

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

大量の貯水を使命とするフィルダムは最重要構造物のひとつであり、建設工事で所定の品質を確保するためには施工・品質管理が重要である。フィルダム建設工事における施工・品質管理は、基礎岩盤または地盤の管理、工法管理、出来形管理、品質管理など多岐に亘っており、これらは何一つ欠けることがあってはならない。

第6章では、フィルダム建設工事に行う施工・品質管理に焦点を当てる。

まずフィルダム施工・品質管理の基本として、使用する材料と要求品質を整理する。そして、フィルダム建設工事中に品質管理として実施する試験項目や品質管理基準、試験頻度などの整理を通じて、現在のフィルダム品質管理の課題を抽出する。

さらに、近年フィルダム建設工事に導入されている ICT (*Information and Communication Technology*: 情報通信技術) を活用した施工管理の現状と課題を抽出する。

第6章では、上記の整理と抽出した課題を通じて、フィルダム建設工事における施工・品質管理の今後の方向性について考察する。

6.1 フィルダム使用材料と各材料が満たすべき性質

フィルダムはダムサイト周辺で入手可能な材料を有効に活用して建設することが基本である。このため、フィルダムの施工・品質管理では各ゾーンが担う機能と使用する材料が満たすべき性質を理解することが必要となる。

ここでは、フィルダムの各ゾーンが担う機能および使用材料、使用材料が満たすべき性質を整理する。

6.1.1 使用材料と要求品質

3.1で既述したように、フィルダムはゾーン型、均一型、表面遮水壁型の3形式に大別される。

図-6.1に示すような現在最も一般的なゾーン型ロックフィルダムは、①コアゾーン、②フィルタゾーン、③ロックゾーンで構成され、コアゾーンは遮水、フィルタゾーンは浸透対策、ロックゾーンは堤体の安定性確保と、各ゾーンがそれぞれ機能を分担している。

各ゾーンの材料と設計、施工で要求される性能などをまとめて表-6.1に示す⁶⁻¹⁾。

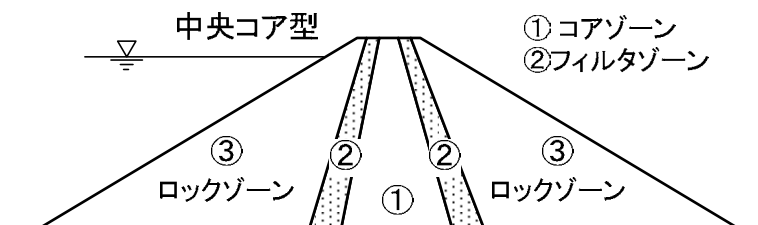


図-6.1 ゾーン型ロックフィルダムとゾーンの構成

表-6.1 各ゾーンの材料と設計，設計で要求される性能⁶⁻¹⁾を加筆，修正

部位	設計，施工で要求される性能，対処方法等		
コアゾーン	材料	土質	細粒分を適度に含む砂礫
		細粒分含有率	細粒分含有率 $F_c=10\sim 25\%$
		最大粒径	最大粒径 $D_{max}=100\sim 200\text{mm}$
	設計	透水性(遮水性)	透水係数 $k(\text{現場})\leq 1\times 10^{-5}\text{cm/s}$ (室内: $k\leq 1\times 10^{-6}\text{cm/s}$)
		パイピング抵抗性	塑性指数 $IP>10\sim 15$ 程度
		圧縮沈下	圧縮性が小さい，均一性の高い材料
	施工	均一性	ストックパイルによる粒度および含水比の調整で対処
		施工性	
		施工含水比	最適含水比 $w_{opt}\sim +2\sim 3\%$ 程度
		締固め	・締固め厚:20~30cm, 転圧回数:6~12回 ・使用機械:20~30tタンピングローラ, 10~20t振動ローラまたは振動タンピングローラ
締固め度	D値 $\geq 95\%$ 以上、乾燥密度の絶対値で規定		
フィルタゾーン	材料	土質	細粒分が少ない砂礫，細粒な岩材料
		細粒分含有率	細粒分含有率 $F_c\leq 5\%$
		最大粒径	最大粒径 $D_{max}=100\sim 300\text{mm}$
	設計	透水性	透水係数の設計値はないが，目標は十分な排水性である(ただし，フィルタ基準から自ずと決まる)
		粒度	フィルタ基準を満足すること
	施工	均一性	ストックパイルによる粒度調整等で対処(プラントなどによる製造や購入材の場合もある)
		締固め	・締固め厚:20~60cm, 転圧回数:4~8回 ・使用機械:10~20t振動ローラを使用
締固め度		乾燥密度の絶対値で規定されることが多い(粒径が大きく，締固め試験が困難であるため)	
ロックゾーン	材料	土質・岩質	堅硬な岩材，砂礫
		最大粒径	最大粒径 $D_{max}=500\sim 1000\text{mm}$
	設計	透水性	透水係数が大きい方が間違いが少ないが，透水係数が小さいときはドレーンで対応する
		せん断強さ	内部摩擦角 $\phi_i=38\sim 43$ 度
		耐久性	表層に使用する材料に対して要求される(例えば，吸水率3%程度以下)
		圧縮沈下	圧縮性が小さいこと
	施工	賦存量	計画段階で使用量の1.5~2倍程度の量が見込めること
		施工性	締固めが容易であること
		締固め	・締固め厚:最大粒径の1~1.5倍の値, 転圧回数:4~8回 ・使用機械:10~20t振動ローラを使用
締固め度	乾燥密度の絶対値で規定されることが多い(粒径が大きく，締固め試験が困難であるため)		

6.1.2 コアゾーン

遮水を担うコアゾーンには、**図-6.2** に示すような細粒分を適度に含んだ粒度が良い土質材料(細粒分まじり砂礫など)が用いられる。コアゾーンの施工状況を**写真-6.1**に示す。

設計では、遮水性として現場透水係数 k を $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 程度に設定し、それを担保するだけの細粒分(粒径 0.075mm 未満)の含有が必要となる。コア材料の細粒分含有率は、**表-6.1** に示したように 10~25%が通例である。また、パイピング抵抗性として浸透水に対して粒子が移動しにくい塑性的な材料(塑性指数 IP が 10~15 以上)が望ましい。

なお、コアゾーンは長期的に圧縮するが、**図-6.3** に示すようにコアの自重が隣接するフィルタゾーンにアーチ作用で支持され、コア底部が無応力状態になることを防止するために、圧縮性が小さいことが重視される。このため、粒度が良い土質材料を高い密度に締め固めて遮水性を確保し、かつ圧縮性を小さくするというのが、現在のコアゾーンの基本的な考え方である。

また、**図-6.4** に示すように遮水性を確保しつつ、均質で締め固め易く、かつ良好な施工性を得るために、粘性土に礫や碎石などの粗粒材料を一定割合で混合して使用することが多い。この性質の異なる材料を混合して良質な材料に調整する技術は、フィルダム特有の技術といえる。異種材料混合による材料調整は、山王海ダム建設工事時に河上⁶⁻²⁾によって研究されており、御母衣ダムで初めて実施された⁶⁻³⁾。材料調整の具体的方法については、**5.1.4(5)**で事例を紹介した。

施工時の含水比は、最適含水比よりも湿潤側の含水比(最適含水比 \sim +2~3%程度)で調整、管理する。これは、土質材料の性質が**図-6.5**に示すように含水比に依存しており、最適含水比よりも湿潤側の含水比状態であれば透水性が最低となり、かつ水浸してもせん断強さが低下しない性質が得られるためである。

盛立面では、このような含水比状態の材料を**写真-6.1**に示すように振動ローラなどによって転圧する。含水比が最適含水比よりも湿潤側の状態であるため、転圧面が緩やかに波打つ状況(ウェービング)が生じる。

建設工事中の品質管理は、1日1回程度の頻度で締め固め試験と含水比試験などを実施し、盛立1層毎に現場密度試験と現場透水試験を実施するのが一般的である。なお、締め固め管理基準の一つである締め固め度 D 値はほとんどの場合 95%以上とされており、他の土構造物で採用されている値⁶⁻⁴⁾に比べて高い値である。

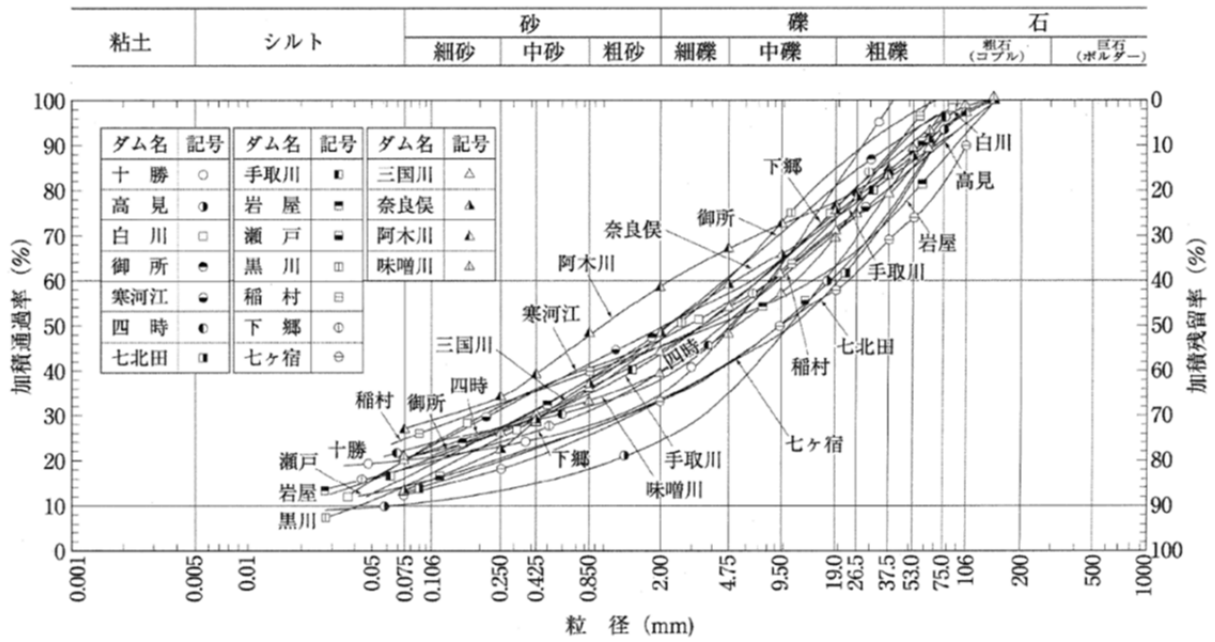


図-6.2 コア材料の代表的な粒径加積曲線⁶⁻⁵⁾



写真-6.1 振動ローラによるコア材の転圧状況(胆沢ダム建設工事, 著者撮影)

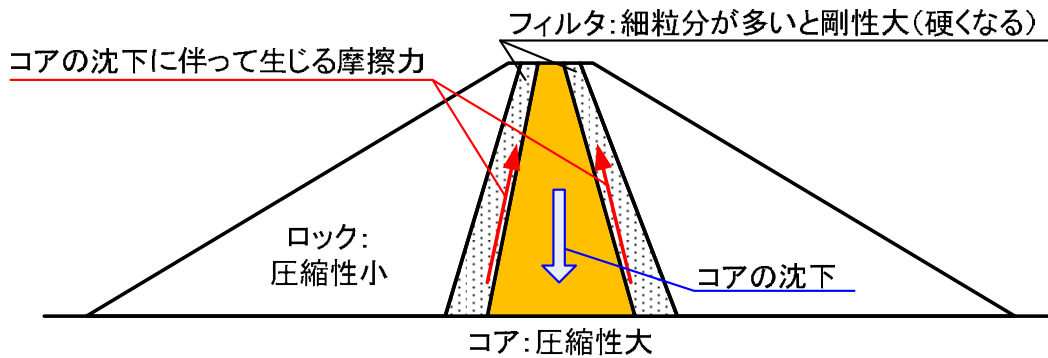


図-6.3 コア材料の圧縮性とフィルタゾーンによる自重の支持の模式図

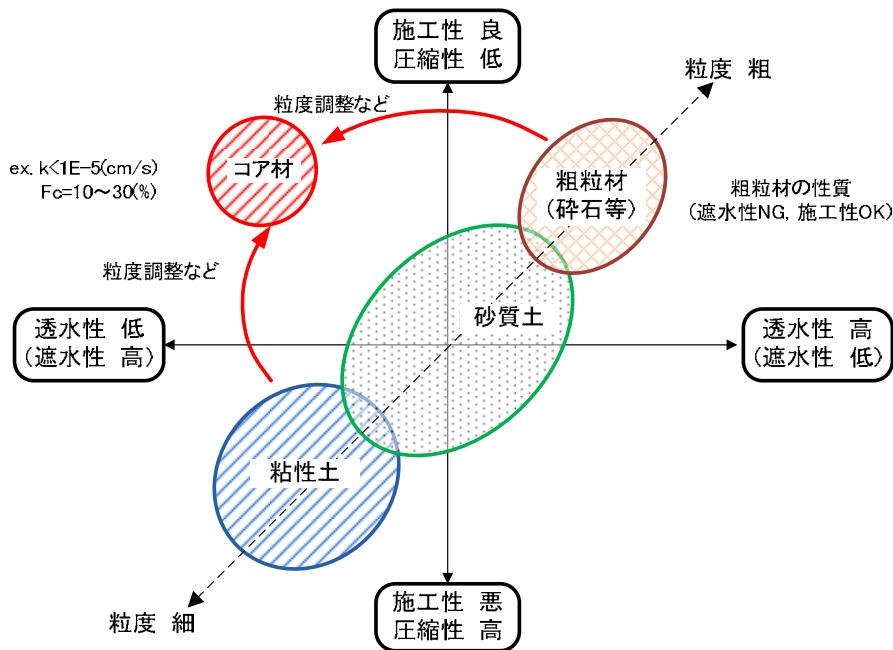


図-6.4 土質材料の透水性, 施工性, 圧縮性とコア材料の性質

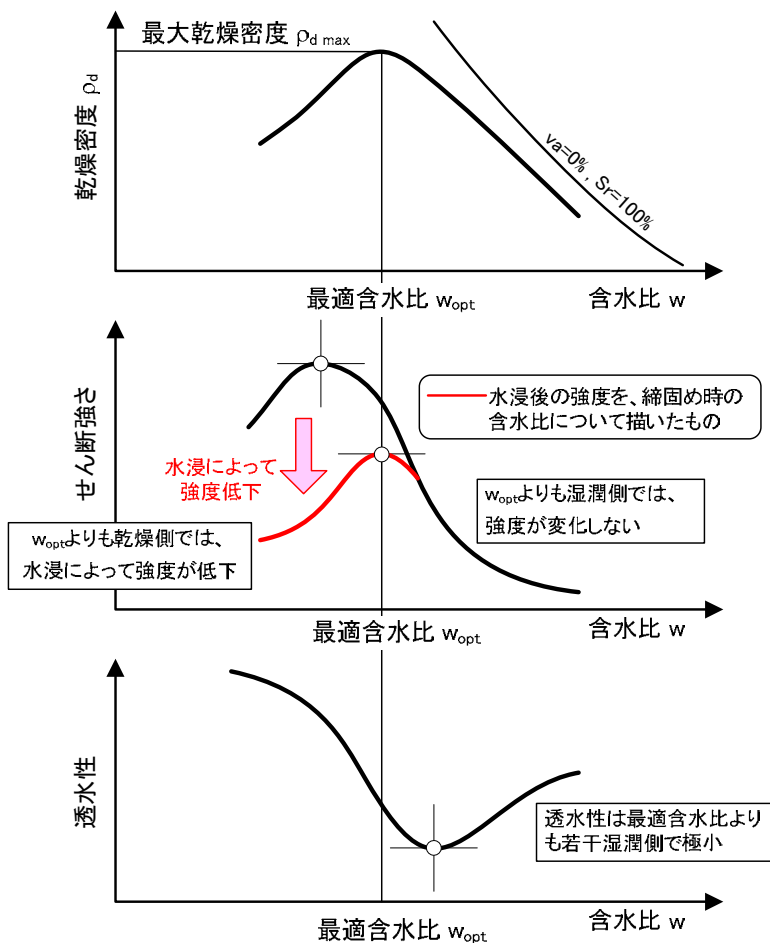


図-6.5 土質材料の含水比と乾燥密度, せん断強さ, 透水性の関係 ⁶⁻⁶⁾を加筆, 修正

6.1.3 フィルタゾーン

フィルタゾーン(半透水ゾーン)は、コアゾーンからの細粒子流出防止機能と浸透水の排水機能が必要であり、細粒分が少ない砂礫や細粒な岩材料を使用される。

フィルタゾーンの施工状況を写真-6.2 に示す。フィルタゾーンは、ダム堤体の致命的な破壊リスクを左右する最も大切な部位であり、フィルタ材料の粒度を厳密に管理する必要がある。図-6.6 にコアゾーンからの細粒子流出と浸透水の上昇によるダム堤体の安定性低下メカニズムの模式図を示す。

このため、フィルタ材料は一般にフィルタ 5 則と称される表-6.2 に示す基準(以下、フィルタ基準)を満足する必要がある。表-6.2 のフィルタ基準は、1966 年の土地改良事業計画設計基準(農林水産省)ならびに 1971 年のダム設計基準((社)日本大ダム会議)での若干の修正を受けたものである。浸透水に対するダム堤体の安定性については、1954 年の河上の著作⁶⁻²⁾でも指摘されている。1953 年の土地改良事業計画設計基準(農林水産省)では、「砂礫を堤体下流側に細粒度から粗粒度に遷移的に配置し、排水と濾過作用で貫孔作用を停止させる」という解説がある。なお、我が国において初めてフィルタ基準が整備されたのは、1956 年の土地改良事業計画設計基準(農林水産省)と 1957 年のダム設計基準((社)日本大ダム会議)である⁶⁻¹⁾。

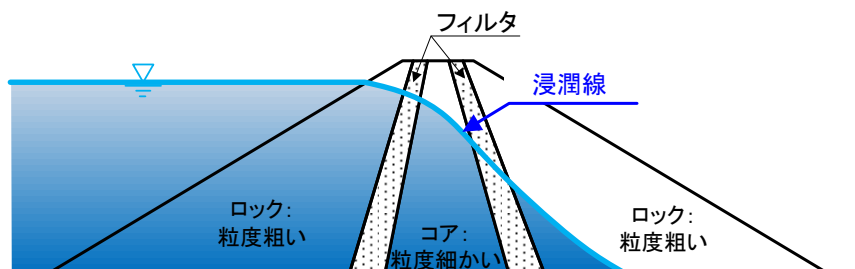
一方、1976 年の Teton ダム(アメリカ合衆国アイダホ州)の決壊事故以来、水圧破砕(Hydraulic Fracturing)が懸念されるようになった。特に初期湛水時、貯水がコアの透水係数が相対的に高い部分(通常は転圧層境界部)を浸透し、この部分に作用する鉛直方向の圧縮応力が小さいと楔状に浸透するという考え方である。この対策として、コアゾーンに局所的に透水性の高い欠陥があっても、コア下流側に貫孔作用を塞ぐフィルタの配置が有効であるとの見解が海外で有力となった。J.Sherard らは、室内実験から非侵食フィルタ(No Erosion Filter, 略称 NEF)⁶⁻⁷⁾を提案している。表-6.3 にアメリカ合衆国陸軍工兵隊の NEF^{6-3),6-8)}を示す。これによると、注釈に記載されているようにフィルタの最大粒径を 75mm と我が国(表-6.1 参照, 最大粒径 100~300mm)よりも厳しく制限している。フィルタの最大粒径が大きい場合、盛立時の材料分離が問題となり、特にコアとフィルタ境界付近に大玉が集中しやすくなる。このことから最大粒径の制限は重要であり、材料の偏りを生じさせない丁寧な施工が必要とされる。コア・フィルタ境界部の状況を写真-6.3 に示す。

なお、フィルタ基準を満足する自然材料が得られないことも多く、コア材料同様に複数材料を混合して粒度を調整したり、破砕プラントなどで製造するケースも多くなっている。また、購入材料(主に、砕石)を使用することもある。



写真-6.2 フィルタ材料の敷均し状況(胆沢ダム建設工事, 著者撮影)

一般的な中央コア型ロックフィルダムの場合:ダム堤体は安定



フィルタがない場合...

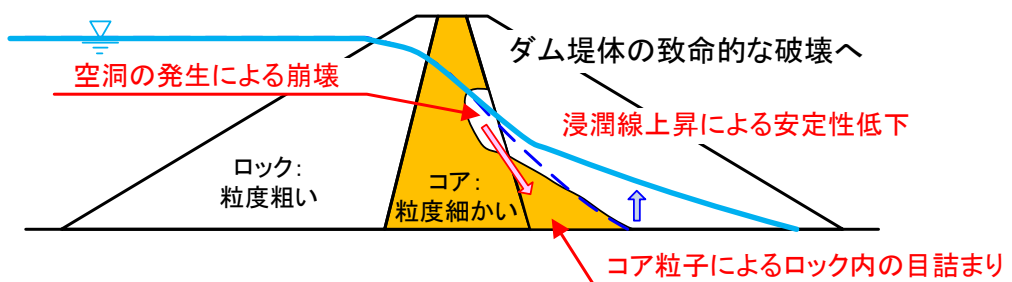


図-6.6 コアゾーンからの細粒子流出と浸透水の上昇によるダム堤体安定性低下メカニズムの模式図

表-6.2 我が国の現行のフィルタ基準⁶⁻¹⁾

(1966年土地改良事業計画設計基準, 1971年ダム設計基準)

1)	(透水則)	$\frac{\text{フィルタ材料の15\%粒径}}{\text{フィルタで保護される材料の15\%粒径}} > 5$
2)	(パイピング則)	$\frac{\text{フィルタ材料の15\%粒径}}{\text{フィルタで保護される材料の85\%粒径}} < 5$
3)	フィルタ材料の粒度曲線は、保護される材料の粒度曲線とほぼ平行であることが望ましい。	
4)	フィルタ材料で保護される材料が粗粒材料を含む場合は、その材料の粒径25mm以下の部分について1)および2)を適用する。	
5)	フィルタ材料は粘着性のないもので、#200(0.075mm)ふるいを通過する細粒分を5%以上含んではならない。	

* 保護される材料が粘着性に富む場合には、これらの条件を多少緩和することができる。

** フィルタで保護される材料: コア材料を指す。

表-6.3 米国陸軍工兵隊のフィルタ基準 (NEF)⁶⁻³⁾

(Sherard のフィルタ基準 (工兵隊 EM1110-2-2300 2004年 Appendix B))

・コア材料の区分(4番ふるい(4.75mm)通過した内、200番ふるい(0.075mm)以下の含有率%)

第1類: 85%以上 第2類: 40~85% 第3類: 15~39% 第4類: 15%以下

・フィルタの15%粒径の最大値は下表で決める。ただし、0.2mmよりも小さくすることは要求しない。

類	材料の定義	細粒分含有率	設計基準 (適切な安全率を加味してある)	注
1	細粒シルト-粘土	85%以上	$D_{15} \leq 9 \times d_{85} \text{ (mm)}$	(1)
2	砂、シルト、粘土混合	40~85%	$D_{15} \leq 0.7 \text{ (mm)}$	
3	シルト、粘土、砂、礫混合	15~40%	$D_{15} \leq 0.7 + (40 - A) \times (4 \times d_{85} - 0.7) / 25 \text{ (mm)}$	(2),(3)
4	砂と礫	15%以下	$D_{15} \leq 4 \sim 5 \times d_{85} \text{ (mm)}$	(4)

* D_{15} : フィルタ材料の15%通過粒径, d_{85} : ベース材料の85%通過粒径

・フィルタの最大粒径は75mm, 非塑性とするため200番ふるい(0.075mm)は5%以下, 透水性を確保するためフィルタの15%粒径はコア材の15%粒径の4倍以上とし, 0.1mm以下であってはならない。

注) (1) $9 \times d_{85}$ の値が0.2mmより小さければ, D_{15} は0.2mmとしてよい。

(2) Aは4番ふるい(4.75mm)以下での200番ふるい(0.075mm)含有率(%)

(3) $4 \times d_{85}$ が0.7mm以下なら, D_{15} を0.7mmとしてよい。

(4) 第4類では d_{85} は全粒度での d_{85} とする。第4類で $D_{15} < 4 \times d_{85}$ の基準は, リップラップの下のベース材あるいは, 吸い出しの激しいドレーンに近接したベース材に用いる。



写真-6.3 コア・フィルタ境界部の状況 (著者撮影)

6.1.4 ロックゾーン

ロックフィルダムの堤体形状は、円弧すべり計算によって決められており、計算ではロック材料のせん断強さが最も支配的である。このため、ロック材料は大きなせん断強さを有し、圧縮沈下量が少なく、排水性が良いことが求められる。

ロックゾーン(透水ゾーン)には、ダムサイト近傍から採取する岩材料、洪水吐やダム堤体などの掘削ずり、砂礫材料などが用いられ、堅硬かつ耐久性のある材料が望ましい。ダムサイト周辺でこのような材料が得られない場合は、細粒な材料を含むロック材や軟質な岩を用いることもあり、このような場合はゾーニングなどで対応している。

我が国におけるロック材料の施工は、1950年代までは堅硬かつ大塊なロック材料を高所(石淵ダムは最高29m、御母衣ダムは4~8m)から落下させ、高圧水(石淵ダムは 700kN/m^2 、御母衣ダムは 500kN/m^2)を射水して締め固める「投石射水工法」が用いられた。また、1960年代は盛立面を走行するブルドーザとダンプトラックによる締め固め効果を期待した「ブルドーザ、ダンプトラック転圧」で層厚2~4mで盛り立てている。現在では写真-6.4に示すように大型の振動ローラ(起振力20~30t級)で転圧するのが一般的である。

このようにロック材料を積極的に締め固めるようになったのは、堤高176mの高瀬ダム(1979年、長野県、RF)以降である。近年では、フィルダム完成後の長期的沈下量が少なく、かつ地震などによる沈下量が少ないことがフィルダムの性能において重要であり、ロック材料についても薄層で十分締め固めることが重要であるとされている⁶⁻³⁾。

また、松本⁶⁻³⁾は我が国において、1960年台前半まではロック材料には堅硬で大塊な岩石を選択していたため締め固め層厚は1m程度としていたが、これ以降のロック材料は比較的細粒なものが多くなってきたとしている。このため、ロック材料の締め固め層厚を一律に1mとするのではなく、ロック材料の最大粒径に応じて締め固め層厚を決めるべきとして、アメ

リカ合衆国の陸軍工兵隊のマニュアルや開拓局のアースマニュアルの事例を紹介している。アメリカ合衆国陸軍工兵隊のマニュアル⁶⁻⁹⁾では、ロック材料の締固め層厚は最大60cmであり、最大粒径が小さくなるに従って締固め層厚を小さくし、細粒なロック材料の締固め層厚は30～45cmである。また、アメリカ合衆国開拓局のアースマニュアル⁶⁻¹⁰⁾では、アースフィルとロックフィルの層厚をそれぞれ15cm、60cmとしている。

建設工事中のロックゾーンの品質管理は、定期的あるいは一定の盛立量毎に粒度試験と現場密度試験を実施しているが、ロック材では写真-6.5に示すように密度試験孔(一般に、水置換法)が直径2m以上にもなり、試験には多くの労力と時間を要する。このため、ロックフィルダム堤体の大部分を占める材料であるにも関わらず、品質管理頻度を多く出来ないのが実情である。



写真-6.4 振動ローラによるロック材料の転圧状況(胆沢ダム建設工事, 著者撮影)



写真-6.5 ロック材料(最大粒径1m)の水置換法による現場密度試験状況(胆沢ダム建設工事)

6.2 フィルダム建設工事中の品質管理

フィルダム建設工事では、施工会社が現場内または近傍に試験室を設けて、各種土質試験を実施して品質を管理することが一般的である。フィルダム建設工事において現場近傍に設けた土質試験室の例を写真-6.6、写真-6.7 に示す。

試験室には、乾燥炉、突き固め試験装置など、その現場で使用する材料と現場試験に応じて必要な器具や機械を揃え、複数の試験員(2～3人)と試験作業員(2～6人)で運営することが多い。



写真-6.6 現場に設けた試験室の例(山口貯水池堤体強化工事, 2001年著者撮影)



写真-6.7 現場に設けた試験室の様子(山口貯水池堤体強化工事, 2001年著者撮影)

6.2.1 フィルダム品質管理の種類

フィルダム建設工事は、大量の材料を盛立場に運搬し、これを締め固めてダム堤体を盛り立てることと言ってよい。大量な材料を用いるので、可能な限り施工に支障や手戻りが生じないように、使用材料が設計で意図した品質を有しているかどうかを施工中に常に管理する必要がある。

(財)ダム技術センターの書籍⁶⁻¹¹⁾によると、フィルダムの品質管理は以下のように大別できる。このうち、日常的な品質管理は主に(a), (b)によって行われる。

- (a) 目視による管理
- (b) 試験による管理
- (c) 動態観測計測器による管理

(a)目視による管理は、スムーズは施工によって設計を遵守した安全なフィルダムを建設するために特に重要とされており、施工管理担当者は各種試験値だけに頼るべきではないとしている。目視による管理項目としては、以下のような項目を挙げている。以下の項目のうち、④まき出し厚さ、⑤転圧機械の作業状況、転圧状況(転圧回数管理など)は「工法管理」に位置付けられる。

- ① 材料採取場所やストックパイルによける材料の種類、状況および均一性
- ② 原石山切羽の岩盤状況
- ③ 採取場や盛立面による含水比の状況
- ④ まき出し厚さ
- ⑤ 転圧機械の作業状況、転圧状況

(b)試験による管理では、使用材料を盛立場に搬出する前にその品質が適切なものかどうか判断できる項目についての試験を行い、さらに盛立後に各ゾーンに要求される設計値や諸性質を有していることを確認することが基本である。

試験方法は、基本的に JIS(日本工業規格)または JGS(地盤工学会基準)で定められた方法によるが、フィルダム施工ではロック材のようにこれらの基準の適用範囲を逸脱した材料に対しても各種試験を行う必要があり、特殊な方法で試験を行うことも一般的である。また、JIS 法や JGS 法の試験は結果を得るまでに時間を要する(例えば、24 時間後など)ものがほとんどであり、各材料の性質と所要の品質に応じて短時間で結果が得られる簡便な方法(例えば、電子レンジ法(地盤工学会基準 JGS0122, 写真-7.10 参照)やフライパン法⁶⁻¹²⁾(写真-7.11 参照)による含水比測定など)を併用する場合もある。

6.2.2 品質管理項目

(1) コアゾーン

コアゾーンの品質管理項目例を表-6.4 に示す。コア材料では、含水比、粒度、コンシステンシー(液性限界、塑性限界)、室内透水、現場密度、現場透水などの試験を基本としている。これらの試験は、材料採取時(土取場)、材料まき出し時(ストックパイプ)および締固め後に行うのが一般的である。

コア材料の品質管理項目のうち、重要なのは含水比、粒度、転圧後の密度および透水性であり、表-6.4 に示すようにこれらに関する試験は表中のほぼ全てのダムで実施されている。

品質管理項目のうち含水比は、密度、透水性、せん断強さと密接に関係している。含水比の上限は間隙水圧の発生によるせん断強さの低下と施工性(トラフィカビリティ)を、下限は転圧後の透水係数、飽和時のコラス沈下およびせん断強さの低下を考慮して規制される^{6-11), 6-13)}(図-6.5 参照)。なお、一般に含水比は最適含水比 $\sim +2\sim 3\%$ 程度とすることが多い。また、含水比測定は気象条件に大きく影響されるので、2回/日(午前、午後各1回)程度の頻度で行われる。

粒度については、最大粒径、細粒分含有率に加えて、中間的な粒度である4.75mm通過率などが規定される。

室内突固め試験はJIS A 1210に準拠するが、締固めエネルギーを通常の1Ec(標準プロクター)ではなく、現場での転圧機械や転圧回数などと比較して、2Ecというような大きなエネルギーにする場合もある。

現場密度試験は、従来から砂置換法(JIS A 1214, JGS 1611)が主として用いられてきたが、近年では迅速性や簡便性を考慮してRI法(JGS 1614)が適用される事例が増加している。なお、密度の品質規格値は締固め度D値で表され、95%以上とされることが多い。

現場透水試験は、盛立後の品質を最終的に確認するものであり、1回/日程度の頻度で試験を実施する。品質規格値は、透水係数(現場)で $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 以下とされるのが一般的である。

また、使用する材料によっては塑性指数 IP (=液性限界 W_L -塑性限界 W_p)を品質規格値とする場合もあり、一般に10~15以上が望ましいとされている。これは、パイピング抵抗性として浸透水に対して粒子が移動しにくい塑性的な材料であることと、転圧後のクラックの発生抑制を意図したものである。

表-6.4 コアゾーンの品質管理項目例 ⁶⁻¹¹⁾から作成

ダム名	場所	完成年	堤高 (m)	材料試験								現場試験	
				土粒子 密度	吸水率	含水比	液性 ／ 塑性	粒度	締固め	室内 透水	三軸 圧縮	現場 密度	現場 透水
御所	岩手県	1981	52.5			○		○	○	○		○	○
十勝	北海道	1984	84.3	○	○	○		○	○			○	○
寺山	栃木県	1984	62.2			○	○	○	○	○		○	○
奥野	静岡県	1989	63.0			○		○	○	○		○	○
寒河江	山形県	1990	112.0	○		○		○	○	○		○	○
奈良俣	群馬県	1990	158.0	○	○	○	○	○	○	○		○	○
山瀬	秋田県	1991	62.0	○	○	○		○	○	○		○	○
阿木川	岐阜県	1990	101.5	○	○	○	○	○	○	○		○	○
七ヶ宿	宮城県	1991	93.0	○	○	○		○	○	○	○	○	○
末武川	山口県	1991	89.5	○	○	○	○	○	○	○		○	○
三国川	新潟県	1993	119.5	○	○	○		○	○	○	○	○	○
上大須	岐阜県	1995	98.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
味噌川	長野県	1996	140.0	○	○	○	○	○	○	○		○	○
上日川	山梨県	1999	87.0			○	○	○	○	○		○	○
神谷	兵庫県	2000	79.0	○	○	○	○	○	○	○		○	○
堀川	福島県	2000	57.0	○		○	○	○	○	○	○	○	○
柿崎川	新潟県	2003	54.0	○	○	○	○	○	○	○		○	○
羽地	沖縄県	2004	66.5			○			○			○	○
南相木	長野県	2005	136.0			○	○	○	○	○		○	○
摺上川	福島県	2005	105.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
忠別	北海道	2006	78.5	○	○	○	○	○	○	○		○	○
綱木川	山形県	2007	74.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

(2) フィルタゾーン

フィルタゾーンの品質管理項目例を表-6.5 に示す。フィルタ材料は 6.1.2 に既述したように、フィルタ基準を満足する粒度範囲にあることを管理する必要がある。このほかに、現場密度、現場透水が重視されており、これらに関する試験は表中の全てのダムで実施されている。

なお、最近ではフィルタ基準(表-6.2 参照)のうち細粒分規定を満足するのが困難であることが散見される。このため、これを緩和するために液性限界および塑性限界試験を行ったり、ダーティ・ウォータ試験 ⁶⁻¹⁴⁾や非粘着性試験と呼ばれるサンド・キャッスル試験 ^{6-15),6-16)}などの特殊試験が実施される事例がある。

表-6.5 フィルタゾーンの品質管理項目例 ⁶⁻¹¹⁾から作成

ダム名	場所	完成年	堤高 (m)	材料試験								現場試験	
				密度	吸水率	含水比	液性 /塑性	粒度	締固め	室内 透水	三軸 圧縮	現場 密度	現場 透水
御所	岩手県	1981	52.5					○				○	○
十勝	北海道	1984	84.3	○	○	○		○				○	○
寺山	栃木県	1984	62.2					○				○	○
奥野	静岡県	1989	63.0	○	○			○				○	○
寒河江	山形県	1990	112.0	○	○			○	○	○	○	○	○
奈良俣	群馬県	1990	158.0	○	○			○	○	○	○	○	○
山瀬	秋田県	1991	62.0					○				○	○
阿木川	岐阜県	1990	101.5	○	○			○	○	○	○	○	○
七ヶ宿	宮城県	1991	93.0	○	○	○		○	○		○	○	○
末武川	山口県	1991	89.5					○				○	○
三国川	新潟県	1993	119.5	○	○			○			○	○	○
上大須	岐阜県	1995	98.0	○	○			○			○	○	○
味噌川	長野県	1996	140.0	○	○			○	○	○	○	○	○
上日川	山梨県	1999	87.0			○		○	○	○		○	○
神谷	兵庫県	2000	79.0	○	○			○				○	○
堀川	福島県	2000	57.0	○	○			○			○	○	○
柿崎川	新潟県	2003	54.0	○	○	○		○			○	○	○
羽地	沖縄県	2004	66.5	○	○			○				○	○
南相木	長野県	2005	136.0	○	○	○		○				○	○
摺上川	福島県	2005	105.0	○	○	○	○	○	○		○	○	○
忠別	北海道	2006	78.5	○	○			○	○	○		○	○
綱木川	山形県	2007	74.0	○		○		○	○		○	○	○

(3) ロックゾーン

ロックゾーンの品質管理項目例を表-6.6 に示す。ロック材料は、大きなせん断強さを有し、圧縮沈下量が少なく、貯水による堤体の浸透水ならびに雨水および貯水位の水位低下に伴う間隙水の自由な排水が阻害されない透水性を持ち、水や気象による風化作用に対する耐久性が高いものが望ましいとされている。これらの条件を包含した項目として、粒度および転圧後密度は表中の全てのダムで、密度・吸水率および現場透水は大部分のダムで実施されている。

しかし、これらの条件を完全に満足することが理想である一方で、サイト周辺で入手可能な材料を有効に活用するというフィルダムの特長を生かすためには、これらの条件

を完全に満足しているといえない材料でも、設計や施工面での適切な配慮によって使用されることがある。

なお、最大粒径が 500mm～1m に及ぶロック材料の各試験は、JIS(日本工業規格) または JGS(地盤工学会基準)によって定められた方法の適用範囲を逸脱しており、フィルダム分野独自の方法(例えば、写真-6.5 に示した水置換法による現場密度試験)で試験を行うことが一般的である。

表-6.6 ロックゾーンの品質管理項目例 ⁶⁻¹¹⁾から作成

ダム名	場所	完成年	堤高 (m)	材料試験						現場試験	
				密度	吸水率	粒度	締固め	室内 透水	三軸 圧縮	現場 密度	現場 透水
御所	岩手県	1981	52.5	○	○	○				○	○
十勝	北海道	1984	84.3	○	○	○				○	
寺山	栃木県	1984	62.2	○		○				○	
奥野	静岡県	1989	63.0	○	○	○				○	
寒河江	山形県	1990	112.0	○	○	○			○	○	○
奈良俣	群馬県	1990	158.0	○	○	○	○		○	○	○
山瀬	秋田県	1991	62.0			○			○	○	○
阿木川	岐阜県	1990	101.5	○	○	○	○		○	○	○
七ヶ宿	宮城県	1991	93.0	○	○	○			○	○	○
末武川	山口県	1991	89.5	○	○	○			○	○	○
三国川	新潟県	1993	119.5	○	○	○			○	○	○
上大須	岐阜県	1995	98.0	○	○	○			○	○	○
味噌川	長野県	1996	140.0	○	○	○	○		○	○	○
上日川	山梨県	1999	87.0	○	○	○				○	○
神谷	兵庫県	2000	79.0	○	○	○				○	○
堀川	福島県	2000	57.0	○	○	○			○	○	○
柿崎川	新潟県	2003	54.0	○	○	○				○	○
羽地	沖縄県	2004	66.5	○	○	○				○	○
南相木	長野県	2005	136.0	○	○	○				○	○
摺上川	福島県	2005	105.0	○	○	○			○	○	○
忠別	北海道	2006	78.5	○	○	○				○	○
綱木川	山形県	2007	74.0	○		○			○	○	○

6.2.3 品質管理基準の変遷

フィルダム建設工事における品質管理の基本は、材料を盛立場に搬入する前にその品質が適切であることを確認し、盛立後に管理基準を満足することを確認することである。

各種試験の頻度は、盛り立てた堤体の性質が統計的に管理基準を満たしており、かつばらつきが小さいことを確認できるように定められるのが本来の姿と考える。しかし、実際には施工と並行して各種試験を実施する必要があること、ならびに各種試験に労力と時間を要し施工の妨げになることもあることを考えると、現状の試験頻度が統計的かつ最適に設定されているかという点において疑問が残る。

また、管理基準値は材料試験時の結果やばらつき、設計値の設定、施工法などと相互に関係があり、単独では一概に決められない面もあるが、基本的には設計値に対して余裕を持たせて定められている。

ここでは、フィルダム建設工事における品質管理基準の変遷を整理する。

(1) 第二次世界大戦以前

山口貯水池(1934年、東京都、埼玉県、2002年に堤体強化工事が竣工⁶⁻¹⁷⁾)は、東京都武蔵村山市・瑞穂町、埼玉県所沢市・入間市にまたがる水道専用の貯水池(有効貯水容量:1,953万 m^3)であり、昭和2年(1927年)から昭和9年(1934年)にかけて建設された日本最大級のアースダム(堤高35m、堤頂長691m、堤体積130万 m^3)である(2章(2), 3.1.2参照)。

山口貯水池建設当時の工事誌⁶⁻¹⁸⁾には、堤体に使用する粘性土の材料品質管理に関することが記載されている。これによると、粘性土に関する材料試験を行い、この結果に基づいて山口貯水池から一里内外の範囲で4箇所(筒所)の土取場を選定したとされている。さらに、貯水池内においても粘性土を発見し、約1万立坪(約6万 m^3)を採取している。なお、このときのコストは1立坪約6圓(約1円/ m^3)と記載されている。

粘性土に関する品質規格値および試験結果は表-6.7に示すとおりであり、現在のフィルダムにおける材料の品質管理基準と同様に、粒度分布や含水比などを規定している。なお、含水比については現在とは異なり、土に含まれる水分質量を土の全質量で除した「含水率」で表記しているようである。また、粒度分布については、土を水路などに一定流速で流し、土が流れた距離に応じて土の粒径を推定する方法で求めていたようである。この試験は、水の流速の大小によって流される土粒子の大きさが異なることに着目して、何らかのキャリブレーションを行って把握した水の流速と流された土の距離から、土の粒径を推定するといったものと思われる⁶⁻¹⁹⁾。

なお、コアゾーンに相当する粘土止水壁(心壁)の施工については、上記規格を満たした粘性土に砂利を約50%混合して、現場に運搬し、厚さ約10cmに敷き均して菴(むしろ)や麻布等で覆った後、蒸気ローラー(8~10t、写真-3.1参照)で仕上がり厚さが約5cmになるまで締め固めたと記述されている。著者は山口貯水池堤体強化工事の中に、

粘土止水壁(心壁)を試掘調査する機会を得たが、写真-6.8 に示すように茶褐色の粘性土に河床礫が均一に混合されており、工事誌の記述通りの材料が使用されていることを確認した。

また、既設堤体上流側のコンクリートブロック撤去後に発見された上流サヤ土の盛立跡を写真-6.9 に示す。これは上記の粘土止水壁とは部位が異なる(図-2.2 参照)が、複数の材料を仕上がり厚 10cm(工事誌では3寸と記載)で盛り立てられていることがわかる。粘性土の色調が異なるのは複数の土取場からの材料を使用したためと考えられ、色調が異なる粘性土が規則的に使用されていることから、綿密な施工計画に従って盛立が実施されたことが窺える⁶⁻¹⁹⁾。

以上のように、現在のフィルダム建設工事中の品質管理の原形を第二次世界大戦以前のフィルダム建設工事に垣間見ることができる。

表-6.7 山口貯水池の粘性土標準規格値と試験実績⁶⁻¹⁹⁾

項目	記載されている規格	試験実績	単位他
粘土分	淘汰分析して0.01号以下の粒子を60%以上含有するもの	70.7%	号:mm
比重	真比重にて2.6以上	2.66	—
沸化	水中に浸し36時間以上沸化せざるもの	36時間以上	—
粘着力	収縮停止時に於ける抗張力6号/号 ² 以上	9.12号/号 ²	号/号 ² :kg/cm ²
収縮	5号の長さに於ける完全乾燥収縮率10%以上	14.13%	号:cm
水分	天然含有水分30%以上50%以下	36.64%	—
其他	有機物及腐蝕性悪臭なきもの	—	—

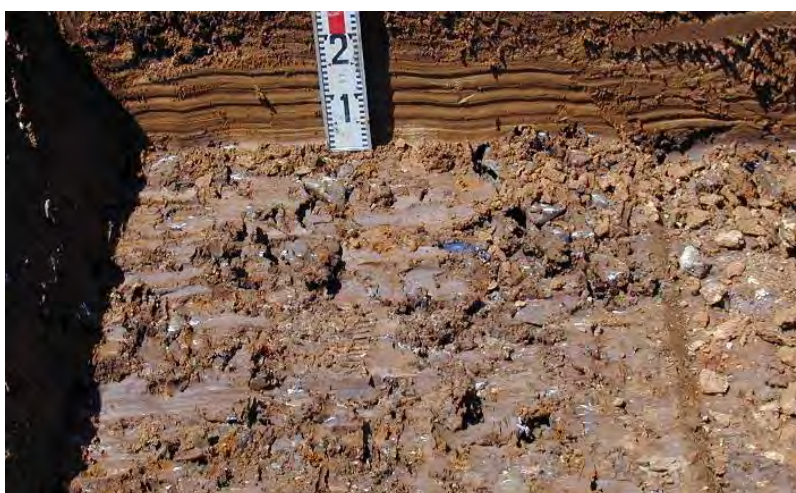


写真-6.8 山口貯水池既設堤体粘土止水壁(心壁)の状況(2001年, 著者撮影)



写真-6.9 山口貯水池既設堤体上流サヤ土の盛立跡全景(1999年, 著者撮影)

(2) 近代的アースダム

第二次世界大戦以降, 我が国のダム建設の本格化(3.2 参照)に伴い, アースダムも近代化を果たしている。アースダムは堤体材料の強度が大きくないため, 我が国においては堤高 30m 程度以下の堤高の低いダムが大半を占めている。第二次世界大戦以降, 我が国では 81 ダムが建設されているが, 竣工年代を見ると 1990 年台は 8 ダム, 2000 年台は 2 ダムのみとなっている⁶⁻²⁰⁾。これは, アースダム建設に適した場所が少なくなったことに加えて, アースダムは堤高が低く貯水容量が限定されるので経済的ではないと判断されることが多いためと考えられる。

近代的アースダムの品質管理基準例として長柄ダム(1985 年, 千葉県, E)を取り上げる。長柄ダムは千葉縣市原市に位置する総貯水量 1,000 万 m^3 , 有効貯水量 960 万 m^3 の利水専用ダム(ダム事業者:(独)水資源機構)であり, 堤高 52m, 堤体積 145.5 万 m^3 , 堤頂長 250m のゾーン型アースダム(傾斜コア型)である。

建設工事は, 堤体材料への関東ローム(コア材料, 図-6.7 中, Zone I)や成田砂(堤体材料, 図-6.7 中, Zone II)の使用や, 基礎地盤の浸透対策など技術的課題が多かった工事であり, 現在においても技術的に最高峰のアースダムとされている。

長柄ダムの堤体標準断面図を図-6.7 に, 品質管理基準を表-6.8 に示す⁶⁻²¹⁾。

コア材 (Zone I, 36.5 万 m^3) は難透水性材料であり, 立川および武蔵野ロームに分類される関東ロームを使用している。含水比が非常に高く(90~140%), 施工性が悪いことが特長である。

堤体材料 (Zone II, 85.7 万 m^3) は, 堤体の安定性確保を目的とした材料である, 砂質土(成田砂層)を使用している。海性の砂であるため, 最大粒径 $D_{max}=1mm$, 細粒分(粒径 0.075mm 未満)含有率=10%程度, 均等係数 $U_c=5\sim6$ の粒径の揃った砂である。

Zone III (19.8 万 m^3) は, コア材 (Zone I) の保護と堤体の安定性確保を目的とした材

料であり、近郊で採取できる泥岩(笠森層)を使用している。この泥岩は第四紀起源であり、固結度が低く転圧によって細粒化するため、岩塊として残ることはほとんどなかったとされている。

堤体盛立には、1981年(昭和56年)5月～1984年(昭和59年)11月の42ヶ月を要している。盛立期間中の1ヶ月当たりの平均盛立量を求めると Zone I (コアゾーン, 36.5 万 m^3) は約 $9,000 \text{ m}^3/\text{月}$, Zone II (堤体材料, 85.7 万 m^3) は約 $20,000 \text{ m}^3/\text{月}$, Zone III (19.8 万 m^3) は約 $5,000 \text{ m}^3/\text{月}$ となる。月当たりの平均稼働日数を13日(降雨などによる施工休止日数を考慮)と仮定すると、日当たりの盛立量は Zone I (コアゾーン) が約 $700 \text{ m}^3/\text{日}$, Zone II (堤体材料) が約 $1,500 \text{ m}^3/\text{日}$ となる。

表-6.8 に示す品質管理試験頻度と比較すると、Zone I (コアゾーン) の現場密度(1回/ $1,000 \text{ m}^3$) は概ね1回/日、現場透水(1回/ $5,000 \text{ m}^3$) は概ね1回/週の頻度である。Zone II (堤体材料) の現場密度(1回/ $1,000 \text{ m}^3$) は概ね1回/日以上、現場透水(1回/ $5,000 \text{ m}^3$) は概ね1回/3日の頻度であったと考えられる。

なお、現場密度試験(砂置換法)は概ね30分/1回程度、現場透水は6～12時間/1回程度の時間を要する。

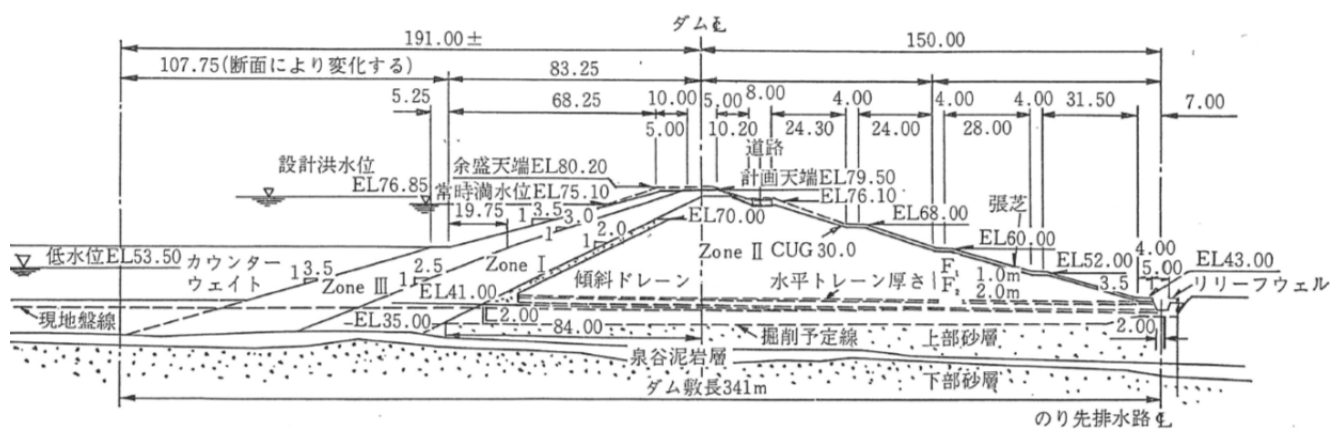


図-6.7 長柄ダム標準断面図 (6-21)

表-6.8 長柄ダム(1985年)の品質管理基準 ⁶⁻²¹⁾から作製

材料	管理項目	試験方法	規格値	試験頻度	場所	備考	
ゾーンⅠ コア材料 (関東ローム)	含水比	JIS A 1203	-	2回/日	土取場		
				1回/1,000m ³	盛立面		
	現場突固め	-	-	-	2回/日	土取場	自然状態の材料を締固め
	コーン指数	JIS A 1228	800kPa(8kg/cm ²)以上		2回/日	土取場	締め固め供試体を流用
					1回/1,000m ³	盛立面	転圧後盛立面で実施
	土粒子密度	JIS A 1202	-		1回/50,000m ³	土取場	
					1回/50,000m ³	盛立面	
	締固め	JIS A 1210	-	-	1回/週	土取場	物理的性質の確認
	粒度	JIS A 1204	-		1回/50,000m ³	土取場	
					1回/50,000m ³	盛立面	
	液性/塑性	JIS A 1205	-	-	1回/50,000m ³	土取場	
					1回/50,000m ³	盛立面	
	現場密度	- (記載なし)	飽和度Sr≥90%	-	1回/1,000m ³	盛立面	
現場透水	- (記載なし)	k≤5×10 ⁻⁶ cm/s	-	1回/5,000m ³	盛立面		
室内透水試験	JIS A 1218	1×10 ⁻⁶ cm/s以下	-	1回/100,000m ³	盛立面	力学的性質の確認	
室内三軸圧縮試験	JGS 0522	設計値 C _{uu} =4.1t/m ² (40kPa) φ _{uu} =10.5°		1回/100,000m ³	土取場		
				1回/50,000m ³	盛立面		
室内圧密試験	JIS 1217	力学的性質の確認		1回/100,000m ³	土取場	室内構成供試体	
				1回/50,000m ³	盛立面		
ゾーンⅡ 堤体材料 (砂質土)	含水比	JIS A 1203	wopt-4~+3%	2回/日	土取場	wopt:最適含水比	
				1回/1,000m ³	盛立面		
	土粒子密度	JIS A 1202	-		1回/50,000m ³	土取場	
					1回/50,000m ³	盛立面	
	締固め	JIS A 1210	-	-	1回/週	土取場	物理的性質の確認
	粒度	JIS A 1204	-	-	2回/日	土取場	
					1回/50,000m ³	盛立面	
	現場密度	- (記載なし)	締固め度D≥95%	-	1回/1,000m ³	盛立面	
現場透水	- (記載なし)	-	-	1回/50,000m ³	盛立面		
室内透水試験	JIS A 1218	-	-	1回/200,000m ³	盛立面	力学的性質の確認	
室内三軸圧縮試験	JGS 0522	設計値 C _{uu} =0kPa, φ _{uu} =33°		1回/200,000m ³	土取場	室内構成供試体	
				1回/50,000m ³	盛立面		
ゾーンⅢ コア保護材料 (泥岩)	含水比	JIS A 1203	wopt-2.5~+2.5%	2回/日	土取場		
				1回/1,000m ³	盛立面		
	土粒子密度	JIS A 1202	-		1回/50,000m ³	土取場	
					1回/50,000m ³	盛立面	
	締固め	JIS A 1210	-	-	1回/週	土取場	物理的性質の確認
	粒度	JIS A 1204	-4.75mm 70%以上 最大粒径 100mm	-	1回/週	土取場	
					1回/50,000m ³	盛立面	
	現場密度	- (記載なし)	締固め度D≥92.5%	-	1回/1,000m ³	盛立面	
現場透水試験	- (記載なし)	k≤5×10 ⁻⁶ cm/s	-	1回/5,000m ³	盛立面		
室内透水試験	JIS A 1218	1×10 ⁻⁶ cm/s以下	-	1回/200,000m ³	盛立面	力学的性質の確認	
三軸圧縮試験	JGS 0522	設計値 C _{uu} =2.5t/m ² (25kPa) φ _{uu} =30°		1回/200,000m ³	土取場	室内構成供試体	
				1回/50,000m ³	盛立面		

(3) 近代的ロックフィルダム

我が国のロックフィルダム建設工事は、第二次世界大戦後に始まり、これまでに 282 基が完成している(表-3.1 参照)。

a) セケ宿ダム

近代的ロックフィルダムの品質管理基準例として、1990 年台前半に完成したセケ宿ダム(シチカシユク, 1991 年, 宮城県, RF)を取り上げる。セケ宿ダムは、阿武隈川水系白石川に建設された多目的ダムで、ダム堤体は堤高 90m, 堤体積 520 万 m^3 , 堤頂長 565m の中央コア型ロックフィルダムである。セケ宿ダムの堤体標準断面図⁶⁻²²⁾を図-6.8 に、品質管理基準⁶⁻¹¹⁾を表-6.9 に示す。

堤体盛立は、1985 年(昭和 60 年)4 月～1988 年(昭和 63 年)9 月の 30 ヶ月(冬季施工休止期間を除く)を要している⁶⁻²³⁾。盛立期間中の 1 ヶ月当たりの平均盛立量を求めるとコアゾーン(17 万 m^3)は約 6,000 m^3 /月となる。ロックゾーン(503 万 m^3)は約 17 万 m^3 /月となる。月当たりの平均稼働日数をコアゾーンが 13 日, ロックゾーンが 20 日と仮定すると、日当たりの盛立量はコアゾーンが約 500 m^3 /日, ロックゾーンが約 8,500 m^3 /日となる。

表-6.9 に示す品質管理試験頻度と比較すると、コアゾーンは施工量に関わらずに現場密度が 4 回/日, 現場透水が 1 回/週の頻度で規定されている。コアゾーンの日当たりの盛立量が約 500 m^3 /日であったとすると、現場密度試験は 1 回/125 m^3 程度, 現場透水試験は 1 回/2,500～3,500 m^3 程度の頻度に相当する。また、ロックゾーンの現場密度および現場透水(1 回/50,000 m^3)は概ね 1 回/週の頻度であったと考えられる。なお、ロック材の現場密度試験および現場透水試験は 6 時間程度/1 回の時間を要する。

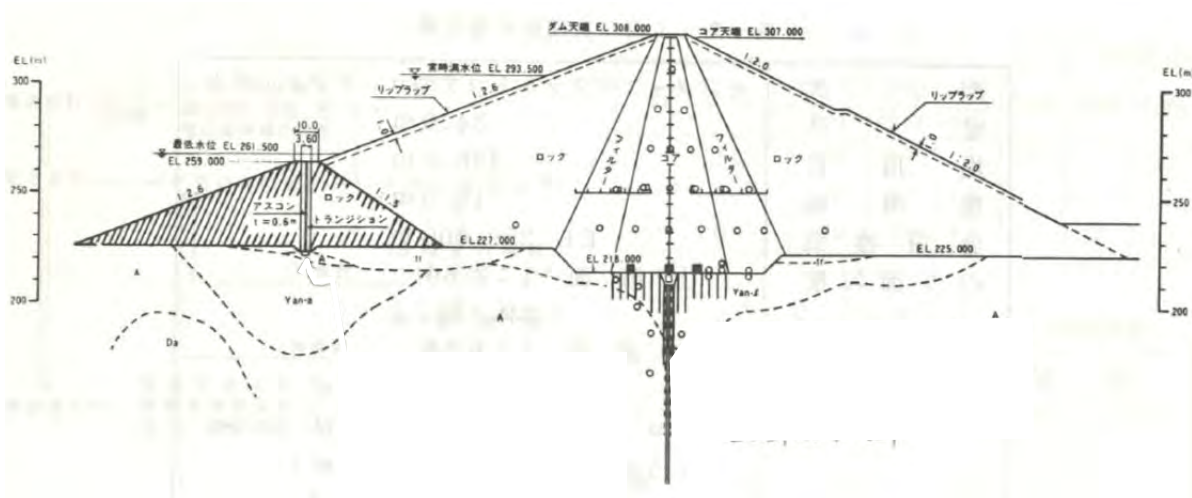


図-6.8 セケ宿ダム標準断面図⁶⁻²²⁾

表-6.9 七ヶ宿ダム(1991年)の品質管理基準⁶⁻¹¹⁾を加筆,修正

材料	管理項目	試験方法	規格値	試験頻度	場所	備考
遮水材料 (コア材料)	含水比	JIS A 1203 または簡便法	wopt(-19mm)+0.5~+2.5%	4回/日	ストックパイル	wopt:最適含水比
				4回/日	盛立面	
	粒度	JIS A 1204 ふるい分け	-0.075mm 15% -4.75mm 40~60% -19.0mm 55~75% 最大粒径 150mm	1回/日	ストックパイル	
				1回/週	盛立面	
					1回/日	
	締固め	JIS A 1210 (簡易法, 3点)	-	1回/日	ストックパイル	
				1回/日	盛立面	
	現場密度	砂置換法 (φ20×H20cm)	最大乾燥密度×95%以上 かつ $\rho_d \geq 1.97t/m^3$	4箇所/日	盛立面	4点測定/1箇所
		Ri法		12箇所/日		
	現場透水	変水位法 (φ20×H20cm)	$k \leq 1 \times 10^{-5}cm/s$	1回/週		密度試験孔を利用して測定
室内透水試験	JIS A 1218	$1 \times 10^{-6}cm/s$ 以下	1回/50,000m ³	室内	室内構成供試体	
三軸圧縮試験	JGS 0522 φ100, CU	盛立面設計値 $\phi=35^\circ$	1回/50,000m ³			
半透水性材料 (フィルタ材料)	密度・吸水率	JIS A 1202 JIS A 1110	-	4箇所/パイル	ストックパイル	土粒子の密度試験 碟の比重, 吸水率試験
	含水比	JIS A 1203	wopt(-19mm)+0.5~+2.0%	4回/日		wopt:最適含水比
	粒度	JIS A 1204 ふるい分け	-0.075mm 5% -4.75mm 20~40% 最大粒径 200mm	1回/日		
				1回/週		
	現場密度	水置換法 (φ40×H40cm)	$\rho_d \geq 2.00t/m^3$	1回/100,000m ³	盛立面	4点測定/1箇所
	現場透水	変水位法 (φ20×H20cm)	$k \geq 1 \times 10^{-4}cm/s$	1回/週		密度試験孔を利用して測定
	三軸圧縮試験	JGS 0524 φ300, CD	盛立面設計値 $\phi=36^\circ$	1回/100,000m ³	室内	室内構成供試体
透水性材料 (ロック材料)	密度・吸水率	JIS A 1110 (平均粒径)	表乾密度 ≥ 2.45	1回/50,000m ³	盛立面	密度試験孔掘削土を対象 に実施する
	粒度	ふるい分け	-0.850mm 10%以下			
			-4.75mm 20%以下 最大粒径 1m			
	現場密度	水置換法 (φ3m×H1m)	$\rho_d \geq 1.96t/m^3$	1回/50,000m ³		4点測定/1箇所
	現場透水	変水位法 (φ20×H20cm)	$k \geq 1 \times 10^{-2}cm/s$			密度試験孔を利用して測定
三軸圧縮試験	JGS 0524 φ300, CD	盛立面設計値 $\phi=42^\circ$	1回/600,000m ³	室内	室内構成供試体	

b) 胆沢ダム

最近の近代的ロックフィルダムの品質管理基準例として、2014年3月に完成した胆沢ダム(岩手県, RF)を取り上げる。

胆沢ダムは、北上川水系胆沢川に建設された多目的ダムで、ダム堤体は堤高 132m, 堤体積 1,350 万 m³, 堤頂長 723m の我が国屈指の規模を誇る中央コア型ロックフィルダムである(堤高:日本第7位, 堤体積:日本第2位(2014年現在, 完成済みのロックフィルダムを対象))。

胆沢ダムの堤体標準断面図⁶⁻²⁴⁾を図-6.9に、品質管理基準⁶⁻²⁵⁾を表-6.10に示す。

堤体盛立は、2005年(平成17年)8月~2010年(平成22年)10月の43ヶ月(冬季施工休止期間, 岩手・宮城内陸地震による休止期間1ヶ月を除く, 昼夜施工)を要している。盛立期間中の1ヶ月当たりの平均盛立量を求めるとコアゾーン(158万 m³)は約 37,000m³/月となる。ロックゾーン(829万 m³)は約 19万 m³/月となる。七ヶ宿ダムの場合と同様に、月当たりの平均稼働日数をコアゾーンが13日, ロックゾーンが20日と仮定すると、日当たりの盛立量はコアゾーンが約 2,800m³/日, ロックゾーンが約 9,500m³/日となる。表-6.10に示す品質管理試験頻度と比較すると、コアゾーン(標準)の現場密度(3回/10,000m³)および現場透水(1回/10,000m³)は概ね1回/3~4日の頻度, ロックゾーンの現場密度および現場透水(1回/50,000m³)は概ね1回/5日の頻度であったと考えられる。なお、これらの頻度は平均盛立量に基づくものであり、盛立最盛期の盛立量はそれぞれの平均値の3~4倍になると考えられる。つまり、盛立最盛期ではコアゾーン(標準)およびロックゾーンの現場密度ならびに現場透水は、ほぼ毎日実施する必要があったと考えられる。

なお、岩盤とコア材の密着性を確保するために厚さ 30~50cm 程度で施工するコア着岩材や、剛性が異なるコア標準材とコア着岩材間に厚さ 50cm~1m 程度で施工するコア中間材についても、品質管理基準が設けられていることも特長的である。

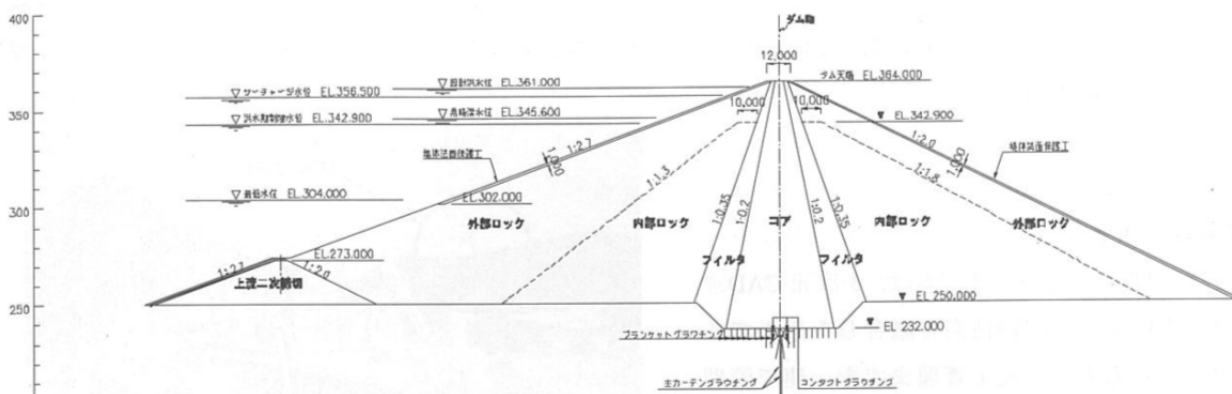


図-6.9 胆沢ダム標準断面図⁶⁻²⁴⁾

表-6.10 胆沢ダムの品質管理基準⁶⁻²⁵⁾から作成 (1)コア材料

材料	管理項目	試験方法	規格値	試験頻度	場所	備考	
着 岩 材	含水比	JIS A 1203	-	1回/2,000m ³	土取場	-19mm, +19mmで測定 JGS 0122:電子レンジ法	
		JIS A 1203		3箇所/パイプ	ストックパイル		
		JGS 0122		1回/日	ストック搬出時		
		JIS A 1203		1回/日	盛立面		
	粒度	JIS A 1204	-	-0.075mm 40%以上	1回/2,000m ³	土取場	
				-2mm 70%以上	3箇所/パイプ	ストックパイル	
				-	1回/日	ストック搬出時	
				最大粒径 50mm	1回/2,000m ³	盛立面	3点/回
	密度・吸水率	JIS A 1202 JIS A 1110	JIS A 1110: 9.5~19mm, +19mm	3箇所/パイプ	ストックパイル	土粒子の密度試験 礫の比重, 吸水率試験	
	液性/塑性	JIS A 1205	IP≥20	3箇所/パイプ			
	締固め	JIS A 1210	-	3箇所/パイプ	ストックパイル	含水比5水準	
				1回/日	ストック搬出時		
	室内透水試験	JIS A 1218	1×10 ⁻⁶ cm/s以下	3箇所/パイプ	ストックパイル	含水比5水準	
	現場密度	JIS A 1214 砂置換法	最大乾燥密度(-19mm)× 90%以上	1回/200m ³	盛立面	3点測定/1回 JGS 1614 R法併用	
	現場透水	JGS 1316 定水位法	k≤1×10 ⁻⁵ cm/s	1回/200m ³		3点測定/1回	
	遮水材料 (コア材料)	含水比	JIS A 1203	-	1回/5,000m ³	土取場	-19mm, +19mmで測定 JGS 0122:電子レンジ法
			JIS A 1203		3箇所/パイプ	ストックパイル	
			JGS 0122		1回/日	ストック搬出時	
JIS A 1203			1回/日		盛立面		
粒度		JIS A 1204	-	-0.075mm 25%以上	1回/2,000m ³	土取場	
				-2mm 50%以上	3箇所/パイプ	ストックパイル	
				-	1回/日	ストック搬出時	
				最大粒径 75mm	1回/2,000m ³	盛立面	3点/回
密度・吸水率		JIS A 1202 JIS A 1110	JIS A 1110: 9.5~19mm, +19mm	3箇所/パイプ	ストックパイル	土粒子の密度試験 礫の比重, 吸水率試験	
液性/塑性		JIS A 1205	IP≥15	3箇所/パイプ			
締固め		JIS A 1210	-	3箇所/パイプ	ストックパイル	含水比5水準	
				1回/日	ストック搬出時		
室内透水試験		JIS A 1218	1×10 ⁻⁶ cm/s以下	3箇所/パイプ	ストックパイル	含水比5水準	
現場密度		JIS A 1214 砂置換法	最大乾燥密度(-19mm)× 95%以上	1回/日	盛立面	3点測定/1回 JGS 1614 R法併用	
現場透水		JGS 1316 定水位法	k≤1×10 ⁻⁵ cm/s	1回/2,000m ³		3点測定/1回	
標 準		含水比	JIS A 1203	wopt(-37.5mm)+0~+2%	3箇所/パイプ	ストックパイル	-37.5mm, +37.5mmで測定 JGS 0122:電子レンジ法
			JGS 0122		1回/日	ストック搬出時	
			JIS A 1203		1回/日	盛立面	
	粒度	JIS A 1204	-	-0.075mm 11~18%	1回/100,000m ³	土取場	
				-4.75mm 40~75%	3箇所/パイプ	ストックパイル	
				-	1回/日	ストック搬出時	
				最大粒径 150mm	1回/10,000m ³	盛立面	3点/回
	密度・吸水率	JIS A 1202 JIS A 1110	JIS A 1110: 9.5~37.5mm, +37.5mm	3箇所/パイプ	ストックパイル	土粒子の密度試験 礫の比重, 吸水率試験	
	液性/塑性	JIS A 1205	IP≥10	3箇所/パイプ			
	締固め	JIS A 1210	-	3箇所/パイプ	ストックパイル	含水比5水準	
				1回/日	ストック搬出時		
	室内透水試験	JIS A 1218	1×10 ⁻⁶ cm/s以下	3箇所/パイプ	ストックパイル	含水比5水準	
	現場密度	JGS 1611 突き砂法	最大乾燥密度(-37.5m)× 95%以上 ρ _d ≥1.76g/cm ³	3回/10,000m ³	盛立面	JGS 1614 R法併用	
	現場透水	JGS 1316 定水位法	k≤1×10 ⁻⁵ cm/s	1回/10,000m ³		3点測定/1回	
	三軸圧縮試験	JGS 0523 φ150, CU_bar	φ≥36°	1回/200,000m ³	室内	室内構成供試体	

表-6.10 胆沢ダムの品質管理基準⁶⁻²⁵から作成 (2)フィルタ材料, ロック材料

材料	管理項目	試験方法	規格値	試験頻度	場所	備考	
半透水性材料 (フィルタ材料)	密度・吸水率	JIS A 1202 JIS A 1110	絶乾比重 $G_b \geq 2.5g/cm^3$	1回/30,000m ³	ストックパイル	土粒子の密度試験 礫の比重, 吸水率試験	
	粒度	JIS A 1204 ふるい分け	-0.075mm 4~6% 最大粒径 200mm	1回/30,000m ³			
	現場密度	JGS 1612 水置換法	$\rho d \geq 2.00t/m^3$	1回/10,000m ³	盛立面	密度試験孔を利用して 測定	
	現場透水	変水位法	$k \geq 5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4} cm/s$				
	三軸圧縮試験	JGS 0524 φ300, CD	(d<63mm) $\phi \geq 37^\circ$	1回/200,000m ³	室内	室内構成供試体	
透水性材料 (ロック材 料)	内部	密度・吸水率	JIS A 1202 JIS A 1110	絶乾比重 $G_b \geq 2.33g/cm^3$	1回/50,000m ³	盛立面	比重・吸水率試験: 4水 準(200-63-37.5- 4.75mm) 密度試験孔掘削土を対 象に実施する
		粒度	ふるい分け	-0.850mm 20%以下			
				-9.5mm 30%以下			
				最大粒径 1m			
		現場密度	JGS 1612 水置換法	$\rho d \geq 1.86t/m^3$	1回/50,000m ³		
	現場透水	変水位法	$k \geq 1 \times 10^{-3} cm/s$				
	三軸圧縮試験	JGS 0524 φ300, CD	(d<63mm) $\phi \geq 38.5^\circ$	1回/500,000m ³	室内	室内構成供試体	
	外部	密度・吸水率	JIS A 1202 JIS A 1110	絶乾比重 $G_b \geq 2.37g/cm^3$	1回/50,000m ³	盛立面	比重・吸水率試験: 4水 準(200-63-37.5- 4.75mm) 密度試験孔掘削土を対 象に実施する
		粒度	ふるい分け	-0.850mm 20%以下			
				-9.5mm 30%以下			
最大粒径 1m							
現場密度		JGS 1612 水置換法	$\rho d \geq 1.92t/m^3$	1回/50,000m ³			
現場透水	変水位法	$k \geq 1 \times 10^{-2} cm/s$					
三軸圧縮試験	JGS 0524 φ300, CD	(d<63mm) $\phi \geq 41.5^\circ$	1回/500,000m ³	室内	室内構成供試体		

c) 殿ダム

最近の近代的ロックフィルダムの品質管理基準例として、2011年9月に完成した殿ダム(鳥取県, RF)も取り上げる。

殿ダムは、千代川水系袋川に建設された多目的ダムで、ダム堤体は堤高 75m, 堤積 211 万 m³, 堤頂長 294m の中規模の中央コア型ロックフィルダムである。

殿ダムの堤体標準断面図⁶⁻²⁶を図-6.10 に、品質管理基準⁶⁻²⁷)を表-6.11 に示す。

堤体盛立は、2009年(平成21年)5月～2010年(平成22年)10月の17ヶ月(冬季施工休止期間を除く, 昼間施工)を要している。盛立期間中の1ヶ月当たりの平均盛立量を求めるとコアゾーン(27.4 万 m³)は約 16,000m³/月となる。ロックゾーン(148 万 m³)は約 9 万 m³/月となる。セキ宿ダムならびに胆沢ダムと同様に、月当たりの平均稼働日数をコアゾーンが 13 日, ロックゾーンが 20 日と仮定すると、日当たりの盛立量はコアゾーンが約 1,200m³/日, ロックゾーンが約 4,500m³/日となる。

表-6.11 に示す品質管理試験頻度と比較すると、コアゾーン(標準)の現場密度は 1 回/2,000m³ のときは 1 回/2 日程度, 1 回/10,000m³ ときは 1 回/8 日程度の頻度であったと考えられる。なお、後述するが、殿ダムでは ICT 導入の効果⁶⁻²⁸)のひとつとして、RI 法による現場密度試験(1 回/2,000m³)の併用を前提に、現場密度試験(突き砂法)の頻度を変化させたことが特筆すべきことである。なお、現場透水試験(1 回/20,000m³)は 1 回/2 週間の頻度であったと考えられる。

ロックゾーンの現場密度および現場透水は、セキ宿ダムおよび胆沢ダムと同様に 1 回/50,000m³ と規定されており、1 回/2 週間の頻度であったと考えられる。

また、胆沢ダムと同様に、コア着岩材やコア中間材についても、品質管理基準が設けられている。

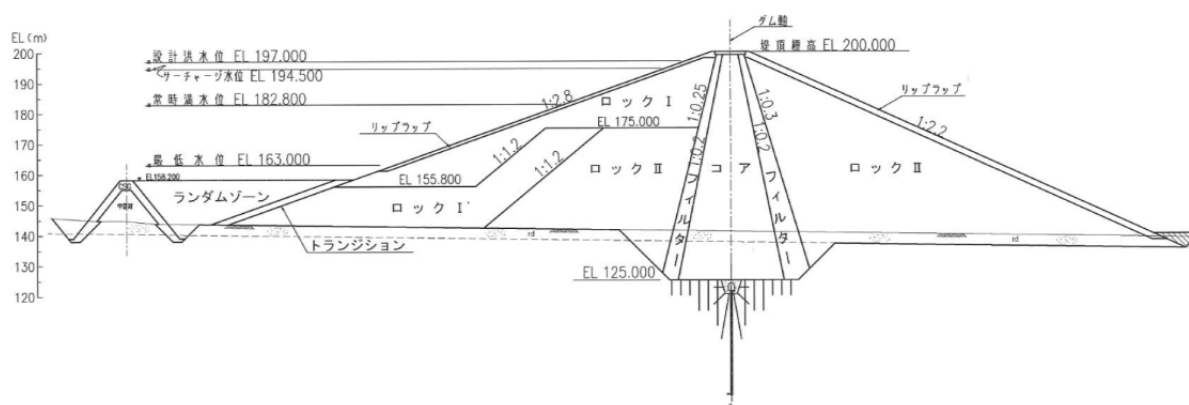


図-6.10 殿ダム標準断面図⁶⁻²⁶)

表-6.11 殿ダムの品質管理基準⁶⁻²⁷⁾から作成 (1)コア材料

材料	管理項目	試験方法	規格値	試験頻度	場所	備考	
着 岩 材	含水比	JIS A 1203	—	1回/500m ³	土取場	-19mm, -50mmで測定 、電子レンジ法を併用	
			wopt(-19mm)+0~+10%	1回/日	ストック搬出時		
	粒度	JIS A 1204	-0.075mm	40%以上	1回/500m ³	土取場	
				1回/500m ³	ストックパイル		
			最大粒径	50mm	1回/100m ³	ストック搬出時	1点/回
					1回/200m ³	盛立面	現場密度試験孔掘削材 を使用
	液性/塑性	JIS A 1205	IP≥20	1回/500m ³	ストックパイル		
	締固め	JIS A 1210	—	1回/500m ³	ストックパイル	含水比5水準	
	1回/100m ³	ストック搬出時					
	室内透水試験	JIS A 1218	1×10 ⁻⁶ cm/s以下	1回/1,000m ³	室内		
	現場密度	JIS A 1214 砂置換法	最大乾燥密度(-19mm)× 90%以上	1回/200m ³	盛立面	3点測定/1回	
	現場透水	JGS 1316 定水位法	k≤1×10 ⁻⁵ cm/s	1回/200m ³		3点測定/1回	
	中 間 材	含水比	JIS A 1203	wopt(-37.5mm)+1~+4%	1回/日	ストック搬出時	-19mm, +19mmで測定 電子レンジ法を併用
				1回/日	盛立面		
粒度		JIS A 1204	-0.075mm	19~39%	1回/日	ストック搬出時	1点/回
			最大粒径	100mm	1回/200m ³	盛立面	現場密度試験孔掘削材 を使用
締固め		JIS A 1210	—	1回/1,000m ³ または1回/日	ストック搬出時	含水比5水準	
室内透水試験		JIS A 1218	1×10 ⁻⁶ cm/s以下	1回/3,000m ³	室内		
現場密度		JIS A 1214 砂置換法	最大乾燥密度(-37.5mm) ×95%以上,かつρd≥ 1.6t/m ³ (Dmax100mm)	1回/200m ³	盛立面	3点測定/1回	
現場透水	JGS 1316 定水位法	k≤1×10 ⁻⁵ cm/s	1回/2,000m ³	3点測定/1回			
遮水材料 (コア材料)	含水比	JIS A 1203	—	1回/10,000m ³ または1回/月	土取場	-37.5mm, -150mmで 測定、電子レンジ法を併 用	
			wopt(-37.5mm)+0~+4%	4箇所/パイル	ストックパイル		
			wopt(-37.5mm)+0~+3%	2回/日	ストック搬出時		
	粒度	JIS A 1204	-0.075mm	15%以上	1回/10,000m ³ または1回/月	土取場	現場密度試験孔掘削材 を使用
			-4.75mm	40%以上	4箇所/パイル	ストックパイル	
			—	—	1回/日	ストック搬出時	
			最大粒径	150mm	1回/2,000m ³	盛立面	
	密度・吸水率	JIS A 1202 JIS A 1110	JIS A 1110: -9.5mm, 9.5~37.5mm, +37.5mm	1回/10,000m ³ または1回/月	土取場	土粒子の密度試験 礫の比重、吸水率試験	
	液性/塑性	JIS A 1205	—	4箇所/パイル	ストックパイル	3点/回	
	締固め	JIS A 1210	—	4箇所/パイル	ストックパイル	含水比5水準	
	1回/日	ストック搬出時					
	室内透水試験	JIS A 1218	1×10 ⁻⁶ cm/s以下	1回/50,000m ³	室内	含水比5水準	
	現場密度	JGS 1611 突き砂法 φ30cm	最大乾燥密度(-37.5mm) ×95%以上,かつρd≥ 1.6t/m ³ (Dmax150mm)	1回/2,000m ³	盛立面	突き砂法とRi法の相関 を確認後、頻度を変更 3点/回	
		JGS 1614 Ri法		1回/10,000m ³			
現場透水	JGS 1316 定水位法	k≤1×10 ⁻⁵ cm/s	1回/2,000m ³		3点測定/1回		
三軸圧縮試験	JGS 0523 φ150, CU_bar	φ(-37.5mm)≥28°	1回/50,000m ³	室内	室内構成供試体		

表-6.11 殿ダムの品質管理基準 ⁶⁻²⁷⁾から作成 (2)フィルタ材料, ロック材料

材料	管理項目	試験方法	規格値	試験頻度	場所	備考			
半透水性材料 (フィルタ材料) (トランジション材)	密度・吸水率	JIS A 1202 JIS A 1110	絶乾比重 $G_b \geq 2.5g/cm^3$ 吸水率 $Q \leq 3.0\%$	1回/5,000m ³	盛立面	土粒子の密度試験 礫の比重, 吸水率試験			
	粒度	JIS A 1204 ふるい分け	-0.075mm $\leq 8\%$ 最大粒径 100mm	1回/5,000m ³		現場密度試験孔掘削材 を使用			
	現場密度	JGS 1612 水置換法 $\phi 60cm$	$\rho_d \geq 2.00t/m^3$	1回/5,000m ³		3点/回			
	現場透水	変水位法	$k \geq 1 \times 10^{-4}cm/s$			密度試験孔を利用して 測定			
	三軸圧縮試験	JGS 0524 $\phi 300, CD$	($d < 53mm$) $\phi \geq 38^\circ$	1回/20,000m ³	室内	室内構成供試体			
透水性材料 (ロック材料)	密度・吸水率	JIS A 1202 JIS A 1110	I 材 $G_b \geq 2.5g/cm^3$ $Q \leq 5.0\%$	1回/50,000m ³	盛立面	比重・吸水率試験: 4水 準(9.5~53mm, +53mm)			
			I' 材 $G_b \geq 2.4g/cm^3$ $Q \leq 5.0\%$						
			II 材 $G_b \geq 2.3g/cm^3$ $Q \leq 5.0\%$						
	粒度	JIS A 1204 ふるい分け	最大粒径 500mm			1回/50,000m ³	盛立面	密度試験孔掘削土を対 象に実施する, 3点/回	
	現場密度	JGS 1612 水置換法 $\phi 1.5m$	I 材 $\rho_d \geq 2.2g/cm^3$						3点/回
			I' 材 $\rho_d \geq 2.1g/cm^3$						
			II 材 $\rho_d \geq 2.0g/cm^3$						
現場透水	変水位法	$k \geq 1 \times 10^{-2}cm/s$	1回/200,000m ³	室内	密度試験孔を利用して 測定				
三軸圧縮試験	JGS 0524 $\phi 300, CD$ ($d < 53mm$)	I 材 $\phi \geq 40.5^\circ$							
		I' 材 $\phi \geq 39^\circ$							
		II 材 $\phi \geq 38^\circ$							

(4) 品質管理試験頻度

近代的ロックフィルダムの建設工事中の品質管理は、締固めエネルギー（敷き均し厚、転圧回数など）を管理する工法管理と、表-6.9～表-6.11 に示したような一定頻度で点的な試験を実施する品質管理を併用している。

（独）土木研究所は、重点プロジェクト研究「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」⁶⁻²⁹⁾の一環として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で整理を行い、経年的傾向を分析している。調査の対象としたダムは、現在の施工形態が定着した 1960 年台以降に建設された 21 ダムである。

a) コア材料

- ・ 現場密度試験は図-6.11 に示すように、盛立層単位では 1 回/層、施工日単位では 1 回/日以上 の頻度であり、ダム竣工時期による頻度の傾向はないとしている。
- ・ 現場透水試験は図-6.12 に示すように、 m^3 単位では 1 回/4 万 m^3 ～1 回/1 万 m^3 、盛立層単位では 1 回/数ヶ月～1 回/3 日の頻度で実施されている。セヶ宿ダムは 1 回/週、二ツ石ダム(2009年、宮城県、RF)は 1 回/3 日は調査したダムと比較して頻度が多いが、全体としてダムの竣工時期による頻度の傾向はないとしている。

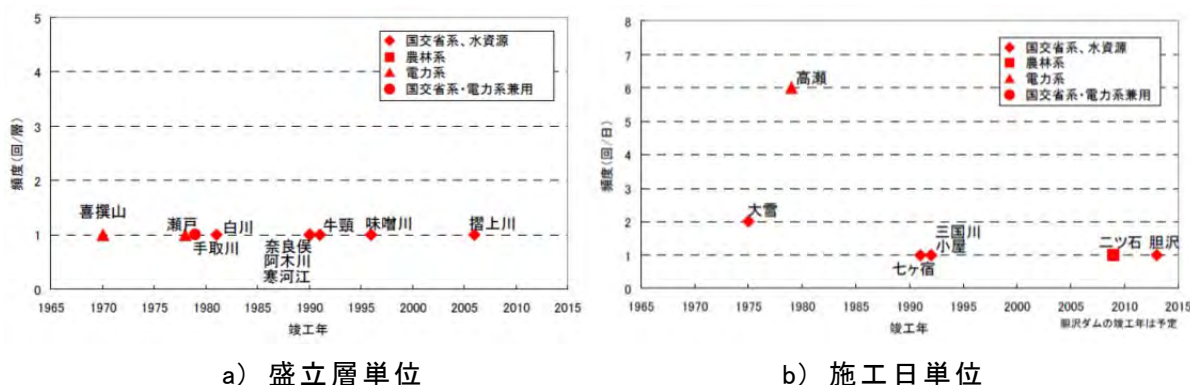


図-6.11 コア材料の現場密度試験の頻度 ⁶⁻²⁹⁾

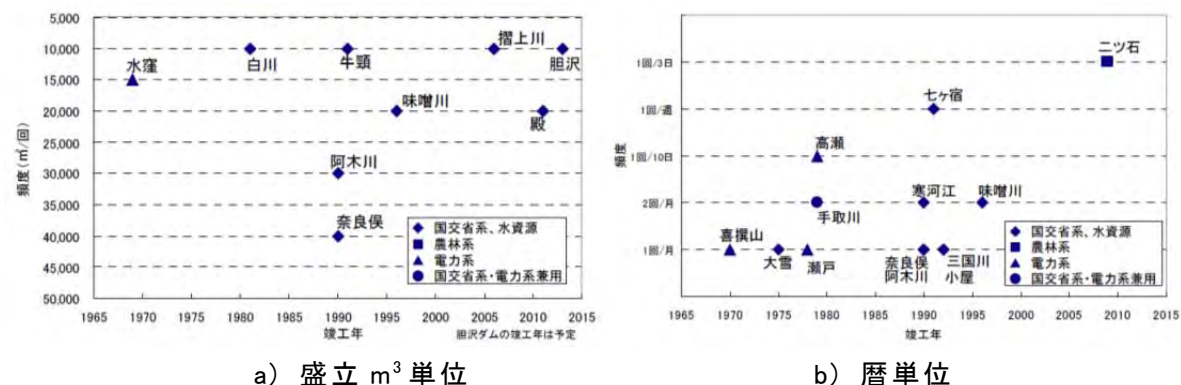


図-6.12 コア材料の現場透水試験の頻度 ⁶⁻²⁹⁾

b) フィルタ材料

- ・ 現場密度試験は図-6.13 に示すように、盛立 m^3 単位では 1 回/2 万 m^3 ~1 回/5,000 m^3 、暦単位では 1 回/月~1 回/2 日の頻度で実施されている。高瀬ダム(1979年, 長野県, RF)は1回/週, 大雪ダム(1975年, 北海道, RF)は1回/2回と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頻度の傾向はないとしている。
- ・ 現場透水試験は図-6.14 に示すように、盛立 m^3 単位では 1 回/2 万 m^3 ~1 回/5,000 m^3 、暦単位では 1 回/数ヶ月~2 回/月の頻度で実施されており、ダムの竣工時期による頻度の傾向はないとしている。

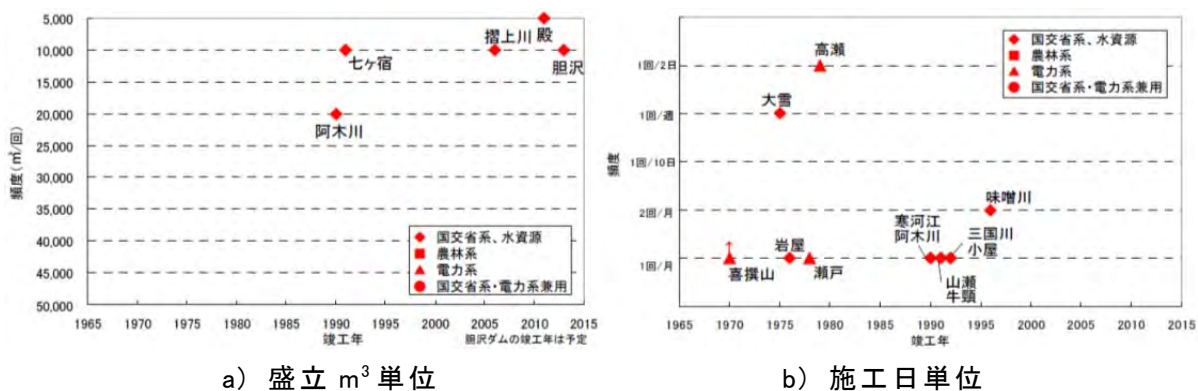


図-6.13 フィルタ材料の現場密度試験の頻度⁶⁻²⁹⁾

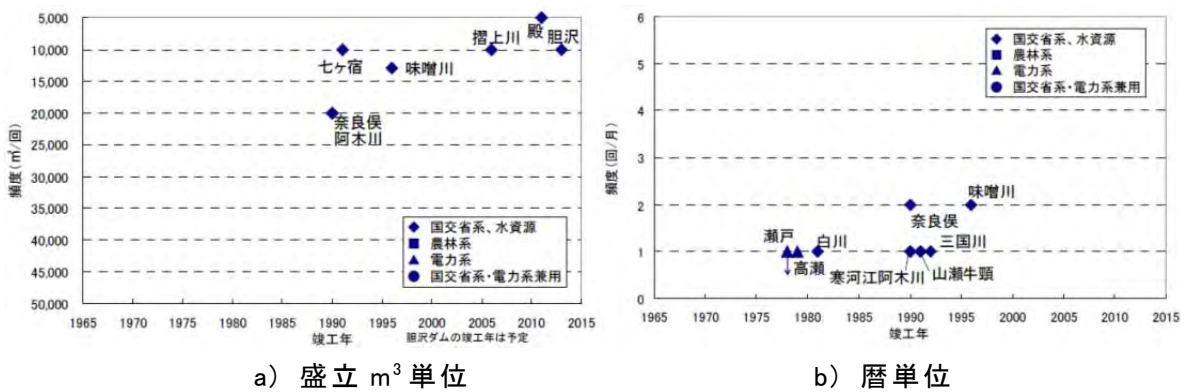


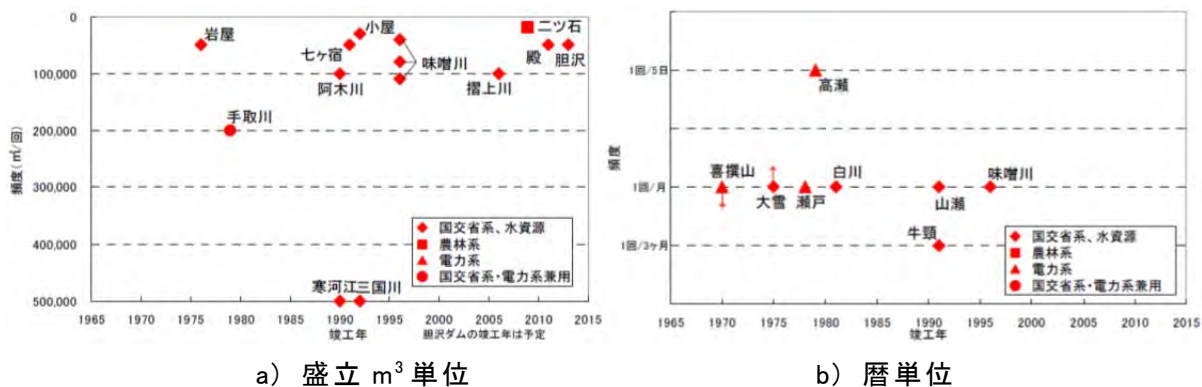
図-6.14 フィルタ材料の現場透水試験の頻度⁶⁻²⁹⁾

c) ロック材料

- ・ 現場密度試験は図-6.15 に示すように、盛立 m^3 単位では寒河江ダム(1990年, 山形県, RF)と三国川ダム(1993年, 新潟県, RF)は 1 回/50 万 m^3 と相対的に頻度が少ないが、その他のダムは 1 回/20 万 m^3 ~1 回/3 万 m^3 の頻度で実施されている。暦単位では 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。なお、ダムの竣工時期による頻度の傾向はないとし

ている。

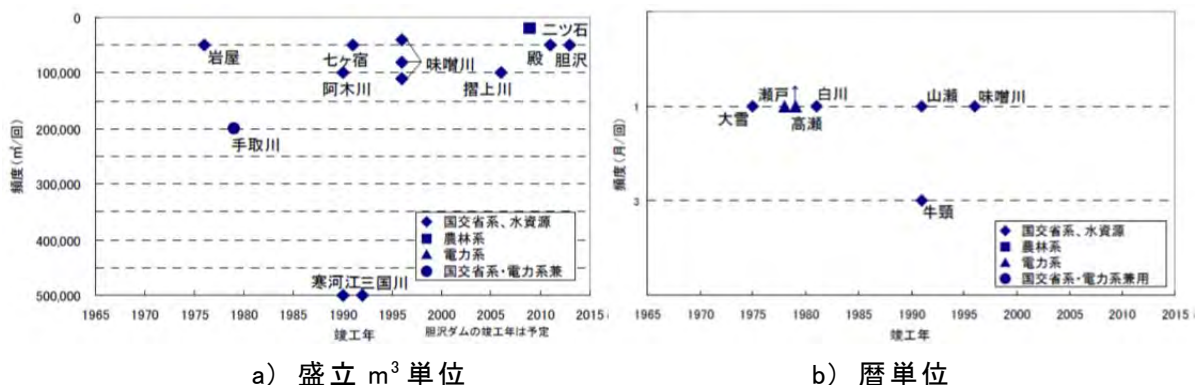
- 現場透水試験は図-6.16に示すように、盛立 m^3 単位では寒河江ダムと三国川ダムは1回/50万 m^3 と相対的に頻度が少ないが、その他のダムは1回/20万 m^3 ~1回/4万 m^3 の頻度で実施されている。月単位では1回/3ヶ月~1回/月以上の頻度で実施されている。なお、ダムの竣工時期による試験頻度の傾向はないとしている。



a) 盛立 m^3 単位

b) 暦単位

図-6.15 ロック材料の現場密度試験の頻度 ⁶⁻²⁹⁾



a) 盛立 m^3 単位

b) 暦単位

図-6.16 ロック材料の現場透水試験の頻度 ⁶⁻²⁹⁾

d) ダム規模と試験頻度の関係

(独)土木研究所の研究 ⁶⁻²⁹⁾では、試験頻度にダム竣工年代による傾向はないと結論付けている。しかし、調査した21ダムの堤体規模は表-6.12に示すように最少が小屋ダム(1992年, 石川県)の71万 m^3 , 最大が胆沢ダム(2014年, 岩手県)の1,350万 m^3 と様々である。これに関わらず1960年以降に竣工したダムの品質管理試験頻度が同程度ということは、品質管理試験頻度がダム堤体積などの規模を考慮しないで設定されたことを表していると考えられる。

表-6.12 (独)土木研究所が調査したロックフィルダム⁶⁻²⁹⁾から作成,一部修正

ダム名	所在地	竣工年	堤体積 (万m ³)	堤高 (m)	事業者
水窪ダム	静岡県	1969	241	105	電源開発(株)
喜撰山ダム	京都府	1970	234	91	関西電力(株)
大雪ダム	北海道	1975	388	87	国土交通省北海道開発局
岩屋ダム	岐阜	1976	578	128	(独)水資源機構
瀬戸ダム	奈良県	1978	374	111	関西電力(株)
手取川ダム	石川県	1979	1,005	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	長野県	1979	1,159	176	東京電力
白川ダム	山形県	1981	223	66	国土交通省東北地方整備局
寒河江ダム	山形県	1990	1,035	112	国土交通省東北地方整備局
奈良俣ダム	群馬県	1990	1,310	158	(独)水資源機構
阿木川ダム	岐阜県	1990	450	102	(独)水資源機構
七ヶ宿ダム	宮城県	1991	520	90	国土交通省東北地方整備局
山瀬ダム	秋田県	1991	163	62	秋田県
牛頸ダム	福岡県	1991	107	53	福岡県
小屋ダム	石川県	1992	71	57	石川県
三国川ダム	新潟県	1993	690	120	国土交通省北陸地方整備局
味噌川ダム	長野県	1996	890	140	(独)水資源機構
摺上川ダム	福島県	2005	830	105	国土交通省東北地方整備局
ニツ石ダム	宮城県	2009	226	71	農林水産省東北農政局
殿ダム	鳥取県	2011	211	75	国土交通省中国地方整備局
胆沢ダム	岩手県	2014	1,350	132	国土交通省東北地方整備局

(5) フィルダム建設工事中の品質管理の実情

表-6.9～表-6.11 に示した各種品質管理試験は、試験結果が即時的に得られるものではなく、試験結果が得られるのは施工次日以降となるものが大半である。つまり、試験結果に応じて、材料の調整や施工方法の変更などができるのは試験実施 1 日後以降とならざるを得ない。このことを鑑みれば、フィルダム施工中の品質管理は、実質的には“品質確認”に位置付けられるものといえる。

このような観点から、現在の試験による品質管理の在り方について議論がされつつある。これについては 6.4 で後述する。

6.3 ICTによるフィルダム施工管理の現状

近年では、各種建設工事において、施工の効率化や精度の向上、品質管理の合理化などを目的に ICT 施工の積極的な導入が推進されている。2008 年(平成 20 年)7 月には、国土交通省が「情報化施工推進戦略」⁶⁻³⁰⁾を策定し、河川土工および道路土工などに ICT 施工を施工管理に導入してまき出し厚(敷き均し厚)、締固め回数(転圧回数)などの施工プロセス管理の確実性を向上させ、現場密度試験などの締固め後の現場試験を省略する方針を打ち出している⁶⁻³¹⁾。

フィルダムにおいても、近年では ICT 技術を用いた施工管理が胆沢ダム⁶⁻²⁴⁾や殿ダム⁶⁻²⁸⁾などで導入されている。胆沢ダムや殿ダムに導入された ICT 施工管理技術については、3.3.4(2)に既述したとおりである。

ここでは、国土交通省が管轄する最新のロックフィルダムである殿ダムの事例を基に、ICT によるフィルダム施工管理の現状をまとめる。

6.3.1 殿ダムにおける導入事例

(1) 導入したシステムとその効果

殿ダム(鳥取県, 2011 年)では、効率的な施工と安定した品質の確保を目的に、堤体盛立工の施工・品質管理に発注者と施工監理者、施工者が一体となって ICT を導入している⁶⁻²⁸⁾。殿ダムで導入した ICT による施工管理システムは、次に示すとおりである。

① 材料運搬管理システム

- ・ 現場内で盛立材料を運搬するダンプトラック、および現場外を走行し現場に盛立材料を搬入するダンプトラックに GPS 端末を搭載して、管理局(現場事務所内に設置)のパソコンでダンプトラックの運行位置が確認できる。
- ・ GPS 端末のモニタへは、管理局からの緊急連絡などのメッセージを一斉送信することが可能である。管理局ではダンプトラックの運行ルートや運行間隔などがリアルタイムに確認できるので、定められたルートを走行しているかや走行速度などが管理できるだけでなく、渋滞などの社会的影響の緩和にも役立つ。
- ・ 各ダンプトラックの材料が所定ゾーンに運搬されたことを記録することが可能である。また、盛立面に搬入された材料の積込み場所が特定できるため、盛立材料のトレーサビリティが確保できる。

② まき出し厚管理システム

- ・ 盛立面上で材料のまき出し作業を行うブルドーザの排土板に GPS を搭載し、設計まき出し高さ(標高)と排土板の高さの差をリアルタイムに表示する。
- ・ 丁張がない状態でも所定のまき出し厚さでの施工が可能となり、丁張設置が省

略できるため、作業の生産性が向上する。

③ 締固め回数(転圧)管理システム

- ・ 振動ローラに GPS を搭載し、振動ローラの走行軌跡を記録し、車載モニタに転圧エリア内の転圧回数をリアルタイムに表示する。
- ・ オペレータは車載モニタで転圧回数をリアルタイムに確認しながら振動ローラを操作できるため、転圧回数不足を防止できる。施工後は、転圧回数をマップとして出力できるため、これによって施工が規定通りかどうかを確認できる。
- ・ 出力帳票の確認によって面的な管理が可能となり、従来の点的な現場試験による管理よりも締固め品質の均一性が確認できる。
- ・ 施工後の標高と、全層の標高を比較することで、仕上り厚が算出でき、仕上り厚が規定通りであるかどうかを確認できる。

殿ダムではこれらの各システムを導入した効果として、以下の項目を挙げている。

➤ 品質および出来形の証明

- ・ 各システムを導入、活用することで、材料積込み、運搬、荷下ろし、まき出し厚(敷均し厚)、締固め、仕上り厚などの一連の施工データを記録でき、施工プロセスが明確になった。
- ・ 施工プロセスの明確化と盛立面全体の面的なデータの取得によって、オペレータや現場技術者などの人為的ミスが防止できる。
- ・ 従来の抜き取り検査に比べて、面的に全数のデータが取得できるため、確実な品質および出来形保障が可能になった。

➤ 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、締固めなどの施工状況の履歴を確認することで、従来は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移行することが可能となり、監視の負担が低減できた。
- ・ 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、事後にシステム帳票をチェックすることが可能になった。このことによって、少ない監督職員数であっても無理のない施工管理が可能となった。

なお、材料の含水比状態や粒度、木根や異物の除去など、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としている。

(2) システムの課題とその対策

堰ダムでは ICT による施工管理システムの課題とその対策については、以下の事項を挙げている。

- ▶ まき出し厚精度の向上
 - ・ GPS で測定するまき出し厚の精度が、仕上り厚に影響する。
 - ・ この対策として、高さの測位精度が良いレーザー測量技術を併用した GPS (mmGPS)を使用するなど、まき出し厚管理を強化する。
- ▶ データセキュリティの確保とシステムの信頼性
 - ・ 発注者と施工監理者、施工者がデータをリアルタイムに共有化するためには、データセキュリティを確保する必要がある。
 - ・ システムについては第三者による検査、照査を行い、システムの信頼性を証明、または保障する必要がある。

(3) 従来の施工管理方法との比較

堰ダムでは、従来の施工管理方法と ICT を導入した施工管理方法について、図-6.17 に示すように比較し、考察している。

従来の施工管理方法では、①「盛立材料の試験による品質管理」で材料品質を確保し、②「機械による盛立の施工プロセス(運搬、まき出し、締固め)の監視による施工管理」で施工品質を確保し、さらに最終確認として③「盛立後の現場試験による確認」を行っている。つまり、材料品質ならびに施工品質ともに抜取検査方式の検査であるため、悪い品質のものを見落としている可能性も否定できない。このため、最終製品である締固め後の層を部分的にせよ破壊して現場試験による品質確認を行っているといえる。

一方、施工管理に ICT を導入した場合、盛立の施工プロセスの全てについて仕様を遵守した施工かどうかを確認できる。つまり、施工品質についてはリアルタイムかつ全数検査が可能になったといえる。

これに対して、盛立材料の品質管理については、今のところリアルタイムかつ全数の管理を行う技術は確立されておらず、従来と同様な抜取検査方式で確認している。このため、従来からの盛立後の現場試験を全て省略することはできないが、従来の施工管理方法に比べて品質確認の確実性が向上していることから、現場試験の頻度を低減することは可能であるとしている。

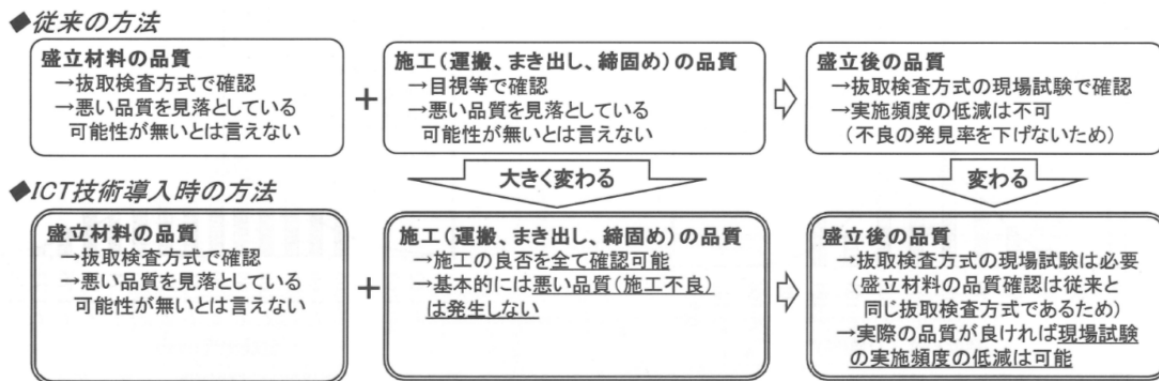


図-6.17 従来の品質管理方法とICT技術導入時の方法の比較 (6-28)

(4) 品質管理試験頻度の低減について

現状のダム本体の盛立では、盛り立てた層についてある頻度で現場密度試験などを行い、盛立後の品質を確認している。このような試験を施工と並行して実施する必要があるため、試験員の安全確保のために盛立作業を中断せざるを得ない場合もあり、工程遅延の原因になり得る。しかし、ICTを導入したことによって、図-6.17 に示すように従来の施工管理方法に比べて品質確認の確実性が向上していることから、品質の良さに応じて盛立後に行う品質管理試験の頻度を低減することは可能としている。これを検証するために殿ダムの品質管理試験結果を使って「スキップロット」による低減を検討している。

「スキップロット」とは、検査1回毎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、検査実績に応じて決める抜取検査方式である。つまり、これまでの試験結果が定常的に良好であるほど、試験の低減回数を大きくして良いことになる（言い換えれば、試験結果がこの条件を満足しなければ、試験回数を低減することはできない）。

殿ダムでは「スキップロット」を採用し、コア材の現場試験頻度低減回数シミュレーションを行っている。シミュレーションでは、(6.1)式に示す規格満足度を用いて検討している。

$$\text{規格満足度 (片側規格)} = \frac{\text{平均値} - \text{規格値}}{\text{標準偏差}} \quad (6.1)$$

シミュレーションでは規格満足度を2.0以上3.0未満としており、これは品質管理試験の平均値と規格値の差分を $2\sigma \sim 3\sigma$ (σ :標準偏差)に設定していることになる。品質管理試験結果が正規分布すると仮定すると、規格満足度が2の場合は品質管理試験結果が規格値を満足するのは97.7% (片側)、規格満足度が3の場合は規格値を満足するのは99.7% (片側)となる。つまり、規格値を満足する確率が97.7%以上の場合は

品質管理試験を省略できると仮定すると、全試験回数 61 回の 1/4 相当 (14 回) の試験を省略することができる結論付けている。

また、ICT 導入の効果として品質管理試験が省略できれば、図-6.18 に示すように抜取検査による盛立工の中断時間を低減でき、工期短縮の可能性を指摘している。

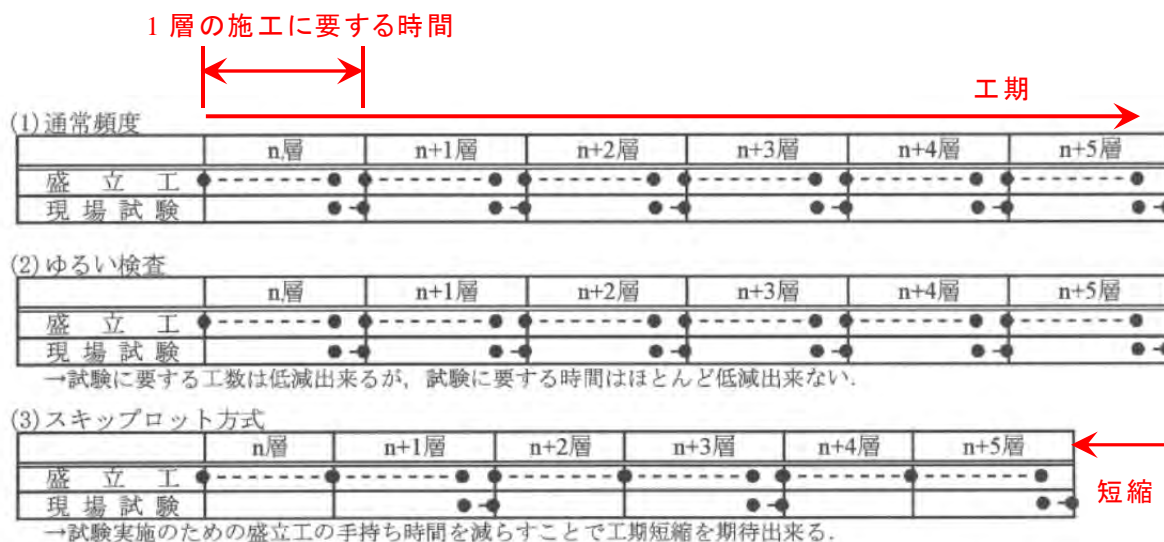


図-6.18 各抜取検査方式での現場試験実施回数低減による工期短縮 (6-28)に加筆

6.3.2 ICT による施工管理の課題

国土交通省が管轄する最新のロックフィルダムである殿ダムでの ICT の導入事例によると、主に施工プロセスを管理する工法管理において大きな効果 (品質および出来形の証明、監視の負担軽減) を発揮している。

しかしながら、図-6.17 に示したように盛立材料については、ICT で実現したリアルタイムかつ全数管理のような技術は確立されておらず、従来からの抜取検査方式を踏襲している。このため、盛立後の現場試験を全て両略することはできないとしている。一方、ICT 技術を導入したことによって、従来の施工管理方法に比べて品質確認の確実性が向上していることから、「スキップロット」による現場試験頻度低減の可能性を論じている。

以上のような殿ダムでの ICT 導入事例は、現在の ICT による施工管理の課題を端的に表していると考えられる。特に、材料管理が従来からの抜取検査方式に依っている点である。

フィルダムをはじめとする土木構造物建設工事の施工・品質管理において、材料管理と工法管理 (施工プロセス管理) が品質確保の両輪であることはいうまでもない。つまり、ICT によって施工上のミスを防止あるいは発見できる現状において、リアルタイムな材料管理技術が実現できれば、フィルダム施工中の施工・品質管理をさらに高度化できると考える。

6.4 フィルダム建設工事における品質管理の課題

(一社)ダム工学会施工研究部会は、コア材料の材料管理および盛立面での品質確認(品質管理試験)を対象に現状を詳細に分析し、在るべき姿を提言している。検討では、(独)土木研究所の「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」⁶⁻²⁹⁾の一環として実施したロックフィルダム(21 ダム)の調査結果を用いて、コア材料の採取場およびストックパイル、盛立面における試験項目と頻度について分析している⁶⁻³²⁾。

なお、この報告では『土木学会コンクリート標準示方書(土木学会)』において「品質管理」とは要求性能を満足するように自ら品質の安定化に努める受注者の行為であり、「検査」とは品質、出来形などが基準を満足していることを確認する発注者の行為であると区別して用いられていることに立脚し、受注者自らが品質の安定化に努める品質管理について今後の在るべき姿を提案している。

本節では、(一社)ダム工学会施工研究部会の検討結果に基づいて、フィルダムにおける品質管理の課題の抽出と今後の方向性について考察する。

6.4.1 (一社)ダム工学会施工研究部会の検討結果⁶⁻³²⁾

(1) フィルダム品質管理の現状と課題

フィルダム建設工事中の品質管理のうち、フィルダムにおいて最も重要なコアゾーン盛立面における現場密度試験および現場透水試験について以下の課題があるとしている。

- 試験頻度の設定根拠が不明
 - ・ 盛立の層単位、歴単位あるいは盛立量単位のいずれかに対する回数で設定されており、ダムの堤体積や堤高などの規模が考慮されていない。
- 試験頻度が施工期間を通じて一定
 - ・ 品質管理試験頻度に時間的規定がなく、盛立開始から完了まで一定の頻度が適用されている。
 - ・ データの傾向を見て管理を厳しくする、あるいはデータの安定状況を見て管理を緩和することが合理的な管理方法と考えられる。

(2) フィルダムの品質管理項目と頻度

既述した(独)土木研究所の研究⁶⁻²⁹⁾に基づいてコア材料の材料採取場、ストックパイルおよび盛立面における品質管理試験項目と試験頻度に関して検討を行っている。

検討の結果、品質管理項目と頻度について、次のように分析している。

- 品質管理試験頻度の実績
 - ・ 実際に現場で実施した試験回数を分析した結果、砂置換法(突き砂法)による

現場密度試験は月平均で 1.0～15.4 回/月，月最大で 2.1～46.1 回/月，RI 法については月平均で 8.4～141.9 回/月，月最大で 17.7～324.9 回/月である。

- ・ 現場透水試験は月平均で 0.8～5.1 回/月，月最大で 1.8～11.7 回/月である。
- ・ 実際の試験回数はダム毎でばらついている。
- 試験頻度の設定根拠に関する考察
 - ・ 試験頻度は堤体積や堤高などの規模に依らず，類似のダムや近傍のダムの事例を流用している事例が多いと推察され，これが実際の試験回数がばらついている要因である。
 - ・ 品質管理試験の頻度は，盛立開始から盛立完了まで一定の頻度が適用されている。

(3) 今後の品質管理の在り方

今後のフィルダムの品質管理の在り方について，次のような提言を行っている。

- 品質管理の目的の明確化
 - ・ 品質管理の目的を明確に示すとともに，材料採取から堤体盛立までの一貫した作業工程のなかでの品質管理の位置付けと重要度を明確にする必要がある。
 - ・ フィルダムの施工は，盛立場における日照による乾燥や雨水による加水などのように，施工が品質に及ぼす影響が大きく，施工管理が重要である。
 - ・ 品質とは作業工程全てにおいて管理し確保されるものであり，試験によって確保されるものではないことを十分に理解する必要がある。
- 品質管理方法の継続的見直し
 - ・ 施工当初から竣工まで画一的な試験頻度とするのではなく，品質の変動傾向を見ながら試験頻度を切り替えていく必要がある。
 - ・ 材料採取，仮置きなどの各過程における品質管理試験で品質が変動すれば，試験頻度を増加させる一方で，品質が安定化すれば相関性が高いことが予め確認されている簡易試験方法に切り替えるなど，機動的，フレキシブルな管理が望まれる。
- 新技術の活用
 - ・ 近年では ICT 施工管理システムを導入，活用した事例が多くなっている。ICT 施工管理の導入による合理化によって生じる労力の余裕を，他の施工管理に使用することでより高度な品質管理を実現すべきである。
 - ・ 一方，ICT 施工管理システムによって面的な施工管理が可能となるが，フィルダムの場合は，密度に加えて透水係数の確保が重要であり，このために盛立材料の合水比，締固め度，粒度，コンシステンシーなどを適切に管理する必要がある。これを必要条件として，ICT を併用した新しい管理手法を考えていくべきである。

6.4.2 現在のフィルダム品質管理の課題

(一社)ダム工学会施工研究部会の検討結果は、現在のフィルダム品質管理の課題を明確化したものであり、特に下記の2項目が特筆できる。

- ① 品質管理試験頻度の設定根拠が明確ではなく、他のダムの事例を流用している事例が多いと考えられる。
- ② 品質管理試験頻度は時間的規定がなく、盛立開始から完了まで一定の頻度が適用されている。

品質管理試験頻度が他のダムの事例を流用している事例が多いとすると、現状の各種試験の頻度は統計的に設定されていないことになる。この方法でこれまでのダムの品質が確保されてきたことも事実であるが、ダムを工業製品と捉えれば確率論に基づいて品質管理項目および頻度を設定するべきと考える。しかし、このような取り組みは現状なされていない。

また、**第7章**で後述するCSGの品質管理では、品質管理項目や試験頻度を画一的に設定せずに「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品質管理システムを構築すること、および品質管理における「変動傾向監視」という考え方を導入していることなどを踏まえれば、現在のフィルダムの品質管理試験頻度に施工時期を考慮した時間的な規定がないことは合理的とは言い難いと考える。

6.5 フィルダム施工・品質管理の今後の方向性

現行のフィルダム品質管理基準でこれまでのダムの品質が確保されてきたことも事実である。しかし、既往の実績を流用して品質管理項目や試験頻度が設定されているなどの問題が指摘されており、合理的であったのか疑問が残る。

一方、**第7章**で後述するCSG工法では、「施工時期による品質管理項目、試験頻度の変更」および「品質変動傾向」という新しい考え方を取り入れて実践している。

フィルダムをはじめとする土木構造物建設工事の施工・品質管理において、材料管理と工法管理(施工プロセス管理)が品質確保の両輪であることは言うまでもない。両管理のうち工法管理については、既述したようにICTによって施工プロセスのリアルタイムかつ全数管理が可能となっている。しかし、殿ダムにおけるICTの導入事例⁶⁻²⁸⁾でも述べられているように、材料管理についてはリアルタイムかつ全数管理が可能な技術が確立されていないため、現在でも従来の定時または定量間隔で実施する抜取検査方式を主体としている。

つまり、ICTによって施工上のミスを防止あるいは発見できる現状において、リアルタイムな材料管理技術が実現できれば、材料の品質変動傾向を監視して、品質変動に応じて試験項目や頻度を切り替える品質管理が可能になると考える。

このように、フィルダム施工・品質管理の今後の方向性は、材料管理ならびに工法管理にリアルタイムな管理技術を導入し、**施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理への転換**であると考えられる。

著者は、自身が現場技術者として従事した山口貯水池堤体強化工事(**2章(2)**参照)ならびに山倉ダム第一堰堤強化工事(**2章(3)**参照)において盛立の品質管理を経験し、その後、自身が携わった台形CSGダムである当別ダム(**2章(7)**参照)において「高速大量連続施工」を実現するためには従来よりも迅速かつ連続的な品質管理方法が求められていること、およびロックフィルダムである胆沢ダム(**2章(5)**参照)や殿ダム(**2章(6)**参照)でロック材の試験に多大な労力と時間を要することなどの技術的課題に直面した。

これらの経験を通じて、フィルダムなどの土構造物の材料特性のうち、最も基本的かつ試験に時間と労力を要する粒度に着目し、粒度変動の監視が可能である「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[®]**)を開発し、当別ダム(**2章(7)**参照)や殿ダム(**2章(6)**参照)に導入して品質管理試験の合理化を図った。

この**画像粒度モニタリング[®]**の開発と導入効果、これを用いた次世代の品質管理方法の提案については**第8章**で述べる。

6.6 第6章のまとめ

第6章では、フィルダム建設工事中の施工・品質管理の現状と課題を整理し、フィルダムの施工・品質管理の今後の方向性を考察した。

第6章の内容を以下にまとめる。

- 1) フィルダム施工中の施工・品質管理では、盛立前の材料の確認、盛立後の性質の確認を基本としている。また、品質管理は第二次世界大戦以前のフィルダム建設工事で実践されていた。
- 2) フィルダム施工で実施する品質管理試験は、試験結果が即時的に得られるものはほとんどない。つまり、試験結果に応じた対策などを講じられるのは、試験実施1日後以降となることから、フィルダム施工中の品質管理は実質的には“品質確認”に位置付けられる。
- 3) 近年では ICT 技術を用いた施工管理が、胆沢ダムや殿ダムなどに導入されており、施工プロセスを管理する工法管理において大きな効果（品質および出来形の証明、監視の負担軽減）を発揮している。しかし、材料管理ではリアルタイムかつ全数の管理を行う技術は確立されておらず、従来と同様な抜取検査方式で確認している。
- 4) (一社)ダム工学会施工研究部会は今後の品質管理の在り方として、①品質管理の目的の明確化、②品質管理方法の継続的見直し、③新技術の活用を提言している。
- 5) 品質管理試験頻度などが他のダムの事例を流用している事例が多いとすると、現状の試験頻度は統計的に設定されていないこととなる。ダムを工業製品と捉えれば確率論に基づいて品質管理項目および頻度を設定するべきと考えるが、このような取り組みは現状なされていない。
- 6) CSG の品質管理において、品質管理項目や試験頻度を画一的に設定せずに「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品質管理システムを構築すること、および品質管理における「変動傾向監視」という考え方を導入していることなどを踏まえれば、現在のフィルダムの品質管理試験頻度に施工時期を考慮した時間的な規定がないことは合理的とは言い難い。
- 7) ICT 技術によって施工上のミスを防止あるいは発見できる現状において、リアルタイムな材料管理技術が実現できれば、材料の品質変動傾向を監視して、品質変動に応じて試験項目や頻度を切り替える品質管理が可能になる。
- 8) フィルダム施工・品質管理の今後の方向性は、材料管理ならびに工法管理にリアルタイムな管理技術を導入し、施工品質の変動を考慮した合理的な品質管理への転換であると考ええる。

【参考文献】

- 6-1) 松本徳久, 藤崎勝利: フィルダムの設計と締固め, 基礎工, Vol.37, No.7, pp.61-65, 2009.
- 6-2) 河上房義: アースダムー土質工学的設計および施工法ー, 鹿島建設技術研究所出版部, 1954.
- 6-3) 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.
- 6-4) 例えば, (公社)地盤工学会: 地盤調査の方法と解説, p.767, 2013.
- 6-5) (財)ダム技術センター: 多目的ダムの建設, 平成 17 年版, 第 5 巻, p.91, 2005.
- 6-6) 地盤工学会: 土の締固めと管理, 第 1 章総論, 1991.
- 6-7) J.L.Sherard and P. Dunnigan: Critical Filters for Impervious Soils, *ASCE GE Vol.115, No.7, Paper No.23622, 1989.*
- 6-8) US Army Corps of Engineers: General Design and Construction Considerations for Earth and Rock-Fill Dams, *EM 1110-2-2300, Appendix B, pp.B-1-B-8, July 2004.*
- 6-9) US Army Corps of Engineers: General Design and Construction for Earth and Rock-fill Dams, *EM 1110-2-2300, pp.7-13_7-14, 2004.*
- 6-10) US Department of the Interior Bureau of Reclamation: *Earth Manual part 1, Third Edition*, p.250,263, 1998.
- 6-11) (財)ダム技術センター: 多目的ダムの建設, 平成 17 年版, 第 6 巻, pp.244-255, 2005.
- 6-12) 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説, 一二分冊の 1ー, p.112, 2009.11.
- 6-13) 久野悟郎: 土の締固めー主として道路土工に関連してー, 技報堂全書, 1963.
- 6-14) 中村昭, 山口嘉一, 小川直樹: ダーティ・ウォータ試験によるフィルタ効果の検討, *ダム技術*, No.79, pp.31-40, 1993.4.
- 6-15) 松本徳久, 山口嘉一, 山野雅彦: フィルタ基準に関する考察, *ダム技術*, No.38, pp.17-30, 1990.2.
- 6-16) 上阪恒雄, 山口嘉一: フィルタ材料の非粘着性判定のための実験的研究, *ダム工学*, Vol.11, pp.55-66, 2001.3.
- 6-17) 佐々木史郎, 村山眞: 既設アースダムの耐震強化工事ー山口貯水池堤体強化工事ー, *ダム技術*, No.227, pp.112-120, 2005.8.
- 6-18) 東京都水道局: 山口貯水池, 1934.
- 6-19) 藤崎勝利: リニューアルという名の時間旅行(3)ー村山・山口貯水池建設記録にみる先達の技術ー, *どぼく技師会東京*, 第 23 号, pp.28-32, 2002.7.
- 6-20) (財)日本ダム協会施工技術研究会第二部会: フィルダムの施工, pp.1-11, 2009.10.
- 6-21) 阿部典安, 戸部正昭: 長柄ダムの施工について, *ダム日本*, No.490, pp.9-29, 1985.8.
- 6-22) 山中敦: セッケ宿ダムの施工について, *ダム日本*, No.505, pp.71-94, 1986.11.
- 6-23) 寺菌勝二: セッケ宿ダムの建設事業, 第 16 回ダム施工技術講習会, pp.1-26, 1984.11.

- 6-24) 高田悦久, 品川敬, 菅原俊幸, 小林弘明: ITを活用した胆沢ダムの品質管理の合理化, *ダム工学*, Vol.18, No.3, pp.182-193, 2008.
- 6-25) 国土交通省東北地方整備局: 胆沢ダム堤体盛立工事特記仕様書
- 6-26) 坂田寛司: 殿ダムの設計と施工: *ダム日本*, No.811, pp.11-29, 2012.5.
- 6-27) 国土交通省中国地方整備局: 殿ダム建設工事特記仕様書
- 6-28) 日下雅史, 後藤誠志, 山田啓一, 柴藤勝也, 伊藤文夫: 殿ダム本体工事における情報化施工技術の導入, *ダム技術*, No.301, pp.79-86, 2011.10.
- 6-29) (独)土木研究所重点プロジェクト研究報告書(重点研究): 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, 2012.
- 6-30) 国土交通省国土交通省総合政策局公共事業企画調整課: 情報化施工推進戦略, 2008.7.
- 6-31) 国土交通省: TS・GNSS を用いた盛土の締固め管理要領, 2012.3.
- 6-32) 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.

第7章 台形CSGダムの概要と品質管理方法

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⁷⁻¹⁾。

台形 CSG ダムは、従来のコンクリートダムやフィルダムとは設計方法や堤体材料が異なるため、現在のところ河川管理施設等構造令第 73 号(適用除外)の「特殊な構造の河川管理施設」として取り扱われている⁷⁻²⁾。1992 年に長島ダム上流仮締切堤(ダム本体は 2001 年完成、静岡県)に適用されて以来、大保脇ダム沢処理工(2005 年、沖縄県、内閣府沖縄総合事務局)⁷⁻³⁾ならびに灰塚ダム川井堰堤(2005 年、広島県、国土交通省中国地方整備局)⁷⁻⁴⁾で実適用され、技術がほぼ完成した。現在では本格的なダムとして嘉瀬川ダム副ダム(2011 年、佐賀県)⁷⁻⁵⁾、当別ダム(2012 年、北海道)⁷⁻⁶⁾、億首ダム(2014 年、沖縄県)⁷⁻¹⁾が完成している。これらの台形 CSG ダムの諸元を表-7.1 に示す。

台形 CSG ダムはフィルダムとは明確に区別されているが、設計ならびに材料、施工、品質管理などについて、新しいコンセプトとこれに応じた先駆的な取り組みが提案、実践されている。このため、台形 CSG ダムならびに CSG 工法も本研究の対象とした。

第 7 章では、台形 CSG ダムの概要と品質管理方法について述べる。

表-7.1 本格的な台形 CSG ダムの諸元(2014 年現在)^{7-1),7-5),7-6)}から作成

名称		嘉瀬川ダム副ダム	当別ダム	億首ダム
		カセガワ	トウベツ	オククビ
ダム事業者		国土交通省 九州地方整備局	北海道	内閣府 沖縄総合事務局
所在地		北海道石狩郡当別町	北海道石狩郡当別町	沖縄県国頭郡金武町
河川名		嘉瀬川水系神水川	石狩川水系当別川	億首川水系億首川
完成		2010年	2012年	2014年
本体施工者		西松建設	鹿島建設・竹中土木・岩倉 建設JV	大成建設・國場組・丸政工 務店JV
目的		水質保全, 荒廃地の防止, 親水環境創出	洪水調節, 河川維持用水, 灌漑用水, 上水道用水	洪水調節, 河川維持用水, 灌漑用水, 上水道用水
ダム 堤体	堤高	29.3 m	52 m	39 m
	堤頂長	115.5 m	432 m	461.5 m
	堤体積	65,300 m ³	810,000 m ³	339,000 m ³
貯水 池	集水面積	128.4 km ²	231.1 km ²	14.6 km ²
	湛水面積	2.7 km ²	5.8 km ²	0.61 km ²
	総貯水容量	7,100万 m ³	7,450万 m ³	856万 m ³
	有効貯水容量	6,800万 m ³	6,650万 m ³	786万 m ³
備考		貯水池諸元は、嘉瀬川ダム 貯水池のものである。		

7.1 用語

CSG に関する用語は、「台形 CSG ダム設計・施工・品質管理技術資料」((財)ダム技術センター, 2012.6.)において次のように定義⁷⁻¹⁾されており, 本研究においてもこれに準拠する。CSG に関する用語はコンクリート分野の用語が流用されたものが多く, 地盤分野の用語と用法などが異なる場合もある。このため, いくつかの用語については著者が追加した。

- 母材: 掘削ずりなどの現地発生材, 河床砂礫, 段丘堆積物, 風化岩などのダム建設現場近傍で比較的容易に入手し得る岩石質の原材料。
- CSG 材: 原材料である母材から, 必要に応じてオーバーサイズの除去などによって所定の最大粒径以下に調整した材料。分級やブレンドなどによる粒度調整および洗浄は基本的に行わない。最大粒径は 80mm とすることが多い。
- CSG: *Cemented Sand and Gravel* の略称。CSG 材にセメント, 水を添加し混合したもので, コンクリートの混合設備より簡易な設備で連続的に混合する。
- 保護コンクリート: 気象や越流水などに対する耐久性を確保するために, 台形 CSG ダムの表面に設置されるコンクリート。
- CSG の強度: CSG の弾性領域強度を示す。弾性領域強度とは, 圧縮試験で得られる応力～ひずみ曲線の中で, 応力とひずみが直線関係にある範囲(弾性領域)での最大応力である。弾性領域強度は, 圧縮強度(ピーク強度)の 6～8 割程度の値となる。
- ひし形: 横軸に単位水量, 縦軸に CSG の強度で描いた図において, 想定される粒度および施工可能な単位水量で挟まれる CSG の強度の範囲。「ひし形」は大型供試体の材齢 91 日 CSG の強度で作成する。
- CSG 強度: ひし形範囲における CSG の強度の最低値。

(以下は, 著者が追加)

- 大型供試体: CSG の基本物性(強度, 弾性係数, 密度)の取得を目的に室内で作製する $\phi 300\text{mm} \times h600\text{mm}$ の供試体。CSG 材の最大粒径は 80mm であり, これを許容できる大きさの供試体(最大粒径の 3 倍以上の直径)。大型供試体の密度は現場試験施工で得られた密度と同等にな

るように作製する。

➤ 標準供試体:

最大粒径 80mm の CSG を粒径 40mm でウェットスクリーニングして作製する $\phi 150\text{mm} \times h300\text{mm}$ の供試体。また、大型供試体の CSG の強度(材齢 28 日)と標準供試体の CSG の強度(材齢 7 日など)の相関性が確認されていることを前提に、標準供試体の CSG 強度で施工時の品質管理を行う。

➤ 含水率: 試料中に含まれる水分量を表す値。地盤分野における含水比と同等の値。

$$\text{含水率} = (m - m_0) / m_0 \quad (4.1)$$

ここに、 m : 乾燥前の試料の質量

m_0 : 乾燥後の試料の質量

➤ 表面水量: 試料を構成する土粒子の表面に付着している水分量。含水率(含水比)から求められるのは試料中に含まれる全水量であり、これから粒子内部に含まれる水量(吸水量)を差し引いたもの。

$$\text{表面水量} = W_{all} - W_q \quad (4.2)$$

ここに、 W_{all} : 試料中に含まれる全水量

W_q : 粒子内部に含まれる(吸水されている)水量

$W_q = \text{粒子の乾燥質量} \times Q$ (粒子の吸水率)

➤ 単位水量: 1m^3 の CSG に含まれる水量。粒子内部に含まれる水量(吸水量)は含まない。

➤ 給水量: CSG 製造の際に添加する水量。単位水量と試料の表面水量の差分である。

$$\text{給水量} = \text{単位水量} - \text{表面水量} \quad (4.3)$$

➤ 加積通過率:

粒度試験を行ったときに得られるある粒径より細かいものの質量百分率。地盤分野における通過質量百分率と同値となる。

7.2 開発の背景 ⁷⁻¹⁾

ダム建設における合理化技術は、“設計の合理化”，“材料の合理化”，“施工の合理化”の 3 つの合理化技術から構成されている。ダム建設においては，例えばコンクリートダムの施工の合理化を目指した RCD (Roller Compacted Dam Concreat) 工法のようにこれまでも多くの技術開発がなされてきたが，今日の社会ならびに経済情勢の下で，より一層のコスト縮減と環境保全に配慮した技術開発が望まれている。さらに，堤体材料を得るための原石山の地質条件などが厳しくなっており，材料歩留りの低下や掘削法面の長大化などによる建設コストの上昇や環境負荷の増大が大きな課題となっている。

台形 CSG ダムは，我が国発の新しいダム形式として，上記のような社会ならびに経済情勢の下でより一層のコスト縮減と環境保全に配慮して，従来のダムよりも材料の合理化を図ったものであり，あわせて設計の合理化，施工の合理化にも資するものとされている。

台形 CSG ダムの特徴を図-7.1 に示す。

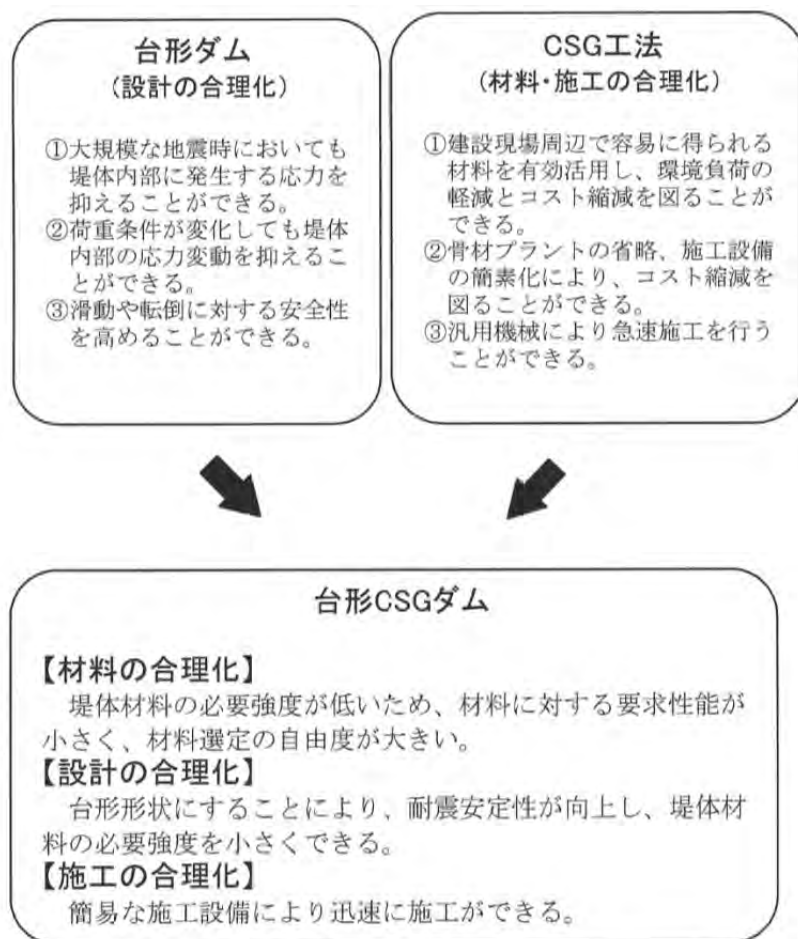


図-7.1 台形 CSG ダムの特徴 ⁷⁻¹⁾

7.3 台形 CSG ダムおよび CSG 工法の概要

7.3.1 台形 CSG ダムの概要⁷⁻¹⁾

台形 CSG ダムの標準的な断面を図-7.2 に示す。台形 CSG ダムは、堤体材料に CSG を使用し、表面には耐久性の確保を目的とした保護コンクリートを配置する。また、上流面下部には通廊と構造用コンクリートおよび浸透路長の確保のための止水コンクリートを設ける。また堤体底面の CSG には、基礎岩盤との密着性および耐久性に配慮して、通常の CSG よりも単位セメント量を増やした富配合 CSG を用いる。

また、台形 CSG ダムの大きな特長は「弾性体」として設計し、CSG を弾性体と見なせる応力範囲で用いる点である。このため、コンクリートダムと同様に堤体内に放流設備や通廊を、堤頂部に非常用洪水吐などを設置することを可能としている。

台形 CSG ダムの上下流面勾配は、常時、地震時に関わらずダム表面反力が常に圧縮状態になるように設計され、滑動・転倒に着目した外的安定性ならびに発生応力と CSG の強度に着目した内的安定性について検討される。

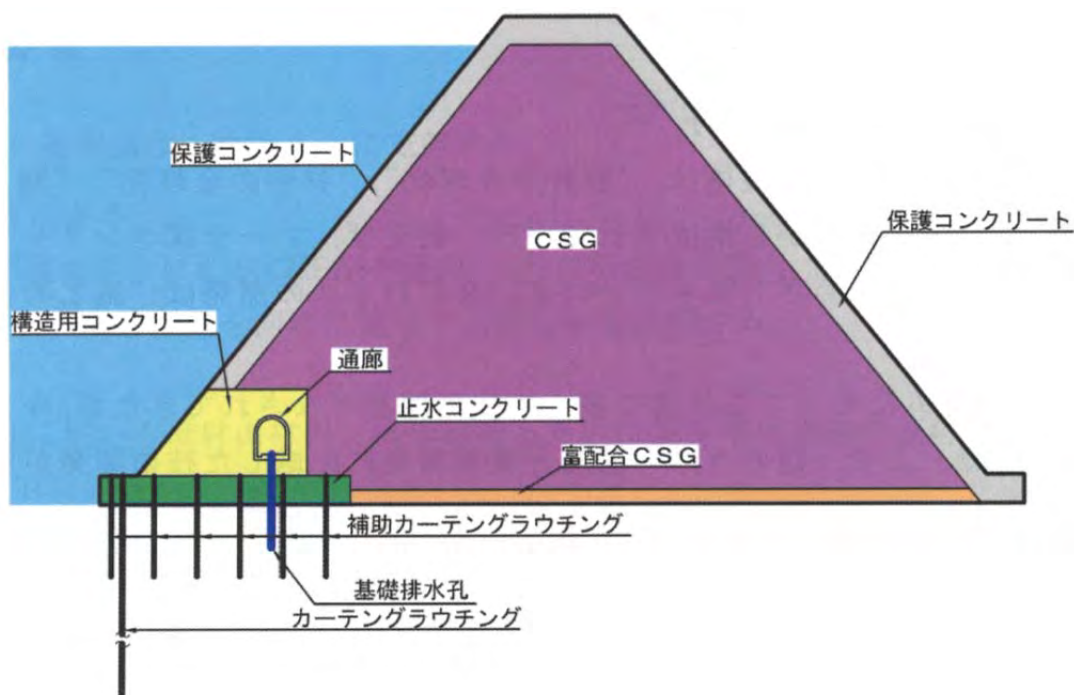


図-7.2 台形 CSG ダムの標準的な断面⁷⁻¹⁾

7.3.2 CSG 工法の概要 ⁷⁻¹⁾

CSG とは、ダム建設現場周辺で手近に得られる材料を、基本的に分級や粒度調整、洗浄を行うことなく、必要に応じてオーバーサイズの除去や破砕を行う程度の材料に、セメントならびに水を添加し、簡易な設備で混合したものである。

CSG 工法とは、CSG をブルドーザで敷き均し、振動ローラで転圧することによって構造物を造成する工法である。CSG 工法は、国土交通省中部地方整備局長島ダム(静岡県, G, 2001 年)の上流仮締切堤築造に初めて適用されて以来、多くの仮締切堤や押え盛土工などに採用され、現在では本格的ダムにも適用されるようになった。なお、台形 CSG ダムは断面形状が台形であるため、CSG の必要強度はコンクリートよりも低く、このことによって CSG 母材に要求される品質もコンクリート骨材に比べて低くなるため、適用できる材料の選択肢が広い。

一般的な CSG の製造工程を図-7.3 に示す。

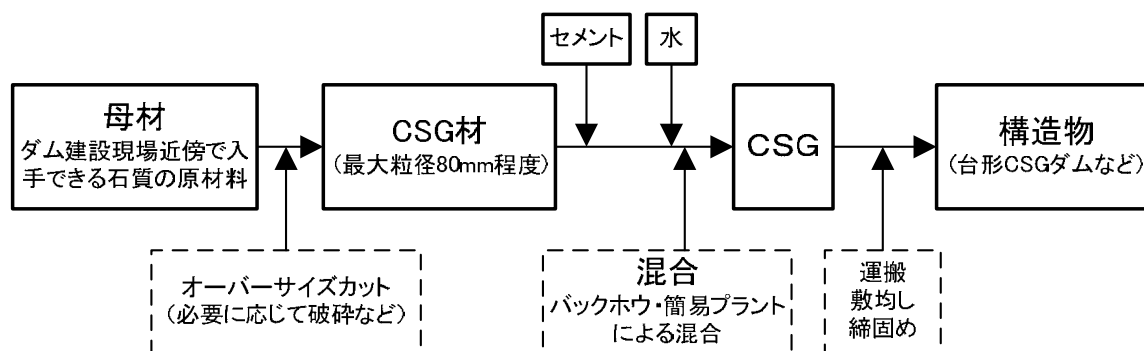


図-7.3 CSG の製造工程 ⁷⁻¹⁾から作製

7.3.3 CSG とコンクリート ⁷⁻¹⁾

CSG の応力～ひずみ曲線例である図-7.4 に示すように、载荷初期から現れる直線関係にある範囲は“弾性領域”と見なすことが可能であり、弾性領域における最大応力値を CSG の強度と定義している。台形 CSG ダムは、ダムを構成するあらゆる部位において「CSG の強度」(弾性領域強度)以内になるように設計されるため、台形 CSG ダムは弾性体として挙動する構造物となる。

ダム工学において、コンクリートは弾性体、フィルダムのロック材料は塑性体、CSG は弾塑性体に位置付けられる。これらの材料の圧縮試験で得られる応力～ひずみ関係例を図-7.5 に示す。これに示すように、CSG はコンクリートとロック材料との中間的な性質を有することがわかる。

CSG の弾性領域における弾性係数は単位セメント量 $80\text{kg}/\text{m}^3$ で約 $3,000\text{N}/\text{mm}^2$ 前後でありコンクリートの弾性係数よりも 1 オーダー小さくなる。また、CSG の強度(弾性領域強

度)は, 単位セメント量 80kg/m^3 で 3N/mm^2 前後であり, 強度的にもコンクリートよりも 1 オーダー小さい。

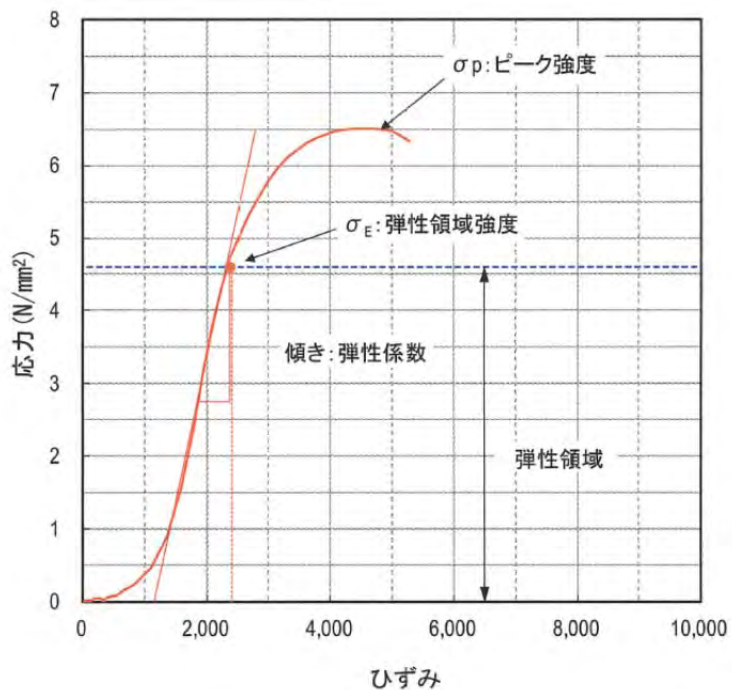


図-7.4 CSG の圧縮強度試験で得られる応力～ひずみ曲線の例 ⁷⁻¹⁾

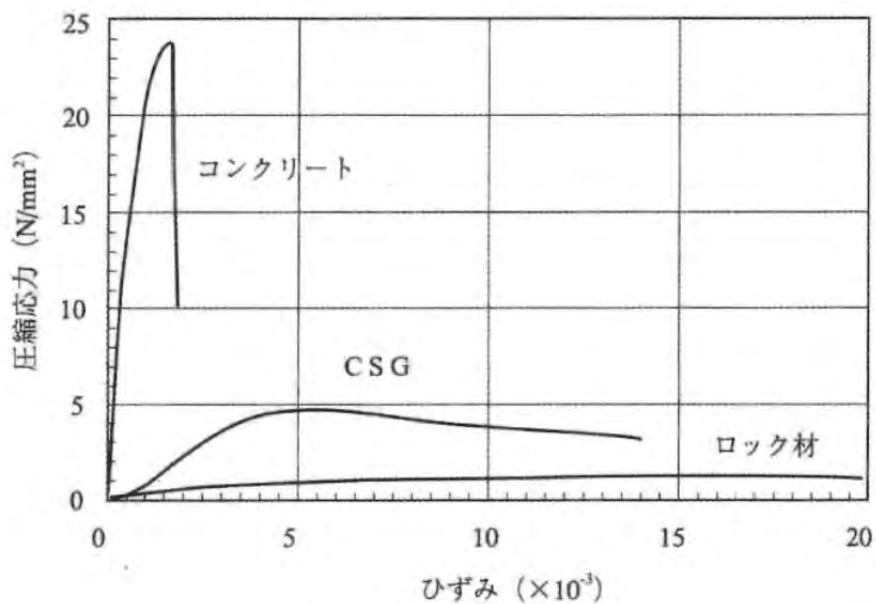


図-7.5 コンクリート, CSG, ロック材料の応力～ひずみ曲線の比較 ⁷⁻¹⁾

7.3.4 台形 CSG ダムの施工

当別ダムを例として、台形 CSG ダムの施工を紹介する。

当別ダム標準断面図を図-7.6 に、CSG の製造～堤体部での施工状況を写真-7.1～7.15 に、連続式 CSG 混合機の模式図を図-7.7 に、CSG 打設の概略フローを図-7.8 に、当別ダムにおける保護コンクリートと CSG 部、プレキャスト型枠の位置図を図-7.9 に示す。

施工の合理化を目的の一つとしている CSG 工法は、高速大量連続施工を前提としており、連続的に材料を供給して CSG を製造することを基本としている。このため、連続混合が可能な混合機が使用されることが多い (7-7),7-8),7-9),7-10)。

製造した CSG は堤体部にダンプトラックで運搬され、堤体部では面状工法で打設される。施工に使用する機械は、ダンプトラック、ブルドーザ、振動ローラなどの通常のダム工事で用いられる汎用機械である。

以上のように、CSG 工法は手近に得られる材料を有効に利用し、簡易な設備、汎用機械で施工するため、“施工の簡略化”，“環境への影響低減”，“コスト縮減”，“高速施工”が可能になる。

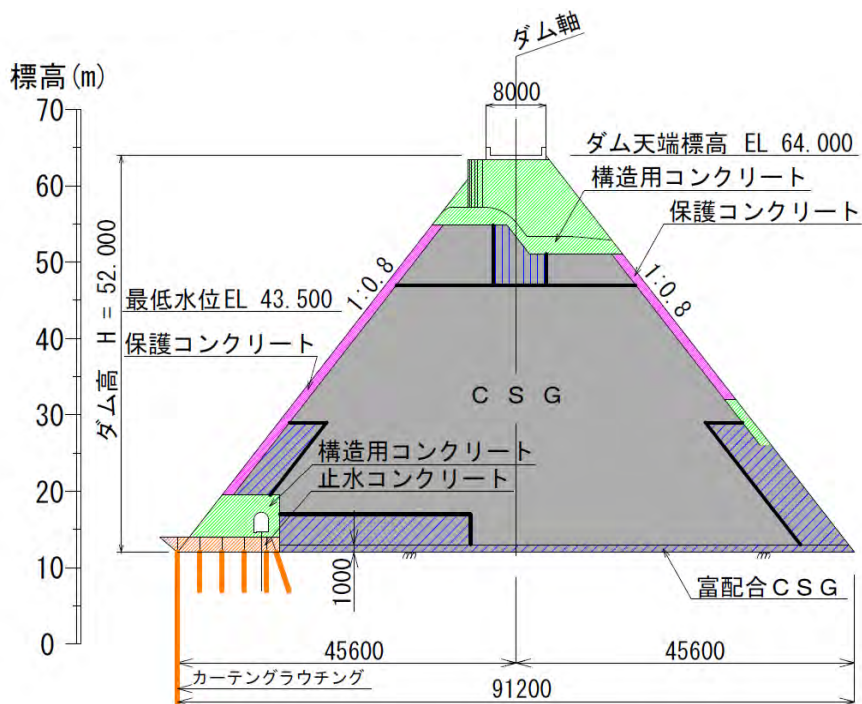


図-7.6 当別ダム標準断面図



写真-7.1 CSG 材(当別ダム, 母材は河床砂礫)



写真-7.2 CSG 製造設備(当別ダム, 2009 年)

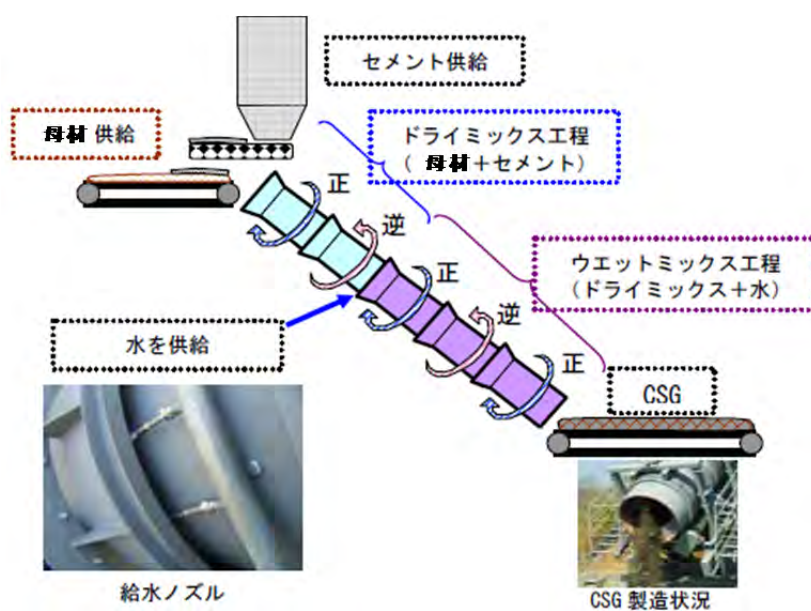


図-7.7 連続式 CSG 混合機の模式図 (SP ミキサー, 当別ダム, 2009 年)



写真-7.3 連続式 CSG 混合機 (SP ミキサー, 当別ダム, 2009 年, 著者撮影)



写真-7.4 製造直後の CSG (当別ダム, 2009 年, 著者撮影)

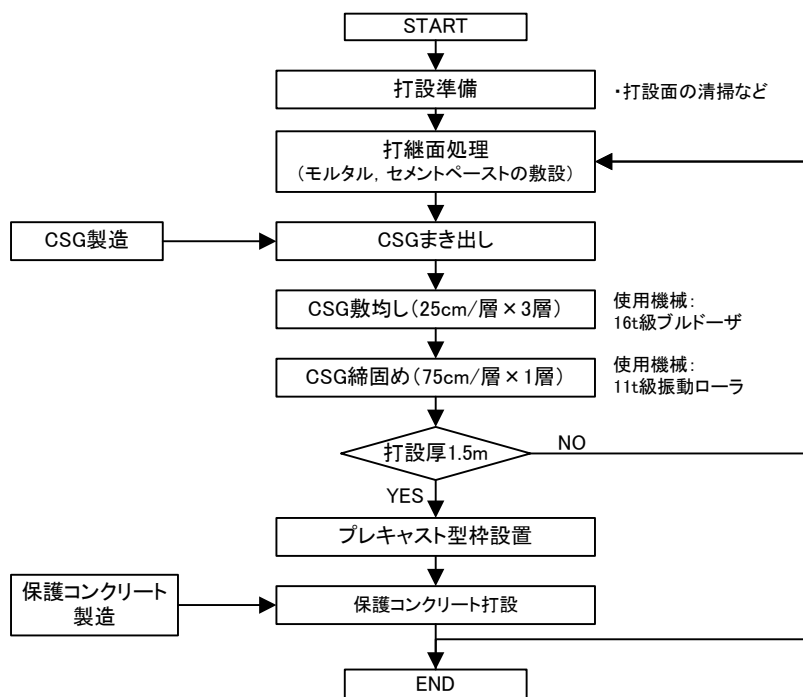


図-7.8 CSG 打設の概略フロー



写真-7.5 CSG 打設面へのセメントペースト敷設(当別ダム, 2009年, 著者撮影)



写真-7.6 CSG まき出し状況(当別ダム, 2009年, 著者撮影)

敷均し厚 25cm/層 × 3層



写真-7.7 CSG 敷き均し状況(当別ダム, 2009年, 著者撮影)



1 リフト 75cm/層で転圧

写真-7.8 CSG 転圧状況(当別ダム, 2009年, 著者撮影)



写真-7.9 CSG 打設状況全景(当別ダム, 右岸から撮影, 2010年, 著者撮影)

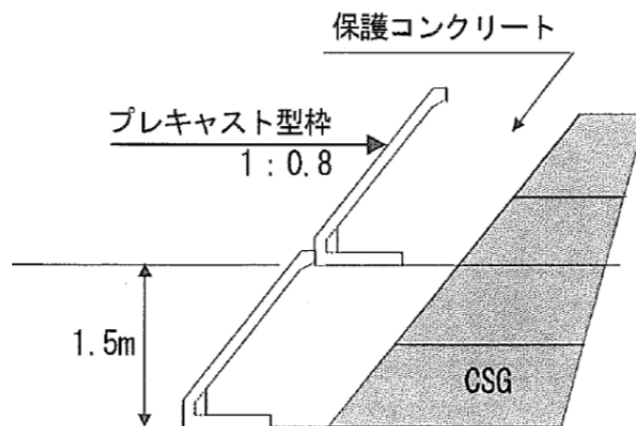


図-7.9 保護コンクリートとCSG部, プレキャスト型枠の位置図(当別ダム)⁷⁻⁶⁾



写真-7.10 プレキャスト型枠設置状況(当別ダム, 2009年, 著者撮影)



写真-7.11 保護コンクリートの打設(当別ダム, 2009年, 著者撮影)



写真-7.12 CSGのコア(当別ダム, 2009年, 著者撮影)



写真-7.13 完成した当別ダム(2011年, 著者撮影)



写真-7.14 完成した当別ダム(2011年, 著者撮影)



写真-7.15 完成した当別ダム(上流側全景, 2012年著者撮影)

7.4 ひし形理論

7.4.1 ひし形理論⁷⁻¹⁾

CSGの母材は、オーバーサイズの除去などを除き、分級や粒度調整などは基本的に行わないため、採取地が同一の材料であっても粒度は変動する。この粒度の変動によって、CSGの単位水量が変動するため、セメント量が一定でもCSGの強度は当然変動する。このようなCSG材の粒度、CSGの単位水量ならびに強度の変動を、“ひし形理論(Diamond Shape Theory)”に基づいて管理するのがCSG工法の特長である。

“ひし形理論”の説明図を図-7.10に示し、これを以下に説明する。

- CSG材の粒度は、母材採取地で得た材料を対象に多くの粒度試験を行い、最も粗い粒度(最粗粒度)、最も細かい粒度(最細粒度)を把握する。図-7.11の当別ダムでの事例のように、同一組成のCSG材の粒度は全てこの最粗粒度、最細粒度の間に分布する。
- 強度試験は、図-7.11に示すような最粗粒度と最細粒度、さらに平均粒度(最粗粒度と最細粒度の間)を対象にして、複数の単位水量および単位セメント量を設定して行う。
- 図-7.10に示す説明図のように、縦軸にCSGの強度、横軸に単位水量を採り、最粗粒度、最細粒度、平均粒度のそれぞれの強度を単位水量毎にプロットする。なお、単位水量が少なくなるとセメントの水和反応に要する水が不足して強度が発現しない、または単位水量が多すぎるとミキサなどへの付着が著しくなり施工が困難となる場合がある。このように単位水量には許容範囲が存在し、これを図-7.10に示すように縦線として記入すると、CSGの強度は上下2本の粒度と強度範囲で狭まれる内側で、許容される単位水量範囲を示す縦線で区切られる「ひし形」の範囲内(図-7.10中の斜線部分)に分布する。
- 「ひし形」は、大型供試体材齢91日のCSGの強度で作成する。また、材齢28日における「ひし形」も作成する。
- 「ひし形」範囲の中で最も低い強度をCSG強度と定義すると、粒度と単位水量が設定した「ひし形」範囲内にあるCSGの強度は、CSG強度以上の値が確保される。

この“ひし形理論”に基づくCSGの強度の管理は、単位セメント量が一定である場合、CSG材の粒度とCSGの単位水量の二元的な管理であるといえる。

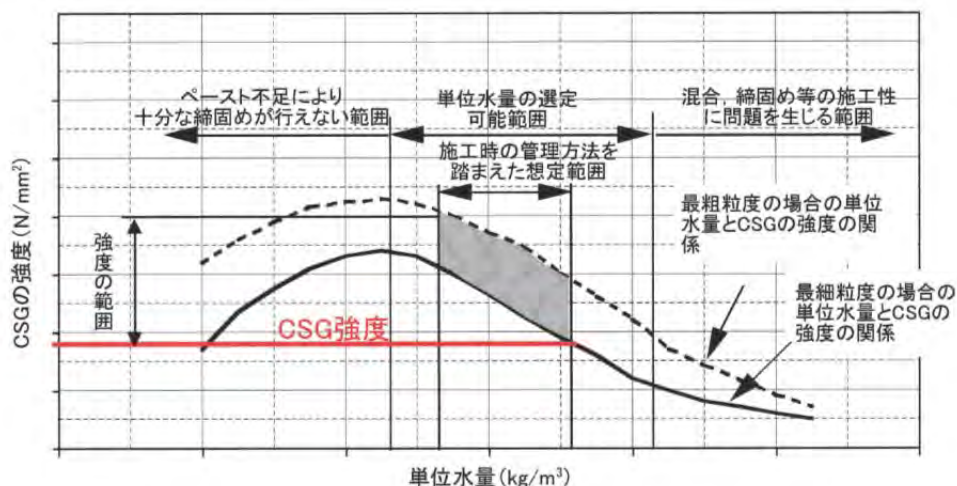


図-7.10 CSG材の粒度の幅と単位水量管理範囲, CSG強度から設定される“ひし形”理論⁷⁻¹⁾

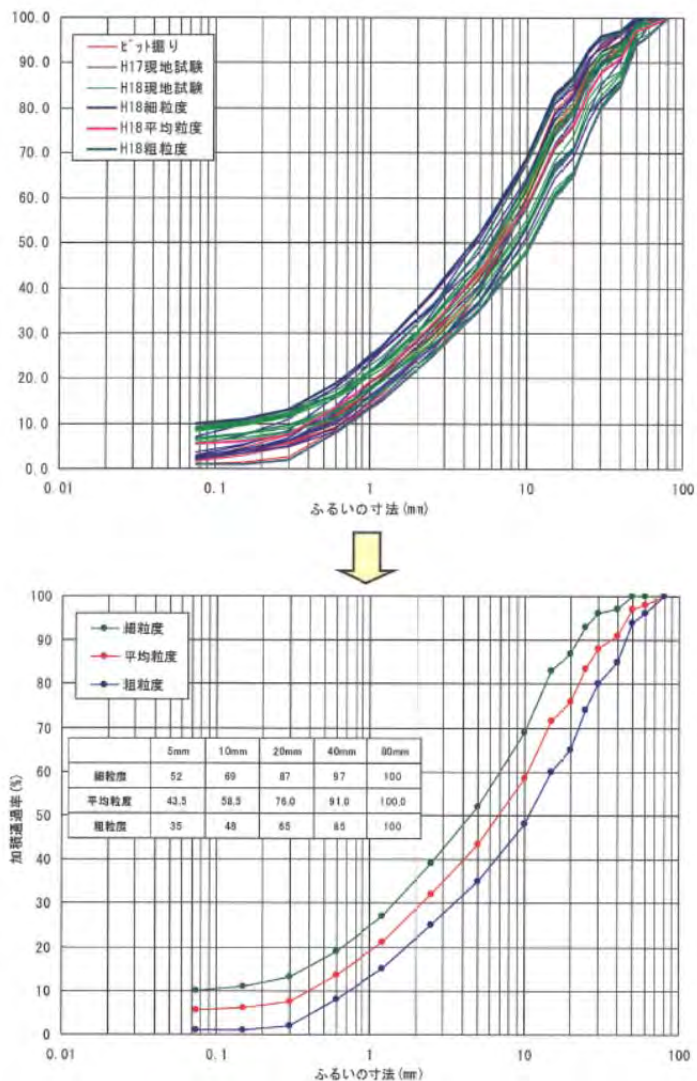


図-7.11 当別ダムにおけるCSG材の粒度の幅と試験粒度⁷⁻⁶⁾

7.4.2 ひし形の作成

(1) ひし形作成の考え方⁷⁻¹⁾

CSG 材の粒度, CSG の単位水量および強度の関係図である「ひし形」を, 実施工において CSG の配合や施工・品質管理に活用するためには縦軸である CSG の強度(図-7.10 参照)が, 実施工で打設される CSG の強度と同等である必要がある。

このため, 実施工で使う CSG と同等の材料(最大粒径 80mm)を, 実施工における転圧エネルギーと同等の締固めエネルギー(室内試験では締固め秒数で規定)で大型供試体(φ300mm×h600mm, コンクリート分野での許容最大粒径 100mm)を作製し, この強度を使って「ひし形」を作成する。

(2) 試験施工の目的⁷⁻¹⁾

試験施工は, 室内での大型供試体作製時の締固めエネルギーを設定することが目的である。これは, 現場における締固めエネルギーを室内で再現することを意図している。

また, この他の試験施工の目的としては, 以下のような項目が挙げられる。

- ① 実施工を想定した層厚での振動ローラの転圧回数の決定
- ② CSG の単位水量と施工性の確認
- ③ 打継面処理方法や, CSG の製造から転圧完了までの許容時間などの決定などの設定

試験施工は, 実際に使用される CSG 材を用いて, 実際に使用予定の転圧機械を用いて, 実施工で想定している層厚で実施する。通常, 1 リフトの厚は 75cm, 3 層敷均し(1 層 25cm)とし, 転圧機械には RCD 工法で用いられる 11t 級振動ローラ(写真-7.8 参照)が使用される。

(3) 大型供試体作製時の締固めエネルギー設定⁷⁻⁶⁾

「ひし形」検討のための大型供試体作製時の締固め時間は, 試験施工での振動ローラによる締固めエネルギーに相当する時間で設定する。言い換えれば, 現場における締固め状態を, 室内の大型供試体において再現しているといえる。

この考え方は, フィルダムを始めとする地盤工学分野での室内試験供試体と現場における試験施工の関係とは真逆である。地盤工学分野では, 室内においてある締固め状態(例えば, 締固め度 D 値など)を仮定し, この状態で求めたせん断強さを設計値に使用する。そして, 現場における試験施工では, 室内において仮定した締固め状態が満足できる施工仕様(使用機械, 敷均し厚さ, 転圧回数など)を設定することを主目的としている。

以下に、当別ダムにおける事例⁷⁻⁶⁾を基に「ひし形」の設定方法を説明する。

①振動ローラによる転圧回数の設定

試験施工における転圧回数と沈下量や現場密度(湿潤密度)の収束状況から、転圧回数を設定する。

当別ダムでは、11t級振動ローラによる「無振動2回転圧+有振動6回転圧」と設定した。

②振動ローラの締固めエネルギーに相当する大型供試体締固め時間

設定した転圧仕様における現場密度と電動ハンマ締固め時間を数ケース変化させて作製した大型供試体密度を比較し、設定した振動ローラの締固めエネルギー(有振動転圧回数)に相当する電動ハンマ締固め時間を設定する。

当別ダムでは、図-7.12に示すように振動ローラ締固めエネルギー(有振動転圧回数)に相当する大型供試体の電動ハンマ締固め時間は60秒と設定している。

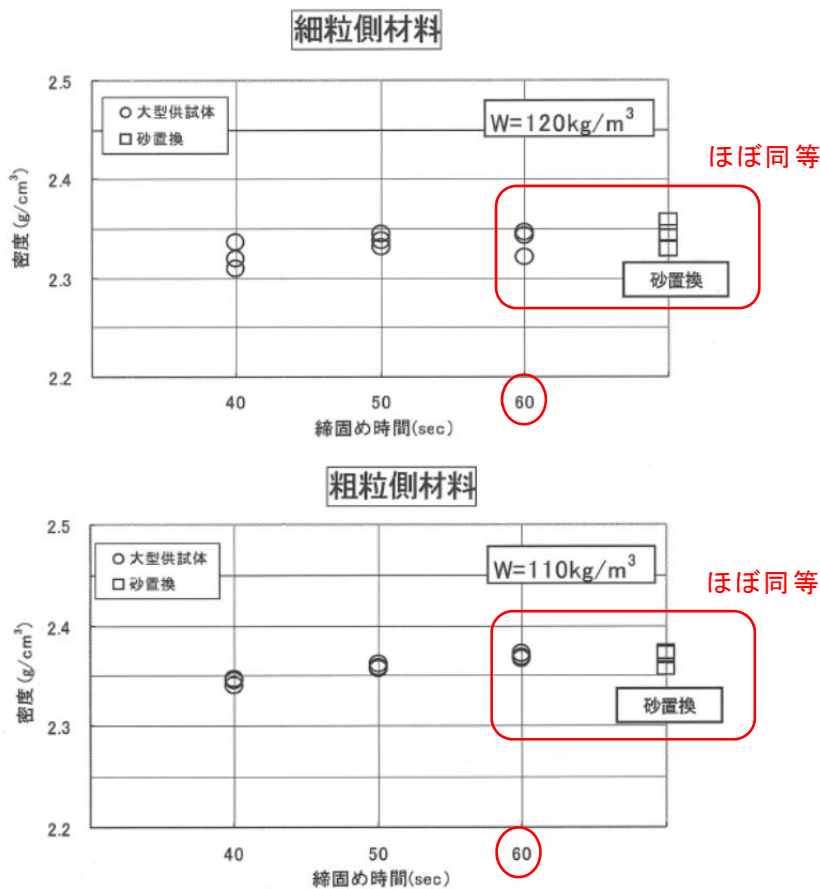


図-7.12 CSGの現場密度(砂置換法)と大型供試体密度の関係⁷⁻⁶⁾に加筆

(4) 「ひし形」の設定

当別ダムにおける「ひし形」の単位水量は、母材の表面水量の試験結果や施工性から $110\sim 140\text{kg/m}^3$ を基本としたが、融雪期には細粒側材料が高含水状態になることも想定し、最細粒度については 150kg/m^3 のケースも実施している⁷⁻⁶⁾。

大型供試体試験結果(単位セメント量 80kg/m^3 、電動ハンマ締固め時間 60 秒、材齢 91 日)で得た「ひし形」を図-7.13 に示す。単位セメント量 80kg/m^3 の場合の CSG 強度は 2.3N/mm^2 (単位水量 $110\sim 140\text{kg/m}^3$)となった。さらに、単位セメント量を変化させたケース(例えば、 80kg/m^3 や 100kg/m^3)についても「ひし形」を作成することで単位セメント量と CSG 強度の関係が把握でき、使用場所に応じて使用する CSG の配合を合理的に変更することが可能になる。

なお、図-7.13 に示す当別ダムの事例では、単位水量 $110\sim 140\text{kg/m}^3$ の範囲では最細粒度の CSG の強度が最粗粒度を上回っており、図-7.10 に示した“ひし形”理論の模式図とは傾向が異なっている。このような複雑なケースもあるので、「ひし形」の設定は慎重に行うことが必要である⁷⁻¹⁾。

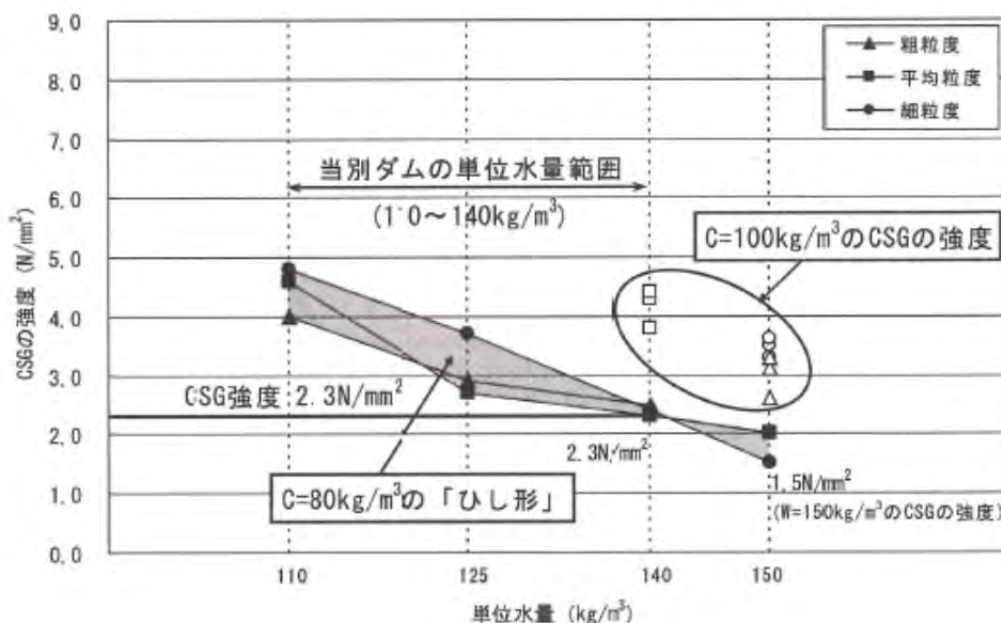


図-7.13 当別ダムにおける「ひし形」(単位セメント量 80kg/m^3)⁷⁻⁶⁾

7.5 台形 CSG ダムにおける品質管理方法

台形 CSG ダムの品質管理のうち「通常の品質管理」と「施工初期に行う確認作業」、
「CSG 材や CSG の強度の品質変動傾向監視」などが、フィルダムの品質管理にはない新
しい考え方といえる。このような台形 CSG ダムの品質管理の新しい考え方は、フィルダムの
品質管理の今後の方向性を考察するのに参考になると考えられる。このため、本節では
台形 CSG ダムにおける品質管理方法をまとめる。

7.5.1 CSG 工法の品質管理の概要⁷⁻¹⁾

施工の合理化を目的の一つとしている CSG 工法は、高速大量連続施工を前提として
おり、連続式の設備(例えば、写真-7.2, 写真-7.3 参照)で CSG を製造することを基本と
している。また、CSG 材の粒度および表面水量は変動するため、CSG 工法の品質管理で
はこれを許容した管理が必要となる。

台形 CSG ダムの堤体材料である CSG に必要な品質は CSG の強度(弾性領域強度)
であり、品質管理では打設された CSG の強度を管理することを目的としている。

また、CSG の品質管理は、施工初期および安定期を通じて行う「通常の品質管理」と、
施工初期に品質管理システムを決定するための「施工初期に行う確認作業」から成って
いる。

以下に、CSG 工法の品質管理の概要を示す。

- ① CSG 工法の品質管理の目的は、CSG の強度の管理である。
 - ・ CSG の強度は、これに影響を及ぼす粒度、単位水量および締固めエネルギーによって管理する。
 - ・ CSG の製造時は、CSG 材の粒度と単位水量が「ひし形」の中であること、打設時においては所定の転圧が行われていることを確認する。
- ② CSG の製造では CSG 材の粒度と単位水量が変動することを前提とした“ひし形理論”を適用して、CSG の強度を管理する。
 - ・ CSG の製造時は、CSG 材の粒度および質量、単位セメント量、単位水量を管理することで「ひし形」の中で製造されていることを確認する。
- ③ CSG の施工では締固めエネルギー(振動ローラ転圧回数)を管理する。
 - ・ 締固めエネルギーは CSG の強度と高い相関があるため、これを管理する。
- ④ 製造した CSG の供試体強度および打設した CSG の現場密度の変動傾向を監視する。
 - ・ CSG 材の品質管理、CSG 製造時の計量、打設時の敷均し、転圧などが適切に行われていること、品質管理システムが正常に作動していることを確認す

る。

- ・ 供試体強度の変動傾向の監視は、CSG の強度が「ひし形」から決まる CSG 強度以上であることが前提である。一方、CSG の強度が CSG 強度（「ひし形」の最低強度）を下回る場合は、材料の品質変動や計量システムの異常などが生じている可能性がある。

(1) 通常の品質管理

「通常の品質管理」とは、施工初期から完了まで一貫して行う品質管理であり、既述した基本事項に従って、①母材の品質管理、②CSG 材の品質管理、③CSG の品質管理の3項目の管理と、④品質管理システムの確認から成る。

a) 母材の品質管理

母材の品質管理は、母材の品質（粒度、表乾密度、吸水率など）の大幅な変化の有無を確認するものである。品質の変化が確認された場合は「ひし形」を再作成する必要がある。

b) CSG 材の品質管理

CSG 材の品質管理は、CSG 材の粒度と CSG の単位水量が「ひし形」内に収まることを確認するために行う。管理項目は CSG 材の表乾密度、吸水率、粒度、表面水量である。施工当日の CSG 材の品質管理では、変動が予想される CSG 材の粒度ならびに表面水量を簡易法で、「施工初期の確認」を経て決定した頻度で測定する。

簡易法とは、短時間で結果が得られる湿潤・水洗い法による粒度試験⁷⁻¹⁾、フライパン法による含水率試験⁷⁻¹⁾や電子レンジ法による含水率試験⁷⁻¹⁾(地盤工学会基準 JGS0122)などである。湿潤・水洗い法による粒度試験状況を写真-7.16 に、フライパン法による含水率試験状況⁷⁻¹¹⁾を写真-7.17 に、電子レンジ法による含水率試験状況を写真-7.18 に示す。

c) CSG の品質管理

CSG の品質管理では、CSG 製造設備における計量管理(CSG 材の質量、給水量(単位水量)、セメント量)と振動ローラの転圧回数管理(締固めエネルギー管理)を行う。

d) 品質管理システムの確認

CSG 打設現場では、上記の管理を補足するために打設した CSG の現場密度(湿潤密度)と標準供試体 CSG の強度(7日材齢が望ましい)を測定し、これらの変動傾向を監視する。現場密度や供試体 CSG の強度などが急変した場合、または連続的に変化した場合には、品質管理システムの再確認を行い、材料が変化した、または材料が異なると判断した場合は「ひし形」を再作成する。



写真-7.16 湿潤・水洗い法による粒度試験状況



写真-7.17 フライパン法による含水率試験状況



写真-7.18 電子レンジ法による含水率試験状況

(2) 施工初期の確認作業

「施工初期の確認作業」とは、品質管理システムを決定するための作業である。施工初期に行う確認作業を以下に示す。これらの作業を施工初期段階において実際に行い、得られたデータを使って分析することで、合理的な品質管理システムの構築が可能となる。

- 施工当日の CSG 材の表面水量の把握に必要となる簡易測定法の測定頻度の確認
 - ・ 簡易測定法を現実的な作業を考慮した場合の最大頻度である 1 回/1 時間で行い、その結果を分析して安定期における測定頻度を決定する。
- 現場密度測定における砂置換法と RI 法の相関性の確認
 - ・ 現場密度の測定方法は砂置換法を基本とするが、施工初期の確認作業において砂置換法と RI 法の相関が確認できた時点で RI 法に移行する。
- 現場密度と大型供試体強度の相関性の確認
 - ・ 「ひし形」設定時に設定した締固め秒数で大型供試体を作製し、現場密度と大型供試体の密度が同等であることを確認する。これは、「ひし形」設定時の密度や CSG の品質が妥当であり、設定した「ひし形」が品質管理に適用できることを確認するために行うものである。
- 標準供試体短期材齢の強度 (7 日材齢が望ましい) と、大型供試体強度 (28 日材齢) の相関性などの確認
 - ・ 「通常の品質管理」では、実際に製造された CSG で標準供試体を作製し、短期材齢の標準供試体強度 (材齢 7 日以下の強度を用いることが望ましい) の変動傾向を監視する。この際、大型供試体材齢 28 日 CSG の強度との相関関係が明確であることを確認する必要がある。
 - ・ 材齢 7 日以下の強度は強度の変動傾向監視を目的としていることから、ピーク強度 (図-7.4 参照, 最大値) を用いる。

標準供試体 ($\phi 150\text{mm} \times h300\text{mm}$) と大型供試体 ($\phi 300 \times h600\text{mm}$) を写真-7.19 に、大型供試体の作製状況を写真-7.20 に示す。

また、当別ダムにおける標準供試体材齢 7 日の CSG ピーク強度と大型供試体材齢 28 日 CSG の強度の関係を図-7.14 に、両者の強度の推移を図-7.15 に示す。当別ダムでは、両者の強度が良好な相関性を有すること、ならびに標準供試体材齢 7 日ピーク強度で大型供試体材齢 28 日の CSG の強度の変動傾向が把握できることを確認したため、安定期における大型供試体の試験頻度を施工初期の 1 回/日から 1 回/1 ヶ月に変更した⁷⁻¹²⁾。

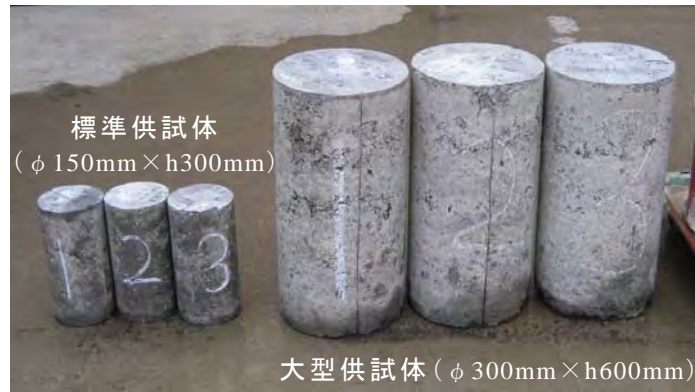


写真-7.19 標準供試体と標準供試体



(a) 作製状況



(b) 電動ハンマによる締固め状況

写真-7.20 大型供試体の作製状況

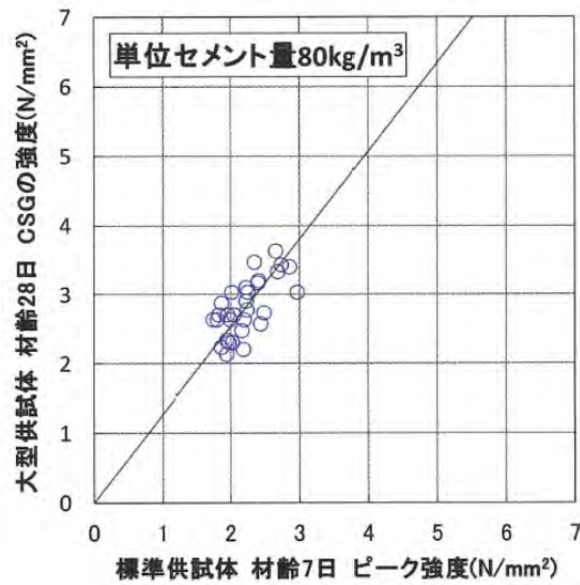


図-7.14 標準供試体材齢 7 日ピーク強度と大型供試体材齢 28 日 CSG の強度の関係 (当別ダム)⁷⁻¹⁾

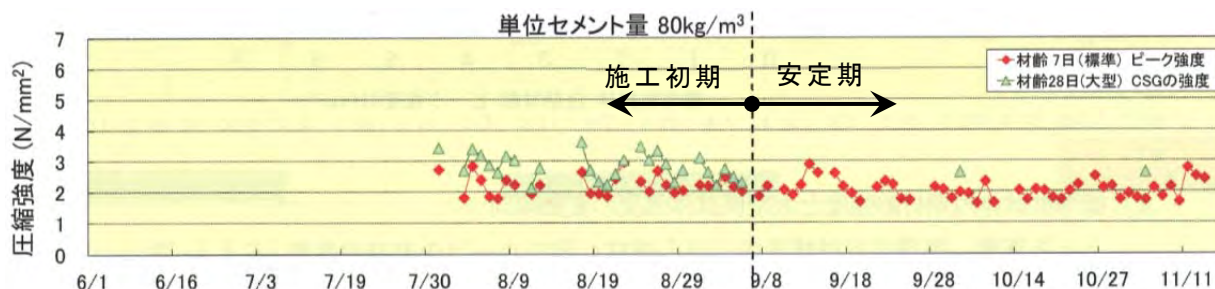


図-7.15 標準供試体材齢 7 日ピーク強度と大型供試体材齢 28 日 CSG の強度の推移例(当別ダム)⁷⁻¹⁾

7.5.2 CSG 工法の品質管理手法⁷⁻¹⁾

CSG の品質管理手法(標準)を図-7.16 ならびに表-7.2 に示す。

CSG 工法の特長は「ひし形理論」に基づいた品質管理手法であり、CSG 材の粒度および CSG の単位水量の変動を許容しつつ、図-7.16 ならびに表-7.2 に示す品質管理手法に従って管理を行うことで、CSG の強度を確実に満足できることである(7.4.1 参照)。

また、既述したように施工初期・安定期を通じて行う「通常の品質管理」と、品質管理システムを決定するための「施工初期に行う確認作業」が定義されており、品質管理項目や試験頻度を画一的に設定せず、実際のデータに基づいて合理的に品質管理システムを構築している。これは、フィルダムの品質管理にはない新しい考え方である。

品質管理項目はフィルダムのコア材の管理項目に近いものが多いが、試験頻度が多く設定されている。例えば、施工当日の CSG 材の品質管理においては、変動が予想される CSG 材の粒度および表面水量を簡易法(写真-7.16, 写真-7.17, 写真-7.18 参照)で測定するが、施工初期において1回/1時間の頻度で行い、その結果を分析して安定期の粒度および表面水量の測定頻度を決定する。

当別ダムにおける施工初期と安定期における品質管理項目と試験頻度を表-7.3 に、CSG 打設量の進捗と CSG 品質管理の推移を図-7.16 に示す。当別ダムでは、施工初期に行う確認作業を経て、安定期における粒度および表面水量の測定頻度は 1 回/2 時間としている⁷⁻¹²⁾。

なお、品質管理のさらなる合理化を目的に、ICT などの最新の技術を品質管理手法に採用することを推奨している。これは、CSG 工法が「高速大量連続施工」を基本としているためであり、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ことを示唆している。

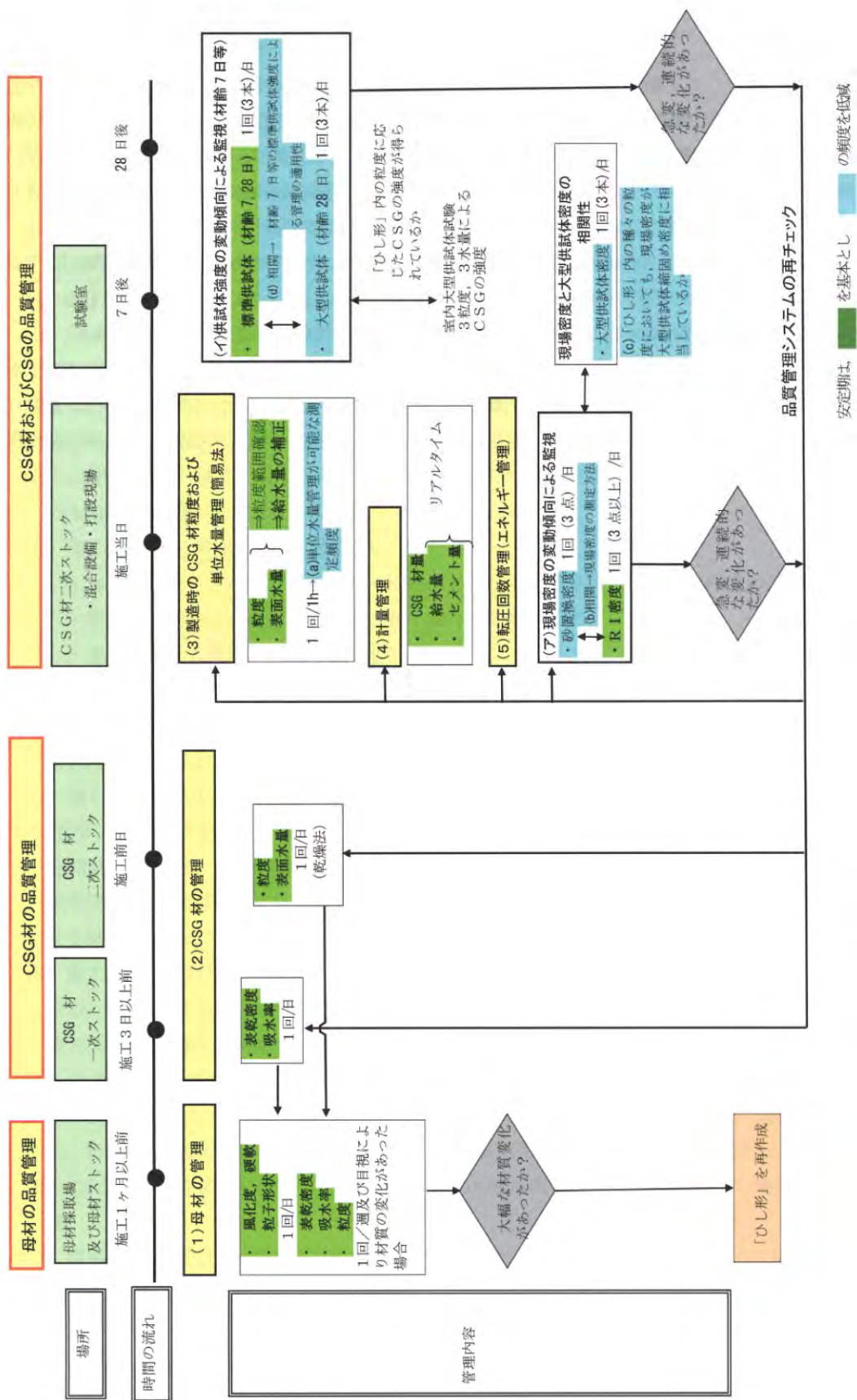


図-7.16 CSGの品質管理手法 (標準) 7-1)

表-7.2 CSGの品質管理項目、方法、基準 7-1)

項目	目的	管理場所	管理項目	測定方法	測定頻度	管理内容	備考
(1)母材の管理	母材の判定を行うとともに、使用する母材の表乾密度・吸水率、粒度等の変化を把握する	母材採取場 又は 母材 ストックヤード	風化度、硬軟	目視・ハンマ打診等	1回/日	風化度、硬軟等の判定基準に従って母材の判定を行い、材質の変化を把握する。 表乾密度、吸水率によって材質の変化を定量的に管理する。	①粒子形状が大きく異なる場合には、締め特性が異なることにも留意する。 ②大幅な材質変化が認められた際には、「ひし形」を再作成する必要があることから、母材ストック量は、計画使用量の1ヶ月以上を基本とする。
			乾密度・吸水率	密度及び吸水率試験	1回/週及び目視により材質や粒度に変化があった場合		
(2)CSG材の管理	配合計算のためのCSG材の表乾密度・吸水率、粒度、表面水量の測定を行う	CSG材一次 ストック	乾密度・吸水率	密度及び吸水率試験 +5mm JIS A1110 -5mm JIS A1109	1回/日	配合計算のためのCSG材の表乾密度・吸水率、粒度、表面水量の測定を行う。	①ストック量は、試験に要する時間に余裕をみて一次ストック量の3～5日分程度、二次ストックは1～2日程度とする。 ②CSG材は、一次ストックから二次ストックに移動する際に、バックホウなどで十分に混合してCSG材の粒度のパラツキの軽減を図る。 ③施工当日のCSG材の管理には、測定頻度に対応できる簡易的な測定法を事前に検討する必要がある。 ④測定する粒度は、粒度区分毎の重量および表面水量が、全体の単位水量へおよび影響度を検討して定める。
		CSG材二次 ストック	表面水量	乾燥法 JIS A1102 乾燥法 JIS A1125	1回/日		
(3)製造時のCSG材粒度および単位水量管理	施工当日の粒度範囲の確認、給水量補正のための粒度・表面水量の測定を行う	CSG材二次 ストック	粒度	簡易法	施工初期には、測定頻度を1回/1hとして、単位水量の変動幅の検討を行い、適切な測定頻度を定める。	粒度範囲の確認を行うとともに、配合の補正に用いる粒度および単位水量を管理する。	計量管理は、質量管理で連続的に計量できるシステムとする。
(4)計量管理	CSG材量、セメント量の計量を行う	混合プラント	CSG材量、セメント量	自動計測装置	リアルタイム	CSG材量、給水量、セメント量の計量を管理する。	
(5)転回数管理 (エネルギー管理)	締めエネルギーマニagementsを行う	打設現場	転回回数	GPS装置を利用した 転圧機械の軌跡管理	リアルタイム	転回回数を管理する。	安定期には、密度測定はRI法のみに移行することも可能である。このためには、施工初期に砂置換法とRI法の相関を把握しておく必要がある。
		打設現場	現場密度	砂置換法	1回(3点)/日	現場密度に変化、連続的な変化がなか監視する。	
現場密度の変動傾向による監視	施工されたCSGの現場密度の変動傾向による監視を行う	試験室	大型供試体密度	RI法	1回(3点)/日	現場密度が大型供試体締め密度に相当していることを監視する。	安定期には、標準供試体(材齢7日等)にのみ移行することも可能である。このためには、大型供試体(材齢7日)と標準供試体(材齢7日等)のCSGの強度の相関性を把握しておく必要がある。
		試験室	標準供試体 (材齢7,28日) 大型供試体 (材齢28日)	強度試験供試体を用いる 圧縮強度試験	1回(3本)/日 1回(3本)/日	CSGの強度に急変、連続的な変化がないかを監視する。 「ひし形」内の粒度に応じたCSGの強度が得られているか確認する。	

管理内容：施工初期には「 」+「 」の項目を実施
安定期は、「 」を基本とし「 」の頻度を低減する

表-7.3 当別ダムの施工初期および安定期の品質管理内容 ⁷⁻¹⁾から作製，一部修正

項目	管理項目	施工初期の品質管理	安定期の品質管理	
		約3ヶ月	約10ヶ月	
CSG材の管理	表乾密度・吸水率	乾燥法：1回/日		
	粒度			
	表面水量			
製造時のCSG材の粒度と単位水量の管理	粒度	簡易法：1回/1時間	簡易法：1回/2時間	
	表面水量			
計量管理	材料の計量（製造設備）	自動計測（リアルタイム）		
転圧管理	振動ロー転圧管理	GPS装置による走行軌跡，転圧回数を管理		
	現場密度	砂置換法による密度	1回（3点）/日	1回（3点）/2週
		RI法による密度	1回（3点）/日	
	大型供試体密度	1回（3本）/日	1回（3本）/月	
供試体強度の変動傾向の監視	標準供試体（材齢7日）	1回（3本）/日		
	大型供試体（材齢28，91日）	1回（3本×2材齢）/日	1回（3本×2材齢）/月	

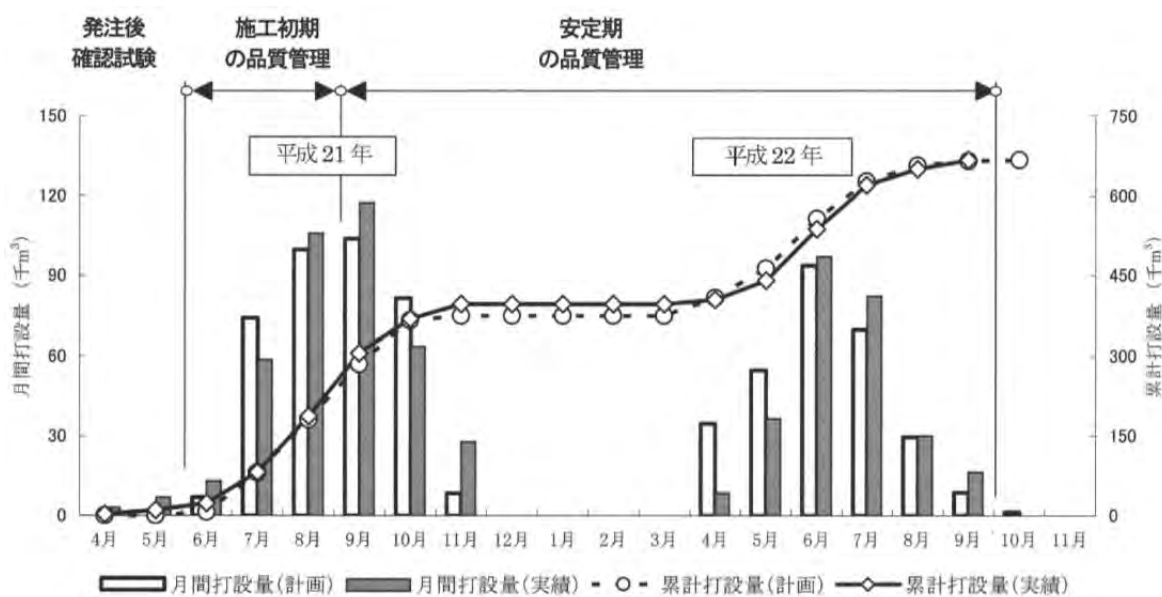


図-7.16 当別ダムのCSG打設量の進捗とCSG品質管理の推移 ⁷⁻¹⁾

7.6 第7章のまとめ

第7章では、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 ダムの概要と品質管理方法を整理した。

台形 CSG ダムはフィルダムとは明確に区別されているが、設計ならびに材料、施工、品質管理などについて、新しい考え方とこれに応じた先駆的な取り組みが提案、実践されている。このため、台形 CSG ダムならびに CSG 工法も本研究の対象とした。

第7章の内容を以下にまとめる。

- 1) 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、コスト縮減と環境保全に配慮して、従来のダムよりも材料の合理化を図ったものであり、あわせて設計の合理化、施工の合理化にも資するものとされている。
- 2) CSG とは、ダム建設現場周辺で得られる材料にオーバーサイズの除去や破砕などのみを行い、これにセメント、水を添加し、簡易な設備を用いて混合して製造するものである。CSG 工法とは、CSG をブルドーザで敷き均し、振動ローラで転圧することによって構造物を造成する工法である。
- 3) CSG 工法は高速大量連続施工を前提としており、連続的に材料を供給して CSG を製造することを基本としている。
- 4) CSG 材の粒度、CSG の単位水量ならびに強度の変動を許容し、“ひし形理論”に基づいて管理することが CSG 工法の特長である。
- 5) 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。
- 6) 「通常の品質管理」とは、施工初期から完了まで一貫して行う品質管理であり、①母材の品質管理、②CSG 材の品質管理、③CSG の品質管理の3項目の管理と、④品質管理システムの確認から成る。
- 7) CSG の品質管理では、品質管理項目や試験頻度を画一的に設定せずに、「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品質管理システムを構築している。さらに、「変動傾向監視」という考え方を導入している。これらはフィルダムの品質管理にはない新しい考え方である。
- 8) CSG の品質管理では、ICT などの最新の技術を品質管理手法に採用に努めることを推奨している。これは、「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ことを示唆している。

【参考文献】

- 7-1) (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.
- 7-2) (財)ダム技術センター:多目的ダムの建設, 第6巻, 施工編, pp.267-285, 2005.
- 7-3) 横森源治, 安仁屋勉, 町田宗久:大保脇ダム沢処理工台形 CSG ダムの施工について, ダム日本, No.719-9, pp.53-79,2004.9.
- 7-4) 横林直樹, 斉藤一正, 森田英仁:灰塚ダム川井堰堤の設計と CSG 施工について, ダム日本, No.738-4, pp.7-27, 2006.4.
- 7-5) 黒田昇, 古川節, 芥川充志:嘉瀬川ダム副ダムの CSG 施工実績, 西松建設技報, Vol.34, 2011.
- 7-6) 上野信二, 中瀬弓人, 佐藤裕之, 藤澤侃彦:当別ダムの設計・施工(その1)ー当別ダムの設計ー, ダム技術, No.284, pp.49-66, 2010.5.
- 7-7) 藤田司:CSG 工法混合設備について(その1), ダム日本, No.810, pp.31-48,2012.4.
- 7-8) 藤田司:CSG 工法混合設備について(その2), ダム日本, No.811, pp.31-45,2012.5.
- 7-9) 藤田司:CSG 工法混合設備について(その3), ダム日本, No.812, pp.28-46,2012.6.
- 7-10) 藤田司:CSG 工法混合設備について(その4), ダム日本, No.813, pp.27-43,2012.7.
- 7-11) 地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説, ー二分冊の1ー, p.112, 2009.11.
- 7-12) 上野信二, 中瀬弓人, 佐藤裕之, 藤澤侃彦:当別ダムの設計・施工(その5)ー品質管理ー, ダム技術, No.295, pp.47-77, 2011.4.