

CSG 品質管理自動化システムの現場適用に関する報告

前田建設工業 正会員 ○田中 麻穂 非会員 佐々野 輝敏
前田建設工業 正会員 安井 利彰 正会員 笹倉 伸晃

1. はじめに

ダム建設における合理化の課題は、設計の合理化、材料の合理化、施工の合理化であり、特に近年では、ダムサイト周辺で堤体材料を得ることが難しくなっていることから、堤体材料の調達は大規模ダム建設における最大の課題の一つといえる¹⁾。この課題を解決するため、「材料の合理化」を実現した工法が CSG 工法である。CSG とは、Cemented Sand and Gravel の略称で、現場近傍で容易に入手できる砂や礫等の材料にセメントと水を添加・混合して製造されるものであり、現在、この CSG を堤体材料として、台形 CSG ダムの他、CSG 防潮堤への適用も進んでいる。

一方、CSG の強度は、配合設計理論（ひし形理論）に基づき、CSG 材（現場近傍で容易に入手できる砂礫材料から最大粒径 80mm オーバーサイズを除去したもの）に対して、目標強度を満足する粒度および単位水量の管理範囲を予め確認し、単位セメント量を決定する。また、その結果と試験施工による製造・施工仕様を比較検討し、施工時における配合が最終決定される。そのため、日常管理では、CSG 材が予め決定した管理範囲内であることを随時、粒度試験および含水率試験を行うことで確認し、その結果に応じた水分量の配合修正を行うことが原則である。しかし、CSG 材の粒度および含水率が不安定な場合や今後さらなる高速製造が求められる工事環境下では、現状の 1 時間に 1 回程度の品質管理頻度では、製造される CSG の品質の確保が困難であり、革新的かつ合理的な CSG 材の品質管理手法が望まれている。こうした中で、工事の省力化や工期短縮に貢献できる ICT 技術の積極的な導入による品質管理が実現可能となれば、国土交通省が推進する生産性向上にも大きく貢献するものと考えられる。

そこで、本研究では、CSG 材の品質管理の合理化と品質確保を目的として品質管理自動化システムを開発し、CSG 防潮堤建設工事の現場において試験運用を実施している。本報では、既報³⁾の続報として、試験運用の状況について報告し、品質管理自動化システムの運用方法についても検討を実施する。

2. 品質管理自動化システムの現場導入

2. 1 品質管理自動化システムの概要

CSG 工法は新技術の採用に非常に積極的な工法であり、近年では画像処理技術の適用により品質管理試験を合理化・自動化しようとする様々な取り組みが実施されている。⁴⁾⁵⁾ 筆者らも、CSG 防潮堤建設工事である平成 27 年度[第 27-K5601-01 号]浜松市沿岸域津波対策施設等整備事業（海岸）工事（舞阪工区 CSG 製造）の現場において、技術開発の取り組みを継続的に実施している。写真-1 は、同現場に設置した大規模連続式 CSG 製造プラントであり、1 基あたりの CSG 製造能力は最大 200m³/h である。写真-2 に示すように、この大規模連続式 CSG 製造プラントのメインラインに、品質管理プラントを導入した。本品質管理プラン



写真-1 大規模連続式 CSG 製造プラント

キーワード CSG, ダム, 品質管理

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 前田建設工業株式会社 技術研究所 TEL 03-3977-2242

トに組み込んだ品質管理自動化システムは、画像処理による粒度推定技術とマイクロ波水分計による含水率測定技術を要素技術として構成されている。また、CSG 材の含水状態の違いによる推定精度の低下を防止するために、試料の含水率に閾値を設けて推定ロジックを区別している³⁾。

2. 2 品質管理自動化システムの適用性検証試験

各要素技術の適用性（推定精度）については要素試験にて確認済みではあるが³⁾，システムの自動化に伴って撮像・計測条件が変わることによる推定精度の低下が懸念されたため、品質管理自動化システムの適用性を検証した。ただし、本研究では推定誤差が±5%以内であれば適用性があると評価することとした。（ここで、推定誤差＝推定値－実測値とする。）また、検証には、浜松市沿岸域津波対策施設等整備事業工事で CSG 材として使用されている軟岩を使用した。

品質管理プラントを運用すると、メインラインから粒度分布が未知の CSG 材が無作為に分流される。それをデジタルカメラで撮像し、画像処理によって粒度分布を推定した結果と、撮像した試料を採取してふるい試験により得られた粒度分布を比較した。ただし、ふるい試験は CSG 材が湿潤状態のまま実施している。それぞれの粒径クラス毎の質量百分率について推定誤差を確認し、統計的分析を実施した。ここで、質量率とは、それぞれの粒径クラス毎の質量を全粒度の質量で除したものを指す。推定誤差の正規分布を図-1 および図-2 に示す。図-1 は粒径が、80-40mm, 40-20mm, 20-10mm, 図-2 は、10-5mm, 5mm 未満の粒径クラスの結果を示している。凡例中の (N) は自然含水比の試料を、(H) は高含水比の試料である。既述の通り、推定精度の低下を防止するために通常時の含水率と高含水率の試料を区別して推定した結果を示している。ここで、それぞれの粒径クラスにおける推定誤差の平均値 μ と標準偏差 σ を表-1 に示す。図-1 および図-2 からわかるように、80-40mm および 40-20mm では、最大推定誤差が±5%を超えているが、表-1 より、推定誤差の 95%信頼区間 ($2\sigma+\mu$) は、80-40mm を除いて±5%未満となっている。80-40mm においても、±5%から大きく逸脱しているわけではないため、適用性があると評価した。また、粗粒分よりも細粒分の方が通常時の含水率に比べて、高含水率の場合に推定精



写真-2 品質管理プラント

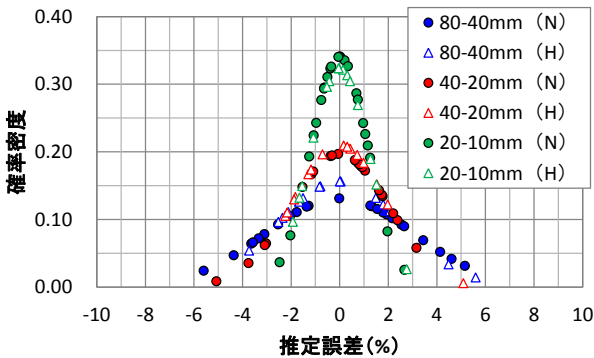


図-1 推定誤差の正規分布①

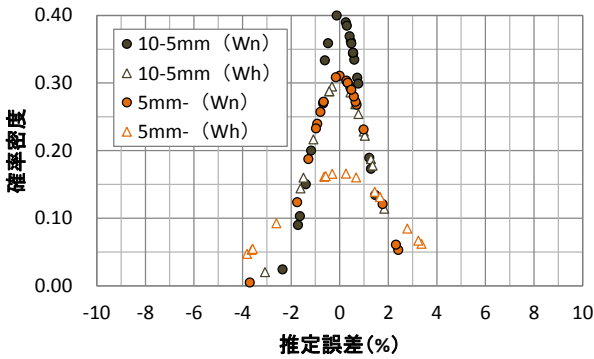


図-2 推定誤差の正規分布②

表-1 推定誤差のばらつき

粒径 クラス	含水 状態	平均値 μ	標準偏差 σ	$2\sigma+\mu$
80-40mm	N	0.00	3.04	6.08
	H	0.00	2.55	5.11
40-20mm	N	0.00	2.03	4.05
	H	0.00	1.90	3.80
20-10mm	N	0.00	1.17	2.34
	H	0.00	1.23	2.47
10-5mm	N	0.00	0.99	1.98
	H	0.00	1.32	2.64
5-mm	N	0.00	1.28	2.57
	H	0.00	2.39	4.78

度が低下する傾向がある。これは、細粒分の方が含水状態の違いによる影響が大きいためであると考えられる。また、高含水率と通常時の含水率とを区別する閾値の設定が最適値となっていない可能性は否めないが、試料のサンプル数が 39 個と少ないためサンプル数が増えることで改善が期待できると考えている。また、本報では、マイクロ波水分計は既存技術であるため適用性検証結果の詳細については述べないが、同様の検証方法にて適用性があることは確認している。

3. 品質管理自動化システムの試験運用

本品質管理自動化システムでは、粒度管理を 10 分に 1 回の頻度で、含水率管理をほぼリアルタイムで実施することが可能であり、必要に応じてさらに管理頻度を増加させることも可能である。現在は、試験運用段階であるため 1 時間に 1 回の管理頻度から運用を開始している。本章では、試験運用の実施状況についての報告および運用方法の検討を実施する。

ここでは、試験運用期間中の代表的な 1 日のシステム運用結果を抽出した。CSG 材（軟岩）の粒度分布を図-3 に示す。粒度の適用可能範囲（最細粒度～最粗粒度）に対して材料のばらつきが比較的小さいように見受けられるが、1 日のうちの粒度分布の変動幅に着目すると、最大で 15%程度になっている。ここで、D40 における通過質量百分率の経時変化を図-4 示す。ここでは画像処理による粒度推定結果と撮像したサンプルのふるい試験結果を示している。また、1 時間ごとの粒度の変動傾向について検討するために、図-5 に示す考えによってふるい試験および画像処理による通過質量百分率の変動量の経時変化を求めた。それを図-6 に示す。図-4 に示すように、推定誤差±5%以上のサンプルもあるが、粒度の変動傾向は概ね適切に評価できていることが図-6 よりわかる。ただし、ふるい試験結果と比較して、画像処理による推定結果は変動量が若干小さく評価される傾向があると考えられ、今後、改善が必要である。

また、同様の検討を段丘材についても実施した。粒度分布を図-7、D40 における通過質量百分率の経時変化を図-8、通過質量百分率の変動量の経時変化を図-9 に示す。図-9 より、変動の傾向を適切に評価できていないサンプルがあるものの、変動量自体は小さい。また、ふるい試験結果の変動量よりも画像処理による推

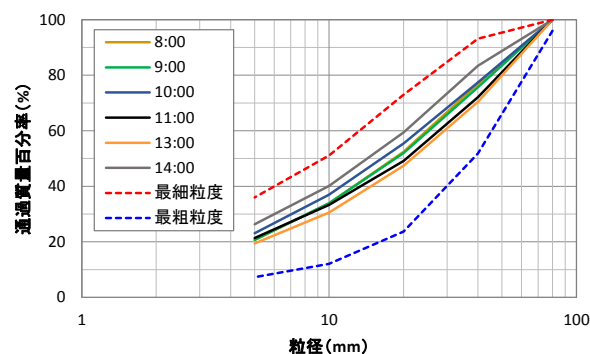


図-3 CSG 材の粒度分布（軟岩）

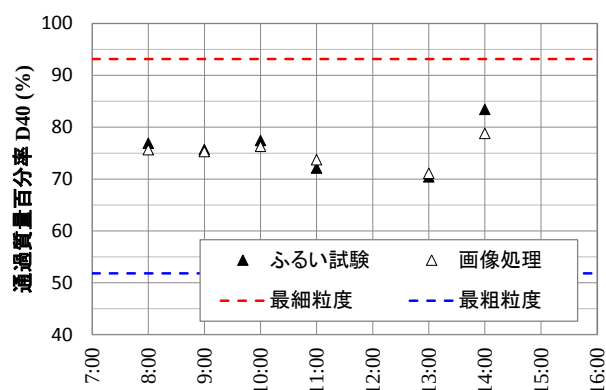


図-4 通過質量百分率 D40 の経時変化（軟岩）

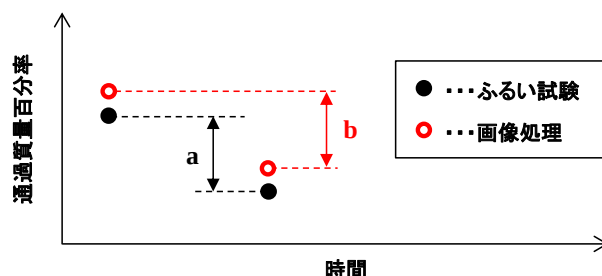


図-5 変動量算出の考え方

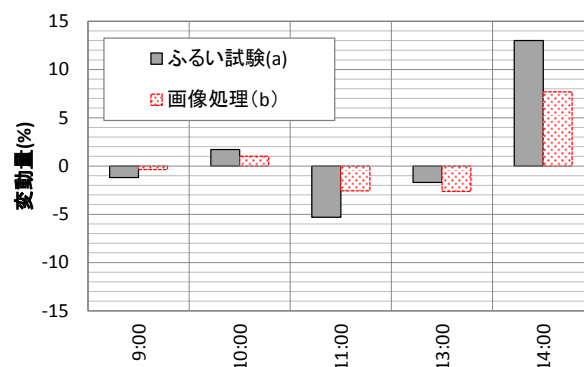


図-6 変動量の経時変化

定結果の変動量の方が大きくなっている場合もあるが、基本的には画像処理の方が変動量を過小評価する傾向にある。

以上より、今後の改善が必要な点はあるものの、本品質管理自動化システムは粒度の変動傾向を概ね良く評価できていると考えることができ、材料の変動傾向を監視するシステムとして適用できる可能性があることを確認した。

ここで、品質管理自動化システムを10分に1回の頻度で運用した場合の通過質量百分率の経時変化について、図-10に示す。比較対象とするためのふるい試験を実施していないため、粒度の実測値は確認していないが、図に示されるように粒度が変動している可能性が高く、本品質管理自動化システムによって細やかな粒度管理が可能であることを示した。

4. 結論

本研究では、開発した品質管理自動化システムによって、CSG材の品質管理頻度の増加が可能であることを確認した。また、本システムは、材料の変動傾向を監視するシステムとして適用できる可能性がある。今後、運用データを蓄積し、運用方法についてさらに検討を深める所存である。

参考文献

1) 台形 CSG ダム設計・施工・品質管理技術資料，平成19年9月，2) 笹倉伸晃，安井利彰，松尾健二，田中麻穂，平川彩織，中島具威：浜松市沿岸域 CSG 防潮堤における CSG 工法の合理化・高度化技術，前田建設技術研究所報，Vol.56，2015，3) 田中麻穂，安井利彰，笹倉伸晃，佐藤友哉，平川彩織，中島具威：CSG 材料の品質管理合理化技術の開発，土木建設技術発表会 2015 概要集，III-9，2015，4) 藤崎勝利，黒沼出，川野健一，武井昭：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.1，2013，5) 片山三郎，江田正敏，栗原庸聡，斉藤博行：連続粒度解析システムの開発，大成建設技術センター報，第47号，2014

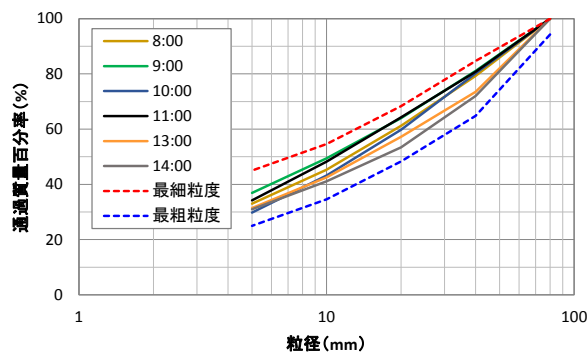


図-7 CSG 材の粒度分布（段丘材）

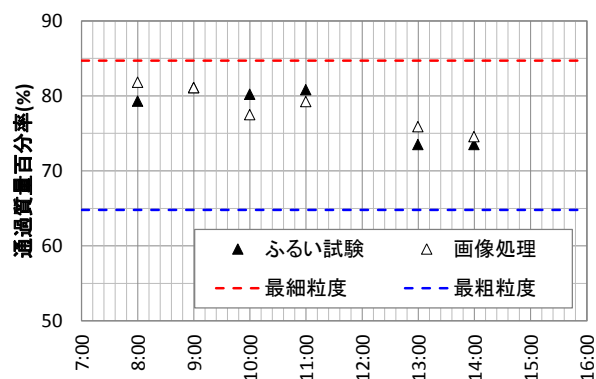


図-8 通過質量百分率 D40 の経時変化（段丘材）

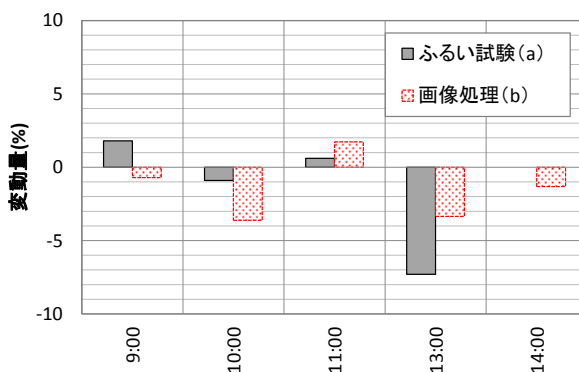


図-9 変動量の経時変化（段丘材）

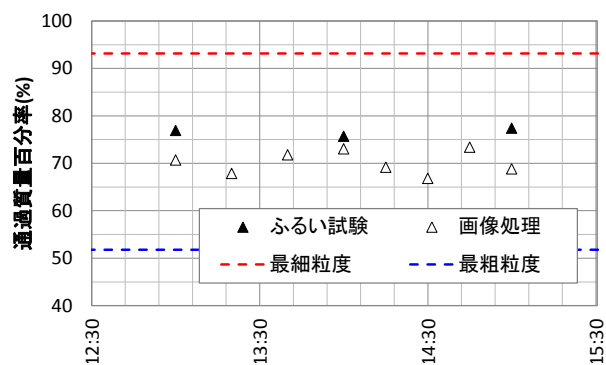


図-10 通過質量百分率 D40 の経時変化