

建設用3Dプリンティング技術の紹介

研究部 ロボット・Aiグループ
松浦 誠司

1. 3Dプリンティング技術とは

- ✓ 3D CADなどの3次元ソフトウェアで作成された3次元データを使用して3次元の物体を作成するための加工技術
- ✓ スライスされた2次元の層を1枚ずつ積み重ねていくことによって、立体モデルを製作する
- ✓ 製造業、医療業界等様々な分野で活用が拡大している。
- ✓ 3Dプリンターに使用される主な素材としては、プラスチック、金属、セラミック、バイオマテリアルなどが挙げられる。

2. 建設用3Dプリンティング技術

- ✓ コンクリート工は、鉄筋の配筋、型枠の設置撤去、コンクリートの打設などの作業に人手を多く要し、生産性向上が十分に図られていない。



他産業で活用が拡大し、普及が進んでいる3Dプリンティング技術がコンクリート工に適用

- コンクリート工の構造、設計、施工、安全等が飛躍的に改善され、コンクリート構造物の生産システムに革命的な変化をもたらすことが期待される

2. 建設用3Dプリンティング技術

先端建設技術センターと建設用3Dプリンティング技術の関わり

業務名 : コンクリート工の生産性向上に向けた品質管理等に関する検討業務

発注者 : 国土交通省 国土技術政策総合研究所

業務内容 : 3次元プリンタによる造形物の品質管理手法に関する検討
3種類の3Dプリンティング技術について下記項目を実施

- ・ 積層体の強度特性の把握
- ・ 積層体間の接着状態の品質への影響整理
- ・ 表面の出来栄え評価に関する整理

2. 建設用3Dプリンティング技術

主な仕様

使用材料

- ✓ セメント系の材料を使用

3Dプリンティング方式

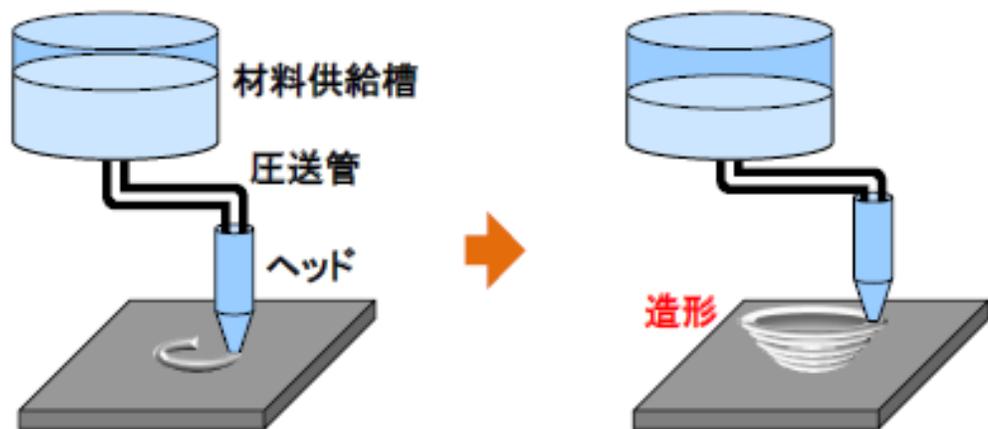
- ✓ 材料押出、材料噴射、その他

位置決め方法

- ✓ ロボットアーム、ガントリー、パラレルリンク



●材料押出(MEX)方式

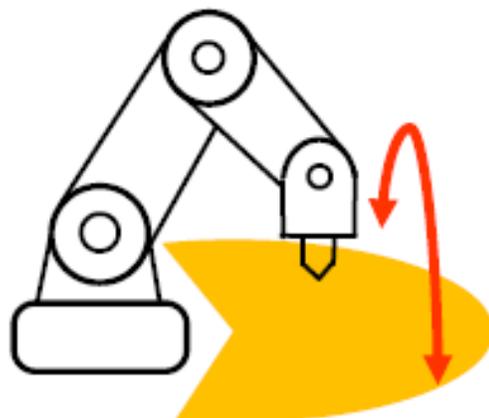


✓位置決め方式

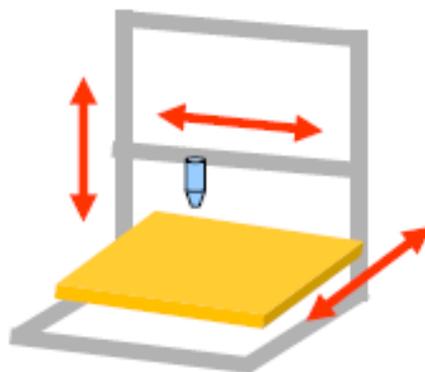
- ・ロボットアーム
- ・ガントリー(XYZ独立)
- ・デルタ(パラレルリンク)

✓材料供給

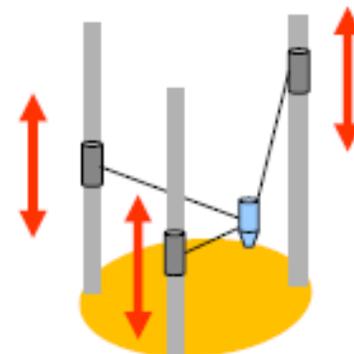
- ・湿式
- ・乾式



ロボットアーム



ガントリー



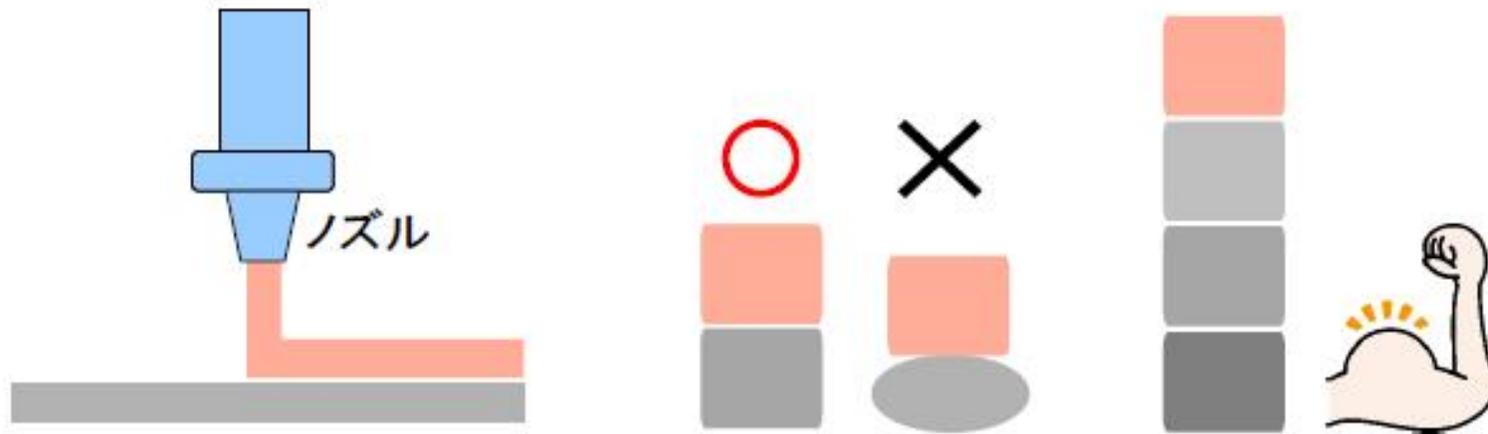
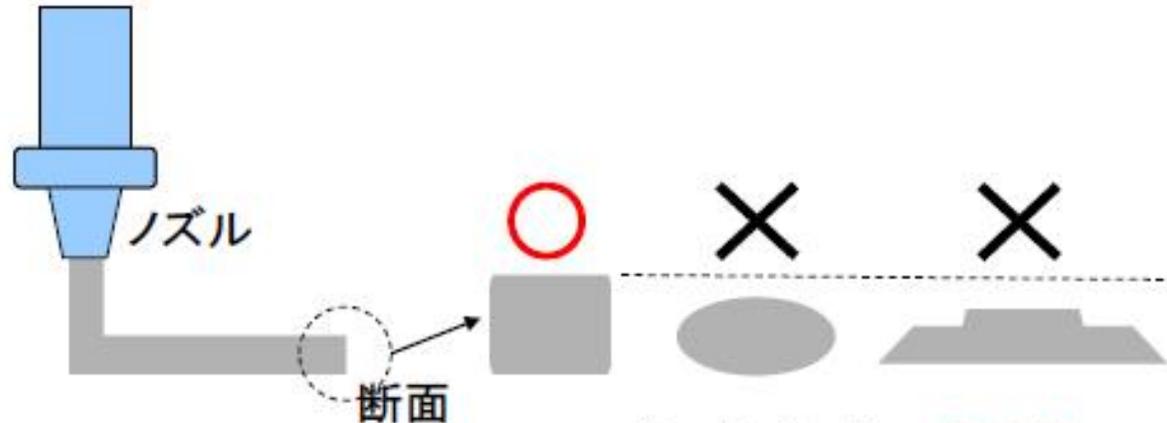
パラレルリンク

7

出典

小川洋二：日本における3Dプリンティングの現状紹介 I～材料について 建設用3Dプリンティング技術最前線と将来展望に関するワークショップ 配布資料 2021年3月2日

3Dプリンティングによるコンクリート構造物構築に関する研究委員会 (公益社団法人日本コンクリート工学会)

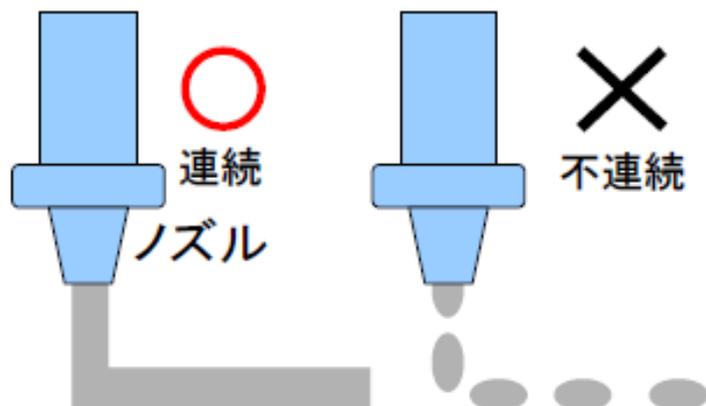


出典

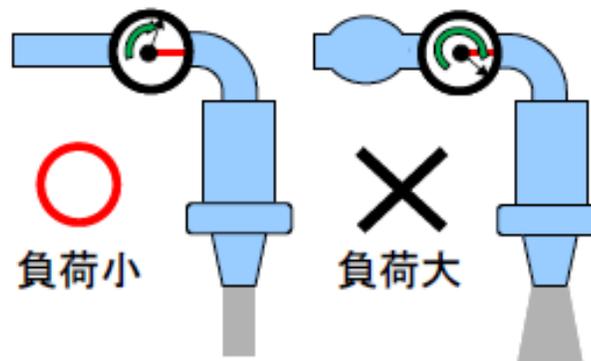
小川洋二：日本における3Dプリンティングの現状紹介 I～材料について 建設用3Dプリンティング技術最前線と将来展望に関するワークショップ
配布資料
2021年3月2日

3Dプリンティングによるコンクリート構造物構築に関する研究委員会
(公益社団法人日本コンクリート工学会)

(a) 定常的な押し出しに必要な流動保持性



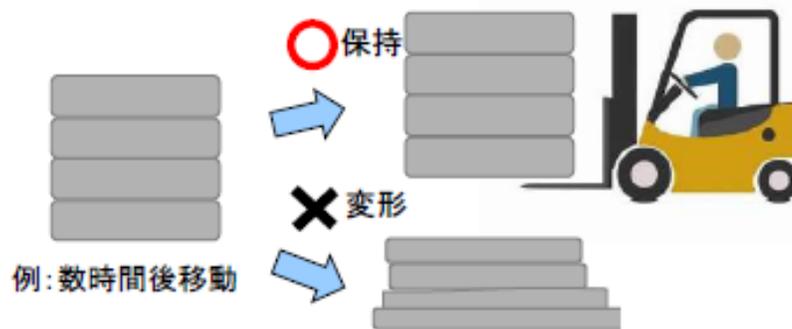
(b) 良好なポンプ圧送性



(c) ノズル押し出し後の自立安定性



(d) 積層後の速硬性



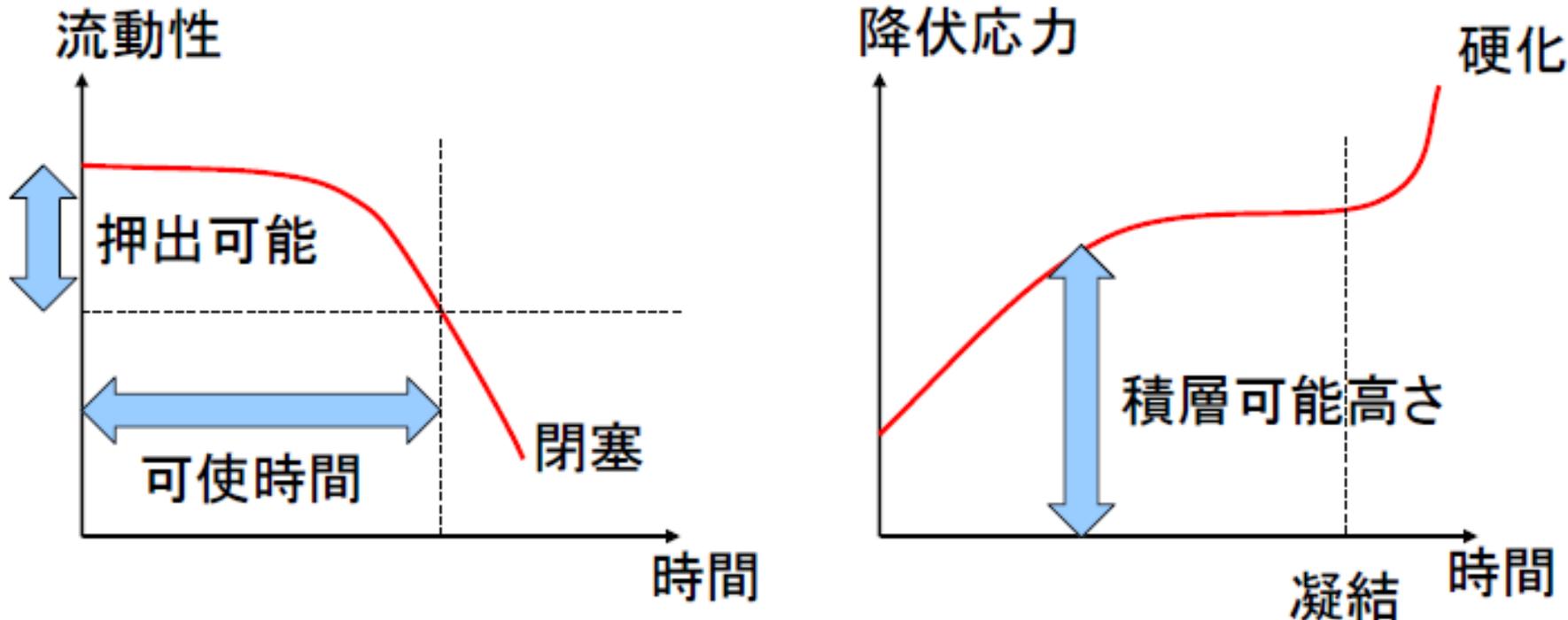
(a)~(d)をコントロールできる配合設計

出典

小川洋二：日本における3Dプリンティングの現状紹介 I ~材料について 建設用3Dプリンティング技術最前線と将来展望に関するワークショップ 配布資料 2021年3月2日

3Dプリンティングによるコンクリート構造物構築に関する研究委員会 (公益社団法人日本コンクリート工学会)

水和反応の進行に伴い、物性が変化する
⇒ 時間変化に伴う物性変化を予め考慮する必要



- 一般に流動性を高めると降伏応力は低下する
- 可使時間 < 凝結時間 (硬化開始時間)

出典
小川洋二：日本における3Dプリンティングの現状紹介 I～材料について 建設用3Dプリンティング技術最前線と将来展望に関するワークショップ 配布資料 2021年3月2日

3Dプリンティングによるコンクリート構造物構築に関する研究委員会 (公益社団法人日本コンクリート工学会)

3. 各社技術の紹介

セメント系材料を用いた3Dプリンティング技術

- ✓ 3Dプリンティング技術を保有する6社に資料提供を依頼
- ✓ 主に下記内容について調査を実施

プリンタ装置

- 3Dプリンティングの方式、位置決め方式、ノズル形状・寸法

使用材料

- 材料、繊維の有無、凝結調整方法

積層体材料の製造（練混ぜ）方法

- 練混ぜ方法、ミキサ仕様、積層体の幅・厚、造形速度

実績

今後の展望

3. 各社技術の紹介

- 3Dプリンティング技術を有する6社に情報の提供を依頼
 - ① 曾澤高圧コンクリート
 - ② 大林組
 - ③ 清水建設
 - ④ 大成建設
 - ⑤ Polyuse
 - ⑥ 前田建設工業
- (五十音順)

3. 各社技術の紹介

① 曾澤高圧コンクリート

3. 各社技術の紹介 ①曾澤高圧コンクリート

プリンティング方式

- ✓ 材料押出方式

プリンタ装置

- ✓ ロボットアーム、ガントリー+ロボットアーム

プリンタ装置寸法

- ✓ 幅2380mm、奥行き2220mm、高さ1250+1750mm

ノズル可動範囲

- ✓ 半径3.2m

3. 各社技術の紹介 ①曾澤高圧コンクリート

ノズルの形状、寸法

- ✓ ラウンドタイプ（円）、直径20mm

ノズル動作の精度

- ✓ 1mm（ロボットとしては0.1mm）

造形物の精度

- ✓ ±5mm

3. 各社技術の紹介 ①曾澤高圧コンクリート

積層体材料のフレッシュ性状確認方法

- ✓ ノズルから排出された材料がフローすることなく、積みあがったらプリントを開始

積層体の幅と厚さ

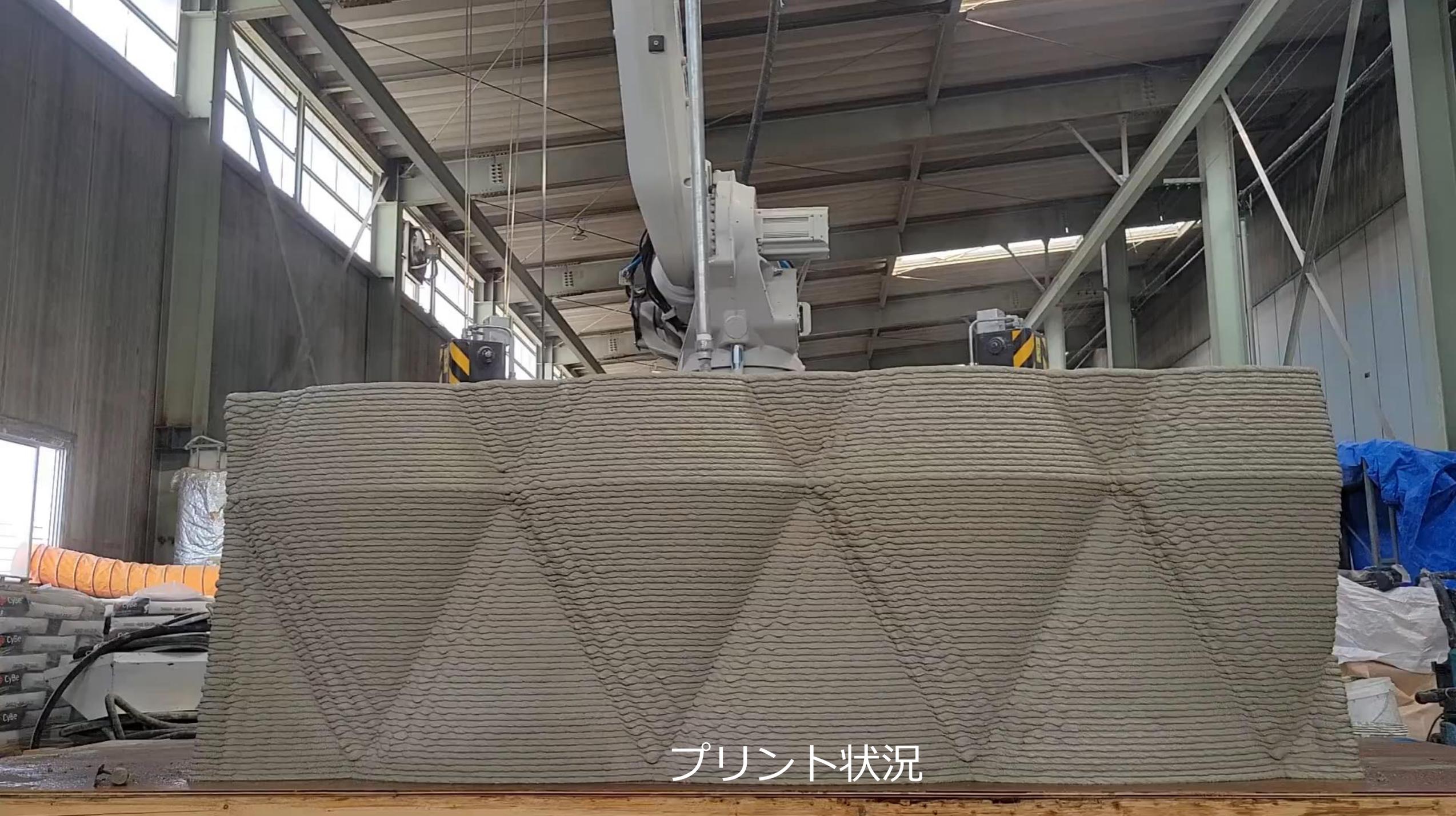
- ✓ 幅50mm、厚さ20mmまたは12.5mm

造形速度

- ✓ 200mm/s : 厚さ20mmの場合
- ✓ 320mm/s : 厚さ12.5mmの場合

許容積重ね時間

- ✓ 5分程度



プリント状況



プリント状況（近接）

3. 各社技術の紹介 ①曾澤高圧コンクリート

積層体材料

- ✓ CyBe Construction社（オランダ）製
- ✓ 促進剤入りのプレミックス材 繊維無し

凝結の調整

- ✓ 遅延剤で調整

練り混ぜ方法

- ✓ 連続練り

ミキサ製造量

- ✓ 最大700L/時間

強度特性

- ✓ 圧縮強度40N/mm²

3. 各社技術の紹介 ①曾澤高圧コンクリート

実績

NO	都道府県	実施月	分類	発注者	現場名称	プリント物
1	北海道	2019/09	公共	旭川市 公園みどり課	カムイの杜公園施設整備工事	基礎石用型枠
2	北海道	2019/10	公共	北竜町	北竜町やわら保育園建設工事	基礎石用型枠
3	北海道	2020/3	公共	北海道開発局営繕部		ベンチ
4	北海道	2020/09	民間	曾澤高圧コンクリート(株)	-	非構造壁
5	北海道	2020/09	民間	曾澤高圧コンクリート(株)	-	トイレ
6	茨城県	2021/10	民間	日揮グローバル(株)	-	基礎ブロック
7	北海道	2022/03	公共	札幌市	社会資本整備総合交付金事業 発寒いこい公園再整備工事	ベンチ
8	北海道	2022/03	公共	北海道開発局札幌開発建設部	一般国道452号 三笠市桂沢改良工事	ブロック
9	北海道	2022/07	民間	ディマシオ美術館	-	宿泊棟
10	千葉県	2022/12	民間	東日本旅客鉄道(株)	太海駅本屋改築他工事	ベンチ
11	北海道	2022/11	公共		入志別川広域河川改修工事	調整ブロック



実績 ディマシオグランピングビレッジ

3. 各社技術の紹介 ①曾澤高圧コンクリート

実績

ディマシオ
グランピング ビレッジ



3. 各社技術の紹介 ①曾澤高圧コンクリート

3Dプリンタの活用目的

- ✓ 発注者の想いにカタチを与え唯一無二の建築価値を共創する新事業
- ✓ 洋上風力の型枠として

将来の展望

- ✓ サーキュラー建築：平屋住宅を印刷したのち一定期間で解体し、その材料を再び印刷材料として使用する
- ✓ 洋上風力の型枠：ドローンにプリント機構を取り付け飛ばしながら印刷を行う

②株式会社大林組



MAKE BEYOND
つくるを拓く

大林組の3Dプリンターの開発経緯

- ・2014年 研究所の次世代技術探索のひとつとして、机上検討を開始
- ・2017年 3DP用モルタルの開発と小規模部材の製造を開始(モルタルアーチ橋)
- ・2019年 引張力を負担する要素として、スリムクリートを導入(シェル型ベンチ)
- ・2022年 国内初の建築確認を取得した建築物として建設を開始



モルタルアーチ橋 (2017)



シェル型ベンチ (2019)



3Dプリンター実証棟 (3dpod™) (2022)

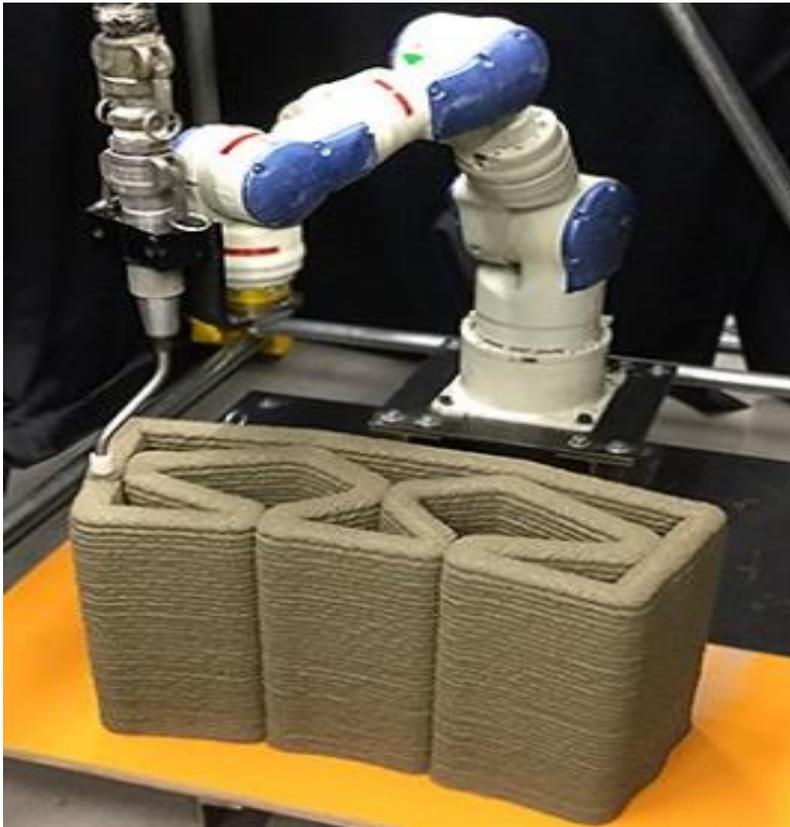
●3Dプリンターの概要

- ・ロボットアーム型を使用
- ・小型3Dプリンター(アーム長さ約1.0m)、大型3Dプリンター(アーム長さ約3.0m)
- ・モルタルの圧送は、圧送時の脈動の無いスネークポンプを使用

●3Dプリンティング材料(3Dプリンタ用モルタル)

- ・プレミックスモルタル(硬化促進剤、チキソ性調整剤、有機繊維を混合)
- ・凝結遅延剤を用いて、硬化速度を調整して使用
- ・圧縮強度50N/mm²、曲げ強度4.0N/mm²程度
- ・パン型ミキサで練混ぜ

- ・小型3Dプリンター(アーム長さ約1.0m)でモルタルブロックを製作
- ・圧縮応力が支配的なアーチ橋を製作



モルタルブロック



アーチ橋

● シェル型ベンチの概要

- ・複合構造の実証として2019年に製造
- ・3Dプリンターで製造された構造物としては、当時、国内最大規模



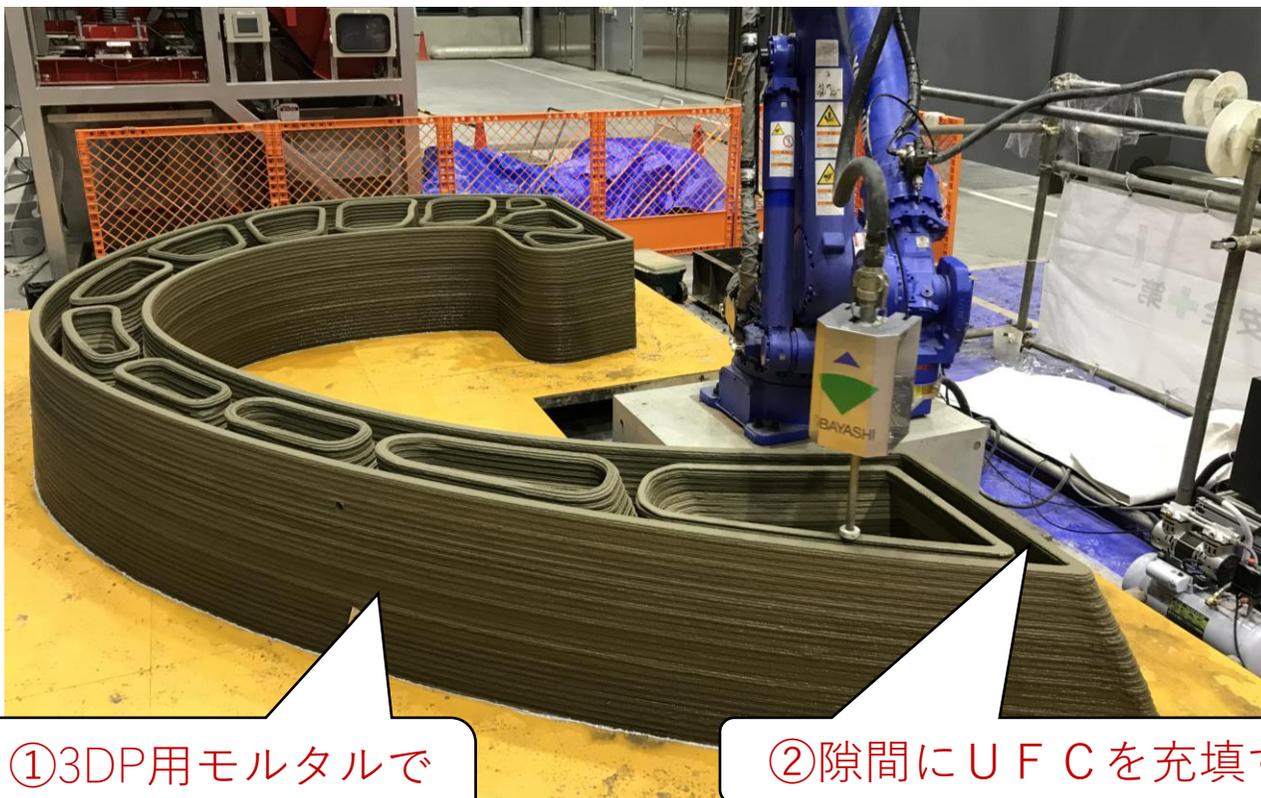
3Dモデル



現物

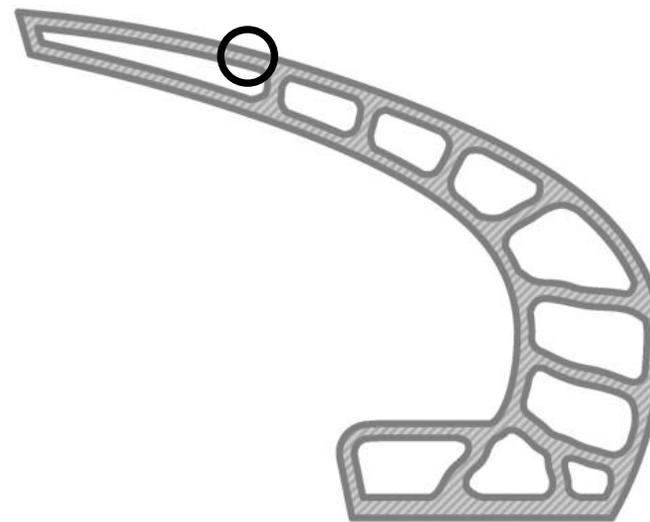
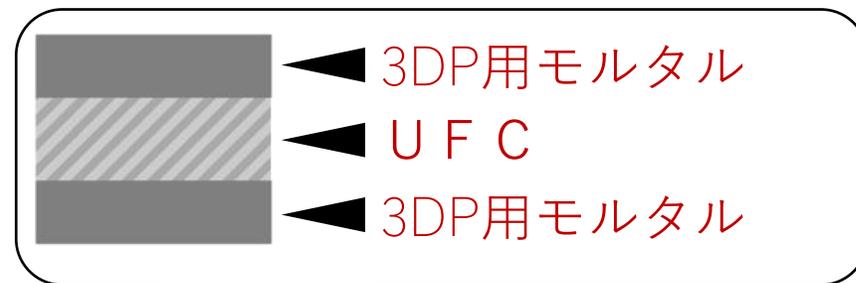
●部材の製作状況

- ・外形を3DP用モルタルで製造し、内部にUFCを充填



①3DP用モルタルで
外形を製造する

②隙間にUFCを充填する





3Dプリンター実証棟(3dpod™)の建設(2022)

- ・3DPモルタル製の打込み型枠にUFCを充填する構造形式を用いた建築物
- ・日本建築センターの性能評価(法20条)を受け、国土交通大臣認定を取得
- ・壁は、オンサイトプリント、床は、プレキャスト製デッキとして、敷き並べた後に、上部にUFCを打設する ⇒地上構造物の全てに3Dプリンター製の部材を使用



外観パース



内観パース

3dpod



OBAYASHI

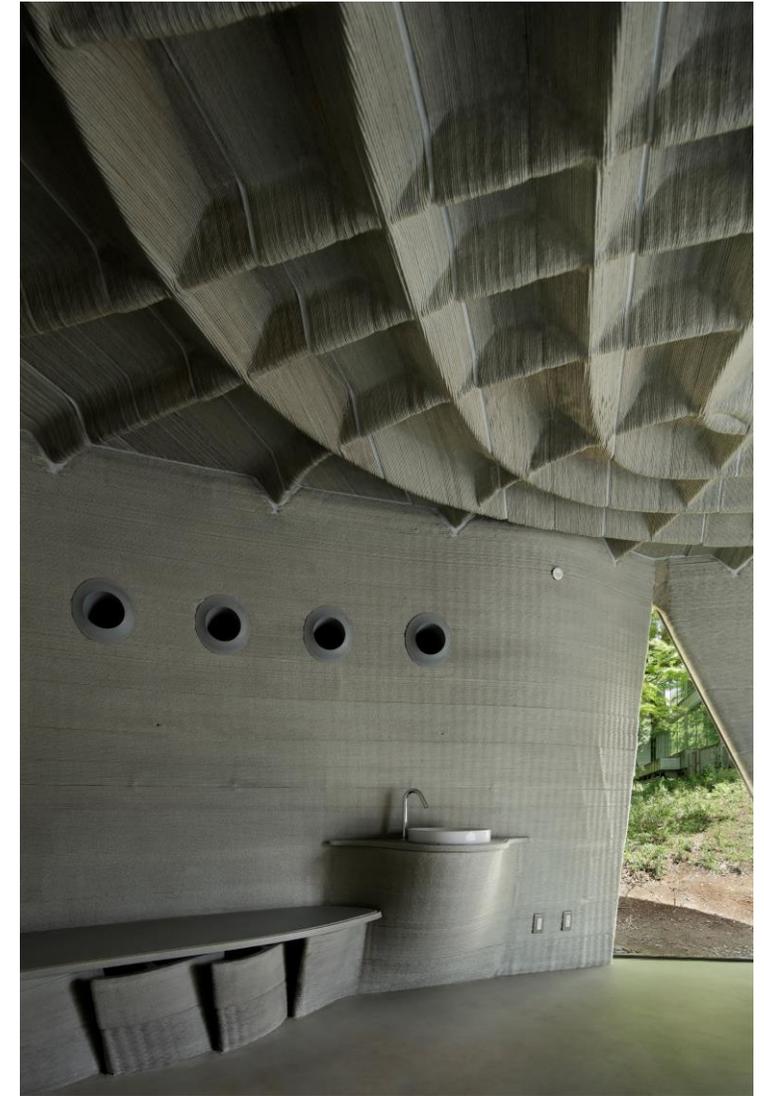
大林組

3dpodの建設記録(動画)



MAKE BEYOND
つくるを拓く





- ・大林組のセメント系材料を用いた3Dプリンターの開発状況等についてご紹介した
- ・引張力の負担方法について、超高強度繊維補強コンクリート(スリムクリート)を用いた工法を開発し、建築基準法に準拠した建築物(3dpod)を建設した
- ・今後は、本工法の展開やその他の3DPによる建設技術の開発を進めていく予定
⇒現在、土木分野での適用検討(プレキャスト杭など)も進んでいる



3Dプリント



鉄筋かご



組立



コンクリート打設



完成

プレキャスト杭の製造

3. 各社技術の紹介

③ 清水建設

3. 各社技術の紹介 ③清水建設

プリンティング方式

- ✓ 材料押出方式

プリンタ装置

- ✓ ロボットアーム型：高精度プリントが可能、最大造形サイズ6m
- ✓ ガントリー型：幅20mの大規模造形物を一括プリント可能

3. 各社技術の紹介 ③清水建設

プリンタ装置：ロボットアーム型



最大造形幅

✓6m

3. 各社技術の紹介 ③清水建設

プリンタ装置：ガントリー型



プリンタ装置寸法

✓25m × 7.2m × 12.5m

ノズル可動範囲

✓20m × 4.5m × 4.3m

3. 各社技術の紹介 ③清水建設

積層体材料のフレッシュ性状確認方法

- ✓ フロー試験、空気量、温度

積層体の幅と厚さ

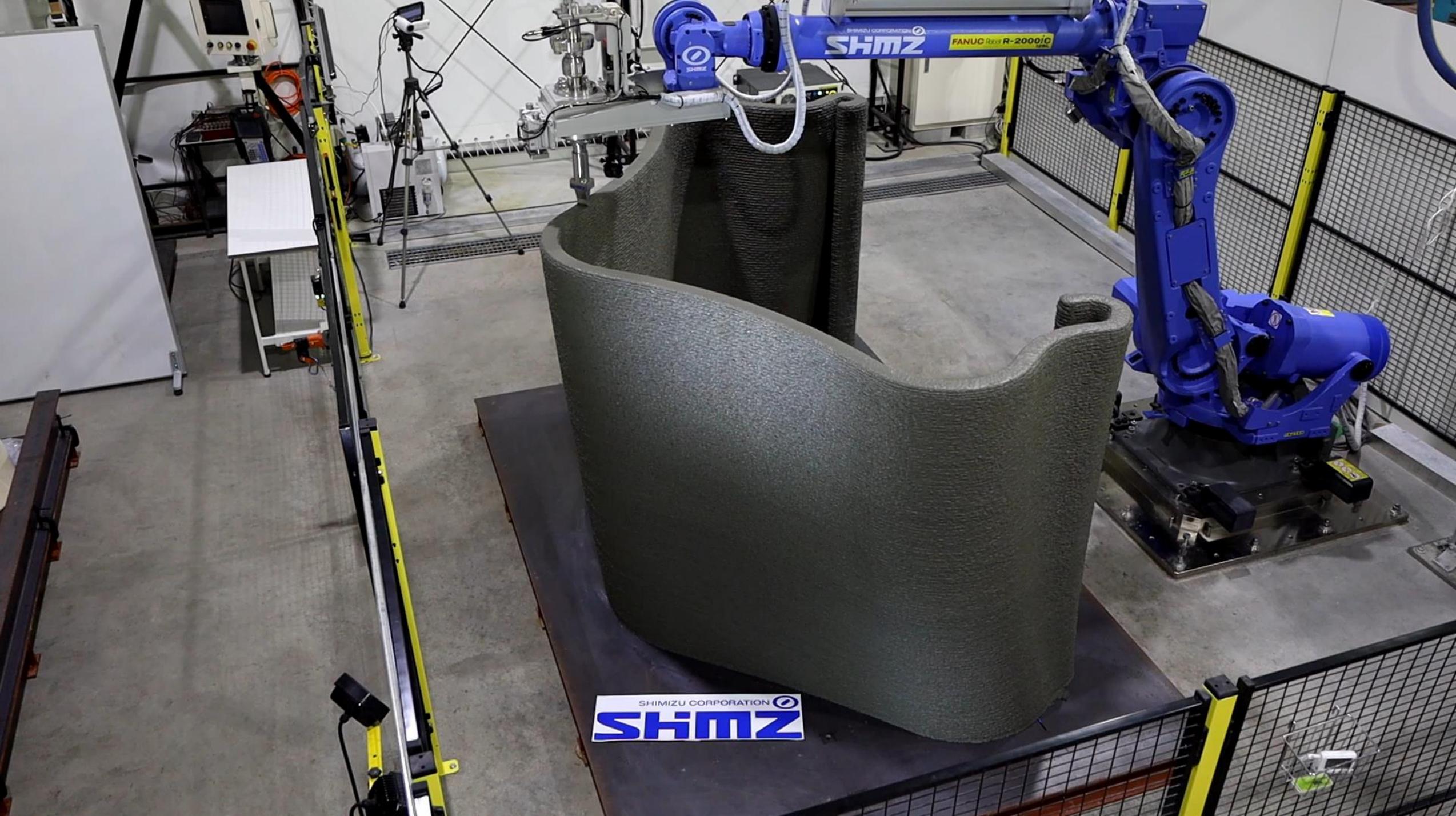
- ✓ 幅30～100mm、厚さ5～10mm（ノズル交換で変更できる）

造形速度

- ✓ 最大150mm/s

造形物の出来形精度

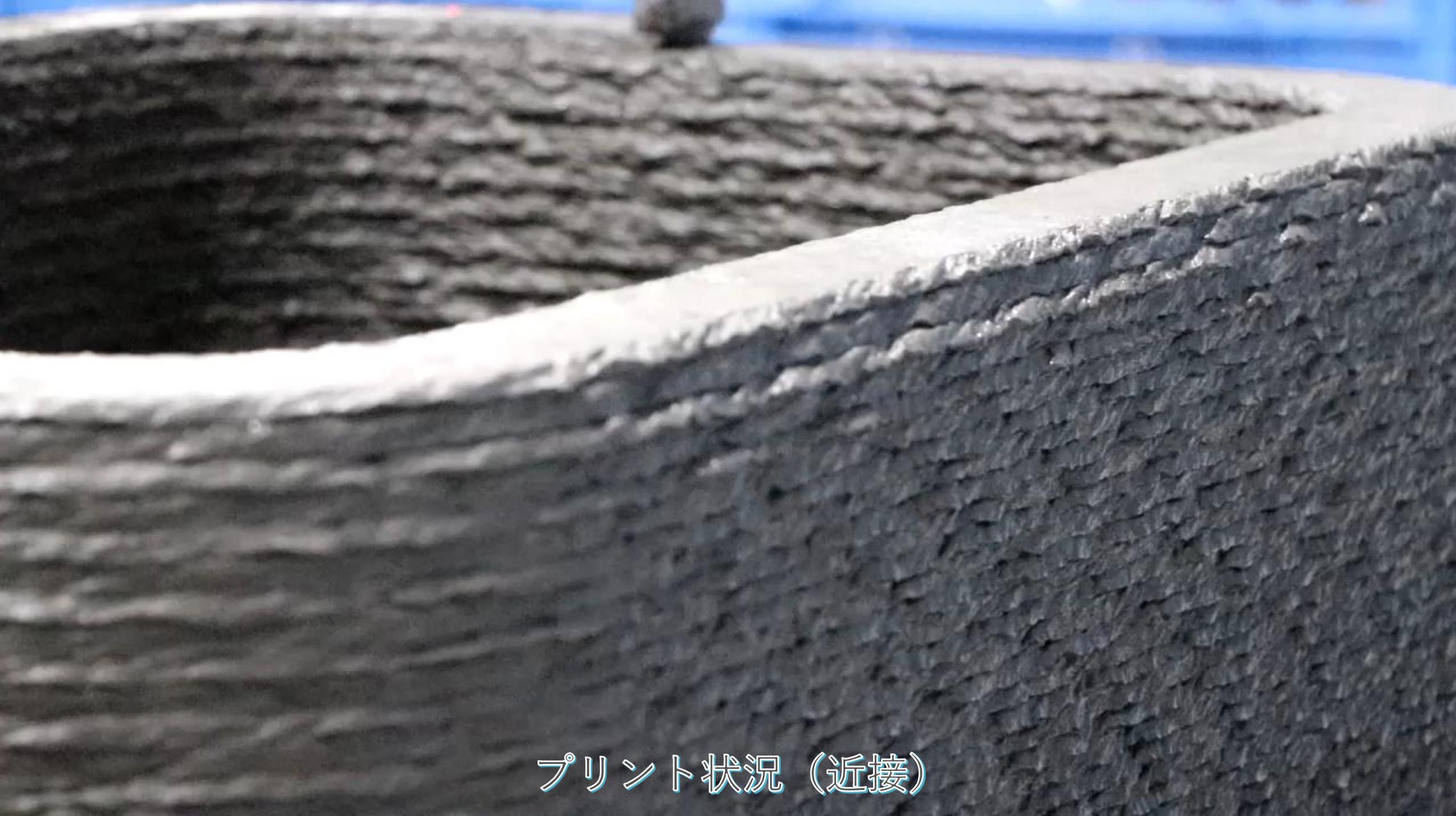
- ✓ $\pm 5\text{mm}$



SHIMIZU CORPORATION
SHIMZ

SHIMIZU CORPORATION
SHIMZ

FANUC R-2000iC



プリント状況（近接）

3. 各社技術の紹介 ③清水建設

積層体材料

- ✓ 清水建設専用の配合、PE繊維混入

強度特性（実績値）

- ✓ 圧縮強度 110N/mm²、曲げ強度 14N/mm²

耐久性（各種耐久性試験結果等）

- ✓ 表層透気試験、表面透水試験、塩水浸せき試験、促進中性化試験、凍結融解試験の結果、従来RCと同等以上の耐久性

3. 各社技術の紹介 ③清水建設

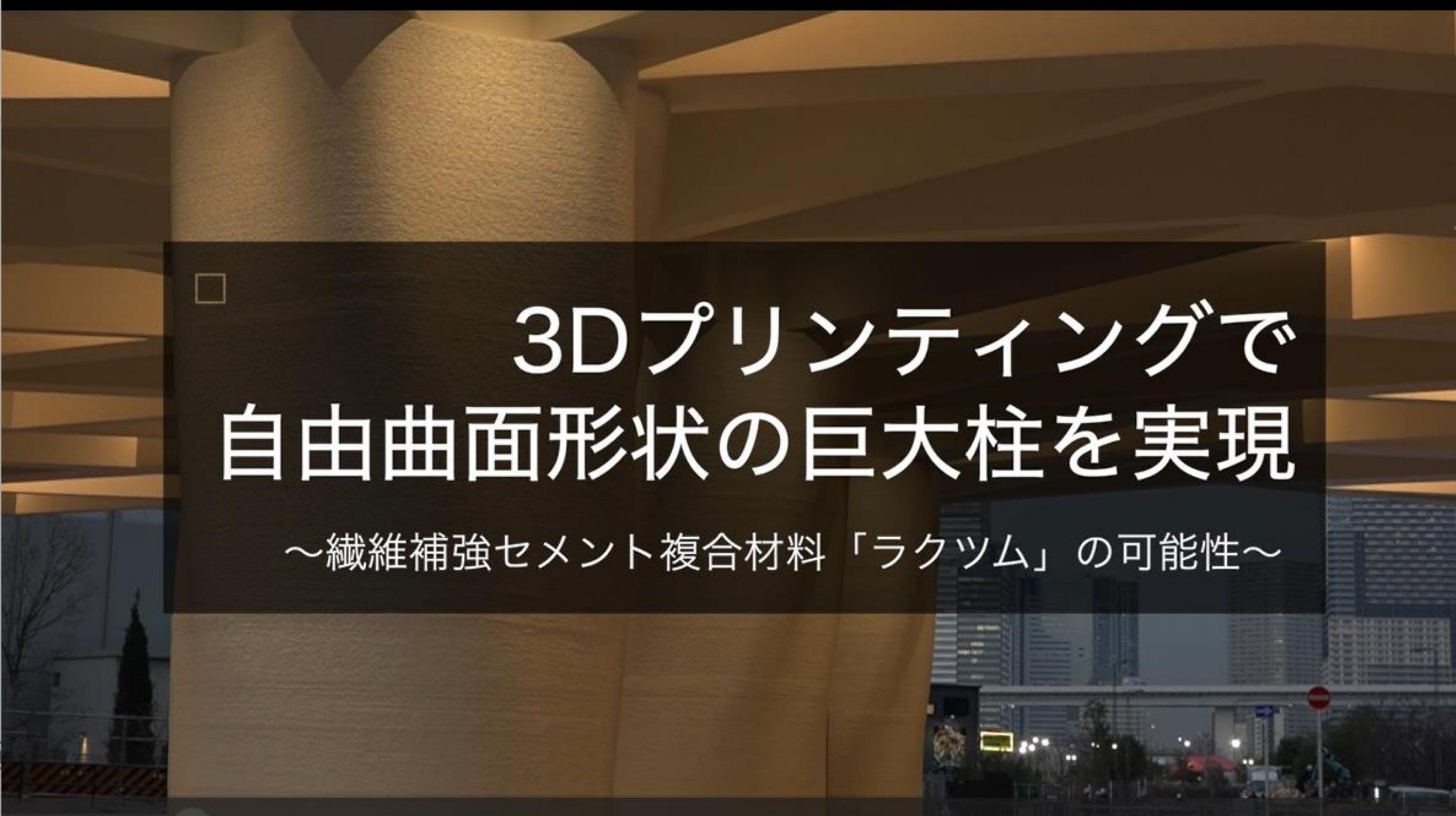
実績（実際に供用されている構造物）

- ✓ 豊洲MiCHiの駅：柱部材の型枠
- ✓ ミチノテラス豊洲：ベンチ
- ✓ 土木現場：柱基礎の型枠
- ✓ 潮見イノベーションセンター：壁部材の型枠
- ✓ 潮見イノベーションセンター：屋根構造



豊洲MiCHiの駅 2021年1月





□ 3Dプリンティングで
自由曲面形状の巨大柱を実現

～繊維補強セメント複合材料「ラクツム」の可能性～

ミチノテラス豊洲 2021年9月

媒体名	建設通信新聞
掲載日	2021. 9. 22
	3

曲面カラーベンチを3時間で造形

繊維補強モルタル「ラクツム」活用



幅3,200×奥行1,500×高さ1,000の豊洲の海の波面をモチーフにしたモルタル「ラクツム」(人間工学)に基づきデザインされた

清水建設は、3Dプリンティング用に独自開発した繊維補強モルタル「ラクツム」を利用して、グラデーション調にカラーリングされたコンクリートベンチを造形する技術を開発した。波面をモチーフにデザインされ

清水建設 3Dプリンティング用に独自開発

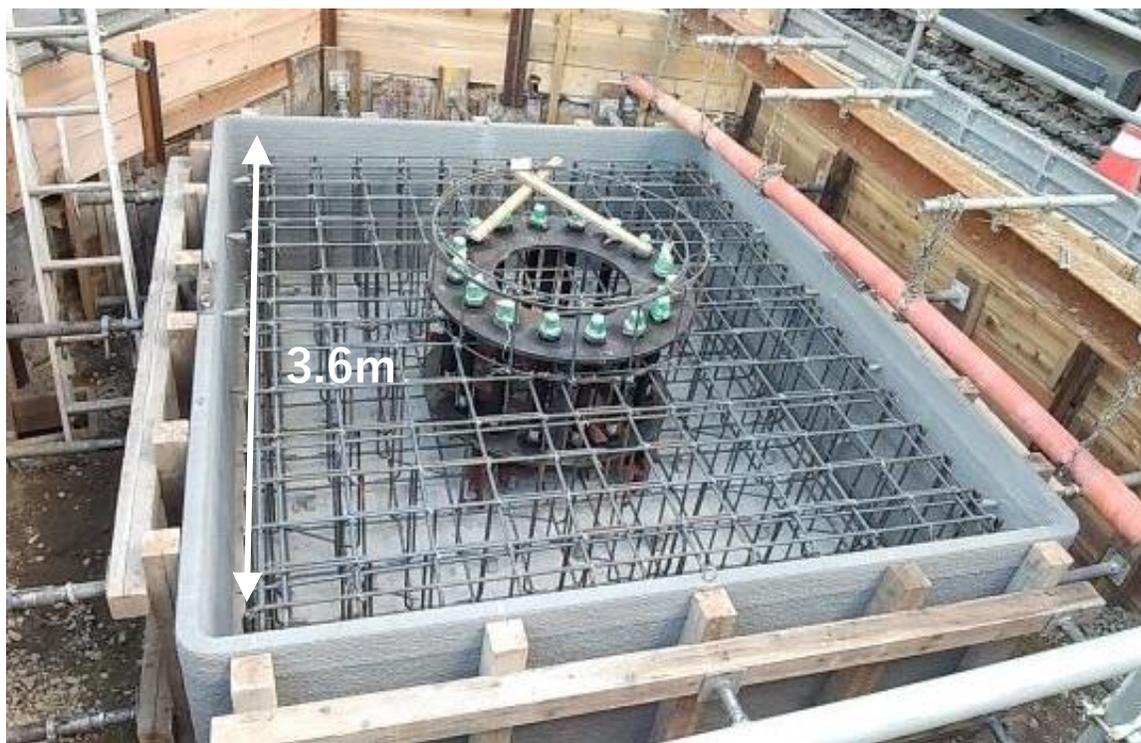
た自由曲面の背もたれ付きベンチを約3時間で印刷する。印刷することになりそう。色合いにカラーリングできる特性も併せ持つ。

自由曲面の背もたれ付きベンチを約3時間で印刷することになりそう。色合いにカラーリングできる特性も併せ持つ。

清水建設は、3Dプリンティング用に独自開発した繊維補強モルタル「ラクツム」(人間工学)に基づきデザインされた。波面をモチーフにデザインされた。波面をモチーフにデザインされた。波面をモチーフにデザインされた。



[意匠性の自由度向上]:
人間工学に基づくデザインを低コストで実現



大手建設会社の動向

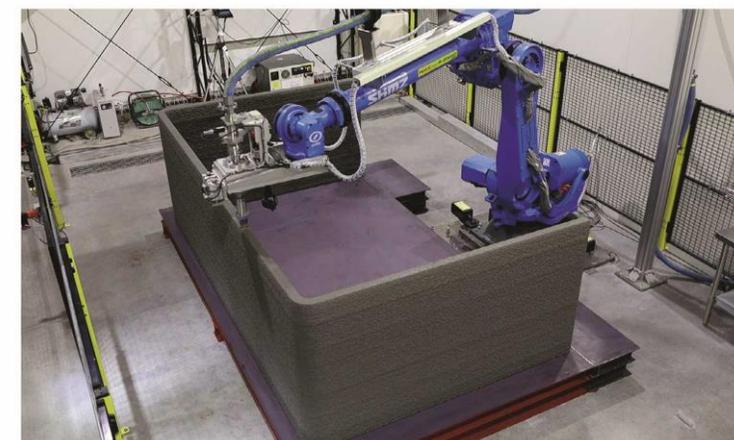
工事での埋設型枠採用が進む 清水建設は6割の工期短縮に

土木構造物への建設3Dプリンターの適用は、大手ゼネコンでも実例が登場している。清水建設は鉄道工事において、歩道橋の柱脚基礎の埋設型枠を印刷造形して設置した。脱型が不要になり養生期間を待たなくて済むため6割の工期短縮につながった。

2021年10月、長さ3.15m、幅1.75mの「コの字」形をした巨大な躯体が、清水建設の技術研究所で造形された(資料1)。高さ1m分がわずか3時間で積み上がった。同じ寸法のもをもう一つつくって、重ね合わせれば埋設型枠となる。出来形と3D設計データとの誤差は±5mmに収まった

(資料2)。これまでの、試験的な造形で品質や耐久性などを調べるが多かった清水建設。今回の埋設型枠は試験ではなく、れっきとした鉄道工事でも使われた。一時撤去した階段の復旧工事で歩道橋の柱脚基礎に適用したのだ(資料3)。埋設型枠は非構造部

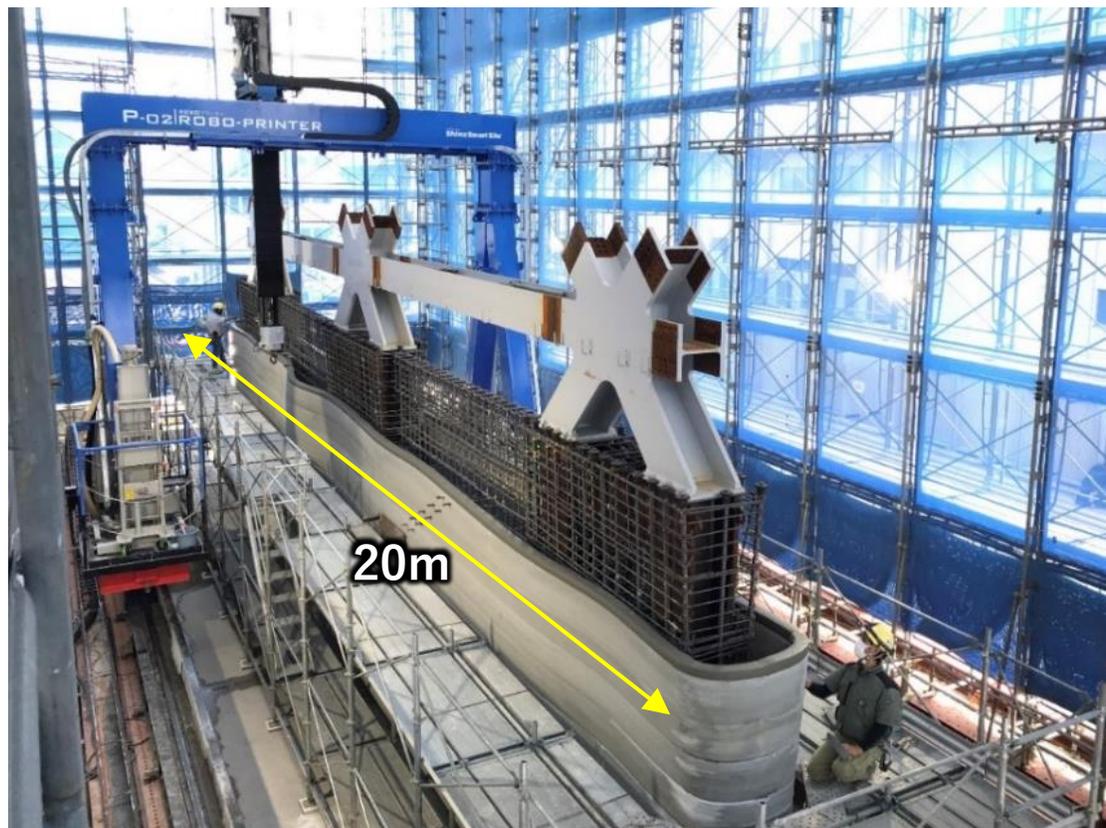
材として、設計上は耐力を見込んでいない。同社が手掛ける土木工事で、この規模の3Dプリンター製の埋設型枠が採用されたのは初だ。「工期の短縮効果がある点をアピールして、発注者に提案した」。清水建設技術研究所社会システム技術



資料1 ■ 清水建設が自社が開発した3Dプリンターを使って、埋設型枠を造形している(写真43ページまで清水建設)

- **[生産性向上]** : 当該箇所の工期を6割短縮
- **[環境負荷低減]** : 型枠不要の施工 ⇒ 廃棄物削減

媒体名	日刊建設工業新聞
掲載日	2022. 9. 30
	3



大規模造形物
現場で3Dプリント
清水建設 曲面形状の埋設型枠

清水建設が施工場所で大規模造物を直接印刷できる建設3Dプリンターを開発した。レール上を水平移動する門型フレームと、ノズルを移動させてプリント材料を積層する材料押出方式のプリント機構で構成する。東京都内で建設している自社施設の壁状柱コンクリートの施工で実証。3Dプリンターで自社開発の繊

緩やかに波打つ埋設型枠（清水建設提供）

材料を積層する。造形範囲は奥行き20m、幅4.5m、高さ5.1mで、速度は1秒当たり最大10m。

実証施工は東京都江東区で建設中の「（仮称）潮見イノベーションセンター」を構成する研修施設で実施。壁状柱（SRC造）のコンクリート施工に当たり、外装部材を兼ねる埋設型枠（奥行き20m、高さ4.5m、厚さ80cm）を印刷した。

「ラクツム」を積層し、外装部材を兼ねる3D曲面形状の埋設型枠を造形した。オンサイトプリンティングに対応した「Shimizu Robo-Printer E」は北川鉄工所（広島県府中市、北川祐治会長兼社長）の協力を得て製作。門型フレームがレール上を移動し、上下・左右にノズルを移動させながらプリント

オンサイト化

幅20mの壁状柱の型枠を施工場所でそのまま“印刷”



3. 各社技術の紹介 ③清水建設

3Dプリンタの活用目的

- ✓ 生産性向上・省人化：型枠工の省略、施工の自動化による
- ✓ 意匠の自由度向上：型枠の省略、デジタル施工による
- ✓ 工期短縮：施工の自動化、型枠工の省略による
- ✓ 部材の軽量化：構造最適化による
- ✓ 環境負荷低減：材料使用量の削減、型枠の省略による

建設分野における3Dプリンティング 技術について

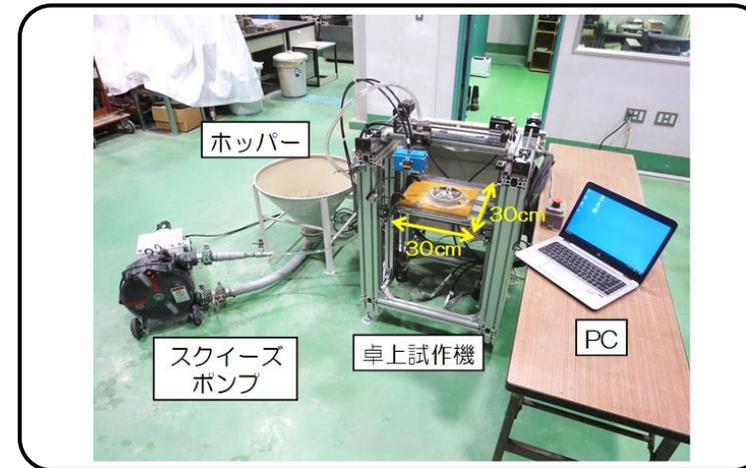
大成建設（株）
技術センター

開発実績 (2015~18年)

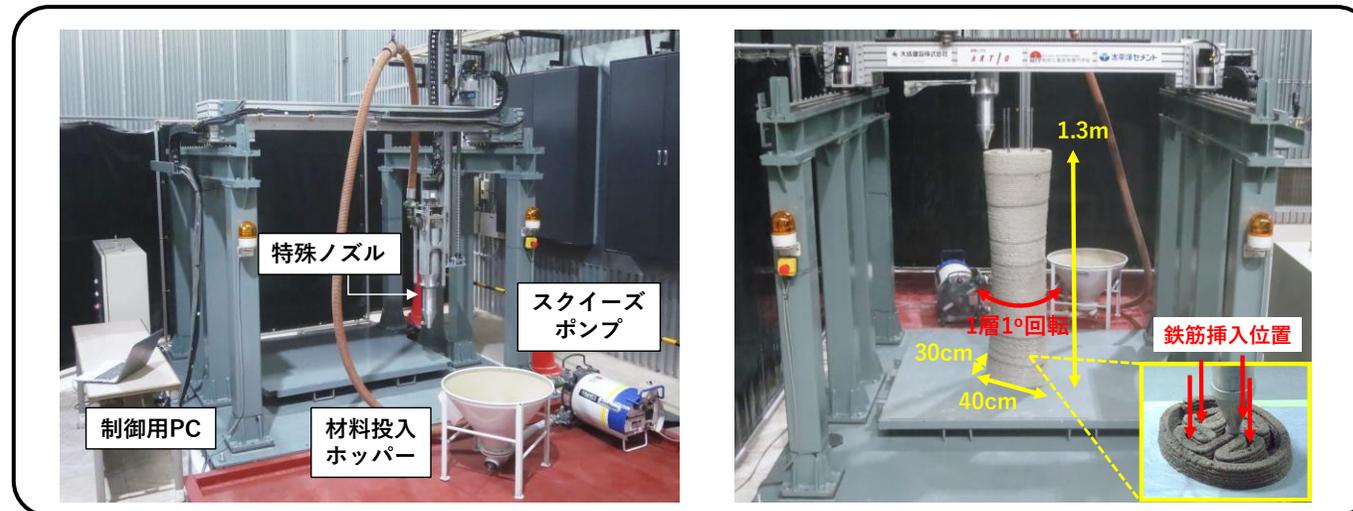
2015 3DP用モルタルの開発



2016 小型3Dプリンタの開発



2018 プリンタの大型化, 意匠部材・展示品の製作

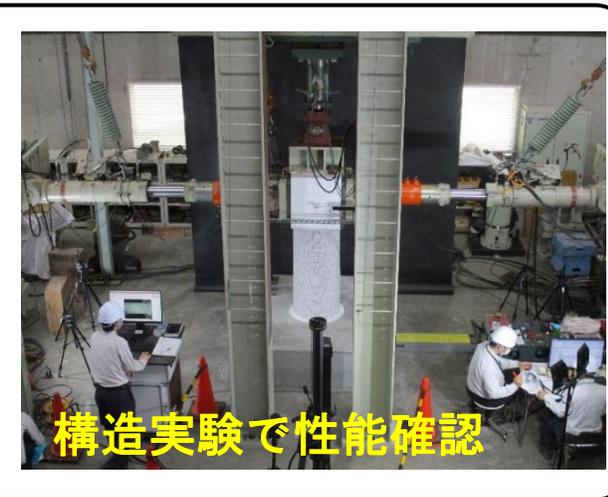
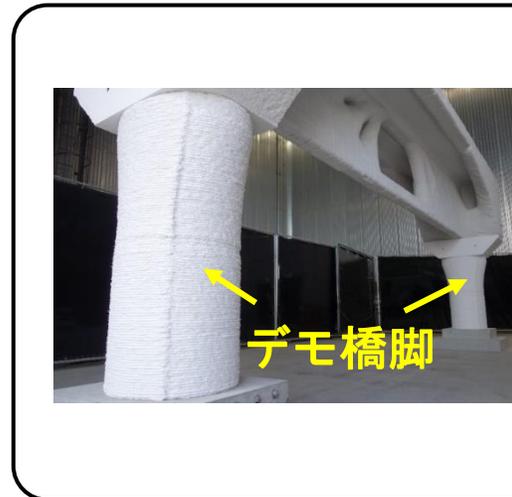


開発実績 (2019~21年)

2019-20 トポロジー最適化手法を用いた橋の設計・施工



2021 埋設型枠として柱に適用，デモ橋脚の耐震性能の確認

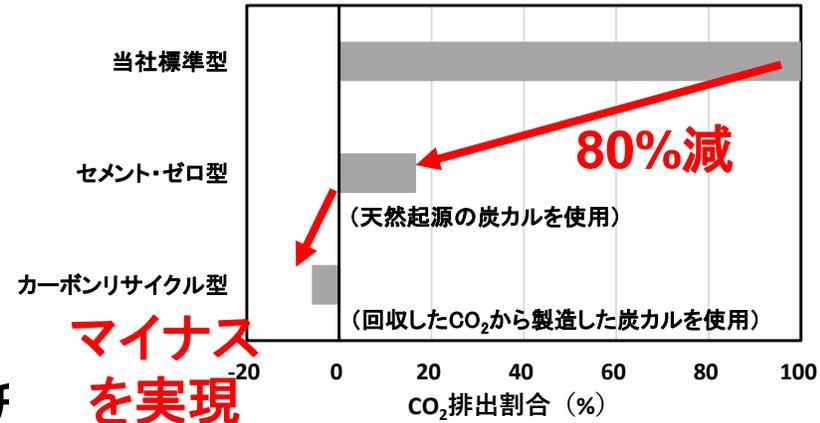


開発実績 (2022~23年)

2022 環境配慮3DP材料の開発とエコベンチの製作・現場適用

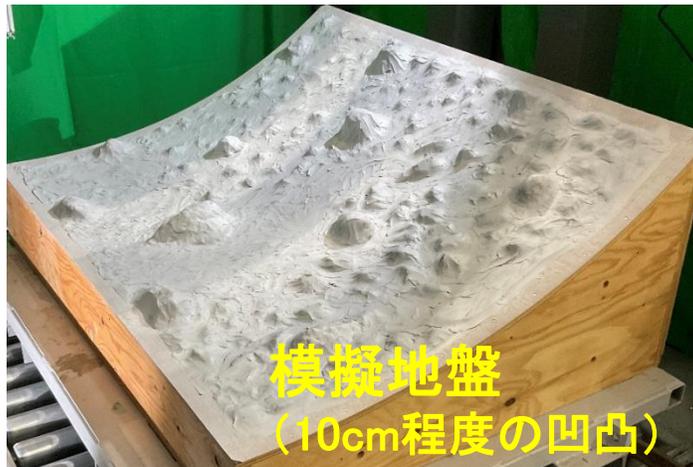


CO₂排出量収支ゼロのエコベンチ



マイナス
を実現

2023 斜面や曲面, 凹凸面に施工可能な3DP技術の開発

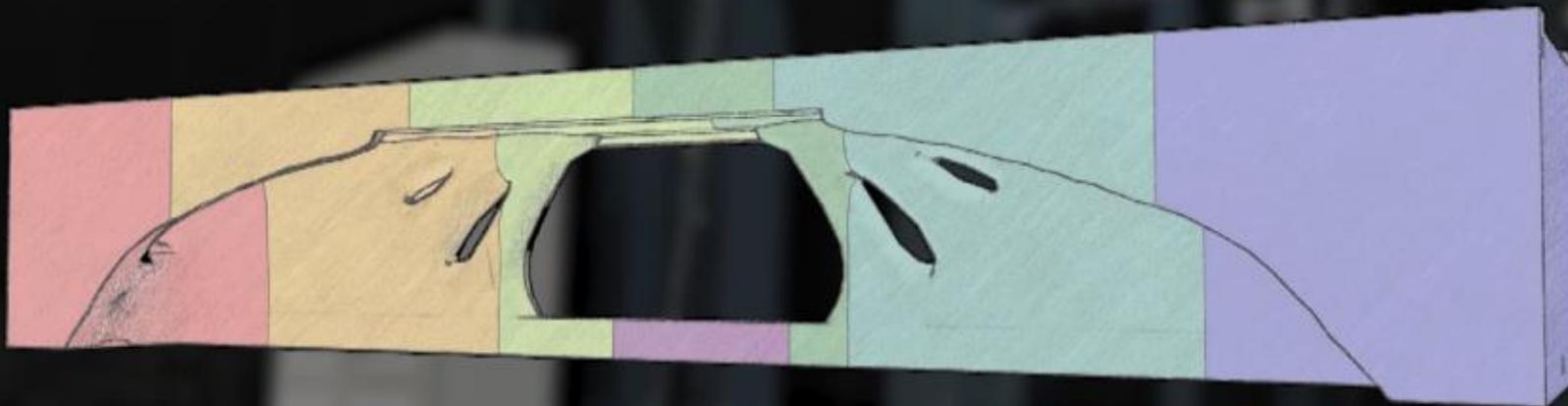


模擬地盤
(10cm程度の凹凸)

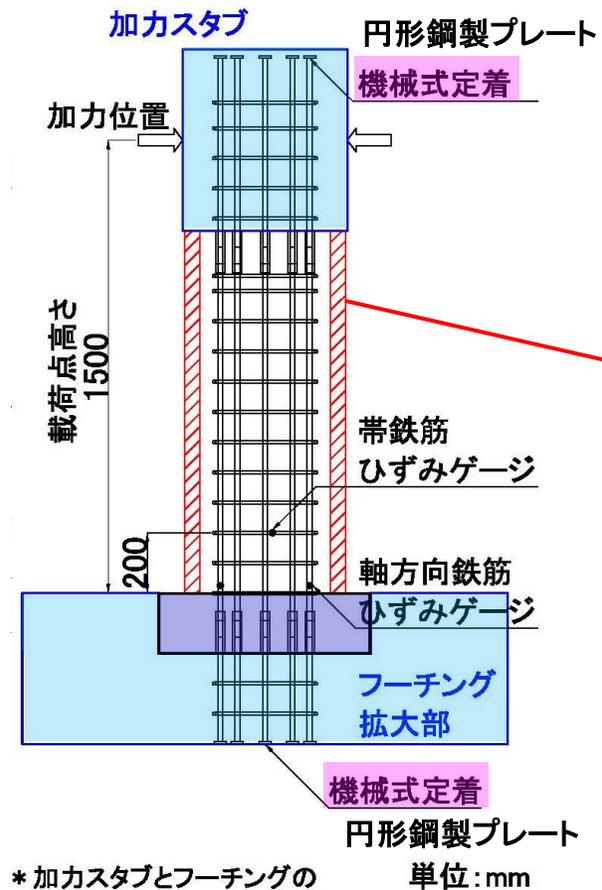
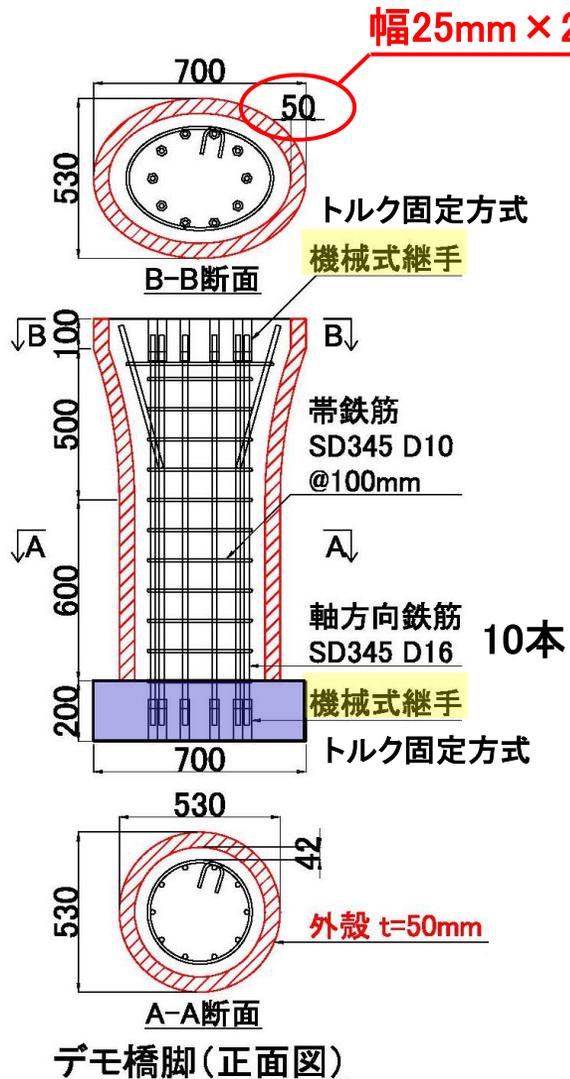


3Dプリンタで橋を作る

- 3D printer-based bridge construction -



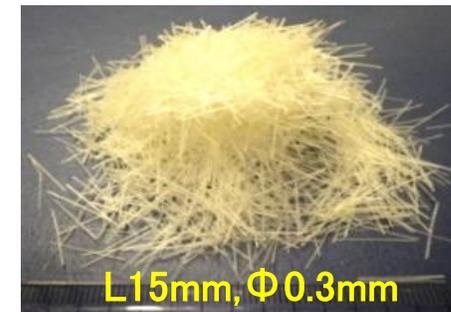
3DPで外殻を構築したデモ橋脚



載荷実験時(側面図)



3Dプリンティング
材料



ビニロン繊維
(2.5Vol.%)

3. 各社技術の紹介

⑤ Polyuse

3. 各社技術の紹介 ⑤Polyuse

プリンティング方式

✓ 材料押出方式

プリンタ装置

✓ ガントリー

✓ 幅3040mm

×奥行き2650mm

×高さ2100mm

ノズル可動範囲

✓ 幅2390mm

×奥行き1885mm

×高さ1960mm



3. 各社技術の紹介 ⑤Polyuse

ノズルの寸法

✓ 内径15mm

造形物の出来形精度

✓ 水平：±15mm 垂直：±5mm

3. 各社技術の紹介 ⑤Polyuse

積層体材料のフレッシュ性状確認方法

- ✓ 先端より吐出された材料のベンセン断試験により所定値の範囲内に収まることを確認
- ✓ 材料開発時にはモルタルフロー等での確認も実施
- ✓ 材料ごとにミキサーの圧力計で規定の範囲内に収まることを確認

積層体の幅と厚さ

- ✓ 幅25~40mm、厚さ5~15mm

造形速度

- ✓ 30~200mm/s (造形物の大きさにより多少前後)

許容積重ね時間

- ✓ 最大30分 (推奨時間10分以内) ※コールドジョイントを許容する場合は表記の時間に限らずとも可能





3. 各社技術の紹介 ⑤Polyuse

積層体材料

- ✓ 3DP用プレミックスモルタル「POLYMO-HP」(株)Polyuse社製
- ✓ ポリプロピレン繊維混入

※POLYMO-HPを主として使用しているが、用途に応じて複数の材料配合の使用が可能

凝結の調整

- ✓ 練り上がり温度、水量調整

3. 各社技術の紹介 ⑤ Polyuse

練り混ぜ方法

- ✓ 連続バッチ練り方式
- ✓ ミキサ容量45L
- ✓ 製造量 0.9 m³/時間 (連続動作時)



3. 各社技術の紹介 ⑤Polyuse

強度特性

- ✓ 圧縮強度 46.5N/mm^2 、曲げ強度 7.1N/mm^2 、引張強度 3.33N/mm^2

耐久性（各種耐久性試験結果等）

- ✓ 中性化、乾燥収縮、凍結融解、耐摩耗性について確認済み

3. 各社技術の紹介 ⑤Polyuse

実績等

- ✓ 国内初の建築確認申請の許諾を取得した建築物の施工
(2022年2月)
- ✓ 国内最多の施工実績がある
- ✓ 国内20を超える都道府県にて施工実績あり
- ✓ 国土交通省、地方自治体、民間発注機関など幅広い発注工事に適応済

3. 各社技術の紹介 ⑤ Polyuse

実績等



国道24号河原町十条交差点
電線共同溝工事(発注者：国
土交通省近畿地方整備局)

交差点部に位置する曲線の
歩車道境界ブロック（縁石
部材）を床掘りした空間内
に建設用3Dプリンタを設
置し、施工箇所直接造形

国内初のオンサイトプリンティング

3. 各社技術の紹介 ⑤ Polyuse

実績等



国内初の建築確認申請の許諾を取得した建築物の施工（2022年2月）
事前に製造した3Dプリンタ部材を、現地で組立

国内初10m²以上の建築物施工

3. 各社技術の紹介 ⑤Polyuse

3Dプリンタの活用目的

- ✓ 現場施工を実現し、職人にしかできない現場に職人を配置することによる担い手不足の解消。
- ✓ 一つの現場にかかる時間を削減し年間で実行できる施工案件数を増加させることによるインフラ維持。

技術課題

- ✓ 廉価材料の開発
- ✓ 材料のフレッシュ性の修正をミキサーの手動操作行っている

3. 各社技術の紹介 ⑤Polyuse

改善の余地

- ✓ 現在使用している材料（POLYMO-HP）より低コストだが必要十分な強度をもつ新材料を実用段階に移行中
- ✓ マニュアル→自動化で少人数化かつ、より安定した造形を実現

3. 各社技術の紹介 ⑤Polyuse

将来の展望

- ✓ 国内でのコンクリート構造物の施工において旧来の型枠職人による現場打ち工法は人手不足により事実上の時限爆弾となっているため、今度代替手法としてプレキャストに加えて異形形状のコンクリート構造物施工の手法として普及を促進していく想定
- ✓ 建築においても3Dプリンターによる提供価値の高いケースにおいて積極的に建設物へも適応する技術を提供していく想定

3. 各社技術の紹介

⑥ 前田建設工業

2. 各社技術の紹介 ⑥前田建設工業

プリンティング方式

- ✓ 材料押出方式

プリンタ装置

- ✓ ロボットアーム
- ✓ ガントリー

3. 各社技術の紹介 ⑥前田建設工業



ロボットアーム方式

プリンタ装置寸法

✓高さ 約3m、平面 約5m角

ノズル可動範囲

✓3,700×3700×H3,300mm

3. 各社技術の紹介 ⑥前田建設工業



ガントリー方式

プリンタ装置寸法

✓高さ 約2.5m、平面 2~3m角

ノズル可動範囲

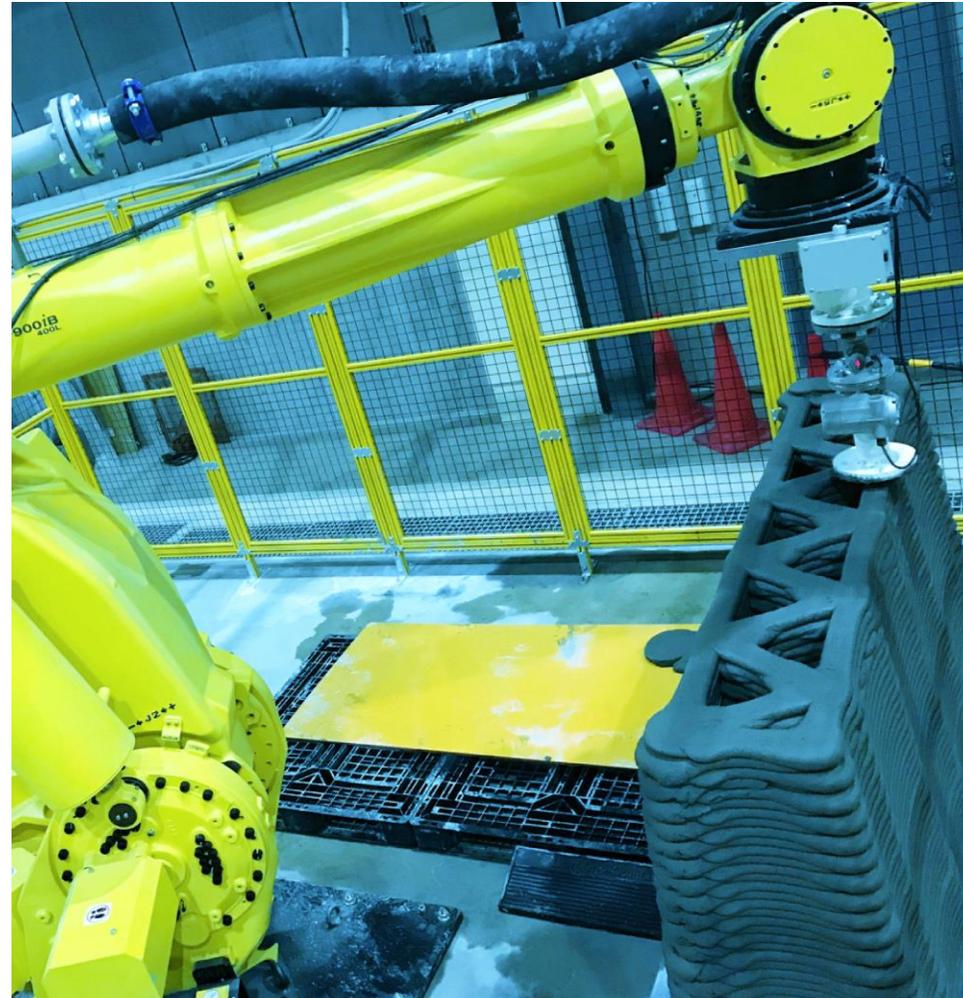
✓1,000×450×H900mm

2. 各社技術の紹介

⑥前田建設工業



プリンティング状況（ガントリー方式）



プリンティング状況（ロボットアーム方式）

実施工用コンクリート3Dプリンターによる造形 (ロボットアーム)



※10倍速

3. 各社技術の紹介 ⑥前田建設工業

積層体材料のフレッシュ性状確認方法

- ✓ テーブルフロー/スランプ試験
- ✓ 空気量試験

積層体の幅と厚さ

- ✓ 積層幅：30～80mm程度・積層厚：5～15mm程度
※ノズル寸法・形状（自由に設定可能）により可変

造形速度

- ✓ ロボットアーム式：3Dプリンタ利用における現実的な範囲で制限なし
- ✓ ガントリー式：～200mm/s

3. 各社技術の紹介 ⑥前田建設工業

凝結の調整

- ✓ 遅延剤で調整

練り混ぜ方法

- ✓ バッチ練り

ミキサ容量

- ✓ 50～100L

ミキサ製造量

- ✓ 30～80L/バッチ ※時間あたりはミキサ台数による

3. 各社技術の紹介 ⑥前田建設工業

強度特性

- ✓ 圧縮強度：60 N/mm²
- ✓ 引張強度：4.0 N/mm²
- ✓ 曲げ強度：5.0 N/mm²
- ✓ せん断強度：10 N/mm²

耐久性（各種耐久性試験結果等）

- ✓ 中性化、乾燥収縮、凍結融解、耐摩耗（テストピースによる）

3. 各社技術の紹介 ⑥前田建設工業

実績

前田建設工業(株)ICI総合センター内

- ✓ 集水桝（ICIキャンプ（廃校活用自社研修施設）での集水桝更新工事）
- ✓ 喫煙所
- ✓ 机／ベンチ 等

3. 各社技術の紹介 ⑥前田建設工業



前田建設研修施設「ICCamp」にて、集水柵の更新を3Dプリンタで実施

3. 各社技術の紹介 ⑥前田建設工業



研究施設「ICI Lab」喫煙所



曲面形状を持つベンチ



デスク&ベンチ

3. 各社技術の紹介 ⑥前田建設工業

3Dプリンタの活用目的

- ✓ 意匠の自由度向上／構造の合理化
- ✓ 省人化／工期短縮
- ✓ 品質確保
- ✓ 安全性向上／労働環境改善
- ✓ CO2排出量の抑制

3. 各社技術の紹介 ⑥前田建設工業

技術課題

- ✓ 温度変化等の環境条件に対応可能な材料／制御技術
- ✓ 引張耐力を負担する補強材料の自動施工方法技術
- ✓ オーバーハング形状の自由度向上技術（3Dプリンタもしくは自動で施工が可能なサポート材の開発）

将来の展望

- ✓ 3Dプリンタによる構造物の構築

3. 各社技術の紹介

各社技術一覧表

項目		曾澤	大林	清水	大成	Polyuse	前田
プリンタ装置	プリンティング方式、	材料押出	材料押出 材料噴射、その他	材料押出	材料押出	材料押出	材料押出
	プリンタの方式	ロボットアーム ガントリー+ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム ガントリー	ガントリー	ガントリー	ロボットアーム ガントリー
	装置の大きさ(単位m)	2.38×2.22×1.25+1.75	アーム長約3m	25×7.2×12.5 (ガントリー)		3.04×2.65×2.1	5×5×3 (ロボットアーム) 2~3×2~3×2.5 (ガントリー)
	可動範囲：造形物の大きさ(単位m)	半径3.2	作業半径3m	20×4.5×4.3 (ガントリー) 最大造形幅6m (ロボットアーム)	1.7×2.0×1.5	2.39×1.885 ×1.96	3.7×3.7×3.3 (ロボットアーム) 1×4.5×9 (ガントリー)
	造形物の出来形精度	±5mm	標準偏差 2 mm (実測値)	±5mm	—	水平：±15mm 垂直：±5mm	—
	ノズル寸法形状	直径約20mm	円(内径15~40mm)、矩形適宜使い分け	企業秘密	ノズル口径25mm,	内径15mm	寸法・形状は自由
使用材料	主材料	CyBe	デンカと大林の共同研究	専用の配合	—	自社製プレミクスモルタル	社外秘
	繊維	無し	合成繊維	PE繊維	ビニロン織 (2.5Vol.%) を使用する場合あり	ポリプロピレン繊維	社外秘
	凝結の調整方法	促進材入りのプレミック ス材、遅延剤で調整	急硬剤とセッター (遅延 剤) の組合せ	企業秘密	—	練上り温度、水量調整	遅延剤による調整
材料特性、特徴	練り混ぜ方法	連続練り	各種あり	企業秘密	-	連続バッチ練り	バッチ練り
	積層体 (一列一層) の幅、積層厚	幅50mm、 厚20mmまたは12.5mm	幅15~40mm 厚5~10mm	幅30~100mm 厚5~10 mm (ノズルによって変動)	厚10mm	幅25~40 mm 厚5~15 mm	幅30~80mm程度 厚5~15mm程度 ※ノズル寸法・形状により可変
	強度特性 (単位 N/mm ²)	圧縮40	圧縮60	圧縮110 曲げ14 (実績値)		圧縮46.5,引張3.33 曲げ7.1	圧縮60、引張4.0 曲げ5.0、せん断10

4. 終わりに

□ 下記項目（6社から挙がった例）等の開発により

- ✓印刷した材料をリサイクルして再び印刷材料として使用
- ✓ドローンを用いたプリント
- ✓斜面や曲面、凹凸面に施工
- ✓異形形状のコンクリート構造物の施工手法としての普及
- ✓廉価材料の開発
- ✓温度変化等の環境条件に対応可能な材料／制御技術
- ✓引張耐力を負担する補強材料の自動施工方法技術
- ✓オーバーハング形状の自由度向上技術

□ 3Dプリンティング技術のコンクリート構造物への適用が進化（深化）することで、施工の完全自動化、生産性向上、意匠の自由度向上、省人化、工期短縮、環境負荷低減、安全性向上、労働環境改善が期待される

謝辞

今回の発表資料をまとめるにあたり、3Dプリンティング技術を開発されている以下の6社の皆様には、各社の技術に関する資料や情報を提供していただきました。

- ✓ 曾澤高圧コンクリート 東大智様
- ✓ 大林組 石関嘉一様
- ✓ 清水建設 小倉大季様
- ✓ 大成建設 木ノ村幸士様
- ✓ Polyuse 岩本卓也様
- ✓ 前田建設工業 宮澤友基様

また、太平洋セメント 小川洋二様には3Dプリンターに関する要求性能等の資料の掲載を許可していただきました。

この場を借りて心より感謝申し上げます。