

殿ダム本体工事における情報化施工技術の導入

日下 雅史¹・米田 昌史²・下山 茂³・後藤 誠志⁴・山田 啓一⁵

^{1,2,3}中国地方整備局 殿ダム工事事務所 調査・品質確保課 (〒680-0151 鳥取県鳥取市国府町宮下1221番地)

⁴中国地方整備局 殿ダム工事事務所 工務課 (〒680-0151 鳥取県鳥取市国府町宮下1221番地)

⁵中国地方整備局 殿ダム工事事務所 (〒680-0151 鳥取県鳥取市国府町宮下1221番地)

現在、殿ダム事業では、平成22年度（2010年度）中の試験湛水開始に向けて本格的な盛立工を施工する最盛期であるが、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、効率的な施工と高い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75m、堤体積約200万 m^3 、総貯水容量1,240万 m^3 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す。

現在、平成22年度（2010年度）中の試験湛水開始に向けて本格的な盛立工を鋭意施工中（写真-1）ですが、2007年7月には、殿ダム流域において累加雨量185mm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ました。

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ました。



写真-1 盛立工施工状況

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りました。

また、夜間施工の実施等により、工期短縮を図ってきたいところですが、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した。

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-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ました。

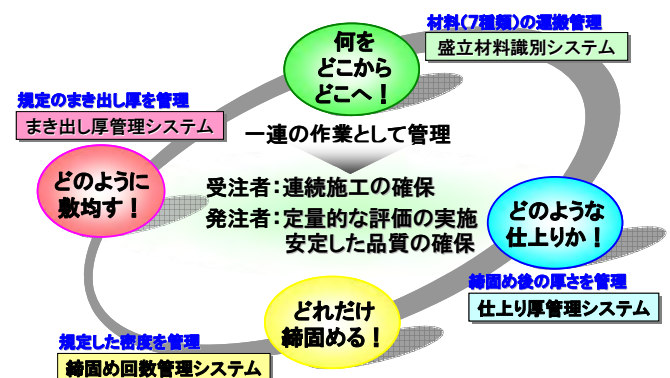


図-1 導入した ICT 技術

2. 殿ダムに適したICT技術の導入

(1) ICT技術導入候補の抽出

殿ダム本体工事へのICT技術導入にあたり、まず、施工監理の高度化、省力化や工程短縮、品質向上などのニーズのある施工内容、施工監理内容を調査し、殿ダムへの導入の検討対象候補としてICT技術を抽出しました。

抽出したICT技術の概要は下記のとおりです。

a) ボーリング検尺システム

削孔長を自動計測し、電子データとして記録できます。

b) 盛立材料識別システム（ICタグ方式）

各ダンプにICタグ（発信用）を搭載し、積込み場所と荷下ろし場所に設置したタグリーダでダンプのICタグの情報を読み取り、記録できます。

c) 盛立材料識別システム（GPS方式）

各ダンプにGPS端末を搭載し、盛立材料の積込み、荷下ろしの際に、場所（座標）と時刻を記録できます。

d) まき出し厚管理システム

ブルドーザにGPS機器を搭載し、設計まき出し高さとブレード高さの差を、車載モニタでリアルタイムに確認できます。

e) 締固め回数管理システム

振動ローラにGPS機器を搭載し、走行軌跡から締固め回数を算出します。締固め回数は、車載モニタにてリアルタイムに確認できます。

f) 仕上り厚管理システム

振動ローラにGPS機器を搭載し、計測された位置情報をもとに、現層と前層の標高を比較し、仕上り厚さを算出できます。

g) コンクリート積算温度管理システム

コンクリート養生中にコンクリートの温度をモニタリングし、積算温度及び発現強度を推定します。その後は、設置した温度センサにてコンクリートの温度を測定し、所定の積算温度に達した段階で打継処理、型枠スライドを実施します。

(2) ICT技術の導入

(1)で抽出したICT技術について、表-1のとおり、技術的な課題、運用上の課題、コストの比較、検討を行い、実現性の高いものについて導入することとしました。

また、現場外におけるダンプの運行による社会的影響へ迅速に対処するため、フィルター材運搬ダンプ運行管理システムについても導入しました。

以下に、殿ダム本体工事へ導入することとしたICT技術を示します。

a) 盛立材料識別システム（GPS方式）

b) まき出し厚管理システム

c) 締固め回数管理システム

d) 仕上り厚管理システム

e) フィルター材運搬ダンプ運行管理システム

表-1 抽出したICT技術の比較結果

ICT技術名	技術的な課題	運用上の課題	コストの課題	実現性の評価	導入決定
ボーリング検尺システム	・ダム基礎処理についての適用事例がなく、データ精度が不明	・特になし	・システムに必要な装置の費用が高額（約300万円/台）	・装置の費用が高額であり、実現は困難	×
盛立材料識別システム（ICタグ方式）	・複数のICタグリーダを近距離の範囲内で用いる場合の混信対策が必要	・盛立工の進捗に伴い、運搬経路の変更に伴いICタグリーダの移設が必要	・システム開発費用が高額（約900万円/式）	・GPS方式と比べシステム開発費用が高額であり、実現は困難	×
盛立材料識別システム（GPS方式）	・GPSの衛星捕捉状態が良好であることが基本条件・市販のGPSシステムのため、位置取得精度はやや劣るが実用上は問題なし	・市販サービスの利用におけるカスタマイズの制約による運用方法の工夫が必要	・市販サービスを利用することで、ICタグ方式よりも安価（約200万円/式）	・システム開発費用が安価で市販のGPSシステムを利用可能であることから、実現は容易	○
まき出し厚管理システム	・GPSの衛星捕捉状態が良好であることが基本条件 ・まき出し面の凹凸等により、測定精度が比較的に悪いため、所定の管理が達成できるか確認が必要	・最終的なまき出し走行をしたときのデータを取得しなければならず、そのようなデータを得るためのプログラム作りが困難	・ブルドーザによる自動的なまき出し管理を行うシステム（3D-MCドーザ：鹿島建設）をベースとして、走行位置座標を記録するようなシステム開発が必要（約300万円/式）	・費用が高額であり、さらにシステムのプログラム作りが難しく、実現は困難だが、受注者が独自で導入	○
締固め回数管理システム	・GPSの衛星捕捉状態が良好であることが基本条件	・特になし	・確立されたシステムのため、新たなシステム開発は不要	・使用実績が多いシステムであり、実現は容易	○
仕上り厚管理システム	・GPSの衛星捕捉状態が良好であることが基本条件 ・GPS測量の特性上、標高の測定精度が比較的に悪く、所定の管理が達成できるか確認が必要	・振動ローラの走行幅2mに対して取得できる走行位置データは1点のみであるため、データを取得していない箇所では補完のデータを算出する等の工夫が必要	・振動ローラの締固め回数管理を行うシステム（締固め回数管理システム：鹿島建設）をベースとして、測定される標高座標を利用して仕上り厚を算出し、仕上り厚分布図等の帳票を作成するためのシステム開発が必要（約400万円/式）	・既存の締固め回数管理システムのシステム改良をするだけで、実現は容易	○
コンクリート積算温度管理システム	・積算温度管理値の設定が必要	・所定の積算温度に達したら、速やかに型枠スライドの作業にとりかかるための人員配置が必要	・特になし	・速やかな型枠スライドを行うための人員配置が難しく、実現は困難	×

3. 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す。

(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-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）と時刻が記録されます。

記録されたデータをもとに、帳票（図-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ります。

帳票において、紫色の丸がロックⅠ材のダンプへの積込み場所、紫色の三角が荷下ろし場所となっています。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することによ

る、盛立材料のトレーサビリティの確保にもつながります。

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-3の通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す。

(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-3）を搭載し、位置情報を取得することで、車載モニタ（写真-4）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ます。

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します。



写真-2 盛立材料識別システム GPS 端末（イチしるべ）

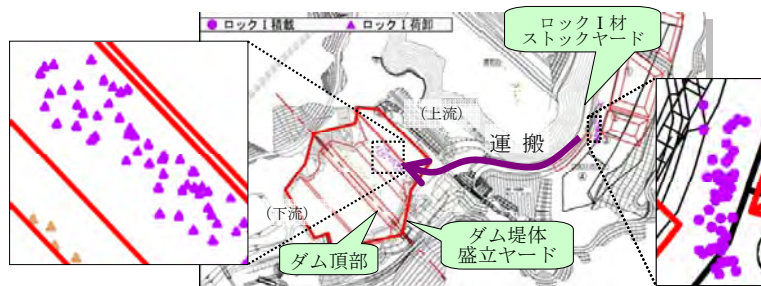


図-2 盛立材料識別システム 帳票

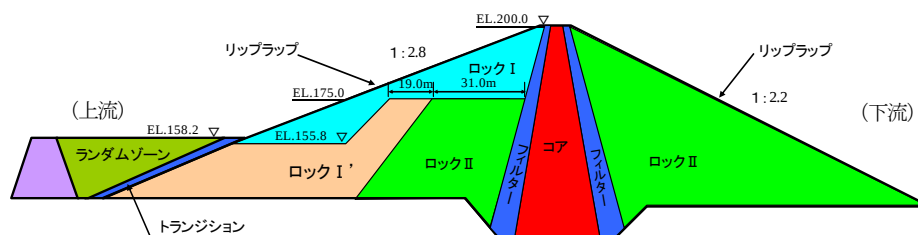


図-3 殿ダム盛立材料ゾーニング（標準断面図）



写真-3 まき出し作業状況（コア）



写真-4 まき出し厚管理システム 車載モニタ

(3) 締固め回数管理システム

振動ローラにGPS（写真-5）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（写真-6）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ます。

画面上に赤く塗られている箇所（写真-6）については、締固め回数が満足している箇所となっています。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ります。

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ます。

帳票において、青色の箇所はフィルター材で転圧回数が6回以上、茶色の箇所はコア材で転圧回数が6回以上、赤色の箇所は転圧回数が6回未満となっています。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ます。

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ます。

(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、仕上り厚を算出します。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ます。

帳票において、赤色の箇所は層厚が350mm以上、青色の箇所は250mmから350mm、橙色の箇所は250mm未満となっています。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ります。

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ます。

(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ります。

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ます。

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斉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ます。

図-6では、パソコン上でのダンプ運行位置表示イメージを示します。赤色の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、



写真-5 締固め作業状況（コア）



写真-6 締固め回数管理システム 車載モニタ

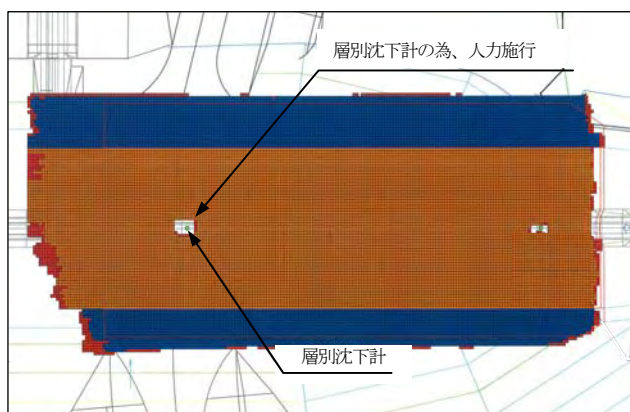


図-4 締固め回数管理システム 帳票

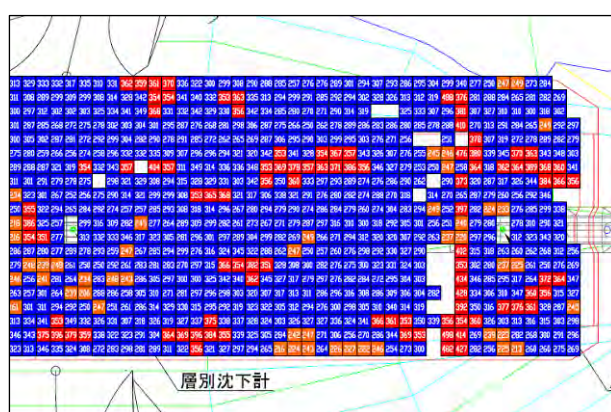


図-5 仕上り厚管理システム 帳票

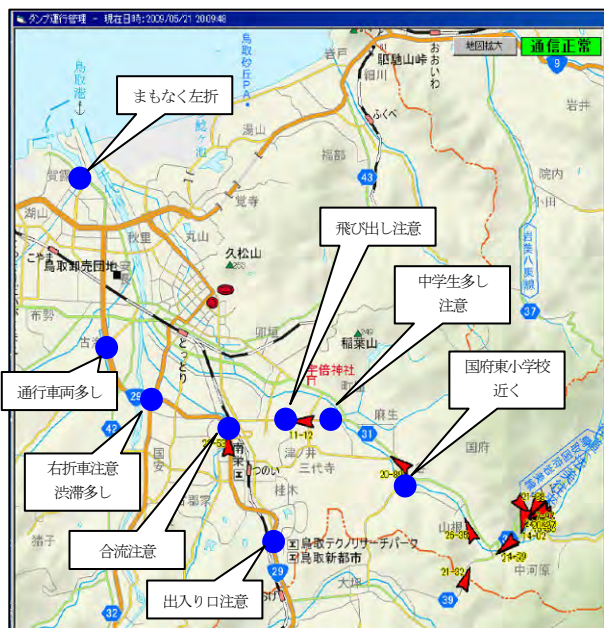


図-6 フィルター材運搬ダンプ運行管理システム
ダンプ運行位置表示イメージ

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ます。また、緊急連絡の必要な際には、多いときで一日約30台ものダンプに対して、車載モニタへメッセージを一齐送信することができ、安全運行への迅速な周知が可能となりました。

また、図-6における青色の丸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ます。

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りました。

4. 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りますが、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す。

(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、材料積み込み、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ります。

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りました。

(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、監視の負担を低減可能となりました。

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りました。

5. 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ましたが、課題もあります。課題とその対策について以下に示します。

(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ます。

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ます。

(2) データセキュリティの確保

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ます。

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力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の確保のつながります。

また、システムソフトの改ざんの対策としては、第3者によるインスペクターを確保し、システムソフトの信頼性を証明する必要があります。

6. 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取り止め又は軽減し、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ります。

そこで、ICT技術施工により現場試験の実施頻度が低減可能であるか、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ました。

検証はコア材の現場密度試験結果について行いました。

なお、コア材の品質規格は、「最大乾燥密度 γ_{dmax} (-37.5mm)の95%以上かつ乾燥密度 $\gamma_d=1.60t/m^3$ 」であり、「最大乾燥密度 γ_{dmax} (-37.5mm)の95%以上」とは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 $\gamma_d=1.60t/m^3$ 」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ます。

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、分析を行いました。

(1) 「 γ_{dmax} の95%以上」に対する分析結果

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、殿ダム本体工事においては、粗粒材として使用している材料が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、材料が異なります。

さらに、同一のヤードから採取した材料であっても、使用するコアのストックパイル毎に規格値となる γ_{dmax} は異なるため、「試験結果値からそれぞれのストックパイル毎の γ_{dmax} を引いた値」を用いて、粗粒材が堤体掘削ズリの場合、原石山からの採取材料の場合の、それぞれのヒストグラム（図-7）を作成しました。ここでは、ヒストグラムの値が0.00以上であれば γ_{dmax} の95%以上を満足していることを表しています。

図-7のように、規格値を下回る試験結果はなく、どの

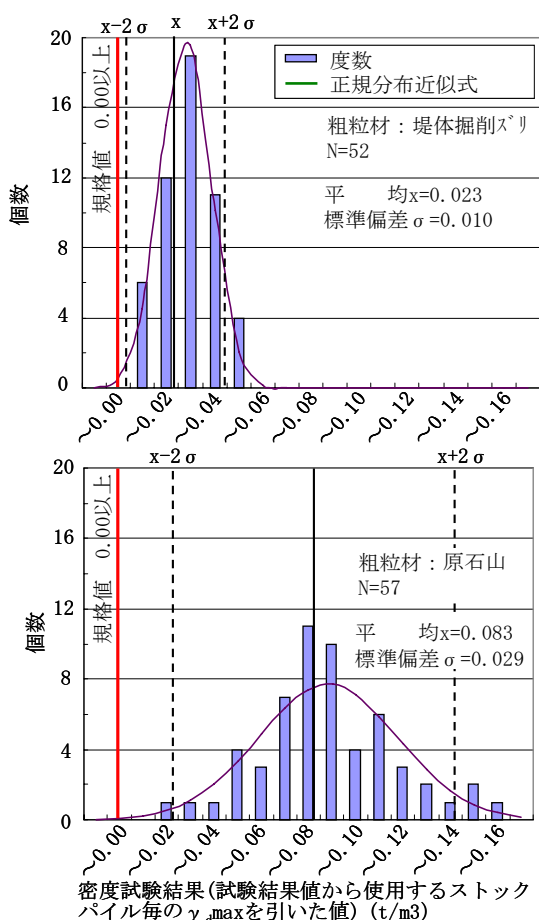


図-7 コア現場密度試験結果 ヒストグラム
(規格値： γ_{dmax} の95%以上)

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ました。

(2) 「 $\gamma_d=1.60t/m^3$ 」に対する分析結果

図-8のように、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十分に小さいことが確認できました。

(3) 検証結果

以上の結果から、ICT 技術施工により確実な締固め度が確保できており、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することは十分に可能であると考えています。

7. 今後の目標

現在、現場試験をどの程度低減できるか検討を行っており、今後の盛立工の高位標高部において、現場試験の頻度を減少させ、ICT技術による定量的な品質、出来形管理の実証を検討しています。

その結果が、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革新させる起爆剤となれば、ICT技術の普及が加速し、コスト縮減、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ます。

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。

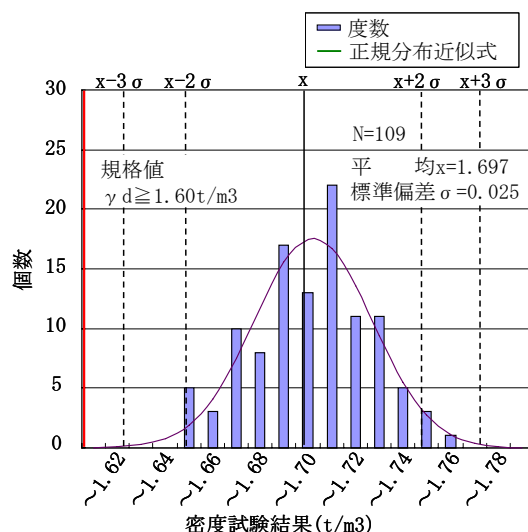


図-8 コア現場密度試験結果 ヒストグラム
(規格値： $\gamma_d=1.60t/m^3$)