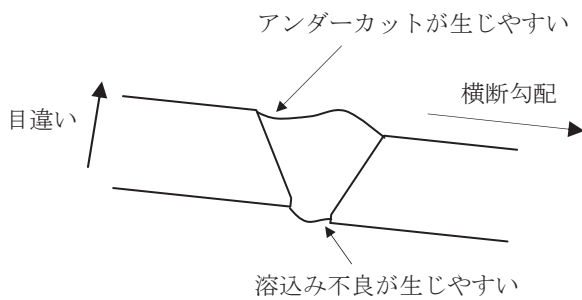


図-3 目違いの方向

(5) 溶接材料

溶接材料はデッキプレートの片面サブマージアーク溶接で一般的に使用している銘柄とした。本試験で使用した溶接材料を表-5に示す。

3. 溶接施工試験結果

溶接条件及び試験結果を表-6に示す。なお、各勾配及び開先形状で溶接条件を微調整して数体の溶接を行ったなかで、溶接外観が良好であった試験体のみ記載し、備考欄にその条件での溶接外観の特徴等を示す。溶接施工状況を写真-2に示す。

Case1 (縦断勾配1%、横断勾配6%) 及びCase2 (縦断勾配4%、横断勾配6%) では、全体的に溶接外観は良好である。

ただし、Case1及びCase2のルートギャップ1mmの場合の裏波ビードは、写真-3のマクロ写真で示すように横断勾配の影響により横断勾配が低い側での裏波の止端角度が小さくなった。この裏波ビード形状は、実施工でグラインダーでルートギャップを3mm程度まで広げるなどの対応で改善できると考える。また、ルートギャップ10mmの場合、電流が720A程度では横断勾配の影響により良好な裏波ビードが形成されず、溶接条件を変化させて試験を行った結果、電流を750Aまで上げることにより改善された。なお、Case2では入熱量が8,250J/mmと高く、溶接部の機械的性質の確認が必要であると判断し、機械試験を実施した。詳細については次項に記載する。

Case2のルートギャップ10mm及びCase3 (縦断勾配8%、横断勾配6%) では、写真-4に示すように表面のビード外観にポックマーク (ガスが抜けた跡) が生じる結果となった。これは入熱量が大きくなったことによる影響であると考えられる。ポックマークを残しておく放射線探傷試験の際にX線フィルムに撮影され、ブローホールやスラグ巻き込みなどの内部きずとの識別が難しくなるため、内部きず検査前にグラインダー等により除去する必要がある。

Case3では、ルートギャップ1mmで表ビードの余盛高さが許容値を超える結果となったが、溶接速度または充

表-5 溶接材料

溶接方法	溶接材料							
	溶接ワイヤ		フラックス		充填材		裏当て材	
	銘柄 (径)	メーカー	銘柄 (粒度)	メーカー	銘柄 (径)	メーカー	銘柄	メーカー
サブマージ アーク溶接	Y-D (4.8φ)	日鐵住金 溶接工業	YF-15A (20×200)	日鐵住金 溶接工業	YK-C (1φ×1)	日鐵住金 溶接工業	CBM-G21	DONGIL CERAMICS

填材の散布高さを調整することにより、余盛高さを許容値内にする事は可能と判断する。しかし、ルートギャップ5mmでは、入熱量が大きくなったことにより写真-5に示すように表ビードに許容値を超えるアンダーカットが連続的に生じ、溶接条件を微調整しても改善できなかった。よって、Case3ではサブマージアーク溶接は適用できないと判断した（ルートギャップ10mmの試験は行わなかった）。Case3のアンダーカットを写真-6に示すが、このような場合、アンダーカットが生じた箇所を炭酸ガスアーク溶接にて2パス目の溶接を行うことを前提とした溶接方法とすることが考えられるが、2パス

溶接を行った箇所の内部きず検査の管理や炭酸ガスアーク溶接の防風対策、溶接作業者の配置など課題が多く、採用にあたっては十分な検討が必要である。

その後、施工条件が最も厳しいルートギャップ10mmにて縦断勾配と横断勾配を変化させて試験を行った結果、縦断勾配6%で横断勾配2%が限界と判断した。Case4として行った縦断勾配6%+横断勾配2%での施工試験のマクロ写真を写真-7に、結果をまとめたものを表-7に示す。

なお、本橋の横断勾配に0%がほほないため、縦断勾配のみ付加した条件（横断勾配0%）は実施していない。

表-6 Case1~3溶接条件・試験結果

勾配	試験体タイプ	開先形状		溶接条件					備考
		ルートギャップG (mm)	目違いS (mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱量 (J/mm)	充填材散布量	
Case1 縦断1% 横断6%	①	1	0	720	31	250	5.357	80%	裏波ビードの幅が小さいため、横断が低い側の止端の角度が小さい。
	②	1	1.2	720	31	240	5.580	80%	裏波ビードの幅が小さいため、横断が低い側の止端の角度が小さい。
	③	5	0	720	33	220	6.480	100%	—
	④	5	1.2	720	32	220	6.284	100%	—
	⑤	10	0	750	34	200	7.650	110%	横断勾配の影響により、電流を高くしたほうが裏波ビードの外観はよい。
	⑥	10	1.2	750	34	200	7.650	110%	横断勾配の影響により、電流を高くしたほうが裏波ビードの外観はよい。
Case2 縦断4% 横断6%	①	1	0	720	33	220	6.480	80%	裏波ビードの幅が小さいため、横断が低い側の止端の角度が小さい。
	②	1	1.2	720	35	220	6.873	80%	裏波ビードの幅が小さいため、横断が低い側の止端の角度が小さい。
	③	5	0	720	33	200	7.128	100%	—
	④	5	1.2	720	33	200	7.128	100%	目違いの影響により、表ビードの横断が高い側にアンダーカットが多少生じる。
	⑤	10	0	750	33	180	8,250	110%	表ビードにボックマーク(ガスが抜けた跡)が多くなる。
	⑥	10	1.2	750	33	180	8,250	110%	表ビードにボックマーク(ガスが抜けた跡)が多くなる。 目違いの影響により、表ビードの横断が高い側にアンダーカットが多少生じる。
Case3 縦断8% 横断6%	①	1	0	720	33	200	7.128	80%	表ビードにボックマーク(ガスが抜けた跡)が多くなる。 表ビードの余盛りが高い(凸ビード) 裏波ビードの幅が小さいため、横断が低い側の止端の角度が小さい。
	②	1	1.2	720	33	200	7.128	80%	表ビードにボックマーク(ガスが抜けた跡)が多くなる。 表ビードの余盛りが高い(凸ビード)
	③	5	0	720	33	180	7.920	100%	表ビードにボックマーク(ガスが抜けた跡)が多くなる。 縦断勾配及び入熱量の影響により、表ビードに許容値を超えるアンダーカットが生じる。
	④	5	1.2	720	33	180	7.920	100%	表ビードにボックマーク(ガスが抜けた跡)が多くなる。 縦断勾配及び入熱量の影響により、表ビードに許容値を超えるアンダーカットが生じる。



写真-2 溶接施工状況

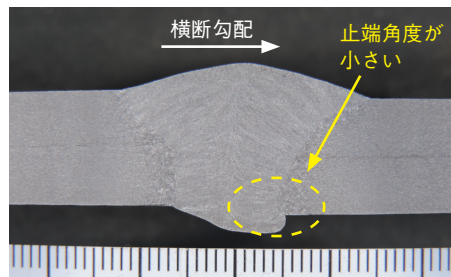


写真-3 マクロ写真Case2 (縦断4%横断6%) G=1, S=1.2

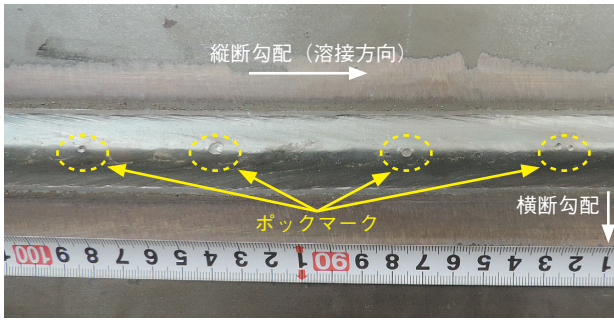


写真-4 表面ビード外観写真Case3 (縦断8%横断6%)
G=1,S=1.2

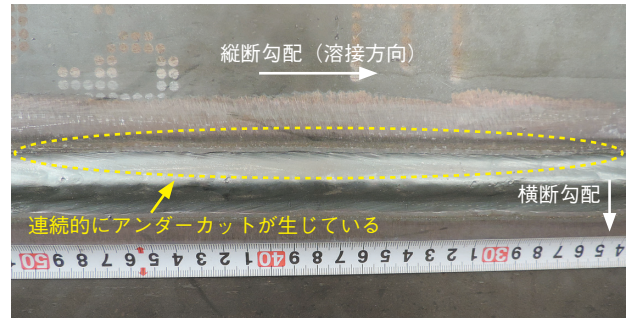


写真-6 表面ビード外観写真Case3 (縦断8%横断6%)
G=5,S=1.2

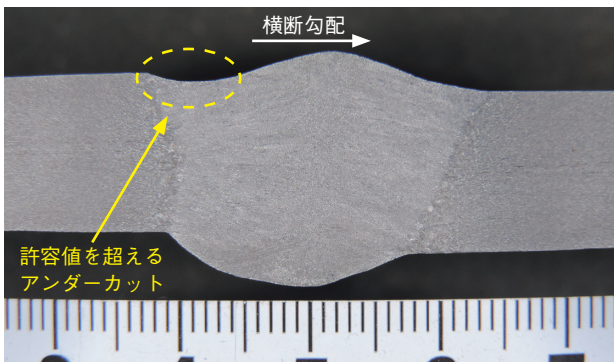


写真-5 マクロ写真Case3 (縦断8%横断6%) G=5,S=1.2

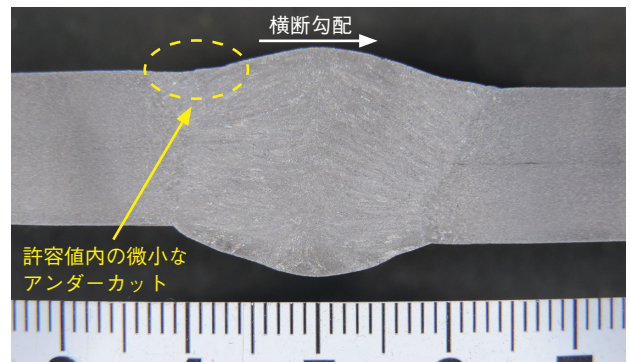


写真-7 マクロ写真Case4 (縦断6%横断2%) G=10,S=1.2

表-7 Case4溶接条件・試験結果

勾配	試験体タイプ	開先形状		溶接条件					備考
		ルートギャップG (mm)	目違いS (mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱量 (J/mm)	充填材散布量	
縦断6% 横断2%	⑤	10	0	720	33	180	7,920	110%	縦断勾配及び入熱量の影響により、表ビードの横断が高い側にアンダーカット(許容値内)が多少生じる。
	⑥	10	1.2	720	33	180	7,920	110%	縦断勾配及び入熱量の影響により、表ビードの横断が高い側にアンダーカット(許容値内)が多少生じる。

4. 機械試験

(1) 試験要領

Case2 (縦断勾配4%、横断勾配6%)において、ルートギャップ10mmの場合、入熱量が8,250J/mmと大きいいため、溶接部の機械的性質の確認が必要と判断し、道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編を参考に表-8に示す機械試験を実施した。なお、衝撃試験は母材の要求値がないため参考とし、溶接部との比較のため母材部の試験を行った。

衝撃試験片の採取位置は溶接金属部及び熱影響部(フュージョンラインから熱影響部側へ1mm)とし、母材部のノッチ位置はロール方向とロール直角方向の2種類採取した。

硬さ試験は、表面から2mmの位置と裏面から2mmの位置とした。

表-8 機械試験項目及び判定基準

試験の種類	試験項目	試験片形状	試験片個数	試験方法	判定基準
開先溶接試験	引張試験	JIS Z 3121 1号	2	JIS Z 2241	引張強さが母材の規格値以上
	型曲げ試験(裏曲げ試験)	JIS Z 3122	2	JIS Z 3122	原則として亀裂が生じてはならない
	衝撃試験	JIS Z 2242 Vノッチ	DEPO 3 HAZ 3 BM 6	JIS Z 2242	参考(母材の要求値がないため)
	硬さ試験	マクロ試験片	1	JIS Z 2244	参考

(2) 試験結果

引張試験結果を表-9、型曲げ試験結果を表-10、衝撃試験結果を表-11、硬さ試験結果を図-4, 5に示す。

機械試験の結果、引張試験及び型曲げ試験では判定基準を満足しており、合格であった。ただし、引張強さが判定基準を少し上回る値であること、参考値であるが熱影響部のシャルピー吸収エネルギーが各値で40Jであること、母材と溶接金属の硬さが表面裏面共に同等であることから、溶接継手の機械的性質を確実に確保するには、Case2での入熱量（8,250J/mm）を大きく超えることは避けたほうがよいと考える。

表-9 引張試験結果

試験体	試験片記号	最大荷重 (N)	引張強さ (N/mm ²)	破断位置	母材の規格値 (N/mm ²)	可否
Case2 縦断4% 横断6% ルートギャップ10mm 目違い0mm	T1	246,000	513	溶着金属部	490~610	合格
	T2	247,000	515	溶着金属部	490~610	合格

表-10 型曲げ試験結果

試験体	試験片記号	試験結果	可否
Case2 縦断4% 横断6% ルートギャップ10mm 目違い0mm	B1	き裂なし	合格
	B2	き裂なし	合格

表-11 衝撃試験結果

試験体	ノッチ位置	試験片記号	試験温度 (°C)	シャルピー吸収エネルギー (J)		可否
				各値	平均値	
Case2 縦断4% 横断6% ルートギャップ10mm 目違い0mm	溶着金属部	D	0	77	82	—
				86		
				83		
	熱影響部	H	0	40	52	—
				41		
				75		
母材	母材部 ロール方向	L	0	192	198	—
				191		
				212		
	母材部 ロール直方向	C	0	123	109	—
				105		
				100		

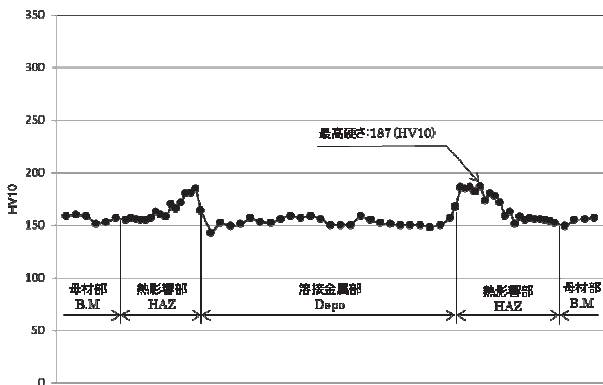


図-4 硬さ試験結果（表面から2mm）

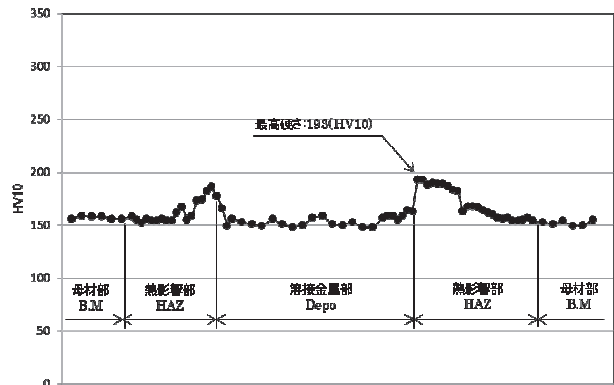


図-5 硬さ試験結果（裏面から2mm）

5. おわりに

本試験の結果、横断勾配が6%の場合は縦断勾配4%まで、縦断勾配が6%の場合は横断勾配2%までが片面サブマージアーク溶接の適用の限界とした。また、溶接継手の機械的性質を確実に確保するために、入熱量の上限を8,500J/mmとした。本溶接試験の標準溶接条件を以下に示す。なお、上記の勾配を超える箇所は炭酸ガスアーク溶接にて施工することとした。

- ・電流：700～750A（ルートギャップが大きい場合は電流を高くする。）
- ・電圧：30～35V
- ・速度：180～250mm/min（ルートギャップや縦断勾配が大きい場合は速度を遅くする。）
- ・入熱量：8,500J/mm以下
- ・充填材：ルートギャップ1mm⇒80%、5mm⇒100%、10mm⇒110%

今後は、更なる施工試験や機械試験を実施し、片面サブマージアーク溶接における縦断勾配・横断勾配の適用限界値を確認することと、デッキプレート厚が16mmでの施工試験を実施する予定である。

最後に、本施工試験を行うにあたり、ご指導いただきました国土交通省関東地方整備局京浜港湾事務所ならびに（一財）港湾空港総合技術センターの関係者の方々、溶接条件等のご助言をいただきました日鐵住金溶接工業（株）の関係者の方々に対し、深く感謝申し上げます。

2016.3.8 受付