

Br.-76-04

日本道路公団大阪建設局受託
溶融亜鉛メッキ高力ボルト摩擦
接合継手の疲労試験

土木研究所資料

第1209号

溶融亜鉛メッキ高力ボルト
摩擦接合継手の疲労試験

昭和52年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室

ま え が き

本報告書は、日本道路公団大阪建設局からの委託により、建設省土木研究所橋梁研究室が実施した継手部材を溶融亜鉛メッキした高力ボルト摩擦接合継手の疲労試験に関するものである。

日本道路公団大阪建設局管轄の第2神明道路明石サービスエリアランプ橋は、主げた全体を溶融亜鉛メッキした単純活荷重合成げたである。本橋の防錆方法に溶融亜鉛メッキを採用した理由は、けた下本線の交通車両からの排気ガスのため、腐食環境が著しく悪く、通常の塗装では耐用年数が短くなり、維持補修面で不利になると判断したためである。

橋梁の防錆に溶融亜鉛メッキを用いる場合、高力ボルト摩擦継手の接合面の処理として、接合面に何らかの処置を施しメッキされないようにする、あるいはメッキ後、プラスト等により接合面のメッキを除去するなどがあげられるが、逆にこのメッキを積極的に活用し、通常防錆上の弱点となりやすい継手部の防錆効果を高めることが考えられる。

そこで本橋においては、けた全体の防錆効果を高めるため、接合面にもメッキ処理を施した。

一方、接合面にメッキ処理を施した場合は、すべり耐力の低下、繰り返し荷重によるすべり、継手部材の疲労強度低下などが問題になる。

これらの問題に関する従来の研究には、メッキ処理した継手の静的すべり耐力を求めた実験例^{1),2),3),4)}や、メッキ処理した継手部材間の繰り返し荷重によるすべり、継手部材の疲労強度を求めた実験例^{2),5)}がある。これらの実験報告例から、メッキ処理した継手の静的すべり耐力についてはある程度検討が加えられたといえてよい。しかし、繰り返し荷重によるすべりや継手部材の疲労強度については、いまだ十分な実験的検討がなされていない。

そこで本試験では、接合面をメッキ処理した継手の繰り返し荷重による部材間のすべりと部材の疲労破断強度に着目した試験を行ない、実橋への適用性について検討を加えた。

目

次

まえがき	
1. 試験の概要	1
2. 供試体	1
2-1 供試体の種類	1
2-2 供試体の材質および形状寸法	3
2-3 ボルトの締め付け	6
3. 試験方法	7
3-1 測定項目および測定方法	7
3-2 載荷方法	8
4. 試験結果および考察	9
4-1 静的引張試験結果および考察	9
4-2 疲労試験結果および考察	12
5. 結 論	26
あとがき	27
参考文献	28
付録-供試体の溶融亜鉛メッキ処理方法	29

1. 試験の概要

本試験では、継手の静的引張り試験と疲労試験を行なった。試験に用いた継手供試体の種類は4種類であり、接合面にサンドブラストを施したもの、溶融亜鉛メッキ（以下メッキという。）を施したものの、メッキ後十分サンドブラストしたもの、メッキ後軽くサンドブラストしたものから成っている。供試体の数は各種類ごとに10体とし、うち3体を静的引張り試験に、残り7体を疲労試験に用いた。

静的载荷試験により検討した項目は次のとおりである。

- (1) すべり挙動
- (2) すべり耐力、すべり係数
- (3) ボルト軸力の変化

また疲労試験により検討した項目は次のとおりである。

- (1) 継手部材の疲労強度
- (2) 繰り返し载荷による部材間のすべり
- (3) 繰り返し载荷によるボルト軸力の変化
- (4) 繰り返し载荷によるすべり係数の変化

以上の目的にもとづいて試験を行なった結果、接合面にメッキのみ施したものはすべり耐力不足となること、メッキ後サンドブラストを施したものはサンドブラストを施したものに比べすべり耐力はやや減少するが、実用上支障のないことがわかった。

2. 供試体

2-1 供試体の種類

試験に使用した供試体は、表-1に示したように、接合面の処理状態の異なる4種類A, B, C, Dである。供試体は各種類ごとに10体、合計40体製作し、3体を静的引張り試験に、残り7体を疲労試験に用いた。

供試体の接合面の処理方法は、表-1に示したとおりであり、Aはサンドブラストを施したもの、Bはメッキを施したものの、Cはメッキ後メッキが剝離しない程度に十分サンドブラストを施したものの、Dはメッキ後軽くサンドブラストを施したものである。

試験に先だち、測定した各供試体のメッキ膜厚および表面粗さの結果を表-2に示す。メッキ膜厚の測定には磁気膜厚計を、表面粗さの測定には触針電気式表面粗さ計を用いた。膜厚および表面粗さの測定位置は、それぞれ母材および添接板のボルト孔周辺6か所である。表-2に示した値はこれらの位置における測定値の平均を供試体の各表面（イ、ロ、ハ、ニ）ごとに示したものである。

表面粗さは、Aが $S=61\sim79$ 、Bが $S=11\sim26$ 、Cが $S=69\sim84$ 、Dが $S=58\sim82$ となっており、メッキを施しただけのBの表面粗さは他のものに比べてかなり小さい。またCとDの表面粗さの目標値はそれぞれ $S=80$ および $S=50$ であったが、結果的には、DはCに比べやや表面粗さが小さい

ものとなっている。

メッキ膜厚はBが213~278 μ , Cが130~255 μ , Dが200~315 μ となっており, Cの膜厚はB, Dに比べやや小さいものとなっている。なお, B, C, Dの供試体のメッキ方法の概要は, 本報告書末尾の付録に示してあるのでこれを参照されたい。

表-1 供 試 体 の 種 類

シリーズ名	表面処理方法	部 材	材 質	板 厚 (mm)	幅 (mm)	供 試 体 数 (体)	
						静 的	疲 勞
A	サンドブラスト	母 材	SM53B	28	75	3	7
		添 接 板	SM50YB	22	75		
		〃		19	75		
		高力ボルト	F8T M22				
B	熔融亜鉛メッキ	母 材	SM53B	12	75	3	7
		添 接 板	SM50YB	10	75		
		〃		10	75		
		高力ボルト	F8T M22				
C	熔融亜鉛メッキ後十分サンドブラスト	母 材	SM53B	28	75	3	7
		添 接 板	SM50YB	22	75		
		〃		19	75		
		高力ボルト	F8T M22				
D	熔融亜鉛メッキ後軽くサンドブラスト	母 材	SM53B	24	75	3	7
		添 接 板	SM50YB	14	75		
		〃		14	75		
		高力ボルト	F8T M22				

表-2 メッキの膜厚及び表面粗さ

シリーズ名	供試体番号	メッキの膜厚				表面粗さ				
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
A	静的	A 1					72	67	66	68
		A 2					67	69	71	62
		A 3					64	63	68	74
		A 4					70	79	63	61
		A 5					63	72	68	67
	動的	A 6					66	69	72	66
		A 7					69	65	72	73
		A 8					71	65	71	66
		A 9					66	68	71	67
		A 10					67	67	65	70
B	静的	B 1	265	220	230	248	21	15	15	21
		B 2	255	220	230	240	15	19	15	17
		B 3	245	235	230	250	21	12	18	26
		B 4	260	235	218	230	16	12	22	19
		B 5	235	215	215	233	18	12	18	17
	動的	B 6	278	223	230	240	18	21	21	22
		B 7	255	248	240	255	19	11	13	22
		B 8	250	230	230	243	29	20	21	22
		B 9	238	215	213	240	21	20	16	17
		B 10	238	215	213	240	21	20	16	17
C	静的	C 1	150	220	175	170	76	75	71	73
		C 2	210	160	180	180	83	76	80	74
		C 3	160	150	130	150	80	73	78	69
		C 4	175	160	170	155	72	80	82	77
		C 5	140	165	180	155	80	76	80	76
	動的	C 6	170	170	170	173	74	73	76	80
		C 7	160	175	155	145	77	81	84	74
		C 8	115	185	190	170	81	83	75	77
		C 9	225	155	175	190	80	79	75	79
		C 10	190	150	180	205	77	79	73	83
D	静的	D 1	295	245	223	280	62	60	75	63
		D 2	278	310	315	293	58	66	61	71
		D 3	290	220	205	290	63	66	71	74
		D 4	270	205	210	280	73	75	78	79
		D 5	278	210	208	268	80	80	73	76
	動的	D 6	290	238	250	280	71	76	79	60
		D 7	280	240	228	275	59	72	71	76
		D 8	260	205	213	270	65	69	72	64
		D 9	278	200	200	280	67	66	68	73
		D 10	265	223	253	280	66	82	82	68

測定位置図



2-2 供試体の材質および形状寸法

供試体の材質は、明石サービスエリアランプ橋（実橋という。）のものと同一ものとし、継手母材にはSM53B、添接板にはSM50YBを、高力ボルトにはF8TのM22を用いた。ただし、接合面にメッキを施した供試体B、C、Dでは、ボルトおよびナット、ワッシャーにもメッキを施した。

各供試体の形状寸法は、図-1.1～3.2に示すとおりA、B、C、Dとも継手片側ボルト本数を3本とし、幅は75mmとした。また板厚は、供試体のすべり荷重 P_s と母材の純断面積に対する降伏荷重 P_y の比 P_s/P_y が実橋の主げたフランジ継手における P_s/P_y の値0.787に近い値となるように選んだ。ただし実橋のすべり係数は0.46、供試体A、B、C、Dのすべり係数はそれぞれ0.57、0.18、0.46、0.30と仮定している。その結果、AおよびCは実橋と同じ板厚とし、母材は28mm、添接板は22mmと19mmとした。またBは母材が12mm、添接板が10mm、Dは母材が24mm、添接板が14mmとした。

またボルトには、軸力検出用のひずみゲージを貼付けるため、軸部および頭部に特殊加工を施した。

（図-1.2、2.2、3.2参照）

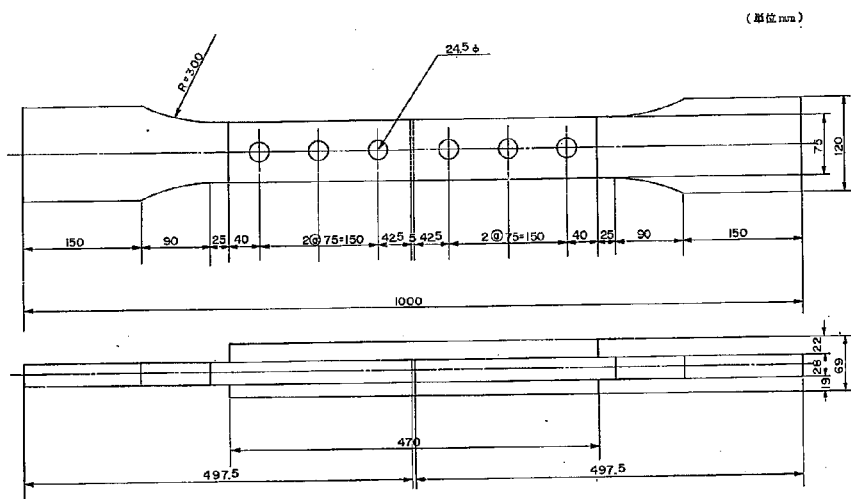


図-1.1 供試体の形状寸法（シリーズA、C）

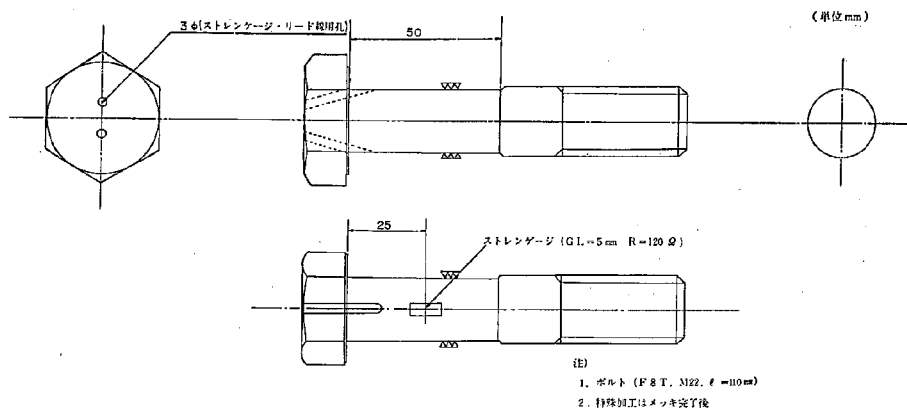


図-1.2 高力ボルト詳細図 (シリーズ A, C)

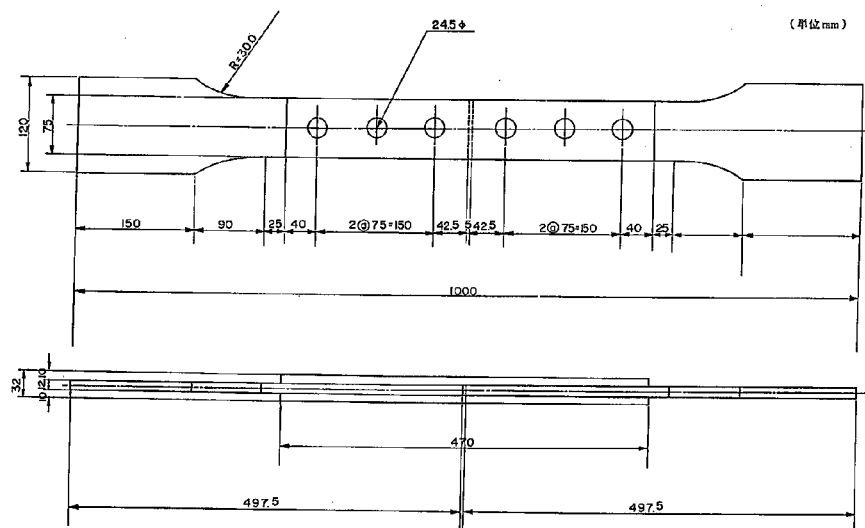


図-2.1 供試体の形状寸法 (シリーズ B)

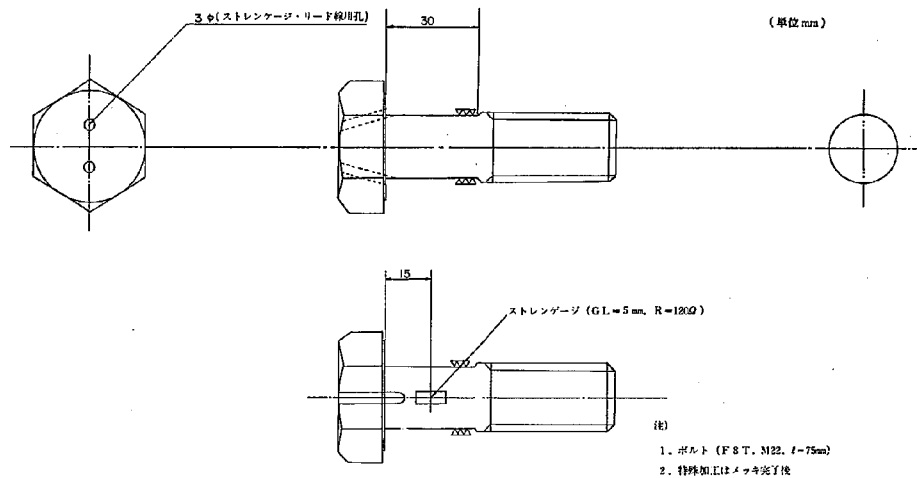


図-2.2 高力ボルト詳細図(シリーズB)

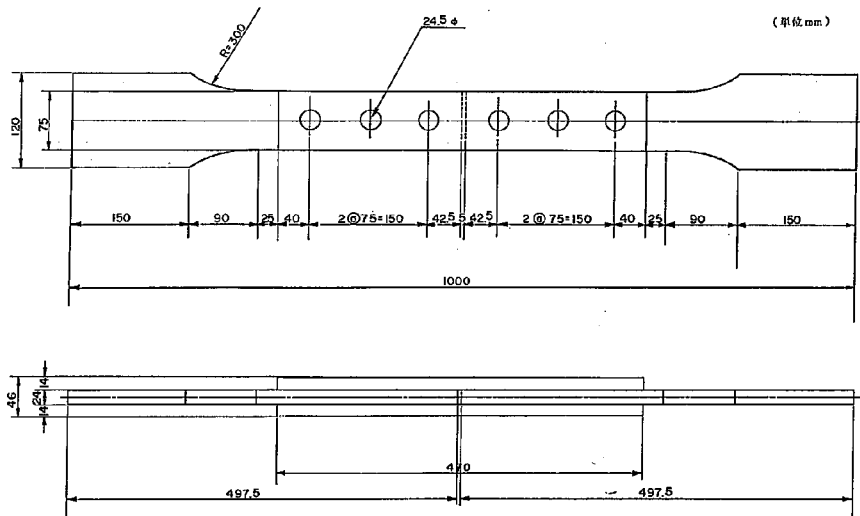


図-3.1 供試体の形状寸法(シリーズD)

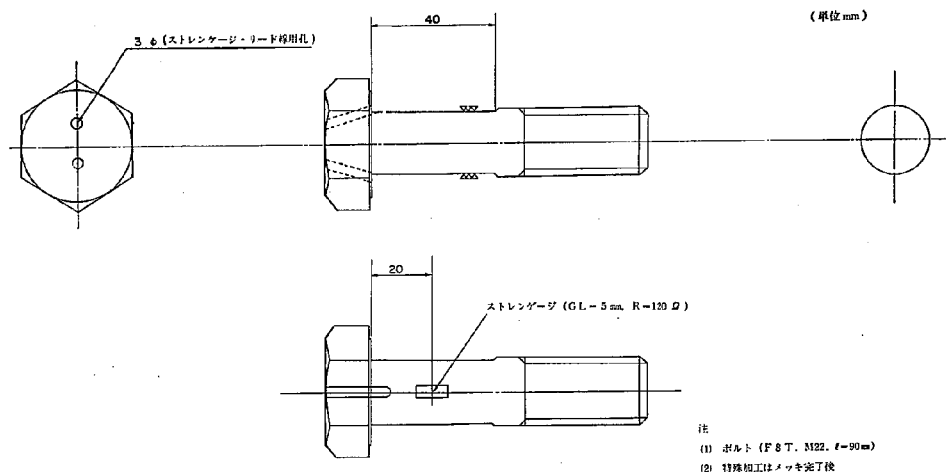


図-3.2 高力ボルト詳細図 (シリーズD)

2-3 ボルトの締め付け

試験に先立ち F 8 T の M22 に対する標準ボルト軸力 (18.1ton) を目標に、各供試体の 6 本のボルトを締め付けた。このとき、2 度締めによってボルトを締め付けた。軸力は、各ボルトの軸部に貼付けた 2 枚のひずみゲージにより検出した。(写真-1, 図-1.2, 2.2, 2.3 参照)

なお、供試体 B, C, D のボルトおよびナット、ワッシャーはすべてメッキしてある。このため、ボルトとナットのネジ部のメッキ層が締め付け時に凝着し、ボルト軸に大きなトルクが作用してボルトがねじ切れる恐れがある。そこで、この間の摩擦を小さくしてボルトに大きなトルクを作用させないために、潤滑剤として水溶性さび止め材 (ノンラスター P SW 51) をナット全体に塗布してからボルトの締め付けを行なった。



写真-1

3. 試 験 方 法

3-1 測定項目および測定方法

静的引張り試験および疲労試験における測定項目は次のとおりである。

- (1) 引張り荷重
- (2) 部材間のすべり量
- (3) ボルト軸力

また、これらの測定方法を図-4に示す。

荷重は試験機の示す値を読み取った。

部材間のすべり測定には、リップゲージとコンタクトストレインゲージを用いた。リップゲージでは図-4に示す4ヶ所で母材と系接板のすべりを測定した。また、コンタクトストレインゲージでは図-4に示す2ヶ所で、母材間のすべりを測定した。

ボルト軸力は、図-1.2, 2.2, 3.2に示したように、各ボルトの軸部に貼付けた2枚のひずみゲージからひずみを読み取り、あらかじめ各ボルトごとに求めておいた軸力とひずみの校正曲線を用いて算出した。

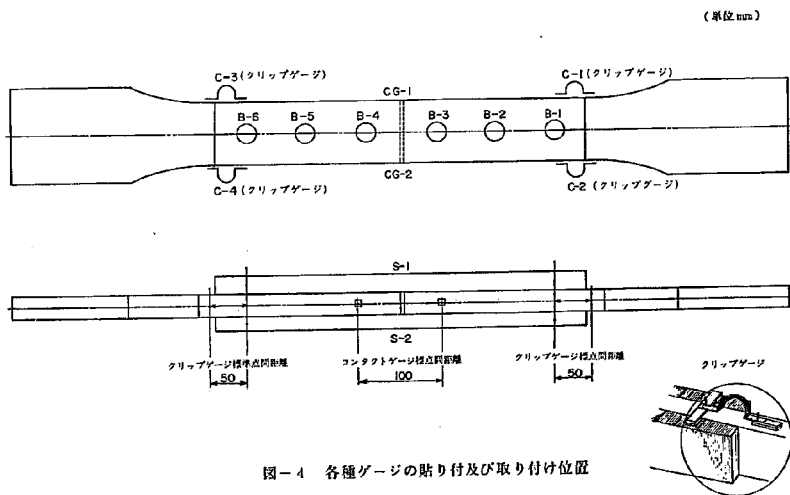


図-4 各種ゲージの貼り付及び取り付け位置

3-2 載 荷 方 法

(1) 静的引張り試験

疲労試験に先立ち、各供試体の静的すべり特性を調べるために静的引張り試験を行なった。

载荷には土木研究所橋梁研究室所有のフムスラー型万能試験機(载荷能力200 ton)を使用した。

(写真-2 参照)

载荷は2 ton きざみに行ない、継手に急激なすべりが生じるまで载荷を続けた。各測定は、各段階の荷重ごとに行なった。

(2) 疲 勞 試 験

疲労試験には、土木研究所橋梁研究室所有のローゼンハウゼン型万能疲労試験機(動的能力60 ton)を使用した。载荷速度は400 r.p.m, 荷重の波形はsin波とした。(写真-3 参照)

各種計測は、繰り返し载荷回数が1回のときと、 1×10^4 、 3×10^4 、 5×10^4 、 10×10^4 、 50×10^4 、 100×10^4 、 150×10^4 、 200×10^4 回のときを目標に行なった。また、計測時には、荷重を上限値に保ちながら測定を行なった。

疲労試験の荷重振幅は、疲労破断に対するS-N曲線上への点のプロット状況を勘案しながら決定した。

なお、 200×10^4 回の繰り返し载荷によっても疲労破断しなかった供試体については引き続き、ローゼンハウゼン型万能疲労試験機で静的引張り試験を行なった。

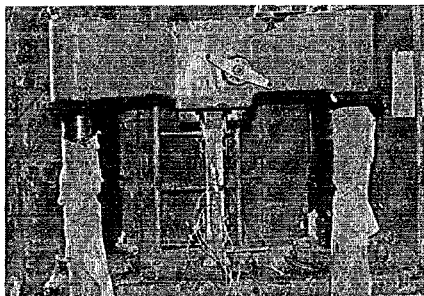


写真-2

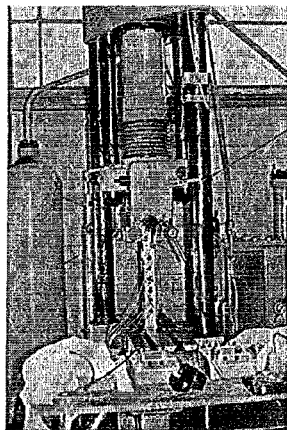


写真-3

4. 試験結果および考察

4-1 静的引張試験結果および考察

(1) すべり挙動

各種類の代表的な供試体の静的引張り試験による荷重と母材間のすべりとの関係を図-5に示す。ただし、図-5の各曲線の終端は急激なすべりが生じる1段階前の荷重に対する測定値を示している。

図-5からわかるように、メッキ後サンドブラストしたC、Dの荷重すべり曲線は、サンドブラストのみのAのそれとほとんど差がない。しかし、メッキのみのBではすべりに対する抵抗が小さく、同一の荷重に対してA、C、Dの2倍近いすべりが生じている。また急激なすべりが生じたときの荷重もA、C、Dの $\frac{1}{2}$ 程度しかない。

(2) すべり係数

表-3は静的引張り試験の結果をまとめたものである。

ボルト軸力の初期値(導入時ボルト軸力:No)をもとに計算したすべり係数の値は、Aでは平均0.526、B、C、Dではそれぞれ0.257、0.464、0.491となっている。

このことから、メッキ処理のみではすべり係数は低い値しか得られないが、さらにサンドブラスト処理することによって道路橋示方書⁶⁾に示されている最小係数0.4以上を確保できることがわかる。

(3) ボルト軸力

図-6.1~6.4は静的引張り試験における荷重とボルト軸力の関係を示したものである。ただしボルト軸力は、1供試体の6本のボルトの軸力の平均値で示してある。

各供試体とも、急激なすべりが生じるまでの軸力の減少率は9~12%程度であり、表面処理方法による差は認められない。そして、これらのボルト軸力低下にもかかわらず、A、C、Dは道路橋示方書⁶⁾による設計すべり荷重(43.5 ton)以上のすべり耐力を示している。(表-3参照)

表-3 継手の静的引張試験結果

シリーズ名	供試体番号	ボルト軸力		すべり荷重 $P_s(t)$	すべり係数(μ)	
		初期値(N_0)	すべり時(N_s)		$\mu = \frac{P_s}{2 \times 3 \times N_0}$	$\mu = \frac{P_s}{2 \times 3 \times N_s}$
A	A 1	18.2	16.5	55.4	0.513	0.561
	A 2	18.3	16.3	59.5	0.538	0.594
	A 3	18.1	16.3	57.1	0.526	0.584
	平均	18.2	16.4	57.3	0.526	0.580
B	B 1	17.9	15.9	21.1	0.197	0.207
	B 2	17.9	16.1	34.0	0.316	0.360
	B 3	17.8	16.7	27.5	0.257	0.277
	平均	17.9	16.6	27.5	0.257	0.288
C	C 1	17.6	15.9	54.0	0.507	0.571
	C 2	17.7	16.3	49.0	0.461	0.501
	C 3	17.5	16.9	45.5	0.423	0.462
	平均	17.6	16.4	49.5	0.464	0.511
D	D 1	17.7	16.1	50.0	0.470	0.529
	D 2	17.6	15.4	54.0	0.517	0.591
	D 3	17.7	15.8	51.8	0.487	0.550
	平均	17.7	15.8	51.9	0.491	0.557

注1) 母材面の処理

シリーズA: 素材にサンドブラスト ($\bar{S}=68$)

シリーズB: メッキのまま無処理 ($\bar{S}=18$)

シリーズC: メッキ後サンドブラスト処理 ($\bar{S}=76$)

シリーズD: メッキ後軽くサンドブラスト処理 ($\bar{S}=66$)

注2) ボルト軸力は全てのボルトの平均値

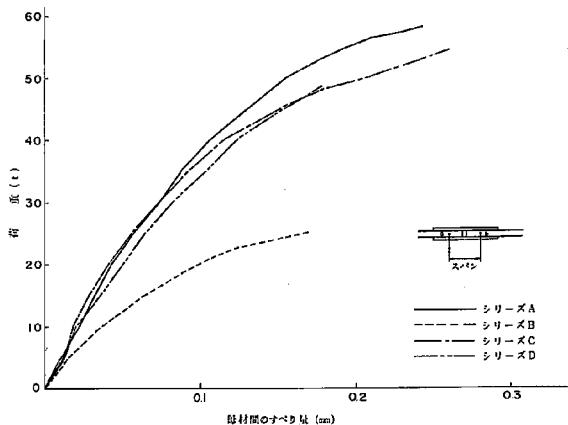


図-5 静的載荷による母材相互間のすべり量

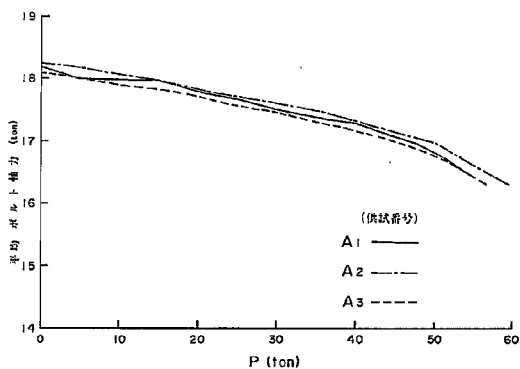


図-6.1 静的載荷による平均ボルト軸力の減少
(サンドブラスト処理)

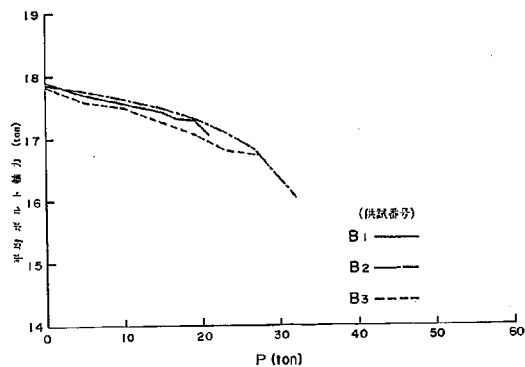


図-6.2 静的載荷による平均ボルト軸力の減少
(メツキ処理)

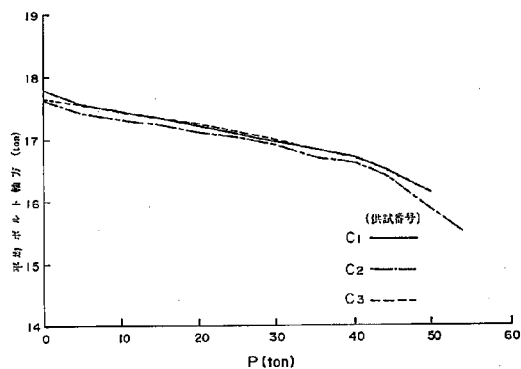


図-6.3 静的載荷による平均ボルト軸力の減少
(メツキ後十分サンドブラスト処理)

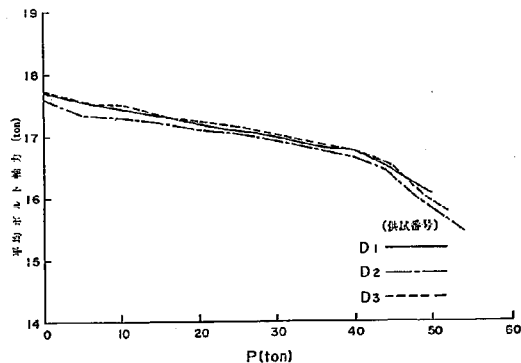


図-6.4 静的載荷による平均ボルト軸力の減少
(メツキ後軽くサンドブラスト処理)

4-2 疲労試験結果および考察

(1) ボルト軸力

図 7.1 ~ 7.4 は、ボルト軸力の平均値と繰返し載荷回数の関係を供試体の種類ごとに示したものである。50 万回以上の繰返し載荷回数に対するボルト軸力の減少率は、C における 1 例を除けば、各供試体とも初期ボルト軸力の 5 ~ 10 % 程度である。これは、静的引張り試験において急激なすべりが生じるときの軸力減少率が 9 ~ 12 % に比べて少ないものとなっている。また、供試体の種類によるボルト軸力の減少はほとんど差がない。すなわち、本試験でのメッキ厚程度では、ボルト軸力低下に大きな影響を与えていないといえる。

(2) すべり係数

メッキ処理した継手が繰返し載荷を受けたあと、すべり耐力がどのように変るかを調べるため、 200×10^4 回の繰返し載荷によって破断しなかった供試体の静的引張り試験を行なった。その結果を表 4 に示した。ただし、B の供試体は 200×10^4 回以下の繰返し載荷によってすべて疲労破断しているので実験は行なっていない。

表 4 からわかるように、A および C、D のいずれも繰返し載荷を受けたあとのすべり係数は大きくなっている。

すなわち、初期ボルト軸力で計算したすべり係数は、A では 0.526 から 0.614 へ約 16 %、C では 0.464 から 0.519 へ約 10 %、D では 0.491 から 0.524 へ約 7 % の増加を示している。

(3) 疲労破断強度

メッキが母材に与える影響やメッキ層による接合面の応力伝達状態の違いから継手の疲労強度が低下することが考えられる。そこで、供試体の各種類ごとに、疲労破断に対する S-N 線図を求めたのが図 8.1 ~ 8.4 である。図中の黒丸が今回土木研究所橋梁研究室が行なった試験結果であり、白丸は日本道路公団大阪建設局が昭和 50 年度に行なった試験結果を比較のために記入したものである。しかし両者は、供試体のボルト本数、形状寸法、表面処理状態に若干差があり、単純に比較できない面もある。ここでは黒丸で示された今回の試験結果について述べる。

表 4 に疲労試験結果をまとめたものを示す。また疲労破断した供試体の写真を写真 4 ~ 21 に示す。

各供試体の 200×10^4 回の疲労強度は、サンドブラストのみの A では約 25 kg/mm^2 、メッキのみの B では 18 kg/mm^2 、メッキ後サンドブラストを施した C、D はともに 21 kg/mm^2 と推定され、メッキ処理により疲労強度がやや低下するといえる。

しかしながら、実用面について考えると、母材の許容応力度が 21 kg/mm^2 であり、活荷重応力のみによって許容応力度に達するような継手の設計はまず考えられない。したがって、C、D の表面処理方法は、疲労に対して安全なものと考えてよい。

次に各 S-N 曲線の勾配に着目すると、B の勾配がとくに大きく、次いで D の勾配となり、A、C の勾配はほぼ同じである。そこでメッキ処理を施した B、C、D を比較すると、低繰返し回数に対する時間強度は、接合面の粗さが小さいほど大きくなる傾向がうかがえる。

またメッキ処理による影響は、形状寸法が等しく表面粗さもほぼ同じAとCを比較することにより推定される。すなわち、AとCのS-N曲線を比較するとその勾配はほぼ同じであり、AのS-N曲線がCのその上にスライドされた形になっていることがわかる。この差が約 4 kg/mm^2 であるので、メッキ処理の熱影響などによる時間強度ないしは疲労強度の低下は 4 kg/mm^2 程度と推定される。

(4) 部材間のすべり

図-9.1~9.4はクリップゲージにより求めた母材と添接板のすべりである。ただし図に示した値は、クリップゲージ1, 2の平均値と3, 4の平均値を比較し、プロットしたものである。図中の表には、最初に繰り返し振幅の上限値まで載荷したときの初期すべり量も示してある。

さらに、図-10.1~10.4はコンタクトストレインゲージにより求めた母材間のすべりを示したものであり、初期すべり量は図中の表に示したとおりである。

初期すべり量は、クリップゲージにより測定したものと、コンタクトストレインゲージにより測定したものとは若干差はあるが、両者を包括して大きな値に着目する。Aでは、作用荷重が3.13 ton~4.55 tonに対して初期すべり量は、 0.054 mm ~ 0.160 mm 、Bでは作用荷重1.4 ton~19.0 tonに対して 0.043 ~ 0.017 mm 、Cでは、作用荷重3.10 ton~4.04 tonに対して 0.038 mm ~ 0.129 mm 、Dでは、作用荷重2.00 ton~3.23 tonに対して 0.065 mm ~ 0.111 mm であった。したがって、これらの例からわかるように、作用荷重がすべり荷重よりもある程度小さければ、A, B, C, Dの初期すべり量はほとんど差がないものとなる。

よるものより全般的に大きくなっている。そこでクリップゲージによるものに着目して、 50×10^4 回以上の繰り返し回数に対するすべりをみると、Aではほとんど 0.06 mm 以下であり、B, C, Dではそれぞれ 0.06 mm 、 0.25 mm 、 0.20 mm 以下となっている。すなわち、AとBではすべりは進行しないが、C, Dでは僅かに進行している。

以上、初期すべりと繰返しによるすべりとを合わせて考えた場合、A, B, C, D全体すべり量は高々 0.22 mm 、 0.18 mm 、 0.38 mm 、 0.31 mm 程度である。したがって、これらの実験例のように、作用荷重がすべり荷重よりもある程度小さければ(すべり荷重の60~80%以下)、接合面をメッキ処理してもあまり問題になるような大きなすべりは生じないものと考えられる。

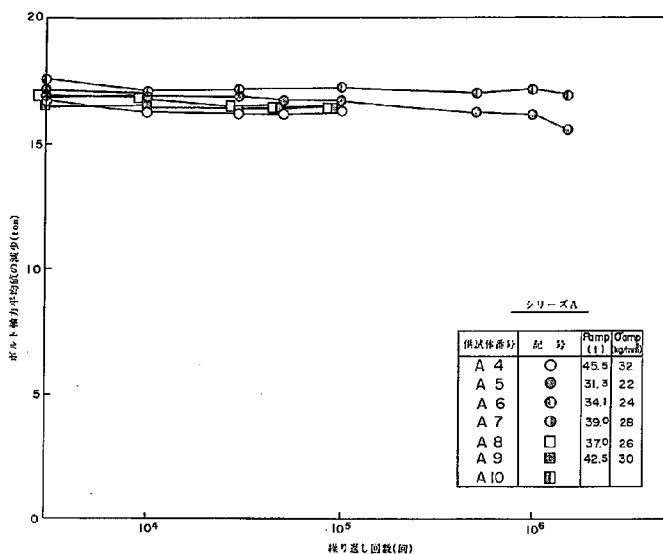


図-7.1 平均ボルト軸力と繰り返し回数
(サンドブラスト処理)

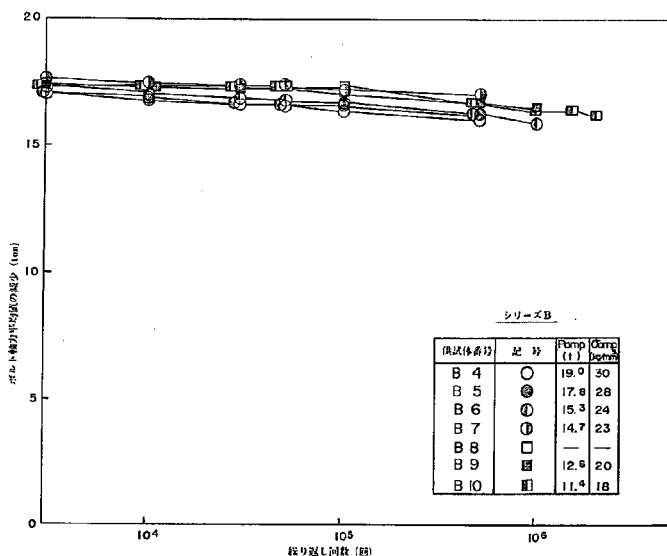


図-7.2 平均ボルト軸力と繰り返し回数
(ノツキ処理)

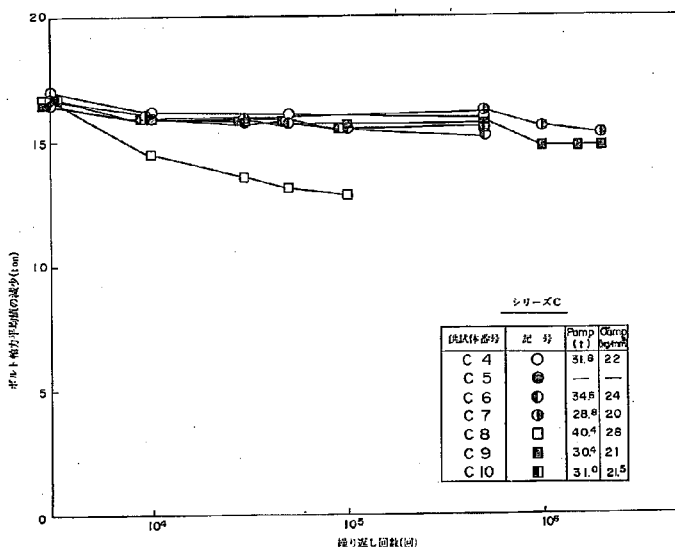


図-7.3 平均ボルト軸力と繰返し回数
(ノツキ後十分サンドブラスト処理)

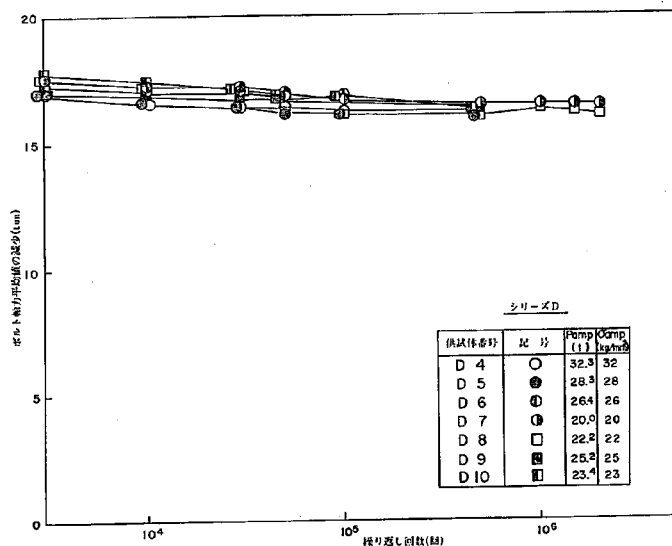


図-7.4 平均ボルト軸力と繰返し回数
(ノツキ後軽くサンドブラスト処理)

表-4 継手の疲労試験結果一覧表

シリーズ 名	供試体 番号	作用荷重 (ton)		継手母材応力 (kg/cm ²)		応力変動幅 σ_{amp}	平均ボルト軸力 (ton)														すべり量 (mm)														最終繰り 返し回数	破断の有 無	P_{200} (ton)	μ'_{200}	μ	$\frac{\mu_{200}}{\mu}$ ($\frac{\mu'_{200}}{\mu'}$)				
		P_{max}	P_{min}	σ_{max}	σ_{min}		繰り返し回数 (×10 ⁴)																																					
							0	1	3	5	10	50	100	150	200	0	1	3	5	10	50	100	150	200																				
A	A 4	48.3	2.8	34	2	32	16.3	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	0	0.05	0.11	0.15	0.19					214,510	有																		
	A 5	34.1	2.8	24	2	22	17.2	16.9	16.9	16.7	16.7	16.4	16.2	15.6		0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06		1,502,480	有																		
	A 6	36.9	2.8	26	2	24	17.5	17.1	17.2	17.2	17.2	17.1	17.2	17.0	16.9	0	0	0.01	—	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	>2,112,360	無	62.1	0.600 (0.616)																
	A 7	42.6	2.8	30	2	28	17.1	17.0	17.0	16.9	16.9	16.9	16.7	16.7	16.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,509,280	有																		
	A 8	39.8	2.8	28	2	26	17.2	16.8	16.5	16.5	16.5	16.4	16.4	16.4	16.4	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	—	0.01	>2,068,270	無	64.1	0.628 (0.651)																
	A 9	45.3	2.8	32	2	30	16.5	16.4	16.4	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	0	0.01	0.02	0.02	0.03					500,050	有																		
	A 10																																											
B	B 4	20.3	1.3	32	2	30	17.2	16.8	16.7	16.6	16.4	16.1				0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02				704,110	有																		
	B 5	19.1	1.3	30	2	28	17.2	16.9	16.7	16.6	16.6	16.3				0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01				719,370	有																		
	B 6	16.6	1.3	26	2	24	17.3	17.0	16.8	16.7	16.6	16.4	15.9			0	0.01	0	0.01	0.02	0.02	0.02			1,507,260	有																		
	B 7	16.0	1.3	25	2	23	17.7	17.5	17.4	17.4	17.2	17.0				0	0.02	0.01	0.01	-0.03	-0.02				1,019,400	有																		
	B 8	13.9	1.3	22	2	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
	B 9	13.9	1.3	22	2	20	17.5	17.2	17.2	17.3	17.1	16.7	16.5			0	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.02			1,265,890	有																		
	B 10	12.7	1.3	20	2	18	17.4	17.4	17.3	17.3	16.7	16.4	16.4	16.2		0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	2,002,360	有																		
C	C 4	34.7	2.9	24	2	22	17.1	16.3	—	16.1	16.0	15.5				0	0.03	—	0.06	—	0.13				821,080	有																		
	C 5	43.3	2.9	30	2	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
	C 6	37.5	2.9	26	2	24	16.4	15.9	15.7	15.7	15.5	15.2				0	0.02	0.03	0.03	0.04	0.08				581,070	有																		
	C 7	31.7	2.9	22	2	20	16.6	16.1	16.0	15.7	15.5	15.2				0	0.07	0.10	—	—	0.19	0.21	0.22	>1,970,000	無	51.2	0.514 (0.560)																	
	C 8	43.3	2.9	30	2	28	16.6	16.5	16.5	16.4	16.3	16.3				0	0.04	0.06	0.08	0.09				205,220	有																			
	C 9	33.3	2.9	23	2	21	16.4	16.0	15.8	15.7	15.7	15.7				0	0.06	0.08	0.08	0.09	0.12	0.13	0.14	0.14	>2,058,130	無	15.6	0.581 (0.524)																
	C 10	33.9	2.9	23.5	2	21.5	16.6	16.0	15.9	15.5	15.5	15.5				0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.08				583,170	有																		
D	D 4	34.3	2.0	34	2	32	17.0	16.6	16.4	16.4	16.3	16.3				0	0.04	0.06	0.07	0.08				269,380	有																			
	D 5	30.3	2.0	30	2	28	17.0	16.6	16.4	16.2	16.1	16.0				0	0.09	0.12	0.14	0.15	0.17				667,520	有																		
	D 6	28.4	2.0	28	2	26	17.3	17.0	17.0	16.8	16.9	16.9				0	0.02	0.04	0.04	0.06				562,400	有																			
	D 7	22.0	2.0	22	2	20	17.5	17.2	17.1	16.9	16.8	16.5	16.4	16.5	16.4	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.08	>2,000,000	無	55.0	0.524 (0.559)																
	D 8	24.2	2.0	24	2	22	17.5	17.2	17.0	16.8	16.1	16.1	16.3	16.2	16.1	0	0.03	0.07	—	0.08	0.12	0.10	0.10	0.13	>2,155,800	無	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
	D 9	27.2	2.0	27	2	25	17.1	16.9	16.7	16.7	16.3	16.3				0	0.01	0.01	0.02	—	0.05				1,027,230	有																		
	D 10	25.4	2.0	25	2	23	17.6	17.3	17.3	16.9	16.7	16.3				0	0.01	0.03	0.03	0.04	0.05				815,290	有																		

注) P_{200} : 200 万回疲労試験後の静的すべり荷重
 μ_{200} : " のすべり係数 (200 万回疲労試験後のボルト軸力による)
 μ'_{200} : " (疲労試験前のボルト軸力による)
 μ : 静的試験によるすべり係数
 μ' : チェック部において試験片がすべてしまい P_{200} を求めることができなかったもの

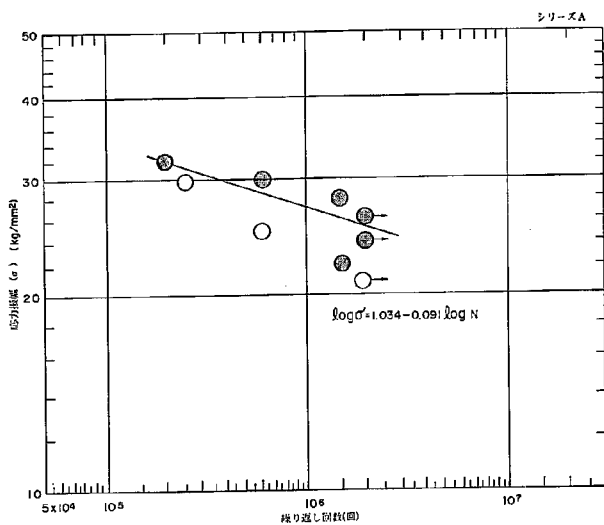


図-8.1 S-N曲線(サンドブラスト処理)

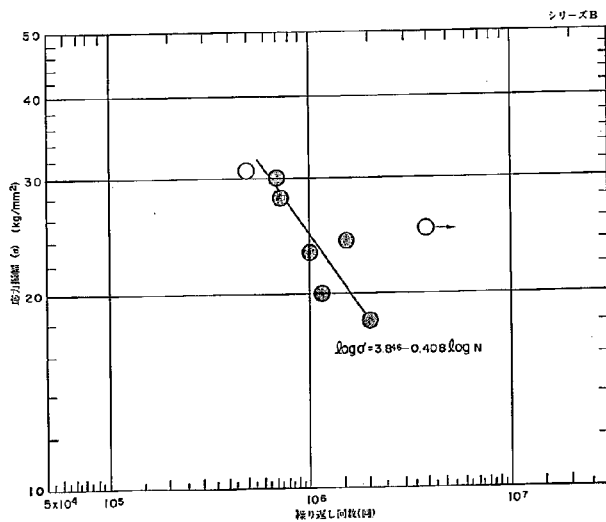


図-8.2 S-N曲線(メツキ処理)

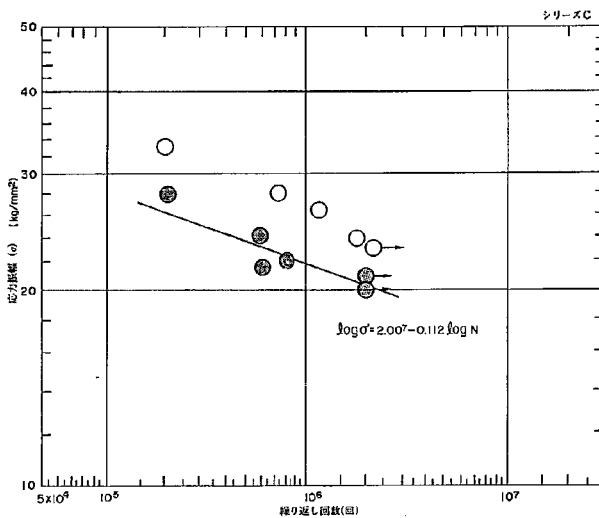


図-8.3 S-N曲線
(ノック後十分サンドブラスト処理)

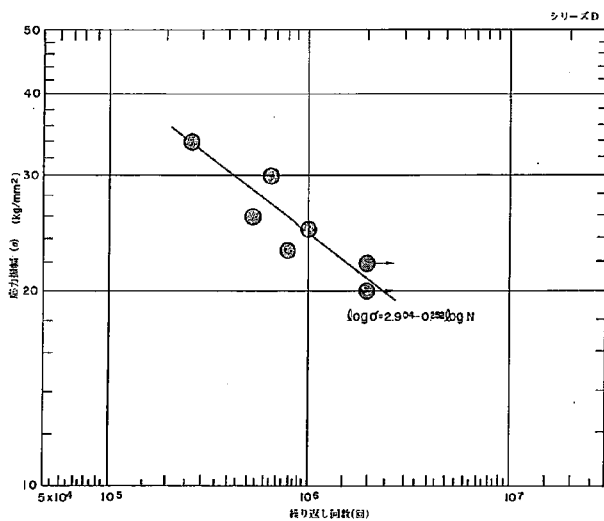


図-8.4 S-N曲線
(ノック後軽くサンドブラスト処理)

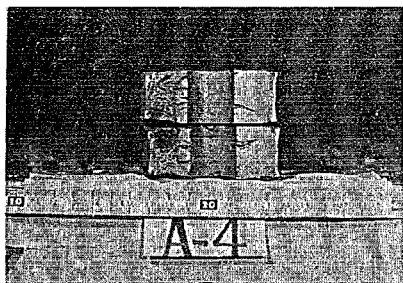


写真-4

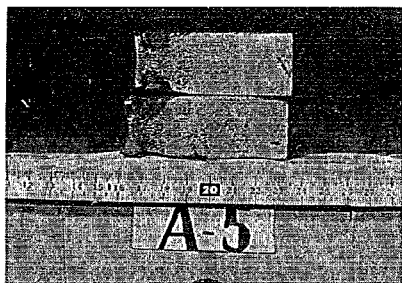


写真-5

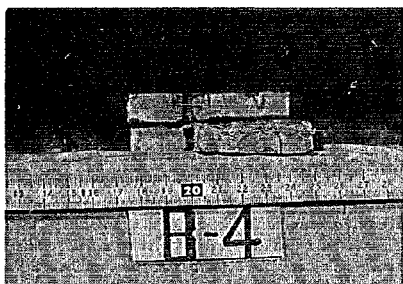


写真-6

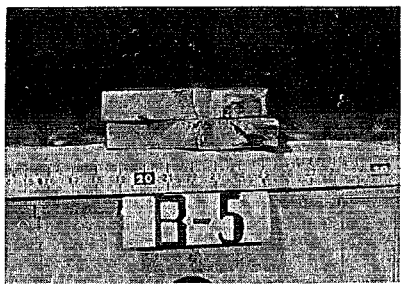


写真-7

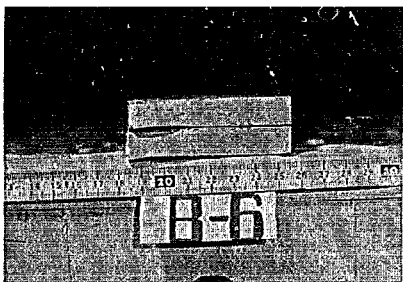


写真-8

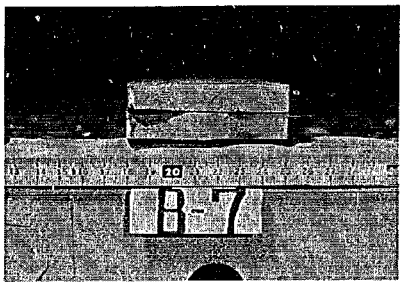


写真-9

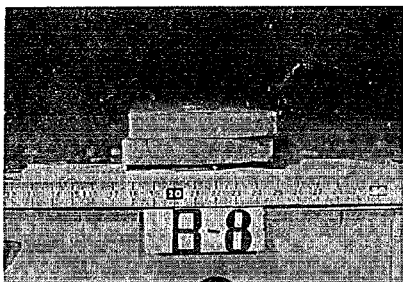


写真-10



写真-11

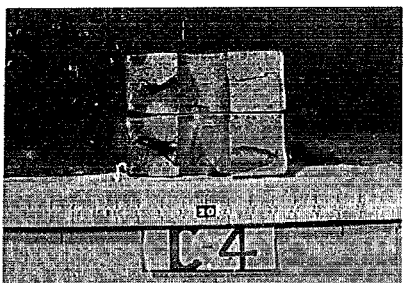


写真-12

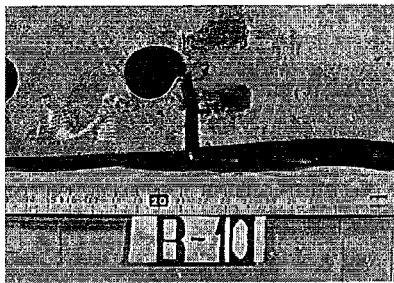


写真-13

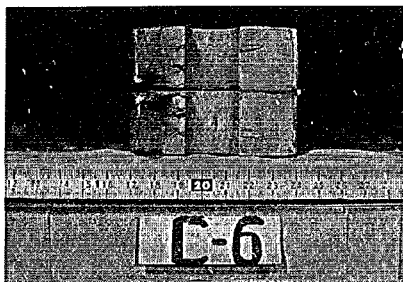


写真-14

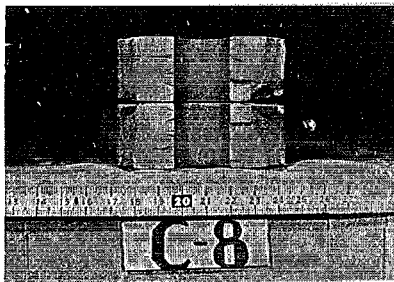


写真-15

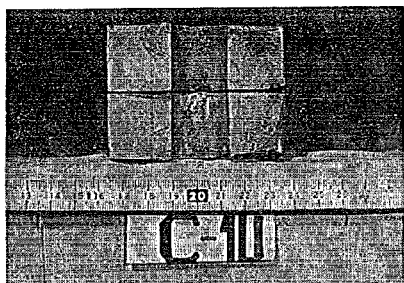


写真-16

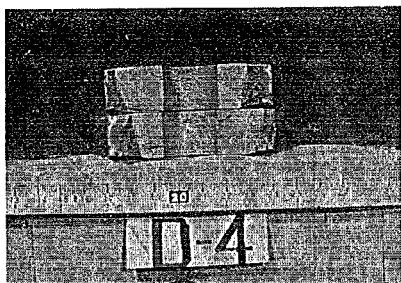


写真-17

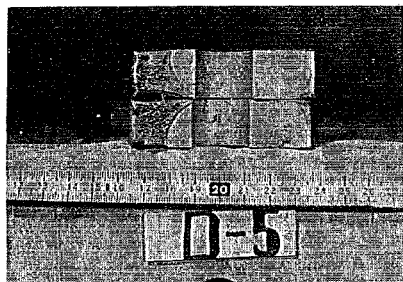


写真-18

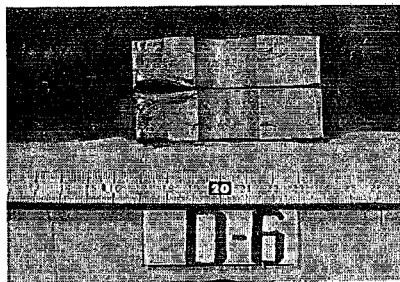


写真-19

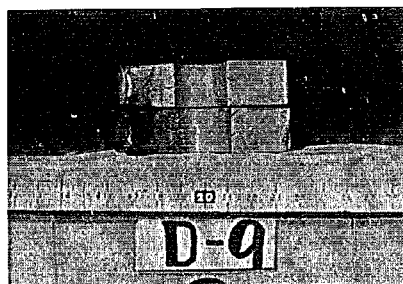


写真-20

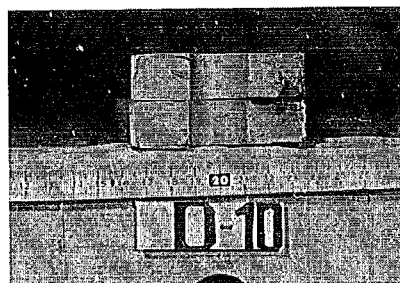


写真-21

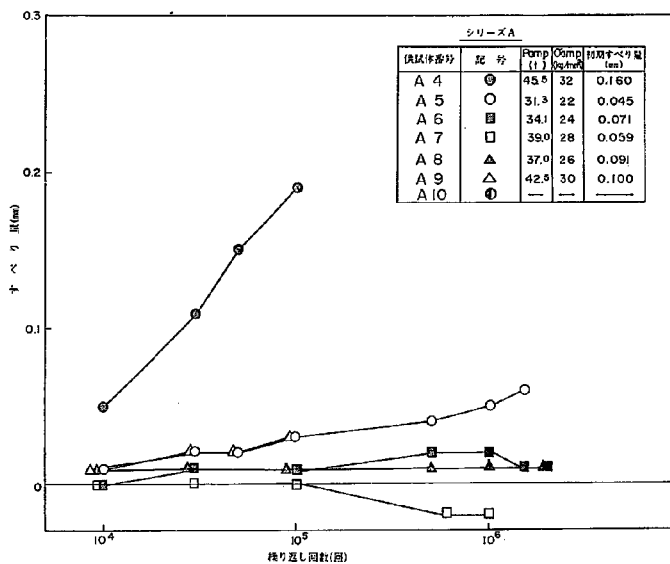


図-9.1 すべり量と繰り返し回数
(サンドブラスト処理)

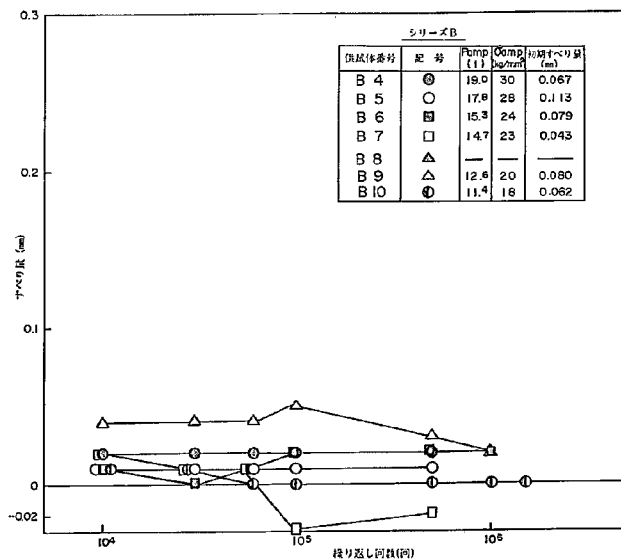


図-9.2 すべり量と繰り返し回数
(ノツキ処理)

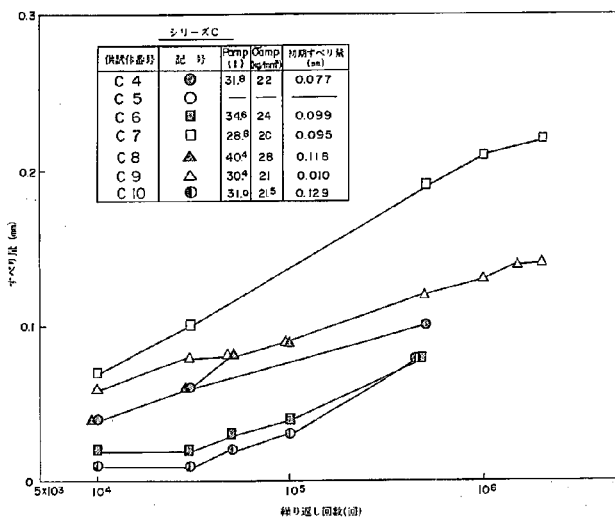


図-9.3 すべり量と繰り返し回数
(メッキ後十分サンドブラスト処理)

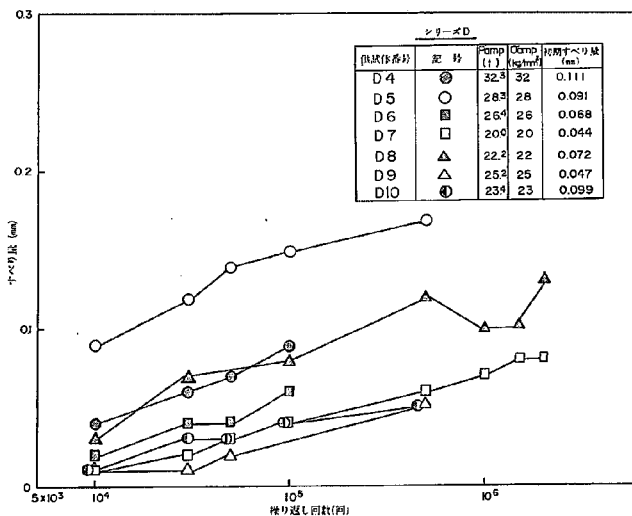


図-9.4 すべり量と繰り返し回数
(メッキ後軽くサンドブラスト処理)

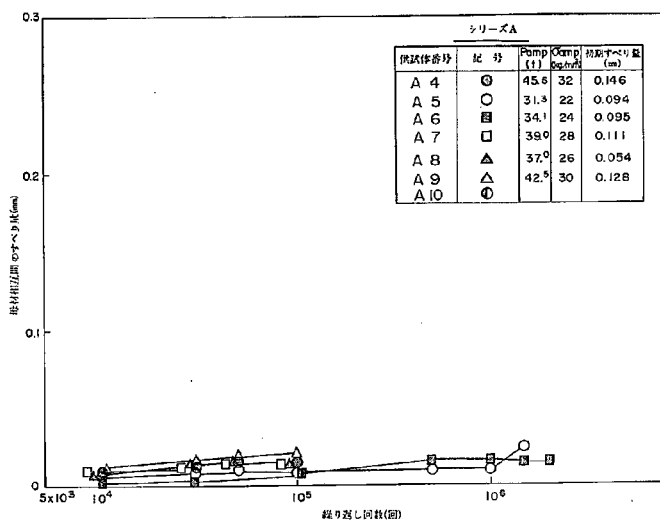


図-10.1 母材間のすべりと繰り返し回数
(サンドブラスト処理)

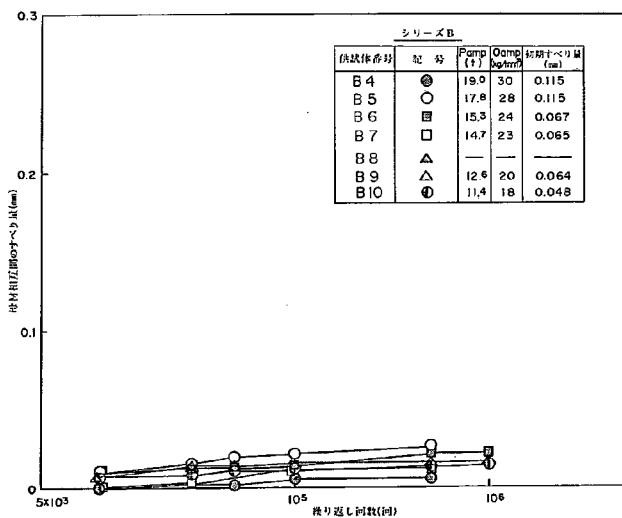


図-10.2 母材間のすべりと繰り返し回数
(ノック処理)

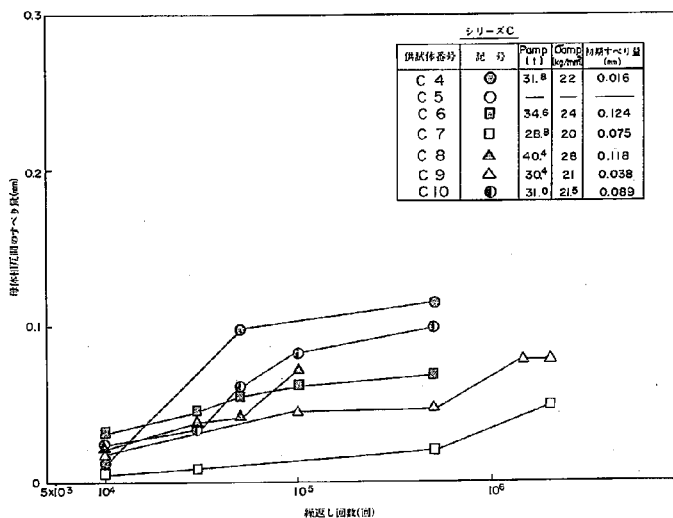


図-10.3 母材間のすべりと繰返し回数
(メッキ後十分サンドブラスト処理)

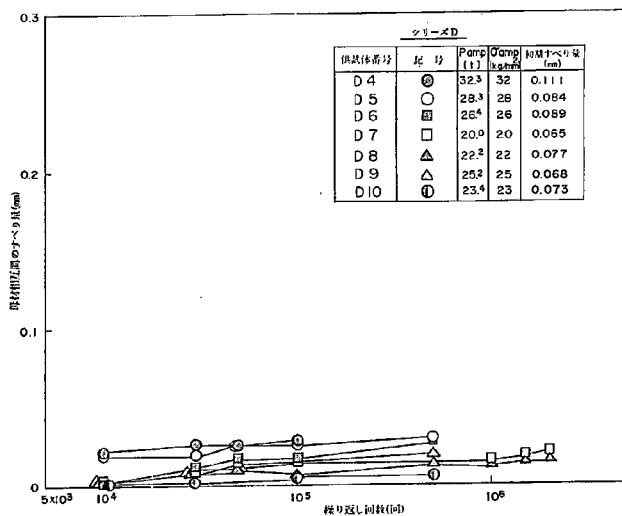


図-10.4 母材間のすべりと繰返し回数
(メッキ後軽くサンドブラスト処理)

5. 結

論

溶融亜鉛メッキされた高力ボルト摩擦接合接手の静的引張り試験および疲労試験の結果から得られた結論を以下に列挙する。

- (1) 静的引張り試験によれば、接合面にサンドブラストを施した継手のすべり係数は平均 0.526 である。これに対し溶融亜鉛メッキのみ施したものでは、すべり係数の平均値は 0.257 であるが、メッキ後サンドブラスト処理を行えば 0.464 ~ 0.491 のすべり係数が得られる。
- (2) 静的引張り試験における継手のすべり挙動は、サンドブラスト処理した継手と溶融亜鉛メッキ後サンドブラスト処理した継手とでは大きな差はない。
- (3) サンドブラスト処理した継手およびメッキ後サンドブラスト処理した継手のいずれも繰返し載荷後ではすべり係数が大きくなっている。その割合は前者で約 16%，後者で約 7 ~ 10% である。
- (4) 溶融亜鉛メッキ後サンドブラストを施した継手の 200 万回疲労破断強度は、メッキすることにより約 4 kg/mm^2 減少する。
- (5) サンドブラストを施した通常の継手部材の疲労破断強度は 25 kg/mm^2 であり、メッキ後サンドブラスト処理したものは 21 kg/mm^2 、メッキのみ施したものでは 18 kg/mm^2 であり、メッキ後サンドブラスト処理を施した継手部材は十分な疲労破断強度を有している。
- (6) 継手に作用する繰返し荷重がすべり荷重の 60 ~ 80% 以下であれば、接合面をメッキ処理しても問題となるような大きなすべりは生じない。

あ と が き

溶融亜鉛メッキは塗料に比べ、鋼材に対する防錆効果が優れている。したがって塗装に比べて維持補修の回数が少なくて済むことから、腐食環境の悪い場所や塗装の維持補修が困難な場所の橋梁の防錆方法としてその使用が考えられている。

このような防錆処理を施した場合、高力ボルト摩接接合部のすべりやすべり耐力の問題が指摘される。本報告書は、これらの点に関して実験的に検討を加えたものであり、橋梁の防錆方法として溶融亜鉛メッキを用いる場合の1つの参考になれば幸いである。

昭和52年 3 月

橋梁研究室 室 長	佐 伯 彰 一
研究員	山 本 善 行
	大 塩 俊 雄

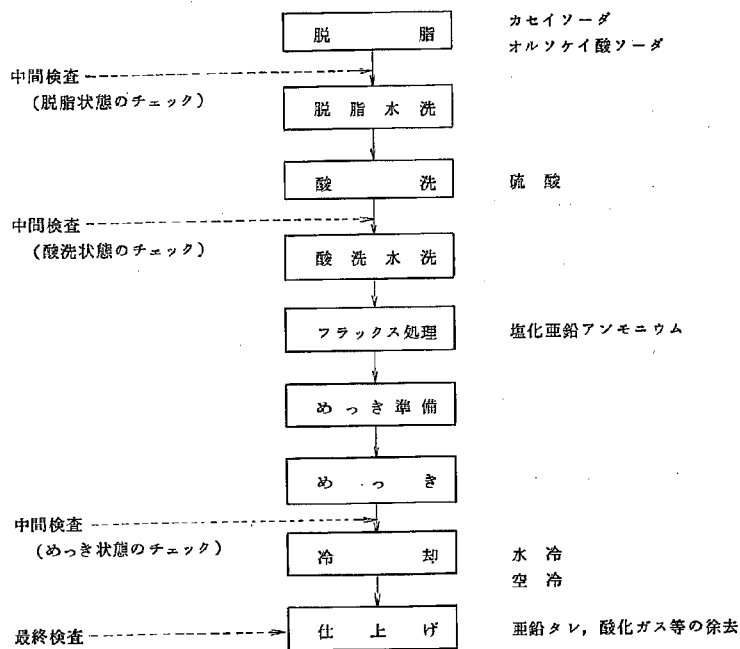
参 考 文 献

- 1) John R. Daesen
"Slip Resistance of Bolted Galvanized Steel Joints"
The Galvanizing Institute, September 1962
- 2) W.H.Munse
"Structural Behaviour of Hot Galvanized Bolted Connections"
8th Int. Conf on Hot Dip Galvanizing
- 3) 日本道路公団名古屋支社, 社団法人日本橋梁建設協会
"鋼板桁の溶融亜鉛めっき" 昭和48年3月
- 4) 田島 二郎
"高力ボルト摩擦接合概説" 技報室 昭和48年8月
- 5) P.C. Brkemoe, W.D. Couch, W.H. Munse
"Design Criteria for Joining Galvanized Structural"
Department of Civil Engineering, University of Illinois, April 1964
- 6) 日本道路協会
"道路橋示方書・同解説" 昭和49年10月

＜付録＞ ー 供試体の溶融亜鉛メッキ処理方法 ー

本報告の試験に用いられた供試体を溶融亜鉛メッキするための作業工程は次に示すフローチャートのとおりである。

供試体の溶融亜鉛メッキ作業工程



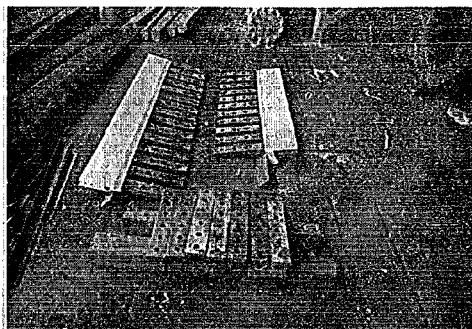
また溶融亜鉛メッキの各工程における条件は下表に示すとおりである。

溶 融 亜 鉛 メ ッ キ 条 件

作業工程	使用薬品	濃 度	温 度	時 間
脱 脂	カセイソーダ オルソナイ酸 ソーダ	6.0%	80℃	5分
水 洗		PH 5.5	常 温	1分
酸 洗	硫 酸	11.5%	50℃	50分
水 洗		PH 4.0	常 温	1分
フラックス 処 理	塩 化 亜 鉛 アンモニウム	28%	70℃	2分
予熱乾燥			自然乾燥	
メ ッ キ	蒸 留 亜 鉛	亜鉛純度 98.5%	435~437℃	(注) 10分10秒
空 冷				30秒
水 冷			55℃	2分

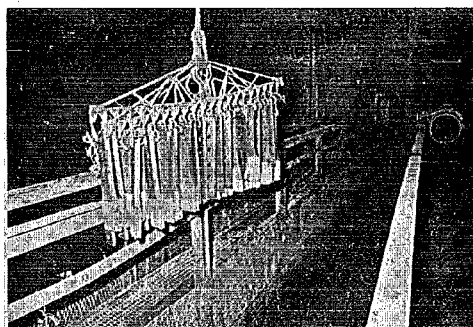
(注) メッキ時間の10分10秒は浸漬開始に6秒、浸漬に9分45秒、引上げに19秒となっている。

また、これらの溶融亜鉛メッキの各工程を示した写真を写真一付録1~9に示す。



写真・付録-1

素 材



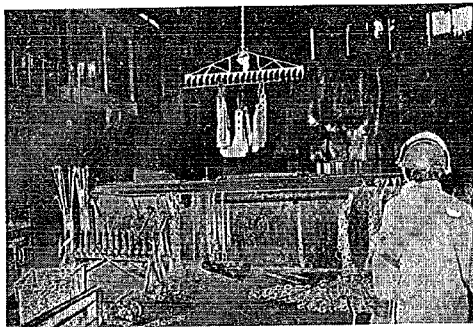
写真・付録-2

酸 洗

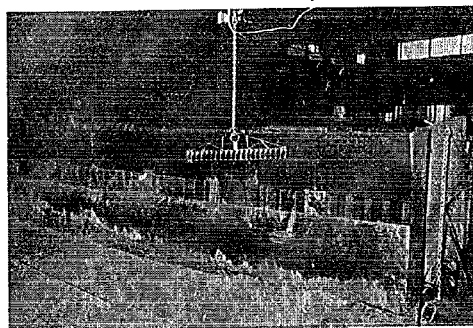


写真・付録-3

フラックス処理



写真・付録-4
メッキ準備



写真・付録-5
めっき(浸漬)



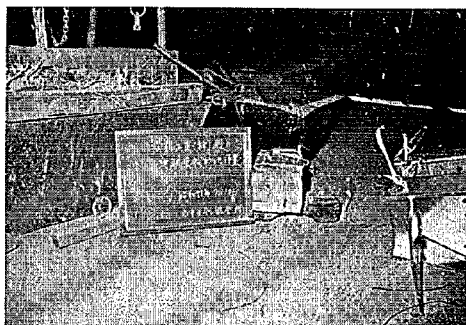
写真・付録-6
めっき(引上げ)



写真・付録-7
水 冷



写真・付録-8
仕 上 げ



写真・付録-9
仕 上 げ 完 了