

ダム I T 化施工の研究・開発

建設 ICT 4D-DIS (4 Dimensions-Dam Information Service) の開発

松本 三千緒^{*1}・氏次 努^{*2}・小山 哲^{*3}・宮崎 裕道^{*1}・近藤 高弘^{*1}・片山 三郎^{*1}

Keywords : data base, trace of material, Picture processing, management at compaction time, Information sharing

データベース, 材料トレース, 画像処理, 締固め時間管理, 情報共有化

1. はじめに

近年, 土木分野でも合理化施工を視野に入れ, 施工の I T 化が盛んに論じられるようになってきた。すでに, 国土交通省においても I C T 技術を活用して土木施工の技術を革新しようと情報化施工推進会議が発足し, 活動を行っている。この状況に対応するべく, 発注者ニーズや技術的可能性を検討・分析し, 以下の 4 つのシステムを開発した。

- ・ 4 次元ダム情報提供システム (4 D-D I S)
- ・ 粒度分布管理システム
- ・ 材料トレースシステム
- ・ 法肩転圧管理システム

以下, これらのシステムの目的, 内容, 効果等について報告する。

2. 大成 4 D-D I S (4 Dimensions-Dam Information Service)

2.1 概要

現場において 4 次元的な情報提供を可能にする「大成 4 D-D I S (4 Dimensions - Dam Information Service)」を開発した。この 4 D-D I S では, 既に専門業者において完成しているシステム, 過年度の調研によって開発されたシステムなどと連携できる構造にする事で, 現場に配置される様々なシステムを結び付け情報を一元的に管理できるシステムを目指した。4 D-D I S では情報をエレメントという概念で捉え, 4 D (位置座標 X, Y, Z と時間 T) の切り口から必

要な情報を横断的に検索・抽出出来るようになっている。図-1 に 4 D-D I S のイメージを示す。

その構成は,

- ① 収集, 蓄積された施工情報をエレメントの概念で抽出するシステムの核となる 4 D-D I S コア部。
- ② 既存のサブシステム (グラウト管理, 転圧管理等) から情報を収集し, 4 D-D I S と連携させる連携インターフェイス部。
- ③ 発注者との情報共有化 (電子納品を含む) を行なうためのグループウェア部。

の 3 つからなっている。

データベース化:4D(X,Y,Z,T)の概念で検索・抽出

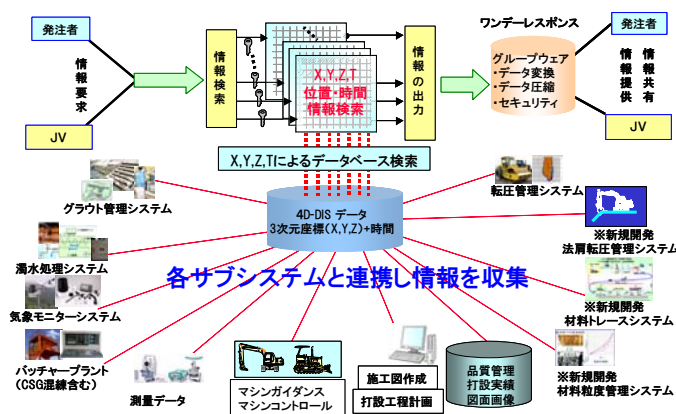


図-1 4D-DISイメージ

Fig.1 Image of 4D-DIS

2.2 4 D-D I S コア部の開発

従来は, 様々な書類の中から該当するものを人力により探し出し, それらの書類から資料を作成し, 発注者に提供しているため, 多大な時間と労力がかかっていた。4 D-D I S のコア部では C A D データ・計測データ・画像データなど形式の全く異なるデータをエレメントという概念 (図-2 参照) で変換・蓄積し, 横断的に検索・抽出し, 指定された形式 (テンプレート) で出力できるアルゴリズムがキーポイントである。

*1 技術センター 土木技術開発部 土木技術開発プロジェクト室

*2 土木本部 土木技術部

*3 技術センター 土木技術研究所 土木構工法研究室

この開発にあたっては以下の手順で進めた。

① 現場で要求される情報の調査・分析

施工に必要なデータや客先への提出物（実績、品質などの帳票類）について、調査・分析を行った。

② 情報検索メニューの開発

調査分析結果に基づき、4D（3次元座標、時間）により対象エリアや時間範囲、日報・月報などの報告書、グラウト転圧、測量、設計データなどを検索するためのメニューの開発。

③ 4D（時空間情報）検索手法の開発

検索キーとデータベースとの照合・抽出を行う部分の開発。検索キーとそのパラメータにより、該当するデータベースとその中の情報項目をマトリクス的に検索する手法。

④ 収集データのエレメント変換

収集されるデータは、その内容により時間的・空間的にスケールファクターが異なるものと想定されるため、エレメントとして扱える単位への変換手法を開発。

⑤ 情報提供形式の検討・整理

印刷物としての出力やオンライン情報提供に対応するための形式（テンプレート）の検討。

ムを表-1に示す。

表-1 サブシステムの例

Table 1 Example of sub system

サブシステム名	備考
グラウト管理システム	電子データで収集
濁水処理システム	電子データで収集
気象モニターシステム	電子データで収集
埋設計器データ	電子データで収集
測量データ	電子データで収集
法肩転圧管理システム	新規開発
転圧管理	電子データで収集
バッチャープラント	CSG 混練含む
材料トレースシステム	新規開発
材料粒度管理システム	新規開発
施工図作成システム	電子データ
打設工程計画システム	電子データ
品質管理データ	試験室等での手入力
打設実績管理データ	電子データで収集
図面ファイル	電子データで収集
画像ファイル	電子データで収集

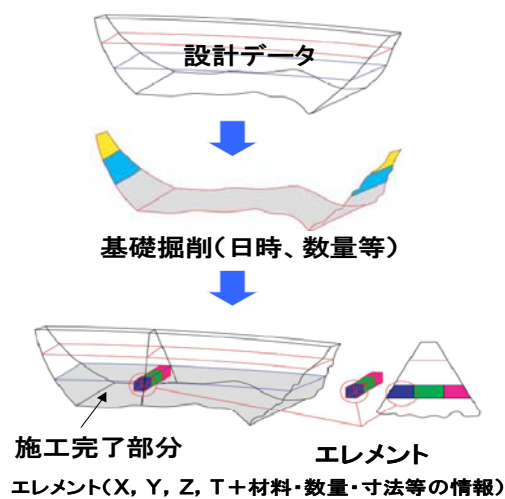


図-2 エレメントのイメージ

Fig.2 Image of element

2.3 サブシステムとの連携インターフェイスの開発

4D-DISで使用する情報（データベース）は、現場で運用されている各サブシステムから吸い上げる。現状ではこの情報の吸い上げ技術が未開発であるため、サブシステムで電子データ化しているにも関わらず、再度人力によるデータ入力・編集を余儀なくさせられている場合が見られる。そこで、主なサブシステムにおいて人力による作業が極力発生しないような連携インターフェイスを開発した。想定した主なサブシステ

2.4 グループウェアシステムの開発

4D-DISによって収集されたデータには発注者と情報共有するものが含まれる。情報共有の流れは国土交通省の建設ICTでも根幹をなしており、発注者側から見たときの検査・監督の省力化や指示・確認の効率化としてのニーズは高い。

情報共有といえばグループウェアと呼ばれるシステムが想像され、スケジュール管理や業務連絡、電子会議等が一般的だが、このシステムでは、指示・承認・品質管理・工程管理などの情報を発注者と施工者側で共有する。その対象としてあげられる主な項目は以下の通りである。

- ① 日常管理情報（日報、週報、月報、工事写真、Webカメラなどの情報）
- ② 設計・測量情報（CAD データおよび3次元データ、測量データ、出来形など）
- ③ 品質管理情報（密度、粒度などの材料管理情報）
- ④ 施工情報（運搬、打設、敷き均し、締め固めなどの情報）
- ⑤ 環境情報（気象、濁水等の環境、現場映像など）
- ⑥ 電子納品情報（CAL S/ECでの電子納品形式に対応した情報）

なお、グループウェア開発にあたっての留意点とし

ては、情報を共有化する場合、情報の種類・データ量・ネットワーク速度（伝送容量／秒）を考慮する必要がある。特に、ダム現場のような山間・僻地が想定される場所では通信回線としてのインフラが未整備であり、また発注者と施工者の事務所が離れた場所にある可能性が高い。また、情報の種類によっては共有するための専用ソフトウェアが必要とされる場合もあるが、PCの能力・容量やその他の事情から、必要なソフトをインストールが出来ない場合も想定される。そこで、以下のような点に留意して開発を行った。

- ① 設置される環境（ネットワーク環境）を考慮して、データ圧縮や削減を行なう機能。（特に画像データなど）
- ② 専用ソフトがない相手に対して、一般的な形式（テキスト形式、PDF 形式、CSV 形式など）で閲覧できる機能。
- ③ 閲覧者（ユーザー）に対して情報を制限する機能。（ユーザーレベル、セキュリティIDなど）
- ④ 上記の設定をインフラの環境に合わせて、フレキシブルに設定・変更できる機能。

2.5 4D-DISによる効果

4D-DISによる効果を以下に列挙する。

- ① クイックレスポンス（ワンデーレスポンス）
各データの統合化とグループウェアにより迅速な対応が可能（指示、承認、報告書等）。
- ② データ統合化と横断検索による品質保証
各サブシステムに対する横断的な情報検索により、漏れの無い多面的な品質管理ができる。
- ③ 確実な書類の作成・管理と省力化（CALS/EC 電子納品などを含む）
品質検査書類、図面、施工データなど膨大な資料を効率的に確実に管理できる。
- ④ トラブル対応の迅速化、正確化
場所、時刻、内容などの迅速な検索により、施主への正確な状況報告を可能にし、トラブルの早期修復を可能にする。
- ⑤ 情報共有による意思疎通と省力化
発注者事務所からの情報検索と閲覧や発注者と施工者間の情報交換がきめ細かく行なえる。

3. CSG材の粒度分布解析システム

3.1 概要

本システムの主な対象となる台形CSGダムは、“設計の合理化”，“材料の合理化”，“施工の合理化”の3

つの合理化を同時に達成する新しい形式のダムである。特に“材料の合理化”では、現地発生 of 河床材や堤体掘削材を母材として採取し、オーバーサイズカットのみでCSG材として活用し、セメントと水を混合して堤体材料（CSG）とする特徴を有している。安定した高品質なダム堤体の構築のため、CSG材の粒度分布測定は材料の性状を適格に把握するために不可欠なものとなっている。

従来のダム堤体材料の粒度測定は、試料を篩い分けした後に重量測定を実施して粒度分布を把握する方法であり、時間を要するため2時間に一回程度の試験頻度となっていた。この方法では、近年の堤体打設や盛立ての高速大量施工に対して、粒度分布の急変による配合補正や材料廃棄等のリアルタイムな品質管理に対応し難い。そこで、リアルタイムな粒度分布管理を可能とするために、画像処理によって粒度分布解析するシステムを開発した。

3.2 画像処理

① 撮影方法の検討

ストロボ4方向順次発光方式とストロボ1回発光方式の2つの方法で撮影し、画像解析の結果を比較して撮影方法の良否を評価する。

② 画像解析手法の検討

従来の画像解析手法は、人為的な判断を介しながら4つのステップに分けて粒度分布曲線を作成する。STEP_1では、撮影画像に対して撮影むらを除去するための処理を行う。STEP_2では、空間微分フィルタを用いてエッジ部分を強調し、閾値を設定して二値化処理を行う。STEP_3では、膨張・収縮処理により二値化画像の雑音除去を行い、最後にSTEP_4でラベリングや粒径処理を行って、粒度分布曲線（図-3）を作成する。

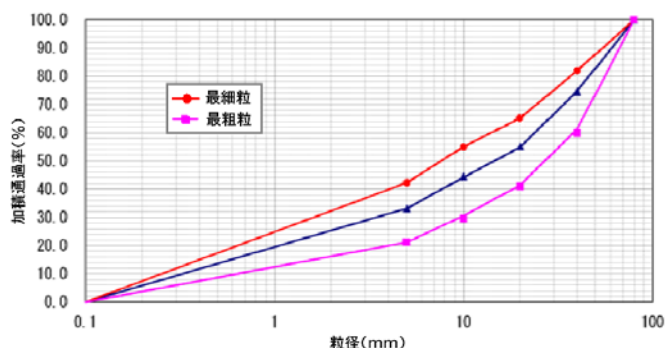


図-3 粒度分布曲線

Fig.3 Grain size distribution curve

この従来手法の欠点として、以下の項目が挙げられた。

- ・ 4つのステップごとに人為的な判断を介する必要があるため、処理全体の自動化が難しい。
- ・ 撮影画像ごとに人為的なパラメータ設定が必要であり、解析精度にばらつきが生じる。
- ・ 小さな粒状材や重なり合った粒状材を検出することが難しい。

そこで、ウェーブレット変換を用いて撮影画像から特徴量を求め、粒状材の検出を行う手法を開発した。

3.3 ソフト開発

ウェーブレット関数として、円形状の検出に適しているラプラシアンガウシアン関数を用いた。

[二次元ウェーブレット変換の基本式]

$$\Psi_{\sigma}(x_0, y_0) = \iint f(x, y) \psi(x - x_0, y - y_0) dx dy$$

[ラプラシアンガウシアン関数]

$$\psi(x, y) = \left(\frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{2\pi\sigma^6} \right) \exp \left\{ -\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right\}$$

ここで、 $f(x, y)$ は入力画像、 $\psi(x, y)$ はウェーブレット関数、 (x, y) は二次元空間座標、 (x_0, y_0) は平面上的の平行移動量、 σ はガウス関数の標準偏差を表す。

この方法により細かな変化を捉える時は σ を小さく、緩やかな変化を捉える時は σ を大きくするなど標準偏差 σ の大小により、検出する粒子径が設定可能となる。

3.4 材料の薄層化実験

画像を撮影する際、各粒状材が重なり合う事無く撮影できなければ、埋まっている部分が判定できない。また、対象とする材料と色相の異なる背景の方が処理精度が向上する。そこで、材料を薄層化するための整流板を試作し実験を行った。整流板の分流フィンの数や整流板の設置角度などを変えて検証した結果、図-4に示すような形状で、設置角度は40~50°が適している事が分かった。図-5に処理画像の例を示す。



図-4 整流板

Fig.4 Current plate

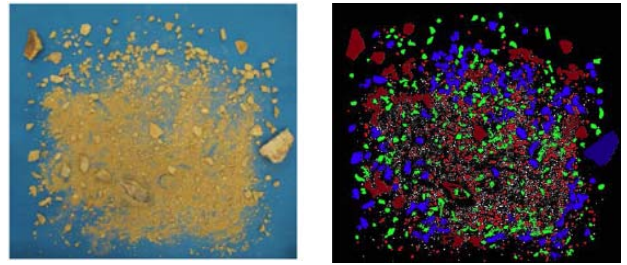


図-5 撮影画像と処理画像

Fig.5 Picture image and Processing image

4. ダム堤体材料トレースシステム

4.1 概要

本システムは、材料（CSG）の全数量が本体工事のどの部分に使われたかをトレースし記録する事により品質管理、品質保証を実現するシステムである。

ダム堤体材料トレースシステム（以下TRシステム）では、堤体材料のプラントでの製造（配合、数量、出荷時間等）、運搬（運搬時間）、打設（打設場所、打設時間）、転圧（転圧回数、場所）の一連のサイクルで繰り返される作業を記録する事で品質確認を行う。

そのために運搬される堤体材料の情報をその時々状況に応じ任意の場所で追跡する無線伝送方式のTRシステムを開発した。図-6にシステムイメージを示す。

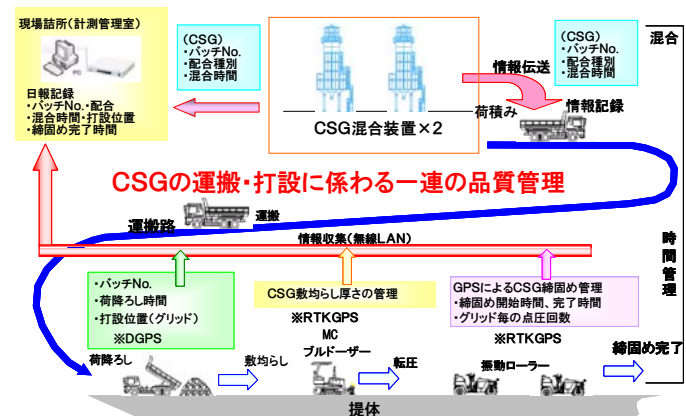


図-6 TRシステムのイメージ

Fig.6 Image of trace system

4.2 システムの内容

インテリジェントなトレースを行うには荷物と情報を確実に次の運搬手段に引き渡されなければならない。単純に無線通信（無線LANを含む）で情報を引き渡す場合、近くに対応車両が複数台いる場合は誤作動を起こす可能性がある。そのため通信距離または通信手

順など考慮する必要があった。例えばプラントから材料をダンプで出荷する場合、荷積み待ちのダンプが複数あった場合、同一の通信距離の通信システムでは特定の 1 台を認識する事は困難となる。またどのタイミングで情報を渡すかも問題となる。

そこで、情報の受渡しに Bluetooth を利用した通信システムを開発した。Bluetooth は発信側（マスター）と受信側（スレーブ）の関係で通信を行うため、実際に荷物を所有している者がマスターとなりそれ以外の者はスレーブにする事で通信手順を取り決める事ができる。また、通信距離に応じ 3 段階の規格を選べるため、混信やセキュリティ上からもトレースに適した通信ツールといえる。

例えば、プラントに 2 台のダンプが待機した場合、同一の通信距離を有する通信システムではプラントは 2 台のダンプと同時に通信できる事になり判別が困難となる。しかし、Bluetooth でプラントとダンプをクラス分けすればプラント直下のダンプのみと通信ができる。また、ダンプが受取り場所の位置に待機しているかどうかはプラントのバックセンサーで検知する。プラントのバックセンサー情報と Bluetooth の呼びかけに対して応答する事でダンプはプラントからの荷を受ける状態で待機している事が自動的に確認できる。この状態でプラント側から情報と実際の荷物（ダム堤体材料）をダンプに受け渡すようになっている。

4.3 TR機器の試作

車載用の TR システム機器（図－7）と現場で直接入力するハンディー機器（小型 PC）の試作を行った。

車載用は GPS 接続を考慮したハードとした。小型 PC は Bluetooth に対応できるものをベースとした。

①車載器の試作

ダンプ車載器を試作し現場打設位置を検出する DGPS とダンプ信号の入力を行い、TR システム情報の受信および発信を行い動作を検証した。なお、打設番号の小型 PC は必要項目を手で入力可能とした。



図－7 ブルートゥースと DGPS と小型 PC

Fig.7 Bluetooth and DGPS and handyPC

②TRシステムの試作

集めた情報をパッチャから出荷して打設し、転圧完了するまでを転圧管理システムと連携しながら実行するシステムを試作した。

4.4 実験・検証

①プラントからの出荷を想定した試験

プラント出荷を想定し、複数台の車両に対して確実な TR 情報の伝送が可能かどうかをフィールド試験にて確認した。

②最終打設を想定した試験

現場打設を想定し、ダンプ位置の精度確認および複数台の通信状況の確認、PDA 情報の取り込み等を確認した。

③プラント信号の取り込み

プラントからの出荷情報（日時、配合、製造番号、出荷量）を TR システムに取り込めるようにインターフェース接続実験を行い動作を確認した。

上記の実験により、DGPS による位置決め精度目標 ±1 m を確保できること、また Bluetooth による通信では CLASS1～2（1～10m）の範囲で、他のダンプ・機器と通信範囲が重ならない事を検証した。

5. 法肩締固管理システム

5.1 概要

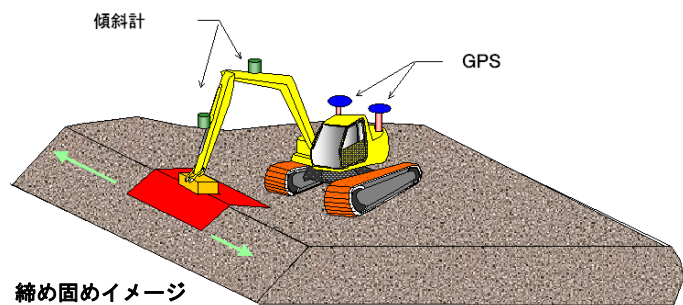
RCD コンクリート、CSG 材等を用いたダム構築では、堤体材料を敷き均して振動ローラによる転圧を行う。しかし端部の法面までの転圧を振動ローラで行う事ができない。そこで堤体材料法肩部の締固めを目的に振動締固め板を用いた重機（バックホウ）による締固め時間管理システムを開発した。

5.2 システムの内容

法肩締固管理システムでは、法肩部を締固めるために振動締固め板をバックホウの先端アタッチメントとして活用する。そのため単に GPS を取り付けても目的とする締固め箇所を把握することができない。

そこで、重機の先端振動締固め板の位置を把握するために、GPS を 2 台設置し重機の旋回方向と旋回中心を求める事とした。また先端部まではアームの角度を傾斜計で計測し先端位置を算出する事とした。

また、法肩部の締固め施工では締固め板の当たる一ヶ所を連続的に締固めると段差が発生するため、周辺の法肩部を何回かに分割し締固め一ヶ所当たりの累積時間が規定時間になるように締め固め時間を積分管理する方法を開発した（図－8）。



することで、開始した締め固め板の座標や加振時刻を確実に座標毎に積分管理し、各位置での規定時間の過不足を指示表示できるようにした。実験をおこなった結果、転圧管理システムと同等の50cmメッシュでの精度管理が可能であることを確認した。また、転圧時間については、各転圧場所あたり秒単位の精度で管理できる事を検証した。

6. まとめ

ダム施工のIT化を目指して、4つのシステムの開発を行ってきた。4D-DISは様々な施工データをX, Y, Z, Tで一括して検索できるデータベースであり、土工・トンネル・橋梁などへの展開が考えられる。粒度分布解析はCSG材料に特化して開発したが、画像処理技術については他の材料への応用が可能である。材料トレースや法肩転圧についてはCSGのみではなく、コンクリートのトレースや締め固めにも応用可能と考えられる。今後はこれらの応用を含めて現場での実証実験を行いつつシステムの完成度を高めていく予定である。

参考文献

- 1) 森下 博之：「情報化施工推進戦略」について（特集 情報化施工・IT技術・ロボット無人化施工），建設の施工，日本建設機械化協会，巻号705，pp.10-14，2008.
- 2) 吉田 正 他：IT技術を活用した情報化施工技術の開発，土木研究所成果報告書，pp.231-236，2004.

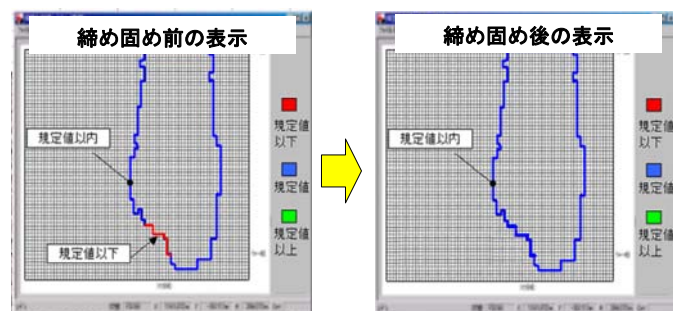


図-8 法肩締め固め管理システム
Fig.8 System for compaction top of slope

5.3 実験・検証

法肩締め固め機械のベースとなるバックホウに位置、方向、ブーム角度、先端位置を計測するための各種センサー（RTK GPS 2台、傾斜計、振動計）を取り付けて加振場所と加振時間を累積記録する実験システムを試作した。

加振については、振動センサーの他に重機に加振スイッチを取り付け、オペレータがこのスイッチを操作