

令和7年度 特別研究テーマ報告書

遠心力載荷装置に基づく水平2方向地震動を入力とした砂地盤に関する実験

京都大学大学院 修士2年 浅見 健斗

鳥取大学大学院 修士2年 古川 賢

特別研究テーマの目的・背景

2024年能登半島地震、2023年トルコ・シリア地震では、液状化をはじめとする多くの地盤被害が発生し、建物やインフラに重大な影響を与えた。将来の持続可能な社会の実現に向けて、頻発する巨大地震に備えた地盤の液状化に対する振動台実験の実施や評価手法の向上は必要不可欠である。地盤の液状化に関する振動台実験は、一般的に遠心力載荷装置によって行われている。遠心力載荷装置は、遠心力を利用することで、実物に近い地盤の挙動を再現できるため、地盤の強度は周辺から生じる拘束圧に依存することを考えると、実現象の地盤挙動を再現することに適している。そのため、遠心力載荷装置を使用した地盤模型を対象とした振動台実験が数多く行われている。日本国内にも、大学、企業や研究機関が遠心力載荷装置を保有している。

実際に発生する地震は水平2方向に複雑に振動することを考えると、実現象の地盤の地震時挙動をより再現するためには水平2方向に加振する振動台実験を行う必要がある。前述したように、日本国内には数多くの遠心力載荷装置があるものの、正常に水平2方向に振動を与えられる遠心力載荷装置は存在しない。また、日本国外においても水平2方向に振動を与えられる遠心力載荷装置は限られているが、米国・レンセラー工科大学(Rensselaer Polytechnic Institute)の地盤工学グループが保有している遠心力載荷装置は、水平2方向に振動を与えることができる。

そこで、本特別研究テーマでは、レンセラー工科大学を訪問し、水平2方向に振動を与える遠心力載荷装置を使用した振動台実験を実施し、実現象の液状化挙動を確認することで、液状化評価や最先端の実験施設に関する知見を増やすことを目的にする。また、米国の地盤工学に関する研究について学び、研究手法やアプローチなどの知見を深めることを目的とする。

訪問国・場所

- ・アメリカ合衆国・ニューヨーク州トロイ市，レンセラー工科大学

キャンパスはニューヨーク州トロイ市に位置し，1824年に創立された．創立から200年の歴史を誇り，米国で最も歴史の長い理系大学であることが知られている．レンセラー工科大学は，優れた教育と研究に定評があり，米国国内に限らず世界中から学生が集まる大学である．学生，教員や卒業生が長年にわたって世界の技術革新に多大な貢献し続けており，工学における国際的な影響力を持っている．また，地盤工学に関する研究を行っている教員も所属しているため，本特別研究テーマに関して，貴重な意見や助言をしていただけると考えられる．

訪問日程

現地の滞在日は，2月22日～3月18日の約3週間である．本来ならば，遠心振動台実験を実施する予定であったが，渡航直前に実験装置が故障してしまい，加振実験をすることができないことが判明した．航空券などの渡航に向けた各種手続きを進めてしまっていたため，世界的に貴重な水平2方向に加振することができる遠心力载荷装置の見学や，米国の地盤工学に関する研究について学び，研究手法やアプローチなどの知見を深めることを主な目的とした．

なお，本来実施する予定であった作業の中で，実施可能な箇所までは実施し，実験のノウハウを教えていただいた．以下に現地での作業日程，作業内容をまとめる．

日付		実施内容
月	日	
2	23	暴風雪警報のため，ホテル待機
	24	先生，技術職員や学生と実験計画の打合せ 実験室，大学施設見学
	25	学生による実験施設，研究室の案内
	26	地盤作製練習の準備
	27	・練習用土槽を使用した試験体作成練習
	28	休日

日付		実施内容
月	日	
3	1	休日
	2	地盤作製練習の準備
	3	・練習用土槽を使用した試験体作成練習
	4	・メンブレンの作成
	5	・センサーのキャリブレーション ・粘性流体の配合決め
	6	実験で使用する土槽を用いた地盤作成
	7	休日
	8	
	9	実験で使用する土槽を用いた地盤作成
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	休日
	15	
	16	実験室の片付け
	17	別れのあいさつ・食事会

訪問先での作業内容

・1 週目

現地に到着した日からニューヨークは、10 年に 1 度の大雪が発生していた。そのため、外出禁止であったため、初日は宿泊先で待機した。土地柄的に雪が多く降る地域であるが、今年は特に積雪量が多く、訪問した 1 か月前にも大雪が降ったそうである。気温も日本と比較して低く、寒暖差が激しかった。



キャンパスの様子

訪問初日は、先生、技術職員や学生との顔合わせ、滞在中の計画について確認を行った。また、実験施設や大学施設の見学を行った。レンガ造りのキャンパスが 111 ヘクタールの敷地に広がっており、圧倒的であった。

1 週目の主な作業は、メンブレンの作成やセンサーチェック、試験体作成の練習を行った。メンブレンとは、土槽（試験体を作成する入れ物）と地盤の間に必要なものである。特注の土槽であるため、メンブレンは実験ごとに手作りで作成している。過去に、メンブレンに穴があいてしまい、実験ができないことがあったそうなので、丁寧に作成した。接着剤が乾く時間が必要であるため、数日かけて作成した。

また、センサーが正常に計測できるかの確認と、センサーごとに正常な値を計測できるようにキャリブレーションを行った。

そして、本番に使用する土槽に試験体を作成する際、目標の固さの地盤を作成することができるよう、形状や大きさが似た土槽を用いて試験体の作成練習を行った。



メンブレンの作成の様子



試験体作成練習の様子

・2 週目

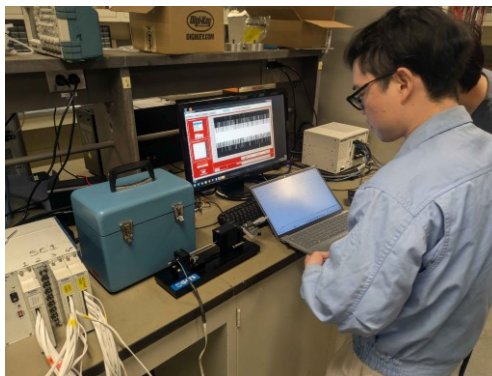
粘性流体の配合を調整した。粘性流体は、遠心加速度の大きさに合わせて、粘土を調整する必要がある。粘性流体の配合は、気温や湿度によって異なるため、目標の粘土になるように、配合を調整した。粘性流体は、メチルセルローズを使用し、それを水で溶かすことで作成した。日本においても、メチルセルローズは粘性流体で使用されている一般的な材料である。



粘性流体の作成の様子

また、センサーの動作確認も 1 週目に引き続き実施した。試験体には加速度、間隙水圧、LVDTs といった様々なセンサーを設置するのだが、設置するセンサーが適切に動作しているのかをデジタル無線式センサー校正システムを使用し、計測した校正係数と過去の計測

結果を比較することによって該当のセンサーが使用可能かを確認した。



キャリブレーションの様子

・3 週目

加振時に使用するせん断土槽を使って試験体を作成した。センサーの設置や、目標の地盤の固さになっている確認するため、時間をかけて丁寧に作成した。本研究では、試験体の目標の相対密度に対して、概ね良好な密度の試験体を作成することができた。



作製した試験体

特別研究テーマを終えての感想

浅見

本特別研究テーマの助成により、貴重な経験を得ることができた。今回の渡航では、普段日本で行っている研究活動とは異なる環境に身を置き、日本とは違う難しさや取り組みやすさの両方を実感した。

出発前には実験装置の故障をはじめとするトラブルが発生し、到着後にはニューヨークで10年に1度とも言われる暴風雪に見舞われるなど、さまざまな困難に直面した。しかし、そのような状況の中で、計画通りに進まない場合でも柔軟に対応し、周囲と相談しながら物事を進める力を養うことができたと感じている。

現地では、作業を効率化するために、自分たちでアイデアを出し合い、さまざまな工夫を重ねていたことが特に印象に残った。例えば、3Dプリンターを用いて研究に必要な道具を製作し、作業の効率化を図っていたことには驚かされた。また、旋盤や加工機械も学生が自ら使用することができ、自身の研究に必要な器具の製作や、改良を行っていた。また、実験を進めるために、レンセラー工科大学の学生と話し合いをすることが何度もあり、その中で様々なことに気付いた。このように、小さな工夫から大きな工夫まで、研究を効率よく、確実に進めるための姿勢が随所に見られ、大いに刺激を受けた。また、言語や文化の異なる環境で研究活動を行ったことで、相手に自分の考えを正確に伝えることの難しさと重要性も学んだ。

授業を見学した際には、学生全員が真剣に学習に取り組んでいる姿が印象的であった。研究活動だけでなく、日々の学修にも高い意識を持って臨んでいる様子が見え、自分自身にとっても良い刺激となった。

また、レンセラー工科大学の方々には、大学近くのレストランやショッピングセンターなども教えていただき、生活面においても充実した時間を過ごすことができた。日本と比べると物価の高さを感じる場面もあったが、訪問したトロイ市はニューヨーク州内では物価も安く治安も良かったため、現地の生活や文化にも触れながら、多くの経験を得ることができた。

最後に、出発前には実験装置の故障というトラブルについて親身に相談に乗っていただいた前田記念工学振興財団 北林 久人氏をはじめ、現地で支えてくださった方々に、ここに感謝の意を示す。本特別研究テーマを通じて得られた経験や学びを、今後の研究活動に生かしていきたい。

古川

今回の渡米での短期留学は、私にとって非常に貴重な経験となりました。現地の大学では、本研究の主眼である水平2方向加振の遠心力载荷装置はもちろんのこと、その他の分

野の実験装置や学内設備も非常に充実していました。日本の大学ではなかなか得られないような恵まれた環境で学問に打ち込める学生たちをうらやましく思うと同時に、大学進学の際にアメリカなどの海外の大学を選択肢に入れることの意義を強く実感しました。

また、私自身はこれまで主に解析を用いた研究を行ってきたため、実際の実験作業は新しい発見ばかりで非常に興味深いものでした。試験体作製に使用する道具の多くがハンドメイドや 3D プリンターで作られており、状況に応じて工夫を凝らしながら実験を進めるプロセスは、解析にはない醍醐味があり大いに刺激を受けました。今回は残念なことに渡米前に実験機が故障してしまい、現地で実際の加振を行うことはできませんでしたが、修理が済み次第、その様子をオンライン配信で共有していただけることになりました。直接加振の瞬間に立ち会えずとも、現地で装置の詳細な構造を直に観察し、試験体作製からセッティングに至るまでの実践的なノウハウを吸収できたことは、私にとって非常に大きな財産となりました。

最後に、遠心実験について一からご指導いただいた浅見様、現地の大学で手厚くサポートしてくださった教職員や学生の皆様、そして研究費用を助成していただいた前田記念財団の皆様に心より感謝申し上げます。今回の経験から得られた多くの学びや様々な方との出会いを、今後の自身の成長の糧としていきたいと考えております。

参考

- Rensselaer Polytechnic Institute, 《<https://www.rpi.edu/>》, 2026 年 3 月 25 日閲覧.
- Rensselaer Polytechnic Institute Geotechnical Centrifuge, <<<https://tc104-issmge.com/wp/wp-content/uploads/2023/07/USA-RPI.pdf>>>, 2026 年 3 月 25 日閲覧.