

緊急油圧装置を使用したワイヤロープウインチ式ゲート用予備動力装置の開発

○藤野 好文¹

概要：

ワイヤロープウインチ式ゲートの予備動力装置の一つである可搬式シャフト開閉機は、長時間の運転によるシャフトの加熱・冷却時間の必要性や、開閉速度の遅さなど課題があり、手動操作の代替とも言えるもので、危機管理対策として十分とはいえない装置であった。

そこで、新たな予備動力装置の検討を行い、既に油圧シリンダ式ゲート用の予備動力として開発され、徐々に普及されている緊急油圧装置¹⁾を駆動源として使用することに着目し、動力の二重化を目的として、電動機が主動力であるワイヤロープウインチ式ゲートの減速機部分を改造して新たに油圧モータを設置し、予備動力として使用できるよう開発した。その結果、大規模災害時に想定される電源喪失、あるいは常用電動機や機側操作盤等の機器故障時等においても確実にゲート操作が可能となり、水門設備としての機能確保に大きく寄与する成果を得た。

キーワード：緊急油圧装置，予備動力装置，可搬式，危機管理対策

1. はじめに

ワイヤロープウインチ式ゲートの予備動力装置には、予備電動機などの常設式と、シャフト開閉機などの可搬式に分かれ、設備故障時の緊急操作に対し、社会的影響度などから一定の許容（時間・人員）がある施設においては安価な可搬式を多く採用している。

両筑平野用水施設のうち女男石頭首工土砂吐ゲートでは、隣接して洪水吐ゲートが設置され、設備故障時においても一定の時間は頭首工操作に支障を来さないことから、可搬式のシャフト開閉機を採用している。

しかし、可搬式のシャフト開閉機は開閉速度が非常に遅く、またフレキシブルシャフトの発熱により連続運転が出来ず予備動力装置としては課題があった。

2. 開発の経緯

水門設備は「ダム・堰施設技術基準(案)」や「ゲート用開閉装置(機械式)設計要領(案)」により、「予備モータの設置」や、「フォールトトレラント設計(構成要素の一部が故障、停止などしても予備の系統に切り替えるなどして機能を保ち、正常に稼働させ続けること。)」として、開閉装置には主動力のほかに設備の重要度に応じた適切な予備動力を設け、故障時でも最低限の開閉機能を確保する。」など、動力の二重化を推奨している。

そこで当管理施設のうち女男石頭首工土砂吐ゲートにおいても、**写真-1**のように可搬式のシャフト開閉機を採用しているが、開閉速度が約0.01m/minと非常に遅く、またフレキシブルシャフトの発熱により適宜停止・冷却させる必要があり連続運転が出来ず、予備動力装置としては手動操作の代替とも言える状況で、危機管理対策として十分とはいえない状況であった。

本稿は、既に油圧シリンダ式ゲート用の予備動力として開発された緊急油圧装置を駆動源として使用することに着目し、ワイヤロープウインチ式ゲートの予備動力装置として、新たに開閉装置を開発した取組についてまとめたものである。



写真-1 可搬式シャフト開閉機使用状況

3. 既存の予備動力装置方式

ワイヤロープウインチ式ゲートにおいて用いられる予備動力装置を表-1に示す。

可搬式の動力入力部（手動軸）は本来、手動操作を

前提として設計されており、開閉速度を速くするために高速回転させた場合、接続部の発熱や歯車強度等に限界がある。手動操作と可搬式予備動力装置の両立は、開閉速度・連続運転の面より課題となっている。

表-1 予備動力装置方式

予備動力方式		機器が健全である必要				機器費	実用性	状 況
		商用電源	予備発電	電動機	機側盤			
常設式	機側予備発電装置	—	—	○	○	×	○	コスト高の割に電動機・機側盤が健全である必要
	予備電動機式	○	○	—	○	△	○	コストは平均的だが電源喪失時には操作不能
	予備エンジン式	—	—	—	—	△	◎	実用性が高く最近では評価されている
	手動ハンドル式	—	—	—	—	◎	×	基準より人の操作時間は10分程度とされており限界
可搬式	シャフト開閉機式	—	—	—	—	○	△	高速回転化に限界がある
	手動ハンドル軸回転式	—	—	—	—	○	△	高速回転化に限界がある

4. 緊急油圧装置の使用

施設管理者として可搬式の予備動力装置を複数台保有することは、維持管理上、手間やコストの面で不利となることから、油圧シリンダ式ゲート用予備動力装置として開発された「緊急油圧装置」をワイヤロープウインチ式にも使用出来るよう、開発することとした。

使用想定としては電源喪失時・機側操作盤故障時・電動機故障時や、電源ケーブルの破損時など、いずれの場合においても、同装置を現地に持ち込みゲートを開閉動作させるものとした。

「緊急油圧装置」は独立行政法人水資源機構と民間企業が共同にて開発（特許取得）したもので、油圧シリンダ方式のゲート・バルブの予備動力として電源喪失時（商用停電・予備発電機故障）・機側操作盤故障時・油圧ユニット故障時のいずれの場合においても、同装置を現地に持ち込み、油圧ユニットの露出配管部にある多機能弁にホースを接続するだけでゲート・バルブを動作させることが出来る構造で、複数のダム施設で実用化に至っている。（図-1）

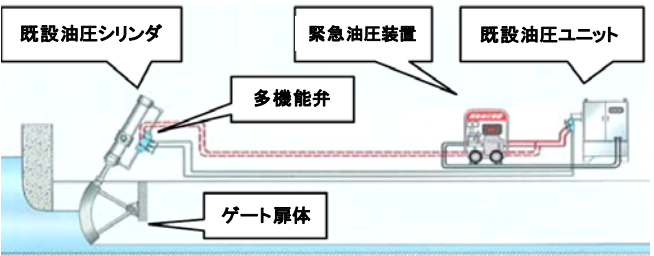


図-1 緊急油圧装置使用イメージ（油圧式ゲート）

5. 予備動力の設計・検討

5.1 駆動装置の選定

緊急油圧装置がこれまで対象としているのは油圧式

ゲート・バルブのアクチュエータ（油圧駆動装置）である油圧シリンダであり、直線運動である。ただし、ワイヤロープウインチ式はドラムを回転させるために回転運転が必要で、アクチュエータの新たな選定が必要となる。そこで開閉揚程・開閉速度・レイアウトの観点より、非常にコンパクトな油圧モータを用いることにした。油圧モータは機械式開閉装置という電動機と減速機を組み合わせた機能を有しており、一般産業用として十分な生産管理がなされ、品質・信頼性も高く、使用実績も多い機械である。また、油量を調整することにより、容易に回転数を変換出来る利点もある。

油圧モータは回転数・出力トルク等より種類・タイプを選定する必要があり、今回は導入する設備の状況を鑑み表-2のとおり選定した。

表-2 油圧モータの機種選定

種類	タイプ	回転数	出力トルク	サイズ	機器費	選定
歯車ポンプ	外接式	高回転	小トルク	小形 ◎	安価 ◎	
	内接式	高回転	小トルク	小形 ◎	安価 ◎	
	トロコイド式	中回転	小トルク	小形 ◎	安価 ◎	○
ベーンポンプ		高回転	小トルク	小形 ◎	安価 ◎	
プランジャポンプ	アキシャル形	低回転	中トルク	普通 ○	標準 ○	
	ラジアル形	低回転	大トルク	大形 △	高価 △	

5.2 油圧モータ常設の必要性

緊急油圧装置は可搬式で、油圧式のゲート・バルブに対して対応出来るよう開発されている。しかし、今回用いる油圧モータは、既存の開閉装置に対し強力なトルクと一定速の回転を出力するため、精密な据付管理（水平度・軸芯高さ）が求められる。従って、油圧モータまで可搬式とした場合、熟練した人員のもとと据付管理が必要なほか、開閉トルクと回転数（必要油量）は各ゲート固有の設計条件となるため、総合的に判断し、油圧モータを常設することとした。なお、油圧モ

ータは10万円程度と安価であり、各ゲート毎に常設しても導入コストは支障となるレベルではない。

5.3 常用動力と予備動力の切換方法

常用動力である電動機と、常設式の一般的な予備動力である電動機式やエンジン式では、併設のため切替装置や差動歯車減速機を設置するところである。ただし、機器費だけでも約3,000～5,000千円を要し、他施設への本方式の展開を想定するため、機器レイアウトのコンパクト化、部品点数の削減による故障発生機会の低減、コスト縮減を図り、あくまでも緊急操作を目的とした設備として開発するものとし、「油圧モータの出力回転をヘリカル減速機部に直接入力する方法」とした。

この方法は既存のヘリカル減速機を改造して入力軸を設けるもので、減速機本体を工場へ持ち帰ることなく、上蓋を開け入力軸を取り出した軸と歯車のみを持ち帰り、主軸（一部歯車付き）のみを新調するため、納期的・コスト的に有利となった。

5.4 油圧モータの動作

これまでの検討により、油圧モータはヘリカル減速機とカップリング接続により増設（常設）する。常用は電動機による運転で、油圧モータを常に空回り状態にすることにより、固着や油切れによる発錆等のトラブルを防ぎ、緊急操作時の信頼性を向上させることとした。ただし、油圧モータ内の作動油を遮断すると電動機の回転は制動してしまうため、新たに補助タンクを設け作動油を循環させる構造とした。また、補助タンクは循環用として用いるだけでなく、作動油用とすることで、油圧シリンダ式ゲートのように設備付近に油圧ユニット（作動油）が無い設備においても、緊急油圧装置を用いて操作が可能となった。（図-2）

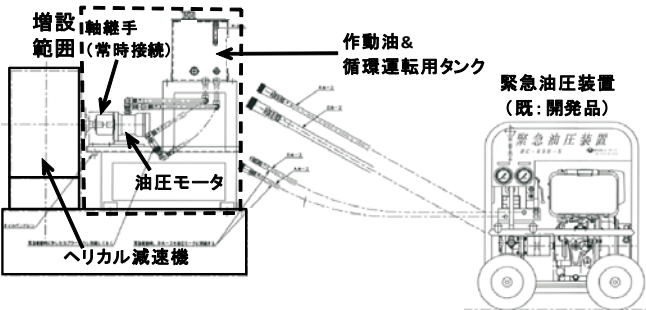


図-2 緊急油圧装置使用イメージ（今回の開発）

5.5 設計・検討の流れ

既存の開閉装置方式には油圧モータを利用した「ワイヤロープウインチ式」が存在し、検討方法そのものは確立している。しかし、今回は既製品である緊急油

圧装置を用い、作動油タンクの油で油圧モータを駆動させ、減速機部より動力を伝達し、ワイヤロープドラムを回転させて扉体を上下させるとともに、常用電動機使用時は油圧モータと補助タンク間の作動油を循環させる構造としたため、これらの考案・構造に伴い、新たな検討手法の確立が必要であった。その流れは表-3のとおりである。

表-3 検討フロー（新たな手法）

検討・確認結果	
基本諸元の確認 ・常用電動機出力(kW)確認 ・揚程(m)確認 ・開閉速度(m/min)決定 ・全揚程運転に要する時間(min)確認	・・・ 1.5kW ・・・ 4.00m ・・・ 0.30m/min ・・・ 13.3min
油圧モータ入力先の選定 ・ヘリカル減速機からまたは他とするか ・減速比の確認	・・・ ヘリカル減速機を採用 ・・・ 86/17=5.06
油圧モータの選定 ・必要トルク(N・m)/回転数(min-1)計算 ・必要圧力(MPa)/流量(L/min)計算 ・緊急油圧装置の形式選定 ・必要押しのけ容積(cc/rev)計算 ・油圧モータの形式選定 ・常時出力トルク(N・m)計算 ・最大出力トルク(N・m)計算 ・循環運転時の出力損失(kW)計算	・・・ 64.16N・m/223.4min-1 ・・・ 6.1MPa/19L/min ・・・ RC-690-S(Y社製) ・・・ 68.1cc/rev ・・・ 歯車ポンプ(トロコイド式) ・・・ 64.16N・m ・・・ 94.8N・m ・・・ 約0.1kW
作動油量の決定(作動油温上昇の確認) ・循環運転時の油温上昇(C°)計算 ・ゲート開操作時の油温上昇(C°)計算 ・ゲート開操作時の油温上昇(C°)計算	・・・ 20L ・・・ +6.23C°(1時間後) ・・・ +14.2C°(全揚程運転後) ・・・ +19.0C°(全揚程運転後)
軸継手の決定 ・軸径(mm)/伝達軸トルクより(N・m)	・・・ 25mm/94.8N・m
機器配置(レイアウト)の決定 ・油圧モータ・タンクの配置決定 ・油配管ルート及び延長・接続方法決定	・・・ 配置図の作成 ・・・ 配管ルート図の作成

検討上の留意すべき点として、緊急操作による作動油の温度上昇は、作動油の使用限界温度である外気温25度の環境下において、55度以下にする必要がある。これより作動油量を決定するが、即ち作動油タンクを設置するスペースがあるか確認する必要がある。

また、油圧モータの動力入力先の選定は、入力回転数や必要トルク、機器配置の余裕やコスト面を踏まえることが重要と言える。

6. 予備動力の設置・試運転

今回は、表-4 女男石頭首工土砂吐ゲートに予備動力装置を導入し、設置作業は技術面を考慮して水門メンテナンス系メーカーにより行った。

表-4 女男石頭首工土砂吐ゲート設備諸元

ゲート形式	鋼製ローラゲート
純径間×有効高	純径間10.0m×高2.4m
開閉方式	1M1Dワイヤーロープウインチ式
開閉速度	0.3m/min
揚程	4.0m
電動機	常用:1.5kw

試運転は表-5のとおり行い、常用電動機にて全揚程を運転し(全閉～全開～全閉)、油圧モータと補助タンク間の作動油を循環させる新たな構造が、通常運転時に影響を与えていないか確認したのち、緊急油圧装置を用いて油圧モータによる予備動力試運転(全揚程)を行った。その後、緊急油圧装置を停止させ、開度30cm地点で16時間放置し、扉体のズリ落ちの有無を検証したところ、ズリ落ちはなかった。

また、開閉速度は設計値0.3m/minに対し常用電動機と同速度となり、設備に問題がないことを確認した。

表-5 女男石頭首工土砂吐ゲート試運転結果

常用電動機試運転(循環運転)					
開度	気温	作動油温上昇	ポンプ表面温度	ポンプ吐出圧	開閉速度
0.00m	11.4℃	±0.0℃	11.5℃	-	0.26m/min
2.00m		+0.7℃	14.5℃	-	
3.94m		+0.7℃	14.4℃	-	
3.94m	11.3℃	+1.1℃	15.4℃	-	0.25m/min
2.00m		+1.5℃	14.9℃	-	
0.00m		+0.8℃	17.3℃	-	
予備動力試運転					
開度	気温	作動油温上昇	ポンプ表面温度	ポンプ吐出圧	開閉速度
0.00m	10.0℃	±0.0℃	16.4℃	7.5MPa	0.26m/min
2.00m		+1.1℃	30.9℃	7.7MPa	
3.94m		+2.6℃	33.6℃	7.6MPa	
3.94m	9.0℃	+2.9℃	37.3℃	1.7MPa	0.25m/min
2.00m		+2.0℃	37.8℃	1.8MPa	
0.00m		+1.7℃	37.2℃	1.9MPa	

7. まとめ

緊急油圧装置を使用したワイヤーロープウインチ式ゲート用開閉装置は、ゲート動力の二重化を目的として、①電動機が主動力であるワイヤーロープウインチ式ゲートのうち、既に数多く導入されているヘリカル減速機の一部を改造して新たに油圧モータを設置し、②常時接続することで緊急操作時の信頼性を高め、③本来、油圧シリンダ式ゲート用に開発された緊急油圧装置を予備動力として使用できるように工夫したところに特徴がある。(図-3)

また、④緊急油圧装置は小型で軽量かつ確実性・操作性に優れた製品であり、同装置をワイヤーロープウインチ式ゲートの予備動力装置の駆動源とすることにより、水門設備の動力二重化を図る上で、信頼性を高めることが可能となった。

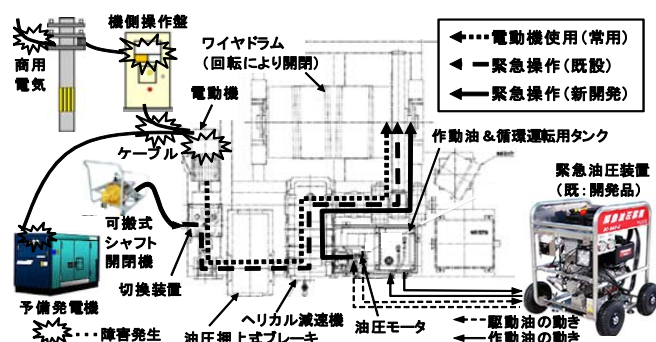


図-3 今回開発の予備動力操作

本開閉装置は、常設式予備動力装置よりも導入費用が安価なもので、これまでの可搬式予備動力装置よりも実用的な開閉速度と連続運転が実現でき、現場条件さえ合致すれば、今回の事例だけでなく、図-4および図-5の方法も含めて機構の既存施設や他機関への展開も可能である。

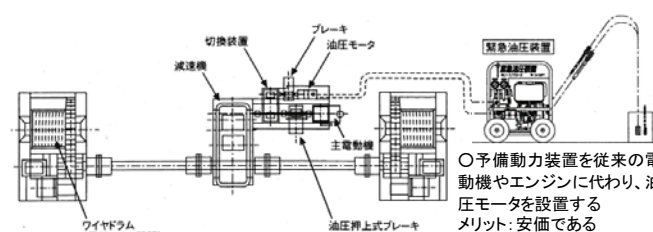


図-4 油圧モータを切替装置に接続する方法

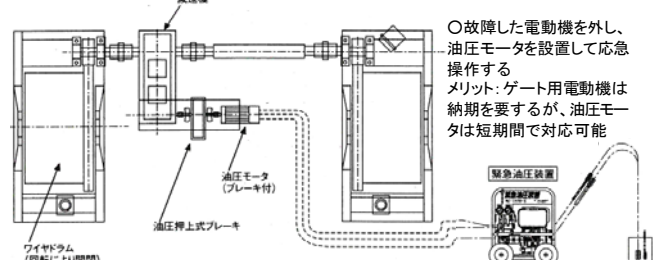


図-5 故障した電動機と油圧モータを交換する方法

今回の開発は、地震・津波時にも自重降下により閉鎖出来る非常用装置としても活用でき、また電源喪失、常用電動機や機側操作盤等の故障時や、電磁波の環境下においても確実なゲート操作が可能となり、水門設備としての機能確保に大きく寄与する成果を得た。

なお、本開閉装置は平成28年12月に共同開発者と共に特許出願中である。

新たに本開閉装置を導入する施設のほか、既に油圧シリンダ式ゲート用に緊急油圧装置を保有している施設においても、隣接したワイヤーロープウインチ式ゲート用に本開閉装置を導入することで、更なる危機管理対策に貢献出来ると考えている。

参考文献

- 1) 水資源機構関西・吉野川支社 笠原論、清永勇治. 2013. 技術研究発表会論文 緊急油圧装置の開発. P2