

新規実験用水路模型の開発過程

防災研究所 技術室

三浦 勉

1. はじめに

宇治川オープンラボラトリーでは、各種実験水路模型を用いて学生、教員や共同研究者が実験を行っている。これら実験水路模型の多くは、施設設立当初から設置されているもので、新規に設置されているものは数少ない。また、水路模型を製作する技術者、外部企業の業者においてもその技術を有する者が少なくなり、技術を有している外部企業の業者においては高齢化が進み、次世代への技術継承が進んでいない状況である。そのため、新規の製作者を探すことを行ったが、継続して水路制作が行われることはないので、技術を持った企業を育てることは難しい状況にあった。そのため、技術職員が新規の水路模型開発を行える技術を養い、技術力を向上させるとともにその技術を継承するための技術支援依頼をいただいた。

2. 経緯

宇治川オープンラボラトリーは、2023年に設立70周年を迎えた。この時に簡易水路模型の開発計画の打診があった。要求仕様は、水路幅20cm、水路高さ20cm、水路長2m、傾斜角の調整ができるものであり、水の流れが可視化できるように透明素材を使うものであった。原案図を図1に示す。この構造は、土石流実験用の水路模型を参考にした。傾斜角の調整は、高さ調整用のテーブルなどを別途作成して調整する構造とした。部品加工は、当施設において2mの長尺物の加工は、設備上難しいことと、アクリルの加工ができる設備がなかったので、外注とした。ただし、今後の技術職員の技術継承をする必要がある点で、外注先に図面を提供して、製品として納入する全委託型と、部品加工だけ外注して組立は技術職員がする方式の2方式で見積取得をした。見積もりの結果として両者の見積価格がほと

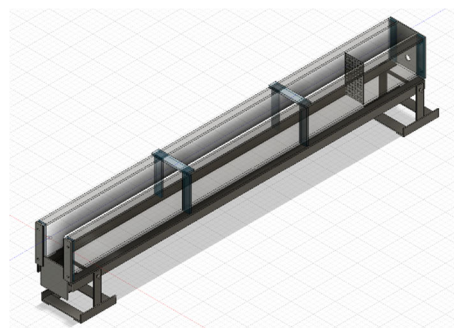


図 1 原案図

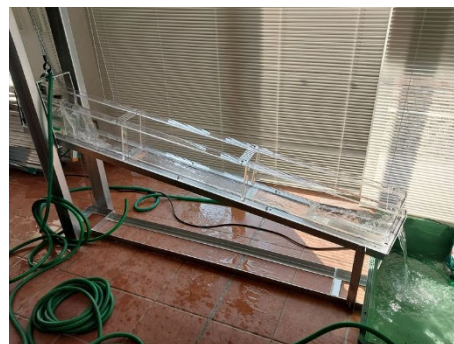


写真 1 完成品

んど同じだったので、全委託として発注した。完成品を写真 1 に示す。完成品は加工・組立上の関係から構造の変化はあったが、傾斜角調整機構としてつり下げ式の構造となった。この時はまだ知らなかったが、つり下げ式は水流により模型の振れが生じ、流れの乱れが生じることがあるとのことで水路長が長い場合など安定していないものは、実験に支障が出るとのことであった。この模型製作には技術職員もかわり基本構造の原案で問題ないことは確認できたが、全て外注に委託したことでノウハウの蓄積が十分ではなかったと感じた。この模型は、京大ウィークスで見学用や学生の実験実用として使われている。この経験をもとに、水路長 10m の実験水路開発に着手することになった。

3. 水路長 10m 水路模型開発

開発要求仕様は、以下である。水路幅 20cm、水路高 20cm、水路長 10m、流量 $1.2\text{m}^3/\text{min}$ (清水循環)、水路傾斜角最大 6 度、2 点支持構造と水路部は透明素材を使うことである。既設水路模型を参考に構造計算を行い、最大たわみ量を (計算上) 1mm 未満に抑えた。計算上たわみ量が思ったよりも小さく抑えられたことと、材料代も安く抑えられたこと

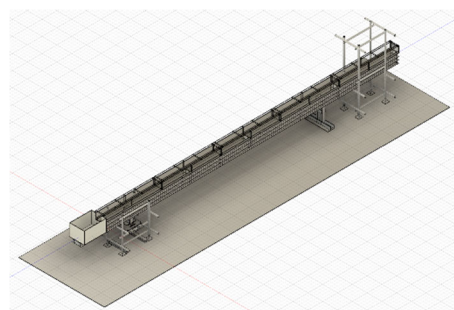


図 2 10m 水路原案

で、水路幅を 40cm にした時、水路高を高くしたときなど、いくつかの案を検討した。結果、先生の最終判断で上述の仕様が決まった。構造体の材料は、既設水路模型はほぼ一般構造用鋼材の I 形鋼が用いられていたが、当開発においては、入手性、組立性や材料の剛性を考慮し、アルミのチャンネル材 (A6063) を使うことにした。締結は溶接ではなく、ボルト締結とした。また、傾斜角を調整する軸回転部には、滑り軸受を使った。既設水路模型では、球軸受を使った軸受ユニットを使っていたが、微小角の荷重変化しか起こらないため、含油タイプの滑り軸受を選定した。図 2 に原案を示す。また、加工代や技術継承の煩雑さを少なくするために共通部品を多くし、図面点数をできるだけ少なくなるような設計に気を付けた。この配慮は製作ユニット数が多い場合は検討したほうがよかったのかもしれないが、単発製作だとそのような配慮は不要だったと組立後に感じた。部品ごとの加工代は、加工数と時間で決まっているようで、加工屋さんとの打ち合わせの時にもう少し詰めておけばよかったと思った。ただ、図面を継承するにあたっては、部品点数は少なくなったので良かったのではないと思う。製作は部材 (加工含む) を外注し、組立・調整を技術職員らが行うことにした。これにより製作コストはかなり抑えられた。

4. 水路模型制作

部材は、3m の長尺ものや、ステンレス製の精度のある部材を含むためすべて部品加工は外注とした。ここで、部材調達における企業調査が進んだ。中には、中国の工場で製作し、日本製と遜色ない精度で価格が半分になる企業を見つけることができた。

組立では、部材を結合するボルト締結力が、自重にまけて接合部で曲がってしまうことがあった。また、角度調整用の昇降に使ったリフターの強度不足でリフター爪の先端部が垂れ下がり、水路の水平度が狂うなど予期せぬ事態が起こった。前者の対応は、ボルト締結数を増やすことで回避できた。後者の対応は、単管製のやぐらを組んで実験時には水平度を調整した単管に載せて実験をすることにした。もともとリフターの取扱説明書には重量物の昇降途中で固定させる場合は、油圧抜けがあると記載があったので、どちらにしても安全確保のため単管やぐらは必要だった。また、片持ち梁のように長くなっている下流端付近にも単管やぐらを設置し作業時の安全確保を行った。しかしながら、全て組みあがって最大傾斜角 6 度まで上げて、曲げなどの支障がなかったことを確認できた時は設計通りでほっとした。(写真 2)

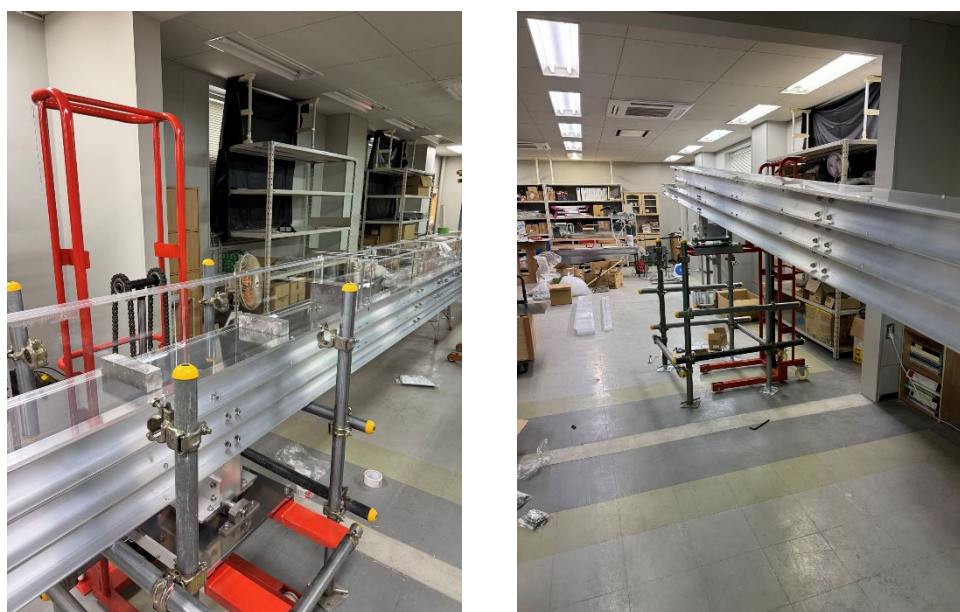


写真 2 傾斜角調整用リフター（左）と 6 度傾斜角時（右）

構造体の組立においては、それぞれの材料のもつ一般公差と組立誤差が影響して水路の水平度が狂いが生じた。幸い、シム調整で水平度は補正できたが（この件は後述する）、上述のボルト締結力を補完する構造に変更することで構造体の剛性をあげる必要があるとともに、組立時の作業手順を再検討して、水平度ができるだけ狂わない組立後の調整量をできるだけ少なくする組立方法の検討が必要であると感じた。

水路用のアクリル接着にも技術を要した。一般的に水路の補修は、漏水が原因とな

る場合が多い。これは経年劣化による材料の変質を起因とするものが比較的多いが、水は見つけにくい極わずかな隙間から漏水するので、慎重な接合が要求される。幸い今回の組立において接着接合した水路部からの漏水は無かった。接着担当を一人に決めて行ったことで、人為的ミスを少なくできたと考える。しかし、水路と水槽との接合部においてシリコンを使った個所からは、漏水をいくつか確認した。

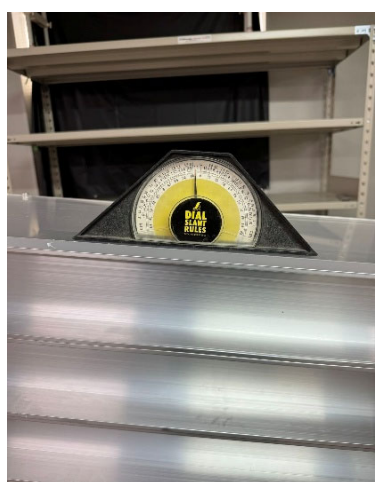


写真 3 角度調整

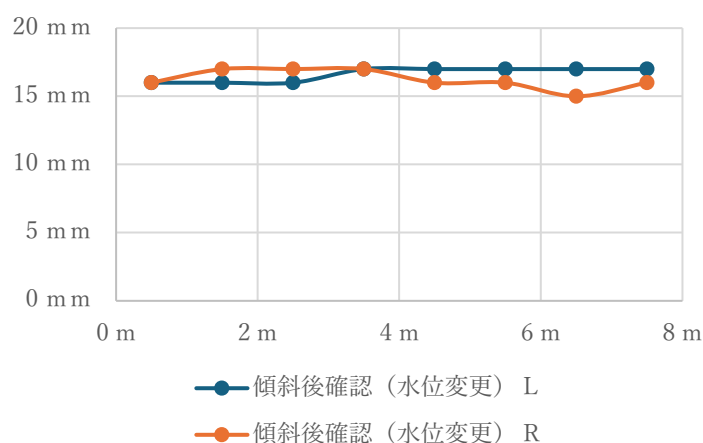


図 3 水路水平度確認

水平度調整は困難だった。まず、組立時に使っていた角度計を写真 3 に示す。組立時に 0 度をさしていることを確認しながら行ったが、水を流して水深をはかると大きなずれが生じる結果となった。そのため、接着済みの水路の水平度を調整するため精度の高いデジタル角度計を使って再調整を行った。しかし、この計測器の精度はよかったのだが、測定範囲が狭かったため、調整が思うようにはかどらなかった。最終的に水路長手方向の各所で水路直交方向の両端で水深を計測しながら水平度調整を行った。その結果が、図 3 のグラフである。この結果により水平度は確保できたと考えている。

5. 通水テスト

水路模型の水平度調整が完成したので、給水部の設置とポータブル流量計を設置（写真 4）し、実際に水を流せる状態となった。ポンプの調達が納期的に間に合わなかったため、簡易ポンプを使って循環システムを構築した。ポンプの能力は要求仕様の半分位であるが、設計した水槽の容量の 2/3 をためるほどの給水能力があった。これ以上のポンプを設置する場合、水槽容量の拡大化が必要となる。水路を流れる水深は 10cm に届かなかったため、水路はそのまま行けるだろうと



写真 4 給水部の設置

推測する。この辺のノウハウも今後フィードバックが必要である。さて、水槽に給水後にここでもボルト締結力の弱さが原因で接合部に曲げが発生した。急遽補強材を作成したが、この曲げの為にまた漏水を生じることになった。この水路は今後実験を行う予定として計画をたてていると先生から伺った。

6. まとめ

今回の水路開発には、フィードバックすべき事項がいくつかあった。これは水路模型製作におけるノウハウであり、技術的資産であると考え。早速フィードバック図面の製作に取り掛かっている。また、今後の実験に向けて上流水槽部の大容量化が必要となってくる可能性が見えてきた。こちらの改造は今後進めていくことになると思う。

さて、今回の開発は技術職員の初めての水路模型製作という試みだったにもかかわらず、研究費を投資頂いた気象・流域災害研究部門・水災先端計測研究分野の山上路生教授に感謝する。この投資により宇治川オープンラボラトリーでは水路模型の第1号が完成し、その過程における技術獲得が可能となった。この開発は複数の技術職員で技術継承とOJTをかねて行ってきた。これらの結果が、今後の先生の研究に大きく貢献できる第1歩になるであろうと期待したい。最後に下流端から見た水路模型全景を写真5に示す。



写真 5 下流端から見た水路模型全景