

ブラジル人客員教授から依頼された実験で私が学んだこと

機械・環境建設系技術班 川口 隆

1. はじめに

近年、大学の国際化が進み、本学においても10年前と比較すると多くの留学生が集い学んでいる。筆者の研究支援現場においても例外でなく、修士号、博士号の取得をめざす、留学生の実験をサポートする機会が多くなった。

本発表内容は、留学生の事例では無いが、ブラジル人客員教授から依頼された実験を約8ヶ月間に渡ってサポートしてきた経験で得られた知見である。英会話力に乏しい筆者が、悪戦苦闘しながらも外国人研究者の実験を支援するにあたり、必要だと感じた事柄をみなさんと共有したいと考え、このたび発表させて頂くのである。

2. 実験サポートが始まるまで

2015年4月からブラジル人客員教授を受け入れるため、実験をサポートして欲しいと受け入れ先の建設材料開発学研究室の氏家勲教授から依頼があった。具体的な内容は、来訪されるまでわからなかったが、すでに留学生の実験をサポートしていた経験から、安易ではあるが、なんとかなるであろうと考え、喜んでお引き受けした。

Francisco Kegenaldo Alves de Sousa 教授（以下、ケジュナルド先生）は、ブラジル北東部パライバ州にある連邦大学 Federal University of Campina Grande の生産工学部教授で「物質の変形・組成および流動に関する研究」に携わっている。筆者は、様々な実験をサポートしているが、依頼者が日本人、外国人、あるいは教員、学生の立場に関係なく、最初の研究計画および実験の打ち合わせ時に、その研究背景や進めなければいけない理由をお聞きしている。大げさかも知れないが、研究成果が世の中に対して、どのようにお役に立ち、そのために我々が協力して何を実証すべきかを明らかにすることで、依頼者の情熱が伝わり、私のモチベーションの向上につながっている。

ケジュナルド先生にも同様に研究背景についてからお尋ねした。打ち合わせ前に研究内容を示す英文の Abstract を提出して頂き、私の英語力では半分程度しか読解できなかったが、おおよそ事前に把握できた。

しかし、聞き取りインタビュー時は、先生の話す英語が私にはほとんど理解できなかった。一例として、実験内容について検討した際、なんと聞いても「天ぶら鳥!？」としか聞こえない単語があった。彼に申し訳ないが、私が差し出したノートに、「天ぶら鳥」のスペルをここに書いて下さいとお願いした。先生は嫌がる素振りもなく、丁寧に発音しながら「temperature」と書き記した。先生も私も母国語は英語ではない。今思えば、先生にも私の「和製英語」がしばしば伝わっていなかったが、先生の母国語は、「ポルトガル語」である。単語によっては、英単語の発音が「ポルトガル語調」になることがあるのを、この一件でわかった。

私なりに理解したケジュナルド先生の研究背景は以下のとおりである。

ブラジルを含めた中南米地域は、経済的に貧しく、ライフラインとして使用している鋼製パイプが高価なため、安価かつ簡便な方法で耐久性、耐圧性に優れたパイプの補強方法を開発しなければならない。私は、パイプにガラス繊維を巻きつけ、高分子系樹脂を塗布する方法のアイデアをもっている。この方法を用いた技術を確立したいが、そのためには、はじめに鋼材とガラス繊維補強樹脂材の力学的性質を評価する実験ならびに熱履歴を受けたガラス繊維補強樹脂の耐久性実験をおこないたい。そして、この結果を精査した上で、実際の使用状態であるガラス繊維補強樹脂で覆った鋼製パイプを製作し、その耐圧実験をおこないたい。短い滞在期間ではあるが、実験装置や設備の整った日本で、このアイデアの有用性を確認するために、ぜひ、君に力を貸して欲しいと熱心に語ってくれた。

3. 実験サポートが始まる

3.1 研究計画および実験消耗品・備品の調達について

ケジュナルド先生には労力をおかけすることとなったが、支援内容や要求に食い違いが無いようにするため、以下の資料を提出して頂くよう要望した。

- ① 実験内容がわかる研究スケジュール表
- ② 消耗品、試験機・分析装置の一覧表（図－1，図－2）
- ③ 加工製作が必要な装置や供試体の図面

提出後の打ち合わせでは、記述内容で私が理解できなかったところは、質問と回答を繰り返して、両者の手元にある同じ資料にそれぞれの言語で書き込んで記録した。日本語の通じる先生方や学生さんには、普段は口頭あるいは A4 サイズで 1 枚か 2 枚の資料で済ませることができることを私の英語力の無さからご迷惑をかけた次第である。

ケジュナルド先生が使用できる実験予算は、母国の大学からの滞在支給金であった。必要な物品は、彼自身が直接購入し、領収証を整理し、管理していた。しかし、予算には限りがあり、日本との物価の違いから、できるだけ購入する際は 100 円ショップで調達するなどした。受け入れ先の研究室で用意できる物品は貸与し、実験機器等で保有していないものについては、学内、他機関、共同研究等でお世話になった民間企業に問い合わせし、借り受けることができるように手配した。

3.2 日本と海外の試験規格の違いについて

すべての実験について記述することは、割愛させて頂くが、日本では、JIS(日本工業規格)や各学会や協会などの試験規格にそって標準化された方法で試験がおこなわれている。図－3に示した一軸引張試験の実施にあたり、日本で定められている試験規格を適用できるか質問した。ブラジルでは、ASTM(米国材料・試験協会)規格で実施しているとのことで、ケジュナルド先生に ASTM の資料を取り寄せて頂き、供試体寸法や載荷速度などの試験方法を確認した上でおこなった。

3.3 海外との技術サポート体制の違いについて

話は前後するが、ケジュナルド先生から「君はラボマネージャーなのか?」、「君にはラボテクニシャンの部下は居ないのか?」と質問された。私は海外の技術職員組織や仕事内容がわからないため、質問の意味がわからなかった。どうやら彼から見ると私の仕事内容が多岐に渡り、そのほとんどを自らがおこなっていることに対して不思議に思ったらしい。

具体的には、物品の調達や機器の借受手配、装置や供試体の旋盤やフライス盤などを用いた機械加工、試験機や分析機器のオペレート、データ整理などが先生への支援内容である。それ以外の私の仕事として、コンクリート供試体や岩石供試体の製作や各種実験を受け入れ先研究室以外の学生にも指導している姿を見て、後から知ったが、分業制が取られている海外の体制から見れば、かなり奇妙な光景に写ったのだろう。さらにスケジュール確認をしている際に、「この日は午後から実習の授業を担当しているので難しい。」と伝えたところ、「君は授業も担当しているのか!？」と驚かれた。また、ある日 PCB 含有が疑われるコンデンサを回収し、台車に乗せて廊下を進んでいると「今度は何の実験装置を

DESIGN OF EXPERIMENTS			
NEED MATERIALS FOR EXPERIMENTS			
№	Quantity	Description	Model or Type
1	1 unit	Tape with 15 mm of thickness	
2	1 unit	Cutter (or knife to cut)	
3	1 meter	PVC pipe with diameter 150 mm	
4	1 unit	Glass plate with measures 50cm X 50cm X 1cm	
5	2 meters	Teflon sheet	
6	4 units	Brushes of 2 inch	

図－1 実験消耗品一覧

DESIGN OF EXPERIMENTS	
NEED EQUIPMENTS FOR EXPERIMENTS	
AGING TEST	
Description	Model or Type
Water bath with thermometer capacity of 0°C to 100°C.	
TENSILE TEST	
Description	Model or Type
Universal machine with load cell 100 kN.	
OPTICAL MICROSCOPY ANALYSIS	
Description	Model or Type
Optical Microscope Olympus model BH40	

図－2 試験機・分析装置一覧



図－3 一軸引張試験

つくるんだ？」と声をかけられ、「これは実験ではなく、安全管理の仕事を任せられ、危険な化学物質が入っているか、分析業者に調査して貰うんだ。」と答えたら、不思議を通り越して、啞然とした顔をされた。

ケジュナルド先生が在籍している研究室では、獲得した研究資金で常勤のラボマネージャーと数名のパートタイマーのラボテクニシャンを雇っているようだ。ラボマネージャーは、研究室の物品調達、備品や機器の維持管理、研究員、学生、テクニシャンへの実験指導など研究室の運営を円滑に進めるための支援をおこなっているとのことだった。契約社会である海外の人から見れば、何でもこなしている私の仕事ぶりは不思議がられても可笑しくはない状況なのだろう。

3.4 三度目の正直

ケジュナルド先生との実験で苦労した点は、供試体作製で初めてガラス繊維を扱ったが保護服装が甘かったため、製作初日は全身が痒くなった。以降はラテックス製ゴム手袋を使用し、袖はテープで止めるなど工夫して、繊維が身体に直接触れないようにした。今思えば笑える話は以上だが、本当に苦心した実験は、鋼製パイプの耐圧実験である。

4月から様々な実験を進めてきたが、滞在期間残り約1ヶ月を切った時点で、やっと本論であるガラス繊維樹脂補強鋼製パイプの耐圧実験にたどり着いた。機械系ではない私にとっては、初めて経験する実験で心が踊った。

図-4は、ケジュナルド先生の描いたポンチ絵を基に製作した耐圧実験装置1号機の外観である。本機は、円盤型の上下のフランジ部にパイプ径に合わせたOリングを施し、供試体である黒色の鋼製パイプを挟み込み拘束した状態である。緑色の油圧ポンプでパイプ内部から緊張を与えて破壊する機構である。筆者がパイプ供試体製作に時間を要し、時間的な制約もあったことから、本機的设计製作は、フランジ部のOリング溝、ねじ切り加工などに高い精度が求められるため、実習工場の田中正浩氏に依頼した。

製作後、早速、耐圧実験に取り掛かったが、本機で使用した油圧ポンプの圧力不足が露見し、パイプの塑性変形までに至らなかった。破壊に必要なポンプ圧力を過少に見積もったため起こったミスであり、これが一度目の実験失敗であった。

よって、急遽、より高圧な緊張を与えることができる油圧ポンプを調達する必要に迫られた。このことを氏家教授に相談すると、橋梁工事で用いられている油圧ポンプを転用できないかとお判断頂き、建設会社を紹介して頂いた。会社に赴き、実機を確認したが、こちらでも最高圧が鋼製パイプの肉厚断面から想定した破壊時圧力と同程度の圧力であり、ガラス繊維樹脂で補強した場合、破壊に至らないと判断した。

インターネットで高圧油圧ポンプを検索した結果、(株)日本プララドより、イタリア製の超高圧油圧ハンドポンプ(BE-2500HP、最高油圧250MPa)を見つけだした。早速、レンタル可能であることを確認したが、料金が高額であった。ケジュナルド先生の研究費の残額では調達できないため、氏家教授に相談させて頂き、先生の貴重な研究資金を使用させて頂くこととなった。

調達した油圧ポンプの接続カプラに応じたフランジを田中氏に製作頂き、図-5に示した油圧ポンプを用いて再び実験を実施した。しかし、せっかく製作して頂き、研究資金も投入して頂いたにも関わらず、二度目の実験も失敗に帰した。原因は、高圧油圧ポンプでパイプ内圧を上げ、塑性変形させることに成功したが、パイプ中央部がビヤ樽のように膨らんだため、結果としてフランジを上下から挟み込む機構では、変形に追従できずOリング接続部から油が漏れはじめた。早くから私自身が破壊に至るまでのパイプの変形を想像できていれば、ケジュナルド先生が企画した、この機構の欠点に気づけた。私とケジュナルド先生は、さすが



図-4 耐圧実験装置1号機外観

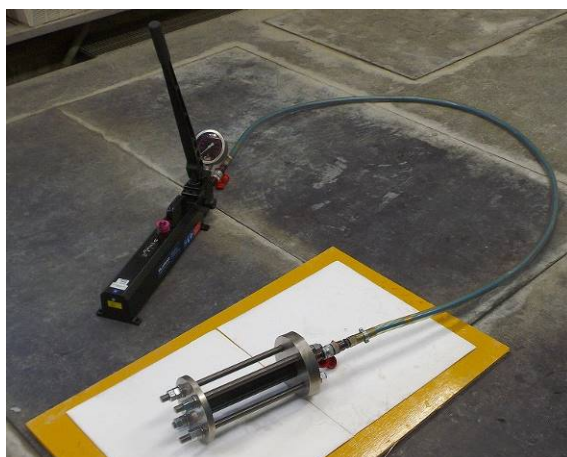


図-5 耐圧実験装置2号機外観

にこの結果には落胆した。だが、正直落ち込んでいる暇もなかった。なぜならば、レンタル期間の延長による経費が嵩むこと、何よりも、この時点でケジュナルド先生の滞在期限が残り2週間を切っていたからである。

私は実験時にパイプ内圧が上がるに連れて、どのように変形し、振る舞っていたか、何度も頭のなかでシミュレートした。どうすれば、パイプの変形に関係なく内圧を上昇させ、破壊に至らせることができるだろうかと装置の機構を根本的に見直すこととした。

大学技術職員として働いて20年以上経過し、過去の経験を総動員した結果、ある機構を思いついた。

私のアイデアで描いた非常に拙いポンチ絵から田中氏が製作図面を作成し、夜遅くまで残って3号機の装置を製作して頂いた。

その装置が完成した実験前夜、私とケジュナルド先生は、お互いが、これが「ラストチャンス」だと話をした。また、私は先生に「心配しないで下さい、そして、決して諦めないで下さい」とも云った。何故ならば、日本のことわざに“Third time lucky”, 「三度目の正直」という言葉ある。だから、今夜は二人で明日の実験成功を祈ろうと挨拶して別れた。

図-6は、実際の装置である。まず、パイプ両端外径にねじ切り加工し、雄ねじとする。それに対して、端部にかかる圧力では絶対に変形しない断面のキャップを設け、内径部は雄ねじと同じサイズの雌ねじとした。ねじ切り加工したパイプをキャップの置くまで送り込み、突き当たる場所に油漏れ防止のOリングを設けた。この発案は、約5年前に依頼され、製作した実験装置を思い出したことに起因する。砂地盤の改良のため、室内模擬実験時にグラウト溶液を長さ1mのアクリルパイプ内に透水試験機の透水圧を高めながら浸透させる方法で考えだした機構である。もちろん、アクリルパイプを変形・破壊させるためのものではないが、私にはこのアイデアしか浮かばなかった。

写真からも判別できるとおり、無事に想像したとおり、パイプが振る舞い、中央部から縦に亀裂が入り、破壊した。実験が成功した瞬間、私とケジュナルド先生が目を合わせたが、私の目も彼の目も潤んでいた。その後は順調に数種類のガラス繊維補強鋼製パイプの耐圧実験をおこなった。



図-6 耐圧実験装置3号機外観

4. おわりに

クリスマスを前にしたケジュナルド先生のお別れパーティーの席上、彼は氏家教授をはじめとする研究室の皆さんに対して、本当にたくさんのお礼を述べていた。また、後日、先生が愛媛大学へ提出した研究成果報告書を氏家教授から見せて頂いた。滞在中のお礼を述べている項目に私に対する記述もあった。リップサービスも多分にあるだろうが、私なりに良い方に意識すると、先生は私のことをパートナーであり、右腕であり、困難な局面では、いつもそばで励ましてくれた仲間と書き記してあった。さらに実習工場の田中氏についても同様にお礼が記載されていた。

ケジュナルド先生が私に直接云ってくれた言葉で、特に印象に残っているフレーズがある。「あなたは、私の実験を成立させ、結果を出してくれた。」

時折、技術職員としての私の仕事は何だろうかと思うことがあった。でも、私はこの言葉を聞いたことで、自問していた答えをケジュナルド先生が導いてくれたような気がする。

謝辞：このような貴重な経験ができる機会を与えてくれた、大学院理工学研究科 氏家 勲教授に感謝申し上げます。また、実験装置の設計製作に関して、時間を惜しまずご尽力頂いた実習工場班 田中正浩氏と実習工場班の皆さまにお礼申し上げます。このたびの発表の可否について相談したところ、自身の事柄について記述することを快くご承諾頂いた、Federal University of Campina Grande の Francisco Kegenaldo Alves de Sousa 教授に深く感謝申し上げます。