

ジョン万プログラム実施報告

実験技術グループ 波岸彩子

はじめに

2019年度、本学のジョン万プログラム¹に採用され、米国ニューヨーク州のレンセラー工科大学(RPI: Rensselaer Polytechnic Institute)へ出張する機会をいただいた。目的は、筆者が防災研究所で長期支援を務めている実験装置について、最先端の実験技術をこの目で確かめることである。本プログラムは2012年度から始まり、教員や学生の方々を数多く派遣してきている。みずから派遣先を選定し、日程を決め、渡航するというなかば武者修行的な研修であったが、周囲の方々のサポートのお陰で無事に実施することができた。以下に研修内容を報告させていただく。

研修の概要

研修者は、遠心力載荷装置(以下、遠心)と呼ばれる、地盤や地盤-構造物の模型に対して遠心加速度を与えて実地盤と同じ応力状態を再現し、地震時の挙動を実験的に研究するための施設で技術支援業務を担当している。本研修では、米国の研究機関における遠心の技術支援体制について見識を深めるとともに、高度な実験技術の習得を目的としてRPIを訪問した。研修はタレク・アブドゥン教授の受け入れのもと、表1のスケジュールに沿って実施した。日々の具体的な作業工程についてはRPIの技術職員であるカイル・ヴァイコール氏から教示いただいた。

表1. 研修スケジュール

日時	場所	内容
2020/1/19(日)	宇治～トロイ	移動日
2020/1/20(月)	レンセラー工科大学	祝日
2020/1/21(火)		関係者へ挨拶、試験装置の見学
2020/1/22(水)		試験体準備
2020/1/23(木)		試験体準備
2020/1/24(金)		試験体準備
2020/1/25(土)		週休日
2020/1/26(日)		週休日
2020/1/27(月)	レンセラー工科大学	遠心実験の見学
2020/1/28(火)		遠心実験の見学
2020/1/29(水)		遠心実験の見学
2020/1/30(木)		試験体の撤収、研修の振り返り
2020/1/31(金)		関係者へ挨拶
2020/2/1(土)	トロイ～宇治	移動日
2020/2/2(日)		

¹ 専門性の高い知識や技術の修得を目指して、海外の学術機関等における関連施設で調査・研修を行うことにより、得られた成果を本学の施策、業務に活用することを目的とした研修プログラム(京都大学ジョン万ウェブサイト [<http://www.john-man.rp.kyoto-u.ac.jp/index.html>])

具体的な研修内容

試験装置の見学

RPI の遠心は有効回転半径 3m のアーム型(図 1)であり、かご状のプラットフォーム(図 2)を片側にのみ有している。DPRI²のように両端にプラットフォームを持つ方式ではなく、アームに搭載された錘を水平移動することで中心軸にかかるモーメントを調整していた。プラットフォームには 2 軸載荷可能な油圧式振動台を有している。遠心と振動台の仕様を表 2 に示す。実験室は独立棟ではなく JEC(図 3)と呼ばれる建物内に所在し、ピットは地階とその上階の空間を用いて構成され、制御室を含む前室 4 室が設けられていた。



図 1. 遠心載荷装置



図 2. プラットフォーム



図 3. JEC の概観 “Jonsson Engineering Center on the campus of Rensselaer Polytechnic Institute in Troy, New York, United States”: [CC-BY-SA-3.0/Matt H. Wade](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jonsson_Engineering_Center.jpg) at Wikipedia

表 2. 装置仕様

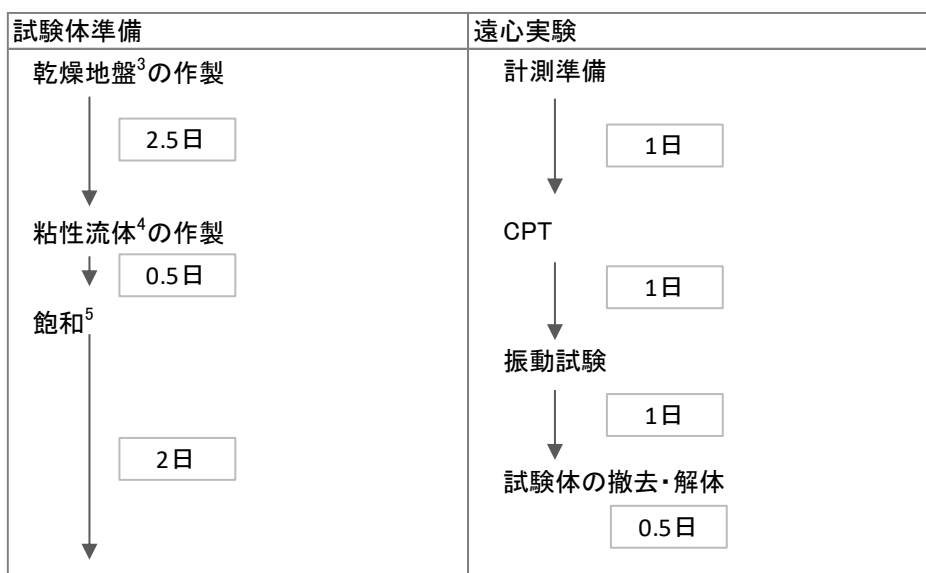
	RPI	DPRI	
遠心載荷装置	有効回転半径 (m)	3	2.5
	試験体の最大寸法 (m)	1 x 0.66 x 0.8	0.6 x 0.6 x 0.35
	最大載荷容量 (g・ton)	100	24
	最大遠心加速度 (G)	200	100
	最大回転数 (r.p.m.)	265	260
振動台	周波数範囲 (Hz)	20-350	DC-200
	変位 (mm)	±6(各軸)	±5
	搭載荷重(kg)	250	100

² 防災研究所 (Disaster Prevention Research Institute) の略称。

試験体準備、遠心実験の見学

RPI は、国際プロジェクト LEAP (Liquefaction Experiment and Analysis Projects) の 2019 年度の主宰機関である。LEAP は複数の研究機関において液状化に関する遠心模型実験の国際一斉試験をするもので、DPRI では 2019 年 7 月に実施した。計測項目や試験手順が細かく指示されており、業務の中で難易度の高い試験のひとつだと感じていたので、本研修では LEAP の見学を目的のひとつとした。試験の全体的な手順を表 3 に示す。試験における役割分担は、学生が責任者となって試験体の準備を進め、技術職員は試験体完成後の計測準備やオペレーションを任されているようであった。このような実験支援の形態に関しては DPRI と同様である。試験体準備には週末を含む 5 日間程度を要し、学生らは細心の注意を払って作業していたので、研修者は邪魔にならない範囲で重要な工程を見学した。空き時間にはカイル氏が大学構内を案内してくれたり、遠心の仕様書とマニュアルを閲覧させてもらった。試験体の完成後はカイル氏の仕事に着目しながら遠心実験に立ち会った。計測準備に 1 日要したほか、CPT³と振動試験⁴を実施するのにそれぞれ 1 日ずつ要した。

表 3. 試験の全体的な手順



³ コーン貫入試験 (Cone Penetrometer Test) の略称。地盤強度を調べるための試験。

⁴ 地盤模型に振動を与えて液状化を発生させる試験。

⁵ 液状化の模型実験では、土粒子の間隙が水で満たされた飽和地盤を作ることが目標となる。飽和地盤を作るために、まずは砂試料を所定の密度で敷き詰めた乾燥地盤を作る。

⁶ 間隙水として使用するメチルセルロース溶液。

⁷ 粘性流体を乾燥地盤へ浸透させる作業。空気の混入や水圧による地盤のかく乱を防ぐため、真空下で非常にゆっくりとした速度で浸透させなければならない。



図 4. 試験体を遠心に設置する様子



図 5. 計測準備の様子



図 6. 制御室。モニター6台のうち監視用3台、計測 PC 用、遠心操作用、CPT 操作用として使用



図 7. 遠心実験の様子

本学の国際化に対する研修成果の活用方法・フィードバック

LEAP プロジェクトへの効果

まさに RPI が指示してきた条件どおりの試験を間近で見ることができた。測定項目が多く本当に全部測定しているのか疑問だったのだが、計測器の故障による欠測を除き問題なく計測できていた。また学生らが想像以上に丹精込めて試験体を作製する姿には胸を打たれた。その一方、我々もまったく同様の熱意と手順で試験に取り組んできたことを確信し、海の向こうで同じ試験に取り組んでいることに感銘を受けた。計測器を所有しておらず DPRI では測定を断念した面圧分布という項目について、RPI で使用しているメーカー品の型番や防水処理方法を調べてきたので今後導入する際の足掛かりとしたい。

試験装置への見識を深める効果

RPI の遠心は高度に安定した二軸載荷が可能な振動試験システムを有しており、特に動的試験分野で先駆的な研究を続けてきている。DPRI の振動台は一軸で、振動試験時に意図しない振動成分が入ることが課題となっている。将来的なシステム更新に備えて有益な知見を得ることも本研修の目的のひとつであった。タレク教授に RPI の振動試験システムの特徴を伺ったところ、DataPysics 社製の振動制御プログラムを組み込んでおり、加速度ピックアップのフィードバックを利用して振動制御していることがわかった。今後類似のシステムを DPRI で導入する余地があるか検討を進めたい。また DPRI の油圧システムは油温の適温が 20~40℃とされているが、加振後の油温上昇に伴って波形の再現性が悪くなることが経験的にわかっている。カイル氏に相談したところ、

RPI でも冬場は特に波形の再現性は悪くなるが、暖機運転を長めにする事で解消するそうだ。加振直後の温度変化が小さくなるまで暖気運転してみてもとアドバイスいただいた。

振動システムだけでなく計測システムも洗練されていた。遠心実験では、ひずみ式変換器、ベンダーエレメント、ハイスピードカメラといった各種計測器を高速回転するアームの上で使用するため配線には注意が必要である。RPI ではプラットフォーム側方デッキの測定器に計測器の端子を接続するだけで、制御室の PC から一律に制御・測定できるようになっていた。DPRI は完成されたひずみ式変換器の測定システムを有しているが、レーザー式変位計やベンダーエレメントの測定には別途専用機材を用意する必要がある。これらの機材の設置・撤去は技術職員の業務であり、頻度が高まると他の業務を圧迫する。機材を固定・常設できれば限りなく業務を効率化できると考えられるので、今後その可能性を探りたい。

安全衛生面での効果

DPRI の遠心では 2018 年度実績で年間 380 回(平日 1 日当たり 1.6 回)の試験を実施しており、実験場内の安全管理が大きな課題となっている。とりわけ留学生の利用が年間 3 割程度あり、マニュアルや掲示物を英語へ統一することは急務である。また国民性によって清掃・整頓の感覚が大きく異なるので、標準的な安全衛生環境を維持するためには何らかの対策が必要だと思っていた。本研修では安全衛生という切り口で RPI を観察し、以下の点に気づいた。

- ・ 廊下の壁面に「安全第一」を意味する標識がいくつも貼ってあった(図 8)。日本語に比べて直接的な言葉が多く使われている。注意を引くことと、意味を瞬時に理解させることが重要だと学んだ。またドアや突起物の色が赤や黄で統一されており、視認性を高めていると考えられた。
- ・ Rensselaer Wikipedia という学内限定ウェブサイトが存在し、Wikipedia とまったく同じユーザーインターフェイスでマニュアルが閲覧できるようになっていた(図 9)。学内のどこでも閲覧でき、関係者の誰もが加筆修正できる点に利便性の高さを感じた。
- ・ 計測器の保管にはコンテナラックを利用していた(図 10)。各コンテナにシリアル番号のラベルが貼られており、借りた人が返却場所に困らない。貸し出し帳簿を作って管理するのに適していた。
- ・ 安全衛生用具が視界に入りやすい場所に配置されていた(図 11、12)。実験室内はよく整頓されており、救急箱、緊急用洗眼器、手袋、耳栓などが初めて部屋に入った人でも見つけやすかった。

これらを参考に、DPRI でも安全衛生の国際化を推し進めてゆく所存である。

米国人と日本人の安全意識の違いについても発見があった。RPI では、標識やマニュアルが完璧とあっていいほど整備されている反面で、ヘルメットは見当たらず、技術職員は冬でも半袖姿だし、学生は高いところから平気で飛び降りるので研修者は少々面食らった。服装や行動について規則がなく誰も注意したりされたりしないが、個人が自信のある範囲内で判断して結果的に安全が守られているのは米国らしかった。しかしながら、やはり日本では規則を守ることで安全が担保されるという考え方が一般的だと思うので、実験室の安全規則を設けることは欠かせないと感じた。

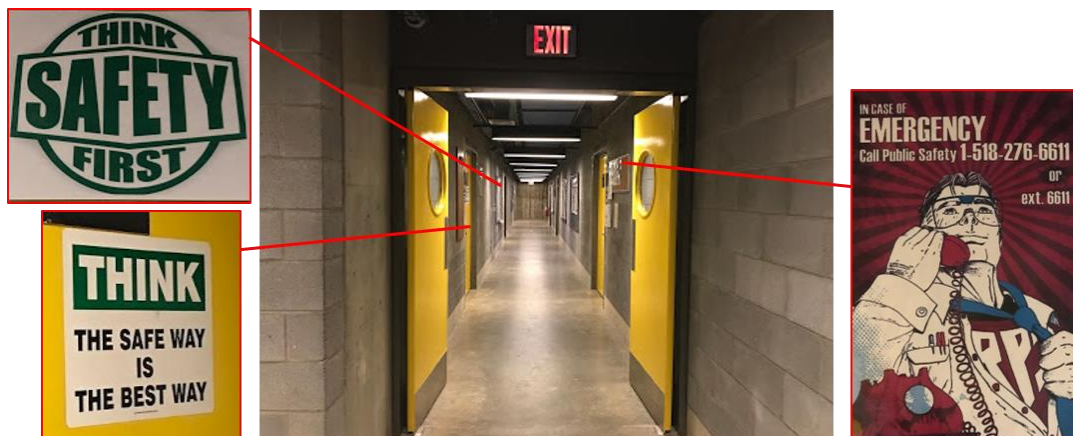


図 8. 掲示物の例。左手の 2 つは安全第一という意味の注意喚起。右手は緊急連絡先を示したポスター。

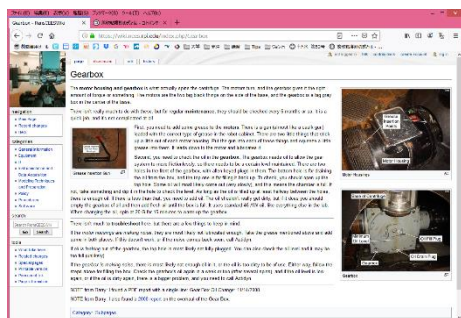


図 9. 学内 Wikipedia のページ



図 10. 計測器の保管庫



図 11. 緊急用洗眼器



図 12. 安全衛生用品

ネットワーク構築による効果

RPI の技術職員とネットワークを構築することも重要な目的だった。とりわけ面倒を見てくれたカイル氏には、実験見学だけでなく、RPI 構内の見学にも連れ出していただいた。研修者の英語能力ではネイティブスピーカーとの会話にやや難があったものの、積極的に質問すると根気強く意図をくみ取って答えてくれた。カイル氏は RPI の卒業生であり、試験者の意図を先読みして準備を進めることに長けていた。年齢も近く、互いに遠心で働く立場として親近感が沸いた。また試験者の学生エヴァ氏には繊細な作業にもかかわらず準備作業を快く見せていただいた。タレク教授には常に思い遣りのある言葉をかけていただき、質問しやすい雰囲気を作っていた。彼らとのネットワークを、最先端の実験現場の動向を知るために今後も維持できればと願う。

おわりに

本研修では、これまでひたすら留学生を受け入れる立場であった研修者が、短期間とはいえ逆の立場を体験できたことに大きな意味があったように思う。何かひとつ躓いて周囲に追いつけなかった時の焦燥感や、会話が理解できなかった時の疎外感などをわが身で味わった。しかし、めげているは更に行き遅れるので、自信が無くても質問を發して意思疎通を図らねばならない。その過程で挫折してしまう留学生を何度か目にしたことがある。実験室という現場レベルで職務にあたる身として、作業工程ごとに互いの意思疎通のレベルを確認することの重要性を改めて感じさせられた。これを教訓に DPRI での留学生受入れと国際化に今後も貢献してゆく所存である。末筆ながら、本研修を実施するにあたり支援いただいた関係者の皆様、そして受け入れいただいた RPI の方々に厚く御礼申し上げたい。