

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560611

研究課題名(和文)地盤の液状化現象における振動継続時間の影響に関する研究

研究課題名(英文)Effect of duration of earthquake motion on liquefaction of the ground

研究代表者

建山 和由 (Tateyama, Kazuyoshi)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：10179731

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：最近の地震被害では、これまでのFL法では発生しないと判定されていた地域でも液状化が発生した。この原因として地震動が長時間経過する場合、地盤の不uniform性に起因して一部の地盤で発生した液状化が空間的に拡大し、周辺の地盤の液状化を誘発するという仮定を立て、その可能性を実験で検証することを試みた。実験では、コークス粒子で作成した供試体を加振し、電気抵抗分布の変化から液状化現象の伝播を観察した。現在までの所、局所的な液状化が空間的に拡大する現象を確認するには至っていないが、細粒分を多く含む地盤では液状化の状態の継続時間が長く、この影響で地震の継続時間が長い場合、液状化が起こり易くなることが観察された。

研究成果の概要(英文)：A lot of big damage was induced by liquefaction even at the areas where it had not been judged to be induced on the conventional evaluation due to long duration of earthquake motion in Great East Japan earthquake, 2011. We suggest that a small size of liquefaction, induced at a local area due to the ununiformity in the ground, expands to neighboring area during a long duration of earthquake motion and that it induces the liquefaction widely. We made some experiments to inspect the supposition, observing the spatial propagation of the liquefaction phenomenon through the change of the electric resistance of the coal powder specimen under the vibration condition. Although we have not yet succeeded to confirm the supposing phenomenon, we observed that the liquefaction phenomenon is maintained in a long duration in fine grained soil and that the liquefaction can easily be induced even in the fine grained soil when earthquake motion continues for a long duration.

研究分野：地盤工学

キーワード：液状化 時間依存性 加振時間 電気抵抗 過剰間隙水圧 細粒土

1. 研究開始当初の背景

地震時に発生する液状化の予測手法としては、広域的には行政が液状化被害の発生し易い地域を公示する液状化予測図があり、また局所的には、FL法により地盤の液状化に対する強度と想定される地震動に起因する繰り返しせん断応力との比の大きさを判定する手法がある。これらの予測では、基本的に地震動の強さと地盤の強度に基づき、液状化発生の可能性が評価されている。

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では、関東地方を中心に過去最大規模の広範囲にわたる地盤の液状化が発生した。今回の液状化被害の特徴として、当初自治体が「危険度が低い」と認定していた地域においても被害が出たケースがあり、「揺れの強さだけでなく比較的長い時間揺れが続いたことに起因して液状化が発生した可能性がある」ということが報告されている。液状化の発生における地震動の時間の影響は、地震動が継続することによりエネルギーが蓄積され、液状化が発生したととらえられているが、その詳しいメカニズムは今後の研究に委ねられている。

2. 研究の目的

研究代表者は、これまでに振動場における粒状体の振動挙動について、導電性粒状体を用いてその接触電気抵抗の変化を調べることにより、振動条件と粒子の振動挙動との関係についてある法則性を見いだした。さらに、振動台を使用した土槽実験において、相対密度の異なる互層砂地盤を振動させた際、相対密度の低い地盤で発生した液状化が相対密度の高い地盤の過剰間隙水圧の上昇を引き起こし、その結果、その振動では本来液状化が発生しないと想定された密な地盤においても液状化が誘発される可能性があるという結果を得ていた。

本研究では、これらの研究成果に基づき、地盤の液状化現象が、[地盤の不均一性に起因する局所的な液状化現象の発生] [局所的な過剰間隙水圧の増加] [局所的過剰間隙水圧の周辺への伝播] [周辺地盤における液状化現象の誘発とその拡大]というプロセスにより発生するという仮説を立て、その妥当性を土槽実験で検証するとともに、液状化現象の発生過程と時間との関係について定量的な把握を行うこととした。さらに、その結果を利用して、実地盤の液状化発生予測において地震動の継続時間の影響を組み込む方法を提案することを目指している。

3. 研究の方法

本研究では、上記の目的のために以下に示す3種類の実験を行った。

(1) 導電性粒状体を用いた振動実験

導電性を有する粗粒材料からなる供試体の

両端に電極を配置して電圧をかけると、電流が流れる。このときの電流の大きさは供試体の有する電気抵抗により異なるが、この電気抵抗は粒子の接触状況により決まる。このため、振動場にこの供試体を置いて電流の変化を計測すると、振動を受けた粒状材料の粒子間の接触状況をモニターすることができる(図-1参照)。

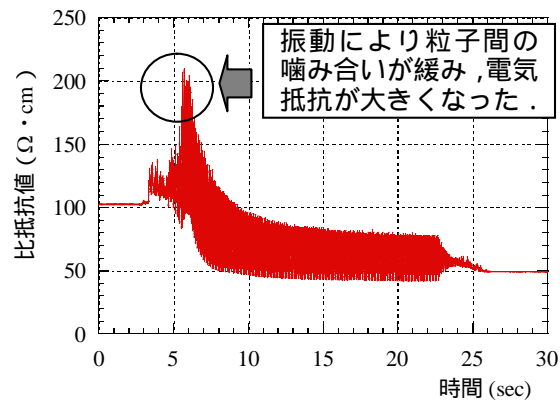


図-1 振動場におけるコークス粒子の電気抵抗変化

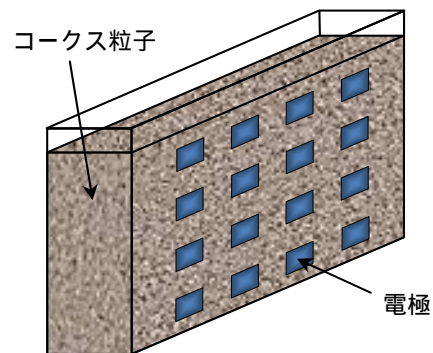


図-2 接触状況分布の計測

実験では図-2に示すように、土槽の両側面に電極を付け、電極間の電気抵抗の変化を計測することにより、電気抵抗の分布、すなわち、コークス粒子のつまり具合の分布を計測することにした。この際、土槽内に人為的にコークス粒子の疎な部分を作り、そこで発生した局所的な液状化現象の周辺への拡大を電気抵抗分布の変化として計測することとし、この実験の結果から、局所的な液状化現象の周辺領域への拡大現象の定量的な把握を目指した。

(2) 過剰間隙水圧の計測

導電性材料を用いた実験では、供試土の電気抵抗の変化とともに、液状化の発生に直結する過剰間隙水圧の分布を計測した。この際、土槽内の底面に間隙水圧計を取り付け、土槽内に密度を変えた供試土を入れて電気抵抗とともに過剰間隙水圧の空間的、時間的な分布を計測した。

(3) 一般の土を用いた液状化実験

今回の実験では、導電性材料に加え、一般の土に対しても液状化実験を行った。これはコークス粒子供試体ではコークス粒子を破碎して人為的に供試土を作成しなければならないため、細粒分を含む供試土の作成が難しいためである。この実験では、電気抵抗による粒子のつまり具合の変化を計測することはできないため、間隙水圧の変化だけを計測した。この実験は、主に細粒分含有率が長時間振動時の液状化現象に及ぼす影響を調べるために行ったものである。

4. 研究成果

(1) 導電性材料を用いた実験の結果

初年度には、コークス粒子の供試体を水で飽和させた実験においても、コークス粒子群の振動時の挙動を電気抵抗の変化で計測し得ることを確認した。本来、水は導電性を有するため、飽和させたコークス粒子供試体の密度変化に伴う微妙な電気抵抗変化を計測できるのかが問題になった。水の電気抵抗が影響するのであれば、導電性を有しない液体で代替することも考えていたが、コークス粒子供試体の電気抵抗は水のそれに比べて非常に小さいため、コークス粒子間の水は実験結果にほとんど影響しないことを確認することができた。

次に、コークス供試体の中に部分的にコークス粒子を緩く詰めた箇所を作り、局所的な密度の不均一性に起因してコークス粒子間の電気抵抗変化が空間的に広がっていく過程の計測を試みた。供試体内のコークス粒子の電気抵抗の部分的な計測は、供試体を入れたアクリル土槽の両側の側壁内側に30mm×30mmの銅板電極を貼り付け、2枚の電極間の抵抗を計測した。電極の対を土槽側面の6カ所に貼り付け、それぞれ対となっている電極間の電気抵抗を計測することを想定していたが、電流は各対間だけではなく、他の電極にも流れるため、1対間の電気抵抗のみを独立して計測することができなかった。このため、各対間に負荷する電圧に振動成分をもたせ、電極毎に振動数を変化させて特定の振動数の電流を計測することにより、各対間の電気抵抗の計測を試みた。しかしながら、この手法でも他の対電極の影響を除去することはできなかった。

このため、図-3に示すように長手方向に複数の帯状の電極を配置し、長手方向に分割された各区間のコークス粒子の電気抵抗を計測した。この手法により、一部の区間のコークスをゆる詰めにした場合の区間毎の電気抵抗の違いとその時間変化を計測した。

図-4は、この土槽の左半分をゆる詰めに、右半分を密詰めのコークス粒子を入れた場合の例である。この他、密詰めとゆる詰めの体積割合を25%:75%、75%:25%に調整した事例と土槽を長手方向に3分割して中央を密詰

め、両サイドをゆる詰めにした場合とその逆にした場合について、実験を行った。

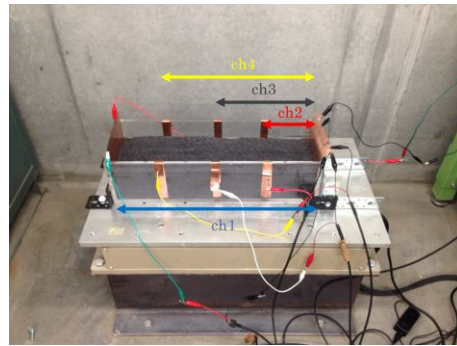


図-3 電気抵抗分布計測の電極配置

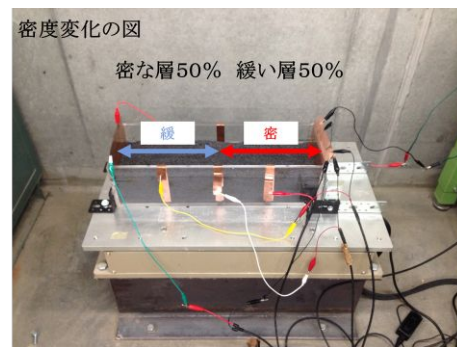


図-4 密詰めとゆる詰めの配置例

各エリアの電気抵抗はチャンネル間の電気抵抗から計算することができる。

図-5は、図-4の供試体を振動台の上で揺らし、75秒間の各電極間の電気抵抗の変化を計測した事例である。同様の実験結果が、各パターンの実験に対して求められている。

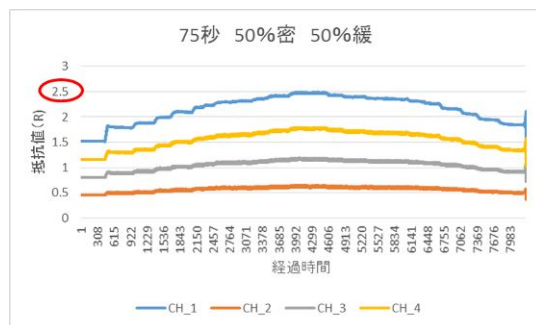


図-5 コークス粒子供試体の電気抵抗変化

これらの結果の分析から、現在までのところ、電気抵抗の変化からは、密度の不均一性に起因して局所的に発生した液状化現象が周辺に伝播するという現象を明確に確認するところまでは至らなかった。この原因としては、振動台の制約から土槽の大きさが制限され、小さな供試体で実験せざるを得なかったため、局所的な電気抵抗分布の把握が困難であったことがあげられる。今後、より大きな振動台を使用し、土槽の規模を大きくして実験を行う予定である。

(2) 過剰間隙水圧の計測結果

なお、実験では電気抵抗と同時に過剰間隙水圧の分布も計測した。図-6に示すように小型の間隙水圧計を土槽の底面に配置し、土槽内の間隙水圧分布の計測を試みた。図-6は土槽内を長手方向に3分割して、中央を密詰めに両サイドをゆる詰めにして計測を行った場合の事例である。

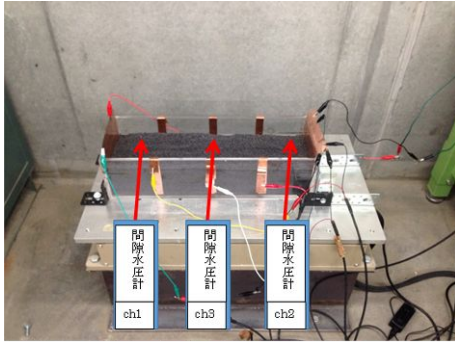


図-6 過剰間隙水圧の計測

図-7は、この実験で計測された過剰間隙水圧分布の計測結果である。この図より、土槽両サイドに緩く詰めたch1とch2の水圧の値が振動開始直後急激に増加し、中央部に密に詰めたch3はこれらに比べ、遅れて緩やかに水圧が上昇していることが分かる。これは、緩い層のch1とch2の局所的な間隙水圧の上昇が伝播し、密な層のch3の間隙水圧の上昇を引き起こしたと考えることができる。このことから、局所的に発生した液状化が、時間の経過とともに周辺に伝播する現象が存在する可能性は十分にあると考えられ、今後、引き続きその検証を行っていく。

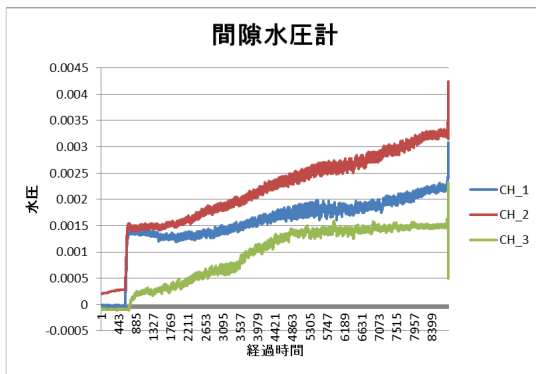


図-7 過剰感間隙水圧の上昇

(3) 一般の土を用いた液状化実験の結果

今回の実験では、通常の土を使った液状化実験も行った。この実験では、図-8に示すような粒度分布を有する土を土槽に入れて液状化実験を行った。実験では振動台を用いて供試土に加振を行い、供試土内の2箇所において過剰間隙水圧の変化を計測した。その結果、一般に、細粒分含有率 F_c の大きい地盤は液状化し難いとされており、今回の実験結果でも

F_c や均等係数 U_c が大きい場合には振動1サイクル当りの水圧上昇率は小さくなるという結果になっている。しかしながら、地盤内部で蓄積しうる水圧という点では図-9に示すように F_c や U_c が大きい供試土ほど大きくなる傾向を示すことがわかった。このことは、短期間の地震では確かに F_c が大きいほど液状化は起こり難いと解釈できる一方、地震動が長時間継続するような場合には、過剰間隙水圧が蓄積され、液状化の被害が大きくなる可能性のあること示唆していると考えられる。この点も今後、引き続き研究を進めていく。

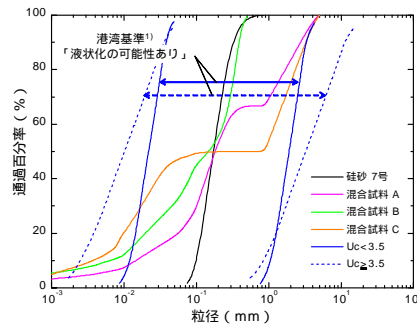


図-8 実験で用いた土の粒度特性

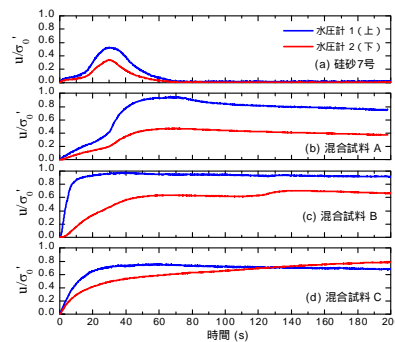


図-9 液状化時の過剰間隙水圧の継続特性

以上、地盤の液状化現象が、[地盤の不均一性に起因する局所的な液状化現象の発生] [局所的な過剰間隙水圧の増加] [局所的な過剰間隙水圧の周辺への伝播] [周辺地盤における液状化現象の誘発とその拡大]というプロセスにより発生するという仮説を立て、その妥当性を振動台を使用した土槽実験で検証することを試みた。

その結果、導電性材料の電気抵抗変化を使った実験では、必ずしも明確にこの現象を把握するまでには至らず、想定される問題点を解消して引き続き検証を続ける。しかしながら、電気抵抗と同時に計測していた過剰間隙水圧から、この現象の発生を確認することができた。この点についても併せて検証を進めていく。

さらに、一般の土を用いた液状化実験では、細粒分を多く含む土では一般的に言われているように液状化現象は起こり難いものの、一端液状化が発生すると過剰間隙水圧の消散が遅く、繰り返し地震が発生するようなケースでは、先行する地震による液状化が収束

していない状態で次の地震動が来ることになるため、液状化被害が拡大する危険性があることが明らかになった。この点は、当初想定していなかった事象であり、地震動の継続時間が液状化被害に及ぼす影響の視点として、引き続き研究を続けていくことにする。

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 0件)

〔学会発表〕(計 1件)

宮本崇広，芹川鉄平，小林泰三，建山和由：地盤の液状化に及ぼす粒度特性の影響に関する振動台実験，土木学会関西支部年次学術講演会，2015年5月30日，摂南大学寝屋川キャンパス（大阪府・寝屋川市）

6. 研究組織

(1)研究代表者

建山 和由 (TATEYAMA Kazuyoshi)
立命館大学・理工学部・教授
研究者番号：10179731

(2)研究分担者

小林 泰三 (KOBAYASHI Taizo)
福井大学大学院・工学研究科・准教授
研究者番号：10380578

横山 隆明 (YOKOYAMA Takaaki)
立命館大学・理工学部・助手
研究者番号：30562110