

フロントロッド肘金の折損要因の分析と折損を防ぐ保守方法

潮見 俊輔* 重盛 壮平* 押味 良和*

Investigation of Causes of Breakage of Front Rod L-shaped Fitting
and Maintenance Methods to Prevent It

Shunsuke SHIOMI Sohei SHIGEMORI Yoshikazu OSHIMI

Breakage of front-rods caused by environmental conditions around turnouts and point machines has been an issue in maintaining signalling equipment. This study first investigated the relationship between environmental conditions and strain in front rods through field surveys and measurement tests. Secondly, this study conducted a stress analysis of front rods using a FEM. The results identified the locations of stress concentration in front rods and clarified how the extension adjustment condition affects stress. Using these findings, precautions for maintenance work on turnouts and point machines were proposed to prevent breakage of front-rods.

キーワード：フロントロッド，肘金具，転てつ装置，有限要素解析，折損

1. はじめに

転てつ装置は、分岐器の可動部に対して動作（転換）と保持（鎖錠）等を行う信号保安装置であり、電気転てつ機に代表される動力転てつ機と、スイッチアジャスタやフロントロッド等の転てつ付属品から構成されている。このうち、転てつ付属品は、動力転てつ機とトンブレール等の分岐器可動部を接続して、転換動作や転換後の機械的鎖錠を行い、開通方向を動力転てつ機にフィードバック（照査）する重要な機能を有している。転てつ付属品のうち、フロントロッドは照査の機能に加えて、スイッチアジャスタによる機械的鎖錠を補完する機能（補の鎖錠）を有している。

転てつ装置は、車両が分岐器の欠線部や継目を通過する際の振動や衝撃を受けやすい環境で用いられるが、主の鎖錠機能を持つスイッチアジャスタや電気転てつ機本体の損傷は、車両走行中の安全性に直接影響するため避ける必要がある。そのため、照査による異常検出が可能なフロントロッドを、スイッチアジャスタや電気転てつ機本体より先行して破損させるように意図した設計思想（強度協調）が経験的に適用されてきた。

一方で、運転速度向上による車両通過時の衝撃の増加や、列車本数の増加に伴う衝撃の繰り返し頻度の増加によるフロントロッドの折損と、列車運行の安定性への影響が長年の課題となっている。これに対して、1970年代から1980年代にかけてフロントロッドの形状や使用材料の改良が行われており^{1) 2)}、折損件数が減少している。しかし、現在も依然として一部でフロントロッドの折損が発生しており、主に肘金において折損が発生している状況である³⁾。また、個別の事例に注目すると、分岐器等の使用環境や、転てつ装置を含む施工・調整状態が通常と異なる箇所が発生することがわかっている。

本稿では、フロントロッド折損の要因となる、トンブレールとロッドを接続するL字状の部材である肘金（図1）におけるひずみ、応力の応答と、これに関係する分岐器や転てつ装置の設置環境についての現地調査、実験、解析の結果について報告する。また、折損を防ぐための保守方法について述べる。

* 信号技術研究部 信号システム研究室

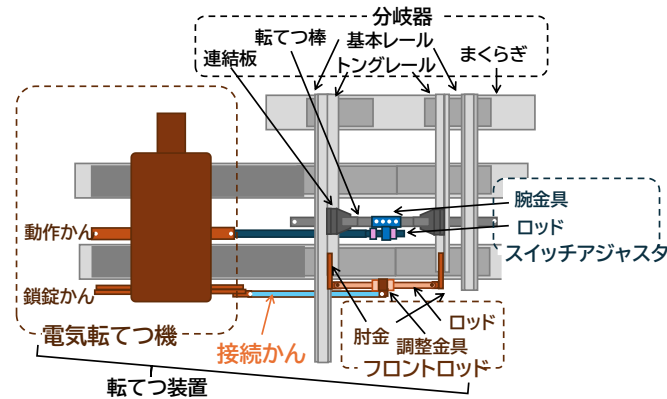


図1 転てつ装置とフロントロッドの構成の一例

2. フロントロッドの折損と車両通過時の影響

2.1 フロントロッドの構造と折損

転てつ装置とフロントロッドの構成の一例を図1に示す。フロントロッドは、スイッチアジャスタにより動かされたトングレールの開通方向や接着状態を電気転てつ機の鎖錠かんに伝達し、照査や補の鎖錠の機能を有する。フロントロッドは左右のトングレールに取り付ける2個の肘金と、両肘金を結ぶロッドと調整金具から構成される。ロッドの長さは左右のトングレールの離隔にあわせて調整した上で取り付けを行うため、フロントロッド自体は設計上、力が常時作用する箇所ではない。

しかし実際には、フロントロッド各部には車輪の通過に伴い車両から受ける輪重や横圧による力や、衝撃が作用する。また、ロッドの長さ（張り）を調整して、左右トングレールの間隔やトングレールの接着状態を調整することがあり、トングレールの弾性力がフロントロッドに常時作用する場合がある⁴⁾。このような力が車輪の通過の都度、繰り返し作用することで、肘金やロッドが折損することは経験的に知られている³⁾。

折損が発生する部位は、1980年代まではロッドと肘金でそれぞれ発生していたが、フロントロッドの材料や構造の改良が進んだ1990年代以降はロッドの折損が減り、肘金の折損が中心となった¹⁾。30分以上の遅延を伴う輸送障害として国土交通省に報告された、折損箇所が明記されているフロントロッド折損は、3年間（調査期間：2013年～2015年）で3件発生しており、その全てが肘金または肘金締結ボルトで発生している。このように、現在のフロントロッドの折損は、主に肘金を主とした断面変化部や、断面積が小さい部位で特に発生しているといえる。

2.2 折損の発生状況と設備条件

フロントロッドの折損に関する実態を把握するため、鉄道事業者4社の協力の下、2007年度から2022年度に普通分岐器において発生したフロントロッドの折損箇所を調査した。また、過去に発生した折損を踏まえて、通常よりも短い周期でフロントロッドを交換している箇所についても調査した。

表1に、分岐器の種類と線区の特性ごとに分類した折損等の箇所数を示す。折損が発生した箇所は15年間で23箇所であり、内19箇所が関節分岐器であった。このうち1箇所については2.1節に述べた2013年から2015年に発生した30分以上の輸送障害を伴う事象に該当する。また、交換周期の短縮は11箇所で実施されており、内9箇所が関節分岐器であった。また、弾性分岐器2箇所については車両基地の洗浄線付近に設置された弾性分岐器であった。このように、フロントロッドの折損等は関節分岐器での箇所が多く、

特に通過列車がある地方幹線において多い。また、弾性分岐器の折損箇所は、レールの破損等により特に衝撃を受けやすい箇所や、塩害地域、洗浄線付近などの腐食が進行しやすい箇所などのフロントロッドの折損原因が個別に特定されている箇所が大半を占めた。

表1 折損等の発生箇所と設備条件

回答種類	分岐器の種類	線区の特徴	箇所数
折損	関節分岐器 (50N)	地方・通過列車あり	19
	弾性分岐器 (50N, 60kg)	都市圏・通過列車あり	2
		都市圏・通過列車なし	1
		地方・通過列車あり	1
交換周期短縮	関節分岐器	地方・通過列車あり	9
	弾性分岐器	車両基地内	2

2.3 折損箇所における設備状態の調査

以上の調査結果を踏まえて、①50N 関節分岐器、②通過列車あり、③地方の幹線の3条件を満たす13箇所（折損履歴あり5箇所、更新周期短縮1箇所、折損なし7箇所）および弾性分岐器の折損履歴がある1箇所を対象とし、転てつ装置や分岐器の設置環境に関する現地調査を実施した。

代表的な調査結果を表2に示す。折損履歴や交換周期の短縮を実施している箇所では、車両通過時にトンダレールに対して衝撃を与えうる、トンダレール後端部の段差や、レール踏面の荒れ・欠損、トンダレールと床板の浮きなどの、折損履歴のない箇所ではみられない状態が確認された。また、犬くぎやボルト等のガタつきや抜けなど、衝撃により影響を受けたと推察される状態も複数の箇所で確認された。このことから、フロントロッドの折損に車両通過時の衝撃が影響している可能性があるかと推察された。

表2 転てつ装置と分岐器の設備状況調査（代表結果）

調査項目		調査結果	
		折損あり・周期短縮	折損なし
調査箇所数		7箇所 (内1弾性分岐器)	7箇所
衝撃の 要因	トンダレールと 床板の接触	良好 6箇所 先端接触なし 1箇所	良好 7箇所
	トンダレールと リードレールの段差	あり 6箇所 (全ての関節分岐器)	あり 1箇所 なし 6箇所
	トンダレール等踏面の 荒れ・欠損	あり 1箇所 なし 6箇所	なし 7箇所
	犬くぎ、ボルト等の ガタつき	あり 4箇所 なし 3箇所	なし 7箇所

2.4 車両通過時のフロントロッドひずみと振動加速度

折損実績があり、交換周期の短縮を実施している5箇所（箇所A～E）と、折損実績のない4箇所（試験箇所F～I）において、車両通過時のフロントロッド各部のひずみ、トンダレール先端付近の基本レールとまくらぎの振動加速度等を測定した。図2に測定項目とフロントロッドのひずみ測定箇所を示す。

測定結果の一例として、折損履歴のある箇所Aと折損履歴のない箇所Fにおける車両通過時の接着側肘金長穴上部（図2①）のひずみを図3に示す。箇所A、Fともに、ひずみの変動が車両の通過に伴って変動しているが、箇所Aの変動は箇所Fと比べて大きいことが認められた。

表3に車両通過時の各部のひずみから使用材料の縦弾性係数を $E=206\text{GPa}$ として算出した応力の変動の大きさ（Peak to peak 値、以下 p-p 値）とそのときの列車速度を示す。

折損実績があり、交換周期の短縮を実施している5箇所のうちA～Cの3箇所では、肘金長穴部付近の

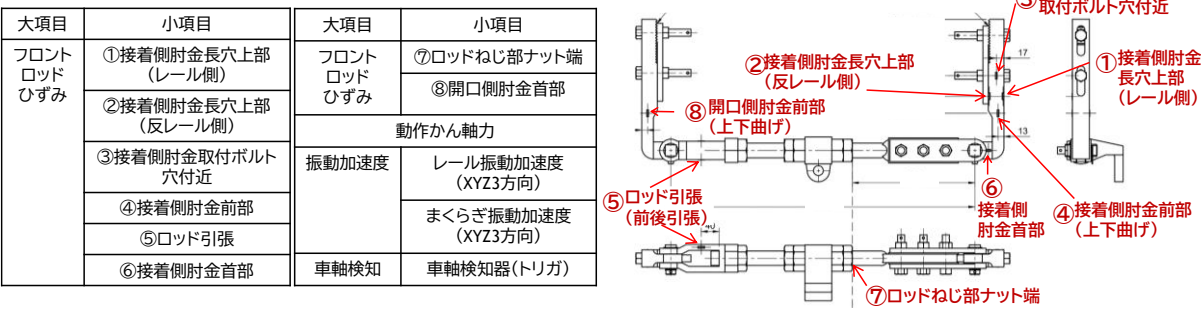


図2 測定項目とフロントロッド上のひずみ測定箇所

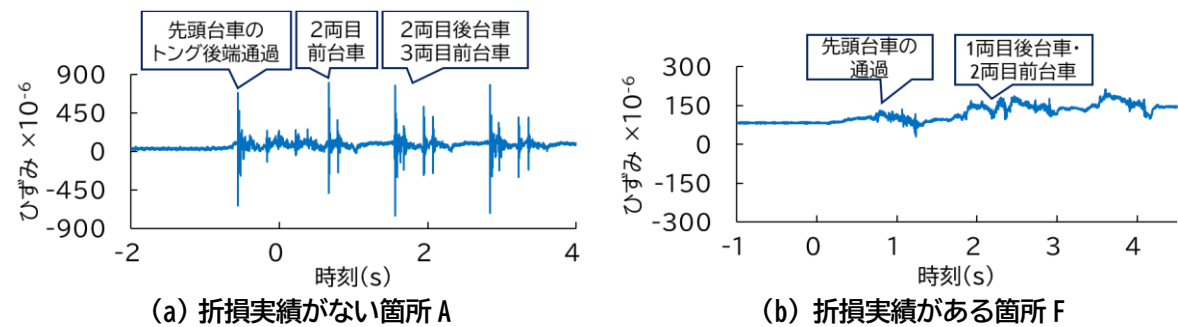


図3 車両通過時の接着側肘金長穴上部ひずみ

表3 車両通過時の応力と列車速度

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	折損履歴 有		周期短縮	折損履歴 有		折損履歴 なし			
後端部段差 (mm)	+0.9	+0.9	-4.3	+1.0	あり※1	なし	なし	なし	-0.9
列車速度 (km/h)	58.7	90.3	77.4	41.0	57.2	61.6	60.6	84.8	90.1
長穴上部① (MPa)	326.2	-	201.9	35.1	84.3	74.0	66.1	48.0	140.1
長穴上部② (MPa)	195.7	350.4	111.6	38.5	69.7	64.8	61	44.4	116.6
ボルト穴付近③ (MPa)	183.0	410.4	111.1	12.0	40.1	-	28.3	22.0	72.8

後端部段差 +は後端部が高いことを、-は後端部が低い事を示す。
 ※1 測定なし。写真による目視で2mm以上の段差があると推定される

応力変動が202MPa～410MPa となった。材料の疲労限（片振幅 200MPa）⁵⁾ を超過する応力が観測された箇所 B では、測定の実施後に折損が発生しており、車両通過時の衝撃によりフロントロッドの折損に至っていることが確認された。

各試験箇所で見られたひずみの変動は、編成の先頭台車および各車両の後台車先頭軸が、トンブレイル後端部を通過する際に特に大きく、トンブレイル後端付近の大床板における衝撃と同時に観測された。一例として、試験箇所 B における車両通過時の肘金穴上部のひずみと、大床板上の上下方向加速度を図 4 に示す。トンブレイル後端に近い大床板上で測定した加速度が後端部通過時の衝撃で大きく変化する際に、同時にひずみも変化していることがわかる。このことから、フロントロッド肘金の折損につながる応力変動は、トンブレイル後端部の段差などの車両通過時の衝撃に影響を受けているといえる。また、応力変動の大きさから、この衝撃が折損の主要因と考えることができる。なお、車両通過時のトンブレイルへの衝撃は、トンブレイル後端のリードレールとの段差のほかに、トンブレイル先端側が床板と接しておらず車両通過により上下にばたつく箇所や、レール頭部の欠損等により衝撃する箇所でも生じることが知られて

いる。折損防止において、これらの状態にも注意を払うことが重要といえる。

また、上記に示した外観検査に基づく方法に加えて、車両通過時の衝撃の大きさを簡易的に取得する装置を試作してその適用性について検討した。図5に試作した簡易形の衝撃測定装置と測定結果の一例を示す。この装置は、まくらぎ等に一時的に仮設して車両通過時の衝撃を記録する機能をもつ。定量的に振動や衝撃の大きさを計測する際に用いる一般的な測定器に対して、計測可能な周波数等の性能に制限がある。そのため、信号設備が受ける振動のJIS規格⁶⁾との絶対値による比較は行えない制約がある。しかし、図6に示す相対的な振動の大きさ（加速度の平均 p-p 値）は一般的なセンサと試作品で高い相関があることから（ $R^2=0.89$ ），正常な箇所との相対比較用途として適用できると考えられる。

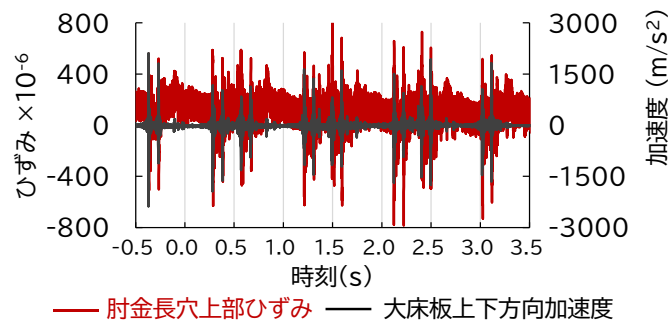


図4 肘金ひずみと大床板振動加速度

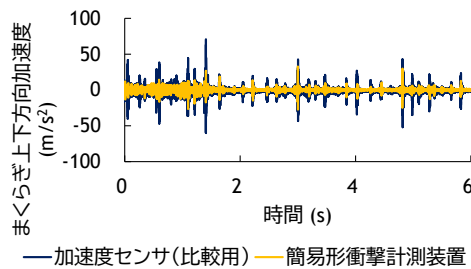


図5 簡易形衝撃計測装置と計測波形の例

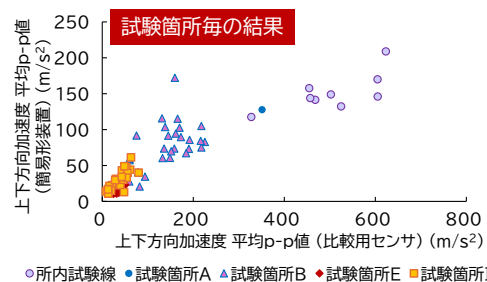
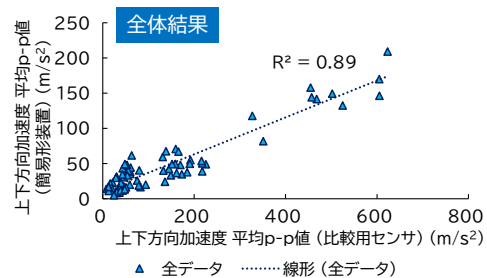


図6 簡易形装置と比較用センサの出力比較

3. 有限要素解析を用いた転てつ装置、分岐器の調整状態の影響評価

車両の通過に伴うトングレールへの衝撃がフロントロッドの応力変動に影響することを現地測定にて確認したが、転てつ装置や分岐器の調整状態が、フロントロッドの折損に与える影響については明らかになっていない。しかし、設備の調整状態は実設備で任意に設定することが難しく、その影響を評価するためのひずみを計測するためのひずみゲージの貼付箇所や方法にも制約がある。そこで、転てつ装置や分岐器の調整状態を任意に設定でき、フロントロッド肘金の応力分布が得られる有限要素解析と実験を組み合わせることで、調整状態が折損に与える影響について検討することとした。

3.1 フロントロッドの解析モデル

有限要素解析モデルとして、(a)フロントロッド肘金単体のモデル（以降、単体モデル）と、(b)フロントロッド全体（肘金およびロッド）と転換動作に関する分岐器の構成部材を含むモデル（以降、全体モデル）を作成した。(a)の単体モデルについては、肘金および歯金のかみ合わせを再現したモデル（標準モデル）と、両者のかみ合わせを省略したモデル（簡易モデル）を作成した。図7にこれらのモデルの概形を示す。

単体モデルについては、可能な限りメッシュサイズを1mmの六面体ソリッド1次要素としたが、歯型や首部曲面などの六面体とすることが難しい要素は四面体要素とした。また、トングレールや試験治具に相当する受け板をモデルに含めた。なお、単体モデルにおける簡易モデルでは、長穴周辺の要素を2次要素に変更した。

全体モデルについては、評価の主対象である肘金を含むフロントロッド全体と、肘金とボルトで締結されるトングレール先端部をソリッド要素とした。一方で、転換時の数秒間の動作を解析する際の計算負荷を抑えるため、転てつ棒より後端側のトングレールについては、接触とたわみのみを計算するビーム要素とし、断面特性をレールにあわせて設定した。また、転てつ棒と連結板については剛体としたが、結合部のガタについては実物と同様に考慮できるよう、接触による力の伝達を計算することとした。

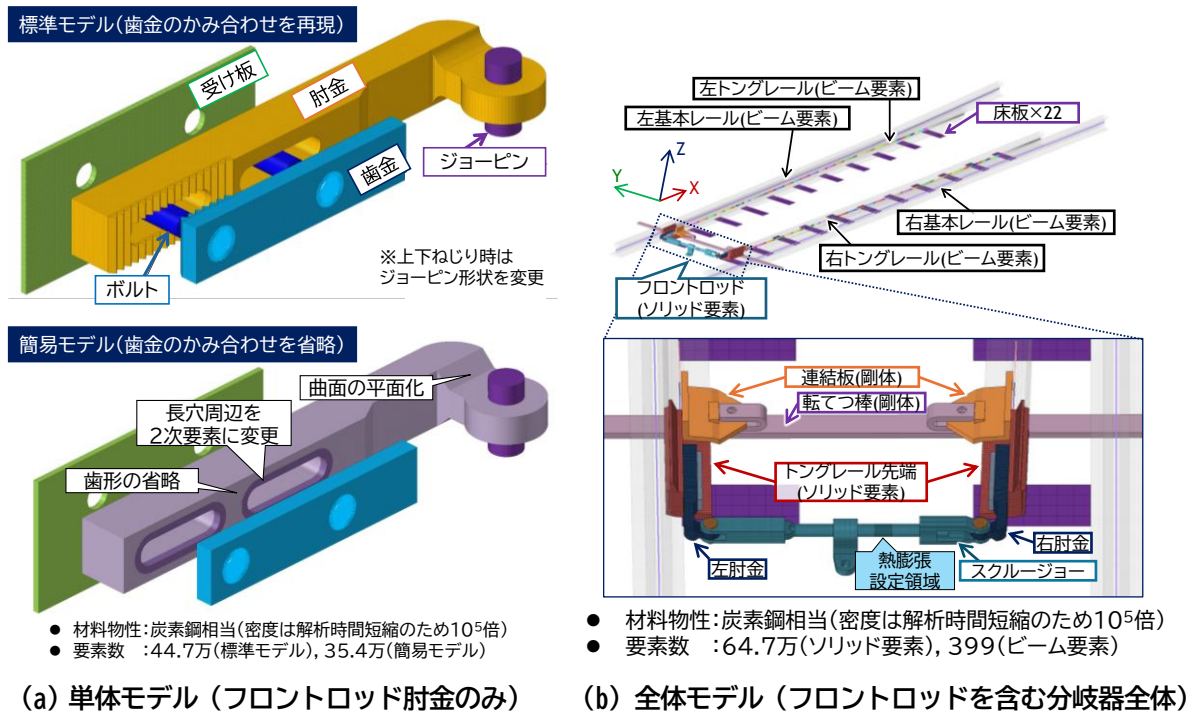


図7 有限要素解析モデル

3.2 肘金への静荷重載荷時の実験と解析結果の比較

フロントロッド肘金の解析モデルや解析条件を検討するため、肘金に静荷重を作用させた際の各部のひずみを測定する実験を実施した。また、実験と同様の条件で有限要素解析を行い、解析結果と実験結果を比較した。実験及び解析は、日本国内で広く使われているフロントロッドの一つである、B721-N形の肘金とロッドを対象とした。図8に示す治具を用いて、左右曲げ（軌間中心およびその逆方向）、および上下ねじり（天地方向）の各方向に対して油圧シリンダを用いて静荷重を載荷した。実験では、2.4節で述べた現地試験と同様に、ひずみゲージを用いて各部のひずみを測定した。

実験結果の一例として、肘金の左右曲げ方向と、上下ねじり方向の主要な測定点の最大ひずみを図 9 に示す。左右曲げに対しては、首部の断面が変化する測定点⑩において最大値となった。また、先端側の長穴付近の測定点⑫⑬⑯⑰の曲げひずみが大きい結果となった。一方、上下ねじりに対しては、先端側の長穴部の測定点において最大値を示した一方、首部のひずみは相対的に小さい結果となった。

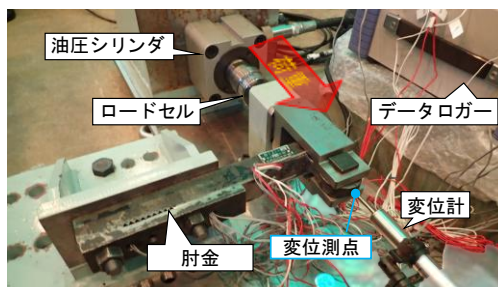
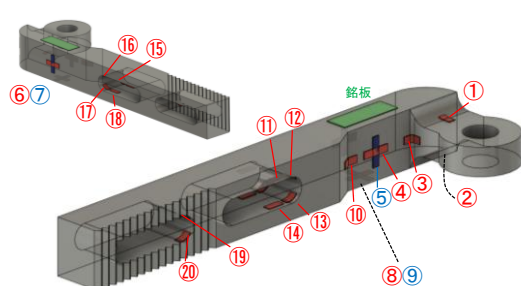


図 8 静荷重試験治具（左右曲げ時）



測定点	名称	ひずみ (×10 ⁻⁶)	
		下方向 (ねじり) 载荷	軌間中心方向 (曲げ) 载荷
①	首部上部	177.8	2.2
④	首部側面	-93.9	-287.1
⑩	首部根本	65.9	-698.8
⑪	長穴ボルト穴近傍(反レール側)	431.3	-554.8
⑫	長穴内部上部(反レール側)	478.1	-200.9
⑬	長穴内部下部(反レール側)	-379.4	-265.1
⑯	長穴内部上部(レール側)	536.8	571.7
⑰	長穴内部下部(レール側)	529.8	18.2

図 9 载荷試験時の測定点と主要測定点の試験結果

単体モデルを用いた解析結果の一例として、下向きねじりの解析結果として第一主ひずみコンターと主な測定点における解析と実験によるひずみを図 10 に示す。歯型を再現した標準モデルと簡略化した簡易モデルは同様の傾向のひずみ分布が得られおり、かつ実験結果に対しても同様の傾向が得られることを確認した。ただし、長穴曲面部周辺で実験結果とひずみの差異が大きい測定点（図 9 の⑫）があった。これらは応力集中箇所のため、ひずみゲージの貼付位置と解析上のひずみ値取得部位に微少な位置のずれがあった場合でも誤差が生じやすく、この影響により差異が生じたものと推察される。

左右曲げの解析結果を図 11 に示す。標準モデルと簡易モデルは首部や長穴部においてほぼ同様のひずみ分布が得られおり、かつ実験においてひずみの変化が大きい部位が、解析においても同様に変化していることを確認した。ただし、実験結果と解析結果のひずみの差異が大きい測定点（図 8 の⑫）や標準モデルと簡易モデルで差異が大きい測定点があった。これらは、何れも応力集中箇所のため、計測部位と解析上のひずみ値取得部位の僅かな位置のずれや分布の違いがあった場合に誤差が生じやすく、この影響により差異が生じたものと推察される。

上下ねじり方向や左右曲げ方向の静荷重载荷時に大きなひずみが確認された肘金長穴部（図 9 の⑪⑫⑯⑰）付近は、2.4 節に示した車両通過時の現地試験結果においても最大のひずみを記録している。このことから、車両走行時の肘金の応力変動は、肘金に対するねじりや曲げの応答によるものと考えられる。また、解析で得られた第一主ひずみコンターから、肘金の損傷は長穴部分（内側、外側）を起点として生じうることが示された。

このことから、肘金は特に長穴部付近の応力が大きいため外観検査において特に注意して確認を行うべき箇所であるといえる。また、損傷が在姿で確認が可能な外側だけではなく、穴の内側からも生じうるこ

とから、分岐器細密検査やトングレー交換等の取り外しを伴う作業の際には、穴の内部の状態にも注目して状態を確認することが重要であるといえる。

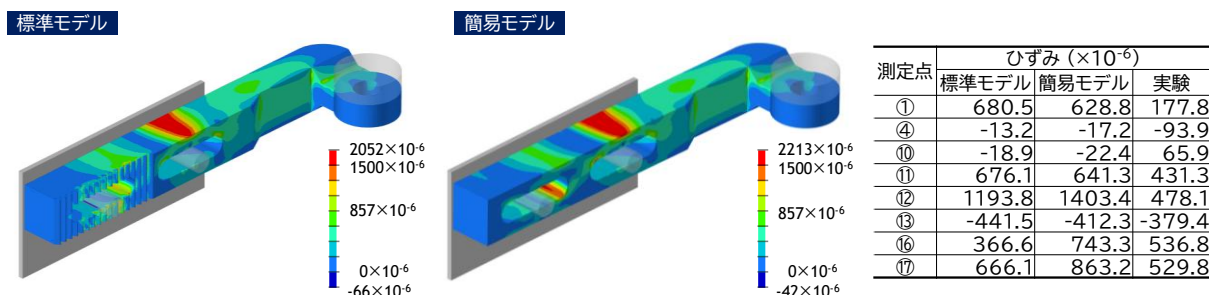


図 10 下向き载荷時の第一主ひずみコンター

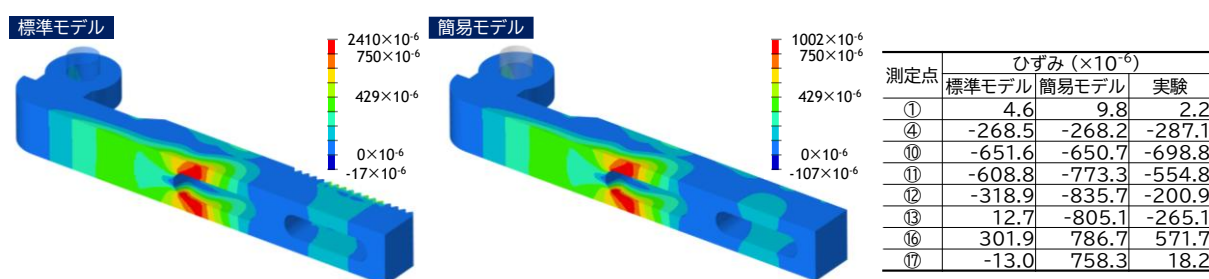


図 11 曲げ载荷時の第一主ひずみコンター

3.3 フロントロッドの張り（左右長）調整の影響評価

フロントロッドの調整として、フロントロッドの左右離隔の調整（いわゆる「張りの調整」）がある。左右のトングレーの先端を結ぶフロントロッドは、設置箇所にあわせて左右離隔を調整できる構造となっており、トングレー先端の基本レールの接着を確保するために、左右離隔を長くする（張る）調整が行われる場合がある。本来は力のかからない設計のフロントロッドに軸力が生じる張り調整と、フロントロッドの応力の関係を明らかにするため、実験と解析のそれぞれでフロントロッドの張り（張る）と応力の関係について検討した。

実験、解析ともに鉄道総研所内の試験用分岐器（50N レール、関節片開き 10 番）に、B721 形フロントロッドを取り付けた条件で実施した。実験では、フロントロッドを取り外した状態での左右トングレー離隔（692mm）を基準として、ここから 2mm ずつ離隔を変更した際の各部ひずみ等について測定した。また、密着力については、動作かんにおいてジョーピン形軸力計を用いて都度計測し、1kN 程度となるように調整した。

また、解析では、全体モデルを用い、初期状態から左右離隔を-4.9mm、-2.4mm、0mm、+2.1mm、+5.7mm の 5 段階（正の値はフロントロッドを張る側、負の値は縮める側）で設定し、トングレーを基本レールに向かって押しつける密着力に相当する荷重をスイッチアジャスタに与えた条件でのひずみを計算した。

実験結果として、肘金におけるトングレー接着時の応力とフロントロッドの左右離隔、および転てつ棒と連結板のすき間の関係を図 12 に示す。肘金長穴部の測定点①、②の転換完了時の応力は、初期状態に近い長さで調整した際に最小となった。左右長を初期状態（692mm）から縮めた状態と伸ばした状態でそれぞれ応力が増加し、実験で得られた応力の最大は 80MPa であった。材料の疲労限（200MPa）⁵⁾ を超えるものではないため、単体で折損に至らしめるものではないが、車両通過時の衝撃に伴う応力変動と重ね合わせた応力が肘金において観測されるため、左右長の調整状態が良好な場合と比べると小さな応力変動で

折損に至ると考えられる。

折損防止の観点から、左右長の調整は適正な状態とすることが望まれる。なお、転てつ棒の調整状態が適正な場合は、転てつ棒と連結板の間が、基本レールに接着する側については隙間がない状態、開口している側については隙間がある状態となり、外観から正常な状態が判断可能である。

解析結果の一例として、胴付きの分岐器において接着不良を解消するために左右長を伸ばした際のフロントロッドのひずみに関する結果（第一主応力のコンター）を図13に示す。フロントロッドの左右長を伸ばしたことで、肘金の先端側の長穴付近に応力が集中し、フロントロッドを張った場合は軌間側の面に、縮めた場合はトングレール側の面に引張の強い領域が生じた。このことから、接着状態の改善を意図したフロントロッド左右長の「調整」は肘金の折損に対して影響を与えるため、その状態を常態とすることは望ましくないことが確認できる。

上記の解析結果はトングレールと基本レールがトングレール先端部付近で接触する理想的な状態での結果であるが、実際には転てつ棒より後端側に接触点があり、トングレール先端はすき間がある状態（胴付き）の分岐器も存在している。このような状態がフロントロッドの応力に与える影響を評価するため、トングレール先端から2m地点までが基本レールと接していない胴付きの分岐器のモデルを構築した上で、実設備における調整と同様にトングレール先端を接着させるようフロントロッドの張りを設定した際のひずみ、応力の解析を行った。結果を図14に示す。接触点が転てつ棒より後端側にある胴付き状態で、かつ

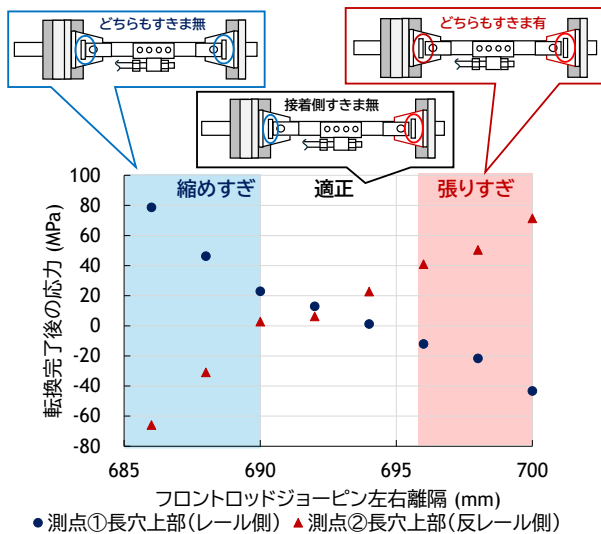


図12 フロントロッド左右離隔調整時の肘金
応力と転てつ棒・連結板間のすき間

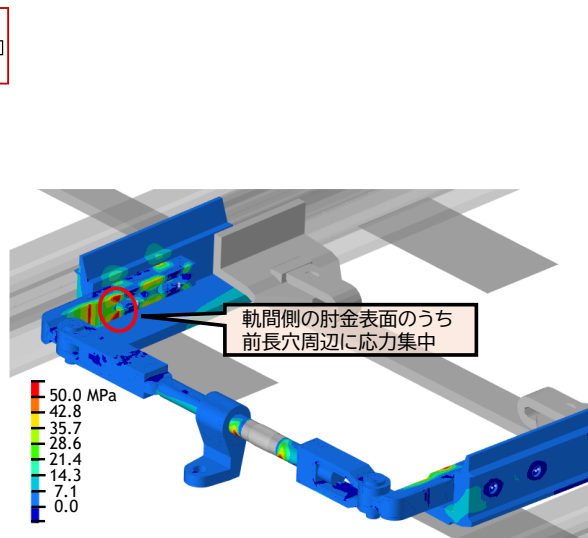


図13 張り調整時の第一主応力コンター

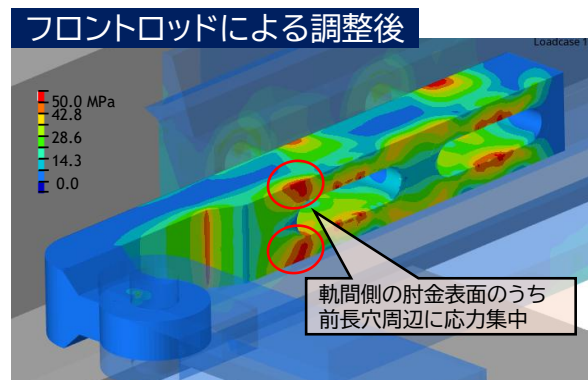
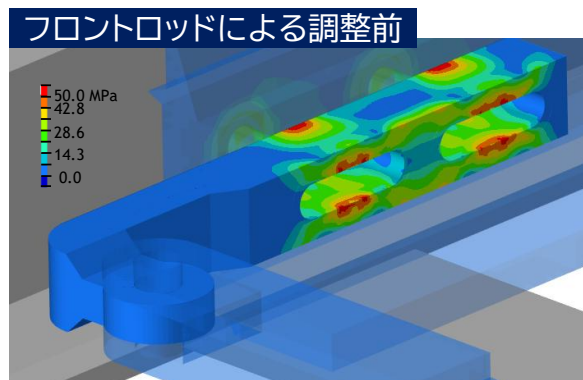


図14 接着状態をフロントロッド離隔で調整した際の影響評価（第一主応力コンター）

胴付きを解消させるためにフロントロッドの長さ調整を行った場合は、フロントロッド肘金長穴部のひずみが、良好な接着状態のケースよりも大きくなることが示された。

4. フロントロッド折損を防ぐための保守方法

一連の実験結果および解析結果から、普通分岐器におけるフロントロッドの折損につながる応力変動と設備の種類、状態に関して以下の結果を得た。

- (1) 折損が過去に起きた箇所や交換周期を短縮している箇所は主に、関節分岐器である。
- (2) トングレール後端に上下方向の段差を有する箇所、レール頭部に欠損を有する箇所、トングレール先端付近が床板に接触せずレールが上下にばたつく箇所では、車両通過に伴う衝撃が発生し、肘金に対して著大な応力変動をもたらす折損の主要因である。
- (3) 肘金に対する上下曲げ、左右ねじりにより、肘金前側の長穴内外に応力集中が生じる。この箇所は、特に折損のリスクが高いため、外観検査上注目すべき箇所である。
- (4) フロントロッドの左右離隔（張り）の不適切な調整や、胴付きの分岐器に対するフロントロッドによる強制的な接着状態の確保は、肘金長穴部の応力を増加させる。車両通過時の応力変動と複合して折損をもたらす可能性がある。
- (5) フロントロッドの調整状態は、転てつ棒と連結板の接触状態により、適切な状態を判断することが可能である。

上記の結果を踏まえたフロントロッドの折損原因と保守上の要点を図 15 に示す。外観検査において特に注目すべき箇所は、フロントロッドの折損リスクが高い肘金長穴部（肘金長穴の内部、外部）（検査ポイント①）、折損の主要因である車両通過時の衝撃に影響するトングレール後端部の上下段差等（検査ポイント②）、および折損に間接的に影響する応力増加につながるフロントロッドの左右離隔調整不良を判断するための連結板と転てつ棒の接触状態（ポイント③）の 3 点を示した。また、上記の内容を一般的な信号設備の保守マニュアル⁷⁾へ記載した場合の例を図 16 に示す。この保守方法については、2025 年度より鉄道事業者の保守マニュアルにて反映、導入されている。

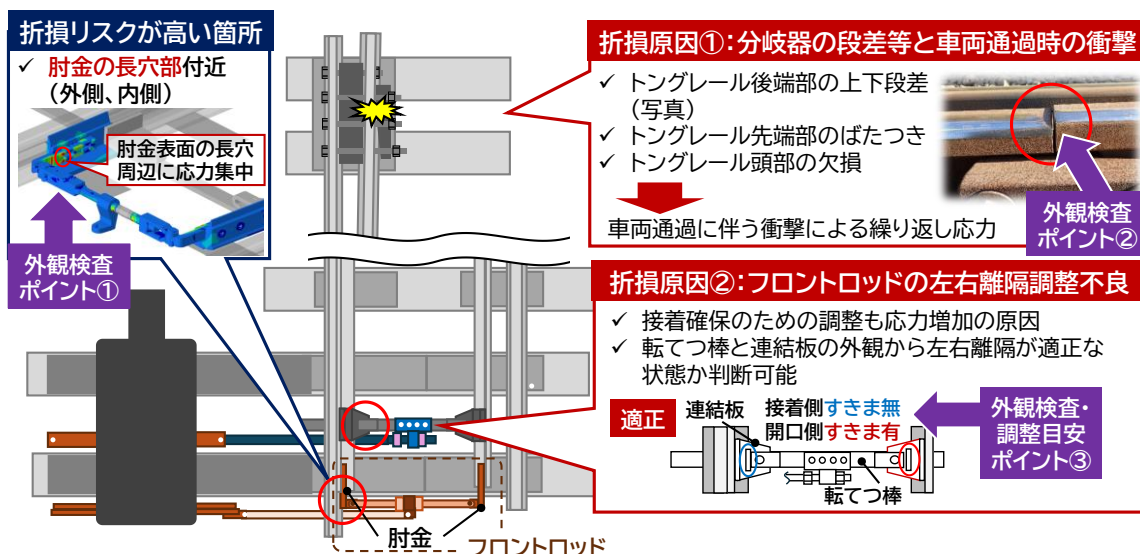


図 15 フロントロッドの折損原因と保守上の要点

[illegible]

- 後端部段差、トングレール先端付近の床板との非接触等、衝撃に繋がる要因、および軌道材料の抜けなどの外観確認上のポイントを記載

32