

2 電極エレクトログラスアーク溶接によるボックス柱角継手溶接の施工

小林 光博^{※1}, 白井 嘉行^{※2}

溶接の施工性向上の手法の一つに自動化があげられる。現在、ボックス角継手部の溶接施工にはサブマージアーク溶接が使用されているが、板厚が大きい場合 1 ランでの施工は溶接金属の品質確保及び溶接機の能力限界のため採用が難しい。このため、CO₂ ガスシールドアーク溶接を併用した施工とならざるを得ず、工程増加等の負担が生じている。それに対し、エレクトログラスアーク溶接では全断面を自動溶接で対応できる可能性があるが、建築分野への適用例は少なく、溶接施工にあたって開先形状や溶接金属の品質に関するデータが少ないのが現状である。

本研究では、2 電極エレクトログラスアーク溶接における適正ルートギャップの検証と溶接条件が溶接金属に及ぼす影響について調査を行った。溶接金属の機械的性質等、その調査結果を報告する。

キーワード : エレクトログラスアーク溶接, 溶接条件, 開先形状, ボックス柱, 角継手溶接

1. 序

2 電極エレクトログラスアーク溶接をボックス柱の角継手溶接へ適用するにあたり、溶接金属の機械的性質に及ぼす溶接条件の影響を調査したので、その結果を報告する。

2. 実験計画

(1) 試験体

試験体はボックススキンプレート板厚 60mm 及び 80mm の角溶接を想定した。それぞれの試験体は開先角度を 15° で一定とし、ルートギャップを 8、10、12mm と変化させた。試験体形状を図 2 に、開先詳細を図 3 に示す。試験体の鋼材材質は TMCP325 と SA440 を用いた。鋼材の化学成分分析結果を表 1 に示す。裏当て金は 32mm の SM490 材を用いた。表 2 に使用機器の概要を示す。

(2) 試験条件

表 3 に実験パラメータを示す。各試験体のルートギャップ及びアーク電圧をパラメータとした。溶接時の標準条件として溶接電流を 380A で一定、ルート側電極の電圧を 42V、表面側電極の電圧を 44V で設定した。設定した標準条件に対し、アーク電圧を ± 2V の範囲で変化させた。

※エレクトログラスアーク溶接

立向姿勢でガスシールドアーク溶接を行う自動溶接法。ボックス角継手溶接への適用にあたっては、図 1 に示すように開先のルート側を裏当て金、ビード表面側を摺動式水冷銅当て金による囲まれた開先内を CO₂ ガスでシールドしながら溶接金属を形成する。本報告では、2 電極を用いる施工法を採用した。

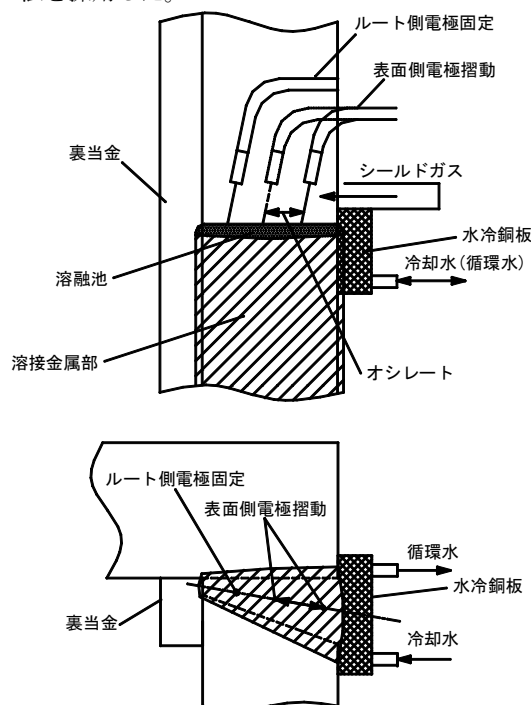


図 1 2 電極エレクトログラスアーク溶接法の概要図

※ 1 鉄構事業部鉄構富津工場技術課長

※ 2 鉄構事業部鉄構富津工場技術課係長 修士(工学)

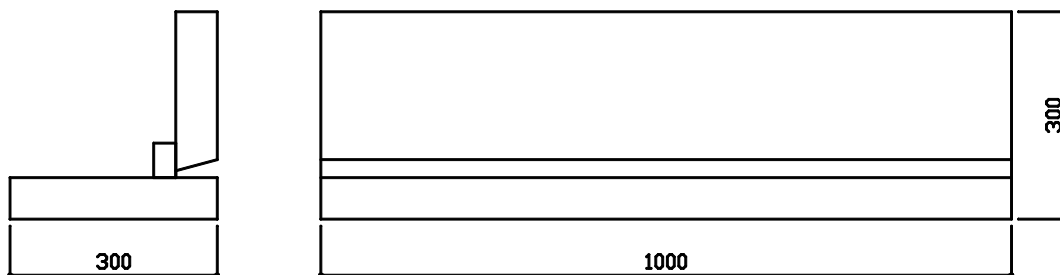


図2 試験体形状

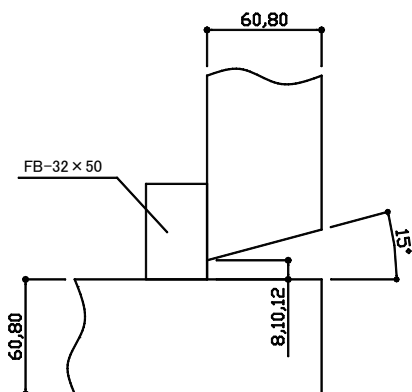


図3 開先詳細

表1 鋼材の化学成分分析表 (%)

材質	板厚 (mm)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ceq
TMCP325	60	0.08	0.15	1.35	0.009	0.001	0.31	0.29	0.02	0.00	tr.	0.35
	80	0.07	0.14	1.53	0.006	0.001	0.30	0.28	0.02	0.00	tr.	0.37
SA440	60	0.04	0.11	1.38	0.006	0.001	0.81	1.04	0.79	0.01	tr.	0.55
	80	0.04	0.12	1.39	0.006	0.001	0.82	1.03	0.78	0.01	tr.	0.55
SM490(裏当て金)		0.13	0.20	1.09	0.010	0.001	0.01	0.01	0.03	0.00	tr.	0.32

表2 使用機器の概要

溶接方法	立向自動2電極1パス溶接
溶接装置	2電極SEGARC
ワイヤ	ルート側: DWS-50GTR 1.6φ
	表面側: DWS-50GTF 1.6φ
溶接電源	ルート側: サイリスタ600A電源
	表面側: サイリスタ600A電源
シールドガス	CO ₂ - 100%
	ガス流量 - 40l/min

表3 実験パラメータ

試験体名	鋼材	板厚 (mm)	ルートギャップ (mm)	電極	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	入熱量 (kJ/cm)
SA1	TMCP325	60	8	R/F	380/380	42/44	6.0	327
SA2			40/42			4.8	390	
SA3			10			42/44	4.8	409
SA4			44/46			5.0	410	
SA5			12			42/44	4.5	436
SA7		80	8	R/F	380/380	42/44	3.8	516
SA8			40/42			3.4	550	
SA9			10			42/44	3.4	577
SA10			44/46			3.4	604	
SA11			12			42/44	3.2	613
TA1			SA440			60	8	R/F
TA2	40/42	5.7		328				
TA3	10	42/44		5.6	350			
TA4	44/46	5.7		360				
TA5	12	42/44		5.4	363			
TA7	80	8		R/F	380/380	42/44	3.7	530
TA8		40/42				3.4	550	
TA9		10				42/44	3.4	577
TA10		44/46				3.4	604	
TA11		12				42/44	3.2	613

試験片採取位置 F: 表面側から t/4、R: ルート側から t/4

オシレート方式はルート側電極を固定とし、表面側電極を摺動とした。表4に表面側電極のオシレート条件を、図4に電極配置図を示す。ワイヤ突き出し長さはチップ先端からガスの出口まで33mm、ワイヤ角度は15°で一定とした。なお、ワイヤ送給速度を15m/minで一定とした。

表4 表面側電極のオシレート条件

板厚 (mm)	ルートワイヤ位置 (mm)	極間 (mm)	ストローク (mm)	ルート側停止 (sec)	表面側停止 (sec)	サイクルタイム (sec/回)
60	15	18	20~22	3.0	2.0	6.3
80			42	2.0	2.0	5.3

(3) 機械試験

引張試験片は平行部の径12.5mmのJIS Z 3111 A1号試験片を用い、平行部中心を溶接金属の表面側からt/4及びルート側からt/4の位置から採取した。

シャルピー衝撃試験片はJIS Z 2242 Vノッチ試験片を用いた。ノッチ位置は溶接金属の中央部とし、試験体の表面側からt/4、t/2及びルート側からt/4の位置から採取した。試験温度は0℃とした。

(4) 鋼質試験

溶接金属内部の確認として、試験体の溶接開始部及び終端部の板厚方向のマクロ観察を行った。また、溶接金属のミクロ組織観察を溶接金属の表面側からt/4、t/2及びルート側からt/4の位置で行った。

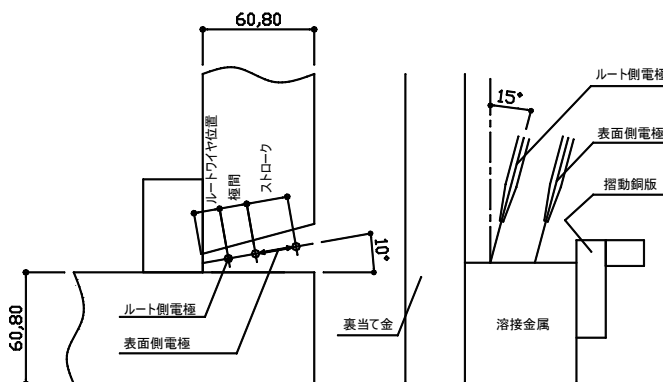


図4 電極配置図

3. 実験結果

溶着金属の引張試験結果を表5に、衝撃試験結果を表6に示す。結果はいずれの鋼種、板厚共に母材の規格値を満足した。入熱と引張強さの関係を図5に、入熱と0℃吸収エネルギーの関係を図6に示す。本研究範囲の入熱では、溶着金属の引張強さ及び0℃吸収エネルギーに及ぼす明確な傾向はみられなかった。また、鋼母材の材質及び板厚による差異もみられなかった。図7に引張強さ-0℃吸収エネルギー関係を示す。溶着金属の引張強さが約680N/mm²で0℃吸収エネルギーが極大を示す傾向がみられた。

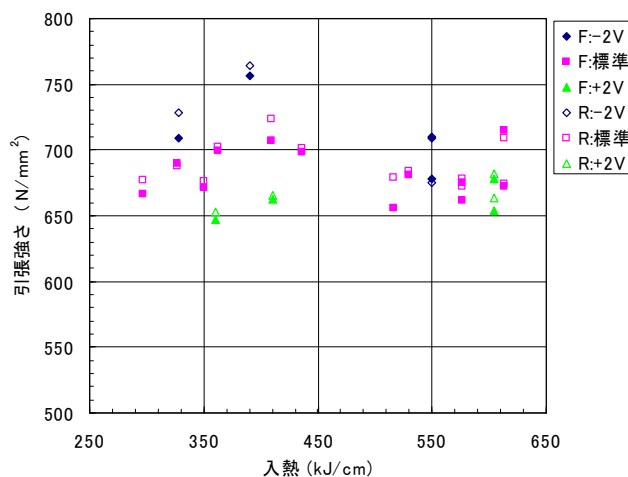


図5 入熱-引張強さ関係

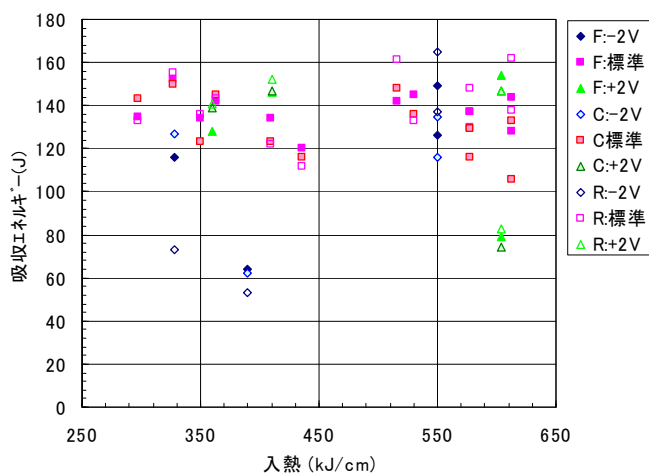


図6 入熱-0℃吸収エネルギー関係

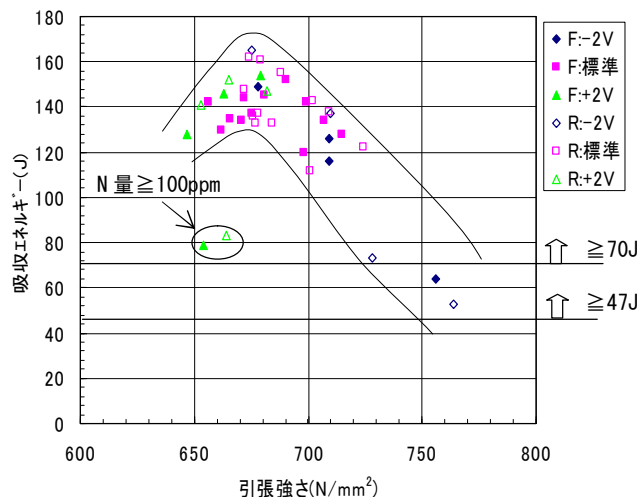


図7 引張強さ-0℃吸収エネルギー関係

表5 引張試験結果

鋼種	試験体	ギャップ (mm)	電圧	採取位置	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)
TMCP325 板厚 60mm	SA1	8	標準	F	508	690	19	66
				R	536	688	21	66
	SA2	10	-2V	F	514	756	23	59
				R	534	764	22	54
	SA3	10	標準	F	510	707	22	65
				R	535	724	20	62
	SA4	12	+2V	F	495	663	24	66
				R	506	665	25	66
	SA5	12	標準	F	495	698	24	65
				R	506	701	22	63
TMCP325 板厚 80mm	SA7	8	標準	F	490	656	22	68
				R	528	679	20	68
	SA8	10	-2V	F	488	678	23	66
				R	512	675	25	67
	SA9	10	標準	F	489	675	21	67
				R	504	678	20	66
	SA10	12	+2V	F	483	679	23	66
				R	507	682	22	66
	SA11	12	標準	F	488	672	22	66
				R	504	674	22	68
SA440 板厚 60mm	TA1	8	標準	F	495	666	24	66
				R	522	677	22	65
	TA2	10	-2V	F	497	709	22	63
				R	533	728	20	61
	TA3	10	標準	F	493	671	23	66
				R	513	676	22	64
	TA4	12	+2V	F	487	647	22	67
				R	503	653	24	64
	TA5	12	標準	F	492	699	21	63
				R	508	702	21	61
SA440 板厚 80mm	TA7	8	標準	F	482	681	22	65
				R	510	684	21	63
	TA8	10	-2V	F	487	709	23	62
				R	509	710	21	63
	TA9	10	標準	F	473	662	24	66
				R	497	672	25	66
	TA10	12	+2V	F	462	654	24	63
				R	488	664	24	62
	TA11	12	標準	F	485	715	19	61
				R	498	709	19	62

JIS Z 3111 A1 号試験片

試験片採取位置 F: 表面側から t/4、R: ルート側から t/4

表6 シャルピー衝撃試験結果

鋼種	試験体	ギャップ (mm)	電圧	F				C				R			
				J	Av.	J	Av.	J	Av.						
TMCP325 板厚 60mm	SA1	8	標準	151	156	149	152	148	149	153	150	157	152	156	155
	SA2	10	-2V	71	48	74	64	68	56	63	62	38	57	64	53
	SA3	10	標準	134	130	138	134	120	112	138	123	124	87	155	122
	SA4	10	+2V	150	143	146	146	141	146	153	147	147	153	156	152
	SA5	12	標準	124	117	119	120	120	118	112	116	109	112	114	112
TMCP325 板厚 80mm	SA7	8	標準	133	144	150	142	166	135	145	148	174	139	169	161
	SA8	10	-2V	149	148	149	149	135	135	135	135	167	165	161	165
	SA9	10	標準	158	136	116	137	122	133	92	116	148	131	131	137
	SA10	10	+2V	160	144	159	154	147	151	144	147	152	143	147	147
	SA11	12	標準	145	141	145	144	127	134	137	133	160	164	164	162
SA440 板厚 60mm	TA1	8	標準	140	128	139	135	144	146	140	143	140	121	137	133
	TA2	10	-2V	112	113	122	116	122	126	133	127	68	67	84	73
	TA3	10	標準	140	134	129	134	138	118	112	123	141	126	139	136
	TA4	10	+2V	127	124	134	128	135	137	146	139	146	138	140	141
	TA5	12	標準	143	142	140	142	141	146	147	145	137	139	153	143
SA440 板厚 80mm	TA7	8	標準	148	143	146	145	142	130	137	136	123	134	141	133
	TA8	10	-2V	131	129	120	126	129	101	119	116	133	118	161	137
	TA9	10	標準	125	133	132	130	122	130	136	129	148	145	150	148
	TA10	10	+2V	92	74	72	79	73	77	73	74	80	82	86	83
	TA11	12	標準	130	136	116	128	101	107	109	106	140	132	143	138

試験片採取位置 F: 表面側から t/4、C: t/2、R: ルート側から t/4

表7に溶着金属の化学成分分析結果を示す。いずれも同鋼種、同板厚では化学成分の変動は小さい。そのなかでも、電圧を+2Vで施工した試験体のCeqの値が若干小さくなる傾向がみられた。また、N量が100ppm以上の値が計測されたが、衝撃値に影響を与えているのが明らかである(図7参照)。何らかの原因でシールドが損なわれたもしくは、裏当て金からの混入したものと考えられる。

図8にマクロ試験片写真の一例を示す。電圧が大きく、あるいはルートギャップが広がるに従い、溶

込み深さが大きくなる傾向がみられた。初層の溶込みは全てのマクロ試験片で良好であったが、板厚80mmの試験体SA8の溶接開始側においてビード表面から15mm近傍のフランジ側に溶込み不良が発生した。表面側電極オシレートの施工不良と考えられる。

図9に組織写真の一例を示す。吸収エネルギーが良好な溶着金属の引張強さが約680N/mm²ではフェライト主体の組織であった。溶着金属の引張強さが650N/mm²程度では粗大なフェライト組織がみられた。

表7 溶着金属の化学成分分析結果

鋼種	試験体	ギャップ (mm)	電圧	分析 位置	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	B	O	N	Ceq
TMCP325 板厚 60mm	SA1	8	標準	F	0.06	0.19	1.57	0.009	0.007	0.11	1.10	0.03	0.41	0.043	0.0040	0.029	0.0045	0.49
				R	0.06	0.19	1.57	0.009	0.007	0.11	0.97	0.03	0.46	0.042	0.0039	0.029	0.0045	0.49
	SA2	10	-2V	F	0.06	0.24	1.68	0.009	0.008	0.09	1.19	0.03	0.46	0.049	0.0051	0.022	0.0044	0.52
				R	0.06	0.25	1.68	0.009	0.008	0.09	0.97	0.03	0.52	0.053	0.0049	0.025	0.0045	0.52
				F	0.06	0.21	1.64	0.008	0.008	0.11	1.08	0.03	0.46	0.047	0.0047	0.027	0.0044	0.51
				R	0.06	0.22	1.64	0.009	0.007	0.10	0.93	0.03	0.51	0.049	0.0045	0.031	0.0043	0.51
	SA4	12	+2V	F	0.06	0.19	1.53	0.009	0.006	0.11	1.03	0.03	0.44	0.036	0.0042	0.030	0.0044	0.48
				R	0.06	0.18	1.55	0.009	0.007	0.12	0.99	0.03	0.43	0.037	0.0040	0.032	0.0045	0.48
	SA5	12	標準	F	0.06	0.20	1.59	0.009	0.006	0.09	1.14	0.03	0.45	0.039	0.0043	0.026	0.0045	0.50
				R	0.06	0.22	1.61	0.009	0.006	0.09	1.06	0.03	0.48	0.041	0.0046	0.028	0.0045	0.51
TMCP325 板厚 80mm	SA7	8	標準	F	0.05	0.18	1.61	0.008	0.007	0.09	1.18	0.03	0.45	0.041	0.0044	0.032	0.0048	0.50
				R	0.06	0.19	1.64	0.008	0.006	0.10	0.97	0.03	0.47	0.042	0.0038	0.032	0.0047	0.50
	SA8	10	-2V	F	0.05	0.20	1.67	0.008	0.007	0.09	1.11	0.03	0.47	0.038	0.0045	0.029	0.0046	0.51
				R	0.05	0.20	1.68	0.008	0.007	0.09	1.01	0.03	0.52	0.040	0.0043	0.031	0.0048	0.52
				F	0.06	0.19	1.63	0.008	0.006	0.09	1.07	0.03	0.47	0.041	0.0043	0.027	0.0045	0.50
				R	0.06	0.19	1.63	0.008	0.005	0.09	0.99	0.03	0.45	0.042	0.0042	0.028	0.0047	0.50
	SA10	12	+2V	F	0.06	0.19	1.61	0.008	0.007	0.10	1.12	0.03	0.45	0.040	0.0039	0.025	0.0044	0.50
				R	0.06	0.20	1.60	0.008	0.007	0.10	0.81	0.03	0.47	0.044	0.0039	0.029	0.0045	0.48
	SA11	12	標準	F	0.05	0.19	1.64	0.008	0.007	0.08	1.15	0.03	0.45	0.038	0.0046	0.027	0.0046	0.51
				R	0.06	0.20	1.67	0.008	0.007	0.09	0.94	0.03	0.52	0.043	0.0041	0.030	0.0047	0.51
SA440 板厚 60mm	TA1	8	標準	F	0.05	0.18	1.57	0.008	0.006	0.30	1.31	0.26	0.39	0.038	0.0040	0.035	0.0047	0.54
				R	0.05	0.20	1.63	0.008	0.006	0.30	1.09	0.26	0.49	0.049	0.0043	0.036	0.0046	0.56
	TA2	10	-2V	F	0.05	0.19	1.62	0.008	0.008	0.25	1.28	0.22	0.45	0.042	0.0040	0.030	0.0047	0.55
				R	0.05	0.22	1.68	0.008	0.007	0.24	1.10	0.21	0.54	0.056	0.0044	0.033	0.0045	0.57
				F	0.04	0.17	1.54	0.008	0.007	0.29	1.29	0.25	0.41	0.038	0.0037	0.031	0.0050	0.54
				R	0.05	0.18	1.56	0.008	0.007	0.28	1.06	0.24	0.50	0.042	0.0037	0.034	0.0052	0.54
	TA4	12	+2V	F	0.04	0.14	1.44	0.008	0.007	0.31	1.24	0.27	0.40	0.032	0.0031	0.036	0.0048	0.52
				R	0.04	0.16	1.47	0.008	0.007	0.29	1.10	0.26	0.47	0.037	0.0032	0.039	0.0047	0.53
	TA5	12	標準	F	0.04	0.18	1.56	0.008	0.006	0.26	1.26	0.23	0.41	0.040	0.0042	0.030	0.0048	0.53
				R	0.04	0.19	1.61	0.008	0.007	0.28	1.15	0.24	0.47	0.044	0.0041	0.030	0.0048	0.55
SA440 板厚 80mm	TA7	8	標準	F	0.05	0.18	1.60	0.008	0.006	0.27	1.30	0.23	0.43	0.037	0.0045	0.029	0.0050	0.55
				R	0.05	0.18	1.60	0.008	0.006	0.27	1.15	0.24	0.45	0.039	0.0041	0.031	0.0051	0.55
	TA8	10	-2V	F	0.05	0.20	1.67	0.008	0.007	0.22	1.33	0.19	0.45	0.040	0.0049	0.027	0.0047	0.56
				R	0.05	0.21	1.68	0.008	0.007	0.22	1.20	0.19	0.52	0.041	0.0048	0.029	0.0046	0.57
				F	0.05	0.17	1.55	0.008	0.007	0.26	1.28	0.22	0.44	0.034	0.0040	0.031	0.0047	0.54
				R	0.05	0.17	1.54	0.008	0.007	0.26	1.18	0.22	0.44	0.033	0.0039	0.030	0.0047	0.53
	TA10	12	+2V	F	0.05	0.18	1.53	0.008	0.006	0.27	1.30	0.23	0.41	0.038	0.0046	0.028	0.0100	0.53
				R	0.05	0.18	1.53	0.008	0.006	0.28	1.08	0.24	0.44	0.041	0.0043	0.029	0.0110	0.53
	TA11	12	標準	F	0.05	0.20	1.63	0.008	0.007	0.22	1.35	0.19	0.46	0.042	0.0050	0.024	0.0046	0.55
				R	0.05	0.21	1.62	0.008	0.006	0.22	1.16	0.19	0.50	0.047	0.0048	0.027	0.0047	0.55

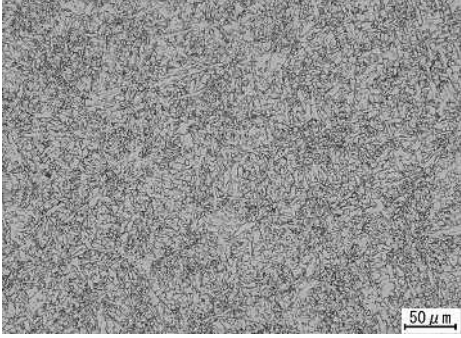
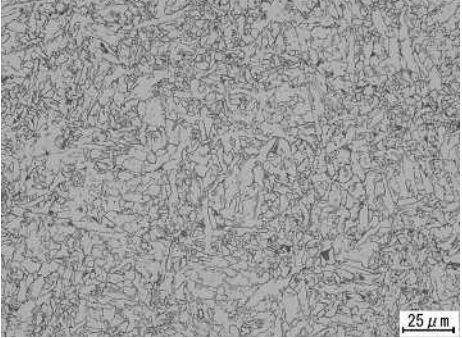
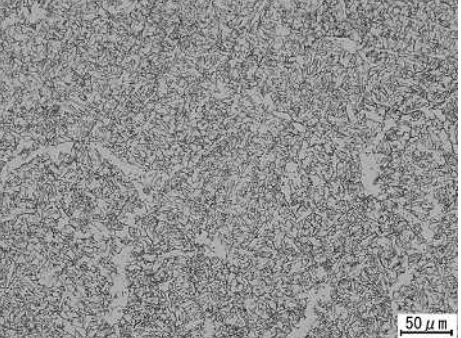
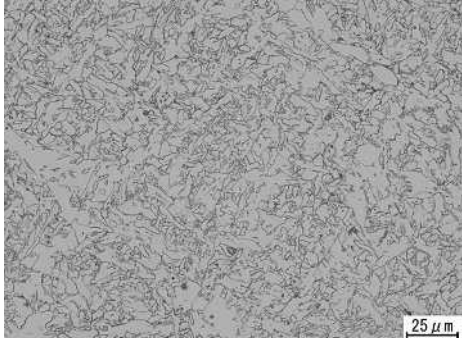
試験片採取位置 F:表面側から t/4、R:ルート側から t/4

	スタート部	エンド部
TA7 (SA440,板厚80mm,ルートギ・ヤップ8mm,標準電圧)		
溶込み深さ	5.1mm	5.0mm
TA8 (SA440,板厚80mm,ルートギ・ヤップ10mm,電圧-2V)		
溶込み深さ	4.8mm	5.2mm
TA9 (SA440,板厚80mm,ルートギ・ヤップ10mm,標準電圧)		
溶込み深さ	7.2mm	6.0mm

図8 (1) マクロ写真

	スタート部	エンド部
<p>TA10 (SA440, 板厚80mm, ルートキヤップϕ10mm, 電圧+2V)</p>		
溶込み深さ	9.5mm	8.0mm
<p>TA11 (SA440, 板厚80mm, ルートキヤップϕ12mm, 標準電圧)</p>		
溶込み深さ	7.3mm	6.8mm
	スタート部	エンド部
<p>SA8 (TMCP325, 板厚80mm, ルートキヤップϕ10mm, 電圧-2V)</p>		
溶込み深さ	4.0mm	2.3mm

図8(2) マクロ写真

試験体		低倍	高倍
SA10	R		
TA10	F		

撮影位置 F:表面側から t/4、R:ルート側から t/4

図9 組織写真

4. まとめ

本報告では2電極エレクトロガスアーク溶接をボックス角継手溶接の施工に適用するにあたり、適正ルートギャップの検証と溶接条件が溶接金属に及ぼす影響について調査を行った。その結果、施工性及び溶接金属の品質に関して、2電極エレクトロガスアーク溶接の適用ができることを確認することが出来た。実施工への適用へ向けて、更なる検討を引続き行う。