

2018 年大阪府北部の地震

大阪モノレール被災検証報告書

2019 年 3 月 13 日

大阪府北部地震大阪モノレール被災検証委員会

## 目次

1. はじめに	P. 1
2. 主な被災状況と検証・検討の考え方	P. 4
3. 施設毎の被災状況の検証と対策	P. 7
4. 効率的な点検方法	P.29
5. まとめ	P.35

## 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)

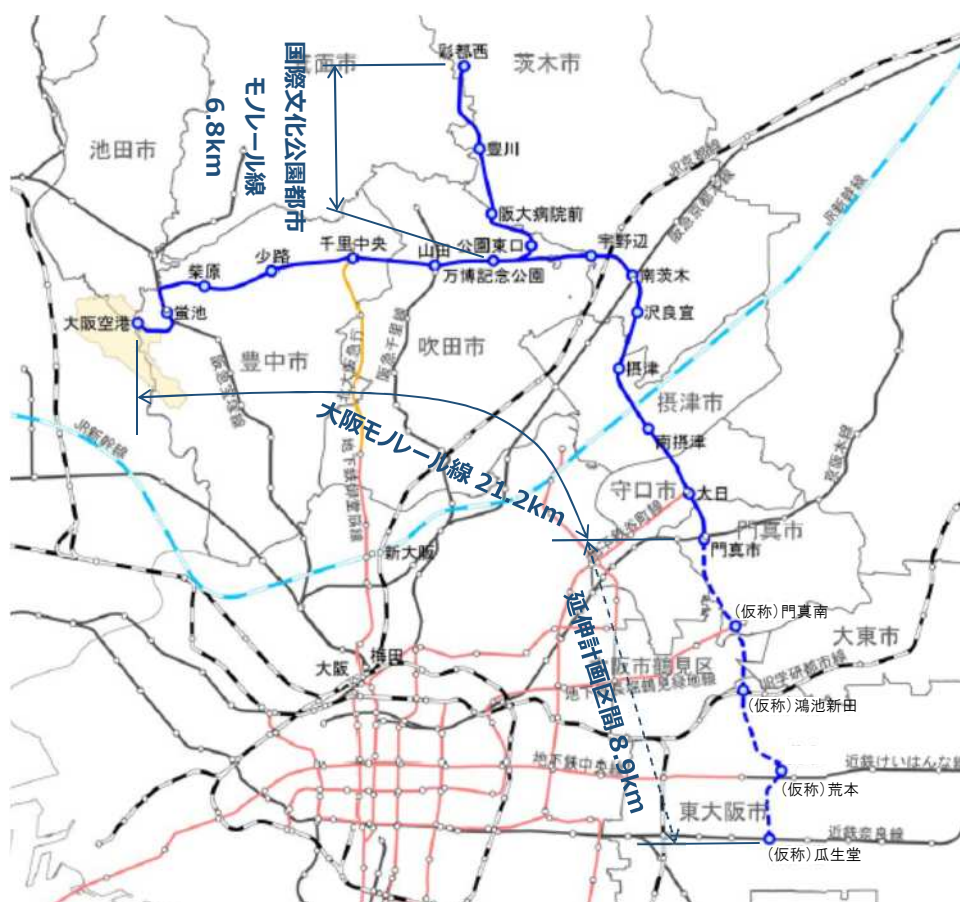


図 1 : 大阪モノレール路線図

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 成分合成の最大加速度が 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損傷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）

2018年8月8日に開催した第1回委員会では、検証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、具体的な対策を検討することになった。

また、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ることにした。

12月14日に開催した第2回委員会では、今後も発生しうる地震に備え、対策方法等が確定した内容から早期に着手する事項について中間報告を行った。

この度、2019年3月11日に開催した第3回委員会（最終）での検討を踏まえて、対応策や今後の取り組み等について報告書として示すものである。

## 2. 主な被災状況と検証・検討の考え方

### (1) 主な被災状況

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（表 2・図 2 参照）。

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
	ロックシリンダの鎖錠不良	9 か所	軌道桁の揺れ
3 分岐器	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	駅舎の揺れ
	豊川駅：行先表示器吊り金具の外れ	1 か所	駅舎の揺れ
	豊川駅：天井パネルの落下	1 か所	駅舎の揺れ

※対応策を記載していない項目については、復旧が容易、代替手段がある、又は既に対策が完了したものである。

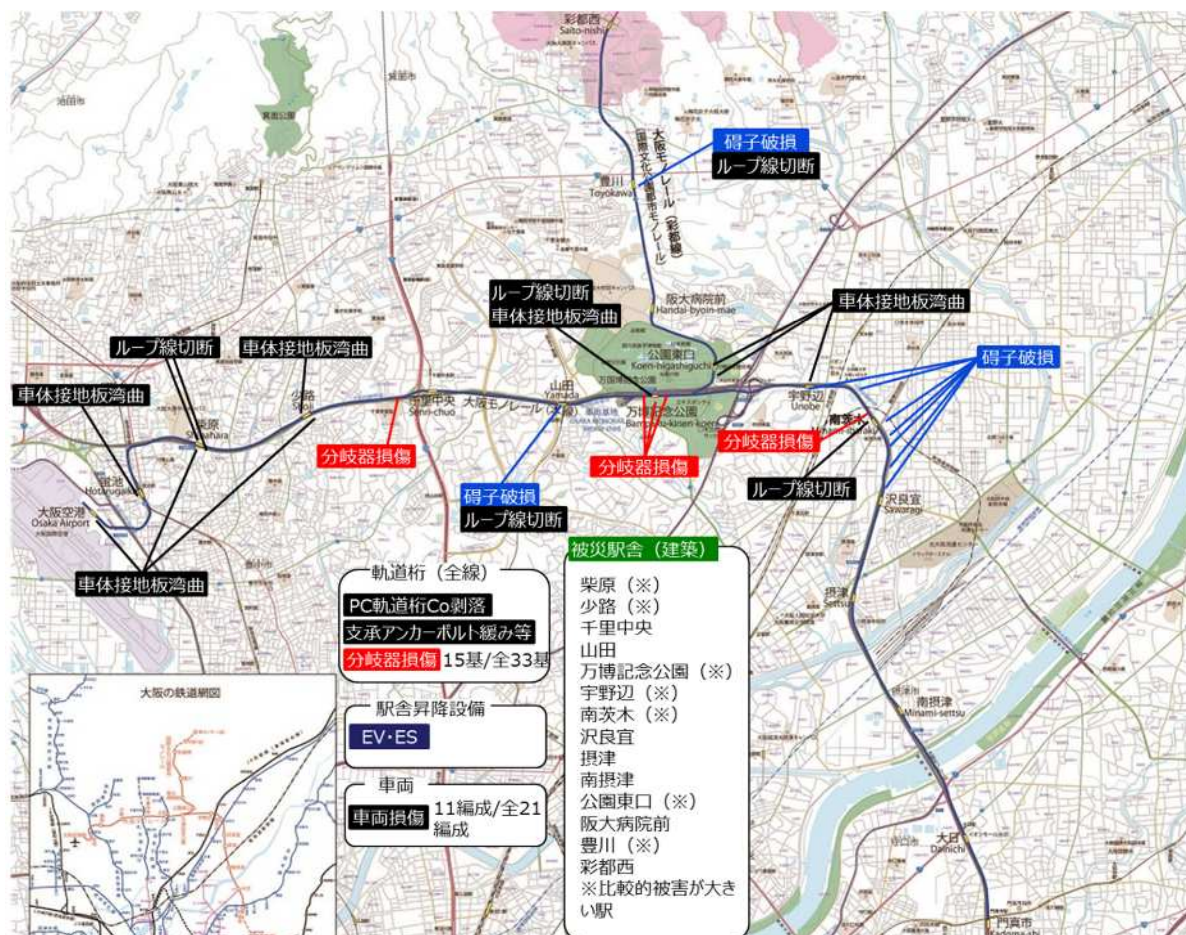


図 2：主な被災箇所

## (2) 施設点検の長期化

駅で停車中の車両を車庫に回送する際に、破損した碍子等が道路上に落下する恐れがあったことから、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、点検・修繕を要する箇所が数多く見つかったことから、全車両を車庫に回送するまでに 5 日間を要することになった。

(図 3 参照)

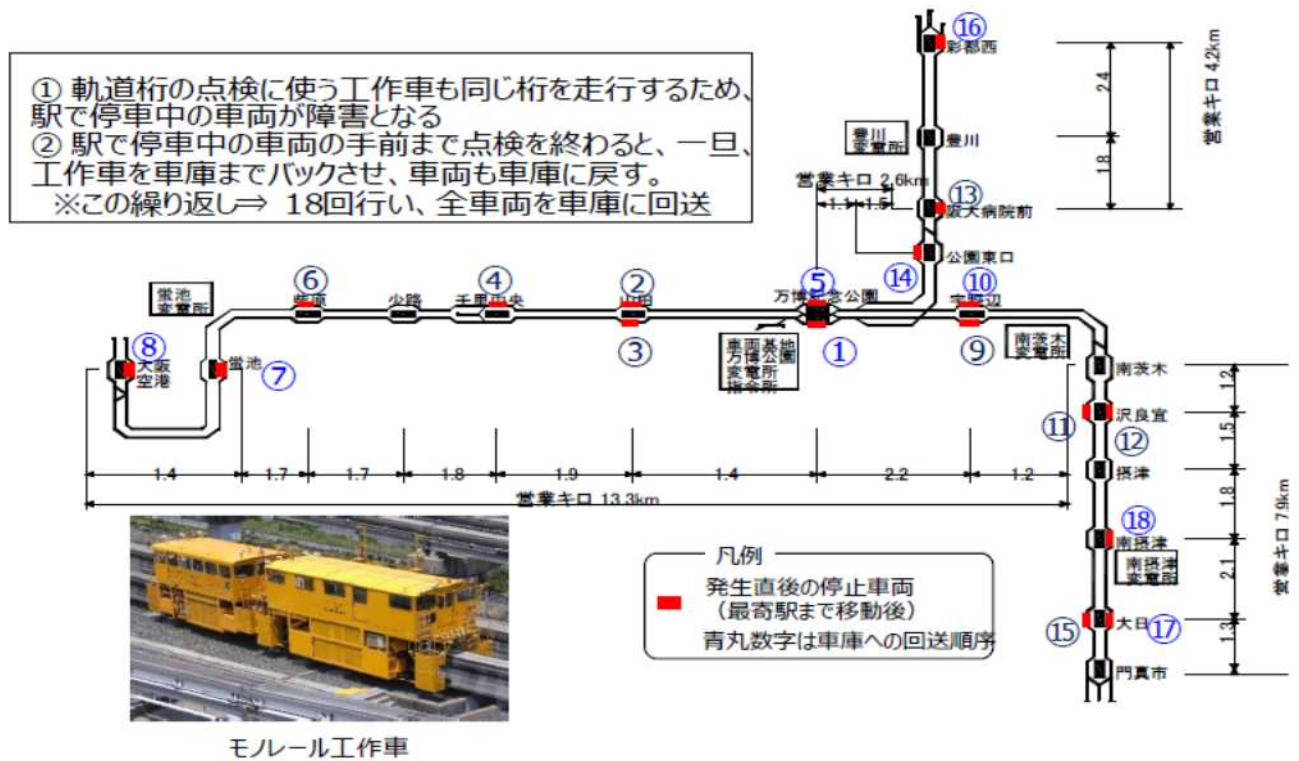


図 3：被災直後の点検と駅停車中車両の車庫への収容の流れ

## (3) 検証・検討の考え方

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、「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を行うとともに、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、以下の 3 点を柱として検討を行った。(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。

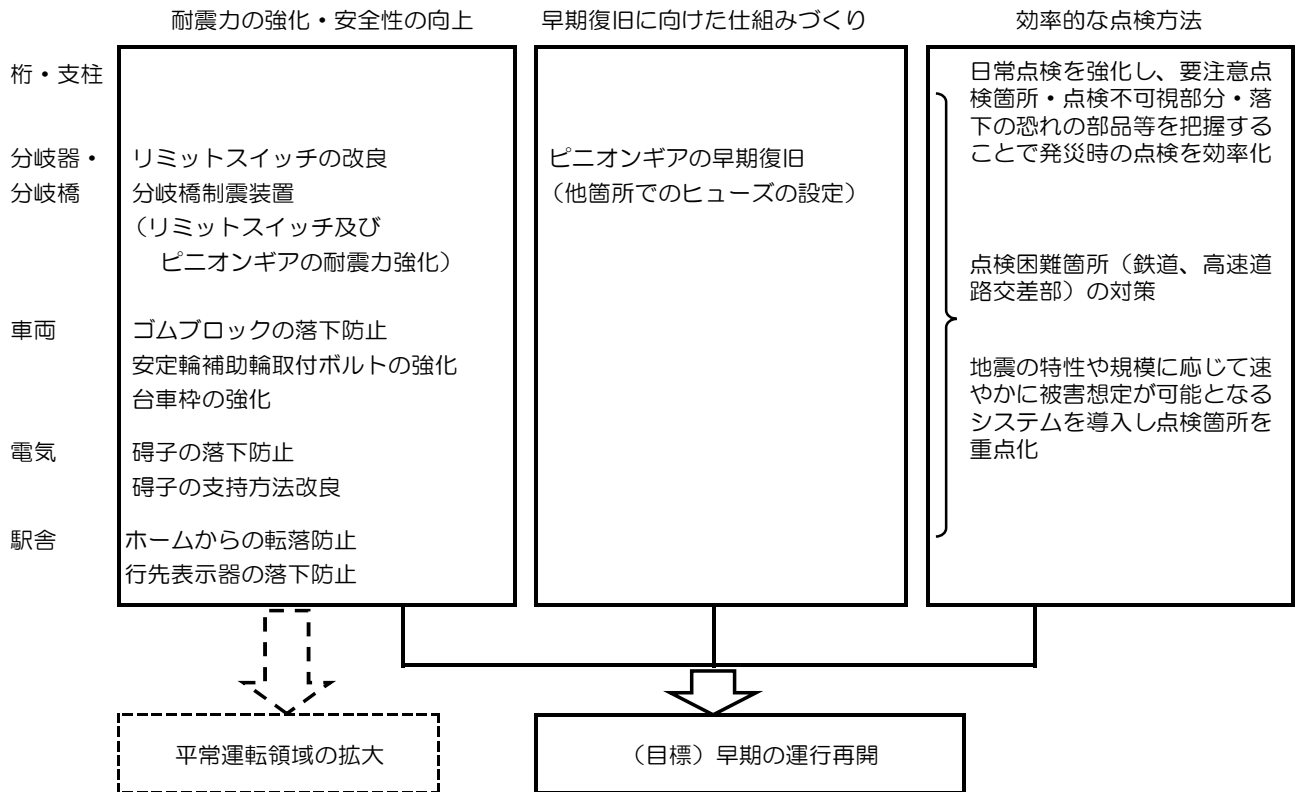


図 4：損傷箇所の復旧 目標イメージ

さらに、耐震力の強化にあたっては、モノレールを構成する各施設における耐震性能の現状を把握し、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い、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構築する。(図 5 参照)

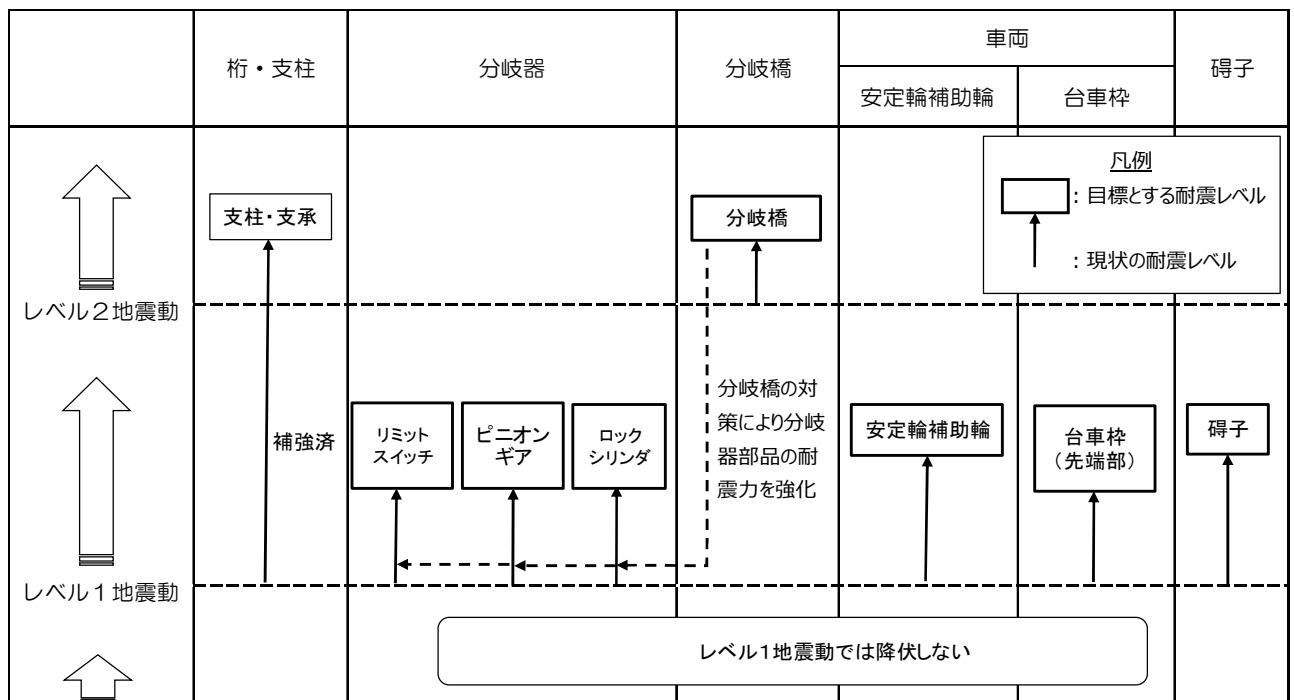


図 5：大阪モノレール施設の現状における耐震性能と目標イメージ

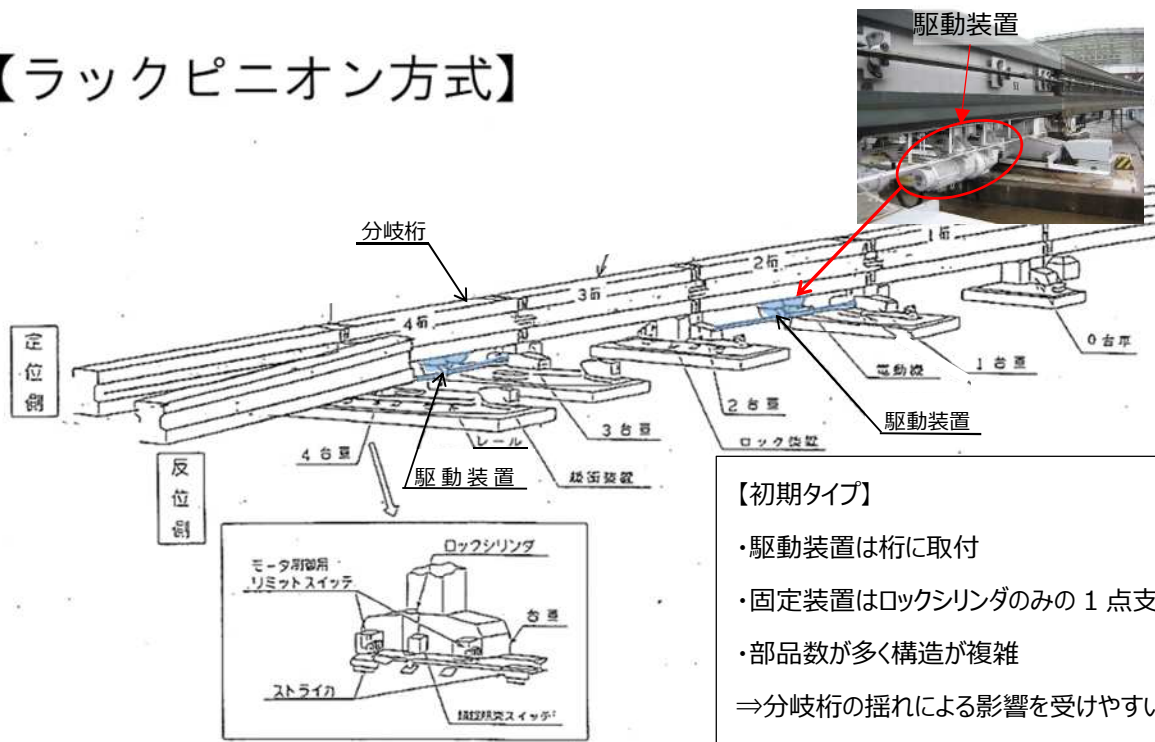


### 3. 施設毎の被災状況の検証と対策

#### <分岐器・分岐橋>

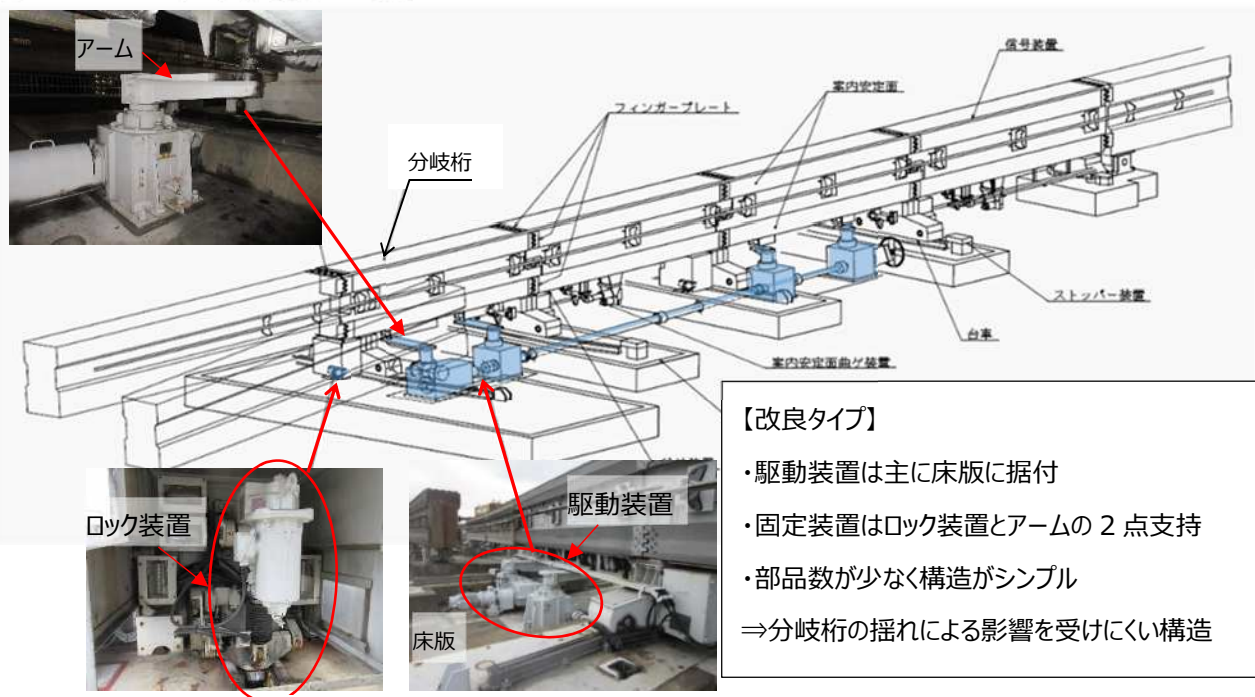
今回の地震では、33 基中 15 基の分岐器に損傷が発生。損傷箇所は全て初期のタイプのラックピニオン方式であり、改良タイプのアーム回転方式での損傷はなかった。（図 6、図 7 参照）

#### 【ラックピニオン方式】



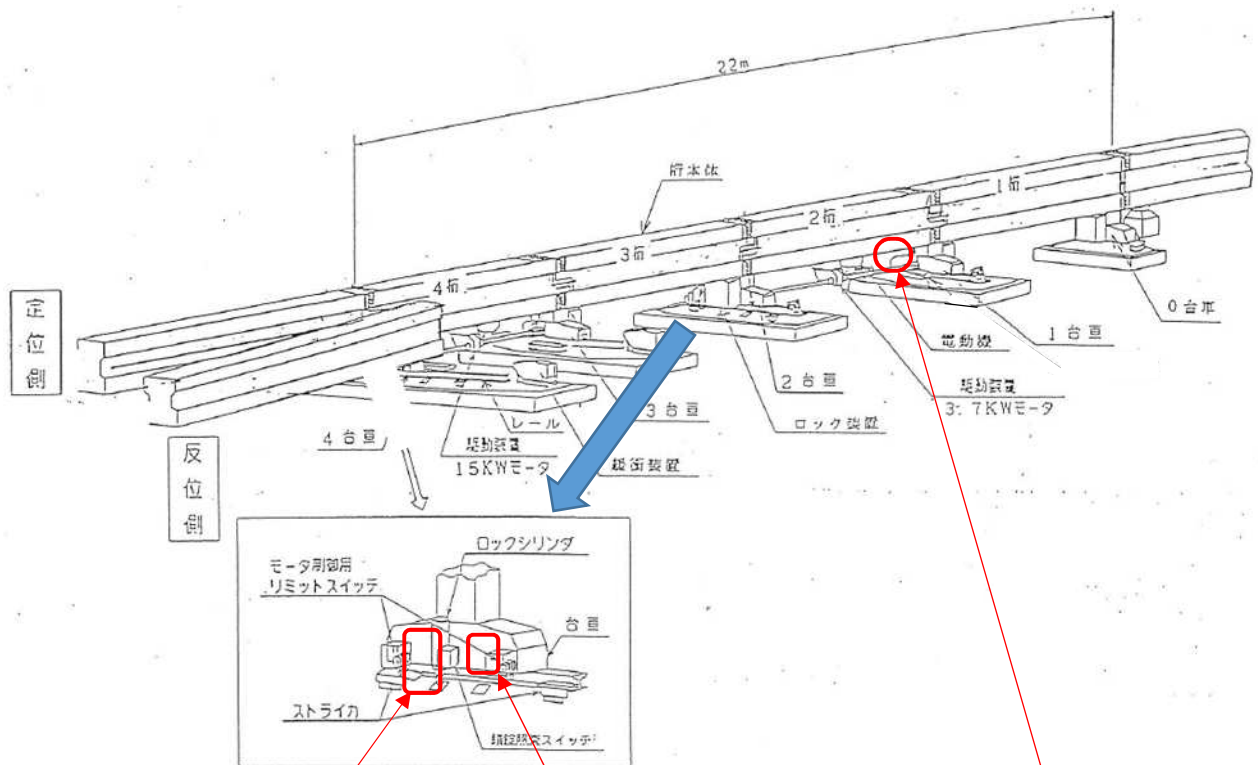
- 【初期タイプ】
- ・駆動装置は桁に取付
  - ・固定装置はロックシリンダのみの 1 点支持
  - ・部品数が多く構造が複雑
- ⇒分岐桁の揺れによる影響を受けやすい構造

#### 【アーム回転方式】



- 【改良タイプ】
- ・駆動装置は主に床版に据付
  - ・固定装置はロック装置とアームの 2 点支持
  - ・部品数が少なく構造がシンプル
- ⇒分岐桁の揺れによる影響を受けにくい構造

図 6：ラックピニオン方式とアーム回転方式の違い



ロックシリンダの損傷



リミットスイッチの損傷



ピニオンギアの空回り

図 7：分岐器の主な損傷箇所

今回の地震による分岐器の損傷が、初期タイプのラックピニオン方式のみであったことから、抜本的な対策としては、初期タイプのラックピニオン方式を改良タイプのアーム回転方式に替えることが有効と考えられる。このため、施設更新時にアーム回転方式へ変更することを現時点での将来的な抜本対策案とする。

しかし、ラックピニオン方式からアーム回転方式への更新については、スペースの確保や数日間に及ぶ運休が必要となる等の課題があるため、今後、長期的な対応として、更新の具体化に向けた課題や対策方法の検討を進めることとする。

一方で、施設更新の前に今回と同規模の地震が発生すると、ラックピニオン方式の分岐器では同じような損傷が生じ、営業運行に影響を及ぼす可能性があるため、現在の施設を部分的に改良することとし、以下の3点の取り組みを行うこととする。

- ① 分岐橋に制震装置（ダンパー）を設置
- ② リミットスイッチの改良
- ③ ピニオンギアの早期復旧対策の実施

なお、ロックシリンダは、分岐器が転換後に位置を固定させて水平動を制限する役割を有している。今回の地震ではその役割が発揮された結果、自ら損傷することで他の部品の損傷を抑えることができ、また、当該部品の交換は迅速にできるため、部品交換のみとする。

①分岐橋に制震装置（ダンパー）を設置

この対策は、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ものである。（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、今回の地震で損傷した 3 部品（リミットスイッチ、ピニオンギア、ロックシリンダ）に限らず、モーターや減速機を含めた機器全体の損傷の低減につながるものである。

なお、制震装置には、鋼材ダンパーや粘性ダンパー等の各種タイプがあり、個々の分岐橋に最適のものを採用することとし、2019 年度以降、個々の設計で決定するものとする。

また、ラックピニオン方式の分岐器を支える分岐橋は、大阪モノレール営業区間に合計 6 橋あり、橋梁構造が 3 橋、下部工と一体となったラーメン構造が 2 橋、床版のみの構造が 1 橋あるが、まずは、被害の大きかった橋梁構造の 3 橋（千里中央分岐橋、万博東分岐橋、南茨木分岐橋）で制震化に取り組むこととする（表 3 参照）。

ラーメン構造の 2 橋及び床版のみの 1 橋については、橋梁構造に比べて被害が少なかったため、実施については、橋梁構造における制振装置（ダンパー）設置後に検討することとする。

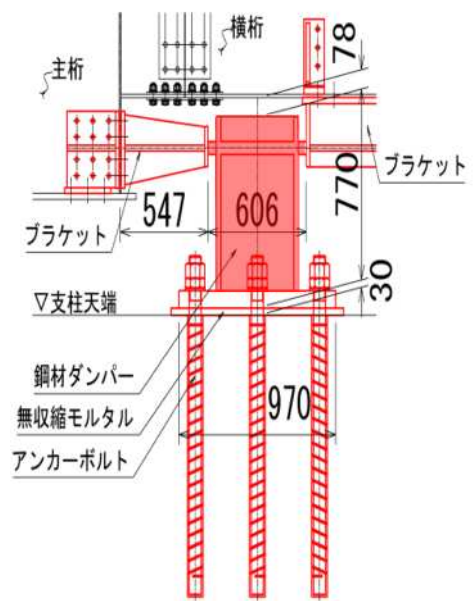


分岐橋



鋼材ダンパー

※ダンパータイプは各種あり個々の設計で決定



鋼材ダンパー構造図

図 8-1：分岐橋制震装置のイメージ（鋼材ダンパーの例）

【粘性ダンパー】

内部に充填した粘性体の摩擦抵抗を利用したダンパー



施工事例



【ビンガムダンパー】

特殊充填材の流動抵抗を利用した高減衰ダンパー



施工事例



図 8-2 : 分岐橋制震装置のイメージ (粘性ダンパーの例)

表 3 : 分岐橋の種別

○タイプ別分岐橋一覧

	分岐器	分岐橋			
		合計	橋梁構造	ラーメン構造	床版のみ
ラックピニオン方式	15 基	6 橋	3 橋	2 橋	1 橋
アーム回転方式	18 基	5 橋	3 橋		2 橋
合計	33 基	11 橋	6 橋	2 橋	3 橋

○ラックピニオン方式橋梁構造 3 橋の橋梁諸元

	橋長	幅員	上部工形式	下部工形式
南茨木分岐橋	95m	12.5m	3 径間連続鋼箱桁橋	T 型支柱
千里中央分岐橋	81m	18.6m	3 径間連続鋼箱桁橋	門型支柱
万博東分岐橋	51m	14.3m	2 径間連続鋼板桁橋	門型支柱

## ②リミットスイッチの改良

ラックピニオン方式の分岐器では、分岐桁に水平方向の地震力が作用した際に、転倒モーメントが働き台車の浮き上がりが生じたことから、分岐器の転換を制御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。(図9参照)

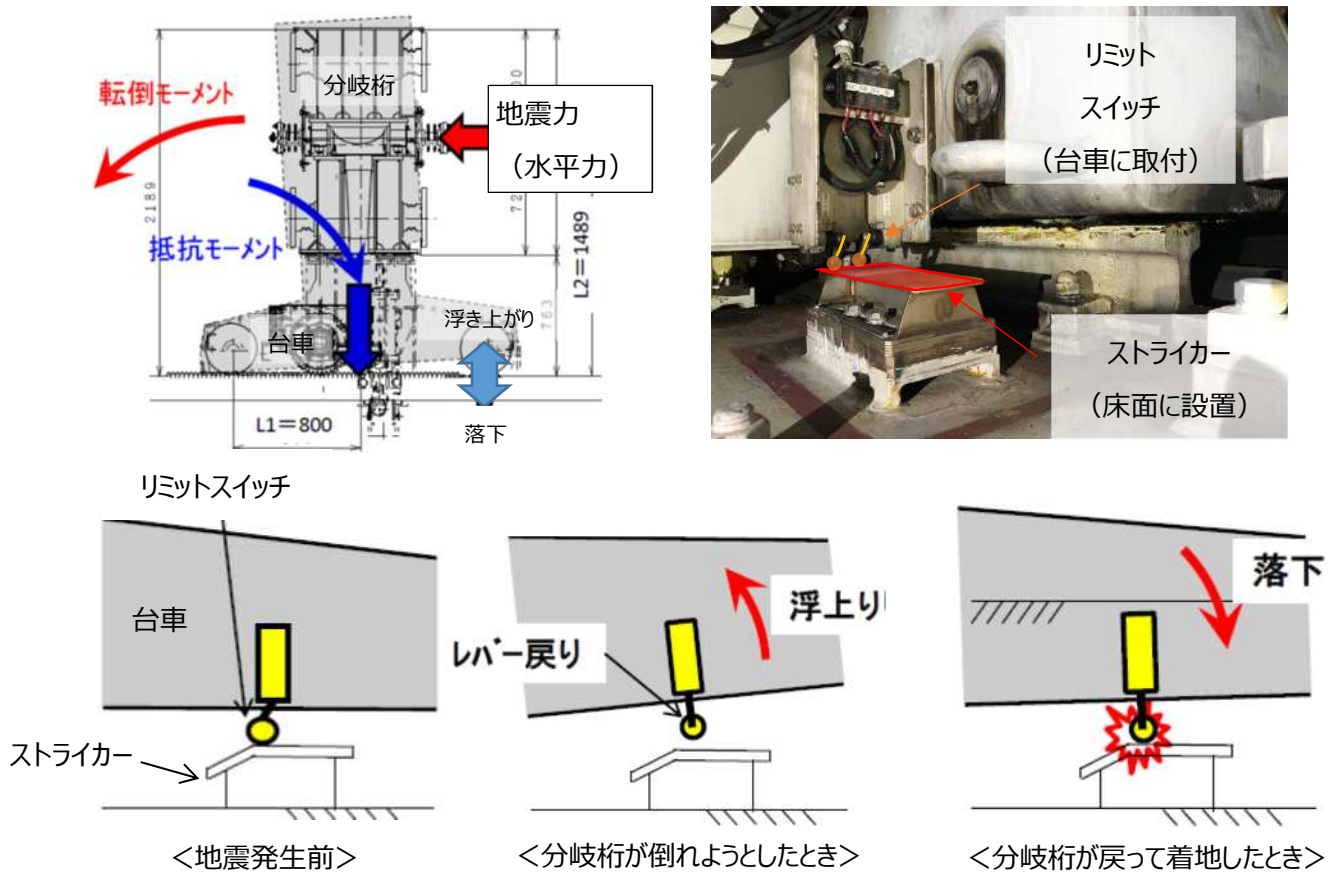


図9：リミットスイッチの損傷原因

このため、ニュートラルな状態でもレバーの角度を傾けることで台車の浮き上がりによる損傷を防ぐ構造とする。(図10参照)

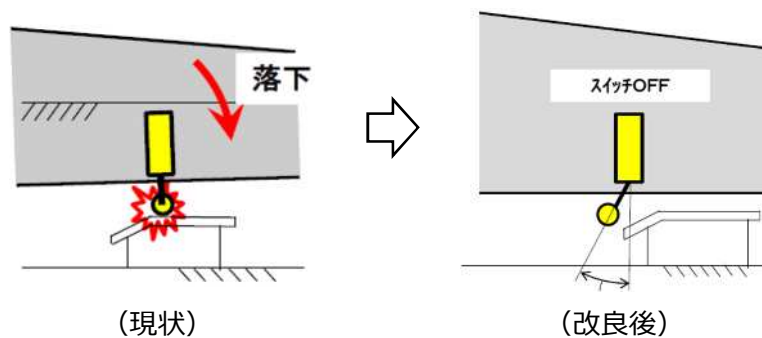


図10：リミットスイッチの改良

### ③ピニオンギアの早期復旧対策

ラックピニオン方式の分岐器は、台車の横面に歯車（ピニオンギア）を取付けており、モーターで歯車を動かして台座に据えたラック（平板状の板に歯切りをしたもの・歯の高さ 20mm）の上を移動し、分岐桁を移動させる構造である。（図 11 参照）

発災直後の点検では、ピニオンギアが正常位置からずれた位置にあり、上下の地震動により、ピニオンギアがラックを飛び越えて移動したと推測されたが、その後の詳細点検の結果、分岐桁の伸縮装置や電車線の損傷が見られなかったことから、ラックを飛び越える程の浮き上がりは生じておらず、分岐桁に水平方向の地震力が作用し歯車が転がろうとしたとき、中心軸との間に摩擦力以上の力が加わったために、中心軸と歯車が空回りしたものと推定される。

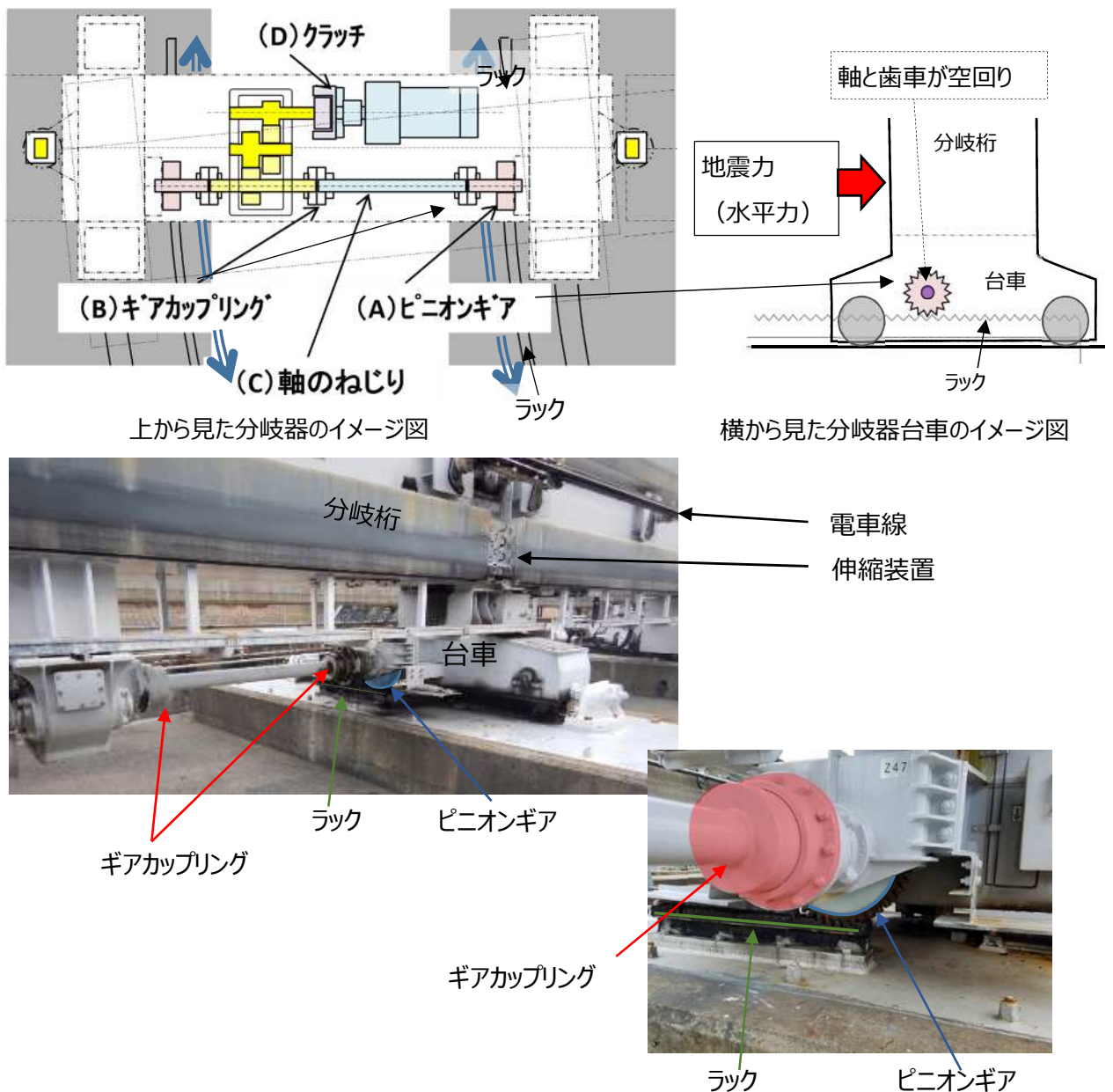


図 11：ピニオンギアの滑り原因

ピニオンギアの空回りにより台車が停止位置から移動した場合の復旧方法としては、台車を元の位置に戻す作業となるが、一旦ギアカップリング（図 11 の（B））を取り外し、手動（チェーンブロック）により元の位置に戻した後、ギアカップリングを接続させる工程となるため、復旧作業に時間を要した。

このため、早期復旧対策としてヒューズを設定することとし、ピニオンギアが空回りする前に、調整作業が容易なクラッチ（図 11 の（D））が滑るようにクラッチの設定トルクを調節する。

また、このようにクラッチをヒューズに設定することで、今後大きな上下動により、もしピニオンギアがラックを飛び越えて移動した場合でも、クラッチを調整することで早期復旧が可能となる。

なお、図 12 の要領で実験を行い、ピニオンギアの空回りが発生する前にヒューズとして設定するクラッチが想定通り滑ることを確認の上実施することとする。

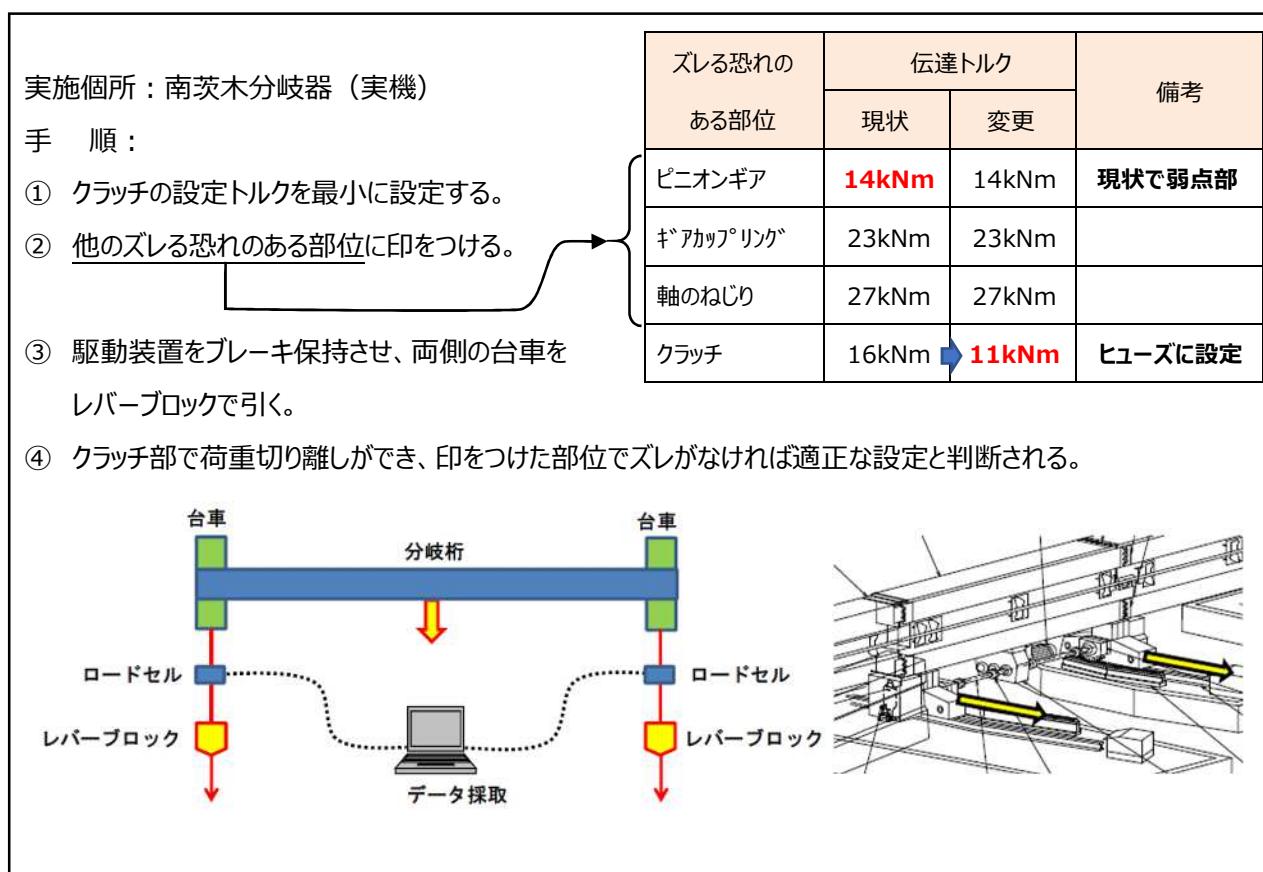


図 12：ヒューズ設定の実験

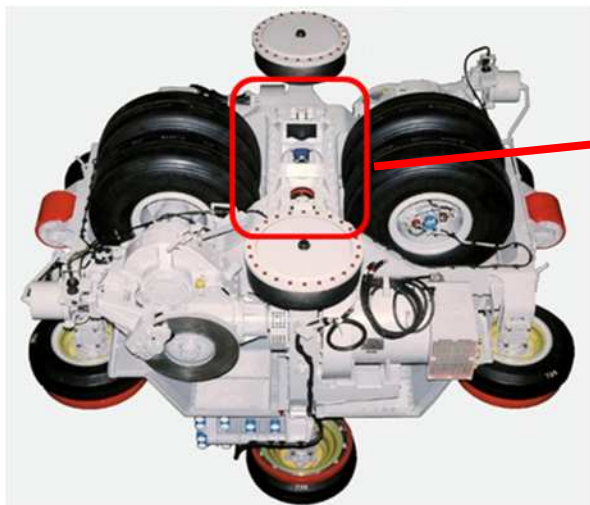
この対策により、地震被災後の復旧作業では、ギアカップリング脱着の工程を省略することができることとなり、復旧時間を短縮できる。

<車両>

ゴムブロックの落下防止

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車体と台車をつなぐ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 13 参照)



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

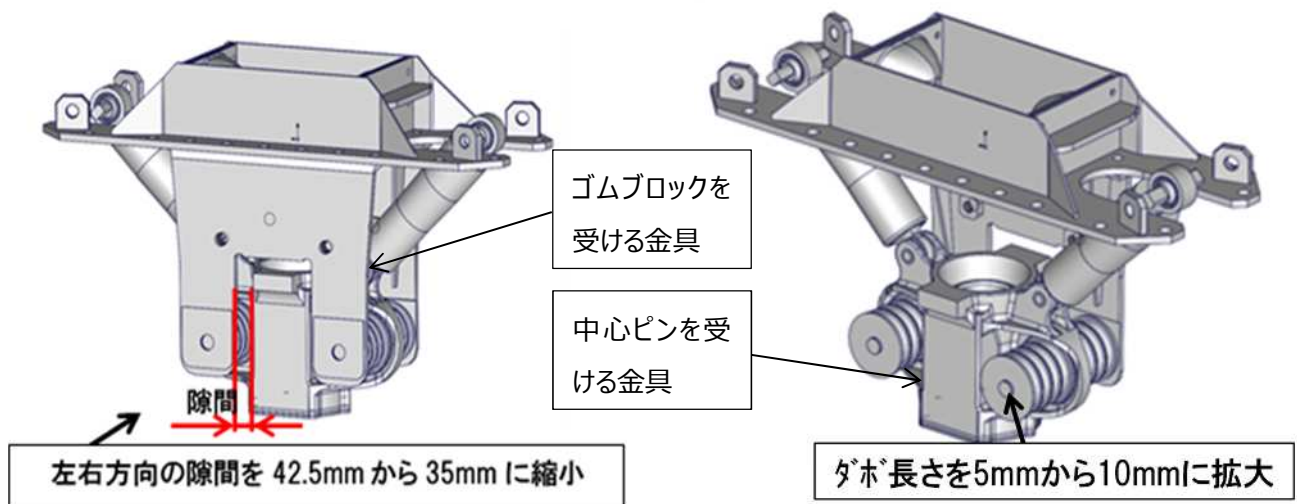


図 13:ゴムブロックのズレの被災状況



## 安定輪補助輪取付ボルトの強化・台車枠の強化

### (1)はじめに

地震発生時に運行していた 18 編成のうち、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、台車枠の開きが発生した。（図 14 参照）

原因究明にあたって、地表面での揺れが支柱や軌道桁（以下、桁部という。）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を明らかにした。なお、車両のバネの挙動が複雑なために、地表部の揺れから車両の揺れまでを一連で解析するモデルは現時点で実用化されていないことから、まず、地表部の揺れから桁部の揺れを解析するモデルを用いて、桁部に作用する応答加速度等を算出した後、桁部の揺れから車両の揺れを解析するモデルを用いて、車両の揺れを解析し、損傷原因を究明することとした。

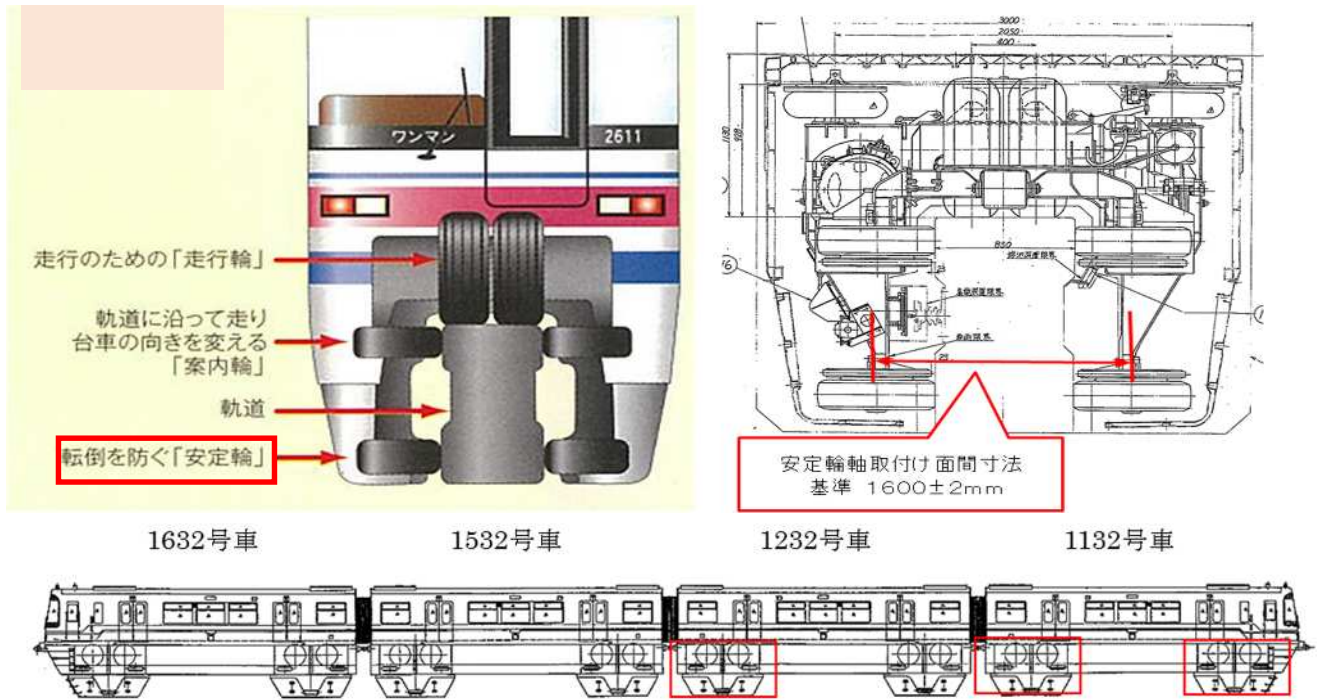
### ○損傷箇所



### ○安定輪補助輪取付ボルトの破断



○台車枠の開き



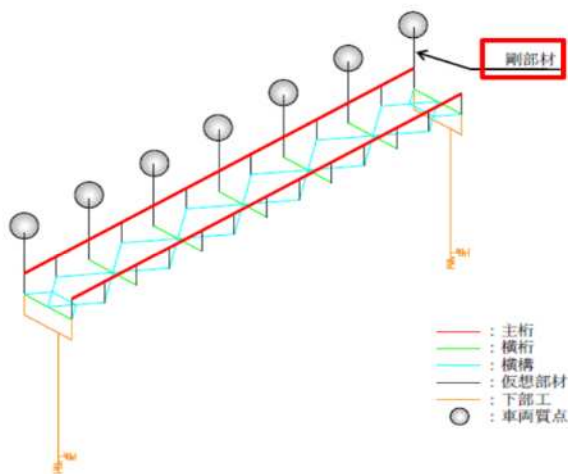
部位	補助車輪 ボルト破断	安定輪軸取付け面間寸法		車体支持装置 ゴムブロック位置ズレ
		製作時寸法	測定結果	
1132号車第2台車	×	1601mm	× 1607.2mm	○
1132号車第1台車	×	1601mm	× 1602.2mm	×
1232号車第1台車	×	1600mm	○ 1600.5mm	×
1632号車第2台車	○	1600mm	○ 1599.3mm	○

図 14：車両の損傷状況

(2) 桁部の揺れに関する解析

地表部の揺れから桁部の揺れを解析するモデルを図 15 に示す。

縦揺れ時(桁のたわみを考慮)



桁部と車両は剛部材で連結していると仮定し、  
桁部質点にかかる加速度を解析

横揺れ時(支柱のたわみを考慮)

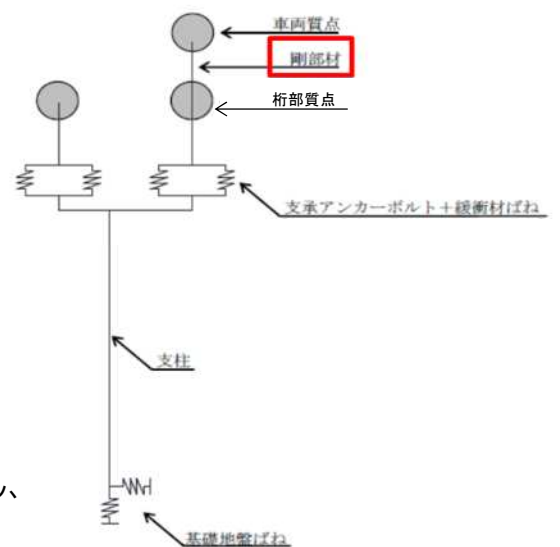


図 15：桁部の解析モデル

次に、地表部の揺れ（地震の加速度）と桁部の揺れ（応答加速度）に関する方向別の解析結果を図 16 に示す。なお、地表部の揺れは、近隣の摂津市役所に設置している地震計の波形である。

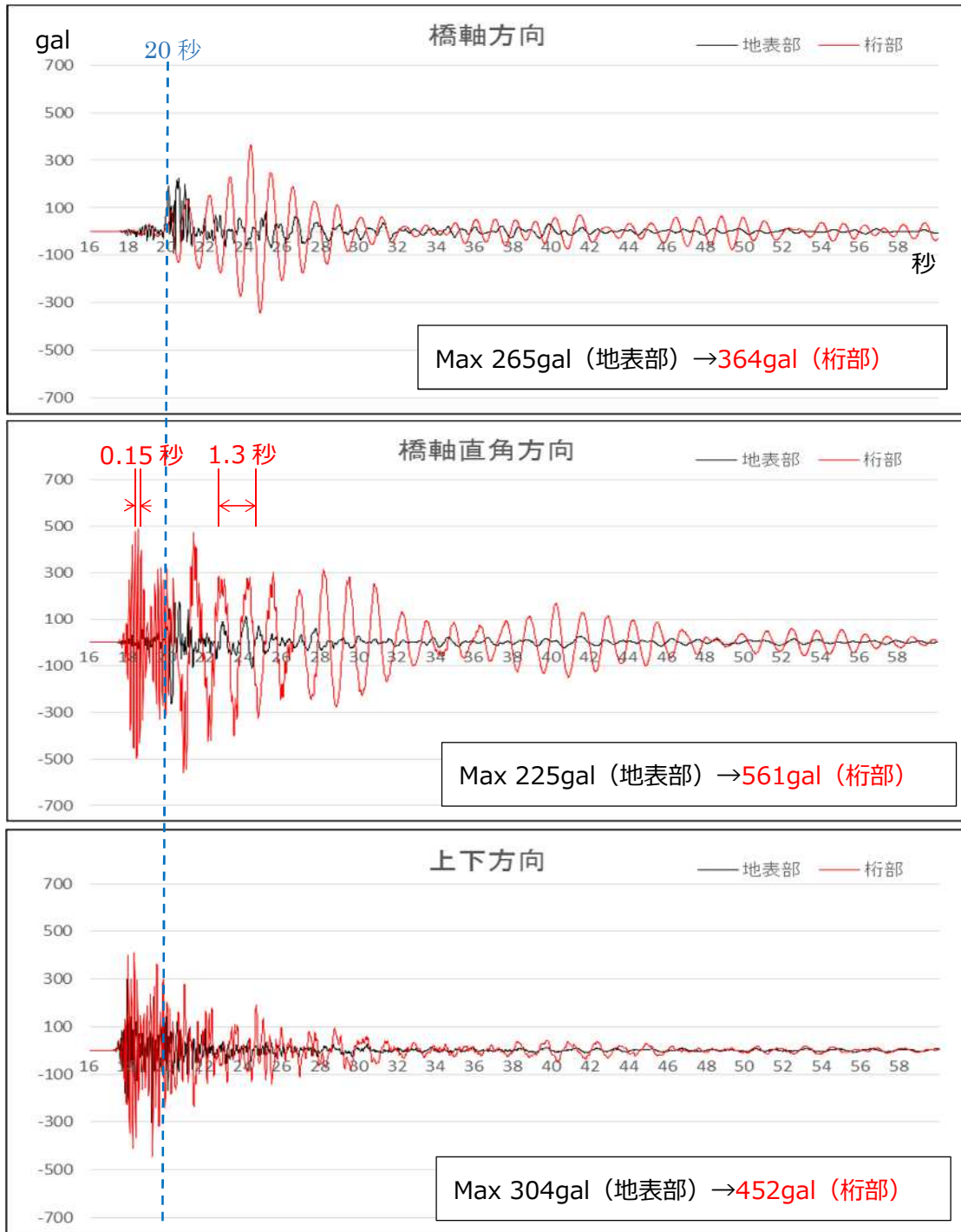


図 16：地表部と桁部の加速度の比較

解析の結果、主に 3 点の特徴を示した。

1 点目は、地表部の加速度に対して桁部の加速度が増幅していることである。特に、橋軸直角方向（進行方向に対し直角方向）については、地表部の最大加速度が 225gal(1gal=1cm/sec<sup>2</sup>、980gal= 1 G となる)に対して、桁部の最大応答加速度は 2 倍以上の 561gal を示した。

2 点目は、地震波の周期（揺れが 1 往復するのにかかる時間）が地表部に対して桁部の方が長く

なることである。橋軸直角方向では、発生直後は地表部と同様に桁部の周期が 0.1~0.15 秒程度の波形が表れているが、図 16 に示す 20 秒を過ぎてからは周期が 1.3 秒程度の波形に変化している。

3 点目は、地表部の揺れが減衰してきても、桁部の周期の長い波形は、しばらくの間、継続することである。橋軸直角方向では、地表部の揺れは概ね 25 秒で減衰しているが、軌道桁の揺れは概ね 45 秒まで続いていることがわかる。

これらの要因は、被災箇所の軌道桁と支柱の構造が鋼軌道桁と鋼製支柱（1 本柱）であり、新幹線の上を通過する高々架構造であったことから、構造的に異常が発生していなくても、比較的揺れやすい構造にあったことが原因であったことが想定される。また、軌道桁までの高さが約 27m（ビルでは 7~8 階に相当）というのは、大阪モノレールでは南伸計画区間を含めても最大の高さである。このような現場条件のもと、今回の損傷が発生したものと想定される。

また、周期の長い横揺れが始まる 20 秒までの橋軸直角方向の加速度は、地表部はほとんど揺れていないのに対し、軌道桁では 500gal 程度の激しい加速度が発生している。これは、梁の構造が片持ちタイプであった上に、支柱から離れた側の軌道桁をほぼ定員の乗客が乗車している車両が走行していたことから、橋軸直角方向にたわみが発生していたところに、上下方向の地震動（最大加速度 304gal）が加わったため、直角方向の揺れを生み出したものと想定される。

次に、上記の方向別波形の特徴をさらに把握するため、周期の長い横揺れが始まる 20 秒を境としてその前後に切り分けて、橋軸直角方向を横軸、上下方向を縦軸にとり、加速度、速度、変位量を比較したものを図 17 に示す。

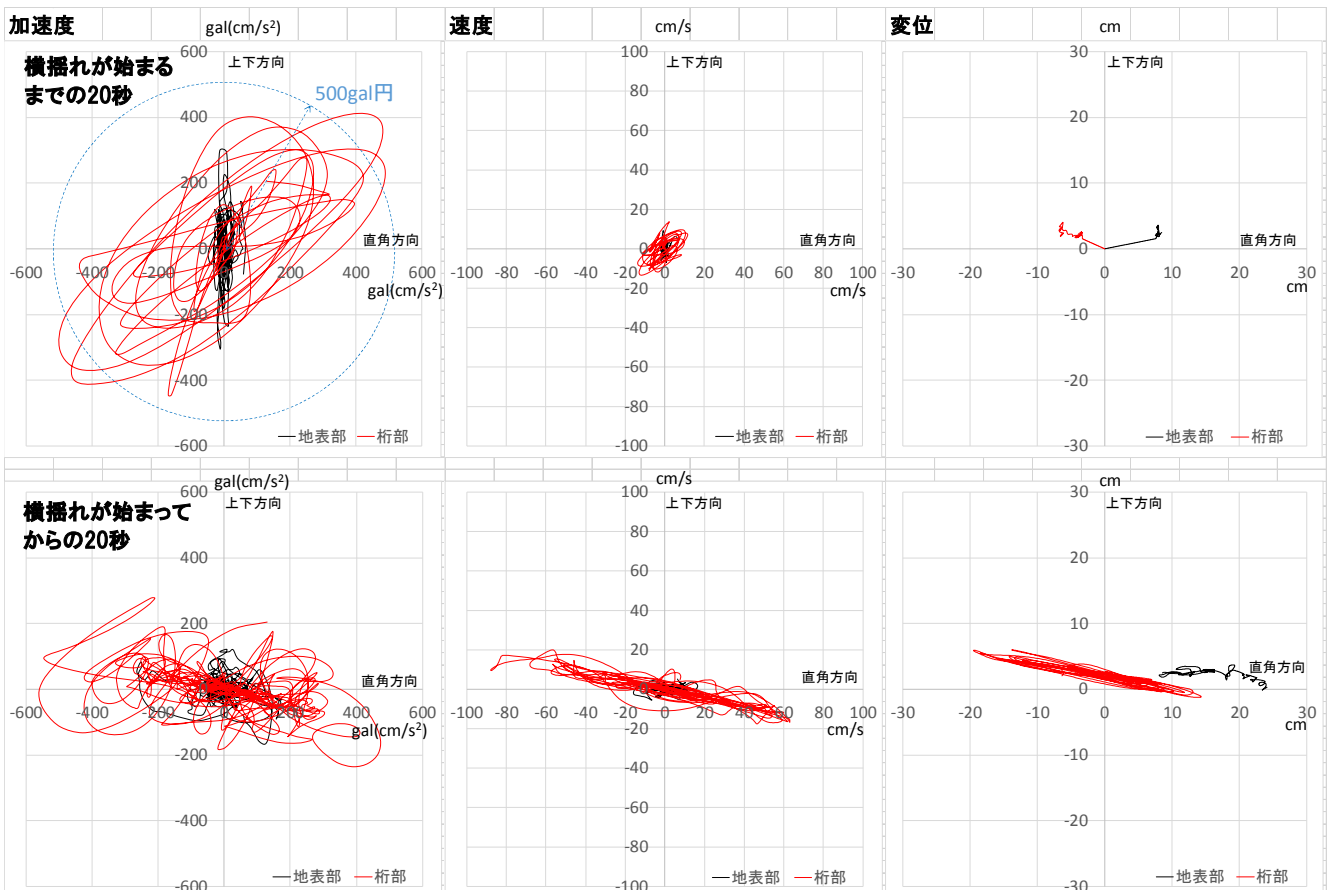


図 17：地表部と桁部の加速度・速度・変位の比較

上段に示す周期の長い横揺れが始まる 20 秒までの間については、縦揺れが横揺れを生み出し、ローリング状に大きな加速度が発生しているが、周期は約 0.15 秒と短いことから、速度や変位はほとんど発生していないことがわかる。

また、下段に示す横揺れが始まってから 20 秒までの間については、加速度は上段の加速度と比べて小さくなっているが、周期は約 1.3 秒と長いため、速度、変位ともに上段と比べて大きく発生していることがわかる。

次に、固有値解析の結果を図 18 に示す。

モード 1		固有振動数: 0.75012 固有周期: 1.333122 有効質量比: Y方向:0.677	モード 4		固有振動数: 1.55800 固有周期: 0.641847 有効質量比: Y方向:0.088	モード 7		固有振動数: 3.26086 固有周期: 0.30668 有効質量比: X方向:0.036
モード 2		固有振動数: 0.89894 固有周期: 1.112426 有効質量比: X方向:0.705	モード 5		固有振動数: 2.38456 固有周期: 0.419346 有効質量比: Y方向:0.004	モード 8		固有振動数: 3.42445 固有周期: 0.292018 有効質量比: Z方向:0.005
モード 3		固有振動数: 1.07100 固有周期: 0.933708 有効質量比: X方向:0.002	モード 6		固有振動数: 2.95991 固有周期: 0.337848 有効質量比: Z方向:0.075	モード 9		固有振動数: 3.79647 固有周期: 0.263402 有効質量比: X方向:0.033

図 18 : 固有値解析の結果

これは、構造物が有する振動的な特性（固有振動数、振動モード等）を求める解析手法である。地震発生時には、多様な地震動が発生しているが、これを固有振動数毎に切り分けて、どのような揺れ方が支配的であったかを確認したものである。有効質量比が大きいほど、その揺れ方が長続きする傾向があるため、上図のモード 1、モード 2 の揺れ方が支配的であり、その他のモードは相対的に励起されなかったものと推定される。

励起（れいき）：外力によって振動が激しくなること

### （3）車両の揺れに関する解析

次に、これまでの軌道桁の揺れ方の特徴を踏まえ、車両がどのように揺れたかの解析を行った結果を以下に示す。

まず、解析モデルについては、桁・台車間と台車・車体間にバネを用いたモデル(図 19 参照)とし、荷重は朝のラッシュ時であったことから定員状態、車体・台車枠は剛体モデルとする。また、評価方法は記載のとおりとする。

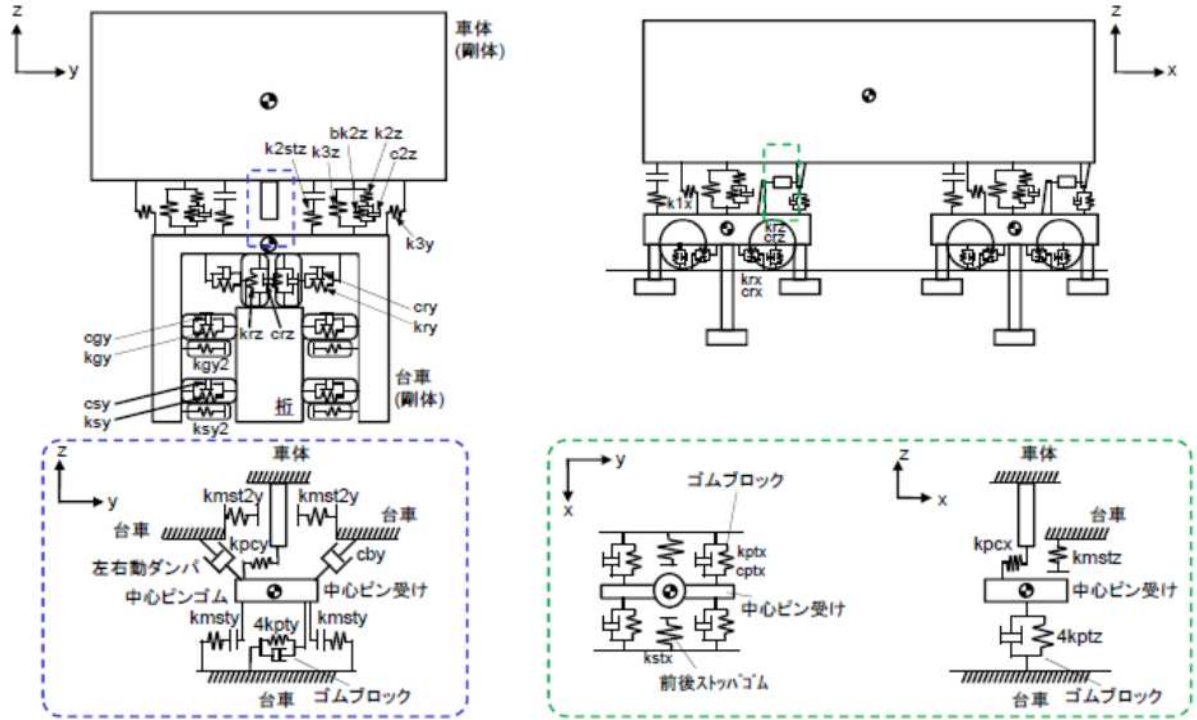


図 19：車両の解析モデル

評価方法

- ・非線形時刻歴解析により、軌道桁の振動変位に対する車両の応答変位を評価
- ・左右方向は、車両の左右、ロール、ヨー自由度を考慮
- ・前後・上下方向は、車両の前後、上下、ピッチ自由度を考慮

ロール：正面から見た車両の回転  
 ヨー：上から見た車両の回転  
 ピッチ：横から見た車両の回転

次に、橋軸直角方向の変位(左右変位)の結果を図 20 に示す。

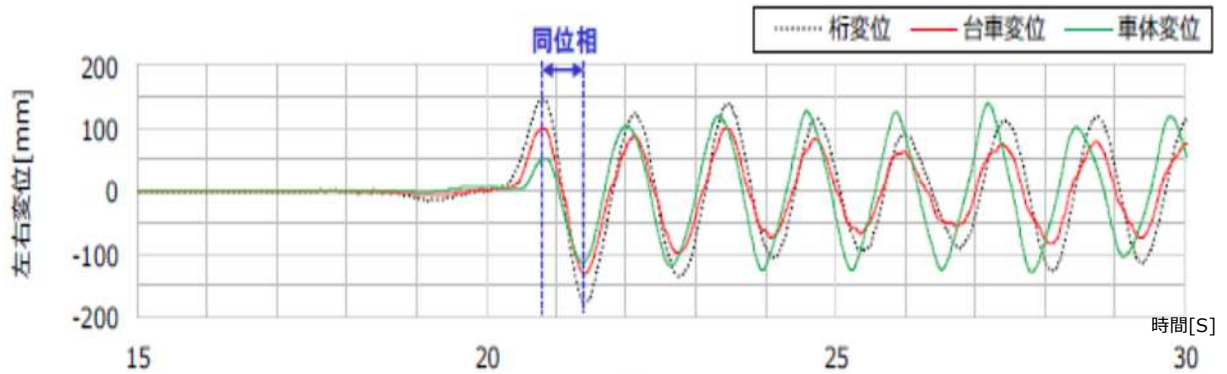


図 20：橋軸直角方向の変位

軌道桁・台車・車体は、同じ方向に、ほぼ同位相で左右に変位していることがわかる。このことから、今回の地震動については、車両のバネを評価した場合においても、車両を剛結合で解析したモデルに近い揺れ方をしていたことがわかり、桁モデルの解析についても実現象を再現できているものと推測される。

次に、車体のロール変位の結果を図 21 に示す。なお、左図は、地震による車体ロール変位と桁部の左右変位の全秒数を示したものであり、右図はロール変位が最大値を示した 28.5 秒から 30 秒の間を拡大したものである。また、車体ロール変位のプラス側は反時計回り、マイナス側は時計回りの変位を示している。

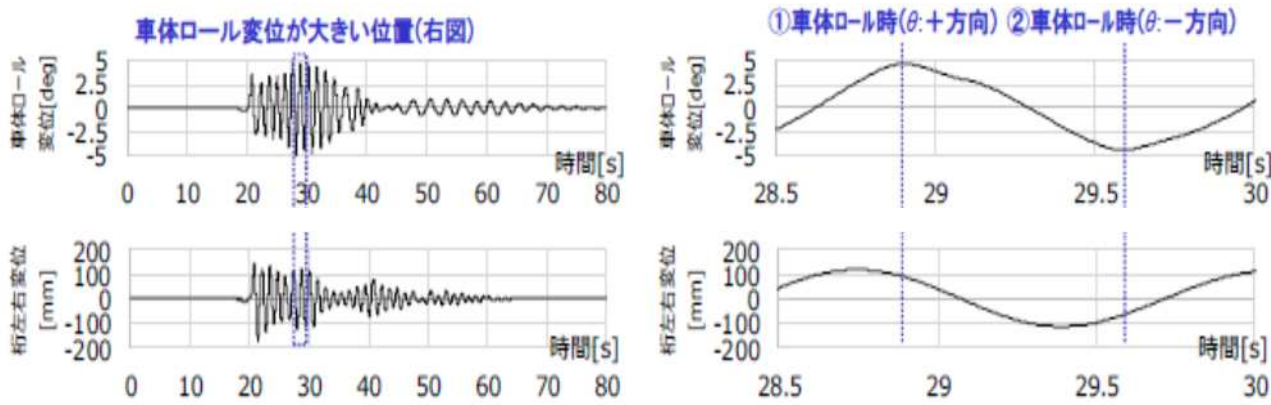


図 21：車体のロール変位と桁部の変位との関係

解析の結果、車体ロール変位と桁左右変位は、ほぼ同変位を示しており、車体上部は台車を中心に左右の変位方向と逆側にロール変位していることがわかる。

次に、車体にかかる左右加速度と軌道桁の左右加速度の関係を図 22 に示す。

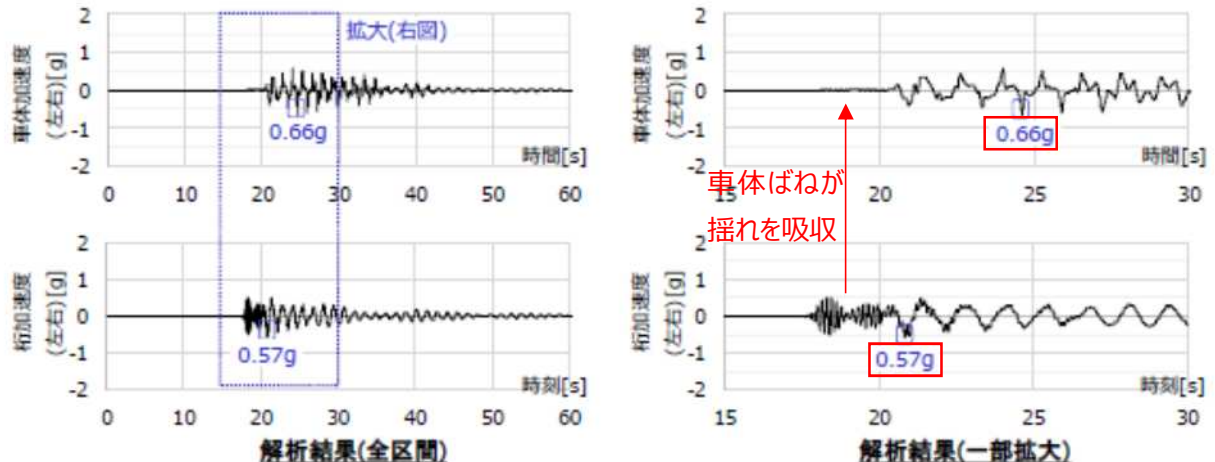


図 22：車体加速度と桁加速度との関係

この結果、周期が長い横揺れが始まる 20 秒までの間は、桁加速度は大きいですが、周期が 0.15 秒と短く桁の変位は小さいため、車体ばねがこの変位（振動）を吸収し、車体の加速度はほとんど皆無であったことがわかる。

また、20 秒以降は、周期が約 1.3 秒と比較的長く、桁部の変位（振動）が大きいので、車体に振動が伝わり、車体の加速度は桁部の最大値が 0.57 G（G は重力加速度、1 G = 980gal）に対し、

約 1.2 倍の 0.66G を示している。

最後に、車体にかかる上下加速度と軌道桁の上下加速度の関係を図 23 に示す。

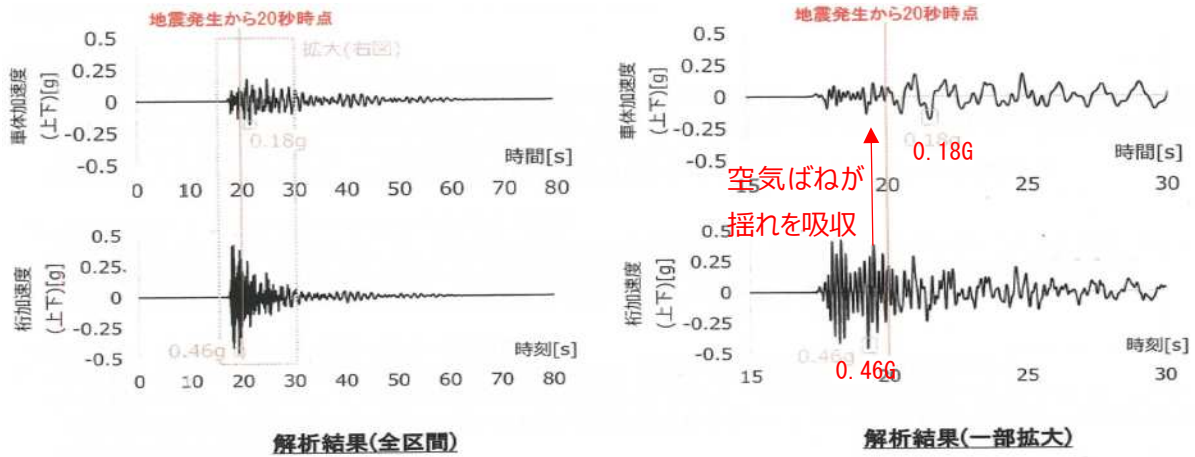


図 23：車体にかかる上下加速度と桁部の上下加速度の関係

この結果、軌道桁の上下加速度の最大値が 0.46G に対して、車体の上下加速度の最大値は 0.18G と小さくなっている。これは、上下方向の周期が約 0.15 秒と短く、車体の空気ばねの影響も加わり、車体への振動伝達の影響が小さかったためと考えられる。

#### (4) 車両の挙動まとめ

以上より、車体が台車に対して + 側（右側）に変位した時に、 $+\theta$  方向（反時計回り）に回転、車体が台車に対して - 側（左側）に変位した時に、 $-\theta$  方向（時計回り）に回転したと想定される。

この結果、図 24 のとおり、車両の挙動は、車体上部では変位を打ち消し合い、車体下部では変位がプラスされていると考えられる。

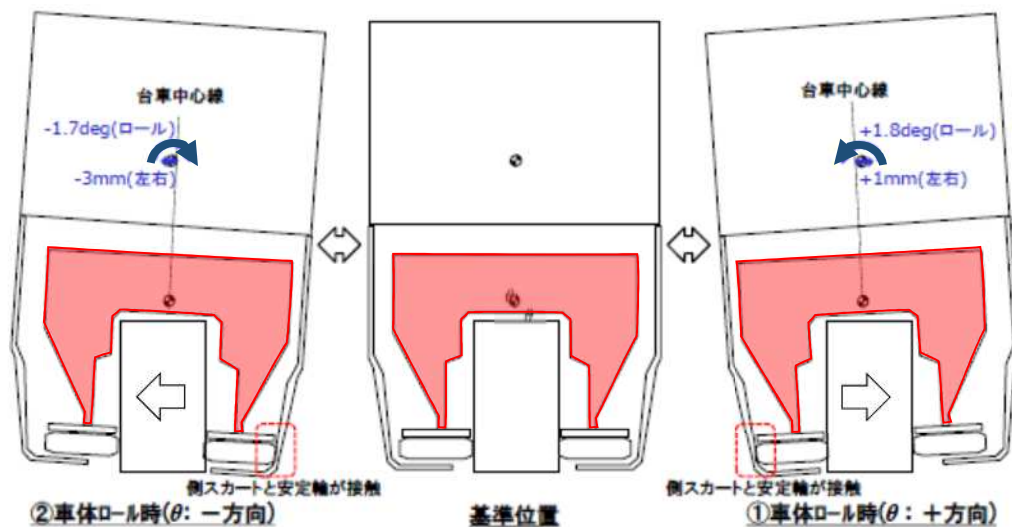


図 24：車両の挙動

なお、軌道桁の固有値解析の結果から、車両は左右方向にも上下方向にも蛇行して揺れていたとは想定されず、車両に上から見た回転方向のヨー、横から見た回転方向のピッチのような揺れは発生せず、



1 編成 4 車両が同じ動きをしていたと想定される。

また、これらの挙動は、図 25 に示す車体の側スカートと安定輪との接触痕と一致していること、また、車体に固定している中心ピンと台車に取付けている車体支持装置との接触痕と一致していることから、この解析結果は実際の動きと照合していると考えられる。



図 25：接触痕との照合

以上のことから、周期の長い横揺れが始まる 20 秒を経過後の桁部の揺れによって、車両に左右変位・ロール変位が生じ、安定輪補助輪取付ボルトの破断や台車枠の開きが生じたものと推測される。

なお、台車枠の開きは最大で 6mm 程度であり、低速・短距離での回送において、走行上、特段の支障は見られなかった。また、安定輪補助輪は安定輪の上方に取付けられているため、取付ボルトが一部破断しても当該補助輪が落下する恐れはないと考えられる。

#### (5) 設計・対策の留意点

被災原因が特定された中、今後の対策としては、門型支柱への変更などの支柱強化案もあるが、用地買収が必要となるなど困難なことから、台車枠の強化や安定輪補助輪取付ボルトの対策を行うこととし、以下の留意点に基づき設計を行うこととする。

##### <台車枠設計の留意点>

- ① 台車枠の開きが先端部のみか、あるいは、台車の根本から開いているのか、片側のみか両側とも開いているのかなど詳細に調査・測定を行い、強化する箇所を特定する。(強化箇所の特定)
- ② 今回の地震で台車枠に作用した水平力(加速度換算で 0.57G)以上を設計地震力とする。  
また、被害軽減、早期復旧の観点から、台車枠の強度を安定輪補助輪取付ボルトの強度よりも高く設定する。(設計地震力の設定)
- ③ 動的解析やその他の解析により、加速度は小さくても周期の長い地震動においても台車枠が降伏しないことを確認する。(健全性の照査)

##### <安定輪補助輪取付ボルト設計の留意点>

- ① 設計強度を今回の地震で作用した水平力(加速度換算で 0.57G)以上、かつ、台車枠の降伏荷重未満に設定する。(設計地震力の設定)
- ② ボルトをなくしてリムと一体化することや、ボルトが必要な場合は破断しても落下を防ぐ対策を実施する。実用化にあたっては、検証試験を実施し効果を確認することとする。(落下防止の対策)

<電気>

碍子の落下防止・破損防止対策

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、主に碍子の破損が発生（24か所中23か所がアンカーリング部で破損）した。（図26参照）



図26：碍子の損傷状況

原因究明に向けて、取り付けられている軌道桁の種類や、平面曲線や縦断勾配、地震動の揺れの方向など比較検討を行ったところ、橋軸方向（直進方向）の揺れが隣接する軌道桁間に変位差を生み出し、電車線に定着しているアンカーリング部の碍子に水平方向の力が加わったことが破損の原因と推測される。（表4、図27参照）

表4：碍子破断箇所の特徴

碍子破断箇所の特徴						着色部は相関性が高いと想定される項目			
	アンカーリングの有無	橋軸方向と揺れ方向	震度	桁端部の接触痕※	桁かけ違いの有無	桁の種類	平面曲線内・外カーブ	縦断勾配	列車
1	○	合致	6弱	○	有	PC	R602・内	LEVEL	無
2	○	合致	6弱	○	有	PC	∞	50%	無
3	○	合致	6弱	△	有	鋼桁	∞	40%	無
4	○	合致	6弱	△	有	鋼桁	∞	40%	無
5	○	合致	6弱	△	有	鋼桁	∞	17.2%	対向走行中
6	○	合致	6弱	△	有	鋼桁	R662・内	17.2%	対向走行中
7	○	合致	6弱	△	有	鋼桁	R602・外	17.2%	対向走行中
8	○	合致	6弱	△	有	鋼桁	R400・外	17.2%	当該走行中
9	○	合致	6弱	△	有	鋼桁	R400・内	17.2%	当該走行中
10	○	合致	6弱	○	無	PC	R282・内	LEVEL	無
11	○	合致	6弱	○	無	PC	R279・内	LEVEL	無
12	○	合致	6弱	△	無	PC	R602・内	LEVEL	無
13	○	合致	6弱	△	無	PC	R602・外	LEVEL	無
14	○	合致	6弱	△	無	PC	∞	30%	無
15	○	合致	6弱	×	有	鋼桁	∞	40%	無
16	○	合致	6弱	×	無	PC	∞	40%	無
17	○	合致	5強	○	有	PC	∞	5%	無
18	○	合致	5強	×	無	PC	∞	LEVEL	無
19	○	非合致	5強	○	無	PC	R400・外	44.5%	無
20	○	非合致	5強	○	無	PC	∞	40%	当該走行中
21	○	非合致	5強	○	有	PC	∞	LEVEL	対向走行中
22	○	非合致	5強	×	無	鋼桁	R3999・内	LEVEL	当該走行中
23	○	非合致	5強	×	無	PC	R402・外	17.5%	無
24	×	合致	6弱	○	有	鋼桁	R400・内	17.2%	当該走行中

(注※) ○：桁に損傷あり △：隣接桁に損傷あり ×：損傷なし

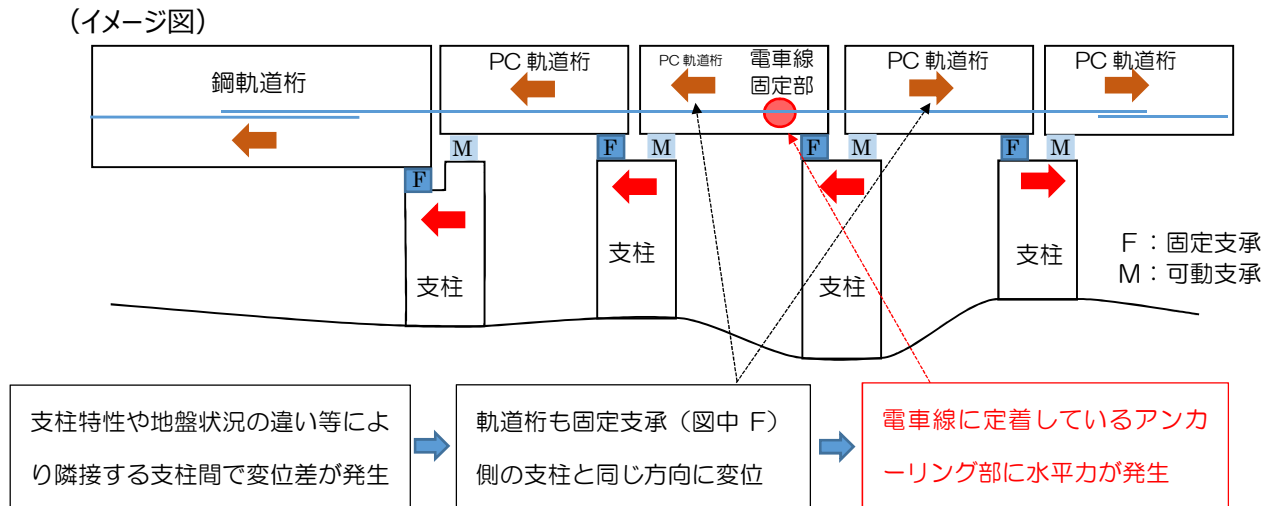


図 27 : 想定される破損の原因

碍子を含めた電車線の設備に損傷が生じると、乗客避難のための発災直後の最寄駅までの移動や早期点検のための車庫への移動が困難になる。また、主に道路上空を通過するモノレールにおいて、碍子が落下すれば大きな事故につながりかねない。しかし、碍子はその性質（陶器製）上、耐震力の強化が困難なため、予防対策や取付方法の工夫等の以下 3 点の取り組みを行うことで、破損の防止に努めるとともに、破損したとしても落下を防ぎ、運行への影響を抑えることとする。

- ① 今回の地震によって目視では確認できない微細なひび割れが生じている恐れがあるため、アンカーリング部全ての碍子を新品に交換する。
- ② 碍子の性質上、地震動による破損は免れないため、絶縁性能を確認の上、アンカーリング部の碍子については絶縁ロープで取付金具と結ぶことで落下防止を図る。（図 28 参照）
- ③ 橋軸方向の揺れによりアンカーリング部の碍子に水平方向の力が加わったことが破損の原因と想定される中、碍子の支持方法を改良し、アンカーリング部に緩衝材を追加する。（図 29 参照）

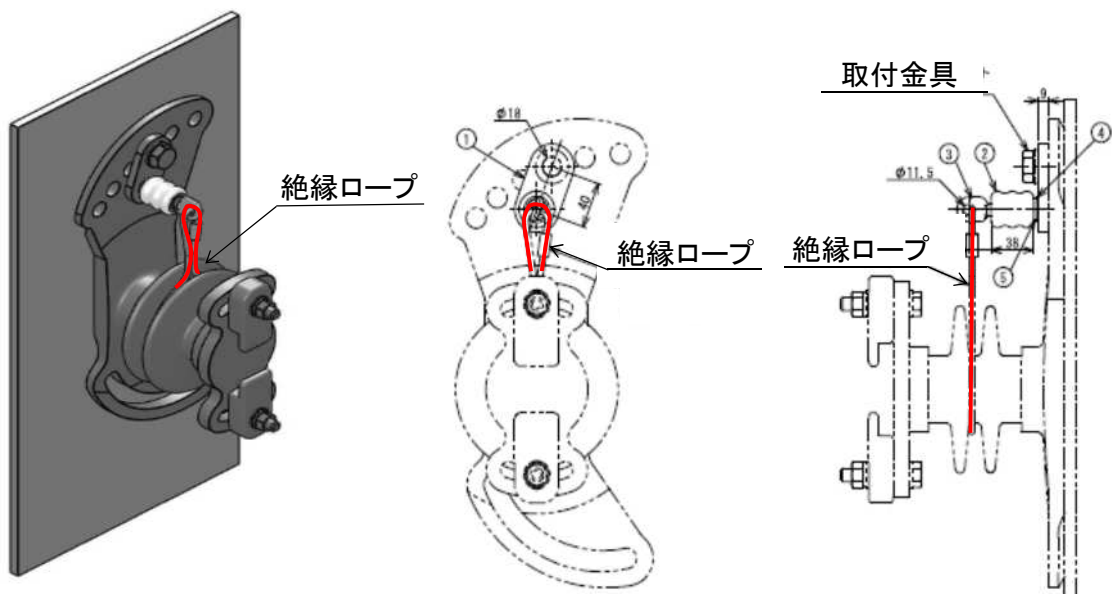


図 28 : 碍子の落下防止対策

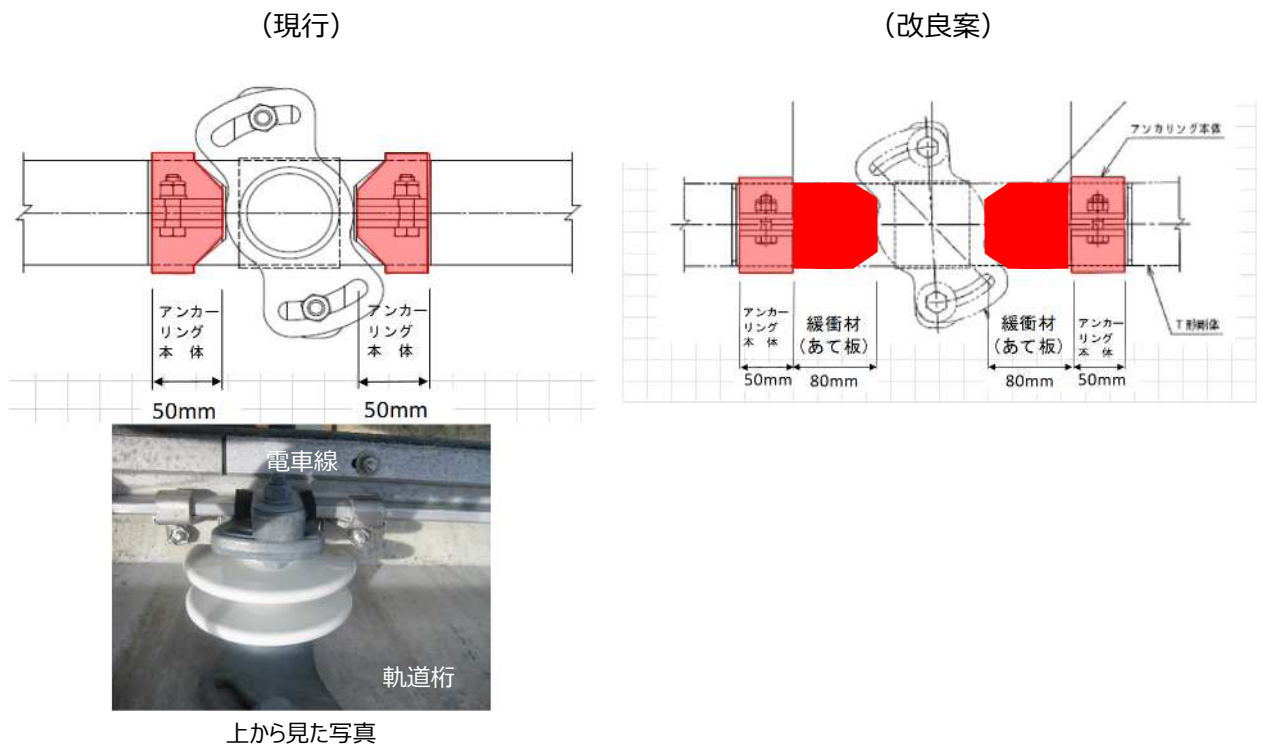


図 29 : 碍子の支持方法の改良

なお、上記の②、③について、想定通りの機能を発揮できるかをメーカーと共同で実証実験を実施したので、その結果を以下に示す。

② : 絶縁ロープの絶縁性能の実験 (図 30 参照)

雨天時においても絶縁性能が確保されるか (ロープを通じて漏電しないか) を確認するため、以下の 3 タイプで、室内試験により常時注水しながら電圧値を測定する実験を行った。

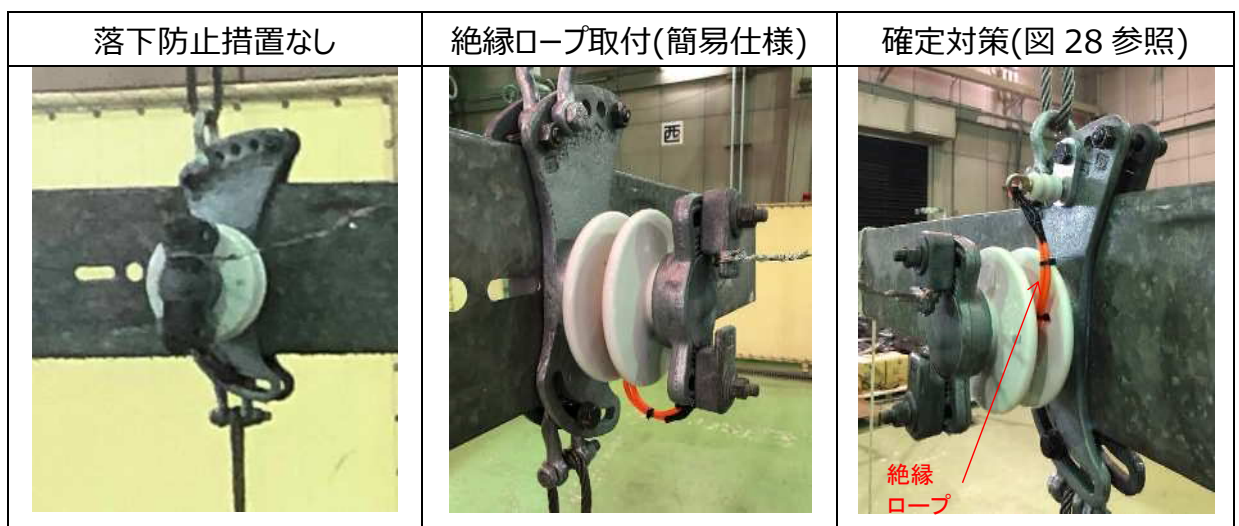


図 30 : 碍子の絶縁性能の実験

この結果、絶縁ロープによるタイプでは漏電の影響は皆無であることが確認された。

③：緩衝材が地震力に対して想定通りに変形するかの実験（図 31 参照）

アンカーリング部には、電車線の左右の荷重条件が同じであれば水平力は発生しないが、温度変化や車両集電装置との接触、軌道勾配による滑り力により、常時でも 2.5 kN 程度の力が作用する可能性がある。また、碍子の許容曲げ荷重は 5.4 kN である。このため、緩衝材は、2.5 kN 程度の作用力では変形せず、5.4 kN 未滿の作用力で変形することが必要となる。

以下に示す実験装置で、緩衝材が所要の強度を有するか引張試験を行った。

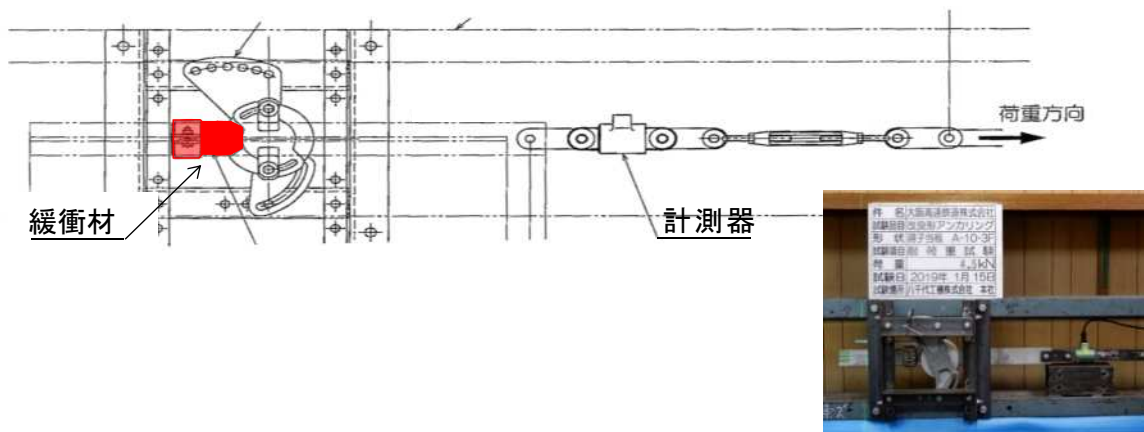


図 31：碍子の緩衝材の引張試験

実験の結果、緩衝材は 4.5kN まででは変形せず、4.7kN 程度の作用力で変形することが確認され、要求する水準を満たすことがわかった。

また、実験に用いた緩衝材の最大変形量（隙間含む）は約 39mm であり、地震時に PC 桁が隣接支柱間で位相差が生じた場合でも可動支承の移動可能量は 30mm のため、緩衝材は碍子の破損を防ぐ役割を果たすことができることがわかった。

なお、PC 桁と鋼桁とのかけ違い部等では、可動支承の移動可能量が 39mm を超える箇所もあるが、このような箇所では、アンカーリング部の締め付けトルクを調整し、作用力が 4.7 kN から 5.4kN の間でアンカーリング本体が滑るように設定することで、緩衝材が変形した後にアンカーリング部が移動し、碍子の破損を防ぐこととする。

（今後の予定）

②の絶縁ロープについては、落下防止対策としての効果は期待できるが、絶縁性を確保するために樹脂製であり、耐久性の面で課題を有する。また、③の緩衝材については、最大変形量 39mm までの効果は期待できるが、PC 桁と鋼桁とのかけ違い部などそれを超える移動が想定される箇所では、想定どおりアンカーリング本体が滑るか課題を有する。

このため、当面の間は、②の絶縁ロープに加えて③の緩衝材をアンカーリング部全てに設置し安全対策を図ることとし、今後、日常的な点検の際に、絶縁ロープや緩衝材の状況を確認するとともに、メーカーと協力して製品の改良に取り組み、安全性の向上に努めることとする。

## <駅舎>

### ホームからの転落防止

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、乗客がホームから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 32 参照）

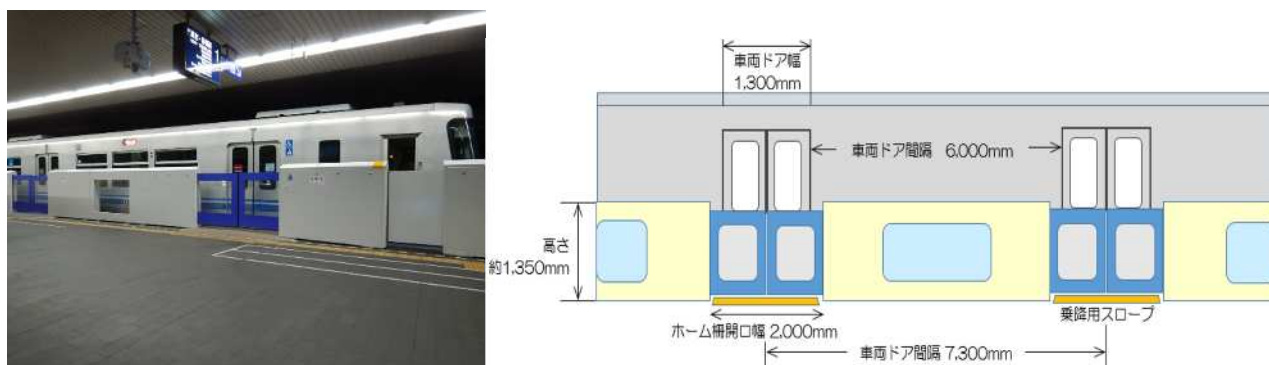


図 32：可動式ホーム柵（千里中央駅）

### 行先表示器の落下防止

揺れが強かった豊川駅のホーム上で行先表示器の傾きが発生。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。

行先表示器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 33 参照）

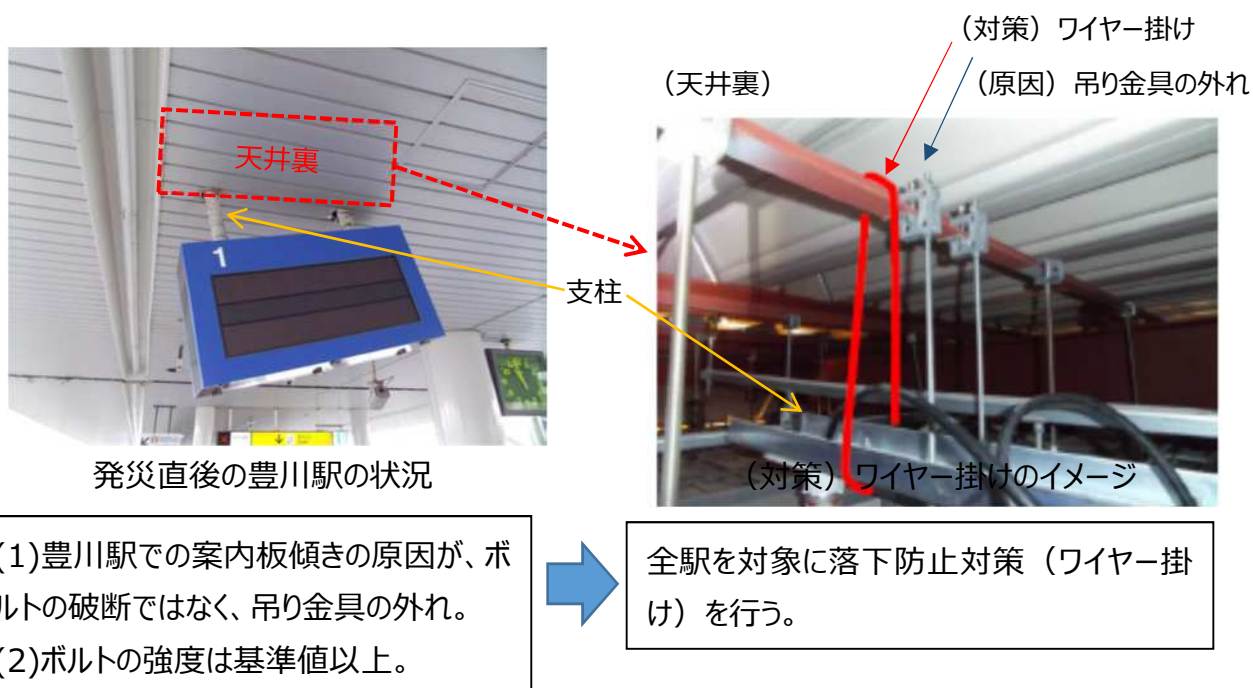


図 33：行先表示器の落下防止（ワイヤー掛け）

## 4. 効率的な点検方法

### (1) はじめに

モノレールは、地上を走行する一般的な鉄道とは異なり、全区間が高架橋で構成されていること、また、安全運行を継続するには、支柱や軌道桁等の土木構造物だけでなく、電気・機械設備等も重要であり、これらを勘案した上で、発災後の点検を迅速かつ効率的に行う必要がある。

当社では、発災時の参集方法等を定める「技術部地震時対応マニュアル」と発災時の点検方法を定める「地震発生時軌道等巡検要領」（以下、「巡検要領等」という。）を策定し、発災後、巡検要領等に基づき、直ちに参集し施設の点検を実施することとしている。また、巡検要領等は、平成 7 年に発生した兵庫県南部地震時の被害状況から要注意箇所を追記し、日常点検にも役立てている。

今回の地震発生後においても、巡検要領等に基づき、直ちに参集し施設の点検を実施したが、下記の課題が浮き彫りとなり、運行再開までに日時を要することとなった。

### (主な課題)

- ・巡検要領等では、「徒歩点検、添乗点検を基本とし、状況により工作車を使用すること。」としているが、徒歩点検では、支承部の状態や軌道桁に添架している碍子の破損状況などの細部を確認することができない。地震の規模や特性に応じて、工作車による点検を優先すべき場合がある。
- ・起点駅（大阪空港駅、門真市駅、彩都西駅）に参集し、徒歩点検を行いながら車両基地へ向かう班と、車両基地に直接参集する班に分けているが、発災後直ちに車両基地へ参集できた人数が少なかつたため、工作車（6 台）を出動させることができなかった。
- ・巡検要領等は全施設の点検を前提としているため、どこから点検を始めるか、補修のタイミング等の記述がない。工作車により、軌道桁や碍子等の設備の点検と補修を同時に進めたため、被害の全体像を把握するのに時間を要した。

今回の地震を教訓に、巡検要領等について必要な箇所を見直すとともに、次に示す取り組みを実施し、早期の運行再開を目指す。

### (2) (仮称) 地震被災度推定システムの構築

発災後、効率的に施設点検を行うには、営業運行中の車両を最寄駅まで移動し乗客を降ろした後、早期に車庫へ回送し、速やかに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や車両の安全性を確認する必要がある。今回の地震では、軌道桁の側面に定着している電車線に異常がなかったことから軌道桁等に大きな被害が生じていないことがわかったこと、また、車両が走行可能であったことから、被災直後に駅間で停車した車両を最徐行で最寄駅まで移動させることができたが、今後、様々な地震に備える必要がある。

このため、地震の規模や特性に応じて、駅間毎に軌道桁や支柱、車両の損傷程度を速やかに予測する「(仮称) 地震被災度推定システム」（以下、「システム」という。）を構築する。このシステムの支

援を受けて、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（以下、「点検重点区間」という。）ことで点検時間の短縮を図る。（図 34 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動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。

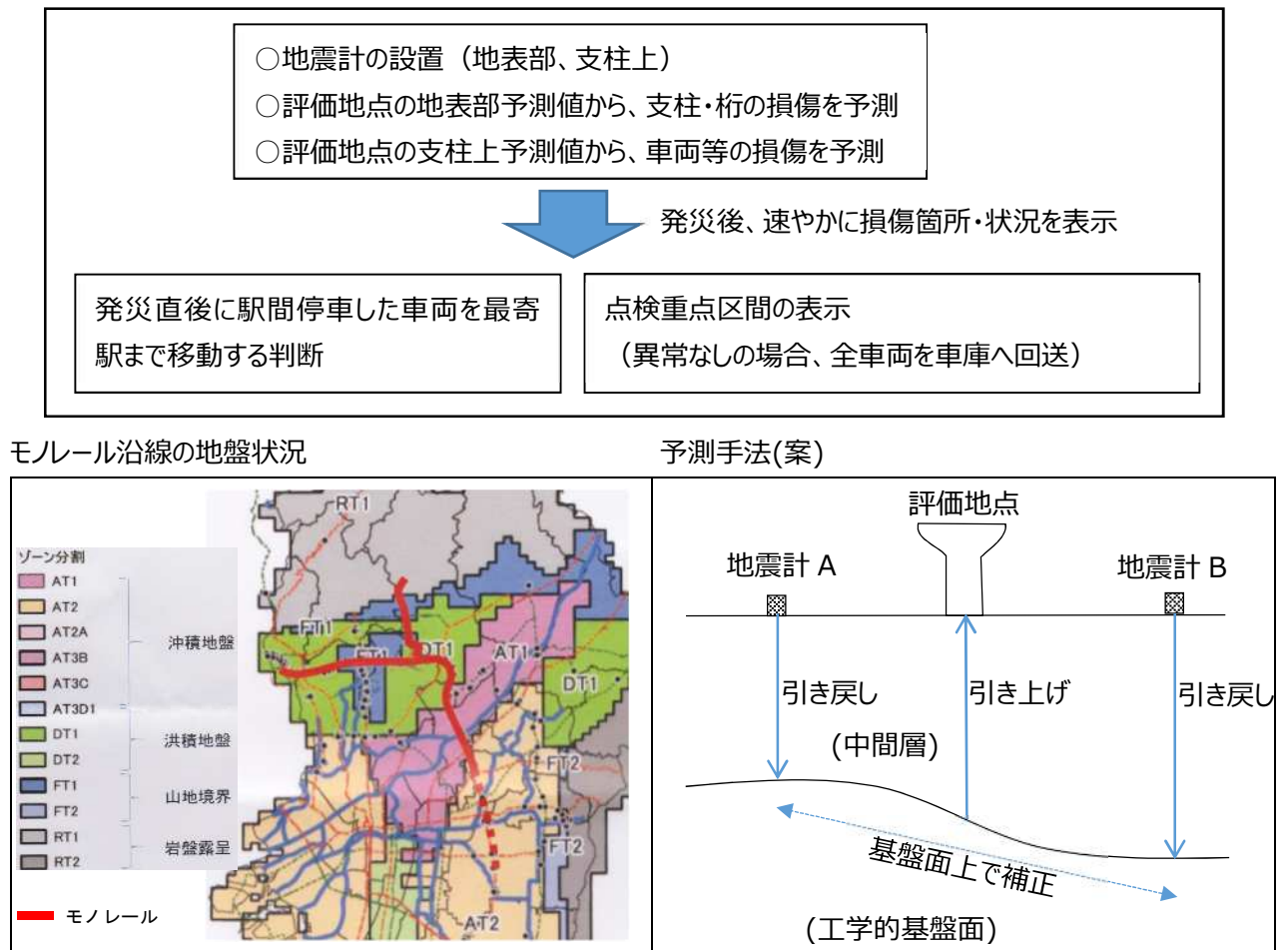


図 34：（仮称）地震被災度推定システムのイメージ

システムの構築にあたっては、沿線の地盤特性を把握し、深層部から地表部に伝わる地震動の増幅程度を的確に把握することが重要である。このため、必要に応じて地震計を増設することとし、その観測値からシステムによって各支柱や車両に伝わる地震動を把握し、損傷程度を予測する。

また、既存の調査結果から、モノレール沿線は多様な地盤構成になっていることがわかっており、今後、システムの構築と合わせて、今回の地震動において既存データからシステムによる再現性や即時性について検証を行った後に実用化を図る。



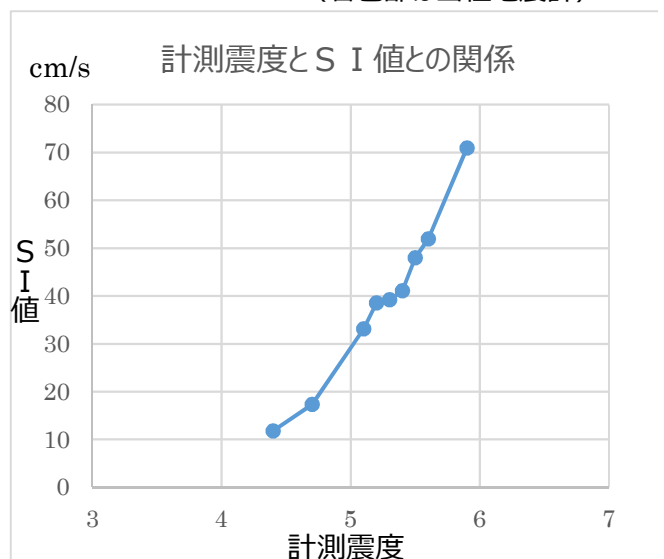
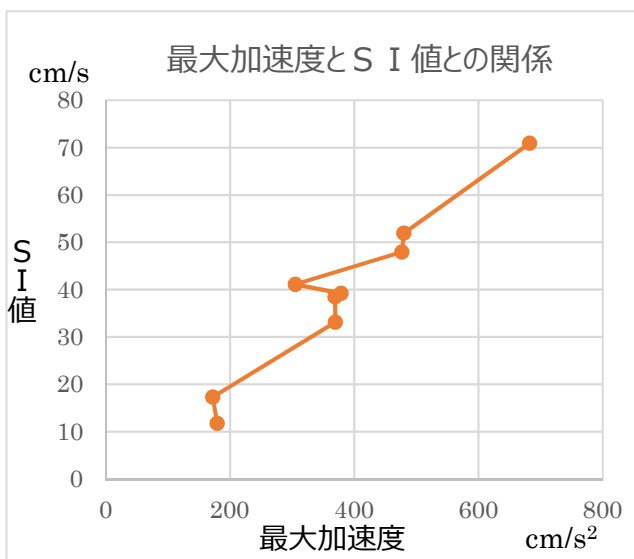
(当面の対策)

システムを構築するまでの間、どのように効率的に点検を行うかについて、下記のとおり検討を行った。  
 今回の地震における当社地震計と沿線自治体に設置している地震計の数値を表5に示す。

表5：近隣地震計の震度・計測震度・SI値・加速度の比較

観測所	万博	茨木	箕面	摂津	豊中	蛍池	吹田	大日	門真
震度	6弱	6弱	6弱	5強	5強	5強	5強	5弱	4
計測震度	5.9	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	4.7	4.4
SI値	70.9	51.9	48.0	41.1	39.2	38.5	33.1	17.3	11.8
加速度	682	480	477	305	379	369	369	172	180

(着色部は当社地震計)



上表に示すように、最大加速度とSI値の間にはばらつきが見られるが、震度（計測震度）とSI値の間には相関関係が認められる。これは、震度（計測震度）が周期を加味した指標のため、SI値と相関性が高いことが要因と考えられる。

このため、システムが構築されるまでの間は、これまでと同様に、震度（計測震度）を指標として、点検重点区間の判断を行う。

発災時には、当社地震計だけでなく沿線自治体に設置している地震計のデータを早期に収集し、沿線の震度分布をこれまでよりも細かく把握するとともに、沿線の地盤特性を勘案して点検重点区間の設定を行うこととする。

SI値：構造物被害と相関性が高いといわれ、地震動の速度を示す指標。単位はカインである。

(3) 施設毎の点検優先順序の設定

車両や分岐器等の施設は多くの部品で構成されており、被災後の点検時に全ての部品を点検すれば長時間を要する。

このため、施設毎に各部品の耐震性能を事前に把握しておき、発災時には耐震性能の低い方から順に点検を実施することで、点検時間の短縮を図る。(図 35 参照)

耐震性能	低 → 中 → 高		
車両	安定輪補助輪	ゴムブロック	台車枠
分岐器	クラッチ (ヒューズに設定)	ピニオンギア リミットスイッチ	駆動装置
碇子	緩衝材	アンカーリングの移動	碇子
点検順序	1	2	3

※点検順序 1 を点検して異常がなければ、他箇所の点検に移動。異常があれば、点検順序 2 → 点検順序 3 へ進む。

図 35 : 発災時緊急点検の順序 (例)

#### (4) 点検困難箇所の対策

発災後の施設点検は工作車による点検を主とするが、駅で停車中の車両が障害となり、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、鉄道や高速道路の上空で交差する箇所 (図 36 参照) では、道路上からの高所作業車による点検は困難である。

このため、一部の交差箇所では設置している軌道桁下のグレーチングやメッシュ (金網) を他の設置していない交差箇所にも追加して設置するとともに、支柱部には点検梯子や点検通路を設置すること (図 37 参照) で、緊急時でも容易に点検できるようにする。また、これらの施設は日常点検にも活用する。なお、駅直下で鉄道等と交差する箇所は、軌道下に床版があり、容易に点検できることから除外することとする。





阪急宝塚線交差部 (蛍池～柴原) 	京阪本線交差部 (大日～門真市) 
新幹線交差部 (南摂津～大日)  <p>※グレーチング設置済箇所</p>	近畿自動車道交差部 (南茨木～沢良宜)  <p>※メッシュ (金網) 設置済箇所</p>

図 36 : 鉄道・高速道路との交差部の現況写真

(整備イメージ)



図 37：点検困難箇所の整備イメージ

### (5) 巡検要領等の見直し

前述のハード・ソフト対策の整備時期と合わせて、今回の課題も踏まえながら、巡検要領等を下記のとおり見直すこととする。

#### ①当面（概ね2～3年後）の見直し案

《碍子・車両部品の落下防止対策が完了（徐行であれば車両の移動は可能）した段階》

・起点駅（大阪空港駅、門真市駅、彩都西駅）から桁や支柱等の構造物を地上から点検する徒歩点検者は先着2名程度を基本とする。

⇒後着者は車両基地に直接向かい、工作車を出動させ、碍子や支承部等の近接目視点検を実施する。但し、大規模地震等で桁や支柱の損傷が予想される場合は、徒歩点検の人数を充実させる。

・点検と補修を切り離し、まずは点検を優先することで被害の全体像の把握に努める。

・起点駅からの徒歩点検では、目に見える範囲で支柱の傾きや桁のズレを確認する。

・平時において、「要注意点検箇所、落下の恐れのある部品一覧」（以下、「点検箇所一覧」という。）を作成しておき、徒歩点検の際に重点的に点検を行う。

・車両、分岐器等の施設点検においては、全ての部品を点検すれば長時間を要するため、「発災時緊急点検の順序」に基づき、耐震性能の低い順から点検を行う。

・分岐器の転換は、車両の回送・入庫及び工作車の出動に不可欠であり、早期復旧が必要なため、点検班を早期に編成し、連絡通路から直接、分岐器に向かい点検を行う。

・早期の運行再開のために、車庫での車両点検を同時並行で進める。

⇒早期に車両を車庫へ回送させるため、停車駅で車両が走行可能か優先的に確認する。

（碍子・車両部品の落下防止対策が完了済のため、異常がなければ直ちに車庫へ回送する。）

#### ②概ね5年後の見直し案

《施設の耐震力強化やヒューズの設定、システムにより駅間毎の被災度が推定できる段階》

・起点駅（大阪空港駅、門真市駅、彩都西駅）からの地上から点検する徒歩点検者は先着2名程度を基本とする（再掲）。

- ・その他は車両基地へ参集し、システムによって表示される「点検重点区間」に向かい、詳細点検を実施するとともに、その他区間では「点検箇所一覧」に基づき点検を実施する。
- ・施設点検においては、「発災時緊急点検の順序」に基づき、耐震性能の低い順から点検を行う（再掲）。
- ・分岐器は、早期復旧が必要なため、点検班を早期に編成し、連絡通路から直接、分岐器に向かい点検を行う。（再掲）。
- ・「点検重点区間」における点検において、被害が見つければ隣接する駅間の点検を実施し、被害がなければ、その他区間での被害がないことが想定されるため、車両基地に戻る。

### ③中長期的な取り組み

- ・現段階では、近接目視による点検を重視するが、ドローンや車両の前方カメラ等の最新技術についても研究し、安全・確実に時間短縮が可能となる手法であれば、導入に向けて検討を行う。

## 5. まとめ

検証委員会では、これまで約7か月間にわたり、2018年6月18日に発生した大阪府北部の地震に伴う大阪モノレールの被災検証並びに対応策の検討を進めてきた。

既に記載のとおり、今回の地震では、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発生しなかったものの、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損傷が発生していることが判明した。また、朝のラッシュ時と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し運行再開までに5日間を要することになった。さらに車両に不具合が見つかり、平常ダイヤで運行を再開したのは、発災から12日後の30日の始発からとなった。

このような状況が生じたことを踏まえ、検証委員会では以下の3点を柱に検証・検討を行い、各々、具体的な対策方法についてとりまとめた。

### 【検証・検討の考え方】

#### ①耐震性の強化・安全性の向上

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」を最優先で検討を進める。

#### ②早期復旧に向けた仕組みづくり

ある程度の損傷は受忍しながらも、復旧が容易な箇所をヒューズに設定することで早期復旧を行う。

#### ③効率的な点検方法

点検が必要な箇所を速やかに把握し点検箇所を重点化することや点検困難箇所の対策を行うことで発災後の点検を効率化する。

### 【施設毎の被災状況の検証と対策】

#### (分岐器)

状況：今回の地震による損傷は初期タイプのラックピニオン方式のみで、改良タイプのアーム回転方式に比べ、分岐桁の揺れによる影響を受けやすい構造であった。

対策：・分岐器の更新：将来の抜本対策としてラックピニオン方式からアーム回転方式への更新を検討する。当面の対策としては以下のとおりとする。

・分岐橋の制震化：分岐器の揺れを低減させるために、制震装置（ダンパー）を設置する。

・分岐器の転換を制御するリミットスイッチの改良：ニュートラル状態のレバーを傾けることで台車の浮き上がりによる損傷を防ぐ。

・ピニオンギアの早期復旧対策：分岐桁を移動させるピニオンギアが空回りをすると復旧に時間を要するため、調整作業が容易なクラッチをヒューズに設定し、ピニオンギアが空回りする前にクラッチが滑るようにトルクを設定する。

#### (車両)

状況：地震の揺れにより車体に大きな変位が生じて車体支持装置のゴムブロックが外れた。また、

高々架区間において桁部に周期の長い揺れが発生し、車両に左右変位・ロール変位が生じて、安定輪補助輪取付ボルトの破断や台車枠の開きが生じた。

- 対策：・ゴムブロックの落下防止：車体が最大変位してもずれないように取付金具の隙間を縮小する。
- ・取付ボルトの落下防止：ボルトをなくしてリムとの一体化またはボルトの落下防止対策を検討する。
  - ・台車枠の強化：これまでの解析の結果を踏まえ、詳細調査・測定を行い強化箇所を特定した後、台車枠の強化を検討する。

#### (電気)

状況：橋軸方向（直進方向）の揺れが隣接する軌道桁間に変位差を生み出し、電車線に定着しているアンカーリング部の礎石に水平方向の力が加わったため、一部の礎石が損傷した。

- 対策：・礎石の落下防止：アンカーリング部の礎石と取付金具を絶縁ロープで結ぶ。
- ・礎石の支持方法改良：アンカーリング部に緩衝材を追加することで礎石の破損を防ぐ。

#### (駅舎)

状況：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）、また、軌道桁の側面に電車線が存在し、転落すれば重大事故につながりかねない。また、地震の揺れにより、行先表示器の吊り金具が外れて傾いた。

- 対策：・ホームからの転落防止：可動式ホーム柵を全 18 駅に設置する。
- ・行先表示器の落下防止：吊り金具が外れても落下しないようワイヤー掛けを行う。

#### 【効率的な点検方法】

状況：朝のラッシュ時と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、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。また、巡検要領等では全施設の点検を前提としているため、点検完了までに長時間を要した。

もし工作車による点検が出来ない場合、鉄道や高速道路の上空で交差する箇所では道路上からの高所作業車では近づけないため、点検が困難となることが想定された。

- 対策：・地震被災度推定システムの構築：発災後速やかに損傷箇所・損傷程度を予測することで点検箇所を重点化し、点検時間を短縮する。
- ・点検困難箇所の対策：鉄道や高速道路との交差箇所において点検通路等を設置する。
  - ・その他、施設毎の点検優先順序の設定や巡検要領等の見直しを行う。

今後も発生しうる地震に備え、今後のスケジュールに示すとおり着実に対策を進めるとともに、最新技術の導入等にも取り組み、更なる安全対策を進める。また、今回の経験や得られた知見、対策方法を決定した経緯・成果等を伝承するとともに、全国のモノレール事業者間で共有する。

検証委員会はこの報告書のとりまとめをもって終了するが、今後のスケジュールに示す「調査設計業務」は、更なる検討が必要となることも想定される。事務局は検証委員会構成員に適宜、助言をいただきながら、詳細な検討を進めることとする。

(今後のスケジュール)

下表のとおり、対策方法が確定したものは 2019 年度から順次対策を実施する。詳細な検討が必要なものは 2019 年度に調査設計業務等を実施し、2020 年度から対策を実施する。

概ね 2023 年度までの 5 年間を目途に完了させるよう計画的に取り組んでいく。

	項目	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	備考
分岐器・分岐橋	リミットスイッチの改良	対策実施					
	ヒューズの設定	精査 対策実施					
	分岐橋制震化	詳細設計	対策実施				橋梁構造
車両	ゴムブロックの落下防止対策	対策実施					
	取付ボルトの落下防止対策	試作品強度試験	対策実施				
	台車枠の強化	設計		対策実施			
電気	碍子の落下防止対策	対策実施					アンカーリング部
	碍子の支持方法改良	対策実施					
駅舎	行先表示器の落下防止対策	対策実施					
	ホームからの転落防止対策		対策実施				
点検	巡検要領等の見直し	運用開始					適宜見直し
	地震被災度推定システム構築	予測手法の検討	支柱・桁	車両・碍子			
	点検困難箇所対策	対策方法の検討	詳細設計		対策実施		主要交差箇所

⇄ : 調査設計業務    ⇄ : 対策工事等

- ※ 1 碍子の落下防止対策は、中間報告では 2019 年度中に設置することとしていたが、碍子の支持方法改良とセットで取付けるため、工程的な関係から 2020 年度までの 2 か年に変更する
- ※ 2 施設毎の点検優先順序は、今年度中に設定し巡検要領等に反映する
- ※ 3 表中に記載している対策の外、分岐器の更新についても 2019 年度からの概略検討を実施する

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