

二相ステンレス鋼を用いたゲート設計について ～淀川大堰閘門ゲート設備～

田頭 聖和¹・迫 芳将²

¹近畿地方整備局 企画部 技術管理課 (〒540-8586大阪府大阪府中央区大手前3-1-41)

²近畿地方整備局 大阪国道事務所 施設管理課 (〒536-0004大阪市城東区今福西2-12-35) .

現在施工が進む淀川大堰閘門ゲート設備において、ライフサイクルコストだけでなく、設置環境や維持管理等を見据えた諸条件を考慮した結果、扉体の材質は従前の普通鋼やステンレス鋼と異なる近年JISに登録された二相ステンレス鋼を採用した。

本稿では、この二相ステンレス鋼の特徴および採用に至った検討内容と共に、二相ステンレス鋼を用いた設計について報告する。

キーワード 淀川大堰閘門、汽水域、ライフサイクルコスト、二相ステンレス

1. 淀川大堰について

近畿圏の中心を貫いている淀川水系は、滋賀県の琵琶湖に始まり京都府、大阪府を流れる一級河川であり、関西地方の社会、経済、文化の基盤をなしており、古くから舟運をはじめとする様々な文化を育んできた。

淀川大堰は河口から約10km上流の汽水域に位置し、平常時の利水および洪水時の流水の安全な流下の確保や塩水の遡上を防ぐことを目的として昭和58年に設置された。

淀川大堰の上下流で最大2.5mの水位差が生じているため、船舶の往来ができない状況にある。

淀川大堰は淀川から派生する大川との接続部付近に設置されており、隣接する大川との接続部には毛馬排水機場、毛馬水門および毛馬閘門が設置されている。

毛馬閘門は淀川と大川で生じている水位差を船舶が往来できるように設置されている。毛馬閘門を利用した大川河口から淀川上流への航路はあるが、淀川下流から上流への航路は淀川大堰により遮断されている。

淀川大堰閘門は淀川上下流の船舶の往来の可能とし、大阪湾から淀川上流までの船舶の航路の確保を目的として淀川大堰の左岸側にある固定堰部に設置される。

淀川大堰閘門のゲート設備である閘門ゲートおよびバイパスゲートの設計には淀川大堰下流が汽水域であること等の設置環境や扉体の錆への対策を含めた維持管理およびライフサイクルコスト等を見据えた諸条件での検討が必要となった。



図-1 淀川大堰位置図



図-2 淀川大堰閘門設置箇所

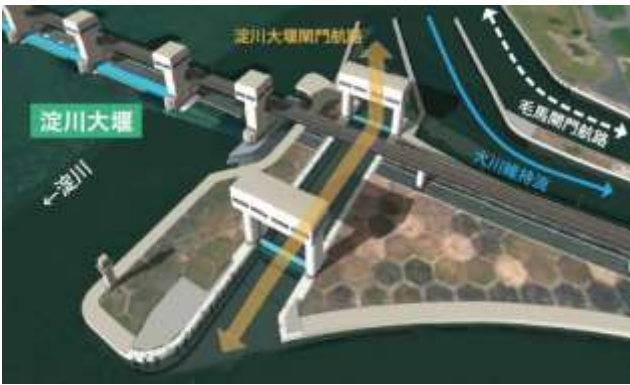


図-3 淀川大堰閘門設置による航路イメージ

2. 淀川大堰閘門ゲート設備の設計上の課題と対策

(1) 設計上の課題

淀川大堰閘門ゲート設備の設計において留意しなければならない課題として、塩水による腐食がある。

淀川大堰は汽水域に設置されており、塩止めの機能があるが、淡水域に設置されるものに比べ塩による腐食の進行が早く、防食にかかるコストが大きい。

(2) 代表的な対策

代表的な腐食を防ぐ方法としては、被覆防食、電気防食および耐食材料の使用が挙げられる。

a) 被覆防食

被覆防食は、鋼材を腐食に強い皮膜で覆い、腐食因子から遮断する方法で、主に防食材の塗装や溶融亜鉛めっき等がある。

b) 電気防食

電気防食は、鋼材に電流を流すことで金属材料を腐食しない電位にまで変化させる方法で、外部電源より電流を流す方法や金属材料の電位差を利用して電流を流す方法がある。

淀川大堰ゲート設備もこの方法を用いており、扉体に亜鉛陽極棒を設置している。

c) 耐食材料の使用

耐食材料の代表的な鋼材であるステンレス鋼等を用いて設備を製作し、腐食から防ぐ方法である。

3. ステンレス鋼について

(1) ステンレス鋼の概要

ステンレス鋼はCr含有率10.5%以上、炭素含有率1.2%以下の耐食性を向上させた合金鋼であり、常温における組織によってマルテンサイト系、フェライト系、オーステナイト系、オーステナイト・フェライト系及び析出硬化系の5種類に分類される。¹⁾

(2) オーステナイト・フェライト系ステンレス鋼の特徴

オーステナイト・フェライト系は、2015年にJISに登録されたステンレス鋼で、二相ステンレス鋼とも呼ばれ、フェライト相とオーステナイト相がおよそ1:1で混在するステンレス鋼である。

ステンレス鋼の特徴である高耐食性に加え、靱性が低く溶接が難しいが低コストのフェライト系と溶接しやすいが高コストのオーステナイト系の両系統の特徴を併せ持ち、Crの含有率が増え高強度である。

二相ステンレス鋼には汎用ステンレス鋼であるSUS329J4Lなどが挙げられるが、価格変動の大きいNiや高価なMoなどの合金元素の割合が多く、高価である。

今回採用した省合金二相ステンレス鋼 (SUS323L) は、NiやMoなどの割合が少ないため価格変動の影響を受けづらく価格が安定しておりオーステナイト系ステンレスと比較しても同等の材料単価である。

表-1 ステンレス鋼の主な化学成分

分類	規格名	主な化学成分
フェライト系ステンレス	SUS430	18Cr
オーステナイト系ステンレス鋼	SUS316L	18Cr-12Ni-2Mo-LC
汎用二相ステンレス鋼	SUS329J4L	25Cr-6Ni-3Mo-0.15N
省合金二相ステンレス鋼	SUS323L	23Cr-4Ni-0.15N

(3) 二相ステンレス鋼の力学的性質

ゲート設備の素材として代表的な鋼材である溶接構造用圧延鋼 (SM490) およびオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS316L) と省合金二相ステンレス鋼 (SUS323L) の力学的性質を以下に示す。

表-2 鋼材の力学的性質^{2),3)}

	比重 (kg/cm ³)	引張 強さ (N/mm ²)	降伏点 耐力 (N/mm ²)	ヤング 率 (N/mm ²)	伸び (%)
SM490	7.85 × 10 ⁻³	490 ~610	325 以上	2.1 × 10 ⁵	17 以上
SUS316L	7.93 × 10 ⁻³	480 以上	175 以上	1.93 × 10 ⁵	40 以上
SUS323L	7.8 × 10 ⁻³	600 以上	400 以上	2.0 × 10 ⁵	20 以上

表-2より省合金二相ステンレス鋼 (SUS323L) は従来の普通鋼であるSM材と比較しても同等以上の耐力があるため高強度であり、比重が小さい鋼材であるとわかる。

4. 淀川大堰ゲート設備の設計

淀川大堰閘門ではゲート設備として閘門ゲートおよびバイパスゲートを設置する。閘門ゲートは閘室の上流側および下流側にそれぞれ1門設置し、バイパスゲートは上流側および下流側にそれぞれ2門の計4門を設置する。

これらのゲート設備の設計について、従前よりゲート設備で使用されている普通鋼 (SM490) およびステンレス鋼 (SUS316L) の他、近年JISに登録された省合金二相ステンレス鋼 (SUS323L) について、施工費および防食等のライフサイクルコストの観点より検討を行った。

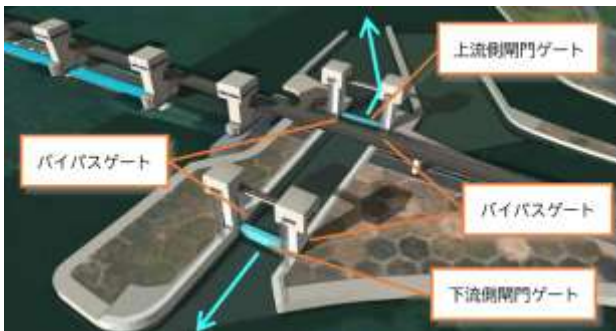


図4 淀川大堰閘門ゲート設備

(1) 閘門ゲートの設計

a) 施工費についての検討

閘門ゲートの設計にあたり、SUS323Lは強度の指標である降伏点耐力がSUS316Lの2倍以上であり、SM490よりも高いため、ゲートの軽量化を図ることができるが、一般的なゲートのたわみ度は1/800⁴⁾と定義されているとおりひずみについても重要である。

たわみ度によって主桁の断面積や間隔等のゲート構造は設計され、主桁の間隔が狭くなるほど使用部材数は多くなり、鋼材の比重との関係によりゲートの重量は増大する。

たわみ度はヤング率に依存し、SM490、SUS323L、SUS316Lの順にたわみにくいため、SM490を使用することで他の鋼材より少ない部材数で設計ができる。

一方、比重はSUS323L、SM490、SM316Lの順に小さいため、使用部材数も勘案した際にSUS323Lを使用することで他の鋼材より軽量で設計ができる。

軽量のゲートであるほど、開閉荷重が減少するため、開閉装置および電源設備等の付属設備や閘門躯体の施工に係る費用を削減することができる。

b) 防食についての検討

防食については、SM490は被覆防食または電気防食を必要とし定期的な塗装の塗替えまたは電気防食材の交換等の維持管理費が必要だが、SUS316LおよびSUS323Lは高い耐食性を有しているため、防食のための維持管理費が不要なためライフサイクルコストが低い。

(1)a)およびb)についての比較を以下の表に示す。

表-3 閘門ゲート (1門) の比較 (概算)

	SM490	SUS316L	SUS323L
重量(t)	115	117.5	87
施工費	低	高	中
維持管理費	高	低	低
ライフサイクルコスト	中	高	低

表-3より閘門ゲートで使用する鋼材はSUS323Lが優位となった。

(2) バイパスゲートの設計

a) 施工費についての検討

バイパスゲートの設計についても閘門ゲートの設計と同様に使用する鋼材について検討を行う。

しかしながら、ゲート設備の板厚は、設計基準により主要部材は必要な板厚を確保する⁵⁾こととされているため、検討を行う鋼材でゲートの重量に差はほとんど生まれなかった。

表-4 最小板厚⁶⁾

	鋼板	形鋼
扉体	8	8
戸当たり・固定部	8	6
放流管の管鋼本体	8	-

一方で、ゲートを製作する際の加工費では、SM490と異なりSUS316LおよびSUS323Lは酸洗いによる不動態被膜の生成を行う過程が必要である。また、SUS323LはSUS316Lより伸びにくいいため加工には熟練を要する。

そのため、加工費で比較すると、SM490、SUS316L、SUS323Lの順に安く、施工費も同様となる。

b) 防食についての検討

防食については閘門ゲートと同様に、定期的な塗装の塗替えや防食材の交換等が不要なため、SUS316LおよびSUS323LはSM490に比べライフサイクルコストが低い。

(2)a)およびb)についての比較を以下の表に示す。

表-5 バイパスゲート (1門) の比較 (概算)

	SM400	SUS316L	SUS323L
重量(t)	1.1	1.2	1.2
施工費	低	中	高
維持管理費	高	低	低
ライフサイクルコスト	高	低	中

表-5より、バイパスゲートで使用する鋼材はSUS316Lが優位となった。

5. まとめ

淀川大堰閘門ゲート設備は、塩水による腐食への対策に係るライフサイクルコストおよびゲート設備、付属設備、閘門躯体の施工費の観点から比較すると、閘門ゲートでは省合金二相ステンレス鋼であるSUS323Lが優位となり、バイパスゲートではオーステナイト系ステンレス鋼であるSUS316Lが優位となった。

省合金二相ステンレス鋼は従来の二相ステンレス鋼に比べ鋼材価格が高くなく、ライフサイクルコストも低いため、非常に優れた素材である。

バイパスゲートのような小型ゲートでは従来のオーステナイト系ステンレスの方が優位になる場合もあるが、ゲート設備で省合金二相ステンレス鋼が使用される範囲は拡大されていくと期待される。

以前より、国土交通省ではライフサイクルコストの削減を中心に据えて設備の設計に取り組んでおり、新技術や新素材が活用できるよう時代の変化に合わせて技術基準の改定を行ってきた。

今後、最小板厚等の技術基準の改定により、省合金二相ステンレス鋼の使用範囲が拡大し流通量が増加することで、価格の更なる低減や加工技術の普及による製作費の低減や、小型ゲートでの使用も期待される。

6. その他

本稿は1および2が近畿地方整備局 淀川河川事務所 施設管理課（〒573-1191大阪府枚方市新町2丁目2-10）所属時の業務である。

謝辞：本論文の執筆にあたり、参考資料の提供及び助言等いただきました関係者の皆様に感謝の意をここに述べさせていただきます。

参考文献

- 1) JIS G0203:2009「鉄鋼用語（製品及び品質）」
- 2) JIS G3106:2015「溶接構造用圧延鋼材」
- 3) JIS G4304:2015「熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」
- 4) 一般社団法人ダム・堰施設技術協会：『ダム・堰施設技術基準（案）』2016年10月 P.110
- 5) 一般社団法人ダム・堰施設技術協会：『ダム・堰施設技術基準（案）』2016年10月 P.114
- 6) 同上