

物性探査による地盤構造の推定と地震応答解析 - 2004年新潟県中越地震 -

早稲田大学 学生会員 塚澤 幸子  
 清水建設株式会社 正会員 佐々木 直之  
 早稲田大学 正会員 張 至鎬  
 早稲田大学 フェロー会員 濱田 政則

1.はじめに

2004年10月23日に発生した「新潟県中越地震」では、上越新幹線浦佐～長岡間において走行中の新幹線の脱線事故が起きた。本研究では、脱線原因の究明のための基礎資料を得ることを目的とし、物理探査により地盤構造の推定を行った。さらに、応答解析により新幹線脱線現場付近の地表面応答を推定し、構造物の応答特性について検討した。

2.鉄道車両脱線に関する研究

大きく振動する軌道上を走行する車両の挙動に関しては、宮本ら<sup>1)</sup>により、図1のように、構造物の振動数によって脱線の限界変位振幅が与えられている。これは正弦波5波、上下動なしで計算シミュレーションによって得た結果である。これによると、振動数1Hz以上では脱線に関する限界変位は約10cmとなることが分かる。

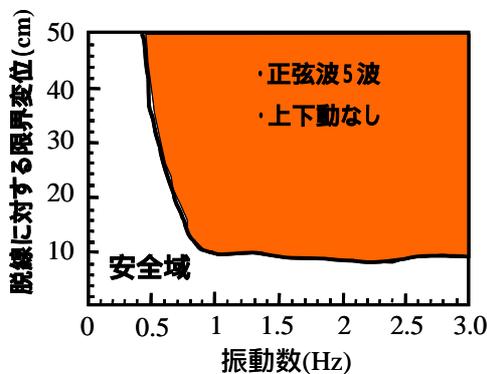


図1. 脱線を考慮した限界振幅（文献1，加筆）

3.物理探査と微動アレー観測による地盤構造の推定

(1)脱線現場付近の地形・地質

脱線現場付近の地質断面図<sup>2)</sup>を図2に示す。この図より、新幹線脱線地点は河岸段丘と沖積低地の境にあり、10～15m程河岸段丘の方が高くなっていることが分かる。また、この地域のボーリング柱状図<sup>2)</sup>から、河岸段丘と扇状地では表層地盤が比較的厚く、基盤が深度約15～23m以深にあるが、沖積低地では表層地盤は薄く、基盤は深度6～13m以深と浅い。

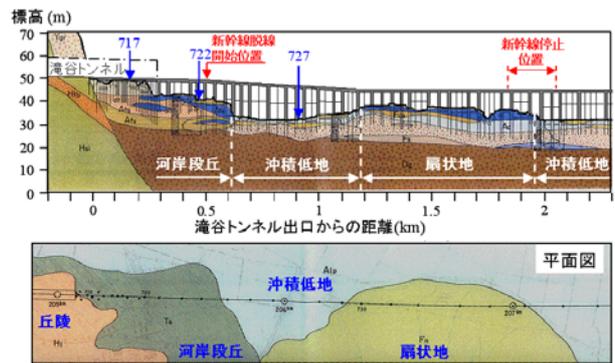


図2. 現場付近の地質断面図とボーリング位置<sup>2)</sup>

(2)表面波探査による地盤構造の推定

表面波探査では、人工的に発生させた表面波をセンサーにより受信し、解析を行い、表層地盤におけるS波速度構造を求めた。これを地質図と併せて図3に示すが、前述の地形・地質条件とほぼ整合性がとれている。

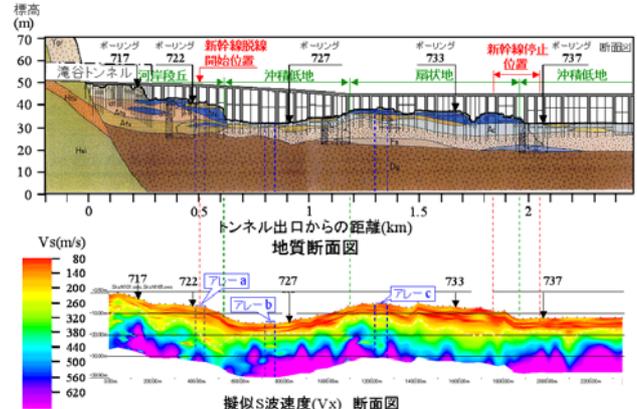


図3. 地質図とS波速度断面

(3)微動アレー探査による地盤構造の推定

次に、地盤中のS波速度構造をより深くまで把握するために、図3に示す3点で微動アレー観測を行い、S波速度や密度などの地盤データを得た。ここでは、新幹線脱線開始付近のA地点での観測結果を表1に示す。なお、この結果は、後述の地震応答解析に用いた。

表1. 微動アレー探査の結果(A地点)

| 層号 | Vs(m/s) | Vp(kg/cm <sup>3</sup> ) | 密度(kg/cm <sup>3</sup> ) | 層厚(m) | 上面深度(m) |
|----|---------|-------------------------|-------------------------|-------|---------|
| 1  | 200     | 1.61                    | 1.73                    | 17    | 0       |
| 2  | 400     | 1.8                     | 1.84                    | 44    | 17      |
| 3  | 430     | 1.83                    | 1.85                    | 26    | 61      |
| 4  | 690     | 2.07                    | 1.96                    | 51    | 87      |
| 5  | 1160    | 2.52                    | 2.11                    | -     | 138     |

キーワード 限界変位, 地盤構造, 地震応答解析, 固有周期, 変位振幅

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学 濱田研究室 TEL03-3208-0349

#### 4. 地盤の一次元応答解析

##### (1) 地盤モデルと入力地震動

新幹線沿線におけるボーリングデータ<sup>2)</sup>とアレー観測結果をもとに、地盤をモデル化した。脱線開始地点付近のボーリング722の地盤モデルを図4に示す。

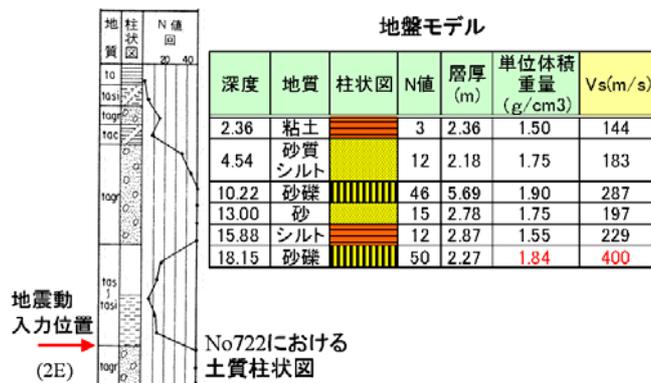


図4. 地盤モデル(ボーリング722)

地盤の1次元応答解析においては、脱線現場から約5km離れたKiK-net長岡(NIGH01)の波形<sup>3)</sup>を入力波として用いた。KiK-net長岡の波形とフーリエスペクトルを図5に示す。なお、地震応答解析は図2に示した新幹線脱線開始地点付近のボーリング722と地盤の性質が異なる地点での振動を比較するため、ボーリング717, 727の3箇所を実施した。なお、解析を行った地盤の剛性低下率、減衰定数については文献4)と文献5)の研究を参考にした。

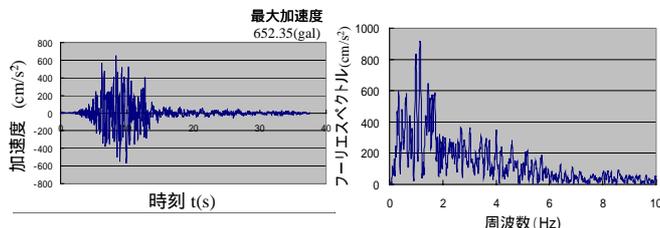


図5. KiK-net長岡の波形<sup>3)</sup>とフーリエスペクトル

##### (2) 解析結果

各ボーリング地点における地表面応答を地盤の一次元解析(SHAKE)により求めた。ボーリング722では地盤の最大変位が9.0cmと大きいのに対し、ボーリング717, 727では6.9cm, 1.5cmと小さい結果が得られた。

##### 5. 高架橋の応答変位の推定

地震時の高架橋の応答変位の算定手順を以下に記す。応答変位を求めるには、高架橋の固有周期の推定が必要となるが、本研究では図6に示す高架橋の常時微動観測の結果により求めた。なお、図中の被害ありとは、構造物又は地盤のいずれかに何らかの損傷を受けているものである。前述の解析から得られた地表面加速度波形から高架橋を1自由度系として絶対変位応答を求めた。この結果を図7に示す。図7によれば、脱線開始地点付近の高さ6.6mを有する高架橋の健全時での絶対応答変位は

9cmであるが、地盤の軟化を含めた何らかの被害により高架橋の固有周期が図6に示したように0.41秒にのびたと考えれば、高架橋の絶対応答変位は16cmと大きくなっていることが分かる。

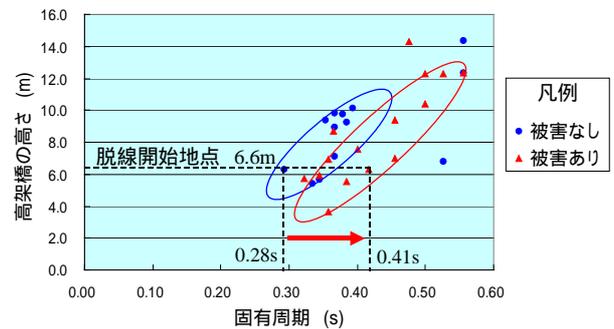


図6. 高架橋の高さと固有周期の関係

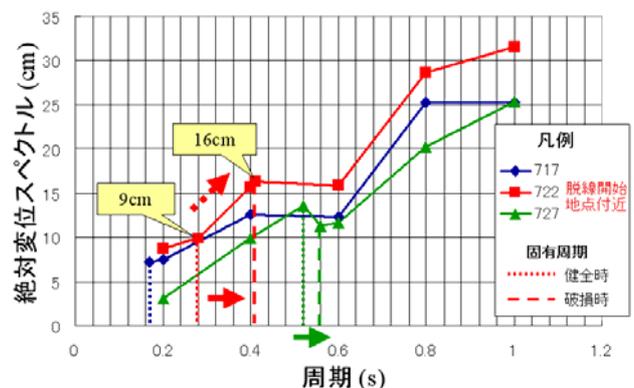


図7. 各地点における絶対変位スペクトル

#### 6. まとめ

本研究では、新幹線脱線地点の高架橋の絶対応答変位が他の地点と比較し大きくなることが確認された。また、文献6)によると新幹線脱線現場付近の水田では、噴砂跡が確認されており、液状化を含めた地盤の軟化、構造物の損傷による高架橋の変位振幅の増大が新幹線の脱線の可能性を増大したと考えられる。

#### 7. 参考文献

- 1) 宮本岳史他；地震時の鉄道車両の挙動解析(上下, 左右に振動する軌道上の車両運動シミュレーション), 日本機械学会論文集(C編)64巻626号(1998-10)
- 2) 日本鉄道建設公団 新潟新幹線建設局; 上越新幹線(水上・新潟間)地質図
- 3) 基盤強震観測網(観測点コード:NIGH01), 防災科学技術研究所
- 4) 建設省土木研究所; 地盤の地震時応答特性の数値解析法, 土木研究所資料第1778号昭和57年2月
- 5) 緒方, 安田; 礫を含んだ不攪乱土の動的変形特性, 第17回土質工学研究発表会講演集昭和57年6月
- 6) 塚澤幸子他; 2004年新潟県中越地震における液状化調査, 第40回地盤工学研究会