

# 1616 地震動波形の脱線危険性の分析法

正 [機] ○宮本 岳史 (鉄道総研)

## Analysis of seismic wave form for risk assessment of derailment

Takefumi MIYAMOTO, Railway Technical Research Institute 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji-shi, Tokyo

In this paper, using the earthquake vibration generated in the past, the vibration of structures, and the behavior of running vehicles on vibrating track on the structure was investigated. The Vehicle Dynamics Simulation program(VDS) can be used to analyze the derailment of the railway vehicle in case of an earthquake. By VDS, Running Safety Limits(RSL) of a vehicle for sinusoidal vibration is searched. The method of judging a possibility that an earthquake vibration will cause a derailment, that is referring for the oscillating ingredient of an input earthquake vibration to RSL, is explained. This confirmed that this method is suitable for judging derailment possibility with detail information.

Keywords: Seismic damage estimation, railway vehicle, seismic vibration, running safety limit, derailment

### 1. はじめに

鉄道総研ではこれまで地震時の地盤振動解析, 構造物の応答解析, 車両挙動解析技術を培ってきた。これらを駆使して 2004 年新潟県中越地震で発生した新幹線の脱線について, 脱線地点の地震動から構造物応答振動, 車両の挙動を推定した<sup>(1)</sup>。新潟県中越地震以降, 土木技術を中心に耐震技術開発が多方面で議論されるようになった。地震時の軌道振動によって脱線するときの車両挙動は, 車両運動シミュレーション解析によって示されることが多い。しかし, 脱線対策を検討するときや, 地震の被害予測のためには簡易な手法による車両挙動の解析, 評価, 判定方法が求められている。これに対し地震波から脱線可能性を推定する方法を提案した。そこでは地震波を半波毎の周波数と振幅に分解して, その成分を走行安全限界線図に照らすことで脱線可能性を評価した。今回, 同手法を用いて, 与えられた地震動のどの成分あるいはどの時点で脱線の危険性があるのか判定する方法としての活用を試みたので報告する。

### 2. 正弦波振動に対する走行安全限界と車両挙動

地震時の車両運動解析が可能なシミュレーションプログラム (VDS) を開発<sup>(2)</sup>し, モデル化した新幹線車両についてシミュレーション解析により脱線時の車両挙動を求めた。それによると, 図 1 に概略図で示すように, 正弦波振動に対し加振周波数 0.3~0.8Hz で車両は下心ロール, 1.2~3.0Hz 以上では上心ロールの振動モードを示し, 脱線することを示した。このように脱線時の車両挙動は加振周波数に応じて変化する。また, これまでの解析では, 大きな振動変位に対する車両の走行安全性を概観することのできる走行安全限界を求めた。この走行安全限界は, 一車両の 4 輪軸に同相で正弦波左右振動を一定周波数, 一定振幅で 5 波入力したときに脱線しない最大 (脱線する直前) 振幅をプロットしたものである。この走行安全限界線図を以下に示す車両挙動の分析に用いる。

### 3. 地震波波形分析

#### 3.1 半波分解法

地震動の波形の時刻歴のどの部分が車両の走行安全性にとって厳しい部分となるのか, 簡易な手法により検討する。シミュレーションへの入力振動の振動成分を図 2

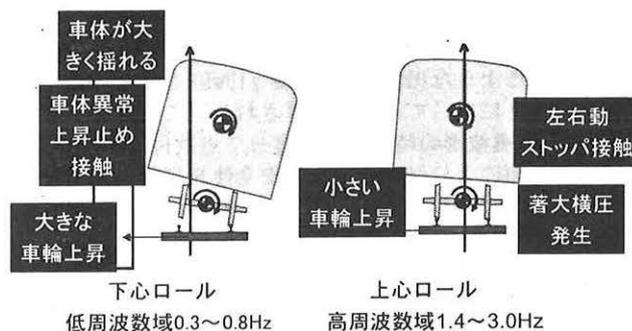


図1 正弦波振動の加振周波数に対する車両挙動

に示すように半波毎に分解する。1 半山波形毎に番号  $i$  を付け, 振動半波の片振幅と周波数

$$x_i = d_i / 2 \quad (1)$$

$$f_i = 1 / 2T_i \quad (2)$$

を全入力振動に亘って調べる。

上記手法により図 3 (a) に示した新潟県中越地震時の脱線地点推定波形を例にとり, その時刻歴波形から半波毎の振幅と周波数を拾い出し, 各地震動に対する分析結果を以下の図 3 (b), (c) にプロットした。図 3 (b) は, いつ頃大きな振幅が発生しているか, 図 3 (c) はいつ頃どんな周波数の振動が発生しているかを示している。図 3 (d) については次節に解説する。

#### 3.2 走行安全限界線図の拡張

走行安全限界線図を作成する際に使用する安全限界指標は, 前述の正弦波振動 5 波に対する車輪・レール相対左右変位 70mm (図 3 (d) 中の「安全限界 y70w5」) 以外にも考えられる。ここでは, 正弦波振動 5 波に対する車輪がレールから 10mm 跳び上がった場合 (図 3 (d) 中の「安全限界 z10w5」) や正弦波振動 1 波に対する車輪・レール相対左右変位 70mm (図 3 (d) 中の「安全限界 y70w1」) を安全限界指標にとった場合も同時に図 3 (d) に安全限界線図として示した。図 3 (d) は, 前述の 3 つの走行安全限界線図と

ともに前節の半波毎の分析結果（周波数と振幅）を照らし合わせたもので、車輪が跳び上がる可能性や脱線する可能性のおおよその判断材料となる。

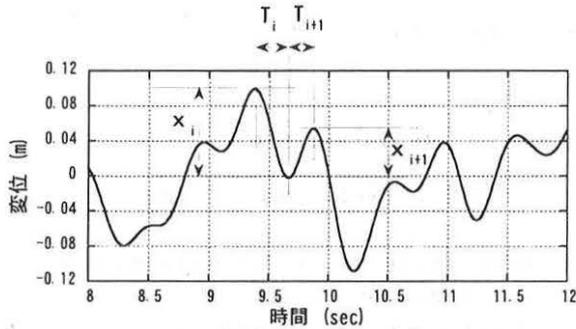


図2 地震動の振動成分分解

### 3.3 脱線可能性評価法<sup>(3)</sup>

前節に示した図3(d)を活用して脱線の可能性を定量的に把握するための脱線評価法を提案した。本評価手法についての詳細は文献(3)に示した。簡略化して解説すると正弦波1波で脱線するような振幅（安全限界  $y70w1$ ）を超えたら5点、正弦波5波で脱線するような振幅（安全限界  $y70w5$ ）を超えたら1点、正弦波5波で車輪が10mm以上上昇するような振幅（安全限界  $z10w5$ ）を超えたら、超えた大きさに応じて点数が加算される。この評価指標を用いて、地震波形の時間全体に渡って点数付けを行い、評価指標の和により以下のように安全性を評価出来ると考えている。①5.0以上ならば、左右振動により脱線する可能性が十分にある。②5.0未満 1.0以上ならば、左右振動により脱線する可能性がある。③1.0未満 0.0より大きければ、左右振動により車輪踏面はレールから離れて上昇する可能性が十分にある。④0.0ならば左右振動があっても脱線しない。

### 4. 分析結果

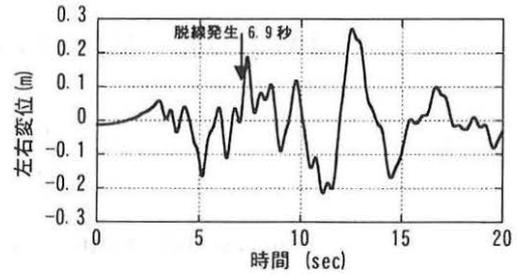
文献(1)によると図3(a)の地震動波形に対し新幹線車両は6.9秒時点で脱線したと推定された。図3(b),(c)中の6.9秒直前の分解周波数約1.3Hz、分解振幅約0.1mで、安全限界  $y70w5$  を超えている。同様に8.5秒付近で分解周波数1.0Hz、分解振幅約0.1mで安全限界  $y70w5$  を超えている。この他にも分解周波数0.5~0.7Hz、1.3Hz付近で計5点ほど安全限界  $z10w5$  を超えた。そのうち、12.5秒付近に最大振幅約0.28mがあるが、分解周波数0.5Hz、分解振幅0.24mで、この振幅自体で脱線することはない。また、この地震波を3.3節の脱線可能性評価法による分析結果は6.4点であり、脱線可能性が十分にあるものとなった。つまり、1波毎に評価すると脱線する可能性は低いものの、地震波全体では脱線を引き起こす波形となっていることを示している。なお、スペクトル振幅を安全限界振幅と比較することで、地震波全体の危険性を判断出来る可能はあるが、地震波中のどの時点のどの波形が脱線に至る車両挙動を引き起こしているかの判断はつかない。

### 5. まとめ

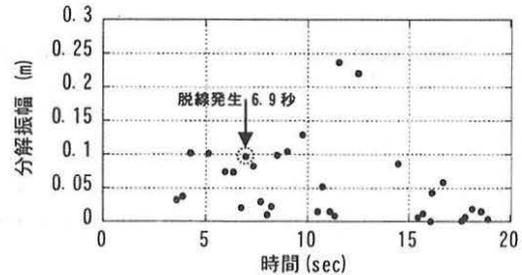
安全限界振幅と半波分解分析を用いた手法により、地震波の時刻歴波形の脱線に対する危険性を分析判断することができることを実地震を例に示した。

#### 参考文献

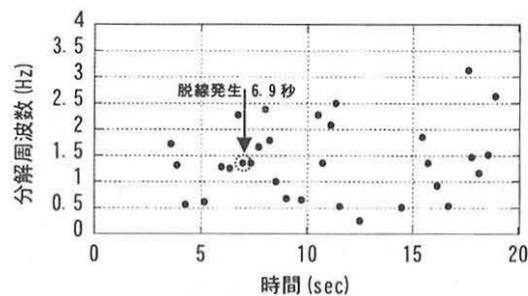
1) 新潟県中越地震新幹線脱線シミュレーション解析、鉄道総研報告、特別第52号、pp.44-65、2008.12



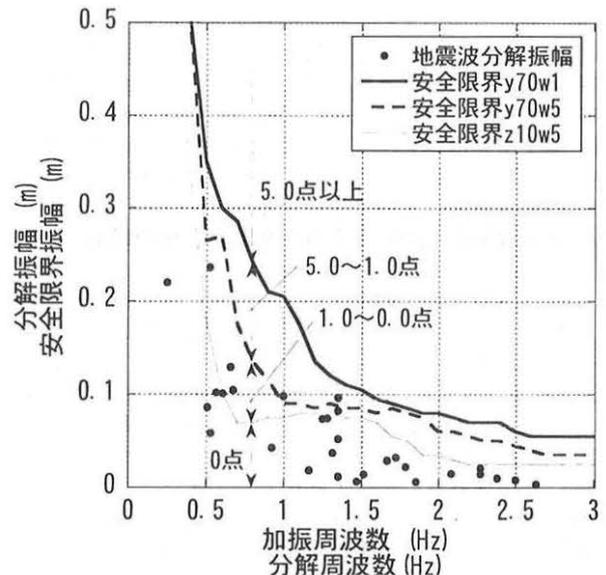
(a) 軌道左右変位の時刻歴波形<sup>(1)</sup>



(b) 時刻歴上の振幅分布



(c) 時刻歴上の周波数分布



(d) 安全限界振幅と振動波形の分解振幅

図3 地震波形の分析結果（新潟県中越地震新幹線脱線地点推定波 十日町 BL R3）

- 宮本岳史, 石田弘明, 松尾雅樹: 地震時の鉄道車両挙動解析, 日本機械学会論文集 (C編), 64 巻 626 号, pp.3928-3935, 1998.
- 宮本岳史, 野上雄太, 室野剛隆: 地震時の車両挙動の解明と地震防災への適用 (その3), Jrail2007, pp. 221-224, 1998.