

建築設計分野における応用機械デザインを用いた実例の視察

京都大学大学院工学研究科建築学専攻

小見山研究室 修士 2 年 野村祐司

大崎・張研究室 修士 1 年 高橋温

1.概要

表題に基づきヨーロッパにおける応用機械デザインの視察を行った。7月末日から 8 月 15 日までの間で、オランダ、ドイツ、スイスをこの並びの通りに訪問した。本論ではこれから主に以下の内容について論じる。また、本論で示す図は施設内の人の許可を得た上で撮影・記載している。

- ・ MX3D による金属 3D プリンターを用いた実例(ストーフ橋, アムステルダム)
- ・ シュツットガルト大学の研究機関 ICD の視察
- ・ ETHZ ラボの視察

2.MX3D による金属 3D プリンターを用いた実例

MX3D はオランダの金属 3D プリンターメーカーで、世界的にも先進的な技術を扱う技術者チームである。MX3D Bridge は、MX3D の特徴であるワイヤーアーク積層造形 (WAAM) 技術と、ロボットアームを使った有向性エネルギー堆積法 (DED) を用いて、2015 年から製作を開始。3D プリントされたこの金属橋の製作には、4 台の産業用ロボットと 6,000kg を超えるステンレススチールが使用されており、最終的に長さ 12.2m の構造物として 2018 年に完成した。当初、現地に直接持ち込んだロボットアームにより 3D プリント橋の建設を予定していた同社だが、安全性の問題など様々な理由により現場での建設を断念し、自社工房内でこの橋を製造した。2023 年 10 月にこの橋は 2 年間の任期を終え、撤去された。本橋がデジタルファブリケーションの施工実例として多くの耳目を集めた背景から、社会環境の視点から観察した。注目すべき点はそれが周辺環境と問題なく溶け込み、住民の生活の一部として利用されていたという点である。アムステルダムは都市地域に数多の川が流れており、橋はその通行として多くかけられている。その独特なデザインとは裏腹に実用的であった様が、企業の本実例の実現に対するリサーチの深さを感じた。(野村)



図 1: ストーフ橋

3. シュツットガルト大学の研究機関 ICD の観察

ICD(Institute for Computational Design and Construction)はシュツットガルト大学の研究機関であり、コンピューターを用いた設計・建築の研究が行われている。図2は当研究室内部に見学させていただいた模様である。ロボットアームを始めとするデジタルファブリケーション機材が多くあり、用いて作られた模型が複数展示されていた。この中で、特に注目したのは ITKE Research Pavilion である。ITKE (Institute of Building Structures and Structural Design) Research Pavilion は、シュトゥットガルト大学の建築と都市計画の学生が生物学者や古生物学者のチームと共に開発したものである。これらのパビリオンは、ICD と ITKE が共同で行う一連のプロジェクトの一部で、生物模倣研究に基づいて設計されている。これらのパビリオンは、ロボットを使用してカスタムビルトされたシステムを用いて製作され、一連のモジュラーな纖維複合部品を作成します。これらのパビリオンは、教育と研究の交差点である木材の一時的なバイオニックリサーチパビリオンとして実現されている。例えば、図3ではウニ(Echinoidea)の亜種であるサンドダラーのプレート骨格形態を模倣した作例である。このような横断的研究を率先して行い、かつそれを 1:1 のスケールで実現していることに衝撃を受けた。(野村)



図2: 見学の様子



図3: 模型(ITKE Research Pavilion 2011)

4.ETHZ ラボの観察

ETHZ (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich) は、スイス連邦のチューリッヒ市にある国立大学で、通称チューリッヒ工科大学とも呼ばれる。今回はその中で、Gramazio Kohler Research を始めとする研究室群がもつラボ(図 4)の見学を行った。ラボ内は、意匠、構造、環境の専攻に関わらず様々な学生が研究と実験を繰り返し、我々の見学中にも新たな発見があったと報告があったほどにダイナミックに活動していた。作例も多くある中で、まずはじめに目を引いたのは図 5 に示すトポロジー最適化を用いた例である。トポロジー最適化は応力場に基づき、特定の質量制約のもとで最大の剛性を発揮する形態を求める手法である。当問題は特に材料工学での発展が著しく、その背景には悪い施工性がある。ETHZ ではこれを 3D プリント技術を用いて実現し、スラブとして実現した。図 5 はその裏面を示している。私は目下、当内容を研究しており、かつ建築スケールでの応用を特に考察しているので、熱い議論ができ、具体的な問題点を知ることができた。の中でも、印象的であったのは本研究室では 3D プリントを前提とした応力解析技術がすでにあり、実践的に活用されていることである。日本国内では 3D プリンターを用いた施工例はまだ少なく、このような知見を得られるのは本視察の醍醐味であると感じた。(高橋)

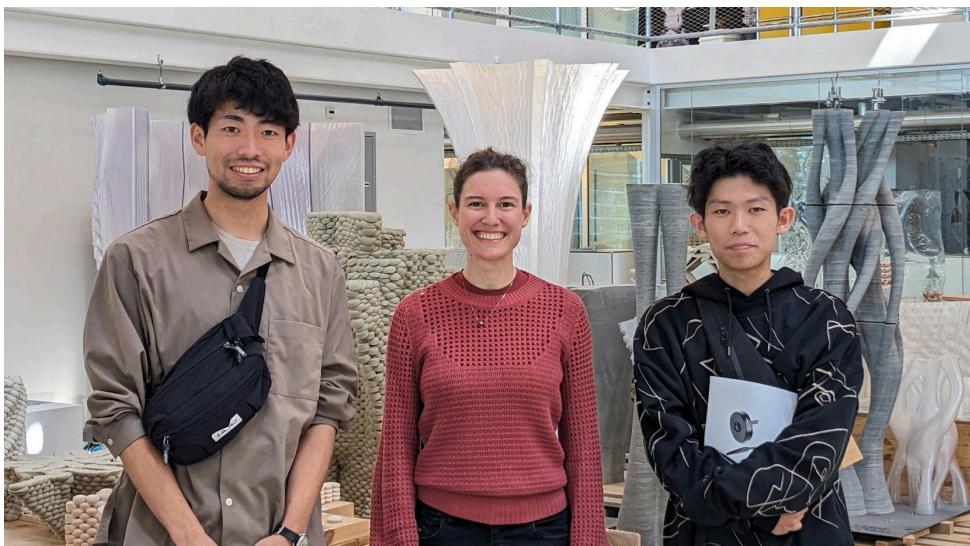


図 4: 案内していただいた Mitterberger Daniela 様



図 5: トポロジー最適化を用いたスラブ設計

次に我々が注目した研究は、図 6 に示す ICE CONCRETE の研究である。その名の通り氷を用いて作るコンクリートである。すなわち、求める造形に対してそのメス型を氷で作り、そこにセメントを流し込み鋳造するという手法を取ったプロジェクトである。メス型を自然に還る氷で作成することでは廃棄物をゼロにできるというメリットを主眼としている。これに用いた氷は地元のアイスリンクから調達されたものでスイスの環境を利用した興味深い研究である。また図 7 はラボ内に併設されている氷室で当プロジェクトを実験するために設置されたものであり、その実行力に衝撃を受けた。最後に図 8 はラボの内観である。この天井も当研究室が開発したもので、木材を用いて施工性と暖かな空間の演出を同時に可能にするものである。

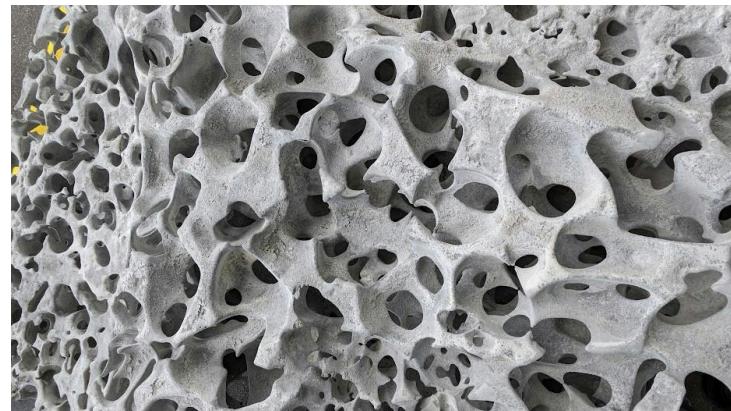


図 6: ICE CONCRETE



図 7: 氷室

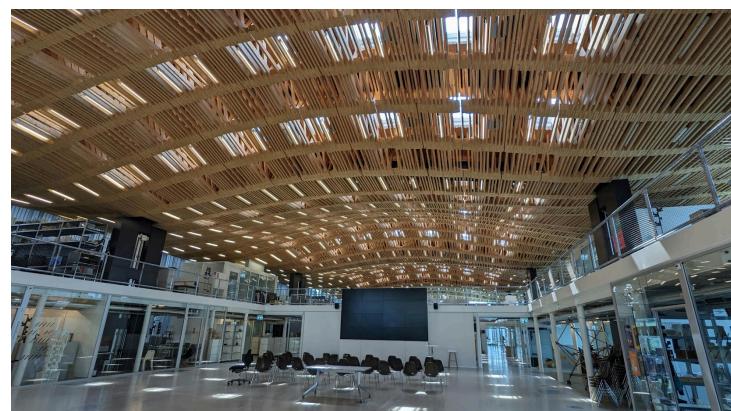


図 8: ラボ内観



図 9: 3D プリンターを用いた鉄筋コンクリート（流し込み前）

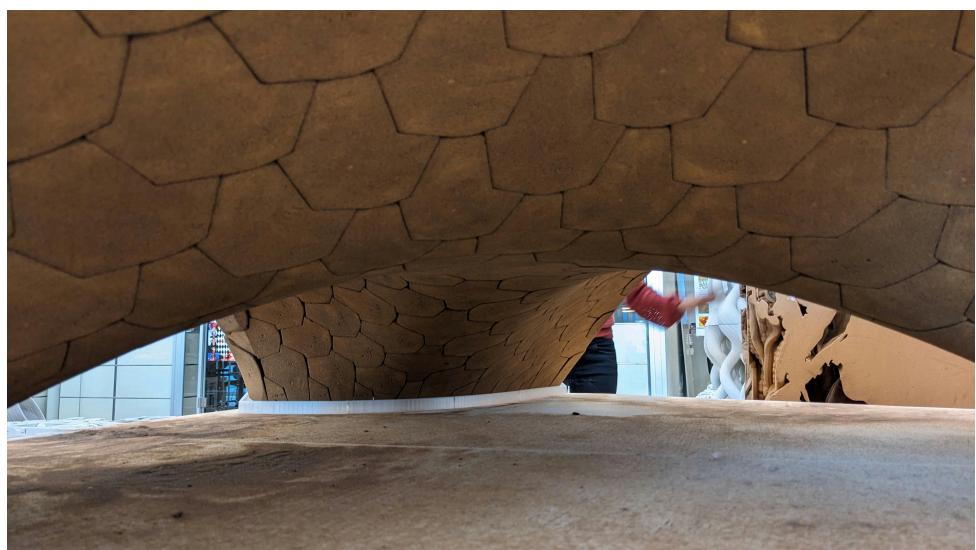


図 10: 単位ユニットによる曲面充填



図 11: ファイバー・コンクリートモデル（繊維で張力を担保する）

5.結論・考察

野村の考え方

今回の視察において一番に感じたことは、ヨーロッパの大学で行われている研究のスケールの大きさである。訪問した ETH やシュトゥットガルト大学の施設は、日本よりもスケールの大きい 3D プリンターやロボットアームなどのデジタルファブリケーション環境が整っており、それにより研究の幅が広がっていると感じた。また、企業と大学が連携することで 1:1 スケールでの大規模な実験が可能になり、修士過程の学生が実際に手を動かして、模型では得ることのできない実物大での研究を行っていることに圧倒されるとともに羨ましさも感じた。私が所属している研究室でも、実際に手を動かして等身大のスケールで実験を行ったりものを制作することを大切にしているが、同じ精神で当然のようにものを制作する姿を見て話を聞くことで刺激を受けた。また、訪問した際に見せていただいた研究事例の中で、私が今研究している「建築と生物模倣」についての実験があり、それもまた大いに勉強になった。椅子に座って論文を執筆することも大事ではあるが、興味のある物事に対して 1:1 スケールで試してみることは今後も続けていきたい。

高橋の考え方

本視察において私が感じたことは、先進的な研究開発にものづくりの基本があるということである。様々な研究機関や施工例を視察する中で、私は ETHZ で案内してくださった Daniella 様の話が最も印象的である。様々な研究事例を見学する中で私はふと、「これらはどのような実用を考えているのか」と聞いた。私にとって、これは工学での研究において外してはならない事項であると考えており、自身の研究においても軸としている。しかし、同氏は私の質問に対して「わからない。わからないけどとりあえずやってみている」と教えてくださった。ここに、私はものづくりの基本である”とりあえず手を動かしてみる”という精神を感じた。それは研究という知能活動においても同様に言えることで、それが自由に制約なくできる環境づくりが日本国内で必要であると考える。

謝辞

本視察において、助成金をくださった前田記念工学財団様には多大なる感謝を申し上げます。