

カリフォルニア大学の遠心載荷装置

実験技術グループ

波岸彩子

はじめに

私が長期支援を担当している遠心力載荷実験室では、日夜、多くの学生が地盤・構造物系の地震時動的挙動に関する遠心模型実験に取り組んでいる。その中で継続的に取り組まれている研究プロジェクトが、世界中の遠心保有大学で一斉試験を実施し、試験結果の整合性や再現性を検討する LEAP (Liquefaction Experiments and Analysis Projects) である。参画校のひとつであるカリフォルニア大学デービス校 (UCD) はこれまで LEAP の遠心模型実験において顕著な実績を残してきた。2018 年 12 月、私は地盤防災解析分野の上田恭平助教らに同行し、UCD の遠心載荷装置を見学する機会をいただいた。出張旅程は移動を含め 1 週間で、実験技術に関するさまざまな知見を得たほか、現地の技術職員と交流を図ることもできた。本稿は UCD の 1. 遠心力載荷装置、2. 実験技術、そして 3. 技術職員の見聞録として報告させていただく。

1. 遠心力載荷装置

UCD の遠心載荷装置は CGM (Center for Geotechnical Modeling) と呼ばれる研究部門が管理しており、世界最大の有効回転半径 9m、および半径 1m の計 2 基の遠心載荷装置を保有している。訪問時の構成員は教員 2 名、事務員 1 名、技術職員 4 名、学生約 10 名であった。UCD のキャンパスは想像以上に広大で、CGM はキャンパス内の宿から 3km ほど離れていた所以我们はレンタカーで通うことにした。私は運転手役を務めさせていただいたのだが、生まれて初めての右側通行とラウンドアバウトに戸惑いを隠せなかった。上田助教やバルガスさん (地盤防災解析分野 M2) の懸命なナビの甲斐あって 3 名とも無事に帰国することができた。CGM へ到着するとまずはミーティングで自己紹介し、早速、技術職員のダンさんが世界最大の遠心載荷装置を案内してくれた。独立棟になっており、次ページの写真をご覧いただければと思うが、本当に大規模な装置であった。コンクリートの擁壁には煤のような跡がついておりちょっとした落書きが書けるようになっている。あちこちに残された訪問者の記念サインが世界最大の遠心への関心度の高さを示していた。展示パネルの情報によると、元となるフレームは NASA から譲渡されたもので、2013 年にベアリングが破損し、オーバーホールを実施するとともに振動台を導入して現在の姿になったという。振動台は油圧式で、油圧装置一式がプラットフォームに搭載されていた。配管を最小限にすることでオイルの損失を抑えているそうだ。振動成分は Y 方向と鉛直方向の 2 軸である。ブリッジボックス等計測用機器類はアーム側部に搭載されており、スリップリングを介して計測室へ送信される。中心軸近傍の空間は格納庫になっており、動力用モーターや空圧・水圧用のポンプ、データ通信用コンピュータ、異音検出用マイクが設置されていた。通常は

75G で試験することが多いそうだ。75G 到達時の回転数は 90rpm、到達までに要する時間は 10 分程度で、乾燥砂の加振実験であれば 30 分程度で終了すると考えられる。こんなにも壮大な実験装置で、模型製作に要する時間は数十日にもおよぶのに、実験はものの数十分で終わってしまう。その刹那的な感覚は私たちにも共感できるところがありちよびり親近感が湧いた。だが最後に停止時はアームの位置をどう移動させるのか聞いたところ、飛行機を牽引するのと同じように作業車を使って牽引するんだよ、と答えが返ってきて唖然としてしまった。やはり段違いのスケールであった。



入口



世界最大の遠心载荷装置



別の角度から



プラットフォーム正面



プラットフォーム側面



振動台の説明を聞く



壁にはサインが



中心軸付近



集合写真

超巨大遠心のほかに、UCD には有効回転半径 1m の比較的小型な遠心载荷装置がある。模型寸法に制約があるものの扱いやすく、基礎的なパラメータを調べるための実験に使用される。LEAP の一連の試験もこの小型遠心で実施されてきた。2. 実験技術では LEAP に関する実験技術について報告する。



小型遠心のプラットフォーム



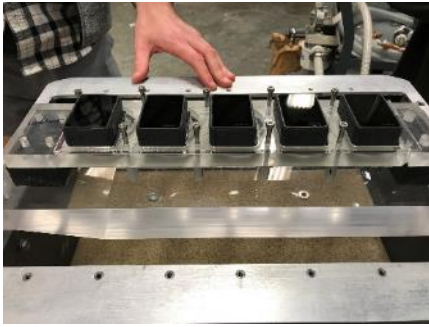
実験棟内



試験体を設置する様子

2. 実験技術

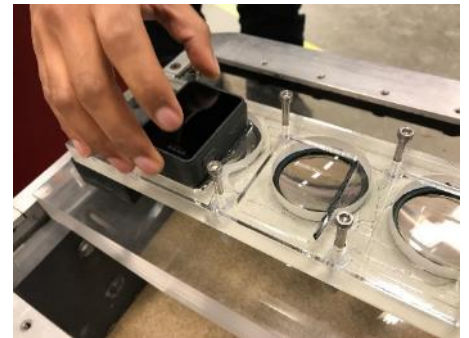
巨大な遠心载荷装置を見学した後、私たちは試験準備室と呼ばれる実験棟に案内された。そこには 1m の小型遠心が設置されているほか、試験体を作製するうえで必要なものが全て揃っており、自由に見学させていただいた。主に LEAP の情報を収集するため、私たちは試験に携わった学生に連絡を取った。LEAP では試験条件が非常に細かく設定されている。私たち防災研究所のチームが直面していた課題は、①水面で覆われた画像解析用のマーカーをいかに撮影するか、および②センサーをいかに正確な位置へ設置するかであった。これらを解決する実験技術を CGM の学生に紹介していただき、私たちはとても驚き感心した。①の課題は、撮影用の照明が水面に反射してマーカーの撮影がうまくできないというものであったが、彼らはアクリルの塊を水面に接触させアクリル越しに撮影する方法で解決していた。アクリルには GoPro カメラを嵌めるための溝があり、遠心力がかかっても自重で安定するため飛散しない。治具としての安全性も兼ね備えた素晴らしい道具だった。②の課題は、デプスマーターを改造した独自の道具によって解決していた。砂の中でセンサーが所定の高さになるようそっと押し込む仕組みになっている。地表面高さの読み取りにも転用できるし、私たちが「伝統的に」使ってきた定規に比べより正確である。他にも様々な道具を見せてもらったがこれほど画期的に感じられたものはなかった。アイデアは勿論のこと、ひとつの目的に適した道具を自分達で作り上げる精神を見習ってゆきたいと思った。



撮影用アクリル治具



GoPro 設置用の溝



嵌めるだけでよい



デプスマーターを用いた道具



センサーを所定の深度に置く



デプスマーター用レール

3. 技術職員

訪問時は 4 名の技術職員が勤務していた。ダンさんは全体のマネジメント、アナトリーさんは電気全般、チャドさんは機械全般、トムさんは学生実験の相談役というように各自の業務は分担されていた。技術職員が CGM でどのような役割を果たしてきたか質問したところ、2013 年のオーバーホールでは技術職員がギアボックスの設計や計測システムの開発を担当し、工事の発注も技術職員が進めたそうである。技術職員が中心となって実験施設を維持管理しており、重要な任務を果たしていることが分かった。実験時のサポートとしては、小型の遠心であっても稼動時は必ず技術職員が一人付添うように徹底していた。夜間は絶対に稼動させないと言っていた。

滞在中のある日、私たちは砂試料の気中落下法について日本式とアメリカ式の道具を比較検討していたのだが、治具が必要になったためチャドさんに工作を依頼した。そこで幸運にも工場を見学させてもらったのだが、工場は写真のように整然としており、私はつい見とれてしまった。治具はあっという間に作ってくれた。チャドさんは中学高校すら卒業していないと言っており、長年工場で働いていたが縁があって CGM に就職したという。4 名の技術職員の経歴は全く異なっていたが、それぞれの業務に最適な人物が就いているという印象を受けた。



工場の様子

おわりに

滞在中は毎日、先生方と学生さん方の議論やプレゼンテーションを聴く機会がありました。全てを理解することは叶いませんでしたが、活発な議論がなされているのを肌で感じました。他大学での一斉試験の実施状況を見学させていただくことで、私たちが直面している課題を解決する糸口も見つかりました。初めてアメリカを訪れたこともあり、見聞きしたことすべてが新鮮で、帰国後の実験支援業務の励みにしてゆく所存です。貴重な経験をさせていただいた防災研究所地盤防災解析分野の上田恭平助教に心から感謝いたします。また、現地では当時 CGM に在籍中されていた工学研究科都市社会工学専攻都市基盤システム工学の澤村康生准教授に大変お世話になりました。本報告の内容は平成 30 年度国際交流・国際共同研究に関する特別配当の支援を受けた「LEAP-ASIA-2018 に向けた遠心模型実験の共同実施による海外研究機関とのネットワーク構築」事業にかかわるものです。ここに記して感謝申し上げます。