

最初の熊本地震（2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分発生）による新幹線列車の脱線について

SDR 中村 豊

1. はじめに

今回の地震においても、予期せぬ多くの出来事が起きてしまった。想像力が現実の災害に全く追いついていない状況にもどかしさと無力感を禁じ得ない。ここでは、警報と新幹線脱線を中心に公知情報の分析を試み、何らかの知見を引き出したい。

2. 新幹線の脱線と警報

今回の地震で、営業車ではなかったものの走行中の新幹線の全車両が初めて脱線した。この脱線と警報の状況を報道写真などから調査した結果を報告する。

2.1 報道写真などから推測される脱線状況

今回の脱線について、国土交通省よりいくつかの写真が報道機関を通じて公開された。また、報道機関や航空測量会社なども脱線車両などの写真を公開している。それらの中から以下の写真を取りあげ、分析を試みる。

写真 A：地震後、夜が明ける前に撮影された脱輪状況を示した写真（国土交通省）

写真 B：地震後、夜が明ける前に最後尾車両の脱線状況を撮影したもの（国土交通省）

写真 C：おそらく翌日午前中に調査員一行が撮影した最後尾車両の後ろの軌道破損状況写真（国土交通省）

写真 D：翌日午前中に撮影された、最後尾車両より手前の軌道状況がわかる調査員一行が映っているもの（沢野氏撮影）

写真 E：翌日午後に撮影された、大勢の作業員が映っているもの（金子氏撮影）

写真 F：軌道上の締結装置や地上信号子などが破壊されて飛散したボルトなどの部材を軌道周辺に集めてある程度整理した後の写真（産経ニュース）

写真 G：翌日午後に脱線現場周辺を撮影した空撮写真（アジア航測）

写真 H：Google Earth で確認される翌日撮影された空撮写真（Google：写真の継目などから元はアジア航測によるものと推測される）を利用して脱線現場周辺を抽出合成したもの

以上の写真からわかることを順次、説明していく。

(1) 写真 A：脱輪写真からわかること

この写真では、脱輪した車輪はレールに接しているように見えるくらいの位置にある。また、その車輪の踏面に大きな擦過痕がみえる。もちろんフランジ外周には脱輪した後の走

行に起因すると思われる傷が認められるが、その外周より 3cm 小さい半径の踏面についての傷は注目に値する。

この傷の成因は、踏面と軌道スラブのコンクリート面が衝突したことによると推測される。つまり、脱輪して枠形軌道スラブの枠の部分に落下した車輪がさらにレールから離れて中割部分へ落下する時、枠形の縁の部分に車輪踏面が衝突し、傷ついたものであろうと推測される。通常の脱輪落下ではフランジ部分が軌道スラブ面に衝突するので、車輪踏面に大きな傷はつかない（図 1 に脱線車輪が枠形スラブ軌道のコンクリート面を走行する様子を模式的に示す）。

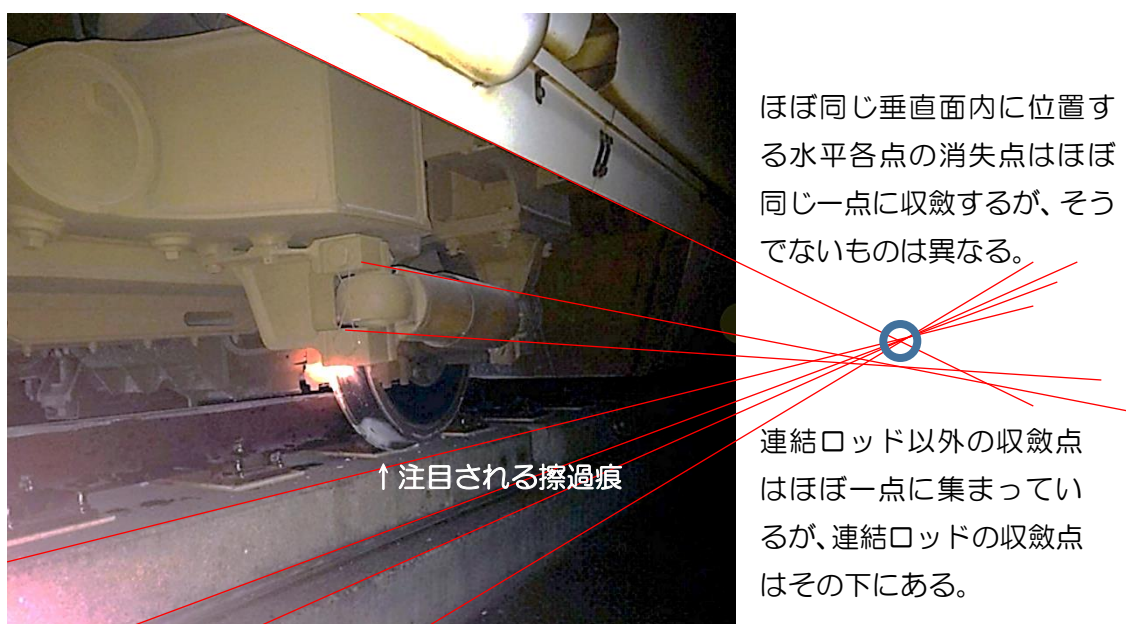


写真 A 脱輪状況（国交省）

さらに、このことは、写真に写っている脱輪状態になる以前に、中割部分がある側、つまり映っているレールの浮こう側に脱輪していたことを示唆している。また、レールには大きな損傷がないようにみられるし、他の部分でもレールに大きな損傷があったとの報道はないので、脱輪車輪はレールに大きな損傷を与えることなく飛び越えたものと推測される。少し不思議ではあるが……。そして、一旦脱輪して軌道面にまで落ち込んだ車輪が 20cm 程度ないしはそれ以上跳ね上がってレールを飛び越えるためには、車輪はかなり激しく上下運動したとみなければならない。

写真 A を仔細に観察すると、車体と台車を繋ぐ連結ロッドは台車側が持ち上がっており、車体が通常より沈み込んでいることを示している。これは車体を支える空気ばねが機能を失ったことによると思われ、このことから、台車はかなり激しい上下運動に晒されたものと推測される。

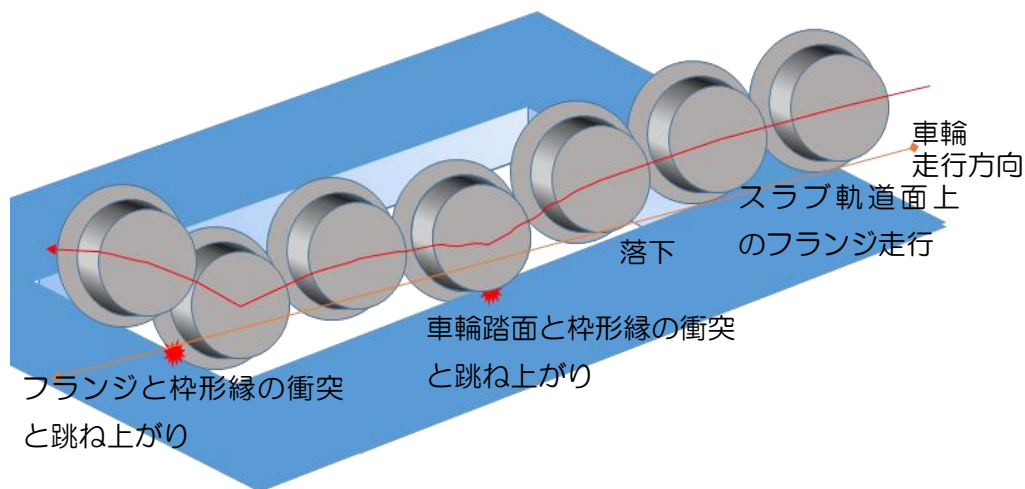


図 1 杢形スラブ軌道上の脱線車輪の走行模式図

この上下運動は地震動に起因するものではなく、脱線した車両が凹凸の激しい杢形軌道スラブを走行することによって生じたものと考えられる。

なお、軌道スラブを支える道床コンクリートの高さから、この写真は曲線の外側、つまり進行方向左側から撮影されたものと思われる。また、この車両は 2 号車で、前方台車の後軸を左側から後方に向かって撮影したものであろう。

以上のことから少なくともこの車両の最初の脱線は、進行方向右側への脱線であったと思われる。

(2) 写真 C、D、E および F：脱線状況写真からわかること



写真 D： 2016-04-15 午前 11 時 37 分熊本市 沢野貴信氏撮影



写真 E : 2016-04-15 午後 6 時 16 分熊本市西区田崎 金子淳氏撮影

写真 D と写真 E では、架線とパンタグラフが接触する位置が概ね目の高さになっている。これらによると、5号車のパンタは畳まれているように思われ、地震時にはパンタグラフは2号車のみあげていたと思われる。前方2号車のパンタはこれらの写真ではよくみえないが、ほかの空撮写真 G によれば、進行方向左側に曲がっているように見える。大きな地震の震央域では高周波振動とともに低周波地震動も卓越するし、遠方では高周波地震動の後に低

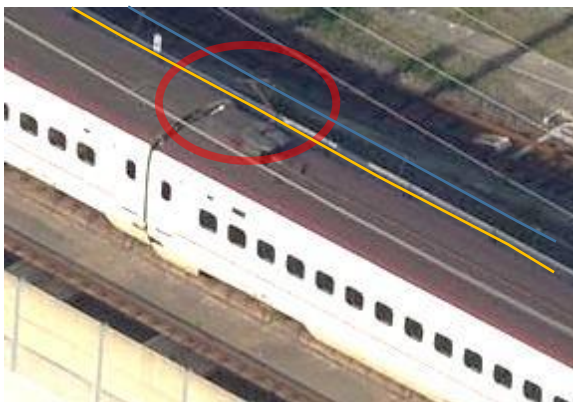


写真 G : U005_2号車後方のパンタグラフの状況<曲がったパンタが架線から離れているように見える>2016-04-15 午後アジア航測撮影写真(web)の一部拡大加筆



写真 G' : U005_5号車前方のパンタグラフの状況<パンタグラフは折り畳まれているように見える>2016-04-15 午後アジア航測撮影写真(web)の一部拡大加筆

周波地震動が襲来する。いずれにしても、規模の大きな地震では、架線は比較的長周期の振動に共鳴するおそれがあるので、架線とパンタグラフが互いに傷つけあわないように、早期警報とともにパンタグラフは畳むのが適当と思われる。ただし、地震後の対応を迅速に行うためには、地震後、パンタグラフをすぐに上げられるよう対策しておく必要がある。

写真 D に映っている脱線列車の状況をみると、先頭 1 号車は画面の右からはみ出して左側の一部しか見えないが、その他の車両の状況はよくわかる。2 号車は 1 号車にくらべて車高が低くなっており、3 号車の境界では相対的にやや持ち上がっている。つまり 3 号車も車高は低く、3 号車、4 号車および 5 号車はややうねっているものの同じような車高のように見える。6 号車は 5 号車から進行方向右に大きくはみ出し車高も相対的に低くなっている。車高は 6 号車の末端に至るまでに回復しているように見える。これから判断すると、先頭車と最後尾車後部以外は車高がかなり落ち込んでいる。つまり、ほぼすべての台車で空気ばねが損傷している可能性がある。

(3) 写真 H などを用いた検討

脱線開始点などを検討するため、ある地点を起点として杵形軌道スラブのブロック数で位置を表すこととする。ここでは、脱線現場付近の地上信号子を起点とし、ここから脱線現

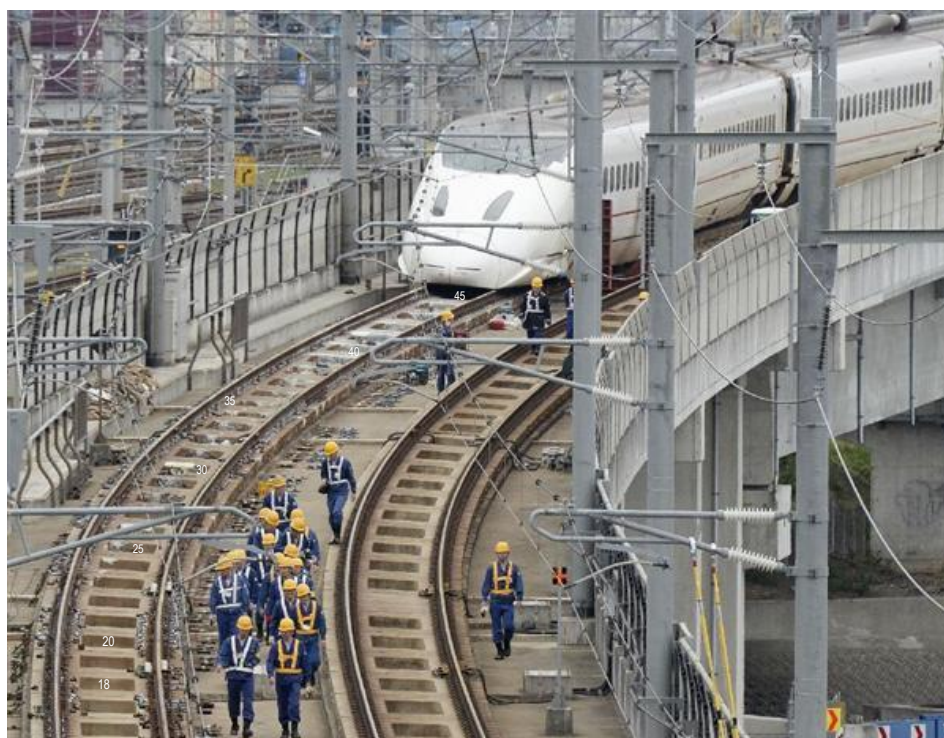


写真 F：産経ニュース写真、#23 の左側の中割縁に白い痕跡がわずかに認められ、以後、次第に右側への走行痕が多数認められる。また、破壊された締結装置の破片が多数線路周辺に並べられているのがわかる。

仮起点地上子からの枠形スラブ軌道ブロック数で
位置を表示
脱線開始ブロック：No.14
スラブ軌道の損傷開始ブロック：No.23
脱線先頭車と最後尾車のブロック：No.75 と No.45

回送列車 800 系新幹線 U005 号車番号
#1 #2 #3 #4 #5 #6



北 →

↑ 仮起点地上子

枠形軌道ブロックの標準長さ：
5m

短いブロック (4m) の位置：

No. 9、No. 10、No. 11、No. 34、No. 35、No. 36、No. 44、
No. 48、No. 49、No. 50、No. 74

写真 H：脱線車両周辺の状況（Google Earth の画像を合成した上で東西方向を 4 倍に引き伸ばしている）

場に向かってスラブ軌道の数のカウントする。枠形スラブ軌道の設置間隔は原則 5m で、単板桁の上などでは 4m の短いものも使われているようである。また、5m の場合の中割部分の幅は約 0.8m で長さは約 3m と推測される。

写真 E（大勢の作業員が作業している）によると、進行方向に向かって右側のレールに異常が認められる。その位置は、ブロック 14 から 10 ブロックほど続いているように見える。それ以上続いている可能性もあるが、この写真では隠れていて確認できない。なお、ブロック 9～11 は短いブロックである。

Google Earth によれば、ブロック 23 から枠形スラブ軌道に車輪の走行痕が見え始める。写真 F において、ブロック 23 の中割部分の左縁に見える白い傷は、車輪踏面との衝突痕と思われる。この写真では軌道スラブ面に多くの走行痕が認められるが、進行方向右側への脱線後のものと推測される。レール右側に落下した脱線車輪が次第にレールから離れて右側に走行していく様子が伺われる。脱線車両の走行によって破壊されたレール締結装置などの飛散部品が多数レール周辺に集められているが、破壊のすさまじさがよくわかる。

コンクリート面への落下衝突などによる進行方向右側への粉塵の噴出のような痕跡も写真 C や写真 H には認められる。これらの写真を見る限り、噴出は軌道の右側に限られているように見える。このことから、軌道の右側への脱線時には、脱輪車輪のコンクリートスラブ面への落下衝突が発生するが、軌道の左側への脱線時には、脱輪しても台車に設備された機器がレールに引っ掛かり、コンクリート面まで車輪が落下しないことが考えられる。

中割のある軌道中央部分への脱線車輪は、レールに遮られることなく、列車が停止するまでコンクリート面との落下衝突や跳ね上がりを繰り返すことになる。実際に写真 F や写真 H に見られるようにコンクリート面への痕跡は、停止列車に近づくほど、次第に激しいものになっている。ブロック 45 以降の停止列車に覆われた部分の状況はかなりひどいものであろうことが想像される。この間に、進行方向右側への脱線であったものが、左側に跳ね飛んだと推測される。



写真 C：脱線車両最後尾車両の後の軌道状況（国交省）

最後尾車両の 6 号車の先端は地上子から 45 個目のブロック上に停止しており、脱線のはじまりは 14 個目のブロックである。この辺りは脱線列車が停止している橋梁まで 5 径間ラーメン高架橋 50m が 3 ブロック、10m 前後の単板桁を介して連続している。高さもほぼ同じであり、振動特性の違いにより大きな目違いや折れ角が生じるようなところはないと考えられる。付近の強震記録から得られる東西方向の加速度や変位などを考えると、脱線は大きな地震動で一斉に生じたと推測されるので、レールに刻印された脱線の始まりは最後尾車のものに対応していると考えられる。すると、脱線後の走行距離は、次式で算定される。

脱線後の走行距離＝（最後尾車停止位置ブロック数-脱線開始ブロック数）×ブロック長-

(この間に含まれる短いブロックの数) × ブロック長差

これに具体的な数値を代入すると、 $= (45-14) \times 5 \cdot 3 \times 1 = 152\text{m}$ となり、ほぼ列車長に等しい。つまり、脱線列車は、単板桁を介して並んだ同じような振動特性を有すると考えられる三つの 5 径間ラーメン高架橋上を 80km/h で走行中に大きな地震動に遭遇して、一斉に脱線したと考えられる。

脱線後の走行路には、スパン 80m、35m および 20m の 3 橋梁が連続した後、6 径間ラーメン高架橋が続いている。脱線後、新幹線車両は 150m 程走行して停車したと考えられるが、概ねこれら 3 橋梁の上に跨っている。つまり、脱線後、列車は振動特性の異なる構造物上を走行しており、そのままスムーズに走行していたとしても、すべての車両が同じような挙動をするのではなく、同じ時間でも場所により異なった応答を示していた可能性がある。地震動そのものは脱線時からかなり小さくなっているものの、脱線車両が枠形スラブ軌道を走行する際に必然的に生じる凹凸による落下衝突の繰り返しと相俟って、脱線後の脱線車両の挙動はかなり複雑な様相を呈していたものと推測される。

2.2 地震警報と脱線

運転士が強い地震動を感知して非常ブレーキを作動させたと報道されている。一方、夜間に発生した地震直後の新幹線列車を空撮した報道映像では窓には非常灯が灯っているように見えることから、地震後、停電が発生していたことは間違いないように思われる。しかし、運転士が非常ブレーキを作動させたという認識であれば、少なくともそれまでには地震警報は届かなかった、つまり停電しなかったと推測される。したがって、警報は運転士の非常ブレーキ操作と同時かそれ以降に脱線列車に届いたと判断される。

Google Earth で付近の新幹線沿線画像を子細に調査した結果、脱線現場の南約 8km 付近の車両基地に隣接して変電所または電区分所が存在し、さらに耐震ハットと思われるものも存在することがわかった。この耐震ハット位置の震央距離は脱線現場の震央距離にほぼ等しく、この地震の断層の拡がりからは近い。したがって、脱線現場に近い JMA 熊本の加速度記録を用いて警報状況をシミュレートしても、新幹線沿線の検知点より警報時間を早く見積もることはないものと推測される。つまり、実際の新幹線警報よりもやや遅めの警報時間となると思われる。

図 2 は JMA 熊本を含む付近の強震観測点のデータを使って、FREQ 警報などの警報タイミングを推定してみたものである。これには運転士の地震感知時刻や脱線発生時刻なども推定して示している。

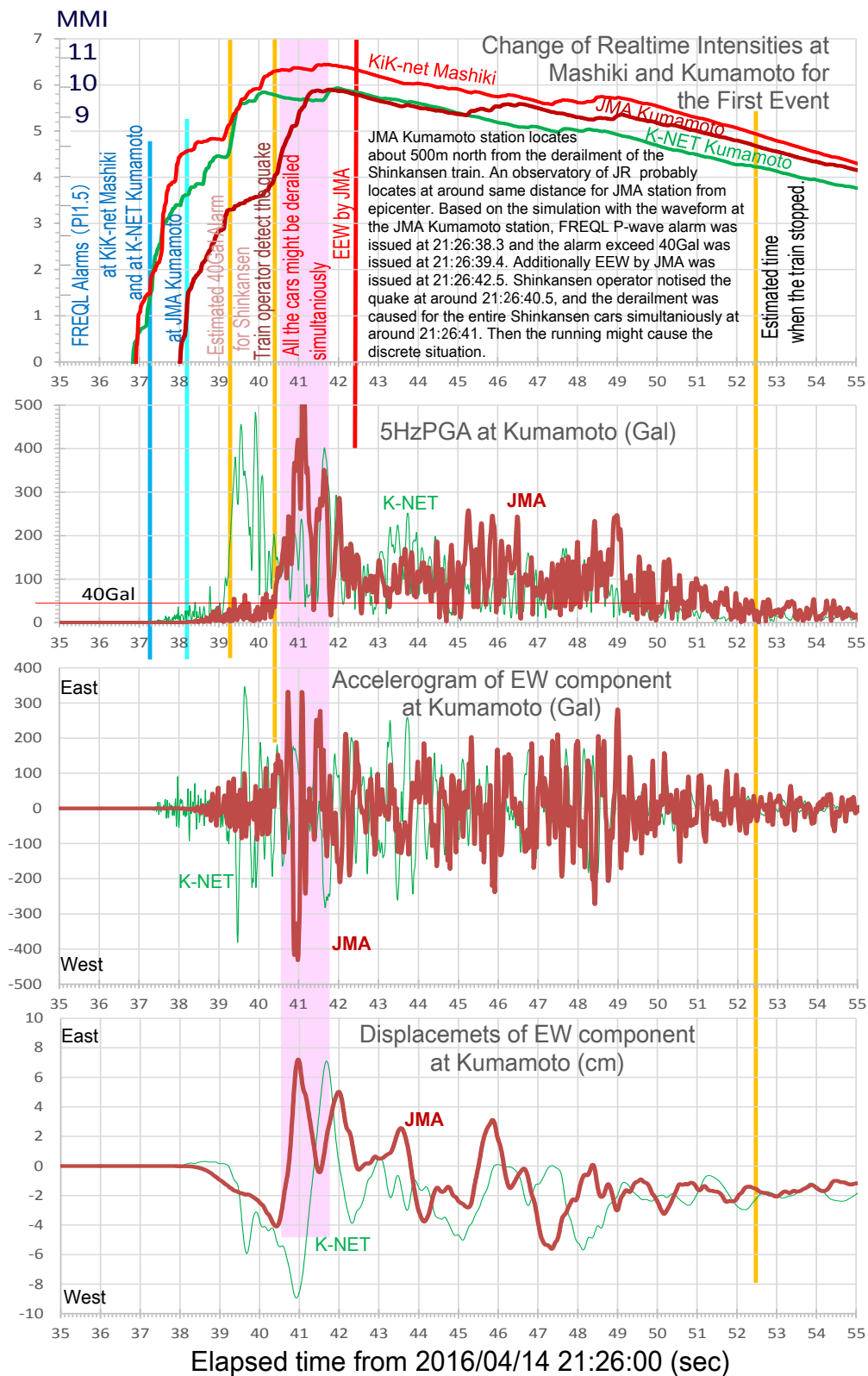


図 2 最初の熊本地震（2016-04-14 21:26 発生、M6.5）による各地のリアルタイム震度、5HzPGA、東西方向加速度と東西方向変位の時間変化と各種警報のタイミング

これによると、この地震により、KiK-net 益城等などで 21 時 26 分 37 秒に最初に揺れ始め、これに対して一番早い FREQL 警報は 21 時 26 分 37.3 秒に発信される。脱線現場に近い JMA 熊本付近では、FREQL 警報は 21 時 26 分 38.3 秒に発信され、40Gal トリガー警報は 39.4 秒に発信されると推測される。運転士が地震に気付くのは、地震動の大きさがある程度大きくなった 40.5 秒付近と推測され、地震による脱線は 41 秒前後に発生したと考えられる。気象庁の緊急地震速報は、21 時 26 分 42.5 秒に発信されたが、概ね地震による脱線が終わった後であり、少なくとも脱線に関しては何の意味もなかった。

新幹線の警報については、緊急地震速報は論外であるが、40Gal 警報であれば、運転士が地震に気付くより早かったはずである。しかし、九州新幹線の警報システムが 40Gal 警報をやめて気象庁方式の早期警報のみに頼っていたとすれば、その警報は緊急地震速報と同様に遅くなっていた可能性がある。いずれにせよ、警報が遅かった原因を明らかにして対策を講じる必要がある。

鉄道事業者に対して国交省は緊急地震速報の導入を勧めているようである。JR 九州でも「安全報告書 2014」に緊急地震速報の導入が安全性向上策の一環として謳われている（図 3 参照）。しかし、今回の事例でも明らかなように、M7 クラスの直下地震の被害地域では緊急地震速報は絶対に間に合わない。遠方の巨大地震の場合には、地震動に先行できる可能性のある地域はあるものの、そうした地域では大きな被害の発生はほぼ考えられない。つまり耐震性の高い新幹線構造物には被害はほとんどなく、走行安全性も問題がないと考えられる。緊急地震速報は、鉄道事業者にとって信頼性の高い運行を阻害するものでしかない。国交省が正しい認識を持つように願うばかりである。

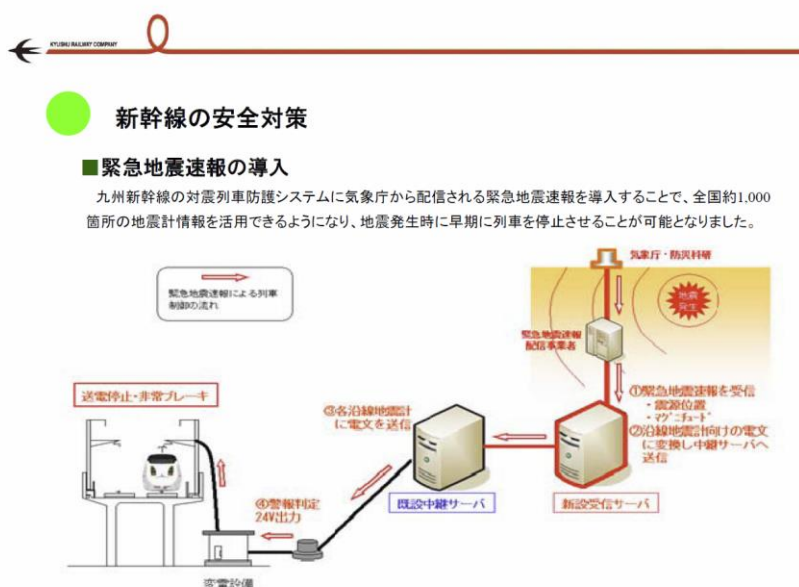


図 3 JR 九州でも「新幹線の安全対策」として緊急地震速報の導入が謳われているが…。

阪神大震災の時にユレダス警報が届かなかったように、被害地震の震源域では、通信ネットワークを介して伝えられる警報そのものが通信断で届かない可能性が大きい。迅速なオンサイト警報を中心に考えることの必要性や重要性はここにある。また、警報を受ける施設は十分な耐震性を有していることが前提である。その上で、不測の事態が生じても影響を最小限に抑えることを目的に警報システムは設備されている。

今回は、2011 年の東北大震災で多発して問題となった架線を支える電柱の折損倒壊現象は皆無であったほか、構造物にも大きな被害は発生せず、十分な耐震性が確保されていた。しかし、既に述べたように意外な盲点が明らかになっている。

3. まとめ

ここでは、報道写真などを用いて、最初の熊本地震により発生した新幹線の脱線や早期警報の状況について検討した。その結果をまとめると、次のようになる。

脱線に関して言えば、枠形スラブ軌道の危険性について注意を喚起したい。脱線車両は脱線後も走行し続けるが、脱線の後、逸脱量が大きくなると必然的に発生する枠形スラブ軌道に起因する走行路の凹凸によって上下動が励起されることになる。停止に向かって励起周期が変化して共振周期に合致した時点で激しく共振したものと推測される。その際に、脱輪した車輪が飛び上がり、多くの車輪がレールを飛び越えて反対側に脱線したものと推測される。このようにして脱線後 150m 程走行して停止した。おそらく脱線後の走行時間は 10 秒を少し超える程度であったと思われる。平均減速度は 2m/s^2 程度で、緊急ブレーキや非常ブレーキでの減速度の 2 倍程度の強烈なものであったと推測される。減速度の大きさもさることながら、強烈な車輪の上下振動により、車体との衝突も生じていたと考えられる。車高が低くなるくらい空気ばねが損傷したとも推測されるが、このような振動に乗客は耐えられるのだろうか。また、脱輪した後、軌道スラブが敷かれた道床までに車輪が落下する前に車軸など台車の様々な機器ないしは車体側の機器がレールに接触し、車輪は宙に浮く状態になる可能性があることがわかった。この現象は進行方向の左右で条件が異なる可能性があるが、このような状態ではレールと、車体ないしは台車の一部が接触して走行するので、摩擦熱が発生するということにも注意が必要である。レールについて言えば、摩擦熱によりレールが伸び、締結装置が破壊されて列車が通過した後に大きく孕み出した中越地震時よりはるかに厳しい現象が発生する可能性がある。

脱線しない対策が重要なのは言うまでもないが、万一脱線しても枠形内部に落下することなくレールに沿って走行するような対策を早急に講じる必要がある。枠形スラブ軌道の大

きな弱点が今回露呈してしまった訳であるが、幸い乗客は乗っておらず走行速度も低いものであったことは不幸中の幸いであった。早急に対策を講じる必要がある。高速走行中に枠形内部に脱輪した車輪が落ち込む事態は確実に回避しなければならない。想像すらできないような大惨事が出来するおそれがある。

警報に関して言えば、気象庁の緊急地震速報は防災情報としては全く役に立たないことが改めて認識された。すべての新幹線では、気象庁で緊急地震速報のために用いられている地震計などの警報機器をアレンジしたものが警報機器として使われている。しかし、今回の地震についても 40Gal 警報よりも遅い警報しか実現できておらず、警報機器としての基本的能力をも疑問視せざるを得ない。新幹線についていえば、少なくとも、従前の警報よりも遅くなるような事態は招いてはならない。

早期地震警報（EEW）は、理学研究の分野では世界の潮流になっている。このこと自身大きな驚きであるが、役に立つ実用的な警報とは程遠い彼らの研究実態を知るにつけ、どうなっているのだろうかと思が分からなくなる。警報対象を持たず、研究対象としてのみの検討では手段が目的化しても不思議ではないのだろう。警報が間に合わない領域もブラインドゾーンと名付けてしまえば、警報時間の短縮という至上命題さえも意識の中から遠のいていく。論文にしやすい、かっこいい数式の作成、非常に多量のデータを使った統計処理が目的化していく……。緊急地震速報に感じる違和感が世界に蔓延している。

以上

補遺：九州新幹線つばめ U005 の誕生から脱線まで

脱線した 800 系新幹線について、写真 B から判明したこぼれ話的ことがら。



地震により脱線

写真 B: 脱線列車の先頭車の状況 (国交省)

補遺：九州新幹線つばめ
U005 の誕生から脱線まで

2003 年 12 月 28 日新製

2010 年 7 月 27 日改造

2016 年 4 月 14 日脱線

手持ちの書籍「新幹線テクノロジー」佐藤芳彦著の写真頁冒頭を飾った 800 系新幹線 U005 の工場写真、改造前と後の勇姿、および地震により全車脱線した際の先頭 1 号車の様子。すべて 1 号車が先頭。



改造後と思われる

「Speed Sphere、新幹線、800 系、実車について」より



改造前と思われる

「みやしたの気まぐれ blog」より



800系（川内基地）
九州新幹線新入代一覧覧島中央院が
2004年3月13日に開業するのを受けて、
JR九州が東海道・山陽新幹線の
700系をベースに開発し、
2003年8月に最初の6両編成1本が落成した。