

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検証

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況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、筆者らは、締固めエネルギーによる締固め完了範囲の評価手法¹⁾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況を可視化して定量的評価を可能にするシステムを開発した²⁾。本報では、実現場での検証結果と効果について述べる。

2. システムの概要

本システムの機器構成を図-1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。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した。また、バイブレータ加振のオンオフは、振動センサを設置してPCに送信した。GNSS受信機は重機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PCで演算処理し、既往研究³⁾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¹⁾により累積エネルギーを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), ρ_0 : 単位容積質量 (kg/L), α_{sur} : 振動機表面の見かけ最大加速度 (m/s^2), Ω : 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 (s^{-1})

また、バイブレータ加振時の表面加速度、材料減衰係数、およびコンクリートに必要な締固め完了エネルギー値はあらかじめ専用の締固め完了エネルギー試験装置等によって求めた。

また、重機前面にカメラを設置して、締固め状況の判定を補完する技術としてAIによる画像判定の検証も行った。コンクリートの表面状況から未締固め、途中、完了のアノテーションを行った。



図-1 機器構成

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

3. 検証結果

マップ表示画面を図-3 に示す。締固め位置とエネルギーを表現可能なことを確認できた。ここで、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みではなく、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。

また、AI による締固め状況の判定を図-4 に示す。締固めが完了した平滑面を判定することを確認できた。

4. 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級精度の測位により、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。

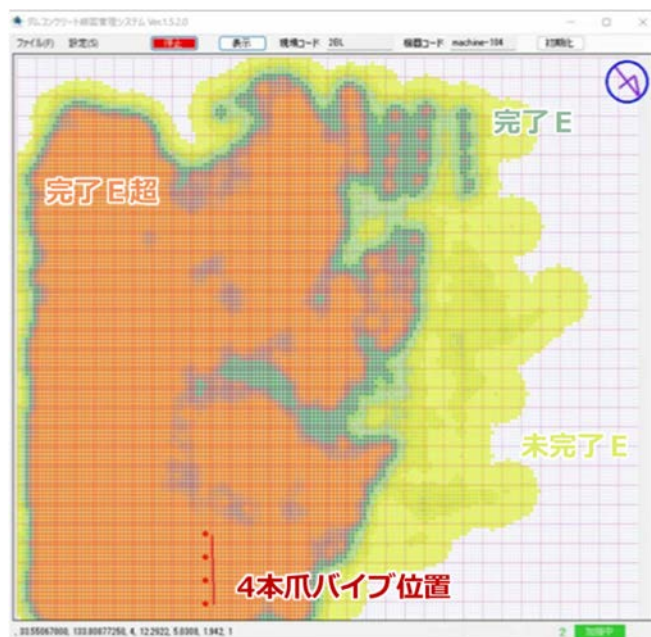


図-3 マップ表示画面

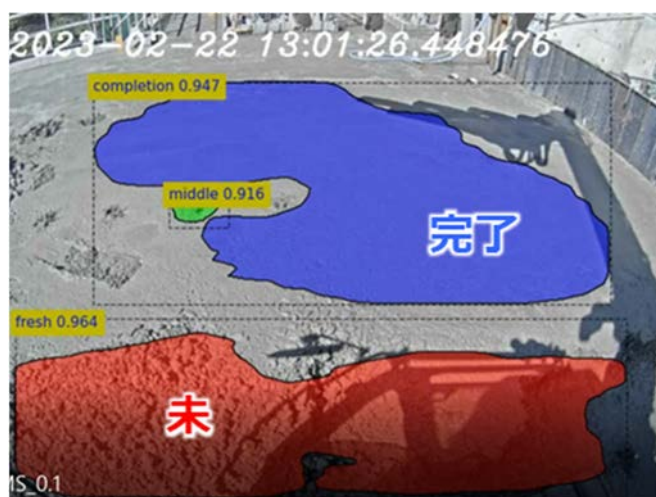


図-4 AI による判定

4. 検証からの考察

本検証により実際のダムコンクリート締固め作業の状況を可視化できることを確認した。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。また、測位技術の進化によってハンドバイブレータでも同様のシステムを適用可能である。今後は、本システムを実際のダム現場で運用し、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) 太田兵庫ほか：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，土木学会第 77 回年次学術講演会，2022.
- 3) 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.