

地盤条件変化点における地震時の脱線発生機構の考察

前橋工科大学 フェロー会員 那須 誠

1. まえがき

地震時や平常時の列車脱線が地盤条件の変化点で非常に多いことが調べられている^{1),4)}。今回、解析に先立って、脱線発生機構を推察したので以下に報告する。

2. 脱線発生と地盤の関係

平常時と地震時の列車脱線と地盤の関係がそれぞれ文献 1)と文献 2)-4)にまとめられて、ともに脱線が地盤条件の変化点で多いことが明らかにされている。特に後者では兵庫県南部地震での列車脱線 10 数件全部が地盤条件の変化点(路盤条件変化点を含む)で発生していることは注目される。さらに新潟県中越地震で発生した列車脱線は元谷の埋立地で発生したことが明らかにされている(図 1)^{4),6)}。フランスの SNCF の高速列車 TGV も平常時であるが第 1 次世界大戦時の地下塹壕跡埋立地盤で脱線しており⁴⁾、ここも一種の地盤条件変化点である。

3. 脱線発生機構の推定

(1)過去の脱線の多くがレールの曲がった方向と反対側に発生しており、兵庫県南部地震の際に列車脱線の発生機構は図 2^{2),3)}のように考えられている。即ち、地盤条件変化点では平常時はレールが真っ直ぐである。地震時にはその変化点前後で地盤特性が異なるため地盤の動きに差が出て横ずれ(食い違い)現象が起きる。その地盤変位によってレールが強制的に変位させられて折れ角(通り狂い)が発生し、そこを通過する列車は慣性で真っ直ぐ走ろうとして、レールの曲がった方向と反対側に車輪が外れて脱線に繋がると考えられる。TGV でも地下塹壕跡埋立地盤にできた陥没孔が片側のレール直下に偏って存在し、列車通過時にレールが片側に大きく傾斜したため、図 2 と同様に脱線が発生したことが考えられる。

(2)新潟県中越地震での列車脱線機構を推察する前に、橋梁とレールに地震で作用した力を推察する。

1)1987 年千葉県東方沖地震の際に三浦海岸駅近くの水深第 1 高架橋(ラーメン高架橋)が埋没谷部でその谷軸方向(橋軸直角方向)に力を受けて被害を受けるとともに⁷⁾、

架線電柱が線路側(橋軸直角方向)に傾斜している。

2)1993 年北海道南西沖地震の際に津軽海峡線建有高架橋が河川敷で河川直角方向に力を受けて、左右の架線電柱がともに線路側(橋軸直角方向)に傾斜している^{8),9)}。

3)兵庫県南部地震の際に宝塚大劇場脇で阪急宝塚線の上り電車が後背湿地と自然堤防の境界沿いを走る橋梁で、しかもラーメン高架橋から桁橋に移った位置で脱線しているが、その地点で両橋梁間に横ずれ(目違い)が存在して電車が脱線しているので^{2),3)}、レール折れ角が発生したことが推察される。

4)新潟県中越地震の列車脱線箇所付近で左右の架線電柱がともに線路側に傾斜している(図 3)。また、脱線箇所付近の側道沿いの電柱が線路直角方向に、しかも脱線箇所付近で特に大きく傾斜していることから、この付近で地盤が線路直角方向に大きく動いたことが推察される。

脱線地点一帯は浄土川の扇状地であるが、明治時代の旧地形図と現地形図^{5),6)}を比べると、扇状地内にある元谷部(浄土川旧河道と考えられる)が埋立てられて現在

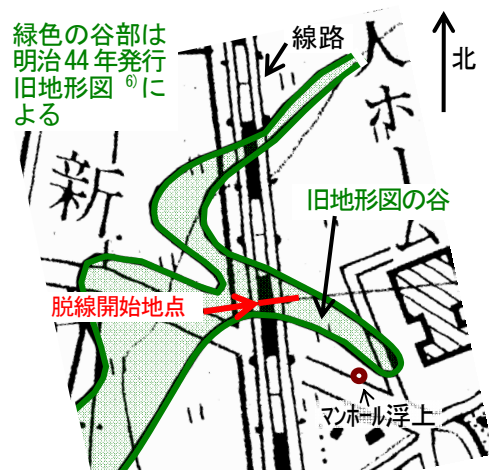


図 1 脱線位置の地形図(文献 5),6)を集成)⁴⁾

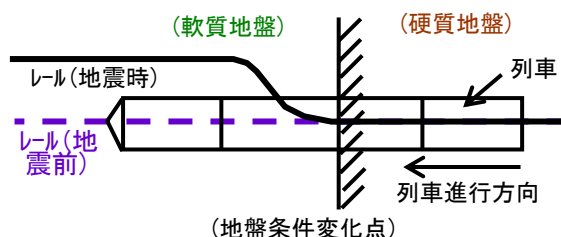


図 2 地震時のレール変形と列車脱線の関係の推定図

キーワード：地震、脱線発生機構、地盤条件変化点、地盤横ずれ変位、レール折れ角、慣性走行
連絡先：〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460-1 電話 027-265-7342



図3 脱線箇所付近の架線電柱の傾斜

は田圃になったことが分かる。また、この先で発生したレールの巨大屈曲等の変形は沖積谷と扇状地の境界部の沖積谷側で大きく発生しており、扇状地ではレールの変形は殆ど認められず、扇状地と比べて沖積地盤では地盤が特に大きく動きやすいことが分る。

なお、新潟県中越地震の際の列車脱線箇所付近で発生したマンホールの約 1.3m 浮上箇所は 2. で述べた元谷の上流部の斜面付付近に当たる(図 1)。これと同様に埋没谷地盤の谷斜面上部でマンホールが大きく浮上した例が 1993 年釧路沖地震の際にもみられる¹⁰⁾。

以上から比較的狭い埋没谷部等の地盤(埋積地盤)は地震時に谷軸方向に卓越して動きやすいことが分る。従って、その谷を渡る橋梁は橋軸直角方向に大きく地震力を受けやすいことが分る。

(3)以上の結果を踏まえて、具体的に新潟県中越地震の下り列車脱線発生機構を推定すると次のようになる。

埋没谷地盤の表層部は地震時にその両側の地山(扇状地地盤)と比べて比較的大きく谷軸方向に地震時に急激に動くが、橋梁はその支持杭の先端が支持層に拘束されていてあたかも不動点のようにになっているため、地震で動いた地盤から強い力(偏土圧)を基礎部が図 4 のように受ける。そのときフーチングは下流側に移動し、作用・反作用の法則で桁は上流側に移動するが、レールは桁とともに上流側に移動する。そのとき架線電柱は下流側(線路側)に傾斜する。その結果、図 5 に示すようにレールは湾曲するが地盤境界部で折れ角(通り狂い)が発生する。そこを通過する列車には慣性があるため真っ直ぐ走ろうとして、レールの曲がった方向と反対側(上り線側)に車輪が外れて(図 5 の右側車輪が A から B へ移動して)脱線につながると考えられる。

4.あとがき

新潟県中越地震による列車脱線箇所、まず地盤状態と構造物被害から地盤の動きを推定してからレールの変形状態を推定した。続いて地盤条件変化点で地震時

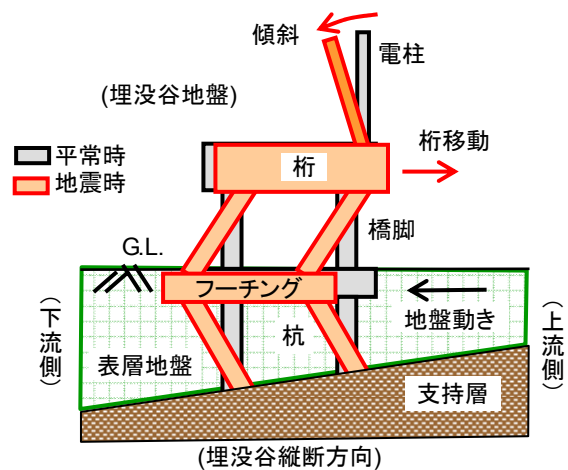


図4 埋没谷部の橋梁変形の推定模式図

に生じたレール折れ角部を列車が慣性で走行したため脱線したことを推定した。埋没谷地盤の地震時挙動は解析¹¹⁾と模型振動実験¹²⁾で既に調べているが、これらも参考にして今

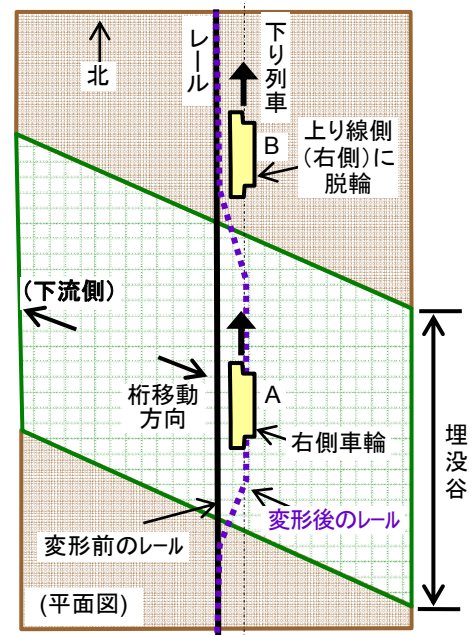


図5 レール変形と脱線の関係の推定模式図

後は以上に推定した脱線発生機構を詳細解析で深度化する予定である。

参考文献

- 1) 那須誠: 脱線発生と地盤, J-Rail'99(鉄道技術連合シンポジウム), 防災セッション, S6c-5, pp.357-358, 1999.12.
- 2) 那須誠, 菊池保孝: 阪神・淡路大震災における列車脱線への地盤と路盤の影響, 鉄道力学論文集, 第3号, pp.71-76, 1999.6.
- 3) 水出有紀, 那須誠: 地震時の橋梁被害と建物の層崩壊と地盤の関係の類似性, 平成16年度土木学会栃木学会学術発表会, 2005.2.
- 4) 那須誠: 軌道変形や脱線、構造物の異常振動等への地盤の影響, 第14回鉄道技術連合シンポジウム(J-Rail2007), pp.583-586, 2007.12.
- 5) 国土地理院編: 地形図, 1/25,000, 片貝, 平成13年修正測図.
- 6) 国土地理院編: 地形図, 1/25,000, 片貝, 明治44年測図.
- 7) 那須誠: 地震による被害構造物と無被害構造物の地盤の違い, 土木建設技術シンポジウム2003, pp.299-306, 2003.7.
- 8) 那須誠: 地震被害への地盤の影響と被害機構の推定(その7, 地震等で被害が発生しやすい部位), 前橋工科大学研究紀要, 第6号, pp.31-38, 2003.
- 9) 西村昭彦, 那須誠, 渡辺忠朋: 釧路沖地震および北海道南西沖地震の被害報告, 鉄道総研報告, Vol.8, No.5, pp.7-12, 1994.5.
- 10) 那須誠: 地震による構造物変形への地盤の影響, 第30回土質工学研究発表会講演集, pp.75-78, 1995.7.
- 11) 那須誠, 菊池保孝, 大場恒彦, 今野治夫: 地震応答解析による阪神・淡路大震災における列車脱線への地盤の影響の考察, 鉄道力学論文集, 第4号, pp.31-36, 2000.6.
- 12) 那須誠: 盛土の地震応答と地盤構造の関係(その10)ー模型振動実験結果のまとめと地震応答解析ー, 第22回地震工学研究発表会講演概要, pp.251-254, 1993.7.