

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 7 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009 ~ 2011

課題番号：21560526

研究課題名（和文） 振動場における粗粒土の動的挙動の解明とその工学的利用

研究課題名（英文） Elucidation of the Dynamic Behavior of Granular soil in Oscillation Fields and its Technological Application

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

## 研究成果の概要（和文）：

振動場における粗粒材料の挙動をコークス粒子からなる供試体の電気抵抗変化として捉えることにより、振動条件（振動数，振幅）や粒子条件（粒径，詰まり具合）と振動場における粒状体の挙動について研究を行った。その結果，粒状体の接触状況は，振動加速度だけではなく，粒子の粒径と振動振幅の比により影響を受けること，ならびに，水で飽和させたコークス供試体でも振動場における粒子の挙動を電気抵抗変化として計測し得ることが明らかになった。

## 研究成果の概要（英文）：

The dynamic behavior of the granular soil in oscillation fields was studied through experiments. The tangency among the particles was measured by the electric resistance of coal particle specimens during oscillation to discuss the relationship among dynamic behavior of granular materials, the properties of particles (size and packing density) and the vibrating conditions (frequency and amplitude). It has been made clear that the inter-particle tangency depends not only on the acceleration of oscillation but also on the ratio of the particle size to the oscillation amplitude and that the electric measurement was available even to the coal specimen which was perfectly saturated with water.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2100000	630000	2730000
2010年度	700000	210000	910000
2011年度	800000	240000	1040000
年度			
年度			
総計	3600000	1080000	4680000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、地盤工学

キーワード：粒状土，振動，液状化，振動数，振幅，粒径，電気抵抗

## 1. 研究開始当初の背景

盛土工事や管路などの埋め戻し工事では、一般に砂や礫混じり土などの粗粒材料が用いられるが、これらの地盤が地震を受けると、地表面沈下を起こす場合が多い。これらの沈下は、地震に伴う液状化に起因すると考えることが多いが、近年の地震では、地下水が深い位置にあり、飽和していない地盤においても地震の際に大きな地盤沈下を発生する事例がみられるようになった。

写真-1は、2007年の新潟地震の際に観測された地盤の沈下の事例である。建物は深部の基礎地盤に基礎を置いているため沈下することはないが、周辺地盤では、最大で1.6m以上の沈下が観測された。建物周辺の地盤の地下水位は低い位置にあるため、建物周辺の地盤沈下は、通常の過剰間隙水圧の上昇を伴う液状化ではなく、振動により土粒子同志の噛み合いが緩み、粒子の相互移動によるPacking現象が起こったと考えられる。このような地震被害では、建物自身の被害は少ないが、埋設管などのインフラに大きな被害が生じるため、建物も機能面から使用できなくなるケースが多い。この被害を防ぐには、地震に際しても粒子の相互移動に起因するPacking現象を生じさせないような盛土の造成や埋め戻し作業を行う必要がある。



写真-1 地震による地盤沈下の事例

一方、振動を受けたときに土粒子間の噛み合いが緩み、相互移動が起こりやすくなるという現象を逆に利用して施工の効率化を図る技術もある。振動杭打ちや振動掘削などである。これらの技術はすでに確立されているかのように思われているが、振幅や振動数などの振動条件の設定は経験よるところが多く、個々の地盤に最適な振動条件が与えられているとは限らない。将来的には、地盤を構成する土の特性に応じて、振動条件を最適化し、

少ないエネルギーで所定の作業を行うことができるシステムの構築が望まれる。

これらの検討を行うには、振動場において粗粒材料の挙動を分析し、振動により粒子間の噛み合いが外れやすい振動条件、ならびにそれと粒子特性との関係について解明する必要がある。

## 2. 研究の目的

振動場における砂礫などの粗粒材の挙動を新しい実験手法を用いた室内実験とDEMを用いた数値計算で解明する。この研究の成果を利用して、粗粒材料を用いた盛土や管路の埋め戻し作業において、地震時にこれらの材料の強度低下や体積変化を防止するための簡便で実用的な施工管理のための指針を与えると同時に、振動杭打ち機、振動掘削、振動締固めなど、振動を利用した施工において地盤特性に応じて振幅や振動数などの振動条件の最適化を図るシステムの提案を行うことを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 導電性粗粒材料を使った振動実験

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(図-1参照)、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。

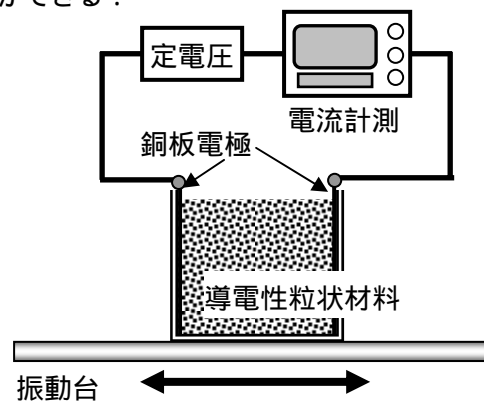


図-1 導電粒状材料の電気抵抗の計測

図-2は、導電性粒状材料として、コークスを砂粒子状に破碎しものを用いて供試体を作成し、この供試体に簡易的な振動を与えた際の供試体の電気抵抗を計測した結果である

(振動数10Hz, 振幅3.5mm, 粒径 0.85mmのゆる詰め供試体)。振動を負荷して直後に, 電気抵抗が上昇し, その後, 徐々に抵抗が振動しながらも小さくなっていく挙動が観測される。これは, 振動を受けた当初は, コークスの粒子が相互に移動し, 粒子同士のかみ合いがゆるんで, 接触点が少なくなり, 結果として供試体の電気抵抗が大きくなったが, 時間の経過とともに徐々に粒子の再配列が起こり, 粒子が密に詰まっていくにつれて, 電気抵抗が小さくなったためである。

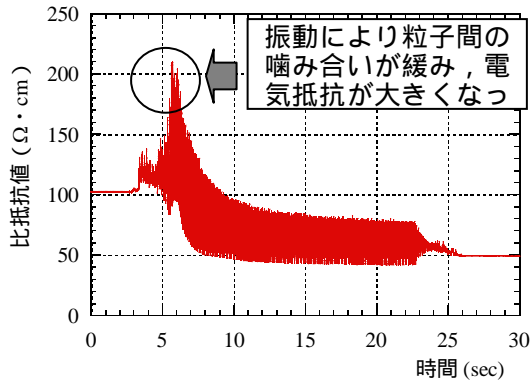


図-2 コークスの振動実験の結果の一例

実験では, 振動条件(振動数, 振幅)や粒子条件(粒径, 詰まり具合)と振動場における粒状体の挙動との関係について検討を行った。

これらの実験は, 基本的には当初の研究目的の達成のため, 乾燥状態のコークス粒子に対して行ったが, 昨年3月に発生した東日本大震災で砂地盤の液状化被害が大規模に発生したことを受け, この実験方法を飽和したコークス粒子に試験的に適用し, 計測可能性を調べた。

#### (2) DEMによる数値計算

粗粒材料の挙動を数値計算でも検討するために, DEM解析を行う。通常の2次元DEMに振動効果を組み入れて, 粒子の振動挙動に及ぼす振動条件と粒子条件の影響について分析を行った。

#### 4. 研究成果

図-3に振動台の最大加速度と比抵抗変化率の関係に関する実験結果を示す。ここで, 比抵抗変化率とは, コークス粒子による供試体の抵抗値変化を初期抵抗値で除した値で, 振動によりコークス粒子の接触の変化を表す指標であり, この値が大きいほど, 粒子の接

触が外れていることを意味している。

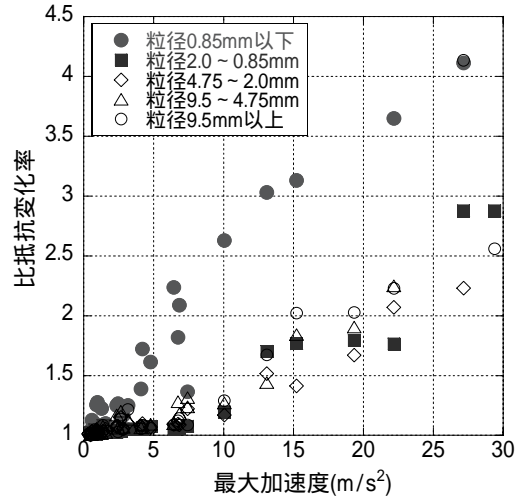


図-3 最大加速度と比抵抗値の関係

この図より, 比抵抗変化率は, 最大加速度に比例して大きくなり, 加速度が大きいほど粒子が外れやすくなることがわかる。しかしながら, その程度は, 粒径により異なり, 粒径が小さいときには比抵抗変化率は大きくなり易いが, 粒径が大きくなると比抵抗変化率の増大が抑えられ, 粒子間の噛み合わせが外れ難くなることがわかる。

図-4は, 比抵抗変化率をコークス粒子の平均粒径を振動振幅で除した値で整理した結果である。

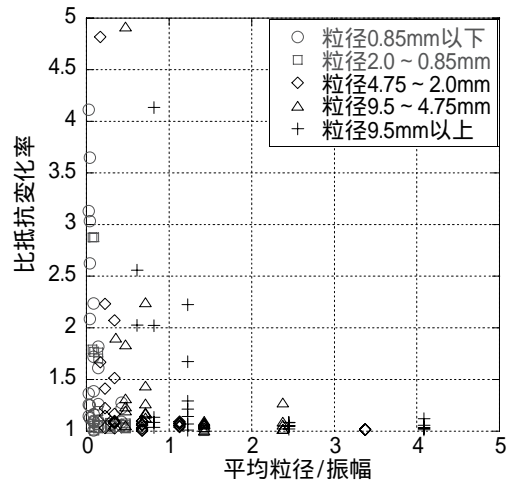


図-4 平均粒径 / 振幅と比抵抗変化率の関係

この図より, 平均粒径 / 振幅の値が1を超える, すなわち, 振動の振幅が粒子の平均粒径より小さくなると粒子間の噛み合わせが緩みにくくなる。以上の結果から, 振動場における粒状体の挙動は, 振動加速度とともに粒子の粒径に対する振幅の大

きさが関係することがわかる。

また、図-5は、比抵抗変化率に対するコークス粒子の初期相対密度との関係に関する実験結果である。

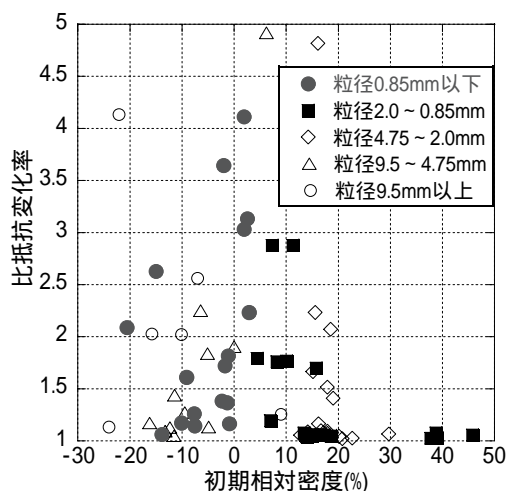


図-5 比抵抗変化率に及ぼす初期相対密度の影響

この図より、従来言われているように相対密度の高い領域では、比抵抗は増加せず、粒子間の噛み合わせが緩みにくいことが確認できる。一方で、相対密度が極端に低い領域でも、比抵抗はあまり大きくならないことがわかる。これは、粒子が非常に緩く詰まった領域では、粒子のかみ合いが緩み、粒子間の接触が外れる現象が顕著になるプロセスを経ずして、瞬間的に粒子のPackingが生じるためと考えられる。

この研究では、一連の研究成果をもとに地震時に体積収縮を起こし難くするための盛土や埋め戻し材の選択、締固めに施工管理基準について一定の考え方をまとめた。

また、これらの研究と平行して、振動杭打ちを想定した模型実験を行い、振動条件（振幅、振動数）と粒径との関係についても検討を行った。その結果、供試体の粒径に応じて杭を最も効率的に貫入することのできる振動条件が存在することを明らかにし、実施工における今回の研究成果の利用法について示した。

なお、DEMによる数値シミュレーションでは実験結果と同様の傾向が得られたが、実験で得られた以上の知見を得ることはできなかった。

最後に行った飽和したコークス供試体に対する実験では、コークスの電気抵抗が水よりも遙かに小さいため、コークス粒状体の接触状態の変化による電気抵抗変化の計測結果に水の存在はほとんど影響を及ぼさないこと、ならびに粒子が水に浮遊する状態が

起こり易いため、乾燥状態に比べ、粒子同士の接触が離れている状態が長く継続することが明らかになった。この結果は、砂地盤の液化化現象のより詳細な分析に利用できるものであり、継続して研究を行うべく次年度の科学研究費補助金に改めて申請を行った。

## 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3件)

竹村弥生, 建山和由: 振動場における粒状体の挙動に関する実験的研究, 土木学会論文集 C, Vol.68, No.1, pp.127-137, 2012 (査読有)

Y.Takemura, K.Tateyama: Optimization in some constructions through effective use of oscillation, Proceedings of the 9<sup>th</sup> Asia-Pacific ISTVS Conference, 2010. (査読無)

Y.Takemura, K.Tateyama: A research on the behavior of soil particles in an oscillatory field and its application to vibratory construction, Proceedings of the 11th European Regional Conference of the ISTVS (CDR), No.33 in CDR (6 pages), 2009. (査読無)

〔学会発表〕(計1件)

竹村弥生, 建山和由: 振動を用いた施工の最適化に関する研究, 第4回オーガナイズド・テラメカニックス・ワークショップ, 2010年10月28日, 東根温泉(山形県)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

## 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