

ICT 施工を導入したロックフィルダムの施工管理方法の合理化に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 25

担当チーム：水工研究グループ（水工構造物）

研究担当者：山口嘉一、佐藤弘行、坂本博紀

【要旨】

近年、我が国の社会資本整備において、施工の効率化や精度の向上、品質管理の合理化等を目的に ICT 施工の積極的な導入が推進されている。一方で、最重要構造物の一つであるロックフィルダムは求められる品質レベルは他の一般的構造物より高いため、ICT 施工の導入による品質管理の合理化までには至っていない。しかし、ICT 施工の導入により、施工プロセス管理の確実性を向上させることができる。これらに加えて、盛立材料の粒度と含水状態などの基本的物性の管理をより適切に行うことにより、現場試験の頻度を低減できる新たな品質管理が可能になると考えられる。

平成 23 年度は、まずロックフィルダムの盛立材料の品質管理試験の頻度について、ダム竣工年度ごとの整理を行い、経年的傾向の分析を行った。また、ICT 施工の概要と導入によるメリットについて整理した。これらを踏まえ、ICT 施工が導入されたダムの品質管理試験データを用い、搬出時および盛立面での粒度試験結果を区分し、締固め後の試験結果との関係を分析することにより、より精緻な材料管理が盛立品質へ与える効果について検討を行った。

キーワード：ロックフィルダム、ICT 施工、品質管理の合理化、粒度区分

1. はじめに

近年、我が国の社会資本整備において、施工の効率化や精度の向上、品質管理の合理化等を目的に ICT 施工の積極的な導入が推進されている。平成 20 年 7 月には「情報化施工推進戦略¹⁾」が策定され、ダム分野においても ICT 施工の導入が重要であると位置づけられている。河川土工および道路土工等では、ICT 施工を施工管理に導入した場合、まき出し厚、締固め回数等、施工プロセス管理の確実性を向上させることができることから、密度試験等、締固め後の現場試験を省略する方針へ転換しており²⁾、建設業界全体としては盛土の品質管理は合理化・省略化が進んできている。

一方で、大量の貯水を行う最重要構造物の一つであるロックフィルダムに要求される品質レベルは他の構造物よりも高い。また、盛立材料の密度のほか透水係数も品質管理対象としており、密度と透水性ともに設計上の重要性は大きい。このような理由から、ロックフィルダムの品質管理において、転圧回数等の工法規定管理のみをもって従来の品質管理と置き換えることは容易に許容できるものではない。しかし、社会資本整備予算が縮小され、ダムの設計施工においても従来以上の合理化が求められている現状において、ICT を利用した施工管理の合理化は推進していかなければならない重要な課題である。

現在のロックフィルダムにおける盛立は、事前の試験施工に基づき決定した規定の締固め度を達成するための施工仕様に基づき、材料粒度、含水比、締固めエネルギー（まき出し厚、締固め回数等）を管理する工法規定管理と、締固め後に一定の頻度で現場試験を点的に実施する品質規定管理との併用により盛立後の品質を確保している。しかし、品質管理のうち締固め後の現場試験は、試験中に盛立を中断する必要があり、施工効率化を妨げる要因となっている。このため、適切な品質評価に基づいて試験頻度を低減することが可能となれば、より効率的な施工が可能となる。

ICT 施工を管理に導入した場合、前述したように、施工プロセス管理の確実性を向上させることができる。これらに加えて、盛立材料の粒度と含水状態などの基本物性値の管理をより適切に行うことにより、期待する締固めを盛立面全体に担保することが可能となり、現場試験の頻度を低減できる新たな施工管理が可能と考えられる。

以上のような背景により、本課題では ICT 施工が導入されたロックフィルダムの品質管理試験データの分析や現場において試験施工を行い、施工プロセス管理の確実性が向上した状況下での密度、透水係数といった盛立品質と、盛立材料の粒度、含水比を整理分析することで、盛立条件と盛立品質の因果関係についての

検討を行う。また、施工効率向上の妨げとなっている置換法や透水試験に代わる簡易・迅速試験法を導入するための検討を行う。これらの検討結果を踏まえ、合理的な品質管理基準の設定方法を検討し、ICT 施工を活用したロックフィルダムの施工管理方法を提案することを目的とする。

平成 23 年度は、まず、既設ロックフィルダムの品質管理試験の頻度について、竣工年度ごとの整理を行い、経年的傾向の分析を行った。また、ICT 施工の概要と導入によるメリットについて整理した。これらを踏まえ、ICT 施工が導入されたダムの品質管理試験データを用いて、搬出時および盛立面での粒度試験結果を区分し、締固め後の試験結果との関係を分析することにより、材料のより精緻な管理が盛立品質へ与える効果について検討を行った。検討においては、ICT 施工を導入した殿ダム（国土交通省中国地方整備局、平成 23 年度に試験湛水が完了）と胆沢ダム（国土交通省東北地方整備局、平成 23 年度に盛立工事が完了）の品質管理試験データを用いた分析を試みた。ここでは、盛立条件である「粒度」、「締固め含水比」と盛立品質となる「現場密度」と「現場透水係数」の因果関係を明らかにすることを目的として分析を試みた。しかし、胆沢ダムの品質管理基準は粒度試験と含水比試験、現場密度試験、現場透水試験の頻度が異なり、これらの試験が別々の材料で行われているため、目的に沿った分析を行うことができなかった。このため、殿ダムの品質管理試験データのみを用いて分析を行った。

2. ロックフィルダムの品質管理試験頻度

ロックフィルダムにおける品質管理試験の実施頻度について、特に経年的な変化に着目して調査を行った。調査対象は、建設機械の大型化や油圧制御技術の開発が進み、現在のダム施工現場における建設機械の形式が定着した 1960 年代¹⁾以降に建設されたダムとした。調査対象ダムの一覧を表-1 に示す。

また、品質管理試験のうち、コア材、フィルタ材、ロック材の各材料の現場密度試験と現場透水試験を調査対象とした。これは、現場密度試験と現場透水試験は、試験中に盛立作業を中断せざるを得ないことから、その頻度が施工管理の合理化に大きく影響するためである。

調査結果より、全ての試験においてダムの竣工時期による試験頻度の増減傾向は特に見られなかった。以下に、調査結果の詳細を示す。

表-1 調査対象ダム一覧

ダム名	竣工年	堤体積 (千m ³)	堤高 (m)	事業主体
水窪ダム	1969	24,110	105	電源開発(株)
喜撰山ダム	1970	2,338	91	関西電力(株)
大雪ダム	1975	3,875	86.5	国土交通省北海道開発局
岩屋ダム	1976	5,780	127.5	(独)水資源機構
瀬戸ダム	1978	3,740	110.5	関西電力(株)
手取川ダム	1979	10,050	153	国土交通省北陸地方整備局 石川県・電源開発(株)・北陸電力(株)
高瀬ダム	1979	11,590	176	東京電力
白川ダム	1981	2,233	66	国土交通省東北地方整備局
寒河江ダム	1990	5,100	112	国土交通省東北地方整備局
奈良俣ダム	1990	13,100	158	(独)水資源機構
阿木川ダム	1990	4,500	101.5	(独)水資源機構
七ヶ宿ダム	1991	24,110	105	国土交通省東北地方整備局
山瀬ダム	1991	1,610	62	秋田県
牛頸ダム	1991	1,065	52.7	福岡県
三国川ダム	1992	6,709	119.5	国土交通省北陸地方整備局
小屋ダム	1992	660	56.5	石川県
味噌川ダム	1996	8,800	140	(独)水資源機構
摺上川ダム	2006	8,300	105	国土交通省東北地方整備局
二ツ石ダム	2009	2,256	70.5	農林水産省東北農政局
殿ダム	2011	2,060	75	国土交通省中国地方整備局
胆沢ダム	2013(予定)	13,500	132	国土交通省東北地方整備局

2.1 コア材

2.1.1 現場密度試験

ほとんどのダムが層単位、日単位で頻度が設定されていた。そこで、単位を「回/層」または「回/日」に統一するため、喜撰山ダム（6点/層）瀬戸ダム（4点/層）摺上川ダム（3ヶ所/層）は1回/層とみなした。また、七ヶ宿ダム（4ヶ所/日）胆沢ダム（3カ所/日）は1回/日とした。大雪ダム、高瀬ダムの記録はそれぞれ2点/日、6点/日と設定されており、他ダムの1回/日に相当する可能性があるが、詳細情報が不明なため、記録に合わせて2回/日、6回/日とした。なお、殿ダムについては、1回/2,000 m³と設定されており、m³単位であるため他ダムと比較できなかった。

図-1、2 に、それぞれ層単位、日単位における現場密度試験の頻度を示す。層単位については、1回/層、日単位については1回/日以上頻度で実施されている。また、ダムの竣工時期による試験頻度の傾向はないと考えられる。

2.1.2 現場透水試験

m³単位、暦（月、週、日）単位で頻度が設定されており、図-3、4 にそれぞれの現場透水試験の頻度を示す。m³単位については1回/40,000 m³～1回/10,000 m³の頻度で、暦単位については1回/数ヶ月～1回/3日の頻度で実施されている。

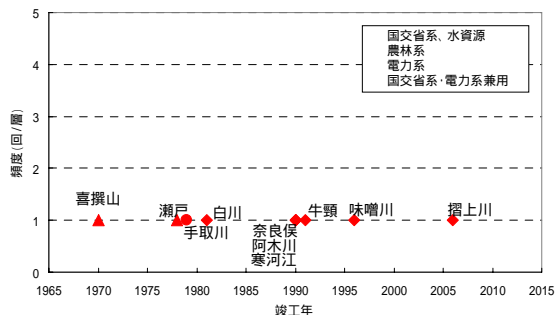


図-1 コア材の現場密度試験の頻度 (層単位)

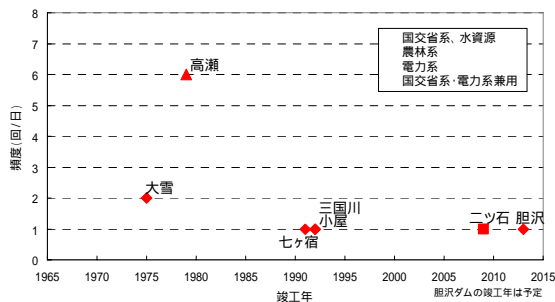


図-2 コア材の現場密度試験の頻度 (日単位)

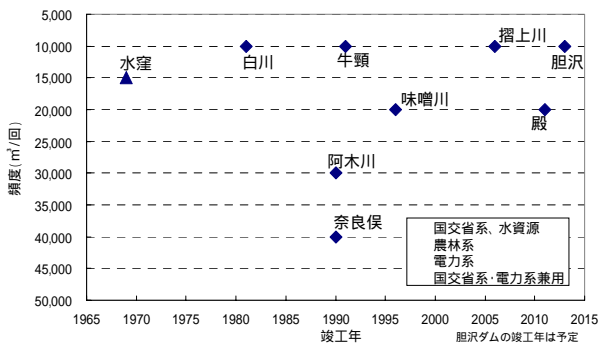


図-3 コア材の現場透水試験の頻度 (m³単位)

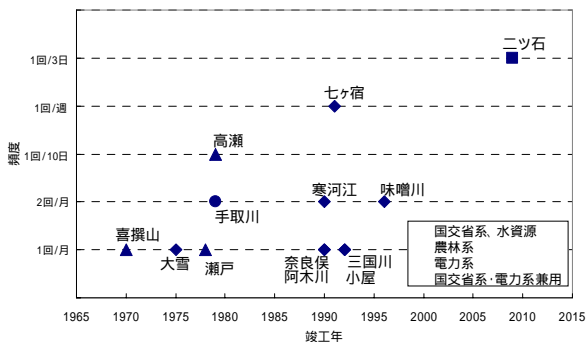


図-4 コア材の現場透水試験の頻度 (暦単位)

七ヶ宿ダム (1回/週)、ニツ石ダム (1回/3日) は他ダムと比較して相対的に頻度が多いが、ダムの竣工時期による試験頻度の傾向はないと考えられる。

2.2 フィルタ材

2.2.1 現場密度試験

m³単位、暦 (月、週、日) 単位で頻度が設定されており、図-5、6 にそれぞれの現場密度試験の頻度を示す。m³単位については 1回/20,000 m³ ~ 1回/5,000 m³ の頻度で、暦単位については 1回/月 ~ 1回/2日の頻度で

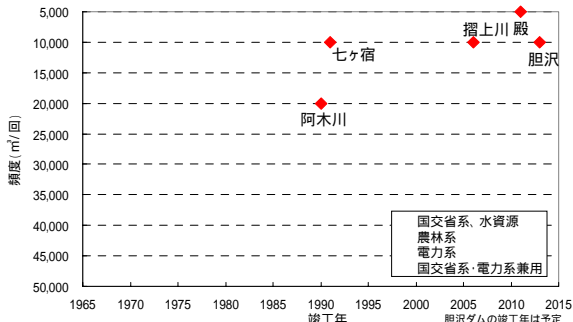


図-5 フィルタ材の現場密度試験の頻度 (m³単位)

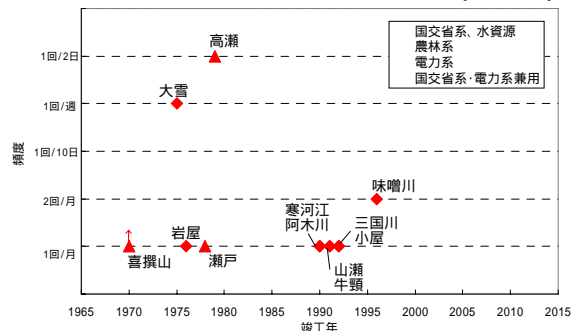


図-6 フィルタ材の現場密度試験の頻度 (暦単位)

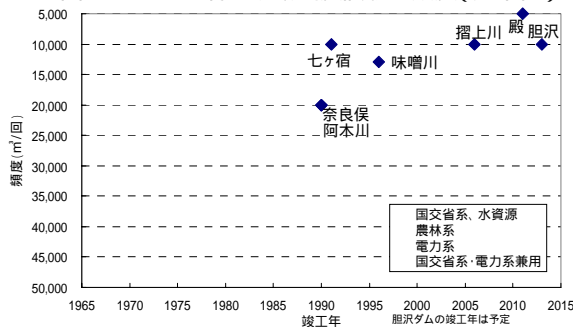


図-7 フィルタ材の現場透水試験の頻度 (m³単位)

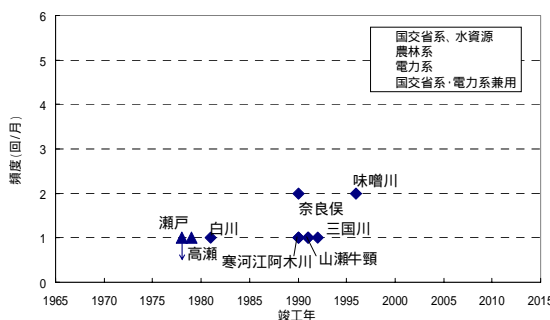


図-8 フィルタ材の現場透水試験の頻度 (暦単位)

実施されている。

高瀬ダム (1回/週)、大雪ダム (1回/2日) は他ダムと比較して相対的に頻度が多いが、ダムの竣工時期による試験頻度の傾向はないと考えられる。

2.2.2 現場透水試験

m³単位、月単位で頻度が設定されており、図-7、8 にそれぞれの現場透水試験の頻度を示す。m³単位については 1回/20,000 m³ ~ 1回/5,000 m³ の頻度で、月単位については 1回/数ヶ月 ~ 2回/月の頻度で実施されてい

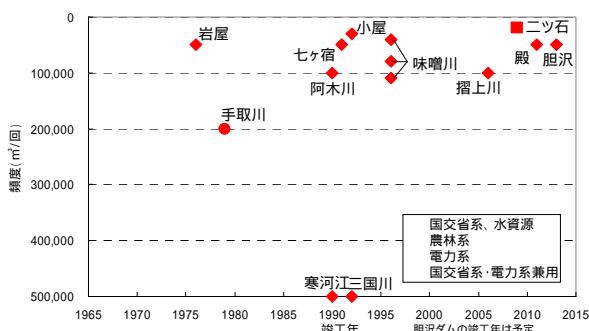


図-9 ロック材の現場密度試験の頻度 (m³単位)

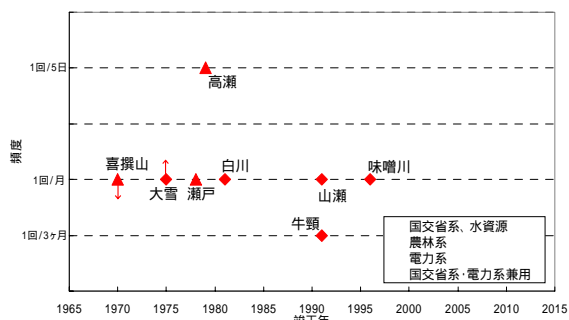


図-10 ロック材の現場密度試験の頻度 (暦単位)

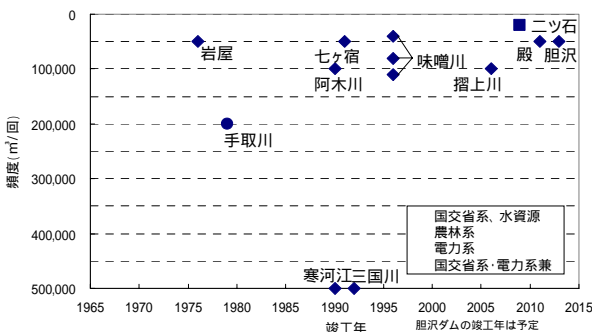


図-11 ロック材の現場透水試験の頻度 (m³単位)

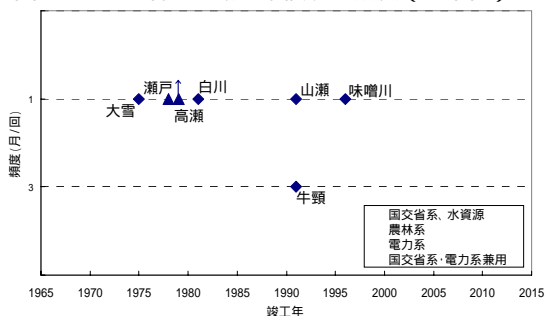


図-12 ロック材の現場透水試験の頻度 (月単位)

る。また、ダムの竣工時期による試験頻度の傾向はないと考えられる。

2.3 ロック材

2.3.1 現場密度試験

m³単位、暦(月、日)単位で頻度が設定されており、図-9、10にそれぞれの現場密度試験の頻度を示す。なお、味噌川ダムについては3種類のロック材料で試験頻度が異なるため、各材料の試験頻度を全てプロットしている。m³単位については、寒河江ダム、三国川ダ

ム(1回/500,000 m³)は相対的に頻度が少ないが、その他のダムは1回/200,000 m³~1回/30,000 m³の頻度で実施されている。暦単位については、1回/3ヶ月~1回/5日の頻度となっており、特に1回/月の頻度で実施されているダムが多い。また、ダムの竣工時期による試験頻度の傾向はないと考えられる。

2.3.2 現場透水試験

m³単位、月単位で頻度が設定されており、図-11、12にそれぞれの現場透水試験の頻度を示す。m³単位について、寒河江ダム、三国川ダム(1回/500,000 m³)は相対的に頻度が少ないが、その他のダムは、1回/200,000 m³~1回/40,000 m³の頻度で実施されている。月単位については、1回/3ヶ月~1回/月以上の頻度で実施されている。また、ダムの竣工時期による試験頻度の傾向はないと考えられる。

3. ICT 施工の動向とロックフィルダムへの導入効果

3.1 ICT 施工の動向

施工の効率化や精度の向上、品質管理の合理化等を目的に ICT (Information and Communication Technology: 情報通信技術) 施工の積極的な導入が推進されている。平成 20 年 2 月には「情報化施工推進会議」が設立され、同年 7 月には「情報化施工推進戦略¹⁾」がとりまとめられた。近年では、測量技術や制御技術の進歩により建設機械の自動化技術や情報の統合利用技術を用いた情報化施工が、汎用の建設機械を用いる一般的な土木工事においても、大規模現場を中心に導入されている。また、河川土工および道路土工等に関しては、「TS・GNSSを用いた盛土の締固め管理要領²⁾」が策定され、締固め工事における施工管理の合理化が進められている。

3.2 ロックフィルダムにおける ICT 施工と導入による効果³⁾

殿ダムおよび胆沢ダムの本体工事で導入された ICT 施工システムの概要を表-2、表-3 に示す。このような ICT 技術を一連の作業として導入した効果は次の通りである。

まず、まき出し、締固め、仕上り厚管理(殿ダムでは、材料積込み、運搬、荷下ろし管理を含む)の一連の施工データを記録でき、施工プロセスが明確となった。これにより、オペレーターのミスによる転圧不足の防止に加え、面的に全体のデータを取得できるため、期待する締固めエネルギーを盛立面全体に担保することが可能となった⁴⁾。

また、得られた施工データを基に帳票を作成し、材料の運搬、締固め等施工状況の履歴を確認することで、従来、施工状況を常時監視していたところを、重要箇所を中心としたスポット監視へと移行でき、監視の負担が低減可能となった⁴⁾。ただし、材料の含水状態や大玉、木根の除去等、ICT では管理しきれない施工上の注意点も数多く残っており、これらについては引き続き監視していく必要がある。

表-2 殿ダムにおける ICT 施工システムの概要⁴⁾

名称	概要
盛立材料識別システム	現場内にて盛立材料を運搬する各ダンプに GPS 端末を搭載し、積み込み、荷下ろしの際に GPS 端末のボタンを操作することによって、座標と時刻が記録される。記録されたデータをもとに、所定のゾーンに適切な材料が運搬されているか確認可能となる。
まき出し厚管理システム	まき出し作業を行うブルドーザーのブレード部に GPS を搭載し、位置情報を取得することで車載モニタに設計まき出し高さとのブレード高さの差を表示することができる。これにより、丁張りを設置しなくても所定のまき出し高さで施工が可能となる。
締固め回数管理システム	振動ローラに GPS を搭載し、振動ローラの位置情報を取得することで走行軌跡を記録し、車載モニタに転圧エリア内の各管理ブロックについての転圧回数をリアルタイムに表示することができる。これにより、転圧のめれがなく、正確な施工が可能となる。
仕上り厚管理システム	締固め回数管理システムにて得られた位置情報を利用し、現層と前層の標高を比較し、仕上り厚を算出する。締固め施工後、システムの実出力帳票を確認することで、締固め完了後、測量による仕上り標高を確認する手間の削減が可能となる。

表-3 胆沢ダムにおける ICT 施工システムの概要⁵⁾

名称	概要
測量における GPS の利用 (3D-Navi)	ペンタイプコンピューターと GPS アンテナを携帯し、複雑な地形においても連続測量が可能であり、また現地への設計線位置出しも容易に行える。GPS によって位置情報を取得できるため、基準点との見通しの可否にかかわらず、ワンマンでの測量が可能である。
仕上げ掘削や敷均しにおけるオペレーター支援システム	仕上げ掘削におけるバックホウやツインヘッダーの運転操作支援や、コア材のストックパイルにおける互層盛立や堤体盛立の敷均しにおけるブルドーザーの運転操作支援のためのシステムである。
堤体盛立の締固め施工管理システム	堤体盛立における振動ローラの転圧走行位置(軌跡)および転圧回数を管理するため、締固め施工管理システムを使用している。データを日々集計し、記録に残すことができる。

4. コア材の粒度区分に着目した品質管理試験データの分析

前章で示したように、殿ダムおよび胆沢ダムの盛立工事においては、材料の運搬、まき出し厚、締固め回数等に ICT が導入され、施工プロセス管理の確実性が向上している。ここでは、殿ダムコア材の品質管理試験データを用い、搬出時および盛立面での粒度試験結果に基づいて粒度を区分し、これらの粒度区分と乾燥密度、透水係数といった締固め後の品質管理試験結果との関係を分析する。分析結果に基づき、搬出材料粒度のより精緻な管理が盛立品質確保の確実性向上へ与える効果について評価するとともに、新たな品質管理

方法の方向性について検討する。

4.1 コア材の粒度区分

4.1.1 コア材の概要

殿ダムで使用しているコア材は、粗粒材と細粒材をストックパイルでサンドイッチ状にして、切り崩すことで混合している。粗粒材には火山円礫岩を使用し、細粒材には平成 21 年 6 月 17 日から平成 22 年 4 月 24 日の期間 (以下、「期間」) 安山岩質凝灰岩の風化岩を使用し、平成 22 年 4 月 25 日から平成 22 年 10 月 11 日の期間 (以下、「期間」) 火山岩礫凝灰岩の風化岩を使用した。また、盛立試験の結果に基づきブレンド比を決定し、細粒分含有率、含水比等を管理項目として設定している。期間、期間のストックヤード搬出時における粒度分布(以下、「搬出時粒度」)を図-13、

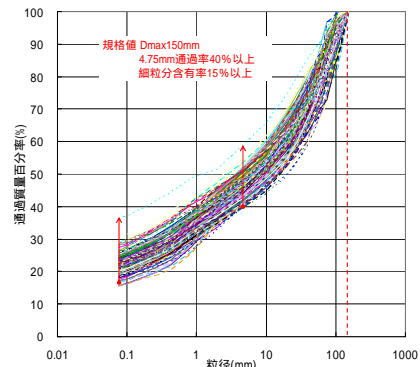


図-13 粒度分布 (搬出時粒度, 期間)

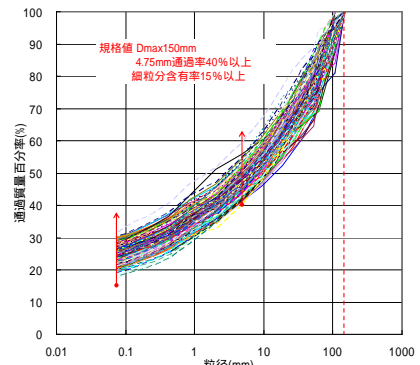


図-14 粒度分布 (搬出時粒度, 期間)

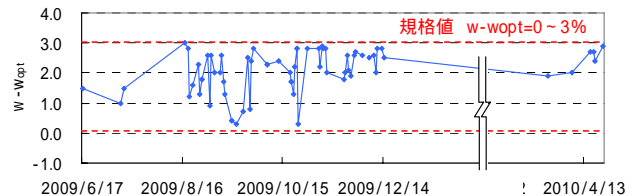


図-15 搬出時含水比の経時変化 (期間)

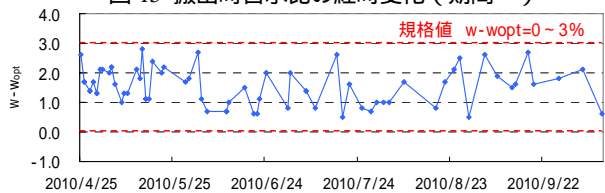


図-16 搬出時含水比の経時変化 (期間)

14 に示すが、いずれも品質規格値内で管理されている。また、図-15、16 に各期間の搬出時含水比の経時変化を示すが、最適含水比から湿潤側に 3%以内の品質規格値内で管理されている。

4.1.2 粒度区分の設定

(1) 細粒側、平均粒度付近、粗粒側の粒度区分

搬出時粒度および盛立面における試験孔から採取した材料の粒度(以下、「盛立面粒度」)を“細粒側”、“平均粒度付近”、“粗粒側”の範囲に区分する。粒度区分の方法は、搬出時粒度データを使用し、図-17 のように 0.075、0.425、4.45、19.0、63.0mm の 5 つの基準粒径における通過質量百分率の平均を μ_i 、標準偏差を σ_i とした場合の $\mu_i \pm 0.8 \sigma_i$ を結んだ線を境界線として区分した。3 つの粒度区分を行う際、境界線を構成する 5 つの基準粒径のうち、いずれか 1 つの基準粒径だけまったく場合は、許容することとしているが、2 つ以上境界線をまったく場合は“その他”と区分する。

表-4、5 にそれぞれ期間、期間において、材料

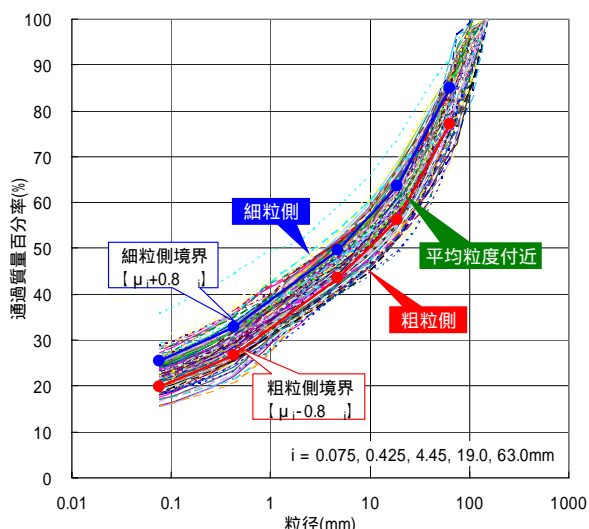


図-17 粒度区分設定方法 (搬出時粒度, 期間)

表-4 粒度区分の内訳 (期間)

粒度区分	搬出時粒度	盛立面粒度
細粒側	9 7.1%	56 31.6%
平均粒度付近	42 33.3%	26 14.7%
粗粒側	13 10.3%	18 10.2%
その他	62 49.2%	77 43.5%
計	126 100.0%	177 100.0%

表-5 粒度区分の内訳 (期間)

粒度区分	搬出時粒度	盛立面粒度
細粒側	13 11.1%	122 58.9%
平均粒度付近	41 35.0%	30 14.5%
粗粒側	8 6.8%	4 1.9%
その他	55 47.0%	51 24.6%
計	117 100.0%	207 100.0%

粒度を前述の区分に分けた場合のデータ数とその割合を示す。搬出時粒度では、3割を超える程度が“平均粒度付近”に該当し、“細粒側”と“粗粒側”にはそれぞれ1割程度が該当した。盛立面粒度は、搬出時粒度と比較すると、“細粒側”の割合が期間、ともに増加しており、運搬時や締固め時における破碎により細粒化した影響と考えられる。また、境界線をまったく“その他”に該当する粒度は、2~5割近く該当した。

図 18~21 に“細粒側”、“平均粒度付近”、“粗粒側”に区分した粒度分布図を示す。区分前の粒度分布(図-13、14)と比較して粒度のパラツキが抑えられていることから、より精緻な材料管理を行った場合における盛立品質への効果について、これらの粒度区分を基にした分析を 4.2 節で行う。

(2) “その他”の再区分

2~5割近く占めた“その他”に区分された粒度について、再区分を行った。再区分の方法は、基準粒径の細粒側、つまり粒径が小さい側より、粒度が細粒側から平均粒度付近へと境界をまったく“細粒側~平均粒度付近”、以下同様に“細粒側~平均粒度付近~粗粒側”、“平均粒度付近~粗粒側”、“粗粒側~平均粒度付近”、“粗粒側~平均粒度付近~細粒側”、“平均粒度付近~細粒側”の6つに再区分した。表-6、7 にそれぞれ期間、期間における再区分した場合のデータ数とその割合を示す。

図 22~25 に再区分した粒度を重ねた粒度分布図を示す。前述した3区分によって盛立品質に差がみられる場合は、“その他”の再区分を基にした分析も 4.2 節において行う。

表-6 “その他”再区分の内訳 (期間)

粒度区分(その他)	搬出時粒度	盛立面粒度
細粒側~平均粒度付近	15 24.2%	11 14.3%
細粒側~平均粒度付近~粗粒側	1 1.6%	3 3.9%
平均粒度付近~粗粒側	10 16.1%	10 13.0%
粗粒側~平均粒度付近	7 11.3%	4 5.2%
粗粒側~平均粒度付近~細粒側	3 4.8%	8 10.4%
平均粒度付近~細粒側	10 16.1%	11 14.3%
区分不可	16 25.8%	30 39.0%
計	62 100.0%	77 100.0%

表-7 “その他”再区分の内訳 (期間)

粒度区分(その他)	搬出時粒度	盛立面粒度
細粒側~平均粒度付近	8 14.5%	5 9.8%
細粒側~平均粒度付近~粗粒側	3 5.5%	0 0.0%
平均粒度付近~粗粒側	7 12.7%	7 13.7%
粗粒側~平均粒度付近	13 23.6%	1 2.0%
粗粒側~平均粒度付近~細粒側	3 5.5%	4 7.8%
平均粒度付近~細粒側	6 10.9%	27 52.9%
区分不可	15 27.3%	7 13.7%
計	55 100.0%	51 100.0%

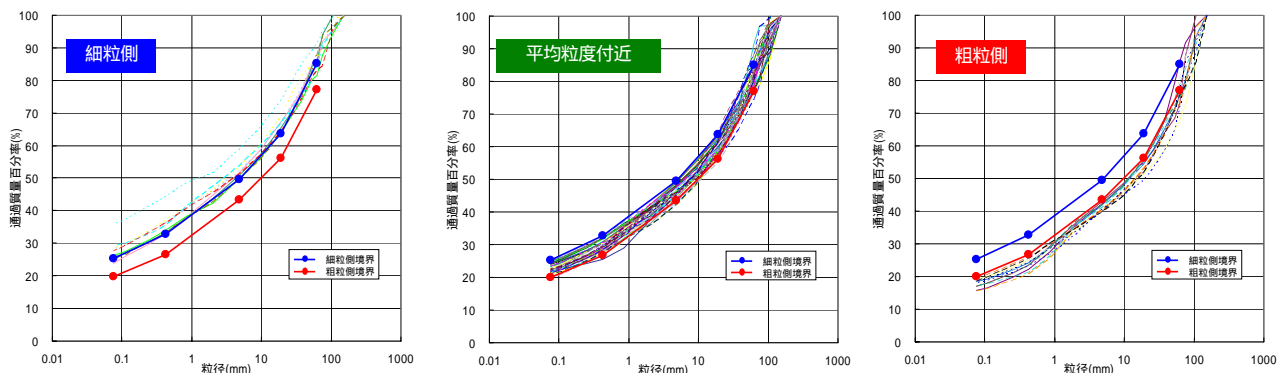


図-18 粒度区分結果（搬出時粒度，期間）

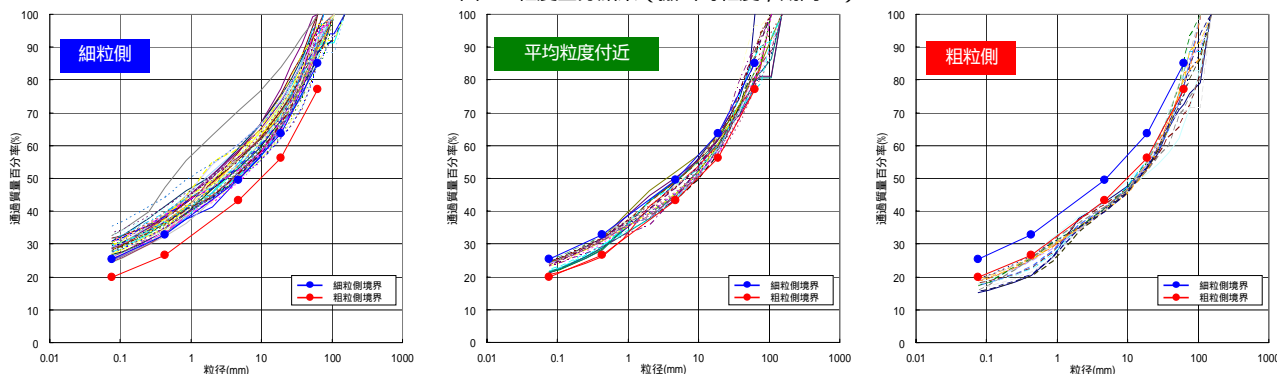


図-19 粒度区分結果（盛立面粒度，期間）

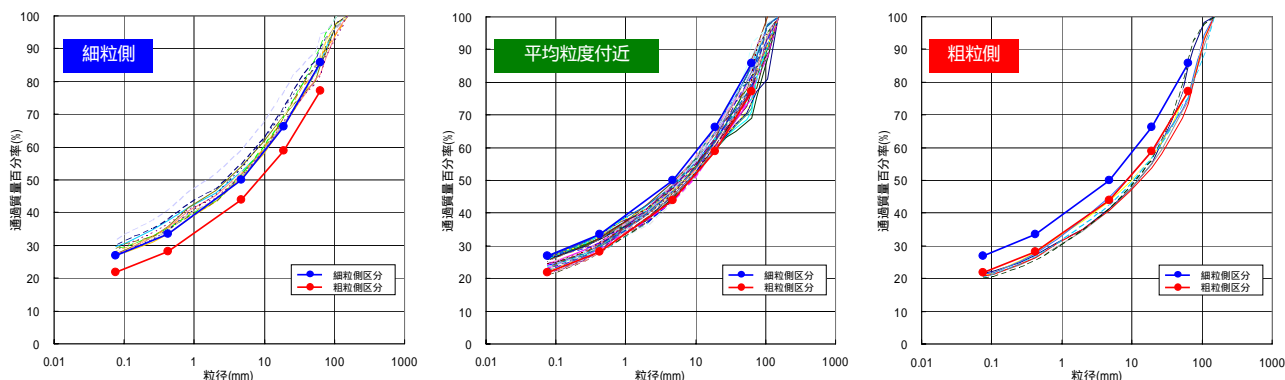


図-20 粒度区分結果（搬出時粒度，期間）

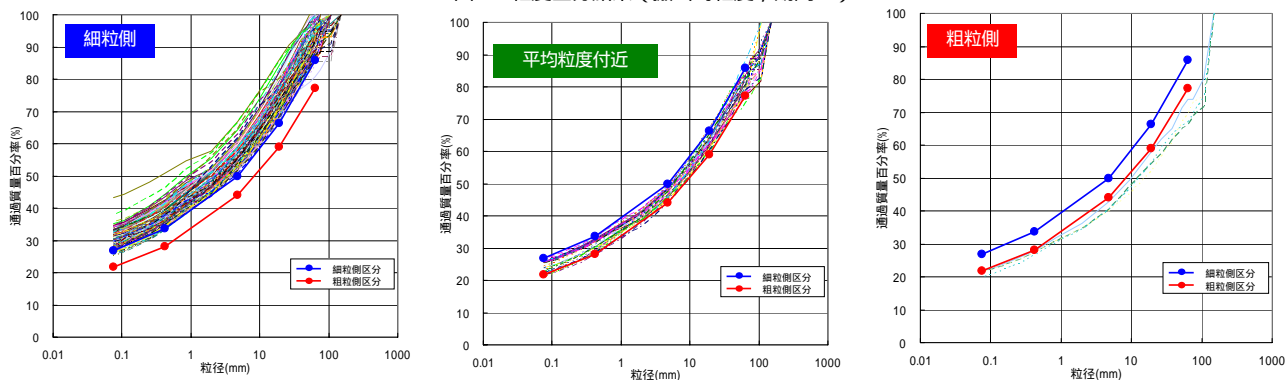


図-21 粒度区分結果（盛立面粒度，期間）

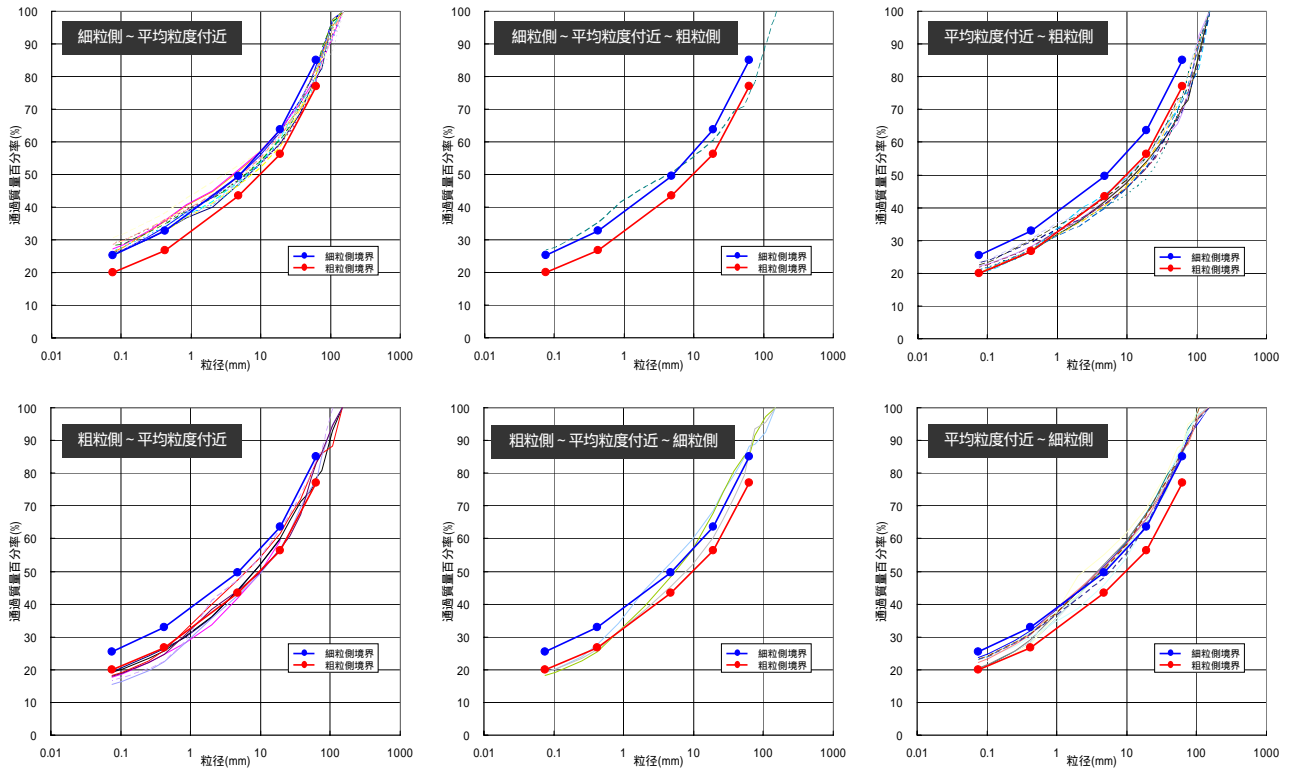


図-22 粒度区分結果（搬出時粒度，期間）

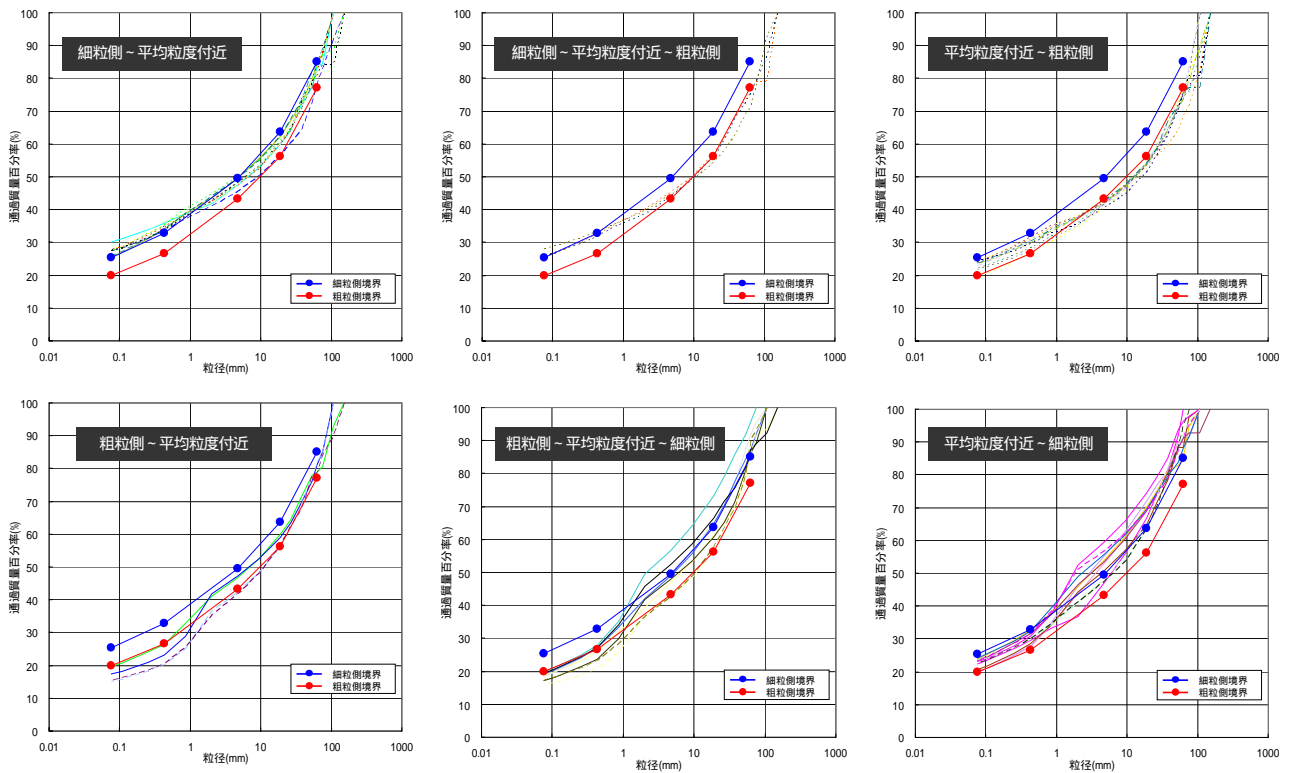


図-23 粒度区分結果（盛立面粒度，期間）

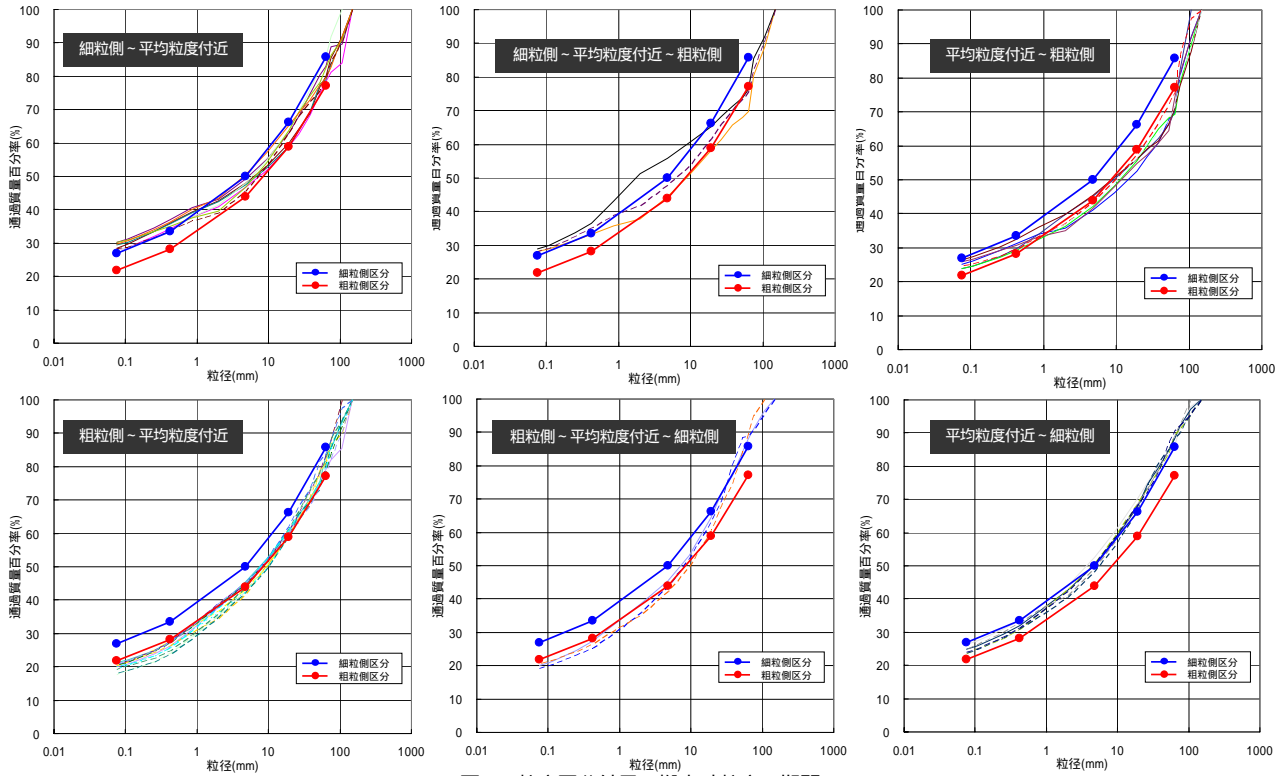


図-24 粒度区分結果 (搬出時粒度, 期間)

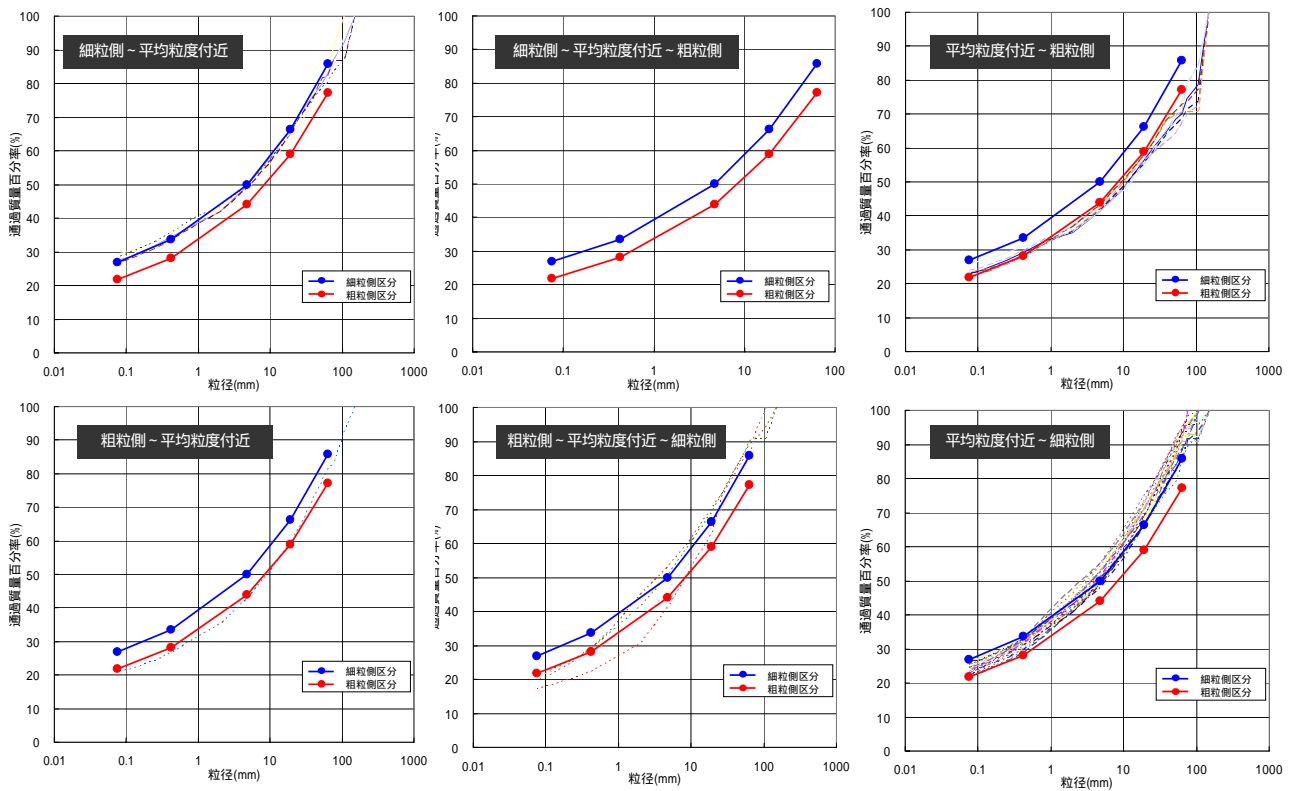


図-25 粒度区分結果 (盛立面粒度, 期間)

4.2 品質管理試験結果

4.2.1 搬出時粒度区分による分析

図-26、28 に、締固め後の盛立面における含水比（以下、「盛立面含水比」）と乾燥密度（以下、「盛立面乾燥密度」）の相関図を期間、期間 それぞれ示す。また、図-27、29 には、盛立面含水比と盛立面における現場透水係数（以下、「盛立面透水係数」）の相関図を期間、期間 それぞれ示す。なお、ここで定義した用語は、一般的に施工含水比、現場密度、現場透水係数⁶⁾とそれぞれ対応するが、試験箇所である「盛立面」を「搬出時」に対して明確にするため、このように定義した。

“細粒側”、“平均粒度付近”、“粗粒側”、“その他”の区分は、試験が行われた材料の搬出時粒度区分を示している。また、同図には設計時にエネルギーを変えて室内で行った突固めによる締固め試験結果を併せて示す。

図-26、28 より、盛立面含水比に対する盛立面乾燥

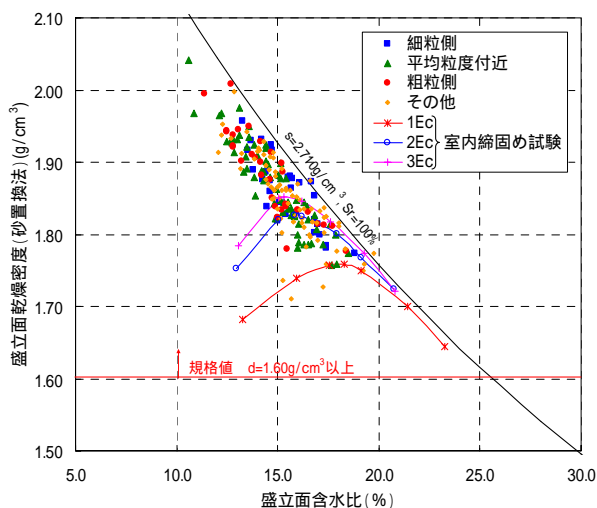


図-26 盛立面含水比 - 盛立面乾燥密度
(搬出時粒度, 期間)

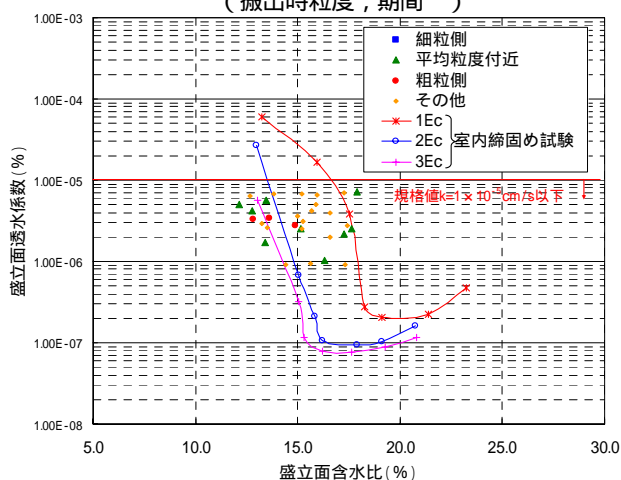


図-27 盛立面含水比 - 盛立面透水係数
(搬出時粒度, 期間)

密度は、期間、期間ともに強い相関を示している。しかし、搬出粒度区分による明確な分布の差はみられない。これは、搬出時の粒度試験は1回/日の頻度で実施しており、その日に搬出した材料全体を代表していない可能性があること、運搬時や締固め時における破砕により粒度が変化したことが理由として考えられる。

図-27、29 より、盛立面含水比と盛立面透水係数については、明確な相関はみられない。また、搬出時粒度区分ごとの分布も明確な差みられない。

4.2.2 盛立面粒度区分による分析

盛立面含水比と盛立面乾燥密度および盛立面含水比と盛立面透水係数の相関図について、盛立面粒度区分により分析を行う。なお、盛立面粒度を求める粒度試験は、現場密度試験、現場透水試験を行った試験孔から採取した試料により行われており、含水比試験も同じ試料で行われている。

図-30~33 に期間、期間における盛立面粒度区分ごとの、盛立面含水比と盛立面乾燥密度および盛立面透水

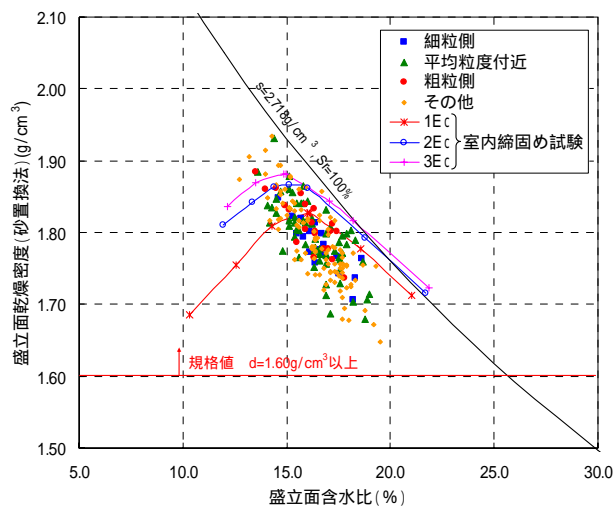


図-28 盛立面含水比 - 盛立面乾燥密度
(搬出時粒度, 期間)

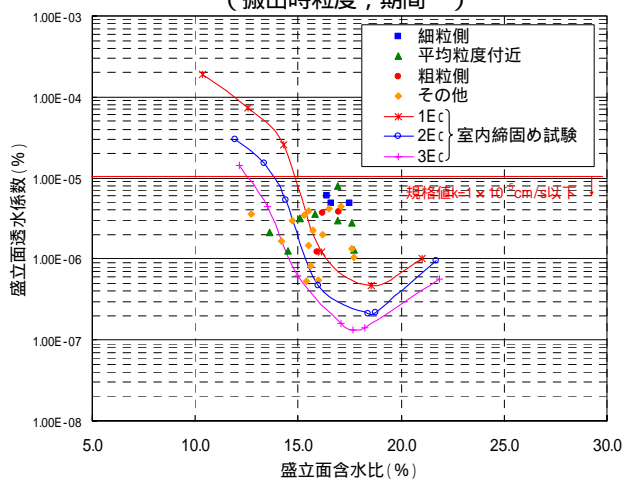


図-29 盛立面含水比 - 盛立面透水係数
(搬出時粒度, 期間)

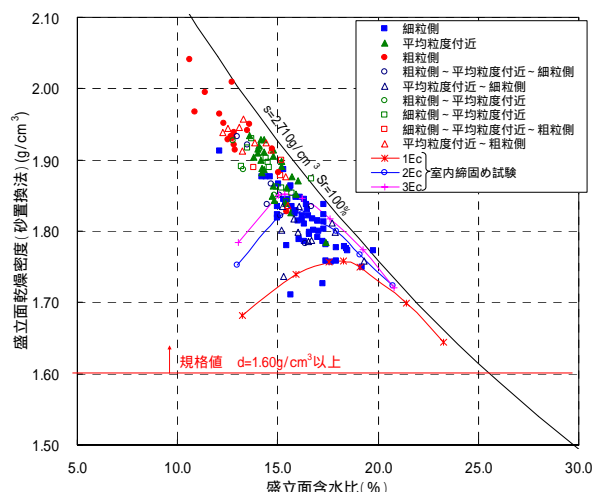


図-30 盛立面含水比 - 盛立面乾燥密度
(盛立面粒度“その他”再区分, 期間)

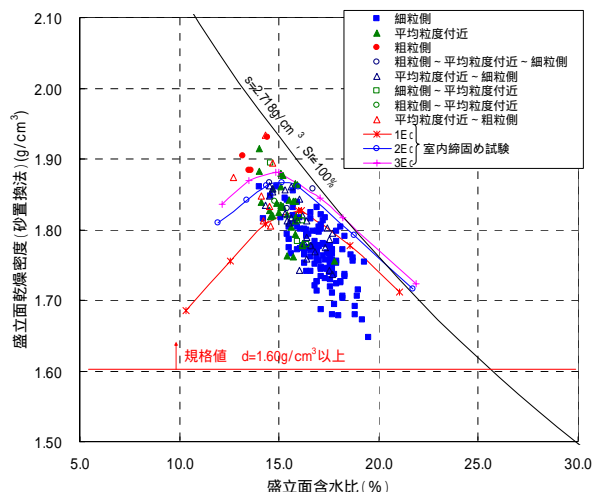


図-32 盛立面含水比 - 盛立面乾燥密度
(盛立面粒度“その他”再区分, 期間)

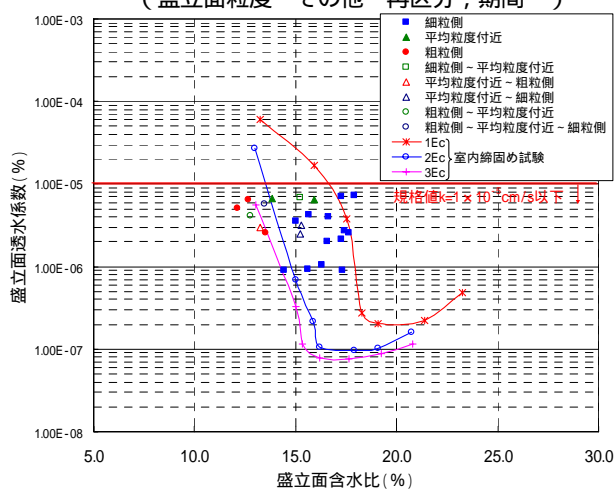


図-31 盛立面含水比 - 盛立面透水係数
(盛立面粒度“その他”再区分, 期間)

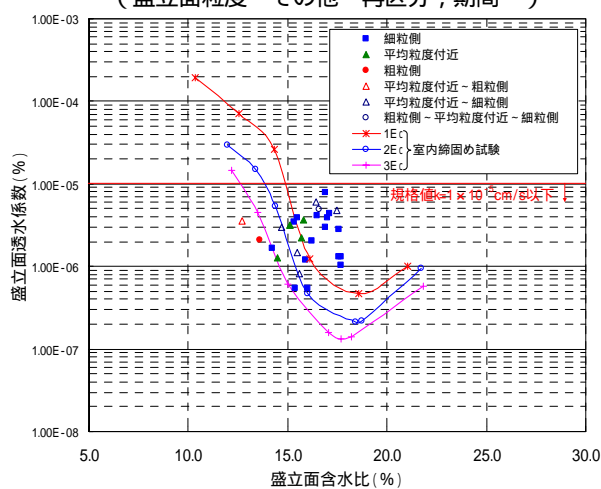


図-33 盛立面含水比 - 盛立面透水係数
(盛立面粒度“その他”再区分, 期間)

係数の関係を示す。

図-30、32 より、盛立面含水比に対する盛立面乾燥密度について、まず、“細粒側”、“平均粒度付近”、“粗粒側”の3区分に着目すると、盛立面粒度区分により明確な分布の差がみられ、盛立面乾燥密度の分布が大きい順に“粗粒側”、“平均粒度付近”、“細粒側”となっている。

次に、3つの区分に明確な差がみられたことから、6つに再区分した“その他”の分布に着目する。図-30、32 より、再区分結果にも明確な分布の差がみられ、その大小は、“細粒側～平均粒度付近～粗粒側”と“平均粒度付近～粗粒側”の分布が一番大きく、“粗粒側～平均粒度付近”と“細粒側～平均粒度付近”、“粗粒側～平均粒度付近～細粒側”と“平均粒度付近～細粒側”の順に小さくなっている。“粗粒側”、“平均粒度付近”、“細粒側”の分布も併せて考えると、粗粒分の含有率が大きい区分ほど、盛立面乾燥密度が大きい傾向がみられる。

図-31、33 より、盛立面含水比に対する盛立面透水係数についても、“細粒側”、“平均粒度付近”、“粗粒側”の3区分に着目すると、盛立面粒度区分により分布範囲の差がみられる。

次に、6つに再区分した“その他”の分布に着目する。図-31、33 より、サンプル数が少ないため分布の差の有無を判断することは難しいが、“粗粒側”、“平均粒度付近”、“細粒側”の分布も併せて考えると、細粒分の含有率が大きい区分ほど盛立面透水係数の分布が小さい傾向がみられる。

これらの傾向は、粒度が異なる材料における一般的な締固め特性の傾向と一致している。

4.3 品質管理試験データ分析のまとめ

3章で整理したように ICT 施工の導入により、施工データが記録されることで、各層の施工プロセス管理の確実性が向上し、締固めエネルギーが担保される。この前提に基づき、実際に ICT 施工を導入した殿ダムの品質管理試験結果を図-30～図-33 のように整理する

ことで、盛立面粒度、盛立面含水比と品質管理対象である盛立面乾燥密度、盛立面透水係数の関係が明確になった。

従来の品質管理方法は盛立面乾燥密度や盛立面透水係数などの品質管理項目について試験を行い、それらの結果について個々に経時変化図、ヒストグラム等により管理している⁶⁾。この手法は工事期間中の材料変化や、全期間を通じての品質のバラツキを確認することはできるものの、粒度、含水比等の盛立条件と盛立品質との因果関係を示すものではない。

一方、本研究で検討した手法は盛立条件と締固め後の盛立品質の因果関係を明確に管理するものとなっている。このため、品質管理の際には試験値のバラツキの範囲を十分カバーできる程度の量が確保された時点で図-30～図-33 ように整理し、盛立品質である乾燥密度、透水係数と盛立面粒度、盛立面含水比の分布傾向を分析する。この分析結果に基づき、盛立面粒度、盛立面含水比といった盛立条件の確認に重点をおくことで、現場での品質管理試験を減じることが可能になると考えられる。

さらに、搬出時粒度と盛立品質の関係が明確であれば、搬出時粒度から、盛立品質が比較的低下する可能性があることが予想される場合には締固め後の試験頻度を増やす等、適切な重み付けをした柔軟な品質管理が可能となる。しかし、図-26～図-29 のように、搬出時粒度の区分と盛立面乾燥密度、盛立面透水係数の関係を明確に示すことはできなかった。この要因は前述したとおり、搬出時粒度の試験結果の代表性の問題や、運搬時、締固め時の破碎による細粒化にあると考えられる。

5. おわりに

平成 23 年度は、まず品質管理試験の頻度について、ダム竣工年度ごとの整理を行い、経年的傾向の分析を行った。また、ロックフィルダムである殿ダムと胆沢ダムにおける ICT 施工の概要と導入によるメリットについて整理した。これらを踏まえ、ICT 施工が導入された殿ダムの品質管理試験データを用い、搬出時および盛立面での粒度試験結果を区分し、締固め後の試験結果との関係を分析することにより、材料粒度のより精緻な管理が盛立品質へ与える効果について検討を行った。以下に、その結果をまとめる。

(1) ロックフィルダムのコア材、フィルタ材、ロック材それぞれで行われる現場密度試験と現場透水試験について、試験頻度と竣工時期の関係につい

て調査を行った。その結果、全ての試験においてダムの竣工時期による試験頻度の増減傾向は特にみられない。

- (2) 殿ダムおよび胆沢ダムの本体工事では、材料積み込み、運搬、荷下ろし、まき出し、締固め、仕上り厚管理等の一連の作業に ICT 技術を導入することにより、施工データを記録することで、施工プロセス管理の確実性が向上している。
- (3) 盛立面粒度区分による分析により、粒度を区分することで、盛立面含水比に対する盛立面乾燥密度、盛立面透水係数の分布は明確に差が現れることが明らかになった。従って、ICT 施工によって施工プロセス、締固めエネルギーの確実性を向上させ、盛立材料の粒度管理および含水比管理に重点をおくことで、現場での品質管理試験の頻度を減じることができる可能性があることを示した。

今後の研究においては、搬出時粒度と盛立面粒度の関係を詳細に分析することで、搬出時における粒度の取扱いについて検討を行う。また、ダム現場において試験施工、品質管理試験を実施し、締固め含水比が盛立品質への影響を確認する。さらに、施工効率を向上させる妨げとなっている現場密度試験（置換法）や現場透水試験に代わる簡易・迅速試験法を導入するための検討を行う。これらの検討と今年度の検討結果を踏まえ、合理的な品質管理基準の設定方法を検討し、ICT 施工を活用したロックフィルダムの施工管理方法を提案する。

参考文献

- 1) 情報化施工推進会議：情報化施工推進戦略，2008 年 7 月。
- 2) 国土交通省：TS・GNSS を用いた盛土の締固め管理要領，2012 年 3 月。
- 3) (独)土木研究所水工研究グループ水工構造物チーム：ダムにおける情報化施工の現状と今後の展開，ダム技術 No.297,pp104~106,2011 年 6 月。
- 4) 日下部雅史,後藤誠志,山田啓一,紫藤勝也,伊藤文夫：殿ダム本体工事における情報化施工の導入,ダム技術 No.301,pp79~88,2011 年 10 月。
- 5) 佐々木秀明,佐々木健一：胆沢ダムにおける IT 土工管理システムの活用状況,ダム技術 No.260,pp43~49,2008 年 5 月
- 6) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 第 6 巻施工編，pp.254~255, 2005 年 6 月。

RESEARCH ON RATIONALIZATION OF CONSTRUCTION MANAGEMENT OF ROCKFILL DAMS USING ICT CONSTRUCTION

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2013

Research Team : Hydraulic Engineering Research Group
(Dam and Appurtenant Structure
Research Team)

Author : YAMAGUCHI Yoshikazu

SATOH Hiroyuki

SAKAMOTO Hiroki

Abstract : In the public works in Japan, introduction of ICT construction is promoted for the purpose of the increase in efficiency of construction, improvement in accuracy and rationalization of quality control. Since the quality level required for a rockfill dam is higher than that of other earth structures, rationalizations of quality control using ICT construction have not been achieved yet. Since budget for public works including dams has been reduced because of the financial situation, the rationalization using ICT is an important issue which must be promoted. The certainty of construction process management can be improved using ICT construction. In addition, if we control grain size distribution and water content of embankment materials more appropriately using ICT, we can propose a new quality control method which can reduce the frequency of in-situ tests.

In fiscal year 2011, we investigated the frequency of quality control tests in execution of existing dams. We collected quality control data of rockfill dams where ICT construction was used, and from the analysis using those data we revealed the effects of grain size distributions on quality control test results.

Key words : rockfill dam, ICT construction, rationalization of quality control, grain size distribution.