

億首ダムの IT 施工を“四次元”管理

ダム ICT 施工総合管理システム「4D-DIS」適用事例

江田 正敏・片山 三郎・武本 隆太郎

ICT (Information and Communication Technology) による情報化施工の本格的普及を目指し、国土交通省を中心に産学官挙げた施工技術革新の取組みが行われている。そこで、ダム ICT 施工総合管理システム「4D-DIS」を開発し、世界初の本格的台形 CSG ダムである億首ダムにて情報化施工を実施した。開発したシステムは、品質保証や施工履歴の蓄積と情報の共有を目的としたものであり、複数のサブシステムで構成される。本文ではその中から①4D-DIS データベース (コア部)、②CSG 材料敷均し厚さ管理、③締固め管理 (ローラー転圧, 端部法面締固め)、④締固め完了時間管理 (CSG 材料トレースシステム) を具体例としてとりあげ、億首ダムで活用した状況を報告する。

キーワード：台形 CSG ダム, データベース, トレーサビリティ, 締固め管理, マシンコントロール

1. はじめに

億首ダムは、

- ・ダム高：39.0 m
- ・堤頂長：400 m
- ・堤体積：339,000 m³
- ・総貯水容量：8,560,000 m³
- ・湛水面積：0.61 km²
- ・集水面積：14.6 km²

の台形 CSG ダムであり、その概要を図—1、表—1 に示す。

CSG の施工管理にあたっては、段階確認などの立会検査、目視による施工状況の把握によるほか、以下の項目について ICT による定量的確認を実施している。

- ・敷均し厚 (1層 25 cm×3層)
- ・締固め
 - 一般部の転圧回数 (無振動 2 回 + 有振動 6 回)
 - 端部法面部の締固め (30 秒)
- ・時間管理
 - 材料製造から転圧開始までの制限時間 (6 時間以内)

2. 4D-DIS データベース (コア部)

4D-DIS コア部にはリレーショナルデータベースマネージメントシステム (RDBMS: MYSQL) を採用した。本コア部の特徴は、蓄積データを座標と時間 (X, Y, Z, T) の 4 次元で管理する点にあり、図—3 に



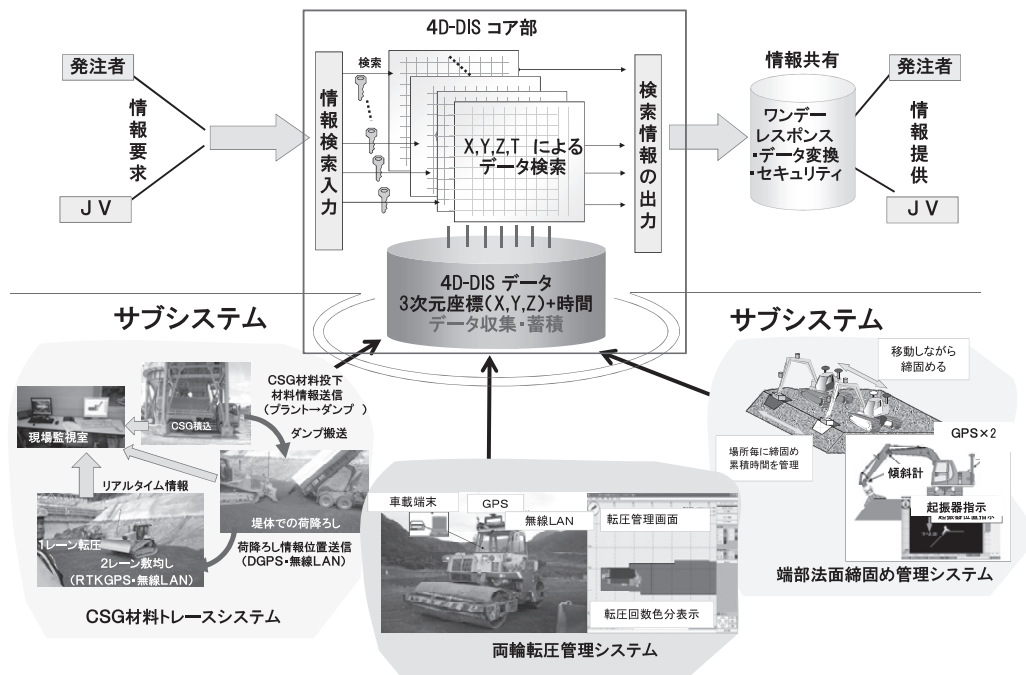
図—1 億首ダム施工状況

表—1 億首ダムの用途

洪水調節	・億首ダムの建設される地点 (ダム地点) において計画高水流量 300 m ³ /s のうち、190 m ³ /s の洪水調節を行う。
流水の正常な機能の維持	・ダム地点下流の億首川沿川の既得用水の安定化と河川環境の保全等のための流量の確保 (流水の正常な機能の維持) を図る。
水道用水	・沖縄県に対し、ダム地点で新たに 10,300 m ³ /日の水道用水の供給を行う。 ※約 2 万 8 千人分に相当。
かんがい用水	・億首川沿川の約 70 ha の農地に対し、新たにかんがい用水の供給を行う。

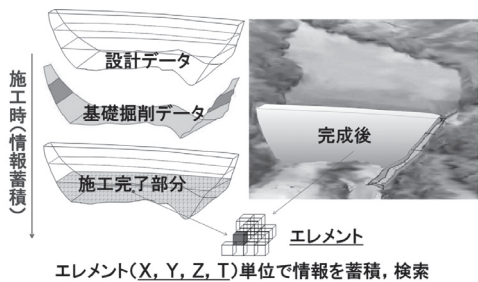
示すように構造物の中を一定の領域 (エレメント単位) で扱うようになっている。

エレメント (またはエレメント範囲) を指定するとその部分の材料配合や製造日時、施工方法、施工結果などの関連する一連の情報が検索・抽出されるようになっ



※その他の対象と考えられるサブシステム: 気象, グラウト, 濁水処理, マシンガイダンス, 図面類など

図一2 システム全体概要



図一3 データ管理の考え方

ている。図一3に示すように指定する項目としては、

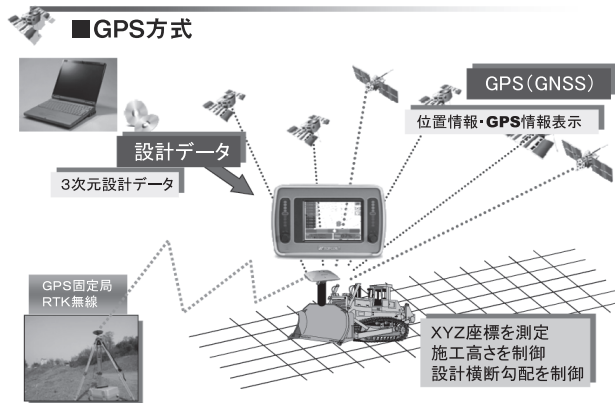
- ・ 検索対象範囲 (サブシステムやデータを指定, すべてを対象とする事も可能)
- ・ 場所・範囲の指定 (X1~X2, Y1~Y2, Z1~Z2)
- ・ 日時・範囲の指定 (T1~T2)

などがあり, 必要に応じて検索条件を追加する機能も持たせている。

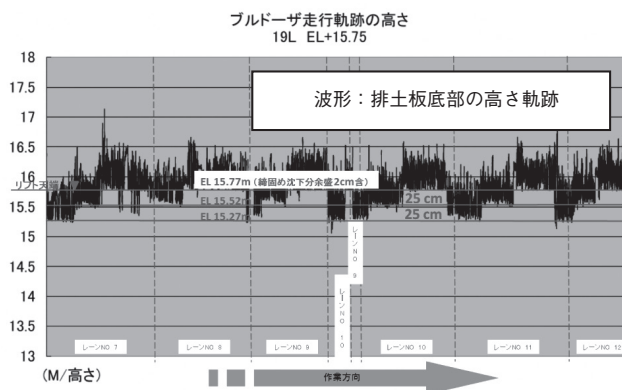
3. CSG 材料敷均し厚さ管理

当初, 敷均し厚さの管理は回転レーザーレベルによる方法を予定していたが, 施工性および走行軌跡の記録を考慮し, マシンコントロール機能を搭載したブルドーザ (以下, MCブルドーザ) による施工方法を採用することとした。MCブルドーザはGPSを利用してブルドーザの排土板を自動制御することで, 設計高さの敷均しを可能にするものである (図一4)。

図一5は, 敷均し作業時のMCブルドーザの排土



図一4 MCブルドーザ



図一5 ブルドーザ排土板高さ軌跡の出力例

板最下部の高さ軌跡を時系列に出力したものであり, 施工レーンが一層毎に約25cmで敷均されていることを示したものである。

この時、施工時のGPSデータは内部メモリーに記憶されるため、施工後にその情報を電子データとして利用することが可能である。

このデータを利用してMCブルドーザの各層における走行軌跡を表示させた例を図-6に示す。また、キャタピラの幅を60cm(両側で1.2m)とし、これにレーン内での各層での走行距離を掛けることによりレーン内の平均転圧回数に換算する解析もおこなっている(図-7)。走行軌跡出力帳票の例を図-8に示す。

なお、図-6では、枠内(レーン)での走行軌跡を表示したものであり、レーン外に出た部分は対象外としてカウントしていない。

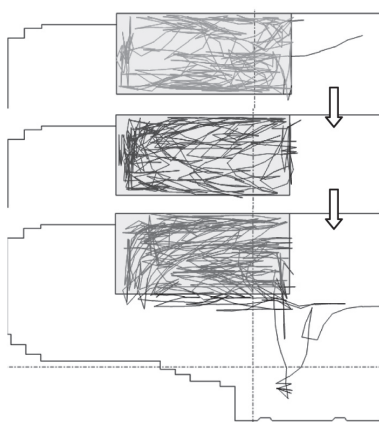
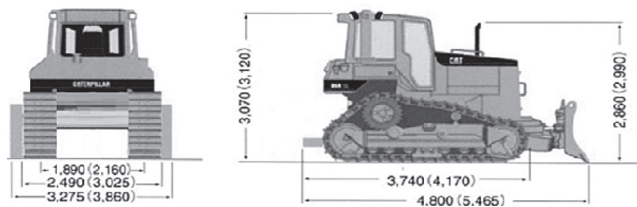


図-6 1~3層目走行軌跡



1層目累積走行距離	1601 m	換算平均転圧回数	3.05 回
2層目累積走行距離	1566 m	換算平均転圧回数	2.98 回
3層目累積走行距離	1970 m	換算平均転圧回数	3.75 回

図-7 平均転圧回数への換算

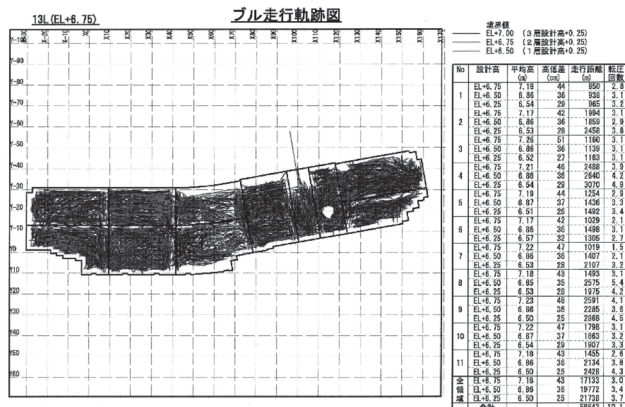


図-8 走行軌跡出力帳票の例

4. 締固め管理 (ローラー転圧, 端部法面締固め)

GPSや無線LAN, 車載パソコンを転圧ローラーに搭載することにより, 施工場所のどこを何回転圧したかをあらかじめ決められたメッシュ単位でカウントし, 記録するシステム(図-9)であり, 発注者事務所・JV事務所にてリアルタイムに情報共有をおこなった。

メッシュ毎の転圧回数は運転席のモニターに色別表示されるため, オペレータはこの情報に基づいて全メッシュが規定回数に達するまで走行操作をおこなう。なお, 転圧ローラーが複数台であっても各メッシュには累積転圧回数が示されるため無駄のない施工が実施できる。図-10, 11に転圧表示画面の例を示す。

ローラーによる転圧回数の表示画面では転圧していないエリアが緑色, 1回転圧で茶, 2回で薄茶, 3回で黄色, 4回で朱色, 5回で桃色, 6回で紫色, 7回で青色, 8回以上は紺色で表示している(図では濃淡表示, 以下同様)。オペレータはこの色を見ながら所定回数の転圧をおこなう。

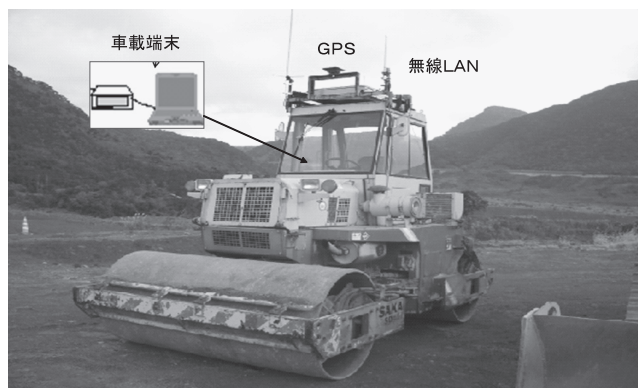


図-9 転圧ローラー

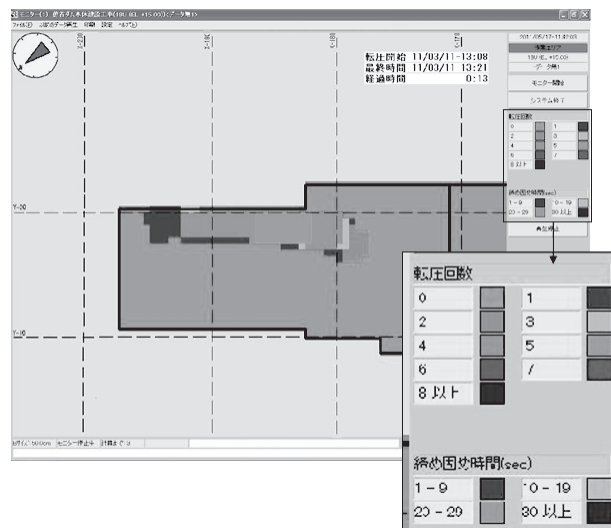
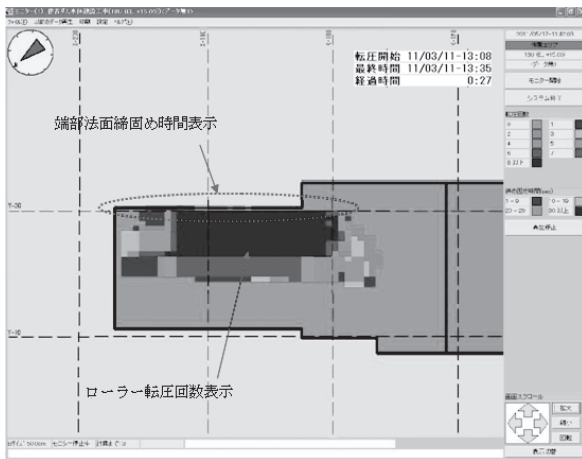
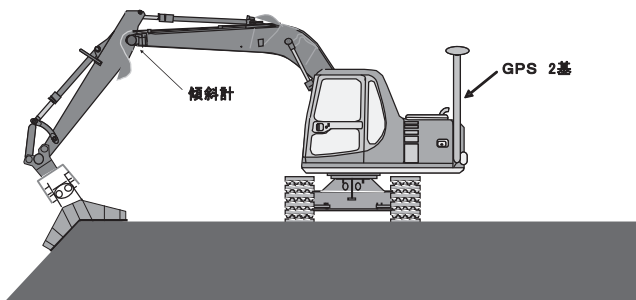


図-10 転圧表示情報共有画面例1



図一 11 転圧表示情報共有画面例 2

次に、端部法面部での締固めイメージを図一 12、13 に示す。端部法面部は起振器を装置した専用機械により締固めをおこなっている。端部法面部では、ローラーによる転圧とは異なり締固め位置と締固め時間により管理しており、ある位置に対しての締固め累積時間が所定の秒数（30 秒等）になるまで締固めをおこなう。

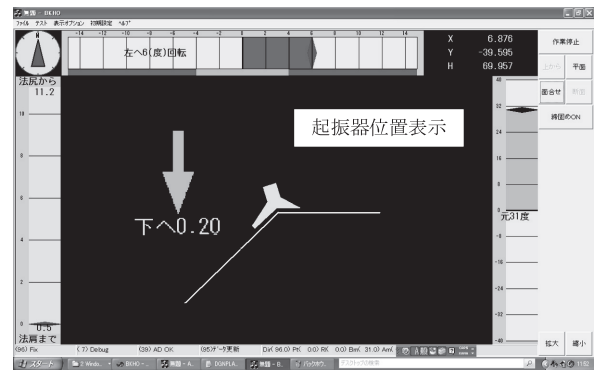


図一 12 端部法面締固めイメージ（横断方向）



図一 13 端部法面締固め実施状況

その理由は、一ヶ所を連続的に締固めると端部法面部に段差等が生じる恐れがあるため、場所を移動させながら繰り返し締固めをおこなう方法をとっている。そして、各位置の締固め累積時間が所定の時間（30 秒等）になったことが分かるような表示をおこなっている。



図一 14 端部法面締固めオペレータ用画面例

る。

この時間は、1～9 秒で茶色、10～19 秒で黄色、20～29 秒で桃色、30 秒以上は紺色で表示。この端部法面締固めの状況は、ローラー転圧の画面（図一 10、11）と一緒に表示されるため、オペレータはこの表示と起振器の位置誘導画面（図一 14）を見ながら締固め作業をおこなう。

両施工機械のオペレータは、この表示を運転席モニターで見ながら作業をおこなうため締固め不足を防止できる。

また、これらの情報は蓄積・保存されるため、過去に遡って連続再生表示することも可能になっており、発注者事務所・JV 事務所の双方で活用している。

5. 締固め完了時間管理（CSG 材料トレースシステム）

プラントでの CSG 製造から材料搬送、敷き均し、ローラー等による転圧開始時間（CSG 製造からの制限時間 6 時間）および転圧完了時間を管理するシステムであり、

- ・ CSG プラントでの CSG 製造情報の車両への伝送
- ・ 車両での打設位置計測と情報伝送
- ・ CSG 締固め開始・完了時間の表示

で構成される（図一 15）。これらも発注者事務所・JV 事務所間で情報共有をおこなっている。

まず、CSG 混合装置（プラント）で製造された CSG 材料をダンプトラックに投入する時に、材料のバッチ情報（バッチ番号、配合種別、製造時間など）もダンプに搭載したパソコンに伝送する。このダンプには DGPS（ディファレンシャル GPS：精度 50 cm）を搭載しているため、現場まで運搬し材料を荷降しした位置を知ることができる。そこで、荷降ろし位置とバッチ情報の両方を無線 LAN により現場の監視室へ伝送する。

次に、ブルドーザによる敷均しがおこなわれ、ロー

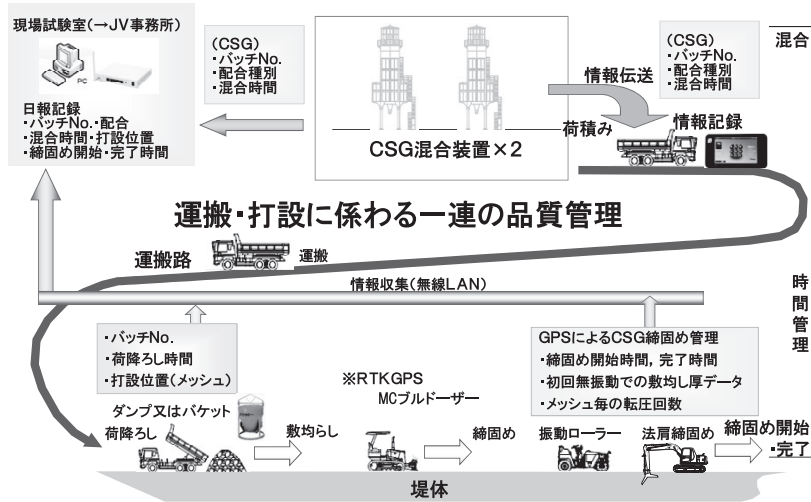


図-15 締固め完了時間管理システム

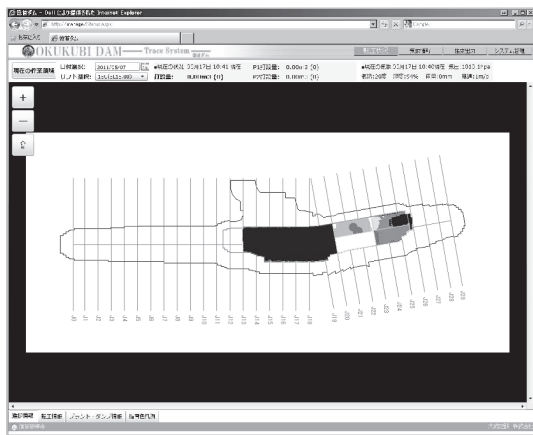


図-16 締固め時間管理情報共有画面例

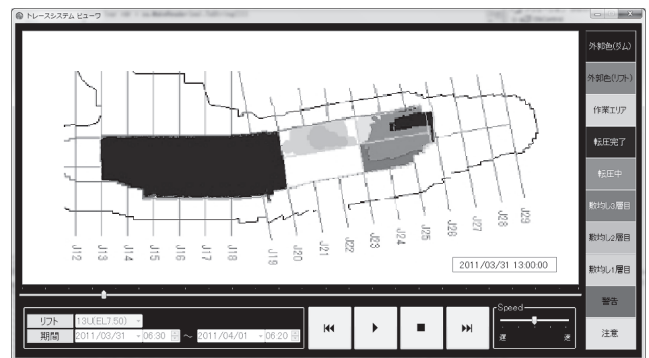


図-19 締固め時間管理再生画面例 3

ラーによる転圧（端部法面締固めを含む）がおこなわれる段階で、どの位置の材料が製造から何時間たっているか分かるため、ローラー（端部法面も同様）のオペレータは優先して転圧する場所を知ることができる。この時の時間管理画面を図-16に示す。

なお、材料が製造から何時間たっているかは、画面上に色別で表示される。この変化状況を図-17～19に示す。

敷均しがおこなわれていない場所は白色で示されており、1層目の敷均し後は薄緑色、2層目は緑色、3層目は濃緑色で表示される。また、材料が製造から2時間を経過したものは黄色で表示され、4時間を経過すると赤色に変化する。そこで、転圧や端部法面締固めのオペレータはこの表示を見ながら優先すべきエリアを転圧・締固めする。転圧や締固めがおこなわれたエリアは灰色に変わり、転圧・締固め完了時には紺色で表示される。なお、この締固め完了時間管理（CSG材料トレースシステム）もデータを蓄積・保存しているため、発注者事務所やJV事務所などで過去に遡って再生表示することが可能になっている。図-20にトレースシステムの運用状況を示す。

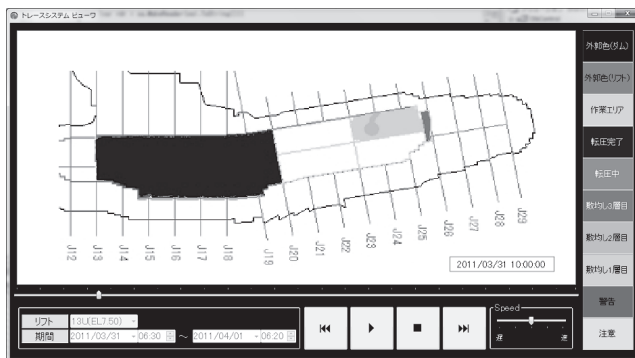


図-17 締固め時間管理再生画面例 1

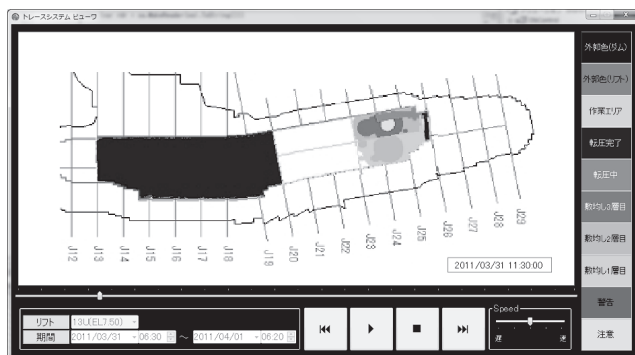
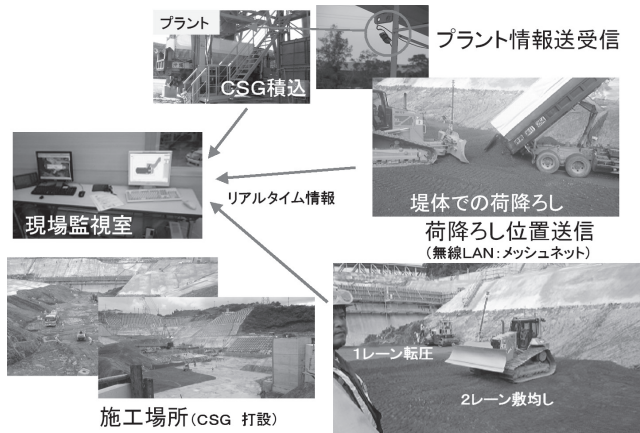


図-18 締固め時間管理再生画面例 2



図一 20 トレースシステム運用状況

6. おわりに

IC タグによる母材運搬・仮置き管理，CSG 材料敷均し厚さ管理，締固め管理（ローラー転圧，端部法面締固め），締固め完了時間管理（CSG 材料トレースシステム）の4つのシステムを億首ダムに適用し，品質保証や施工履歴の蓄積，これらの情報の共有に活用することができた。

ダム ICT 施工総合管理システム「4D-DIS」は CSG 材料以外にも応用可能であるため，今後はこの技術を応用・発展させ，道路や造成工事などを対象に品質向上に役立てていく予定である。

謝 辞

最後に，このシステムの適用にご協力頂いた内閣府沖縄総合事務局北部ダム事務所に対し，心より感謝を申し上げます。

J|C|M|A

《参考文献》

- ・中島修「嘉瀬川ダム副ダムの CSG 工法」(社)九州地方計画協会 九州技報，第 46 号，2010.01
- ・阪田史郎，山田暁飯，塚宏之，伊藤哲也「無線 LAN メッシュネットワークの技術動向」電子情報通信学会誌，Vol.92，No.10，pp.841-846，2009 年 10 月

【筆者紹介】



江田 正敏（えだ まさとし）
大成建設㈱
技術センター 土木技術開発部 プロジェクト室
建設 ICT チーム
チームリーダー



片山 三郎（かたやま さぶろう）
大成建設㈱
技術センター 土木技術開発部 プロジェクト室
建設 ICT チーム
主任



武本 隆太郎（たけもと りゅうたろう）
大成建設㈱
土木本部 土木技術部 ダム技術室
課長