

室内プールにおける鋼材の防錆対策

The Consideration on taking measure against the Corrosion of Metals at Indoor Swimming Pools

高橋 良*
Ryo Takahashi

永村 一生*
Kazuo Nagamura

和田 高清**
Takakiyo Wada

小林 利充**
Toshimitsu Kobayashi

要 約

本報告は、世田谷区立千歳温水プール改築工事で検討した室内プール空間での各種鋼材類の防錆対策に関するものである。室内プール空間は年間を通して常時高湿度環境にあるうえ、プール水の消毒を目的に常に一定量以上の塩素が残留するよう滅菌剤が混入されるため、普通鋼のみならずアルミニウムやステンレス鋼まで非常に腐食されやすい厳しい環境にある。

本工事では、室内プール空間に関わる鋼材類の防錆処理対策を適材適所に行い長期的に錆による不具合を防止することを目的に、設計・施工関係者による検討会を開催し、対象部材の形状、接合方法、施工手順等を考慮したうえで、鋼材の材種、表面処理方法等を選定した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 検討内容
- § 4. 検討結果
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

世田谷区立千歳温水プールは、隣接する千歳清掃工場で発生する廃熱を利用した高温水を熱源とした施設で、本工事は既設温水プール建築物の解体も含む内容であった。建物は図-1、2のプール階の平面図および断面図

に示すとおり曲面を多用した複雑な形状である。

主用途が室内温水プールであったため、工事着手前に世田谷区管轄の既設室内温水プールを監督員・設計者・監理者とともに調査・見学したところ、予想以上に多くの鋼材類で錆による不具合が確認された。錆は鉄部のみならずステンレス等にも確認され、室内プール空間の環境の厳しさを痛感した。そこで、プール空間における鋼材類や設備機器類の材質、表面処理等の原設計仕様を十分に再検討する必要があると判断し、設計・施工関係者による腐食防止検討会を開催した。その検討結果を受けて、原設計仕様に対する改善案を提案することができた。以下に腐食防止検討会で得られた防錆技術ならびに改善仕様案を報告する。

*東京建築（支）千歳温水プール（出）

**技術研究所建築技術課

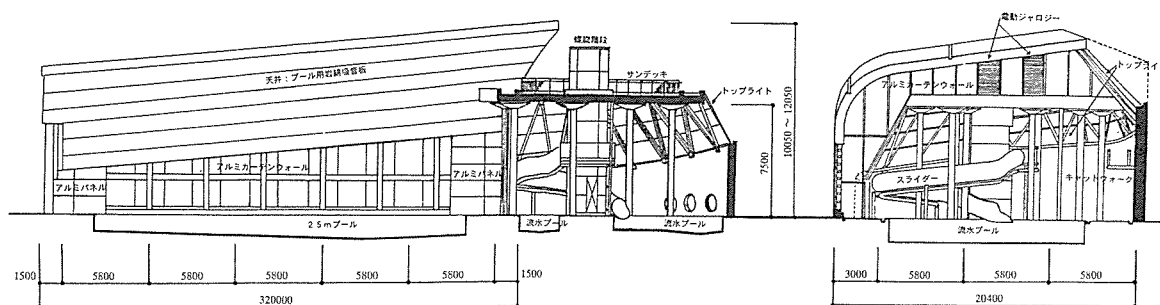


図-1 断面図

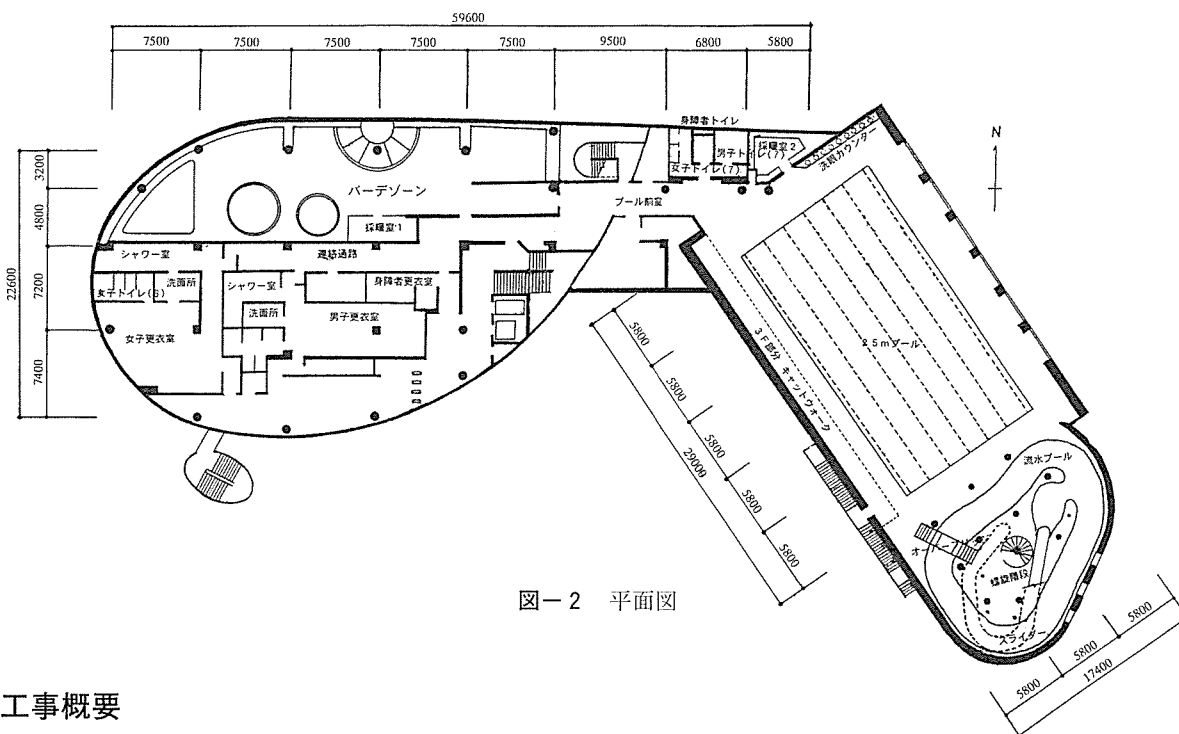


図-2 平面図

§ 2. 工事概要

工事名称：世田谷区立千歳温水プール改築工事

工事場所：東京都世田谷区船橋7-9-1

発注者：世田谷区

設計監理：世田谷区建設部営繕第一課第2係

株式会社 早川邦彦建築研究室

施工者：西松・儘田・日本施設建設共同企業体

工期：平成8年12月5日～平成11年2月26日

用途：水泳場、健康増進浴室及び集会施設

構造：地下2階～地上3階RC造

地上4階SRC造，屋根S造

敷地面積：20,266.35m²

建築面積：2,014.10m²

延床面積：7,703.9m²

最高高さ：18m

軒高：17.8m

§ 3. 検討内容

3-1 室内プールにおける問題点と背景

室内プール空間は、常時高湿度環境にあるうえに塩素系滅菌剤（次亜塩素酸ナトリウム等）を含む水蒸気が各種の鋼材類表面に結露して付着し、そのサイクルが繰り返されることにより鋼材類表面の塩化物が蓄積され、鉄のみならずアルミニウムやステンレスまでもが早期に錆びるほどの厳しい環境である。

鋼材類の塩化物による腐食に関する研究成果を調査したところ、建設省・大学・鋼材類製造メーカー等の各種研究機関で長年にわたり実施されてきているが、そのほとんどは沿岸域での実構造物や試験片による屋外暴露データを基にしたもので、室内プール空間での検討はあまり

なされてきていない状況にあることが分かった。

また、最近竣工した某室内プールで竣工2年に満たない時期にステンレス手摺（SUS304）の錆が問題になった事例があり、特に竣工初期での錆は美観のうえで大きな不具合に発展する危険性があることを認識した。

本工事の原設計仕様では、室内プール空間に関わる鋼材類にステンレス、アルミニウムを採用したり、普通鋼材においてはすべて溶融亜鉛めっき処理が指定されている等、防錆性を考慮した設計がなされていたが、長期的な腐食防止の観点からは不十分な可能性も考えられた。

3-2 検討内容

(1)検討議題

防錆検討会では下記の項目を議題とし、各建材メーカー専門技術者からの既往研究成果や実施工実績説明後、関係者一同によるフリーディスカッション形式で改善仕様の必要性、判断根拠を検討した。

- ①アルミニウムの耐食性
- ②ステンレス鋼の耐食性
- ③素地別の防錆性塗装仕様
- ④溶融亜鉛めっきと亜鉛溶射の性能比較
- ⑤建築用シーリング材の特性と温水プール用仕様
- ⑥ステンレス鋼板製プールの耐食性

(2)改善仕様を検討した項目

検討会での結果を受けて以下の仕様に関して、原設計仕様の改善要否、改善内容を検討した。

- ①アルミニウム建材の陽極酸化複合被膜仕様
- ②塗装アルミニウム建材の塗装仕様
- ③アルミカーテンウォールの補強鋼材の塗装仕様
- ④鉄骨螺旋階段支柱の防錆仕様
- ⑤鉄骨螺旋階段の踏み板、手摺り等の防錆仕様
- ⑥流水プールのオーバーブリッジの防錆仕様
- ⑦キャットウォークの手摺り等の防錆仕様
- ⑧金属製建具の鋼材種および防錆仕様
- ⑨ステンレスプールの仕様
- ⑩目地シーリング材の仕様
- ⑪排煙オペレータの仕様

§ 4. 検討結果

4-1 改善仕様

原設計仕様と改善仕様を表-1に示す。

4-2 改善理由

以下に検討内容ならびに改善理由を示す。

(1)アルミニウム建材の陽極酸化複合被膜仕様

- ①表-2にJIS H 8602（陽極酸化複合被膜）における複

表-2 JIS H 8602（陽極酸化複合被膜）での種類

種類	陽極酸化皮膜厚さ ⁽¹⁾	塗膜厚さ ⁽¹⁾	塗膜	参考
	μm	μm		
A	9.0 以上	12.0 以上	透明系	建築部材（屋外でか(苛)酷な環境）
B	9.0 以上	7.0 以上		
C	6.0 以上	7.0 以上		
P	6.0 以上	15.0 以上	着色系	建築部材（屋外）、車両部材など

注⁽¹⁾ 陽極酸化皮膜厚さ及び塗膜厚さは、最低皮膜厚さとする。
備考1. 透明系塗膜とは、下地のアルミニウム及びアルミニウム合金や陽極酸化皮膜の持つ素材感及び色調を損なうことのない透明又はこれに光沢だけを抑制した塗膜をいう。
2. 着色系塗膜とは、各種樹脂系塗料に着色を目的として顔料を入れた着色塗料を塗装して得られた塗膜をいう。

合被膜の種類を示す。これによれば、原設計仕様はJISの「種類A」に相当し、屋外で苛酷な環境での下限値に相当する。室内プール環境の苛酷さの程度は明らかでないが、過去の経験からは「種類A」の下限値では十分とはいえないと判断された。

- ②屋外であれば、アルミニウム表面に付着した塩化物は雨水で洗い流されることも期待できるが、室内では定期的な洗浄を実施しないかぎり、付着した塩化物は堆積され続ける危険性がある。室内プール空間は階高が10m以上もあり、洗浄不能な部位も多いため、より高い防錆性を付与する必要がある。
- ③アルミニウムの腐食は容易には補修できないことから、陽極酸化複合被膜を1ランク向上させるべきと判断した。

(2)塗装アルミニウム建材の塗装仕様

原設計仕様の焼付形ポリウレタン樹脂塗料は十分に管理された工場での塗装であり、焼付け形ポリウレタン樹脂塗料とアルミニウムとの付着性も良好なことから、室内プール環境でも長期の防錆性が期待できると判断し、原設計仕様どおりとした。

(3)アルミカーテンウォールの補強鋼材の塗装仕様

- ①原設計仕様では溶融亜鉛めっきとなっている。溶融亜鉛めっきを行うと鋼材は急激な温度上昇と冷却を受けるためどうしてもひずみが残留する。そのため、JIS H 8641（溶融亜鉛めっき）には亜鉛付着量により鋼材厚さの例が示されており、HDZ-50（亜鉛付着量500g/m²）以上の場合、5mmを超える板厚となっている。カーテンウォールの補強鋼材には板厚5mm未満の薄材も含まれているため、必ずしも溶融亜鉛めっきが良いとはいえないと判断した。
- ②溶融亜鉛めっきでは亜鉛のダレが生じやすく、美観上の問題が想定された。そこで、塗装で防錆処理を行うことを検討した。ただし、下塗り1回目は工場塗装として素地と下塗り塗料の付着性の確保に配慮した。
- ③原設計仕様のフッ素樹脂塗料は常温硬化形の塗料の中

表一 原設計仕様および改善仕様(案)

検討内容	原設計仕様	改善仕様
(1) アルミニウム建材の陽極酸化複合被膜厚の仕様	陽極酸化被膜厚さ：9 μ m以上 塗膜厚さ：12 μ m以上	陽極酸化被膜厚さ：14 μ m以上 塗膜厚さ：12 μ m以上
(2) 塗装アルミニウム建材の塗装仕様	焼付け形ポリウレタン塗料(工場塗装) 乾燥塗膜厚さ：40 μ m以上	原設計仕様どおり
(3) アルミカーテンウォールの補強鋼材の塗装仕様	溶融亜鉛めっき(HDZ-55)のうえ ふっ素樹脂塗料(現場塗装)	溶融亜鉛めっき処理は行わず、以下の塗装仕様 ・下塗り-1：エポキシ樹脂系厚膜形ジンクリッチペイント(工場塗装) ・下塗り-2：エポキシ樹脂塗料(現場塗装) ・中塗り：ポリウレタン樹脂塗料(現場塗装) ・上塗り：ポリウレタン樹脂塗料(現場塗装)
(4) 鉄骨螺旋階段支柱の防錆仕様	溶融亜鉛めっき(HDZ-55)のうえ ふっ素樹脂塗料(現場塗装)	亜鉛溶射(膜厚120 μ m以上工場施工)のうえ 以下の塗装仕様 ・封孔処理：エポキシ樹脂塗料(工場塗装) ・下塗り：エポキシ樹脂塗料(現場塗装) ・中塗り：ポリウレタン樹脂塗料(現場塗装) ・上塗り：ポリウレタン樹脂塗料(現場塗装)
(5) 鉄骨螺旋階段の踏み板、手摺り等の防錆仕様	ステンレス(SUS304)ヘアライン仕上げ	踏み板は(4)支柱と同一仕様 手摺り等は原設計仕様どおり
(6) 流水プールのオーバーブリッジの防錆仕様	・桁、踏み板：鋼材に溶融亜鉛めっきの受け材(HDZ-55)のうえにふっ素樹脂塗料(現場塗装) ・踏み板：ステンレス(SUS304)のうえにふっ素樹脂塗料(現場塗装)	すべてステンレス(SUS304)のうえ以下の塗装仕様 ・下塗り：エポキシ樹脂塗料(工場塗装) ・中塗り：ポリウレタン樹脂塗料(現場塗装) ・上塗り：ポリウレタン樹脂塗料(現場塗装)
(7) キャットウォークの手摺り等の防錆仕様	ステンレス(SUS304)ヘアライン仕上げ	ステンレス(SUS304)のうえ以下の塗装仕様 ・下塗り：エポキシ樹脂塗料(現場塗装) ・中塗り：ポリウレタン樹脂塗料(現場塗装) ・上塗り：ポリウレタン樹脂塗料(現場塗装)
(8) 金属製建具の鋼材種および防錆仕様	SD：扉 ふっ素樹脂塗料(現場塗装) 枠 合成樹脂調合塗料(現場塗装) SSD：扉・枠 ステンレス(SUS304)ヘアライン仕上げ	すべて扉・枠ともステンレス(SUS304)ヘアラインのうえ以下の塗装仕様 ・下塗り：エポキシ樹脂塗料(現場塗装) ・中塗り：ポリウレタン樹脂塗料(現場塗装) ・上塗り：ポリウレタン樹脂塗料(現場塗装)
(9) ステンレスプールの仕様	側板：SUS304 厚さ4.0mm 表面タイル張り、裏面タールエポキシ塗装 底板：SUS304 厚さ2.0mm 表面軽量コンクリートのうえタイル張り 裏面ステンレス素地 基礎：単粒度砕石7号 厚さ100mm	側板：原設計仕様どおり 底板：原設計仕様どおり 基礎：軽量コンクリート厚さ100mm
(10) 目地シーリング材の仕様	ガラス突付け部：シリコーン系1成分形及びサッシ廻り 金属笠木目地：シリコーン系1成分形及び建具周囲 RC壁 タイル面：ポリサルファイド系又は変成シリコーン系2成分形 及び建具周囲	ガラス突付け部：シリコーン系1成分形及びサッシ廻り 金属笠木目地：変成シリコーン系2成分形及び建具周囲 RC壁 タイル面：変成シリコーン系2成分形及び建具周囲 プール槽内、床：シリコーン系1成分形面等のプール水が直接接する目地
(11) 排煙オペレータの仕様	換気用窓及び排煙窓用オペレータ	標準型電動オペレータ 原設計仕様どおり

ではもっとも耐候性が高い。そのため屋外等の紫外線の影響を強く受ける部位でも長期にわたって初期の光沢を維持する。しかし、室内プールでは直射日光の影響が非常に少ないことから、フッ素樹脂塗料ほどの高い耐候性は必要ないと考え、室内プール空間の上塗り塗料はすべてポリウレタン樹脂塗料に統一する改善仕様を採用した。

(4)鉄骨螺旋階段支柱の防錆仕様

亜鉛付着量 $550\text{g}/\text{m}^2$ 以上(HDZ-55)の溶融亜鉛めっきは非常に高い防錆性を長期間保持するため、苛酷な室内プール環境に適しているが、螺旋階段支柱に関しては以下の理由によりHDZ-55と同等の防錆性能を持つ亜鉛溶射が良いと判断し、改善仕様を採用した(写真-1)。

- ①螺旋階段は一体ではめっき槽に入らない形状であるため、数ブロックに分割してめっきを行うことになる。分割すると溶接ジョイントが生じて溶接部が防錆上の弱点になりやすい。亜鉛溶射であれば一体化したものの表面処理が可能である。
- ②螺旋階段の鉄骨部材には部分的に板厚の薄い部位もあるため、めっき処理による残留ひずみが生じる危険性がある。亜鉛溶射であれば鋼材にはほとんど熱が加わらないためひずみは発生しない。
- ③溶融亜鉛めっきではどうしてもダレが生じて美観を損なう危険性があるが、亜鉛溶射であれば比較的均質な表面が得られ、良好な仕上がりが得られる。また塗膜との付着性に関しても、めっき面より亜鉛溶射面の方が安定している。
- ④亜鉛溶射を採用する場合には原設計仕様の亜鉛めっきHDZ-55の膜厚 $80\mu\text{m}$ 以上よりも厚い膜厚($120\mu\text{m}$ 以上)の仕様とすることで、原設計仕様よりも高い防錆性を確保した。

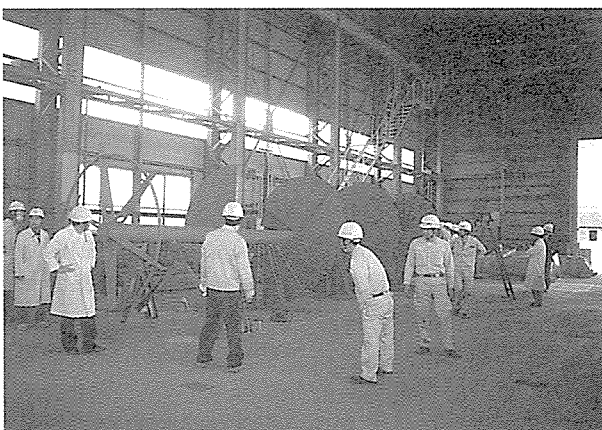


写真-1 螺旋階段（封孔処理完了状況）

(5)鉄骨螺旋階段の踏み板、手摺り等防錆仕様

原設計仕様はステンレスヘアライン仕上げであるが、踏み板は以下の理由により支柱鋼材と同様の亜鉛溶射のうねポリウレタン樹脂塗料とする改善仕様を採用し、その他の部材は以下の理由によりステンレスに塗装を施す改善仕様を採用した(写真-2)。

- ①踏み板の受け材となる支柱はスチール材であるため、踏み板をステンレス鋼にすると異種金属の接触によりスチール材に早期腐食が生じる危険性がある。そこで、踏み板は支柱と同一仕様とした。
- ②手摺り等の原設計仕様であるステンレスヘアライン仕上げは建材に多用されているが、ヘアラインの凹部に水分や塩化物が溜りやすく、平滑仕上げのステンレスに比べて錆が発生しやすい。改善仕様として、鏡面仕上げとするかステンレス鋼の品質を高めること(SUS316)を検討したが、前者は意匠上の問題で、後者は製作金物に対応できるだけの汎用性がなく必要な形状・寸法の製品が入手困難なことからどちらも採用しなかった。そのため、ステンレスヘアライン(SUS304)に塗装を施す改善仕様を採用した。

(6)流水プールのオーバーブリッジの防錆仕様

螺旋階段部分での検討と同様に、原設計仕様のままでは異種金属による鋼材の早期腐食の可能性が考えられたため、桁・踏み板受け材、踏み板および手摺り等すべての部材をステンレスヘアライン(SUS304)とし、塗装を施す改善仕様を採用した。ただし、オーバーブリッジは工場にて一体に組立ててから現場搬入・据付けが可能であるため、下塗りは工場塗装とし、ステンレス素地と下塗りとの付着性の確保に配慮した。

(7)キャットウォークの手摺り等の防錆仕様

鉄骨螺旋階段の手摺り等と同様に、ステンレスヘアラ



写真-2 亜鉛溶射作業

イン仕上げでは比較的早期に錆が生じる可能性があると考え、ステンレスに現場塗装を施す改善仕様を採用した。

(8) 金属製建具の鋼材種および防錆仕様

- ① 室内プール空間にある金属製建具は、常時塩化物を含んだ湿気や結露水の影響を受ける。スチールドアでは防錆性の高い塗装仕様を採用すれば、塗装面はある程度錆を防止できるが、現場塗装のできない鋼板の裏面側からの錆が懸念された。そのため、プール環境に影響を受ける範囲の金属製建具は扉・枠共にすべてステンレス（SUS304）製とすることにし、他のステンレス部分と同様の塗装を施す改善仕様を採用した。
- ② 扉の吊り元金具やドアノブには塗装できないため、ステンレス素地のままとした。これらの部分は付着した塩化物や水分を定期的に拭き取る等の維持管理を行うことで錆の発生を防止するしかないと判断した。

(9) ステンレスプールの仕様

- ① ステンレスプールで生じる問題は、底板における「異種金属接触による腐食」や「すきま腐食」である。これらの現象は、基礎部分の水分や異物が原因となる。そのため、使用するステンレス板は原設計仕様どおりとし、基礎部分から腐食原因を排除することを第一に検討した。
- ② 底板基礎の原設計仕様は単粒度砕石である。単粒度砕石に釘等の異物が混入したり、水分が供給されると底板腐食の原因となる。この不具合は屋外プールでの施工中の降雨に起因することがほとんどであるが、室内プールであっても基礎の単粒度砕石が湿潤状態になる可能性があること、砕石敷込み作業中に異物が混入する可能性があること等から、軽量コンクリート基礎に変更する改善仕様を採用した。

(10) 目地シーリング材の仕様

- ① プール水には滅菌剤として次亜塩素酸ナトリウム等が添加される。これらの滅菌剤は酸化性があり、特に湿潤状態ではシーリング材の軟化や溶解を促進させる性質を持つ。原設計仕様ではプールの水廻りに使用するシーリング材が指定されていなかったため、プール槽内とプールサイド床面を水廻りの範囲と判断し、この範囲の目地には脱オキシム形シリコン系1成分形を採用した。現状では温水プール水に対応できるのはこのタイプのみであるが、このタイプを使用してもあまり長期の耐久性は期待できないため、万一プール廻りのシーリング目地が切れても支障が生じないよう納まりに配慮した。

- ② 金属製笠木廻り等の原設計仕様はシリコン系1成分形であったが、目地周囲の汚れ防止を目的に変成シリコン系2成分形に変更する改善仕様を採用した。

(11) 排煙オペレータの仕様

排煙オペレータには標準型と浴室型の2通りがある。浴室型は湿気を考慮して標準型に比べてステンレス（SUS304）製の部品を多用しているものである。しかしながら、プール環境ではSUS304では十分とはいえず、冬期等で排煙窓を長期間稼働させないと錆の固着により開閉しなくなることが多い。プールでの実績からは、頻繁に排煙窓を稼働させる等のメンテナンスにより部品表面の錆の進行を抑える方法がもっとも効果的と判断した。よって、排煙オペレータは原設計どおりの標準型とし、管理運営のうえで頻繁に稼働させる等、メンテナンスの実施にご配慮いただくこととした。

§ 5. おわりに

世田谷区千歳温水プール改築工事で検討した室内プール環境における防錆仕様の概要を報告した。鋼材類製造や表面処理を専門とする関係者が集まり検討したが、室内プールの腐食環境の実態が十分に把握できていないことが判った。品質、工期および経済性のバランスをとりながら適材適所に材料を選定することが大切であるが、材料品質の不足や過剰を判断するためには、おかれた環境因子が明らかであることが非常に大切であると実感した。

最近では錆びにくいはずのステンレスでも予想外の錆が生じて問題となるケースがあると聞くが、錆はたとえ全体の10%でも発生すると構造上支障はなくても美観上は大きな問題になる。防錆性能の向上のみ追求するとすべての素材を高品質にすれば経済性の面で問題となる。本工事を通じて、将来の維持管理まで含めたライフサイクルコストを考慮した適材適所の仕様選定の必要性を改めて考えさせられた。

この報告が今後の室内プール施工における防錆対策の一助になれば幸いである。

なお、プール環境の実態に関しては、世田谷区教育委員会のご配慮で竣工後10年間にわたるプール環境での暴露実験を技術研究所で行うことになった。別の機会に実験結果を公表する予定であるが、有意義な成果が得られることを期待する。

最後に、本工事施工に対して、貴重なご助言を頂いた世田谷区建設部営繕第一課の皆様はじめ、検討会にご参加いただき貴重な意見を頂いた関係各位に厚く御礼申し上げます。