

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21710177

研究課題名(和文) 人工改変地形と地震動強さ・地震被害の関連性の解明

研究課題名(英文) Evaluation of seismic intensity and earthquake damage in the land developed for housing lots

研究代表者

丸山 喜久(Maruyama Yoshihisa)

千葉大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70397024

研究成果の概要(和文)：

本研究は、人工的に盛土・切土された改変地(人工改変地形)が地震動強さやそれに伴う構造物被害に与える影響を定量的に評価することを目的としている。2007年に発生した新潟県中越沖地震で被害を受けた新潟県柏崎市を対象に、空撮画像を用いた写真測量を行い地震前後の数値表層モデルを作成するなどの検討を行った。さらに、1995年兵庫県南部地震の際に多大な被害を受けた兵庫県西宮市の上水道管被害に関しても同様の検討を行い、人工改変地形と地震被害の関係性を検討した。

研究成果の概要(英文)：

In this study, the spatial distribution of earthquake damage to various structures was evaluated in the land developed for housing lots. Aerial photogrammetry was performed to construct the digital surface model in Kashiwazaki city, where severe structural damage was observed after the 2007 Niigata Chuetsu-oki earthquake. The relationship between the heights of embankment and the damage ratios of water distribution pipe in Nishinomiya city after the 1995 Kobe earthquake was also investigated. Based on these analyses, the effects of cut and fill lands on earthquake damage were evaluated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：地震防災工学

科研費の分科・細目：自然災害科学・地震災害

キーワード：人工改変地形, 埋設管被害率, DSM/DEM, 旧地形, 新潟県中越沖地震, 兵庫県南部地震

1. 研究開始当初の背景

近年発生した大規模地震では、人工的に盛土・切土された改変地(人工改変地形)において地盤沈下、陥没などの地盤災害が発生し、建物、道路、地下埋設管などのライフライン施設に大きな被害を及ぼしていることが報告されている。これを受けて国土交通省では、宅地耐震化推進事業の一環として大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインを策

定したり、地方公共団体が大規模盛土について調査を行いハザードマップとして情報公開する場合に費用の一部を補助するなど、人工改変地形の脆弱性を評価しようとする取り組みが進められている。一般に、長い地球の営みにより形成された自然地形と比べて、人工改変地形の盛土部は緩く低密度であるので、相対的な地盤条件の違いが地震時の地盤災害をもたらすものと考えられている。こ

のことは兵庫県南部地震、新潟県中越地震など過去の被害地震の際に、被災地域の旧地形図と現地形図から人工改変状況を読み取るなどして主として定性的に示されている。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、人工改変地形における揺れやすさ（地盤増幅度）の評価と人工改変状況と地震被害の関連性の評価を目的とする。対象地域は、揺れ方に関する検討は高密度に地震計が配備されている千葉市、人工改変地形の地震時脆弱性については2007年7月に新潟県中越沖地震で被害を受けた新潟県柏崎市と1995年兵庫県南部地震で多大な被害を受けた兵庫県西宮市とする。

3. 研究の方法

(1) 新潟県柏崎市における空中写真測量

近年、デジタル図化機など画像処理関連技術の進歩の両面から、従来よりも旧地形の3次元データベース化の敷居は低くなりつつあるため、空撮画像を用いたDSM/DEMの作成は、非常に有用なものと考えられる。本研究では、空撮画像を用いた空中写真測量の有用性を検証する目的で、2007年7月に発生した新潟県中越沖地震で被害を受けた柏崎市を対象に、空撮画像を用いた空中写真測量を行い、地震前後の数値表層モデル(DSM)を作成した。さらに、地震前後のDSMの差を算出し、その地震前後の地物の高さの差と倒壊建物の目視判読結果を比較し、作成したDSMの精度の検証を行った。

(2) 人工改変地における常時微動観測

国土地理院では、2時期の空撮画像を用いた空中写真測量によって、数値標高モデル(DEM)を作成している。本研究では、2時期のDEMの差から推定される人工改変状況(盛土および切土)が地震時の揺れ方に与える影響を常時微動観測によって評価した。対象地域は、新潟県中越沖地震によって被害を受けた新潟県柏崎市、2005年に発生した千葉県北西部地震で強震動を観測した千葉県千葉市の一部地域とした。

(3) 人工改変地における地震被害の分析

新潟県中越沖地震では、新潟県柏崎市を中心に様々な構造物に地震による被害が生じた。そこで、各種地震被害を統合したGISを作成し、上下水道管、ガス管などの地中埋設管の被害、建物被害に関する罹災判定結果などについて地震動強さ、地形・地盤条件、人工的な改変地形(切土、盛土)という観点から被害の発生要因を評価した。

さらに、新潟県中越沖地震のみでは、人工改変地形と埋設管の被害について定量的な評価を行うことが難しかったため、1995年に発生した兵庫県南部地震の際の兵庫県西宮市の被害状況についても検討対象として追加した。西宮市に関しては、昭和36年に撮影された空中写真を用いて作成した数値標

高モデル(DEM)と明治44年に作成された地形図から等高線を読み取り作成したDEMの2つを旧地形として用い、紙媒体の地形図を用いて人工改変状況を把握することも試みた。

4. 研究成果

(1) 新潟県柏崎市における空中写真測量

地震前後の空撮画像を用いて新潟県柏崎市の一部地域を対象として、実際にDSMを空中写真測量によって構築した。その結果、とくに地震後のDSMを作成する際に、地震直後に電子基準点が一時的に運用を停止していることから、正確なDSMを作成するにはGround Control Point(GCP)を予め取得しておく必要があるなど、研究実施前には想定していなかった課題があることが分かった。しかしながら、GCPを適切に設定することで電子基準点を写真測量に利用できない問題は解決し、精度のよいDSMが作成されることが確認され、本研究の遂行には問題がないことが分かった。

作成したDSMの精度は、地震前後のDSMの差分を用いて倒壊建物の抽出が行えるかどうかで評価した。その結果、高さの差分の閾値を2.5mとすると、ほぼ全ての倒壊建物を捉えることができた(図1)。一般の建物の階高が約3m程度であることをふまえると、本研究で構築したDSMは比較的精度よくできているものと考えられる。



(a) 地震前後のDSMの差分(2.5m以上の高さの差があるピクセルが赤色)



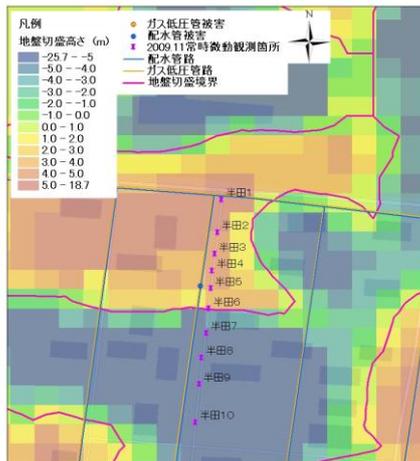
(b) 目視判読結果

図1 空中写真測量に基づく倒壊建物抽出結果と目視判読結果の比較

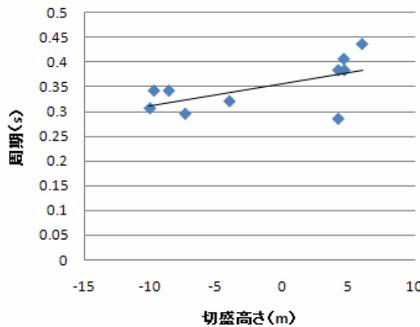
(2) 人工改変地における常時微動観測

新潟県柏崎市の人工改変状況を2時期の空撮画像を用いた空中写真測量結果から推定

し、高密度に常時微動観測を行う地域を選定した。なお、地域選定の際には、本研究でまとめた新潟県中越沖地震の際の各種地震被害を統合した GIS も参照し、地中埋設管に被害が生じていた地域を常時微動観測点に選んだ。図 2 に新潟県柏崎市南半田における常時微動観測点と盛土高さ、切土高さの分布を示す。なお、周辺では地震により配水管の被害があったことが分かっている。常時微動の H/V スペクトル比から地盤の卓越周期を推定し、切り盛り高さごとにその結果をまとめる。切盛高さと地盤の卓越周期には、決定係数はやや小さいものの、全体としては盛土高が大きくなるにつれて卓越周期が長くなる傾向があることが確認される。6m の盛土高を示している地点（半田 1）の卓越周期は約 0.44 秒、10m 程度の切土地点（半田 8）の卓越周期は約 0.3 秒と推定される。両地点はおよそ 80m 程度しか離れていないが、切土地形と盛土地形から構成されている地域であるため、せまい範囲でも地盤の卓越周期に違いがみられるものと考えられる。



(a) 柏崎市南半田における常時微動観測点と切り盛り高さ



(b) 切り盛り高さと地盤の卓越周期

図 2 柏崎市の人工改変地における常時微動観測

2005 年に発生した千葉県北西部地震で高密度に強震動を観測した千葉県千葉市において、柏崎市と同様に人工改変地で常時微動観測を実施した。本研究では、千葉市花見川区さつきが丘を対象地域とした。なお、さつきが丘では、東京ガスが設置している地震計によって約 14cm/s の SI 値が千葉県北西部地震時に観測されている。常時微動の H/V スペクトル比を図 3 に示す。常時微動観測点は互いに 100m 程度しか離れていないが、3.4m 程度の盛土高を示している地点では卓越周期が約 0.52 秒と他の地点よりも長い値を示している。また、4.6m 程度切土された地点については、平坦なスペクトル比が得られており固い地盤であることが推察される。

このように、地盤震動特性には地形・地盤条件に加えて、盛土、切土などの人工改変状況も一つの影響因子であることが考えられる。柏崎市での分析結果では、震動特性が異なると考えられる人工改変地で地中埋設管の被害が多いように思われたこともふまえると、人工改変地を適切に抽出することは被害予測精度を向上させることにもつながると考えられる。

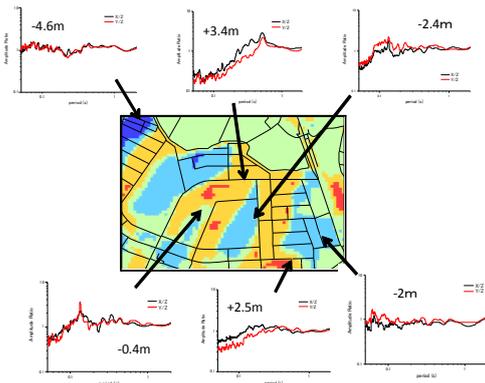


図 3 千葉市花見川区さつきが丘における常時微動の H/V スペクトル比

(3) 人工改変地における地震被害の分析

新潟県中越地震による柏崎市における地震被害を切土、盛土などの人工改変状況の観点から評価する。図 4 に、地中埋設管の被害箇所と切土と盛土の境界線の位置関係を示す。これによると、定性的には、切土と盛土の境界線に近い位置で埋設管の被害が発生しているように見える。また、さらに図 4 を詳細に見ると、切土地形、盛土地形を貫く配水管、ガス低圧管に被害が生じている。本研究では、切土と盛土の境界線からの距離と被害率の関係、切り盛り高さと被害率の関係などを評価したが、強い相関性は見られなかった。

そこで、1995 年に発生した兵庫県南部地震の際に多大な被害が生じた兵庫県西宮市についても同様の検討を行うこととした。埋設

管の被害としては、上水道管の被害を分析対象とした。その結果、西宮市の水道管被害は、液状化が主要因となっている地域を除くと、切土や盛土などの造成が行われている地域に被害が生じていることが明らかとなった。人工改変地における水道管被害を 250m メッシュ単位の被害率として整理し、メッシュごとの人工改変状況と被害率の関係を評価した。メッシュごとの人工改変の程度を表す指標値として、盛土表面積、盛土境界長、切盛地形の割合などを採用し、水道管被害率との相関性を分析した。いずれの指標値も水道管被害率と正の相関を示した。また、メッシュ内の盛土境界長を標準偏差でランク分けし、同様にランク分けした被害率と比較すると、水道管路被害が小さかった地域は切土、盛土があまり造成されていない地域であることは説明できた (図 5)。

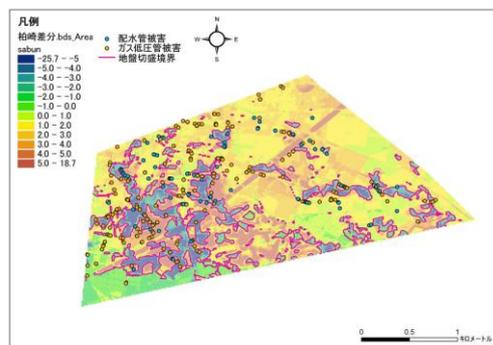


図 4 柏崎市の一部地域における地盤切盛境界と配水管、ガス低圧管被害

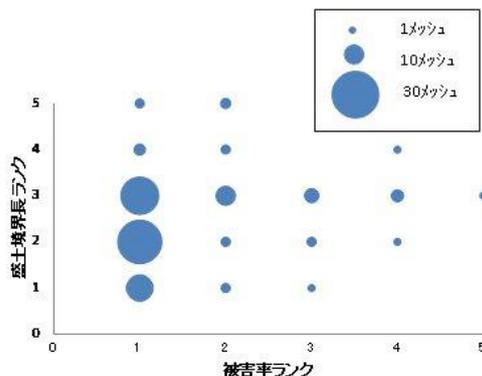


図 5 西宮市における上水道管被害率と盛土境界長のランク分布の相関

以上の検討を踏まえると、切土、盛土などの人工改変地形は水道管の被害に影響を及ぼしていることは明らかとなった。しかしながら、切土高さや盛土高さなどをパラメータとした説明力の高い被害予測式の構築は困難であった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1. Y. Maruyama, K. Kimishima, F. Yamazaki: Damage assessment of buried pipes due to the 2007 Niigata Chuetsu-oki earthquake in Japan, *Journal of Earthquake and Tsunami*, Vol. 5, No. 1, pp. 57-70, 2011, 査読有。
2. 田代啓, 丸山喜久, 山崎文雄: デジタル空中写真測量に基づく新潟県中越沖地震における建物倒壊の把握, 地域安全学会論文集, No. 13, pp. 379-386, 2010, 査読有。
3. 君島康太, 丸山喜久, 山崎文雄: 新潟県中越沖地震におけるライフライン被害の空間相関性, 土木学会地震工学論文集, Vol. 30, pp. 614-621, 2009, 査読有。

[学会発表] (計 5 件)

1. Y. Maruyama, A. Tashiro, F. Yamazaki: Use of digital surface model constructed from digital aerial images to detect collapsed buildings during earthquake, *Proceedings of the Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, Paper No. EASEC12-32, 7p, 2011, Hong Kong.
2. K. Kimishima, Y. Maruyama, F. Yamazaki: Damage ratio of water pipes during the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki, Japan, earthquake, *Proceedings of the Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, Paper No. EASEC12-43, 8p, 2011, Hong Kong.
3. 君島康太, 丸山喜久, 山崎文雄: 2007 年新潟県中越沖地震における埋設管被害の空間特性, 土木学会第 64 回年次学術講演概要集, pp. 403-404, 2009, 福岡。

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 出願年月日 :
 国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 取得年月日 :

国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
<http://ares.tu.chiba-u.jp/marulab/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者 丸山 喜久
(Yoshihisa Maruyama)

研究者番号：70397024

(2) 研究分担者 ()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：