

遠心載荷模型実験による逆断層強制大変位を受ける表層地盤の変形と地盤材料特性の関係の検討

八戸工業大学	学生会員	○山本	温・野添	重晃
八戸工業大学	正会員	橋詰	豊・金子	賢治
電源開発(株)	正会員	江原	昌彦	

1. はじめに

直下型地震時の基盤断層の大変位により地表面付近の構造物が致命的な被害を受ける可能性がある。特に逆断層においては、地表面が大きく隆起することにより大きな被害が発生する。最近では、活断層の研究が進められ、断層の位置や形態・活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。それにより、既設の重要構造物の直下に活断層が存在することが問題視され、対応や対策が必要となっている。これらの対応や対策を考える上では、地表面の変位や地表面への到達位置、地盤内部のせん断帯の進展についての知見が必要である。著者らのグループでは、逆断層発生時の地表面のずれや表層地盤や高盛土中のせん断帯を予測するために遠心载荷装置を用いた実験的研究を行ってきた¹⁾が、多くの要因があるため未だ精度よく予測できていない。本研究では、逆断層による強制的な大変位を受ける水平地盤の変形について遠心载荷装置を用いて実験的に検討する。特に、盛土などの地盤構造物や表層地盤中の変形を予測するための基礎的な検討として、地盤材料の力学特性や層厚が変形性状に与える影響について検討を行う。

2. 実験概要

本研究では、1G 場での模型実験では拘束圧の条件が再現できないため、遠心载荷装置を用いて水平地盤に対して逆断層が発生した場合を想定した遠心载荷模型実験を行った。実験装置の模式図を図-1 に示す。幅 187mm のうち右側から約 50mm 付近から 45° と 75° の角度で強制変位（最大 15mm）を与えることで基盤の逆断層を再現する。断層角 75° の場合には層厚 90mm、断層角 45° の場合には層厚 75mm の水平地盤を作成し、100G の遠心加速度を付与することで実験を行った。土層の前面は透明なアクリル板で作成し、断層角 75° の場合は地盤中に 188 個のマーカ・断層角 45° の場合は 242 個のマーカを設置した。実験中は土層を動画撮影し、動画を連番画像に変換して PTV 画像解析によりマーカの変位を計測した。実験で使用した地盤材料はケイ砂 5 号とガラスビーズであり、その性質を表-1 に示す。地盤は各層の密度が一定となるように締固めて作成した。ガラスビーズはケイ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

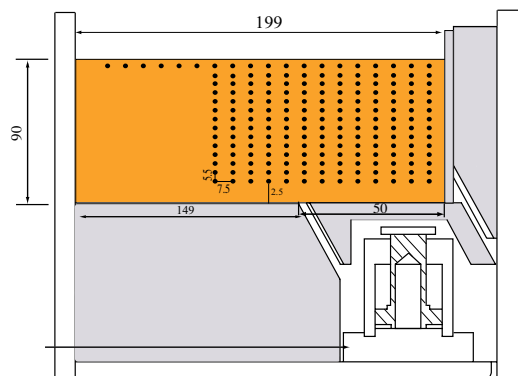


図-1 断層試験における 75° の土層の概要図 (mm 表示)

表-1 実験に用いた地盤材料の基本的性質

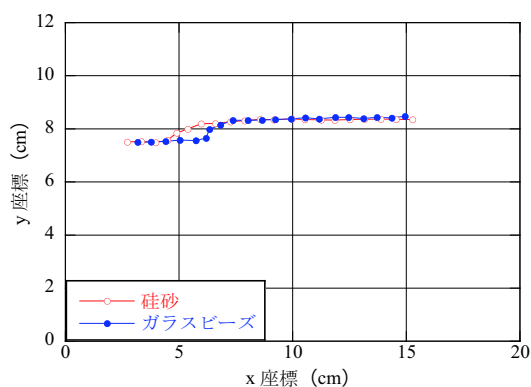
地盤材料	ケイ砂 5 号	ガラスビーズ
ρ_s (g/cm ³)	2.680	2.489
D_{50}	0.46	0.44
U_c	1.31	1.30
U'_c	1.31	0.947
ρ_{dmin} (g/cm ³)	1.304	1.450
ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.601	1.579
c_d (kN/m ²)	5	0
ϕ_d ($^{\circ}$)	38.9	31.9

する内部摩擦角の影響を検討するために使用した。断層角 75° のケースに関しては、拘束圧のせん断帯進展に与える影響や層厚が地表面変位に与える影響を調べるために、層厚を 50mm、70mm と変化させた実験も行った。

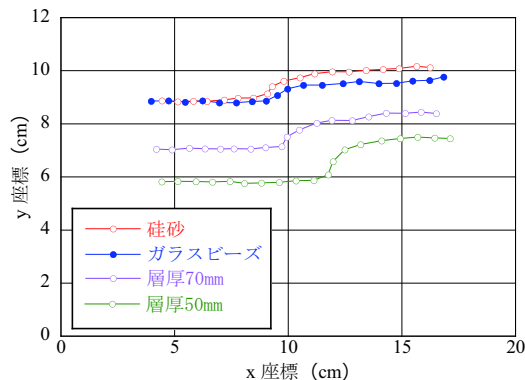
3. 実験結果

(1) 地表面の変位

図-2 に基盤逆断層発生後の地表面のマーカーの位置座標を示す。断層の角度が 45° の場合には、地表面の最大鉛直変位量は、硅砂とガラスビーズでほとんど変わらず約10mm(実変位1m)であった。一方、地表面の鉛直変位が現れる位置については、硅砂の方が基盤断層から離れる方向に現れており、約30mm(3m)の違いが見られる。このような差が現れる要因としては、地盤材料特性の違いによるものと考えられる。本研究で用いたガラスビーズと硅砂においては、土粒子の密度と内部摩擦角が大きく異なっている。どのような地盤材料特性に起因するかについては、実験あるいは数値実験等により検討を継続する必要がある。断層の角度が 75° の場合には、 45° の場合と異なり、最大鉛直変位量に差が現れおり、地表面到達位置についてはほとんど変わらない。断層角度の違いによって地表面の変状が異なることや



(a) 断層角 45° 層厚 75mm



(b) 断層角 75° 層厚 90,70,50mm

図-2 地表面変位分布

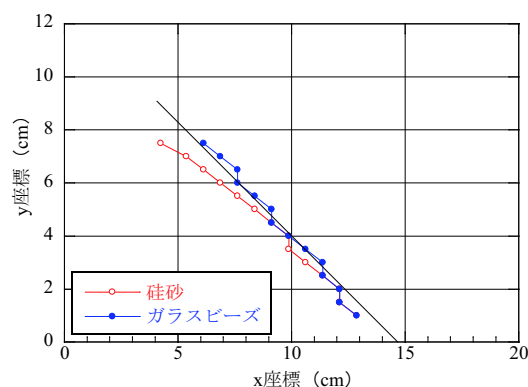
地盤材料特性の影響度が異なることがわかる。硅砂を用いた 75° の場合には、表層地盤の層厚が異なるケースの実験も実施しており、図-2(b) 中にはこれらの地表面変位分布も示している。層厚 50mm のケースでは、断層によって地表面が受ける影響が大きく、最大鉛直変位量は 17mm (実変位 1.7m) と他のケースよりも大きいことがわかる。それに対して層厚が高いケースでは、鉛直変位量は約 14mm (実変位 1.4m) 程度である。地表面の鉛直変位については、表層地盤の層厚が小さくなるほど大きく現れることがわかる。

(2) 地盤中のせん断面の進展

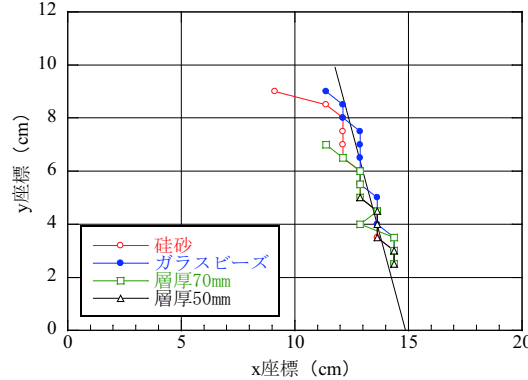
基盤逆断層による表層地盤中のせん断面を抽出するために、各深さのせん断面の位置を以下のようにして算出した。

- 実験中に撮影した画像から画像解析により断層発生前後の全マーカーの位置座標 (x^i, y^i) を求め、変位ベクトル $\mathbf{u}^i$ を算出する。(i はマーカー番号を表している。)
- 水平方向の隣り合うマーカー j との相対変位ベクトル $\mathbf{u}^{ij} = \mathbf{u}^i - \mathbf{u}^j$ を算出し、大きさ $\|\mathbf{u}^{ij}\|$ を算出する。
- 各深さ毎に相対変位ベクトルの大きさが 5mm (基盤断層の鉛直変位 15mm の 1/3) 以上である 2つのマーカーを抽出する。
- 各深さ毎に抽出した 2つのマーカーの初期座標の平均座標を算出し、その深さのせん断面の位置とする。

このようにして算出したせん断面の位置を図-3 に示す。同図には、基盤断層境界から断層角の延長線も示している。断



(a) 断層角 45°



(b) 断層角 75°

図-3 せん断面の抽出

層角によらず、せん断面の進展方向は硅砂の方が断層角延長線からずれることがわかる。ガラスビーズの場合には、基盤断層のほぼ延長線上にせん断面が進展している。硅砂の場合には、層厚を変化させてもほぼ同じ位置にせん断面が現れている。ただし、表層付近においては、せん断面の進展方向が、断層延長線からずれている。せん断面の進展方向は地盤材料特性に依存すること、拘束圧に依存することが推測される。地盤材料特性のうち、ダイレイタンスー特性あるいはその拘束圧依存性などがせん断面進展方向の重要な要因となると思われる。

4. おわりに

本研究では、逆断層により大変位を受ける表層地盤の変形を予測するための基礎的な検討として地盤材料特性や拘束圧の影響について遠心载荷模型実験を行い検討した。地盤材料によるせん断面の進展方向の違いや地表面への到達位置、最大鉛直変位量などを調べ、いくつかの知見が得られた。しかし、実験で行った地盤材料の種類が少ないため、より多くの材料を用いて実験することにより多くのデータを蓄積し検討していく必要がある。また、変形の予測手法の確立に向けて、実験および数値実験を行ってせん断面進展やそれに与える要因・その影響度を検討する予定である。

参考文献

- 1) 大森ほか：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，平成 24 年度土木学会東北技術研究発表会，Vol. 26. 2013