



北海道大学

研究報告

三次元積層されたコンクリートの内部構造を評価する 構造解析モデルおよび非破壊検査手法の構築

北海道大学大学院

D1 吉原 伶

D2 中瀬 皓太

背景および視察目的

本研究の目的は、3Dプリンティングコンクリート(3DPC)内部の積層構造を評価する手法の構築である。3DPCではノズルから吐出された材料を積層することで構造物を造形するため、脆弱な積層界面が規則的に形成され、これに沿ってひび割れが進展する。また、積層界面の付着性状および形状は、プリント経路やプリント速度等のプリント条件によって変化する。さらには、粗大な空隙が初期欠陥として形成されやすく、3DPCの破壊時の起点となる。よって、3DPC構造物の安全性を確保するには、内部の積層界面および粗大な空隙の位置および形状を把握した上で、構造物の外力応答を予測する必要がある。これに対して、メンバーの吉原は博士後期課程在学中に積層構造特有のひび割れ進展挙動を再現する構造解析モデルの構築を、中瀬は弾性波を用いた非破壊検査手法の構築を行う。また、積層界面の脆弱性および積層界面を通過する弾性波の伝搬挙動を実験的に評価するには、積層界面の付着性状を制御することが重要である。

本渡航の目的を、積層界面の力学特性値を取得するための実験方法の検討、積層構造のモデル化方法の立案、3DPCの実構造物に適用する非破壊検査手法の構築に向けた課題整理、積層界面の付着性状を能動的に制御するための先行事例の調査とした。

視察日程

オランダ(アイントホーフェン、デルフト)、イタリア(ボローニャ)に二週間滞在した。

Mon.	Tue.	Wed.	Thu.	Fri.	Sat.	Sun.
6/30 出発	7/1 到着 移動日	2 アイント ホーフェン 工科大学	3 移動日	4 デルフト 工科大学	5 自由日	6 移動日
7 ICEM21 発表	8	9	10	11 フィレン ツェ観光	12 自由日	13 出発



アイントホーフェン工科大学

当大学は、3DCP分野で最先端かつ実構造物施工可能な大規模プリンタを保有しており、3DCP分野最大の国際会議であるDigital Concrete 2020ではホストを務めた。現地では、Salet教授とのディスカッション、Lauri博士およびKarsten博士とのディスカッション、実験設備見学を行った。特に、メンバーである吉原の博士論文のテーマである、3DCP分野における材料不均質性についての議論を行った。実構造物にも使用される当該大学の材料および装置においても、自身の研究内容と同様の現象が発生していることが確認できた。現地のポスドクおよび博士学生の研究内容についてのディスカッションでは、フレッシュ状態にある材料の物性評価手法の検討およびインライン検査手法の検討を行った。

また、大型ガントリー式3Dプリンタ、アーム式3Dプリンタの説明を間近で受けた。当該大学では企業との共同研究も多く、3Dプリンタの実用化に必要なインライン検査のために、プリンタにレーザー変位計や流量計等の無数のセンサを設置し、常に記録するとともにフィードバック制御を提唱していた。申請者らが開発を進める3Dプリンタにフィードバック制御機構を搭載するためにも有用な見学であった。

大型ガントリー3DP装置



ディスカッション

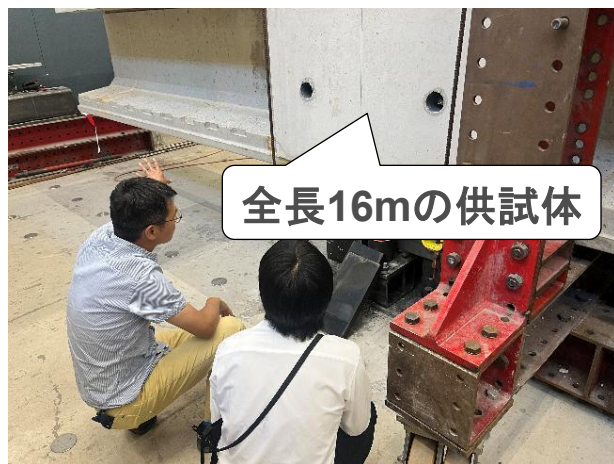


アーム式3DP装置



デルフト工科大学

メンバーの中瀬が2025年1~3月にかけて留学したデルフト工科大学を訪問した。中瀬は3DCP分野に精通するSchlangen教授と自身の研究進捗についてディスカッションを行った。吉原はYang博士および現地の博士学生の前で研究発表を行った。構造解析に精通する学生と意見交換することで、研究内容である微小力学試験の方法および積層構造のモデル化手法を現在では実際に改良することができる。特に、これまでに実施してきた微小圧縮試験の載荷方法について得られた知見を活かして新たな研究課題を進めている。また、実験室見学では、土木分野で最先端の実験室の広さと、独創的な研究設備に圧倒された。



国際会議への参加（ボローニャ）

European Society for Experimental Mechanics（EuroSEM）が主催する、Experimental Mechanics（実験力学）に関する国際会議ICEM21に参加した。なお、口頭発表215件、ポスター発表15件であった。非破壊検査手法や他分野の3Dプリンティング技術についての発表が多く、実験における測定手法、微小力学試験方法や積層構造特有の構造設計手法についての知見が得られた。吉原は、メンバーの中瀬および指導教員と共にRILEMの技術委員会に所属するLacidogna教授と対面し、積層構造のモデル化について検討した。

また、会場で日本人研究者と出会い、9月に北海道大学で開催された機械学会においても3Dプリンタの制御システムを検討する機会を得るなど現在も交流が続いている。



まとめ

オランダで訪問した2大学では、3DCP分野をリードする研究グループの話を実際に聞き、論文で読むだけでは得られない経験を得た。特に、アイントホーフェン工科大学では、実構造物の建設に実際に用いられた3Dプリンタと構造物規模の造形物を見学した。実構造物の施工にあたってのインライン検査の重要性を認識し、フレッシュ状態にある材料物性評価について新たな研究を既に実施している。また、メンバーが提案する非破壊検査手法および積層体内部の材料不均質性の考慮が、最先端の環境で作製された積層体においても重要であることを認識し、3DCP技術の発展に資するものであると確信した。

ICEM21では、他分野における3DP技術に関する研究動向を知り、異分野の研究者との交流を持つことができた。特に、他分野で先行して進んでいる異方性材料の物性評価手法および積層時の経路設計手法を学び、3DCP分野における新たな研究課題を設定するヒントを得られた。

Firenze観光

メンバーの中瀬がデルフト工科大学への留学中に会ったイタリア人博士学生にフィレンツェを案内してもらった。赤色の屋根で埋め尽くされた歴史ある街並みと本場のピザが印象的だった。また、メンバーの吉原にゆかりのあるキリスト教の教会群を訪れ、自身のルーツの一つを知ることができた。海外渡航の経験を積み、今後の渡航に挑戦しやすくなったことを実感している。

