

## 論文の内容の要旨

論文題目 ブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた公共工事の契約情報及び出来形・出来高情報管理システムの開発

氏 名 松下 文哉

近年、国土交通省が推進する i-Construction の取り組みにより、施工現場の品質・出来形の確認に必要な情報（施工管理情報）を現場から比較的容易に取得可能な環境が構築されつつある。これらのデジタル情報は元請会社の施工管理に活用される一方で、発注者の監督検査に活用するための基準類の整備も進められている。しかし情報を取得する主体が受注者のため、発注者に情報が伝達される間に施工管理情報の改竄リスクがあり、これとは別の方法に基づく現場での立会を要する臨場検査が技術基準類の中で求められている。i-Construction が目指す建設現場の全自動化に向けた取り組みの実現のためには、受発注者間の情報の耐改竄性を担保することにより改竄リスクを低減させることが極めて重要である。また支払いについては、受注者の金利負担の課題を解決するために、従来から出来高部分払方式が用意されているが、受注者にとっては支払いのための申請書類の作成、発注者にとっては申請書類の査定が業務の更なる負担となるため、この支払方式が採用しづらい状況にある。この課題を解決するためには出来高部分払いの支払い手続きを合理化するため、契約条件や出来高査定結果などの検査結果を契約履行情報として適切に管理する仕組みの構築が求められる。

一方でブロックチェーン技術は保存データの耐改竄性を担保する特徴を有し、さらにスマートコントラクトを活用することによって契約条件や検査・査定結果といった契約の履行状況を適切にトレース可能となる。これらの特徴を有するシステムを活用することで、品質・出来形検査や出来高査定と組み合わせた既済部分検査の合理化や支払いの自動化の実現を目指す。

本研究の目的は、「目的 1：ブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた公共工事の契約情報及び出来形・出来高情報管理システムのプロトタイプの開発と有効性の検証」と、「目的 2：汎用システムの検討とその提案」にある。目的 1 に対しては現行のサプライチェーンの特徴や課題を整理しこれを解決するための要件を適切に設定する。この上で、ICT 土工を対象に必要な機能を有するプロトタイプを開発し、その有効性の検証について実証試験を通じて確認する。また要件を満足する機能を実装するために、施工管理情報の信憑性担保についてはブロックチェーン、契約情報や契約履行内容の更新についてはスマートコントラクトの適用方法を検討する。目的 2 に対しては他工種への適応も念頭に外部システムも含めて汎用システムを検討し提案する。

プロトタイプの開発では、土工事を対象に必要な要件を設定したうえで、それぞれに必要な機能を実装した。プロトタイプでは、土工事の転圧回数検査や出来高検査に利用する GNSS データや点群測量データを施工管理情報として入力し、これらの情報をもとに検査、出来高査定、支払金額の決定ができるシステムを開発した。まず施工管理情報の信憑性を担保するために、実際に起こり得る改竄パターンを想定し、ブロックチェーンを活用した改竄確認方法を設計しシステムに組み込んだ。ブロックチェーンのみでは担保することができないデータ入力時

の改竄について、入力値の改竄確認システムとして、GNSS データを時系列に描画し施工状況を可視化するプログラムや掘削土量を計測するためのモデル生成を実行するプログラムも開発した。次にスマートコントラクトを用いて契約条件や契約履行状況といった契約情報の管理を行うために、スマートコントラクトに記述すべき情報を定義した。ブロックチェーンとして Ethereum を実装し、Solidity（プログラム言語）を用いてスマートコントラクトを開発した。さらに、品質・出来形の確認、出来高査定、支払金額の算出が可能な構成システムの機能を定義し、その機能を実装した。

国土交通省が発注した道路土工事及び河道整正工事におけるデータを用いて、開発したプロトタイプシステムが実際の公共工事において機能するかを確認するために2回の実証試験を行った。実証試験での検証項目は、それぞれ「検証項目1：サプライヤーによって生産された施工管理情報の改竄確認をしたうえで品質・出来形検査の実施が可能であること」と、「検証項目2：発注者、注文者によって実施された出来高査定の結果に基づいて契約条件や契約履行状況をトレースし、支払い金額の自動算出が可能となり支払の実行が可能であること」の二つである。それぞれの検証に当たっては、国土交通省北首都国道事務所事務所及び甲府河川国道事務所事務所の協力の下で、現場から収集された施工管理情報と事前に東京大学で改竄したデータセットを用いて検査や査定に利用する情報の改竄確認が可能か検証した。検証では発注者と元請負会社の2者のサプライチェーンを想定した。また検証項目1では、改竄確認を行った情報をもとに品質・出来形検査を実施し、検証項目2では出来高の査定と、査定した出来高に応じた支払を実行した。検証を行うにあたって、システム内で判断が必要な部分については対象現場の発注者及び受注者の協力のもと社会実装時に利用が想定されるユーザーが確認することで、その有効性を実証した。

システムの提案では、対象工種を土工事に限定せず場所打ちコンクリート工、トンネル工、ダム等を含めて適用範囲を拡大し活用できるようにシステムの汎用化を念頭に構成システムの検討を行った。施工管理情報の信憑性の担保では入力値の改竄リスクを低減するために施工管理情報収集基盤について検討し、現場から収集された情報を直接ブロックチェーンへ保存可能とする。また建設工事では、屋外かつ自然環境の中で目的物を施工することから、施工条件が契約時と異なり設計変更手続きが必要になることが多い。この設計変更に対してもシステムが対応できるようにスマートコントラクトの機能を設計した。さらにシステムへのサプライヤーのアクセス性を考慮しAPIをWebAPIとして開発し、さらに維持管理、機能の追加を容易にするため各エンドポイントを契約情報の保存、入力情報（設計情報・施工管理情報）の保存、改竄確認、出来形確認、出来高確認、支払確認といった機能別に整理した。このブロックチェーンとスマートコントラクトを基盤としたシステムを用いることにより、公共土木工事のサプライチェーンにおける契約管理及び支払いの手続きの合理化が図られ、約30億円程度の効率性向上効果を期待できることが国土交通省関東地方整備局の対象工事を用いて試算された。

最後に社会実装を進めるために検討及び解決すべき課題を整理した。課題は、(1)システム開発に関する課題、(2)競争領域の開発促進に関する課題、(3)実装に関する課題の3種類に大別され、それぞれ(1)汎用システムの開発体制と費用分担、(2)施工管理情報収集のための環境構築、設計情報管理システムの利用用途の例示、ソフトウェア認証、(3)汎用システムの運用体制、制度上の課題、データ資産の利活用上の課題等を検討する必要があることを示した。