小規模土工における施工実態とオートメーション化の検討

令和８年 11 月

国土交通省　関東地方整備局

公開日：令和 8 年 11 月 18 日

はじめに

国土交通省では、建設現場の生産性向上と省人化を一層進めるため、i-Construction 2.0 を策定し、施工、データ連携及び施工管理のオートメーション化に取り組んでいる。今後、建設現場全体の生産性向上を図るためには、こうした取組をさまざまな規模や条件の現場へ展開していくことが重要である。

特に、小規模土工が行われる建設現場では、施工範囲が限られ、作業者と建設機械が近接するほか、現場ごとに施工条件が異なるため、作業の進捗や周辺の状況に応じた対応が必要となる。このような現場では、オペレータや作業指示者が周辺の状況を確認しながら、施工手順や建設機械の配置、移動及び操作方法をその都度判断している。このため、小規模土工におけるオートメーション化を検討するには、まず、実際の施工状況や作業時に行われている判断を把握することが重要である。

本検討では、小規模土工の現地調査を行い、施工の実態と現場で行われている主な判断を整理した。これを踏まえ、既存技術の適用可能性を検討し、オートメーション化に必要と考えられる機能と今後の技術開発の方向性を整理した。

本報告書が、小規模土工における施工の省人化及び安全性の向上に向けた技術の検討や、今後の技術開発を進める上での基礎資料として活用されることを期待する。

目　次

1. 検討の背景 …… 1
1.1. i-Construction2.0 による建設現場のオートメーション化 …… 1
1.2. 自動施工技術の現状 …… 2
2. 検討の目的と進め方 …… 5
2.1. 検討の目的 …… 5
2.2. 検討の進め方 …… 5
3. 現地調査の概要 …… 6
3.1. 調査の目的 …… 6
3.2. 調査対象工事 …… 6
3.3. 調査方法 …… 7
3.4. 調査項目 …… 8
4. 現地調査結果 …… 9
4.1. 調査対象工事の概要 …… 9
4.1.1. 水道管敷設工事 …… 9
4.1.2. 電線共同溝工事 …… 13
4.1.3. 新設道路の側溝設置工事 …… 20
4.2. 現地調査の記録 …… 24
4.3. 施工時に行われている主な判断 …… 28
4.3.1. 水道管敷設工事での主な判断 …… 28
4.3.2. 電線共同溝工事での主な判断 …… 29
4.3.3. 新設道路の側溝設置工事での主な判断 …… 31
4.4. 安全管理の状況 …… 32
4.4.1. 水道管敷設工事での安全管理 …… 32
4.4.2. 電線共同溝工事での安全管理 …… 32
4.4.3. 新設道路の側溝設置工事での安全管理 …… 33
5. 現地調査結果の総括 …… 34
5.1. 各現場に共通する施工の特徴 …… 34
5.2. 現場条件による施工方法の相違 …… 35
5.3. 施工時に行われている主な判断 …… 36
5.4. オートメーション化の検討に向けた整理 …… 37
6. 小規模現場におけるオートメーション化の考え方 …… 38
6.1. オートメーション化の検討対象範囲 …… 38
6.2. 施工プロセスの整理 …… 38
6.3. オートメーション化の段階的な進展 …… 38
6.4. 小規模現場への適用に当たっての基本的な考え方 …… 39
7. 工事別のオートメーション化技術の適用可能性 …… 40
7.1. 水道管敷設工事 …… 40
7.1.1. 舗装版の切断・撤去 …… 40

7.1.2. 掘削・積込み……44
7.1.3. 水道管の運搬・吊込み・接続……47
7.1.4. 埋戻し・締固め……49
7.2. 電線共同溝工事……51
7.2.1. 舗装版の破砕・撤去……51
7.2.2. 路盤の掘削・積込み……53
7.2.3. 土留め支保工の設置……56
7.2.4. 電線共同溝さや管の運搬・敷設・接続……58
7.2.5. 管周りの埋戻し・水締め……60
7.2.6. 埋戻し・路盤施工……63
7.2.7. 舗装復旧（基層・表層）……65
7.3. 新設道路の側溝設置工事……67
7.3.1. 床掘り・積込み……67
7.3.2. 丁張の設置……69
7.3.3. 基礎砕石の投入・敷均し・締固め……71
7.3.4. 基礎コンクリート用型枠の設置……73
8. 作業別のオートメーション化技術の適用可能性……75
8.1. コンクリートカッタによる舗装版切断……76
8.2. バックホウによる掘削・積込み……77
8.3. バックホウによる埋戻し・敷均し……79
8.4. ダンプトラックへの掘削土・アスファルト殻の積込み・運搬……81
8.5. ダンプトラックによる埋戻し材の運搬……82
8.6. ダンプトラックによる土砂受入れ地等での積下ろし……83
8.7. 締固め……84
8.8. 埋設配管材の接続……85
8.9. 掘削箇所への軽量鋼矢板の設置・撤去……86
8.10. 埋戻し箇所への水締め……87
8.11. 現場打コンクリート用型枠の設置……88
8.12. ユースケース整理のまとめ……88
9. オートメーション化に求められる機能……90
9.1. 認識機能……90
9.2. 制御機能……90
9.3. 安全機能……91
9.4. 協調機能……91
10. 小規模現場への適用・普及に向けた課題……92
10.1. 導入効果の早期発現……92
10.2. 狭い施工範囲への対応……92
10.3. 工程切替えと多様な作業への対応……92
10.4. 現場全体の安全管理……93
10.5. 人の判断・指示と建設機械との協調……93
11. 小規模現場に向けた技術開発の方向性……94
11.1. 施工条件・ニーズの共有……94

11.2. 既存技術の活用……94
11.3. セミオート機能の追加……94
11.4. 建設機械の多機能化……95
11.5. 技術開発を支える共通基盤……95
11.6. 小規模現場への普及……95
12. まとめ……96

1. 検討の背景

1.1. i-Construction2.0 による建設現場のオートメーション化

我が国の生産年齢人口は、2040 年度には対 2020 年度比で約 2 割減少すると予測されている。また、毎年のように日本各地で自然災害が発生し、被害が激甚化・頻発化している。このような環境下でも、将来にわたって社会資本の整備・維持管理を持続し、国民生活に不可欠なサービスを提供する社会的使命を果たし続けていくためには、施工能力の確保が必要である。

国土交通省では、建設現場の生産性を 2025 年度までに 2 割向上させることを目指し、建設生産プロセス全体の抜本的な生産性向上に取り組む i-Construction を推進してきた。ICT 施工による作業時間の短縮効果をメルクマールとした直轄事業における生産性向上比率は、対 2015 年度比で 21%となっている。一方、人口減少下において、将来にわたって持続的にインフラ整備・維持管理を実施するためには、i-Construction の取組を更に加速し、これまでの「ICT 等の活用」から「自動化」にしていくことが必要である。

このような背景のもと、「i-Construction 2.0」では、これまでの取組を深化し、更なる抜本的な建設現場の省人化対策として、「施工のオートメーション化」、「データ連携のオートメーション化」及び「施工管理のオートメーション化」に取り組み、建設現場のオートメーション化の実現を目指している。これにより、2040 年度までに建設現場において少なくとも 3 割の省人化、すなわち 1.5 倍の生産性向上を目指している[1)]。

このうち、施工のオートメーション化は、ICT 施工で蓄積されたデジタル技術や施工データの活用を基盤として、人が行っている建設機械の操作や施工管理の一部を自動化する取組である。自動施工や遠隔施工に加え、現場データをリアルタイムに活用する ICT 施工 StageⅡや、省人化建設機械であるチルトローテータ等の活用により、施工の効率化、省人化及び安全性の向上を図ることとしている[2)]。

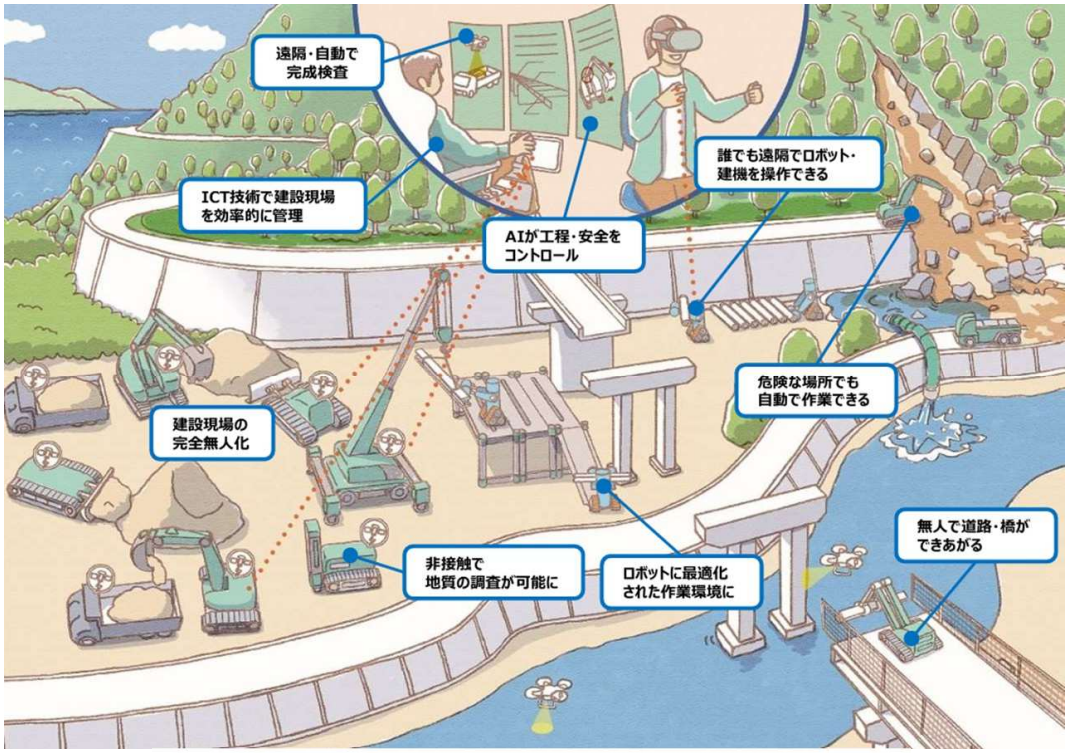


図 1-1 i-Construction2.0 で実現を目指す社会（イメージ）[1)]

1.2. 自動施工技術の現状

建設機械による自動施工技術は、ダム工事や大規模造成工事など、広い施工空間で一定の作業を繰り返す現場を中心に、開発及び導入が進められている。

具体的には、2020 年度から、成瀬ダム堤体打設工事において、自動化施工システム「A⁴CSEL®」を用いて、ダンプトラックによる材料運搬、ブルドーザによる敷均し及び振動ローラによる締固めが自動化されている[3)]。2022 年度からは、南摩ダム本体建設工事において、協調運転制御システム「T-iCraft®」を用いて、複数のブルドーザと振動ローラを協調制御し、堤体盛立てにおける敷均し及び転圧が自動化されている[4)]。2023 年度には、新丸山ダム本体建設工事において、統合施工管理システムを用いて、バックホウによる掘削・積込み、ダンプトラックによる運搬、ブルドーザによる敷均し及び振動ローラによる締固めを連携させた自動施工の実証が行われた[5)]。2024 年度からは、愛知県岡崎市内の工業団地造成事業において、自動化施工システム「A⁴CSEL®」を用いて、2 台の自動振動ローラを連携させた盛土の転圧が行われている[6)]。2025 年度には、茨城県水戸市内の築堤工事において、自律施工型ブルドーザ「Smart Dozer」を用いて、河川敷の敷均しが行われている[7)]。また、バックホウによる掘削・積込みの自動化も進められている。2025 年度には、安藤ハザマとコベルコ建機が開発した自動運転ショベルを用いて、実工事における掘削土砂のダンプトラックへの積込みが行われた[8)]。また、ARAV 株式会社からは、自走式機械等への土砂投入を自動化する自動バックホウ「ヨイショ投入くん」の提供が開始されている[9)]。

これらの自動施工技術は、施工手順や建設機械の動作をあらかじめ設定し、人の立入りを制限した施工区域内で複数の機械を連携させることにより、省人化及び生産性の向上を図るものである。自動施工を行う区域は、自動建設機械が施工し、原則として人が立ち入らない「無人エリア」、その周囲に設ける「立入制限エリア」及び有人建設機械が施工する「有人エリア」に区分される（図 1-2）[10)]。このように、人と自動建設機械の作業区域を分離することで接触リスクを低減するとともに、設定した施工条件に基づいて機械を稼働させることで、施工品質の安定にも寄与している。このような自動施工技術は、施工区域を広く確保でき、人と建設機械の作業区域を分離しやすい大規模現場を中心に開発・適用されている。

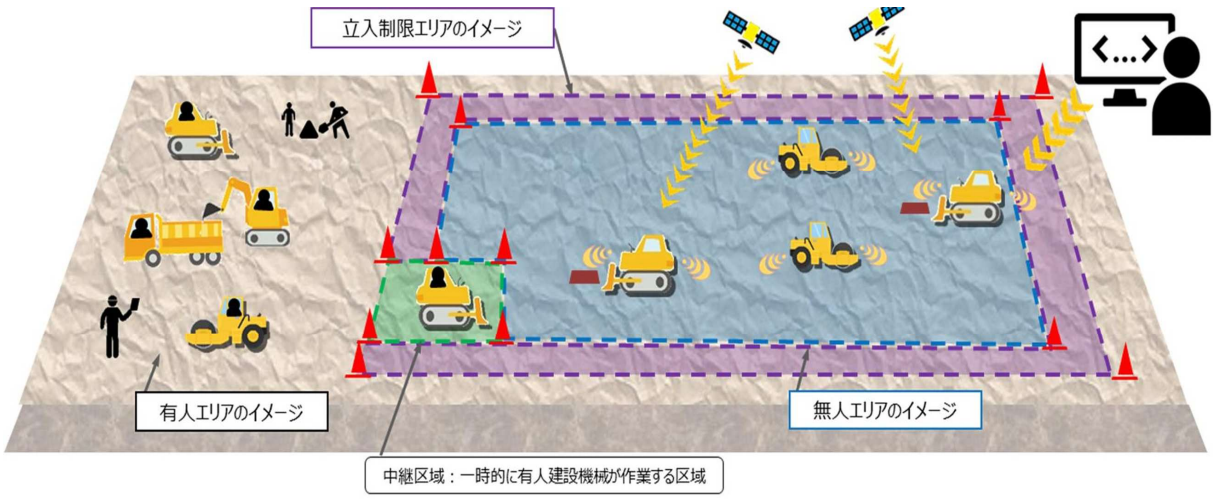
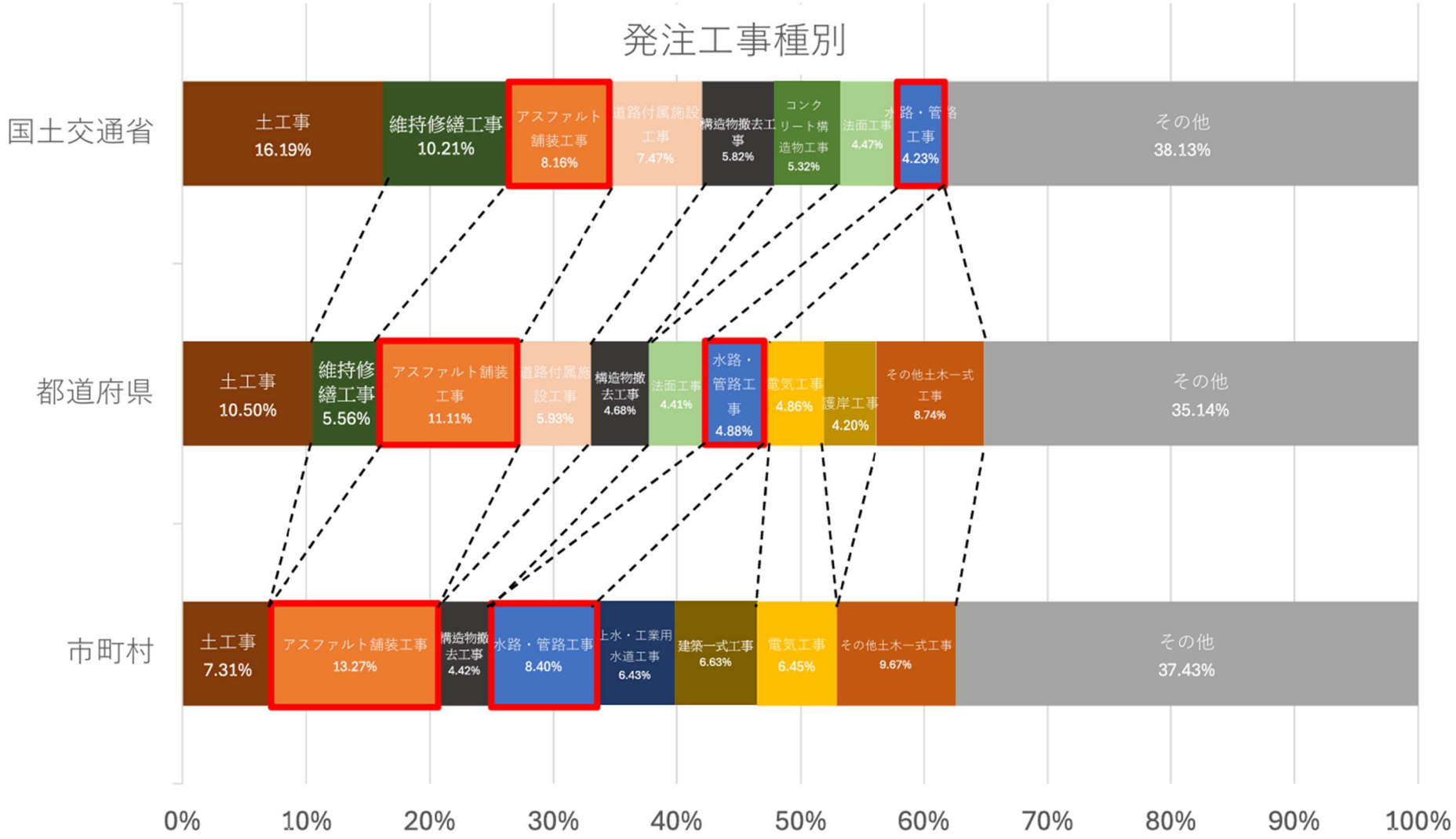


図 1-2 自動施工におけるエリア設定のイメージ[10)]

一方、小規模現場は、施工環境や作業内容が多様であり、一施工箇所当たりの施工量も少ないことから、大規模工事向けに開発された自動施工技術をそのまま適用することは難しい。また、地方公共団体が発注する工事には、道路、上下水道等の地域に密着した工事が多く、こうした工事には小規模なものも多い（図 1-3）[11)]。このため、建設現場全体の省人化を実現するには、大規模現場だけでなく、小規模現場の施工条件や作業特性に応じたオートメーション化技術の開発・導入が不可欠である。

なお、自動施工技術の開発や実用化は進められているものの、小規模現場を対象とした適用事例については、公表資料を確認した範囲では情報を得られなかった。



※本資料は、コリンズデータより令和 6 年度開始工事を抽出し、集計・整理したものである。

図 1-3 地方公共団体発注工事の工事種別[11)]

2. 検討の目的と進め方

2.1. 検討の目的

本検討は、小規模現場におけるオートメーション化技術の適用可能性を明らかにすることを目的とする。

ここで、「小規模現場」は、国土交通省の「3 次元計測技術を用いた出来形管理の監督・検査要領（土工（1,000 m^3未満）・床掘工・小規模土工・法面整形工編）（案）」[1 2)]を参考に、平均施工幅 2 m 未満の床掘工又は 100 m^3未満の土工を行う施工箇所と位置付ける。

このため、小規模現場の現地調査に基づいて施工実態、作業工程及び施工時に行われている主な判断を分析し、技術の適用場面と必要となる機能を施工場面ごとにユースケースとして整理するとともに、適用・普及に向けた課題及び今後の技術開発の方向性を検討する。

2.2. 検討の進め方

本検討では、図 2-1 に示すとおり、現地調査、作業工程の分析、既存技術の検討、ユースケースの整理並びに適用・普及に向けた課題及び技術開発の方向性の考察を行った。

まず、小規模土工が行われている現場を対象に現地調査を実施し、現場条件、施工体制、使用する建設機械、施工手順、作業者及び建設機械の配置と動き、安全管理の状況並びに施工時に行われている主な判断を把握した。

次に、現地調査で把握した施工工程を作業単位に細分化し、各工程の作業内容、作業者の関与、作業間の連携並びにオペレータや作業指示者が行っている主な判断を整理した。その上で、各工程について、既存の自動施工、遠隔施工及び施工支援技術の適用可能性を検討した。

さらに、技術の適用場面とオートメーション化に必要な機能をユースケースとして整理し、既存技術で対応できる範囲を明らかにするとともに、小規模現場への適用・普及に向けた課題及び今後の技術開発の方向性を考察した。

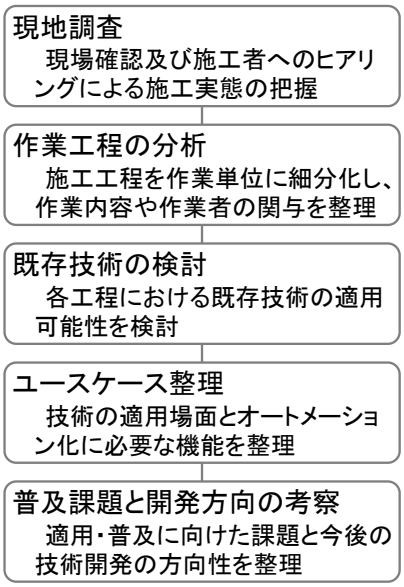


図 2-1 調査及び検討の流れ

3. 現地調査の概要

3.1. 調査の目的

小規模現場では、施工範囲が限られ、作業者と建設機械が近接するほか、作業の進捗や周辺の状況に応じて、施工手順、建設機械の配置、移動及び操作方法をその都度判断する必要がある。このため、現地調査は、小規模現場における施工の実態と、施工時にオペレータや作業指示者が行っている主な判断を把握することを目的として実施した。

なお、現地調査で確認した作業をもとに、オートメーション化技術の適用可能性を検討するものであり、個別工事の施工方法、施工体制又は関係機関の取組を評価するものではない。

3.2. 調査対象工事

現地調査は、小規模現場における施工の実態を幅広く把握するため、工事の種類、現場条件及び施工内容が異なる水道管敷設工事、電線共同溝工事及び新設道路の側溝設置工事の 3 工事を対象として実施した。いずれも、限られた施工範囲において作業者と建設機械が近接し、施工の進捗や周辺の状況に応じて、作業者及び建設機械の配置や作業内容が変化する工事である。

表 3-1 調査対象とする小規模現場の概要

項目	水道管敷設工事	電線共同溝工事	側溝設置工事
工事場所	供用中の市道	供用中の国道	施工中の国道
工事種別	管路工事	電線共同溝工事	新設道路工事（側溝設置）
調査日	令和7年9月	令和7年10月	令和7年10月
時間帯	昼間工事	夜間工事	昼間工事
施工段階	管敷設に伴う舗装版撤去から埋戻し・転圧	電線共同溝の掘削から管路設置・舗装復旧	側溝設置前の床掘り・基礎施工・型枠設置
作業工程	舗装版破砕、掘削、管敷設、埋戻し、転圧	舗装版破砕、掘削、矢板設置、管路設置、埋戻し、水締め、転圧、舗装復旧、路面標示復旧	床掘り、砕石敷均し、締固め、型枠設置
施工規模	施工幅　600mm程度 掘削深さ　1,300mm程度	施工幅　1,200mm程度 掘削深さ　1,600mm程度	施工幅　1,000mm程度 掘削深さ　500mm程度
交通規制 第三者通行	・市道を片側交互通行に規制。 ・交通量は時間5～10台程度	・片側2車線の直轄国道の路肩側1車線を規制 ・隣接車線は車両が常時通行 ・歩道は歩行者・自転車が断続的に通行	・交通規制を伴わない
施工空間 の制約条件	・施工空間の制約は小さい 施工中にバックホウの位置変更は可能 ・民地側に市の施設の駐車場があり、資機材の仮置き場、関係者駐車場として利用可能	・施工空間の制約は大きい。 施工中にバックホウの位置変更は不可 ・交通規制帯内のみでの施工 ・安全確保のため、歩行者・自転車通行時には、バックホウ旋回作業を行わない。	・施工空間の制約条件はない。 第三者から離れた新設道路での施工のため施工中のバックホウの位置変更は自由
使用機械	・バックホウ　2D-MG・クレーン付　1台 ・バックホウ　チルトローテータ　1台 ・振動コンパクタ　1台 ・ダンプトラック　複数台	・バックホウ　クレーン付　1台 ・コンクリートブレーカ　1台 ・軽量鋼矢板　1式 ・小型振動ローラ　1台 ・振動コンパクタ　1台 ・タンパ　2台 ・ダンプトラック　複数台	・バックホウ　クレーン付　2台 ・タンパ　1台 ・ダンプトラック　複数台
施工上の特徴	・現況アスファルト版厚は5cmであり破砕が容易	・現況アスファルト版厚は40cmあり破砕が困難 ・夜間に路肩側1車線を規制し、翌朝までに規制帯を撤去・開放するため時間管理が重要	・側溝の天端が最終的な施工高さとなるため、高さ管理が重要
施工状況	 	 	 

水道管敷設工事は、交通量の少ない市道において、片側交互通行による交通規制を行いながら水道管を敷設する工事である。施工箇所に隣接する市の施設の駐車場を資機材の仮置場や工事関係者の駐車場として利用できるため、施工箇所の周辺には比較的余裕のある作業スペースが確保されている。また、施工の進捗に応じてバックホウの位置を変更することが可能である。

電線共同溝工事は、片側 2 車線の国道において、夜間に路肩側の 1 車線を規制し、管路を敷設する工事である。施工中も隣接車線を一般車両が常時通行するとともに、歩道を歩行者や自転車が断続的に通行する。施工空間が交通規制帯内に限られ、施工中にバックホウの位置を変更することが難しいほか、安全確保のため、歩行者や自転車の通行時にはバックホウの旋回作業を一時的に停止するなど、周辺の交通状況に応じた安全管理が必要となる。

側溝設置工事は、交通規制を伴わない新設道路において、側溝を設置するための床掘り、砕石の敷均し、締固め及び型枠設置を行う工事である。第三者の通行から離れた施工箇所であり、施工中にバックホウの位置を変更できるなど、作業スペースには比較的余裕がある。一方、側溝の天端が最終的な施工高さとなるため、既設構造物との接続を踏まえた高さ管理が重要となる。

3.3. 調査方法

現地調査では、各工事の施工状況を目視で確認するとともに、写真及び動画を撮影し、作業工程、使用機械、作業者及び建設機械の配置と動き、作業者間の連携並びに安全管理の状況を記録した。また、施工者への聞き取りにより、施工手順、機械の選定理由、施工上の制約、施工中に行われる主な判断及び作業上の留意点を確認した。

調査後、撮影した写真及び動画並びに聞き取り結果をもとに、各工事の施工工程を作業単位に分け、作業内容、使用機械、作業者の関与及び施工上の特徴を整理した。

3.4. 調査項目

現地調査では、小規模現場における施工の実態と施工時に行われている判断を把握するため、各工事の施工状況に応じて、次の項目を確認・整理した。

(1) 工事及び現場条件

工事内容、施工箇所、施工規模、作業時間帯、交通規制、一般車両や歩行者の通行状況、施工空間の状況及び周辺構造物との位置関係を確認した。

(2) 施工体制

各作業に関与する作業者数、作業者の役割及び作業指示の方法を確認した。

(3) 使用建設機械

使用する建設機械及び機材の種類、規格、台数並びに使用方法を、確認できる範囲で整理した。

(4) 各作業の施工手順

施工工程を作業単位に分け、各工程の作業内容、実施順序及び作業間の関係を確認した。

(5) 作業者及び建設機械の配置

各工程における作業者及び建設機械の配置と動き並びに両者の連携を確認した。

(6) 施工時に行われている主な判断

施工手順、建設機械の配置、移動及び操作方法、掘削や埋戻しの位置・高さ、材料の投入位置、作業の開始・停止並びに施工の進捗に応じた作業内容の変更について、オペレータや作業指示者が行っている主な判断を確認した。

(7) 安全管理の方法

作業者と建設機械との接触防止、一般車両、歩行者及び自転車への対応、交通誘導並びに周辺状況に応じた作業の一時停止等、安全確保のために行われていた主な対応を確認した。

4. 現地調査結果

4.1. 調査対象工事の概要

現地調査を実施した水道管敷設工事、電線共同溝工事及び新設道路の側溝設置工事について、工事概要、施工図面、現場見取り図及び現地調査時の施工状況を示す。

各工事では、施工箇所や施工内容に加え、交通規制、一般車両や歩行者などの通行状況、施工空間の制約及び周辺構造物との位置関係など、施工に影響する主な現場条件を整理した。また、現地調査時に確認した施工工程について、写真を用いて作業内容と施工状況を整理した。

4.1.1. 水道管敷設工事

(1) 現場概要

地方公共団体が発注した水道管敷設替工事の施工箇所を調査した。当該工事では、掘削、水道管の敷設、埋戻し、路盤の施工、舗装表層の復旧及び清掃が順次行われていた。調査対象は、舗装版の破砕から、掘削、水道管の敷設、埋戻し及び転圧までの施工工程とした。調査は、令和 7 年 9 月に実施した。

(2) 施工図面

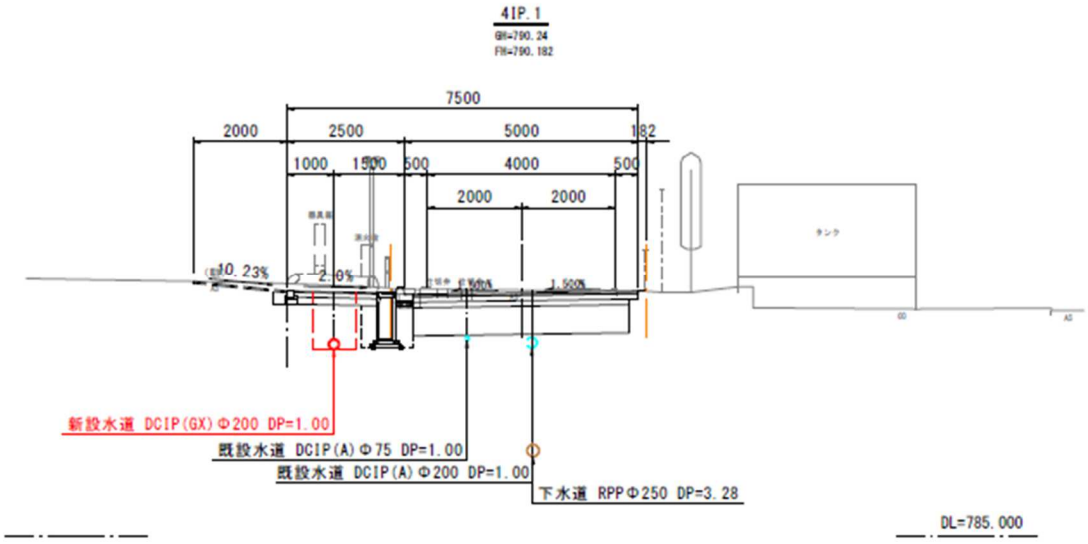


図 4-1　施工図面

（3）現場見取り図

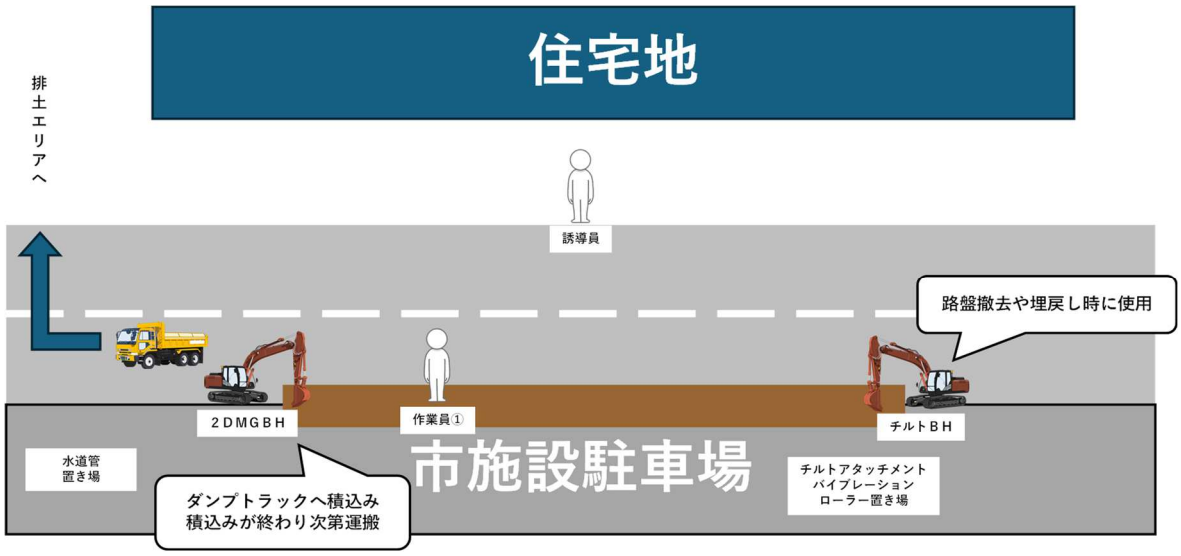


図 4-2　現場見取り図

（4）現場状況



図 4-3　①掘削

表層厚 5cm のため 0.2m^3 級バックホウにて舗装版取壊し、積込み

アスファルト殻、掘削土は後方の 4 t ダンプトラックに排土

掘削幅　W=600mm　施工延長　L=138m



図 4-4　②水道管敷設

クレーン付バックホウを用いて水道管を床掘箇所に設置

管接続を終えるまではバックホウにて水道管を吊っている




図 4-5　③水道管接続箇所の記録

品質担保のため、配管の差込深さの計測




図 4-6　④埋戻し作業

下流側から砂、発生土、砕石の順で 1 層ごとに均していく

埋戻し材料を掘削箇所に投入する際はチルトローテータを使用し投入する




図 4-7　⑤転圧作業

振動コンパクタをチルトローテータのグリッパーにて揚重

1 層ごとに転圧を行う




図 4-8　⑥仮復旧・清掃作業

本作業の仮復旧は表層工を砕石で行っている

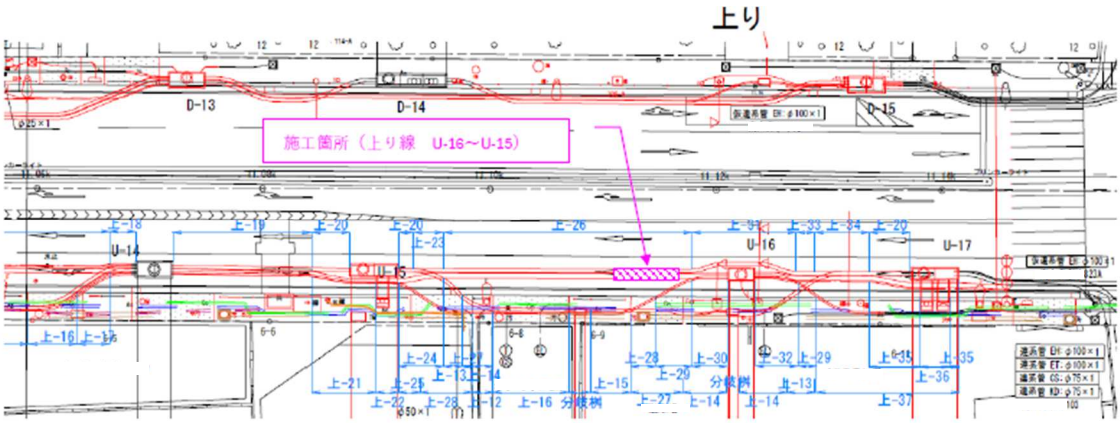
復旧範囲からこぼれた砕石をチルトローテータの清掃アタッチメントにて清掃する

4.1.2. 電線共同溝工事

(1) 現場概要

国が発注した電線共同溝工事の施工箇所を調査した。当該工事では、車道の舗装面を掘削し、電線共同溝の管路を設置した後、埋め戻す工事が行われていた。調査対象は、舗装版の破砕から、掘削、矢板の設置、管路の設置、埋戻し、水締め、転圧、舗装の復旧及び路面標示の復旧までの施工工程とした。調査は、令和 7 年 10 月に実施した。

(2) 施工図面



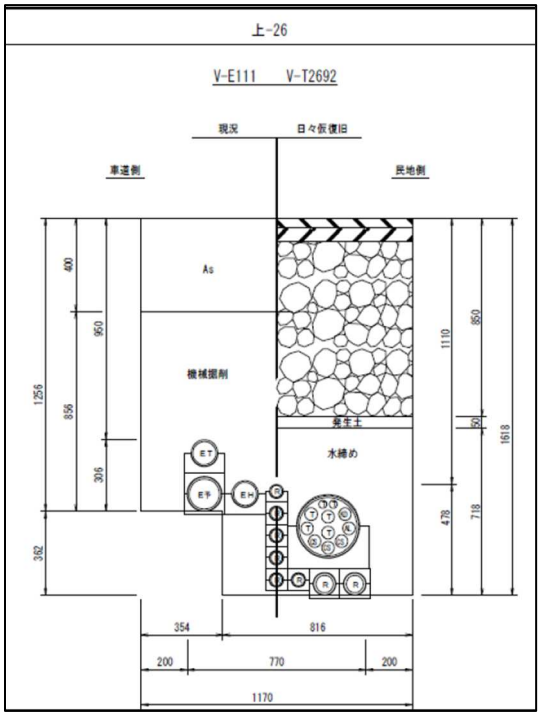


図 4-9　施工図面

（3）現場見取り図

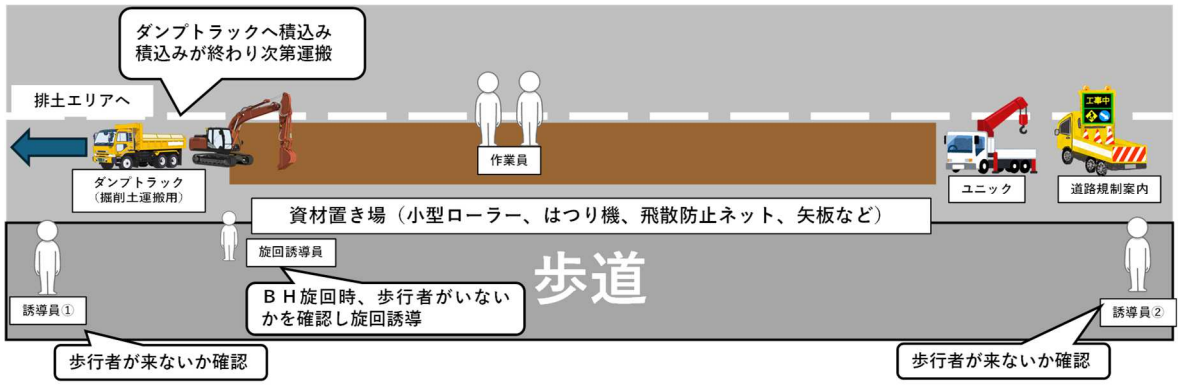


図 4-10　現場見取り図

（4）現場状況



図 4-11　①舗装版取壊し、積込み

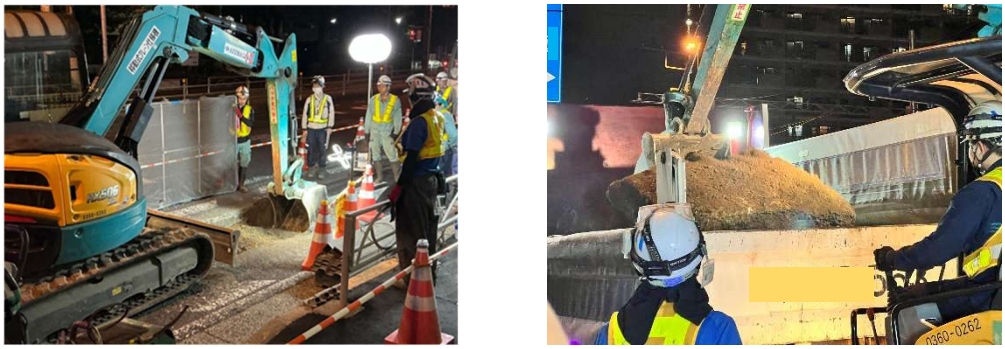


図 4-12　②掘削、積込み

0.2m^3 級バックホウにて掘削、積込み

掘削土は後方の８ｔダンプトラックに排土

掘削幅　W=1.2m　施工延長　L=6.0m



図 4-13　③掘削深さの確認



図 4-14　④軽量鋼矢板設置作業
掘削深さが 1.6ｍのため土留め支保工を施す

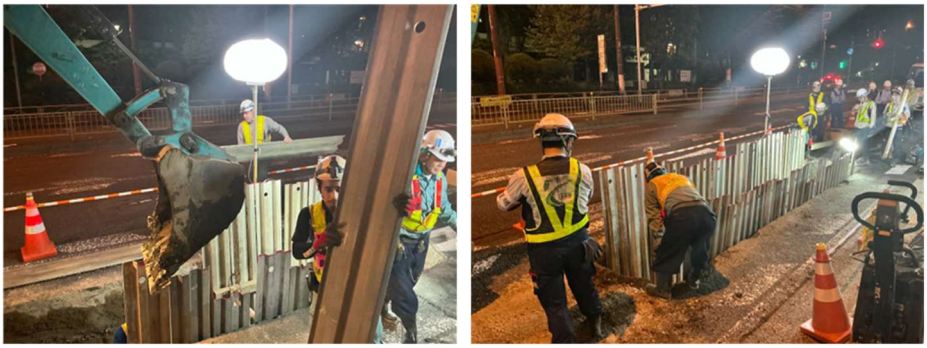


図 4-15　⑤敷き砂

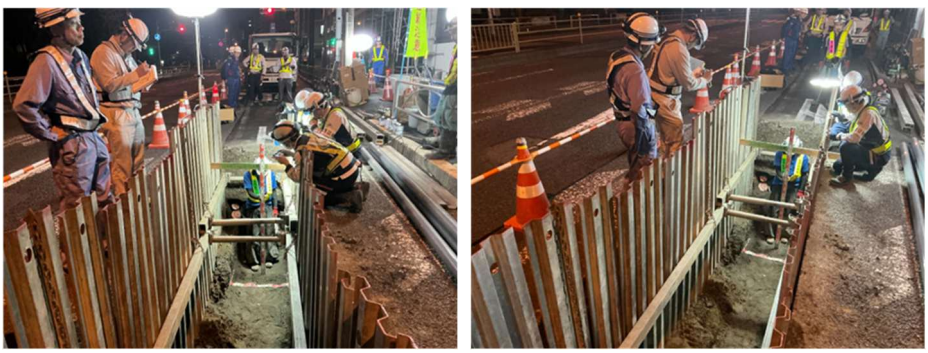


図 4-16　⑥出来形計測
床掘りの掘削深さ、掘削幅を計測



図 4-17　⑦管設置作業
前日施工箇所の既設管に接続する
接続する管の飲込部に塩ビ管用の接着剤を塗布し奥まで差し込む

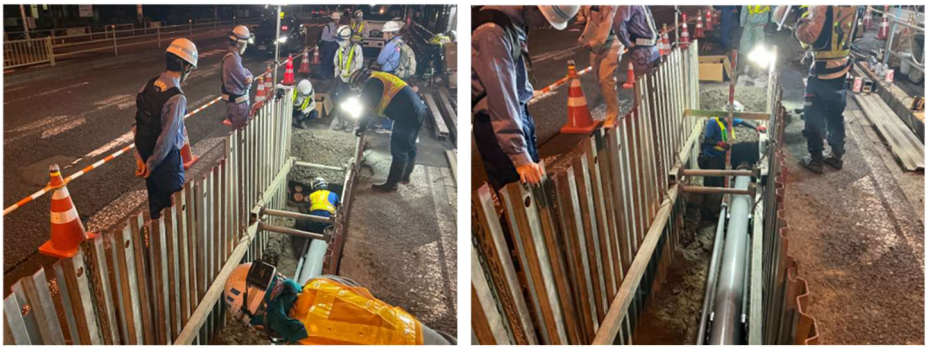


図 4-18　⑧出来形計測
管接続後の土被りを計測



図 4-19　⑨埋戻し作業
敷設した管の損傷を防止するとともに、管周りの狭い隙間を
確実に充填するため、砂で埋め戻す。

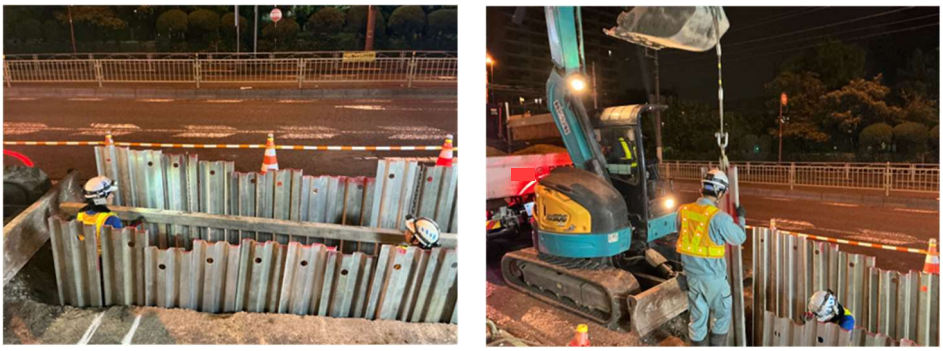


図 4-20　⑩矢板撤去作業
バックホウにて軽量鋼矢板を吊り引き抜く



図 4-21　⑪出来形計測
埋戻し 1 層目の深さと幅を計測する

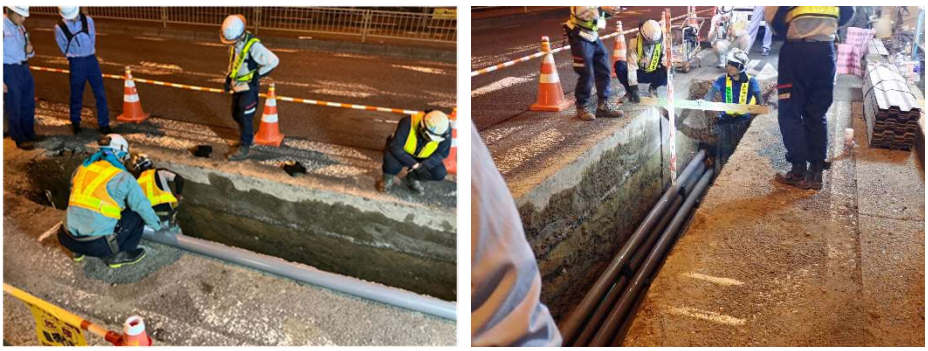


図 4-22　⑫管敷設・出来形計測
⑦、⑧と同様に行う

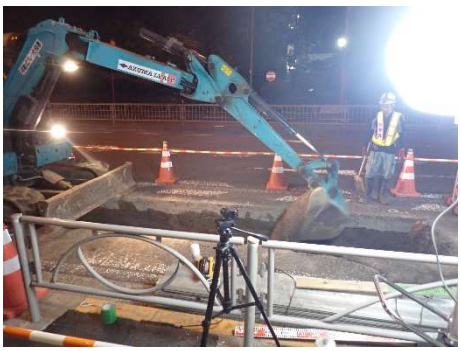



図 4-23　⑬埋戻し作業・水締め

砂による埋戻し後、管周りの狭い隙間まで確実に充填するため、水締めを行う。
敷設した管の土被りが浅く、締固め機械の振動により管の接続部が
外れるおそれがあるため、締固め機械は使用しない。




図 4-24　⑭転圧作業

以降 1 層 20cm 埋戻し～転圧～出来形計測作業の繰り返し

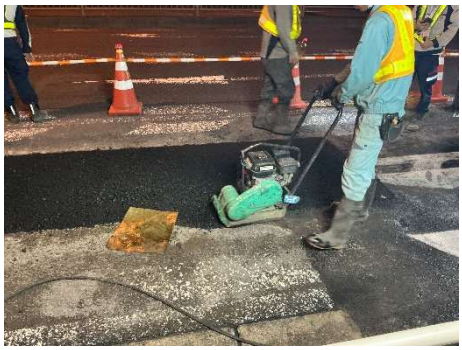



図 4-25　⑮舗装作業

舗装厚 10cm を基層と表層の 2 層に分けて仮復旧する。
基層及び表層は、締固め後の厚さがそれぞれ 6cm、4cm となるように
アスファルト合材を敷き均し、施工箇所に応じた機械で転圧する。

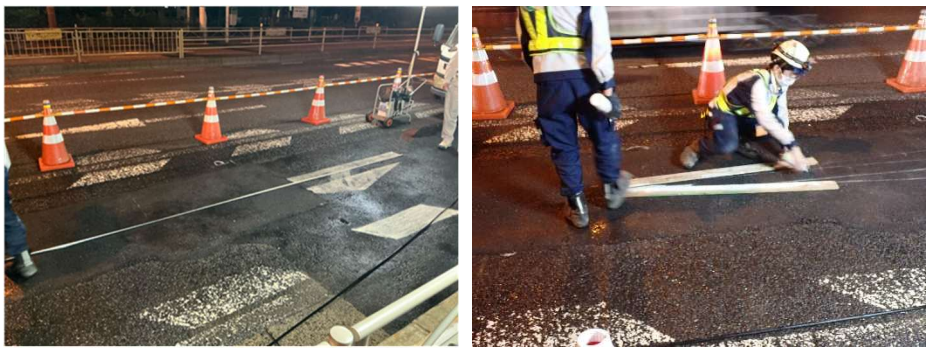


図 4-26　⑯区画線・矢印表示等の路面標示の復旧
掘削範囲にかかる路面標示について、
施工前の位置及び形状に基づき、路面用塗料で復旧する。

4.1.3. 新設道路の側溝設置工事

(1) 現場概要

国が発注した新設道路の施工箇所を調査した。当該工事では、自由勾配側溝を設置するため、床掘り、基礎砕石の施工、基礎コンクリートの打設及び自由勾配側溝の設置が行われていた。調査対象は、床掘りから、基礎砕石の敷均し及び締固め、基礎コンクリート用の型枠の設置までの施工工程とした。調査は、令和 7 年 10 月に実施した。

(2) 施工図面

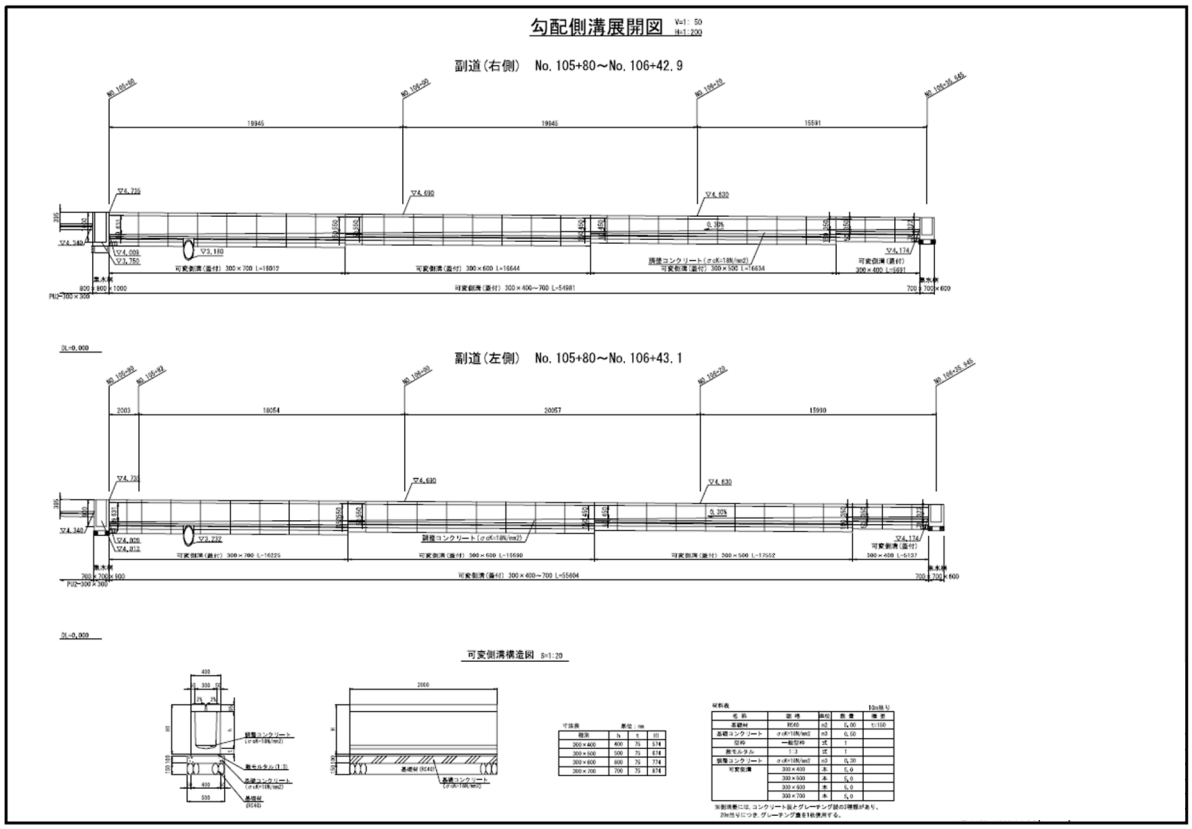


図 4-27　施工図面

（3）現場見取り図

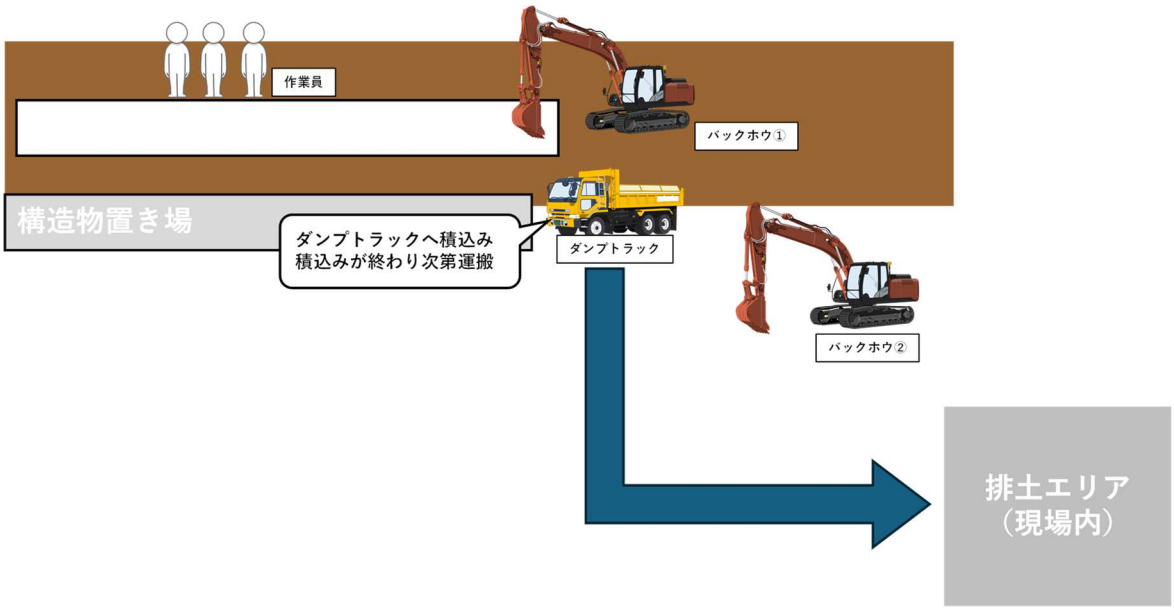


図 4-28　現場見取り図

（4）現場状況




図 4-29　①掘削

所定の深さまでバックホウにて掘削を行う。掘削土は 4ｔダンプトラックにて場内運搬を行う




図 4-30　②丁張設置

掘削完了後、測量杭を打ち込み、レベルで杭頭の高さを測定する。

測定結果から貫板の設置高さを算出し、貫板を取り付ける。





図 4-31　③基礎砕石敷均し・締固め

ダンプトラックで搬入し山に保管している砕石を、

作業指示者の指示（ハンドサイン）に合わせてバックホウで投入する。

貫板の下端からの高さを確認し砕石を敷均しタンパにて転圧を行う。



図 4-32　④基礎コンクリート木製型枠設置
型枠材を並べ、ピンを打ち込み固定する。
設置後は型枠保持のため両脇に砕石を盛る。

4.2. 現地調査の記録

現地調査では、施工状況を写真で撮影するとともに、作業内容、使用機械及び作業者の配置を記録した。これらを施工の進捗に沿って整理し、工事ごとに調査表を作成した。調査表は、各作業の特徴や作業者の役割を把握し、オートメーション化の適用可能性を検討するための基礎資料とした。

なお、調査表をもとに、各作業における作業者及び建設機械の役割、作業の順序並びに相互の連携をシーケンス図として整理し、「7. 工事別のオートメーション化技術の適用可能性」に示す。

	施工計画書作業内容	開始時間	25.土木一般世話役	1.特殊作業員	2.普通作業員（配管工）	2.普通作業員	2.普通作業員	作業写真	・5人工で積算しているがチルト+ldlg（2DMGバックホウ）の高さ管理により2人工減らせている ・5m管5本積み込み ・通常は1日あたり6本20m施工 ・当日は既設管の下越しのため5本施工 ・掘削→管敷設→敷砂→埋め戻し ・ダンプ移動が、BHの後退を感知して自動で移動すると便利（自動化導入するならば） 10:50敷砂入れ ・手元2人で方向指示と均し作業 ・貫入量ゲージ数値をブルートゥースでスマホに飛ばし、クラウドで帳票作成まで自動化 ・10:58敷砂厚み確認 ・AS天端からの差 ・掘削に戻る ・現場発生土を利用するため、1ロット目の発生土を、2ロット目の埋戻し材として使用するため、ダンプトラックの荷台に準備している。
A	機械搬入	8:30:00	機械搬入指示	建機操縦（建機での吊り荷作業）	・トラックへの管積み込み ・玉掛け	待機	省人効果で縮減		
B	材料搬入	8:30:00							
C	舗装版撤去	9:29:00	・GX配管セット運搬 ・ASガラを竹ぼうきで清掃	・チルトローテータでアスファルト撤去 ・ケーブルバケットで版剥がし、グレーディングバケットに変えて廃材積み込み ・チルトローテータの使用で、廃材の積み込み速度が向上 ・プラシアタッチメントで路面清掃	・撤去が進んだときに、トラックを運転して前進 ・トラックで廃材を置き場に移動				
D	掘削	9:42:00	・スコップで掘削補助 ・接続管（前工事既設？）の養生をはがす ・既設管の清掃 ・掘削土漏れを竹ぼうきで清掃 ・9:52管清掃をほか作業員と交代 ・ロッド等資機材の整頓 ・管のビニールを被せるように作業員に指示 ・雨で接続管上流部に堆積していた土砂をスコップやつるはしで手掘り ・鍬、竹ぼうきで清掃 ・掘削面をロッドを使って既設側溝からの距離で確認	・2DMG機に乗り換え ・掘削作業（-1.22） ・2DMGで掘削深さ管理 ・ダンプ待ち中に土のほぐし作業 ・ダンプ移動（BH位置移動に伴い、土砂用ダンプの位置が近づいてしまうため） ・BHが下がると、ダンプが移動する必要が生じた	・ダンプトラックの掘削土運搬準備 ・クランプ等準備 ・トラックで掘削土を運搬 ・トラック戻し ・管接合準備				
G	管敷設	10:23:00	・新設管や既設管の接続部に潤滑剤を塗布 ・既設管にイーグルジャッキをつけておく	・管の搬入	管搬入の手元作業				
H	管接合	10:25:00	・オペに吊ってる管の方向指示 ・新設と接続後、イーグルジャッキで方向合わせ	・管の吊り込み	管搬入の手元作業				
I	管の芯出し	10:30:00	管の貫入量、角度調整	・待機					
	接合確認	10:32:00	・出来形確認	・接合部分（管）デジタル確認	・養生ビニール作業				
J	管の仮固定	10:49:00	・管天端をロッドとスタッフで計測 ・袋をかぶせる	・チルトローテータに乗り換えて、グレーディングバケットで砂を投入	・トラックで砂を搬入 ・投入砂をスコップで管周囲に締固め				
K	埋め戻し	11:02:00	・清掃（竹ぼうき）	・トラックを砂から発生土に入れ替え ・グレーディングバケットで発生土を30cm投入 ・プレートを降ろす					
L	1層目締固め	11:04:00	・清掃（竹ぼうき）		・プレートによる締固め作業				
M	2層目埋め戻し	11:08:00	・清掃（竹ぼうき）	・グレーディングバケットで発生土を投入	・待機				
N	2層目締固め	11:42:00	・清掃（竹ぼうき） ・管接合準備						
O	3層目埋め戻し	11:44:00	・清掃（竹ぼうき）	・11:40頃にバケ転 ・砕石3層目埋め戻し					
Q	3層目締固め	11:46:00	・清掃 ・天端転圧 ・プレートによる締固め作業	・チルトブラシで掃除 ・表面整形 ・プラシアタッチメントで路面清掃と表面整形	・プレートによる締固め作業				
J	管の仮固定	11:51:00	・投入砂をスコップで管周囲に締固め	・チルトローテータに乗り換えて、グレーディングバケットで砂を投入	・トラックで砂を搬入 ・投入砂をスコップで管周囲に締固め				
	午前作業終了	12:05:00							

※ 調査表は、現地調査時に記録したメモを原則としてそのまま掲載しているため、用語・表記が本文と一致しない箇所がある。

図 4-33　水道管敷設工事の調査表

図 4-34　電線共同溝工事の調査表

	施工計画書作業内容	開始時間	25.土木一般世話役	建機オペレーター	特殊作業員	普通作業員	普通作業員	普通作業員	交通誘導員①	普通作業員②
A	舗装版破砕・撤去・積込み	21:37	建機旋回誘導指示		はつり機で舗装版破砕	歩道に舗装版破砕飛ばないように飛散防止ネット設置			歩行者がへの呼びかけ	歩行者がへの呼びかけ
B	舗装版破砕・撤去・積込み	21:50	建機旋回誘導指示	破砕した舗装版をダンプへ積込み		ほうきで掃き掃除				
C	路盤掘削	22:08	建機旋回誘導指示	路盤掘削しダンプへ積込み	レベルスタッフで高さ確認と掘削指示					
D	土留め支保工（矢板設置）	22:54	建機旋回誘導指示	バケットの背の部分で矢板を押込み設置		人力で矢板を運搬	人力で矢板を運搬			
G	土留め支保工（腹起し・梁設置）	23:10			腹起しを設置 油圧ジョッキで梁固定					
H	電線共同溝鞘管敷設	23:59				管を人力で運び 管接続	管を人力で運び 管接続			
I	埋戻し(管周り)	0:44	建機旋回誘導指示	レベルスタッフで計測した高さ確認より、砂補充又は掘削	レベルスタッフで高さ確認と掘削指示	スコップにて敷均し	水締め			
	埋戻し(下層路盤・上層路盤)	1:19	建機旋回誘導指示	レベルスタッフで計測した高さ確認より、砂補充又は掘削 建機にローラーを吊るし運搬	レベルスタッフで高さ確認と掘削指示	スコップにて敷均し	**タンパ**で締固め	小型ローラーで締固め		
J	矢板、梁など機材撤去	2:31								
K	表層工・表層工	2:41	建機旋回誘導指示	建機にローラーを吊るし運搬		レーキ敷均し	**タンパ**で締固め	小型ローラーで締固め		

※ 調査表は、現地調査時に記録したメモを原則としてそのまま掲載しているため、用語・表記が本文と一致しない箇所がある。

作業内容	開始時間	土木一般世話役	特殊作業員	特殊作業員	普通作業員	普通作業員
床掘掘削	8:30	元受け職員と協議	機械操縦(残土掘削・4tDP積込) 積込5分、運搬2分　13回転	手元作業(掘削時に堀山からこぼれた残土をレーキで堀山に戻す)		掘削深さ確認、床均し
発生土運搬	8:35	丁張材、ランマー等小道具準備			4tDP場内小運搬	
丁張設置	9:37	元受け職員と杭打ち、レベル確認、貫板設置				
基礎砕石敷均し	10:48	待機	11:08~機械操縦(基礎砕石の山から堀山に砕石投入)	機械操縦(基礎砕石の山から堀山に砕石投入)	バックホウにて掘削残土掻き上げ 11：08~砕石敷均し、高さ確認	レーキにて敷均し、高さ確認
締固め	11:20	ランマーにて締固め ※砕石敷均と並行して作業				
基礎コン木製型枠設置	13:12	型枠内砕石高さ調整	水糸設置、通り確認、 高さ確認、ピン打込、 貫板固定	砕石投入時の障害となる自由勾配側溝を現場内小移動するためのバックホウ操作、 水糸設置、通り確認、 高さ確認、ピン打込、 貫板固定	自由勾配側溝に吊具を設置するための手元作業、 水糸設置、高さ確認、 ピン打込、貫板固定	基礎砕石厚の出来形確認、 写真撮影の手元作業、 水糸設置、高さ確認、 ピン打込、貫板固定

図 4-35　新設道路の側溝設置工事の調査表

※ 調査表は、現地調査時に記録したメモを原則としてそのまま掲載しているため、用語・表記が本文と一致しない箇所がある。

4.3. 施工時に行われている主な判断

現地調査では、現場代理人、オペレータ、作業指示者及び作業者が、施工の進捗、施工対象の状態及び周辺の状況を確認しながら、建設機械の配置、移動及び操作方法、材料の投入位置並びに作業の開始・停止等を判断していた。各工事において、誰が、どのような状況を確認し、どのような判断を行っていたかを整理する。

4.3.1. 水道管敷設工事での主な判断

水道管敷設工事では、舗装版の撤去、掘削、水道管の敷設・接続及び埋戻し・締固めの各工程において、施工の進捗や施工対象の状態を確認しながら、建設機械の配置や操作方法、材料の投入位置及び作業内容を判断していた。

舗装版の撤去及び掘削では、バックホウオペレータが施工範囲や掘削状況を確認し、舗装版の破砕方法及びバックホウの位置を調整していた。また、掘削土等を積み込めるよう、バックホウとの位置関係を確認してダンプトラックの停止位置を決めていた。ダンプトラックの位置調整は、バックホウオペレータ自身がダンプトラックの運転席へ移動して行っており、作業開始時だけでなく、作業の進捗に伴ってバックホウの位置を変更した際にも適宜行っていた。

バックホウオペレータは、2D-MG（2 次元マシンガイダンス）を搭載したクレーン機能付きバックホウと、チルトローテータを搭載したバックホウの 2 台を作業内容に応じて使い分けていた。厚さ 5cm のアスファルト舗装版の破砕では、チルトローテータを搭載したバックホウを使用し、細かく破砕されたアスファルト殻もすくいながら回収していた。

掘削時には、2D-MG を使用することにより、補助作業者による掘削深さの検測を行うことなく、所定の掘削深さを確保していた。掘削の途中では、2D-MG の基準を確認するため、基準となるアスファルト面の高さを適宜確認していた。また、コンクリートカッタによる切断線を基準として掘削方向を定めていた。

水道管の敷設・接続では、クレーン機能付きバックホウにより、長さ 5 m の水道管を施工箇所まで運搬し、床掘り箇所へ吊り込んでいた。作業者は、既設管との位置関係を確認しながら、水道管の吊込み位置及び姿勢を調整していた。

接続前には、パッキン（ゴム輪）の取付状態を確認し、接続部に滑剤を塗布するとともに、チェーンブロックを設置していた。接続時には、水道管をバックホウで吊った状態に保ち、作業者が管の位置、角度、差込み量及び接合部の状態を確認しながら、水道管の姿勢を微調整し、チェーンブロックを用いて所定の位置まで引き込んでいた。接続後は、管の差込み深さ等を計測し、所定の接続状態が確保されていることを確認した上で、その結果を記録していた。

埋戻しでは、チルトローテータを搭載したバックホウの幅広バケットを、埋戻し材を投入しやすい向きに回転させ、管周りの砂、発生土及び砕石の順に材料を投入していた。作業者は、投入された各材料を一層ごとに敷き均していた。バックホウオペレータは、作業者の指示を踏まえ、埋戻しの進捗に応じて材料の投入位置及び投入量を調整していた。作業者は、埋戻し面の状態及び高さを確認し、材料の追加の要否や敷均し方法を判断していた。その後、各層の施工状況を確認して振動コンパクタによる締固めを行い、所定の高さに達するまで埋戻しを繰り返していた。振動コンパクタの床掘り箇所への搬入及び搬出には、チルトローテータのグリッパーを使用していた。

砕石による仮復旧後は、バックホウオペレータが施工範囲の周囲にこぼれた砕石の状況を確認し、ブラシ式の清掃用アタッチメントを装着したバックホウにより清掃していた。

4.3.2. 電線共同溝工事での主な判断

電線共同溝工事は、片側 2 車線の国道において、路肩側の 1 車線を規制して設けた細長い作業空間内で行われていた。作業空間の一方を資材置場とし、もう一方にはバックホウとダンプトラックの作業空間を確保していた。ダンプトラックは、バックホウの後方から順次進入して所定の位置に停止し、アスファルト殻や掘削土の積込みを行っていた。

限られた作業空間内では、施工の途中でバックホウを移動させることが難しいため、作業時間中はバックホウの位置を固定し、その作業範囲内で一連の施工を行っていた。このため、バックホウの作業範囲、ダンプトラックの進入経路及び停止位置並びに各工程で使用する資材や機材の位置関係を踏まえて、建設機械及び資機材を配置していた。特に、バックホウのクレーン機能を用いて取り扱う機材は、バックホウで吊り上げることができる範囲に配置するなど、限られた作業空間内で施工できるよう調整していた。

また、夜間施工であり、翌朝までに道路を交通開放する必要があることから、交通規制の設置、資機材の搬入、舗装版の破砕から舗装及び路面標示の復旧までの施工、資機材の搬出並びに交通規制の撤去を、交通開放時刻に間に合うよう計画的に進めていた。

舗装版の撤去では、作業者がコンクリートブレーカを用いて舗装版に割れ目を入れ、バックホウで破砕・撤去できる状態にしていた。バックホウによる舗装版の撤去が可能な開口部を確保した後は、舗装版をブロック状に破砕・撤去し、後方に配置したダンプトラックの荷台へ積み込んでいた。また、コンクリートブレーカ及びバックホウによる舗装版の破砕時には、隣接車線へのアスファルト殻の飛散を防止するため、施工箇所と隣接車線との間に飛散防止ネットを設置し、作業の進捗に応じてその位置を適宜調整していた。

路盤の掘削では、路盤面を平滑に整形するため、バケット先端に平爪を装着していた。作業者は、レベルと標尺を用いて掘削面の高さを測定し、計画掘削深さとの差に応じて追加掘削量を指示していた。バックホウオペレータは、その指示を踏まえて掘削位置及び掘削量を調整していた。

アスファルト殻や掘削土をダンプトラックへ積み込む際には、作業指示者が歩道を通行する歩行者及び自転車の状況を確認し、バックホウオペレータへ旋回の開始又は停止を指示していた。バックホウオペレータは、作業指示者の合図を確認した上で旋回及び積込みを行い、歩行者又は自転車が施工箇所付近を通行する場合には、旋回作業を一時停止していた。

土留め支保工では、掘削深さ及び掘削箇所の状態を踏まえ、軽量鋼矢板の設置位置及び押込み状況を確認していた。作業者が軽量鋼矢板を所定の位置に配置していた。バックホウオペレータは、作業者の指示を踏まえてバケット背面で軽量鋼矢板を押し込んでいた。その後、作業者は、軽量鋼矢板の設置状態を確認しながら、腹起し及び切梁の位置を調整して固定していた。

さや管の敷設では、作業者がさや管を施工箇所まで運搬し、床掘り箇所内の作業者へ受け渡していた。作業者は、前日までに敷設したさや管との位置関係や管の配列を確認しながら、さや管の設置位置及び間隔を調整していた。接続時には、さや管の接続部に塩ビ管用の接着剤を塗布し、接続する管の位置及び角度を微調整しながら、既に敷設されているさや管の受口へ所定の深さまで差し込んでいた。接続後は、所定の位置及び高さに敷設されていることを確認していた。

管周りの埋戻しでは、管の損傷を防止するとともに、管周辺の狭い隙間を確実に充填するため、砂を用いて埋め戻していた。バックホウオペレータは、作業者の指示を踏まえ、管の位置及び埋戻しの進捗に応じて、砂の投入位置及び投入量を調整していた。作業者は、管周りの砂の状態及び埋戻し高さを確認しながら、砂の追加の要否や敷き均し方法を判断していた。

軽量鋼矢板は、管周りの埋戻し後、水締めを行う前にすべて撤去していた。撤去時には、作業者が軽量鋼矢板をバックホウのフックに取り付け、バックホウオペレータが周囲の作業者及び埋戻し面の状態を確認しながら、軽量鋼矢板を 1 枚ずつ引き抜いていた。軽量鋼矢板をすべて撤去した後は、砂の埋戻し面の状態を確認し、水締めを行っていた。管の近傍で締固め機械を使用しなかったのは、敷設した管の土被りが浅く、機械の振動によって管の接続部が外れるおそれがあったためである。

管周りの砂より上部の埋戻し並びに下層路盤及び上層路盤の施工では、材料を所定の層厚となるように投入し、敷き均し、締固め及び出来形の計測を繰り返していた。作業者は、各層の高さ及び表面の状態を確認し、材料の追加又は除去の要否を判断していた。バックホウオペレータは、その指示を踏まえて材料の投入位置及び投入量を調整し、作業者は、各層の施工状況を確認しながら締固めを行っていた。上層路盤の施工では、舗装厚を確保するため、仕上がり面が既設舗装面より 10cm 低くなるように、材料の敷き均し及び締固めを行っていた。

舗装復旧では、基層に再生粗粒度アスファルト混合物、表層に再生密粒度アスファルト混合物を使用し、それぞれ締固め後に 6cm、4cm となるように敷き均していた。作業者は、既設舗装面の高さを確認し、基層及び表層の敷均し厚さを調整するとともに、表層と既設舗装面との間に段差が生じないようにすり付けていた。

基層及び表層の転圧では、施工箇所の幅や端部の形状に応じて、比較的広い範囲には小型振動ローラ又は振動コンパクタを、端部にはタンパを使用していた。転圧後は、舗装面の高さ及び仕上がり状態を確認していた。

舗装復旧後は、施工に伴い撤去した区画線や矢印表示等の路面標示を、施工前の位置及び形状に基づき、路面用塗料で復旧していた。その後、軽量鋼矢板、締固め機械、標尺、投光器等の資機材をそれぞれの運搬車両へ積み込み、施工箇所及び周辺の状況を確認した上で、交通規制を解除して道路を開放し、一連の作業を終了していた。

4.3.3. 新設道路の側溝設置工事での主な判断

新設道路の側溝設置工事は、一般車両、歩行者及び自転車が通行する道路から離れた施工箇所で行われていた。交通規制を伴わず、施工中にバックホウの位置を変更できることから、作業の進捗に応じてバックホウ及びダンプトラックの配置を調整していた。一方、側溝の天端が最終的な施工高さとなるため、既設構造物との接続を踏まえ、床掘り、丁張、基礎砕石及び基礎コンクリート用型枠の各工程において、施工位置及び高さを確認しながら作業を進めていた。

床掘りでは、バックホウオペレータが施工範囲及び掘削状況を確認しながら、バックホウの位置を調整していた。作業者は、掘削面の高さを確認し、計画掘削深さとの差に応じて追加掘削量を指示していた。バックホウオペレータは、その指示を踏まえて掘削位置及び掘削量を調整していた。また、掘削土はダンプトラックへ積み込み、場内の所定の場所へ運搬していた。掘削の進捗に伴って施工位置が移動するため、バックホウから掘削土を積み込めるよう、ダンプトラックの停止位置を適宜調整していた。

床掘り完了後の丁張の設置では、施工に用いる基準点及び計画高さをもとに、測量杭の設置位置及び貫板の計画高さを算定していた。作業者は、測量杭の設置位置を確認するとともに、レベルで杭頭に立てた標尺を視準し、杭頭の高さを測定していた。その測定結果をもとに、杭頭から貫板までの取付高さを求め、貫板が水平となるように位置を調整して固定していた。

丁張の位置出し及び高さの算定は、施工前に現場代理人が行っていた。丁張の設置予定箇所に支障物がある場合には、施工への影響を確認して設置位置を変更し、変更後の位置における貫板の計画高さを再算定していた。このため、丁張の設置位置は算定結果だけで決めるのではなく、施工箇所の状況を確認した上で調整していた。

基礎砕石の施工では、仮置きした砕石をバックホウで施工箇所へ投入していた。作業指示者は、丁張の貫板から砕石面までの高さを確認し、バックホウオペレータへ砕石の投入位置及び投入量をハンドサインで指示していた。バックホウオペレータは、その指示を確認しながら、砕石を所定の位置へ投入していた。

砕石の投入後は、作業者が丁張を基準として砕石面の高さを確認していた。砕石面が計画高さより低い箇所では砕石の追加を、高い箇所では余分な砕石の除去をバックホウオペレータへ指示していた。バックホウオペレータは、その指示を踏まえて砕石の投入位置及び投入量を調整し、作業者は砕石を敷き均していた。

基礎砕石の締固めでは、敷き均しが完了した箇所からタンパを使用して締め固めていた。作業者は、締固め後の砕石面の状態及び高さを確認し、計画高さとの差がある場合には、砕石の追加又は除去、敷き均し及び締固めを繰り返し、所定の高さとなるよう調整していた。

基礎コンクリート用型枠の設置では、丁張に記載された下がり量及び設計幅を確認し、型枠の設置位置を決めていた。作業者は、設計幅に合わせて金属製のピンを打ち込み、水糸を張って型枠の設置位置及び通りを確認していた。その後、水糸に合わせて型枠材を並べ、金属製のピンにより固定していた。

型枠の設置後は、型枠の位置、幅、高さ及び通りを確認し、必要に応じて型枠又は固定用ピンの位置を調整していた。また、コンクリートの打設時に型枠が移動しないよう、型枠の外側に砕石を盛って保持していた。側溝の天端が最終的な施工高さとなるため、作業者は、既設構造物との接続及び側溝の計画高さを踏まえ、基礎コンクリート用型枠が所定の位置及び高さに設置されていることを確認していた。

4.4. 安全管理の状況

現地調査では、施工箇所の条件や作業内容に応じて、交通規制による一般交通との分離、作業指示者による周囲の確認、作業者と建設機械オペレータとの合図、アスファルト殻の飛散防止等の安全管理が行われていた。各工事で確認した安全管理上の主な特徴を整理する。

4.4.1. 水道管敷設工事での安全管理

水道管敷設工事は、交通量の少ない市道において、片側交互通行による交通規制を行いながら施工していた。施工箇所では、バックホウ、ダンプトラック及び作業者が同じ作業区域内で作業しており、バックホウオペレータは、周囲の作業者の位置や作業状況を確認しながら、舗装版の撤去、掘削、積込み、水道管の吊込み及び埋戻しを行っていた。

水道管の敷設・接続では、クレーン機能付きバックホウで水道管を吊った状態で、作業者が既設管との位置関係や管の姿勢を確認しながら位置を調整していた。接続時にも、作業者が管の位置、角度、差込み量及び接合部の状態を確認し、バックホウオペレータと連携しながら作業を行っていた。

埋戻しでは、バックホウオペレータが作業者の指示を踏まえ、材料の投入位置及び投入量を調整していた。また、振動コンパクタの床掘り箇所への搬入及び搬出には、チルトローテータのグリッパーを使用していた。

4.4.2. 電線共同溝工事での安全管理

電線共同溝工事は、片側 2 車線の国道において、路肩側の 1 車線を規制して設けた細長い作業空間内で行われていた。作業空間は、規制車及びカラーコーンによって一般車両が通行する隣接車線と区分されていた。

コンクリートブレーカ及びバックホウによる舗装版の破砕時には、隣接車線へのアスファルト殻の飛散を防止するため、施工箇所と隣接車線との間に飛散防止ネットを設置していた。飛散防止ネットは、作業の進捗に応じて位置を調整していた。

アスファルト殻や掘削土をダンプトラックへ積み込む際には、作業指示者が歩道を通行する歩行者及び自転車の状況を確認し、バックホウオペレータへ旋回の開始又は停止を指示していた。バックホウオペレータは、作業指示者の合図を確認した上で旋回及び積込みを行い、歩行者又は自転車が施工箇所付近を通行する場合には、旋回作業を一時停止していた。

土留め支保工の設置では、作業者が軽量鋼矢板を所定の位置に配置し、バックホウオペレータが作業者の指示を踏まえてバケット背面で押し込んでいた。撤去時には、作業者が軽量鋼矢板をバックホウのフックに取り付け、バックホウオペレータが周囲の作業者及び埋戻し面の状態を確認しながら、軽量鋼矢板を 1 枚ずつ引き抜いていた。

作業終了後は、軽量鋼矢板、締固め機械、標尺、投光器等の資機材をそれぞれの運搬車両へ積み込み、施工箇所及び周辺の状況を確認した上で交通規制を解除し、道路を開放していた。

4.4.3. 新設道路の側溝設置工事での安全管理

新設道路の側溝設置工事は、一般車両、歩行者及び自転車が通行する道路から離れた施工箇所で行われており、交通規制は伴わなかった。一方、施工箇所では、バックホウ、ダンプトラック及び作業者が同じ作業区域内で作業していた。

床掘りでは、作業者がバックホウの作業範囲内に入り、掘削面の高さを確認する間は、バックホウの動作を停止していた。作業者が作業範囲から離れたことを確認した後、バックホウによる掘削を再開していた。

基礎砕石の投入では、作業者が砕石面の高さを確認する間はバックホウの動作を停止し、作業者が作業範囲から離れたことを確認した後、砕石の投入を再開していた。バックホウオペレータは、作業指示者のハンドサインに従ってバックホウを動作させていた。

5. 現地調査結果の総括

水道管敷設工事、電線共同溝工事及び新設道路の側溝設置工事の現地調査結果を横断的に整理し、小規模現場に共通する施工の特徴、現場条件による相違及び施工時に行われている主な判断を示す。

5.1. 各現場に共通する施工の特徴

3 工事に共通して、次の特徴が確認された。

- 限られた施工範囲で、作業者と建設機械が近接して作業していた。
- バックホウは、掘削及び積込み、埋戻し材の投入、資機材の運搬・吊込みなど、複数の作業に使用されていた。
- 作業者は、施工位置や高さの計測、資機材の位置調整、材料の敷均し、締固め及び施工結果の確認を行っていた。
- 施工、確認及び追加施工を繰り返し、所定の位置、高さ及び仕上がりを確保していた。
- 施工対象の状態や作業の進捗に応じて、建設機械及び資機材の配置並びに作業内容を変更していた。
- 作業者による確認結果や作業指示は、ハンドサイン等によりオペレータへ伝えられていた。

各工事では、施工内容に違いがあるものの、舗装版破砕、掘削、積込み・運搬、管路や型枠の設置、埋戻し、締固め・転圧の作業が組み合わされていた。調査対象とした工事に共通して確認された主な作業の流れを図 5-1 に示す。なお、図に示す作業の組合せや順序は工事によって異なり、すべての工事で一連の作業が行われるものではない。

このように、調査対象とした小規模現場では、建設機械単独で作業が完結するのではなく、作業者との連携及び施工状況に応じた逐次的な調整によって施工が進められていた。

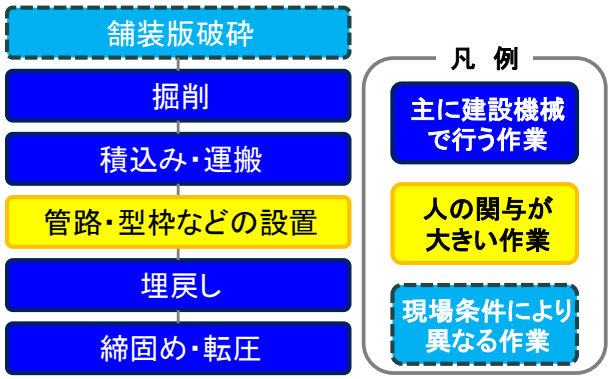


図 5-1　小規模現場における主な作業工程

5.2. 現場条件による施工方法の相違

3 工事では、施工空間、交通条件、施工時間及び施工上重視する事項が異なっていた。

(1) 水道管敷設工事
- 比較的余裕のある作業空間が確保されていた。
- 施工の進捗に応じて、バックホウ及びダンプトラックの位置を変更できた。
- 2D-MG を搭載したクレーン機能付きバックホウと、チルトローテータを搭載したバックホウを、作業内容に応じて使い分けていた。
- 水道管の吊込み・接続及び埋戻しでは、作業者とバックホウが近接して作業していた。

(2) 電線共同溝工事
- 交通規制帯内の細長い作業空間に、建設機械及び資機材を配置していた。
- 施工中にバックホウの位置を変更することが難しいため、作業時間中はバックホウの位置を固定し、その作業範囲内で一連の作業を行っていた。
- 隣接車線では一般車両が頻繁に通行していたため、バックホウは主に歩道側へ旋回して積込みを行っていた。
- 歩道を歩行者及び自転車が断続的に通行していたため、通行時にはバックホウの旋回作業を一時停止していた。
- 交通規制帯内でダンプトラックを配置できる場所は 1 台分に限られていたため、ダンプトラックは入れ替わりながら作業していた。
- 夜間施工であり、交通開放時刻を踏まえて一連の作業を進めていた。

(3) 新設道路の側溝設置工事
- 一般車両、歩行者及び自転車の通行に伴う制約はなかった。
- 施工の進捗に応じて、バックホウ及びダンプトラックの位置を変更できた。
- 側溝の天端が道路完成時の仕上がり高さとなるため、床掘りから型枠設置まで、丁張を基準として施工位置及び高さを管理していた。

以上から、施工内容に共通点がある場合でも、施工空間、交通条件、施工時間及び施工上重視する事項に応じて、建設機械や資機材の配置、作業の進め方及び安全管理を適切に行っていた。

5.3. 施工時に行われている主な判断

現地調査で確認された施工時の主な判断は、次のように整理できる。

(1) 建設機械及び資機材の配置
- バックホウの作業範囲を踏まえた建設機械及び資機材の配置
- 積込み位置に応じたダンプトラックの停止位置
- 作業の進捗に応じた建設機械及び資機材の位置変更

(2) 使用する建設機械及び施工方法の選択
- 作業内容に応じた建設機械の使い分け
- 施工対象の状態に応じた掘削方法及び施工方法の選択
- 施工範囲や端部の形状に応じた締固め機械の選択

(3) 施工位置及び施工量の調整
- 掘削位置、掘削方向及び掘削量の調整
- 材料の投入位置及び投入量の調整
- 埋戻し面、路盤面及び基礎砕石面の高さの調整
- 舗装の敷均し厚さ及び既設舗装面へのすり付けの調整

(4) 構造物等の設置及び接続
- 管の吊込み位置、姿勢、角度及び差込み量の調整
- 軽量鋼矢板の設置位置及び押込み状況の確認
- 丁張及び型枠の位置、高さ及び通りの調整
- 既設構造物との接続及び道路完成時の仕上がり高さを踏まえた、施工位置及び高さの確認

(5) 作業の指示、停止及び再開
- 作業指示者からのハンドサイン等に応じた、作業位置、施工量及び建設機械の操作の調整
- 歩行者及び自転車の通行に応じた旋回作業の一時停止及び再開

これらの判断は、あらかじめ定めた施工手順だけでなく、施工対象の状態、作業の進捗及び周辺の状況をその都度確認して行われていた。

5.4. オートメーション化の検討に向けた整理

現地調査の結果を踏まえ、オートメーション化の検討に当たっては、次の点を考慮する必要がある。

- 建設機械が主体となる作業でも、施工位置や施工量の調整、作業の開始・停止等には、人による確認や判断が含まれていた。
- 作業者による手作業が主体となる作業でも、計測機器の活用や、作業者の指示に応じた建設機械の操作により、作業の一部を支援できる可能性がある。
- 同じ作業でも、施工幅、施工対象の状態、周辺の交通状況等の現場条件により、使用する建設機械や施工方法が異なっていた。
- 各作業は、前後の工程や人による作業と連続し、相互に影響していた。

以上から、オートメーション化の適用可能性を検討する際には、各作業における人の関与や判断、現場条件による施工方法の違い、前後工程との関係等、多くの事項を考慮する必要がある。これらを建設機械が自動で認識・判断し、一連の作業を自律的に行うことは、現状では難しい。

将来的には、施工状況や周辺環境を自動で認識し、施工方法や建設機械の動作を判断しながら、一連の作業を自律的に行うオートメーション化が期待される。一方、短期的には、人が施工計画や作業全体に関わる判断を担い、施工工程を作業単位に分けて、個別作業に自動機能を導入するセミオート化が現実的である。

6. 小規模現場におけるオートメーション化の考え方

6.1. オートメーション化の検討対象範囲

オートメーション化技術の適用可能性を検討する対象は、現地調査を行った水道管敷設工事、電線共同溝工事及び新設道路の側溝設置工事における作業とする。主な対象作業を次に示す。

- 舗装版の切断、破砕及び撤去
- バックホウによる掘削及び積込み
- ダンプトラックによる運搬及び排土
- 埋戻し材、砕石及び路盤材料の投入・敷均し
- 締固め機械による締固め及び転圧
- 管、型枠の運搬、設置及び接続
- 土留め支保工の設置及び撤去
- 舗装復旧及び既設舗装面へのすり付け
- その他、各工事に固有の作業

また、各作業に伴う施工位置、高さ及び施工量の計測・確認、作業指示の伝達並びに安全確保についても検討対象とする。

6.2. 施工プロセスの整理

現地調査で把握した施工工程を作業単位に分け、作業内容、実施順序、作業者と建設機械の役割及び作業間の連携を整理した。これらをシーケンス図として示すとともに、各作業について、既存技術の適用可能性及びオートメーション化に必要となる機能を検討する。

6.3. オートメーション化の段階的な進展

「5.4　オートメーション化の検討に向けた整理」で示したとおり、小規模現場では、施工状況や現場条件に応じた人の判断が多く、一連の作業を直ちに自動化することは難しい。本検討では、オートメーション化を、建設機械がすべての判断と操作を自動で行うことに限定しない。小規模現場では、作業指示者や作業者による判断を残しながら、計測、情報提示及び建設機械の操作を段階的に自動化することが現実的と考えられる。

（1）情報化・判断支援

施工対象や周辺状況を計測し、施工位置、計画値との差、作業者や障害物の位置等を、オペレータや作業指示者へ提示する。

この段階では、作業の判断及び建設機械の操作は人が行い、計測機器や情報システムがその判断を支援する。

(2) セミオート化

建設機械には、3 次元設計データ等のあらかじめ設定した施工条件に基づき、単一の作業を自動で行う機能を搭載する。作業指示者は、施工状況を確認しながら、施工位置、施工量及び作業の開始・停止等を建設機械に指示する。

例えば、次のような機能が考えられる。

- 設定した深さを超えないように掘削する機能
- 指示された位置へ材料を投入する機能
- 作業者の指示に応じて吊荷を移動させる機能
- 作業者や第三者を検知して自動停止する機能

(3) 複数の建設機械による協調施工

セミオート機能を搭載した複数の建設機械に協調機能を持たせることにより、1 人の作業指示者が複数の建設機械に作業を指示し、各建設機械がその指示に基づいて連携して作業する施工が考えられる。

作業指示の方法は、ハンドサインに限らず、タブレット端末への入力や音声による指示等も考えられる。この段階では、施工状況の確認、作業内容の決定及び各建設機械への指示は人が担い、建設機械は与えられた指示に基づいて動作する。

(4) 作業判断・指示機能の自動化

さらに次の段階では、周辺状況や施工の進捗を把握し、作業の順序、施工位置及び各建設機械の動作を判断・指示する機能についても、自動化することが考えられる。

この段階では、複数の建設機械が施工状況に関する情報を共有し、自動的に役割を分担しながら施工することが考えられる。ただし、想定外の状況や異常が生じた場合には、安全に停止し、遠隔操作等により人が介入できる仕組みが必要となる。

なお、遠隔操作は、オペレータを建設機械から離すための技術であるとともに、将来的には、1 人のオペレータが複数の建設機械を監視し、自動又はセミオートの機能では対応できない場合に、遠隔から操作を引き継ぐための基盤技術になると考えられる。

6.4. 小規模現場への適用に当たっての基本的な考え方

小規模現場へのオートメーション化技術の適用に当たっては、次の点を基本とする。

- 既存技術を活用できる作業から、段階的に導入する。
- 個別作業だけでなく、前後工程を含む工事全体への効果を考慮する。
- 現場条件や作業内容に応じて、適用する技術及びオートメーション化の段階を選択する。
- 作業指示者及び作業者との連携を前提とし、人による判断又は介入が必要となる場面を明確にする。
- 自動化による効果が限定的と見込まれる作業については、有人作業を維持することも選択肢とする。
- 想定外の状況や異常が生じた場合には、安全に停止し、必要に応じて人が介入できる仕組みを設ける。

以上の考え方に基づき、小規模現場におけるオートメーション化技術の適用可能性を検討する。

7. 工事別のオートメーション化技術の適用可能性

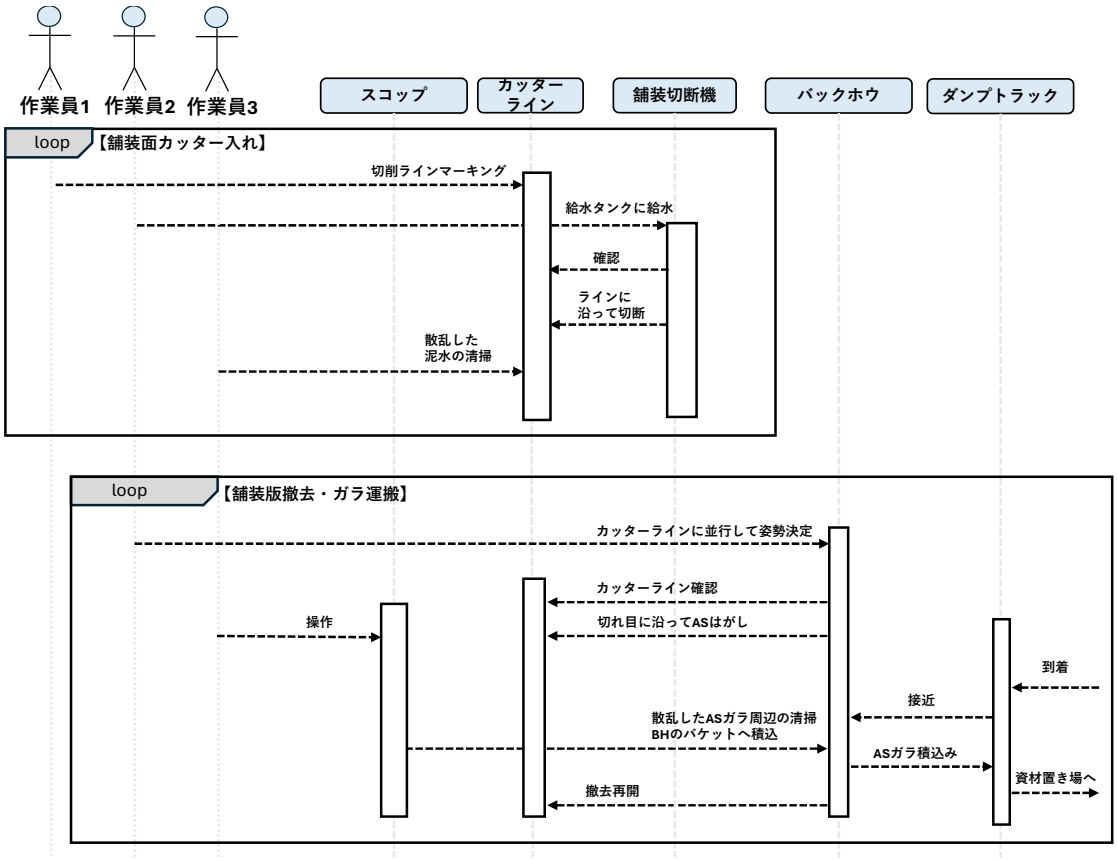
現地調査を行った 3 工事について、施工工程ごとに作業の流れを整理し、オートメーション化技術の導入による省人化の可能性を検討する。

各作業については、「4.2　現地調査の記録」に示した調査表をもとに、作業者及び建設機械の役割、作業の順序並びに相互の連携をシーケンス図に整理する。その上で、従来の作業内容、オートメーション化に求められる機能及び既存技術又はその応用により実現可能と考えられる技術を整理する。

7.1. 水道管敷設工事

7.1.1. 舗装版の切断・撤去

水道管を車道下に敷設する場合には、コンクリートカッタで舗装版を切断し、バックホウで破砕・撤去した後、アスファルト殻をダンプトラックへ積み込む必要がある。舗装版の切断は、舗装版の撤去及び掘削に先立ち、専門の施工業者が施工区間全体を 1 日で一括して行っていた。調査対象とした市道では、舗装厚が 5cm 程度と比較的薄かったため、バックホウによる舗装版の破砕・撤去が可能であった。この一連の作業の流れを図 7-1 に示し、省人化の可能性を検討した。



※ 図中の「AS ガラ」は本文中の「アスファルト殻」を示す

図 7-1　舗装版の切断・撤去のシーケンス図

表 7-1　舗装版の切断・撤去への適用が期待されるオートメーション化技術①

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
舗装版の切断	• 舗装版の切断位置のマーキング • マーキングに沿ったコンクリートカッタによる切断 • 切断時の散水 • 切削泥水の回収・処理	• 設計情報等に基づき、舗装版の切断位置を設定・表示する機能 • 設定した切断位置に沿ってコンクリートカッタを自動走行させる機能 • 舗装厚に応じて切断深さを制御する機能 • 切断に合わせて自動的に散水する機能 • 切断時に発生する切削泥水を回収する機能 • 作業者、一般車両及び障害物を検知して停止する機能	• 工場や倉庫等では、設定された経路又はラインに沿って自動走行する技術が実用化されている。この経路追従技術をコンクリートカッタへ応用することが考えられる。 • 散水及び切削泥水の回収機能を備えたコンクリートカッタが実用化されており、散水・回収作業の省力化に活用できる。 • 測量機器と連携して施工位置を表示する技術や、自動墨出し技術を、切断位置の設定・表示に応用できる可能性がある。 • チルトローテータ用のコンクリートカッタアタッチメントがあるが、バックホウの押付けによって切断する方式であるため、適用できる舗装厚や舗装構成には制約がある。  出典:参考文献 13)

表 7-2　舗装版の切断・撤去への適用が期待されるオートメーション化技術②

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
舗装版の破砕･撤去	• 切断線に沿ったバックホウによる舗装版の破砕・撤去 • アスファルト殻のダンプトラックへの積込み • 散乱したアスファルト殻の回収・清掃 • バックホウの作業進捗に応じたダンプトラックの停止位置の調整 	• 切断線及び撤去対象範囲を認識する機能 • 撤去対象範囲内の舗装版を自動で破砕･撤去する機能 • アスファルト殻の位置及び形状を認識する機能 • アスファルト殻をすくい取り､ダンプトラックへ自動で積み込む機能 • 施工範囲内に散乱したアスファルト殻を回収・清掃する機能 • バックホウの作業進捗に応じて､ダンプトラックを積込み可能な位置へ移動させる機能 • 作業者及び障害物を検知して減速･停止する機能	• チルトローテータにはリッパー等のアタッチメントがあり、舗装版の破砕・撤去に活用できる。自動バックホウの制御技術と組み合わせることで、設定した範囲内の舗装版を破砕・撤去する作業へ応用できる可能性がある。  出典:参考文献 13) • 決められた範囲内のほぐし土を自動で掘削し、ダンプトラックへ積み込むバックホウの技術が実用化されている。この技術をアスファルト殻の撤去・積込みへ応用することが考えられる。 • 画像認識等によりアスファルト殻の位置及び形状を把握することで、残存するアスファルト殻の回収や積込みを自動化できる可能性がある。 • ブラシ等の清掃用アタッチメントと自動走行・自動制御技術を組み合わせることで、施工範囲内に散乱したアスファルト殻の回収・清掃への応用が考えられる。 • バックホウとダンプトラックが作業位置や進捗を共有し、ダンプトラックの停止位置を制御することで、バックホウの移動に応じた積込み位置の調整を自動化できる可能性がある。

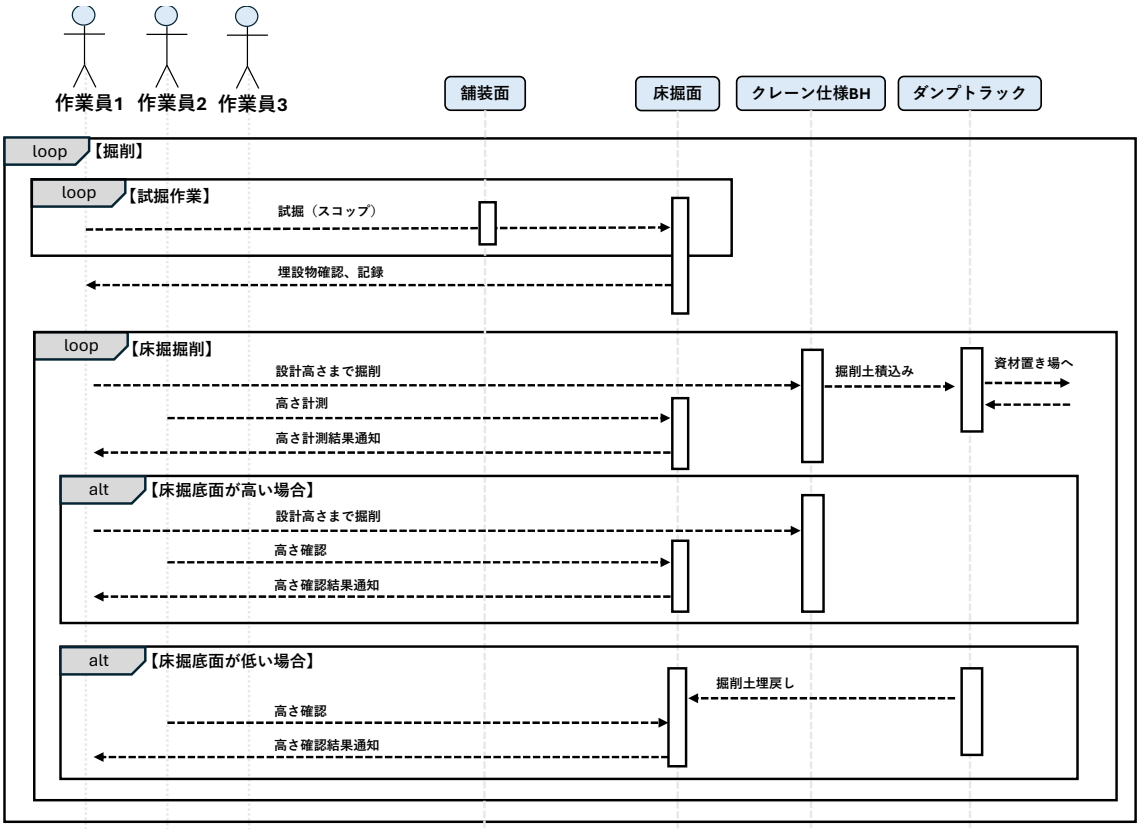
表 7-3　舗装版の切断・撤去への適用が期待されるオートメーション化技術③

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
アスファルト殻の運搬	• ダンプトラックへのアスファルト殻の積込み • 積込み完了後の搬出先への運搬 • 排出位置でのアスファルト殻の排出 • 排出後の施工箇所への帰還 	• アスファルト殻の積載量を計測し、積込みの完了を判断する機能 • 施工箇所から搬出先まで一般道を自動走行する機能 • 指定された場所でアスファルト殻を自動排出する機能 • アスファルト殻の排出後、一般道を走行して施工箇所へ自動で帰還する機能 • 規制帯の指定された出入口から進入・退出する機能 • 周辺の作業者や建設機械等を検知し、接触を防止する機能 • 交通誘導員等の作業指示者のハンドサインに従って、指定位置まで移動・停止する機能	• バックホウのバケットで積み込んだ材料の重量を計測する技術が実用化されている。この技術を用いることで、ダンプトラックの積載量の把握や過積載の防止に加え、積込み完了の判断に活用できる。 • 施工箇所から搬出先までの運搬には、一般車両、歩行者及び自転車が通行する一般道を走行する必要がある。このため、限定された工事現場内で実用化されている自動運転技術ではなく、一般道での完全自動運転に向けて将来開発される技術を応用し、施工箇所から搬出先までの運搬及び施工箇所への帰還を自動化することが考えられる。 • 一般道での自動運転技術に、規制帯の指定された出入口から進入・退出する機能、作業者や建設機械を検知して接触を防止する機能、交通誘導員等の作業指示者のハンドサイン等に従って指定位置まで移動・停止する機能及び排出位置でアスファルト殻を自動排出する機能を組み合わせることで、一連の運搬作業に応用できる可能性がある。

7.1.2. 掘削・積込み

掘削では、バックホウオペレータが 2D-MG の表示値を確認しながら所定の深さまで床掘りし、掘削土をダンプトラックへ積み込んでいた。積込み中、ダンプトラックの運転手は乗車せず、別の作業を行っていた。掘削の進捗によりダンプトラックの停止位置が積込みに適さなくなった場合には、バックホウオペレータがダンプトラックへ乗り換え、停止位置を調整していた。積込みが完了すると、別の作業を行っていた作業者がダンプトラックへ戻り、掘削土を所定の搬出先へ運搬していた。

調査対象工事では、事前調整により試掘は不要と判断され、実施していなかった。また、2D-MG を使用することで、補助作業者による掘削深さの検測を行わずに施工していた。この一連の作業の流れを図 7-2 に示し、省人化の可能性を検討した。



※ 図は一般的な作業手順を示す。調査対象工事では、事前調整により試掘は不要と判断された。
※ 2D-MG を使用していたため、補助作業者による掘削深さの検測は行っていない。

図 7-2　掘削・積込みのシーケンス図

表 7-4　掘削・積込みへの適用が期待されるオートメーション化技術①

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
試掘（本工事では実施していない）	• スコップ等による人力での試掘 • 地中埋設物の位置及び深さの確認 • 確認した埋設物の記録	• 地中埋設物の位置及び深さを把握する機能 • 埋設物を損傷しないように試掘する機能 • 確認した埋設物の位置及び深さを記録する機能	• 地中レーダー等による埋設物探査技術が実用化されており、試掘箇所の選定や埋設物の位置確認に活用できる。ただし、埋設物の材質、深さ及び土質等によって検出精度が異なるため、人力による試掘を完全に代替するには課題がある。 • 探査結果を位置情報と関連付けて記録することで、埋設物の位置及び深さの把握・記録に活用できる。
床掘り・積込み	• 掘削位置及び掘削方向の確認 • 2D-MG の表示値を確認しながら行う床掘り  • 深さ計測時に、バケットを基準となる路面に合わせた 2D-MG のゼロ点確認 • バックホウによる掘削土のダンプトラックへの積込み • 掘削の進捗に応じたダンプトラックの停止位置の調整 	• 決められた範囲内を自動で床掘りし、掘削土をダンプトラックへ積み込む機能 • 掘削の進捗に応じて、ダンプトラックを積込み可能な位置へ移動させる機能	• 決められた範囲内でほぐし土の積込みを行う自動バックホウが実用化されている。今後、この技術の開発が進むことで、床掘りからダンプトラックへの積込みまでの一連の作業に適用できる可能性がある。 • 調査対象現場では、ダンプトラックの停止位置が積込みに適さなくなった場合、バックホウオペレータがダンプトラックへ乗り換えて位置を調整していた。バックホウの掘削の進捗に応じて、ダンプトラックを積込み可能な位置まで前後移動させる機能を追加することで、この作業を省人化できる可能性がある。

表 7-5　掘削・積込みへの適用が期待されるオートメーション化技術②

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
掘削土の運搬	• 積込み完了後の搬出先への運搬 • 排出位置での掘削土の排出 • 排出後の施工箇所への帰還	• 規制帯の指定された出入口から退出する機能 • 施工箇所から搬出先まで一般道を自動走行する機能 • 搬出先の指定された位置まで移動し、掘削土を自動で排出する機能 • 排出後、一般道を自動走行して施工箇所へ帰還する機能 • 規制帯の指定された出入口から進入し、作業指示者のハンドサイン等に従って指定位置まで移動・停止する機能 • 作業者、建設機械、一般車両、自転車等を検知し、接触を防止する機能	• 一般道での完全自動運転に向けて将来開発される技術を応用し、規制帯からの退出、搬出先までの運搬、掘削土の排出及び施工箇所への帰還までを自動化することが考えられる。 • 一般道での自動運転技術に、規制帯の指定された出入口から進入・退出する機能、作業者や建設機械等を検知して接触を防止する機能及び作業指示者のハンドサイン等に従って指定位置まで移動・停止する機能を組み合わせることで、施工箇所への進入から退出までの作業に応用できる可能性がある。 • 搬出先では、指定された排出位置まで移動し、自動でダンプアップして掘削土を排出した後、ダンプダウンする技術を一連の運搬作業に応用できる可能性がある。

7.1.3. 水道管の運搬・吊込み・接続

水道管の敷設では、クレーン機能付きバックホウのオペレータ 1 名と、床掘り箇所で水道管の受取り及び既設管との接続を行う作業者 2 名の計 3 名で作業していた。クレーン機能付きバックホウにより水道管を施工箇所まで運搬して床掘り箇所へ吊り込み、作業者が既設管との位置関係を確認しながら、管の位置及び姿勢を調整して接続していた。接続時には、水道管を吊った状態に保ち、管の位置、角度及び差込み量を確認しながら、所定の位置まで押し込んでいた。この一連の作業の流れを図 7-3 に示し、省人化の可能性を検討した。

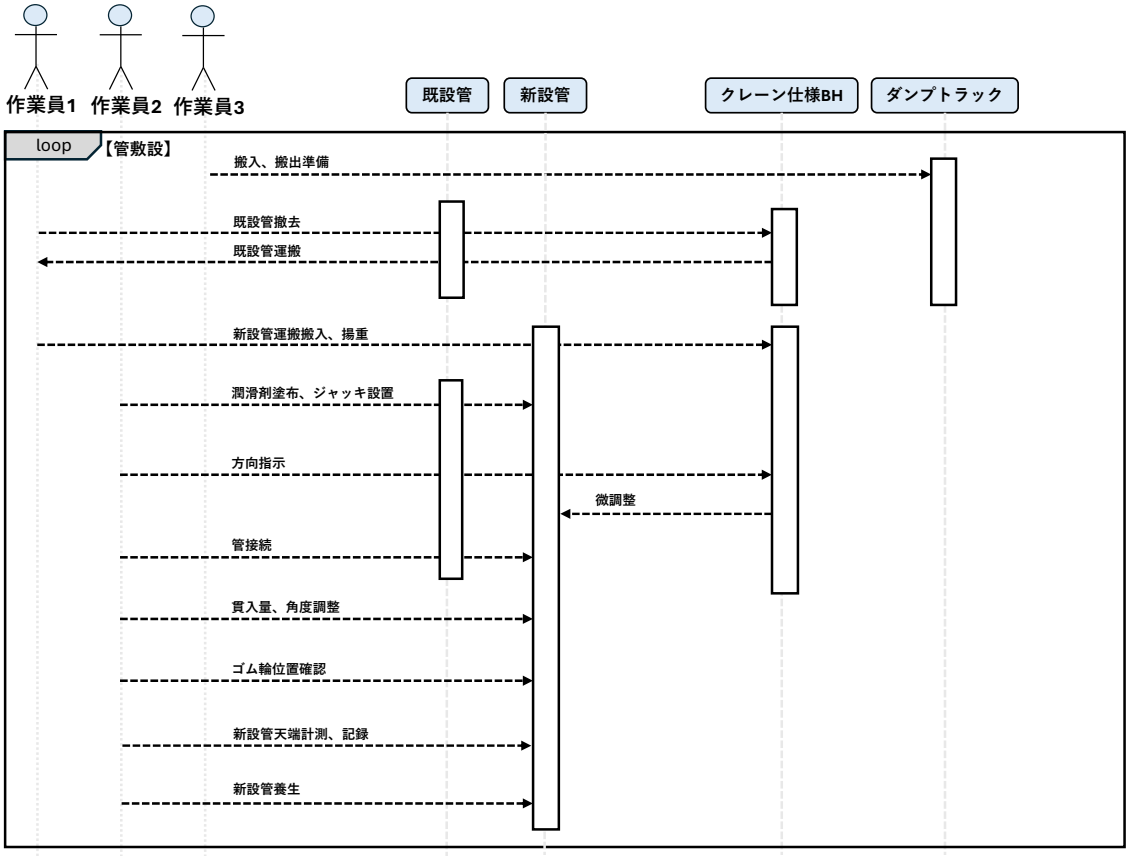


図 7-3　水道管の運搬・吊込み・接続のシーケンス図

表 7-6　水道管の運搬・吊込み・接続への適用が期待されるオートメーション化技術

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
水道管の運搬・吊込み	• 水道管の玉掛け • クレーン機能付きバックホウによる水道管の運搬 • 床掘り箇所への水道管の吊込み • 作業者の指示に応じた水道管の位置及び姿勢の調整 	• 水道管の位置及び姿勢を認識する機能 • 水道管を把持し、安定した状態で運搬する機能 • 作業者の指示に応じて、水道管を床掘り箇所へ吊り込む機能 • 水道管の位置、角度及び高さを微調整する機能 • 作業者及び周辺の障害物を検知して停止する機能	• チルトローテータを搭載したバックホウには、管等を把持できるグリッパーやグラップル等のアタッチメントがある。これらのアタッチメントと建設機械の自動制御技術を組み合わせることで、水道管の把持、運搬及び吊込みへの応用が考えられる。 • 吊荷の揺れを抑制する技術や、吊荷の位置及び姿勢を計測する技術を活用することで、水道管を安定した状態で吊り込める可能性がある。 • 作業指示者のハンドサイン等を認識し、吊荷の移動や停止へ反映する機能を追加することで、作業者の指示に応じた位置調整への応用が考えられる。
水道管の接続	• 接続箇所への滑剤の塗布 • チェーンブロックの設置  • 管の位置及び角度の調整 • 既設管への水道管の差込み • 差込み量及びパッキンの取付状態の確認  • 管保護用ビニールカバーの重ね合わせ及びテープ固定	• 接続する管の位置及び角度を把握する機能 • 作業者の指示に応じて、水道管の位置及び姿勢を微調整する機能 • パッキンの取付状態を確認する機能 • 水道管を所定の位置まで押し込む機能 • 水道管の差込み量を計測する機能 • 管保護用ビニールカバーを重ねて固定する機能	• グリッパーやグラップル等のアタッチメントを用いて水道管を把持し、バックホウの微操作によって位置及び角度を調整することが考えられる。 • 水道管の位置、角度及び差込み量を計測する技術と建設機械の制御技術を組み合わせることで、管の位置合わせ及び押込みを支援できる可能性がある。 • 滑剤の塗布、パッキンの状態確認及びビニールカバーの固定については、調査範囲内で適用可能な技術を確認できなかった。

7.1.4. 埋戻し・締固め

水道管の敷設・接続後は、管周りの砂、発生土及び砕石の順に埋め戻していた。作業は、バックホウで埋戻し材を投入するオペレータ 1 名と、投入された材料の敷き均し及び締固めを行う作業者 2 名の計 3 名で行っていた。バックホウオペレータは、作業者の指示を踏まえ、埋戻しの進捗に応じて材料の投入位置及び投入量を調整していた。作業者は、投入された材料を一層ごとに敷き均し、振動コンパクタで締め固めていた。この一連の作業の流れを図 7-4 に示し、省人化の可能性を検討した。

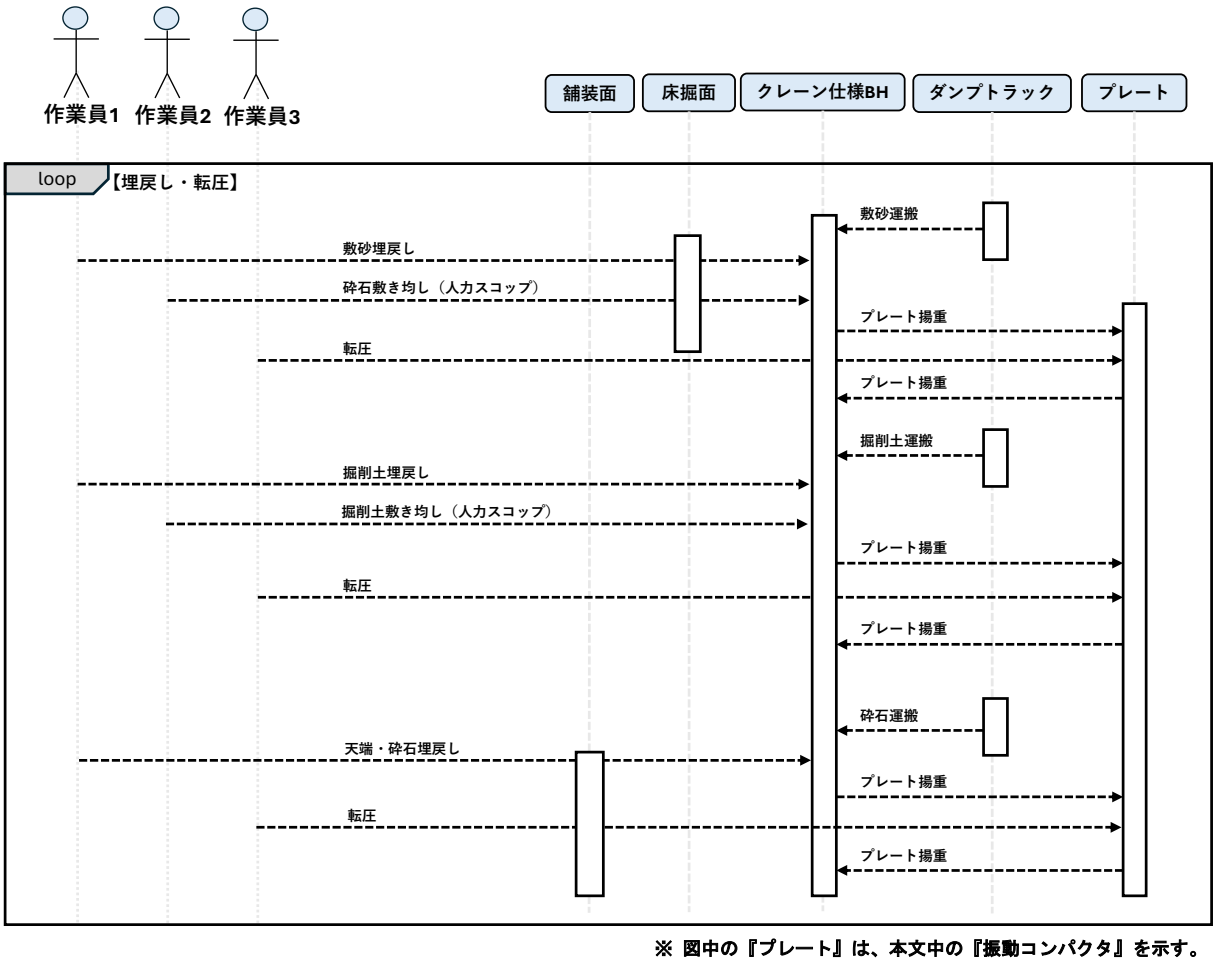


図 7-4　埋戻し・締固めのシーケンス図

表 7-7　埋戻し・締固めへの適用が期待されるオートメーション化技術

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
埋戻し	• ダンプトラックによる砂、発生土及び砕石の運搬 • 作業の進捗に応じ、埋戻し材を積載したダンプトラックの入替え • 作業者の指示に応じたバックホウによる埋戻し材投入  • 作業者によるスコップを用いた埋戻し材の敷均し 	• 砂、発生土及び砕石の施工順序に応じて、各材料を運搬するダンプトラックを入れ替え、バックホウが材料をすくい取れる位置へ移動させる機能 • ダンプトラックの荷台から埋戻し材をすくい取る機能 • 埋戻しの進捗及び埋戻し面の高さに応じて、埋戻し材の投入量を調整する機能 • 作業指示者のハンドサインを認識し、投入位置及び投入量を調整する機能 • 狭い床掘り箇所へ埋戻し材を均一に投入する機能	• ダンプトラックをバックホウの作業位置に応じて前後移動させる機能により、材料のすくい取り位置の調整を省人化できる可能性がある。また、砂、発生土及び砕石の施工順序に応じて、各材料を積載したダンプトラックを識別し、入れ替える機能が必要となる。 • 決められた範囲内のほぐし土を掘削・積込みする自動バックホウが実用化されている。この技術を、ダンプトラックからの埋戻し材のすくい取り及び床掘り箇所への投入に応用することが考えられる。 • 作業指示者のハンドサイン等を認識し、建設機械の動作へ反映する機能により、作業者の指示に応じた投入位置及び投入量の調整に応用できる可能性がある。 • チルトローテータはバケットの角度を調整できるため、狭い床掘り箇所へ埋戻し材を投入しやすくなる。自動制御技術と組み合わせることで、指定した位置への精度の高い材料投入に応用できる可能性がある。
締固め	• バックホウによる振動コンパクタの搬入・搬出  • 振動コンパクタによる埋戻し材の締固め 	• 振動コンパクタを把持し、床掘り箇所へ搬入・搬出する機能 • 振動コンパクタ等により自動で締め固める機能	• チルトローテータを搭載したバックホウには、締固め用アタッチメントがある。締固め用アタッチメントを用いることで、振動コンパクタの搬入・搬出を行わず、バックホウによって締固めを行うことが考えられる。  出典：参考文献 13) • 振動コンパクタ自体を床掘り箇所内で自動走行させ、管及び床掘り側面との接触を防止しながら締固めを行う技術については、調査範囲内で適用可能な技術を確認できなかった。

7.2. 電線共同溝工事

7.2.1. 舗装版の破砕・撤去

電線共同溝のさや管を敷設するためには、舗装版を破砕・撤去して施工箇所を開口する必要がある。舗装版は、事前にコンクリートカッタによって切断されていた。調査対象箇所では、舗装厚が約 40cm あり、バックホウだけで破砕を開始することが難しかったため、作業者がコンクリートブレーカで開口部を設けていた。その後、開口部からバックホウのバケットを差し込み、舗装版をブロック状に破砕・撤去していた。撤去したアスファルト殻は、ダンプトラックへ積み込んでいた。舗装版の破砕時には、隣接車線へのアスファルト殻の飛散を防止するため、作業者 1 名が飛散防止ネットを保持し、破砕位置に応じてその位置を調整していた。この一連の作業の流れを図 7-5 に示し、省人化の可能性を検討した。

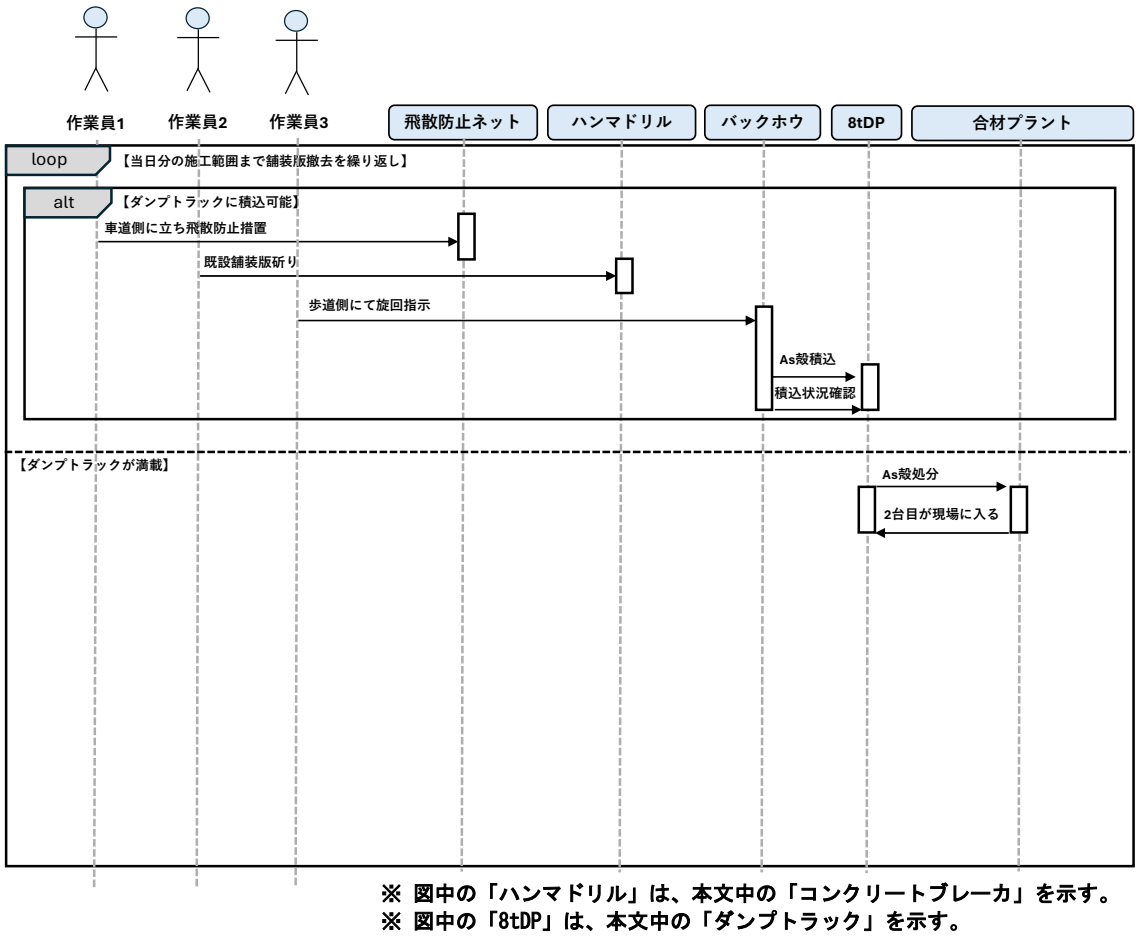
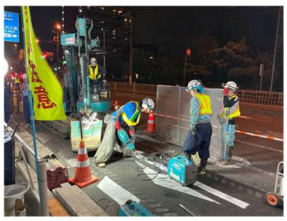


図 7-5　舗装版の破砕・撤去のシーケンス図

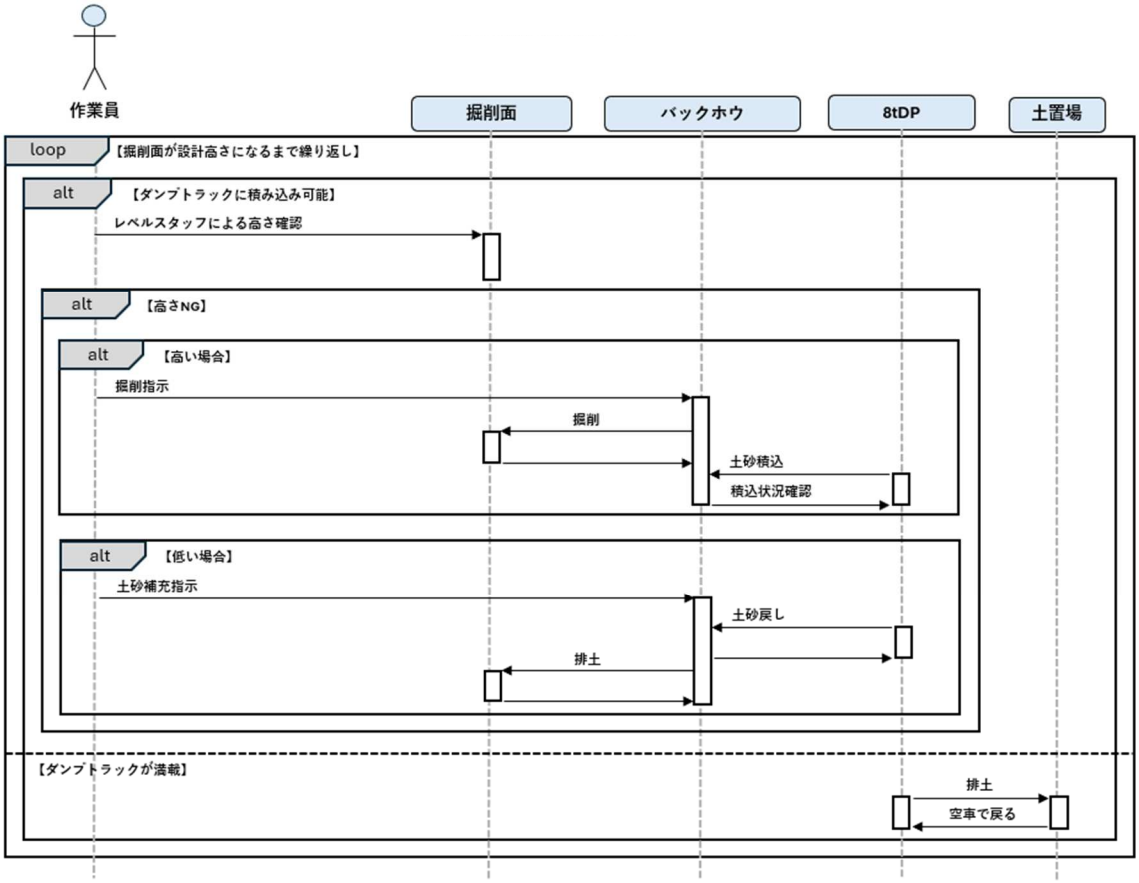
表 7-8　舗装版の破砕・撤去への適用が期待されるオートメーション化技術

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
舗装版の破砕	• 舗装厚約 40cm の舗装版へのコンクリートブレーカによる開口部の確保 • 開口部を起点としたバックホウによる舗装版の破砕 • 飛散防止ネットの設置及び破砕位置に応じた移動 	• 舗装厚に応じて舗装版を破砕する機能 • 切断線に沿ってコンクリートブレーカで舗装版を破砕する機能 • アスファルト殻の飛散を防止する機能	• チルトローテータのリッパーやグラップル等のアタッチメントを用いることで、開口部を起点とした舗装版の破砕・把持・撤去の効率化が期待される。さらに、自動バックホウの制御技術と組み合わせることで、一連の作業を自動化できる可能性がある。  出典：参考文献 13) • 舗装厚約 40cm の舗装版に開口部を設けるコンクリートブレーカの自動化については、調査範囲内で適用可能な技術を確認できなかった。 • 決められた範囲を掘削する自動バックホウの技術を応用し、開口部を起点として、舗装版を順次破砕・把持して撤去することが考えられる。 • 破砕位置に応じて移動し、アスファルト殻の飛散を防止する設備については、調査範囲内で適用可能な技術を確認できなかった。
舗装版の撤去・積込み	• 開口部からバックホウによる舗装版の破砕・撤去  • アスファルト殻のダンプトラックへの積込み • 作業指示者の合図に応じた旋回 	• 舗装版を自動で破砕・撤去し、ダンプトラックへ積み込む機能 • 歩行者及び自転車を検知して、旋回を停止する機能	• 決められた範囲を掘削・積込みする自動バックホウの技術を、破砕した舗装版の撤去及びダンプトラックへの積込みに応用することが考えられる。 • 検知範囲内に人が進入した場合に、建設機械を自動で減速・停止させる技術が実用化されている。この技術を、歩行者及び自転車の通行時における旋回停止に活用できる。

7.2.2. 路盤の掘削・積込み

路盤の掘削・積込みは、バックホウオペレータ 1 名とダンプトラック運転手 1 名により行っていた。また、掘削面の高さを確認して追加掘削量を指示する作業者 1 名と、歩行者及び自転車の通行状況を確認してバックホウの旋回の開始・停止を指示する作業者 1 名が配置され、計 4 名で作業していた。

バックホウオペレータは、作業者の指示に応じて掘削位置及び掘削量を調整し、掘削土をダンプトラックへ積み込んでいた。交通規制帯内でダンプトラックを配置できる場所は 1 台分に限られていたため、ダンプトラックは入れ替わりで作業していた。また、歩道を歩行者又は自転車が通行する場合には、バックホウの旋回作業を一時停止していた。この一連の作業の流れを図 7-6 に示し、省人化の可能性を検討した。



※ 図中の「作業員」は、掘削面の高さ確認と歩行者等の通行確認を行う作業者をまとめて示す。
※ 図中の「8tDP」は、本文中の「ダンプトラック」を示す。
※ 図中の「レベルスタッフ」は、本文中の「標尺」を示す。

図 7-6　路盤の掘削・積込みのシーケンス図

表 7-9　路盤の掘削・積込みへの適用が期待されるオートメーション化技術①

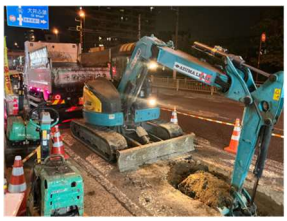
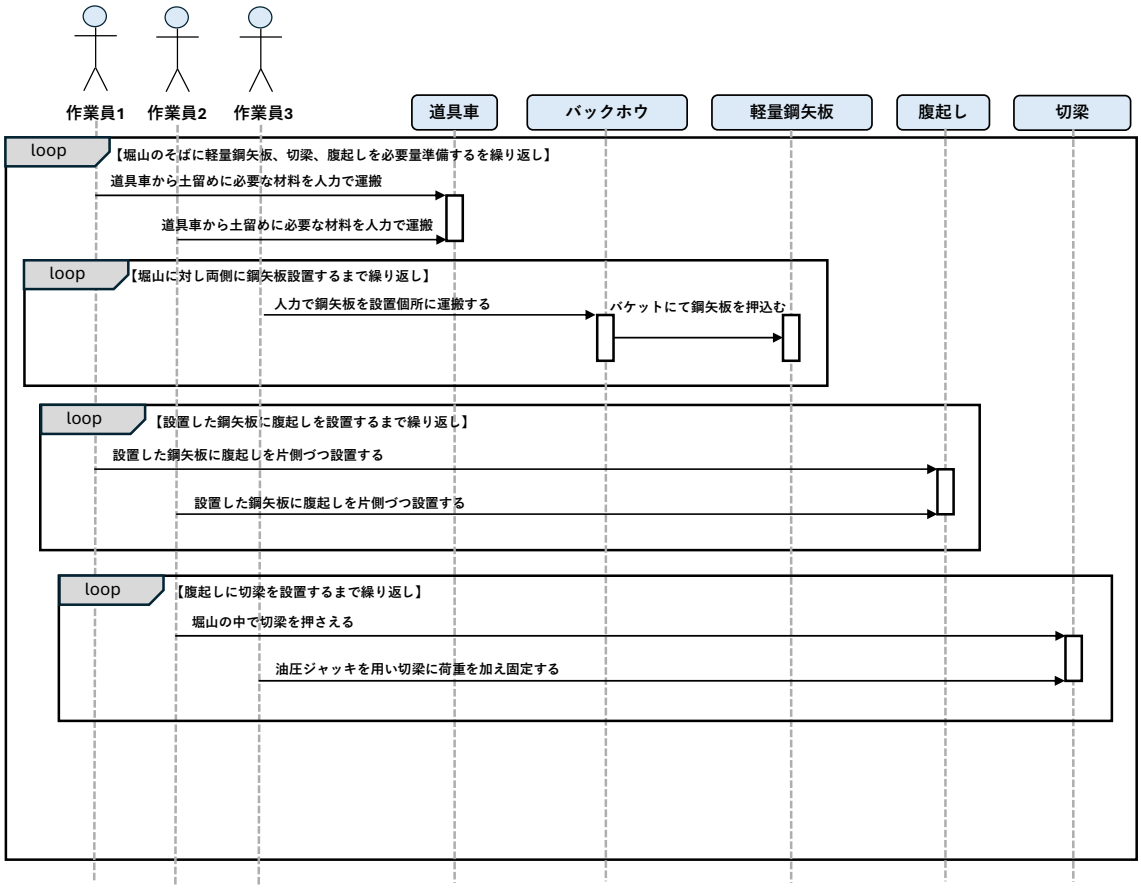
作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
路盤掘削	• 作業者による標尺を用いた掘削面の高さ確認  • 設計値との差に応じた追加掘削又は路盤材料の補充の指示 • 作業者の指示に応じたバックホウによる掘削又は材料補充 	• 設計値に合わせて路盤を自動で掘削する機能	• 決められた範囲内のほぐし土を掘削・積込みする自動バックホウが実用化されている。この技術を路盤の掘削へ応用することが考えられる。

表 7-10　路盤の掘削・積込みへの適用が期待されるオートメーション化技術②

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
ダンプトラックへの積込み	• 作業指示者による歩行者及び自転車の通行状況の確認 • 作業指示者の合図に応じたバックホウの旋回・停止  • バックホウによる掘削土のダンプトラックへの積込み  • ダンプトラックの入替え及び積込み位置への移動	• 歩行者及び自転車を検知して、バックホウの旋回を停止する機能 • 掘削土をダンプトラックへ自動で積み込む機能 • 掘削土の積載量を計測し、積込み完了を判断する機能 • 作業指示者のハンドサイン等に従い、積込み位置まで移動・停止する機能	• 検知範囲内に人が進入した場合に、建設機械を自動で減速・停止させる技術が実用化されている。この技術を、歩行者及び自転車の通行時における旋回停止に活用できる。 • 決められた範囲内のほぐし土を掘削・積込みする自動バックホウが実用化されている。この技術を、路盤の掘削土の積込みへ応用することが考えられる。 • バックホウのバケットで積み込んだ材料の重量を計測する技術が実用化されており、積載量の把握や過積載の防止に活用できる。 • 作業指示者のハンドサイン等を認識し、その指示に従って規制帯の指定された出入口から進入し、積込み可能な位置まで移動・停止する機能により、規制帯内における位置調整を省人化できる可能性がある。
掘削土の運搬	• 積込み完了後の搬出先への運搬 • 排出位置での掘削土の排出 • 排出後の施工箇所への帰還	• 規制帯から退出し、搬出先まで一般道を自動走行する機能 • 排出位置で掘削土を自動排出する機能 • 排出後、施工箇所へ自動で帰還し、規制帯へ進入する機能 • 周辺の人、車両及び建設機械等を検知し、接触を防止する機能	• 一般道での完全自動運転に向けて将来開発される技術を応用し、規制帯からの退出、搬出先までの運搬、掘削土の排出及び施工箇所への帰還までを自動化することが考えられる。 • 規制帯の指定された出入口から進入・退出する機能、作業者や建設機械を検知して接触を防止する機能及び作業指示者のハンドサインに応じて指定位置に停止する機能が必要となる。 • 土砂受入れ地等では、指定された排出位置まで移動し、自動でダンプアップして掘削土を排出した後、ダンプダウンする技術を一連の運搬作業へ応用できる可能性がある。

7.2.3. 土留め支保工の設置

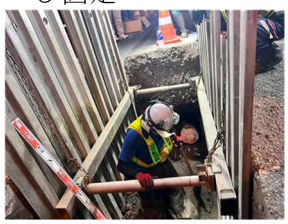
床掘り後は、掘削箇所周辺の地盤の崩壊を防止するため、軽量鋼矢板、腹起し及び切梁による土留め支保工を設置していた。作業は、軽量鋼矢板を設置位置まで運搬して配置する作業者1～2名、バックホウのバケット背面で軽量鋼矢板を押し込むオペレータ1名及び腹起し・切梁を設置する作業者1名の計3～4名で行っていた。バックホウオペレータは、作業者の指示を確認しながら軽量鋼矢板を押し込み、作業者は、その設置状態を確認して腹起し及び切梁の位置を調整し、固定していた。この一連の作業の流れを図7-7に示し、省人化の可能性を検討した。



※ 図中の作業員数は、軽量鋼矢板の運搬・配置を作業者1名で行う場合を示す。

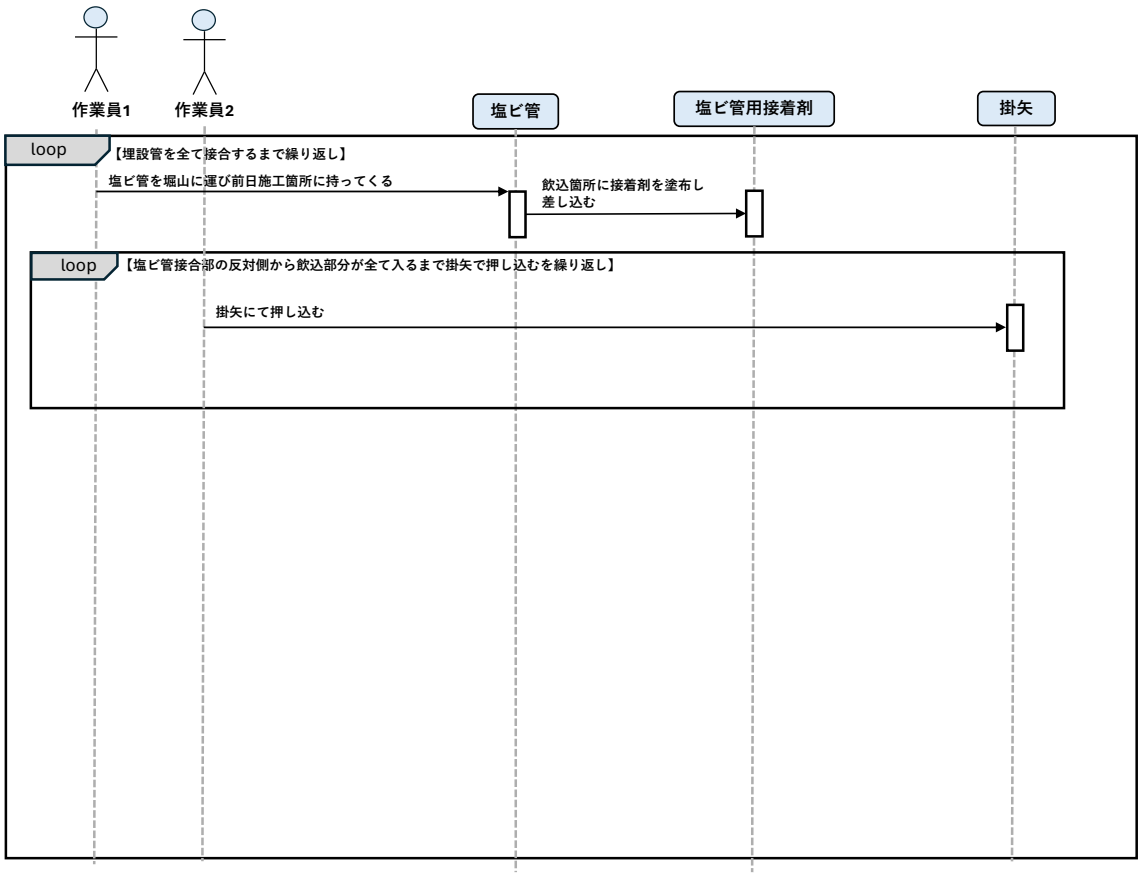
図7-7　土留め支保工のシーケンス図

表 7-11　土留め支保工への適用が期待されるオートメーション化技術

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
軽量鋼矢板の設置	• 作業者による軽量鋼矢板の運搬・配置  • バックホウのバケット背面による軽量鋼矢板の押込み 	• 軽量鋼矢板を把持し、設置位置まで運搬する機能 • 作業者の指示に応じて、軽量鋼矢板を所定の位置へ押し込む機能 • 作業者及び周辺の障害物を検知して停止する機能	• チルトローテータを搭載したバックホウには、軽量鋼矢板を把持できるグリッパーやグラップル等のアタッチメントがある。これらのアタッチメントと建設機械の自動制御技術を組み合わせることで、軽量鋼矢板の運搬・配置及び押込みに応用できる可能性がある。
腹起し・切梁の設置	• 作業者による腹起し及び切梁の運搬・設置 • 設置位置の調整及び固定 	• 腹起し及び切梁を把持し、設置位置まで運搬する機能 • 設置位置を調整して固定する機能	• 腹起し及び切梁の設置は、狭い床掘り箇所内で位置を調整しながら行う必要がある。調査範囲内では、適用可能なオートメーション化技術を確認できなかった。

7.2.4. 電線共同溝さや管の運搬・敷設・接続

土留め支保工の設置後は、作業者 2 名が電線共同溝さや管を人力で施工箇所まで運搬し、前日までに敷設したさや管との位置関係や管の配列を確認しながら敷設・接続していた。接続時には、さや管の接続部に接着剤を塗布し、管の位置及び角度を調整しながら、既に敷設されているさや管の受口へ所定の深さまで差し込んでいた。この一連の作業の流れを図 7-8 に示し、省人化の可能性を検討した。



※ 図中の「塩ビ管」は、本文中の「電線共同溝さや管」を示す。

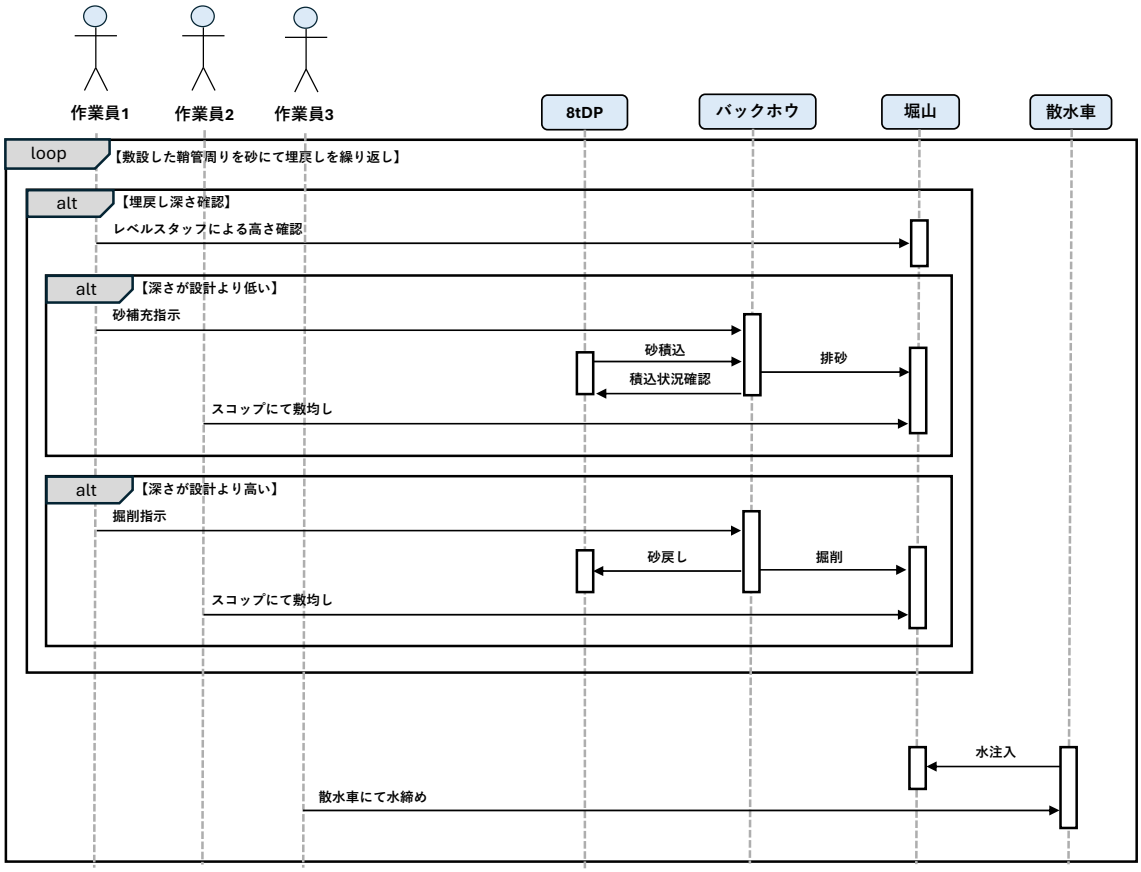
図 7-8　電線共同溝さや管の運搬・敷設・接続のシーケンス図

表 7-12　電線共同溝さや管の運搬・敷設・接続への適用が期待されるオートメーション化技術

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
さや管の運搬・敷設	• 作業者2名によるさや管の運搬 • 床掘り箇所へのさや管の受渡し • さや管の配列及び間隔の調整  	• さや管を把持し、施工箇所まで運搬する機能 • さや管を床掘り箇所へ降ろし、所定の位置に配置する機能 • 作業者及び周辺の障害物を検知して停止する機能	• チルトローテータを搭載したバックホウには、管等を把持できるグリッパーやグラップル等のアタッチメントがある。これらのアタッチメントと建設機械の自動制御技術を組み合わせることで、さや管の運搬及び敷設に応用できる可能性がある。
さや管の接続	• スペーサーによるさや管の配列及び間隔の保持 • 接続部への接着剤の塗布 • 管の位置及び角度の調整 • 既設管への差込み  	• 接続する管の位置及び角度を把握する機能 • 管の位置及び姿勢を微調整する機能 • さや管を所定の位置まで差し込む機能	• グリッパーやグラップル等を用いてさや管を把持し、バックホウの微操作によって位置及び角度を調整することが考えられる。 • 接着剤の塗布、スペーサーの取付け及び管の接続については、調査範囲内で適用可能なオートメーション化技術を確認できなかった。

7.2.5. 管周りの埋戻し・水締め

さや管の敷設・接続後は、管周りを砂で埋め戻していた。作業は、砂を運搬するダンプトラック運転手 1 名、バックホウで砂を投入するオペレータ 1 名、管周りの砂をスコップで敷き均す作業者 2 名及び散水車で水締めを行う作業者 1 名の計 5 名で行っていた。バックホウオペレータは、作業者の指示を踏まえ、管の位置及び埋戻しの進捗に応じて砂の投入位置及び投入量を調整していた。管周りを砂で埋め戻した後は、軽量鋼矢板を撤去し、埋戻し面の状態を確認した上で水締めを行っていた。この一連の作業の流れを図 7-9 に示し、省人化の可能性を検討した。



※ 図中の「8tDP」は、本文中の「ダンプトラック」を示す。
※ 図中の「レベルスタッフ」は、本文中の「標尺」を示す。

図 7-9　管周りの埋戻し・水締めのシーケンス図

表 7-13　管周りの埋戻し・水締めへの適用が期待されるオートメーション化技術①

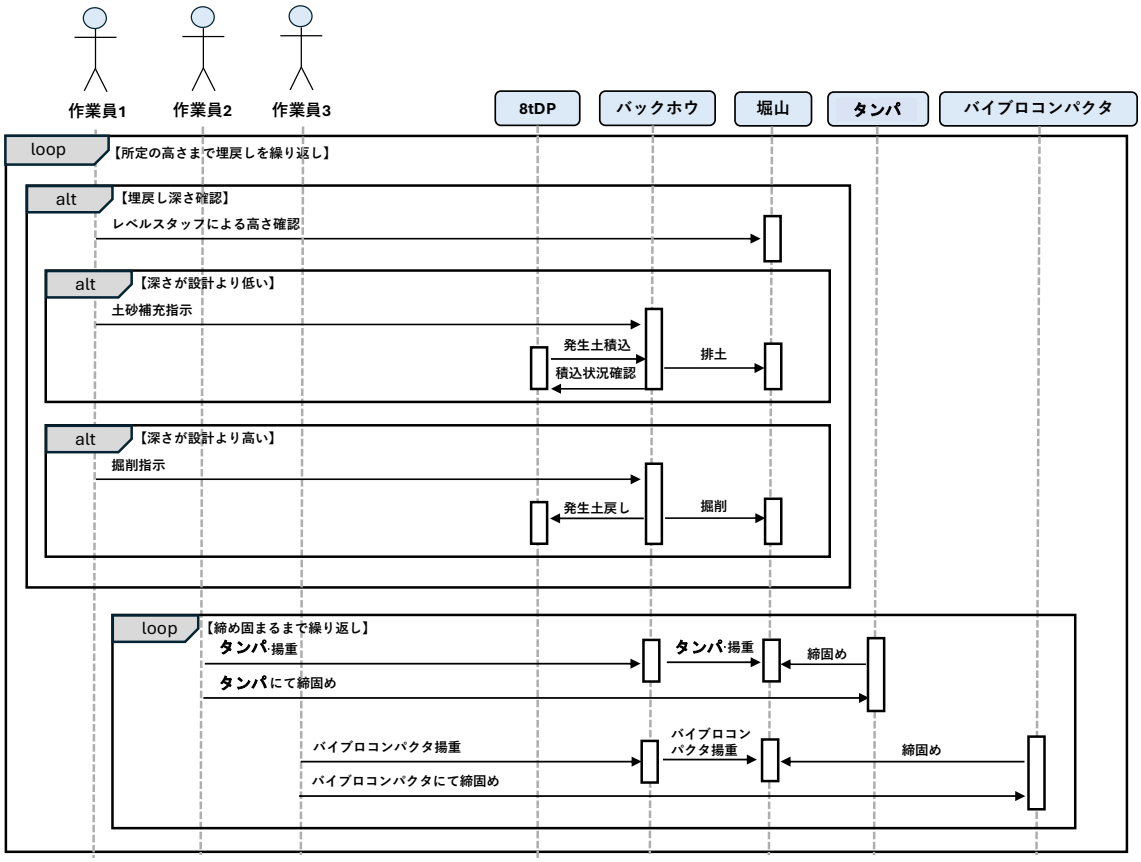
作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
軽量鋼矢板の撤去	• 軽量鋼矢板への玉掛け • 作業指示者のハンドサインに従った、バックホウによる軽量鋼矢板の引抜き・撤去 	• 軽量鋼矢板を把持して引き抜く機能 • 作業指示者のハンドサインを認識し、その指示に従って動作又は停止する機能 • 作業者及び周辺の障害物を検知して停止する機能	• チルトローテータを搭載したバックホウのグリッパー等により、軽量鋼矢板を把持して引き抜くことが考えられる。 • ハンドサインを認識し、その指示に従って建設機械を動作又は停止させる技術については、調査範囲内で適用可能な技術を確認できなかった。
管周りの埋戻し	• ダンプトラックによる砂の運搬 • バックホウによる管周りへの砂の投入 • 作業者による砂の敷均し • 埋戻し高さの確認及び砂の追加・除去 	• 砂を施工箇所まで自動で運搬する機能 • 誘導員のハンドサイン等を認識し、規制帯の指定された出入口から進入して、砂のすくい取りが可能な位置まで移動・停止する機能 • 管の位置及び埋戻しの進捗に応じて、砂の投入位置及び投入量を調整する機能 • 作業指示者のハンドサインを認識し、その指示に応じて砂の投入位置及び投入量を調整する機能 • 狭い床掘り箇所へ砂を均一に投入する機能	• 一般道での完全自動運転に向けて将来開発される技術を応用し、砂の積込み場所から施工箇所までの運搬を自動化することが考えられる。また、規制帯内では、誘導員のハンドサイン等を認識し、その指示に従って指定された出入口から進入し、砂のすくい取りが可能な位置まで移動・停止する機能が必要となる。 • 決められた範囲内のほぐし土を掘削・積込みする自動バックホウが実用化されている。この技術を、所定の位置に停車したダンプトラックからの砂のすくい取り及び管周りへの投入に応用することが考えられる。 • 作業指示者のハンドサイン等を認識し、建設機械の動作へ反映する機能により、作業者の指示に応じた砂の投入位置及び投入量の調整に応用できる可能性がある。 • チルトローテータはバケットの角度を調整できるため、狭い床掘り箇所の管周りへ砂を投入しやすくなる。自動制御技術と組み合わせることで、指定した位置への精度の高い材料投入に応用できる可能性がある。

表 7-14　管周りの埋戻し・水締めへの適用が期待されるオートメーション化技術②

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
水締め	• 散水車からの散水 • 砂の状態及び空気の抜け方を確認しながら行う水締め 	• 管周りへ自動で散水する機能 • 砂の状態を確認し、散水の継続又は終了を判断する機能	• 調査範囲内では、水締めに適用可能なオートメーション化技術を確認できなかった。

7.2.6. 埋戻し・路盤施工

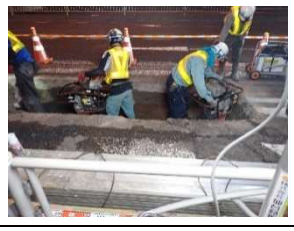
管周りの埋戻し・水締め後は、管周りの砂より上部を埋め戻し、下層路盤及び上層路盤の順に施工していた。作業は、バックホウで埋戻し材及び路盤材料を投入するオペレータ 1 名、施工面の高さを計測して材料の追加又は除去を指示する作業者 1 名並びに、小型振動ローラ、振動コンパクタ又はタンパを用いて締固めを行う作業者 1～2 名の計 3～4 名で行っていた。バックホウオペレータは、作業者の指示を踏まえて材料の投入位置及び投入量を調整していた。作業者は、材料を所定の層厚となるように敷き均し、締固めと高さの確認を繰り返していた。この一連の作業の流れを図 7-10 に示し、省人化の可能性を検討した。



※ 図中の「8tDP」は、本文中の「ダンプトラック」を示す。
※ 図中の「レベルスタッフ」は、本文中の「標尺」を示す。
※ 図中の「バイブロコンパクタ」は、本文中の「振動コンパクタ」を示す。

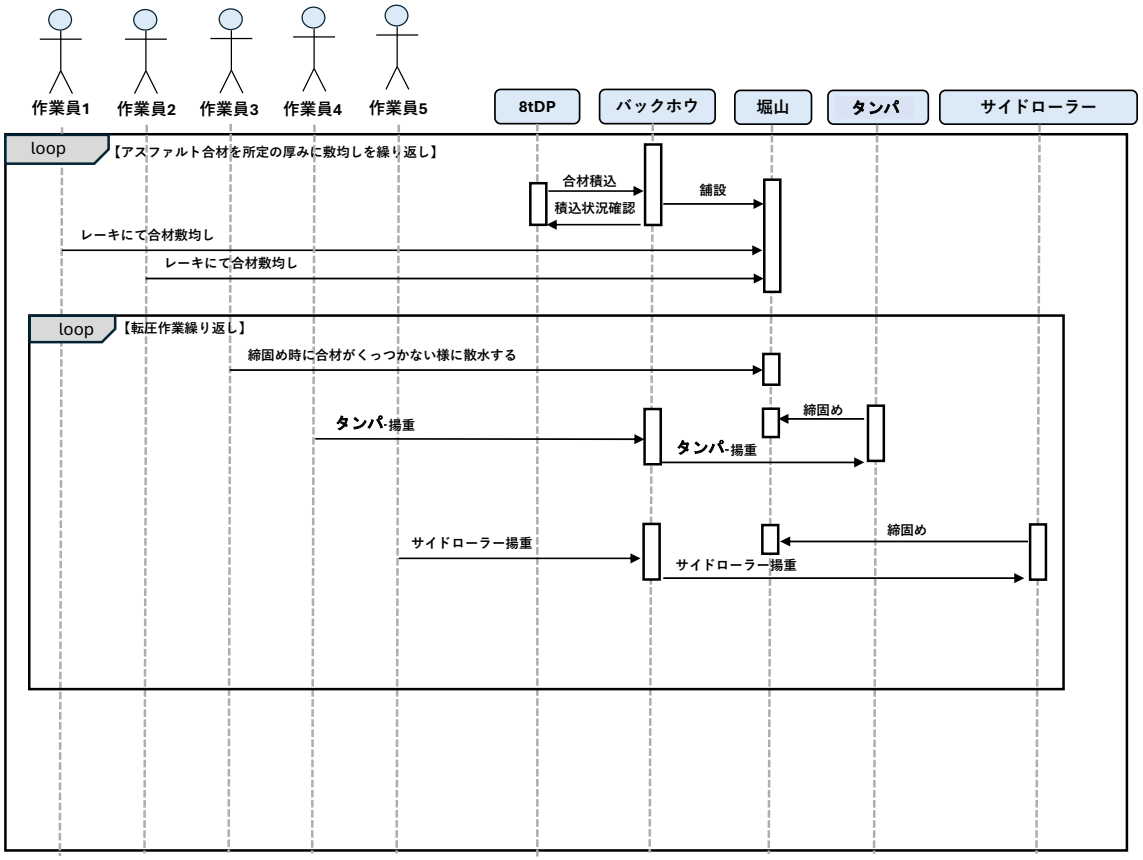
図 7-10　埋戻し・路盤施工のシーケンス図

表 7-15　埋戻し・路盤施工への適用が期待されるオートメーション化技術

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
埋戻し・路盤材の投入、敷均し	• ダンプトラックによる埋戻し材及び路盤材の運搬 • バックホウによる埋戻し材及び路盤材の投入  • 作業者による施工面の高さ確認 • 作業指示者のハンドサインに応じた材料の追加又は除去 • 作業者による材料の敷均し	• 埋戻し材及び路盤材を施工箇所まで自動で運搬する機能 • 誘導員のハンドサイン等を認識し、規制帯の指定された出入口から進入して、材料のすくい取りが可能な位置まで移動・停止する機能 • 作業指示者のハンドサインを認識し、材料の投入位置及び投入量を調整する機能 • 施工面の高さに応じて、材料を追加又は除去する機能 • 狭い床掘り箇所へ材料を均一に投入する機能	• 一般道での完全自動運転に向けて将来開発される技術を応用し、埋戻し材及び路盤材を施工箇所まで運搬することが考えられる。また、規制帯内では、誘導員のハンドサイン等を認識し、その指示に従って指定された出入口から進入し、バックホウが材料をすくい取る位置まで移動・停止する機能が必要となる。 • 決められた範囲内のほぐし土を掘削・積込みする自動バックホウが実用化されている。この技術を、所定の位置に停車したダンプトラックからの埋戻し材及び路盤材のすくい取り並びに施工箇所への投入に応用することが考えられる。 • 作業指示者のハンドサイン等を認識し、建設機械の動作へ反映する機能により、作業者の指示に応じた投入位置及び投入量の調整に応用できる可能性がある。 • チルトローテータはバケットの角度を調整できるため、狭い施工箇所へ埋戻し材及び路盤材を投入しやすくなる。自動制御技術と組み合わせることで、指定した位置への精度の高い材料投入に応用できる可能性がある。
締固め	• タンパ、振動コンパクタ又は小型振動ローラによる締固め • 締固め後の施工面の高さ及び状態の確認 	• 施工箇所の幅や状態に応じて締固め機械を選択する機能 • 施工前後の材料の高さを計測し、所定の仕上がり層厚となったことを確認する機能 • 作業者及び周辺の障害物を検知して停止する機能	• 施工前後の材料の高さを計測し、締固めによって所定の仕上がり層厚になったことを確認する技術により、狭い床掘り箇所における締固め管理を支援できる可能性がある。 • 狭い床掘り箇所で使用する振動コンパクタやタンパを遠隔操作又は自動制御する技術については、調査範囲内で確認できなかった。

7.2.7. 舗装復旧（基層・表層）

下層路盤及び上層路盤の施工後は、アスファルト合材を投入し、基層及び表層の順に舗装を復旧していた。作業は、アスファルト合材を運搬して施工箇所へ供給するダンプトラック運転手 1 名と、バックホウによるアスファルト合材の投入・粗均し、レーキによる敷均し並びに小型振動ローラ、振動コンパクタ及びタンパによる締固めを行う作業者 4 名の計 5 名で行っていた。作業者は、既設舗装面の高さを確認しながら、基層及び表層がそれぞれ所定の厚さとなるようにアスファルト合材を敷き均し、締め固めるとともに、表層と既設舗装面との間に段差が生じないようにすり付けていた。この一連の作業の流れを図 7-11 に示し、省人化の可能性を検討した。



※ 図中の「8tDP」は、本文中の「ダンプトラック」を示す。
※ 図中の「サイドローラー」は、本文中の「小型振動ローラ」を示す。

図 7-11　舗装復旧（基層・表層）のシーケンス図

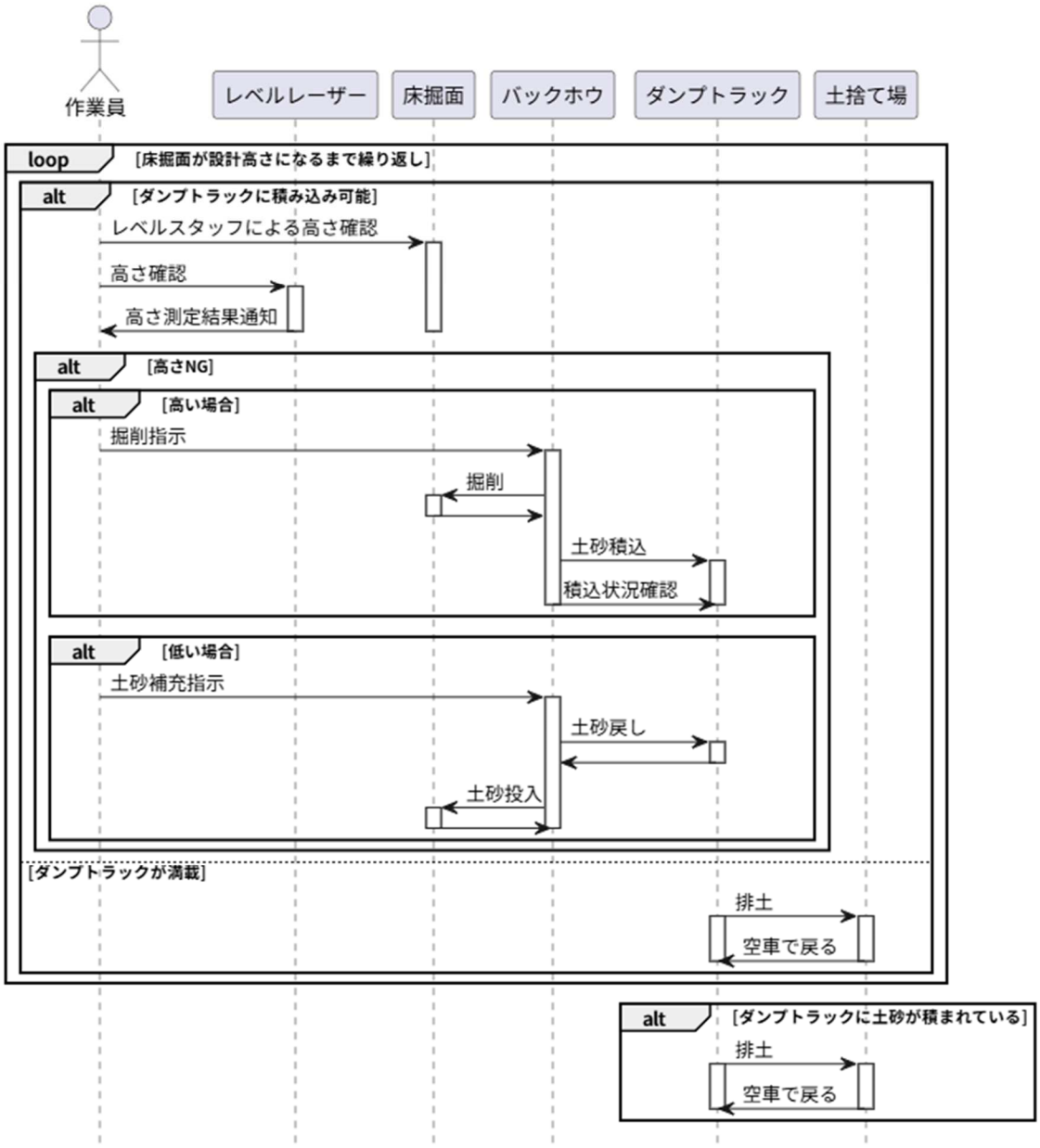
表 7-16　舗装復旧（基層・表層）への適用が期待されるオートメーション化技術

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
アスファルト合材の投入・敷均し	• ダンプトラックによるアスファルト合材の運搬  • 施工箇所へのアスファルト合材の投入 • レーキによる基層及び表層の敷均し  • 既設舗装面との段差が生じないように、敷均し厚さを調整して表層端部をすり付ける	• アスファルト合材を施工箇所まで自動で運搬する機能 • 誘導員のハンドサイン等を認識し、規制帯の指定された出入口から進入して、アスファルト合材の投入位置まで移動・停止する機能 • 施工範囲へアスファルト合材を均一に供給する機能 • 基層及び表層を所定の厚さに敷き均す機能 • アスファルト合材の温度や敷均し状況に応じて作業速度を調整する機能 • 既設舗装面の端部形状と高さを認識し、周辺舗装との段差が生じないようにすり付ける機能	• 一般道での完全自動運転に向けて将来開発される技術を応用し、アスファルト合材を施工箇所まで運搬することが考えられる。また、規制帯内では、誘導員のハンドサイン等を認識し、その指示に従って指定された出入口から進入し、アスファルト合材の投入位置まで移動・停止する機能が必要となる。 • 小型アスファルトフィニッシャを使用することで、アスファルト合材の供給及び敷均しを機械化できる可能性がある。ただし、調査対象現場のような狭い施工箇所において、基層及び表層を自動で敷き均す技術は、調査範囲内で確認できなかった。 • 既設舗装面の端部形状と高さを認識し、周辺舗装との段差が生じないように自動ですり付ける技術は、調査範囲内で確認できなかった。
締固め	• バックホウによる小型振動ローラ、振動コンパクタ又はタンパの搬入・搬出 • 施工箇所の幅や端部形状に応じた締固め機械の使い分け • 基層及び表層の締固め • 締固め後の舗装面の高さ及び仕上がり状態の確認 	• 締固め機械を施工箇所へ搬入・搬出する機能 • 施工箇所の幅及び端部形状に応じて締固め機械を選択する機能 • 既設舗装や構造物との接触を防止しながら締め固める機能 • 締固め後の舗装面の高さ及び仕上がり状態を確認する機能	• チルトローテータを搭載したバックホウには締固め用アタッチメントがあり、小型締固め機械を搬入・搬出せず、バックホウによって締固めを行うことが考えられる。 • 狭い施工箇所において、小型振動ローラ、振動コンパクタ又はタンパを自動で操作し、既設舗装や構造物との接触を防止しながら締め固める技術は、調査範囲内で確認できなかった。

7.3. 新設道路の側溝設置工事

7.3.1. 床掘り・積込み

床掘り・積込みは、バックホウオペレータ 1 名と、掘削面の高さを確認して追加掘削量を指示する作業者 1 名の計 2 名で行っていた。バックホウオペレータは、作業者の指示を踏まえて掘削位置及び掘削量を調整するとともに、掘削土をダンプトラックへ積み込んでいた。作業者は、掘削面の高さを確認し、計画掘削深さとの差に応じて追加掘削量を指示していた。この一連の作業の流れを図 7-12 に示し、省人化の可能性を検討した。



※ 図中の「レベルレーザー」は、本文中の「レベル」を示す。
※ 図中の「レベルスタッフ」は、本文中の「標尺」を示す。

図 7-12　床掘り・積込みのシーケンス図

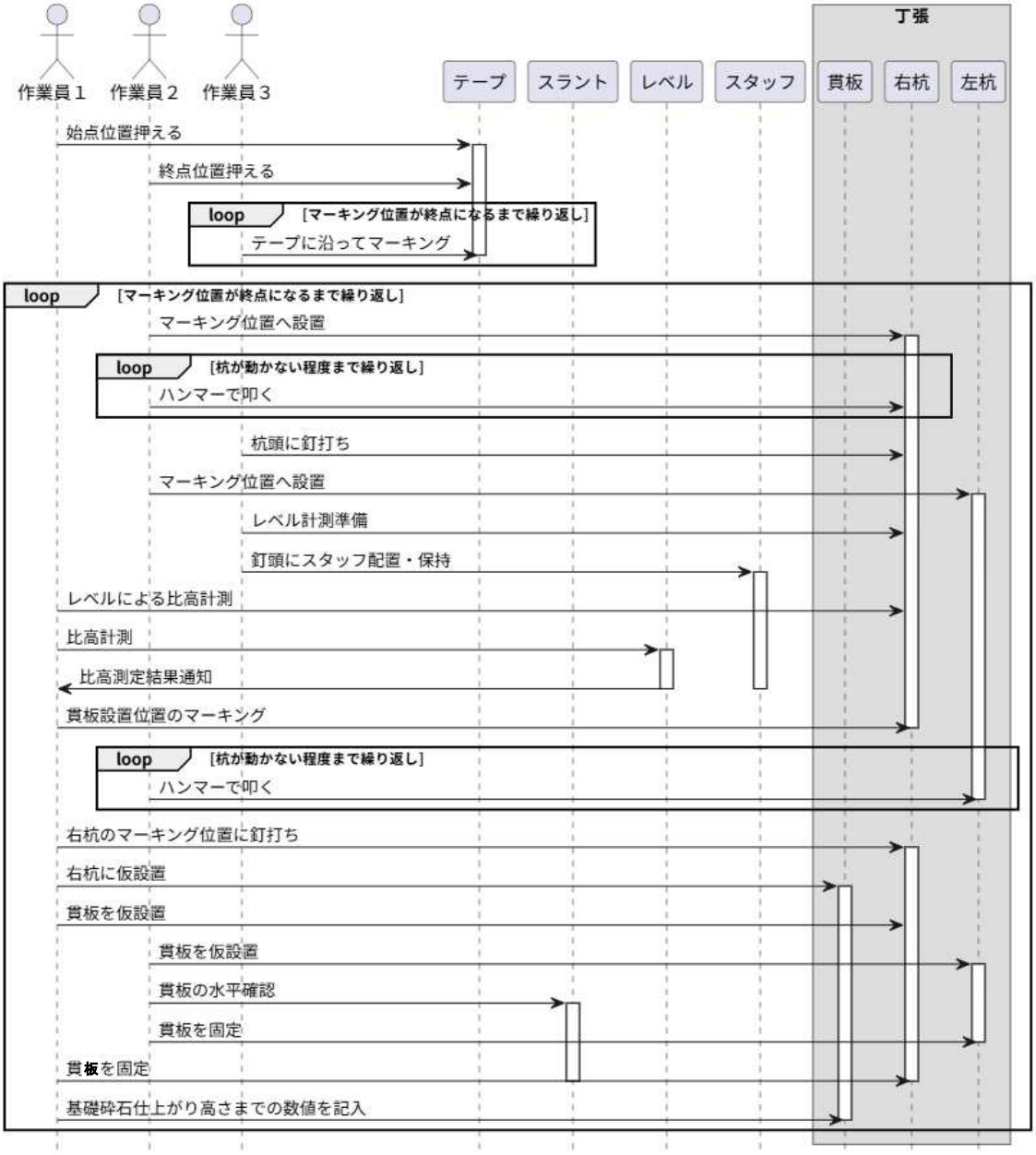
表 7-17　床掘り・積込みへの適用が期待されるオートメーション化技術

作業内容	従来作業	オートメーション化 技術に求められる機能	適用が期待される オートメーション化技術
床掘り	• 作業者による床掘り面の高さ確認  • 計画高さとの差に応じた追加掘削量の指示 • 作業指示者のハンドサインに従った、バックホウによる追加掘削又は土砂の補充 	• 設計値に合わせて決められた範囲を自動で床掘りする機能 • 床掘り面の高さを計測し、必要に応じて追加掘削又は土砂を補充する機能 • 作業指示者のハンドサイン等を認識し、掘削位置及び掘削量を調整する機能 	• 決められた範囲内のほぐし土を掘削・積込みする自動バックホウが実用化されている。この技術を床掘りへ応用することが考えられる。 • バケット刃先の位置や高さを計測し、設計値を超えて掘削しないように制御する技術により、床掘り面の高さ管理を支援できる可能性がある。 • 作業指示者のハンドサイン等を認識し、建設機械の動作へ反映する機能により、作業者の指示に応じた掘削位置及び掘削量の調整に応用できる可能性がある。
積込み	• バックホウによる掘削土のダンプトラックへの積込み • 掘削の進捗に応じたダンプトラックの停止位置の調整 • ダンプトラックによる場内の排出位置への運搬・排出 • 排出後の施工箇所への帰還 	• 掘削土をダンプトラックへ自動で積み込む機能 • 積載量を計測し、積込み完了を判断する機能 • バックホウの作業位置に応じて、ダンプトラックを積込み可能な位置へ移動させる機能 • 指定経路を自動走行し、排出位置で掘削土を排出して施工箇所へ帰還する機能 • 周辺の作業者、建設機械及び障害物を検知して停止する機能	• 決められた範囲内のほぐし土を掘削・積込みする自動バックホウの技術を、掘削土のダンプトラックへの積込みに応用することが考えられる。 • バックホウのバケットで積み込んだ材料の重量を計測する技術が実用化されており、積載量の把握、過積載の防止及び積込み完了の判断に活用できる。 • バックホウとダンプトラックが作業位置や進捗を共有し、ダンプトラックの停止位置を制御することで、バックホウの移動に応じた積込み位置の調整を自動化できる可能性がある。 • 限定された工事現場内で、指定された経路を自動走行するダンプトラックが実用化されている。この技術を、施工箇所から場内の排出位置までの運搬、掘削土の排出及び施工箇所への帰還に応用できる可能性がある。

7.3.2. 丁張の設置

基礎砕石及び基礎コンクリート用型枠の施工位置と高さを管理するため、これらの施工に先立って丁張を設置していた。準備作業では、現場代理人 1 名が、基準点及び計画高さをもとに、測量杭及び貫板の設置位置と高さを算定していた。設置作業は作業者 2～3 名で行い、測量杭の設置位置を確認するとともに、レベルと標尺を用いて杭頭の高さを測定していた。その測定結果をもとに貫板の設置高さを求め、貫板が水平となるように位置を調整して固定していた。

調査対象の施工者は ICT 施工に精通している。現場代理人への聞き取りでは、「側溝を直線的に設置し、良好な仕上がりを確保するためには、丁張を設置し、水糸に合わせて施工する方が適していることから、従来の丁張を用いた方法を採用している」とのことであった。この一連の作業の流れを図 7-13 に示し、省人化の可能性を検討した。



※ 図中の「スタッフ」は、本文中の「標尺」を示す。

図 7-13　丁張設置のシーケンス図

表 7-18　丁張設置への適用が期待されるオートメーション化技術

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
丁張位置出し・算定	• 工事基準点及び計画高さをもとに、測量杭の設置位置及び貫板の計画高さを算定 • 支障物がある場合の設置位置の変更及び貫板の計画高さの再算定	• 工事基準点及び 3 次元設計データをもとに、測量杭の設置位置を設定し、その位置における貫板の計画高さを取得する機能 • 施工箇所の支障物を認識し、支障物を避けた丁張の設置位置を設定する機能	• 3 次元設計データを取り込んだ現場端末を用いることで、任意の丁張設置位置における設計高さを取得できる。 • 施工箇所の支障物を自動で認識し、支障物を避けた丁張の設置位置を設定する技術は、調査範囲内で確認できなかった。
丁張設置	• レベルと標尺による杭頭の高さの測定  • ハンマーによる測量杭の打ち込み • 測量杭の高さ確認  • 貫板の設置高さの計測 • 貫板の設置及び水平調整 	• 測量杭の設置位置を自動で設定･表示する機能 • 測量杭及び貫板を施工箇所まで運搬する機能 • 測量杭を所定の位置へ打ち込む機能 • レベルと標尺による測定に代わり、杭頭の高さを自動で測定する機能 • 貫板を所定の位置･高さに設置し、水平に調整する機能	• 測量機器と連携して施工位置を表示する技術や、自動墨出し技術を、測量杭の設置位置の表示に応用できる可能性がある。 • 杭頭の高さを自動追尾型トータルステーション等を用いて自動で測定することで、レベルと標尺を用いた測定作業を省力化できる。 • 測量杭の打ち込み並びに貫板の設置及び水平調整を自動で行う技術は、調査範囲内で確認できなかった。

7.3.3. 基礎砕石の投入・敷均し・締固め

基礎砕石の施工では、バックホウにより砕石を施工箇所へ投入し、作業者が丁張を基準として砕石面の高さを確認していた。作業者は、丁張の貫板から砕石面までの高さを計測し、計画高さとの差に応じて、砕石の追加又は除去をバックホウオペレータへハンドサインで指示していた。バックホウオペレータは、その指示を踏まえて砕石の投入位置及び投入量を調整していた。投入後は、作業者が砕石を敷き均し、敷き均しが完了した箇所から、別の作業者がタンパを用いて締固めを行っていた。この一連の作業の流れを図 7-14 に示し、省人化の可能性を検討した。

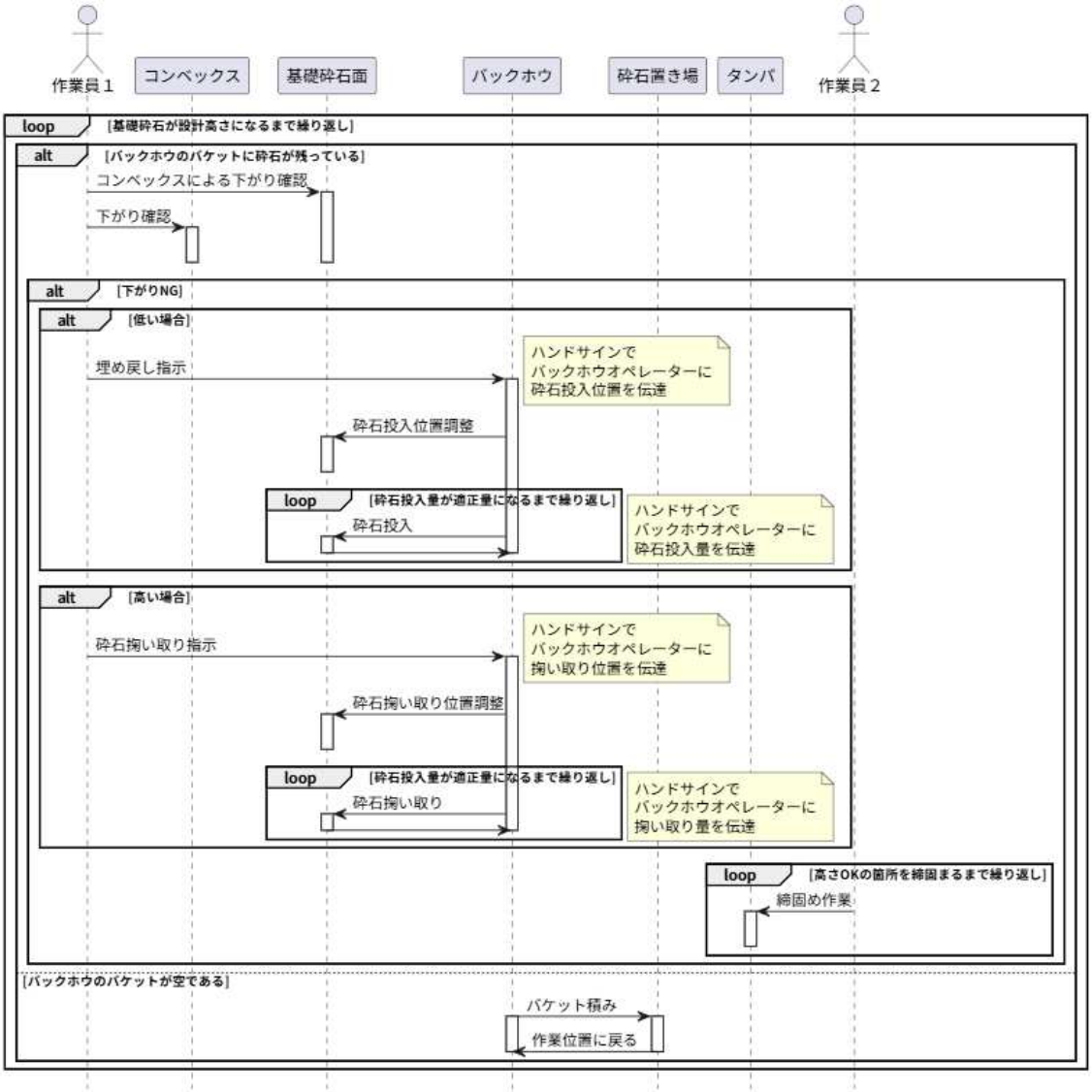


図 7-14　基礎砕石の投入・敷均し・締固めのシーケンス図

表 7-19　基礎砕石の投入・敷均し・締固めへの適用が期待されるオートメーション化技術

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
基礎砕石の投入・敷均し	• 作業指示者のハンドサインに従った、バックホウによる砕石の投入  • 丁張を基準とした砕石面の高さ確認  • 高さに応じた砕石の追加・除去 • 作業者による砕石の敷均し	• 指定範囲へ砕石を投入する機能 • 作業指示者のハンドサインを認識し、投入位置及び投入量を調整する機能 • 砕石面の高さに応じて、砕石を追加又は除去する機能	• 決められた範囲内のほぐし土を掘削・積込みする自動バックホウの技術を、砕石の投入及び敷均しに応用することが考えられる。 • 作業指示者のハンドサイン等を認識し、建設機械の動作へ反映する機能により、砕石の投入位置及び投入量の調整に応用できる可能性がある。 • チルトローテータと自動制御技術を組み合わせることで、指定位置への砕石の投入に応用できる可能性がある。
締固め	• タンパによる砕石の締固め • 締固め後の砕石面の高さ及び状態の確認 	• 砕石面を自動で締め固める機能 • 締固め後の高さ及び状態を確認する機能 • 作業者及び障害物を検知して停止する機能	• チルトローテータを搭載したバックホウの締固め用アタッチメントにより、基礎砕石を締め固めることが考えられる。 • タンパを自動で操作し、基礎砕石を締め固める技術については、調査範囲内で確認できなかった。

7.3.4. 基礎コンクリート用型枠の設置

基礎コンクリート用型枠の設置では、丁張に記載された下がり量及び設計幅を確認し、設計幅に合わせて金属製のピンを打ち込み、水糸を張っていた。その後、水糸に合わせて型枠材を並べ、金属製のピンで固定していた。型枠の設置後は、位置、幅、高さ及び通りを確認し、必要に応じて型枠又は固定用ピンの位置を調整していた。

固定用ピンは、型枠を所定の位置に保持するとともに、コンクリートの打設時に型枠が移動し、コンクリートが漏出することを防ぐために設置していた。また、型枠の外側に砕石を盛り、型枠を保持していた。固定用ピンは作業者が 1 本ずつ打ち込んでおり、型枠を確実に固定するために多数のピンを必要としていた。この一連の作業の流れを図 7-15 に示し、省人化の可能性を検討した。

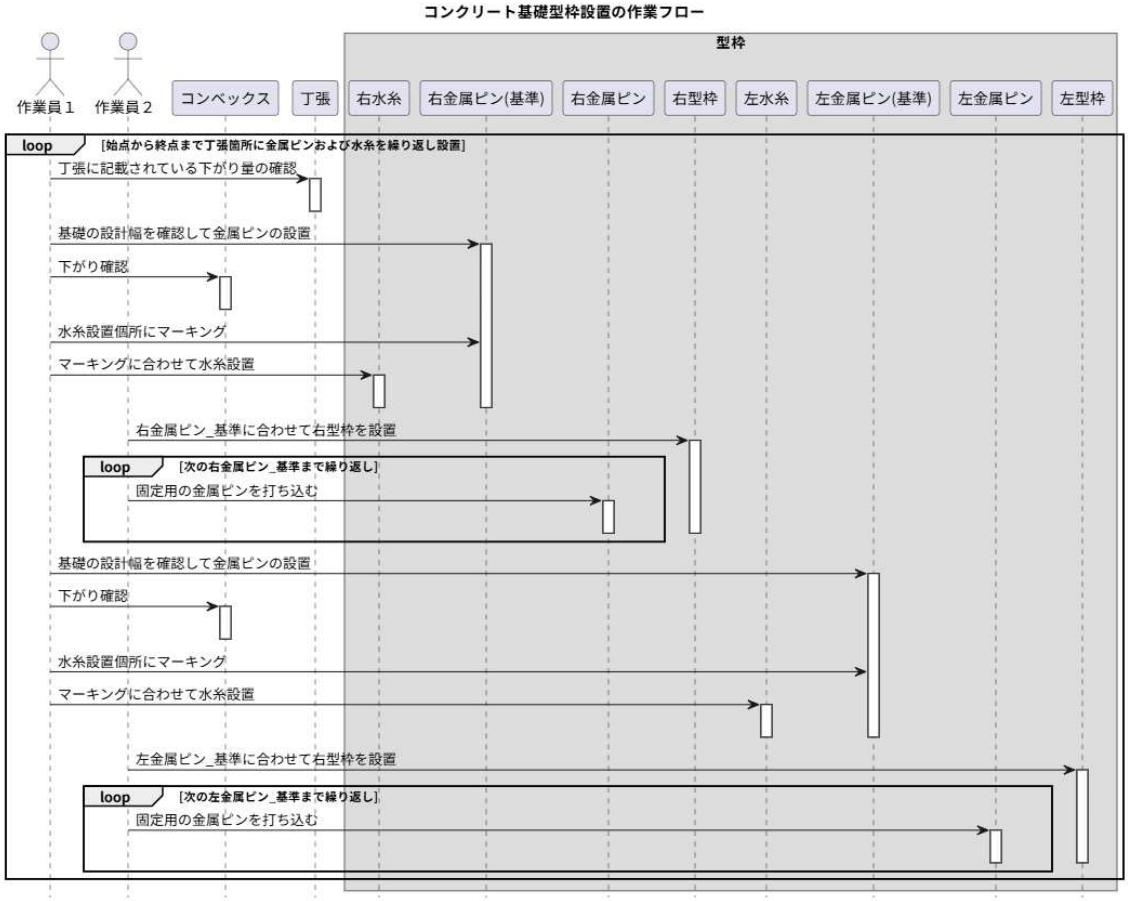


図 7-15　基礎コンクリート用型枠設置のシーケンス図

表 7-20　基礎コンクリート用型枠設置への適用が期待されるオートメーション化技術

作業内容	従来作業	オートメーション化技術に求められる機能	適用が期待されるオートメーション化技術
金属ピンの設置	• 丁張に記載された下がり量及び設計幅の確認 • 設置位置へのマーキング • 金属ピンの打ち込み • 水糸の設置 	• 設計情報に基づき、金属ピンの設置位置を表示する機能 • 金属ピンを所定の位置へ打ち込む機能 • 水糸を設置する機能	• 測量機器と連携して施工位置を表示する技術や、自動墨出し技術を、金属ピンの設置位置の表示に応用できる可能性がある。 • 金属ピンの打ち込み及び水糸の設置を自動で行う技術は、調査範囲内で確認できなかった。
型枠設置	• 水糸に合わせた型枠材の設置 • 金属ピンによる型枠の固定 • 型枠の位置、幅、高さ及び通りの確認・調整 • 型枠外側への砕石の盛付け 	• 型枠材を把持して設置位置まで運搬する機能 • 水糸に合わせて型枠材を設置する機能 • 型枠を金属ピンで固定する機能 • 型枠の位置、幅、高さ及び通りを確認・調整する機能	• グリッパー等のアタッチメントを用いて、型枠材の運搬及び設置を支援できる可能性がある。 • 型枠を設置せず、砕石等でコンクリートの打設形状を形成する「土砂型枠工法」の考え方を応用することで、型枠の運搬、設置及び撤去を省略できる可能性がある。 • 型枠材の位置を調整し、金属ピンで固定する技術は、調査範囲内で確認できなかった。 ※土砂型枠工法[14)] 土砂を盛り上げて型枠として利用し、層ごとに構造物を構築する工法である。コンクリートの施工には、超硬練りコンクリートをブルドーザで敷き均し、振動ローラで締め固める RCC 工法を用いる。土砂型枠の施工と RCC 工法による施工を層ごとに繰り返し、施工完了後に不要な土砂を撤去する。雲仙・普賢岳の砂防工事では、無人化施工による砂防堰堤等の築造に用いられた。

8. 作業別のオートメーション化技術の適用可能性

「7. 工事別のオートメーション化技術の適用可能性」で整理した 3 工事の作業を、次の 11 のユースケースに再整理し、作業別にオートメーション化技術の適用可能性を検討する。

1）コンクリートカッタによる舗装版切断
2）バックホウによる舗装版破砕、掘削・床掘り、掘削土・アスファルト殻の積込み
3）バックホウによる埋戻し・敷均し
4）ダンプトラックへの掘削土・アスファルト殻の積込み・運搬
5）ダンプトラックによる埋戻し材の運搬
6）ダンプトラックによる土砂受入れ地等での積下ろし
7）振動コンパクタ・タンパによる締固め
8）埋設配管材の接続
9）掘削箇所への軽量鋼矢板の設置・撤去
１０）埋戻し箇所への水締め
１１）現場打コンクリート用型枠の設置

各ユースケースについて、調査現場での確認状況、令和 7 年度調査時点におけるオートメーション化技術の開発状況及び適用可能性並びにオートメーション化に向けて求められる機能を整理する。

評価は、技術の開発状況及び調査現場での使用頻度について、それぞれ次の 3 段階で行う。

- 技術の開発状況　（令和 7 年度調査時点の公表資料に基づいて評価　）
  - ○　：　開発済み　　：　対象作業に直接適用できる技術を確認
  - △　：　関連技術あり　：　対象作業への応用が考えられる技術を確認
  - ×　：　確認できず　　：　該当する技術を確認できず
- 調査現場での使用頻度
  - ○　：　高い　　：　調査した 3 現場すべてで確認
  - △　：　あまり高くない：　一部の現場で確認
  - ×　：　低い　　：　調査した 3 現場では確認されず

以下では、11 のユースケースについて整理するとともに、このうち、舗装版破砕、バックホウによる掘削・埋戻し、ダンプトラックによる積込み・運搬及び締固めについて、現地調査で確認した施工状況を踏まえて、技術の適用場面を示す。

各ユースケースの評価結果は、8.12 で総括するとともに、一覧表として示す。

8.1. コンクリートカッタによる舗装版切断

コンクリートカッタによる舗装版切断では、後工程の舗装版の破砕・撤去に先立ち、舗装版の切断が行われていた。本作業におけるオートメーション化技術の適用可能性を表 8-1 に整理する。

表 8-1　コンクリートカッタによる舗装版切断の整理

調査現場での確認状況	・舗装版の切断位置のマーキング ・マーキングに沿ったコンクリートカッタによる舗装版の切断 ・切断時における散水 ・切削泥水の回収・処理 ・後工程の舗装版の破砕・撤去に先立つ切断作業の実施
オートメーション化技術の開発状況及び適用可能性	・舗装版切断を一連で自動化するコンクリートカッタは、調査範囲内で確認できなかった。 ・床面の指定位置に自動で線を引く墨出し技術が実用化されており、切断位置の設定・表示への応用が考えられる。 ・工場や倉庫等では経路追従技術が実用化されており、設定した切断位置に沿ったコンクリートカッタの自動走行への応用が考えられる。 ・散水及び切削泥水の回収機能を備えたコンクリートカッタが実用化されており、付随作業の省力化に活用できる。 ・チルトローテータ用のコンクリートカッタアタッチメントがあるが、適用できる舗装厚や舗装構成には制約がある。
オートメーション化に向け求められる機能	・指定された位置までコンクリートカッタを自動で移動する機能 ・指定された深さまでカッターブレードを入れて舗装版を切断する機能 ・切断に合わせて自動で散水し、切削泥水を回収する機能 ・周囲の作業者や歩行者を検知し、接近時に自動停止する機能
評価	・開発状況　：　△（関連技術あり） ・頻用性　　：　△（調査した 3 現場のうち 2 現場で確認）

8.2. バックホウによる掘削・積込み

バックホウによる掘削・積込みでは、舗装版の破砕・撤去、土砂の掘削・床掘り並びに掘削土及びアスファルト殻のダンプトラックへの積込みが行われていた。

舗装版の破砕・撤去では、舗装版の厚さによって作業方法が異なっていた。舗装版が薄い場合は、図 8-1（a）に示すように、バックホウのバケットで舗装版を剥がし、破砕・撤去していた。この作業には、自動掘削技術を応用し、バックホウのバケットで舗装版を剥がして撤去する一連の動作を自動化することが考えられる。

一方、舗装版が厚い場合は、バックホウによる破砕を開始するための開口部を確保する必要がある。現地調査では、図 8-1（b）に示すように、作業者がコンクリートブレーカで舗装版に割れ目を入れた後、バックホウのバケットで舗装版を持ち上げ、塊状に分割して撤去していた。このため、厚い舗装版に対しては、コンクリートブレーカ等で割れ目を入れて開口部を形成する機能と、グラップル又はバケットで舗装版を分割・撤去する機能が必要となる。

建設機械を 1 台しか配置できない現場では、アタッチメント着脱装置を用いて、バケット、コンクリートブレーカ及びグラップル等を作業に応じて交換することで、1 台のバックホウによって一連の破砕・撤去作業に対応できる可能性がある。

掘削・積込みでは、施工の進捗に伴って掘削位置及び積込み位置が変化していた。このため、図 8-1（c）に示すように、掘削範囲、施工の進捗及び周辺状況を把握し、バックホウの車体を作業に適した位置へ移動させる機能が必要となる。また、旋回範囲内の作業者、一般交通及び他の建設機械を検知し、接近時には旋回動作を停止又は制限する機能が求められる。

さらに、作業指示者が安全を確認し、他の作業との干渉がないと判断した場合には、作業の空き時間を利用して掘削予定範囲の地山をあらかじめほぐすことで、その後の掘削・積込み作業を効率化できる可能性がある。



（a）薄い舗装版の破砕・撤去



（b）厚い舗装版の破砕・撤去



（c）バックホウによる掘削・積込み

図 8-1　舗装版破砕及び掘削・積込みの施工状況

本作業におけるオートメーション化技術の適用可能性を表 8-2 に整理する。

表 8-2　バックホウによる掘削・積込みの整理

調査現場での確認状況	・舗装版の破砕・撤去 ・土砂の掘削・床掘り ・掘削土及びアスファルト殻のダンプトラックへの積込み ・掘削・床掘りでは、作業者が掘削面の高さを確認し、計画高さとの差に応じて追加掘削量を指示していた。 ・歩行者及び自転車が通行する現場では、通行時にバックホウの旋回作業を一時停止していた。
オートメーション化技術の開発状況及び適用可能性	【掘削】 ・土質、含水状態及び石の混入状況等が変化する地山の自動掘削は、開発段階にある。 ・検知範囲内に人が進入した場合に、建設機械を自動で減速・停止させる技術が実用化されている。 【積込み】 ・決められた範囲内のほぐし土を積み込む自動バックホウは、実用化されている。 ・バックホウ用グラップル（つかみ機）は実用化されており、チルトローテータに対応する製品もある。舗装版の把持・撤去及びアスファルト殻の積込みへの応用が考えられる。 ・検知範囲内に人が進入した場合に、建設機械を自動で減速・停止させる技術は、歩行者及び自転車の通行時における旋回停止に活用できる。
オートメーション化に向け求められる機能	【掘削】 ・掘削場所や周辺状況に応じて車体の位置を判断し、作業に適した位置へ移動する機能 ・コンクリートブレーカ等で舗装版に割れ目を入れ、開口部を形成する機能 ・グラップル又はバケットで舗装版を分割・撤去し、アスファルト殻をダンプトラックへ積み込む機能 ・掘削面の高さが設計値内となるように掘削する機能 ・作業の空き時間に、掘削範囲の地山をほぐし土にする機能 ・作業者、建設機械、歩行者及び一般車両を検知し、接触を防止する機能 【積込み】 ・ダンプトラックへの積込み時に、過積載を防止する機能 ・旋回時に周辺の歩行者や一般車両を検知し、旋回を停止する機能 ・緊急時に停止する機能
評価	・開発状況　：　△（関連技術あり） ・頻用性　　：　○（調査した 3 現場すべてで確認）

8.3. バックホウによる埋戻し・敷均し

バックホウによる埋戻し・敷均しでは、埋戻し材をすくい取り、作業者の指示に応じて施工箇所へ投入していた。また、投入後は、作業者が埋戻し材を敷き均し、埋戻し面の高さ及び状態を確認していた。

現地調査では、図 8-2 に示すように、作業指示者が埋戻しの進捗及び投入済みの材料の状態を確認しながら、ハンドサインによってバックホウオペレータに投入位置、投入量並びに作業の開始及び停止を指示していた。バックホウオペレータは、その指示に応じて埋戻し材の投入位置及び投入量を調整していた。

埋戻しのセミオート化としては、作業指示者のハンドサインを認識し、その指示に応じて、バックホウの動作並びに埋戻し材の投入位置及び投入量を調整する機能が考えられる。この機能は、埋戻しだけでなく、砕石の投入、資機材の運搬・設置、締固め機械の搬入・搬出など、作業指示者と建設機械が連携して行うほかの作業にも応用できる。

将来的には、埋戻し面の高さ、埋戻し材の投入状況及び敷設した管との位置関係等を計測し、埋戻し材の投入位置及び投入量並びに作業の継続又は終了を自動で判断し、その結果をバックホウの制御に反映する方向への発展が考えられる。



図 8-2　ハンドサインによる材料の投入指示

本作業におけるオートメーション化技術の適用可能性を表 8-3 に整理する。

表 8-3　バックホウによる埋戻し・敷均しの整理

調査現場での確認状況	・バックホウによる埋戻し材のすくい取り及び投入 ・作業者による埋戻し材の敷均し ・作業指示者のハンドサインに応じた投入位置及び投入量の調整 ・埋戻し面の高さ及び状態の確認
オートメーション化技術の開発状況及び適用可能性	・決められた範囲内のほぐし土を掘削・積込みする自動バックホウは、実用化されている。この技術の埋戻しへの応用が考えられる。 ・チルトローテータは、バケットを回転させて床掘りの方向に合わせることができるため、バックホウの位置を変更することなく、バケット幅より狭い箇所へ埋戻し材を投入できる。この技術に自動制御技術を組み合わせることで、バックホウの位置を変更することなく、指定された位置へ埋戻し材を投入できる可能性がある。 ・検知範囲内に人が進入した場合に、建設機械を自動で減速・停止させる技術が実用化されている。この技術を、作業者が接近して敷均しや高さ確認を行う際の安全確保に活用できる。
オートメーション化に向け求められる機能	・埋戻し場所や周辺状況に応じて車体の位置を判断し、作業に適した位置へ移動する機能 ・ダンプトラックの荷台から埋戻し材をすくい取る機能 ・狭い床掘り箇所へ埋戻し材を均一に投入し、設計値内となるように敷き均す機能 ・敷設した管との位置関係を把握し、管に接触しないように埋戻し材を投入する機能 ・作業指示者が出すハンドサインを自動バックホウが認識し、その指示に従って、敷砂や掘削土等の埋戻し材の投入位置及び投入量を調整する機能 ・作業者、建設機械、歩行者及び一般車両を検知し、接触を防止する機能 ・旋回時に周辺の歩行者や一般車両を検知し、旋回を停止する機能 ・緊急時に停止する機能
評価	・開発状況　：　△（関連技術あり） ・頻用性　　：　○（調査した 3 現場すべてで確認）

8.4. ダンプトラックへの掘削土・アスファルト殻の積込み・運搬

ダンプトラックへの掘削土･アスファルト殻の積込み･運搬では、バックホウによる積込み、土砂受入れ地等までの運搬及び排出後の施工箇所への帰還が行われていた。

オートメーション化では、一般道の自動運転技術を応用し、規制帯への進入から、積込み、運搬・排出及び施工箇所への帰還までを自動化することが考えられる。特に、バックホウの作業進捗に応じた前後進に合わせて、積込み可能な位置へ自動追従する機能は、ダンプトラックによる一連の運搬作業の自動化に向けた第一段階として有効と考えられる（図 8-1（c））。

本作業におけるオートメーション化技術の適用可能性を表 8-4 に整理する。

表 8-4　ダンプトラックによる積込み・運搬の整理

調査現場での確認状況	・バックホウによる掘削土及びアスファルト殻の積込み ・積載状況の確認 ・土砂受入れ地や仮置場等までの一般道又は現場内を経由した運搬 ・排出位置における掘削土及びアスファルト殻の排出 ・排出後の施工箇所への帰還 ・作業指示者のハンドサイン等に従った、規制帯への進入及び指定位置での停止
オートメーション化技術の開発状況及び適用可能性	・限定された無人施工エリアでは、ダンプトラックの自動走行技術の実証・実用化が進められている。 ・一般道においても、自動運転技術の実証・社会実装が進められている。 ・小規模現場における自動走行技術の適用事例は、調査範囲内で確認できなかった。 ・一般道での完全自動運転に向けて将来開発される技術に、規制帯への進入・退出、作業指示者のハンドサイン等に従った移動・停止及び自動排出の機能を組み合わせることで、一連の運搬作業への応用が考えられる。 ・バックホウのバケットで積み込んだ材料の重量を計測する技術は実用化されており、積載量の把握、過積載の防止及び積込み完了の判断に活用できる。
オートメーション化に向け求められる機能	・作業指示者のハンドサイン等に従って、規制帯の指定された出入口から進入し、指定位置で停止する機能 ・バックホウの作業進捗に応じた前後進に合わせて、積込み可能な位置へ自動追従する機能 ・掘削土又はアスファルト殻の積載量を計測し、積込み完了を判断する機能 ・作業者、建設機械、歩行者及び一般車両を検知し、接触を防止する機能 ・積込み完了後に規制帯から退出し、土砂受入れ地や仮置場等まで一般道を自動走行する機能 ・指定された位置で掘削土又はアスファルト殻を自動排出する機能 ・排出後、施工箇所まで自動で帰還する機能
評価	・開発状況　：　△（関連技術あり） ・頻用性　　：　○（調査した 3 現場すべてで確認）

8.5. ダンプトラックによる埋戻し材の運搬

ダンプトラックによる埋戻し材の運搬では、土砂、砂、砕石及びアスファルト合材を材料置場や合材工場等から施工箇所まで運搬し、バックホウによって荷台から材料を取り出していた。

オートメーション化では、材料置場等から施工箇所までの運搬、規制帯への進入及び退出を自動化することが考えられる。特に、バックホウの作業進捗に応じて、材料を取り出すのに適した位置までダンプトラックを自動で前後進させる機能が有効と考えられる（図 8-1（c））。

本作業におけるオートメーション化技術の適用可能性を表 8-5 に整理する。

表 8-5　ダンプトラックによる埋戻し材の運搬の整理

調査現場での確認状況	・土砂、砂、砕石及びアスファルト合材の施工箇所への運搬 ・作業工程に応じた運搬材料及びダンプトラックの入替え ・作業指示者の指示に従った、材料の供給に適した位置への移動・停止 ・材料供給後の施工箇所からの退出
オートメーション化技術の開発状況及び適用可能性	・限定された無人施工エリアでは、ダンプトラックの自動走行技術の実証・実用化が進められている。 ・一般道においても、自動運転技術の実証・社会実装が進められている。 ・小規模現場における自動走行技術の適用事例は、調査範囲内で確認できなかった。 ・一般道での完全自動運転に向けて将来開発される技術に、作業指示者の指示に従った規制帯への進入・退出、移動・停止及び材料に応じた車両の入替えに必要な機能を組み合わせることで、埋戻し材の運搬への応用が考えられる。
オートメーション化に向け求められる機能	・作業指示者のハンドサインに従って、規制帯内の指定された位置へ進入する機能 ・バックホウの作業進捗に応じて、埋戻し材をすくい取ることができる位置へ移動する機能 ・作業者、建設機械、歩行者及び一般車両を検知し、接触を防止する機能 ・材料供給後、規制帯から退出し、指定された場所まで走行する機能 ・作業工程に応じて、土砂、砂、砕石又はアスファルト合材を積載したダンプトラックを入れ替える機能
評価	・開発状況　：　△（関連技術あり） ・頻用性　　：　○（調査した 3 現場すべてで確認）

8.6. ダンプトラックによる土砂受入れ地等での積下ろし

ダンプトラックによる土砂受入れ地等での積下ろしでは、施工箇所から運搬した掘削土及びアスファルト殻を、指定された位置で排出していた。

一連の運搬作業を自動化するためには、一般道の走行に加え、土砂受入れ地等において指定された位置まで移動し、積載物を自動で排出した後、施工箇所へ帰還することが考えられる。

本作業におけるオートメーション化技術の適用可能性を表 8-6 に整理する。

表 8-6　ダンプトラックによる土砂受入れ地等での積下ろしの整理

調査現場での確認状況	・土砂受入れ地や仮置場等への運搬 ・指定された排出位置への移動・停止 ・荷台のダンプアップによる掘削土、アスファルト殻等の排出 ・排出後のダンプダウン及び施工箇所への帰還
オートメーション化技術の開発状況及び適用可能性	・限定された無人施工エリアでは、ダンプトラックの自動走行技術の実証・実用化が進められている。 ・一般道においても、自動運転技術の実証・社会実装が進められている。 ・指定された位置で荷台を自動でダンプアップ・ダンプダウンする機能を組み合わせることで、運搬から積下ろしまでの一連の作業への応用が考えられる。 ・小規模現場における自動走行及び自動積下ろしの適用事例は、調査範囲内で確認できなかった。
オートメーション化に向け求められる機能	・土砂受入れ地や仮置場等の指定された位置へ、指定されたタイミングで到着する機能 ・指定された排出位置まで移動・停止する機能 ・荷台を自動でダンプアップして土砂等を排出し、ダンプダウンする機能 ・周辺の作業者や建設機械等を検知し、接触を防止する機能 ・排出後、施工箇所へ自動で帰還する機能
評価	・開発状況　：　△（関連技術あり） ・頻用性　　：　○（調査した 3 現場すべてで確認）

8.7. 締固め

締固めでは、施工箇所の幅や施工段階に応じて、振動コンパクタ、タンパ及び小型振動ローラを使い分け、埋戻し材、路盤材及びアスファルト合材を締め固めていた。

オートメーション化では、バックホウに振動コンパクタを装着し、埋戻し材の敷均し後及び締固め後の高さを計測しながら、所定の仕上がり層厚となるように締め固めることが考えられる。また、バケットと振動コンパクタを交換することで、1 台のバックホウで、埋戻し材の投入・敷均しから締固めまでの一連の作業に対応できる可能性がある。

舗装復旧では、既設舗装との段差が生じないよう、舗装端部の形状及び高さを認識し、アスファルト合材を周辺舗装へすり付ける機能が必要となる。

本作業におけるオートメーション化技術の適用可能性を表 8-7 に整理する。

表 8-7　締固めの整理

調査現場での確認状況	・振動コンパクタ及びタンパによる埋戻し材の締固め ・小型振動ローラ、振動コンパクタ及びタンパによるアスファルト合材の締固め ・施工箇所の幅や端部の形状に応じた締固め機械の使い分け ・埋戻し材の敷均し後及び締固め後の高さを計測し、所定の仕上がり層厚となったことの確認 ・既設舗装面との段差が生じないように行う表層端部のすり付け
オートメーション化技術の開発状況及び適用可能性	・大型振動ローラは、一部の大規模現場で自動化の実証実験が行われているが、小規模現場で使用する振動コンパクタ、タンパ及び小型振動ローラの自動化技術は、調査範囲内で確認できなかった。 ・バックホウ用振動コンパクタは実用化されており、チルトローテータに対応する製品もある。バックホウによる埋戻し材の締固めに活用できる可能性がある。 ・既設舗装面の端部形状及び高さを認識し、段差が生じないように表層を自動ですり付ける技術は、調査範囲内で確認できなかった。
オートメーション化に向け求められる機能	・作業指示者のハンドサインに従って、締固め機械を床掘り箇所へ投入・回収する機能 ・チルトローテータを装備したバックホウの振動コンパクタアタッチメントを利用する機能 ・埋戻し材の敷均し後及び締固め後の高さを計測し、所定の仕上がり層厚となるように締め固める機能 ・アスファルト舗装の端部形状と高さを認識し、周辺舗装との段差が生じないようにすり付ける機能
評価	・開発状況　：　△（関連技術あり） ・頻用性　　：　○（調査した 3 現場すべてで確認）

8.8. 埋設配管材の接続

埋設配管材の接続では、水道管及び電線共同溝さや管を施工箇所まで運搬し、接続先の管との位置関係を確認しながら、管の位置及び姿勢を調整して接続していた。本作業におけるオートメーション化技術の適用可能性を表 8-8 に整理する。

表 8-8　埋設配管材の接続の整理

調査現場での確認状況	・バックホウによる水道管の運搬・吊込み ・作業者による管の位置及び姿勢の調整 ・既設管への水道管の差込み及び接続状態の確認 ・作業者による電線共同溝さや管の運搬・敷設・接続 ・接続部への滑剤又は接着剤の塗布 ・管保護用ビニールカバーの取付け及びテープによる固定 ・スペーサーによるさや管の配列及び間隔の保持
オートメーション化技術の開発状況及び適用可能性	・プラント工事では、管材の把持・運搬・据付けに利用できるグラップルや施工ロボットの開発が進められている。 ・バックホウ用グラップルを用いることで、管材の把持・運搬・吊込み及び位置調整への応用が考えられる。 ・管材の運搬・設置から、位置調整、差込み及び接続までを自動化する技術は、調査範囲内で確認できなかった。 ・滑剤又は接着剤の塗布、管保護用ビニールカバーの固定及びスペーサーの取付けに適用可能な技術は、調査範囲内で確認できなかった。
オートメーション化に向け求められる機能	・作業指示者のハンドサインを自動バックホウが認識し、その指示に従って管材を把持・運搬し、設置位置へ降ろす機能 ・接続先の管の位置に合わせて、管材の位置、姿勢及び角度を調整する機能 ・管材を所定の位置まで差し込み、接続状態を確認する機能 ・接続部へ滑剤又は接着剤を塗布する機能 ・接続箇所へ管保護用ビニールカバーを取り付け、テープで固定する機能 ・複数のさや管にスペーサーを取り付け、所定の配列及び間隔に保持する機能
評価	・開発状況　：　×（確認できず） ・頻用性　　：　△（調査した 3 現場のうち 2 現場で確認）

8.9. 掘削箇所への軽量鋼矢板の設置・撤去

軽量鋼矢板の設置・撤去では、作業者が軽量鋼矢板を設置位置へ運搬し、バックホウによる押込み又は引抜きを行っていた。本作業におけるオートメーション化技術の適用可能性を表 8-9 に整理する。

表 8-9　掘削箇所への軽量鋼矢板の設置・撤去の整理

調査現場での確認状況	・作業者による軽量鋼矢板の運搬・配置 ・バックホウのバケット背面による軽量鋼矢板の押込み ・腹起し及び切梁の運搬・設置 ・バックホウによる軽量鋼矢板の引抜き・撤去 ・作業指示者のハンドサインに従ったバックホウの動作・停止
オートメーション化技術の開発状況及び適用可能性	・軽量鋼矢板に対応した圧入機は実用化されている。 ・バックホウ用グリッパー（手動操作）は実用化されており、軽量鋼矢板の把持、運搬、設置及び撤去への応用が考えられる。 ・軽量鋼矢板の把持、設置及び撤去を自動化する技術は、調査範囲内で確認できなかった。 ・腹起し及び切梁の位置調整・固定に適用可能な技術は、調査範囲内で確認できなかった。
オートメーション化に向け求められる機能	・作業指示者のハンドサインに従って、チルトローテータを装備した自動バックホウのグリッパーで、軽量鋼矢板をつかんで所定の位置へ押し込み、又は引き抜いて撤去する機能 ・チルトローテータを装備した自動バックホウのグリッパー等により、圧入機（サイレントパイラー）を設置し、鋼矢板を受け渡すとともに、腹起し材を設置し、油圧ジャッキを操作する機能
評価	・開発状況　：　×（確認できず） ・頻用性　　：　△（調査した 3 現場のうち 1 現場で確認） ※　軽量鋼矢板等による土留めの要否は、掘削深さ、土質、湧水及び周辺条件等を踏まえて判断するため、工事によって設置の有無や作業頻度が異なる。

8.10. 埋戻し箇所への水締め

埋戻し箇所への水締めでは、敷設した管の周囲など、締固め機械による施工が困難な箇所に砂を投入し、散水による締固めを行っていた。本作業におけるオートメーション化技術の適用可能性を表 8-10 に整理する。

表 8-10　埋戻し箇所への水締めの整理

調査現場での確認状況	・バックホウによる管周りへの砂の投入 ・作業者による砂の敷均し ・散水による管周りの水締め
オートメーション化技術の開発状況及び適用可能性	・調査時点では、水締め作業に直接適用できる機械化・自動化技術を確認できなかった。 ・チルトローテータを装備したバックホウのグリッパーで散水ホースを把持し、管周りへ散水する方法への応用が考えられる。
オートメーション化に向け求められる機能	・作業指示者のハンドサインを自動バックホウが認識し、その指示に従って、グリッパーで散水ホースを把持し、管周りへ散水する機能 ・散水車のポンプ及びバルブを自動で操作する機能 ・砂の表面状態を確認し、散水の継続又は停止を判断する機能
評価	・開発状況　：　×（確認できず） ・頻用性　　：　△（調査した 3 現場のうち 1 現場で確認） ※　配管等の埋戻しでは、敷設した管の周囲など、締固め機械による施工が困難な箇所において、排水条件を確認した上で、水締めによる締固めを行う場合がある。

8.11. 現場打コンクリート用型枠の設置

現場打コンクリート用型枠の設置では、設計位置に合わせて型枠材を設置し、金属ピンで固定していた。本作業におけるオートメーション化技術の適用可能性を表 8-11 に整理する。

表 8-11　現場打コンクリート用型枠の設置の整理

調査現場での確認状況	・丁張を基準とした型枠の設置位置及び高さの確認 ・水糸に合わせた型枠材の設置 ・金属ピンによる型枠の固定 ・型枠の位置、幅、高さ及び通りの確認・調整 ・型枠外側への砕石の盛付け
オートメーション化技術の開発状況及び適用可能性	・調査時点では、型枠の設置及び固定に直接適用できる機械化・自動化技術を確認できなかった。 ・土砂を盛り上げて型枠として利用する「土砂型枠工法」の考え方を応用し、砕石等でコンクリートの打設形状を形成することで、型枠材の運搬、設置及び固定を省略できる可能性がある。
オートメーション化に向け求められる機能	・双腕多機能建設機械の一方の腕で型枠材を所定の位置に合わせ、もう一方の腕で固定用の金属ピンを打ち込む機能 ・型枠の位置、幅、高さ及び通りを確認し、所定の位置へ調整する機能 ・型枠外側へ砕石を盛り付け、型枠を保持する機能
評価	・開発状況　：　×（確認できず） ・頻用性　　：　△（調査した 3 現場のうち 1 現場で確認） ※　現場打コンクリートの施工では、構造物の形状や現場条件に応じて、型枠の設置の有無、設置手順及び固定方法が異なるため、工事によって作業内容や頻度が異なる。

8.12. ユースケース整理のまとめ

8.1～8.11 では、11 のユースケースについて、オートメーション化技術の開発状況及び適用可能性、求められる機能並びに調査現場での使用頻度を整理した。その総括表を表 8-12 に示す。

評価の結果、ユースケース１）～７）の掘削、積込み、運搬、埋戻し及び締固めなど、主に建設機械で行う作業は、関連技術があり、技術の適用可能性が比較的高い。一方、ユースケース８）～１１）の管接続や型枠設置など、人の関与が大きい作業は、関連技術が限られ、現時点における適用可能性は限定的である。また、現場条件に応じて、狭隘な施工環境への対応、安全の確保及び人との協調に配慮する必要がある。

表 8-12　小規模土工におけるオートメーション化技術のユースケース総括表

		ユースケース（技術適用場面）	現在の開発状況（令和7年度調査時点）		求められる機能	頻用性（調査現場での確認状況）	
基本的作業（主に建設機械を使用）	1	コンクリートカッタによる舗装版切断	・舗装版切断を自動で行うコンクリートカッタは確認できなかった。床面の指定位置に自動で線を引く（墨出し）技術は実用化されている。	△	・指定された位置までコンクリートカッタを自動で移動する機能。 ・指定された深さまでカッタープレードを入れて舗装版を切断する機能。 ・周囲の作業者や歩行者を検知し、接近時に自動停止する機能。	・掘削エリアが舗装されている場合には、コンクリートカッタが必要。	△
	2	バックホウによる舗装版破砕、掘削・床掘り、掘削土・アスファルト殻の積込み	・設定範囲内のほぐし土の積込み作業の自動化システムは実用化されている。一方、土質、含水状態、石の混入状況などが変化する地山の自動掘削は開発段階にある。 ・バックホウ用グラップル（つかみ機）は実用化されており、チルトローテータに対応する製品もある。	△	【掘削】 ・掘削場所や周辺状況に応じて車体の位置を判断し、作業に適した位置へ車体を移動する機能。 ・コンクリートブレーカ等で舗装版に割れ目を入れ、開口部を形成する機能。 ・グラップル又はバケットで舗装版を分割・撤去し、ダンプトラックへ積み込む機能。 ・掘削面の高さが設計値内となるように掘削する機能。 ・作業の空き時間に、掘削範囲の地山をほぐし土にする機能。 ・作業者、建設機械、歩行者及び一般車両を検知し、接触を防止する機能。 【積込み】 ・ダンプトラックへの積込み時に、過積載を防止する機能。 ・旋回時に周辺の歩行者や一般車両を検知し、旋回を停止する機能。 ・緊急時に停止する機能。	・掘削や積込みなどの作業には、バックホウが必要。	○
	3	バックホウによる埋戻し・敷均し	・設定範囲内におけるほぐし土の掘削・積込み技術は実用化されており、埋戻しへの応用が考えられる。	△	・埋戻し場所や周辺状況に応じて車体の位置を判断し、作業に適した位置へ車体を移動する機能。 ・ダンプトラックの荷台から埋戻し材をすくい取る機能。 ・狭い床掘り箇所へ埋戻し材を均一に投入し、設計値内となるように敷き均す機能。 ・作業指示者のハンドサイン（合図）を認識し、その指示に応じて埋戻しを行う機能。 ・作業者、建設機械、歩行者及び一般車両を検知し、接触を防止する機能。 ・旋回時に周辺の歩行者や一般車両を検知し、旋回を停止する機能。 ・緊急時に停止する機能。	・埋戻し作業では、土砂の投入や敷均しにバックホウが必要。	○
	4	ダンプトラックへの掘削土・アスファルト殻の積込み・運搬	・限定された無人施工エリアでは、ダンプトラックの自動走行技術の実証・実用化が進められている。 ・一般道においても、自動運転技術の実証・社会実装が進められている。 ・小規模現場における自動走行技術の適用事例は確認できなかった。	△	・作業指示者のハンドサインに従って、規制帯内の指定された位置へ進入する機能。 ・バックホウの作業進捗に応じた前後進に合わせて、積込み可能な位置へ自動追従する機能。 ・作業者、建設機械、歩行者及び一般車両を検知し、接触を防止する機能。 ・積込み完了後、規制帯から退出し、指定されたエリアまで走行する機能。	・掘削土やアスファルト殻等を積み込み、運搬する作業には、ダンプトラックが必要。	○
	5	ダンプトラックによる埋戻し材（土砂・砂・砕石・アスファルト合材）の運搬		△	・作業指示者のハンドサインに従って、規制帯内の指定された位置へ進入する機能。 ・バックホウの作業進捗に応じて前後進し、埋戻し材をすくい取り可能な位置へ移動する機能。 ・作業者、建設機械、歩行者及び一般車両を検知し、接触を防止する機能。 ・埋戻し材の使用後、規制帯から退出し、指定されたエリアまで走行する機能。 ・作業工程に応じて、土砂、砂、砕石又はアスファルト合材を運搬する車両と入れ替わる機能。	・埋戻し材（敷砂や砕石等を含む）やアスファルト合材を施工箇所まで運搬する作業には、ダンプトラックが必要。	○
	6	ダンプトラックによる土砂受入れ地等での積下ろし		△	・土砂受入れ地（仮置場など）の指定された位置へ、指定されたタイミングで到着する機能。 ・自動でダンプアップして土砂等を下ろし、ダンプダウンする機能。 ・作業者、建設機械、歩行者及び一般車両を検知し、接触を防止する機能。	・掘削土やアスファルト殻等を土砂受入れ地又は仮置場等で下ろす作業には、ダンプトラックが必要。	○
	7	振動コンパクタ・タンパによる埋戻しでの締固め、舗装復旧でのアスファルト合材の締固め	・大型振動ローラーは一部大規模現場で自動化の実証実験が行われているが、振動コンパクタなど小規模現場向け機械の自動化は確認できなかった。 ・バックホウ用振動コンパクタは実用化されており、チルトローテータに対応する製品もある。	△	・作業指示者のハンドサインに従って、締固め機械を床掘箇所へ投入・回収する機能。 ・チルトローテータを装備したバックホウの振動コンパクタアタッチメントを利用する機能。 ・埋戻し材の敷均し後及び締固め後の高さを計測し、所定の仕上がり層厚となるように締め固める機能。 ・アスファルト舗装の端部形状と高さを認識し、周辺舗装との段差が生じないようにすり付ける機能。	・床掘箇所の埋戻し時や舗装復旧時には、振動コンパクタやタンパが必要。	○
人の関与が大きい作業	8	埋設配管材の接続	・プラント工事では、管材の把持・運搬・据付に利用できるグラップルや施工ロボットの開発が進められているが、一連の管接続に適用可能な技術は確認できなかった。 （今後の技術開発に期待する）	×	・作業指示者のハンドサインに従って、チルトローテータを装備したバックホウのグラップルアタッチメントを利用して、配管材料を把持して移動し、設置位置に降ろし、既設管位置に合わせる機能。 ・管接続後に接続状態を計測する機能。 ・接続箇所にビニールカバーを取り付け、テープで巻く機能。 ・複数のさや管にスペーサーを取り付け、所定の配列及び間隔に保持する機能。	・小規模工事では、水道管、電線管、下水道管といった管材の接続を伴う工事が多い。	△
	9	掘削箇所への軽量鋼矢板の設置・撤去	・軽量鋼矢板に対応した圧入機は実用化されているが、矢板の把持、設置及び撤去を一連で自動化する技術は確認できなかった。 （今後の技術開発に期待する）	×	・作業指示者のハンドサインに従って、チルトローテータを装備した自動バックホウのグリッパーで、軽量鋼矢板をつかんで所定の位置へ押し込み、又は引き抜いて撤去する機能。 ・チルトローテータを装備したバックホウのグリッパーなどにより、圧入機（サイレントパイラー）を設置し、鋼矢板を受け渡し、腹起し材を設置し、油圧ジャッキを操作する機能。	・軽量鋼矢板等による土留めの要否は、掘削深さ、土質、湧水及び周辺条件等を踏まえて判断するため、工事によって設置の有無や作業頻度が異なる。	△
	10	埋戻し箇所への水締め作業（砂材・転圧困難部）	・調査時点では、機械化・自動化技術を確認できなかった。 （今後の技術開発に期待する）	×	・作業指示者のハンドサインに従って、チルトローテータを装備したバックホウのグリッパーで散水ホースをつかみ、水を自動でまく機能。 ・散水車のポンプやバルブを自動で操作する機能。 ・表面の状態を確認し、散水を停止する機能。	・配管等の埋戻しでは、敷設した管の周囲など、締固め機械による施工が困難な箇所において、排水条件を確認した上で、水締めによる締固めを行う場合がある。	△
	11	現場打コンクリート用型枠の設置	・調査時点では、機械化・自動化技術を確認できなかった。 （今後の技術開発に期待する）	×	・双腕多機能建設機械の一方の腕で型枠材を所定の位置に合わせ、もう一方の腕で固定用ピンを打ち込む機能。	・型枠の設置の有無、設置手順及び固定方法は、構造物の形状や現場条件によって異なる。	△

凡例　：　既存技術の開発状況　○：開発済み（令和7年度調査時点の公表資料に基づき、対象作業に直接適用できる技術を確認）、△：関連技術あり（対象作業への具体的な応用が考えられる技術を確認）、×：確認できず（該当する技術を確認できず）
現場での使用頻度　○：高い（調査した3現場すべてで確認）、　△：あまり高くない（一部の現場で確認）、　×：低い（確認されなかった）

9. オートメーション化に求められる機能

「8. 作業別のオートメーション化技術の適用可能性」で整理した 11 のユースケースは、対象となる作業や使用する建設機械が異なるものの、オートメーション化に求められる機能には共通点がある。

小規模現場では、限られた施工範囲内で人と建設機械が近接して作業するため、施工対象や周辺状況を正確に把握し、安全を確保しながら建設機械を制御するとともに、人や他の建設機械と連携する必要がある。

これらの機能を「認識機能」「制御機能」「安全機能」及び「協調機能」の 4 つに分類し、それぞれについて整理する。

9.1. 認識機能

認識機能は、施工対象、施工状況、周辺状況及び作業指示を把握する機能であり、主に次の機能が求められる。

- 施工範囲並びに施工対象の位置、形状及び高さを認識し、掘削や材料投入を行う位置を把握する機能
- 掘削面の高さ、埋戻し材の投入位置・投入量及び締固め後の高さを計測し、施工状況が設計値内にあるかを把握する機能
- 周辺の作業者、建設機械、歩行者及び一般車両の位置や動きを認識し、建設機械の動作範囲との関係を把握する機能
- 作業指示者のハンドサイン等を認識し、建設機械に対する移動、作業の開始・停止の指示内容を把握する機能

小規模現場では、限られた施工範囲内で作業者や建設機械が近接して作業するため、施工対象、施工状況及び周辺状況を継続的に把握することが重要となる。

9.2. 制御機能

制御機能は、認識機能で把握した施工対象、施工状況、周辺状況及び作業指示に基づき、建設機械を適切に動作させる機能であり、主に次の機能が求められる。

- 掘削範囲や掘削面の高さに応じて、バックホウの車体、ブーム、アーム及びバケットを制御し、設計値内となるように掘削する機能
- 掘削土やアスファルト殻の積込み、埋戻し材の投入・敷均しにおいて、施工位置及び施工量に応じて建設機械の動作を制御する機能
- ダンプトラックを指定された経路に沿って走行させ、作業指示者の指示や作業の進捗に応じて、積込みや材料供給に適した位置へ移動・停止させる機能
- チルトローテータやグラップル等を制御し、管材、軽量鋼矢板その他の資機材を把持・運搬し、所定の位置及び姿勢に調整する機能

小規模現場では、施工範囲が狭く、建設機械を自由に移動できない場合があるため、施工対象や周辺状況に応じて、限られた範囲内で建設機械の位置、姿勢及び動作を制御することが重要となる。

9.3. 安全機能

安全機能は、建設機械の動作による接触事故等を防止し、異常時に作業を停止する機能であり、主に次の機能が求められる。

- 周辺の作業者、建設機械、歩行者及び一般車両の位置や動きを把握し、接触を防止する機能
- 建設機械の検知範囲内に人が進入した場合に、建設機械を自動で減速・停止させる機能
- バックホウの旋回時に周辺の歩行者や一般車両を検知し、旋回を停止する機能
- 施工状況に異常が生じた場合や作業指示者から停止の指示を受けた場合に、建設機械を緊急停止する機能

小規模現場では、限られた施工範囲内に作業者や建設機械が近接し、一般交通に隣接して作業する場合もあるため、個々の建設機械だけでなく、現場全体の状況を把握して安全を確保することが重要となる。

9.4. 協調機能

協調機能は、作業指示者と建設機械との間、又は複数の建設機械の間で情報を共有し、作業の進捗に応じて連携する機能であり、主に次の機能が求められる。

- 作業指示者のハンドサイン等を認識し、その指示に従って建設機械を移動・停止させる機能
- 作業指示者の指示に応じて、掘削位置、埋戻し材の投入位置・投入量及び資機材の設置位置を調整する機能
- バックホウの作業位置や作業の進捗に応じて、ダンプトラックを積込み又は材料供給に適した位置へ移動・停止させる機能
- 複数の建設機械が作業位置、施工状況及び作業の進捗を共有し、相互の動作を調整する機能
- 建設機械の作業状況を遠隔で監視し、必要に応じて人が遠隔から介入する機能

小規模現場では、作業内容や現場条件が変化しやすく、人の判断による指示や複数の建設機械の連携が必要となるため、作業指示者と建設機械との間及び建設機械同士で情報を共有し、協調して作業することが重要となる。

10. 小規模現場への適用・普及に向けた課題

自動施工技術は主に大規模現場を対象として開発されているため、これらの技術を小規模現場へ適用する際には、施工範囲が狭く建設機械の動作が制約されること、工程の切替えが頻繁で単一作業向けシステムの適用場面や稼働時間が限られること、一般車両や歩行者が近接し、安全管理が複雑になることなどが課題となる。

小規模現場の特徴と、それを踏まえてオートメーション化技術に求められる方向性を図 10-1 に示す。以下では、図に示す特徴を踏まえ、小規模現場への適用・普及に向けた課題を整理する。

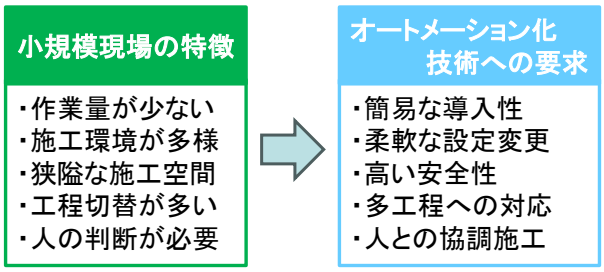


図 10-1　小規模現場の特徴とオートメーション化技術に求められる方向性

10.1. 導入効果の早期発現

小規模現場は、一つの工事における施工量が少なく、施工期間も短い。このため、機器の設置や調整に時間を要する技術は、導入効果を得にくい。

オートメーション化技術の普及には、現場への導入や初期設定を容易にし、導入後の早い段階から省人化や安全性向上の効果を得られることが必要となる。

10.2. 狭い施工範囲への対応

小規模現場では、建設機械の移動や旋回が可能な範囲が限られ、作業者、建設機械及び一般交通が近接する場合がある。このため、限られた範囲内で建設機械の位置や姿勢を調整し、周辺との接触を防止しながら施工する必要がある。

また、建設機械やダンプトラックを自由に移動できない場合には、あらかじめ定められた位置から施工できるよう、アタッチメントの姿勢や作業範囲を調整する機能が必要となる。

10.3. 工程切替えと多様な作業への対応

小規模現場では、一つの施工箇所で掘削、積込み、埋戻し、締固めなどの作業を順次行うため、工程の切替えが頻繁に発生する。このため、単一の作業を対象としたシステムでは、適用できる場面や稼働時間が限られる。

アタッチメントの交換や制御設定の変更を容易にし、1 台の建設機械で複数の作業に対応できるようにすることが求められる。

10.4. 現場全体の安全管理

小規模現場では、自動機能又はセミオート機能を搭載した建設機械と作業者が近接して作業することが想定される。また、各建設機械に搭載したカメラやセンサーだけでは、死角を含む現場全体の状況を把握することが困難な場合がある。このため、個々の建設機械による検知・停止に加え、現場内を俯瞰的に監視する 360 度カメラやセンサーにより、作業者、建設機械、一般車両及び歩行者の位置を現場全体で把握し、安全を管理する仕組みが必要となる。

異常が発生した場合には、建設機械を自動で停止するとともに、作業指示者が作業状況を確認し、必要に応じて介入できる仕組みも必要となる。

10.5. 人の判断・指示と建設機械との協調

小規模現場では、施工対象の状態、作業の進捗及び周辺の交通状況を確認しながら、人が作業内容を判断し、埋戻し材の投入や資機材の運搬・設置について建設機械に細かな指示を出す必要がある。

このため、小規模現場では、完全自動化に先立ち、作業指示者の判断や指示を建設機械の動作に反映するセミオート機能を導入することが、オートメーション化に向けた第一ステップとなる。セミオート機能は、人と建設機械との協調を実現するものであり、作業指示者のハンドサイン等を認識し、その指示に従って建設機械を動作させることで、人の判断を残しながら、機械操作の省人化や安全性の向上を図ることができる。さらに、既存の作業方法を大きく変更せず、必要な機能から段階的に導入できるため、導入効果の早期発現にもつながる。

11. 小規模現場に向けた技術開発の方向性

小規模現場へのオートメーション化技術の導入に当たっては、小規模現場専用の技術を一から開発するのではなく、大規模現場等で開発・実用化されている技術を活用し、小規模現場の施工条件に合わせて必要な機能を段階的に追加することが現実的である。

また、小規模現場では工程の切替えが頻繁であり、一つの作業に使用できる時間も限られる。このため、単一作業の完全自動化を直ちに目指すのではなく、既存技術を基礎としてセミオート機能を追加し、さらに建設機械の多機能化を進めることにより、段階的な導入・実用化を図ることが重要である。小規模現場に向けた段階的な技術開発の方向性を図 11-1 に示す。

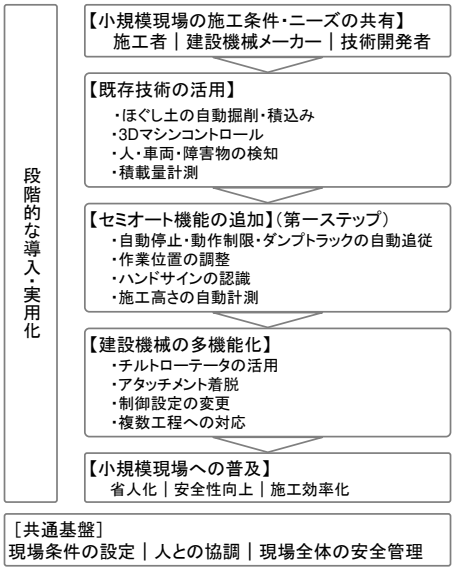


図 11-1　小規模現場への段階的な技術開発

11.1. 施工条件・ニーズの共有

小規模現場に適した技術を実現するためには、施工者、建設機械メーカー及び技術開発者が、小規模現場における施工条件や技術的なニーズを共有する必要がある。

特に、施工範囲の狭さ、一般交通との近接、頻繁な工程切替え、人の判断を必要とする作業など、大規模現場とは異なる条件を明確にし、技術開発に反映することが重要である。

11.2. 既存技術の活用

小規模現場への導入に当たっては、ほぐし土の自動掘削・積込み、3 次元マシンコントロール、検知範囲内への人の進入を検知する技術、積載量計測など、既に開発・実用化されている技術を活用する。

これらの既存技術を個別の作業へ適用することで、新たな技術を一から開発する場合と比べ、導入に要する時間や負担を抑え、早期に省人化や安全性向上の効果を得られる可能性がある。

11.3. セミオート機能の追加

既存技術の活用に加え、小規模現場の施工条件に応じたセミオート機能を追加することが、現場で省人化や安全性向上の効果を得るための第一ステップとなる。

具体的には、検知範囲内への人の進入時の自動停止・動作制限、ダンプトラックの自動追従、作業位置の調整、作業指示者のハンドサインの認識及び施工高さの自動計測などが挙げられる。

セミオート機能により、作業指示者の判断を残しながら建設機械の動作を支援することで、施工条件の変化に対応しつつ、機械操作の省人化と安全性の向上を図ることができる。さらに、現場で効果を確認しながら段階的に機能を拡張することで、技術の継続的な利用と普及につなげることが重要である。

11.4. 建設機械の多機能化

小規模現場では、掘削、積込み、埋戻し、締固めなどの工程が短時間で切り替わるため、単一作業向けの専用機械では稼働時間が限られる。このため、1 台の建設機械で複数の工程に対応できる多機能化が必要となる。

チルトローテータの活用やアタッチメントの着脱を容易にすることで、建設機械の移動や入替えを減らし、複数の工程へ効率的に対応できる可能性がある。また、アタッチメントや作業内容に応じて、建設機械の制御設定を容易に変更できる仕組みも必要となる。

11.5. 技術開発を支える共通基盤

段階的な技術導入を進めるためには、個々の技術開発に加え、現場条件の設定、人と建設機械との協調及び現場全体の安全管理を共通基盤として整備する必要がある。

現場条件の設定では、施工範囲、作業位置、立入禁止範囲及び建設機械の動作範囲などを、建設機械が利用できる情報として設定することが求められる。

人との協調では、作業指示者のハンドサイン、タブレット又は音声による指示を、建設機械の動作に反映する仕組みが必要となる。また、カメラや計測機器を用いて、埋戻し材の投入位置・投入量や締固め状況を把握し、作業指示者の判断を支援する技術が考えられる。将来的には、その判断結果を建設機械の制御へ直接反映する方向への発展が期待される。

現場全体の安全管理では、各建設機械に搭載したカメラやセンサーに加え、高所に設置した 360 度カメラやセンサーにより、作業者、建設機械、一般車両及び歩行者の位置を俯瞰的に把握し、その情報を各建設機械と共有する仕組みが必要となる。将来的には、複数の建設機械の作業動線を共有し、動線の交錯を検知した場合に、建設機械の動作を制限又は停止する安全管理への発展が考えられる。

さらに、自動機能又はセミオート機能を搭載した建設機械を遠隔で監視し、異常時や建設機械だけでは判断できない場面において、人が遠隔から介入できる機能も重要となる。

11.6. 小規模現場への普及

既存技術の活用、セミオート機能の追加及び建設機械の多機能化を段階的に進めることで、小規模現場における省人化、安全性向上及び施工効率化が期待できる。

実用化に当たっては、現場で導入効果を確認しながら適用範囲や機能を段階的に拡大するとともに、施工者、建設機械メーカー及び技術開発者が、得られた知見や課題を共有することが重要である。これにより、既存機械へ導入しやすく、現場が効果を実感できる機能から、順次、開発・実用化を進めることが可能となる。

将来的には、1 人の作業指示者がハンドサイン、タブレット端末又は音声により複数の建設機械へ指示を与え、各建設機械がその指示に基づいて連携して作業するセミオート施工の実現が考えられる。その後、周辺状況や施工の進捗を踏まえて、作業の順序、施工位置及び各建設機械の動作を判断・指示する機能を自動化することで、複数の建設機械が自律的に連携して施工する段階へ移行することが考えられる。

12. まとめ

小規模現場におけるオートメーション化の実現には、建設機械メーカーや技術開発者による技術開発が不可欠である。一方、小規模工事では多様な工種や作業が混在しており、どの作業にオートメーション化技術を導入すれば、省人化や施工効率の向上につながるのかが必ずしも明確ではない。

そこで、小規模現場における土工、特に床掘りを伴う工事を対象として、現道上の水道管敷設工事（昼間）、現道上の電線共同溝工事（夜間）及び新設道路の側溝設置工事（昼間）という、現場条件の異なる 3 件の工事について、現地調査及び作業工程の分析を行い、オートメーション化技術の適用可能性を検討した。また、調査で確認した作業を 11 のユースケースに整理し、それぞれについて、適用可能な既存技術、オートメーション化に向けて求められる機能及び調査現場での使用頻度を整理した。

主な知見は、次のとおりである。

- 掘削、積込み、運搬、埋戻し及び締固めなど、主に建設機械を使用する作業には、既存技術又は関連技術があり、オートメーション化技術の適用可能性が比較的高い。
- 管材の接続、軽量鋼矢板の設置・撤去、水締め及び型枠設置など、人の判断や細かな調整を必要とする作業では、一連の作業に直接適用できる技術が限られている。
- 小規模現場への適用に必要な機能は、施工対象や周辺状況を把握する認識機能、建設機械を動作させる制御機能、人や車両との接触を防止する安全機能並びに人や他の建設機械と連携する協調機能の 4 つに分類できる。
- 小規模現場への適用・普及に当たっては、大規模現場等で開発・実用化されている技術を基礎として、小規模現場の施工条件に応じた機能を段階的に追加することが現実的である。
- 特に、作業指示者の判断や指示を建設機械の動作に反映するセミオート機能は、既存の作業方法を大きく変更せずに導入でき、省人化や安全性向上の効果を現場で確認することができる。このため、セミオート機能の導入は、小規模現場のオートメーション化に向けた第一ステップとして有効である。
- 小規模現場では工程の切替えが頻繁であり、一つの作業に使用できる時間も限られるため、1 台の建設機械で複数の工程に対応できる多機能化が重要である。
- 技術開発に当たっては、施工者、建設機械メーカー及び技術開発者が、小規模現場の施工条件やニーズを共有するとともに、現場条件の設定、人と建設機械との協調及び現場全体の安全管理を共通基盤として整備する必要がある。

以上から、小規模現場のオートメーション化では、完全自動化を直ちに目指すのではなく、既存技術を基礎として、現場で効果を確認しやすいセミオート機能から導入し、適用範囲や機能を順次拡大することが有効と考えられる。これにより、既存の作業方法を大きく変更することなく、現場条件の変化に対応しながら、省人化、安全性の向上及び施工効率の向上を図ることができる。

将来的には、1 人の作業指示者がハンドサイン、タブレット端末又は音声により複数の建設機械へ指示を与え、各建設機械がその指示に基づいて連携して作業するセミオート施工の実現が考えられる。その後、周辺状況や施工の進捗を踏まえて、作業の順序、施工位置及び各建設機械の動作を判断・指示する機能を自動化することで、複数の建設機械が自律的に連携して施

工する段階へ移行することが考えられる。

今回の調査は 3 件の施工事例を対象としたものであり、施工条件や工事種別が異なる現場へ結果を一般化するには限界がある。また、オートメーション化技術の適用可能性を検討したものであり、個別工事の施工方法や施工体制を評価したものではない。今後は、調査対象とする工事や現場条件を拡充し、ユースケース及び必要機能の整理を充実させるとともに、既存技術の適用結果や現場で明らかになった課題を、施工者、建設機械メーカー及び技術開発者が共有することが重要である。

ここで整理したユースケース、既存技術及び求められる機能は、今後、小規模現場におけるオートメーション化技術の研究開発及び実用化に向けた検討を進める上で、基礎資料として活用できると考える。これらの成果が、小規模現場において効果を実感できる技術の開発と普及につながることを期待する。

謝辞

本調査及び検討の実施に当たり、現地調査の受入れ、施工内容に関する説明及び意見交換に御協力いただいた関係者の皆様に、厚く御礼申し上げる。

参考文献

1）国土交通省：i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化～，2024 年 4 月，
https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

2）国土交通省：ロードマップについて，ICT 導入協議会（第 21 回）資料-2，2025，
https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001899628.pdf（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

3）鹿島建設株式会社：A⁴CSEL for Dam，鹿島建設株式会社ウェブサイト，
https://www.kajima.co.jp/tech/civil_engineering/a4csel/dam/index.html（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

4）大成建設株式会社：協調運転制御システム「T-iCraft®」を南摩ダム本体建設工事に導入，2022 年 8 月 3 日，
https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2022/220803_8896.html（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

5）岡本邦宏，西彰一，松崎晃：統合管理システムによる盛土工事自動化実証施工，建設機械施工，Vol.76，No.12，2024，
https://jcmanet.or.jp/bunken/kikanshi/2024/12/048.pdf（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

6）鹿島建設株式会社：自動化施工システム「A⁴CSEL」造成工事への本格適用を開始，2024 年 12 月 24 日，
https://www.kajima.co.jp/news/press/202412/24c1-j.htm（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

7）清水建設株式会社：自律施工型ブルドーザー「Smart Dozer」が約 2,400m² を整地，2026 年 3 月 17 日，
https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2026/2025059.html（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

8）コベルコ建機株式会社，株式会社安藤・間：施工中の工事現場で、自動運転ショベルを長期安定運用，2025 年 6 月 12 日，
https://www.kobelco-kenki.co.jp/news/press-release/20250612（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

9）ARAV 株式会社：自動（無人）油圧ショベル RX「ヨイショ投入くん」，
https://arav.jp/solution/arav_rx/（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

10）国土交通省：自動施工における安全ルール，2025 年 3 月，
https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001908055.pdf（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

11）国土交通省：中小建設業への普及促進方策について，ICT 導入協議会（第 22 回）資料-2，2026,
https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001984988.pdf（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

12）国土交通省：3 次元計測技術を用いた出来形管理の監督・検査要領（土工（1,000m³未満）・床掘工・小規模土工・法面整形工編）（案），2025 年 3 月,
https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001880069.pdf（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

13）engcon：製品カタログ,
https://engcon.com/download/18.553d840218e5f711c7a5eb9a/1749125685794/engcon-product-catalogue-JP.pdf（2026 年 10 月 30 日閲覧）.

14）国土交通省九州地方整備局：RCC 工法,
https://www.qsr.mlit.go.jp/unzen/wlib/pdf/020304020301a.pdf（2026 年 10 月 30 日閲覧）.