

(解説)

## 建築市場の需要に対応した溶接材料の展開

### Development of Welding Consumables Responding to Demand in Construction Market



横田泰之\*1  
Yasuyuki YOKOTA

Modern structures, such as skyscrapers and commercial facilities, are becoming larger in size and more complex, increasing the demand for welded joints with higher efficiency and quality. To meet this demand, we have optimized the surface characteristics of welding wires to develop a wire with feedability and weldability more favorable than those of conventional ones. The newly developed wire can suitably be combined with the REGARC™ process, and its application is expanding in the field of steel frames. In housing and other areas, light-gauge steel frames of zinc-coated steel have been used; however, porosities generated at the time of welding have been causing problems. In order to reduce these porosities, it is important to discharge zinc gas directly under the arc, which requires the optimization of the arc force and molten-metal viscosity. On the basis of this concept, we have developed a series of welding consumables with excellent porosity resistance.

ま え が き = 2020年に開催される東京オリンピックの影響もあり、首都圏を中心に建築需要が拡大している。近年の高層ビルや商業施設などは、大型化や構造が複雑化し、従来どおりの490 MPa級鋼を使用すると、鉄骨の厚肉化や大断面化が進んでしまう。厚肉化、大断面化により鉄骨重量が増加し、その加工や運搬にかかるコストや工期も必然的に増加する。この課題を解決する手段の一つとして高強度鋼材の需要が高まっており、耐力385 MPa/引張強さ550 MPa級鋼や耐力440 MPa/引張強さ590 MPa級鋼といった高強度鋼材の適用が拡大している<sup>1)</sup>。高強度鋼材を適用することで、鋼材を薄肉化できたり構造の自由度を高めたりでき、鋼材重量減少によるコスト削減に加え、加工、運搬、組立工程の短縮にもつながるなど、多くのメリットがある。

いっぽう、住宅をはじめとした軽量鉄骨を用いた建築物の需要も順調に伸びている。これら住宅用途向け表面処理鋼板として、溶融亜鉛めっき鋼板が使用されている。亜鉛めっき鋼板は、耐食性に優れ、鋼構造製品の品質向上・長寿命化に寄与することから、住宅以外にも自動車、家電、水道管など多くの分野で採用されている。最近では、住宅のさらなる長寿命化需要の高まりの影響を受け、耐食性をさらに向上させた高耐食溶融めっき鋼板が拡大を見せている<sup>2)</sup>。

これら高強度鋼材や亜鉛めっき鋼板を溶接する場合には、溶接金属の機械的性質や溶接作業性を考慮し、適切な溶接材料と施工法を選定することが極めて重要である。そこで、本稿では、上述した課題に対応するために当社が開発を進めてきた建築鉄骨向けソリッドワイヤと

亜鉛めっき鋼板用溶接材料について、それぞれの特徴や品質について解説する。

#### 1. 建築鉄骨向け炭酸ガスアーク溶接ソリッドワイヤ

##### 1.1 REGARC™<sup>注1)</sup> 溶接専用ソリッドワイヤ

鉄骨溶接では、比較的安価な炭酸ガスをシールドガスとして用い、能率を高めるために高電流で溶接することが主流である。とくに、高電流域では溶滴が不規則なグロービュール移行となるため、スパッタ発生量が増加するという課題を長年抱えていた。この課題に対し、当社が開発したREGARC™溶接法は、特殊なパルス波形成制御を行うことにより溶滴の形成と離脱を安定化させ、スパッタ発生量を大幅に低減する溶接施工法であり、適用が急激に拡大している<sup>3)</sup>。

REGARC™溶接法による低スパッタの効果を発揮させるためには、REGARC™溶接専用ワイヤの使用が推奨される。FAMILIARC™<sup>注2)</sup> MG-56R(N)、TRUSTARC™<sup>注3)</sup> MG-60R(N) (以下、MG-56R(N)、MG-60R(N)という)は、当社独自技術による特殊な表面処理を施すことで、従来ワイヤの優れた溶接金属の機械的性質やスラグ剥離性を維持しつつ、REGARC™の特殊波形成制御に適した優れた通電性、耐チップ融着性、およびワイヤ送給性を有している。このため、アーク安定性に優れ、スパッタ発生

脚注1) REGARC™ (REGARC™) は当社の商標である。

脚注2) FAMILIARC™ (FAMILIARC™) は当社の商標である。

脚注3) TRUSTARC™ (TRUSTARC™) は当社の商標である。

\*1 溶接事業部門 技術センター 溶接開発部

量の極めて少ない溶接を可能にする。

MG-56R(N)とMG-60R(N)のJISおよび溶着金属の機械的性質の一例を表1に示す。また、REGARC™溶接法にて専用ワイヤと従来ワイヤを用いた場合のスパッタ発生量を図1に示す。専用ワイヤを用いることで、従来ワイヤに比べて約40%スパッタ発生量が低減している。

MG-56R(N)を用い、角形鋼管ならびに円形鋼管柱とダイヤフラムの溶接を行った継手の機械的性質の一例を表2に示す。なお、溶接は当社製の柱大組溶接ロボットシステムを用い、表3に示す条件にて行った。図2に溶接後の柱・ダイヤフラムおよびシールドノズルへのスパッタ付着状況を示す。従来溶接法に比べ、柱・ダイヤフ

表1 全溶着金属の機械的性質一例  
Table 1 Mechanical properties of deposited metal

	YS (MPa)	TS (MPa)	El. (%)	vE <sub>0C</sub> (J)
MG-56R(N)	540	615	28	145 (0°C)
JIS Z 3312 YGW18	≧ 460	550-740	≧ 17	≧ 70 (0°C)
MG-60R(N)	590	650	25	120 (-5°C)
JIS Z 3312 G59J A 1U C 3M1T	≧ 500	590-790	≧ 16	≧ 47 (-5°C)

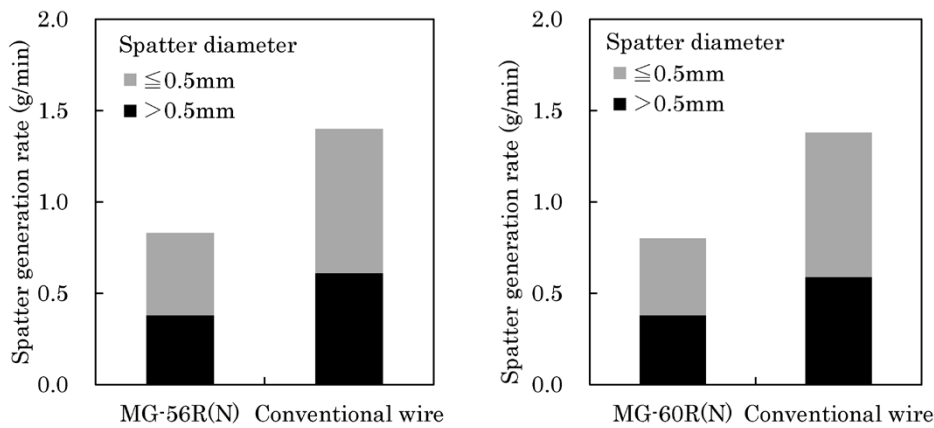


図1 REGARC™溶接用ワイヤと従来ワイヤによるスパッタ発生量の比較  
Fig. 1 Comparison of spatter generation rate between developed wire and conventional wire (Wire diameter: 1.2mm, Shielding gas: 100% CO<sub>2</sub>, Welding condition: 290A-38V-400mm/min)

表2 MG-56R(N)による柱-ダイヤフラム継手の機械的性質一例  
Table 2 Mechanical properties of column - diaphragm weld joint with MG-56R(N)

Type of column	YS (MPa)	TS (MPa)	El. (%)	vE <sub>0C</sub> (J)
Square pipe column	530	607	31	153
Circular pipe column	499	595	30	150

表3 柱-ダイヤフラム溶接継手の溶接施工条件  
Table 3 Welding procedure of column - diaphragm weld joint

Type of column	Square pipe column	Circular pipe column
Base metal	BCP325 (Column) JIS G 3136 SN490B (Diaphragm)	JIS G 3475 STKN490B (Column) JIS G 3136 SN490B (Diaphragm)
Column thickness	19mm	19mm
Column size	400mm width	500mm diameter
Welding wire diameter	1.2mm	1.2mm
Pass sequences	7 passes - 6 layers	6 passes - 5 layers
Max. heat input	3.0kJ/mm	4.0kJ/mm
Max. interpass temp.	250°C	350°C

ラムやシールドノズルへの付着スパッタ量は大幅に減少している。これは、スパッタ除去作業やシールドノズル清掃頻度の低減や、シールドノズル閉そくにもなうじん性劣化の防止につながる。

## 1.2 半自動溶接ソリッドワイヤ

JIS Z 3312 YGW18に該当するアーク溶接ソリッドワイヤであるFAMILIARC™ MG-56(以下、MG-56という)は、半自動溶接における溶接作業者の負荷軽減を目指して開発された。従来の溶接金属性能を維持しつつ、溶接作業者の視点から溶接作業性をさらに向上させた製品になっている。

ワイヤ表面に特殊な処理を施すことで、MG-56は従来ワイヤに比べてワイヤ送給性に優れるという特長を有する。図3に示すワイヤ送給経路にて溶接した際の溶接電流、電圧およびワイヤ送給抵抗の時間挙動を従来ワイヤと比較した結果を図4に示す。いずれも変動が小さくなっている。これは、アークやワイヤ送給が安定している

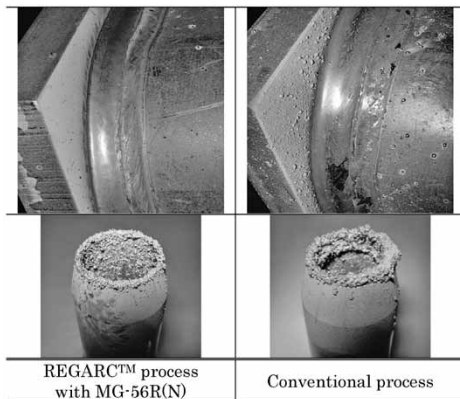


図2 溶接後の部材およびシールドノズルのスパッタ付着状況  
Fig. 2 Spatter sticking on structure and shield nozzle

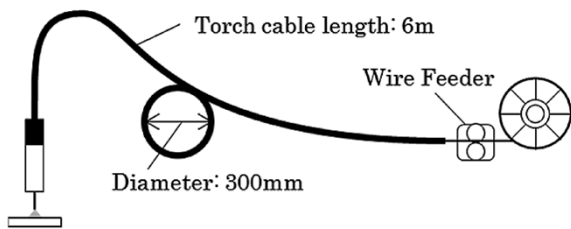


図3 ワイヤ送給経路の概念図  
Fig. 3 Schematic illustration of wire feeding path

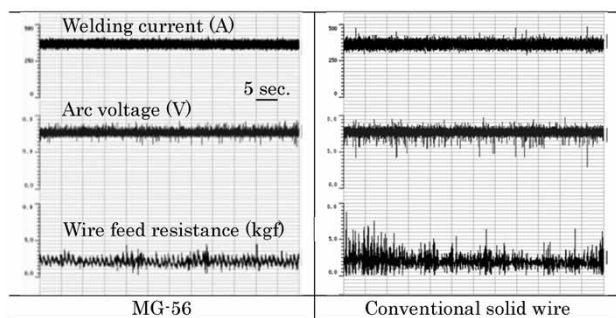


図4 溶接電流、アーク電圧、ワイヤ送給抵抗の時間変動  
Fig. 4 Fluctuation of welding current, arc voltage and wire feeding resistance  
(Wire diameter: 1.2mm, Shielding gas: 100% CO<sub>2</sub>, Welding condition: 360A-38V-300mm/min)

ことを示しており、トーチ振動が軽減されるだけでなく、スパッタ発生量の低減にもつながる。これにより、溶接後のスパッタ除去作業が軽減される。また、スパッタがシールドノズルに付着してシールド性を劣化させる可能性が低くなるため、じん性の安定化にもつながる。

なお、MG-56のワイヤ化学成分と全溶着金属の機械的性質一例を表4および表5に示す。ワイヤ成分や機械的性質は従来ワイヤと同等である。

## 2. 亜鉛めっき鋼板用溶接材料

### 2.1 亜鉛めっき鋼板溶接時の問題点

亜鉛めっき鋼板の溶接においては、アーク熱により酸化した亜鉛ガスが、ピットやブローホールなど気孔欠陥の原因になる。同時に、アーク安定性を阻害し、スパッタやヒューム発生量の増加につながるなど溶接作業性を悪化させるという問題を抱えている。これらの問題は、亜鉛めっき鋼板の亜鉛付着量(単位面積当たり付着している亜鉛皮膜質量, g/m<sup>2</sup>)が多いほど顕著となる。気孔欠陥発生メカニズムを図5に示す。亜鉛の沸点は約900℃であり、アーク熱により酸化した亜鉛は多量のガスとなる。この亜鉛ガスは溶接金属内部に残留し気孔欠陥となる。また、アーク直下で噴出したガスは、アークを乱して安定した溶滴移行を妨げ、スパッタ発生量を増加させる原因にもなる<sup>4)</sup>。

気孔欠陥は外観の劣化や継手強度を低下させるため、手直しが必要になる場合が多い。また、付着したスパッタも外観の劣化につながるため、除去作業が発生するなど、いずれも品質や生産性の低下をもたらす。したがって、亜鉛めっき鋼板の溶接においては、これらの欠陥を最小限に抑えることが極めて重要であり、適切な溶接施工法と溶接材料の選定が必要である。

これらの問題を解決するために、当社は亜鉛めっき鋼板溶接用ソリッドワイヤ、フラックス入りワイヤおよび被覆アーク溶接棒の開発を行ってきた。表6に亜鉛めっき鋼板用溶接材料の一覧を示し、それぞれの特徴を記載する。

### 2.2 炭酸ガスアーク溶接ソリッドワイヤ

FAMILIARC™ MG-1Z(以下、MG-1Zという)およびFAMILIARC™ SE-1Z(以下、SE-1Zという)は、亜鉛付着量約100 g/m<sup>2</sup>以下の亜鉛めっき鋼板に対し、優れた耐気孔性と溶接作業性を兼ね備えたアーク溶接ソリッドワイヤである。MG-1Zは銅めっきソリッドワイヤ、SE-1Zは銅めっき無しソリッドワイヤである。図6に溶接電流とスパッタ発生量の関係を示す。SE-1ZはMG-1Zに比べてワイヤ送給性とアーク安定性に優れ、スパッタ発生量が少ないという特長を有している。いっぽう、MG-1ZはSE-1Zに比べて耐チップ磨耗性に優れるという特長を有しており、主に長時間の連続溶接性を重視する場面で使用される。

図7に気孔欠陥低減メカニズムを示す。気孔欠陥を低減するためには、アーク直下の溶融池からいかに亜鉛ガスを放出させるかが重要である。このためには、アーク直下に流入する溶融金属を低減させ、溶融池を薄くする

表4 ワイヤ化学成分の一例

Table 4 Typical chemical composition of wire (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cu*	Ti+Zr
MG-56	0.03	0.80	1.85	0.011	0.009	0.15	0.24	0.20
JIS Z 3312 YGW18	-0.15	0.55 -1.10	1.40 -2.60	-0.030	-0.030	-0.40	-0.50	-0.30

\* Includes copper coating

表5 全溶着金属の機械的性質一例

Table 5 Typical mechanical properties of deposited metal

	YS (MPa)	TS (MPa)	El. (%)	vE <sub>0C</sub> (J)
MG-56	525	610	24	208
JIS Z 3312 YGW18	≥ 460	550-740	≥ 17	≥ 70

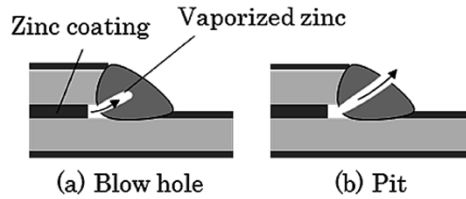


図5 気孔欠陥発生メカニズム (重ね継手)

Fig. 5 Mechanism of porosity defect generation (Lap joint)

表6 亜鉛めっき鋼板用溶接材料

Table 6 Welding consumables for zinc coated plate

Type	Product name	Shielding gas	JIS classification	Recommended zinc coating weight (g/m <sup>2</sup> )
Solid wire	MG-1Z	CO <sub>2</sub>	JIS Z 3312 G49 A 0 C 12	≤ 100
	SE-1Z	CO <sub>2</sub>	JIS Z 3312 G49 A 0 C 12	≤ 100
Flux cored wire	MX-1Z	CO <sub>2</sub>	JIS Z 3313 T49J 0 T1-0 C A-U	≤ 150
	MX-100Z	CO <sub>2</sub>	JIS Z 3313 T49 0 T15-1 C A-U	≤ 150
	DW-1SZ	CO <sub>2</sub>	JIS Z 3313 T49 0 T5-1 C A	≤ 550
Stick electrode	Z-1Z	---	JIS Z3211 E4340	≤ 550

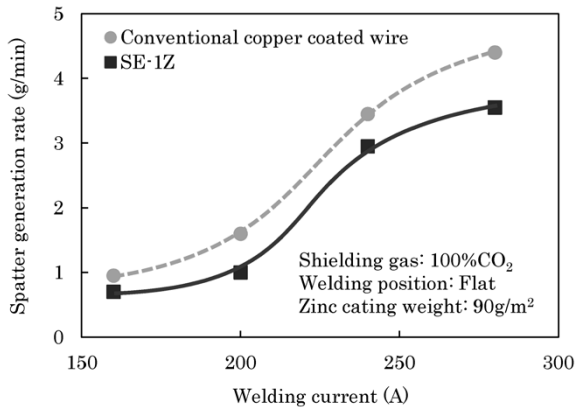


図6 溶接電流とスパッタ発生量の関係

Fig. 6 Relation between welding current and spatter generation

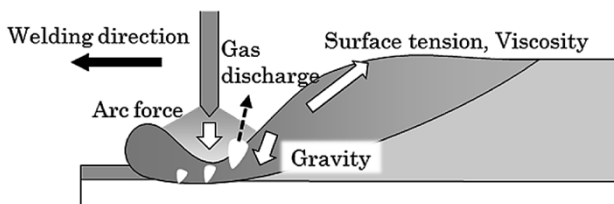


図7 気孔欠陥低減メカニズム

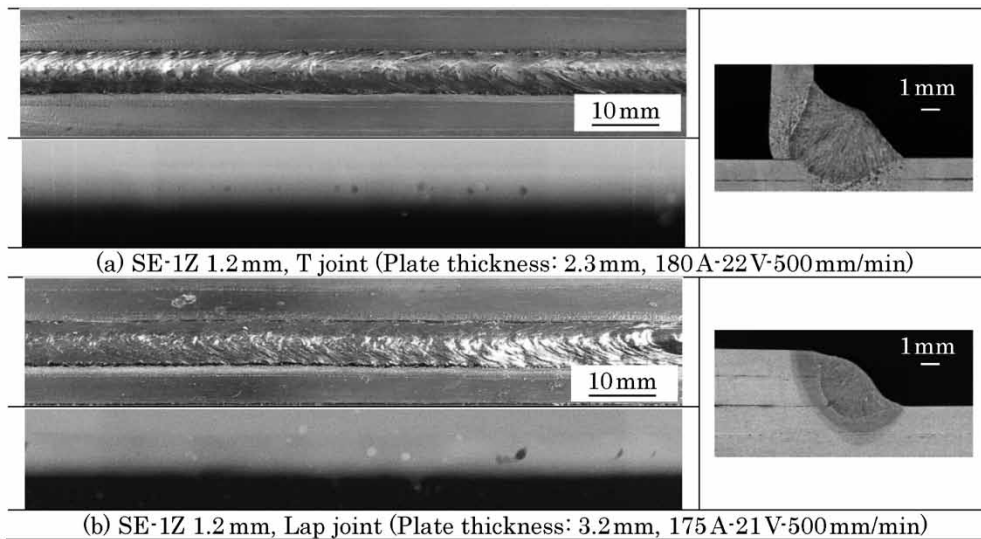
Fig. 7 Mechanism for reduction of porosity

ことが有効である<sup>5)</sup>。この考えに基づき、溶融金属の粘性を高めることで、MG-1ZおよびSE-1Zはアーク直下への溶融金属の流れ込みを低減し、気孔欠陥の発生を抑制している。

SE-1ZにてTすみ肉溶接と重ねすみ肉溶接を行った際のビード外観、X線透過像、断面マクロを図8に示す。溶着金属の化学成分と機械的性質の一例を表7に示す。スパッタ発生量が少なくビード表面にピットの発生もない。また、ブローホールの発生も非常に少ない。

### 2.3 炭酸ガスアーク溶接フラックス入りワイヤ

FAMILIARC™ MX-1Z (以下、MX-1Zという) と FAMILIARC™ MX-100Z (以下、MX-100Zという) は亜鉛付着量約150 g/m<sup>2</sup>以下の亜鉛めっき鋼板において、優れた耐気孔性と溶接作業性を有するアーク溶接フラックス入りワイヤである。MX-1Zは溶接電流が200 A以上の中電流域で、MX-100Zは200 A以下の低電流域で良好なアーク安定性を有している。いずれもソリッドワイヤよりも溶接作業性の面では優れている。とくに、スパッタ発生量が少ないこと、スラグ剥離性やビード外観、形状が良好であるなどの特長を有している。MX-1ZとMX-100Zによる重ねすみ肉のビード外観と断面マクロ



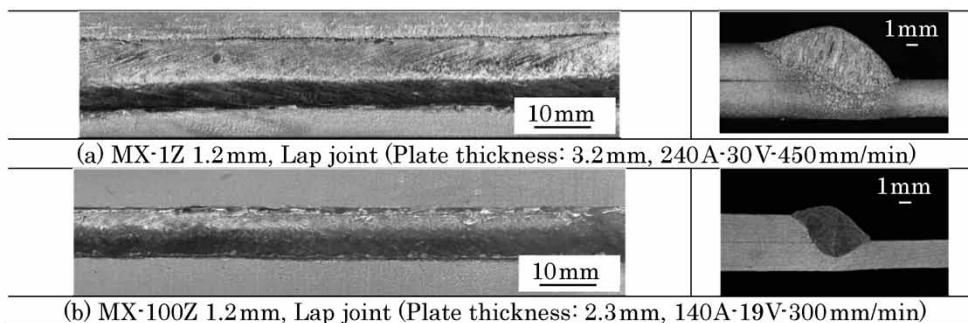
Zinc coating weight: 90 g/m<sup>2</sup>

図8 亜鉛めっき鋼板用ソリッドワイヤSE-1Zによるビード外観, X線透過像および断面マクロ  
Fig. 8 Bead appearance, X-Ray and cross section macrostructure with solid wire for zinc coated plate SE-1Z

表7 亜鉛めっき鋼板用ソリッドワイヤの溶着金属性能一例

Table 7 Typical properties of deposited metal with solid wire for zinc coated plate

Product name	Chemical composition (mass%)					Mechanical properties			
	C	Si	Mn	P	S	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	vE <sub>0C</sub> (J)
SE-1Z (MG-1Z)	0.10	0.49	1.19	0.009	0.009	430	540	30	110



Zinc coating weight: 135 g/m<sup>2</sup>

図9 亜鉛めっき鋼板用フラックス入りワイヤによるビード外観および断面マクロ  
Fig. 9 Bead appearance and cross section macrostructure with flux cored wire for zinc coated plate

表8 亜鉛めっき鋼板用フラックス入りワイヤの溶着金属性能一例

Table 8 Typical properties of deposited metal with flux cored wire for zinc coated plate

Product name	Chemical composition (mass%)					Mechanical properties			
	C	Si	Mn	P	S	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	vE <sub>0C</sub> (J)
MX-1Z	0.05	0.50	1.52	0.011	0.010	480	570	26	83
MX-100Z	0.10	0.40	1.55	0.011	0.012	480	590	27	100

を図9に示す。均一でなじみの良いビードが形成できている。また、溶着金属の化学成分と機械的性質の一例を表8に示す。

#### 2.4 被覆アーク溶接棒

FAMILIARC™ Z-1Z (以下, Z-1Zという)は、亜鉛めっき鋼板用に開発した被覆アーク溶接棒であり、従来の被覆アーク溶接棒と比較して、アークの吹付が強いか

つ集中性が良い。これにより、アーク直下の熔融池を掘り下げることができるため、亜鉛ガスが放出されやすい。推奨される亜鉛付着量は $\leq 550 \text{ g/m}^2$ であり、比較的亜鉛付着量の多い亜鉛めっき鋼板の溶接にも適用できる。亜鉛めっき鋼板用被覆アーク溶接棒Z-1Zによるビード外観および断面マクロを図10に示す。Z-1Zでは、アーク安定性に優れ、スパッタ発生量が少なく、外観や

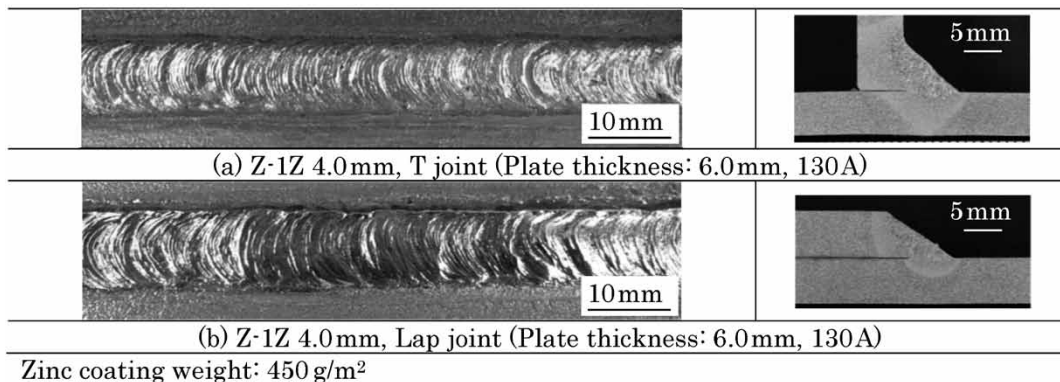


図10 亜鉛めっき鋼板用被覆アーク溶接棒Z-1Zによるビード外観および断面マクロ  
 Fig.10 Bead appearance and cross section macrostructure with stick electrode for zinc coated plate

表9 亜鉛めっき鋼板用被覆アーク溶接棒の溶着金属性能一例  
 Table 9 Typical properties of deposited metal with stick electrode for zinc coated plate

Product name	Chemical composition (mass%)					Mechanical properties			
	C	Si	Mn	P	S	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	vE <sub>0°C</sub> (J)
Z-1Z	0.09	0.15	0.48	0.015	0.005	380	450	26	100

形状が良好な溶接ビードを形成することができる。また、溶着金属の化学成分と機械的性質の一例を表9に示す。

むすび＝活況な建築分野の需要に対応し、当社が近年開発を進めてきた溶接材料の紹介を行った。今後、建築構造物がさらに高層化・大型化・複雑化していく中で、より厳しくなる規格や様々な市場ニーズに対応できる溶接材料や溶接施工法の開発を継続していく。これらの技術

を生かし建築分野において溶接継手の品質と信頼性向上、ならびに溶接施工の能率向上に寄与していきたい。

参考文献

- 1) 栗山良平ほか. R&D神戸製鋼技報. 2013, Vol.63, No.1, p.37-41.
- 2) 辻村太佳夫. 日新製鋼技報. 2011, No.92, p. 1-8.
- 3) 横田順弘ほか. R&D神戸製鋼技報. 2013, Vol.63, No.1, p.42-47.
- 4) 濱田悦男. ほうだより技術がいにど. 2016, Vol.494, p. 3-6.
- 5) 泉谷 瞬ほか. R&D神戸製鋼技報. 2013, Vol.63, No.1, p.54-59.

PDFにて本記事をご覧の方へ

図2にある動画マーク  をクリックいただくと動画が再生されます。