

AI 画像粒度モニタリングを用いた締固め管理における礫補正の提案

鹿島建設(株) 正会員 ○藤崎勝利 小原隆志 坂本 諭 岡本道孝 吉田 輝

1. はじめに

盛土の締固め度 D_c (現場乾燥密度 ρ_d /最大乾燥密度 ρ_{dmax}) の基準となる ρ_{dmax} は、突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210) で規定されるが、同試験の許容粒径を超える礫分を含む材料では現場密度の方が理論上大きくなる点を考慮し、礫分混入率 P に応じて ρ_{dmax} を補正する必要がある。 D_c に及ぼす P の影響は大きく、粒度のばらつきが大きい粗粒材料では名目上の同一材料でも施工中に一定頻度で確認し、礫補正に反映することが重要である。この課題に対し、迅速に対象材料の粒度分布が評価可能であり、近年現場での使用性がさらに向上した画像粒度モニタリングの適用を提案する。

2. 礫補正方法と礫分混入率 P の影響

一般的な礫補正法である Walker-Holtz 式¹⁾ (以下、W-H 式) を式-1 に示す。ここでは、締固め試験 (B 法) の許容粒径を超えた粒径 37.5mm 以上の材料を「礫」、それ未満を「土」と呼ぶ。

$$\rho_d = \rho_{d1} \cdot \rho_{d2} / (P \cdot \rho_{d1} + (1-P)\rho_{d2}) \quad (1)$$

ここに、 ρ_d : 礫補正後の乾燥密度、 ρ_{d1} : 土の乾燥密度、 ρ_{d2} : 礫の固体部分の乾燥密度、 P : 礫分混入率 (礫の乾燥質量比 (37.5mm ふり残率)) である。同式における P の影響度を確認するため、 P を変化させて ρ_d を試算した結果を図-1 に示す。 ρ_d は P の増加とともに増加し、H-W 式の適用範囲の上限とされる $P=30\sim 40\%$ では補正後の ρ_d は概ね 8% 増加する。

P の設定が問題になる具体例として、表層から深部まで風化度が様でない地山の掘削など、名目上同一の材料でも施工の進捗 (時間の経過) に伴って粒度分布が変化するケースが挙げられる。

P に関するもう 1 つの問題は、その空間的ばらつきである。後出の図-4 はその典型例で、同一の盛土上においても、場所によって P に 20% 以上の差異があり、図-1 によれば ρ_d に 5% もの違いが生じる。筆者らが過去に実施した粗粒材料を用いた盛土試験施工における現場密度試験の結果を図-2 に示す。これは、一般論として指摘される RI 法自体が持つばらつきを検証するため、RI 法と砂置換法の ρ_d の測定値を比較したものである。RI 法のデータは、測定位置の礫分の偏りの影響を排除するため、砂置換法の周囲 4 方向の測定値の平均値をプロットした。これによると、砂置換法と RI 法は $\pm 5\%$ の差異に収まっていることから、RI 法の測定値自体の信頼性は高いといえる。従って、RI 法の 1 点 1 点の測定値のばらつきは、測定箇所毎の P のばらつきが主因と考えられる。

以上より、礫補正を伴う粗粒材料の締固めでは、 D_c 評価の精度向上のために盛土材の粒度変化に応じて P

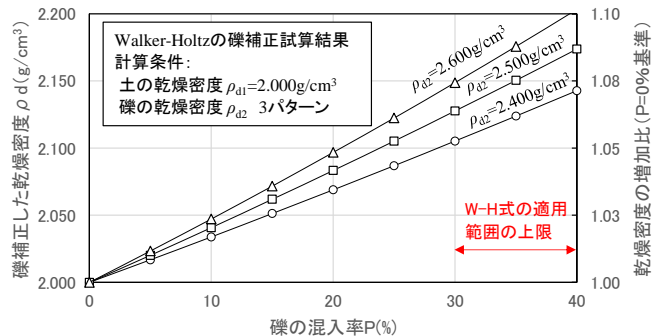


図-1 礫補正式における礫混入率の影響

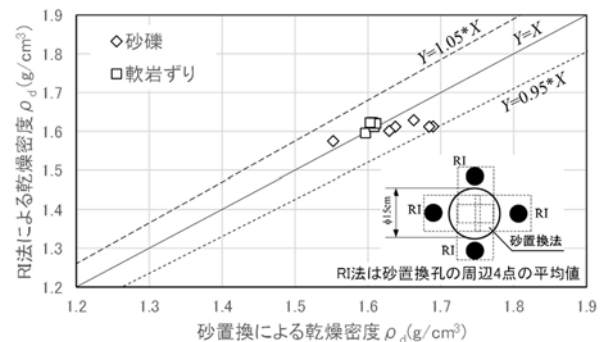


図-2 RI法と砂置換法の測定結果の比較

キーワード 盛土, 締固め管理, 礫補正, 画像粒度モニタリング

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

を適切に設定することが必要と考えられる。しかし、 P の測定のために、石分を含む地盤材料の粒度試験方法 (JGS0132) を行う場合、例えば、最大粒径 D_{max} が 125mm の場合の試験材料の最少分取量は 100~200kg と規定¹⁾されており、ふるい分け試験そのものや結果の整理には時間を要する。このため、一般的な土工事で日常的に P を測定し、これを品質管理に反映することは難しい。

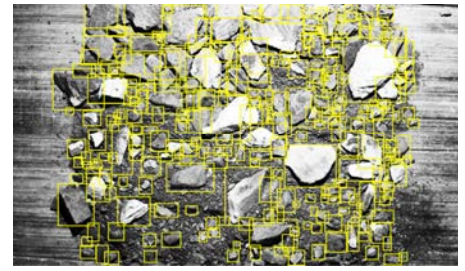


図-3 AIによる粒子の認識例

3. AI 画像粒度モニタリングの概要

筆者らは、地盤材料の画像から粒度分布を測定する画像粒度モニタリングシステムを開発し、台形 CSG ダム建設における CSG 材の粒度管理などに適用してきた^{例え}ば²⁾。従来システムでは、解析用の画像撮影に暗幕や照明など特殊な設備を使用する必要があったが、近年は AI の適用によって特殊設備が不要で、明かり写真を対象とした解析が可能となったことから、一般の土工事にも活用しやすくなった。

図-3 はフィルダムのフィルター材 ($D_{max}=150mm$) をベルトコンベア上で撮影した画像であり、これを当システムで解析し、AI が認識した粒子を識別表示した例である。AI に 50 枚の礫の画像を機械学習させたが、画像に含まれるほぼすべての礫を認識できており、実用的には十分な精度が得られている。

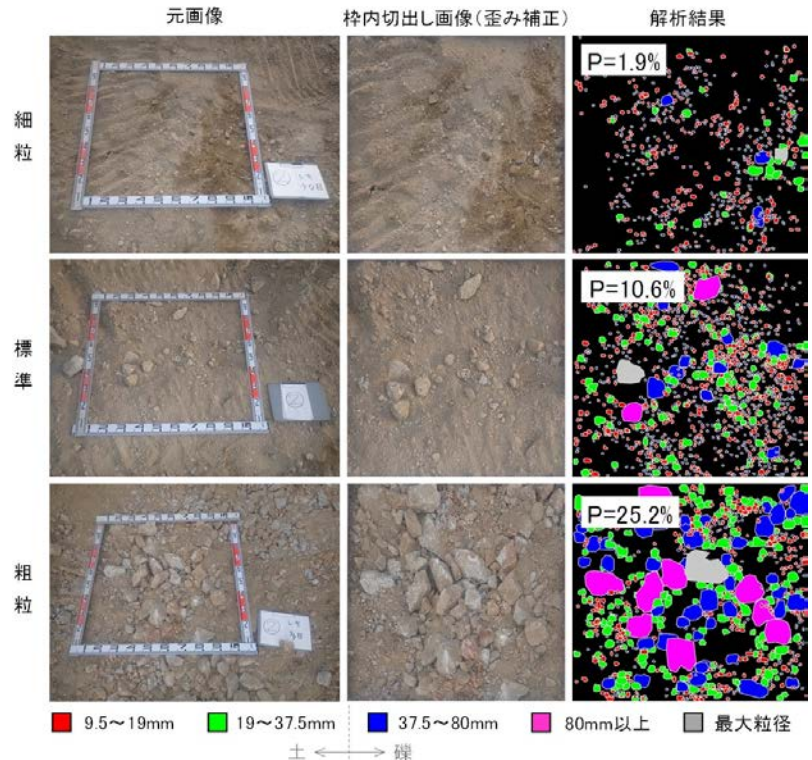


図-4 名目上同一の盛土材(花崗岩質の風化土)のうち礫分混入率の異なる箇所では撮影した画像の解析結果(礫分混入率 P を評価)

4. 試行例と礫補正への適用の提案

図-4 はスマートフォンのカメラで撮影した盛土材料の写真を用いて粒度評価を行った例である。写真中の標尺枠内を画像分析しており、解析に際しては、標尺寸法をもとに画像の平面補正処理を行っている。礫の多少にかかわらず、視認できる礫はほぼ全て認識できている。当システムでは画像中に占める礫分の累計投影面積の比率(粒度インデックス)と、粒度試験から得られる通過質量百分率の関係を事前に把握しておき、これを用いて P の評価を行う²⁾。画像 1 枚当たりの解析時間は約 3 秒(PC の GPU : NVIDIA RTX3090 (コア数 10,496, メモリ 24GB)) と速く、粒径加積曲線の出力まで自動化されている。特筆すべきは、これまでに別工事で扱った盛土材を学習させた AI に当該材料の写真を数枚追加学習させただけで、高精度に粒子認識できた点である。今後、礫の学習データの蓄積が進むことで、事前学習の省力化も期待される。

当システムの運用方法としては、掘削箇所での地山点検時や盛土材の場内搬入時において、材料の写真を撮影して即時に P を評価することが考えられる。その結果を現場密度測定結果の礫補正に反映することで、粒度変化に対応した適切な D_c の評価につながることを期待される。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説(第一回改訂版),2020年。
- 2) 藤崎ら：デジタルカメラ画像を用いた CSG 材の粒度変動監視システム,ダム工学,Vol.23,No.1,pp.19-26,2013。