

新幹線の脱線と早期検知

中村 豊¹⁾

¹⁾ 正会員 (株)システムアンドデータリサーチ, 〒186-0003 東京都国立市富士見台3-25-3,
E-mail: yutaka@sdr.co.jp

1. はじめに

2004年新潟県中越地震(2004年10月23日17時56分0.3秒発生、震源:北緯37度17.3分,東経138度52.2分,深さ13km、Mjma 6.8)では営業運転中の新幹線列車が初めて脱線したが、幸いにも災害とはならなかった。上越新幹線に設置された不測の事態に対応するコンパクトユレダスが、震央地域でP波検知後1秒で警報を発生し、震央域の全列車を緊急停止させた。これにより脱線列車では、本格的な地震動到来の2-3秒前に緊急ブレーキが動作し始めた。対向列車突入の危険性も大幅に低減させるなど、直下に発生した地震に対しても、コンパクトユレダスは期待どおりに動作した。今回の脱線現象を分析した結果、主要な脱線は特定の高架橋ブロック間の著大な相対変位によって順次発生したと推定され、地震後、脱線車輦がレール上を胴体着陸状態で滑走して著大な摩擦熱が発生し、列車通過とともにレールの変形・破断が発生したと推定された。排水溝に落ち込んだ最後尾車輦は地震時には脱線していなかったと推測されるが、もし警報が遅れていれば、これを含むより多くの車輦が脱線して災害に発展した可能性があることがわかった。以下、やや詳しく述べる。

2. コンパクトユレダスの働き

早期検知システムがP波警報を出したのは、新川口SSと新長岡SSPで、これらが担当する六日町SPから押切SPまでのエリア内(いずれも200Gal以上を観測している)にいた列車は3本(図-3参照):北から、とき406号、とき325号(脱線)、とき322号である。なお、とき325号(下り)には、運転士ら3名が乗務し、乗客は151人であった。脱線付近の線路はほぼ南北に走り、その運行には東西動が大きく影響する。

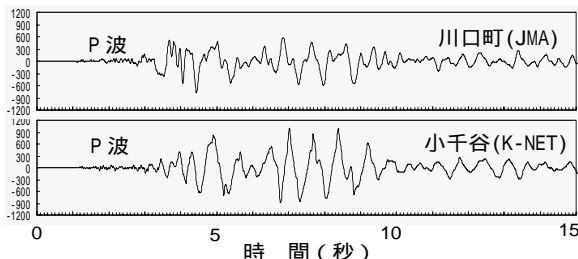


図-1 震央域強震波形例(EW)

図-1の震源域での強震記録(EW方向成分)をみると、大きく揺れ始めてから一旦収束した大きくなっている。脱線箇所とほぼ同じ震源距離の小千谷では、強震動の継続時間は5-6秒で、P波到来から東

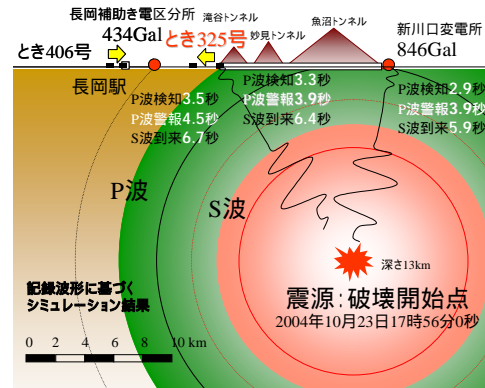
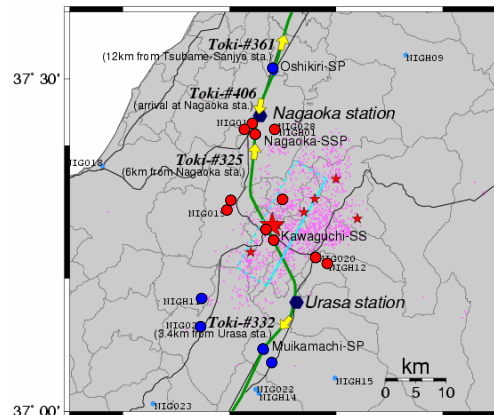


図-2 地震波動伝播の模式図

西方向の大きな揺れまでの時間は3.0秒程度である。トンネル出口ではP波から警報まで約0.6秒と推定されるので、警報から大きな揺れまでの時間は2.5秒程度あったと推定される。図-2に、深さ13kmの震源から、地震波動が拡がり、検知点や脱線地点などに到達するさまを模式的に示す。



● コンパクトユレダスがあれば1秒でP波警報
● コンパクトユレダスはP波警報を出さない

図-3 震央付近の状況とシミュレーション結果

図-3は、強震記録を用いてコンパクトユレダスの動作状況をシミュレートした結果である。被害地域においてのみP波警報がP波検知後1秒で発信され、コンパクトユレダスの的確さを示している。

新川口SSや新長岡SSPでの記録波形を用いて最速警報システム「フレックル」の動作をシミュレートした結果、現行のコンパクトユレダスよりもそれぞれ0.8秒、0.4秒の短縮が見込まれる。トンネル出口ではP波到来前に警報を受けることになるが、これは地震検知点を20km間隔から10km間隔に増やすのと同等またはそれ以上の効果である。

3. とき325号の脱線

トンネル出口（206km地点）から300m地点付近は崖状地形のため、高架橋の高さが急変し、構造も一層式高架橋から2層式高架橋に変わる。



図-4 著大相対変位発生箇所 206km285m 付近（印）

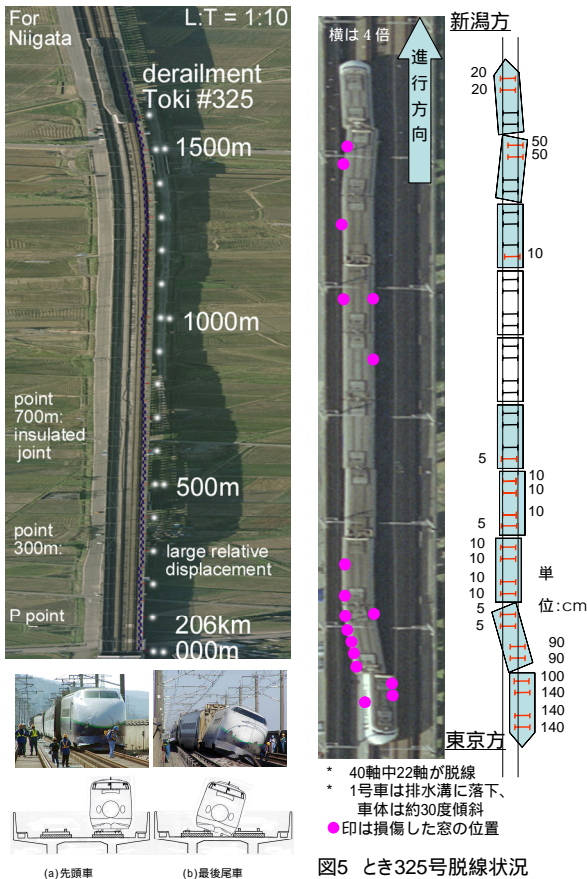


図5 とき325号脱線状況

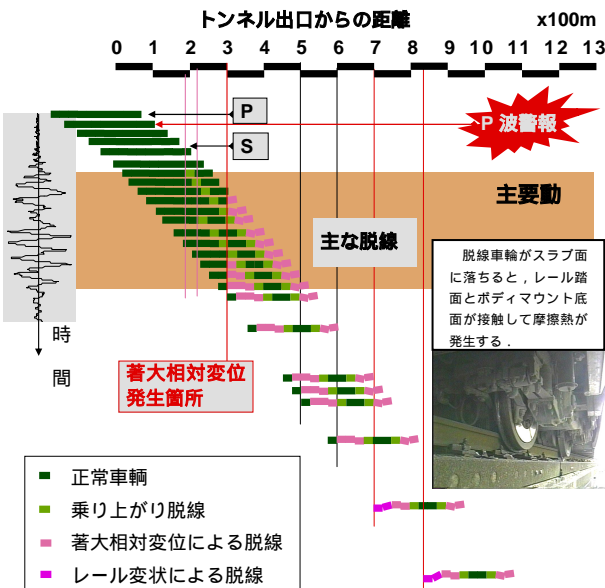


図-6 脱線発生状況の模式図

今回の脱線は以下のように発生したと推定される．参考のため図-6に脱線発生状況の模式図を示す．

先頭車が滝谷トンネルを出て75mほど進んだところで、地震（P波）に遭遇し、スパークした．P波から0.6秒後にコンパクトユレダス警報を受け停電、緊急ブレーキが作動し始めた．P波から2秒後にS波到来、さらに1秒後大きな揺れが始まった（先頭240m付近）直後、8号車後部台車後部車軸が190m付近で乗り上がり脱線．列車は、5-6秒継続する大きな揺れの中を、全車両が一齐に左右にロッキング震動しながら交互に片輪走行した．

高架橋ブロック間で大きな相対変位が発生する場所（285m付近）があり、ここを片輪走行するときに次々に脱線した．最初の大きな揺れが終わる頃に10号車前部台車が左側に脱線、そのまま30mほど走行して、今度は反対側に揺れはじめ、9号車の後部台車が右側に脱線した．その後揺れは一旦おさまったが、80m走行して再び揺れ始める前に、5号車の後部台車後部車軸が217m付近で乗り上がり脱線した．再び揺れ始めた後、4号車が右側に脱線した．続いて3号車の全台車および2号車の前部台車が左側に脱線した．この段階で大きな揺れはおさまり、最後尾車輛の1号車は無事に285mを通過した．

大きく揺れている間、片輪走行で脱線車輛のボディマウント底面とレールの接触は左右交互に発生した．地震終了後は脱線した車体底面とレールが全面的に接触しながら滑走した．この摩擦熱によりレールが伸びた．500m-600mでは左右のレールともに左側のレール締結装置の左側が脱線車輛によって破壊され、列車通過後大きく左側に孕みだした．また700mの絶縁継ぎ目付近にはレールの伸びが集中し盛り上がった．700m付近を通過した車両は飛び上がり、15m先に落下した．最後尾車輛（1号車）は、700m付近を通過した時飛び上がり、着地後バウンドして2号車の後部台車を引きずりながら右側に大きく脱線した（700m付近）．この時同時に抱き込むようにレールを横倒ししながら進んだ．さらに130mほど進んで、最後尾車輛は完全に排水溝に落ち込み、停車位置まで滑走した．

4. おわりに

今回の脱線は微妙なタイミングで生じたと考えられる．警報が遅れていれば、より多くの車輛が脱線した可能性が高く、レール上を脱線した車体が接触しながら滑走するため、摩擦の問題がより深刻になったと考えられる．少なくとも今回の場合、早期警報により走行安全性は高められた．