

SuperDyma[®]の 溶接資料

熔融Zn-Al-Mg-Si 合金めっき鋼板

薄板

スーパーダイマのアーク溶接施工要領

1. 適用範囲

この施工要領は、板厚が 0.8mm から 9.0mm でめっき付着量が付着量記号 K06 から K45 の建築構造用溶融亜鉛－アルミニウム－マグネシウム合金めっき鋼板 日本製鉄スーパーダイマ（以下「スーパーダイマ」）のアーク溶接施工に適用する。

なお、付着量記号 K27 を超えるめっき付着量の鋼板については、2.4 の要領に従い残存めっき厚みが K27 相当以下になるようにめっき厚みを低減あるいは除去した後、溶接を行う。

2. 溶接方法

2.1 溶接機

溶接機は炭酸ガス溶接機とする。

2.2 溶接ワイヤおよびシールドガス

溶接時に使用する溶接ワイヤおよびシールドガスについては、表1の条件を推奨する。

表1 溶接ワイヤおよびシールドガスの標準条件

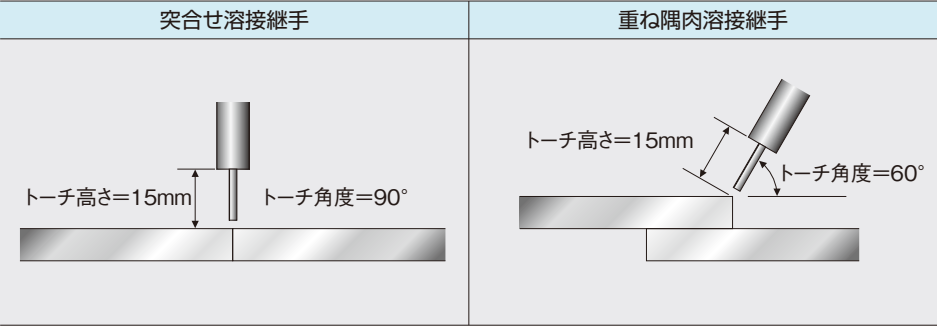
溶接機	ワイヤ種類	シールドガス
炭酸ガス溶接機	JIS Z 3312 YGW12	炭酸ガス

2.3 溶接施工

溶接姿勢は、ポジショナなどを用いてできる限り下向き姿勢とし、現場作業や大型構造物などの溶接のように、やむを得ず他の姿勢で溶接する場合には、作業場の問題だけでなく安全の見地からも安定な状態で作業すべきである。また、薄板の溶接においては、溶接条件のばらつきが溶込み不良や溶落ちの原因となりやすいので、ロボットなどを用いた自動溶接とすることが望ましい。

以下に、一般に用いられる溶接継手として、突合せ溶接継手および重ね隅肉溶接継手について示す。

図1 標準溶接姿勢



ご注意とお願い

本資料に記載された技術情報は、製品の代表的な特性や性能を説明するものであり、「規格」の規定事項として明記したものの以外は、保証を意味するものではありません。本資料に記載されている情報の誤った使用または不適切な使用等によって生じた損害につきましては責任を負いかねますので、ご了承ください。また、これらの情報は、今後予告なしに変更される場合がありますので、最新の情報については、担当部署にお問い合わせください。

本資料に記載された内容の無断転載や複写はご遠慮ください。

本資料に記載された製品または役務の名称は、当社および当社の関連会社の商標または登録商標、或いは、当社および当社の関連会社が使用を許諾された第三者の商標または登録商標です。

その他の製品または役務の名称は、それぞれ保有者の商標または登録商標です。

目 次

アーク溶接施工要領	1
アーク溶接性評価試験結果	3
スポット溶接施工要領	9
スポット溶接性評価試験結果	11
高周波溶接施工要領	14
高周波溶接性評価試験結果	15

スーパーダイマのアーク溶接性評価試験結果

表2 炭酸ガスアーク溶接による突合せ溶接継手の標準溶接条件

	鋼板板厚(mm)	0.8	1.2	1.6	2.3	3.2	4.5		6.0		9.0		
開先条件	裏当て金	なし	なし	なし	なし	なし	あり		あり		あり		
	鋼板間の ギャップ(mm)	0.3以下	0.3以下	0.3以下	0.3以下	0.3以下	4		4		4		
溶接条件	シールドガス流量 (L/min)	30	30	30	30	30	30		30		30		
	トーチ高さ(mm)	15	15	15	15	15	15		15		15		
	溶接ワイヤ径(mm)	φ0.8	φ1.2	φ1.2	φ1.2	φ1.2	φ1.2		φ1.2		φ1.2		
	積層	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	3
	溶接電流(A)	45 ～55	80 ～90	110 ～120	140 ～150	170 ～180	210 ～230	210 ～230	230 ～250	260 ～280	230 ～250	260 ～280	270 ～290
	アーク電圧(V)	18 ～19	19 ～20	21 ～23	22 ～24	21 ～24	21 ～24	21 ～24	22 ～25	25 ～28	22 ～25	25 ～28	28 ～30
	溶接速度 (cm/min)	80 ～90	70 ～80	70 ～80	50 ～60	50 ～60	40 ～50	40 ～50	30 ～40	30 ～40	30 ～40	30 ～40	30 ～40

表3 炭酸ガスアーク溶接による重ね隅肉溶接継手の標準溶接条件

	鋼板板圧(mm)	0.8	1.2	1.6	2.3	3.2	4.5	6.0	9.0
開先条件	鋼板の折れ角(°)	2以下	2以下	2以下	2以下	2以下	2以下	2以下	2以下
	鋼板間のギャップ(mm)	0.3以下	0.3以下	0.3以下	0.3以下	0.3以下	0.3以下	0.3以下	0.3以下
溶接条件	シールドガス流量(L/min)	30	30	30	30	30	30	30	30
	トーチ高さ(mm)	15	15	15	15	15	15	15	15
	溶接ワイヤ径(mm)	φ1.2	φ1.2	φ1.2	φ1.2	φ1.2	φ1.2	φ1.2	φ1.2
	積層回数(パス)	1	1	1	1	1	1	1	1
	溶接電流(A)	65～75	80～90	100～110	150～160	170～180	240～270	280～310	310～330
	アーク電圧(V)	18～19	19～20	20～22	20～22	20～23	24～27	27～30	30～33
	溶接速度(cm/min)	60～70	50～60	40～50	40～50	40～50	40～50	40～50	30～40

2.4 めっきの取り扱い

めっき付着量が付着量記号K27を超える場合、表4に準ずる要領で、めっき層を酸洗除去あるいは機械的に研削してから溶接を行う。

表4 めっき付着量記号K27を超える場合のめっき層低減あるいは除去要領

項 目	処 置
残存めっき層厚み	K27相当厚み以下
めっき低減あるいは除去範囲	溶接ビード幅とその両側5mm以上の範囲

スーパーダイマのアーク溶接性を評価するため、めっき付着量が大で板厚の薄い鋼板を中心に溶接継手の引張試験ならびに断面マクロ観察を行い、良好な継手性能を有することを確認した。なお、溶接方法は一般的な炭酸ガスアーク溶接とした。評価内容の詳細を以下に示す。

1 供試材

1.1 めっき鋼板

溶接に用いためっき鋼板を表5に示す。板厚を変えた規格引張強さ 400N/mm² の鋼板の両面に、表5に示した付着量のめっきを施した鋼板を供試材とした。

表5 供試材一覧

板厚 (mm)	めっき 付着量 記号	鋼板化学成分(%)					鋼板の機械的特性			めっき付着量 (g/m ²)
		C	Si	Mn	P	S	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	
0.8	K27	0.170	0.013	0.47	0.014	0.0105	340	491	32.0	322
1.2	K27	0.168	0.011	0.47	0.013	0.0138	297	457	34.0	313
1.6	K27	0.167	0.010	0.47	0.016	0.0069	302	455	37.0	283
3.2	K27	0.160	0.012	0.49	0.012	0.0080	363	484	33.0	340
9.0	K14	0.090	0.006	0.56	0.012	0.0050	300	408	42.0	173

1.2 溶接材料

溶接に用いた溶接材料を表6に示す。

表6 溶接ワイヤおよびシールドガス

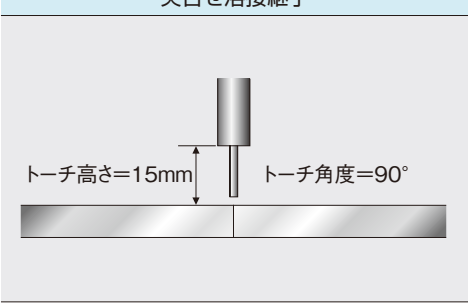
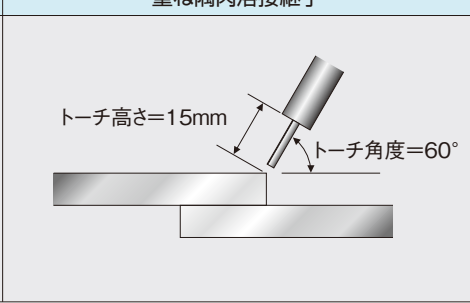
溶接ワイヤの 種類	用 途	シールドガス	溶着金属機械的性質の一例		
			降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
JIS Z 3312 YGW14相当	炭酸ガスアーク溶接による 熔融亜鉛めっき鋼板用	炭酸ガス	460	600	32

2 溶接条件

2.1 溶接継手

突合せ溶接および重ね隅肉溶接を行った。溶接姿勢を図2に示す。

図2 溶接姿勢

突合せ溶接継手	重ね隅肉溶接継手
	

2.2 溶接条件

表7に突合せ溶接の溶接条件を、表8に重ね隅肉溶接の溶接条件を示す。

突合せ溶接継手は完全溶込み溶接とし、重ね隅肉溶接継手の脚長が、上板側では板厚に、また、下板側では板厚以上となるように溶接条件を決定した。めっき鋼板の溶接では、一般の非めっき鋼板と異なりめっき金属を溶接アークの熱で蒸発・除去させる必要がある。このため、特に板厚が1.2mm以下のめっき鋼板に対しては溶接電流およびアーク電圧が比較的高めの条件とした。また、溶接速度が速い場合は溶接金属中に気孔欠陥が発生しやすくなったため、比較的低速度の溶接条件とした。なお、溶接電源はインバータ式の直流電源を使用した。

表7 突合せ溶接継手の溶接条件

開先条件	鋼板板厚(mm)	0.8	1.2	1.6	3.2	9.0		
	裏当て金	なし	なし	なし	なし	あり		
	鋼板間のギャップ(mm)	0.3以下	0.3以下	0.3以下	0.3以下	4		
溶接条件	シールドガス流量(L/min)	30	30	30	30	30		
	トーチ高さ(mm)	15	15	15	15	15		
	溶接ワイヤ径(mm)	φ0.8	φ1.2	φ1.2	φ1.2	φ1.2		
	積層	1	1	1	1	1	2	3
	溶接電流(A)	50	85	120	180	230	270	270
	アーク電圧(V)	18	19	22	22	22	25	28
	溶接速度(cm/min)	80	80	80	40	40	30	30

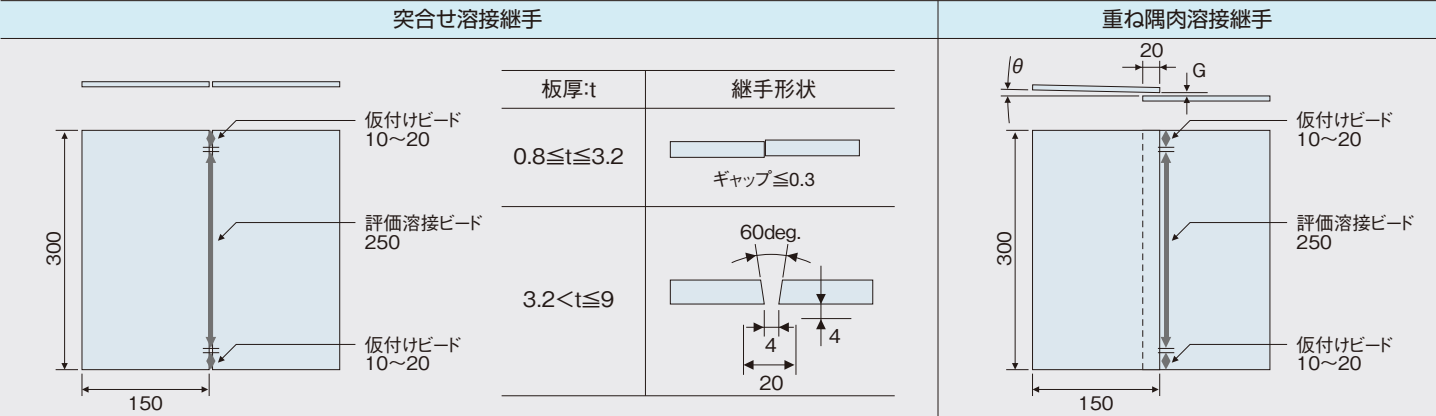
表8 重ね隅肉溶接継手の溶接条件

開先条件	鋼板板厚(mm)	0.8	1.2	1.6	3.2	9.0
	鋼板の折れ角(°)	2以下	2以下	2以下	2以下	2以下
	鋼板間のギャップ(mm)	0.3以下	0.3以下	0.3以下	0.3以下	0.3以下
溶接条件	シールドガス流量(L/min)	30	30	30	30	30
	トーチ高さ(mm)	15	15	15	15	15
	溶接ワイヤ径(mm)	φ1.2	φ1.2	φ1.2	φ1.2	φ1.2
	積層回数(パス)	1	1	1	1	1
	溶接電流(A)	70	90	100	170	330
	アーク電圧(V)	18	20	21	22	32
	溶接速度(cm/min)	60	60	40	40	30

2.3 溶接試験片形状・寸法

図3に溶接試験片の形状を示す。試験片両端部を仮付け溶接することによって試験片を固定し、試験片中央部を評価用の溶接部とした。なお、溶接変形を考慮し、試験片の組み立て精度は折れ角(θ)=2°以下、隙間(G)0.3mm以下とした。なお、突合せ溶接では、板厚3.2mm以下を裏当て金無しとし、板厚3.2mmを超える場合にのみ裏当て金を使用した。

図3 溶接試験片形状 (単位:mm)



3. 溶接継手性能評価

溶接試験片から引張試験および断面マクロ観察用の試験片を切り出し、溶接部を評価する。試験片の採取位置を図4に示す。

図4 試験片採取位置

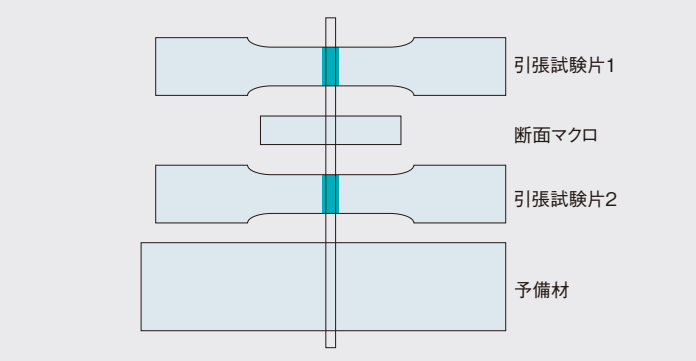
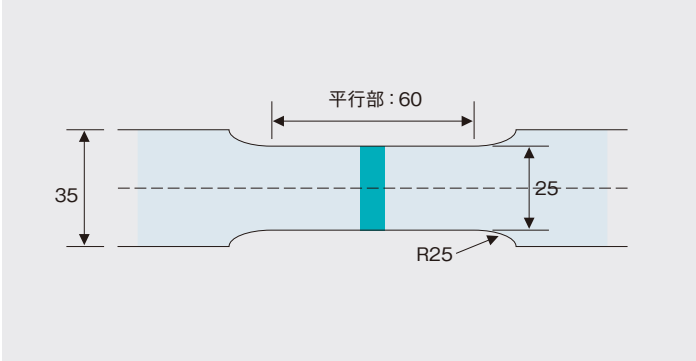


図5 引張試験片形状 (標点間距離=50mm)



3.1 引張試験(JIS5 号試験片)

溶接部の強度(TS)を調査するため、溶接試験片から引張試験片を採取し、引張試験を行った。試験片形状を図5に示す。

鋼構造設計基準(日本建築学会、1970年制定、1996年改定)では設計応力度を溶接継手の許容応力度以下とすることを定めており、ここでは鋼材の基準強度:F値を基準に突合せ溶接継手および隅肉溶接継手に対する許容応力度を与えている。

一般的には、F値には鋼材の規格降伏点が用いられるが、本評価では溶接継手の引張性能の把握を目的とするため、規格引張強さをFm値と定義し、これを目標値とした。表9に本評価における引張試験の目標引張強さを示す。

表9 引張試験の目標引張強さ

鋼 種		建築構造用鋼材(板厚40mm以下)
		400(N/mm ²)相当
鋼材の基準強度:Fm値		400
継手形式	突合せ溶接継手(Fm)	400
	重ね隅肉溶接継手(Fm/√3)	231

表10に、各引張試験片の引張強さの算出方法を示す。突合せ溶接継手は完全溶込み溶接であるため破断荷重を試験片の幅と板厚で除した値を引張強さとした。一方、隅肉溶接は部分溶込み溶接であるため、溶接強度として有効に作用する溶接部厚さとしてのど厚が定義され、構造物の設計においては、有効のど厚として板厚/√2を採用する人が多い。そこで、重ね隅肉溶接は破断荷重を試験片の幅と有効のど厚(板厚/√2)で除した値を引張強さとした。

表10 引張強さの算出方法

突合せ溶接継手	重ね隅肉溶接継手
$\sigma=P/(W \cdot t)$	$\sigma=P/(W \cdot t/\sqrt{2})$

σ:引張強さ P:破断荷重 W:試験片の幅 t:板厚

表11に突合せ溶接継手の引張試験結果を、表12に重ね隅肉溶接継手の引張試験結果を示す。また、引張試験後の外観写真を写真1～5に示す。

継手形態、板厚にかかわらず、すべての引張試験において目標とする引張強さを満足しており、母材とほぼ同等の引張強さを有することが確認できた。また、破断位置はほとんどの場合が母材破断であった。なお、重ね隅肉溶接継手では溶接止端部または溶接熱影響部からの破断となる場合があったが、破断面にブローホール等の溶接欠陥のないことを確認した。なお、重ね隅肉溶接継手の引張強さが突合せ溶接継手よりも大きな値となるが、これは引張強さの算出に有効のど厚を用いたことが原因となり見掛け上の引張強さが増加したためである。有効のど厚を板厚に置換えて算出し直すと突合せ溶接継手とほぼ同等の引張強さになっていた。

表11 突合せ溶接継手の引張試験結果

記号	めっき種	板厚 (mm)	規格引張強さ (N/mm ²)	実測引張強さ (N/mm ²)	破断位置
D1B-1	K27	0.8	400	420	母材
D1B-2				422	母材
D4B-1	K27	1.2	400	459	母材
D4B-2				455	母材
D5B-1	K27	1.6	400	466	母材
D5B-2				467	母材
D7B-1	K27	3.2	400	506	母材
D7B-2				504	母材
D10B-1	K14	9.0	400	437	母材
D10B-2				430	母材

表12 重ね隅肉溶接継手の引張試験結果

記号	めっき種	板厚 (mm)	規格引張強さ (N/mm ²)	実測引張強さ (N/mm ²)	破断位置
D1L-1	K27	0.8	400	596	熱影響部から母材
D1L-2				595	母材
D4L-1	K27	1.2	400	632	熱影響部から母材
D4L-2				622	熱影響部から母材
D5L-1	K27	1.6	400	637	母材
D5L-2				640	母材
D7L-1	K27	3.2	400	685	止端部
D7L-2				678	止端部
D10L-1	K14	9.0	400	557	止端部
D10L-2				572	止端部

写真1.1 板厚0.8mm材の突合せ溶接継手引張試験での破断状況

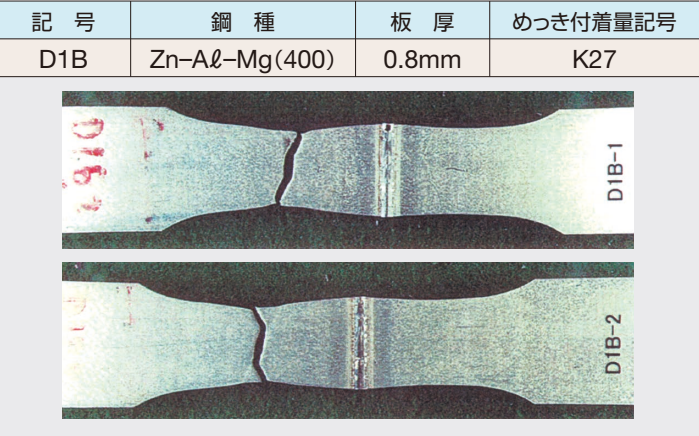


写真1.2 板厚0.8mm材の重ね隅肉溶接継手引張試験での破断状況

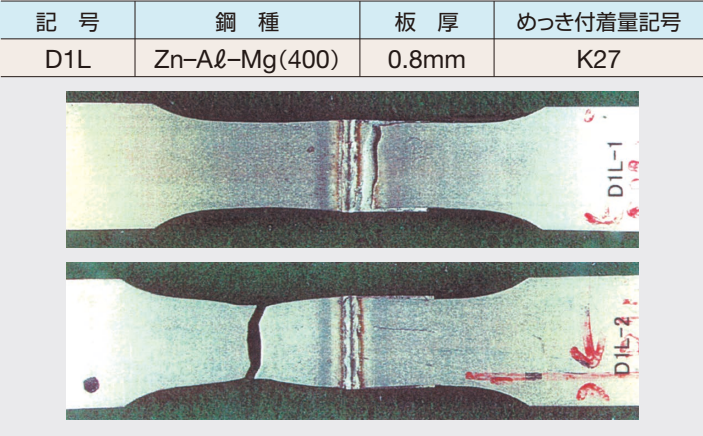


写真2.1 板厚1.2mm材の突合せ溶接継手引張試験での破断状況

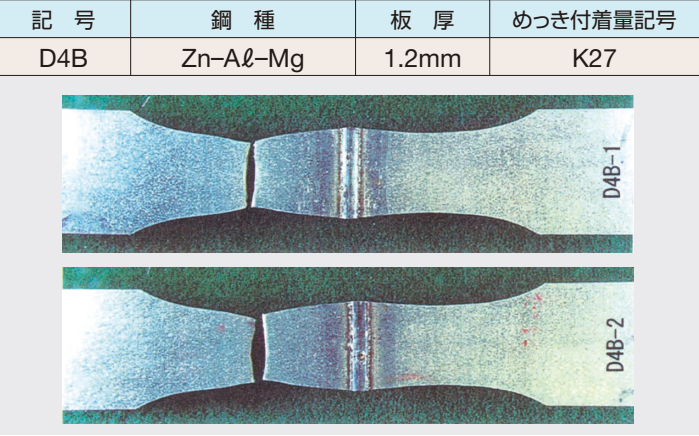


写真2.2 板厚1.2mm材の重ね隅肉溶接継手引張試験での破断状況

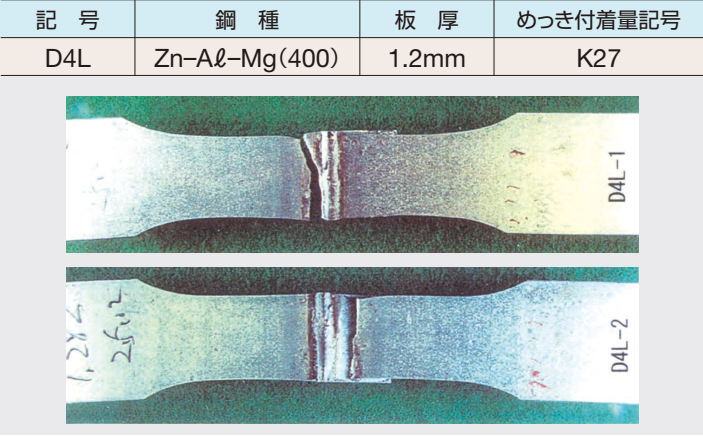


写真3.1 板厚1.6mm材の突合せ溶接継手引張試験での破断状況

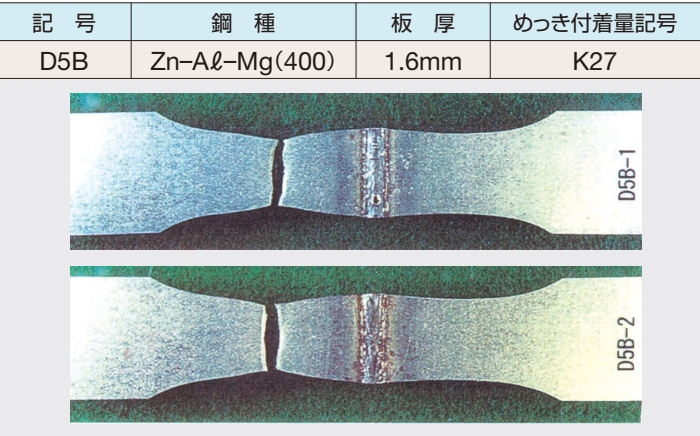


写真3.2 板厚1.6mm材の重ね隅肉溶接継手引張試験での破断状況

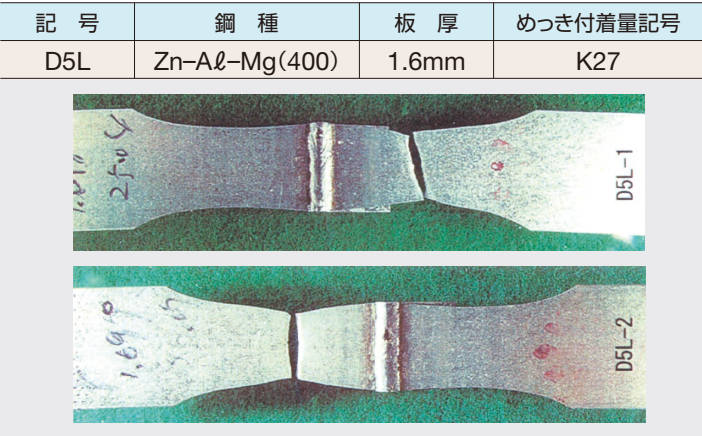


写真4.1 板厚3.2mm材の突合せ溶接継手引張試験での破断状況

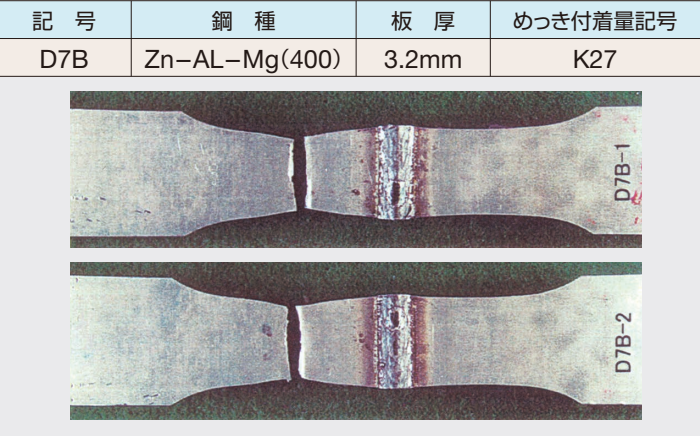


写真4.2 板厚3.2mm材の重ね隅肉溶接継手引張試験での破断状況

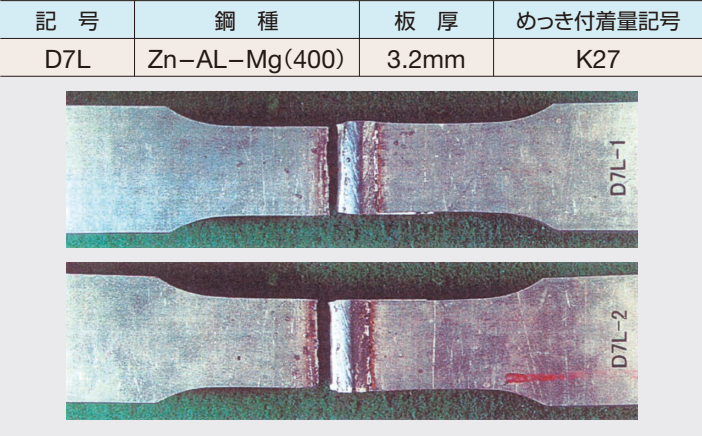


写真5.1 板厚9.0mm材の突合せ溶接継手引張試験での破断状況

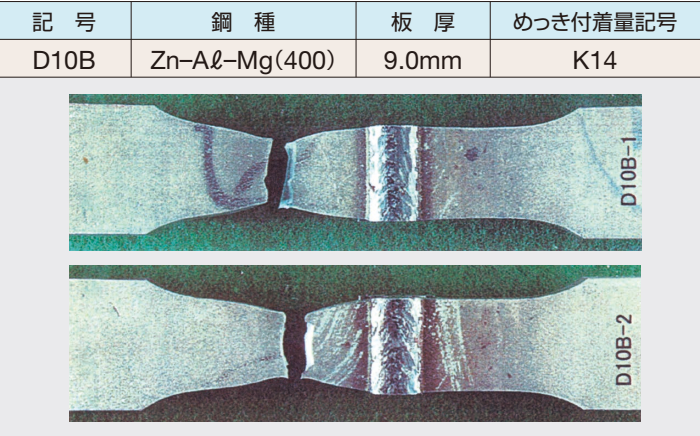
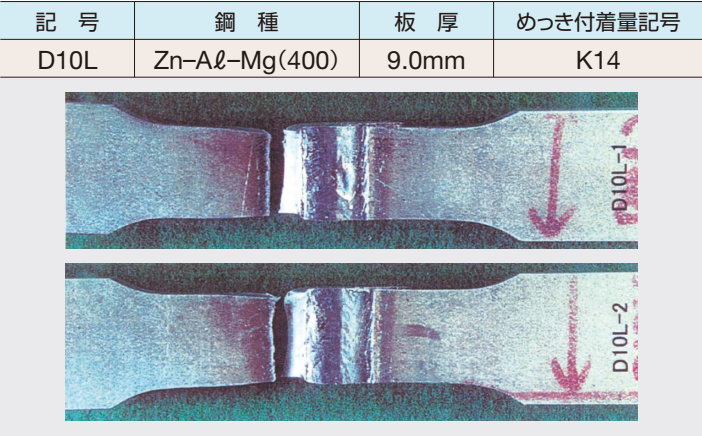


写真5.2 板厚9.0mm材の重ね隅肉溶接継手引張試験での破断状況



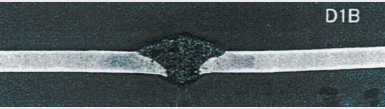
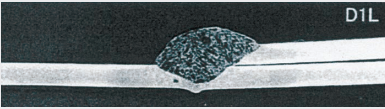
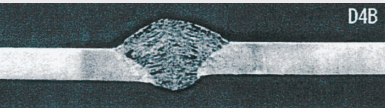
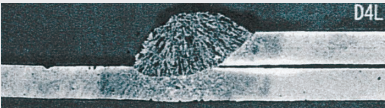
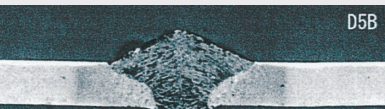
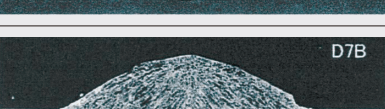
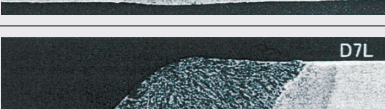
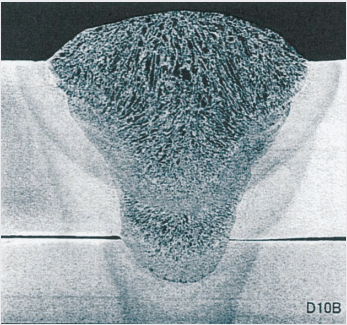
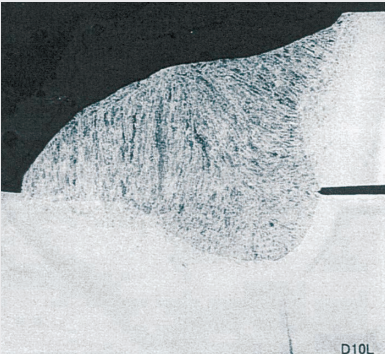
スーパーダイマのスポット溶接施工要領

3.2 断面マクロ観察

溶接部のブローホールや割れの有無を調査するため、ナイトール腐食による溶接部の断面マクロ観察を行った。

写真6に溶接部断面のマクロ写真を示す。めっき蒸気起因するブローホールは、突合せ溶接時には認められなかった。一方、重ね隅肉溶接時には、このブローホールは若干発生することがあった。しかしながら、いずれの継手ともに良好な溶込みが得られており、また、割れ欠陥はなく、良好な溶接部が得られることが確認できた。

写真6 スーパーダイマのアーク溶接部断面マクロ組織調査結果

板厚 (mm)	めっき 付着量記号	断面マクロ組織	
		突合せ溶接継手	重ね隅肉溶接継手
0.8	K27		
1.2	K27		
1.6	K27		
3.2	K27		
9.0	K14		

3.3 参考

めっき層の溶接部への影響

めっき鋼板をアーク溶接する場合、溶接部は鋼板が熔融状態になり、めっき層は蒸発もしくはスラグ化する。このため、基本的にめっき層は溶接部から排除され溶接性能に影響を与えることはない。

なお、重ね隅肉溶接または裏当て金付きの突合せ溶接において、溶接金属中にブローホール等の気孔が残留することがあるが、適切な条件下で溶接された場合には溶接継手強度の劣化を招かないことが確認できた。

1. 適用範囲

この施工要領は、板厚が0.4mm から9.0mm でめっき付着量が付着量記号 K06 から K45 のスーパーダイマのスポット溶接施工に適用する。

なお、付着量記号 K27 を超えるめっき付着量の鋼板については、2.4 の要領に従い残存めっき厚みが K27 相当以下になるようにめっき厚みを低減あるいは除去した後、溶接を行う。

2. 溶接方法

2.1 溶接機

溶接機はスポット溶接機とし、所定の電力を供給できるものとする。

2.2 溶接条件

図 6 に標準的なスポット溶接方法および溶接継手形状を示す。

スポット溶接は複数の板を電極で挟み、この電極で板を加圧しながら通電し、電気的なジュール熱によって、板を溶接する手法である。

スポット溶接部の強度は、板厚、鋼材強度、そしてナゲット径の影響を受ける。一般的に、板厚が厚くなるほど、溶接部には高い強度が要求されるため、ナゲット径を大きくする必要がある。すなわち、スポット溶接では板厚によって、目標とするナゲット径が変わる。表13に鋼板の強度が400 (N/mm²) の場合の、板厚 (t) と目標ナゲット径の関係を示す。

図6 標準的なスポット溶接方法および溶接継手形状

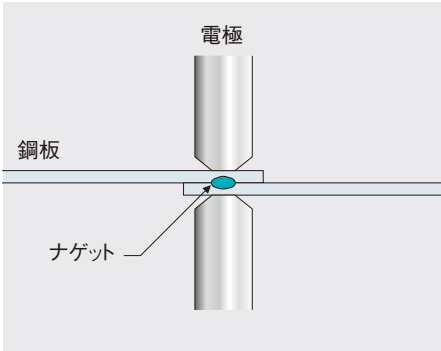


表13 目標ナゲット径

鋼板板厚(mm)	0.4	0.6	1.0	1.6	2.3	3.2	4.5	6.0	7.5	9.0
目標ナゲット径(mm)	3.2	3.9	5.0	6.3	7.6	8.9	10.6	14.7	16.4	18

表13の目標ナゲット径について、t≤4.5mmの時はJIS Z 3140の表16 (A級の平均値・参考資料1) を採用した。この規格では、t≤5mm時には、目標ナゲット径は5√tとしている。しかし、t>5mmでは、このJIS規格外であり、ここで用いられている目標ナゲット径では板厚に見合う溶接部強度が確保できないため、新たに目標ナゲット径を6√tに設定した。

スポット溶接ではこの目標ナゲット径を確保しつつ、溶接時の激しい散りや、ナゲット内部の割れを極力抑えることが望ましい。これらを満たす溶接条件は複数考えられるが、ここでは、表14の溶接条件をスポット溶接の標準条件とする。

表14 スポット溶接の標準条件

鋼 板		板厚(mm)					
		0.4	2.3	3.2	6.0	7.5	9.0
スポット溶接機		1φAC、60kVA	1φAC、150kVA	1φAC、150kVA	1φAC、150kVA	1φAC、150kVA	1φAC、150kVA
電極 (mm)	外径(D)	φ16	φ25	φ25	φ25	φ25	φ25
	先端形状	CR(R40)	CR(R75)	CR(R75)	CR(R75)	CR(R75)	CR(R75)
	サイズ	φ3.5	φ8	φ11	φ15	φ16	φ18
加圧力(kN)		1	5.7	8	15	19	22
溶接時間 (cyc.) 50Hz	Sq.T	20	30	30	40	40	40
	W.T	6	35	65	20-5(6N)	20-5(8N)	20-5(9N)
	Ho.T	6	25	35	60	75	90
溶接電流(kA)		7.0~8.5	12.0~14.5	14.0~16.5	21.0~26.0	25.0~30.5	29.0~35.0

※溶接機タイマー特性:最大時間設定=99cycle、最大パルセーション数=10 パルセーション溶接で20-5(6N)は20c(通電)-5c(冷却)-繰り返し6回を意味する。

スーパーダイマのスポット溶接性評価試験結果

2.3 多点溶接の場合

スポットの中心間隔は、t≤5mm の場合は、JIS Z 3136 に基づいて溶接を行う。また、5mm <t ≤ 9.0mmについては、JISの規定がないため、実用的な点間距離として、JIS Z 3136における板厚が2.5mm以上5.0mmに適用されている板幅(W)を適用するものとする。

2.4 めっきの取り扱い

めっき付着量がめっき付着量記号K27を超える場合、表15に準ずる要領で、めっき層を酸洗除去あるいは機械的に研削してから溶接を行う。

表15 めっき付着量がK27超える場合のめっき層低減あるいは除去要領

項 目	処 置
残存めっき層厚み	K27相当厚み以下
めっき低減あるいは除去範囲	溶接部を含むその周囲の直径30mm以上の範囲

参考資料1 スポット溶接における目標ナゲット径

JIS Z 3140 スポット溶接の検査方法より

表16 ナゲット径(鋼) (単位:mm)

板厚	A、AF級		B、BF級		C、CF級	
	最小値	平均値	最小値	平均値	最小値	平均値
0.4	2.7	3.2	2.4	2.8	1.9	2.2
0.5	3.0	3.5	2.7	3.2	2.1	2.5
0.6	3.3	3.9	3.0	3.5	2.3	2.7
0.7	3.6	4.2	3.2	3.8	2.5	2.9
0.8	3.8	4.5	3.4	4.0	2.7	3.1
0.9	4.0	4.7	3.6	4.3	2.8	3.3
1.0	4.3	5.0	3.8	4.5	3.0	3.5
1.2	4.7	5.5	4.2	4.9	3.3	3.8
1.4	5.0	5.9	4.5	5.3	3.5	4.1
1.5	5.2	6.1	4.7	5.5	3.6	4.3
1.6	5.4	6.3	4.8	5.7	3.8	4.4
1.8	5.7	6.7	5.1	6.0	4.0	4.7
2.0	6.0	7.1	5.4	6.4	4.2	5.0
2.3	6.4	7.6	5.8	6.8	4.5	5.3
2.5	6.7	7.9	6.0	7.1	4.7	5.5
2.6	6.9	8.1	6.2	7.3	4.8	5.6
2.8	7.1	8.4	6.4	7.5	5.0	5.9
3.0	7.4	8.7	6.6	7.8	5.2	6.1
3.2	7.6	8.9	6.8	8.0	5.3	6.3
3.6	8.1	9.5	7.3	8.5	5.6	6.6
3.8	8.3	9.7	7.5	8.8	5.8	6.8
4.0	8.5	10.0	7.7	9.0	6.0	7.0
4.5	9.0	10.6	8.1	9.5	6.3	7.4
5.0	9.5	11.2	8.6	10.1	6.7	7.8

スーパーダイマのスポット溶接性を評価するため、特にめっき付着量が多く、板厚の薄い鋼板を中心に溶接継手の引張せん断試験ならびに断面マクロ観察を行い、良好な継手性能を有することを確認した。評価方法の詳細を以下に示す。

1. 供試材

めっき鋼板

溶接に用いためっき鋼板は表17に準ずる。板厚を変えた強度400N/mm²の鋼板に表17に示しためっき付着量のめっきを施した鋼板を供試材としている。

表17 供試材一覧

板厚 (mm)	めっき 付着量 記号	鋼板化学成分(%)					鋼板の機械的特性			めっき付着量 (g/m ²)
		C	Si	Mn	P	S	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	
0.4	K27	0.047	0.013	0.18	0.023	0.012	321	435	30.0	328
3.2	K27	0.160	0.012	0.49	0.012	0.008	363	484	33.0	340
9.0	K14	0.090	0.006	0.56	0.012	0.005	300	408	42.0	173

2. 溶接方法

2.1 スポット溶接条件

表18に示す条件でスポット溶接を行った。

表18 溶接条件一覧

鋼 板		板厚(mm)		
		0.4	3.2	9.0
試験片サイズ(mm)		表19に準じる	表19に準じる	表19に準じる
スポット溶接機		1φAC、60kVA	1φAC、150kVA	1φAC、150kVA
電極 (mm)	外径(D)	φ16	φ25	φ25
	先端形状	CR(R40)	CR(R75)	CR(R75)
	サイズ	φ3.5	φ11	φ18
加圧力(kN)		1	8	22
溶接時間 (cyc.) 50Hz	Sq.T	20	30	40
	W.T	6	65	20-5(9N)
	Ho.T	6	35	90
溶接電流(kA)		7.5	15.8	32.5

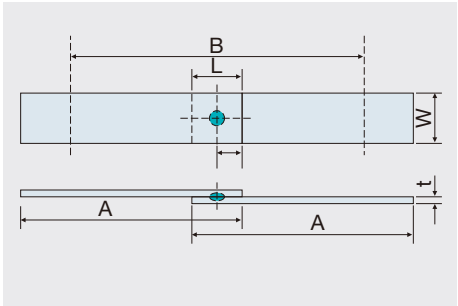
2.2 溶接試験片形状

図7に溶接試験片の形状を示す。溶接試験片はJIS Z 3136 に準ずる。また、試験片のサイズは表19に準ずる。そしてスポット溶接部の評価には図7のような単点溶接継手試験片を用いた。

表19 試験片寸法(JIS Z 3136) (単位:mm)

呼び板厚(t)	板幅(W)	重ね代(L)	試験片長さ(A)	クランプ間距離(B)
0.3≤t<0.8	20	20	75	70
0.8≤t<1.3	30	30	100	90
1.3≤t<2.5	40	40	125	100
2.5≤t≤5.0	50	50	150	110

図7 溶接試験片形状(JIS Z 3136)



3. 評価方法

溶接試験片を用いて引張せん断試験を行った。また、断面マクロ観察用の試験片を切り出し、溶接部を評価した。

3.1 引張せん断試験（JIS Z 3136）

溶接部の引張せん断強度を調査するため、溶接試験片を用いて引張せん断試験を行った。試験法はJIS Z 3136に準ずる。溶接部の目標引張せん断強度(TSS:Tensile Shear Strength[kN])は、板厚 t ≤ 4.5mmではJIS Z 3140の表22（A級の平均値:参考資料2）およびその母材強度での補正值により決定した。また、t ≥ 6mmでは、目標 TSS を、目標ナゲット径(dn[mm])と、母材の規格引張強さ(TS[N/mm²])を用い、以下の式を用いて算出した。

TSS = (π dn² / 4) TS

TSS：引張せん断強度(kN)、dn：ナゲット径(mm)、TS：規格引張強さ(N/mm²)
これを基にして表20に目標引張せん断強度を示す。

3.2 断面マクロ観察（JIS Z 3139）

溶接部のナゲット径が目標ナゲット径を満足していることを確認し、かつ溶込み状況を明確にするため、断面マクロ試験を行った。
試験は JIS Z 3139 に準じて行った。ここでは、板の表面に垂直な断面について行うものとし、溶接点のほぼ中心を通る断面を適切な方法で切断し、研磨・腐食後、ナゲット径を測定した。

表20 目標引張せん断強度

鋼板板厚(mm)	0.4	3.2	9.0
目標TSS(kN)	1.3	30	100

4. 評価結果

表21 引張せん断強度

鋼板板厚(mm)	0.4	3.2	9.0
TSS(kN)	2.61	52.1	117.2

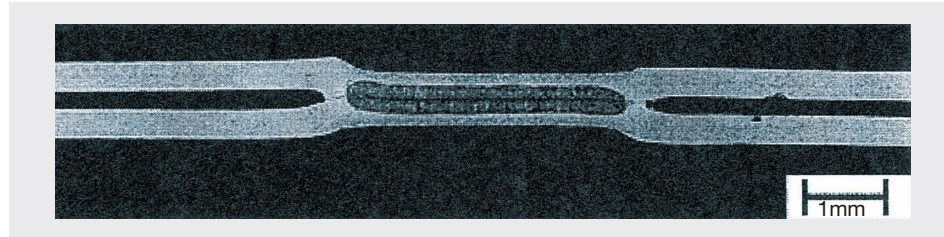
4.1 引張せん断試験結果

各板厚の鋼板をそれぞれ表18の条件でスポット溶接し、引張せん断試験を行った結果を表21に示す。ここでの強度はN=11の平均強度である。
本条件でスポット溶接を行うことにより、スポット溶接部の引張せん断強度は表20に示した目標 TSSを満足することを確認した。

4.2 断面マクロ観察

代表例(N 数=1)の断面マクロ写真を写真7に示す。
ナゲット径(dn)は3.7mmであり、目標ナゲット径(3.2mm、表 23 参照)を満足していた。なお、参考資料3には、他の板厚の場合断面写真を示す。

写真7 めっき鋼板(t=0.4mm、K27)のスポット溶接部断面



4.3 参考

めっき層の溶接部への影響
めっき鋼板をスポット溶接する場合、溶接部は鋼板が熔融状態になるが、低融点のめっき層はそれ以前に溶接部周辺に押し出される。このため、基本的にめっき層は溶接部から排除され溶接性能に影響を与えることはない。溶接金属中にブローホール等の気孔が残留することがあるが、適切な条件下で溶接された場合には溶接継手強度の劣化を招かないことが確認されている。

参考資料2 スポット溶接における目標TSSおよび目標ナゲット径

JIS Z 3140スポット溶接の検査方法より

表22 引張せん断荷重 (鋼) (単位kN)

板厚 (mm)	A、AF級		B、BF級	
	最小値	平均値	最小値	平均値
0.4	1.03	1.23	0.93	1.13
0.5	1.47	1.72	1.32	1.57
0.6	1.91	2.26	1.77	2.06
0.7	2.45	2.89	2.21	2.60
0.8	2.99	3.53	2.70	3.14
0.9	3.58	4.17	3.19	3.78
1.0	4.17	4.90	3.73	4.41
1.2	5.49	6.42	4.95	5.79
1.4	6.91	8.14	6.23	7.31
1.5	7.65	9.02	6.91	8.09
1.6	8.43	9.91	7.60	8.92
1.8	10.1	11.9	9.1	10.7
2.0	11.8	13.8	10.6	12.5
2.3	14.5	17.1	13.0	15.4
2.5	16.5	19.4	14.8	17.5
2.6	17.5	20.6	15.7	18.5
2.8	19.5	22.9	17.6	20.7
3.0	21.7	25.5	19.5	22.9
3.2	23.8	28.0	21.5	25.2
3.6	28.4	33.4	25.6	30.1
3.8	30.9	36.3	27.8	32.7
4.0	33.3	39.2	30.0	35.3
4.5	39.8	46.8	35.8	42.2
5.0	46.6	54.8	42.0	49.3

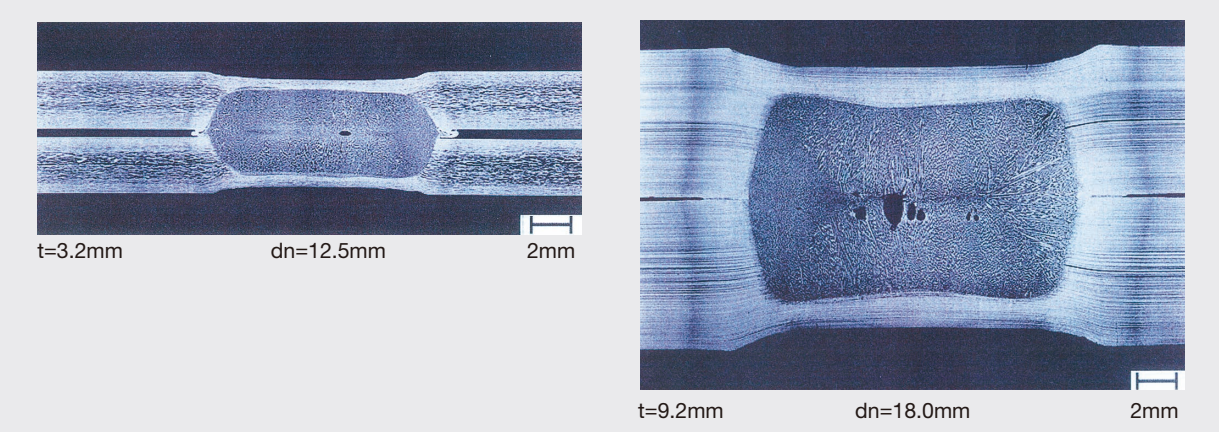
備考: 日本産業規格におけるそれぞれの母材の引張強さの最小値が370～590N/mm²の場合にそれぞれの母材の引張強さの最小値×(8/3000)を値に乘ずるものとする。
590N/mm²を超えるものについては290N/mm²とし、値に1.6を乘ずるものとする。

表23 目標ナゲット径

鋼板板厚(mm)	0.4	0.6	1.0	1.6	2.3	3.2	4.5	6.0	7.5	9.0
目標ナゲット径 (mm)	3.2	3.9	5.0	6.3	7.6	8.9	10.6	14.7	16.4	18

参考資料3

写真8 スポット溶接後の断面写真とナゲット径



スーパーダイマの高周波溶接施工要領

1. 適用範囲

この施工要領は、板厚が0.8mm から9.0mm でめっき付着量が付着量記号 K06 から K45 のスーパーダイマの高周波溶接に適用する。なお、付着量記号 K27 を超えるめっき付着量の鋼板については、4. の要領に従いめっき層を除去した後、溶接を行う。

2. 溶接方法および条件

溶接方法は、ワークコイルの誘導電流によって加熱溶融して溶接する高周波誘導溶接法、または接触子を介して通電し加熱溶融して溶接する高周波抵抗溶接法のいずれかとする。事前に 3. の試験により適正な溶接条件を確認する。

3. 溶接条件を設定するための試験

適正な溶接がされているかどうかの確認は、へん平試験(JIS G 3444)およびマクロ試験により行う。

- 3.1 へん平試験
- 3.1.1 試験片
- 管の端から長さ50mm以上を切り取り、試験片とする。
- 3.1.2 試験方法
- 試験片を常温のまま2枚の平板間に挟み、平板間の距離が規定の値になるまで圧縮し、へん平にする。ただし、接合部を図8のように圧縮方向に直角に置く。
- 平板間の距離は表24による。
- 3.1.3 評価
- 管の溶接部に、きず、割れの発生がないこと。

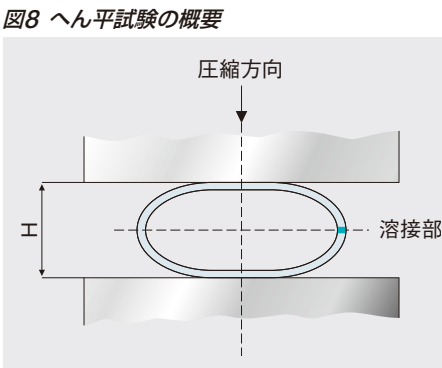


表24 へん平試験の平板間の距離

機械的性質	平板間の距離 (H)
400N	2/3D
490N	7/8D

4. めっき層の除去方法

めっき付着量が付着量記号K27を超える場合には、酸洗除去あるいは機械的研削によりめっき層を除去する。なお、めっき層はすべて除去する必要はなく、溶接ビード幅以上の幅を K27相当厚み以下になるように除去する。

スーパーダイマの高周波溶接性評価試験結果

スーパーダイマの高周波溶接性を評価するため、溶接条件が最も厳しいと考えられるめっき付着量大(付着量記号 K27)で板厚が薄い鋼板について溶接性試験を行った。

溶接性は、へん平試験およびマクロ試験などを行って評価し、良好な溶接性能を有することを確認した。

1. 供試材

試験に用いた材料の明細を表25に示す。

表25 供試材一覧

板厚 (mm)	規格 引張強さ (N/mm ²)	めっき 付着量 記号	鋼板の化学成分(%)					鋼板の機械的性質			めっき付着量 (両面、g/m ²)
			C	Si	Mn	P	S	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	
0.8	400	K27	0.17	0.013	0.47	0.014	0.011	340	490	32	322
1.0	400	K27	0.16	0.011	0.48	0.016	0.009	305	448	32	288
1.2	400	K27	0.18	0.014	0.47	0.015	0.013	323	438	33	302

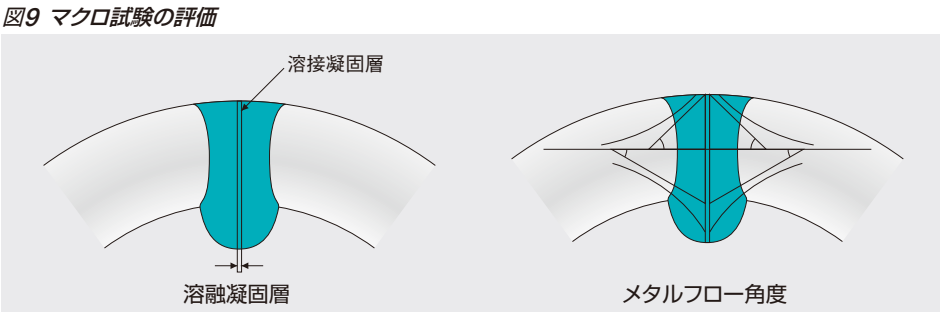
2. 溶接条件

溶接方法は、高周波誘導溶接法にて実施した。溶接条件を表26に示す。

表26 溶接条件

板 厚 (mm)	引張強さ (N/mm ²)	鋼管の外径 (mm)	造管速度 (m/分)	プレート電圧 (kV)	プレート電流 (A)
0.8	400	35.0	65	10.0	9.1
1.0	400	35.0	65	10.6	10.0
1.2	400	35.0	65	11.4	10.5

3. 評価項目
- 試験の評価としては、JIS G 3444 によるへん平試験およびマクロ試験に加えて、種々の試験を行った。
- (1)へん平試験
- 溶接部を圧縮方向と直角に置く場合と溶接部を圧縮方向においた場合について、それぞれ圧縮度をJISによるものとJISよりも厳しくした場合について試験を行った。
- (2)拡管試験
- 先端が円錐形でその下が円筒形になっている工具を、管に押し込んで広げた時の、きず、割れなどの欠陥が生じたかどうかを調べた。
- (3)押し広げ試験
- JIS G 3472(自動車構造用電気抵抗溶接炭素鋼鋼管)に準じて、管の端を60度の角度の円すい形の工具でラッパ形に押し広げたときの、きず、その他の欠点が生じたかどうかを調べた。



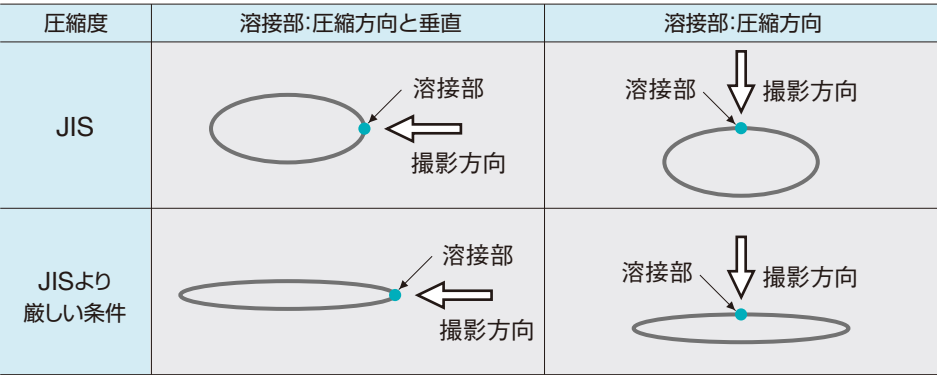
4. 試験結果

試験結果を写真9～11に示す。図10にへん平試験での写真の撮影方向の概要を示す。

いずれの供試材においても、へん平試験、拡管試験、押し広げ試験とも、溶接部にきず、割れの発生はなかった。

また、マクロ試験においても、適正な溶融凝固層の形成を確認し、メタルフローの立ち上がりも30～70度の範囲内であることが確認され、適正な溶接ができていた。したがって、溶融Zn-Al-Mg合金めっき鋼板は、板厚が0.8mm以上で付着量記号がK27以下の場合、めっき層を除去することなく高周波溶接が可能ながわかった。

図10 へん平試験での写真撮影方向概要



5. 参考 (めっき層の溶接部への影響)

めっき鋼板を高周波溶接する場合、溶接部は鋼板が溶融状態になり、めっき層は蒸発する。このため、基本的にめっき層は溶接部から排除され溶接性に影響を与えることはない。また、多少のAlの酸化物が生成するが、これはアプセットにより溶接部から押し出されるため影響はない。

写真9 板厚0.8mm材の高周波溶接試験結果

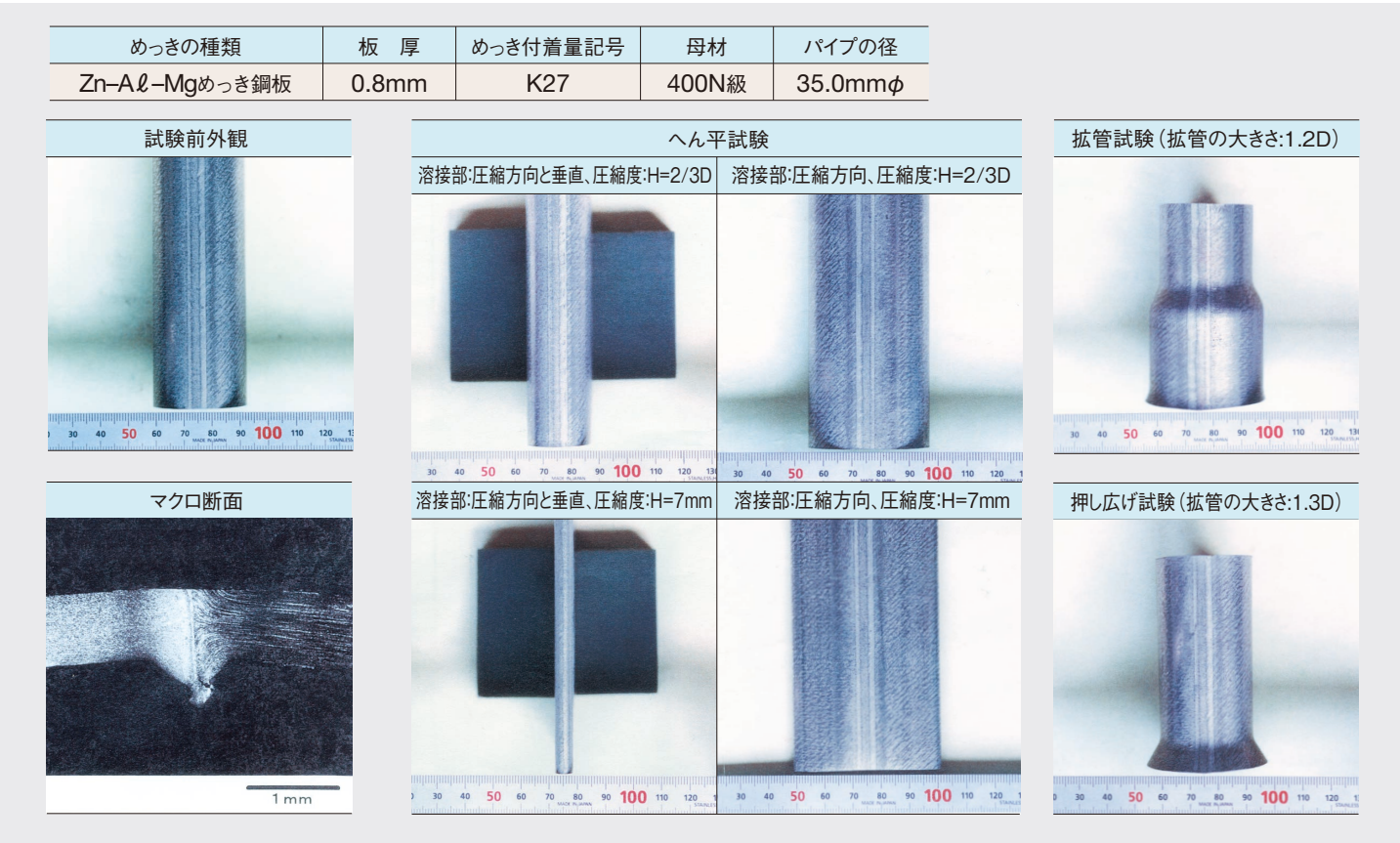


写真10 板厚1.0mm材の高周波溶接試験結果

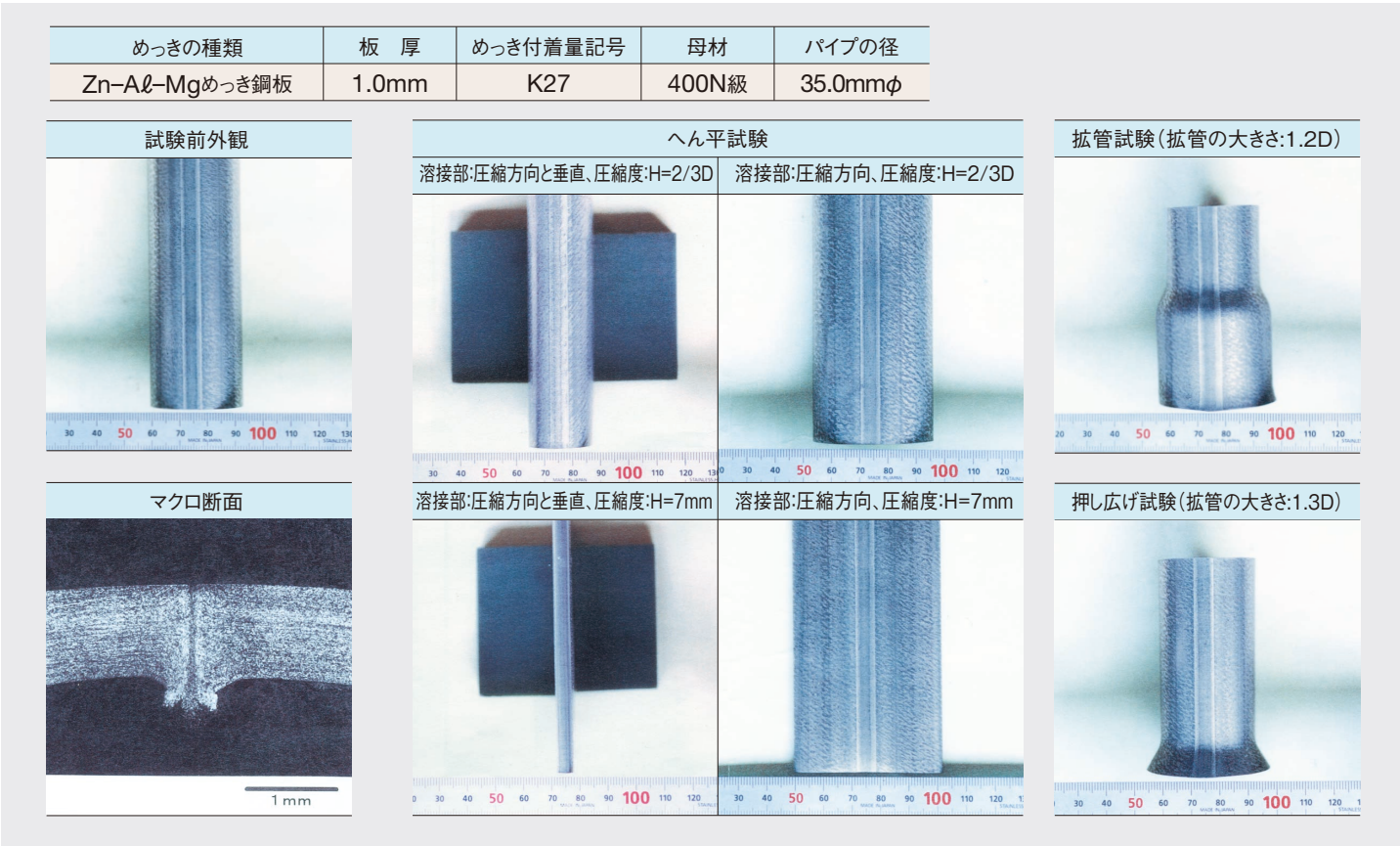


写真11 板厚1.2mm材の高周波溶接試験結果

