

施工総研のインフラ分野のDX技術

一般社団法人 日本建設機械施工協会  
施工技術総合研究所 研究第二部

部長 小野 秀一

Japan Construction Method and Machinery Research Institute



## 本日の目次

- ・ 施工技術総合研究所の概要
- ・ Single i 技術を用いた微破壊調査  
～コンクリート床版内部の損傷把握を目的とした技術～
- ・ ハイブリッド吹付けシステム「On-Site Shot Printer」の開発  
～ICT建機と3Dプリンティング技術を組合せ、現場で構造物を直接造形する技術～
- ・ まとめ

## 施工技術総合研究所の概要

## 施工技術総合研究所の概要

### 沿革

昭和39年(1974年):  
日本建設機械化協会の附属機関として「建設機械化研究所」を開所

平成14年(2002年):  
「施工技術総合研究所」に名称変更

平成24年(2012年):  
「一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所」に名称変更

令和6年(2024年):  
創立60周年

所在地:静岡県富士市



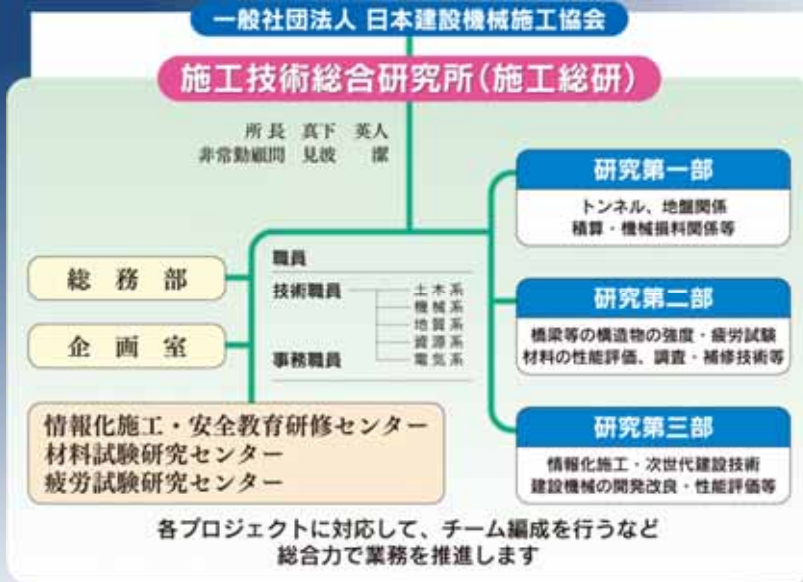
面積150,000m<sup>2</sup>

名古屋

東京

新東名

# 施工技術総合研究所の概要



建設機械と機械化施工に関する  
わが国唯一の総合試験研究機関



# 私が所属している研究第二部は



橋梁等の構造物の耐久性および使用される材料の耐久性について研究を実施



大型疲労試験機

(静的荷重6000kN、動的荷重4000kN)



高速道路総合技術研究所(NEXCO総研)が所有している疲労試験機



構造物疲労载荷試験機  
(東名の橋梁設計に大活躍)



輪荷重移動载荷試験機  
(新東名の橋梁設計に大活躍)

・ Single i 技術を用いた微破壊調査  
～ コンクリート床版内部の損傷把握を目的とした技術～

(Single i工法 HK-150004-VE)

## コンクリート内部の点検・診断手法として

### 破壊検査

★コア試験体を採取して各種試験を実施



### 非破壊検査

★打音検査

★超音波トモグラフィーや電磁波レーダ等による推定



破壊検査をするには、構造物への損傷が大きくなる・・・

非破壊検査は、出てくるデータの解釈(確からしさ)で迷いが生じる

微破壊検査に着目し、両検査手法のいいとこどりができないか！！！！

## コンクリート床版の劣化状況

特に道路橋床版の調査に適用する手法について検討

RC床版においては、供用時に外観では確認することができない、

- ①土砂化
- ②水平ひび割れ
- ③水平ひび割れが層状に生じるひび割れ

といった損傷事例報告されている。



出典：道路構造物ジャーナルNET  
東日本高速道路 維持管理リレー連載①  
高速道路における橋梁の劣化と維持管理の課題を考える



(a) III部の細部の拡大 (b) II部の細部の拡大 (c) I部の細部の拡大

写真1-8 凍害で劣化したコンクリート床版の切断面写真  
(澤松俊寿、岡田慎哉、西弘明、三田村浩、松井繁之：46年間供用した寒冷地における道路橋RC床版の劣化損傷状況、土木学会第68回年次学術講演会講演概要集、I-414、pp.827~828、土木学会、2013。)

# 微破壊手法による点検・診断技術の開発



- ①従来の破壊検査では構造物に与える影響が大きく、たくさんの調査が困難
- ②非破壊検査の不確かさを解決したい



コンクリート内部を自分の目で直接見て、どのようになっているのかを確認することを目的に開発。

2014年にコンクリート床版の水平ひび割れ調査のために

**Single i工法を確立**  
HK-150004-VE

従来の方法

従来の方法では

コア試験体を採取して、試験室でひび割れに、蛍光樹脂を含浸させブラックライトを用いることで確認していた。



問題点

- ・詳細な調査結果を得るまでに時間を要する。
- ・コアを抜くため、たくさんの調査ができない。



# 微破壊検査方法の手順



調査方法は

- ①小型の小口径水循環式穿孔機械を用いてφ5mmでコンクリートに穴を開ける。



上面からの調査

①床版コンクリート断面

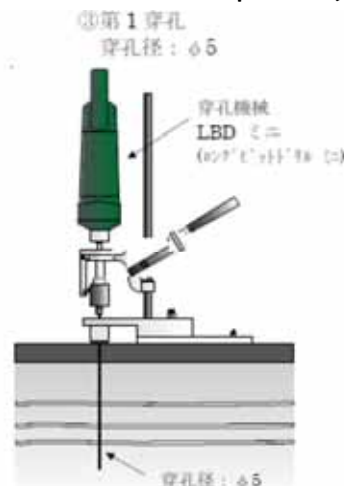
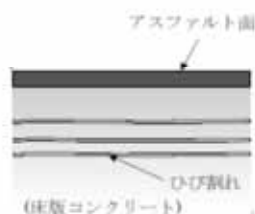


下面からの調査

②鉄筋探査



φ5mmの穴



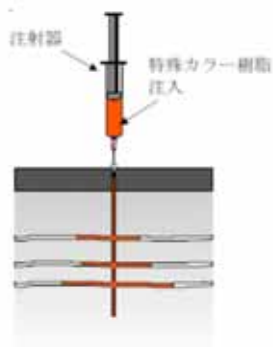
# 微破壊検査方法の手順



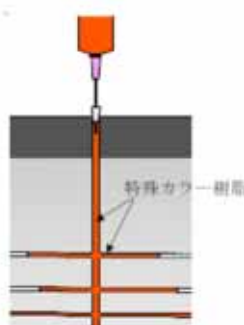
## ②特殊なカラー樹脂の注入、③拡大孔の施工



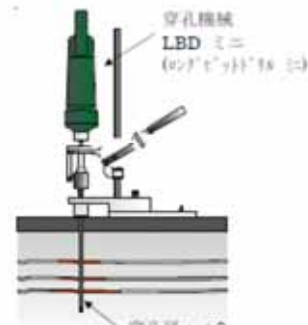
④特殊カラー樹脂注入



⑤樹脂注入(詳細図)



⑥第2穿孔  
穿孔径：φ9



# 微破壊検査方法の手順



## ④内視鏡を用いてコンクリート内部の撮影



# 微破壊検査方法による成果



従来、ひび割れの有無を確認できなかったが、本手法を用いることで、内在しているひび割れを確実に把握できる



砂利化などの発生、ポットホールの発生などを事前に予測することが可能となった

画像を合成して柱状図として提出することができる



## ハイブリッド吹付けシステム「On-Site Shot Printer」の開発

～ ICT建機と3Dプリンティング技術を組合せ、現場で構造物を直接造形する技術～



# 開発体制



2017年12月に岐阜大学 國枝教授 が発起人となり、3Dプリンティングシステム  
コンソーシアム（OS<sub>2</sub>Pコンソーシアム）を設立して研究開発を実施

平成31年度建設技術研究開発助成  
「セメント系ハイブリッド3D プ  
リンターの開発」で採択された。



# 開発コンセプト



## 開発コンセプト

項目	一般的な技術	本技術
成形方法	吐出成形	吹付け成形
材料の供給	事前に練混ぜる	乾式吹付け技術+ 湿式吹付け技術の ハイブリッド
制御ロボット	多軸ロボット	建設機械の活用 (ICT技術の応用) 施工
成形場所	工場など (プレキャスト部材)	現場 (土木構造を対象)

# 成形方法



## 本技術

### 吐出成形

3DCPの研究で多く検討されている方法

#### メリット

✓ 複雑な形状を成形しやすい。

#### デメリット

✓ 下向きの施工しかできない。

✓ 材料の混合を別で実施しなくてはならない。



Photo: W.R. Leal da Silva, Danish Technological Institute

### 吹付け成形 (Shotcrete 3D Printing technology)

3DCPの研究対象の、

#### メリット

✓ 360° 全方向で成形が可能。

✓ 事前の材料混合が不要

#### デメリット

✓ 複雑な形状が成形しにくい。



Digitally Fabricated Innovative Concrete Structures  
E. Herrmann et.al.

# 材料の供給方式



## 本技術では両方に着目

### 事前に混合する方式 (湿式)

プレミックス材をモルタルorセメントペーストをハンドミキサーやパン型ミキサーで事前に混合し、供給する。

#### メリット

- ✓ 安定した混合が可能。
- ✓ 従来からの技能作業員がいる。

#### デメリット

- ✓ 作業員が常駐しなくてはならない。
- ✓ 材料計量などが必要となる。



### 圧送混合方式 (乾式)

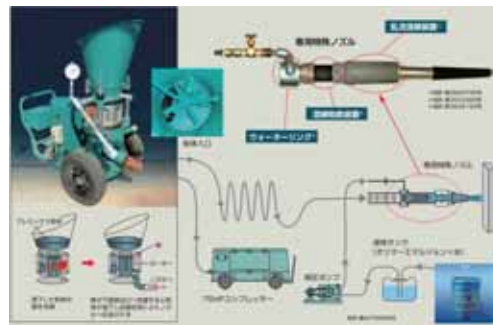
プレミックス材を圧送し先端で混和液と混合し、モルタルを供給する。

#### メリット

- ✓ 材料混合するための作業員が不要。
- ✓ 材料計量が不要
- ✓ 材料の投入場所から施工場所までの距離が長くできる (最大300m)。
- ✓ 長時間の連続混合が可能。

#### デメリット

- ✓ 混合が不安定になる可能性がある。



# 造形場所

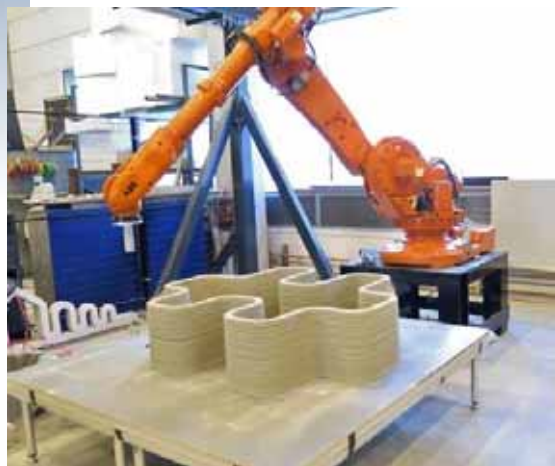


## 本技術

### 工場などの屋内

多軸ロボットやX-Yロボットを用いている。

- ✓ 成形品がプレキャスト部材になり、パーツの組み立てが必要。
- ✓ 雨水や粉じんに弱いので、建設現場に適用できない。



TU/e 3DCP Gantry robot solution

### 建設現場などの屋外

建設現場で活躍しているICT建機（バックホウ等）を活用して、現場で施工できるシステムを構築

- ✓ 雨水や粉じんに強く、現場実績が豊富。
- ✓ 油圧制御のため、細かな動作が得意。
- ✓ 完全な自動化は未完成。



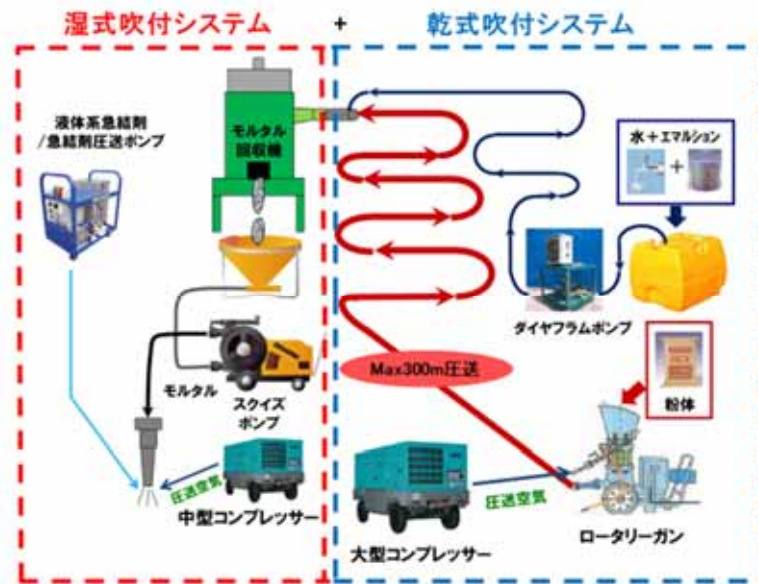
# システム概要 (ハイブリッド吹付システム)



既存技術（吹付けシステム）の応用した（吹付にした理由：360° 全周に施工が可能）

- ★乾式吹付の圧送性能（MAX300m）と練り混ぜ性能（省労力化）
- ★湿式吹付の施工性能（吹付圧のコントロール性）

モルタル回収機を途中に設置する等のハイブリッド化を実現した。また、ノズル先端で急結剤を活用することで、成形性能を向上させる。



# 模擬橋脚の施工実験



従来から利用されている吹付けコンクリートの技術と ICT 建設機械 を組み合わせた開発技術により現場で製作できる 3Dプリンティングシステムの施工技術について検討



開発したシステムで

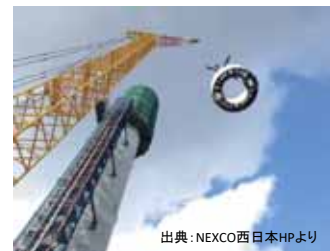
橋脚の埋設型枠を製作し、実際に中詰めコンクリートを打設



実現場を想定して、問題点などを抽出

## 橋脚の埋設型枠

近年、プレキャスト製品を現場で組み立てて、その内部にコンクリートを打設する橋脚が採用されている



出典: NEXCO西日本HPより

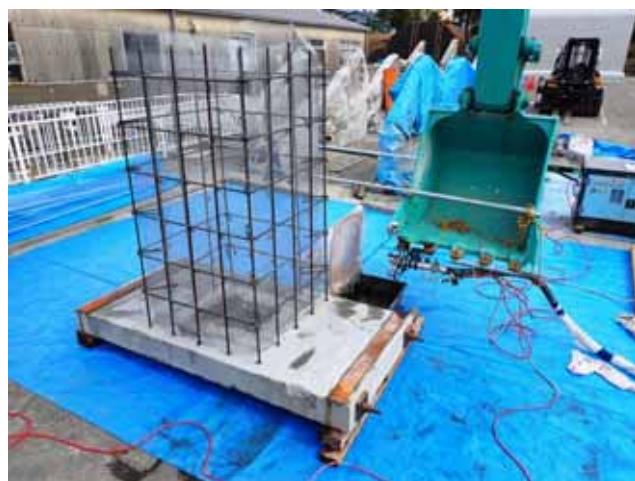


本検討: プレハブ鉄筋と3Dプリンティングシステムの組合せにより埋設型枠を作製



プレハブ鉄筋の例

# 模擬橋脚の概要 (プレハブ鉄筋)



- ★プレハブ鉄筋を  $\square 1\text{ m} \times 1\text{ m}$  高さ  $2\text{ m}$  として組んだものである
- ★配筋は主筋に D19 配力筋に D13 を用いている
- ★鉄筋の背面には、金網 ( $\square 5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ ) を設置した。吹付モルタルが、鉄筋背面に廻るようにスペーサブロックにより空間を確保

## 目的

- ★自立した埋設型枠の成形ができるのかを確認する
- ★吹付モルタルが鉄筋に廻り込んで、一体化ができるのかを確認する

## 施工状況



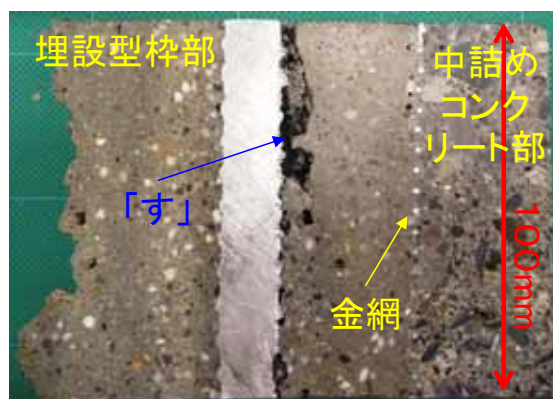
圧送距離160mで本システムを運用した結果  
プレハブ鉄筋にモルタルが積層され、モルタル  
製型枠の成形ができた

☞本試験で、吹付モルタルの圧壊や剥落等は確認されなかった

施工時間は、1面：約25分（12.5分/m<sup>2</sup>）  
であった

本システムで、連続して2時間以上の施工が可能であることも確認した

## 施工後の状況



鉄筋の背面に、吹付モルタルが廻り込んでいるが、「す」が確認された

☞ノズル角度を調整で解決を図る

金網にも吹付モルタルが食い込み中詰めコンクリートとの付着向上に付与する凹凸の形成ができていることが確認された



## 施工上の課題(外観上の課題)



吹付モルタルで成形した埋設型枠は、**凹凸が多い**  
 ☞ **美観上の課題があることを認識**



吹付直後に左官仕上げを行った

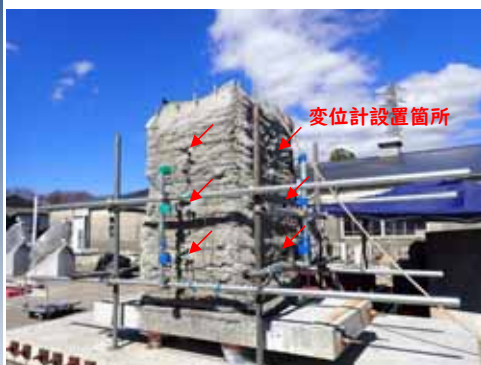
成形後、**20分以内であれば、左官仕上げが可能**であることが確認された

➡ 今後、吹付をしながら、仕上げを行うシステムを開発することで**問題を解決!**

## 強度の確認

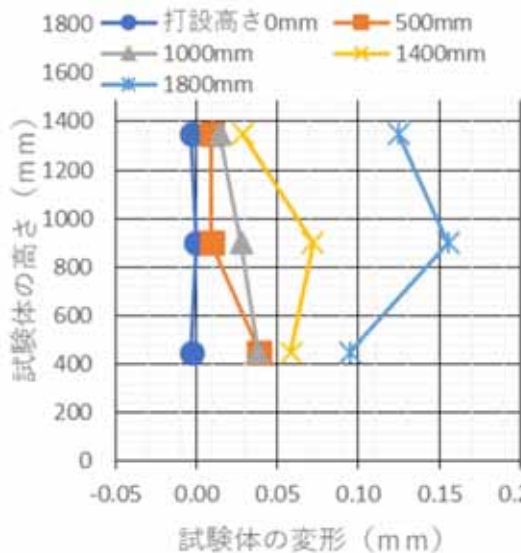


埋設型枠として使用する場合は、中空部へのコンクリート打設に耐えうるものではなくてはならない



中詰めコンクリートの打設時に、作製した埋設型枠の変形を測定した

中詰めコンクリートの配合は、24-8-25Nである



打設はホッパーを用いて、6回に分けて打設している。途中、高周波バイブレータで締め固めている



最大0.42mmの膨らみが確認されたが、4面の高さ900mmの平均で0.16mm程度であった

## 施工後の評価



### 中詰めコンクリートの打設中の変状



中詰めコンクリートを打設した際に、埋設型枠から**水染みが確認**された

### 力学的性能

- 一般的なポリマーセメントモルタルと同等の力学的性能を示す  
 ⇒ **圧縮強度：35~39N/mm<sup>2</sup>**、**静弾性係数：21kN/mm<sup>2</sup>程度**（材齢7日）  
 見かけの密度：2120kg/m<sup>3</sup>程度

### 一体性性能

- 作製した埋設型枠と中詰めコンクリートの一体性を付着試験で検討した結果、**付着強度は平均2.28N/mm<sup>2</sup>**と良好な付着が示された。  
 破壊面は中詰めコンクリートから金網界面付近が多い結果であった。

## まとめと今後の課題



従来の吹付け技術を応用し、ICT建設機械との組合せた3Dプリンティング技術により、埋設型枠を作製した

↓ その結果

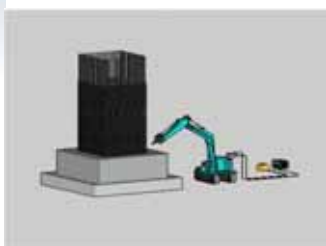
プレハブ鉄筋と組み合わせることで、埋設型枠を製作することが**可能であることを確認**

問題項目  
(開発目標)

↓ ただし

表面の凹凸が大きいことから、今後は吹付け後に表面を均す工程を組み合わせる必要がある

鉄筋裏面の「す」をなくす為にノズル角度の調整が必要である



今後は、省力化・安全性に配慮した新たな施工方法などを提案し、**本研究開発が建設生産システムの生産性向上に寄与できればと考えている**

# まとめ(施工総研のインフラ分野のDX技術)



- 【1】分割型Pca覆工システム
- 【2】緊急架設橋「モバイルブリッジ」の開発
- 【3】Single i技術を用いた微破壊調査
- 【4】ハイブリッド吹付システム「On-Site Shot Printer」の開発
- 【5】バレーン式自動交通遮断機

} 今回紹介した技術

【1】分割型Pca覆工システム

施工現場に搬入可能な複数のプレキャスト部材を馬蹄形に組み立てトンネルの覆工体を早期に構築する工法です。

【2】緊急仮設橋「モバイルブリッジ」の開発

折り畳んで運搬し、被災現場で伸長することで容易かつ迅速に架設することができ、速やかな人命救助を可能にします。

【3】Single i技術を用いた微破壊調査

現場でリアルタイムに調査・診断ができ、母材への影響が少ない小径穿孔ビットによる微破壊コンクリート内部調査工法です。

【4】ハイブリッド吹付システム「On-Site Shot Printer」の開発

ICT建機と3Dプリンティング技術を合わせ、現場で構造物を直接造形する3Dプリント技術です。

【5】バレーン式自動交通遮断機

緊急時の迅速な通行止めを可能にし、交通の安全を確保できる技術であり、緊急車両等は通過できます。



5技術以外にも日々、研究を行い、新しい工法、手法の開発をしています