

転てつ付属装置の劣化メカニズムの研究 (フロントロッドの劣化状態の定量調査と原因分析)



戸丸 耕太*1



佐々木 和洋*2



金田 敏之*3

Study on Deterioration Mechanism on Attachment Device of Railroad Switch (Investigation of Degraded State of Front rod and Cause analysis)

Kota TOMARU*1, Kazuhiro SASAKI*2, and Toshiyuki KANEDA*3

*1 Assistant Chief Researcher, Railway Signaling and Telecommunication Maintenance Technology Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

*2 Chief Researcher, Railway Signaling and Telecommunication Maintenance Technology Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

*3 Principal Researcher, Railway Signaling and Telecommunication Maintenance Technology Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

Attachment devices of railroad switches, such as front rods, are necessary for the safe operation of switches. However, they deteriorate over time as trains pass over the switch after installation in the field. For example, the vibration caused by the passing trains results in joint wearing and fatigue damage to the front rods. However, there have been few cases in which the process and causes of each degradation state have been analyzed deeply. In this paper, we analyze the progression process and causes of each deterioration state of front rods by (1) measuring the amount of wearing and (2) analyzing the causes of hook breakage at the switch where such breakage actually occurred.

●**Keywords:** Railroad Switch, Front rod, Deterioration mechanism, Tongue rail, Finite element analysis

*1JR東日本研究開発センター 信号通信技術メンテナンスユニット 副主幹研究員

*2JR東日本研究開発センター 信号通信技術メンテナンスユニット 主幹研究員

*3JR東日本研究開発センター 信号通信技術メンテナンスユニット 上席研究員

1. 緒言

フロントロッド等の転てつ付属装置は、分岐器の正常稼働に必要な不可欠な装置であるが、現場設置後に当該分岐器上を列車が通過し続けることで劣化が発生する。例えば、列車通過時に発生する振動等はフロントロッドの軸受け部摩耗や肘金部疲労破壊に繋がる。しかし、各劣化状態の進行過程や原因分析についての検証はこれまで深度化された事例が少ない。本稿ではフロントロッドを対象に①『軸受け摩耗量の実測』及び②『肘金部折損が実際に発生した箇所の原因分析』を行うことで、各劣化状態の進行過程と原因分析を行う。

2. ジョーピン型フロントロッド軸受け摩耗量の実測調査¹⁾

軸受け部の摩耗量について、ジョーピン型軸受け部に対する許容値の一つとして、撤去後のフロントロッド部品に対して各軸受け部の隙間(以下、ガタ量)が0.4mm以下であることが示されている²⁾。一方で、現場設置中にガタ量が新品時からどの程度進行したのかを示す『摩耗量』等の状態変化については詳細な把握がされていない。そのため本調査では、ジョーピン型軸受けを使用する分岐器を対象に、現場設置前後での軸受け部の状態変化を把握することを目的に、摩耗量とジョーピン形状の測定を行った。

2・1 軸受け摩耗量と表面形状の測定方法¹⁾

本調査では、交換周期が比較的短期間である特殊分岐器を対象とした。当該分岐器上を通過する列車本数は約800本/週及び通過速度は約20~40km/hであり、交換周期は約1年である。摩耗量の測定概要を図1に示す。本調査では、ガタ量の変位量を摩耗量と定義する。そのため、図1に示す様に、現場設置前と撤去後の各状態において各軸受け部に対して後述の方法でガタ量を計測する。その後、撤去後のガタ量計測値から、現場設置前のガタ量計測値を引くことで各軸受け部の摩耗量を算出する。

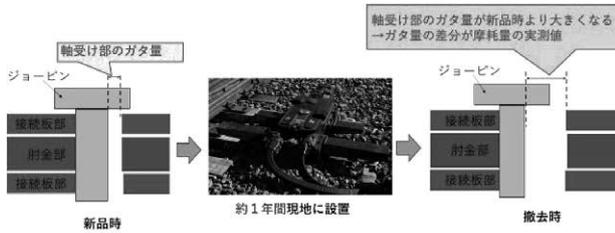


図1 軸受け摩耗量実測の全体概要
出典:参考文献 (1) p.2

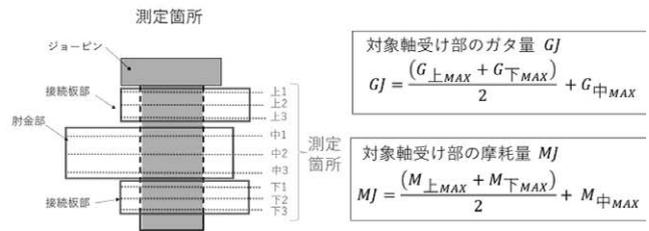


図2 本調査における軸径・穴径測定箇所
出典:参考文献 (1) p.2

$$GJ = \frac{(G_{上MAX} + G_{下MAX})}{2} + G_{中MAX}$$

$$MJ = \frac{(M_{上MAX} + M_{下MAX})}{2} + M_{中MAX}$$

ガタ量は、接続板部の接触箇所(上部、下部)及び肘金部との接触箇所(中部)の3ヵ所におけるジョーピンの軸径及びピン穴径を測定することで評価される²⁾。本調査では、『ジョーピンの片当たりにより発生する可能性がある局所的摩耗』を考慮し、上記の上部、中部及び下部の各ヵ所に対して、図2の様に、測定点を3点ずつ設定した。各測定点で測定された軸径と穴径を用いて、図2の右式を用いてガタ量と摩耗量を計算した。ガタ量の計算式において、G上MAXとG中MAX及びG下MAXは図2で示された各測定点におけるガタ量の内、上部3点の最大値、中部3点の最大値及び下部3点の最大値をそれぞれ示す。また、摩耗量の計算式におけるM上MAXとM中MAX及びM下MAXは図2で示された各測定点における摩耗量の内、上部3点の最大値、中部3点の最大値及び下部3点の最大値をそれぞれ示す。

各部の軸径、穴径を求めるために図3に示す3次元精密測定機を用いた。測定機の先端部を測定対象部品の複数箇所に接触させることで、各接触箇所の3次元情報を得る。その様にして得た3次元情報に基づき、各軸受け部の軸径及び穴径を算出する。

本調査で実施したジョーピン形状測定の概要を図4に示す。図4の測定機先端を、ジョーピンの表面部をなぞる様に移動させることで、表面部の凹凸を連続的に測定した。1本のジョーピンにつき4方向の表面部の凹凸を測定対象とした。

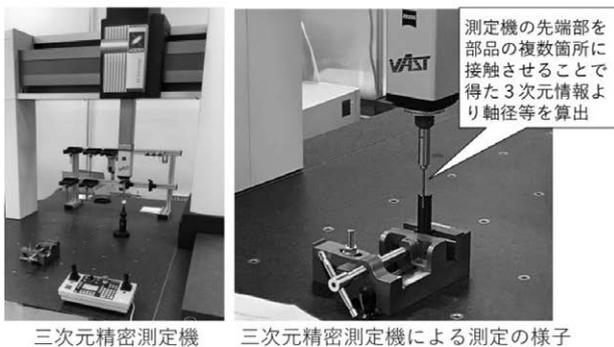


図3 3次元精密測定機による測定の様子
出典:参考文献 (1) p.2

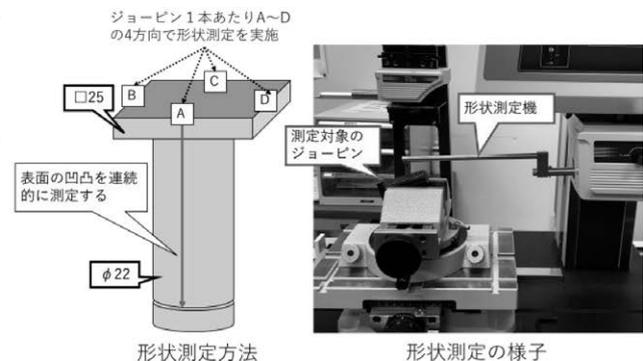


図4 形状測定の様子
出典:参考文献 (1) p.2

2・2 測定結果と評価¹⁾

特殊分岐器用フロントロッドは2本で1組とされているので、その内1本のフロントロッド(以下、フロントロッド①)の左側軸受け部を例に各測定結果を記す。

表1の結果より、上部、中部、下部のそれぞれにおいて測定点によりガタ量に大きな差が表れたので、測定対象のジョーピンには局所的な摩耗が発生していると考えられる。また、隙間許容値(0.4mm)²⁾と比較すると現場設置後の『対象軸受け部のガタ量』は0.513mmであるため、測定対象のフロントロッドは交換推奨の状態といえる。表1の結果より、フロントロッド①の左側軸受け部は約1年間の現場設置により約0.294mmガタ量が広がったといえる。そのため、仮に同一箇所のフロントロッド交換周期を1年延伸し、2年間現場に設置した場合、0.500mm以上のガタ量広がりが発生すると予想される。したがって本調査箇所のフロントロッド交換周期(1年)は妥当な周期であると考えられる。

形状測定結果を図5と図6に示す。グラフ上では、図4の□25面とφ22面のおおよその境界部をx軸の原点とした。図5と図6を比較すると、現場設置後にジョーピン表面部に大きな凹凸が表れたことより、測定対象のジョーピンには局所的な摩耗が発生していることが形状測定によっても確認できた。また、現場設置後の表面高低が0.0mm以上になっている箇所は材質金属が延ばされたことによる盛り上がり等が原因と考えられる。

表1 フロントロッド①の左側軸受け部のガタ量と摩耗量の実測結果

出典:参考文献 (1) p.2~3

	現場設置前		現場設置後		現場設置前後における各測定点の摩耗量(mm)	対象軸受け部の摩耗量(mm)
	各測定点のガタ量(mm)	対象軸受け部のガタ量(mm)	各測定点のガタ量(mm)	対象軸受け部のガタ量(mm)		
上1	0.107	0.227	0.151	0.513	0.045	0.294
上2	0.104		0.153			
上3	0.098		0.201			
中1	0.123		0.212			
中2	0.116		0.104			
中3	0.119		0.319			
下1	0.096		0.123			
下2	0.100		0.152			
下3	0.102		0.186			

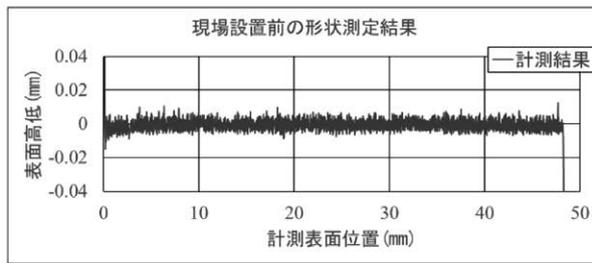


図5 形状測定の結果 (現場設置前)
出典:参考文献 (1) p.3

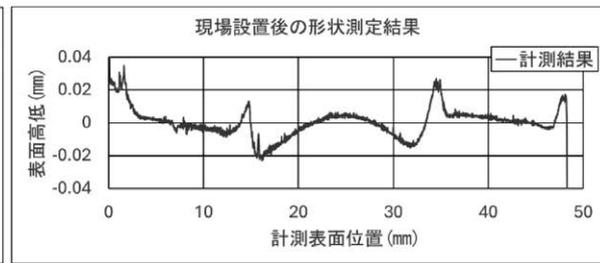


図6 形状測定の結果 (現場設置後)
出典:参考文献 (1) p.3

3. フロントロッドの肘金部折損の原因分析

フロントロッドはトンダレール先端部と接続されているため、列車通過時の衝撃振動がトンダレールを介してフロントロッドにも伝達されることでフロントロッドに負荷が掛かる。この負荷が肘金部折損の一要因と考えられるため、フロントロッド単体だけでなくトンダレールに対しても列車通過時の振動挙動を定量解析した。

3・1 振動加速度及び応力の実測

肘金部折損が発生した分岐器 (以下、分岐器A) と発生していない分岐器 (以下、分岐器B) を対象に、フロントロッド等に作用する振動加速度および応力を実測した。測定時に設置された3軸加速度センサーとひずみゲージの一例を図7に示す。ひずみゲージは定位側と反位側の各肘金部に対して、各部の上面と軌道内内側の2箇所に設置した。応力値は、ひずみセンサーにより取得されたひずみ値に肘金部材質のヤング率を考慮し換算された値を実測値とする。

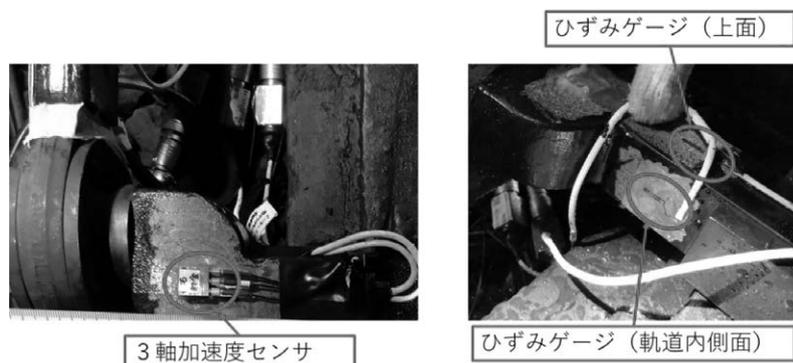


図7 設置されたセンサーの一例

振動加速度は3種類（上下方向、マクラギ方向及びレール方向）、応力値は引張と圧縮の2種類が測定された。各測定項目における最大値結果を図8と図9に示す。分岐器Aのフロントロッドで肘金折損が発生したのは定位側の肘金であるが、分岐器Bの定位側の測定結果と比較すると、分岐器Aの定位側には振動加速度、応力の両方が分岐器Bよりも大きいことが分かる。一方で、反位側に掛かる振動加速度と応力は分岐器AとBで大きな差が無いことが示された。

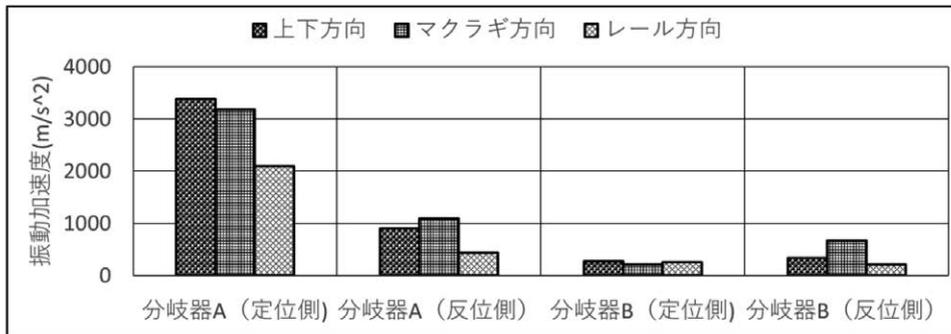


図8 振動加速度の測定結果

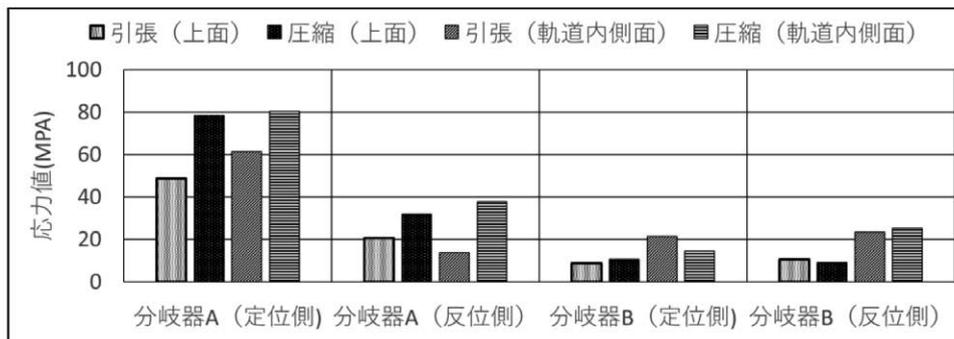


図9 応力値の測定結果

3・2 小型カメラによるフロントロッドの列車通過時振動の撮影³⁾

前節で、肘金部折損が発生したフロントロッドには大きな負荷が掛かっていることが判明したのでその原因検討のために、列車通過時の振動挙動を定量解析した。列車通過時にフロントロッド及びそれと繋がっているトングレールの振動挙動を把握するために、図10左図に示す様に線路内に小型カメラを複数台仮設することで、列車通過時のフロントロッド・トングレールの振動挙動を撮影した。また、フロントロッド及びトングレール後端部にラベルを貼ることで、図10右図の様な撮影動画より振動挙動の定量解析を可能とした。この動画撮影をフロントロッド肘金部折損が発生した分岐器Aと発生していない分岐器Bの2箇所に対して実施した。



図10 仮設したカメラ及び撮影動画の一例
出典:参考文献 (3) p.2

3・3 列車通過時のフロントロッド及びトングレールの振動挙動の定量解析³⁾

上記の方法で撮影した動画を用いて、ラベルの鉛直方向の変位を算出した。肘金部折損が発生した分岐器Aと分岐器Bに対する推定結果を図11と図12に示す。両図より、トングレール後端を車輪が通過した際に、トングレール後端は下方向に変位している点は分岐器AとBで共通しているが、分岐器Aのフロントロッドの場合は上方向にも変位していることが分かる。この上方向変位の

要因として考えられる要素としては、トンゲレール後端と床板間の隙間が大きいことが挙げられる。トンゲレール後端と床板間の隙間幅が大きい場合、トンゲレール後端を車輪が通過すると、輪重によりトンゲレール後端が下方方向に変位しやすくなる。この時図13に示す様にトンゲレールと床板間の隙間幅が小さい箇所の床板が支点となり、トンゲレールがシーソー状に運動(以後、「シーソー運動」と呼ぶ)することで、トンゲレール先端に設置されたフロントロッドが上方方向に変位したと考えられる。このシーソー運動により、分岐器Aでは列車通過時の衝撃が増幅されたと推測される。

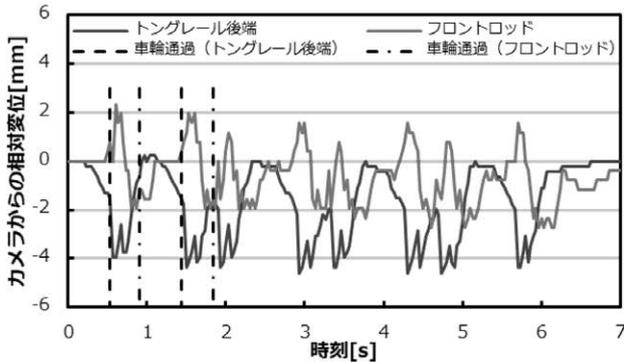


図11 トンゲレール挙動の解析結果 (分岐器A)
出典:参考文献 (3) p.2

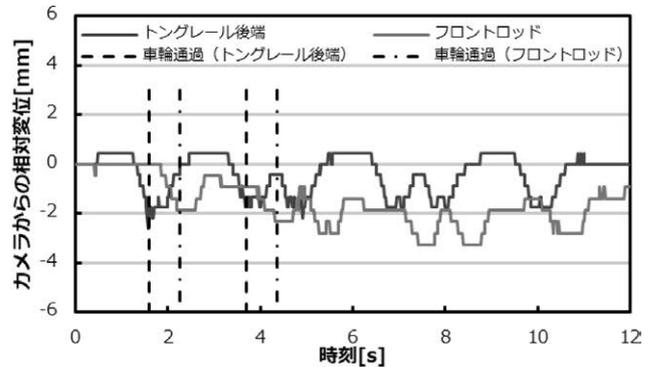


図12 トンゲレール挙動の解析結果 (分岐器B)
出典:参考文献 (3) p.2



図13 シーソー運動の概要
出典:参考文献 (3) p.3

3・4 トンゲレールと床板の隙間幅が与える影響の解析³⁾

トンゲレールと床板の隙間によりシーソー運動が起こりうるかを、先行研究⁴⁾を基にした有限要素解析により調査した。調査用に作成した解析モデルを図14に示す。本モデルではトンゲレール単体の運動だけでなく、マクラギ、床板、バラストを3次元ソリッド要素で再現することで、トンゲレールと床板との接触も考慮した解析を可能としている。本モデルに対して輪重を模した荷重を各位置に付加することで、トンゲレール後端から先端に向けて列車が通過する際のトンゲレールの運動(鉛直方向の変位)を解析した。解析条件として、表2に示すようにトンゲレールと床板間の隙間を分岐器Aの実測値を再現した場合と、隙間幅が無い場合の2通りを設定した。

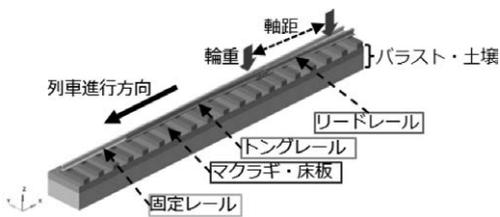


図14 解析モデル
出典:参考文献 (3) p.3

表2 解析条件 (トンゲレールと床板の隙間幅)
出典:参考文献 (3) p.3

床板	1	2	3	4	5	6	7	8	9
条件 1	0.7	0.3	3.2	2.5	0.0	0.0	1.5	2.0	3.8
条件 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

解析結果を図15と16に示す。各図の輪重負荷位置はトンゲレール後端部の継目が原点と定め、トンゲレール先端側を正の値としている。条件1の解析結果(図15)において、輪重負荷位置が0~3000mmの範囲で、トンゲレール後端が下方方向に変位し、先端側が上方方向に変位していることが分かる。これはトンゲレール後端部付近に輪重が掛かった際にトンゲレール先端(フロントロッド設置部)が上方方向に変位していることになるので、シーソー運動の挙動を解析上でも概ね再現できたと考えられる。一方で図16より、条件2では0~2000mmの範囲で輪重負荷を掛けてもトンゲレール先端が上方方向にほとんど変位しないことが分かる。このことより、トンゲレールと全床板の各隙間が0の場合、トンゲレールのシーソー運動は抑制されたと考えられる。

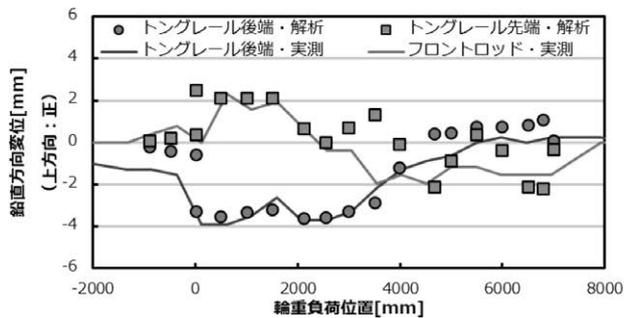


図15 トングレール挙動の解析結果 (条件1)
出典:参考文献 (3) p.3

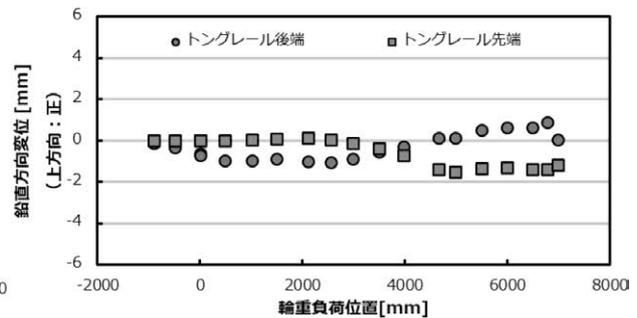


図16 トングレール挙動の解析結果 (条件2)
出典:参考文献 (3) p.4

4. 結言^{1),3)}

転てつ付属装置の内フロントロッドを対象として、劣化状態の定量的な進行過程把握と原因分析を目的に代表的な劣化状態である『軸受け摩耗量』と『肘金部折損』に対して定量的調査を実施した。

軸受け摩耗量という観点では、本稿で対象とした箇所の特種分岐器用フロントロッドの交換周期(約1年)は適切な交換周期であると推測できる結果となった。今後は列車通過本数等が異なる他箇所のフロントロッドに対しても同様の方法で測定を行うことで、箇所毎の摩耗量を比較する必要がある。

肘金部折損に関しては、折損が発生した箇所とそうでない箇所に対して、振動加速度等の実測及びトングレールの振動挙動を定量的に比較することで、折損を引き起こす要因の検討を行った。その結果、折損が発生した箇所のフロントロッドには、そうでない箇所よりも大きな負荷が掛かっており、その要因の一つとしてトングレールの『シーソー運動』が影響している可能性があることが判明した。また、有限要素解析により、特にトングレール後端部と床板の隙間幅が大きい時にシーソー運動が発生しやすいと推測されたので、今後は、当該箇所のトングレールと床板の隙間幅等が修繕された後の状態に対して、トングレールやフロントロッドの振動挙動を定量的に把握することで、その状態変化を比較する必要がある。

参考文献

- 1) 戸丸耕太, 佐々木和洋, 金田敏之, 三浦友裕, 藤野瑛汰, 榎間大輝, 泉聡志: 摩耗量と形状測定による現場設置前後のフロントロッド軸受け部の状態変化調査, 第30回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2023)講演論文集(2023), S2-4-4
- 2) 一般社団法人 信号工業協会: 鉄道信号用装置・機器の耐用寿命に関する検討書, V 鉄道信号用転てつ付属機器の耐用寿命, pp.V-4, 2017.
- 3) 三浦友裕, 寺門暉斗, 榎間大輝, 泉聡志, 戸丸耕太, 佐々木和洋, 金田敏之: 小型カメラによる鉄道分岐器のトングレール後端部における衝撃増幅現象の解明, 第30回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2023)講演論文集(2023), S2-1-3
- 4) 島本琢磨, 田處恵大, 波田野明日可, 泉聡志, 酒井信介, 新野善行, 鈴木雅彦, 金田敏之: 列車通過時振動による特種分岐器フロントロッド部品の摩耗予測のための有限要素モデリング, 機械学会論文集, Vol.85, No.873, pp.18-00414, 2019