

地震動により流動状態となった 土砂の地盤特性評価

森田 年一¹・矢萩 優樹²・脇田 杏子²

¹正会員 群馬工業高等専門学校准教授 環境都市工学科 (〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580)
E-mail:t_morita@cvt.gunma-ct.ac.jp

²非会員 群馬工業高等専門学校専攻科 環境工学専攻 (〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580)

液状化被害には、地震中に生じるものだけではなく、地震終了後において地盤が流動状態に変化したことに起因する地盤変形も含まれる。また、2014年に発生した広島土砂災害のように流動化した地盤による災害も多発している。そこで、本研究では、地盤が流動状態に変化した状況における土質特性を明らかにすることを目的として、新規に試験装置を作製し、流動した地盤内の応力状態について検証した。ここでは、本研究の一報として、含水比の変化が、流動性・間隙水圧・土圧のそれぞれの変化に及ぼす影響について報告する。

Key Words : *Liquefaction, Fluid characteristic, Pore water pressure, Earth pressure*

1. はじめに

2011年3月の東日本大震災や2014年8月の広島土砂災害では、地盤が流動したことによる大きな被害が発生した。東日本大震災時の液状化による被害には、地震発生中における地盤の過剰間隙水圧の上昇に伴うせん断抵抗の低下に起因するものだけではなく、地震終了後(地震力が働いていない状態)において地盤が流動状態に変化したことに起因する地盤の変位や構造物の変形も含まれると想定される。しかし、流動状態に陥った土の物性については、明らかとなっていない面が多く、地盤変形解析におけるパラメータの設定においても、その信頼性に疑問が残されている。そこで、本研究では、地盤が流動状態に変化した状況における土質特性を明らかにすることを目的として、回転式土砂流動性試験装置¹⁾を作製するとともに実験を行い、流動した地盤内の応力状態について検証することとした。

2. 回転式土砂流動性試験装置の作製

(1) 試験装置の概要

写真-1に示す回転式土砂流動性試験装置は、片側が透明で観察可能な回転体を有しており、中に水と土砂を入れて回転させることで、土が流動する状態を継続的に再

現することが出来る試験機である。回転体の中には、土圧計と間隙水圧計を2個ずつ設置し、流動した地盤内の応力状態を直接測定することが出来る構造とした。

(2) 回転機構

回転機構は、GM-D3.7kWで減速比1/50のモータを使用し、前面の回転ドラムを片軸のみで回転させる仕様である。そのため、回転軸及び受け軸は回転のブレがない様に強度的に丈夫な構造とし、軸受は2か所で受けることとした。また、回転数は0.0~30.0rpmの範囲で任意に制御することが出来るようにした。

(3) 回転ドラム

回転ドラムは、直径1000mm、奥行き500mmの鉄製で、板厚は6mmである。回転ドラム表面は透明なアクリル製の板で出来ており、内部にある土の挙動を観察することが可能である。また、水と土砂の投入が可能となるよう、中心に直径200mmの穴を開けるとともに、透明アクリル板を半円状に取り外せる構造とした。透明アクリル板と回転ドラム本体の接着部には、水漏れが無いようゴムパッキンを用いた防水シールを施した。

(4) 計測器

間隙水圧計(100Kpa)及び土圧計(200Kpa)の各センサをそれぞれ回転ドラムの底面(ドラム外周部)と側面(ドラム

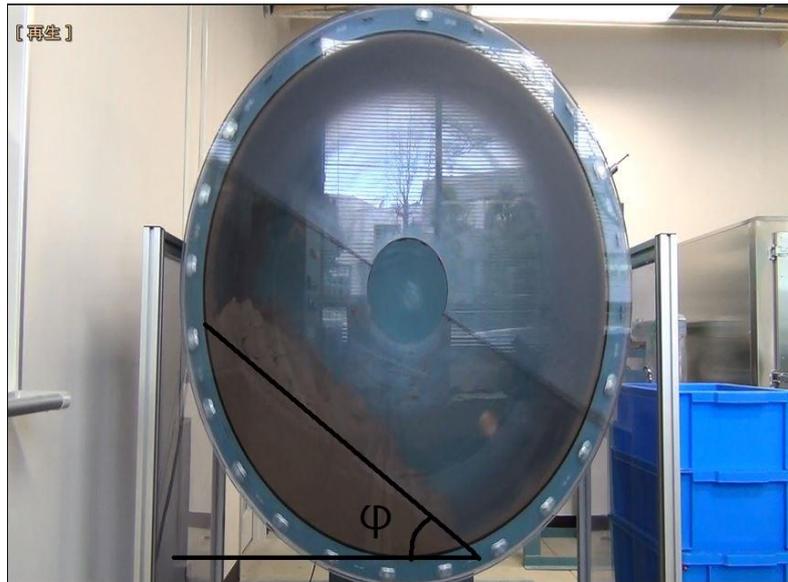


写真-1 回転式土砂流動性試験装置（計測した斜面勾配）

外周部から10cm、すなわちドラム中心から40cmの位置)に2個ずつ、合計4個設置した。集積されたデータは、無線LANで外部のパソコンに転送され、測定したデータのグラフ化や、値の最大値、最小値等の測定が可能である。本実験においては、前述のとおり、間隙水圧計と土圧計を2個ずつ設置したが、回転ドラムにおける計測器の装着部分には、ワンタッチコネクタを使用し、任意の計測器が脱着可能な構造となっている。

(5) 制御盤

本試験装置のモーター駆動のための自立式の制御盤で、ブレーカ、電源スイッチ、運転準備スイッチ、試験開始スイッチ、停止スイッチ、回転調整用ダイヤルを有している。回転調整用ダイヤルによるドラムの回転数表示はデジタルで小数点以下1桁表示とし、0.1rpm刻みで任意に制御することが出来るようにした。また、危険防止の観点から、緊急時に試験装置を停止させることが出来る緊急停止スイッチを設けた。

(6) 架台

架台の幅は1750mm、奥行きは1300mmで、材質は装置の重量に耐えうる強度を持つSS400とした。併せて、実験時の作業効率性を考慮し、回転軸中心の高さが地上より1100mmとなる架台とした。また、危険防止の観点から、回転ドラムの両側には、床面からの高さが1200mmとなる安全柵を設けた。地震時等における転倒が起り得ないように、試験装置設置時においてアンカー固定が可能となる構造とした。

3. 珪砂を用いた検証実験

(1) 実験概要

本実験では、液状化や流動化を検証の対象としていることから、用いる土試料を砂質土とした。本装置による実験では、1つのケースにおいてドラムを継続的に回転させるが、間隙水圧や土圧が計測されるのは、前述の計測器の設置状況のとおり、土試料が計測器に接している時であり、1つのケースにおいて複数個(回転数分)のデータが計測されることとなる。そこで、実験における初期検証の段階としては、1つのケースにおけるデータのバラツキを少なくするように、粒径の揃った土試料(東北珪砂4号)を用いることとした。別途、行った同試料を用いた振動実験⁹⁾より、含水比が18%において液状化が発生したことから、本実験では含水比を18%から23%まで1%刻みで変化させ、地盤高はドラム中央部において20cmとなるように試料を投入した。また、ドラムの回転数は、12、13.5、15、16.5、18rpmと変化させた。

(2) 計測データ

ドラム回転時に生じる土砂の流動状態および傾斜状態を動画撮影し、ドラム内に生じた土砂の斜面勾配を計測した。計測した斜面勾配は、写真-1に示すとおり床面と平行な水平線からの角度である。したがって、この斜面勾配の値が小さいほど、土の流動性は高いと言える。併せて、ドラム底面に設置した間隙水圧計と土圧計により、流動した地盤内の間隙水圧および土圧を計測した。珪砂を用いた実験では、前節に記したような1つのケースに

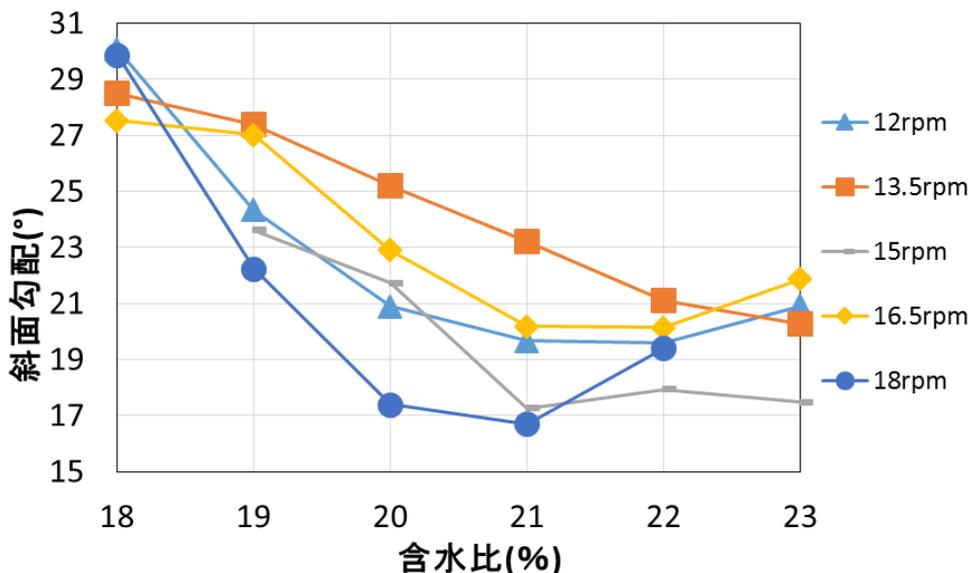


図-1 含水比と斜面勾配の関係

おけるデータのバラツキは少なかったため、本章におけるデータの取り纏めにおいては、間隙水圧および土圧ともに1つのケースにおける代表的な値を採用してグラフ化した。

(3) 含水比と斜面勾配の関係

含水比の変化が、ドラム回転時に生じる土砂の斜面勾配にどのような影響を及ぼすのかについて、両者の関係を図-1に示す。図-1を見ると、ドラムの回転数に関わらず、18%から21%の範囲では含水比が上がると、斜面勾配が小さくなるのがわかる。これは、含水比を上げることにより土の流動性が上昇したためであると考えられる。21%~23%の範囲では、含水比が上がっても、斜面勾配は一定の値をとる傾向にあることがわかる。含水比が21%以上のケースでは、地表面に水が浮く状態であり、土が液性状態であった。したがって、土の流動性がそれ以上は上昇せず、斜面勾配に変化が生じなかったと考えられる。

(4) 含水比と間隙水圧の関係

土試料の含水比とドラム底面に設置した間隙水圧計から計測された間隙水圧の関係を図-2に示す。図-2を見ると、ドラムの回転数に関わらず含水比が上がると、間隙水圧も増加する傾向にある。したがって、実際の流動現象を考えた場合、含水比が高い地盤ほど、地盤の支持力が低下した状態が継続するものと考えられる。

4. 広島まさ土を用いた検証実験

(1) 実験概要

本章では、実際に土砂災害(流動状態)を引き起こした土試料を対象に、前章と同様の実験を行った。実験に用いた土試料は、2014年8月に広島県内で土砂災害を引き起こした広島まさ土である。本実験では、土砂崩れを対象としたことから、対象含水比を広範囲に採り、含水比を2.5%から20%まで2.5%刻みで変化させた。まさ土の液性(流動)限界は20%程度であることが、一般に知られているが、本実験で用いたまさ土においても、含水比が20%においては液性状態であった。一方、土試料の土量については、前章同様、ドラム中央部における地盤高が20cmとなるように土試料を投入した。なお、本章における検証では、含水比の変化の影響に着目することとし、ドラムの回転数は、5rpmに固定した。

(2) 計測データ

まさ土を用いて、前章と同様の実験を行い、間隙水圧と土圧を計測したが、硅砂の場合とは異なり、1つのケースにおける計測データにある程度のバラツキが見られた。そこで、本章におけるデータの取り纏めにおいては、間隙水圧・土圧ともに得られた全てのデータを反映させ、散布図としてグラフ化した。

(3) 含水比と間隙水圧の関係

含水比の変化が、ドラム底面の間隙水圧にどのような

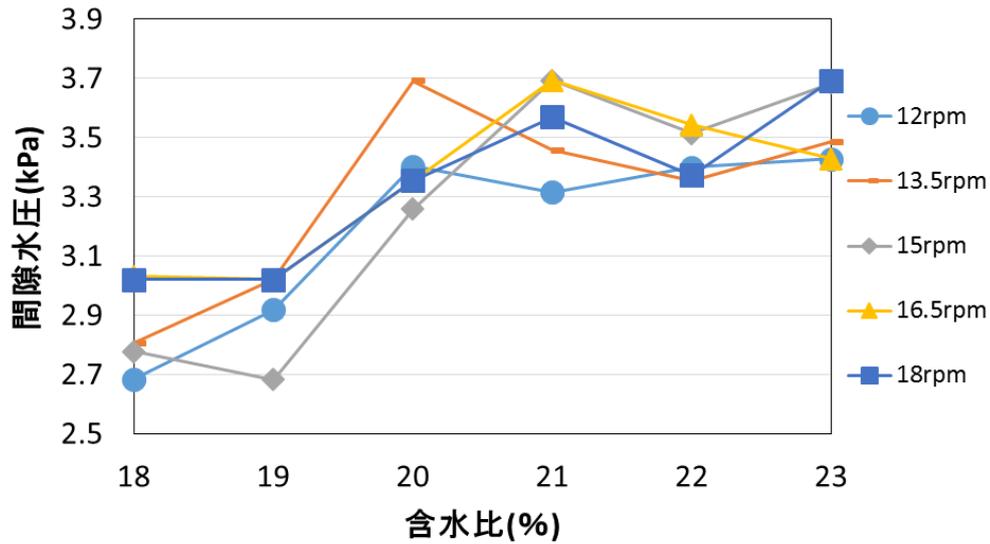


図-2 含水比とドラム底面における間隙水圧の関係

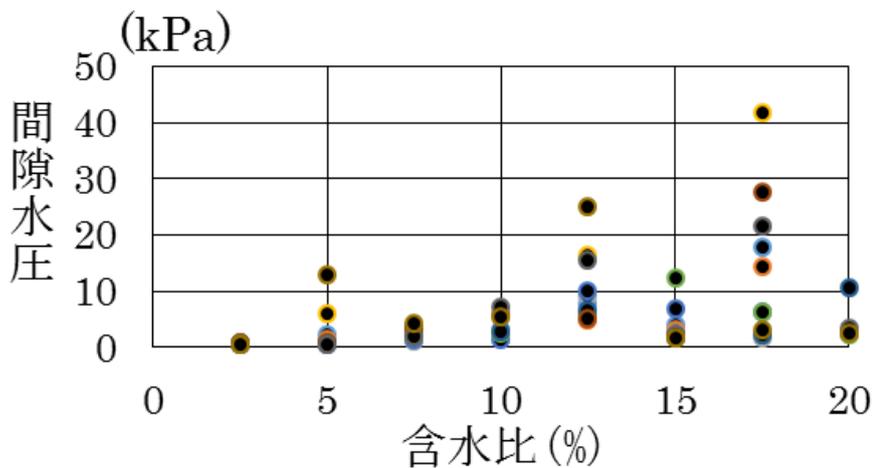


図-3 含水比と間隙水圧の関係

影響を及ぼすのかについて、両者の関係の散布図を図-3に示す。図-3を見ると、含水比の増加に伴い間隙水圧が増加していることがわかる。特に、含水比が12.5%を超える範囲において、値が急増している。計測データにある程度のバラツキが見られるものの全体的な傾向としては、珪砂を用いた図-2と同様の結果となった。

(4) 含水比と土圧の関係

含水比の変化が、ドラム底面の土圧にどのような影響を及ぼすのかについて、両者の関係の散布図を図-4に示す。図-4を見ると、含水比が12.5%以下の範囲では、値はほ

ぼ一定であるが、含水比が15%を超える範囲において、急激に値が上昇していることがわかる。一方で、土が液性状態となった含水比20%の状態においては、土圧は低下している。別途、実施した火山灰土を用いた実験においても図-4と同様の結果が得られており、流動する地盤においては、含水比がある一定レベルを超えると土圧は急増するが、液性状態となる含水比レベルでは、土圧は低下すると考えられる。言い換えれば、流動状態にある地盤においては、土が液性状態となるまでの含水比の範囲において、土圧(地盤の破壊力)が最大となる含水比レベルが存在することを示しており、本実験においては、

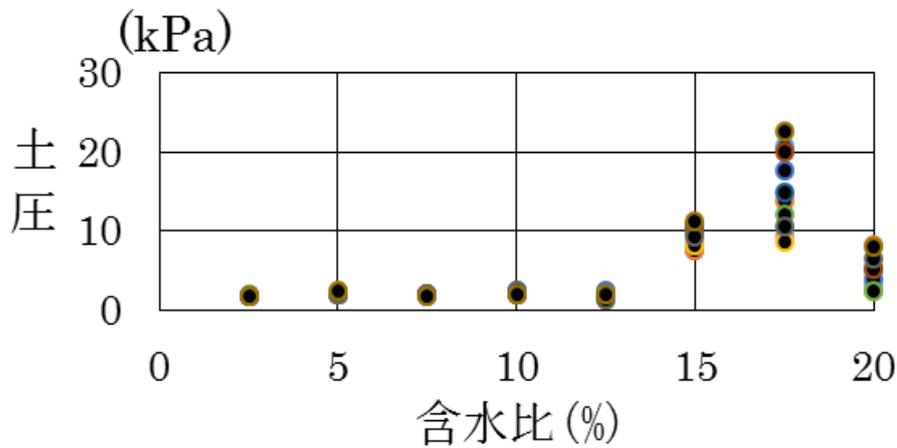


図4 含水比と土圧の関係

概ね、液性限界の9割程度の含水比レベルで、土圧が最大となる結果となった。

性状態となるまでの含水比の範囲において、土圧（地盤の破壊力）が最大となる含水比レベルが存在することを示しており、本実験では液性限界の9割程度の含水比で土圧が最大となる結果となった。

5. 結論

- ① 含水比が上がると、土の流動性は上昇する。しかし、一定の含水比レベルを超えると、その傾向は見られない。
- ② 含水比が上がると流動した地盤内の間隙水圧も上昇する傾向にある。したがって、実際の流動現象を考えた場合、含水比が高い地盤ほど地盤の支持力が低下した状態が継続するものと考えられる。
- ③ まさ土を用いた実験より、流動した地盤の土圧は、含水比がある一定レベルを超えると急増するが、液性状態となる含水比レベルでは低下するという結果となった。流動状態にある地盤においては、土が液

謝辞：本研究は、科学研究費補助金(基盤研究(A):研究代表者:東北大学大学院 風間基樹教授)による「液状化した土の変形特性・流動性の評価」の一環として実施させていただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 森田年一、高木聖人：液状化した土の流動性を対象とした試験装置の作製と検証実験、第14回日本地震工学シンポジウム論文集、pp.3286-3292、2014。
- 2) 森田年一、伊藤聡志：シルト混じり砂層における液状化時の地盤挙動に関する一考察、第13回日本地震工学シンポジウム論文集、pp.4186-4190、2010。

FLUID FLOW CHARACTERISTIC OF SOIL DURING LIQUEFACTION

Toshikazu MORITA, Yuki YAHAGI and Kyoko WAKITA

In the 2011 Higashi-Nihon Great Earthquake, liquefaction occurred in a wide area. In some cases, the liquefaction causes the flow of the soil. In this study, we manufactured a fluid testing machine. In order to investigate the fluid flow characteristic of soil during liquefaction, we carried out revolving tests with this machine. The results of revolving tests suggested that the increase in water content of the soil increased the fluidity of the soil.