

踏切遮断機の動作電流から 遮断桿折損を検知する

尾崎 尚也
輸送情報技術研究部
(設備システム 研究員)

羽田 明生
同
(同 研究員)



おざき なおや

はだ あきお

はじめに

現在、踏切の遮断桿折損しゃだんかんの検知は通行人や乗務員からの通報に頼っています。しかし、このような方法では、迅速に踏切遮断桿の折損を検知することは難しく、遮断桿折損を放置する時間が長くなってしまふ恐れがあります。遮断桿折損を放置することは踏切利用者を危険にさらし、列車運行にも影響を及ぼしますので、これをすみやかに検知し、踏切の管理を行っている担当箇所しやうかしょに迅速に伝わるようにすることが求められます。踏切の状態をセンサやビデオカメラにより監視することも考えられますが、大量の踏切に対してこれらを新たに導入するには大きな設備投資が要求されます。大きな設備投資なしで設備管理を行う方法としては、既存の遮断機から簡易に得られるデータを分析することにより設備を監視する方法が考えられます。

これまでに、動作電流データを用いて転轍機の異常を検知する手法を提案しており、良好な結果が得られています。そこで、今回は大掛かりな追加設備なしで遮断桿折損検知を行うために、遮断機の動作電流から遮断桿の監視を行う手法について考えます。今回提案する手法は正常な状態でのデータから正常と判断できる範囲（以降、正常範囲と呼びます）を求めて、その範囲を逸脱した場合に異常と判断します。この手法を用いた遮断桿の異常検知の流れは次のようになります。

- (1) 正常時の遮断機の動作電流データを複数取得します。
- (2) 正常と異常を判別する基準を定めます。
- (3) 取得した正常データと判別基準から正常範囲を定めます。
- (4) 遮断機から得られた動作電流データの判別基準の値（以降、基準値と呼びます）が正常範囲に含まれるならば正常、含まれないならば異常と判別します。
- (5) 異常と判別された場合は、踏切の管理担当箇所しやうかしょに通知します。

上記の遮断桿異常検知においては、正常範囲を定めるこ

とができれば、正常か異常かの判別は短時間で行うことができ、遮断桿折損を迅速に検知することができます。

正常データを用いた判別基準の構築

次に、上で示した遮断桿の異常検知の流れについてもう少し詳しく説明します。

(1) では、正常範囲を定めるのに使用する正常データを複数取得しますが、このとき、取得するデータ数が少ないと少数データの特徴が正常範囲に強く影響を与えることになるので、特異なデータが含まれる場合は、求めた正常範囲が判別の基準として適当でなくなってしまう可能性があります。よって、取得する正常データ数はある程度大きく（数十程度）する必要があります。

(2) では、動作電流データのどの部分に着目して判別を行うかを決めます。例えば、データの最大電流値や平均電流値を判別基準にすることなどが考えられます。

(3) では、判別基準に従って、(1) で取得した各正常データの基準値の平均値 μ 、標準偏差 σ を利用して次のように正常範囲を定めます。

$$\mu - 2.54\sigma \leq \text{正常範囲} \leq \mu + 2.54\sigma$$

σ の係数を 2.54 としているのは、ある正常データの基準値がこの正常範囲から外れる確率は 1% となることが知られているからです。つまり、あるデータの基準値がこの正常範囲から外れた場合、高い確率で正常ではないと考えることができます。

踏切遮断桿折損・下降妨害試験

この手法の有用性を検証するためには、実際の遮断機電流データを用いて、上記手法の判別結果を検証する必要があります。つまり、最初に複数の正常データから正常範囲を定めて、これを用いて異常データを正しく異常であると判別できるかを検証します。よって、この手法の有用性を検証するためには、正常データに加えて異常データも必要

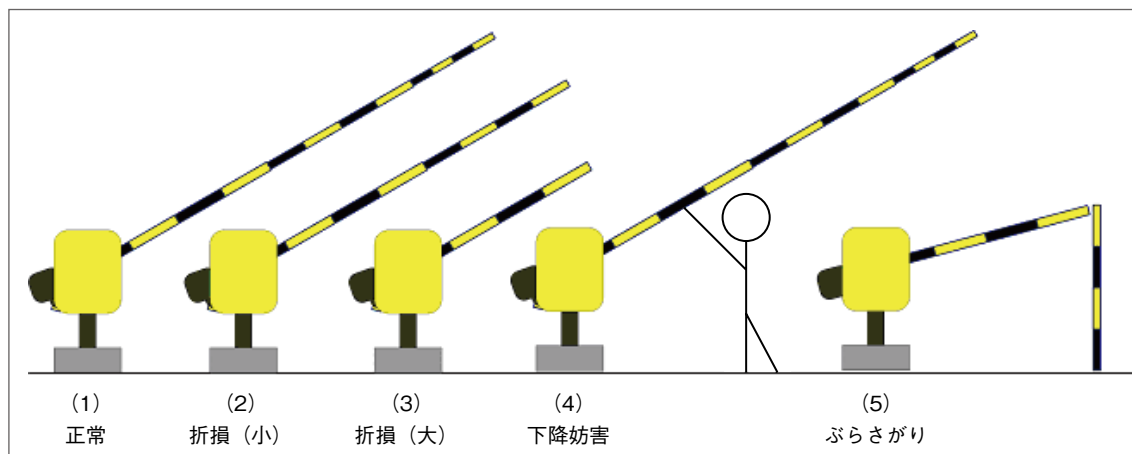


図1 遮断桿折損・下降妨害模擬試験 試験内容

表1 遮断桿折損・下降妨害模擬試験 取得データ数

	踏切A				踏切B			
	遮断機1		遮断機2		遮断機3		遮断機4	
	上昇	下降	上昇	下降	上昇	下降	上昇	下降
正常	20	21	20	21	20	20	20	20
折損 (小)	20	20	19	20	20	21	20	19
折損 (大)	20	20	19	19	20	20	20	20
ぶらさがり	20	20	21	20	20	20	20	20
下降妨害	—	9	—	10	—	10	—	8

一部、欠損データがあり、それを除外したため回数にはばらつきがある。

となります。また、遮断桿の異常には様々なタイプがあるので、複数タイプの異常データを取得して、これらの検知可能性についても検証を行う必要があります。

ここでは、踏切遮断桿の折損および下降妨害を模擬する試験を行い、遮断機動作電流データを取得しました。2箇所の踏切（踏切A・踏切Bと呼びます）についてそれぞれ2つの遮断機、計4遮断機について取得しました。ただし、踏切Aと踏切Bは異なるメーカーのものです。

試験で取得したデータは図1に示した5種類、(1) 正常の場合、(2) (3) 先端側が折れて短くなった場合（折損量が小さい場合と大きい場合の2パターン）、(4) 遮断桿の下降を人手で妨害した場合、(5) の折損したものがぶらさがり先端が地面にぶつかる場合です。異常検知については、遮断桿折損だけではなく、遮断桿下降妨害も検知できるか分析を行いました。これは、遮断桿の下降時に大型トラックの荷台部分が当たるなど、遮断桿折損の原因となる状況

も検知できるかどうかを確認するために行いました。取得したデータ数を表1に示します。下降と上昇をそれぞれ1回として数えて、欠損のあるデータは除いています。

今回行った実際の遮断機動作電流データを用いた分析では、データの判別基準を変えた2種類（最大電流値と時系列電流値）の分析を行いました。同じデータでも最大値などの代表値を用いるか、測定された時系列データを用いるかによって異なる結果になると考えられるからです。

各試行における電流値は1/200秒ごとに取得して、遮断機の動作開始から10秒程度のデータを取得しました。

遮断桿異常検知手法の説明と分析結果

ここでは動作電流データを用いた遮断桿異常検知手法と分析結果について説明します。分析に使用するデータは、①動作中の最大電流値、②測定した電流値の時系列データ（未加工のデータ）の2種類を使用します。

①最大電流値による分析

最初に、電流データの最大値を用いた分析手法と判別結果について説明します。この手法は得られた電流の最大値が正常範囲から外れるかを基準に判別を行います。遮断機が動作する際には、図2のように動作開始から1秒程度の間電流値が急激に変化することから、今回の方法では、その部分を取り除くために動作開始1.5秒後以降のデータを用いることにします。

分析手法で求める具体的な正常範囲の導出方法と異常検

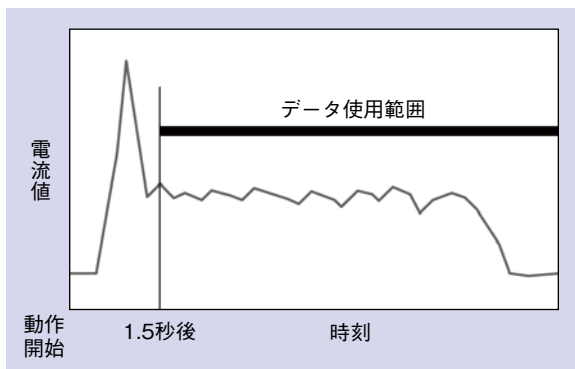


図2 使用データの範囲

出の方法は次のようになります。

- (1) 正常時動作中のデータから、各試行の最大電流値を求めます。
- (2) (1) で求めた各試行の最大電流値の平均値 μ と標準偏差 σ を求めます。
- (3) 正常範囲を次のように定めます。

$$\mu - 2.54\sigma \leq \text{正常範囲} \leq \mu + 2.54\sigma$$
- (4) 判別を行うデータの動作中最大電流値が正常範囲を外れたときに異常と判断します。

ここでは最大電流値が正規分布に従うと仮定します。最大電流値を用いた判別の考え方を図3に示します。

表2に分析結果を示します。踏切Aと踏切Bで結果が異なりました。この手法では、踏切Aではぶらさがりおよび下降妨害については判別できませんでした。これは下降時に明らかに電流値が高くなるためと考えられます。一方、踏切Aの遮断桿折損については判別できませんでした。これは、最大電流値は正常時と大きな差異がみられないためと考えられます。踏切Bでは上昇データを用いた場合に折損(大)およびぶらさがりについては判別できましたが、下降データの場合は正しい判別ができませんでした。遮断桿が折損

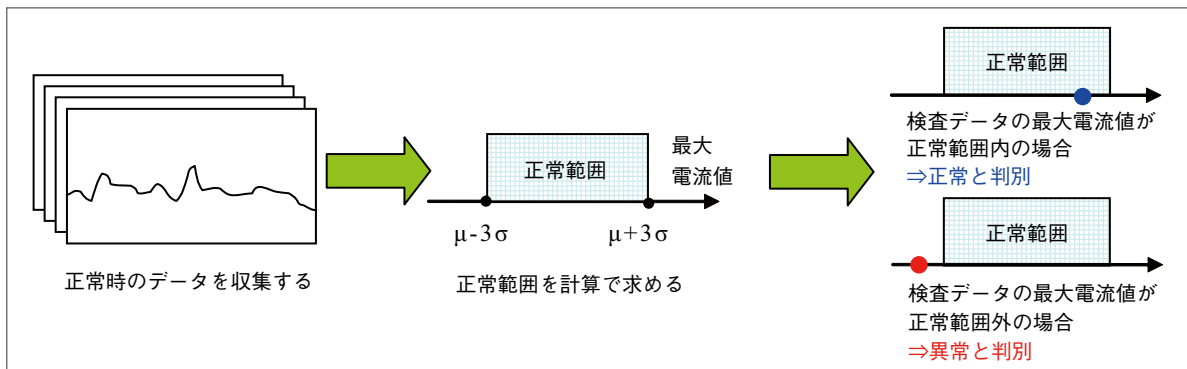


図3 最大電流値による判別の考え方

表2 動作中最大電流値による判別結果

	踏切A				踏切B			
	遮断機1		遮断機2		遮断機3		遮断機4	
	上昇	下降	上昇	下降	上昇	下降	上昇	下降
折損(小)	×	×	×	×	×	○	×	○
折損(大)	×	◎	×	△	○	○	◎	○
ぶらさがり	×	◎	×	◎	○	○	◎	○
下降妨害	—	◎	—	◎	—	○	—	○

◎：100%判別 ○：正常を異常と判別が1つ △：異常を正常と判別が1つ ×：誤判別が2つ以上

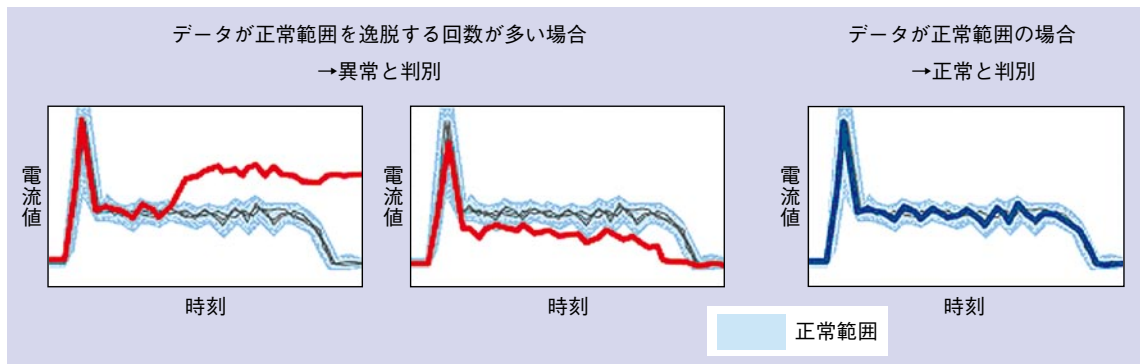


図4 時系列電流値による判別の考え方

表3 電流時系列データによる判別結果

	踏切A				踏切B			
	遮断機1		遮断機2		遮断機3		遮断機4	
	上昇	下降	上昇	下降	上昇	下降	上昇	下降
折損(小)	○	○	○	○	○	○	○	○
折損(大)	○	○	○	○	○	○	○	○
ぶらさがり	○	○	○	○	○	○	○	○
下降妨害	—	○	—	○	—	○	—	○

◎：100%判別 ○：正常を異常と判別が1つ △：異常を正常と判別が1つ ×：誤判別が2つ以上

した際には遮断桿が軽くなり電流値が低くなると考えられますが、最大電流値を用いた場合そういった差がみられないためと考えられます。

②時系列電流値による分析

最後に、時系列の電流データをそのまま利用した判別手法と判別結果について説明します。この手法は得られた電流値が正常範囲から動作中に何回外れるかを基準に判別する方法です。図4で示すように、なんらかの異常が起こった場合、正常時から外れる回数が多くなると考えられるので、この手法を用いて分析を行いました。

分析手法で求める具体的な正常範囲の導出方法と異常検出の方法は次のようになります。

(1) 正常時のデータから、各時刻 t の電流値に対する平均値 μ_t と標準偏差 σ_t を求めます。

(2) 動作開始からの各時刻 t に対して、正常範囲を次のように定めます。

$$\mu_t - 2.54\sigma_t \leq \text{正常範囲} \leq \mu_t + 2.54\sigma_t$$

(3) 判別を行うデータの各時刻の電流値が、各時刻の正常範囲から外れる回数を調べその回数が正常時の外れる回数の最大値より多い場合を異常と判断します。

表3に分析結果を示します。遮断桿折損および下降妨害いずれにおいても誤判別なく検知することができました。

下降妨害およびぶらさがりについては電流値が高くなることから判別できたと考えられます。遮断桿折損については遮断桿が正常時より短いため遮断桿を動かす力が少なくて済み、電流値が正常時に比べて全体的に低くなることから判別できたと考えられます。遮断桿の折損が大きい場合については明確に判別できていますが、遮断桿の折損が小さい場合については少しデータが異なれば誤判別してしまう可能性が考えられます。これは正常時のデータと差異が小さいためです。

おわりに

ここでは遮断機動作電流から踏切遮断桿折損および下降妨害の検知を行う手法を紹介しました。また、実際の遮断機を用いた模擬試験の結果から提案手法により検知できる可能性を示しました。今後は、これまでの転轍機や踏切遮断桿に対する研究で得た知見を活かし、様々な設備機器に対するデータ分析を行いたいと思います。RRR