

地震被害分析のための 3D-GIS による盛土・切土地盤の区分評価

岩 井 哲*・熊本道代**

(平成16年9月9日受理)

Assessment for classification of ground between fill and cut using 3-D GIS for earthquake damage analysis

Satoshi IWAI and Michiyo KUMAMOTO

(Received Sep. 9, 2004)

Abstract

The damage to wooden houses caused by the 2001 Geiyo earthquake was surveyed at residential districts around the western part of Hiroshima City; Koi-ue in Nishi-Ward, and Ajinadai in Hatukaichi City. Extensive damage of roof-tiles of wooden houses occurred on the fill ground more than the cut ground in an improved land. In this study, the assessment method is developed for classification of ground between fill and cut using 3-Dimensional Geographic Information Systems (3-D GIS) technique. TIN (Triangulated Irregular Network) and Overlay tools are employed against old and new 3-D geographical surfaces of residential districts in order to make classification of ground between fill and cut. Subsequently, the depth of fill or cut is calculated from cross-sectional information for 3-D surfaces. It is found that the depth of fill, where the damage of roof-tiles of wooden houses occurred, ranges between 5 to 15 meters.

Key Words: Geographic Information Systems, the 2001 Geiyo earthquake, wooden house damage, fill ground, cut ground

1. はじめに

住宅地の地震被害で、造成された盛土地盤などのように硬い地盤の一部に軟弱な地盤がある場合、軟弱地盤で地震波が増幅し、大被害になる可能性が指摘されてきた。また、切土・盛土境界付近において被害が多いことも、明らかにされている。2001年3月24日に発生した芸予地震(マグニチュード6.7)においても、丘陵地に人工造成された広島市西区己斐上や廿日市市阿品台の住宅地では、広島市内中心部などの河川堆積三角州の軟弱地盤地帯に比べて木造住宅瓦屋根被害が多く集中する傾向が見られた。藤原¹⁾によると被害は盛土地盤とされる地域に集中している。従って盛土・切土の区分、および盛土深さと木造の地震被害との

関連を調査することは、地震による被害予測や防災上の検討を行う上で重要であり、役立つと思われる。本研究では Windows 版汎用の地理情報システム (Geographic Information Systems: 以降, GIS と表記する) を用いて、上記の広島市西区己斐上地区ならびに廿日市市阿品・阿品台地区を対象として、切土・盛土の区分、ならびに盛土深さ・切土高さの算定を行った。造成前と造成後の地形を三次元 (3D) 立体的に表現した 3D データを用いた。さらにそれを瓦屋根被害分布のデータと重ね合わせることにより、木造住宅被害と盛土深さの関連性を調査した。ここでは瓦屋根被害を住宅一戸単位で分析した。

* 広島工業大学工学部建設工学科

** 広島工業大学大学院工学研究科博士前期課程土木工学専攻

2. 使用地図

(1) 使用した地図の種類

3D データを作成する際に必要な高さ情報を得るために使用した地図の一覧を表1に示す。己斐上地区と阿品台地区の造成前・造成後について地形図を計4組と住宅地図を使用した。

① 己斐上地区

己斐上3丁目は1970年代初め頃に宅地造成が行われた。丁目の番号順から5丁目は3丁目より後に宅地造成が行われたと考えられる。己斐上地区の造成前地形図は国土地理院の昭和32年の縮尺1/25000を使用した。造成後地形図は平成11年の縮尺1/25000を入手したが、造成宅地内の高さが明記されていなかったため、道路上に標高が記されている平成8年の縮尺1/2500の広島市の都市計画図を使用した。

② 阿品・阿品台地区

阿品台地区も己斐上地区とほぼ同じ1970年代に宅地造成が行われた。阿品台地区の造成前地形図は国土地理院の大正14年の縮尺1/25000を使用した。造成後地形図は昭和58年の縮尺1/25000を入手したが、造成宅地内の高さが明記されていなかったため、同様に平成10年の縮尺1/2500の廿日市市の都市計画図を使用した。

(2) 新旧地図の緯度・経度のずれの補正

平成13年に測量法が改正され、平成12年4月より旧日本測地系に代わり世界測地系が採用された。広島市においては、世界測地系の緯度・経度が日本測地系に比べ南東方向に約400mずれている。この新旧地図のずれは、GISに装備されているラバーシーティング手法を用いて旧地図を新地図に合わせて補正した。

表1 使用地図の種類

(a) 広島市西区己斐上地区

発行年	縮尺		入手先
	1/2500	1/25000	
昭和32年(造成前)		◎	国土地理院
平成8年(造成後)	◎		広島市
平成11年(造成後)		○	国土地理院

(b) 廿日市市阿品・阿品台地区

発行年	縮尺		入手先
	1/2500	1/25000	
大正14年(造成前)		◎	国土地理院
昭和58年(造成後)		○	国土地理院
平成10年(造成後)	◎		廿日市市

(c) 住宅地図

発行年	地図名	入手先
平成13年(造成後)	Zmap-TOWN II	ゼンリン

◎：使用したもの、○：入手して未使用のもの

3. 3Dデータの作成

3D データ作成手順は次の①～④である。ここで手順を解説するにあたり、己斐上地区を例とする。

① 造成前の地形図をスキャナーで取り込み、等高線上にポイント入力し、高さ情報を付加した。このポイントを元に、GIS上でTIN(Triangulated Irregular Network：三角形網化による標高データ保持構造)を生成した。ここでは面の凹凸が滑らかになるよう、細分化を2度行った。

② 造成後の地形図は、都市計画図の道路上に記されている標高点を利用して高さをポイント入力した。このポイントを元に、TINを生成し、3D作成で凹凸が滑らかになるよう、細分化を3度行った。

造成前と造成後の地形図での細分化の回数の違いは、造成前の地形図での高さの入力が2104個に対し造成後の地形図は2553個とポイント数が異なることによる。入力ポイント数が少ないとTINで3D地形にしたときの凹凸面が粗くなる。3D面を視覚的に凹凸をわかりやすくするため細分化の回数を、造成前の地形図で2回、造成後の地形図で3回としたものである。

③ 図1・図2のように作成したTINで、造成前・造成後の地形図をそれぞれ3Dで表現した。ここでは高さを2～3倍に強調することで、凹凸が明確になっている。

④ 図3のように造成前・造成後の3D地形図を重ね合わせて、切土と盛土の別を判定する。造成後が上に出ている箇所は盛土、逆に造成前が上に出ている箇所は切土と判断することができる。この時点で、視覚的にわかりやすくなっているが、盛土深さや、切土深さはデータとしてまだ算出されていない。そこで造成前・造成後の地形図のTINの高さ情報を元に、盛土深さを算定し、切土・盛土高さの頻度分布を作成することとした。

4. 標高データの算出

盛土深さの頻度分布を作成するため、TINに基づく3D面の標高データから盛土深さ・切土高さを算定した。標高データの取り出しについては、次の2つの方法による。

① 10m格子間隔に標高を取り出す方法

TIN上に10m間隔に東西方向に分割線を引き、その線にそって断面線を作成した。図4に示す断面線に沿って10m間隔に取り出されている標高データを表計算ソフトに取り出した。即ち10mメッシュの分割格子点の高さ情報を取得したことになる。この作業を、造成前・造成後の地形図でそれぞれ行い、造成前と後の標高の差から、盛土深さあるいは、切土高さを算定した。

② 住戸単位の標高を取り出す方法

図5のようにTIN上に住宅地図の家枠形状を貼り付け



図1 造成前の己斐上地区



図2 造成後の己斐上地区

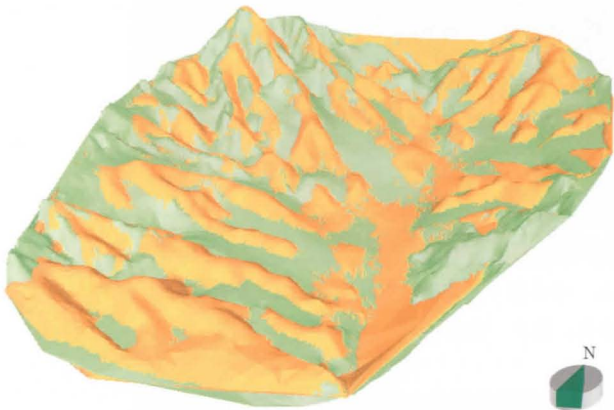


図3 造成前・後を重ねて表示したもの

た。家枠形状を、高さを持った TIN に貼り付けることにより、家枠代表点での標高を取り出すことができる。2D のイメージを 3D 上に貼り付けるドレイプ機能を使って以上の方法で得た造成前・後の標高値から、表計算ソフトを用いて盛土深さ・切土高さを算定した。

5. 己斐上地区・阿品台地区の切・盛区分

図6・図7の(a)は、著者ら²⁾によって調査された木造瓦屋根被害家屋の分布を、藤原¹⁾による己斐上地区の「切

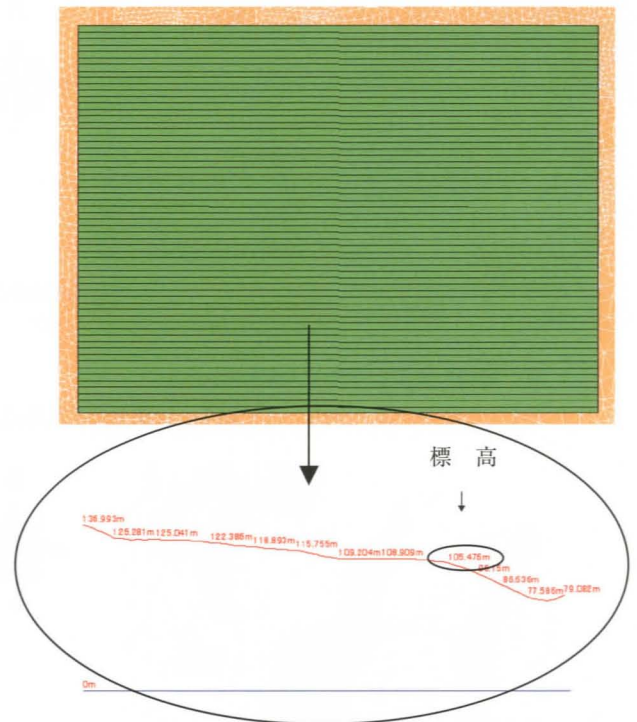


図4 断面図

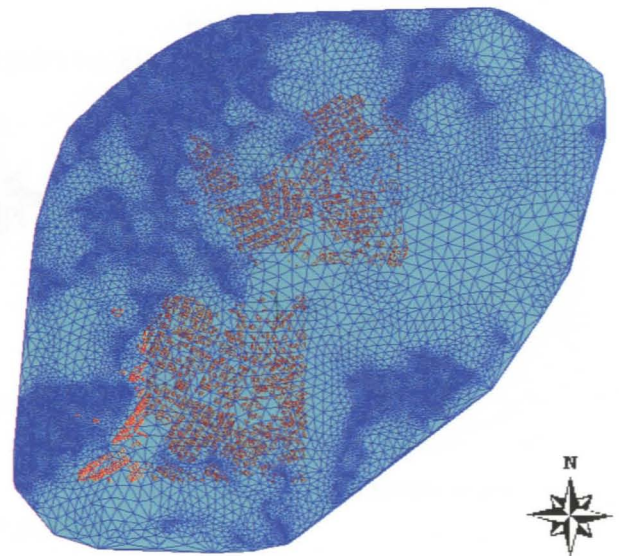


図5 TIN と家枠形状

土・盛土区分」を重ね合わせたものである。(b)は本研究で造成前と造成後を重ねて3D分析した「切土・盛土区分」結果である。図の(a)と(b)をそれぞれ比較して己斐上3丁目・5丁目の盛土・切土の区分についてほぼ対応した結果が得られていることがわかる。

図8・図9の(a)は、切土・盛土区分は国土地理院発行の1/25000地形図に基づいて、浅野²⁾(広島工業大学)が現在と造成前の10m毎の等高線情報から目視で高低差を読み取り、切土・盛土を判別したものである。(b)は本研究で造成前と造成後を重ねて3D分析した「切土・盛土区分」結

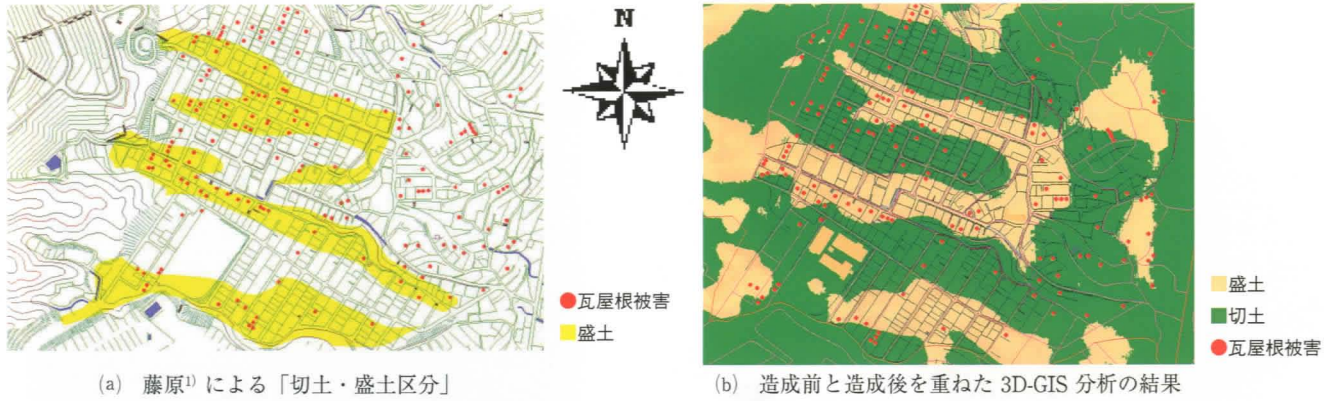


図6 己斐上3丁目周辺の瓦屋根被害と切土・盛土区分

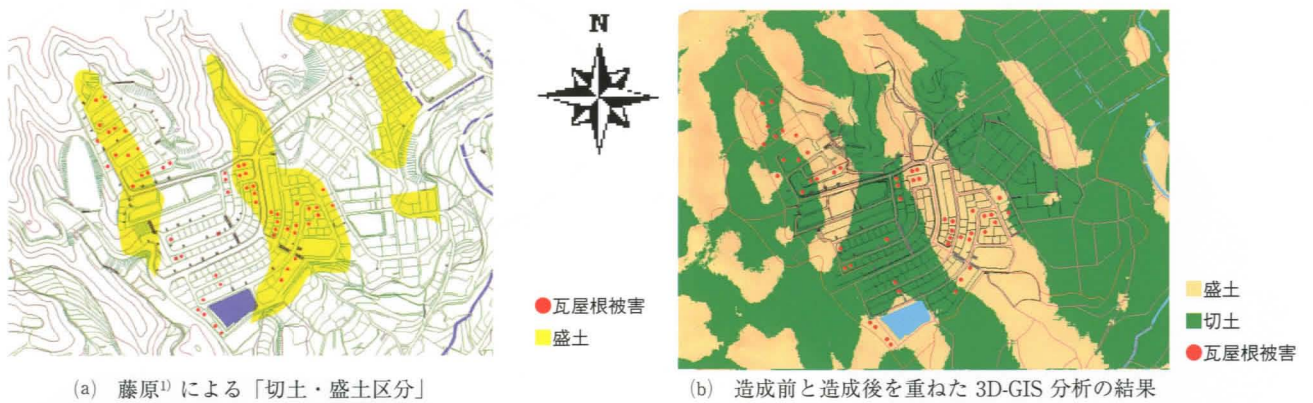


図7 己斐上5丁目周辺の瓦屋根被害と切土・盛土区分

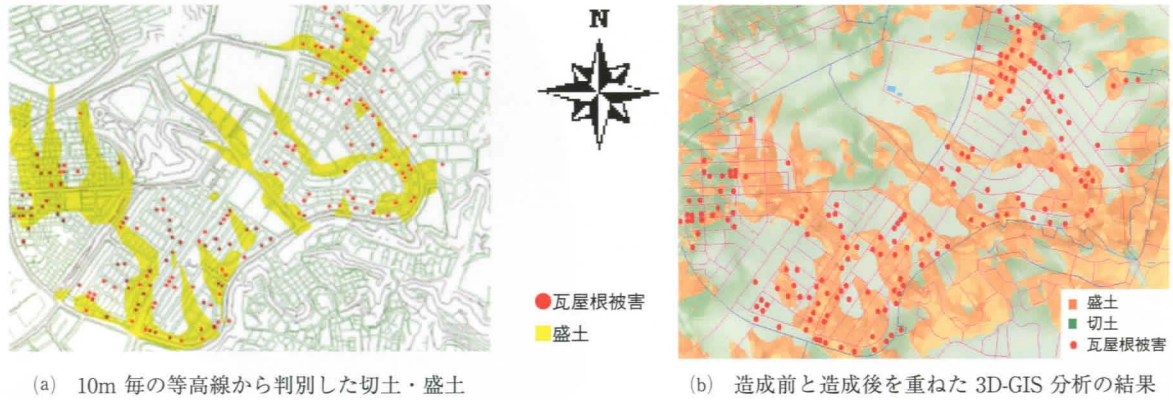


図8 阿品台周辺の瓦屋根被害と盛土・切土

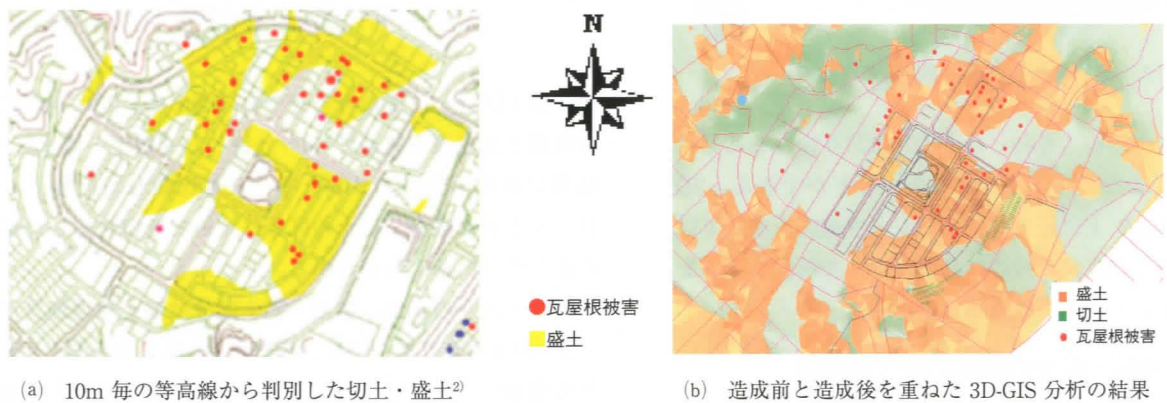


図9 阿品周辺の瓦屋根被害と盛土

果である。両者を比較して、ここでもほぼ対応した結果が得られていることがわかる。

6. 己斐上・阿品台地区の被害と盛土深さ分布

己斐上 3 丁目の全住宅の盛土深さ分布は、図10に見るように $-5\text{m} \sim 0\text{m}$ をピークとした正規分布形になっており、図11は己斐上 5 丁目では $-10\text{m} \sim -5\text{m}$ をピークとした正規分布形になっている。ここで現在から造成前の高低差を取ったことにより、正值は盛土厚を、負値は切土厚を表している。図10の己斐上 3 丁目では、瓦屋根被害があった住宅の盛土深さ分布は、 $-10\text{m} \sim +15\text{m}$ の範囲にあり、やや盛土側に分布が寄っているように見えるが、 0m 付近を中心とする切土・盛土境界の浅い層に多い。図11の己斐上 5 丁目では全住宅の宅地の切・盛分布に対し、瓦屋根被害を

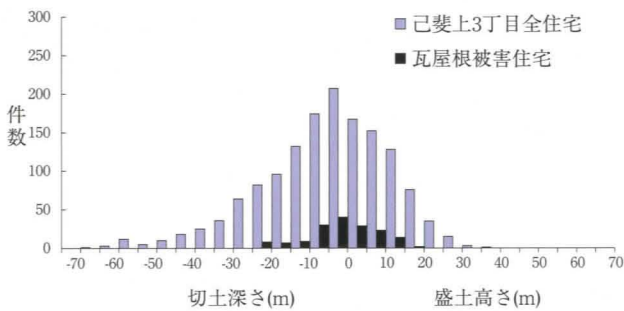


図10 己斐上 3 丁目における全住宅と瓦屋根被害住宅の切土深さ・盛土高さ分布

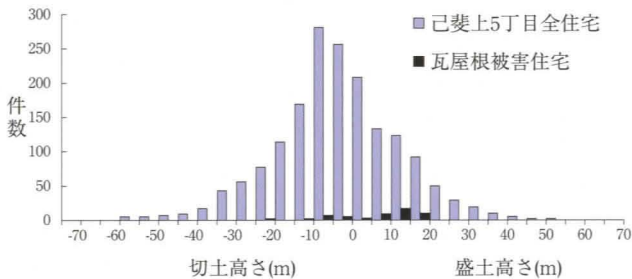


図11 己斐上 5 丁目における全住宅と瓦屋根被害住宅の切土深さ・盛土高さ分布

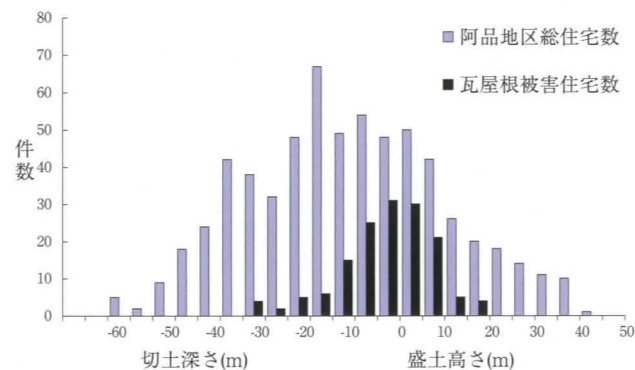


図12 阿品・阿品台における全住宅と瓦屋根被害住宅の切土深さ・盛土高さ分布

生じた住宅の切土・盛土の割合は、切土より盛土の被害が多いとわかる。被害は、 $+10\text{m} \sim +15\text{m}$ の層がやや多く、切土・盛土境界の浅い盛土層でも比較的現れていることがわかる。一方、己斐上 3 丁目では己斐上 5 丁目と比べ瓦屋根被害の件数も多く、最大盛土深さは $+5\text{m} \sim +25\text{m}$ の範囲にあり、特に $+10 \sim +15\text{m}$ が最も多いことがわかる。造成団地の宅地がひな壇状になっており、各住宅の敷地は多少とも盛土工事を施していることが原因とも考えられる。

図12の阿品・阿品台の全住宅の盛土深さ分布では、切土は $-15\text{m} \sim -20\text{m}$ がピークになっているが己斐上地区のようにきれいな正規分布形にはなっていない。しかしいずれも、盛土部よりも切土部の方が量的に多くなっており、掘った土を埋め立てることを考えると納得できる量的関係である。阿品・阿品台地区における瓦屋根被害を生じた住宅の盛土深さの分布では、 $-10 \sim +10\text{m}$ の間の切土・盛土境界部での被害が多く、深さ $+15\text{m}$ を超える盛土部での瓦屋根被害は少ない。

7. 結 論

① 広島市西区己斐上と廿日市市阿品・阿品台の盛土・切土区分を 3D-GIS により判定し、既住の切土・盛土区分の結果と整合性のあることを確認した。

② 2001年芸予地震における広島市西区己斐上、廿日市市阿品台の盛土・切土と木造瓦屋根被害との関係より、盛土部あるいは切土・盛土境界部での被害が多いことがわかった。盛土深さは、 $+5 \sim +15\text{m}$ 位までに瓦屋根被害が集中しており、 $+20\text{m}$ を超える盛土部にはあまり被害がみられなかった。

参 考 文 献

- 1) 藤原健蔵：広島市消防局 広島市地震情報ネットワークシステム検討委員会，平成13年度資料（2001）。
- 2) 岩井 哲，浅野照雄：平成13年芸予地震による丘陵造成地の木造住宅瓦屋根被害と地盤の常時微動特性，自然災害科学，日本自然災害学会，Vol.22, No.4, pp.429-440（2004）。

謝 辞

本研究の実施には平成16年度科学研究費〔基盤研究（C）（2）課題番号16560518，研究課題名：人工造成宅地における木造家屋と瓦屋根の地震被害に関する研究（研究代表者名：岩井 哲）〕の補助金を一部利用させていただきました。また使用した住宅地図 Zmap-TOWN II は（株）ゼンリンからご提供頂きました。ここに記し深甚の謝意を表します。