



KAGAYA TECHNICAL REPORT

カガヤ技報

Vol.1 2020



KAGAYA TECHNICAL REPORT

カガヤ技報

Vol.1 2020

カガヤ技報 Vol.1 2020

目次

巻頭言

新たなる船出として.....	1
	加賀谷 浩一

論文・報告

1. 建築構造用高性能 550N/mm ² 級冷間プレス成形角形鋼管の溶接施工法試験.....	2
	工藤 哲也 菊池 賢祐 久保 真弓
2. りん酸塩摩擦面処理による溶融亜鉛めっき高力ボルト接合すべり耐力試験.....	8
	工藤 哲也 久保 真弓
3. 韓国製ビルト H 形鋼の材料試験及び承認試験.....	12
	工藤 哲也 菊池 賢祐 久保 真弓
4. 除せい状態の溶射皮膜耐久性への影響.....	22
	工藤 哲也 久保 真弓 桑嶋 孝幸* 佐々木 龍徳* 佐々木 麗*
	*岩手県工業技術センター

技術紹介

5. 高規格材鉄骨製作支援制度の紹介.....	31
	工藤 哲也 久保 真弓

【対外発表】.....	34
-------------	----

新たなる船出として

代表取締役社長
加賀谷 浩一

KAGAYA Koichi



平素は格別のお引き立てをいただき、厚く御礼申し上げます。カガヤ技報創刊にあたり一言ご挨拶申し上げます。株式会社カガヤは 1967 年に創業、1972 年に会社設立し今年 2021 年で設立 50 年を迎えることができます。弊社は金物工事の下請会社として創業して以来、多くの皆様を支えられご指導、ご鞭撻を賜り、何とか建築鉄骨に携わる一員としてここまで来ることができましたこと改めて心より御礼申し上げます。

現在、弊社は主力の建築鉄骨を担当する鉄構事業部、総合建築部門を担当する建築事業部（2021 年分社化予定）、完全子会社のカガヤ不動産を有し、また 2011 年の東日本大震災発災の折、弊社設立者加賀谷輝雄の幼少期を過ごした場所である被災地の一つ、岩手県沿岸の山田町には地域貢献として 2012 年からビジネスホテルを運営しております。

今、世の中はコロナ禍という未曾有の災厄の中で多くの企業が低成長・非連続・高速変化に対しどのように取り組んでいくか模索しているのが現状ではないでしょうか。持続可能性を求められる時代にあって、産業によっては今にも瀕死な状況に追い込まれている分野も少なくはないのではないでしょうか。「持続可能性とは何か」は弊社にとっても最大のテーマであります。50 年培った鉄構の技術、建築事業・不動産事業の専門性のスキルを活用し最大限の付加価値を創造するとともに、また業態の形に囚われることなく変化を受け入れていく企業を目指してまいります。

この度、弊社鉄構事業部門では設立 50 年の節目として今まで皆様からご享受いただき取り組んできた技術・開発の内容を技術報告誌「カガヤ技報」としてまとめ創刊することと致しました。業界発展のためなどとおこがましいことは申し上げます。至らないところも多々あるかもしれませんがわずかでも地域の皆様、業界関係の皆様にお役に立てるよう取り組んでまいります。この技報もまた形に囚われることなく時代の変化に応じた技報になるようスタッフ一同、頑張っ



建築構造用高性能 550N/mm² 級冷間プレス成形角形鋼管の溶接施工法試験 Welding procedure test of high-performance 550N/mm² grade cold press formed square steel pipe for building structure.

工藤 哲也, 菊池 賢祐, 久保 真弓

by KUDO Tetsuya, KIKUCHI Kensuke, KUBO Mayumi

キーワード：溶接施工法試験, BCHT385BTF

Keywords：welding procedure test, BCHT385BTF

1. 緒言

当社では、2018年に初めて実施工にて建築構造用高性能 550N/mm² 級冷間プレス成形角形鋼管 BCHT385BTF (日鉄住金建材 (株)) を適用した。本物件はセットバックしたコラム柱が使用されており、ロボット溶接適用不可のため半自動溶接での施工が必要であった。当初はコラム材に脆性破壊防止溶接積層法 (NBFW 法) を適用する建築構造用高性能 550N/mm² 級冷間プレス成形角形鋼管を使用予定であったが、半自動溶接にて NBFW 法を行うことは容易ではない。そのため、NBFW 法が不要となる BCHT385BTF を採用した。

BCHT385BTF は HAZ 靱性を改善しており、辺部に加え角部の靱性 (70J, 0°C) を保証している。HAZ (溶接熱影響部) は溶融温度近くにまで加熱されるため γ 粒が粗大化し、冷却変態後の組織も結晶粒が粗く靱性が低下する。母相中に第 2 相粒子 (析出物) が分散している場合、粒界移動を妨げようとするピン止め効果が働き、粒成長が抑制される。BCHT385BTF は、Ti-N 析出物の適量活用及びマグ溶接熱影響部靱性指標 (f_{HAZ}) の低減により

HAZ 靱性を改善し、かつ TMCP を用い炭素当量 (C_{eq}) 及び溶接割れ感受性 (P_{CM}) の低減により溶接性を高めている¹⁾。本鋼材は一般社団法人日本建築センターの評定取得 (評定-ST0232-03) 及び国土交通省の認定を受けており²⁾、BCP325 と同様の溶接積層法を用いても設計付加事項の適用を除外でき、四面ボックスと同条件にて設計可能である¹³⁾。

本施工試験では、BCHT385BTF を使用するにあたり、母材及び完全溶込み溶接部の性能を評価した。試験体は柱に BCHT385BTF、通しダイアフラムに BT-HT385C を用いて製作し、非破壊試験及び機械試験、マクロ試験を行った。なお、機械的性質はコラムの辺部及び角部、溶接金属の表層及び初層部位に分け各部位にて評価した。

2. 試験方法

2.1 供試材及び試験体

表 1 に供試材の機械的性質を示し、表 2 に化学成分を示す。コラム主材はサイズ \square -700×700×40mm であり、材質は BCHT385BTF である。ダイアフラ

表 1 供試材の機械的性質 (ミルシート値)

	材質	メーカー	引張試験				衝撃試験
			降伏点又は 0.2%耐力(N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	降伏比 (%)	伸び (%)	シャルピー吸収 エネルギーvE ₀ (J)
コラム主材	BCHT385BTF	日鉄住金建材 (株)	409	607	67	30	299
ダイアフラム	BT-HT385C	新日鐵住金 (株)	434	573	76	35	344

表 2 供試材の化学成分 (ミルシート値)

	化学成分(mass%)													
	C	Si	Mn	P	S	N	Ni	Cr	Mo	V	Ti	C _{eq} ^{*1}	f _{HAZ} ^{*2}	P _{CM} ^{*3}
BCHT385BTF	0.12	0.22	1.48	0.008	0.001	0.0041	0.02	0.02	0.00	0.00	0.001	0.38	0.37	-
BT-HT385C	0.14	0.27	1.33	0.011	0.002	0.0033	0.002	0.02	0.01	0.00	-	0.38	-	0.22.

*1 C_{eq}=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14

*2 f_{HAZ}=C+Mn/8+(P+S)+12N-4Ti

*3 P_{CM}=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B

ムは板厚 50mm であり, 材質は BT-HT385C を用いる. 試験体形状は図 1 とし, 1 体製作する.

BCHT385BTF 施工指針では予熱不要だが, 冬季に製作するため遅れ割れの防止策として 100°C の予熱を行う. 溶接技能者は AW 検定有資格者とする. 積層計画を図 2 に示す. 施工時の作業性を考慮し, 角部の積層計画は辺部よりパス数を減らしている.

2.2 溶接条件

溶接材料を表 3 に示し, 溶接条件を表 4 に示す.

表 3 溶接材料

メーカー	材料規格	銘柄	線径	シールドガス
日鉄溶接工業(株)	G59JA1UC3M1T	YM-60C	φ 1.2mm	CO ₂

表 4 溶接条件

溶接方法	溶接姿勢	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	入熱量 (kJ/cm)	パス間温度 (°C)	ガス流量 (L/min)	予熱 (°C)
半自動	下向き	230~400	25~41	15~60	≦30	≦250	25~40	100

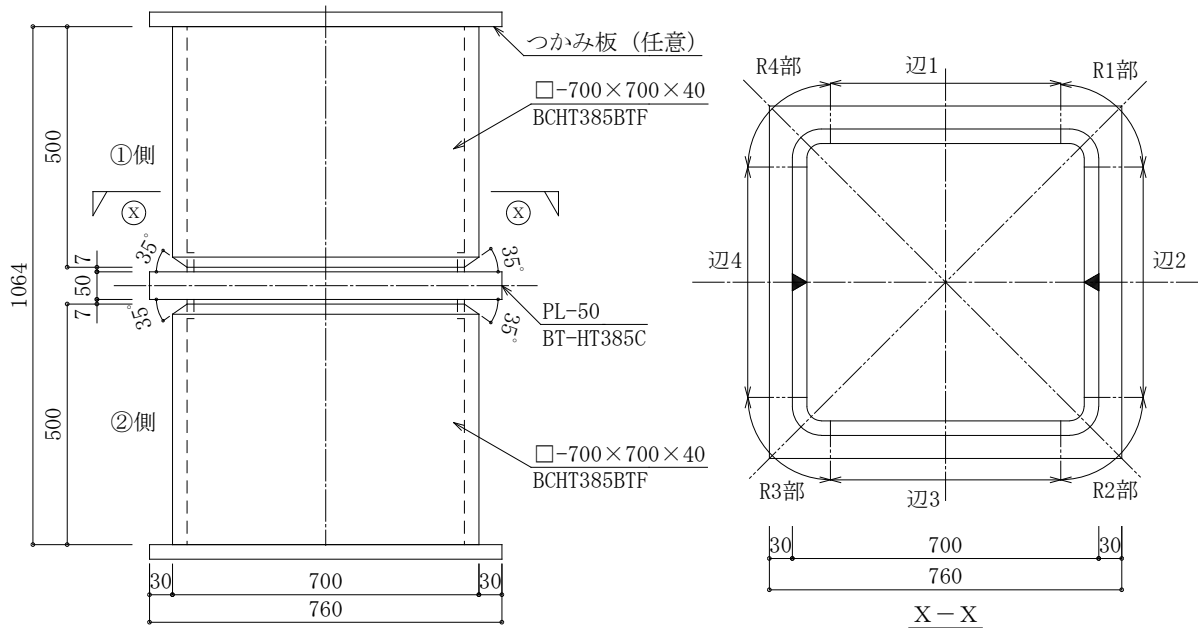


図 1 試験体形状

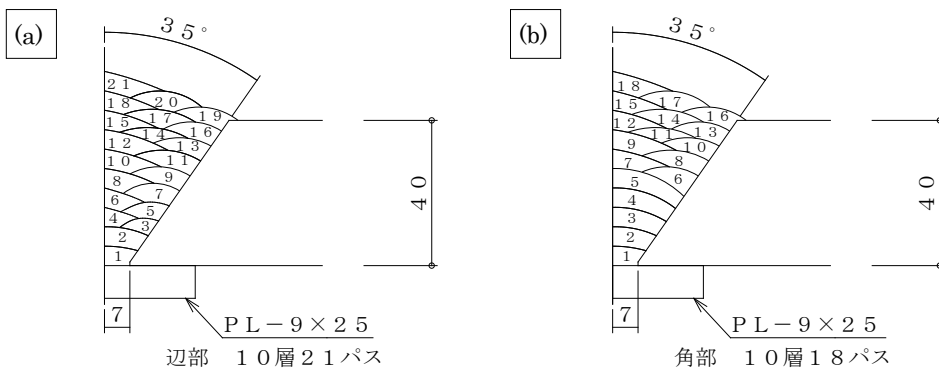


図 2 積層計画 (a)辺部, (b)角部

2.5 超音波探傷試験

超音波探傷試験は試験体①及び②側ともに溶接線全線において実施する。日本建築学会「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説(2008)」に準ずる。角部については同基準の付2「角形鋼管柱溶接角部の超音波探傷試験方法に関する指針」(1996)を適用する。

2.6 衝撃試験

衝撃試験は JIS Z 2242-2005 によりシャルピー衝撃試験を実施する。試験温度は 0°Cとし、試験片の形状は V ノッチ試験片 (JIS Z 3111-2005) とする。衝撃試験片採取位置を図 4 に示す。コラムの角部及び辺部の(a)ダイアフラム側 HAZ, (b)ダイアフラム側 BOND, (c)DEPO, (d)開先側 BOND&HAZ において溶接金属の表層及び初層を評価する。また、参考として母材を試験する。0°Cにおけるシャルピー吸収エネルギーの 3 個平均が、70J 以上を合格とする。

2.7 引張試験

引張試験は JIS Z 2241-2011 により実施する。継手引張試験は 1A 号試験片 (JIS Z 3121-2013)、母材引張試験は φ 14mm の 4 号試験片 (JIS Z 2241-2011) とし、辺部及び角部にて評価する。溶着金属引張試験は φ 12.5mm の A1 号試験片 (JIS Z 3111-2005) とし、辺部のみ評価する。継手引張試験は、引張強さ 550N/mm² 以上を満たす場合に合格とする。溶着金属引張試験及び母材引張試験は、降伏点又は 0.2%耐力 385N/mm² 以上及び引張強さ 550N/mm² 以上を満たす場合に合格とする。なお、伸び及び絞り値は参考値とする。

2.8 マクロ試験

マクロ試験は辺部を対象とし、溶接部断面の片側を 5~10%の硝酸アルコール液でエッチング後に評価する。AW 検定試験要領を適用し、割れの有無、欠陥の可否を判定する。

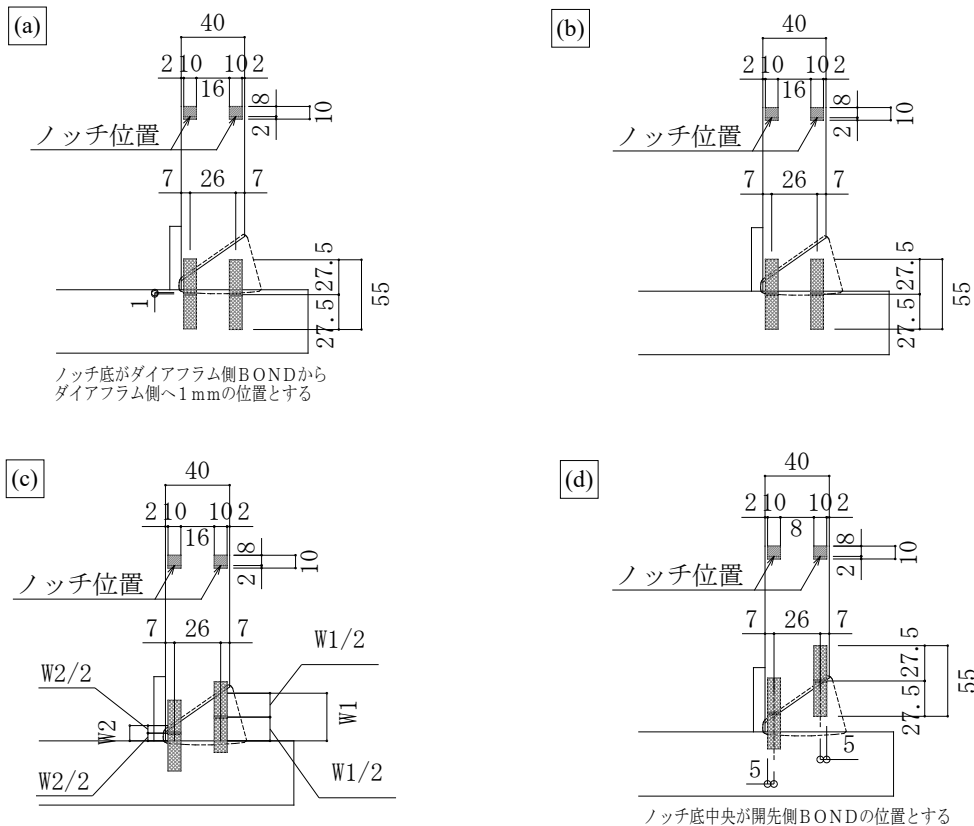


図 4 シャルピー衝撃試験の試験片採取位置

(a)ダイアフラム側 HAZ, (b)ダイアフラム側 BOND, (c)DEPO, (d)開先側 BOND&HAZ

2.9 硬さ試験

硬さ試験は辺部を対象とし、ビッカース硬さ試験(JIS Z 2244-2009)を行う。表面下 2mm, 板厚中央, 裏面上 2mm の 3 か所を測定し, ①側開先からダイアフラムを通り②開先までの区間を測定する。測定間隔は母材 1mm, 溶接金属 1mm, HAZ 0.5mm, BOND0.5mm とし, 全ての測定点において最高硬さ HV350 以下を合格とする。

3. 試験結果

3.1 外観検査

溶接線全線において溶接欠陥の有無, 寸法及び欠陥の大きさを測定した。溶接欠陥はなく, 基準を満たし合格であった。

3.2 超音波探傷試験

溶接線全線において試験を行い, 溶接欠陥の有無を測定し, 判定基準を超える欠陥は検出されず合格となった。

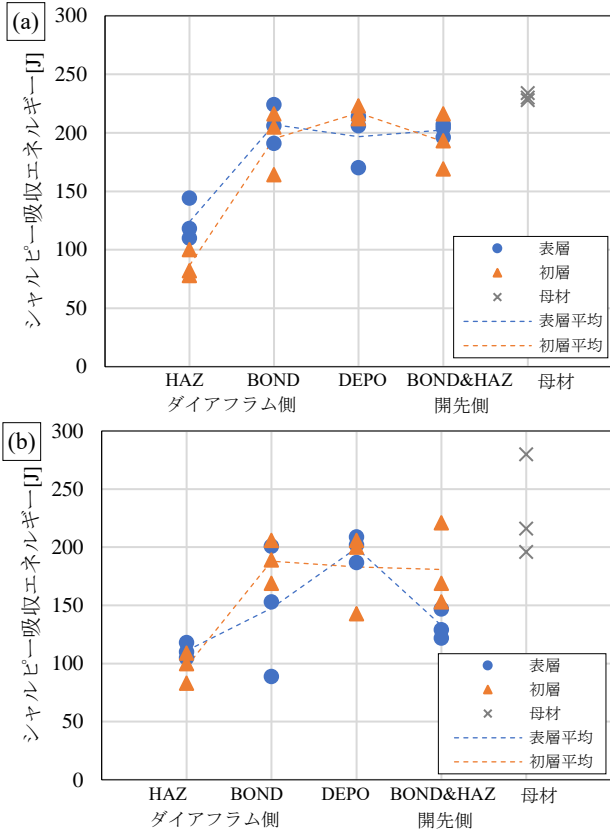


図5 シャルピー衝撃試験結果(0°C)
(a)辺部, (b)角部

3.3 衝撃試験

辺部の結果を図 5(a)に示し, 角部の結果を図 5(b)に示す。辺部及び角部におけるダイアフラム側 HAZ, ダイアフラム側 BOND, DEPO, 開先側 BOND&HAZ 及び母材にてシャルピー吸収エネルギーの 3 個平均が全て 70J を超えていた。なお, 角部と辺部ともにダイアフラム側 HAZ の吸収エネルギー値が低く, 角部は辺部に比べダイアフラム側 BOND 及び開先側 BOND&HAZ の表層平均値が低かった。

3.4 引張試験

試験結果一覧を表 5 に示す。継手引張試験後の試験片を図 6 に示す。継手引張試験は引張強さ 550N/mm² 以上を満たし, 全て母材で破断した。溶着金属引張試験及び母材引張試験は, 降伏点又は 0.2%耐力 385N/mm² 以上及び引張強さ 550N/mm² 以上を満たした。参考値ではあるが母材引張試験の伸び及び絞り値も母材の規定値を満たすことを確認した。

表 5 引張試験結果

試験	部位	引張強さ (N/mm ²)	降伏点又は 0.2%耐力 (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)
十字継手	辺部	631	-	-	-
	角部	715	-	-	-
溶着金属	辺部	643	578	-	-
母材	辺部(C)	614	422	29.2	80.5
		615	421	30.8	81.6
	厚さ方向	597	-	-	76.1
		595	-	-	79.0
		595	-	-	79.5

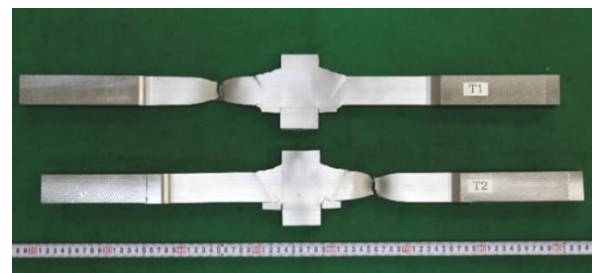


図6 十字継手引張試験片(辺部 T1, 角部 T2)

3.5 マクロ試験

図7にマクロ試験結果を示す。①側及び②側の辺部において有害な欠陥は見られず、十分な溶込みが得られた。

3.6 ビッカース硬さ試験

図8に結果を示す。(a)表面下2mm, (b)板厚中央, (c)裏面上2mmの3か所において、全線にわたりHV350を超えるような硬化は見られなかった。また、HAZ部にみられる軟化も極端なものではなかった。

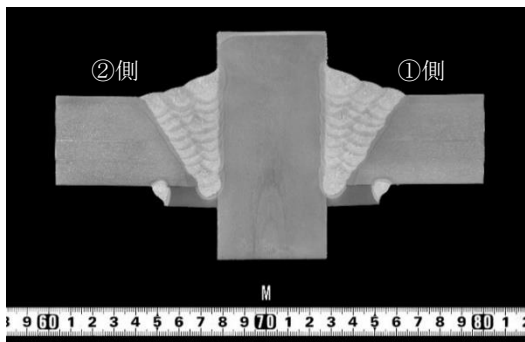


図7 マクロ試験結果

4. 結言

半自動溶接を使用して BCHT385BTF の溶接施工試験を行った結果、母材及び完全溶込み溶接部の機械的性質やマクロ試験などの基準値を満たした健全な溶接継手性能を得ることができた。本試験結果を基に設計者の許可を得て、BCHT385BTF（日鉄住金建材（株））を実施工にて初めて適用した。

[参考文献]

- 1) 一戸康生 ほか：溶接施工合理化を支える建築構造用厚板製品の開発，新日鐵住金技報，第403号，pp.97-104，2015
- 2) 国土交通省：建築基準法に基づく構造方法等の認定に係る帳簿等，2020.10.31
- 3) 日鉄建材：BCHT385BTF 設計指針

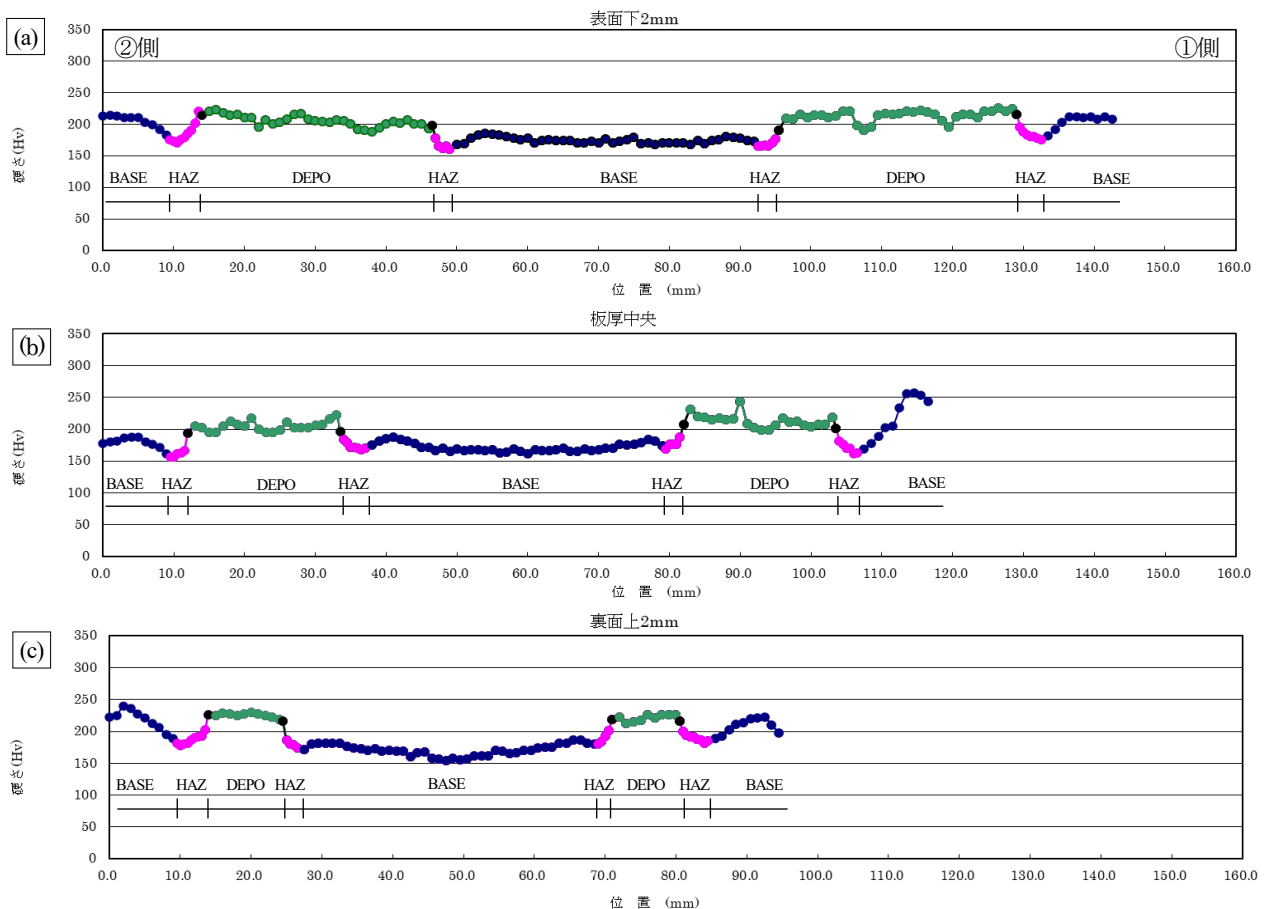


図8 ビッカース硬さ試験結果 (a)表面下2mm, (b)板厚中央, (c)裏面上2mm

りん酸塩摩擦面処理による溶融亜鉛めっき高力ボルト接合すべり耐力試験 Slip test of hot dip galvanized high strength bolted joints with phosphate friction surfaces treatment.

工藤 哲也, 久保 真弓

by KUDO Tetsuya, KUBO Mayumi

キーワード：すべり耐力, 溶融亜鉛めっき, りん酸塩処理

Keywords : slip resistance, hot dip galvanizing, phosphate treatment

1. 緒言

建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事では、2018年の改定にて薬剤発せいが標準仕様となり、溶融亜鉛めっき高力ボルト接合におけるすべり耐力試験及びすべり係数試験が原則不要となった¹⁾。しかし、現在でも設計図の特記事項や客先要求によりすべり試験が必要な場合があり、当社では改定以降もすべり試験を実施している。

溶融亜鉛めっき高力ボルト接合の場合、JASS6により摩擦面処理としてすべり係数 $\mu 0.4$ 以上を確保できる方法が要求される¹⁾。摩擦面処理の方法にはブラスト処理及びりん酸塩処理があり、建築鉄骨では作業効率化のためりん酸塩処理法が多用される。りん酸塩処理はりん酸処理液を摩擦面にはけ塗り、または浸漬により表面処理する方法である。

摩擦面の性能を確認するために、すべり試験を行う。すべり試験は実際の継手または同一条件で別に作られた試験体で行うのが望ましいが、行えない場合は標準試験体を用いる¹⁾。(図1) 図2に

すべり試験の荷重とすべり量の模式図を示す。すべり試験開始後、ある荷重に達すると急激にすべりを生じ(主すべり)、この荷重をすべり荷重という。孔の端まですべりが生じた後は支圧状態となり最終的に破断に至る。すべり耐力試験では、すべり荷重が短期許容せん断耐力の1.2倍以上あれば合格となる¹⁾。短期許容せん断耐力は(1)式から算出し、めっきの場合はすべり係数 μ を0.4とする。

なお、摩擦面処理法の変更などにより摩擦面のすべり係数を求める場合はすべり係数試験を行う。すべり係数試験は、試験体、使用ボルト、試験方法などすべり耐力試験と同様であり、それに加えて使用ボルトの導入張力を測定する。導入ボルト張力は、ボルトの製品検査証明書値を使用する場合もある。測定結果から(2)式を用いてすべり係数を算出する。

本試験は、物件毎のりん酸塩摩擦面処理によるすべり試験を省略することを目的とし、2019年に自主試験として溶融亜鉛めっき高力ボルト接合のすべり耐力試験をJASS6に基き実施した。

$$\text{短期許容せん断耐力} = \frac{1}{\nu} \cdot m \cdot n \cdot \mu \cdot N_0 \dots (1)$$

- n : ボルト本数
- m : 摩擦面数
- μ : すべり係数 (めっき:0.4)
- ν : 安全率 (短期:1.0)
- N_0 : 設計ボルト張力 (kN)

$$\text{すべり係数算出式} \quad \mu = \frac{P_{slip}}{m \cdot n \cdot N} \dots (2)$$

- μ : すべり係数
- P_{slip} : すべり荷重 (kN)
- N : 導入ボルト張力 (kN)

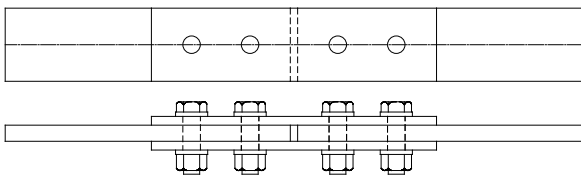


図1 すべり試験の試験体

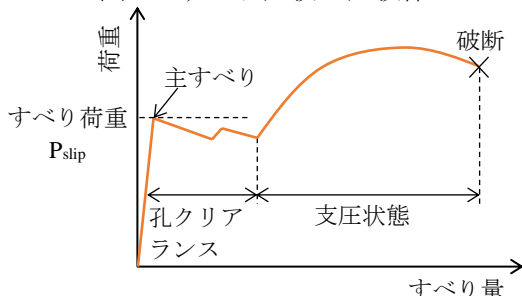


図2 すべり試験の荷重とすべり量

2. 試験条件

2.1 供試材

表 1 にめっき高力ボルトに示す。中板及び側板の鋼材は SS400 (JIS G 3101) を用いた。ボルト及び鋼材は溶融亜鉛めっき処理 (めっきの付着量 550g/m² 以上) を行った。その後、摩擦面にりん酸塩処理液 OMZP-2 を用い、りん酸塩処理を行った。溶融亜鉛めっき処理及びりん酸塩処理は (株) デンロコーポレーション (JIS 認定番号 Q A0207014) にて実施した。

2.2 試験体

試験体形状は図 3 に示す標準試験体とした。ボルト毎の試験体寸法を表 2 に示す。

2.3 試験体の組立て

図 4 に示す組立て手順に従い試験体を製作した。試験体の組立て前に摩擦面に浮きさび、油、塵埃等摩擦力を低減するものを除去した。試験体にボルトをセットした後、トルクレンチ ((株) 東日本製作所) を用い、表 3 に示すトルクで 1 次締めを行った。1 次締め終了後、ボルト、ナット、座金及び部材にわたってマーキングを施した。専用締め付け機 ((株) マキタ及び TONE (株)) を用い、ナット回転量 120°±30°の本締めを行った。本締め後に全数目視により、回転量、マークのずれを確認した。最後に試験体の側面にすべり確認用のけがき線を入れた。

表 1 めっき高力ボルト

セットの種類		適用する構成部品の機械的性質による等級		
機械的性質による種類	トルク係数値による種類	ボルト	ナット	座金
1 種	A	F8T	F10	F35

表 2 試験体寸法

試験体記号	ボルト呼び×長さ	孔径 d(mm)	中板厚 t1(mm)	側板厚 t2(mm)	板幅 W(mm)	端あき e(mm)	ピッチ p(mm)
M16-1~3	M16×65	18	16	9	75	40	60
M20-1~3	M20×80	22	19	12	95	50	70
M22-1~3	M22×85	24	22	12	100	55	80
M24-1~3	M24×105	26	25	16	105	60	90

表 3 1 次締めトルク

	M16	M20	M22	M24
1 次締めトルク (N・m)	約 100	約 150	約 150	約 200

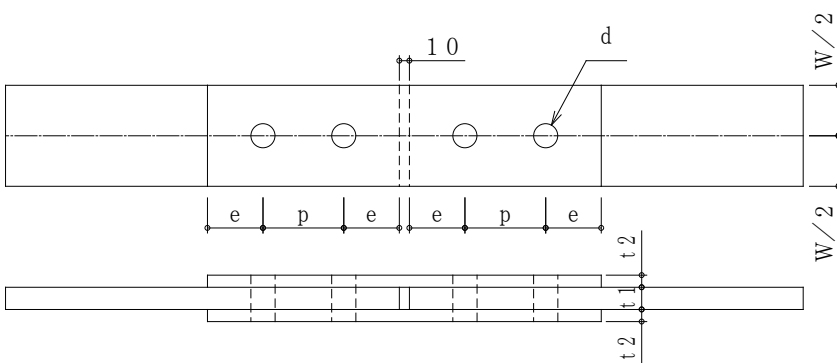


図 3 試験体形状

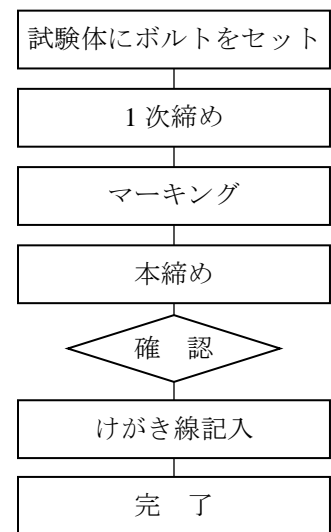


図 4 組立て手順

試験体組立ての施工管理及び締め付けは、当社にて溶融亜鉛めっき高力ボルト技術協会の資格認定を受けた技術者が行った。(写真1)

2.4 試験方法

すべり耐力試験はリラクセーションを考慮し、本締めから24時間以上経過してから行った。試験は岩手県工業技術センターの引張試験機(株)島津製作所を用いた。試験開始後徐々に載荷し、すべりが発生した時点でのすべり荷重を測定した。

なお、すべりは以下の現象が生じた場合とした。

- a) すべり音が発したとき
- b) 引張試験機の指針が停止または降下した時
- c) 試験体のけがき線がずれたとき

2.5 判定基準

全ての試験体のすべり荷重が短期許容せん断耐力の1.2倍以上の場合を合格とした。(1)式を基に算出した判定基準を表4に示す。

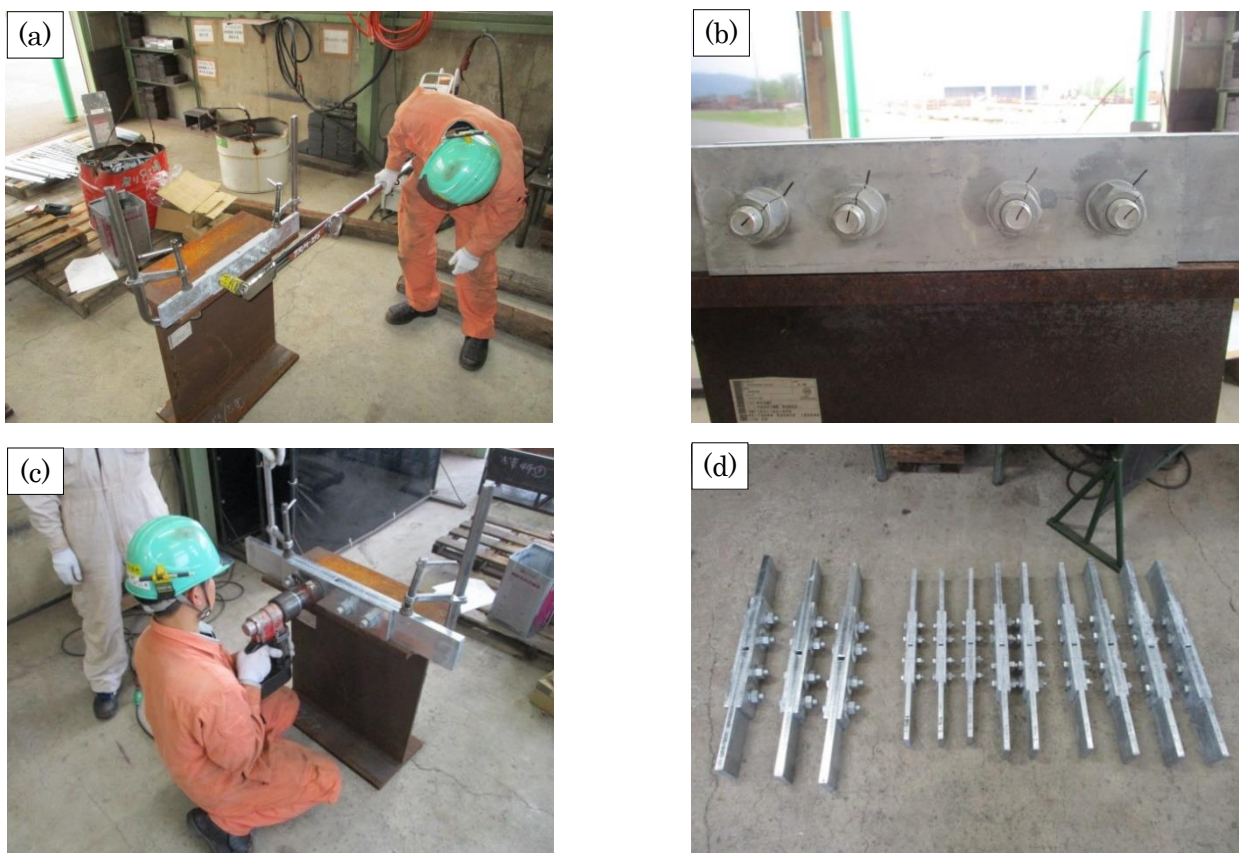


写真1 組立ての様子 (a)一次締め, (b)マーキング, (c)本締め, (d)完成体

表4 合否判定基準 (単位: kN)

	M16	M20	M22	M24
設計ボルト張力	85.2	133	165	192
短期許容せん断耐力	136.3	212.8	264	307.2
合否判定基準 (短期許容せん断耐力×1.2)	164	255	317	369

3. 試験結果

試験の状況写真を写真2に示し、試験結果一覧を表5に示す。全ての試験体において、すべり荷重が判定基準を満たし合格となった。

[参考文献]

- 1) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事, 2018
- 2) 日本建築学会, 高力ボルト接合施工ガイドブック, 2016

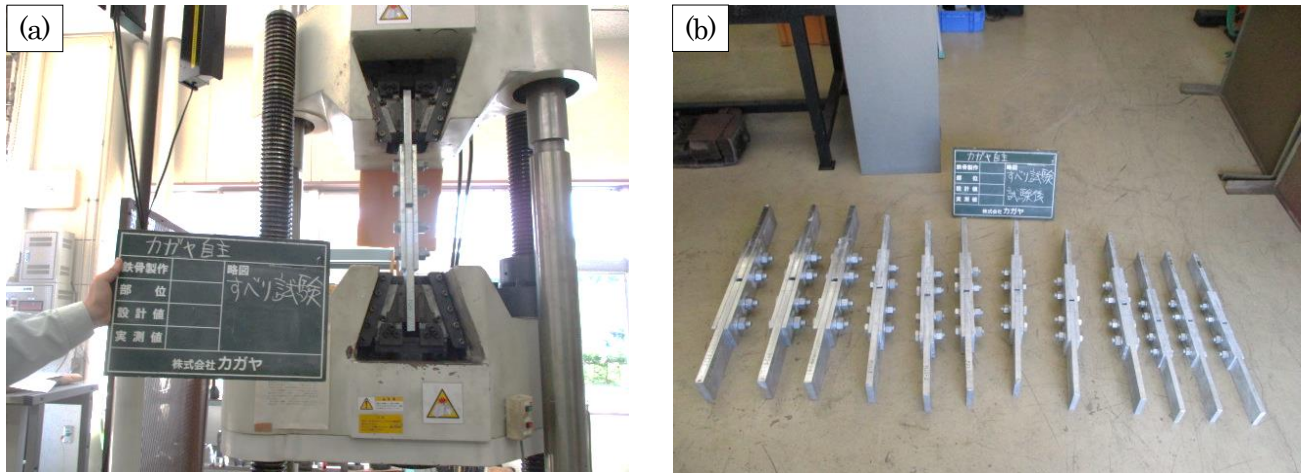


写真2 すべり試験 (a)試験時, (b)試験後

表5 試験結果

記号	すべり荷重 (kN)	判定基準	判定	すべり発生の判定 ¹⁾
M16-1	237.0	164	合格	全てb
M16-2	236.0			
M16-3	235.0			
M20-1	371.0	255	合格	全てb
M20-2	383.0			
M20-3	378.5			
M22-1	442.0	317	合格	全てb
M22-2	451.0			
M22-3	451.5			
M24-1	565.0	369	合格	M24-1 : c 他全てb
M24-2	560.5			
M24-3	567.0			

[注]1) b : 引張試験機の指針が停止または降下した時
c : 試験体のけがき線がずれたとき

韓国製ビルト H 形鋼の材料試験及び承認試験

Material test and welding procedure test of built-up H-Shaped beam made in Korea.

工藤 哲也, 菊池 賢祐, 久保 真弓

by KUDO Tetsuya, KIKUCHI Kensuke, KUBO Mayumi

キーワード：ビルト H 形鋼, サブマージアーク溶接

Keywords : built-up H-Shaped beam, SAW

1. 緒言

建築鉄骨において海外製のビルト H 形鋼 (BH) を採用する事例が増えており, 2016 年には POSCO (韓国) が清水建設株式会社へ BH を 1,000t 納入することを発表し日刊鉄鋼新聞に報じられた¹⁾. 当社における海外製 BH の適用実績は 1 件のみであり, DAEIK ENG (韓国) が POSCO 製鋼材を用いて製作した韓国製 BH であった. (写真 1)

POSCO は粗鋼生産量世界 5 位の韓国最大手鉄鋼メーカーである. 図 1 に 2007 年から現在までの粗鋼生産量の推移²⁾を示す. 1968 年の創業以降, 生産量を拡大し³⁾, 2019 年には 43 百万 t/年となった. 2005 年には世界でも品質基準が厳しいとされるトヨタ自動車株式会社への供給を開始した⁴⁾. POSCO 製品は JIS 規格に対応しており, SS 材, SM 材, SN 材などが製作可能である. 強度は 300~1,000 N/mm² の範囲にて対応でき, 500 N/mm² 級以上の鋼材は TMCP を用いる⁵⁾. その他に, 建築構造用 490N/mm²TMCP 鋼材 (PIL SN325B, PIL SN325C), 建築構造用冷間プレス成形角形鋼管 (HISP325), 建築構造用 550N/mm²TMCP 鋼材

(PIL385B, PIL385C) などが, 一般財団法人日本建築センターの性能評価を受け国土交通省の認定を得ている⁶⁾. 母材となる鋼種の国土交通省認定を取得した海外鉄鋼メーカーは POSCO のみであり⁶⁾, 高い品質及び実績をもつ企業である.

DAEIK ENG は韓国のファブリーケーターであり, 従業員数 60 名, 製作能力は 43,200t/年 (BH24,000t/年含む) である. 2007 年に設立し, 2011 年に ISO9001 認証取得, 2017 年には鉄骨性能評価 H グレード認定を取得した. JIS 溶接技能有資格者 4 名及び AW 検定溶接技能有資格者 2 名が在籍している⁷⁾.

海外製 BH は, 国内製 BH と比較して輸送費を含めてもコストを抑えられ, 工事の VE 提案として採用されればメリットが大きい. ただし, 海外製 BH の採用に当たっては工事監理者等にその承認を得る必要があるが, 国内の品質基準を満たしていることが認識されているメーカーは現状ではごく一部に留まっている. 国内の品質基準を十分に満たす品質であることを明確にできれば, 採用にあたっての判断材料となりうる.



写真 1 韓国製 BH

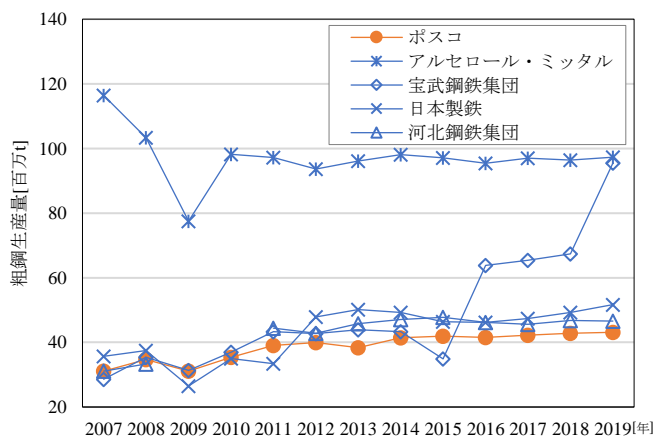


図 1 粗鋼生産量推移

そこで本試験では、使用実績のある韓国製BHに対し、材料評価とサブマージアーク溶接部の性能評価を行った。材料評価では、化学成分分析試験、引張試験及びシャルピー衝撃試験を行い、各々JIS規格値を満たす品質であるかを確認した。また、参考として板厚方向引張試験を行った。溶接部分には日本建築学会「鉄骨工事技術指針・工場製作編」付7. サブマージ溶接の承認試験に基づく隅肉溶接部の試験を実施した⁸⁾。

2. 材料評価

2.1 供試材

供試材の機械的性質を表1に示し、化学成分を

表2に示す。ともにミルシート記載値である。本試験ではPOSCO製SM490A (JIS G 3106-2015) 及びSN490B (JIS G 3136-2012) を用いた。SM490AはBH-800×350×16×28mmとし、SN490BはBH-700×350×14×32mmの形状を用いる。

2.2 材料評価における試験方法

2.2.1 試験概要と試験片採取位置

材料評価では、表3に示す母材の化学成分分析、引張試験、シャルピー衝撃試験及び板厚方向引張試験を行う。試験片の採取位置を図2及び図3に示し、試験片記号一覧を表4に示す。

表1 供試材の機械的性質 (ミルシート値)

	板厚 (mm)	降伏点又は0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	降伏比 (%)	シャルピー吸収エネルギーvE ₀ (J)	
						Min.	Avr.
SM490A	16	351	538	26	-	-	-
SM490A	28	369	534	29	-	-	-
SN490B	14	378	537	24	70	219	240
SN490B	32	349	526	28	66	185	207

表2 供試材の化学成分 (ミルシート値)

	板厚 (mm)	化学成分(mass%)						
		C	Si	Mn	P	S	C _{eq} ^{*1}	P _{CM} ^{*2}
SM490A	16	0.1851	0.357	1.355	0.0121	0.0027	0.43	-
SM490A	28	0.1832	0.340	1.339	0.0107	0.0029	0.43	-
SN490B	14	0.1600	0.339	1.424	0.0102	0.0024	0.42	0.25
SN490B	32	0.1532	0.338	1.448	0.0097	0.0027	0.42	0.24

*1 C_{eq}=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14

*2 P_{CM}=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B

表3 試験内容

	試験方法	SM490A		SN490B	
		t=16mm	t=28mm	t=14mm	t=32mm
化学成分分析	JIS G 1253-2002 スパーク放電発光分光分析	○	○	○	○
引張試験	JIS Z 2241-2011 金属材料引張試験方法	○	○	○	○
シャルピー衝撃試験	JIS Z 2242-2005 金属材料のシャルピー試験方法	○	○	○	○
板厚方向引張試験	JIS G 3199-2009 鋼板及び平鋼の厚さ方向特性	-	-	○	○

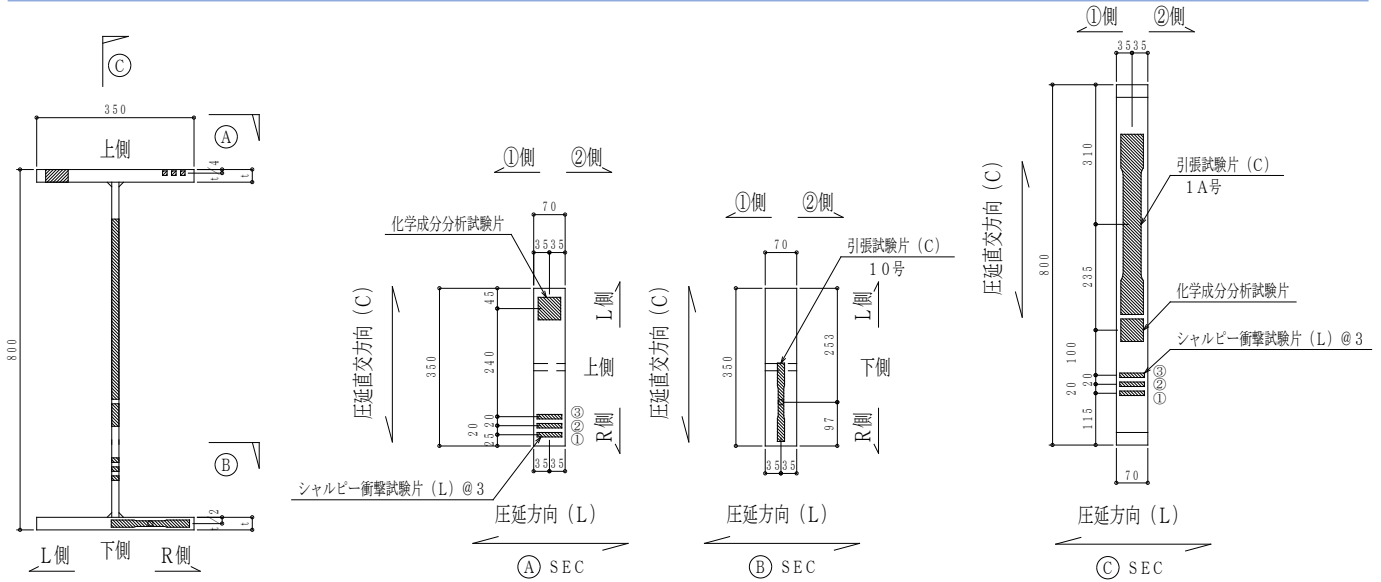


図2 試験片採取位置

SM490A BH-800×350×16×28

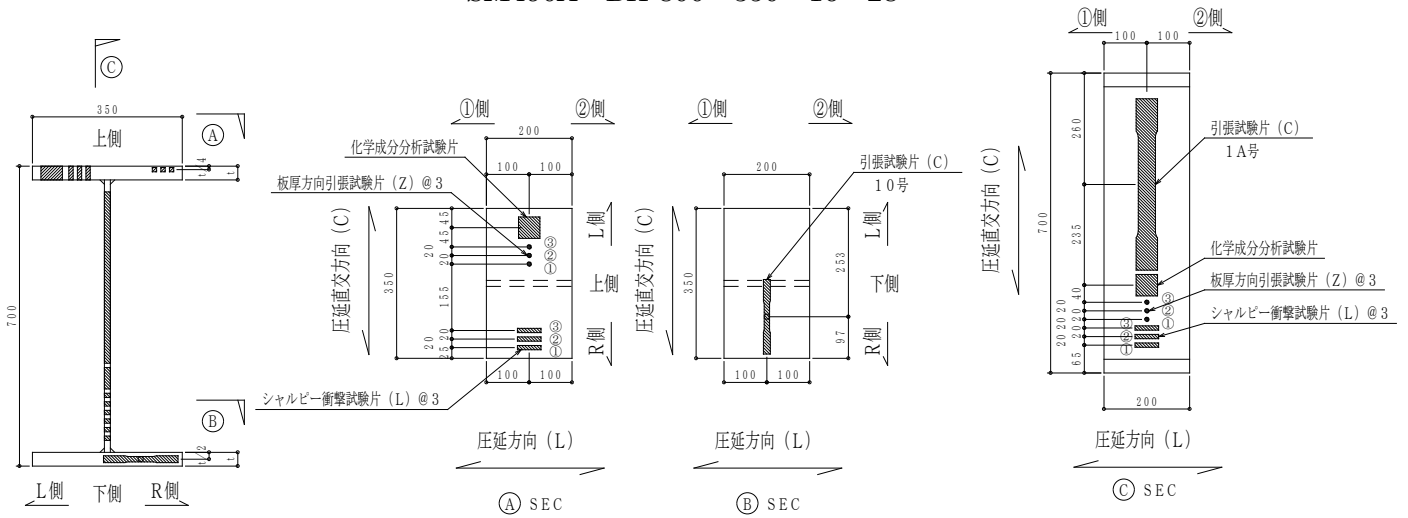


図3 試験片採取位置

SN490B BH-700×350×14×32

表4 試験片一覧

試験項目		試験片記号		
化学成分分析試験	SM490A	t=16	AWC	
		t=28	AFC	
	SN490B	t=14	BWC	
		t=32	BFX	
引張試験	SM490A	t=16	AWT	
		t=28	AFT	
	SN490B	t=14	BWT	
		t=32	BFT	
板厚方向引張試験	SN490B	t=14	① BWZ-1	
			② BWZ-2	
			③ BWZ-3	
		t=32	① BFZ-1	
			② BFZ-2	
			③ BFZ-3	
	シャルピー衝撃試験	SM490A	t=16	① AWE-1
				② AWE-2
				③ AWE-3
t=28			① AFE-1	
			② AFE-2	
			③ AFE-3	
SN490B		t=14	① BWE-1	
			② BWE-2	
			③ BWE-3	
t=32	① BFE-1			
	② BFE-2			
	③ BFE-3			

2.2.2 化学成分分析試験

化学成分は、JIS G 1253-2002 に準じ母材の C, Si, Mn, P, S, Cu, Ni, Cr, Mo, V 及び B をスパーク放電発光分光分析にて定量分析する。炭素当量 C_{eq} は(1)式にて算出し、溶接割れ感受性組成 P_{CM} は(2)式にて算出する。

$$C_{eq}(\%) = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \dots (1)$$

$$P_{CM}(\%) = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (2)$$

また、化学成分分析試験片形状を図 4 に示す。各材質のウェブ及びフランジより各 1 体採取し測定した。

ミルシートに記載されている化学成分は、製鋼メーカーによって溶解（製鋼番号）毎に行われる溶鋼の成分分析値（レドール分析、取鍋分析）である。通常溶鋼が取鍋から鑄型に注入され凝固するまでの一連の過程において採取した分析用試料に対し行う。一方で、本試験で行う製品分析値は、凝固時の偏析などにより溶鋼での分析値と異なる場合がある。そのため、JIS G 0321-2017「鋼材の製品分析方法及びその変動許容値」により、溶鋼分析に対する製品分析の変動許容値が定められている。本試験では、JIS G 0321-2017 に基づき表 5 に示す

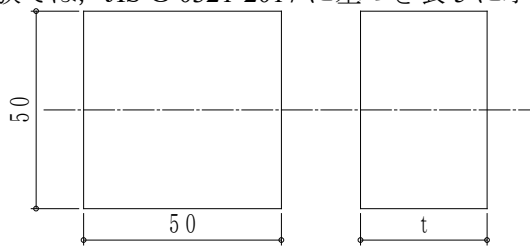


図 4 化学成分分析試験片形状 (JIS G 1253 - 2002)

表 5 製品分析の許容変動値(JIS G 0321-2017)

	化学成分規定値の最大値 (%)	変動許容値(%)	
		下限	上限
C	0.15 を超え 0.4 以下	0.03	0.04
Si	0.30 を超え 0.60 以下	0.05	0.05
Mn	1.15 を超え 1.65 以下	0.05	0.05
P	0.060 以下	-	0.010
S	0.060 以下	-	0.010

許容変動値を用いる。SM490A は JIS G 3106-2015, SN490B は JIS G 3136-2012 に対し変動許容値を適用し、合否判定基準とする。

2.2.3 引張試験

引張試験は、JIS Z 2241-2011 に準じ母材の引張強さ、降伏点又は 0.2%耐力及び伸びを測定する。試験片形状は、ウェブから採取する試験片を図 5 に示す A1 号試験片とし、フランジから採取する試験片を図 6 に示す 10 号試験片とする。引張試験は C 方向（圧延と直交方向）につき各 1 体試験する。

A1 号試験片の合否基準は、SM490A が降伏点又は 0.2%耐力 325N/mm^2 以上かつ引張強さ 490N/mm^2 以上 610N/mm^2 以下とし、SN490B が降伏点又は 0.2%耐力 325N/mm^2 以上 445N/mm^2 以下かつ引張強さ 490N/mm^2 以上 610N/mm^2 以下とする。フランジ部は 10 号試験片としたが、通常 JIS G 3106 及び JIS G 3136 では本供試材の板厚に対し 1A 号試験片を用いる。そのため、10 号試験片の試験結果はミルシート記載の引張強さ、降伏点又は 0.2%耐力及び伸び値とは測定形状が異なるため参考値とする。

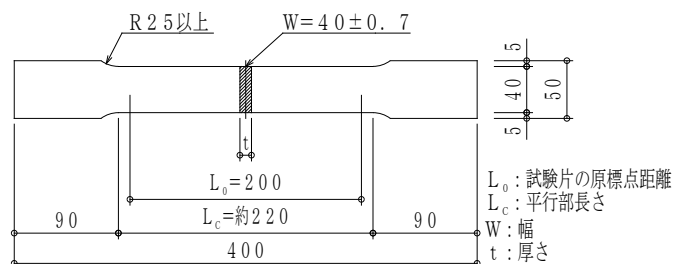


図 5 ウェブ引張試験片 (JIS Z 2241 - 2011, 1A 号試験片)

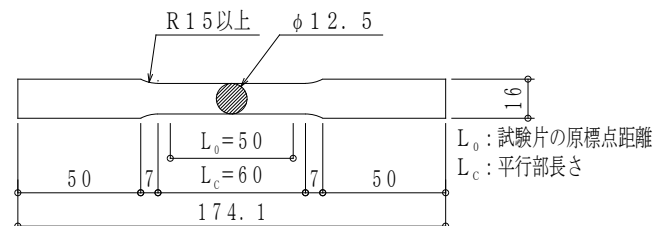


図 6 フランジ引張試験片 (JIS Z 2241 - 2011, 10 号試験片)

2.2.4 シャルピー衝撃試験

母材のシャルピー衝撃試験は、JIS Z 2242-2005 に準ずる。シャルピー衝撃試験片は、図 7 に示す V ノッチ形状とし、寸法は 10×10×50mm とする。シャルピー衝撃試験片は L 方向（圧延方向）より各部位 3 本採取し測定する。試験温度は 0℃ とする。SN490B の合否基準は、シャルピー吸収エネルギー値の 3 個平均及び個々値が 47J 以上を満たすこととする。SM490A は JIS G 3106-2015 においてシャルピー吸収エネルギーの規定がないため参考値とする。

2.2.5 板厚方向引張試験

母材の板厚方向引張試験は、JIS G 3199-2009 に準ずる。試験片形状は図 8 に示すタイプ c 形状を

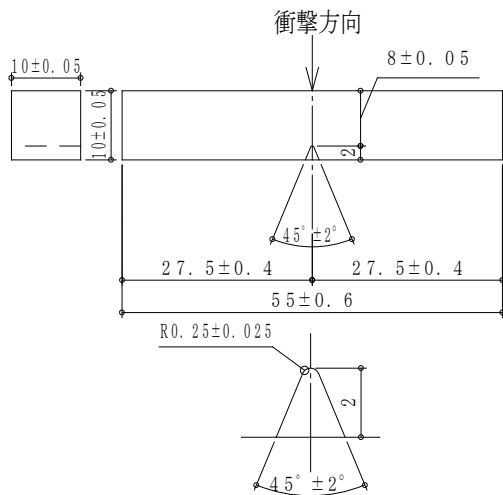


図 7 シャルピー衝撃試験片 V ノッチ形状 (JIS Z 2242-2005)

用い、SN490B のウェブ及びフランジにおける Z 方向（板厚方向）から 3 本採取する。JIS G 3136-2012 において厚さ方向の絞り値は規定がないため、本試験結果は参考値とする。

2.3 材料評価の試験結果

2.3.1 化学成分分析試験

化学成分分析試験の結果を表 6 に示す。製品分析は本試験での化学成分分析試験結果であり、製鋼分析はミルシート値である。製品分析における化学成分分析値は、全て JIS G 0321-2017 における製品分析の規格値を満たし合格であった。また変動許容値を加味しなくとも、JIS G 3106-2015 及び JISG3136-2012 の化学成分値を満たす結果が得られた。

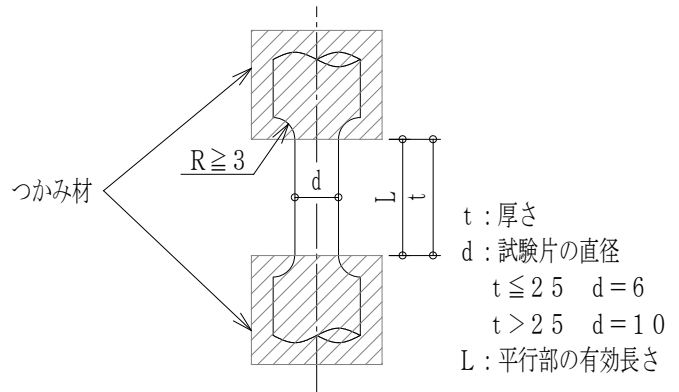


図 8 板厚方向の引張試験片 タイプ c (JIS G 3199-2009)

表 6 化学成分分析試験の結果

			化学成分 (mass%)													判定
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	C _{eq} ^{*1}	P _{CM} ^{*2}	
SM490A	t=16	製品分析	0.19	0.37	1.37	0.012	0.001	0.01	0.01	0.02	<0.01	0.002	<0.0001	-	-	合格
		製鋼分析	0.1851	0.357	1.355	0.0121	0.0027	-	-	-	-	-	-	0.43	-	-
	t=28	製品分析	0.2	0.36	1.35	0.012	0.002	0.01	0.01	0.03	<0.01	0.001	<0.0001	-	-	合格
		製鋼分析	0.1832	0.34	1.339	0.0107	0.0029	-	-	-	-	-	-	0.43	-	-
	判定基準	JIS G 0321	0.24	0.60	1.70	0.045	0.045	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		JIS G 3106	0.20	0.55	1.65	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SN490B	t=14	製品分析	0.16	0.36	1.46	0.011	0.001	0.02	0.02	0.04	<0.01	0.002	<0.0001	0.42	0.24	合格
		製鋼分析	0.1600	0.339	1.424	0.0102	0.0024	-	-	-	-	-	-	0.42	0.25	-
	t=32	製品分析	0.16	0.36	1.47	0.01	0.001	0.01	0.01	0.06	<0.01	0.002	<0.0001	0.43	0.25	合格
		製鋼分析	0.1532	0.338	1.448	0.0097	0.0027	-	-	-	-	-	-	0.42	0.24	-
	判定基準	JIS G 0321	0.22	0.60	1.70	0.040	0.025	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		JIS G 3136	0.18	0.55	1.65	0.030	0.015	-	-	-	-	-	-	-	0.44	0.29

*1 C_{eq}=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14

*2 P_{CM}=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B

2.3.2 引張試験

母材の引張試験結果を表 7 に示し、試験後の試験片写真を写真 2 及び写真 3 に示す。SM490A 及び SN490B における引張強さ、降伏点又は 0.2%耐力、伸びにおいて JIS 規格を満たし合格となった。また、SN490B の降伏比も JIS 規格を満たした。

2.3.3 シャルピー衝撃試験

母材のシャルピー衝撃試験結果を表 8 に示し、試験後の試験片写真を写真 4 に示す。SN490B (t=14 及び t=32) の個々値及び平均値はいずれも規格値の 42J 以上を満たし合格であった。参考値であるが、SM490A (t=16 及び t=28) も 47J 以上を満たし、低温じん性が良好であった。

表 7 引張試験結果

測定部位		試験片記号	降伏点又は 0.2% 耐力(N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	降伏比 (%)	伸び (%)	絞り (%)	判定
SM490A	t=16	AWT	347	541	64.3	26.0	-	合格
		ミルシート	351	538	-	26	-	-
	t=28 (参考)	AFT	324	525	61.7	34.4	65.9	合格
		ミルシート	369	534	-	29	-	-
JIS G 3106-2015	t=16	-	≥325	490~610	-	≥17	-	-
	t=28	-	≥315	490~610	-	≥21	-	-
SN490B	t=14	BWT	358	543	66.0	27.0	-	合格
		ミルシート	378	537	70	24	-	-
	t=32 (参考)	BFT	332	527	63.0	32.8	70.4	合格
		ミルシート	349	526	66	28	-	-
JIS G 3136-2012	t=14	-	325~445	490~610	≤80	≥17	-	-
	t=32	-	325~445	490~610	≤80	≥21	-	-

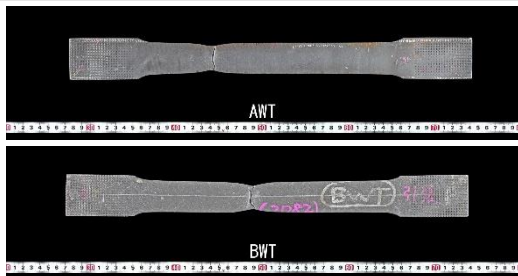


写真 2 試験後のウェブ引張試験片 (JIS Z 2241-2011, 1A 号試験片)

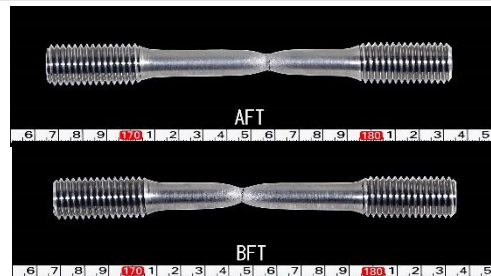


写真 3 試験後のフランジ引張試験片 (JIS Z 2241-2011, 10 号試験片)

表 8 シャルピー衝撃試験結果

測定部位	試験片記号	シャルピー吸収エネルギー vE0(J)	平均 (J)	判定 ≥47(J)	
SN490B	t=14	BWE-1	151	183	合格
		BWE-2	193		
		BWE-3	206		
	ミルシート		228	240	-
			219		
			272		
	t=32	BFE-1	83	127	合格
			BFE-2		
BFE-3			168		
ミルシート			185	207	-
			241		
			195		
SM490A (参考)	t=16	AWE-1	204	184	-
		AWE-2	180		
		AWE-3	168		
	t=28	AFE-1	131	158	-
		AFE-2	175		
		AFE-3	167		

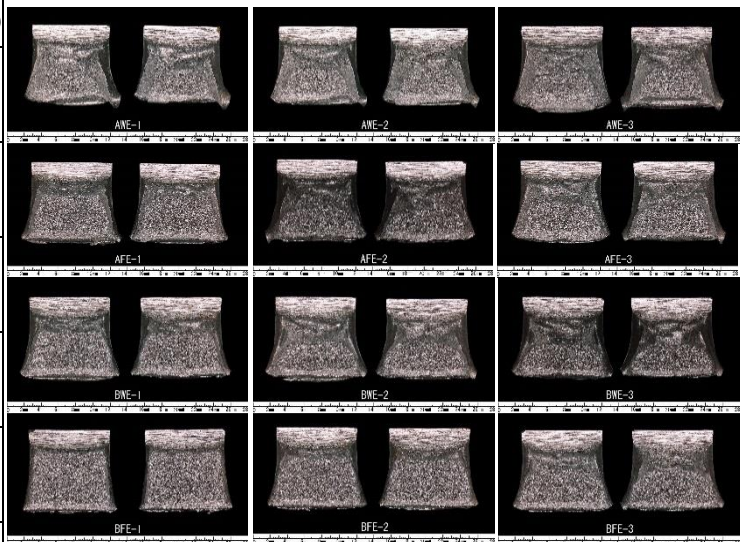


写真 4 試験後のシャルピー衝撃試験片

2.3.4 板厚方向引張試験

母材の板厚方向引張試験結果を表 9 に示し、試験後の試験片写真を写真 5 に示す。SN490B ウェブ及びフランジにて参考として測定したが、絞り値が 25%を大きく超える結果となった。

2.4 材料評価についての考察

韓国製BHについて、POSCO製のSM490A (t=16, t=28) 及びSN490B (t=14, t=32) について材料評価を行った結果、いずれの材料も化学成分分析値及び引張試験、シャルピー衝撃試験の機械的性質がそれぞれに対応する JIS 規格を満足することを確認できた。ミルシートと本試験の測定結果の差異は、化学成分分析値及び引張試験結果 (1A 号試験片) について概ね大きな乖離は見られなかった。シャルピー衝撃試験についてはミルシート値と本試験の結果に乖離が見られるものの、どちらの値

も規格値を大きく上回っていた。本結果より、POSCO製のSM490A及びSN490B材は国内JIS規格値を満たし、国内材と同等の品質を持つ材料であることが分かった。

3. サブマージアーク溶接部性能試験

3.1 試験体

DAEIK ENG製のBH試験体を用い、材質はSN490B、サイズはBH-700×350×14×32mm、試験体数は1体とする。本試験体で用いられた溶接材料 (ワイヤー及びフラックス) を表 10 に示し、溶接条件を表 11 に示す。

3.2 試験方法

サブマージアーク溶接部の隅肉溶接試験は、T字型隅肉溶接試験とし、外観検査及びマクロ試験を行う。試験片の採取位置を図 9 に示す。

表 9 板厚方向の引張試験結果

試験対象部位	試験片記号	引張強さ (N/mm ²)	絞り (%)	
SN490B	t=14	BWZ-1	575	67.9
		BWZ-2	579	69.9
		BWZ-3	575	66.3
	t=32	BFZ-1	537	71.9
		BFZ-2	538	70.8
		BFZ-3	535	73.0



写真 5 試験後の板厚方向引張試験片 (JIS G 3199-2009, タイプ c)

表 10 溶接材料

種類	メーカー	銘柄	規格	サイズ	強度
ワイヤー	現代綜合金属	H-14	JIS Z 3183-2017 S502-H	径 4.8mm	490N/mm ² 級
フラックス	現代綜合金属	S-777MX	JIS Z 3352-2017 S502-H	粒度 12×60mm	490N/mm ² 級

表 11 溶接条件

溶接電流(A)		アーク電圧(V)	溶接速度(cm/min)	極間(mm)
L 極	800~850	28~32	65	25
T 極	800~850	30~34		

3.2.1 外観検査

外観検査は目視とし、図9に示す外観検査範囲にて4箇所実施する。合否判定基準は、日本建築学会「建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事」付則6. 鉄骨精度検査基準⁹⁾による。サブマージアーク溶接部の必要のど厚及び脚長については、DAEIK ENG 製作要領書内にウェブ板厚 14mm 形状における規定がないため、ウェブ板厚 12mm 及び 16mm 形状の規定から算出した。必要のど厚は 8.5mm とし、脚長は 12mm とする。

3.2.2 マクロ試験

マクロ試験は溶接部断面の片側を試験面(図9)とし、5~10%の硝酸アルコール液でエッチングした後に、試験面を目視にて検査する。図10にマクロ試験片形状を示す。合否判定基準は日本建築学会「鉄骨工事技術指針・工場製作編」付7. サブマージ溶接の承認試験⁸⁾に基づき(a)~(d)とする。

- (a)溶込み状態が良好で有害な欠陥があつてはならない。
- (b)溶接不良及び割れがあつてはならない。
- (c)隅肉溶接の脚長の差は3mm以下とする。
- (d)脚長の許容差は隅肉サイズに対し0~+4.5mmとする。

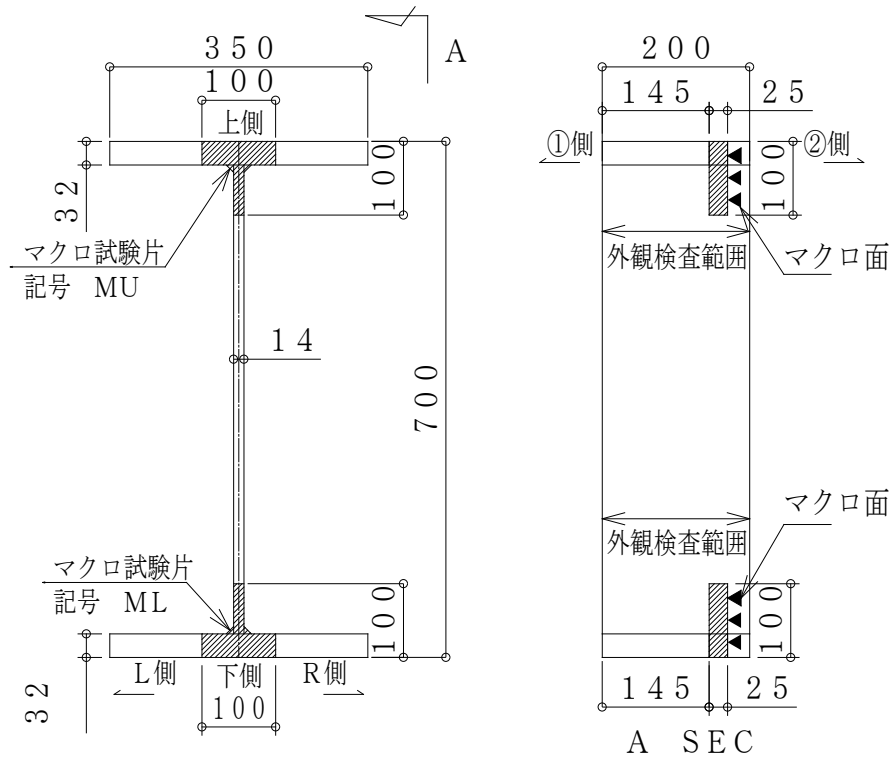


図9 試験体の採取位置

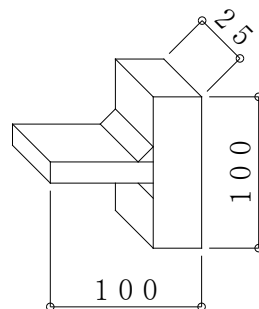


図10 マクロ試験片形状

3.3 試験結果

3.3.1 外観検査

外観検査結果を表 12 に示す. 全ての項目に対し, 判定基準を満たし合格であった.

3.3.2 マクロ試験

マクロ試験結果を表 13 に示し, 試験後の試験片の写真を写真 6 に示す. 溶込み不良, 割れ及びその他の有害な欠陥は見られず, 脚長も判定基準を満たし合格であった.

3.4 サブマージアーク溶接部の考察

DAEIK ENG 製の BH について, サブマージアーク溶接部の隅肉溶接試験の外観検査及びマクロ試験を行った. 本試験結果は, 日本建築学会「鉄骨工事技術指針・工場製作編」付 7. サブマージ溶接の承認試験⁸⁾を満たし合格となり, サブマージアーク溶接部の隅肉溶接は十分に日本国内の規格を満たすことが分かった.

表 12 外観検査結果

		脚長 L (mm)		のど厚 t(mm)	隅肉サイズ ΔS (mm)		隅肉余盛高さ Δa (mm) $\Delta a=t-a$	アンダーカット e(mm)	ビード表面の不整(mm)			ピット	割れ	オーバーラップ	判定
		L1	L2		$\Delta S1=L1-S$	$\Delta S2=L2-S$			e1	e2	e3				
上フランジ	R側	14.1	14.6	9	2.1	2.6	0.5	0	0	1.6	1.3	なし	なし	なし	合格
	L側	15.6	15.1	9	3.6	3.1	0.5	0	0	1.9	1.2	なし	なし	なし	合格
下フランジ	R側	14.6	15.1	9.5	2.6	3.1	1	0	0	1	0.7	なし	なし	なし	合格
	L側	14.1	14.6	9.5	2.1	2.6	1	0	0	1	0.8	なし	なし	なし	合格

表 13 マクロ試験結果

		脚長 L(mm)			脚長差 (mm)	脚長許容差 (mm)	溶込み不良	割れ	判定
		L1	L2	平均					
上フランジ	R側	14.1	14.6	14.4	1.0	2.4	なし	なし	合格
	L側	15.6	15.1	15.4		3.4	なし	なし	合格
下フランジ	R側	14.6	15.1	14.9	0.5	2.9	なし	なし	合格
	L側	14.1	14.6	14.4		2.4	なし	なし	合格

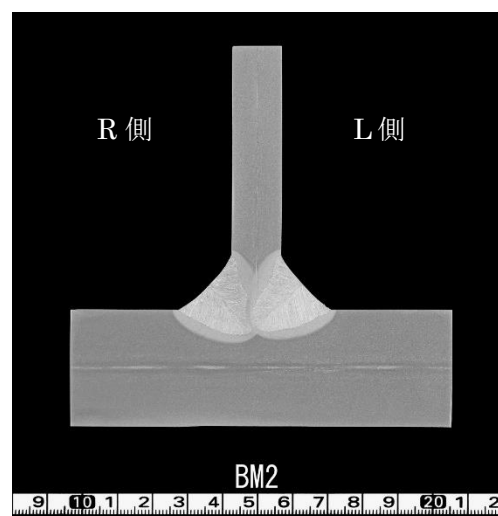
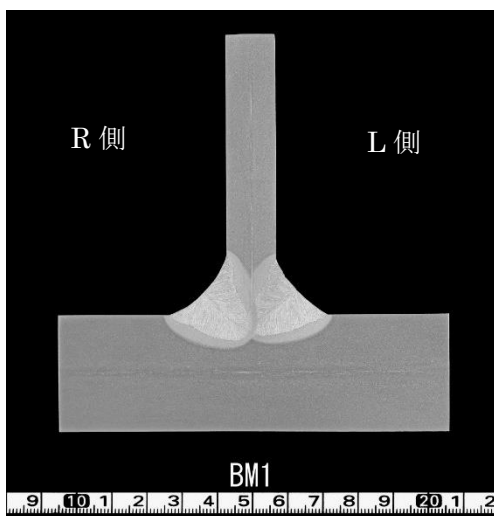


写真 6 マクロ試験片

4. 結言

韓国製 BH の材料評価及びサブマージーク溶接部の隅肉溶接試験を行い、ともに国内規格を満たすことを確認できた。韓国製 BH は、輸送費を含めても国内材よりコストが低く、かつ要求品質も満たす。今後は本結果を基に韓国製 BH を提案し、適用実績を積み重ねていきたい。

追記. コンテナ輸送の注意事項

韓国製 BH の国際輸送は、コンテナを用いた船便であった。オープントップコンテナであり、その一般的な荷下ろし（デバンニング）マニュアルの手順を図 11 に示す¹⁰⁾。当社では初めてのコンテナ便であったため、その課題と対応を以下に述べる。

(1) 当社では複数の物件を並行して製作しており、荷下ろしのための作業エリアを確保することが難しく、マニュアル通りに足場を組むことができない。そのため足場なしでの作業となりシート外しでは脚立などを用いた。

(2) コンテナ及びシートは、荷下ろし時に汚れや破損があると全額費用を請求される。そのため、作業前には写真を撮影し、荷下ろしは慎重に行い（写真 7）、最後にはコンテナの清掃を行った。

(3) 上述の通り、通常の荷下ろしよりも作業が多く時間がかかるため、1 日に納品できる台数が限られる。また、船のスケジュールがあるため納期調整ができないことに加え、国内の港についてから約 1 週間以内でのコンテナ引き取りとなるため荷受けの調整が難しい。日程調整に奔走し、社内外の協力により対応することができた。

今回、当社内においてできる限りの対策は行ったが、コンテナ便であるために発生する作業は多く負担も大きい。特に船便のため納期調整が非常に難しいという点は今後も大きな課題となる。海外製 BH は、それらを踏まえたうえで導入を検討する必要がある。

[参考文献]

- 1) 日刊鉄鋼新聞：2016.7.6
- 2) world steel ASSOCIATION：World Steel in Figures, 2008-2020
- 3) 韓三澤 ほか：韓国 POSCO におけるトヨタ生産システム導入事例に関する研究—「仕組み」を中心に—, 日本経営診断学会論集, 第 17 巻, pp.88-93, 2017
- 4) 中央日報：2005.7.15
- 5) POSCO：STEEL PLATES カタログ, 2020.12.14
- 6) 国土交通省：建築基準法に基づく構造方法等の認定に係る帳簿等, 2020.10.31
- 7) DAEIK ENG CO., LTD., パンフレット, 2018.6.26
- 8) 日本建築学会：鉄骨工事技術指針・工場製作編, pp.758-762, 2018
- 9) 日本建築学会：建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事, pp.80-101, 2018
- 10) 住友林業特販推進部：デバンニングマニュアル, 2020.1.15

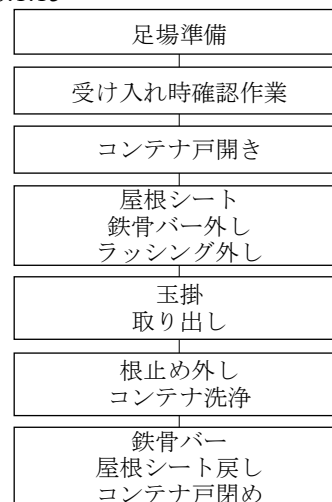


図 11 オープントップコンテナ
デバンニングマニュアル



写真 7 荷下ろし作業

除せい状態の溶射皮膜耐久性への影響

Effect on thermal spray coating durability in rust-removed state.

株式会社カガヤ 工藤 哲也, 久保 真弓,

岩手県工業技術センター 桑嶋 孝幸, 佐々木 龍徳, 佐々木 麗

Tetsuya Kudo, Mayumi Kubo (Kagaya Co.Ltd),

Takayuki Kuwashima, Tatsunori Sasaki, Rei Sasaki (Iwate Industrial Research Institute)

1. はじめに

建築鉄骨の防せい処理技術としては、塗装、溶融亜鉛めっき、溶射が使用されている。一般的には、各種仕様の選定にあたり適用する構造物の立地環境、施工性、美装性、耐久性、経済性などを考慮している。

建築鉄骨に主に使用される溶射方法は、JIS H 8300「亜鉛・アルミニウム及びそれらの合金の溶射」(JIS 工法)と、常温金属溶射を用いた防せい防食技術である¹⁾。常温金属溶射のメリットは、耐食性が良好、現場施工が容易及び溶融亜鉛めっきと比較して熱影響が少なく大型鋼材に適用しやすいことなどである。デメリットとしては、加工コストが比較的高価、特にイニシャルコストが他の表面処理方法と比較して高いことが挙げられる。また、加工箇所として、例えば、狭隘部などの溶射フレームが届きにくい場所への適用が難しいなどである。表1に各種防食方法別の耐久年数を示す²⁾。溶射技術は、イニシャルコストは高いが耐久年数が非常に長く、ライフサイクルコスト(LCC)に優れている。建築鉄骨の中でも、防せい処理のメンテナンスが難しい部位や立地にある物件に対しては、溶射施工をするメリットは大きいと考えられる。

表1 各種防食方法別の耐久年数

	一般環境部	塩害環境部
C-5系塗装	60年	30年
溶融亜鉛めっき	60年	25年
アルミニウム-亜鉛擬合金溶射	100年	60年

2. 前処理

当社における表面処理の前処理技術について紹介する。表2に塗膜の耐久性に及ぼす要因を示す。素地調整は、塗膜の性能に最も大きな影響を及ぼす工程であり、最も寄与率が高い³⁾。

塗装の施工では、素地調整としてJASS6⁴⁾に準じブラスト法(素地調整1種B)もしくは動力工具と手工具を併用する工法(素地調整2種)を行う。1種Bは自動ブラスト機によるショットブラストを用い、2種ではスクレーパー及びワイヤブラシなどを用いる。素地調整では、スパッタや黒皮、スラグ、油分及び水分などを十分に除去しないと塗装の剥離、膨れ及び割れなどの原因となるため、素地調整後に表面状態を確認した上で塗装する。

溶融亜鉛めっき施工においても同様にスラグ及びスパッタなどがめっきやさびの原因となるため、タガネ及びブラシなどを用いて除去する。その後溶融亜鉛めっきJIS表示認定工場に搬入し、前処理工程、めっき工程及び仕上げ工程を行う。

溶射施工では、素地調整に1種Bのショットブラスト処理を実施している。ブラスト処理では、素地調整を確実にを行うために、まず油類は溶剤拭きで落とし、その後ショットブラスト法により黒皮、さび及び汚れなどを除去する。

表2 塗膜の耐久性に及ぼす要因

要因	寄与率(%)
素地調整(素地調整1種と2種の差)	49.5
塗り回数(1回塗りと2回塗りの差)	19.1
塗料種類	4.9
その他の要因	26.5

3. 常温金属溶射

3.1 常温金属溶射について

溶射とは加熱によって熔融または半熔融状態になった材料を基材表面に吹き付け、衝突変形した粒子を積層して皮膜を形成する方法である。溶射方法はガス溶射、電気溶射、その他に大別されるが、常温金属溶射は電気溶射におけるアーク溶射の一種である。溶射ガンの模式図を図2に示す。アルミニウム-亜鉛擬合金溶射は、電極となるアルミニウム線材及び亜鉛線材間にアークを発生させ金属を熔融させた後、空気流により熔融金属を微細化し、基材へ吹き付ける技術である。アルミニウム-亜鉛合金線を用いる JIS 工法の合金溶射とは異なり、アルミニウムと亜鉛が固溶せず緻密に層状に折り重なった皮膜となるため擬合金と呼ばれる。常温金属溶射は比較的低温（基材到着時 20～70℃程度）での施工が可能であり⁵⁾、作業の安全性が向上し、板厚が薄い場合や小型部材でも熱影響による歪みが生じにくい。

3.2 工程

溶射施工のフローを図1に示す。実施工では、素地調整から封孔処理までを工場にて行い、中塗り塗装、上塗り塗装を現場にて施工する。鉄骨の溶射における素地調整の目的は、基材の清浄化及

び粗面化である。塗装前に表面に付着しているさび、油類及び汚れなどの除去に加え、溶射の付着性を確保するための粗さを形成するとともに犠牲陽極作用を働かせるために素地との導電性を確保する。素地調整は1種Bのショットブラスト処理を実施している。ブラスト後はISO8501-1:2007の写真と鋼材表面状態を目視により比較し、適用工法における所定の除せい度を満たしていることを確認する。また、水分、油分、ケレンダストなどの残留や付着物がないことを目視にて確認する。さらに素地調整した後、直ちに粗面化処理へ移行する。粗面化処理は、粗面形成剤を塗布することにより所定の表面粗さとなり皮膜の密着性を向上させる工程である。塗布後に粗面化処理の標準見本板と比較し、適切であるかを確認する。

次にアルミニウム-亜鉛擬合金溶射を行う。溶射施工の様子を写真1に示す。溶射後には封孔処理を行う。溶射時に皮膜内に微細な気孔が生じるため、そのままでは腐食環境にさらされる面積が大きく、さらに皮膜内部へ腐食液が侵入してしまう。封孔処理剤を塗布し気孔を埋めることで、皮膜の耐久性を向上させることができる。

最後に、被塗物の設置環境に合わせて適切な中塗り剤や上塗り剤を塗布して完了となる。ポリウレタン樹脂系やフッ素樹脂系塗料が用いられる。

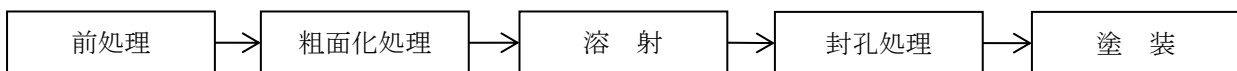


図1 溶射施工のフロー図

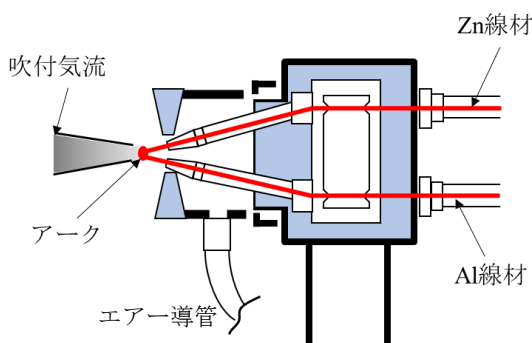


図2 溶射ガンの模式図



写真1 溶射施工

3.3 防食原理

鉄の腐食反応を図3に示す。鉄の腐食反応は電気化学的な現象である。①表面の鉄が鉄イオンとなって溶け出す。(アノード反応) ②鉄内部を移動してきた電子が酸素と水とに反応し水酸化イオンが生成する。(カソード反応) ③①及び②の反応から $Fe(OH)_2$ が生成する④さらに酸素と反応し Fe_2O_3 (赤さび) となる。このように表面にできた局部電池により、鉄が溶けだし水及び酸素との反応を経てさびを生成する。そのため水及び酸素が存在すること及び電氣的に導通状態であることが腐食に必要な条件となる。樹脂系の塗装などは表面を被覆し、水と酸素から鉄を遮断することで防食している。ただし、塗膜に傷ができれば、鉄が露出しそこから腐食してしまう。

溶射皮膜の防食は、塗装と同様の遮断作用に加え、犠牲防食作用の効果から成り立つ。犠牲防食作用とは、素地の鉄よりも電位が低く反応しやすい金属で被覆し、鉄よりも先にその金属が溶けだすことで鉄を保護する作用である。図4に水溶液

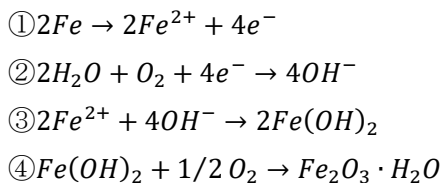
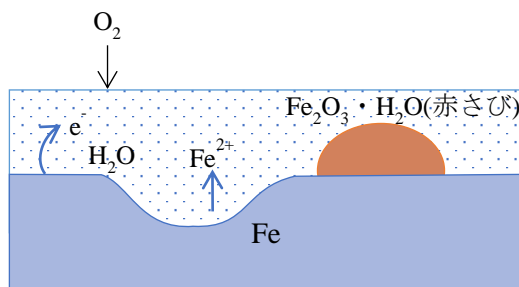


図3 鉄の腐食反応模式図

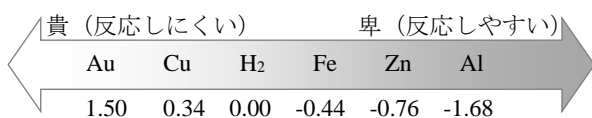


図4 水溶液中における標準電極電位[V]

中の標準電極電位を示す⁶⁾。鉄よりも亜鉛やアルミニウムの方が低い電位でありイオン化しやすい。アルミニウム-亜鉛擬合金溶射における防食作用の模式図を図5に示す⁷⁾。万が一皮膜が損傷した場合、①鉄より亜鉛の方がイオン化しやすいため、鉄がイオン化する前に亜鉛がイオン化する。(アノード反応) ②亜鉛が放出した電子が介在し、水と酸素が反応し水酸化イオンが発生する。(カソード反応) ③その水酸化イオンと亜鉛イオンが反応し $Zn(OH)_2$ (白さび) が発生する。白さびは傷に堆積して鉄の表面を覆い、鉄を保護する。一方で、アルミニウムは水や酸素を透過しにくく耐食性が良い酸化被膜 Al_2O_3 をつくる。この皮膜は亜鉛のカバー材として作用し、亜鉛が過度にイオン化し溶出することを防ぐとともに、水と酸素の透過を防ぎ亜鉛の防せい効果を長期にわたり適正に保つ⁷⁾。亜鉛の犠牲防食作用は溶融亜鉛めっきやジンクリッチペイントなどでも用いられているが、アルミニウム-亜鉛擬合金溶射ではさらにアルミニウムによる効果も期待できる。

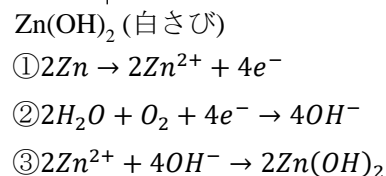
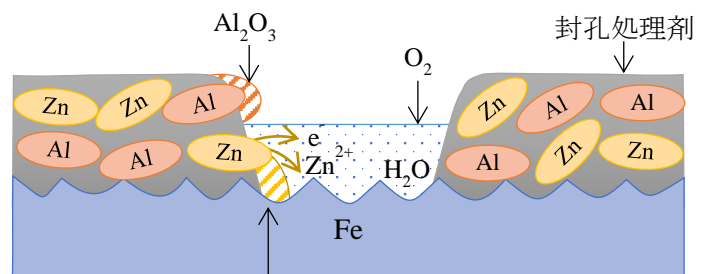


図5 アルミニウム-亜鉛擬合金溶射の防食作用模式図⁷⁾

4. 長期保管した鉄骨の品質管理

アクシデントにより鉄骨を長期保管せざるを得なかった溶射適用事例とその対応について述べる。本事例は岩手県沿岸部の魚市場であり、海に隣接する厳しい腐食環境にあった。高い耐食性が求められるため、屋外鉄骨に常温金属溶射(アルミニウム-亜鉛擬合金溶射)が採用された。2011年2月に鉄骨の建方が始まったが、2011年3月11日に東日本大震災の津波被害を受け工事が中断した。搬入済みの鉄骨やボルトなどが津波を受け、一部は流出した。震災後1年8か月経ち製作が再開した。鉄骨は可能な限り修正して再利用することとなったが、修正不可及び紛失したものは再度発注、製作した。また、震災による地盤沈下のため、一部図面が修正となり改造が必要となる鉄骨もあった。

溶射対象の鉄骨は、全て溶射施工前であり現場へは搬入されていなかった。写真2に屋外保管していた製品を示す。当社製品ヤードにて長期間屋外保管していたため表面の発せいが進んでいた。この発せい鋼材の使用にあたっては減肉による強度低下となる恐れがあり、板厚の測定及び表面のさびを十分に落とす必要があった。



写真2 屋外保管状態

まず鋼材の板厚を確認するため、第三者検査会社による超音波厚さ測定を行った。超音波厚さ測定の様子を写真3に示す。超音波厚さ測定はJIS Z 2355に準じ、合否基準はJIS G 3192の寸法許容差とした。板厚測定の結果、全数がJIS下限値を満足し合格であった。本検査により長期間保管した鉄骨の強度に問題がないことが確認でき、溶射適用の鉄骨はさび落とし後に溶射施工をすることとなった。

除せい及び下地処理のため前処理は、ショットブラストによりブラスト処理を行った。さび度及び除せい度の評価はISO8501-1:2007に準じ、写真見本と比較し評価した。本鋼材のさび度は全てCであり、ブラスト後の表面状態は全てC Sa2以上となるよう除せいした(写真4)。

ブラスト処理後は、すみやかに次工程に進まなければならない。粗面化処理を行い、その後溶射し膜厚及び外観検査を行った。膜厚は電磁膜厚計により測定し、最低膜厚100 μ m以上及び平均膜厚130 μ m以上を満たすことを確認した。最後に封孔処理を行い、養生し現場へ搬入した。



写真3 超音波厚さ測定



写真4 ブラスト処理

施工から8年経過後した溶射施工部を写真5に示す。現在でも表面にさびが見られず、厳しい腐食環境でも良好な耐食性を維持している。

溶射技術に限らず、高い密着強度を確保するには前処理が非常に重要である。反面、前処理の工程を省力できれば、工期の短縮や加工コストの低減などの効果が期待できる。このことは、溶射施工のメンテナンスでも同様の効果が期待できると考えられる。しかし、現在の技術では、前処理を省略して高い耐久性を確保することは非常に難しい。

本試験は、発せい鋼材を用いて前処理のブラスト条件を変化させ、除せい度 Sa1, Sa2 とした基材への溶射を行い、溶射皮膜の耐食性へ及ぼす前処理の影響を評価した。その結果を以下に述べる。

5. 発せい状態を変えた鋼材への溶射とその性状

5.1 供試材

本実験の供試材は、約1年5か月間、屋外保管して表面に発せいの鋼材 STKN490B ($\phi 406.4 \times t19\text{mm}$) を用いた。表3にその化学成分を示す。供試材の発せい状態は ISO8501-1 に基づくさび度 C であった。

5.2 試験片形状

試験片形状は、幅 70mm×長さ 75mm×厚さ 19mm とした。試験片は全てに超音波厚さ測定を行い、厚さ寸法許容値+15%/-0.5mm (JIS G 3475-2 014) を満たすことを確認した。

5.3 実験条件

次に試験片にブラスト処理を行い、除せい状態の異なる基材を製作した。除せい度は、Sa2 及び



写真5 溶射施工部 (2020年7月)

表3 供試材の化学成分(mass%)

材質	C	Si	Mn	P	S
STKN490B	0.16	0.18	0.77	0.13	0.003

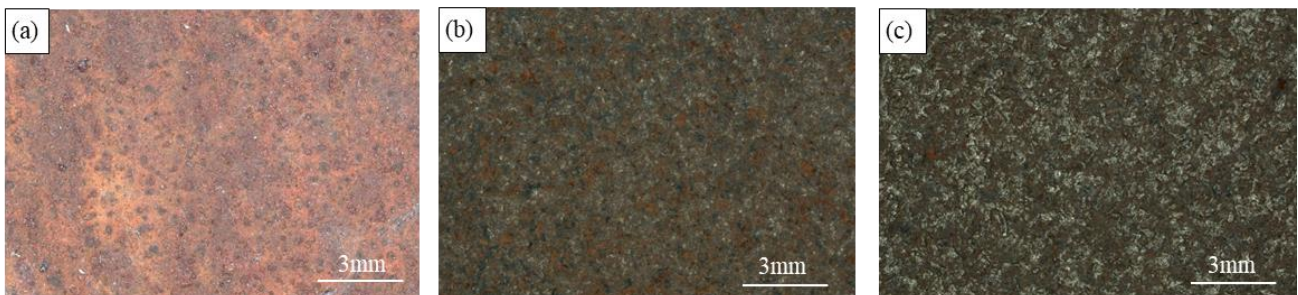


図5 基材表面のマクロ写真 (a)ブラストなし, (b)Sa1, (c)Sa2

Sa1 の 2 種類で、これにブラスト処理をしていない基材を加え、3 種類とした。これらの基材表面の写真を図 5 に示す。表面粗さ Ra は、(a)Sa2 が 12 μm 、(b)Sa1 が 7 μm である。ブラスト処理は目視で素地調整を行ったが、Sa2 は Sa1 よりも除せいられていることが確認できる。これら 3 種類の試験片に対し溶射を行い、耐食性を評価した。

5.4 溶射条件

表 4 に溶射条件を示す。アーク溶射装置によるアルミニウム-亜鉛擬合金溶射を行った。溶射皮膜の模式図を図 6 に示す。溶射施工は、ブラスト処理後の試験片に対し、粗面形成、溶射、封孔処理、中塗り、上塗りの順で行った。

5.5 溶射施工

まず、条件を変えてブラスト処理を行った試験片に対し粗面形成剤（ハイポン導電プライマー）を塗布し、粗面化処理を行った。その後、純亜鉛と純アルミニウムの線材を同時に送給し、皮膜厚

さ約 170 μm となるように溶射した。次に封孔処理剤（ハイポン AZ シーラー）を塗布し封孔処理を行い、最後に、中塗り塗装（ハイポン 30 マスチック中塗り K）約 30 μm 、上塗り塗装（ハイポン 50）約 25 μm を塗布し防食塗装をして試験片とした。写真 6 に工程毎の写真を示す。これらの溶射した試験片は、発せい状態に関わらず粗面形成剤の密着性などには問題がなく、溶射や上塗り塗装まで施工できた。

5.6 評価方法

耐食性の評価は、塩水噴霧試験を行い、断面観察及び分析として、マクロ観察、電子顕微鏡観察及び FE-EPMA 分析による面分析を行った。

5.7 塩水噴霧試験

中性塩水噴霧試験は耐食性の評価に広く用いられる代表的な腐食促進方法である。試験槽内で試験片に塩水を噴霧し、一定期間保持後に試験片表面の塩を水で洗い流し腐食状態を評価する。

表 4 溶射条件

溶射法	アーク溶射
メーカー	MS エンジ
型番	ms296az
電流 (A)	100~120
電圧 (V)	15
ワイヤー	純 Al+純 Zn ϕ 1.2mm
溶射膜厚	目標値 170 μm

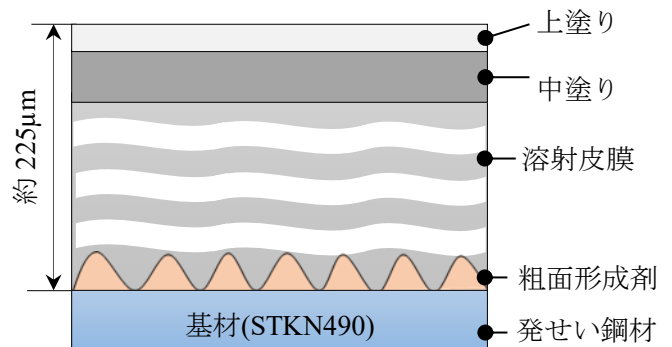


図 6 溶射皮膜の模式図

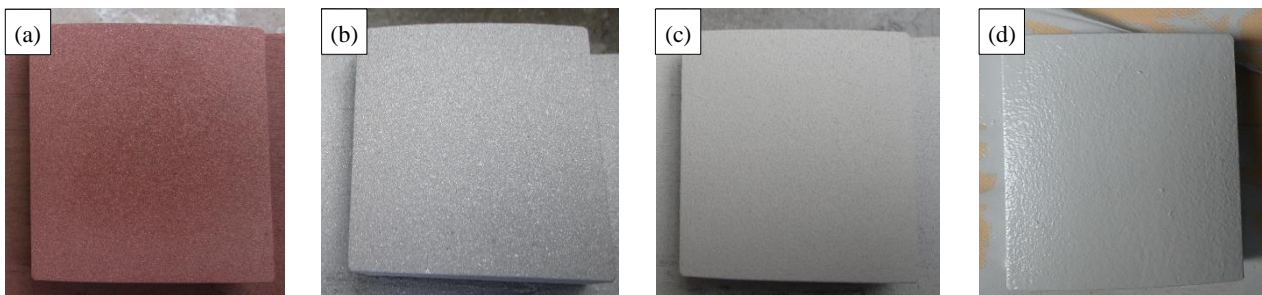


写真 6 溶射施工（ブラストなし基材） (a)粗面形成後、(b)溶射後、(c)封孔処理後、(d)上塗り塗装後

塩水噴霧試験機を写真7に示し、塩水噴霧試験の条件を表5に示す。JIS Z 2371-2015 に準じ中性塩水噴霧試験を行った。表面状態を確認しながら1,000時間まで行い、発せい状態や剥離の有無について評価した。また、試験片を切断して樹脂に埋め込み、研磨して断面組織観察を行った。

水噴霧試験後は全ての前処理条件にて、点状の赤さびが発生していた。また、300hまでは点状の白さびが発生したが、500hを超えた試験片表面には前処理条件によらず、広範囲に白さびが発生していた。図7に赤さび及び白さびの表面マクロ写真を示す。前処理条件によらず点状の赤さびがみられたが、1,000h 経過後においても皮膜の膨れは見られなかった。

5.9 実験結果

塩水噴霧試験の表面写真を写真8に示す。塩

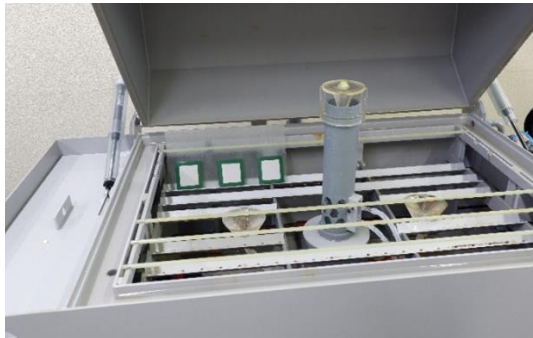


写真7 塩水噴霧試験機
ブラストなし

表5 塩水噴霧試験条件

装置名	ISO 型 塩水噴霧試験機
型式	STP-90V
メーカー	スガ試験機株式会社
試験方法	中性塩水噴霧
噴霧室温度	35°C±2°C
空気飽和器内の水の温度	47°C±2°C
試験時間	1,000h

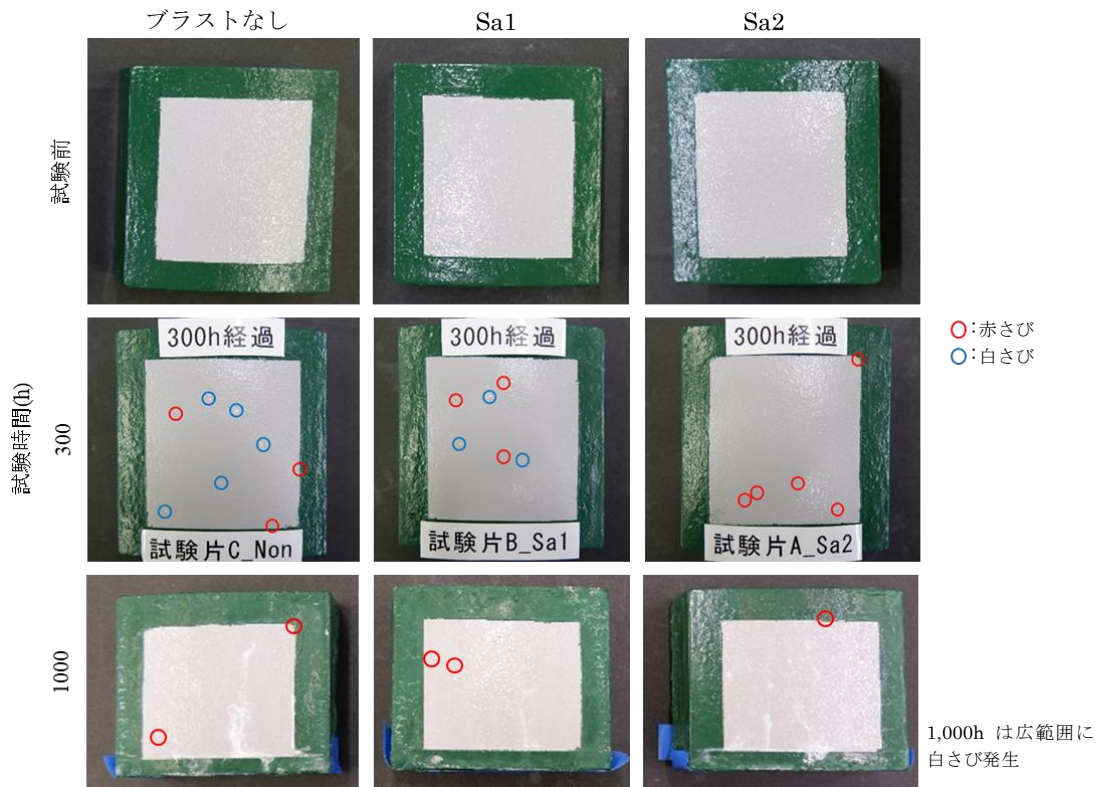


写真8 塩水噴霧試験片の表面マクロ写真

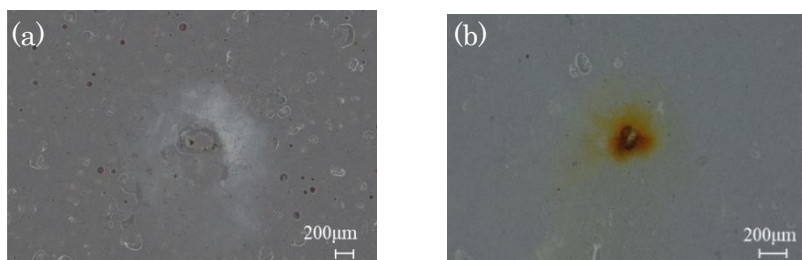


図7 表面の発せい状態 (a)白さび, (b)赤さび

塩水噴霧試験前の試験片の電子顕微鏡組織写真を用いた皮膜断面の構造を図8に示す。断面構造は、溶射皮膜の上側には塗装した層、下側には下地処理剤の層が認められる。また、基材との境界付近をよく見ると、さびと思われる組織（図中の矢印）が観察された。各試験片の組織写真と反射電子

組成像では、原子番号の小さな元素が多く含まれる部分は暗く見え、原子番号の大きな元素が多く含まれる部分は明るく見える。さびの層（図中の矢印）はSa2の方がSa1よりも少ない。ブラスト処理をしていない基材の表面は、さびが層状になっている。

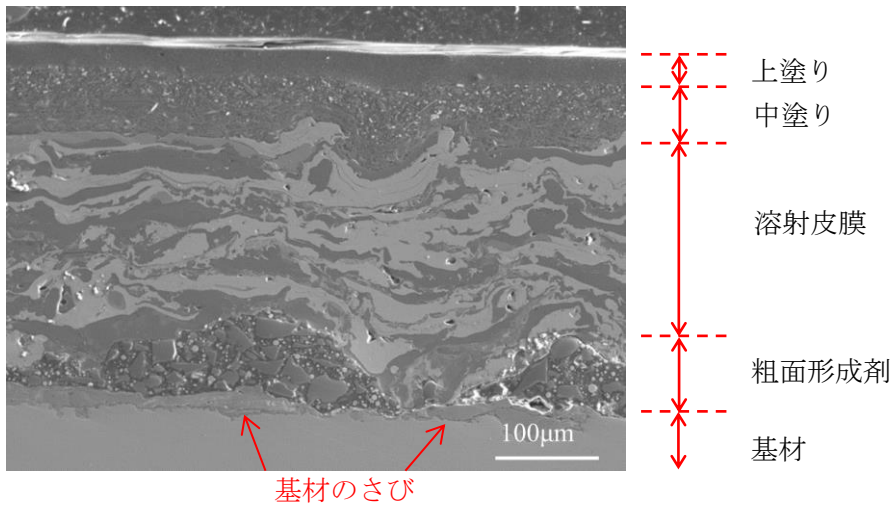


図8 皮膜断面の構造（前処理 Sa1, SEI）

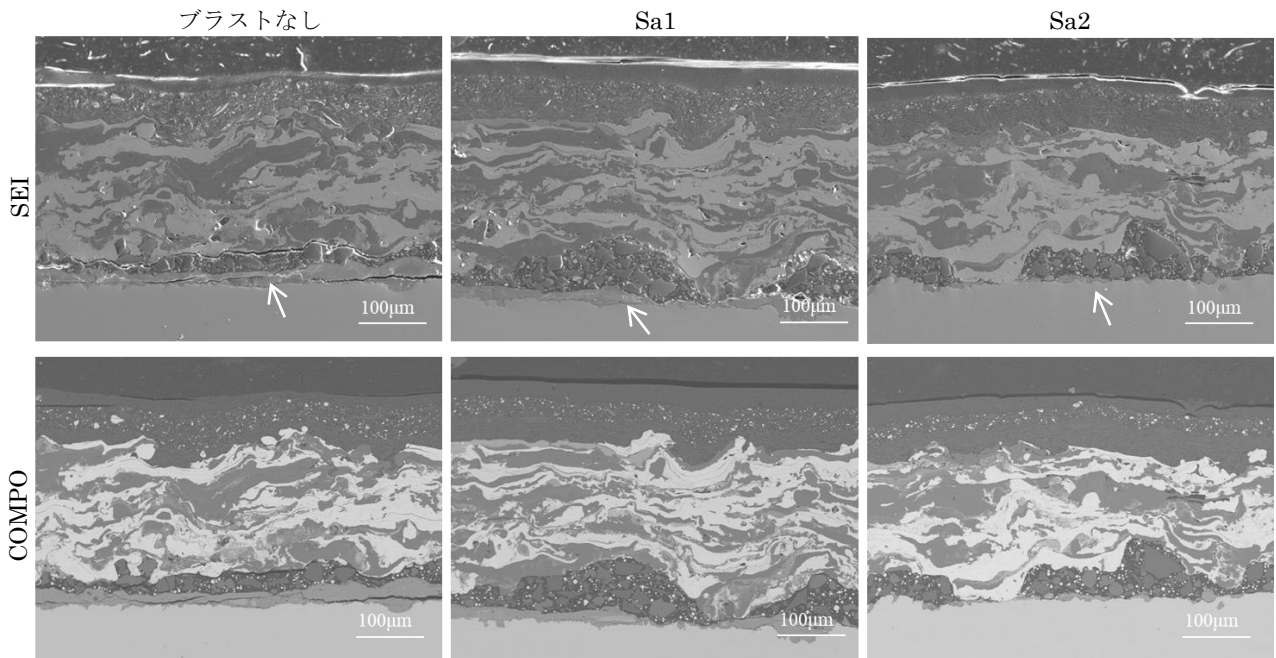


図9 塩水噴霧試験前の断面観察

最後に塩水噴霧試験の結果について述べる。塩水噴霧試験では、1,000時間経過してもどの試験片もわずかに表面に白さびの薄い層が認められたが基材からの赤さびの発生は認められなかった。これらの試験片断面の電子顕微鏡写真と面分析結果を図10に示す。ブラスト処理をしていない試験片は、皮膜が基材界面から剥離している箇所が確認された(図中矢印)。面分析結果から基材表面のさびの層が剥離していることがわかる。Sa1の試験片では、このような大きな剥離は観察されなかったが、電子顕微鏡写真をよく見るとさびの層(図中矢印)にクラックが発生している。これらの結果に対してSa2の試験片では剥離やクラックは観察されなかった。すなわち今回の溶射施工の結果から基材表面はSa2以上の除せいで望ましいことがわかる。ブラスト処理を省略するためには、基材表面のさびの層を剥離しないような処理が必要であると思われた。

6. まとめ

基材の前処理条件を変えて溶射皮膜を形成し、耐食性などの評価を行った。得られた結果は以下の通りである。

(1) 前処理によって、耐食性に大きな差は認められなかった。

- (2) 塩水噴霧試験 1,000 時間経過後の試験片では、ブラスト処理なしでは皮膜の剥離が、除せいで Sa1 の赤さびの層にはクラックが認められた。
- (3) 前処理としては、除せいで Sa2 以上が必要と思われた。

[参考文献]

- 1) 日本建設業連合会 鉄骨専門部会：鉄骨工事 Q&A A-5-2
- 2) 日本橋梁建設協会：鋼橋の Q&A シリーズ LCC 編, 2006.10
- 3) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS18 塗装工事, 2013
- 4) 日本建築学会：建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事, 2018
- 5) PAZL 溶射工法協会：PAZL 工法カタログ, 2014.10
- 6) 野田和彦：色材における基礎科学講座—腐食の電気化学—, 色材協会誌, 第 81 巻, 第 2 号, pp.61-66, 2008
- 7) 内田正信 ほか：防せい溶射技術の現場適用, 溶接学会誌, 第 75 巻, 第 2 号, pp.147-151, 2006

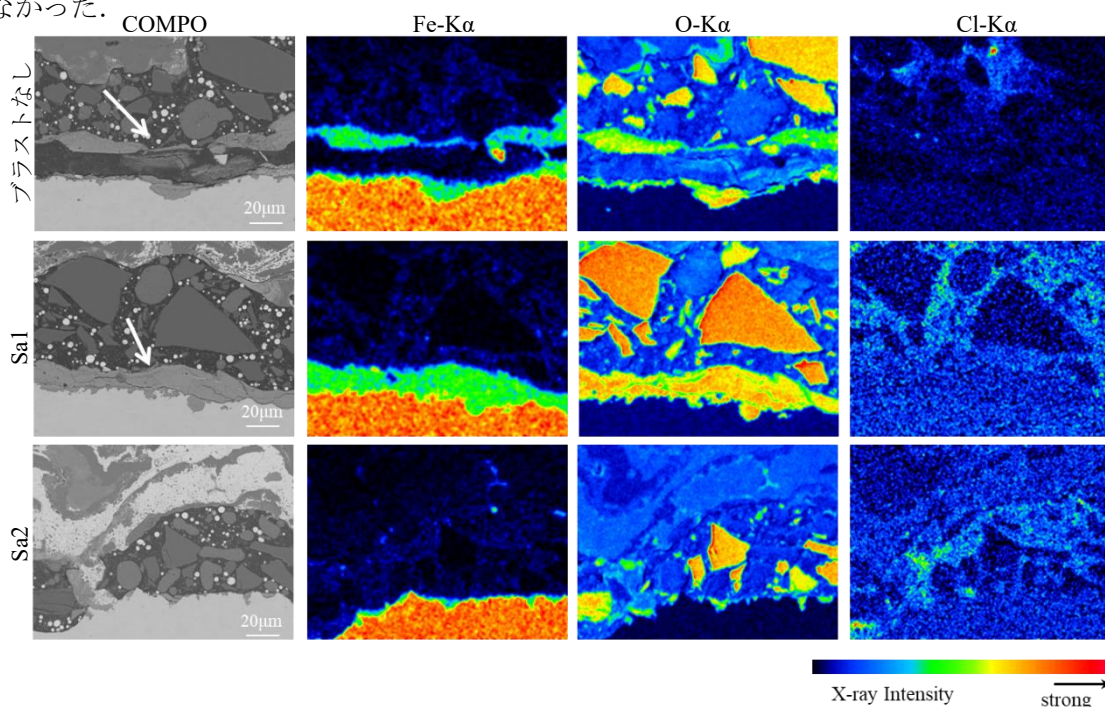


図 10 塩水噴霧試験後の試験片断面の面分析結果

高規格材鉄骨製作支援制度の紹介

Introduction of the system to support the production of 550N/mm² grade steel.

工藤 哲也, 久保 真弓

by KUDO Tetsuya, KUBO Mayumi

1. 緒言

近年、大型再開発や超高層ビルなど大型物件の需要が増加しており、このような物件では550N級鋼が適用されるケースが多い。550N級鋼はHグレード工場の認定範囲を超えるため、物件毎に溶接施工法試験により設計者らの使用許可を得なければならないが、これはファブリケーター側にとって大きな負担となる。こうした状況から、溶接施工法試験を省略することを目的として、一般社団法人全国鉄構工業協会（以下全構協）が高規格材鉄骨製作支援制度を設立した。

高規格材鉄骨製作支援制度では550N級鋼の溶接施工法試験を「550N鋼適用鉄骨の製作能力説明ガイドライン」（以下ガイドライン）により共通化しており、それに基づき各Hグレード工場が製作能力説明書を作成する。製作能力説明書は、溶接施工法試験（過去実績もしくは新規に行う試験）の内容、工場の生産能力及び工事実績などを含む。全構協の高規格材鉄骨製作支援委員会の審査専門委員会が製作能力説明書を審査し、その内容がガ

イドラインを満足していれば確認書を交付する。各工場が確認書及び製作能力説明書を施主や設計者などに提出し、自社の技術力と品質管理能力を説明することで溶接施工法試験の省略を提案できる¹⁾。なお、製作能力説明書及び確認書は説明を支援する参考資料であり、最終的な省略可否は施主や設計者などにより判断される。

高規格材鉄骨製作支援制度は2018年2月に運用開始となり、2020年10月時点で確認書の交付を受けた工場は全国10箇所となった²⁾。当社は全構協より2020年8月9日に確認書の交付を受けた。本稿では、弊社の製作能力説明書及び確認書の内容について簡単に紹介する。

2. 製作能力説明書

表1に製作能力説明書に含まれる内容を示す¹⁾。

6. 550N鋼適用鉄骨の製作技術及び付則 6. 550N鋼溶接施工試験報告書にて溶接施工法試験の内容について説明している。

表1 製作能力説明書の内容

項目		付則資料	
1	適用範囲	付1	工場の大員認定書
2	工場概要	付2	工場案内図・工場配置図
3	管理技術者・技能者	付3	管理技術者名簿
4	設備機器	付4	技能者名簿
5	品質管理体制・製作工程図	付5	過去3年分の製作物件リスト
6	550N鋼適用鉄骨の製作技術	付6	550N鋼の溶接施工法試験報告書
7	高層・大型建築及び特殊構造物の工事実績	付7	標準積層図
		付8	550N鋼の溶接施工指針

3. 当社の認定内容

3.1 過去実績

当社では新しく溶接施工法試験を行わず、過去の試験実績を用いて申請した。溶接施工法試験の過去実績概要を表2に示す。ガイドラインの要求事項を満たす2011年及び2016年に実施した試験結果を用いた。なお、適用範囲の「種別」は以下の特徴を有する。

(1) C: ロボット溶接による角形鋼管継手で、平板部の靱性のみが保証された角形鋼管を使用す

る。

(2) CT: ロボット溶接による角形鋼管継手で、平板部と角部の靱性が保証された角形鋼管を使用する。

(3) CTN: ロボット溶接による角形鋼管継手で、平板部と角部の靱性が保証された角形鋼管を使用するとともに、溶接にNBFW積層法を適用することで冷間成形角形鋼管の設計付加事項の適用が除外できる。

表2 溶接施工法試験の過去実績概要

		2011年	2016年
適用範囲の種別		C	CTN
継手の形式		角形鋼管継手	角形鋼管継手
溶接方法		ロボット溶接	ロボット溶接
NBFW積層法の適用		無	有
溶接姿勢		下向き	下向き
母材	柱材質	G385 (セイケイ)	G385T (セイケイ)
	柱径	700mm	650mm
	柱板厚	36mm	50mm
	ダイアフラム材質	HBL385C (JFE スチール)	HBL385C (JFE スチール)
	ダイアフラム板厚	40mm	50mm
溶接材料	規格	G59JA1UC3M1T	G59JA1UC3M1T
	銘柄 (ワイヤ径)	YM-60C (φ1.2mm)	MG-60 (φ1.2mm)
試験	外観検査	○	○
	超音波探傷検査	○	○
	溶接金属引張試験	○	○
	衝撃試験	○	○
	マクロ試験	○	○
	硬さ試験	○	-
	継手引張試験	○	○

3.2 適用範囲

当社が認定された適用範囲を表3に示す³⁾。表3下線の鋼材に対し、表2に示す銘柄の溶接材料を用いる場合に適用される。また、表3下線以外の鋼材に適用する場合は設計者・工事監理者との協議と承認を要する⁴⁾。その他、適用範囲と異なる場合は個別に協議する。2020年8月9日に確認書が交付され、その有効期限は2025年8月8日までである。

4. 本制度の適用実績

2020年8月9日以降適用範囲を満たす物件が1件あり、本制度を用いて溶接施工法試験が免除された。(2020年12月時点)

[参考文献]

- 1) 全国鉄構工業協会：550N 鋼適用鉄骨の製作能力説明ガイドライン，第3版，2019.11
- 2) 全国鉄構工業協会：高規格材適合工場リスト（2020.10.2 現在），2020.10.13
- 3) 株式会社カガヤ：550N 鋼適用鉄骨の製作能力説明書，2020.8.9

表3 適用範囲

種別	継手の形式	溶接法	部材	鋼材名称	種類の記号	最大板厚
C	角形鋼管 継手	ロボット溶接	柱	建築構造用 550N/mm ² 級 冷間プレス成形角形鋼管	<u>G385</u> , <u>G385C</u> BCHT385B/C SBCP385B/C NBCP385B/C	50mm
			ダイア フラム	建築構造用 550N/mm ² 級 TMCP 鋼材	BT-HT385C <u>HBL385C</u> KCLA385C	60mm
CT	角形鋼管 継手	ロボット溶接	柱	建築構造用高性能 550N/mm ² 級 冷間プレス成形角形鋼管	<u>G385T/T-Z25</u> BCHT385BT/CT SBCP385T/T-Z25	50mm
			ダイア フラム	建築構造用 550N/mm ² 級 TMCP 鋼材	BT-HT385C <u>HBL385C</u> KCLA385C	70mm
CTN	角形鋼管 継手	ロボット溶接 (NBFW 積層法)	柱	建築構造用高性能 550N/mm ² 級 冷間プレス成形角形鋼管	<u>G385T/T-Z25</u>	50mm
			ダイア フラム	建築構造用 550N/mm ² 級 TMCP 鋼材	BT-HT385C <u>HBL385C</u> KCLA385C	70mm

【対外発表】

- 1) 工藤 哲也, 久保 真弓, 桑嶋 孝幸*, 佐々木 龍徳*, 佐々木 麗*: 発錆鋼材のブラスト処理条件の耐食性への影響, 日本溶射学会第 112 回全国講演大会 (2020 年秋季), 2020 年 10 月 28 日
*付: 岩手県工業技術センター
- 2) 工藤 哲也, 久保 真弓, 桑嶋 孝幸*, 佐々木 龍徳*, 佐々木 麗*: 建築鉄骨除錆状態の皮膜耐久性への影響, 溶射技術 Vol.40, No.3, 2021 年 1 月
*付: 岩手県工業技術センター

カガヤ技報 編集委員

工藤 哲也 久保 真弓

カガヤ技報 Vol.1 2020

発行：2021年3月

発行所：株式会社カガヤ

〒028-4131 岩手県盛岡市芋田字武道9番地95

<https://www.iwate-kagaya.jp/>

Copyright © 2021 KAGAYA.co.,Ltd. All Rights Reserved.

