報　告

ステンレスクラッド鋼板を用いた屋根部材の工場製作および現場施工

Construction and Manufacture of Roof Members Using Stainless-Clad Steel Plates

櫻井 謙次[*1] Kenji SAKURAI　吉川 薫[*2] Kaoru YOSHIKAWA　大月 真一[*3] Shin-ichi OHTSUKI　矢嶋 公一[*4] Kouichi YAJIMA　有沢 一民[*5] Kazutami ARISAWA　高嶋 隆志[*6] Takashi TAKASHIMA

Summary

Roof members were manufactured using stainless-clad steel plates that had a base material made of plates for welded structures and cladding material made of stainless steel plates. This was the first time in Japan that stainless-clad steel plates were used for roof members that looked like stainless, although there had been some experiences with stainless-clad steel. Therefore, we thought there would be problems from the cutting conditions, welding conditions, weld burns, the treatment of weld overlays, the treatment of welding spatters, rust-proofing, the treatment of weld marks, and other problems. To prevent these problems, relevant measures were recommended through a material test and a welding procedure qualification test; the working method and conditions found through the tests were used in the shop fabrication and fieldwork of the roof. This paper reports on the material tests and welding tests.

キーワード：ステンレスクラッド，施工試験，焼け

1. はじめに

この度、建築構造物の構造部材としてステンレスクラッド鋼を屋根材に用いることになった。圧力容器等では本鋼材の使用は一般的であるが、その用いられ方の主たる目的は防錆に重点をおいたものである。当社では以前、ステンレスクラッド鋼を構造部材として用いた建築物の製作を経験しているが、今回の仕様は仕上げ材としてもステンレス鋼の優れた美観が要求されている。

これらの構造部材および仕上げ材としての要求仕様を共に満足させるために事前に行った溶接や表面保護等の施工試験、およびその結果に基づいて実施した工場製作および現場施工について報告する。

2. 工事概要

本工事は学校の記念行事の一環として製作される学校施設の建築物工事であり、縦約30m、横約80mの広大な屋根面を有している（**図ー1**参照）。屋根部分が鉄骨造で、構造は**図ー2**に示すように橋梁の鋼床版鈑桁とほぼ同様である。トップライト用に3箇所の開口部があり、屋根上面に仕上げ材と構造材を兼ねたステンレスクラッド鋼を用い、下フランジおよびウエブには炭素鋼（SM490）を用いるものである。

検討段階では圧延ステンレス鋼板を仕上げ材として貼る方法も検討されたが、平滑性と重厚な質感を求める意匠上の要求からクラッド鋼が採用された。

現場継手の方法として、クラッド鋼部分は、全面的に現場溶接、下フランジおよびウエブは、高力ボルトによる摩擦接合である。

ステンレス鋼の経年の汚れおよび錆発生に影響する要因には三つ（①ステンレス鋼の材質、②表面の平滑度、③使用される環境）が考えられる。

材質は、構造材として多くの実績のあるオーステナイト系ステンレス鋼のSUS304の使用が検討されたが、建築物の建設地の環境条件などから、同じオーステナイト系ステンレス鋼でもMoを含み、より耐食性のあるSUS316を採用した。

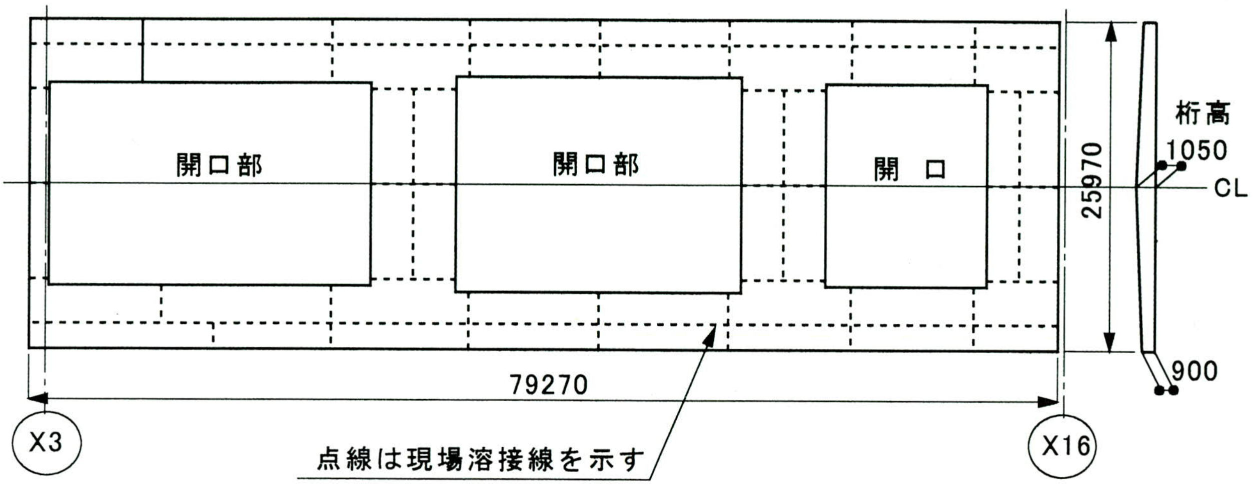
また、表面はなるべく平滑であることが望ましいが、表面仕上げを意匠上の要求からヘアライン仕上げとした。ヘアライン仕上げは、長く連続した一定方向の研磨

表ー１　本工事鋼材仕様

種類	圧延クラッド鋼2種（R2） (2種は,合せ材を強度部材にしない)
呼び方	SM490A＋SUS316-R2S
板厚	21，18，14mm SM490A(19,16,12mm)＋SUS316（2mm）
接合状態の 超音波探傷試験	S等級
表面仕上げ	ステンレス面…ヘアライン仕上げ 普通鋼材面……黒皮

ミルメーカー：日本鋼管株式会社

[*1]松本工場品質管理部品質管理課
[*2]松本工場製造部製造一課課長代理
[*3]松本工場製造部製造一課
[*4]松本工場製造部工事課長
[*5]松本工場製造部付課長
[*6]松本工場製造部製造一課

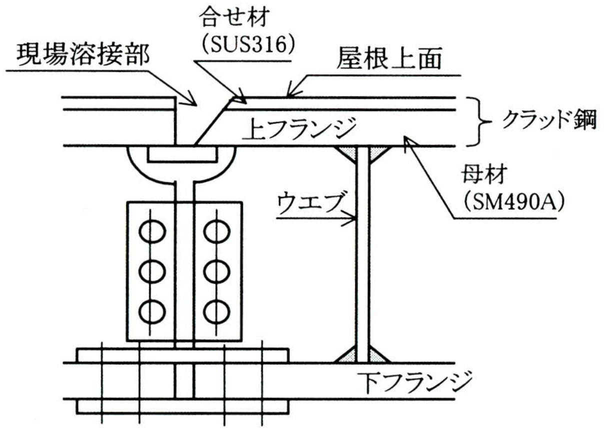


図ー１　屋根構成

目のある仕上げである。

使用される環境に対する対応としては定期的な表面清掃のメンテナンスが求められる。

ステンレスクラッド鋼の仕様を**表ー1**に示す。また、本工事で使用した、板厚21mmのクラッド鋼の化学成分を**表ー2**に、その機械的性質を**表ー3**に示す。



図ー2 基本構造の概略図

3. 検討事項

本工事の設計仕様、工場製作および現場施工の観点から事前に検討し問題点を解決しておく必要がある。検討すべき事柄として以下の項目が考えられる。

①工場製作および現場施工終了までの、汚れおよび錆発生防止のための表面保護
②切断性
③ステンレスクラッド鋼部の溶接性
④合せ材表面の焼けの除去方法
⑤溶接による歪みの低減方法
⑥余盛処理および処理後の表面処理
⑦加熱矯正方法および超音波探傷試験方法

4. 試験概要

上述した検討事項に従い、下記に示すような試験を実施した。ただし、⑦加熱矯正方法および超音波探傷試験方法については宮地技報No.7号「構造用に用いたステンレスクラッド鋼の施工試験」[1]により実施したため、本報告では省略する。

①表面保護

ステンレス鋼の表面に発生する錆、生じる傷、付着する汚れおよび溶接スパッター等は、酸化被膜を壊しステンレス鋼の防錆性能を著しく劣化させ、孔食の起点となると共に美観を損ねる。いったん発生したこれらの錆、汚れ等は表面に傷を付けることなく除去することは非常に困難のため、予め保護剤を塗布して予防することが重

表ー2 化学成分

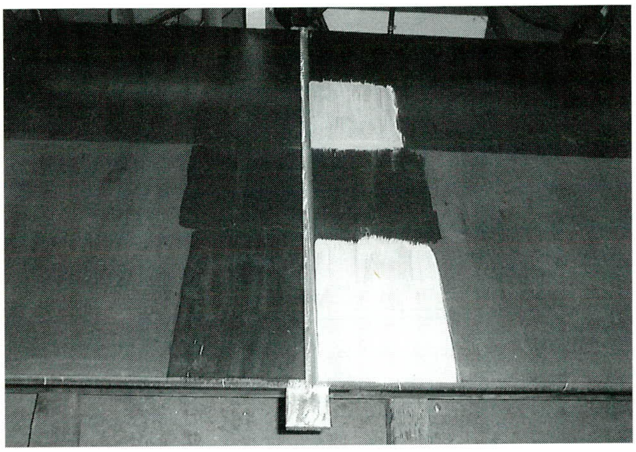
（成分　%）

鋼種	成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	Nb
		×100			×1000		×100				
合せ材 SUS316	規格	8以下	100以下	200以下	45以下	30以下	1000～1400	1600～1800	－	200～300	－
	使用鋼材	1	61	82	30	0	1217	1713	－	208	－
母材 SM490A	規格	20以下	55以下	160以下	35以下	35以下	－	－	－	－	－
	使用鋼材	15	35	140	13	2	12	－	24	－	3

表ー３　機械的性質

	降伏点 (N/mm²)	引張強さ (N/mm²)	伸び (%)	せん断強さ (N/mm²)
規格	305以上	493以上	22以上	200以上
使用鋼材	376	561	26	363

要である。そこで、A，B，C三種類の保護剤を塗布して、その表面保護効果および剥離性を**写真ー1**のように比較する。



写真ー１　表面保護剤比較試験

②切断性

本建築物に用いられるステンレスクラッド鋼は、板厚が薄く、全厚に対しステンレス鋼部の厚さの比率が大きい。また、工場製作時のハンドリングの条件等から、切断および開先加工は、ステンレス鋼側からの溶断が求められた。このため、プラズマ切断を選択しその条件を把握することとした。

③ステンレスクラッド鋼部の溶接性

屋根面を現場溶接するため、溶接姿勢は下向きとなる。また、開先切断作業を最小限にし、溶接量を減らすため、レ形開先とした。

炭素鋼部の溶接材料は、スパッターの発生がより少なく作業性に優れたフラックス入りワイヤ（JIS Z 3323（1999））、またステンレス鋼部の溶接材料においても同様の理由で、かつビード外観の優れたフラックス入りワイヤ（JIS Z 3313（1999））を選定した。

溶接条件を**表ー4**に、試験体数量と記号を**表ー5**に示す。なお、これらの試験体より、継手引張、側又は裏曲げ、成分分析、マクロの各種試験を行う。

④焼けの除去方法

ステンレス鋼側の焼け発生の要因は**表ー6**に示す3つの場合が考えられる。これらの焼けは、錆発生の原因になり得るばかりでなく、美観を損ねることから、焼け除去が必要とされる。

この焼け処理方法としてステンレス面にできるだけ傷を付けない電気化学的処理を採用し、作業性、能率性について確認する。

表ー４　溶接条件

項目	条件
供試鋼材	SUS316＋SM490A（圧延クラッド鋼2種）
裏当金	SS400（9×50）
試験体形状	開先形状：レ形
	開先角度：35°
	ルート間隔 7mm
	溶接長：400mm
溶接材料	母材部＋ｽﾃﾝﾚｽ部：SF-309MoL，1.2 φ
	規格：JIS Z 3323 YF309MoLC
	母材部：SM-1S ,1.2 φ
	規格：JIS Z 3323 YFW-C50DM
溶接方法	母材部＋ｽﾃﾝﾚｽ部：CO_2半自動溶接
	母材部：CO_2半自動溶接

溶材メーカー：日鐵溶接工業株式会社

表ー５　試験体数量と記号

母材部＋ステンレスの溶接方法	板厚 t＝21	板厚 t＝18	板厚 t＝14
ガスシールドアーク半自動溶接＋ピコマックス（自動溶接）	数量：1体 記号：T１	数量：1体 記号：T２ 数量：1体 記号：T３	数量：1体 記号：T４

表ー6 ステンレス鋼側の焼け発生要因

	要因
a	炭素鋼側からの溶接の熱影響による場合
b	ステンレス鋼側からの溶接の熱影響による場合
c	ステンレス鋼側からの歪み加熱矯正による場合

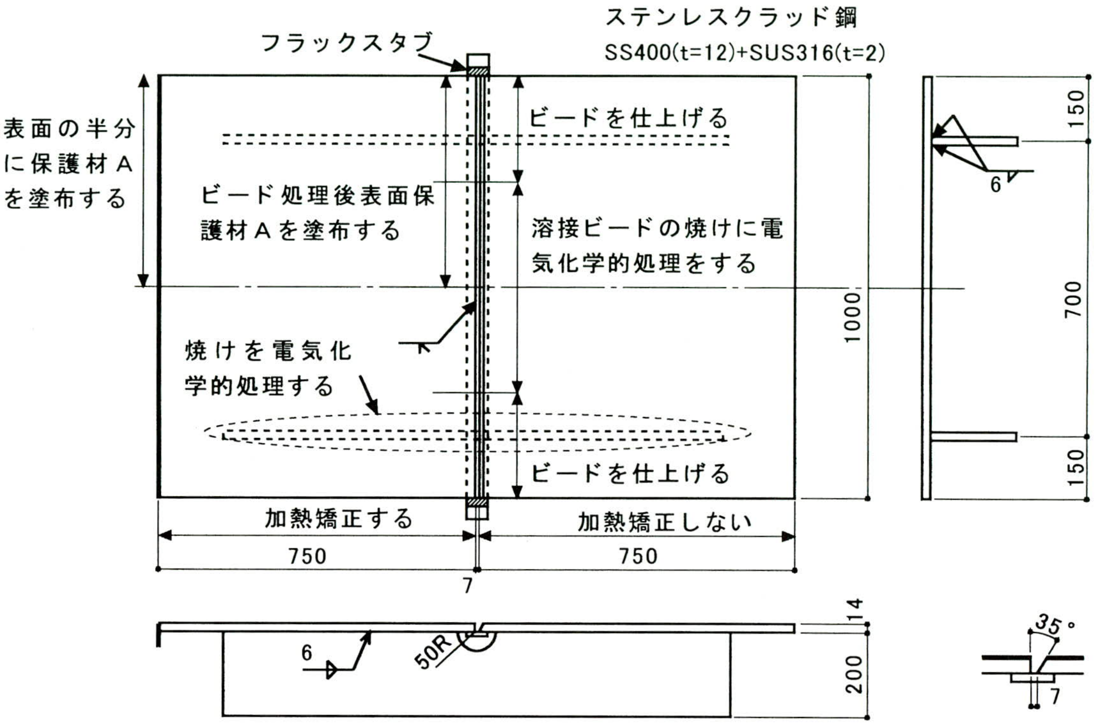
⑤溶接による歪みの低減方法

突合せ溶接試験体にリブを溶接し、溶接による歪み発生状況の確認と、その低減方法について試験を実施する。**図ー3**に試験体形状を示す。

⑥余盛処理および処理後の表面処理

余盛除去には3種類のディスクグラインダーを用いて、作業能率と表面仕上げ程度を比較する。

余盛処理後、研磨目をあわせるために、ベルトグラインダーを用い、表面仕上げ程度を確認する。



図—3　試験体形状

4. 試験結果

①表面保護

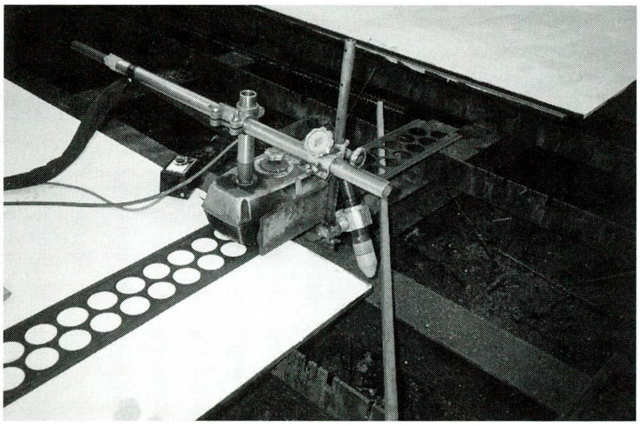
表面保護剤比較結果を**表—7**に示す。A,B,Cとも塗布作業の作業性や表面保護性能に差はなかった。Aは乾燥後に硬化膜を形成するので、合せ材表面を傷や錆から防ぐという観点では優れているが、除去するのが困難であり、また薄茶色の色がつくため外観が損なわれる。また、表面の焼けを除去するのが著しく困難だった。これに比較してB,Cは、作業期間中程度のもらい錆や汚れの防止には有効であり、また水性であるため除去が容易である。ただし塗布したままで加熱矯正を行うと焼けた塗料がヘアラインの目の中に入り除去が困難になるので、矯正前に水洗する必要がある。

表—7 表面保護剤比較結果

	商品名（メーカー）	表面保護	剥離性
A	プロタムG（早川化成製）	優	不可
B	クリンスパッターS（タイホー工業製）	良	可
C	クリンスパッターAX（タイホー工業製）	良	可

②切断性

クラッド鋼の切断は、鋼材にある程度の厚さがあれば鋼材側から通常のガス切断でも可能である。しかし、今回使用する鋼材は板厚が薄いこと、また作業性の点で表面を上側（すなわち合せ材側）から切断できることの2つの理由でプラズマ切断を選択した（**写真—2**）。切断試験の結果、通常の鋼板より若干切断速度を遅くすることで、滑らかな溶断面が得られることが確認された。



写真—2　プラズマ切断

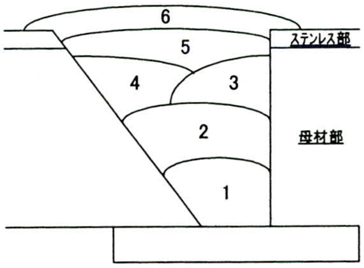
③ステンレスクラッド鋼部の溶接性

合せ材の突合せ溶接の例としてT１試験体（板厚21mm）の溶接条件記録を**表—8**に、積層形状図を**図—4**に示す。

突合せ溶接部は異材溶接となるため、母材からの希釈に留意する必要がある。このため、溶接材料は合金元素量が合せ材と同じMoを含むYF309MoLCを使用した。ま

表ー8　溶接条件記録

パス	部位	電流(A)	電圧(V)	速度(cm/min)	入熱量(KJ/cm)
1～4	母材部	250	29	18～48	9～24
5	母材部＋ステンレス部	210	27	13	26.2
6	母材部＋ステンレス部	210	27	11	30.9

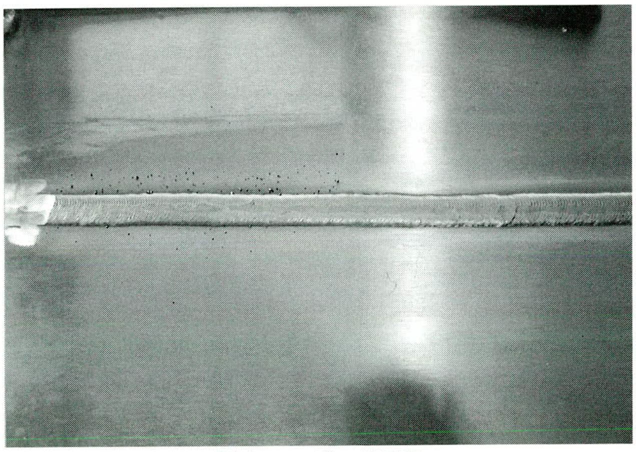


図ー4　積層形状図

た、母材部の溶接を合せ材との合せ面から下1～2mmで止め、合せ材部は2層とした。

最終層でもストレートビードが望ましいが、ビード外観重視の要求から最終層では自動溶接機を用いてウィービングを行った。ビード外観は、**写真ー3**に示すように良好な結果が得られた。また、各種機械試験結果および化学成分分析結果について**表ー9,10**に示す。成分分析から求めたフェライト量は24程度であり、溶接部の高温割れは問題ないと判断できる。

またフラックス入りワイヤを用いることでスパッター量を減らすことができた。



写真ー3　ビード外観

④焼けの除去方法

表ー11に試験結果を示す。ステンレス表面の軽度の焼けは還元作用を利用した電気化学的処理により完全に除去することが可能である。また突合せ溶接ビード端部に残る焼けは、電気化学的処理にワイヤブラシを併用することにより除去が可能である。

表ー9　試験結果

試験体記号	超音波探傷試験	マクロ試験	裏曲げ試験	引張強さ N/mm²	破断位置
T 1	合格	欠陥なし	欠陥なし	617	BM
			欠陥なし	619	BM

表ー10　化学成分分析結果

（成分　%）

C	Si	Mn	Nb	Cr当量	δF
×100					
3.7	71	86	0.6	26.6	23.6

Ni	Cr	Mo	N	Ni当量	
×100					
1240	2320	230	3.7	15.1	

Cr当量（%）＝Cr＋Mo＋1.5Si＋0.5Nb
Ni当量（%）＝Ni＋30C＋30N＋0.5Mn
δF（%）＝3.2Cr当量－2.5 Ni当量－24.7（δフェライト）

表ー11　加熱矯正後処理結果

	要因	作業性	能率性
a	炭素鋼側からの溶接の熱影響による場合	優	良
b	ステンレス鋼側からの溶接の熱影響による場合	可	不可
c	ステンレス鋼側からの加熱矯正による場合	可*	不可

※可ではあるが、程度により困難である。

その反面全てにおいて、作業能率は著しく劣る結果となった。

⑤溶接による歪みの低減方法

リブの溶接を行った後、**表ー12**に示す溶接条件で突合せ溶接を行った結果、**図ー5**に示す測定位置における変形量は**表ー13**のようになった。－は下方向への変形である。

試験体における歪み量は大きくないが、本工事に適用するクラッド鋼は14～21ｍｍと板厚が薄く、平面的には試験体サイズよりも更に大きいことから、当初の設計脚長では歪みが大きくなることが予想される。

また、普通鋼材であれば矯正は比較的容易であるが、ステンレス側からは炭素鋼との熱伝導率が異なることなどの要因から矯正が困難であり、過度の加熱矯正は、耐食性低下を招くため、矯正を極力避けたかった。

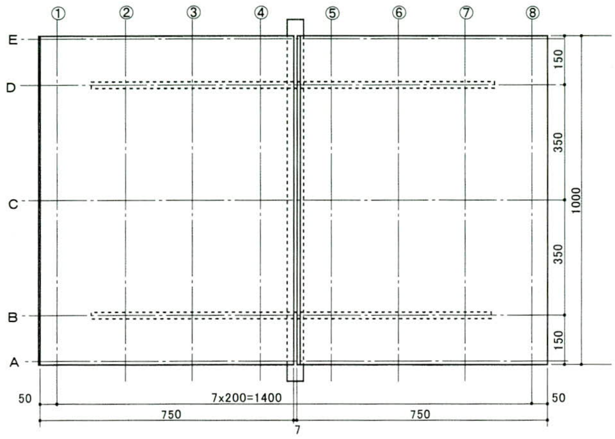
このため、設計者と協議し、構造上必要な箇所以外は脚長を小さくする事とした。

現場突合せ溶接線は自由辺になるため、大きな変形が生じることが予想されるので変形防止用のリブを追加し、その溶接は断続溶接にした。

表－12　溶接条件記録

パス	部位	電流（A）	電圧（V）	速度（cm/min）	入熱量（KJ/cm）
1～3	母材部	200	30	22～26	13～17
4	母材部＋ステンレス部	190	29	20	16.5
5	母材部＋ステンレス部	200	29	19	18.3

※1～3パスはストレート、4～5パスはウィービング



図－5　変形量測定位置

表－13　溶接変形量

	A	B	C	D	E
①	-2.0	0.0	+1.0	0.0	-0.3
②	-4.0	0.0	+0.5	0.0	-3.0
③	-4.0	0.0	-1.0	0.0	-4.0
④	-5.0	0.0	0.0	0.0	-3.0
⑤	-4.0	0.0	0.0	0.0	-3.0
⑥	-4.0	0.0	+1.0	0.0	-4.0
⑦	-4.0	0.0	+2.0	0.0	-4.0
⑧	-3.5	0.0	+2.0	0.0	-2.0

＋：上方向　－：下方向

⑥余盛処理および処理後の表面処理

余盛除去に用いた3種類のディスクグラインダーは、作業能率に顕著な違いはなかったが、＃24では表面仕上げ程度が粗いため、目付け作業でその傷が消えず、＃46では細かすぎて鏡面仕上げに近い状態となる。

このため、現場作業における余盛除去処理については、＃36を用いることにした（**写真－4**）。

突合せ溶接ビードを切削した後の状態を母板一般部の研磨目にあわせるためには、ベルトグラインダーを用いてベルトの回転方向と研磨目の方向を一致させればよいことがわかった。

写真－4　突合せ溶接のビード削除

5. 工場製作

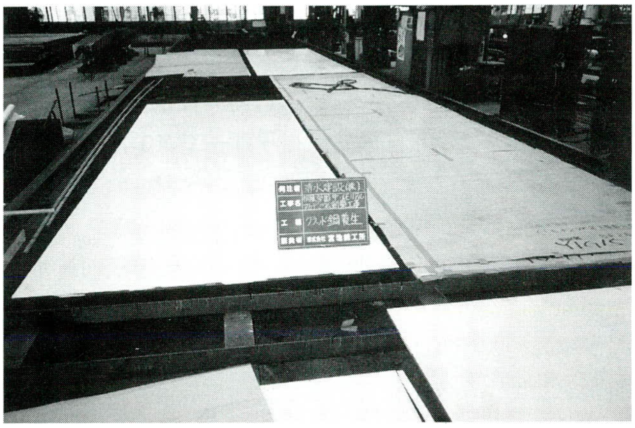
(1) 材料の取り扱い

本工事は、先にも述べたが外観が重視されることから、ステンレス鋼の表面に傷・錆が付着しないように入荷直後から特別の取り扱いが必要であった。

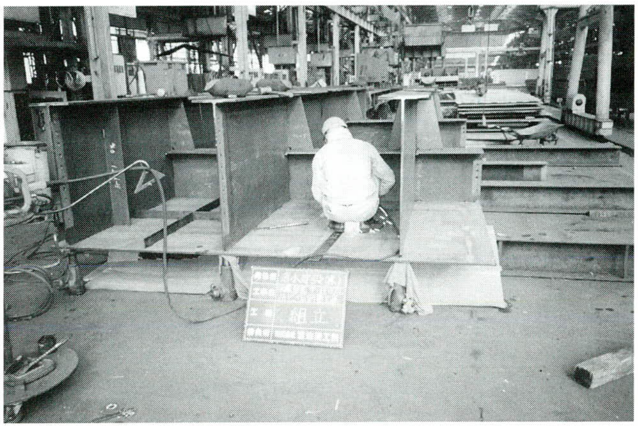
ステンレス鋼は普通鋼材とは区別し専用の工場で製作するのが基本であるが、既に工場内に流れている工事がある事から専用のラインを確保する訳にはいかないため、極力混在して作業をしないように注意した。

ミルメーカーからは、**写真－5**に示すように、表面がダンボールで保護された状態で入荷した。切断及び開先加工を行なうためステンレス鋼表面に乗らなければならないことから、粉塵からの保護及び傷防止を兼ねて水溶性ステンレス用スパッタ付着防止剤を入荷直後に塗布し、ステンレス面上の作業については、靴カバーを履いて作業を行なう事とした（**写真－6**）。

試験では2種類のスパッタ付着防止剤が優れていたが、厚く塗ることのできる（クリンスパッタS）を用いることとした。この液体は厚塗りすることにより、粉塵の付着防止にはかなりの効果があった。しかし、傷防止の観点からステンレス表面保護は、スパッタ付着防止剤だけでは不十分なため、入荷時に取付けてあったダンボールをスパッタ付着防止剤塗布後に再び取付け、矯正まで取

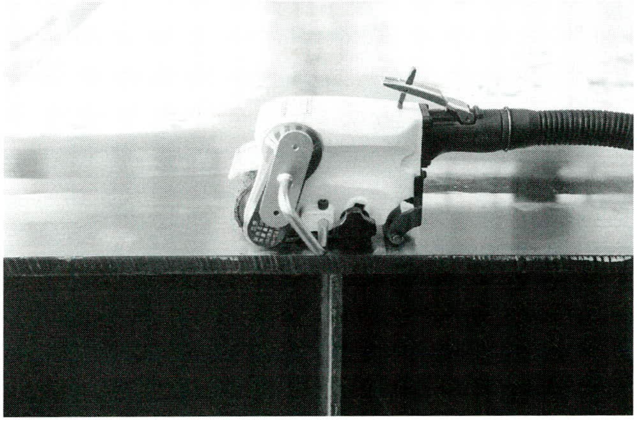


写真ー5　鋼材入荷状況



写真ー7　ダンボールによる表面保護

写真ー6　表面保護剤の塗布作業



写真ー8　ヘアライナー

外さず作業を進めた（**写真ー7**）。

また、現場建方での傷防止のためスパッタ付着防止剤は発送前に再塗布を行なった。

（2）工場製作

1つの部材は、ステンレスクラッド鋼の屋根面、補剛桁および補強リブから構成されている（**写真ー7**）。

組立、溶接作業はステンレス面の養生に気をつかったことを除けば、特に問題はなかった。

矯正は、平坦度を満足させるためにどうしてもステンレス面を加熱しなければならなかったが、構造上許される範囲で脚長を極力小さくした事もあって現場溶接部の溶接歪みはリブ間の最大で0.2～0.8mm程度に抑える事ができた。

製作工程で工数がかかったのは、仕上げであった。原板に施されているヘアラインを残すため、溶接及び矯正の焼け取りに、電気化学的処理を用いて仕上げを行なう予定でいたが、研究室段階での試験結果から処理速度が非常に遅く、屋根全体の焼け取りには不向きであることがわかった。

このため、当初工場ではベルトグラインダーを用いて、研磨材入りのバフ掛けで焼けを除去したが、焼けが深くまで及んでいる箇所は力を入れて磨くため、ヘアラインが消えて鏡面状態になってしまい他の箇所とのバランスが取れなくなった。このため、最終的にはステンレス専用の目付け機械（ヘアライナー）を用いて焼けを除去した。この場合、ステンレス表面のヘアラインの目を消さないため、ベルトの回転方向を目の向きに合わせる必要がある。**写真ー8**に今回使用したヘアライナーを示す。

6. 現場施工

基本計画に従い長手方向のX3通りよりX16通りに建方が行われた。全長が80mにわたり長大のため、全体を3ブロックに分けてかつ1個所は調整スパンとして全体に大きな誤差が生じないことを確認しながら作業は進められ、計画通りに建方が終了した。本項では現場での施工において特に留意した事項を述べるものとする。

①現場継手部（屋根面）の目違い処理

完成後の屋根面の平坦度を確保するため、現場溶接部の必要な箇所にはストロングバックを取付けて目違いを補正した。この結果、ステンレスクラッド鋼の目違いは1mm以内に収めることが出来た。

②現場溶接時の防傷対策及び溶接時の注意事項

屋根面の継手は全面にわたって現場溶接のため、作業時の防傷対策が重要であった。そこで溶接線の両端には表面保護材（クリンスパッターS）を塗布すると同時に防炎シートを敷き詰め、かつ溶接作業者はオーバーシューズを履いての作業とした。溶接時には防風を兼ねた形枠（高さ75mm、幅250mm、長さ1m）をスパッター飛散防止治具として使用した。これらの対策の結果、溶接作業によるステンレスクラッド鋼への傷発生及びスパッター付着を防止することができた。

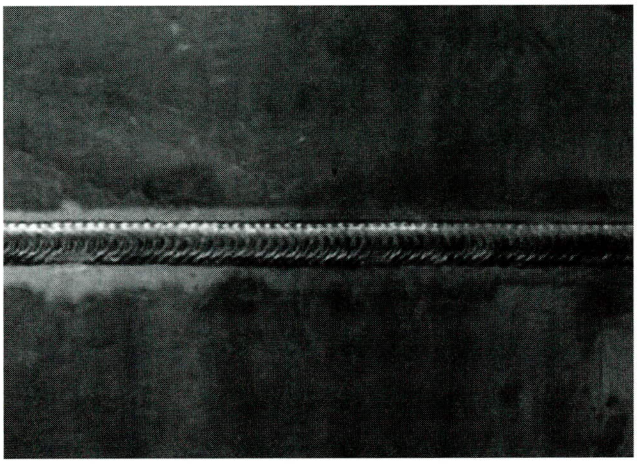
溶接は溶接施工試験の結果に従い、自動溶接および半自動溶接で行い、外観、超音波探傷検査とも良好な結果が得られた。ステンレス部の仕上げ層について、自動溶接は1パス（ウィービング）、半自動溶接は多パス溶接とした。完成した溶接部の外観を**写真－9，10**に示す。

③余盛削除および溶接焼け除去

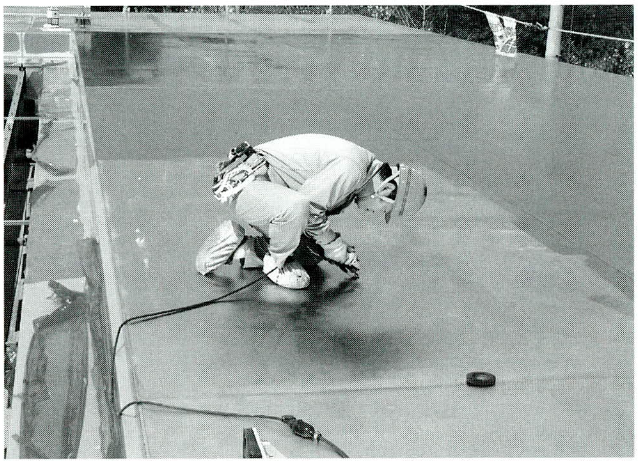
屋根には約1.0％の勾配がついているが屋根面排水のため勾配直交方向の余盛はステンレス用のディスクグラインダーで削除した。その後、防錆および美観の確保を目的として、余盛削除部およびすべての溶接焼け削除のため母材一般部のヘアライン仕上げの研磨目と方向を合わせながら目付け仕上げを行った（**写真－11**）。

④最終仕上げ

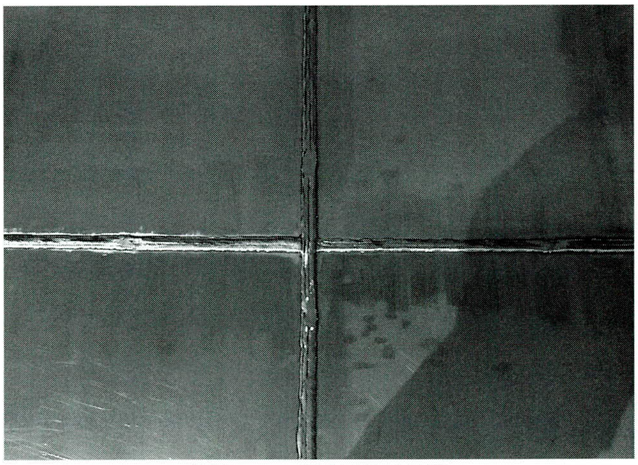
全ての作業終了後に発錆の要因となる粉塵等を除去するため、水洗いした後、全面ワックス仕上げを行い、全工程を完了した。（**写真－12，13**）



写真－9　自動走行溶接外観



写真－11　目付け状況



写真－10　半自動溶接外観

写真－12　水洗い状況

写真―13　ワックス仕上げ状況

7. まとめ

鉄骨建築物の施工手順は完成した構造体に何らかの方法で仕上げ材を取付けるというのが一般的である。これに対して本工事の最大の特徴であると同時に難しさは、ステンレスクラッド鋼が構造部材でありながら外面は美観を強く要求される仕上げ材でもあるということだった。このため、製作ひずみの低減や傷防止対策、仕上げなど通常の鉄骨製作とは異なった幾つもの高い要求がなされた。

少しでも製作を容易にし、かつ完成品の美観が長く保たれるように、計画の段階から設計者、施工者、材料メーカーおよび鉄骨製作者が十分に打合せを行って、材料仕様を決定した。また、大屋根の分割方法は現場での揚重機の能力や配置、工場製作および輸送能力を十分に検討し、幾つもの案の中から決定された。

また、本文中に詳述したように多項目にわたって解決すべき問題点を抽出して必要事項を検討し製作や現場施工に反映した。今回の工事を施工するに当たって特に留意した事項は、製作、現場施工段階で設計者より強く求められた二点に集約される。

すなわち、

・屋根面の平坦度の確保
・屋根面の傷防止対策

である。

第一点の屋根面平坦度の確保については前述した施工試験の結果、構造材であるウエブの隅肉溶接により大きな歪みが発生することが予想された。このため、設計者が構造を再検討し、許容される範囲で隅肉溶接脚長を小さくする指示がなされ、また、補強リブについては断続溶接で対応が可能となった。これによって、製作時の変形量は大きく軽減され、溶接による焼けを防止しつつ所定の平坦度を確保することが出来た。発生した加熱矯正焼けの除去処理には相当な時間を要する結果となったが、母板の仕上げと同等程度に機械的処理で除去することができた。

第二点の屋根面の傷防止対策については、美観の確保が直接ステンレス鋼表面の防錆向上につながるため、重要な要素であった。具体的な事象として製作途上の部材ハンドリングや工具類による打ち傷、引き傷の防止、溶接スパッター付着防止等が対象となった。これらに対応するため、工場製作および現場施工完了に至るまでステンレス鋼の全面に渡って表面保護剤を塗布し、現場施工完了後に水洗いおよびワックス仕上げを行うことで要求品質は確保された。

事前検討および施工試験を十分に行い、その結果を実施工に反映させ大きな問題もなく建物を完成させることが出来た。以上で報告を終了するが、最後までご指導頂いた㈱中田捷夫研究室殿、㈱栗生総合計画事務所殿、㈲レン構造設計事務所殿、清水建設㈱殿、日本鋼管㈱殿、日鐵溶接工業㈱殿に紙上を借りて感謝する次第であります。

<参考文献>

1）宮地技報　No.7：構造用に用いたステンレスクラッド鋼の施工試験
2）日本規格協会：JISハンドブック鉄鋼，1999
3）日本規格協会：JISハンドブック溶接，1999
4）ステンレス協会：ステンレス鋼溶接施工基準2000年
5）日鐵溶接工業㈱：ステンレス鋼の溶接
6）日本鋼管㈱：技術資料「ステンレスクラッド鋼板」

2000.11.1　受付