

逆断層強制大変位による地盤の変形挙動に関する遠心载荷模型実験

八戸工業大学

正会員

○橋詰 豊

八戸工業大学大学院

正会員

金子 賢治

電源開発(株)

正会員

森 貴寛

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が、断層変位が地表に表れることで地表付近の構造物が被害を受ける事がある。逆断層のずれにより発生した地震による地盤の大変位により、表層地盤が変形し地表面が大きく変位、隆起する事により地上構造物の被害が発生する。近年、活断層の研究が進められ断層の位置、形態、滑動する確率など多くの情報が得られるようになってきた。しかしながら、盛土などの土構造物の変形挙動については、拘束圧に大きく依存することや数 m オーダーの強制変位により変形の局所化領域、不連続面が分岐すること等明確に理解されていない。特に逆断層上部の土構造物の変形挙動は、地盤材料特性や構造物特性あるいは断層の形態など多くの要因に支配されるが、それぞれの要因については不明な点が多い。そのため、基盤活断層の位置や角度・変位量が予測されたとしても、基盤断層の運動に伴う表層地盤や土構造物の変形挙動の予測は、現状では難しい。このような背景の下、著者らの研究グループでも基盤逆断層による大変位を受ける盛土の変形挙動について数年前から遠心载荷模型実験より検討を行っている。砂質土を用いた実験が多い中で、昨年度より粘性土地盤について遠心载荷模型実験を行って検討し、粘性土の場合には比較的地表面の変位量が小さく地上構造物に対する影響が少ない事などの結論を得たが土層の厚さの影響等についての詳細な検討は行われていない。本研究では、粘性土を対象とし土層厚を変化させた場合の変形挙動について遠心载荷実験を行い、砂地盤の場合と比較して考察する。

2. 遠心実験概要

本研究では、遠心载荷装置を用いて 75° の基盤逆断層を発生させて盛土を模擬した水平地盤に強制大変位を作用させた。層厚の影響を考慮するために遠心加速度 100G および 30G 場での実験を行い比較・検討した。土層模型の概要図を図-1 に示す。各ケースでばらつきの少ない想定した断層変位（ここでは 20mm）を発生することが可能となった。また、地盤中の変形を画像解析により取得するためのマーカーについては、乾麺を $3 \times 5\text{mm}$ に切断し設置した。硅

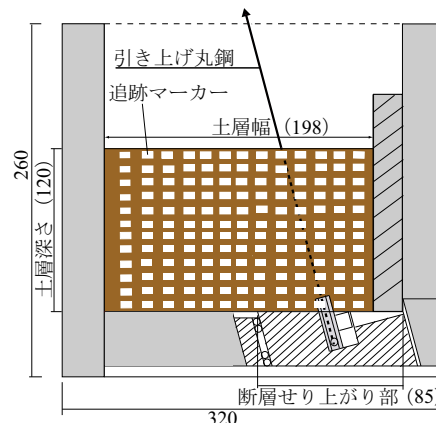


図-1 土層の概要図 (mm)

表-1 実験に用いた地盤材料の基本的性質

地盤材料	粘性盛土材	硅砂 4 号
土粒子の密度 (g/cm^3)	2.661	2.648
最大乾燥密度 (g/cm^3)	1.485	1.680
最適含水比 (%)	26.1	0
粘着力 (kN/m^2)	48.5	0
内部摩擦角 ($^\circ$)	24.1	33.3
変形係数 (kN/m^2)	拘束圧 $50\text{kN}/\text{m}^2$	7.1
	拘束圧 $100\text{kN}/\text{m}^2$	10.7
	拘束圧 $200\text{kN}/\text{m}^2$	26.0

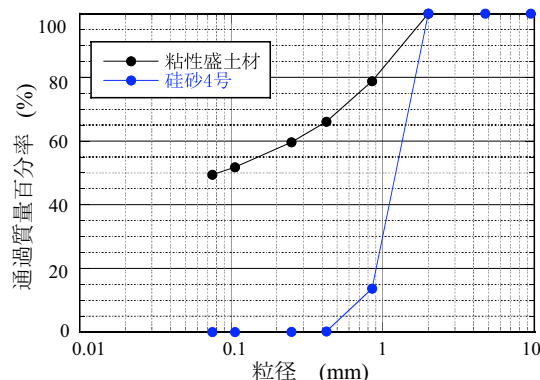


図-2 使用した地盤材料の粒度分布

砂の場合には黒の画用紙を使用した。粘性土と硅砂 4 号を盛土材として使用し、盛土を想定して締固め度約 95% を目標値として突き固めて作成した。地盤材料の基本的性質を表-1 に示す。これらの粘着力、内部摩擦角、変形係数については等圧一面せん断試験で求めた。また粒径加積曲線を図-2 に示す。粘性土地盤については、水中に 24 時間放置して飽和度を高めた上で実験を行い、硅砂の場合には乾燥状態で実験を実施した。

Key Words: 基盤逆断層, 大変位, 遠心载荷装置

(〒 031-8501 八戸市大字妙字大開 88-1)

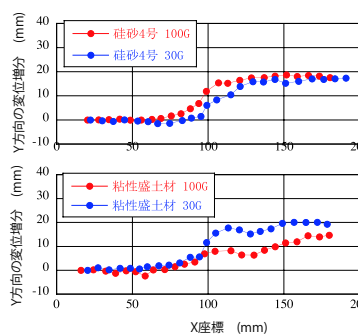


図-3 地表面の変位

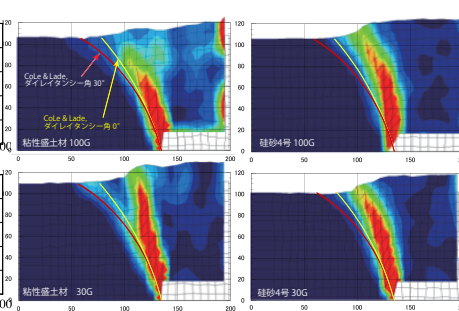


図-4 最大せん断ひずみ

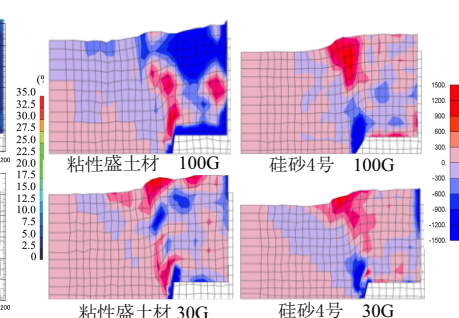


図-5 体積ひずみ

3. 実験結果

図-3に地表面の鉛直方向の変位増分を示す。基盤逆断層発生後の y 座標と逆断層発生前の y 座標との差を逆断層発生後の x 座標と共に示している。遠心加速度を変化させることで、盛土の層厚を変化させているが、珪砂の場合には層厚に関わらずほぼ同様の地表面の変位を示している。一方で、粘性盛土材を用いた場合には、層厚の小さい30Gのケースにおいて地表面の変位が大きく珪砂の場合とほぼ等しい変位が表れており、珪砂の場合と同様に明確な段差が見られる。層厚が大きい100Gの場合には半分程度の変位となっており、層厚の違いにより変形が大きく異なる。図-4に画像解析により取得したマーカーを三角形有限要素法の節点と見立ててひずみを算出し、基盤逆断層発生後の最大せん断ひずみ分布を示す。Cole & Ladeは逆断層発生時の地盤中のせん断面を予測するために、1G場における実験結果を基にダイレイタンシー角を変数とする対数螺旋線を仮定した解析解を提案している²⁾。本研究においては、一面せん断試験により力学特性を把握したが、ダイレイタンシー角は拘束圧に依存した結果となった。したがって、図-4中にはダイレイタンシー角 0° の場合と 30° の場合を示している。同図より、いずれのケースにおいても実験結果はColeらの解析解よりも上盤側にせん断帯の進展が見られる。粘性盛土材30Gの場合にはせん断帯の分岐が観察され、より小さい方は解析解に近い結果を示しているが、主たるせん断帯はより鉛直方向に進展している。これらの結果は、層厚が厚くなると、特に基盤近くで拘束圧が大きくなり、1G場での実験結果を基にした解析解に比べてより剛体的な変形を示すと考えられる。Coleらの解析解には拘束圧の影響は考慮されておらず、実物大の現象を予測するためには拘束圧を考慮する必要があると思われる。粘性土を用いた場合は層厚の影響が大きく現れており、層厚が厚い場合にはせん断帯が地表面まで到達していない。地表面の変位も小さく表れており、変形が広い範囲に分散されて地表面まで大きな変形が到達しないといえる。また、砂質土の場合には全く観察されないが、粘性土の場合にはせん断帯

が分岐するような傾向が強い。最大せん断ひずみと同様にして体積ひずみを算出し、図-5にその分布を示す。粘性土の場合100G場では、大きいせん断ひずみが集中している部分においては膨張傾向を示しており、地表面付近は圧縮傾向である。珪砂の場合には地表面付近が膨張で基盤付近は圧縮となっており、粘性土の場合と逆の傾向を示している。粘性土の30G場においては、膨張と圧縮が交互に表れるような傾向を示している。珪砂の場合は100G・30G場では大きな違いは見られず、層厚や拘束圧の影響は比較的小さいものと考えられる。

4. おわりに

逆断層により強制大変位を受ける粘性盛土材の変形挙動について主に層厚の影響について遠心載荷模型実験を行い検討した。その結果、砂質土の場合には基盤逆断層による強制大変位を受けた場合の変形挙動は遠心加速度を変化させても拘束圧に依存することなく、せん断帯が地表面まで到達しており地表面への影響が大きく現れることがわかった。粘性土の場合には、基盤逆断層による強制大変位を受けた場合の変形挙動は、拘束圧に依存しやすく拘束圧の大きい100G場では、せん断帯が地表面まで到達しておらず地表面の変位も小さい。しかし拘束圧が小さい30G場においてはせん断帯が地表面まで到達しており、地表面への変位も砂地盤のように大きく現れることが確認できた。これらの結果は、内部摩擦角や粘着力によって違いが現れると考えられる。活断層に関する議論が活性化している中で、特に既設の構造物においては、断層運動発生による重大な被害を防ぐ手法が必要である。地盤中の変形の予測手法確立に向けて、盛土材料特性と拘束圧に伴う地表面の変位、地盤中の変形、体積膨張等の関係について実験および数値実験をより詳細に行い検討し評価することが今後の課題である。

参考文献

- 1) 久保田正志ほか：粘性土地盤の遠心載荷逆断層模型実験，第70回土木学会年次学術講演会概要集，pp. 761-762，2015。
- 2) Cole, D. Jr. and Lade P.: Influence Zones Alluvium Over Dip-Slip Faults, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 110(5), 599-615, 1984.