

ワイヤロープの耐用年数の延長に関する検討

山村 研人¹・上野 英二²・大西 隆³・高橋 慶太⁴・徳田 克也²

¹水資源機構 朝倉総合事業所 (旧 長良川河口堰管理所)

²水資源機構 長良川河口堰管理所 (〒511-1146 三重県桑名市長島町十日外面 136 番地)

³水資源機構 愛知用水総合管理所 (旧 長良川河口堰管理所)

⁴水資源機構 香川用水管理所 (旧 長良川河口堰管理所)

本論文では、更新する際に取り替えたワイヤロープについて詳細な調査を行い、その結果を分析し、更新計画の考え方と比較して整理を行った。併せて、過去に発生した長良川河口堰特有のワイヤロープに関する素線浮きなどの不具合について、そのメカニズムを解析し、今後の更新計画を見直し対応策を取り込んだ。これにより、素線浮きによる理由から 8 年で交換したワイヤロープについて、18 年まで耐用年数が延長する可能性がある。これらの調査、検討、見直しについて報告する。

キーワード：ワイヤロープ、素線浮き、内部腐食、更新計画

1. はじめに

本事象は、平成 17 年度の点検時に調節ゲート 8 号上段扉右岸側のワイヤロープ (以下「ロープ」という。) で素線の浮きが発見されたことにさかのぼる¹⁾。(写真-1)



写真-1 調節 8 号ゲート状況

平成 18 年度の水資源機構技術研究発表会で詳細を発表したが、本事象の原因をロープがゲートの扉体に設置しているシーブ(動滑車)を通過することによりロープに摩擦抵抗が生じ、一部の開度で開閉を繰り返すことでロープの撻りが詰まり、素線が浮く事象につながったと想定した²⁾。

ワイヤロープは、図-1 のようにロープの真ん中をと

る心綱に数本のストランドという鋼線を巻き付けるような構造になっており、ストランドが心綱の周りを一周することを一撻り(ピッチ)と言っている。「撻りが詰まる」というのは、この一撻りがある長さで巻き付いているものがロープ長さに対して短くなる現象をいう。

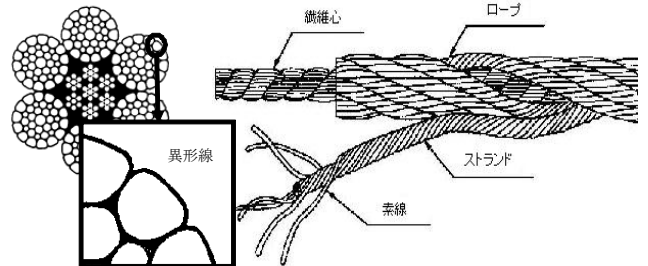


図-1 ワイヤロープ 分解詳細図

(出典：東京製鋼株式会社 HP)

この事象は、調節ゲートが運用上オーバーフロー操作などで頻繁に動作しており、ロープの同じ箇所がシーブを往復することに関係している。当時詳細に調査したなかで、ロープ張力を計測した際にロープがシーブを通過する際の張力を計測したところ、シーブを通過する前後で 12%の差があったことからシーブで抵抗を受けていることが確認できた³⁾。また、ロープ長さを計測した際に、1 撻り間の長さを比較するとシーブを頻繁に通過する箇所とあまり通過しない箇所では、頻繁に通過する箇所で幾分短くなっていることから撻り詰まりが発生して

いるのではないかとと思われる。

さらに、シーブの溝を観察したところ、ロープの接触面で摩耗痕があり、若干溝幅が広がっていったことから、設置当初からロープ径がシーブ幅より若干大きくなっていったことが、縊り詰まりを助長したのではないかと想定した。ただし、これらは、製作の許容値⁴⁾以内で製作されたものであり品質上は問題無いものであった。

その後、調節8号ゲートの調査で機械設備管理指針による廃棄基準（ロープの1縊りの間において素線の数の10%以上の素線が断線したもの）相当の素線浮きが確認されたことと他のゲートでも程度の差はあるものの同様の事象が確認されたことから、全ての調節ゲート上段扉のロープについて更新計画を策定し、平成27年度の工事により、調節ゲート上段扉の一通りの更新を終えたところである。

そのなかで取替時に本事象の検証や劣化状況の把握等今後の整備計画策定を目的にロープの詳細調査を実施した。本稿では詳細調査の結果を分析し、更新計画の考え方と比較して整理を行ったものである。併せて、素線浮きなどの不具合について、使用頻度の異なる下段扉ロープの調査結果も含めた分析により、そのメカニズムの解析及び対応策について示すものである。

2. 調査内容

2.1 調節ゲートの設備概要、運用方法とロープ仕様

調節ゲートは、径間45mの2段式シェル構造ローラゲートであり、上段扉の扉体重量は最大のもので約300tにもなる設備である。潮位にあわせた水位低下操作、アユの遡上、仔アユの降下操作、水質保持のためのフラッシュ操作など様々な目的にあわせた操作を行うことから、操作頻度が非常に多い設備である。よってワイヤロープには高強度で曲げ疲労、摩耗に強いロープが要求されたため、心線が鋼芯でストランド外側が異形線であるウォーリントンシル形異形線IWRC6×P・WS(36)G/Oが採用されている。(図-1)。

2.2 ワイヤロープの詳細調査

調査は、更新対象のワイヤロープの旧ワイヤロープについて行った。調査方法は、使用上最もシーブを通過する箇所について、ロープを新規購入の際に行う検査項目を調査することで劣化度の確認を行った。(ワイヤロープ調査)

一方、素線が浮く事象の検証を行うために当初発生した調節8号ゲート以外のゲートでも同様の状況であるか

を確認するために調節3号ゲートと調節5号ゲートについて調節8号ゲートで行った調査と同様の調査を行った。(シーブ調査) 調査項目を表-1に示す。

表-1 調査項目

| 名称 | 調査項目 | 名称 | 調査項目 |
|----------|--|-------|--|
| ワイヤロープ調査 | ロープ試験 外観確認(腐食の有無、素線切れ等) 破断試験 ロープ径の計測 素線試験 外観確認 破断試験 ねじり試験 亜鉛メッキ付着量試験 素線径の測定 | シーブ調査 | シーブ試験 外観確認(摩耗痕、圧痕) シーブ溝計測 シーブ溝硬度計測 動作状況確認 トルク計測 |

ワイヤロープ調査の結果を表-2に示す。表中の使用年数は、前回更新時(ゲート設置当初を含む)からの年数を示し、運転回数は前回更新時からの動作回数を示している。また、素線浮きについては、調査箇所で1ピッチ当たりの素線浮き数が最大となった箇所の本数を示している。内部腐食は、分解したロープの腐食量を外見の差から比較している。

表-2 調査結果(抜粋)

| 設備名(上段扉) | ロープ径【mm】 | 使用年数【年】 | 運転回数【万回】 | 素線浮き【/ピッチ】 | 表面腐食 | 内部腐食 | 圧痕 |
|----------|----------|---------|----------|------------|------|--------|----|
| 調節1号 | 40 | 18 | 3.9 | なし | なし | 大 | 有り |
| 調節2号 | 40 | 14 | 未調査 | | | | |
| 調節3号 | 48 | 8 | 2.3 | 3本 | なし | 中 | 有り |
| 調節4号 | 48 | 18 | 6.4 | なし | なし | 大 | 有り |
| 調節5号 | 48 | 8 | 2.2 | 41本 | なし | 中 | 有り |
| 調節6号 | 48 | 7 | 2.3 | 16本 | なし | 中 | 有り |
| 調節7号 | 48 | 9 | 2.8 | 22本 | なし | 中 | 有り |
| 調節8号 | 48 | 8 | 2.3 | 32本 | なし | 中 | 有り |
| 調節9号 | 48 | 6 | 1 | なし | なし | なし | なし |
| 調節10号 | 45 | 18 | 4.7 | なし | なし | 中 | なし |
| (下段扉) | | | | | | | |
| 調節5号 | 58 | 21 | 2.1 | なし | なし | 軽微~中 | 有り |
| 調節8号 | 58 | 19 | 1.9 | なし | なし | 極軽微~軽微 | 有り |

表のとおり全てのゲートに共通して外見で判断できる表面腐食は無かったが、ロープを分解してわかる内部腐食が確認された(写真-2)⁵⁾⁶⁾、ロープ内部では金属接触による圧痕も確認された(写真-3)⁶⁾。

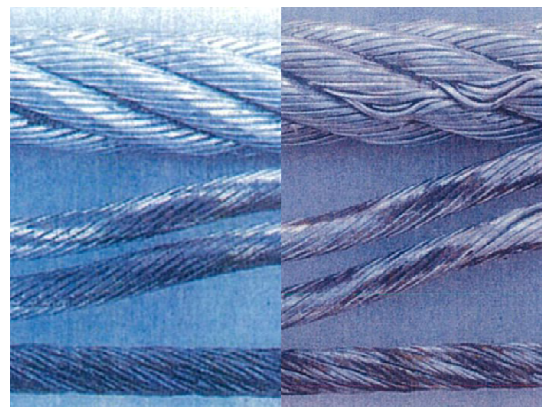


写真-2 調節1(左)・8(右)号ゲート内部腐食

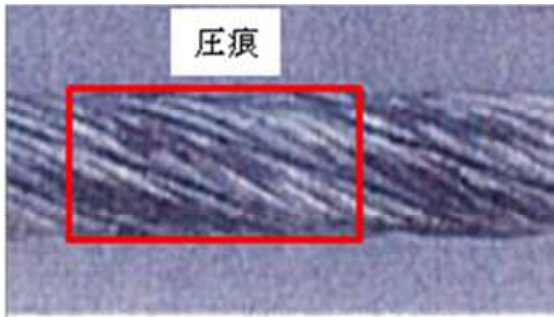


写真-3 金属接触による8号内部の圧痕

シーブ調査では、シーブ自体の溝半径や、硬度等についてゲートごとに大きな差はなかったものの、いずれのシーブも溝側壁に荒れが確認された⁴⁾。(写真-4)



写真-4 5号シーブ溝側壁の荒れ

一方、調査を行ったロープのシーブ通過箇所には、つぶれ摩耗が見られた。特に調節ゲート5号のロープは、摩耗量が同じ位置でも円周方向では異なっていることが確認された。ロープピッチについては、いずれのロープも標準のとおりであり、差はなかった。

2.3 素線浮き上がりのメカニズム⁴⁾

素線が浮き上がる原因は、撻りの移動または接触圧力の高い場合が考えられるのが一般的である。撻りの移動による素線浮きでは、図のとおりロープピッチが変化する(一方でピッチが長くなり、一方ではピッチが短くなる)。ピッチが短くなった部分では素線が緩み、その弛みが集中することで素線浮きに至る(図-2 左図)。接触圧力による素線浮きでは、ロープが自転(一般のワイヤロープは張力が加わると撻りを戻す方向に自転する性質がある)せず、ロープの同一面がシーブ溝と繰り返し接触した際、接触圧力が高いと接触面と反対側に素線が押し出され、配列が乱れるため素線浮きに至る(図-2 右図)。

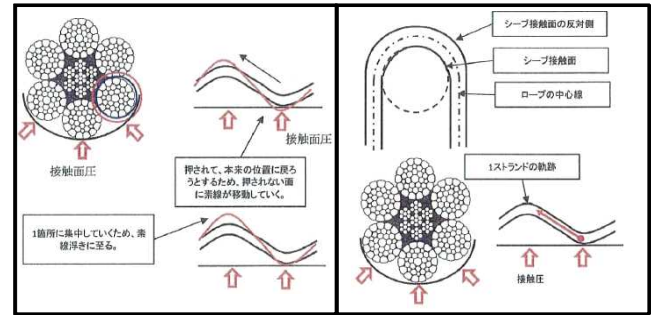


図-2 素線浮きのメカニズム

本件に関しては、シーブと合わせた詳細点検の結果より、ロープピッチの大きな差はなくシーブ溝側面に摩耗痕がみられること、ワイヤロープの摩耗量が同位置の円周方向で異なっていることから、接触圧力が高く、ロープも自転していなかったため、素線浮きにつながったと考えられる。それを裏付けるように、素線浮きが見られなかった調節ゲート4号では、円周方向で同程度のつぶれ摩耗があり、自転していることが確認された。しかし以前の調査では、若干ではあるがロープピッチの変化が見られたが、今回の調査では確認されなかった。よって、原因を確定的なものと考えず、点検等において今後も注視していく。

いずれにしても、対策としてシーブ径を大きくすることやシーブ溝幅を広くすることでシーブから受ける抵抗を小さくすることができるが、これを行う場合ゲート構造の改造やシーブ自体の更新が必要となり、大規模な整備を行う必要がある。そこで比較的安価に行える対策として、ロープを更新する際にロープ製作許容寸法を JIS 規格より厳しい値で指定し、径の許容幅を少なく(7%→3%)し、さらに自転を促進するためにピッチを通常より短く(300mm→275~290mm)製作することで回避できると考え、実際に平成26年度から更新したロープではそれを反映した。これにより、素線浮きの発生を抑えロープの耐用年数の延長が期待できるため、今後の点検で注視しつつ、更新計画を再検討していく。

2.4 運転回数と内部芯線の腐食状況

ワイヤロープの詳細点検では、腐食状態についても調査したが、いずれのゲートでも外部腐食は認められなかったものの、一部のゲートで内部腐食が確認された。

通常、ワイヤロープのメンテナンスは、ロープ表面にワイヤロープ専用の潤滑油を定期的に増塗りすることで保全し、その際の外観点検や触診により素線切れ等がないことを確認しているが、ロープ内部には、油の増塗りや点検等による状況確認ができないのが現状である。

目に見えない部分で劣化が進行しているため、腐食が進行するメカニズムの解明及び対策が立てられれば、安全性を確保しながらロープを延命化できる。

図-3 及び図-4 は、表-2 から内部腐食度をそれぞれ経過年数と運転回数により比較したものである。腐食は時間と共に進行していくのが一般的であるが、両図から経過年数よりも運転回数が内部腐食の進行度と相関関係にあることがわかる。

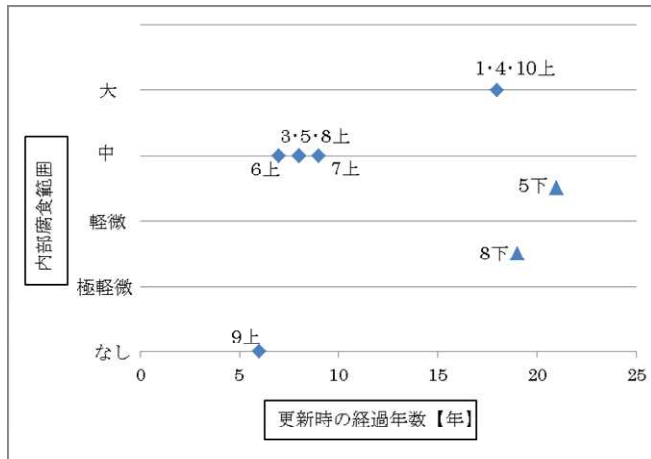


図-3 経過年数と内部腐食状況

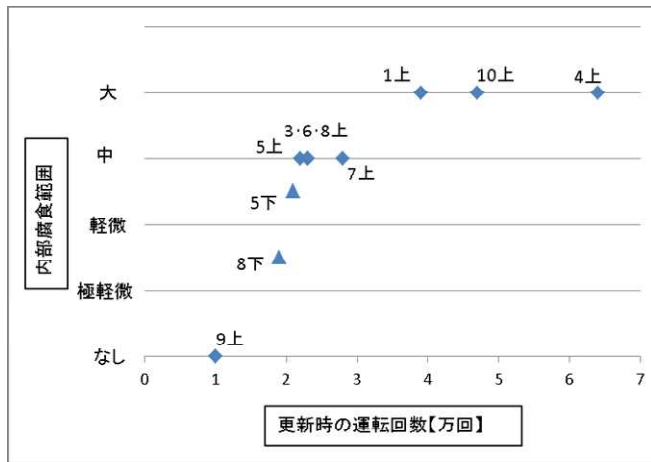


図-4 運転回数と内部腐食状況

この状況を踏まえると、ロープがシーブを通過する度に圧力を受けることで、ロープに施されているメッキが割れ、ロープ油の増塗りができない内部で腐食が進行していると想定できる。

対策として、内部の油を枯渇させない対策が必要となることから、現在更新した一部のゲートでは、ロープ製作時に内部に塗布する油を港湾等で使用される粘着性の高いものを採用するとともに、塗布量を増加するように変更した。今後は、次回更新時に状況を確認し効果の検証を行う。

3. まとめ

長良川河口堰の調節ゲートで発見された素線浮きについて、ワイヤロープとシーブを合わせた詳細調査からロープの自転が影響していることがわかった。これに対し、ロープ更新時に可能な方法による対策を行い、素線浮きによる取替えを行ってきたワイヤロープの耐用年数の延長を図った。今回調節ゲート上段扉のワイヤロープについて、本事象が発生したことで最短で8年での更新を余儀なくされたが、対策の効果により素線浮きが抑制できれば、素線浮きが生じていない唯一のゲートである調節4号ゲートでのロープ寿命(18年)程度の延命化が期待できる。

また、ワイヤロープ更新時の詳細調査から、定期点検ではわからない内部腐食が進行していることが確認できた。さらに、その原因が繰り返し動作することによるメッキ割れによるものであることを想定するに至った。製作時のロープ油を変える対策により、今後内部腐食の防止につながることを期待するところである。

本稿では、調節ゲート上段扉を中心に触れてきたが、長良川河口堰にはこの他に使用頻度の少ない下段扉、使用方法の異なる閘門ゲート及びロック式魚道ゲートもある。それらについても対策を行っていくとともに、更新計画のさらなる改善につなげるために、今後も引き続き調査分析を行っていく。

謝辞

本研究に当たり、ご協力及びご助言をいただきました皆様、またこれまでの調査等に携わってきた皆様に、敬意と感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 「調節ゲート設備点検整備 業務報告書」. 平成16年3月. 三菱重工工事株式会社.
- 2) 藤田亨・上野英二. 「長良川河口堰調節ゲートワイヤロープの耐疲労性について」. 第9回中部ブロック技術研究発表会. 平成18年
- 3) 「ゲート設備整備工事 完成図書」. 平成18年3月. 三菱重工工事株式会社.
- 4) 日本工業規格 JIS G 3546 (2012).
- 5) 「調節ゲート1号設備外整備工事完成図書」. 平成25年3月. 三菱重工鉄構エンジニアリング株式会社.
- 6) 「調節ゲート8号設備外整備工事完成図書」. 平成26年3月. 三菱重工鉄構エンジニアリング株式会社.