

ゲート設備開閉装置の老朽化診断技術と適用例

TECHNOLOGIES FOR DIAGNOSIS OF DETERIORATION OF HOISTING EQUIPMENT FOR WATER GATES

国頭正信 *・秋元英人 *・石川紳二 **

Masanobu KUNIGAMI, Hideto AKIMOTO and Shinji ISHIKAWA

The deterioration of aging equipment on river gates and dam gates that were constructed during the period of rapid economic growth in Japan is an increasing problem. Engineers face increasing requests to diagnose such equipment to determine whether or not continued use of them is possible. However, appropriate diagnostic technologies for aged hoisting equipment have not yet been established.

Here, we present an outline of several potential techniques that can be used to assess aged gate hoisting equipment with examples of their application. These techniques are: vibration analysis, lubricating oil analysis, harmonic diagnosis, and open gears diagnosis.

Keywords : *water gate, hoisting equipment, aging, diagnosis technology, vibration analysis, tribology, lubrication oil analysis, ferrography testing, higher harmonics wave diagnosis, diagnosis of open gear, tooth form factor*

1. はじめに

河川・ダムに設置されている水門等のゲート設備は、大きく分けてその構成要素を、扉体・戸当り（鋼構造）、開閉装置（機械機器）、機側操作盤（電気・電子機器）の 3 要素に分類することができる。

従来、老朽化したゲート設備の診断手法としては、扉体・戸当り（鋼構造）の板厚測定とその結果に伴う強度照査を実施しているが、扉体を動かす開閉装置の診断手法は、通常の年点検内容の域を出ていないのが一般的である。

扉体構造の強度照査は、水圧を安全・確実に土木構造に伝えるのがゲート設備の機能でありかつ鋼構造の主要な劣化要因が腐食であることを考えれば、至極当然の診断手法である。一方、確実な開閉動作もまたゲートの最も基本的かつ重要な機能であることから、設備の詳細診断を外部に委託する施設管理者としては、開閉装置についても、扉体同様、定期点検よりももっと掘り下げた評価を期待するのは当然といえる。しかしながら、開閉装置の診断手法としては、前述の通り、目視、触診、聴診に、絶縁抵抗、温度変化、ワイヤロープ径、歯車の歯当り・バックラッシュ等の測定を加えた通常の年点検レベルの内容と大きく変わらないのが一般的であった。

また、ゲート設備は一般の産業機械と異なり、可動する機械設備でありながら、洪水・高潮・津波時等に稼働する非常用設備が多く、普段の稼働頻度は少ないことから、開閉装置

の劣化状況が分かりにくいという特徴も併せ持っている。

本稿では、江戸川水閘門における老朽化診断実施事例も含め、もう一步踏み込んだ開閉装置の診断手法である振動測定、潤滑油診断（フェログラフィ法）、高調波診断、開放歯車診断等の手法を紹介し、近年の重要な社会的要求事項の一つであるインフラストラクチャの長寿命化対策における一助としたい。

江戸川水閘門は、国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所が管理する江戸川水門および江戸川閘門から構成され、建設からの経過年が 2011 年時点でそれぞれ 40 年、68 年であり、ともに老朽化が懸念されているゲート設備である。以下に江戸川水門・閘門の設備諸元を示す（表 1）。

表 1 江戸川水閘門 設備諸元

項目	江戸川水門	江戸川閘門
ゲート形式	鋼製ローラゲート (2 門は 2 段式ゲート)	鋼製ローラゲート
開閉装置形式	電動ワイヤロープ ウインチ式 (1M1D)	電動ワイヤロープ ウインチ式 (1M2D)
純径間	10.0m	11.0m
扉高	5.0m	6.5m
門数	5 門	2 門 (上流扉・下流扉)
建設年	昭和 18 年 (1943 年)	昭和 18 年 (1943 年)
備考	昭和 46 年 (1971 年) 改造	閘室長さ 100m × 幅 16 m

* 国土交通省 関東地方整備局 江戸川河川事務所 施設管理課

** 日本工営株式会社 プラント事業部 機械・情報通信技術部

2. 振動測定

(1) 概要

ゲート開閉装置のような回転機械においては、回転する機器のアンバランス、ミスアライメント、軸受摩耗、歯車の異常等が異常振動となって現れることから、振動は機械の健全性を示す有効な指標である。

とくに、ゲート開閉装置を構成する機器のうち、比較的高速で回転している電動機や減速機の健全性を判断するうえで有効な診断手法と考えられる。従来の点検項目の中にも、触診による異常振動の評価が含まれているが、定量的な測定により健全度が明確に評価可能となる。

(2) 測定方法

振動とは一定の振幅をもつ繰り返し運動であり、動いている速さと向きが常に変化している。振動の測定項目は以下の3項目であり、いずれの項目も、近年多数市販されているポータブルな接触型の簡易振動計により比較的簡易に測定が可能である。

また、表-2に振動測定項目の一般的な適用を示す。

- ①変位：実際に振動しているものの振幅であり全振幅で表す。単位はmmP-Pである(P-Pはピーク・トゥ・ピーク)。
- ②速度：一定時間にどれだけ変位したのかを表すもので、単位はmm/s (RMS 二乗平均速度) である。
- ③加速度：単位時間当たりの速度変化であり、単位はm/s² (Peak) である。

表-2 振動測定項目の一般的な適用^{1),2)}

項目	一般的な適用と大よその振動周波数帯	
変位	変位量や動きの大きさそのものが問題となる異常(芯振れ等)	10Hz以下
速度	振動エネルギーや疲労度が問題となる異常(ミスアライメント等)	10Hz～1kHz
加速度	衝撃力のような力の大きさが問題となる異常(歯車損傷等)	1kHz以上

(3) 評価方法

データの評価方法は、本来、対象機器設置当初から定期的に振動を測定し、傾向管理によりその変化を評価することが望ましいが、ゲート設備の場合、そういった継続的な測定データを有しているケースは非常に少ないため、その時点における振動値評価(絶対値評価)に依らざるを得ないことが多い。

JIS等にも振動判定基準(絶対値評価基準)が規定されているが、ゲート・ポンプ設備を対象とした判定基準として、独立行政法人水資源機構の機械設備管理指針には、以下の電動機や歯車減速機の振動判定値が示されている(表-3)。

表-3 歯車減速機の振動判定値例³⁾

高速側回転数	全振幅	高速側回転数	全振幅
600min ⁻¹ 以下	120/1000mm以下	1200min ⁻¹ 以下	75/1000mm以下
800min ⁻¹ 以下	95/1000mm以下	1800min ⁻¹ 以下	55/1000mm以下
1000min ⁻¹ 以下	80/1000mm以下	—	—

参照：機械設備管理指針 p.101

(4) 実施例

実際にポータブル振動計を使用し、江戸川水閘門の開閉装置の振動測定を実施した事例を以下に示す。



写真-1 ヘリカル減速機(江戸川閘門)の振動測定状況

写真-1は、江戸川閘門(下流扉)開閉装置のヘリカル減速機の振動を測定している事例で、減速機単体としては設置後(更新後)30年を経過しており、かつ年間を通じほぼ毎日開閉操作を実施する常用系河川ゲートであり、歯車や軸の摩耗等の劣化が懸念されていた。

振動測定は、ゲート開操作時および閉操作時に変位、速度、加速度をそれぞれX-Y-Zの3軸方向から測定した。当該ヘリカル減速機の入力側(高速側)回転数は490min⁻¹であり、表-3の判定基準によれば、変位が全振幅で120/1,000mmP-P(0.12mmP-P)以下であれば良いことになる。測定の結果、全振幅は最大でも0.034mmP-Pであり、当該のヘリカル減速機に異常な振動は発生しておらず、基本的に健全な状態であると判断された。

同様に、江戸川水門各ゲートのサイクロ減速機についても測定を実施した。高速側回転数が950min⁻¹、許容変位が全振幅で80/1,000mmP-P(0.08mmP-P)以下であったが、測定結果は最大でも0.008mmP-Pであり、異常振動は検知されなかった。

3. 潤滑油診断

(1) 概要

ゲート開閉装置の減速機は、その歯車が鋼製のケース内部に納められているため、分解整備を実施しない限り、直接的に目視・測定することが難しい。よって前述の振動測定等により健全度を判断することになるが、歯車と一緒に減速機内部に注入されている潤滑油の成分分析によっても、歯車の摩耗状態を推察することが可能である。

歯車は、噛み合いながら回転して動力を伝えることから、長期にわたって稼働すれば歯と歯の当り面が摩耗し、その摩耗粉が潤滑油中に混入していく。よって潤滑油中の金属成分を分析すれば摩耗の状況を推察することができる。

潤滑油中の摩耗粉を分析する方法として、フェログラフィ法 (Ferrography) と、SOAP 法 (Spectrometric Oil Analysis Program) がよく知られている。フェログラフィ法は、油中に含まれる摩耗粉の量、大きさ、形状を調べる物理的分析であることに対し、SOAP 法は油中に含まれる元素を調べることによって摩耗粉の量と材質を知る化学分析である。

江戸川水閘門においては、両方法により潤滑油分析を試みたが、本稿においては近年注目されているフェログラフィ法について述べる。

(2) 測定・評価方法

フェログラフィ法は、磁気勾配により潤滑油中の摩耗粉をサイズごとに捕獲し、その濃度を定量的に計測する定量フェログラフィ法と、捕獲した摩耗粉の形状を観察して摩耗形態を推定する分析 (定性) フェログラフィ法がある。ガラス管または特殊な表面処理をしたガラス板 (フェログラム) に、わずかな試料油を希釈して磁場勾配中で流し、試料中の粒子を捕捉配列する。

1) 定量フェログラフィ法^(2), 4), 5)

定量フェログラフィ法では、 $5\mu\text{m}$ 以上の鉄粒子量 (D_1) と $1 \sim 2\mu\text{m}$ の鉄粒子量 (D_s) を光学的に測定する。機械設備の摺動部が正常に稼働しているとき $D_1 \geq D_s$ となるが、異常が発生すると大きい粒子が支配的となり $D_1 \gg D_s$ (D_s より D_1 が非常に大きい) となるので異常を検知できる。定量フェログラフィ法の原理を図-1 に示す。

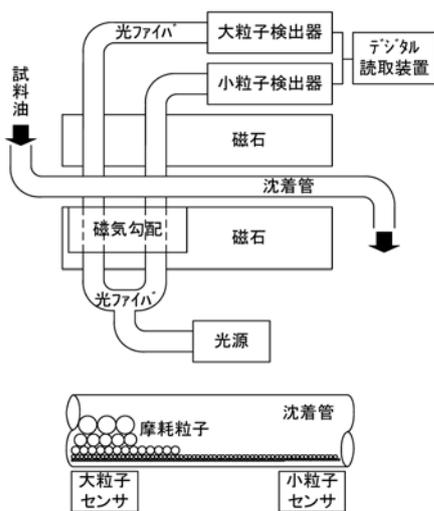


図-1 定量フェログラフィ法 原理概要^(2), 4), 5)

2) 定性フェログラフィ法^(2), 4), 5)

定性フェログラフィ法は、捕捉粒子を光学顕微鏡で観察し、摩耗粉の形状、表面状態、大きさ、材質などに注目し

て捕捉粒子を分類し機械設備の摺動状態を診断する方法である。定性フェログラフィ法の原理を図-2 に示す。

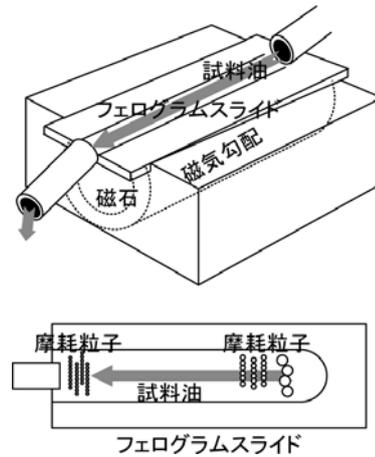


図-2 定性フェログラフィ法 原理概要^(2), 4), 5)

また、表-4 に粒子形状と発生形態の例を示す。

表-4 粒子形状と発生形態の例^(2), 4), 5), 6), 7)

粒子形状		粒子名称	発生形態
	15 μ 以下 薄片	正常ラッピング 粒子	正常摩耗 表面薄層の剥離
	切屑状 カール状長い	カッティング 粒子	切削摩耗 硬い異物混入
	15 μ 以上 鋭いエッジ	シビアスライ ディング粒子	重摩耗 片当り、高荷重
	15 μ 以上 表面ピット	スポール 粒子	疲労摩耗 ギヤ・軸受疲労
	15 μ 以上 層状薄片	ラミナー粒子	疲労摩耗 疲労粒子の圧延
	10 μ 以下 赤色粒子	赤さび	フレッティング摩耗 水分、酸化

(3) 実施例

実際に江戸川水門のサイクロ減速機の潤滑油についてフェログラフィ分析を実施した事例を以下に示す。



写真-2 江戸川水門サイクロ減速機潤滑油採取状況 (右は採取された潤滑油)

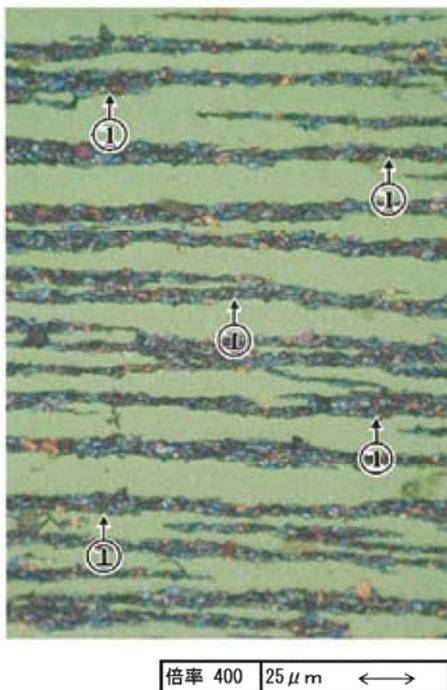
写真－2は、江戸川水門3号ゲート開閉装置のサイクロ減速機潤滑油の採取事例で、江戸川開門同様、年間を通じほぼ毎日開閉操作を実施する常用系河川用ゲート設備の事例であり、設置後41年を経過し、軸受等内部機器の摩耗等の劣化が懸念されていた。

採取した3号ゲート減速機の潤滑油の定量フェログラフィ分析結果は、以下のとおり $D_1 \geq D_5$ であり、機械設備としては正常に稼働していることが分かったものの、全体の摩耗粒子量としては異常（高濃度）であるとの結果であった。

5 μm 以上の摩耗粒子量 (D_1): 52.10/ml

1～2 μm の摩耗粒子量 (D_5): 42.20/ml

さらに同潤滑油の定性フェログラフィ分析結果事例を以下に示す(写真－3)。粒子形状はほとんど正常ラビング粒子であり、正常な摩耗状態であることが分かった。



写真－3 定性フェログラフィ分析結果事例
(①が正常ラビング粒子)

上記の定量および定性フェログラフィ分析結果を総括すると、摩耗粒子は正常な摩耗状態を示しているが、摩耗粒子濃度が高いため、機械の摩耗状態は「摩耗量での異常が考えられる」という結果であった。

上記江戸川水門3号ゲートと、1号下段ゲートの減速機が同様の結果であったことから、当該ゲートの重要性と今後の供用期間を考慮し、当該のサイクロ減速機を取り替えることとした。他号機の減速機については、分析結果が良好であったことから継続使用とした。

ただし、他号機の減速機も老朽化が懸念されていることから、取替済の旧減速機は、他号機の減速機に何らかのトラブルが発生した場合の応急的な対応に供することを目的に、予備品として保管管理することとした。

4. 高調波診断

(1) 概要

ゲート開閉装置の原動機はその多くが電動機である。電動機の主たる劣化要因は、絶縁劣化と軸受の摩耗といわれており、従来、電動機の健全度を把握する定期点検項目として、振動、異常音、温度上昇、電流値、電圧値、絶縁抵抗等の測定が実施されてきた⁸⁾。

近年、新しい診断技術として高調波診断が注目されている。高調波とは、基本周波数の整数倍の周波数のことをいい規則性を有する。設備機器が劣化や異常を起こすと、熱・音・振動が発生すると同時に電流に高調波が発生することが知られている。その高調波を計測・数値化し分析して設備の異常を検知するのが高調波診断であり、過去の実績を蓄積し分析・検証することから確立された経験的な診断技術である。

電動機の場合、電気的な要因として、巻線絶縁の劣化や巻線の部分加熱の発生は、巻線電流によって生じる漏れ磁束の分布波形に歪を生じさせる。その結果、電流に高調波が含まれる。また軸受摩耗のような機械的要因による場合、モータ定常状態で発生している固有振動数が劣化により変化し、変化した振動数が機械的に共振する。その結果、やはり電流に高調波が含まれる。これら電動機電流の高調波の成分を調べることによって異常・劣化状態を診断・分析する^{9),10)}。

(2) 測定・評価方法

高調波診断は、専用の診断器により実施する。電動機運転時に、診断器センサを機側操作盤内の電動機電源ケーブルに近接させることにより高調波を測定することから、非接触方式であり安全かつ簡易に実施することができる。

詳細調査は、専門の検査機関に診断を依頼することになるが、上記の通り比較的簡易に実施することが可能なことから、コスト的にはそれほど高いものにはならない。なお、稼働できない（管理運転ができない）電動機は診断を行うことができない。以下に診断器の事例を示す(写真－4)。



写真－4 高調波診断 診断器例と診断状況¹⁰⁾
(エイテック株式会社カタログ参照)

高調波診断の判定は、正常時の高調波パターンと異常・劣化時の高調波パターンを比較するパターンマッチング（パターン認識）手法により、不平衡率を算出し判定する。

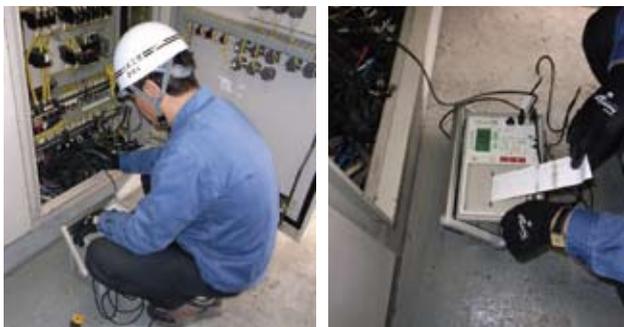
判定値区分の一例を以下に示す（表－5）。異常・劣化判定は、上記 5 段階の他、異常・劣化度合いを数値化した定量値も出力される。劣化の程度が分かることから、定期的実施することにより傾向管理、予防保全が可能となる。

表－5 高調波診断 判定値区分（負荷影響度の例）^{9), 10)}

判定レベル	判定内容	不平衡率
A	正常	40% 以下
B1	軽度な劣化（約 1 年は運転に支障なし）	40~60%
B2	中度な劣化（約 6 カ月は運転に支障はないが、傾向管理が必要）	60~80%
B3	重度な劣化（約 3 カ月の運転は可能だが、部品交換や修理の準備が必要）	80~90%
C	不良	90% 以上

(3) 実施例

実際に高調波診断を、江戸川開門（上・下流 2 門）の開閉装置の電動機において実施した事例を以下に示す。



写真－5 高調波診断状況

写真－5 は、江戸川開門上流扉の主電動機（三相誘導電動機 37kW）の事例であり、同電動機は設置後（更新後）31 年を経過し経年劣化が懸念されていた。一方、下流扉は 7 年前に主電動機を更新している。

高調波診断の結果、新・旧電動機（上・下流扉）は以下に示す同様の傾向を示しており、当該構造物の構造上の特徴と推察された。よって古い電動機が特別に劣化しているとは考えられず、正常（継続使用可能）であると判断した。

- 電動機負荷側の条件による「カップリング異常、軸アンバランス」に初期劣化レベル（B2）が検知されたが、電動機の回転軸、軸受の診断結果は正常（A）であり、原因は軸のアライメント（芯振れ）によるもの、もしくはゲート扉体が開閉時に水中～気中～水中へと移動することにより負荷状態が大きく変動することが原因（構造上の要因）と推測された。

5. 開放歯車診断

(1) 概要

開放歯車の健全度評価としては、一般的に定期点検時に歯当り・バックラッシの測定により確認している。バックラッシとは噛み合う歯車の歯と歯の間の隙間（遊び）のことである。歯当り・バックラッシが基準値以内であるならば、当該の歯車は健全であると判断されるが、設備が老朽化し、歯当り・バックラッシに異常値が検知された場合の詳細な診断技術については、ゲート設備においてはこれまであまり議論されていない。

バックラッシが増大するということは、摩耗により歯が薄くなっている可能性もしくは歯車軸芯の摩耗・ずれ発生等の可能性が考えられる。よって、歯の摩耗量を評価することにより、軸芯の摩耗・ずれの発生有無についても評価することが可能となり、対策を検討することが可能となる。

現行の点検要領であるゲート点検・整備要領（案）（社団法人ダム・堰施設技術協会 H17.01）p676 においても、歯面の損傷・摩耗は強度不足および、さらなる損傷につながる恐れがあり、摩耗量を測定のうち、摩耗量が許容範囲内であること、かつ強度照査により必要な剛性が確保されていることを確認する必要があるとされている。

よって、実際に開放歯車の歯厚を測定し、摩耗量の評価および曲げ強度の照査を実施することにより歯車の診断が可能となる。

(2) 評価方法^{11), 12), 13), 14), 15), 16)}

1) 摩耗量の評価

摩耗量の評価は、歯車のピッチ円歯厚を測定し、製作時の歯厚と比較する。上記ゲート点検・整備要領（案）によれば、歯車の摩耗量の許容値は以下の通りである。

【歯厚摩耗量の許容値】 製作時歯厚の 5% 以内¹¹⁾

ここで、一般的にゲート開閉装置の場合、開放歯車製作時の歯形図面は提出されない（完成図書には含まれていない）ことから、いかに製作当時の歯形（歯厚）を想定するかが大きな課題となる。

2) 曲げ強度の評価

歯車の曲げ強度については、ゲート用開閉装置（機械式）設計要領（案）（社団法人ダム・堰施設技術協会 H22.08）に、以下の強度計算式が示されている。

【平歯車の曲げ強度計算式】¹²⁾

$$P1 = fv \cdot \sigma_b \cdot b \cdot m \cdot y$$

ここに、P1 : 歯の曲げ強度 (N)

fv : 速度係数

σ_b : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

b : 歯幅 (mm)

m : モジュール (mm)

y : 歯形係数

ここで、上式には「歯厚」そのものが含まれておらず、歯厚を測定してもそのまま歯の強度照査が可能となる訳ではない。歯厚の要素は上式のうち「 y ：歯形係数」に加味されており、歯厚が減少することにより歯形係数も変化する。

機械工学便覧によれば、平歯車の歯形係数 Y は以下により求めることが可能である (Y と上式 y とは逆数の関係にある)。

$$Y = 6 \cdot m \cdot l / S_F^2$$

ここに、 S_F : 危険断面歯厚 (mm)

l : 荷重作用線までの距離 (mm)

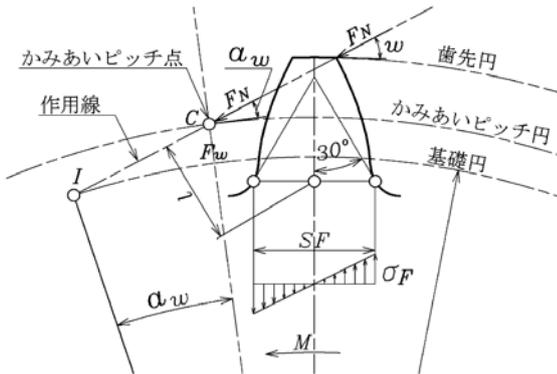


図-3 平歯車の歯形係数を求める方法¹³⁾

図-3の危険断面歯厚 S_F が実測値となり、作用線までの距離 l (エル) は作図から求めることにより得られる数値である。

よって平歯車の曲げ強度評価は、現地調査により実際の危険断面歯厚を測定し、かつ当該歯車の歯形図 (CAD 図) を描くことによって可能となる。

しかしながら、摩耗量の評価同様、開放歯車製作時の歯形が不明であることから、いかに製作当時の歯形を想定し CAD 図として作成するかが大きな課題となる。

(3) 測定・評価方法

実際の平歯車の歯厚測定は、図-4の通り、摩耗量についてはピッチ円歯厚を測定し、曲げ強度を評価するためには危険断面歯厚を測定する。歯厚測定は専用の測定機器である歯形キャリパーによる。

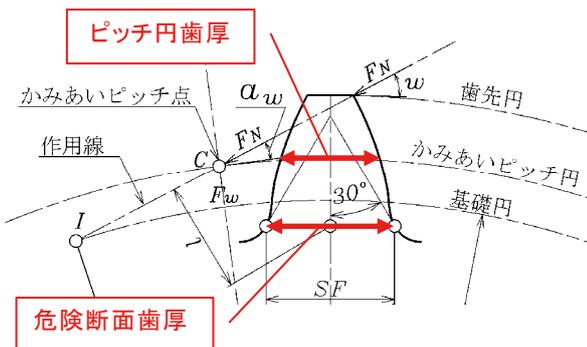


図-4 歯厚測定位置¹³⁾

歯形キャリパーを使用する際は、あらかじめ測定位置が歯先から何 mm の位置であるかを算出しておく必要がある。そのためあらかじめ製作時の歯形想定がやはり必要となる。

歯形キャリパーの例を以下に示す (写真-6)。



写真-6 歯形キャリパー (歯厚を測る測定器具) 例

(4) 実施例

実際に、江戸川水門 (3号・5号下段ゲート) の開閉装置の開放歯車で実施した診断事例を以下に示す。



写真-7 開放歯車 (平歯車) 歯厚測定状況

写真-7は、江戸川水門 (5号下段ゲート) の診断事例であり、設置後 41 年を経過し、開放歯車のバックラッシュが増大し異常値として検出されていた。かつ直近 10 年間の進行は確認されていないものの歯車歯面に傷 (油切れによるスコリング) が観察されており、開放歯車の健全度を詳細に調査・評価する必要があった。

診断における最大の課題は、製作時の歯形図が無いことであったが、暫定的に標準平歯車を想定して噛合い図 (CAD 図) を作成し、測定位置、想定される歯厚値を仮設定した。標準歯車とは JIS B1701 (ISO53) に定められている基準ラックの輪郭をラック形工具に与えて理想的にころがり接触させて得られる歯車であり、通常、転位係数が 0 の歯車をいう (転位係数とは歯車の転位の大きさを表す)^{13), 17)}。

図-5に噛合い図 (CAD 図) の作成事例を示す。

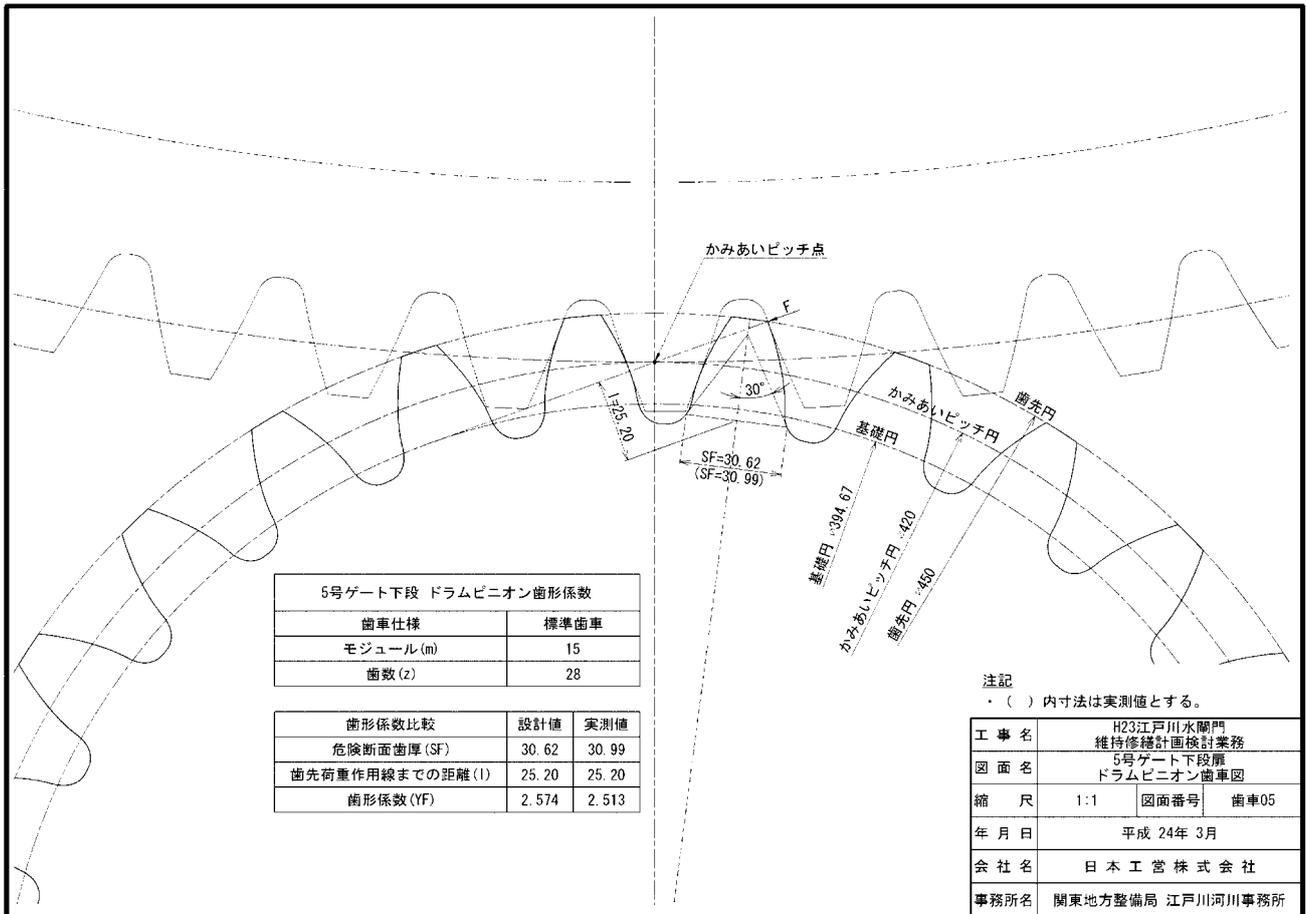


図-5 開放歯車 噛合い図作成事例

歯厚測定は、江戸川水門 3号ゲート、5号上段・下段ゲートの6平歯車（ドラムギヤ・ドラムピニオン×3セット）において実施し、各歯車とも4歯（上・下・左・右×各1歯）、1歯につき6点（ピッチ円・危険断面×左・右・真中）、計144点について実施した。

また参考値として、同ゲートの6かさ歯車（大歯車・小歯車×3セット）についても、各歯車4歯（上・下・左・右×各1歯）のピッチ円歯厚のみ24点の測定を実施した(写真-8)。



写真-8 開放歯車（かさ歯車）歯厚測定状況

実測の結果、5号上段ゲート等、一部の平歯車（ピニオンギヤ）の歯厚が想定した設計値よりも厚く、標準歯車ではなく転位歯車（プラス転位）である可能性が考えられた。転位歯車とは、歯車間の中心距離を変化させたり、歯の強度を上げるため、標準歯車とは異なる歯厚の歯車をいう。一例として、歯数比の大きい一組の歯車の場合、早く摩耗しやすい小歯車をプラス転位して歯厚を厚くすることがある。

上記より、可能性のある転位係数を実測歯厚より推察し、最も計測データとの差異が少ない転位係数を想定して設計歯形とした。ただし、想定に次ぐ想定でありデータは参考値扱いとした。

また、かさ歯車については作図そのものが難しいことから、相当平歯車（標準歯車）に歯数換算し、平歯車として噛合い図を作図し設計値を想定した。

歯厚測定の結果、歯の摩耗量は最大でも平歯車3.8%、かさ歯車3.6%であり、測定した全歯厚とも許容値である製作時歯厚の5%以内となっており、いずれのゲートも歯車の異常摩耗は発生していないと判断された。

歯の曲げ強度評価についても、計測したすべての平歯車・かさ歯車において発生応力は許容応力度内におさまっており、歯車強度は確保されていると判断された。

上記より、開放歯車のバックラッシが増加した原因としては、歯車摩耗ではなく、軸・軸受の摩耗が考えられるが、現状、軸・軸受については振動・異音等が検知されていないことから不具合とはなっておらず、あえて軸位置調整を実施した場合の他への影響波及の可能性（より悪い状況にしてしまう可能性）等も考えれば、現状のまま継続使用することが望ましいと判断された。

6. 今後の課題等

ゲート設備開閉装置の詳細な診断技術として、①電動機・減速機の振動測定、②減速機の潤滑油分析（フェログラフィ法）、③電動機の高調波診断、④開放歯車診断とその適用例を紹介した。ゲート設備の老朽化診断は、今後とも増加していくと考えられるが、開閉装置については、いまだ適用事例も少なく、今後、詳細な研究や診断事例の収集、他ゲートへの適用を増やしていくことにより、当該知識の深耕とともに診断結果へのより深い考察が可能となるよう努めていきたい。

以下に各診断方法の現時点における課題等を述べる。

- 振動測定は、従来から適用されている手法であり、開閉装置（高速回転部）の劣化診断には有効な手法であると考えられるが、堰やダムの洪水吐ゲートのように管理運転が物理的にできない設備や、小開度の運転しかできず十分な測定時間を確保できない場合は適用が難しい。
- 潤滑油分析は、分解整備ができない場合においても（ある年数を経過するとメーカーも対応してくれない）、減速機等の内部状況を推察することが可能な手法であるが、頻繁に潤滑油を取り替えているケースや、稼働頻度が極めて少ないゲートでは正しい評価結果が得られない可能性がある。維持管理状況、稼働状況をよく確認のうえ、適用を検討する必要がある。
- 高調波診断は、電動機の劣化を診断可能な有効な手法であると考えられるが、振動測定同様、管理運転が可能でかつある程度の測定時間が確保可能な設備でなければ適用が難しい。また、定期的実施することにより予知保全が可能となり、より効果的と考えられるが、その場合、定期的に測定コストが発生する。
- 開放歯車診断は、一般的に製作時歯形が不明であることから、何を根拠に製作当時の歯形を想定するか、いかにそれを噛合い図（CAD図）として作成するかが大きな課題である。想定要素が多いことから、最終的に参考データ扱いになってしまう可能性も高いことから、事前に発注者との協議により、診断の精度、診断結果の取扱いにつき確認しておく必要がある。
- 今回紹介した診断技術は、電動機、減速機、歯車といったワイヤロープウインチ式開閉装置の主要機器を対象

としたものであるが、油圧シリンダ式等、他の開閉装置形式や、同じワイヤロープウインチ式の主要機器の中でもブレーキ類やワイヤロープ自体の経年劣化については、現状、これといった詳細診断方法が見当たらない、もしくはあっても高コストであり適用が難しい。今後の技術開発に期待したい。

謝辞：本稿に記載した各診断の実施にあたり、国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所関係各位より、種々の情報提供を始め、多大なご指導・ご配慮を賜りました。また、開放歯車診断については、その手法を首藤祐司様（株式会社 IHI インフラシステム）のご助言により、また歯車噛合い図作成は小原歯車工業株式会社様ホームページのご支援と CAD オペレータの菅井麻里子様のご尽力により結果を得ることができました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献：

- 1) リオン株式会社ホームページ
<http://www.rion.co.jp/products/sound/sound01.html>
- 2) 大島榮次監修：設備診断予知保全実用辞典、フジ・テクノシステム、2000
- 3) 機械設備管理指針、独立行政法人水資源機構、2008
- 4) ジュンツウネット 21 (JuntsuNet21) ホームページ
<http://www.juntsu.co.jp/index.php>
- 5) 社団法人潤滑油協会ホームページ
<http://www.jalos.or.jp/>
- 6) 川重テクノロジー株式会社ホームページ
<http://www.kawaju.co.jp/index.html>
- 7) ジャパン・アナリスト株式会社ホームページ
<http://www.kyb.co.jp/analyst/>
- 8) 坪島茂彦・中村修照：モータ技術百科、オーム社、1996
- 9) アルカディア・システムズ株式会社ホームページ
<http://www.arc-mec.com/main.cgi>
- 10) 電気設備機器診断器 KS シリーズカタログ、エイテック株式会社、2008
- 11) ゲート点検・整備要領（案）、社団法人ダム・堰施設技術協会、2005
- 12) ゲート用開閉装置（機械式）設計要領（案）、社団法人ダム・堰施設技術協会、2010
- 13) 機械工学便覧 基礎編・応用編、日本機械学会編、1990
- 14) 和栗明：歯車の設計と製作、社団法人日本機械学会、1956
- 15) 歯車技術資料、小原歯車工業株式会社、2010
- 16) 小原歯車工業株式会社ホームページ
<http://www.khkgears.co.jp/index.html>
- 17) wed2CAD ソフトウェアホームページ用語集
<http://product.web2cad.co.jp/index.html>