

中央大学博士論文

新たなニーズから見たフィルダム建設工事における  
施工・品質管理技術の高度化

藤崎 勝利

博士（工学）

平成26年度  
2014年7月

## 論文要旨

本研究は、フィルダム建設工事における施工・品質管理技術の新たなニーズとして抽出した「フィルダムリニューアル工事における施工管理技術」および「施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理技術」に関する研究、開発、実施工現場への導入と検証を行い、今後のフィルダムの施工・品質管理の高度化に資することを目的としたものである。

第1章「研究の背景と目的、概要」では、フィルダム建設工事における施工・品質管理技術の新たなニーズを示し、本研究の目的、論文の構成および概要を示した。

第2章「著者が携わったフィルダム、台形CSGダム」では、著者が携わったフィルダムおよび台形CSG (*Cemented Sand and Gravel*) ダムの諸元と工事内容などを取りまとめた。

第3章「我が国フィルダムの現状と建設工事の変遷」では、我が国の全既設ダムのうち第二次世界大戦以前に建設されたフィルダムが約30%を占めることなどを明らかにした。また、最近のロックフィルダム建設工事（胆沢ダム、殿ダムなど）では、ICT (*Information and Communication Technology*) を活用して施工管理技術の高度化が図られていることを示した。

第4章「我が国フィルダムの地震被害事例とフィルダムリニューアルの必要性」では、まず①フィルダム耐震設計法は1956年または1957年に基準化されており、第二次世界大戦以前に建設されたフィルダムは耐震設計が実施されていない可能性があること、②既設ダムの耐震性照査とリニューアル（耐震補強）の推進が必要であることを示した。次に、フィルダムリニューアルの技術的課題を抽出し、リニューアル工事特有の施工管理技術として「既設堤体の安定性に着目した施工管理技術」が必要であることを示した。

第5章「フィルダムリニューアル工事における既設堤体安定性管理手法」では、著者が提案し、既設アースダム耐震補強工事である山口貯水池堤体強化工事において適用した「既設堤体の安定性に着目した情報化施工管理手法」を示した。本手法は施工中の動態観測結果とFEMによる堤体挙動予測によって、施工中の既設堤体の安定性を定量的に評価しながら施工するものであり、フィルダムリニューアルの施工管理として有効な手法である。

第6章「フィルダム建設工事における施工・品質管理の現状と今後の方向性」では、今後の品質管理の方向性として、品質変動に応じて品質管理頻度を変化させる「施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理」への転換を示した。また、この転換を実現するためにはリアルタイムな材料管理技術が必要であることを示した。

第7章「台形CSGダムの概要と品質管理方法」では、我が国発の新しいダム形式である台形CSGダムの品質管理方法について整理した。その結果、①実績データに基づいて品質管理項目や試験頻度を合理的に設定している、②品質変動傾向監視という考え方を導入しているなど、フィルダムにはない先駆的な品質管理が実践されていることを示した。

第8章「施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理手法の提案」では、フィルダムなどの材料特性のうち最も基本的な性質である粒度に着目して開発した「デジタルカメラ画像を用いた土質材料の粒度変動監視システム」（画像粒度モニタリング）の概要と適用実績を示し、これを用いた「施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理手法」を提案した。

第9章「本研究の結論と今後の展望」では、以上の内容を取りまとめて、本研究の結論と今後の展望を示した。

# **Advancement of Construction and Quality Control Technology for Fill Dam Construction Work in consideration of New Needs**

## **Abstract**

The aim of this study is to contribute to the advancement of construction and quality control technology through the research of “Construction Control Technology for Renewal Construction Work” and “Rationalized Quality Control Technology taking account of Fluctuation in Construction Quality” which are regarded as new needs.

As for Japan, there are 2,642 existing dams; besides, approximately 30 % (734 existing dams) of all fill dams were constructed before World War II. It is clear that existing dams constructed before World War II were not reinforced against earthquakes since the seismic design were standardized between 1956 and 1957. Therefore, seismic verification of existing dams and renewal (seismic reinforcement work) based on the seismic verification should be required. Additionally, “Construction Control Technology taking account of Stability of Existing Dam” should be needed as the existing dams are usually reused for the renewal.

At the site of the YAMAGUCHI reservoir (earth dam) situated in between Tokyo and Saitama, seismic reinforced embankments (new counterweight fills) located upstream and downstream of the existing dam were constructed in 1934. During the renewal works, there was concern about a decrease in stability of the existing dam. Accordingly, observational procedure and analytical prediction focused on the stability of the existing dam as a way for construction control was proposed and applied for about three years. As a result, it was found that the techniques were effective against technical problems which were specific to the renewal construction in consideration of the existing dam stability.

Similarly, information and communication technology (ICT) construction control techniques achieve a remarkable effect with respect to the construction and quality control of the earth and rock-fill dams construction work. In addition, quality control based on new concept which has not been applied to the earth and rock-fill dams is carried out in cemented sand and gravel (CSG) dams, which were a new type of dam and developed in Japan. However, material management is dependent on a traditional sampling method. From this perspective, it is definitely possible to build “Rationalized Quality Control taking account of Fluctuation in Construction Quality” when real-time material management is performed.

The author developed “Fluctuation Monitoring System for Fill Material Gradation using Digital Image Analysis” focused attention on gradation of material property of earth and rock-fill dams and proposed rational quality control technology with consideration for variability in construction quality utilizing this new system. As a consequence of introducing the system to TOBETSU dam (trapezoidal CSG dam) and TONO dam (rock-fill dam), it was concluded that the new system could be applicable to monitoring technology for fluctuation in material quality. And, it was helpful for “Rationalized Quality Control Technology taking account of Fluctuation in Construction Quality”.

## 目 次

<b>第1章 研究の背景と目的, 概要</b>	・・・1
1.1 研究の背景	・・・1
1.2 研究の目的	・・・4
1.3 研究の概要	・・・7
参考文献	・・・14
<b>第2章 著者が携わったフィルダム, 台形 CSG ダム</b>	・・・15
参考文献	・・・24
<b>第3章 我が国フィルダムの現状と建設工事の変遷</b>	・・・26
3.1 フィルダムの形式	・・・27
3.2 我が国のフィルダムの現状	・・・30
3.3 フィルダム建設工事の変遷	・・・31
3.3.1 明治期以前	
3.3.2 明治期から第二次世界大戦以前	
3.3.3 第二次世界大戦後	
3.3.4 現在のロックフィルダム建設工事	
3.4 第3章のまとめ	・・・40
参考文献	・・・41
<b>第4章 フィルダムの地震被害事例とリニューアルの必要性</b>	・・・42
4.1 我が国のフィルダム耐震設計法の推移	・・・43
4.2 フィルダムの地震被害事例	・・・46
4.2.1 新潟地震から鳥取県西部地震まで	
4.2.2 新潟中越地震(2004年)	
4.2.3 宮城・岩手内陸地震(2008年)	
4.2.4 東北地方太平洋沖地震(2011年)	
4.3 既設フィルダムの耐震性向上の必要性	・・・67
4.3.1 既設フィルダム堤体改修の事例	
4.4 フィルダムリニューアルの技術的課題	・・・69
4.5 第4章のまとめ	・・・71
参考文献	・・・73

<b>第5章 フィルダムリニューアル工事における既設堤体安定性管理手法</b>	・・・75
5.1 山口貯水池堤体強化工事の概要	・・・76
5.1.1 山口貯水池	
5.1.2 山口貯水池の諸元と特徴	
5.1.3 堤体強化工事の設計	
5.1.4 堤体強化工事の概要	
5.1.5 補強盛土材料	
5.2 堤体強化工事による既設堤体安定性低下のメカニズム	・・・93
5.2.1 施工ステップと既設堤体の安定性	
5.2.2 補強盛土盛立時の既設堤体挙動	
5.2.3 補強盛土盛立ステップと間隙水圧挙動, 堤体安定性に関する考察	
5.3 既設堤体の安定性に着目した施工管理の提案	・・・96
5.3.1 事前検討	
5.3.2 施工管理	
5.4 情報化施工管理に向けた既設堤体調査	・・・98
5.4.1 RI コーンによる調査	
5.4.2 既設堤体の物理的, 力学的性質	
5.4.3 既設堤体のせん断強さに関する検討	
5.4.4 既設堤体調査のまとめ	
5.5 補強盛土盛立時の管理基準値の設定	・・・108
5.5.1 検討方法	
5.5.2 円弧すべり検討結果と管理基準値の設定	
5.6 FEM解析による補強盛土盛立時の堤体挙動および安定性の予測	・・・115
5.6.1 検討フロー	
5.6.2 補強盛土盛立時の動態観測概要	
5.6.3 FEM 解析方法	
5.6.4 FEM 解析結果	
5.7 補強盛土盛立中の動態観測結果	・・・127
5.7.1 間隙水圧観測結果	
5.7.2 既設堤体の沈下観測結果と圧密特性の検討	
5.7.3 補強盛土の沈下観測結果	
5.7.4 動態観測結果のまとめ	
5.8 情報化施工管理の有用性	・・・152
5.9 第5章のまとめと今後の課題, 展望	・・・153
5.9.1 まとめ	
5.9.2 今後の課題	
5.9.3 展望	
参考文献	・・・157

<b>第6章 フィルダム建設工事における施工・品質管理の現状と今後の方向性</b>	・・・159
6.1 フィルダム使用材料と各材料が満たすべき性質	・・・160
6.1.1 使用材料と要求品質	
6.1.2 コアゾーン	
6.1.3 フィルタゾーン	
6.1.4 ロックゾーン	
6.2 フィルダム建設工事中の品質管理	・・・170
6.2.1 フィルダム品質管理の種類	
6.2.2 品質管理項目	
6.2.3 品質管理基準の変遷	
6.3 ICTによるフィルダム施工管理の現状	・・・193
6.3.1 殿ダムにおける導入事例	
6.3.2 ICTによる施工管理の課題	
6.4 フィルダム建設工事における品質管理の課題	・・・198
6.4.1 (一社)ダム工学会施工研究部会の検討結果	
6.4.2 現在のフィルダム品質管理の課題	
6.5 フィルダム施工・品質管理の今後の方向性	・・・201
6.6 第6章のまとめ	・・・202
参考文献	・・・203
<b>第7章 台形CSGダムの概要と品質管理方法</b>	・・・205
7.1 用語	・・・206
7.2 開発の背景	・・・208
7.3 台形CSGダムおよびCSG工法の概要	・・・209
7.3.1 台形CSGダムの概要	
7.3.2 CSG工法の概要	
7.3.3 CSGとコンクリート	
7.3.4 台形CSGダムの施工	
7.4 ひし形理論	・・・219
7.4.1 ひし形理論	
7.4.2 ひし形の作成	
7.5 台形CSGダムにおける品質管理方法	・・・224
7.5.1 CSG工法の品質管理の概要	
7.5.2 CSG工法の品質管理手法	
7.6 第7章のまとめ	・・・233
参考文献	・・・234

<b>第8章 施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理手法の提案</b>	・・・235
8.1 デジタルカメラ画像を用いた土質材料の粒度変動監視システムの開発	・・・236
8.1.1 概要	
8.1.2 開発の着想	
8.1.3 システム構成	
8.1.4 測定方法	
8.1.5 撮影画像と画像解析結果の例	
8.1.6 粒度インデックス	
8.1.7 粒径加積曲線の推定例	
8.1.8 粒子識別の分解能と識別精度	
8.2 当別ダム品質管理導入時の諸検討	・・・248
8.2.1 CSG 材の粒度変動傾向の分析	
8.2.2 水洗い簡易法結果と本システムの推定結果の比較	
8.2.3 粒径 5mm 加積通過率の推定方法	
8.2.4 当別ダム CSG 材粒径加積曲線の推定結果	
8.3 当別ダムでの適用実績と品質管理の合理化	・・・256
8.3.1 導入形態	
8.3.2 CSG 材粒度変動監視結果例	
8.3.3 CSG 施工当日の品質管理の合理化	
8.3.4 当別ダムでの取り組みのまとめ	
8.4 ロック材粒度管理への画像粒度モニタリングシステムの適用	・・・270
8.4.1 胆沢ダムにおけるロック材への適用性検討	
8.4.2 殿ダムロック材粒度管理への試行的導入結果	
8.5 施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理手法の提案	・・・288
8.5.1 画像粒度モニタリング®を併用した材料管理	
8.5.2 施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理手法	
8.6 第8章のまとめと今後の課題, 展望	・・・291
8.6.1 まとめ	
8.6.2 今後の課題と展望	
参考文献	・・・294
<b>第9章 本研究の結論と今後の展望</b>	・・・295
9.1 研究成果のまとめ	・・・295
9.2 今後の課題と展望	・・・302
<b>学術論文目録・研究業績</b>	・・・305
<b>謝辞</b>	・・・308

## 新たなニーズから見たフィルダム建設工事における施工・品質管理技術の高度化

藤崎 勝利

### 1. 研究の背景と目的

政令「河川管理施設等構造令」の規制を受ける堤高 15m 以上のダムのうち、岩石・砂礫・土質材料などを用いたダムの総称をフィルダムという。フィルダム建設工事に行う施工・品質管理は、基礎岩盤や地盤の管理、工法管理、出来形管理、品質管理など多岐に亘っており、何一つ欠けることがあってはならない。本研究では、著者のフィルダム建設工事経験と東北地方太平洋沖地震（2011 年）における藤沼ダム（福島県，1949 年）の決壊事例などに基づいて抽出したフィルダム建設工事における施工・品質管理技術に関する新たなニーズ（リニューアル工事，品質管理の高度化）を対象に、「フィルダムリニューアル工事における施工管理技術」ならびに「施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理技術」の研究，開発，実施工現場への導入と効果の検証を行い，今後の施工・品質管理技術の高度化に資することを目的とした。

本研究の各章の概要と研究成果を以下にまとめる。

### 2. 我が国フィルダムの現状と建設工事の変遷（第 3 章）<sup>1)</sup>

我が国の全既設ダム 2,642 基のうち，第二次世界大戦以前に建設されたフィルダムは 734 基と全ダムの約 30%を占めている。我が国最古のフィルダムである狭山池（616 年頃，大阪府）をはじめとして，江戸時代末期まで灌漑用ため池の堤体として各地で建設されたのは土質材料を用いたアースダムである。明治期以降になるとアースダム建設に欧米技術が導入された。第二次世界大戦後，我が国のダム建設は本格化し，フィルダムでは山王海ダム（1953 年，岩手県）や石淵ダム（1953 年，岩手県，コンクリート遮水壁型）が建設された。ロックフィルダムは御母衣ダム（1961 年，岐阜県），牧尾ダム（1961 年，長野県）で技術の礎を築き，1970 年代には堤高 150m 以上，または堤体積 1,000 万 m<sup>3</sup> 以上の大型ダム（例えば，高瀬ダム（1979 年，長野県））が建設された。最近のロックフィルダムである胆沢ダム（2012 年，岩手県）や殿ダム（2011 年，鳥取県）などでは，ICT（*Information and Communication Technology*）を導入して施工管理技術の高度化が図られている。

### 3. 我が国フィルダムの地震被害事例とフィルダムリニューアルの必要性（第 4 章）

我が国のフィルダムは，兵庫県南部地震（1995 年），新潟中越地震（2004 年），宮城・岩手内陸地震（2008 年）およびこれら以前の著名な地震では大規模な被災には至らなかった。しかし，東北地方太平洋沖地震（2011 年）では藤沼ダムが決壊し，甚大な被害（死者 7 名，行方不明者 1 名）をもたらした。これは第二次世界大戦以降，供用中ダムが大規模に決壊した我が国初の事例である。我が国のダム耐震設計法が基準化されたのは，1956 年（昭和 31 年）の土地改良基準の改訂ならびに 1957 年（昭和 32 年）のダム設計基準の刊行である<sup>1)</sup>ことから，第二次世界大戦以前に建設されたダム 895 基（フィルダム 734 基，コンクリートダム 161 基）は耐震設計が実施されていない可能性が高いといえる。なお，藤沼ダムは 1949 年完成であり，耐震設計法基準化以前に設計，施工されたダムに該当する。世界有数の地震国である我が国において，耐震設計が実施されていない可能性があるのが全既設ダムの約 34%（895 基）にも及ぶのは由々しき状況であり，「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）」（2005 年，国土交通省）に準拠した既設ダムの耐震性照査と，この結果に基づいた耐震補強の推進が必要である。狭山池が 1,400 年の間に 6 回改修されているように，フィルダムの安全性と機能の維持・向上には，耐震補強などのリニューアルが必要である。一方，リニューアルでは既設堤体を有効利用することが求められる（**図-1** 参照）ため，「既設堤体の安定性に着目した施工管理技術」が必要である。

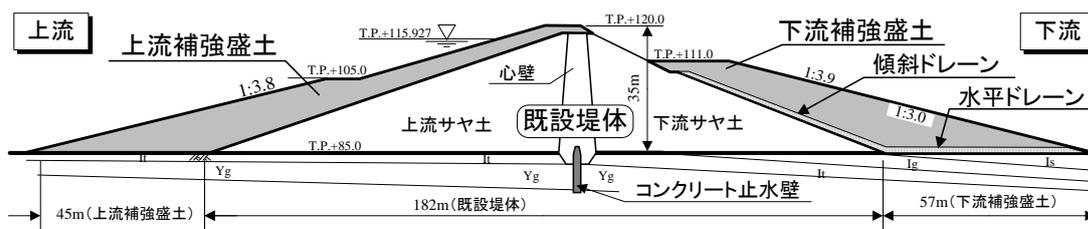


図-1 山口貯水池堤体強化工事標準断面図

#### 4. フィルダムリニューアル工事における既設堤体安定性管理手法 (第5章) <sup>2)</sup>

##### (1) 山口貯水池堤体強化工事と補強盛土盛立時の堤体安定性

東京都水道局が管理する山口貯水池（通称，狭山湖，東京都武蔵村山市，埼玉県所沢市他）は1934年に完成した水道専用の貯水池である。山口貯水池では兵庫県南部地震（1995年）を契機に耐震性向上を目的として既設堤体上下流側に補強盛土を盛り立てる堤体強化工事（図-1参照）を行った。山口貯水池の既設堤体（粘性土）と補強盛土（細粒分まじり砂礫）はともに難透水性であるため，補強盛土による新たな荷重が既設堤体に作用して間隙水圧が発生すると，堤体安定性が一時的に低下する。

##### (2) 情報化施工管理の提案

補強盛土盛立時の施工管理として，施工中の既設堤体と補強盛土の動態観測結果に基づいて堤体安定性を定量的に評価，予測しながら施工を行う「情報化施工管理」を提案した（図-2参照）。情報化施工管理では，事前に設定した管理基準値と動態観測結果を比較する「日常管理」，ならびに動態観測結果を反映した FEM 解析で既設堤体と補強盛土の将来の安定性を予測する「予測管理」を実施する。間隙水圧の管理基準値は，既設堤体と補強盛土にそれぞれ生じる間隙水圧をパラメータとした円弧すべり解析で設定した。その結果，既設堤体と補強盛土の間隙水圧発生率（間隙水圧／全鉛直応力）がともに60%以下であればすべり安全率が1.2以上となることが確認できたため，これを管理基準値とした（図-3参照）。さらに補強盛土盛立をシミュレートした FEM 挙動予測解析の結果，盛立完了時の既設堤体と補強盛土の間隙水圧発生率はともに管理基準値（60%）を下回ったことから，堤体安定性は確保できると予測した。

##### (3) 補強盛土盛立完了時の堤体安定性評価

約98万 $m^3$ の補強盛土盛立は2000年2月から2001年11月末の約22ヶ月間で完了した。盛立完了時の間隙水圧観測結果から求めた既設堤体ならびに補強盛土の間隙水圧発生率は管理基準値（60%）を下回っており，堤体安定性は確保できたと判断した（図-3参照）。なお，間隙水圧観測結果から求めた間隙水圧発生率は FEM 挙動予測結果を下回ったが，これは FEM 解析において既設堤体内水位を最も安全側の条件（既設堤体表面）に設定したためである。今後の同種工事において FEM 挙動予測解析の予測精度向上のためには，既設堤体内水位の詳細な調査が重要である。

##### (4) 情報化施工管理の有用性と今後の展望

既設堤体の安定性確保というフィルダムリニューアル工事特有の施工技術的課題に対して，著者が提案した情報化施工管理は有効な手法である。また，既設堤体に配慮した設計や施工が必要であるとの考え方は，リニューアルの目的や方法に関わらない技術的認識であるべきと考える。

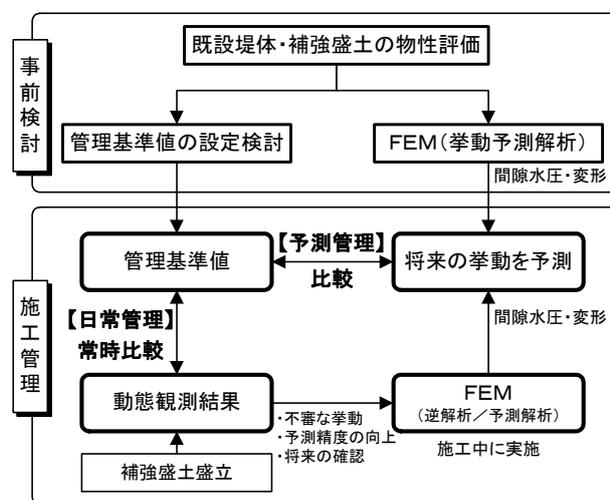


図-2 提案した情報化施工管理フロー

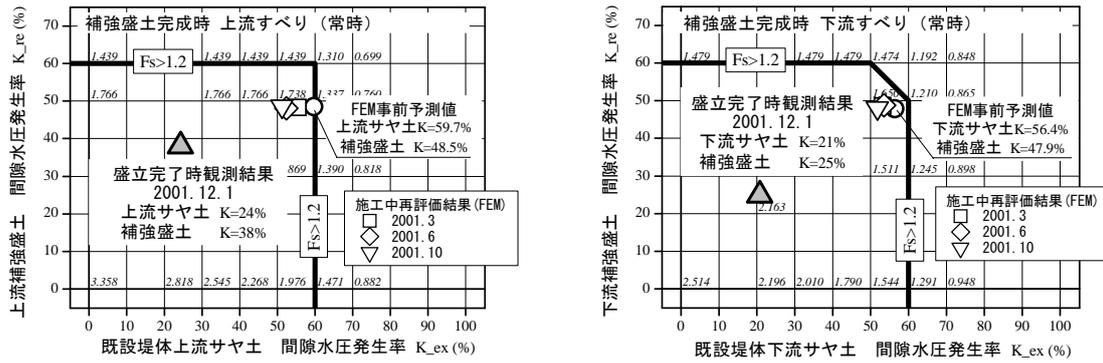


図-3 補強盛土盛立完了時の堤体安定性評価結果

### 5. フィルダム建設工事における施工・品質管理の現状と今後の方向性 (第6章)

大量の貯水を使用しているフィルダムは最重要構造物のひとつであり、建設工事では施工・品質管理が重要である。品質管理として実施する管理項目、試験頻度、管理基準値などをまとめたものを品質管理基準と呼ぶが、既往の品質管理基準はダム堤体積などの規模を考慮しないで設定されており、(一社)ダム工学会施工研究部会は他のダムの事例を流用したの多いと考察している<sup>3)</sup>。また、近年ではICT施工管理がリアルタイムな工法管理として大きな効果を発揮しているが、材料管理は従前の抜取検査方式に依っている。このことから、リアルタイムな材料管理技術が実現できれば、現状の定量または定時毎に行う品質管理から、品質の変動の有無に応じて管理頻度を切り替える「施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理」へ転換できると考える。

### 6. 台形CSGダムの概要と品質管理方法 (第7章)<sup>4)</sup>

台形CSG (Cemented Sand and Gravel) ダムは、我が国発の新しいダム形式として近年実績を挙げつつある。台形CSGダムはフィルダムとは明確に区別されているが、設計、材料、施工、品質管理などについて新しい考え方と先駆的な取り組みが実践されているため、本研究の対象とした。CSGとは、ダム建設現場周辺で得た材料に対してオーバーサイズの除去や破碎などのみを行った材料に、セメント、水を添加し、簡易な設備を用いて製造するものである。このため、CSG材の粒度やCSGの単位水量および強度が変動するが、これを許容した“ひし形理論”に基づいて品質を管理する。CSGの品質管理は、「通常の品質管理」と「施工初期に行う確認作業」から成っている。「通常の品質管理」での管理項目や試験頻度などは、「施工初期に行う確認作業」を通じて実際に得られたデータに基づいて合理的に設定している。また、「品質変動傾向監視」というフィルダムの品質管理にはない新しい考え方を導入している。なお、ICTなどの最新の技術を積極的に導入することを推奨しており、「高速大量連続施工」を基本とするCSG工法には従来よりも迅速かつ連続的な品質管理方法が必要であるとしている。

### 7. 施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理手法の提案 (第8章)<sup>5)</sup>

#### (1) 画像粒度モニタリング<sup>®</sup>

著者は土質材料を撮影したデジタルカメラ画像を解析して、粒度分布の変動傾向を迅速に監視するシステム (画像粒度モニタリング<sup>®</sup>) を開発した (図-4 参照)。本システムは画像内の各粒径の粒子面積比 (各粒径の合計面積/画像撮影面積) から対象材料の粒度分布を推定する (図-5 参照)。

#### (2) 当別ダムおよび殿ダムへの導入実績

本システムを当別ダム (北海道, 2013年, 台形CSG) のCSG材粒度変動傾向監視手法として品質管理に本格的に導入した。そして、RI法含水率モニタリングシステムを併用した新しい品質管理を行った結果、品質管理試験の回数をシステム導入前に比べて約40%低減できた。

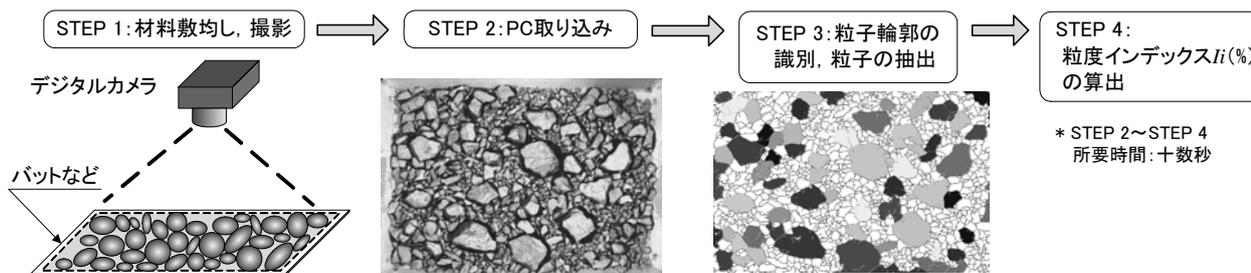


図-4 画像粒度モニタリングの概要

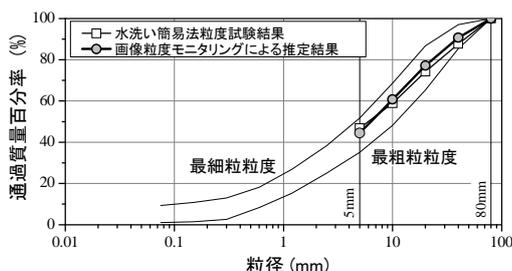


図-5 CSG 材の粒径加積曲線の推定結果例

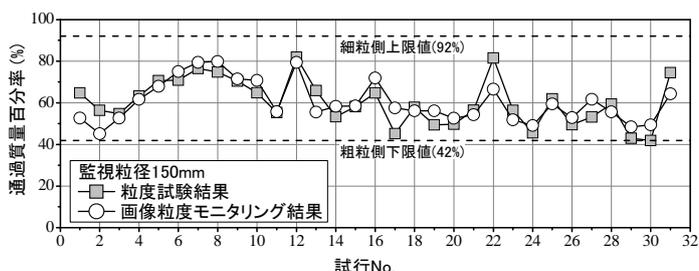


図-6 殿ダムロック材粒度の変動監視結果

また、本システムを殿ダムロック材（最大粒径 500mm）を対象に試行的に導入した結果、本システムでロック材粒度の変動傾向が把握できることが確認できた（図-6 参照）。なお、殿ダムロック材の粒度試験の1回の試料量は約 2t であり、試験に約 8 時間（小型機械、試験員 2 名）を要したが、本システムでは試料採取～結果入手～片付けに要する時間が 2 時間程度であり、より密な品質管理が可能となる。

**(3) 施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理手法の実現**

フィルダム建設工事の品質管理では、材料管理と工法管理が品質確保の両輪である。本システムを材料品質変動監視技術として導入し、ICT 工法管理と併せて適用することで、施工品質の変動の有無または大小に応じて管理頻度を切り替える「施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理」が実現できる（図-7 参照）。

**8. 結論**

フィルダム建設工事における施工・品質管理の新たなニーズである「フィルダムリニューアル工事における施工管理技術」ならびに「施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理手法」に対して本研究の成果は有効であり、今後のフィルダム施工・品質管理技術の高度化に資することができる。

**リアルタイム品質変動監視技術**

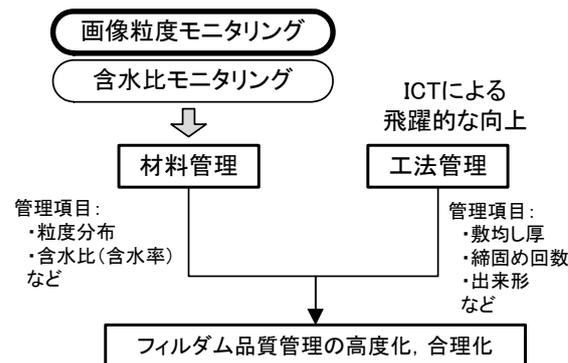


図-7 品質管理の高度化，合理化イメージ

**【参考文献】**

- 1) 松本徳久：我が国フィルダムの設計・施工の変遷，土木学会論文集 F, Vol.65, No.4, pp.394-413, 2009.10.
- 2) 藤崎勝利，田原功，加藤正樹，岡本道孝，村上武志：既設アースフィルダムの安定性に着目した情報化施工管理事例，土木学会論文集, No.784/VI-66, pp.45-64, 2005.
- 3) ダム工学会施工研究部会：ダム施工の品質管理合理化の提案，ダム工学, Vol.23, No.2, pp.121-163, 2013.
- 4) (財)ダム技術センター：台形 CSG ダム設計・施工・品質管理技術資料，2012.6.
- 5) 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, pp.19-26, 2013.