

脱線やレール変形等への地盤の影響

[土] 那須 誠 (前・前橋工科大学)

Effects of discontinuous ground upon derail and rail deformation

Makoto Nasu

From a case study of relationship between ground or subgrade and derail or rail deformation induced by earthquake and so on, it is made clear that they are liable to be caused by differential displacement at discontinuous sites of ground or subgrade, and the occurrence mechanism for them is been estimated.

キーワード：脱線，レール変形，地盤，不同変位

Key Words：Derail, rail deformation, ground, differential displacement

1. はじめに

地震などで脱線やレール変形等が発生した地盤や路盤の事例から、それらは地盤等の不連続点で不同変位等が原因で発生しやすいことと発生機構を推察したので、その結果を報告する。

2. 脱線やレール変形等と地盤の関係

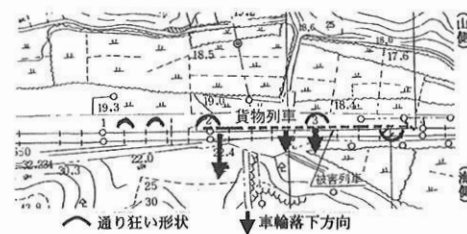
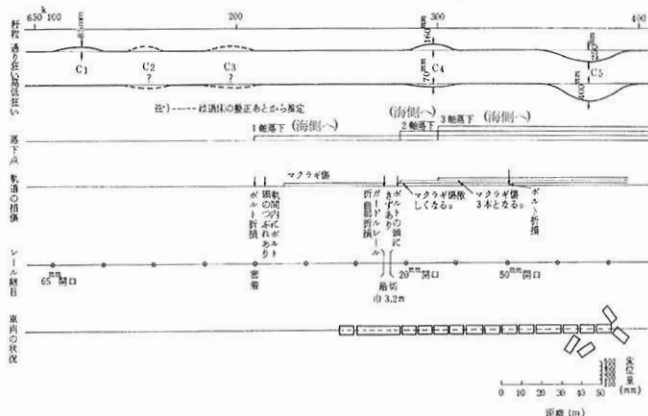
(1) 東北本線貨物列車脱線

1968 年十勝沖地震のとき東北本線尻内(現八戸)・陸奥市川間 650k370m 付近で貨物列車が走行中に脱線、転覆した¹⁾。脱線開始点付近ではレールに通り狂いが生じその方向と反対方向に脱線している。ここでは盛土の滑動、沈下、路盤の亀裂等のほかに電柱の傾斜等の変状が発生している。図-1¹⁾に脱線箇所付近の地形と通り狂い形状(実際より誇張されている)と車輪の落下方向の関係、図-2¹⁾に軌道損傷と列車の位置関係が示されている。200M(C3)と300M(C4)付近の通り狂い箇所の車輪落下地点は、図-1をよくみると地盤の不連続点であることが分かる。また、最終的に転覆した 370M(C5)付近では盛土が大きく滑動し水準狂いが大きく発生しているが、脇の田圃に線路直角方向に水路がありここには埋没枝谷の存在が考えられる。

(2) 阪急今津線電車脱線

1995 年兵庫県南部地震で阪急今津線のり上り電車が阪急今津線の宝塚駅・宝塚南口駅間で脱線した²⁾。橋梁側壁に食い違いがみられ(図-3³⁾)、終点方の食い違い点(道路上の桁橋とラーメン高架橋の境界部)が脱線開始点と考えられる。先頭電車から進行方向右側に脱線し、最後部電車が振じれた状態になっているので、桁の横ずれとレールの折れ角は電車が来る前から或いは通過直前に生じたことが考

られる。
また、桁
の左横ず
れに伴う
レールの
通り狂い
方向と反

図-1 貨物列車脱線箇所とその周辺¹⁾図-2 軌道損傷と列車の位置関係¹⁾

対側の進
行方向右
側に脱線
している
ので、走
行慣性に
よって乗
り上がり
脱線が生
じたこと

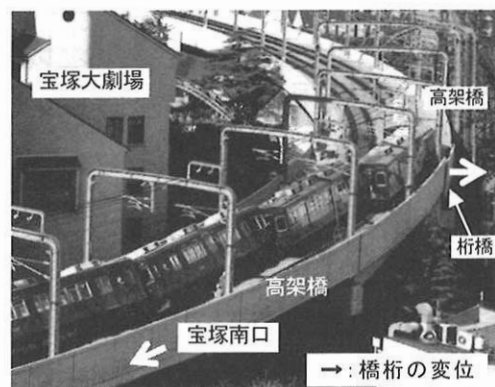


図-3 脱線状況(文献 3)に加筆

が考えられる。現場は武庫川の北東脇にあり、図-4(1885年測図)に現在の線路等を加筆)をみると、線路橋梁は広葉樹などの樹林帯(自然堤防、線路直線部分の宝塚駅寄りの南側)と田圃(線路直線部分の宝塚駅寄りの北側)の境界部分につ

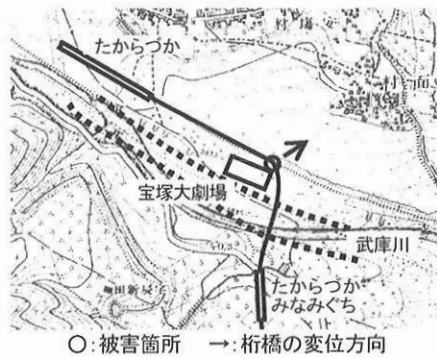


図-4 旧地形図(1885年測量)に加筆

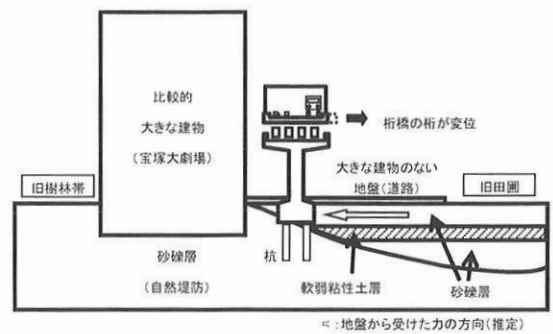


図-5 地震時の地盤と桁移動の関係の推定図

る。なお同図の被害箇所(○印)と桁移動方向(→印)をみると地震で桁が変位した桁橋は田圃から自然堤防の境界部分へとカーブした、地盤条件変化点にあるようにも思われる。脱線箇所の南西部にある宝塚大劇場(1993年竣工)にも各種被害が生じており²⁾、この付近の地盤と構造物が図-5のように挙動し、脱線が図-10と同様なレールの変形によって発生したことが推察される。

(3) 新幹線列車脱線箇所

図-6は2004年新潟県中越地震の際の新幹線列車脱線地点付近の地質図とレールや車両の各種挙動の関係を示す。脱線地点一帯は浄土川の扇状地であり、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が特に大きく動きやすいことが分る。また、10月27日の余震で停車中の車両で脱輪が発生しているが⁶⁾、そこは扇状地と沖積平坦面の境界部、即ち地盤の不連続点であることも分る。

脱線が発生した高架橋の位置の新地形図(平成13年修正測図)に、旧地形図(明治44年測図)の地盤の谷地形(浄土川旧河道)を太実線で書き加えてつくった図-7によると、脱線は旧谷の埋立地(埋積谷、現田圃)で発生したことが分かる⁷⁾。この付近で、しかも脱線箇所付近だけで左右の架線電柱がともに線路側に傾斜している(図-8)ことから、この付近で

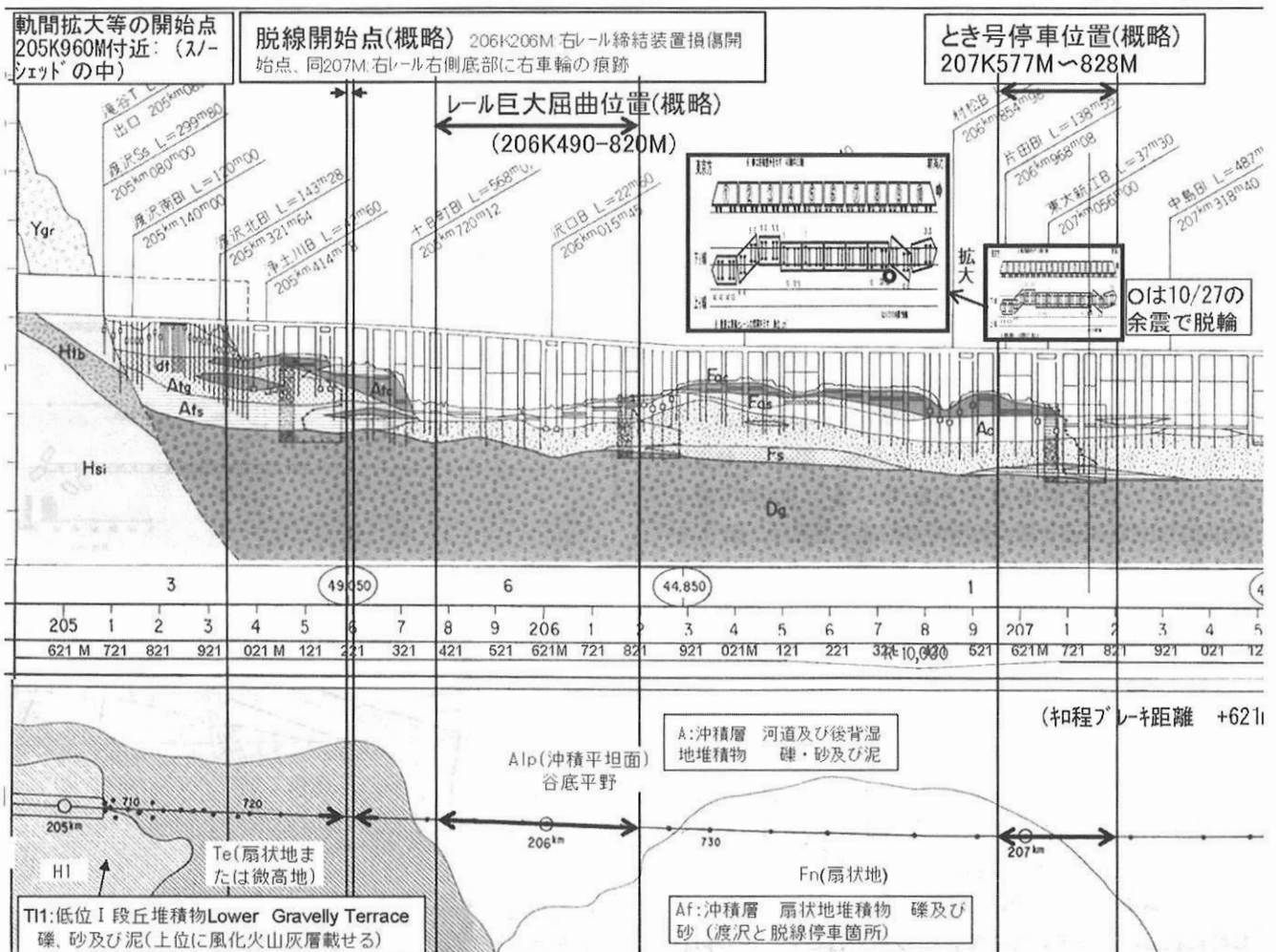


図-6 脱線箇所の地質図とレール、車両等の位置関係(文献5,6)を集成

地盤が線路直角方向に大きく動いたことが推察される。

以上のことから脱線機構として図-9, 10のように推定する。即ち、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で動き、しっかりした基礎杭をもって不動点のようにになっている橋梁基礎部に強い力(偏土圧)を、図-9のように作用させる。そのときフーチングは下流側に移動するとともに作用・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。その結果、図-10のようにレールは湾曲して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(上り線側の右側)に車輪が外れて(図-5で車輪がAからBに進行して)脱線につながったことが考えられる。以上は埋没谷地盤と地山の間に不同変位が発生したため起きたものと考えられる^{7,8)}。

なお、図-9のように左右両側の片持ち梁式の架線電柱が地震とともに線路側に傾斜したのは、架線に張力が作用するとともにブラケットや吊架線が線路側に取り付けいて線路側に偏載荷重がかかっている状態で、地震動は左右両方向に作用するためと考えられる⁹⁾。

なお、左右両側の電柱の線路側への傾斜が北海道南西沖地震(建有高架橋)や千葉県東方沖地震(水深第2高架橋)でも生じている^{9),10)}。建有高架橋や水深第2高架橋では埋没谷部等で橋軸直角方向に大きく地震力を受けたことが橋脚の被害状態から分かるし、建有高架橋の地盤には腐植土層が存在し、水深第2高架橋の地盤は埋没谷であり、N値の大きい砂層の下に極軟弱粘性土層が存在し、地震力は谷軸方向に発生している。このように比較的狭い谷部では地震力は谷軸方向に卓越することが多い。

(4) JR 越後線列車脱線

2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震で、柏崎駅発新潟駅行き下り普通電車の先頭車両が左側に脱線、傾斜した(図-11¹¹⁾)¹²⁾。図-12の地質図¹³⁾によると、脱線が発生した地盤は砂・礫・シルト及び粘土層から成り立つ地盤で、その中の油・ガス田範囲の西側端部付近で脱線・傾斜が発生している¹²⁾。地震の際に砂・礫・シルト及び粘土層だけから成り立つ地盤と油・ガス田範囲との地盤に変位差が生



図-7 脱線位置の地形図⁷⁾



図-8 脱線箇所付近の架線電柱の傾斜⁷⁾

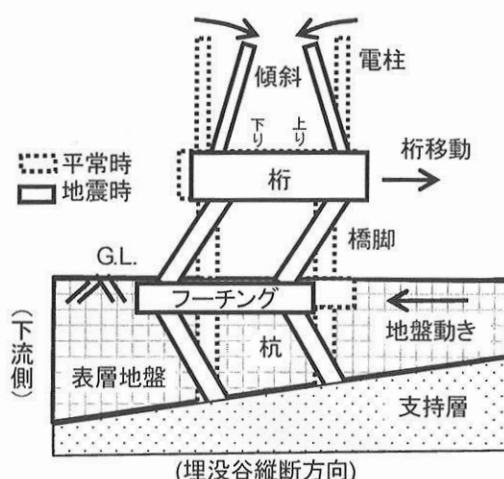


図-9 地震時の埋没谷部の橋梁変形推定図^{7,8)}

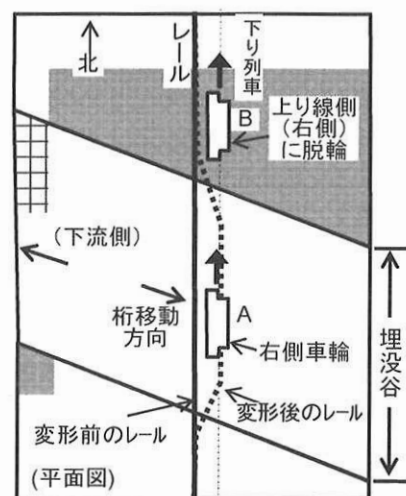


図-10 埋没谷部でのレール変形と脱線の関係の推定模式図⁷⁾



図-11 柏崎駅構内での脱線状況¹¹⁾



図-12 越後線柏崎駅付近の地質¹³⁾と脱線の関係¹²⁾

(図の下側)に地震で急激に動いたが、車両には慣性があるため脱線等が発生したことが推定される¹²⁾。このように地

盤不連続点で停車中や走行中の列車が地震で脱線や傾斜した例が過去にも認められる²⁾、この脱線地盤は前述の 2004 年新潟県中越地震で新幹線列車が停車中に脱線した地点の地盤と類似であることが分かる。

(5) SNCF TGV 列車脱線

1993 年 12 月 21 日に

フランス国鉄新幹線 TGV 北線の上り列車がショース付近で時速 300km/h で走行中に脱線した。その現場には長さ 7m、幅 4m の陥没孔があり(図-13)、それは線路の下にあった、第 1 次世界大戦中(1914～1918 年)に掘られた地下塹壕跡であり、降雨を伴う悪天候で塹壕跡の埋立地盤が崩れたものと言われている。また、ここでの列車脱線は図-14 の車輪 A から B と進んで発生したと考えられる。ここで図-13 をよくみると陥没孔が左右線路の両側直下でなく片側に寄って存在していたことが脱線に大きく影響したことが考えられる¹³⁾。

なお、文献 14)によれば武蔵野線トンネル上の地表陥没は降雨水等の浸透によってトンネル側壁に沿ってできたみず道の下端部の地盤の細粒分が洗い流されて空洞ができるが、水の浸透の継続によって空洞が成長して上方の地盤に緩み領域が発生してついには地表近くの地盤に陥没が発生するということが考えられている。この陥没はトンネル構造物は殆ど変形しないが地盤は水が浸透するとともに沈下や圧縮するというように、物性が大きく異なるトンネルと地盤の境界部に発生しており、これと類似の現象が TGV 脱線現場の線路で地山と埋め戻し土からなる地盤に生じたこと等が考えられる¹³⁾。

(6) レール変形

これまでの調査結果によるとレール変形は硬軟地盤や路盤の境界部(不連続点)で多くみられる。その境界部では、例えば図-15 に示すようなレールの変形が考えられる。即ち、硬質地盤に対して軟質地盤が平行に、しかもレールの走行方向と両地盤の境界線のなす角のうち鈍角側(図の下側に)ずれたとすると、レールは強制的に変位させられて a から c の状態になるが、そのとき硬質地盤と軟質地盤の境界部でレールに圧縮力が作用して短縮し座屈(通り狂い)が発生することが考えられる。逆に、軟質地盤が b の方に動けばレールには引張力が作用して伸張(破断)が起きることも考えられる¹³⁾。

3. おわりに

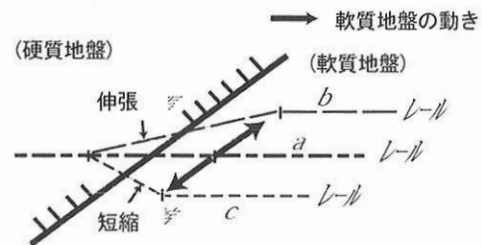
以上に述べたように、脱線やレールの変形は地盤の不連続点で多く認められ、その発生機構も地盤変位しかも不同変位変位の観点から推察できた。今後とも脱線やレール変形への地盤の影響調査を継続する予定である。以上の調査



図-13 TGV 列車脱線位置の路盤陥没¹³⁾



図-14 路盤陥没箇所のレール変形と脱線の関係の推定模式図¹³⁾



a: 静止状態
b: 軟質地盤が右上側に動いたとき
-引張力が作用してレールが伸張(破断)
c: 軟質地盤が左下側に動いたとき
-圧縮力が作用してレールが短縮(座屈)

図-15 硬軟地盤等の境界部におけるレール変形発生機構の推定図¹³⁾

に当たってお世話になった多くの方に感謝します。

参考文献

- 1) 山田剛二, 高山常雄, 室町忠彦ほか: 十勝沖地震調査報告, 鉄道技術研究報告, No.650, 1968.8.
- 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) 神戸新聞社: 阪神大震災全記録, 1995
- 4) 明治前期～昭和前期, 神戸都市地図, p.8(1885 年), pp.44-45, 柏書房, 1995.
- 5) 上越新幹線(水上・新潟間)地質図, 日本鉄道建設公団新潟新幹線建設局, 1981.6.
- 6) 石橋忠良: 新潟県中越地震における土木構造物の被害(鉄道施設), 平成 16 年新潟県中越地震被害調査報告会梗概集, pp.67-71, 2004.12.21
- 7) 那須誠: 地盤条件変化点における地震時の脱線発生機構の考察, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演梗概集, CD-ROM, I-247, 2008.9.
- 8) 那須誠: 新潟付近における地震被害と地盤の関係, 第 29 回土木学会 関東支部新潟会研究調査発表会, 2011.11.
- 9) 北海道旅客鉄道(株)編: 平成 5 年(1993 年)北海道南西沖地震災害記録, 1994.3.
- 10) 丹生春雄: 千葉県東方沖地震による高架橋の被害調査, 日本鉄道施設協会誌, 27-6, pp.27-32, 1986.6.
- 11) 航空・鉄道事故調査委員会編: 鉄道事故調査報告書, 越後線柏崎駅構内列車脱線事故, 2008.5.
- 12) 那須誠: レール被害・脱線等への路盤や地盤の不連続点の影響, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第 15 号, pp.100-103, 2011.7.
- 13) 那須誠: 地震被害への地盤の影響と被害機構の推定(その 14, 軌道変形や鉄道構造物の異常振動, 脱線等と地盤の関係), 前橋工科大学研究紀要, 第 12 号, pp.77-84, 2009.3.
- 14) 矢嶋敬: トンネル上の地表陥没の調査<武蔵野線>, 鉄道土木, Vol.26, No.7, pp.37-46, 1984.7.