

殿ダムにおける ICT 情報化施工技術の導入

日下 雅史・後藤 誠志・山田 啓一

殿ダム建設事業は、2011年3月3日に試験湛水を開始し、同年4月25日には試験湛水が完了したところであるが、2007年7月の出水においては、河川付替部の水路および工事用道路が損傷し、約3ヶ月間の本体工事の遅延が発生した。このような工期短縮努力の必要な状況の中、効率的な施工と安定した品質を確保するため、盛立工における施工監理として情報化施工技術（以下、「ICT 技術」という。）を導入し、施工監督体制の強化を図ることとした。

本論文は、殿ダム本体工事における ICT 技術の導入効果並びに ICT 技術を導入することによる施工監督体制の強化及び現地試験頻度の低減について検討したものを報告するものである。

キーワード：情報化施工，ICT，施工監理

1. はじめに

殿ダムは、鳥取県東部を流れる千代川水系袋川上流、鳥取市国府町殿地先に建設を進めている、堤高 75 m、堤体積約 200 万 m³、総貯水容量 1,240 万 m³ の中国地方整備局管内では直轄初となるロックフィルダムである。

殿ダム建設事業では、2010年10月22日にダム堤体の盛立工が完了、2011年3月3日に試験湛水を開始した。同年4月5日に貯水位が目標最高水位 194.50 m に到達（写真一1）、4月25日には試験湛水を完了し、ダム堤体及び貯水池の安全性を確認したところだが、2007年7月には、殿ダム流域において累加雨量 185 mm の降雨があり、これに伴う出水により河川付替部の水路および工事用道路が損傷した。

このため、水路および工事用道路の復旧工事が必要となり、約3ヶ月の本体工事の遅延が発生した。

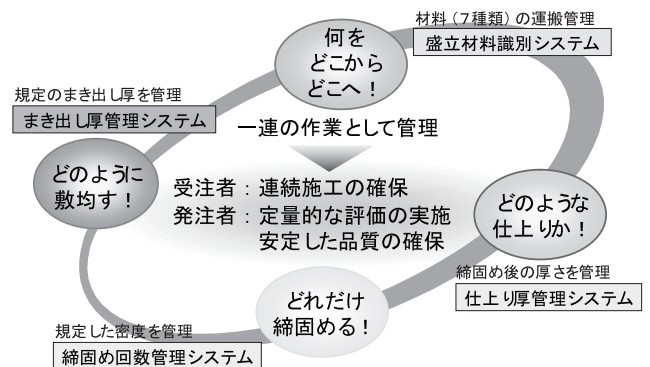
このような状況の中、従来の盛立工における点的な締固め管理や厚さ管理では、確認頻度が少ないうえに現場試験作業による施工の一時中断を余儀なくされ、工期をさらに圧迫する危険性があった。

また、夜間施工の実施等により、工期短縮を図っていきたいところだが、殿ダム工事事務所では、本体工事に携わる技術系職員数が他の直轄ダム工事事務所の職員数と比較すると約 1/3 と少なく、少人数で監督、検査を実施していくのは困難な状況であった。

これらのことから、盛立工の施工監理にて ICT 技術を導入し、材料運搬管理、締固め管理、厚さ管理を一連の作業として管理（図一1）することにより、発注者として定量的な評価を行い、安定した品質を確保し、証明することが可能となり、監督職員の立会確認などの負担を低減した施工監督体制の確立を図ることとした。



写真一1 目標最高水位到達時の殿ダム堤体および洪水吐き減勢部（カスケード型減勢方式）を流れ出る様子



図一1 導入した ICT 技術

2. 導入した ICT 技術の概要及びメリット

殿ダム本体工事へ導入することとした ICT 技術の概要及びメリットは以下のとおりである。

(1) 盛立材料識別システム (GPS 方式)

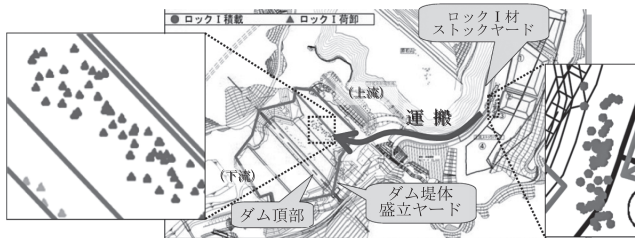
現場内にて盛立材料を運搬する各ダンプに GPS 端末 (写真一2) を搭載し、積込み、荷下ろしの際に運搬材料により決められたボタン区分に従い GPS 端末のボタン操作を行うことによって、積込み及び荷下ろし場所 (座標) と時刻が記録される。

記録されたデータをもとに、帳票 (図一2) を作成することで、所定のゾーンに適切な材料が運搬されていることの確認が可能となる。

帳票において、右側の丸印がロック I 材のダンプへの積込み場所、左側の三角印が荷下ろし場所となっている。このように、システムを導入することで、適確な材料が適確な場所で使用されていることの証明が可能となり、荷下ろしされた材料の積込み場所を特定できることによる盛立材料のトレーサビリティの確保にもつながる。



写真一2 盛立材料識別システム GPS 端末 (イチしるべ)



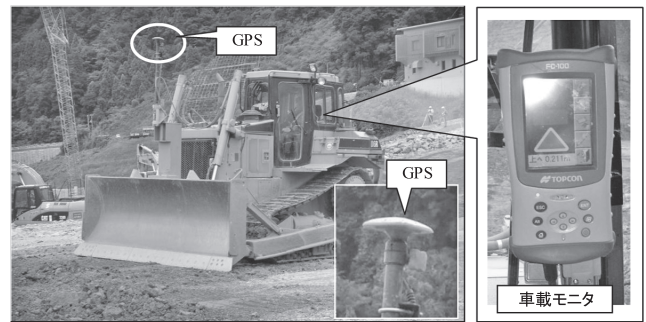
図一2 盛立材料識別システム 帳票

なお、殿ダムにおいては、コア、フィルター、ロック I、ロック I'、ロック II、トランジション、リップラップ及びランダムゾーンと計 8 種類の材料を図一3のとおりゾーニングしており、混在する材料の確実な運搬を把握することが不可欠である。

(2) 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のブレード部に GPS (写真一3) 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現在のブレードの高さの差を表示することができる。

これにより、オペレータはブルドーザを前後させながら、車載モニタに表示されるガイダンスに従いブレードを上下するだけでまき出し作業が実施できるため、丁張りの設置をしなくても所定のまき出し高さで施工が可能となり、さらには、丁張りを設置する時間が省略されるのでまき出し作業の効率も向上する。

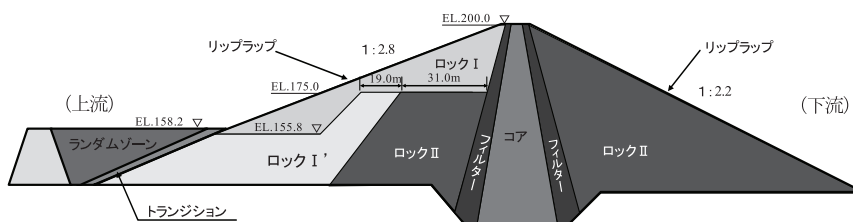


写真一3 まき出し作業状況

(3) 締固め回数管理システム

振動ローラに GPS (写真一4) 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。

車載モニタの画面上の中央部に着色 (赤色) されている箇所については、締固め回数が満足している箇所となっている。このように、オペレータは車載モニタにて締固め回数をリアルタイムに確認しながら施工ができるため、転圧のもれがなく、正確な施工が可能となる。



図一3 殿ダム盛立材料ゾーニング (標準断面図)

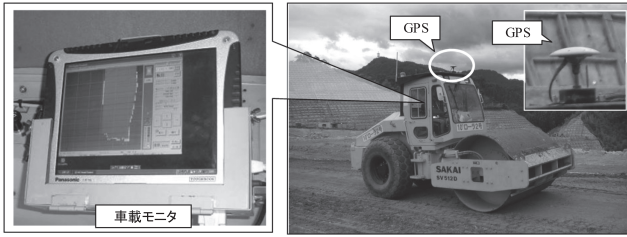


写真-4 締固め作業状況

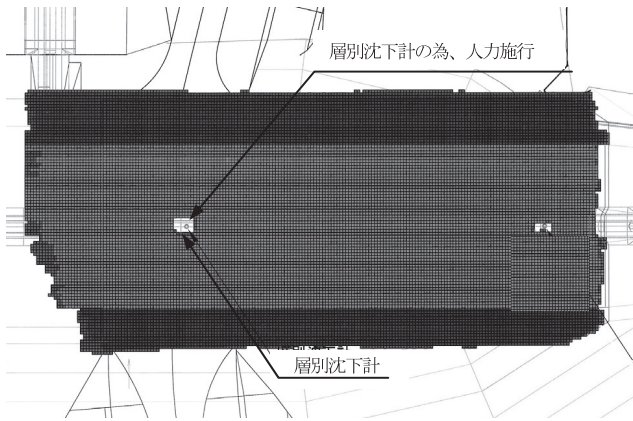


図-4 締固め回数管理システム 帳票

締固め施工後は、締固め回数についてシステムの出力帳票（図-4）をチェックすることで、規定通りの施工かどうか確認できる。

帳票において、上側及び下側の着色（青色）されている箇所はフィルター材で転圧回数が6回以上、中央部の着色（茶色）されている箇所はコア材で転圧回数が6回以上、その他の着色（赤色）されている箇所は転圧回数が6回未満となっている。このような出力帳票をチェックすることで、面的な管理が実施でき、従来のある一点での現地試験による締固め管理よりも、締固め品質の均一性を確認できる。

また、全層における締固め回数がデータとして記録されるため、各層で規定通りの施工がされたことを証明することができる。

(4) 仕上り厚管理システム

(3) で述べた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、仕上り厚について、システムの出力帳票（図-5）をチェックすることで規定通りの施工かどうか確認できる。

帳票において、柵目の色の違いで層厚を、350 mm 以上（赤色）、250 mm から 350 mm（青色）、250 mm 未満（橙色）の3パターンで表示している。このような出力帳票をチェックすることで、仕上り厚の面的な管理が実施でき、さらには、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。

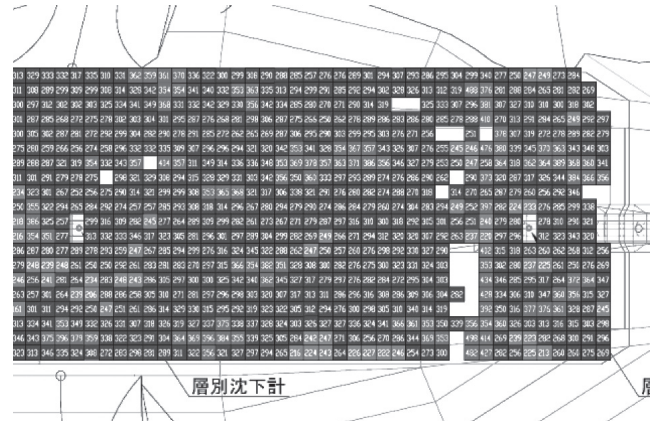


図-5 仕上り厚管理システム 帳票

また、全層における仕上り厚がデータとして記録されるため、各層の盛立において規定の仕上り厚で施工されたことを証明することができる。

(5) フィルター材運搬ダンプ運行管理システム

殿ダムでは、使用するフィルター材約16万m³を岡山県水島港から船積みにて鳥取港へ運搬し、その後、ダム建設現場へ陸送する必要がある。

本システムでは、現場外にてフィルター材を運搬するダンプにGPS機器を搭載し、管理局に設置したパソコンにてリアルタイムにダンプの運行位置が確認できる。

また、ダンプに搭載したモニタへは、管理局からの緊急連絡のメッセージを一齐送信することが可能であり、運転手へ迅速に連絡することができる。

図-6では、パソコン上でのダンプ運行位置表示

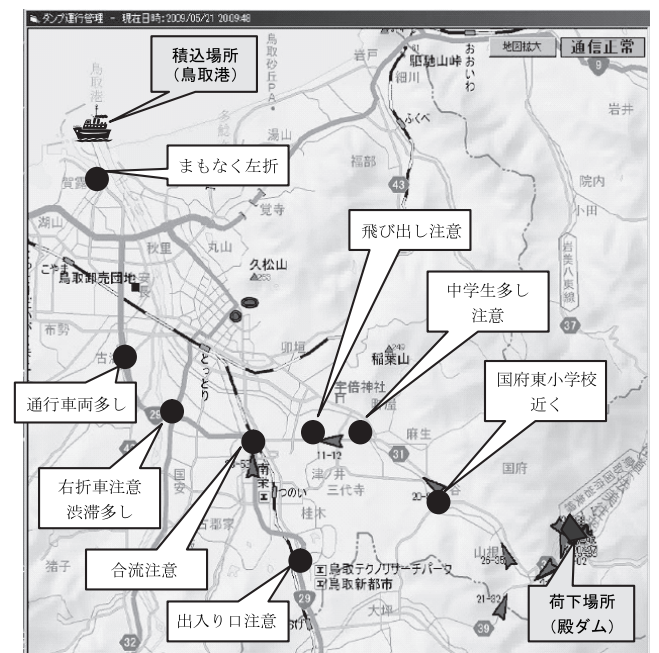


図-6 フィルター材運搬ダンプ運行管理システム ダンプ運行位置表示イメージ

イメージを示す。矢印がダンプの運行位置を示しており、ダンプの運行ルートや運行間隔などを随時確認できるため、安全上最適であると決めたルートを走行しているか、複数のダンプが接近して走行していないかなど、リアルタイムに確認し、対処することで、渋滞などの社会的影響を緩和させることができる。また、緊急連絡の必要な際には、多いときには一日約30台ものダンプに対して、車載モニタへメッセージを一斉送信することができるため、安全運行への迅速な周知が可能となった。

また、図-6における丸印の要注意箇所付近を走行する際には、「中学生多し注意」や「出入り口注意」など、計8箇所音声通知を行い、繰り返し注意喚起を行うことで、交通事故防止に効果があったと思われる。

さらに、現場内に設置したトラックスケールと連動して、各ダンプの積載量が把握可能であるため、過積載の未然防止や各材料のストック量の管理が容易となった。

3. ICT 技術導入効果

このように、導入したICT技術には各々のメリットがあるが、関連した一連の作業としてICT技術を導入したことにより得られた効果としては以下のとおりである。

(1) 品質及び出来形の証明

盛立材料識別システム、まき出し厚管理システム、締固め回数管理システム及び仕上り厚管理システムを同時に導入し、活用することで、材料積込み、運搬、荷下ろし、まき出し、締固め、仕上り厚管理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る。

これにより、手抜き工事の防止に加え、従来の抜き取り検査に比べ、面的に全数のデータが取得できるため、確実な品質及び出来形保証となった。

(2) 監視の負担低減

得られた施工データを基に帳票を作成し、材料の運搬、締固め等の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させ、監視の負担低減が可能となった。

なお、夜間施工時においても昼間と同様に施工データが記録され、事後にシステムの帳票をチェックすることが可能となったため、少ない監督職員数であっても、監督職員に対して無理のない施工監理が可能となった。

4. システムの課題とその対策

ICT技術には様々な効果が見受けられたが、課題もある。課題とその対策について以下に示す。

(1) まき出し厚精度の向上

まき出し厚管理システムにおいて、施工するまき出し厚の精度により、仕上り厚に大きな影響を与えることが考えられる。

この対策としては、高さ精度を向上させたmmGPSを使用するなどしてまき出し厚管理を強化することで、仕上り厚の精度向上が期待できる。

(2) データセキュリティーの確保

盛立材料識別システム、締固め回数管理システム、仕上り厚管理システムに共通する課題としては、データやシステムソフトの改ざんが考えられる。

データ改ざんの対策としては、発注者としてもリアルタイムにデータを入手することで受注者とのデータの比較が可能となり、データセキュリティーの確保につながる。

また、システムソフトの改ざんの対策としては、第三者によるインスペクター（検査・監査）を確保し、システムソフトの信頼性を証明する必要がある。

5. 現場試験の実施頻度低減

ICT技術導入により、ダム建設現場での現場密度等の試験を軽減し、施工管理が簡略化されれば、現場試験による盛立作業の中断が減少し、さらなる工期の短縮や監督職員の負担低減につながる。

そこで、ICT技術施工により現場試験の実施頻度の低減が可能であるか、現場試験結果を収集、分析し、これらICT技術の有効性を検証することとした。

検証はコア材の現場密度試験結果について行った。

なお、コア材の品質規格は、「最大乾燥密度 γ_{dmax} (-37.5 mm) の95%以上かつ乾燥密度 $\gamma_d=1.60 \text{ t/m}^3$ 」であり、「最大乾燥密度 γ_{dmax} (-37.5mm) の95%以上」とは締固め度D値（現場試験による乾燥密度/室内試験による最大乾燥密度）が95%以上、つまり、材料が間隙なく確実に締固め出来ているかということ、「乾燥密度 $\gamma_d=1.60 \text{ t/m}^3$ 」とは堤体の設計密度を満足しているかということを規程している。

そこで、それぞれの規格値に対して、施工後の現場密度試験の結果を用いてヒストグラムを作成し、分析を行った。

分析を行うにあたっては、式(1)で定義する「規格値満足度」により試験結果が規格値を外れる確率が十分に小さいか確認し、現場試験の実施頻度が低減可能であるか判断することとした。規格値満足度が1で規格値を外れる確率はおよそ16%，2でおよそ2.3%，3でおよそ0%と判断する¹⁾(図—7)。

規格値満足度 (片側規格)

$$= (\text{平均値} - \text{規格値}) / \text{標準偏差} \quad (1)$$

(1) $\gamma_{d,max}$ の95%以上 (D値95%以上) に対する分析結果

殿ダムにおけるコア材は、細粒材及び粗粒材をブレンドして生成しており、粗粒材として使用している材料に堤体掘削ズリ及び原石山からの採取材料の2種類があり材料が異なるため、 $\gamma_{d,max}$ も異なる。そこで、ヒストグラムは粗粒材が堤体掘削ズリの場合および原石山からの採取材料の場合でそれぞれ作成した(図—8)。

図—8において、規格値を下回る試験結果はなく、どの材料においても間隙なく確実な締固めが施工でき

ていることが確認できた。また、規格値満足度について評価すると、規格値を外れる確率は概ね0%と判断出来る。

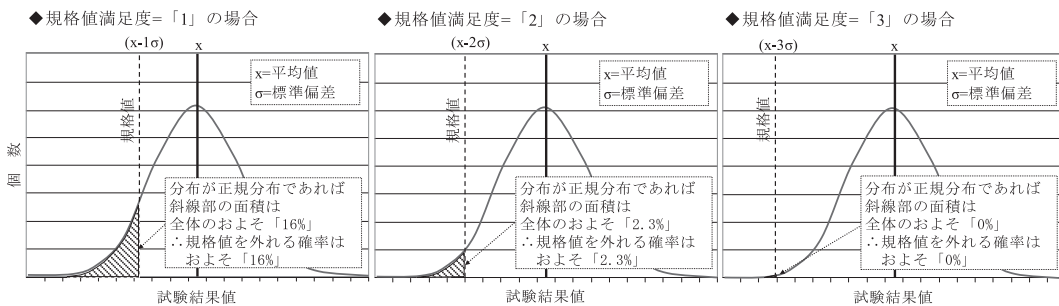
(2) $\gamma_d=1.60\text{t/m}^3$ に対する分析結果

図—9において、規格値を下回る試験結果はなく、殿ダムのコアに求められる設計強度に必要な密度に対して十分に余裕があり、さらに設計密度を下回る確率は概ね0%であることが確認できた。

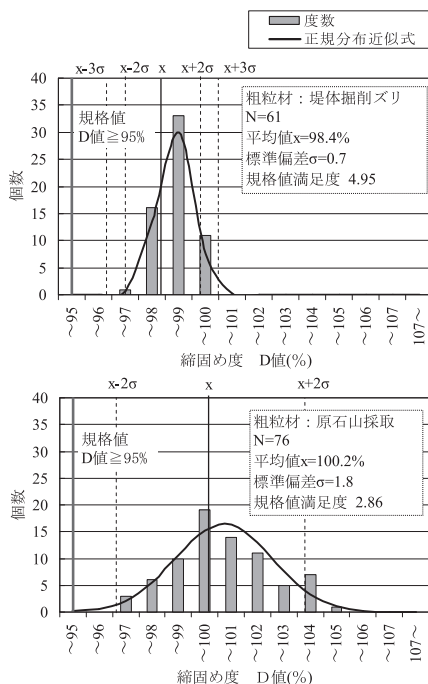
(3) 現場密度試験の実施頻度低減についての評価

以上の結果から、ICT技術施工により安定した品質が確保されており、設計密度を下回る確率は小さいことが確認できたため、従来の現場試験の実施頻度を低減可能であると考えられる。

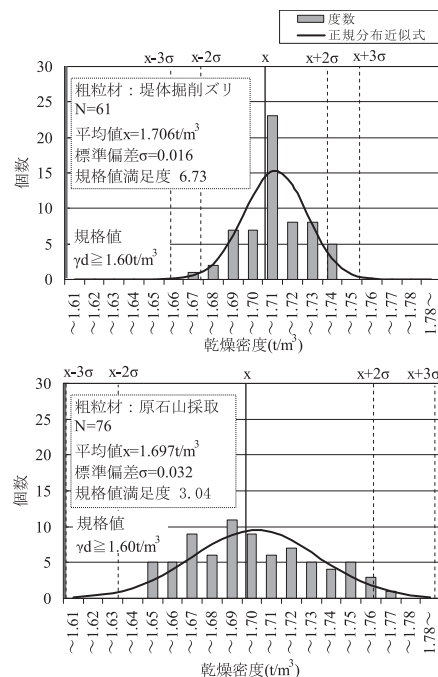
しかし、粗粒材料が原石山からの採取材料の場合のD値においては、規格値を外れる可能性は極めて小さいながらも、現場試験の実施頻度低減については慎重に検討すべきであると考えられる。



図—7 「規格値満足度」と「規格値を外れる確率」



図—8 コア現場密度試験結果 ヒストグラム (規格値：D値=95%以上)



図—9 コア現場密度試験結果 ヒストグラム (規格値： $\gamma_d=1.6\text{t/m}^3$ 以上)

6. 現場試験頻度低減に向けての運用ルール検討

分析の結果、規格値を外れる確率は概ね0%であったが、盛立を開始した当初の時点で現場試験結果が規格値を下回る確率が小さかったとしても、現場試験を継続して実施した結果、試験結果のばらつきが大きくなってしまふこと等により、規格値を下回る確率が小さいとはいえないものとなることもあり得る。

このように、現場試験の実施頻度については、「低減してよい」という状況と「低減するべきではない(もとの頻度に戻す)」という状況が発生すると考えられるため、現場試験の実施頻度を低減する場合の低減度合いを定める基準や、実施頻度をもとに戻す場合の切替え基準といった運用ルールを検討した。

(1) JISの品質管理についての考え方

JIS Z 9015「計数値検査に対する抜取検査手順」^{2),3)}において、「ゆるい検査」および「スキップロット方式」という抜取検査方式が記述されている。

「ゆるい検査」とは、通常の検査よりもサンプルサイズを小さくし実施する検査である。

「スキップロット方式」とは、検査1回ごとのサンプルサイズは減らさずに検査予定のロットについて検査するかしないかを検査実績の良否に応じて決める抜取検査方式となっている。

(2) 殿ダムに適した現場試験の実施頻度低減方式

殿ダムにおける現場密度試験は、1回につき3孔にて砂置換法を実施しており、「ゆるい検査」を行うとすれば、通常3孔での試験を2孔または1孔に減らすこととなり、試験に要する工数は低減出来るが試験に要する時間はあまり低減することはなく、工期短縮に繋がらない。

一方、「スキップロット方式」を行うとすれば、通常よりも試験回数を減らすことになり、試験実施のための手持ち時間を削減でき工期短縮が期待できる(図-10)。

そこで、現場試験の実施頻度低減にあたっては、スキップロット方式を採用し、運用ルールを検討することとした。

(3) 運用ルール(案)の提案

スキップロット方式を活用する場合、現場試験の低減回数はこれまでの試験実績が良好であればあるほど低減回数を大きくして良いことになる。

そこで、試験実績の良好さの程度として、式(1)の規格値満足度によって判定することとし、規格値満足度に対する判定内容の案を作成した(表-1)。

なお、式(1)を適用し、規格値満足度を計算する対象は、同様の材料を使用して同様の製造管理を行った材料の試験結果であり、材料の採取地が異なったり、製造方法が異なる場合には、別種類の材料として別に

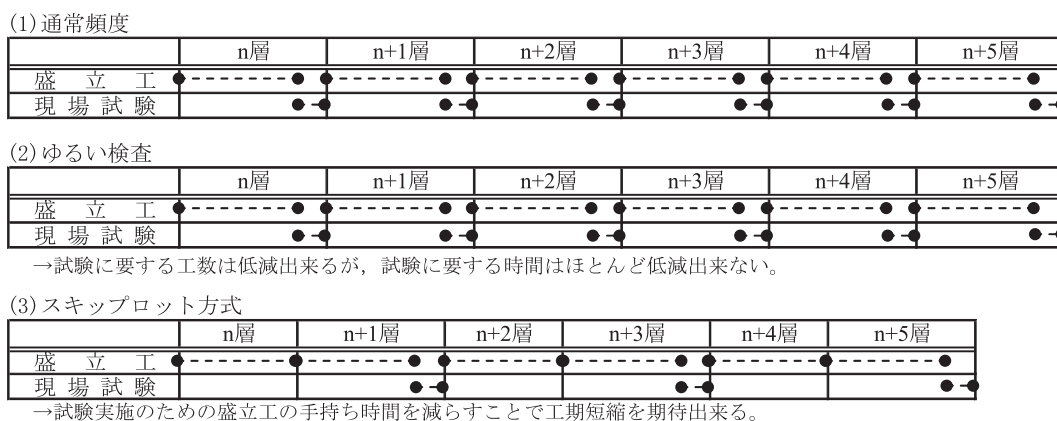


図-10 各抜取検査方式での現場試験の実施頻度低減による工期短縮

表-1 試験結果の規格値満足度に対する判定内容(案)

規格値満足度	規格値を外れる確率 (正規分布の場合)	実施頻度低減の判定	判定を採用するための条件 ^{*1}
0以下	50%以上	不可	-
0以上1未満	16%以上50%以下		
1以上2未満	2.3%以上16%以下		
2以上3未満	0.1%以上2.3%以下	通常の1/2に低減可	試験結果の度数分布が「規格値を下回る確率が2.3%以下」を保証できること ^{**2}
3以上	ほぼ0%	通常の1/3に低減可	試験結果の度数分布が正規分布的な形状をしていること

*1: 本条件を満足できない場合は「実施頻度低減の判定」を1ランク下げる。

*2: 試験結果の度数分布が正規分布と同等以上の形状であれば、「規格値を下回る確率が2.3%以下」が保証される。正規分布と同等以上の形状であるためには、試験結果について歪度、尖度を計算し、歪度が正規分布よりも右側に偏っていること、尖度が正規分布よりも尖っていることが必要。

計算することとする。殿ダムのコア材についても、粗粒材の採取地が異なるため、両者を別々に評価することとなる。

規格値満足度に対する判定内容に従って作成した運用ルール（案）を図-11に示す。本運用ルール（案）では、まず、統計的に判断するのに十分な数のデータを蓄積し、規格値満足度を算出し、現場試験をどの程度低減できるか判定していく。例えば規格値満足度が3だった場合、現場試験は通常の1/3として実施し、その後の現場試験の結果も加えて再度規格値満足度を算出し、判定を繰り返していく。

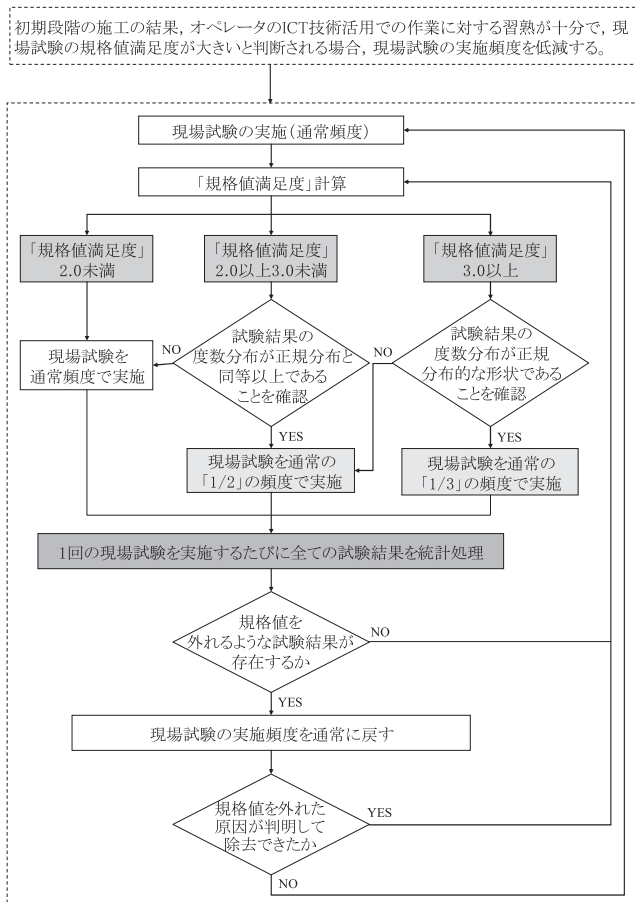


図-11 現場試験実施頻度低減の運用ルール（案）

(4) 殿ダムにおける試験頻度低減回数シミュレーション

作成した運用ルール（案）に従い、殿ダムのコア材における現場試験の実施頻度低減回数についてシミュレーションを行った。

その結果、粗粒材が原石山採取材料の場合には、低減するのは難しい結果となったが、粗粒材が堤体掘削ズリの場合においては、試験回数61回のうち14回の現場試験の低減が可能であり、おおむね1/4の試験を省略できるという結果となった。

7. おわりに

ICT 技術を材料の運搬管理、締固め管理、厚さ管理といった一連の作業として導入することで、面的に全数のデータ取得ができ確実な出来形保証および安定した品質の確保が可能となる。

さらに、安定した品質が確保できることにより、作成した運用ルール（案）に従って現場試験の実施頻度を低減可能であると考えられるため、工期短縮へも期待ができる。

殿ダムにおける ICT 技術の活用結果が、従来の「性能（品質・出来高）規程」によるスポット的な性能の確認から、ICT 技術を活用し施工プロセスデータを全量確認することで求める性能を得る「施工仕様規程」へと、発注者自らが公共事業の施工監理のあり方を見直す引き金となれば、ICT 技術の普及が加速し、コスト削減、効果の早期発現等の社会的要求や、品質重視、競争力重視等の発注環境の変化など、昨今の建設業界をとりまく課題を解決する一助となるのではないかと考えている。

本報告により、請負者のみならず発注者サイドにおいても ICT 技術は高い導入効果があることをご理解いただき、ICT 技術の普及促進の手助けとなれば幸いです。

JICMA

《参考文献》

- 1) 鐵 健司：品質管理のための統計的方法入門
- 2) 日本工業規格：JIS Z 9015-0 計数值検査に対する抜取検査手順 第0部 抜取検査システム序論 3.15 ゆるい検査
- 3) 日本工業規格：JIS Z 9015-3 計数值検査に対する抜取検査手順 第3部 スキップロット抜取検査手順

【筆者紹介】



日下 雅史（くさか まさし）
国土交通省 中国地方整備局
殿ダム工事事務所 調査品質確保課
国土交通技官



後藤 誠志（ごとう せいし）
国土交通省 中国地方整備局
河川部
建設専門官



山田 啓一（やまだ けいいち）
国土交通省 中国地方整備局
殿ダム工事事務所
事務所長