

建築材料の各種温泉による腐食に関する研究

松 本 俊 夫*

On Deterioration of Building Materials under Various Hot Spring Areas

By Toshio Matsumoto*

Synopsis: Among the researches into deterioration of building materials through the chemical action, the author have researched into the questions of corrosion or decay under various hot spring areas. Several building materials were soaked in the hot water and exposed to fumes for a certain time at the hot spring areas, and solved a little about the rates of deterioration by weighing the loss in weight of each materials. Furthermore investigated several building materials at the hot spring areas, and secured the fundamental data for the protection from deterioration.

要 旨 建築材料の化学的腐食に関する研究のうち、今回は温泉による腐食の問題をとり上げて研究を行った。数種類の建築材料を温泉に直接浸漬したり、また蒸気中に曝露して実験を行ない、重量減少率により腐食の程度を明らかにした。また、現地における建築物について食害の調査を行ない、防食対策の基礎的資料を作成した。

1. 緒 論

建築材料の化学的腐食として、塩害、煙害、化学薬品工場の硫酸、塩酸、硝酸等による食害の問題があるが、今回は各種成分の温泉による、コンクリート、金属、木材等の腐食に関する問題を取り上げ、実際に各種材料を温泉の湯中に浸漬せしめ、また湯より昇る蒸気に曝露せしめて腐食のすすみ方を調べた。さて、酸性泉においてはコンクリートも金属も食害が激しく、中性泉、アルカリ泉においては酸食は起らないが、湿気による木材や金属の腐食が大きく、壁・天井等の汚れも問題になる。最近ではレジンモルタルや樹脂ライニング等の発達でこれらの腐食が防止されるようになったが、未だに問題となる点が多い。そこで、温泉地における建築物の被害の状況をも調査した。今回行なった研究は予備的なものであり実験の内容も正確さに欠けるところがあるが、ここに概要を報告する。

2. 各種温泉における建築材料の腐食実験

2.1 使用材料

試験する材料として、セメントモルタル、木材、鋼、

アルミニウム合金、黄銅、塩化ビニルを選んだ。

セメントモルタルの寸法は $4 \times 4 \times 16$ cm の直方体で、割合はセメント：砂 = 1 : 2 で水セメント比が 65%、普通ポルトランドセメントと山口県豊浦産の標準砂を使用した。尚、28日間の標準養生の後に試験に供した。

木材の寸法は $2 \times 2 \times 4$ cm の直方体で、樹種は松、杉、桧の 3 種を選んだ。

アルミニウム合金材の材質は 6063-T₅ で、寸法が $70 \times 23 \times 10 \times 3$ mm の形材で長さは 150 mm、表面処理として硫酸皮膜処理を行なったもので、膜厚は $13.0 \sim 13.5 \mu$ で蒸気による封孔処理を行なっている。

鋼は $\phi 19$ mm、長さ 250 mm の丸棒で、SS 材を使用した。

黄銅は $\phi 10$ mm、長さ 200 mm の黄銅棒 2 種を使用した。

塩化ビニルは $\phi 50$ mm、長さ 150 mm のパイプで、成分は PVC 98%、残分が安定剤（鉛系）、顔料（カーボンブラック）である。

2.2 実験方法

移動実験室に改造したマイクロバスで試験体を現地まで運搬した。試験体はビニルの紐でビニル製のかごの中に固定した。試験地として草津温泉、鹿沢温泉、田沢温泉を選び、試験体を入れたかごを設置する場所は、湯の中

* 建築学教室 講師

Instructor, Architectural Division

表 2-1 普通ポルトランドセメントの試験成績表

(小野田社中央研究所)

比 重	粉 末 度		凝 結			安 定 性
	比 表 面 積 (cm ² /g)	88 μ 残 分 (%)	水量 (%)	始発 (時分)	終結 (時分)	
3.16	3080	1.4	26.2	2—27	3—30	～

フ ロ ー 値	強 さ					
	曲 げ 強 さ (kg/cm ²)			圧 縮 強 さ (kg/cm ²)		
	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
246	31.3	49.6	70.2	121	224	412

化 学 成 分 (%)								
ig. loss	insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	合 計
0.5	0.1	22.1	5.1	3.2	65.8	1.3	1.7	99.8

表 2-2 鍛造用黄銅棒 JIS H 3423

2 種 BsBF 2	化 学 成 分 (%)				引 張 強 さ (kg/mm ²)	伸 び (%)
	Cu	Pb	Fe+Sn	Zn		
	57.0—61.0	0.5—2.5	1.5 以下	残 部	32以上	15以上

表 2-3 草津温泉湯畑の湯分析表

所在地	群馬県吾妻郡草津町大字草津字白根甲464番の1					
性 状	無色澄明にして酸性反応を呈し鹹味並に収飲味を有す。泉温 65.0℃ pH 1.5 蒸発残渣 2.879 g/l 含流化水素 酸性明礬緑礬泉					
H ⁺	0.0195 g/l	Cl ⁻	0.7528 g/l			
NH ₄ ⁺	0.0008	HSO ₄ ⁻	1.8789			
K ⁺	0.0233	SO ₄ ⁼⁼	0.1042			
Na ⁺	0.0297	HPO ₄ ⁼⁼	0.0082			
Ca ⁺	0.0825		2.7441			
Mg ⁺⁺	0.0324					
Mn ⁺⁺	0.0007					
Fe ⁺⁺	0.0306	H ₂ SiO ₃	0.2803			
Fe ⁺⁺⁺	0.0000	HBD ₂	0.1423			
Al ⁺⁺⁺	0.1212	H ₂ S	0.0055			
	0.3457	合 計	3.5179			

と蒸気の当る所の2個所とした。試験材令は、10日、30日、90日、365日とし、逐次取り出して試験を行なった。試験体は予め全乾重量を秤定しておき、次式により重量減少率を算定して腐食の程度を比較した。

$$\text{重量減少率} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100(\%)$$

表 2-4 鹿沢温泉塩類表

所在地	群馬県吾妻郡嬭恋村大字田代 684番地の2	
性 状	無色澄明にして微に清味を有し微弱酸性(ロゾール酸)の反応を呈す。源泉温度45.5℃ pH 6.30 (18°比色法) 6.35 (18°キンヒドロ	
	ン電池法)	
KCl	14.72 mg/kg	
NaCl	36.99	
NaHCO ₃	901.2	
Ca(HCO ₃) ₂	269.0	
Mg(HCO ₃) ₂	514.9	
Fe(HCO ₃) ₂	5.708	
AlCl ₃	6.775	
Al ₂ (SO ₄) ₃	3.726	
HBO ₂ (meta)	2.0	
H ₂ SiO ₃ (meta)	196.6	
	1,955	
CO ₂	164.4	
	2,119	

W₁…健全材の全乾重量

W₂…腐食材の全乾重量

試験体はそれぞれ3個ずつ用意して平均値をとった。

表 2-5 田沢温泉塩類表

所在地	長野県小県郡青木村大字田沢2694番地の2
性状	無色澄明にして微に硫化水素臭を有しアルカリ性（フェノールフタレイン）の反応を呈す。
源泉温度	40℃
pH 9.30(18°比色法)	9.30(18°水素ガス電池法)
KCl	6.133 mg/kg
NaCl	82.88
Na ₂ SO ₄	74.03
NaHCO ₃	22.17
NaHS	15.21
CaCO ₃	17.09
Ca(HCO ₃) ₂	18.84
MgCO ₃	1.688
Mg(OH) ₂	8.8558
Fe(HCO ₃) ₂	0.535
Al ₂ (SO ₄) ₃	9.82
HBO ₂ (meta)	1.0
H ₂ SiO ₃ (meta)	39.75
	298.2

2.3 実験の結果と考察

実験の結果は表2-6、図2-1～5に示す通りである。

木材についてみると、温泉別では草津（酸性）の影響が大きく出ており、鹿沢（弱酸性）、田沢（弱アルカリ性）は共に同様な傾向を示している。湯中と蒸気中との差は草津においては明瞭だが、他の温泉では明らかでない。樹種別では、桧材が杉材と同程度であり、松材は特に草津における腐食が大きかった。試験体を観察すると、木口から先におかされて、秋材の硬い部分だけ残して穴のあいた形になり、木口の角がとれてしまった。材令がすすむと春材部が凹み、秋材部が浮き出てきて全体が柔軟になった。表面の色も白変した。しかし、田沢においては大きな変化は見られなかった。

セメントモルタルについてみると、酸性泉による腐食が激しく、蒸気中より湯中の影響の方が大きいことが明らかである。弱アルカリ泉と弱酸性泉における影響は同程度であった。腐食がすすむと表面のセメントの色が消えて、標準砂の黄色が現れて極めて脆くなった。これは水酸化石灰の溶出した結果と考えられる。モルタル断面を調べると、4×4 cmであった断面が、草津湯中90日浸漬の結果、約3.5×3.5 cmの断面になっていた。また、草津蒸気中 365日のモルタル断面はおかされてない部分で約3.7×3.7 cmになった。田沢湯中 365日浸漬したモルタルの健全材部分は約3.4×3.4 cmになった。しかし、田沢の場合はモルタル表面の色の変化は微少で、切

断面を見ることにより健全材部分と腐食部分との区別が出来る程度で、強度的にも草津の場合ほど脆くはなっていなかった。

鋼についてみると、草津湯中の浸漬30日から90日の間で完全に消失した。その他の条件では、錆が発生して変色し表面が粗くなったが、錆を除去しない限りでは、かえって重量が増加した。草津湯中10日で、φ19 mmの鉄筋がφ16 mm位になり、同30日でφ8.5mm位になった。

アルミ合金についても鋼の場合と同様に草津湯中以外での重量減少はほとんどなかった。草津湯中では90日でほとんど消失してしまった。草津湯中10日で厚さは約0.4 mm減少し、同30日で約0.9 mm減少した。全体的

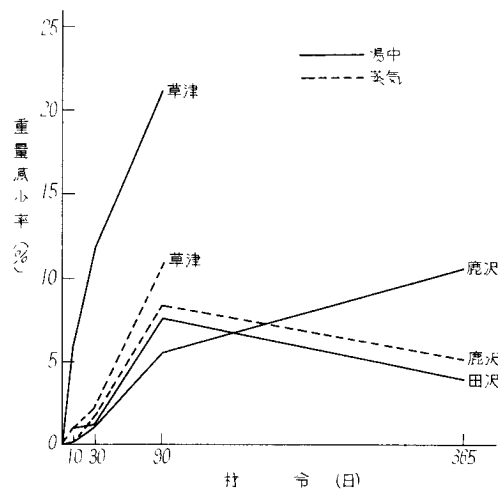


図 2-1 松材の重量減少率

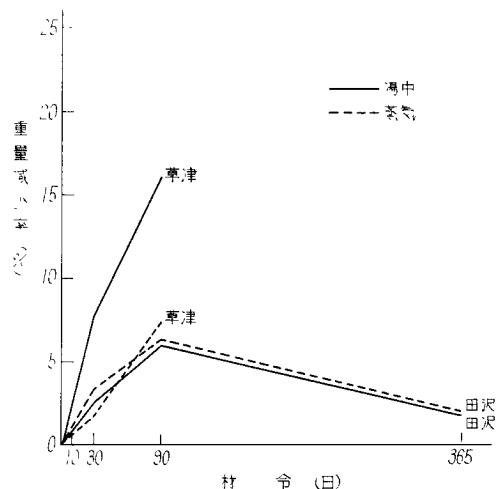


図 2-2 杉材の重量減少率

表 2-6 各種材料の重量減少率

材料の種 類			温泉地	腐食条件	材令別の重量減少率（％）				材料の種 類			温泉地	腐食条件	材令別の重量減少率（％）			
					10 日	30 日	90 日	365日						10 日	30 日	90 日	365日
木	松	草津	湯中蒸気	5.59 1.05	11.80 2.29	21.26 10.81	— —	鋼	草津	湯中蒸気	30.88 -0.13	76.32 -0.49	100.00 -2.68	100.00 —			
		鹿沢	湯中蒸気	0.92 0.63	1.18 1.96	5.61 8.50	10.79 5.19		鹿沢	湯中蒸気	0.04 -0.04	0.12 -0.10	0.14 -0.25	0.44 -0.32			
		田沢	湯中蒸気	1.02 0	1.30 0	7.64 2.76	4.07 0		田沢	湯中蒸気	0 -0.02	0.02 -0.01	0.04 -0.12	1.18 0.53			
	杉	草津	湯中蒸気	— —	7.95 1.72	16.28 7.52	— —	アルミ合金	草津	湯中蒸気	13.85 -0.03	41.28 -0.05	93.48 0.03	100.00 0.37			
		田沢	湯中蒸気	— —	2.62 3.37	5.27 5.48	2.08 2.28		鹿沢	湯中蒸気	0 0	-0.15 -0.05	-0.01 -0.01	0 0			
	材	桧	草津	湯中蒸気	1.45 1.57	8.77 2.75	16.59 10.35	— —	田沢	湯中蒸気	0 0	0 0	0.02 0	-0.01 0			
鹿沢			湯中蒸気	2.21 0.89	1.50 2.43	7.10 7.87	7.55 4.21	黄 銅	草津	湯中蒸気	0.11 0.84	0.21 1.45	0.32 1.98	— —			
田沢			湯中蒸気	3.90 2.17	1.71 —	6.01 3.38	5.29 3.38		鹿沢	湯中蒸気	0 -0.01	0.01 -0.03	0.02 -0.03	-0.19 -0.02			
セメントモルタル	草津	湯中蒸気	0.69 0.56	9.48 1.16	24.60 3.77	— 9.41	田沢	湯中蒸気	0 0	-0.12 -0.02	-2.11 -0.04	0.93 0.09					
	鹿沢	湯中蒸気	0 1.25	4.93 2.26	8.91 4.55	10.81 7.48	塩化ビニル	草津	湯中蒸気	-0.05 0	-0.08 0	-1.05 0	— —				
	田沢	湯中蒸気	1.62 1.00	4.49 1.80	8.90 3.59	9.98 4.13		鹿沢	湯中蒸気	0 0	-0.20 -0.05	0 0	0 -0.50				
								田沢	湯中蒸気	0 0	-0.07 0	0 0	-0.75 0				

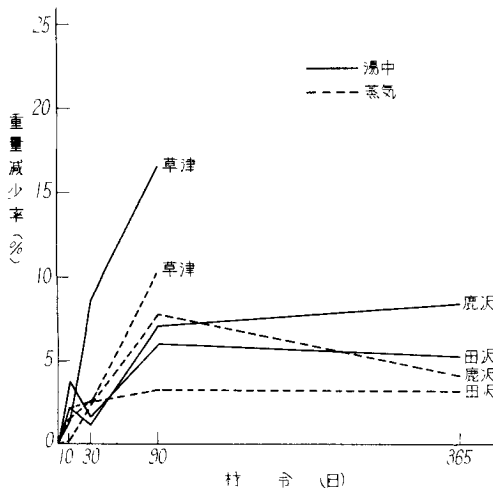


図 2-3 桧材の重量減少率

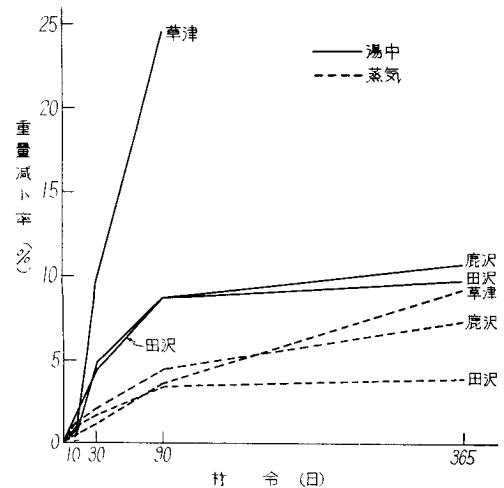


図 2-4 モルタルの重量減少率

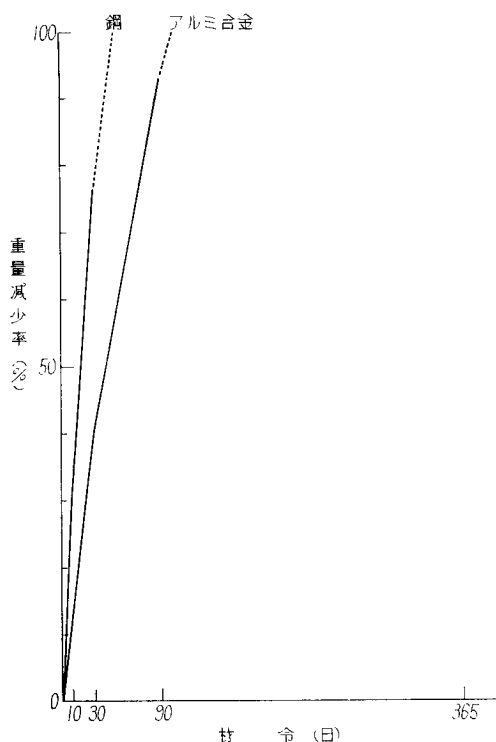


図 2-5 草津湯中における鋼およびアルミ合金の重量減少率

に光沢がなくなり、表面が粗くなった。草津蒸気中のは、材令30日で白色の点食が現われた。鹿沢では湯中、蒸気中ともに変化はなかった。田沢では蒸気中では変化が起らなかったが、湯中では90日で点食が出て光沢が薄れ始めた。

黄銅は他の金属材料に比較して重量減少は微少であった。ただ鍍の色は温泉によって異なっており、やはり草津における影響が大きかった。

塩化ビニルは黒変しただけで重量減少はなかった。

3. 各種温泉地に於ける建築物の調査

温泉地における建築物の腐食状況を知るため、草津温泉で4箇所、万座温泉で3箇所、鹿沢温泉で2箇所、田沢温泉で3箇所、合計11箇所について、特に浴室を中心として調査を行なった。

3.1 草津温泉における調査

木造の構造体の締付けボルト、建具金物類、蛇口、照明器具などに使用されている金属材料は全て腐食していた(写真3-1, 2)。浴場の内部に鉄骨骨組を露出せる建物は解体を迫られていた(写真3-3)。鋼製建具も10年を

経過して全く用をなさなくなっていた(写真3-4)。浴室の壁・天井のコンクリート面には水酸化石灰が溶出し、一部は破壊して剥落し始めていた(写真3-5, 6)。湿気でカビの発生している個所も見うけられ、木造で脱衣室と浴室の境の柱と敷居の仕口が腐食している例が多く見られた(写真3-7)。また、木造の塗装部分が剥落していた。石積み、タイル貼りなどの目地の腐食も目立った。比較的新しい建物では、基礎部分のコンクリートは耐酸処理を行ない、浴室ではレールに塩化ビニル、蛇口も塩化ビニル、タイル目地にレジンモルタル、天井・壁などにはエポキシ等の合成樹脂のコーティングを施して防食に努めている様であったが、それでも部分的に不用意な使い方をしている場合があった。脱衣室の床を釘打ちしたため、浮き上ってしまっている例もあった。

3.2 万座温泉における調査

20数年前に建てられた木造の浴室では、釘・かすがい等が腐食しており、板壁にカビが発生し変色していた。また、基礎の石造部分にヒビワレが入り、ぼろぼろになっていた(写真3-8)。ラワン材の建具に塗った塗料が剥がれていた(写真3-9)。数年前に建てられた鉄筋コンクリート造の建物で、浴室の建具、天井材にアルミを使用している例があり、点食が見られたが、まだ被害は微少であった。

3.3 鹿沢温泉における調査

浴室のタイル目地が腐食し、タイルが剥離しているのが目立った(写真3-10)。建具レールに鋼を用い、木製建具の塗料がはげている例があった。浴室内の壁に繊維板を貼ったために腐食してぼろぼろになっている個所があった。

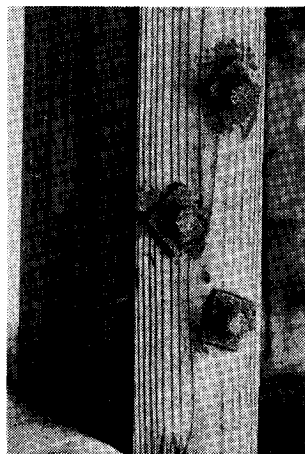


写真 3-1 木造締付けボルト

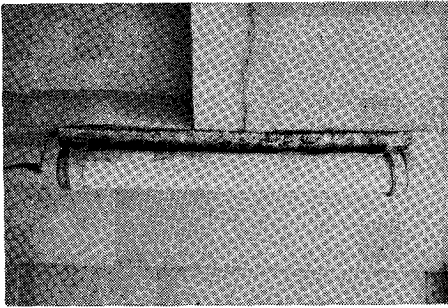


写真 3-2 浴室照明器具



写真 3-5 浴室天井

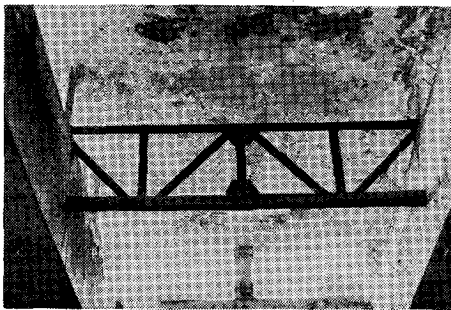


写真 3-3 鉄骨トラス (浴室上部)

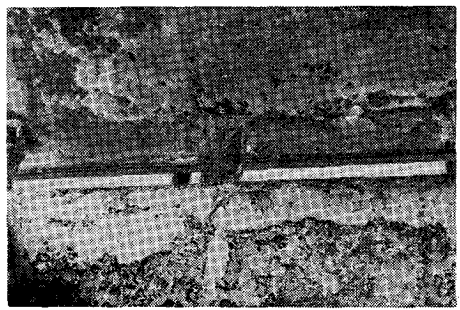


写真 3-6 浴室壁・天井

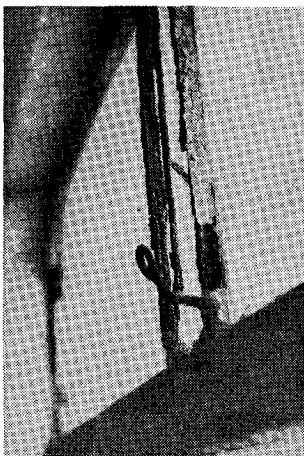


写真 3-4 鋼製建具

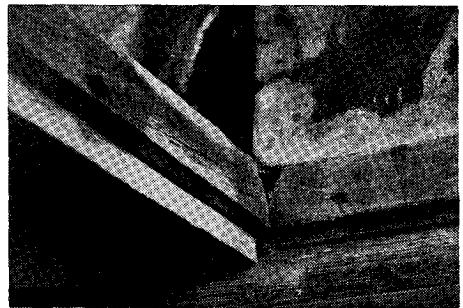


写真 3-7 柱と敷居の仕口 (脱衣室と浴室)

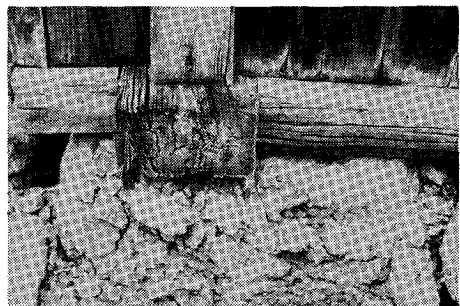


写真 3-8 基礎と土台

3.4 田沢温泉における調査

他と同様な食害が見られたが、影響は比較的軽微であった。浴槽の縁の研出し部分がおかされている例が見受けられた。

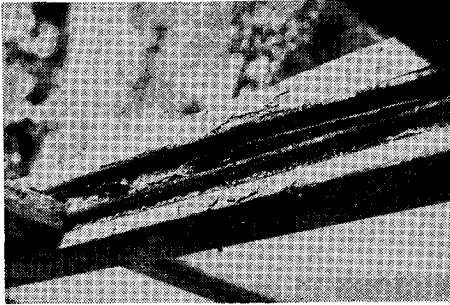


写真 3-9 木製建具と鋼製レール

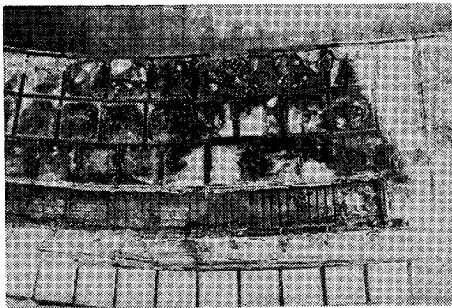


写真 3-10 浴室タイル

4. 総 括

今回の研究は限られた狭い範囲のものであったが、各種温泉における防食対策は共通の問題を含んでいると同時に、その温泉によって独自の問題もあることが明らかになった。現実には、特殊鋼、合成樹脂などを生かして種々の防食対策が講じられており、それに対して我々の研究は素材を用いた極く基本的なものであった。今回の実験をもとにして更に材料の基本的性状を追求する一方、厳しい環境条件において材料を如何に使用したら良いか、今後の研究によって明らかにしていきたい。

5. あ と が き

本研究は、故十代田三郎先生の御指導の下に始められたもので、先生はこの研究の途中で亡くられました。不備な点は多々ありますが、この論文を先生の霊に捧げます。

この研究を行なうに当り、勝畑安雄氏（竹中工務店技術研究所）、細谷氏（中央温泉研究所）、日軽アルミニウム工業、草津町役場、各温泉の旅館の方々、その他多数の方々の御協力をいただきました。また、建築学科学学生の町田和夫、玉井定道、山岸信蔵、堀口二三雄の諸君に実験をお願いしました。尚、本研究に対し国土館大学より特に補助金をいただきました。ここに謝意を表します。

（昭和43年9月30日 受理）