



# 高町団地を対象とした地震時宅地盛土被災原因に関する考察

沖村, 孝  
鳥居, 宣之  
田中, 裕美  
大藪, 剛士

---

**(Citation)**

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 10:17-28

**(Issue Date)**

2006-03

**(Resource Type)**

departmental bulletin paper

**(Version)**

Version of Record

**(JaLCD0I)**

<https://doi.org/10.24546/00518453>

**(URL)**

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00518453>



# 高町団地を対象とした 地震時宅地盛土被災原因に関する考察

Factors of Damaged Housing Earthfill due to Earthquake  
at Takamati Residential Complex

沖村 孝<sup>1)</sup>

Takashi Okimura

鳥居宣之<sup>2)</sup>

Nobuyuki Torii

田中裕美<sup>3)</sup>

Yumi Tanaka

大藪剛士<sup>4)</sup>

Tsuyoshi Oyabu

概要: 平成16年の新潟県中越地震により、宅地造成地内での地盤変状被害が数多く発生した。このような被害事例は、兵庫県南部地震をはじめとして過去の地震時にも数多く報告されており、今後の宅地造成地内での地盤変状被害の軽減のためにも、被害発生要因を明らかにすることは重要である。本報では新潟県中越地震により甚大な宅地地盤被害が発生した長岡市高町団地を対象として地形立地解析を行い、宅地地盤被害の発生要因の考察を行った。その結果、被災した盛土は軽微な被害の盛土に比して地表面の傾斜角が大きく、盛土が厚い場所であった。

キーワード: 宅地盛土、新潟県中越地震、地形立地解析、GIS

## 1. はじめに

我が国の高度経済成長は全国的に急激な都市化現象を生み、これは旧市街地周辺の需要を促し、都市周辺の丘陵地における大規模な地形改変を伴う宅地造成地を促進させる結果となった。このような宅地造成地において盛土構造物は、高度経済成長期における丘陵地への宅地開発圧力や、日本の地形上の要因により、起伏に富んだ地形に構築されることが多い。そのため、これらの構造物は沈下しない切土部・コンクリート部などと沈下を生ずる盛土部とが混在した構造となり、切盛りの境界部や谷部の高盛土上での構造物に不同沈下が生じ、問題となる<sup>1)</sup>。特に、宅地造成地内の大規模盛土上には多数の世帯が居住しており、地震時の崩壊による経済的、人的被害が大きく、地域の復旧、復興に甚大な費用を要する。このような、地震時に公共施設に甚大な影響を及ぼす危険な盛土は全国に約1000箇所存在しており、早急な対策が必要である<sup>2)</sup>。宅地造成等規制法は2006年4月に改正され、10月に施行される。新法ではハザードマップに基づき勧告、改善命令を出す。ハザードマップ作成は1次スクリーニングにおいてニューラルネットワーク予測手法を用いた危険盛土の抽出、2次スクリーニングにおいて安定解析を行い、最終的なハザードマップを作成するが、ニューラルネットワークは過去の変動事例を基にした統計的な予測手法であ

るので、兵庫県南部地震の事例のパラメータが大きく影響すると考えられ、また、安定解析においても評価手法が確立されていない。このように、盛土材料は、一般に現地の地盤から採取したものをを用いるため多様であり、締固め度・含水比なども不明な場合が多いため、地震時には極めて複雑で多様な挙動を示し、地震時の盛土崩壊メカニズムは未だ十分に把握されていないのが現状である<sup>3)</sup>。

地震時における傾斜基盤上の盛土の変動事例は、十勝沖地震(1968年)、宮城県沖地震(1978年)、釧路沖地震(1993年)、兵庫県南部地震(1995年)、三陸南地震(2003年)、十勝沖地震(2003年)、新潟県中越地震(2004年)で確認され、これらのうち、被害が著しかったのは兵庫県南部地震と宮城県沖地震によるものであり、宮城県沖地震時に発生した仙台市近郊の宅地盛土の変状から、特に注目され始めた<sup>4)</sup>。近い将来、東海、東南海、南海地震の発生が懸念されており、これらの地震により、盛土において被害が生じることが予想される。これらの被害を防ぐためにも地震時の盛土崩壊メカニズムを検証する意義は大きいと考えられる。

そこで本研究では新潟県中越地震により被災した宅地造成地を対象とした地形立地解析により盛土崩壊のメカニズムを解明することを目的としている。

## 2. 解析対象地と対象地形量

### (1) 解析対象地

地震時の宅地盛土被害は十勝沖地震(1968年)宮城県沖地震、釧路沖地震、兵庫県南部地震、三陸南地震、十勝沖地震(2003年)、新潟県中越地震で見られている。最近発生した新潟県中越地震では、長岡市高町団地、乙吉町鶴ヶ丘団地、長岡ニュータウン、また国道17号線川口町天納道路、悠久山周辺にみられる。このうち、本報では宅地盛土被害の規模が大きく、発生箇所数も多く甚大な被害が報告されている長岡市高町団地を対象地とする。

新潟県中越地震は2004年10月23日17時56分、北緯37度17.4分、東経138度52.2分の小千谷市を震源として発生した直下型の地震である。地震の規模はM16.8、震源の深さは約40kmで直下型と報告されている<sup>5)</sup>。北魚沼郡川口町では兵庫県南部地震以来9年ぶりとなる最大震度7を観測した。

高町団地は震源である小千谷市の北東、新潟県長岡市の東山丘陵西縁部の北緯37度25分、東経138度51分に位置し(図-1参照)、北北東-南南西方向に伸びるひょうたん型であり、その延長は約1.1km、幅は約0.23kmである。標高は約70mである。この丘陵地は、東側と北側を柿川によって形成された谷底低地に、西側を長岡盆地の平野部に囲まれ、南側は、丘陵との鞍部によって台地の上位面が不連続になっている。このように周囲の低地から切り離された、高台の特異な形状をしている。長岡地域は、造山運動を受



図-1 高町団地の位置

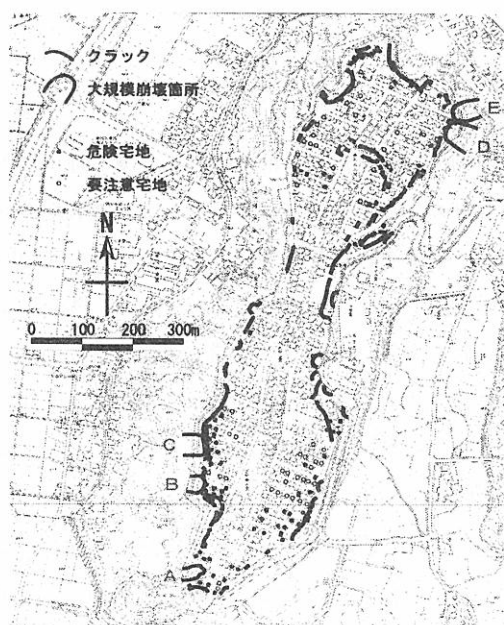


図-2 高町団地の被害の概観<sup>6)</sup>

け、魚沼丘陵から東山丘陵にかけて北北東—南南西方向の背斜軸を持つ。高町団地はこの背斜軸の縁に位置する。地質は西山層の泥岩を基盤として、下位から魚沼層の砂・粘土・砂礫層と安山岩質火砕岩が不規則に覆う<sup>7)</sup>。場所によってはさらにこの上位に、未固結の粘土分が多く飽和すると泥濘化する性質がある御山層の土が盛土材として用いられている<sup>8)</sup>。

新潟県中越地震による高町団地内の被害に関する研究はいくつか見られ<sup>6), 9)</sup>、被害が周辺の盛土部に作られた外周道路とそれに沿った住宅に集中し、団地内部では被害はほとんど見られない。また、大規模崩壊が北東部2箇所と南西部3箇所に見られ、それ以外はクラックが多発していることが報告されている。図-2<sup>6)</sup>に高町団地の被害の概観を示す。

## (2) 解析対象地形量

造成前後である1975年と1989年の航空写真から作成した、2.5m間隔の標高データを基とする数値地形モデル(DEM: Digital Elevation Model)を用いて、以下に示すような局所地形量を算出する。数値地形モデルは標高値の集まりとして地形を表現した格子状に並んだ数値データであり、位置情報(x, y)と標高(z)からなる。図-3に造成前後のブロックダイアグラムを示す。これより約60mの標高面で切盛りされていることがわかる。

なお、擁壁の位置、クラック・崩壊箇所の調査範囲の関係から地形立地解析対象範囲は団地内部から擁壁までとする。擁壁がない箇所では最近接の擁壁の標高までとする。ここで、切土の箇所では当然、旧地形の条件が消失しているため旧地形条件の評価ができないので、解析では切土箇所を除いた範囲を対象とする。

### (a) 傾斜角

本報において、傾斜角とは各格子において盛土を行う以前である1975年の地形面(各格子において平面であると近似する)が水平面となす角度とする。傾向面の傾斜角の算出には4点法<sup>10)</sup>を用いる。4点法における単位格子を図-4<sup>11)</sup>に示す。傾向面は図-4<sup>11)</sup>のように与えられた単位格子を対象として、標高に対して誤差の平方根が最小となるような曲面、もしくは平面として算出される。傾向面の傾斜は、この一次傾向面と水平面との交わる角で内積の関係より求めることができる。この方法で得られる傾斜は、基本格子の最大傾斜

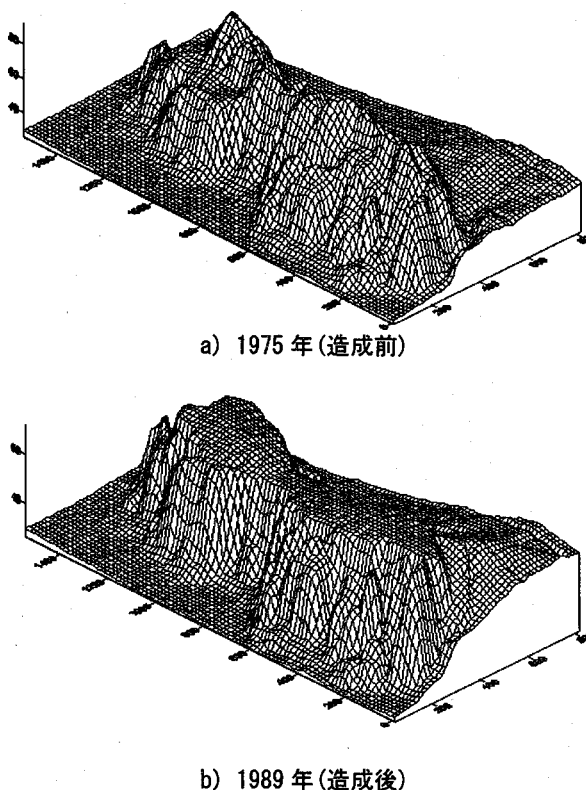


図-3 造成前後のブロックダイアグラム

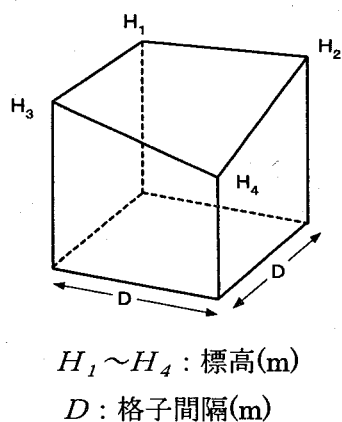


図-4 4点法における単位格子<sup>11)</sup>

を表現している。傾向面の傾斜を以下の式(1)で定義する。

$$\theta = \tan^{-1} \left\{ \left[ \frac{A}{2D} \right]^2 + \left[ \frac{B}{2D} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (1)$$

ここに、 $\theta$  : 傾向面の傾斜 (°)

$$A = H_1 - H_2 + H_3 - H_4$$

$$B = H_1 + H_2 - H_3 - H_4$$

D = メッシュ間隔 (m)

### (b) 盛土厚

図-5のように各格子の盛土厚は、数値地形モデルの各単位格子において4格子点の標高差が得られるので、この平均と定義する。

$$\bar{H} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 (H_{ai} - H_{bi})$$

$\bar{H} > 0$  のとき盛土

$\bar{H} = 0$  のとき地形改変なし

$\bar{H} < 0$  のとき切土

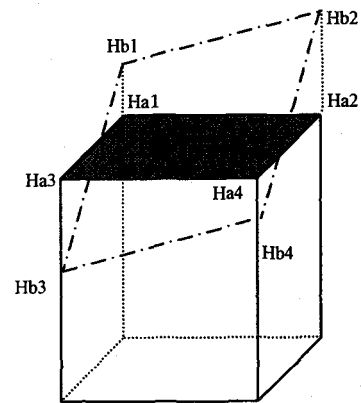
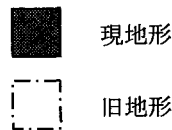
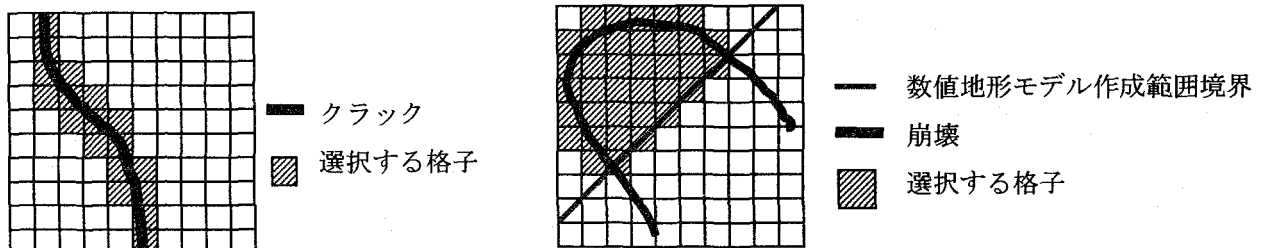


図-5 盛土厚の定義

## 3. 解析結果

### (1) 被害発生格子の選択

被害分布図(図-2)と作成した数値地形モデルを重ね合わせ、クラック、崩壊が発生した箇所を含む格子を図-7のように選択し、それぞれクラック格子、崩壊格子と呼ぶ。



a) クラック格子の選択

b) 崩壊格子の選択

図-7 被害が発生した格子の選択

(2) 地形改変状況

対象範囲において、地形改変は図-8 のように行われた。図から見て取れるように、クラックは切盛り境界付近で発生している。図-8 の崩壊箇所拡大図から崩壊は主に盛土箇所が発生しているとわかる。

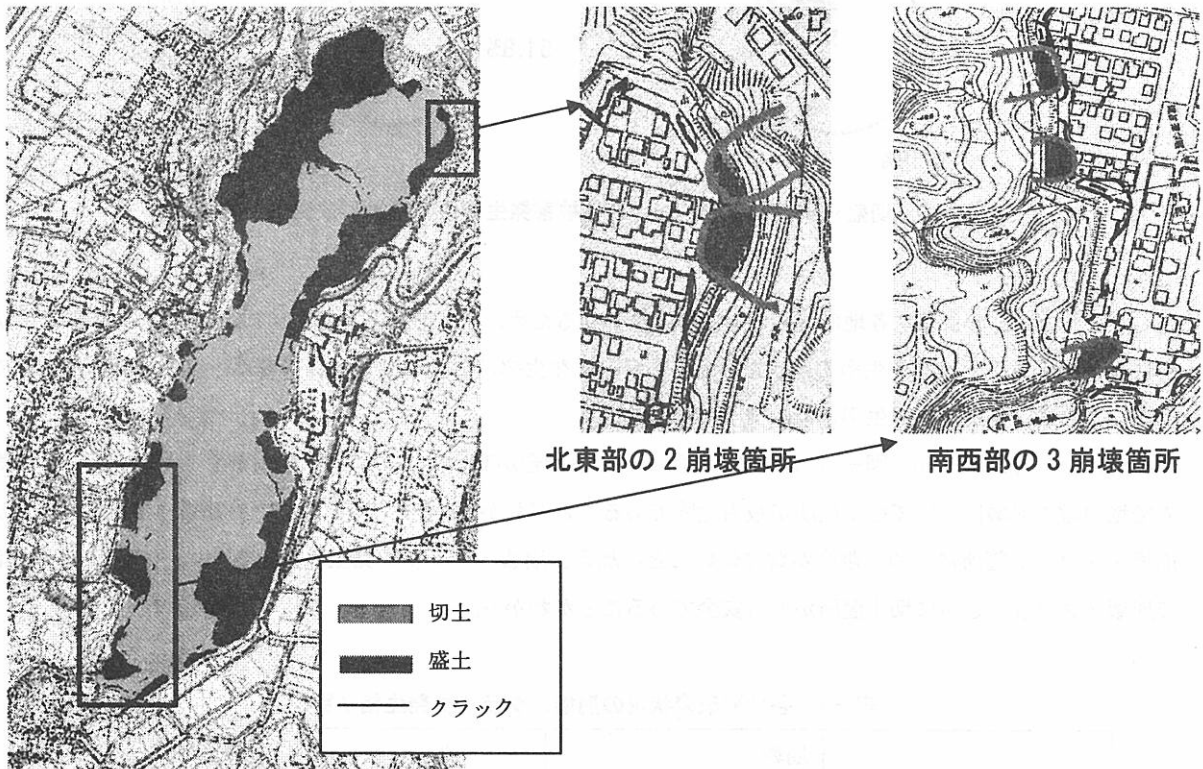


図-8 地形改変状況

ここで、図-9 のように、盛土格子と隣接する切土格子と切土格子と隣接する盛土格子を合わせたものを切盛り境界として地形改変状況に加え、被害発生箇所の地形改変状況を調べる。

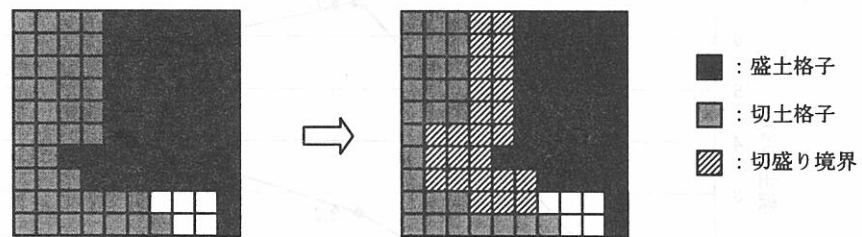


図-9 切盛り境界の定義

図-10 に切盛り境界を考慮したときの被害発生箇所の各地形改変状況の割合を示す。崩壊箇所では盛土格子数が全崩壊格子数に占める割合は 83.8%であり、崩壊箇所は主に盛土であった。一方、クラック発生箇所では盛土格子数が全クラック格子数に占める割合は 51.9%であり、崩壊箇所での割合より減少するものの、切盛り境界と合わせた割合は 69.3%であり、既往の研究の傾向と似ている。ただし、クラック箇所にも占める切土格子数の割合が 40%と高い。これより、クラック箇所も主に盛土の割合が大きい、崩壊箇所よりも切土の割合が大きくなると言える。

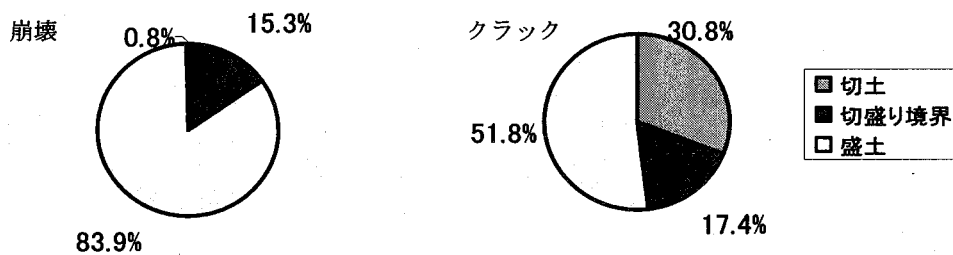


図-10 切盛り境界を考慮したときの被害発生箇所の各地形改変状況の割合

しかし、表-1 のように各地形改変の母集団数が異なるため、次に発生率を算出する。図-11 に地形改変状況別に見た崩壊、クラック発生率の比較を示す。クラック発生率は切盛り境界で最も高く、崩壊発生率は盛土で最も高く、崩壊、クラック発生率ともに切土で最も低い。

盛土については図-10、図-11 より崩壊箇所にも占める割合が高いことに加え、崩壊発生率も最も高く、地震時の宅地地盤で崩壊について盛土箇所が最も危険であることがわかる。また、切土については図-10、図-11 より、崩壊・クラック箇所にも占める割合が共に低いことに加え、崩壊・クラック発生率も最も高く、地震時の宅地地盤で崩壊・クラックともに切土箇所が最も安全であることがわかる。

表-1 各地形改変状況の崩壊、クラック発生格子数

	崩壊 格子数	クラック 格子数	合計 格子数
切土格子	5	413	24,240
切盛り境界格子	92	233	3,495
盛土格子	503	696	12,340

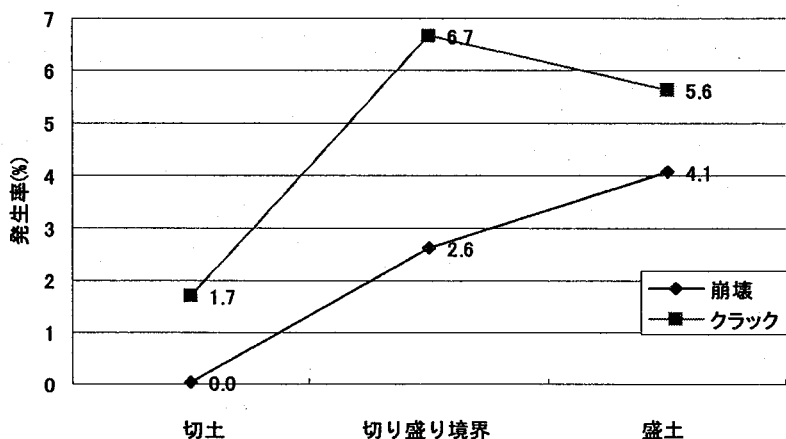


図-11 地形改変状況別に見た崩壊、クラック発生率の比較

### (3) 盛土厚

図-12 に盛土厚分布図を示す。図-12 の崩壊箇所拡大図から崩壊箇所で盛土厚が比較的厚いことが見てとれる。図-13 に盛土厚と崩壊発生率の関係を示す。これより盛土厚が 6m 以下までは崩壊発生率が増加傾向にあり、盛土厚が 4~6m 以下の箇所では崩壊発生率が 6.3% と最も大きい

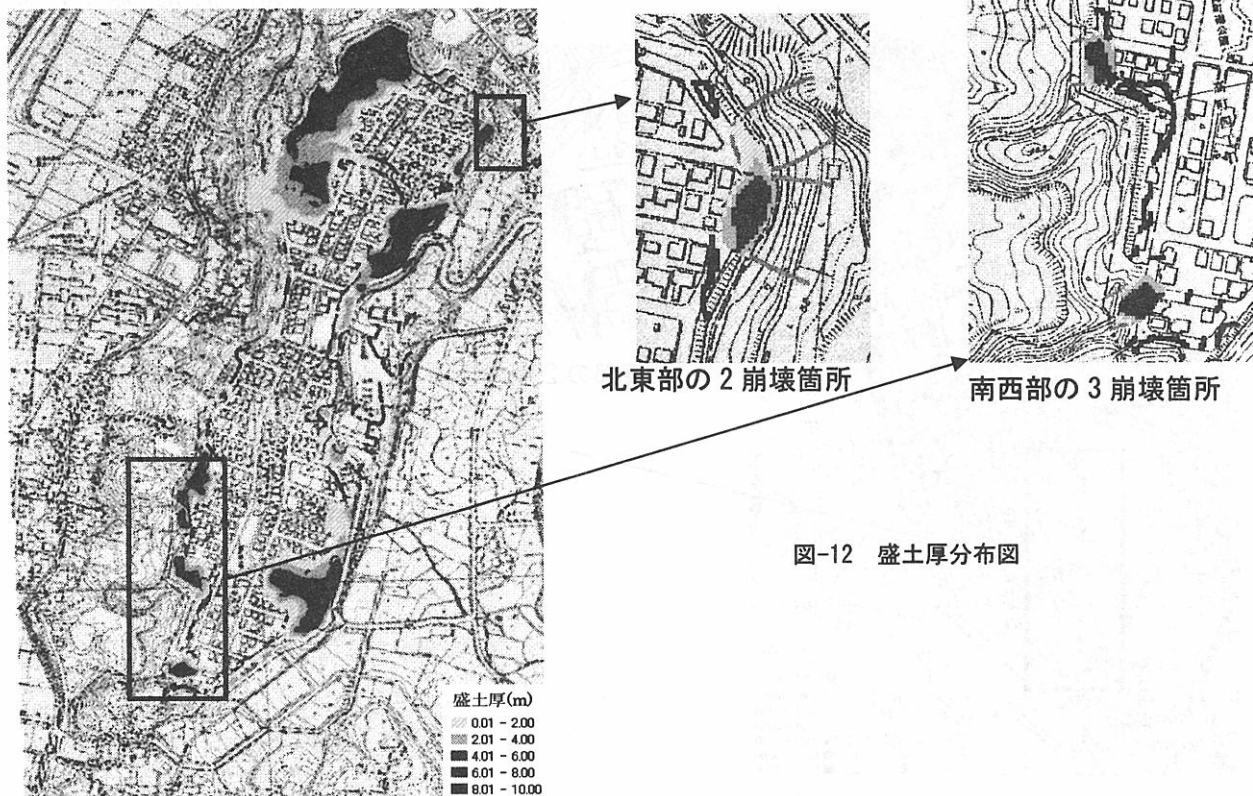


図-12 盛土厚分布図

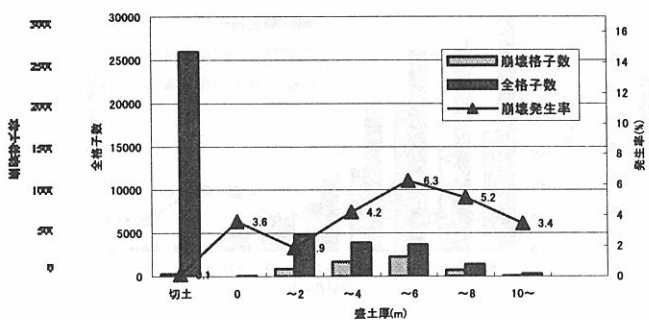


図-13 盛土厚と崩壊発生率の関係

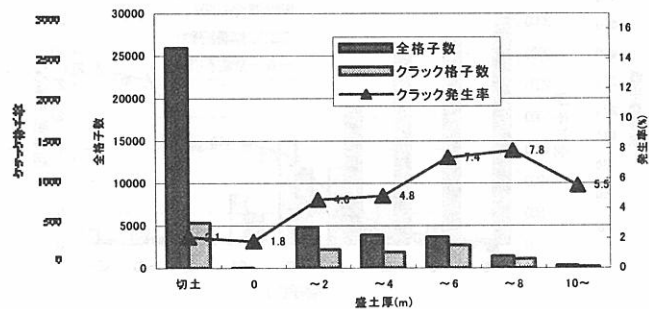


図-14 盛土厚とクラック発生率の関係

(4) 傾斜角

図-15 に傾斜角分布図を示す。この図より、崩壊箇所では傾斜角が大きい傾向が見てとれる。そこで傾斜角別の崩壊発生率を算出する。図-16 に傾斜角と崩壊発生率の関係を示す。崩壊発生率はこのグラフにおいて単調増加する。これより、崩壊は旧地盤傾斜角が大きい箇所が発生しやすいと言える。

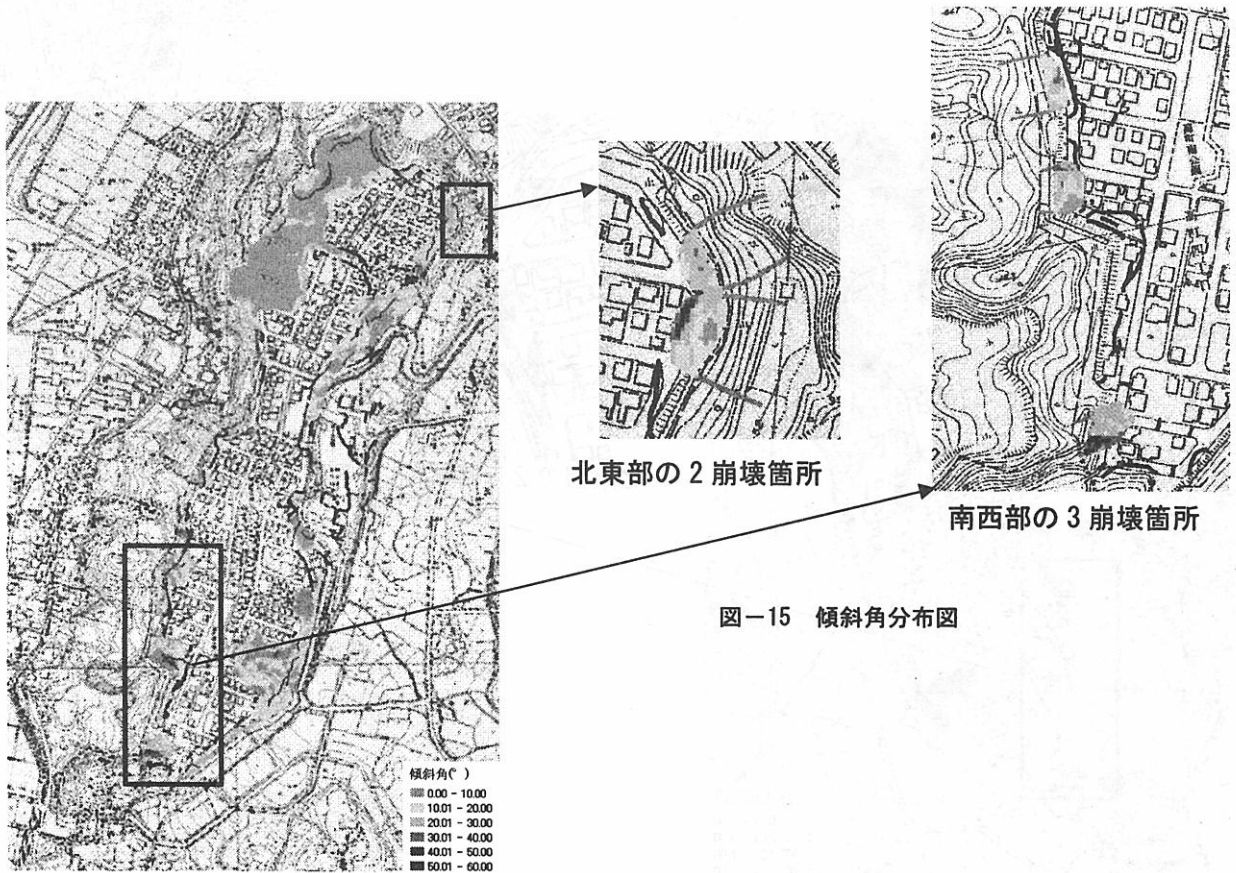


図-15 傾斜角分布図

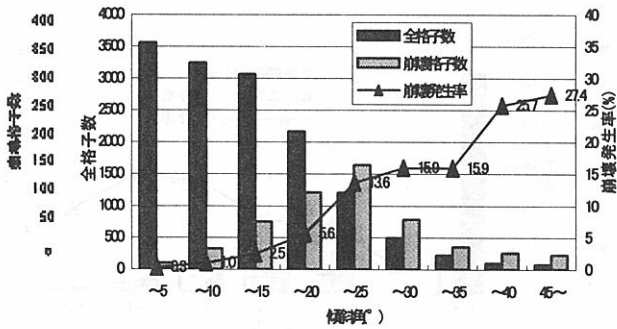


図-16 傾斜角と崩壊発生率の関係

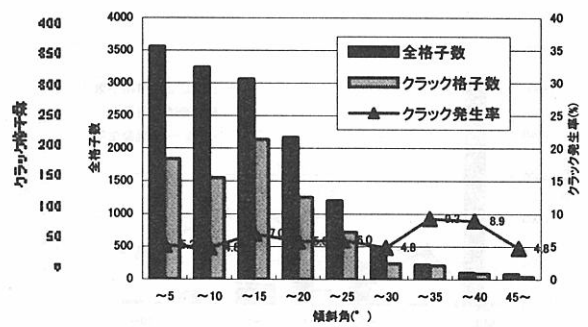


図-17 傾斜角とクラック発生率の関係

#### 4. 盛土単位でみた解析結果

##### (1) 盛土単位の抽出

前章まで、格子ごとに地形的条件を求めてきたが、盛土崩壊は土塊が一体化した挙動を示すため、格子ごとではその特徴を考慮できないと考えられる。よって、本章では土塊としての盛土(盛土単位と呼ぶ)を抽出し、崩壊した盛土単位の地形立地条件を調べる。

まず、GISの水文解析ツールを用いて谷筋を抽出する。これは各格子の最急勾配方向を基に、各格子に流入する格子数(累積流量)が一定以上である格子を抽出するツールである。図-19のようにこれらの谷筋を挟む尾根を1975年の等高線から読み取り、尾根間の盛土を盛土単位として抽出する。このようにして図-20のように55個の盛土単位に分割する。

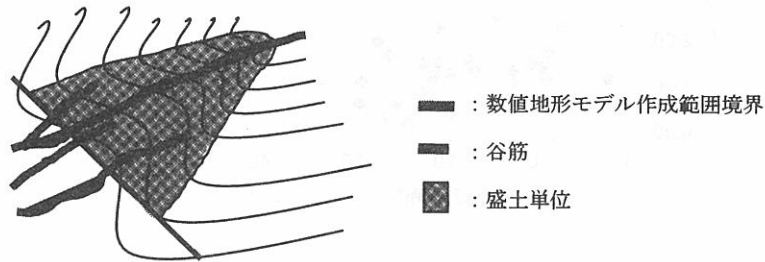
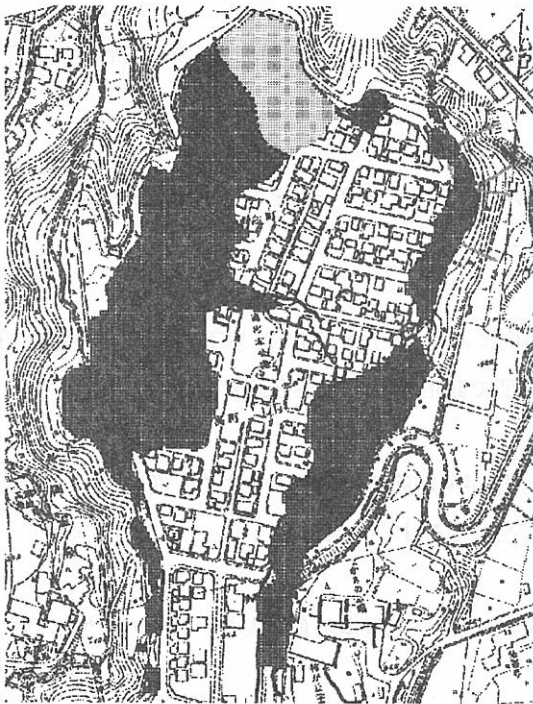
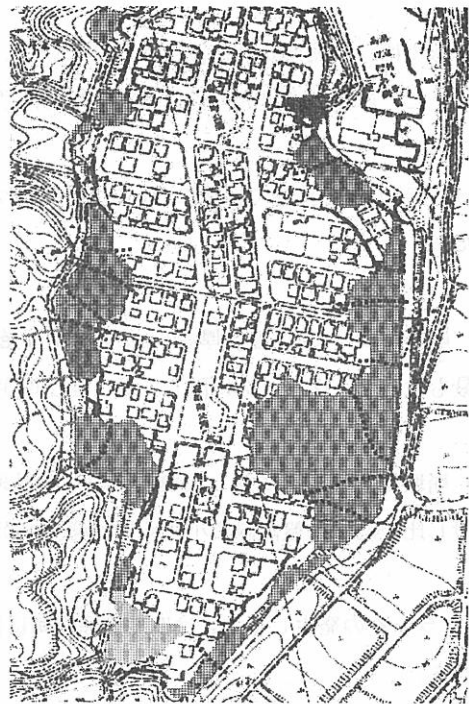


図-19 盛土の抽出



a) 高町団地北側



b) 高町団地南側

図-20 抽出した盛土単位

## (2) 盛土単位での地形立地条件

図-21 に各盛土単位の平均傾斜角と平均盛土厚の関係を示す。ここでは、傾斜角、盛土厚ともに各盛土単位に含まれる格子の平均をとっている。この図より、崩壊盛土単位は1個を除き平均傾斜角が $17.5^{\circ}$ ～ $23.3^{\circ}$ 、平均盛土厚が $3.1\sim 3.4\text{m}$ の範囲に集中しており、非崩壊の盛土単位と比較し、平均傾斜角、平均盛土厚ともに大きい地形的条件であることがわかる。

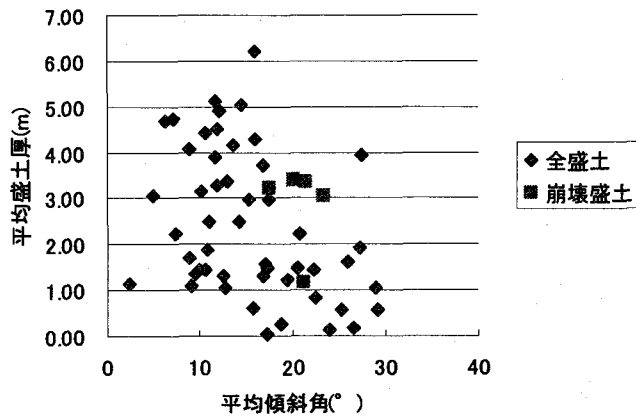


図-21 各盛土単位の平均傾斜角と平均盛土厚の関係

## 5. まとめ

本報では、新潟県長岡市高町団地において、新潟県中越地震により発生した宅地盛土崩壊の地形的特徴を明らかにした。以下、本研究で得られた知見を列挙する。

- (1) 地震時の宅地地盤で崩壊について盛土箇所が最も危険であり、崩壊・クラックともに切土箇所が最も安全であった。
- (2) 崩壊に関しては、盛土厚が6m以下までは発生率が増加傾向にあり、盛土厚が4～6m以下の箇所で発生率が6.3%と最も大きい。クラックに関しては、盛土厚が10～12mの箇所で発生率が15.4%と最も大きい。
- (3) 崩壊はクラックに対し比較的旧地盤傾斜角が大きく盛土厚が薄い箇所で発生しやすく、逆にクラックは崩壊に対し比較的旧地盤傾斜角小さく平均盛土厚が大きい箇所で発生しやすいと言える。
- (4) クラックの発生しやすさは旧地盤傾斜角に依存しないが、崩壊は旧地盤傾斜角が大きい箇所で発生しやすいと言える。
- (5) 谷筋の抽出により盛土を抽出し、崩壊盛土単位の地形立地条件を示すことができた。崩壊盛土単位は平均傾斜角が $17.5^{\circ}$ ～ $23.3^{\circ}$ 、平均盛土厚が $3.1\sim 3.4\text{m}$ の範囲に集中しており、平均傾斜角、平均盛土厚ともに大きい地形立地条件である場合が多いとわかった。

## 参考文献

- 1) 地盤工学会, 盛土の挙動予測と実際, 地盤工学・実務シリーズ2, pp.188-193, 1996.
- 2) 総合的な宅地防災対策に関する検討会報告(案)参考資料1, p.5, 2006.
- 3) 平成16年新潟県中越地震土木学会第二次調査団(社会基盤システム総合調査): 調査結果と緊急提言  
<http://www.jsce.or.jp/report/32/teigen2/2shiryo/20041112.pdf#search>, 2005.11.1, 閲覧.
- 4) 阿部隆, 村山良之: 仙台周辺の地形改変と都市問題, 地理, Vol.27, No.9, pp.44-51, 1982.
- 5) 地盤工学会, 2003年十勝沖地震地盤災害調査委員会: 2003年十勝沖地震地盤災害調査報告, pp.105-110, 2003.
- 6) 沖村孝, 鳥居宣之, 大藪剛士, 田中博文, 中村幸一: 新潟県中越地震による宅地造成地の被害原因に関する考察, 第40回地盤工学研究発表会, CD-ROM, 1071, 2005.
- 7) 釜井俊孝, Aurelian, 村尾英彦: 2004年新潟県中越地震による郊外住宅地の斜面災害, 宅地地盤の安全性と性能評価に関するシンポジウム論文集, 宅地地盤の性能評価に関する研究委員会, 地盤工学会, pp.17-24, 2005.
- 8) 小林巖雄, 立石雅昭, 吉岡敏和, 島津光夫: 長岡地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 1991.
- 9) 中央大学理工学部土木工学科土質研究室: 長岡市斜面崩壊地点物理試験結果(速報版)  
<http://www.civil.chuo-u.ac.jp/lab/doshitu/photo/2004/niigata/soil.pdf>, 2005.9.29, 閲覧.
- 10) 野上道夫: 数値地形分析のための処理システム, 地形, 6-3, pp.245-264, 1990.
- 11) 山口章平: 台湾集集地震とその後の降雨により発生した斜面崩壊地の特徴, 修士論文, 神戸大学大学院自然科学研究科, pp.13-15, 2005.

著者: 1) 沖村 孝、都市安全研究センター、教授; 2) 鳥居宣之、都市安全研究センター、助手; 3) 田中裕美、神戸大学工学部建設学科; 2) 大藪剛士、神戸大学大学院自然科学研究科博士課程前期

Factors of Damaged Housing Earthfill  
due to Earthquake  
at Takamati Residential Complex

Takashi Okimura  
Nobuyuki Torii  
Yumi Tanaka  
Tsuyoshi Oyabu

Abstract

A lot of embankment in housing land was failed by the Nigata-chuetsu earthquake in 2004. A lot of damage cases of embankment are reported in many past earthquakes, and it is important to clarify the failure mechanism for the reduction of such damages. In this report, the factors of the damaged housing earthfill at Takamati residential complex in Nagaoka city were clarified using Topographic Analysis. As a result, inclination in the ground before construction and the thickness of heavily-damaged earthfills was large as compared to those of slightly-damaged earthfills.