(15) 下水処理施設における実用的な点群データ取得方法の提案

金澤　純太郎[1]・本澤　正隆[1]・奥泉　佳之[1]・山本　哲雄[1]・富樫　俊文[2]

[1]非会員　日本下水道事業団　ＤＸ戦略部（〒113-0034 東京都文京区湯島 2-31-27）
E-mail: kanazawa@jswa.go.jp

[2]正会員　日本下水道事業団　ＤＸ戦略部（〒113-0034 東京都文京区湯島 2-31-27）

下水道事業のライフサイクル（企画・計画，設計，建設，管理等）は社会インフラとして半永久的であり，多くの関係者が関与している．事業実施において，事業主体および発注者はライフサイクル全体の最適化に有効なフロントローディングに取り組みたいものの，ライフサイクル全体における役割分担や費用負担のあり方を見直すことが求められ，現状から踏み出せていない状況にある．一方，フロントローディングの一例として，現況を正確に把握し後工程に確実に情報を引き渡す実用的な手段として，点群データの活用がある．本稿では，下水処理施設である終末処理場における現況把握のために点群データを取得し，方法，工数，誤差等について整理した．その結果を基に，ライフサイクル全体を見据えた点群データ取得方法を提案する．

Key Words: *BIM/CIM, point cloud, laser scanner, wastewater treatment plant*

1.　はじめに

令和 3 年度末の全国の汚水処理人口普及率は 92.6%（うち，下水道は 80.6%）[1]となっており，下水処理施設の整備事業の大半は再構築事業となっている．

再構築事業には，既存図面等の入手が必要不可欠だが，既存図面等がない，あっても最新版へ更新されていない等により，現況調査に時間と手間を要することがある．現況調査が不十分な場合，施工段階で思わぬ手戻りや設計変更が生じ，コスト増や工期延長を招く可能性があり，現況調査を効率よく確実に実施することが求められる．

日本下水道事業団（以下JS）は，これまで据置型３次元レーザースキャナによる点群計測を実施し，その有効性は確認できたものの，下水処理施設は設備や配管・配線類が錯綜しており，死角を減らすために計測箇所が増え，計測時間が長くなる課題があった．抜け漏れなく効率的に計測するためには，高度な計測スキルや点群処理スキル，それらスキルを保持する人材の確保や育成等が必要であり，本格的な実務への適用に向けて，それらへの対応が求められることが分かってきた．

そこで，前述の特別なスキルを必要とせず，また計測時間の短縮が見込まれる，移動式ウェアラブル型３次元レーザースキャナによる点群計測を令和 4 年度より開始した．本稿では，実際の終末処理場を対象に計測した結果をもとに，実用的な点群データ取得方法を提案するものである．

2.　下水道事業について

(1)　関係者

下水道事業における，企画から管理までのフェーズに関与する関係者(JS 委託の場合の一例)を**図-1** に示す．

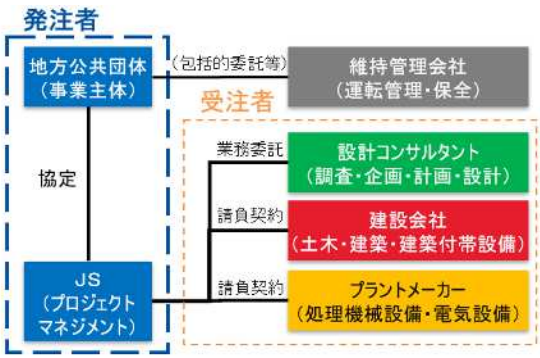


図-1　下水道事業の関係者

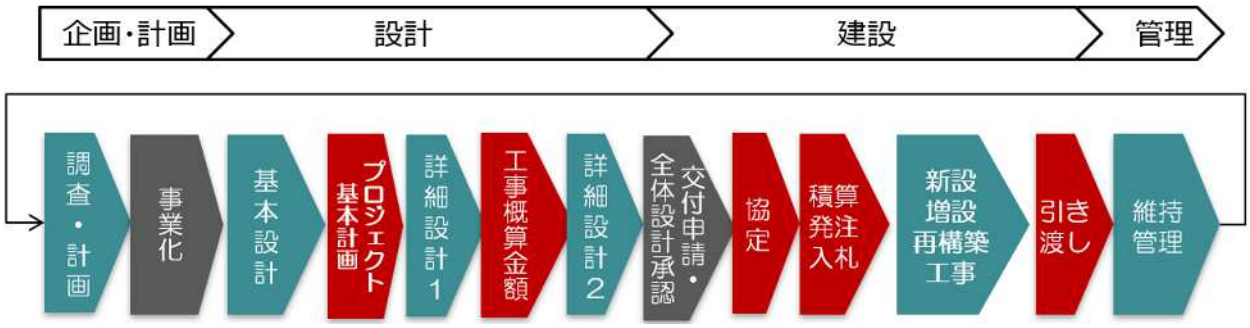


図-2 下水道事業のライフサイクル

(2) ライフサイクル

下水道事業のライフサイクルを**図-2** に示す．特に，再構築事業は，企画・計画フェーズから管理フェーズまで 5～15 年程度となることが一般的であり，関係者もフェーズごとに変わるので，フェーズ間の情報伝達を抜け漏れなく確実かつ効率的に行うことが関係者間の課題となっている．

3. 終末処理場の概要

計測した終末処理場の概要を**表-1** に示す．

表-1 概要

施設名	H 浄化センター（終末処理場）
敷地面積	6.99 ha
処理能力	日最大 14,600 m3/日
水処理方式	ステップ流入式多段硝化脱窒法
汚泥処理方式	濃縮－脱水
供用開始	昭和 61 年 4 月
主な施設	沈砂池ポンプ棟　管理本館 機械濃縮棟　汚泥処理棟 水処理施設

4. 点群計測

(1) 計測手法の概要

今回の計測には，計測者の体に装着して歩きながら計測を行う移動式３次元レーザースキャナである，Navvis 社製 VLX を用いた．本体に実装された 2 台の LiDAR(Light Detection And Ranging)により，周囲の特徴形状をもとに自己位置推定(SLAM: Simultaneous Localization and Mapping)を行い，点群データ等を取得可能である．

(2) 計測箇所・範囲

汚泥処理棟(B1F～2F)及び水処理施設の屋内外について，計測を実施した（**図-3**）．

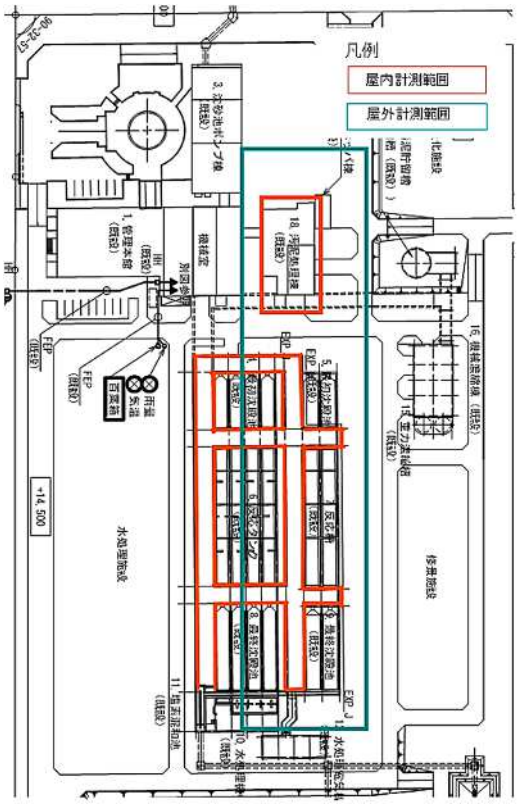


図-3 点群計測箇所

(3) コントロールポイントとループクロージャ

計測誤差の蓄積を最小限とするため，今回はコントロールポイント（以下 CP）とループクロージャを取り入れた．CP とは，点群データを制御する点であり，直線的形状の連続等により特徴形状が不足するために生じる計測誤差の蓄積が予測される場合に用いるものであり，堅固な場所に設置し，最終的には座標値を与える(**図-4**).



図-4 CP(コントロールポイント)

一方，ループクロージャとは，計測開始点と終了点を同じ位置に持ってくることで，始点・終点の位置ずれ情報をもとに蓄積誤差を最適化することであり，計測時の基本的な操作とした(**図-5**).



図-5 ループクロージャ

(4) 計測結果

計測結果を**図-6**（屋外），**図-7**（屋内），**表-2** に示す. **図-6, 7** の黄色線はレーザースキャナの移動軌跡，赤点はパノラマ写真撮影点，青着色部が計測範囲である．なお，A，B は精度検証箇所である.

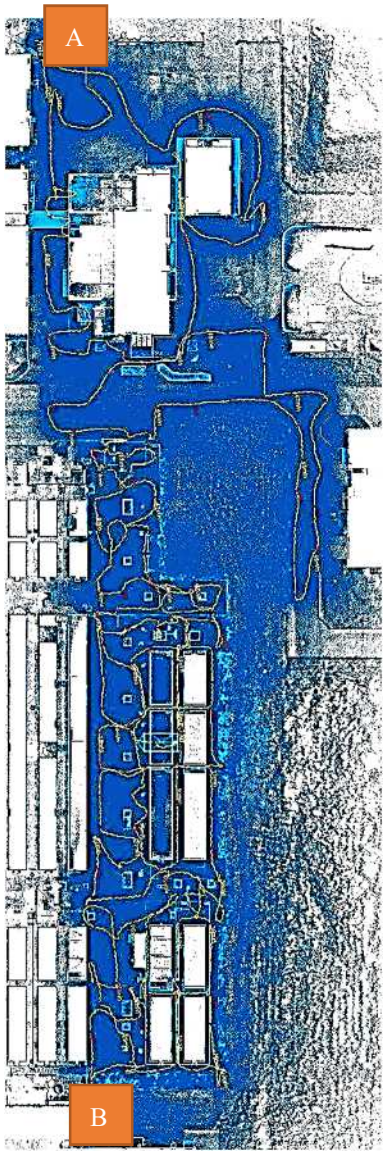


図-6 屋外計測結果(水処理施設周り)

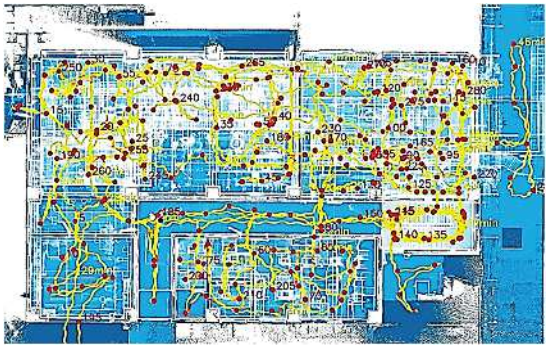


図-7 屋内計測結果(汚泥処理棟 B1F～2F)

表-2 計測結果の概要

項目		屋外	屋内
計測面積(m2)		5,590	1,105
パノラマ写真数(枚)		205	290
計測時間(秒)		3,166	2,938
計測速度(m2/秒)		1.77	0.38
データ処理時間(秒)	CP 有	35,506	―
	CP 無	35,083	42,174

屋内（汚泥処理棟）を全体 1 回計測ではなく，室ごとに計測した結果を**表-3** に示す.

表-3 計測結果の概要(汚泥処理棟室ごと)

室名	計測面積 (m2)	パノラマ写真数 (枚)	データ処理時間 (秒)
廊下(B1F～2F)	150	74	14,581
脱水機室	195	43	11,744
換気機械室	62	24	4,289
電気室	100	51	8,282
脱臭機室	185	36	10,607
作業員控室	52	13	3,025
便所	6	5	1,353
薬品庫	70	19	4,082
ポンプ室	285	79	19,320

5. 考察

(1) パノラマ写真数とデータ処理時間

表 2 から，屋外計測の CP 有無によるデータ処理時間の差はほぼない一方で，計測面積が約 1/5 の屋内計測のデータ処理時間が，屋外計測より長くなっている．これは，設置している機器や配管弁類の確認を伴うために屋内のパノラマ写真撮影数が増える傾向にあり，データ処理時間に影響を与えていると推測された．そこで，パノラマ写真数(x)とデータ処理時間(y)についての単回帰分析を実施したところ，$y = 218.0x + 254.4$，決定係数 $R2 = 0.90$，p 値< 0.01 との結果が得られた.

(2) CP 有無による精度の違い

屋外計測での CP 有無による誤差は，水平方向で 0.1%以下（最大 106 mm/躯体長 185 m）であった（**図-8**）．**図-8** の赤線は CP 有，緑線は CP 無の計測点群であり，赤枠の数値はそれらの差である．これらの差は，縮尺 1/200 程度の図面により合意形成や意思決定を行う，企画・計画・設計（初期段階）のフェーズではほとんど影響はないものと考えられる．

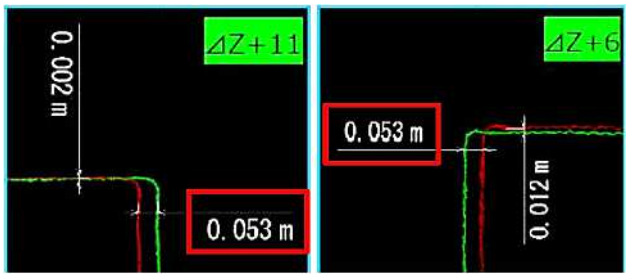


図-8 CP 有無による誤差(左図 A 点, 右図 B 点)

(3) 工数

外業では，屋内の計測速度は屋外の約 20%となっている．一方，屋外計測は屋内に比べて計測範囲は広くなり，CP 設置および測量も必要となる．今回の計測では，屋内，屋外の計測時間がほぼ等しくなったが，他の案件ではそれぞれで工数を見積もる必要がある．今回，CP 測量は 2 人/日，点群計測は 3 人/日であり，CP 測量の有無が計測全体の工数見積に影響することに留意が必要である．

内業では，屋内計測にてデータ処理時間が 2 時間程度多く掛かっていたものの，データ投入や処理結果確認等以外の作業は自動化されており，実工数としてはどちらも 0.5 人/回程度であった．これら概略工数を**表-4** に示す．

表-4 概略工数

作業項目	工数
点群計測	3 人/日
測量	2 人/日
データ処理*	0.5 人/回

* データ投入や処理結果の確認などに要する工数．なお，PC 上での演算時間は除く．

6. 点群データ取得方法の提案

点群計測により作成した点群モデルは，既存の図面よりも最新の状況を反映しており，事業の初期段階から活用することで，確実な事業実施が可能となる．一方，事業初期の段階ではできるだけ費用を抑えたいとの要求もある．また，実務的には，初期段階ではそれほど精度が要求されないことも考慮し，各フェーズでの点群データ取得方法として，**表-5**，**表-6** を提案する．なお，○は実施，△は状況により実施，－は実施しない，を表す．

表-5 点群データ取得方法の例(屋外)

フェーズ	作業項目	実施	計測対象
企画・計画	点群計測*1	○	敷地全体
	測量	－	
	データ処理	○	
設計	点群計測*1	△	設計範囲
	測量	△	
	データ処理	△	
建設	点群計測*1	△	工事範囲
	測量	○	
	データ処理	○	

*1 CP あり．CP 位置は，現地にてマーキング等で確保し，デジカメ写真等で記録．後日，座標値を測量できるように鋲等で堅固にすることも考慮.

表-6 点群データ取得方法の例(屋内)

フェーズ	作業項目	実施	計測対象
企画・計画	点群計測*2	○	敷地全体
	測量	－	
	データ処理	○	
設計	点群計測*2	△	設計範囲
	測量	－	
	データ処理	△	
建設	点群計測*2	△	工事範囲
	測量	－	
	データ処理	△	

*2 CP なし．ただし，ループクロージャは必須.

7. おわりに

下水道 BIM/CIM では，躯体構造物だけでなく，設備（機械・電気）も対象となるため，現況把握が重要である．また，現況を的確に再現した点群モデルは，建設予定の３次元モデルと重ね合わせることにより，施設や設備の配置検討，施工や維持管理の空間調整など，多くの活用シーンが想定され，利用価値が高いものである．

点群計測を確実かつ効率的に行うことが重要といえる．

謝辞：今回点群計測を実施していただいた大浦工測株式会社殿に謝意を表します.

参考文献

1) 国土交通省：令和３年度末の汚水処理人口普及状況について，
<https://www.mlit.go.jp/report/press/mizuko-kudo13_hh_000502.html>，(入手 2023.5.9)