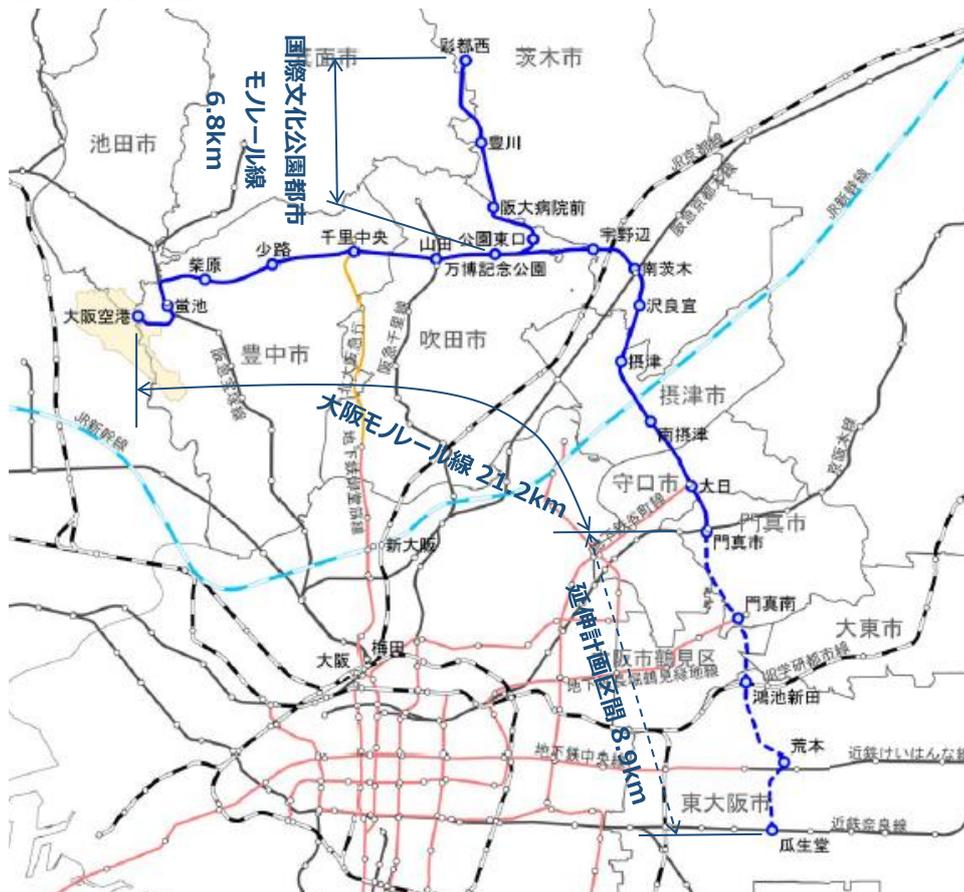


2018年12月14日

1. はじめに

大阪モノレールは、大阪空港から門真市までの 21.2km と万博記念公園から彩都西までの 6.8km の計 28.0km を営業区間として平日 458 便を運行し、1 日約 13.1 万人が利用する跨座式モノレールである。大阪都心部から放射状に延びる 6 路線の鉄道と環状方向にネットワークすることで、都心部の混雑緩和、乗換利便性の向上を図る役割を担っている。さらに、2029 年の開業を目標に、門真市から大阪東部の瓜生堂までの 8.9km を延伸する計画を進めており、これより新たに 4 路線の鉄道と結節することになる。(図 1 参照)

図 1：大阪モノレール路線図



2018年6月18日7時58分頃、大阪府北部を震源とするマグニチュード6.1の地震が発生し、大阪モノレール沿線では、最大震度6弱の揺れを観測した。当社が設置している地震計では、震源から最も近い万博指令所で3成分の最大加速度が682gal(震度6弱)を示し、蛍池では369gal(震度5強)、大日で172gal(震度5弱)と、沿線で異なる特徴を示した。また、周期はいずれも0.3~0.5秒と短周期であった。

この地震により、大阪モノレールでは即時に運行中の全 18 列車を緊急停止するとともに、運転指令において通電・通信状況や各列車の被災状況等の確認を行った。その結果、各列車とも走行が可能であり通電していることが確認されたため、駅間に停止している 10 列車を最徐行で最寄駅まで移動させ、8 時 50 分には乗車していた全てのお客様の避難を完了している。

発災後の施設点検において、軌道桁・支柱等の土木構造物は、これまでの耐震対策の効果もあり、大きな被害は確認されなかったものの、車両や電気・機械設備には、営業運行を再開するには多くの異常が発生していることが判明した。

また、朝のラッシュ時に重なったことから運行中の車両が多く、駅での停車車両が障害となり、点検完了までに長時間を要することになった。

その後、6 月 20 日の始発より、点検・修繕が完了した区間から、順次、運行を再開し、23 日には全線で運行を再開したものの、車両に不具合が見つかり、24 日に全車両緊急点検のため再度の運行停止を余儀なくされた。25 日から点検・修繕が完了した車両により順次運行を再開し、30 日の始発から平常ダイヤで運行を再開したところである。

このような状況が生じたことを踏まえ、学識経験者や専門家等の第 3 者で構成する「大阪府北部地震大阪モノレール被災検証委員会（以下、検証委員会という。）」（表 1 参照）を設置し、今回の教訓を今後の安全運行に活かすために被災原因の究明や検証を行うとともに、防災力の強化・安全性の向上方策とこれらの取り組み等に基づく早期の運行再開を目指して検討を進めることにした。

表 1：大阪府北部地震大阪モノレール被災検証委員会 構成員

所属・役職	氏名
京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻・教授	清野 純史（委員長）
大阪産業大学工学部交通機械工学科・教授	大津山 澄明
大阪市立大学大学院工学研究科橋梁工学分野・教授	山口 隆司
京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻・教授	高橋 良和
国土交通省鉄道局技術企画課・課長	川口 泉
国土交通省近畿運輸局鉄道部・調整官	浅見 修基
一般社団法人日本モノレール協会・専務理事	日野 祐滋
株式会社日立製作所鉄道ビジネスユニット プロジェクトエンジニアリング本部第一部・部長	山田 徹
東京モノレール株式会社・取締役兼技術部長	中島 信哉
多摩都市モノレール株式会社・常務取締役（運輸部長事務取扱）	井戸 明
独立行政法人自動車技術総合機構交通安全環境研究所・交通システム研究部・部長	佐藤 安弘

（敬称略）

8月8日に開催した第1回委員会では、本委員会での検討内容を「耐震力の強化・安全性の向上」、「早期復旧に向けた仕組みづくり」、「効率的な点検方法」の3つの柱に定め、各々、具体的な対策案を検討することになった。

検証委員会では、大阪モノレールのみを対象とした対策ではなく、全国のモノレールの参考となるよう、モノレール特有の地震時の挙動解析や全国共通となるような指標づくり、施設の根本からの見直しなど幅広く検討を進め、来年3月のとりまとめに向け必要な検討を行うことになった。

一方、対策方法等が確定した内容については、今後も発生しうる地震に備え、とりまとめを待たずに、早急に予防策を講じることが重要である。

このため、これまでの検証委員会での検証等を踏まえた来年3月のとりまとめに向けての今後の検討内容を示すとともに、今後の不測の事態に備え、早期に着手する事項について中間報告を行うものである。

## 2. これまでの検討状況

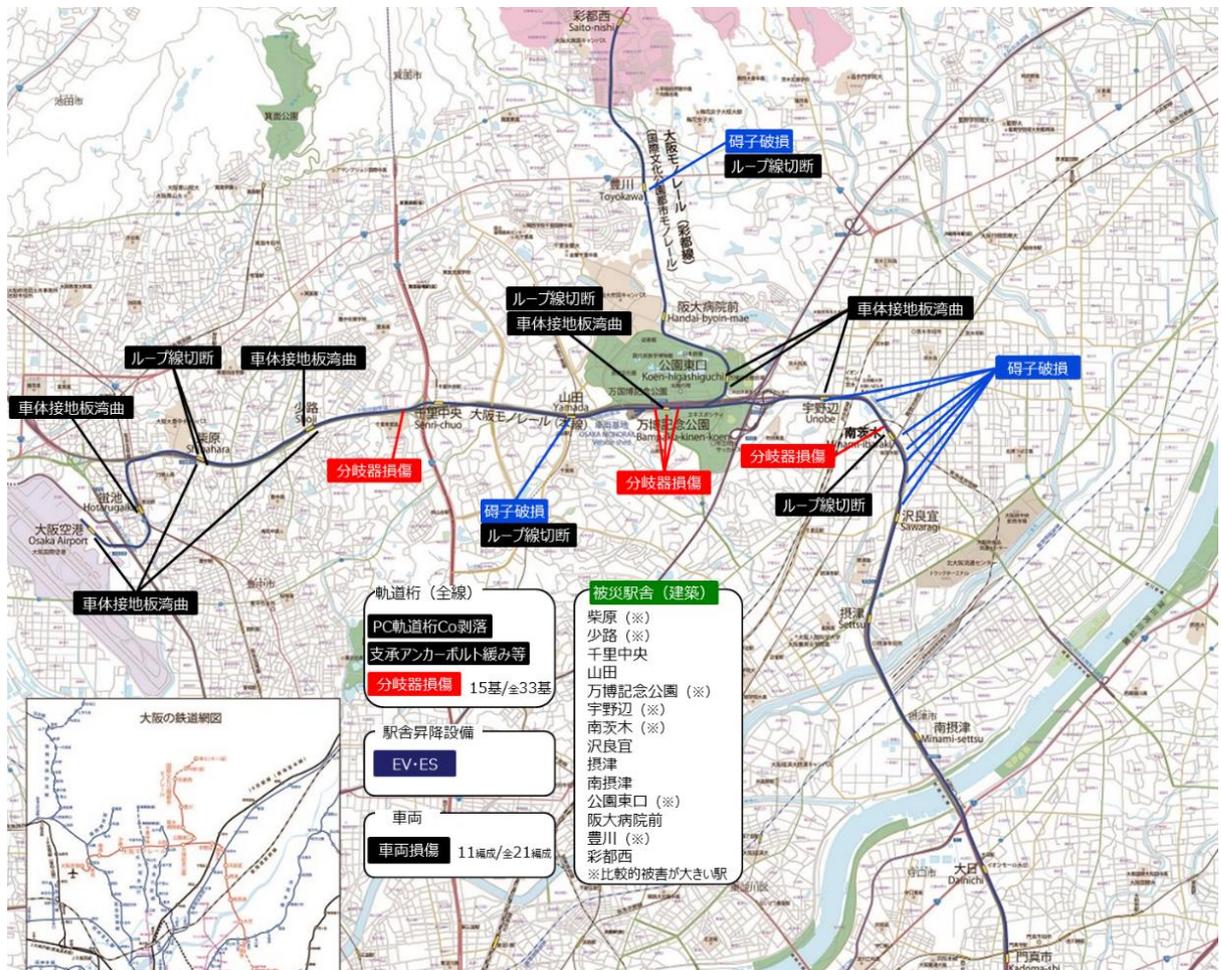
### (1) 基本的な考え方

今回の地震では軌道桁や支柱等の土木構造物に大きな被害はなく、車両・電気施設等に被害が生じたこと（表 2・図 2 参照）から、主に、「車両」「電気」と「軌道桁・支柱」や、「分岐器」と「分岐橋」など、土木構造物との相互作用を含めた被災原因の検証や対策の検討が必要となった。

表 2：主な被災状況

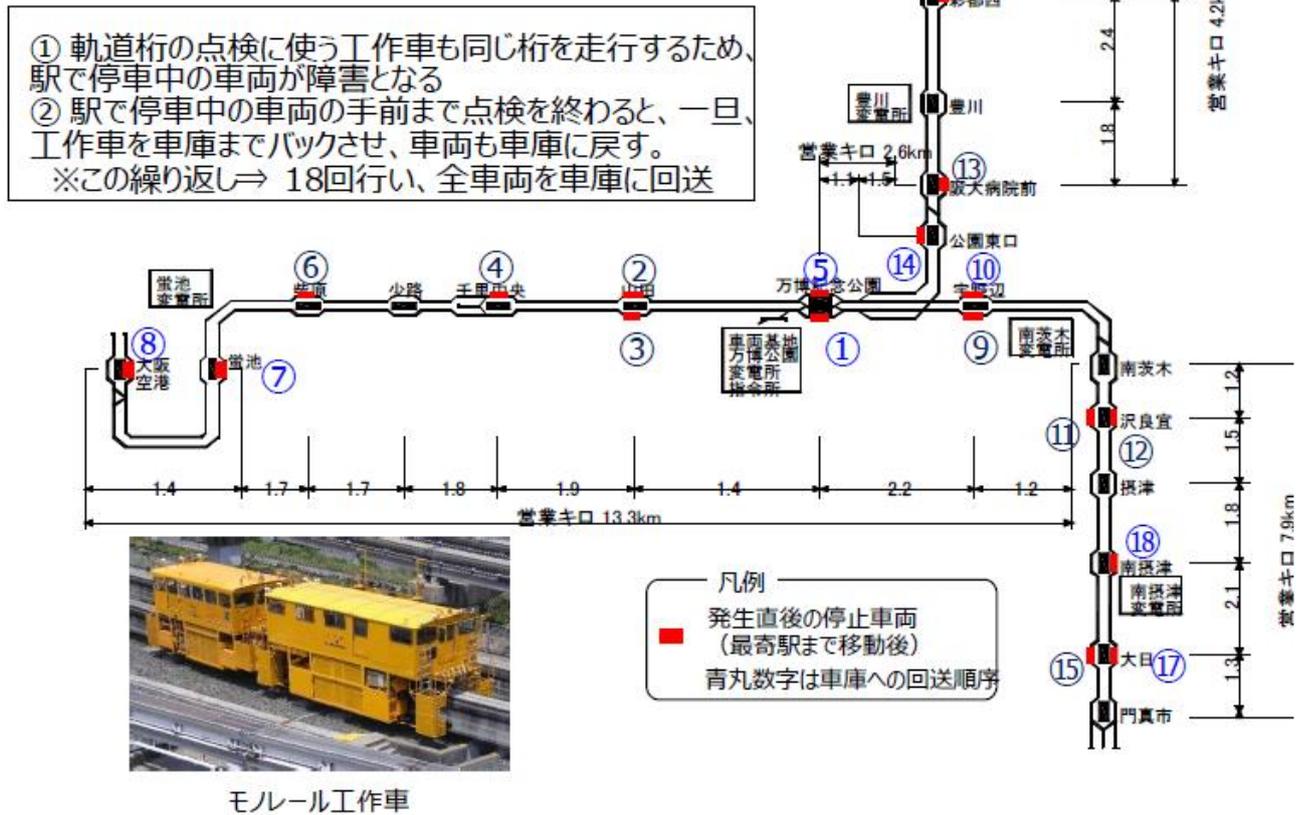
	分類	主な被災項目	概数	想定される原因
1	車両	安定輪補助輪取付ボルトの破断	1 編成	車体台車の揺れ
		台車枠の開き	1 編成	車体台車の揺れ
		車体支持装置ゴムブロックのズレ	11 編成	車体・台車間の揺れ
2	軌道	桁端部のコンクリート剥離	161 か所	軌道桁の接触
3	分岐器	ロックシリンダの鎖錠不良	9 か所	軌道桁の揺れ
		ピニオンギアのズレ	3 か所	軌道桁の揺れ
		リミットスイッチの不良	12 か所	軌道桁の揺れ
4	電気	碍子の破損	24 か所	軌道桁の揺れ
		ATC/TD ループ線の断線	11 か所	軌道桁の揺れ
		車体接地板の湾曲	17 枚	軌道桁の揺れ
5	駅舎	エスカレータ端部のせり上がり	8 か所	一端は可動状態
		豊川駅：天井パネルの落下	1 か所	異なる挙動

図 2：主な被災箇所



また、碍子等が道路上に落下する恐れがあったことから、駅で停車中の車両を車庫に回送する前に工作車が先行して施設の点検や修繕を行う必要が生じた。しかし、工作車は車両と同じ軌道を走行するため、工作車による点検・修繕と停車車両の移動を繰り返す必要が生じたことや、碍子の損傷等の不具合が数多く見付き対応に時間を要したことから、全車両を車庫に回送するまでに長期間を要することになった。(図 3 参照) このため、碍子や車両部品等の落下防止対策、また効率的な点検方法についての検討が必要となった。

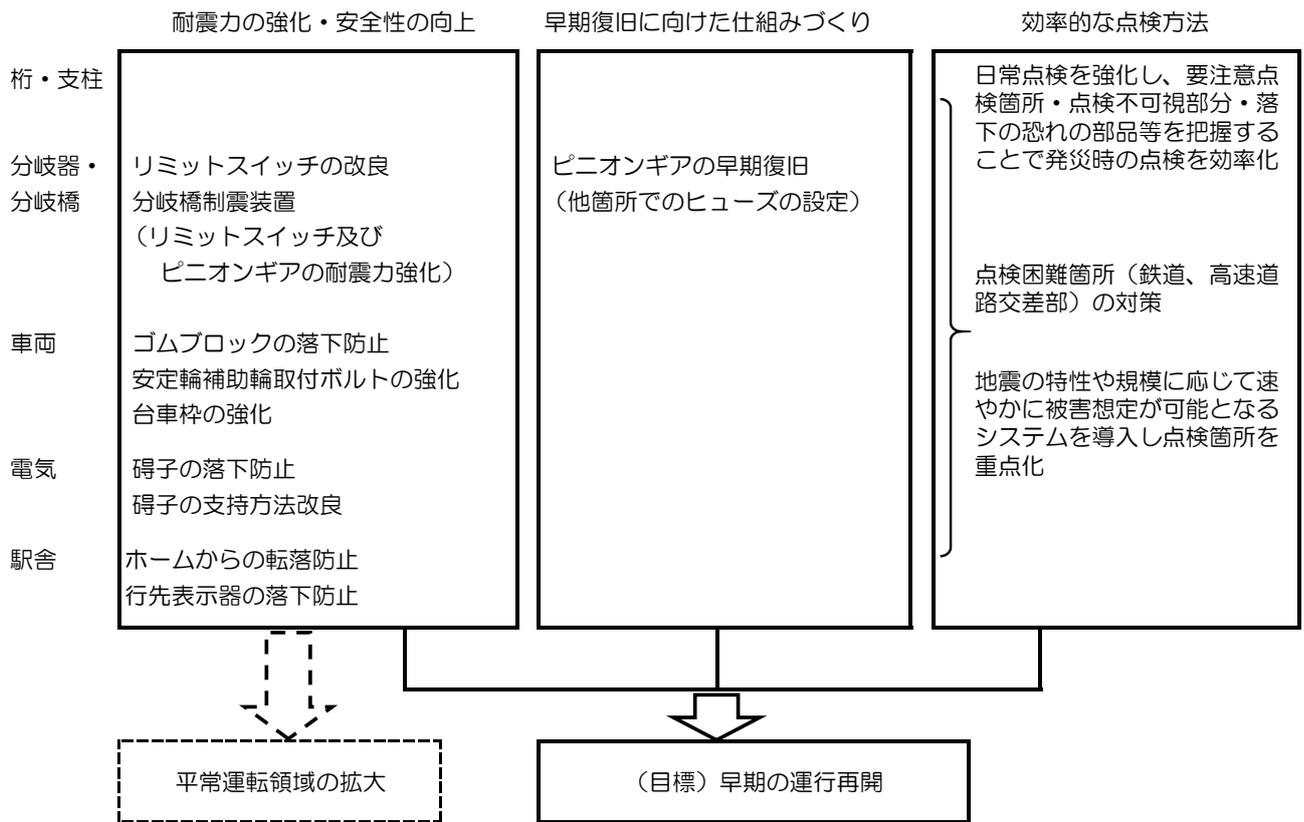
図 3：被災直後の点検と駅停車中車両の車庫への収容の流れ



これらのことから、検証委員会では、軽微な損傷対策を除き、以下の 3 点を柱として検討を行なうこととした。(図 4 参照)

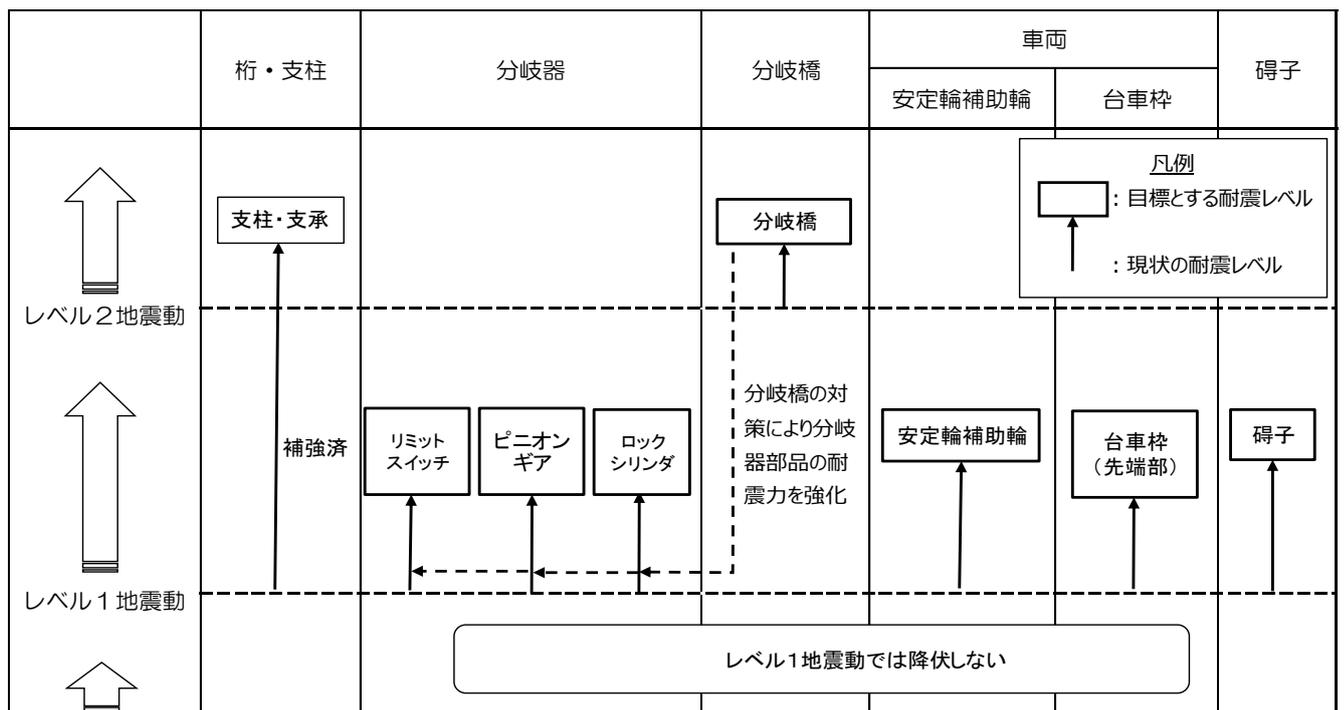
- ① 今回と同程度の地震では損傷せず、平常運転が継続できるような「耐震力の強化方策」、部品等の落下防止やホームからの転落防止を含めた「安全性の向上」を最優先で検討を行う。
- ② 抜本的な耐震力の強化が困難な施設については、今回以上の大規模な地震についてもある程度の損傷を受けることを受忍しながらも、重要な部分を守り、早期に復旧を行うために、損傷したとしても復旧が容易な箇所をあらかじめ設定（以下、「ヒューズ」という。）し、当該箇所のみ損傷に止め、迅速に修繕を行う「早期復旧に向けた仕組みづくり」について検討を行う。
- ③ 効率的な点検方法として、被害の大きい箇所を速やかに把握することで、駅停車中の車両を早期に車庫へ回送するとともに点検箇所を重点化することや、日常点検を強化し要注意箇所等を事前に把握することで、発災時の点検を効率化する方法の検討を行う。また、鉄道や高速道路との交差箇所では、道路上からの点検が困難なため、その対策を検討する。

図4：損傷箇所の復旧 目標イメージ



さらに、耐震力の強化にあたっては、モレールを構成する各施設の現状における耐震性能を把握し、各施設に求められる機能に応じて耐震力強化の検討を行う。これによって、施設全体の耐震力を高め、地震後速やかに運転再開できる仕組みを目指す。(図5参照)

図5：大阪モレール施設の現状における耐震性能と目標イメージ



## (2) 施設毎の主な検討内容

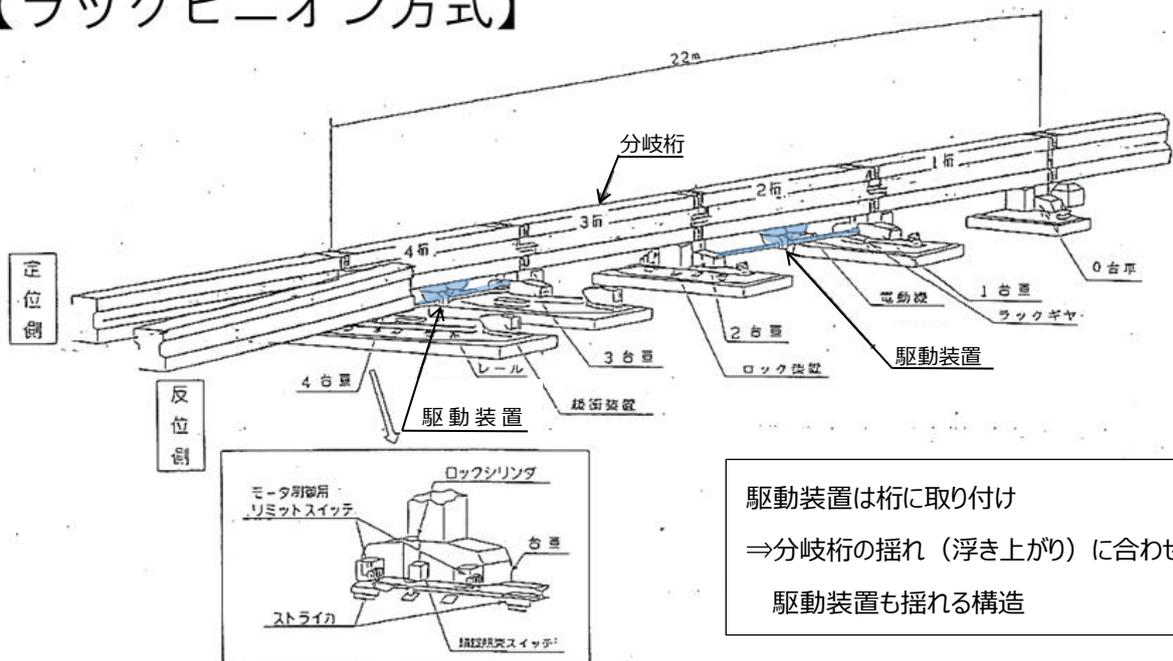
施設毎の検討状況は下記のとおりである。なお、現段階で対策方法が確定しているものは【確定】、来年3月のとりまとめに向けて継続して検討するものは【継続】と表記する。

### <分岐器・分岐橋>

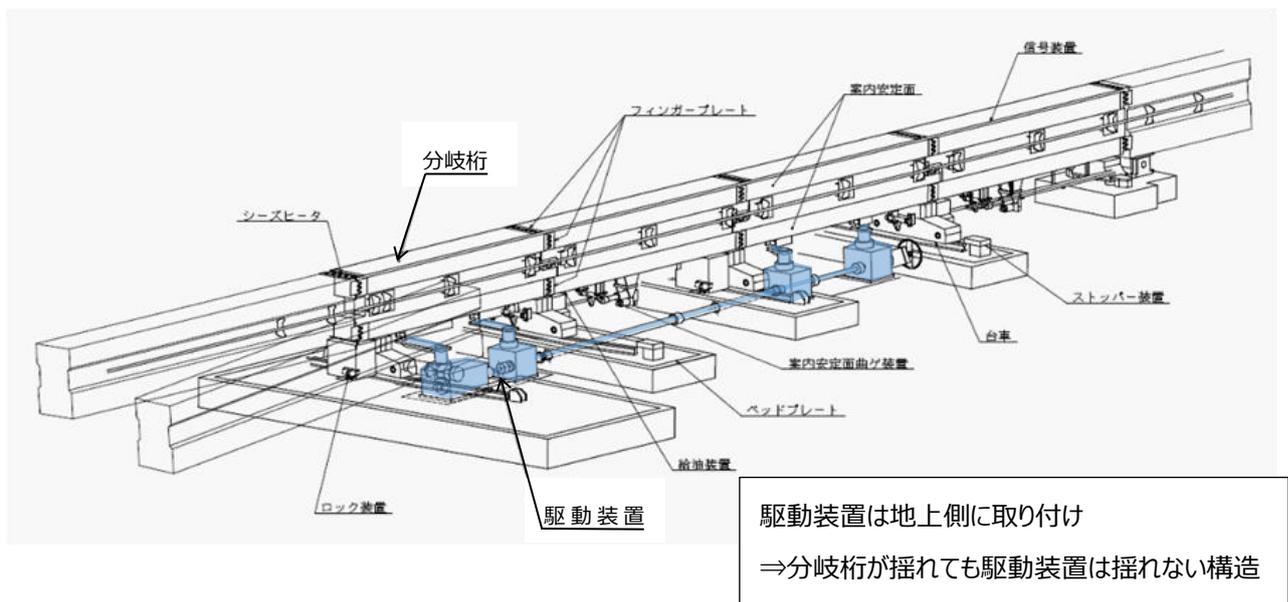
33基中15基の分岐器に損傷が発生。損傷箇所は全て初期のタイプのラックピニオン方式であり、改良タイプのアーム回転方式での損傷はなかった。(図6参照)

図6：ラックピニオン方式とアーム回転方式の違い

### 【ラックピニオン方式】



### 【アーム回転方式】



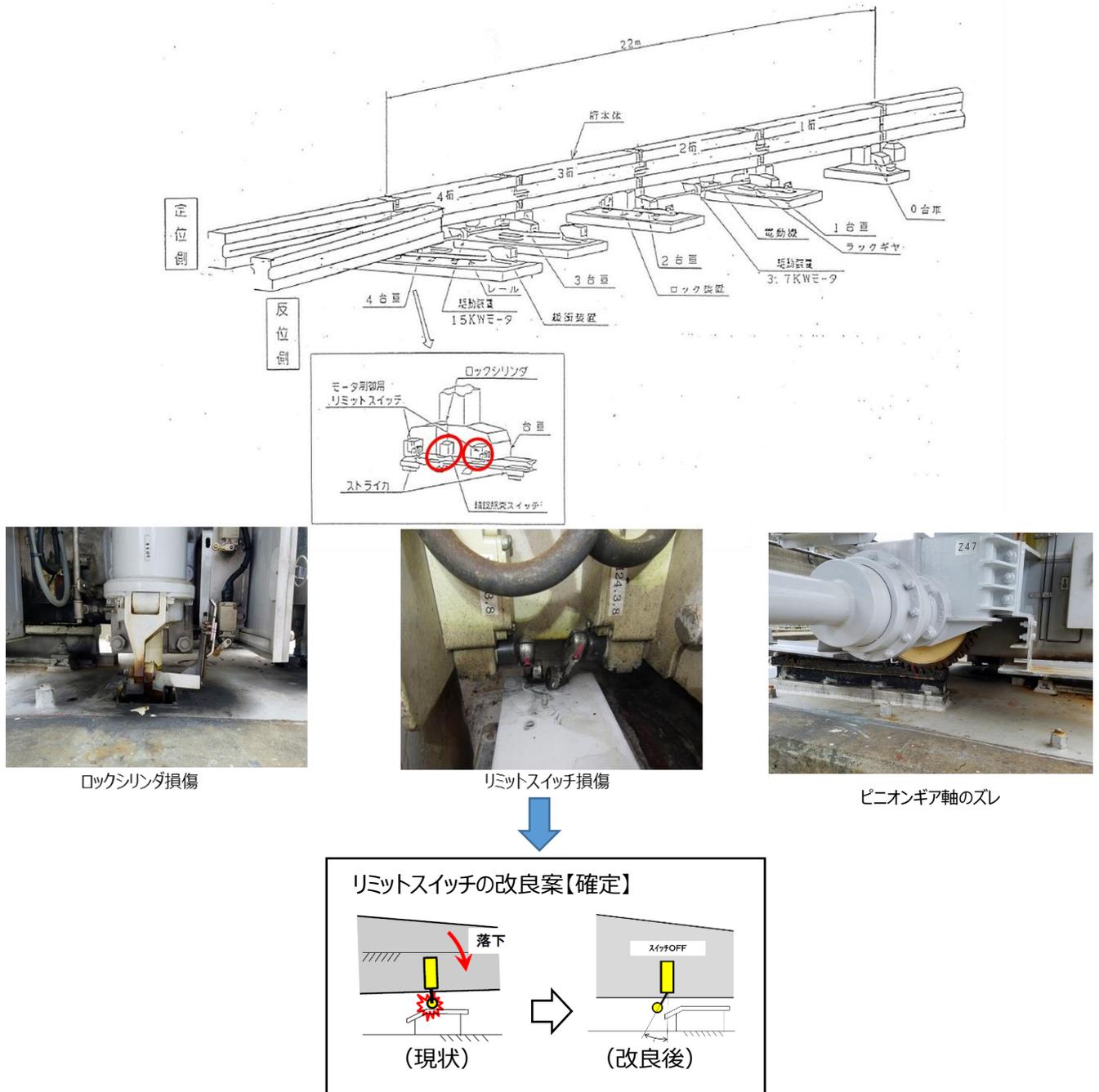
## リミットスイッチの改良【確定】

ラックピニオン方式では軌道桁に直角方向の地震動が作用した際に、桁が左右に揺れ、浮き上がりが生じたことから、電源のオンオフを操作するリミットスイッチについては、浮き上がり時にレバーが戻り、着地時に損傷したと想定される。このため、ニュートラルな状態でもレバー角度を傾けることで損傷を防ぐ構造とする。

## ピニオンギアの早期復旧【継続】

同様に、ピニオンギアの軸にズレが発生したものと推測される。（図7参照）しかし、その対策には、大規模な改良を伴うことや日常管理面等での課題も多いことから、今回はヒューズを設定し、その箇所を速やかに修繕することで早期復旧を図る方針である。

図7：分岐器（ラックピニオン方式）の損傷状況



## 分岐橋制震装置【継続】

分岐器を支える分岐橋に制震装置（ダンパー）を設置することで、分岐桁や分岐器に伝わる地震力を軽減させる対策の検討を進める。（図8参照）

この対策により、分岐橋の上に設置している分岐桁・分岐器全体の制震化が可能となり、今回と同様の地震が発生した場合においても、損傷した3部品（リミットスイッチ、ピニオンギア、ロックシリンダ）のうち、2部品（リミットスイッチ、ピニオンギア）の損傷を防止できる。なお、ロックシリンダ（位置決め装置）は、分岐器本体の移動を制限し損傷を抑える役割を担うものであり、ロックシリンダには損傷が発生すると想定されるが、部品交換で対応する。

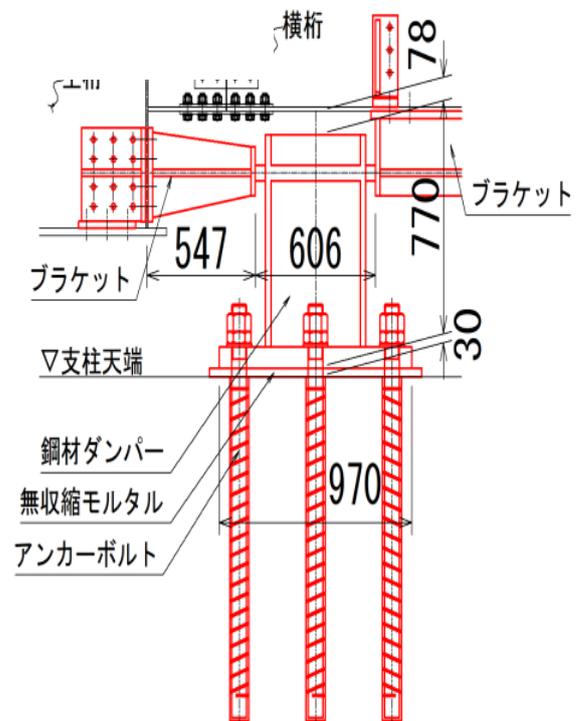
図8：分岐橋制震装置のイメージ



分岐橋



鋼材ダンパー



鋼材ダンパー構造図

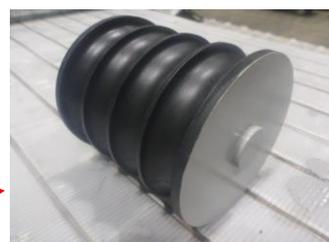
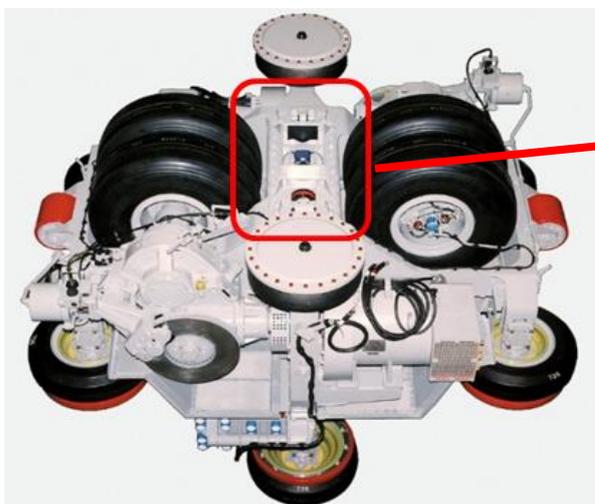
<車両>

ゴムブロックの落下防止【確定】

走行していた 18 編成のうち、11 編成で車体支持装置のゴムブロックにズレが発生。地震の揺れにより車体に上下左右方向の変位が生じ、ゴムブロックの余圧縮がなくなったため、ダボが外れたと推測される。

対策としては、ゴムブロックを受ける金具と中心ピンを受ける金具との隙間を縮小するとともに、ダボの長さを拡大することで、車体が最大変位してもゴムブロックが外れない構造とする。(図 9 参照)

図 9:ゴムブロックのズレの被災状況



径120mm 長さ130mm 約2.6kg



ゴムブロックの外れ

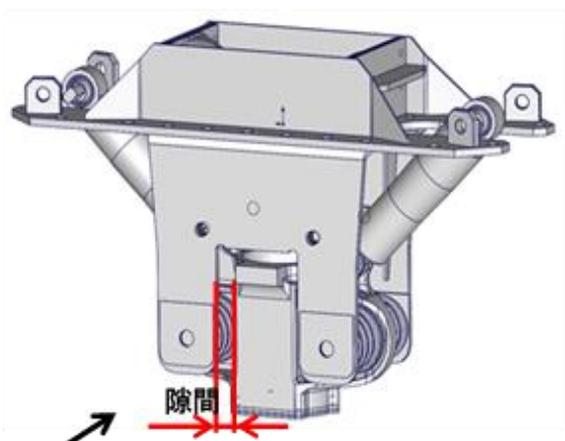
《ズレ防止対策のイメージ》

車体が上下左右方向に最大移動した際の隙間

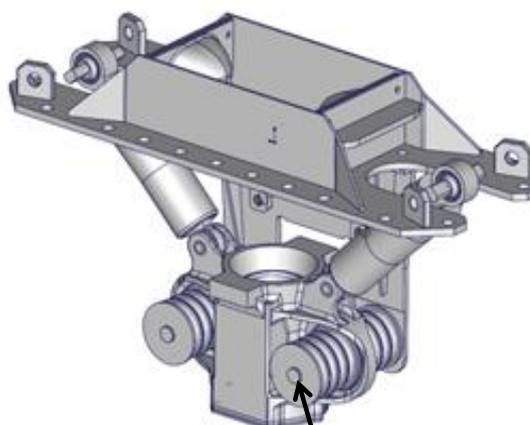
$$L = \sqrt{(115^2 + 42.5^2 + 30^2)} = 126.2\text{mm} > \text{ゴムブロック自由長} 125\text{mm}$$

115mm:取付時の隙間    42.5mm:左右方向の隙間    30mm:上下方向の隙間

→隙間を縮小することで、落下防止を図る



左右方向の隙間を 42.5mm から 35mm に縮小



ダボ長さを5mmから10mmに拡大

## 安定輪補助輪取付ボルトの強化・台車枠の強化【継続】

高々架箇所を走行していた1編成で、安定輪補助輪取付ボルトの破断、台車枠の開き（次頁参照）が発生。原因究明にあたって、地表面の揺れが支柱や軌道桁を通じてどのように車両に伝わったかを動的解析によって解明し、損傷発生メカニズムについて分析を進めているところ。現段階では、桁部に作用する応答加速度まで算出したところであり、今後、車両にどのように地震力が伝わり、損傷が発生したか分析を進め、対策方法を決定する。（図10参照）

図10：車両の損傷状況

### ○安定輪補助輪取付ボルトの破断

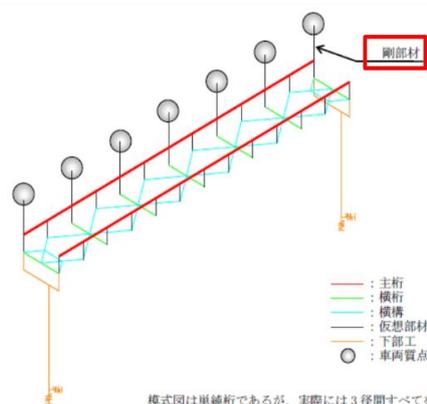


### ○被災箇所



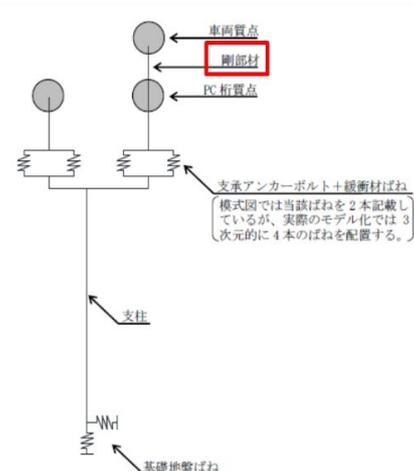
### ○検証モデル

縦揺れ時(桁のたわみを考慮)

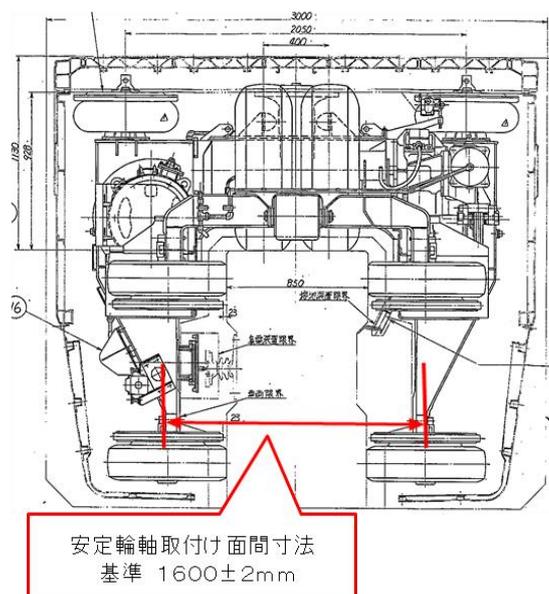
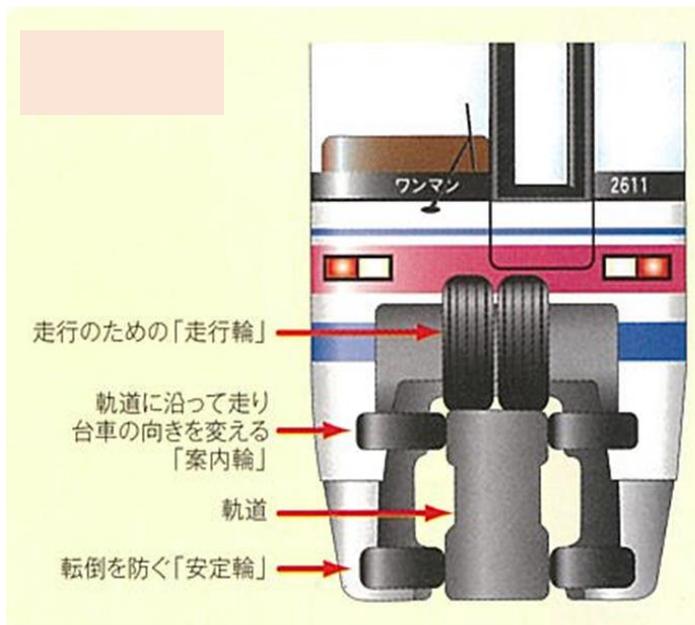


模式図は単純桁であるが、実際には3径間すべてをモデル化する。

横揺れ時(支柱のたわみを考慮)



○台車枠の開き

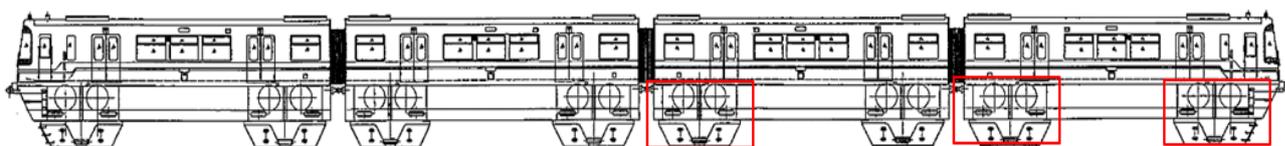


1632号車

1532号車

1232号車

1132号車



部位	補助車輪 ボルト破断	製作時寸法	測定結果	車体支持装置 ゴムブロック位置ズレ
1132号車第2台車	×	1601mm	× 1607.2mm	○
1132号車第1台車	×	1601mm	× 1602.2mm	×
1232号車第1台車	×	1600mm	○ 1600.5mm	×
1632号車第2台車	○	1600mm	○ 1599.3mm	○

## <電気>

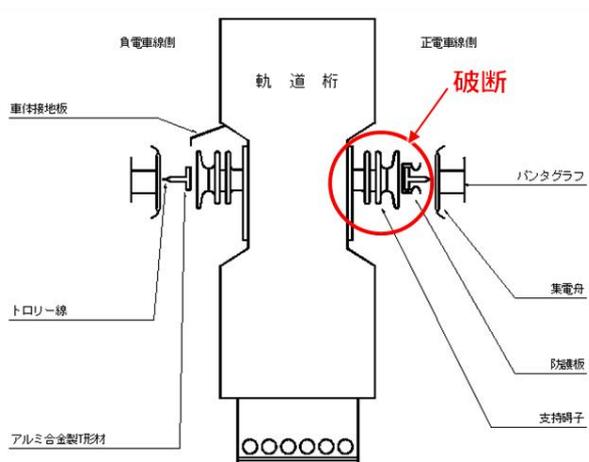
### 碍子の落下防止【確定】

電車線の移動を抑止するアンカーリング部（固定部：100mに1か所）において主に破損が発生（24か所中23か所がアンカーリング部で破損）。

原因究明に向けて、取り付けられている桁の種類やかけ違い部、平面曲線や縦断曲線、地震動の揺れの方向など比較検討を実施したところ、橋軸方向への軌道桁の揺れ（移動）が破損の主な原因と推測される。

現在、アンカーリング部全ての碍子を新しい部品に交換中だが、碍子の材質上、地震動による破損は免れないため、メーカーと共同開発した落下防止対策を実施する。（図11参照）

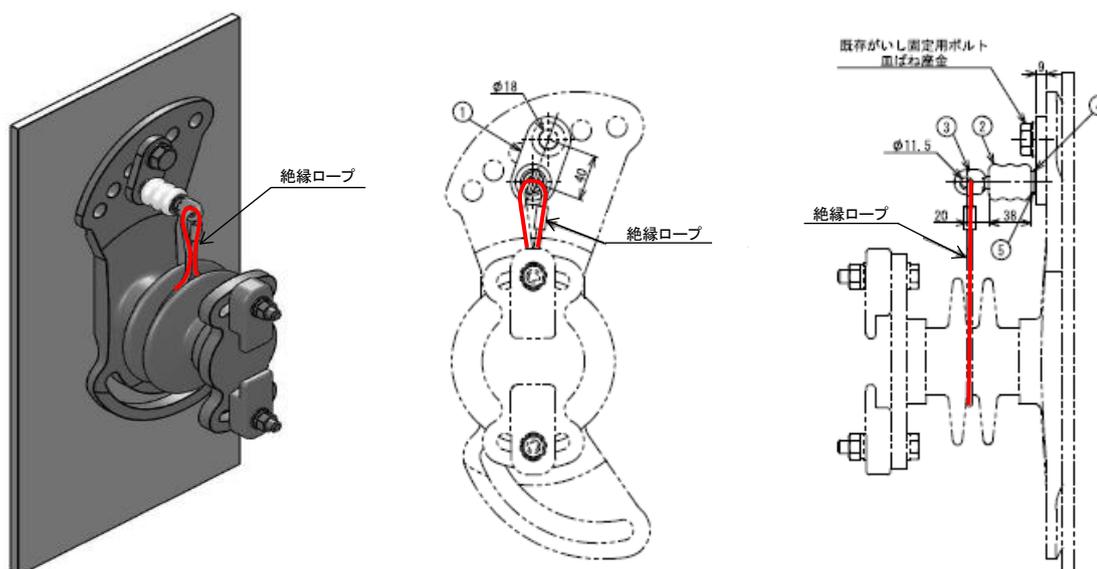
図11：碍子の損傷状況



碍子損傷（取付金具根元から破断）

### 《碍子（がいし）の落下防止対策のイメージ》

⇒絶縁性能を確認の上、碍子と取付金具を絶縁ロープで結ぶことで落下防止を図る



### 碍子の支持方法改良【継続】

落下防止対策に加えて、アンカーリング部を改良し碍子の破損を防ぐ方法について検討を進める。

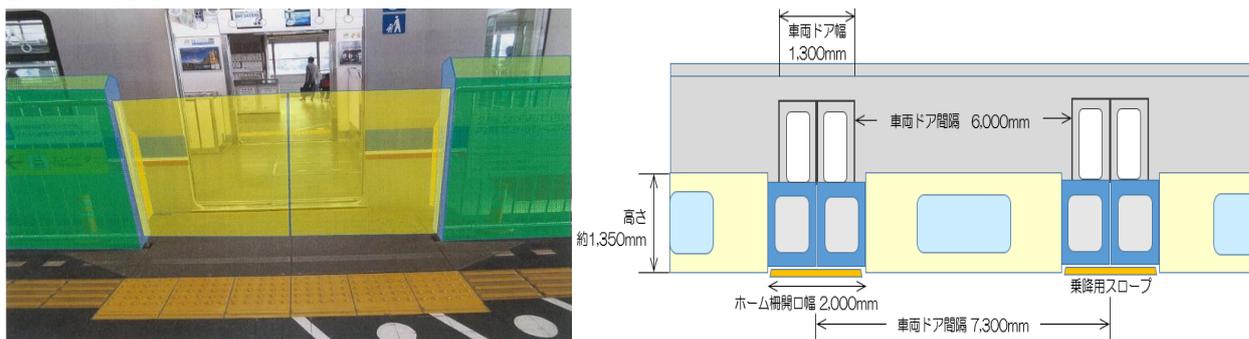
## <駅舎>

### ホームからの転落防止【確定】

モノレールは軌道下からホームまでの高低差が大きく（約 3.2m）軌道側面には電車線（直流 1500v）があるため、転落すれば重大な事故につながりかねない。

現在、乗降口部分を除き固定柵を設置しているが、より安全性を向上させるため、今年度から可動式ホーム柵の設置に着手し、全 18 駅に設置する。（図 12 参照）

図 12：可動式ホーム柵設置のイメージ

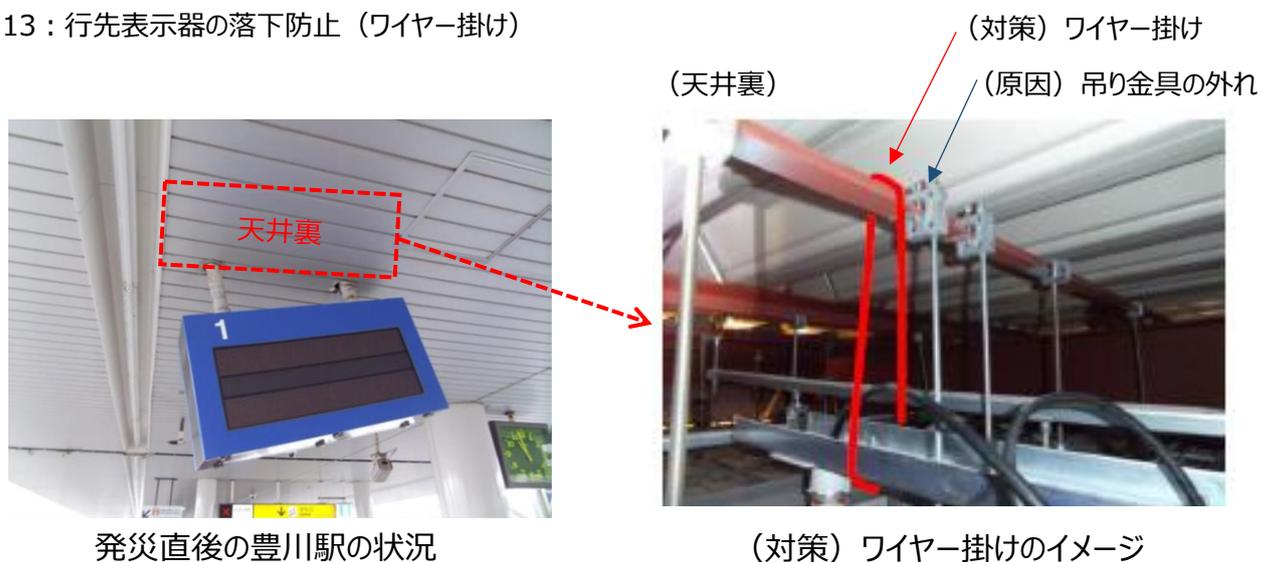


### 行先表示器の落下防止【確定】

揺れが強かった豊川駅のホーム上で行先案内板の傾きが発生。点検の結果、吊り金具の外れが原因（ボルトの強度不足ではない）と判明。

行先案内板が落下すれば人身事故につながる恐れがあることから、安全対策として、全 18 駅に落下防止対策（ワイヤー掛け）を実施する。（図 13 参照）

図 13：行先表示器の落下防止（ワイヤー掛け）



(1)豊川駅での案内板傾きの原因が、ボルトの破断ではなく、吊り金具の外れ。  
(2)ボルトの強度は基準値以上。

全駅を対象に落下防止対策（ワイヤー掛け）を行う。

## <効率的な点検方法>

### (仮称) 地震被災度推定システムの構築【継続】

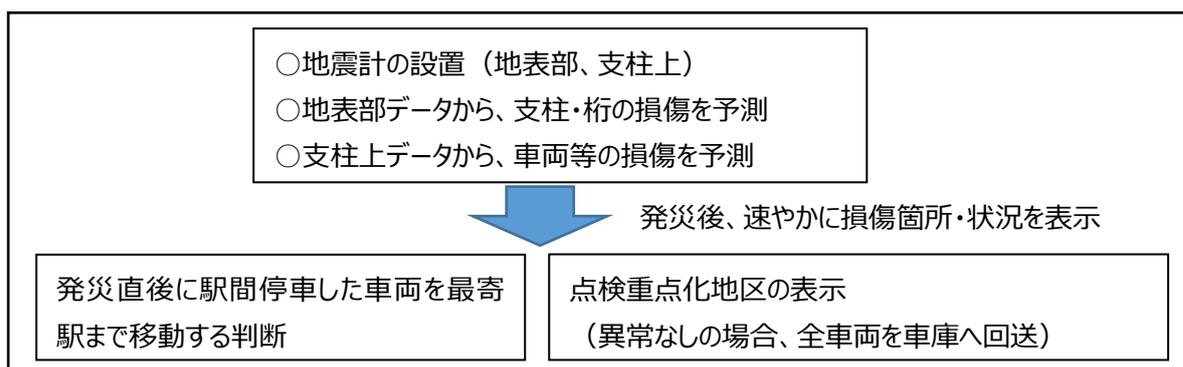
発災後、効率的に施設点検を行うには、駅停車中の車両を早期に車庫へ回送し、工作車による点検を行うことが重要である。

併せて、発災直後に駅間停車した車両を最寄駅まで移動する際には、速やかに軌道桁や支柱等施設の安全性を確認することが重要である。

このため、地震の規模や特性に応じて、損傷箇所や損傷程度を速やかに予測できる（仮称）地震被災度推定システムの構築を目指す。このシステムにより、発災直後に車両移動の判断を行うとともに、点検箇所を重点化することで点検時間の短縮を図る。（図 14 参照）

また、門真市から瓜生堂までの延伸計画では、終点駅付近に新たに車庫を設けることとしており、損傷箇所が予測できれば、より円滑な車庫への引き込みや、2 箇所の車庫から工作車を出勤させて効率的に点検することも可能となり、車庫への回送に要する時間や点検に要する時間をさらに短縮できることが期待される。

図 14：（仮称）地震被災度推定システムのイメージ



### 点検困難箇所の対策【継続】

発災後の施設点検は工作車による点検を主とするが、駅停車車両が障害となり、道路上から高所作業車による点検を実施しなければならない場合も想定される。しかし、鉄道や高速道路との交差箇所では、道路上からの点検は困難なため、点検通路、点検梯子等の設置について検討する。

以上より、現段階で対策方法が確定している項目は下記のとおりである。

1. 分岐器：リミットスイッチの改良  
(分岐器内の他部品と合わせて対応する予定)
2. 車両：ゴムブロックの落下防止
3. 電気：碍子の落下防止
4. 駅舎：ホームからの転落防止
5. 駅舎：行先表示器の落下防止

### 3. 今後の検討内容

施設毎の対策については、引き続き検討を深める必要があるものが多く、土木構造物等との相互作用を含めた被災原因の検証や対応策の検討を継続して進める。また、メーカーやコンサルタント等の協力も得ながら、多様な視点から検討を行ない、迅速に対策案を立案する。

#### (1) 耐震力の強化・安全性の向上

今後も起こりうる地震に対して、耐震性能を向上させることで施設の損傷を減らし、早期の運行再開を行う。また、お客様の安全を確保するとともに第3者被害を防止する。

検討項目	主な検討内容
分岐橋：制震ダンパーの設置	・異常変位時における支承部の段差解消対策 ・発災後の復旧方法等の確認
車 両：安定輪補助輪取付ボルトの強度向上	・被災原因の特定
車 両：台車枠の強化	・被災原因を踏まえた対策案の決定
車 両：案内輪補助輪の落下防止対策	・今回損傷はなかったが、台車枠の強化等の検討と整合を図り、対策方法を検討
電 気：碍子の支持方法の改良	・実験等により予測どおり機能するか確認

#### (2) 早期復旧対策

今回以上の大規模な地震についても損傷を受けることを受忍しながらも、重要な部分を守り、復旧が容易な箇所をヒューズに設定し迅速に修繕を行うことで早期の復旧を行う。

検討項目	主な検討内容
分岐器：ピニオンギアに代わるヒューズの設定	・設定したヒューズが実験等により予測どおり機能するか確認

#### (3) 効率的な点検方法

点検要領を見直し、日常点検を強化することで今回被災しなかった箇所についても要注意箇所等の状況把握に努め、発災時の点検を効率化する。

発災時には、目視点検を基本としながらも、新たなシステムを導入して点検箇所を重点化することで点検時間を短縮し、運転再開までの時間を短縮する。

検討項目	主な検討内容
点 検：点検要領の見直し（日常点検の強化）	・要注意点検箇所・点検不可視部分・落下の恐れのある部品等の状況把握
点 検：（仮称）地震被災度推定システムの構築	・地震計の増設計画の検討 ・桁・支柱等の被災度予測、判定方法の検討
点 検：点検困難箇所の対策	・点検通路、点検梯子等の設置

#### 4. 早期着手について

道路上への部品落下や駅ホームからの転落は、人命にもかかわる重大なものである。また、発災後の点検に日時を要し運行再開までに期間を要したことから、利用者の皆様には多大なご不便をおかけすることになった。

これまでの被災検証委員会において対策方法が確認されている以下の内容については、これらの対策を実施することによって、安全性の向上に資するだけでなく、運行再開時に課題となる駅停車車両の車庫への早期回送、あるいは駅ホームの早期利用が図られ、早期の運行再開につながることから、先に取り組みを進める。

今後の不測の事態に備え、この報告をもって速やかに着手することとする。

	早期に着手する項目	目標（時期）
車両	・ゴムブロックの落下防止対策	・2019 年度末までに全車両を改良
電気	・碍子（がいし）の落下防止対策	・2019 年 6 月末までに、アンカーリング部（固定部：100m に 1 か所）全ての碍子を新品に交換 ・2019 年度末までに、同箇所落下防止対策を実施
駅舎	・ホームからの転落防止対策 （可動式ホーム柵の設置） ・行先表示器の落下防止対策 （ワイヤー掛け）	・2022 年度末までに全 18 駅に設置  ・2019 年 9 月末までに全 18 駅に設置

なお、対策方法が確定している分岐器内のリミットスイッチの改良については、分岐器内の他部品と合わせて対応する。

連絡先：（事務局）大阪府都市整備部交通道路室都市交通課  
大阪高速鉄道株式会社技術部