

No. 1

第18回鋼構造シンポジウム
「鉄骨精度測定指針の改定情報 といまさら聞けない鉄骨精度測定」

日本建築学会 鉄骨工事運営委員会
調査研究報告会 2022年11月

2024年12月7日
竹中工務店東京本店 技術部
護(もり) 雅典

建築鉄骨工事関連指針の改定に向けて

鉄骨工事運営委員会調査研究報告会

資料集

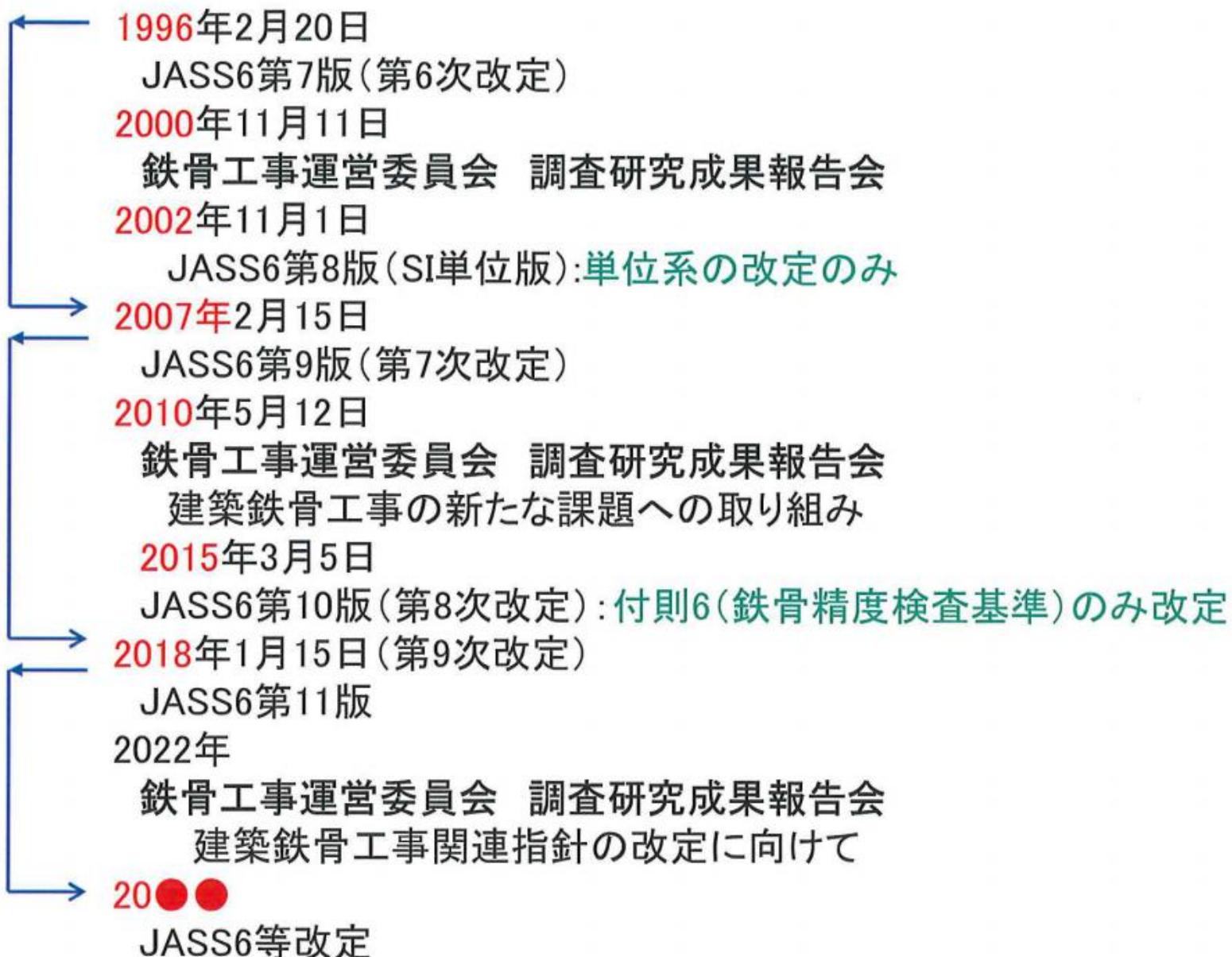
2022年11月

日本建築学会
材料施工委員会
鉄骨工事運営委員会

JASS6等が2018年に改定。
大改定の間隔を10年とすると
ほぼ中間地点に到達している。

鉄骨製作小委員会、溶接小委員会、鉄骨精度小委員会、鉄骨非破壊検査小委員会で継続的に行っている調査研究の活動結果内容を紹介する報告会が開催された。

JASS6改定と調査研究成果報告会の関係



1. 鉄骨製作（鉄骨製作小委員会）	
1.1 拡大孔・スロット孔の適用	1. 1-(1)
1.2 表面処理（塗装含む）に関する課題	1. 2-(1)
2. 溶接施工（溶接小委員会）	
2.1 適正予熱温度に関する研究事例について	2. 1-(1)
2.2 建築鉄骨における溶接ロボットの適用の実態	2. 2-(1)
3. 鉄骨精度測定（鉄骨精度小委員会）	
3.1 寸法許容差の表示方法	3. 1-(1)
3.2 近年の鉄骨製作および鉄骨工事を踏まえた計測方法の見直し	3. 2-(1)
3.3 最新の鉄骨製品寸法精度および建方精度の計測方法	3. 3-(1)
4. 非破壊検査（鉄骨非破壊検査小委員会）	
4.1 STBとの音速差のある鋼材を用いた溶接部の超音波探傷試験	4. 1-(1)

以降、主な内容を紹介します。

1. 鉄骨製作 鉄骨製作小委員会

1.1 拡大孔・スロット孔の適用

鋼構造物の製作・施工には不可避な製作誤差・施工誤差が伴う。これに対し高力ボルトを用いた接合部ではボルト孔のクリアランスを利用し誤差を吸収することで構造物としての施工精度を確保してきた。しかしながら構造物の高層化・巨大化により、製作・施工精度を高めても一般的なボルト孔ではその誤差を吸収できない場合が生じている。これらの対策の一つとして、ボルト孔を標準孔よりも大きな半径を有する拡大孔（以前は過大孔と呼ばれていた）や1方向にのみボルト径の数倍の長円としたスロット孔が想定され、その潜在的な需要は高い。すでに2010年開催の日本建築学会 鉄骨工事運営委員会調査研究報告会^{1.1.1)}でも言及されており、拡大孔が施工上要求される事例や代替策に関する調査がおこなわれている。本資料ではそれ以降の拡大孔・スロット孔を採用した高力ボルト接合に関する既往研究の内容を中心に紹介する。

1.1.1 ボルト孔径に関する規定

現在、建築構造物で使用されている高力ボルト摩擦接合部では、建築基準法施行令においてその孔径は高力ボルトの呼び径が27mm未満のボルトについては呼び径 $d+2\text{mm}$ 、27mm以上のボルトについては呼び径 $d+3\text{mm}$ と規定されている（表1.1.1）。原則としてこれを超える大きさの孔をあけて使用することは認められていない。

表 1.1.1 建築基準法による高力ボルト孔径

ボルトの呼び径	孔径
M16～M24	呼び径+2mm以下
M27～M30	呼び径+3mm以下

表 1.1.2 ECCS に規定されるボルト孔径と耐力の低減係数 1.1.10)

ボルト孔の種類	条件 (d : ボルト呼び径 (mm))	孔径 (mm)	低減係数
標準孔	$d \leq 24$	$d + 2.0$	1.00
	$d > 24$	$d + 3.0$	
過大孔	$d \leq 22$	$d + 4.0$	0.85
	$d = 24$	$d + 6.0$	
	$d \geq 27$	$d + 8.0$	
短スロット孔	長径方向と応力方向が直交のとき	短径: 標準孔径	1.00
	長径方向と応力方向が直交以外のとき	長径: 過大孔径 + 2.0 以内	0.85
長スロット孔	長径方向と応力方向が直交のとき	短径: 標準孔径	1.00
	長径方向と応力方向が直交以外のとき	長径: $2.5d$ 以内	0.70

1.1.2 拡大孔・スロット孔の適用

拡大孔・スロット孔が施工上要求される事例については、前資料 1.1.1) 2.2.5 項で以下の
ような項目について記述されている。詳細は文献 1.1.1) を参照されたい。

- ・構真柱に取り付く大梁接合部
- ・センタージョイント形式の大梁接合部
- ・梁せいがおおきくウェブボルトの本数が多い大梁接合部の例
- ・建方キャンバーを設けるロングスパン大梁の接合部
- ・プレース及び大型トラス斜材の接合部
- ・鋼板耐震壁の接合部
- ・履歴ダンパーや引張プレースなど常時荷重を負担させたくない部材接合部
- ・工区分けして建方を行う場合の工区境界部の梁接合部
- ・溶融亜鉛めっき部材の接合部

1.1.4 拡大孔・スロット孔適用に対する課題

前項で紹介したように拡大孔・スロット孔を使用した高力ボルト摩擦接合部に対する研究が近年実施され、知見が蓄積されるようになった。しかしながら、これらを使用する場合には、建築基準法施行令第 68 条 3 項「前項(ボルト孔)の規定は、同項の規定に適合する高力ボルト接合と同等以上の耐力を有するものとして国土交通大臣の認定を受けた高力ボルト接合については適用しない」に基づく大臣認定を取得する必要がある。個別建築プロジェクトの中で他の認定項目と合わせて認定されている場合がほとんどである。より汎用的にこの接合を用いるためには以下の点に留意して、更に知見を積み重ねることが必要である。

- 設計法（すべりを許容するか、しないか）
- すべり耐力（設計用すべり係数の評価、低減係数、接合部耐力比）
- すべり実験による評価法
- ボルトの配置（ピッチ、ゲージ、縁端距離）に関する定義、最小値、適正值
- すべりを許容した場合の挙動（繰返し載荷時のすべり耐力、支圧時の剛性、破壊耐力、履歴モデル、変形の増大）
- 適用部材、適用板厚
- ボルト孔加工方法

1.2 表面処理(塗装含む)に関する課題

1.2.1 はじめに

JASS 6 では、防錆のための鉄骨表面処理として、塗装と溶融亜鉛めっき工法を規定している。一般的な事務所ビルでは、屋内鉄骨の下塗りや工事期間中のさび汚染防止には塗装を適用して、屋上などの屋外露出環境で使用する鉄骨には溶融亜鉛めっき工法としていた。しかし、最近の一般的なビルや免震建物などでは、高強度鋼材を使用した主要な柱や大梁が屋外露出などの環境で使用される場合があるため、溶融亜鉛めっき工法が適用できず、JASS 6 や JASS 18 とは仕様が異なる鋼道路橋で使用されている重防食塗装、または金属溶射を適用せざるを得ない場合がある。建築と鋼道路橋では塗装仕様が大きく異なるため、鋼道路橋の重防食塗装仕様をそのまま建築で適用することができず、プロジェクトごとに仕様を検討しているのが現状である。ここでは、現状建築で使用されている重防食塗装の仕様について、一般部、高力ボルト接合部と溶接接合部にわけて報告し、金属溶射についてはその特徴と施工概要を示すので、鉄骨の表面処理を検討する際の資料とされたい。 金属溶射に関しては省略します。

溶融亜鉛めっきについて、最近の研究報告と JIS H 8641(溶融亜鉛めっき)の改定について報告し、リン酸塩処理の種類と摩擦接合面について述べる。また、高力ボルト摩擦接合部のプラスト処理について、表面粗さとプラストの作業条件における課題について考えてみる。

表 1.2.1 建築と鋼道路橋における塗装仕様比較

工程	塗装仕様	JASS 18塗装工事 (2-FUE)	公共建築工事標準仕様書 (DP)	鋼道路橋防食便覧 (C-5塗装系)
素地調整 (素地ごしらえ)	1種B (プラスト処理) 直ちに次工程へ	B種 (プラスト処理) 直ちに次工程へ	製鋼工場プラスト処理 無機ジンクリッヂライマー (15 μm)	
下塗り (1回目)	JIS K 5552 2種 有機ジンクリッヂライマー 15 μm	JIS K 5552 2種 有機ジンクリッヂライマー 15 μm	JIS K 5553 1種 無機ジンクリッヂペイント 75 μm	
下塗り (2回目)	JIS K 5551 A種 構造用さび止めペイント 30 μm	JIS K 5551 A種 構造用さび止めペイント 30 μm	ミストコート 2回目材料 を40%希釈して使用 JIS K 5551 B種 構造用さび止めペイント	—
下塗り (3回目)	JASS 18 M-112 珪藻樹脂雲母状酸化鉄塗装 40 μm	JIS K 5551 A種 構造用さび止めペイント 30 μm	120 μm	
下地調整 (研磨紙すり)	工程間隔時間1年間 素地調整2種	—	研磨紙P120~220	—
中塗り	JIS K 5658 1級 建築用耐候性上塗り塗料 30 μm	JIS K 5659 A級 鋼構造物用耐候性塗料 (中塗り) 30 μm	JIS K 5659 A級 鋼構造物用耐候性塗装 (中塗り) 30 μm	
上塗り	JIS K 5658 1級 建築用耐候性上塗り塗料 30 μm	JIS K 5659 A級 鋼構造物用耐候性塗料 (上塗り) 25 μm	JIS K 5659 A級 鋼構造物用耐候性塗装 (上塗り) 25 μm	
建築では 工事現場で施工		合計塗膜 145 μm	130 μm	250 μm

合計膜厚が大きく違う

重防食塗装とする必要がある場合は、次のことに注意が必要である。

- ①設計図書で鋼道路橋防食便覧によるC-5塗装系などの重防食塗装が特記されている場合は、建築の仕様ではないため、建築の標準仕様書を適用することができないか、実際の外部環境による腐食条件などを考慮した適切な塗装仕様を設計と協議する必要がある。
- ②重防食塗装が施工できる鉄骨製作工場は、製品ブラストが可能な工場であり、Sグレードなどの一部の大規模工場に限られるため、鉄骨調達に注意が必要である。
- ③製品ブラストが不可能な鉄骨製作工場では外注塗装工場で輸送して施工することとなるので、それが可能であるか、実績があるか、コストや工期などの検討が必要である。
- ④重防食塗装は、製品ブラスト処理と下塗りを実施するため、通常より時間がかかるので、製作工程に考慮する必要がある。さらに、部材角部の面取りが必要となると、さらに工程がかかる。
塗装
- ⑤工事現場では、輸送や建方で生じたきずなどを下地調整した後に、補修溶接、中塗り・上塗りを実施するので、塗装用の仮設足場などの設置、塗装品質管理と工程の確保が必要である。特に次節に示す現場高力ボルトや溶接接合部については、別途検討が必要である。

1.2.5 溶融亜鉛めっきJIS改正

■2021年12月20日付で

溶融亜鉛めっきに関する日本産業規格(JIS)が改正された

JIS H 8641「溶融亜鉛めっき」 JIS H 0401「溶融亜鉛めっき試験方法」

付着量 [旧規格による。]		
種類	記号	付着量 g/m ²
1種 A	HDZ A	250 以上 ^{b)}
1種 B	HDZ B	300 以上 ^{b)}
2種 35	HDZ 35	350 以上
2種 40	HDZ 40	400 以上
2種 45	HDZ 45	450 以上
2種 50	HDZ 50	500 以上
2種 55	HDZ 55	550 以上

JASS6の適用記号

- ・ボルト・ナット類、
アンカーボルト類
: HDZ35(48.6μm)
- ・形鋼類・鋼板類、
高力ボルトのセット
: HDZ55(76.4μm)



膜厚 (この規格による。)	
種類の記号	膜厚 μm
HDZT 35	35 以上
HDZT 42	42 以上
HDZT 49	49 以上
HDZT 56	56 以上
HDZT 63	63 以上
HDZT 70	70 以上
HDZT 77	77 以上

- ・膜厚の計測は、**電磁膜厚計**によって行う。
- ・方法は、JIS H0401の「膜厚試験」による。
- ・形状によりこの試験が困難な場合は、付着量試験から付着量を求め厚さに換算する。

記号の意味 HDZT○○

○○が膜厚の下限(μm)を示す。
(例) HDZT77は膜厚77 μm以上

JIS H 0401:2021 「溶融亜鉛めっき試験方法」

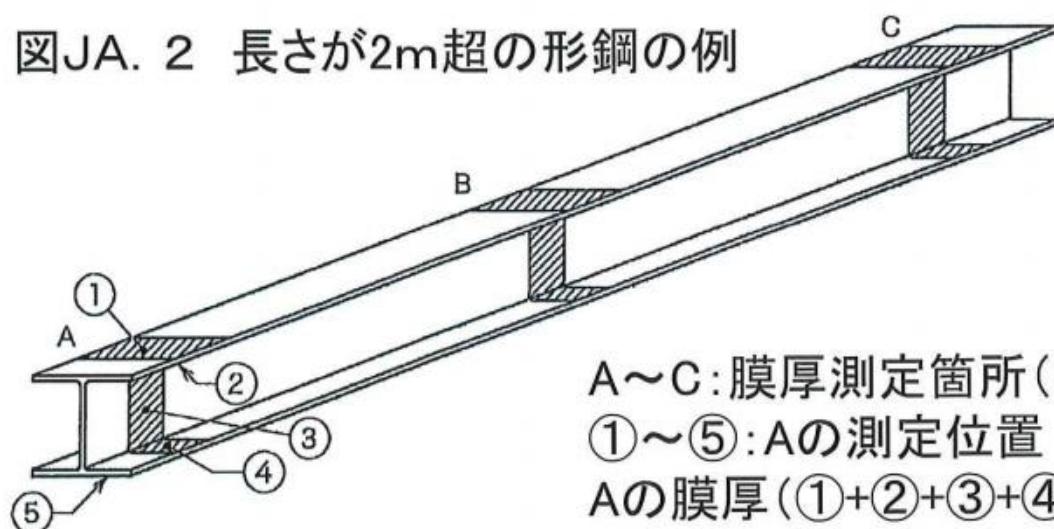
5.5 測定箇所

膜厚の測定箇所は、試験片の膜厚を代表する結果が得られるように、切断面及び端部を除く有効面とする。膜厚を代表する結果が得られる測定箇所の例を、**附属書JA**に示す。」ただし、受渡当事者間の協定によつてもよい。

附属書JA(参考) 膜厚の測定箇所及び測定回数の例

試験片の長さ	測定箇所の数	
	試験片の有効面の面積	
	2 m ² 以下	2 m ² 超
2 m 以下	1 以上	3 以上
2 m 超	3 以上	3 以上

図JA. 2 長さが2m超の形鋼の例



一か所当たりの測定回数は5回、膜厚は5回測定値の平均値とし、数値は μm で表す。

JIS H 8641:2021 「溶融亜鉛めっき」（抜粋）

7. 品質

7.1 一般

品質は、有効面に適用する。ただし、めっき後の切削、溶接などの加工によってめっき皮膜が除去される部分、JA.1.4～JA1.6によらない素材によって生じる欠陥が発生する部分、及びめっき時に素材を固定するためのジグが接触する箇所などのめっき施工上、不めっきが避けられない部分は、有効面に含まない。有効面の範囲の指定は、受渡当事者間の協定による。

7.2 外観

外観は、目視によって試験を行い、不めっき、剥離、たれ及びかすびきは、a)～c)による。

注記1 めっきの表面に見られる不めっき、剥離、たれ及びかすびき以外の次の諸現象は、防食の性能に悪影響を及ぼさないため、補修などは不要である。

- やけ[亜鉛と鉄との合金でできた層(以下、合金層という。)がめっき表面まで発達したもの]
- 変色(めっき表面が変色したもの)
- 白さび(保管中に雨水の付着、結露などによって生じた亜鉛の酸化物)
- シーム(めっき表面に生じた線状の凸部)
- ざらつき(めっき表面に凹凸があるもの)

注記2 めっきの目的は、耐食性の付与にあり、装飾の目的で施されるものではないため、外観の規定は、美観的要件を満足させるものではない。また、めっきは、素材表面を滑らかにするものではない。

- a) 不めっき及び剥離 **使用上支障がある不めっき及び剥離は、あってはならない。**
ただし、不めっき及び剥離が生じた場合には、次のいずれかによる。
1)～3)省略
- 注記3 不めっき又は剥離が小さい場合は、周辺亜鉛の犠牲的保護作用によって、
耐食上大きな影響はない。**犠牲的保護作用の効果が及ぶ不めっき部の
幅は、5mmまでであることが実験的に確認されている。**
- b) たれ **使用上支障がある接合部のたれ、かん(嵌)合部のたれ及び鋭利なたれ
は、あってはならない。**（中略） 使用上支障があるたれの程度、箇所及
び仕上げの仕様は、受渡当事者間の協定による。
- c) かすびき **使用上支障があるかすびきは、あってはならない。**ただし、かすびきは、
加工業者の判断によって、やすりなどを使用して除去してもよい。

附属書JA(規定) めっき用素材

JA1.4 素材の化学成分

素材に含まれるけい素及びりんの含有量は、亜鉛と鉄との合金反応に影響を与えるため、確認することが望ましい。注文者が加工業者に素材を提供する場合、注文者は、加工業者に素材の化学成分の情報を提供することが望ましい。

JA1.5 素材の表面

素材は、次に示す表面状態であってはならない。

- a) 材料きず
- b) 甚だしい腐食
- c) 表面の汚れなどが前処理で除去されないもの
- d) 地肌が平滑でないもの
- e) 平滑であるが、酸化層の異常が激しいもの
- f) 鑄物の砂かみ、巣、溶接部のピットなどのあるもの

JA1.6 素材の構造

素材は、次に示す構造であってはならない。

- a) 作業中破損又は変形のおそれのある構造
- b) ブラストの際、死角を持つ構造
- c) 密閉した中空体
- d) 溶融亜鉛が容易に流入および流出しない
- e) 空気の一部が逃げない構造

記述を簡略化していますので、規定の詳細は、JIS本文を参照して下さい。

JIS改正に伴う帳票変更

資料集記載の成績書例

JIS H 8641:2007 対応		溶融亜鉛めっき試験成績表		サンプル	
製品名 工事名					
めっき日 めっき温度					
試験方法 : JIS H 0401に準拠		適用規格 JIS H 8641 標準記号 2種 HDZ 55			
試験日 :					
試験片 : 鋼一素材 (I) PL22 t=99.9×100.0 (II) (III) (IV)					
試験結果					
付 録 試 験 成 績 書	試験片番号	(I)	(II)	(III)	(IV)
	重めつき付厚 (mm)	293.10			
	重めつき層除却後の質量 (g)	1748.78			
	重めつき層除却後の質量 (g)	1703.66			
	重めつき層質量 (g)	45.12			
	重めつき層付厚 (mm)	1539			
	合 格 判 定	合 格			
ハンマ試験	合 格				
総 合 判 定	合 格				

※注記 ハンマ試験は試験片の厚さが0mm以上で試験面が平滑なものに適用する。

※試験項目は、付着量試験（間接法）及び密着性試験（ハンマ試験）の試験結果を記載

図 1.2.18 溶融亜鉛めっき成績書 (JIS H 8641:2007 版 対応)

あくまでサンプルですので、注意して下さい。

JIS H 8641:2021 対応		溶融亜鉛めっき膜厚試験成績表		サンプル					
製品名 工事名									
めっき日 めっき温度									
適用規格 JIS H 8641:2021 IDET 77 (77 μm以上)									
試験日 外観	古層性試験が廃止され、 判定基準が付着量(g/m ²) から膜厚(μm)に変更		検査結果		判定				
	判定基準 めっきの有効面に使用上支障がある不めつき及び剥離、たれ、かすびきがないこと		合格		合格				
膜厚：電磁式膜厚計による膜厚（試験方法はJIS H0401による）									
試験片 製品本体	測定箇所	測定結果 (μm)		一か所当たりの膜厚 (μm)	判定基準 (μm)				
	① 緯部	95	85	103	88	81	50.4	77以上	合格
	② 中央部	99	101	102	88	110	100.0	77以上	合格
製品本体	③ 緯部	101	91	83	116	104	98.6	77以上	合格
	④ 緯部								
	⑤ 中央部								
製品本体	⑥ 中央部	99	117	102	85	113	103.2	77以上	合格
製品本体	⑦ 中央部								
製品本体	⑧ 中央部								
※測定箇所の数：緯部・中央部・端部の3箇所 ただし、試験片の長さが1m以下で、有効面積が200mm ² 以上の場合は中央部1箇所						（測定器具：株ケット科学研究所 KE-200）			
追加						（参考）測定結果 【JIS H8641-1991】目次及び脚注 試験片長さ 250mm			
付着の記号		測定箇所	付着量 g/m ²	膜厚 μm	付着量 付着基準 μm(参考)	膜厚 付着基準 μm			
付着の記号	測定箇所								
HDT 35	2351.1								
HDT 47	4731.0								
HDT 49	4931.0								
HDT 56	5631.0								
HDT 63	6331.0								
HDT 70	7031.0								
HDT 77	7731.0								
HDT 50	HDT 50								
HDT 55	HDT 55								

※基準分類によって費用のかなりかかるもの
又は機器上高い技術が要求されるものに適用

※試験項目は、電磁式膜厚計による膜厚試験の試験結果を記載。

密着性試験が廃止され、外観検査に包含し検査結果を記載。

図 1.2.19 溶融亜鉛めっき膜厚試験成績書 (JIS H 8641:2021 版 対応)

JIS H 8641 溶融亜鉛めっき
認証番号 JQ0307070

溶融亜鉛めっき 試験成績書

客先名: _____
工事名または品名: _____

仕様: JIS H 8641 HDZT 加工番号: _____
膜厚: μm 以上
試験方法: JIS H 0401:2021
測定対象: No.1 No.2
No.3 No.4
No.5

試験結果: 試験日: 年 月 日

No.	測定箇所	膜厚測定値 (μm)					合否判定
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
1	A						
	B						
	C						
2	A						
	B						
	C						
3	A						
	B						
	C						
4	A						
	B						
	C						
5	A						
	B						
	C						

(注記) 電磁機厚計 管理No: HJ-
膜厚の測定箇所の数

試験片の長さ	測定箇所の数(個)	
	試験片の有効部の面積	
2m以下	2以上	2以上
2m以上	3以上	3以上

発行 年 月 日

承認	担当
----	----

No.2230292

帳票例

溶融亜鉛めっき膜厚試験成績表

製品名	鋼材
工事名	[REDACTED]
めっき日	2022年6月1日
めっき温度	445 ±5°C
試験方法	試験方法は JIS H 0401 に準拠
試験日	2022年6月1日
測定箇所	3箇所 (①、②、③ 各5点)

試験結果

試料	測定箇所	測定結果 (μm)						平均膜厚	換算付着量 (g/m^2)	規格付着量 (g/m^2)	合否判定
		① 端部	② 中央部	③ 端部	④ 端部	⑤ 端部					
H400×400×13×21	① 端部	172	169	173	182	160	171.2	1,233	550以上	合格	
	② 中央部	184	188	187	186	171	183.2	1,319	550以上	合格	
	③ 端部	183	174	192	183	167	179.8	1,295	550以上	合格	
H250×250×9×14	① 端部	116	144	147	136	144	137.4	989	550以上	合格	
	② 中央部	166	161	164	142	170	160.6	1,156	550以上	合格	
	③ 端部	164	157	176	173	171	168.2	1,211	550以上	合格	
H200×200×8×12	① 端部	176	189	189	199	188.4	1,356	550以上	合格		
	② 中央部	192	176	181	195	189	186.6	1,344	550以上	合格	
	③ 端部	187	187	194	192	186	189.2	1,362	550以上	合格	

換算付着量 (g/m^2) = 平均膜厚 (μm) × 7.2

(測定器具: 株式会社ケット科学研究所 LE-200W)

密着性(JIS H 0401密着性試験)

試験箇所	試験方法	判定基準	検査結果	判定
全面	目視	き裂又は剥離の有無	無	合格

試験立会者

上記のとおり相違ありません。
2022年6月1日

承認	担当
----	----

溶融亜鉛めっき高力ボルトの対応

国土交通大臣認定品のため、認定取得時の各種条件を維持する義務がある。

現在、付着量(面積当たりの亜鉛重量)、密着性、均一性を管理することで認定取得。

管理項目を変更すると認定を取り直す必要があるので、当面は変更が無いと考えられる。

(「JIS H8641」に制定年を追記して付着量表示とすることで取り直しを回避)

製品検査成績書															
需要家名 :														証明書番号 : 2300000221	
工事名称 :														頁 : 1/3	
契約番号 :															
品名	溶融亜鉛めっき高力六角ボルト													発行年月日 : 2023年01月06日	
セットロット番号	等級 (F8T)	数量	ボルト						ナット		座金	セット		外観 形状 寸法	認定番号
			試験片			製品			製品	製品	トルク係数値	トルク 平均値			
			耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	絞り %	引張荷重 kN	硬さ HRC	硬さ HRC	保証荷重 kN	硬さ HRC	平均値			
ねじの呼び 長さ	640 以上	800 ~ 1000	16 以上	45 以上	126 ~ 31	18 ~ 35	20 ~ 45	25 ~ 45	0.110 ~ 0.150	**	ねじ 精度	溶融亜鉛めっき JIS H 8641 (2007) 2種 HDZ-55			
ZHZH866941	16X45	350	839	883	22	74	139	27	合 格	38	0.134	***	付着量 (g/m ²)		
ZHZH867040	16X50	20	846	891	22	75	139	27	合 格	38	0.133	***	ボルト		
	TOTAL	370	セト	2	ナット								ナット		
													座金		

ターンバックル・アンカーボルトは、後で述べます

1.2.6 溶融亜鉛めっきのりん酸処理の種類と高力ボルト摩擦接合部の摩擦係数

(1) 溶融亜鉛めっきのりん酸処理の種類と高力ボルト摩擦面処理にまつわる諸問題

溶融亜鉛めっき部材のりん酸塩処理については、用途に応じて①塗装下地、②低光沢処理、
③摩擦面処理の処理剤があるが、通常、摩擦面処理には「摩擦面処理」のりん酸処理剤(以下、
専用処理剤)が利用される。

化成処理の一種:表面に凹凸のある皮膜を形成する

いずれの処理も原理的には亜鉛表面にりん酸塩を生成させて粗面を形成するが、①は塗料と
の付着性向上、②は光の反射の低減、③は摩擦係数の向上など、目的によって若干の成分設計
や処理方法が異なる。

それぞれの処理方法は①、②は処理槽浸漬、③は刷毛塗りであり、また、一度りん酸反応した
面は他の処理を行っても反応が起こらないので、塗装部材、ないし低光沢処理部材において、摩
擦面のみ専用処理剤を使用することは困難である。

そのため、摩擦面処理も①②のりん酸処理で済ますケースが散見されており、また、一部のメー
カーにおいては、塗装下地、低光沢処理の処理剤でもすべり係数 $\mu \geq 0.40$ を確認しているが、過
半のメーカーは対応していないなど、処理剤の選択やメーカー対応によってすべり係数試験の要
否が異なる。

また、溶融亜鉛めっきの特徴として、亜鉛層から引き揚げた部材の端部には溶融亜鉛の表面張
力により盛り上がり形状のタレが生じ、摩擦面にあれば、スライスプレートの浮きや高力ボルトの
挿入不能などが生じ、溶融亜鉛めっき部材の外観保持のための白さび防止剤はりん酸反応を阻
害する。

以上、問題が複雑に絡み合う構図のため、本項ではその問題点を明らかにしてりん酸処理を利
用する場合の注意事項を述べる。

(2) 施工体制

溶融亜鉛めっき部材の製作は、鉄骨部材を鉄骨加工会社(ファブリケータ)が製作し、めっき工場で溶融亜鉛めっき施工を行う。

一般のめっき部材の製作はこの後、鉄骨加工会社ないしめっき工場で専用処理剤にて摩擦面のりん酸処理を行い、鉄骨建方現場へ納入される。

塗装下地処理や低光沢処理を行う場合、処理施設を有するめっき工場ないし表面処理加工会社にてりん酸処理を行うが、摩擦面の処理は①めっき工場で専用処理剤にて先行処理後、薬液槽に浸漬して処理するか、②めっき後に摩擦面をマスキングし、薬液槽浸漬、マスキング除去後に専用処理剤塗布、③塗装下地用ないし低光沢処理用のりん酸処理のままの3通りがある。

(3) 溶融亜鉛めっきの摩擦面整形処理の可否

溶融亜鉛めっき部材においては、摩擦面処理に先立って部材の角部やボルト孔の角に生じるタレについて、摩擦面の平滑化やボルト孔の整形(摩擦面の整形処理)を行う必要があるが、めっき工場にてりん酸処理する場合は整形処理が難しく、表面処理会社では整形処理は行わない。

タレは部材の板厚に比例して顕著になるため、大型構造部材では特に上述の施工体制の設定が重要である。

(4) 白さび防止剤の使用可否

白さび防止処理は樹脂皮膜を作り、りん酸反応を抑制するので、この処理は行わない。

(5) すべり係数試験の要否

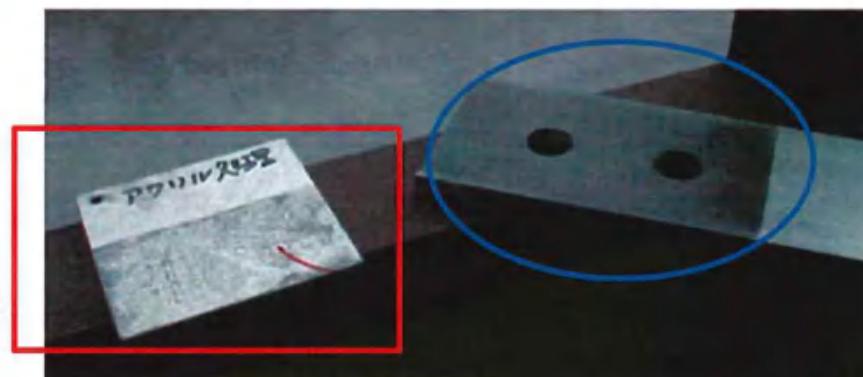
参考写真を下に示します。

専用処理剤製造大手の2社は、めっき工場で塗装下地、低光沢の処理施設を持ち、いずれのりん酸処理剤でもすべり係数試験結果にて $\mu \geq 0.40$ を確認しているので結果の採否は監理者が行えばよいが、その他のりん酸処理剤メーカー、および表面処理加工会社についてはすべり係数試験を行っていないため、試験にて適否を判断する必要がある。

なお、摩擦面処理専用処理剤は外販で刷毛塗りのため、メーカーの標準手引きを守って施工することが重要であり、また、一部の建築主事からはりん酸処理剤メーカーの試験データではなく、刷毛塗り施工する会社における試験実績を求められることがあるので注意する必要がある。

参考写真

白さび防止用にアクリル処理をした上にりん酸塩を塗布。
りん酸塩が弾かれ反応しない。



適切にりん酸塩処理をした場合

りん酸塩処理の目的: 塗装下地、低光沢処理、摩擦面処理

表 1.2.15 りん酸塩処理剤メーカー、商品名とすべり係数試験要否

メーカー名	項目	塗装下地	低光沢処理	摩擦面処理	備考
オーエム工業	A社 商品名	OMZP	OMZP	OMZP-2	
	すべり係数試験要否	データあり	データあり	データあり*	各処理剤とも $\mu \geq 0.40$ *摩擦面処理用は適用 多数
	白さび防止剤	なし	あり(摩擦面は行 わない)	なし	
	整形処理	△	△	可	可:FABO,めっき工場 △
	処理方法	薬液槽浸漬	薬液槽浸漬	刷毛塗り	
田中亜鉛鍍金	処理場所	自社	自社	FAB	
	B社 商品名	タナカP4	タナカP4	タナカ—FC	
	すべり係数試験要否	データあり	データあり	データあり*	各処理剤とも $\mu \geq 0.40$ *摩擦面処理用は適用 多数
	白さび防止剤	なし	あり(摩擦面は行 わない)	なし	
	整形処理	△	△	可	可:FABO,めっき工場 △
C社	処理方法	薬液槽浸漬	薬液槽浸漬	刷毛塗り	
	処理場所	自社	自社	FAB	
	商品名	なし	ダーク	AG-FUPジェル	
	すべり係数試験要否	—	要	要	すべり係数試験実績な し
	白さび防止剤	—	あり(摩擦面は行 わない)	なし	
	整形処理	—	△	可	
	処理方法	—	薬液槽浸漬	スポンジ塗り	
	処理場所	—	自社	FAB	

表 1.2.16 塗装下地, 低光沢処理メーカーと使用薬剤, すべり係数試験要否

メーカー名	項目	塗装下地	低光沢処理	摩擦面処理	備考
D社	商品名	非公開	非公開	OMZP-2*	摩擦係数を求められる場合、マスキング、処理後にOMZP-2塗布
	すべり係数試験要否	要	要	データあり*	
	白さび防止剤	なし	あり(摩擦面は行わない)	なし	
	整形処理	○	○	○	鉄塔メーカーのため、整形処理は標準で行う
	処理方法	薬液槽浸漬	薬液槽浸漬	刷毛塗り	
	処理場所	自社	自社	自社	
E社	商品名	ホスニン	なし	OMZP-2*	摩擦係数を求められる場合、マスキング、処理後にOMZP-2塗布
	すべり係数試験要否	要	—	データあり*	
	白さび防止剤	なし	—	なし	
	整形処理	○	—	○	鉄塔メーカーのため、整形処理は標準で行う
	処理方法	薬液槽浸漬	—	刷毛塗り	
	処理場所	自社	—	自社	
F社	商品名	パルボンド	パルボンド	OMZP-2*	摩擦係数を求められる場合、めつき工場にてOMZP-2塗布後メーカー納入
	すべり係数試験要否	要	要	データあり*	
	白さび防止剤	なし	あり(摩擦面はなし)	なし	
	整形処理	△	△	△	
	処理方法	薬液槽浸漬	薬液槽浸漬	刷毛塗り	
	処理場所	自社	自社	自社	

表 1.2.17 摩擦面処理用りん酸処理剤

塗装下地	低光沢処理	摩擦面処理
OMZP	OMZP	OMZP-2
タナカP4	タナカP4	タナカ—FC
—	—	タフタイト
—	—	AG-FUPジェル
—	—	フリクアップZn
—	—	ECO-DC
—	—	りんさんくん
パルボンド	パルボンド	パルボンド
—	—	ガルバ工業FU
—	—	KOWA処理
—	—	シルミナイズ

1.2.7 ブラストによる摩擦面処理

(1) ブラスト処理摩擦面に関する規定

1) ブラスト処理の概要

一般的に鋼材の摩擦面処理に用いられるブラスト処理には「ショットブラスト」と「グリットブラスト」の2種類がある。それぞれスチールショット（鋼球）やスチールグリット（鋼碎粒）を研削材として高速で摩擦面に投射・吹きつけをし、鋼板・形鋼表面の黒皮を除去すると共に表面に凹凸を生じさせる方法である。建築分野ではショットブラストが、土木橋梁分野ではグリットブラストが用いられることが多い。

以下に紹介する規基準では、ブラスト処理摩擦面のすべり係数の評価尺度として、表面粗さを採用している。表面粗さが高くなることすべり係数も高くなる傾向が認められる一方で、同じ表面粗さであっても得られるすべり係数にはばらつきがあり、既往の研究では規定されるすべり係数を下回る場合も稀に見受けられる。そのため、表面粗さだけでなく、ブラストの作業条件についても十分な検討を行う必要がある。

2) プラスト処理摩擦面に関する規定

現在、土木・建築分野における高力ボルト摩擦面を規定する表面粗さパラメータとして、JIS B 0601:2001で規定される最大高さ R_z 、算術平均粗さ R_a が用いられている。図 1.2.20 にそれぞれの概略図を示す。 R_z は基準長さ間の最大山高さ R_p と最大谷深さ R_v の和であり、 R_a は山高さ・谷深さの絶対値の平均値を表す。これらは過去の JIS 改定時に、その内容と記号に変更があった。表 1.2.18 にその変遷を示す。現在最大高さを表す記号 R_z は国際的な整合性を取るために 2001 年の JIS 改定で変更されたものであり、それ以前は R_y 、 R_{max} 、 R_{max} (S 表示、○○S と表記)、 H_{max} (S 表示) として表記されている。また、1994 年改定の R_y 以降は表面粗さパラメータを求めるために使用する評価曲線が粗さ曲線 (Roughness Profile) であるのに対し、それ以前は断面曲線 (Primary Profile) を用いている。測定技術の進歩により評価曲線をデジタルデータ化することで複雑な計算ができるようになったことに伴う変更である。 R_a も現在は算術平均粗さを示す記号であるが、1994 年の改定以前は中心線平均粗さを表す記号であった。このように資料が記述された年代によって表面粗さの表示方法や定義が異なる場合があるので注意が必要である。

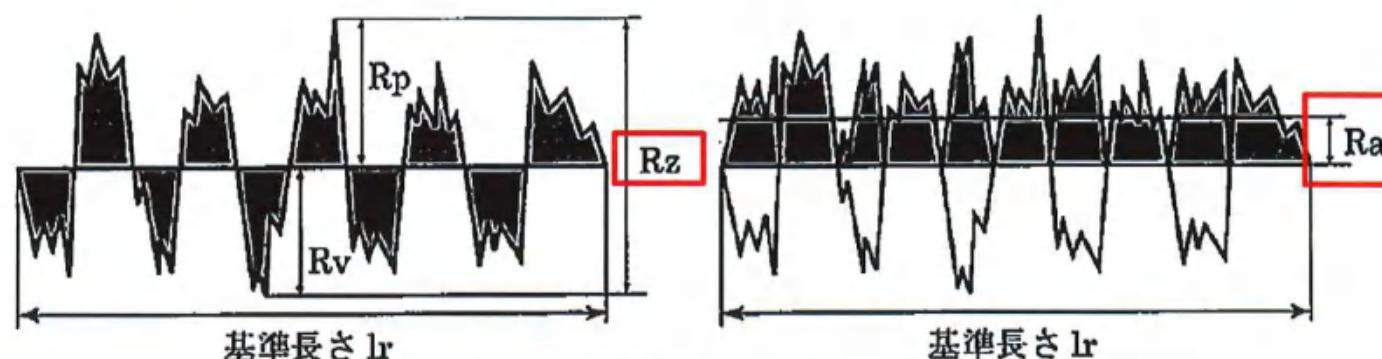


図 1.2.20 表面粗さ評価パラメータ R_z , R_a の概略図

表 1.2.18 表面粗さ評価パラメータ R_z , R_a の変遷

		JIS B 0601 :1950	JIS B 0601 :1970	JIS B 0601 :1982	JIS B 0601 :1994	JIS B 0601 :2001
断面曲線	最大高さ	H_{max} (S 表示)	R_{max} (S 表示)	R_{max}	-	(P_z)
	十点平均粗さ	-	R_z (Z 表示)	R_z	-	-
粗さ曲線	最大高さ	-	-	-	R_y	R_z
	十点平均粗さ	-	-	-	R_z	R_{zJIS}
	中心線平均粗さ		R_a (a 表示)	R_a	R_{a75}	R_{a75}
	算術平均粗さ	-	-	-	R_a	R_a

○建築分野

JASS6^{1, 2, 9)}「4. 10 項 摩擦面処理」ではすべり係数 0.45 以上確保できる摩擦面の一つとして、プラスト処理が提示され、「摩擦面をショットブラストまたはグリットブラスト面にて処理し、この表面粗さが $50\mu\text{m}R_z$ 以上確保できる場合は、赤さびを発生させなくてもよい」とされている。鉄骨工事技術指針・工場製作編^{1, 2, 10)}4. 10 節ではその背景、内容について解説をしている。サンドブラスト処理面は所定のすべり係数が得られないことがあるので認められていないこと、表面粗さは中心線平均粗さで定義されるのが望ましいが、測定が簡単であることから最大高さ (R_z) で定義し、その値を $50\mu\text{m}R_z$ 以上としていること、安全を考慮し $70\sim80\mu\text{m}R_z$ を目標とすることが推奨することなどが示されている。また、JASS6 が想定している作業条件も示されている。

(3) ブラスト処理摩擦面に対する課題

1) ブラスト処理面の確認方法

ブラスト処理による高力ボルト摩擦面を採用する場合、適切な表面粗さ管理が必要となる。以下では、表面粗さを確認するための方法を紹介する。

(a) 粗さ計による測定

表面粗さの測定方法には大別して「接触式」と「非接触式」測定方法がある^{1, 2, 30, 31)}。

接触式：触針の先端で試料の表面に直接触れる方式。表面をなぞる事により触針の上下運動から表面の粗さ形状を測定する。表面の形状波形が直接得られる、計測器がコンパクトという長所の一方で、触針が摩耗する、触針の先端半径よりも小さい形状が測定できない、測定時間が長いなどの短所を持つ。

非接触式：接触式の触針の代わりに光を用いた方法。原理の違いによって複数の方式がある。触針式よりも微細な凹凸を測定できる、測定時間が短い、面での測定が可能などの長所を持つ一方、一般的に触針式よりも高価で、形鋼などの大きな部材表面での測定には不向きなどの短所がある。

いずれも種々の粗さパラメータ (R_z , R_a など) を「一度」に「定量的」に計測できる。しかしながら、接触式粗さ計でも数十万円と高額であること、計測に時間を要することから、鉄骨製作工場が個別に購入、日常的に測定を行い、管理することは一般的ではない（粗さ計による測定と管理を実施している工場もある）と考える。

(b) 対比試験片との比較

定量的な測定ではなく主観的な判断となるが、対比試験片による比較から所定の粗さが得られているかを視覚的、触覚的に判断する方法が考えられる。図 1.2.27 に粗さ対比試験片の例を示す。また、鉄骨工事技術指針 工場製作編にも対比試験片の例が示されている。

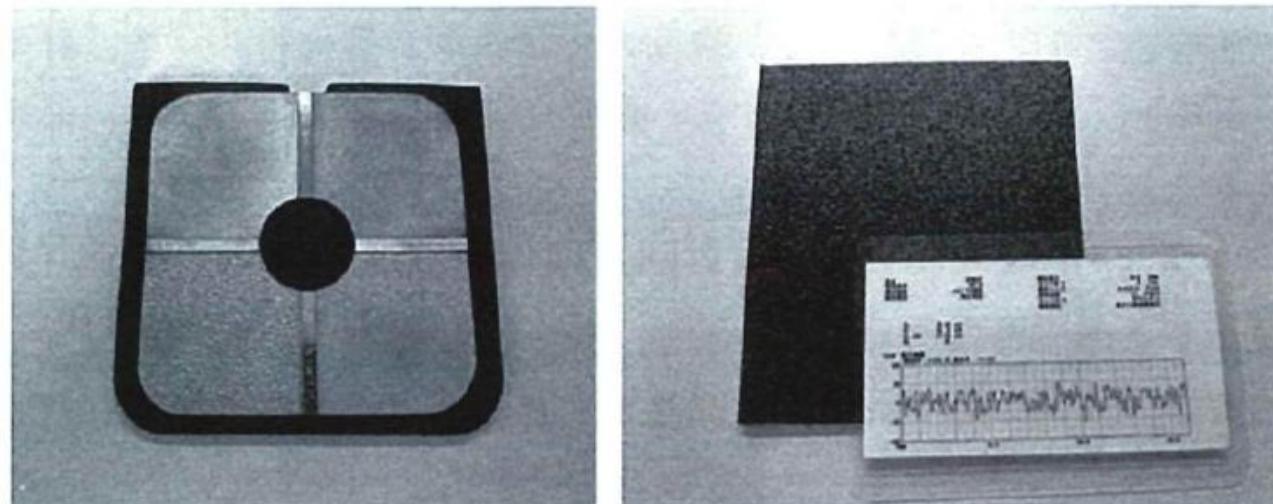


図 1.2.27 粗さ対比試験片の例

2) ブラスト処理の施工方法

ブラストの作業条件は多岐にわたり、以下のような項目が挙げられる。

- ・ 研削材の種類（ショット・グリット），粒径，粒度分布，硬度
- ・ 研削材投射に使用する機器（羽根車式，圧搾空気式），速度，角度，密度，時間（回数）（圧搾空気式の場合，ノズルの口径，空気厚が，速度，密度に関係する）

特に、研削材の粒径，粒度分布は、ブラスト作業による研削材の割れや摩耗によって変化するため、一定の作業条件を維持するために、フィルターによる分離や新規研削材の追加が必要となる。以上のようなブラストの作業条件を統一しても、鋼板強度や黒皮の硬さ・厚さ等によっても黒皮除去や表面状態が変化するため、同一の表面状態を維持するには注意が必要となる。

前述の通り、表面粗さの $50\mu\text{m}R_z$ の根拠となった実験では圧搾空気式のブラスト処理が使用されており、技術指針にも作業条件の一例として記載されている。一方、一般的な建築鉄骨製作工場ではインペラー式（羽根車式）が多く用いられている。同じ研削材を使用しても圧搾空気式とインペラー式では投射速度がことなるため、同じ摩擦面の性状が得られるとは限らない^{1, 2, 29)}。 $50\mu\text{m}R_z$ は下限値であり、安全を考慮して $70\sim80\mu\text{m}R_z$ を得られるよう、各工場の作業環境に応じた作業条件を検討する必要がある。

2. 溶接施工 溶接小委員会

2.1 適正予熱温度に関する研究事例について

2.1.1 趣旨説明

建築鉄骨の製作において溶接は欠かせない作業工程であるが、組み合わせる鋼材や溶接材料、溶接方法、ディテール、および作業環境の影響によって溶接部に割れが発生することがある。溶接割れは、鉄骨構造物の耐久性にかかる重要な要素のひとつといえ、重大な事故につながりかねない。したがって溶接割れの発生にかかるメカニズムを十分に理解し、溶接施工におけるプロセス管理の理解と励行が望まれる。

鉄骨工事技術指針・工場製作編^{2.1.1)}（以下、指針）の5章「溶接」に示された5.4.6 予熱では、主として低温割れの防止を目的とした管理事項が述べられている。2018年の改定において、前回の改定内容に対する大幅な変更は加えていないものの小委員会では改めて見直すべき項目についての議論を重ねた結果、以下の2つの内容について研究事例をもとに紹介するものとした。

- ・低温環境下での溶接施工に関わる予熱の考え方
- ・指針に記載の予熱温度の標準値によらない場合の判断方法

一つ目の低温環境下における予熱について、指針^{2.1.1)}には「気温が−5°C未満の場合は溶接を行わない。気温が−5°C以上で0°C（または5°C）以下の場合は40°Cのウォームアップを行う」との記述がある。しかしながら、このような環境下において溶接を行う際に予熱等の管理が必要なことは理解しているものの、ウォームアップの方法を含めた最適なプロセス管理の方法が不明確なままで実施工が行われているのが実態ではないだろうか。日本溶接協会の接合・溶接技術Q&A^{2.1.2)}にあるように「低温環境下において外気温度に応じた予熱管理の基準とは？」とした問い合わせには、低温環境下でも溶接作業を行なわなければならぬとした現場の声に対し確かな予熱の考え方と予熱温度の推定方法が示されている。ここでは、低温環境下における予熱管理についての研究事例を紹介しつつ確かな予熱管理のもとに溶接を実施するための方法を解説する。

二つ目の予熱温度の標準値によらない場合の判断方法とは、上記の指針^{2.1.1)}に注記される「熱加工制御プロセス (TMCP : Thermo Mechanical Control Process) を適用した鋼材ではより低い予熱温度の適用が考えられる」とした点に着目したものである。建築鉄骨特有の厚板（国土交通大臣認定材）は、この熱加工制御プロセスによる製造工程の改善により、予熱温度の緩和に努めてきた建築構造用高性能鋼材である。本鋼材の予熱管理については鋼材メーカー固有の予熱管理値を個別に参照してきたが、近年、日本鉄鋼連盟、鉄骨建設業協会の協働のもと上記の TMCP 鋼(TMCP325, TMCP355, TMCP385)について溶接施工指針^{2.1.3)}として取りまとめるに至った。本文ではこの取り組み内容について解説する。熱加工制御した鋼材に対する予熱の考え方ならびに具体的な予熱温度が示されたことから、次期指針改定を待つことなく実施工に反映すべき内容と考えられる。

2.1.2 低温割れの防止を目的とした予熱温度の決定について

日本溶接協会「接合・溶接技術 Q&A」では、低温環境下における低温割れの防止を目的とした予熱温度の決定方法について文献 2.1.4)の考え方を引用している。ここでは文献 2.1.2), 2.1.4)の実験結果を中心に紹介する。

(1) 低温割れを防止する予熱の基本的な考え方^{2.1.5), 2.1.6)}

低温割れは溶接終了後、溶接部が 300°C 以下の温度に冷却したのちに発生するといわれている。割れの要因としては、溶接部に侵入した水素と溶接後に生じる応力、溶接熱影響部や溶接金属部における硬化(組織)の 3 つの要素が相互に作用しあうことによって発生する。予熱を行う意味は、残留応力の低減に加え最大の効果は溶接部からの水素の拡散を促すことにある。“低温”とは厳密には溶接部が 100°C 以下になると水素の拡散が低下する(水素がトラップされやすくなる)領域を示している。つまりその温度域では割れが生じやすいため、予熱により溶接部を 100°C 以上に保つことで水素の拡散を促すことが割れ防止につながることが言われている。

(2) 低温環境下での低温割れ防止に着目した実験とその評価(参考文献^{2,1,4)}における展開)

参照する論文において、低温環境下における低温割れ防止に着目した予熱温度決定の流れは以下の通りである。

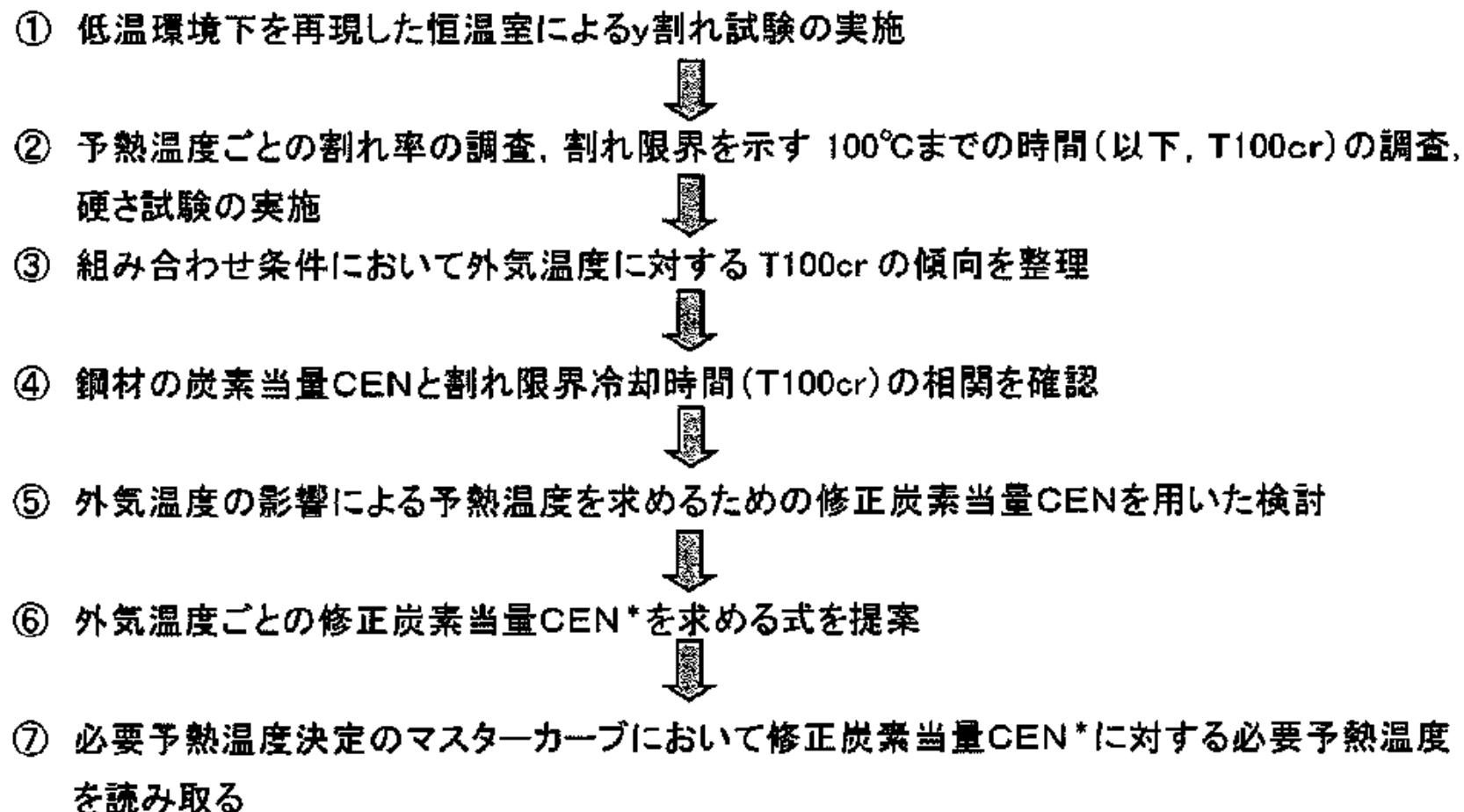


図 2.1.1 実験のフロー

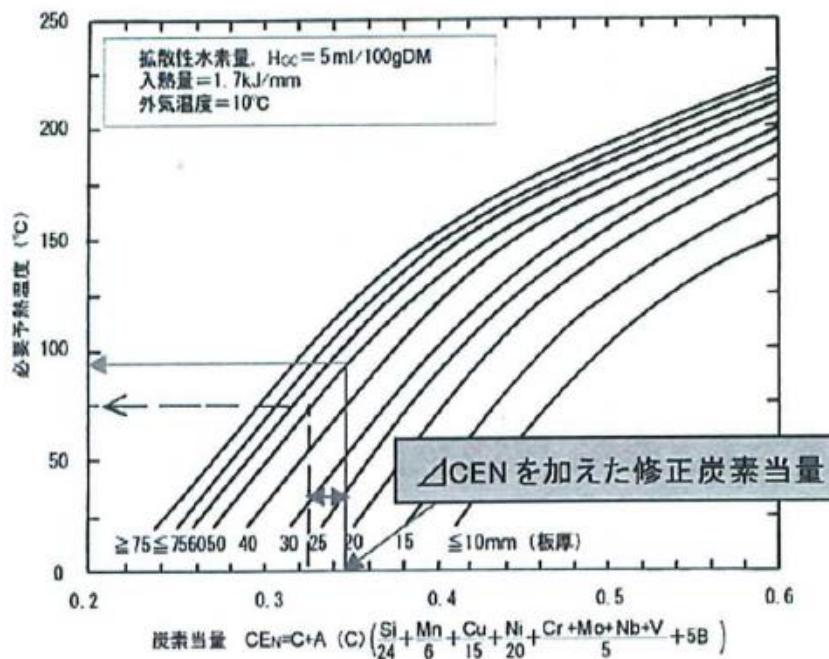


図 2.1.7 必要予熱温度決定のマスターカーブ(y 開先割れ防止限界予熱温度^{2.1.7)}

(3) 低温環境下の予熱温度決定に対する課題

前述の通り、低温環境下における予熱の考え方について文献^{2.1.4)}の内容を紹介した。低温環境下では、外気温度ごとの鋼材における水素脆化感受性が異なる点に着目、これを炭素当量の修正とした考え方へ置き換えて必要予熱温度をマスターカーブ上にて決定するとした内容であった。実験は当時の鋼材や被覆アーク溶接を主体とした検討内容であったが、実験結果を踏まえた現状の鉄骨製作を考えた場合、

- ・ 実際の低温環境下において溶接割れを防止することができるかについての検証と現状把握
- ・ 主流の建築向け鋼材を踏まえた、例えば CEN ≥ 0.3 の範囲も含めた鋼材での検討
- ・ CO₂ アーク溶接での検討

以上の点が今後の課題と考えられる。

(4) 予熱を行う上での注意点

低温環境下での予熱は結露が生じる可能性も高く、溶接中に水素として溶接部へ侵入することが考えられる。このため予熱の作業については以下の点が重要と考えられる。

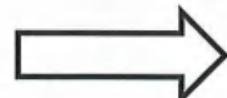
- ・ 予熱は、結露が生じにくい方法、例えばヒーター等による確実な実施と温度管理を行うこと。
- ・ 屋外の場合は雪や凍結など気象条件の影響で十分な管理が行き届かない場合も考えられる。製作工場ごとの環境や溶接管理者の判断にゆだねられるが、例えば製作する部材をできる限り屋内に保管するなど配慮することが望ましい。
- ・ 例えば、予熱温度の確保が難しい場合、母材が 100°Cに到達しないうちに後熱を併用することも有効な方法である。

低温環境下では母材自体の温度が低温となるため、予熱後の作業効率を鑑み予熱温度の確保にどれくらいの時間を必要とするかなど事前の検証を行い、手待ち時間が生じないよう心がける。
(複数の溶接継手を含む場合、複数台のヒーターを準備し溶接の作業効率の確保に配慮する。)

鉄骨工事技術指針－工場製作編(2018) P.392

表5.4.5 予熱温度の標準

[注]②湿気が多く開先面に結露のおそれがある場合は40°Cまで予熱を行う。



この温度では不十分、水分が消えるまで加熱すべきと考えます。

2.1.3 建築構造用TMCP鋼における予熱温度について

(1) 建築構造用 TMCP 鋼について

建築構造用 TMCP 鋼材(TMCP325, TMCP355)および建築構造用高性能 550N/mm^2 鋼材(TMCP385)(以下、建築構造用 TMCP 鋼 (TMCP325, TMCP355, TMCP385) と呼ぶ)は、建築物の高層化・大規模化に伴う鉄骨部材の大型化に呼応して開発された厚鋼板であり、各々2016年9月に(一社)日本鉄鋼連盟により製品規定化されている2.1.8), 2.1.9) また、TMCP325, TMCP355は1989年、TMCP385は2000年代以降、高炉メーカー毎に個別に国土交通大臣認定を取得し製品化され、今日では超高層建築物や大規模建築物などを中心に、建築分野で広く採用されている。

建築構造用 TMCP 鋼は、国内の高炉メーカーの厚板製造工場が保有する TMCP 設備を駆使した熱加工制御プロセス(TMCP: Thermo Mechanical Control Process)を適用し(図 2.1.8), 金属組織制御と結晶粒の微細化を行うことで、添加する合金量を抑えることが可能で、溶接性に優れ、高い衝撃特性を有する極厚板を製造することができる(図 2.1.9)。また、建築構造用 TMCP 鋼は、板厚が 40mm を超え 100mm 以下の鋼板についても設計基準強度を低減することなく適用することができる。

日本鉄鋼連盟製品規定 MDCR0016-2016 「建築構造用TMCP鋼材(TMCP325,TMCP355)」
MDCR0017-2016 「建築構造用高性能 550N/mm^2 鋼材(TMCP385)」

表 2.1.6 建築構造用 TMCP 鋼(TMCP325, 355, 385)の本溶接における一般的な予熱温度^{2.1.3)}

強度クラス	種類の記号	溶接法	板厚 t (mm)					
			t < 25	25 ≤ t ≤ 32	32 < t ≤ 40	40 < t ≤ 50	50 < t ≤ 75	75 < t ≤ 100
490N/mm ² 級 520N/mm ² 級	TMCP325 TMCP355	被覆アーク溶接 (低水素系)	—	—	—	25°C以上	25°C以上	50°C以上
		ガスシールド アーク溶接 ¹⁾	—	—	—	予熱なし	予熱なし	予熱なし
		サブマージ アーク溶接	—	—	—	予熱なし	予熱なし	予熱なし
		エレクトロ スラグ溶接	—	—	—	—	—	—
550N/mm ² 級	TMCP385	被覆アーク溶接 (低水素系)	予熱なし	予熱なし	50°C以上	50°C以上	50°C以上	50°C以上
		ガスシールド アーク溶接 ¹⁾	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし
		サブマージ アーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし
		エレクトロ スラグ溶接	—	—	—	—	—	—

注記 1) フラックス入りワイヤによる炭酸ガスシールドアーク溶接の予熱温度は、被覆アーク溶接(低水素系)に準じる。

備考 1) 気温が 5°C 以下になる恐れがある場合、被覆アーク溶接、炭酸ガスシールドアーク溶接では、表 2.1.6 の値よりも 25°C 高い予熱温度を適用する。気温が -5°C 未満となる場合は溶接を行わない。

- 2) 予熱方法は、電気抵抗加熱法、赤外線電気ヒーター、固定バーナー、手動バーナーなどによる。また、バーナーで予熱する場合は、開先部を直接加熱してはいけない。予熱範囲は、溶接線の両側 10cm を最小範囲とし、予熱温度の測定は、表面温度計または温度チョークを用いて、溶接線から 5cm 離れた位置で行う。
- 3) 組立て溶接、補修溶接での予熱温度は、表 2.1.6 で与えられる数値より 25°C 高い温度とする。ただし、予熱温度の確認試験等の検討を行った場合はこの限りではない。
- 4) TMCP385 の予熱温度は、各メーカーの Y 形溶接割れ試験 (JIS Z 3158) の実績または溶接施工指針を確認した上で適用する。

