

研究開発部門 佳作

アスファルト混合所における品質管理のためのブロックチェーンを活用した情報システムの改良

大林道路(株) 本社 DX ソリューション部 横山 昂洋
// // 佐藤 正憲
政策研究大学院大学 小澤 一雅

1 はじめに

アスファルト混合物(以下、合材)の品質管理は、道路等の耐久性や安全性に直接影響を与えるため、非常に重要である。合材の不適切な品質管理は、工事の手戻りによる費用・環境負荷の増加や、交通事故、建設産業の信頼性低下につながる。しかし、合材の品質不正は古くから存在しており、近年でも社会問題となっている¹⁾。その要因としては、人材不足や手作業による品質管理等により、適時適切な品質管理の証明が困難であることが挙げられる。また、品質管理データの活用が不十分であり、業務改善の余地が残されている。

このような背景から筆者らは、合材の品質管理の信頼性確保と合理化を目的として、アスファルト混合所等で使用する情報システムのプロトタイプ(以下、プロトタイプ)を開発した²⁾。本システムでは、信頼性確保のために、ブロックチェーン(以下、BC)の活用、各種データの取得(画像、時刻、位置)、チャットアプリによる試験手順の標準化を行った。BCは、データのまとまり(ブロック)を鎖(チェーン)のようにつなぎ、それらを情報システム上の多数の参加者で共有することにより、記録されたデータの改ざんを極めて困難にする技術であり、様々な産業で活用されている³⁾。BCを活用することによりデータの真

正性担保が可能となるため、合材の品質管理の信頼性が向上することが期待される。また、合理化のためには、試験結果の即時判定、測定値の音声入力、帳票の自動作成を可能とした。さらに、開発システムの評価を目的に実証実験を行い、信頼性確保については、本システムに保存されたデータが外部から書き換えられた場合に、それを検知可能であることを確認した。また、合理化については、品質管理担当者による利用やヒアリングを通して、本システムの有用性や業務時間短縮等における課題を確認した。

本論文では、プロトタイプの問題解決を目的として行った追加開発の内容とその評価結果を示す。

2 プロトタイプの概要と主な課題

(1) 開発対象

開発対象には、マーシャル安定度試験を選定した。本試験は、合材の基本的性状(密度、空隙率、飽和度、安定度、フロー値等)を確認するために行われ、我が国で最も広く普及している品質管理試験の1つである。なお、本試験は配合設計でも実施されるが、日常管理を開発対象としたため、対象フローは材料の計量や合材の製造は含まず、採取した合材の温度確認以降に限る。

(2) プロトタイプ機能と利用手順

プロトタイプの構成図を図-1に示す。本システムは、基本要素、トレース要素、チャットアプリで構成される。基本要素は、ユーザー管理、合材情報登録、試験データ参照、試験結果判定、改ざん検知(試験データを利用)、改ざんステータス表示の機能を有する。一方、トレース要素は、データトレース、改ざん検知(試験データから生成したハッシュ値を利用)、BCによるハッシュ値記録の機能を有する。ハッシュ値とは、BCを利用する際にデータのまとまりから生成される固定長の値である。試験データの inputs はチャットアプリを利用して行い、その他の管理作業はウェブブラウザ上で基本要素にアクセスすることで行う。トレース要素は、バックグラウンドで自動的に稼働する。チャットアプリとトレース要素は製品を利用して一部開発し、基本要素とそれへの接続部分はスクラッチ開発した。

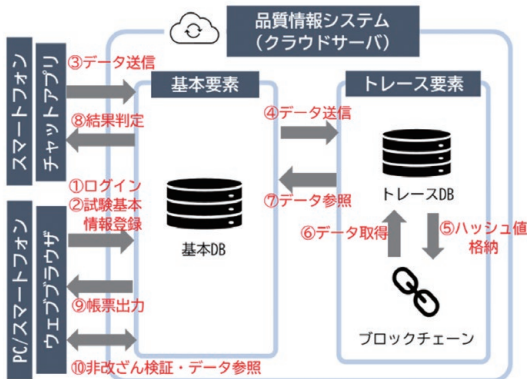


図-1 プロトタイプの構成図

このシステムを利用する際には、まず基本要素にログインし、試験基本情報を入力した後、チャットアプリを利用して試験データを入力する(図-2)。測定値は音声入力し、測定値の画像はカメラで撮影する。画像撮影のタイミングは、自動または手動のいずれかを選択できる。さらに、品質管理担当者の位置情報がスマートフォンから自動送信される。

これらの測定データは、従来のように情報システムに直接書き込むことができず、入力されたデータは、基本要素とトレース要素のデータベース(以下、DB)に保存される。トレース要素では、保存されたデータからハッシュ値が生成され、BCに格納される。また、ハッシュ値は保存データから随時生成さ



図-2 作業状況

れ、BCに保存されたハッシュ値との差異の有無が確認される。その後、基本DBとトレースDBに保存されたデータの差異も確認され、改ざんされていないかが分かる。試験の規格判定はリアルタイムに実施でき、規格を満足しない場合には即座に対処できる。一連の作業が終了すると、データ入力完了した帳票が利用者にメールで自動送信される。本システムでは、測定値だけではなく、測定値の画像、画像取得時刻も参照可能である。

(3) プロトタイプの主な課題

① チャットアプリの機能への依存

プロトタイプでは、測定データの音声入力、品質管理担当者の位置情報取得、帳票の自動作成等をチャットアプリにより行っていた。したがって、これらの機能の利用可否は、外部サービスの提供に依存していた。そのため、サービス提供が行われなくなると品質管理に支障をきたすリスクがあった。

② 入力データの信頼性

プロトタイプでは、保存されたデータの改ざんは検知可能であることを確認した。一方で、入力デー



図-3 画像撮影状況

データの信頼性確保には課題がある。試験時には、マーシャル安定度試験の各段階で測定値をチャットアプリに音声入力し、その後に画像を撮影していた(図-3)。そのため、任意の値を入力することが可能である。また、各測定値に対して撮影する1枚の画像では、数値と測定状況の両方を確認することが難しく、根拠画像としての役割を十分に果たしていなかった。

③ 作業時間の増加

プロトタイプでは、図-2に示したように、カメラとヘッドセットとスマートフォンを利用するため、試験前や接続が切れた際に、各機器同士の接続設定を行う必要がある。また、各機器の充電も一定期間ごとに必要である。さらに、音声入力が正しく行われなかった際には再度入力が必要であり、画像撮影は測定値ごとに行う必要がある。これらによる作業時間の増加が、帳票作成自動化による作業時間の減少を上回り、試験および帳票作成全体のプロセスでは作業時間が増加した。

④ 品質管理担当者のみによるシステム利用

プロトタイプでは、システム利用者は品質管理担当者のみを想定していたため、上位管理者が試験のプロセスや結果を確認することができなかった。そのため、合材の品質管理における信頼性や透明性が低下するだけでなく、製品が品質規格を外れたり、重大なミスや品質不正が発生したりした際に、それを早期に発見して是正する機会が損なわれる可能性があった。

⑤ マーシャル安定度試験のみへの対応

プロトタイプでは、開発対象をマーシャル安定度試験のみとした。しかし、アスファルト混合所で行われる品質管理は多種多様であり、実装にあたっては開発システムの対象範囲を拡大する必要がある。

作業場所に設置した。試験の進行は、チャット形式ではなく、測定項目ごとに図-5に示す画面を順次表示させて行うこととした。これにより、チャットアプリの機能に依存せずにマーシャル安定度試験のデータ入力を行うことが可能となった。

また、プロトタイプでは、データを修正する際に1つずつしか会話をさかのぼることができなかったが、追加開発後のシステムでは、任意の測定項目を選択して修正するとともに、修正理由を記入できるようにした。なお、現状では、品質管理担当者の位置情報取得機能は保持していない。



図-4 追加開発後の作業状況

品質情報システム 試験者

供試体作製

マーシャル安定度試験

測定結果を入力してください。

供試体1
乾燥質量*

1185.3

Liz Gaugeでも測定する

登録履歴

品質情報システム 試験者

マーシャル安定度試験

マーシャル安定度試験

判定結果を確認してください。

判定結果

測定項目	供試体1	供試体2	供試体3
密度	2.19	2.35	2.34
空隙率	10.50	3.96	4.37
飽和度	52.85	76.13	74.19
安定度	8.76	9.20	9.57
フロー値	30.00	21.00	21.00

図-5 追加開発後のデータ入力と即時規格判定

3 追加開発した機能

(1) チャットアプリに依存しないデータ入力

追加開発後の作業状況を図-4に示す。作業手順を単純化するため、試験時にヘッドセットは装着せず、スマートフォンからのデータ入力は、音声ではなく手入力により行うこととした。また、カメラは

(2) 測定データの自動取得

データの信頼性確保と作業性向上を目的に、画像認識カメラ⁴⁾を使用することとした。これにより、画像認識による測定値の自動取得と、複数画像(測定値および作業状況)の取得が可能となった。現状では、1台のカメラの利用では通信待ちの時間により作業に遅れが生じるため、3台のカメラを作業場

所に設置し、各カメラが各供試体の測定に対応するようにした(図-6)。撮影は、スマートフォンを利用して、作業者が任意のタイミングで行える。

なお、現状ではマーシャル安定度試験の各工程のうち、品質管理において最も重要と考えられる質量測定のみが対象となっている。作業終了後は、自動入力された測定値と、測定値や作業状況の画像を確認できる(図-7)。

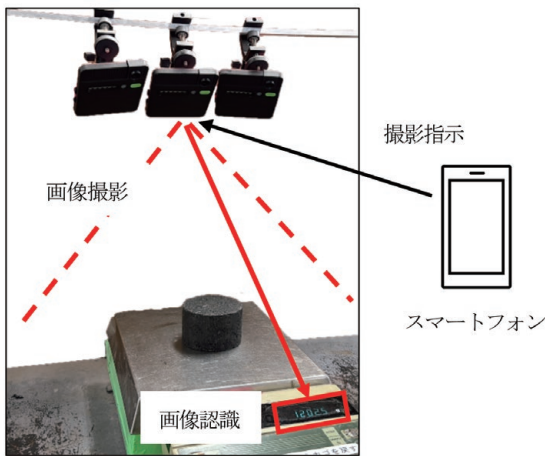


図-6 画像認識カメラによる供試体の質量測定状況(3台のカメラで3つの供試体の質量測定を順次行う)



図-7 測定値および作業状況の確認

(3) 開発システムからの帳票自動作成

チャットアプリを利用せずに、帳票を自動作成する機能を実装した(図-8)。データの書き換えが不可能な画像形式の帳票と、従来管理で使用している表計算ソフト形式の帳票の両方を出力可能とした。なお、プロトタイプで実装した改ざん確認機能に加え、試験の承認情報(承認者、承認日、承認者から品質管理担当者へのコメント)を確認できる機能を実装した(図-9)。

かさ密度	アスファルトの骨量	空隙率	骨材間隙率	飽和度	安定度	フロー値
(g/cm ³)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kN)	(1/100cm)
2.193	11.8	10.4	22.2	53.2	8.3	30
2.352	12.6	3.9	16.5	76.5	9.2	21
2.344	12.6	4.2	16.8	75.0	9.6	21

図-8 試験後のシステム画面



図-9 上位管理者による試験結果の承認と品質管理担当者へのコメント

(4) 上位管理者による承認

品質管理試験のプロセスや結果を品質管理担当者が確認するだけでなく、上位管理者がそれらを承認できるようにした。また、試験結果が規格値を外れている場合や、データ改ざんの恐れがある場合には、図-10に示すポップアップを表示させることで、承認者に対して注意喚起を行うこととした。なお、承認しない場合は、「閉じる」ボタンを押下する。これにより、品質管理上の問題が発生した際に、その後の対応につなげやすくなる。

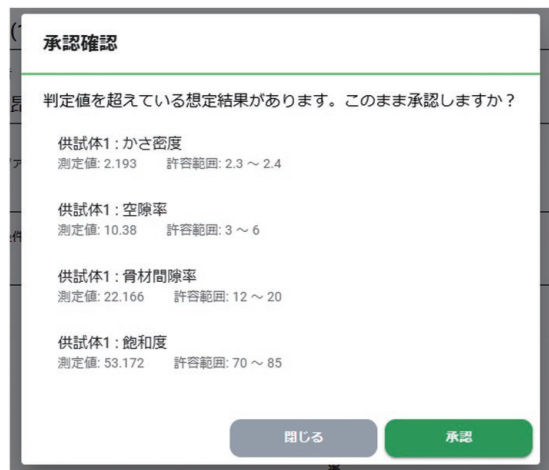


図-10 上位管理者による承認

(5) 他試験への対応

マーシャル安定度試験以外の日常管理試験の内、実施頻度が高いアスファルトの抽出試験と骨材のふるい分け試験にも対応可能とした。

4 改良結果の評価

(1) 信頼性確保

表-1に合材の品質管理における不正リスクと、本システムにより行った対策を示す。不正リスクの内容は、過去の合材の品質不正事例¹⁾を参考にした。また、不正リスクの分類は、不正のトライアングル理論²⁾を参考に、3つの要素(動機、機会、正当化)で行うこととした。表-1に示すように不正リスクは多種多様であり、情報システムの開発だけでは必ずしも対処できないものも含んでいる。

追加開発では、品質管理の信頼性確保のために、画像認識カメラの活用、画像形式での帳票自動作成、上位管理者による承認を可能とした。画像認識カメラについては、測定値の入力が自動化されるとともに、測定値と作業状況の画像が確認可能となることで、品質管理試験データの耐改ざん性が向上した。ただし、開発対象は質量測定のみのため、他工程への対応が必要である。また、データ入力時の信頼性確保においては、合材が練り落されてから試験が行

われるまでの一連のプロセスで、採取した合材や供試体を追跡可能とする取組みも必要である。

帳票については、画像形式のものを利用することで、データ出力後の耐改ざん性が向上した。承認機能については、品質管理担当者だけではなく、上位管理者もデータを参照可能としたことで品質管理プロセスの透明性が向上した。ただし、現状では、上位管理者がシステムにアクセスしなければ、試験結果等を確認できないため、試験終了時や異常発生時に上位管理者に自動で通知する機能が必要である。

(2) 合理化(効率性向上)

図-11に作業時間比較を示す。各作業時間は、従来方式による場合を100として示した。測定対象は、マーシャル安定度試験および帳票作成である。プロトタイプでは、手作業による画像撮影に時間を

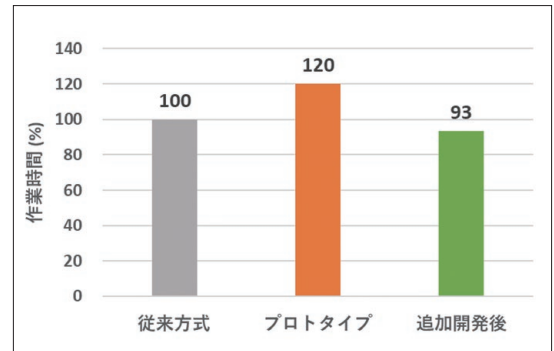


図-11 作業時間比較

表-1 不正リスクと本システムにより行った対策 ((-)は、未対策を意味する)

不正リスク	内 容	対 策	
① 動 機	会社のため	過度な目標 現場担当者からの価格低減要請 経営方針と現場目標の不整合	- - -
	自分のため	利益重視の人事評価制度	-
		品質規格不適合品の出荷 試験の未実施	データ削除が不可能 -
	② 機 会	製品特性	品質上の問題が建設現場で表面化しにくい
不適切なデータ入力環境		任意データの手入力が可能	BC、画像認識カメラの活用
		上位管理者の知識や経験の不足 知識や経験を与える場がない	システムの画面に従ったデータ入力
チェック体制不全		不明確な業務プロセス	試験のステータス管理
		不十分な業務プロセスデータ	画像・時刻データの活用
		実務担当者への管理権限集中	上位管理者による承認
		ISO等の外部監査の未実施	-
③ 正当化	正義感	社内に独立性の高い専門部署がない	-
		会社貢献のため 混合所の存続や雇用確保のため	データ承認時の注意喚起
	外部への責任転嫁	他者も同じことをしている	
		会社への不満 上司の指示	
	根拠のない自信	結果にばらつきがあり、外れても問題ない 問題が起きていない	

要し、従来方式よりも作業時間が20%増加していた。一方で、追加開発後はこれらの作業手間が解消され、従来方式よりも作業時間が7%減少した。また、プロトタイプと比較して作業時間が約23%減少した。ただし、追加開発後のシステムでは画像撮影の対象は質量測定のみとなっている。また、追加検証により、作業時間比較のデータをさらに収集する必要がある。

(3)適用範囲拡大

追加開発により、マーシャル安定度試験だけではなく、日常管理として頻繁に実施するアスファルトの抽出試験や骨材のふるい分け試験にも対応可能となった(図-12)。今後の課題として、他の日常管理試験や日常管理以外の品質管理プロセス(設計、施工、維持管理等)に適用範囲を拡大することが求められる。プロセス間連携では、データの紐づけや円滑な受け渡しが必要となる。



図-12 試験選択画面

5 まとめ

本論文では、追加開発した5つの機能とその評価結果を示した。得られた主な結果を以下に記す。

- ・画像認識カメラによる測定値の自動入力や画像取得、画像による帳票出力により、品質管理試験データの耐改ざん性が向上した
- ・上位管理者による試験結果の承認を可能とすることで、品質管理プロセスの透明性が向上した
- ・プロトタイプと比較して、マーシャル安定度試験および帳票作成の作業時間を約23%削減した
- ・マーシャル安定度試験以外の2つの品質管理試験

も開発システム上で管理可能とした

また、追加開発が求められる主な機能を以下に記す。

- ・データ入力段階での自動警告、承認者への自動通知
- ・複数の上位管理者による段階的な承認
- ・品質管理業務全体のタスク管理
- ・経験豊富な職員が持つノウハウの蓄積および活用
- ・データの自動分析と可視化
- ・配合設計や製造管理への試験結果のフィードバック

6 おわりに

合材の品質管理の信頼性確保は、表-1に示されるように情報システムの構築と会社の組織マネジメントの両方を行うことが必要であり、個社だけではなく道路業界全体としての取組みが現在求められている。品質管理システムの信頼性向上は、道路業界全体の信頼性向上につながる。また、信頼性の高いデータの蓄積は、品質管理システムの合理化にも貢献すると考えられる。データの蓄積を加速するためには、材料や合材の品質を自動で全量検査可能な技術の開発等が望ましい。さらに、試験結果を帳票により人の目で管理するのではなく、デジタルデータを用いて自動でチェックできる仕組みに移行することが望まれる。更なる研究開発を進める予定である。

【謝辞】本研究は、東京大学大学院工学系研究科「i-Construction システム学」寄付講座と大林道路(株)の共同研究として行われた。多大なるご協力を賜った関係各位に謝意を表する。

【参考文献】

- 1) アスファルト合材の不正納入に関する有識者委員会：アスファルト合材の不正納入に関する有識者委員会中間報告書 https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/asphalt/pdf_chukan/chukan_hokoku.pdf (2025年1月3日)
- 2) 横山昂洋、佐藤正憲、小澤一雅：アスファルト混合所の品質管理のためのブロックチェーン技術を活用した情報システムのプロトタイプ開発と実証、土木学会論文集、Vol.80, Issue12, 2024.
- 3) 福井啓介：DX 推進における分散型台帳技術の役割～ブロックチェーンビジネスの事例研究～、第35回 JAIST 年次学術大会講演要旨集、pp. 283-286, 2020.
- 4) Lilz Cam: <https://lilz.jp/lilzgaugue> (2024年12月21日)
- 5) 根本萌希ら：日本企業における不正会計の要因、人文×社会、Vol.2, Issue5, 2022.