

画像解析によるダムコンクリートの締固め完了の判定に関する検討

鹿島建設(株) 正会員 ○橋本 学 松本修治 六本木日菜子 大木洋和 渡邊賢三 坂井吾郎
(株)INAF 藤 宏史

1. はじめに

ダムコンクリートの締固め完了の目安は、コンクリート標準示方書〔ダムコンクリート編〕において「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となるまで行うこと」とされている。この表現が定性的なため、その目安は施工現場での技術者の経験によって異なる場合がある。本検討では、締固め完了を定量的に判断することを目的とし、画像解析を用いてコンクリートの表面状態から締固めの完了を定量データとして示す手法に着目し、基礎的実験と現場で試行した結果について報告する。

2. RI による締固め完了に関する検討

画像解析の検討に先立ち、コンクリートの表面状態と内部の締固めの程度との関係を確認することを目的として、放射性同位元素 (RI) を用いてコンクリート内部の密度の変化を計測した。RI により放出されるガンマ線は、物質を通過する際に、通過する物質の密度が大きいほどエネルギーの消失が大きくなる特性を有する。既往の研究¹⁾では、締固め中のコンクリートに RI を透過させた際のガンマ線の検出数 (以降、カウント数と称す) の変化を捉え、カウント数が定常状態となることで密度が一定になったことが確認でき、締固めの完了が判断できるとしている。本検討では粗骨材の最大寸法が 80mm、スランプが 3cm のダムコンクリート ($W=112\text{kg/m}^3$, $C=169\text{kg/m}^3$, $s/a=28.5\%$) を円形の試験容器 ($\phi 800\text{mm} \times h600\text{mm}$) 内に打ち込み、図-1 に示す締固め位置に $\phi 50\text{mm}$ のバイブレータを 500mm まで挿入し締め固めた。振動時間はコンクリート上面にモルタルが現れるまでとし、結果として 46 秒であった。中心部分に挿入した鋼管 ($\phi 60.5\text{mm}$, $t=2\text{mm}$) の中に、ガンマ線の線源とカウント数を測定するためのプローブが一体となった測定器をバイブレータの先端位置と同じ深さの 500mm まで挿入した。

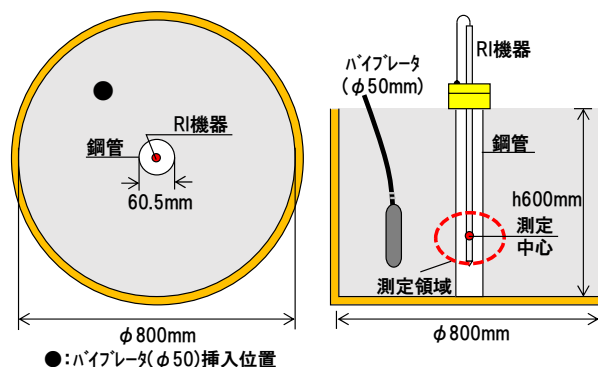


図-1 RI 測定位置と締固め位置

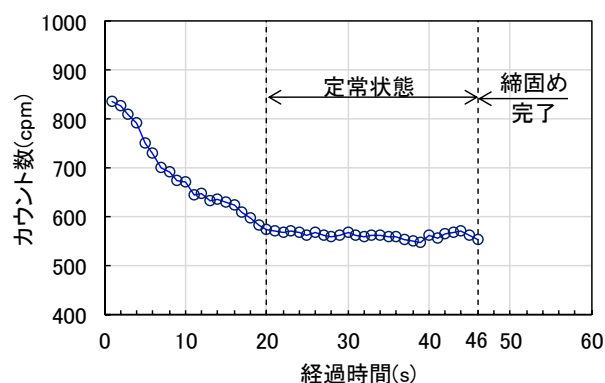


図-2 振動時間とカウント数の関係

図-2 に振動時間とカウント数の関係を、写真-1 に表面の状態を示す。測定中心付近のカウント数は、締固め 20 秒程度で定常状態となり、550cpm 程度の値を示した。一方、コンクリートの表面は締固め 20 秒の時点では顕著な変化が認められず、46 秒まで締め固めたときに粗骨材の表面の露出が消失し、モルタルが浮き上がって平滑な状態になった。このことから、コンクリート標準示方書に示されるとおり、コンクリート表面に粗骨材の表面が露出せず、モルタルの浮き上がりを確認することにより、コンクリート全体の締固め完了を判断できることが確認できた。

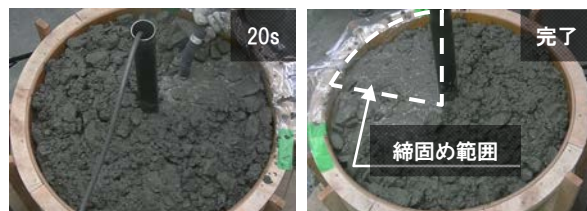


写真-1 コンクリート表面の状態

キーワード：ダムコンクリート、締固め、RI、画像解析

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

3. 画像解析による締固め完了に関する検討

画像解析によって表面の状態を定量化し、締固めの完了を判断するための検討を試み、現場での試行を行った。

(1) 画像解析の測定原理

コンクリート表面の粗骨材の凹凸を画像解析により定量化することを試みた。画像解析の手法は Canny 法²⁾を用い、骨材をエッジ情報として取り込んだ。エッジ情報とは画像の輝度値の変動を捉え、上面の凸凹の境界を検出したものである。図-3 に、コンクリート上面の画像をエッジ情報として取得したものを示す。画像解析では、取得したエッジ情報のエッジの画素数 (EP_i) を締固めの指標とした。式 (1) に、締固め度の算定式を示す。

$$\text{締固め度 (\%)} = (EP_0 - EP_i) / EP_0 \times 100 \quad (1)$$

ここで、 EP_0 : 計測開始時 (締固め前) のエッジの画素数

EP_i : 締固め時のエッジの画素数

計測開始時 (締固め前) の画素数から、図-3 に示す締固め時の画素数を引いたものが、締固めによって減少した画素数となる。これを計測開始時の画素数で除し、正規化した値の百分率を締固め度 (%) として定義した。ダム施工に 10 年以上従事した熟練技術者 5 人に締固め状況の映像を見せ、5 人が締固め完了と判断した際の締固め度は、平均 70.6%, 最小 65%, 標準偏差 3.26% であった。締固め完了の状態であっても、エッジの画素数は粒径の小さい粗骨材などによってゼロにはならず、ある程度残ることが分かったため、締固め完了の閾値を 65% 以上と定めた。

(2) 現場での試行

画像判定システムを、東北地方整備局発注の成瀬ダム (台形 CSG ダム, 堤体積: 485 万 m^3) の上流側の保護コンクリートで試行した。粗骨材の最大寸法は 40mm で、スランプ 3cm ($W=129\text{kg}/\text{m}^3$, $C=230\text{kg}/\text{m}^3$, $s/a=40.0\%$) であった。試行の状況を図-4 に示す。バイバックのキャビン前方に設置した

防水型カメラ (10 倍光学ズーム), オペレータが締固め度を確認するための表示装置 (タブレット端末), 画像判定システムを搭載したポータブル PC である。カメラで撮影した動画像のデータは打設管理者の PC へ転送され、矩形で選択した判定対象箇所の締固め度をリアルタイムで確認することができる。5 回の試行結果は図-5 に示すように、平均 71.8%, 最小 69% であり、全て 65% 以上を満足した。なお、締固め時間は概ね 30~50 秒の範囲であった。以上の結果により、締固め完了を定量的に評価できるようになった。

4. まとめ

ダムコンクリートの施工に関して、画像解析により締固めの状態を定量化し、締固めの完了について判断することができた。

参考文献

- 1) 水野浩平ほか: RI によるフレッシュコンクリートの締固め度合いの検知に関する検討, 土木学会第 73 回年次学術講演会, V-039, pp.77-78, 2018.8
- 2) CANNY John: A Computational Approach to Edge Detection, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence 8(6), 679-698, 1986

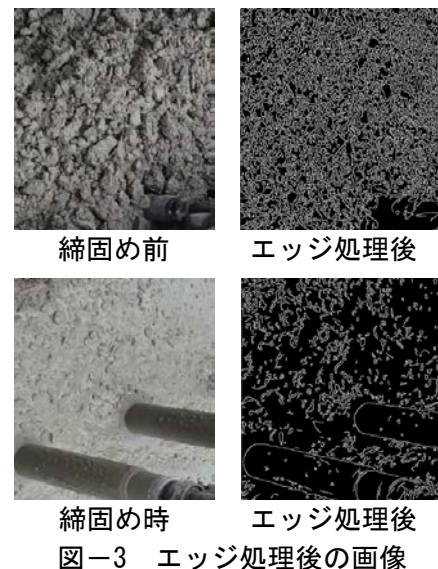


図-3 エッジ処理後の画像



図-4 バイバックへ搭載した状況

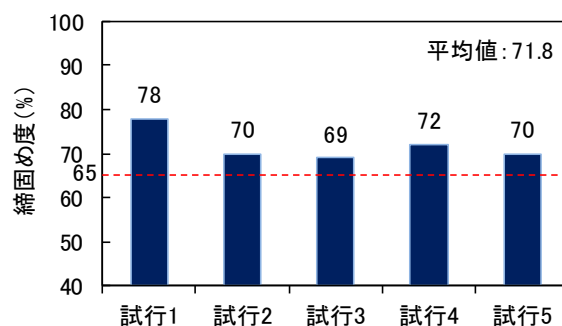


図-5 試行ごとの締固め度