

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

太田英将 (太田ジオリサーチ)
釜井俊孝 (京都大学防災研究所)

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、津波被害が激烈であるとともに、福島第一原子力発電所からの放射線問題も重大問題であるため、それ以外の災害が現時点(4月下旬)であまり報道されていない。しかし、震度6以上のときに多発する造成地の盛土地すべりが数多く発生しており、深刻な被害となっている。

筆者らは、3月27~30日および4月11~14日に現地調査を実施した。ここでは、現地踏査結果を中心に報告する。なお、現時点は調査の途中過程にあり、全貌は未だ見えていない。

2. 仙台市太白区緑ヶ丘周辺の盛土地すべり

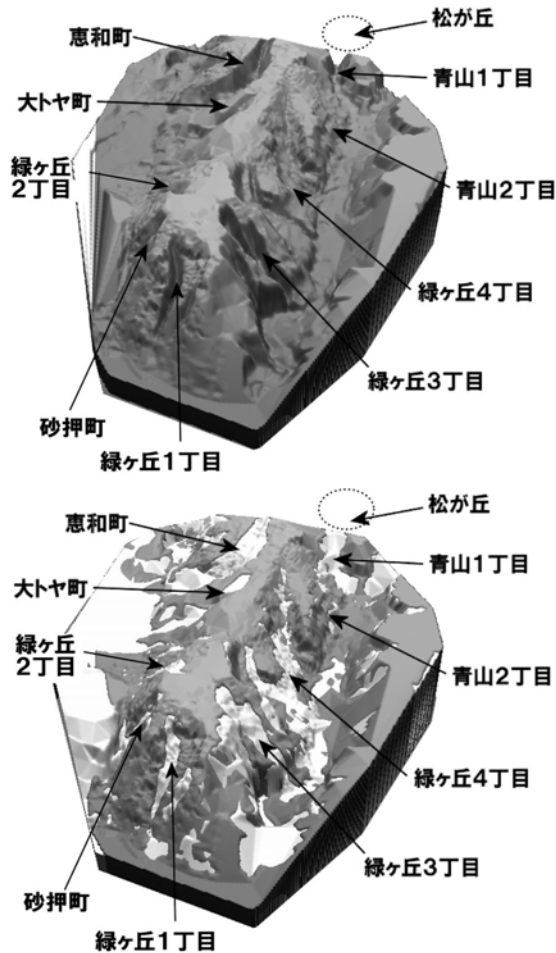


図1 盛土前(上)と盛土後(下)の鳥瞰図

仙台市太白区の丘陵地の中にある谷を埋めて大規模造成が行われ、標高80m前後の住宅地が開発されている。緑ヶ丘周辺の造成は昭和30年代に行われた。図1に盛土

前の地形と盛土後の地形を鳥瞰図にして示す。なお、高さ方向は誇張されている。

2.1 緑ヶ丘3丁目

2筋の大きな谷を埋めて盛土されている。1978年宮城県沖地震により大きく変動したため、地すべり防止区域に指定され、抑止杭工(318.5, t=8@1.5m)が5列、集水井工が2基設置されている。

今回の地震で、盛土上部は沈下(写真1)するとともに引張り亀裂が発生した。また杭の山側では圧縮変状、谷側では圧縮変状が発生した。



写真1 沈下により道路に突き出た抑止杭

2.2 緑ヶ丘4丁目

谷の右側壁の腹付け盛土である。この箇所も1978年の地震時に大変動し、今回の地震でもまったく同じ位置・形状で変動した(住民談;写真2)。1978年の地震後に集水井工が計画されていたらしいが、実際には施工されていないようである。



写真2 盛土ユニット境界部の引張クラック

2.3 青山2丁目

谷の右側壁の小規模な腹付け盛土である。家屋を巻き込んだ崩壊を引き起こしている（写真3）。地震後に、盛土末端部から毎分6リットル程度の水が継続的に湧いている。



写真3 小規模な腹付け盛土の崩壊

2.4 青山1丁目

引張変状と圧縮変状がセットになり一団の移動土塊と判定される盛土が3ユニット確認された。



写真4 変動により擁壁が撓んでいる

2.5 松が丘

深い谷を高い擁壁で埋めて平坦地を造っている。擁壁に近い下部で大きな変状が出ている。下部、中部、上部との境界に大きな変状が出現している。



写真5 末端部の大規模な擁壁と盛土

2.6 大トヤ町

高い宅地擁壁に変状があるが、盛土地すべり的な変状は少ない。



写真6 擁壁部の沈下程度の変状のみ

2.7 恵和町

深い大きな谷を埋めた盛土である。下部は地表傾斜が急である。変状は中部と下部の境界（盛土の地形遷急線）付近から下側に顕著なものが発生している。盛土末端部には圧縮変状が現れるが、一部分で噴砂跡があり、液状化が発生したものと推定される。噴出している砂は、微細砂である。



写真7 大きなアパートが傾き、解体中

2.8 緑ヶ丘1丁目・砂押町・緑ヶ丘2丁目

これら3ユニットの盛土を確認したが、変動は認められなかった。ただし、緑ヶ丘1丁目と2丁目は1978年宮城県沖地震時には大きく変動している。

3. 福島市あさひ台団地周辺の盛土地すべり

あさひ台団地で3箇所、隣接する桜台で1箇所の盛土変動ユニットを確認した。あさひ台団地西側の2箇所では、家屋が崩壊に巻き込まれて崩落している。

最大の崩落は、 $W=60m$ 、 $L=80m$ で盛土厚さは5m以上である（写真8）。地下水位は崩壊後の凹みの水の位置からGL-4m程度にある。

崩落は盛土に限定されており、切盛境界に隣接し切土側にある家屋は無傷であり、谷埋め盛土災害の特徴を表していた。

南側にも小ブロックが地すべりを発生させており、耐震性の強いと思われる堅固な家屋が滑り土塊の上に乗っ

たまま移動している（写真9）



写真8 大規模な盛土崩壊



写真9 南側ユニットの崩壊

4.2 緑ヶ丘4丁目地区の無対策

1978年の地震後に、いったん集水井工が計画されていたにもかかわらず、実際には施工されず、再び前回同様の被災をした。盛土すべりには免疫性がないことが実証された。対策計画が実施されなかった経緯を明確化しておくことが、今後のリスクコミュニケーション上重要である。

4.3 恵和町の噴砂

盛土末端部で噴砂跡が見つかった。液状化が盛土末端部で発生し、斜面上の盛土が変動する大きな要因になったものと考えられる。



写真10 噴砂跡

4. 盛土変動の特徴と課題

調査地域の全体の特徴としては、(1)抑え土塊のない末端部で崩落等の被害が大きい、(2)ガス管の緊急工事が各所で行われていたが、その位置は切盛境界が多い。切土部では少ない。(3)地震後に盛土末端部から湧水が発生し始めたところが2箇所あった。

4.1 緑ヶ丘3丁目地区の既存対策工

緑ヶ丘3丁目には多段の抑止杭、集水井が存在したにもかかわらず、盛土に変動が発生し家屋に多大の損傷を与えた。「地すべり対策工」として最高規格と思われる対策（図2）にもかかわらず変動を抑えることができなかった。盛土のような脆弱な地盤に対して「待ち受け型対策工」を用いるのが適切かどうか、今後検討する必要がある。



図2 緑ヶ丘3丁目の変動盛土ユニットと対策工

4.4 松が丘の大規模盛土

大きな谷を砂防堰堤のように高い擁壁で堰き止め、背面に盛土して広い平坦地を形成している。効率的な土地利用として考えられたものと推察されるが、防災上は危険である。

4.5 あさひ台団地の盛土崩落

崩落した盛土や、盛土上の家屋の著しい変状と、その盛土ユニットの外側にある無被害の家屋とのコントラストが著しい（図3）。造成地内の谷を単に盛土で埋めて平坦地をつくるという手法を見直す時期に来ている。



図3 あさひ台団地の変動盛土ユニット



写真 11 切土側の家屋は無傷

5. 事前予測との対比

78年宮城県沖地震で変動しなかった盛土が、今回多く変動した。人工地盤の地震時の地すべりは、事前に被害予測し、事前に有効な対策を施すというのが社会から求められていることである。

緑ヶ丘周辺は1978年の宮城県沖地震で盛土が変動したことから、今回の地震前に盛土分布がある程度把握され、今回の地震の前に試行的に危険度判定がなされていた。

評価の手法としては、「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説」(国土交通省、平成20年2月)に示されている2つの手法(p.44の点数法、p.86の側方抵抗モデル)および『斜面防災都市』(釜井・守随, 2002)に提案されている数量化2類を用いた予測法を用いた。いずれの方法も、盛土形状のみから危険度を推定する手法である。

側方抵抗モデルは力学的な体裁となっているため、阪神事例等からキャリブレーションされた土質的パラメータを用いた。具体的には、過剰間隙水圧高 $=3.0\text{m}$ 、単位体積重量 $=18\text{kN/m}^3$ 、側面粘着力 $c'_1=39\text{kN/m}^2$ 、側面内部摩擦角 $\delta'_1=35^\circ$ 、底面粘着力 $c'_2=0\text{kN/m}^2$ 、底面内部摩擦角 $\delta'_2=25^\circ$ 、である。

実際に起きた変動と、点数法の変動確率、側方抵抗モデルの変動指数(安全率)を表1に示す。盛土ユニットは、事前評価時と今回踏査した結果判明した範囲とは若干異なる部分もあるが、ほぼ対応する箇所と比較した。

この結果から、以下の2点が読み取れる。

- (1) 評価手法としては点数法よりも側方抵抗モデルの方が的確な推定をしているようである。数量化2類の方法は、その中間的な結果となっている。
- (2) 1978年の地震時には、緑ヶ丘3丁目・4丁目に変動した記録があり今回は再変動である。緑ヶ丘1丁目・2丁目は、前回変動し盛土再構築後の今回は変動していない。その他の箇所の多くは1978年地震では変動していないが今回変動した。これらの理由を明らかにすることが予測・対策上重要である。

表1 事前予測結果との比較

	盛土ユニット	変動有無	点数法 変動確率	数量化法 変動確率	側方抵抗M 変動指数	備考
1	緑ヶ丘3丁目北側	変動	4%	28%	1.19	1978年地震で大変動(枕・井戸)
2	緑ヶ丘3丁目南側	変動	2%	28%	0.88	1978年地震で大変動(枕)
3	緑ヶ丘4丁目	大変動	68%	92%	0.61	1978年地震で大変動(枕)
4	青山2丁目	大変動	-	-	-	盛土が抽出されていない。1978年は変動せず
5	大トヤ町	変動せず	16%	41%	1.11	擁壁変動のみ 1978年は変動せず
6	恵和町上部	小変動	6%	28%	1.00	
7	恵和町中部	小変動	16%	13%	1.01	1978年地震で変動せず
8	恵和町下部	大変動	22%	64%	0.86	
9	松が丘	大変動	-	-	-	盛土が抽出されていない。1978年は変動せず
10	青山1丁目上部	小変動	-	-	-	盛土が抽出されていない。1978年は変動せず
11	青山1丁目中部	小変動	7%	13%	1.15	
12	青山1丁目下部	小変動	41%	92%	0.84	1978年地震で変動せず
13	緑ヶ丘1丁目上部	変動せず	7%	21%	1.13	3/27~30調査 1978年地震で大変動
14	緑ヶ丘1丁目下部	変動せず	2%	21%	2.07	
15	砂押町上部	変動せず	4%	35%	1.08	3/27~30調査 1978年地震で変動せず
16	砂押町下部	変動せず	7%	21%	1.30	
17	緑ヶ丘2丁目上部	変動せず	7%	28%	1.10	3/27~30調査 1978年地震で大変動
18	緑ヶ丘2丁目下部	変動せず	10%	28%	1.50	

表示区分

大変動	50%以上	1.0未満
変動	30~50%	1.0~1.2
変動せず	30%未満	1.2以上

6. さいごに

紹介した箇所以外に、仙台市青葉区折立5丁目などで顕著な被害を確認したが、紙面の都合で割愛した。

人工地盤である盛土地すべりは、人間の過去の行為の結果生じた負の遺産である。このため、的確に変動予測をし、適切な対策工を施工することが何よりも重要である。

調査の過程で、DEM データで推定されていた盛土ユニットと実際の盛土範囲・変動方向に若干の違いがあった。しかし、これは事前に地表踏査を実施しておけば十分修正可能である。したがって、盛土変動予測における第一次スクリーニング時には地表踏査が不可欠である。

また、1995年以降に発生した地震でも、数多くの造成地盛土が変動・崩落し、多くの被害を発生している。人工地盤である造成地盛土が地震時に非常に脆弱であることは、隣接する切土部の家屋が無傷なことから明らかである。今後は、効率性を追求し谷を埋めて平地地を造るのではなく、等高線沿いに地形なりに住むということも考えていく必要があるものと思う(芦屋市六麓荘付近、西宮市甲陽園付近、あるいはヨーロッパアルプスの傾斜地のよう)。

今回の現地調査は、釜井俊孝・福岡浩・王功輝・末峯章(京都大学防災研究所)、笹原克夫(高知大学)、太田英将(太田ジオリサーチ)、村尾英彦(村尾地研)が実施した。



調査地・調査時期

- 第一次調査 (3/27~30)
仙台市太白区緑ヶ丘地区周辺
仙台市青葉区折立地区周辺
- 第二次調査 (4/11~14)
福島市福島市伏拝沼の上 (あさひ台団地)
仙台市太白区緑ヶ丘地区周辺
- 第三次調査 (5/9~12)
仙台市 (西花苑、高野原、旭ヶ丘)
白石市緑ヶ丘 (旧寿山) 周辺

あさひ台団地 (福島市)

1969年開発開始—1974年には完了

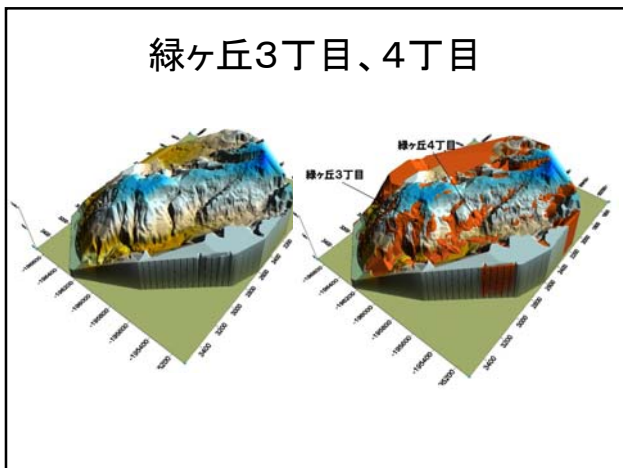
あさひ台団地

典型的な谷埋め盛土地すべり

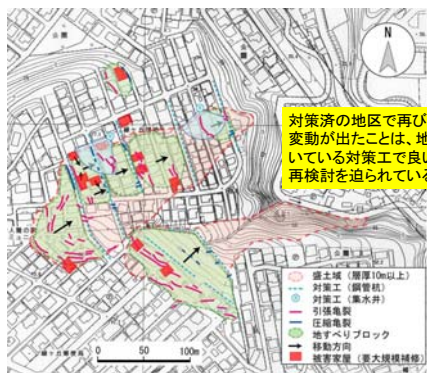
変動地面積率 $(12000+1000+3000+1300) \div 2400000 = 7.2\%$
 阪神の事例: 造成地内の3.2(谷埋)+1.8(池埋) = 5%の盛土が変動した
 盛土の残存率は、谷埋8.5%、池埋1.6%、合計10.3%

(審井作成)





緑ヶ丘3丁目の既存地すべり対策工



対策済の地区で再び地震による変動が出たことは、地すべりで用いている対策工で良いのかどうか再検討を迫られている。

村尾英彦氏(村尾地研)作成

緑ヶ丘4丁目



切土壁の傾斜。この周辺にはこの種の玉石を積んだ土留め工事が多い。切土壁では実証なし。

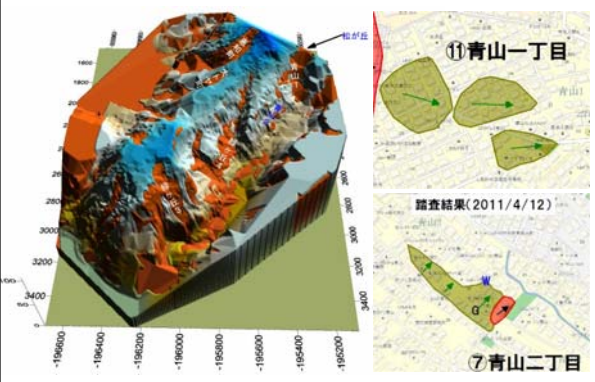
物盛境界部の宅地のデシジョンクラック。78年にも同じ場所が滑動したようだ。

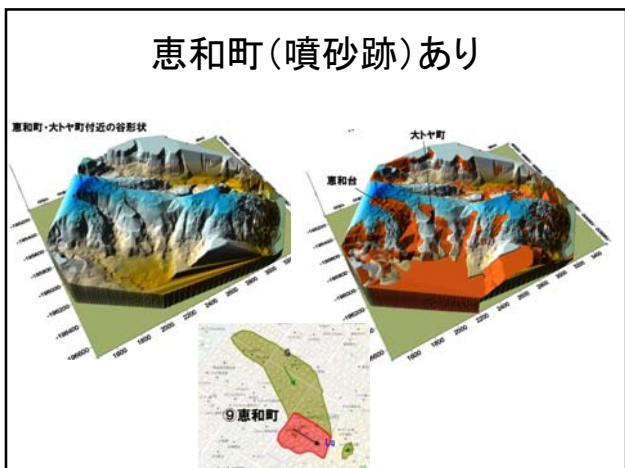
末梢部の圧縮変状

切盛境界のデシジョンクラック



青山1丁目、2丁目





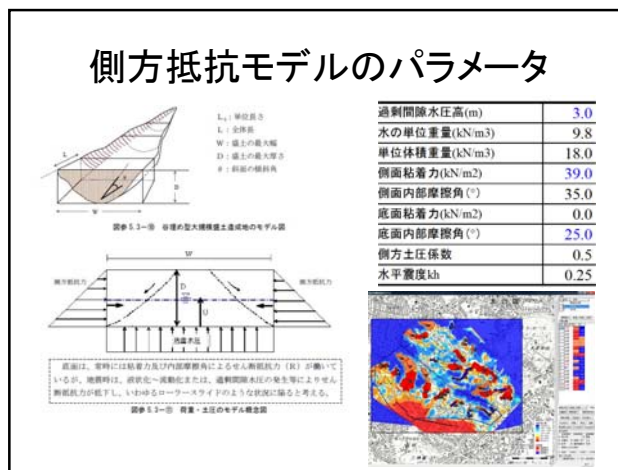
事前予測と実際の現象の比較

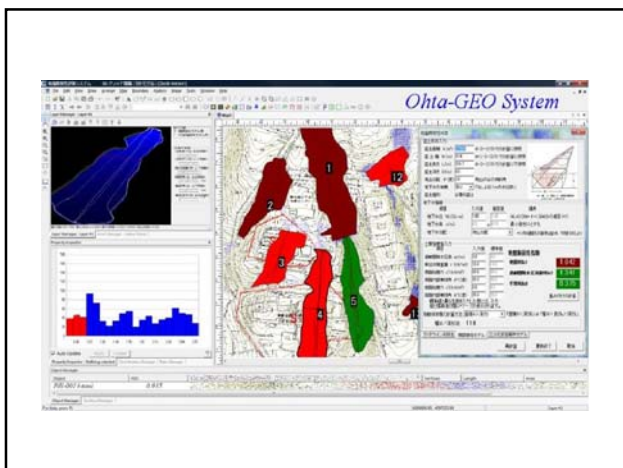
① ② ③

事後評価でない初の事例

観測ポイント	予測現象	液状化	噴砂	傾倒	備考
1 跡町1丁目北側	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
2 跡町1丁目南側	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
3 跡町4丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
4 跡町2丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
5 跡町5丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
6 跡町3丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
7 跡町1丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
8 跡町2丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
9 跡町3丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
10 跡町4丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
11 跡町5丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
12 跡町1丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
13 跡町2丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
14 跡町3丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
15 跡町4丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
16 跡町5丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
17 跡町1丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)
18 跡町2丁目	液状化	○	○	○	噴砂発生(大規模)

①「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン」の点数法
②『斜面防災都市』釜井・守隨の数量化解析モデル
③側方抵抗モデル(太田・榎田モデル)＝国土院モデル＝ガイドラインにも参考として記載





まとめ

- 福島市あさひ台は典型的な谷埋め盛土地すべりである。(切土部では変動していない。)
- 仙台市太白区では、1978年に変動しなかった盛土が今回は変動している。(震度・周期・継続時間の違いか?)
- 1978年に変動した盛土に対策工がなされた箇所が再度滑動している。対策工要再検討(待ち受け型ではダメ?)。
- 事前予測は、側方抵抗モデルが適切に危険度評価をしている。(点数法の成績は悪い)
- 造成地面積の10%前後の面積が変動した。

2011/5/13

26

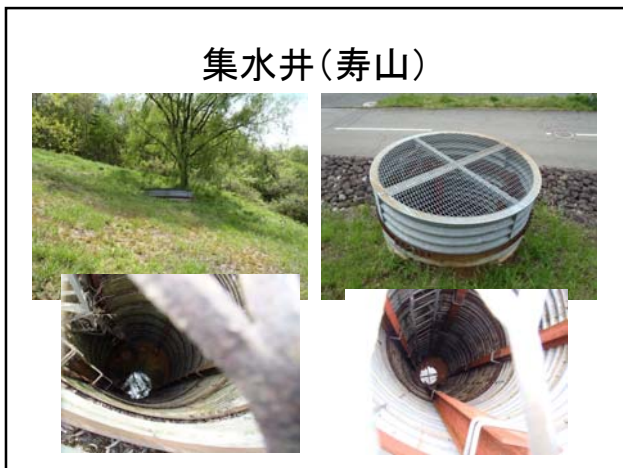
白石市緑ヶ丘(寿山) (5/9-12)



白石市寿山



集水井(寿山)



寿山の対岸



西花苑(5/9-12);地すべり



西花苑



高野原(仙台市)



仙台市 旭ヶ丘(5/9-12)



丘陵地にも液状化(旭ヶ丘)



看板

仙台市太白区緑ヶ丘



地震時に危険と認識されていた擁壁には傷一つない。