

水門用ワイヤロープの取替直後における弛みの原因とその対策

○藤野 好文¹・西川 信二²・江田 友也³

概要:

ワイヤロープウインチ式水門設備に用いるワイヤロープは、製造時に標準的にプレテンション加工を行い、初期伸びを除去しているが、ワイヤロープ取替直後の運用時に伸びにより全閉付近でワイヤロープ弛み異常を検出するケースが多く、復旧・調整に負担を強いられていた。

今回、取替直後のワイヤロープの伸びと調整量の経時変化をもとに、プレテンション加工済みワイヤロープの初期伸びの除去不足に着目し、ワイヤロープ取替に際し現地で継続して負荷をかけ続け、均し運転と観測を併用した試験施工を行った。その結果、試験施工後のゲートは、1年以上経過後も伸びに起因した弛み異常を検出することもなく、結果として管理職員の負担軽減に大きく寄与し、同方式ゲートの管理手法に対する成果を得た。

キーワード: ワイヤロープ、プレテンション加工、初期伸び、管理負担軽減

1. はじめに

水門設備の開閉方式には油圧式やスピンドル式があるなかで、ワイヤロープウインチ式は広範囲な揚程・径間、開閉荷重に対応出来るため、中・大型水門で多く採用されている。

ワイヤロープの製作時に行うプレテンション加工は、構造上の伸びが除去されるため、初期伸びおよび初期ロープ径の減少が少なくなるほか、弾性係数と耐疲労性の向上が期待出来ること¹⁾から、各基準では標準的²⁾な加工となっており、当施設でも採用している。

このように初期伸びを除去し、試運転調整を経て運用を行うものの、ワイヤロープは取替直後からワイヤロープの伸びを原因とする弛みが発生するケースがあり、発生の際にワイヤロープの余長を巻き取る調整と運用を繰り返し行っており、管理上の課題であった。

2. ワイヤロープ弛み異常が管理に与える影響

旧吉野川河口堰管理所の堰ゲート設備は、**図-1**のとおり下流潮位の変動や上流水位の設定水位に合わせて調節ゲートと制水ゲートを24時間自動制御にて操作しており、1年間のゲート動作回数は1門当たり2,800回余りで全閉操作の機会も多い。そのため、全閉付近で発生するワイヤロープ弛み異常は、管理職員の就業時間に関係なく発生し、現地での復旧に2名程度の人員が必要なこと、旧吉野川河口堰は管理所から約7km離

れた場所にあること、更に旧吉野川河口堰および今切川河口堰のうち魚道ゲートを除く17門にワイヤロープウインチ式を採用し、ワイヤロープは約20年周期でほぼ毎年のように取り替えていることから、常にワイヤロープの伸びを原因とする弛みが発生する傾向にあり、管理職員は大きな負担を強いられていた。

本稿は、日常管理で得られた経験とワイヤロープの取替を通じ、水門用ワイヤロープ取替直後の弛みの原因を追求し対策を図り、ワイヤロープ弛み検出制御回路の改造と併せて、管理負担を軽減した取り組みについてまとめたものである。

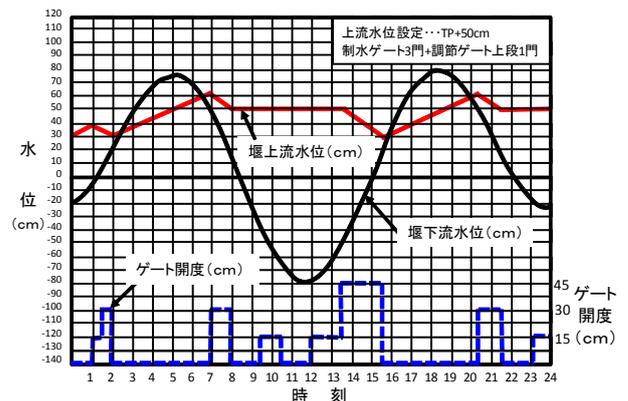


図-1 旧吉野川河口堰水位とゲート開度相関図

3. ワイヤロープ弛みの発生メカニズム

3.1 ワイヤロープ弛みの発生要因

ワイヤロープ弛みの発生原因は、流木など異物が扉

1. 両筑平野用水総合事業所 管理課副参事 (前: 旧吉野川河口堰管理所 施設管理グループ副参事)

2. 旧吉野川河口堰管理所 所長代理(施設管理)

3. 旧吉野川河口堰管理所 施設管理グループ主幹

体下端に噛み込む場合や、ローラールに何らかの異物が噛み込む場合、ロープの破断のほか、ロープそのものに伸びが生じ弛み異常の検出をするものがある。

3.2 ワイヤロープ弛み異常検出の方法

ワイヤロープ弛み異常は、**図-2**によるワイヤロープ端末調整装置で検出している。動作原理は、ワイヤロープの張力低下により、内蔵されたコイルばねが反発してゆるみストライカを押し上げ、リミットスイッチを動作させることで電気制御的にゲートを停止させる仕組みである。また、同装置には更にワイヤロープに掛かる過大な負荷を皿ばねの圧縮量で検出し、停止出来る機能も持っている。

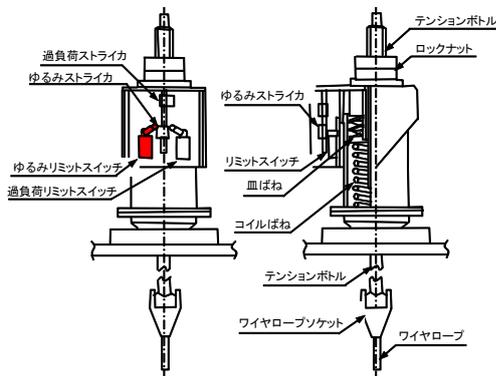


図-2 ワイヤロープ端末調整装置

3.3 ワイヤロープ弛み異常検出時の対応策

流木などの異物が噛み込み発生してしまう場合は、現地での機側操作盤にてゲートを上昇させ、フラッシングした後、ゲートを全閉操作し復旧するが、ワイヤロープに伸びが生じている場合は、**写真-1**のようにワイヤロープ端末調整装置のロックナットにてワイヤロープの余長を巻き取る調整方法が一般的である。



写真-1 ワイヤロープ余長調整状況

4. 改善対策について

4.1 ワイヤロープ弛みの発生と調整状況

図-3に旧吉野川河口堰制水ゲート1号のワイヤロープ弛み異常の発生と余長の調整実績を示す。平成24年

3月に取替後、増加傾向にあったワイヤロープの弛み異常は、ワイヤロープ端末調整装置のロックナットにて余分なワイヤロープを巻き取る調整と運用を繰り返した結果、ワイヤロープ弛み異常が減少していることが分かる。

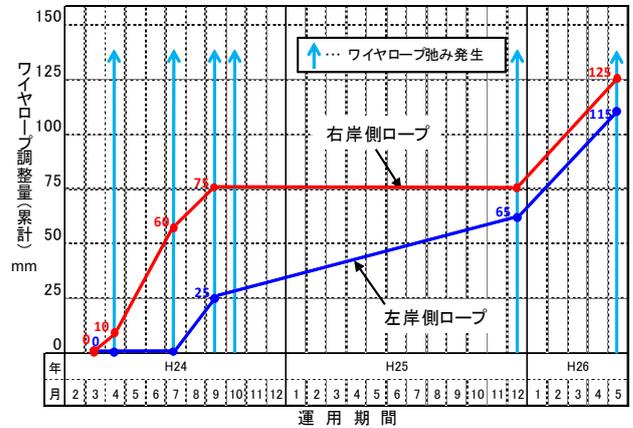


図-3 ワイヤロープ弛み発生と調整量【H23, 制水1号】

4.2 ワイヤロープの構造とプレテンション加工

ワイヤロープは**図-4**のような構造であり、製造時のワイヤロープは「らせん状」の素線やストランドが相互に十分な密着状態になっていない。初期伸びとは、荷重を掛けると密着状態に至る過程で伸びが生じるもので、荷重をとり去っても戻らない永久伸びである。

また、素線数の多いワイヤロープほど初期伸びは大きく生じると言われており、これらを少なくするためにプレテンション加工を行っている。

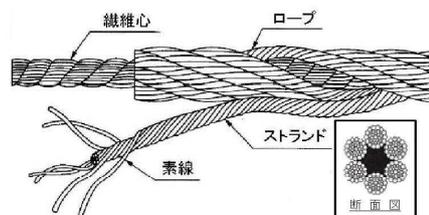


図-4 ワイヤロープ構造図¹⁾

プレテンション加工(ストレッチング)とは、ワイヤロープを引き伸ばす加工で、具体的には製造したワイヤロープを破断荷重(規定破断力)の40%の荷重で30分間保持し、これを2回繰り返すものである。²⁾

水門用ワイヤロープは左右岸のドラムを同時に取り替えることが一般的であるため、1本のロープを総延長で製造したあと、左右の必要長さに切断することで同一ロッドとなり、弾性係数を一定にして左右の伸び・巻き取り量のアンバランスを少なくするよう、製作上の工夫も取り入れられている。

図-5は、平成25年度に整備した旧吉野川河口堰制水ゲート4号のワイヤローププレテンション成績表であるが、2回の加工で215mmの初期伸びを記録している。

プレテンション成績表

ロープ構成	6×WS(36) G/O	ロープ長さ	264m(132m×2本)
ロープ径	31.5mm	規格破断荷重	588kN(40%値=235kN)
種別	B種	計算断面積	426mm ²

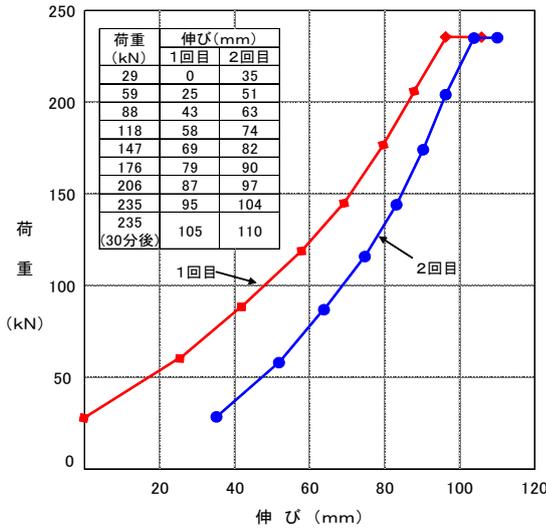


図-5 ワイヤローププレテンション成績表

同ゲートは片側ワイヤロープ長132mであり、プレテンション加工による初期伸びをゲートの鉛直開度に換算すると10.7mm(215mm/2本/10本(動シーブ5枚構造))分に相当し、プレテンション加工は必要不可欠な加工と言える。ただし、加工回数は2回以降行っても、効果は微増傾向とも言われている。³⁾

4.3 初期伸びの除去不足に対する試験施工

これまで示すとおり、製作時にプレテンション加工を行っているにも関わらず、ロープ弛み異常とロープ端末調整を繰り返すことから、原因が初期伸びの除去不足に起因している可能性に着目し、試験施工として平成25年度と同堰制水ゲート4号のワイヤロープ取替に際し、取替後に扉体を中間開度(1.00m)に保ち続けることで実負荷(破断荷重の約10%)を長時間与えるとともに、さらに1日2回の全揚程試運転により、ロープに曲げを加えた。(表-1)

表-1 試運転の実績(均し運転記録)【H25, 制水4号】

試運転日	時間	運転範囲	備考
平成26年1月27日	14:00~15:57	1.00mから開操作→ 9.55m全開停止→ 1.00mまで閉操作	運転時以外は 開度1.00mにて保持
平成26年1月28日	9:30~10:27 15:30~16:27		
平成26年1月29日	9:15~10:12 15:50~16:50		
平成26年1月30日	9:10~10:07 15:30~16:27		
平成26年1月31日	9:10~10:07 15:20~16:17		
平成26年2月1日	9:00~9:57 15:20~16:17		
平成26年2月2日	8:30~9:27 15:15~16:12		

試運転中は写真-2のとおり、扉体の下がり量を計測してワイヤロープ伸び量に換算し、図-6にその推移を示す。当初は着目どおり伸びが見られたが、日々減少傾向となり、6日目以降は横ばいを示した。試運転による伸び量は、プレテンション加工時の伸び量215mmに対し、左右岸合計263mm(122.3%)に達した。



写真-2 ワイヤロープ伸び量(扉体位置)計測状況

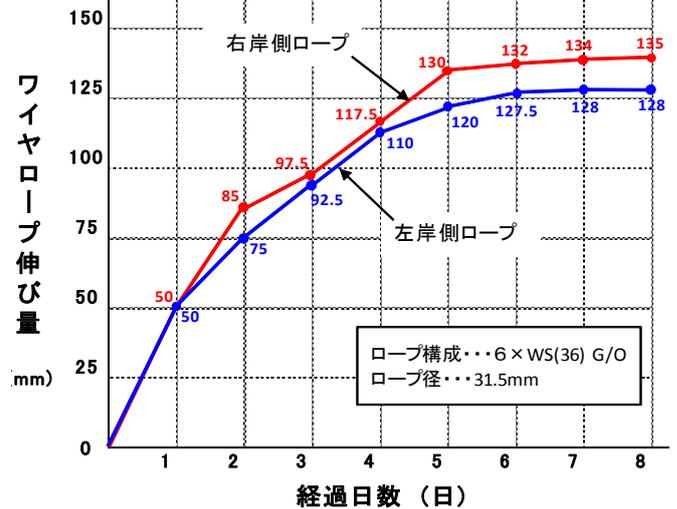


図-6 ワイヤロープ伸び量の推移【H25, 制水4号】

更に、平成26年度と同堰制水ゲート2号のワイヤロープ取替に際し、前年度の4号と同様に試運転(均し運転)を行った。(表-2)

表-2 試運転の実績(均し運転記録)【H26, 制水2号】

試運転日	時間	運転範囲	備考
平成26年12月23日	10:10~11:15 15:55~17:00	1.00mから開操作→ 9.55m全開停止→ 1.00mまで閉操作	運転時以外は 開度1.00mにて保持
平成26年12月24日	10:00~11:05 15:30~16:35		
平成26年12月25日	10:10~11:15 14:15~15:20		
平成27年1月6日	9:00~10:05 15:50~16:55		
平成27年1月7日	9:45~10:50 15:20~16:25		
平成27年1月8日	9:50~10:55 15:50~16:55		
平成27年1月9日	9:55~11:00 15:20~16:25		

図-7 に試運転期間中のワイヤロープ伸び量の推移を示す。2号も4号と同様に伸びが見られたが、日々減少傾向になり、6日目以降は横ばいとなった。

なお、プレテンション加工時の伸び量は制水ゲート4号に対して少ない147mm(68.4%)であったが、試運転による伸び量は、制水ゲート4号を上回る左右岸合計301mm(114.4%)であった。

試験施工による2門の相違点はロープ製造メーカが異なることであるが、プレテンション加工と試運転の全体の伸び量の合計は、ほぼ同一となる特徴的な結果となった。(表-3)

また、1日2回の全場程試運転の場合、概ね6日目で伸びが減少し、収束するという結果を得た。

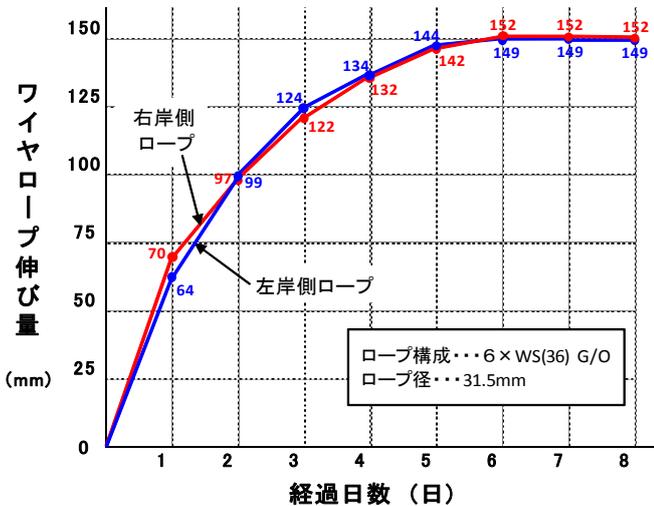


図-7 ワイヤロープ伸び量の推移【H26, 制水2号】

表-3 ワイヤロープ伸び量の関係

対象ゲート	プレテンション加工	試運転	合計	製造メーカ
制水ゲート2号 (平成26年度)	147mm	301mm	448mm	TO社
制水ゲート4号 (平成25年度)	215mm	263mm	478mm	TE社

4.4 取替直後における弛みの発生原因と対策

同堰制水ゲート4号(平成25年度取替)は、試験施工により十分に伸びを発生させ余長を調整した結果、平成27年7月8日までの約1年5ヶ月間に運転回数3,513回、運転時間93.2hを経過しているが、異物噛み込み以外のワイヤロープ弛み異常は一度も発生していない。

この結果を踏まえ、主題であるワイヤロープ取替直後における弛みの原因は、ワイヤロープの伸びであり、伸びの原因はプレテンション加工で除去出来なかった初期伸びの除去不足と判断した。

このことから、弛みの発生対策として、水門用ワイヤロープは製造過程とは別に、取替後にはゲートを中間開度にしてワイヤロープに負荷を掛け続け、さらに

試運転を繰り返し行い、シーブ溝やドラム溝の形状に馴染ませることで、工場で直線的に引っ張るプレテンション加工では除去出来なかった初期伸びを除去させることが有効な対策と言える。

ワイヤロープの一般的な荷重と伸びの関係を図-8に示すが、初期伸びは図のO-Dの部分であり、初期伸びが除去されたワイヤロープは図の直線A-Bのようになる。これを弾性伸びといい、荷重を取り去っても元の状態に戻るフックの法則が成立する。

ワイヤロープの特性を踏まえ、維持管理していくうえで、いかに早く初期伸びを除去出来るかがポイントと言える。

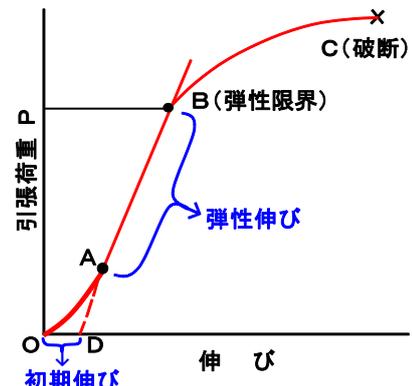


図-8 ワイヤロープの荷重-伸び曲線

5. 初期伸び未対策ゲートに対する検証

今回、プレテンション加工から試験施工に至るまで詳細に伸び量を計測・記録したことにより、結果として弾性伸びの領域内に入ったことが確認出来た。

しかし、他の未対策ゲートについても初期伸びが除去され、安定した弾性伸び段階に移行しているか定量的に見分ける方法がないか検証を行った。

ワイヤロープには構成別の構造伸び標準値¹⁾があり、本ゲートで使用している6xWS(36)相当ではロープ長に対し約0.5%とされている。ただし、ここにある構造伸びとはプレテンション加工によって除去される伸びを指しており、そもそもロープ構造毎に明確な初期伸び量が示されたものが存在しない。

そこでワイヤロープで唯一、毎年定期的に計測しているロープ径に着目した。平成16年度にワイヤロープを取替後10年が経過し、初期伸びと考えられるワイヤロープ弛みが発生していない同堰制水ゲート3号におけるワイヤロープ径の傾向を図-9に示す。

製造直後に32.72mmあったロープ径は減少傾向が続いたが、3年経過後はほぼ横ばい傾向となった。横ばい傾向となった平成19年から平成27年の左右岸を加味した平均ロープ径は31.75mmで、表-4による平成25年

度取替の制水ゲート4号の試験施工後から1年5ヶ月経過までのロープ平均径が31.81mm(32.15+31.99+31.44+31.65)であることを踏まえると、弾性伸び領域に移行していること、更に摩耗によるロープ径の減少が支配的になった段階にあると判断される。

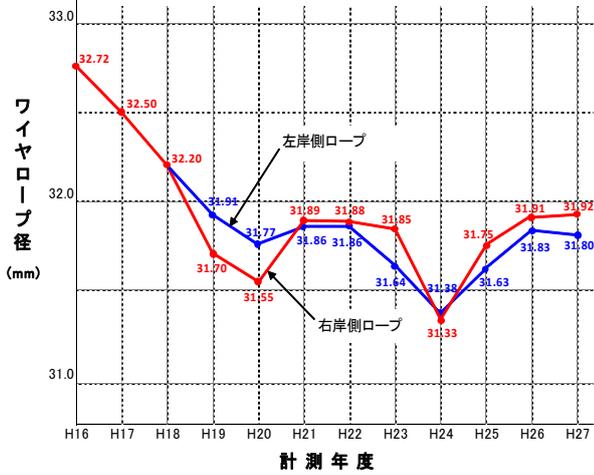


図-9 ワイヤロープ径の推移【H16, 制水3号】

表-4 試験施工後の運転経過とロープ径の記録【H25, 制水4号】 【H26, 制水2号】

計測段階	ロープ径	計測日 運転時間/回数	計測段階	ロープ径	計測日 ゲート運転時間/回
製造直後	32.75mm	平成25年12月13日 —	製造直後	33.21mm	平成26年12月12日 —
試験施工後	32.15mm	平成26年2月2日 0時間/0回	試験施工後	32.41mm	平成27年1月9日 0時間/0回
3ヶ月経過	31.99mm	平成26年5月14日 8.7時間/272回	6ヶ月経過	31.89mm	平成27年7月8日 26.4時間/1348回
1年経過	31.44mm	平成27年1月30日 61.4時間/2294回			
1年5ヶ月経過	31.65mm	平成27年7月8日 93.2時間/3513回			

次に、4.1で述べた平成23年度にワイヤロープを取替えた同堰制水ゲート1号のワイヤロープ径の推移を図-10に示す。

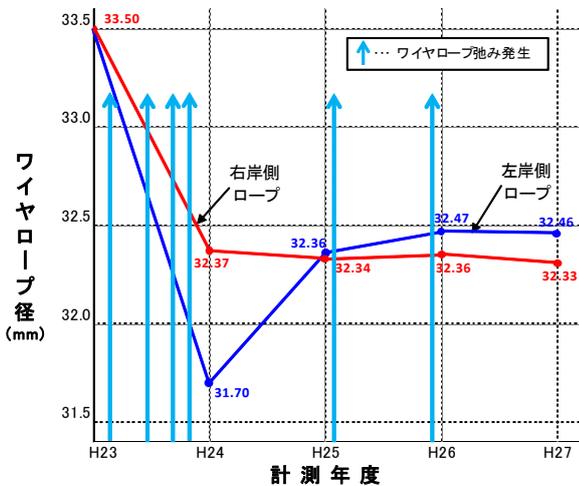


図-10 ワイヤロープ径の推移【H23, 制水1号】

取替直後からワイヤロープ弛み異常が頻発し、ロープ末端による巻き取り調整を繰り返し実施した結果、

近年は安定した状態が続いている。それを裏付けるようにロープ径が急激に減少し、近年は横ばい傾向となっており、ロープ径と伸びには一定の関連性があると考えられる。

これまでワイヤロープ径は、公称径に対し7%以上減少していないか、取替判断の基準値⁴⁾としてきた。

今回の検証結果により、取替直後のロープ径とその推移は、初期伸び状態か弾性伸び領域かを定量的に把握出来る可能性があることが考えられる。ただし、ワイヤロープ径にはJIS G 3525により公称径と実際径があり、実際径(製作許容差)は公称径に対し、ロープ径10mm以上のロープでは0~+7%と太めに製造され、またロッド毎のバラツキもあることから、単純にロープ径のみで判断せず、推移を注視する必要がある。(図-11)

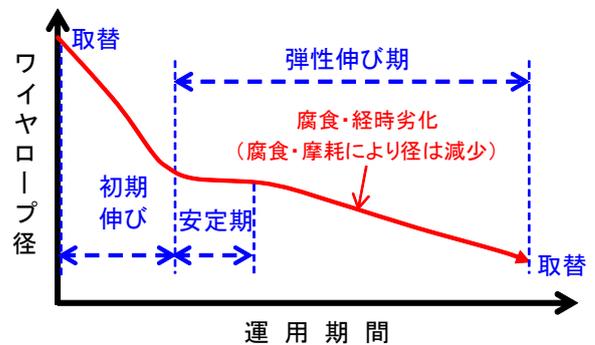


図-11 ワイヤロープ径計測記録の活用イメージ

6. 初期伸び除去の重要性

当管理所でワイヤロープの伸びに起因する弛み異常が多発する原因として、開閉荷重が大きく揚程が長いいため、ロープの掛数が多くなることでロープ全長が長くなり、ロープ全長に対する伸び量が多くなることと、動作頻度が多く初期伸びが発生しやすい環境にあることが挙げられる。

ダム用ゲートは堰用ゲートと比べて動作頻度が少なく、水路用ゲートは動作頻度は同様であるもののワイヤロープの全長が短いため、伸び量が少なく問題が表面化していないだけで、弛みの要素は堰用ゲートと同様に潜んでいると考えられる。

当管理施設においても動作頻度の違いにより、出水時の使用に限定される調節ゲート下段扉では、弛み異常による問題は生じていない。(表-5)

表-5 旧吉野川河口堰ゲート運転年平均値

	運転回数(回)	運転時間(h)
調節ゲート(上段扉)	2,186	58.1
調節ゲート(下段扉)	94	2.7
制水ゲート(1~5号・平均)	2,979	67.8

* 数値はいずれも平成16年度~平成26年度の11ヵ年平均

そこで、水門用ワイヤロープは用途に関係なく、**図-12**のとおり、取替作業後の試運転調整期間に余裕を設けて、初期伸びの全てを除去し運用を行うことが、管理上の負担軽減の面から必要であると考える。

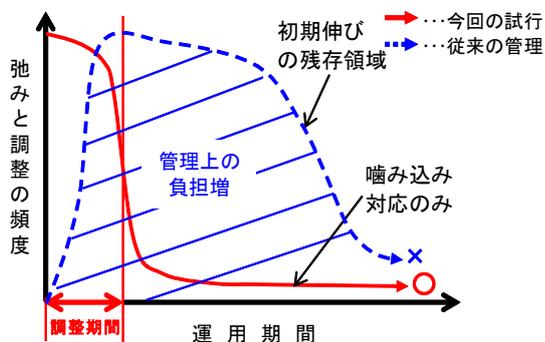


図-12 初期伸びの除去と運用の理想的関係

7. ワイヤロープ弛み異常制御回路の改造

7.1 制御回路の改造と効果

管理負担軽減へのもう一つの取組を紹介する。

当管理施設のゲート制御は、ワイヤロープ弛み異常が発生した場合、現地で状況確認し復旧することを目的として、故障自己保持回路を形成していた。故障自己保持回路とは、故障の要因が排除されるまでゲートの動作を停止させる機能であるが、ワイヤロープ弛み異常に限ってはフラッシュ操作が可能となるよう、開方向には制限がない。異物除去後は、現地の機側操作盤にてリセット押しボタン操作後、全閉操作するが、試行的に遠方でも全ての操作が可能となるよう、自動復帰する回路変更を行った。**(図-13)**

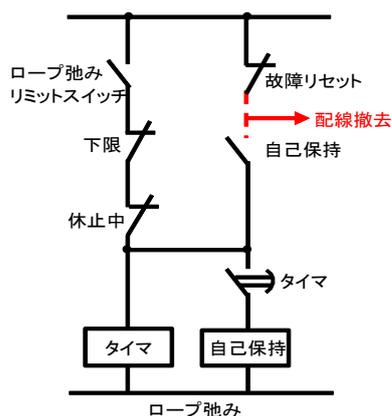


図-13 ワイヤロープ弛み検出回路改造概要

その結果、遠方から迅速な異物のフラッシュ操作、ワイヤロープ弛み異常の復旧と全閉操作が行えることで、管理職員の負担軽減だけでなく、塩水遡上となる管理リスクの軽減を図ることが出来た。

7.2 制御回路改造の課題と対策

制御回路の改造により効果も生まれた一方で、課題もある。ワイヤロープ弛みの発生原因は流木など異物が噛み込む場合だけでなく、設備故障を原因としたロープの伸びや破断、更に扉体の片吊り検出機能が故障した際のバックアップ機能であり、遠方からの復帰にはこれらを念頭に置いたうえで判断する必要がある。

そこで当管理所では、ワイヤロープ伸び量の定期的な測定と調整を実施したうえで伸びの原因を排除し、遠方からの復帰は発生した際の状況（残開度・その他故障の有無等）のほか、塩水遡上への緊急性を総合的に判断したうえで実施している。

また、遠方からのフラッシュ操作には、河川内の船舶の航行に安全な開度(45cm・約25m³/s)と回数(3回)の上限を設け、上限に達しても解消出来ない場合は他に原因が考えられるため、現地による復旧を徹底している。

8. まとめ

これまで、プレテンション加工は各基準により標準となっており、加工時の荷重である破断荷重の40%という値は、開閉荷重の3倍以上になるため、取替直後のワイヤロープ弛みの原因はロープが伸びるというよりも、単に余長の調整不足と捉えていた。

そこで、発生した故障や調整の実績と、堰管理記録やゲートの運転記録と合わせ、ワイヤロープの初期伸びの除去不足の可能性に着目し、取替時にフィードバックして一つの答えを得ることが出来た。

当管理所では24時間自動制御にて操作し、1門当りのゲート動作頻度と全閉の機会が多く、ワイヤロープ弛み異常は管理上かなりの負担となっていたのは事実で、今回の取組は管理職員の負担軽減に大きく寄与することが出来た。

機構のみならず多くのワイヤロープウインチ式ゲートを保有する施設のうち、特に中・大型水門、堰ゲートではワイヤロープ弛み異常の課題を持つ施設は少なくないと想定されるが、本論文が対策への一つのきっかけになれば幸いである。

参考文献

- 1) 東京製綱株式会社：ワイヤロープNo. 20
- 2) 社団法人ダム・堰施設技術協会：ゲート用開閉装置(機械式)設計要領(案)
- 3) 日本スエーヂ株式会社：ワイヤロープ技術資料
- 4) 独立行政法人水資源機構：機械設備管理指針