

強酸性温泉地の浴室改修工事

高橋久雄

芝田宏

(仙台支店建築部)

永井康淑

遠藤洋康

(旧山形工事事務所)

青木俊之

(仙台支店建築部)

Remodeling of Bathroom at Strongly Acidic Hot Springs

Hisao Takahashi Hiroshi Shibata

Yasuyoshi Nagai Hiroyasu Endo

Toshiyuki Aoki

Abstract

This paper reports on the condition of corrosion in a bathroom subjected to action of strongly acidic hot springs ($\text{pH} = 0.65$), selection of acid-resistant materials, and design and construction of the bathroom. The basic matters decided on were as follows. (1) The reinforced concrete structure is protected by acid-proof and waterproof boards. (2) Finish materials of the bathroom are to be exchangeable on acid damage. (3) The structure is protected by acid-resistant and waterproof boards for complete separation from the hot springs water. (4) The pipeline for the hot springs water is not embedded in concrete and considerations are given regarding acid resistance and watertightness to prevent short-circuit faults due to corrosion in the electricity system. (5) A ventilator fan is provided for forced ventilation. (6) Due to being in a cold area, the temperature difference between the interior and exterior of the room is great and both sides are protected by insulation materials to alleviate temperature stresses on the structure.

概要

この報文は $\text{PH}0.65$ の強酸性を有する温泉浴室の改修工事に伴ない調査した建築各部位の被害状況（竣工後7年経過）、耐酸性材料の選定、改修工事に関連する事柄をまとめたものである。改修にあたり定めた基本的な事柄は、(1)温泉地浴室への配慮より、仕上げ材は本石の使用が指示された、(2)本石は耐酸試験によって決定し、その他の仕上げ材も含め互換性に配慮する、(3)構造体は温泉水と完全に隔離するため、耐酸性不透水板で保護する、(4)設備配管はコンクリート中へ埋込まない、電気系統は侵食によるショート事故を防止するため耐酸性、水密性に配慮する、(5)強制換気をするため換気扇を設ける、(6)寒冷地にあるため浴室内外の温度差は大きく、構造体の温度応力を軽減するため、両側を断熱材で保護する、などである。これらの事項は酸性化学工場、等の設計にも役立つと考える。

1. 序

酸性温泉水は建物のいろいろな部位に使用されている仕上げ材、金属金具類、設備配管、等々のみならず、鉄筋、あるいはコンクリートを侵食して、建築の構造躯体を危機に陥し入れる。

本報告は強酸性で硫酸分の多い温泉によって被害を受けた保養所浴室の建築各部位の被害状況、ならびに耐酸材料の選定に関する事柄、改修工事に際しての設計・施工の概要をまとめたものである。

2. 改修前浴室の被害状況

本報告で扱う保養所浴室は山形県蔵王温泉に位置し、温泉水は強酸性 ($\text{PH}=0.65$) で硫酸分の多い（ほぼ1%硫酸溶液に相当）温泉で、その侵食作用は著しいものがある（温泉の主成分は表-2参照）。

改修前の浴室は本館から離れた別棟型式の鉄筋コンクリート造平家建、 69m^2 の規模を有する。その平面を図-1、表-1に示す。

2.1. 補修の経歴

侵食によって浴室内の仕上げ材は汚染し、剝離するので竣工後、数回にわたって補修をした模様で、その主なものは次の通りであった。

昭和40年 竣工

44年 浴室床の青鉄平石が崩壊したので、玄昌石に変えた。

45年 腰壁剝離のため裏側へエポキシ樹脂を注入し、補修した

その他 消防署の漏電検査の結果、電気配線関係を4回修理した。ステンレス製カランは機能を失なったため、塩ビ製のものに交換した。

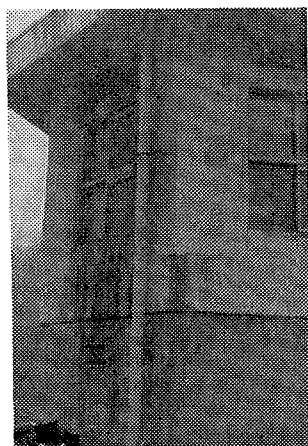
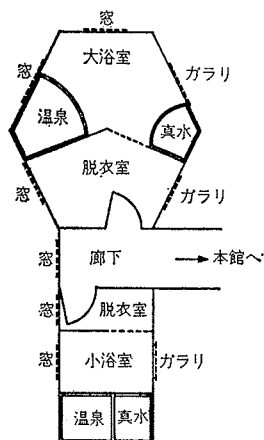
2.2. 浴室の被害状況

浴室まわりの仕上げ材、あるいは下地コンクリートの被害について目視観察した結果は次の通りである。

2.2.1. 外装 建物の外装は窓、ガラリーの下側が暗褐色に汚染した。これは温泉に含まれる酸性の侵食性成分、主として硫酸がレール、釘、その他の金具類を錆化させ、その錆が流れ出たためである。コンクリートの打継ぎ部（床スラブのレベル）にも同様の汚染が見られた。これは浴室仕上げ材、特に目地の不良箇所より浸透した温泉成分が打継ぎ部を通過して壁筋を腐食させ、更に外部へ流れ出たためである（写真-1）。

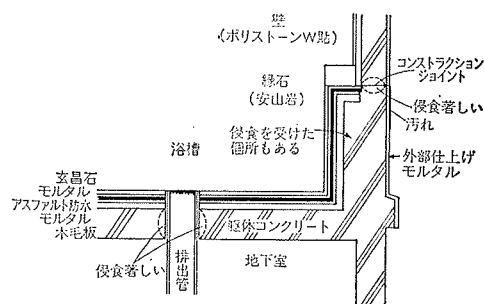
2.2.2. コンクリート 浴室床スラブを貫通する温泉排出管近傍および浴槽立上り部のアスファルト防水層の先端近傍は浸透した温泉成分によって著しく侵食され、コンクリートの一部は石こう化した。これはアスファルト防水層および排水管の耐酸処理が不備なために温泉水が裏側へまわり込み、逃げ場をなくしたまま存分に侵食した結果である。このように侵食の著しかったコンクリート周辺の鉄筋も激しい侵食を受けて断面を半減させるものもあった（図-2、写真-2）。

2.2.3. 金属金具類 釘、レール、蝶番、把手、吊りボルト・インサート（天井下地用）、スパーサー



部位別	浴室	浴槽	脱衣室
床	玄昌石荒磨	玄昌石	ヒバ椽甲板貼
下地処理	耐酸モルタル	アスファルト防水	
壁	ポリストーンW貼 (目地ウエザーパン)		ヒバ板壁貼
巾木			ラワンステンH80
腰壁 (立上り)	安山岩本磨 (鉄平石)	玄昌石	1部100口タイル貼
天井	フレキシブルシート6mm サニーコート吹付		フレキシブルシート6mm サニーコート吹付
その他		安山岩本磨 (鉄平石)	
温泉取入口			
ガラリー	木製O.P塗 サラン網張		木製O.P塗 サラン網張
スノコ			檜製
窓戸	木製O.P塗		木製O.P塗

表-1 改造前浴室の仕上げ一覧



(型枠用)が侵食を受けた。浴室・脱衣室間の出入口戸のステンレス蝶番は全面腐食し、アルミニウム製建具および把手は局部腐食(孔食)し、あるいは光沢を失なった。温泉蒸気に直接接触れ、結露環境にある釘、レール、等は激しく錆化して使用に耐えない。その他、天井裏の吊りボルト、壁コンクリート面に残るスパーサー、等にも発錆が見られ、温泉蒸気が天井裏、あるいは仕上げの裏側にまで浸透していたことが判る。ステンレス製カランは黒色に変色し、機能を失なって、塩ビ製と交換している。

2.2.4. 本石 浴室に使用した玄昌石は崩壊しているものが多く、今回の改造工事の発端になった。玄昌石は黒色粘板岩でスレートとも呼ばれる。堅く固結した薄片状の岩石で、堆積・圧密され、石灰質バインダーで一体化されたものである。このバインダーが温泉



成分の侵食を受けたと考える(写真-3, 4)。青鉄平石も同様に崩壊したが、これは岩石内に分布する鉄分が錆化・膨張

図-1 浴室の平面図

写真-1 建物外観と汚染状況

写真-2 浴室床スラブ下の被害

して崩壊したものである。

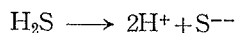
2.2.5. その他 木材は染がついたもの、あるいは腐朽したものがあつた。しかし、温泉成分の侵食とは無関係で、湿気によるものである。プラスチック類（樹脂名は不詳）は若干変色したものもあつたが、概ね健在であつた。目地材は変色し、かつ変質（収縮して隙間が生じているものが多い）しており、目地材としての機能は損なわれていた（写真—4, 5）。

浴槽部に使用したアスファルトは健全で、だれてゐる様子もなく、優れた耐酸材料と考える。しかし、納まり不良箇所がある場合、逆に非常な危険をもたらすことになるので注意が肝要である。

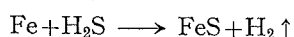
3. 酸性温泉のコンクリート、鉄筋への侵食作用

3.1. 温泉の侵食作用

コンクリート、鉄、等は酸性物質と化学反応し、水溶性の塩類を生成して、組織を崩壊させる。温泉に含有する成分でコンクリート、鉄、等に対し、特に侵食性の強いものとして H_2S 、 SO_4^{--} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、等があげられる。例えば、硫化水素は次のように電離して酸性度を増し（PH 値が小さくなる）、侵食性を増す。



また、セメント水和物の水酸化石灰（ $Ca(OH)_2$ ）および鉄は次のように反応して侵食される。



硫酸イオン（ SO_4^{--} ）は長期的にコンクリートを侵食する。これは $MgSO_4$ 、 Na_2SO_4 等の硫酸塩がセメント水和物と反応し、セメントパチルスを生成するため、膨張崩壊する。

PH	14~9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
酸性 アルカリ性	強アルカリ		弱アルカリ		弱酸		強酸			
コンクリート			弱侵食性		強侵食性		非常に強い侵食性			
鉄	不明		非侵食性		侵食性		非常に強い侵食性			

表—2 PH 値と侵食性

3.2. 酸性温泉の侵食性の検討

酸性温泉が侵食性を有しているか否かを大雑把に判断する目安として次の方法が考えられる。

（例1）温泉のPH 値（水素イオン濃度）が7 以下で低い値ほど侵食性は大きい（表—2）。

（例2）侵食性成分（ H_2S 、 SO_4^{--} 、 $HCO_3^-Cl^-$ 、etc.）の含有量が多いほど侵食性は大きい。例えば、DIN 4030ではコンクリートに対する水の侵食性判定基準として表—3の値を規定している。

（注）ランゲリアの判定法⁴⁾もあるが酸性の場合には皮膜形成が期待できない。

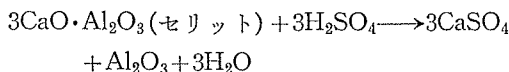
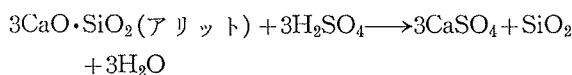
測定項目	侵食性		
	弱侵食性	強侵食性	非常に強い侵食性
石灰可溶性炭酸 (CO_2 mg/l)	15~30	30~60	60以上
マグネシウム (Mg^{++} mg/l)	100~300	300~1500	1500以上
硫酸塩 (SO_4^{--} mg/l)	200~600	600~3000	3000以上

表—3 侵食性判定基準（DIN4030）

3.3. 蔵王温泉の侵食性

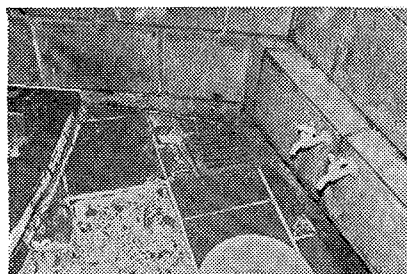
蔵王温泉は泉温47°C、無色清澄、硫化水素臭、強酸性を呈する。当浴室で採取した温泉を大林組技研が昭和47年に、更に最寄りの保健所が昭和33年に、それぞれ分析したものを表—4に示した。主成分の含有量が経時的に変化しており、その侵食性が変化し得ることを示している。蔵王温泉は硫酸による強酸性であることが特徴で、その侵食性は著しいと云える。コンクリートおよび鉄は硫酸と次のように反応して侵食される。

コンクリート・モルタルとの反応



成分名	含有量 (ppm)		(その他) 昭和47年大林技研分析 PH=0.65 全酸度 0.202N (eq/l) →0.99% (%) (硫酸換算濃度) 硫酸々度 0.186N (eq/l) →0.82% (%) (硫酸換算濃度)
	昭和47年	昭和33年	
Na ⁺⁺	125	94.4	
Ca ⁺⁺	81.2	75.0	
Mg ⁺⁺	81.2	18.6	
Cl ⁻	8.3	553.2	
SO ₄ ⁻	1050	639.1	
H ₂ S	26.5	43.5	

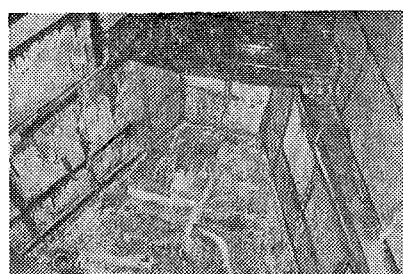
表—4 蔵王温泉の主成分



写真—3 浴室内の侵食状況

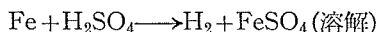


写真—4 浴室床の侵食状況



写真—5 浴槽目地の侵食状況

鉄との反応



コンクリート・モルタルの場合、硫酸との反応で硫酸塩(硫酸カルシウムCaSO₄)が生成し、溶解もしくはセメントパチルスを生じて膨張崩壊する。

4. 改造工事に使用する耐酸材料の選定

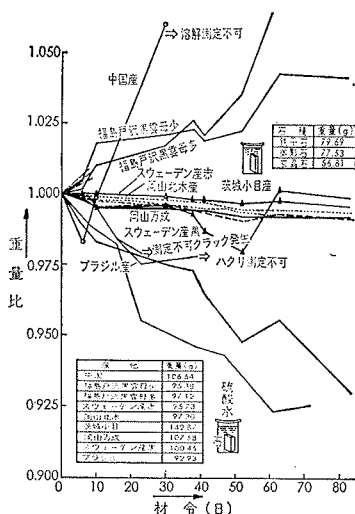
改造工事に際し、どのような材料を選び、使用すべきかを調査した。その方針は改造前浴室の被害状況を参考にして決めた。

4.1. 各種材料の耐酸試験

本石(玄昌石、鉄平石、みかげ石)、磁気タイル、目地材、FRV(ガラス繊維補強塩ビ成型板)の硫酸溶液浸漬試験を行なって耐酸性を検討した。表一2に示した温泉分析結果によれば、硫酸濃度換算値は約1%に相当する。実験室で行なった各種材料の浸漬試験は、当初、現地より採取した温泉水および10%硫酸溶液(反応を促進させるために10倍濃度にした)で実施した。その結果、両者の侵食状況は同程度であったため、以後の試験は10%硫酸溶液によった。液温は泉温に近い60°Cとした。

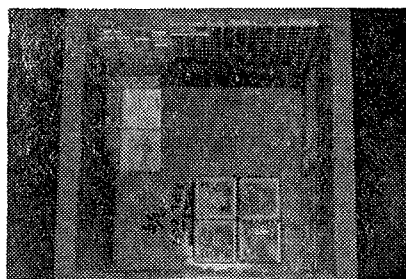
4.1.1. 本石の耐酸性 浴室利用者の美感・触感を満足させるために本石の使用が要求された。比較的耐酸性の良いみかげ石(花崗岩)の中から産地別に浸漬試験を行ない、その結果を図一3に示した。みかげ石の耐酸性は重量減少率で評価したが、産地別によって異なり、結晶の細かいものほど良い結果を得た。玄昌石、鉄平石は改造前浴室に使用したものと同様に崩壊した。肌合い、色を考慮して岡山万成を採用する予定であったが、都合により比較的類似の朝鮮万成とした。

4.1.2. その他 磁気タイル、目地材、FRV、等の単体、および組合せ体として耐酸性を検討した。磁



図一3 本石の耐酸試験結果

気タイル、目地材(シリコン、ポリエステル、エポキシ樹脂)は単体で耐酸性良好なもの



写真一6 FRV タイルの耐硫酸性試験

も組合せ材としては水密性に欠け、下地保護の機能をはたせず、問題を残した。

4.2. FRV の採用

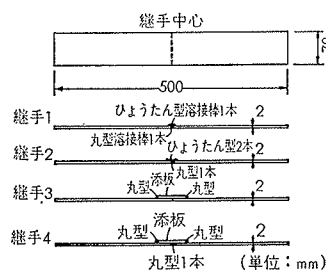
耐酸材料を耐酸目地でつなぎ合せて耐酸保護層とするのはリスクが大きい。このことは改造前浴室の被害状況、実験室における浸漬試験結果でも立証されている。そのため、仕上げ材と耐酸保護層は別々に設け、少なくとも構造躯体は酸食の被害を受けないように基本方針を決定した。この保護層にFRVを採用した。FRVは塩ビの耐酸性に期待し、ガラス繊維補強によってその熱特性も改善している。また、溶接による水密性確保が可能である。FRV溶接継手の引張試験結果は図一4、表一5に示す。写真一6はFRVを溶接してできた箱に硫酸溶液を投入して繰返し熱荷重(60~5°Cで30サイクル、60~10°Cで6サイクル)を加えた試験後のもので、溶接個所の水密性に異常はなかった。

5. 浴室改造の設計ディテール

改造浴室に使用した仕上げの一覧を表一6に示す。設計に際してとった基本的事項は第7章でも述べるが、その他の仕上げ材、および下地材の組合せディテールで特に留意した点は次の通りである。

(1) 天井断熱材の取付

取付方法——断熱材は交互目地の2枚貼りとし、ポリエチレンシートで覆った。更に耐水ベニヤ、仕上げの塩ビリブを取付けた。これによ

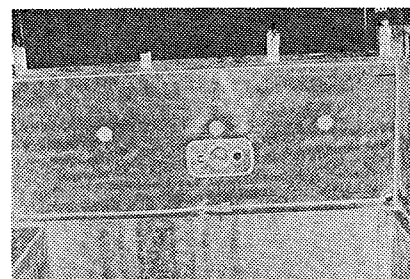


図一4 FRV引張試験

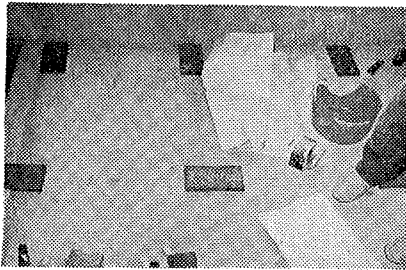
継手形状	(単位: kg/mm ²)					
	溶接工A		溶接工B		溶接工C	
継手1	6.72, 6.19	5.30, 5.29	4.09, 4.61			
継手2	1.71, 1.83	1.83, 2.00	1.87, 1.50			
継手3	4.81, 4.88	3.56, 5.24	4.58, 3.73			
継手4	4.81, 4.14	4.81, 4.91	3.99, 3.34			

(室温=20°C, 荷重速度5mm/min, 繰返しなし, 母材強度=8.0kg/mm²)

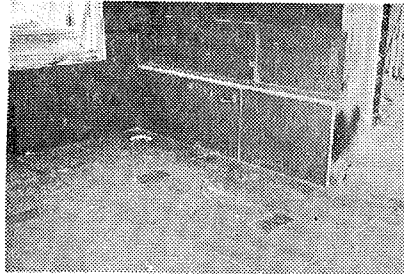
表一5 FRV の引張試験結果



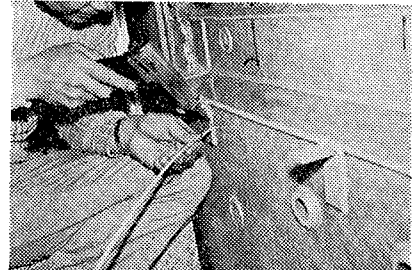
写真一7 FRV 表面の納まり



写真一八 木レンガ工事



写真一九 断熱材工事



写真一〇 FRVの溶接

の浸入を防いだ。

(2) FRV 溶接部の保護——溶接部の水密性は完全でなければならない。本石の施工中に局部的な力が加わらないように、構造体への荷重伝達を明確にした(図一5)。最終工程で水張り試験を行ない、水密性のチェックをした。

(3) 設備配管の取付け方法——設備配管は構造体へ埋込まないようにし、貫通させた。貫通箇所は塩ビ製のさや管を配置し、FRV との交点は溶接して水密性を確保した(写真一7)。

(4) FRV 立上りの固定——FRV 立上りはホールインアンカーで構造体コンクリートと堅結し、FRV 表面に露出するアンカー頭部は塩ビ製当て板で防食した(写真一7)。立上り端部はシリコンコーキング材によってコンクリート面へ接着させ、FRV 裏面へ温泉水がまわりこまないようにした。

6. 改修工事の施工

施工は旧浴室仕上げ材の解体、左官工事(侵食された構造体コンクリートの研り、補修、仕上げ下地こしらえ)、木レンガ工事(写真一八)、断熱材・FRV 工事(写真一9, 10)、石工事、設備関連工事の順序で行なった。

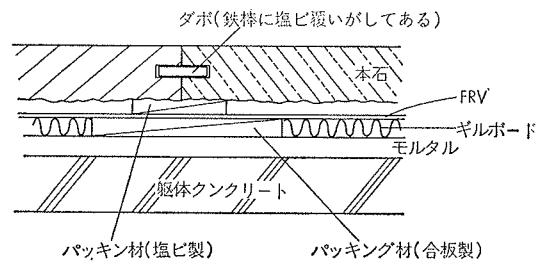
7. 結語

強酸性(PH=0.65)で硫酸質(1%硫酸溶液に相当)の温泉に侵食された保養所浴室の被害調査および改修工事に関連する事柄を述べてきた。それらを総括すると次の通りである。

- (1) 温泉の主成分は経時的に変化するので侵食性も変化することが考えられる。被害状況の観察によって多くのことが学べる。工事開始に際し、現地調査し、その特徴を知ることが不可欠である。
- (2) 蔵王温泉は硫酸成分が溶液濃度に換算して約1%に相当した。材料の耐温泉性試験には便宜的方法として10%硫酸溶液(液温60℃)を用いた。他の温泉でも

部位別	浴 室	浴 槽	脱 衣 室
床	朝鮮万成(みかげ石)	朝鮮万成(みかげ石)	ヒバ椽甲板貼
下地	FRV張り ギルボード(断熱材) アスファルトプライマー	FRV張り ギルボード(断熱材) アスファルトプライマー	
壁	楢堅羽目貼ウレタン塗装		ビバ板縦貼 ラワンステインH=80
中木 腰壁	朝鮮万成石	朝鮮万成石	
天井	木製下地防汚剤塗り ギルボード18mm×2枚目地交互 ポリエチレンシート0.2mm敷 4mm耐水ベニヤ 塩ビリブ貼	同 左	野棧(木製防汚剤塗) 胴縁() ギルボード18mm×2枚 ポリエチレンシート0.2mm 4mm耐水ベニヤ 塩ビリブ貼
その他			
ガラリ	アルミ製ガラリ サラン網戸付		アルミ製ガラリ サラン網戸付
スノコ			プラスチックノコ シュロマット敷
窓 戸	アルミサッシュ		アルミサッシュ
換気扇	三菱25ST		

表一六 改修浴室に使用した仕上げ一覧



図一五 本石の荷重伝達方式

成分が判れば、このような方法が適用できるだろう。

- (3) 設計上の基本的方針として次のことに心がけた。即ち、構造体を保護するための耐酸材料は防水機能を有し、構造体が侵食される事態のないようにする。入浴者の美感・触感を満足させる必要のある仕上げ用耐酸材料は修理が可能のように互換性を考慮する。
- (4) 設備配管はコンクリート床スラブ、壁へ埋込まないようにし、修理が可能にする。電気器具類およびその配管は侵食された場合、非常に危険である。照明部にも防湿グローブを使用した。
- (5) 換気が充分だと被害はかなり少ない。保守管理の一環として換気扇を取付け、常時作動させた。換気扇の互換性も考慮する必要がある。

竣工後1年を経過して、全般的には被害がなく、初期に期待した性能はほぼ得られたと考える。