

1. はじめに

2004年10月23日の新潟県中越地震（マグニチュード6.8）の際に上越新幹線「とき325号」が脱線する事故が起きた。著者らは脱線地点付近の地盤振動特性を把握するために脱線区間を含む約1.7kmの区間の地盤の常時微動測定を行った。また、ボーリングデータを利用して脱線区間を含む17地点の地震応答解析を行った。

2. 脱線地点周辺の地形と地質

図-1に脱線区間付近の地盤構成と常時微動測定箇所を示す。新幹線は206.2kmポイント（以下kmのみ記す）で脱線し、約1.6kmの間、脱線したまま走行して停車した。この区間は地表面の標高が大きく変わっている。滝谷トンネル出口付近から206.4km付近までは厚さ10-20mの沖積段丘層である。表層厚は206.5km付近では7-8mしかないが、206.7km付近から次第に表層が厚くなり、それより北ではおよそ15m程度の沖積扇状地層である¹⁾。この地点で表層とは標高がおおよそ20-30mに堆積する更新統の礫層以浅の完新統を指す。

3. 微動測定による卓越振動数と想定される地盤構造

常時微動測定を205.8から207.5kmの区間において計29地点で行った。線路に沿って、原則として50m間隔（一部は100m間隔）とし、線路に平行方向をX成分（長岡駅方向を正）とし、線路直角方向（東方向を正）をY成分とした。各地点ではサンプリング周波数100Hzで、25Hzのローパスフィルターを施し約200秒間測定した。図-2に207.3kmのH/Vスペクトル比を例として示す。多くの測定地点で共通する1次と2次の卓越するピーク認められ、水平2成分に差はなかった。図-3に2次の卓越周期と表層厚の分布を示す。表層厚と地盤の卓越周期の間には、沖積段丘層では弱い相関、206.4kmの付近からの沖積扇状地層では強い相関が認められる。したがって、この区間では、2次の卓越周期は表層の固有周期に対応していると考えられる。沖積扇状地の表層は $V_s=160$ m/sであり、沖積段丘層の V_s は220 m/sである。更新統の礫層のせん断波速度を400 m/sとし、それ以深に基盤岩があると仮定して、1/4波長則を適用する。図-4に1次の卓越周期に対応すると考えられる基盤岩深さの分布を示す。地山から続く基盤岩の出現深さは、地表から90~120m程度と推定できる

4. 脱線区間地盤の地震応答解析

脱線区間の地盤の地震時応答を評価するため、ボーリングデータのある17地点（おおよそ50mから150m

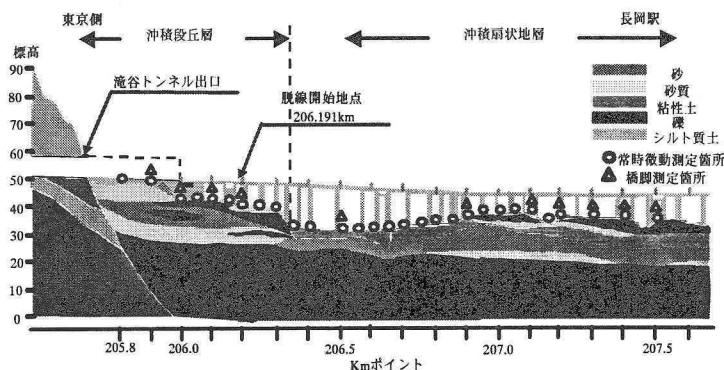


図-1 脱線地点付近の地盤構成と常時微動測定箇所

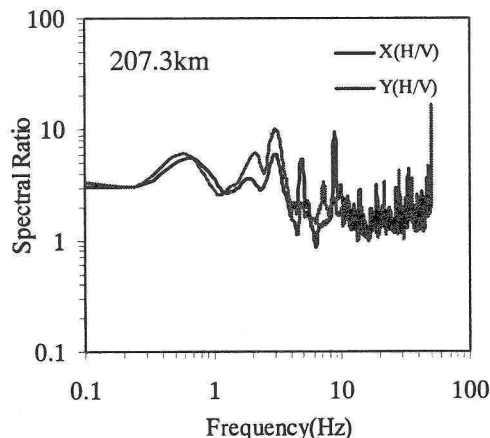


図-2 常時微動測定によるH/Vスペクトル比

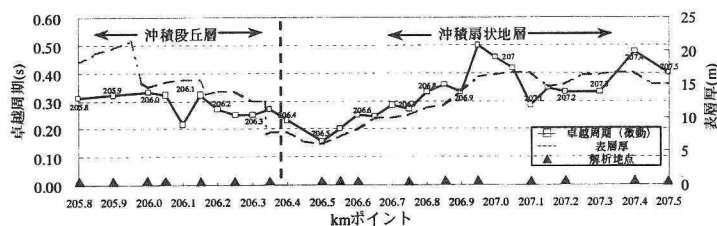


図-3 地盤の固有周期と表層厚の線路方向分布

の間隔)で等価線形化解析を行った。N 値よりせん断波速度(V_s)を推定し²⁾、解析モデルを作成した。砂礫層厚は縁辺部より漸増しているが、ここではその影響を考えない。下方入射の場合には礫層による入力地震波の位相ずれは大きくないと考えられるので、SHAKE を用いて、礫層上面を工学的基盤として入射波を入力する解析を行った。各土層のひずみ依存の繰返し変形特性は安田・山口の式より推定した³⁾。入力地震動には脱線地点から最も近い、約 6.5 km 離れた KIK-net 長岡の地表の EW 成分(新幹線の進行直角方向)を使用した。図-5 に 205.8 km の入力地震動を示す。約 1.7 km の区間を解析の対象とするため、数値解析では入力地震波の位相差や堆積層表面波の影響を考慮する必要がある。ここでは前者を考慮する。図-6 に震央距離と S 波到達時刻の関係を示す。様々な地点で観測された変位波形より各観測地点の S 波の到達時間を求め、脱線地点や他の解析地点の S 波到達時刻を推定し、S 波到達時刻の差の分だけずらして入力した。

5. 解析結果

図-7 に各解析地点の変位時刻歴より算出した地表面の最大曲率の解析結果を示す。ある点の地表面の曲率は両側を含む 3 点の変位から算出した。最大変位については大差がないが、最大加速度は 206.4 km 前後の表層の薄い区間ではやや大きくなる。地表面での曲率は滝谷トンネルを出た直後の区間は 1.0×10^{-5} (m^{-1}) 程度と他の地点よりも大きい。この区間の位相差が他の地点よりも大きいことがいえる。

6. 結 論

(1) 脱線区間の常時微動測定より 1 次と 2 次の卓越振動数が現れた。2 次の卓越振動数は沖積扇状地層の表層の卓越するのに対応していると考えられる。1 次の卓越振動数に対応するような基盤岩が、地表面から 90 -120 m 程度の深さに存在すると考えられる。(2) 砂礫層上面を基盤とし、入力地震動の位相差を考慮した等価線形解析で地表面の地表応答を評価した。最大加速度、最大変位には大きな差はないが 205.8-206.2 km 区間では曲率が大きい。この区間で曲率が大きいのは、沖積段丘層の非線形化が寄与していると考えられる。

参考文献

- 1) 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)地質図，1980 年
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(V 耐震設計編)，1996 年
- 3) 安田進・山口勇：種々の不攪乱土における土の動的変形特性，第 20 回土質工学研究発表会，pp539-542,1985

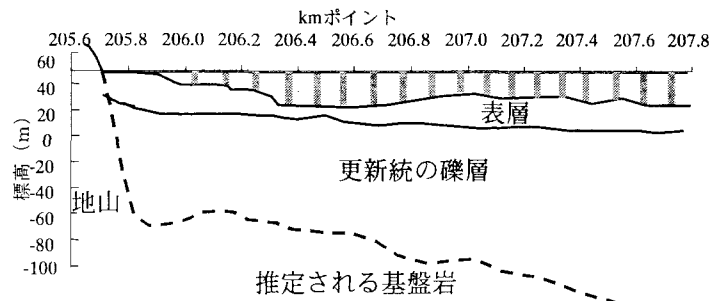


図-4 推定した基盤岩分布の概略図

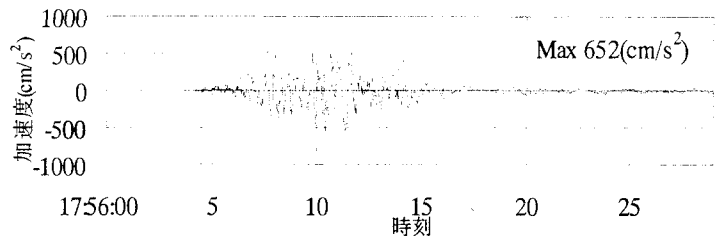


図-5 入力地震動 (205.8 km)

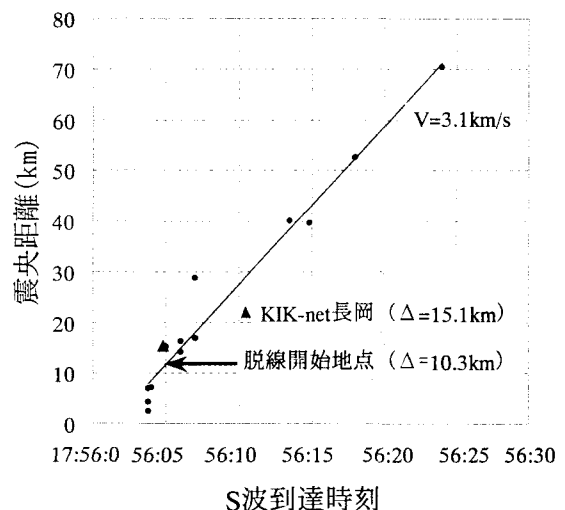


図-6 震央距離とせん断波到達時刻の関係

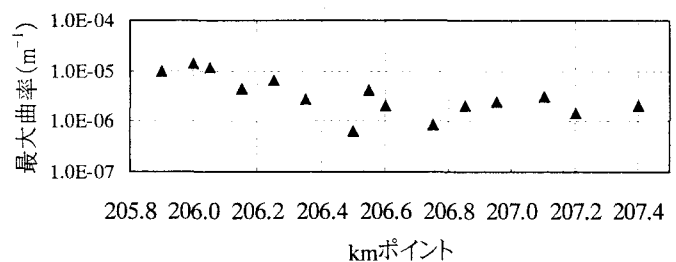


図-7 各解析地点での最大曲率