

ISSN 0386 - 5878
土木研究所資料 第 4321 号

土木研究所資料

長期供用中の重力式コンクリートダム における計測継続箇所の考え方

平成 28 年 3 月

国立研究開発法人土木研究所
水工研究グループ水工構造物チーム

Copyright © (2015) 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、国立研究開発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、国立研究開発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。

※本書のカラー版は付属の CD に収録されています。

長期供用中の重力式コンクリートダム における計測継続箇所の考え方

水工研究グループ

水工構造物チーム	上 席 研 究 員		榎 村 康 史
	総 括 主 任 研 究 員		金 銅 将 史
	研 究 員	博士 (工学)	小 堀 俊 秀
	(元) 上 席 研 究 員	博士 (工学)	山 口 嘉 一
	(現) 地質研究監		
	(前) 上 席 研 究 員		
	(現) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 大規模河川構造物研究室 室長	博士 (工学)	佐 々 木 隆

要 旨 :

ダムは河川管理施設等構造令によりダムの種類等に応じた計測事項が定められており、ダムの安全を監視することが義務付けられている。近年、挙動が安定した後のダムにおいて、計器の故障等により一部の箇所で計測を中止している事例がみられる。これは、挙動が安定した長期供用ダムにおいても計測を継続すべき項目や計測箇所の存続・中止の考え方について明確な判断基準が整理されていないことが原因の一つであると考えられる。そのため、本資料では、長期供用し挙動が安定した重力式コンクリートダムにおいて、必要な管理水準を継続するための合理的な計測項目・箇所の存続・中止の判断方法について提案を行う。

キーワード：重力式コンクリートダム，安全管理，計測，長期供用

目 次

1. はじめに	1
2. ダムの安全管理のための計測の概要	3
2.1 計測に関する基準と課題	3
3. 長期供用中の重力式コンクリートダムにおける計測継続箇所の考え方	5
3.1 はじめに	5
3.2 計測継続箇所の検討の流れ	5
3.3 計測継続箇所の選定条件	7
①漏水量計(三角堰等)による漏水量の計測	7
②基礎排水孔による孔別排水量と揚圧力の計測	9
③継目排水孔からの孔別漏水量の計測	12
④変位計測器(プラムライン等)による変位の計測	14
4. ケーススタディー	17
4.1 概要	17
4.2 建設時に比較的多数の計測機器が設置され、 現状でも供用開始時とほぼ同程度の計測が継続して行われているダム	18
4.3 供用開始当初から計測項目・箇所が限定されているダム	39
5. まとめ	57
参考文献	59

1. はじめに

ダムの安全性を監視するため、河川管理施設等構造令¹⁾ではダムの種類等に応じた計測装置を設置することが定められている。計測等によるダムの点検の頻度・実施時期および方法の基本的な考え方は、河川砂防技術基準 維持管理編(ダム編)²⁾に示されており、ダムの湛水開始以降、その挙動が安定化するまでの初期段階では密に行い、挙動の安定が確認されれば、以降の計測頻度を減じてよいとする考え方が基本となっている。しかし、挙動が安定したと判断されたダムにおいて、計測装置の老朽化に伴う故障等を契機として一部の箇所での計測を中止している事例もみられる。これは、挙動が安定した長期供用ダムにおいても計測を継続すべき項目や計測箇所の存続・中止の考え方について明確な判断基準が整理されていないことが一因と考えられる。

供用開始後一定期間の密な計測により、ダムの挙動の安定がいったん確認された後においても、長期に及ぶ供用期間中には経年的な劣化の発生・進行や、発生頻度は低いが規模の大きな地震などにより何らかの変状が発生する可能性も想定される。長期的視点を踏まえたダムの維持管理をより効果的・効率的に実施するためには、それらによるダムの安全性への影響を的確に把握できるよう、ダムの状態に応じた適切な管理水準を維持する必要があると考えられる。このため、ダム堤体及び基礎岩盤の挙動が安定した長期供用ダムにおいても、必要な管理水準を継続するための合理的な各計測項目の計測箇所(長期的に計測を存続すべき箇所)の考え方について、コンクリートダムのうち最も代表的な構造型式の1つである重力式コンクリートダムを対象として検討した。本資料は、この検討結果について、実際のダムへの適用を想定したケーススタディを含めてとりまとめたものである。

なお、平成25年10月に、国土交通省においてダム総合点検³⁾が制度化された。ダム総合点検は、長期的な経年変化の状況や構造物の内部の状態等に着目し、築堤後30年程度経過したダムの健全度について総合的に調査及び評価するもので、その結果得られる維持管理方針を日常管理や定期検査等に反映させ、効果的・効率的なダムの維持管理を実現することが目的である。このため、本検討は、このダム総合点検における維持管理方針の策定において必要となる安全管理のための計測についての検証・見直しにも活用できるものとなることを目指して行った。

2. ダムの安全管理のための計測の概要

2.1 計測に関する基準と課題

ダムは長期間供用することを前提に建設される重要な構造物であるため、ダム管理者が日常的に点検・巡視をすることで安全性及び機能の保持を図っている。安全管理のための計測はこの一環として位置づけられる。その基本原則として、計測項目については、河川管理施設等構造令¹⁾に表-2.1 に示すダムの安全管理上必要な計測事項(計測項目)がそのための計測装置の設置を定める形で規定されている。ここに規定されているのはダムの安全管理にとって必要最小限の重要な計測項目である。これらの計測項目についての計測方法に関しては、従来その計測頻度についてダム構造物管理基準⁴⁾などに標準的な考え方が示され、各ダムで運用されてきたが、河川砂防技術基準 維持管理編(ダム編)²⁾において改めて示された。表-2.2 に同基準によるダムの安全管理上の期間の区分に応じた標準的な頻度を示す。

なお、同表において第1期とはダムの試験湛水中の期間、第2期は第1期の終了からダムの挙動が安定した状態に達するまでの期間、第3期はダムの挙動が安定状態に達した後の期間を指す。計測の頻度は、安全管理上の期間の区分における段階が進むに従い、つまりダムの挙動が安定するに従い頻度を低減させてよいことになっている。

このように、計測項目や計測の頻度については一定の基準が整備されている。しかし、実際に個々の項目の計測を実施すべき箇所についての標準的な考え方については、これまでに明確な基準化等がなされていない。これは、ダムの挙動を左右する地形・地質条件や堤体の構造がダム毎に様々であることや、特に第3期のダムにおいては個々の計測箇所での計測を継続することの必要性をそれまでの供用中に得られた計測データの傾向を踏まえて判断する必要があることなど、各ダムの特性や状況に応じた総合的判断が求められることを考えると、むしろ当然のこととすることもできる。しかし、特に第3期のダムでは、計測装置の機能を維持するための一定のメンテナンスが施されていたとしても、長期供用に伴う機能低下や計器寿命によるものを含む故障など、計測データの信頼性に影響する事象が次第に生じてくる。このような場合、問題が生じた計測装置を全て更新することも1つの考え方であるが、個々のダムにおける地質条件や構造の特性、また既往の計測データの時系列的傾向に基づいて、計測の合理化の観点から引き続き計測を継続すべき箇所を洗い直すことも重要である。個々のダム特有の条件によるものを含む安全管理上の着眼点を再認識し、個々の計測の目的と必要性を改めて明らかにする必要性に迫られることで、計器故障に伴う計測箇所の削減ではなく、ダムの状態に応じた安全管理の水準を維持していくために必要な計測箇所が浮き彫りになり、本来の意味での計測の合理化を図ることができるからである。

表-2.1 河川管理施設等構造令¹⁾における計測装置の規定
(重力式コンクリートダム抜粋)

ダムの型式	堤高	計測項目
重力式 コンクリートダム	50m 未満	漏水量, 揚圧力
	50m 以上	漏水量, 揚圧力, 変形量

表-2.2 河川砂防技術基準 維持管理編(ダム編)²⁾における計測頻度の規定
(重力式コンクリートダム抜粋)

計測項目		堤高 50m 未満	50m 以上 100m 未満	100m 以上
漏 水 量	第 1 期	1 回/日		
	第 2 期	1 回/週		
	第 3 期	1 回/月		
変 形	第 1 期	-	1 回/週	1 回/日
	第 2 期	-	1 回/月	1 回/週
	第 3 期	-	1 回/3 月	1 回/月
揚 圧 力	第 1 期	1 回/週		
	第 2 期	1 回/月		
	第 3 期	1 回/3 月		

3. 長期供用中の重力式コンクリートダムにおける 計測継続箇所の考え方

3.1 はじめに

第2章で述べたように、ダムの安全管理における計測の項目や計測頻度は基準等に定められているが、具体的な計測箇所についての規定はなく、また、完成後長期間経過した挙動の安定したダムの中には、計測装置に老朽化等に伴う不具合が生じている例が少なくない。計測装置の不具合のみを理由として当該箇所での計測を中止した場合、中止箇所によっては、ダム堤体等の経年的な劣化の発生・進行や大規模地震による影響など、長期供用の中で当該ダムの安全性を監視していく上で重要な箇所での計測データが得られなくなる可能性がある。

このため、ダム堤体および基礎岩盤の挙動が安定し、安全管理の期間の区分において第3期に入ったダムにおいても計測を継続すべき箇所(計測継続箇所)の考え方について、重力式コンクリートダムを対象として検討した。本章では、この検討の結果を示す。

3.2 計測継続箇所の検討の流れ

計測継続箇所の検討の全体的な流れを図-3.1に示す。同図に示す通り、この検討は、河川管理施設等構造令で定められた計測項目(漏水量、揚圧力、変形)の計測を実施するための計測設備(①漏水量計(三角堰等)、②基礎排水孔、③継目排水孔、④変位計測計(プラムライン))ごとに、種々の条件を考慮して継続計測箇所の候補を抽出する流れとしている。

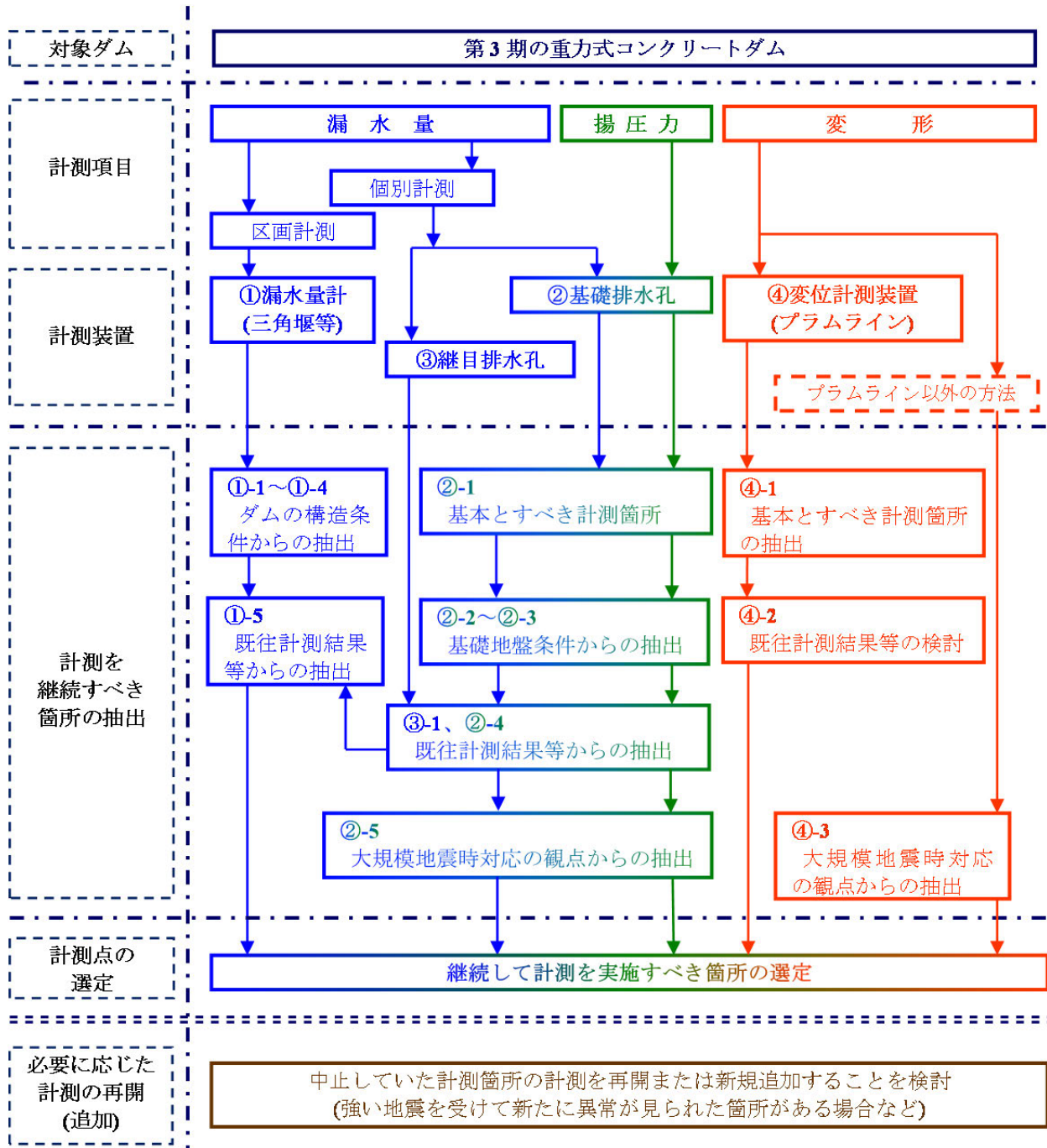


図-3.1 計測継続箇所の考え方(案)の流れ

3.3 計測継続箇所の選定条件

図-3.1 に示す計測継続箇所の検討において、個々の計測項目等について計測継続箇所の候補を選定する際に考慮すべき条件として考えられるものを以下に挙げ、各条件に応じた計測箇所の具体的な考え方を述べる。なお、各事項に付した番号(①-1 など)は、関連する図表(表-3.1～3.4)中の表記と対応している。

①漏水量計(三角堰等)による漏水量の計測

全漏水量等のある区画(広がりのある範囲)を対象とした漏水量の測定には、三角堰による方法が用いられる事例が多い。漏水量計(三角堰等)の計測を継続すべき箇所の考え方を表-3.1 に示す。

ア. ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所

①-1：全漏水量の計測

ダムの安全性を把握するための最も基本的な計測として、ダム全体の漏水量を計測する。全漏水量は、個々の基礎排水や継目漏水などを監査廊の底部で集水し計測する。なお、異状箇所の早期特定のため、必要に応じて、次の①-2～①-4 に示すように計測範囲を分離して計測する。

①-2：左右岸の漏水量の分離

堤頂長が長いダムの場合は、異状箇所が左右岸のいずれか大まかに判断できるよう、左右岸監査廊の漏水量を分離して計測する。また、河床部が幅広いダムでは、左右岸の漏水量に加え、河床部も分離計測できるようにする。

①-3：高標高部と低標高部で漏水量の分離

堤高が高いダムの場合は、標高別に異状箇所が検知できるよう、たとえば中間標高部などに漏水量測定箇所を設置して標高に応じた分離計測を行う。

①-4：地山漏水量と堤体漏水量の分離

ダム堤体監査廊からグラウチング等の目的で地山内へのトンネルが設置されている場合などで、地山からも漏水が発生しており、全漏水量に対する影響が大きい場合は、堤体漏水と地山漏水を分離計測する。

イ. 既往の計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所

①-5：既往の計測結果からの検討

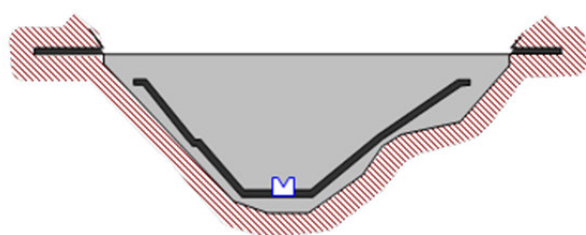
試験湛水時や既往地震時の計測・巡視記録等から漏水量の追加の計測が必要と考えられる箇所があるダムは計測箇所を追加する。

なお、このように、漏水量をある程度分離して計測することは、大規模地震時などの非常時に漏水量が急増した場合などにおいて、基礎排水孔や継目排水孔の箇所での孔別計測を実施する前に、変状箇所のおおまかな範囲を早期に把握するのに有効と考えられる。また、基礎排水孔や継目排水孔などからの漏水が多い箇所がある場合、当該箇所を含むブロックを常時から明確に分離して計測することも非常時の漏水量増加箇所の早期把握に繋がると考えられる。

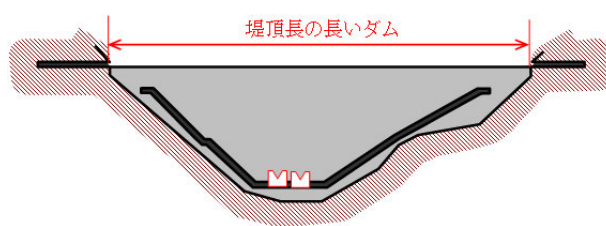
その他、基礎排水孔や継目排水孔以外からの相当量の漏水がある場合、その近辺に新たに三角堰を設ける等、必要に応じ、着目したい漏水量を分離して計測できるようにするのがよいと考えられる。

表-3.1 漏水量計(三角堰等)の計測を継続すべき箇所の考え方

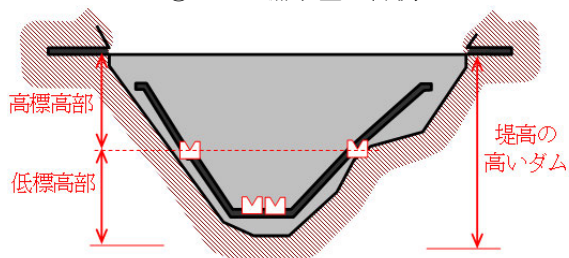
計測項目	分類	適用条件	計測を継続すべき箇所等の考え方
① 漏水量計(三角堰等)による漏水量の計測	ダム構造上計測が必要と考えられる箇所	すべてのダム	①-1: 全漏水量の計測
		堤頂長が長いダム	①-2: 左右岸の漏水量の分離 河床部の幅が広いダムでは左右岸に加え、河床部の漏水量も分離して計測
		堤高の高いダム	①-3: 高標高部と低標高部で漏水量の分離
		地山からの漏水の影響が大きいダム	①-4: 地山漏水量と堤体漏水量の分離
	既往の計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所	既往管理記録等から追加の計測が必要と考えられる箇所があるダム	①-5: 既往の計測結果からの検討 試験湛水時や既往地震時の計測・巡視記録等から注意すべき箇所(範囲)



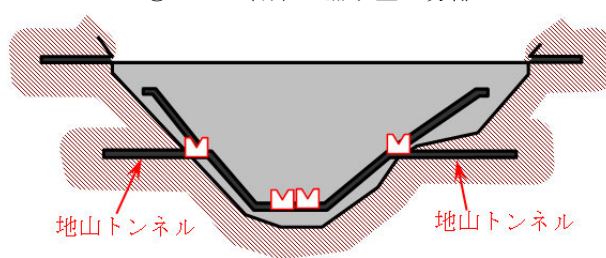
①-1: 全漏水量の計測



①-2: 左右岸の漏水量の分離



①-3: 高標高部と低標高部で漏水量の分離



①-4: 地山漏水量と堤体漏水量の分離

②基礎排水孔による孔別排水量と揚圧力の計測

重力式コンクリートダム基礎地盤は、基本的には岩盤である。重力式コンクリートダムでは、基礎排水孔を設けて岩盤内の浸透水を排水することで、ダム底面にかかる揚圧力が低減されるものとして設計されている例が多い。この基礎排水孔を用いて基礎岩盤からの排水量(本来は揚圧力を低減させる目的で排水するものであり、このように呼ぶべきものであるが、河川管理施設等構造令の規定上は「漏水量」に含まれる)や揚圧力の計測を行っている。なお、揚圧力の計測は、基礎排水孔を兼用し、その一時閉塞により行われる場合と、揚圧力計測用の専用孔が設けられる場合がある。これら個別の基礎排水孔などで計測する排水量や揚圧力について、計測を継続すべき箇所の考え方を表-3.2に示す。

ア. ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所

②-1：最大断面ブロック付近の基礎排水量と揚圧力

安全管理の第3期においても、貯水深が最大で浸透圧(揚圧力)が最大となる可能性がある最大断面等の代表断面ブロックでの計測は継続して行い、経時的な変化に着目して、ダムや基礎岩盤が安定した状態であるか監視する必要があると考えられる。なお、比較的大規模な重力式コンクリートダムなど、常にバルブを閉塞して揚圧力のみを計測する揚圧力専用孔を基礎排水孔と別に基礎監査廊内に設置している場合、揚圧力の上下流方向分布を計測するためにクロスギャラリーに揚圧力専用孔を設置している場合などにおいては、これら専用孔で計測される揚圧力は構造計算上の設計値との比較が可能となることから、当該ダムの安定性を監視する上で重要な計測箇所になると考えられる箇所については、継続して計測を行うのが良いと考えられる。

なお、完成後長期経過したダムにおいては、基礎排水孔がエフロッセンスなどにより閉塞し、正確な基礎排水量の計測が行えない場合がある。この場合は、必要に応じ基礎排水孔の孔内洗浄やリボーリング(再削孔)を検討することも考えられる。基礎排水孔のリボーリングの方法としては、既存の基礎排水孔を拡孔する方法と、近傍に新設する方法がある。既存の基礎排水孔を拡孔する場合は閉塞が顕著になる前の過去のデータとの厳密な比較が可能であるが、新設する場合は厳密には同じ位置でのデータではなくなるため、過去のデータとの比較に当たっては注意が必要である。

イ. 基礎岩盤の条件によっては計測をすべきと考えられる箇所

②-2：規模の大きな弱層(断層など)上の基礎排水孔を含むブロック

基礎岩盤内の弱層沿いに新たな水みちが形成された場合などにこれを検知する上で継続して計測する必要性が高い箇所と考えられる。ただし試験湛水中や過去の大規模地震時などに漏水(排水)に土粒子の混入がみられたことなどにより、基礎排水孔を閉塞したまま揚圧力の計測のみを実施している基礎排水孔は、計測のため開栓すると弱層内の土粒子が流出するなどとして再び水みちになる恐れがあることに注意が必要である。

②-3：基礎岩盤の変形性の差が極端に大きい箇所上の基礎排水孔を含むブロック

このような岩盤条件の箇所では、大規模地震時にダムと基礎岩盤の挙動が異なる可能性があるため、その付近にある基礎排水孔では、過去の計測で問題が無い場合でも継続して計測する必要性が高いと考えられる。また、重力式コンクリートダムの安定性がブロック単位で検討されていることも考慮して、上記の考え方は孔別ではなく、ブロック単位で適用することが適切であると考えられる。

ウ．既往の計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所

②-4：試験湛水時や地震時などに注意を要する計測結果が得られたブロック

対象とすべき排水量や漏水量，揚圧力の値について一定の定量的基準を示すのは難しいが，排水量が多い，揚圧力が高い，排水量が多く揚圧力が高いなど当該ダムでの相対的に大きな値が計測されたことがある箇所，濁水や土粒子が流出した箇所は，継続して計測を行う箇所として検討することが考えられる。

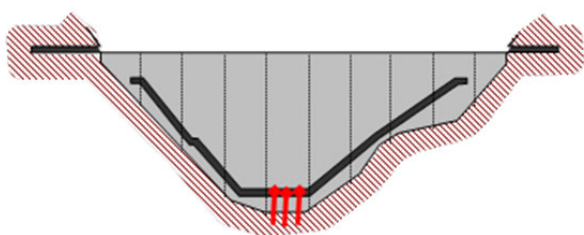
エ．大規模地震後の迅速な安全性評価のために計測が必要と考えられる箇所

②-5：大規模地震後の迅速な安全性評価のための計測

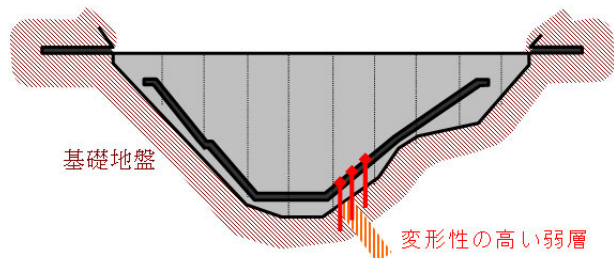
上記の計測箇所に加えて，大規模地震発生時に即座に堤体や基礎岩盤の異状の有無の判断や異状発生箇所の特定ができるように，常時満水位以上にその基礎を有する堤高の低いブロックを除いた堤体の各ブロックに少なくとも1箇所の基礎排水孔を閉塞の無い健全な状態に保ち，基礎排水量の計測，また揚圧力計を設置して揚圧力の計測を行うことが考えられる。

表-3.2 基礎排水孔による孔別排水量と揚圧力の計測の継続すべき箇所への考え方

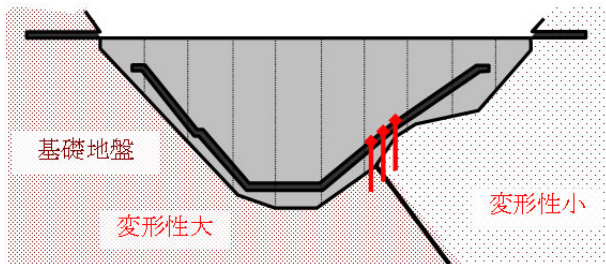
計測項目	分類	適用条件	計測を継続すべき箇所等の考え方
② 基礎排水孔による孔別排水量と揚圧力の計測	ダム構造上計測が必要と考えられる箇所	全てのダム	②-1：最大断面ブロック付近の基礎排水量と揚圧力
	基礎岩盤の条件によっては計測をすべきと考えられる箇所	規模の大きな弱層(断層など)を基礎岩盤に有するダム	②-2：規模の大きな弱層(断層など)付近の基礎排水孔を含むブロック 注) 試験湛水中に漏水(排水)に土粒子の混入がみられたため、基礎排水孔を閉塞したまま揚圧力の計測のみを実施している基礎排水孔はこの限りではない。
		基礎岩盤の変形性の差が極端に大きい箇所を基礎岩盤に有するダム	②-3：基礎岩盤の変形性の差が極端に大きい箇所の基礎排水孔を含むブロック
	既往の計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所	試験湛水時や地震時などに注意を要する計測結果が得られたブロックがあるダム	②-4：試験湛水時や地震時などに注意を要する計測結果が得られたブロック ・排水量が多い ・揚圧力が高い ・排水量が多く揚圧力が高い ・濁水、土粒子の流出
	大規模地震後の迅速な安全性評価のために計測が必要と考えられる箇所	全てのダム	②-5：大規模地震後の迅速な安全性評価のための計測 ※常時満水位以上に基礎を有するブロックを除く



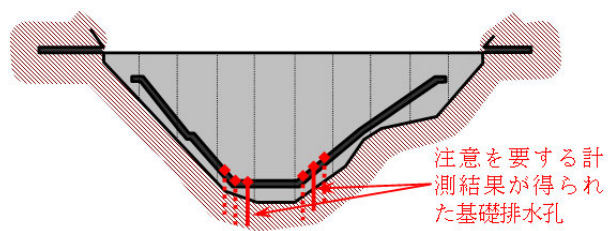
②-1：最大断面ブロック付近の基礎排水量と揚圧力



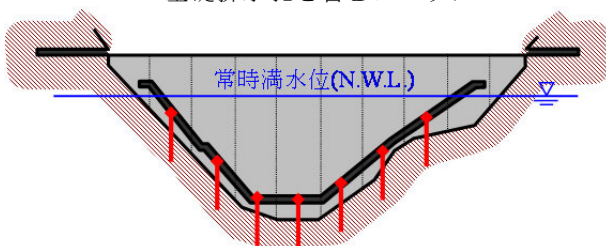
②-2：規模の大きな弱層(断層など)上の基礎排水孔を含むブロック



②-3：基礎岩盤の変形性の差が極端に大きい箇所上の基礎排水孔を含むブロック



②-4：試験湛水時や地震時などに注意を要する計測結果が得られたブロック



②-5：大規模地震後の迅速な安全性評価のための計測

③継目排水孔からの孔別漏水量の計測

ダム堤体内の横継目の貯水池側に設置される止水板の下流側には、止水板の止水機能の監視とその他何らかの浸透経路により横継目内に浸入した漏水の排除を目的として、継目排水孔が設置されている。この継目排水孔での孔別漏水量の計測を継続すべき箇所の考え方を表-3.3 に示す。

ア. ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所

③-1：ダム縦断方向における地形の急変点付近の継目排水孔

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、コンクリートダムで報告された変状はいずれもごく軽微なものであった。しかし、地震後1か月ほどして、いくつかの重力式コンクリートダムで、漏水量の比較的顕著な増加が報告される事例が見られた⁵⁾。これらの地震後の横継目部での変状が報告された事例の調査結果より、これらの漏水の増加の特徴は、河床部と斜面部の境界付近での横継目での事例や端部付近の横継目での事例が多いことがわかった²⁾。また、数値解析による検討から、河床部と斜面部の境界付近に位置する横継目では、常時(非地震時)の応力状態においてもせん断方向の負荷が大きくなりやすいうえ、地震時には、両側ブロックの応答周波数の相違による影響が加わり、ブロック同士の相対変位によるせん断負荷が特に集中しやすいこともわかった⁶⁾。これらの結果を踏まえ、ダム縦断方向における地形(元の地形ではなく、掘削後の地形)の急変点付近の継目排水孔について継続して計測を行う箇所として検討することが考えられる。

イ. 既往計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所

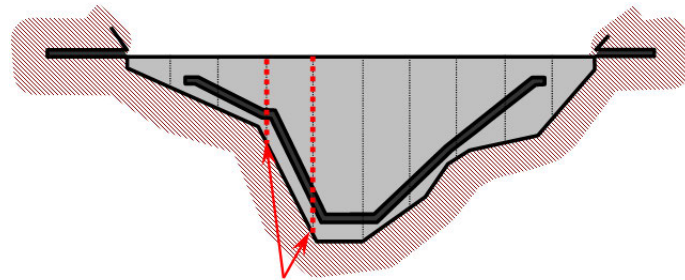
③-1：試験湛水時や地震時に漏水量が多くなった継目排水孔

試験湛水や過去の地震時などに注意を要する計測結果が得られた継目排水孔は継続して計測を行う必要がある。また、計測を行っていない継目排水孔において、大規模地震後に漏水が発生もしくは漏水量が増加した場合は計測を再開する。

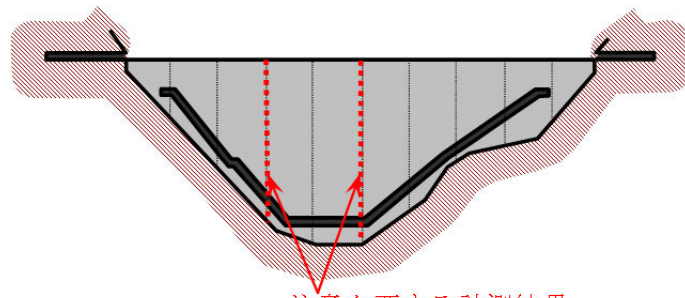
また、監査廊内や下流面の亀裂などからの漏水がある場合も必要に応じてその量を分離計測(孔別計測)することを検討する。

表-3.3 継目排水孔からの孔別漏水量の計測の継続すべき箇所の考え方

計測項目	分類	適用条件	計測を継続すべき箇所等の考え方
③ 継目排水孔からの孔別漏水量の計測	ダム構造上計測が必要と考えられる箇所	ダム縦断方向における地形(掘削面)の急変箇所のあるダム	③-1: ダム縦断方向における地形の急変点付近の継目排水孔
	既往の計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所	試験湛水や地震時などに注意を要する計測結果が得られた横継目のあるダム	③-2: 試験湛水時や地震時に漏水量が多くなった継目排水孔



③-1: ダム縦断方向における地形の急変点付近の継目排水孔



③-2: 試験湛水時や地震時に漏水量が多くなった継目排水孔

④変位計測器(プラムライン等)による変位の計測

堤高 50m 以上の重力式コンクリートダムでは、河川管理施設等構造令により変形量の計測が定められている。挙動の安定した第 3 期のダムで変形(変位)が問題となる例は少ないがダムは基礎岩盤の変状は最終的には変位に現れると考えられる。このため安全管理による変位計測は極めて重要と考えられる。

変形の計測を継続すべき箇所の考え方を表-3.4 に示す。

ア. ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所

④-1: プラムラインによる変形(たわみ量)計測を実施している箇所

変形量の計測が定められている堤高 50m 以上の重力式コンクリートダムでは、プラムラインによる変位計測を実施しているダムが多い。プラムラインの設置箇所は最大断面や、河床幅が広い場合に設定される副断面、基礎岩盤に弱層がある場合などに設置される。プラムラインは、設置のための費用や施工へ与える影響が比較的大きく、一般的には代表 1~2 断面に設置されているのが現状である。このプラムラインについては、基本的に挙動が安定したダムでも計測が継続できるようにしておく必要があると考えられる。これは、貯水位や季節変動に連動したダム堤体の変位を把握しておくことにより、その後の計測値の比較によって、地震後や劣化現象による変化の有無を評価することが可能になるためである。このため、仮に老朽化等により計測が困難となった場合には、復旧もしくは次に述べる他の方法など何らかの方法により、ダム堤体の変形が計測できるよう対応を検討すべきと考えられる。

イ. 必要に応じて計測が必要と考えられる箇所

④-2: 各ブロックでの GPS 等による変位計測

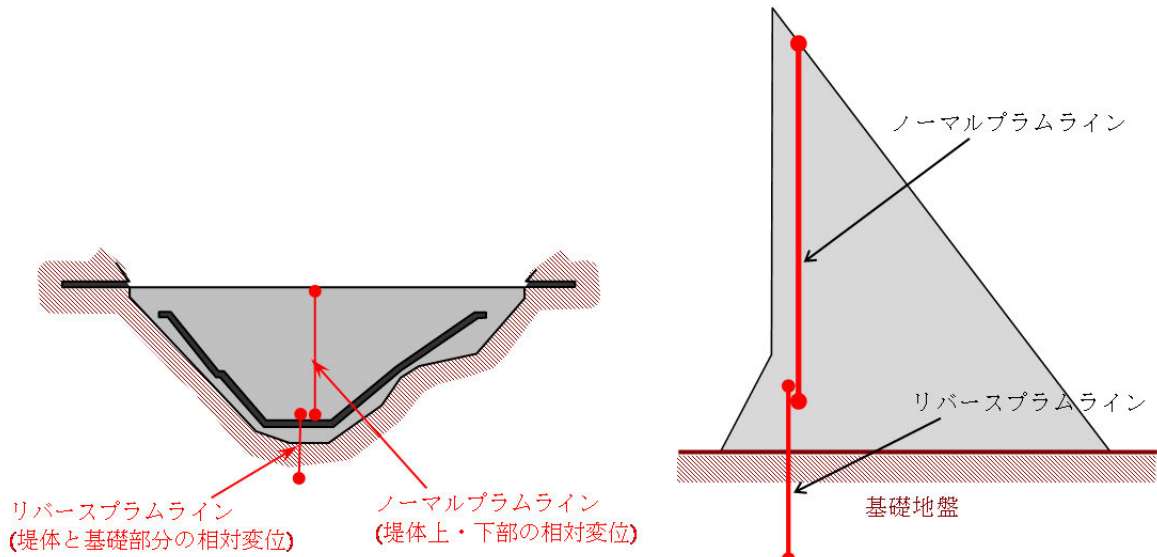
プラムラインによる変位計測は極めて高精度な計測方法であるが、計測箇所が限られる。一方、フィルダムにおいては時間の経過や地震などにより堤体の圧落や沈下が生じることや築堤材料の物性のばらつきがコンクリートダムに比べて大きいことなどから、大規模なダムでは 20~30 箇所の測点を設置して、GPS を用いた変位計測を実施している例がある⁷⁾。なお、フィルダムへの GPS の導入方法等については「フィルダムの変位計測に関する GPS 利用マニュアル⁸⁾」にまとめられている。

重力式コンクリートダムはフィルダムのような沈下や堤体材料のばらつきに着目する必要はほとんどないが、横継目によりブロックを区切った構造になっているため、隣同士のブロックであっても基礎岩盤や地形の条件によっては、大規模地震などにより異なる変位挙動を示す可能性がある。また、GPS を用いた重力式コンクリートダムの変位計測については、これまでの試験的計測例では、比較的簡易な設置方法でもブロックごとの変位を計測でき、かつ、プラムラインと同程度の精度が確保されることが確認されている⁹⁾。プラムラインが設置されていないダムやプラムライン設置箇所以外での変形計測を検討する場合には、このような新たな計測技術も積極的

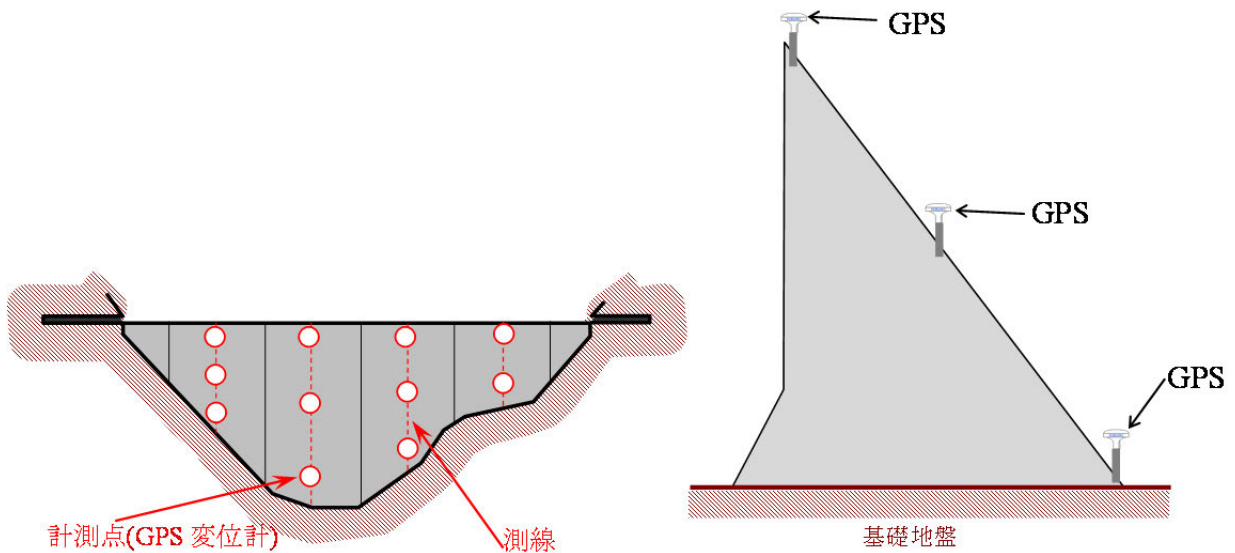
に活用することが有効である。

表-3.4 変位計測機(プラムライン)による変形の計測を継続すべき箇所の考え方

計測項目	分類	適用条件	計測を継続すべき箇所等の考え方
④変位計測器(プラムライン等)による変位の計測	ダム構造上計測に適した箇所	堤高 50m 以上のダム	④-1: プラムラインによる変形(たわみ量)計測を実施している箇所
		必要に応じて(プラムライン未設置または設置が困難なダムで、変位計測が必要な場合等)計測が必要と考えられる箇所	④-2: 各ブロックでの GPS 等による変位計測



④-1: プラムラインによる変形(たわみ量)計測を実施している箇所



④-2: 各ブロックでの GPS 等による変位計測

4. ケーススタディー

4.1 概要

本章では、第3章に示した長期供用中の重力式コンクリートダムにおける計測継続箇所の考え方（以下、「計測継続箇所の考え方」と略す）を実際のダムへの適用する場合の具体的なイメージについて、想定される以下の二つの代表的なケースを対象にしたケーススタディーによって示す。

- ①建設時に比較的多数の計測装置が設置され供用開始年代が比較的新しく、現状でも供用開始当初とほぼ同程度の計測が行われているダム(4.2)
- ②供用開始年代が古く、当初から計測項目・箇所が限定されているダム(4.3)

なお、①は次第に一部の計測装置に不具合が見られるなど、計測装置の老朽化への対応として、計測の合理化の可能性も含めて検討する場合、②はダムのさらなる長期供用の観点から、現状での限られた計測以外の計測の必要性も含め今後の計測のあり方を改めて検討する場合などを想定したものである。

4.2 建設時に比較的多数の計測機器が設置され、現状でも供用開始時とほぼ同程度の計測が継続して行われているダム

対象としたダムは、1999年に完成した堤高50m、堤頂長445m、堤体積455,000m³の重力式コンクリートダム(以下、Xダム)である。Xダムの堤体計測設備一覧を表-4.1に、堤体計測設備の配置を図-4.1にそれぞれ示す。Xダムにおける計測は、漏水量については右岸と左岸の計測2箇所、基礎排水孔による基礎排水量と揚圧力の計測は各ブロック2箇所(計52箇所)、継目排水孔からの漏水量の計測が各継目位置(計27箇所)、変形については、プラムラインによる堤体の変形計測が1箇所で行われている。

表-4.1 Xダムの堤体計測状況

項目	計測設備	計測箇所	観測方法
①漏水量計(三角堰等)による漏水量の計測	三角堰	右岸：1箇所 左岸：1箇所	自動計測
②基礎排水孔による孔別排水量と揚圧力の計測	基礎排水孔, (排水量, プルドン管 圧力計)	52箇所	手動計測
③継目排水孔からの孔別漏水量の計測	継目排水孔	27箇所	手動計測
④変位計測器(プラムライン等)による変位の計測	プラムライン	1箇所	自動計測

①漏水量計(三角堰等)による漏水量の計測

X ダムの漏水量計(三角堰等)による漏水量の計測について計測継続箇所の考え方に従って検討を行った。

○ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所

①-1：全漏水量の計測

全漏水量の計測は、ダムの漏水量計測に関する最も基本的データである。X ダムでは、全漏水量の計測が行われている。全漏水量の計測は、長期的な変化を把握する上で継続して実施すべきものであるため継続して計測を行う必要があると考えられる。

①-2：左右岸の漏水量の分離

X ダムでは、左右岸の漏水量を分離して計測している。仮に漏水量の計測箇所を1箇所(全漏水量のみ)とした場合には、堤頂長が445mと長い場合、現状よりも異状箇所の特定に時間を要することになる。また、X ダムの設計資料等によれば、X ダムでは右岸側に透水性の高い砂岩層が分布するとともに、コンソリデーショングラウチングの施工実績から、河床部(左岸側)にも高透水部が確認されている。仮に全漏水量の変化が見られた場合、その原因が基礎排水孔からの漏水の変化である場合には、このような地質的条件との関係からその原因箇所の絞り込みを可能とする上でも、少なくとも現状のまま左右岸で別漏水量の計測を継続することがよいと考えられる。なお、仮に将来、大規模地震時などにおいて、左右岸の漏水量に何らかの変化傾向が見られた場合は、必要に応じさらにブロックを区分して計測することも考えられる。

①-3：高標高部と低標高部で漏水量の分離

X ダムの堤高は50m程度とそれほど高くはなく、また堤頂長445mに対する比は約1/9と小さい。このため、標高別に漏水量を計測する必要性は余り高くないと考えられる。

①-4：地山漏水と堤体漏水の分離

X ダムでは、基礎監査廊に接続するグラウトトンネル等は設置されておらず、三角堰で計測される漏水量に地山からの漏水が流入して大きく影響を与えることはないと考えられる。このため、X ダムでは、地山漏水を分離して計測する必要性は低いとと考慮される。

○既往の計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所

①-5：既往の計測結果からの検討

X ダムにおいて三角堰で計測されている全漏水量は経年的に減少傾向で安定しており、ダムの挙動が安定した第3期以降後の全漏水量は最大でも計10L/min程度以下、さらに経年的に低下する傾向が見られる。また、年間の全漏水量の変動は、図-4.2や本資料では省略しているが、貯水

位と漏水量，外気温と漏水量等の相関図より貯水位や外気温との相関がみられ，通常，重力式コンクリートダムで見られる一般的な傾向を示している。

また，Xダムでは，個々の基礎排水孔・継目排水孔で個別計測が行われているため，仮にこの観点から注意すべき箇所(範囲)があったとしても三角堰等を追加設置する必要性は低いと考えられる。

○漏水量計(三角堰等)による漏水量の計測を継続すべき箇所の検討結果

上記の①-1～①-5に示した漏水量計(三角堰等)による漏水量の計測継続箇所の考え方により抽出した結果を表-4.2に示す。同表に示す検討から，右岸と左岸の2系統で堤体漏水を計測することが望ましいと考えられる。

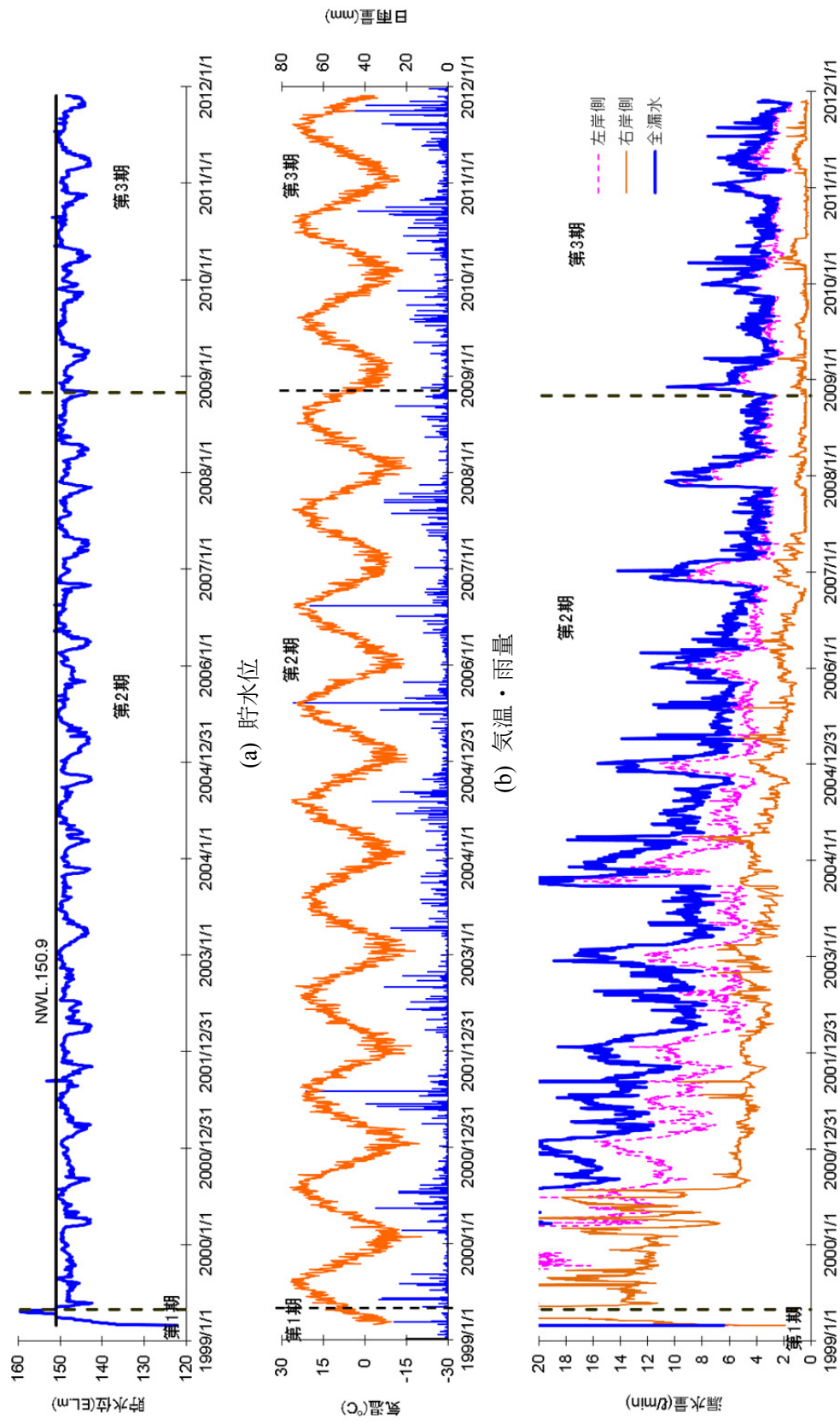


図-4.2 漏水量計測結果(Xダム)

表-4.2 計測継続箇所への考え方による漏水計(三角堰等)による漏水量の計測を継続すべき箇所の検討結果(Xダム)

検討前	計測継続箇所の考え方による検討					検討結果
	分類	計測継続箇所の考え方において計測を継続すべき箇所等の考え方	適用条件	Xダムでの該当有無	Xダムでの状況	
河床部の三角堰2箇所 (左岸, 右岸)	ダムの構造上計測が必要と 考えられる箇所	①-1: 全漏水量の計測	すべてのダム	該当する	全漏水量の計測を実施	漏水量の基本計測データと して、検討前どおり計測を継 続すべきものである。
		①-2: 左右岸の漏水量の分離	堤頂長が長いダム	該当する 堤頂長が長い (445m, 計30ブロック)	左右岸を分離して計 測を実施	堤頂長が長く、今後とも検 討前通り左右岸を分離して 計測を継続することが望ま しいと考えられる。
		①-3: 高標高部と低標高部で漏水 量の分離	堤頂の高いダム	該当しない (堤高50mの堤頂長 に対する比は小さい)	標高別に区分した計 測は未実施	堤頂長に対する堤高の比は 小さく、標高別に漏水量を分 離して計測する必要性が低 い場合に該当するものと考 えられる。
		①-4: 地山漏水と堤体漏水の分離	地山からの漏水の 影響が大きいダム	該当しない (監査廊に接続する グラウトトンネル などからの地山漏 水量の影響を分離 して把握すべき箇 所はない)	地山からの漏水の分 離計測は未実施	地山からの漏水量を分離し て把握すべき箇所がないた め、特に必要がない場合に該 当するものと考えられる。
		①-5: 既往の計測結果からの検討	既往管理記録等か ら追加の計測が必 要と考えられる箇 所があるダム	—	—	漏水量は経年的に減少傾向 を示し、急増する傾向は認め られず安定している。 ・Xダムでは各基礎排水孔、 継目排水孔での計測が行わ れており追加計測は必要な いものと考えられる。

②基礎排水孔による孔別排水量と揚圧力の計測

Xダムの基礎排水孔による孔別排水量と揚圧力の計測について計測継続箇所の考え方によって検討を行った。

○ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所

②-1：最大断面ブロック付近の基礎排水量と揚圧力

Xダムでは、最大断面ブロックで基礎排水量と揚圧力の計測が実施されている。基礎排水量や揚圧力は、作用する浸透圧に連動するものと考えられ、水圧が最大となる最大断面位置での計測データは、ダムの安定性を評価する上で最も基本的なデータの1つとなるものと考えられるため継続して計測を行う必要があると考えられる。

②-2：規模の大きな弱層(断層など)上の基礎排水孔を含むブロック

Xダムの基礎岩盤では、図-4.4に示すようにその一部にやや透水性が高い砂岩層など地質的に注意すべき箇所が存在しており、仮に異状が生じた場合にその箇所を早期に特定するためにも、ダム内で相対的に水深の深い当該地質の範囲である No.6～No.48 孔の区間は、現状どおり1ブロック2孔程度の計測を継続することを基本とするのがよいと考えられる。

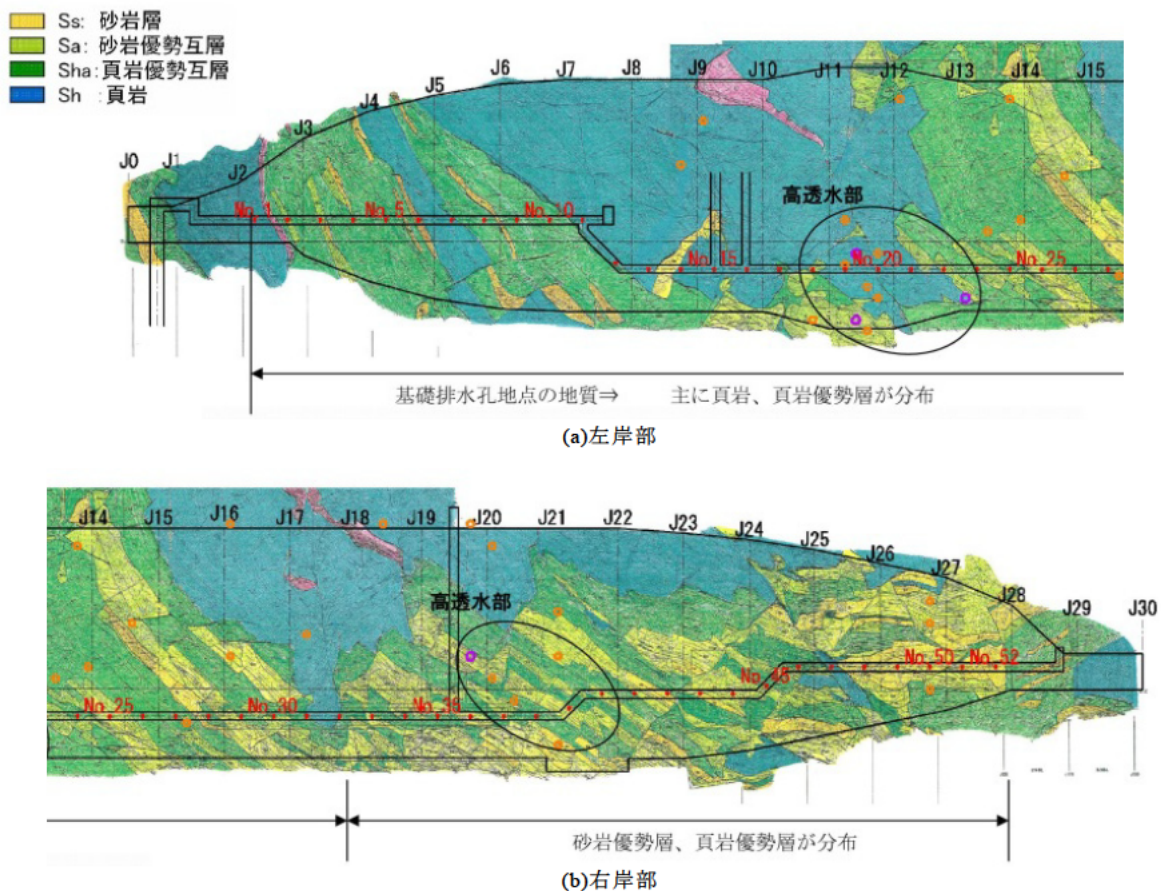


図-4.4 堤敷面地質分布図(Xダム)

②-3：基礎岩盤の変形性の差が極端に大きい箇所上の基礎排水孔を含むブロック

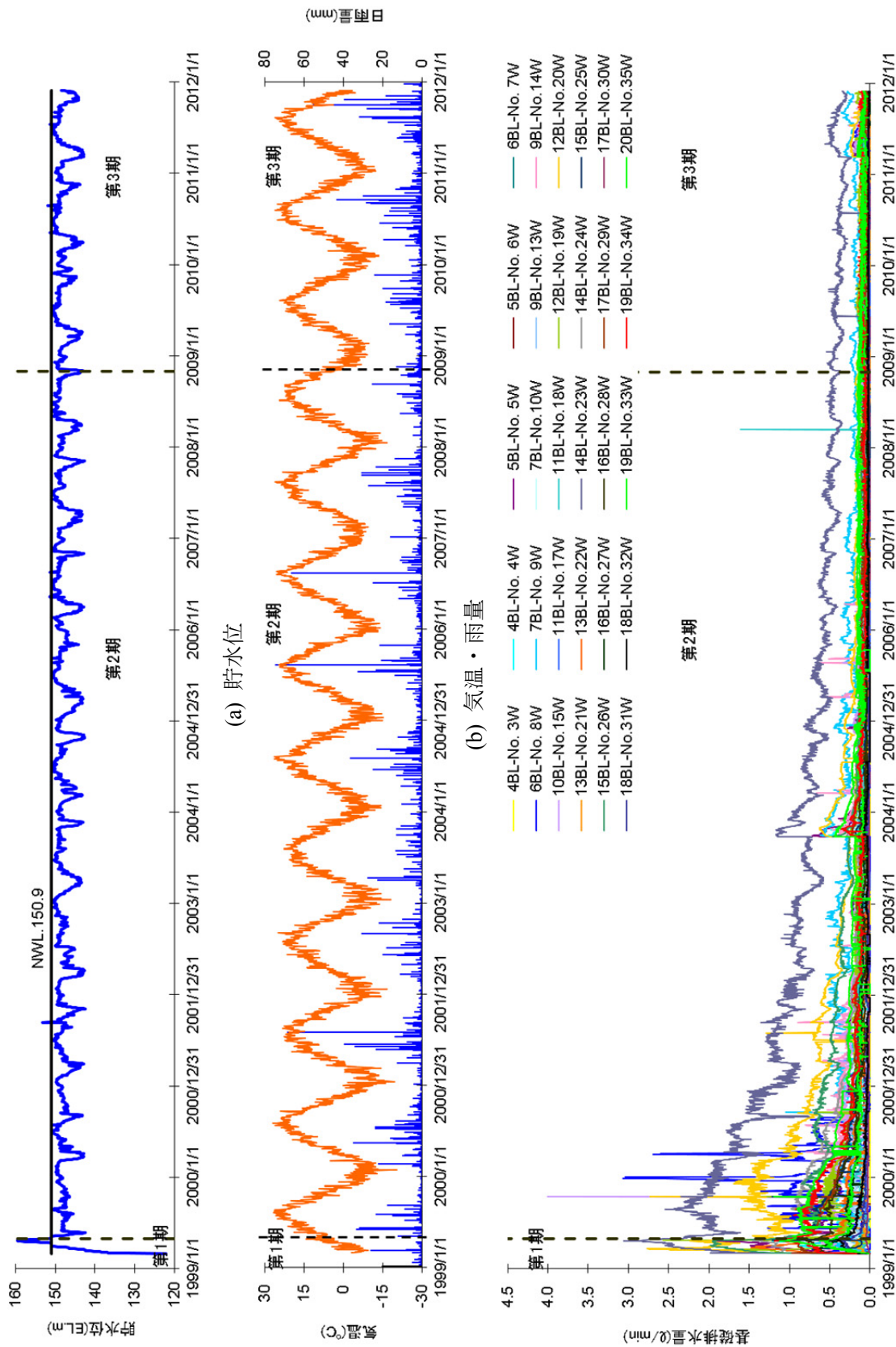
Xダムでは、ダム軸上において岩盤の変形が大きく異なる箇所は想定されておらず、長期的に堤体の不等沈下などの問題が生じることは考えにくい。このため、基礎岩盤の変形性の相違の観点から基礎排水孔を用いた特別な監視を行う必要性はないと考えられる。

○既往の計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所

②-4：試験湛水時や地震時などに注意を要する計測結果が得られたブロック

Xダムの基礎排水量は経年的に減少傾向を示しており、図-4.5に示すように全孔において最大約1L/min以下と安定している。また、年間変動としては、基礎排水量は概ね貯水位と比例して増減する一般的な傾向を示す。このように、特段注意すべき兆候は見られないが、基礎排水量が相対的に多い孔については継続して計測を実施するのがよいと考えられる。

また、揚圧力についても経年的に減少傾向を示し、全孔において0.6kgf/cm²(0.06MPa)以下に安定しており、検討前(近年)の河床部付近における揚圧力係数(下流面水位も考慮した静水圧に対する揚圧力の比)は図-4.6に示すように0.2以下である。ただし、揚圧力が相対的に大きくかつ継目排水孔からの漏水が認められる孔があり、また継目排水孔からの漏水量が多いJ16～J18地点周辺のJ15～J21周辺のNo.28～No.40孔(図-4.7参照)では、継目排水孔からの漏水量と同様に12～1月に揚圧力が高まる傾向を示すことから、これらの孔については継続して計測を実施するのがよいと考えられる。



(c) 基礎排水孔からの排水量
 図-4.5 基礎排水量計測結果(Xダム)

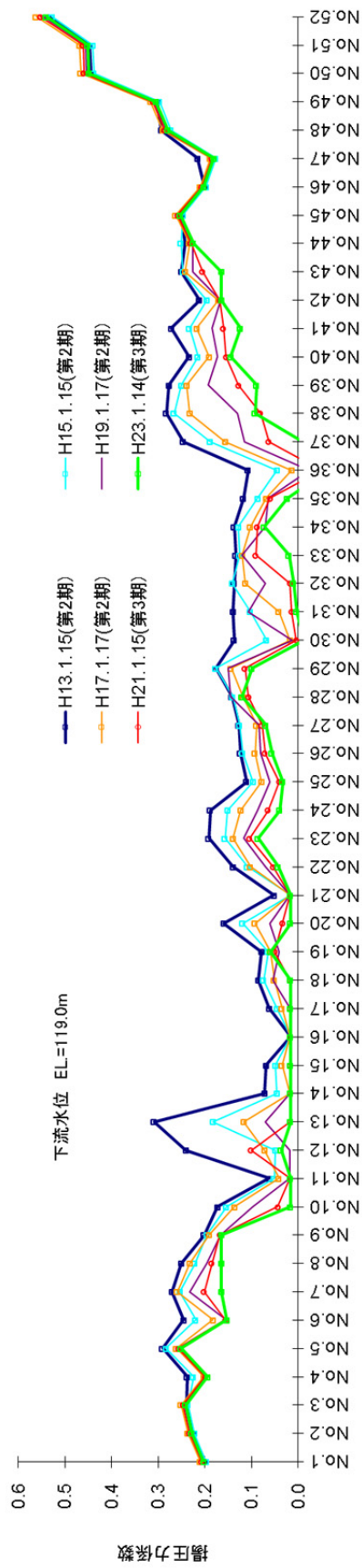
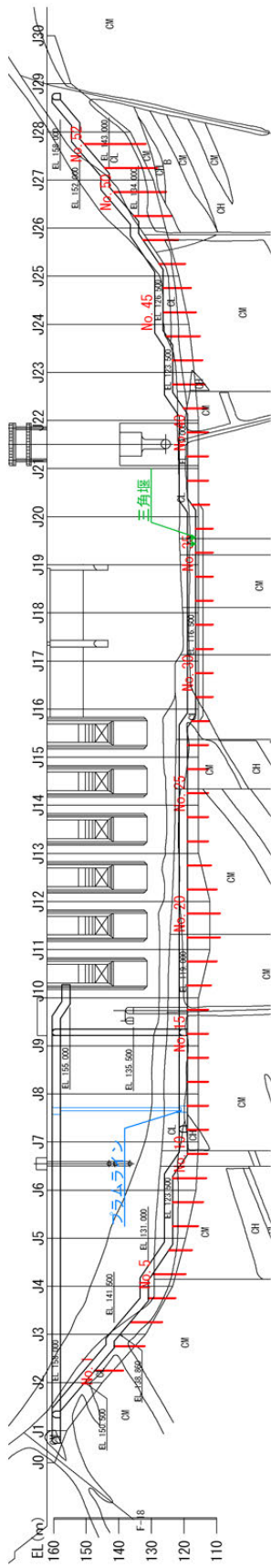


図-4.6 実測による揚圧力係数(Xダム)

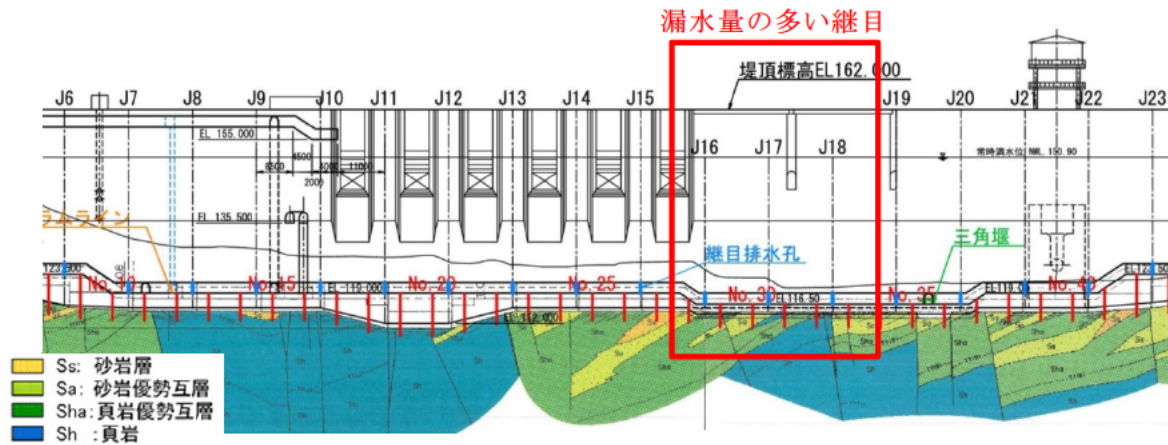


図-4.7 継目の位置(Xダム)

○大規模地震後の迅速な安全評価のために計測が必要と考えられる箇所

②-5：大規模地震後の迅速な安全性評価のための計測

Xダムの基礎排水量は、2003年の地震(ダム基礎部での最大加速度 12.9gal，地震計の位置は図-4.1 参照)の際に、No.43 孔で約 1L/min(約 2.5 倍)，No.23 孔で約 0.5L/min(約 1.5 倍)増加した。その量及び増加量とも少量であるが、将来的に大規模地震が発生した際にも迅速に安全性を確認するため、当該箇所を含め各ブロック 1 孔程度は長期的に計測を継続するのがよいと考えられる。

○基礎排水孔の孔別排水量と揚圧力の継続すべき箇所の検討結果

上記の②-1～②-5 に示した基礎排水孔の孔別排水量と揚圧力の計測継続箇所の考え方により抽出した結果を表-4.3 に示す。検討の結果、No6～No48 の区間で 1 ブロックに 2 箇所(検討前のまま)で 43 箇所、その他の区間は各ブロック 1 箇所で 4 箇所が計測を継続すべき箇所として選定された。

表-4.3 計測継続箇所の考え方による基礎排水孔の孔別排水量と揚圧力の計測を継続すべき箇所の検討結果(Xダム)

検討前	計測継続箇所の考え方による検討					検討結果
	分類	計測継続箇所の考え方において計測を継続すべき箇所等の考え方	適用条件	Xダムでの該当有無	Xダムでの状況	
基礎排水孔、ブルドン管圧力計J2箇所	ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所	②-1: 最大断面ブロック付近の基礎排水量と揚圧力	全てのダム	該当する	最大断面ブロックで基礎排水量と揚圧力の計測を実施	・基礎排水量及び揚圧力の基本計測データとして、検討前どおり計測を継続すべきものである。 ・基礎岩盤に地質的に注意すべき箇所(透水性の高い砂岩層など)があるため、②-1に加え、少なくとも当該箇所周辺のブルドン計のNo.6~No.48孔では計測を継続すべきと考えられる。
	基礎岩盤の条件によつては計測をすべきと考えられる箇所	②-2: 規模の大きな弱層(断層など)上の基礎排水孔を含むブロック	規模の大きな弱層(断層など)を基礎岩盤に有するダム	該当する(基礎岩盤に透水性の高い砂岩層の箇所がある)	全基礎排水孔 52 箇所で計測を実施しており、地質的に注意すべき箇所もカバーしている。	・基礎岩盤の変形性が極端に大きい箇所が想定されないことから、当該条件に着目した追加計測の必要性はないと考えられる。
	既往計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所	②-3: 基礎岩盤の変形性の差が極端に大きい箇所上の基礎排水孔を含むブロック	基礎岩盤の変形性の差が極端に大きい箇所を基礎岩盤に有するダム	該当しない(基礎岩盤の変形性が極端に大きい箇所は想定されない)	全基礎排水孔 52 箇所で計測を実施しているが、基礎岩盤の変形性の差に着目した箇所はない	・基礎排水量・揚圧力とも全体的に減少し、安定しているが、少なくとも相対的に値の大きい箇所は計測を継続するのがよいと考えられる。 ・継目排水量が多いJ16~J18地点周辺の孔では、継目排水量と同様に12~1月に揚圧力が高まる傾向を示す。
	大規模地震後の迅速な安全性評価のために計測が必要と考えられる箇所	②-4: 試験湛水時や過去の地震時などに注意を要する計測結果が得られたブロック	試験湛水時や地震時などに注意を要する計測結果が得られたブロックがあるダム	該当する(基礎排水量・揚圧力とも全体的には経年的に減少し、安定しているが、一部相対的に排水量が多い箇所がある)	全基礎排水孔 52 箇所で計測を実施	・これまでの地震時に No23 孔と No44 孔の基礎排水量が增加しており、今後とも当該箇所を含め、各ブロック 1 箇所程度は、計測を継続して実施するのがよいと考えられる。
		②-5: 大規模地震後の迅速な安全性評価のための計測	全てのダム	該当する	全基礎排水孔 52 箇所(各ブロック 2 箇所)で計測を実施	

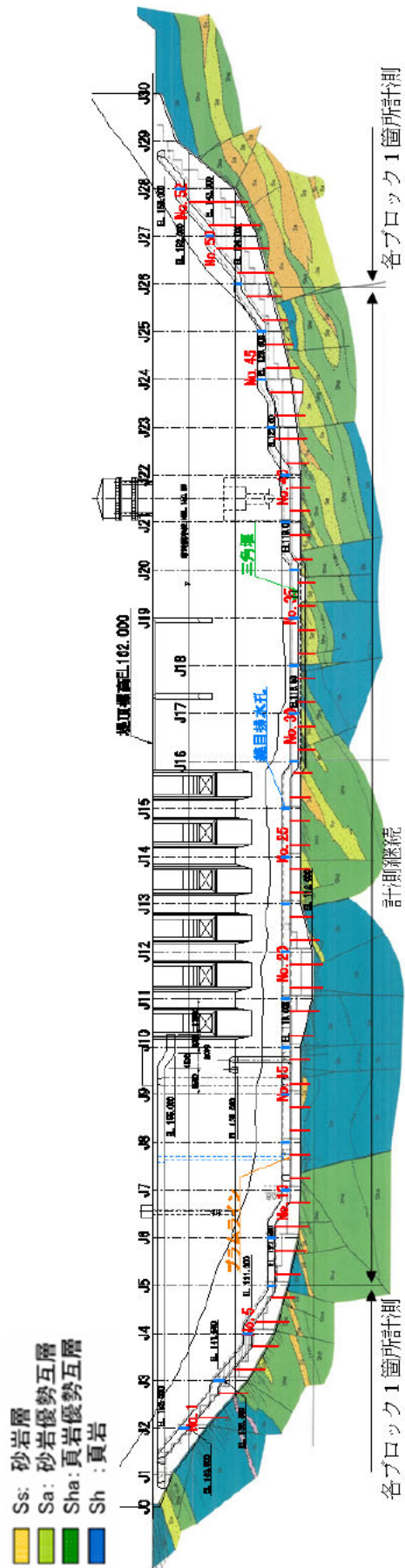


図-4.8 基礎排水孔の孔別排水量と揚圧力の計測を継続すべき箇所の検討結果(Xダム)

③継目排水孔からの孔別漏水量の計測

X ダムの継目排水孔からの孔別漏水量の計測について計測継続箇所の考え方によって検討を行った。

○ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所

③-1：ダム縦断方向における地形の急変点付近の継目排水孔

X ダムは、図-4.1 に示すように、ダム縦断方向における地形(掘削面)の急変箇所はない。このため、X ダムでは、ダム縦断方向における地形の急変点付近の継目排水孔の観点からの計測を行う必要性は低いと考えられる。

○既往計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所

③-2：試験湛水時や地震時に漏水量が多くなった継目排水孔

X ダムでは、各横継目に対応する位置で継目排水孔からの漏水量が計測されている。各孔からの漏水量は全般的に減少傾向を示し、最も多い孔でも最大約 3L/min 以下であり、安定している。また、継目排水孔からの漏水量の年間変動としては、図-4.9 や本資料では省略しているが、貯水位と漏水量、外気温と漏水量等の相関図より貯水位や外気温との相関がみられ、図-4.7 に示す J-16～J-18 は、12～1 月に継目排水量が多くなる。ただし、J-18 は第 2 期に比べて排水量が増大する場合がある。また、2003 年に発生した地震(基礎部での最大加速度 12.9gal)時には J-10, J-12, J-15, J-16, J-17, J-18, J-19, J-21 の横継目からの漏水量が増加している。当該箇所での漏水量はその後減少・安定しているものの、再度の地震の際に再び変化が見られる可能性もあることから、これらの箇所については計測を継続するのがよいと考えられる。

○継目排水孔からの孔別漏水量の計測の継続すべき箇所の検討結果

上記の③-1 に示した、継目排水孔からの孔別漏水量の X ダムでの継目排水孔からの孔別漏水量を継続して計測すべき箇所として抽出される箇所を表-4.4 に示す。検討の結果、地震時等に漏水量が増大する傾向があった横継目排水孔 J-10, J-12, J-15, J-16, J-17, J-18, J-19, J-21 の 8 箇所が計測すべき箇所として選定される。

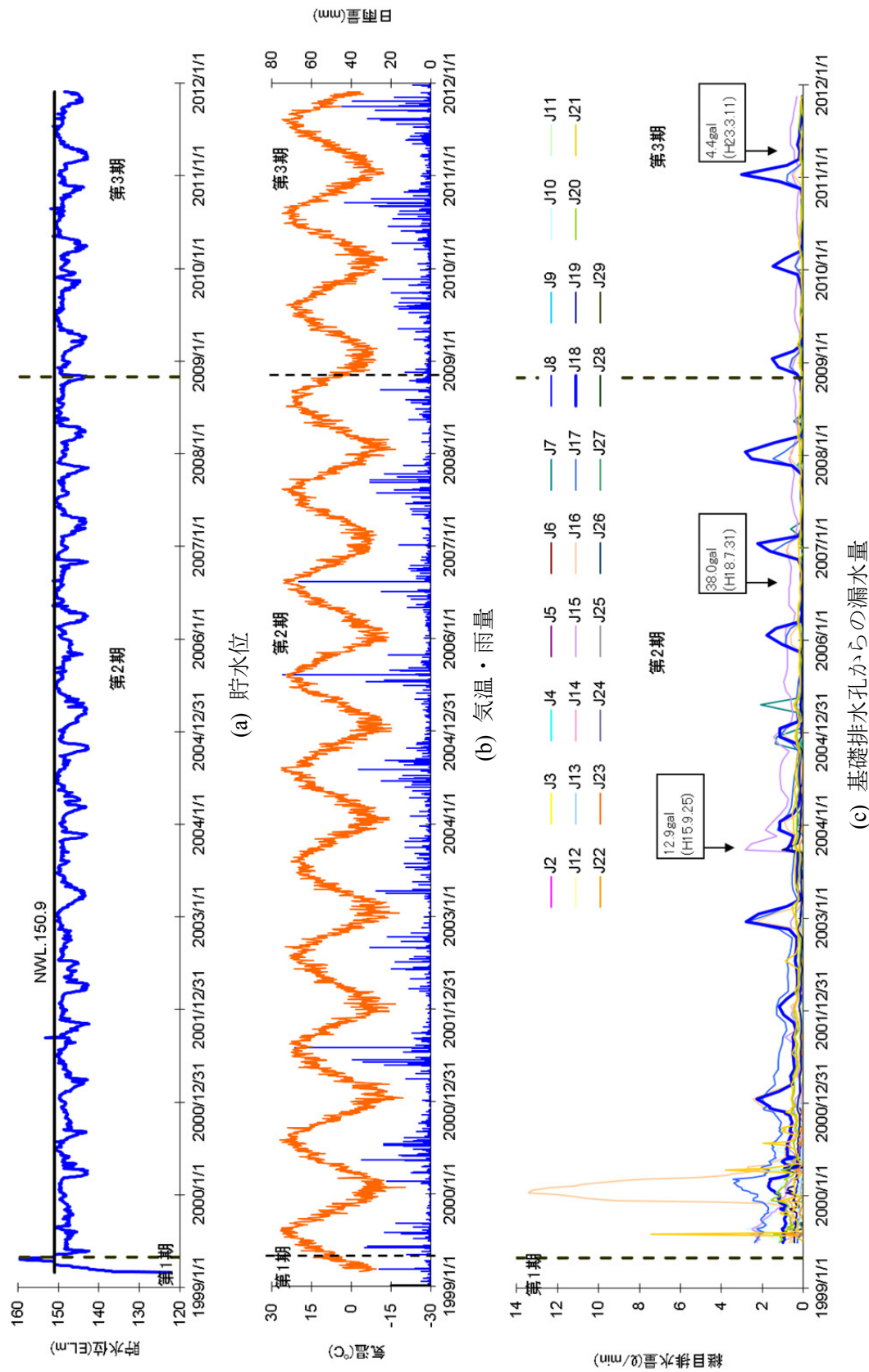


図-4.9 継目排水孔からの漏水流量計測結果(Xダム)

④変位計測器(プラムライン等)による変位の計測

Xダムの変位計測器(プラムライン等)による変位の計測について計測継続箇所の考え方について検討を行った。

○ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所

④-1：プラムラインによる変形(たわみ量)計測を実施している箇所

堤体変位は、ダム天端と基礎部の相対変位量が大きく検知が容易な最大断面付近にて計測することが望ましい。しかし、Xダムでは最大断面は越流部となっており、プラムラインを設けることが困難なため、非越流ブロックの最大断面にプラムラインを設置し、堤体変位の計測が行われている。プラムラインで計測された変位量のデータは、図-4.11や本資料では省略しているが、貯水位と漏水量、外気温と漏水量等の相関図より主に貯水位や外気温と相関を有する弾性的な年間変動を示しており、経年的な変位振幅の増大も認められない。このような計測データの安定性を踏まえ、またダムの変状は最終的には堤体の変位に現れると考えられることを考慮し、Xダムのように堤体にプラムラインが設置されているダムでは、プラムラインによる堤体変位の計測を基本計測項目の1つとして長期的に継続していくべきものと考えられる。

なお、図-4.11に示すXダムにおけるプラムラインでの計測データを詳細に見ると、経年的に上流及び右岸側にわずかながらシフトする傾向が見られる。これが計器の老朽化によるものかダムの挙動を捉えたものかは不明であるが、長期的なダムの挙動や異状の有無を判断する上でこのような疑問点が生じた場合、その原因を突き止めるため、必要に応じ他の計測手法による計測を併用することが考えられる。

○必要に応じて計測が必要と考えられる箇所

④-2：各ブロックでのGPS等による変位計測

Xダムでは、工事誌等設計・施工に関する記録及び供用開始後の安全管理における計測データから、長期的に堤体の変位を監視すべき要因となる未改良の地質的弱部や変状の発生履歴は見られない。よって、堤体変位の計測は、基本的なプラムライン計測の継続によることでよいものと考えられる。

○変形計測を継続すべき箇所の検討結果

Xダムでの変形計測を継続すべきとして抽出される箇所を表-4.5に示す。同表に示す検討から、検討前のままプラムラインによる計測を継続すべきと考えられる。

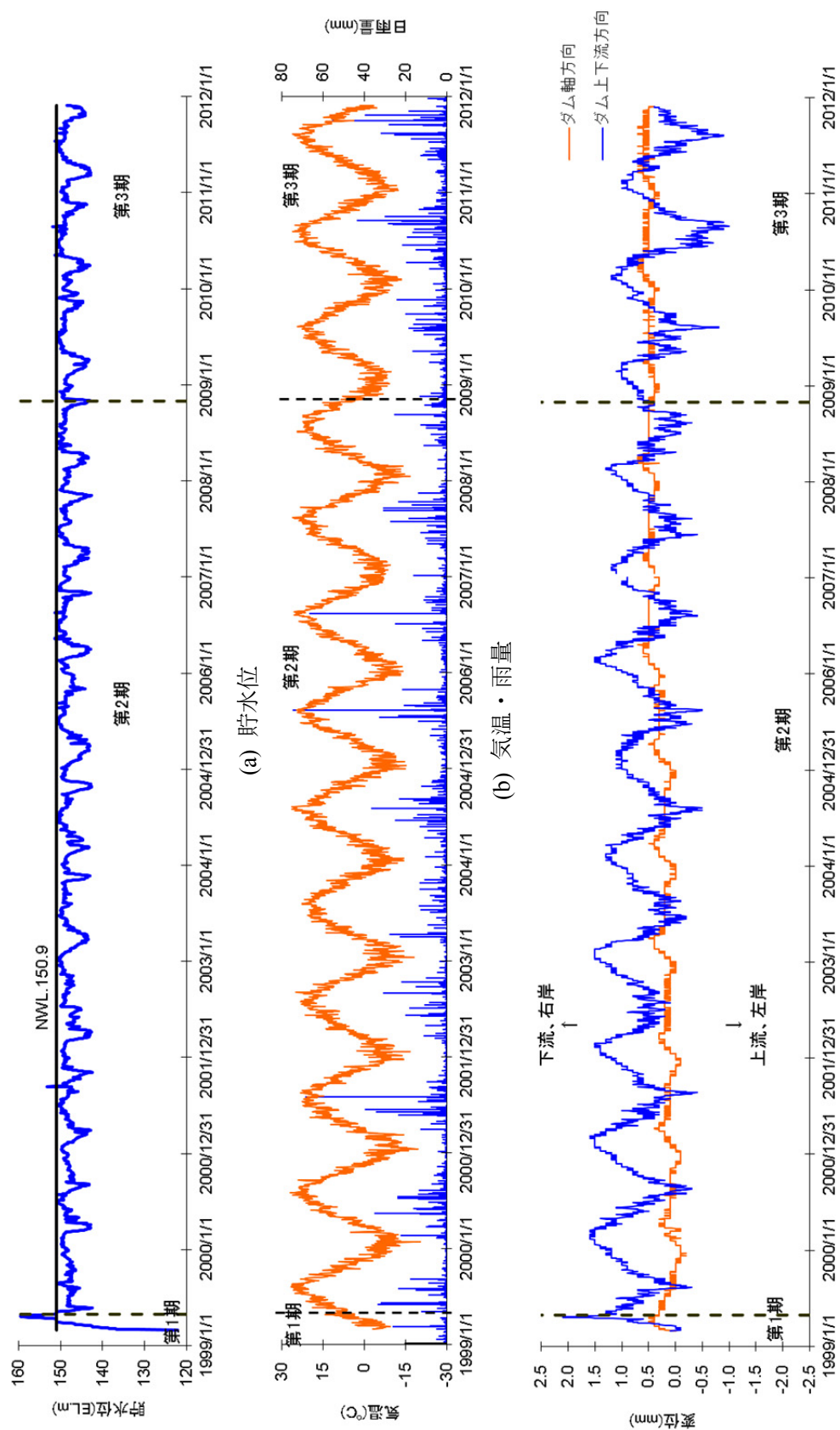


表-4.5 計測継続箇所を考え方による変形の測を継続すべき箇所の検討結果(Xダム)

検討前	計測継続箇所の考え方による検討				検討結果
	分類	計測継続箇所を考え方において計測を継続すべき箇所等の考え方	適用条件	Xダムでの該当有無	
プラムライン 洪水吐左岸側の1 箇所。	構 造 上 に 適 した 箇 所	④-1: プラムラインによる変形 (たわみ量)計測を実施し ている箇所	最大断面付近の ブロック(基本) でのプラムライ ンによる変形 (たわみ量)計測	該当する	洪水吐左岸側の1箇所。
			④-2: 各ブロックでのGPS等による変位計測	各ブロックでの GPS等による変 位計測	
					備考
					<ul style="list-style-type: none"> 基本計測項目として、引き続き計測を継続すべきものである。ただし、経年的な上流及び右岸側へのシフトについては原因調査が望ましい。 現在のプラムラインでただちに追加計測を要する特段の状況は認められない。

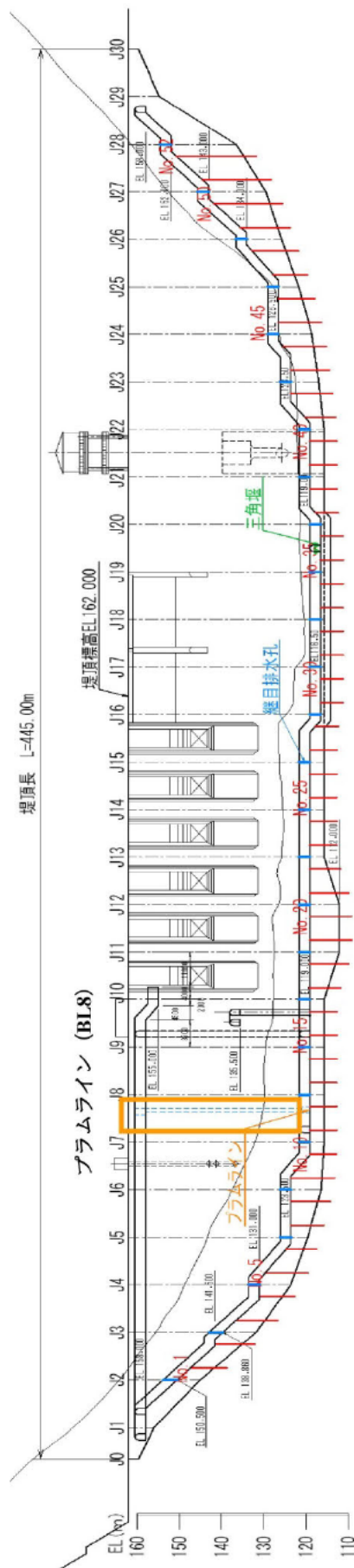


図-4.12 変位計測器(プラムライン等)による変位の計測を継続すべき箇所の検討結果(Xダム)

4.3 供用開始当初から計測項目・箇所が限定されているダム

対象としたダムは、1956年に完成した堤高112m、堤頂長267m、堤体積468,000m³の重力式コンクリートダム(以下、Yダム)である。

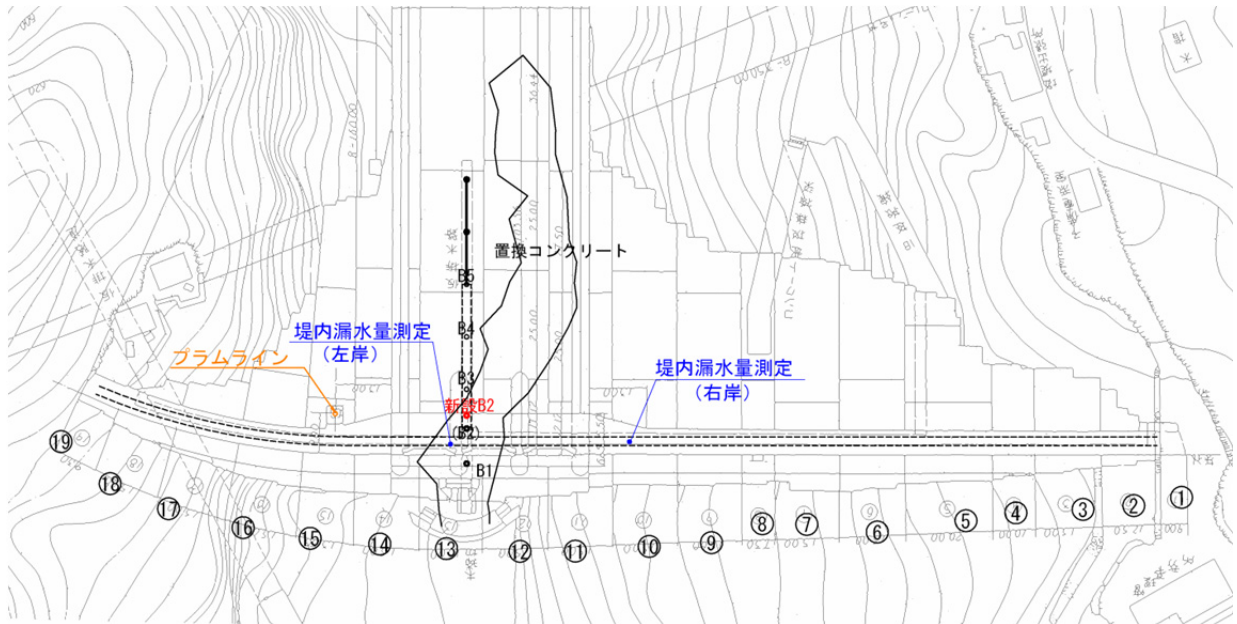
Yダムの堤体計測設備一覧を表-4.6に、堤体計測設備の配置を図-4.13にそれぞれ示す。Yダムにおける計測は、漏水量は右岸と左岸の計測2箇所、基礎排水孔による基礎排水量と揚圧力計測は最大断面付近の基礎2箇所、継目排水孔からの漏水量の計測は実施されておらず、変形はプラムラインによる堤体の変形計測が1箇所で行われている。Yダムは、基礎排水孔を用いた排水量及び揚圧力の計測を行うことができる箇所が1箇所と、近年建設された重力式コンクリートダムに比べ、基礎排水孔を用いた排水量の計測や揚圧力の計測が非常に少ないのが特徴である。また、Yダムは表-2.2に示す管理の期間の区分が決められる前に建設されたダムであるが、現在は第3期相当の運用を行っている。

表-4.6 Yダムの堤体計測状況

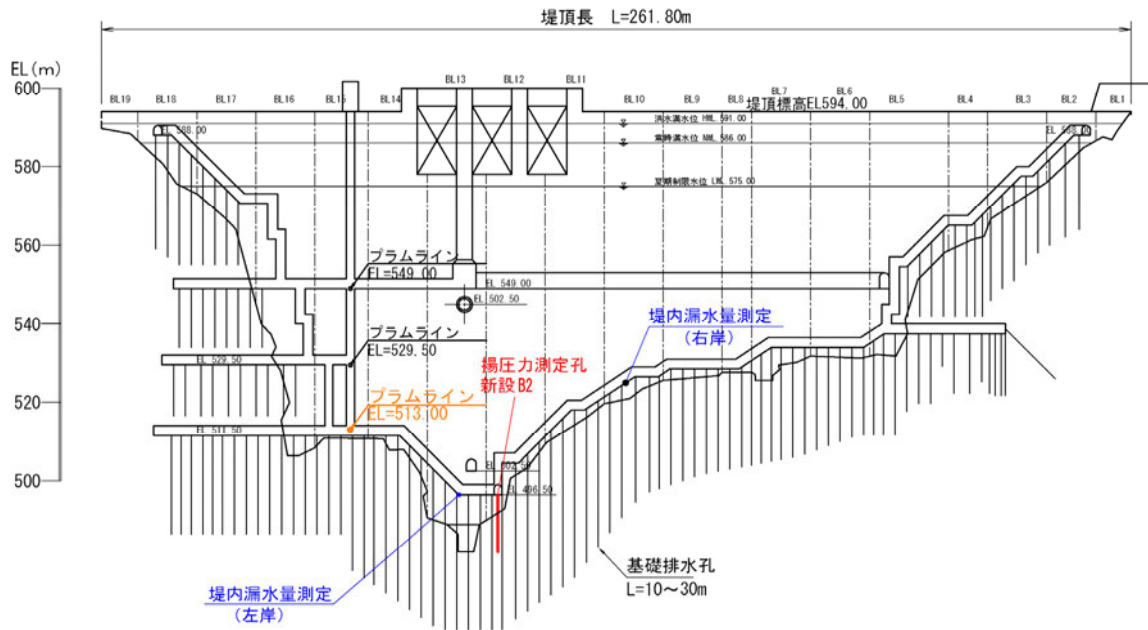
項目	計測設備	計測箇所	観測方法
①漏水量計(三角堰等)による漏水量の計測	三角堰	右岸：1箇所 左岸：1箇所	自動計測
②基礎排水孔による孔別排水量と揚圧力の計測	基礎排水孔, (排水量,ブルドン管 圧力計)	最大断面付近基礎：1箇所	手動計測
③継目排水孔からの孔別漏水量の計測	継目排水孔 (排水量,ブルドン管 圧力計)	計測箇所なし	計測箇所なし
④変位計測器(プラムライン等)による変位の計測	プラムライン	エレベーターシャフト付近：1 箇所	自動計測

左岸

右岸



(a) 平面図



(b) 上流面図

図-4.13 Yダムの堤体計測設備の配置(上流面図)

①漏水量計(三角堰等)による漏水量の計測

Y ダムの漏水量の計測について「計測継続箇所の考え方」に従って検討を行った。

○ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所

①-1：全漏水量の計測

Y ダムでは、検討前で全漏水量の計測が行われている。全漏水量の計測は、ダムの漏水量計測に関する最も基本的データである。ただし、Y ダムでは後述する図-4.14 に示すように、供用開始後現在までの連続した計測データが得られていない。このため、得られているデータの範囲での分析となるが、Y ダムにおいて三角堰で計測されている全漏水量は経年的に減少傾向で安定しており、ダムの挙動が安定した後の全漏水量は計 20L/min 程度と少量である。

①-2：左右岸の漏水量の分離

Y ダムでは当初は監査廊最低部において、図-4.14(c)漏水量計測結果の堤体内漏水量として計測を実施していたが、2005 年以降は図-4.13 に示すように堤体内の左岸と右岸で計測を行っている。仮に漏水量の計測箇所を 1 箇所(全漏水量のみ)とした場合には、堤高が高い上、基礎監査廊は延長が長くかつ急勾配であること、また各ブロック孔別の基礎排水量等の計測が行われていないことから、全漏水量が増加した場合には目視により異状箇所の特定を行う必要が生じ、時間を要することになる。「計測継続箇所の考え方」では、左右岸別漏水量の分離計測を継続して行うべき場合として堤頂長が長い場合のみを挙げているが、Y ダムのような条件のダムでは、漏水量をその集水域を区分して計測することの有効性が大きいと考えられる。

①-3：高標高部と低標高部で漏水量の分離

Y ダムは、堤高が 112m と比較的高いダムではあるが、基礎岩盤の地形が非対称で左岸側が急峻、右岸側は比較的緩勾配となっており、基礎岩盤の範囲が広い。また、右岸側のみ中標高部で漏水量の計測を行い、高標高部と低標高部の漏水を分離して把握しており、今後とも継続すべきと考えられる。

①-4：地山漏水と堤体漏水の分離

Y ダムでは、基礎処理のために左右岸地山内にグラウトトンネルが掘削されており、当該トンネル部からの地山漏水は、堤体漏水と合流する構造になっている。このため、三角堰で計測される漏水量には、降雨等の影響を強く受ける可能性のある地山漏水の影響が含まれていることになる。また、建設時の調査では特に右岸アバット部は、空洞性亀裂が分布し、相対的に透水性が高い可能性がある。このため、ダム堤体や基礎岩盤の安定性を評価する上では、堤体漏水と地山漏水を分離して計測したほうが良いと考えられる。Y ダムの場合、地山漏水と堤体漏水を分離して計測するには、例えばグラウトトンネルと基礎監査廊の接続部に三角堰を増設することにより、

堤体漏水(河床), 堤体漏水(右岸), 地山漏水(左岸), 地山漏水(右岸)の4系統とすることが考えられる。

○既往の計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所

①-5: 既往の計測結果からの検討

Yダムにおけるダムの挙動が安定した後の近年の漏水量計測データを左右岸側で比較すると、図-4.14に示すように両者で貯水位との相関が異なっており、右岸側漏水量は貯水位との相関が比較的高いが左岸側漏水量では明確でない。非対称な地形条件が一因とも考えられるが、このように明らかに左右岸で変動傾向が異なる場合は、分離しての計測がよいと考えられる。

○漏水量(区間計測)の継続すべき箇所の検討結果

上記の①-1～①-5に示した漏水量計(三角堰等)による漏水量の「計測継続箇所の考え方」により検討した結果を表-4.7に示す。同表に示す検討から、河床部の三角堰2箇所(左岸, 右岸)を継続し、加えて地山漏水(左岸), 地山漏水(右岸)の4系統で計測を行うことが望ましいと考えられる。

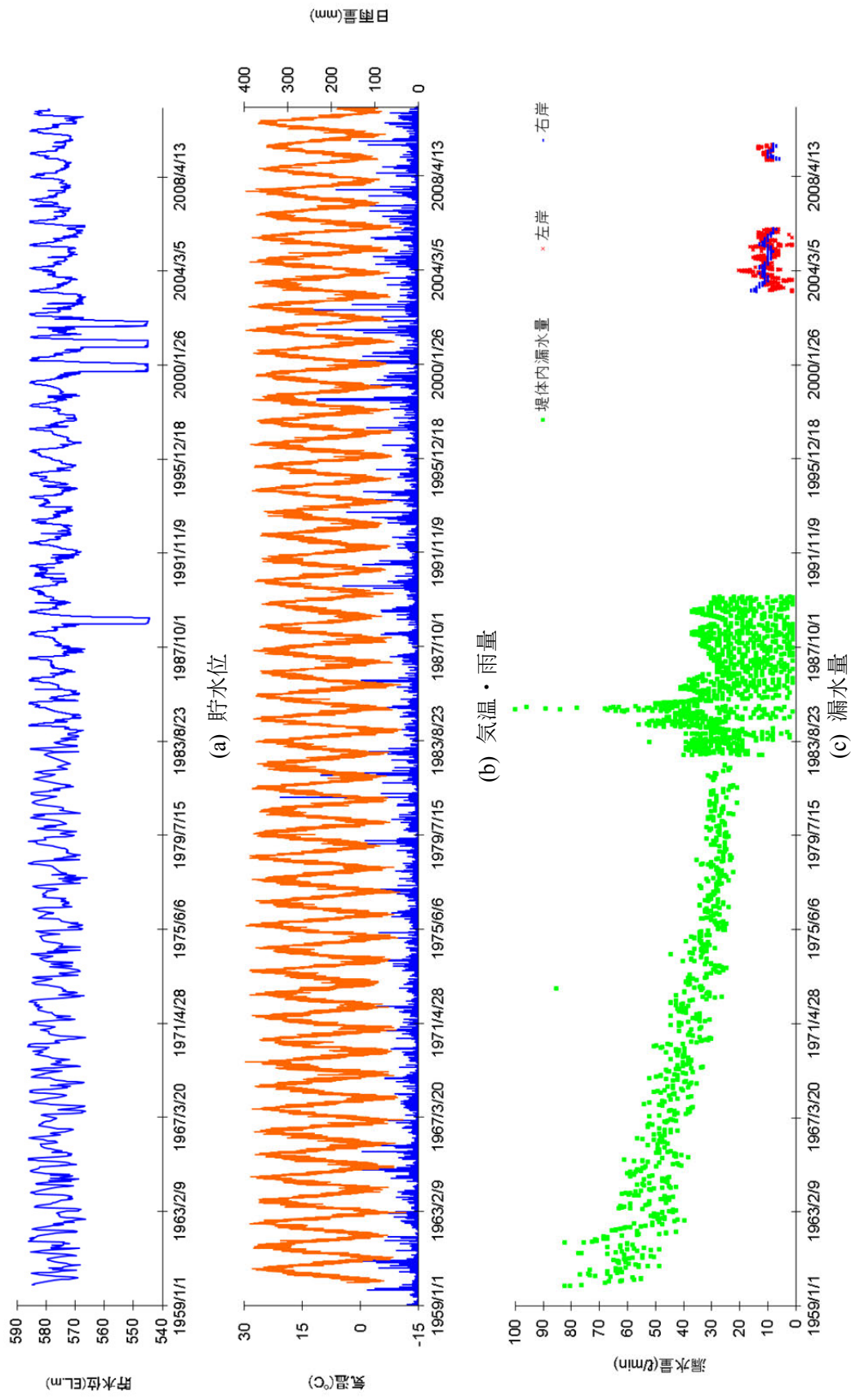


図-4.14 漏水量計測結果(Yダム)

表-4.7 「計測継続箇所」による漏水量計(三角堰等)による漏水量の計測を継続すべき箇所の検討結果(Yダム)

検討前	「計測継続箇所の考え方」による検討					検討結果	
	分類	「計測継続箇所の考え方」において計測を継続すべき箇所等の考え方	適用条件	Yダムでの該当有無	Yダムでの状況		検討概要
右岸：1箇所 左岸：1箇所	構造上の計測が必要と考えられる箇所	①-1：全漏水量の計測	すべてのダム	該当する	全漏水量の計測を実施。	・漏水量の基本計測データとして、検討前どおり計測を継続すべきものである。 ・堤頂長はさほど長くないが、堤高が高く、基礎岩盤の範囲が比較的広いいため、今後とも検討前通り左右岸を分離して計測を継続することがよいと考えられる。	堤体漏水(河床)、 堤体漏水(右岸)、 地山漏水(左岸)、 地山漏水(右岸)の 4系統 図-4.15 参照
		①-2：左右岸の漏水量の分離	堤頂長が長いダム	該当しない (堤頂長261m, 計19ブロック)	左右岸を分離して計測を実施。	・堤高が高いこと、特に右岸側は左岸に比べ傾斜が緩く基礎岩盤範囲が広いことから、右岸側中標高部での計測は継続して行うがよいと考えられる。	
		①-3：高標高部と低標高部で漏水量の分離	堤高の高いダム	該当する (堤高が112m)	右岸側では、中標高部で漏水量計測を実施することで、高標高部と低標高部の漏水量を分離計測している。	・左右岸のグラウトトンネルからの地山漏水の影響が大きき可能性があるため、左岸・右岸とも地山漏水を分離して計測するのがよいと考えられる。	
		①-4：地山漏水と堤体漏水の分離	地山からの漏水の影響が大きいダム	該当する	左右岸とも基礎監査廊に接続するグラウトトンネルを通じて地山漏水が基礎監査廊に流入するものと考えられるが、地山漏水量と堤体漏水量を分離して計測していない。	・Yダムでは基礎排水孔、継目排水孔での計測は河床部で行われていないため、必要に応じ追加計測を行うのがよいと考えられる。	
		①-5：既往の計測結果からの検討	既往管理記録等から追加の計測が必要と考えられる箇所があるダム	—	—	—	

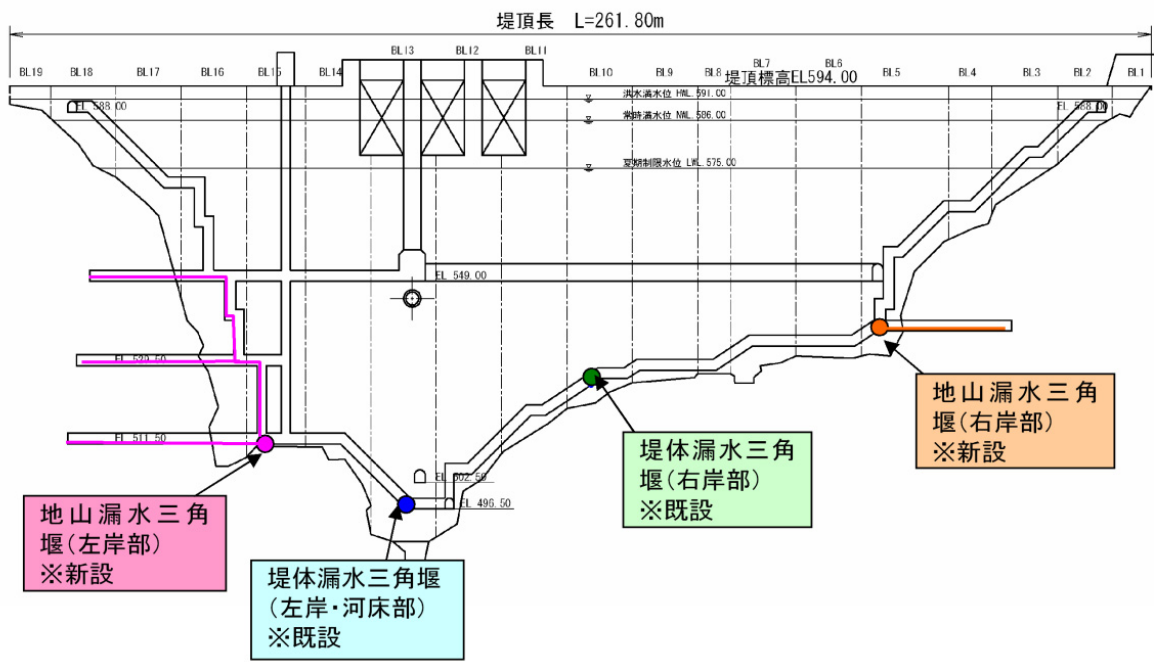


図-4.15 漏水量計(三角堰等)による漏水量の計測を継続すべき箇所の検討結果(Yダム)

②基礎排水孔による孔別排水量と揚圧力の計測

Yダム基礎排水孔による孔別排水量と揚圧力の計測について「計測継続箇所の考え方」に従って検討を行った。

○ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所

②-1：最大断面ブロック付近の基礎排水量と揚圧力

Yダムでの揚圧力計測箇所を図-4.13内に示す。計測位置は(a)平面図に示す⑬ブロックで計測を行っている。また、揚圧力の計測は、図-4.16に示すように当初は最大断面付近のクロスギャラリーのB1、B3、B4、B5の4箇所にて揚圧力計測を実施していた。B1は図-4.16に示すようにグラウチングラインより上流側の揚圧力の計測をおこなっている。計測は、1983年頃までは計測を実施していたが、それ以降は計測を行っておらず、2004年に新B2の箇所に新たに1孔削孔を行い、計測を実施している。新設孔での計測データは、経年的に減少かつ安定傾向にある。このため、特段注意すべき傾向は認められないが、当該箇所は、基礎排水量や揚圧力の計測を継続して実施すべき箇所であり長期的に計測を継続すべき箇所である。同様にクロスギャラリーの揚圧力計測についても計測を再開し、継続的に計測を実施することが望ましい。

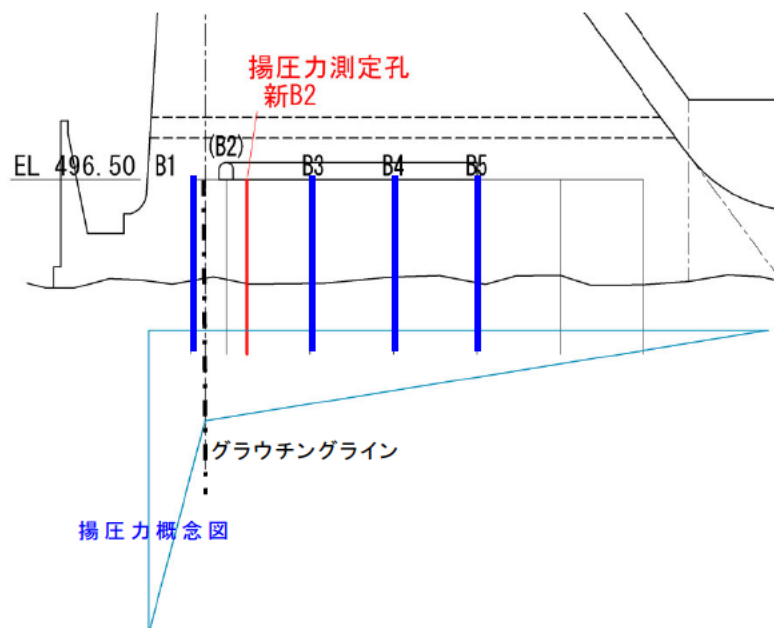


図-4.16 揚圧力計測箇所(Yダム)

②-2：規模の大きな弱層(断層など)上の基礎排水孔を含むブロック

及び

②-3：基礎岩盤の変形性の差が極端に大きい箇所上の基礎排水孔を含むブロック

建設年が古く、供用開始後の経過年数が長い Y ダムでは、基礎岩盤に関する具体的な情報が限られている。基礎岩盤の地質や変形性等の観点から計測を継続していることが明らかな箇所はない。しかし、工事誌によると、湛水開始後に貯水位が EL.565m に達したとき、右岸側(5BL)下流より 10~15L/sec の湧水が認められたことから、監査廊及び右岸グラウトトンネルからのグラウチングが実施されている。その結果、漏水は減少しなかったが水質調査等により、堤体下方からの浸透水である可能性は小さいと評価されている。また、左岸側の仮排水トンネル閉塞部下流側から少量の温水の湧出が認められたが、ダムの水和熱とは無関係であると確認されている。

このため、検討前で「計測継続箇所の考え方」に基づき追加計測箇所として挙げられる箇所はないが、上記のような建設時の記録も踏まえ、将来的に巡視や大規模地震時等の点検において漏水量や揚圧力の異状が認められる箇所が生じ、かつその位置等から地質条件との関連が推定された場合には、必要に応じ箇所を追加することも考えられる。

②-4 既往計測データから注意すべきと考えられる箇所での計測

Y ダムでは、基礎排水孔を用いた揚圧力計測は図-4.17 に示すように最大断面基礎部 1 箇所以外の計測は実施されていない。他の基礎排水孔は目詰まりしている可能性もあるため、確実にダムに作用する揚圧力を低減させる上で、作用する揚圧力が大きいと考えられる河床部付近のブロックに 1 ブロックあたり 1 箇所程度の揚圧力計測を行うなど、計測箇所の追加または復旧の必要性について検討することも必要と考えられる。ただし、仮に閉塞している基礎排水孔を再削孔したり新規に削孔する場合には、基礎岩盤内の浸透流を集中させるような地質的弱部が推定されないかを既往資料により確認したり、過大な排水や土粒子の排出がないかを試験削孔により確認するなど十分な注意が必要と考えられる。

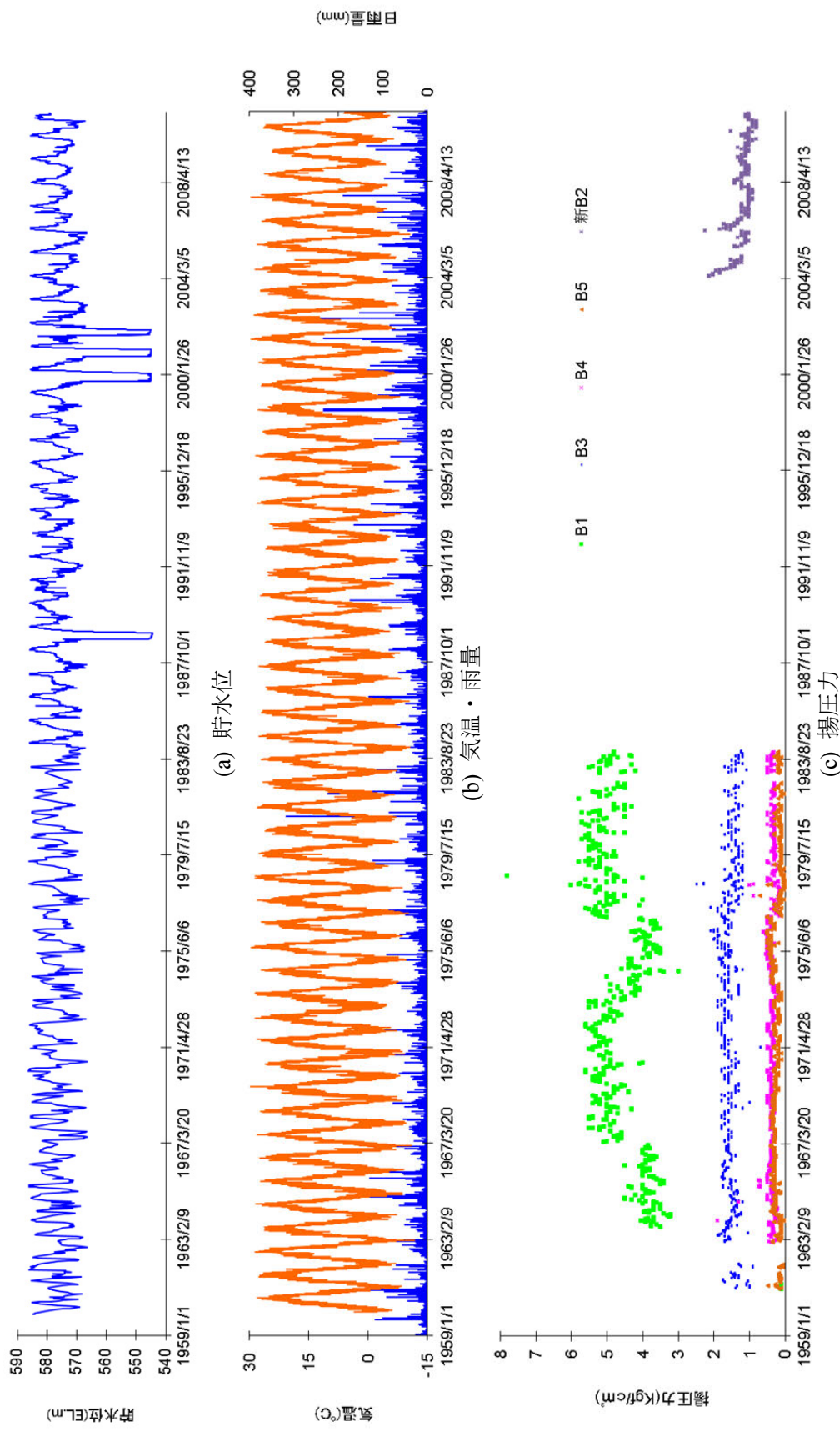


図-4.17 揚圧力計測結果(Yダム)

②-5：大規模地震後の迅速な安全性評価のための計測

Yダムでは、既往地震のうち2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、ダム基礎部での加速度が29.7galと比較的小さい値であったが、既設の最大断面基礎部の揚圧力は $1.02\text{kgf/cm}^2(0.10\text{MPa})$ から $1.12\text{kgf/cm}^2(0.11\text{MPa})$ と僅かながら増加した。大規模地震に向けてはさらに大きな揚圧力の変化が想定されることから、より安全側を考慮すれば、「計測継続箇所の考え方」に示されているとおり、河床部断面の各ブロックには基礎排水孔を1孔程度配置することが望ましい。ただし、この場合も、②-4同様、閉塞している基礎排水孔を再削孔したり新規に削孔する場合には十分な注意が必要と考えられる。

○基礎排水孔の孔別排水量と揚圧力の継続すべき箇所の検討結果

上記の②-1～②-5に示した基礎排水孔の孔別排水量と揚圧力の「計測継続箇所の考え方」により抽出した結果を表-4.8に示す。同表に示す検討から、河床部BL6～BL15の各ブロックに1箇所の基礎排水孔及び揚圧力計を設置するとともに、カーテングラウトより上流にあるB1を除いて、現有箇所(新B2)に加えて、クロスギャラリーのB3、B4、B5地点においても計測を行うことが考えられる。

表-4.8 「計測継続箇所」による基礎排水孔の孔別排水量と揚圧力の計測を継続すべき箇所の検討結果(Yダム)

検討前	「計測継続箇所の考え方」による検討					検討結果
	分類	「計測継続箇所の考え方」において計測を継続すべき箇所等の考え方	適用条件	Yダムでの該当有無	Yダムでの状況	
最大断面付近 基礎：1箇所	ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所	②-1： 最大断面ブロック付近の基礎排水量と揚圧力	全てのダム	該当する	最大断面基礎部1箇所で計測を実施	<ul style="list-style-type: none"> 基礎排水量及び揚圧力の基本計測データとして、検討前どおり計測を継続すべきものである。
	基礎岩盤の条件によっては計測をすべきと考えられる箇所	②-2： 規模の大きな弱層(断層など)上の基礎排水孔を含むブロック	規模の大きな弱層(断層など)を有するダム	該当なし	最大断面基礎部1箇所で計測を実施	<ul style="list-style-type: none"> 基礎岩盤の地質的に注意を要する箇所はないため、この観点からの計測箇所の追加する必要性は低い。
			基礎岩盤の変形性の差が極端に大きい箇所を有するダム	該当なし	最大断面基礎部1箇所で計測を実施	<ul style="list-style-type: none"> 基礎岩盤の変形性が極端に大きい箇所が想定されないことから、当該条件に着目した追加計測の必要性はないと考えられる。
			試験湛水時や地震時に注意を要する計測結果が得られたブロック	該当あり (クロスギャラリーの下流側に揚圧力が上流側より高い箇所あり)	最大断面基礎部1箇所で計測を実施	<ul style="list-style-type: none"> 河床部揚圧力の確実な低下等のため、基礎排水孔を設置(再削孔)し、追加計測することが考えられる。
	大規模地震後の迅速な安全性評価のために計測が必要と考えられる箇所	②-5： 大規模地震後の迅速な安全性評価のための計測	全てのダム	該当する	最大断面基礎部1箇所で計測を実施	<ul style="list-style-type: none"> 河床部ブロックに各1箇所程度基礎排水孔を設置(再掘削)し、追加計測することが考えられる

河床部 BL6~BL15 の各ブロックに1箇所の基礎排水孔及び揚圧力計を設置
(図-4.18 参照)
現有箇所(新B2)に加えて、クロスギャラリーの B3, B4, B5 地点にて計測
(図-4.19 参照)

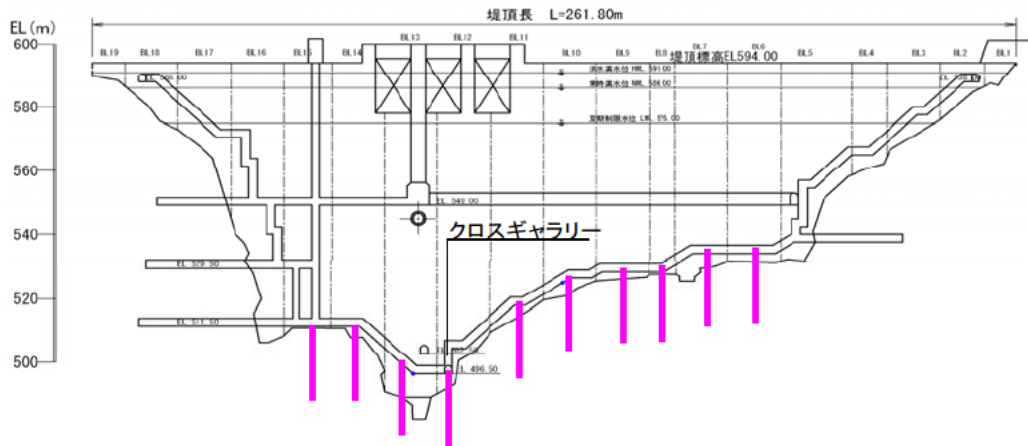


図-4.18 基礎排水孔の孔別排水量と揚圧力の計測を継続すべき箇所の検討結果(Y ダム)

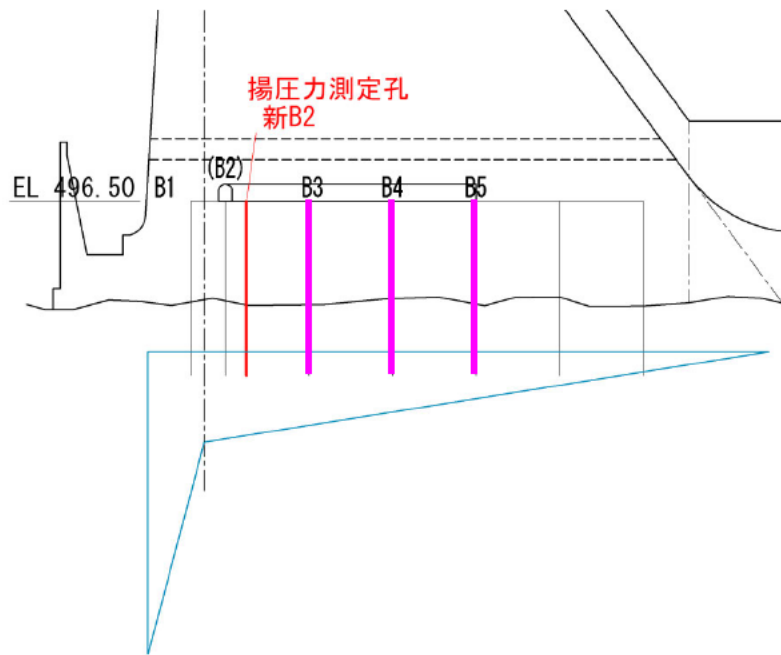


図-4.19 基礎排水孔の孔別排水量と揚圧力の計測を継続すべき箇所の検討結果(Y ダム)
(クロスギャラリー)

③継目排水孔からの孔別漏水量の計測

Yダムの継目排水孔からの孔別漏水量の計測について「計測継続箇所の考え方」に従って検討を行った。

○ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所

③-1：ダム縦断方向における地形の急変点付近の継目排水孔及び

○既往計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所

③-2：試験湛水時や地震時に漏水量が多くなった継目排水孔

Yダムは、図-4.20に示すように、左右岸のBL5およびBL16がダム縦断方向における地形(掘削面)の急変点付近の上に設置されている。しかし、Yダムでは、これまで継目排水孔での漏水量計測は実施されていない。これまでの巡視、地震時点検等においても注意すべき継目漏水は認められていないことから、新たに継目排水孔の継続的な計測は実施せず、巡視による確認及び左右岸等の漏水量観測で代替することが現実的と考えられる。また、将来的に巡視や大規模地震時等の点検において継目漏水の増加が認められる箇所が生じた場合には、必要に応じ計測装置を設置し、追加的な計測を継続的に行っていくことが考えられる。

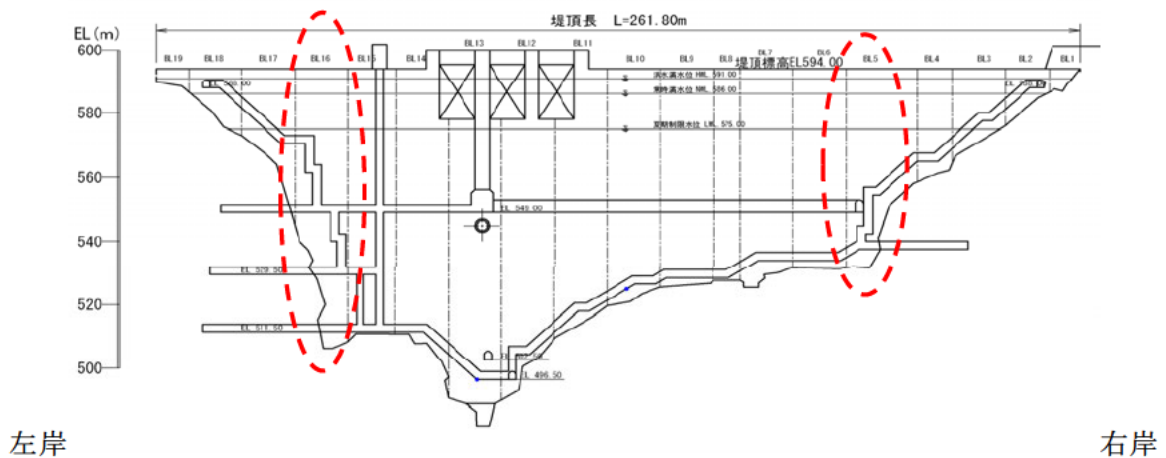


図-4.20 Yダムの地形の急変点にあるブロック

○継目排水孔からの孔別漏水量の継続すべき箇所の検討結果

上記の③-1～③-2に示した、継目排水孔からの孔別漏水量のYダムでの継目排水孔からの孔別漏水量を継続して計測すべき箇所として抽出される箇所を表-4.9に示す。

表-4.9 「計測継続箇所」による継目排水孔からの孔別漏水量の計測を継続すべき箇所の検討結果(Yダム)

検討前	「計測継続箇所の考え方」による検討					検討結果
	分類	「計測継続箇所の考え方」において計測を継続すべき箇所等の考え方	適用条件	Yダムでの該当有無	Xダムでの状況	
計測箇所なし	ダムの構造上計測が必要と考えられる箇所	③-1: ダム縦断方向における地形の急変点付近の継目排水孔	ダム縦断方向における地形(掘削面)の急変箇所のあるダム	該当する	築堤当初から計測を実施していないが、巡視により過去に注意すべき継目漏水は認められない。(巡視や地震後の有無の確認がよいと考えられる。)	継続計測箇所なし
	既往計測結果を踏まえて計測が必要と考えられる箇所	③-2: 試験湛水時や地震時に排水量が多くなった継目排水孔	試験湛水や地震時などに注意を要する計測結果が得られた横目のあるダム	該当なし		

④変位計測器(プラムライン等)による変位の計測

Yダムの変位計測器(プラムライン等)による変位の計測について「計測継続箇所の考え方」に従って検討を行った。

④-1：プラムラインによる変形(たわみ量)計測を実施している箇所

堤体変位は、ダム天端と基礎部の相対変位量が大きく検知が容易な最大断面付近にて計測することが望ましい。しかし、Yダムでは最大断面は越流部となっており、プラムラインを設けることが困難なため、非越流ブロックの最大断面にプラムラインを設置し、堤体変位の計測が行われている。プラムラインの計測は、図-4.13(b)に示す、EL.513.0m, EL.529.5m, EL.549.0mの3標高で計測を行っている。変位計測結果を図-4.21に示す。計測は当初はダム上下流方向のみであったが、1990年からダム軸方向の計測を行った。2008年からはEL.513.0mのみでダム上下流方向、ダム軸方向の計測を行っている。

検討前ではプラムラインで計測された変位量のデータは、主に貯水位や外気温と相関を有する弾性的な年間変動を示している。なお、一時期計測が中断した期間(1984年-1989年)があり、前後のデータが不連続になってはいるものの、近年の計測データから経年的な変位振幅の増大も認められない。このような計測データの安定性を踏まえ、またダムの変状は最終的には堤体の変位に現れると考えられることを考慮し、Yダムのように堤体にプラムラインが設置されているダムでは、プラムラインによる堤体変位の計測を基本計測項目の1つとして長期的に継続していくべきものと考えられる。

④-2：各ブロックでのGPS等による変位計測

Yダムでは、工事誌、等設計・施工に関する記録及び供用開始後の安全管理における計測データから、長期的に堤体の変位を監視すべき要因となる未改良の地質的弱部や変状の発生履歴は見られない。よって、堤体変位の計測は、検討前で実施されている基本的なプラムライン計測の継続によることでよいものと考えられる。

○変形計測を継続すべき箇所の検討結果

Yダムでの変形計測を継続すべきとして抽出される箇所を表-4.10に示す。同表に示す検討から、検討前のままプラムラインによる計測を継続するのがよいと考えられる。

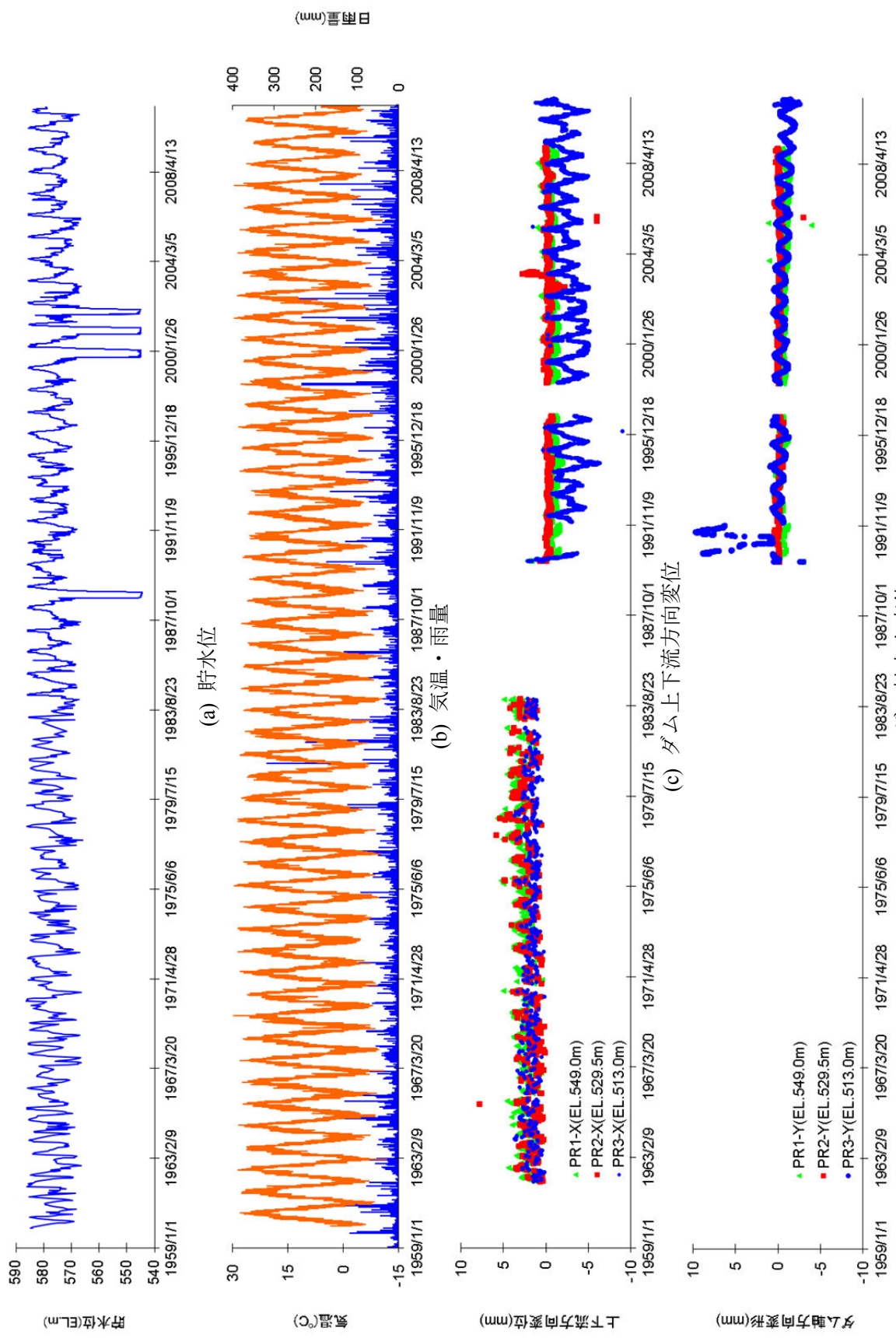


図-4.21 変位計測結果(Yダム)

表-4.10 「計測継続箇所を考え方」による変形の測を継続すべき箇所の検討結果(Yダム)

検討前		「計測継続箇所を考え方」による検討				検討結果
分類	「計測継続箇所を考え方」において計測を継続すべき箇所等の考え方	適用条件	Yダムでの該当有無	Xダムでの状況	備考	プラムライン 非越流ブロックの 最大断面1箇所 (図-4.22 参照)
ダムの構造に適した箇所に計測した箇所	④-1: プラムラインによる変形(たわみ量)計測を実施している箇所	最大断面付近のブロック(基本)でのプラムラインによる変形(たわみ量)計測	該当する	洪水吐左岸側の1箇所。	・本計測項目として、引続き計測を継続すべきものがある。 ・現在のプラムラインでの追加計測を要する特段の状況はない。	
	④-2: 各ブロックでのGPS等による変位計測	各ブロックでのGPS等による変位計測	該当しない(プラムラインにより基本的な変形量の計測が適切になる)	—		

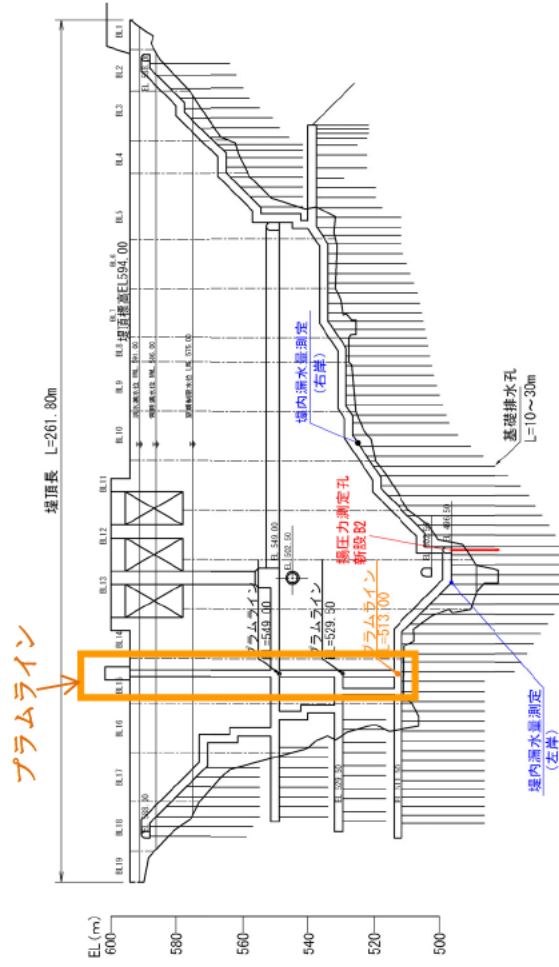


図-4.22 プラムライン計測位置(Yダム)

5. まとめ

ダムの合理的な維持管理のためには、経験豊富な技術者の減少も踏まえつつ、長期供用に伴い挙動の安定化したダムにおける合理的な安全管理のための各種計測のあり方を検証するための考え方を明確化していくことも重要な課題である。このような課題を解決するため、本資料は、長期供用ダムにおける安全管理のための計測計器の劣化・故障により一部箇所での計測を中止している例がある現状を踏まえ、挙動が安定したダムでも、長期的に安全管理上計測を継続すべき箇所の考え方について、実ダムでのケーススタディー結果も踏まえて示した。

なお、国土交通省では、平成 25 年度にダム総合点検³⁾が制度化された。これにより、概ね 30 年を経過したダムなどでは、設計・施工から供用後の維持管理で得られた計測データや点検・検査記録等の分析や個々のダムの技術的課題に応じた調査の結果に基づき、ダムの健全度評価が行われる。また、ダムの安全性・機能に及ぼす影響度を踏まえ、今後の中長期的な維持管理方針をダムの長寿命化計画として立案されることとなる。これらの仕組みは、ダムの点検・整備に関する技術基準として、河川法改正に伴い新たに制定された河川・砂防技術基準維持管理編(ダム編)²⁾にも盛り込まれたところである。

このように、ダムの長寿命化に向けた一定の仕組みが整備されつつあるが、その実行にあたっては、各種の状態把握、影響評価および対策技術が不可欠である。本資料は、維持管理の計画、状態把握、分析・評価、対策を含む一連の維持管理のサイクルの仲で活用が期待されるものである。

例えば、挙動が安定した長期供用ダムでの安全管理計測箇所の考え方は、総合点検などの機会に既往の計測体制の妥当性を見直す際に役立つものと考えられる。また、計器の老朽化や人員的制約のみを理由とした計測の中止などによる安全管理水準の低下を防ぎ、長期供用ダムでの安全管理水準を合理的なレベルに維持する効果が期待される。

本資料を有効に活用することで、より効率的・効果的な維持管理及びこれを通じたダムの長寿命化の実施に寄与することを期するものである。

参考文献

- 1) 財団法人国土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，2000.
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川砂防技術基準 維持管理編(ダム編)，2014.
- 3) 国土交通省 水管理・国土保全局：ダム総合点検実施要領・同解説，2013.
- 4) 社団法人日本大ダム会議：改訂 ダム構造物管理基準，1986.
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人土木研究所：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報，国土技術政策総合研究所資料第 646 号，土木研究所資料第 4202 号，pp.342-366，2011.
- 6) 金銅将史，加嶋武志，小堀俊秀，山口嘉一：地震動が重力式コンクリートダム横継目の止水機能に及ぼす影響，ダム工学，Vol.24，No.3，pp.165-176，2014.
- 7) 小堀俊秀，山口嘉一，中島伸一郎，清水則一：GPS を用いたロックフィルダム堤体の地震時変位挙動計測，ダム工学，25(1)，pp.6～15，2015.
- 8) ダム工学会計測管理研究部会：フィルダムの変位計測に関する GPS 利用マニュアル，一般社団法人ダム工学会，2014.
- 9) 山口嘉一，小堀俊秀，矢沢賢一，斉藤明，岩瀬秀一：GPS を用いた重力式コンクリートダムの変位計測，ダム技術，No.294，pp.8-18，2011.

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4321 March 2016

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754

