

鉄道重大インシデント調査報告書

I 九州旅客鉄道株式会社香椎線須恵駅～須恵中央駅間における鉄道重大インシデント

車両障害（「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）

II 東日本旅客鉄道株式会社磐越東線郡山駅～舞木駅間における鉄道重大インシデント

車両障害（「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）

平成26年 3 月28日

本報告書の調査は、本件鉄道重大インシデントに関し、運輸安全委員会設置法に基づき、運輸安全委員会により、鉄道事故等の防止に寄与することを目的として行われたものであり、本事案の責任を問うために行われたものではない。

運輸安全委員会
委員長 後藤 昇 弘

《参 考》

本報告書本文中に用いる分析の結果を表す用語の取扱いについて

本報告書の本文中「3 分 析」に用いる分析の結果を表す用語は、次のとおりとする。

- ① 断定できる場合
・・・「認められる」
- ② 断定できないが、ほぼ間違いない場合
・・・「推定される」
- ③ 可能性が高い場合
・・・「考えられる」
- ④ 可能性がある場合
・・・「可能性が考えられる」
・・・「可能性があると考えられる」

- I 九州旅客鉄道株式会社香椎線須恵駅～須恵中央駅間における鉄道重大インシデント
車両障害（「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）

鉄道重大インシデント調査報告書

鉄道事業者名：九州旅客鉄道株式会社

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）

発生日時：平成24年11月26日 17時01分ごろ

発生場所：福岡県糟屋郡須恵町

香椎線 須恵駅～須恵中央駅間（単線）

西戸崎駅起点21k800m付近

平成26年2月24日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長 後藤昇弘

委員 松本陽（部会長）

委員 横山茂

委員 石川敏行

委員 富井規雄

委員 岡村美好

要旨

<概要>

九州旅客鉄道株式会社の香椎線西戸崎駅発宇美駅行き2両編成の下り気第765D列車（ワンマン運転）は、平成24年11月26日、須恵駅を定刻（17時00分）に出発した。運転士は、同列車を速度約40km/hまで加速させた後の惰行運転中、戸閉め表示灯の滅灯を認めたため、直ちに非常ブレーキをかけて停止した。車内を確認したところ、前部車両の前寄り右側の旅客用乗降口の扉が約30cm開いていた。運転士は、同旅客用乗降口の扉を含めた全ての扉を鎖錠した後、運転を再開した。同列車は須恵中央駅まで運転された後運行を取りやめた。

同列車には、乗客約150名及び乗務員1名が乗車していたが、転落等による負傷

者はいなかった。

<原因>

本重大インシデントは、戸閉め機械の二又と接手ねじが、掛かり代がほとんどない状態で締結されたことによって、二又と接手ねじの軸力が低下した後、二又と接手ねじが分離に至ったため、走行中にドアが開いたことにより発生したものと推定される。

軸力が低下したことについては、掛かり代がほとんどない状態で二又と接手ねじが締結されたことにより、締結部分のねじ山に加わるせん断応力が著大となったことにより、一部のねじ山に塑性変形が生じたことによって非回転ゆるみが発生したこと、及びドアの開閉や走行中の振動などの外力によって回転ゆるみが発生したことによるものであると考えられる。

上述した緩みによって軸力が低下した状態において、ピストン棒の回転、及び本重大インシデント発生前の運行中に、力行から惰行運転に移行した際の加速度の変化による慣性力によって、接手ねじと二又の分離に至ったものと考えられる。

掛かり代が不足していたことについては、折損対策で図面変更したことにより掛かり代に影響を与える可能性があり、取付け時に注意を要することについて、同社及び図面変更を提案した戸閉め機械メーカーにおいて十分な検討がなされなかったため、作業者に作業を行う上で必要な情報が周知されなかったことによるものであると考えられる。

目 次

1	鉄道重大インシデント調査の経過	1
1.1	鉄道重大インシデントの概要	1
1.2	鉄道重大インシデント調査の概要	1
1.2.1	調査組織	1
1.2.2	調査の実施時期	1
1.2.3	原因関係者からの意見聴取	2
2	事実情報	2
2.1	運行の経過	2
2.1.1	運転士の口述	2
2.1.2	運転状況の記録	3
2.2	鉄道施設に関する情報	3
2.3	車両に関する情報	3
2.3.1	車両の概要	3
2.3.2	定期検査等に関する情報	4
2.3.3	本重大インシデント発生直後の状況に関する情報	4
2.3.4	ドア及び戸閉め機械の構造等に関する情報	4
2.3.5	本件戸閉め機械に関する情報	6
2.3.6	ドア開閉の仕組み	7
2.3.7	戸閉め回路に関する情報	7
2.3.8	本件車両の運用範囲と本件ドアの開閉頻度	8
2.3.9	ドア及び戸閉め機械の検査に関する情報	8
2.4	接手ねじ及び二又の改修に関する情報	9
2.4.1	改修に至るまでとその後の経過	9
2.4.2	改修に関する情報	9
2.5	改修の計画・施工等に関する情報	10
2.5.1	車両部品を変更する際の図面変更・管理に関する情報	10
2.5.2	折損対策の指示に関する情報	11
2.5.3	折損対策の施工に関する情報	12
2.5.4	接手ねじと二又の掛かり代の管理に関する情報	13
2.6	請負会社への委託工事に関する情報	13
2.6.1	作業の委託に関する情報	13
2.6.2	本件戸閉め機械の作業指示に関する情報	13
2.6.3	作業の管理に関する情報	14

2.7	本件戸閉め機械の取替えに関わった同社及び請負会社社員の口述.....	14
2.8	本件戸閉め機械についての調査.....	16
2.8.1	本件ドア及び本件戸閉め機械の調査.....	16
2.8.2	繰り返しドア開閉試験（1,906回又は3,812回）.....	17
2.8.3	繰り返しドア開閉試験（7,624回）.....	18
2.8.4	本件戸閉め機械の分解調査.....	18
2.9	掛かり代変化に伴う締結力に関する検証.....	19
2.9.1	接手ねじに発生する応力.....	19
2.9.2	引張疲労試験機による軸方向引張圧縮繰り返し試験.....	20
2.9.3	引張破断試験.....	21
2.10	本重大インシデントと類似の事象についての情報.....	21
2.11	乗務員に関する情報.....	22
2.12	気象に関する情報.....	22
3	分析.....	22
3.1	走行中に本件ドアが開いた状況に関する分析.....	22
3.2	折損対策に関する分析.....	23
3.2.1	折損対策による掛かり代への影響に関する分析.....	23
3.2.2	折損対策に伴う図面変更・管理・周知に関する分析.....	24
3.2.3	折損対策の指示に関する分析.....	25
3.2.4	折損対策の施工に関する分析.....	25
3.3	請負会社への委託工事に関する分析.....	26
3.4	本件戸閉め機械に関する分析.....	26
3.4.1	戸閉め機械の調査結果に関する分析.....	26
3.5	接手ねじ及び二又に関する分析.....	27
3.5.1	折損対策による掛かり代の変化に関する分析.....	27
3.5.2	接手ねじに発生する応力の測定結果に関する分析.....	27
3.5.3	引張疲労試験及び引張破断試験に関する分析.....	28
3.5.4	クリアランスの管理に関する分析.....	30
3.6	本件接手ねじと本件二又が外れた原因に関する分析.....	30
3.6.1	本件接手ねじと本件二又が外れる直前の状況に関する分析.....	30
3.6.2	本件接手ねじと本件二又が分離した原因に関する分析.....	30
4	結論.....	31
4.1	分析の要約.....	31
4.2	原因.....	33
5	再発防止策.....	34

5.1	必要と考えられる再発防止策.....	34
5.1.1	車両部品の変更などに伴う確認・周知方法.....	34
5.1.2	施工指示の方法について.....	34
5.1.3	検修作業者に対する教育について.....	34
5.2	本重大インシデント後に同社が講じた措置.....	34

添付資料

付図1	香椎線の路線図.....	36
付図2	重大インシデント発生現場付近の地形図.....	36
付図3	本件列車の運転台内にある戸閉め表示灯の位置等.....	37
付図4	須恵駅～須恵中央駅間の線路縦断面図.....	38
付図5	本重大インシデント発生直後の状況.....	38
付図6	戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図.....	39
付図7	接手ねじ及び二又周辺の概略図.....	40
付図8	戸閉め回路の配線略図（進行右側の関係箇所を抜粋）.....	40
付図9	掛かり代概略図.....	41
付図10	クリアランス概略図.....	41
付図11	折損対策前後の接手ねじ及び二又概略図.....	42
付図12	現車合わせ概略図.....	42
付図13	本重大インシデント直後の接手ねじの状態.....	43
付図14	ひずみゲージ貼付け位置.....	43
付図15	通常ドア開閉における応力波形.....	44
付図16	戸挟み時の応力振幅等測定結果.....	45
付図17	引張疲労試験概念図.....	46
付図18	引張破断試験概念図.....	46
付図19	推定される取替え前の掛かり代.....	47
付表1	改修に至るまでとその後の経過.....	48

1 鉄道重大インシデント調査の経過

1.1 鉄道重大インシデントの概要

九州旅客鉄道株式会社の香椎線西戸崎駅発宇美駅行き2両編成の下り気第765D列車(ワンマン運転)は、平成24年11月26日(月)、須恵駅を定刻(17時00分)に出発した。運転士は、同列車を速度約40km/hまで加速させた後の惰行運転中、戸閉め表示灯の滅灯を認めたため、直ちに非常ブレーキをかけて停止した。車内を確認したところ、前部車両の前寄り右側(前後左右は列車進行方向を基準とする。)の旅客用乗降口の扉が約30cm開いていた。運転士は、同旅客用乗降口の扉を含めた全ての扉を鎖錠した後、運転を再開した。同列車は須恵中央駅まで運転された後運行を取りやめた。

同列車には、乗客約150名及び乗務員1名が乗車していたが、転落等による負傷者はいなかった。

1.2 鉄道重大インシデント調査の概要

1.2.1 調査組織

本件インシデントは、列車の走行中に客室の旅客用乗降口の扉が開いた事態であり、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」(車両障害)に該当し、かつ、運輸安全委員会設置法施行規則第2条第6号に定める「特に異例と認められるもの」であるため、重大インシデントとして調査対象とした。

運輸安全委員会は、平成24年11月26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1名の鉄道事故調査官を指名した。

九州運輸局は、本重大インシデントの調査を支援するため、職員を現場に派遣した。

1.2.2 調査の実施時期

平成24年11月27日	車両調査、口述聴取
平成24年11月28日	車両調査、現場調査
平成24年11月29日	口述聴取
平成25年5月20日	車両調査
平成25年5月21日	車両調査
平成25年5月31日～6月5日	検証試験

1.2.3 原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

2 事実情報

2.1 運行の経過

2.1.1 運転士の口述

本重大インシデントに至るまでの経過は、九州旅客鉄道株式会社（以下「同社」という。）の気第765D列車（以下「本件列車」という。）の運転士（以下「本件運転士」という。）によれば、概略次のとおりであった。

ワンマン運転である本件列車に、香椎駅（西戸崎駅起点12k480m、以下「西戸崎駅起点」は省略。）から乗務した。定刻の16時30分に香椎駅を出発した後、各停車駅においては、ワンマンドアスイッチ^{*1}を使用して、本件列車のホーム側全ての旅客用乗降口の扉（以下「ドア」という。）を開閉することによって、旅客の乗降を行った。須恵駅（21k440m）では、右側のドアを開閉したが、特に異常はなかった。

須恵駅は定刻の17時00分に出発した。須恵駅出発後の運転取扱いについては、力行ノッチを扱い、速度約40km/hまで加速した後、ノッチオフして惰行運転を行った。その直後、戸閉め表示灯^{*2}の滅灯を認めたため、直ちに非常ブレーキをかけて本件列車を停止させた。本件列車が停止したのは、21k800m付近だった。停止後、運転席の左右にある窓から車側灯^{*3}を確認したところ、前部車両（以下「本件車両」という。）右側の車側灯が点灯していた。そこで、車内の状況を確認するため乗務員室から客室に入ろうとしたところ、本件車両の進行前寄り右側の両引戸^{*4}のうち、後ろ寄りのドア（以下「本件ドア」という。）が開いているのが見えた。本件ドア周辺のデッキには、乗客が大体15名程度立っていた。（乗客の）転落の可能性が考えられたため、本件ドア付近に立っていた乗客に様子を聞くと、けが人や転落者はいないとのことだった。また、本件ドアが開いていたことについては、様子を聞くまで誰も気が付かなかったとのことだった。

^{*1} 「ワンマンドアスイッチ」とは、車掌が乗車しないワンマン運転を行うため、運転士によるドアの開閉操作を可能とするスイッチをいう。

^{*2} 「戸閉め表示灯」とは、運転台の計器盤上部に「戸」と表示されたランプで、列車の全てのドアが閉まっているときに点灯する。なお、列車にある複数のドアのうち、一箇所でも完全に閉まった状態ではなくなった場合には消灯する。

^{*3} 「車側灯」とは、車両両側面の上部に設置された赤色の灯火であり、ドアが開いている場合に自動で点灯する。逆にドアが閉じている場合は消灯する。

^{*4} 「両引戸」とは、互いに反対方向に開閉する2枚の引戸のことをいう。

本件ドアを確認したところ、約30cm開いており、手で開け閉めできる状態であった。そこで、列車無線を使用して指令に状況を報告した。指令から全てのドアを鎖錠*5するように指示を受けたので、本件列車にあるドア8か所を全て鎖錠した。鎖錠した後、戸閉め表示灯が点灯していることを確認し、指令から運転再開の指示を受けたので、次の駅である須恵中央駅まで運転した。須恵中央駅では全ての乗客に降車してもらい、本件列車は回送として南福岡車両区竹下車両派出に入区した。

2.1.2 運転状況の記録

本件列車には、運転状況を記録する装置は設置されていない。

なお、本重大インシデントの発生時刻は、17時01分ごろであった。

(付図1 香椎線の路線図、付図2 重大インシデント発生現場付近の地形図、付図3 本件列車の運転台内にある戸閉め表示灯の位置等 参照)

2.2 鉄道施設に関する情報

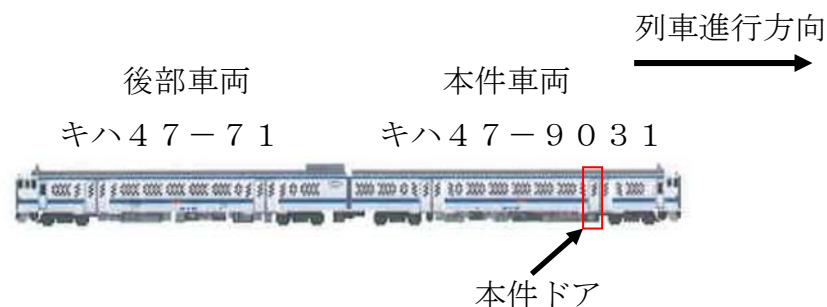
本重大インシデントが発生した香椎線は、西戸崎駅と宇美駅を結ぶ単線非電化の路線で、須恵駅～須恵中央駅間の線路縦断面や運転に関する状況は付図4に示すとおりである。

(付図4 須恵駅～須恵中央駅間の線路縦断面図 参照)

2.3 車両に関する情報

2.3.1 車両の概要

車種	内燃動車（ディーゼルカー）
編成両数	2両
定員	247名（座席定員107名）
記号番号	



*5 「鎖錠」とは、ドアに鍵をかけて固定することをいう。

2.3.2 定期検査等に関する情報

本件車両の直近の検査等の履歴は次のとおりである。

新製	昭和54年2月10日	
全般検査 ^{*6}	平成22年3月31日	小倉総合車両センター
要部検査 ^{*7}	平成21年3月18日	小倉総合車両センター
交番検査 ^{*8}	平成24年10月22日	<small>のおがた</small> 直方車両センター
仕業検査	平成24年11月22日	南福岡車両区竹下車両派出

上述の検査記録には、車両の異常を示す記録は見当たらなかった。また、平成17、20及び22年に行われた、本件ドア上部に取り付けてある戸閉め機械（以下「本件戸閉め機械」という。）の検査記録に異常を示す記録は見当たらなかった。

2.3.3 本重大インシデント発生直後の状況に関する情報

本件ドア上部のカバー及び点検扉を開けて確認したところ、付図5に示すように、本件戸閉め機械の後述するR側のピストン棒の先端にあるねじ付き金具（以下「本件^{つぎて}接手ねじ」という。2.3.4(3)参照）と、六角ナット（以下「締付ナット」という。）で固定されているはずの二又状の金具（以下「本件二又」という。2.3.4(3)参照）が外れた状態となっていた。また、本件接手ねじと本件二又の間にあるはずの廻止め座金が外れ、本件ドアの戸袋側にあるカバー上部に引っ掛かっていた。

（付図5 本重大インシデント発生直後の状況 参照）

2.3.4 ドア及び戸閉め機械の構造等に関する情報

本件車両は、旧日本国有鉄道（以下「旧国鉄」という。）時代に新製され、昭和62年4月に同社に承継されたものである。以下の記述は、同社より提供された図面に基づく。

(1) ドアの構造

本件車両のドアは片側に2か所あり、計4か所設置されている。各ドアは両引戸となっており、ドアの上部にある戸吊り金具に取り付けられた戸車が車体に敷設された上レールを走行する吊り戸式となっている。また、ドアの上部には戸閉め機械が設置されており、戸閉め機械のピストン棒の先端にある接手ねじに取り付けられた二又と戸吊り金具はピンにより締結されている。したがって、戸閉め機械のピストン部を動作させることによって、ドアが開

^{*6} 「全般検査」とは、ここでは、同社において、96か月を超えない期間ごとに実施される定期検査である。

^{*7} 「要部検査」とは、ここでは、同社において、48か月又は走行50万キロメートルを超えない期間のいずれか短い期間ごとに実施される定期検査のことをいう。

^{*8} 「交番検査」とは、ここでは、同社において、90日を超えない期間ごとに実施される定期検査のことをいう。

閉する構造となっている。

なお、本報告書においては、車内からドアを見て右側を「R側」、同じく左側を「L側」という。

(2) 戸閉め機械の構造

戸閉め機械は、付図6に示すように、シリンダ、ピストン棒及び圧縮空気を給排する電磁弁などから構成されている。また、合計8本の取付けボルトで車体に取り付けられている。シリンダ内を移動するピストン棒の先端には接手ねじが取り付けられており、二又を接手ねじにねじ込んで、締付ナット及び廻止め座金で固定されている。ピストン棒全体の長さ（先端の止めゴムから二又のピン穴までの距離）は、二又をねじ込んで固定する位置を変えることにより調整できる構造となっている。

(3) 接手ねじと二又について

接手ねじは、戸閉め機械のシリンダにあるピストンの先端部に皿リベットのかしめ加工^{*9}により取り付けられている。また、ピストン棒と接手ねじの境界には、ピストン棒が接手ねじ部までシリンダ内に入り込まないようにCリングが取り付けられている。

接手ねじの材質は、機械構造用炭素鋼鋼材であるS45C-Hであり、ねじ部は直径16mmの並目ねじとなっている。なお、戸閉め機械メーカーであるA社の資料を参考に、ピストン推力により接手ねじに発生する最大の引張応力を推算したところ、戸閉め機械のシリンダ内に約880kPaの空気を供給してドアを閉めたときに約3.95MPaとなる。接手ねじの材料であるS45C-Hの疲労限度である約215～355MPaに対しては、十分小さいことがわかる。

二又は、戸吊り金具側が二又形状となっており、また、ピン穴（直径10mm）を持つ部分とめねじ部分とで構成されており、戸閉め機械のピストンとドア上面に付いている戸吊り金具を接続するため接手ねじにねじ込んで取り付けられ、締付ナットとのダブルナット^{*10}により固定される。また、二又と締付ナットの間には、廻止め座金（両舌付き座金）が取り付けられている。廻止め座金は、2箇所突起部があり、これらの突起部は、締付ナットと二又とを固定した後に、締付ナット側と二又の六角ナット部側に折り曲げられる。二又の材質は、機械構造用炭素鋼鋼材であるS45Cである。

同社によれば、接手ねじのおねじ部分と二又のめねじ部分が重なる寸法

^{*9} 「かしめ加工」とは、異なる部品の一部を塑性加工して接合することをいう。

^{*10} ねじの緩み止めに用いられる方法の一つであり、二つのナット同士を締結することによってボルトの遊びをなくすことで固定される。

(以下「掛かり代^{しろ}」という。本報告書では後述する不完全ねじ部^{*11}も含むものとする。)は、A社によると、止めナットである締付ナットの厚さ10mmと同程度の量の確保が推奨されているとのことである。なお、同社がA社に確認したところ、おねじである接手ねじを加工形成する際、ねじ端部に約二山の不完全ねじ部が生じるとのことである。

(4) 二又と戸吊り金具の連結部分について

戸吊り金具には、縦方向の寸法(以下「a寸法」という。)が20mmの小判形の穴が設けられており、二又のピン穴と重ね合わせた上、直径10mmのピンで貫通することにより二又と連結される。ここで、戸吊り金具にある小判形の穴の中心を基準にした場合、二又のピン穴との上下方向のずれが±5mm以内であれば、ピンを組み込むことができる。このずれが5mmよりも小さく、ピンと戸吊り金具の小判形の穴との間に上下方向の隙間があれば、その隙間分戸吊り金具が上下に変位しても上下方向の力は摩擦力だけしか伝達しない構造となっている。以下、この上下方向のずれの寸法を「b寸法」、ピン下側の隙間の寸法を「c寸法」という。

(5) 戸車の脱輪防止金具

ドア上面の戸吊り金具に取り付けられた戸車が上レールから脱輪するのを防ぐため、上レールの上部に脱輪防止金具が設置されている。同社は、全般検査及び要部検査において、戸車と脱輪防止金具との隙間を0.3～2.0mmで管理している。

(付図6 戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図、付図7 接手ねじ及び二又周辺の概略図 参照)

2.3.5 本件戸閉め機械に関する情報

本件戸閉め機械に関する情報は、概略以下のとおりである。

形式	TK106A
製作年月	昭和49年12月
使用車両	キハ47形、キハ66・67形、キハ147形
メーカー	A社

(1) 修繕履歴に関する情報

本件戸閉め機械は、要部検査(平成22年)において分解検査が実施されていたが、不具合による修繕の記録はなかった。また、同検査以前に行われた検査の記録についても、不具合による修繕の記録はなかった。

^{*11} 「不完全ねじ部」とは、おねじを加工形成する際にできる、ねじ端部のねじ山が不完全な部分のことをいう。

(2) 取替え履歴に関する情報

本件戸閉め機械は、直方車両センター（以下「直方車セ」という。）において、平成24年10月に本件車両と同形式の他の車両から取り外され、2.4.2 に後述する改修が直方車セにおいて施された後、同月に行われた本件車両の交番検査時に本件車両に取り付けられていた。

2.3.6 ドア開閉の仕組み

運転士によるドアの開閉操作を行うことができるワンマンドアスイッチによるドア開閉の仕組みは以下のとおりである。

(1) 開扉

ワンマンドアスイッチで開操作を行うと、2.3.4(2)に記述した電磁弁が作動し、戸閉め機械のシリンダに元空気タンクからの圧縮空気が供給され、ピストン棒がシリンダ内部から外側に動くことによって、二又と戸吊り金具を介してドアが開く。

(2) 閉扉

ワンマンドアスイッチで閉操作を行うと、2.3.4(2)に記述した電磁弁が作動し、シリンダには元空気タンクからの圧縮空気が開扉時とは異なる位置に供給され、ピストン棒がシリンダ内部方向に動くことによってドアが閉まる。
(付図6 戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図、付図8 戸閉め回路の配線略図
(進行右側の関係箇所を抜粋) 参照)

2.3.7 戸閉め回路に関する情報

(1) 戸閉めスイッチ

戸閉めスイッチは、付図6に示すようにドアと戸閉め機械の間に設置されており、戸閉めスイッチの左側の車体に取り付けられたこの中心部をL側ドアの戸先側の戸吊り金具に取り付けられた補助金具で押すとともに、この下部をR側のドアに取り付けられた補助金具が押すことによって、この上部が戸閉めスイッチの押軸を押し込み、戸閉めスイッチ内の接点が転換される仕組みになっている。したがって、L側ドア又はR側ドアのどちらか一方が開いた場合でも、戸閉めスイッチが開扉を検出する。

(2) 戸閉め表示灯

列車の全てのドアの戸閉めスイッチが閉扉を検出した場合、付図3に記述した運転台に設けられた戸閉め表示灯が点灯する。また、列車のドアが1か所でも開いた場合、戸閉め表示灯は滅灯する。さらに、付図8に示すように、戸閉め表示灯と連動する戸閉め連動継電器が力行回路に組み込まれているた

め、戸閉め表示灯が滅灯した場合は、力行回路が構成されない。

(3) 車側灯

車側灯は、車両の側面部に設置されており、上述した戸閉めスイッチと連動して、左右のドアのうち、それぞれについてドアが開いた場合に点灯する。(付図3 本件列車の運転台内にある戸閉め表示灯の位置等、付図6 戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図、付図8 戸閉め回路の配線略図(進行右側の関係箇所を抜粋) 参照)

2.3.8 本件車両の運用範囲と本件ドアの開閉頻度

本件車両は香椎線において運用され、平成22年3月から本重大インシデント発生までの1日あたりの走行距離は、平均で約260.8kmであった。

また、2.3.5(2)で記述したように、本件戸閉め機械を取り付けた平成24年10月から本重大インシデント発生までに本件ドアを開閉させた回数を試算したところ、およそ1,906回であった。ただし、この回数には検査時の開閉などによる誤差も含んでいる。

2.3.9 ドア及び戸閉め機械の検査に関する情報

(1) 全般検査及び要部検査

同社の小倉総合車両センター(以下「小倉総車セ」という。)では、全般検査及び要部検査において、2.3.4に記述したドア及び戸閉め機械を車体から取り外しての分解検査を実施している。また、通常、分解検査のため取り外したドアや戸閉め機械は、分解検査終了後、同一の車両の同一箇所に戻すことを基本としている。全般検査及び要部検査において、戸閉め機械に関する主な管理値を以下に示す。

① 接手ねじと二又の掛かり代

2.3.4(3)に記述したように、接手ねじと二又の掛かり代は、A社によって10mm程度の確保が推奨されている。小倉総車セは、この掛かり代が8.8mm以上確保されるように、付図9に示す掛かり代管理寸法をチェック表によって管理している。また、2.4.2に後述する折損対策前の戸閉め機械については、接手ねじ及び二又の直径は異なるが、掛かり代が9.0mm以上確保されるように管理していた。

② クリアランス

付図10に示すように、戸閉め機械のシリンダ内で二つのピストンが接触しないように、同社では、シリンダ端部とCリング間の寸法(以下「クリアランス」という。)をR側とL側それぞれ11mm以上、調整できない

場合は、R側とL側で合計22mm以上確保するように管理している（クリアランス管理寸法）。クリアランスは、シリンダの閉扉側に圧縮空気を供給し、ドアを閉じた状態で測定している。

なお、同社によれば、小倉総車セ以外の、全般検査及び要部検査を行わない同社内にある車両センターなどにおいては、定期検査（交番検査及び仕業検査）において、上記①及び②の管理はしていないとのことである。

（付図9 掛かり代概略図、付図10 クリアランス概略図 参照）

(2) 交番検査

直方車セでは、本件車両の交番検査を実施しており、同検査において、戸閉め機械の外観検査及び動作確認などを実施している。

2.4 接手ねじ及び二又の改修に関する情報

2.4.1 改修に至るまでとその後の経過

本件戸閉め機械に使用されている接手ねじ及び二又は、平成21年に発生した大村線重大インシデント^{*12}、及び平成22年に発生した芸備線重大インシデント^{*13}の原因となった接手ねじの曲げ応力による折損防止対策（接手ねじの直径を拡大、材質変更及び二又の形状変更をしたこと。以下「折損対策」という。）として改修されたものが使用されていた。この改修に至るまでとその後の経過に関して、概略を付表1に示す。

（付表1 改修に至るまでとその後の経過 参照）

2.4.2 改修に関する情報

折損対策のための改修に関しては、概略以下のとおりである。

(1) 折損対策の開始時期に関する情報

付表1に記述したように、同社は、平成23年2月に折損対策を開始した。

(2) 折損対策の内容に関する情報

折損対策について、主な内容は概略以下のとおりである。

① 接手ねじ

a 従来品

・材質：一般構造用圧延鋼材であるSS400（なお、折損したものに

^{*12} 当委員会の鉄道重大インシデント調査報告書（RI2010-2-2）「九州旅客鉄道株式会社大村線彼杵駅～川棚駅間における鉄道重大インシデント」

^{*13} 当委員会の鉄道重大インシデント調査報告書（RI2011-4-1）「西日本旅客鉄道株式会社芸備線矢賀駅～戸坂駅間における鉄道重大インシデント」

は、図面と異なる材料（硫黄快削鋼S U M 2 3）が使用されていた。）

- ・ねじ：直径12mmの並目ねじ（おねじ）

b 折損対策品

- ・材質：機械構造用炭素鋼鋼材であるS 4 5 C-H
- ・ねじ：直径16mmの並目ねじ（おねじ）

折損対策品は、材質がS S 4 0 0からS 4 5 C-Hへ変更され、ねじの直径も12mmから16mmへ拡大されている。

② 二又

a 従来品

- ・材質：機械構造用炭素鋼鋼材であるS 4 5 C
- ・ねじ：直径12mmの並目ねじ（めねじ）

b 折損対策品

- ・材質：機械構造用炭素鋼鋼材であるS 4 5 C
- ・ねじ：直径16mmの並目ねじ（めねじ）
- ・ねじ部の長さ：従来品から10mm減少
- ・形状の変更

折損対策品は、ねじの直径が接手ねじと同様に拡大され、形状も変更されている。また、ねじ部の長さが従来品と比較して10mm短くなっている。同社がA社に確認した結果によれば、二又のねじ部を短くしたのは、締付ナットの厚みの増加分を考慮したためとのことである。また、形状を変更したのは、戸吊り金具との接触を避けるためとのことである。さらに、接手ねじと二又の間に、廻止め座金が新たに追加されている。

（付図1 1 折損対策前後の接手ねじ及び二又概略図 参照）

2.5 改修の計画・施工等に関する情報

2.5.1 車両部品を変更する際の図面変更・管理に関する情報

同社によれば、車両部品等の変更に伴う図面変更は図1に示す流れで行うとのことである。

車両部品を変更する必要がある場合、鉄道車両に関わるメーカーなどは、変更する部品の仕様書・図面を作成し、同社（本社）に申請する。同社（本社）は、申請を受付後、技術基準等との整合確認を行った上で、図面変更の承認を行っている。なお、承認した図面については、基本的に、同社（本社）において管理しているとのことである。また、同社は、図面管理システム^{*14}を導入しており、図面変更等が

^{*14} 「図面管理システム」とは、同社が、ネットワークを介して本社、小倉総車セ、各車両センターで図面データを共有することを目的として導入したシステムのことをいう。システム設置箇所は、共有した図面データを紙にアウトプットすることもできるとのことである。

発生した場合は、同システムに登録することによって、車両の検査・修繕を行っている同社の現業機関（以下「検修現場」という。）で図面が確認できるような仕組みを持っている。

上記の承認後、同社（本社）は、検修現場に対して事務連絡によって周知を図ることとなる。

図面変更に伴う事務連絡の発出要件については、図面変更を行い、さらに物品番号（購入時に同社で管理している発注に使用する番号）が変更になる場合のみ行っているとのことである。

今回の折損対策に関しては、付表1に記述したように、A社は同社（本社）に対して折損対策の図面変更申請を平成23年1月20日に行っていた。その申請時の資料を確認したところ、仕様書、折損対策の申請図及び旧図面であった。折損対策前後の図面を比較したところ、二又のピストン方向の寸法は10mm減少していたが、二又のピン穴中心部からシリンダ端部までの寸法は折損対策前後で同じであった。また、資料には、二又の寸法が10mm減少したことにより掛かり代が変化する可能性があることについて、注意を促すような記述はなかった。

その後、同社（本社）は、同28日に申請を承認し、承認した図面（申請図）は、同社（本社）において管理されていた。

また、同社によれば、戸閉め機械本体の取付けに変更がないという認識を持っていたことから、折損対策に伴って発生した図面変更に関して、事務連絡による検修現場への周知は行っていなかったとのことである。

ただし、付表1に記述したように、同社（本社）は、折損対策の図面変更後、図面管理システムに登録していた。なお、図面を登録したことに関する情報については、検修現場に周知を行っていなかったとのことである。

2.5.2 折損対策の指示に関する情報

同社によれば、車両故障防止対策などに係る事項について、同社（本社）内の会議において決議した内容を、関係する検修現場や請負会社などに対して指示する場

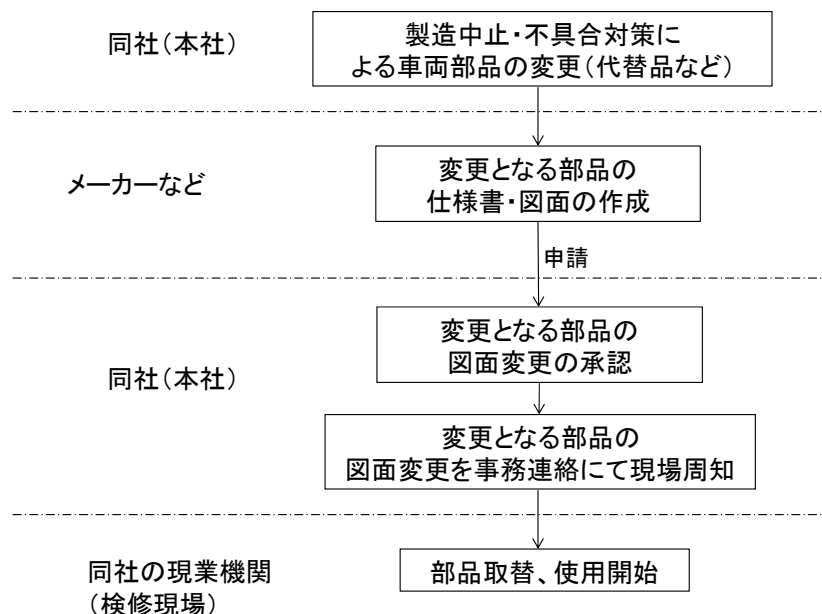


図1 車両部品等の変更に伴う図面変更に関する流れ

合、車両故障防止対策通知書（以下「対策通知」という。）により周知を図っているとのことである。

今回の折損対策の指示については、付表1に記述したように、平成23年2月に、対策通知によって検修現場や請負会社に対して行われていた。同対策通知は、施工理由、施工内容、対象車両形式、施工時期、及び施工箇所に関する事項、並びに過去の同様の不具合による対策通知と重複する場合はその変更履歴などを記載するとともに、写真や図が添付され、詳細な記述内容にまとめられている。ただし、掛かり代の変更を含め、折損対策に伴う接手ねじと二又の詳細な情報については、記載はなかった。

同対策通知による指示を受けた検修現場などは、接手ねじ及び二又の折損対策を開始している。

2.5.3 折損対策の施工に関する情報

同社によれば、折損対策に伴う実際の施工については、検修現場が直轄で行う場合と、検修現場において請負会社に委託して行う場合があるとのことである。

2.5.2に記述した対策通知に基づき、折損対策を行う対象となった検修現場のうち、戸閉め機械を定期的に車両から取り外し、分解検査を行っている小倉総車セは、他の検修現場に先駆けて、平成23年3月に折損対策を開始した。同社によれば、折損対策は、戸閉め機械からピストンを取り外す必要が生じるため、2.3.9(1)で記述したように、定期的にピストンの取り外しを含む分解検査を行っている小倉総車セから開始したとのことである。

小倉総車セ以外の検修現場は、ピストンの取り外しが発生しない戸閉め機械一式の取替えについては、従来から行っていたため可能であったことから、同社が所有していた戸閉め機械の予備品数個を小倉総車セであらかじめ折損対策を施した後、他の検修現場に送り、他の検修現場にて戸閉め機械一式の取替えを実施し、その際、取り外した未対策の戸閉め機械を小倉総車セに送り返すという流れ（以下「循環取替」という。）で改修を開始した。

その後、同社は、改修を早期に完了する目的で、小倉総車セ以外の検修現場においても、折損対策を施す（戸閉め機械を分解し、折損対策品である接手ねじや二又などに交換を行うこと）ため、平成24年1月及び9月に、小倉総車セにおいて、戸閉め機械からピストンを取り外す方法などに関する講習会を開催した。その後、検修現場において折損対策を施すことが可能になり、循環取替が不要となり、折損対策の工期が短縮した。

検修現場の一つである直方車セでは、平成23年10月に折損対策を開始した。ただし、この時点では、循環取替によるものであった。直方車セの社員が上述の講

習会を受け、直方車セにおいて折損対策を施すことが可能になったのは、平成24年7月からであった。

2.5.4 接手ねじと二又の掛かり代の管理に関する情報

小倉総車セにおいては、2.3.9(1)で記述したように、従来から定期的に戸閉め機械の分解検査を行っていたため、2.3.4(3)で記述した掛かり代についても、チェック表を使用して、付図9に示したように、掛かり代管理寸法により管理していた。2.5.2に記述した対策通知を受けた後、小倉総車セは、他の検修現場に先駆けて改修を開始したが、折損対策品に取り替えた際、従来の掛かり代管理寸法を使用した場合、掛かり代が不足することに小倉総車セの作業者が気付いたため、平成23年6月1日から、掛かり代管理寸法を変更している。

一方、同社によれば、直方車セを含む他の検修現場は、2.3.9(1)に記述した小倉総車セのような定期的な分解検査を実施しておらず、接手ねじと二又を分離する定期的な検査がなかったことから、掛かり代やクリアランスの管理をしていなかったということである。

また、直方車セにおいて従来から行ってきた戸閉め機械の取替えを行う場合、直方車セ又は請負会社の作業者は、付図12に示すように、取り外した戸閉め機械の二又穴端部からシリンダ端部までのストロークを測定し、取付けを行う別の戸閉め機械もこの測定したストロークに合わせるように調整した上で、車両に取付けを行う方法（以下「現車合わせ」という。）により、取替え作業を行っていた。

（付図12 現車合わせ概略図 参照）

2.6 請負会社への委託工事に関する情報

2.6.1 作業の委託に関する情報

2.5.3に記述したように、検修現場では作業を請負会社に委託する場合がある。請負会社に作業を委託する場合、検修現場は、作業項目ごとに請負会社と締結している工事請負契約により委託している。作業に必要な図面などの関係資料についても、検修現場が必要に応じて請負会社に提供し、説明を行っているとのことである。

2.6.2 本件戸閉め機械の作業指示に関する情報

本件戸閉め機械は、付表1に記述したように、平成24年10月22日に行われた直方車セの交番検査時に折損対策を実施した際に、本件車両に取り付けられた。この作業は請負会社の社員2名で行い、最終的な動作確認を直方車セの交番検査担当者1名が行った（施工した請負会社社員も立ち会っていた）。

同社によれば、この作業に伴う直方車セと請負会社との請負契約については、従

来から行ってきた戸閉め機械一式の取替え作業である「戸閉め機械取替」という契約が既にあったこと、及び折損対策に伴う戸閉め機械の取替え内容に関しては、2.5.1で記述したような事務連絡などによる図面変更などの情報がなかったため、従来と同様の作業内容で良いと認識していたことなどから、従来からあった契約の「戸閉め機械取替」として、請負会社に委託したとのことである。

2.6.3 作業の管理に関する情報

直方車セにおいて、「戸閉め機械取替」の作業を請負会社が実施する場合、2.6.2に記述したように、作業は請負会社が実施し、交番検査担当者は最終的なドアの動作確認を行うとのことである。この動作確認の際、不具合が認められた場合は、交番検査担当者は請負会社に連絡し、請負会社で対応するとのことである。また、請負会社が作業を行う際、作業に関して、請負会社で対応できない場合などは、必要に応じて、直方車セの社員が作業の補助などを行うこともあるとのことである。

2.7 本件戸閉め機械の取替えに関わった同社及び請負会社社員の口述

本件戸閉め機械は、付表1に記述したように、本重大インシデント発生の約1か月前の交番検査時に、折損対策のため本件車両に取り付けられているが、その作業時の状況について、関係者の口述は、概略以下のとおりであった。

(1) 作業員A（請負会社社員）

入社して6年目だが、戸閉め機械の取替え作業は、入社しておよそ3年目くらいで初めて経験した。初めは作業経験者に指導を受けながら作業を覚え、これまで数か月に1回程度の頻度で同作業を行ってきた。なお、作業のチェック表やマニュアルなどは従来からなかった。

本件戸閉め機械への取替えは、作業員Bとともに行うことを、当日の朝に指示された。なお、折損対策に伴う作業は、今回で3回目くらいだった。作業前に、本件戸閉め機械及び工具や部品などを準備した。その後、直方車セの交番検査担当者に作業を開始して良いか確認し、同担当者から指示があったので作業を開始した。戸閉め機械を本件車両から外す際、電磁弁などを外し、ドアと戸閉め機械の接続部のうち、L側の取り外しを行った。作業員BもR側を外し終わった後、二人で戸閉め機械を車両内の床上に降ろした。そして、床上で本件戸閉め機械を並べて置いた。

次に、本件戸閉め機械のL側にある二又の調整を開始した。折損対策前の戸閉め機械と同様の方法で、取り外した戸閉め機械のピストン棒をシリンダに全部押し付け、二又のピストン棒寄りの端部からピストン棒のCリングまでの長さを測り、本件戸閉め機械も同じ寸法になるように二又を接手ねじにねじ込ん

で、ねじ込み量によって調整した。寸法の調整後、締付ナットで仮締めし、廻止め座金の位置を調整した。作業員Bに（スパナで）二又を固定してもらいながら、締付ナット側（にかけたスパナ）をハンマーでたたいて固定した。そして廻止め座金を折り曲げ、合いマークを付けた。R側の調整も同様に行ったが、今度は本件二又を固定する側となり、作業員Bがハンマーで締付ナットを固定した。

調整後、本件戸閉め機械を二人で持ち上げ、本件車両に取り付けた。戸閉め機械の取付けは、取り外し時と同様にL側を担当した。作業員BのR側の取付けが終わった後、今回の作業の責任者だったので、取付け部を点検ハンマーなどで確認した。しばらくして、同社の交番検査の後確認に立ち会ったところ、電磁弁のパッキンからエア漏れがしていたので、手直しを行った。

作業が全て終了したため、交番検査担当者に作業終了の報告をした。

(2) 作業員B（請負会社社員）

入社4年目だが、入社後2～3年目くらいで戸閉め機械の取替えをするようになった。取替えの方法は、ベテラン社員に教えてもらった。3回くらい見習いをした後、他のベテランが作業責任者になった上で、月に数回の取替えを行ってきた。改修品の取替えについて、他の先輩社員が、廻止め座金が新たに追加されたことに疑問が出ていたことから、上司が（直方車セの）同社社員に問い合わせたことはある。それ以外に、改修品との違いについて特に思ったことはなかった。また、図面や資料などはなかった。

本件戸閉め機械への取替えは、当日の点呼時に指示があった。作業員Aが今回の作業の責任者だったので、交番検査担当者に作業を行うことを連絡した後、準備して作業を開始した。ドアと戸閉め機械の取り外しと調整、取付けはR側を担当した。戸閉め機械を（床に）降ろして本件戸閉め機械と並べ、（二又穴端部からピストンのCリングまでの）寸法を測り、（本件戸閉め機械も二又穴端部からピストンのCリングまでの寸法を）同じようにしたら、作業員Aに二又を（スパナで）固定してもらいながら、（締付ナットを）締めて、（締付ナットにかけたスパナを）ハンマーでたたいた後、廻止め座金を曲げた。そして赤色で合いマークを付けた。調整後、作業員Aと車体に本件戸閉め機械を取り付けた。

(3) 交番検査担当者（同社社員）

作業当日は、本件戸閉め機械の取替えがあることを、契約担当社員から聞いていた。交番検査と重複する形で、請負会社の二人がきて作業に入った。その後、戸閉め機械が他の部品に引っ掛かって本件車両に取り付けられないということだったので、請負会社社員二人を手伝った。（請負会社の作業が終了した

後、) 交番検査の後確認のため、エンジンをかけたところ、本件戸閉め機械の電磁弁からエア漏れがあったので、後確認に立ち会っていた作業員Aが電磁弁のパッキンの手直しを行った。その後、通常行っている合いマークの確認、取付け状態の確認、ドアの開閉試験などを行い、異常はなかった。

2.8 本件戸閉め機械についての調査

2.8.1 本件ドア及び本件戸閉め機械の調査

本重大インシデント発生後、同社の南福岡車両区竹下車両派出において、本件ドアの調査を行った結果は、概略次のとおりであった。

(1) 外観及び取付け状態等

本件ドアの外観や取付け状態に異常は認められなかった。また、2.3.4(1)に記述した上レールや戸車及び下レール等に、異常な摩耗や変形等は認められなかった。

本件戸閉め機械については、本件ドア上部にある本件戸閉め機械を覆うカバーを外したところ、R側の本件接手ねじと本件二又が分離していることを確認した。締付ナットは、付図13に示すように、本件接手ねじ端部から約3.5mmの位置(以下「掛かり代約3.5mm」という。)に付いた状態であり、廻止め座金は、本件接手ねじから落下し、付図5に示すように、本件ドアの戸袋側にあるカバー上部に引っ掛かっていた。また、本件二又は、戸吊り金具に取り付けられた状態であった。付図10に示したクリアランス(管理値はL側とR側の合計22mm以上)は、本件ドアにエアを閉扉側に供給して本件ドアが閉じている状態において測定した結果、L側11mm、R側1.5mmで小倉総車セの管理値を下回っていた。また、本件接手ねじ及び本件二又のねじ部の外観を確認した結果、ねじ山の損傷は認められなかった。廻止め座金についても、変形や摩耗などの異常は認められなかった。その他の部位については、異常は認められなかった。

(付図13 本重大インシデント直後の接手ねじの状態 参照)

(2) 戸吊り金具の状態

2.3.4(4)に記述した戸吊り金具ピン取付け穴のa、b及びc寸法(付図7参照)を、本件ドアにエアを供給して本件ドアが閉じている状態において測定した結果を表1に示す。ただし、今回本件二又と本件接手ねじが外れていたR側については、本重大インシデント直後に確認した掛かり代約3.5mmを変えずに、本件二又と廻止め座金を取り付け直して測定を行った。その際、本件二又のねじ部と本件接手ねじとは、ねじとしての掛かり代がほとんどなく、一山以下のかみ合いでなんとか取り付けられる状態であった。

表1 本件ドアの戸吊り金具の a、b、及び c 寸法測定値

	L側	R側
a 寸法 (初期寸法 20.0mm)	22.0mm	21.0mm
b 寸法	1.0mm	0.0mm
c 寸法 (管理値 2.0mm 以上)	7.0mm	5.0mm

大村線重大インシデント及び芸備線重大インシデントにおいて問題となった接手ねじに発生する曲げ応力への対策の一つとして、同社が管理してきた戸吊り金具のピン取付け穴の段付摩耗や c 寸法 (同社では 2.0mm 以上で管理) について、異常は認められなかった。

(3) 本件ドアの開閉状態

上記(2)の状態、本件ドアを手動及び電磁弁を扱い開閉させたが、異音やがたつき、引っ掛かりなどの異常は認められなかった。また、同様にワンマンドアスイッチを使用して開閉させたが、異常は認められず、戸閉めスイッチ及び戸閉め表示灯の動作も異常がないことを確認した。続いて、連続開閉試験を行ったが、本件二又が外れるなどの異常は再現しなかった。

(4) 締付ナットを緩めた状態における確認

上記(2)の状態、締付ナットが手で動く状態に緩めた上、再度開閉試験を行ったところ、R側のピストン棒が本件ドアの開閉に伴い本件二又が緩む方向におよそ 1 / 3 回転することを確認したが、本件二又が外れるなどの異常は再現しなかった。

2.8.2 繰り返しドア開閉試験 (1,906回又は3,812回)

本重大インシデント発生直後に確認した掛かり代約 3.5mm の状態で二又を取り付け、本件戸閉め機械を使用して再現試験を行った。

(1) 掛かり代約 3.5mm、締付トルク 33Nm の場合

締付ナットと二又の取付けを作業員 A 及び B によって再現し、その際の締付トルクを計測したところ、33Nm であった。同トルクで R 側の締付ナット、廻止め座金、二又を締結し、合いマークを入れ、2.3.8 で試算した取付けから本重大インシデント発生までの開閉回数である 1,906 回のドア開閉試験を実施した。その後、合いマークを確認した結果、位置のずれは発生せず、接手ねじと二又が分離することもなかった。また、締付ナットの緩みは認められなかった。

(2) 締付ナットと二又が緩んだ状態

締付ナットを緩んだ状態にした上で、上記(1)と同様に合いマークを入れ、さらに 2.8.1(4)の結果（ピストン棒が回転したこと）を踏まえ、ピストン棒にも合いマークを入れた上で開閉試験（1,906回）を行った。試験結果は、締付ナットから二又にかけて付けた合いマークの位置ずれは発生せず、接手ねじと二又が分離することもなかった。

続いて、開閉試験を継続し、2.3.8 に記述した試算の2倍である3,812回まで行った。その後、締付ナットから二又の合マークに大きな位置ずれは発生せず、接手ねじと二又が分離することもなかった。ただし、締付ナットは完全に緩んだ状態になった。

ピストン棒は、開閉40回頃に緩む方向に動き初め、開閉500回頃に動きが止まった。その後、1,700回頃に再び緩む方向に動き初め、1,800回頃に締め方向に動き始めた。開閉3,812回実施した後、ピストン棒は、試験開始状態から緩む方向に3/4回転した。

(3) 十分な掛かり代を確保した状態

小倉総車セにおいて管理している掛かり代の寸法8.8mm以上の13.8mmの掛かり代及び11mmのクリアランスを確保した上で、1,906回の開閉試験を行った結果、合マークの位置ずれは発生せず、締付ナットも緩まなかった。

2.8.3 繰り返しドア開閉試験（7,624回）

2.8.2 で記述したように、2.3.8 で試算した開閉回数の2倍で、二又及び接手ねじの分離が再現しなかったことから、試算の4倍の開閉回数（7,624回）による再現試験を行った。なお、本試験は、本件戸閉め機械と同形式で別の戸閉め機械を使用して試験を行った。

(1) 掛かり代約3.5mm、締付トルク33Nmの場合

7,624回の開閉動作後も、締付ナットは緩まず、接手ねじと二又が分離しなかった。また、ピストン棒は回転しなかった。

(2) 掛かり代20.0mm、締付トルクなしの場合

7,624回の開閉動作後、ピストン棒は、試験開始の位置から、締め方向に最大1回転、緩む方向に最大1/4回転した後、最終的に試験開始の位置に戻った。

2.8.4 本件戸閉め機械の分解調査

本件戸閉め機械を分解し、シリンダ、ピストン棒等について、動作試験、寸法測

定、曲がり測定等の調査を実施した。調査の結果、ピストン先端の止めゴムに、接触痕が認められた。ただし、止めゴムには、永久変形や落失などの異常はなかった。それ以外の箇所においては、異常は認められなかった。

2.9 掛かり代変化に伴う締結力に関する検証

掛かり代の減少に伴い、ねじの締結状態への影響を調査するため、以下のとおり検証試験を行った。

2.9.1 接手ねじに発生する応力

本件戸閉め機械と同形式の車両及び戸閉め機械を使用して、戸閉め機械のR側接手ねじにひずみゲージを貼り付け、接手ねじに発生する応力を測定した。なお、ひずみゲージは、ねじ部に貼り付けることが困難であったため、車体に取り付けられた状態で、付図14に示すように、車両の室内側を手前(①)、上部を上(②)車両の外側を奥(③)、下部を下(④)、とし、接手ねじの平滑部の①～④にあたる位置に貼り付けた。測定値は、プラスの値が引張、マイナスの値が圧縮を表し、貼り付け位置における接手ねじに発生する軸方向の表面応力となる。また、応力測定に際しては、掛かり代を小倉総車セの管理値以上の1.1mmを確保した上で行った。

(1) 通常どおりにドアを開閉した場合

ワンマンドアスイッチを使用して、通常のドアの開閉動作を20回繰り返し、試番ごとに接手ねじに発生する応力を測定した。結果は、試番ごとに大きなばらつきはなく、応力波形も似た傾向を示すとともに、応力の値も近いものであった。応力振幅が最も大きくなった試番の応力波形測定結果は概略以下のとおりであった(付図15)。

① 圧縮空気を閉扉側に供給しドア閉状態としたとき

ドアが閉まった状態において、定常応力は、ひずみゲージ貼付け位置(①)～(④)それぞれ約3MPa、-1.3MPa、0MPa、1.6MPaであった。

② ドアを開いたとき

車掌スイッチを扱い、ドアを開く場合、ドアが作動中のときは、いずれの位置においても0MPa付近で応力変動し、ドアが完全に開いたときの定常応力は、ひずみゲージ貼付け位置(①)～(④)それぞれ約-7MPa、-2MPa、4MPa、-2MPaであった。

③ ドアを閉めたとき

車掌スイッチを扱い、ドアを閉じる場合、ドア作動中は、いずれの位置においても、約10MPa程度の応力変動を伴い、その後ドアが閉まる際、瞬間的に著大な応力変動が生じることを確認した。ひずみゲージ貼付け位置(①)～(④)の応力振幅の最大値は、それぞれ約8.4MPa、30.2MPa、

6.8MPa、29.1MPaであった。

(付図14 ひずみゲージ貼付け位置、付図15 通常ドア開閉における応力波形参照)

(2) ドアに物を挟んだ場合

運行時に想定される現象として、ドアが閉まる際に、支障物を挟んだ状態(以下「戸挟み」という。)を再現し、応力測定を行った。挟む物としては、厚さ15mm、20mm、25mm、30mmの板(以下「戸挟み試験片」という。)を使用し、それぞれドア下部からの高さ0mm、1,000mmの位置に挟んだ。なお、一連のドア開閉動作の中で、ドアが閉じる直前に戸挟み試験片を挟み、開閉動作は3回繰り返した。応力振幅が最大値を記録した際の各戸挟み条件における応力測定結果を付図16に示す。付図16によれば、戸挟みがない定常作動時(上記(1)の状態)と比較して、応力振幅は最大約8MPa程度の変動であった。また、同じ高さに挟んだ場合、挟む厚さによって応力が大幅に変動するようなことはなかった。

(付図14 ひずみゲージ貼付け位置、付図16 戸挟み時の応力振幅等測定結果参照)

2.9.2 引張疲労試験機による軸方向引張圧縮繰り返し試験

2.8.2及び2.8.3で記述した再現試験時には、本重大インシデント発生直後に確認したような接手ねじと二又の分離までには至らなかったことから、2.9.1(1)で測定した接手ねじに発生する応力のうち、付図15で示した下(④)で最も応力振幅が高かった(29.1MPa)測定時(最大52.5MPa、最小-5.6MPa)の荷重(最大9.43kN、最小-1.37kN)を引張疲労試験機によって付与し、軸方向引張圧縮繰り返し試験(最大10万回)を行った。

(1) 掛かり代約3.5mm、締付トルク33Nmの場合

繰り返し試験開始前に、引張疲労試験開始状態にするため、引張荷重を0kNから9.43kNまでかけたところ、接手ねじと二又が分離した。分離時の荷重は、疲労試験の予定荷重と同じ9.43kNであった。接手ねじのねじ山は、締結部分に変形が認められた。また、二又のねじ山がせん断破壊していることを確認した。

(2) 掛かり代約3.5mm、締付トルクなしの場合

繰り返し数2,686回で、接手ねじと二又が分離した。接手ねじのねじ山は、締結部分に摩耗及び変形が認められた。また、二又のねじ山がせん断破壊していることを確認した。

(3) 掛かり代10.0mm、締付トルク33Nmの場合

繰り返し数10万回においても、接手ねじと二又は分離しなかった。試験後、締付ナットのトルクを測定したところ、33.1Nmであり、締付トルクの低下はなかった。また、接手ねじ及び二又のねじ山に変形や摩耗は認められなかった。

(4) 掛かり代10.0mm、締付トルクなしの場合

上記(3)と同様に、繰り返し数10万回においても、接手ねじと二又は分離しなかった。ただし、接手ねじのねじ山に、若干の摩耗が認められた。

(付図17 引張疲労試験概念図 参照)

2.9.3 引張破断試験

掛かり代の違いによる接手ねじと二又の締結力への影響を確認するため、引張破断試験機を使用し、接手ねじ軸方向に荷重を負荷し、0kNから徐々に増加させ、接手ねじと二又が分離又は破壊するときの荷重を測定した。

(1) 掛かり代約3.5mm、締付トルク33Nmの場合

接手ねじと二又が分離した。試験中の引張荷重の最大値は10.58kNであった。接手ねじのねじ山は、一部変形が認められた。また、二又のねじ山がせん断破壊していることを確認した。

(2) 掛かり代約3.5mm、締付トルクなしの場合

接手ねじと二又が分離した。試験中の引張荷重の最大値は11.85kNであった。上記(1)と同様に、接手ねじのねじ山が一部変形し、二又のねじ山がせん断破壊した。

(3) 掛かり代10.0mm、締付トルク33Nmの場合

接手ねじと二又のねじ部がせん断破壊し、ねじの掛かりが一段ずれた。引張荷重の最大値は、77.43kNであった。

(4) 掛かり代10.0mm、締付トルクなしの場合

試験中、二又と試験機を固定している治具のピンが破断した。試験後、接手ねじと二又が回らない状態となった。引張最大荷重は、77.31kNであった。

(付図18 引張破断試験概念図 参照)

2.10 本重大インシデントと類似の事象についての情報

同社は、本重大インシデント発生直後に、本件戸閉め機械と同形式及び同形状の接手ねじを使用している戸閉め機械を搭載する車両について、掛かり代の状態等に関する一斉点検を実施した。なお、点検対象は、同社内で全1,211か所であり、対策

品に交換された接手ねじは946か所であった。

点検の結果、同社は、点検対象中21か所において、小倉総車セの掛かり代の管理値に満たない箇所が確認されたため、掛かり代の調整を行った。なお、小倉総車セの掛かり代の管理値に満たなかった箇所は全て対策品であった。また、同社によれば、点検対象全ての箇所において、締付ナットの緩みはなかったとのことである。

また、同社の記録によれば、同社で発生した大村線重大インシデント発生以降、本重大インシデントと類似の事象（接手ねじと二又が分離した事象）は、同社内において発生していなかった。

2.1.1 乗務員に関する情報

本件運転士 男性 50歳

甲種内燃車運転免許

平成8年3月27日

2.1.2 気象に関する情報

本重大インシデント発生当時の本重大インシデント現場付近の天気は、晴れであった。

3 分析

3.1 走行中に本件ドアが開いた状況に関する分析

2.1.1に記述したように、本件運転士は、

- (1) 乗務した香椎駅から須恵駅までは、異常がなかった
- (2) 須恵駅で右側のドアを開閉した際には、異常がなかった
- (3) 須恵駅を出発後、力行ノッチを扱い、速度約40km/hまで加速した後、ノッチオフをして惰行運転を行った直後に戸閉め表示灯の滅灯を認めたと口述している。

本件列車は、2.3.7(2)に記述したように、戸閉め表示灯と連動する戸閉め連動継電器によって、戸閉め表示灯が滅灯しているときは力行回路が構成されないが、本件運転士が、須恵駅まで異常なく運行し、本件ドアの開閉動作にも異常がなかったと口述していること、及び須恵駅を出発後、速度約40km/hまで問題なく力行可能な状態であったこと、また2.8.1に記述したように、本重大インシデント発生後に行った車両調査において、本件ドア、戸閉めスイッチ、及び戸閉め表示灯に異常が認められなかったことなどから、本件ドアは、本件列車が須恵駅を出発して速度約40km/hまで加速した後、ノッチオフして惰行運転に移行した際に開いた可能性が考えられる。

ただし、2.1.1 に記述したように、停止後、本件運転士が乗客に声をかけるまで、本件ドア近くに乗車していた乗客は本件ドアが開いたことに気付かなかったことから、どの程度本件ドアが開いたかについては、明らかにすることができなかった。

また、本件ドアが開いた状況は以下のとおりであったと考えられる。

- (1) 本件列車が須恵駅を出発して速度約40 km/h まで加速した後、ノッチオフして惰行運転に移行した際、加速度の変化による開閉方向の慣性力の作用によって、本件接手ねじと本件二又が分離した
- (2) 本件接手ねじと本件二又が分離したため、本件ドアは、上レールに吊られた状態でその自重のみが作用する状態となり、上レールと戸車間の摩擦力を除いて、開閉方向にフリーな状態となったことにより、本件ドアが開いた
- (3) 本件ドアが開いたことにより、本件ドアの戸閉めスイッチの接点が離れたため、運転台の戸閉め表示灯が滅灯した
- (4) 本件運転士が戸閉め表示灯が滅灯したことに気づき、直ちに非常ブレーキを扱った

本件ドアは、本件列車の進行方向の後方側であるR側に位置しているため、非常ブレーキ時、本件ドアは閉まる方向に動いていた可能性が考えられる。また、本件列車の停止後、本件ドアが約30 cm 開いていたことについては、非常ブレーキによって本件ドアに生じた進行方向の慣性力が、停止後、L側ドアなどからの反力を受けたことによるものと考えられる。

なお、本件列車は運転状況を記録する装置は搭載していないが、本件列車が本重大インシデント直前の速度約40 km/h から停止するまでに必要なブレーキ距離は、推算すると約61 m であることから、本件運転士が戸閉め表示灯の滅灯を認めブレーキを扱った地点は、21 k 739 m 付近であった可能性があるものと考えられる。

3.2 折損対策に関する分析

3.2.1 折損対策による掛かり代への影響に関する分析

付表1に記述したように、折損対策は、材質やねじの直径変更によって、接手ねじの疲労強度を向上させるのが目的であった。2.5.1 で記述したように、A社が同社に対して図面変更の申請をした際、申請時の資料に、二又の寸法が10 mm 減少し掛かり代が変化する可能性があることについて注意を促すような記述がなかったこと、及び折損対策前後の図面において、二又の寸法は10 mm 減少していたが、二又のピン穴中心部からシリンダ端部までの寸法が同じであったことから、A社は、現車合わせなどの施工方法によっては、二又の寸法の減少が掛かり代に影響を与える可能性があることについて、十分に検討していなかったと考えられる。このことについては、同社で行っている現車合わせによる掛かり代の調整方法など、鉄道事

業者における施工方法を十分に把握していなかったことによるものであると考えられる。これらのことから、戸閉め機械メーカーであるA社は、鉄道事業者と事前に施工方法等について十分な調整を行った上で、適切な設計変更案を提案することが必要である。

付図19に、掛かり代約3.5mmで、現車合わせから推定した本件戸閉め機械と交換した折損対策を行っていない戸閉め機械の掛かり代を含む寸法関係を示す。付図19に示しているように、推定した折損対策前の掛かり代は、締付ナットの厚さ(7mm)以上である13.5mmが確保されており、2.3.4(3)で記述したA社の推奨値である締付ナットの厚さ以上の寸法を確保していること、及び2.3.9(1)①に記述した小倉総車セの寸法管理値(9.0mm)以上であることがわかる。したがって、現車合わせによって、従来の戸閉め機械から折損対策が施された戸閉め機械に取替えを行う場合、取替え前の掛かり代が、掛かり代管理寸法内であるにもかかわらず、折損対策品では掛かり代が不足する場合が生じることがわかる。

(付図19 推定される取替え前の掛かり代 参照)

3.2.2 折損対策に伴う図面変更・管理・周知に関する分析

同社は、折損対策に伴う図面変更に関して、2.5.1に記述したように、同社で定めた手順に従い承認まで行っていたことから、図面変更までの手続きに関しては問題なかったものと考えられる。

変更後の図面は、同社(本社)のみで管理しており、施工を行う検修現場などに対して、周知されることはなかった。同社によれば、2.5.1に記述したように、戸閉め機械本体の取付けに変更がないという認識があったため、周知は行わなかったとのことである。

しかしながら、2.5.4で記述したように、検修現場の一つである小倉総車セの作業者は、従来の掛かり代の管理値のままでは、掛かり代が不足することに気付いたため、直ちに小倉総車セ内で寸法管理値を変更していること、及び2.6.2に記述したように、直方車セにおいて、従来の「戸閉め機械取替」の契約と同様の作業で可能と判断し、請負会社に対して十分な説明がなされなかったこと、及び2.7(2)に記述したように、請負会社の社員が、折損対策の内容に疑問を持ったため、同社に問合せを行ったと口述していることなどから、検修現場に、折損対策に伴う施工に必要な情報が十分に伝わっていなかったものと推定される。

同社(本社)が検修現場などに対して図面変更の周知を行わなかったのは、3.2.1で記述したように、A社と同様、折損対策によって、二又の全長が10mm短くなったことにより、現車合わせを行った場合、掛かり代が減少する可能性について、十分に把握していなかったことによるものと推定される。

これらのことから、同社は戸閉め装置を含め、重要な車両部品の変更を行う際は、施工に与える影響について、強度だけでなく寸法関係についても、十分に確認を行うことが必要である。

また、車両部品の変更によって図面変更を行った場合、物品番号の変更が伴うものだけでなく、車両の検査や作業に少しでも影響を与える可能性があると考えられるものについては、適切な方法によって、実際の作業を行っている検修現場等に対して必要な情報の周知を行うことが必要である。さらに、同社は既に、検修現場などから図面を確認できる図面管理システムを導入しているため、同システムを有効に活用していくことが望ましいと考えられる。

3.2.3 折損対策の指示に関する分析

図面変更後、折損対策を指示するため、同社（本社）は、対策通知によって検修現場及び請負会社に周知を行っていたが、2.5.2 に記述したように、同対策通知には、折損対策に伴う接手ねじ及び二又の図面変更などの詳細な記述はなかった。同社では、2.5.1 で記述したように、事務連絡によって図面変更を周知することとしていることから、同対策通知に図面変更に関する記述がなかったものと考えられるが、事務連絡によって図面変更に関する情報が周知されていない状況で、対策通知のみによる指示を行ったことが、2.6.2 で記述した、直方車セに不正確な認識を与えてしまったことに関与したものと考えられ、結果として、請負会社まで正確な情報が伝わらなかったものと考えられる。

したがって、同社の車両故障防止対策を周知する対策通知について、重要な車両部品の変更に伴う図面変更など、車両設計に関わる項目の変更が生じた場合、必要に応じてその旨を併せて記述するべきである。

3.2.4 折損対策の施工に関する分析

2.5.3 で記述したように、同社（本社）は、小倉総車セ以外の検修現場に対して、折損対策に関する講習会を複数回開催し、循環取替えからのスピードアップを図るなど、折損対策を早期に終了させるための施策を推し進めていたものと考えられる。

しかしながら、折損対策に伴う寸法変更により掛かり代が不足となる可能性について周知されていない状況において、2.5.4 に記述した掛かり代を管理していない検修現場が折損対策を進めたことが、小倉総車セのように掛かり代不足を作業者が認識できなかったことに関与した可能性があるものと考えられる。ただし、特別な指示がなかった場合においても、掛かり代などのねじ締結の基本事項については、作業員自ら認識できるような教育などを、同社及び請負会社は作業員に対して行っていくことが望ましいものと考えられる。

改修工事などの施工は、検修現場や請負会社が行っているため、設計・製造を行うメーカーなどと同社の企画部門である同社（本社）で対策を決め、図面変更を行い、施工を指示するような場合、その対策が施工方法に与える影響についても十分に配慮することが重要である。したがって、対策を決定し施工を指示する前の段階で、必要に応じて、検修現場などが、施工方法についても適切に関与できるような仕組みを構築することが望ましいと考えられる。

また、2.5.4 に記述したように、施工を行った検修現場である小倉総車セにおいては、作業者が掛かり代の不足に気付いたため、小倉総車セ内の管理値を変更しているが、これらの情報が、同社（本社）や他の検修現場に伝わることはなかった。施工を行う検修現場などにおいても、設計変更によって車両部品の管理値などを変更する場合は、変更に至った要因を検討し、必要に応じて、同社（本社）や他の検修現場に対して情報共有することが望ましい。

3.3 請負会社への委託工事に関する分析

本件戸閉め機械は、2.5.3 に記述したように、直方車セにおいて折損対策を施した後、請負会社によって本件車両に取り付けられた。2.6.1 で記述したように、同社と請負会社との間で工事請負契約を結ぶ場合、検修現場は、必要に応じて請負会社に図面などの関係資料を提供しているとのことである。3.2.2 に記述したように、同社（本社）から直方車セに、折損対策に関する図面変更や掛かり代への影響に関する情報が周知されていなかったため、直方車セは、請負会社に対して掛かり代に関する情報を提供することができず、2.6.2 で記述したように、従来から行ってきた戸閉め機械の取替えに関する契約によって工事委託したものと考えられる。また、2.5.4 に記述したように、小倉総車セ以外の検修現場では、掛かり代の管理を行っていないことが、折損対策に伴う掛かり代への影響について、直方車セが認識することができなかったことに関与した可能性が考えられる。

以上の結果、請負会社においても、従来の「戸閉機械取替」の請負工事と同様な工事であると認識したことにより、掛かり代が減少する可能性のある現車合わせによって、本件戸閉め機械の取替えを実施したものと考えられる。

3.4 本件戸閉め機械に関する分析

3.4.1 戸閉め機械の調査結果に関する分析

2.8.1(1)に記述したように、本件接手ねじ及び本件二又のねじ部は、変形や摩耗が認められなかったことから、本件接手ねじと本件二又のねじ締結部に、著大な応力が作用してねじ部がせん断破壊したのではなく、ねじが緩んだことによって、本件接手ねじと本件二又が分離したものと考えられる。

また、2.8.1(1)に記述したように、ピストン棒のクリアランスが、小倉総車セの管理値を下回っていたこと、及び2.8.4で記述した分解調査の結果、ピストン棒の先端にあるピストン先端の止めゴムに接触痕が認められたことから、本件ドアの閉扉ごとに、R側とL側のピストン先端の止めゴム同士が接触していたものと考えられる。

2.8.1(2)で記述した戸吊り金具取付け穴の寸法は、同社の管理値内であったことから、大村線重大インシデント及び芸備線重大インシデントの原因となった、接手ねじが折損に至るような著大な曲げ応力は、本件接手ねじに対して加わっていなかったものと考えられる。

2.8.1(4)、2.8.2及び2.8.3より、ピストン棒の回転に関しては、概略以下のとおりであった。

- (1) ピストン棒が回転するのは、締付ナットが緩んだ状態においてのみであった。
- (2) ピストンの回転方向と回転量は、試験ごとに再現性がなく、ランダムであった。

これらのことから、締付ナットが緩んだ場合、廻止め座金があっても、ピストン棒の回転すなわち接手ねじ自体の回転により、接手ねじと二又が緩む可能性があるものと考えられる。

3.5 接手ねじ及び二又に関する分析

3.5.1 折損対策による掛かり代の変化に関する分析

2.3.9に記述したように、折損対策前の戸閉め機械は、掛かり代が9.0mm以上確保するように管理されていた。掛かり代が管理値下限の9.0mmとして、現車合わせによる調整を行って折損対策後の戸閉め機械に取替えを行った場合の掛かり代を試算したところ、0.0mmとなる。よって、現車合わせを行う場合、折損対策前の掛かり代の管理値が下限値からどの程度余裕があったかによって、折損対策後の掛かり代が一意的に決まり、小倉総車セ以外の検修現場において調整されていたものと考えられる。

3.5.2 接手ねじに発生する応力の測定結果に関する分析

2.9.1に記述した接手ねじに発生する応力の測定結果から、接手ねじに作用する応力に関しては、概略以下のとおりであるものと考えられる。

- (1) 戸閉時のドアが閉じる直前に、瞬間的な大きな応力変動が生じる。
- (2) 上記(1)の応力発生時、接手ねじの下(④)及び上(②)の位置における応力振幅と比較して、手前(①)及び奥(③)の位置の応力振幅は約1/4

程度の値となったことから、接手ねじに発生する主な応力は、上下方向の曲げ応力であると考えられる。なお、下(④)の応力は平均値が引張側であり、上(②)の応力は平均値が圧縮側となるような変動曲げ応力であった。

- (3) ドアが閉まった状態では、接手ねじに定常応力が発生しており、接手ねじの位置によって若干の差があるとともに、主な応力は引張となっていた。
- (4) ドアの作動中においては、大きな応力は発生しない。
- (5) 戸挟み時の応力振幅は、戸挟みのない状態と比較して、その差は最大で約8MPaであること、及び通常の運用で戸挟みが常時発生する状態である可能性は低いと考えられることから、戸挟みによる接手ねじへの著大な応力によって、本件接手ねじと二又が分離した可能性については小さいものと考えられる。

上述の(1)～(5)から、接手ねじに生じる主な応力は、ドアが閉じる直前に発生し、上下方向の曲げ応力であると考えられる。

また、応力振幅の最大値として30.2MPaを測定したが、接手ねじの材料であるS45C-Hの疲労限度である約215～355MPaに対して十分に小さいことがわかる。

3.5.3 引張疲労試験及び引張破断試験に関する分析

(1) 引張疲労試験

2.9.2(1)に記述したように、掛かり代と締付トルクを本重大インシデント発生時の状態に再現した場合、引張疲労試験前に試験荷重まで荷重を加えた段階で接手ねじと二又が分離し、二又のねじ部がせん断破壊していた。このことについては、以下の二つの原因が考えられる。

- ① 2.9.1で実測した応力は、3.5.2に記述したように主に曲げ応力と考えられることから、疲労試験機の制約上、曲げ方向に荷重を付加することができず、軸方向にこの曲げ応力の応力振幅最大値を付加したため、実際に本件接手ねじに生じた軸方向の応力より過大になったと考えられること
- ② 3.6.1で後述する掛かり代がほとんどない状態において、ねじが掛かるか否かの境界付近で、接手ねじの回転方向の位置による重大インシデント発生直前時との僅かな差が生じたこと

一方、2.9.2(2)に記述したように、締付トルクなしの場合、引張疲労試験前に荷重を加えた段階では接手ねじと二又は分離に至らなかった。このことについては、締付ナットによる二又と接手ねじの軸力が引張疲労試験開始前の段階で付加されていなかったため、ねじ山に加わる軸方向の荷重、すなわち、ねじ山へのせん断応力が、締付トルクを付与した場合に比べて低かった

ことによるものと考えられる。ただし、締付トルクなしの場合においても、繰り返し数が2,686回で、ねじ山がせん断破壊し、二又と接手ねじが分離するに至っている。このことについては、2.3.8 に記述した本重大インシデントに至るまでの本件ドア開閉回数を考慮した場合、締付ナットの締付トルクがない場合、定期検査の前に、ねじ山がせん断破壊し、接手ねじが二又から分離してドアが開く可能性もあったことを示している。

2.8.1(1)に記述したように、本重大インシデント発生直後の接手ねじのねじ山は、せん断破壊を起こしていないことから、今回の引張疲労試験で検証した結果と直接結び付けることはできないが、引張疲労試験では、掛かり代不足の状態においてねじ山がせん断破壊し、二又と接手ねじが分離していること及び掛かり代を十分に確保した場合は、締付トルクの有無にかかわらず、10万回の引張疲労試験後も分離に至らなかったことから、掛かり代不足によって単位ねじ山あたりに加わる軸力、すなわち、せん断応力が増大するものと考えられる。

ここで、軸力を F 、掛かり代を L 、おねじの谷の直径を d_1 、めねじの谷の直径を D_1 とすると、おねじのねじ山にかかるせん断応力 τ_b 、及びめねじのねじ山にかかるせん断応力 τ_n は、次の式^{*15}で求められる。

$$\tau_b = F / (\pi \cdot d_1 \cdot L)$$

$$\tau_n = F / (\pi \cdot D_1 \cdot L)$$

上記の式により、せん断応力は、ねじ掛かり代に反比例することから、同じ軸力が付加された場合、掛かり代が大きいほど、ねじ山にかかるせん断応力が低下することがわかる。掛かり代が、メーカー推奨に近い10mmと本重大インシデント発生後の掛かり代約3.5mmの状態においては、せん断応力は、1:2.9となることから、ドアの開閉によって生じる同一の応力に対して、約3倍の差が生じることがわかる。本件接手ねじの場合、約二山の不完全ねじ部があるため、ねじの締結に関与していたねじ部に対しては、約3倍を大きく上回る応力が生じていたものと考えられる。

(2) 引張破断試験

掛かり代約3.5mmの場合、締付トルクの有無にかかわらず、二又のねじ山がせん断破壊したことにより、接手ねじと二又が分離していることから、上記(1)で記述したように、掛かり代不足によって、ねじ部に著大なせん断応力が生じたため、ねじ山の破壊に至ったものと考えられる。また、締付ト

^{*15} 例えば、平田宏一著「絵とき「機械設計」基礎のきそ」(日刊工業新聞社、2006年)。

ルクなしの方が、引張強度が若干高かったのは、上記(1)同様に、あらかじめねじ山に生じるせん断応力の差によるものであると考えられる。

掛かり代が10mmの場合、締付トルクの有無によらず、いずれも破断に至ったが、引張破断荷重が、掛かり代約3.5mmの場合と比較して約8倍程度となり、明らかな有意差が生じることを確認した。破壊モードが、ねじ山のせん断破壊と治具の破損に分かれたのは、上記の締付トルクの有無が関与したものと考えられる。

3.5.4 クリアランスの管理に関する分析

2.3.9(1)に記述したように、同社によれば、小倉総車セ以外の検修現場でクリアランスは管理していないとしていること、及び5.2(2)で後述する本重大インシデント発生後の緊急点検の結果、クリアランス調整不足の箇所が60か所確認されたことから、折損対策前後も含め、戸閉め機械を小倉総車セ以外で取替えを行った場合、クリアランスが調整されなかった可能性があるものと考えられる。その結果、本件ドアを閉じた際、左右のピストン先端の止めゴムが接触し、接手ねじに生じる応力による負荷が通常より大きくなっていったものと考えられる。

3.6 本件接手ねじと本件二又が外れた原因に関する分析

3.6.1 本件接手ねじと本件二又が外れる直前の状況に関する分析

2.8.1(1)に記述したように、本重大インシデント発生直後に確認したところ、本件接手ねじ端部から約3.5mmの位置に、合いマークを手前にして締付ナットが付いた状態であったこと、3.6.2に後述するように、本件接手ねじと本件二又の間には廻止め座金を取り付けられていたと考えられること、及び2.1に記述したように、本件運転士は、戸閉め表示灯が滅灯するまで、本件ドアに異常がなかったと口述していることから、締付ナットと本件二又は、分離する直前において、本件接手ねじの端部から約3.5mmの部分で締結されていたものと推定される。

本件接手ねじのピッチは2mmであること、及び2.3.4(3)に記述したように、約二山の不完全ねじ部があることから、実際の掛かり代はほとんどなかったと考えられ、ねじ山の僅かな部分だけで締結されていたものと考えられる。

3.6.2 本件接手ねじと本件二又が分離した原因に関する分析

2.7に記述した口述、及び廻止め座金と締付ナット、本件二又に合いマークが確認されたことから、本件戸閉め機械に取り付けられた際の本件二又と本件接手ねじは、他の戸閉め機械と同様の方法で締め付けられ、締付ナットと廻止め座金も他の戸閉め機械と同様に取り付けられていたものと考えられる。

その際、3.6.1 に記述したように、掛かり代がほとんどない状態であったと考えられることから、本件二又と締付ナットを他の戸閉め機械と同等のトルクで締めた際、締結部分の一部のねじ山に加わるせん断応力が著大となり、破壊には至らなかったが、一部のねじ山の塑性変形による弾性変形の低下を招いたことによって、その復元力である軸力すなわち締結力が低下するという非回転ゆるみが発生していた可能性があるものと考えられる。

また、非回転ゆるみが生じていたことに加え、3.5.2 で記述したドアの開閉による応力が繰り返し加わったこと、及び走行中の振動が繰り返し加わったことによって、外力による回転ゆるみが生じ、本件接手ねじと本件二又の軸力が低下したのものと考えられる。

さらに、2.8.1 に記述したように、R側ピストン棒のクリアランスが小倉総車セの管理値を下回っていたことから、本件ドアの閉扉時に、R側とL側のピストン先端の止めゴム同士が接触して発生した軸方向の応力が、軸力低下の促進に関与した可能性があるものと考えられる。

上述した緩みによって軸力が低下した状態になった後、3.4.1 に記述したように、ピストン棒の回転すなわち本件接手ねじの回転が本件接手ねじと本件二又の分離に関与したのものと考えられる。

これらのことから、最終的に、軸力が低下した状態にあった本件接手ねじと本件二又が、本重大インシデント発生前に、力行から惰行運転に移行した際の加速度の変化による慣性力によって、分離に至ったものと考えられる。

4 結 論

4.1 分析の要約

本重大インシデントにおける分析結果をまとめると、以下のとおりである。

(1) 走行中に本件ドアが開いた状況

本件ドアは、本件列車が須恵駅を出発して速度約40km/hまで加速した後、ノッチオフして惰行運転に移行した際、本件接手ねじと本件二又が分離したため、開いた可能性が考えられる。(3.1)*¹⁶

(2) 折損対策による掛かり代への影響

A社は、折損対策によって二又のピストン方向の寸法が減少することにより、接手ねじとの掛かり代に影響を与える可能性があり、取付け時に注意を要する

*¹⁶ 本項の各文章末尾に記載した数字は、当該記述に関連する「3 分析」の主な項番号を示す。

ことについて、十分に検討していなかったと考えられる。このことについては、同社で行っている現車合わせによる掛かり代の調整方法を十分に把握していなかったことによるものであると考えられる。これらのことから、A社は、鉄道事業者と事前に施工方法等について十分な調整を行った上で、適切な設計変更案を提案することが必要である。(3.2.1)

(3) 折損対策に伴う図面変更・管理・周知

同社は戸閉め装置を含め、重要な車両部品の変更を行う際は、施工に与える影響について、十分に確認を行うことが必要である。また、車両部品の変更によって図面変更を行った場合、車両の検査や作業に少しでも影響を与える可能性があると考えられるものについては、適切な方法によって、実際の作業を行っている検修現場等に対して必要な情報の周知を行うことが必要である。さらに、図面管理システムを有効に活用することが望ましい。(3.2.2)

(4) 折損対策の指示

図面変更に関する情報が周知されていない状況で、対策通知のみによる指示を行ったことが、直方車セに不正確な認識を与え、請負会社まで正確な情報が伝わらなかったものと考えられる。したがって、対策通知について、重要な車両部品の変更に伴う図面変更など、車両設計に関わる項目の変更が生じた場合、必要に応じてその旨を併せて記述すべきである。(3.2.3)

(5) 折損対策の施工

改修工事などの施工は、検修現場や請負会社が行っているため、設計・製造を行うメーカーなど同社の企画部門である同社（本社）で対策を決め、図面変更を行い、施工を指示するような場合、その対策が施工方法に与える影響についても十分に配慮することが重要である。したがって、対策を決定し施工を指示する前の段階で、必要に応じて、検修現場などが、適切に関与できるような仕組みを構築することが望ましいと考えられる。(3.2.4)

(6) 戸閉め機械の調査結果

本件接手ねじ及び本件二又のねじ部は、変形や摩耗が認められなかったことから、本件接手ねじと本件二又のねじ締結部に、著大な応力が作用してねじ部がせん断破壊したのではなく、ねじが緩んだことによって、これらが分離したのものと考えられる。

本件ドアは、閉扉時にR側とL側のピストン先端の止めゴム同士が接触していたものと考えられる。また、戸吊り金具の寸法が同社の管理値内であったことから、本件接手ねじが折損に至るような著大な曲げ応力は本件接手ねじに加わっていなかったものと考えられる。さらに、締付ナットが緩んだ場合、ピストン棒の回転により、接手ねじと二又が緩む可能性があるものと考えられる。

(3.4.1)

(7) 接手ねじに発生する応力の測定結果

接手ねじに生じる最大の応力は、ドアが閉じる直前に発生し、その主なものは上下方向の曲げ応力であると考えられる。(3.5.2)

(8) 引張疲労試験及び引張破断試験

引張疲労試験では、掛かり代不足の状態においてねじ山がせん断破壊し、二又と接手ねじが分離していること、及び掛かり代を十分に確保した場合は、締付トルクの有無にかかわらず、10万回の引張疲労試験後も分離に至らなかったことから、掛かり代不足が、ねじ山に加わるせん断応力を増大させたものと考えられる。

引張破断試験では、掛かり代の大小によって、引張破断荷重に明らかな有意差が生じることを確認した。(3.5.3)

(9) 本件接手ねじと本件二又が外れる直前の状況

本件接手ねじと本件二又は、分離する直前において、本件接手ねじの端部から約3.5mmの部分で締付ナットにより締結されていたものと推定される。実際の掛かり代はほとんどなかったと考えられ、ねじ山の僅かな部分だけで締結されていたものと推定される。(3.6.1)

4.2 原因

本重大インシデントは、本件戸閉め機械の本件二又と本件接手ねじが、掛かり代がほとんどない状態で締結されたことによって、本件二又と本件接手ねじの軸力が低下した後、本件二又と本件接手ねじが分離に至ったため、走行中に本件ドアが開いたことにより発生したものと推定される。

軸力が低下したことについては、掛かり代がほとんどない状態で本件二又と本件接手ねじが締結されたことにより、締結部分のねじ山に加わるせん断応力が著大となったことにより、一部のねじ山に塑性変形が生じたことにより非回転ゆるみが発生したこと、及びドアの開閉や走行中の振動などの外力によって回転ゆるみが発生したことによるものであると考えられる。

上述した緩みによって軸力が低下した状態において、ピストン棒の回転、及び本重大インシデント発生前の運行中に、力行から惰行運転に移行した際の加速度の変化による慣性力によって、本件接手ねじと本件二又の分離に至ったものと考えられる。

掛かり代が不足していたことについては、折損対策で図面変更したことにより掛かり代に影響を与える可能性があり、取付け時に注意を要することについて、同社及び図面変更を提案した戸閉め機械メーカーにおいて十分な検討がなされなかったため、作業者に作業を行う上で必要な情報が周知されなかったことによるものであると考え

られる。

5 再発防止策

5.1 必要と考えられる再発防止策

5.1.1 車両部品の変更などに伴う確認・周知方法

同社は、戸閉め装置を含め、重要な車両部品の変更を行う際は、施工に与える影響について、十分に確認を行うことが必要である。また、戸閉め機械メーカーは、鉄道事業者と事前に施工方法等について十分な調整を行った上で、適切な設計変更案を提案することが必要である。

また、同社は、車両部品の変更によって図面変更を行った場合、車両の検査や作業に少しでも影響を与える可能性があると考えられるものについては、適切な方法によって、実際の作業を行っている検修現場等に対して必要な情報の周知を行うことが必要である。

5.1.2 施工指示の方法について

同社の車両故障防止対策を周知する対策通知について、本重大インシデントのように、重要な車両部品の変更に伴う図面変更など、車両設計に関わる項目の変更が生じた場合、必要に応じてその旨を併せて記述するべきである。

5.1.3 検修作業者に対する教育について

本重大インシデントについては、ねじ締結部における極端な掛かり代不足が発生の要因となっている。このため、この種の重大インシデントを防止するために、鉄道事業者は、特別な指示がなかった場合においても、掛かり代などのねじ締結の基本事項について、作業者自ら認識できるような教育を、作業者に対して行っていくことが望まれる。

5.2 本重大インシデント後に同社が講じた措置

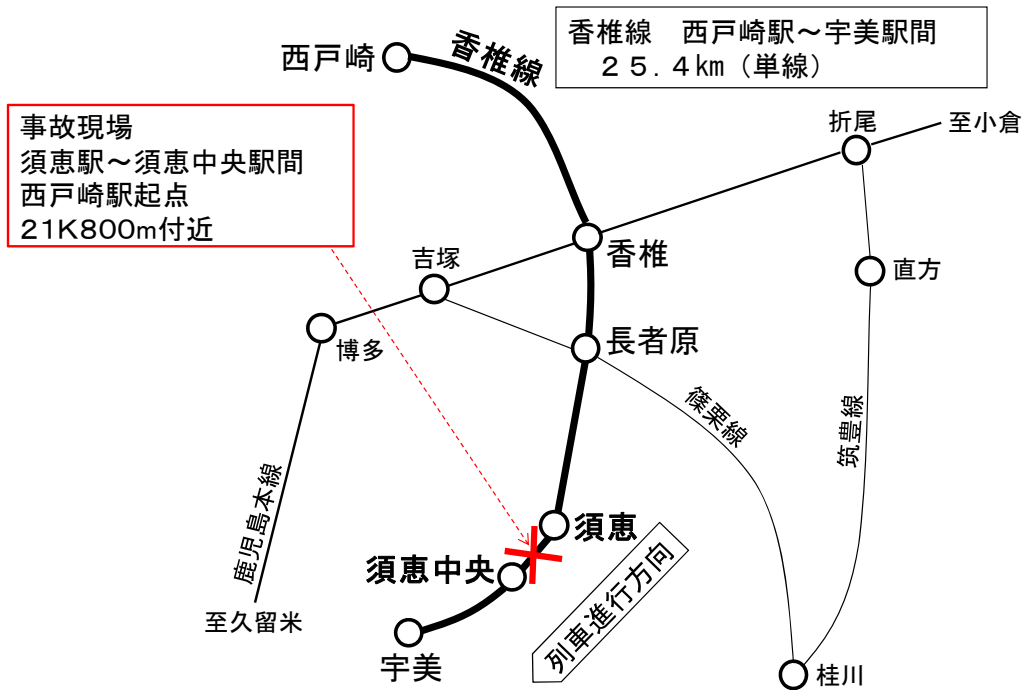
同社は、本重大インシデントの発生後、以下の措置を講じた。

- (1) 車両部品の図面変更を実施した場合、物品番号の変更の有無にかかわらず、全ての場合において事務連絡を発出し、検修現場への周知を行うこととした。
- (2) 平成24年11月27日、一斉調査指示書を発出し、本件戸閉め機械と同形式（TK106A）及び同形状の接手ねじを使用している戸閉め機械（TK105）を搭載する車両について、二又と接手ねじの掛かり代及びクリ

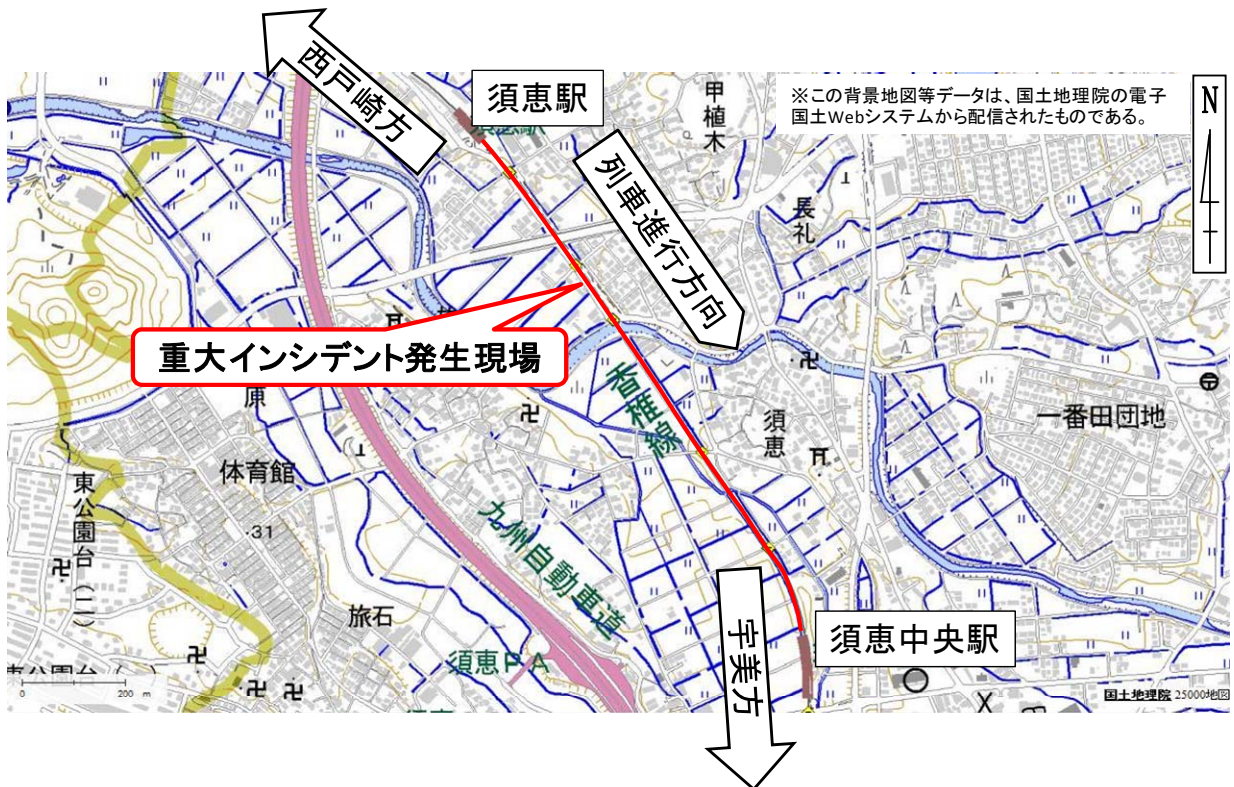
アランスなどの一斉点検を指示した。点検の結果、対象となる1,211か所中、掛かり代不足で21か所を調整し、クリアランス不足で57か所調整を行った。また、掛かり代及びクリアランス不足で3か所、その他の理由で19か所の調整を行った。

- (3) 平成24年12月10日、対策通知を検修現場に発出し、本件戸閉め機械と同形式の戸閉め機械の取替えを行った際、以下の確認を行うように指示した。
- ① クリアランス量を測定し、左右の合計が22mm以上になるように調整すること。
 - ② 掛かり代を、小倉総車セと同様の管理値で管理すること。
 - ③ 廻止め座金を取り付けた後、締付ナット及び二又が確実に締まっていることを打音検査によって確認し、合いマークを付けること。打音検査については、締まり方向で行うこと。
- (4) 上記(3)の対策通知によって、検修現場に対して、戸閉め機械の取替えを請負会社に委託する際、その仕様書に、上記(3)①～③の項目を追加するように指示した。
- (5) 同社は、本件戸閉め機械と同形式の戸閉め機械を使用している他のJR各社に対して、本件重大インシデントの周知を行った。

付図1 香椎線の路線図



付図2 重大インシデント発生現場付近の地形図



付図3 本件列車の運転台内にある戸閉め表示灯の位置等



運転台



本件ドア

本件車両(キハ47-9031)



戸閉め表示灯
(列車の全てのドアが閉まっているときに点灯し、1か所でも開くと滅灯する。)



列車進行方向

約30cm

本件ドア

本重大インシデント発生直後のドア開き状態(再現)

※ ただし、ドア上部のカバー等を外している状態。



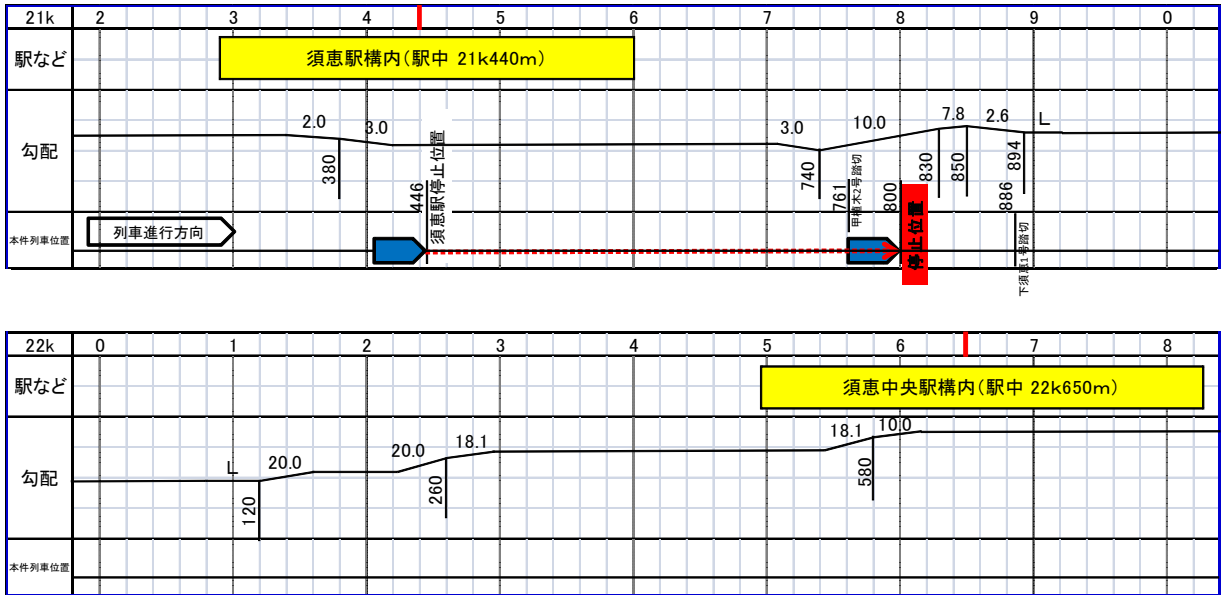
列車進行方向

車側灯
(点灯状態)

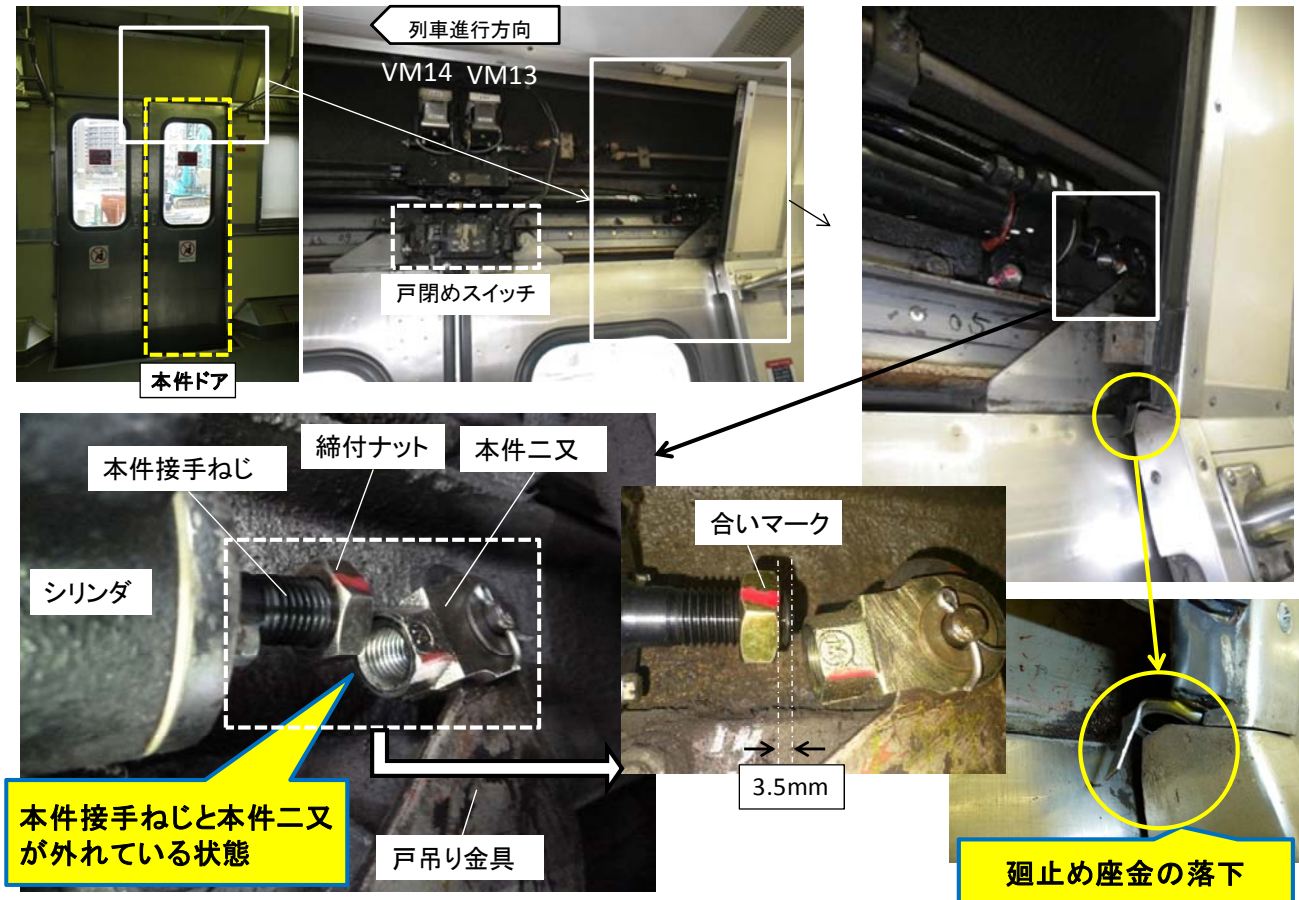
本件ドア

本件ドアから右側車側灯を見た状態

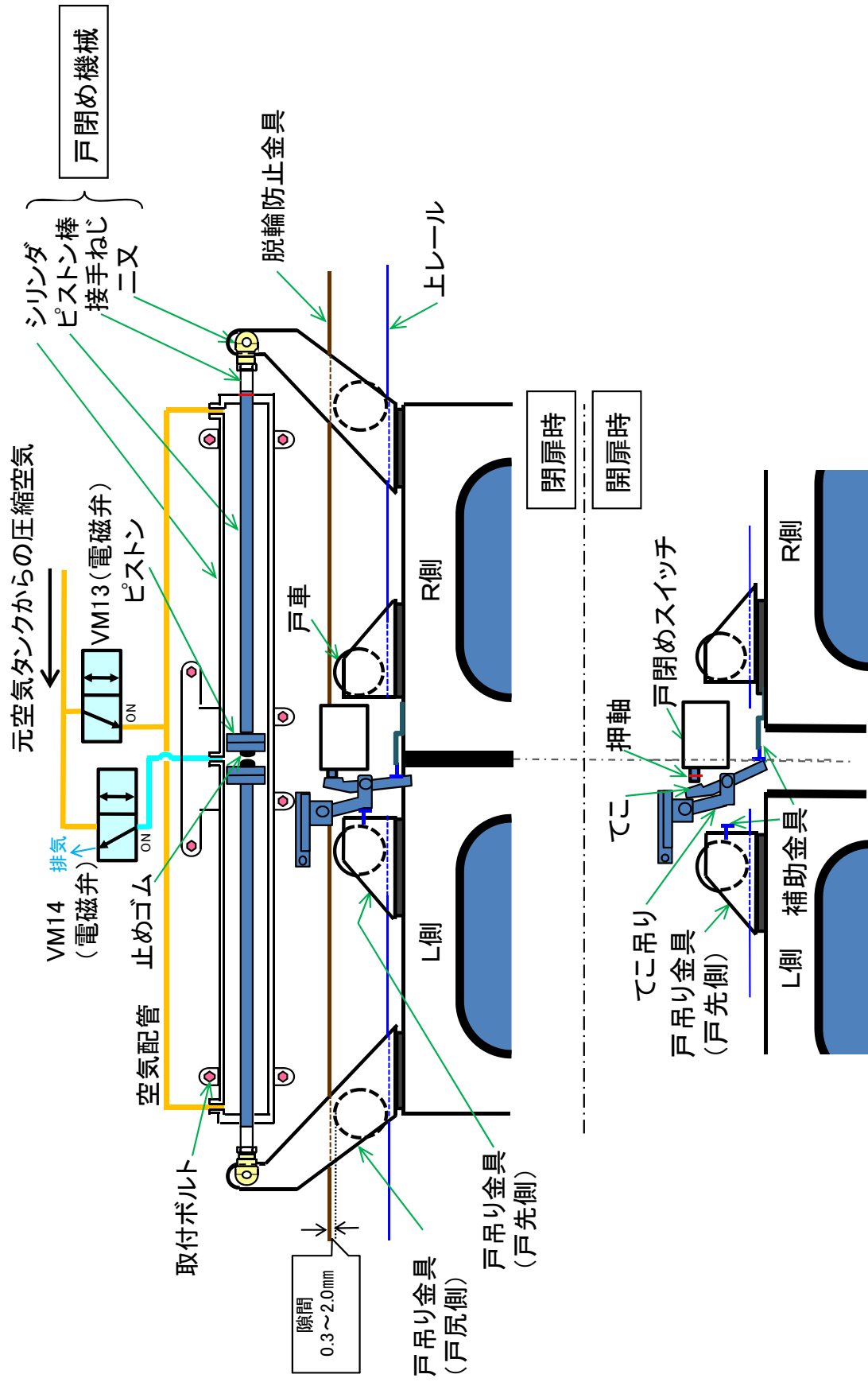
付図4 須恵駅～須恵中央駅間の線路縦断面図



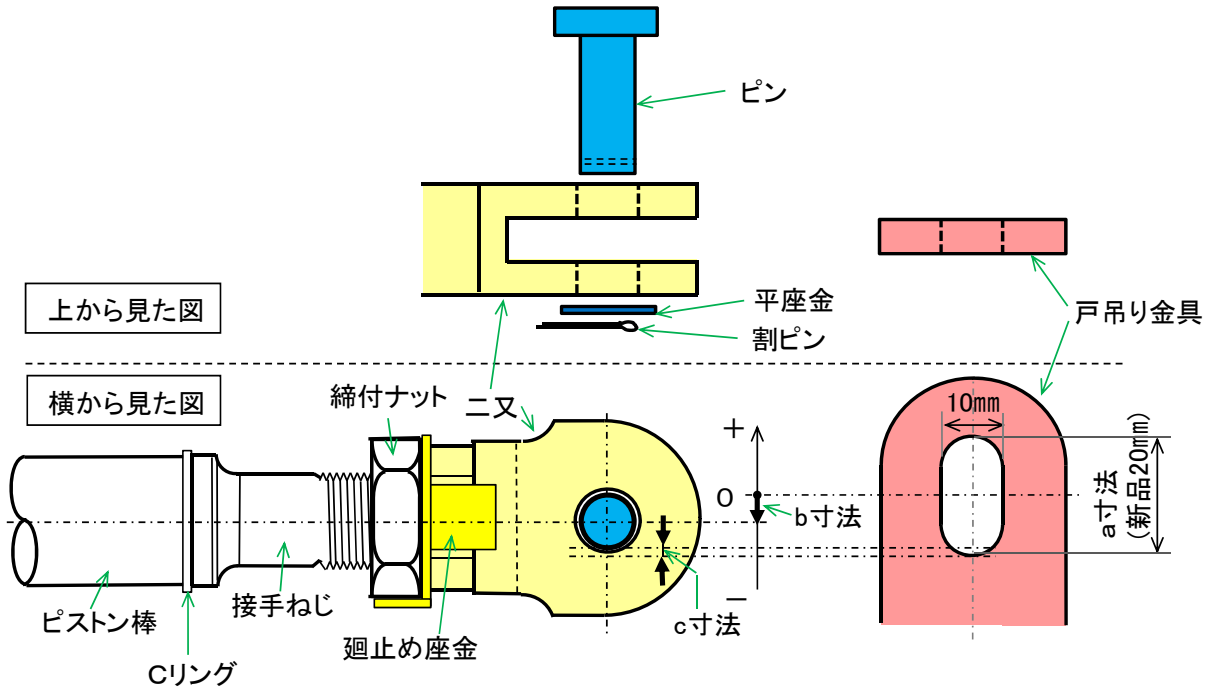
付図5 本重大インシデント発生直後の状況



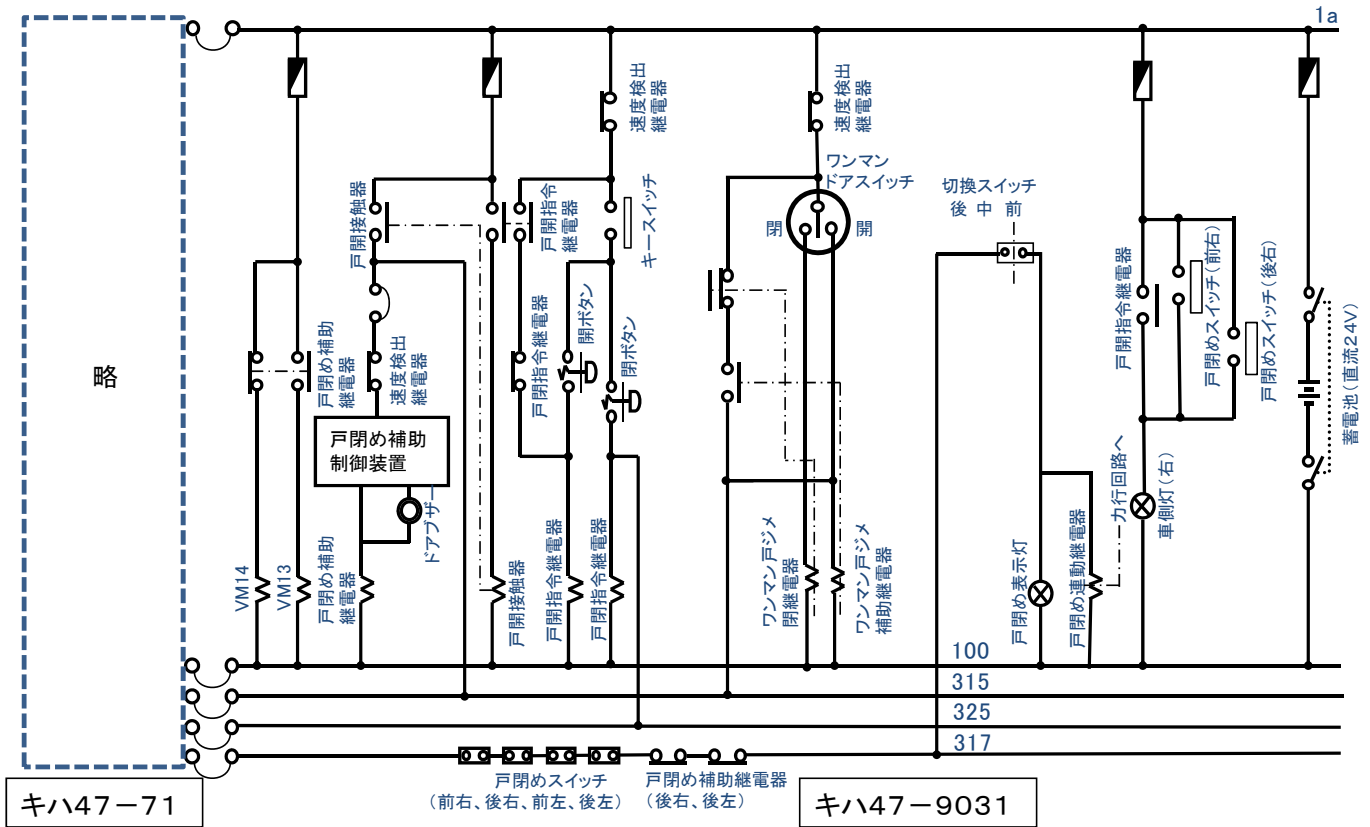
付図6 戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図



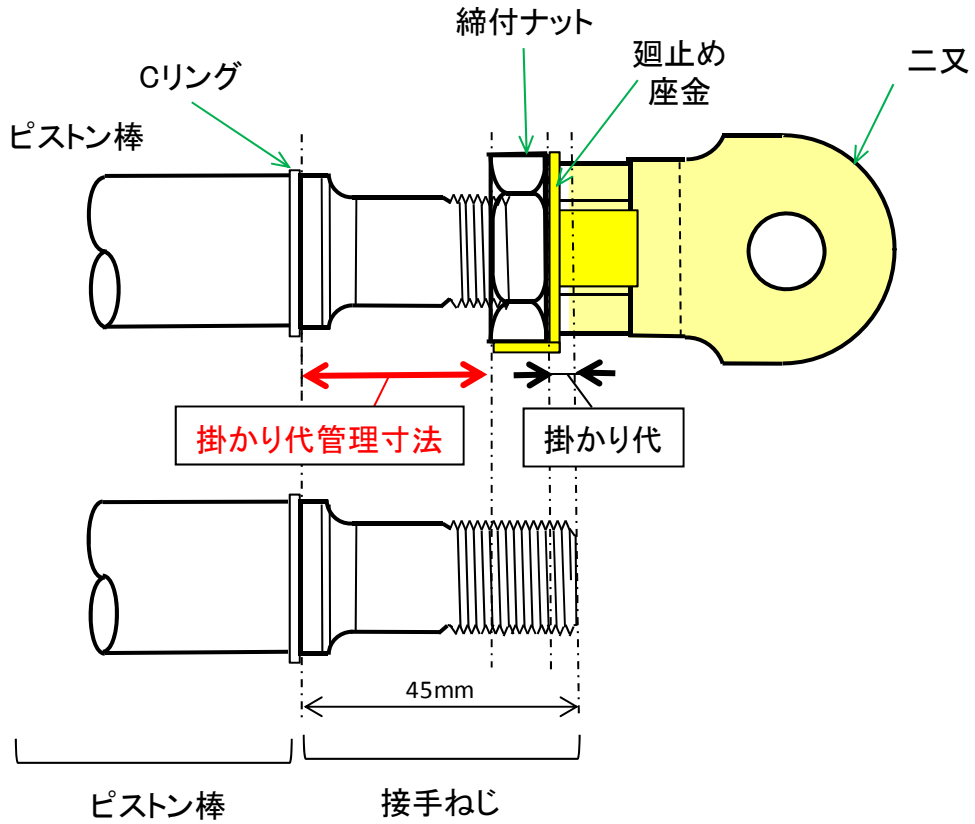
付図7 接手ねじ及び二又周辺の概略図



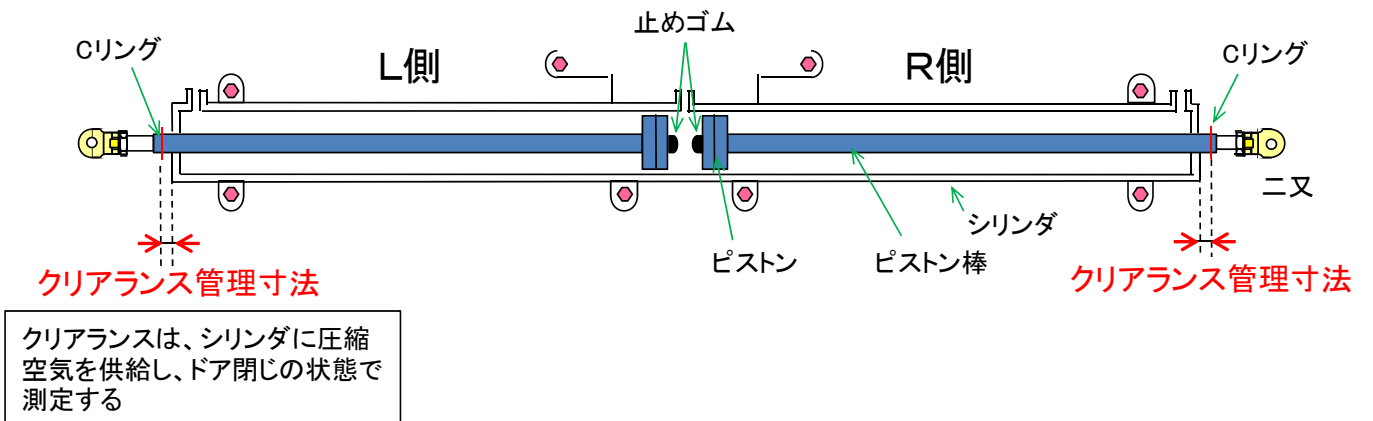
付図8 戸閉め回路の配線略図 (進行右側の関係箇所を抜粋)



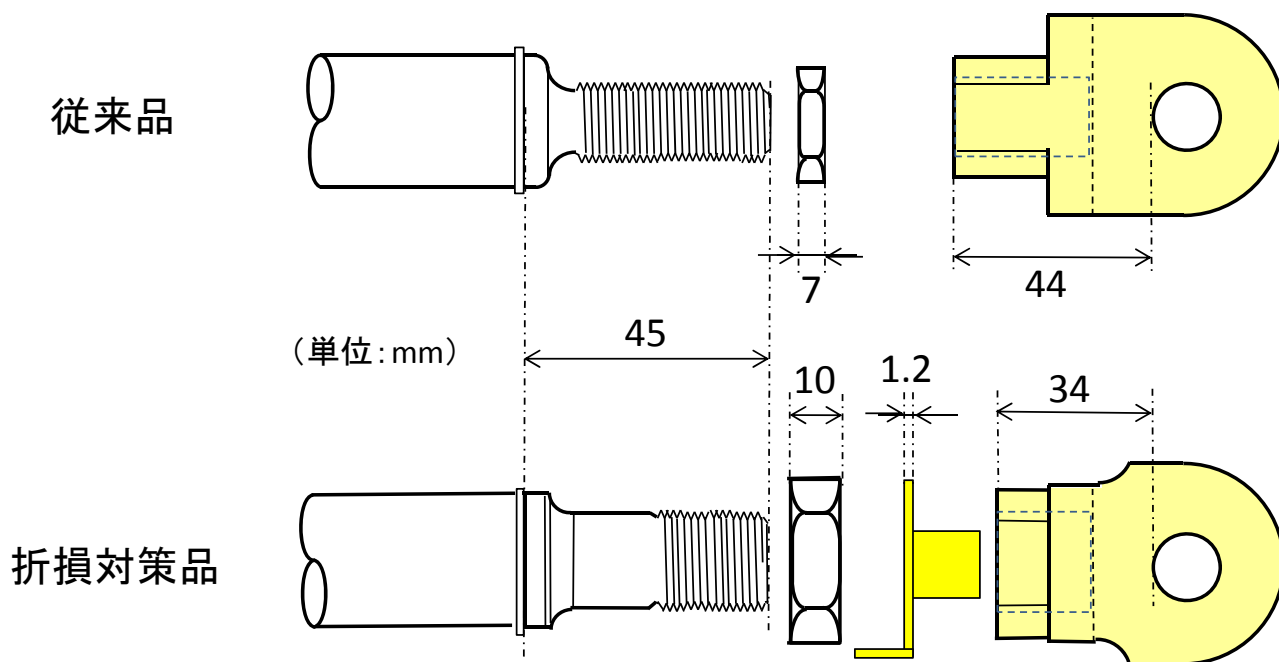
付図9 掛かり代概略図



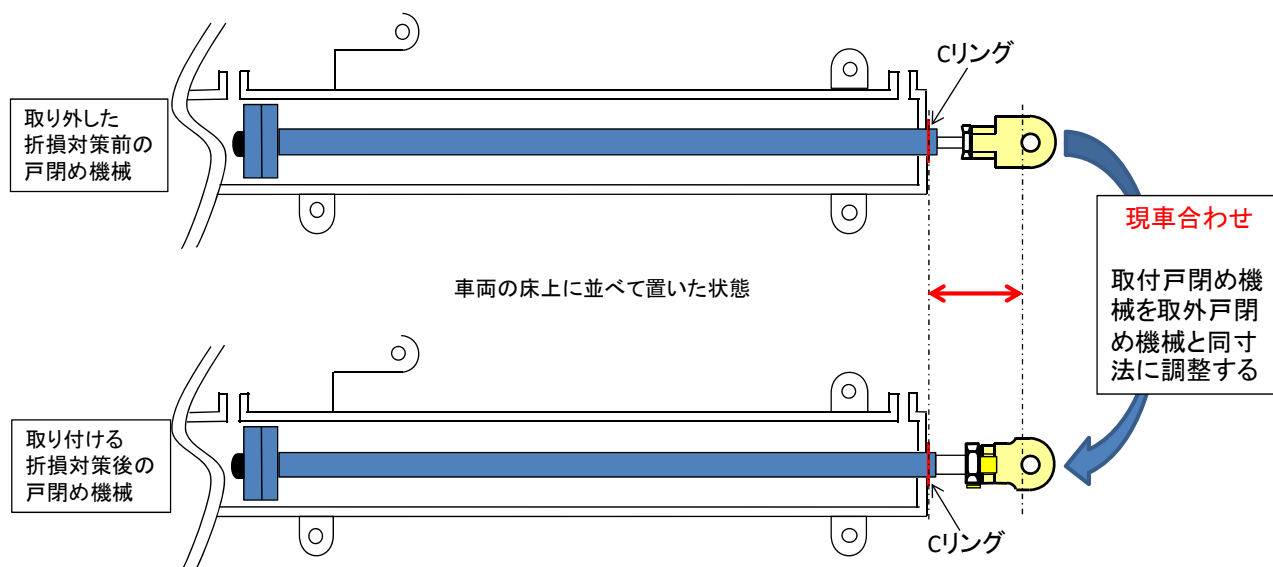
付図10 クリアランス概略図



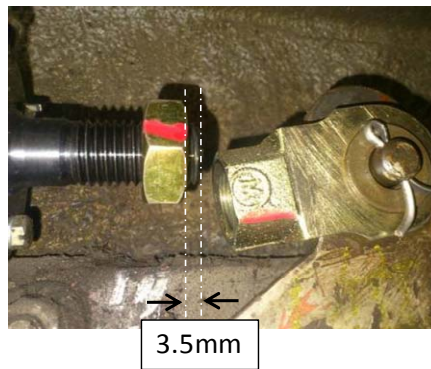
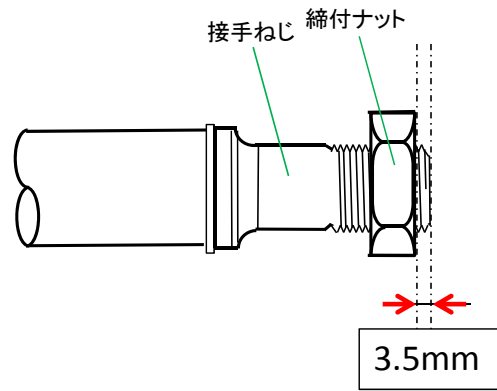
付図 1 1 折損対策前後の接手ねじ及び二又概略図



付図 1 2 現車合わせ概略図

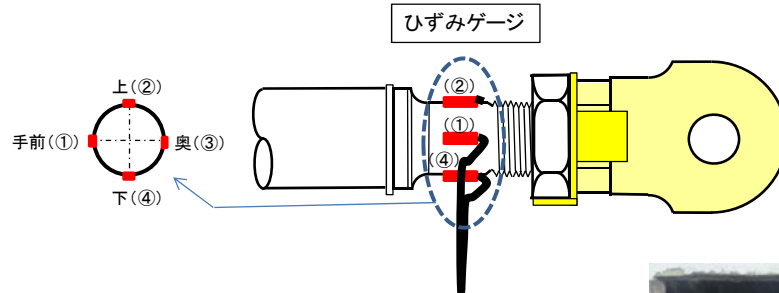


付図 1 3 本重大インシデント直後の接手ねじの状態

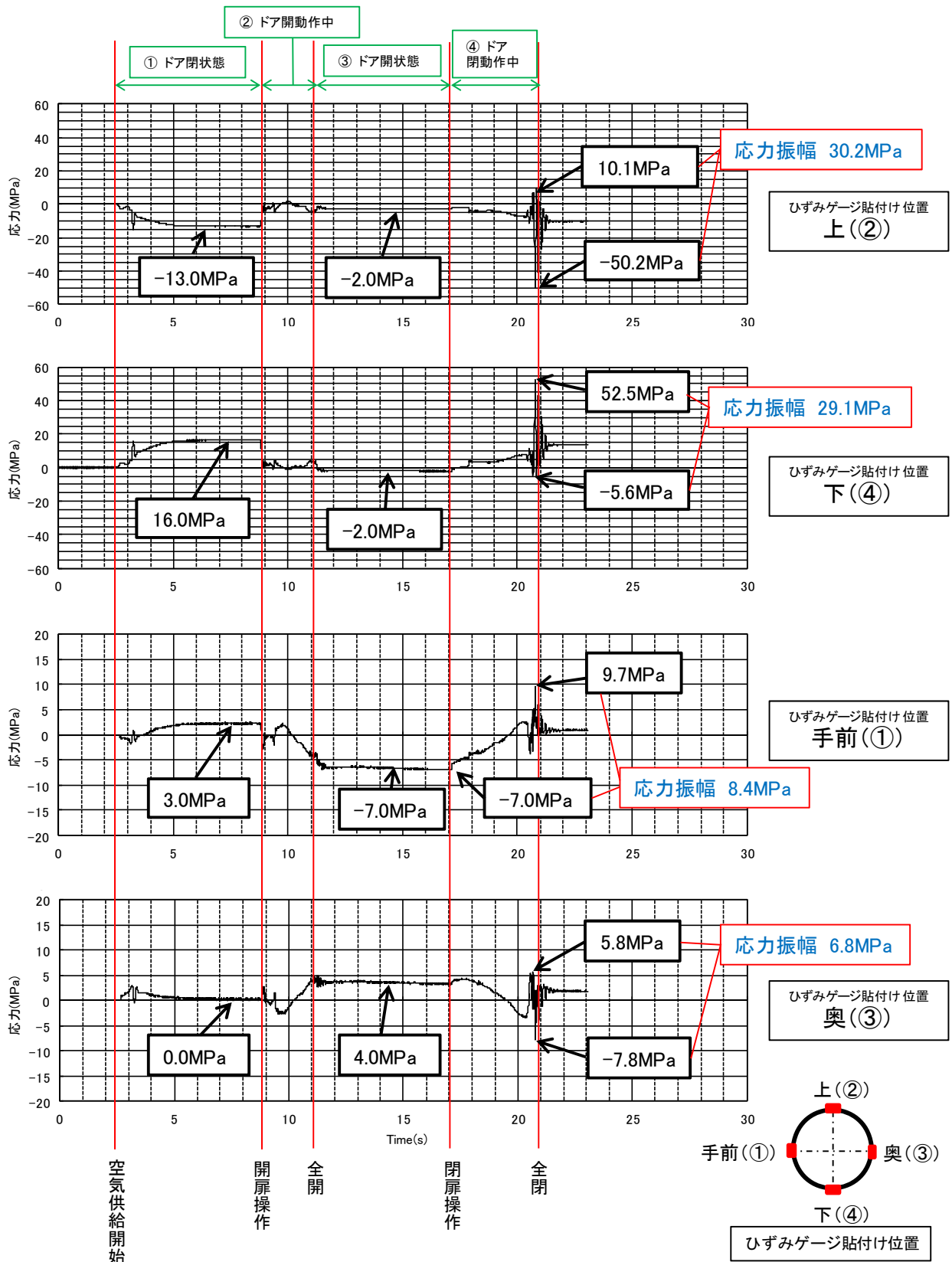


本重大インシデント直後の状況

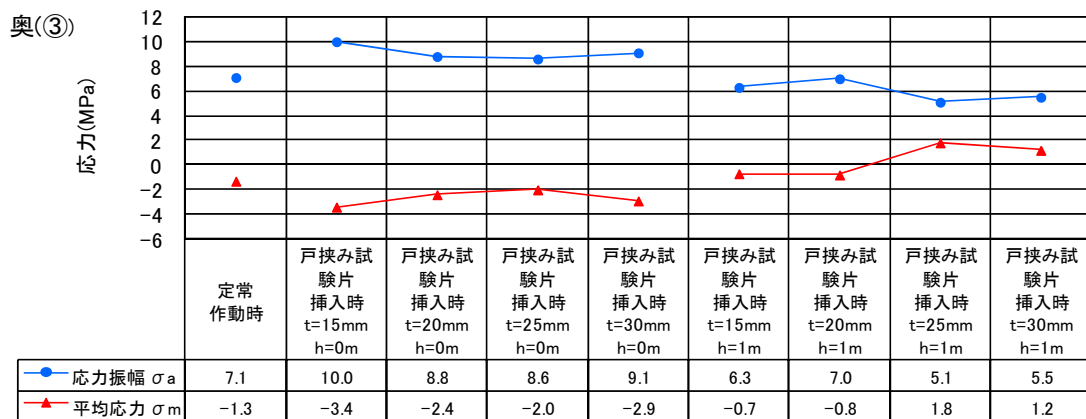
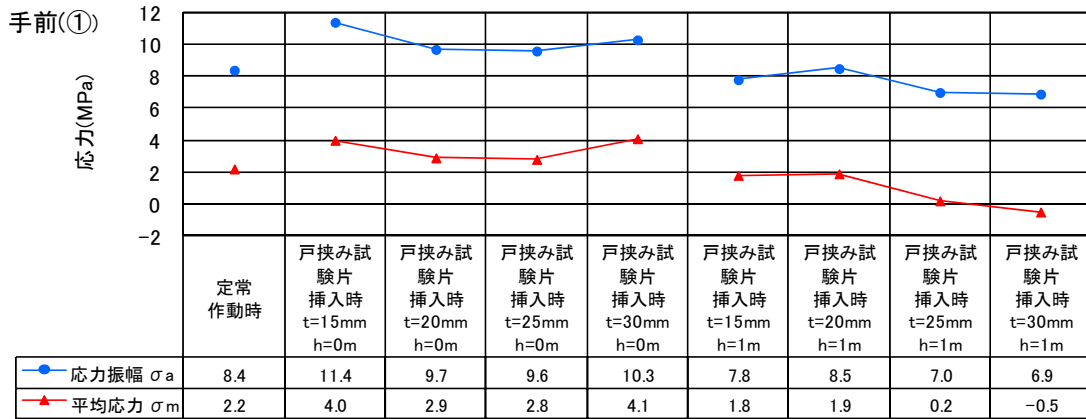
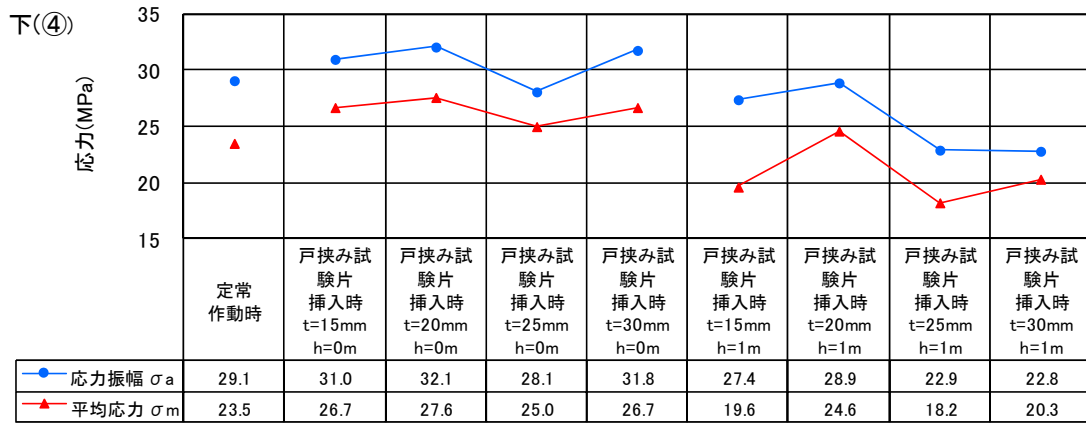
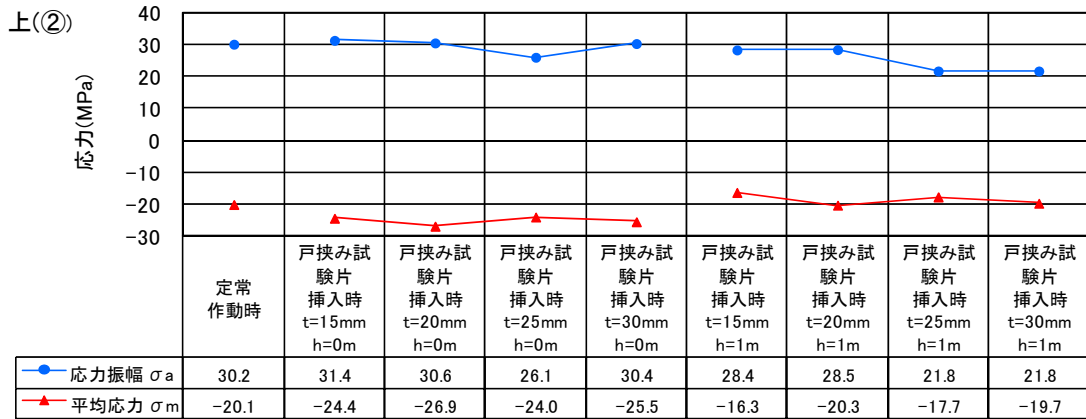
付図 1 4 ひずみゲージ貼付け位置



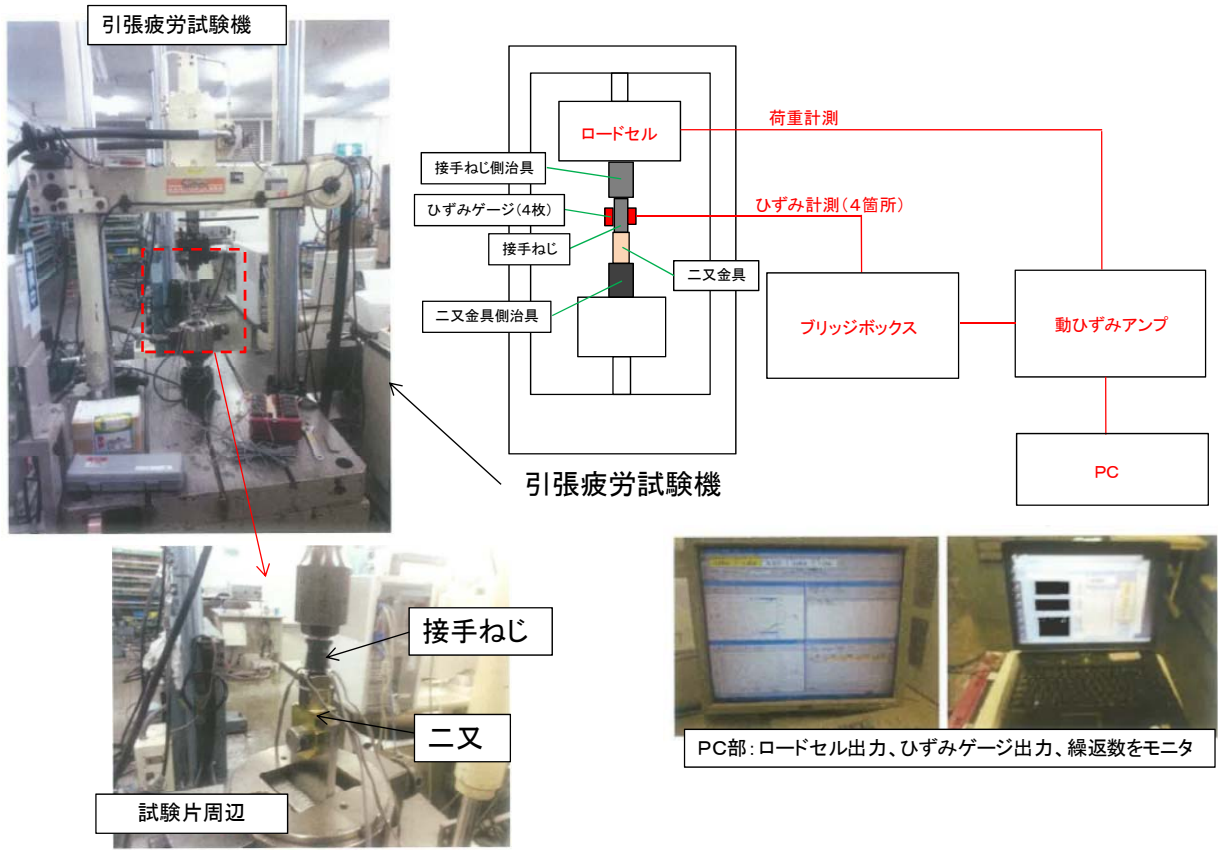
付図 1 5 通常ドア開閉における応力波形



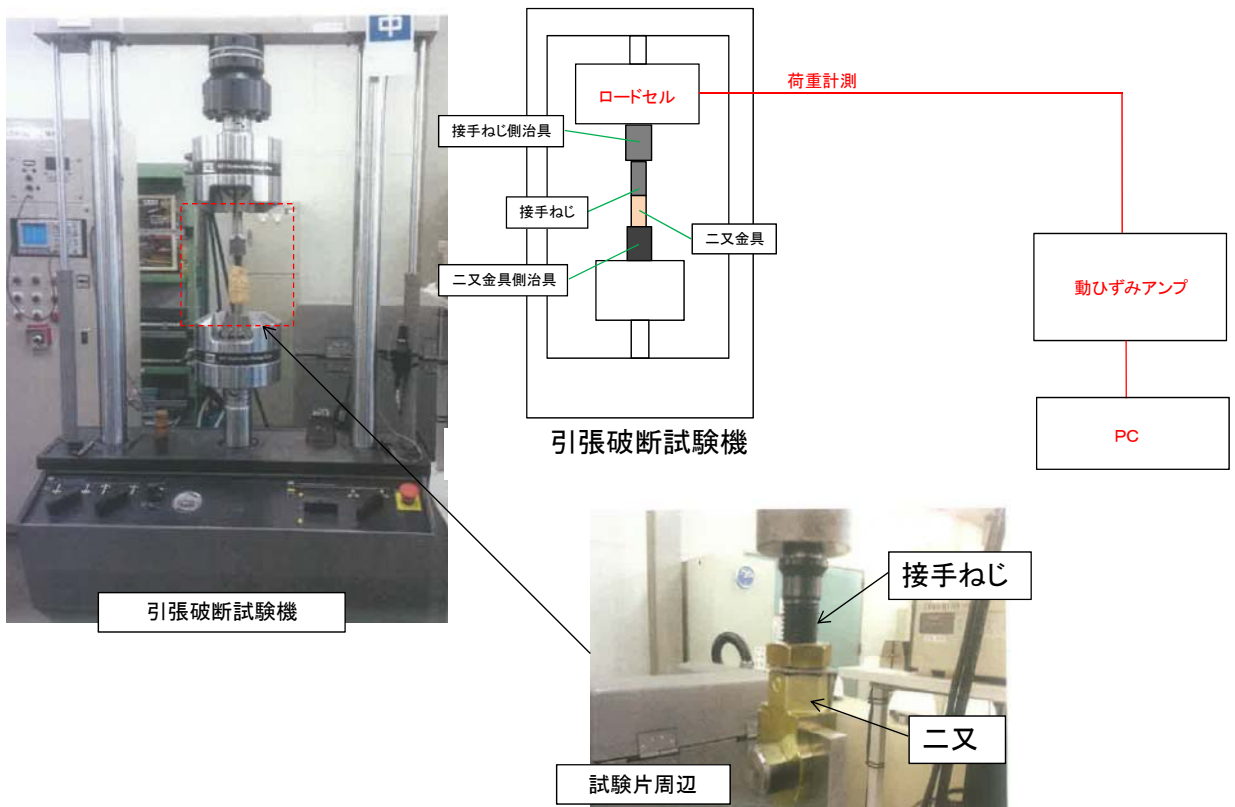
付図 1 6 戸挟み時の応力振幅等測定結果



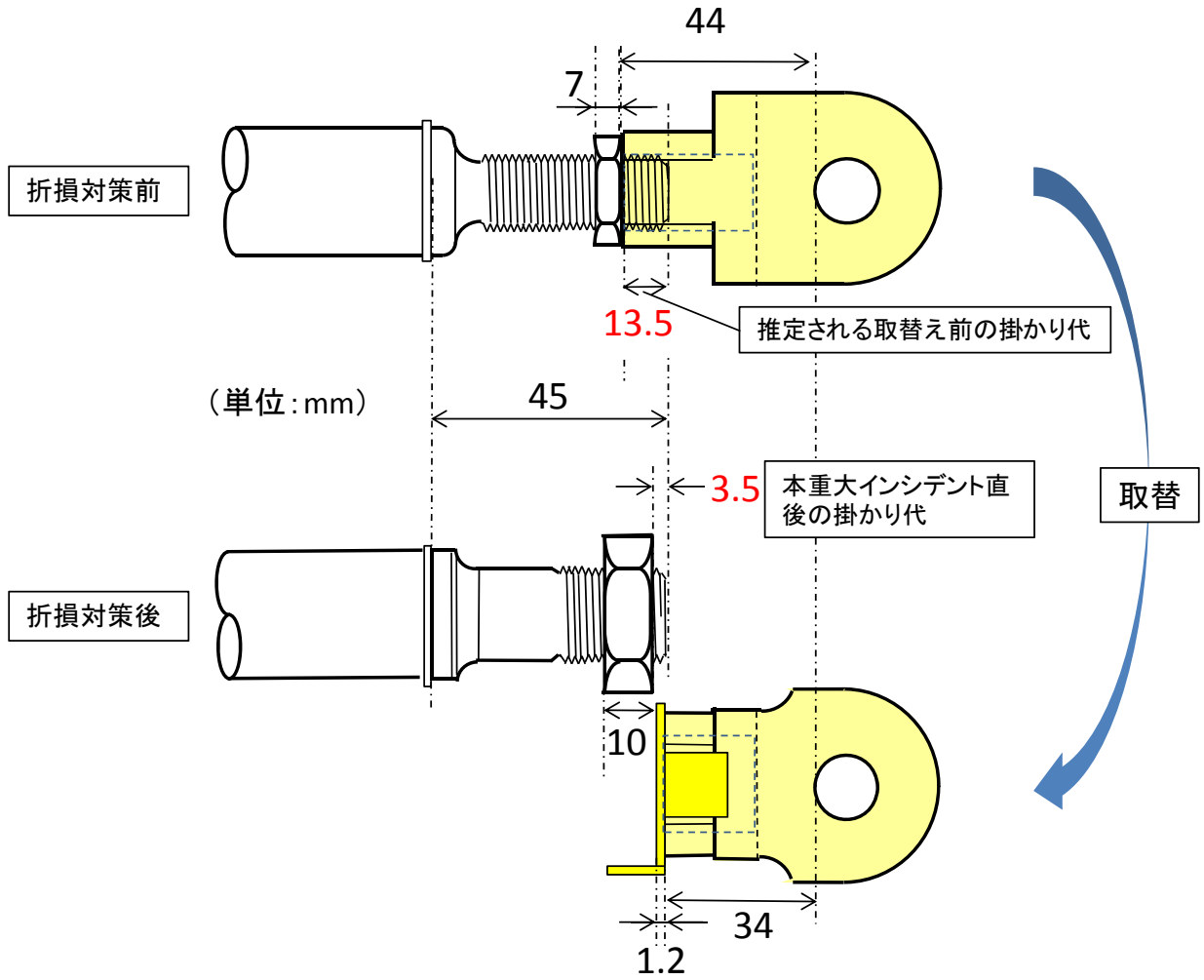
付図 1 7 引張疲労試験概念図



付図 1 8 引張破断試験概念図



付図 1 9 推定される取替え前の掛かり代



付表1 改修に至るまでとその後の経過

年月日	経緯
昭和41年	TK106Aの戸閉め機械製造開始、接手ねじの材質はSS400。
昭和54年 2月	本件車両製造
昭和62年 4月	旧国鉄分割民営化、本件車両は同社に承継される。
平成元年	戸閉め機械メーカーであるA社は、接手ねじの製造を外部に委託、このときから材質が図面と異なる硫黄快削鋼SUM23となった。
平成10年	他の鉄道事業者であるB社で接手ねじが破断する事象が発生した。
平成10年 9月	A社は、形状を変更した改良型接手ねじに変更した。
平成16年	同社にて接手ねじが破断する事象が2件発生した。
平成16年 7月	同社は、同形式の接手ねじを使用している車両について、改良型接手ねじに全数変更した。
平成21年12月	同社の大村線にて、接手ねじ破断による重大インシデントが発生した。調査において、接手ねじの材料にSUM23が使用されていることが判明した。
平成22年10月29日	当委員会の大村線重大インシデント報告書（RI2010-2-2）が公表された。
平成22年10月	B社の芸備線において、接手ねじ破断による重大インシデントが発生し、B社においても接手ねじにSUM23が使用されていることが判明した。
平成22年10月	A社は同社（本社）に対して、改良型接手ねじの折損対策の案を提案した。
平成22年12月	B社は、キハ47形車両を使用するJR各社の車両担当者を招集し、B社で発生した重大インシデントの情報の提供を行った。また、同社からも大村線重大インシデントに関する情報提供を行った。この会議において、JR各社の共通の対策として折損対策を行うことを決定した。
平成23年1月20日	A社は、同社（本社）に対して折損対策の正式な図面変更申請を行った。
平成23年1月28日	同社（本社）は、A社の折損対策案の内容を確認した後、変更

	を承認した。
平成23年2月25日	同社（本社）は、本件戸閉め機械（TK106A）を搭載した同社の所属車両について、対策通知により、折損対策を同社内に指示した。
平成23年3月24日	同社（本社）は、折損対策に伴う変更図面を、同社の図面管理システムに登録した。
平成23年10月28日	当委員会の芸備線重大インシデント報告書（RI2011-4-1）が公表された。
平成23年10月	直方車セにおいて、折損対策のため、戸閉め機械の取替えを開始した。
平成23年11月	同社（本社）は、本件戸閉め機械と同じ構造を持つ戸閉め機械（TK105）の接手ねじが破断したため、同接手ねじについても折損対策を同社内に追加指示した。
平成24年10月22日	直方車セにおいて、本件車両の交番検査時に、折損対策が施された本件戸閉め機械への取替えが行われた。
平成24年11月26日	本重大インシデントが発生した。