

フリーゲージトレインの不具合対策①(原因究明等のための調査)

【参考資料】

H26年10月
11月末

3モード耐久走行試験(2年半で60万km走行予定)

約3万km走行時点で不具合を確認し、走行試験停止

・車軸とすりばり軸受の接触部に微細な摩耗痕(32箇所中24箇所)
・スラスト軸受オイルシールに部分的な欠損等(32箇所中、欠損10箇所、き裂4箇所)
(参考) 走行距離3.3万km(新幹線試験区間2.5万km、在来線試験区間0.8万km)、軌間交換回数約400回)

注) オイルシールとは、スラスト軸受(ベリング)内の潤滑油の流出を防止する部品

H26年12月
~H27年2月

鉄道総研及び各メーカーにおいて調査を実施

1. 台車分解調査

2台車を分解して車軸、すりばり軸受、オイルシール等を詳細調査
・車軸及びすりばり軸受 : 外観調査(表面粗さ、グリース状態等)、摩耗量測定、摩耗粉分析、残留応力、断面硬さ等
・オイルシール : 外観調査(欠損、き裂発生状態等)、破断調査、隣接部品との接触状態調査等

2. 分解調査の結果から明らかになったこと

○ 車軸の摩耗痕は、片側2箇所あるすりばり軸受のうち外側(軸端側)との接触面(標準軌及び狭軌)に円周状に発生。
○ 狭軌側には、標準軌側の摩耗量が大きく、最大値は約0.2mm(標準軌側軸端部)となっており、き裂等の発生は認められない。
○ すりばり軸受の摩耗は、車軸直下で大きく、最大約0.4mm。
○ 摩耗痕のある箇所は、接触部のグリースが枯渇し、摩耗による摩耗粉が発生しているが、外部からの異物の混入はない(摩耗粉の成分は、Fe、Cu、Ni)。また、車軸の硬度変化を引き起こす200℃以上の温度履歴も認められない。
○ オイルシールの破断面には、疲労破断に特徴的な線状模様が確認されている。

H27年3月~

原因究明及び対策検討のための試験及び解析を実施

1. 車軸摩耗に関する模型試験(3月~11月)

車軸及びすりばり軸受を模擬した供試体により上下方向の繰り返し荷重を与え、摩耗の発生状況を再現することで摩耗発生メカニズムや摩耗発生荷重などを検証した。

その結果、摩耗発生過程として、すりばり軸受が摩耗し、その後、すりばり軸受が摩耗することが再確認された。また、耐久走行試験中に発生した面圧は許容面圧を超えていた可能性が高いことがわかった。

2. 車軸摩耗に関する模型試験(3月~11月)

車軸及びすりばり軸受を模擬した供試体にて回転荷重を与え、面圧や回りりによる摩耗発生への影響を検証した。

その結果、車軸とすりばり軸受の面圧と擦れとの複合作用(PV)により摩耗が発生した可能性が高いことがわかった。

3. 台車高速回転試験(9月~11月)

給脂機能を追加した軌間可変台車を用いて高速回転試験(最高速度290km/h、上下方向加振あり)を行い、摩耗発生状況を検証した。

その結果、摩耗の発生とみられる車軸表面のさつきが認められたため、約3000kmで台車分解調査を実施した。この車軸表面のさつきの原因は車軸とすりばり軸受の擦れと面圧との複合作用(PV)によるものと考えられ、また、摩耗防止策としては、給脂機能の追加に加え、面圧低減及び擦れを発生させる車軸とすりばり軸受との相対速度を減らす対策を合わせて講じる必要があることがわかった。

4. スラスト軸受加振試験(3月~11月)

オイルシール単体、並びに、オイルシールを組み込んだスラスト軸受及び周辺部品を振動することで、破断に至る過程など輪重変動がオイルシールに与える影響を把握するとともに、オイルシール芯金の材質を見直すことによる対策効果を検証した。

その結果、上下方向の振動が軸方向の振動を誘起し、オイルシールが疲労破断すること、オイルシールの材質を見直すことにより疲労耐力が向上することがわかった。

5. 車軸及びすりばり軸受に発生する面圧に関するFEM解析(3月~11月)

構造体としての軌間可変軸について、有限要素法(FEM)解析により車軸等各部位に発生する面圧を計算し、摩耗発生原因等を分析するとともに、すりばり軸受の形状変更など摩耗防止対策の有効性を検討した。

その結果、面圧の相対値により、車体荷重による車軸のたわみにスリブの変形が追いつかず、外側すりばり軸受の軸端側に応力が集中したこと、この応力集中により耐久走行試験中にすりばり軸受に発生した面圧は許容面圧を超えていた可能性が高いことがわかった。また、すりばり軸受の位置や形状を見直すことにより、面圧が低減することが確認された。

1

フリーゲージトレインの不具合対策②(不具合原因と対策案: 前回の技術評価委員会)

軌間可変技術
評価委員会
(中間報告)
H27年12月

現時点で想定される原因と対策

これまでの調査結果によると、今回の不具合は高速域(時速260km)での耐久走行により新たに確認された事象に起因するものと考えられる。

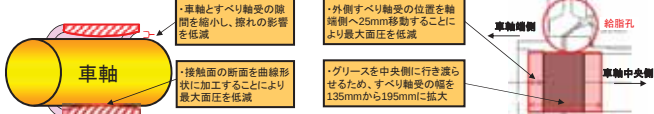
1. 車軸とすりばり軸受の接触部における微細な摩耗

現時点で想定される原因

○ 車軸のたわみによる面圧分布の偏り、高速域での耐久走行に伴う輪重変動によって、大きな面圧(P)が作用。
○ 面圧(P)と、高速域での耐久走行に伴う車軸とすりばり軸受の擦れ(V)が複合的に作用。
○ これらの結果、すりばり軸受が摩耗し、その際に発生した摩耗粉が、車軸とすりばり軸受の接触面に介在したことにより、車軸が摩耗したと考えられる(潤滑状態の悪化により、すりばり軸受の摩耗発生を促進させたものと考えられる)。

対策案(今後の検証試験を踏まえて決定)

- すりばり軸受の配置、形状変更によるすりばり軸受面圧の低減(面圧最大値を約7割低減)
- 車軸とすりばり軸受の隙間を狭くすることで車軸とすりばり軸受の擦れを低減(相対速度を2/3に低減)
- 給脂機能の追加等による油膜維持効果を期待



2. スラスト軸受のオイルシールにおける部分的欠損

現時点で想定される原因

○ 高速域での耐久走行に伴う輪重変動により発生した上下方向の振動が、スラスト軸受に軸方向の繰り返し力を誘起し、これによってオイルシールの芯金に疲労き裂が発生・進展し、欠損等に至ったと考えられる。

対策案(今後の検証試験を踏まえて決定)

- オイルシール芯金の材質、形状変更による疲労強度の向上、発生応力の低減
- 部品間の接合方法の見直しによるオイルシールの変位抑制
- オイルシール近接部品の形状変更(逃げ加工)による部品間の接触防止

・オイルシール芯金の材質変更による疲労強度向上

材料	引張強度	疲労強度
現行品	冷間圧延鋼板 350MPa	187MPa
改良品(候補)	ステンレス鋼板 520MPa	300MPa程度
	高強度鋼板 590MPa	300MPa程度



・接合方法の見直しによる変位抑制
・オイルシール芯金先端部の形状変更による発生応力低減
・Oゴム嵌合
・オイルシールのゴム部が外輪に固定
・O金嵌合
・オイルシールの芯金が外輪に固定

注) MPa(メガパスカル)=10⁶N/m²

軌間可変技術評価委員会(H27.12)による評価のまとめ

- 不具合の原因と対策案について了承。
- 今後、改良台車等による検証試験を行い、対策の効果を確認する。
- 今回の不具合を踏まえて、営業車としての使用を念頭に、メンテナンスの検討を行う。
- 上記の検討を進めたうえで、次回(平成28年秋頃)の軌間可変技術評価委員会において、耐久走行試験の再開を判断する(耐久走行試験の再開は、今後の検証試験等が順調に進んだ場合には、平成28年度後半を予定している)。

2

フリーゲージトレインの不具合対策③(改良台車による検証試験の結果等)

H27年12月~
(改良台車の検証等)

車軸摩耗対策

1. 改良台車による室内台車回転試験

すりばり軸受の曲面部など面圧低減策等を講じた軸受を装着した台車を用いて、段階的に速度を上げながら回転試験を行い、効果を確認する

3月 4月 5月 6月 7月

速度: 270km/h、距離: 9千km
速度: 270km/h、距離: 9千km
速度: 270km/h、距離: 9千km
速度: 270km/h、距離: 9千km
速度: 270km/h、距離: 9千km

改良型すりばり軸受・組立すりばり軸受内径測定

台車組立 台車試験(条件①) 台車試験(条件②) 台車試験(条件③) 台車試験(条件④)

・時速130kmから時速270kmまで、段階的に試験速度を上げながら室内試験を実施

分析・調査

2. 車軸等の健全度の判定について

車軸等が安全な状態を維持していることを確認するため、以下の2点について検討

1. 車軸摩耗の限度値等の設定

車軸に曲げ応力への耐性、一昨年の耐久走行試験において摩耗した車軸の分析結果(残留応力、表面硬度等)、一般の新幹線車軸の補修実績等を踏まえて検討した結果、車軸摩耗の限度値は0.1mm程度と考えられる。管理値については、検証走行試験における摩耗の進展状況や検査周期を踏まえて、引き続き検討。

2. 検査装置の開発

車軸中央の空洞部に超音波検査装置を導入することにより、台車を解体することなく、車軸の摩耗状態を測定する検査装置を開発。

今後、検証走行試験において定期的に車軸の摩耗量を測定。

3

フリーゲージトレインの不具合対策④(経済性の検討と今後の取り組み)

H27年12月~
(経済性の検討)

フリーゲージトレインの経済性の検討

1. フリーゲージトレインの検査・部品交換のイメージ



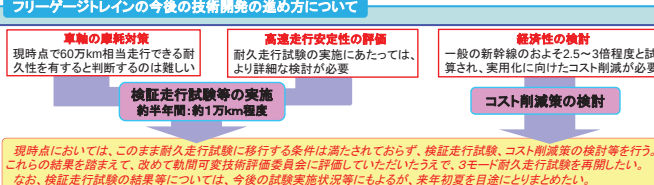
注) 一般の新幹線の場合、車両の供用期間中に車軸や駆動装置(大車輪等)を計画的に交換することはない。

2. フリーゲージトレイン台車の特有部品について



注) 軽量化のためアルミ合金を使用

フリーゲージトレインの今後の技術開発の進め方について



4