

活褶曲地帯の被害地震による地盤変動の抽出と防災への適用

東京大学大学院 学生会員 ○藤田 智弘

東京大学大学院 正会員 小長井 一男

飛鳥建設(土木学会技術推進機構) 正会員 池田 隆明

建設技術研究所(土木学会技術推進機構) 正会員 高津 茂樹

1. はじめに

2004 年の中越地震の直撃を受けた東山山地は、堆積軟岩の活褶曲で特徴付けられ、地すべりの多発地帯として知られている。この地震では中山間地に航空写真判読で 4,400 を超える斜面崩壊が確認され多くの被害をもたらした。一方で土被り 60m にも達する新幹線魚沼トンネルの被害は浅い地滑りの影響とは考えられず、深層での地盤変形が原因である可能性を物語っている。

本論文では中越地震による地盤変形のうち、斜面崩壊成分を除去して第 3 紀堆積岩中に生じた変形の抽出と、それが被害に与えた影響の検討を行う。

2. 地盤変動の抽出方法

地形変動を精密に計測しえる手法に合成開口レーダーによる計測(InSAR:Interferometric Synthetic Aperture Radar)がある。中越地域についても解析が試みられたが、植生及び斜面崩壊の影響を受け、解析が不可能であった。このため異なる時期で航空レーザー計測(Laser Imaging Detection and Ranging:LIDAR)による 2m メッシュのデジタル標高モデル(以下 DEM)を求め、これらを比較し地形変動を確認した。地震前は航空レーザー計測が行われておらず、1975 年-1976 年の航空写真を図化し、これらを元に DEM を作成した。なお解析対象地域は DEM の重複する区域、および被害状況を勘案し、図 1 に示す東西 11km、南北 7.5km のエリアとした。

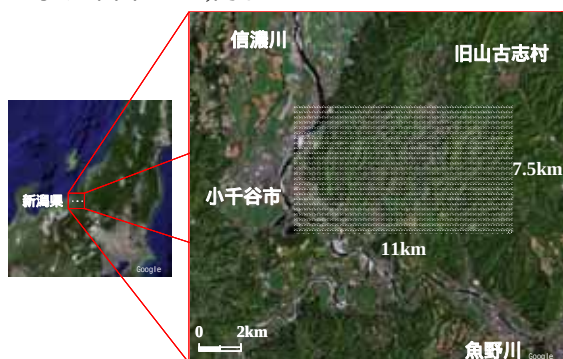


図 1 解析対象地域

得られた地震前(1975-1976)後(2004 年 10 月 24 日)の DEM の差分をとったものを図 2 に示す。標高が上昇した部分が暖色で、低下した部分が寒色で表現されている。

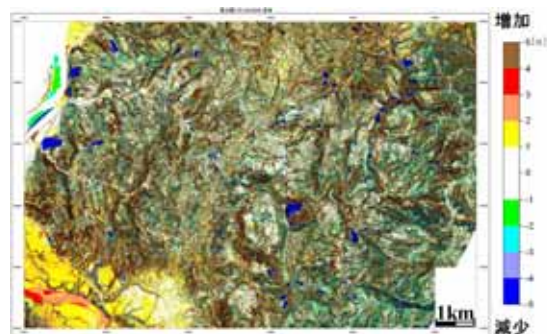


図 2 地震前後の DEM の差分図

しかし、ここで表現された標高変化は純然な土粒子の移動を示すものではない(図 3)。このため土粒子 k の動き(Lagrangian 座標での移動量 $\{\Delta x_k \ \Delta y_k \ \Delta z_k\}$)を以下の手順で求めることにする。

Δz_i は $\{\Delta x_k \ \Delta y_k \ \Delta z_k\}$ により以下の様に表現できる。

$$\Delta z_i = \begin{bmatrix} t_{x,i} & t_{y,i} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \Delta x_k \\ \Delta y_k \\ \Delta z_k \end{Bmatrix}^T \quad (1)$$

さらに隣接する 3 点で $\{\Delta x_k \ \Delta y_k \ \Delta z_k\}$ は同値と仮定することで、

$$\begin{Bmatrix} \Delta z_{i1} \\ \Delta z_{i2} \\ \Delta z_{i3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -t_{x,i1} & -t_{y,i1} & 1 \\ -t_{x,i2} & -t_{y,i2} & 1 \\ -t_{x,i3} & -t_{y,i3} & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta x_k \\ \Delta y_k \\ \Delta z_k \end{Bmatrix} = T \cdot \begin{Bmatrix} \Delta x_k \\ \Delta y_k \\ \Delta z_k \end{Bmatrix} \quad (2)$$

を得、この連立方程式を対象領域内の全ての点について解くことで、領域内の土粒子の移動量を求めることができる。

次に斜面崩壊成分等を削除する為以下の条件を課した。

$$\text{条件 1: } |\Delta z_i| < |t_{x,i}| \Delta x_{\text{limit}} + |t_{y,i}| \Delta y_{\text{limit}} + \Delta z_{\text{limit}} \quad (3)$$

ここに $\Delta x_{\text{lim}}, \Delta y_{\text{lim}}, \Delta z_{\text{lim}}$ は各方向の許容変位成分であり、それぞれ 1.5m, 1.5m, 2.0m。 $t_{x,i}, t_{y,i}$ は地震前の Euler 格子点 i 上の方向正接

キーワード 活褶曲, 地盤内部の変形, デジタル標高モデル, 地下構造物

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

東京大学 生産技術研究所 B 棟 Bw303 TEL03-5452-6149

条件 2 : $\{ t(a)_{x,i}, t(a)_{y,i} < t(b, \max)_{x,i}, t(b, \max)_{y,i} \}$ and $\{ t(a)_{x,i}, t(a)_{y,i} > t(b, \min)_{x,i}, t(b, \min)_{y,i} \}$ (4)
 ここに $t(a)_{x,i}$, $t(a)_{y,i}$ は地震後の Euler 格子点 i 上の方向正接, $t(b, \max)_{x,i}$, $t(b, \max)_{y,i}$ $\{ t(b, \min)_{x,i}, t(b, \min)_{y,i} \}$ は地震前の近接 8 格子点の最大値{ 最小値 }.

本手法では異なる方法で得られた DEM の差をとることから系統的誤差がバイアスとして紛れ込む可能性がある．このため適切な解析措置がなされ，必要な精度が保障されているか確認する意味で対象地域に散在する 9 つの三角点の標高変動 $\Delta z_{k,tri}$ と，本手法で得られた標高変動 $\Delta z_{k,DEM}$ を比較し， $\Delta z_{k,DEM} = b + \Delta z_{k,tri}$ をもって回帰分析を行った(図 4)．その結果， $b = -0.033m$ ，標準偏差 $\sigma = 0.34m$ を得た．この $b = -0.033m$ は $\Delta z_{k,tri}$ の変動幅を考えると極めて小さな値であり，本手法により全体的な地盤変動を実用上十分な精度で議論し得る結果が得られたことを示している．

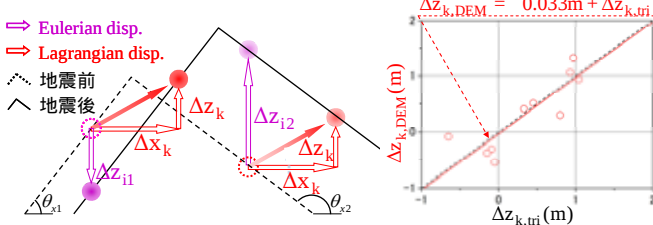


図 3 実際の土粒子の動き

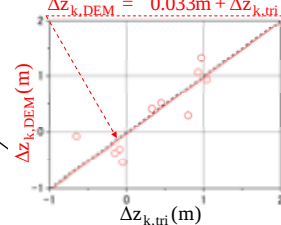


図 4 精度の検証

3. 地盤変動の解析結果と地震被害の関係

図 5 に地盤変動の東西方向成分を示す．最も顕著な東向きの変位の帯が梶金向斜に沿って現れている．この向斜軸の上流部では，魚野川はほぼ真っ直ぐに流下しているが，この向斜軸に突き当たる辺りで大きく流路を変え狭窄部を形成している．この辺りで主要幹線被害が集中し，その中でやや深い部分のものに，JR 上越線の和南津トンネル，新幹線の魚沼トンネルがある．

図 6 は南北方向成分を示したものである．東西の変位に比べればかなり小さくこれはこのあたりで起こる地震の震源解とほぼ整合的である．

上下方向成分で顕著なのは南西部と北部に広域な隆起が認められることである(図 7)．特に南西部の隆起は信濃川河川事務所が管轄する信濃川，魚野川沿いの標高変動とも整合している．

地震翌年の 6 月 28 日の大雨で，魚野川狭窄部～堀ノ内で水田の冠水被害が発生した．隆起による影響については現在解析中である．

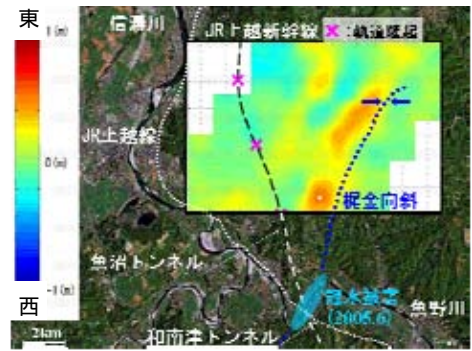


図 5 東西方向変位成分と被害状況

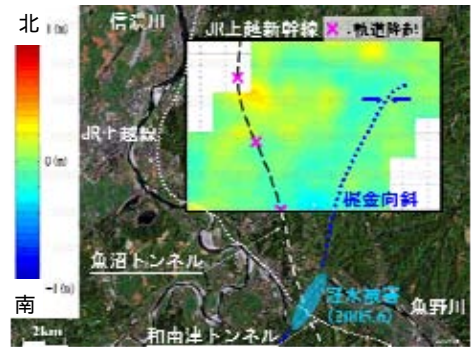


図 6 南北方向変位成分と被害状況

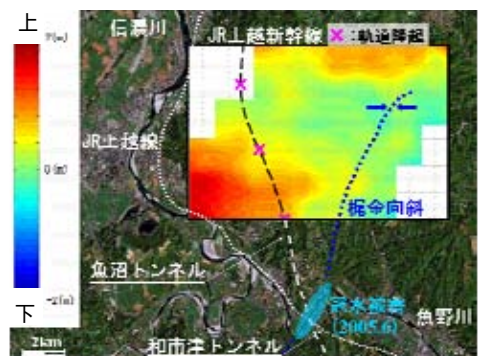


図 7 上下方向変位成分と被害状況

4. まとめ

活褶曲の顕著な東山山地を中心に異なる時期のデジタル標高モデルから中越地震による実際の土の動きを抽出した．さらに地表面の社会基盤施設被害に最も直接的に関わる残層の斜面崩壊と深部のトンネル被害に関わる地盤内部の変形の分離を試みた．抽出された地盤内部の動きと被害の位置関係には何らかの相関性が見られた．

地震後の地盤変形については新たな DEM を準備し解析中である．

【参考文献】

Taku Ozawa, Sou Nishimura, Yutaka Wada, Hiroshi Okura(2005): Coseismic deformation of the Mid Niigata prefecture Earthquake in 2004 detected by RADARSAT/InSAR, Earth Planets Space, 57, 423-428, 2005