

市販ボルトナットの大気暴露試験結果について

機械金属室 石原金盛
比嘉敏勝
長山純朗

1. はじめに

金属腐食の問題は、大気中、水中、海水中など種々の環境で発生し、機械の性能等に大きなかわりをもつので、いろいろな防食手段が講じられている。

市販ボルトナットは、機械部品、鋼構造物用部材その他に広く使用されており、その耐久性が重要な意味を持っていることは周知のとおりである。一口にボルトナットといっても、これを材質や種類で見るといろいろであり、その用途もちがっている。

本調査では沖縄のような亜熱帯海洋性地域における機械装置及び鋼構造物の保全と耐久性評価に役立てることを目的として、ボルトナットの大気暴露試験を3カ年間にわたって実施した。その結果、いくつかの知見が得られたので報告する。

2. 暴露試験の準備

2.1 試験片

ボルト及びナット類については、機械装置用部品として、JISに多くの規格が制定されている。材質についても種々の規格があるが、大きく分けると、鋼製、ステンレス製、非鉄製にわけることができる。鋼製も多くの種類に細分されるが、ここでは一般によく使用されている六角高力ボルト（ハイテンボルト、JIS B 1186）と鋼製亜鉛めっきボルト（JIS B 1051）とを選び、更にステンレスボルト（JIS B 1054）を加えた3種類に限定した。

表-1にこれら試験片の発光分光分析法による化学組成を示した。

2.2 暴露試験台及びその設置場所

さびの発生状況は海岸からの距離によって大きく異なるのが普通である。本調査では海岸に接した拓南製鉄(株)構内と海岸より約2km離れた県工試構内との2カ所に試験片を設置して、環境差による

腐食量を見ると同時に材質による差についても調べることにした。その他、ボルトの取り付け基材による差が考えられるため、とりつけ基材を、SS鋼材とベークライト板の2種類とした。また、ボルトの締めつけトルクは、とりはずし作業の観点から、固くなりすぎないように16kg・mと一定にした。

試験項目は、①さび発生度（外観々察）、②重量測定、③腐食減量の3項目である。



写真1：試験片設置状況

3. 調査結果および考察

3.1 さび発生度について

表-3に外観々察結果を示した。ハイテンボルトは暴露数日後からさびの発生が進行し、1ヶ月後においては全面さびの状態であったため、表-3ではとりあげなかった。海岸線（拓南）と陸地部（工試）での3ヶ月時の試験片を写-2.3に示した。

表-1：ボルト試験片の化学組成

試料名 \ 成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	炭素当量	備 考	
										形状	相当規格
ハイテンボルト	0.20	0.14	0.71	0.015	0.003	0.036	0.65	0.02	0.46	径 16mm 長さ55mm	JIS B 1186 WES-135
亜鉛めっきボルト	0.18	0.01	0.29	0.016	0.008	0.027	0.01	0.02	-	全上	JIS B 1051
ステンレスボルト	0.03	0.37	0.65	0.024	0.005	11.49	17.65	0.16	-	全上	JIS B 1054

まず、暴露地点の相違により、さび発生状況がちがうのは、目視ではハイテンボルトの場合が最も明らかで、後述の腐食減量値でもわかるとおりである。次いで亜鉛めっきの場合もその差は明らかである。すなわち、亜鉛めっきの場合、ワッシャー部、ボルト頭部、ナット部、ボルトしめつけ残部の順にさびが発生し、海岸線では3ヶ月時点からワッシャーのさび発生が始まるのに対し、陸地部では同じく12ヶ月時点からの発生となっている。全体的には、亜鉛めっきボルトは海岸線は1年後に、また陸地部では2年後に赤さびが発生するという結果となっている。この場合の試料の亜鉛めっき付着量は約56g/m²であった。この程度の付着量では大きな防錆効果が期待できないのは当然であるが、ボルトナットの場合、表面処理の問題は単に防錆効果だけではきめられず、トルク係数値との関係もあるとのこと、限界があるようである。したがって、本県のような高温多湿高塩分地域では、亜鉛めっきボルトの防錆力には限界があることを認識する必要がある。

表-2：暴露試験のサンプリング時期

月数	0	1	3	6	12	24	36
年月日	S58 12/16	S59 1/15	3/15	6/15	12/15	S60 12/15	S61 12/15

暴露試験開始：昭和58年12月16日



写2：試験片腐食状況（工試）



写3：試験片腐食状況（拓南）

表一 3 市販ボルト暴露試験外観々察結果

試料名	工 試 (海岸より約 2 km)		拓 南 (海より約 50 m)	
	SS 材 基 盤	ベークライト材基盤	SS 材 基 盤	ベークライト材基盤
地区 1	光沢減少(小)、点状黒変(小)	光沢減少(小)、点状黒変(小)	光沢減少(小)、点状黒変(小)	光沢減少(小)、点状黒変(小)
3	光沢減少(中)、ワッシャー部さび(小)	光沢減少(中)、点状黒変(小)	光沢減少(中)、ワッシャー部に赤さび	光沢減少(中)、点状黒変(小)
6	さびの進行あり、部位による差は殆んどなし	ボルト各部に均一なさび	ボルト頭部、下部ワッシャー部にさび大	ナット部と下部ワッシャー部にさび大
12	ナット部に白さび、ワッシャー部に赤さび	ナット部、ワッシャー部に赤さび	ネジ部以外斑点状赤さび	同 上
24	頭部、ボルトしめつけ部以外は赤さびと白さび	頭部、ボルトしめつけ部は赤さびと白さび	ボルトしめつけ部以外は赤さび	ボルトしめつけ部以外は赤さび
36	ワッシャーの外周は赤さび、ボルト残部は白さび	頭部は白さびと一部赤さび	ワッシャーと頭部のしめつけ面はさびなし	ワッシャーと頭部のしめつけ面はさびなし
1	光沢変化なし、さびなし	光沢減少なし、さびなし	光沢減少(小)、さびなし	光沢減少(小)さび発生(頭部)
3	光沢減少(中)、ワッシャー部、ナット部にさび	光沢減少(小)、ナット部にさび	光沢減少(小)、ナット部等にさび発生	さび進行、SS基盤よりさび少
6	同上、更に進行	同上の進行、ワッシャー部はSSより少い	頭部、ワッシャー部、ナット部にさび発生	同上の進行
12	頭部、その他に点さび発生	頭部、ナット部、ネジ部に点さび	同上の進行	頭部、ナット部、ネジ部に点さび
24	ボルトのしめつけ部以外は赤さびの初期	しめつけ部以外はさびの初期発生	ボルトしめつけ部以外は赤さびの初期	しめつけ部以外はさびの初期
36	同上、ボルトしめつけ部に赤さび	しめつけ部は光沢あり	ボルトしめつけ残部は赤さびの初期	同上の進行

ステンレスの場合、上記2種のボルト程明らかな差はみられなかった。分析の結果から、供試料はJIS B 1054で規定されたオーステナイト系A₂区分のステンレス鋼とみられ、相応の耐食性を有しているものと考えられる。

一方、基材のちがいによる腐食減量の差についてであるが、ペークライト基材より、SS基材の方がやゝ多いとみられるものの、明らかな差はみられなかった。

異種金属の接触による腐食という観点では、当然SS基材の方がさびやすくなると考えられるが、限られたサイズの試験片では実際の構造物などとは異なる面があるとも考えられる。

3.2 重量変化について

さびは環境中の水素や酸素その他の物質が金属と化合して腐食生成物をつくるのであるから、これが脱落しない限り重量が増加することになる。

ハイテンボルトのような比較的さびの早いものは脱落も早いので、長期の増量測定には向かない。ここでは、亜鉛めっきボルトとステンレスボルトを対象として、増量を測定したが、ステンレスの場合、3カ年間では顕著な増量はみられなかった。

亜鉛めっきについては図-1および表-7に示したとおりである。図-1についてみると、陸地部の試料(No.1.2)は24カ月まで増加し、36カ月まで減少を示さないのに対し、海岸線での試料(No.3.4)は大きく変動している。試料No.3とNo.4とは逆の変量を示しているが、No.3は腐食生成物が脱落してまたつきだしたのに対し、No.4はその逆であると解釈すれば、これは結局のところ、亜鉛めっきが海塩粒子に対して強くない証拠といえるであろう。

3.3 腐食減量について

さびの程度は外観々察だけでは十分に表現できない。そこで、腐食生成物を除去して、これを単位表面積あたりの減量として示した。このときの除錆法は次のとおりである。

3.3.1 除錆の方法

(1) ハイテンボルトの除錆法：市販の塩酸系除錆剤(ラスパーM7, 丸与産業)により次の手順で除錆した。

- ①ラスパーM7に浸漬して除錆 ②超音波水洗 ③メタノール洗浄 ④乾燥 ⑤評量

表-4：SS材基盤による
腐食減量(g/dm²)

M	P S	工 試			拓 南		
		ハイテン	Znめっき	ステン	ハイテン	Znめっき	ステン
3		0.75	-	-	1.30	-	-
6		1.63	-	-	2.26	-	-
12		1.83	0.03	0.02	2.59	0.37	0.035
24		2.62	0.20	0.02	3.32	0.84	0.025
36		2.72	0.19	0.02	3.59	0.67	0.025
Hi/Zn		2.72/0.19 ≒ 14			3.59/0.67 ≒ 5		
Zn/ステン		0.19/0.06 ≒ 10			0.67/0.025 ≒ 27		
T/K		(1)ハイテン1.3 (2)Znめっき3.5 (3)ステン1.3					

表-5：ペークライト基盤による
腐食減量(g/dm²)

M	P S	工 試			拓 南		
		ハイテン	Znめっき	ステン	ハイテン	Znめっき	ステン
3		0.83	-	-	1.30	-	-
6		1.76	-	-	2.57	-	-
12		1.77	0.18	0.01	2.34	0.32	0.035
24		2.39	0.17	0.02	3.09	0.24	0.020
36		2.52	0.06	0.01	3.03	0.54	0.020
Hi/Zn		2.52/0.06 ≒ 42			3.03/0.54 ≒ 5.6		
Zn/ステン		0.06/0.01 ≒ 6			0.54/0.020 ≒ 27		
T/K		(1)ハイテン1.2 (2)Znめっき9 (3)ステン2					

(2) ステンレスボルトの除錆法

市販のステンレス用除錆剤（硝酸系、MS-10、丸与産業）を用いて、ハイテンと同じ手順で除錆した。

(3) 亜鉛めっきボルトの除錆法

①あらかじめ、予備サンプルを用いて、亜鉛めっき付着量の平均値を求めておく。②めっき付着量と鉄さびとをハイテンボルトと同様な方法により除錆する。③ブランク値であるめっき付着量を差引いて腐食量とする。

これらの腐食減量をそれぞれのボルトの表面積 1 dm^2 あたりに換算して表わし比較検討することとした。この場合、ボルトの1本セットは、ボルト1本、座金2枚、ナット1コでできているので、ボルトのネジ部を含めた全体の表面積を計算してこれを用いた。

3.3.2 腐食減量測定結果

(1) ハイテンボルト

図-2についてみると、暴露場所による差と、とりつけ基材による差が明らかに現われていると言える。36カ月時点における腐食減量を「工試」でのSS基盤の場合についてみると、既に調査された普通鋼板の腐食減量との比をとると $2.72:7.50 (\text{g}/\text{dm}^2)$ で、およそ4割の腐食量になるが、ボルトの場合、ワッシャー部やネジ部のような直接大気にふれない部分も表面積として計算されているため、これを考慮に入れると、実際腐食量は更に大きくなるものと考えられる。

(2) 亜鉛めっきボルト

亜鉛めっきボルトの場合はその経時変化は単純ではない。暴露地別では海岸線が圧倒的に多いといえるほか、基盤別ではやはりベークライトの腐食量が下まわっている。拓南の暴露地における供試料No.3とNo.4は腐食増量の項で述べたような理由に基づくものと考えられる。

(3) ステンレスボルト

これについても地域別差と基盤別差は前述のとおりであるが、腐食量の絶対値が、漸増せず一定値あり、ピーク値あり、漸減ありの結果となっている。これは、供試料の腐食量そのものの値が極微量であるため、測定誤差およびその他の誤差によることも考えられる。

(4) 供試料間の腐食減量の比較

表-4および表-5に基盤別腐食減量を示し、供試料間および暴露地間の比較を示した。

陸地部（工試）についてみると、ハイテン対亜鉛めっきは両基盤とも同様な値を示し、亜鉛めっきに対して裸ボルトのさび量が多い結果を示している。海岸線（拓南）についてみると、両者の差が大きく縮まる結果を示している。これは海岸線では亜鉛めっきの効力が十分に発揮されない結果によるものと考えられ、亜鉛めっきボルトの使用について考慮すべきことと思われる。このことは亜鉛めっき対ステンレスの腐食量比で、陸地部より海岸線の方が大きな値を示していることによっても理解できよう。

結局、海岸線と陸地部との比較を全体的に、定量的に比較するため、各供試料の36カ月時の腐食量について拓南/工試の値を求めた結果、ハイテンおよびステンレスについては1.2~2.0の値を示したのに対し、亜鉛めっきについては3.5~9.0の値を示した。すなわち、亜鉛めっきは海塩粒子環境では腐食しやすいという結果が定量的に把握されたといえる。

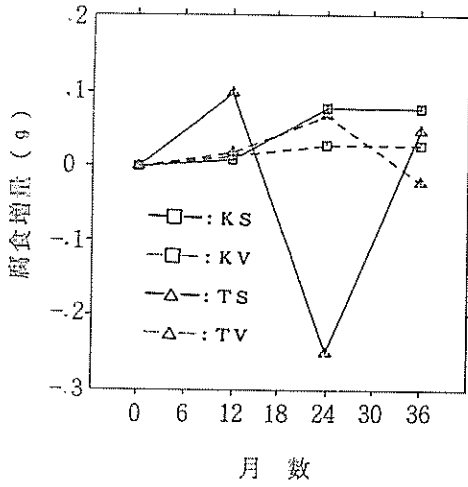


図-1：亜鉛めっきボルトの腐食増量

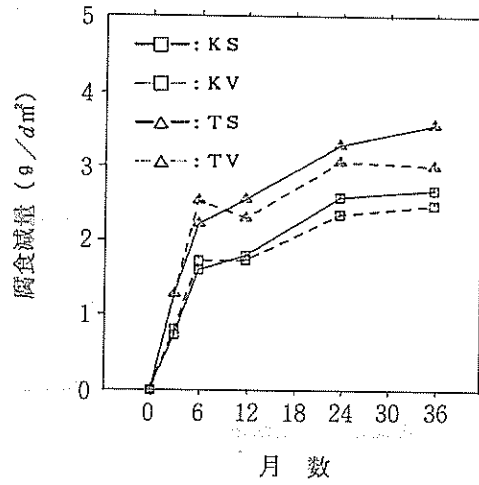


図-2：ハイテンボルトの腐食減量経時変化

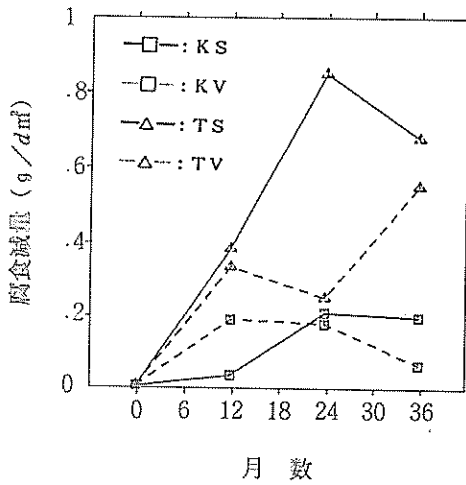


図-3：亜鉛めっきボルトの腐食減量経時変化

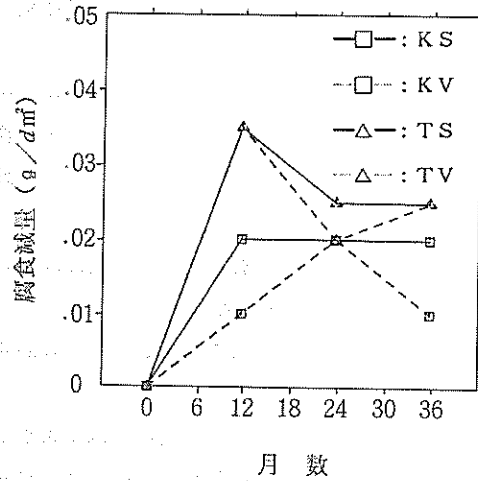


図-4：ステンレスボルトの腐食減量経時変化

- 凡 例
- : KS → 工試, SS 基盤
 - : KV → ク, ベークライト基盤
 - △- : TS → 拓南, SS 基盤
 - △- : TV → ク, ベークライト基盤

表-6 : ハイテンボルト暴露試験結果

バクロ月数	試料名	バクロ前 (g) W_1	除錆後 (g) W_2	腐食量(1) (g) $W_1 - W_2$	腐食量(2) g / dm^2	腐食量(3) (平均 g / dm^2)
3	K-2-1-SS	190.03	189.25	0.78	0.68	0.75
	K-2-2-SS	190.31	189.37	0.94	0.82	
	K-2-1-V	190.44	189.35	1.09	0.95	0.83
	K-2-2-V	190.12	189.32	0.80	0.70	
	T-2-1-SS	190.46	188.90	1.56	1.36	1.30
	T-2-2-SS	190.95	189.53	1.42	1.24	
	T-2-1-V	190.72	189.24	1.48	1.29	1.30
	T-2-2-V	191.29	189.78	1.51	1.31	
6	K-3-1-SS	190.67	188.72	1.95	1.70	1.63
	K-3-2-SS	190.68	188.90	1.78	1.55	
	K-3-1-V	190.69	188.59	2.10	1.83	1.76
	K-3-2-V	190.47	188.54	1.93	1.68	
	T-3-1-SS	190.63	188.22	2.41	2.41	2.26
	T-3-2-SS	190.32	187.90	2.42	2.11	
	T-3-1-V	191.50	188.02	3.48	3.03	2.57
	T-3-2-V	190.39	187.96	2.43	2.11	
12	K-4-1-SS	190.61	188.45	2.16	1.88	1.83
	K-4-2-SS	189.67	187.62	2.05	1.78	
	K-4-1-V	190.58	188.58	2.00	1.74	1.77
	K-4-2-V	190.21	188.13	2.08	1.81	
	T-4-1-SS	190.79	187.78	3.01	2.62	2.59
	T-4-2-SS	190.96	188.03	2.93	2.55	
	T-4-1-V	190.34	187.63	2.71	2.36	2.34
	T-4-2-V	191.19	188.51	2.68	2.33	
24	K-5-1-SS	190.23	187.23	3.00	2.61	2.62
	K-5-2-SS	190.77	187.73	3.04	2.64	
	K-5-1-V	190.17	187.41	2.76	2.40	2.39
	K-5-2-V	190.75	188.01	2.74	2.38	
	T-5-1-SS	190.98	187.12	3.86	3.36	3.32
	T-5-2-SS	190.08	186.31	3.77	3.28	
	T-5-1-V	190.06	187.47	3.59	3.12	3.09
	T-5-2-V	190.86	187.35	3.51	3.05	
36	K-6-1-SS	190.44	187.28	3.16	2.75	2.72
	K-6-2-SS	190.20	187.12	3.08	2.68	
	K-6-1-V	190.15	187.24	2.91	2.53	2.52
	K-6-2-V	190.66	187.78	2.88	2.51	
	T-6-1-SS	190.99	186.79	4.20	3.65	3.59
	T-6-2-SS	190.00	185.94	4.06	3.53	
	T-6-1-V	191.43	187.91	3.52	3.06	3.03
	T-6-2-V	190.97	187.55	3.42	2.98	

注) 1. ハイテンボルトの表面積 $1.15 dm^2 / 1 本$

2. 腐食量(3)は各試料2個の平均値

表-7 : Znめっきボルトの暴露試験結果

バクロ月数	試料名	バクロ前 (g) W ₁	バクロ後 (g) W ₂	除錆後 (g) W ₃	バクロ増量 (g) W ₂ - W ₁	減量 (g) W ₁ - W ₃	腐食量(1) (B値を引く)	腐食量(2) (g/dm ²)	腐食量(3) (平均値)
12	K-4-1-SS	152.49	152.50	151.78	0.01	0.71	0.04	0.00	0.03
	K-4-2-SS	152.73	152.73			-	-	-	
	K-4-1-V	153.11	153.12	152.19	0.01	0.92	0.25	0.21	0.18
	K-4-2-V	152.23	152.25	151.38	0.02	0.85	0.18	0.15	
	T-4-1-SS	152.41	152.48	151.34	0.07	1.07	0.40	0.34	0.37
	T-4-2-SS	152.27	152.40	151.11	0.13	1.16	0.49	0.41	
24	T-4-1-V	151.38	151.40	150.39	0.02	1.99	0.32	0.27	0.32
	T-4-2-V	151.79	151.82	150.68	0.02	1.11	0.44	0.37	
	K-5-1-SS	150.94	151.02	150.15	0.08	0.79	0.12	0.10	0.20
	K-5-2-SS	151.19	151.27	150.16	0.08	1.03	0.36	0.30	
	K-5-1-V	151.72	151.76	150.81	0.04	0.91	0.24	0.20	0.17
	K-5-2-V	152.74	152.76	151.91	0.02	0.83	0.16	0.13	
T-5-1-SS	152.70	152.20	150.67	0.50	2.03	1.36	0.14	0.84	
T-5-2-SS	150.72	150.73	149.39	0.01	1.33	0.66	0.55		
36	T-5-1-V	152.77	152.88	151.76	0.11	1.01	0.34	0.29	0.24
	T-5-2-V	153.29	153.31	152.38	0.02	0.91	0.24	0.20	
	K-6-1-SS	153.28	153.37	152.36	0.09	0.92	0.25	0.21	0.19
	K-6-2-SS	151.58	151.65	150.69	0.07	0.89	0.22	0.18	
	K-6-1-V	151.70	151.73	151.02	0.03	0.68	0.01	0.01	0.06
	K-6-2-V	152.82	152.91	152.01	0.03	0.81	0.14	0.12	
T-6-1-SS	151.26	151.30	149.65	0.04	1.61	0.94	0.79	0.67	
T-6-2-SS	151.88	151.94	150.56	0.06	1.32	0.65	0.55		
T-6-1-V	154.84	154.90	153.67	0.06	1.17	0.50	0.42	0.54	
T-6-2-V	156.10	156.01	154.64	-0.09	1.46	0.79	0.66		

- 注) 1. Znめっきボルトの表面積 (平均)、1.19 dm²/1本
 2. Znめっき付着量 (Blank 値平均) 0.67 g/1本
 3. 腐食量(3) は各試料2個の平均値

表-8 : ステンレスボルトの暴露試験結果

バクロ月数	試料名	バクロ前 (g) W ₁	除錆後 (g) W ₂	減量 W ₁ - W ₂	腐食量(1) (g/dm ²)	平均値 (g/dm ²)
12	K-4-1-SS	142.55	142.53	0.02	0.02	0.02
	K-4-2-SS	144.21	144.19	0.02	0.02	
	K-4-1-V	143.57	143.56	0.01	0.01	0.01
	K-4-2-V	143.47	143.46	0.01	0.01	
	T-4-1-SS	142.83	142.81	0.02	0.02	0.035
	T-4-2-SS	143.39	143.34	0.05	0.05	
24	T-4-1-V	143.06	143.02	0.04	0.04	0.035
	T-4-2-V	144.46	144.43	0.03	0.03	
	K-5-1-SS	144.51	144.49	0.02	0.02	0.02
	K-5-2-SS	144.2	144.18	0.02	0.02	
	K-5-1-V	142.9	142.88	0.02	0.02	0.02
	K-5-2-V	143.87	143.85	0.02	0.02	
36	T-5-1-SS	144.11	144.08	0.03	0.03	0.025
	T-5-2-SS	142.19	142.17	0.02	0.02	
	T-5-1-V	142.18	142.16	0.02	0.02	0.02
	T-5-2-V	144.16	144.14	0.02	0.02	
	K-6-1-SS	145.67	145.65	0.02	0.02	0.02
	K-6-2-SS	143.17	143.15	0.02	0.02	
36	K-6-1-V	142.95	142.94	0.01	0.01	0.01
	K-6-2-V	144.4	144.38	0.02	0.01	
	T-6-1-SS	141.88	141.85	0.03	0.03	0.025
	T-6-2-SS	143.04	143.02	0.02	0.02	
	T-6-1-V	143.51	143.49	0.02	0.02	0.025
	T-6-2-V	144.29	144.26	0.03	0.03	

- 注) 1. ステンレスボルトの表面積 1.02 dm²/1本
 2. 平均値は各試料2個の平均値

4. まとめ

3カ年間にわたるボルトナットの大気暴露試験の結果、次の諸点が明らかにされた。

- 1) ハイテンボルトの腐食減量はSS鋼材の約4割程度と測定されたが、試験片のちがいで見ると、実際にはそれ以上の腐食量であろう。
- 2) 亜鉛めっきボルト（付着量 $56\text{ g}/\text{m}^2$ ）の場合、全面赤さびの発生までの期間は海岸部で約1年、陸地部では約2年である。
- 3) ステンレスボルトの場合、3カ年間の暴露期間内では、海岸部と陸地部との腐食量はハイテンボルト等のように大差がみられない。
- 4) ボルトとりつけ基盤が金属の場合とプラスチック材の場合では、前者の方がボルト腐食量は大きい。
- 5) 供試料の腐食量を海岸部対陸地部の比で見ると、ハイテン及びステンレスは1.5倍前後であるのに対し、亜鉛めっきは数倍にもなる。
- 6) すなわち、亜鉛めっきボルトは海塩粒子環境では陸地部に較べて腐食量が大きく、耐食性の面で過大評価は禁物であるといえる。

5. あとがき

本調査研究は(財)地域産業技術振興協会による「昭和58年度機械装置・機械部品の防錆技術に関する標準化調査研究」の一環としてスタートしたものであり、研究を推進していただいた同協会に敬意を表するとともに、研究の実施にあたって、暴露地および暴露台の提供をいただくなど、種々のご協力をいただいた拓南製鉄株式会社に対し、深く感謝の意を表します。

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。