

# 縦ずれ逆断層による高盛土の変形挙動に関する遠心载荷模型実験

八戸工業大学 非会員 ○大森 潤・橋詰 豊  
 八戸工業大学 学生会員 野添 重晃  
 八戸工業大学 正会員 金子 賢治・熊谷 浩二  
 電源開発(株) 正会員 江原 昌彦

## 1. はじめに

地震による構造物被害の検討は、主に地震動に対して行われている。しかし、断層のずれによる地盤の大変形によっても、その上部の構造物には深刻な被害が発生する。例えば、1999年に発生した中国集集地震や2004年に発生した新潟県中越地震などにおいて断層のずれにより多くの建物が致命的な損害を受けた<sup>1),2)</sup>。一方、地質学分野等の研究者らによって断層の研究が進み、断層の位置や活動する確率、変位などの多くの情報が得られるようになってきた。

本研究では、縦ずれ逆断層の上部にあるロックフィルダム等の高盛土を対象に、断層が発生した場合の変形挙動を予測するための基礎的な実験を行う。拘束圧が高い領域での変形挙動を再現するために、遠心载荷装置を用いた模型実験を行う。特に、縦ずれ断層発生時の地表面の変位量やせん断帯あるいは不連続面が進展し地表面へ到達する位置などについて検討する。

## 2. 実験概要

通常の断層実験は1G場で行われているが、拘束圧が高い場所での挙動は再現できない。本研究では、水平地盤に対して縦ずれ逆断層が発生した場合を想定して、遠心载荷模型実験を行う。実験模型の模式図を図-2に示す。層厚90mmの水平地盤を作成して、100Gの遠心加速度を付与することで、9m程度の層厚を想定する。幅187mmのうち50mmの部分に75°の角度で強制変位を加えることで縦ずれ逆断層を再現する。断層の変位は鉛直方向15mmとした。

土槽全面は透明なアクリル板で作成し、水平地盤中に90個のマーカをを設置した。断層変位発生中の地盤の変形を動画撮影し、各マーカの変位を画像解析により計測した。また、断層発生中の鉛直方向の土圧を測定するために土圧計1を、水平方向土圧を測定するために土圧計2,3を設置した。

地盤材料としては硅砂5号とガラスビーズを用いた。使用する地盤材料の基本的特性を表-1に示す。ガラスビーズは硅砂に比べて内部摩擦角が小さいため、縦ずれ逆断層による地盤中のせん断帯形成に対する内部摩擦角の影響を検討

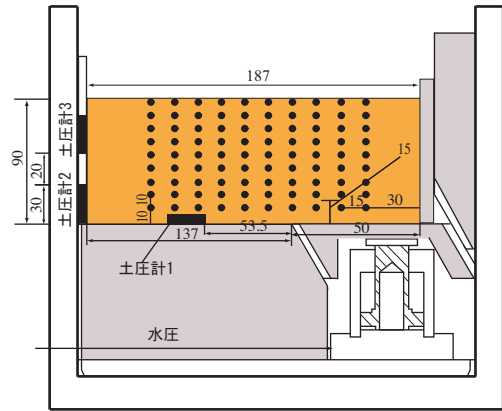


図-1 遠心载荷用断層模型 (全て mm 表示)

表-1 実験に用いた地盤材料の基本的性質

地盤材料	ケイ砂5号	ガラスビーズ
$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.680	2.489
$D_{50}$	0.46	0.44
$U_c$	1.31	1.30
$U'_c$	1.31	0.947
$\rho_{dmin}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.304	1.450
$\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.601	1.579
$c_d$ (kN/m <sup>2</sup> )	5	0
$\phi_d$ (°)	38.9	31.9

するために使用した。ガラスビーズの平均粒径は硅砂5号とほぼ同等のものを用いた。断層試験に用いる土層は、硅砂およびガラスビーズにおいて、相対密度を50%となるように10mmづつ密度を調整しながら作成した。

## 3. 実験結果

実験中に撮影した画像から画像解析によりマーカの位置座標を取得した。例として、ガラスビーズの場合の断層発生前と発生後の位置座標を図-2に示す。画像解析により取得した地表面のマーカの断層発生後(鉛直変位15mm)の位置座標を図-3に示す。ガラスビーズおよび硅砂5号の両ケースにおいて、逆断層により上盤側の地表面が約0.9mm程度鉛直上向きに変位しており、地盤材料の違いによる影響はほとんど無い。断層変位の地表面への到達位置については、ガラスビーズのケースの方が断層角度(75°)の延長線上から左側にずれている。このことは、内部摩擦角が影響していると考えられる。

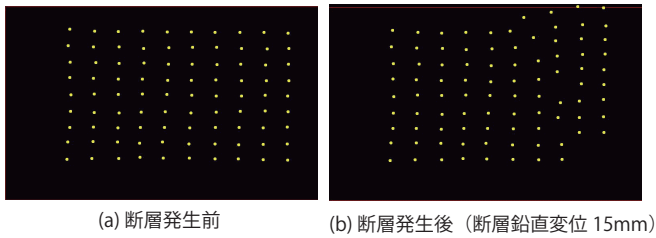


図-2 マーカーの画像解析結果の例 (ガラスビーズ)

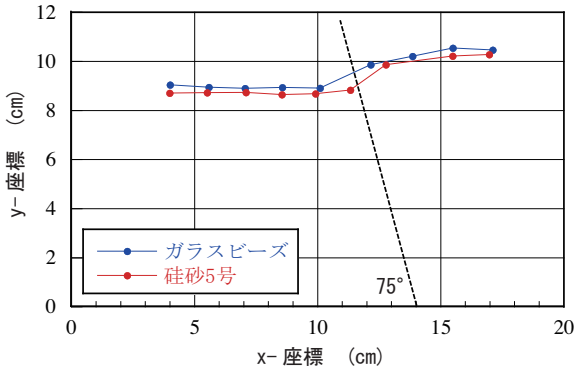


図-3 断層発生後の地表面の位置

次に、図-2のように取得したマーカーを節点と見立てて有限要素を構成し、断層上部の水平地盤中のひずみを算出した。ただし、断層変位に伴い変形が局所化し要素が不適切な形状となる可能性があるため、ステップ毎に要素を再構成することとし画像ステップ間でのひずみ増分を算出することとした。ひずみ増分を節点に振り分けることで、節点においてひずみを蓄積することで求めた。図-4にガラスビーズの場合の最大せん断ひずみおよび体積ひずみ分布を示す。最大せん断ひずみは、逆断層境界の延長線上に発達し始めるが、地表面に近づく程延長線から外れていくことがわかる。せん断帯の進展方向は拘束圧に依存し、拘束圧の低い領域では横方向への変位が大きくなると考えられる。断層変位が大きくなるに従って最大せん断ひずみは大きくなるが、せん断帯の幅はそれ程変わらないように見える。また、比較的小さいひずみではあるが、上盤側に若干分岐している様子も伺える。体積ひずみについては、せん断帯周辺に一部体積膨張をしている領域が確認できる。ロックフィルダムなどを対象としている場合には、盛土内部の間隙比が大きくなることで透水性が上昇し不具合が発生する可能性がある。したがって、断層変位に伴う盛土内部の体積膨張については、注意が必要と考えられる。

図-5に、土槽に設置した土圧計の実験中の変化の様子を示す。鉛直方向に設置した土圧計においては、遠心力が上昇するのに伴い土圧が上昇し、100G到達時の鉛直土圧は、土の密度を基に計算した理論値とほぼ一致している。断層の発生に伴い全ての土圧計で土圧が上昇している。水平方

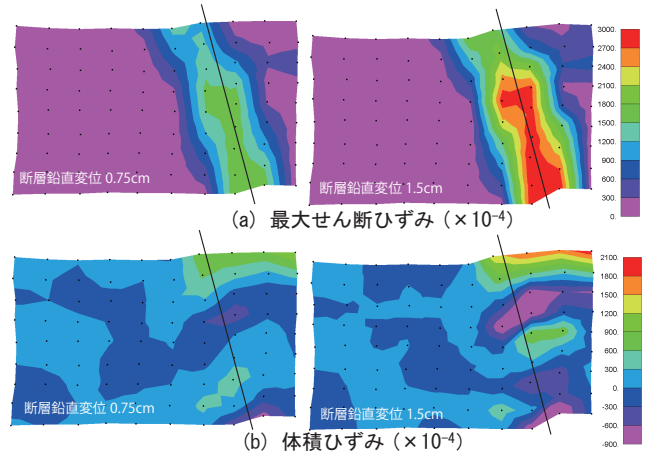


図-4 ひずみ分布 (ガラスビーズ)

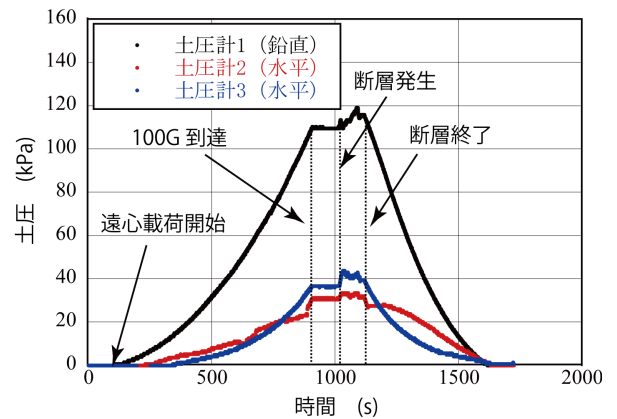


図-5 土圧の計測結果の例 (ガラスビーズ)

向の土圧については、比較的地表に近い土圧計の方が断層発生に伴う増加が大きい。水平方向の壁面に設置した土圧が断層発生に伴い上昇していることは、境界の影響が表れていると言えるので、本実験は半無限地盤のような想定では無い。境界が半無限に近いような場合には、せん断帯付近の地盤がより膨張し間隙比が低下する可能性がある。境界条件の影響についても検討する必要があると考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では、逆断層発生に伴う高盛土の変形を想定し、非常に単純なモデル化を行って、遠心载荷模型実験を行った。せん断体の進展方向や体積変化、地表面への到達位置などについていくつかの知見が得られた。しかし、地盤材料特性や断層角度、境界条件の影響等、逆断層変位に伴う地盤の変形については多くの要因がある。今後、実験ケースを増やして検討を続けたい。

#### 参考文献

- 1) 佐藤 比呂志, 池田 安隆, 李 民, 張 徽正: 台湾中部で発生した1999年9月21日集集地震に伴う地表地震断層, 活断層研究, Vol. 2000 No. 19, pp.v-vi, 2000.
- 2) 吉嶺充俊: 地震被害写真 <http://geot.civil.ues.tmu.ac.jp/archives/eq/index-j.html>