

JCI-TC185F : 3D プリンティングのコンクリート構造物への適用に関する FS 委員会 第 4 回 全体委員会 議事録

- 日 時 : 2018 年 10 月 9 日 (火) 14:00~17:00
 - 場 所 : JCI 第 5 会議室
 - 出席者 : 丸屋, 石田, 兼松, 田中, 国枝, 石関, 大野, 寺本, 百武 (途中退席)
桐山, 玉木, 斎藤, 小倉, 絹村, 田邊, 木ノ村, JCI 高田 以上 17 名 (敬称略)
 - 配布資料
- 4-0 第 4 回全体委員会 議事次第
4-1 第 3 回全体委員会 議事録 (案)
- 議事

1. 前回議事録の確認

前回議事録 (資料 4-1) の確認が行われた。

2. WG の調査報告

施工 WG の調査は前回報告で終了と認識している。他調査の終了判断は幹事主導のもと各 WG で行い、自由形式で取り纏めを行ってもらえば良い。本 FS 委員会で一番ほしいアウトプットは“将来像”と“課題抽出”である。

3. 日本建築学会全国大会、国際会議での発表報告

3.1 建築学会

- 1) 前回資料 3-15 参照。押出寸法と積層構造を制御することで積層するモルタルの付着ラインに曲げ載荷しても、通常の打ち込みと比較しても問題ないことを報告した。
- 2) 材料施工部門の「ICT によるコンクリートの生産革命」の情報共有 (資料回覧)。
他産業 WG の調査活動として、前回資料 3-34 4DFP2018 の大会実行委員長でもある慶應義塾大学 田中先生に情報共有を依頼した。

3.2 国際会議 (RILEM in Zurich) 発表報告

日本からは 5 名が参加した。日本からの発表は一件のみであった。基調講演内容に関しては、CCR special issue Vol.112 で公表されている。会議は、3 つのセッションが同時に進行する形式で行われ 3 日間で計 65 の発表があった。開催場所の ETH キャンパスには NCCR が併設されており、建設における生産・製造工程にイノベーションを起こすための研究開発が 2014 年から三カ年の 4 フェーズ (計 12 年) の計画で行われている。同研究所では、例えば、3D プリンティング (以下 : 3DP) による造形物、自動溶接組上げメッシュモールド、全自動機械化施工した木構造、超薄肉構造のスラブ等の展示物が見学可能であった。Empa (スイス連邦材料試験研究所) ではデジタルファブ리케이션に関連したセメント系、木、リサイクル等の様々な研究ユニットで構成される DFAB

House を見学した。次回 RILEM 会議は 2020 年にオランダ・アイントフォーヘンで開催される予定。

→木造の全自動機械化とは？

・例えば片方のアームで木材を持ち、他方のアームで釘を打ったりする全自動ロボット施工のイメージ。木材の切り出しは別ロボットで行う。この連携は連続していないようである。

→木材と他材料とのハイブリット構造の検討は？

・現在は、木材だけの検討のようである。

→補強に関しては？

・削孔してポステンする、押出しながら補強材を同時に埋め込む、予め埋め込んだ補強材を押出しで挟み込む、異方性の形式を組み合わせて補強するなど、セッションの中でいくつかの考え方の紹介があった。明確な道筋はまだ見えていないようで、出来るところから手を付けている印象である。

→梁との接合方法は？

・具体的にはまだ考えていないようで、どうするかアイデアも見ることがない。

4. 3DP のコンクリートへの適用に関する将来像討議

4.1 前回資料 3-17

3DP を前提とした構造最適化、設計・施工の新しい体系化とそれに適した装置、材料開発、セメント材料特性を生かした他産業（鋳型、部品等）への利用拡大が目標となる。部材や構造物の直接造形のみならず、プレキャスト製品の型枠造形による多品種対応や効率化への寄与、木材等との組み合わせによる混構造による利用拡大の期待がある。

→従来の流し込み成形からするとパラダイムシフトであり、先のことで不確実性があるものの将来見据えたロードマップは必要と考える。

→材料メーカーとしてここ数年の開発ロードマップはあるのか？

・必要な性能を満足するような材料開発は考えている。ME 装置形式別の必要性能を把握できていないので、少しずつ進めている段階である。

→補強技術と構造最適化とは何なのか？すごく難しいが重要課題である。

→世の中の 3DP 利用のニーズは定かでないので、何をつくるのか、補強・設計体系含めて、まずはそういった部分が明らかでないともやもやしている感がある。

→シーズありきではダメ。3DP のポテンシャルは十分あると思う。出来るところからやるのではなく、難しい部分を打破して取り組むことに 3DP 利用の価値が生まれると考える。

→現在のニーズは分からなくとも、クライアントからこんなもの出来ないかと言われるように宣伝し続ける必要はある。

→プレキャスト製品を作るための 3DP 樹脂型枠や、埋設型枠として適用など直接造形以外の部分で 3DP 利用価値のインパクトはあると思う。

→今あるやり方、既存 RC 構造を考えていては、いけないのかもしれない。

→今までの概念にない補強の仕方、3D にしたらより合理的な位置に鉄筋が入れられるなど、まっすぐな鉄筋に縛られない適用が出来ればおもしろい。補強材はもしかしたら鉄筋でないのかもしれない。

4.2 前回資料 3-24

鉄筋埋設方法に関してアイデアないので、RC 構造への適用は難しいと考えている。高層ビル建設に適用できれば良いが、空間座標のとり方が分からないので、既存技術があれば教えて頂きたい。部材間接合も課題とした場合、例えば仮設住宅のような短期間で設置、解体するような用途や内外装材であれば可能性はあると感じる。安価で大量生産可能であることが重要とすれば、特殊でなくリサイクルできる材料が望ましい。

→幾つか挙げられた課題を研究テーマにできないか？

・3DP による最適な構造を考える研究テーマでは、結局使用する樹脂性能に全て依存する結果だった。まずは可能性あるアプリケーションを見つけ実績を挙げてから、技術前進するのも良いと思う。

→構造/形状研究では、材料ありきでないと検討は行われぬのか？

・インプットとしてまず物性がないとはじまらない。材料の役割として、その魅力をどう変えていけるかだと思う。

→高耐久性とは？

・外皮の場合装飾性が要求されるので、汚れにくい、高耐候、簡単に削れないなど美観

性としての耐久性のことである。

→施工精度が上がることによる耐久性向上の考え方もできる。例えば、かぶりのように構造的にはいらなくても耐久性上で必要のような部分を施工精度でうまく組み合わせるイメージ。

4.3 前回資料 3-29

AI、3D スキャン、ドローンなどの他技術との組み合わせで 3DP 技術も少しずつ発展すると考えている。建築分野では本設への適用は法的ハードルが高いことから、意匠材の再現、補修・補強や仮設材への適用が直近の可能性として挙げられる。例として、重要文化財の石造り部材の再現例、東京大学におけるパビリオン製作を紹介。

→東京大学のパビリオン製作時の座標の取り方は？

・いくつかの固定カメラで座標を測定し、少しずつキャリブレーションしながら製作されたと認識している。

→旧 M 邸は石で直接 3DP 復元できなかつたのか？

・壊れていないものを 3D スキャンし樹脂造形したのち、石職人が石を削って作った。田中先生の星状構造は、ジャイロイド構造と呼ばれ、使用材料を最小にする制約における最適化された構造と思われる。

→東京大学 伊藤耕三先生 (ImPACT_PM) が鉄に変わるプラスチック素材を研究している。自動車実装が目標となっているが、このような新素材とのハイブリッド構造での検討価値は十分あり得る。そういった意味で他産業の情報収集は重要である。

→新素材との複合化が実現すると、耐久性の観点が変わってくる可能性（異なる耐久性の要求）がある。

4.4 前回資料 3-20

労働人口が減少する中で、作業環境改善、施工の効率化・省力化の観点から重要な技術と考える。3DP に適した材料開発が必要である一方、材料を固定化してしまうと技術普及の阻害になる可能性もある。ノズルの形状・寸法の選定、作製した造形物に対する耐久性評価の検討、法整備が必要である。

→発注者目線で考えたとき、施工効率化は価値となるか？ユーザーは要求したものを作ってくれば良いとはならないか？従来工法とまったく同じもの（機能）をつくる場合

は、安くないと受入れられないと思われる。

→3DP としての付加価値つけて価格をあげる考え方もあり、どちらを志向するかで必要な技術も変わってくると思われる。

→プレキャストとの差別化をどうするか？ 単品対応のオーダーメイドの価値は生まれる可能性はある。

→匠の技を有する熟練工が減少し、結果として工事単価があがる場合には、3DP 利用により同精度で且つ安価になるとなれば価値がでる。

→他産業と比較して建設業はずっと同じことをやっていて遅れているイメージがあるので 3DP で変えられると良い。

→実は他産業と比較して建設業は技術があるとは言えない。バブル崩壊時に多くの人を受け入れたのは建設産業だった。熟練技術も必要だが、3DP では安価で大量につくる必要性を感じる。

→FS 委員会メンバーで SWOT 分析を取り入れ、ブレインストーミングで思考整理を行うのも一考である。

4.5 前回資料 3-28

設計、施工、維持管理までのシームレス化による一貫したデータ収集ができるメリットがある。施工精度の向上、例えばより精度の高いかぶり管理による構造物としての高品質化など、設計通りに作れるという点を志向しても良いと思う。小さなブロック等でも良いので、オンサイトでロボットが自動で作るのが理想である。社会実装されるためには、従来と異なる 3DP としての付加価値をユーザーに示す必要性を強く思う。

→施工中の大空間においてmm単位で座標把握できる技術はあるのか？

- ・コストは別として、技術としてはあると思われる。
- ・準天頂衛星システムでは数cm誤差と思われる。

→従来工法と 3DP による施工精度比較の検証を行う意義はある。

→イメージとして 3DP はコスト高になると一般的に思われており、社会実装されるには低コスト化が一番のインパクトになると思う。自社マネジメントには将来的には安価に

なると説明している。

→建築ではプレキャスト化が進んでおり、プレキャスト製品用型枠或いは部材の一部を3DPすることで実績をつくるのが早いと思う。

5、解決すべき課題、課題の抽出、将来像等 フリートーク

A 委員：コンクリートのみの構造から RC 出現により適用される構造に変化が起きたように、3DP だから出来る構造を材料最適化との組み合わせで考えると良いと感じる。設計者/発注者側から鉄筋を入れない場合の定量的な構造要求性能が数字で示されると、それを満たすための製品開発が出来るかもしれないし、目標ともなり得る。

→CSG が圧縮 2Mpa 前提で台形設計されるように、3DP-ECC での知見はあるのか？

・そこはまだ分からない。ECC 以外の補強材も含めた、材料スタートの構造最適化の検討は十分あると思う。

B 委員：デザイン性、一品性、安くて速い、などユーザーメリットを突き詰めて考え、従来工法との有用性を数字で示すことで、ユーザーを取り込めないか考える。

C 委員：普及と価値創造のジレンマの中で、社会実装のための日本における 3DP 適用に向けたビジョンとロードマップがあらためて必要と感じている。

→海外の動向を踏まえて、日本の未来を見据えたロードマップは FS 委員会としての最終報告には組み込みたい。

D 委員：施工者立場として省力化、生産性向上、安全施工の観点で、汎用の樹脂プリンタのようにデータのやり取りで連続 24 時間施工できるような将来が実現すればと思っている。

E 委員：どうやって補強するかに興味がある。3DP では繊維補強の配向のバラツキが小さくなるなど材料の持つポテンシャルをフルに使えるので、品質向上に対して寄与する注目すべき利点であると思う。

F 委員：労働人口減少の中で、それを補完する技術として利用する近々の課題解決の側面と、既存工法では対応できない新しい可能性を探っていく将来予測の側面との二つの軸（マイルストーン）があっても良いと思う。

海外で先行する 3DP のサプライチェーンの中で、それぞれのプレイヤーがどの領域でど

う事業を展開しようとしているのか、どのようなビジネスモデルを想定しているのかを分析抽出するのも良い。

→會澤高圧コンクリート社の 3DP 導入技術に関して情報あれば共有してほしい。

- ・具体的に何をつくるかはまだ決めていないようである。

→海外含めて装置メーカーやソフト会社が必要な知財を押さえて、知らない間に標準化される懸念、開発における知財障壁は無いのか？

- ・RILEM 国際会議で知財の話題は特になかった。
- ・一般的な樹脂系に関しては、アメリカの基本特許が切れてプリンターヘッドを動かす技術はどこでも使えると聞いている。
- ・国内においては既存技術の組み合わせなので、特許性は特にないと思われる。

→個別の装置、制御ソフト、材料を自由な組み合わせで、利用出来るようになるか？或いは、出来ないようにしている？

- ・現状は装置、ソフト、材料で一つのパッケージとして開発されており、自由な組み合わせはできない。
- ・技術の流動化防止として、コア技術はブラックボックス化することも一つのやり方である。

→ゼネコンの考え方として 3DP 技術は、下請けが持つのか本体が持つのか？

- ・協力他社だったり、グループ会社だったり、ゼネコン本体は意外に技術保有していない。ただ、下請け協力会社は開発してくれないので、初期投資はゼネコンがする。技術開発する人材を保有し技術供与するイメージである。

→技術保有がゼネコンでない場合、究極的に 3DP 技術の主導権が下請け一社に限定されてしまうと、そこにしか頼めないなどの懸念はないか？

- ・下請け会社で開発できる耐力は今ないので、ゼネコン主導で行われるのだと思う。
- ・例えば、トンネル分野でもそのような事実は現実としてある。ゼネコンにとって 3DP は手段であって目的ではない。このような新技術を利用して、何を造ってどう売るかに尽きる。

- ・本委員会として、日本の建設業界における 3DP 技術の認知を高めて、全体として技術の底上げとその先の競争を促すことも意義としてあげられる。まずは海外の技術に追いつく段階である。

→現行枠を超えて、異種材料との複合で自由な組み合わせによる新しい形態や構造を本委員会で議論できれば良い。

6、今後の予定

- ・次回全体委員会で構造 WG の調査報告を行う。材料 WG は、追加あれば報告する。
- ・他産業 WG の報告は 12/19 の第 6 回全体委員会で行う。
- ・次回委員会では、意見の集約と全体認識共有のため SWOT 分析の活用を検討したい。実施については別途連絡する。
- ・各委員で収集した文献等は PDF で丸屋委員長にメールする。その後、委員長で取り纏めて各メンバーに共有する。

以上