

仙台市の丘陵地における地すべり性地表変動の状況 Situation of Landslide Surface Deformation of Hilly Area in Sendai City, Japan

地理空間情報部 佐藤 浩

Geospatial Information Department

Hiroshi P. SATO

地理地殻活動研究センター 中埜貴元

Geography and Crustal Dynamics Research Center

Takayuki NAKANO

要 旨

宮城県仙台市内の丘陵地を造成した住宅地では、平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋地震 (M9.0 ; 以下、「東北地方太平洋沖地震」という.) により宅地盛土に変状が生じ、宅地や住家に被害を与えた。1978 年宮城県沖地震でも被害が生じた緑ヶ丘地区 (約 1.2km²) の現地で、東北地方太平洋沖地震による地表の変状・非変状地点の分布を調査した。その結果、元の地形の地表面の傾斜角が 32° までのクラスでは、盛土分布域の変状地点数 (1 ha 当たり) は、比較的多いことが判った。また、他の研究で滑動的変動が生じたと判断されている代表的な 8 箇所の盛土を対象とし、既往の 3 つの内陸型地震を教師データに利用した統計的側面抵抗モデルで安全性評価指数を計算した。その結果、使用した変数では盛土の安全性をやや高く見積もっている可能性があるが、今後、海溝型地震に伴って盛土で滑動的変動が生じる可能性を判断できることが示唆された。ところで、電子基準点「仙台」の地殻変動による著しい変位は東向きを示したが、盛土変動域における変状地点の斜面方位については東向きの偏りは弱く、また、その 1 秒間隔の変位から計算した 8 方位ごとの加速度についても、変状地点の斜面方位の偏りと明瞭な関連を見出せなかった。むしろ、主尾根とその両翼からなる丘陵地の斜面の大局的な向きと関連することが強く示唆される。

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震によって、宮城県仙台市内の丘陵地の宅地盛土に地すべり性地表変動が生じた。そして、その変動によって、宅地や住家に被害が及んでいることが報じられた (河北新報, 2011)。

本稿では、被害地区の 1 つである緑ヶ丘地区 (図 1) で現地調査を行ったので、その結果を報告する。また、地表変動の地形的特徴を定量的に把握するとともに、東北地方太平洋沖地震による変動とは独立に、既存の変動予測システムを用いて

現地の宅地盛土の安全性評価指数を計算した。さらに、盛土の変動と地殻変動の関わりを調べたので、それらの結果を報告する。

2. 対象地区

図 1 に示す緑ヶ丘地区は、1978 年の宮城県沖地震でも宅地盛土に地表変動が生じた (東北大学理学部地質古生物学教室, 1979) 丘陵地の 1 つであった。当時の被害状況について、田村ほか (1978) は、盛土と切土の境界部付近で全壊した家屋が多いことを述べた。また、小林ほか (1980) は地形・地質的な特徴から報告を行い、盛土の厚さが厚いほど家屋の全壊率が高いことを報告した。

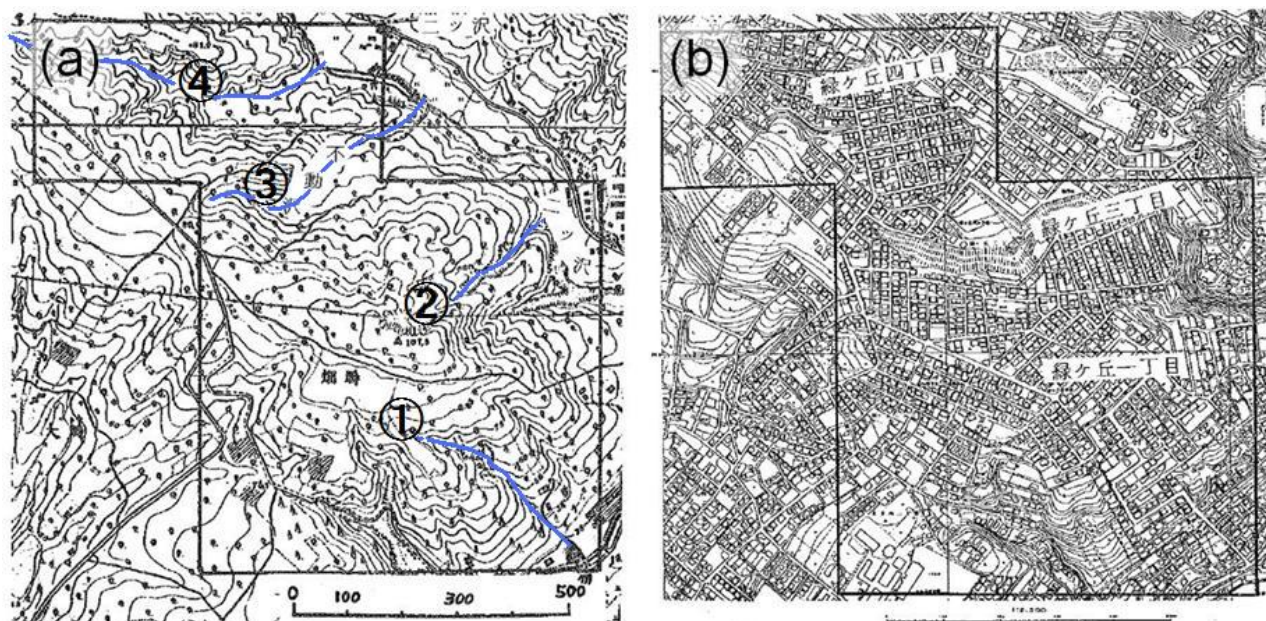
図 2 (a) は 1953 年に地理調査所 (国土地理院の前身) が作成した対象地区の 1/10,000 地形図、(b) は 1978 年に国土地理院が作成した 1/2,500 国土基本図である (小林ほか, 1980 を編集)。これらの図は、同範囲を示すように縮尺が調整されている。(a) を見ると、丘陵の主尾根は北西-南東方向に伸びている。

図 2 (b) の「緑ヶ丘一丁目」のすぐ西に相当する場所は、(a) の地点①を見ると標高 85m 付近に谷頭を有し、東南東に向いて流下 (溪床の傾斜: 約 7°) する谷に当たる。谷中には、ガリの表記が認められる。この谷は、標高 55m 付近で流向を南東に転じ、以後は (a) の南東隅 (標高 25m) に達する (溪床の傾斜: 約 8°)。その谷幅は、30~40m である。「緑ヶ丘三丁目」のすぐ南に相当する



図 1 対象地区

(a) ~ (f) は、図 5 に示した写真の撮影地点。



図－2 対象地区における新旧地形図の比較（小林ほか，1980 を編集）

場所は，(a)の地点②を見ると標高 107m の三角点の北側に斜面崩壊の痕跡が読図され，その場所を谷頭とする流路が北東に向いている．標高 100m から 25m までの溪床の傾斜角は 17° ，谷幅は 20 m である．

図－2 (b)の「緑ヶ丘三丁目」の北西には，(a)を見ると地点③に示すように，二ッ沢支流の不動沢がある．「動」の字の南東 100m 付近の緩斜面は切り取られて平坦化され，現在ではゴルフ練習場となっている．不動沢の谷頭部は，主尾根の北東側，標高 85m 付近に位置する．標高 75m までは西南西から東北東に流下し，その谷幅は 30m 程度，溪床の傾斜は約 9° である．流路は，標高 75m から東南東に転じ，溪床の傾斜は約 7° ，谷幅は 70 m でより広く，浅い横断面となる．標高 60m からは北東に向かって流下し，溪床の傾斜は約 4° である．ただし，標高 50m 付近の谷幅は約 20m なので上流と比較すると狭い．この谷は，標高 40m 付近で二ッ沢に合流する．

図－2 (b)の「緑ヶ丘四丁目」に相当する場所は，(a)の地点④を見ると対象地区の北西隅の標高 85 m 付近から東南東の向きに流下する谷であり，標高 65m 付近までは溪床の傾斜角は 5° ，谷幅は約 20m である．標高 60～50m になると溪床の傾斜角は 2° とより緩くなり，谷幅は標高 55m 付近で 40 m とより広がる．この谷は，標高 40m 付近で二ッ沢に合流する．

3. 方法

3. 1 現地調査

2011 年 3 月 20 日と 4 月 5 日の両日に現地を調

査し，道路のアスファルト舗装面の損壊や斜面の変状を手掛かりに，調査地点で「変状」「非変状」を判別した．本来であれば，東北大学理学部地質古生物学教室 (1979) の Fig. 25 のように，亀裂や滑落崖を詳細にマッピングして変動土塊の分布を把握すべきであるが，舗装面の損壊の復旧が速やかに進捗していたため，その痕跡をなるべく多く記録に留めるため，自動車で移動して対象地区のなるべく広い範囲を調査するように努めた．したがって，亀裂の開口幅や隆膨に伴う舗装面の短縮長を逐一，現地で計測しておらず，その亀裂が盛土の滑動的変動（元の地表面と盛土の境界をすべり面とする全層的な変動）に伴うものか，それとも盛土表層の側方流動的な変状に伴うものか，現地で判断していない．

なお，対象地区では図－3 の赤破線で囲んだ範囲が，1978 年宮城県沖地震による被害を受けて，地すべり防止区域に指定されている．

3. 2 盛土・切土分布図の作成

1956 年の 5 m グリッド数値地形モデル (Digit-



図－3 対象地区の地すべり防止区域

al Elevation Model: DEM, 以下, 「1956 年 DEM」という.) と 2000 年の 5m グリッド DEM (以下, 「2000 年 DEM」という.) を利用し, 2000 年 DEM から 1956 年 DEM を引いて盛土・切土分布図を作成した. その作成にあたっては, 盛土厚が厚いほど赤が濃く, 切土厚が厚いほど青が濃いように図を表現した. 1956 年 DEM については, 1956 年に米軍が撮影した 1/20,000 空中写真に基づき写真測量で 10m 間隔の等高線データが作成され, そのデータから生成されたものである. 2000 年 DEM については, 2000 年に作成された仙台市の数値地図データの 10m 間隔等高線データから生成されたものである.

3. 3 現地調査の結果と盛土・切土分布図等の重ね合わせ

現地で観察された変状地点を盛土・切土分布図と重ね合わせて, 変状と盛土の厚さの関係を調べるとともに, 1956 年 DEM を使って元の地表面の傾斜角の関係も調べた. また, 盛土分布域における変状・非変状地点を 2000 年 DEM から計算した斜面方位 (斜面が面している 8 方位の向き) と重ね合わせて, 変状・非変状と盛土の斜面方位の関係を調べた. これは, 内陸直下型地震の 2005 年パキスタン北部地震 (M7.6) を対象に, Sato et al. (2007) が地殻変動の向きと一致した斜面方位に斜面崩壊が多発したこと明らかにしたことを受け, 東北地方太平洋沖地震による地殻変動の向きと盛土の斜面方位が盛土の変状とどのように関わるか調べる意図がある.

3. 4 統計的側部抵抗モデルによる評価

本稿では, 地形情報から盛土の相対的な安全性を評価できるシステム (国土交通省, 2010) を使い, このシステムに実装されている「統計的側部抵抗モデル」で対象地区の宅地盛土の滑動的変動の安全性の大小を計算した. このモデルでは, 既往の 3 つの内陸地震 (1995 年兵庫県南部地震, 2004 年新潟県中越地震, 2007 年新潟県中越沖地震) に伴い滑動的に変動した宅地盛土の事例を教師データとして, 任意の地区における宅地盛土の滑動的変動の相対的な安全性を, 一次近似的に評価可能である. 具体的には, 盛土の滑動力に対する盛土と元の地表面 (地山) の間の抵抗力の比, すなわち安全性評価指数 (中埜, 2011) でその安全性を定量的に見積れる. またこのモデルは, その抵抗力として盛土側方の抵抗力を考慮した太田・榎田 (2006) の「側方抵抗モデル」に基づいて構築されている.

この指数を計算するには対象とする宅地盛土の

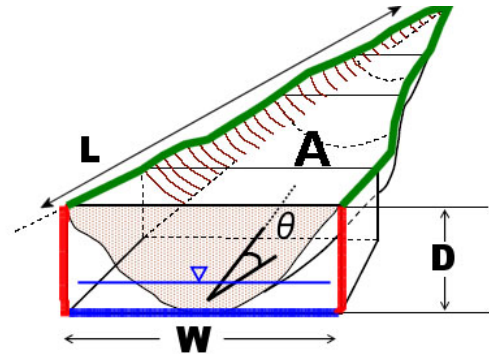


図-4 盛土の形状 (中埜・小荒井, 2009)

形状 (盛土幅, 盛土厚, 盛土長, 地山の傾斜) が必要であり, 図-4 に示すように盛土が直方体の形状に単純化される (中埜・小荒井, 2009). また, それらの値に基づいて, 盛土の形状のほか, 地下水の有無 (底面の過剰間隙水圧) を考慮する. 以下, 安全性評価指数を I_s , 滑動力を T (kN), 抵抗力を R (kN) とし, その計算式を示す.

$$I_s = R/T \quad (1)$$

$$T = (W_t) \sin \theta + (W_t)(k_h) \cos \theta \quad (2)$$

$$R = R_s + R_b - (W_t)(k_h) \sin \theta \tan \phi' \quad (3)$$

(2)式と(3)式で W_t は盛土の重量 (kN) であり,

$$W_t = \gamma_t V_t \quad (4)$$

である. (4)式の右辺で γ_t は盛土の単位体積重量 (kN/m³) である. また V_t は盛土の体積 (m³) であり,

$$V_t = (2/3)AD \quad \text{または} \quad V_t = (2/3)WLD \quad (5)$$

である. A は地図上で計測される盛土面積 (m²), D は盛土の厚さ (m), L は盛土全体の水平長さ (または単位長さ) (m), W は盛土の幅 (m) である.

(2)式と(3)式で, k_h は水平震度 (無次元) であり, 本モデルでは 0.25 としている (震動の方位の偏りは考慮されていない). θ は地山の傾斜角 (盛土の底面傾斜角) であり, このシステムでは盛土全体の水平長さ L の 1/2 を中心とし, その地点から盛土上端・下端の向きへそれぞれ 1/4 L の距離の地点における元の地表面の標高の比高を利用して盛土ごとに計算している.

さらに, (3)式で R_s は側方抵抗力 (kN), R_b は底面抵抗力 (kN) であり, それぞれ

$$R_s = c'_1 A_s + P \tan \phi' \quad (6)$$

$$R_b = c'_2 A_b + (W_t - U_b - U_s) \cos \theta \tan \phi'_2 \quad (7)$$

で計算される。(6)式と(7)式の右辺で、前述以外の変数を以下に示す。

c'_1, c'_2 : 側面及び底面の粘着力 (kN/m^2)
 ϕ'_1, ϕ'_2 : 側面及び底面の内部摩擦角 ($^\circ$)
 $A_s = 2DL$: 側面積 (m^2)
 $P = K(\gamma_t) D^2 L$: 側方土圧 (kN)
 K : 側方土圧係数
 $A_b = A_t / \cos \theta$: 底面積 (m^2)
 $A_t = V_t / D$: 換算平面積 (m^2)
 $U_b = (\gamma_w) u A_t$: 底面水圧 (kN)
 $U_s = (\gamma_w) (u_s) A_t$: 過剰間隙水圧 (kN)
 u_s : 過剰間隙水圧の水位高さ (m)

γ_w は水の単位体積重量(kN/m^3)であり、 u は地下水の高さ(m)、 $u = D - W_L$ である。 W_L は盛土表面から地下水の水面までの高さであるが、対象地区の地下水に関わる観測値は得られなかったため、1995年兵庫県南部地震による宅地盛土における観測値から得られた釜井・守随(2002)の経験式、

$$W_L = 0.1394\theta + 1.3046 \quad (8)$$

を用いて計算している。

(7)式で、 $W_t - U_b - U_s < 0$ のときは、 $W_t - U_b - U_s = 0$ とする。このとき、 $c'_2 = 0 (\text{kN/m}^2)$ なので底面抵抗力 $R_b = 0$ となる。側面に作用する水圧は実際の谷が矩形ではないので無視した。

統計的側部抵抗モデルでは通常の力学モデルとは異なり、地盤強度等の未知の変数には既往の3

つの内陸地震の事例を最もよく説明できるように試行計算された最適フィッティング値が固定値として代入される。そこで、本稿では太田・榎田(2006)が提案した固定値を参考にしつつ、中埜(2011)が示した表-1の変数(教師データにおいて、滑動的変動盛土の正答率ができるだけ高くなるように設定した変数)を対象地区に適用した。

4. 結果

4.1 現地調査の結果

現地の写真を、図-5の(a)~(f)に示す(撮影地点を図-1に示す)。図-5(a)は、図-2(a)の②の谷の谷頭部(当時、標高85m)付近に相当し、図-5(b)は図-5(a)の斜面下部における、圧縮性の変状(アスファルト舗装面の短縮)を示す。図-5(c)は、図-2(a)の①の谷の中(当時、標高40m前後)に位置するが、変状は認められない。

図-5(d)と(e)は、図-2(a)の④の谷の下部に

表-1 入力用の変数(中埜, 2011に加筆)

変数	値
u_s : 過剰間隙水圧の高さ (m)	4.5
γ_w : 水の単位重量 (kN/m^3)	9.8
γ_t : 土塊の単位体積重量 (kN/m^3)	18.0
c'_1 : 側面粘着力 (kN/m^2)	25.0
ϕ'_1 : 側面内部摩擦角 ($^\circ$)	35.0
c'_2 : 底面粘着力 (kN/m^2)	0.0
ϕ'_2 : 底面内部摩擦角 ($^\circ$)	36.0
K : 側方土圧係数	0.5
k_h : 水平震度	0.25



図-5 対象地区における地すべり性地表変動の状況

相当する．図－５(d)では右側のカーポートの手前、三角コーンの立っている道路でアスファルトが剥がされ片づけられていた．図－５(e)は、(d)のカーポートが写るように斜面下部から撮影現場を見通したときの路面の変動の状況である．平らなカーポート床面よりも向こうの道路が盛り上がっている．図－５(f)は、図－２の④の谷の最下部に位置しており、圧縮性の変状が認められ、塀にははらみ出しが見られた．

4. 2 現地調査の結果と盛土・切土分布図の関係

図－６に、現地で観察された変状（黒点）・非変状（星印）の地点（それぞれ 77 地点・85 地点）を盛土分布域（プラス、暖色）・切土分布域（マイナス、寒色）と重ね合わせた結果を示す．このうち、盛土分布域に位置する変状・非変状地点数はそれぞれ 73 地点・43 地点だった．なお、図－５の各写真は、盛土分布域で撮影されている．

図－５(c)は、盛土分布域における非変状地点であるが、この地点は地すべり防止区域のうち図－３の空色で着色した範囲に相当する．この区域では 1978 年の宮城県沖地震の被害を受けて設置された集水井や多列鋼管杭による地すべり防止工（釜井ほか，2011）が効を奏している可能性がある．しかし、図－３の橙色の範囲（緑ヶ丘三丁目）では対策は施されていたものの、表層で変状

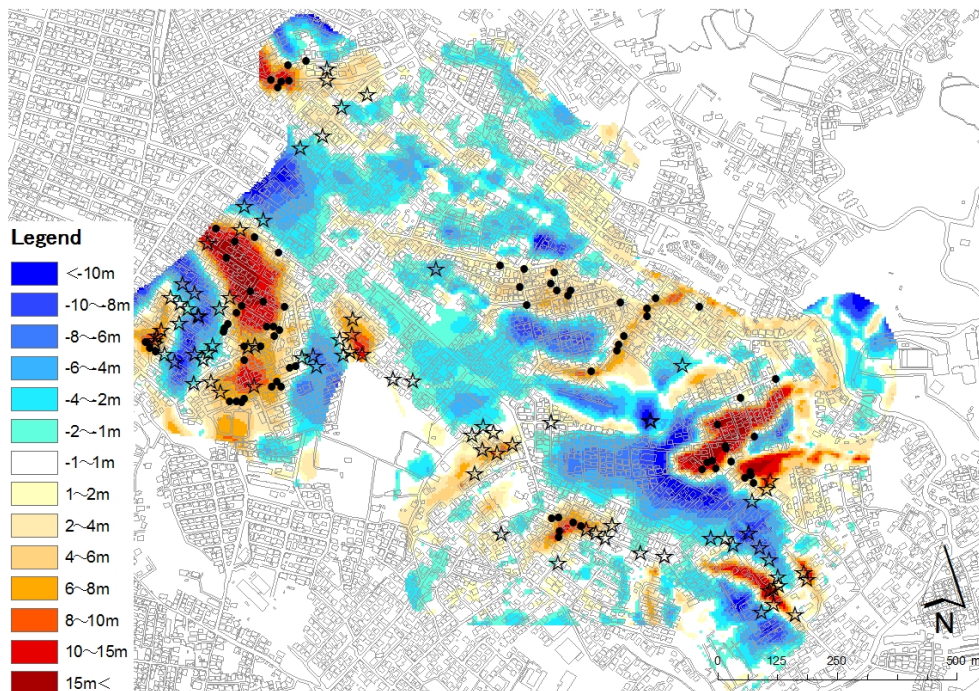
が生じたことが何に起因するかは不明とされている（釜井ほか，2011）．

図－７(a)は、盛土の厚さと盛土分布域における変状地点（73 地点）の関係を示したグラフである．ただし、地点数を厚さに応じた各クラスの面積で割って正規化し、1 ha 当たりの地点数を示す．盛土厚が厚いほど、その変状地点数は増加の傾向のあることが判った．図－７(b)には、その変状地点の数を 1956 年 DEM から計算した傾斜角の各クラスに応じて示した． 32° までは元の地形の地表面の傾斜角がより急なクラスでその変状地点数が比較的多い傾向のあることが判った．これらの傾向は、対象地区における 1978 年の宮城県沖地震のときにも報告されている（村山，2008）．

図－７(b)で傾斜角が緩やかな地点でも変状が生じているのは、盛土が元の地形の谷の流下する向きに沿って滑動の変動をした場合、盛土のうち谷軸から離れて緩やかであっても、その変動に引きずられるようにして盛土の表面に変状が生じたためと考えられる．

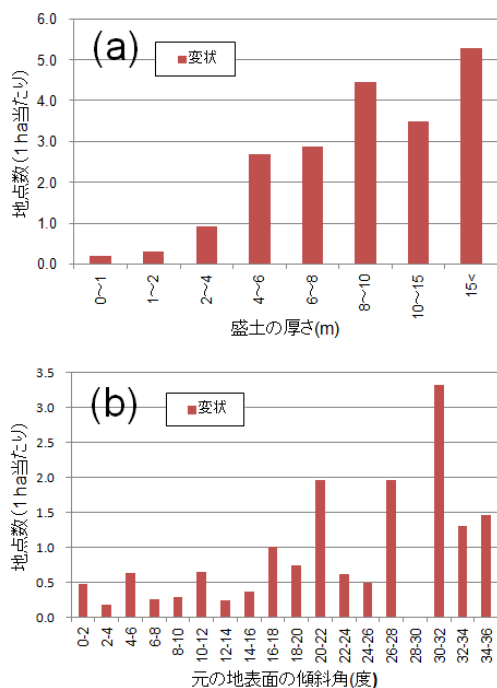
4. 3 2000 年 DEM を用いた斜面方位と変状・非変状地点の関係

図－８は、2000 年 DEM から計算された斜面方位を用いて、盛土分布域に位置する変状・非変状の地点数（1ha 当たり）を 8 方位別に調べた結果である．変状地点の方位の偏りは北東―南西の方

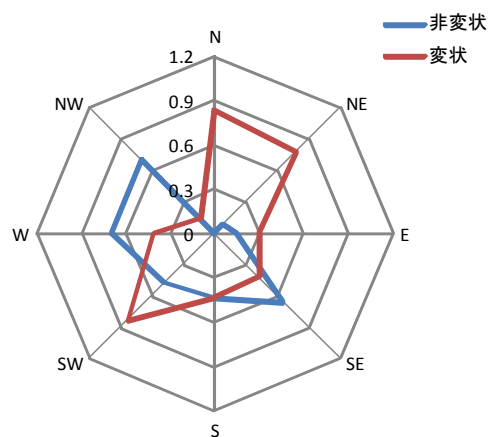


図－６ 盛土・切土分布図と調査地点の重ね合わせ

●：変状地点．地表や路面・擁壁の変状あるいはブロック塀等の倒壊が見られた地点，☆：非変状地点．そのような変状や倒壊が見られなかった地点．背景図には国土地理院の基盤地図情報 2500 を利用（佐藤・中埜，2011）．



図－7 盛土の厚さと1956年DEMの傾斜角に応じた盛土分布域における変状地点数(1ha当たり地点数；佐藤・中埜, 2011を修正)



図－8 2000年DEMの斜面方位に応じた盛土分布域における変状・非変状地点数(1ha当たり地点数；佐藤・中埜, 2011を修正)

向に、非変状地点の方位の偏りは北西－南東方向に見られた。これは元の地形が、北西－南東方向に伸びる主尾根とその両翼からなるという、斜面の大局的な向きと関連することが強く示唆される。ただし、前述のとおり、変状地点には、盛土の滑動的変動に伴って生じた二次的な変状を含んでいる可能性があり、必ずしもその全ての変状が地殻変動に伴う直接的な影響を受けていると

は言い難い。非変状地点についても前述のとおり、地すべり防止工の効果も加味すべきであって、必ずしも地震動の方向の偏りを反映していない可能性もある。

図－9に、対象地区から西北西に約6km離れた場所(位置は図－1の挿入図を参照)に設置されている電子基準点「仙台」の変動(1秒間隔の変位)を示した(国土地理院, 2011)。地震後に電子基準点が東向きに著しく変動しているのに対して、図－8では変状地点が東向きに偏っているとは言い難く、対象地区を見る限りでは、地殻変動の向きと盛土分布域の変状地点の斜面方位は、必ずしも一致しないことが判った。

4. 4 統計的側部抵抗モデルによる盛土変動の評価結果

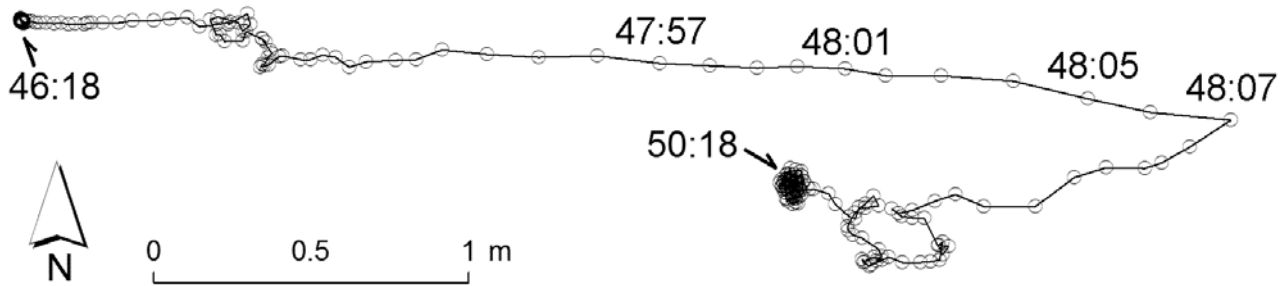
統計的側部抵抗モデルで評価可能な現象は、盛土の滑動的変動である。そこで、東北地方太平洋沖地震により滑動的変動を示した8箇所の盛土(釜井ほか, 2011)だけを盛土分布域から抽出し(図－10)、計算された安全性評価指数を表－2に示した。指数の値が大きいほど安定性が高く、低いと安定性が低いことを意味する。

この指数は相対的に捉えるべきものであるが、仮に安全率と同様、1.0を境に変動・非変動を考えると、対象地区の盛土の安全性をやや高く見積もっている可能性はある。これは、利用した表－1の変数に与えられた値が、教師データにおける滑動的変動盛土の正答率を100%となるように調整されているためと考えられる。

5. 考察

盛土の変動は、この地域の大局的な地形(斜面方位)と関係して発生している可能性があるが、内陸直下型地震であった2005年パキスタン北部地震とは異なり、電子基準点の変位データから把握される地殻変動の向きは、海溝型地震である東北地方太平洋沖地震の場合ではほとんど関係がない。

ところで、内陸直下型の1994年ノースリッジ地震(M6.7)で生じた斜面崩壊の斜面の南西向きの偏りが、0.04秒でサンプリングされた地震動のデータに基づく最大加速度の南西向きの偏りと一致していた(Sato, 2009)ことを受けて、図－9の電子基準点の1秒間隔の変位から求められる比較的長周期の最大加速度を図－11のとおり8方位別に調べた。ただし、都内の地震動観測点において、2005年8月16日の宮城県沖を震源とする地震(M7.2；震央距離338km)のとき、盛土における地震動の固有周期(フーリエスペクトルのピーク周期)

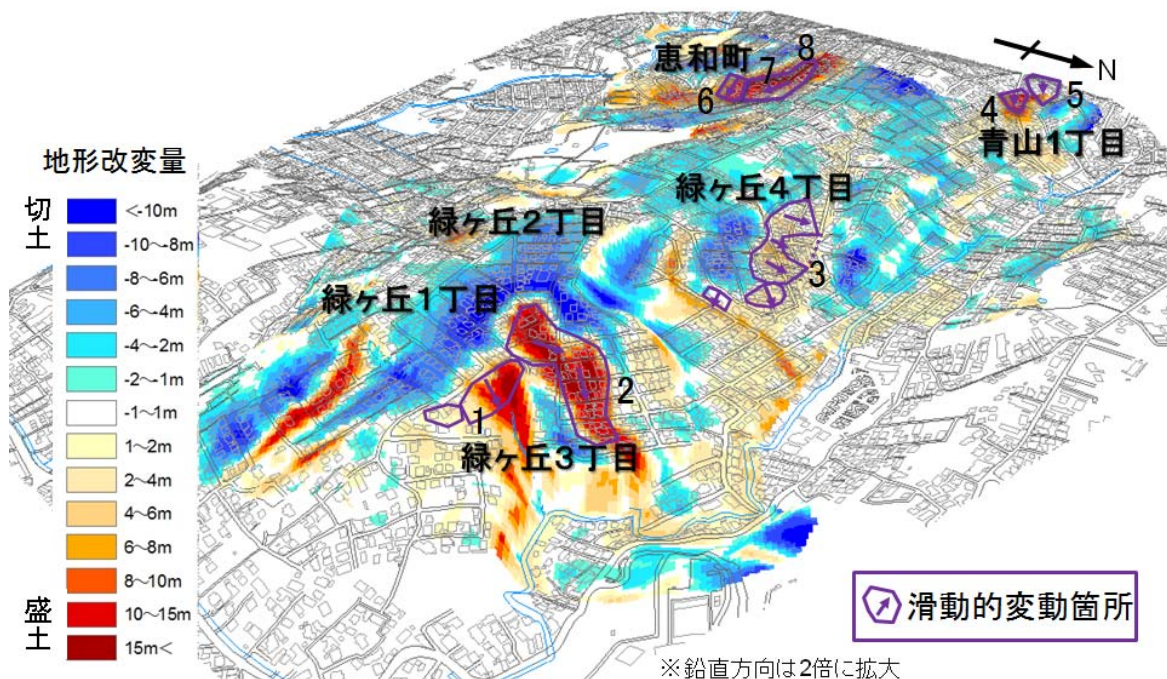


図－9 電子基準点「仙台」の1秒間隔の変動

地震発生（14時46分18秒以前の18秒と以後4分間の位置を示す。14時を省略し、46分18秒を46:18などと記載。

表－2 滑動的変動の盛土の安全性評価指数の計算結果（中埜，2011に加筆）

盛土名	1. 緑ヶ丘 3丁目①	2. 緑ヶ丘 3丁目②	3. 緑ヶ丘 4丁目	4. 青山1 丁目下部	5. 青山1 丁目中部	6. 恵和町 下部	7. 恵和町 中部	8. 恵和町 上部
I_s	0.97	1.27	0.36	0.53	1.25	0.99	1.22	1.09
元の地形の谷の 流下の向き	NE～ENE	NE	N	NE	NE	E	S	SSE



図－10 表－2に示した盛土（滑動的変動をした盛土）の分布（中埜，2011に加筆）

背景図には国土地理院の基盤地図情報 2500 を利用。盛土に附した番号は表－2の盛土名に附した番号と一致。

が約0.5秒であった例もある（釜井，2011）ことから，必ずしも長周期の加速度を議論するのは適切ではない可能性もある。

図－11では図の表現の都合上，14時48分7秒前後に生じた西向きの加速度 0.39 m/s^2 を省略している。表－2では，滑動的変動盛土の谷の流下の向きが北～東に偏っているが，図－11を見てもそれらの

向きに加速度が比較的大きかったということはいえない。8方位別の加速度の時間変化とそれを方位別に時間で積分した速度を，それぞれ図－12，図－13のとおり調べた。しかし，これらの結果は滑動的変動盛土の元の地形の谷軸方向とは相関を示さない。すなわち，東北地方太平洋沖地震による対象地区の滑動的変動盛土は，1秒間隔の変位

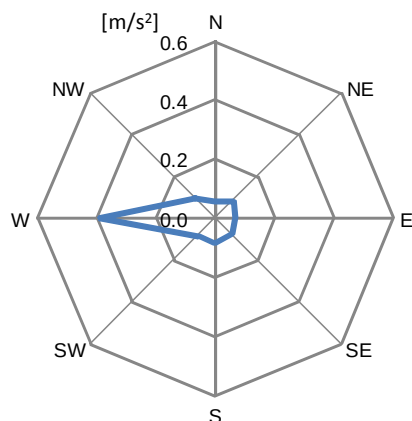


図-11 図-9から計算した方位別最大加速度

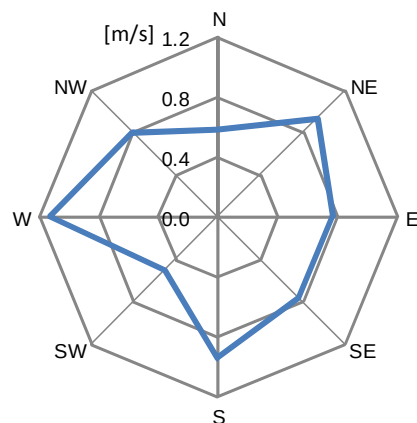


図-13 図-12の加速度を方位別に時間で積分した値（速度）

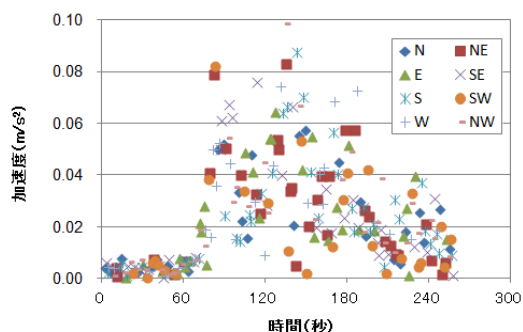


図-12 図-9から計算した8方位別の加速度の時間変化（西向きの 0.39m/s^2 を省略）
横軸の0は、14時46分0秒である。

データから計算された地殻変動に伴う最大加速度の向きや加速度を積分した速度で支配されるものではなく、斜面の大局的な向きや盛土の形状による効果大きいことが判った。

また、統計的側部抵抗モデルによる評価結果は、今回用いた変数では安全性を高く見積もっている可能性があるが、中埜（2011）では、別の変数（変動盛土と非変動盛土の正答率の和が最大となる変数）でより良い結果が得られており、内陸直下型地震と海溝型地震で最適変数が異なる可能性を示唆している。

6. おわりに

現地で地表の変状・非変状を確認するとともに、盛土分布域の変状地点が、DEMから求められる盛土の厚さや傾斜角、斜面方位とどのように関わっているのか明らかにした。また、電子基準点の1秒間隔から得られる変位の向きと変状の関わりを調べた。さらに、他の研究によって明らかになっている8箇所の滑動的変動盛土を対象として

統計的側部抵抗モデルを適用し、安全性評価指数を計算して、今後、東北地方太平洋沖地震のように海溝型地震が生じたときの盛土の滑動的変動が生じる可能性を見積もれることが示唆された。

本稿は、東北地方太平洋沖地震によって各地で被害が生じた宅地盛土のうち、1地区の現地調査の結果を使った限定的な議論に留まっているので、今後、各地の盛土における地表の変状や滑動的変動の結果を加味していけば、本稿とは異なる結論が導かれる可能性もある。

謝 辞

盛土・切土分布図作成の元となった2時期のDEMについては東北学院大学宮城豊彦教授から、電子基準点「仙台」の変動の解析結果については国土地理院の西村主任研究官から、それぞれ提供されたデータを利用した。なお、現地調査時の車両運行は、国土地理院の下地課長補佐と高橋地名情報係長による。

参 考 文 献

- 小林基夫, 須長博明, 市川清次 (1980): 地形条件と地盤災害についての調査研究, 「1978 年宮城県沖地震」に関する特別報告書, 131-173, 科学技術庁研究調整局.
- 河北新報 (2011): 「山津波」仙台市内陸部の住宅地にも深い爪痕, 3 月 30 日付記事.
- 釜井俊孝, 守随治雄 (2002): 「斜面防災都市—都市における斜面災害の予測と対策」, 200, 理工図書.
- 釜井俊孝, 坂靖範, 村尾英彦, 笹原克夫, 末峯章, 福岡浩, 王功輝, 太田英将, 佐藤信宏 (2011): 仙台市, 福島市周辺の宅地地盤での地すべり. 東日本大震災緊急報告会発表資料 (深田地質研究所, 4 月 22 日), http://www.landslide-soc.org/news/2011/2011042204_kamai.pdf (accessed 11 Dec. 2011).
- 釜井俊孝 (2011): 谷埋め盛土における地震動と間隙水圧の観測, 日本地すべり学会誌, 48, 334-343.
- 国土交通省 (2010): 国土交通省総合技術開発プロジェクト「高度な画像処理による減災を目指した国土の監視技術の開発」総合報告書, 117-143.
- 国土地理院 (2011): 電子基準点 1 秒データによる東北地方太平洋沖地震の地殻変動の時間発展 (動画), <http://www.gsi.go.jp/cais/chikakuhendo40010.html> (accessed 19 Dec. 2011).
- 村山良之 (2008): GIS を用いた地形改変地の震災土地条件評価, 日本建設情報総合センター研究助成事業報告書 (平成 19 年度), 2007-005, 1-96, <http://www.jacic.or.jp/kenkyu/10/10-05.pdf> (accessed 15 Dec. 2011).
- 中埜貴元, 小荒井衛 (2009): 改変地形データを用いた地盤の脆弱性把握のための開発, 平成 21 年度国土交通省国土技術研究会予稿, <http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h21giken/program/kadai/pdf/ippai/ippai-an1-02.pdf> (accessed 28 Oct. 2011).
- 中埜貴元 (2011): 東日本大震災による宅地盛土被害と安全性評価との関連, 平成 23 年度国土交通省国土技術研究会予稿, <http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/giken/program/kadai/pdf/ippai/ippai-an1-08.pdf> (accessed 11 Dec. 2011).
- 太田英将, 榎田充哉 (2006): 谷埋め盛土の地震時滑動崩落の安定計算手法, 第 3 回地盤工学会関東支部研究発表会講演集, 27-35.
- 太田英将, 釜井俊孝 (2011): 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う造成地盛土の地すべり, 日本応用地質学会関西支部平成 23 年度研究発表会論文集, 6-9.
- Sato HP, Hasegawa H, Fujiwara S, Tobita M, Koarai M, Une M, Iwahashi J (2007): Interpretation of landslide distribution triggered by the 2005 Northern Pakistan earthquake using SPOT 5 imagery, Landslides, 4, 113-122.
- Sato HP (2009): Study on landslide orientation bias triggered by 1994 Northridge Earthquake, Proceedings of the 41th Joint Meeting of U.S.-Japan Panel on Wind and Seismic Effects (UJNR), 260-268.
- 佐藤浩, 中埜貴元 (2011): 仙台市の丘陵地における地すべり性地表変動の状況について, 2011 年地球惑星科学連合大会予稿, MIS036-P150.
- 田村俊和, 阿部隆, 宮城豊彦 (1978): 丘陵地の宅地造成と地震被害—1978 年宮城県沖地震の被害を例として—, 総合都市研究, 5, 115-131.
- 東北大学理学部地質古生物学教室 (1979): 1978 年宮城県沖地震に伴う地盤現象と災害について, 東北大学理学部地質古生物学教室邦文報告, 80, 1-81.