

ICT を利用したダムコンクリート締固め管理

清水建設株式会社 正会員 ○宇野 昌利
清水建設株式会社 正会員 竹内 啓五
清水建設株式会社 正会員 藤内 隆

1. はじめに

ダムに使用される有スランブコンクリートは、最大骨材寸法が 150mm あるいは 80mm でスランブが 3～5cm の硬練りコンクリートである。そのため、現場で荷卸しした直後は、コンクリートは荷卸し直後、山積み状態となっている。この山をバイブレータ付きバックホウ（以下：バイバック）で締固めを行うと山が平らになりコンクリートの締固めが完了する（写真-1～2）。

また、ダムは、繰り返し施工のボリュームが多く、1 回の締固めで 1 秒の工期短縮が実現できれば、全体として工期短縮につながる。つまり、繰り返し作業のわずかな時間短縮が工期短縮につながる。

しかし、従来、コンクリートの締固めは、バイバックオペレータが目視で判断している状況であった。そのため、熟練のオペレータであれば、短時間で適切に締固めが完了するが、経験の少ないオペレータでは、時間がかかりすぎるにより、施工の遅延につながっていた。そこで、オペレータの熟練度等による個人差のない客観的な締固め完了指標の構築と、その見える化ならびに締固め作業をリアルタイムで記録するシステムを開発することとした。

客観的な締固め指標の開発に際しては、コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編¹⁾記載の『有スランブコンクリートが十分に締固められたかどうかは、粗骨材が表面に露出せず、上面にモルタルがあり、さらに上面に人が載れる状態で確認できる』との記述から、特に下線部に着目した。

今回対象とするコンクリートの締固め完了については、コンクリートの上面が滑らかな平滑面になることが目安とする。つまり、この評価を機械的に自動で確認できれば、締固め完了を自動的に検知することが可能になる。平面を検知する手段としては、3 次元形状を計測できる 3D スキャナと呼ばれる製品が有効であると考えられた。

以下に紹介する実証試験を通して、締固め判定が実用的であることの確認を行った。本報告では新しいダムコンクリートの締固め管理に開発経過について報告する。



写真-1 山積み状態のダムコンクリート



写真-2 締固め中のダムコンクリート

キーワード ダムコンクリート, 3D スキャナ, 締固め, ICT, i-Construction

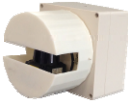
連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設株式会社 TEL 03-3561-3886

2. センサの選定

コンクリートの締固めは、バイバックオペレータが、目視で平滑度を確認している。この作業を定量的にデータとして管理するために、オペレータの「目」として、3D スキャナを活用することとした。3D スキャナには製品ごとに、長所・短所があり、最適なセンサを選定することが、重要な課題であった。

そこで表-1 に3種類のセンサを候補に挙げた。

表-1 3種類のセンサ²⁾

	外観	特徴
装置 A (マイクロソフト社製)		リアルタイム観測 範囲 3m max8m 視野 70×60deg 解像度 512×424 ばらつき 10 mm (1m 内観測値)
装置 B (日本電子製)		リアルタイム観測 範囲 5m 視野 60×50deg 解像度 100×60 ばらつき ±20mm
装置 C (清水建設開発)		1 スキャン 20 秒 範囲 10m 視野 180 度 解像度 0.25 度 ばらつき ±40mm (20m 内観測値)

装置 A、装置 B は、市販で一般に販売されている製品であり、リアルタイムに 3D 形状情報を取得でき、直ちに PC 上で取得した点群を処理することができる。しかし、撮影距離がコンクリート表面から 5m 程度以内が条件となるため、バイバックのどの位置に 3D スキャナを設置すべきかについて検討が必要となる。一方、装置 C は、清水建設が開発している形状計測装置である。レーザーレンジファインダをサーボモータで回転させることで 3 次元の情報を取得できるが、計測時間は 20 秒かかかる。撮影距離は、10m まで対応でき、離れた場所からも観測できるメリットがあった。

これらセンサの中から、バイバックに搭載する最適なセンサを選定することとした。

3. 基礎実験

センサを選定するための基礎実験は、2 回に分けて実施した。1 回目は、コンクリート試験室で実施し、2 回目は、実際にバイバックを利用した実験とした。

1 回目の基礎実験は、型枠にダムコンクリートを入れて、3D スキャナで平滑度を判定ができることを確認した。装置 A を用いた 1 回目の基礎実験の状況を写真-3 に示す。

型枠に入れたダムコンクリートを、通常のコンクリ



写真-3 1回目基礎実験

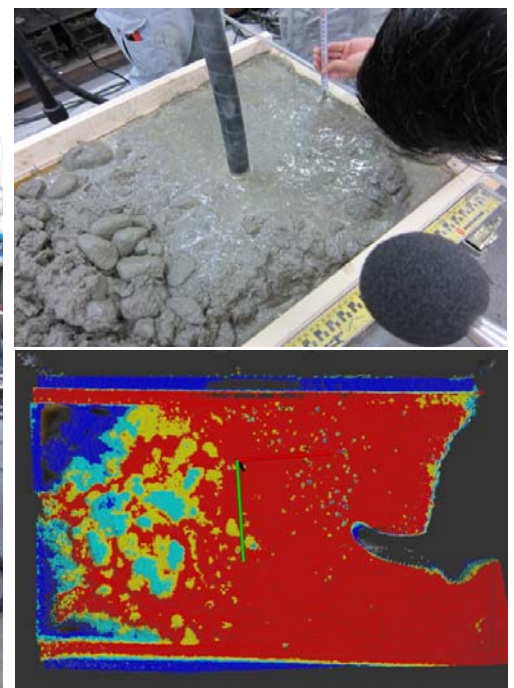


図-1 基礎実験締固め状況比較

ートバイブレータで締固めをして実験を行った。

締固め途中での状況を図-1 に示す。実際の写真と 3D スキャナで計測した図を併記すると、平滑部分とデコボコ部分がほぼ一致することがわかる。

平滑度の判定は、3D スキャナで計測した形状点群に基づき、点群を最も含む可能性のある平面を推定し、その平面図からの距離に応じて色分けをしている。赤は±1cm に入る点を表し、距離が遠くなるにつれ、±3cm 黄、±5cm 水色と表示している。この結果において『粗骨材が表面に露出せず、上面にモルタルがある』状態の写真と 3D スキャナ画像の平坦性確認範囲がほぼ一致することを確認した。これらの結果により 3D スキャナで締固め判定の可能性があると考えた。

しかし、装置 A は日光による影響を多大に受けることが確認されたため、続けて装置 B でも同様の評価を行った。装置 B は装置 A 同様リアルタイムに形状点群を取得でき、日光下 20 万 Lux においてもその影響を受けないことを確認した。

2 回目の基礎実験は、屋外で実際にバイバックに搭載して実施した (写真-4)。バイバックのどこに 3D スキャナを設置するか検討した結果、装置 B では、コンクリート打設面から 3m 以内でないと正確な判定できないことが判明した。

しかし、3m であると、コンクリートの跳ね返り等があり、実工事では、現実的ではないと判断した。

その結果、10m 程度はなれた箇所から検知できる装置 C を採用した。装置 C についてはバイバック重機の操縦室の上に設置し、平面となる床を検出することにより評価を行った (写真-5)。図-2 に装置 C により締固め判定を示す。同装置 は 10m 程度の遠距離から観測が行えるが、リアルタイム処理はできないデメリットはあるが、装置 A、装置 B に比べ容易と考えられた。

装置 C は、実装する場合も、風雨から保護するカバーをすることで運用することができることを確認した。

計測は処理を含め最短で 20 秒ほどで完了する。より高速での検知する必要があるれば、複数台設置することで対処できると考え、これら基礎実験により、3D スキャナは装置 C を採用した。

4. 実証実験

実証実験は、実際のダム現場のコンクリート打設の通常作業でバイバックを実際に使用してもらいデータを取得した。本システムは、締固めを判定するために、3D スキャナのセンサで読み取り判定する機能、油圧バイブレータの流れる油量で判定する機能、GNSS を利用してバイバックの高精度位置・姿勢の把握ができる機



写真-4 2回目基礎実験



写真-5 バイバックの屋根に搭載 (装置 C)

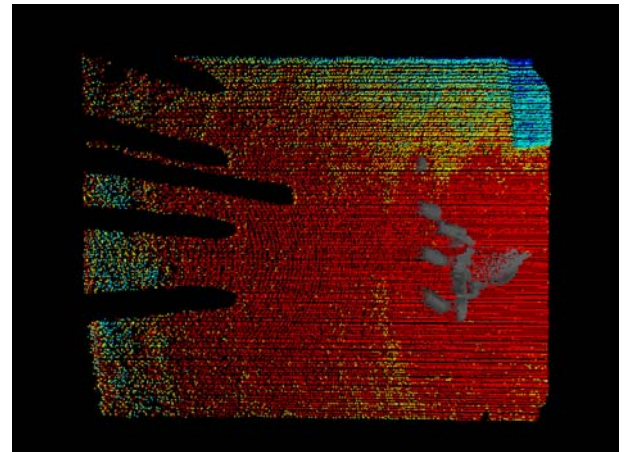


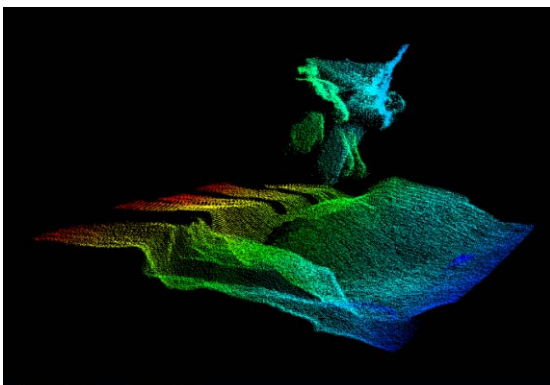
図-2 装置 C による締固め判定

能が含まれている。

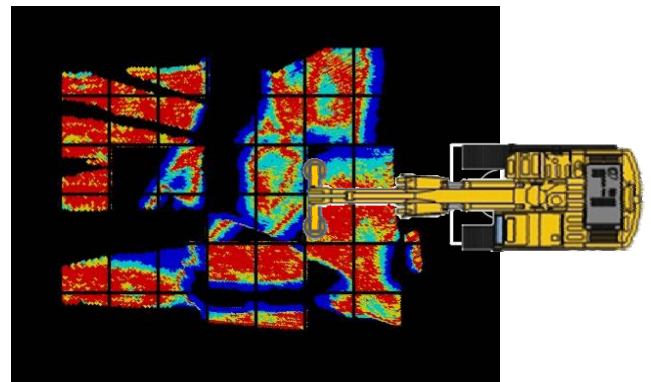
GNSS は情報化施工でも利用されている RTK 方式を採用しているため、誤差は 5cm 以内の正確な位置をリアルタイムに計測している。また、パイバックのブームに変位センサを取り付けており正確にブーム形状も把握している。現在、どのブロックを施工しているか、システム自体が把握し、いつ、どこで、どの場所を締固めしたか、逐次データベースに残るため、その結果、施工のトレーサビリティ管理にも利用できることがわかってきた。写真-6 に実証実験での施工状況を示す。図-3 にコンクリートの締固め経過毎の、計測点群と、その評価結果を示す。各ステップの評価は左右で対応し、平面判定は 1m ごとのグリッドで示している。



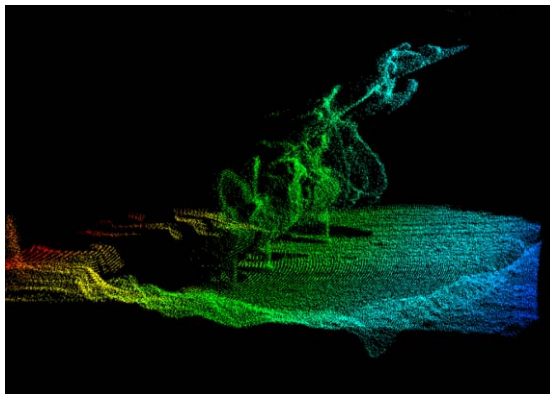
写真-6 実証実験での施工状況



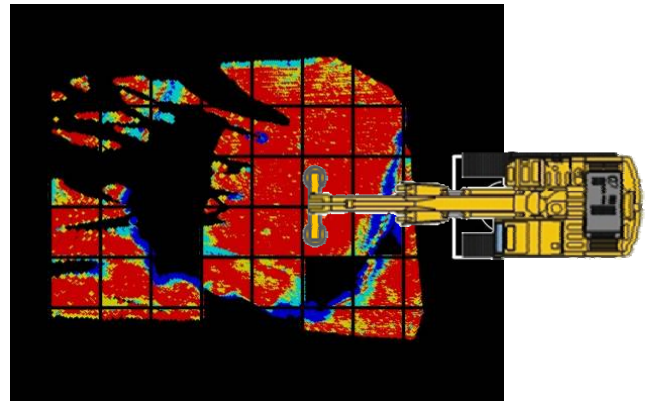
点群データ：締固め開始時



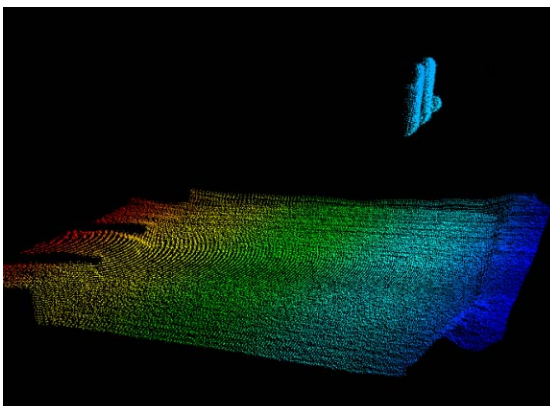
評価結果：締固め開始時



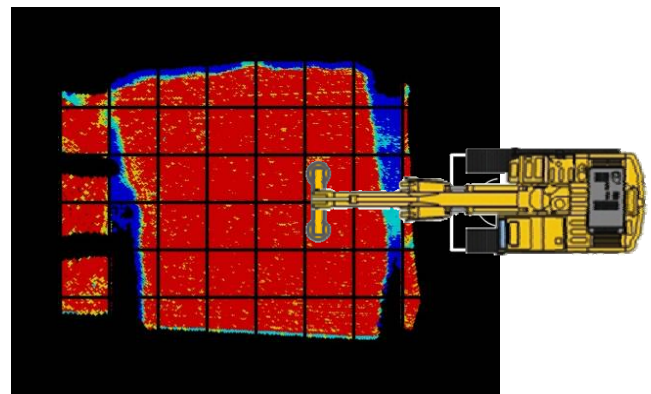
点群データ：締固め途中



評価結果：締固め途中



点群データ：締固め完了時



評価結果：締固め完了時

図-3 コンクリート締固め毎の計測点群と評価結果³⁾

平面判定幅は、現場係員の目視認識との差異が最も適していた±20mm を設定している。締固め進行状況に合わせて、平らになっている領域（赤）が、広がっていく様子がわかる。

また、同重機はGPSアンテナを2台搭載し、重機の位置ならびに方向を取得することができる。実際に運用する場面では、これらの情報を統合し、図-4 に示すような表示画面を用意した。その結果、リアルタイムに、締固め進捗状況を、オペレータ自身で、都度確認できるシステムを提供することができた。写真-7 にコンクリートの締固め状況を示す。

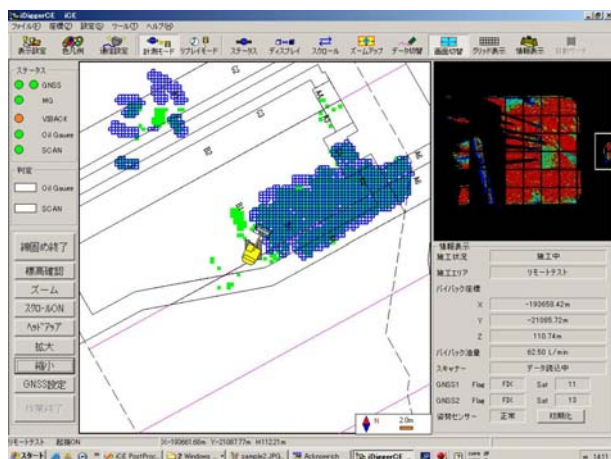


図-4 統合した表示画面



写真-7 コンクリート締固め状況

5. おわりに

今回、3D スキャナを中心に報告したが、油量による判定は、バイバック運搬時のトラブルにより、ケーブルが破損したため、計測データを取得できなかった。そのため、次の機会でも報告することとする。今回開発した機能により、下記の効果が期待される。

- ・締固め完了、未完了箇所が明示されるため、締固め不足箇所を速やかに見つけて、対処できる。
- ・バイバックオペレータの熟練度等の個人差が解消され均質、安定した締固め品質を確保できる。
- ・締固め作業のトレーサビリティの記録が残る。

今回利用した3D スキャナは屋外でも十分機能し、現場での運用も容易であった。我々は、3D スキャナを用いた締固め評価方法を見出し、実際の重機に実装・評価試験を通して同装置の有効性を確認した。

今後、i-Construction に向けた、情報化技術として、現場に適用をすすめ、締固め判定の検証、改良を行い、締固め管理システムとしての有効性を高めていく予定である。

謝辞：

本システムの開発は、清水建設株式会社のダム技術者、コンクリート技術者からの適切な助言・ご指導を受けた。また、実証実験、システムの開発テストなどで多大なご協力をいただいた方々に対し、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 土木学会：コンクリート標準示方書（ダムコンクリート編），2013
- (2) 竹内啓五，宇野昌利，藤内隆，加瀬 俊久，長谷川 悦央“ダムコンクリート施工における締固め自動判定技術”，第16回建設ロボットシンポジウム論文集，2016
- (3) PCL, <http://pointclouds.org/>, 2015