

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760374

研究課題名(和文) 谷埋め盛土造成地盤における地盤亀裂発生位置の予測手法の開発

研究課題名(英文) Prediction of the ground crack location in the filled-valley development site

研究代表者

森 友宏 (Mori, Tomohiro)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40552394

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、三次元模型地盤を用いた遠心力載荷振動実験、1G場における三次元模型地盤振動実験および二次元模型地盤振動実験、模型地盤振動実験から得られたすべり面を用いた釣り合い計算、さらに実験結果の傾向の検証のため2011年東北地方太平洋沖地震における大規模造成宅地被害の被害位置分析も併せて行い、谷埋め盛土造成地盤における地盤亀裂の発生位置を予測するための一手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the centrifuge shaking test with 3-dimensional model ground, the 3-D and 2-D shaking model test on 1-G condition, and the balance calculation by the modified Fellenius method were performed for predicting the ground crack location in the filled-valley development site. As a result, the method for predicting the ground crack location in the filled-valley development site was suggested. This prediction method was verified by the damage analysis of the actual damaged-development site, and the result of this prediction method and the actual damage showed a similar tendency.

研究分野：地盤工学

キーワード：谷埋め盛土 造成宅地 地震動 地震被害分析 不飽和土

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震によって、宮城県仙台市周辺の丘陵地に位置する大規模谷埋め盛土造成宅地に甚大な被害が生じた。2011年4月に仙台市内の谷埋め盛土造成宅地(6540戸, 2.4 km<sup>2</sup>)における地震被害調査を行った結果、切盛境界(切土と盛土の境界域)のやや盛土側の部分(盛土厚5-8m)に、地盤の開口亀裂を原因とする家屋の全半壊被害が集中(全半壊家屋全体の実に46%)していることがわかった。調査前は、地震動が増幅する谷埋め盛土中央部や、盛土部と切土部の地盤の硬軟の差がはっきりした切盛境界直近で全半壊被害が大きくなるものと予想されたが、実際の調査結果はその予想とは異なるものであった。このような現象は、1978年宮城県沖地震の調査結果において調査者の雑感として指摘されていたが、その後の詳細な調査研究は行われていないままであった。

2. 研究の目的

本研究者は、この切盛境界のやや盛土側の部分に発生する地盤亀裂による全半壊家屋数が全体の46%に及ぶ事に鑑み、この地盤亀裂がどのようなメカニズムで、なぜこの位置に集中的に生じるのかを明らかにし、他地域における既存造成宅地の被災率の低下に寄与するために、本研究を実施した。

3. 研究の方法

本研究における主な目的は、飽和度によって変化する土のせん断強度を考慮した地盤亀裂発生位置の簡易予測手法の提案を行う事である。研究期間を通じて、三次元模型地盤を用いた遠心力載荷振動実験、1G場における三次元模型地盤振動実験および二次元模型地盤振動実験、模型地盤振動実験から得られたすべり面を用いた釣り合い計算、さらに実験結果の傾向の検証のため2011年東北地方太平洋沖地震における大規模造成宅地被害の被害位置分析も併せて行った。

4. 研究成果

各種模型地盤振動実験(三次元模型地盤を用いた遠心力載荷振動実験、1G場における三次元模型地盤振動実験および二次元模型地盤振動実験)の観察結果(図1参照)から、谷埋め盛土地盤の地震中の変形は基盤(埋立て前の旧地山)形状に大きく影響を受け、基盤法尻点をヒンジ点とするような変形が生じることが明らかとなった。盛土地盤の変形が進むにつれて、基盤法尻点を頂点とした受動崩壊角付近にせん断帯が卓越し、このせん断帯の延長線上で大きな地盤変形が発生、切盛境界側では沈下が、盛土側では隆起が生じた。また、加振時間が長くなると地盤の軟化によりすべり面の角度が低角度化し、盛土地表面の変形範囲が拡大していくことが観察された。

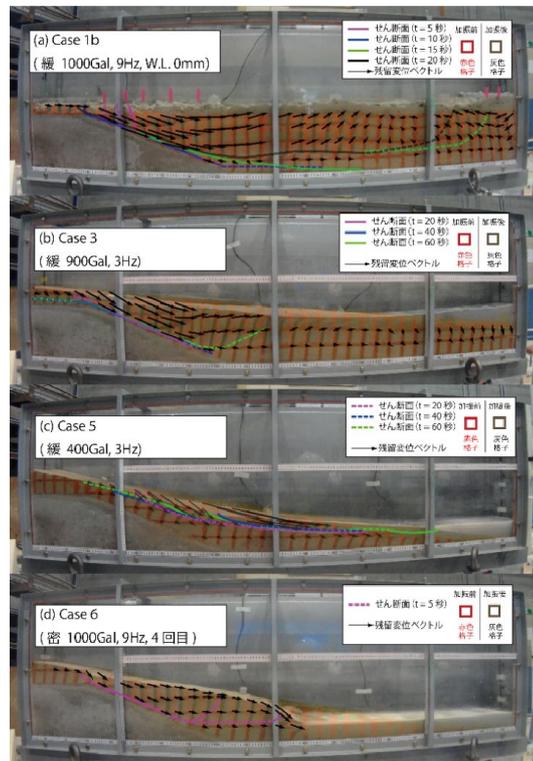


図1 二次元模型地盤振動実験結果の例

次に、地震による谷埋め盛土造成地盤の地表面亀裂発生位置および変形影響範囲の推定を行うために、切盛境界付近の谷埋め盛土地盤における釣り合い計算(修正 Fellenius 法、図2参照)を行い、地盤に変位の生じない水平震度の大きさ、地表面亀裂の推定位置、盛土変形の影響範囲を推定する手法を提案した。地形の影響を表す釣り合い計算のパラメータとして、基盤傾斜角、地表面傾斜角、盛土厚、地下水位を用いた。その結果、安全率へのパラメータの寄与度は、地表面傾斜角、基盤傾斜角、地下水位、盛土厚の順に大きく、切盛境界付近の亀裂発生位置は基盤傾斜角、地表面傾斜角、地下水位が大きくなるほど切盛境界に近づく結果となった。また、地震動(設計水平震度)が大きくなるにつれ、切盛境界の盛土側~切盛境界~盛土全体と被害域が拡大していく様子が、釣り合い計算結果からも確認できた(図3参照)。このような被害形態は、後述の実際の被災造成宅地における被害分析結果からも同様に得られた。

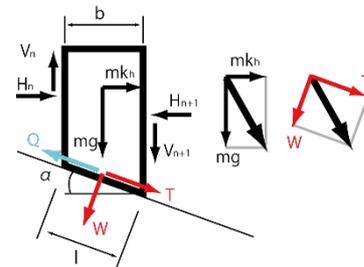


図2 修正 Fellenius 法による土塊に働く力

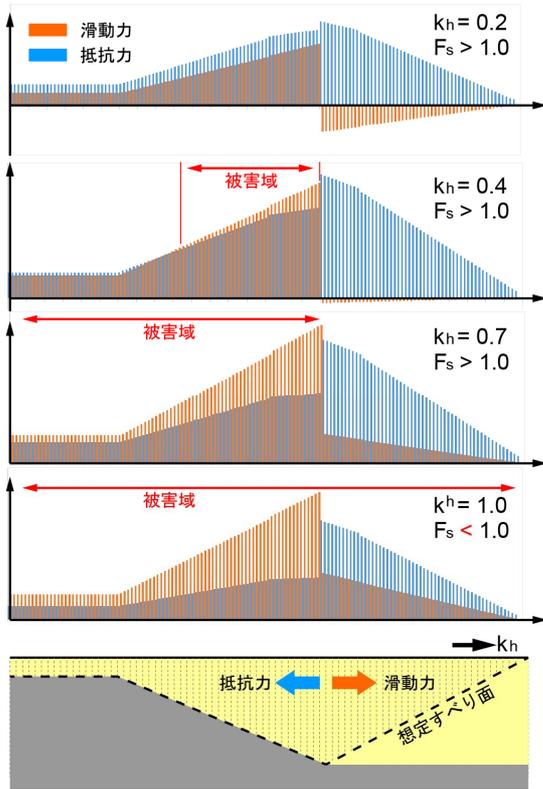


図3 水平震度に応じた被害域の推定例

さらに、上記の実験・計算結果の検証のために、2011年東北地方太平洋沖地震で被害を受けた宮城県仙台市内の3つの造成宅地の被害調査データをもとに、地形因子と地震被害との関係性について統計的に分析を行った(図4参照)。これらの造成宅地の全ての宅地(被災・無被災問わず)において、基盤傾斜角(旧地山傾斜角)、地表面傾斜角、切盛境界からの距離、盛土厚の4つの因子を抽出し、これらの因子が宅地の地震被害に及ぼす影響を求めた。その結果、造成宅地の地震被害は、地山傾斜角、地表面傾斜角、切盛境界からの距離、盛土厚の因子それぞれが単独で被害率に影響を及ぼすのではなく、それぞれの宅地が位置する箇所の地形因子が複雑に影響しあっており、東日本大震災後に言われてきたように、盛土厚が厚い箇所が危険であるとか、切盛境界部分が危険である、とは一概に言えないことが明らかとなった(図5参照)。被害分析によるより定量的な結果は以下の通りである。

- ・盛土厚が0~10mの場合には、地山勾配が大きくなるにつれて被災率が増加した。特に、切盛境界から0~30mでは地山勾配が大きくなるにつれて被害率が急激に増加した(図5(a), (b)参照)。
- ・地山勾配が大きくなるにつれて、被害率が卓越する位置が、より切盛境界側に移動した(図6参照)。
- ・盛土厚が10~20mと厚くなると盛土厚が0~10mの場合よりも総じて被害率が大きくなるが、被害率の大小に地山勾配の影響は

小さかったことから、地震動の共振による揺れの増幅が原因であると考えられる。  
 ・切盛境界から0~30m、および40~60mの位置に、特に被害率が大きくなる山が見られた。室内模型地盤振動実験結果より、このような被害傾向が生じる原因の一つとして、切盛境界を端とした地盤の円弧状すべりによる切盛境界付近(0~30m)の沈下と、盛土部分の隆起(40~60m)が考えられる(図1における模型地盤実験結果と同様)。

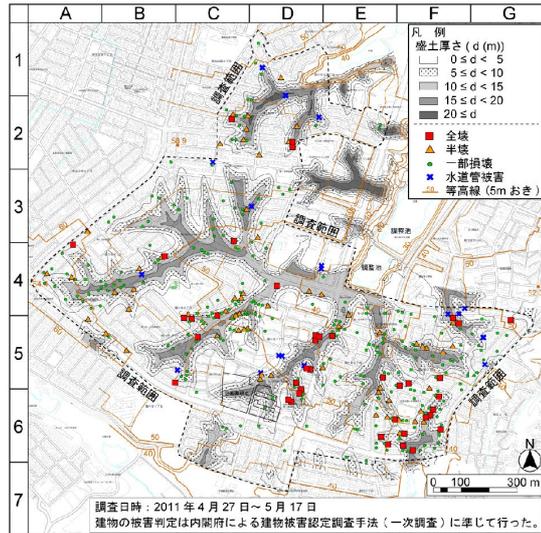


図4 実際の被災造成宅地の被害調査例(鶴ヶ谷地区)

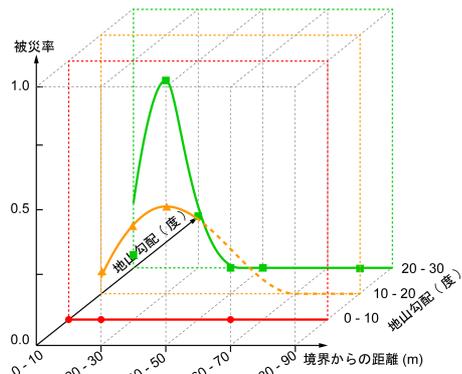


図5(a) 切盛境界からの距離と被災率の例(鶴ヶ谷地区), 盛土厚0~5m

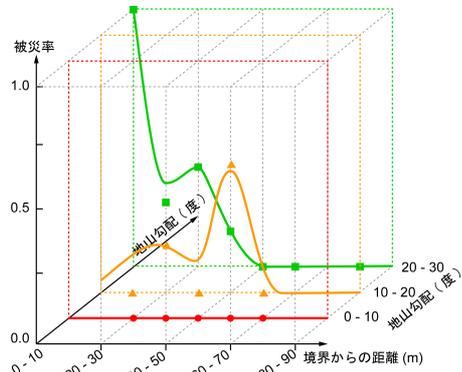


図5(b) 切盛境界からの距離と被災率の例(鶴ヶ谷地区), 盛土厚5~10m

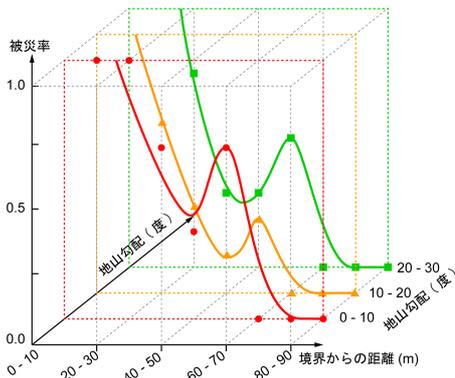


図 5(c) 切盛境界からの距離と被災率の例 (鶴ヶ谷地区), 盛土厚 10~15m

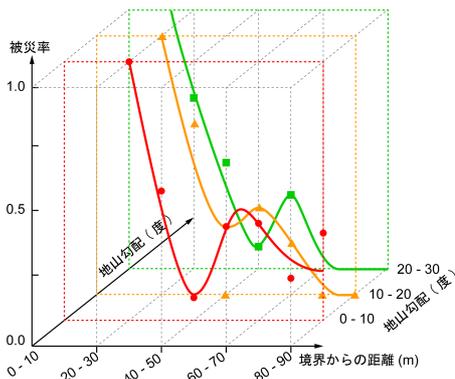
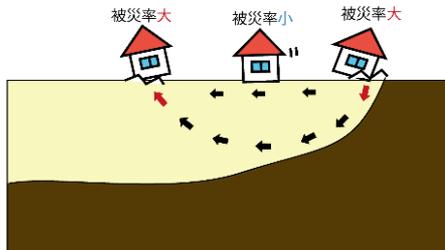


図 5(d) 切盛境界からの距離と被災率の例 (鶴ヶ谷地区), 盛土厚 15~20m



(a) 切盛境界付近の地山勾配が小さい時



(b) 切盛境界付近の地山勾配が大きい時

図 6 谷埋め盛土の地山勾配別の変動イメージ図

実際の被害分析結果からも、切盛境界付近の基盤傾斜角が大きくなると家屋被害の発生位置が切盛境界に近づくこと、被害が卓越する位置が切盛境界付近と盛土側に 2 箇所存在すること(地表面の沈下と隆起)など、各種模型地盤実験の結果を支持する被害分析結果が示された。

以上のことより、本研究で提案する谷埋め盛土造成地盤の地表面亀裂発生位置および変形影響範囲の推定手法は、簡便でありながらも、相応の妥当性があると考えられる。

## 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 1 件)

森友宏, 石井 亘, 風間基樹: 多層の色砂格子層を用いた模型地盤内の三次元残留変形の計測, 土木学会論文集 C, 査読有, 2014 年, Vol. 70, No. 4, pp. 366-371.

〔学会発表〕(計 2 件)

川田美邦, 森友宏, 風間基樹: 東日本大震災における仙台市の造成宅地被害要因の統計的分析, 平成 26 年度土木学会東北支部技術研究発表会, III-1, CD-ROM, 2015 年 3 月 7 日, 東北学院大学(宮城県多賀城市).

石井 亘, 森友宏, 風間 基樹, 河井 正: 振動台実験による谷埋め盛土の切盛境界付近における地震時変形, 第 49 回地盤工学研究発表会(北九州), CD-ROM, pp. 1369-1370, 2014 年 7 月 15 日~17 日, 北九州国際会議場(福岡県北九州市)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

森 友宏 (MORI, Tomohiro)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 40552394