

## 締固めエネルギーによるダムコンクリート締固め状況可視化システムの開発

大成建設(株)技術センター生産技術開発部 正会員○太田 兵庫  
 大成建設(株)技術センター社会基盤技術研究部 正会員 梁 俊, 張 文博  
 大成建設(株)土木本部土木技術部ダム技術室 正会員 新井 博之, 畠山 峻一

### 1. はじめに

コンクリート標準示方書ダムコンクリート編では、コンクリートが十分に締め固められたかどうかの判断基準を、粗骨材が表面に露出せず、上面にモルタルがあることとしており、締固め状況を表面状態から目視確認で類推する記述となっている。このため、コンクリート内部の締固め状態を可視化する試みがこれまで行われてきたが、従来の技術では締固め完了閾値を満足したか否かを表したものに留まっていた。そこで、本開発では、締固めエネルギーによる締固め完了範囲の評価手法<sup>1)</sup>を用い、GNSSなどのICT機器による加振位置と締固め時間の取得およびバイブレータからの距離に応じた締固めエネルギーの演算処理により、ダムコンクリート内部の締固め状態を可視化して定量的評価を可能にするシステムを構築した。以下に本システムの概要と適用効果について述べる。

### 2. システムの構成

本システムの機器構成を図-1に、プログラムのフローを図-2に示す。バイブレータの加振位置を取得するため、RTK-GNSS端末を使用した。これは衛星測位に基準局の補正データを加えた技術で、1~5cm程度のセンチメートル級精度を実現できる。本システムでは、複数装着されているバイブレータ（標準は4本）の直上にGNSSアンテナを設置するのは難しいため、2台のGNSSアンテナをアタッチメント両端に設置した。これにより機体の向きを確定することができるため、GNSSアンテナからのオフセット距離計算で複数本のバイブレータの位置を測定できる。またバイブレータ加振のオンオフは、バイバックのバイブレータスイッチの電気信号をコンピュータに送信した。GNSS受信機はバイバックの運転席内に設置し、取得した位置データはプログラムを内蔵したタブレットPCで演算処理し、既往研究<sup>2)</sup>に示す式(1)を用いて距離に応じた締固めエネルギーを求める。そして締固めエネルギーによる締固め完了範囲の評価手法<sup>1)</sup>により累積エネルギーが締固め完了エネルギーに達した時点で締固め完了をタブレットPCにマップ表示させる。

$$E = \frac{\rho_0 \left( \alpha_{\text{sur}} \exp\left(-\frac{\Omega}{2}x\right) \right)^2 t}{4\pi^2 f} \quad (1)$$

ここで、E: 締固めエネルギー (J/L),  $\rho_0$ : 単位容積質量(kg/L),  
 $\alpha_{\text{sur}}$ : 振動機表面の見かけ最大加速度 ( $\text{m/s}^2$ ),  
 $\Omega$ : 材料減衰係数,  $x$ : バイブレータ中心からの距離(m),  
 $t$ : 振動時間(s),  $f$ : 振動数( $\text{s}^{-1}$ )



図-1 システムの機器構成

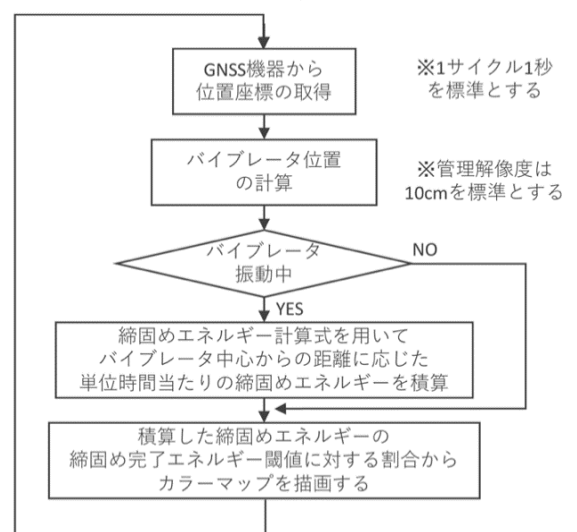


図-2 プログラムのフロー

キーワード 締固めエネルギー, ダムコンクリート, 累積エネルギー, ICT, GNSS,  
 連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL045-814-7221

式(1)の  $t$  はプログラムの 1 サイクルの時間で標準は 1 秒である。またバイブレータ加振時の表面加速度および材料減衰係数は、あらかじめ試験によって確認した。なお、コンクリートに必要な締固め完了エネルギー値は専用の締固め完了エネルギー試験装置によって求めた。

マップ表示画面を図-3 に、描画設定を図-4 に示す。ここでは締固め完了エネルギー値以下を緑色系の濃淡表示、同エネルギー値を超えた範囲を橙色系の濃淡表示とした。この様にカラーの濃淡表示としたのは、本システムが従来の締固め完了/未完了の二値を表現する事のための目的ではなく、締固めの現象を表現してコンクリートに与えた締固めエネルギーの強弱を視覚的に表すためである。

### 3. システム導入による効果

今回、締固めエネルギー計算式を使用することで、バイブレータからの距離に応じた実際の締固め度合い、測位に RTK-GNSS 機器を使用したセンチメートル精度の測位により、高精度な位置情報で捉えることが可能となった。さらに締固めエネルギーの累積値をグラデーションで可視化しているため、従来の締固め完了/未完了という二値表現と比べて、締固め状況をより詳細に把握できる特徴を持つ。

このため、実際のコンクリート内部の締固め状況をオペレータが視覚的に逐次確認しながら作業できるので、バイブレータ挿入、引き上げのタイミングや引き上げ後のバイブレータ挿入位置決めを効率的に行うことができる。またタブレット PC の画面をオペレータだけでなく元請管理職員とも共有することにより締固め状況の遠隔施工管理等にも活用できる。

### 4. おわりに

本開発により実際のダムコンクリート締固め作業の状態を可視化できるシステムが完成した。これにより、現場でのコンクリート締固め過不足の防止や締固め作業の効率化、さらには無人化施工への対応も将来期待できるなど品質管理の高度化と生産性向上に寄与できる。今後は、本システムを実際のダム現場へ導入し、長期使用時の適用性検証と共に、バイブレータ加振の多少が硬化したコンクリートの品質に与える影響についても調査していきたい。

### 参考文献

- 1) 梁俊ほか：締固め完了エネルギーに基づくコンクリートの締固め完了範囲の評価方法に関する研究，土木学会論文集（材料・コンクリート構造），Vol.69，No.4，pp.438-449，2013.
- 2) 新井博之ほか：締固めエネルギーによるダムコンクリートの締固め完了範囲の評価に関する一考，土木学会第 77 回年次学術講演会，2022.

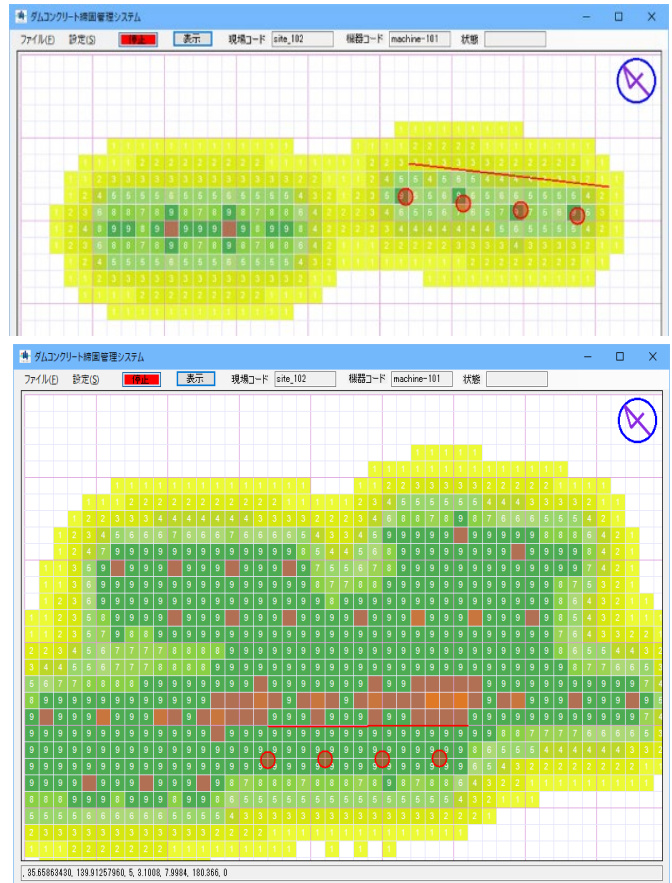


図-3 マップ表示画面

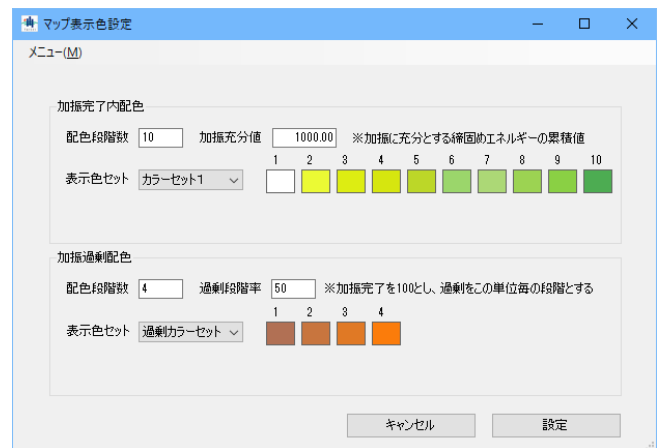


図-4 描画グラデーション設定