

## 脱線地点周辺における地震動の推定

構造物技術研究部 耐震構造  
主任研究員 室野剛隆

### 1. はじめに

新潟県中越地震で脱線した新幹線の被害要因分析のために必要な、脱線箇所での地震動について、その推定方法と結果について報告する。

### 2. 地震波の推定方法

脱線地点に近い地表で観測された地震波を、基盤面まで引き戻して、基盤面での入射波(2E成分:以後、基盤波と呼ぶ)を算定する。本検討でいう基盤は、せん断弾性波速度 $V_s$ が700m/s程度の工学的基盤とする。次にこの基盤波を用いて、脱線箇所周辺の表層地盤の動的解析を行い、脱線箇所における地震動を推定する。その手順を、図1に示す。なお、地震観測地点および脱線箇所周辺地盤のモデル化にあたっては、建設当時の土質調査結果および、地震発生後にJR東日本により行われた土質調査の結果を用いた。

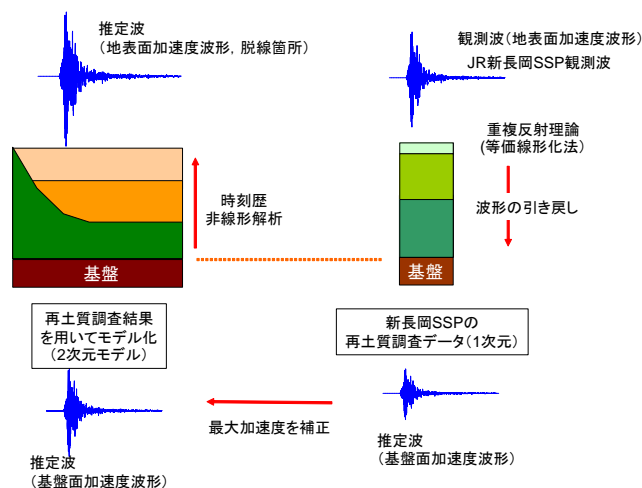


図1 地震波設定の概念図

### 3. 地震波の推定

#### (1) 基準地震波の選定

地震波の引き戻しを行い、基盤波を推定するためには、基準となる地震波(地表面で観測された実際の記録、以後『基準地震波』と呼ぶ)を適切に選定する必要がある。脱線地点周辺では、いくつかの地震記録が観測されている。これらの地震波のうち、①なるべく脱線地点に近いこと、②地震記録に地形効果など特異な特性が含まれていないこと、③ジャストポイントでの土質調査結果があること、などの理由から、脱線地点に最も近い観測点である、JR東日本の新長岡SSPで記録された地震波を基準地震波として用いることとした。なお、線路がほぼ南北方向であることから、東西方向成分と上下方向成分を検討対象とした。

#### (2) 基盤波の推定

重複反射理論により、基準地震波を工学的基盤面まで引き戻す。なお、土は塑性化し易い材料であり、地盤動の引き戻しを行う際にも、土の非線形性の影響を考慮する必要がある。重複反射理論は、周波数領域での計算手法であるので、土の非線形性は改良型等価線形化法(FDEL)<sup>1)</sup>により評価した。

新長岡 SSP では、地震発生後 2 度にわたり土質調査が行われているが、本検討では 2 回目の土質調査で得られた調査結果を用いて、地表面から工学的基盤面までの地盤構造のモデル化を行った。図 2 に解析で用いた地盤構造モデルを示す。また、土の非線形特性は、砂質土や粘性土については、土質調査の結果得られたものをそのまま用いた。また、岩については、塑性化し難いと考えて、線形材料として扱った。

なお、震源から観測点（新長岡 SSP）までの距離と、震源から脱線地点までの距離が異なる。一般に、地震波の振幅は距離と

ともに低減するので、新長岡 SSP で推定された基盤波よりも、脱線地点の基盤波の方が振幅が大きいと考えられる。また、両地点における工学的基盤よりさらに深い地盤構造の違いによる影響も考えられる。そこで、上記の影響を勘案した補正を行った。上記の方法により得られた工学的基盤面での地震動の加速度波形（2E：E は入射波）を図 3 に示す。最大加速度は 377gal で、0.7～0.8Hz 付近と 3～5Hz 付近に卓越ピークが見られる。

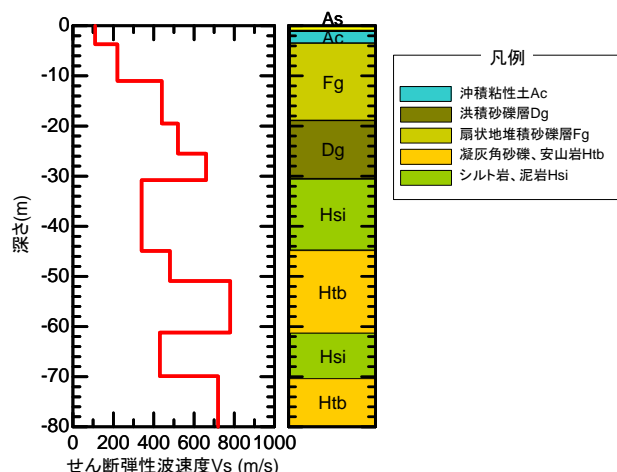


図 2 新長岡 SSP の地盤条件

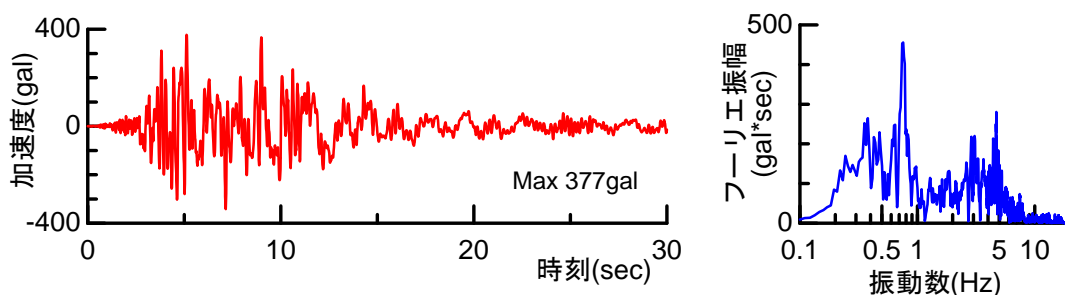


図 3 推定された基盤波の時刻歴波形とフーリエ振幅スペクトル (Vs=720m/s 位置)

#### 4. 表層地盤の挙動の推定

##### (1) 解析モデル

解析モデルは、滝谷トンネル～十日町 R7 付近までの約 800m 区間を解析対象として、地盤全体を 2 次元 FEM（平面ひずみ要素）でモデル化した。当該区間では、6 地点において地震後に土質調査が実施されている。調査項目は、地盤構造（標準貫入試験と PS 検層）、非線形特性（ねじりせん断試験による動的変形特性の把握）等である。この最新の土質調査結果と建設当時の土質調査結果を用いて、当該地点を図 4 に示すような地盤構造にモデル化した。解析領域が非常に広範囲であり、時間領域の非線形計算を実施することから、解析対象振動数と計算の効率性という観点からメッシュの大きさを設定し、最終的な要素数は約 9000 要素とした。境界条件は、底面を粘性境界、側方を等変位境界とした。なお、解析においては、鉄道総研が開発した 2 次元非線形動的解析プログラムを用いた。

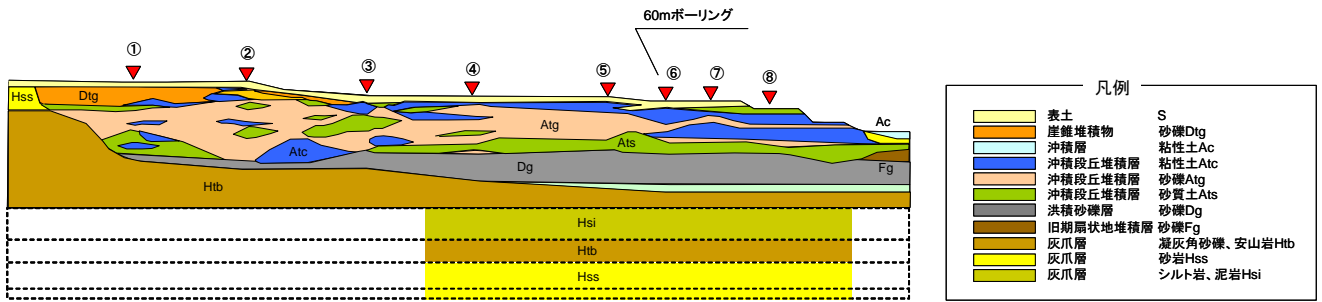


図4 表層地盤構造モデル

土の非線形構成則については、鉄道総研で開発した修正 GHE モデルを採用した<sup>2)</sup>。修正 GHE モデルは、小～大ひずみ領域において、土の要素試験で得られた動的変形特性を満足することが可能であり、精度が高い解析が可能となる。修正 GHE モデルの各パラメータは、当該地点の各層からサンプリングされた供試体に対して実施されたねじりせん断試験結果（動的変形特性）の要素シミュレーションを実施して決定した。

## (2) 解析結果

上記の表層地盤モデルに対して、図3に示した基盤波を入力して、時刻歴非線形動的解析法により地盤の地震応答を算定した。加振方向は、面外方向加振とした。減衰は、今回の検討で重要と思われる周波数帯域で概ね1%になるようなレーリー減衰を仮定した。

解析結果の例として、図5に最大加速度カウンター図を示す。地表面では350～400gal 前後の加速度が発生しているが、局所的に700gal 程度の大きな加速度が発生している箇所が見られる。脱線開始地点の十日町 R3 高架橋付近では、概ね390gal 程度の加速度が発生している。

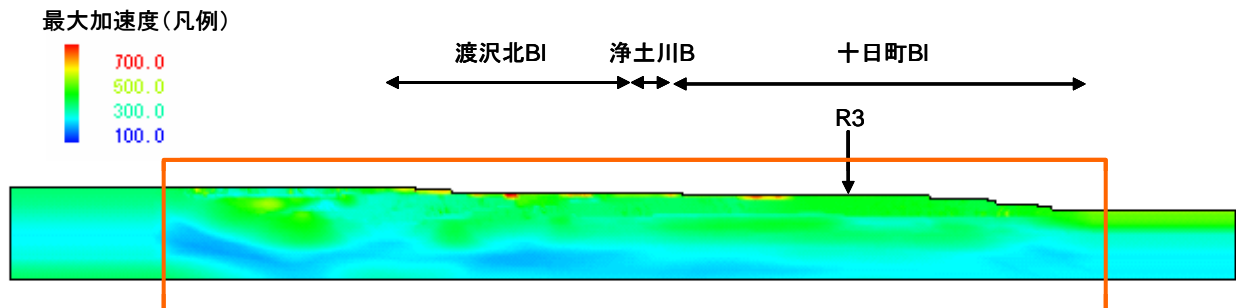


図5 解析で得られた最大値加速度のカウンター図

次に、図6に代表的な高架橋・橋梁位置での加速度波形とそのフーリエ振幅スペクトルを示す。構造物への入力地震動としては地表面加速度波形ではなく、フーチング位置での加速度波形を用いることが多いので、その位置での加速度を図6には示してある。フーリエスペクトルを見ると、0.8Hz 付近と2～3Hz 付近に明瞭なピークが見られる。0.8Hz 付近のピークはその位置（周期）および高さとも、全ての高架橋・橋梁位置でほぼ一致しており、図3と比較しても分かるように、これは基盤波地震が元来持っていた特性がそのまま現れたものである。2～3Hz 付近のピークは、各高架橋・橋梁位置でその位置と高さが異なっており、各地点固有の地盤堆積構造に起因して増幅されたピークであることが分かる。

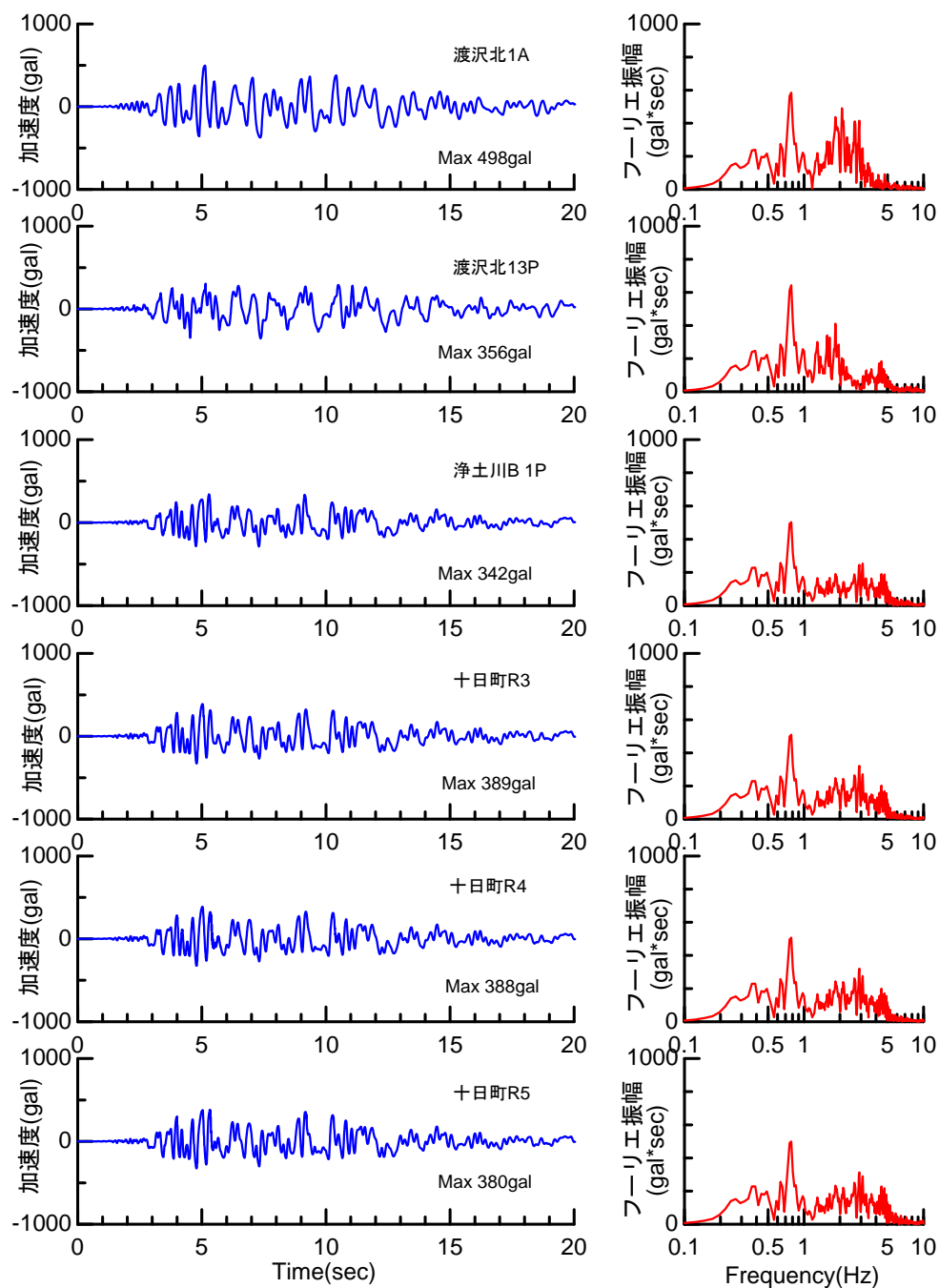


図6 代表的な高架橋・橋梁位置での地震動（フーチング位置）の推定結果

## 5. まとめ

脱線地点周辺の地震動を推定した結果を報告した。この結果を用いて、構造物の動的解析や走行性解析が実施された。なお、後述のとおり、周辺の構造物の被害状況等と照らし合わせても、推定された地震動は十分に妥当なものであったと考えている。

## 参考文献

- 1) 杉戸真太，合田尚義，増田民夫：周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察，土木学会論文集，No.493/Ⅲ-27，pp.49-58，1994.
- 2) 西村昭彦，室野剛隆：GHE モデルと簡易な履歴則を用いた土の非線形モデルの提案と実験的検証，第25回地震工学研究発表会，pp.309-312，1999.