

鉄道重大インシデント調査の経過報告について

平成30年6月28日
国土交通省 運輸安全委員会

平成29年12月11日、東海道新幹線において発生した「のぞみ34号」（西日本旅客鉄道株式会社所属車両）の鉄道重大インシデントについて、当委員会は重大インシデント発生以来、鋭意調査を進めているところであるが、これまでの調査において、台車の亀裂に関し、同種事態の再発防止を図るために有益な情報が認められたことから、今般、本重大インシデント調査の経過を報告し、公表することとした。

また、本経過報告の内容を踏まえ、国土交通大臣に対し、事故等の防止のために講ずべき施策について意見を述べることとした。

なお、本経過報告の内容については、今後、更に新しい情報や状況が判明した場合、変更することがあり得る。

東海道新幹線において発生した「のぞみ34号」（西日本旅客鉄道株式会社所属車両）の鉄道重大インシデント調査について（経過報告）

1. 鉄道重大インシデントの概要

西日本旅客鉄道株式会社の博多駅発東京駅行き16両編成の上り第34A列車（のぞみ34号）は、平成29年12月11日（月）、山陽新幹線博多駅を定刻（13時33分ごろ）に出発した。博多駅出発直後から乗務員等が車内での異臭及び車両の床下からの異音等を認めたが、新大阪駅まで運行し、その後の運行を東海旅客鉄道株式会社に引き継いだ。

16時53分ごろ、第34A列車が東海道新幹線名古屋駅に到着する際、東海旅客鉄道株式会社の運用指令の指示により同駅に派遣されていた車両保守担当社員が4両目（以下、車両は前から数え、前後左右は列車の進行方向を基準とする。）車両からの異音を認めたため、17時03分ごろ、同駅において、床下点検を実施した。

点検の結果、4両目車両の台車（歯車箱付近）に油漏れが認められたため、第34A列車の運行を取りやめた。

その後、当該車両を車両基地（名古屋車両所）に移動させるための作業を行っていたところ、23時40分ごろ、4両目車両の前台車の台車^{がわ}左側の側ばりに亀裂が発見された。

列車には、名古屋駅到着時点において、乗客約1,000名及び乗務員7名（運転士1名、車掌3名及びパーサー3名）が乗車していたが、負傷者はいなかった。

なお、第34A列車として運用された車両は、西日本旅客鉄道株式会社の所属である。（図1）

- (1) 鉄道事業者名： 西日本旅客鉄道株式会社
- (2) インシデント種類： 車両障害（鉄道事故等報告規則第4条第1項第8号の「車両の走行装置、ブレーキ装置、電気装置、連結装置、運転保安設備等に列車の運転の安全に支障を及ぼす故障、損傷、破壊等が生じた事態」に係る鉄道重大インシデント）
- (3) 発 生 日： 平成29年12月11日
- (4) 発 生 場 所： 愛知県名古屋市
東海道新幹線 名古屋駅構内

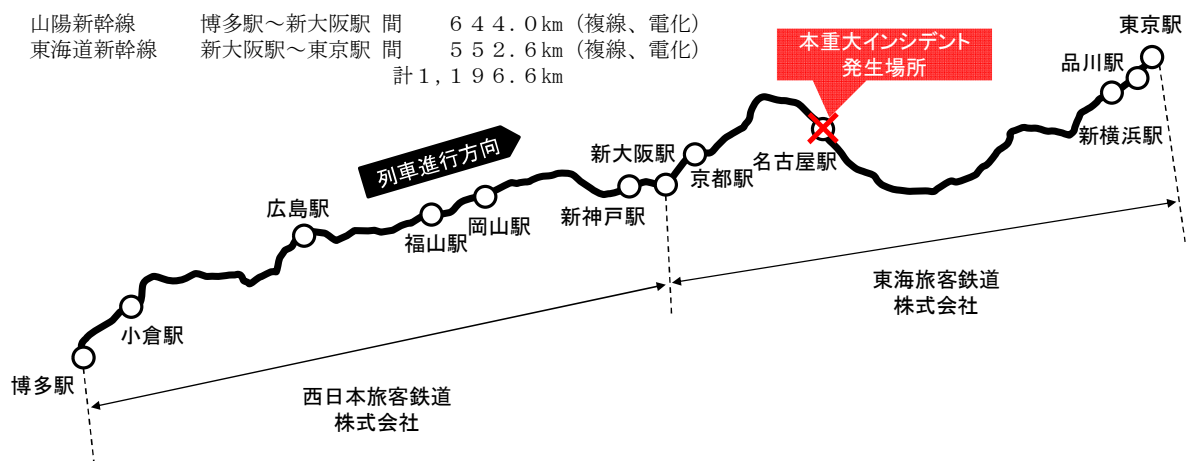


図1 山陽新幹線及び東海道新幹線の路線図

2. 鉄道重大インシデント調査の概要

運輸安全委員会は、平成29年12月12日、本重大インシデントの調査を担当する主管調査官ほか2名の鉄道事故調査官を指名した。その後、平成30年4月1日に鉄道事故調査官1名を追加指名した。

また、平成29年12月19日、損傷した台車の調査のため、西日本旅客鉄道株式会社（以下「同社」という。）の車両工場（博多総合車両所）に、委員を派遣した。

現時点までの主な調査事項は、次のとおりである。

- (1) 車両（主に台車）の損傷状況の調査
- (2) 車両保守担当社員、指令員等からの口述聴取
- (3) 台車の設計・製造工程に関する調査
- (4) 台車の検査に関する調査
- (5) 亀裂の進展に関する解析
- (6) 車両データの記録の解析

3. 事実情報及び分析等

台車の亀裂に関して、これまでの調査により判明した主な事実情報及びこれまでの分析結果並びに必要と考えられる再発防止策は、次のとおりである。

3.1 車両の概要

第34A列車（以下「本件列車」という。）の概要を図2に示す。車両の主な諸元は次のとおりである。以下、本件列車の4両目車両を「本件車両」、4両目車両の前台車を「本件台車」という。

車種	交流電車（交流25,000V）
車両形式	N700系5000番代
編成両数	16両編成
本件車両の完成年月	平成19年11月
本件台車の形式	WDT209A
本件台車の製造年月	平成19年4月

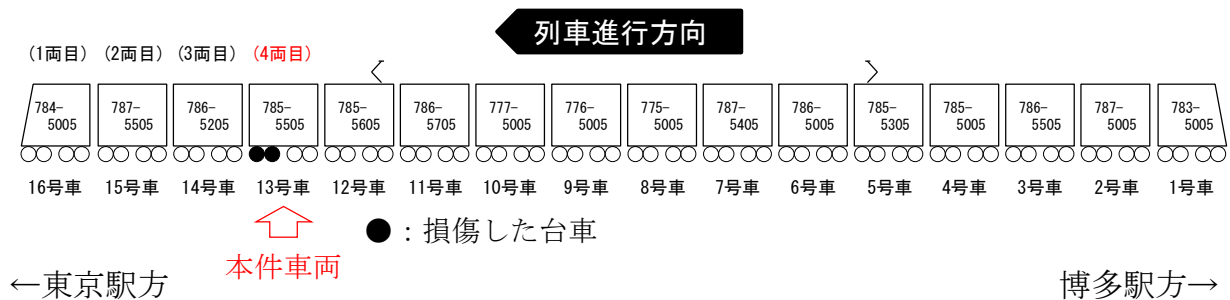


図2 本件列車の概要

本件車両の使用開始時から本重大インシデント発生時までの累積走行距離は、約692.3万kmである。台車については、後述する全般検査等の際に整備済みの台車と交換して使用するため、本件台車の累積走行距離は車両の走行距離とは異なり、約622.2万kmである。

3.2 台車の損傷等

本重大インシデント発生場所である東海旅客鉄道株式会社（以下「JR東海」という。）の名古屋駅での調査及び同社の博多総合車両所等での機器の分解調査の結果、本件台車の主な損傷は、次のとおりであった。（図3）

- (1) 本件台車の台車枠（以下「本件台車枠」という。）の左側の側ばりに亀裂（以下「本件亀裂」という。）が認められた。
- (2) 歯車形たわみ軸継手（以下「WN継手」という。）の部品に異常摩耗、変色及び変形が見られ、周囲に油脂類が飛散していた。

これらの状況については、亀裂による側ばりの変形により、WN継手が許容範囲を超えて変位した状態で回転し続けたことから、部品に変形や異常摩耗が生じて発熱し、高温になったことにより部品が変色したものと推定される。また、高温になったことにより、油脂類が軟化しWN継手の外部に漏れ出て周囲に飛散したものと推定される。

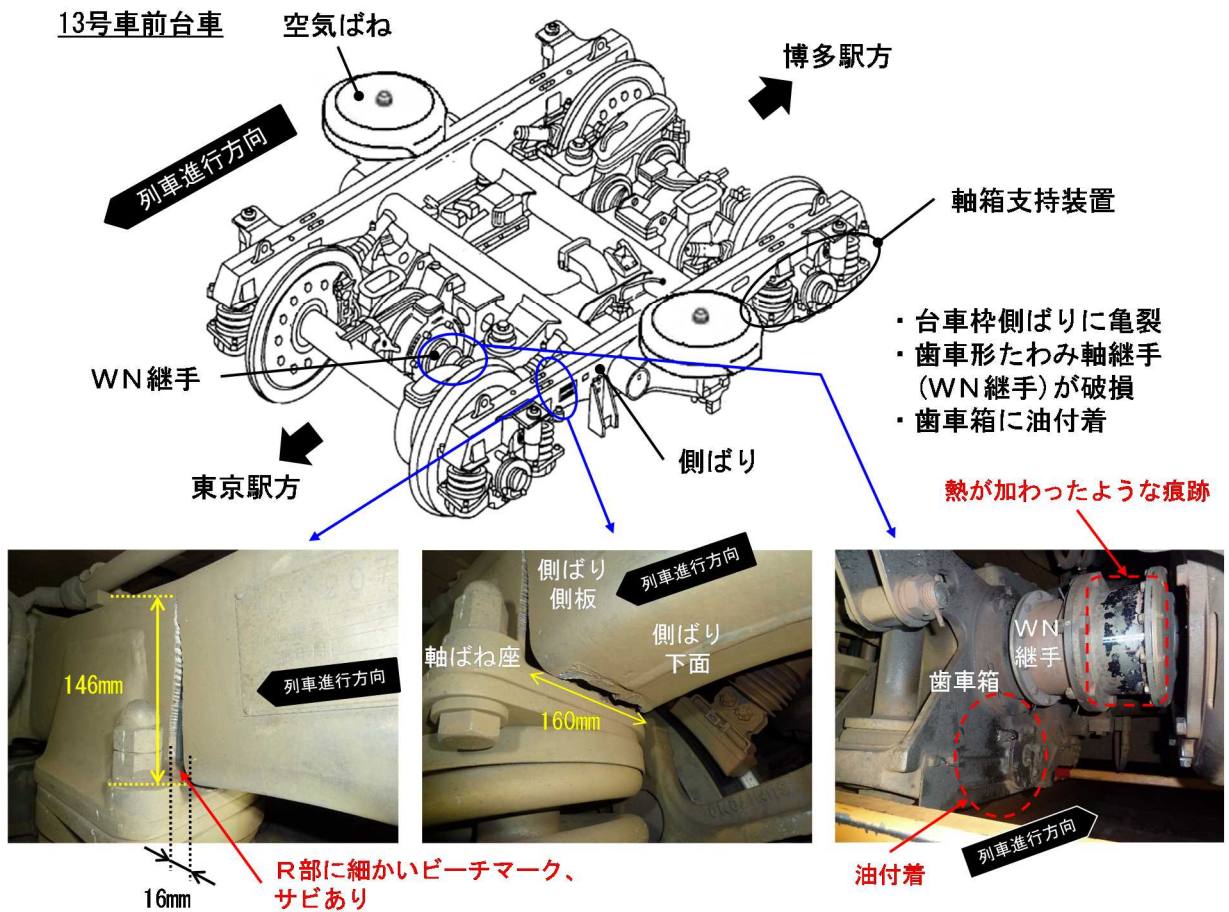


図3 台車の損傷状況

3.3 亀裂の破面及び断面の状況

本件亀裂の破面及び断面の調査結果は、次のとおりであった。
 なお、亀裂が認められた箇所を含む側ばりの外観を図4に示す。

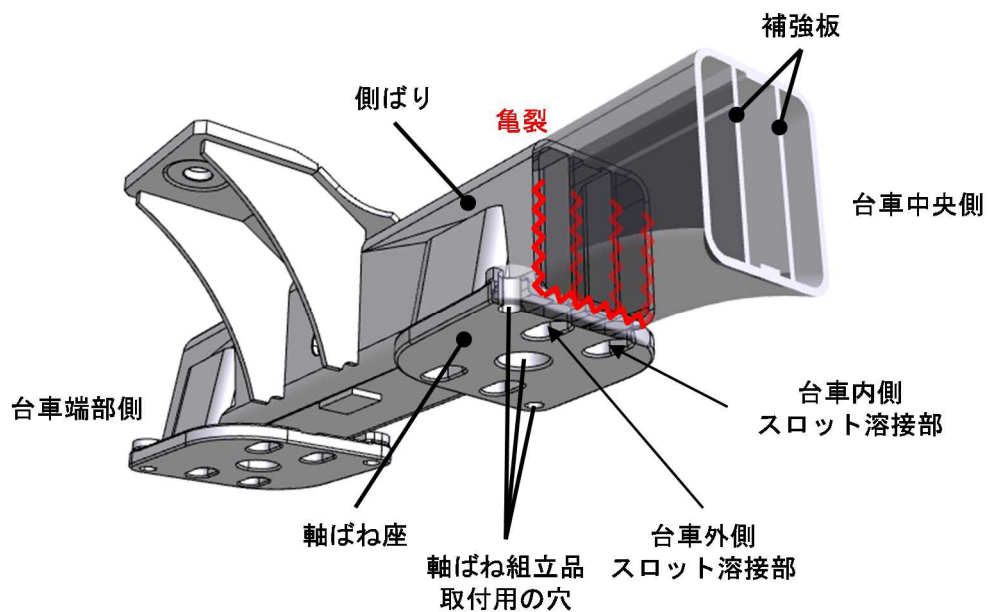


図4 側ばりの外観

3.3.1 亀裂の破面の状況

本件亀裂の破面を詳細に測定したところ、亀裂の長さは、側ばりの側板台車外側 146mm、側板台車内側 141mm、補強板台車外側 117mm、補強板台車内側 108mm、側ばり下面 160mmであった。(図5)

なお、名古屋駅で調査した際の側ばり下面付近での亀裂開口幅は16mmであった。

亀裂の破面の様子を観察したところ、側ばり下板のR部から側板及び補強板には、ビーチマーク^{*1}状の模様が見られた。同模様は側板及び補強板の上方に行くほど凹凸の高さ及び間隔が大きくなっており、亀裂は下方から上方に進展したと推定される。側ばり下板中央付近及びその上方にある裏当て金の破面にもビーチマーク状の模様が確認され、亀裂が台車外側及び内側の両方向から進展し、中央付近で一体となったと推定される。

側ばり下板のスロット溶接^{*2}部近傍の破面は、側板、補強板及び下板中央付近の破面と比較して、腐食や破面同士の接触による摩耗が進み平滑となっていることから、亀裂が長期に渡り存在したと推定される。

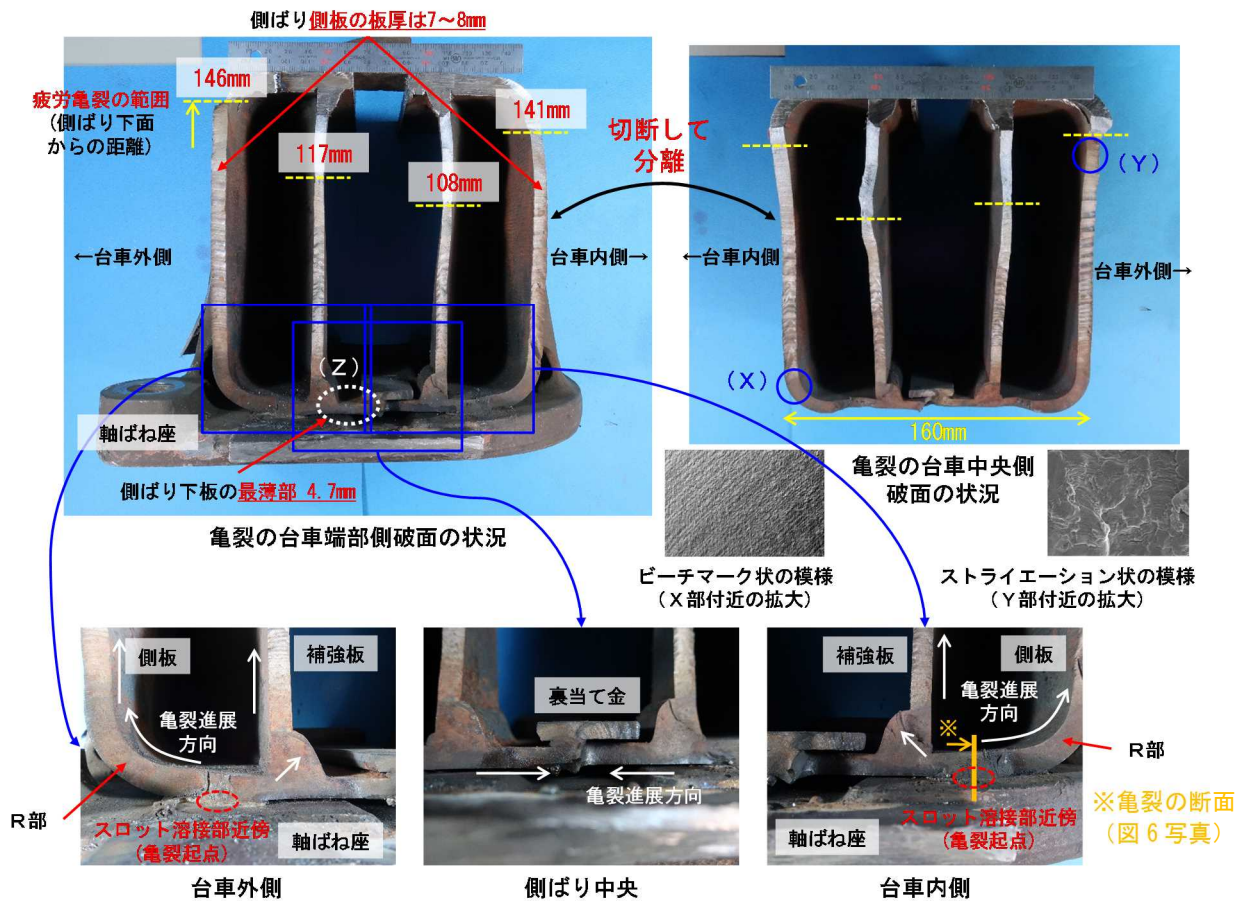
これらのことから、亀裂の起点は、側ばり下面に軸ばね座を取り付けている台車内側及び外側の2箇所の各スロット溶接部近傍と推定される。

なお、側板の破面において、R部付近までの腐食や破面同士の接触による摩耗が進んだ箇所ではストライエーション^{*3}状の模様は確認できなかったが、それより上方では亀裂の先端付近までストライエーション状の模様が確認されたことから、亀裂は先端まで疲労により進展したと推定される。

*1 「ビーチマーク」とは、疲労亀裂が進展した際に破面に見られる特徴的な縞模様で、通常、目視できる大きさのものをいう。

*2 「スロット溶接」とは、部材に長穴等を設けその内周と相手部材を溶接付けするものをいう。

*3 「ストライエーション」とは、疲労亀裂が進展した際に破面に見られる特徴的な縞模様で、通常、電子顕微鏡でしか見えない程度の小さいものをいう。



注：各写真の撮影倍率は異なっている。

図5 亀裂の破面の状況

3.3.2 側ばり下板の板厚の状況

側ばりの板厚は、設計上、公称8mm、曲げ加工後7mm以上と規定されている。

本件亀裂の破面にて側ばり下板の板厚を測定したところ、最も薄い箇所では4.7mmであった。(図5のZ部)

3.3.3 亀裂の断面の状況

3.3.1に記述したように、亀裂の起点は側ばり下面に軸ばね座を取り付けているスロット溶接部近傍と推定されることから、台車内側及び外側の各スロット溶接部の中央の位置で、側ばり及び軸ばね座をレール方向に切断し、亀裂の断面組織を観察した。

台車内側のスロット溶接部の観察結果は、次のとおりであった。(図6)

- (1) 亀裂の起点と推定される箇所の側ばり下板の板厚は、5.9mmであった。(A部)

- (2) 軸ばね座下面に3.4.2に後述する^{にくもり}肉盛溶接^{*4}の痕跡が認められた。(B部)
- (3) 裏境界^{*5}近傍において、軸ばね座の溶接の熱影響部に複数の割れが認められた。(C部)
- (4) 亀裂の破面のスロット溶接部近傍に一般的な疲労亀裂で見られるものより粗い凹凸が認められた。同箇所は溶接施工等の応力により生じた割れの可能性があると考えられる。この割れから疲労亀裂が発生し、進展したと考えられる。(D部)

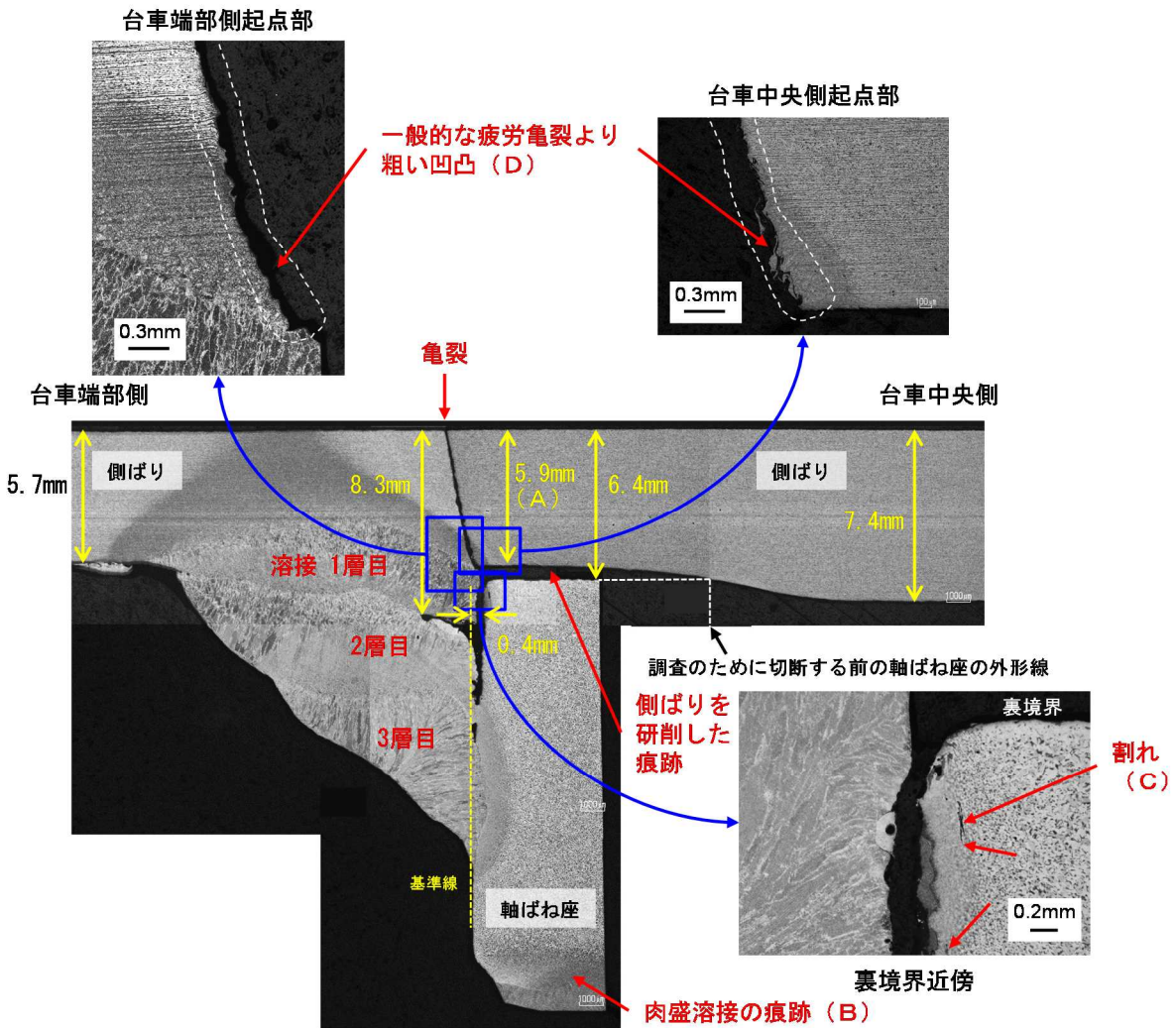


図6 亀裂の断面の状況

3.4 本件台車枠の製造の状況

‘本件台車を製造した会社’（以下「本件台車メーカー」という。）に対する調査の結果、本件台車枠の製造の状況については、次のとおりであった。

*4 ここでいう「肉盛溶接」とは、材料の寸法が不足する場合に、溶接金属により補うことをいう。

*5 「裏境界」とは、スロット溶接部の裏側における上下母材の境界をいう。

3.4.1 側ばりの研削

- (1) 本件台車枠を含むN700系車両用の台車枠の製造時に、軸ばね座を取り付ける面である側ばり下面が「く」の字に膨らみ、軸ばね座を溶接により取り付ける際にがたつく問題があった。
- (2) この問題への対応のため、製造現場の管理部門から、通常よりも隙間を許容し、側ばり下面は削らない旨の作業指示書が発行されていた。
- (3) しかしながら、製造現場においては、
 - ① 以前に製造した台車でも0.5mmを限度として削っていた状況があったこと、
 - ② 上記(2)の作業指示書の内容が製造の作業者に十分認識されないまま、がたつきが無くなるまで取付面の研削を行い問題に対処したことにより、結果として板厚が薄い状況となった。

一般に台車の主要部材には、車両の走行中に大きな荷重が負荷されるため十分な強度が求められ、それに応じた板厚で強度計算等がされていることから、機械加工等、後の製造工程で除去加工を行うことが予定されている部分や設計にてグラインダー仕上げ等の指示のある箇所以外では、板厚を大きく減少させるような作業は、設計された部材の強度を低下させることにつながるため行ってはならない。本件台車メーカーは、このことを作業に従事する者に周知徹底するとともに、設計上の強度が確保されるよう、部材の強度を低下させない製造プロセスを確実なものとするために、製造管理を徹底することが必要である。

3.4.2 肉盛溶接の施工

本件台車枠の左前側の二つの軸ばね座下面の全面に肉盛溶接を行ったと見られる痕跡が認められた。そのうち、本件亀裂が発生した箇所にある台車中央側の軸ばね座の断面の状況を図7に示す。

作業指示では、側ばりに軸ばね座を取り付けた後、焼鈍^{しょうどん}*6を行ってから機械加工を行うこととなっているが、焼鈍及び機械加工を行った後、何らかの理由により軸ばね座に肉盛溶接を行い、その後、再度機械加工が行われた可能性があると考えられる。

当該の軸ばね座の硬さ測定の結果、肉盛溶接を施工した後に焼鈍を行っていない状態を再現した試験片と同様な傾向が見られたことから、当該の軸ばね座は、肉盛溶接後に焼鈍を行っていない可能性があると考えられる。

肉盛溶接は、それ自体は特殊なものではないが、軸ばね座下面の全面の広い面積に厚く施工するような場合には、溶接による材料への入熱量が大きくなり、溶接後のひ

*6 ここでいう「焼鈍」とは、溶接等の熱により生じたひずみに伴う応力を除去するための熱処理のことをいう。

ずみによる残留応力も大きくなる。当該箇所の場合は、残留応力が軸ばね座を、肉盛溶接側が収縮する方向に曲げるように作用し、スロット溶接部を引きはがす方向の力を発生させるため、スロット溶接部の割れ、疲労亀裂の発生及びその進展に關与していた可能性があると考えられる。

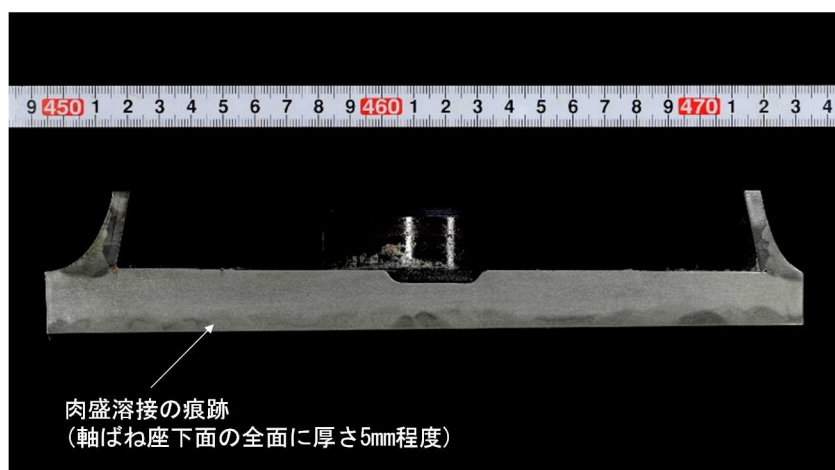


図7 軸ばね座の断面の状況

3.4.3 製造過程についてのまとめ

3.4.1及び3.4.2に記述したように、製造現場における問題への対処の結果、部材の強度の低下及び肉盛溶接による残留応力により、溶接部近傍に割れが生じ、その割れを起点として疲労亀裂が進展した可能性があると考えられる。

このような状況から、本件台車メーカーは、台車枠の製造現場において、製造上の支障や困難性等の問題が発生し、部材の加工等を伴う対処方法を採用する必要が生じた際には、組織的対応として、その問題や対処方法が台車枠の安全性にどのような影響を及ぼすかを評価する必要がある。

また同時に、製造上で生じた問題やその対処方法が台車枠の安全性に影響を及ぼすものである場合は、作業を中断した上で、製造プロセスあるいは設計まで立ち返って原因を究明して対策の検討を行い、対策した結果が良好であることを確認した上で作業を再開するといった問題対処の手法を確実に実施する必要がある。

健全な製品のみが実使用に供される仕組みとして、これらを確実に実施できる体制を整えることが必要である。

3.5 台車枠の強度設計及び検証の状況

N700系用の台車枠の強度設計及び検証については、これまでの調査の結果、次のとおりであった。

- (1) 台車枠の強度設計については、コンピューターによる強度解析（FEM^{*7}解析）が実施されていた。
- (2) 静荷重試験及び現車走行試験を実施し、測定された応力が日本工業規格（JIS）に定められた方法により評価されていた。
- (3) 疲労試験が行われていた。

これらにより、強度上問題ないことが確認されていた。

また、本重大インシデント発生後に、当該溶接部の疲労寿命を確認したところ、車両寿命（台車使用期間）を大幅に超える結果となった。

これらの状況から、当該溶接部の設計上の強度については、問題なかったと考えられる。

これまでの調査により判明した強度解析に関する事項について、以下に記述する。

3.5.1 台車枠のモデル化

‘N700系の設計当時のFEM解析に用いられた台車枠のモデル’（以下「設計当時のモデル」という。）と結果を図8に示す。

設計当時のモデルは主に板要素（シェル要素^{*8}）を用いて作成されており、これは現在においても台車枠のモデル化の手法としては一般的に用いられているものである。

設計当時のモデルでは、側ばり下面に軸ばね座が付く範囲は、設計上の側ばり下板の板厚である8mmに、同じく設計上の軸ばね座の板厚である15mmを加えた23mmの厚さを持つ1枚の板となっていた。

設計当時のモデルを使用したFEM解析の計算結果からは、走行中に発生する上下、左右、前後方向の荷重を想定した、いずれの負荷条件においても、当該スロット溶接部に相当する位置に高い応力の発生は認められなかった。

*7 「FEM」とは、有限要素法（Finite Element Method）の略称であり、構造体等を単純な形状をした要素で細かく分割し、要素それぞれについて方程式を解き、その要素の箇所に発生するひずみや応力等を推定する数値解析の手法である。

*8 「シェル要素」とは、FEM解析において用いられる要素の一つで、見た目の厚さはないが、計算上、板厚分の剛性を持たせた要素のことをいう。

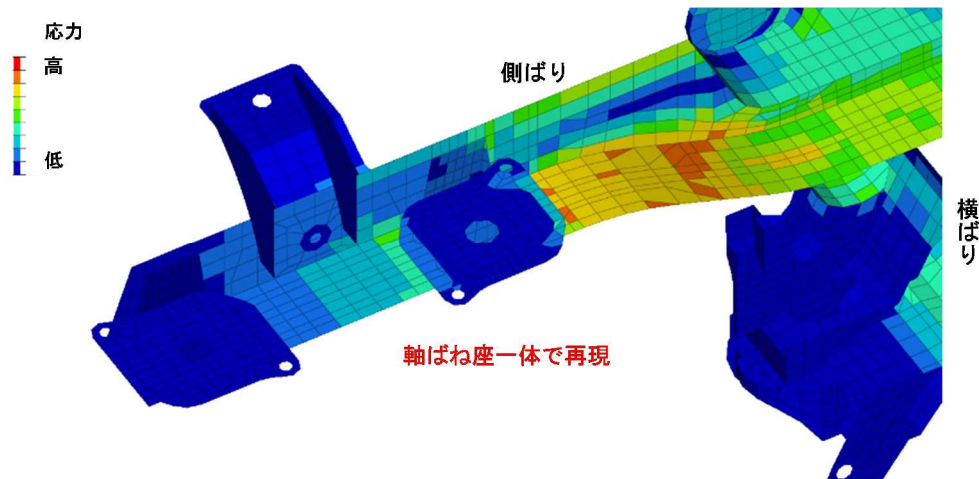


図8 設計当時のFEM解析のモデルと結果

本重大インシデント発生後に、3.7に後述する疲労亀裂の進展状況を推定するためのシミュレーションを実施するに当たり、軸ばね座及びその周辺の側ばり並びに両者を接合するスロット溶接部のモデルを、3次元要素（ソリッド要素^{*9}）を用いて作成し、実物の台車のように2枚の板をスロット溶接部で固定する構造とした。このモデルを使用したFEM解析の計算結果において、図9に示すとおり、スロット溶接部裏境界に集中して、その周辺に比べて高い応力が発生する状況が見られた。

実物の側ばりの当該部は、下板と軸ばね座という2枚の板を重ねて接合する構造となっている。通常、側ばりは主に車両の上下荷重を受けて曲げ変形し、その下板には引張方向の力が作用し、微小な伸びが生じる。これに対し軸ばね座には引張方向の力は作用しない。さらに、下板の板厚は設計上8mm、軸ばね座の板厚は同15mmであるため、荷重を受けた際の変形量（剛性）も異なる。このような負荷される荷重の大きさや剛性の異なる2枚の板をスロット溶接で局所的に接合する構造上の特性から、溶接部近傍でその周辺に比べて高い応力が発生するものと考えられる。

なお、一般にFEM解析を利用した強度解析においては、当該スロット溶接部裏境界をモデル化した形状のように、変化の大きい箇所については、計算結果と実際との誤差が大きくなる。そのため、このような箇所では計算された応力の値は、そのまま許容値と比較して評価することには適さないが、FEM解析の特質を理解した上で、どの箇所に高い応力が発生するかの定性的傾向を把握することには有用である。

*9 「ソリッド要素」とは、FEM解析において用いられる要素の一つで、立体形状をした要素のことをいう。シェル要素に比べ接点数が多くなるため、より計算能力の高いコンピューターが必要となる。

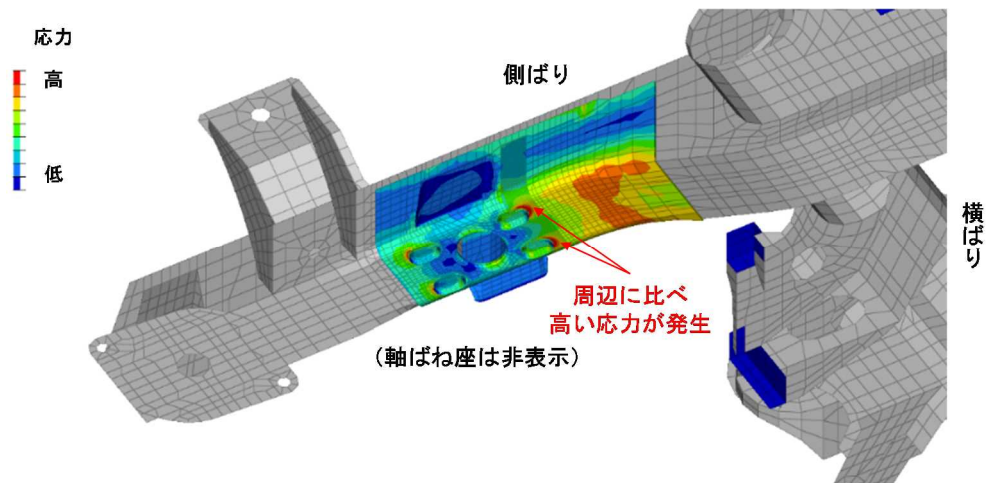


図9 スロット溶接部を再現したFEM解析のモデルと結果

注：図8、図9の応力の高さの基準は異なっている。

3.5.2 軸箱支持装置のモデル化

設計当時の強度解析に用いられた軸箱支持装置のモデルを確認したところ、走行中に発生する左右、前後方向の荷重を想定した水平力を支持する位置が実物と異なる状況が見られた。

一般にFEM解析を利用した強度解析においては、拘束条件が異なると、支持する位置で発生する反力や部材に作用するモーメントに違いを生じることがあり、応力等の計算結果もある程度異なることが考えられるため、拘束条件は可能な限り実物を再現したものとすることが望ましい。

3.5.3 モデル化についてのまとめ

3.5.1及び3.5.2に記述した状況から、新規構造を採用するような台車枠のFEM解析においては、より実際に近い応力を把握するため、剛性の違う板を局所的に接合するといった構造上の特性や、荷重を支持する位置等の拘束条件を可能な限り再現することが重要である。

その解析結果から、FEM解析における計算誤差の特質を踏まえた上で、どの箇所が高い応力が発生するか傾向を把握することが望ましい。

また、既存の台車枠においても、必要な場合には、剛性の違う板を局所的に接合するといった構造上の特性や、荷重を支持する位置等の拘束条件を可能な限り再現できているかどうか、強度設計時の計算モデルを改めて確認し、計算モデルを改良した上で、再度、高い応力が発生する箇所について、傾向を把握することが望ましい。

3.6 定期検査の状況

本件車両の本重大インシデント発生前直近の定期検査の実施状況は、表1のとおりである。

表1 定期検査の実施状況

	実施日	検査実施区所
全般検査	平成29年 2月21日	J R西日本 博多総合車両所
交番検査	平成29年11月30日	J R西日本 博多総合車両所岡山支所
仕業検査	平成29年12月10日	J R東海 東京仕業検査車両所

表1に記載のいずれの検査においても、本件台車枠に異常があったという記録はなかった。

同社の新幹線用の台車枠は、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」（平成13年国土交通省令第151号）に基づき、3年又は当該車両の走行距離が120万kmを超えない期間のいずれか短い期間ごとに行われる全般検査において、同社が指定する箇所については、磁粉探傷^{*10}または浸透探傷^{*11}による探傷検査が行われていた。また、指定する箇所以外については、全体的に目視検査を行うこととされていた。

探傷検査箇所は、過去の亀裂発生データ等に基づき指定されており、本件亀裂発生箇所については、亀裂の発生事例が無く探傷検査の指定箇所となっていなかった。

本事象のように、過去に亀裂が発生していない箇所についても、高い応力の発生傾向を把握した上で、溶接継手等に対する安全率を踏まえて、探傷検査の指定箇所の追加を検討することが望ましい。

3.7 シミュレーションに基づく疲労亀裂進展の推移

疲労亀裂の進展状況を推定するために、スロット溶接部中心線上の位置に初期疲労亀裂が発生したと仮定し、数値解析によるシミュレーションを実施した。解析には、N700系量産車を用いた東海道・山陽新幹線における現車走行試験により計測された亀裂発生部位直近の前後方向の応力を用い、荷重に換算して計算の入力条件とした。また、荷重条件は乗車率を常時100%（定員乗車）と仮定した。

側ばりの下板、側板及びその間のR部の板厚がいずれも設計上の限度値として規定されている7.0mmである場合と、下板の板厚が他の台車枠の調査で確認された最も

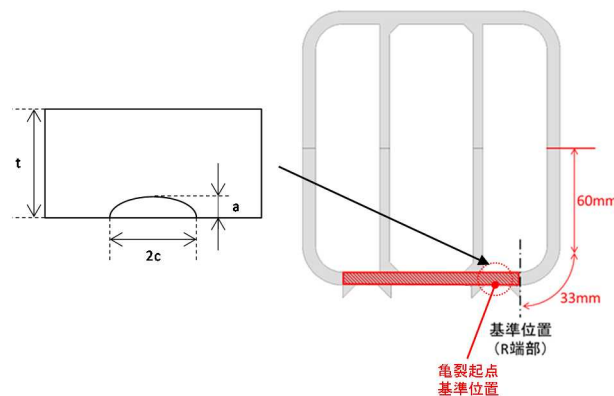
*10 「磁粉探傷」とは、磁性粉末を含む適切な試験媒体を利用し、漏えい磁界によって表面及び表面近傍のきずを検出する非破壊試験をいう。

*11 「浸透探傷」とは、一部に浸透処理、余剰浸透液の除去処理、及び現像処理で構成される表面に開口したきずを指示模様として検出する非破壊試験をいう。

薄い板厚の4.3mm（実物は下板の一部が4.3mmであったが、シミュレーションでは下板の全てを4.3mmと仮定した）である場合のシミュレーション結果は、次のとおりである。（図10、図11）

- (1) シミュレーションの初期状態として、疲労亀裂の初期幅が15mm、初期深さが1mmと仮定したとき、側ばり下板の板厚が7.0mmの場合は、疲労亀裂が発生して仮定した寸法の大きさになるまでの期間に加え、仮定した寸法の状態となってから同疲労亀裂が磁粉探傷等で確認できる可能性のある側ばり下部のR部に至るまで更に35年程度掛かるのに対し、下板の板厚が4.3mmの場合では5年程度で同部まで進展する結果となった。
- (2) 疲労亀裂がR部に至った後は、下板の板厚によらず、数か月から1年未満で側ばり高さ中心に達する結果となった。
- (3) 疲労亀裂の初期幅が15mm、初期深さが2mmのときは、初期深さ1mmと比較して、約半分の期間で亀裂が進展する結果となった。

なお、本シミュレーションに際しては、計算に使用したパラメーター等の妥当性を確認するため、計算と条件を合わせた実物の側ばりを使用して疲労試験による亀裂進展状況を調査し、計算結果と比較した。疲労試験については、側ばり下板にあらかじめ人工的に模擬亀裂を加工することで、疲労亀裂がR部に至った後の状況を再現し、側ばり側板の亀裂進展の状況のみを検証した。その結果、本シミュレーションは、実際の亀裂の進展状況を精度良く再現できていることを確認している。



※ 「2c」は疲労亀裂の初期幅、「a」は疲労亀裂の初期深さ、「t」は板厚を示す。

図10 初期疲労亀裂のイメージ及び亀裂起点基準位置

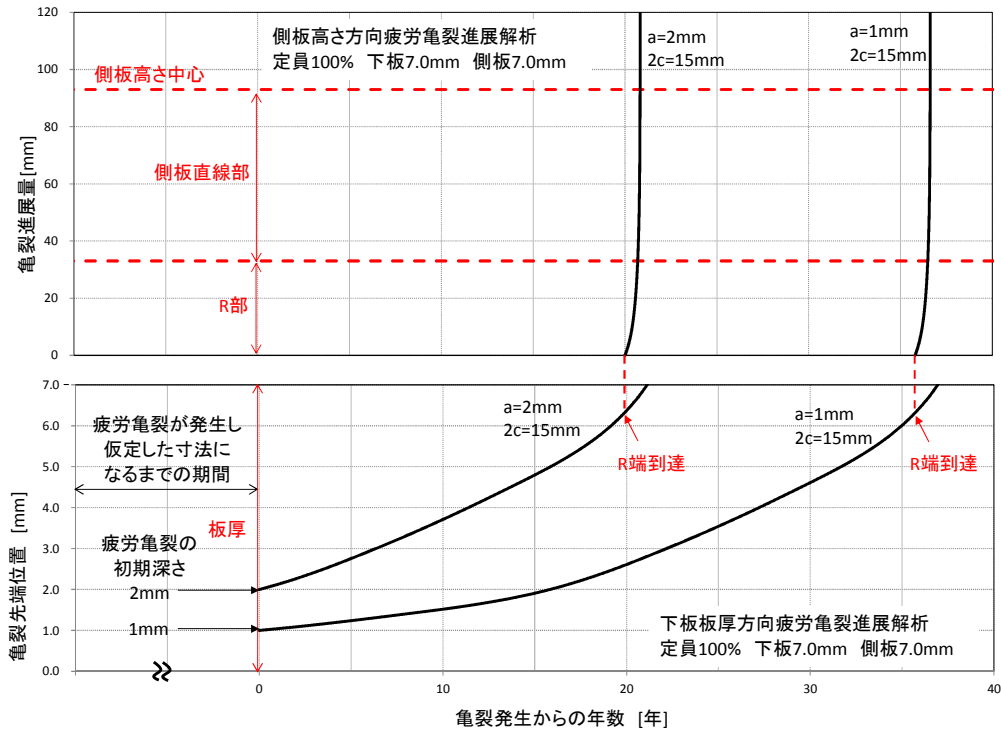
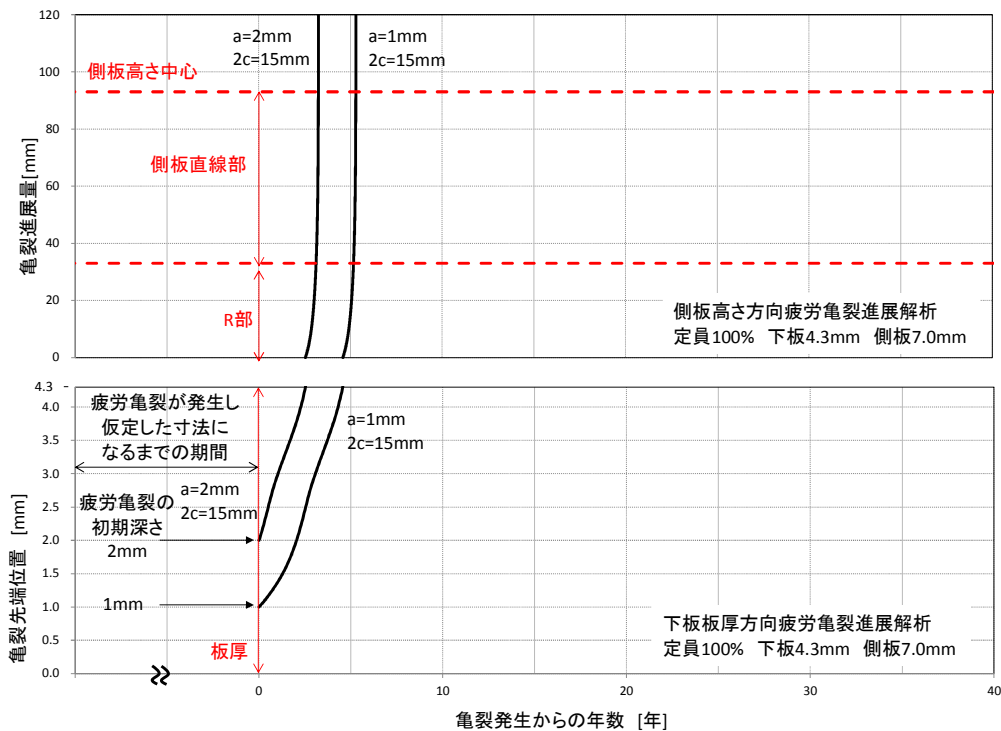


図 1 1 - 1 下板の板厚が 7. 0 mm の場合の疲労亀裂進展解析
(シミュレーション) の結果



※図 1 1 - 1 及び図 1 1 - 2 中の「2c」は疲労亀裂の初期幅、「a」は疲労亀裂の初期深さを示す。

図 1 1 - 2 下板の板厚が 4. 3 mm の場合の疲労亀裂進展解析
(シミュレーション) の結果

本シミュレーションの結果から、3.7(1)に記述したように、疲労亀裂の初期幅が15mm、初期深さが1mmと仮定したとき、側ばり下板の板厚が7.0mmの場合は、亀裂が仮定した寸法の状態となってからR部に至るまで35年程度掛かるのに対して、板厚が4.3mmの場合は5年程度となり、側ばりの下板が基準を超えて過度に研削され薄くなっている場合は、亀裂が発生した際の進展速度が大幅に速いと考えられる。よって、側ばりの下板が基準を超えて過度に研削され薄くなっている台車枠については交換を行う必要があると考えられる。

また、本件台車と同形式の台車については、側ばり下板が設計どおりの板厚である場合は、軸ばね座が溶接され外から見えない側ばり下板の範囲で疲労亀裂が発生したとしても、疲労亀裂が進展し側ばり下板を貫通するまでには車両寿命(台車使用期間)以上の時間を要すると考えられるが、磁粉探傷や浸透探傷による検査が可能になる範囲(外から見える範囲)まで疲労亀裂が進展すると、その後は進展速度が速まると考えられるため、外から見えない範囲内で亀裂を発見できるよう、適切な頻度で超音波探傷等により内部のきずの進展を把握する必要がある。

このようなことから、本件台車枠と同様に、亀裂が進展し部材を貫通しても、他の部材により、その状況が外から見えない範囲(磁粉探傷や浸透探傷による検査ができない範囲)に高い応力の傾向が見られる箇所がある台車枠は、適切な頻度で当該箇所の超音波探傷等を実施することが望ましい。

3.8 車両データの記録の解析

車両のデータ記録装置には、本件列車を含め本重大インシデント発生前の約2週間にわたり運転された列車について、車体を支える空気ばねの圧力(内圧)の記録が残されていた。

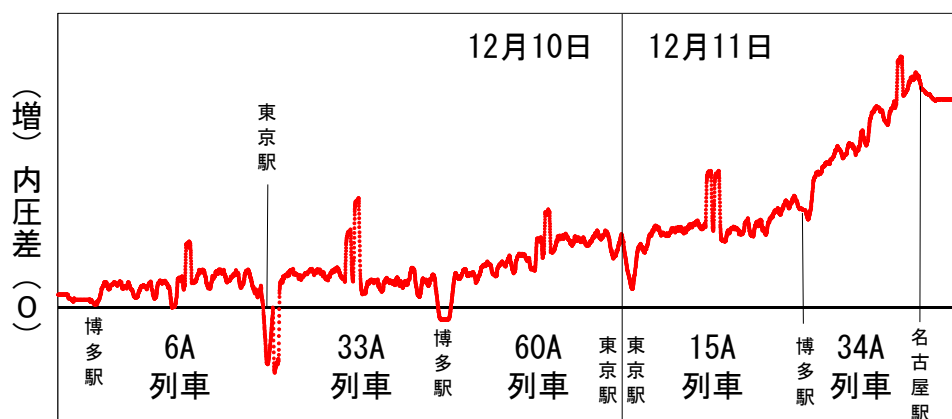
台車枠等、車体を上下方向に支える部品が損傷し、その箇所の剛性が低下して支持力が減少した場合、近傍の空気ばねの内圧が低下する。車体は4箇所の空気ばねで支持されているため、破損した箇所に近い部分の空気ばねとその対角の位置にある空気ばねにかかる荷重が同様に減少して内圧が低下し、逆側の対角位置の空気ばね2箇所は支持荷重が増加し内圧が増加することが想定される。

この傾向を確認するため、本件車両のデータ記録装置の空気ばね内圧記録を用い、亀裂発生箇所上部である前台車左側の空気ばねの内圧の値とその対角位置である後台車右側の空気ばねの内圧の値の和を、逆の対角である前台車右側と後台車左側の空気ばね内圧の値の和から差し引く処理を行った(以下、算出された値を「対角内圧差」という)。本件車両の運行の経過と空気ばねの対角内圧差との関係を図12に示す。

なお、対角内圧差は、台車が健全であれば、列車の走行中や乗客の乗降中に短時間の変動が見られるものの、平均的にはゼロ付近で一定となる。このことは、本件列車

の本件車両以外の記録から確認できている。

これと比較し、本件車両の記録から算出した対角内圧差は、本重大インシデント発生前日に運転された上り第6A列車（のぞみ6号）でもややプラス側（亀裂発生箇所上部の空気ばねを含む対角の荷重が減少する側）に偏る傾向となっており、折り返しの下り第33A列車（のぞみ33号）まではそのまま変化が見られないが、上り第60A列車（のぞみ60号）からやや増加、本重大インシデント発当日の下り第15A列車（のぞみ15号）及び本件列車（第34A列車）にかけて大きく増加した状況が見られた。



注：10分間移動平均データ

図12 本件車両の空気ばねの対角内圧差

このことから、本件車両の前日の運行時には、本件亀裂が側ばりの剛性に影響する程度に進展していたと考えられ、当日の運行時に更に側ばりが変形し、WN継手等、他の台車部品に影響を及ぼす程度まで亀裂が広がったものと考えられる。

空気ばね内圧を検知する本来の目的は、乗客の増減に伴う車両の加減速力を調整するためのものであるが、空気ばね内圧から算出した対角内圧差を常時監視することにより、空気ばねにかかる荷重バランスの変化を検知することができ、台車枠の側ばりを含め車体を上下に支持する部品が損傷した際の異常を早期に検知できる可能性があると考えられる。

また、車体を上下方向に支える荷重の変化を検知する方法として、輪重測定が挙げられる。現在のところ、輪重測定は全般検査や台車検査の機会に行われているが、車両基地への入出区の際に低速で走行しながら測定できるような輪重測定装置を設置することにより、車両や台車の輪重バランスの変化を現在より高頻度に監視することで、異常を早期に検知できる可能性があると考えられる。

このように、空気ばね内圧や輪重のデータ等を有効活用し、台車の異常な状態を乗務員等に知らせる仕組みを検討することが望ましい。

4. 国土交通大臣に対する意見

運輸安全委員会は、台車の亀裂に関し、同種事態の再発防止を図るため、国土交通大臣に対し、運輸安全委員会設置法第28条の規定に基づき、以下のとおり意見を述べる。

本重大インシデントにおける台車の亀裂の発生は、台車枠の製造時における作業内容が大きく関与した可能性があると考えられるが、これまでの台車枠に関する調査・分析から得られた結果に基づき、台車枠の製造過程に加え、設計・検証や使用過程を含めた各段階において、再発防止に向けて取り組むべき事項を次のとおり整理した。

国土交通大臣は、これらの事項について、所要の措置を講じるべきである。

(1) 製造に関する事項

- ① 台車枠の製造においては、設計上の強度が確保されるよう、部材の強度を低下させない製造プロセスを確実なものとするために、製造管理を徹底すること。
- ② 健全な製品のみが実使用に供される仕組みとして、以下の事項を確実に実施できる体制を整えること。
 - a 台車枠の製造現場において、製造上の支障や困難性等の問題が発生し、部材の加工等を伴う対処方法を採用する必要が生じた際は、組織的対応として、その問題や対処方法が台車枠の安全性にどのような影響を及ぼすかを評価すること。
 - b 製造上で生じた問題やその対処方法が台車枠の安全性に影響を及ぼすものである場合は、作業を中断した上で、製造プロセスあるいは設計まで立ち返って原因を究明して対策の検討を行い、対策した結果が良好であることを確認した上で作業を再開すること。

(2) 設計・検証に関する事項

- ① 新規構造を採用するような台車枠の強度設計時のコンピューターによる強度解析（FEM解析）においては、より実際に近い応力を把握するため、剛性の違う板を局所的に接合するといった構造上の特性や、荷重を支持する位置等の拘束条件を可能な限り再現することが重要であることに留意するとともに、その解析結果から、FEM解析における計算誤差の特質を踏まえた上で、高い応力が発生する箇所の傾向を把握することについて検討すること。
- ② 既存の台車枠においても、必要な場合には、剛性の違う板を局所的に接合するといった構造上の特性や、荷重を支持する位置等の拘束条件を可能な限

り再現できているかどうか、強度設計時の計算モデルを改めて確認し、計算モデルを改良した上で、再度、高い応力が発生する箇所を把握することについて検討すること。

(3) 検査に関する事項

① 台車の定期検査における磁粉探傷や浸透探傷を用いた探傷検査については、高い応力が発生する箇所を把握した上で、溶接継手等に対する安全率を踏まえて、探傷検査の指定箇所の追加について検討すること。

② 亀裂が進展し部材を貫通しても、他の部材により、その状況が外から見えない範囲（磁粉探傷や浸透探傷による検査ができない範囲）に高い応力の傾向が見られる箇所がある台車枠は、適切な頻度で当該箇所の超音波探傷等を実施することについて検討すること。

(4) 異常検知に関する事項

亀裂等の台車の異常な状態を早期かつ適確に検知できるよう、空気ばね内圧のデータ等を有効活用し、乗務員等に異常を知らせる仕組みを検討すること。