

論文 軌道材料および電気転てつ機のモニタ情報をういた分岐器の状態検知に関する基礎検討

塩田 勝利¹・及川 祐也¹・潮見 俊輔²・押味 良和²

¹正会員 公益財団法人 鉄道総合技術研究所 軌道構造（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）

E-mail: shiota.katsutohi.80@rtri.or.jp E-mail: oikawa.yuya.41@rtri.or.jp

²非会員 公益財団法人 鉄道総合技術研究所 信号システム（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）

E-mail: shiomi.shunsuke.83@rtri.or.jp E-mail: oshimi.yoshikazu.64@rtri.or.jp

分岐器の各種検査は、検査項目が多く、検査者の能力や技能に頼る部分があり、維持管理に多大な労力を費やしている。そのため、分岐器検査の省力化を目指してさまざまな取り組みが行われているが、未だ人力に頼る検査も多く、これらの検査を省力化できる技術の開発が求められている。

本研究ではその一助として、軌道材料と電気転てつ機の各所にセンサを設置した測定システムを構築し、分岐器の各種状態を設定した上で転換試験を実施することにより、分岐器の各種状態とモニタ情報の関連性を明らかにした。さらに、モニタ情報の基礎的な活用方法として、判別分析手法による分岐器状態の判別および重回帰分析手法による各状態の程度の把握を行う方法を示した。

Key Words : Monitoring Data of turnouts , Discriminant analysis, Multipleregression analysis

1. はじめに

近年、情報通信技術や測定技術の発達に伴い、鉄道の各分野で状態監視技術を用いて各種設備を効率的に維持管理しようとする動きがみられる。そのような中、分岐器の各種検査は人力によるものが多く、また、検査者の能力や技能に頼る部分があり、維持管理に多大な労力を費やしている。そのため、検査の省力化を目指して分岐器内のレールの摩耗状態や損傷状態を検知する手法の開発などさまざまな取り組みが実施されている¹⁾。しかしながら、目視による判断や測定器を用いた手検測など人力に頼る検査も未だ多く、これらの検査を省力化できる状態監視技術の開発が求められている。

そのような中、電気転てつ機では転てつ機の調整状態の監視を目的として、モニタリング装置が一部の箇所で開催されている。この装置では、鎖錠かん変位、動作電流、動作電圧といった情報を転換毎に収集、蓄積することができるため、一部の事業者では取得したデータを電気転てつ機に関わる異常の検知などに用いている²⁾。そこで、これらの装置を活用した分岐器検査の省力化が期待されるが、これまでに分岐器の検査項目と上述の装置により得られるデータを関連付ける手法についての検討はなされていない。

そこで本研究では、上述の装置を活用しつつ、軌道材

料にもセンサを設置した測定システムにより得られるモニタリング情報（以下、「モニタ情報」という）を用いて、分岐器の各状態とモニタ情報の関連性について検討を行うこととした。さらに、モニタ情報を用いて分岐器の状態を判断するための基礎的手法についても検討した。

2. 検討対象

表1に分岐器の検査項目の例を示す³⁾。以下に、軌道材料および電気転てつ機のモニタ情報を用いることにより検査の省力化が期待される項目について検討する。

表1 分岐器検査項目の例

種類	検査項目	検査方法
軌道変位検査	軌間、水準、高低、通り、平面性	手検測 軌道検測車
一般検査	摩耗、損傷、腐食等	目視・測定器
細密検査	各部のきず、損傷等	目視・解体等
機能検査	トングレーール先端食い違い	測定器
	トングレーールの密着	
	トングレーールの接着	
	フロー	目視
	フランジウェー幅	測定器
	バックゲージ	測定器
	定着装置の緩み、隙間など	目視・測定器

分岐器検査項目の中でも、軌道変位検査では、すでに軌道検測車から得られるデータを用いてより効率的な保守管理方法を検討する技術の開発などが取り組まれていることから対象外とした。

また、一般検査および細密検査においても、より効率的な管理手法として車載カメラで軌道状態を撮影し、画像処理技術を用いてレールの摩耗量を評価する技術の開発などが取り組まれていることから対象外とした。

一方、機能検査では、主に人力による計測等で検査が実施されている。そのため、検査に労力を要している箇所であるとともに検査者の技能に頼る部分があることから、モニタリング技術を用いた検査の省力化が期待されている。機能検査の検査項目の中でも図1に示すようなトンダレール先端の食い違い、トンダレールの密着、接着状態は、その状態が変化すると、トンダレールの各部にひずみが発生すると考えられ、軌道材料の各部にセンサを設置することで各状態の変化を検知できる可能性が考えられる。また、電気転てつ機も転てつ棒、スイッチアジャスタを介しトンダレールと接続されていることから、トンダレールの状態が変化した場合には電気転てつ機の状態も変化すると考えられ、その変化をモニタリング装置で検知できる可能性が考えられる。これらの点を考慮し、本研究では、トンダレール先端食い違い、トンダレールの密着、接着状態とモニタ情報との関連性について検討することとした。

3. モニタリング測定系統

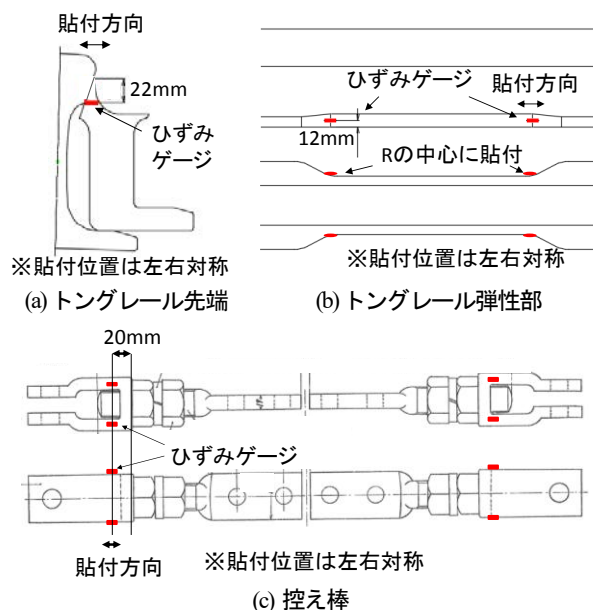
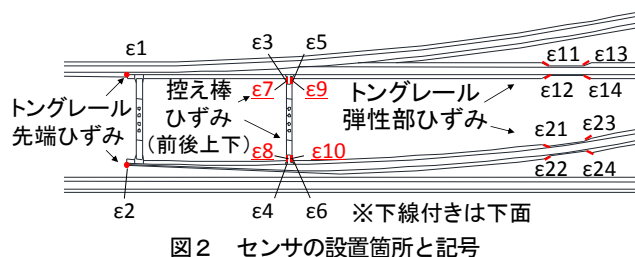
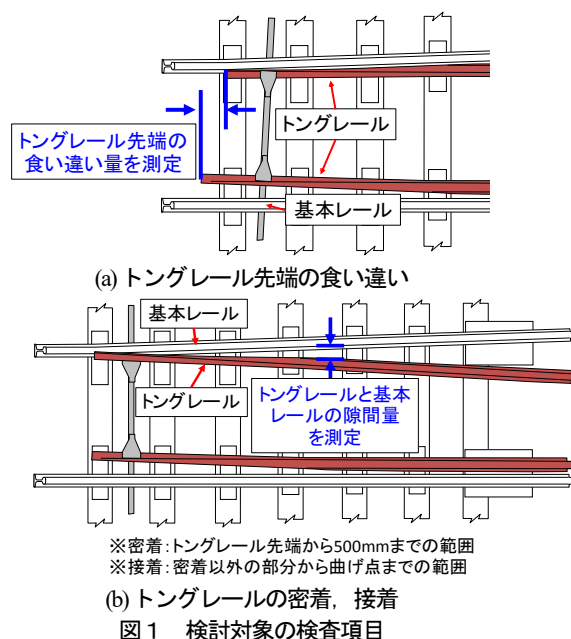
(1) 軌道材料に設置するセンサ

前述したように、検討対象としたトンダレール先端食い違い、トンダレールの密着、接着状態が変化すると、トンダレールの各部にひずみが発生すると考えられる。そこで、そのひずみを検知することを目的として、軌道材料の各部にひずみゲージを設置した。設置箇所は、比較的ひずみが発生しやすいと想定されるトンダレール先端部、控え棒部、トンダレール弾性部とした。図2にセンサの設置箇所とその記号を、図3に各センサの詳細な設置位置を示す。

(2) 電気転てつ機に設置するセンサ

電気転てつ機に設置するセンサは、既存のモニタリング装置および測定手法を活用することとした。

現在実用化されている電気転てつ機のモニタリング装置では、電気転てつ機内に装置が設置されており、鎖錠かん変位（ロック変位）や動作電流、動作電圧を測定する機能を備えている。これらの測定値の変動を確認することで、転換不能を未然に防ぐことや電気転てつ機の不



具合の検知などを行っている。そのため、本研究における検討対象の分岐器状態においてもその状態の変化があれば、各測定項目の値に変動が生じる可能性があると考えられる。

また、既存のモニタリング装置には組み込まれていないが、これまでに、転換動作に伴う負荷（以下、「転換負荷」という）や基本レールに接するトンダレールの接

触力（以下、「密着力」という）を部材のひずみで測定する手法が開発されている⁴⁾。これらの手法は、設備の検査を省力化する目的では用いられていないが、設備の状態を現地に赴かずに把握できることから、電気転てつ機に関する検査を補完するものとして活用されている。このため、転換負荷、密着力のモニタ情報についても検討対象項目との関連性がみられる可能性がある。

そこで、既存のモニタリング装置のセンサと転換負荷、密着力を測定するセンサを合わせて、電気転てつ機のモニタ情報とすることとした。

(3) 測定系統

軌道材料のセンサおよび電気転てつ機のセンサを用いた全体の概要を図4に示す。

4. 検証試験

(1) 概要

分岐器の各状態とモニタ情報の関連性を検討するために、検討対象の分岐器状態を設定し、転換試験を実施した。試験の状況を図5に示す。

試験に用いた分岐器は、在来線用60kg12番分岐器のポイント（P₆₀12-351（改））とした。また、使用した電気転てつ機は、NS-A形電気転てつ機とした。なお、転換は2回／分の頻度で実施した。

(2) 試験条件

検討対象とした分岐器状態を表2に示す方法により設定した。以下に各条件の設定方法を示す。なお、転換は自動制御により連続転換を行っているが、転換の開始および停止については手動で行うことから、各条件における転換回数にはばらつきがある。

a) 直トングレールのふく進

トングレールの食い違い状態は、直トングレールを前後に強制的にふく進させることで模擬した。トングレールのふく進方法は、ポイント後端の固定部を緩解し、ハンマーによる打撃によりトングレールを前後に移動させ、再度固定部を締結するものとした。なお、ポイント前端側に移動する方向を正とした。調整量は、0mm、+10mm、+20mm、-10mm、-15mmとした。各状態における転換回数は、0mmで70回、+10mmで86回、+20mmで101回、-10mmで82回、-15mmで92回である。また、試験時のレール温度は、11℃～19℃である。

b) 控え棒の長さ調整

トングレールの密着、接着状態を変化させる方法の一つとして、控え棒の長さを調整した。調整量は、0mm、±8mm、±16mmとした。なお、調整量を＋側に設定する状態を控え棒の張り状態、－側に設定する状態を控え棒の絞り状態とする。各状態における転換回数は、0mmで99回、+8mmで73回、+16mmで68回、-8mmで97回、-16mmで63回である。また、試験時のレール温度は、6℃～12℃である。

c) 床板の塗油状態調整

トングレールの密着、接着状態を変化させる別の方法として、床板の塗油状態を変化させた。塗油状態を変化させることで、床板とトングレールの摩擦力が増加し、トングレールの密着、接着状態が変化することが期待される。

表2 検討対象の設定方法

対象検査項目	分岐器設定状態
トングレール 先端食い違い	直トングレールのふく進
トングレールの 密着・接着	控え棒の長さ調整
	床板の塗油状態調整

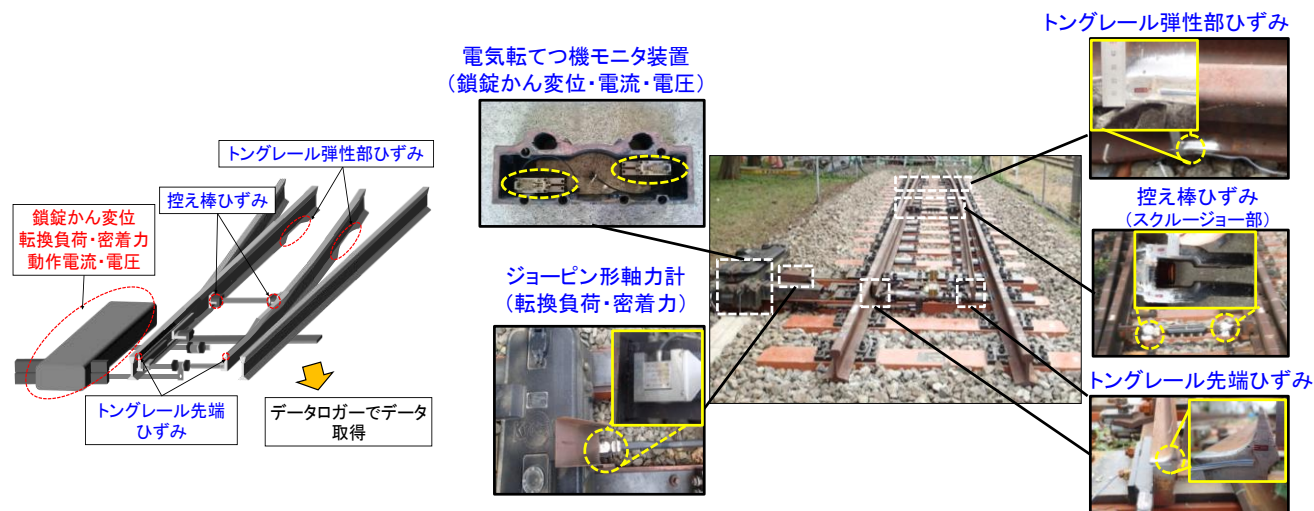


図4 モニタリング測定系統の概要図

図5 検証試験の状況

設定方法は、次のとおりである。

- ・無給油で転換を実施（無給油状態）
- ・日々給油し、転換を実施（給油状態）

無給油状態における転換回数は約22,000回、給油状態における転換回数は約20,000回である。また、試験時のレール温度は、20℃～42℃である。

なお、トングレールの密着、接着状態の変化を把握するため、各まくらぎ直上のトングレールと基本レールの隙間量（以下、「隙間量」という）を定期的に手検測により、また、トングレール先端から3030mmの位置における隙間量を転換動作毎にレーザ変位計により測定した。

(3) 試験結果

a) 測定データの処理

軌道材料のひずみは、試験条件毎に、分岐器を中立にした状態を初期状態とし、測定を実施した。ひずみの測定では、転換により初期状態を基準として相対的に引張・圧縮状態が繰り返されることから、ピーク値の差を測定値とした。また、控え棒ひずみ、トングレール弾性部ひずみは、左右で4箇所ずつ測定しているが、測定結果の傾向が概ね一致しているため、左右レールの代表値を1つずつ選択した（ $\varepsilon 3$, $\varepsilon 4$, $\varepsilon 11$, $\varepsilon 22$ ）。なお、測定データは基準線側開通時を対象とした。

試験結果は、モニタ情報の平均値を算出することとし、さらに、分岐器の各種状態とモニタ情報の関連度として決定係数の R^2 値を算出することとした。

b) トングレールの先端食い違い状態

表3にトングレール先端の食い違いを設定した際の試験結果を示す。

各設定状態とモニタ情報の関連性を確認すると、トングレールが分岐器前端側に移動する場合に、その設定状態と鎖錠かん変位および密着力の間に関連性がみられた。

また、トングレールが分岐器後端側に移動する場合に、その設定状態と鎖錠かん変位および控え棒ひずみ（ $\varepsilon 4$ ）の間に相関関係がみられた。

これらの関連性がみられる理由として、鎖錠かん変位は、トングレールが前後に食い違うとトングレールの移動量に応じて、動作かんを介し鎖錠かん変位も変動するためであると考えられる。また、密着力および控え棒ひずみは、直線側のトングレールが前後に動くと、分岐器の曲率に応じて転てつ機のストローク量が変化すると考えられる。トングレールが分岐器前端側に移動する場合には、ストローク量が減少すると考えられ、所定のストローク量を引くために、密着力が増加したと想定される。また、トングレールが分岐器後端側に移動する場合には、ストローク量が増加すると考えられ、それに応じて控え棒にかかる負荷が増加したものと考えられる。

表3 トングレール先端の食い違い状態による試験結果

モニタ情報	単位	トングレール先端食い違い量					決定係数 R^2	
		-15mm	-10mm	0mm	10mm	20mm	後端側食い違い状態	前端側食い違い状態
鎖錠かん変位	(mm)	-1.98	-0.98	0.00	1.78	3.17	0.94	1.00
平均転換負荷	(kN)	-0.95	-0.95	-0.91	-1.04	-1.14	0.45	0.79
密着力	(kN)	-0.81	-1.15	-1.28	-2.62	-4.99	0.75	0.90
動作電流	(A)	4.39	4.34	4.34	4.33	4.33	0.10	0.01
動作電圧	(V)	102.0	101.8	101.9	101.7	101.7	0.00	0.04
トングレール先端ひずみ	$\varepsilon 1$	13	14	18	12	12	0.02	0.02
	$\varepsilon 2$	46	49	24	20	25	0.47	0.00
控え棒ひずみ	$\varepsilon 3$	51	27	12	8	10	0.69	0.00
	$\varepsilon 4$	54	32	10	10	11	0.87	0.00
トングレール弾性部ひずみ	$\varepsilon 11$	492	487	485	495	487	0.43	0.00
	$\varepsilon 22$	505	500	497	515	500	0.49	0.01
データ数		92	82	70	86	101		

※鎖錠かん変位は調整量0mmの位置を基準

表4 控え棒長さ調整状態による試験結果

モニタ情報	単位	控え棒長さ調整量					決定係数 R^2	
		-16mm	-8mm	0mm	8mm	16mm	控え棒絞り状態	控え棒張り状態
鎖錠かん変位	(mm)	-0.52	0.14	0.00	2.40	3.31	0.23	0.94
平均転換負荷	(kN)	-	-0.93	-0.83	-1.15	-1.51	0.54	0.97
密着力	(kN)	-	-0.40	-0.56	-1.10	-2.49	0.67	0.94
動作電流	(A)	4.28	4.32	4.35	4.39	4.38	0.01	0.00
動作電圧	(V)	101.8	101.9	102.5	102.3	102.2	0.28	0.06
トングレール先端ひずみ	$\varepsilon 1$	20	21	18	19	19	0.01	0.00
	$\varepsilon 2$	27	28	26	28	29	0.00	0.02
控え棒ひずみ	$\varepsilon 3$	13	16	14	16	11	0.00	0.01
	$\varepsilon 4$	23	30	5	25	26	0.49	0.71
トングレール弾性部ひずみ	$\varepsilon 11$	533	533	498	432	333	0.25	0.91
	$\varepsilon 22$	529	513	492	450	373	0.22	0.90
データ数		63	97	99	73	68		

※鎖錠かん変位は調整量0mmの位置を基準 ※空欄は測定不良のため測定結果なし

c) 控え棒の長さ調整状態

表4に控え棒の長さを調整した際の試験結果を示す。

各設定状態とモニタ情報との関連性を確認すると、控え棒を張る側に調整した場合に、その設定状態と鎖錠かん変位、平均転換負荷、密着力、控え棒ひずみ（ $\varepsilon 4$ ）、トングレール弾性部ひずみ（ $\varepsilon 11$, $\varepsilon 22$ ）の間に相関関係がみられた。この結果は、以下の分岐器状態が影響していると考えられる。控え棒を張ることでトングレールの控え棒位置には軌間外側向きの力が作用するが、作用反作用の関係を考慮すると、トングレールの転てつ棒位置およびトングレール後端の固定部位置には、その力に対する反力が発生すると考えられる。その反力の一部が平均転換負荷、密着力の増加に影響し、また、トングレール弾性部では、転換時の負荷の減少に影響したと考えられる。

d) 床板の塗油状態

図6に無給油状態による転換回数と隙間量の関係を表したものを示す。なお、測定結果は、転換回数0回の隙間量からの変化量とした。

転換回数と隙間量の測定結果より、無給油状態において転換回数が増えるほど隙間量が増加する傾向がみられた。これは、無給油状態による連続転換により、床板とトングレールの摩擦力が増加したためであると考えられる。また、その隙間量は転てつ棒の位置から離れるにつれて、大きくなることがわかった。

表5に無給油状態における転換回数が約9,000回時点でのモニタ情報と給油状態時におけるモニタ情報の関連性を表したものを示す。各状態におけるデータ数は、無給油状態で488データ、給油状態で475データである。

試験の結果、床板の無給油状態と鎖錠かん変位、平均転換負荷、密着力、トングレール弾性部ひずみ (ϵ_{11} , ϵ_{22}) との間に相関関係がみられた。これらの関連性がみられる理由として以下の状態が考えられる。

鎖錠かん変位の増加は、トングレール後端の隙間量の増加に伴い、トングレール先端付近も隙間が大きくなると想定される。しかしながら、転てつ棒によりトングレール先端は密着されるため、みかけ上の隙間量は小さくなるが、給油状態と比べると転換完了時のトングレールの姿勢が異なっていると考えられ、その影響を受けて変動したものと想定される。

平均転換負荷の増加は、無給油状態による床板とトングレールの摩擦力の増加を表した結果と考えられる。

密着力の増加は、鎖錠かん変位と同様に、トングレール後端の隙間量の増加に伴い、転てつ棒位置のトングレールの隙間が大きくなっていると考えられる。しかしながら、実際にはトングレールは転てつ棒により基本レールに密着するように転換される。そのため、転てつ棒位置とトングレール後端の間のトングレールには、弾性力が発生すると考えられ、その力の一部がレールを保持する電気転てつ機の動作かんに作用し、密着力が増加したと考えられる。

トングレール弾性部ひずみの減少は、床板とトングレールの摩擦力が増加することで、トングレールが給油状態における転換完了時の位置まで移動しておらず、トングレール弾性部にかかる力が減少した結果であると考えられる。

次に、無給油状態で転換を開始してからのトングレールと基本レールの隙間量の変化と各モニタ情報の関連性を分析した結果を図7に示す。用いた隙間量のデータは、トングレール先端から3,030mmの位置とし、データ数は2,035データである。

分析の結果、5mmの隙間量までは、隙間量と鎖錠かん変位、トングレール弾性部ひずみの間に相関関係があり、

5mm以上の隙間量では、隙間量と密着力の間に相関関係が得られた。なお、平均転換負荷については、 R^2 値で0.01以下であり、隙間量との関連性はみられなかった。

これらの結果より、床板の無給油状態によるトングレールと基本レールの隙間量は、鎖錠かん変位、密着力、トングレール弾性部ひずみに関連性があることを実験により確認した。

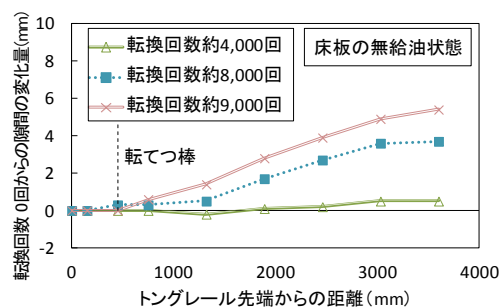


図6 転換回数と隙間量の関係

表5 床板の塗油状態調整による試験結果

モニタ情報		単位	床板の状態		決定係数R ²
			無給油	給油	
鎖錠かん変位		(mm)	3.78	1.69	0.87
平均転換負荷		(kN)	-2.17	-1.34	0.87
密着力		(kN)	-3.18	-1.24	0.80
動作電流		(A)	4.50	4.29	0.32
動作電圧		(V)	101.4	101.1	0.11
トングレール 先端ひずみ	ε 1	μ ε	37	14	0.46
	ε 2		41	29	0.25
控え棒ひずみ	ε 3	μ ε	9	11	0.02
	ε 4		6	6	0.00
トングレール 弾性部ひずみ	ε 11	μ ε	320	456	0.84
	ε 22		354	470	0.84
データ数			488	475	

※鎖錠かん変位は、測定生値に対して、任意の基準値(3mm)を設定した際の値

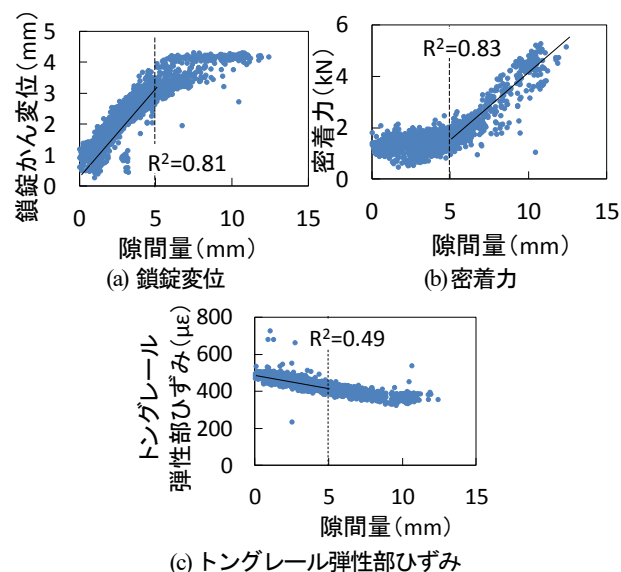


図7 モニタ情報と隙間量の関連性 (N=2,035)

5. モニタ情報の活用法の基礎的検討

(1) 概要

前章までに、分岐器の各状態とモニタ情報の関連性について転換試験により把握した。本章では、試験で取得したモニタ情報を活用した分岐器状態の基礎的な検知手法について検討する。

本研究では、モニタ情報を用いて各分岐器状態の程度を把握することを目的とし、次の2つの段階に分けて考えることとした。1段階目にモニタ情報から分岐器の各状態を判断し、2段階目にモニタ情報からその状態の程度を推定する方法である。

前節までの検討により、分岐器の状態に応じて着目すべきモニタ情報が異なること、また、1つのモニタ情報のみでは分岐器の状態の判別およびその程度を把握することが難しいため、複数のモニタ情報を用いて分析する必要があることがわかった。さらに、分岐器の状態は複雑に変わりうることが想定され、必ずしも定量的な分析が可能とは限らない。そこで、分岐器の状態を定性的に判別できるかどうかを判別分析手法を用いて明らかにし、さらに、重回帰分析手法を用いて定量的な評価ができるかについて検討することとした。

(2) 判別分析による分岐器の状態判別の検討

試験時における分岐器の通常状態、トングレール先端の食い違い状態、控え棒の長さ調整状態、床板の塗油状態を目的情報とし、モニタ情報を説明変数として、線形判別分析モデルを構築した。なお、ここでいう通常状態とは、試験時において分岐器を各部を調整していない無調整状態のこととする。判別分析モデルを以下の式(1a)に示す。

$$F = \sum_{n=1}^n A_n X_n \quad (1a)$$

F : 合成変数値, A_n : 判別係数, X_n : モニタ情報

判別分析では、各目的情報の合成変数値群になるべく差をつけるように判別係数が求められる。また、モデル式の説明変数を基準化することで各説明変数が目的情報に対してどの程度影響しているかを評価することとした。

分析方法については、通常状態と各調整状態毎で分析を実施した。これにより、通常状態と比較して各分岐器状態に影響するモニタ情報を定量的に評価することができる。なお、各調整状態のデータの中には、複数の調整量のデータを含む場合があるが、分岐器の状態判断という観点で分析を行うことから、一つの状態データとしてまとめて扱うこととした。

また、分析モデルに用いるモニタ情報は、前節までの

表6 判別分析の対象データ

分岐器状態	データ数
通常状態	100
控え棒張り状態	100
控え棒絞り状態	70
トングレール前端側 食い違い状態	100
トングレール後端側 食い違い状態	100
床板無給油状態	100

表7 判別分析による各モニタ情報の係数一覧

分岐器各種状態	モニタ情報					
	鎖錠かん 変位	密着力	控え棒ひずみ		トングレール 弾性部ひずみ	
			ε 3	ε 4	ε 11	ε 22
トングレール分岐器 前端側食い違い状態	5.64	2.55	-0.07	0.04	0.95	-
トングレール分岐器 後端側食い違い状態	-2.66	-	-0.29	-	-0.43	-0.25
控え棒張り状態	8.95	2.77	0.00	-	-	-
控え棒絞り状態	0.42	0.13	-0.72	4.66	-	0.86
床板無給油状態	5.81	1.78	-	-	-	-0.38

※各状態の空欄の部分については、分析時の多重共線性を考慮して除外

試験結果を考慮して分岐器の各状態と相関関係が低かった電気転てつ機の動作電流、動作電圧、トングレール先端ひずみの項目は除外した。さらに、平均転換負荷と密着力の間においても説明変数同士の相関関係がみられたため、密着力のみを説明変数として用いることとした。

その他、分析時に説明変数同士に相関があり、多重共線性の可能性がある場合にはどちらかの説明変数を除外し、分析を行った。表6に分析対象のデータを示す。

分析結果

判別分析の結果、表6に示すすべてのデータ数において、分岐器の各状態を正確に判別することができた。これは、本分析では、通常状態と1つの調整状態の2つを分析対象として、分析を行っていることから正確に判別できたものと考えられる。次に、判別分析によって得られた各係数を表7に示す。表中の各モニタ情報の係数を比較すると、鎖錠かん変位および密着力の係数が大きく、これらのモニタ情報が分岐器の状態判別に影響していることがわかった。

(3) 重回帰分析による分岐器各状態の程度の検討

目的変数を、トングレール先端食い違い状態は分岐器前端側食い違い量、分岐器後端側食い違い量、控え棒の長さ調整状態は控え棒張り量、控え棒絞り量、床板の塗油調整状態は基本レールとトングレールの隙間量とし、説明変数を各モニタ情報として、重回帰分析モデルを構

築した。

重回帰分析モデルを以下の式(1b)に示す。

$$Z = \sum_{i=1}^n B_i X_i + C \quad (1b)$$

Z ：各状態の調整量および隙間量， B_i ：重回帰係数，

X_i ：モニタ情報， C ：係数

分析は、各状態の調整量毎に実施した。また、説明変数を基準化し、各説明変数の目的情報に対する影響度も評価した。さらに、分析モデルに用いるモニタ情報およびモニタ情報同士の多重共線性の取り扱い方については、判別分析時と同様とした。表8に分析対象のデータを示す。

分析結果

重回帰分析結果と各調整量を比較したものを図8に、分析により得られた各モニタ情報の係数を表9に示す。

分析結果と各調整量の比較結果を確認すると、各状態ともにモニタ情報を用いて、おおむね状態変化の傾向を捉えることが可能であることがわかった。一部、分析結果のばらつきがみられる箇所もあるが、これは、分岐器の状態が転換により常に同じとは限らないため、各モニタ情報の測定値にばらつきが生じ、その結果を反映したものと考えられる。これらの点を考慮すると、モニタ情報を用いた状態の程度の推定には、1回の転換データで各状態の程度を推定するのではなく、ある状態における転換データを蓄積し、そのデータの傾向から状態の程度を推定することが適していると考えられる。そのため、推定時には、各状態のばらつきの分布などを考慮して分析値を判断することが望ましい。

次に、表中の各係数を比較すると、状態の程度の把握には鎖錠かん変位が大きく影響することがわかった。判別分析結果と比べると状態の程度の把握には、密着力の影響度が減少する傾向がみられた。このことは、状態の程度の把握と比べると分岐器の状態の判別には密着力が寄与する割合が高いことを示していると考えられる。

以上の結果より、モニタ情報を用いて分岐器の状態の程度を把握できる可能性があることを確認した。なお、今回の結果では、状態の程度を把握する際に概ね有効な結果が得られたが、これは限られたデータに基づくものであり、今後様々な状態の分岐器のデータが蓄積された場合に、同様の定量的な評価が可能となるかは不明である。そのため、判別分析を活用し、その上で重回帰分析のような定量的評価を行っていくのがよいと考えられる。

(4) 考察

判別分析モデルおよび重回帰分析モデルを用いて、分岐器の状態の判別およびその状態の程度を把握する手法について検討を行った。その結果、試験で取得したモニ

タ情報に対して、上述の推定手法が概ね適用できることを確認した。なお、本研究では1つの供試分岐器を対象に検討を行っており、他の分岐器における状態の検証は

表8 重回帰分析の対象データ

設定量・隙間量	データ数
控え棒張り量	0mm 100 +8mm 50 +16mm 50
控え棒絞り量	0mm 100 -8mm 70
トングレール前端側食い違い量	0mm 50 +10mm 50 +20mm 50
トングレール後端側食い違い量	0mm 50 -10mm 50 -15mm 50
トングレールと基本レールの隙間量(0mm)	1700

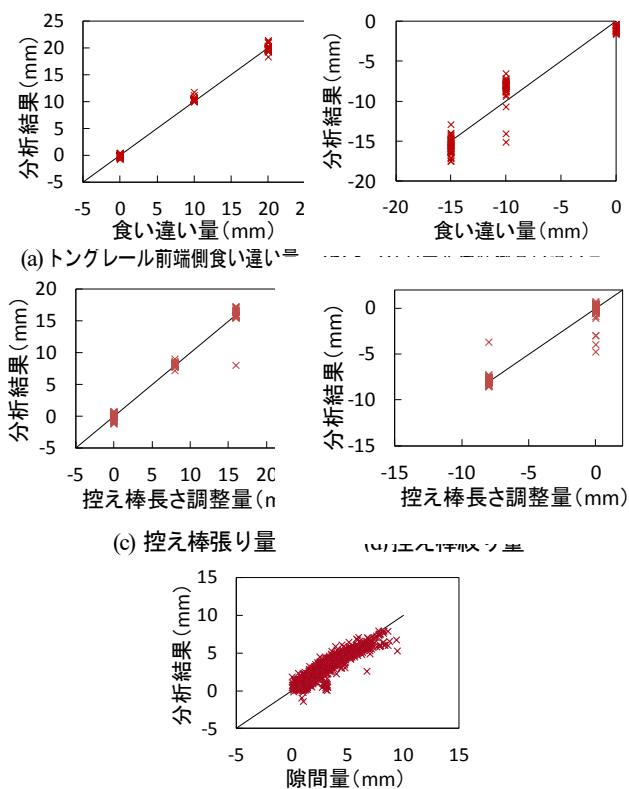


図8 重回帰分析結果

表9 重回帰分析による各モニタ情報の係数一覧

状態の程度	モニタ情報						
	鎖錠かん変位	密着力	控え棒ひずみ		トングレール弾性部ひずみ		定数
			ε 3	ε 4	ε 11	ε 22	
トングレール分岐器 前端側食い違い量	7.93	-0.32	0.03	0.03	-0.30	-	10.00
トングレール分岐器 後端側食い違い量	6.50	-	0.15	-	0.32	0.16	-8.33
控え棒張り量	3.65	-3.16	-0.01	-	-	-	6.00
控え棒絞り量	-0.30	-0.09	0.52	-3.35	-	-0.61	-3.29
トングレールと基本 レールの隙間量	1.53	-0.50	-	-	-	-0.74	2.90

※各状態の空欄の部分については、分析時の多重共線性を考慮して除外

未実施である。そのため、本推定手法が同様にその他の分岐器についても適用可能であるかについては、今後の課題としたい。

6. まとめ

分岐器の各種検査では、人力によるものが多く、検査者の技能に頼る部分もあり、維持管理に多大な労力を費やしている。そこで、本研究では、モニタリング技術を用いることによる検査の省力化を目指して、軌道材料と電気転てつ機にセンサを設置した測定系統を構築し、分岐器の各種状態とモニタ情報の関連性およびその基礎的な活用法の検討を行った。得られた主な知見を以下に示す。

- 1) トングレール先端食い違い状態は、主に鎖錠かん変位と関連性がみられ、それに加え、分岐器前端側に食い違う場合には密着力と、分岐器後端側に食い違う場合には控え棒ひずみと関連性がみられた。
- 2) 床板の無給油状態に起因するトングレールと基本レールの隙間量は、鎖錠かん変位、密着力、トングレール弾性部ひずみと関連性がみられた。
- 3) 判別分析を用いた分析により、分岐器の状態を判別する際のモニタ情報の影響度を定量的に評価した。その結果、各状態の判別には、鎖錠かん変位および密着力が影響していることがわかった。

- 4) 重回帰分析を用いた分析により、分岐器の各種状態の程度を把握する際のモニタ情報の影響度を定量的に評価した。その結果、各状態の程度の把握には、鎖錠かん変位の影響が大きいことがわかった。

同じ形式の分岐器においてもその敷設状態によりモニタ情報が変動することが考えられる。今後は、ふく数の分岐器におけるモニタ情報を蓄積し、データのばらつきを考慮した場合の検討および実用的に使用するための測定方法の構築などについても検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 坪川洋友, 矢澤英治, 石川智行: 「分岐器検査へのステレオカメラ技術の適用法の検討」, 土木学会第71回年次学術講演会, VI-766 (2016)
- 2) 例えば, 鈴木雅彦, 加藤尚志, 本間健一, 矢部明人, 滝勇太: 「転てつ機モニタリングデータの活用による異常把握と要因分析に関する研究」, 電気学会 ITS研究会資料, Vol.ITS-13, No.28-51, pp.39-44(2013)
- 3) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等維持管理標準(軌道編)の手引き、2007
- 4) S.Shiomi, Y.Oshimi, Y.Igarashi: Development status of condition monitoring methods of the switch and lock movements in Japan, 11th World Congress on Railway Research(WCRR2016), No.78, 2016

(2017.4.7 受付)

FUNDAMENTAL STUDY ON THE DETECTION OF CHANGE IN TURNOUT CONDITIONS BY USING MONITORING DATA OF TRACK MATERIAL AND ELECTRIC POINT MACHINE

Katsutoshi SHIOTA, Yuya OIKAWA and Syunsuke SHIOMI and Yoshikazu OSHIMI

Turnouts are hard to maintain because there are many inspection items and the inspection relies on the inspector's ability and skills. Therefore, various approaches aiming for labor saving inspection have been made. However, there are still many inspections reliant on human power, so it is required to develop the technology of labor-saving inspections.

In this study, we carried out switching test under several turnout conditions applying such monitoring technology as a measurement system by use of sensors installed at the electric point machine and the track materials. As a result, we grasped the relationship between the monitoring data and various turnout conditions. In addition, as fundamental methods of using the monitoring data, we indicated a method of discriminating the turnout conditions by means of a discriminant analysis model and a method of grasping variation from the standard value of each condition by means of a multiple regression analysis model.