

ダム用ゲートのオールステンレス化 ～「塗替塗装工事をしたくない！」 メンテナンスフリーを目指して～

森下 直樹¹

¹新丸山ダム工事事務所 工務第二課（〒505-0301 岐阜県加茂郡八百津町八百津3351）

新丸山ダム工事事務所では、既設丸山ダムの洪水調節機能の強化等を目的として新丸山ダムの建設を行っている。ゲート設備に普通鋼材を用いた場合、定期的に塗替塗装が必要である。新丸山ダムの完成時には、計27門のゲート設備が設置される計画であり、維持管理面の省力化をより積極的に図る必要があることから、ダム堤体内の高圧ラジアルゲートにおいて塗替塗装が不要となるゲートのオールステンレス化という前例のない検討を行ったため報告する。

キーワード：新丸山ダム建設事業，ダム用ゲート，高圧ラジアルゲート，オールステンレス化，メンテナンスフリー

1. はじめに

(1) 丸山ダムについて

丸山ダムは、全長229kmの一級河川木曽川の河口から約90km上流に位置する重力式コンクリートダムである。

建設省（現・国土交通省）と関西電力の共同施設として、昭和31年に完成し、60年以上が経過した現在においても、木曽川本川の洪水調節と大規模な発電機能を担っている。



図-1 新丸山ダム断面図

(2) 新丸山ダムについて

新丸山ダム建設事業は、丸山ダムの下流側47.5mの位置に、20.2mの嵩上げを行い、洪水調節機能と発電機能強化を図ることを目的としている。（図-1）

令和3年12月には本体工事に着工し、令和4年3月には左岸側の常用洪水吐放流設備工事（主ゲート・予備ゲート各4門、放流管4条）に着工した。（図-2赤枠部）

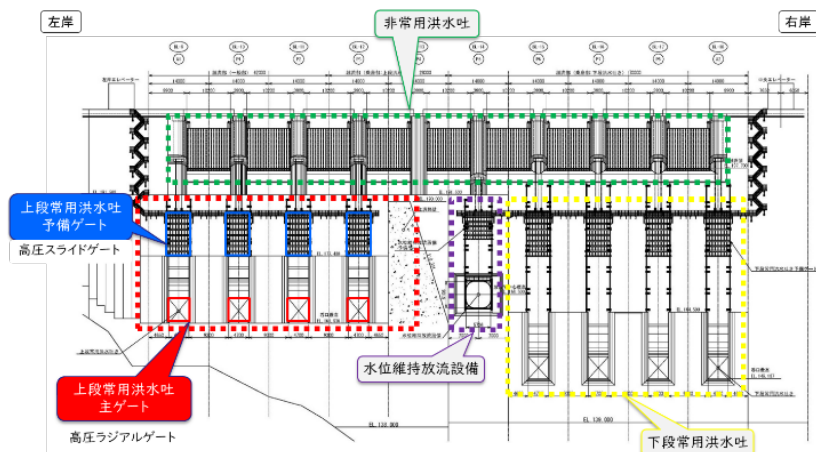


図-2 新丸山ダム上流面図

新丸山ダムは、常用洪水吐放流設備の主ゲート・予備ゲートが各8門、水位維持放流設備の主ゲート・予備ゲートが各1門、非常用放流設備のゲート9門の計27門の水門設備を有する。

2. 維持管理における課題

(1) 一般的な課題

日本の多くのダムは、建設してから30年以上が経過している。今後老朽化した設備の更新や修繕に係る維持管理費は、増加していくことが明白である。特に公共工事における労務単価は上昇傾向にあり、今後の維持管理に係る工事費用はさらに増加していくものと考えられる。さらに、国内の少子高齢化等による技術の担い手不足も大きな課題である。図-3示すとおりゲート事業技術従事者の30歳代以下の人員構成は急激に減少している。今後、機械設備に関する専門的な知識を有する技術者が不足していき、工事の不調・不落の増加による機械設備機能の信頼性低下に繋がる恐れがある。

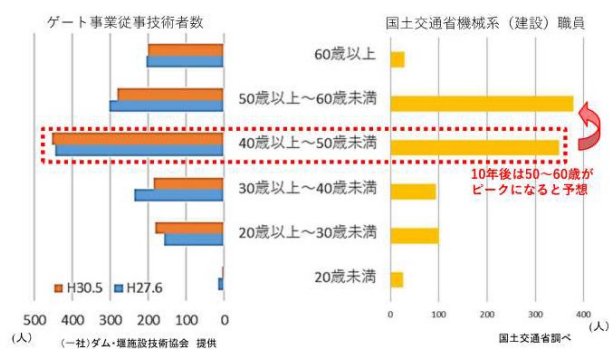


図-3 河川機械設備事業従事者の年齢構成図¹⁾

(2) 新丸山ダムにおける課題

新丸山ダム完成後は、多数の水門設備を運用することから、維持管理面での省力化を積極的に図る必要がある。

新丸山ダムにおける維持管理の1つとして、ゲートの塗替塗装がある。ダム用ゲート設備の塗替塗装は、非出水期の施工となるため、施工規模は年に2門程度と想定される。

一般的に鋼製ダム用ゲート（接水部）に使用される塗装材のエポキシ樹脂の塗装耐用年数は10年とされており、設置環境も考慮すると、10年から15年ごとに塗替塗装を行うこととなる。例えば新丸山ダムのゲート設備（27門）について維持管理を計画すると、毎年塗替塗装を行う必要がある。（表-1）

令和元年度における新丸山ダム実施設計における、常用洪水吐放流設備の主ゲートは、主桁・補助桁、脚柱は普通鋼材（SM400）を採用していたことから、定期的な塗替を前提とした維持管理をしなくてはならなかった。

このような維持管理における課題に対応するために検討したのが、メンテナンスフリーを目的としたダム用ゲートのオールステンレス化である。

表-1 新丸山ダム塗替塗装周期イメージ

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1～2	←	→														
3～4		←	→													
5～6			←	→												
7～8				←	→											
9～10					←	→										
11～12						←	→									
13～14							←	→								
15～16								←	→							
17～18									←	→						
19～20										←	→					
21～22											←	→				
23～24												←	→			
25～26													←	→		
27														←	→	

3. 常用洪水吐主ゲートのステンレス化検討

(1) 金属の腐食及びステンレス鋼について

腐食とは、金属材料が化学的な反応によって、表面から消耗したり、劣化・損傷する事象である。

電位が低い（「卑」という）部分と電位が高い（「貴」という）部分が、電位の差に応じた電子の流れによって、卑な部分では金属が溶け出し酸化されて腐食が生じる。この腐食が生じる卑な部分を「アノード」といい、貴な部分を「カソード」という³⁾。鉄の水中における腐食の化学反応式及び模式図を図-4に示す。

ステンレス鋼は、クロム（Cr）を10.5%以上含む合金鋼⁴⁾であり、Crが空気または水中の酸素と結合して表面に不動態皮膜（酸化被膜）を形成し、錆を防止する⁵⁾。ステンレス鋼の腐食は、前述のとおり不動態皮膜の形成により金属表面への均一な腐食は無視できる程度ではあるが、使用環境や鋼種によって著しく異なるため、使用にあたっては、使用環境に適したものを選定する必要がある。

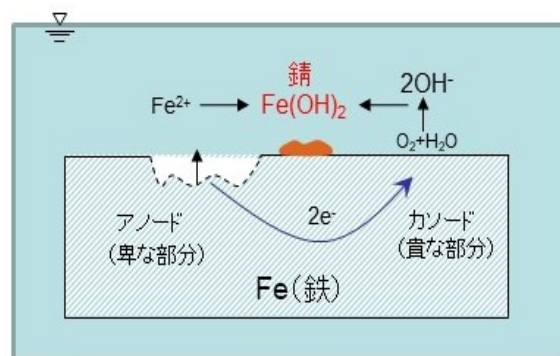


図-4 腐食模式図

(2) ダム用ゲートのオールステンレス化

新丸山ダムの常用洪水吐放流設備の主ゲートは高圧ラジアルゲートである。（図-5）

ラジアルゲート扉体の構造部材については大きく分けて、スキンプレート、主桁・補助桁、脚柱に分類するこ

とができる。今回は、これらすべての構造部材についてステンレス鋼の特性を考慮し、各構成部材に対して有効性が考えられる材質の検討を行った。



図-5 高圧ラジアルゲート（参考：鹿野川ダム）²⁾

比較検討にあたっては、各種ステンレス鋼の特性を考慮し、扉体の各構成部材に対して有効的な材質を検討する「一次選定」、一次選定で対象となった材質を100年間使用した場合の維持管理に係るライフサイクルコスト（LCC）を比較する「二次選定」、労務単価上昇を考慮したLCC比較を「三次選定」とした。一次選定にあたり、初めに各ステンレス鋼の防食性について比較した。

(3) 一次選定

ステンレス鋼の腐食において問題となるのは、不動態皮膜の生成妨害や破壊が生じる環境で発生する局部腐食である。局部腐食が生じる要因として温度、pH（水素イオン濃度）、塩化物イオン濃度が挙げられる。

新丸山ダム湖（現丸山ダム）の環境は表-2に示すとおりであり、局部腐食が発生しやすい環境ではない。塩化物イオン濃度については、山間部であることや近隣施設に著しい不具合が生じていないことから、問題となる濃度ではないと考えられる。

表-2 新丸山ダム湖環境

設置場所	山間部
水 質	淡水
水素イオン濃度 (pH)	7.0～7.5
塩化物イオン濃度	数mg/L～十数mg/L（推定値）
気 温	-5℃ ～ 40℃

新丸山ダムの腐食環境は厳しくないため、耐食性に対する特別な配慮は不要であることから、表-3に示すとおり一次選定の結果として、従来から使用されているオーステナイト系ステンレス鋼（SUS304）に加えて、近年主要部材に使用される事例が増えているリーニ二相ステンレス鋼（SUS821L1）を選び二次選定において、さらに詳細な比較検討を行うこととした。

表-3 ステンレス鋼一次選定結果⁵⁾

ステンレス鋼種	一次選定	理 由
SUS304	○	経済性、溶接性に優れる。従来から最も多く採用されており、信頼性が高い。
SUS304N2	×	SUS304 に比べ高い強度を有するが、SUS821L1 より低く、材料単価が高い。
SUS316L	×	耐食性に優れるものの、強度は最も低く、材料単価においても不利である。
SUS821L1	○	溶接性にやや課題はあるものの、高い強度を有し、材料単価が安価である。
SUS323L	×	高い防食性は必要ではなく、強度は SUS821L1 と同等であるが、材料単価が高い。
SUS329J4L	×	高い防食性は必要ではなく、SUS821L1 よりやや高い強度を有しているが、材料単価が高く、溶接性も劣る。

リーニ二相ステンレス鋼（SUS821L1）は、Crの含有率を高めることで、耐食性を確保しつつ、ニッケル（Ni）やモリブデン（Mo）などのレアメタルの含有量を抑えて一般的なステンレス鋼と比較し価格の変動抑制を図ったものである。また、二相組織（フェライト相とオーステナイト相）であるため、高い強度を有しており、一般に使用されるSUS304に比べ、約2倍の強度がある。

(4) 二次選定

二次選定では、一次選定されたSUS304及びSUS821L1の2鋼種において、扉体の構造部材への適用については従来設計（スキンプレート：SUS821L1、脚柱及び主桁等：SM400）と比較するため、①すべてSUS821L1の場合、②すべてSUS304の場合、③スキンプレートがSUS821L1で脚柱及び主桁等がSUS304の場合の3ケースに分けて比較検討を行った。

また、適用する鋼種によって扉体重量が異なり、開閉装置の規格に影響を及ぼすことから、LCCの検討については開閉装置を含めて行った。

LCC検討では、イニシャルコスト比較として「扉体工事費」、「開閉装置工事費」の算出を行い、ランニングコスト比較として「扉体塗替塗装費」、「開閉装置整備更新費」を算出し検討を行った。

1) 扉体工事費

土木工事標準積算基準書（国土交通省）に準拠し、算出する。SUS821L1については、標準歩掛の対象外であったため、ゲートメーカーへのヒアリングからSUS304を使用した場合に対する割増係数（1.1～1.3）を見込んで算出した。

2) 開閉装置工事費

各ケースの扉体重量による開閉荷重を表-4に示す。各開閉装置の規格に基づき、機器費を計上する。

表-4 扉体重量及び開閉荷重

	従来設計 SM400	ケース① SUS821L1	ケース② SUS304	ケース③ SUS304+SUS821L1
扉体重量	79t	67t	85t	82t
開閉荷重	1440kN～660kN	1340kN～740kN	1440kN～660kN	1440kN～660kN

3) 扉体塗替塗装費

令和2年度における労務単価に基づき、塗替塗装が必要となる従来設計について、一回当たりの塗装費を算出

し、15年サイクルで塗替塗装を実施した際に想定される費用を算出した。

4) LCC

検討の結果、表 - 5に示すとおり従来設計よりは高いものの、ケース③が最も安価となった。従来設計と比較した場合、一門当たり100年間に於けるLCCの5%（約4300万円）分の差となった。

表 - 5 各ケースのLCC

	従来設計 SM400	ケース① SUS821L1	ケース② SUS304	ケース③ SUS304 +SUS821L1
イニシャル				
扉体工事費	269,700	398,000	376,900	376,800
開閉装置工事費	260,700	253,000	260,900	260,900
ランニング				
扉体塗替塗装費	64,200	0	0	0
1回当り費用（積上）	10,700	—	—	—
回数（周期15年）	6	—	—	—
開閉装置整備更新費	226,000	220,000	226,000	226,000
合計	820,600	871,000	863,800	863,700
SM400との差	0（基準）	50,400	43,200	43,100

(5) 三次選定

最後に労務単価上昇を考慮してLCCの比較を行った。

近年の公共工事における労務単価上昇の近似式から、新丸山ダム常用洪水吐主ゲート完成後15年を迎える初回塗替塗装時期（2041年）の橋りょう塗装工と普通作業員の労務単価を算出した。

（図-6、図-7）

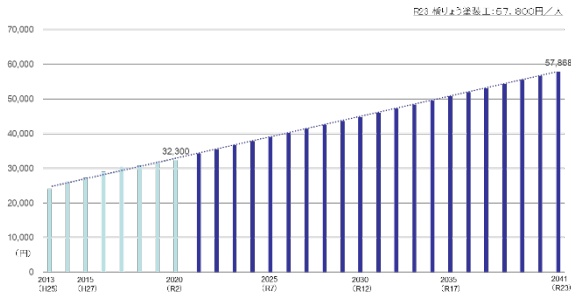


図 - 6 労務単価の推移想定（橋りょう塗装工）

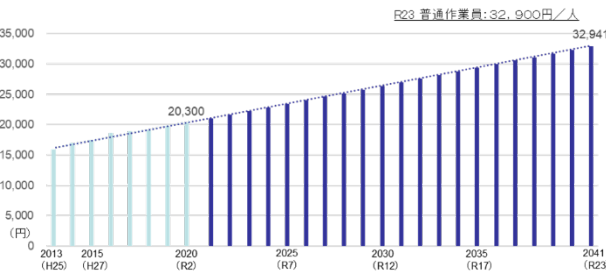


図 - 7 労務単価の推移想定（普通作業員）

想定される初回塗替塗装時期の労務単価を基に、各ケースのLCCを比較した結果を表 - 6に示す。

表-7に示すとおりケース③が最も安価となった。従来設計と比較した場合、一門当たり100年間に於けるLCCの約1%（約1100万円）分の差にコストが縮減された。

表-6 各ケースのLCC（想定単価による）

	従来設計 SM400	ケース① SUS821L1	ケース② SUS304	ケース③ SUS304 +SUS821L1
イニシャル				
扉体工事費	269,700	398,000	376,900	376,800
開閉装置工事費	260,700	253,000	260,900	260,900
ランニング				
扉体塗替塗装費	96,600	0	0	0
1回当り費用（積上）	16,100	—	—	—
回数（周期15年）	6	—	—	—
開閉装置整備更新費	226,000	220,000	226,000	226,000
合計	853,000	871,000	863,800	863,700
SM400との差	0（基準）	18,000	10,800	10,700

(6) 検討結果

(5) で示したとおり、労務費の上昇とともに従来設計との差は小さくなり、今回の検討における従来設計の経済的優位性は大きくない。また、技術者の不足といった課題も考慮すると、今後の維持管理に係る工事の不調不落とといったリスクは、現在と比べ大きくなるものと予想される。

以上のことから、新丸山ダムの維持管理の省力化を目的として、ケース③を採用することとした。

4. おわりに

本稿では機械設備の維持管理の課題改善に向けて検討を行い、塗装のメンテナンスフリー化により維持管理の省力化を図ることとした。

しかし、本稿で述べたとおり維持管理費用の増大、技術者の不足といった大きな課題に対し、今後も官民で改善・解決に向けて引き続き取り組んでいく必要がある。本稿の高圧ラジアルゲートのオールステンレス化検討が、今後のダム用ゲートの維持管理の一助になることを期待している。

謝辞：本検討にあたり、ご協力いただきました関係企業の皆様並びにご助言いただきました職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 社会資本整備審議会河川分科会 河川機械設備小委員会(第5回)、「資料3ゲート設備の現状と課題」, P16
- 2) (株)IHIインフラシステム提供
- 3) 日本工業規格, JIS G 0203 : 2009「鉄鋼用語（製品および品質）」, P19
- 4) 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課, 「機械工事塗装要領（案）・同解説 令和3年2月」, P3
- 5) 北海道電力(株), 遠藤 義彦, 和泉 康平, 「水力発電設備ゲートへの二相ステンレス鋼の適用」, 「電力土木技術協会」, 2016, No. 385, P14 - P18
- 6) (株)建設技術研究所, 「令和2年度 新丸山ダム放流設備設計検討業務」