### 令和2年度

技 術 発 表 会

2020 年 11 月 25 日 場所 名古屋栄ビルディング 12 階大会議室

一般社団法人 日本建設機械施工協会中部支部

### 《 目 次 》

1	<ul><li>建設現場の日々の進捗、現場の仕事量を把握する</li><li>SMART CONSTRUCTION Dashboard について・・・・</li><li>コマツカスタマーサポート株式会社 中部力</li><li>建機レンタル営業部スマートコンストラク</li><li>担当部長</li></ul>	ソション推進部	··· 3 · 氏	• • 1
2	3 次元地図上で工事現場を管理、共有 データ共有クラウドサービス CIMPHONY Plus (クラウドを使った工事の見える化で、 働き方改革と新型コロナウイルス対策を) 福井コンピュータ株式会社 中部営業所 課長	 田中 雄也		7
3	3 次元地盤モデルの設計・施工へ向けた取り組み (作成モデルの信頼性と利用上の留意点について) 株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング		. 氏氏氏	• • 13
4	無人化施工のレンタル化について (ロボット技術を現場で使いやすくレンタルで活用 西尾レントオール株式会社 建設 ICT 営業推進部 部長	])・・・・・ 山口 秀樹		19
5	ハイブリッド・サイフォン送水装置 (サイフォンと水中ポンプで「高揚程で大容量」な 株式会社山辰組 専務取締役		<b>月発</b> )	• • 25

### 建設現場の日々の進捗、現場の仕事量を把握する SMART CONSTRUCTION Dashboardについて

### 1. コマツのスマートコンストラクションが土木・建設現場を大きく変えます。

建設現場において深刻な問題が『少子高齢化による労働人口の減少』『"3K"な現場環境による入職者の減少』等による労働力不足です。そして今後、多くの高齢労働者がリタイアしていき、少子化や採用競争により若い労働者の確保が難しくなってきます。その上、国が働き方改革として長時間労働の是正を進めています。 深刻な労働力不足の問題を解決するため、建設現場における労働生産性の向上は今すぐ取り組むべき大きな課題となります。

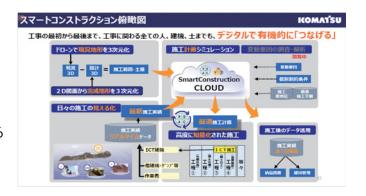
### コマツのスマートコンストラクション

建設生産プロセス全体のあらゆる『モノ』のデータをICTで有機的につなぐことで測量から検査まで現場のすべてを『見える化』し、安全で生産性の高いスマートな『未来の現場』を創造していくソリューションです。労働カ不足をはじめ安全性の向上など建設現場の様々な問題・課題を解決へと導きます。



### メリット1 より安全な施工を実現

建設現場には多くの危険が潜んでいます。 スマートコンストラクションでは設計面に沿っ て自動制御されるICT建機で施工するため、 作業員の丁張の設置作業や刃先位置確認 作業が必要なくなり、より安全に施工を進める 事ができます。



### メリット2 労働力不足解消

施工に関わる様々な確認作業が減り、1日当たりの施工量の増加が見込まれます。

それに伴い、工期が短縮し必要となる人数の減少につながります。また、ICT建機の自動制御により、経験の 浅いオペレーターでも精度の高い施工が可能となり、オペレーター不足も解消します。

### メリット3 生産性向上

現場で必要となる作業員やオペレーターの人数、建設機械の稼働日数が減少します。 少ない人数で効率的に現場が進むことで、新たな工事受注にもつながり、売上拡大に寄与します。

### メリット4 "i-Construction"に準拠"

2016年4月より、国土交通省は測量から検査に至るまで全ての建設生産プロセスでICT等を活用する 『i-Construction』を推進しています。

スマートコンストラクションは『i-Construction』に準拠したソリューションです。

### 2. 建設のデジタルトランスフォーメーション



コマツはデジタルトランスフォーメーションを「ICTとデジタル化の技術によって現状の施工プロセスを 大幅に見直し大幅な生産性向上を実現する」と定義しています。

具体的には、高度化されたICT建機が司令塔となり、すでに市場にある従来型も含めたすべての建機が デジタル化され、お互いが協調して稼働することで、安全と生産性が大幅に高められた現場の実現を目指 します。

2020年4月より、建設生産における各プロセスをデジタル化する縦のデジタル化、そしてこれらの各プロセスを横方向に繋ぐ横のデジタル化をし、デジタルの現場・デジタルツインを同期させます。このデジタルツイン上で様々なシミュレーションを行い問題点等を事前に把握し実際の現場の施工に生かすことで、手戻りが減らせるといった施工の最適化、そして工事全体の安全性・生産性を飛躍的に高めることで、建設生産プロセスのデジタルトランスフォーメーション・DXの実現を目指していきます。

デジタルツインは現実の現場の詳細のコピー・デジタルの双子を意味します。ドローンやレーザースキャナ等を用いて現況地形を3次元データとして収集し仮想空間に再現したもの、それがデジタルツインになります。

建設生産プロセスのデジタルトランスフォーメーションにより、安全で生産性の高いスマートでクリーンな未来 の現場の実現をお客様と一緒に実現していきたいと考えております。

従来のスマコンアプリとの 大きな違いはメイン画面から 3次元表示ができるという ところです。SCドローンで 取った現況のコピーがここに 3次元で再現されます。 デジタルツイン・デジタルの 双子がここに作成されており、 デジタルツインで現場に係わ らず様々な事柄を検討する ことができるようになります。



### 3. SMART CONSTRUCTION Drone, Edge



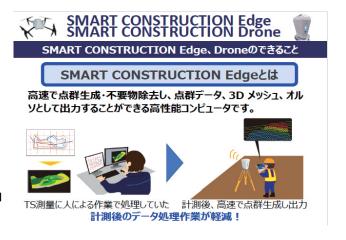
SMART CONSTRUCTION Drone、Edgeは現況地形の測量や3Dモデル化、日々の施工量を把握する為のドローン機体で、現場のデジタルツインを作る為最初に用いるデバイスです。GCP(グランドコントロールポイント)の設置も不要で、フライトも極めて簡単です。

SMART CONSTRUCTION Droneでの地形の計測では、自動運行する専用ドローン、エクスプローラー1と、高速にデータ処理ができる、エッジボックスを使用します。エクスプローラー1はルートを設定することで自動飛行し、通常のドローン測量で必要なGCPの設置も不要です。また、エッジボックスはどこにでも設置可能で、点群データの作成から不要物除去処理まですべてを高速で処理します。2万㎡あたり、フライト開始から点群データ生成までを約20分で完了することが可能です。そのため施工前だけでなく、施工中にも活用することで現場の動きが見えるようになります。

現場で稼働しているのはICT建機だけではありません。SMART CONSTRUCTION Droneを活用することで一般建機や人で施工したところ、それらすべてを"見える化"することが可能になります。今までは、日々の進捗を確認ができなかったため当初の計画との差異に気づくことが遅れ、計画の練り直しや手直しに時間と工数がかかっていました。

SMART CONSTRUCTION Droneを活用することで、日々変化する現場の施工進捗を把握でき、それを元にPDCAを回し、現場に最適な、翌日の計画を導き出します。現場全体が見える化されることにより、施工計画と実績から日々の進捗が把握でき、翌日の最適な施工計画を作成できます。最適な計画に基づいて現場を稼働させ、その実績より都度PDCAを回すことにより、現場の生産性を最大化することができます。

SMART CONSTRUCTION Edgeは、ICT 建機に補正情報を配信する固定局として利用することができます。さらに SMART CONST RUCTION Drone の計測データ処理機能と ICT 建機の固定局としての機能を 同時利用も可能です。 また、ローカライゼーション等に用いる移動局 としても利用することができます。電子基準点から情報を受け取ることができるため、リアルタイムで SMART CONSTRUCTION Edge の位置が検出できます。



### 4. SMART CONSTRUCTION Dashboard

### **KOMATSU**

### 周辺環境の迅速な把握





SMART CONSTRUCTION DashboardはSMART CONSTRUCTION Drone、SMART CONSTRUCTION Edge によって生まれたデジタル現場を施工検討から工事完了まで3Dで繋げる基幹的アプリケーションです。 3D地形俯瞰・計測ビューア、現況地形と完成地形の比較、土量計算等の基本機能に加え、各アプリケーションとの連携を受け持ちます。

- 1) はじめに3次元平図面データをSMART CONSTRUCTION Dashboardに表示させ、衛星画像と平面図を重ね合わせ、周辺環境との関係を正確かつ迅速に確認します。SMART CONSTRUCTION Dashboardでは、ローカライゼーションファイル、2次元平面図があれば衛星画像に貼り付けることができるため、現場周辺環境を瞬時に確認することができます。例えば、
  - ・病院・学校・住宅密集地の有無等
  - ・工事の出入り箇所
  - ・仮設の配置場所の検討

など簡単に一目で把握することができます。

2) SMART CONSTRUCTION Dashboard には様々な計測機能があります。

任意の距離を計測する機能として、工区間の距離を計測し、運搬に使用する機械の検討や、安全施設や敷鉄板等、仮設資材の必要数量算出等に活用することが可能です。設計範囲外も計測可能ですので、こちらはダンプの運搬経路の検討に活用した事例になり、土取場までの距離(4,500M)が分かったり、サイクルタイムをはじき出したり、ダンプの運行計画を立てたりすることができます。

### KOMATSU

距離の計測 例:ダンプ運搬経路の検討



任意の距離を計測する機能。設計範囲外も計測できる

工区間の距離を計測し、運搬に使用する機械の検討や、 安全施設や敷鉄板等、仮設資材の必要数量算出等に活用可能。 以下の例では、ダンプ走路の検討に利用



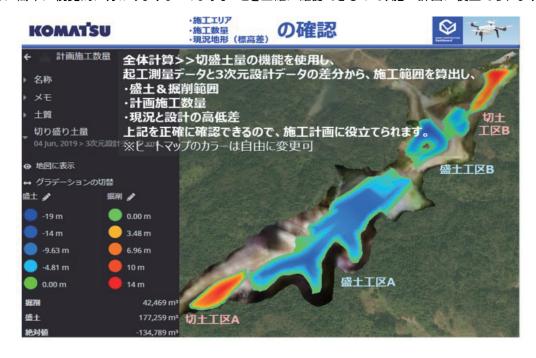
3) 3D化された地形データ(起工測量点群データ&3D設計データ)が出来た段階で、施工が始まる前に現場の施工数量・現場地形・周辺環境を正確かつ迅速に確認することが可能になります。



4) 設計範囲を任意のカラーで表示させることができます。3次元設計データは透過させることができ、現況 地形との兼ね合いを詳細に確認することが可能です。

起工測量と3D設計データを重ね合わせることで、施工数量を把握することが出来ます。施工数量だけではなく、このように一元的に施工エリア・現況地形(標高差)を確認することができます。

全体計算>>切盛土量の機能を使用すれば、起工測量データと3次元設計データの差分から、施工範囲を算出し、正確な盛土&掘削範囲が分かります。ここでは赤いところが掘削範囲、青いところが盛土範囲でこのように3次元的に簡単に分かります。こちらでの計画施工数量で掘削が42,000㎡、盛土が177,000㎡というように正確な施工数量が分かります。次に現況と設計の高低差、濃い青いところは19M盛土しないといけない所、濃い赤いところは14M掘削しなければいけない所、緑色はほぼ仕上げっているとこで設計面に近いところがこのように簡単に視覚的に分かります。このようなことを正確に確認できるので、施工計画に役立てられます。



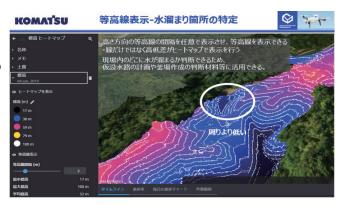
5) その他には等高線を表示して水溜まり箇所を特定することができます。

現況地形の標高によってヒートマップになって、高さ方向の等高線が表示されます。

ここでは黒い方が低い、白い方が高いということで、白丸のところは周りより低く水の逃げ場が無いことが分かるので、仮設水路の計画や釜場作成の判断材料等に活用することができます。

また、知りたい場所の土量を計測したい場合には計測したい範囲を任意で囲うことで、囲った範囲にTINが形成されTIN上の上部の地形と下部の地形とを比較し数量を算出します。

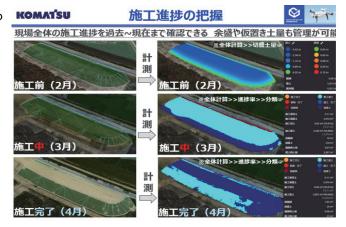
包括した範囲の座標値は編集や追加も可能です。



### 6) 施工進捗の把握

現場全体の施工進捗を過去〜現在まで確認する ことが出来ます。余盛や仮置き土量も管理 が可能で、一番上が2月の段階、二番目が3月、 一番下が4月の施工完了した段階になります。

もちろん全体だけではなく、任意の範囲において も詳細に施工進捗の管理ができ、また『計測 機能』を使わずとも『グラフ・チャートタブ』から 現場全体の進捗率&日々の施工進捗を簡単に に把握することが可能です。



この様にSMART CONSTRUCTION Dashboardを活用することで、現場管理を容易に行うことができます。

### 5. おわりに

時代の大きな変革の中で、コマツが提案するSMART CONSTRUCTION<スマートコンストラクション>は、『人』『建設機械』『現場』にかかわる情報をICTでつなぎ、安全で生産性の高いスマートな『未来の現場』の実現を目指して参ります。



# クラウドを活用した建設現場における感染症対策

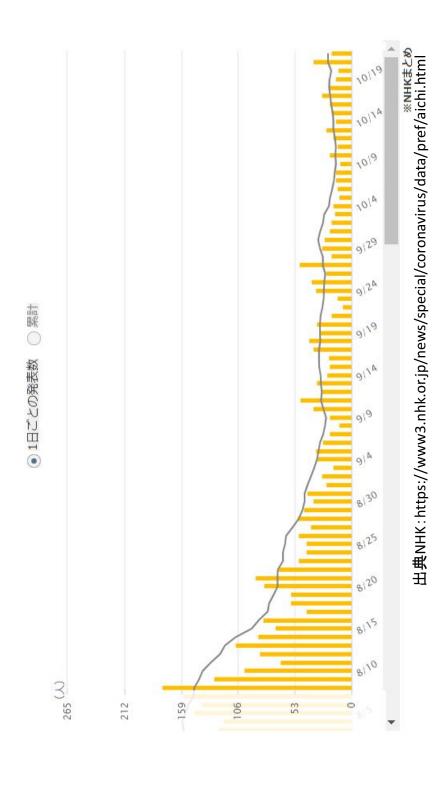
# withコロナにおける新様式のご提案

データ共有クラウドサービス



シムフォニープラス

### 新型コロナウィルスの感染状況



愛知県のコロナウィルス感染者数は8月以降減少傾向にあるものの、まだまだ予断を許さない状況である。



### CIMPHONY Plus & LA

「時間軸」と「位置情報」の概念を取り入れた、データ共有クラウドサービス

クラウド上に 3次元地図を表現

時間軸と 位置情報で管理

現場・写真/書類・ 3次元データを共有

THE TOTAL

CIMPHONY





工事写真 (電子小黑板)





Marie savie savie savie savie savie



st 3Dデータの登録はProfessionalプランの契約が必要となります。

### クラウドで写真を直感的に共有

### 写真を3次元地図上に表示



| 写真に位置情報が保持されていれば、 地図上の該当位置に自動で表示。 データはどの施工箇所のものなのか・・ 一目瞭然。 位置|情報のない書類/写真も位置指定することで地図上にファイルアイコンの配置|が可能。

### 写真をタイムラインで表示

-10-



受注的 制度

どのタイミングの状況なのか・・現状は・・いつ材料搬入されたのか・・など時間軸からわかりやすく把握可能。

### 「位置情報」で地形・該当箇所を把握 |時間軸||で工事の進捗を把握

### 関係者間での円滑な伝達・状況共有

### 作業に関わるポイントを3次元地図上に表示







- ′ 距離や面積計測機能搭載
- ✓ 吹き出しテキスト表記やピン表示も可能

/ 計測結果や注釈により、指示や作業情報・連絡事項を3次元地図上に表示。

-11-

現場写真や地形とともに、作業に関わるポイントを伝えることが可能。



# 工事関係者間での確認箇所や進捗状況のスムーズな情報共有・伝達

## 関係者同士の工事把握に繋がるスペースに

# 現場立会をせずに受発注者間での現場の状況を共有

## 現場の工事の状況を発注者に報告 (URLを共有)

- ✓ 1日の作業を報告したい・・
- ✓ 専用のソフトが必要・
- ✓ 現地の場所との関係性が伝わらない・・
- 立会の日程調整がなかなかできない・







### (参照者としてデータを共有) 工事の進捗まで発注者と共有

- ✓ 工事の進捗を報告したい・・
- ✓ 毎回URLのメールを送るのも面倒・
- ✓ 発注者から現場の状況を聞かれていた・
- 日を遡って工事前の状況説明をしたい・







### 3次元地盤モデルの設計・施工への活用に向けた取り組み - 作成モデルの信頼性と利用上の留意点について-

株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング 〇鎌田佳苗 三浦理司 桃井信也

### 1. はじめに

国交省では平成24年度より、建設現場にICTの全面的な活用、全体最適の導入、施工時期の平準化等の施策を導入し、プロセス全体の最適化を図る目的でi-Constructionを推進している。この取り組みとして3次元モデルを用いた社会資本の整備、管理を行うBIM/CIMを導入し、受発注者双方の業務効率化・高度化の推進を進めている。

BIM/CIM の基準となる CIM 導入ガイドライン(案) $^{1}$ は、平成 28 年 8 月の素案から改定を重ね、直近は 令和 2 年 3 月改定された。また新規に BIM/CIM 活用ガイドラインが策定された。CIM 導入ガイドライン (案)には工種ごとの CIM モデルの詳細度の定義、受発注者の役割、基本的な作業手順や留意点、モデルの作成指針や活用事例などが示されている。

地盤の BIM/CIM モデルは「必要に応じ」作成対象で、標準は準3次元モデルまでとされている。本論では3次元地盤モデルの作成事例を示し、設計施工側で扱う際の留意点や今後の展望を示す。

### 2.3 次元地盤モデルについて

3次元地盤モデルとは、複数のボーリング柱状図等の地質調査結果を基に、様々な情報を地質学的な解釈を加えて総合的に表現したものである。表 1 に 3 次元地盤モデルの種類を示す。3 次元地盤モデルは、広義の 3 次元地盤モデルとして、一次元地盤モデル、準 3 次元地盤モデル、3 次元地盤モデルの表現手法がある。通常は準 3 次元断面図(パネルダイヤグラム)や図 1 に示すサーフェスモデル(地層などの境界面を示す表現手法)、図 2 に示すソリッドモデル(地層の上面・下面・側面の境界面で囲まれた形状に地質情報を付加して示す表現手法)で作成されることが多い。

	モデリ	レ名 称	特 記 事 項			
-	一次元地盤モデル					
	ボーリングモデル		ボーリング柱状図から層序等を抽出したモデル			
11	単三次元地盤モデル					
	テクスチャモデル(準三次元平面図)		三次元地形表面に地質平面図などを貼り付けたモデル			
	準三次元断面図		従来手法の地質断面図に空間情報を付与したモデル			
-	三次元地盤モデル					
	サーフェスモデル		地層あるいは物性値層による境界モデル			
	ソリッドモデル	ボクセルモデル	属性データをボックスセルと接点の両方を対象とする			
		柱状体モデル	平面的にはセル、深さ方向は地層境界であるモデル			

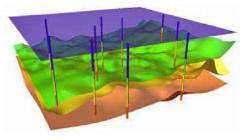


図 1 サーフェスモデルの例 1)

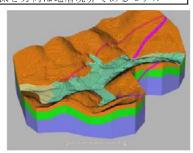


図 2 ソリッドモデルの例 1)

3 次元地盤モデルは、主にボーリング調査の結果、地形判読 や地表地質踏査の結果を基に作成する。

図3に3次元地盤モデル作成の基本的なワークフローを示す。 作成にあたり、初めに地層区分と地質構造の検討を行う。その 上で地層境界の補間処理を行うが、補間用データ作成・空間補 間処理は以下のいずれかの手法で行うことが多い。

- 1)3 次元地盤モデル作成専用ソフトウェアを使用し、ボーリングデータから地層面を推定する。
- 2)3 次元地盤モデル作成専用ソフトウェアを使用し、ボーリングデータを基に、二次元断面図を作成し、二次元断面図の地層線を3次元的に補完する。
- 3) 地層面のコンターを想定し、3次元化する。

いずれの方法も、地質学的判断を加味し3次元地盤モデルを 作成するが、ボーリング位置等、根拠のある箇所以外は推定に より内挿したデータである点(場合によっては外挿も含まれる) に留意する必要がある。

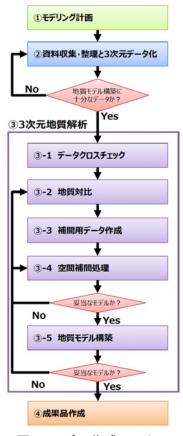


図3 モデル作成ワークフロー3)

### 3.3 次元地盤モデル作成事例 1

本事例は、国土交通省東北地方整備局 鳥海ダム工事事務所発注の地質調査業務で行った事例である。ダムサイト河床部下流の地質層序・構造を把握し、ダム事業に必要となる地盤情報の取得を目的に実施した地質調査業務で、下流部締切堤付近の第四紀層、基盤岩の地質分布を精度よく推定するため、3次元地盤モデルを作成した。

本業務でのボーリングデータ(3 地点)と既存調査のボーリングデータ(6 地点)、地質解析業務で作成されていた地質断面図を利用し地質構造の検討及び3次元地盤モデルを作成した。

本サイトの地質は第四紀層の谷埋め堆積物と基盤岩から構成されている。図 4 に本業務で行ったボーリングデータより作成した 2 次元地質断面図、図 5 には地質層序表を示す。谷埋め堆積物は水平に近い状態で堆積しており、基盤岩は傾斜し複数層が分布している。3 次元地盤モデルは図 6 に示す準 3 次元モデル(パネルダイアグラム)と図 7 に示すサーフェスモデルを作成した。周辺データの連続性を 3 次元的に推定することでデータが少ない箇所の地質連続性も考慮し地質モデルを作成できた。

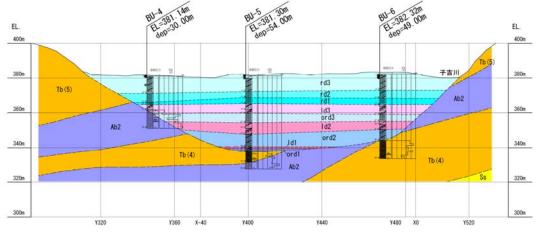


図 4 2 次元地質断面図(河床横断方向)

層序	地質区分	記号	主な土質・岩質
	表土	Ts	粘性土
	現河床堆積物3	rd3	玉石混じり砂礫
	現河床堆積物2	rd2	砂礫 玉石混じり砂礫
	現河床堆積物1	rd1	玉石混じり砂礫 砂礫
第四	湖成堆積物3	ld3	砂混じりシルト質粘土 シルト質細砂
紀層	旧河床堆積物3	ord3	砂礫 礫混じり砂
	湖成堆積物2	ld2	シルト質砂 礫混じりシルト質粘土 シルト混じり砂
	旧河床堆積物2	ord2	玉石混じり砂礫
	湖成堆積物1	ld1	礫混じり砂質粘土
	旧河床堆積物1	ord1	玉石混じり砂礫
币 足	凝灰角礫岩(4)	Tb (4)	凝灰角礫岩
岩宅 類	自破砕溶岩2	Ab2	自破砕溶岩 凝灰角礫岩

図 6 準 3 次元モデル(パネルダイアグラム)

図 5 地質層序表

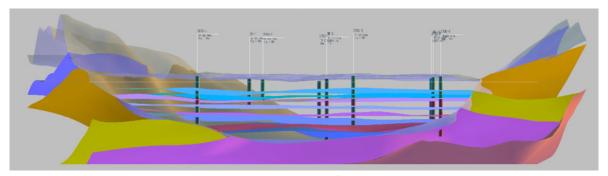


図 7 サーフェスモデル

本事業では、大規模な河床掘削が計画されている。今回作成したようなモデルを用いて、3 次元 CAD ソフトを利用し掘削土砂種類ごとの土量算定や掘削面に出現する土質を面的に確認することが容易に可能となる。

本モデルの信頼性について、水平に近い状態で堆積している谷埋め堆積物は、堆積構造が水平であり、データが少なくてもある程度 3 次元的な分布状況が把握できていると考えられる。一方、傾斜した基盤岩はグリーンタフの海中堆積物で単純傾斜ではなく、地層境界面が湾曲しており、ボーリング調査地点及び踏査で確認した場所以外の不確実性は大きくなる。特にボーリング地点や露頭から離れた位置ほど、境界面の不確実性が大きくなる。この不確実性を的確に指摘することで、補足的な地質調査を行う際に、計画構造物に対し優先調査すべき位置を客観的に選定することができ、今後取り組むべき課題と考えている。

### 4.3 次元地盤モデル作成事例 2

本事例は、国土交通省東北地方整備局 鳴瀬川総合開発工事事務所から CIM 活用業務として発注された地質調査業務で行った取組みである。本業務は、国道付替え道路を対象とした地質調査業務で、3次元地盤モデルは、地質リスク把握、特に地盤の3次元可視化による切土部の地質構造、及び橋梁部の基礎構造と支持層との関係を可視化し、設計・施工上の課題の提言や対応方針の助言を行う目的で作成した。

### 1) 橋梁部崖錐堆積物の分布のモデル

ボーリング結果では、橋梁区間の橋脚に崖錐堆積物の分布が認められた。崖錐堆積物の分布深度・範囲によっては、橋脚位置や施工方法の変更や基礎掘削時の斜面安定対策が必要と想定される。そうした課題の把握を容易にすることを意図しモデル化を行った。

ボーリング結果及び現地踏査から判断される崖 錐堆積物の分布範囲を図8の3次元のサーフェス モデルで表現した。

この3次元モデルを用いて設計施工への申し送りとして、橋脚基礎掘削時は、崖錐堆積物の分布 範囲を考慮し、崖錐部分を安定勾配で切り取る等 の配慮が必要であることを留意点として示した。

今回示した崖錐層の分布範囲は局所的であったため、1 本のボーリング結果と現地地質踏査に

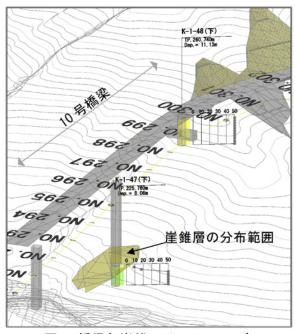


図8 橋梁部崖錐のサーフェスモデル

より地質技術者が判断した。3 次元モデルとして面的に分布範囲を示すことで、例えば計画の変更に伴い、精度向上のための追加調査が必要となった際には、補足的なサウンディング試験を想定分布範囲の端部に配置するなどの意思決定が容易となる。

### 2) 長大切土部のモデル

3 地点のボーリング結果と現地踏査結果を用いて、設計、施工時に地質リスクとして問題となることが多い長大切土法面のサーフェスモデルを作成し、法面勾配ごとの掘削土量・出現地質の違いを比較検討した。作成したモデルを図9に示す。

長大切土部には、岩級区分が B2~C2 である凝灰質砂岩層 (Tss)、火山礫凝灰岩 (軽石質) (Lptb) が分布する。軟岩  $I \sim II$  に相当する岩盤で、切土法面勾配は 1:1.0 を提案した。予備設計時の切土 勾配 1:1.2 から切土勾配 1:1.0 とすると掘削土量を減らすことができるが、切土法面最上部にスレーキング抵抗の弱い軽石凝灰岩 (Pmt) が分布し風化侵食防止のための法面保護が必要であることがわかった。保護が必要な範囲は、切土勾配をより立てると狭くなるが、長大切土で安易に勾配を急にすることに伴う不確実性を考慮すると、1:1.0 勾配で上部の法面保護を選定することが最適であることが分かる。そうした判断・説明を設計施工の上の留意点として引き継ぎ事項として記した。

なお、本モデルは、3 地点のボーリングデータで長大切土法面の岩盤区分を想定している。延長120m、切土4段の範囲であり、一般的には過不足なく地質調査が行われていると考えられるが、ボーリング間の確認されていない区間の情報は地質構造からの推定である。元となる情報は、露頭やボーリング調査を行ったポイントのデータであること、新たな課題が生じた際は、現在の情報を元に追加地質調査し見直すことも重要である点に留意することが重要である。

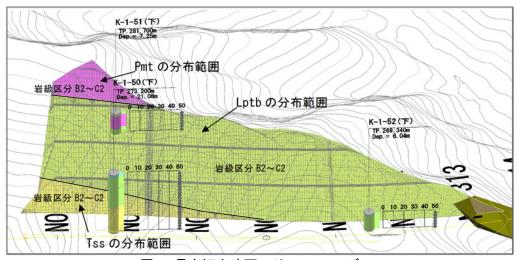


図9 長大切土法面のサーフェスモデル

### 3)橋梁部支持層のモデル

3 径間の橋長 140m 程度の橋梁で 4 地点のボーリングを行い、支持層面をモデル化した。橋梁部の支持層は N 値 50 以上(岩盤)が選定される。付近の地質は、上位より段丘礫質土、基盤岩(軽石凝灰岩)が出現する。基盤岩の上部には N 値 50 以下の風化層が分布し、一定の深度より支持層となる新鮮な岩盤が出現する。この地層分布を 3 次元的に可視化した。作成したモデルを図 10 に示す。

3次元モデルは縦断方向の4地点のボーリングから地形を考慮して推定した。このため、横断方向のモデルは地質調査のデータが存在していない地形からの推定である。施工後に橋台が傾倒するなトラブルを防ぎ、推定の確度を上げるためには、フーチング両端での調査を行う必要がある。また、現在のモデルが推定であることが伝わらずに設計施工に活用されると、調査不足のトラブルにつながるため、属性情報での明示などを含めた申し送りの方法も検討が必要である。

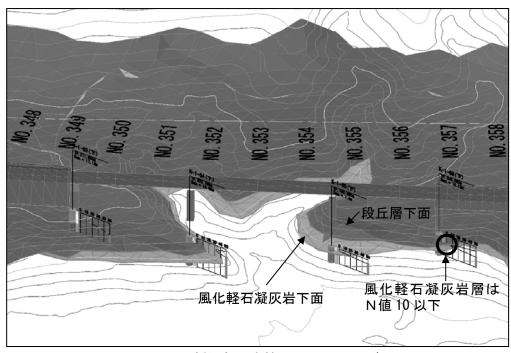


図 10 橋梁部の支持層サーフェスモデル

### 5. まとめ

地質調査では、点の調査データより不連続に変化する地層境界、連続的に変化する工学的特性を加味し、設計・施工で扱える境界面を判断し定義して伝えている。通常の地質断面図は、点のデータの間を補間(推定)して表現したものである。3次元の地盤モデルはその推定を拡張することであるが、更にi-constructionの基準等を活用し、地盤の属性情報とそれに紐つく地盤の工学的物性の情報を付加することで、様々な工種での設計、施工へ効果的な利活用が可能となると考えられる。

また、本論で示したような3次元モデルを作成した事例により、3次元地盤モデルとして可視化することで 意思決定ツールとして合意形成を容易にすることや、3次元 CAD ソフトを利用して土量計算等に活用する ことも期待される。

一方、3次元地盤モデルの地層面の確度はボーリングデータの数・配置に依存し、横断方向の配置も影響してくる。さらに、地形・地質の複雑性といった地域性の要素もあり、必要な調査データの確保が重要であるが、必要な調査データ数量を決定する目安がないことが現状の課題である。現状においては、想定される「地質リスク」を可視化して各事業段階から次段階へ問題点を伝達し、継続して地盤モデルを更新・利活用できれば地盤に関わる手戻りや設計ミスの防止、事業全体の効率化に貢献できると考える。そして、事業の初期段階より3次元地盤モデルの効果的な活用、推進を図ると同時に、精度に関する情報も設計・施工者へ的確に引き継ぐことが重要と考える。今後も、上記の点に留意しながら、3次元地盤モデル作成と設計施工での利活用に向けた取り組みを推進していきたい。

### 参考文献

- 1) CIM 導入ガイドライン(案) 第1編共通編, 令和2年3月, 国土交通省
- 2) 三次元地盤モデル作成の手引き 建設現場の生産性向上に向けて, 平成 28 年 11 月, 一般社団法人全国地質調査業協会連合会、一般財団法人日本建設情報総合センター
- 3)3次元地質解析マニュアル Ver2.5, 令和2年9月,3次元地質解析技術コンソーシアム

### 無人化施工のレンタル化について ロボット技術を現場で使いやすくレンタルで活用

西尾レントオール株式会社 建設 ICT 営業推進部 部長 山口秀樹

### 1. はじめに

弊社では 1990 年代から長崎県普賢岳の災害復旧工事の無人化施工現場での対応をきっかけとし、対象現場へのカメラや無線などの設備を中心に施工会社へレンタル提供を実施してきた。今では無人化重機そのものや、カメラ車・中継車等の専用車も配備しレンタルをしている。

また、それと同時に、ICT 施工についても GNSS 等を利用した測位誘導システムや、IC-TAG を利用した安全管理システム等の提供も行い、無人化施工の生産性や作業環境を向上させる技術を施工会社に協力いただきレンタル化してきた。

そして今まさに無人化技術とICTとの垣根がなくなりつつあり、自動で動く重機や自律施工の技術の研究が各社でなされている時代となった。弊社でも自動運転の清掃車や、測量車の開発を進めておりレンタル化に着手している。今レンタルで利用可能な無人化の技術と、ロボットの技術を認知して頂く機会としていただくと共に、一般的な現場でも活用できる技術を紹介する。

### 2. 無人化施工で使用される機材

無人化施工となるとまずはなくてはならないのは当然ながら施工機械である重機が必須となる。 最もポピュラーな対象機械はバックホウである。比較的小規模な災害復旧ではバックホウと操作機だけで完結する作業も多く、全国的には一番普及しているパターンと考えている。その他にもクローラーダンプや、ブルドーザー、振動ローラ、クローラクレーン等、対象工事が大きくなるほど、求められる機種も多様化してくる。弊社も近年、施工会社の要望に合わせ様々な機械を遠隔化する取り組みを進めてきており、今後も対象機種は広がってくると考えている。



遠隔操作式バックホウ



遠隔操作式ブルドーザー

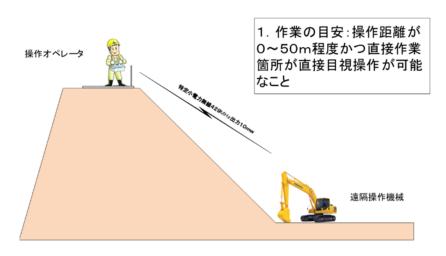




遠隔操作式クローラダンプ

遠隔操作転圧機

一般的に、重機メーカーが提供する遠隔操作機械は特定省電力無線(400MHz 帯)を使用している。これは伝送距離にすると 50m~100m が安全に操作できる目安となっており、目視で作業をするには十分な距離である。また人間が遠隔から目で見て作業できる距離も 50m 程度が限界なため、ある意味理にかなった構成となっている。



目視遠隔作業のイメージ

ただ、実際の現場では 100m では遠隔操作者の安全な場所を確保出来なかったり、死角になった場所からしか作業できないなどのロケーションが発生する。これは対象作業エリアが大きくなればなるほど、また形状が複雑になればなるほど発生しやすい傾向にある。

そのような状況に対応するためには、到達エリアを広くしてくれる無線機と、遠隔操作者の目の代わりになってくれるカメラが必要となってくる。無人化施工というと重機ばかり着目しがちであるが、 高度な運用をするには、それだけでは運用できないのが現実としてある。

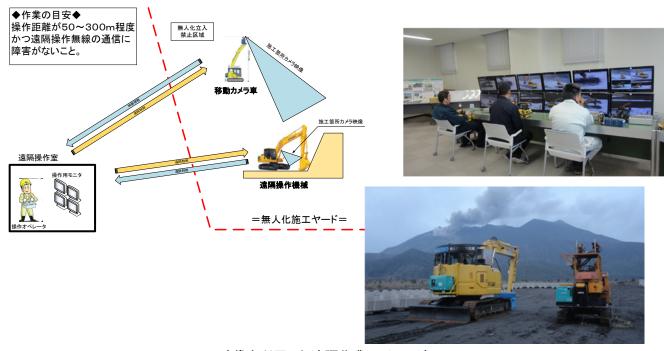
### 3. 大切な脇役であるカメラと無線機

前述したように、遠隔操作重機だけでは施工はし難く、より生産性・安全性を高めるためには、カメラと無線機が重要となってくる。ここではそれぞれの役割やレパートリを紹介する。

### ・カメラ

大きく分けて、車載カメラと固定カメラがある。車載カメラは通常の有人作業におけるオペレータの 目線のカメラとなり、対象の土砂やブロックあるいは運搬車への作業状況を確認できるカメラとな る。土砂がどのように掘削され残っているか、ブロックを規定の位置に設置できているか、運搬車 の荷台の空きスペースがどのあたりか等まさにオペレータ目線で確認する必要な場合に使用す るカメラとなる。固定カメラは現場を定点的に俯瞰することができ、狭い走路を走行したり、運搬車 とバックホウとの距離を確認したり、遠隔操作している重機が必要以上に傾斜していないかなどを いろいろな角度から確認するために使用します。固定カメラの使用台数が円滑な無人化施工の運 用に大きく関わることになります。見たい時に、見たい角度から見えることが、安全・的確に作業す るにおいて重要であることは想像に難くないと考える。

ただ、固定カメラを設置するには危ない崖を登ったり、そもそも設置したい場所が危険エリアで進入自体出来ないロケーションであることもある。そのような事象を解決してくれるのが移動カメラ車である。カメラ車自体も遠隔から操作出来るため、見たいアングルの場所まで遠隔操作しそこから撮影することが可能となる、無人化施工ならではの車両となり、弊社でもレンタル化している。



映像を利用した遠隔作業のイメージ

また近年、カメラの解像度は飛躍的に進化しユーザーの要求品質が高くなってきているが、その 採用については実は難しい問題がある。それが、画像の伝送方法である。特に車載カメラは、重 機が動き回るためその撮影した画像を、遅延なく無線で操作者に送り届ける必要があり、 いくら高解像度で撮影してもそれを伝送する無線が貧弱であれば、低解像度のものしか送れなくなるジレンマが発生する。そのため次に説明する無線機が非常に重要な役割となる。



カメラ車・中継車



車載カメラ CONDOR

### -無線機

無人化施工において無線機にも大きく分けて 2 つの役割がある。操作系の無線と画像系の無線となる。操作系無線については、重機を遠隔操作するにおいて操作機を右に倒せば右に旋回するなどの指示を無線で飛ばす役割を持つ。画像系無線については前述のカメラで撮影している画像を遠く離れた操作者に送信する役割となる。どちらも低遅延で有ることが条件になる。

広い現場になるほど多くの重機を遠隔操作しなければならないため、多チャンネルで運用できる

ことを求められ、重機が増えるということは、車載カメラも増え、固定カメラも増えることとなり、無線回線が大容量であることも求められてくる。そうなると、冒頭で説明したような特定省電力無線だけでは何も出来ないようになってくるのである。それを解決してくれるのが、無線 LAN のシステムとなる。近年では家庭でも利用されている無線LAN だが、無人化施工現場でも周波数や出力は違えども同様のシステムを導入し、多台数化・高速化・大容量化に備えている。弊社では日進月歩が早いその技術をなるべく現場で適用していただきやすいようにレンタル化している事となる。5G時代の到来とともに携帯電話回線網では、さらに高速化・大容量のものが使いやすくなるが、郊外での使用や、ローカルエリアで確実に運用できる通信手段としての無線LAN技術は当面まだまだ必要不可欠なものであるのは間違いない。



屋外用高速無線 LAN

### 4. 無人化施工とICT施工

無人化施工は、これに勝る安全対策はないと言われるほどの、施工技術である反面、欠点も存在する。それが施工効率の低減である。遠隔操作者の熟練度により向上はするものの、やはり画像越しでの作業は視覚のみで運用することもあり、どうしても効率は低下してしまう。これを補完する技術として無人化施工ではICT 施工をいち早く取り入れてきた。GNSS を使用した位置管理や、今や情報家施工や i-Construction の取り組みで一般化しつつあるマシンガイダンスやマシンコントロールの技術を駆使し、作業効率を上げることに成功している。ブルドーザーのマシンコントロールの技術を遠隔で実施するとその作業自体では有人作業と遜色ない歩掛をあげたデータもある。弊社では近年開発されたバックホウのマシンコントロール技術を遠隔で運用する技術も商品化させ現場で使用していただいている。床掘りや精密な作業を要する整形作業などもマシンコントロールの技術を用いれば、効率的に作業をすすめることが可能となる。



マシンコントロール対応遠隔操作バックホウ



マシンコントロール画面例

### 5. 自動施工・自律施工へ

現在大手ゼネコンを中心に、今まで説明してきた無人化施工の遠隔操作重機と、ICT 施工を融合し自動施工や、自分で判断し施工を実施するような自律施工の研究もなされてきている。弊社では HRC ユニットという汎用的な重機を遠隔化するユニットをレンタル化しており、オープンソースで提供しているため、各社の研究開発に貢献している。

### 既存のパワーショベルが必要な時にラジコン車





遠隔操作ユニット-HRC

また弊社自体も、自動施工のモデル技術としてスイーパーの自動運転を商品化してレンタル提供をしている。





自動運転スイーパー e-madillo

清掃したいエリアを座標で指定すると、自動で走行設計線を描画しそのとおりに走行し同時に清掃してくれる作業車となる。定期的な清掃が必要になるエリアの自動清掃や、プラント構内での使用についてもニーズが高まっている。ティーチング機能も装備しており、オペレーターが運転した軌跡を記録し、そのとおりに走行清掃することも可能となっている。またセイフティ機能としても2Dスキャナを利用し、予期せぬ障害物を検知したら自動的に停止する機能を装備し、センサーについては今後開発されるであろう高性能な検知センサーにも対応できるよう設計している。本技術を用い、対象重機を広げローラーなどの転圧機やブルドーザーに適用することで、自動転圧や、敷き均しのシステムも研究をしている。

### 6. まとめ

無人化施工と ICT 施工そのものでも十分に役に 立つ技術であるが、働き方改革や、労働人口の 減少や、リモートワークへの対応という難所を越 えるためにも、各技術のさらなる普及や融合が解 決の手立てとなり、それをレンタル提供出来るこ とで、建設業界のサポートができるよう引き続き 活動していきたい。



遠隔操作室

### ハイブリッド・サイフォン送水装置

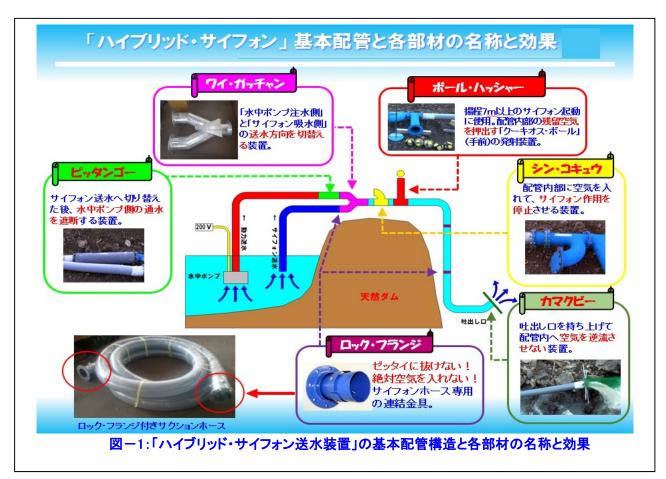
### サイフォンと水中ポンプで、「高揚程で大容量」な送水装置を開発

株式会社山辰組 馬渕 剛

### 1. はじめに

国土交通省の「大規模な河道閉塞(天然ダム)の 危機管理のあり方(提言)」で、「ポンプ排水に要する

「ハイブリッド・サイフォン送水装置のサイフォン起動方法の大きな特長は、従来のサイフォン起動技術には欠かせなかった、吸水口や吐出し口には開閉装



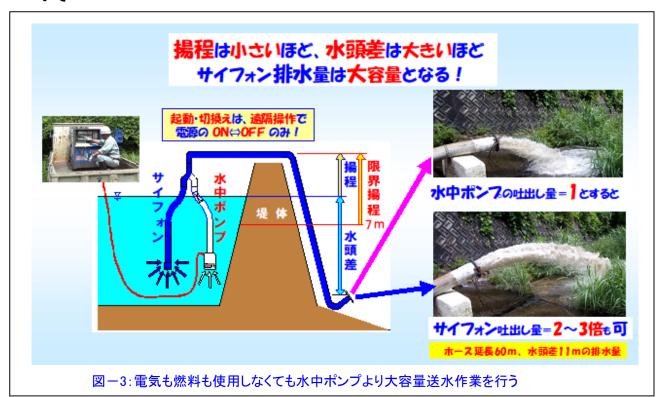
大量の燃料消費を軽減することが可能な手法として、 大容量排水技術(サイフォン等)についても開発・検 討を進め、実用化の際にはその適用範囲を明確化す べきである。」を受け、弊社で開発した「サイフォン送 水装置」は、その後も改良を重ね、多様な現場条件に も対応可能な「ハイブリッド・サイフォン送水装置」とし て大きく進化させることができた。令和2年度 第22 回 国土技術開発賞・創意開発技術賞(国土交通大 臣表彰)を賜った。このサイフォン送水新技術の幾つ かの特長と効果について報告する。

### 2. 従来のサイフォン起動技術の課題を解決

置が設けていない構造であり、サイフォン起動の際に、 吸水口が設置してある水辺付近や、吐出し口のある 急な斜面などに近づいての人力開閉作業を省略する ことに成功した構造となった。

「ハイブリッド・サイフォン送水装置」の基本配管と各部材の名称と効果は(図ー1)のとおりである。設置が完了したら、水中ポンプの電源のON⇔OFFの作業だけで「水中ポンプ注水作業」⇔「サイフォン単独送水作業」⇔「サイフォン+水中ポンプ作業」の切り替えが、安全な場所から遠隔操作により行うことができることとなった。

### 3. 新技術:「ハイブリッド・サイフォン送水装置」につ



「ハイブリッド・サイフォン送水装置」の吸水口と吐出し口は常時開口した構造としたことで、人力開閉作業を無くした。常時開口とするため、上流側のサイフォン送水ホースの途中に、水中ポンプ注水側とサイフォン吸水側の流れの方向を切り替えるための開閉弁を備えたY字状の注水合流部材「ワイ・ガッチャン」を開発して配置した。Y字状の二股(2口)側を上流(湛水池側)に向け、二股の一方に水中ポンプ注水ホースを、他方にサイフォン吸水ホースを連結。Y字状の1口を下流(吐出し口側)に向けてサイフォン送水ホースを連結する(図-2)。

「ハイブリッド・サイフォン送水装置」のサイフォン起動方法は、

- ①遠隔操作により電源をONにして水中ポンプを稼働 して注水合流部材「ワイ・ガッチャン」を通してサイフォン送水ホース本管内へ注水を行う。
- ②サイフォン送水ホース本管内の空気を吐出し口から押し出すと、サイフォン送水ホース本管内が満水状態の

流れとなったら。

③水中ポンプの電源をOFFにして注水を停止する。

④自動的に 流れの方向切換え装置 開始し、サイ 「ワイ・ガッチャン」

及水作用がβ)。

を常時開口

<del>角</del>閉作業は必要なくなった。

### サイフォン送水装置」の口径と作

プフォン送水装置」の送水ホース <u>Φ200mmとなっている。</u>口径が大 上流側 ンド・サイ

サイフォン吸水側

の重さを 伸びない

業には重機の併用が有効で作。そのため、車両や重機が進入 量送水作業に適しているという

下流側 吐出し口側 上流側 水中ポンプ送水側 図―2:流れの方向切換え装置「ワイ・ガッチャン」

の各ホースとの連結構造

3-2 Φ100 mmサイフォンは、道が無くても人が通れるスペースがあれば運搬・設置作業を可能とした。

Φ100 mmハイブリッド・サイフォンの各部材は、人力運搬が可能な重さの範囲で構成することを前提として開発したため、河道閉塞により生じた「天然ダム」や、老朽化した「ため池」などで、機材を運搬する道路が無い場所であっても、樹林を縫って人が通れるスペースさえ有れば、全ての機材を人力で運搬・設置して送水作業を可能としたという大きな進化がある(図ー4)。

後述するが、上流部の湛水面と、下流部の吐出し口との水頭差が 10m程度確保できる場合であれば、同じ口径の水中ポンプの2倍~3倍の送水作業を行うことができるなど、1台のハイブリッド・サイフォンで2台~3台の多条配管と同様の送水設備となり、送水作業を無動力で行えるメリットは非常に大きい。

「クーキオス・ボール」の上流側は満水状態の水圧に押され、下流側は空洞部で抵抗がないため下流方向へボールが速やかに移動する。

「クーキオス・ボール」が下流側の吐き出し口に至り吐き出されたとき、サイフォン送水ホース本管内に満水状態で充填されていた水は、位置エネルギーにより吐出し口側に流下する。この現象に引かれて湛水池側の水を吸水ホースがストローで吸うような作用でサイフォン送水ホース本管内へ吸い込んでサイフォン作用が起動することとなる。Ф50 mm水中ポンプ1台で「クーキオス・ボール」を使用してФ200 mmハイブリッド・サイフォン送水装置を稼働させることも実証済みである。

Φ100 mm以上の送水作業であっても、準備する電源は 100Vのポータブル発電機1台と、それで稼働する





図-4: Φ100 mmの各部材は全て人力運搬が可能

### 3-3 100Vの電源で起動できる「ハイブリッド・サイフォン送水装置」ならではの起動方法

送水作業に使用する従来のΦ100 mm~Φ200 mm以上の水中ポンプ(重量約 90 kg~230 kg)の稼働には200Vの電源を必要とするため、大型発電機(重量200 kg以上)の搬入が可能な運搬路が確保できなければ送水作業を行うことができなかった。

「Φ100 mmハイブリッド・サイフォン送水装置」は、被災箇所などへの出動にあたり、人力運搬可能な部材で構成するため、サイフォンの起動にあたり、Φ50 mmの水中ポンプ1台(約 10 kg)と 100Vの」ポータブル発電機(約 13 kg)を使用して大口径のサイフォン作用を起動可能とするため、新技術「クーキオス・ボールエ法」を開発した(図ー5)。

小口径の水中ポンプで大口径のサイフォン送水作用を起動する新技術は、①「クーキオス・ボール」を注水前に「ワイ・ガッチャン」の下流側のサイフォン送水ホース本管内②に装填する。装填後にはサイフォン送水ホースの内断面一杯の大きさとなるため、Ф50mmの水中ポンプから注水される水圧を受けて「クーキオス・ボール」は下流側へ押し進められる。この際、

Ф50 mm水中ポンプという画期的なサイフォン起動方法による送水技術となったのである。

ハイブリッド・サイフォン送水装置のサイフォン起動時間を短くしたい場合は、Ф50 mmの水中ポンプを複数台合流させて注水することで解決できるため、複数の流れを合流させる部材「③GOMATA(ゴマタ)」を開発した。Ф50 mm水中ポンプ最大5台分の流れを④Ф50 mmホースで合流させて注水することができる。「クーキ



図-5:「①クーキオス・ボール」と「③GOMATA

オス・ボール」の移動が速くなるため、サイフォンを起動させる時間も早くなるという技術となった。

これらの起動方法により、サイフォン作用を稼働させる場合に、サイフォンの「限界揚程7m」を境にして、 起動後のサイフォン稼働方法を使い分けることとなる。

### 3-4 サイフォン単独送水作業の「限界揚程7m」を目 安とし「ハイブリッド・サイフォン送水装置」を使い分 ける

サイフォンの揚程の理論上の限界の高さがあるが、サイフォン送水装置の揚程の範囲を確認するため、 実際の限界揚程を求める実験を行った(図-6)、(図-7)はその実験の結果である。流量の変化を見ると、 分の 9mで4.0 m<sup>2</sup>/min となり、この数値が一般的にΦ 200 mm水中ポンプの機能として送水計画を行う際の参考数値となっている。

Ф200 mmサイフォンの場合、水中ポンプの最大送水量 5.2 m<sup>3</sup>/min の時の「揚程 3m」とし、水中ポンプの最大 送水量に近いサイフォン送水量としては「水頭差 5m の場合の 5.4 m<sup>3</sup>/min」であった。

水中ポンプの場合、揚程が大きくなるにつれて送水量が減少するのに対して、サイフォンは水頭差が大きくなるにつれて送水量も増大する。サイフォンの場合、水頭差が12mの場合8.7 ㎡/minと同じサイズの水中ポンプの一般的とされる4.0 ㎡/minの2倍以上の送水能力があり水中ポンプにはないサイフォン



図ー6:サイフォンの限界揚程確認実験

揚程7m までは変化はないが、揚程 7mを超えると流量が大きく減少傾向となっているため、安定したサイフォン作用の「限界揚程を 7m」としてハイブリッド・サイフォン送水装置を使い分けることとした。

この実験により、ハイブリッド・サイフォン送水装置は、1.「揚程 7m以下」であれば「サイフォン単独」による送水作業を行うことができる。2.「揚程が 7m以上」の場合は「サイフォン」と「水中ポンプによるアシスト送水作用」の2種類の機能を併用することとする。この相乗効果により、「サイフォン単独」よりも、「水中ポンプ単独」よりも「高揚程」で「大容量」な送水機能が生まれ、まさにハイブリッドなサイフォン送水装置として実用化することができた。

### 3-5 「サイフォン単独」と「水中ポンプ単独」の送水能 カの比較実験

(表-1)に示すように、「水中ポンプ単独」と「サイフォン単独」の送水能力の比較実験を行った。

Ф200 mmの水中ポンプの送水機能はメーカーの送水性能曲線を用いた。水中ポンプの場合「揚程 3mが 5.2 m/min で最大送水量」であり、揚程が大きくなるにつれて送水量は減少し、水中ポンプの限界揚程 18m で送水量 0 m/min となっている。限界揚程 18mの半

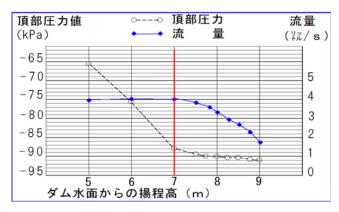


図-7:サイフォン作用の限界揚程測定実験結果

機能の長所といえる。

### 3-6 「サイフォン」、「水中ポンプ」、「ハイブリッド・サイフォン送水装置」それぞれの送水能力の比較実験

同じ現場条件で、標記のそれぞれの送水能力を実験により確かめた。その結果(表-1)には以下の内容が示されている。サイフォン配管延長 280m、水頭差 11mで実験を行った。

- ① 表中に示すように、従来の水中ポンプ機能実験の配管どおり、吐出し口が配管の最高部となる配管で実施した場合、揚程 12mでは水中ポンプの公表値【B】3.0 ㎡/min に対し【C】2.37 ㎡/min と減少している。
  - ② 同じ揚程 12mで、【D】はサイフォン配管の効果により水中ポンプで起動して 4.89 ㎡/min と公表値【B】3.0 ㎡/min を 1.63 倍上回っている。
- ③ 同じく【E】では起動時に「クーキオス・ボール」を 使用して起動した場合も 4.85 ㎡/min と公表値 3.0 ㎡/min の 1.62 倍の送水量である。
- ④ その後、揚程が 12mを超えて大きくなると【C】の 水中ポンプ配管の場合は水中ポンプの公表値【B】 以下に送水量が減少してくる。
- ⑤ サイフォン配管で起動時に「クーキオス・ボール」 使用した起動方法【E】では、揚程 12mを超えると、 各揚程で水中ポンプ配管の実測値【C】と水中ポンプのみの起動の送水量【D】を大きく上回った送水量が確認できる。
- ⑥ 数値が揃っている揚程 16mで解析すると、【D】のサイフォン配管で水中ポンプのみの起動による場合、ホース延長が 280mと長いことも一因しているかもしれないが 0.42 ㎡/min と公表値よりかなり少ない送水量を確認した。
- ⑦ 同じ揚程 16mでも、「クーキオス・ボール」を使用した【E】の場合は 3.94 ㎡/min である。【D】とは配管条件も同じであるが、違いは水中ポンプ始動時に「クーキオス・ボール」を使用しているか否かであり「クーキオス・ボール」で送水ホース内の残留空気を 100%近く押し出すことが、配管内を満水でサイフォン送水できることにつながる。

この結果により、例えば「天然ダム」や「ため池」で揚 程が 7m以下で、ハイブリッド・サイフォン送水装置 を「クーキオス・ボール」を使用してサイフォン起動を 行った場合、送水作業が進むにつれて水位が低下 すると、サイフォンの限界場程7mを超える高揚程と なる。その場合、電源をONにして水中ポンプを稼働 し【E】の水中ポンプアシスト送水工法に切り替える こととなる。水中ポンプを稼働すると、これに掛かる 燃料消費量は【B】、【C】、【D】と同じであるが【E】の 場合「クーキオス・ボール」を使用して起動したこと で水中ポンプ1台で揚程 16mの場合で水中ポンプ 3.0 台~9.4 台分の送水量が確認できた。「燃料消費 の軽減」、「大容量送水」、「高揚程」を達成すること ができるサイフォン送水装置及び工法となったこれ らサイフォン送水の新技術は特許並びに特許申請 中である。

表-1:水中ポンプとハイブリッド・サイフォンの 送水量確認実験実測値

計測日 平成27年12月8~10日						
揚程	サイフォン	水中7	ポンプ	ハイブリッド・SF		
(m)	Α	В	С	D	Е	
起動方法	起動時に クーキオス ボール使用 実測値 (㎡/min)	水中ポンブ メーカー 公表値 (㎡/min)	水中ポンブ 実測値 (M/min)	サイフォン 配管 起動時に水 中ポンプだ け使用 実測値 (㎡/min)	サイフォン 配管 起動時に クーキオス ボール使用 実測値 (㎡/min)	
配管条件	ホース延長 280m 水頭差 11m		ホース延長 80m 揚程高さが 吐出し口	ホース延長 280m 水頭差 11m	ホース延長 280m 水頭差 11m	
1	-	-	-	-	-	
2	-	-	5.07	5.29	-	
3	5.03	5.2	-	-	-	
4	5.05	5.0	4.55	5.28	-	
5	4.88	4.9	-	-	-	
6	4.94	4.8	4.06	5.25	-	
7	4.25	4.5	-	-	-	
8	-	4.2	3.52	5.30	-	
9	-	4.0	-	-	-	
10	-	3.8	2.90	5.17	-	
11	-	3.5	-	-	-	
12	-	3.0	2.37	4.89	4.85	
13	-	2.6	-	-	-	
14	-	2.2	1.68	1.89	4.39	
15	-	1.7	-	-	-	
16	-	1,2	1,33	0.42	3.94	
17	-	0.5	-	-	-	
18	-	O.O	-	-	-	
19	-	O.O	-	-	-	
20	-	0.0	-	-	2.40	

※サイフォン配管延長 280m、水頭差11m。

### 4.「災害対策用排水ポンプ車」と「ハイブリッド・サイフ オン送水装置」の組み合わせ工法について

国土交通省中部技術事務所所有の災害対策用排水 ポンプ車に搭載してある水中ポンプを使用してサイフ オン送水実験を行った。前述した 3.5 の実証実験地 (奈良県十津川村栗平地区天然ダム)での配管として 延長 280m、水頭差 11mを復元して行った。汎用の Ф200 mm水中ポンプの送水量 4.0 m²/min と比較しても排水ポンプ車の水中ポンプは 7.5 m²/min と送水量も圧倒的に大きくサイフォン送水ホース内へ注水する速度も時間も速やかに実施できた。サイフォン起動後の送水量については、概ね前述した 3.5、3.6(表 -1)の実験結果に近似している。

同じく排水ポンプ車が天然ダムの上流に進入できない場合を想定して、ダム下流部に配車する想定で「ハイ逆サイフォン」の実験にも成功し、「災害用排水ポンプ車」と「ハイブリッド・サイフォン送水装置」の組み合わせも、本来の「ハイブリッド・サイフォン送水装置」の機能が十分に発揮できることが確認できた。

### 5. 「水中ポンプ」と「サイフォン」の「燃料消費量」と 「温室効果ガス排出量」比較について

(表-2)に示すように、サイフォン作用の場合、限界 揚程 7mまでは殆んど燃料消費を伴わない。従来の 水中ポンプの稼働に掛かる燃料消費量を「10,000」と すると、サイフォン作用で稼働する場合は、わずか 「7」の比率となり燃料消費量が「10,000:7」に軽減す るメリットがある。

### 6. 老朽化した「防災重点ため池」の「事前放流」・「低水位管理」にもハイブリッド・サイフォンを活用。

「農林水産省は6月11日、自然災害で人的被害が生じる恐れがある「防災重点ため池」を新たな基準で再選定した結果、5月末時点で63,722ヵ所が対象となったと発表した。これまでの約11,000ヵ所から大幅に拡大し、農業用ため池の総数(166,638ヵ所)の4割弱を占めた。決壊を防ぐ補強や緊急連絡体制の整備といった対策を優先的に進める。(2019.6.12付け日本経済新聞より)」とあるように、ため池の防災意識が高まってきた。

「ため池を改修したいが、取水施設が老朽化しているので、溜まっている水を放流できない。」、「湛水し



図-8:「災害対策用送水ポンプ車」と「ハイブリッド・ サイフォン」の組み合わせ実験状況

### 表-2 水中ポンプとサイフォンの 燃料消費量と温室効果ガス排出量の比較表

	口径	= Φ150mm、各1台、2	4時間稼動として
横	<b>養種</b>	水中ポンプ	ハイブリッド・S
	消費量	120%/ 🖯	0. 083ℓ∕⊟
軽油	1ヶ月	3,600	2.5
沿着量	6ヶ月	21,600 &	15.0 &
量	12ヶ月	43,200	30.0
	1ヶ月	450,000	311
金額	6ヶ月	<b>2,700,000</b> 🖰	1,875 円
a.c.	12ヶ月	5,400,000	3,750
	排出量	2.644kg-co <sub>2</sub> /&	2.644kg-co <sub>2</sub> /&
二酸化炭	1ヶ月	9.500 ton	0.007 ton
素排 出量	6ヶ月	57.100 換算	0.042
	12ヶ月	114.200 <sup>換昇</sup>	0.084
H	- 東	10 000	7

- ○軽油単価を 125 円/以で計算。
- 〇ホース内に溜まった空気を押し出すため、1日 1 分間 ポンプ送水するとして計算。
- 〇水頭差が 4m以上確保できれば、流速により空気を押し 出すため毎日1分間のポンプ送水は不要。

ている水を抜くためには水中ポンプや発電機が必要だが搬入する道がない。」、「搬入できても膨大な燃料消費を覚悟しなければならない。」などの課題に対して「ハイブリッド・サイフォン送水装置」を検討のもと、実際に三重県と京都府のため池へΦ100 mmハイブリッド・サイフォンを人力で搬入して(図-9)・(図-10)、大幅なコスト縮減と、環境負荷の軽減の成果を上げることができた。

災害の発生を防ぐ「事前放流」や「低水位管理」や、災害復旧作業には、異常気象の一因とされる温室効果ガスの排出を抑えて放流できる「ハイブリッド・サイフォン送水装置」の普及に取り組んで行きたい。



図-9:「Ф100 mmハイブリッド・サイフォン」の流れ 24時間で25mプール8面分以上を放流。



図-10: 広大なため池でも、Ф100 mmサイフォン1台で 電気や燃料無しで放流をし続ける。