

新幹線の脱線の確率に関する検討

早稲田大学
早稲田大学

学生会員
フォロワー会員

柿崎 実沙子
濱田 政則

1. 研究背景および目的

2004年新潟県中越地震により上越新幹線が脱線したことは、改めて鉄道近傍で発生する地震に対する高速鉄道の走行安全性の問題を社会的に提起することになった。マグニチュード7クラス以下の地震の予知は事実上不可能であり、鉄道脱線の近傍域で発生する内陸地震に対しては列車の緊急停止システムも有効に作用しない可能性がある。海溝型地震に関しては、ユレダスが導入されたが、鉄道路線近傍域の内陸地震に対して十分な脱線対策がまだとられていないのが現状である。本研究では、人工地震波を用い、地盤 高架橋 車輛の動的応答解析をもとに、新幹線の脱線の可能性を震度階および地表面と軌道面の水平加速度をパラメータとして検討する。

2. 検討の流れ

検討のフローを図1に示す。KIK-netの観測点のうち、長岡・湯之谷・川西の3地点で東西方向の加速度記録を脱線地点付近の地盤モデルに入力し、地表面の応答を求めた。地表面加速度の卓越周期と振幅を変化させることにより地表面での人工地震波を作成した。次に地表面加速度を脱線地点の高架橋とほぼ同じ高さを有する新幹線の高架橋モデルに入力し、軌道面での水平加速度を算定した。さらに車輛モデルに軌道面の地震動を入力し、走行列車の脱線シミュレーションを行った。最終的に地表面および軌道面での震度階別と最大加速度で脱線の確率を検討した。

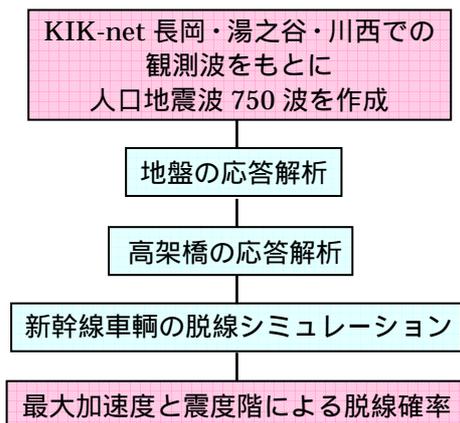


図1 検討のフローチャート

3. モデル地盤と高架橋モデル

地盤モデルは、新幹線脱線地点の地盤条件の調査結果をもとに作成した。

高架橋モデルは、脱線開始した高架橋の橋脚高さ7.3mと同等な高さを有する標準断面の高架橋をモデル化した。基礎は杭基礎で杭長は16.5mである。

4. 入力地震動

長岡・湯之谷・川西の強震記録¹⁾を用い、地表面応答加速度を算出した。長岡での結果を図2に示す。さらに、地表面での応答加速度の加速度応答スペクトルを算出した。この応答加速度スペクトルを図3に示す。応答スペクトルを図3に示すように周期帯域において平行移動することで、新たな応答スペクトルを作成し、これに合致するような人工地震波を作成した。応答スペクトルの平行移動は元波形の卓越固有周期が0.1~1.2sの範囲となるように0.1s刻みで行った。さらに、加速度応答スペクトルの平行移動による人工地震波の最大加速度を200~800cm/s²、震度5強~7になるよう増減させた。計測震度は、一方向のみの最大加速度を用い河角の式より算定した。以上より、卓越周期及び振幅の異なる750の人工地震波を作成した。

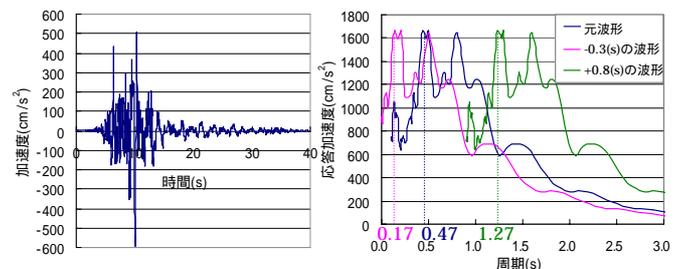


図2 地表面加速度 (長岡波形)

図3 加速度応答スペクトル (長岡波形)

5. 車両モデル

解析対象の車輛は、図4に示す2軸ボギー車(0系)である。車輛の幅、高さ、長さおよび自重は3380mm、4000mm、24900mm、60tである。車輛は、車体、台車枠及び車輪軸から構成されている。車輪軸と台車枠とは、上下・前後・左右軸ばねで、また車輛と台車枠とは左右動ダンパー、空気ばねで結ばれ、これらのばねはそれぞれに減衰を有し、一定の特性をもつストッパーを備えている。

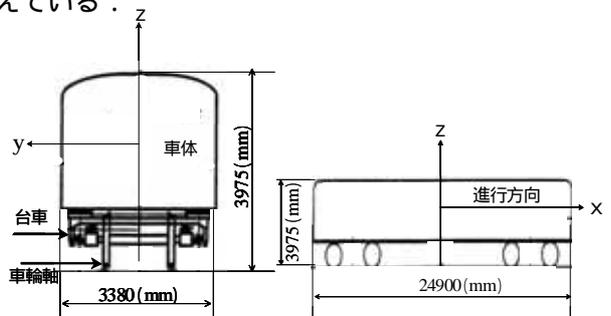


図4 車両モデル図

車輪・レールの断面内における接触状態を図5に示す。本図における r は車輪基準点と車輪とレールの接触点との変位を示す。

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区新大久保 3-4-1 濱田研究室

キーワード 脱線, 新幹線, 中越地震

車輪のフランジの高さが 30mm であるため、車輪のレール面からの離れ r が 30mm を超えたとき車輪がレールから浮いた状態になる。 r と車輪・レールの水平変位の関係を図 6 に示す。 r が 30 mm鉛直方向に動き、水平方向にレール幅 60 mmを越え車輪が動くとレールから脱線したと判断される。

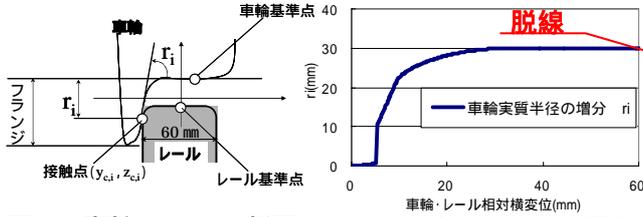


図 5 車輪・レール断面 図 6 車輪とレールの関係

6. 脱線シミュレーション

長岡で観測された基盤波形を用いた場合の車輪とレールの相対水平変位および相対鉛直変位の関係を図 7 に示す。右車輪は 10.0s 時にフランジの高さ 30mm を超え、レールから離れ、宙に浮いた車輪は 10.1s から落下し始める。レール上に落ちた車輪はレール上を右方向へとスライド移動し、10.3s にはレール横幅 60 mm を超え脱線に至る。右車輪につられ左車輪はレールの内側へ落ち込み脱線している。

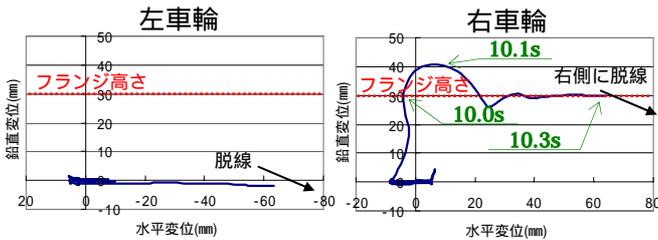


図 7 長岡地表面元波形での脱線判定

7. 地表面および軌道面での脱線確率

750 波の人工地震波を用いたシミュレーション結果を図 8, 9 に示す。図 8 は地表面での最大加速度および震度階と脱線の有無, 図 9 は軌道面での最大加速度および震度階と脱線の有無の関係を示す。図 8, 9 の点線は脱線・非脱線の概ねの境界を示したものである。

図 8 の結果によれば地表面での加速度の卓越周期が 0.4~0.6 秒の場合、脱線するケースが多くなっているが、これは地表面加速度の卓越周期が高架橋の固有周期とほぼ一致し、軌道面での加速度が増幅されたためと考えられる。表 1 は同様な結果を、地表面の最大加速度と震度階毎に脱線の確率を示したものである。これによれば、地表面の震度階が震度 7 になると 100%脱線する結果が得られた。震度 6 では約 60%から 70%の脱線確率となる。

図 9 は軌道面での最大加速度と震度階毎の脱線の有無を示し、表 2 は確率を示したものである。これによれば震度 6 強ではほとんど脱線を生じないが、震度 7 になると確率は急激に高くなることを示している。図 9 および表 2 は軌道面での地震動の強さでの脱線を検討したものであり、車輪に直接入力される地震動での判定結果と解釈することが出来る。すなわち、高架橋や盛土による地震動の増幅が大きい場合の判定結果と考えることが出来る。

1995 年の兵庫県南部地震では、震度 7 の領域を走行

中の JR9 列車のうち 8 列車が脱線したと報告されている。震度 6 強以下の領域では脱線は報告されていない。これは、震度 7 になると脱線の確率が急速に増加することを示しており、本研究の結果と整合している。

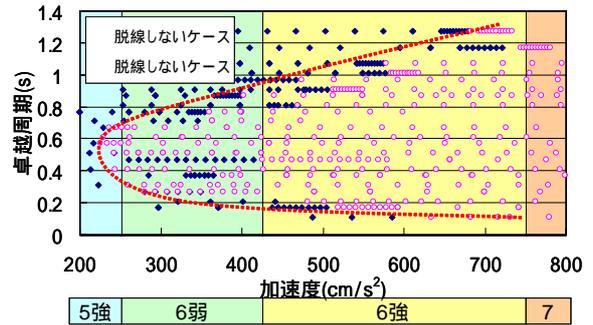


図 8 地表面加速度脱線

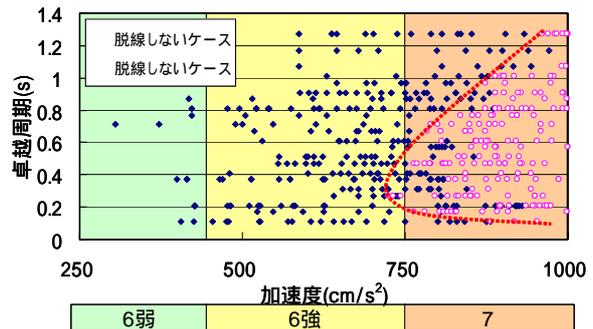


図 9 軌道面加速度脱線

表 1 地表面震度での脱線確率

	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7
加速度範囲(gal)	~ 250	250 ~ 425	425 ~ 750	750 ~
脱線確率(%)	21	61	66	100

表 2 軌道面震度での脱線確率

	震度6強	震度7
加速度範囲(gal)	425 ~ 750	750 ~
脱線確率(%)	2	78

8. まとめと課題

新潟県中越地震による観測波を元波形とした 750 波の人工地震波によるシミュレーション結果によれば、地表面での震度階が 7 であればほぼ 100%、震度階が 6 であれば 60~70%の確率で脱線を生ずることが示された。しかしながら、これらの結果は現在使用されていない 0 系の新幹線車輛タイプであること、および対象とした高さ 7.3m の高架橋上を走行している場合であることに留意する必要がある。今後、現在走行している車輛タイプや地盤条件および入力地震動を共振させた分析が必要である。

9. 参考文献

- 1) 防災科学研究所基盤強震観測網 KIK-net
http://www.kik.bosai.go.jp/kik/
- 2) 濱田ら, 2004 年新潟県中越地震における新幹線脱線の考察, 第 30 回地震工学・応答地学に関するシンポジウム, p.48, 平成 18 年 3 月
- 3) 鉄道総合技術研究所「兵庫県南部地震鉄道被害調査報告書」, 1996 年 4 月