

ISSN 0386 - 5878
土木研究所資料 第 4189 号

土 木 研 究 所 資 料

フィルダムの外部変形計測の 重要測点の選定方法の提案

平成 23 年 1 月

独 立 行 政 法 人 土 木 研 究 所
水工研究グループダム構造物チーム

Copyright © (2011) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

フィルダムの外部変形計測の 重要測点の選定方法の提案

水工研究グループ

ダム構造物チーム

上 席 研 究 員 博 (工)
研 究 員

山口 嘉一
小堀 俊秀

要 旨 :

フィルダムの外部変形計測には、築堤完了後長期間が経過し、堤体の挙動が安定した管理ダムが増加する中で、測量による計測の煩雑さや、地震後等の迅速な計測ができないなどの課題がある。このような課題を解決するために、GPS 変位計測システム等の高精度の自動変位計測機器を用いた外部変形計測についての提案がなされている。本資料では、フィルダムの外部変形計測への、高精度の自動変位計測機器の効率的かつ効果的な適用を目的として、外部変形計測の重要測点選定の方法を提案する。また、提案した方法を既設のフィルダムに適用した結果を紹介する。

キーワード：フィルダム，安全管理，外部変形，GPS，重要測点

目次

1 章	はじめに.....	1
2 章	フィルダムの外部変形計測の現状.....	3
3 章	GPS 変位計測システム.....	5
4 章	外部変形計測の重要測点の選定.....	7
4.1	概要.....	7
4.2	選定条件.....	7
①	計測を継続すべきと考えられる測点候補（必要最小限の測定）.....	9
②	設計・施工資料より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補.....	10
③	耐震性能照査より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補.....	11
④	計測結果より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補.....	12
⑤	非常時の対応.....	13
5 章	外部変形計測の重要測点選定方法の適用事例.....	15
5.1	外部変形計測の重要測点候補の選定.....	16
①	計測を継続すべきと考えられる測点候補.....	16
②	設計・施工資料より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補.....	17
②-1	ダム縦断方向における地形（掘削面）の急変点.....	17
②-2	断層などの弱層が幅広い範囲・箇所、変形性の硬軟が極端な箇所.....	18
②-3	基礎地盤の変形性の差が極端に大きい箇所.....	19
③	耐震性能照査より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補.....	20
④	計測結果より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補.....	20
④-1	外部変形計測結果より得られた懸案事項.....	20
④-2	第Ⅰ期間・その後のすべての計測機器のデータ計測結果より得られた懸案事項.....	27
(1)	漏水量.....	27
1)	堤体漏水量.....	27
2)	基礎浸透流量.....	32
(2)	埋設計器による堤体および基礎地盤の計測.....	36
1)	層別沈下計.....	37
2)	岩盤変位計.....	38

3) その他の埋設計器によるダムの変形計測結果.....	39
4) 間隙水圧.....	39
5.2 総合評価.....	41
6章 まとめ.....	43
参考文献.....	45

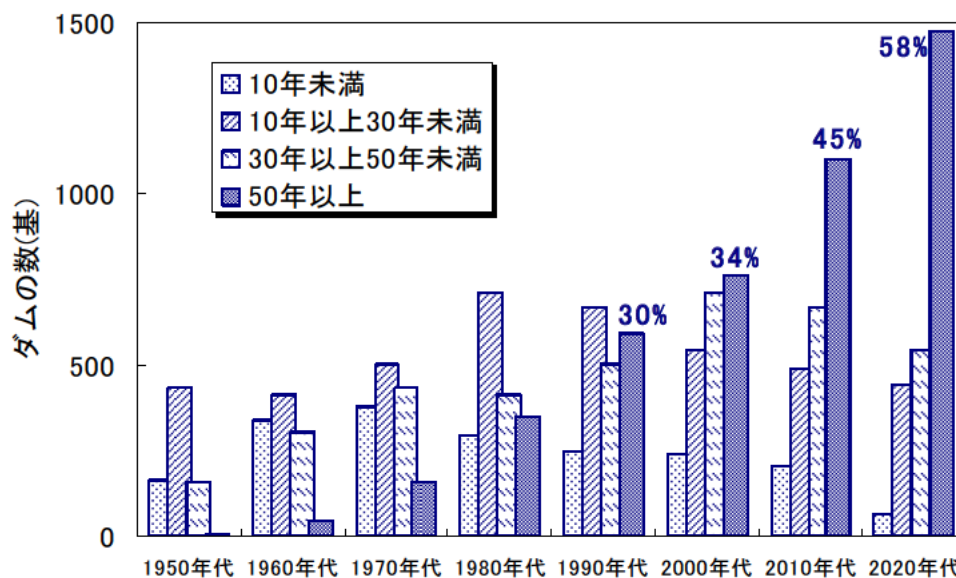
1 章 はじめに

1章 はじめに

ダムは大量の水を貯留する構造物であり、ダム堤体は貯水池の水圧荷重を支え、これを基礎地盤に確実に伝達する構造物でなければならない。また、ダムの基礎地盤はダム堤体からの荷重を確実に支持する耐力を有していなければならない。さらに、ダム堤体およびその基礎地盤は貯水池に水を蓄えるために必要な遮水性を有し、また、貯水池からの浸透流によって引き起こされる浸透破壊に対して十分な安全性を有していなければならない¹⁾。

ダムの安全管理のための計測は、巡視とあいまってこのようなダム堤体および基礎地盤の安全性を確実に確認できるものでなければならない。河川法の規定に基づき制定された河川管理施設等構造令²⁾では、ダムの安全管理にとって必要な計測事項を規定しているが、その項目はダムの安全管理にとって必要最小限の項目、換言すれば最も重要な計測項目を示したものである。フィルダムにおいては、堤体および基礎地盤浅部からの漏水量と外部変形が安全管理上の主要計測項目として規定されている。これは、これらの項目の計測により、特定断面に限った局所的な挙動ではなく、堤体および基礎地盤の全体的な挙動が把握できるためである。また、これらの項目の計測のためには故障の心配がない、あるいは故障した場合に取り替えが容易な計器が用いられている^{2, 3)}。

既設ダム（予定を含む）の完成後の経過年数区分の経年推移を図-1 に示す。完成後 50 年以上経過したダムは、2010 年には全完成ダムの 45%に達し、2020 年には 58%と過半数を超える。



※本図は、1900 年以降の日本のダム数（2007 年 12 月 ICOLD（International Commission on Large Dams, 国際大ダム会議）世界ダム台帳及び文書委員会提出）

⁴⁾に 2008 年以降のデータとして、ダム便覧 2009 ダム集計表（竣工年別型式別ダム数）のダム数（予定も含む）⁵⁾を加え作成したものである。

図-1 既設ダムの完成後経過年数区分の経年推移

このように、ダム完成後長期間が経過し、堤体および基礎地盤の挙動が安定したダムの数が増加する中で、フィルダムの外部変形計測に関する安全管理については、測量による計測の煩雑さや、人件費がかなりの負担となっている場合がある。また、地震時などの非常時における臨時点検⁶⁾においては、被災地での測量作業員の確保が困難であるうえ、非常時に外部変形計測を行うことは作業員に危険がともなう。そのため、フィルダムの外部変形挙動を安全にかつ迅速に計測することが望まれている。

上記に示した課題を解決するために、山口らは高精度かつ迅速に計測を行うことができる GPS 変位計測システムを用いて、フィルダムの外部変形計測への適用性を検証した⁷⁾。この GPS 変位計測システムは清水によって開発されたもので、時系列データの平滑化手法の一つであるトレンドモデルを適用することにより、従来の GPS 測量より高精度な計測が行えるシステムとなっている^{8) 9)}。また、近年、清水らは、GPS 計測の気象補正、高低差補正や上空視界障害物の影響低減を行いさらなる精度向上を達成している¹⁰⁾。

フィルダムへの適用については、その後、山口らは大型フィルダムである土質遮水壁型ロックフィルダムの土質遮水壁（コア）直上の天端における外部変形計測を、GPS センサーを天端通行の障害とならないように天端保護層内に埋設したうえで行うことができる、天端埋設型 GPS センサーの開発¹¹⁾を行い、従来の測量機器でない GPS を用いたフィルダムの安全管理のための外部変形計測導入の具体的提案をおこなった¹²⁾。また、平成 20 年 6 月 14 日に発生した岩手・内陸地震により堤体変状などの被害を受けた石淵ダム（堤高 53m, コンクリート表面遮水壁ロックフィルダム（Concrete Face Rockfill Dam: CFRD）では、余震が発生する中、危険を伴う従来の測量作業に代え、GPS 変位計測システムによる外部変形計測を行い、フィルダムの非常時における安全管理の有用性を実証した¹³⁾。

しかし、管理段階のダムでは安全管理のための予算が限られており、フィルダム堤体の外部変形計測用の測量全点到 GPS センサーなどの高精度の自動変位計測機器を設置することは難しい。そのため、ダムごとに重要な計測地点を選定した上で、効果的に変位計測機器を設置する必要がある。また、重要な計測地点を選定することにより、これまでの測量による外部変形計測においても効率的な安全管理を行うことができる。

本資料は、ダム堤体や基礎地盤の挙動が安定状態に達した後の期間を対象にしたフィルダムの外部変形計測への、高精度の自動変位計測機器の効率的かつ効果的な適用を目的として、外部変形計測の重要測点の選定方法について検討を行うものである。なお、ここでは高精度の自動変位計測機器として GPS センサーを対象とする。

2 章 フィルダムの 外部変形計測の現状

2 章 フィルダムの変形計測の現状

フィルダムの変形は、堤体の天端およびのり面に適切な間隔の測線により格子を組み、各格子点に測量用の可動標的を設置し、左右岸に設けた固定標的より可動標的の水平および鉛直方向の変位量を光波測量および水準測量により測定することにより計測されている。フィルダムのうち、大規模ダムを築造する際の一般的型式である土質遮水壁型ロックフィルダムの変形計測用標的の設置例を図-2 に、また可動点および固定点の標的の詳細構造例を図-3 に示す。

ダムの安全管理の期間の区分と計測、巡視の標準的な頻度を表-1 に示す。表-1 のフィルダムにおける変形は、外部変形のことを示している。ダムの安全管理の第Ⅰ期とはダムの試験湛水中の期間をいう。また、第Ⅰ期の終了からダムの挙動が安定した安定状態に達するまでの期間およびダムの挙動が安定状態に達した後の期間を、それぞれダムの安全管理の第Ⅱ期および第Ⅲ期という。フィルダムにおける外部変形量の測定は、第Ⅰ期は1回/週、第Ⅱ期は1回/月、第Ⅲ期は1回/3月の計測を行う¹⁾。フィルダムの変形量の測定精度について厳密な規定はないが、mm 単位での精度は必要であると考えられる。また、表-1 より、このフィルダムの変形量の計測頻度は、堤体内に設置されたプラムラインにより計測されるコンクリートダムの変形量計測頻度よりも低いことがわかる。ここで、プラムラインとは、コンクリートダム堤体内に設けられた鉛直の堅坑に振り子を吊り下げ、錘の変位からダム変形量を計測するものである。

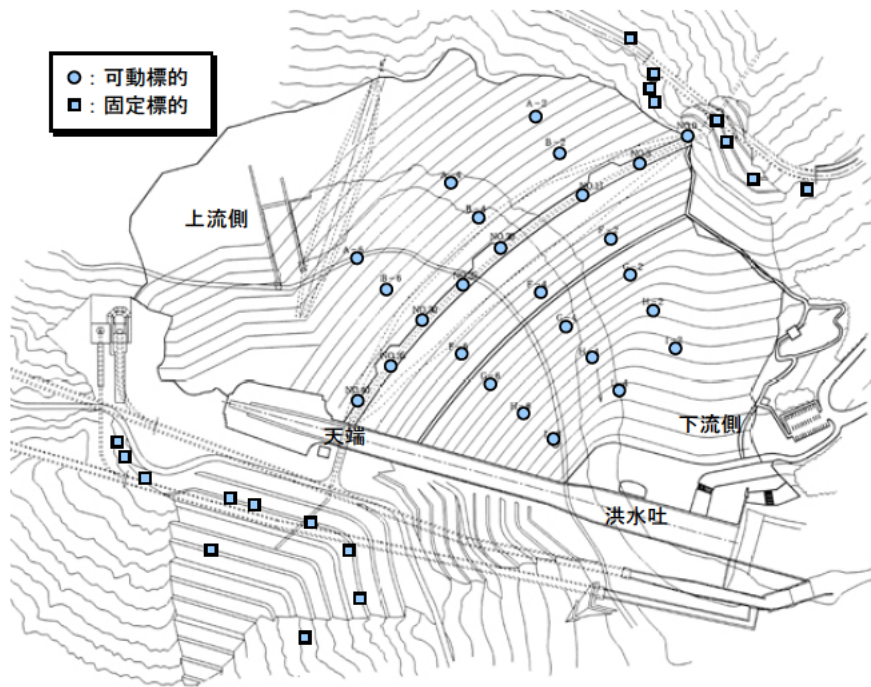


図-2 外部変形計測用標的の設置例（三国川ダム）¹⁴⁾

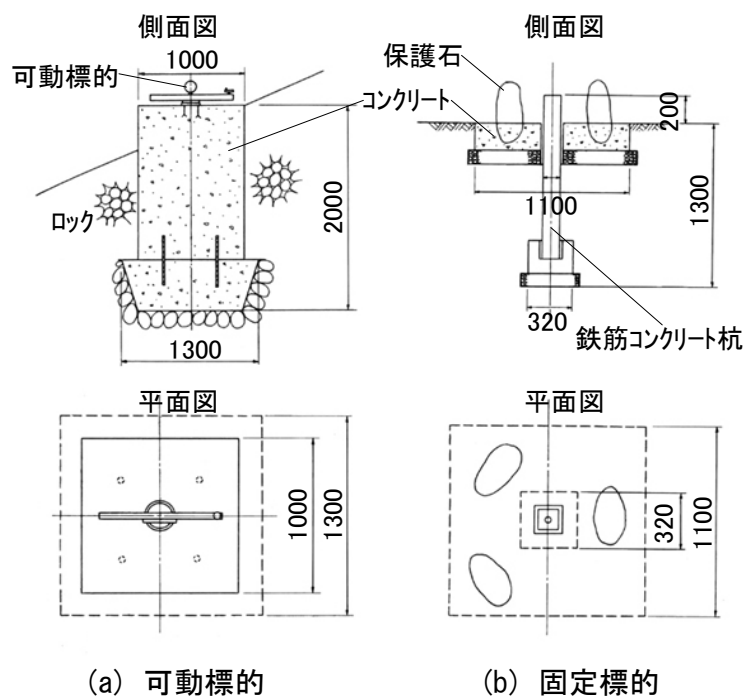


図-3 標的の詳細構造例（寒河江ダム）¹⁵⁾

表-1 ダムの安全管理の期間の区分と計測，巡視の標準的な頻度^{1, 16, 17)}

項目	コンクリートダム			フィルダム		
	第Ⅰ期	第Ⅱ期	第Ⅲ期	第Ⅰ期	第Ⅱ期	第Ⅲ期
漏水量 ^{*)}	1回/日	1回/週	1回/月	1回/日	1回/週	1回/月
変形	1回/日	1回/週	1回/月	1回/週	1回/月	1回/3月
揚圧力	1回/日	1回/週	1回/月	－	－	－
巡視	1回/日	1回/週	1回/月	1回/日	1回/週	1回/月

*) 河川管理施設等構造令では「漏水量」と定義されているが、この「漏水」は設計で考慮されている「漏水」であるから、厳密にはコンクリートダムの場合には「排水量」、フィルダムの場合には「浸透量」と称することが適切であると考えられる。

3 章 GPS 変位計測システム

3 章 GPS 変位計測システム

本章では、近年ダムで適用されている GPS 計測システムについて説明する。GPS 変位計測システムは、電源・通信装置、メモリなどの装置を通信集約機に集約し、各計測地点には GPS センサーのみを設置する機器構成とすることで、計測精度を低下させずに小型・軽量化させた。GPS 変位計測システムの構成概要を図-4 に示す。計測は、トレンドモデルによる誤差処理手法^{8, 9)}を用いることにより、水平方向に比べ計測精度の低い鉛直方向の誤差処理後の精度でも 1~2mm と、従来の測量と同等ないしはそれ以上の精度が確保できる。なお、トレンドモデルによる誤差処理手法を用いた場合、水平方向に 1mm 以内の誤差で変位量を検出するには 3 時間程度の計測時間が必要である。

一般的な測量機器と GPS の公称精度一覧を表-2 に示す。従来の光波測量や水準測量は、固定点に測量機器を設置し、可動点の計測を行うため、固定点と可動点の間の距離が離れるほど精度が低くなるが、GPS 変位計測システムによる計測では、GPS 衛星からの電波を受信するための上空視界が得られていれば、ダムなどの可動点でも同様の精度で計測を行うことができる。また、GPS 変位計測システムは、自動で連続計測を行うことができるため、洪水時などの急激な貯水位変動に対応するダムの変形等、従来の測量頻度では解明することが困難であったダムの変形挙動を計測することができる。

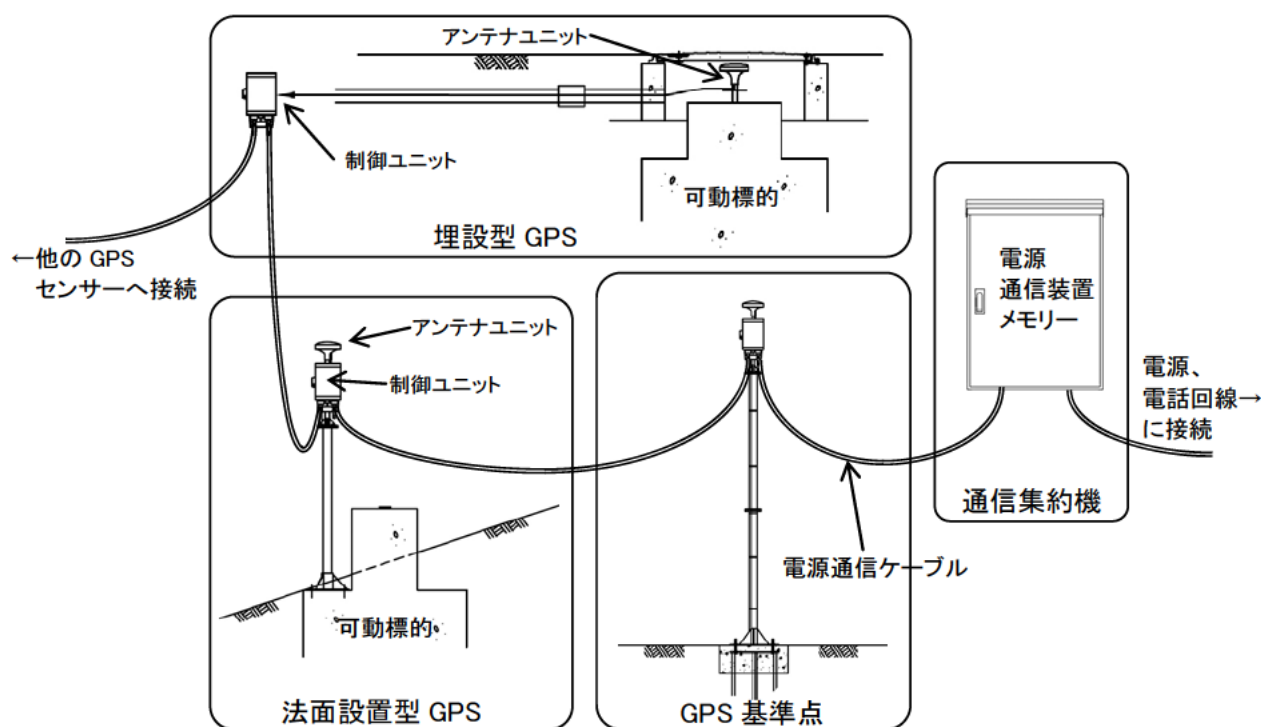


図-4 GPS 変位計測システムの構成概要

表-2 一般的な測量機器と GPS の公称精度一覧

	1 級基準測量	1 級水準測量	
観測許容範囲	水平角観測: 倍角差 15", 観測差 8" 鉛直角観測: 高度定数の格差 10" 距離測定: 1 セット内の測定値の較差 2cm	往復観測値の較差: $2.5\text{mm} \sqrt{S}$	
測量方法	光波測量	水準測量	GPS 計測* (自動変位計測システム ・静的干渉測位法)
測定機器の例	トータルステーション (A 社)	電子レベル (B 社)	1 周波 GPS 受信機 (C 社)
測量機器の精度	測距部: $\pm 5\text{mm} + 2\text{ppm} \times D$ (標準偏差) 測角部: $H=2''$, $V=3''$ (正反観測による一方向の平均 値の標準偏差)	電子的測定: 1.2mm (1km 往復の標準偏差)	水平方向 $5\text{mm} + 1\text{ppm} \times D$ (標準偏差) 上下方向 $10\text{mm} + 2\text{ppm} \times D$ (標準偏差) トレンドモデル ^{8, 9)} による誤差処理に より, 水平・鉛直方向 1~2mm 程度

D: 基線長(km), S: 観測片道距離(km)。

*: 本研究による使用機器。

4 章 外部変形計測の 重要測点の選定

4 章 外部変形計測の重要測点の選定

4.1 概要

3 章に例示したような高精度かつ連続的に外部変形が計測できる GPS センサーが開発されたことにより、従来の光波・水準測量から GPS センサーによる計測に全面的に移行、ないしは GPS センサーによる計測を主、従来の光波・水準測量を従とすることが可能となった¹²⁾。しかし、管理段階のダムでは計測にかかるコストは限られており、フィルダム堤体表面の外部標的全地点を網羅するように GPS センサーを設置することは難しい。そこで、本章では、ダム堤体や基礎地盤の挙動が安定状態に達した後、つまり安全管理の第Ⅲ期のフィルダムを対象とした外部変形計測への、高精度の GPS センサーの効率的かつ効果的な適用を目的として、外部変形計測の重要測点の選定方法について述べる。

4.2 選定条件

フィルダムの外部変形計測の重要測点選定の流れを図-5 に提案する。重要測点の選定をおこなうダムは安全管理の第Ⅲ期のフィルダムとする。第Ⅲ期のフィルダムを対象とした理由は、ダムの堤体や基礎地盤の挙動が安定状態に達していると考えられること、これまでの管理データが豊富にあり計測結果等から工学的に外部変形計測の重要測点選定が行えることが挙げられる。

選定の流れは、「準備」、「重要測点候補の選定」、「総合評価」にわけることができる。「準備」では、該当ダムの、設計・施工資料、耐震性能照査資料、第Ⅰ期や常時・非常時の計測結果、巡視の結果等の資料を収集する。「重要測点候補の選定」では、まず①計測を継続すべきと考えられる測点候補、つまり重要測点候補の抽出をおこなう。一般的にはダムの天端やダム最大断面の測点がこれに該当する。次に、②設計・施工資料や③耐震性能照査資料により設計・施工面から計測を継続すべきと考えられる測点候補の抽出を行う。管理移行後は、④第Ⅰ期、常時・非常時の計測結果から設計上の課題やこれまでの挙動を整理し、その内容を工学的に判断した上で、安全管理上の課題となりうる箇所、つまり計測を継続すべきと考えられる測点候補を選定する。最後に、それぞれ挙げられた選定候補を総合評価し、最終的に外部変形計測の重要測点の選定を行う。選定方法の観点を以下の①～④に示す。また、必要に応じて計測を追加する箇所として考えられる測点を⑤に示す。

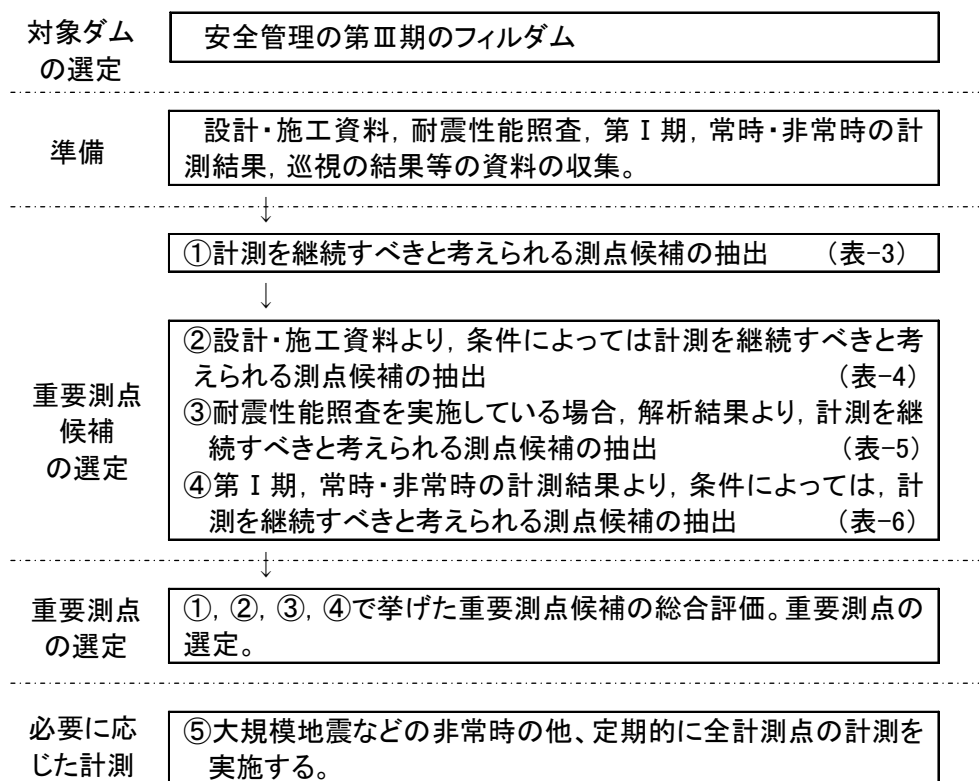


図-5 フィルダム外部変形計測の重要測点選定の流れ

① 計測を継続すべきと考えられる測点候補（必要最小限の測定）

フィルダムに設置されている外部変形計測の計測点について、基本的に計測を継続すべきと考えられる測点を表-3 に示す。ダムにおける最も重要な測点（線）としては、ダム天端のダム軸方向の測線上の測点（①-1）と標準（最大）断面付近の上下流方向の測線上の測点（①-2）が挙げられる。これは、堤体および基礎地盤のダム軸方向・ダム上下流方向の全体的な挙動が効率的に把握できると考えられるためである。また、標準（最大）断面は設計断面でもあり、外部変形計測測点の他に多種多数の計器が埋設されているため、外部変形で特異な挙動を示す計測値が得られた場合にその妥当性の検証を様々な計測データに基づいて行うことができる。

ダムの規模が大きい場合には、天端ダム軸測線と標準断面測線の計測点だけでもかなりの数となる場合がある。その場合は、左右岸方向や上下流方向等の隣り合う計測点の変形量の連続性を考慮し、計測を中止できる可能性を以下に示す「④計測結果より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補」の選定を行い検討する。同様に、ダムの下流側堤趾部分などダム高の低い部分で、変形量が小さく、かつ、これまでの計測結果に急激な変化がほとんど無い箇所の計測を中止できる可能性についても考慮する。

表-3 計測を継続すべきと考えられる測点候補

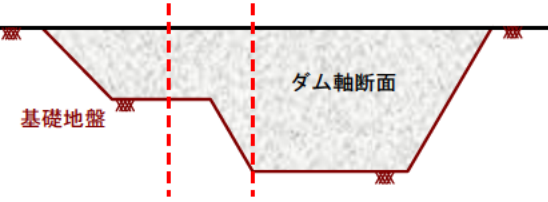
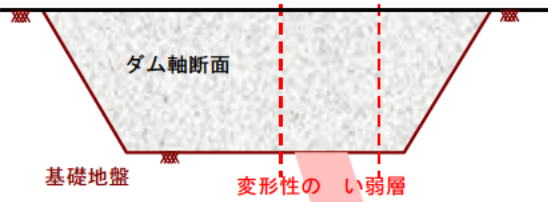
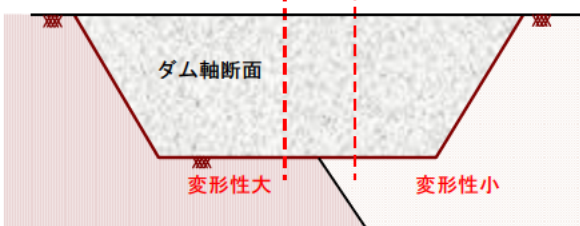
調査資料	条件	説明図
-	①-1 基本的に天端のダム軸方向測線の計測点。	
-	①-2 標準（最大）断面（あるいは付近断面）の上下流方向測線の計測点。 谷幅が広い場合は、複数測線残すことも検討する。	

② 設計・施工資料より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補

設計・施工資料等より、条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補を表-4 に示す。選定箇所として、ダム縦断方向における地形（掘削面）の急変点（②-1）や、規模の大きな弱層（規模の大きな断層など）が存在する範囲、変形性の差が極端な箇所（②-2）、基礎地盤の変形性の差が極端に大きい箇所（②-3）が挙げられる。これらの箇所では、第Ⅲ期のダムにおいても、大規模な洪水時や地震時に不等沈下発生の可能性が相対的に高いと考えられる。

その他に、設計・施工資料等より基礎地盤の留意点が挙げられる場合は、計測を継続すべき測点候補とする。

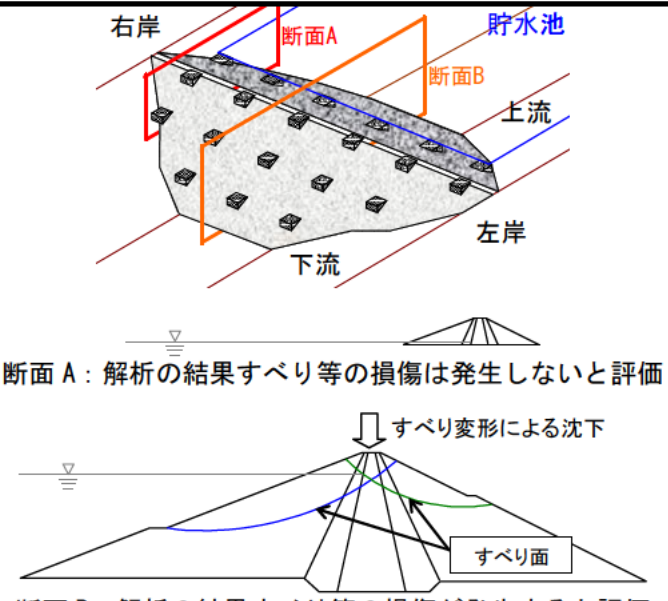
表-4 設計・施工資料より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補

調査資料	条件	説明図
設計・ 施工資料	②-1 ダム縦断方向における地形（掘削面）の急変点付近の計測点。	 地形の急変点の例
	②-2 規模の大きな弱層（規模の大きな断層など）が存在する範囲の計測点。	 規模の大きな弱層の例
	②-3 基礎地盤の変形性の差が極端に大きい箇所付近の計測点。	 基礎地盤の変形性の差が極端に大きい例

③ 耐震性能照査より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補

耐震性能照査より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補を表-5 に示す。レベル 2 地震動などの大規模地震動を受けた場合を想定した耐震性能照査解析¹⁸⁾を実施している場合、解析対象断面ですべり等の損傷が発生すると評価される箇所(③)では計測を継続すべき測点候補とする。

表-5 耐震性能照査より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補

調査資料	条件	耐震性能照査解析結果のイメージ
耐震性能照査解析結果	③ 耐震性能照査の検討で、すべり等の損傷が発生すると評価される箇所の計測点。	 断面A: 解析の結果すべり等の損傷は発生しないと評価 断面B: 解析の結果すべり等の損傷が発生すると評価

④ 計測結果より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補

湛水中の計測結果より、条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点を表-6 に示す。選定箇所として、外部変形が安定するまでに他地点より時間を要した計測点（④-1（1））、地震時や洪水時等に一時的に比較的大きな外部変形の累積が発生した計測点（④-1（2））やダム軸平行測線、上下流測線の変形について注意を要するような結果が見られる測線上の計測点（④-1（3））、外部変形の計測値が安定していない計測点（④-1（4））等が挙げられる。データ分析の例を以下に示す。

評価方法としては、表内に示すように、各計測点の沈下量 S の絶対値での評価や、各計測点の沈下量 S を各計測点の堤高 H の二乗で除した指標にて評価を行う。後者の評価方法の考え方を以下に示す。

堤体を弾性体と考え、その弾性係数 E を一定とすると、一次元の変形量の積分値として、沈下量 S は式（1）として求めることができる¹⁹⁾。

$$S = \frac{\gamma}{2E} \cdot H^2 \quad (1)$$

ここに、 S ：計測点における沈下量、

γ ：単位体積重量、

E ：弾性係数、

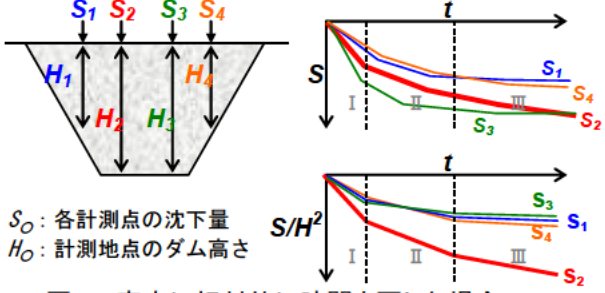
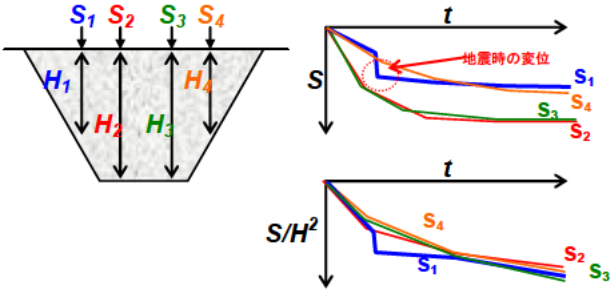
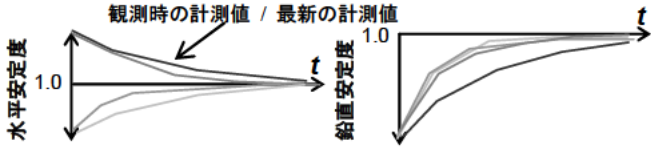
H ：計測点の堤高。

式（1）より、仮に堤体の弾性係数と単位体積重量が堤体内で大きな差がないとすると、 S/H^2 は計測点によらず同程度の値を示すことがわかる。そこで、本報告では、有次元の指標ではあるが、 S/H^2 を評価指標とし、以下、堤高補正沈下量と呼ぶ。

また、外部変形の計測値の安定度についての評価を行う。安定度とは、各地点観測時の計測値を、最新データで除して無次元化したもので、表-6 に示すように 1 に近い数値を示す期間が長いほど、安定期間が長いことを表す。なお、水平変位は経年変化の他、貯水位による影響を強く受けるので、同じ貯水位での安定度の計算を行うなど留意する必要がある。

その他、第Ⅰ期およびその後の常時・非常時のすべての計測機器のデータ整理結果より得られた懸案事項（④-2）の整理を行う。巡視の記録から懸案事項があれば、④-2 の計測機器のデータ計測結果とあわせて整理を行う。これは、地震時や洪水による急激な水位上昇時に安全管理上問題となりうる特異な挙動を示す可能性がある箇所を抽出するためである。

表-6 計測結果より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補

調査資料	条件	データ分析の例
試験湛水時の計測結果 常時、非常時の計測結果	④-1 外部変形計測結果より得られた懸案事項 (1) 外部変形が安定するまでに他地点より時間を要した計測点。 (図-A 参照) (2) 地震時や洪水時等に一時的に比較的大きな外部変形の累積が発生した計測点。 (図-B 参照) (3) その他、ダム軸平行測線、上下流測線の変形について注意を要するような結果が見られる測線上の計測点。 (4) 外部変形の計測値が安定していない計測点。 (図-C 参照)	 S_O: 各計測点の沈下量 H_O: 計測地点のダム高さ 図-A 安定に相対的に時間を要した場合  図-B 一時的に大きな変形が発生した場合  図-C 安定度
	④-2 試験湛水時・その後の常時・非常時のすべての計測機器のデータ計測結果より得られた懸案事項が存在する箇所の計測点。	-

⑤ 非常時の対応

比較的大きな地震動を受けた場合等の非常時には、中止していた計測点の計測を行うとともに必要に応じて計測を継続し、重要測点の追加を行う。また、定期的に中止していた計測点を含めた全点の計測を行い、他の全体挙動を含めた評価を行う。例えば全点の計測はダム総合評価や定期検査にあわせて行う。ダム総合評価とは、建設から20年～30年経過した国土交通省が管理する直轄ダムや都道府県が管理する補助ダムを対象にダムの機能の維持と安全性確保の観点から行う評価である。具体的には、建設当時の設計、施工、試験湛水や日常の管理点検結果について総合的に評価を行う。定期検査とは河川法に基づき、ダムの機能の確保のため3～5年おきに定期的実施する検査である。

5 章 外部変形計測の重要測 点選定方法の適用事例

5 章 外部変形計測の重要測点選定方法の適用事例

ダムの挙動が安定状態に達した後（安全管理の第Ⅲ期）の S ダムを例に挙げ、4 章に示した方法に基づき、外部変形計測の重要測点の選定を行う。S ダムの諸元を表-7 に、可動標的の位置を図-6 に示す。S ダムの可動標的は、下流側法面に 24 点（M1～M24）、ダム天端に 9 点（M25～M33）、上流側法面に 9 点（M34～M42）の計 42 地点ある。

表-7 S ダムの諸元

型 式		中央土質遮水壁ロックフィルダム
堤 高		112.0 m
堤 頂 長		510.0 m
堤 頂 幅		14.0 m
堤 体 積		10,400,000 m ³
法勾配	上流面	1:2.9
	下流面	1:2.1
基礎地盤の地質		先第三紀 閃緑岩、花崗岩

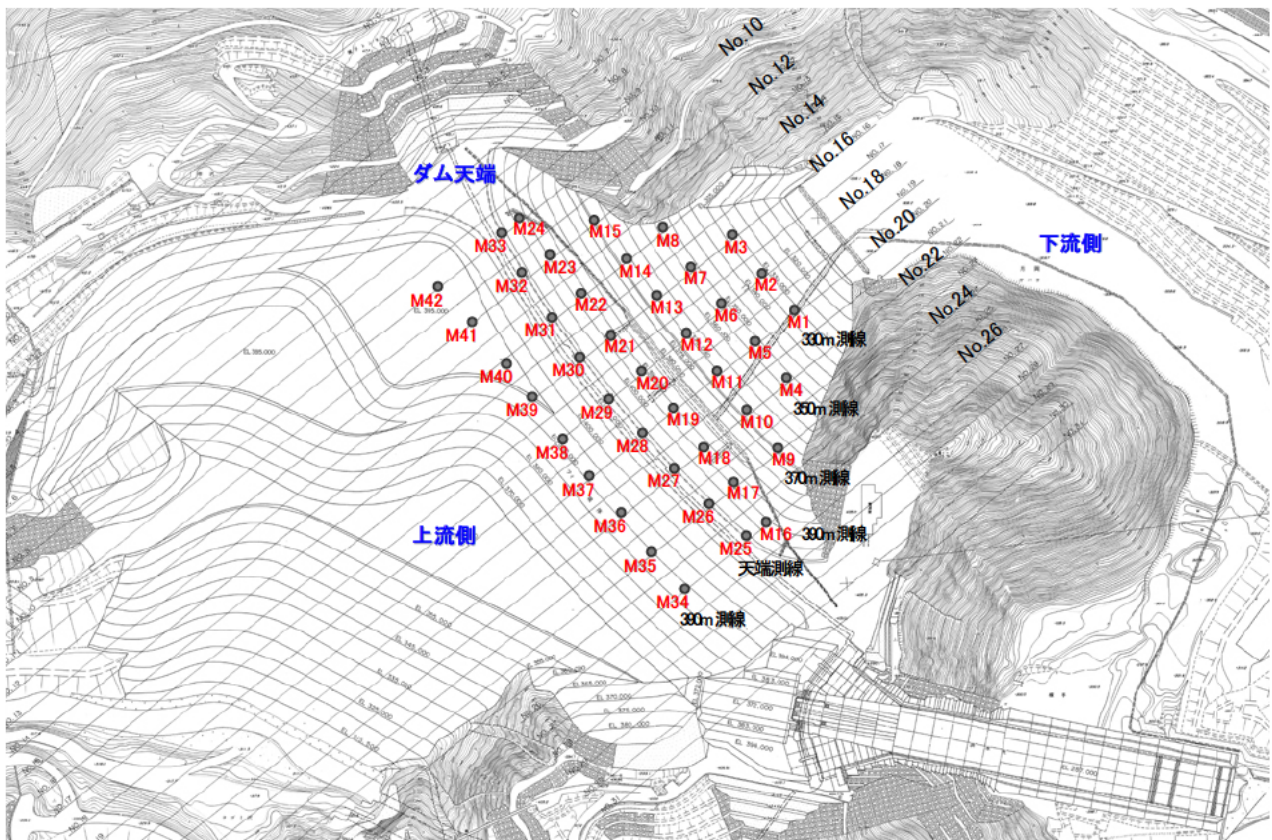


図-6 S ダムの可動標的の位置

5.1 外部変形計測の重要測点候補の選定

S ダムを対象とした外部変形計測の重要測点の選定は、「4.2 選定条件」に沿って行う。本章では、表-3～表-6 に示すそれぞれの条件に付した番号に沿って外部変形計測の重要測点候補の選定を行った。

① 計測を継続すべきと考えられる測点候補

堤体および基礎地盤の上下流および左右岸方向の全体的な変形挙動を把握するため、天端測線（①-1）および最大断面測線（①-2）上の計測点は外部変形計測の重要測点候補と考える。最大断面測線は、他の計測計器が数多く設置されている代表断面である No.18 測線とする。該当する測点候補を図-7 に示す。

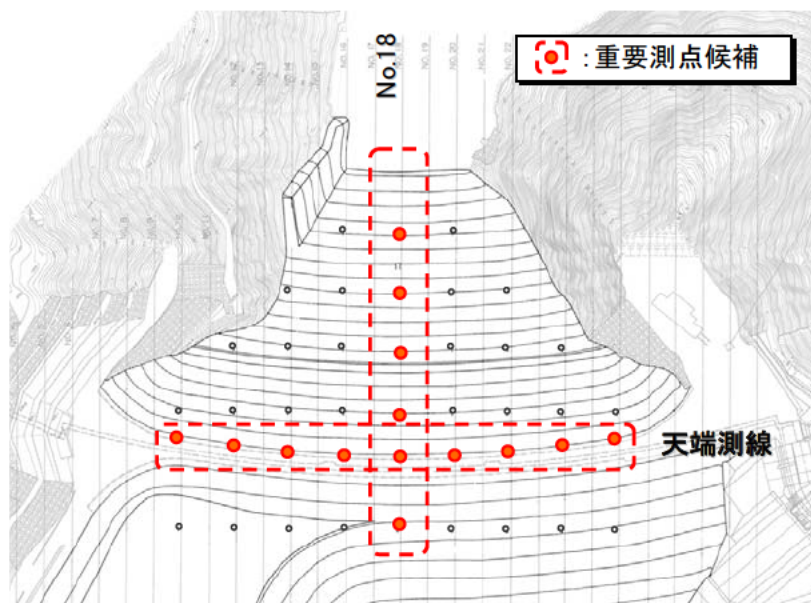


図-7 外部変形計測の重要測点候補の選定結果（条件①-1, ①-2）

②-1 ダム縦断方向における地形（掘削面）の急変点

17

②-2 規模の大きな弱層（規模の大きな断層など）が存在する範囲

断層や破碎帯などの弱層が分布し、基礎地盤の変形性の硬軟に極端な差異のある地質が隣りあう箇所は、外部変形計測の重要測点として設定する。

S ダムのダム軸縦断面における断層分布を図-9 に示す。設計時の評価では、変形性に問題がある大規模な断層はないとしている。しかし、F4 断層は破碎帯の規模が相対的に大きく、F3、F5 断層との交差部では幅 5m 程度の大規模な破碎帯となっている。ただし、F4 断層は緩傾斜で、上記破碎部も施工時に掘削除去されているので、変形性の観点からは問題は小さいと考えられる。掘削面に F4 断層が露出する箇所は、置換コンクリートにより処理を行っている。

また、河床部右岸側の上下流方向に分布する F6、F7、F7'、F8 断層は、浸透流抑制の面からグラウチングによる断層処理工を実施している。

基礎地盤の変形計測として、No.18 測線に上下流 3 箇所、No.10、26 測線に各 1 箇所の岩盤変位計を設置している。これらの岩盤変位計の計測結果、計測値は第 I 期時（試験湛水開始：1989 年 10 月）から 2006 年 6 月に至るまで、貯水位の昇降に関係なく、ほぼ一定で安定している。近年の変動幅は全て 0.1 mm 以下である。なお、具体的な計測結果は、後述する図-32 を参照されたい。また、盛立時の変位状況にも異常は認められない。

従って、S ダムの基礎地盤には、規模の大きい断層は存在しないこと、断層はグラウチングで改良されていること、岩盤変位計の計測結果に問題がないことから、外部変形計測の重要測点の選定において、基礎地盤の変形性の観点から選定すべき計測点はないと考えられる。

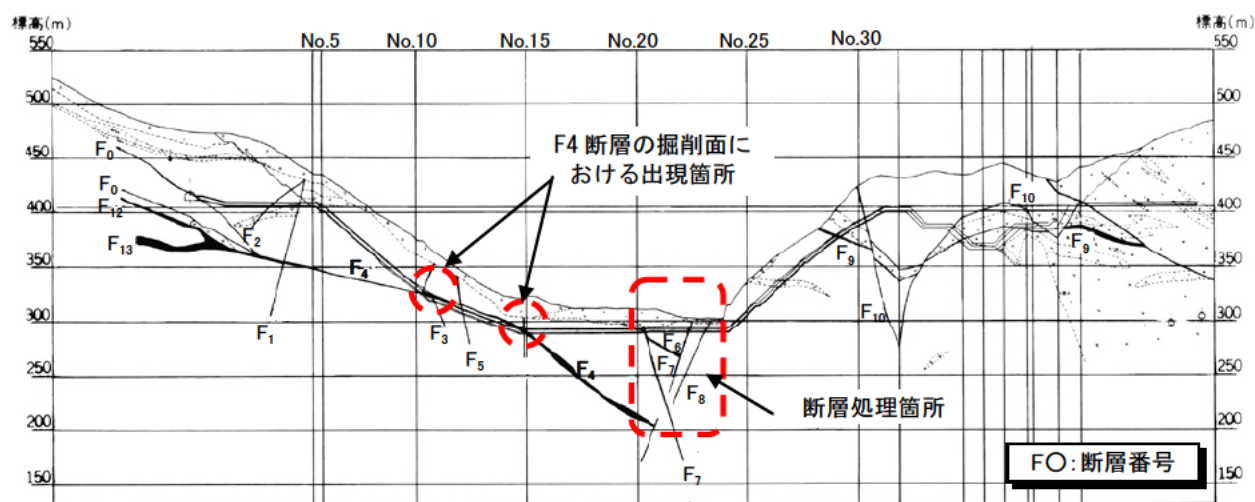


図-9 S ダムのダム軸縦断面における断層分布

②-3 基礎地盤の変形性の差が極端に大きい箇所

遮水（コア）ゾーンの基礎としては、表土や緩んだ部分を除去し、良好な岩盤まで掘削するが、せん断強さや支持力が問題になることは少ないので、基礎処理による遮水性の改良程度、不等沈下および施工条件を考慮する必要がある。

S ダムのダム軸岩級区分平面を図-10 に示す。S ダムでは、従来の経験やグラウチング試験の結果から 25Lu 以下の岩盤であれば、グラウチングによって 1～5Lu まで改良が可能であることと、岩盤の強度や岩盤と土質材料の密着性および施工性を考慮して、岩級区分の CM の上面を遮水（コア）ゾーン敷とした。そのため、変形性に極端な差異のある地質が隣りあう箇所は掘削除去されており、この条件に基づき選定すべき計測点はないと考えられる。

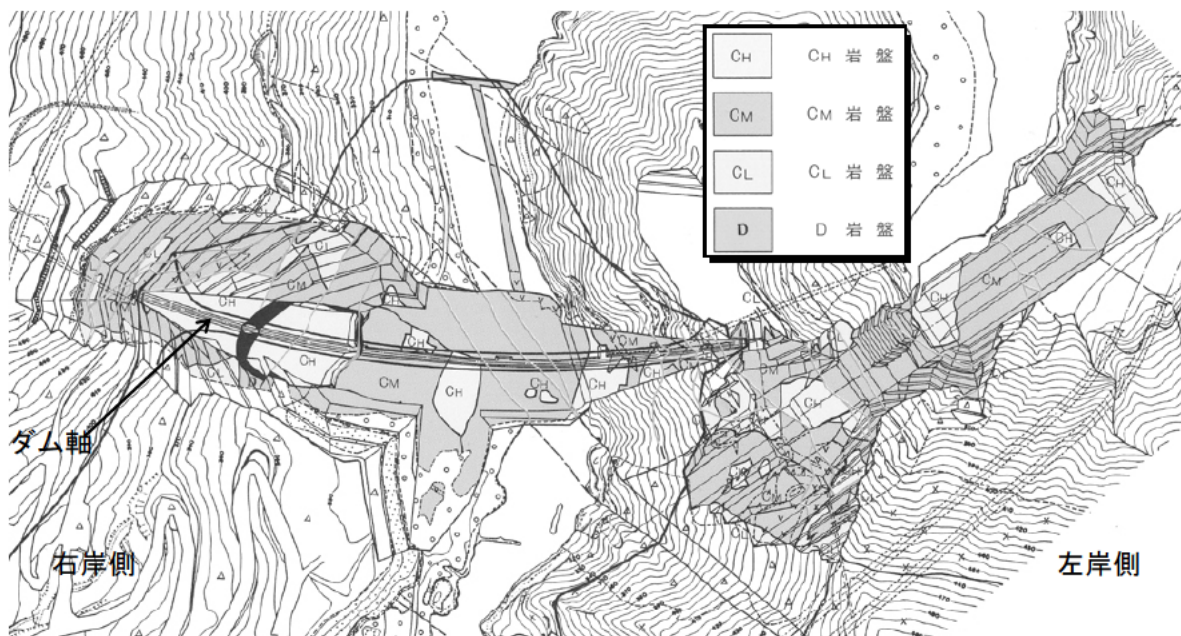


図-10 S ダムのダム軸岩級区分平面図

③ 耐震性能照査より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補

S ダムでは、現在、レベル 2 地震動に対する耐震性能照査を実施していない。今後、耐震性能照査を実施し、すべりが発生すると評価される箇所は外部変形計測の重要測点の候補とする。ただし、大規模地震動によるすべりは、相対的に堤高の高い箇所において発生しやすいと考えられることから、最大断面測線として選定した No.18 測線上の計測点により概ね目的を達成することができるのではないかと考えている。

④ 計測結果より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補

本報告では、第Ⅰ期開始時の 1989 年 10 月から 2006 年 3 月までの各計測データを対象に整理を行った。S ダムの安全管理の期間の区分は、第Ⅰ期は 1989 年 10 月から 1990 年 8 月まで、第Ⅱ期は 1990 年 9 月から 1995 年 3 月まで、第Ⅲ期は 1995 年 4 月からとなっている。

④-1 外部変形計測結果より得られた懸案事項

地震時や洪水における急激な水位上昇時に、安全管理上の問題となりうる特異な挙動を示すことが懸念される計測点として、以下の観点で外部変形計測の重要測点候補を選定する。

- (1) 変形挙動安定までに他計測点より長い時間を要した計測点
- (2) 地震時や洪水時に一時的に比較的大きな変形の累積が発生した計測点
- (3) ダム軸平行測線、上下流測線の変形分布から継続監視が必要と考えられる測線上の計測点

ダム上下流方向と鉛直方向に着目した計測結果の整理例として、S ダムの最大断面である No.18 測線の計測結果を図-11 に示す。また、No.18 測線の上流側法面計測点 M38 とダム天端計測点 M29 の貯水位と水平変位および鉛直変位の関係をそれぞれ図-12 と図-13 に示す。

水平変位は、ダム天端計測点 M29 を除き、第Ⅰ期で大きく下流側に変位した後、貯水位変動に対して上下流方向への変動を繰り返しながら、図-12 (a) に示すように、計測結果が安定に向かう傾向にある。図-13 (a) に示すダム天端計測点 M29 の水平変位は、貯水位がサーチャージ水位に到達後の貯水位低下以降、上流方向に変位する。その後、水位変動に対応して上下流方向への変動を繰り返しながら、上流側へ 60mm 変位し、2006 年ではその変位を保ったまま、計測結果は安定する傾向にある。

鉛直変位は、図-11 より、ダムの高標高部にある、上流側法面計測点 M38、ダム天端計測点 M29、ダム下流側法面計測点 M20 で他の計測点と比較して大きいことがわかる。

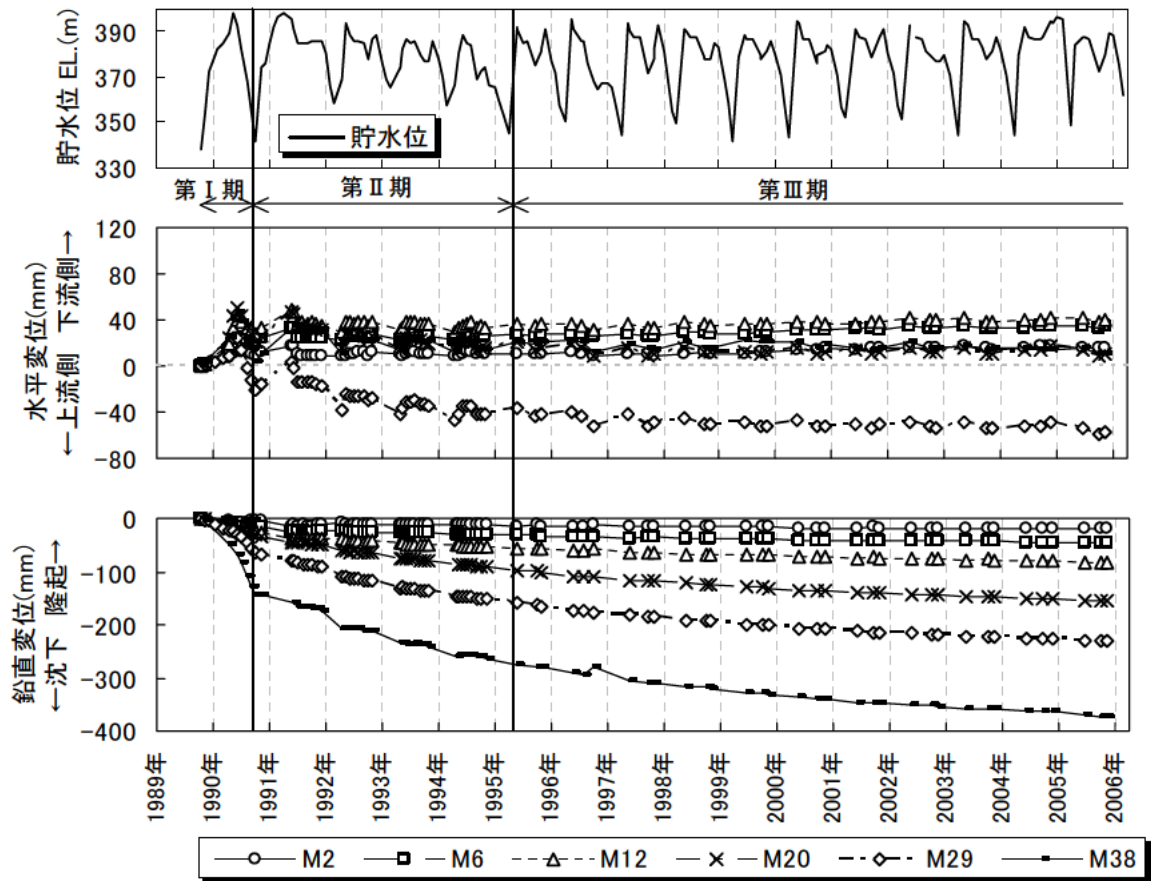


図-11 外部変形計測結果 (No.18 測線)

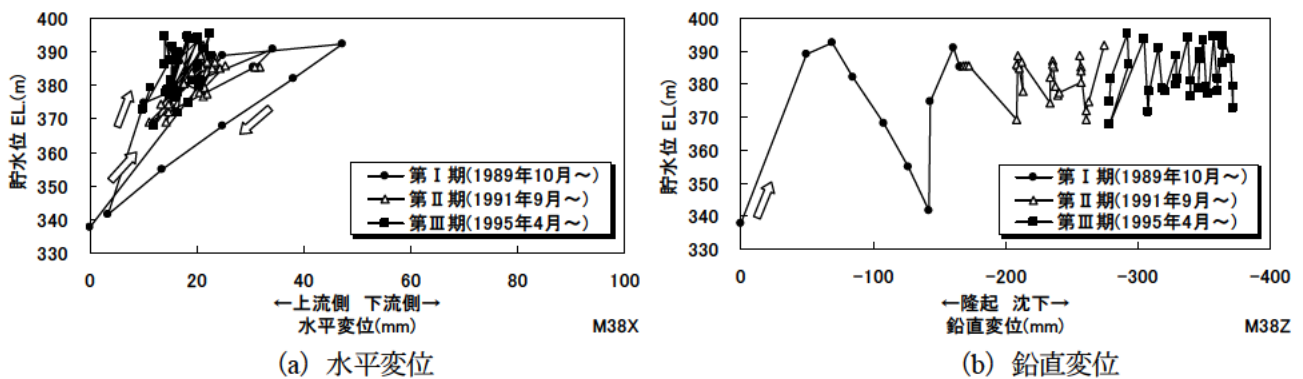


図-12 上流側法面計測地点 M38 (No.18 測線, 上流側法面) の貯水位と水平変位・鉛直変位の関係

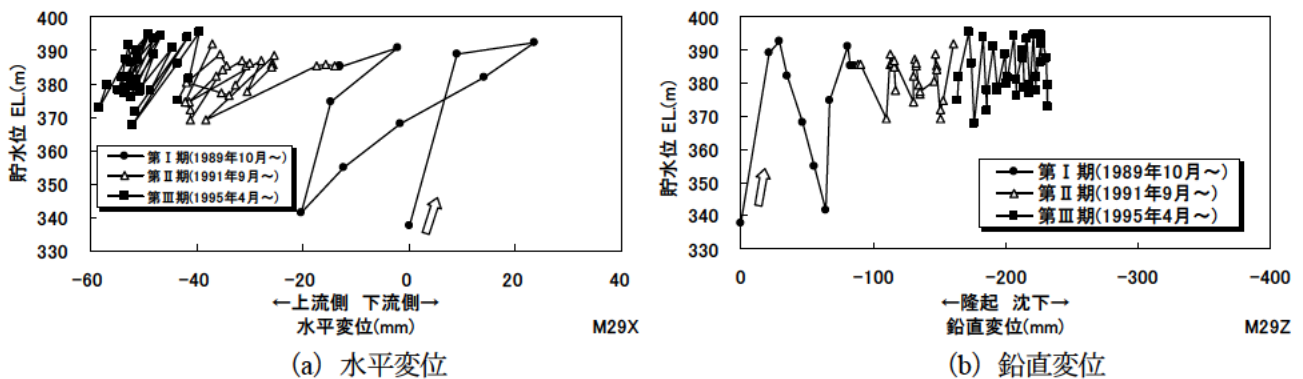


図-13 ダム天端計測地点 M29 (No.18 測線, ダム天端) の貯水位と水平変位・鉛直変位の関係

No.18 測線の水平方向と鉛直方向の変位をベクトル表示したものを図-14 に示す。ベクトルは、第Ⅰ期開始時（1989 年 10 月）計測結果、第Ⅰ期期間の水平変位の下流側最大変位発生時（以下、水平変位下流側最大時）（1990 年 6 月）、第Ⅱ期開始時（1991 年 10 月）、第Ⅲ期開始時（1995 年 9 月）および第Ⅲ期開始後約 10 年が経過した時（2005 年 11 月）について示す。なお、第Ⅰ期期間の下流側水平変位最大時の貯水位は EL.392.49m であった。

図より、まず、第Ⅰ期開始時を基準とすると、水平変位下流側最大時では各計測点で下流側および沈下方向への変位が発生していることがわかる。第Ⅰ期終了後、第Ⅱ期から第Ⅲ期へ移行する間に、ダムの高標高部では、水平変位より沈下方向の変位が卓越し、沈下に伴い上流側へ変位が発生する。ダム天端計測点 M29 は、上流側における相対的に大きい沈下に伴う堤体上流側への水平変位が進行し、計測開始時よりも上流側への変位が発生した。

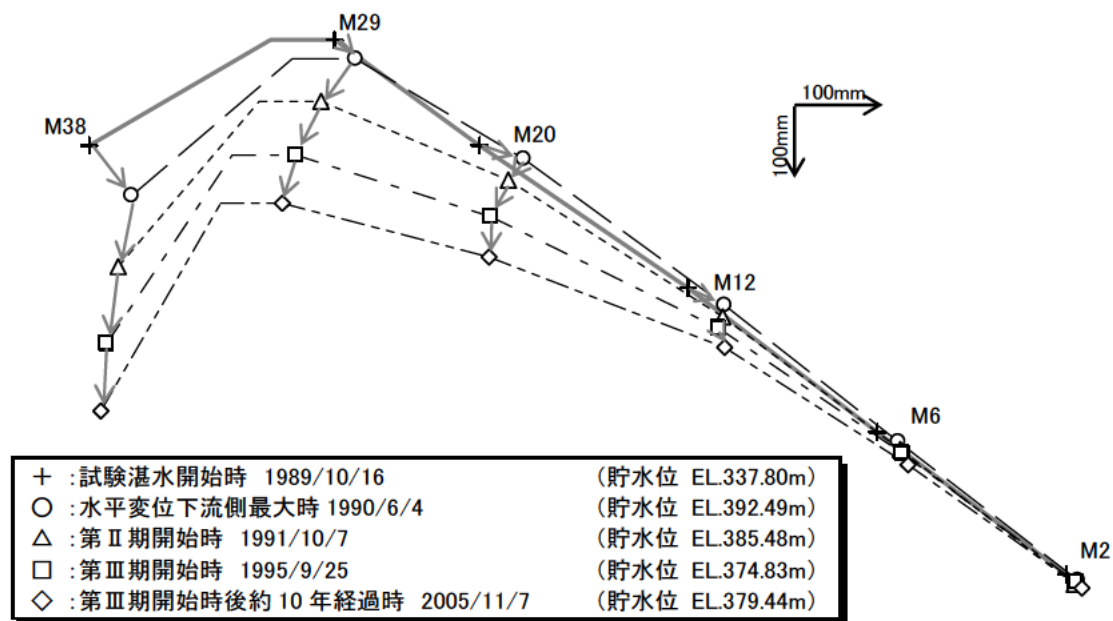


図-14 変位ベクトル (No.18 測線)

次に、鉛直変位について堤高補正沈下量 S/H^2 を用いて整理した。整理結果の例として、No.18 断面の堤高補正沈下量の経時変化を図-15 に示す。図の作成にあたって、沈下量 S と堤高 H は mm 単位で処理をしている。

図より、上流側法面計測地点 M38 は、他の計測地点と比べると沈下傾向は大きくなっていることがわかる。

上流側法面計測点 M38 の沈下量が他測点に比較して大きいのは、原因は特定できないが、ロック内部に浸透力が発生すること、または堤体積の大半を占めるロックゾーンを形成する粒径の大きい岩石同士を隔離している相対的に細粒な粒子で構成されている部分が柔らかくなることや、岩石同士の小さな接触部における応力集中により岩石自身の局所的な圧壊によって沈下が生じる浸水沈下によるものと想定される²⁰⁾。

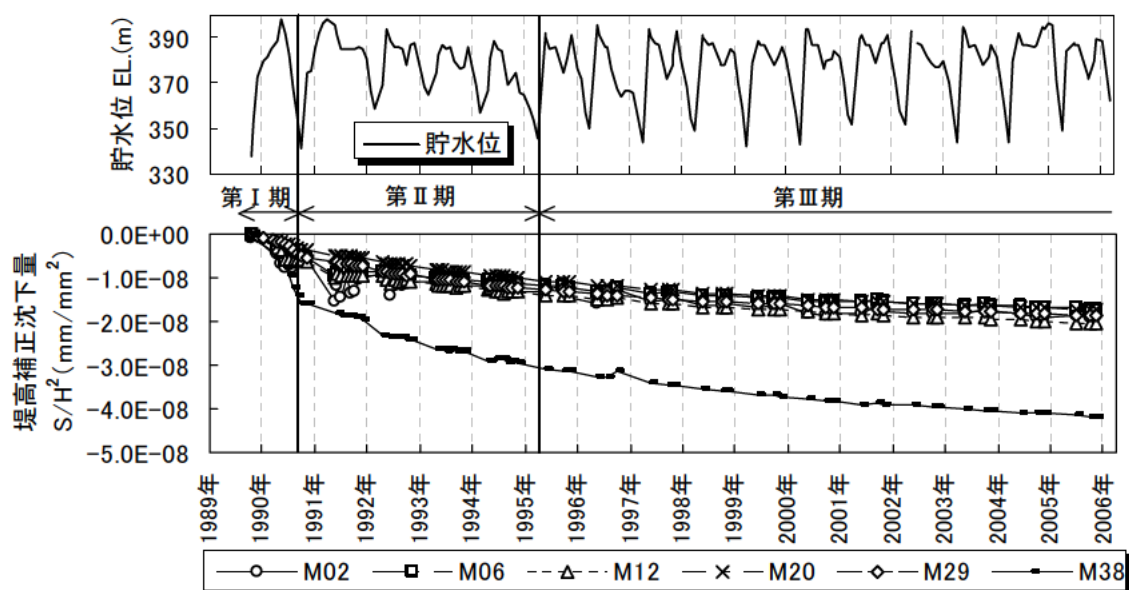
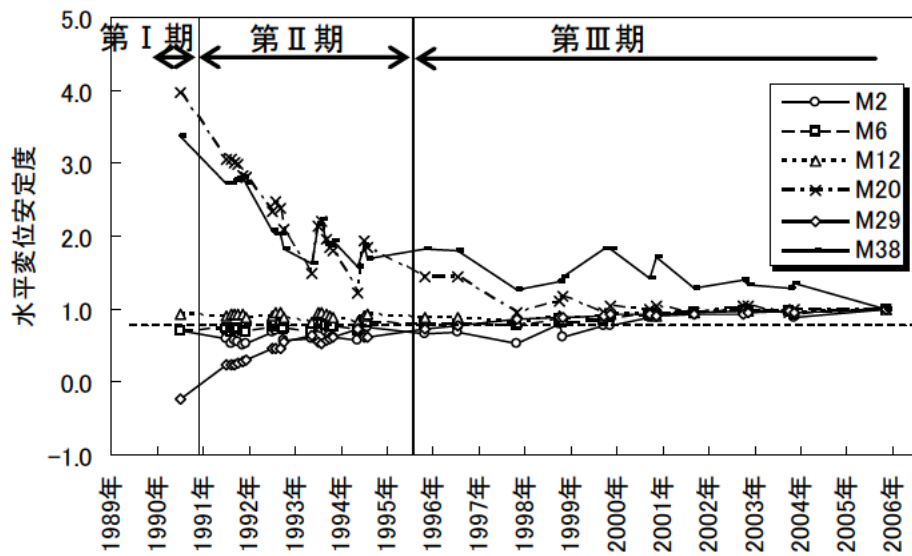


図-15 堤高補正沈下量の経時変化 (No.18 測線)

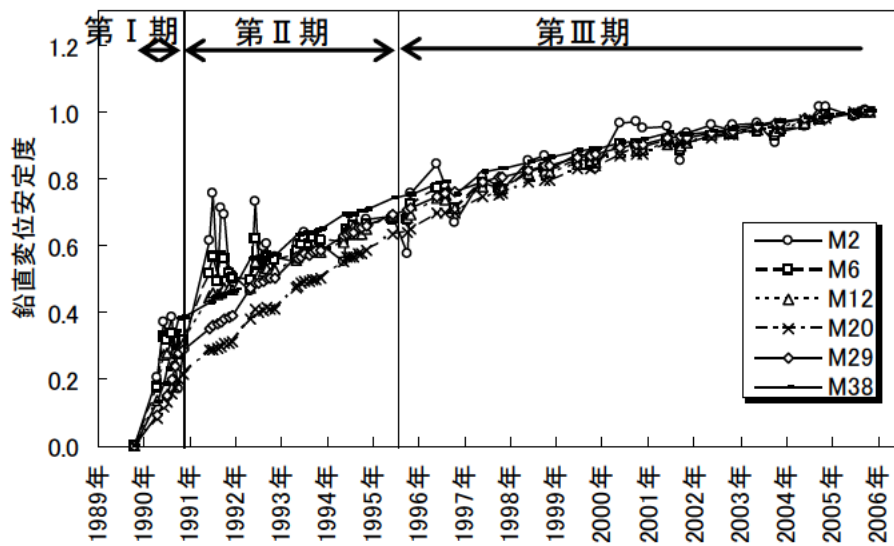
外部変形の計測値の安定性評価結果を、図-16 に示す。横軸は計測期間、縦軸は水平方向および鉛直方向計測結果の安定度を示している。水平変位安定度については、図-12 や図-13 中の (a) 水平変位に示すように、貯水位の変動により上下流方向への変位を繰り返す傾向にある。そのため、経年的な安定度を評価するため、測量結果の多い貯水位 $EL.381.26m \pm 5m$ の水平変位測量値を取り出し水平変位安定度の整理を行った。

図-16 (a) に示すように、水平変位の安定性は第Ⅰ期に水平変位量が他の計測点より大きかった M38 が安定までに相対的に長い時間がかかっている。上流側測点 M38 は他と比べ安定度が 1 から離れており、第Ⅰ期後 15 年が経過した 2006 年 6 月でも緩やかに水平変位が進行していることがわかる。その他の計測点は 2000 年頃から安定度は概ね 1 を示しており、変位はほぼ収束したものと考えられる。

図-16 (b) に示す鉛直変位の安定度は、全計測点ともに同様の傾向を示しており、2004 年頃からは各点ともにほぼ 1 を示しており、鉛直方向の変位はほぼ収束したと考えられる。



(a) 水平変位の安定度 (貯水位 EL.381.26m±5m)



(b) 鉛直変位の安定度

図-16 計測値の安定性評価結果 (No.18 測線)

ダム天端測線上の計測結果の分析の例として、S ダムの天端測線における外部変形の分布形状の経時的推移を図-17 に示す。左右岸方向の測点の変形量の違いでは、右岸側が左岸側に比べて鉛直変位、水平変位ともに相対的に大きくなる傾向がある。特に上流側への倒れ込み状況は右岸アバットメント付近を中心に変形が進行している。

左岸上流側では、堆積層の地すべりを抑制するため、図-6 の平面図や、図-18 の横断面図に示すように、押え盛土が施工されているが、これがダム堤体に対しても押え盛土の機能を果たすため、湛水に伴う変形が小さくなっているものと考えられる。

以上の外部変形の計測結果に関する検討結果から選定した、外部変形計測の重要測点候補を図-19 に示す。堤体外部変形に留意して選定する重要な測線は、「ダム天端測線」および「上流 390m 測線」と判断できる。ただし、計測データの整理結果から、隣接測点の変形量の連続性がよく、中間測点の観測データがなくても、最大断面、水平変形が大きい右岸部、地すべりブロックを有する左岸部の変形分布状況を網羅できると考えられる。また、下流端部の測点は図-14 に示すように他の断面も同様に変化が小さく、湛水初期から概ね安定していることから、計測の必要性は低いと考えられる。

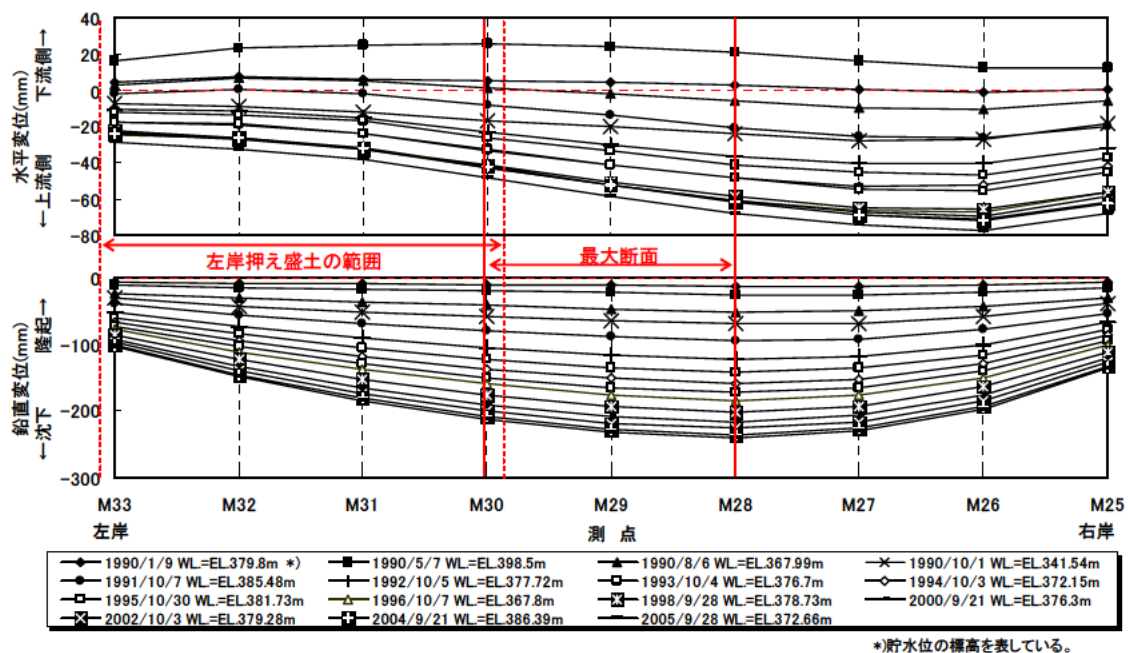


図-17 ダム天端測線における外部変形形状の推移

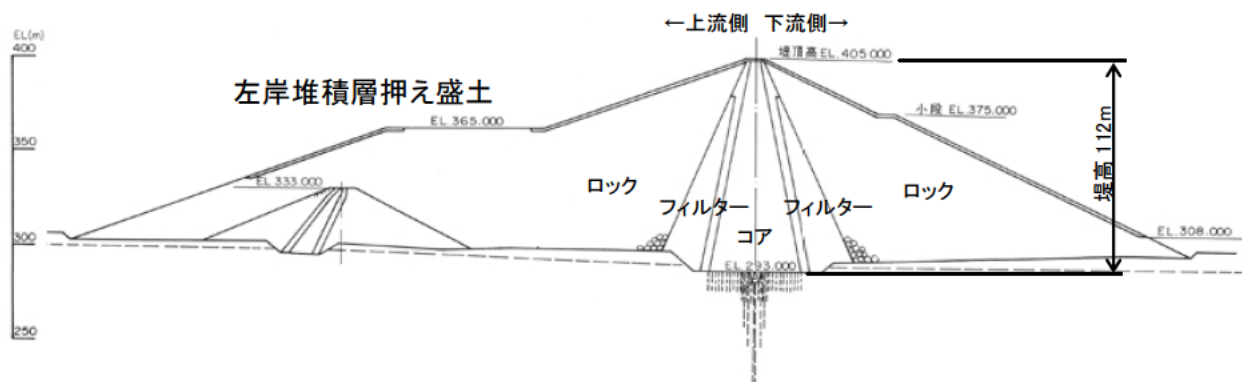


図-18 S ダムの横断面 (No.18 断面)

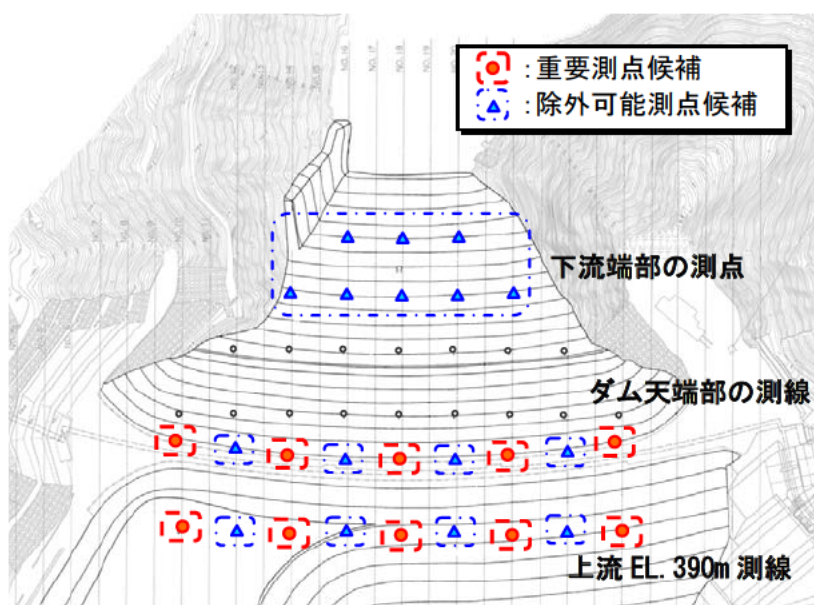


図-19 外部変形の計測結果に関する検討結果に基づく外部変形計測の重要測点候補の選定結果 (条件④-1)

④-2 第 I 期間・その後のすべての計測機器のデータ計測結果より得られた懸案事項

第 I 期時の堤体および基礎地盤の挙動について、計測データの整理結果をもとに、安全管理上の懸念される特異な挙動の有無を確認する。検討にあたり、漏水量、変形、間隙水圧などの堤体および基礎地盤の安全性判断に重要と考えられる観測項目を主対象として、挙動の特性を整理する。

(1) 漏水量

フィルダムの漏水量には、下流三角堰で計測する堤体漏水量（一部基礎浅部の漏水量も含む）と、監査廊内の浸透流観測孔で計測する基礎浸透流量がある。

1) 堤体漏水量

S ダムの堤体漏水量は図-20 に示すように下流堤敷内で左右岸方向に区分したゾーンごとの漏水をダム下流の三角堰で計測する。S ダムでは堤体を図-21 に示すように左岸側 BQ-1、左岸河床部 BQ-2、右岸河床部 BQ-3、右岸側 BQ-4 の 4 箇所に分割して漏水量の計測を行っている。堤体漏水量の測定結果を図-22 に示す。なお、この漏水量には、堤体内に漏水を分離集水する堰を設けているが、堤体からの漏水量以外に、図中に示す降雨や融雪の他、基礎地盤浅部の浸透水、地山地下水、地表水などが混入していることに注意が必要である。

まず、第 I 期時における計測結果の特徴を示す。第 I 期の堤体漏水量と貯水位の関係を図-23 に示す。堤体漏水量は、左岸側の BQ-1 が最も多く、他の 3 ゾーン（BQ-2～4）は最大でも 100ℓ/min 程度である。BQ-1 は 200～600ℓ/min 程度の幅で変化し、貯水位の変化に追随する傾向がある。BQ-2～BQ-4 も変動の幅は BQ-1 に比べ 0～100ℓ/min と小さいが、貯水位の変化に追随した動きを示している。

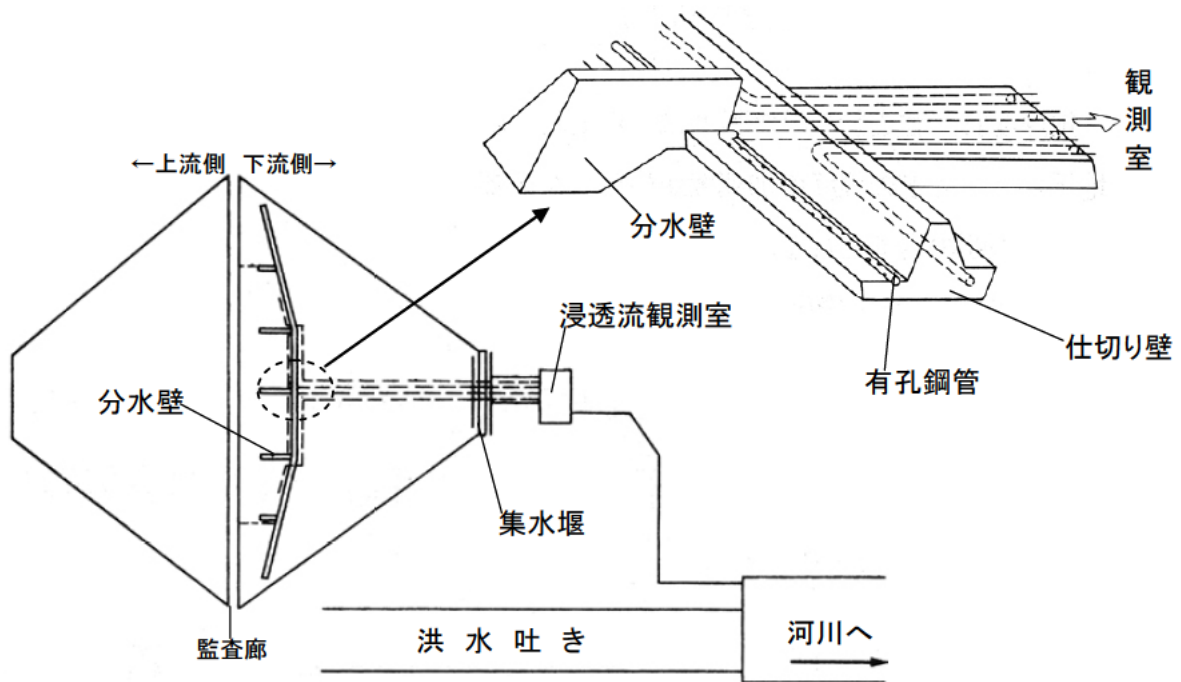


図-20 漏水量測定概念図

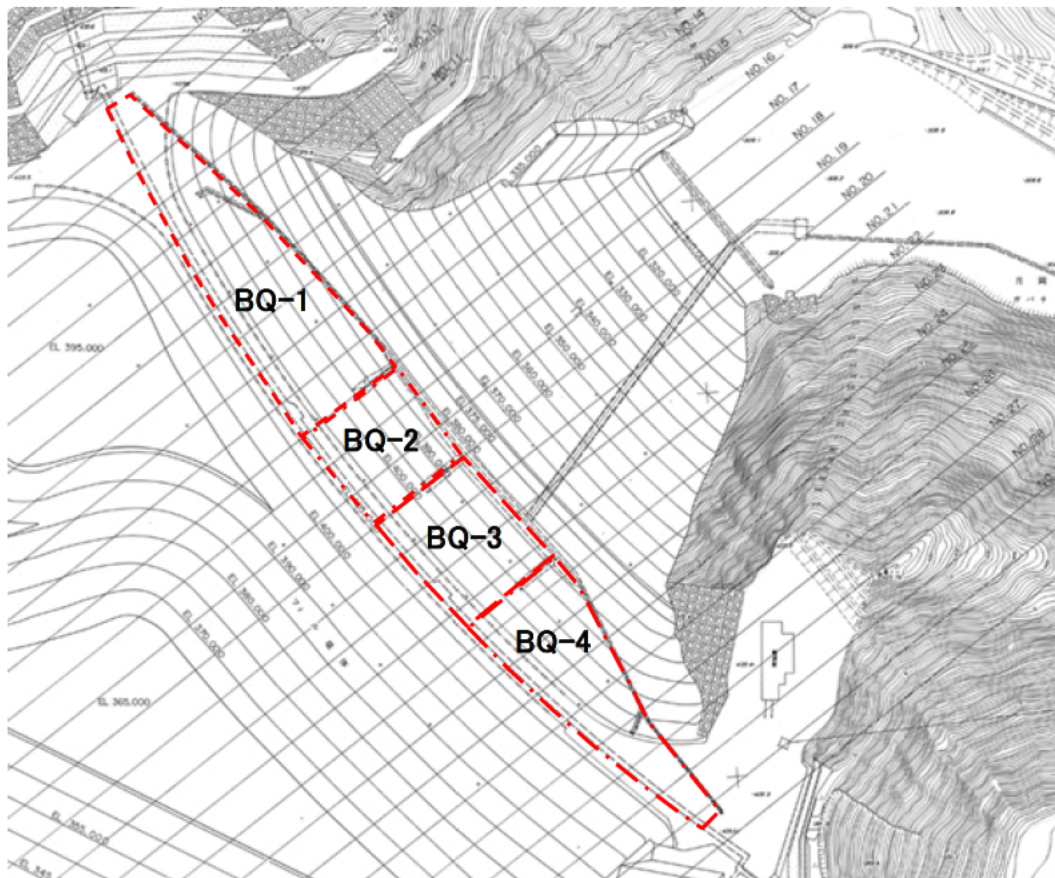


図-21 Sダムの堤体漏水量計測ゾーン区分

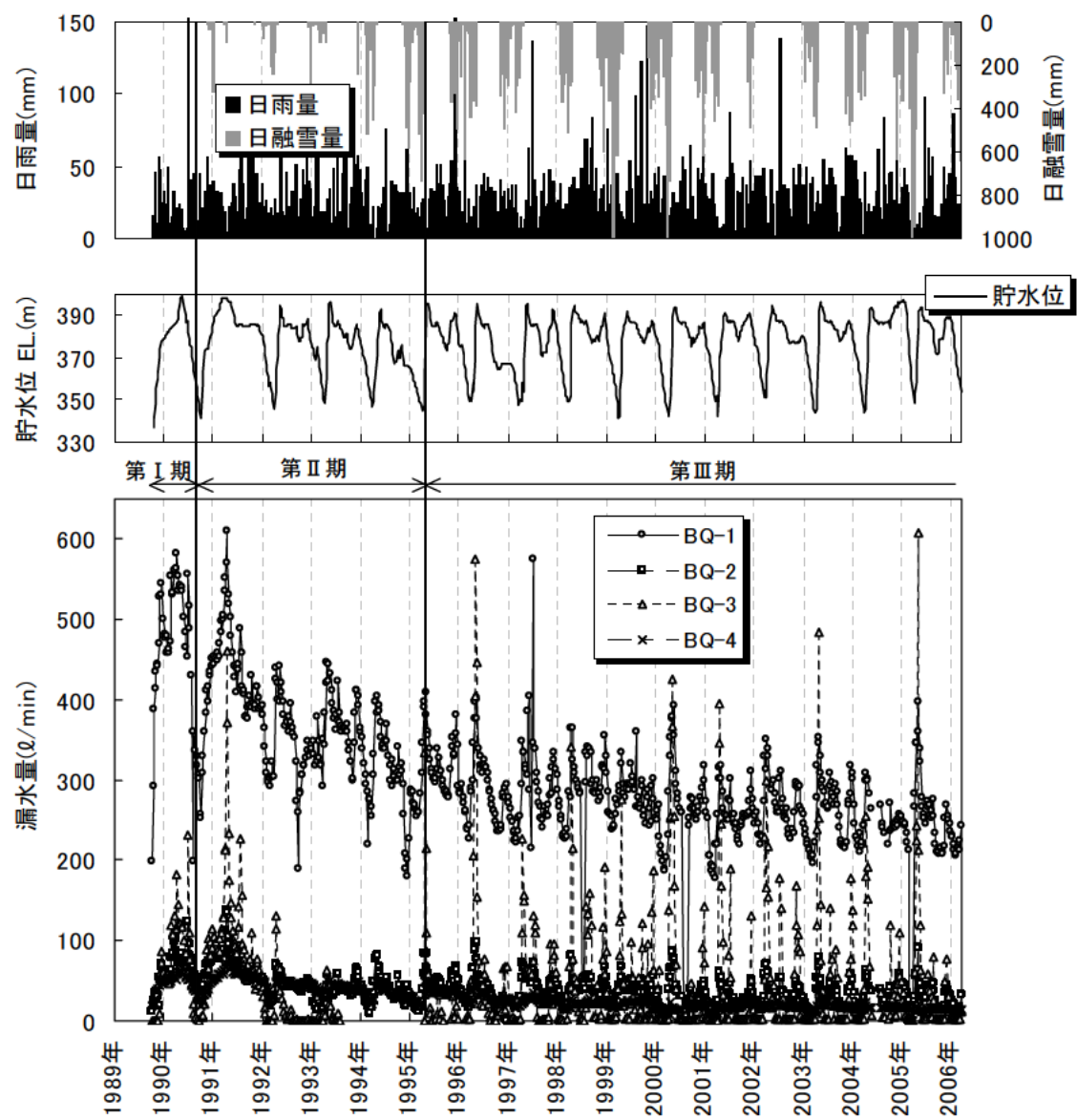


図-22 堤体漏水量の計測結果

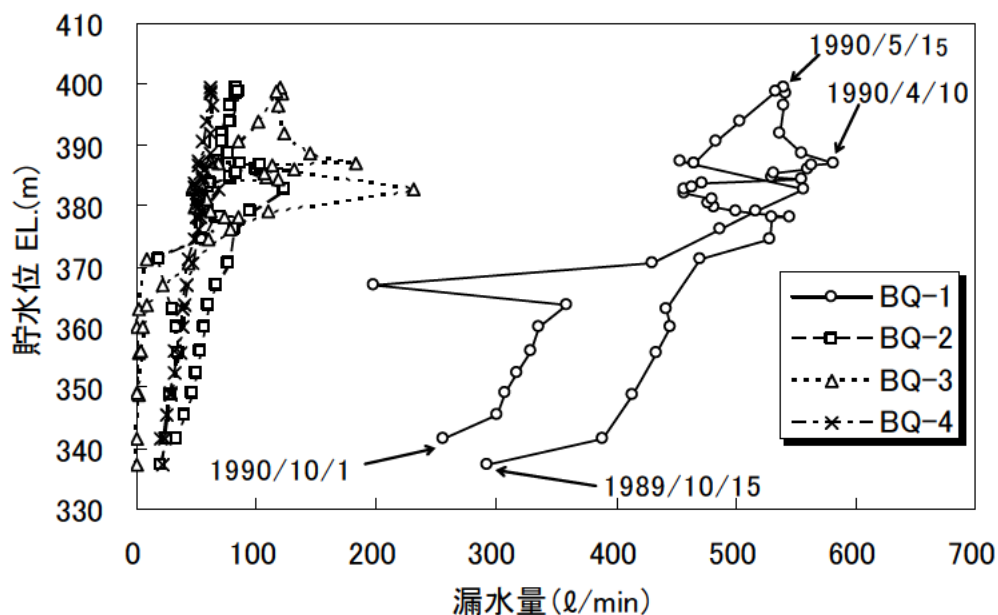


図-23 第 I 期の堤体漏水量と貯水位の関係

次に、経年傾向を調べるため、堤体漏水量に与える降雨・融雪の影響と貯水位の影響を取り除いた堤体漏水量の計測結果を図-24 に示す。降雨・融雪の影響は、図-22 より降雨・融雪発生前後で堤体漏水量の比較を行い、明らかに漏水量の変化が表れている漏水量計測結果を消去した。また、貯水位による影響を小さくするため、データ整理期間の平均運用貯水位である、EL.377.20m±5m 以外の貯水位における堤体漏水量の計測結果を消去した。その結果、全般に堤体漏水量は経年的に減少する傾向が確認でき、近年では、BQ-1 が 200ℓ/min 程度、BQ-2 が 20ℓ/min 程度、BQ-3 が 5ℓ/min 程度、BQ-4 が 15ℓ/min 程度で安定している。

比較のため、湛水前の 5 年間の堤体漏水量（基底流量）観測結果を表-8 に示す。各漏水量計測点ともに 3 月末から 6 月はじめの融雪期の漏水量が多く、特に BQ-1 では融雪の影響が強くみられ、漏水量も多くなっている。BQ-1 は本来コアゾーンの漏水量を計測するものであるが、漏水量が多く融雪期の影響も顕著であることからロックゾーンまたは左岸の地山の地下水が流入している可能性が高いと考えられる。

表-8 湛水前の堤体漏水量（基底流量）（5 年間の平均値）

測点	通常期 (6 月中～10 月)	融雪期 (3 月末～6 月初)	降雪初期 (11 月～12 月)
BQ-1	250 ℓ/min	490 ℓ/min	300 ℓ/min
BQ-2	10 ℓ/min	40 ℓ/min	20 ℓ/min
BQ-3	0 ℓ/min	10 ℓ/min	0 ℓ/min
BQ-4	10 ℓ/min	30 ℓ/min	20 ℓ/min

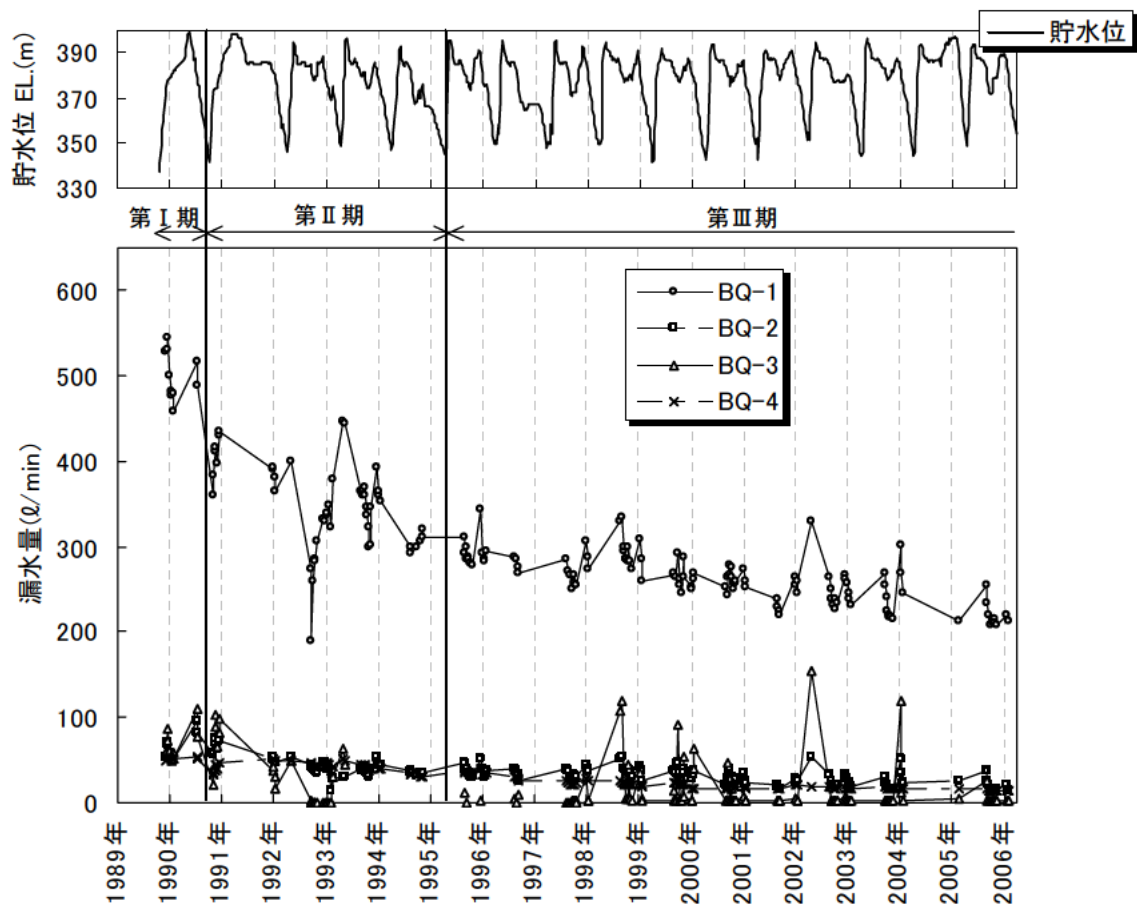


図-24 降雨・融雪の影響と貯水位の影響を取り除いた堤体漏水量の計測結果（貯水位 EL.377.20m±5m）

近年の漏水量と、湛水前堤体漏水量の通常期（6月～10月）との比較を行うと、計測地点毎の量と傾向は、同程度であり、漏水量の多いBQ-1は堤体を通しての漏水量は多くないと推定できる。以上より、堤体漏水量という観点からは、選定すべき外部変形の重要測点はないと考えられる。

2) 基礎浸透流量

基礎浸透流量は、遮水（コア）ゾーン着岩部付近の比較的浅い基礎地盤の流れを、監査廊内の浸透流観測孔によって計測する。S ダムの基礎浸透計測孔の配置位置を図-25 に示す。また、基礎浸透量測定結果を図-26 に示す。基礎浸透流量の多い、河床部の第Ⅰ期の基礎浸透流量と貯水位の関係を図-27 に示す。

図-26 より、基礎浸透流量は、河床部を除き、全体的に最大でも 10t/min 程度以下のものが多く、既往他ダムと比較しても流量は比較的少なく、ある程度大きい流量値を示すものについても、貯水位との良好な対応関係が認められ、安全管理上の問題は無いものと考えられる。流量が相対的に多い観測孔は、河床部に位置する SQ-13～19 であり、図-27 より第Ⅰ期に SQ-13 と 16 で最大 23t/min 程度の流量値を観測していることがわかる。しかし、河床部のうち、図-27 に示すように SQ-20～22 は浸透流量が非常に少なく、この部分に存在する F7, F8 断層（図-9 参照）に対するグラウチングを入念に実施した効果と推定される。F7 断層は、一般孔の全次数のルジオン値は非超過確率 85%値で 70Lu であったが、最終的には概ね 0Lu まで改良を行った。同様に、F8 断層も一般孔の全次数のルジオン値は非超過確率 85%値で 40Lu であったが、最終的には概ね 0Lu まで改良を行った。

基礎浸透流量のうち、貯水位に追従して変化する箇所が確認でき、貯水位との相関性が高い孔は SQ-9, 10, 13, 16, 17, 18, 23, 25 で、このうち河床部の SQ-13, 16 の流量が多い。また、SQ-12, 20, 22 は浸透流量が少なく、貯水池との相関性は確認できない。左岸アバットメント部の SQ-7, 8 および右岸側アバットメント部の SQ-24～26 も浸透流量が非常に少ない。

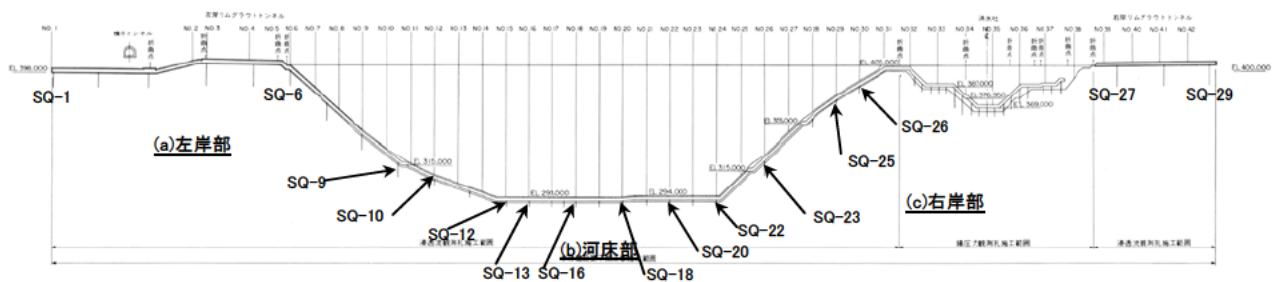


図-25 Sダムの基礎浸透流観測孔の配置位置

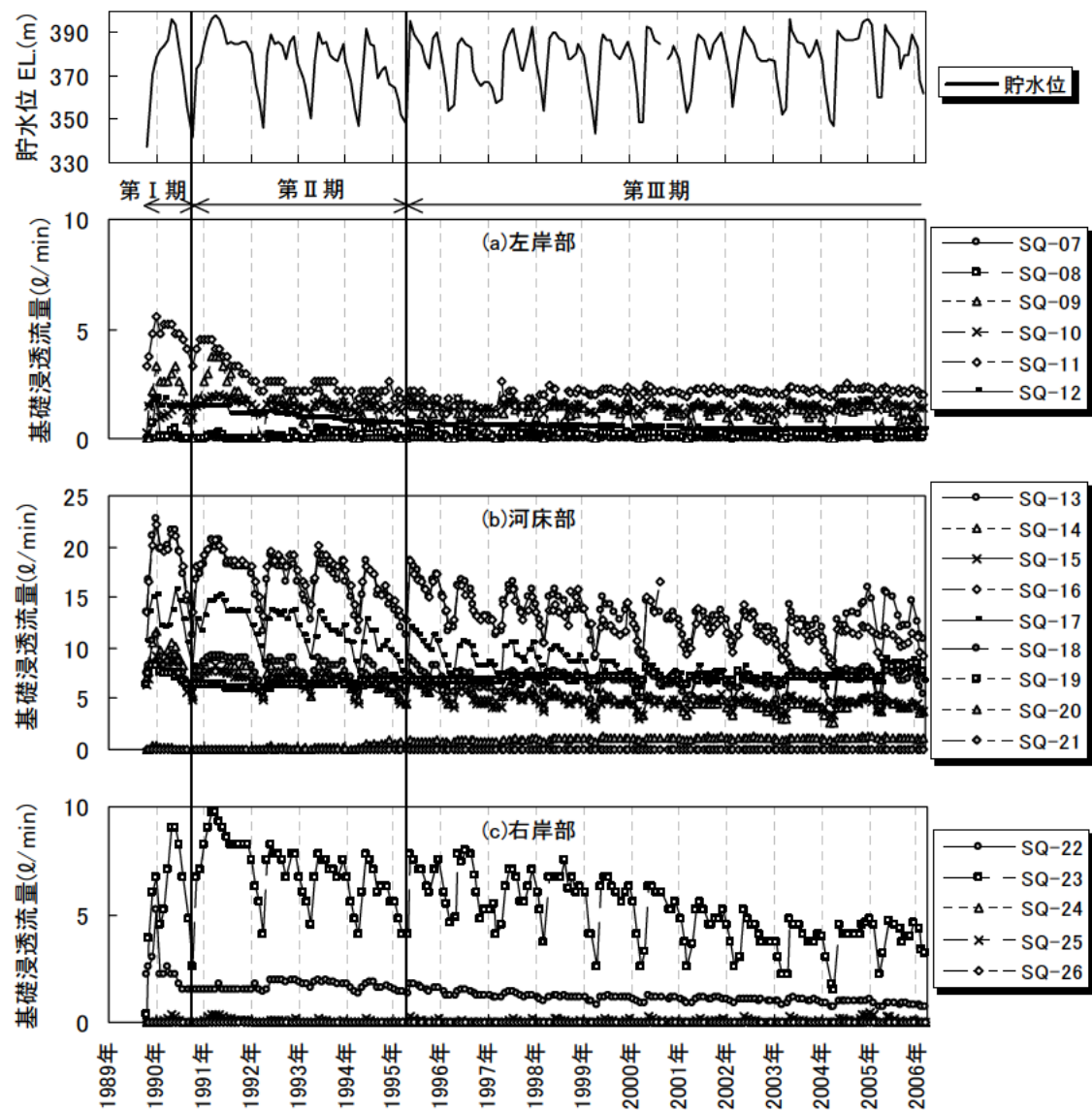


図-26 基礎浸透流量の計測結果

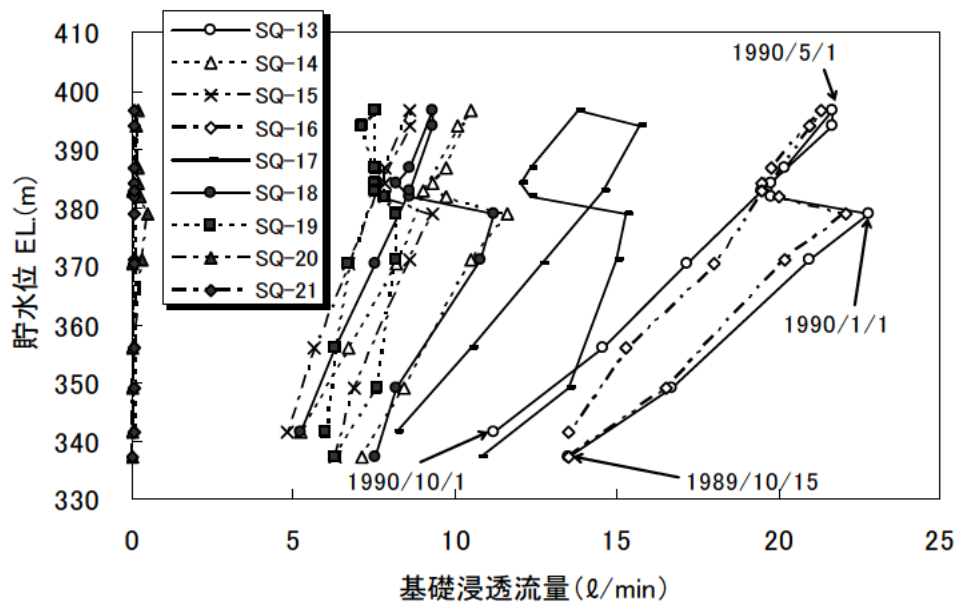
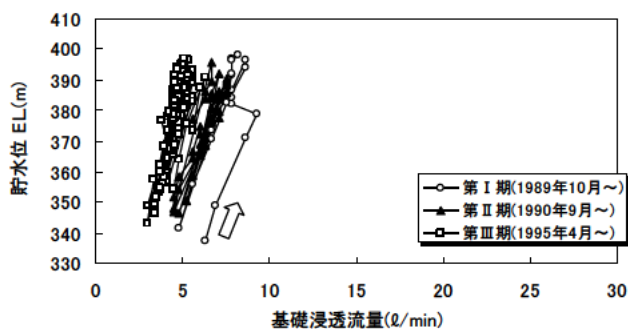
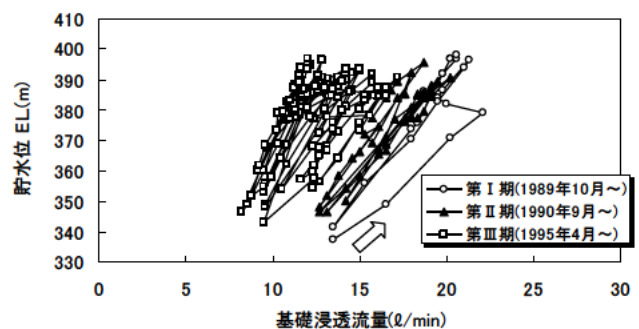


図-27 第Ⅰ期の河床部の基礎浸透流量と貯水位の関係

次に、基礎浸透流量の経年変化を調べるため、全計測期間中の河床部基礎浸透水量と貯水位の関係を図-28に示す。図は河床部で比較的浸透流量の少ない SQ-15 と浸透流量の多い SQ-16 について例示した。図より、両浸透流量計測地点においても安全管理の区分の段階が進む（年が経過する）に従い、同じ貯水位に対する浸透流量が小さくなっていることがわかる。SQ-16 では、EL.380.00m±5m で比較した場合、経年変化で約 8ℓ/min 減少していることがわかる。



(a) SQ-15



(b) SQ-16

図-28 全計測期間中の河床部の基礎浸透流量と貯水位の関係

以上より、湛水時の基礎浸透流量の計測結果からは、問題となる漏水量は認められないため、選定すべき外部変形計測の重要測点はないと考えられる。

他と比較しやや流量が多い浸透流観測孔は SQ-13, 16 で、若干安全側の視点からこれらに留意して該当する測点を抽出すれば、図-29 に示すとおりとなる。

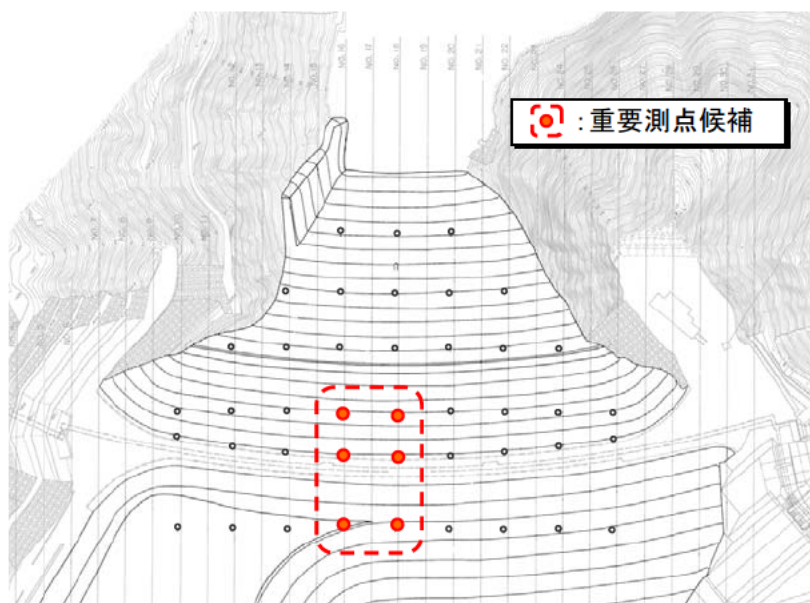


図-29 漏水量に関する検討結果に基づく外部変形計測の重要測点候補の選定結果（条件④-2）

(2) 埋設計器による堤体および基礎地盤の計測

ダム堤体内には、ダム堤体の安全管理のために数多くの埋設計器が設置されている。S ダムには、河床部の最大断面の No.18 測線の他に、左岸側 No.10 測線と右岸側 No.26 測線に埋設計器が設置されている。断面の平面位置は図-6 を参照されたい。No.18 測線の埋設計器設置断面を図-30 に示す。

埋設計器のうち、堤体内部の変形は、各計測目的にあわせて地中変位計（層別沈下計）（図中記号 CV）、岩盤変位計（BL）の他、着岩部変位計、水平鉛直変位計、ゾーン間沈下計等により計測している。

また、堤体内には、フィルダム堤体内部の浸潤線と等水圧線を確認し、堤体内部の異常を把握することを目的とし、間隙水圧計が設置されている。間隙水圧計は、それぞれコア部（図中記号 CW）、フィルター部、ロック部、基盤部に設置されている。

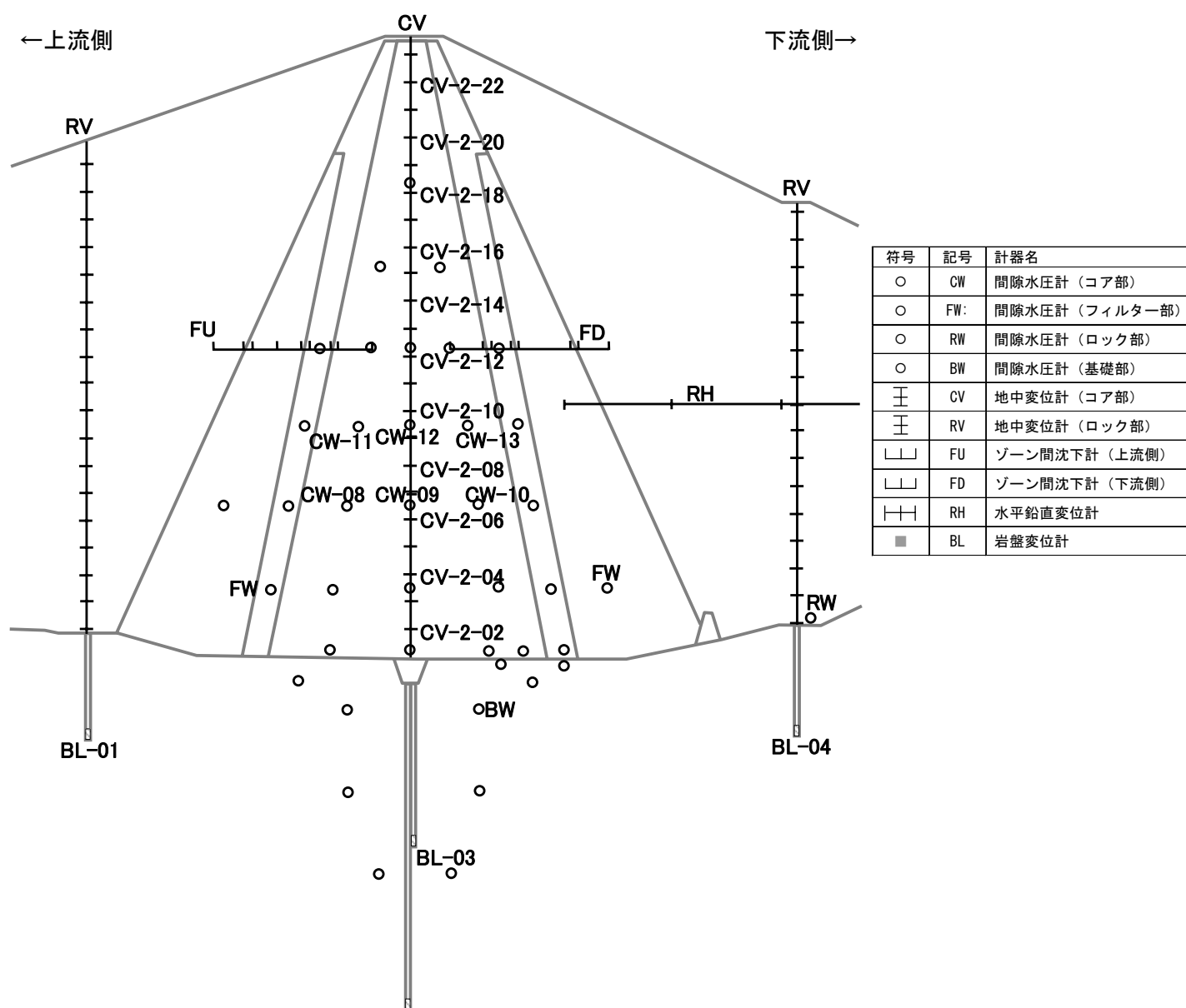


図-30 埋設計器設置断面（No.18 測線）

1) 層別沈下計

層別沈下計は、コア、ロックゾーンの層別沈下計測により、各層間（測点間）の沈下量を把握するため設置されている。施工中の沈下については、盛立に伴い盛土荷重が増加するに従って沈下量が増加し、盛立完了後からは緩やかに沈下が進行し、問題となる挙動は認められない。

計測結果の例として、No.18 測線における層別沈下計の計測結果を図-31 に示す。層別沈下計は図-30 に示す、コア中央部（記号は CV-2）に設置されている。計測層の番号はダム天端側が CV-2-23、ダム基礎側が CV-2-01 である。本論文では、偶数番号の計測結果を例示している。なお、S ダムの層別沈下計の計測データは、第Ⅲ期移行時にデータ原点をリセット（ゼロクリア）していると推定されるため、本論文では、原点を第Ⅱ期終了時に連続するように補正したうえで作図している。

湛水後の経年的な変化では、湛水開始から沈下量は増加し、第Ⅱ期（5 カ年）までは緩やかな増加傾向を示す。また、第Ⅲ期以降は、貯水位の影響はほとんどなく、数mmの幅で周期的に変動しており安定している。

よって、外部変形計測の重要測点の候補選定にあたって、層別沈下の状況に特に留意する必要はないと考えられる。

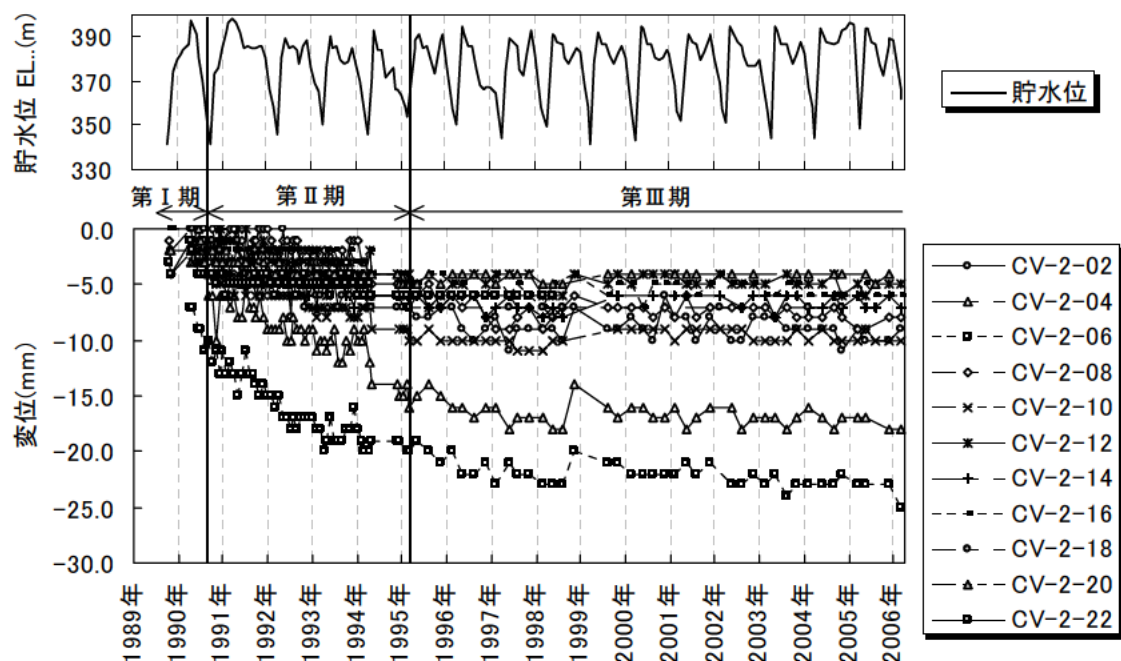


図-31 No.18 測線における層別沈下計の計測結果

2) 岩盤変位計

岩盤変位計は、No.10, No.18, No.26 の 3 測線上に設置している。特に、最大断面の No.18 には、コア中央の他に上下流ロック敷の変位を計測している。

計測結果の例として、No.18 測線の岩盤変位計の計測結果を図-32 に示す。なお、図中下流側基礎地盤に設置した BL-04 は施工途中から計器故障により欠測となっている。図より湛水開始後の計測結果は、貯水位の昇降に関係なく、ほとんど一定で安定している。これは、他の測線においても同様の計測結果が得られている。なお、本論文ではデータは示していないが、堤体盛立時の岩盤変位は、盛立時に増加し、休止期間（冬期）には変化が小さく、盛立の影響を反映した状況を示している。

よって、外部変形計測の重要測点の候補選定にあたって、基礎地盤の変形性に特に留意する必要はないと考えられる。

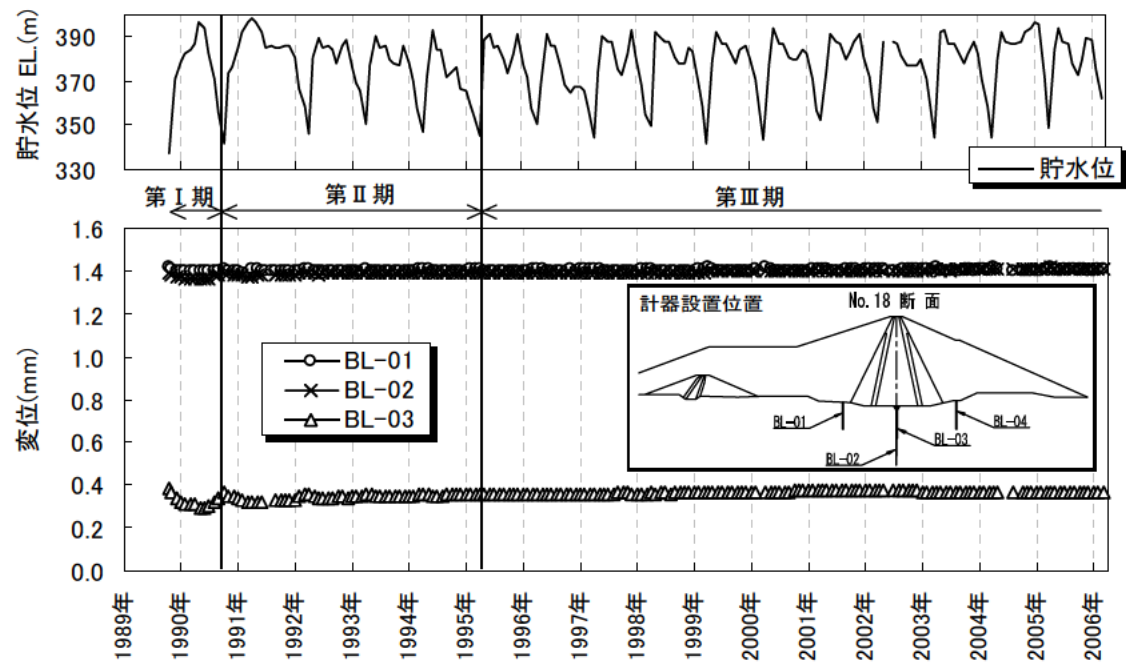


図-32 No.18 測線における岩盤変位計の計測結果

3) その他の埋設計器によるダムの変形計測結果

上記以外に設置されている堤体内部および基礎地盤の変位を計測する着岩部変位計，水平鉛直変位計，ゾーン間沈下計，地山変位計の計測データは湛水開始後いずれも安定しており，異常を示す箇所は認められていない。

よって，外部変形計測の重要測点の候補選定にあたって，その他の埋設計器によるダムの変形計測結果に特に留意する必要はないと考えられる。

4) 間隙水圧

例として，No.18 測線のコアに埋設した間隙水圧計の計測結果を図-33 に示す。コア部の間隙水圧計の設置位置は図-30 の記号 CW で示している。湛水開始後のコア部の間隙水圧計の計測結果は，貯水位に追従して変化している。また，計器設置標高が低い程間隙水圧が大きく，上流にいくほど貯水位との相関が高い。

次に，間隙水圧の経年変化を調べるため，標高 EL.320.00m のコア内に設置された間隙水圧計の圧力値と貯水位の関係を図-34 に示す。図より，コア内では上流側に行くに従い圧力は大きくなっていることがわかる。また，管理の区分が進む（年が経過する）に従い，間隙水圧計の位置にかかわらず同一貯水位に対する圧力は減少する傾向が認められる。

これらの挙動は，一般的な傾向であり，間隙水圧の挙動に安全上問題はなく，結果として間隙水圧に基づき選定すべき外部変形重要計測点はないと考えられる。

以上より，湛水時の埋設計器による計測結果からは，ダム堤体および基礎地盤の安全上問題となる異常挙動は認められず，この観点から選定すべき外部変形重要計測点はないと考えられる。

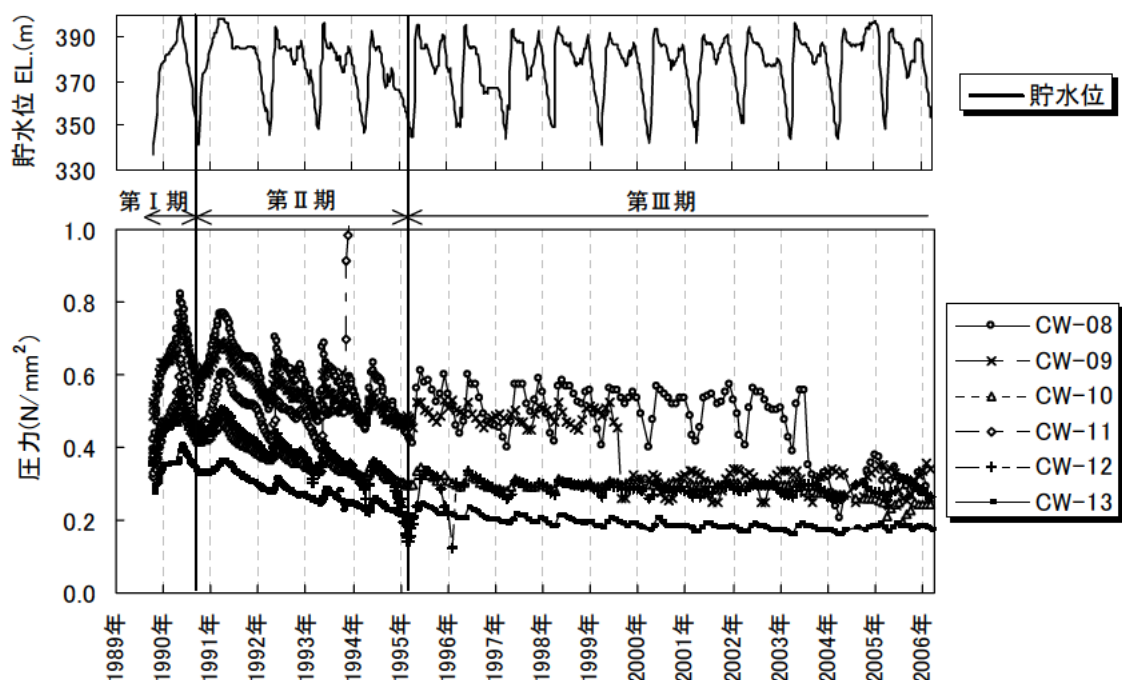
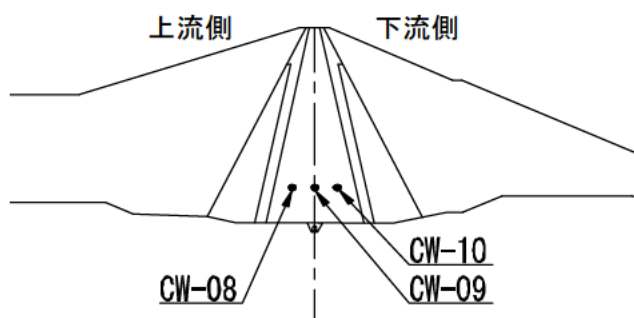
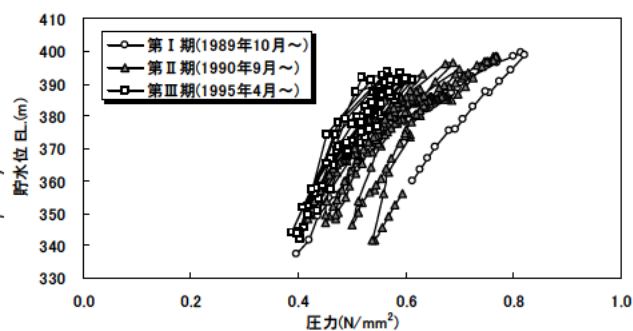


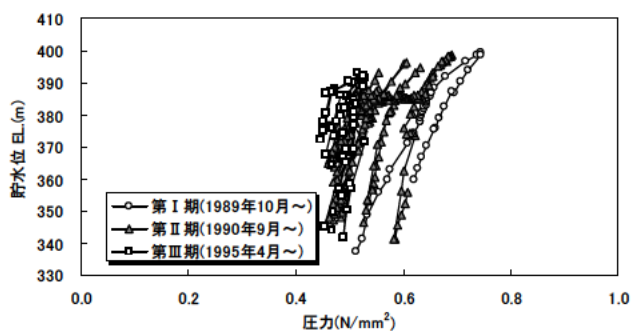
図-33 No.18 測線における間隙水圧計の計測結果



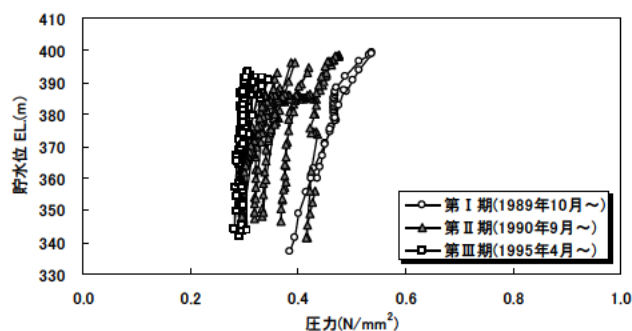
(a) 計測位置



(b) CW-08



(c) CW-09



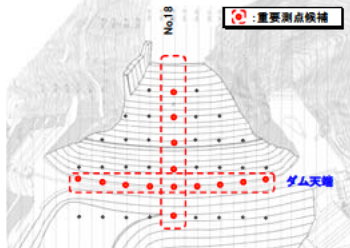
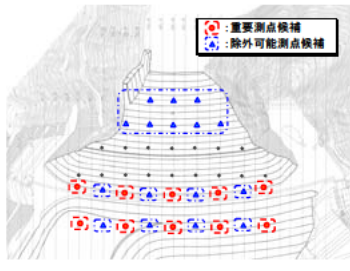
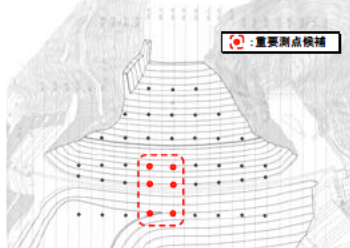
(d) CW-10

図-34 EL.320.00m に設置された間隙水圧計の貯水位と圧力の関係

5.2 総合評価

5.1 での検討結果をもとに、検討項目ごとに必要と考えられる測点を整理し、それらをあわせることにより、Sダムにおける外部変形計測の重要測点を選定した。外部変形計測の重要測点候補の選定結果を表-9に示す。表に示す各項目の外部変形計測の重要測点候補の選定結果と、除外可能測点候補を考慮し、最終的な外部変形重要計測点の選定を行った。選定結果を図-35に示す。結果的に外部変形計測点42点のうち、重要計測点として、上流側6点、天端6点、下流側3点の計15点を選定した。

表-9 外部変形計測の重要測点候補の選定結果

項 目	条 件	選定理由	選定結果
①計測を継続すべきと考えられる測点候補 (4章, 表-3)	①-1 基本的に天端のダム軸方向測線の計測点。	ダム天端測線。	
	①-2 標準（最大）断面（あるいは付近断面）の上下流方向測線の計測点。 谷幅が広い場合は、複数測線残すことも検討する。	No.18 測線。	
②設計・施工資料より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補 (4章, 表-4)	②-1 ダム縦断方向における地形（掘削面）の急変点付近の計測点。	該当なし。	選定すべき計測点はないと考えられる。
	②-2 断層などの弱層が幅広い範囲・箇所、変形性の硬軟が極端な箇所付近の計測点。	断層部の変形性は問題なし。	
	②-3 基礎地盤の変形性の差が極端に大きい箇所付近の計測点。	該当なし。	
③耐震性能照査より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補 (4章, 表-5)	③ 耐震性能照査の検討で、すべりが発生すると評価される箇所の計測点。	実施後、選定結果に反映。ただし、標準（最大）断面であるNo.18測線を含めておくことで概ね対応可能と推定。	未実施
④計測結果より条件によっては計測を継続すべきと考えられる測点候補 (4章, 表-6)	④-1 (1)外部変形安定までに他地点より時間を要した計測点。	天端測線、上流側 EL.390m 測線。	
	(2)地震時や洪水時等に一時的に比較的大きな外部変形の累積が発生した計測点。	該当なし。	
	(3)その他、ダム軸平行測線、上下流測線の変形について注意を要するような結果が見られる測線上の計測点。	左右岸方向の変形は、隣り合う測点の変形量の連続性がよいと除外可能。下流端部の測点は変化が小さく、湛水初期から概ね安定していることから、除外可能。	
	④-2 第I期・その後の常時・非常時のすべての計測機器のデータ計測結果より得られた懸案事項が存在する箇所の計測点。	浸透流観測孔のSQ-13とSQ-16は他地点より比較的高い浸透流量が多い。ただし、これに基づく計測点の選定は若干安全側の対応。その他、埋設計器による堤体の計測結果に異常は見られない。	

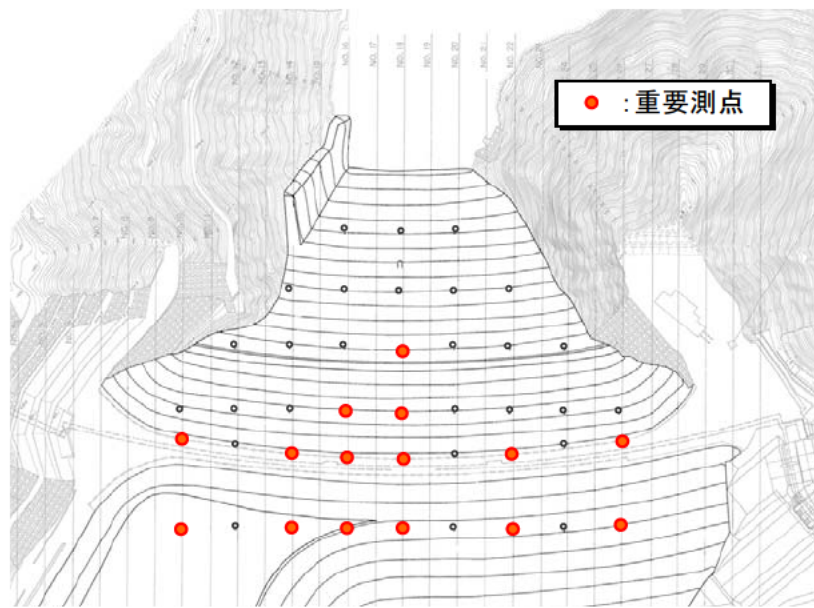


図-35 外部変形計測の重要測点の選定結果

6 章 まとめ

6章 まとめ

本論文では、ダム堤体や基礎地盤の挙動が安定状態に達した後、つまり安全管理の第Ⅲ期のフィルダムを対象とした外部変形計測への、高精度の GPS センサーの効率的かつ効果的な適用を目的として、外部変形計測の重要測点選定の方法について検討・提案を行った。

具体には、まず、「準備」において、該当ダムの、設計・施工資料、耐震性能照査資料、第Ⅰ期や常時・非常時の計測結果、巡視の結果等の資料収集を行う。次に、「重要測点候補の選定」では、まず①計測を継続すべきと考えられる測点、つまり重要測点候補の抽出を行う。次に、②設計・施工資料や③耐震性能照査資料により設計・施工面から計測を継続すべきと考えられる測点候補の抽出を行い、管理移行後は、③第Ⅰ期、常時・非常時の計測結果から設計上の課題やこれまでの挙動を整理し、その内容を工学的に判断した上で、安全管理上の課題となりうる箇所、つまり計測を継続すべきと考えられる測点候補を選定する。最後に、選定候補を総合評価し、最終的に外部変形計測の重要測点の選定を行う。

さらに、提案した外部変形重要計測点の選定方法に沿って、堤高 112m の中央土質遮水壁型ロックフィルダムである S ダムをモデルダムとして、実際に選定を行った。その結果、外部変形計測点 42 点から、重要計測点として 15 地点を選定することができた。選定結果により、高精度な外部変形計測のための自動計測機器を的確に配置することができる。また、重要な計測地点を選定することにより、これまでの測量による外部変形計測においても、計測の重点を重要計測点におき、他の計測地点の計測頻度を下げるなど、効率的な安全管理を行うことができると考えている。

フィルダムの外部変形計測の重要測点の選定は、その過程で、設計・施工条件や、湛水後の各種計測データを総合的に整理・分析する必要がある。つまり、このような重要計測点の選定によるダムの安全管理の合理化は、調査、設計、施工、安全管理における各種情報を適切に収集、分析、総合評価することで初めて達成できることを忘れてはならない。

現在、本手法により外部変形計測の重要測点の選定を行ったフィルダムは、本論文の 5 章に示したモデルダムである S ダムを含め 3 ダムである。そのうち 2 ダムでは外部変形計測の重要測点の選定結果を踏まえ、GPS センサーを設置し安全管理に適用している。今後は検討ダムを増やし、さらなる安全管理の高度化・合理化を推進していきたいと考えている。

参考文献

参考文献

- 1) ダム管理研究会編著：ダム管理の実務，（財）ダム水源地環境整備センター，pp.215-243，1999.3.
- 2) （財）国土開発技術研究センター編：改定 解説・河川管理施設等構造令，山海堂，pp.95-97，2000 年 1 月.
- 3) 山口嘉一，岩下友也：ロックフィルダムの計器による挙動計測，ダム技術，No.174，pp.32-43，2001.3.
- 4) 日本大ダム会議ホームページ 日本のダム数（2007 年 12 月 ICOLD ダム台帳・文書委員会提出）
<http://www.jcold.or.jp/dam/dam.html>
- 5) ダム便覧 2009 ホームページ ダム集計表（竣工年別型式別ダム数）
<http://www.soc.nii.ac.jp/jdf/Dambinran/binran/SyuukeiSyunKata/SyuukeiSyunKata.html>
- 6) 国土交通省河川局河川環境課長：地震発生後のダム臨時点検結果の報告について，国河流第 3 号，2008.10.28.
- 7) 山口嘉一，小堀俊秀，横森源治，大野 誠，岩崎智治：GPS を用いたフィルダム外部変形計測に関する一考察，ダム工学，Vol.15，No.2，pp.120-136，2005.6.
- 8) 清水則一，安立 寛，小山修治：GPS 変位モニタリングシステムによる斜面変位計測結果の平滑化に関する研究，資源と素材，Vol.114，pp.397-402，1998 年 6 月.
- 9) 松田浩朗，安立 寛，西村好恵，清水則一：GPS による斜面変位計測結果の平滑化処理法と変位計測予測手法の実用性の検証，土木学会論文集，No.715/III-60，pp.333-343，2002 年 9 月.
- 10) Norikazu SHIMIZU: Monitoring Rock Deformation Using Global Positioning System - Fundamentals, New Developments and Practical Applications -, Keynote Lecture at the 2009 Korea-Japan Joint Symposium on Rock Engineering, 2009.10.
- 11) 横森源治，中園幸樹，山口嘉一，小堀俊秀，池澤市郎，清水公二，岩崎智治，飯島功一郎：フィルダムの安全管理のための天端埋設型 GPS の適用性検討，平成 18 年度土木学会西部支部技術発表会，土木学会西部支部，CD-ROM III-107，2007.3.
- 12) Yoshikazu YAMAGUCHI, Toshihide KOBORI, Hitoshi YOSHIDA, Tadahiko SAKAMOTO, Hideharu ITAYA and Tomoharu IWASAKI: Real-Time Monitoring of Exterior Deformation of Embankment Dams Using GPS, 23rd ICOLD Congress, 2009.5.
- 13) 葛西敏彦，山口嘉一，小堀俊秀：大規模地震で被災したフィルダムの GPS による地震後の変形挙動監視，ダム技術，No.276，pp.9-20，2009.9.
- 14) 建設省北陸地方建設局三国川ダム管理所：信濃川水系三国川ダム図面集 I，1995.3.
- 15) 建設省東北地方建設局寒河江ダム工事事務所：寒河江ダム工事誌，p.862，1991.3.
- 16) 建設省土木研究所ダム部：ダムの安全管理，建設省土木研究所資料，No.1834，1982.5.
- 17) （社）日本大ダム会議：改定 ダム構造物管理基準，1986.5.
- 18) 国土交通省河川局治水課：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説，2005.4.

- 19) 藤澤侃彦, 安田成夫, 伊藤基博: ロックフィルダムの実測挙動解析, ダム技術, No.69, pp.25-32, 1992.6.
- 20) James L. SHERARD, Richard J. WOODWARD, Stanly F. GIZIENSKI and William A. CLEVINGER: Earth and Earth-Rock Dams, pp.212-214, 1963.

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4189 January 2011

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754

