

Title	非破壊試験を用いたコンクリートダム堤体の性能評価 に関する研究
Author(s)	市川, 滋己
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/77500
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

博士学位論文

非破壊試験を用いたコンクリートダム堤体の 性能評価に関する研究

市川滋己

2020年6月

大阪大学大学院工学研究科

非破壊試験を用いたコンクリートダム堤体の性能評価に関する研究

目 次

第1章 序論

1.	1	研究の背景	と目的	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1
1.	2	本論文の内	容と構成	Ż	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3
参考	;文南	t ••••	• • • •	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	6

第2章 コンクリートダムの維持管理の現状

2.	1	本章の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
2.	2	コンクリートダムの維持管理の状況 ・・・・・・・・・・・・・・	8
2.	3	維持管理結果から見るコンクリートダム堤体の変状 ・・・・・・・ 18	8
2.	4	本章のまとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2	7
参考	文献	·····	8

第3章 コンクリートダムの水平打継目の変状

3.	1	本	章の)概要	i ·	• •	•	•	•••	•	•	•••	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	29
3.	2	コ	ンク	リー	- トク	ブム	\mathcal{O}	構	造的	」な	特	徴	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	30
3.	3	水	平打	「継目	の変	を状	と	ダ、	ム機	能	\mathcal{O}'	低下	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	36
3	. :	3.	1	水平	幻	迷目	の	変	状の)発	生	機構	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	36
3	. :	3.	2	水平	习利	迷目	の	変	伏発	生	に	よる	ダ	4	機	能	低	\overline{r}		•	•	•	•	•	•	•	•	•	39
3	. :	3.	3	水平	幻	迷目	に	変	状が	発	生.	した	ダ	ム	<i></i> Д	事	例		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	43
3.	4	ダ	ム堤	体の	水	四打	継	目(の変	状	把	握	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	48
3	• 4	1.	1	既往	のフ	k平	打	継	目変	5状	の	把握	方	法	. ع	そ	の	課	題		•	•	•	•	•	•	•	•	48
3	• 4	1.	2	新た	なオ	k平	打	継	目変	5状	の	把握	手	法	の;	検	討		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	52
3.	5	本	章の	まと	め	•	•	•	••	•	•	•••	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	56
参考	文南	伏	•••	••	•	••	•	•	•••	•	•	•••	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	57

第4章 衝撃弾性波法による堤体内部の水平打継目の状態把握

4.1 本章の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	59
4.2 衝撃弾性波法によるコンクリートダム堤体の計測 ・・・・・・・・	61
4.2.1 衝撃弾性波法によるコンクリート構造物の内部欠陥の把握 ・・	61
4.2.2 衝撃弾性波法によるコンクリートダム堤体の計測 ・・・・・	63
4.3 大型供試体を用いたダムコンクリート中の	
弾性波の透過・反射特性の検討 ・・・・・・・・・・・・・	69
4. 3. 1 検討概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	69
4.3.2 検討方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	69
4.3.3 計測結果と考察 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	72
4. 3. 4 まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	83
4. 4 供用中のコンクリートダム堤体中の弾性波伝播特性の検討 ・・・・・	84
4.4.1 検討概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	84
4. 4. 2 検討方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	85
4.4.3 計測結果と考察 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	86
4.4.4 まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1	104
4.5 ダム堤体の水平打継目の状態と	
計測波形の通過・反射特性との関係設定 ・・・・・・・・・ 1	105
4.6 衝撃弾性波法による計測結果からの水平打継目状態の推定 ・・・・・ 1	120
4.7 衝撃弾性波法による堤体調査の適用性拡大に関する検討 ・・・・・ 1	147
4.7.1 堤体調査への適用を妨げる要因 ・・・・・・・・・・・・ 1	147
4.7.2 堤体監査廊からの堤体内部計測方法の検討 ・・・・・・・・ 1	151
4.7.3 堤体天端アスファルト舗装面からの	
堤体内部計測手法の検討 ・・・・・・・・・ 1	160
4.8 本章のまとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1	166
参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1	168

第5章 赤外線サーモグラフィ法を用いた堤体水平打継目状態把握

5.	1	本章	毛の	概	要	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	170
5.	2	赤夕	∖線	しけ-	ーモ	・グ	ラ	フ	イ	法	に	よ	る	堤	体	水	平	打約	継	目	の	調	査	手	法	の	検	討		•	•	171
Ę	5. 2	2. 1	_	赤タ	사線	し サ		モ	グ	ラ	フ	イ	法	の	適	用	に	う	27.	て		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	171
Ę	5. 2	2. 2	2	検討	討方	法		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	173
Ę	5. 2	2. 3	3	計	則結	淉	と	考	察		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	177
5.	3	本章	重の	ま。	とめ)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	197
参考	令文南	t •	•	•	••	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	198

第6章 非破壊試験を用いたコンクリートダム堤体

の水平打継目状態把握方法の提案

6.	1	本章の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 199
6.	2	衝撃弾性波法と赤外線サーモグラフィ法
		を併用した水平打継目状態把握・・・・・・・ 200
6.	3	水平打継目補修工事における施工の確実性確認への適用 ・・・・・ 202
6	. 3	3. 1 変状が生じた水平打継目の補修工法 ・・・・・・・・・ 202
6	. 3	3. 2 非破壊試験を用いた施工の確実性の確認 ・・・・・・・・ 209
6.	4	本章のまとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 214
参考	文南	犬 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 215

第7章 コンクリートダム堤体の性能評価手法

7	7.	1	本	章の	Ծ概	要	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	216
7	7.	2	非	破壞	副試	験綻	课	を	用١	\sim	た	堤	体习	安方	首性																	
								に	係	る	構	造	生育	皆	平征	手	法	の	提	案		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	217
	7	. :	2.	1	Э,	ンク	リ	_	<u>ار</u>	ダ、	4	堤	体に	こ要	更才	さ	れ	る	構	造	性i	能		•	•	•	•	•	•	•	•	217
	7	. :	2.	2	滑	動に	対	す	る	安;	定	生	の言	平伯	E	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	220
	7	. :	2.	3	転	到に	対	す	る	安;	定	性	の言	平伯	Ħ	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	236
7	7.	3	非	破壞	民武	験綻	课	を	用1	\sim	たり	貯	水	生育	皆の)討	価	手	法	\mathcal{O}	提	案		•	•	•	•	•	•	•	•	240
	7	. :	3.	1]	ンク	リ	_	<u>ار</u>	ダ、	4	堤	本に	こ要	更才	さ	れ	る	貯	水	性i	能		•	•	•	•	•	•	•	•	240
	7	. :	3.	2	貯	水性	能	の	評	価		•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	242
7	7.	4	本	章の	ま	とめ)	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	245
参	⋧考	文幕	枤	• •	•	•••	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	246
第8	8 章	重 消	洁論	Ì	••	•		•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	247

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

コンクリートダムは、単体のコンクリート構造物としては、最大級の規模を有する構造 物である。また、言うまでも無く、洪水調節、利水補給、河川環境の維持、あるいは発電 等の多くの機能を有する、現代を生きる我々の安全・安心な生活のためには欠くことので きない重要な社会インフラ施設となっている。現在、我が国には約1000基のコンクリー トダムが存在しているが、そのうち、約半数は完成後50年以上を経過している¹⁾。また、 残りのダムについても戦後の高度経済成長期に建設、あるいは計画されたダムが多いこと から、老朽化が進んだダムが今後、急増する状況にある。一方で、少子・高齢化による税 収の減少や社会保障関係費の増加による財政状況の悪化に伴い、公共事業費は減少するこ とはあっても増加することを期待することはほとんどできない。このような状況であった としても、社会インフラ施設によって生み出される便益は変わりなく、提供し続けられる 必要があることから、既存の施設に対して、補修や設備の更新等を適切に実施し、機能を 長期的に保持することが求められている。

この状況から、平成24年8月に閣議決定された、第3次社会資本整備重点計画²⁾で は、施設の適切な維持管理・更新について、早期発見・補修により施設全体の長寿命化を 図る「予防保全的管理」の導入をはかりつつ、計画的に施設の長寿命化や更新を図ってい くこととあわせて、的確な記録を蓄積するとともに、長寿命化に関する計画を策定し、適 切な維持管理を行うこととなった。これを受けて、国土交通省においてダムの管理を所管 している水管理・国土保全局河川環境課流水管理室からは、平成25年10月、「ダムの長 寿命化計画の策定について」³⁾が発出された。これには、長期的視点を踏まえたダムの維 持管理及び設備の更新等をより効果的・効率的に推進していくため、ダムごとに点検結果 や健全度の評価等を踏まえた長寿命化計画を策定し、この長寿命化計画に基づき、ダムの 計画的な維持管理及び設備の更新を行うこととされている。

ダムの機能を長期的に保持するために実施する維持管理及び設備更新の基となっている のは長寿命化計画であるが、この長寿命化計画の策定、あるいは見直しは、各種点検や健 全度の評価の結果に基づいて行われる。したがって、言い換えれば、ダムの機能を長期的 に保持するためには、点検や健全度の評価が的確に実施される必要がある。

また,平成27年9月に閣議決定された,第4次社会資本整備重点計画⁴⁾における重点 目標1は「社会資本の戦略的維持管理・更新を行う」とされており,そのため,「1-1メ ンテナンスサイクルの構築による安全・安心の確保とトータルコストの縮減・平準化の両 立」と「1-2メンテナンス技術の向上とメンテナンス産業の競争力強化」という具体的な 目標が定められている。「1-1」のメンテナンスサイクルの構築とは、各施設(ダム)の 長寿命化計画を核として、点検・診断、維持・更新、情報の記録・活用といったメンテナ ンスサイクルを構築するという意味であり、ここでも点検・診断の重要性が謳われてい る。また、「1-2」のメンテナンス技術の向上については、研究実施等による技術力向上 のほか、新技術の開発・導入の推進として、インフラメンテナンス国民会議の設置等によ り、センサー、ロボット、非破壊検査等の技術研究開発や異業種からの新規参入促進が行 うという目標が定められている。

以上のようなダムの維持管理を取り巻く社会情勢に対応するため、すなわち、ダムによ って確保されている国民の便益と安全・安心を長期にわたって保持していくためには、ダ ムにおける維持管理・設備更新の実施において重要な意味を持つ「点検・健全度評価」を 適切に実施することが必要である。

一方で、コンクリートダム堤体の「点検・健全度評価」として通常実施されている計測 や調査は、外観目視のほか、堤体の変形量の計測、堤体及び基礎の漏水量の計測、ならび に基礎の浸透流に起因して堤体に作用する揚圧力の計測のみである。また,特に変状が進 んだ場合に実施されている調査もクラックマップの作成や堤体へのボーリング調査、コア 採取程度であり、構造物の状態を直接的に把握する方法が多々準備されている橋梁に代表 される一般のコンクリート構造物に比べて、堤体の状態を把握する点検・調査方法の整備 が不十分であることは否めない。これはコンクリートダム堤体が土木学会コンクリート標 準示方書においてもダムコンクリート編5として別の編として構成されているように、橋 梁等の一般のコンクリート構造物と同じコンクリート構造物ではあるものの,構造,材 料・配合、施工という基本的な面で大きく異なっているためであり、維持管理面でも異な っている。例えば、一般のコンクリート構造物の点検では非破壊検査の一種である弾性波 法が多用されているが、コンクリートダム堤体はその部材厚さなどが橋梁などと比べて著 しく大きく、弾性波の減衰などの影響のため、従来法をそのまま適用することが困難であ るなど、点検・調査方法に課題が山積している。コンクリートダム堤体に発生したひび割 れの深度調査に、一般のコンクリート構造物に用いられている方法が適用されている事例 もあるが、目的を十分に満たす成果が得られていないことも多いと推定される。目的を十 分に満たす成果を得るためには、対象構造物に適した点検・健全度評価方法が必要であ る。

そこで、本論文においては、従来手法に比べて構造物に与える影響が少なく、また、コ スト面でも有利なことが多く、技術開発が近年盛んに行われている非破壊試験分野に着目 し、非破壊試験を用いてコンクリートダム堤体の健全度、すなわち性能を評価する手法に ついての検討を行うものである。

1.2 本論文の内容と構成

本論文は、コンクリートダム堤体の性能評価を非破壊試験により実施する手法について 論じたものであり、全8章から構成される。本論文の構成を図-1.2.1に示す。



図-1.2.1 本論文の構成

第1章は序論であり,研究の背景と目的及び論文の構成と内容を述べる。

第2章においては、コンクリートダムの維持管理の状況として我が国におけるコンクリ ートダムの設置状況と性能維持のための維持管理システムを述べる。そして、我が国のダ ムの維持管理システムの一環で行われている「ダム定期検査」と同様の着眼点でコンクリ ートダム堤体の変状について概観する。

第3章においては、コンクリートダム堤体の水平打継目の変状に関して着目し、検討した結果を述べることとする。まず、水平打継目における変状発生の一因であるとも推察されるコンクリートダム堤体の構造的な特徴について述べる。次に、水平打継目の変状の発 生機構、及び水平打継目に変状が生じた際に低下が懸念されるダム機能について述べると ともに、水平打継目に変状が生じたダムの事例について述べる。さらに、このダム堤体の 水平打継目の変状を把握する方法について、これまで一般的に用いられている既往の方法 とその課題について述べるとともに、既往方法の課題を解消する新たな変状の把握手法に ついて検討した結果を述べる。

第4章においては,衝撃弾性波法を用いてコンクリートダム堤体の水平打継目の状態を 把握する手法について検討を行う。まず、コンクリート基礎杭の損傷調査に用いられた実 績がある,弾性波の高周波数領域の成分を用いて,数mオーダーを超える距離に存在する 欠陥を把握可能な調査手法を重力式コンクリートダムのモデルダムに適用した計測につい て述べる。次に、一般のコンクリートに比較して、大粒径骨材を使用し、不均一な傾向が あるダムコンクリート中の弾性波の透過・反射特性は、一般コンクリートの特性とは異な る可能性があることを踏まえ、大型供試体を用いた室内試験で弾性波の伝播特性を確認し た結果を述べる。そして、本手法適用時に精度確保の上で重要なコンクリートダム堤体に おける弾性波の伝播速度の特性について,供用中のコンクリートダム堤体に対する計測波 形を基に分析検討した結果を述べる。次に、衝撃弾性波法により計測された弾性波波形と 打継目状態との関係についてボーリング調査の結果から関連付けを行った結果を述べる。 そして、大型供試体試験の結果、堤体中の弾性波の伝播特性の検討結果、波形データと打 継目状態の関連付けの検討結果を踏まえた、衝撃弾性波法を用いたダム堤体の水平打継目 の状態推定方法を述べる。その上で更に、この衝撃弾性波法を用いた水平打継目の状態調 査手法のダム堤体への適用性を拡大する手段として検討した堤体監査廊からの計測手法及 び天端アスファルト舗装面からの計測手法を述べる。

第5章においては、赤外線サーモグラフィ法を用いて計測された水平打継目周辺の熱画 像から水平打継目の変状状態を把握する手法について、堤体下流面から漏水が生じ、水平 打継目に変状が生じている供用中のコンクリートダム堤体に対する計測結果を基に検討した結果を述べる。

第6章においては、調査の合理化、精度向上を目的として、衝撃弾性波法と赤外線サー モグラフィ法の2種類の非破壊試験方法を組み合わせて実施する、コンクリートダム堤体 の水平打継目の状態把握手法について述べる。さらに、非破壊試験を用いた水平打継目の 状態把握手法のその他の適用先として想定される、水平打継目への注入工による補修効果 の確認検証への適用性について、実際の補修後への適用結果を踏まえて述べる。

第7章においては、非破壊試験を用いたコンクリートダム堤体の水平打継目の状態把握 手法を実施して得られる結果である打継目変状状況図を用いて、コンクリートダム堤体の 性能(滑動に対する安定性、転倒に対する安定性、貯水性能)を評価する手法について述 べる。

第8章は本論文の総括であり、本研究の結果をとりまとめる。

5

参考文献

- 1) 日本ダム協会:ダム便覧2019 http://damnet.or.jp/Dambinran/TopIndex.html
- 2) 第3次社会資本整備重点計画,平成24年8月31日閣議決定
 https://www.mlit.go.jp/common/001104757.pdf
- 3) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室長,総合政策局公共事業業企画調整課施工 安全企画室長,水管理・国土保全局河川環境課流水管理室長:ダムの長寿命化計画の 策定について,平成25年10月1日
- 4) 第4次社会資本整備重点計画,平成27年9月18日閣議決定
 https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/sosei_point_tk_000003.html
- 5) 土木学会編:2013年制定コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編],2013年10 月

第2章 コンクリートダムの維持管理の現状

2.1 本章の概要

コンクリートダムは、住民が安心安全な社会生活を送るためには重要な社会インフラ施 設の一つである。その一方で、コンクリートダムを含むダム施設を新たに建設・設置する ためには、その規模が大きいことによる建設に要するコストが多大になるだけでなく、新 規建設に伴う社会環境、ならびに自然環境に及ぼす影響が非常に大きいことによる関係者 間の諸調整に多大な時間を要することが一般的であり、計画から実際にその機能が発揮さ れるまでに四半世紀から半世紀以上を要することも珍しくはない。また、その規模は大き く、通常は多量の水を貯水していることから、万が一にも構造的安定性を損ない、決壊す ることがあれば、ダム下流の多くの人命、ならびに財産を損なわせてしまうことも十分想 定可能な構造物であることが、道路、鉄道や橋梁などの一般の社会インフラ施設とは異な る。したがって、便益に対する需要があったとしても新たに建設・設置することが非常に 困難であること、ならびに構造的な安定性の低下は人命財産の危機に直結すること、ま た、ダムにより得られている便益については可能な限り低コストで長期間維持されること が要求されていることから、現存するコンクリートダムの性能を維持するための活動、す なわち維持管理は非常に重要である。

本章においては、まず、コンクリートダムの維持管理の状況として、我が国におけるコ ンクリートダムの設置状況と性能維持のための維持管理システムを2.2に述べる。つぎ に、2.3では、我が国のダムの維持管理システムの一環で行われている「ダム定期検 査」と同様の着眼点で供用中のコンクリートダム堤体の変状について概観することとす る。

2.2 コンクリートダムの維持管理の状況

我が国において、ダムとは水の貯留を目的として設置された、基礎地盤から堤頂までの 高さが 15m以上の構造物のことを示すことが一般的である。2013(平成 25)年3月末時点 における我が国のダムの総数は、約2,600 基となっている¹⁾。我が国の既設ダムの完成後 経過年数区分についての経年推移を図示したものを図-2.2.1に示したが,完成後50年以 上経過したダムは、現時点において全体のおよそ6割に及ぶことがわかる。また、ダムに は、堤体材料の種類により、コンクリートダムとフィルダムの二つに大別され、コンクリ ートダムは重力式コンクリートダムやアーチ式コンクリートダム等に、フィルダムはロッ クフィルダムやアースダム等に細別される。ダム全体に対する型式別で、アースダムが 46%、コンクリートダムが38%、ロックフィルダムが11%を占めている。完成後50年以 上経過したコンクリートダムの基数を図-2.2.2に示す。現在,およそ 500 基のコンクリー トダムが完成後 50 年以上経過している状況であるが、40 年後には 1000 基をやや下回る程 度のコンクリートダムが完成後 50 年以上経過しているような状況になる。ダムの堤体に 対しては、基本的に供用年数という概念がなく、設置目的を失い、撤去された事例も我が 国においては荒瀬ダムの事例がある程度であり、完成後の長時間が経過したダムの数は減 ることはなく、増加していくことになる。また、我が国ではダム建設に適したダムサイト はほとんど枯渇した状況にあり、新規のダム建設事業は非常に少なくなっており、完成 後,長時間が経過したダムの比率が増加する状況にある。このような状況において,重要 な社会インフラ施設であるダム機能の長寿命化を図るためには、適切な維持管理が必要と なっている。



[・]ダム数は、「ダム年鑑2014(一社)日本ダム協会」の型式毎ダム数より。 ・1950年代以降から2013.3.31までに完成したダムを対象とし、それ以前・以降に完成した(予定を含む)したダムは含まない。

図-2.2.1 既設ダムの完成後経過年数区分の経年推移²⁾



図-2.2.2 完成後 50 年経過コンクリートダム数の経年推移 ³⁾

また,ダムは大量の水を貯留するため,万が一,ダムが破壊した場合,人的・経済的な 損失は甚大なものとなる。したがって,「ダムの安全」は「公共の安全」に直結すること になり,他のインフラ施設に比較して,ダムの安全管理,すなわち維持管理の重要性は必 然的に高くなると言える。

このようなインフラ施設であるダムに対しては、法令および国の定める技術基準で維持 管理のシステムが定められている。まず、河川法⁴⁰第十五条の三では、「河川管理者また は許可工作物の管理者は、河川管理施設又は許可工作物を良好な状態に保つように維持 し、修繕し、もって公共の安全が保持されるように努めなければならない。」とダムの管 理者に対して維持管理の実施を求めている。また、河川法施行令⁵⁰第九条の三において は、「一 河川管理施設等の構造等を勘案して、適切な時期に、河川管理施設等の巡視を 行い、及び草刈り、障害物の処分その他の河川管理施設等の機能を維持するために必要な 措置を講ずること。」「二 河川管理施設等の点検は、河川管理施設等の構造等を勘案し て、適切な時期に、目視その他適切な方法により行うこと。」「三 前号の点検はダム、 堤防その他の国土交通省令で河川管理施設等にあっては、一年に一回以上の適切な頻度で 行うこと。」「四 第二号の点検その他の方法により河川管理施設等の損傷、腐食その他 の異状があることを把握したときは、河川管理施設等の効率的な維持及び修繕が図られる よう、必要な措置を講ずること。」と、ダムの維持管理の具体的な方法として、点検の方 法や頻度、あるいは異状把握時に必要な措置を行うことについて規定されている。 なお、これらの法令におけるダムとは、図-2.2.3 に示すように、堤体や洪水吐き等の土 木構造物、放流設備等の機械設備及び電気通信設備というダム施設を直接構成するものの ほかに、管理用道路、貯水池の周辺斜面、観測・計測設備あるいは管理用建物等を含む、 ダムの設置目的を発揮するための複数の設備から構成されるものである。



図-2.2.3 ダム施設の一般的な構成⁶⁾

施設の維持管理を実施するに当たっては、点検の計画や保全の計画を策定する必要がある。ダム施設においては、表-2.2.1に示す点検や保全に関する計画が策定されることになっている。

表-2.2.1 ダム施設の維持管理に関する計画

	・ダム施設及びダム施設を操作するために必要な機械,器具等の
ガル占投政供甘滩	点検及び整備に関する事項を定めたもの。
クム息快登佣基単	・ダム管理者は、これに基づき、ダム施設の日常管理における巡
	視・点検,維持・修繕等を行う
	・ダムの安全性及び機能を長期にわたり保持するため、点検結果
	や健全度の評価等を踏まえ、ダムを構成する設備毎の維持管理に
ガノ巨圭会ル計画	係る中長期的な維持管理方針を定めたもの。
クム女寿仰化計画	・ダム総合点検実施要領、ダム用ゲート設備等点検・整備・更新
	検討要領,電気通信施設維持管理計画指針(案)の考え方に沿って
	作成する。

また、ダム施設に対して実施する点検・検査については、図-2.2.4 に示すような構成に 整理されるが、このうち、ダム施設の状態把握を目的として日常管理の中で行われている 巡視・点検を表-2.2.2 に示す。また、日常の点検以外には表-2.2.3 に示すような、ダム 管理者が 30 年に1回以上の頻度で専門家の意見を聴きながら実施するダム総合点検とダ ム管理者以外の専門家が3年に1回以上の頻度で実施する定期検査の2種類のダム状態の 状態評価を行うシステムが整備されている。



図-2.2.4 ダム施設の維持管理における点検・検査等の構成⁶⁾

巡視・日常の	点検	・ダム点検整備基準やダム長寿命化計画に基づき行う。								
		・目視や計測等により、構造上の安全性を確認すること								
		を基本とする。								
		・堤体等の計測においては、貯水位等の荷重条件の変化								
		と併せて、漏水量、変形、揚圧力の経時的な変動を把握								
		することを基本とする。								
		・建設時に課題となった点、巡視・日常点検、臨時点								
		検、ダム総合点検及び定期検査で把握した着目ポイント								
		を明確にし、実施する。								
臨時点検	地震時臨時点検	 一定の強さ(ダム基盤に設置された地震計により観測 								
		された地震動の最大加速度が 25gal,または最寄りの観								
		測点において震度 4) 以上の地震が発生した場合に実施								
		する。								
	出水時臨時点検	★ ・一定の規模(3年に1回程度発生する規模を目安)以								
		上の洪水または降雨が発生した場合に実施する。								
		・主として放流設備、堤体周辺斜面及び貯水池周辺斜面								
		を対象に行う。								

表-2.2.2 ダム施設の日常管理として行われている巡視点検

表-2.2.3 ダム総合点検と定期検査の概要

ダム総合点	・専門家の意見を聴きながら、ダム管理者が30年に1回以上の頻度で実
検	施する。
	・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、ダムの健
	全度について総合的に調査及び評価し、効果的・効率的な維持管理を目
	的とする。
	・図-2.2.5 に示す基本フローで実施する。
定期検査	・ダム管理者以外の視点から、ダム施設及び貯水池の機能が良好な状態
	に保持されているかを定期的に確認することを目的として実施する。
	・3年に1回以上の頻度で行うことを基本とし、次回の検査時期につい
	ては検査結果を踏まえて決定することを基本とする。
	・定期検査の結果を踏まえ、必要に応じて、日常点検における点検項目
	や頻度、管理基準値、臨時点検における経路や計測項目等について見直
	しを行うことを基本とする。
	・検査結果は A, B1, B2, C の 4 段階で総合判定する。(表-2.2.4)



図-2.2.5 ダム総合点検の実施基本フロー⁷⁾

表-2.2.4	定期検査におけるタ	「ム施設及び貯水池の状態の総合判定区分®)
JX L. L. I		

総合判定区分	状態
٨	ダムの安全性及び機能への影響が認められ、直ちに
A	措置を講じる必要がある。
D1	ダムの安全性及び機能は保持されていると判断され
DI	るものの、速やかに措置を講じる必要がある。
PO	ダムの安全性及び機能は保持されていると判断され
D2	るものの、必要に応じて措置を講じる必要がある。
C	ダムの安全性や機能に影響を及ぼすおそれがないと
C	判断され、状態監視を継続する。

ダム施設の維持管理のマネジメントサイクルとして、図-2.2.6 に示す PDCA サイクルが 河川砂防技術基準には示されている。すなわち、Plan:ダムの維持管理に関する計画の策 定を行い、Do:計画に基づく点検や検査を行い、状態を把握し、Check:点検や検査結果 に基づく分析や評価を行い、Action:分析・評価結果に基づく保全対策を実施し、再び Plan:状態、分析・評価結果及び保全対策実施状況に基づく維持管理計画の見直しの実施 というサイクルでダム施設の維持管理は行われている。



注:ダム施設の維持管理に関する計画には、ダム点検整備基準及びダムの長寿命化計画を含む

図-2.2.6 ダム施設の維持管理におけるマネジメントサイクル⁶⁾

我が国におけるダム施設の健全度について、ダム定期検査の結果⁹⁾を基に概観すること とする。図-2.2.7 に、国土交通省所管の558 ダムに対する平成31年3月時点における最 新の定期検査でのA、B1、B2、Cの4段階の判定区分の比率を整理した結果を示す。ま た、図-2.2.8 に国土交通省の直轄管理(水資源機構管理を含む)の123 基のダムに対する 判定区分の組織別比率を、図-2.2.9 に都道府県の管理する435 基のダムに対する判定区分 の組織別の比率を示す。

これらの結果によると、我が国のダムの健全度は、国土交通省の直轄管理(水資源機構 管理を含む)ダムと都道府県管理ダムとの間で大きな違いは無く、判定Aの所謂、直ちに 措置を講じる必要があるダムは存在しないが、判定B1の所謂、速やかに措置を講じる必 要があるダムは全体の15%強となっている。すなわち、速やかに措置を講じないと、ダム の安全性や機能に影響が及ぶようなダムが全体の15%強は存在していることを示してい る。なお、各ダム管理者別の判定区分比率に差が生じているが、これは管理者によってダ ムの健全度自体に差があるのではなく、同一の状態に対する判定に差があるためと推察さ れるものである。









図-2.2.7 定期検査による健全度の判定比率



図-2.2.8 定期検査による健全度の判定比率(直轄・水資源ダム(管理機関別))

	63	32	4	
				── 沖縄
				/ 鹿児島
				聖四 📉
				<u>∽</u> 大分
				── 熊本
			<u></u>	── 長崎
				─ 佐賀
				~ 福岡
				── 高知
				>>> 愛媛
				~ 香川
				() 徳島
				ΞĒ
				広島
				国王
				島限
				<u>余良</u>
				<u> </u>
				大坂
 				· 示部
				弦覧
	5			
				受印
				上 第 初
				大 支 章
		111111		
				■ 神奈川
				■ 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18
				■ 1 目 1 目 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
				■ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
				┃┃┃┃┃ □福茨栃群埼千東神□ 3.島城木馬玉葉京奈3 □
				┃┃ ┃┃┃┃
				┃┃┃ ┃┃┃
				┃
				▶ ┃ 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8
				▶▶₽₽₽₽₽₽₽₽₽ 清岩宮秋山福茨栃群埼千東神山 森手城田形島城木馬玉葉京奈秀
				▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶ ▶



2.3 維持管理結果から見るコンクリートダム堤体の変状

我が国の供用中のコンクリートダム堤体に生じている変状について、完成年が1967年 ~2013年、堤高が24m~156m、堤体積が52千m³~1,750千m³、型式が重力式とアーチ式 という様々な完成後の経過年数、規模、及びダム型式である17基のコンクリートダムに対 して定期検査と同様の着眼点で分析整理を行うこととする。なお、定期検査は、ダム施設 及び貯水池が適切に維持管理され、良好な状態に保持されているか、また流水管理が適切 に行われているかについて確認するため、3年に1回以上の頻度で実施されるものであ り、図-2.3.1に示すような検査の種類及び検査項目で実施される。このうち、維持管理状 況検査は定められた計画に基づく維持管理の実施状況等の主にソフト面に対する検査であ り、一方、ダム施設・貯水池の状態検査が施設の健全性に対する検査である。ここではダ ム施設・貯水池の状態に対しての検査である検査項目2と同様の区分で分析整理すること とする。検査項目2の内容は、土木構造物の状態に関するものに限定しても計測結果、基 礎地盤、あるいは堤体周辺斜面等の多岐に亘るが、コンクリートダム堤体に生じている変 状が対象となる表-2.3.1に示す、堤体(コンクリートダム)と洪水吐き(土木構造物部 分)を対象とした。なお、定期検査では、各項目に対して表-2.3.2に示すa、b1、b2、c の4段階での判定を行うことになっている。

17 基のコンクリートダムの各部位の状態を表-2.3.3 に示す。



図-2.3.1 ダム定期検査における検査の種類及び検査項目⁸⁾

表-2.3.1 堤体・洪水吐き(土木構造物部分)の検査事項及び検査箇所等⁸⁾

検査	検査箇所		検査の着眼点	検査方法
事項				
	堤体		・ダムの安全性及び機能に影響を及ぼす	・巡視・点検
	(コン:	クリート)	ようなコンクリートの劣化・損傷等がな	の記録の確認
		上流面	とうない	・計測の記録
		下流面	・天端, 監査廊, 下流面直線部, 継目及	の確認
			び高欄部等の状態に異常がないか	・目視や簡易
, r		堤頂部	・その他、何らかの劣化・損傷等の異状	計測等による
土木		監査廊	がないか	構造物の状態
構造	洪水吐き (土木構造物部)		・ダムの安全性及び機能に影響を及ぼす	確認
物			ようなコンクリートの劣化・損傷等がな	
		流入部	とうない	
		越流部	・その他、何らかの劣化・損傷等の異状	
		導流部	がないか	
		減勢工		
		放流管		

表-2.3.2 判定の基準⁸⁾

判 定	判定の基準
	劣化・損傷等により、ダムの安全性及び機能への影響が認められ、直ちに措置を講じる必
а	要がある状態
h 1	ダムの安全性及び機能は保持されていると判断されるものの,異状の兆候が認められるこ
DI	とから, 速やかに措置を講じる必要がある状態
L 0	ダムの安全性及び機能は保持されていると判断されるものの,劣化・損傷等の状態から,
DZ	必要に応じて措置を講じる必要がある状態
	劣化・損傷等が認められない、又は軽微な劣化・損傷等は生じているが、ダム
с	の安全性及び機能に影響を及ぼすおそれがないと判断され、状態監視を継続す
	ることで良い状態

	ダム	名		АЎЬ	Вダム	Сダム	Dダム	Еダム	Fダム							
	ダム	型式		アーチ式	重力式	重力式	重力式	重力式	重力式							
	管理	開始		1967年9月	1977年3月	1999年3月	2008年3月	1969年3月	1974年3月							
	所在地			群馬県	群馬県	埼玉県	埼玉県	埼玉県·群馬県	奈良県							
	堤高			131m	140m	156.0m	132.0m	129.0m	63.5m							
	堤はな			352m	405m	372.0m 1.750∓m ³	424.0m 1.670.∓m ³	1 1 03 ∓m ³	153±m3							
	打設工法			4状工法	柱状工法	而状工法(RCD工法)	面状工法(RCD工法)	柱状工法	柱状工法							
材料・配合 (アーチ式を除き、内部コン クリート配合)		部コン	中庸熱ポルトランドセメント C=230kg/m ³ 、 流紋岩 Gmax=150mm	高炉セメントB種 C=160kg/m ³ 、 ホルンフェルス Gmax=150mm	中庸熱フライアッシュセメント C=130kg/m ³ 、 砂岩 Gmay=150mm	中庸熱フライアッシュセメント C=120kg/m ³ 、 砂岩 Gmay=80mm	高炉セメントB種 C=160kg/m ³ 、 砂岩 Gmay=150mm	高炉セメントB種 C=160kg/m ³ 、 安山岩 Gmax=150mm								
	土木構造物の状態	堤体(コンクリートダム)	上流面	埋体上流面においては、クラー クセホ平打撃ぎ面からのエコ レッセンス折出、凄害劣化が確 認されたが、細かいものが大部 分を含めている、選客劣化につい いては、実面からタレずつ劣化 が達風ていたのであることか も、早急な対象は必要ないが、 名化の進展があっる。	塩体上流面は、ひび新れの大 きな進展等の異常は確認されの 使力ののひび新れと水平打磨 面のひび新ためで確認している が、経年的に見て大きな変化は 見られず、安定した状態にあ る。	ローッロ・東部の養護に成方向 ひび割れ及び水平打種目にあ かしてフロレッセンスの 滞出、ならびに施工を見よりフ トからのモルシネルの重れ等)の 部が確認されているが、いずれ も経験な変状である。 ・ひび割れの進行、コンクリートの の割離、剥落、エフロックセンス 及び濃水の拡大などの経年約 なコンクリートの多化は構設さ れず、安定した状態にある。	構築目記いのエフロレッセンス の滞出があり、いずれた基徴な 変状である。左岸及び石岸上近 から観察の結果、大きなクラッ く、コングリークの構態で発見、大きなクラッ マンロレッセンスの所出及び漏水 等変状は複雑ないと考えられ る。	「現在コンクリートに軽微なひば 都木が発生し、水平打磨目の 劣化などの部分的かっ軽電な 劣化はおられるものの。日常の 温候。点候により認恵を転換す れば問題のない状態である。	BL12首集備機構建に、環水を伴 ういび割いが確認されている。 このいび割いは、現時点におい て場体の安全性に影響を及ぼ すレベルのさのではない。今後 においても、経過親繁を継続し ていく。							
			下流面	堤体下流面には凍害等による コンクリートの劣化が認められ るこなから、引き焼き状態医視 を強化してが必要がある。必要に応じて補修を検討していく 必要がある。 下流面高標高部の水平打艇目 からの温水について引き様差が 息室視を強化しておく必要があ る。	堤体下流面の水平打纏目や模 纏目において少量の漏水が確 窓されるが、漏水医所数や可能し見て大きな支 化は見られず安定した状態にあ る。しかし、漏水医所が一定数であ 見られていることから、今後も現 石の監視を継続している必要が ある。 ひび割れ、水平打纏目および積 纏形できるが、既住の定点写真 や目視聴認てはたさな変化は 見られない。	堤体下流面の模擬目および水 平打線目等に漏水が継続的に 観測されていることから、引き結 経経機製化されていることがら、引き結 録を残すとともに、常に状況の 変化の有無と化歴できるように しておくなど、注意深い監視が 必要である。	堤体下流面の模糊目および水 平打總目等に満水が観測され ていることから、引き続き経過 観察に左高観測による記録を経過 観察に広点、常に状況の変化の 有無を把置でるようにてたお、 など、注意深い警視が必要であ る。	タ化・損傷及び漏水が確認され、貯水位により、漏水量が増減する箇所が数か所存在し、特に、補助ダムの膨合の8023及び8022ではゴロック中央の緩力向いび 割れから貯水位によっては多型 の漏水が流出することがあることから、これらに引いて引き焼き 大部と空視の強化を継続する必要がある。	堤体下流面に貯水位の上昇、 冬季の気温低下に伴い漏水を 幅り返している箇所や下流フー テングで調水量を継続して計加 している機種目がある。また、ブ ロック全体に違って連続するよう なクラックが確認されている。 このため、引き接き、調水につ しいては、写真撮影による定期的 な状況の観察等や運水量を計 調している機種目に感ら計選 行うとともに、クラックについても 運廣等を把握することが必要で ある。							
			トダム)	トダム)	トダム)	トダム)	堤頂部	堤頂部については、スラストブ ロック(右岸)のウイングム側 の天端舗装変入わらぎメムとウィ ングダムの境界部の大学様舗装 において確認されたクラックについては、堤体下流面まで延伸し ていることは確認できないと め、ただちに対策が必要となる 状況にはないと考えられるが、 クラックの延長、開き等について 経過観察を行う必要がある。	堤体天緒高欄の見通し線には ズレッ数は確認されていな い。 ・天紙構築の種目前において、 高欄や歩道部のコンクリート制 離や天端舗装の浮き上がりが 見られる。これの多葉状は、天 体構築の温度整殊及び収縮に より生たでもの20差定している。 し、少生が、から、日常の巡視・ 品検により状態を差領すれば問題 超のない状態である。	堤体 天雄高欄の見通し線には ズレ・変形は確認されない。 天地の様種 目的において、高 欄地置やインターロッナングブ ロックにクラック、またゴムチップブ 対象の形れが見られる。これら の支伏は、堤体すで延伸してい ることは確認できず、表面部分 のみと思われ、退体の安定等に は影響がないと思われる。	堤体天蜡高欄の見通し線には ズレ・変形はない。 また、天端のインターロッキン グブロックには浮きや植生があ る。 目立ったひび割れは確認されてあ られ、5ずれも搭載な変状であ る。 日立ったひび割れは確認され ず、安定した状態にあると考え られる。	高欄コンクリートに収縮ひび割 れ、分角部を挟んでのダムと 補助ダムの変形することによる 分角部の線石環境が確認され る程度であり、州に問題となる ような変状は確認されていな い。	ダム天蟻、天蟻高欄等の堤頂 前コンクリートにおいて、ズレ、 支形は確認なれていない。 ・高層及び歩道において、ひ び割れ、エフロレッセンスの析 出などが確認されているもの の、ひび割れ値については、大 部分がの2mm程度であり、現時 点において現在の安全性に整 響を及ぼすレベルのものではな い			
ダム施設・貯水池の状態									監査廊	ジョイント及び水平打線目にお ける変状、コンクリートの到離が 確認されたが、現体の安定化、現体の安定化 健康生化の影響を危惧するよう な量、現根の運水あるいはひび 割れ等の変状は確認されな かった。一部の箇所で確認され た鉄筋の腐壊しついては、腐壊 の進行に伴うコンクリートの剥 欄等が懸念されることから、経 過観察を行うことが必要。	整査廊内に微細なクラックや水 の浸み出し等が発生するなど。 部分的な劣化、損傷等は見るれ るものの、日常の巡視。直検に より状態を整視すれば問題のな い状態である。	クロスギャラリーのプレキャスト の継目等から選水が発生して おり、常に状況の変化の有無を 把握し、温水量の状況によって は、必要に応じて措置を講じる 必要がある。	模維目の開き及びひび割れ、な らびにひび割れや水平17種目 からのエフロレッセンスの新出 が確認された。遺館内に目立っ た調水は確認されない。また通 廊で計測されているジョイント間 のデータでも増加模 向は見られなしことから、現時 点で特に問題とはならないと思 われる。	かぶり不足による内部鉄筋の 腐食とこれに伴うコンクリートの 剥落が確認されている、引き続 き状態監視を強化し、必要に応 じて措置を講じる必要がある。	ジョイント(機種目)、水平打種 目、監査障壁面のひび制れから の漏水浄出及じてフロッセン メガ出、補修材の刺離、ジョイ ントの開き、階度筋のコンクリー トのひび割れとびび割れからの エフロレッセンスの析出が確認 されている。各々の状態として は軽徴な劣化意味であり、早急 に何らかの措置を飲る憂があ るものではない	
5.應検査		洪水吐き(土木構造物部分)	洪水吐き(土木構造物部分)	流入部	ゲート門柱部においては、凄害 によると推察される多化が生じ ている。門柱天端付近について は補修が施されているが、再実 化し、ひび制れ、ポップアウトが 確認された。 全体としては、早急な対策が必 要なものではないと考えられ る。	流入部には軽微なひび割れが 確 認されているが、日常の巡視 点検により状態を監視すれば問 題のない状態である。	定期的な目視確認の結果、ク ラックの進行、コンクリートの剥 能-剥落、エフロレッセンス及び 濁水の拡大などの終年的なコン クリートの劣化は確認されず、 安定した状態にあると考えられ る。	定期的な目視確認の結果、大 きなクラック、コンクリートの剥 離・刺落、エフロレッセンス、漏 水などのコンクリート劣化は確 認されていないことから、安定し た状態にあると考えられる。	目視確認の結果、特段の変状 ばみられないことから、日常の 選得。点検は、以状態を経現す れば問題のない状態と判断さ れ、状態監視を継続することで 良い状態と評価される。	目立ったひび割れは確認され ず、特に変状は認められない。						
				洪水吐き(土木構造物部分)	洪水吐き(土木構造物部分)	洪水吐き(土木構造物部分)	洪水吐き(土木構造物部分)	洪水吐き	洪水吐き(越流部	越流部コンクリートの状態確認 とは、範囲はわすかである が、エフロレッセスの析出を伴う うして新れ、コンクリートの刺離 が確認されに一端に生じてい るが、ダムの安全性及び、機能 に影響を及ぼすおそれがないと 判断され、状態整理を継続する ことで良い状態である。	越流部についてはひび割れが 確認されているが、堤体の安全 住に係わる大規模な多化及び 損傷は確認されていないとか 6、各年的に見て大きな変化は 見られず安定した状態にある。	定期的な目視確認の結果、ク ラックの違行、コンクリートの制 継・制係、エフロレッセンス及び 温水の拡大などの経年的なコン クリートの劣化は確認されず、 安定した状態にあると考えられ る。	定期的な目視確認の結果、大 きなUU割れ、コンクリートの剥 継・剥落、エフロレッセンス、な どのコンクリート劣化は確認され ていないことから、安定と状 想にあると考えられる。	コンクリートの取縮によると推察 される軽増なひい割れが増認される他、進安納水ドが抜けた、 ことによる小規模な断面欠損も 確認された。その他、特段の変 状は確認されていない。 以上の状況から、1年の通 様、点線により状態を整代費が は問題のない状態と判断され、 状態態技術を継ずることで良い 状態と評価値れる。	クレストゲート戸当たり金物の 上下流側でコンクリートの欠 損、下流側であろ的な鉄筋の 富山、寛食が見られている。 高速の流いに盛れる場所で あるため、ゲート下流側のコンク リートの欠損、部分的な鉄筋の 潤出については、非洗水剤によ、非洗水剤に 電出にこいては、非洗水剤にし、非水 目の支われ、増価 に著しい道代が見られた場合に は、措置を講じる必要がある。
								導流部	(凍害によるひび刺れが発生 し、順次補修対策が進めり すいている。今後とも、計画 的に補修対策を進める必要 がある。	水平打種目や障礙目におい て、少重の調米が確認される が、調水箇所数や漏水規模は、 提年的に大きな変化は見られ ない。また、コンクリートの利 牌、遊艇石灰や摩耗によるへこ み等の変状が見られるが、経知 なものであり、これまでの経過 から見ても急に温服することはご服することは ないと想定される。以上から、部 今的な劣化・損傷等は見られる ものの、日常の遥視・点機によ り状態を経現すれば問題のない 状態である。	■流部の機種目みよび水平打 繊目等に調水の構築的に規調 されていることから、引き様き経 過観察とだ点観測による応録を 援すとさい。に状況の変化 の有無を形態できるように注視 しておくことが必要である。	③水社を導売者の機種目まよ び水平打種目を二面水材観察 され、導流壁にひび割れが観察 されていることからう提続き経 通報家と定点観測による記録を 残すとともに、常に状況の変化 の有無をそ間できるように注視 しておくことが必要である。	補修箇所の再多化の進展やし 「初和宅の支大は協設される ことから、状態医視の強化を維 続するとさした。必要に応して無 構修等の指置を講じる必要があ る。	いび割れのほか、ひび割れや 水平打籠目からの圏水、エフロ レッセンスの労出も確認され る。これらの変伏はいずれも経 優であり、ダムの多全性に影響 を及ぼすものではない。、		
			減勢工	-	導流壁に堤体導流部の境界か ら伸びる縦方向のひび割れが 存在し、捕除が行われている。 現状では錆汁の発生等の変状 は確認されていない。また、遊 離石原を伴うひび割れは多数 見られる。以上より、日常の運 様・点候により状態を猛害すれ は問題のない状態である。	ひび割れやエフロレッセンスの 析出が確認されるが、経年的に 大きな変化し見られず、安定し た状態にある。また、ひび割れ からの鎖汁の滲出は確認され ておらず、内部鉄筋の腐食進展 は構造物としての機能に影響を 気にす程度まで進んでいないと 考えられる。	ひび割れやエフロレッセンスの 析出が確認されるが、経年的に 大きな変化し見られず、安定し た状態にある。ひび割れからの 購汁の滲出は症認されておら ず、内部鉄筋の腐食進風は構 違物としての機能に影響を及ぼ う程度まで進んでいないと考え られる。	導流壁の打維面から地山湧水 が滲出する状況については確 認されるが、その他、機能に影 響を与えるような変状は発生し ていないことから、日常の巡視- 点検により状態を監視すれば問 題のない状態であると判断され る。	ひび割れ、および副ダム越流部 には、摩耗による不能(ユンク リートの刺風、粗骨材の露出) が確認された。いずれの変状も 軽徴てあり、ダムの安全性に影 響を及ぼすものではない。							

表-2.3.3(2) コンクリートダムの状態(その2)

ダム名			Gダム	Нダム	١٩٦	JÝL	кўд	Lダム							
	ダム	型式		重力式	アーチ重力式	重力式	アーチ式	重力式	重力式						
	管理	開始		1992年3月	1969年3月	1998年3月	1970年7月	1999年3月	1984年4月						
	所在	E地		奈良県	京都府	京都府	三重県	三重県	兵庫県						
	堤	高		72.0m	67.0m	67.4m	82m	70.5m	75.0m						
	堤頂	1長		322.0m	208.7m	438.0m	275m	355.0m	285.0m						
近岸恒			331千m [°] 	214千m°	670千m ³ 五井(POD T 計)	175千m°	426千m [°] 売告エ注(快速) ヌエ注)	441千m ³							
対数上の合			山 (小 二 本 (加 法 レ ア 二 法) 中 庸 熱 フライアッシュセメント	セムエム 中庸熱ポルトランドセメント	山(人工法(RCD工法) 中庸熱フライアッシュセメント	セムエム 中庸熱ポルトランドセメント	面 (人工法 (払張レア工法) 中庸熱フライアッシュセメント	柱 仏工法 高炉セメントB種、							
(7-7	F式を除 クリート	た。 き、内i (記合)	部コン	C=130kg/m ³ 花崗岩 Gmay=150mm	C=165kg/m ³ 、 花崗岩 Gmax=150mm	C=120kg/m ³ 、 砂岩・百岩 Gmax=80mm	C=230kg/m ³ 、 花崗片麻岩 Gmax=120mm	C=130kg/m ³ 、 花崗岩・片麻岩 Gmay=150mm	C=140kg/m ³ 花崗閃緑岩 Gmax=150mm						
					н	目立ったひび割れは確認され ず、特段の変状は認められな い。	高標高部にアルカリシリカ反応 (ASR)によるものと推定される 亀甲状の微細いび割れからエフ ロレッセンスが確認されている が、ダム堤体の安定性に影響を 及ぼすような変状にはなってい ない。	目立ったひび割れ等は確認され ないが、一部の水平打離目に工 フロレッセンスが確認される。ま た、ダム堤頂部の高欄と堤体コ ンクリートの境界都付近からの エフロレッセンスと、漏水の滲み 出しが確認される。これらの変	堤体上流面およびフーチングに 軽微なひび割れ等の変状が生 じており、状態監視強化を継続 する必要がある状態である。	主な変状としては、J1からのエ フロレッセンスの析出、J2から の漏水による滲みとBL22の水 平打離目からのエフロレッセン スである。 いずれも堤体の安定上、直ち に問題となる変状ではない。	目視確認では、堤体上流面に 問題となる変状は確認されてい ない。				
ダム施設・貯水池の状態検査上木構造物の状態			流		右岸スラストブロック上流面の ひび割れについては、表面に限 定されており直ちにダム堤体の 安定性に影響を及ぼすような変 状にはなっていないため、今後 も引き続き、定期巡視等におい て状態を監視していく。 四代丁芝英のセッサットは第日から	状については、堤体の安全性 及び機能に影響を及ぼすおそ れはないと考えられる。	短井 1-7 = 71 ゴロートのて注意	短けて支下の短んづつしたため	ゴロークロナカはちにナリップ語						
		堤体(コンクリートダム)	堤体(コンクリートダム)	堤体(コンクリートダム)	堤体(コンクリートダム)	下流面	寝休下派園によフロレツゼンズの研託」講水が限られ、気法の見られ、気法の見られ、気法が低下する冬季に満水を絶り返している面所がある。また、堤地 部にブロック全体に渡って連続 するクラックが確認されている。このため、引き続き、素水については享賀場による左原期的による定期的によるたまか な観察、クラックについては零 の計測を行うことが必要である。	遅休下流皿の水干1種目および採機置からのアオレッセンス、部分的にアルカリシリカゲル を伴った個中状化し著れ及び始 方向に沿ったびび剥れからのエ フロレッセンスが確認される。 BL4の水平打種目から温水が 発生している、平成な6-27 年が良生までいる、平成26-27 年度に実施した総合直検約 から温水筋の広れや温水量の 増大は特段認められない。	浸体下浜面の水+11種皿等か ら季節的11増減する濃水が増 続している。今後さら必要に応じ て、既在の対策工の効果検証 も含めた現象の把握と、漏水量 の低減に向けた取り組みが必 要である。	寝れとスラストランリングの「永直」 に各数ななり近れ、様種目から の漏水等が生じており、状態監 復強にをを聴動する必要がある 状態である。	様体下流面の成本カリク中央 付近で、堤敷部から街道上方 への温度及しび割れた推測されているが、 その幅やを長からはひび割れが 堤体深部にまで雇風ていないいと推定される。水平打趣目付近 から桁出するエフロッセンス はBL9~BL21の概れに280m 以下に多く確認されている。 BL2の水平打難目付近及び BL3のUび割れからの満水、20本の満っ出しが確 認されているが、堤体下流面に 漏水が滲み出る程度である。	ノロックの中央付加にあいて達 体基礎部したコーテングが必 概ね鉛直方向に達展する外部 特束による温度以び剥れが電 さは概却いリント素であること から、現時点で堤体安定性に問 題となる表状には至っていない と考えられている。堤体の水平 打種目、繊維目面肌、UC割 日本目したの水子 用種目、繊維 目面の水子 スの新出が電差れており、 これらのエフロレッセンス析出 箇所の多くに、冬期に黒水が発 生している箇所である。			
						-ダム)	-ダム)	ダム)	堤頂部	ダム輪が曲線部分の堤頂部で アスファルは発展面に上下流力 向のじび靴れが確認され、幅の 拡大傾向が現える。 このため、引き続きクラック幅 の計測を行うととも、幅の紅 大傾向が続く場合には、舗装下 の堤体コングリートの状態を調 量することが必要である。	天場道部の高層には、ASRによ るものと推定される亀甲状のし び割れ、あび軸方向に高少たひ び割れが確認され、しび割れか らのエフロレッセンス新出が確 認されている。これらには厳防 の備計等は推認されないることから内部鉄防の腐食跡張には 至っていないと推定され、ダム の安全性及び機能に影響を及 ば考ものではないと考えてい る。	ス端道路の見通しにおいて、変 位等は認められない。 天端根度高編の下流線の前 壁において、エフロレッセンスの が確認される。 天端根定高欄におけるエフロ レッセンスは続けを伴っておら は気がの露出は建設されてしいな いことから、根定の構造上、信 ちに問題なる変状ではないと 考えられる。	左岸堤頂部下洗鴨路肩コンク リートにダム熱方向のひび割れ があり、わずかに拡大傾向が見 られるので、必要に応じて措置 を譲じるか要がある状態であ る。また、右岸堤間部に網目状 のひび割れ等の劣化が生じて おり、状態整視途化を継続する 必要がある状態である。	天端側水路の底面と一連のダ ム軸方向(御町方向)のひび利 れが確認されため、数年間、 いび利れ価の規測を実施し、述 大傾向は見られなかったことか ら、進量位は無人 堤体ユンク リートへの影響は無しと判断さ れ、補修が行われている。その 後、変状は認められていない。	天端高欄コンクリートでの鉄筋 富祉や天津コンクリートの身地 先端でのコンクリートの剥落が 挙げられるが、置わた埋体安定 性に問題となる変状に はなっていない。
	土木構造物の状態			盤 査 齏	クロスギャラリーにエフロレッセ ンスの新出、水の添み出し等が 見られる鍵目がある。また、ダ ム釉が曲線部分の監査部の鍵 目でコンクリート角部の刺進 してコンクリート角部の刺進 につたり、写見れる。 このため、写見もある。 な況変化の把握、鍵目の隙間 の計測を行うことが必要であ る。	至査部内に広所々でUび利れ が確認される状況であるが、ひ じ割れからの第汁については 確認されていない。また、機種 目、水平打種目あるいは天井 のUび割れからのエフロレッセ ンスが認められる。 鉄筋が濡出し、腐食が確認され る箇所もあるが、局所的であ る。 いずれの変状も経微である。	BL24天井部にダム範方向のひ び割れが確認されるほか、ジョ イントやモルダルによる補修約、 警からエフロレッセンスが新出 している。ひび割れについて は、堤体を貫通するものでない にと、エフロレッセンスは領計を 伴わないことから、これらの変 状はコンクリートの安定性に感 響を及ぼすものでは無いと考え られる。	様題日や水平打算日からのエ フロレッセンスの析出および運 水の滲みがある。また、ひび朝 れから選木の滲みを待ちエフロ レッセンスが確認をれている。 鉄筋腐食に伴うびび朝れの発 生やコングリート制種・剥落は確 認されなかった。変状につい て、進展は見られない。	経費な変状として、温水による 滲みおよびエフロレッセンスの 粘土が、敷力所で確認されてい るが、現時点で動きを伴ったエ フロレッセンスと至っておらず、 温水も滲み出し程度である。	基礎室室範の病角部の壁面に 生じているひび新れから、第汁 が浄出していることから、必要 に応じて指置(補修)を講じる必 要がある。					
		洪水吐き(土木構造物部分)	洪水吐き	流入部	非常用洪水吐き流入部のコンク リートの状態確認としては、コン クリートの浮き、欠落、剥離及び 目立った クラックは確認されず特に変状 は認められない。	洪水吐き流入部(ミコンクリート の浮き、欠落、剥離及び目立つ たひび割れは確認されず、ダム の安全性及び機能に影響を及 ぼすおそれのある変状は認めら れない。	コンクリートの浮き、欠落、剥離 及び目立ったひび割れは確認さ れない。	流入部の門柱コンクリートに微 細なひび割れの劣化、損傷が 生じており、状態活発強化を継 続する必要がある状態である。 また、中央右の門柱に調材腐 食によるコンクリートのひび割 れ、浮き上がりがあるので、対 たを検討し、必要に応じて措置 を讃ばる必要がある状態であ る。		部分的な劣化・損傷等はみられ るものの、日常の巡視。点検に より状態を逃視すれば問題のな い状態である。					
				洪水吐き	洪水吐き	洪水吐き	洪水吐き	洪水吐き	洪水吐き	越流部	目立ったひび割れ、コンクリート の剥離、鉄筋の露出は値容さ れず特に変状は認められない。	目立ったびび割れ、コンクリート の剥離、鉄筋の営出は確認さ れず、ダムの安全性及び機能 に影響を及ぼすおそれのある変 状は認められない。	非常用述水はき越志都の戸当 たり近傍の2次コンクリートが部 分的にな損しており、高速点に より洗掘して損傷が進むおそれ があるため、必要に応じて補修 が必要である。	特に問題となる変状は確認され ていない。	天端側水路底面のダム軸方向 ひび割れについては、拡大傾向 は見られないが、局所的な劣 作:損傷が見られる。引き続き 計測、監視を行うとともに、劣 化:損傷に対しては必要に応じ て措置を満じる必要がある状態 である。
			導流部	導流部は、ひび割れとひび割れ からのエフロレッセンス相は、溜 水が確認される。ただし、ひび 割れの幅はいずれも裁雑であ り、温水についても滲み出し程 度である。また、一部の水平打 組目から濁水が確認されるが、 その量に滲み出し程度である。 考売型(宅岸等)の一部にさ 、 考売型(宅岸等)の一部にさ いて、水平打趣目からのエフロ レッセンスの折出の確認され る、コンクリートの浮き、欠落、 剥離などは認められない。	水平打線目からのエフロレッセ ス、水平ひび割れ、オリフィス ゲートセロ部の足骨襲環境型 にひび割れが確認される。ひび 割れからは温水や鍋汁はまして におして、場点部のひび割れ が明起たな」をドビテーション によりコングリートの剥離や欠損 が呈して数約である。とから、今後、変 状の状況を定期のに整備する 必要がある。	決水吐き導流部において、コン クリートの欠損の日ご部分が あるので、損傷が拡大しないよ う必要に応じて補修する必要が ある。		コンクリートの浮きや剥離が進 展している箇所があるので、必 要に応じて補修対算工具を検 討し、措置を満じる必要がある 状態である。	部分的な劣化・損傷等はみられ るものの、日常の温暖・点検に より状態を整視すれば問題のな い状態である。						
				左岸側減勢工側壁の一部に水 甲打穂目からのエフロレウゼン スの析出やひび割れが確認さ れるが鍋汁は確認されない。 また、コンクリートの浮き、欠 落、刺離なども認められない。	側壁には初生的な鉛面ひ送剤 い、ひび割れからエフロレッセン スが確認されている。近年の進 展はみられない。 次印部には刺離欠損、コンク リー、表面の摩邦による不整。 装筋雲出が確認される。現時点 においては補修を必要とするも のではないが、今後の経過を把 握する必要がある。	導流壁では、横維目あるいは水 甲打雑目からが出したエフロ レッセンスが確認されるが、い ずれも錆汁を伴っていない。ま た、左岸側弾流壁の水甲打雑 目において、漏水が確認され る。 これら変状は、ダムの安定性 及び機能に影響を及ぼすもので はないと考えられる。	左岸導流壁下部の廣邦ならび に水平打種面から回潮水、減 勢工シル全体のひび割れ等、 変状が生じており、状態整視強 化を継続する必要がある状態で ある。	左岸導流壁の鉛直方向に確認 されるエフロレッセンスは、導流 壁天緩付近で確認されているこ とから、内部拘束によるひび割 れが生じ、そのひび割れから生 じたものと推定される。現時点 で領計を作っていないため内部 気筋の腐食には至っておらず、 構造上問題となる変状には至っ ていないと考えられる。	部分的な劣化・損傷等はみられ るものの、日等の通想・点徴 より状態を監視すれば問題のな い状態である。						

表-2.3.3(3) コンクリートダムの状態(その3)

ダム名			Mダム	Nダム	0ダム	Рダム	Qダム			
	ダム	型式		軍力式	軍力式	軍力式	軍力式	軍力式		
	管理開始			1978年3月	1975年3月	2001年3月	1975年10月	2013年3月		
	所在地 德島県		徳島県	高知県	愛媛県	愛媛県	大分県			
	堤	高		24.0m	106.0m	106.0m	42.0m	94.0m		
	堤頂	展		247.0m	400.0m	250.0m	138.0m	370.0m		
	堤体積			52千m ³	1,139∓m ³	510∓m ³	80千m ³	580千m ³		
	打設工法			柱状工法	柱状工法	面状工法(RCD工法)	柱状工法	面状工法(拡張レア工法)		
<i>(</i>	材料·配合			普通ポルトランドセメント、	中庸熱フライアッシュセメント、	中庸熱フライアッシュセメント、	高炉セメントB種	中庸熱フライアッシュセメント、		
0-	ナ式を限 クリート	だ、Mi ・配合)	ポコン		C=150kg/m ⁻ 、 角閃岩、Gmax=150mm	C=120kg/m ⁻ 、 角閃岩、Gmax=80mm	C=150kg/m ⁻ 、 砂質片岩、Gmax=120mm	C=140kg/m ⁻ 、 安山岩、Gmax=80mm		
ダム施設・貯水池の			上流面	亀甲状の酸糖なクランが確認 されておりれた的な乾燥収除 いび割れの可能性もあるが、7 ありかり広気の可能せもある、5 また、水平打種目及びい対応 いち部分的にエフロレッセンス の析出、コンクリートの制度、租 骨材の露出が確認されている。 以上から経験なら化・損傷等は としているが、ダムの安生及 び機能に影響を及ぼすおそれ がないと判断される。	上流面に異常はみられず、状態 登視を継続することで良い状態 である。	部分的かっ登録なま化、損傷 等はみられるための、日常の逆 視・点検により状態を監視すれ は問題のない状態である。	場体上流面、フーチングにひび 新れが生じている。現状では深 節までのひび新れの進展、水平 打雑目の多化による温水の増 加は見られない、ゲート門柱基 部付近に水平支向から川間下 がりのひい新れが複数見られ る。以前と比べ、ひじ新れの増 加・得長は確認されているが、 現状で周辺設備やゲート操作 等への影響はとていない、 ダムの機能は保持されている と判断されるものの、速やかけ 対策を満にる必要がある。	上流面に異常は見られず、状態 登視を継続することで良い状態 である。		
		堤体(コンクリー-	下流面	ビアに破方向の微細ないび割 れなどの破壊な安伏が確認と れるが、状態監視で問題ない状態である。	堤体下流面に濁水がみられ、 防水位により、激大量が増減す る箇所が数か所みられる。引き 続き状態整視を強化しておく必 要がある。	いび割れ及びエフロレッセンス がみられ、引き続き状況を経過 観察し、マップ等記録を脱し。必 要に応じて措置を測こる必要が ある。 提体下流面の濃水は、時期(ヴ 水位・温度)により温水値所及 び程度(電・範囲)が変化する が、いずれの箇所も少重からに しみ程度である、高水箇所の増 加傾向は見られない。	管理開始初期では堤体下流面 に漏水は確認されなかったが、 管理開始後23年耗過した1997 年には、堤体下流面左岸側に 温水が確認された。2011年6月 ~2012年9月に実施された止水の 対気は安定しているが、2016年9月 次は安定しているが、2016年8月 前が変立位の影響とみられる堤体 上流面で確認をおれているび、割 れが進展する可能性があり、速 やかに対策を講ばる必要があ る。	堤体下流面において漏水が確 認されており、目を続き状態監 視の強化が必要である。		
		トダム)	堤頂部	ダム天城の天端道路番茄、高 欄、地種によいで君手不開き かるのが、地種において君干開き があるが、拡大傾向は見られな い、したがって、状態整視で問 題無い状態である。	堤頂部に異常はみられず、状態 変視を継続することで良い状態 である。	左右単における、上下流高欄に は登み見見られない。 一部の天陰都高青鞭目とのズ 以及び種目の聞きはあるが違 頃都については、安定している と考えられる。	垣頂道路部の暫定対策後、現 時点では没意名件引上下流方 向のひび新れは発生していない が、道路面のコングリートにひび 割れが発生し濃度している。ま た、堤頂節の高端でジョイント部 の数箇所で見られる開きやす れは、堤谷の登州への異情的 な変形に関係している可能性が ある。これらの状態していく くムの機能は没持されているど 判断されるための、違さかにに留 置を決しる必要がある。	経徴ないび利われ生じている が、状態度現を継続することで 良い状態である。		
	土木構造物の状態		監査廊		整査廠の壁面、頂部に発生した ひび割れからの漏水が継続的 にみられている。引き続き状態 整視を強化した必必要があ る。また、ケーブルラックにエフ ロレッセンスの強があられ、状 態を記録したうえて、速やかに 除去する必要がある。	エフロレッセンスの発生箇所は 増えているが安定した状態にあ る。部分的かつ発微な多化・損 傷等はみられるものの日常の 必視・点検により状態を監視す れば問題のない状態である。	いび割れやエフロレッセンスが 多数確認されている。BL10付 近のいび割れの発生位置は堤 体の上下流面に発生しているク ラックと概ね整合しており、堤体 の学数とIBR(ていることが設 定されることから、ダムの機能 は保持されていると判断される ものの、速やかに計置を講じる 必要がある。	軽微な劣化-損傷は生じている が、状態監視を継続することで 良い状態である。		
^態 検 査	2				流入部	過年度にゲート上流側のコンケ リートの劣化・損傷等の潜水町 差及び応急対策を実施している 若及び応急対策を実施している が、その後の状態把握が行わ れていない。ダムの安全性及び 機能は保持されていると判断さ れるものの、今後とも計画的に 調査を実施し、必要に応じて措 置を達じていく必要がある。	ひび割れやそれに沿ったエフロ レッセンスなど、劣化・損傷がみ られ、引き続き状況を観測し、 必要に応じて措置を講じる必要 がある。	軽微な劣化・損傷等は生じてい るが、ダムの安全性及び機能に 影響を及ぼすおそれがないと判 断され、状態監視を継続するこ とで良い状態	現状では越流を阻害するような 大きなクラックや剥離は確認さ れていない。	流入部に異常は見られず、状態 監視を継続することで良い状態 である。
		洪水吐き	越流部	近年、ゲート整備的に 越流都 コンクリートに洗腸が確認され、 繊修を行ってきている。ダムの 安全性及び機能は保持 されて いると判断されるものの、引き 続き、ゲート整備に合わせて、 劣化: 損傷の状況を計画的に把 握し、必要に応じて措置を講じ る必要がある。	軽微なクラックが確認できるが、 状態監視を継続することで良い 状態である。	軽微な劣化・損傷等はまじてい るが、ダムの安全性及び機能に 影響を及ぼすえたがないと判 断され、状態監視を継続するこ とで良い状態	越流面は、実化や損傷等による ケー時間機能への支援等は2 認められない。しかし、越点部 の門柱側面については、堤体 の谷側への実用的な変形の影響とみられる円柱の基面や側 面にみられるクラングが退度す る可能性が効果くダムの機能は 保持されていると判断されるも のの、速やかに措置を講じる必 萎がある。	越流部に異常は見られず、状態 室視を継続することで良い状態 である。		
		(土木構造物部分)	導流部		高速な淡水にさらされる底面に グラウトバイク回路カンンク リート、水平打聴差目の二次コ ンクリートの制造がらられる。グ ムの安全性及び爆縮は保持さ れていると判断されるものの、 均傷の程度が逃行していること から、速やかに多がしまれる。 から、速やかに多いも損傷が分 を補修する必要がある。	高速な淡水にさらされる底面 に、水平町増加いを主した しび利れがわられ、また側壁に も病角部におけるひび利れが増 認される。引き様を状況を経過 観察に、記録を読し。必要に応じ て措置を講じる必要がある。	現状では放流に影響を及ぼす ような大規模なびが利礼、刺機 等は確認されていない。目視調 変の結果では、経験な変状(ひ び割れや水平打撃目からのエ フロレッセンス等)が見られた。	導流部に異常に見られず、状態 監視を継続することで良い状態 である。		
			減勢工		流水のエネルギー清散にさらさ れる側壁にコンクリートの刺離 がみられ、鉄筋が露出してい る。このため、ダムの安全性及 び機能は保持されていると判断 されるものの、違さかに劣化・ 損傷部分を補修する必要があ る。	ひび割れ及びエフロレッセンス がみられ、引き続き状況を経過 観察し、マップ等記録を残し、必 夏に応じて措置を講じる必要が ある。	な読操作に影響を及ぼすような 大規模な側壁のうック、コンク リートの割離等は確認されてい ない。 数流管出口下部のコンクリート 剥離箇所については、流入に よって削離が拡大する等の影 響を受ける箇所であり、必要に 応じて措置を満じる必要があ る。	軽微なひび剥れ等は生じている が、状態監視を継続することで 良い状態である。		

17 基のコンクリートダムの部位ごとの状態について概説すると、以下のとおりである。

(1) 堤体上流面

堤体上流面に確認される変状として,温度応力あるいは乾燥収縮によるひびわれ, ならびにひび割れや打継目からのエフロレッセンスの滲出など,軽微で進展性の低い 変状が多くのダムで確認されている。一部のダムにおいては,進展性の高い変状であ る,凍結融解作用による変状,アルカリシリカ反応によると推察される変状も確認さ れている。

(2) 堤体下流面

堤体下流面における変状としては、上流面と同様に温度応力あるいは乾燥収縮によるひび割れ、ならびにひび割れや水平打継目からのエフロレッセンスの滲出のほか、 水平打継目からの漏水現象が多くのダム(17 ダム中 16 ダム)で確認されている。この 下流面漏水は、多くのダムにおける主な変状となっている。一部のダムでは凍結融解 作用、アルカリシリカ反応によると推察される変状も確認されている。

(3) 堤頂部

ほとんどのダムにおいては、高欄コンクリートの収縮ひび割れ等の軽微な変状のみ が確認される。一部のダムにおいてはアルカリシリカ反応によるものと推察されるひ び割れや変形の進展が確認されている。

(4) 監査廊

監査廊内面には微細な収縮ひび割れ,及びひび割れや継目からの漏水やエフロレッ センスの滲出がほとんどのダムで確認される。一部のダムにおいては,監査廊屈曲部 における開口ひび割れからの漏水,鉄筋腐食による錆汁やかぶりコンクリート剥離が 確認されている。また,堤体上流面のひび割れに対応するひび割れが監査廊において 確認されたダムも確認されている。

(5) 洪水吐き流入部

多くのダムにおいては微細なひび割れ等の軽微な変状以外の変状については確認されない。一方で、一部のダムにおいては摩耗やひび割れの進展による内部鉄筋腐食等 の進展性の高い変状が確認される。 (6) 洪水吐き越流部

目立ったひび割れは無い,もしくは微細なひび割れが生じている等の軽微な変状の みが確認されるのが,多くのダムの状況である。一部のダムにおいてはゲート戸当り 付近の欠損や越流部の浸食等の変状,あるいはアルカリシリカ反応によると推察され る進展性の高いひび割れが確認される。

(7)洪水吐き導流部

約半数のダムにおいては、微細なひび割れ、水平打継目からのわずかな漏水滲み、 あるいはエフロレッセンスの滲出などの軽微な変状のみが確認される状況である。残 りの半数については、凍結融解作用によるひび割れ、流水による導流部の打継目付近 や二次コンクリートの剥離欠損が確認される。

(8) 洪水吐き減勢工

多くのダムにおいては,軽微なひび割れやエフロレッセンス等,ダム機能への影響 はほとんど無い軽微な変状が確認される程度である。一部のダムにおいては,放流水 によるコンクリートの摩耗が進展し,鉄筋が露出している状況にある。

次に,17ダムのコンクリートの状態と(1)立地環境,(2)施工,(3)材料・配合,(4) 経過年数との関係について分析するとつぎのとおりである。

(1) 立地環境:17 ダムのうち、冬季に数mの積雪のある寒冷地に唯一,所在するA ダムにおいては凍結融解による変状が確認されている。その他のダムの所在地も冬季に は気温は氷点下に下がる箇所がほとんどであるものの、堤体あるいは洪水吐に凍結融解 による変状が確認されているダムは無い。

(2)施工:堤体の打設方法は、従来工法である柱状工法で施工されたダムと、近年の 合理化施工法である面状工法で施工されたダムに大別される。面状工法で施工されたダ ムの変状が若干少ないものの、完成後の経過年数は面状工法ダムが相対的に短いため、 施工方法の違いに因るものか否かは評価できない。

(3) 材料・配合:近年の面状工法で施工されたダムで使用されている結合材は、中庸 熱ポルトランドセメントをフライアッシュで一部置換している中庸熱フライアッシュセ メントである。それ以前の柱状工法ダムにおいては前期には中庸熱ポルトランドセメン ト,後期には高炉セメントB種が使用されている傾向がある。また、単位結合材量は、 面状工法のダムでは、柱状工法のダムに比較して少ない。また、いくつかのダムではア ルカリシリカ反応の可能性もある変状が確認されているが、使用骨材の岩種との間には 明確な関係は認められない。一方,中庸熱フライアッシュセメントを使用しているダム にはアルカリシリカ反応の可能性がある変状は確認されていない。このアルカリシリカ 反応によると推察される変状以外には,材料・配合とコンクリート状態との間には明瞭 な関係は認められない。

(4)経過年数:全体的な傾向として,完成後の経過年数が少ないダムは,変状が相対 的に少ない傾向が認められる。

これらの状況をまとめ,我が国の供用中のコンクリートダムの状態を述べると次の とおりである。

(1) ほとんどのコンクリートダムにおいて,コンクリートの乾燥及び温度低下に よる収縮ひび割れが数多く確認されている。このひび割れは,初期欠陥であり,経 時的な進展性はが小さいと考えられるが,漏水やエフロレッセンスの滲出の原因と もなっている。

(2) ひび割れ及び水平打継目からの堤体下流面漏水は、ほとんどのコンクリート ダムにおいて確認され、コンクリートダムにおける主要な変状である。また、水平 打継目からの下流面漏水には、経年的に増加する傾向が見られる。

(3) ダム貯留水の放流時に使用する洪水吐きは、高速で土粒子等を含む放流水に よる表面コンクリートの摩耗や欠損が多くのコンクリートダムで確認される。ほと んどのダムにおいては、ダムの機能にすぐに影響が及ぶものではないが、確実に進 展する変状であり、注意が必要である。

(4) 道路構造物等の一般的な土木構造物において,早期劣化の要因とされる,凍 結融解作用やアルカリシリカ反応によると推察される変状についても確認されてい る。これらの変状の事例は少なく,劣化グレードについても一般土木構造物に比較 して軽微であるが,劣化グレードが低くてもダム機能への影響は決して小さくはな い。

(5)極めて厳しい寒冷地等の立地環境条件の影響は受けるが,アルカリシリカ反応が疑われる変状を除き,材料・配合,あるいは施工法は,変状発生の明確な要因となっていない。

(6) コンクリートダム堤体の完成後の経過年数が大きくなると,懸念される変状が多くなる関係が認められる。

以上のコンクリートダム堤体の変状の状態を考慮すると、現状において、直ちに何 らかの措置を講じる必要がある状態ではないが、変状は経年的に増加している傾向が 見られ、決して維持管理を疎かにしても良い状態では無いと言える。

2. 4 本章のまとめ

本章では、コンクリートダムの維持管理の現状を示すものとして、我が国におけるコン クリートダムの設置状況と性能維持のための維持管理システムをとりまとめるとともに、 ダムの規模や完成後の経過年数等が多様な17のコンクリートダムにおける変状の状況に ついてダム定期検査と同様の方法で、我が国におけるコンクリートダムの変状を分析・検 討した。結果をとりまとめると以下のとおりである。

- (1) 我が国におけるコンクリートダムの設置数は約 1000 基であり, 2020 年時点において, 設置後 50 年が経過したコンクリートダム数は約 500 基弱である。
- (2) 我が国において,法令である「河川法」及び「河川管理施設等構造令」,ならびに 技術基準である「河川砂防技術基準 維持管理編(ダム編)」によって,ダムの維持管 理システムは定められている。
- (3)ダムの維持管理システムの一環で行われているダム定期検査の結果によると、ダムの状態として、直ちに措置を講じる必要のあるダムは存在しないが、速やかに措置を講じる必要のあるダムが全体の16%程度、必要に応じて措置を講じる必要のあるダムが48%程度存在する。
- (4) コンクリートの乾燥や温度低下による収縮現象に起因すると推察されるひび割れ、 ならびに堤体下流面で確認されるひび割れや水平打継目からの漏水がほとんどのコンク リートダムにおいて確認される主要な変状である。また、コンクリートダム洪水吐の越 流部あるいは導流部における放流水による摩耗やキャビテーションによる変状も多くの コンクリートダムで確認される状況にある。これらの変状については、現時点ではダム の安全性及び機能は保持されていると判断されているが、維持管理を適切に実施しなければならな い状況にある。
- (5) コンクリートダムの変状の中でも洪水吐きの摩耗やキャビテーションによる変 状,ならびに堤体下流面漏水として確認される水平打継目の変状は,経年的な進展 が確認されるものであり,状態を把握すべき変状である。特に,水平打継目の変状 は,ほとんどのダム堤体で確認されるものであるが,変状が堤体内部で進展するた め,状態の把握が容易に行えないこと,変状が進展した場合,直接,堤体の機能低 下に影響することから,特に状態の把握を留意して実施すべき変状である。

参考文献

- 1) 橋本鋼太郎,菊川滋,二羽淳一郎編:社会インフラメンテナンス学,Ⅱ工学編第5章 社会インフラ部門別のメンテナンス 5.1 ダム, pp. 363,土木学会,2015年12月
- 2)橋本鋼太郎,菊川滋,二羽淳一郎編:社会インフラメンテナンス学,Ⅲ部門別編(ダ ム編), pp. 18, 土木学会, 2015 年 12 月
- 3) 日本ダム協会編:ダム年鑑 2013 を基に作成
- 4) 河川法:昭和39年法律第百六十七号,最終改正:令和二年四月一日施行
- 5) 河川法施行令:昭和40年政令第十四号,最終改正:令和元年十二月十六日施行
- 6) 国土交通省河川砂防技術基準 維持管理編(ダム編),2016年3月
- 7) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課:ダム総合点検実施要領・同解説,2013年 10月
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課:ダム定期検査の手引き[河川管理施設の ダム版],2016年3月
- 9) 国土交通省 HP: ダム健全度評価結果(平成 30 年度)

第3章 コンクリートダムの水平打継目の変状

3.1 本章の概要

コンクリートダムの堤体における変状として、堤体下流面において水平打継目からの漏 水現象がほとんどのコンクリートダムで確認されていることは前章において述べたとおり である。コンクリートダムの水平打継目で確認される漏水は、何らかの要因によって水平 打継目の遮水性能が低下し、ダムの貯留水が水平打継目を通じて下流面に到達することで 生じる現象である。したがって、ほとんどのコンクリートダムにおいて、水平打継目に漏 水が確認されるということは、ほとんどのコンクリートダム堤体の水平打継目に変状が生 じているということである。

そこで、本章においては、コンクリートダム堤体の水平打継目の変状に関して着目し、 以下に示す事項について述べることとする。まず、3.2においては水平打継目における 変状発生の一因であると推察されるコンクリートダム堤体の構造的な特徴について述べる こととする。次に、3.3においては水平打継目の変状の発生機構、及び水平打継目に変 状が生じた際に低下が懸念されるダム機能について述べるとともに、水平打継目に変状が 生じたダムの事例について述べる。さらに、3.4においては、このダム堤体の水平打継 目の変状を把握する方法について、これまで一般的に用いられている既往の方法とその課 題について述べるとともに、既往方法の課題を解消する新たな変状の把握手法について検 討した結果を述べることとする。
3.2 コンクリートダム堤体の特徴

コンクリートダムの堤体は、一般のコンクリート構造物とは多くの相違点を有してい る。そのため、土木学会コンクリート標準示方書においてもダムコンクリート編¹⁾として 一般のコンクリート構造物とは一線を画して、一つの編の中で、コンクリートダムに要求 される構造性能を確保するためにダムコンクリートが有していなければならない品質、及 びダムコンクリートがそれを有していることを確認する方法を、設計、施工、維持管理の 基本原則とともにまとめて記載されている。

コンクリートダム堤体は、①構造、②材料・配合、③施工、という3つの観点において、一般のコンクリート構造物とは異なっている。

構造の観点での特徴

一般的なコンクリート構造物は鉄筋コンクリート構造として設計されているが、中空 重力式コンクリートダム型式やバットレスダム型式を除いては、コンクリートダムの堤 体は重厚な無筋コンクリート構造として設計されている。コンクリートダムの型式を図 -3.2.1 に示す。



図-3.2.1 コンクリートダム型式²⁾

材料・配合の観点での特徴

堤体の構築に用いられているダムコンクリートは一般の構造物に使用されるコンクリ ートとは大きく異なっている。コンクリートダム堤体はマスコンクリートであり、温度 応力によるひび割れ発生を抑制するため、ダムコンクリートはセメントの水和反応熱に よる温度上昇を極力低減することが求められる。そのため、ダムコンクリートに使用す る結合材(セメント)には低発熱性のものを使用するほか、単位結合材量(単位セメン ト量)を極力減らした貧配合コンクリートを用いている。所要の発現強度、耐久性及び 水密性を確保した上で貧配合とすることを実現するため、さまざまな配合上の工夫を行 っている。まず、無筋コンクリート構造であり、部材寸法が大きいことから、一般コン クリート構造物では配置鉄筋や部材寸法によっては、その寸法に上限を設けなければな らない粗骨材の最大寸法をダムコンクリートでは大きくすることが可能となる。そこ で、ダムコンクリートでは粗骨材の最大寸法を 80mm~180mm と、一般のコンクリートに 使用する粗骨材に比較して大きな粒径の粗骨材を使用し、所要のワーカビリティを確保 するのに必要なモルタルの量を低減させている。また、更に、スランプが 3cm 程度、あ るいはゼロというような硬練りコンクリートとすることを許容することで単位水量の低 減,ひいては単位結合材量(単位セメント量)の低減を図っている。ダムコンクリート 配合の事例を表-3.2.1 に示す。

また、このような大粒径骨材を使用し、貧配合で、硬練りであるダムコンクリート は、一般的なコンクリートに比較して材料分離が生じやすい傾向を有し、打設時には細 心の注意が必要なコンクリートであるとも言える。さらに、大粒径骨材を使用すること でブリーディング水が骨材下面に溜まり、粗骨材とモルタルとの界面の付着強度が低下 する傾向を示す可能性も一般的なコンクリートに比較して大きくなると推察できる。

配合種類	ダム名	粗骨材 最大寸法	スランプ (VC 値)の範囲	空気量の 範囲	単位結合材量 C+F	フライアッシュ 置換率	単位水量 W(lea / m³)	水結合材比 W/(C+F)	細骨材率 s/a	骨材微粒分 置換量	備考
		Gmax(mm)	(cm or 秒)	(0)	(kg/m^3)	F/C+F(%)	VY (NS/ 111/	(%)	(%)	(kg/m^3)	
	布目ダム	150	3 ± 1	1 ± 5	200 220	35	$\frac{114}{114}$	57.0 52.0	25	I	打設前期 打設後期
	浦山ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	210	30	104	49.5	26	1	
H the	日吉ダム	80	3 ± 1	3.5 ± 1	220	30	115	52.3	30	I	
	比奈知ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	220	30	108	49.1	26	1	
1	富郷ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	210	30 35	108 109	49.0 51.9	25	I	→般期 夏期
	滝沢ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	210	30	100	47.6	28	1	
	大山ダム	80	3 ± 1	3.5 ± 1	220	30	110	50.0	28	1	
	布目ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	180	35	114	63.0	25	1	
	浦山ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	180	30	106	58.9	30	1	
∦ ∃	日吉ダム	80	3 ± 1	3.5 ± 1	180	30	113	62.8	30	1	
五重	比奈知ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	180	30	109	60.6	26	I	
	富郷ダム	150	3 ± 1	1 ± 6	180	30	101	56.1	25	Ι	
	滝沢ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	180	30	67	53.9	28	I	
	大山ダム	80	3 ± 1	3.5 ± 1	180	30	105	58.3	28	I	
	布目ダム	150	20 ± 10	1.5 ± 1	120	35	95	79.0	27	-	
	浦山ダム	150	$10 \sim 20$	1.5 ± 1	130	30	85	65.4	27	Η	
	日吉ダム	80	20 ± 10	1.5 ± 1	120 110	30	83 83	69.2 75.5	30	100 110	打設前期 打設後期
RCD用	比奈知ダム	Ι	-	-	-	I	I	-	-	Ι	
コンクリート	富郷ダム	80	20 ± 10	1.5 ± 1	120	30 40	93 94	77.5 78.3	30	I	──般期 夏期
	滝沢ダム	80	20 ± 10	1.5 ± 1	120	$30 \\ 40$	85 84	70.8 70.0	32	Ι	──般期 夏期
	大山ダム	1	Ξ	-	-	Ι	-	Ι	-	Η	
	布目ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	130	35	115	68.0	26	-	
	浦山ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	$160 \\ 140$	30	$\frac{106}{95}$	66.3 67.9	27 26	I	
	日吉ダム	80	3 ± 1	3.5 ± 1	140	30	110	78.6	32	1	
内部	比奈知ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	130	30	114	87.7	26	ļ	
有スランプコンクリート	富郷ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	140	30 40	97 101	69.3 72.1	25	I	 一般期 夏期
	滝沢ダム	150	3 ± 1	3 ± 1	140	30 40	98 96	70.0 68.6	28	I	一般期 夏期
	大山ダム	80	3 ± 1	3.5 ± 1	140	30 35	107 107	76.4 76.4	28	I	一般期 夏期

O配合事例 ³⁾
0
<u> </u>
ンク
Ц Ч
Ŕ
. 2. 1
表-3

③ 施工という観点での特徴

コンクリートダムは、大規模なマスコンクリート構造物であることから温度応力によるひび割れを抑制するため、堤体の構築にあたっては、左右岸(ダム軸)方向には10~15m程度、上下流方向には5~150m程度、厚さ0.75~2m程度の薄層の矩形ブロックを積み重ねるようにコンクリートを打設する。コンクリートダムの堤体下流面の写真に 打設ブロック割を記入したものを参考に図-3.2.2として示す。なお、左右岸方向の10~15m間隔(図-3.2.2では15m間隔)に設置された継目を横継目、高さ0.75~2m間隔(図-3.2.2では2.0m間隔)に設置された打継目を水平打継目という。



図-3.2.2 コンクリートダムの打設ブロック割の事例 (横継目間隔 15m, 水平打継目間隔(リフト厚)2.0m)

横継目は温度変化によるコンクリートの容積変化に伴って開閉するため、上流端には 打設時に、塩ビ製あるいは銅製等の止水板が埋設され、貯留水が開口した横継目を通 り、堤体下流面に流下することを防ぐ構造となっている。 一方,新旧コンクリート間となる水平打継目に対しては,水平打継目に生じたレイタ ンスを圧力水や電動ブラシを用いて除去するグリーンカットという作業を行った上で, 1.5cmの厚さでモルタルを敷き込み,コンクリートを打設することが繰り返されること で,コンクリートダム堤体が構築される。このグリーンカットは,作業実施のタイミン グが早過ぎると骨材を緩めたり,コンクリート表面を余分に取り除くおそれがある一方 で,遅すぎると十分な処理ができなくなる。そのため,グリーンカットはコンクリート ダムの構造の安全性および水密性を確保する上では非常に重要な作業となっている。ま た,一般的なコンクリートでは規定されていない⁴,モルタルの敷き込みを「標準」と している⁵ことも,コンクリートダムの構築方法における特徴の一つとなっている。グ リーンカットおよびモルタルの敷き込み作業の状況の事例を図-3.2.3に示す。



図-3.2.3 グリーンカット作業状況とモルタルの敷き込み状況 ⁶⁾

以上に述べたコンクリートダム堤体の特徴を基に思慮すると,以下の点から水平打 継目は,コンクリートダム堤体の水平打継目以外の部分である一般部に比較して強度特 性や水密性で劣った構造的な弱部になる可能性がある。

- ダムコンクリートは大粒径骨材を使用、かつモルタル量が少ないため、材料分離 傾向が大きくなり、旧コンクリートの上部に打設される新コンクリートの下部には モルタルに比較して密度が大きな、大粒径骨材の比率が大きくなることが推察され ること。
- ② 大粒径骨材下面にはブリーディング水が溜まり易いため、大粒径骨材下面界面の 付着強度は小さくなる可能性のあることが推察されること。
- ③ 新コンクリート打設前には、旧コンクリートを湿潤状態にした上で、モルタルを 1.5cm 厚で敷き込むことが標準と定められているが、大粒径の骨材が分離して、水平 打継目にほぼ直に接するような形態での打ち込みとなってしまう可能性も少なから ず存在していると推察されること。
- ④ 打継目処理としてグリーンカットが行われるが、グリーンカット実施のタイミン グの適切な判断や状態に応じた適切な施工を行うには熟練した経験が不可欠な上、 打継目処理が新コンクリート打設工程のクリティカルとなることから、不十分な打 継目処理となった部分が残っている懸念を完全に払拭できないということ。

3.3 水平打継目の変状とダム機能低下

3.3.1 水平打継目の変状の発生機構

水平打継目がコンクリート堤体の一般部に比較して,強度特性等の性能で相対的に 劣ると考えた場合,以下に示すような機構で水平打継目に変状が発生することが推察可 能である。なお,この変状の発生機構としては,①日常的なコンクリートダム堤体の挙 動(繰り返し作用)に起因するもの,②他の劣化原因に起因するものの大別して二つの 発生機構があると考えている。

① 日常的なコンクリートダム堤体の挙動に起因した水平打継目の変状発生機構

コンクリートダムの堤体は、貯水位の変化、すなわち作用外力の変化、ならびに外気 温の変化によって、変形する挙動を示す。コンクリートダムの変形挙動の事例として、 図-3.3.1 及び図-3.3.2 に堤高 132.0mの重力式コンクリートダムにおけるプラムライ ンによる堤体頂部の上下流方向への変形量の計測結果を示したが、堤体頂部は貯水位上 昇時には下流側に変形し、外気温上昇時には上流側に変形する挙動を示している。この ダムにおいては上下流方向には約 18mm の幅で年周期の変形挙動が生じている。このよ うな貯水位あるいは外気温の変化に対する堤体の変形挙動は、変形量に大小はあるとし てもすべてのコンクリートダムにおいて生じている現象である。このように、堤体が上 下流の方向に変形することで、堤体の上下流端部にはひずみが生じ、引張ひずみ、すな わち引張応力が発生することとなる(図-3.3.3(a))。この貯水位や外気温の変化による 堤体の変形挙動は年周期の大きな変化であるが、これとは別により短い周期、例えば昼 夜で生じる温度変化に伴うコンクリート収縮によっても堤体表面に引張応力が発生する (図-3.3.3(b))。この昼夜の温度変化による引張応力の発生については,発生する引張 応力は年周期の変形で生じる応力に比較すると小さいが、その発生頻度は遙かに多い。 このように、堤体の上下流端部に引張応力が発生するような時、相対的に強度が低い水 平打継目が存在すると、水平打継目にひび割れが発生する場合がある。この堤体の変 形, すなわち引張応力は繰り返し発生するため, 水平打継目のひび割れはミシン目が入 ったように堤体深部へと進展し、水平打継目が剥離したような変状が生じることにな る。







図-3.3.2 コンクリートダムの堤体(堤頂部)の上下流変形量 と貯水位・外気温との関係事例⁷⁾





② 他の劣化原因に起因した水平打継目の変状発生機構

コンクリートダム堤体において、アルカリシリカ反応等によるコンクリートの膨張が 発生した場合、鉛直方向、あるいは上下流方向については膨張が拘束されることは無 い。しかし、左右岸方向(ダム軸方向)への膨張については、左右岸の地山(アバット メント)で拘束されることから変形が抑制されることになる。その際、堤体全体の膨張 量が均一であれば、左右岸方向の圧縮ひずみも均一となるが、アルカリシリカ反応の場 合、その位置によって劣化度が異なるのが一般的であるため、堤体全体が均一の膨張量 を示すことは稀であり、そのため、水平方向のひずみは高さ方向で見れば、差異が生じ るのは普通である。例えば、上下2層のコンクリートリフトを考えた場合、上層コンク リートと下層コンクリートの膨張量に差があると、この境界にあたる水平打継目にはせ ん断力が発生する。このとき、水平打継目の強度が一般部に比較して小さければ、水平 打継目にひび割れ等の変状が生じることになる。そして、コンクリートの膨張現象が継 続すれば、この水平打継目の変状については経時的に進展することになる。



図-3.3.4 堤体コンクリートの膨張による水平打継目へのせん断力作用の模式図

3.3.2 水平打継目の変状発生によるダム機能低下

ダム堤体に求められる機能として、①堤体構造の安定性、②貯水機能という二つの機 能がある。それぞれの機能について述べた上で、水平打継目に変状が生じた場合におけ る機能への影響について述べるものとする。

①堤体構造の安定性

堤体構造の安定性とは設計荷重が作用した時においても堤体は損傷することもなく, 貯水機能も保持された,安定した状態を保持することを示す。コンクリートダムの堤体 は,設計荷重の作用時において安定した状態となるように設計が実施される。コンクリ ートダムの代表的な型式である重力式コンクリートダムの堤体は次のとおり設計されて いる。

重力式コンクリートダムの堤体設計は、堤体を上下流方向に切った断面を設計の対象 とする二次元設計で実施しており、設計荷重(自重・水圧・揚圧力・地震時慣性力・動 圧力等)の作用時に、所定の構造安定の条件を満足する、所要の断面形状で受け持たせ ることを行っている⁸。重力式コンクリートダム堤体における構造安定の3条件は次の とおりであり、この3条件を満たす断面形状及びコンクリート強度を確保する必要があ る。

- (a)転倒に対する安定(転倒条件):設計荷重が作用したときに,堤体の上流端に引張 応力が発生しないこと。
- (b) せん断に対する安定(滑動条件):設計荷重が作用したときに,堤体を滑動させようとするせん断力に対して,せん断に抵抗する力が十分な安全率を持って上回っていること。
- (c) 堤体内に発生する応力がコンクリートの許容応力を超えないこと。

この構造安定の条件のうち、転倒条件及び滑動条件の模式図を図-3.3.5に示す。



図-3.3.5 構造安定の条件(転倒条件・滑動条件)の模式図

このような構造の安定性が確保されたコンクリートダム堤体において,水平打継目に変 状が発生,例えば,ひび割れが生じ,水平打継目が分離した場合には以下のような状態に なる。

・ダム貯留水がひび割れ沿いに浸入し,水平打継目に作用する揚圧力が,変状の生じる 前に比べて増加する。

・水平打継目の強度の低下,すなわちせん断強度 τ ₀及び内部摩擦係数 f の低下によって,水平打継目のせん断抵抗力が変状の生じる前に比べて低下する。

・水平打継目部にダム貯留水が浸入し,流水が生じることで,セメント水和生成物の溶 脱現象が発生し,水平打継目の強度が更に低下することが懸念される。

以上のような状態となることは、転倒の条件及び滑動の条件ともに、不安定な状態に向 かうこととなる。したがって、水平打継目に変状が生じることで、堤体構造の安定性の保 持というコンクリートダム堤体の機能が低下することになる。 ②貯水機能

貯水機能は言うまでもなく、ダムを建設する目的そのものであり、この機能が低下す ることは大きな問題である。そのため、漏水現象が発生した場合には速やかな対応が必 要となるものであり、ダム定期検査における判定の基準においては堤体下流面にわずか な漏水が確認された場合においても「ダムの安全性及び機能は保持されていると判断さ れるものの、劣化・損傷等の状態から、必要に応じて措置を講じる必要がある状態」と して、何らかの対応が必要となる「b2」と判定されることとなっており、非常に重要な 機能である。

水平打継目の変状が生じた場合に,堤体下流面に漏水が確認される形態としては,次 のような二つの形態が考えられる。

(a)水平打継目の変状(ひび割れ)が堤体の上流面から下流面まで貫通した場合

これは、上流面から下流面まで変状が連続した形態であり、水平打継目の変状の 状態として、劣化がかなり進展したものであり、①の堤体の構造安定性にも影響す る漏水形態である。

(b)水平打継目の変状(ひび割れ)が堤体の上流面からで横継目に設置された止水板 の下流側まで繋がっている場合

コンクリートダム堤体には、コンクリートの収縮によるひび割れを防止する目的 で、堤体の左右眼方向に等間隔で設置された横継目が設置されているが、この横継 目は気温の変化の変化に応じて開閉するため、堤体の上流面から1~2m程度の位置 に止水板を設置してダム貯留水が下流に漏れることを防いでいる。図-3.3.6に、重 力式コンクリートダムの横継目の配置図を、図-3.3.7に横継目への止水板の配置を 上部から見た平面図を、図-3.3.8に止水板設置状況を事例として示す。堤体の上流 面からこの止水板よりも深部まで水平打継目の変状が進展した場合には図-3.3.9に 示すようにダム貯留水が上流面から止水板の下流側に浸入して、横継目を経由して 堤体下流面に到達したところで再び下流面付近の水平打継目のひび割れに沿って下 流面漏水として確認されることもある。このような形態で下流面漏水が確認される 場合には、現時点においては水平打継目の変状は堤体の深部まで進展していないこ とから、①の堤体の構造安定性への影響は少ない。



3.3.3 水平打継目に変状が発生したダムの事例

本項においては堤体の水平打継目に変状が発生した事例として、4ダムの事例を示す ものとする。

(1) 事例1

1975年に完成,管理に移行した堤高42mの重力式コンクリートダムである。この ダムにおいては,管理移行後15年経過した時期までは堤体下流面に漏水は確認され なかったが,管理開始後23年経過した1997年には堤体左岸側の水平打継目からの漏 水が確認された。その後,漏水箇所及び漏水量が増加したため,2011年6月から 2012年8月にかけて,開口した水平打継目にセメントミルクを注入する漏水対策を行 っている。この漏水対策後,しばらくの間,漏水の状況については安定していたが, 2016年3月以降,新たな箇所からの漏水が確認されるようになっており,水平打継目 の変状が継続して進展しているものと評価できる。図-3.3.10に,1977年1月,1997 年12月,2011年6月,及び2019年11月の堤体下流面の状況写真を示す。また,図-3.3.11に2019年に作成した漏水箇所図を示す。



図-3.3.10 堤体下流面の漏水状況写真



図-3.3.11 堤体下流面の漏水箇所

本ダムにおいては水平打継目のひび割れ範囲を確認するため、堤体上流面及び下流面 から対象とする水平打継目に対しての斜めボーリング、堤頂部(天端)からの鉛直ボー リングを行った。その結果、上流面から下流面まで水平打継目が開口している箇所が存 在することを確認している。

なお、本ダムにおける水平打継目変状の原因については、堤体及び地山等に対する 様々な挙動の計測結果、各種の試験及び調査の結果から、コンクリート骨材に含まれる 隠微晶質石英に起因する遅延膨張性のアルカリシリカ反応であると、消去法により推定 されている。 (2) 事例2

1984年に完成,管理に移行した堤高75mの重力式コンクリートダムである。このダ ムでは気温が低下し,貯水位が上昇した時期に多くの水平打継目からの漏水が確認され るが,下流面漏水がいつから確認されるようになったのかは不明である。2013年1月 に撮影した堤体下流面の漏水状況を図-3.3.12に,堤体下流面の漏水箇所図を図-3.3.13に示す。本ダムにおいては漏水,水平打継目変状の状態について把握する目的 で堤体下流面の漏水状況に関する点検を2013年4月以降,1回/月の頻度で実施してい るが,漏水箇所,漏水量は特段増加する傾向は確認されておらず,漏水,ひいては水平 打継目の変状については進展傾向が無く,状況としては安定しているものと評価されて いる。漏水の状況としては堤体の中央付近が多い傾向がある。また,図-3.3.13の漏水 の状況からわかるように,漏水は水平打継目の横継目付近で主に確認され、ブロックの 中央付近では確認されないという状況であることから,漏水が確認される水平打継目に おいても変状の範囲は全面に及んでいないものと推察される状況にある。



図-3.3.12 堤体下流面の漏水状況(2013/1/31)



図-3.3.13 堤体下流面の漏水箇所図

(3) 事例3

このダムは、1998年に完成、管理に移行した堤高 67.4mの重力式コンクリートダム である。気温が低下し、貯水位が上昇した時期に多くの水平打継目からの漏水が確認さ れる。このダムの堤体下流面漏水については、管理移行直後から確認されている。2012 年12月に撮影した堤体下流面の漏水状況を図-3.3.14に示す。本ダムの下流面漏水 は、漏水箇所が中位の限られた標高の水平打継目のみで確認され、漏水のある水平打継 目においては横継目から横継目までのブロック全幅で漏水が確認されることである。し たがって、各水平打継目において変状が生じている範囲は広いと推察される。また、本 ダムにおいては漏水、水平打継目変状の状態について把握する目的で堤体下流面の漏水 状況に関する点検を冬期以外は1回/月、冬期は1回/週の頻度で実施しているが、漏水 箇所、漏水量は特段増加する傾向は確認されておらず、漏水、ひいては水平打継目の変 状については進展傾向が無く、状況としては安定している。



図-3.3.14 堤体下流面の漏水状況(2012 年 12 月)

(4) 事例4

本ダムは、1967年に完成、管理に移行した堤高131mアーチ式コンクリートダムであ る。本ダムにおいては、貯水位が上昇した時期に高標高部の水平打継目からの漏水が確 認される。本ダムの堤体下流面漏水については、いつ頃から確認されるようになったか 明らかではない。2014年11月に撮影した堤体下流面の漏水状況を図-3.3.15に示す。 また、図-3.3.16に、堤体下流面でエフロレッセンス析出あるいは漏水が確認される、 すなわち変状箇所を示したが、水平打継目の変状については高標高部に限られているこ とがわかる。また、漏水のある水平打継目においては横継目から横継目までのブロック 全幅に近い広い範囲で漏水が確認されており、各水平打継目において変状が生じている 範囲は広いと推察される。また、漏水が発生する時期として、コンクリートダムにおい ては気温が高い夏期には貯水位が上昇したとしてもコンクリート膨張により水みちが閉 塞するため、漏水が確認されないことが一般的であるが、本ダムにおいては夏期におい ても下流面漏水が確認されている。



図-3.3.15 堤体下流面の漏水状況(2014 年 11 月)



図-3.3.16 堤体下流面の変状箇所

3.4 ダム堤体の水平打継目の変状把握

3.4.1 既往の水平打継目変状の把握手法とその課題

(1) 既往の水平打継目変状の把握手法

水平打継目の変状は前述のとおりダム機能に及ぼす影響があるため、変状の有無、ど の程度の変状が発生しているかを把握することがダムの維持管理を適切に行うためには 重要である。

コンクリートダム堤体の水平打継目の状態を把握する手法として,現在,一般的に用 いられている調査手法は,ボーリング調査である。このボーリング調査による状態把握 手法は,堤体からボーリングコアを採取し,水平打継目の位置によるコアの状態を確認 し,変状の有無,状態を評価する方法である。また,ボーリング調査の方法としては, 堤体天端(堤頂部)から削孔する調査,上下流面から削孔する調査がある。堤体天端か ら削孔する調査,及び堤体上下流面から削孔する調査の模式図を図-3.4.1に示す。な お,堤体上下流面から変状が懸念される水平打継目に対して,変状が生じた深さを把握 するため,超音波法あるいは衝撃弾性波法を用いて打継目が開口している範囲の計測を 行っている事例も存在するが,その精度は必ずしも高くない。



堤体天端からのボーリング調査は1本のボーリングで複数の水平打継目に対する調査 が可能であるが,調査に要する機材が大がかりで,調査にも時間を要し,上下流端付近 に対する調査ができない。一方,上下流面からのボーリング調査は端部付近の調査が可 能で,ボーリング削孔機材自体は簡易なもので実施可能,削孔深さが短いため,調査時 間も短時間という利点はあるが,一部を除き調査箇所へのアクセスには仮設が必要,上 下流面から離れた位置の調査が困難,上流面からの調査は貯水位によっては実施不可と いう適用上の制約がある。そのため,これらの方法を組み合わせてボーリング調査が実 施される。堤体天端からの調査ボーリングの実施状況の写真,及び堤体下流面からの調 査ボーリングの実施状況の写真を図-3.4.2 に示す。また,堤体天端からの調査に用いら れる機材の構成事例を図-3.4.3 に,堤体上下流面からの調査に用いられる機材の事例を 図-3.4.4 に示す。



図-3.4.2(1)堤体天端からの ボーリング調査の実施状況事例



図-3.4.3 堤体天端からのボーリング 調査の機材構成図¹⁰⁾



図-3.4.2(2)堤体下流面からの ボーリング調査の実施状況事例



図-3.4.4 堤体上下流面からのボーリング 調査に用いられる機材例¹¹⁾

コンクリートダム堤体天端からのボーリング調査で採取されたボーリングコア写真の 例を図-3.4.5~図-3.4.6に示す。この例ではボーリングコアは深度14.69mに上下で一 体化していない不連続面を有し、その面は茶褐色に変色していることが確認される。ま た、このボーリング孔の孔壁をボアホールカメラで撮影した画像を図-3.4.7に示すが この孔壁画像でも不連続面の存在が確認できる。図-3.4.8には、堤体上流面から水平 打継目に対して斜め上向きのボーリング調査を行った孔壁の画像を示すが水平打継目が 分離開口している変状が確認できる。このように、ボーリング調査を行うことでコンク リートダム堤体の水平打継目の変状を把握することが可能となる。



図-3.4.5 天端からのボーリング調査で採取されたボーリングコアの例





図-3.4.6 ボーリング調査で採取された コアの不連続面(14.69m)の断面

図-3.4.7 ボーリング孔の孔壁画像 (不連続面(14.69m)付近)



図-3.4.8 堤体上流面からのボーリング孔の孔壁画像

(2) ボーリング調査による水平打継目変状把握手法の課題

変状の状態を直接確認できるボーリング調査によるコンクリートダム堤体の水平打継 目の変状把握であるが、次に示す課題を有する。

- ①ボーリング調査によって得られるのは、点情報のため、面的な変状情報の取得のためには、多くの点に対するボーリング調査が必要となる。
- ②ボーリング調査は、小規模ではあるが、健全な部分を含めて堤体の一部を破壊する 行為であり、そのため、ボーリング孔数をできる限り少なくする必要がある。
- ③採取及び孔壁画像取得を行う場合の調査には約10万円/mの費用が必要となるため、調査費用の面からも多くのボーリング調査を行うことは困難である。また、堤体上下流面からの調査を行う場合には足場の設置等の多大な仮設費が必要となる。
- ④堤体天端からのボーリング調査を行う場合,数十mの深度までの削孔を行う場合,1 孔あたり数週間を要する。そのため、多数の孔のボーリング調査は、堤体天端の車 両通行を長期間にわたって不可能とするため、ダム天端を道路として一般供用して いる場合には実施が困難である。
- ⑤堤体上流面からのボーリング調査は、前述の通り、貯水位が上昇している期間には 調査対象とする打継目に対して適用できず、調査を行うためには貯水位を下げるあ るいは貯水位が上昇しないように貯水池運用を制限することが必要になり、ダムの 貯水機能を低下させることになるので、適用機会は多くない。

以上のようにボーリングによる調査手法は課題を有することから,コンクリートダム 堤体の水平打継目の変状を把握する新たな調査手法が必要である。

3.4.2 新たな水平打継目変状の把握手法の検討

前項で述べたように,現在,コンクリートダム堤体の水平打継目の変状を把握する手 法として一般的に行われているボーリングによる調査手法は課題を有する。そのため, これらの課題を克服した,コンクリートダム堤体の水平打継目の変状を把握する新たな 調査手法が必要となっている。

コンクリート構造物に対する一般的な調査方法として、コンクリート標準示方書 [維 持管理編:標準]¹²⁾では、「書類等による方法(書類調査)」「目視による方法およびた たきによる方法」「非破壊試験機器を用いる方法」「局部的な破壊を伴う調査」「実構 造物の載荷試験および振動試験による調査」「荷重および環境作用を評価するための調 査」「センサを用いたモニタリングによる調査」について示しており、表-3.4.1とし て示した表に、調査方法と得られる情報について例示している。これらの調査方法のう ち「局所的な破壊を伴う方法」については、既往の変状の把握手法であるボーリング調 査手法における最大の課題となっている健全な堤体コンクリートを小規模ではあるが破 壊するという点において同様の調査手法であることから除外して検討する。また、「書 類等による方法(書類調査)」及び「環境作用等を評価するための調査手法」について も、水平打継目の変状の状態把握という目的には合致しないため、除外する。本研究に おいては、「目視による調査」「たたきによる調査」「非破壊試験機器を用いる方法」 「実構造物の載荷試験および振動試験による方法」のなかから、「非破壊試験機器を用 いる方法」に着目して、新たな手法について検討を行うこととする。

調査の対象が、大規模な無筋コンクリート構造物であるコンクリートダム堤体の水平 打継目であること、その形状から堤体の上下流面に直接接近しての調査は困難であるこ と、という条件から、「非破壊試験機器を用いる方法」のなかから「衝撃弾性波法」及 び「赤外線法(サーモグラフィ法)」に着目し、新たな水平打継目の変状把握手法とし ての適用性についての検討を行う。

(1) 衝擊弾性波法

衝撃弾性波法は超音波法と比較した場合,低い周波数成分の多い,すなわち波長の 長いエネルギーの大きな弾性波を用いる方法である。そのため、コンクリート内部に 入力した波の減衰が小さいため、コンクリートの深部にある欠陥に対しても適用可能 な手法であると一般的に認識されている¹³⁾¹⁴⁾。そのため、トンネルの覆工,橋梁の床 板,橋脚,防波堤等,様々な土木構造物の内部欠陥に対して,様々な手法を用いた調 査に用いられている¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹。しかし,低周波数成分の多い弾性波を用いること から超音波法で用いられるような高い分解能は有しておらず、数mオーダーを超える 距離にあるような内部欠陥を対象とした調査には一般的には用いられていない。

このような衝撃弾性波法において,高い領域から低い領域までの周波数成分から構成される弾性波を入力し,反射波として戻ってくる弾性波の高周波数領域の成分を用いて,数mオーダーを超える距離に存在する欠陥を把握可能な調査手法が,コンクリート基礎杭の損傷調査に用いられているという事例もある²⁰⁾。ただし,この手法についてはあくまでも基礎杭という一次元の構造物に対する調査であり,三次元の構造物において変状が面的に広がりを有するような状態を把握する手法にはなっていない。

そこで、本研究においては、このコンクリート基礎杭の損傷調査に用いる衝撃弾性 波法による調査手法をコンクリートダム堤体に拡張適用する手法について検討するも のとする。

(2)赤外線法(サーモグラフィ法)

サーモグラフィ法は、物体の表面温度分布を測定し、熱画像上に出現する表面温度 異状部から、構造物の内部欠陥の存在を推定する方法として一般的に用いられてい る。サーモグラフィ法が適用されている対象とする主な変状は、部材表面のコンクリ ート等の剥離・浮きである。また、水分を含有することによる温度差に着目した漏水 調査にも適用されている。一方で、コンクリート構造物の主要な変状であるひび割れ に対しては、ひび割れが内部でどの方向に向かっているかを推定することに対しての 研究は行われている²¹⁾が、目視でも確認できるような構造物表面のひび割れの開口 状況の推定・評価には用いられていない。

本研究においては、サーモグラフィ法が離れた位置から構造物の状態を計測できる こと、ならびに本研究で対象としている水平打継目が開口しているような状態におい ては開口の状態によって水分の含有状況に差異があり、表面温度にも差異があること が推察されること、ということからサーモグラフィ法に着目して、水平打継目の変状 把握手法への適用性を検討するものとする。

以上のことから、本研究においては、主に堤体内部からの情報を基に変状状態を推定 する衝撃弾性波法による手法と、主に堤体表面からの情報を基に変状の状態を推定する サーモグラフィ法による手法とを組み合わせて、コンクリートダム堤体の水平打継目の 状態を合理的に精度良く把握する手法を検討する。

表-3.4.1(1) 調査方法と得られる情報の例(その1)¹²⁾

		調査方法	得られる情報の例						
書類等に。	にる方法	図書収集	・使用した示方書、設計基準						
(書類調査	5)	ヒアリング(聞取り調査)	·設計図書,竣工時期						
			・施工記録,検査記録						
			・維持管理記録(点検記録,補修,補強履歴等)						
目視およて による方法	バたたき等	目視等(近接,遠望)	・初期欠陥(ひび割れ,豆板,コールドジョイント,砂すじ,表面気泡等) ・コンクリートの変色・汚れ(さび汁の有無,かびの発生,ゲルの折出,エフロレッセンス, コンクリート自身の変色, 漏水等)						
			・ひび割れ(発生方向, パターン, 本数, 幅, 長さ, さび汁の有無等)						
			・スケーリング, ポップアウト						
			・コンクリートの浮き(有無, 箇所数, 面積等)						
			・コンクリートの剥離・剥落の有無						
			・鋼材の露出・腐食・破断の有無						
			・変形の有無						
			・水掛かり						
		たたきによる方法	・コンクリートの浮き(有無, 箇所数, 面積等)						
			・コンクリートの剥離・剥落の有無						
非破壊試 験機器を	反発度に 基づく方法	反発度法	・コンクリートの強度						
用いる方法	電磁誘導	電磁誘導法	・コンクリート中の鋼材の位置,径,かぶり						
	を利用する 方法	漏洩磁束法	 鉄筋の破断 						
		コンクリートの誘電性を利用する方法	・コンクリートの含水状態						
	弾性波を	打音法	・コンクリートの表面性状,剥離,浅部の水平ひび割れ						
	利用する 方法	振動試験(加速度計による方法)	・コンクリート部材の剛性(劣化)						
		超音波法(反射法·透過法)	・コンクリートの圧縮強度,弾性係数等の品質						
			・コンクリートのひび割れ深さ(鉛直,水平)						
		衝擊弾性波法	・コンクリート中の浮き, 剥離, 内部欠陥						
			・コンクリート厚さ等の部材寸法						
			・グラウトの充填状況						
		アコースティック・エミッション(AE)法	・コンクリートの進行中のひび割れ評価(発生場所,規模,形態(引張/混合/せん断型)						
			・コンクリートの劣化進展のリアルタイム評価						
		弾性波トモグラフィ法	・コンクリート内部の劣化・損傷分布						
	電磁波を	X線法	・コンクリート中の鋼材の位置,径,かぶり,空隙						
	利用する 方法	赤外線サーモグラフィ法	・コンクリート中の浮き, 剥離, 空隙						
	20 IL-1	(パッシブ法・アクティブ法)	・コンクリートのひび割れの分布状況						
		電磁波レーダ法	・コンクリート中の鋼材の位置,径,かぶり						
		核磁気共鳴法	・コンクリート中の空洞(または空洞内の水分)						
	電気化学 的方法	自然電位法	・コンクリート中の鋼材の腐食傾向						
		分極抵抗法	・コンクリート中の鋼材の腐食速度						
		電気抵抗を利用する方法	・コンクリートの電気抵抗						
	光を利用	光ファイバ法							
	うる方法	点計測(FBG法)	・コンクリート中のひずみ,温度など						
		分布計測(OTDR法, BOTDR法, PPP-BOTDA法)	・コンクリート中のひずみ分布						
	デジタル画	デジタル写真測量	・コンクリート表面の変位						
	ほど 利用 する方法	デジタル画像相関法	・コンクリート表面のひずみ分布や経時変化						
		蛍光剤含浸法	・コンクリート内部のひび割れ						
		モアレ法	・コンクリート表面の変位						
	その他	表面吸水試験	・コンクリートの透水性						
		表面透気試験	・コンクリートの透気性						

表-3.4.1(2) 調査方法と得られる情報の例(その2)¹²⁾

	調査方法	得られる情報の例						
局所的な破壊を伴う	コア採取による方法	・ひび割れ深さ						
力法		・コンクリートの圧縮強度,引張強度,弾性係数						
		・コンクリートの中性化深さ						
		・コンクリートの分析(化学分析, 蛍光X線分析, X線回析, 熱分析, 光学顕微鏡, 偏光顕 微鏡, 走査型電子顕微鏡, EPMA)						
		・塩化物イオンの状況(塩化物イオン量および分布)						
		・配合分析						
		・コンクリートの解放膨張量および残存膨張量						
		・細孔径分布						
		・コンクリートの気泡分布						
	はつりによる方法	・ひび割れ深さ						
		・コンクリートの分析						
		・コンクリートの中性化深さ						
		・塩化物イオンの状況(塩化物イオン量および分布)						
		・鋼材の腐食状況						
	小径コア法	・コンクリートの中性化深さ						
	ドリル削孔による方法	・塩化物イオンの状況(塩化物イオン量および分布)						
		・コンクリート強度						
	鋼材を採取する方法	・鋼材の腐食状況						
		・鋼材の引張強度						
	ファイバスコープを用いる方法	・コンクリート内部の状況						
	孔内画像	・コンクリート内部の詳細状況						
載荷試験および振動	載荷試験および振動試験	・部材の断面剛性(静的,動的)						
武功央	車上感覚試験	・振動特性						
作用を評価するため	直接測定する方法	·気象条件(気温,最低気温,湿度,降水量,日射量)						
()前111	既住の記録に基づく方法	・水分の供給(雨掛かりの状況, 地盤からの水の供給条件, 防水層や排水設備の状況)						
	気象庁等から公表されているデータに	・塩分の供給(飛来塩分量,海水の影響,凍結防止剤の散布量等)						
	苯·八万亿	・荷重条件(通行する車両等の状況)						
		・河川水等のpH						
		・下水道関連施設における水質						
		・土壌汚染の状況						
		・酸性雨,酸性霧の発生状況						

3.5 本章のまとめ

本章では、コンクリートダム堤体の水平打継目の変状について整理を行った。

まず、一般のコンクリート構造物と比較して、コンクリートダム堤体は、①大規模で 重厚な無筋コンクリート構造物であること、②大粒径骨材を使用して、材料分離が生じ やすく、骨材下面界面の付着強度が相対的低くなる可能性があるダムコンクリートを使 用していること、③堤体は薄層厚の矩形ブロックを積み重ねていき構築していくため、 打継目が構造的に相対的に弱部となる可能性がある構造物であること、という特徴があ ることを示した。

次に,水平打継目の変状の発生機構として,①日常的なコンクリートダム堤体の挙動 (繰り返し作用)に起因するもの,②ASR等の他の劣化原因に起因するもの,という大別 して2種類のものがあることについて述べた。

そして,水平打継目に変状が発生することによって,①堤体構造の安定性,②貯水機 能,というダム堤体の主要な機能に,どのような影響がどのように及ぶかということに ついて述べた。

その上で,水平打継目に変状が生じて,堤体下流面漏水が確認されているダムの事例 として4ダムを示し,明らかになっている範囲で,変状の発生時期,発生要因,及び進 展状況について概説した。

最後に、ダム機能に影響が及ぶ水平打継目の変状の状態を把握する手法として、現 在、一般的に行われている調査ボーリングを用いた手法について、その方法及び得られ る結果を示した上で、調査ボーリングを用いる手法を用いて変状を把握しようとした場 合には①健全な堤体コンクリートを小規模ながら破壊すること、②変状の状態把握に要 するコストが多大になること、③変状を把握するために必要な現地作業に長期間を要し することがあるため、調査の実施が困難となることがあること、④変状を把握するため には、一時期にダムの貯水機能を低下させる措置を執らなければならないことがあるこ と、という課題を有しており、水平打継目の変状を把握する新たな手法が必要であるこ とを述べた。そして、既存の変状把握手法における課題を克服する手法としては、衝撃 弾性波法とサーモグラフィ法という非破壊試験の手法を用いることが有望であるとし て、これらを用いた水平打継目の変状の把握を行う新たな手法について取り組むことと した。

参考文献

- 1) 土木学会編:2013年制定コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編],2013年10 月
- 2) 国土交通省:目で見るダム事業 2007, pp. 53~54, 2007 年
- 3) 原稔明,市川滋己:水資源機構施工の面状工法による7コンクリートダムの特徴,ダ ム技術, No. 339, pp. 23~53, 2014 年 12 月
- 4) 土木学会編:2017年制定コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準], pp.129~ 132, 2018年3月
- 5) 土木学会編: 2013 年制定コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編:標準], pp. 64~65, 2013 年 10 月
- 6) 独立行政法人水資源機構:写真で見るダム施工要領-コンクリートダム編-, pp. 5-14 ~5-22, 2006年3月
- 7) 佐野貴之、山本力、高橋健一:コンクリートダム堤体の挙動解析、独立行政法人水資 源機構平成21年度関東ブロック技術研究発表会資料、2009年9月
- 8) 国土交通省:河川管理施設等構造令施行規則第9条(コンクリートダムの安定性及び 強度)
- 9) 独立行政法人水資源機構:写真で見るダム施工要領-コンクリートダム編-, pp. 5 8, 2006年3月
- 10) 地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会編:地盤調査の方法と解説-二分冊の1-,
 pp. 193, 2013 年 3 月
- 11)株式会社シブヤ:ダイモドリルシリーズ総合カタログ,2020年4月
- 12) 土木学会編: 2018 年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編:標準], pp. 50~62,
 2018 年 10 月
- 13) コンクリート工学会編:コンクリート診断技術'14 [基礎編], pp. 112~119, 2014年
 2月
- 14) 鈴木哲也,大野健太郎,内田慎哉,岩野聡史,市川滋己:弾性波を用いたひび割れが 顕在化したコンクリートダムの非破壊試験,水土の知, Vol. 85, No. 4, pp. 335~338, 2017年4月

- 15) 片岡繁人,岩野聡史,坂本良憲,寶藤大夫:衝撃弾性波法(多重反射法)の内部空隙 探査を適用したシールドトンネルの維持管理,衝撃弾性波法のコンクリート構造物へ の適用に関するミニシンポジウム,pp. 37~P40, 2019 年 6 月
- 16) 大田一成、山本雅行、横山和昭:衝撃弾性波法を用いた床板の水平ひび割れ検出精度の検証、衝撃弾性波法のコンクリート構造物への適用に関するミニシンポジウム、 pp. 41~44, 2019 年 6 月
- 17) 一色智彦, 鈴木真, 藤原理恵, 鎌田敏郎: 衝撃弾性波法のコンクリート構造物への適用に関するミニシンポジウム, 供用中の鋼板接着補強 RC 床版における弾性波による内部損傷の非破壊調査, pp. 51~56, 2019 年 6 月
- 18) 麻植久史,塩谷智基,古野昌吾:3次元弾性波トモグラフィによるASR劣化したコンク リート橋梁の内部損傷評価,衝撃弾性波法のコンクリート構造物への適用に関するミ ニシンポジウム, pp.57~60,2019年6月
- 19)藤田孝康,松本力,斎藤将貴,笠井哲郎,奥野音正洋,加藤広之:透過衝撃弾性波法 による漁港施設の内部欠陥診断手法の検討,衝撃弾性波法のコンクリート構造物への 適用に関するミニシンポジウム,pp.31~35,2019年6月
- 20) 永井哲夫,中村敏明,永野賢司:高周波衝撃弾性波法による杭基礎の健全性評価,地 盤工学会誌, Vol. 61, No. 8, pp. 26~29, 2013 年 8 月
- 21) 高羅信彦,魚本健人:サーモグラフィ法によるコンクリート構造物の検査手法の開発,生産技術,54巻3号,pp.242~245,2002年

第4章 衝撃弾性波法による堤体内部の水平打継目の状態把握

4.1 本章の概要

コンクリートダムの堤体における代表的な変状の一つとして、堤体下流面の漏水現象に 進展する水平打継目の変状がある。変状の状態を的確に把握することは、コンクリートダ ム堤体の維持管理を適正に行う上、重要である。しかしながら、この変状の状態を把握す る既往の調査手法には課題がある。この課題を克服する新しい手法として、本研究におい ては衝撃弾性波法と赤外線サーモグラフィ法の2種類の非破壊試験手法についての検討を 行うこととした。

本章においては、このうち衝撃弾性波法を用いた手法について検討を行う。ここで、コ ンクリートダム堤体に対して適用する衝撃弾性波法は、コンクリート基礎杭の損傷調査に 用いられた実績がある、高い領域から低い領域までの周波数成分を有する弾性波を入力 し、反射波として戻ってくる弾性波の高周波数領域の成分を用いて、数mオーダーを超え る距離に存在する欠陥を把握可能な調査手法である¹⁾²⁾。まず、4.2において、この衝撃 弾性波法を用いた、重力式コンクリートダムであるAダムをモデルダムとして実施した計 測について述べる。一般のコンクリートに比較して、大粒径骨材を使用し、不均一な傾向 があるダムコンクリート中の弾性波の透過・反射特性は、一般コンクリートの特性とは異 なる可能性がある。そこで、ダムコンクリート中の弾性波の透過反射特性について大型供 試体を用いた室内試験で確認しており,その結果を4.3で述べる。更に,本手法では変 状が生じた水平打継目からの反射波が戻ってくるまでの時間で変状打継目の位置を把握す るため、コンクリートダム堤体における弾性波の伝播速度の設定が精度確保のためには重 要となる。そこで、Aダムでの計測結果を基に、コンクリートダム堤体中の弾性波伝播速 度の特性について検討を行っている。この結果を4.4で述べる。また、本手法において は、衝撃弾性波法により計測された弾性波波形を基に、評価対象とする打継目の変状状態 を4段階で判定することとしている。この判定に不可欠なものが、対象とする打継目にお ける弾性波の透過反射特性と打継目の状態を関係づけた基準である。この基準を堤体で実 施されたボーリング調査で得られた情報を基に設定を行っており、この結果を4.5で述 べる。次の4.6においては,4.3から4.5までの検討結果に基づいた,衝撃弾性波 法を用いたダム堤体の水平打継目の状態推定方法に述べる。4.7においては、この衝撃 弾性波法を用いた水平打継目の状態調査手法のダム堤体への適用性を拡大する手段として 検討した堤体監査廊からの計測手法及び天端アスファルト舗装面からの計測手法に述べ る。4.8では、本章をとりまとめる。本章の内容フローを図-4.1.1に示す。



図-4.1.1 衝撃弾性波法による堤体水平打継目の状態把握の検討フロー

4.2 衝撃弾性波法によるコンクリートダム堤体の計測

4.2.1 衝撃弾性波法によるコンクリート構造物の内部欠陥の把握

一般的に、弾性波法とは、コンクリート構造物の表面に設置した発振子や衝撃を入力す る装置によって構造物内部に弾性波を入力して、構造物表面に設置した受振子で、構造物 内部の影響を受けた弾性波を受信して、構造物内部の変状の位置や寸法を測定する非破壊 試験方法である。使用する弾性波の周波数領域や弾性波を発生させる方法によって,超音 波法,衝撃弾性波法等に分けられる。超音波法は使用する周波数が 20kHz 以上の周波数帯 を使用する方法であり、衝撃弾性波法は表面を打撃して弾性波を発生させて、これを受振 子で測定する方法であり,20kHz 以下の超音波域よりも低い周波数成分の多い波を使用す る方法である。超音波法のような利用する周波数範囲が高いものは、コンクリート中での 減衰が大きいので,50kHz 以上の高周波数を利用する場合には部材の寸法,あるいは変状 の発生している深さについては 2~3m程度の範囲が限度であると言われている³³。一方, 一般的な衝撃弾性波法で取り扱うような数 kHz 程度以下の低い周波数の波については、伝 播距離を 10m 以上とすることができ,深部の状態の把握が可能という特徴を持っている。 しかしながら、低周波数の波は、幅が数 mm 程度の微細なひび割れに対してはひび割れを 通過してしまうため、ほとんど反射せずに検知が困難である。この理由は波の周波数の大 きさと不連続面の動的剛性及び幅の組み合わせによって不連続面での波の伝播特性が変化 し、不連続面の幅の大きさによって、透過・反射する波が周波数で選択されるからと考え られている。そのため、コンクリート構造物に発生するひび割れのような幅が数 mm 程度 の微細な変状を把握するためには高い周波数を用いた検知が必要となってくる。

このような弾性波法の中で、コンクリート構造物表面を打撃して、高い領域から低い領 域までの周波数成分で構成される弾性波を入力し、低周波数領域の反射波と共に戻ってく る弾性波の高周波数領域の成分を用いて、数十mオーダーを超える距離に存在する 0.3mm 程度の開口幅を持つひび割れ等の欠陥を把握可能な調査方法「オーリス(非破壊探査シス テム)」¹⁾がある。また、この調査手法は、既設杭の杭長・亀裂調査、橋脚根入れ深さ調 査への適用実績を多数有している²⁾⁴⁾⁵⁾⁶。

このシステムは、高周波成分を多く含む弾性波を調査対象物に入射して、受振センサとして共振周波数 140kHz の AE センサを用いて反射波の高周波成分を受振し、さらに HPF

(ハイパスフィルタ)をかけて特定範囲の高周波成分を抽出できるシステムである。この 測定システムの仕様を表-4.2.1に,調査装置の構成を図-4.2.1に示す。調査方法の概念 図を図-4.2.2に示す。杭など一般の構造物においては,反射波が得られる時間から距離を 算定し,ひび割れ等変状の位置を算出する。

61

■測定装置本体						
・周波数特性	1kHz∼2MHz (-3dB)					
・フィルタ特性	HPF(ハイパスフィルタ):THRU, 50kHz 以下					
	カット~500kHz 以下カットの可変式					
■デジタルオシロスコーフ	ື່					
・サンプリングレート	100M Sample/sec MAX					
・サンプリングタイム	10ns~10ms					
・メモリ長	100kPoint/ch					
■受振センサ(AE センサ))					
・共振周波数	140kHz, 感度-10dB 以上					
•形状,寸法	直径 12mm, 高さ 40mm					
■プリアンプ						
・周波数特性	2kHz∼1.2MHz (-3dB)					
・入力形式 不平衡, BNC 接栓						
■鋼製ハンマー						
・両口玄能	ヘッド重量 225g~460g					

表-4.2.1 衝撃弾性波法測定システムの仕様



図-4.2.1 調査装置の構成(装置本体, 受信センサ, 鋼製ハンマー) 高周波衝撃弾性波調査パンフレット(株式会社ダイヤコンサルタント)から転載



図-4.2.2 衝撃弾性波法調査の概念図²⁾

4.2.2 衝撃弾性波法によるコンクリートダム堤体の計測

本研究では,前項で示した調査手法「オーリス(非破壊探査システム)」をコンクリー トダム堤体に適用し,堤体水平打継目の状態を把握する手法を検討することとした。そこ で,まずモデルダムとして,重力式コンクリートダムであるAダムを選定し,計測を実施 した。

(1) 計測対象ダム

計測の対象とするモデルダムは、四国地方に位置する、1974年に完成した堤高42m,堤 頂長138mの重力式コンクリートダムである、Aダムとした。堤体の下流面図を図-4.2.3 に、標準断面図を図-4.2.4に示す。このダムでは貯水位が上昇した際に、図-4.2.5のよ うに下流面漏水が生じ、水平打継面の劣化が懸念され、状態の把握が必要となっていた。

Aダムの堤体コンクリートの打設方法は、柱状工法で行われており、1ブロック(ダム 軸方向 10~13m、上下流方向 4.5~35.57m の広がりを持つ区画)毎に高さ 1.5m でコンクリ ート打設を行い、硬化後にグリーンカット及びモルタル敷均しの打継面処理を行い、更に 上部にコンクリートを高さ 1.5m で打設することを繰り返して堤体が構築されているダム である。よって、Aダムの堤体の水平打継目は高さ 1.5m 毎に設けられている。







図-4.2.4 Aダムの標準断面図



図-4.2.5 Aダムの堤体下流面漏水状況

Aダムの堤体を構築しているコンクリートの配合を表-4.2.2に示す。また、2010年に 堤体から採取・作製したコア供試体を用いて確認したコンクリート品質を表-4.2.3に示 す。コア供試体は堤体の BL.6 及び BL.10 において、堤体天端から、孔径 86mm で鉛直下方 向にボーリングを行い、採取したコアから作製を行ったものである。配合 A の供試体は、 BL.10 の天端から 15~18m 深度の高標高部の堤体内部から採取した 3 試料と BL.6 の天端か ら 38~41m 深度の低標高部(岩着部付近)から採取した 4 試料である。配合 B の供試体は、 BL.6 及び BL.10 の天端から 22~38m 深度の中低標高部の堤体内部から採取した 12 試料で ある。配合 C の供試体は、鉄筋コンクリート構造である BL6 及び BL.10 のゲート門柱部か ら採取した 4 試料である。コア供試体には目立った変状は外観には確認できなかったが、 コンクリート品質では B 配合に比較して、水セメント比が相対的に小さく、発現強度、静 弾性係数や超音波伝播速度が相対的に大きな値となることが一般的である A 配合(高標高 部)及び C 配合においてそのような傾向が確認できず、特に静弾性係数及び超音波伝播速 度が小さい値を示しており、堤体の高標高部に位置し、相対的に富配合のコンクリートで 施工された箇所で何らかのコンクリート劣化現象が生じていることを示唆する状況であ り、その結果としての圧縮強度等のコンクリート品質結果であると考えている。

粗骨材ス		スラ	スラ 空気量	水	細骨材	単位量(kg/m ³)							
配合	-	レプ	の知識	セメノト比	率 s/a (%)	76	セメ	細		粗骨材		AE 減水剤 Ad	使用箇所
悝頖	Gmax	範囲 (cm)	¥820 (%)	W/C			ント	材	120~60	60 ~ 20	20~5		
	(11111)			(70)		W	C	S	G1	G2	G3		
А	120			51.4	26.7	113	220	570	630	545	390	0.55	高標高部 堤体及び 低~中標高 部堤体外部
в	120	3±1.5	4±1	71.9	28.1	115	160	615	635	545	390	0.4	低~中標高 部堤体内部
с	60			50.7	37.2	142	280	730	_	735	500	0.7	鉄筋部

表-4.2.2 堤体コンクリート配合⁷⁾

表-4.2.3 堤体コンクリート強度特性⁷⁾

配合	採取位置	供試体数 (本)	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 ×10 ³ (N/mm ²)	超音波伝播速度 (m/s)
	高標高部 (BL.10)	3	30. 1	17. 2	4300
A	岩着部 (BL.6)	4	29. 1	27.7	4740
В	中低標高部 (BL.6・BL.10)	12	29.2	24. 0	4700
С	門柱部 (BL.6•BL.10)	4	32.3	17. 1	4390
(2) 計測の実施方法

Aダムの堤体に対する計測においては、堤体天端、あるいは越流頂部に1~2m間隔の格 子状に、打撃点と受振点を近接して設置することとした。このように格子状に測点を設置 する理由は、コンクリートダム堤体に対する計測の目的が水平打継目の変状が生じている 範囲を面的に把握することに基づいている。また、測点の格子間隔は本調査システムにお ける既往の基礎杭、埋設構造物に対する調査実績から、状態が探査できる範囲が測点の周 辺1~2m程度であることに基づいて設定した。このように設置した各測点において打撃点 からハンマーで衝撃を与え、堤体の底部及び分離した打継面等で反射した弾性波を打撃点 に近接して設置した受振センサで計測し、これで天端の各計測点の鉛直下部の堤体内の打 継目の状態を把握する。

前項で述べた調査方法をコンクリートダム堤体に適用するに当たって,以下に示すよう な手順で高周波成分をより多く含む波を発生させて,微細な劣化の検出に必要な反射波の 高周波成分を抽出することとした。

①高硬度の鋼製ハンマーを使用して測定面を打撃することで、高周波成分をより多く 含む衝撃波を調査対象物に入射する。予備測定において測定波形を観察しながら、調 査対象とする打継目までの距離に応じて適切な重量の鋼製ハンマーを選定する。

②受信センサとして AE センサ(共振周波数 140kHz)を用いて,反射波の高周波成分 を受振する。本調査ではサンプリングタイムは 500ns~2µsで,メモリサイズは 10kpoint とした。

③AE センサにより受振した反射波に、測定装置本体でHPF(ハイパスフィルタ)をかけて特定範囲の高周波成分を抽出する。予備測定において、測定波形を観察しながら 測定装置本体のHPFを調整し、調査対象とする打継目までの距離に応じて、微細な劣 化の検出に適した周波数を70kHz 以下カット~150kHz 以下カットの間で選定した。

④本測定では、予備測定で選定した鋼製ハンマーと HPF の周波数を用いて測定を行う。

また,Aダムは堤高42mであり,重力式コンクリートダムとしては小~中規模ダムでは ありが,コンクリート躯体としては大きなものに該当する。そのため,堤体の天端から低 標高部まで弾性波を到達させるためには大きな打撃エネルギーが必要となり,適切な打撃 エネルギーでない場合にはノイズが卓越して,打撃部(堤体天端)付近の反射波の情報が 明瞭に判らなくなる。そこで,コンクリートダム堤体の調査においては,対象とする打継 目までの距離に応じて,例えば,高標高部用,中標高部用及び低標高部用の3水準の打撃 エネルギーに切り替えて,調査を実施することで堤体全体の情報が得られるようにするこ ととした。

図-4.2.6にダム天端打撃点での打撃及び計測の状況を示す。また、図-4.2.7にダム天端の打撃点と状態推定を行う水平打継目、状態推定箇所(点)との関係の模式図を示した。 この模式図は、ダム天端で打撃し、反射波を受振することで、打撃点鉛直下部の打継目の 面内の点の情報が得られることを示したものである。



図-4.2.6 コンクリートダム天端での計測状況®)



図-4.2.7 コンクリートダム天端の打撃点と対象打継目,状態推定箇所(点)⁸⁾

また,表-4.2.4にはAダムでの計測数量を示したが,各ブロックでの打撃点数の違い はブロック長,及びブロック頂部形状の違いによるものである。また,状態推定を行う水 平打継目は,下流面の漏水状況,ならびに天端等からの打撃・反射波計測において当該打 継目深度からの反射波発生の状況を基に,変状が懸念される打継目を対象とした

рі	打墼占数	状態	推定	打毂占位罢
DL.	打筆只奴	水平打継目数	箇所(点)数	打拿只回回
2	10	1	10	天端
3	24	7	168	天端
4	20	4	80	天端
5	20	6	120	天端
6	8	1	8	越流頂部
7	8	1	8	越流頂部
8	10	2	10	越流頂部
9	8	2	8	越流頂部
10	6	1	6	越流頂部
11	20	6	104	天端
12	16	4	32	天端
計	150	35	554	

表-4.2.4 Aダムでの計測数量⁹⁾

4.3 大型供試体を用いたダムコンクリート中の弾性波の透過・反射特性の検討

4.3.1 検討概要

コンクリートダム堤体の水平打継目の状態把握に用いる調査システムは,前節でも述べ たとおり,杭基礎等の損傷を把握するために開発されたシステムである。しかしながら, 杭基礎は比較的均質なコンクリートで構築されているのに対して,コンクリートダム堤体 は粗骨材の最大寸法も大きく,粗骨材の比率も大きなダムコンクリートを用いていること から,杭に比較すると不均質なコンクリートであり,ダムコンクリート躯体中の透過・反 射を含めた弾性波の伝播特性についても異なる可能性があると考えられる。また,本調査 システムの計測波は高い指向性(どの程度の範囲の情報が得られるのか)を示すことが確 認されている⁴⁾が,不均質なダムコンクリートにおいても同様な指向性を示すか否かにつ いては明らかではない。

これらのことを踏まえ、コンクリートダム堤体の水平打継目の状態調査に本調査システムを用いるにあたって、ダムコンクリート躯体中の指向性や透過・反射特性を含めた弾性 波の伝播特性に関する基礎的な知見が必要であることから、これらに関する検討として大型供試体を用いた室内試験を実施した。

4.3.2 検討方法

検討の方法としては、内部にひび割れ等を模した人工的な欠陥を設置した大型供試体を 作製し、その供試体に対して、衝撃弾性波法を用いて計測を行い、計測された波形を基に 検討を行った。

(1) 大型供試体作製

本検討に用いる供試体は、コンクリートダム堤体中を模したものである必要がある。そ のため、ダムコンクリート配合のコンクリートを用いて供試体を作製した。ダムコンクリ ート配合の特徴としては、粗骨材の最大寸法が150mm 程度と大きいこと、単位水量が少な く、硬練りであること、貧配合であること、低発熱型の結合材を使用していることがあげ られる。そこで、実際のダムコンクリートを再現するものとして、表-4.3.1に示す配合で 供試体を作製した.なお、結合材には、計測時には十分な強度発現が行われていることが 必要であることから、実際のダムコンクリートとは異なり、早強ポルトランドセメントを フライアッシュで30%質量置換したものをセメントとして使用した。

粗骨材	粗骨材 スランプ 空気量の 水セメント			ᅋᅀᆉᆓ	単位量(kg/m ³)								
最大寸法	の範囲	範囲	比	而自竹牛	水	結合材	細骨材		粗帽	骨材		AE減	∧⊏종비
Gmax	SL	Air	W/C	s/a	W	С	S	G1	G2	G3	G4	水剤	ЛЦЯЈ
(mm)	(cm)	(%)	(%)	(%)			5~0	150~80	80 ~ 40	40~20	20 ~ 5	Ad1	Ad2
150	3±1	3±1	75	27	120	160	585	378	378	378	378	0.4	0.016

表-4.3.1 供試体作製コンクリート配合¹⁰⁾

供試体は、図-4.3.1に示した 0.5×0.5×2.6mの直方体で作製した。供試体は一旦 0.5×0.5×1.75mの供試体として打設し、硬化させたのち、最も早い場合、中2日程度で 打継ぐ、ダムでの施工と同等の3日後に長さ0.85m分の供試体を打継いで完成させた。な お、打継目については実際のダムで実施しているグリーンカットを模擬したワイヤーブラ シによる目粗しで表面のモルタルを除去したのち、モルタルを塗布する他、内部欠陥を模 擬する表-4.3.2に示す形状寸法の樹脂シートを貼付する処理を行った後に打設を行った。 検討を行った内部欠陥のシリーズは、樹脂シートの厚み(欠陥の幅)に着目したシリーズ と、樹脂シートの大きさ(欠陥の範囲)に着目したシリーズとに分けられる。なお、樹脂 シートは力を受けると変形する性状のため、樹脂シートの厚みは分離面の厚さという視点 でなく、接触している面積の割合が少なくなるという考え方で、厚みを変化させたシリー ズを設定した。



図-4.3.1 大型供試体の形状寸法¹⁰⁾

ケース	1 — A	1 — B	1 — C	1 — D	1 — E
形状		0	0	0	0
寸法 (mm)	欠陥部なし	φ200	φ200	φ 200	φ200
厚さ (mm)	(打継目あり)	約1	約 2	約3	約5

表-4.3.2(1) 内部欠陥形状の種類(シリーズ1)¹⁰⁾

内部欠陥:大きさを一定(φ200mm)として厚さを変化(約1~5mm)

ケース 2 – A 2 – B 2 – C 2 – D 2 – E 形状 ()寸法 φ200 φ100 ϕ 300 ϕ 400 (mm) 欠陥部なし 厚さ (打継目あり) 約1 約1 約1 約1 (mm)

表-4.3.2(2) 内部欠陥形状の種類(シリーズ2)¹⁰⁾

内部欠陥:厚さを一定(約1mm)として欠陥径(ϕ 100~400mm)

(2) 計測手順

大型供試体に対する計測は、①測定箇所の整形・研磨、②受信センサの設置、③周波 数・ハンマー選定のための予備測定、④本計測の実施(反射法で計測) (波形データの記 録)という流れで実施した。計測された波形データを基に、打継目(内部欠陥),ならびに 供試体端部からの反射波の計測の有無および伝播時間について整理を行った。なお、本計 測では、同一供試体に対して10回の波形を計測・記録した。

4.3.3 計測結果と考察

(1) 計測結果

計測された代表的な波形データを図-4.3.3に示す。打継面での反射・透過の有無から3 種類の波形パターンに大別される。



図-4.3.3 計測された波形パターン¹⁰⁾

シリーズ1及びシリーズ2の各供試体に対する10回の計測波形を基に,t₁:打継目で反 射して戻ってくるまでの経過時間,t₂:供試体端部で反射して戻ってくるまでの経過時 間,V_{P1}:打撃面(計測面)から打継目までの弾性波伝播速度(V_{P1}=2×L₁÷t₁),V_{P2}:打撃面 (計測面)から供試体端面までの弾性波伝播速度(V_{P2}=2×L₂÷t₂)を算定した結果を表-4.3.3及び表-4.3.4に示す。なお,L₁は打撃面(計測面)から打継目までの実際の長さ,L₂ は打撃面(計測面)から打継目を挟んで供試体端部までの実際の長さである。

表-4.3.3(1)	計測結果	(シリーズ1	供試体 1-A,	供試体 1-B,	供試体 1-C)
------------	------	--------	----------	----------	----------

供試体	計測名	L ₁ (m)	L ₂ (m)	t ₁ (sec)	V _{P1} (km/s)	t ₂ (sec)	V _{P2} (km/s)	パターン
	1-A-1					1.12	4.60	А
	1-A-2					1.13	4.56	А
	1-A-3					1.11	4.65	А
	1-A-4					1.12	4.60	А
1-A	1-A-5	1 740	9 5 7 9			1.12	4.60	А
(2-A)	1-A-6	1./42	2.076			1.12	4.60	А
	1-A-7					1.12	4.60	А
	1-A-8					1.12	4.60	А
	1-A-9					1.12	4.60	А
	1-A-10					1.12	4.60	А
	1-B-1			0.722	4.83			С
	1-B-2			0.727	4.8			С
	1-B-3	1.745		0.726	4.81			С
	1-B-4			0.732	4.77	1.09	4.74	В
1_R	1-B-5		2 5 9 6	0.711	4.91	1.09	4.74	В
	1-B-6		2.000	0.723	4.83	1.09	4.74	В
	1-B-7			0.742	4.7	1.09	4.74	В
	1-B-8			0.729	4.79	1.1	4.7	В
	1-B-9			0.732	4.77	1.1	4.7	В
	1-B-10			0.726	4.81	1.09	4.74	В
	1-C-1			0.723	4.82	1.08	4.79	В
	1-C-2			0.726	4.80	1.09	4.75	В
	1-C-3			0.73	4.78			С
	1-C-4			0.718	4.86	1.07	4.84	В
1-0	1-C-5	1 7/3	2 5 8 7	0.732	4.76			С
	1-C-6	1./40	2.307	0.726	4.80	1.09	4.75	В
	1-C-7			0.72	4.84			С
	1-C-8			0.72	4.84	1.08	4.79	В
	1-C-9		_	0.722	4.83	1.1	4.7	В
	1-C-10			0.738	4.72	1.1	4.7	В

供試体	計測名	L ₁ (m)	L₂(m)	t ₁ (sec)	V _{P1} (km/s)	t ₂ (sec)	V _{P2} (km/s)	パターン
	1-E-1			0.715	4.89			С
	1-E-2			0.731	4.79			С
	1-E-3			0.713	4.91	1.07	4.84	В
	1-E-4			0.727	4.81	1.08	4.80	В
1 D	1-E-5	1 740	2 5 0 1	0.702	4.98	1.06	4.89	В
ע-ו	1-E-6	1./49	2.591	0.693	5.05	1.06	4.89	В
	1-E-7			0.697	5.02	1.06	4.89	В
	1-E-8			0.720	4.86	1.08	4.80	В
	1-E-9			0.714	4.90	1.07	4.84	В
	1-E-10			0.723	4.84			С
	1-F-1	-		0.743	4.70			С
	1-F-2			0.745	4.69			С
	1-F-3			0.742	4.71			С
	1-F-4			0.737	4.74			С
1_5	1-F-5	1 7 4 7	2 5 9 0	0.748	4.67			С
1-6	1-F-6	1./4/	2.009	0.737	4.74			С
	1-F-7	-		0.746	4.68	1.06	4.88	В
	1-F-8			0.753	4.64			С
	1-F-9			0.744	4.70	1.08	4.79	В
	1-F-10			0.744	4.70			С

表-4.3.3(2) 計測結果 (シリーズ1_供試体1-D,供試体1-E)

供試体	計測名	L ₁ (m)	L₂(m)	t ₁ (sec)	V _{P1} (km/s)	t ₂ (sec)	V _{P2} (km/s)	パターン
	2-A-1					1.12	4.60	А
	2-A-2					1.13	4.56	А
	2-A-3					1.11	4.65	А
	2-A-4					1.12	4.60	А
2-A	2-A-5	1 740				1.12	4.60	А
(1-A)	2-A-6	1./42	2.578			1.12	4.60	А
	2-A-7					1.12	4.60	А
	2-A-8					1.12	4.60	А
	2-A-9					1.12	4.60	А
	2-A-10					1.12	4.60	А
	2-B-1			0.78	4.49	1.16	4.45	В
	2-B-2		2.583	0.78	4.49	1.16	4.45	В
	2-B-3	1.745				1.16	4.45	А
	2-B-4					1.17	4.42	А
0.0	2-B-5			0.78	4.49	1.16	4.45	В
2-B	2-B-6			0.77	4.55	1.15	4.49	В
	2-B-7					1.16	4.45	А
	2-B-8			0.77	4.55	1.16	4.45	В
	2-B-9					1.16	4.45	А
	2-B-10					1.15	4.49	А
	2-C-1			0.80	4.38	1.15	4.39	В
	2-C-2			0.79	4.43	1.14	4.43	В
	2-C-3			0.79	4.43	1.14	4.43	В
	2-C-4			0.77	4.55	1.13	4.47	В
	2-C-5	1 741	0 5 0 7	0.8	4.38	1.16	4.36	В
2-0	2-C-6	1./41	2.527	0.78	4.49			С
	2-C-7			0.79	4.43	1.15	4.39	В
	2-C-8			0.7	4.49	1.14	4.43	В
	2-C-9			0.80	4.38			С
	2-C-10			0.79	4.43	1.15	4.39	В

表-4.3.4(1) 計測結果 (シリーズ 2_供試体 2-A,供試体 2-B,供試体 2-C)

表-4.3.4(2)	計測結果	(シリーズ2	供試体 2-D,	供試体 2-E)

供試体	計測名	L ₁ (m)	L₂(m)	t ₁ (sec)	V _{P1} (km/s)	t ₂ (sec)	V _{P2} (km/s)	パターン
	2-D-1			0.79	4.43			С
	2-D-2			0.78	4.49			С
	2-D-3			0.78	4.49			С
	2-D-4			0.78	4.49			С
2_0	2-D-5	1 754	2 5 9 0	0.79	4.43			С
2-0	2-D-6	1.754	2.589	0.78	4.49			С
	2-D-7			0.79	4.43	1.79*		В
	2-D-8			0.80	4.38			С
	2-D-9			0.79	4.43	1.79 [%]		В
	2-D-10			0.78	4.49			С
	2-E-1			0.74	4.73			С
	2-E-2			0.77	4.55			С
	2-E-3			0.75	4.67			С
	2-E-4			0.78	4.49	1.14	4.54	В
2_5	2-E-5	1 740	2 5 0 7	0.79	4.43			С
2-C	2-E-6	1./40	2.007	0.79	4.43			С
	2-E-7			0.79	4.43			С
	2-E-8			0.79	4.43	1.16	4.46	В
	2-E-9			0.78	4.49			С
	2-E-10			0.79	4.43			С

※2-D-7 および 2-D-9 においては伝播時間 1.79sec の波が確認されたが、伝播速度を 4.46km/s とした場合、その伝播距離は約 4.0mとなり、供試体端部と打継目を反復したものと推定されるため、VP2 算定の対象としない。

また,表-4.3.3 及び表-4.3.4 に示した結果をもとに,供試体ごと,すなわち,打継目の欠陥状態ごとで,整理した結果を表-4.3.5 及び表-4.3.6 に示す。なお,各伝播速度の欄における波形数とは,伝播速度の平均値,標準偏差及び変動係数の算定のもとになった 波形,すなわち,伝播速度のデータ数を示す。また,変動係数は標準偏差を平均値で除したものを百分率表示したものである。

ケース名		1-A (2-A)	1-B 1-C		1-D	1-E
内部空隙	赏の厚み	0mm	1mm 2mm		3mm	5mm
波形パタ	А	100%	0%	0%	0%	0%
ーンの比	В	0%	70%	70%	70%	20%
率	С	0%	30%	30%	30%	80%
	波形数	0	10	10	10	10
伝播速度	平均值	_	4.80km/s	4.81km/s	4.91km/s	4.70km/s
V _{P1}	標準偏差	_	0.053km/s	0.042km/s	0.087km/s	0.030km/s
	変動係数	—	1.12%	0.88%	1.78%	0.64%
	波形数	10	7	7	7	2
伝播速度	平均值	4.60km/s	4.73km/s	4.76km/s	4.85km/s	4.84km/s
V _{P2}	標準偏差	0.021km/s	0.020km/s	0.051km/s	0.041km/s	0.064km/s
	変動係数	0.46%	0.41%	1.07%	0.84%	1.32%

表-4.3.5 計測結果(シリーズ1)¹⁰⁾

ケース名		2-A (1-A)	2-В	2-C	2-D	2-E
内部空隙	意の直径	0mm	100mm	100mm 200mm		400mm
波形パタ	А	100%	50%	0%	0%	0%
ーンの比	В	0%	50%	80%	20%	20%
率	С	0%	0%	20%	80%	80%
	波形数	0	5	10	10	10
伝播速度	平均值	—	4.51km/s	4.44km/s	4.46km/s	4.51km/s
V _{P1}	標準偏差	_	0.033km/s	0.056km/s	0.040km/s	0.110km/s
	変動係数	—	0.73%	1.26%	0.89%	2.43%
	波形数	10	10	8	0	2
伝播速度	平均值	4.60km/s	4.46km/s	4.41km/s	_	4.50km∕s
V _{P2}	標準偏差	0.021km/s	0.021km/s	0.035km/s	_	0.057km/s
	変動係数	0.46%	0.46%	0.79%	_	1.26%

表-4.3.6 計測結果(シリーズ 2)¹⁰⁾

なお,表-4.3.6に示したシリーズ2におけるケース 2-Dにおいて 10回打撃中2回の打撃で,打継目と想定される距離で反射したと想定される波と,打継目よりも深部(遠方)で反射したと想定される波が計測されたことから,波形パターンBの比率を20%としている。しかし,反射が生じた深度(距離)が供試体端面までの距離(約2.6m)よりもかなり深部(約4.0m)であることから,供試体端部と打継目との間を反復したものであると想定した。そこで,ケース 2-D では V_{P2} 算定の対象となる波形は記録されなかったとして,波形数を0とした。なお,ケース 2-D のみ,このような供試体端部と打継目との間での反復現象と推察される波形が計測された原因については明言できないが,コンクリートの不均質さによって往復で経路が異なり,8割が反射してしまう打継目状態の条件において往路では透過したが復路では透過しなかった可能性もあると考えている。

つぎに, 表-4.3.5 及び表-4.3.6 に示した内部欠陥の各ケースの波形パターンの比率を 図化したものを, 図-4.3.4 及び図-4.3.5 に示す.また, 伝播速度の変動係数をシリーズ 毎に比較したものを図-4.3.6 及び図-4.3.7 に示す.





図-4.3.4 内部欠陥の厚みと波形パターン比率の関係¹⁰⁾

図-4.3.5 内部欠陥の直径と波形パターン比率の関係¹⁰⁾



図-4.3.6 内部欠陥の厚みと伝播速度の変動係数との関係¹⁰⁾



図-4.3.7 内部欠陥の直径と伝播速度の変動係数との関係¹⁰⁾

(2) 考察

表-4.3.2~表-4.3.6, 及び図-4.3.4~図-4.3.7 に示した人工的な欠陥を内部に設けた 大型供試体に対する計測結果から,以下のことが分かる。

①打継目が十分に接合(密着)している場合,反射波は当該位置には確認されず,供試体端部のみで確認される。一方,接合が不十分(空隙が存在)する場合,当該位置にも反射波が確認される。

②内部欠陥の寸法(直径)を200mm 一定として、その厚さ(幅)を変化されたシリーズ1の 結果からは直径200mm 以上の欠陥が存在していれば、欠陥部で弾性波が全反射し、欠陥部 より深部には弾性波が到達しないケースが発生すること、そして、欠陥の厚さが大きくな ると全反射の割合も大きくなることが分かる。なお、欠陥の厚さと全反射の割合との関係 が一定の関係に無い理由としては、内部欠陥を再現するものとして用いた樹脂シートの圧 縮時の変形特性によって、シートの厚みと接触面積(分離面積)との間に一次線形の関係が 成立していないことによると考えている。

③内部欠陥の厚さを 1mm 一定として、その直径を変化させたシリーズ 2 の結果から、欠 陥の直径は欠陥部での反射波の発生割合に影響していること、欠陥部の直径が ¢ 200mm 以 下であれば欠陥部の周囲に存在している健全部の影響を受けて打継目を透過する波もある が、 ¢ 300mm 以上になると弾性波のほとんどが欠陥部で反射され、 ¢ 300mm と ¢ 400mm の 結果には差異が無い結果となっている。これについて、深度方向に対してどの程度の広が り (範囲) に対して状態把握が可能かという観点から、指向角 (=arctan(任意の深さで の状態が把握できる範囲 (直径) /任意の深さ)) というものを定義して、本検討の結果 を基に算定すると、指向角は 6.5° (=arctan(20/175))~9.7° (= arctan(30/175)) の 範囲内に存在すると考えられる。この指向角の値は、ダムコンクリートに比較してより均 質と推定される粗骨材最大寸法 8mm、スランプ 20cm のコンクリートに比較してより均 質と推定される粗骨材最大寸法 8mm、スランプ 20cm のコンクリートで構築された躯体を用 いて指向性の検討を行った既往の研究⁴⁰において確認された指向角 7.7° とほぼ同一であ ると言える。このことから、使用骨材の最大粒径が大きく、一般のコンクリートに比較し て、不均質であると想定されるダムコンクリートで構築された構造物における本手法によ る弾性波の指向性は一般コンクリートを用いた構造物に対して、大きく異なることは無い と考えられる。

④打継目(内部欠陥)あるいは供試体端部までの距離と伝播時間から算定した弾性波伝播 速度のばらつきを示す変動係数は最大1.78%であった。この変動係数は、適用実績の多い 杭基礎に対して本手法を適用した際の誤差(変動係数)(±5%程度)¹¹⁾に対して、十分小

82

さい。このことから、一般のコンクリート構造物に比較して内部が不均質であると想定さ れるコンクリートダム堤体内部においても、本手法での弾性波の伝播(透過・反射)特性 は、一般コンクリート構造物のそれと同等であると判断される。

4.3.4 まとめ

基礎杭等の損傷調査等に用いられている衝撃弾性波法を用いた調査システムのコンクリ ートダム堤体の水平打継目の状態調査への適応性を確認するため、ダムコンクリート躯体 中の指向性や透過・反射特性を含めた伝播特性に関する基礎的な知見の取得を目的とし て、内部にひび割れ等を模した人工的な欠陥を設置した大型供試体を用いて衝撃弾性波法 による計測を行った。その結果、一般的なコンクリートに比して不均質であると推定され るダムコンクリートで構築された躯体中においても、弾性波の指向性及び弾性波の透過・ 反射という伝播特性は、一般コンクリートの躯体に対するものとほぼ同様であることが確 認された。

4. 4 供用中のコンクリートダム堤体中の弾性波伝播特性の検討

4.4.1 検討概要

本手法は,弾性波(高周波成分)の評価対象深度における透過・反射特性に着目して, 打継目の状態推定を行うものである。そのため,深度(距離)L,弾性波伝播速度 v と当 該深度(距離)からの反射波の伝播時間 t との間に, $L = v \times t/2$ の関係があるため,時 間 t で置き換えることになる。そのため,弾性波伝播速度の設定値を誤ると,深度(距 離)に誤差が生じることになり,対象とする打継目の評価を適正に行うことが困難とな る。

しかしながら、コンクリートダム堤体を構築しているダムコンクリートは、使用されて いる粗骨材の最大寸法が80~150mmで、コンクリート中の粗骨材の容積割合も一般的な構 造物に使用されているコンクリートに比較して大きいという特徴を持っている。このた め、大粒径の骨材分級で骨材の材料分離現象が発生し易かったり、大粒径骨材の下面には ブリーディング水が留まったりするなど一般のコンクリートに比較して不均質なものとな り易いと言える。また、ダム堤体の構築方法も高さ0.75~2.0mのコンクリートを打設 し、硬化後、レイタンス処理及びモルタル敷き均し等の打継目処理を行い、次リフトのコ ンクリートを打ち継ぐという、平面的な広がりに対して薄いコンクリートを重ねていく打 設方法を採用しており、一般的なコンクリート構造物とは異なっている。このような構築 材料ならびに構築方法を考慮すると、一般的なコンクリート構造物に比較して、コンクリ ートダム堤体は不均質であると推察される。

前述のとおり、ダム堤体の水平打継目状態の評価手法は、杭基礎の損傷を把握するため に開発された手法を基としているが、杭基礎のコンクリートは一般コンクリート構造物の コンクリートに比較して均質の程度はほぼ同等以上であると考えられる。そのため、相対 的に不均質と考えられるコンクリートダム堤体に対する本手法の適用においては、このコ ンクリートの不均質さが及ぼす影響が懸念される。特に、コンクリートダム堤体中を透 過・伝播する弾性波伝播速度については、堤体コンクリートが不均質であることに起因し て計測毎に変動することが想定される。弾性波伝播速度の変動は、評価深度の分析に影響 を及ぼし、ひいてはダム堤体の水平打継目状態の推定精度にも影響を及ぼすと考えられ る。

これらのことからコンクリートダム堤体の水平打継目状態の推定精度向上を図るために は、ダム堤体中の弾性波伝播速度の特性に関する基礎的な知見が必要であることから、実 際のコンクリートダム堤体で計測した弾性波伝播速度に対する分析・考察を行った。

4.4.2 検討方法

検討の方法としては,モデルダムであるAダムの堤体において,衝撃弾性波法を用いて 計測を行った計測波形を基に,弾性波伝播速度について分析・検討を行った。

(1) 計測方法

計測は、ダム非越流部(BL. 2~BL. 5, BL. 11~BL. 12) については堤体天端に、あるいは ダム越流部(BL. 6~BL. 10)については越流頂部において、ダム軸(左右岸)方向に 2m 間隔 で、上下流方向に 1m 間隔で、格子状に設置した測点で鉛直下方に対して反射波を計測し た。Aダムの堤体下流面図(図-4. 2. 3)、測点の配置模式図(図-4. 2. 4)を再掲する。各測点 においては、再現性の高い反射波形が 20 回程度計測されるまで計測した。各ブロックに 設置した測点の数は、**表-4. 4. 1** に示すとおりであり、全体で 150 測点を設置した。







表-4.4.1 弾性波伝播速度の算定区間数⁷⁾

ブロック	格子点数 (左右岸 ×上下流)	測点数 (点)	算定対象とした 水平打継目(面) の数	弾性波 伝播速度 算定区間数
BL.2	*	10^{*}	8	80
BL.3	6×4	24	7	168
BL.4	5×4	20	7	140
BL.5	5×4	20	8	160
BL.6	4×2	8	6	48
BL.7	4×2	8	6	48
BL.8	5×2	10	6	60
BL.9	4×2	8	6	48
BL.10	3×2	6	6	36
BL.11	5×4	20	8	160
BL.12	4×4	16	7	112
合計	_	150	75	1060

図-4.2.4 測点配置の模式図(再掲)

(2) 弾性波伝播速度の算出と検討

各区間の弾性波伝播速度は、以下のような手順で算定を行った。ここでは、ある深度 (*L*₁)に存在する打継目 No.1を想定して説明する。

・予備計測として,堤体天端の任意の2測点間の表面透過波を計測し,堤体コンクリートのおおよその弾性波伝播速度を算定する。

・各天端測点で鉛直下方への反射波計測の測定を行い、その波形から予備計測結果で算 定した弾性波伝播速度に基づき、打継目 No.1 のおおよその深度に該当する反射波の伝 播時間(t₁)を読み取る。

・次式を用いて、各測点の打継面 No.1 に対して弾性波伝播速度(V₁)を算定する.

$$V_1 = 2 \times \frac{L_1}{t_1}$$

4.4.3 計測結果と考察

(1) 計測結果

Aダムの堤体において衝撃弾性波法によって計測を行い,得られた波形データを基に算 出した弾性波伝播速度の結果として,各ブロックの各打継目までの各測点の弾性波伝播速 度の平均値,及び変動係数(標準偏差/平均値)を表-4.4.2~表-4.4.12に示した。予備 計測としてダム堤体天端で計測した表面透過波の速度は4.43km/sであった。なお,測 点・深度(打継目)によっては,弾性波伝播速度が算出されていない箇所も存在している が,これは当該打継目が健全であり弾性波が全て透過してしまった,あるいは当該打継目 よりも浅部が開口しており弾性波が全て反射してしまい,当該打継目まで弾性波が到達し ていない状態となっていることを示している。

表-4.4.13~表-4.4.14は、各測点で計測した全ての弾性波伝播速度から算出した平均値 を、ブロック・測点ごとに整理を行ったものである。

また, 表-4.4.15~表-4.4.18は, 打継目までの弾性波伝播速度について, 各ブロックでの平均値, 標準偏差及び変動係数を算出し, 整理したものである。

打継目の標高	16 D					測点	āNo.				
頂部からの距離	項日	BL.2_1-1	BL.2_1-2	BL.2_2-1	BL.2_3-1	BL.2_4-1	BL.2_5-1	BL.2_6-1	BL.2_6-2	BL.2_7-1	BL.2_7-2
	平均伝播時間(ms)	2.07	2.03	2.06	1.97	2.02	2.08	2.07	1.96	2.00	2.05
EL.231.5	データ数(個)	9	4	6	6	18	8	20	2	17	19
4.50	変動係数(%)	1.45	2.60	3.56	2.29	2.64	1.36	1.42	1.44	3.34	2.10
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.35	4.44	4.38	4.58	4.45	4.33	4.35	4.59	4.49	4.38
	平均伝播時間(ms)	2.67	2.71	2.66	2.69	2.70	2.75	2.71	2.70	2.65	2.73
EL.230.0	データ数(個)	7	12	3	9	5	3	19	8	3	17
6.00	変動係数(%)	3.26	2.54	1.99	2.81	3.60	3.03	2.11	3.63	2.85	2.46
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.49	4.44	4.51	4.46	4.44	4.37	4.42	4.44	4.52	4.40
	平均伝播時間(ms)	3.26	3.37	3.34	3.36	3.37	3.50	3.33	3.40	3.37	3.38
EL.228.5	データ数(個)	4	9	11	17	15	2	13	13	3	10
7.50	変動係数(%)	1.12	2.95	2.68	2.55	2.12	0.00	1.89	1.72	3.95	1.91
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.60	4.45	4.50	4.46	4.45	4.29	4.51	4.42	4.45	4.43
	平均伝播時間(ms)	3.96	4.00	4.05	4.09	4.08	3.91	3.96	3.97	4.09	4.12
EL.227.0	データ数(個)	7	3	13	4	3	6	10	13	2	10
9.00	変動係数(%)	2.07	0.87	2.70	1.71	4.19	2.16	2.72	2.21	2.42	2.29
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.54	4.50	4.44	4.41	4.41	4.60	4.55	4.53	4.40	4.37
	平均伝播時間(ms)	4.56	4.63	4.84	4.78	4.75	4.63	4.68	4.76	4.65	4.66
EL.225.5	データ数(個)	2	3	5	7	7	2	2	5	3	12
10.50	変動係数(%)	0.62	1.09	2.88	2.57	3.03	3.36	0.00	2.76	1.99	2.33
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.61	4.53	4.34	4.39	4.42	4.54	4.49	4.41	4.52	4.51
	平均伝播時間(ms)			5.17	5.36	5.41	5.45	5.66	5.36	5.32	5.50
EL.224.0	データ数(個)			2	9	5	3	2	6	2	2
12.00	変動係数(%)			0.82	3.11	2.89	4.30	0.50	2.08	4.78	2.06
(m)	平均伝播速度(km/s)			4.64	4.48	4.43	4.41	4.24	4.48	4.51	4.36
	平均伝播時間(ms)	6.14		6.18	5.89		5.93	5.97	5.82	6.17	6.00
EL.222.5	データ数(個)	2		2	2		4	4	1	6	3
13.50	変動係数(%)	0.92		4.12	1.68		1.73	2.59		3.43	3.46
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.40		4.37	4.58		4.56	4.53	4.64	4.37	4.50
	平均伝播時間(ms)	6.79	6.76	6.92			6.46	6.54			6.67
EL.221.0	データ数(個)	4	1	2			1	1			2
15.00	変動係数(%)	3.18		2.45							3.60
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.42	4.44	4.34			4.64	4.59			4.50
平均伝播返	速度(km/s)	4.49	4.47	4.44	4.48	4.43	4.47	4.46	4.50	4.47	4.43
標準偏差	售(km/s)	0.10	0.04	0.11	0.08	0.01	0.14	0.12	0.09	0.06	0.06
変動係	《数(%)	2.23	0.90	2.40	1.68	0.33	3.03	2.59	1.96	1.35	1.43

表-4.4.2 弾性波伝播速度計測結果(BL.2)

打雑目の標高													测点No.											
頂部からの距離	旧日	BL.3_1-1	BL.3_1-2	3L.3_1-3	3L.3_1-4	3L.3_2-1	3L.3_2-2 E	st.3_2-3	L.3_2-4B	3_3-1BL.	3_3-2BL.	3_3-3BL.3	-3-4BL.3	4-1 BL.3_4	-2BL.3_4	3BL.3_4	-4BL.3_5-	1 BL.3_5-2	BL.3_5-3	BL.3_5-4	BL.3_6-1	3L.3_6-2 BI	3_6-3BL	.3_6-4
	平均伝播時間(ms)	2.01	2.04	1.98	2.05	1.97	2.00	2.02	1.99	2.05 2	.05 2	02 1.	98 1.9	3 2.05	2.04	2.02	2.02	2.08	2.00	1.97	2.02	2.05	2.05	2.07
EL.231.5	データ数(個)	17	6	17	20	ъ	14	9	S	11	17	16 1	3 7	19	4	14	4	m	12	7	14	18	15	15
4.50	変動係数(%)	2.48	2.43	2.11	3.06	1.16	2.65	1.08	1.35	3.09 1	.15 2.	55 2.	14 3.03	3 2.93	4.16	0.91	1.88	00.0	1.65	2.46	3.01	3.24	2.45	.19
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.47	4.40	4.54	4.39	4.56	4.50	4.46	4.53	4.40 4	.39 4.	45 4.1	55 4.5	5 4.40	4.41	4.45	4.47	4.33	4.50	4.56	4.45	4.38	1.38	.34
	伝播時間(ms)	2.74	2.69	2.64	2.79	2.71	2.72	2.79	2.65	2.64 2	.70 2	71 2.	73 2.6	9 2.72	2.72	2.73	2.74	2.73	2.84	2.72	2.69	2.74	2.66	2.65
EL.230.0	データ数(個)	16	18	10	7	11	19	10	00	7	ŝ	12	2 3	17	9	11	13	19	2	6	9	19	15	7
6.00	変動係数(%)	0.60	1.57	2.08	0.35	2.45	1.33	0.50	2.24	1.52 1	.28 2.	54 0.1	52 1.13	3 1.66	0.30	2.64	2.70	1.23	0.00	1.60	1.46	1.47	0.92	2.17
(m)	伝播速度(km/s)	4.38	4.47	4.55	4.29	4.44	4.41	4.30	4.52	4.55 4	.44 4.	44 4.	4.4	5 4.42	4.42	4.39	4.37	4.40	4.23	4.42	4.46	4.39	4.51 4	.53
	平均伝播時間(ms)	3.30	3.29	3.33	3.33	3.22	3.39	3.32	3.37	3.34 3	.28 3.	36 3.3	24 3.4:	3.34	3.29	3.32	3.30	3.32	3.50	3.40	3.32	3.39		3.41
EL.228.5	デーク数(個)	11	9	ŝ	11	9	7	7	18	11	1	12	9 7	11	10	6	16	12	10	19	12	11		11
7.50	変動係数(%)	0.80	3.78	1.93	1.94	0.25	4.24	2.56	1.79	1.60	2	11 0.	41 3.58	3 2.31	1.22	2.98	1.26	1.83	1.76	1.54	0.43	2.95		2.46
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.54	4.55	4.51	4.51	4.65	4.43	4.51	4.45	4.49 4	.57 4.	46 4.0	64 4.4	94.49	4.56	4.52	4.54	4.52	4.28	4.42	4.52	4.43	~	.39
	平均伝播時間(ms)	3.93	3.96	4.10	4.01	4.00	3.98	3.90	4.08	3.86 4	.26 3.	95 4.3	26 3.8(6 4.19	3.94	4.19	4.01	4.25	4.07	4.11	4.18	4.11	3.88	1.00
EL.227.0	デーク数(個)	9	6	-	e	7	2	00	12	1	2	6	1 4	m	1	15	12	10	3	7	2	4	00	23
00.6	変動係数(%)	1.89	1.86		1.60	2.44	0.71	0.70	0.95	0	0.00	95	0.0	1.54		2.69	1.81	0.33	2.04	1.01	0.68	3.80	0.33	1.36
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.58	4.55	4.39	4.49	4.50	4.52	4.62	4.41	4.66 4	.23 4.	56 4.:	23 4.6	5 4.30	4.57	4.30	4.49	4.23	4.42	4.38	4.31	4.38	4.64	.50
	平均伝播時間(ms)	4.71	4.69			4.92	4.62	4.58	4.69	4.68 4	.60 4.	66 4.(69	4.81	4.72		4.78	4.64		4.75	4.70			t.59
EL.225.5	データ数(個)	S	2			4	12	4	10	5	4	4	6	2	-1		1	1		2	1			13
10.50	変動係数(%)	2.52	2.71			0.20	1.49	0.87	0.85	1.11 1	.74 0.	21 1.	54	0.29						3.87				06.3
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.46	4.48			4.27	4.55	4.59	4.48	4.48 4	.57 4.	51 4.	48	4.37	4.45		4.39	4.53		4.42	4.47		,	.57
	平均伝播時間(ms)	5.35		5.14					5.67				5.48	5.43		5.42	5.43						5.42	5.30
EL.224.0	デーク数(個)	2		10					7			_	1	æ		1	2						1	13
12.00	変動係数(%)	3.95		0.16					0.19					3.32			1.18							3.07
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.49		4.67					4.23				4.3	3 4.42		4.43	4.42						4.43	.52
	平均伝播時間(ms)	6.07	6.36					6.10	5.93	6.08			0.0	6.00	6.01	5.96		6.38		5.95	5.92	6.11	6.10	3.37
EL.222.5	データ数(個)	4	1					1	ŝ	1			1	1	2	2		1		ŝ	2	2	1	4
13.50	変動係数(%)	4.52							0.19						3.06	0.95				2.52	2.87	5.79		0.18
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.45	4.25					4.43	4.56	4.44			4.4	4.50	4.49	4.53		4.23		4.54	4.56	4.42	4.43	.24
平均伝播这	該度(km/s)	4.48	4.45	4.53	4.42	4.48	4.48	4.48	4.45	4.50 4	.44 4.	48 4.	46 4.4	9 4.41	4.48	4.44	4.45	4.37	4.36	4.46	4.46	4.40	4.48	.44
標準偏差	€ (km/s)	0.06	0.11	0.10	0.10	0.14	0.06	0.11	0.11	0 60.0	.14 0.	05 0.	16 0.1	0.07	0.07	0.09	0.06	0.13	0.13	0.07	0.09	0.02	0.10 (.12
変動係	[数 (%)	1.42	2.58	2.17	2.23	3.20	1.32	2.56	2.47	2.05 3	.22 1.	10 3.	51 2.3	2 1.59	1.52	1.92	1.45	3.02	2.89	1.67	1.96	0.51	2.31	.74

(BL. 3)
褝性波伝播速度計測結果
4.3
表-4.

さんして、通られ											平原	chio									
1歳日の余回	項目	BL.4_1-1	BL.4_1-2	BL.4_1-3	BL.4_1-4	BL.4_2-1	BL.4_2-2	BL.4-2-3	BL.4_2-4	BL.4_3-1	B+.4_3-2	BL.4_3-3	BL.4_3-4	BL.4_4-1	BL.4_4-2	BL.4_4-3	BL.4_4-4	BL.4_5-1	BL.4_5-2	BL.4_5-3	BL.4_5
	平均伝播時間(ms)	2.00	2.12	2.06		2.02	2.08	2.02		2.04	2.04	2.12	2.04	2.03		2.12	2.07	2.05	2.00	t I	2.04
EL.231.5	データ数(個)	1	1	2		10	1	4		13	б	1	2	9		1	6	S	2		7
4.50	変動係数(%)			4.12		2.18		3.79		2.65	2.48		00.0	2.39			3.21	3.49	5.66		1.60
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.50	4.25	4.37		4.46	4.33	4.46		4.41	4.40	4.25	4.41	4.44		4.25	4.35	4.39	4.50		4.41
	平均伝播時間(ms)	2.74	2.71	2.60		2.73	2.80	2.76		2.76	2.72	2.75	2.77	2.70	2.70	2.76	2.69	2.69	2.81	2.79	2.71
EL.230.0	データ数 (個)	∞	ŝ	1		11	9	11		11	9	6	9	10	∞	1	11	13	12	5	∞
6.00	変動係数(%)	3.02	3.08			3.22	1.81	1.18		2.47	3.60	3.15	2.49	1.59	2.63		2.33	2.28	1.19	0.64	3.35
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.38	4.43	4.62		4.39	4.29	4.35		4.35	4.41	4.36	4.34	4.45	4.44	4.35	4.45	4.46	4.28	4.30	4.44
	平均伝播時間(ms)	3.35	3.40	3.38	3.34	3.37	3.38	3.36	3.44	3.41	3.45	3.38	3.41	3.40	3.39	3.36	3.35	3.30	3.41	3.45	3.33
EL.228.5	データ数(個)	5	7	6	6	15	10	7	7	12	15	13	13	11	14	14	13	6	17	14	6
7.50	変動係数(%)	3.20	1.66	2.45	1.70	1.92	2.75	2.83	3.97	2.30	1.20	2.96	1.74	1.90	2.16	2.54	2.15	1.50	0.62	2.22	1.68
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.47	4.41	4.44	4.49	4.44	4.44	4.46	4.36	4.40	4.35	4.44	4.40	4.41	4.42	4.47	4.48	4.55	4.40	4.35	4.51
	平均伝播時間(ms)	4.16	4.12	4.07	4.03	4.12	4.19	4.07	4.14	4.03	4.01	4.02	4.00	4.06	4.04	4.02	4.11	4.05	3.98	4.12	4.00
EL.227.0	データ数(個)	ę	00	7	17	ъ	11	13	12	5	11	13	16	12	16	10	12	13	ъ	19	7
00.6	変動係数(%)	0.96	3.22	2.32	2.76	1.94	1.23	3.59	2.20	2.26	3.63	1.80	3.33	1.15	3.73	2.31	2.45	2.68	3.99	2.42	1.41
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.33	4.37	4.42	4.47	4.37	4.30	4.42	4.35	4.46	4.49	4.48	4.50	4.44	4.45	4.48	4.38	4.44	4.52	4.36	4.50
	平均伝播時間(ms)	4.70	4.82	4.69	4.60	4.78	4.62	4.71	4.68	4.85	4.58	4.85	4.71	4.67	4.81	4.63	4.73	4.80	4.76	4.75	4.79
EL.225.5	データ数(個)	5	5	7	16	9	7	6	17	9	13	7	15	10	6	7	18	16	11	14	15
10.50	変動係数(%)	2.45	1.72	3.87	1.46	3.44	0.84	2.29	2.26	1.84	1.36	1.03	2.03	1.75	2.59	1.85	0.80	2.71	2.90	1.01	1.14
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.46	4.36	4.48	4.57	4.40	4.54	4.46	4.49	4.33	4.58	4.33	4.46	4.49	4.37	4.54	4.44	4.38	4.41	4.42	4.39
	平均伝播時間(ms)	5.40	5.34	5.39	5.38	5.53	5.36	5.31	5.38	5.48	5.38	5.45	5.57	5.36	5.31	5.51	5.48	5.52	5.37	5.21	5.18
EL.224.0	データ数(個)	∞	4	7	16	ŝ	5	13	10	1	2	7	16	12	6	11	11	4	10	9	13
12.00	変動係数(%)	2.87	1.78	3.20	1.51	2.74	1.29	2.07	1.00		5.78	3.54	0.76	2.48	2.58	3.39	2.96	3.07	2.48	0.40	0.68
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.45	4.49	4.45	4.46	4.34	4.48	4.52	4.46	4.38	4.46	4.40	4.31	4.48	4.52	4.36	4.38	4.35	4.47	4.60	4.63
	平均伝播時間(ms)	5.99	60.9	5.92	6.04	6.16	6.20	6.08	5.96	5.97	6.26	6.08	6.28	6.18	6.17	6.04	6.11	5.90		5.96	5.84
EL.222.5	データ数(個)	9	e	e	e	ę	4	e	9	ę	4	9	6	5	5	en	e	∞		11	15
13.50	変動係数(%)	2.91	2.65	1.79	1.32	5.07	2.74	1.32	2.40	2.05	1.22	1.77	0.45	2.81	3.65	0.66	1.89	1.70		1.92	0.75
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.51	4.43	4.56	4.47	4.38	4.35	4.44	4.53	4.52	4.31	4.44	4.30	4.37	4.38	4.47	4.42	4.58		4.53	4.63
平均伝播近	速度(km/s)	4.44	4.39	4.48	4.49	4.40	4.39	4.44	4.44	4.41	4.43	4.39	4.39	4.44	4.43	4.42	4.42	4.45	4.43	4.43	4.50
標準偏急	臣 (km/s)	0.07	0.08	0.08	0.04	0.04	0.10	0.05	0.08	0.06	0.09	0.08	0.08	0.04	0.06	0.10	0.05	0.09	0.09	0.12	0.10

2.19

2.63

2.00

1.93

1.05

2.30

1.26

0.93

1.73

1.83

2.03

1.47

1.79

1.19

0.99 2.24

0.96

1.88

1.48 1.79

変動係数(%)

表-4.4.4 弹性波伝播速度計測結果(BL.4)

					<u>۱</u>	-	, ,					Ę									
打継目の標高	田田										小川	No.									
頂部からの距離	ц К	BL.5_1-1	BL.5_1-2	BL.5_1-3	BL.5_1-4	BL.5_2-	1 BL.5_2-	2 BL.5_2-:	3BL.5_2-4	BL.5_3-1	BL.5_3-2	BL.5_3-3	BL.5_3-4	3L.5_4-1	3L.5_4-2	3L.5_4-3	3L.5_4-4	3L.5_5-1	BL.5_5-2	3L.5_5-3	3L.5_5-4
	平均伝播時間(ms)	1.34	1.36	1.38	1.34	1.30		1.37		1.38	1.33	1.29		1.36	1.32	1.40	1.35	1.34	1.31	1.36	1.36
EL.233.0	データ数(個)	7	5	12	2	2		7		5	9	e		2	2	4	4	5	9	e	4
3.00	変動係数(%)	3.90	4.32	3.25	2.11	2.18		3.94		1.21	2.95	0.89		4.16	0.00	0.00	2.84	4.13	2.10	3.89	2.21
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.49	4.40	4.35	4.48	4.62		4.38		4.34	4.50	4.64		4.41	4.55	4.29	4.44	4.46	4.58	4.41	4.43
	平均伝播時間(ms)	2.12	2.05	2.12	1.96	2.08	1.96	1.98	2.02	2.04	1.99	1.99	2.00	2.00	2.04	2.12	1.96	2.03	2.07	2.03	2.08
EL.231.5	データ数(個)	1	10	1	1	2	6	2	13	18	4	5	5	4	12	1	1	13	9	en	1
4.50	変動係数(%)		2.98			2.72	3.06	4.29	4.23	1.50	4.14	2.62	2.16	0.00	1.99			2.69	2.91	0.57	
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.25	4.38	4.25	4.59	4.33	4.59	4.55	4.45	4.41	4.52	4.53	4.49	4.50	4.40	4.25	4.59	4.43	4.35	4.43	4.33
	平均伝播時間(ms)	2.60	2.66	2.64	2.67	2.62		2.75	2.63	2.74	2.68	2.75	2.60	2.84	2.60	2.60	2.71	2.70	2.66	2.81	2.65
EL.230.0	データ数(個)	1	2	7	4	11		14	10	13	12	12	2	1	2	2	2	14	Ð	15	6
6.00	変動係数(%)		1.06	0.68	2.90	1.43		2.72	1.73	1.85	1.80	1.21	0.00		0.00	0.00	1.92	1.62	3.11	0.84	2.39
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.62	4.51	4.55	4.49	4.58		4.37	4.57	4.38	4.48	4.36	4.62	4.23	4.62	4.62	4.42	4.44	4.50	4.27	4.53
	平均伝播時間(ms)	3.40		3.34	3.30	3.47	3.30	3.34	3.49	3.47	3.36	3.34	3.43	3.31	3.38	3.30	3.48	3.31	3.37	3.34	3.33
EL.228.5	データ数(個)	1		~~~	6	5	2	17	7	15	4	9	12	11	4	13	10	9	00	15	9
7.50	変動係数(%)			4.09	0.86	0.96	2.57	1.53	1.23	2.04	0.97	3.10	1.68	1.33	4.16	2.65	1.37	1.25	3.34	0.62	1.24
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.41		4.49	4.55	4.32	4.55	4.49	4.30	4.32	4.46	4.49	4.38	4.54	4.44	4.54	4.31	4.54	4.45	4.49	4.50
	平均伝播時間(ms)	4.12		4.25		4.06	4.13	4.07		4.13	4.00	3.92	3.94	3.92	3.99	4.16	4.04	4.13	4.00	4.10	4.12
EL.227.0	データ数(個)	1		2		∞	4	12		7	2	2	13	2	15	16	6	4	4	18	10
00.6	変動係数(%)			0.33		3.16	0.48	1.89		1.44	1.41	0.00	1.21	0.00	0.99	2.14	1.98	1.65	2.94	1.31	1.07
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.37		4.24		4.43	4.36	4.43		4.35	4.50	4.59	4.57	4.59	4.51	4.33	4.46	4.36	4.50	4.39	4.36
	平均伝播時間(ms)				4.83	4.74	4.72	4.52	4.96	4.65	4.60	4.59	4.80	4.96	4.84	4.73	4.69	4.72	4.73	4.80	4.81
EL.225.5	データ数(個)				2	2	ო	1	2	5	10	m	15	1	4	12	9	m	7	5	n
10.50	変動係数(%)				1.46	5.37	0.85		00.00	1.76	0.00	0.50	0.94		3.51	2.11	3.17	4.72	2.31	3.28	1.27
(m)	平均伝播速度(km/s)				4.35	4.43	4.45	4.65	4.23	4.52	4.57	4.58	4.38	4.23	4.34	4.44	4.47	4.45	4.44	4.38	4.36
	平均伝播時間(ms)	5.45				5.52	5.64			5.58	5.24	5.28	5.51	5.40	5.24	5.40	5.47	5.40		5.16	5.30
EL.224.0	データ数(個)	4				2	4			2	1	10	15	3	1	9	13	3		1	5
12.00	変動係数(%)	2.19				2.05	0.00			1.52		1.69	0.59	2.96		0.47	1.99	3.23			2.81
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.40				4.35	4.26			4.30	4.58	4.54	4.36	4.44	4.58	4.44	4.39	4.44		4.65	4.53
	平均伝播時間(ms)	7.49				7.62	7.36	7.32		7.60	7.68	7.56		7.24	7.54	7.80	7.48	7.47	7.48	7.28	7.72
EL.222.5	データ数(個)	ŝ				4	2	1		1	1	1		2	2	1	1	en	5	1	1
16.50	変動係数(%)	3.55				1.63	2.31							0.00	4.88			3.05	1.86		
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.40				4.33	4.48	4.51		4.34	4.30	4.37		4.56	4.38	4.23	4.41	4.42	4.41	4.53	4.27
平均伝播。	速度 (km/s)	4.45	4.46	4.41	4.47	4.44	4.42	4.47	4.37	4.36	4.48	4.51	4.46	4.43	4.49	4.41	4.42	4.45	4.48	4.45	4.43
標準偏	差(km/s)	0.11	0.07	0.16	0.11	0.10	0.12	0.10	0.15	0.07	0.09	0.10	0.11	0.15	0.10	0.15	60.0	0.05	0.06	0.12	0.11
変動	系数 (%)	2.54	1.58	3.70	2.37	2.15	2.80	2.13	3.42	1.67	2.10	2.13	2.50	3.43	2.33	3.30	1.98	1.18	1.26	2.77	2.40

表-4.4.5 弹性波伝播速度計測結果(BL.5)

打継目の標高	百日				測点	ίNo.			
頂部からの距離	視日	BL.6_1-1	BL.6_1-2	BL.6_2-1	BL.6_2-2	BL.6_3-1	BL.6_3-2	BL.6_4-1	BL.6_4-2
	平均伝播時間(ms)			1.34	1.40	1.29			1.28
EL.218.0	データ数(個)		5	2	1	8			1
3.00	変動係数(%)			2.11		1.44			
(m)	平均伝播速度(km/s)			4.48	4.29	4.65			4.69
	平均伝播時間(ms)		2.05		2.07	2.03	1.97	2.06	2.04
EL.216.5	データ数(個)		3		5	6	10	12	13
4.50	変動係数(%)		1.12		1.62	3.82	1.92	3.93	3.43
(m)	平均伝播速度(km/s)		4.38		4.34	4.43	4.56	4.38	4.41
	平均伝播時間(ms)	2.73		2.64	2.77	2.68	2.75		
EL.215.0	データ数(個)	8		3	3	8	6		
6.00	変動係数(%)	2.65		2.62	1.67	1.25	1.93		
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.40		4.55	4.33	4.49	4.36		
	平均伝播時間(ms)			3.51				3.48	
EL.213.5	データ数(個)			2				2	
7.50	変動係数(%)			0.66				1.63	
(m)	平均伝播速度(km/s)			4.28				4.31	
	平均伝播時間(ms)			4.08	4.13		4.16	4.05	4.08
EL.212.0	データ数(個)			10	7		1	3	1
9.00	変動係数(%)			0.31	1.34			3.01	
(m)	平均伝播速度(km/s)			4.42	4.36		4.33	4.44	4.41
	平均伝播時間(ms)	4.72				4.56	4.80		
EL.210.5	データ数(個)	2				1	3		
10.50	変動係数(%)	1.20					3.82		
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.45				4.61	4.38		
平均伝播速	速度(km/s)	4.43	4.38	4.43	4.33	4.54	4.41	4.38	4.50
標準偏差	≛ (km/s)	0.03		0.11	0.03	0.10	0.11	0.07	0.16
変動係	数 (%)	0.73		2.58	0.71	2.29	2.43	1.49	3.58

表-4.4.6 弾性波伝播速度計測結果(BL.6)

表-4.4.7 弾性波伝播速度計測結果 (BL.7)

打継目の標高	百日		_		測点	īΝο.			
頂部からの距離	火口	BL.7_1-1	BL.7_1-1	BL.7_2-1	BL.7_2-2	BL.7_3-1	BL.7_3-2	BL.7_4-1	BL.7_4-2
	平均伝播時間(ms)		1.36	1.32	1.37	1.33	1.35	1.33	1.34
EL.218.0	データ数(個)		1	1	4	7	6	12	5
3.00	変動係数(%)				2.80	3.67	2.43	2.95	3.41
(m)	平均伝播速度(km/s)		4.41	4.55	4.38	4.53	4.46	4.50	4.49
	平均伝播時間(ms)	2.10	2.01	2.00	1.93	2.06	2.06	2.04	2.07
EL.216.5	データ数(個)	5	11	12	8	8	5	4	8
4.50	変動係数(%)	2.56	3.54	3.57	0.96	3.11	3.79	3.92	2.30
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.29	4.48	4.51	4.66	4.37	4.38	4.41	4.36
	平均伝播時間(ms)	2.65		2.67	2.77	2.70	2.83	2.62	2.68
EL.215.0	データ数(個)	15		19	8	16	3	9	1
6.00	変動係数(%)	1.60		2.34	2.62	2.53	0.82	1.11	
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.54		4.50	4.34	4.44	4.25	4.58	4.48
	平均伝播時間(ms)		3.33	3.42	3.34	3.38	3.27	3.50	3.46
EL.213.5	データ数(個)		3	12	9	11	3	4	5
7.50	変動係数(%)		2.50	3.32	1.71	2.44	0.71	0.66	1.32
(m)	平均伝播速度(km/s)		4.50	4.38	4.49	4.44	4.59	4.29	4.34
	平均伝播時間(ms)	4.16	4.12	3.92		3.97	3.92	4.24	
EL.212.0	データ数(個)	1	1	3		6	1	1	
9.00	変動係数(%)			1.02		1.62			
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.33	4.37	4.59		4.54	4.59	4.25	
	平均伝播時間(ms)				4.64			4.52	4.69
EL.210.5	データ数(個)				1			1	4
10.50	変動係数(%)								3.64
(m)	平均伝播速度(km/s)				4.53			4.65	4.48
平均伝播過	速度(km/s)	4.39	4.44	4.50	4.48	4.46	4.45	4.44	4.43
標準偏差	售(km/s)	0.13	0.06	0.08	0.13	0.07	0.15	0.16	0.07
変動係	、数(%)	3.00	1.36	1.74	2.86	1.57	3.32	3.59	1.65

打継目の標高	百日					測点	āΝο.				
頂部からの距離	項口	BL.8_1-1	BL.8_1-2	BL.8_2-1	BL.8_2-2	BL.8_3-1	BL.8_3-2	BL.8_4-1	BL.8_4-2	BL.8_5-1	BL.8_5-2
	平均伝播時間(ms)	1.30			1.36			1.39			
EL.218.0	データ数(個)	5			1			6			
3.00	変動係数(%)	2.74						1.49			
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.60			4.41			4.33			
	平均伝播時間(ms)	1.93	2.04	2.06	2.03	2.12	2.02	1.96	2.04	2.10	2.00
EL.216.5	データ数(個)	8	10	7	9	5	2	4	2	2	3
4.50	変動係数(%)	1.47	3.96	2.72	3.23	0.00	7.00	1.67	2.77	1.35	4.00
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.66	4.40	4.38	4.43	4.25	4.46	4.59	4.41	4.29	4.50
	平均伝播時間(ms)	2.65	2.77	2.69	2.63	2.62	2.72	2.84	2.65	2.81	2.78
EL.215.0	データ数(個)	6	16	16	8	5	7	1	14	10	12
6.00	変動係数(%)	1.49	2.04	1.74	1.77	1.37	0.85		2.15	1.75	1.67
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.53	4.34	4.47	4.56	4.59	4.41	4.23	4.53	4.27	4.31
	伝播時間(ms)		3.32	3.30	3.26	3.24	3.33	3.36	3.33	3.43	3.33
EL.213.5	データ数 (個)		1	15	5	1	6	1	4	14	12
7.50	変動係数(%)			1.44	0.67		0.91		1.80	1.80	3.00
(m)	伝播速度(km/s)		4.52	4.55	4.61	4.63	4.51	4.46	4.50	4.38	4.50
	伝播時間(ms)	3.98	4.24	3.91	4.08	4.11	4.17	3.93	4.06	4.06	3.90
EL.212.0	データ数 (個)	5	1	12	1	7	5	9	2	15	11
9.00	変動係数(%)	1.15		0.67		2.60	2.29	2.59	4.88	3.43	0.96
(m)	伝播速度(km/s)	4.53	4.25	4.61	4.41	4.38	4.32	4.58	4.43	4.43	4.61
	伝播時間 (ms)	4.64	4.67	4.76	4.73			4.76	4.60	4.52	
EL.210.5	データ数 (個)	1	6	2	14			1	1	1	
10.50	変動係数(%)		1.26	1.19	0.87						
(m)	伝播速度(km/s)	4.53	4.49	4.41	4.44			4.41	4.57	4.65	
平均伝播速	度(km/s)	4.57	4.40	4.48	4.48	4.46	4.42	4.43	4.49	4.40	4.48
標準偏差	(km/s)	0.06	0.11	0.10	0.08	0.18	0.08	0.14	0.06	0.15	0.13
変動係	数(%)	1.33	2.55	2.14	1.89	4.06	1.82	3.22	1.45	3.43	2.79

表-4.4.8 弾性波伝播速度計測結果 (BL.8)

打継目の標高	百日				測点	ίNo.			
頂部からの距離	坝日	BL.9_1-1	BL.9_1-2	BL.9_2-1	BL.9_2-2	BL.9_3-1	BL.9_3-2	BL.9_4-1	BL.9_4-2
	平均伝播時間(ms)	1.40	1.40	1.38	1.35	1.34	1.36	1.37	1.34
EL.218.0	データ数(個)	1	1	8	9	5	1	8	9
3.00	変動係数(%)			2.10	2.47	2.66		3.30	3.70
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.29	4.29	4.34	4.44	4.46	4.41	4.40	4.49
	平均伝播時間(ms)	2.12	2.04	2.11	2.05	2.03	2.04	1.94	2.02
EL.216.5	データ数(個)	3	8	10	8	5	11	2	9
4.50	変動係数(%)	0.00	1.63	1.23	3.42	4.49	1.96	1.46	3.45
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.25	4.42	4.27	4.39	4.43	4.41	4.64	4.46
	平均伝播時間(ms)	2.72	2.71	2.75		2.74	2.76	2.68	2.68
EL.215.0	データ数(個)	19	4	16		4	2	18	3
6.00	変動係数(%)	3.27	3.69	2.75		4.38	2.05	1.92	2.99
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.41	4.43	4.36		4.38	4.35	4.48	4.48
	平均伝播時間(ms)	3.26	3.52	3.27	3.28	3.27	3.41	3.24	3.38
EL.213.5	データ数(個)	2	1	15	15	5	10	1	4
7.50	変動係数(%)	0.87		0.72	2.36	1.53	2.93		5.86
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.60	4.26	4.59	4.57	4.59	4.39	4.63	4.44
	平均伝播時間(ms)	4.22	3.92	4.05		3.96			
EL.212.0	データ数(個)	2	1	6		1			
9.00	変動係数(%)	0.67		2.24					
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.27	4.59	4.45		4.55			
	平均伝播時間(ms)	4.68	4.60	4.76		4.54	4.71		
EL.210.5	データ数(個)	3	1	1		2	3		
10.50	変動係数(%)	2.96				0.62	1.77		
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.49	4.57	4.41		4.63	4.46		
	平均伝播時間(ms)	5.28	5.42	5.32	5.58		5.38		5.68
EL.209.0	データ数(個)	1	2	1	2		2		1
12.00	変動係数(%)		3.65		2.53		4.73		
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.55	4.43	4.51	4.30		4.46		4.23
	平均伝播時間(ms)	6.06			5.98		6.04	6.16	5.84
EL.207.5	データ数(個)	4			2		2	2	1
13.50	変動係数(%)	2.93			3.31		1.87	2.00	
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.46			4.52		4.47	4.38	4.62
	平均伝播時間(ms)		7.04	6.88	6.60		6.71	7.04	6.82
EL.206.0	データ数(個)		1	5	2		3	1	2
15.00	変動係数(%)			2.25	1.71		4.40		5.39
(m)	平均伝播速度(km/s)		4.26	4.36	4.55		4.47	4.26	4.40
	平均伝播時間(ms)	7.30	7.31	7.80		7.24	7.20	7.40	7.62
EL.204.5	データ数(個)	2	3	1		1	1	1	2
16.50	変動係数(%)	3.49	2.76						1.86
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.52	4.52	4.23		4.56	4.58	4.46	4.33
平均伝播速	度(km/s)	4.42	4.42	4.39	4.46	4.51	4.45	4.46	4.43
標準偏差	(km/s)	0.13	0.13	0.11	0.09	0.09	0.06	0.13	0.11
変動係	数(%)	2.96	2.86	2.48	2.11	1.89	1.43	2.87	2.51

表-4.4.9 弾性波伝播速度計測結果(BL.9)

打継目の標高				測点	ξNo.		
頂部からの距離	項目	BL10_1-1	BL10_1-2	BL10_2-1	BL10_2-2	BL10_3-1	BL10_3-2
	平均伝播時間(ms)	1.35	1.36	1.30	1.39	1.35	
EL.218.0	データ数(個)	4	12	5	16	3	
3.00	変動係数(%)	3.73	3.55	2.74	1.16	1.71	
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.44	4.41	4.60	4.31	4.46	
	平均伝播時間(ms)	2.00	2.07	1.93	1.98	1.99	2.02
EL.216.5	データ数(個)	6	9	3	20	4	22
4,50	変動係数(%)	2.19	1.37	1.19	1.66	4.14	1.70
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.50	4.35	4.66	4.55	4.52	4.45
	平均伝播時間(ms)	2.61	2.60	2.72	2.73	2.69	2.80
EL.215.0	データ数(個)	5	1	7	11	6	8
6.00	変動係数(%)	0.69		4.25	2.95	3.83	1.87
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.60	4.62	4.41	4.39	4.46	4.29
	平均伝播時間(ms)			3.38	3.33	3.31	3.44
EL.213.5	データ数(個)			2	17	13	1
7.50	変動係数(%)			0.84	1.50	2.21	
(m)	平均伝播速度(km/s)			4.44	4.51	4.53	4.36
	平均伝播時間(ms)						
EL.212.75	データ数(個)						
8.25	変動係数(%)						
(m)	平均伝播速度(km/s)						
	平均伝播時間(ms)		4.20		3.94	4.22	
EL.212.0	データ数(個)		1		2	5	
9.00	変動係数(%)				0.72	0.85	
(m)	平均伝播速度(km/s)		4.29		4.57	4.26	
	平均伝播時間(ms)	4.64	4.52	4.72		4.52	4.96
EL.210.5	データ数(個)	1	1	1		1	1
10.50	変動係数(%)						
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.53	4.65	4.45		4.65	4.23
	平均伝播時間(ms)		5.16		5.56		
EL.209.0	データ数(個)		1		1		
12.00	変動係数(%)						
(m)	平均伝播速度(km/s)		4.65		4.32		
	平均伝播時間(ms)	5.98					6.28
EL.207.5	データ数(個)	2					1
13.50	変動係数(%)	4.26					
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.52					4.30
	平均伝播時間(ms)	6.76		6.78			6.60
EL.206.0	データ数(個)	1		5			1
15.00	変動係数(%)			4.20			
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.44		4.42			4.55
平均伝播速	图度(km/s)	4.50	4.49	4.50	4.44	4.48	4.36
標準偏差	≛ (km/s)	0.06	0.15	0.10	0.12	0.12	0.12
変動係	数 (%)	1.31	3.37	2.30	2.66	2.60	2.67

表-4.4.10 弾性波伝播速度計測結果 (BL.10)

打総目の標高	L F										測点	No.									
頂部からの距離	<u>і</u> цп	BL11_1-1	1BL11_1-2	BL11_1-3	BL11_1-4	BL11_2-1	BL11_2-2	BL11_2-3	BL11_2-4	BL11_4-1	BL11_4-2	3L11_4-3	3L11_4-4	BL11_5-1	BL11_5-2	3L11_5-3	3L11_5-4E	3L11_6-1	3L11_6-2E	L11_6-3B	L11_6-4
	平均伝播時間(ms)	2.12		2.04	2.02	1.99	2.06	2.10		2.00	2.05	2.07	1.93	2.01	2.03	2.05	2.02	2.05	2.04	2.04	2.11
EL.231.5	データ数(個)	1		~	11	4	4	5		9	6	6	00	m	e	9	ъ	6	11	∞	ŝ
4.50	変動係数(%)			3.27	1.65	2.39	1.77	2.07		1.95	3.90	2.98	0.77	1.15	4.10	2.60	4.73	2.53	2.28	0.91	0.55
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.25		4.42	4.46	4.52	4.37	4.29		4.51	4.39	4.35	4.66	4.47	4.43	4.40	4.46	4.38	4.41	4.41	4.27
	平均伝播時間(ms)	2.76	2.69	2.73	2.79	2.70	2.63	2.66	2.71	2.80	2.67	2.72	2.68	2.76	2.70	2.74	2.65	2.73	2.66	2.78	2.73
EL.230.0	データ数(個)	18	10	11	15	18	12	13	25	ę	16	11	16	19	14	19	12	14	16	11	12
6.00	変動係数(%)	1.04	2.41	3.33	3.10	1.88	2.58	3.21	2.87	1.24	2.06	2.76	1.27	1.89	1.28	1.88	1.04	1.46	3.32	3.19	2.08
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.35	4.46	4.40	4.30	4.45	4.56	4.51	4.43	4.29	4.49	4.41	4.49	4.35	4.45	4.38	4.53	4.40	4.50	4.32	4.40
	平均伝播時間(ms)	3.29	3.31	3.33	3.34	3.46	3.42	3.38	3.33	3.31	3.33	3.42	3.41	3.32	3.36	3.39	3.42	3.45	3.41	3.31	3.35
EL.228.5	データ数(個)	18	en	14	22	18	11	18	17	∞	18	16	10	13	9	20	16	15	7	19	15
7.50	変動係数(%)	1.84	4.37	3.06	2.11	1.66	3.28	0.56	2.13	1.99	2.50	1.42	2.37	1.34	4.18	2.06	2.53	1.89	3.65	1.07	2.64
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.56	4.53	4.50	4.49	4.34	4.38	4.44	4.50	4.54	4.51	4.39	4.40	4.52	4.46	4.43	4.39	4.34	4.40	4.53	4.47
	平均伝播時間(ms)	3.96	4.01	4.00	4.04	4.04	4.11	4.11	4.10	4.09	4.09	3.88	4.06	3.95	3.99	4.07	4.11	3.98	4.01	3.91	4.07
EL.227.0	データ数(個)	2	17	18	18	6	10	17	10	16	12	1	2	14	12	6	20	6	10	7	18
00.6	変動係数(%)	2.86	1.34	1.50	1.73	2.23	1.44	3.09	1.50	0.90	3.48		6.27	1.36	2.76	2.29	0.77	1.68	1.43	1.63	2.62
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.55	4.49	4.51	4.45	4.45	4.38	4.38	4.39	4.41	4.40	4.64	4.43	4.56	4.51	4.42	4.38	4.53	4.49	4.60	4.42
	平均伝播時間(ms)	4.74	4.76	4.71	4.69	4.72	4.60	4.76		4.78	4.73	4.89	4.73	4.89	4.68	4.69	4.69	4.71	4.75	4.78	4.75
EL.225.5	データ数(個)	2	14	5	24	15	19	15		2	2	15	10	11	10	5	18	2	14	12	5
10.50	変動係数(%)	6.56	1.51	3.14	0.97	1.00	0.73	0.87		0.59	6.88	1.93	1.69	3.11	0.77	3.83	0.80	4.50	0.93	2.44	2.48
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.43	4.41	4.46	4.48	4.45	4.56	4.41		4.39	4.44	4.30	4.44	4.30	4.48	4.48	4.47	4.46	4.42	4.39	4.42
	平均伝播時間(ms)	5.36	5.54	5.29	5.26	5.37	5.64	5.32	5.52	5.36	5.32	5.35	5.22	5.28	5.18	5.34	5.28	5.45	5.31	5.32	5.46
EL224.0	データ数(個)	2	2	13	17	19	1	∞	14	10	1	12	5	2	2	5	19	10	13	12	9
12.00	変動係数(%)	0.00	2.55	1.71	1.19	2.92		1.97	0.50	4.14		0.58	1.16	3.21	0.55	2.40	2.05	1.03	1.14	1.93	3.99
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.48	4.33	4.53	4.56	4.47	4.26	4.51	4.35	4.48	4.51	4.49	4.60	4.55	4.63	4.49	4.55	4.41	4.52	4.51	4.40
	平均伝播時間(ms)	5.93	5.98	5.94	5.90	5.90	6.36	6.36	6.16	5.88	5.96		6.11	6.04	6.15		6.07	6.06	6.07	5.86	5.80
EL.222.5	データ数(個)	4	5	2	15	11	1	1	4	1	2		e	2	e		17	4	7	14	7
13.50	変動係数(%)	2.61	0.60	1.43	2.40	2.76			0.53		3.80		3.72	0.00	0.38		1.60	3.07	0.73	0.99	0.13
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.55	4.51	4.55	4.57	4.58	4.25	4.25	4.38	4.59	4.53		4.42	4.47	4.39		4.45	4.46	4.45	4.61	4.66
	平均伝播時間(ms)		7.48	7.76	7.51	7.56	7.56	7.62	7.28	7.40	7.76	7.49	7.40			7.56	7.80				
EL.219.5	データ数(個)		1	1	3	1	З	2	1	1	1	3	1			2	1				
16.50	変動係数(%)				4.53		2.31	3.34				3.55				2.24					
(m)	平均伝播速度(km/s)		4.41	4.25	4.40	4.37	4.37	4.33	4.53	4.46	4.25	4.40	4.46			4.37	4.23				
平均伝播速	둀 (km/s)	4.45	4.46	4.48	4.47	4.47	4.39	4.40	4.41	4.46	4.47	4.43	4.49	4.46	4.48	4.43	4.46	4.42	4.46	4.48	4.43
標準偏差	₹ (km/s)	0.12	0.07	0.10	0.09	0.08	0.12	0.10	0.07	0.09	0.09	0.11	0.09	0.10	0.08	0.05	0.10	0.06	0.05	0.11	0.12
変動係	数 (%)	2.68	1.54	2.12	1.94	1.72	2.69	2.20	1.65	2.13	2.08	2.50	2.06	2.25	1.74	1.06	2.25	1.37	1.07	2.42	2.62

表-4.4.11 弹性波伝播速度計測結果(BL.11)

打総目の標高										測点No.								
頂部からの距離	項目	BL12_1-1	BL12_1-2	BL12_1-3	BL12_1-4	BL12_2-1	BL12_2-2	BL12_2-3	BL12_2-4	BL12_3-1	BL12_3-2	BL12_3-3	3L12_3-4	BL12_4-1	BL12_4-2	BL12_4-3	3L12_4-4	3L12_5-1
	平均伝播時間(ms)		0.69		0.66		0.65		0.64			0.64				0.64		0.68
EL.234.5	データ数(個)		3		1		en		1			2				2		1
1.50	変動係数(%)		2.05				1.79					0.00				0.00		
(m)	平均伝播速度(km/s)		4.35		4.55		4.64		4.69			4.69				4.69		4.41
	平均伝播時間(ms)	1.38	1.37	1.37	1.36	1.29	1.37	1.35	1.35	1.34	1.41	1.37	1.37	1.31	1.33	1.30	1.40	
EL.233.0	データ数(個)	9	4	4	2	4	15	2	17	1	10	4	~	11	5	5	4	
3.00	変動係数(%)	3.09	0.73	3.46	0.00	1.55	2.64	7.33	1.90		0.73	4.21	1.34	2.30	4.34	1.69	2.02	
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.34	4.40	4.40	4.41	4.65	4.38	4.44	4.45	4.48	4.26	4.40	4.39	4.58	4.52	4.63	4.29	
	平均伝播時間(ms)	2.03	2.05	2.03	1.95	1.97	2.01	2.07	2.06	1.92	1.95	2.09		1.99	2.00	2.06	2.03	2.03
EL.231.5	データ数(個)	2	ŝ	9	7	4	~	2	1	2	16	10		14	ŝ	∞	10	m
4.50	変動係数(%)	6.27	1.12	4.16	0.77	1.74	2.49	0.68		0.00	1.63	1.87		1.29	1.00	2.57	2.46	2.27
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.43	4.38	4.43	4.61	4.58	4.47	4.35	4.37	4.69	4.62	4.30		4.52	4.50	4.37	4.44	4.43
	平均伝播時間(ms)	2.66		2.76	2.74	2.81	2.71			2.65	2.70	2.62	2.68	2.59	2.74	2.67	2.68	2.72
EL.230.0	データ数(個)	15		9	10	11	10			12	4	1	1	7	7	9	~	с
6.00	変動係数(%)	1.64		2.63	1.21	0.66	2.07			1.42	0.86			0.61	0.60	0.41	1.41	0.00
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.51		4.35	4.38	4.27	4.43			4.53	4.44	4.58	4.48	4.63	4.38	4.49	4.47	4.41
	平均伝播時間(ms)	3.50	3.52	3.38	3.30	3.31		3.26	3.22	3.26	3.48		3.42			3.25		
EL.228.5	データ数(個)	5	1	10	10	2		14	1	5	6		4			4		
7.50	変動係数(%)	0.48		1.41	2.73	1.28		0.55		0.27	1.49		0.56			0.31		
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.29	4.26	4.44	4.55	4.53		4.61	4.66	4.60	4.31		4.39			4.62		
	平均伝播時間(ms)	3.97	3.88	3.92	4.01													
EL.227.0	データ数(個)	6	80	З	14													
00.6	変動係数(%)	0.36	0.43	0.00	1.36													
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.54	4.64	4.59	4.49													
	平均伝播時間(ms)	4.93	4.90	4.79	4.70							4.56						
EL.225.5	データ数(個)	8	5	ŝ	11							7						
10.50	変動係数(%)	0.31	0.34	2.30	0.71							0.30						
(m)	平均伝播速度(km/s)	4.26	4.28	4.38	4.46							4.60						
平均伝播速	§度(km/s)	4.39	4.39	4.43	4.49	4.51	4.48	4.47	4.54	4.57	4.41	4.51	4.42	4.58	4.47	4.56	4.40	4.42
標準偏差	톤 (km/s)	0.12	0.14	60.0	0.08	0.17	0.11	0.13	0.16	0.09	0.16	0.16	0.05	0.06	0.08	0.13	0.10	0.01
変動係	数(%)	2.64	3.12	1.93	1.80	3.70	2.53	2.94	3.45	1.97	3.60	3.52	1.15	1.22	1.69	2.77	2.29	0.19

表-4.4.12 弹性波伝播速度計測結果(BL.12)

			弾性波伝播速度(km/s)							変動
		7 6 5				則称 3	2	1	1余致 (%)	
			,	4 40	4 47	4 40	4 40		1 40	
	エ 下	1	4.47	4.40 (71)	4.47	4.43	4.48	4.44	4.49	
	流		(00)	(/1/	(20)	(00)	(04)	(11)	(00)	0.52
BL	方	0	4.43	4. 50					4.47	
2	同 ~		(75)	(48)			(32)			
	平均值		4. 46							
	標準偏差		0. 02							
	F	1		4.46	4.45	4.49	4.50	4. 48	4.48	-
				(37)	(51)	(23)	(36)	(33)	(64)	
	下	2		4.40 (54)	4.37 (46)	4.41	4.44	4.48 (54)	4.45 (45)	
	流	_		4. 48	4.36	4, 48	4, 48	4, 48	4, 53	0.88
BL	万向	3		(40)	(27)	(24)	(53)	(36)	(41)	
3	IHJ	Δ		4.44	4.46	4.44	4.46	4.45	4. 42	
		4	/	(86)	(47)	(52)	(34)	(63)	(41)	
	平均値		4. 45							
	標準偏差			,		0. 04	r	r	1	
	노노	1	-		4.45	4.44	4.41	4.40	4.44	0. 74
					(68)	(00)	(51)	(53)	(36)	
		2			4.43 (57)	(61)	(60)	(44)	(31)	
	流	•		/	4, 43	4, 42	4, 39	4.44	4.48	
BL	力向	3			(69)	(47)	(56)	(60)	(36)	
4	IHJ	1			4.50	4.42	4. 39	4.44	4.49	
		4	/		(74)	(47)	(77)	(52)	(61)	,
	平均值		4. 43							
	標準偏差		0. 03							
	上 下	1			4.45	4.43	4.36	4.44	4.45	
					(51)	(26)	(66)	(36)	(18)	
		2			4.48 (11)	4.49	4.48	4.42	4.40	
	流		/	/	4 1	4 41	4 51	<u>(24)</u> <u>4 47</u>	4 41	0.85
BL	方向	3		(61)	(55)	(42)	(54)	(30)		
5		4			4.43	4.42	4.46	4.37	4.47	1
		4	/		(39)	(49)	(62)	(32)	(18)	
	平均值		4. 44							
	標準偏差		0. 04							
	上下流方向					4 38	4 54	4 43	4 43	
			/		(17)	(23)	(17)	(10)))	
										1.56
BL		2		/	-	4.50	4.41	4.33	4. 38	
6		2				(15)	(20)	(16)	(3)	
	平均値		4. 42							
	標準偏差					0.07				1/

表-4.4.13 各計測点の弾性波伝播速度(BL.2~BL.6)

※()は各測点における弾性波伝播速度の算出に用いた波形のサンプル数

			弾性波伝播速度(km/s) 左右岸方向測線							変動
		7	6	5	4	3	2	1	(%)	
BL 7	上下	1		/		4. 44 (31)	4. 46 (48)	4.50 (47)	4.39 (21)	0.70
	方向	2				4. 43 (23)	4. 45 (18)	4. 48 (30)	4. 44 (16)	0.79
	平均值		4. 45							
	標準偏差		0.04							
BL 8	上下	1			4. 40 (42)	4. 43 (22)	4. 46 (18)	4. 48 (52)	4. 57 (25)	1 14
	流 方 向	2			4. 48 (38)	4. 49 (23)	4. 42 (20)	4. 48 (38)	4. 40 (34)	1. 14
	平均	匀值				4.46				
	標準偏差					0.05				
	上下泣	1		/		4. 46 (33)	4. 51 (23)	4.39 (63)	4. 42 (37)	0.02
BL 9	流方向	2				4. 43 (31)	4. 45 (35)	4. 46 (38)	4. 42 (22)	0. 63
	平均值		4. 44							
	標準偏差		0. 04							\bigvee
	上 下 法						4. 48 (32)	4. 50 (23)	4. 50 (19)	1 21
BL 10	<i>流</i> 方向	2					4. 36 (34)	4. 44 (67)	4. 49 (25)	1. 21
	平均值		4.46							
	標準偏差					0.05				
BL 11	上下流方向	1 2 3 4		4. 42 (63) 4. 46 (78) 4. 48 (83) 4. 43 (66)	4.46 (64) 4.48 (50) 4.43 (66) 4.46 (108)	4. 46 (47) 4. 47 (61) 4. 49 (67) 4. 46 (55)		4.47 (95) 4.39 (61) 4.40 (79) 4.41 (71)	4. 45 (47) 4. 46 (52) 4. 48 (72) 4. 47 (125)	0. 63
	平均值		4.45						(120)	
	標準偏差		0. 03							
BL 12	上下流方向	1 2 3 4			4.42 (7)	4.58 (32) 4.47 (15) 4.56 (25) 4.40 (22)	4.57 (20) 4.41 (39) 4.51 (24) 4.42 (13)	4.51 (21) 4.48 (36) 4.47 (18) 4.54 (20)	4. 39 (45) 4. 39 (24) 4. 43 (32) 4. 49 (55)	1.45
	平坦	匀值	/		Y	4. 47				
	標準偏差					0.06				

表-4.4.14 各計測点の弾性波伝播速度(BL.7~BL.12)

^{※()}は各測点における弾性波伝播速度の算出に用いた波形のサンプル数

	 壮 絆 日	弾性波伝播速度					
BL.名	深度(m)	サンプル	平均值	標準偏差	変動係数		
		数	(km/s)	(km/s)	(%)		
	4.5	109	4.43	0.09	2.13		
	6	86	4.45	0.05	1.09		
	7.5	97	4.45	0.08	1.78		
	9	71	4.48	0.08	1.77		
	10.5	48	4.48	0.08	1.82		
BL.2	12	31	4.44	0.12	2.63		
	13.5	24	4.49	0.10	2.28		
	15	11	4.49	0.11	2.54		
	平均值(km/s)		4.46	_			
	標準偏差(km/s)		0.02	—	_		
	変動係数(%)	_	0.53	—	—		
	4.5	282	4.45	0.07	1.59		
	6	250	4.42	0.08	1.78		
	7.5	230	4.50	0.08	1.82		
	9	156	4.45	0.14	3.13		
	10.5	80	4.47	0.08	1.79		
BL.3	12	46	4.44	0.12	2.62		
	13.5	29	4.44	0.11	2.53		
	平均值(km/s)		4.45	_	_		
	標準偏差(km/s)	_	0.03	—	—		
	変動係数(%)	_	0.58				
	4.5	74	4.39	0.08	1.92		
	6	140	4.39	0.08	1.85		
	7.5	223	4.43	0.05	1.17		
	9	215	4.43	0.06	1.44		
	10.5	213	4.44	0.08	1.70		
DL.4	12	168	4.45	0.08	1.90		
	13.5	103	4.45	0.09	2.04		
	平均値(km/s)	_	4.43	_	_		
	標準偏差(km/s)	_	0.03	_	_		
	変動係数(%)	_	0.58	_	_		

表-4.4.15 各打継目までの弾性波伝播速度(BL.2~4)

	打继日	弾性波伝播速度					
BL.名	深度(m)	サンプル	平均值	標準偏差	変動係数		
		致	(km/s)	(km/s)	(%)		
	3	79	4.46	0.10	2.20		
	4.5	112	4.43	0.12	2.60		
	6	141	4.48	0.12	2.64		
	7.5	159	4.45	0.09	1.95		
	9	129	4.43	0.10	2.27		
BL.5	10.5	84	4.43	0.11	2.53		
	12	70	4.45	0.12	2.60		
	16.5	29	4.40	0.10	2.16		
	平均值(km/s)	—	4.44	_			
	標準偏差(km/s)		0.03				
	変動係数(%)		0.57	_	_		
	3	12	4.53	0.18	4.07		
	4.5	49	4.42	0.08	1.75		
	6	28	4.42	0.09	2.04		
	7.5	4	4.29	0.02	0.54		
BL.6	9	22	4.39	0.05	1.07		
	10.5	6	4.48	0.12	2.63		
	平均值(km/s)		4.42	_	_		
	標準偏差(km/s)	_	0.08	_			
	変動係数(%)	_	1.85				
	3	36	4.47	0.06	1.35		
	4.5	61	4.43	0.12	2.60		
	6	71	4.44	0.12	2.60		
	7.5	47	4.43	0.11	2.37		
BL.7	9	13	4.44	0.15	3.36		
	10.5	6	4.55	0.09	1.91		
	平均值(km/s)		4.46	_			
	標準偏差(km/s)		0.05	_			
	変動係数(%)		1.04				

表-4.4.16 各打継目までの弾性波伝播速度(BL.5~BL.7)

	打縱日	弾性波伝播速度					
BL.名	深度(m)	サンプル	平均值	標準偏差	変動係数		
		数	(km/s)	(km/s)	(%)		
	3	12	4.45	0.14	3.16		
	4.5	52	4.44	0.13	2.86		
	6	95	4.42	0.13	2.95		
	7.5	59	4.52	0.08	1.66		
BL.8	9	68	4.45	0.12	2.80		
	10.5	26	4.50	0.09	1.92		
	平均值(km/s)	—	4.46	—	—		
	標準偏差(km/s)	—	0.04	—	—		
	変動係数(%)	—	0.86	—	—		
	3	42	4.39	0.08	1.76		
	4.5	56	4.41	0.12	2.76		
	6	66	4.41	0.05	1.21		
	7.5	53	4.51	0.13	2.90		
	9	10	4.46	0.14	3.24		
	10.5	10	4.51	0.08	1.88		
BL.9	12	9	4.41	0.12	2.82		
	13.5	11	4.49	0.09	1.97		
	15	14	4.38	0.11	2.60		
	16.5	11	4.46	0.13	2.91		
	平均值(km/s)	_	4.44	_	_		
	標準偏差(km/s)	_	0.05	_	_		
	変動係数(%)	_	1.11	_	_		
	3	40	4.44	0.11	2.36		
	4.5	64	4.51	0.10	2.24		
	6	38	4.46	0.13	2.87		
	7.5	33	4.46	0.08	1.71		
	9	8	4.37	0.17	3.91		
DI 10	10.5	5	4.50	0.17	3.80		
DL.IU	12	2	4.48	0.24	5.28		
	13.5	3	4.41	0.15	3.46		
	15	7	4.47	0.07	1.50		
	平均值(km/s)		4.46				
	標準偏差(km/s)	_	0.04	_	_		
	変動係数(%)		0.99				

表-4.4.17 各打継目までの弾性波伝播速度(BL.8~BL.10)
	打縱日		弾性波伯	云播速度	
BL.名	深度(m)	サンプル	平均值	標準偏差	変動係数
		数	(km/s)	(km/s)	(%)
	4.5	113	4.41	0.10	2.19
	6	285	4.42	0.08	1.74
	7.5	284	4.46	0.07	1.53
	9	231	4.47	0.08	1.72
	10.5	200	4.43	0.06	1.38
BL.11	12	173	4.48	0.09	2.07
	13.5	103	4.48	0.11	2.56
	16.5	21	4.37	0.09	2.03
	平均值(km/s)	_	4.44	_	_
	標準偏差(km/s)	_	0.04	_	_
	変動係数(%)	_	0.88	_	_
	1.5	13	4.57	0.14	3.11
	3	102	4.44	0.11	2.51
	4.5	99	4.47	0.11	2.44
	6	101	4.45	0.10	2.14
10	7.5	65	4.48	0.15	3.24
BL.12	9	34	4.56	0.07	1.48
	10.5	34	4.40	0.14	3.20
	平均值(km/s)		4.48	_	
	標準偏差(km/s)		0.06	_	_
	変動係数(%)		1.40	_	_

表-4.4.18 各打継目までの弾性波伝播速度(BL.11~BL.12)

(2)考察

表-4.4.2~表-4.4.18 に示したコンクリートダム堤体中の弾性波伝播速度の計測結果から,以下のことが分かる。

①同一測点での複数回計測による弾性波伝播速度の変動係数は概ね3%以下であること。(表-4.4.2~表-4.4.12)

②測点別の弾性波伝播速度のばらつきは、変動係数で1%を下回る程度であること。 (表-4.4.13~表-4.4.14)

③同一打継目までの弾性波伝播速度の面内のばらつきは、大きくないこと。(**表**-4.4.15~表-4.4.18)

④弾性波伝播速度の全体平均値に対する各打継目の弾性波伝播速度のばらつきを示す変
 動係数は1%程度であること。(表-4.4.15~表-4.4.18)

⑤各打継目での弾性波伝播速度の平均値,あるいは変動係数は,打継目までの深度に応じて減少あるいは増加するような明瞭な傾向は認められない。(表-4.4.15~表-4.4.18)

以上のことから、コンクリートダム堤体中の弾性波伝播速度の特性について述べると以 下の通りである。

・弾性波伝播速度はほぼ一定であり、ばらつきを示す変動係数は概ね3%以下である。こ れは、適用実績の多い杭基礎に対して本手法を適用した際の誤差(変動係数)(±5%程 度)¹¹⁾に比較して小さい。したがって、内部が不均質であると想定されたコンクリートダ ム堤体内部においても一般のコンクリート構造物とほぼ同等の伝播特性を示すと考えられ る。

・反射波が生じるような劣化部が複数存在するようなコンクリートダム堤体の状態においても、弾性波伝播速度は、伝播距離に応じて速度が低下する、あるいは変動係数が大きくなるような傾向はなく、この点においても一般のコンクリート構造物とほぼ同等の伝播特性を示すと考えられる。

4.4.4 まとめ

衝撃弾性波法を用いたコンクリートダム堤体の水平打継目の状態推定の精度向上に資す るため、供用中のコンクリートダム堤体中の弾性波伝播速度の計測を行った。その結果、 一般的なコンクリートに比して不均質であると推定されるコンクリートダム堤体の中にお ける弾性波伝播速度の特性は、一般的なコンクリートで構築された躯体におけるものとほ ぼ同様であることが確認された。

4.5 ダム堤体の水平打継目の状態と計測波形の透過・反射特性との関係設定

コンクリートダム堤体において計測される波形は、ある深度(打継目までの深さ)に着 目して見ると、図-4.5.1 に示すように、A: 想定深度において反射波が確認されず、ほと んど透過していくもの(より深部で反射波を確認), B:想定深度において反射波が確認 されるが、一部、透過もしているもの(より深部でも反射波を確認)、C:想定深度で明 瞭な反射波が確認され、より深部の情報(反射波)がないもの、の3つのパターンに分け られる。このうち、Aのパターンは想定深度において弾性波の反射を生じさせるひび割れ 等の劣化が無い状態であると推察され、一方、Cのパターンは想定深度にはより以深に波 を伝播させないひびわれ等の劣化が存在していると推察される。また、Bのパターンは波 を反射させるひび割れ等の劣化が部分的に存在し、透過する部分も存在していることを示 している。また本調査で用いた衝撃弾性波法は高い指向性を有し⁴⁾,打継面における打撃 点直下近傍の限られた範囲内の情報が得られているものと考えられるが、コンクリートの 不均質性により、弾性波の伝播経路には、打撃入力ごとにばらつきが生じる。さらに、微 細なひび割れの場合には面として完全に分離していないため、部分的に波が透過する。こ のことから同一の状態推定箇所(点)で複数回計測した場合に計測される波形パターンは必 ずしも一つではない。そのため、同一の状態推定箇所(点)で10波形程度を計測し、その 得られた波形パターンの割合から、対象箇所の状態を推定(分類)することを試みた。



図-4.5.1 評価対象深度における測定波形パターン⁸⁾

衝撃弾性波法による調査の結果(計測結果)と堤体の打継目状態との関係については, Aダムの堤体の BL.2, BL.3 及び BL.5 にて実施されたボーリング調査の結果と衝撃弾性波 法による調査結果とを対比させて設定することとした。なお,この堤体で実施されたボー リングは堤体補修を目的とした工事の一部として実施が計画された削孔であるが,本検討 に資する目的から,一部の孔についてはボーリングコアの採取を行うとともに,全孔に対 して孔壁のボアホールカメラ観察を行い,打継目状態の情報提供に資する調査項目を追加 し,対応した。ボーリングのブロック別の孔数,ならびに衝撃弾性波法による計測結果と 打継目状態との関係設定に用いた対比箇所(点)数を表-4.5.1 に示す。なお,ボーリング の孔径は 66mm である。

BL.	ボーリング孔数	対比した打継目数	対比箇所(点)数
2	10	1	10
3	7	4	28
5	4	6	24
計	21	11	62

表-4.5.1 ボーリング孔数と対比箇所(点)数⁹⁾

設定手順は次のとおり。

(1) 打継目状態の分類実施

ボーリング調査結果に対して打継目の状態を,**表-4**.5.2に示す4つの状態に区分した。**表-4**.5.1に示した箇所の打継目状態について整理した結果を**表-4**.5.3~**表-4**.5.7 に示す。

11: 45	1			
て 思 分類	状	態	ホーリング調査 による観察結果	代表的なボアホールカメラ画像
1	分離面 (ひび割れ) が無い		・打継目に分離面 (ひび割れ)は認めら れない。 ・打継目が面として 認められるが一体化 している。	7460 - 7460 - 7500
п		分離面が 完全に 閉塞	・打継目に明瞭な分 離面 (ひび割れ)が認 められる。 ・分離面 (ひび割 れ)は完全に閉塞さ れていると推測でき る (挟在物または止 水材により閉塞)。	8960 - 9000 - 9020 - 9040 - 9060 - 9060 - 9060 - 9180 - 9120 - 9120 - 9120 - 9120 - 9140 -
Л	 分離面 (ひび割れ) が有る	分離層が 部分的に 閉塞	 ・打継目に明瞭な分離面(ひび割れ)が認められる。 ・分離面(ひび割 れ)は部分的に閉塞されていると推測できる(挟在物または止水材により部分的に閉塞)。 	8980 - 9000 - 9000 - 9000 - 9000 - 9000 - 9000 - 9100 - 9100 - 9100 - 9100 -
_		分離面が 全体的に 閉塞	・打継目に明瞭な分 離面(ひび割れ)が認 められる。 ・分離面(ひび割 れ)は全体的に開口 している。	8560 - - 8560 - - 9000 - - 9020 - - 9040 - - 9040 - - 9040 - - 9040 - - 9100 - - 9100 - - 9100 - - 9100 - - 9100 - - 9100 - - 9100 - - 9100 - - 9100 - - 9110 - -

表-4.5.2 ボーリング調査で確認された水平打継目の状態の分類 ⁹⁾

ļ	2BL	EL.230m					2BL	EL.230m	1			
		ポアホー	ールカメラ観察結果	コア観察結果	コア観察&ボアホールカメラ観察	打総目		ポアホ-	ールカメラ観察結果	コア観察結果	って知家。ポスナールカメージの	村田
	測点	孔壁展開画像	打総目付近拡大画像	打継目の状態	結果による打維目の測点周りの 状態	状態 分類	測点	孔壁展開画像	打総目付近拡大画像	打継目の状態	コア観景&ホアホールカメラ観景 結果による打継目の測点周りの 状態	打 離日 状態 分類
	1-1				コア観察 ・73番目に止水材が確認できる ボアホールカメラ観察 ・ひの気れはよ水材により全体的 に充填されていると推測できる		5-1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1			コア戦原 ・打酸目に止水材が確認できる ポアホールカメラ観察 ・ひび新れは止水材により全体的 に充填されていると推測できる	
	1-2				コア観察 ・7届目に止水材が確認できる ボアホールカメラ観察 ・ひの新れは止水材により部分的 に充填されていると推測できる	л	6-1				コア観察 ・打磨目に止水材が僅かに確認 できる ポアホールカメラ観察 ・ひび着れは止水材により全体的 に充填されていると推測できる	
	2–1				コア観察 ・75番目に止水村が僅かに確認 できる ポアホールカメラ観察 ・ひて新れば止水材により全体的 に充填されていると推測できる		6-2				コア観察 ・行種目に止水材は確認できない ボアホールカメ発展 ・ひの着れは止水材により部分的 に充填されていると推測できる	л
	3-1				コア観察 - 行趣目に止水材が確認できる - 行趣目周辺に空隙あり(1cm × 4cm) ポプホールカメラ観察 - ひび新れは止水材により部分的 に充填されていると推測できる	л	7-1		ŢĦB	R	コア観察 ・打趣目に止水材は確認できない ポアホールカメラ観察 ・ひび着式は止水材により全体的 に充填されていると推測できる	
	4-1				コア観察 ・打毎日に止水材が確認できる ボアホールカメラ観察 ・ひび刻れは止水材により全体的 に充填されていると推測できる		7-2			E	コア観察 ・行題目に止水材が確認できる ポアホールカメ短線 ・ひの利れは止水材により全体的 に充填されていると推測できる	

表-4.5.3 ボーリング調査で確認された水平打継目の状態(BL.2)

3BL	. 测点1-2				3BL	測点2-1]	T	
打維目	ボアホ	ールカメラ観察結果	コア観察&ボアホールカメラ観 察結果による打群日の測点因り	打維目	打維目	ボアホ・	ールカメラ観察結果	コア観察&ボアホールカメラ観 察結果による打縦日の測点因	打雜目
深度	孔壁展開画像	打維目付近拡大画像	の状態	状態分類	深度	孔壁展開画像	打縱目付近拡大画像	りの状態	状態分類
EL_230m		T#1	・打線目が厚みを有するゾーン として認められる (厚之数の中で色濃が明らかに異 なる領域が存在) ・打線目にひび割れは認められ ない	1	EL_230m		Trata	- 打線目が与みを有するゾーン として認められる 「原之歌の木で色調が明らかに 異なる領域が存在) - 打線目にしび別れは認めら れない	1
EL_228.5m			・打線目が面として訳められる (面を長として色調が明確に異 なる) ・打線目にひび別れは認められ ない	1	EL_228.5m		T#I	-打線目が面として認められる (面を扱として色面が明確に異 なる) -打線目にひび説れは認めら れない	л
EL_227m			・打縦目に明瞭なひび渕れが思 められる - ひび別れは部分的に大きく開 ロしている	~	EL_227m			- 打縦目に列陰なひび説れが 認められる - ひび説れは介在物により部分 的に閉塞されていると推測でき る	
EL_222.5m			・打線目に明瞭なひび刻れが認 められる ・ひび刻れは介在物により全体 的に閉塞されていると推測でき る	П	EL_222.5m		т # В	・打乗目に明瞭なひび説れが 認められる ・ひび説れは介在物により部分 的に閉塞されていると推測でき る	. ^
		0							
3BL	測点3-2				3BL	測点4-1]		
3BL 打雑日	測点3-2 ボアホ	 ールカメラ観察結果	コア観察&ボアホールカメラ観 察結里による打錐日の測直目り	打難目	3BL 打維目	測点4- 1 ボアホ・	ールカメラ観察結果	コア観察&ボアホールカメラ観 察結果による打鉄目の測点国	打羅目
3BL 打縦目 深度	測点3-2 ボアホ 孔壁展開画像	ールカメラ観察結果 打縦目付近拡大画像	コア観察&ボアホールカメラ観 察結果による打殺目の測点関り の状態	打縦目 状態分類	3BL 打難目 深度	測点4-1 ボアホ 孔壁展開画像	ールカメラ観察結果 打棋目付近拡大画像	コア親察&ポアホールカメラ親 察結果による打線目の測点周 りの状態	打縦目 状態分類
3BL 打群目 茶度 EL_230m	測点3-2 ポアホ 孔空原開画像	ールカメラ線家結果 「打線目付近紘大画像 「「「「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「線目 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」	コア観察&ボアホールカメラ観 緊結果による打縦目の測点因り の状態 ・打縦目が面として認められる (面を境として色調が明確に異 なる) ・打縦目にひび割れは認められ ない	打難目 状態分類 イ	3BL 打群日 漆度 EL230m	測点4-1 ボアホ 化学原間画像	-ルカメラ報察結果 「打都日付近拡大時像 「 「 「 「 「 「 「 「 「 「 「 「 「	コア観察&ボアホールカメラ観 緊結果によら打乗目の演点間 りの状態 ・打乗目が面として認められる (面を残してで満が明確に異 なる) ・打乗目にしび消れは認めら れない	打群日 状態分類 イ
38L 打罪目 策度 EL_230m EL_228.5m	湖点3-2 ポテホ 孔学展開画像	- JUDE TREEFORMER TREFORMER TREFOR TREFORMER TREFOR TREFO	コア観察&ボアホールカメラ観 案結果による打縦目の測点因り の状態 ・打線目が面として認められる (面を境として色調が明確に異 なる) ・打線目が面として認められる にのび刻れは認められ ない ・打線目が面として認められる (面を境として色調が明確に異 なる) ・打線目にひび刻れは認められ ない	打難目 状態分類 イ イ	38L 打葉目 茶底 EL230m	<u>湖点+1</u> ポアホ 化生風間画像	-ルカメラ根窓結果 - 打探目付近航大西像 - 新教師の「「「「「「」」」 - 「「」」 - 「」」 - 」」 - 」 -	コア観察をボアホールカメラ観 家結果による打理目の測点国 りの状態 ・打薬目が面として認められる (面を扱してな調が明確に異 なる) ・打薬目が防みを有するゾーン として認められる (等)で親にに生気がられて、 として認められる (等)で親に、なが明らかに 異なる後述が作在) ・打薬目しひび別れは認められ ない	打 線目 状態分類 イ
38L 打罪目 策度 EL230m EL228.5m EL228.5m	湖島-2 ボアホ 日空風間画像 「ごごごご」」 「ごごご」」 「ごご」」 「ごご」」 「ご」」 「ご」」 「ご」」 「ご」」 「ご」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」		コア観察&ボアホールカメラ観 繁結果による打縦目の測点因り の状態 ・打縦目が面として訳められる (面を岐として色調が明確に異 なる) ・打縦目にひび別れは認められ ない ・打縦目にひび別れは認められる (面を岐として色調が明確に異 なる) ・打縦目にひび別れは認められる い ・打縦目にひび別れは認められる くのののののののののののののののののののののののののののののののののののの	打雑日 状態分類 イ イ	38L 打葉目 茶吃 EL_230m EL_228.5m EL_228.5m	<u>湖点+1</u> ポアホ 化学販問曲像	-ルカンラ現緊結果 - オ親目付近私大時億 - 単 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	コア観察をボアホールカメラ観 家結果による打殺目の測点周 りの状態 ・打薬目が面として認められる (面を残として色調が明確に異 なる) ・打薬目にしび割れは認められない ・打薬目にしび割れは認められない ・打薬目にしび割れは認められた 異なる領域が存在) ・打薬目に可聴なひび割れが 認められる ・「「薬目に可聴なひび割れが 素がられていると嫌調できる	打線目 状態分類 イ

表-4.5.4 ボーリング調査で確認された水平打継目の状態(BL.3_(1-2, 2-1, 3-2, 4-1))

3BL	測点4-2				3BL	測点5-1	1		
打雜日	ボアホー	ールカメラ観察結果	コア観察&ボアホールカメラ観	打鑽日	打鑽日	ボアホ	ールカメラ観察結果	コア観察&ボアホールカメラ観	打鑽日
深度	孔壁展開画像	打縱目付近拡大兩像	察結果による打維目の測点周り の状態	状態分類	深度	孔壁展開画像	打縱目付近拡大画像	察結果による打維目の測点周 りの状態	状態分類
EL_230m			- 打線目が厚みを有するゾーン として認められる (厚さ数cmで色調が明らかに異 なる包装が存在) - 打線目にひび別れは認められ ないい	1	EL_230m		THE	- 打難日が厚みを有するジーン として認められる (厚を残って色温が明らかに 異なる領域が存在) - 打難日にしび割れは認めら れない - 打難日の上側に割骨材が集 がら一部に割骨材が発	1
EL_228.5m		high states and the	- 打線目が厚みを有するゾーン として認められる (厚之数のでを気調が明らかに異 なる領域が作在) - 打線目にひび割れは認められ ない - 打線目の上側に乳骨材が集ま り、一部に乳骨材に沿う運動的 なひび割れが認められる	1	EL_228.5m			・打難目が厚みを有するジーン として認められる 「原之器の一で色調が明らかに 異なる領域が存在) ・打難目にひび跳れは認めら れない	7
EL 227m	F		-打線目に明瞭なひび刻れが逮 められる -ひび刻れは介在物により全体 的に罰案されていると推測でき る	п	<u>EL 22</u> 7m			・打難日に明瞭なひび跳れが 認められる - ひび跳れは部分的に開口して いる	л
EL_222.5m			-打線目に明瞭なひび刻れが認 められる - ひび刻れは介在物により部分 的に貫塞されていると推測でき る	л	EL_222.5m			- 打縦目に男敵なひび詠れが 認められる - ひび孰れは介在物により全体 的に罰塞されていると嫌淵でき る	п

表-4.5.5 ボーリング調査で確認された水平打継目の状態(BL.3_(4-2, 5-1, 6-2))

3BL	測点6-2			
计数日	ボアホー	ールカメラ観察結果	コア観察&ボアホールカメラ観	计数日
深度	孔壁展開画像	打縱目付近拡大画像	察結果による打縦目の測点周り の状態	状態分類
EL_230m		TIRE	- 打線目が厚みを有するゾーン として認められる (厚き後のでを思游が明らかに異 なる絶域が存在) - 打線目にひび刻れは認められ ない - 打線目の上側に粗骨材が集ま り、一部に粗骨材に沿う連続的 なひび刻れが認められる	r
EL_228.5m			- 打線目が厚みを有するゾーン として認められる (厚之数のでを思測が明らかに異 なる領域が存在) - 打線目にひび刻れは認められ ない - 打線目の上側に粗骨材が集ま り、一部に粗骨材に沿う運転的 ないび刻れが認められる	r
EL-227m		ана ала ала ала ала ала ала ала ала ала	- 打幕目に明瞭なひび刻れが選 められる - ひび刻れは介在物により部分 的に罰逐していると推測できる	л
EL_222.5m		Traff	-打ち線ぎ面に明脸なひび割れ が湿められる - ひび割れは介在物により全体 的に群落されていると推測でき る	n

表-456	ボーリング調査で確認された水平打継日の状態(BL 5 (2-2	3-1))
1.0.0		U 1//

5BL	測点2-2	1			5BL	測点3-1]		
打継目	ボアホ・	ールカメラ観察結果	コア観察&ポアホールカメラ観察結果に	打総目	打継目	ボアホ-	ールカメラ観察結果	コア観察&ポアホールカメラ観察結果に	打総目
深度	孔壁展開画像	打総目付近拡大画像	よる打総目の測点周りの状態	状態分類	深度	孔壁展開画像	打総目付近拡大画像	よる打総目の測点周りの状態	状態分類
EL.233m		200 - 300 - 300 - 310 - 310 - 210 -	・打羅目に明瞭なひび割れが認められ る ・ひび割れは止水材により部分的に充 填されていると推測できる (画像では打爆目の状態の判定は困 難)	л	EL.233m		200 200 - 300 - 300 - 300 - 300 - 300 - 300 - 776 E	 ・打艇目が厚みを有するゾーンとして認 かられる (厚き数cmで色調が明らかに異なる領 域が存在) ・打艇目にひび割れは認められない (画像では打艇目の状態の判定は困 難) 	ŕ
EL.230.0m		5.00 5.55 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00 7722 E	・打撃目に明瞭なひび割れが認められ る ・ひび割れは止水材により全体的に充 違されていると推測できる (画像では打撃目の対象の判定は困 難)		EL.230.0m		100 - 100 - 100 - 100 - 100 -	・打線目が面として認められる (面を現として色弧が明確に異なる) ・打線目にひび割れは認められない	1
EL.228.5m		7300 - 7440 - 7460 - 7550 - 7550 -	- 打艇目に明瞭なひび割れが認められ る - ひび割れは止水材により部分的に充 違されていると推測できる (画像では打艇目の状態の判定は困 難)	ал	EL.228.5m		200 - 246 - 200 - 200 - 200 - 200 - 200 - 200 - 200 -	・打艇目が厚みを有するゾーンとして認 められる (厚き数0mで色調が明らかに異なる領 域が存在) ・打艇目にひび割れは認められない	1
EL.227.0m		8502 890 - 900 - 900 - 900 - 810 - 810 -	・打線目が厚みを有するゾーンとして認 められる (厚を数のでや意識が明らかに異なる領 域が存在) ・打線目にひび割れは認められない	7	EL 227.0m		1800 - 1800 -	 ・打艇目が面として認められる (面を境として色調が明確に異なる) ・打艇目にひび割れは認められない (画像では打艇目の状態の判定は困難) 	1
EL.224.0m		1190 - 1190 - 1200 - 1200 - 1200 - 1210 - 1217 -	・打艇目に明瞭なひび割れが認められ る ・ひび割れは止水材により部分的に充 填されていると推測できる	л	EL 224.0m		1100 - 1100 -	・打艇目に明瞭なひび割れが認められ る ・ひび割れは止水材により全体的に充 増されていると推測できる	
EL.219.5m		16.40- 16.60- 16.50- 16.60- 16.60- 16.60-	- 打服目が面として認められる (面を増として色調が明確に異なる) - 打服目にひび割れは認められない (画像では打艇目の状態の判定は困難)	٦	EL 219.5m		1466 - 1469 - 14	 ・打艇目が面として認められる (面を境として色調が明確に異なる) ・打艇目にひび割れは認められない (画像では打艇目の状態の判定は困難) 	ſ

5BL	測点3-4				5BL	測点4-2	1	-	
打継目	ボアホー	-ルカメラ観察結果	コア観察&ボアホールカメラ観察結果に	打継目	打継目	ボアホ・	ールカメラ観察結果	コア観察&ボアホールカメラ観察結果(こ	打継目
深度	孔壁展開画像	打継目付近拡大画像	よる打継目の測点周りの状態	状態分類	深度	孔壁展開画像	打継目付近拡大画像	よる打継目の測点周りの状態	状態分類
EL 233m		200 200 200 200 200 200 200 200 200 200	・打線目に明確なひび割れが認められ る ・ひび割れは止水材により全体的に充 填されていると推測できる		EL233m		200 - 200 - 300 - 300 - 300 - 300 - 300 - 310 -	・打槌目に明瞭なひび割れが認められ る ・ひび割れは止水材により部分的に充 填されていると推測できるある	Δ
EL.230.0m		5.00 5.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00	・打槌目が面として認められる (面を境として色調が9勝衛(2貫なる) ・打槌目(こひび割れは認められない (面像では打槌目の状態の判定は困 戦)	ſ	EL230.0m		500 - 500 - 500 - 500 - 600 - 600 - 600 -	・打槌目が厚みを有するソーンとして認 められる (厚を数cmで色順が明らかに異なる領 坂が存在) ・打槌日にひび割れは認められない	ŕ
EL.228.5m		700 700 700 700 700 700 700 700 700 700	・打縦目が厚みを有するゾーンとして認 められる (厚を致ってきし間が明らかに異なる領 城が存在) ・打縦目にひび割れは認められない	ſ	EL2285m		140 - 760 - 750 - 750 - 760 - 760 - 761 - 762 -	・打槌目が面として認められる (面を境として色識が9時館に異なる) ・打槌目にひび割れは認められない (画像では打槌目の状態の判定は困難)	т
EL.227.0m		600 600 600 600 600 600 600 600 600 600	・打槌目が面として認められる (面を境として色膜が明確(に置なる) ・打槌目(こひび割れは認められない (面像では打槌目の状態の判定は困難)	ſ	EL227.0m		887 - 4 969 - 960 - 960 - 973 - 916 - 916 -	・打雑日が厚みを有するゾーンとして認 められる (厚さないて色現か明らかて濃なる領 域が存在) ・打継目にひび割れは認められない (画像では打継目の状態の判定は困 難)	T
EL.224.0m		1100 1100 1100 1200 1200 1200 1200 1200	・打線目に明瞭なひび割れが認められる。 る ・ひび割れは止た状材により部分的に充 填されていると推測できる	Ā	EL.224.0m		1100 - 1190 - 1900 - 1900 - 1900 - 1900 - 1900 - 1900 - 1900 - 1900 -	・打雑目に明瞭なひび割れが認められ る ・ひび割れは止水材により部分的に充 填されているは単制できる (画像では打縦目の状態の判定は困 難)	А
EL.219.5m		1440 1440 1450 1450 1460 1460 1460	・打球目が面として認められる (面を境として色調が明確(2異なる) ・打雑目(ごひび割れは認められない (面像では打雑目の状態の判定は困難)	ſ	EL219.5m		1640 1660 1650 1660 1660	・打雄目が認められない ・打雄目深度にひび割れは認められない い (画像では打趣目の状態の判定は困難)	ŕ

表-4.5.7 ボーリング調査で確認された水平打継目の状態(BL.5_(3-4, 4-2))

(2) ボーリング調査による打継目状態と衝撃弾性波法調査で計測された波形パターンとの対比実施

ボーリング調査によって打継目状態が確認された表-4.5.1 に示した 62 の対比箇所 (点)について,衝撃弾性波法による計測で得られた波形パターン(図-4.5.1)の比率と の関係を整理したものを表-4.5.8 に示す。また,計測された3種類の波形パターンの 一例を図-4.5.2 に示す。



図-4.5.2 衝撃弾性波法による波形計測パターンの1例⁹⁾

表-4.5.8 ボーリング調査から得られた情報と衝撃弾性波法による計測結果との関係 ⁹⁾

ы	打総面	测片	ボーリング	ング 衝撃弾性波法による計測結果(パターン比率)(%)		
DL.	作同 (EL.m)	测量	お来からの 状態区分	パターンA	パターンB	パターンC
		1-1		90.9	9.1	0.0
		1-2	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	50.0	50.0	0.0
		2-1		90.0	10.0	0.0
		3-1	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	60.0	40.0	0.0
2	220.0	4-1		90.0	10.0	0.0
2	230.0	5-1		90.0	10.0	0.0
		6-1		0.0	100.0	0.0
		6-2	ハ	50.0	50.0	0.0
		7-1		90.0	10.0	0.0
		7-2		40.0	60.0	0.0
		1-2	イ	0.0	100.0	0.0
		2-1	イ	44.4	55.6	0.0
		3-2	イ	80.0	10.0	10.0
	230.0	4-1	イ	84.6	15.4	0.0
		4-2	イ	0.0	100.0	0.0
		5-1	1	0.0	84.2	15.8
		6-2	<u> </u>	0.0	78.9	21.1
		1-2		100.0	0.0	0.0
		2-1		100.0	0.0	0.0
	000 5	3-2		100.0	0.0	0.0
	228.5	4-1		33.3	66.7	0.0
		4-2		0.0	00.7	33.3
		5-1	1	0.0	/6.9	23.1
3		0-2	1	18.2	45.5	30.4
		1-2		0.0	28.0	/1.4
		2-1	-	33.3	50.0	10.7
	227.0	<u>3-z</u>		80.0	20.0	100.0
	227.0	4-1		80.0	20.0	0.0
		5-1		0.0	20.0	55.6
		6-2		28.6	0.0	71.4
		1-2		100.0	0.0	00
		2-1		69.2	30.8	0.0
		3-2		100.0	0.0	0.0
	222.5	4-1		100.0	0.0	0.0
		4-2	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	46.2	38.5	15.4
		5-1		100.0	0.0	0.0
		6-2		100.0	0.0	0.0
		2-2	ハ	10.0	90.0	0.0
	000.0	3-1	1	0.0	100.0	0.0
	233.0	3-4		57.1	42.9	0.0
		4-2	1	0.0	100.0	0.0
		2-2		40.0	60.0	0.0
	220.0	3-1	イ	10.0	90.0	0.0
	230.0	3-4	イ	20.0	80.0	0.0
		4-2	イ	40.0	60.0	0.0
		2-2	<u></u>	90.0	10.0	0.0
	228 5	3-1	1	20.0	80.0	0.0
	220.0	3-4	1	20.0	80.0	0.0
5		4-2	イ	70.0	30.0	0.0
		2-2	イ	70.0	30.0	0.0
	227.0	3-1	イ	60.0	40.0	0.0
		3-4	イ	30.0	70.0	0.0
		4-2	イ イ	10.0	90.0	0.0
		2-2	∧	33.3	66.7	0.0
	224.0	3-1		100.0	0.0	0.0
		3-4	N	0.0	33.3	66.7
		4-2	N .	30.0	70.0	0.0
		2-2		100.0	0.0	0.0
	219.5	3-1		75.0	25.0	0.0
		3-4		100.0	0.0	0.0
		4-2	1	90.9	9.1	0.0

(3) 打継目の分離状態のタイプ分類実施

打継目が劣化した状態として打継目分離を想定すると、その健全度は分離が全く無い 状態から全体的に分離した状態までにグレード分類できる。分離状態は分離している広 さ、あるいは分離距離(開口幅)によってグレード分けが可能であるが、一般的には分離 距離(開口幅)が大きいほど、分離している範囲も広くなると想定される。そこで分離 状態のタイプ(グレード)として、分離範囲で4段階のタイプを設定することとした。 衝撃弾性波法による調査箇所(点)の周りの打継目の状態イメージを示したものを表-4.5.9に示す。なお、表-4.5.9においては打継目イメージ図として1辺が1~2mの矩形 を示したが、これは本調査で用いた調査システムの既往の調査結果⁴⁾及び本章の4.3の 室内試験結果に基づいたものであるが、情報収集範囲の形状としてはおおむね円形であ ると考えている。

タイプ 区分	測点周りの打継面 の状態イメージ	測点周りの打継目 の状態推定	ボーリング調査結果 による状態評価区分
タイプI	<	・打継目には分離が無 い、あるいは分離してい たが注入材等で完全に充 填されている状態であ り、間隙(空隙)は無い状 態。 ・衝撃弾性波法による測 定波形は「パターンA」 に相当するもの。	(イ)及び (ロ)
タイプⅡ	分離 密着 分離 分離	・打継目の大半はタイプ Iと同じ状態ではある が、一部は分離し間隙 (空隙)がある状態。 ・衝撃弾性波法による測 定波形は「パターンB」 に相当するもの。	(イ)及び(ロ) が 過半数 一部は(ハ)及び (二)
タイプⅢ	密着 密着 分離	・打継目の一部はタイプ Iと同じ状態であるが, 過半は分離して間隙(空 隙)が生じた状態。 ・衝撃弾性波法による測 定波形は「パターンB」 に相当するもの。	ー部は (イ)及び(ロ) (ハ)及び(二)が 過半
タイプⅣ	分離	・打継目の大半は分離 し、連続的な面状の間隙 (空隙)が生じている状 態。 ・衝撃弾性波法による測 定波形は「パターンC」 に相当するもの。	(=)

表-4.5.9 想定する測点周りの打継目状態⁸⁾

(4) 衝撃弾性波法による計測結果からの打継目状態タイプ推定手法の検討

衝撃弾性波法によって計測した当該打継目におけるパターンA,パターンB及びパタ ーンCの比率は,対象とする打継目の状態から決定される。そこで,ボーリング調査に よって実際の打継目状態が確認できている表-4.5.2 に示した 62 箇所の打継目測点に対 する衝撃弾性波法による計測結果を基に,各パターンの比率から各打継目状態のタイプ

(I, II, III, IV)を推定する最適な関係指標を決定することとした。

この最適関係指標の検討は,表-4.5.10に示す閾値を数段階変化させた関係指標を基 に推定した打継目状態と,実際の打継目状態とを比較して,整合性が高くなる関係を見 出すことで行った。なお,波形パターンには,3種類のパターンが存在するにも関わら ず,表-4.5.10においてA及びCの2種類の波形パターンのみの比率から決定している のは,3種類の合計が100%であることからAとCの2種類のパターン比率を定めれば Bの比率は自明であること,Aは完全透過のパターンを,Cは完全反射のパターンを示 していることから,対象箇所における反射・透過特性を示すものとして,これら2種類 のパターン比率が適切であるという考えに基づいたものである。

表-4.5.10 関係指標設定のための検討ケース⁹⁾

(単位:%)

測点に関		区分のため	の判定基準	
する 状態区分	閾値を90%	閾値を80%	閾値を70%	閾値を60%
タイプ I	A>90 かつ C=0	A>80 かつ C=0	A>70 かつ C=0	A>60 かつ C=0
タイプⅡ	 ①0<a≦90< li=""> かつC=0 または ②0<c≦10< li=""> </c≦10<></a≦90<>	 ①0<a≦80 かつC=0 または</a≦80 ②0<c≦20< li=""> </c≦20<>	 ①0<a≦70 かつC=0 または</a≦70 ②0<c≦30< li=""> </c≦30<>	 ①0<a≦60 かつC=0 または</a≦60 ②0<c≦40< li=""> </c≦40<>
タイプⅢ	 ①10<c<90< li=""> または ②C≧90 かつ0<a≦< li=""> 10 </a≦<></c<90<>	①20 <c<80 または ②C≧80 かつ O <a≦ 20</a≦ </c<80 	①30 <c<70 または ②C≧70 かつ0<a≦ 30</a≦ </c<70 	 ①40<c<60< li=""> または ②C≧60 かつ0<a≦< li=""> 40 </a≦<></c<60<>
タイプⅣ	A=0 かつC≧90	A=0 かつC≧80	A=0 かつC≧70	A=0 かつC≧60

※A、B、Cは、評価有効な測定波形総数に対するA、B、C各パターンの比 率を表す。

閾値を変えた各ケースにおける打継目の推定状態と実際の打継目状態との関係を表-4.5.11 に示す。

打継	目状態	88/#		8月/武	- 0 O N	8月/武	- 700/	89.12	- CON
推定結果	実際	或 1進	<u>190%</u>	或 1進	180%		10%		100%
(町挙 弾性波法)	(ホーリンク) 調査結果)	(箇所)	(%)	(箇所)	(%)	(箇所)	(%)	(箇所)	(%)
	イ	6	100.0	7	04 7	8	05 5	10	02.0
ー タノプ T		7	100.0	11	94. /	13	90.0	13	92.0
7171	11	0	0.0	1	5.3	1	4. 5	2	8.0
	=	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	イ	18	75 6	18	70 5	19	60 7	19	71 0
ゟノゔ゚゚゚゚ヿ		10	75.0	6	70.5	4	09.7	4	/1.9
31 J II	11	9	24. 3	10	29. 4	10	30. 3	9	28. 1
	=	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	イ	5	15 5	4	50.0	2	10.0	0	0.0
ゟノゔ゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚		0	40.0	0	50.0	0	40.0	0	0.0
<u>У1 / Ш</u>	11	6	54. 5	4	50. 0	3	60. 0	2	100. 0
	=	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	イ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
$h / \neg \pi$		0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
71/10	1	0	0.0	0	0.0	1	50.0	2	66.7
	=	1	100.0	1	100.0	1	50.0	1	33. 3

表-4.5.11 閾値を変化させた各ケースにおける推定結果

とボーリング調査結果との関係⁹⁾

表-4.5.9に示すように、打継目が密着し、分離が存在しない状態であるタイプ I と衝 撃弾性波法によって推定された打継目が、実際に密着した打継目((イ)あるいは(ロ))で ある率(適合率)はいずれの閾値においても 90%以上を示し、概ね良好な関係を示してい ることが判る。一般的に品質に優劣があるものに対して分類を行う際に、閾値を高く、 品質が高くなる側に設定した場合、良い品質に分類されるものは減少し、品質に劣るも のに分類されるものが増加する傾向を示すが、これと同様の傾向が表-4.5.11 において も確認される。また、完全に分離した状態であるタイプIVの推定に関しては、ボーリン グ調査において(ニ)と判定された箇所が1箇所のみであり、その確度について検証す るにはデータ数が少ないが、実際に分離している(ニ)の状態を十分検出できていると考 えることができる。 この検討結果に基づき,以下の理由から衝撃弾性波法で計測されたパターン比率から 打継目状態を推定する際の閾値は 80%とし,関係指標を表-4.5.12 に定める。

- ① 閾値を90%とすれば、タイプIと状態推定された箇所における適合率は100%となる。しかし、タイプIと推定された箇所は、全62箇所のうち13箇所のみであり、ボーリング調査の結果から確認された健全な打継目状態の確認数である46箇所((イ)+(ロ))に対して、かなり安全側の厳しい評価になっていると考えられたこと。
- ② 閾値が80%のケースにおけるタイプIの適合率は約95%であり、閾値90%のケースに比較して、工学的には決して小さくないと考えられること。
- ③ 閾値を 70%,あるいは 60%としたケースにおいて、本来はタイプⅡあるいはタイプ
 Ⅲとすべき、ボーリング結果における打継目の状態(ハ)をタイプⅣと評価しており、そのため適合率が 50%を下回っていること。

打継目状態区分	計測された波形パターンの比率
タイプ I	A>80% かつ C=0%
タイプⅡ	①0 <a≦80% c="0%<br" かつ="">または ②0<c≦20%< td=""></c≦20%<></a≦80%>
タイプⅢ	①20 <c<80% または ②C≧80%かつ0<a≦20%< td=""></a≦20%<></c<80%
タイプIV	A=0%カュつC≧80%

表-4.5.12 衝撃弾性波法の計測結果からの打継目状態推定の関係指標⁸⁾

※A、B、Cは、A、B、C各パターンの比率を表す。

4.6 衝撃弾性波法による計測結果からの水平打継目状態の推定

衝撃弾性波法による計測の結果(計測結果)と表-4.5.12 に示した打継目状態推定の関係指標を用いることで,対象打継目のグリッド各点の状態推定が可能となる。これを基に,モデルダムであるAダムにおいて,下流面で漏水が確認されるなど,打継目の変状が 懸念される合計 35 箇所の水平打継目(図-4.6.1)の状態について,次のように推定した。

(1)各打継目の各測点における衝撃弾性波法での計測結果である波形パターンの比率 (弾性波の透過・反射特性)を表-4.5.12に示した打継目状態推定指標に当てはめ、各点 の状態の推定を実施する。35の水平打継目の各点の計測結果と状態推定結果を表-4.6.1 ~表-4.6.11に示す。

(2) この状態推定を打継目の全ての測点に対して実施することで打継目上のグリッド交点の情報が得られる。今回使用した衝撃弾性波法システムについては、前述のとおり、 測点を中心に1~2mの範囲内の情報が得られると考えられる。そこで、隣接するグリッ ド交点における状態推定結果を考慮しながら、水平打継目の状態を面的に推定した。推 定した水平打継目の状態を表-4.6.12~表-4.6.19に示す。



図-4.6.1 状態推定対象とした水平打継目 35 箇所

в.	打継目	测上		波	形パタ	ーン分	類	状態
ВL	(EL.)	測品		A	В	C	合計	評価
		1 1	波形数	10	1	0	11	Ŧ
		1 - 1	%	90.9	9.1	0	100	1
		1 0	波形数	5	5	0	10	π
		1 - 2	%	50	50	0	100	ш
		0 1	波形数	9	1	0	10	Ţ
		2 - 1	%	90	10	0	100	1
			波形数	6	4	0	10	π
	BL 2 230 0	3 - 1	%	60	40	0	100	ш
		4 1	波形数	9	1	0	10	т
DI 0		4 - 1	%	90	10	0	100	1
DLZ	230.0	5 - 1	波形数	9	1	0	10	т
		5 - 1	%	90	10	0	100	1
		6 - 1	波形数	0	11	0	11	π
		0 - 1	%	0	100	0	100	ш
		6 - 2	波形数	5	5	0	10	π
		0 - 2	%	50	50	0	100	ш
		7 1	波形数	9	1	0	10	т
			%	90	10	0	100	1
		7_0	波形数	4	6	0	10	π
		/ - Z	%	40	60	0	100	ш

表-4.6.1 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.2_230m)

	打継目			波	形パタ	ーン分	·類	状態			打継目			波	形パタ	ーン分	·類	状態
BL	標局 (EL.)	測点		A	В	С	合計	評価		BL	標高 (EL.)	測品		A	В	C	合計	評価
		1 - 1	波形数	6	4	0	10	п				1 - 1	波形数	0	10	0	10	п
			%	60	40	0	100					· ·	%	0	100	0	100	
		1 - 2	波形数	0	8	0	8	Ш				1 - 2	波形数	0	10	0	10	II.
		1 2	%	0	100	0	100					<u> </u>	%	0	100	0	100	
		1 - 3	波形数	4	5	0	9	Ш				1 - 3	波形数	4	6	0	10	II.
			%	44.4	55.6	0	100						%	40	60	0	100	
	1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4	1 - 4	波形数	6	2	0	8	Ш				1 - 4	波形数	6	7	0	13	II.
		· ·	%	75	25	0	100						%	46.2	53.8	0	100	
		2 - 1	波形数	0	8	0	8	Ш				2 - 1	波形数	0	10	0	10	11
			%	0	100	0	100						%	0	100	0	100	
		2 - 2	波形数	0	8	0	8	Ш				2 - 2	波形数	0	10	0	10	Ш
			%	0	100	0	100						%	0	100	0	100	
		2 - 3	波形数	0	8	0	8	П				2 - 3	波形数	7	3	0	10	Ш
			%	0	100	0	100						%	70	30	0	100	
		2 - 4	波形数	8	0	0	8	- 1				2 - 4	波形数	0	10	0	10	Ш
			%	100	0	0	100						%	0	100	0	100	
		3 - 1	波形数	8	0	0	8	1				3 - 1	波形数	10	0	0	10	1
			%	100	0	0	100						%	100	0	0	100	
		3 - 2	波形数	9	0	0	9	1				3 - 2	波形数	0	10	0	10	Ш
			%	100	0	0	100						%	0	100	0	100	
		3 - 3	波形数	0	9	0	9	П				3 - 3	波形数	5	4	0	9	Ш
			%	0	100	0	100						%	55.6	44.4	0	100	
		3 - 4	波形数	8	0	0	8	1				3 - 4	波形数	5	3	0	8	Ш
BL3			%	100	0	0	100		-	BL3	228.5		%	62.5	37.5	0	100	
		4 - 1	波形数	8	0	0	8	1				4 - 1	波形数	7	3	0	100	Ш
			%	100	0	0	100						%	70	30	0	100	
		4 - 2	波形数	8	0	0	8	1				4 - 2	波形数	10	0	0	100	
			%	100	0	0	100		-				%	100	0	0	100	
		4 - 3	波形剱	9	0	0	9	1				4 - 3	波形致	8	2	0	100	- 1
			% `++ TX **	100		0	100						% `** TX **	80	20	0	100	
		4 - 4	波形致	4	5	0	9	Ш				4 - 4	波形剱	9	0	0	9	
			>⁄0 >dt π4 ₩h	44.4	00.0	0	0						>70 >th π4 ¥h	100	10	0	100	
		5 - 1	次 TF 安义	0	0 100	0	100	Ш				5 - 1	波形剱	0	100	0	100	Ш
			70	7	2	0	901						70	10	0	0	100	
		5 - 2	12 12 32	77 8	2	0	100	Ш				5 - 2	12 15 致	100	0	0	100	
			~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	0	22.2	5	8						~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	0	0	0	9	
		5 - 3	1/2 1/2 <del>3</del> /2	0	37 5	62 5	100	- 111				5 - 3	1/2 1/2 <del>3</del> /2	0	100	0	100	II
			波形数	8	0	02.0	8						波形数	0	9	0	9	
		5 - 4	1/2 1/2 <del>3</del> /2	100	0	0	100	1				5 - 4	1/2 1/2 <del>3</del> /2	0	100	0	100	ll II
			波形数	4	5	0	9						波形数	6	4	0	100	
	6	6 - 1	06	11 1	55 6	0	100	Ш				6 - 1	06	60	40	0	100	ll II
			波形数	0	90.0 8	0			1				波形数	00	10	0	10	
		6 - 2	0%	0	100	0	100	Ш				6 - 2	0%	0	100	0	100	II
			波形数	0	6	2	100 8						波形数	1	8	0	4	
		6 - 3	ルス 川シ 女义	0	75	25	100	III				6 - 3	11× 11× 3X	11 1	88 0	0	100	Ш
			波形数	4	4	0	8						波形数	4	4	0	8	
		6 - 4	0%	50	50	0	100	Ш				6 - 4	0%	50	50	0	100	II
L			70	50	50	v	100		1	L	I		70	50	50	v	100	

#### 表-4.6.2(1) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.3_230m, 228.5m)

	打継目			波	形パタ	ーン分	類	状態			打継目			波	形パタ	ーン分	類	状態
BL	標局 (EL.)	測点		A	В	С	合計	評価		ΒL	標局 (EL.)	測点		A	В	С	合計	評価
		1 - 1	波形数	7	3	0	10	Ш				1 - 1	波形数	1	9	6	16	ш
		1 = 1	%	70	30	0	100					1 - 1	%	6.3	56.3	37.5	100.1	
		1 - 2	波形数	0	6	4	10	ш				1 - 2	波形数	4	7	1	12	Ш
			%	0	60	40	100						%	33. 3	58.3	8.3	99.9	
		1 - 3	波形数	6	1	0	7	I				1 - 3	波形数	16	0	0	16	
			%	85.7	14.3	0	100						%	100	0	0	100	
	3 227.0 4	1 - 4	波形数	8	0	0	8	1				1 - 4	波形数	9	3	0	12	Ш
			%	100	0	0	100					· ·	%	75	25	0	100	
		2 - 1	波形数	7	2	3	12	Ш				2 - 1	波形数	9	4	0	13	
			%	58.3	16.7	25	100					- ·	%	69.2	30.8	0	100	
		2 - 2	波形数	9	2	0	11	I				2 - 2	波形数	12	1	0	13	
			%	81.8	18.2	0	100						%	92. 3	7.7	0	100	
		2 - 3	波形数	9	0	0	9	I.				2 - 3	波形数	10	8	0	18	Ш
			%	100	0	0	100						%	55.6	44.4	0	100	
		2 - 4	波形数	6	3	0	9	П				2 - 4	波形数	2	11	2	15	Ш
			%	66.7	33.3	0	100						%	13.3	73.3	13.3	99.9	
		3 - 1	波形数	6	0	0	6	I.				3 - 1	波形数	5	4	5	14	Ш
		-	%	100	0	0	100						%	35.7	28.6	35.7	100	
		3 - 2	波形数	4	3	0	7	П				3 - 2	波形数	15	0	0	15	
			%	57.1	42.9	0	100						%	100	0	0	100	
		3 - 3	波形数	1	8	0	9	П				3 - 3	波形数	13	1	0	14	
			%	11.1	88.9	0	100	-					%	92.9	7.1	0	100	
		3 - 4	波形数	8	0	0	8	I.				3 - 4	波形数	13	1	0	14	1
BL3			%	100	0	0	100			BL3	222. 5		%	92.9	7.1	0	100	
		4 - 1	波形数	8	2	0	10	I.				4 - 1	波形数	13	0	0	13	1
			%	80	20	0	100						%	100	0	0	100	
		4 - 2	波形数	1	/	6	14	Ш				4 - 2	波形致	6	5	2	13	Ш
		-	%	1.1	50	42.9	100						%	46.2	38.5	15.4	100.1	
		4 - 3	波形致	6	1	0	100	I.				4 - 3	波形致	4	10		100 1	Ш
			%	85.7	14.3	0	100						%	26.7	66.7	6. /	100.1	
		4 - 4	波形剱	0	9	0	9	Ш				4 - 4	波形剱	10	5	0	100	Ш
			%	0	100	0	100						%	00. /	33.3	0	100	
		5 - 1	波形剱	2	0	0	100	Ш				5 - 1	波形剱	100	0	0	100	I.
			>⁄0 >dt π4 ₩h	25	10	0	100						970 2017 TA #b	100	1	0	14	
		5 - 2	波形致	0	2	0	100	I.				5 - 2	波形致	13	7 1	0	100	
			>>0 3中亚米析	00	20	0	100						970 3中 平4 米h	92.9	1.1	0	100	
		5 - 3	ルズ 川ク 女义	100	0	0	100	- I				5 - 3	1/X 1/2 5X	02.0	6.2	0	100 1	- I
			70	2	2	5	100						70	30.0	12	2	100.1	
		5 - 4	ルズ ルシ 支文	2	2	55 6	100	Ш				5 - 4	12112支2	12 5	75	12 5	100	Ш
			70	22.2	1	20.0	8						70	12. 5	0	12. 5	14	
		6 - 1	ルズ ルシ 支文	2	50	2	100	Ш				6 - 1	1/X 1/2 5X	100	0	0	100	I.
	6 6 6		波形教	5	20 2	0	13						~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	12	0	0	13	
		6 - 2	11又 112 女乂	38 5	61 5	0	100	Ш				6 - 2	/バス バン 3X	100	0	0	100	I
			波形数	200.0	4	3	100						波形数	2	8	7	17	
		6 - 3	ルス 川シ 女义	22 2	4	33.3	99 9	Ш				6 - 3	/バス バン 3X	11.8	47 1	41 2	100 1	III
			波形数	5	1	0	60.0						波形数	0	13	0	13	
		6 - 4	0%	83.2	16 7	0	100	I				6 - 4	06	0	100	0	100	Ш
L	L		70	00.0	10.7	J	100		ιL			I	70		100		100	

#### 表-4.6.2(2) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.3_227m, 222.5m)

	打継目			波	形パタ	ーン分	·類	状能			打継目			波	形パタ	ーン分	類	状能
BL	標高 (EL.)	測点		A	В	C	合計	評価	В	L	標高 (EL.)	測点		A	В	C	合計	評価
		1 _ 1	波形数	10	0	0	10	I				1 _ 1	波形数	8	2	0	10	
		1 = 1	%	100	0	0	100					1 - 1	%	80	20	0	100	
		1 - 2	波形数	10	0	0	10	I				1 - 2	波形数	9	1	0	10	l i
			%	100	0	0	100					<u> </u>	%	90	10	0	100	
		1 - 3	波形数	13	2	0	15	I				1 - 3	波形数	14	1	0	15	l i
			%	86.7	13.3	0	100						%	93. 3	6.7	0	100	
		1 - 4	波形数	11	2	0	13	1				1 - 4	波形数	12	1	0	13	l 1
	1         1         2         2         2         2         2         2         3         3         3         219.5         4         4		%	84.6	15.4	0	100	-					%	92. 3	7.7	0	100	
		2 - 1	波形数	11	2	0	13	I				2 - 1	波形数	13	0	0	13	
			%	84.6	15.4	0	100						%	100	0	0	100	
		2 - 2	波形数	13	0	0	13	I				2 - 2	波形数	12	1	0	13	1
			%	100	0	0	100						%	92. 3	7.7	0	100	
		2 - 3	波形数	12	3	0	15	I.				2 - 3	波形数	14	1	0	15	1
			%	80	20	0	100						%	93.3	6.7	0	100	
		2 - 4	波形数	12	0	0	12	I.				2 - 4	波形数	12	0	0	12	1
			%	100	0	0	100						%	100	0	0	100	
		3 - 1	波形数	9	0	0	9	I.				3 - 1	波形数	8	1	0	9	1
		-	%	100	0	0	100						%	88.9	11.1	0	100	
		3 - 2	波形数	13	0	0	13	I.				3 - 2	波形数	13	0	0	13	1
			%	100	0	0	100						%	100	0	0	100	
		3 - 3	波形数	13	1	0	14	I.				3 - 3	波形数	11	3	0	14	Ш
			%	92.9	7.1	0	100						%	78.6	21.4	0	100	
		3 - 4	波形数	11	2	0	13	I.				3 - 4	波形数	13	0	0	13	1
BL3			%	84.6	15.4	0	100		BL	3	218.0		%	100	0	0	100	
		4 - 1	波形数	12	1	0	13	I.				4 - 1	波形数	12	1	0	13	1
			%	92.3	7.7	0	100						%	92.3	7.7	0	100	
		4 - 2	波形数	10	1	0	11	I				4 - 2	波形数	11	0	0	11	- 1
			%	90.9	9.1	0	100						%	100	0	0	100	
		4 - 3	波形数	5	3	0	8	П				4 - 3	波形数	8	0	0	8	- 1
			%	62.5	37.5	0	100						%	100	0	0	100	
		4 - 4	波形数	6	1	0	100	I.				4 - 4	波形数	/	0	0	100	- 1
			%	85.7	14.3	0	100						%	100	0	0	100	
		5 - 1	波形致	12		0	100	- I				5 - 1	波形致	12		0	100	- 1
			%0 `ch π∠ #5	92.3	1.1	0	100						%0 `+b TV #b	92. 3	1.1	0	100	
		5 - 2	波形剱	14		0	14	I				5 - 2	波形剱	100	0	0	100	
			%0 >======	100	0	0	100						9%0	100	0	0	100	
		5 - 3	波形致	100	0	0	100	I.				5 - 3	波形致	100	0	0	100	
			ッ シロ エム 米ケ	6	0	0	100						ッ シロ シロン 米ケ	6	0	0	100	
		5 - 4	波形致	100	0	0	100	I.				5 - 4	波形致	0	0	0	100	- 1
			%0 >th: TL< ₩h	100	0	0	100						9%0	100	0	0	11	
		6 - 1	》及 TF 致	0	2	0	100	- I				6 - 1	》及形致 0/	100	0	0	100	
	6		^{9∕0}	10	20	0	100						^{%0} 油形粉	11	1	0	100	
		6 - 2	∞形剱	100	0	0	100	I				6 - 2	□ 次 形 剱	01 7	0 2	0	100	
			*/0	100		0	100 r						^{&gt;&gt;} /0 油 形 米h	91. / F	ი. ა ი	0	700	
		6 - 3	波形剱	100		0	100	I				6 - 3	波形剱	0 71 /	20 6	0	100	Ш
			[≫] 0	7		0	100 7						*/0	6	20.0	0	700	
		6 - 4	∞形剱	100		0	100	I				6 - 4	□ 次 形 剱	0	11.2	0	100	
	L	l	%	100	U	U	100				L	L	%	80. <i>1</i>	14. 3	U	100	

#### 表-4.6.2(3) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.3_219.5m, 218m)

## 表-4.6.2(4) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.3_216.5m)

	打継目			波	形パタ	ーン分	類	状能
BL	標高 (EL.)	測点		A	В	C	合計	評価
		1 1	波形数	5	2	3	10	
		1 - 1	%	50	20	30	100	-
		1 2	波形数	6	1	0	7	1
		1 - 2	%	85.7	14.3	0	100	
		1 - 2	波形数	10	0	5	15	
		1 3	%	66.7	0	33.3	100	
		1 - 1	波形数	6	0	3	9	1
			%	66.7	0	33.3	100	
		2 - 1	波形数	12	0	0	12	1
		2 1	%	100	0	0	100	
		2 - 2	波形数	9	0	3	12	1
			%	75	0	25	100	-
		2 - 3	波形数	9	1	2	12	1
			%	75	8.3	16.7	100	
		2 - 4	波形数	11	0	0	11	I.
			%	100	0	0	100	
		3 - 1	波形数	6	1	0	7	I.
		· ·	%	85.7	14.3	0	100	
		3 - 2	波形数	8	3	2	13	I.
			%	61.5	23.1	15.4	100	
		3 - 3	波形数	9	1	1	11	I.
			%	81.8	9.1	9.1	100	
		3 - 4	波形数	10	0	3	13	1
BL3	216.5		%	76.9	0	23.1	100	
		4 - 1	波形数	11	0	0	11	1
			%	100	0	0	100	
		4 - 2	波形数	9	0	1	10	I.
			%	90	0	10	100	
		4 - 3	波形数	/	0	1	8	П
			%	87.5	0	12.5	100	
		4 - 4	波形数	/	0	0	100	1
			%	100	0	0	100	
		5 - 1	波形数	10	1	0	100	- I
			% `++ TX **	90.9	9.1	0	100	
		5 - 2	波形致	12	0		100	I
			% 油 F4 **	92.3	0	1.1	100	
		5 - 3	波形剱	12	0	0	100	I
			[%] 0	6	0	0	100	
		5 - 4	波形剱	0	0	0	100	I.
			^{&gt;%0}	0	0	0	110	
	e	6 - 1	ルス バシ 安义	9	10.0	0	100	I.
			[≫] 0	01.0	10.2	0	100	
		6 - 2	ルス バシ 安义	9	10	0	100	I.
			~~0	- <del>3</del> 0 - 6	0	0	8	
		6 - 3	心(1) 致	100	0	0	100	I
			70	7	0	0	7	
		6 - 4	0%	100	0	0	100	I
L		1	/0	1.00	l v		100	

В	打継目	测上		波	形パタ	ーン分	·類	状態	ві	打継目	测占		波	形パタ	ーン分	·類	状態
BL	标向 (EL.)	测点		A	В	C	合計	評価	ΒЦ	作。 (EL.)	测量		A	В	C	合計	評価
		1 1	波形数	9	1	0	10	1			1 1	波形数	10	2	0	12	
		1 - 1	%	90	10	0	100					%	83.3	16.7	0	100	
		1 0	波形数	3	7	0	10				1 0	波形数	8	7	1	16	ш
		1 - 2	%	30	70	0	100				1 - 2	%	50	43.8	6.3	100.1	
		1 0	波形数	7	3	0	10				1 0	波形数	10	4	0	14	ш
		1 - 3	%	70	30	0	100				1 - 3	%	71.4	28.6	0	100	
		1 4	波形数	0	10	0	10				1 4	波形数	5	9	0	14	ш
	4 227.0	1 – 4	%	0	100	0	100				1 - 4	%	35.7	64.3	0	100	
		0 1	波形数	8	2	0	10	1			0 1	波形数	10	2	0	12	
		2 - 1	%	80	20	0	100	1			2 - 1	%	83.3	16.7	0	100	
		0 0	波形数	1	9	0	10	ш			0 0	波形数	6	5	1	12	ш
		2 - 2	%	10	90	0	100				2 - 2	%	50	41.7	8.3	100	
		0 0	波形数	1	9	0	10				0 0	波形数	6	7	0	13	
		2 - 3	%	10	90	0	100				2 - 3	%	46.2	53.8	0	100	
			波形数	3	7	0	10					波形数	0	10	0	10	
		2 - 4	%	30	70	0	100				2 - 4	%	0	100	0	100	
			波形数	8	2	0	10					波形数	9	4	0	13	
		3 - 1	%	80	20	0	100				3 - 1	%	69.2	30.8	0	100	
			波形数	1	9	0	10					波形数	4	9	0	13	
		3 - 2	%	10	90	0	100			005 F	3 - 2	%	30.8	69.2	0	100	
BL4		0 0	波形数	3	7	0	10		BL4	225.5		波形数	3	8	0	11	
		3 - 3	%	30	70	0	100				3 - 3	%	27.3	72.7	0	100	
		2 4	波形数	0	10	0	10				2 4	波形数	3	9		12	
		3 - 4	%	0	100	0	100				3 - 4	%	25	75	0	100	
			波形数	0	10	0	10					波形数	8	5	0	13	
		4 - 1	%	0	100	0	100				4 - 1	%	61.5	38.5	0	100	
		4 0	波形数	1	9	0	10				4 0	波形数	8	5	0	13	ш
		4 - 2	%	10	90	0	100				4 - 2	%	61.5	38.5	0	100	
		4 0	波形数	4	6	0	10				4 0	波形数	10	3	0	13	
		4 - 3	%	40	60	0	100				4 - 3	%	76.9	23.1	0	100	
			波形数	2	8	0	10					波形数	0	10	0	10	
		4 - 4	%	20	80	0	100				4 - 4	%	0	100	0	100	
		F 1	波形数	6	4	0	10				F 1	波形数	8	4	0	12	
		5 - 1	%	60	40	0	100				5 - 1	%	66.7	33.3	0	100	
		F 0	波形数	8	2	0	10					波形数	9	4	0	13	
		5 - 2	%	80	20	0	100				5 - 2	%	69.2	30.8	0	100	
		۲ A	波形数	0	10	0	10	Ш			۔ م	波形数	3	10	0	13	
		5 - 3	%	0	100	0	100				5 - 3	%	23.1	76.9	0	100	11
		- ·	波形数	1	9	0	10					波形数	0	10	0	10	
		5 - 4	%	10	90	0	100	11			5 - 4	%	0	100	0	100	11

表-4.6.3(1) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.4_217m, 225.5m)

в	打継目	测占		波	形パタ	ーン分	·類	状態	в	打継目	测占		波	形パタ	ーン分	·類	状態
	作向 (EL.)	测品		A	В	С	合計	評価	БL	作同 (EL.)	测量		Α	В	C	合計	評価
			波形数	7	3	0	10	ш			1 1	波形数	8	2	0	10	1
		1 - 1	%	70	30	0	100					%	80	20	0	100	· '
		1 0	波形数	7	3	0	10				1 0	波形数	9	1	0	10	
		1 - 2	%	70	30	0	100				1 - 2	%	90	10	0	100	1
		1 0	波形数	9	1	0	10				1 0	波形数	9	1	0	10	
		1 - 3	%	90	10	0	100				1 - 3	%	90	10	0	100	
		1 4	波形数	4	6	0	10				1 4	波形数	8	2	0	10	
		1 - 4	%	40	60	0	100				1 - 4	%	80	20	0	100	· · ·
	4 224.0 3 4 224.0 4 224.0	0 1	波形数	9	1	0	10	1			a 1	波形数	10	0	0	10	
		2 - 1	%	90	10	0	100	1			2 - 1	%	100	0	0	100	
		۰ <u>۱</u>	波形数	7	3	0	10	Ш				波形数	9	1	0	10	
		2 - 2	%	70	30	0	100				2 - 2	%	90	10	0	100	
		۰ · ·	波形数	3	7	0	10	Ш				波形数	8	2	0	10	
		2 - 3	%	30	70	0	100				2 - 3	%	80	20	0	100	
			波形数	4	6	0	10					波形数	6	4	0	10	ш
		2 - 4	%	40	60	0	100				2 - 4	%	60	40	0	100	
		0 1	波形数	10	0	0	10	1			0 1	波形数	9	1	0	10	
		3 - 1	%	100	0	0	100				3 - 1	%	90	10	0	100	· '
		2 2	波形数	10	0	0	10	1			2 2	波形数	9	1	0	10	
DIA		3 - 2	%	100	0	0	100	1		000 E	3 - 2	%	90	10	0	100	
DL4		2 2	波形数	8	2	0	10	1	DL4	222. 0		波形数	7	3	0	10	ш
		3 - 3	%	80	20	0	100				3 - 3	%	70	30	0	100	
		2 4	波形数	2	8	0	10	П			2 4	波形数	4	3	3	10	ш
		3 - 4	%	20	80	0	100				3 - 4	%	40	30	30	100	
		4 1	波形数	0	10	0	10	П			4 1	波形数	8	2	0	10	1
		4 - 1	%	0	100	0	100				4 - 1	%	80	20	0	100	
		4 2	波形数	10	0	0	10	1			4 2	波形数	8	2	0	10	1
		4 - Z	%	100	0	0	100				4 - Z	%	80	20	0	100	
		1 - 2	波形数	6	4	0	10	Ш			1 - 2	波形数	8	2	0	10	1
		4 - 3	%	60	40	0	100				4 - 3	%	80	20	0	100	
		1 _ 1	波形数	3	7	0	10	п			1 _ 1	波形数	4	2	1	7	п
		4 - 4	%	30	70	0	100				4 - 4	%	57.1	28.6	14.3	100	
		5 - 1	波形数	9	1	0	10				5 - 1	波形数	7	3	0	10	п
		5 - 1	%	90	10	0	100				J - 1	%	70	30	0	100	
		F 2	波形数	5	5	0	10	П			F 2	波形数	10	0	0	10	1
		5 - Z	%	50	50	0	100				5 - Z	%	100	0	0	100	
		5 _ 2	波形数	5	5	0	10	Ш			5_0	波形数	5	2	3	10	
		5 - 3	%	50	50	0	100				5 - 3	%	50	20	30	100	
		5 _ 4	波形数	9	1	0	10				5_4	波形数	9	0	0	9	
		5 - 4	%	90	10	0	100				5 - 4	%	100	0	0	100	

# 表-4.6.3(2) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.4_224m, 222.5m)

В	打継目	测上		波	形パタ	ーン分	·類	状態		в	打継目	测占		波	形パタ	ーン分	·類	状態
BL	作。 (EL.)	测点		A	В	C	合計	評価		БL	作示向 (EL.)	测量		A	В	C	合計	評価
		1 1	波形数	0	7	4	11					1 1	波形数	7	3	0	10	ш
		1 - 1	%	0	63.6	36.4	100						%	70	30	0	100	
		1 0	波形数	0	8	0	8					1 0	波形数	0	5	0	5	ш
		1 - 2	%	0	100	0	100					1 - 2	%	0	100	0	100	
		1 0	波形数	3	8	0	11					1 0	波形数	0	10	0	10	ш
		1 - 3	%	27.3	72.7	0	100					1 - 3	%	0	100	0	100	
		1 4	波形数	3	6	0	9					1 4	波形数	0	8	0	8	ш
	5 233.0	1 - 4	%	33.3	66.7	0	100					1 - 4	%	0	100	0	100	
		0 1	波形数	7	6	0	13					0 1	波形数	3	7	0	10	ш
		2 - 1	%	53.8	46.2	0	100					2 - 1	%	30	70	0	100	
		0 0	波形数	1	9	0	10					0 0	波形数	4	6	0	10	ш
		2 - 2	%	10	90	0	100					2 - 2	%	40	60	0	100	
		0 0	波形数	1	7	0	8					0 0	波形数	2	8	0	10	
		2 - 3	%	12.5	87.5	0	100					2 - 3	%	20	80	0	100	
			波形数	0	8	0	8						波形数	2	8	0	10	
		2 - 4	%	0	100	0	100					2 - 4	%	20	80	0	100	
			波形数	0	11	0	11						波形数	1	9	0	10	
		3 - 1	%	0	100	0	100					3 - 1	%	10	90	0	100	
			波形数	0	10	0	10						波形数	0	8	0	8	
		3 - 2	%	0	100	0	100			DI 6		3 - 2	%	0	100	0	100	
BLD			波形数	0	10	0	10			BLD	230.0	0 0	波形数	0	10	0	10	ш
		3 - 3	%	0	100	0	100					3 - 3	%	0	100	0	100	
		2 4	波形数	4	3	0	7					2 4	波形数	2	8	0	10	
		3 - 4	%	57.1	42.9	0	100					3 - 4	%	20	80	0	100	
			波形数	4	7	0	11						波形数	2	8	0	10	
		4 - 1	%	36.4	63.6	0	100					4 - 1	%	20	80	0	100	
		4 0	波形数	0	8	0	8					4 0	波形数	4	6	0	10	ш
		4 - 2	%	0	100	0	100					4 - 2	%	40	60	0	100	
		4 0	波形数	0	8	0	8					4 0	波形数	7	3	0	10	
		4 - 3	%	0	100	0	100					4 - 3	%	70	30	0	100	
			波形数	0	10	0	10						波形数	5	5	0	10	
		4 - 4	%	0	100	0	100					4 - 4	%	50	50	0	100	
		F 1	波形数	0	9	0	9					F 1	波形数	2	8	0	10	
		5 - 1	%	0	100	0	100					5 - 1	%	20	80	0	100	
		F 0	波形数	0	10	0	10						波形数	5	5	0	10	
		5 - 2	%	0	100	0	100					5 - 2	%	50	50	0	100	
		۲ A	波形数	0	7	0	7					۔ م	波形数	0	10	0	10	
		5 - 3	%	0	100	0	100					5 - 3	%	0	100	0	100	11
		- ·	波形数	0	7	0	7		1			- ·	波形数	1	8	0	9	
		5 - 4	%	0	100	0	100					5 - 4	%	11.1	88.9	0	100	11

## 表-4.6.4(1) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.5_233m, 230m)

в	打継目	测上		波	形パタ	ーン分	·類	状態	D I	打継目	测上		波	形パタ	ーン分	·類	状態
	1 辰 同 (EL.)	<b>冽</b>		A	В	C	合計	評価		1余向 (EL.)	测点		A	В	C	合計	評価
			波形数	9	1	0	10					波形数	9	1	0	10	1
		1 - 1	%	90	10	0	100					%	90	10	0	100	
		1 0	波形数	1	0	0	1				1 0	波形数	1	0	0	1	
		1 - 2	%	100	0	0	100	-			1 - 2	%	100	0	0	100	-
		1 2	波形数	8	2	0	10	1			1 0	波形数	2	8	0	10	п
		1 - 3	%	80	20	0	100	1			1 - 3	%	20	80	0	100	
		1 4	波形数	3	7	0	10	п			1 4	波形数	10	0	0	10	
	.5 228.5 -	1 - 4	%	30	70	0	100				1 - 4	%	100	0	0	100	
		0 1	波形数	7	3	0	10	п			0 1	波形数	6	4	0	10	Ш
		2 - 1	%	70	30	0	100				2 - 1	%	60	40	0	100	
		<b>ი</b> ი	波形数	9	1	0	10	1			<u>م</u> م	波形数	7	3	0	10	ш
		2 - 2	%	90	10	0	100				2 - 2	%	70	30	0	100	
		2 2	波形数	2	8	0	10	п			2 2	波形数	2	8	0	10	п
		2 - 3	%	20	80	0	100				2 - 3	%	20	80	0	100	
		2 4	波形数	3	7	0	10	п			2 4	波形数	8	0	0	8	
		2 - 4	%	30	70	0	100				2 - 4	%	100	0	0	100	
		2 1	波形数	2	8	0	10	п			2 1	波形数	6	4	0	10	п
		3 - 1	%	20	80	0	100				3 - 1	%	60	40	0	100	
		2 2	波形数	4	6	0	10	п			2 2	波形数	8	2	0	10	
DIE		3 - Z	%	40	60	0	100			227 0	3 - 2	%	80	20	0	100	
DLU		2 2	波形数	7	3	0	10	Ш	DLJ	227.0	2 2	波形数	9	1	0	10	
		3 - 3	%	70	30	0	100				3 - 3	%	90	10	0	100	
		2 - 1	波形数	2	8	0	10	п			2 _ 1	波形数	3	7	0	10	п
		5 - 4	%	20	80	0	100				5 - 4	%	30	70	0	100	
		4 - 1	波形数	4	5	0	9	п			4 - 1	波形数	9	1	0	10	
		4 - 1	%	44.4	55.6	0	100				4 - 1	%	90	10	0	100	
		1 - 2	波形数	7	3	0	10	п			1 - 2	波形数	1	9	0	10	п
		4 - Z	%	70	30	0	100				4 - Z	%	10	90	0	100	
		1 - 2	波形数	6	4	0	10	п			1 _ 2	波形数	2	8	0	10	п
		4 - 3	%	60	40	0	100				4 - 3	%	20	80	0	100	
		1 _ 1	波形数	4	6	0	10	п			1 _ 1	波形数	3	4	0	7	
		4 - 4	%	40	60	0	100				4 - 4	%	42.9	57.1	0	100	
		5 - 1	波形数	5	5	0	10	п			5 - 1	波形数	6	2	0	8	п
		5 - 1	%	50	50	0	100				5 - 1	%	75	25	0	100	
		F 2	波形数	7	3	0	10	п			5 2	波形数	9	1	0	10	
		5 - Z	%	70	30	0	100				5 - Z	%	90	10	0	100	
		F 0	波形数	1	9		10	Ш			F 0	波形数	10	0	0	10	
		ე – კ	%	10	90	0	100				5 - 3	%	100	0	0	100	
		Б /	波形数	3	4	0	7	U.			Б /	波形数	2	8	0	10	
		5 - 4	%	42.9	57.1	0	100	11			5 - 4	%	20	80	0	100	

# 表-4.6.4(2) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.5_228.5m, 227m)

	打継目	an e		波	形パタ	ーン分	·類	状態		打継目	381 JE		波	形パタ	ーン分	·類	状態
	作向 (EL.)	测量		Α	В	C	合計	評価	BL	作。 (EL.)	测量		Α	В	C	合計	評価
		1 1	波形数	11	2	0	13					波形数	7	3	0	10	п
		1 - 1	%	84.6	15.4	0	100					%	70	30	0	100	
			波形数	5	3	0	8				1 0	波形数	-	-	-	0	
		1 - 2	%	62.5	37.5	0	100				1 - 2	%				0	-
			波形数	-	-	-	0					波形数	-	-	-	0	
		1 - 3	%				0	-			1 - 3	%				0	-
			波形数	7	0	0	7					波形数	4	0	0	4	
		1 - 4	%	100	0	0	100				1 - 4	%	100	0	0	100	
		0 1	波形数	8	2	0	10				0 1	波形数	9	1	0	10	
		2 - 1	%	80	20	0	100				2 - 1	%	90	10	0	100	
		<u> </u>	波形数	3	6	0	9	п			0 0	波形数	6	0	0	6	
		2 - 2	%	33.3	66.7	0	100				2 - 2	%	100	0	0	100	
		۰ · ·	波形数	8	2	0	10	1			· · ·	波形数	8	1	0	9	
		2 - 3	%	80	20	0	100				2 - 3	%	88.9	11.1	0	100	
		0 4	波形数	5	0	0	5	1			2 4	波形数	5	0	0	5	
		2 - 4	%	100	0	0	100	'			2 - 4	%	100	0	0	100	
		2 1	波形数	10	0	0	10	I			2 1	波形数	9	3	0	12	Ш
		3 - 1	%	100	0	0	100				3 - 1	%	75	25	0	100	-
		2 2	波形数	8	2	0	10	1			2 2	波形数	7	0	0	7	
DIE	224 0	3 - Z	%	80	20	0	100	1	DI E	210 5	3 - 2	%	100	0	0	100	-
DLU	224.0	2 _ 2	波形数	6	3	0	9	п	DLU	219.5	2 _ 2	波形数	8	0	0	8	1
		5 - 5	%	66.7	33. 3	0	100				5 - 5	%	100	0	0	100	-
		2 - 1	波形数	0	3	6	9				2 - 1	波形数	8	0	0	8	
		5 - 4	%	0	33.3	66.7	100				5 - 4	%	100	0	0	100	-
		1 - 1	波形数	5	4	0	9	п			4 - 1	波形数	5	1	0	6	
		4 - 1	%	55.6	44.4	0	100				4 - 1	%	83.3	16.7	0	100	
		1 - 2	波形数	3	7	0	10	п			1 - 2	波形数	10	1	0	11	
		4 - Z	%	30	70	0	100				4 - Z	%	90.9	9.1	0	100	
		1 - 3	波形数	0	4	2	6	. III			1 - 3	波形数	4	0	0	4	
		4 - 3	%	0	66.7	33.3	100				4 - 3	%	100	0	0	100	-
		1 - 1	波形数	0	11	0	11	п			1 - 1	波形数	8	1	0	9	
			%	0	100	0	100					%	88.9	11.1	0	100	
		5 - 1	波形数	8	3	0	11	п			5 - 1	波形数	10	0	0	10	
		0 1	%	72.7	27.3	0	100				<u> </u>	%	100	0	0	100	
		5 - 2	波形数	7	3	0	10	П			5 - 2	波形数	9	1	0	10	
		J 2	%	70	30	0	100				5 2	%	90	10	0	100	
		5 - 2	波形数	6	2	0	8				5 - 2	波形数	6	1	0	7	
		5 - 5	%	75	25	0	100				5 - 5	%	85.7	14.3	0	100	
		5 _ 4	波形数	3	4	0	7				5 _ 4	波形数	4	1	0	5	
		5 - 4	%	42.9	57.1	0	100				5 - 4	%	80	20	0	100	

#### 表-4.6.4(3) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.5_224m, 219.5m)

#### 表-4.6.5 水平打継目各測点の 計測結果と状態評価(BL.6_215m)

в	打継目	测上		波	形パタ	ーン分	類	状態
БL	作示向 (EL.)	测量		A	В	C	合計	評価
		1 1	波形数	0	4	2	6	ш
		1 - 1	%	0	66.7	33. 3	100	
		1 2	波形数	9	1	0	10	1
		1 - 2	%	90	10	0	100	'
		2 1	波形数	4	10	0	14	П
		2 - 1	%	28.6	71.4	0	100	
		۰ <u>۱</u>	波形数	10	5	0	15	П
DIC	01E 0	2 - 2	%	66.7	33. 3	0	100	
DLO	215.0	2 1	波形数	0	9	4	13	
		3 - 1	%	0	69.2	30.8	100	
		2 2	波形数	9	3	0	12	П
		3 - 2	%	75	25	0	100	
		4 1	波形数	9	1	0	10	1
		4 - 1	%	90	10	0	100	'
		1 2	波形数	10	0	0	10	_
		4 - Z	%	100	0	0	100	'

#### 表-4.6.6 水平打継目各測点の 計測結果と状態評価(BL.7_215m)

	打継目	池		波	形パタ	ーン分	類	状態
ВL	係高 (EL.)	測品		A	В	С	合計	評価
		F 1	波形数	0	11	3	14	ш
		5 - 1	%	0	78.6	21.4	100	
		F 0	波形数	10	0	0	10	1
		5 - Z	%	100	0	0	100	
		1 1	波形数	0	10	0	10	п
		1 - 1	%	0	100	0	100	
		1 0	波形数	3	9	0	12	Ш
ד ום	015 0	1 - 2	%	25	75	0	100	
DL/	215.0	0 1	波形数	2	8	0	10	Ш
		2 - 1	%	20	80	0	100	
		0 0	波形数	9	1	0	10	1
		2 - 2	%	90	10	0	100	
		0 1	波形数	0	6	4	10	ш
		3 - 1	%	0	60	40	100	- 111
			波形数	3	5	0	8	п
		3 - Z	%	37.5	62.5	0	100	

表-4.6.7 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.8_215m, 212m)

	打継目	비노		波	形パタ	ーン分	類	状態
В∟	候局 (EL.)	測品		Α	В	C	合計	評価
		4 1	波形数	9	1	0	10	1
		4 - 1	%	90	10	0	100	I
		4 0	波形数	0	9	2	11	ш
DLO	01E 0	4 – Z	%	0	81.8	18.2	100	
DLÖ	215.0	F 1	波形数	0	10	0	10	Ш
		5 - 1	%	0	100	0	100	=
		F 2	波形数	0	10	0	10	П
		5 - Z	%	0	100	0	100	

	打継目	비노		波	形パタ	ーン分	類	状態
BL	候高 (EL.)	測品		A	В	C	合計	評価
		1 1	波形数	0	1	9	10	πτ
		1 - 1	%	0	10	90	100	IV
		1 0	波形数	0	2	6	8	н
		1 - 2	%	0	25	75	100	ш
		0 1	波形数	0	10	3	13	н
DIO	212 0	2 - 1	%	0	76.9	23. 1	100	ш
DLÖ	212.0	۰ <u>۱</u>	波形数	0	5	2	7	н
		2 - 2	%	0	71.4	28.6	100	ш
		2 1	波形数	0	5	11	16	щ
		3 - 1	%	0	31.3	68.8	100.1	ш
		2 _ 2	波形数	0	2	12	14	π7
		5 - Z	%	0	14.3	85.7	100	17

表-4.6.8 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.9_215m, 212m)

в	打継目	测上		波	形パタ	ーン分	類	状態
БL	作同 (EL.)	测量		Α	В	C	合計	評価
		1 1	波形数	9	1	0	10	1
		1 - 1	%	90	10	0	100	'
		1_2	波形数	8	0	0	8	1
RI O	215 0	0	%	100	0	0	100	-
DL9	215.0	0 1	波形数	0	10	0	10	п
		2 - 1	%	0	100	0	100	
		<u> </u>	波形数	10	0	0	10	
		2 - 2	%	100	0	0	100	'

	打継目	비노		波	形パタ	ーン分	類	状態
BL	(EL.)	測品		A	В	C	合計	評価
		4 1	波形数	7	3	0	10	ш
		4 - 1	%	70	30	0	100	
		4 2	波形数	9	1	0	10	1
	212 0	4 - Z	%	90	10	0	100	
DL9	212.0	F 1	波形数	0	1	5	6	IV
		5 - 1	%	0	16.7	83.3	100	IV
		F 2	波形数	10	0	0	10	1
		5 - Z	%	100	0	0	100	1

	-	打継目	an F		波	形パタ	ーン分	類	状態
В	L	候高 (EL.)	測忌		A	В	С	合計	評価
			2 1	波形数	0	1	9	10	IV
			3 - 1	%	0	10	90	100	IV
			2 2	波形数	5	0	6	11	ш
			3 - 2	%	45.5	0	54.5	100	
			4 1	波形数	0	10	0	10	Ш
DI	10	01E 0	4 - 1	%	0	100	0	100	
DL	10	215.0	4 0	波形数	8	1	0	9	
			4 - 2	%	88.9	11.1	0	100	
			F 1	波形数	7	0	0	7	
			5 - 1	%	100	0	0	100	
			F 0	波形数	10	0	0	10	
			5 - Z	%	100	0	0	100	1

表-4.6.9 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.10_215m)

	打継目			波	形パタ	ーン分	醭	状態			打継目			波	形パタ	ーン分	)類	状態
ВL	標局 (EL.)	測点		A	В	С	合計	評価		BL	標局 (EL.)	測点		A	В	С	合計	評価
		1 1	波形数	4	6	0	10	Ш				1 1	波形数	0	10	0	10	ш
		1 - 1	%	40	60	0	100					-	%	0	100	0	100	
		1 0	波形数	1	9	0	10					1 0	波形数	5	5	0	10	
		1 - 2	%	10	90	0	100					1 - 2	%	50	50	0	100	
		1 0	波形数	0	10	0	10		1			1 0	波形数	0	10	0	10	
		1 - 3	%	0	100	0	100					1 - 3	%	0	100	0	100	
		1 4	波形数	1	9		10	Ш				1 4	波形数	0	10	0	10	ш
		1 - 4	%	10	90	0	100					1 - 4	%	0	100	0	100	
		2 - 1	波形数	0	8	0	8	Ш				2 _ 1	波形数	0	9	0	9	Ш
		Z - 1	%	0	100	0	100					2 - 1	%	0	100	0	100	
		2 - 2	波形数	0	9	0	9	Ш				2 - 2	波形数	3	6	0	9	Ш
	BI 11 230 0 -	2 - 2	%	0	100	0	100					2 - 2	%	33. 3	66.7	0	100	
		2 _ 2	波形数	0	10	0	10	Ш				2 _ 2	波形数	0	10	0	10	Ш
		2 - 3	%	0	100	0	100					2 - 3	%	0	100	0	100	
		2 _ 1	波形数	2	8	0	10	Ш				2 _ 1	波形数	0	8	0	8	Ш
		2 - 4	%	20	80	0	100					2 - 4	%	0	100	0	100	
		3 - 1	波形数	-	-	-						3 - 1	波形数	-	-	-		
		5 1	%									5 1	%					
		3 - 2	波形数	-	-	-						3 - 2	波形数	-	-	-		
		5 2	%									5 2	%					
		3 - 3	波形数	-	-	-						3 _ 3	波形数	-	-	-		
		5 5	%									5 5	%					
		3 - 1	波形数	-	-	-						3 - 1	波形数	-	-	-		
RI 11		5 = 4	%							RI 11	228 5	5 - 4	%					
DLII	200.0	1 - 1	波形数	5	2	0	7	Ш		DLII	220. 5	1 - 1	波形数	0	10	0	10	Ш
		· ·	%	71.4	28.6	0	100						%	0	100	0	100	
		4 - 2	波形数	0	8	0	8	Ш				4 - 2	波形数	1	7	0	8	Ш
		т <u>с</u>	%	0	100	0	100					- <u>-</u>	%	12.5	87.5	0	100	
		4 - 3	波形数	3	7	0	10	Ш				4 - 3	波形数	1	8	0	9	Ш
			%	30	70	0	100					· ·	%	11.1	88.9	0	100	
		4 - 4	波形数	2	7	0	9	Ш				4 - 4	波形数	5	1	0	6	
		т т	%	22.2	77.8	0	100					т т 	%	83. 3	16.7	0	100	
		5 - 1	波形数	0	10	0	10	Ш				5 - 1	波形数	3	7	0	10	Ш
		· .	%	0	100	0	100		ļ			· ·	%	30	70	0	100	
		5 - 2	波形数	0	8	0	8	Ш				5 - 2	波形数	0	8	0	8	Ш
		· -	%	0	100	0	100		ļ			-	%	0	100	0	100	
		5 - 3	波形数	0	6	0	6	11				5 - 3	波形数	2	7	0	9	Ш
			%	0	100	0	100		ļ				%	22. 2	77.8	0	100	
		5 - 4	波形数	3	6	0	9	II				5 - 4	波形数	0	7	0	7	Ш
			%	33.3	66.7	0	100						%	0	100	0	100	
		6 - 1	波形数	3	7	0	10	II				6 - 1	波形数	0	10	0	10	Ш
			%	30	70	0	100						%	0	100	0	100	
		6 - 2	波形数	4	1	0	5	1				6 - 2	波形数	8	0	0	8	
			%	80	20	0	100		ļ				%	100	0	0	100	
		6 - 3	波形数	6	0	0	6					6 - 3	波形数	0	7	0	7	Ш
		Ľ	%	100	0	0	100		ļ			Ľ	%	0	100	0	100	
		6 - 4	波形数	0	4	0	4	Ш				6 - 4	波形数	2	4	0	6	Ш
		- T	%	0	100	0	100						%	33. 3	66.7	0	100	

## 表-4.6.10(1) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.11_230m, 228.5m)

	tT 丝字 日			2017	TK 18 A		<b>4</b> 5		٦Г		tT 纠 日			2.0 <b>1</b>	TK .8 A		*7	
ВL	「掘百	測点		波	π2/\'≯	ー ノ <del>7</del>	「頖	状態		вL	標高	測点		次	ガシノンジ	ーノカ	「頖	状態
	(EL.)			Α	В	С	合計	評価			(EL.)			Α	В	С	合計	評価
			波形数	9	1	0	10		1				波形数	9	1	0	10	
		1 - 1	%	90	10	0	100					1 - 1	%	90	10	0	100	
			波形教	0	10	0	10						波形教	0	1	0	10	
		1 - 2	ルノンタス	0	100	0	100	Ш				1 - 2	06	9	10	0	100	I.
			%0 \th π∠ #b	0	100	0	100						°∕0	90	10	0	100	
		1 - 3	波形剱	0	10	0	100	П				1 - 3	波形剱	5	5	0	100	Ш
			%	0	100	0	100						%	50	50	0	100	
		1 - 4	波形数	4	6	0	10	П				1 - 4	波形数	1	9	0	10	Ш
			%	40	60	0	100						%	10	90	0	100	
		2 - 1	波形数	0	9	0	9	п				2 - 1	波形数	2	8	0	10	Ш
		2 1	%	0	100	0	100					2 1	%	20	80	0	100	
		<u> </u>	波形数	2	7	0	9	Ш				<u> </u>	波形数	10	0	0	10	
		2 - 2	%	22. 2	77.8	0	100					2 - 2	%	100	0	0	100	
			波形数	0	10	0	10		11				波形数	5	5	0	10	
		2 - 3	%	0	100	0	100	11				2 - 3	%	50	50	0	100	11
			波形数	1	9	0	10						波形数	2	8	0	10	
		2 - 4	0%	10	90	0	100	Ш				2 - 4	0%	20	80	0	100	11
			计长数	-		-	100						~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	20	-	-	100	
		3 - 1	波形致	_	_	_						3 - 1	波形致		_	_		
			%			-							%					
		3 - 2	波形致	-	-	-						3 - 2	波形致	-	-	-		
			%										%					
		3 - 3	波形数	-	-	-						3 - 3	波形数	-	-	-		
		° °	%									° °	%					
		3 - 1	波形数	-	-	-						2 - 1	波形数	-	-	-		
DI 11	007.0	5 - 4	%							DI 11	004.0	5 - 4	%					
DLII	227.0		波形数	0	10	0	10		1  '	DLII	224.0		波形数	10	0	0	10	
		4 - 1	%	0	100	0	100					4 - 1	%	100	0	0	100	
			波形数	7	3	0	10						波形数	10	0	0	10	
		4 - 2	%	70	30	0	100	II				4 - 2	%	100	0	0	100	
			波形数	10	0	0	10						波形数	0	9	0	9	
		4 - 3	04	100	0	0	100	1				4 - 3	04	0	100	0	100	Ш
			70 2017 TA #b	6	0	0	100						70 2017 TIC #4	10	0	0	100	
		4 - 4	波形蚁	0	4	0	100	П				4 - 4	波形致	100	0	0	100	L.
			%	60	40	0	100						%	100	0	0	100	
		5 - 1	波形数	10	0	0	10	1				5 - 1	波形数	5	0	0	5	1
			%	100	0	0	100						%	100	0	0	100	
		5 - 2	波形数	2	7	0	9	П				5 - 2	波形数	9	0	0	9	
			%	22. 2	77.8	0	100						%	100	0	0	100	
		5 - 3	波形数	6	0	0	6					5 - 3	波形数	6	4	0	10	Ш
		5 - 5	%	100	0	0	100					5 - 5	%	60	40	0	100	
		с <b>л</b>	波形数	0	8	0	8						波形数	2	8	0	10	
		5 - 4	%	0	100	0	100					5 - 4	%	20	80	0	100	
			波形数	2	8	0	10		11				波形数	0	5	4	9	
		6 - 1	%	20	80	0	100					6 - 1	%	0	55 6	44 4	100	
			波形数	4	6	0	10						波形数	5	5	0	10	
		6 - 2	04	40	60	0	100	Ш				6 - 2	0/	50	50	0	100	II
			70	40	00	0	0						70	50 20	- 50 г	0	100	
		6 - 3	波形蚁	0	2	0	100	Ш				6 - 3	<u></u> 波形致	ა იი	70	0	100	Ш
			%	/5	25	U	100						%	30	/0	Ű	100	
		6 - 4	波形数	0	10	0	10	П				6 - 4	波形数	8	0	0	8	
			%	0	100	0	100		ΙL				%	100	0	0	100	

## 表-4.6.10(2) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.11_227m, 224.0m)

	打継目			波	形パタ	ーン分	〕類	状態			打継目			波	形パタ	ーン分	〕類	状態
BL	標高 (EL.)	測点		A	В	C	合計	評価		BL	標高 (EL.)	測点		A	В	С	合計	評価
		1 - 1	波形数	10	0	0	10					1 - 1	波形数	10	0	0	10	
		1 - 1	%	100	0	0	100					1 = 1	%	100	0	0	100	
		1_2	波形数	0	10	3	13	ш				1 _ 2	波形数	8	0	0	8	
		1 2	%	0	76.9	23. 1	100					1 2	%	100	0	0	100	
		1 - 3	波形数	10	0	0	10					1 - 3	波形数	9	0	0	9	
			%	100	0	0	100						%	100	0	0	100	
		1 - 4	波形数	0	10	0	10	Ш				1 - 4	波形数	7	1	0	8	
		· ·	%	0	100	0	100					<u> </u>	%	87.5	12.5	0	100	
		2 - 1	波形数	0	10	0	10	Ш				2 - 1	波形数	-	-	-		-
			%	0	100	0	100						%					
		2 - 2	波形数	0	10	0	10	П				2 - 2	波形数	-	-	-		-
			%	0	100	0	100						%					
		2 - 3	波形数	0	10	0	10	П				2 - 3	波形数	-	-	-		-
			%	0	100	0	100						%					
		2 - 4	波形数	10	0	0	10	1				2 - 4	波形数	-	-	-		-
			%	100	0	0	100					<u> </u>	%					
		3 - 1	波形数	-	-	-						3 - 1	波形数	-	-	-		-
	BL11 225.5	· ·	%									· ·	%					
		3 - 2	波形数	-	-	-						3 - 2	波形数	-	-	-		-
			%									<u> </u>	%					
		3 - 3	波形数	-	-	-						3 - 3	波形数	-	-	-		-
			%										%					
		3 - 4	波形数	-	-	-						3 - 4	波形数	-	-	-		-
BL11			%							BL11	219.5		%					
		4 - 1	波形数	10	0	0	10	1				4 - 1	波形数	-	-	-		-
			%	100	0	0	100		-				%					
		4 - 2	波形数	10	0	0	10	1				4 - 2	波形数	-	-	-		-
			%	100	0	0	100						%					
		4 - 3	波形数	0	10	0	10	П				4 - 3	波形数	-	-	-		-
			%	0	100	0	100						%					
		4 - 4	波形致	0	/	3	10	Ш				4 - 4	波形致	-	-	-		-
			%	0	/0	30	100						%					
		5 - 1	波形致	0	0	100	100	IV				5 - 1	波形致	-	-	-		-
			%	0	0	100	100						%0					
		5 - 2	波形剱	0	8	2	100	III				5 - 2	波形剱	-	-	-		-
			⁹ ∕0	0	00	20	100						9%0					
		5 - 3	波形剱	0	0	0	0	Ш				5 - 3	波形致	-	-	-		-
			⁹ ∕0	0	100	0	100		-				9%0					
		5 - 4	波形剱	5	5	0	100	Ш				5 - 4	波形剱	-	-	-		-
			ッ ジロウ エン 米ケ	50 2	00	0	100						ッ シロ シロ ン サ ア ン 米 ケ					
		6 - 1	→又 T> 安X	2	0	0	100	Ш				6 - 1	波形致	-	-	-		-
			70	20 0	10	0	100		+				70	_	_	_		
		6 - 2	112 112 3以	0	100	0	100	Ш				6 - 2	11×1123以	+		-		-
			⁻⁷⁰ 波形粉	3	7	0	10		+				~~0 波形粉	-	_	_		<u> </u>
		6 - 3	//X //シ 女X 0/	30	70	0	100	Ш				6 - 3	11× 11× 3X	-	-	_		-
			70	10	0	0	10						70	-	-	-		<u> </u>
		6 - 4	//X //シ 女X 0/	100	0	0	100	I.				6 - 4	11× 11× 3X	-	-	_		-
			%0	100	U	U	100						9⁄0					

## 表-4.6.10(3) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.11_222.5m, 219.5m)

	打継目			波	形パタ	ーン分	·類	状態		打継目	-		波	形パタ	ーン分	類	状態
BL	標局 (EL.)	測点		A	В	C	合計	評価	BL	標局 (EL.)	測点		A	В	C	合計	評価
		1 1	波形数	8	0	0	8				1 1	波形数	8	0	0	8	т
		1 - 1	%	100	0	0	100	1				%	100	0	0	100	1
		1 0	波形数	6	2	0	8	п			1 2	波形数	8	0	0	8	т
		Ι = Ζ	%	75	25	0	100				1 = 2	%	100	0	0	100	1
		1 - 2	波形数	0	8	0	8	п			1 _ 2	波形数	5	3	0	8	π
		1 = 5	%	0	100	0	100				1 = 5	%	62.5	37.5	0	100	ш
		1 - 1	波形数	8	0	0	8				1 _ 1	波形数	8	0	0	8	т
		1 7	%	100	0	0	100				' 4	%	100	0	0	100	1
		2 - 1	波形数	3	7	0	10	П			2 - 1	波形数	1	8	0	9	π
		2 1	%	30	70	0	100				2 1	%	11.1	88.9	0	100	-
		2 - 2	波形数	0	6	3	9	ш			2 - 2	波形数	0	6	3	9	т
		2 2	%	0	66.7	33.3	100				2 2	%	0	66.7	33.3	100	ш
		2 - 3	波形数	10	0	0	10				2 - 3	波形数	10	0	0	10	т
		2 0	%	100	0	0	100				2 0	%	100	0	0	100	-
		2 - 4	波形数	10	0	0	10				2 - 4	波形数	10	0	0	10	т
BI 12	231 5	2 7	%	100	0	0	100		BI 12	230 0	<u> </u>	%	100	0	0	100	-
	2011.0	3 - 1	波形数	3	4	0	7	п	DETE	200.0	3 - 1	波形数	-	-	-		_
		<b>v</b> 1	%	42.9	57.1	0	100				<u> </u>	%					
		3 - 2	波形数	0	10	0	10	Ш			3 - 2	波形数	-	-	-		_
		• -	%	0	100	0	100					%					
		3 - 3	波形数	5	5	0	10	П			3 - 3	波形数	-	-	-		_
		0 0	%	50	50	0	100				<u> </u>	%					
		3 - 4	波形数	5	5	0	10	- 11			3 - 4	波形数	-	-	-		-
			%	50	50	0	100					%					
		4 - 1	波形数	2	6	0	8	Ш			4 - 1	波形数	-	-	-		-
			%	25	75	0	100					%					
	4	4 - 2	波形数	5	2	0	7	П			4 - 2	波形数	-	-	-		-
			%	71.4	28.6	0	100					%					
		4 - 3	波形数	2	8	0	10	Ш			4 - 3	波形数	-	-	-		-
			%	20	80	0	100					%					
		4 - 4	波形数	5	5	0	10	П			4 - 4	波形数	-	-	-		-
			%	50	50	0	100					%					

## 表-4.6.11(1) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.12_231.5m, 230m)

BL	打継目 標高 (EL.)	測点		波形パターン分類				状態		打継目	101 F		波形パターン分類				状態
				A	В	С	合計	評価	BL	標局 (EL.)	測点		A	В	С	合計	評価
BL12	228.5	1 - 1	波形数	5	4	0	9	Ш	BL12	227.0	1 - 1	波形数	0	8	0	8	Ш
			%	55.6	44.4	0	100					%	0	100	0	100	
		1 - 2	波形数	0	10	0	10	Ξ			1_2	波形数	6	0	0	6	- 1
			%	0	100	0	100				1 - 2	%	100	0	0	100	
		1 - 3	波形数	0	3	6	9	     -  V  V  V  V			1 - 3	波形数	2	1	0	3	
			%	0	33.3	66.7	100					%	66.7	33.3	0	100	
		1 - 4	波形数	3	6	0	9				1 - 4	波形数	0	9	0	9	
			%	33. 3	66.7	0	100					%	0	100	0	100	
		2 - 1	波形数	-	-	-					2 1	波形数	-	-	-		
			%								2 - 1	%					
		2 - 2	波形数	-	-	-					2 _ 2	波形数	-	-	-		-
			%								2 - 2	%					
		2 - 3	波形数	0	0	10					2 - 3	波形数	-	-	-		_
			%	0	0	100						%					
		2 - 4	波形数	0	0	5					2 - 1	波形数	-	-	-		
			%	0	0	100					2 - 4	%					
		3 - 1	波形数	-	-	-					3 - 1	波形数	-	-	-		_
			%									%					
		3 - 2	波形数	0	0	9					3 - 2	波形数	-	-	-		_
			%	0	0	100						%					
		3 - 3	波形数	-	-	-					3 - 3	波形数	7	0	0	7	
			%									%	100	0	0	100	
		3 - 4	波形数	0	0	4		IV - IV			3 - 1	波形数	-	-	-		
			%	0	0	100					3 4	%					
		4 - 1	波形数	-	-	-					4 - 1	波形数	-	-	-		-
			%									%					
		4 - 2	波形数	-	-	-					4 - 2	波形数	-	-	-		-
			%									%					
		4 - 3	波形数	0	0	4					4 - 3	波形数	-	-	-		_
			%	0	0	100						%					
		4 - 4	波形数								4 - 4	波形数	-	-	-		-
			%									%					

## 表-4.6.11(2) 水平打継目各測点の計測結果と状態評価(BL.12_231.5m, 230m)


表-4.6.12 計測結果に基づく打継目状態推定結果(BL.2)

表-4.6.13(1) 計測結果に基づく打継目状態推定結果(BL.3(1))





表-4.6.13(2) 計測結果に基づく打継目状態推定結果(BL.3(2))



表-4.6.14 計測結果に基づく打継目状態推定結果(BL.4)



表-4.6.15 計測結果に基づく打継目状態推定結果(BL.5)



表-4.6.16 計測結果に基づく打継目状態推定結果(BL.6~BL.8)



表-4.6.17 計測結果に基づく打継目状態推定結果(BL.9~BL.10)



表-4.6.18 計測結果に基づく打継目状態推定結果(BL.11)



表-4.6.19 計測結果に基づく打継目状態推定結果(BL.12)

表-4.6.12~表-4.6.19に示された結果のとおり、コンクリートダム堤体の水平打継目の 変状程度の面的な分布状況は、衝撃弾性波法を用いた本手法によって把握することが可能 であると言える。

なお、これらの結果は、同時に、本手法における二つの課題も示唆している。1 点目の 課題は、堤体天端からの鉛直下方向の計測となるため、天端幅の範囲しか状態が把握でき ないことである。例えば、表-4.6.13(2)の EL.216.5m 打継目では堤体の上流側の 1/4 程度 しか状態が推定されていない。2 点目の課題は、変状が進展した打継目が存在し、その面 で弾性波が全て反射した場合、その面よりも深部(下位標高)には弾性波が到達しないた め、状態を推定することが不可能になることである。例えば、表-4.6.15 の BL.5_EL,224 m打継目の測点 1-3 及び EL.219.5m 打継目の測点 1-2 と測点 1-3 については、弾性波が届 かず、透過反射特性が不明であるため、評価できていない。

コンクリートダム堤体への本手法の適用性を向上させるためには、これらの課題に対し て何らかの対応を行うことが不可欠であるが、対応策については、次節で検討を行うこと とする。

### 4.7 衝撃弾性波法による堤体調査の適用性拡大に関する検討

本章でこれまで述べてきた、衝撃弾性波法を用いてダム堤体天端から弾性波を入射して 対象とする水平打継目での弾性波の透過・反射特性を基に変状の程度を把握する手法につ いては、ダム堤体の健全性評価に対する一定の適用性があると考えている。しかしなが ら、4.6の最後に述べたようなものを含めた課題を有していることも事実である。そこ で、本節においては、ダム堤体調査に対して本手法の適用性を拡大するための方策につい て述べることとする。

### 4.7.1 堤体調査への適用を妨げる要因

構造物調査を行う場合,一般的には,調査結果の信頼性,構造物への影響,調査コス ト,得られる情報量,及び調査実施に当たっての事前調整・準備の量及び実現可能性を総 合的に判断して,調査方法を決定することが多い。コンクリートダム堤体の水平打継目調 査に対して本研究で検討した衝撃弾性波法を用いる場合においては,調査結果の信頼性に ついては精度向上に向けての継続した検討は必要であるが,大きな問題は存在しないと考 えている。また,構造物への影響,及び調査に要するコストに関しても従来方法であるボ ーリング調査に比較して,衝撃弾性波法が有利であると考えている。一方で,衝撃弾性波 法を用いた堤体調査の適用を妨げる要因としては,(1)4.6でも述べたダム堤体の形 状,及び打継目の状態に起因した情報が得られる範囲の限界,(2)堤体天端からの計測を 行う際に必要な準備作業の存在,が想定できる。本項ではこれらについて述べるものとす る。

(1) ダム堤体の断面形状,及び打継目の状態に起因した情報が得られる範囲の限界

重力式コンクリートダムの断面形状は,一般的に三角形である。そのため,計測実施場 所へのアクセスから計測が実施可能な場所は限定され,計測実施箇所としてダム天端が一 般的には想定される。しかしながら,計測面に対して鉛直(垂直)方向の情報が卓越して 取得される,すなわち,指向性が高い情報が得られる本手法を用いて,ダム天端からの計 測を行った場合には,図-4.7.1(a)に示すように天端の鉛直下方の範囲の情報しか得るこ とができない。図-4.7.1(b)には,天端幅が4.5mで上流面勾配が1:0.06,下流面勾配が 1:0.79の堤体形状をしたモデルダムを例として,天端からの計測で,天端から30mの距 離にある水平打継目で情報が得られる範囲を図示したものである。すなわち,天端からの 計測では対象とする打継目が深部になればなるほど,全体に対する情報が得られる範囲の 割合が小さくなる。 また、本調査手法は、対象とする打継目での弾性波の透過・反射特性から状態を推定する。そのため、図-4.7.2に示すように、上位の打継目が下方に弾性波を透過させないような状態である場合には、下位の打継目には弾性波が届かず、打継目状態の推定ができない、すなわち、情報が得られる範囲が小さくなってしまうことが起こりうる。

このように、堤体天端からの計測を行っているかぎり、情報が得られる範囲に限りがあ るという課題がある。







図-4.7.2 上位に開口したひび割れが存在する場合の弾性波の伝播状況の模式図

(2) 堤体天端からの計測を行う際に必要な準備作業の存在

コンクリートダムの堤体天端は,道路として一般車両の通行への供用,一般車両への供 用がないとしても管理用車両及び一般歩行者の通行に供用されている。そのため,堤体コ ンクリートの保護を目的としてアスファルト舗装が施工されていることが一般的である。 堤体天端のアスファルト舗装の施工事例を図-4.7.3 に示す。



(a) Bダム堤体天端のアスファルト舗装

(b) Cダム堤体天端のアスファルト舗装



図-4.7.3 コンクリートダム堤体天端のアスファルト舗装の実施事例

アスファルトコンクリートは,硬化したセメントコンクリートに比較して弾性波の減衰 が大きいという特性を有する。更に,衝撃弾性波法で計測するため,アスファルト舗装面 をハンマーで打撃した場合には舗装表面に塑性変形が生じ,同一のエネルギー,方向で弾 性波を入射することが困難となる。

そのため、アスファルトコンクリートで舗装されている場合において衝撃弾性波法での 計測を行う場合には、舗装を一旦取り壊し除去し、計測を実施した後、再度、舗装を復旧 することが、高い精度で調査を行うためには、最良の方法とされている。舗装を撤去した 堤体天端の状況を図-4.7.4に示す。この舗装の撤去、復旧は、コスト増に繋がり、堤体天 端を通行止めにする期間が長期化するとともに関係機関との協議も必要になる。そのた め、堤体の劣化が著しく、状態把握のための調査の必然性が明瞭であるケースを除いて は、舗装の撤去・再復旧を避けたいというダム管理者としての想いがある。これは、舗装 を撤去しなければならない調査手法の選定・適用に対するモチベーションが低下すること になる。したがって、アスファルト舗装面、そのままで調査が実施可能であれば、衝撃弾 性波法による堤体調査の適用も増加するものと想像される。



図-4.7.4 アスファルト舗装が撤去されたコンクリートダム堤体天端の状況

以上のことから,次項以降に,情報が得られる範囲を拡大する方策,及びアスファルト 舗装面からの計測方策について述べる。

## 4.7.2 堤体監査廊からの堤体内部計測手法の検討

ダム堤体の断面形状及び打継目の開口状態に起因して,堤体天端からの計測では,情報 の得られる範囲が限られ,堤体全体の情報が得られないという課題に対する対応として, コンクリートダム堤体の内部に,堤体の健全性の点検,あるいは洪水放流用のゲート設備 までのアクセス等に用いられる目的で一般的に設置されている監査廊の内壁から弾性波を 入射し,受信し,計測することを検討した。重力式コンクリートダムにおける監査廊の設 置事例として,Bダムの事例を図-4.7.5に示す。監査廊を利用した衝撃弾性波法による堤 体調査のイメージ図を図-4.7.6に示す。監査廊の配置については、ダムによって相違があ り、中段及び上段監査廊が配置されていない事例も多い。



(b)上下流方向横断断面図

図-4.7.5 重力式コンクリートダムの監査廊の配置事例(Bダム)



図-4.7.6 監査廊壁面からの堤体内部への弾性波の入力・受信のイメージ

(1) 監査廊利用における課題

監査廊壁面を利用して堤体内部全体を把握する上での課題として,監査廊の断面形状, 配置(縦断形状)に起因する課題があると考える。

監査廊の断面形状

コンクリートダム堤体内部に配置されている監査廊の断面形状には、上面が円形タ イプのものと、上面が矩形タイプのものの2種類がある。内壁を利用して、衝撃弾性 波法で計測を行う場合、それぞれに特徴と課題がある。整理結果を表-4.7.1に示す。

タイプ名	上面円形タイプ	上面矩形タイプ				
断面模式図	2500 1250 1250 000 1250 000 000 000 000 000 000 000					
特徴	・放射状に発受信が可能であり、広	・定まった方向のみ発受信であり,				
	い範囲の状態把握が可能	状態把握は限られた範囲のみ				
課題	・曲面を打撃することから入力方向	・広い範囲の状態把握ができない→				
	が安定しない→安定化の必要あり	放射状に発受信できる必要あり				

表-4.7.1 監査廊の断面形状別の特徴と課題

コンクリートダム堤体内部の監査廊は,左右岸のアバットメント付近に配置された 基礎監査廊はアバットメント形状に合わせて斜めに設置されている。一方,河床部の 基礎監査廊あるいは中段,上段に配置されている監査廊は水平に配置されている。ダ ム左右岸方向(ダム軸方向)の縦断形状が斜めの場合に,監査廊の上面(天井)から 発信・受信することで,斜め上方の範囲の情報が取得可能である。一方,ダム左右岸 方向(ダム軸方向)の縦断形状が水平の場合には,監査廊の上面(天井)から発信・ 受信することで,鉛直上方の情報が取得可能となる。監査廊の縦断配置形状による探 査可能な範囲のイメージを図-4.7.7に示した。



図-4.7.7 監査廊の縦断配置形状による探査可能な範囲のイメージ図

これらのように、ダム堤体内に配置された監査廊壁面から計測できる方向、すなわち情報が取得可能な範囲は、監査廊の配置、縦断配置、断面形状によって制限を受ける。したがって、堤体内部全体の状態を把握するためには、監査廊の内壁面から任意の方向に弾性 波を発信し、受信することが必要となる。 (2) 任意方向への弾性波の発信受信のための方策

監査廊の壁面から任意方向へ弾性波を発信し、受信するための方策として以下の方法を 用いることとした。

- ・計測用アタッチメント(50×50×16mm,材質:SS400)を作製し,金属補修剤を用いて監査廊壁面に接着する。アタッチメントを図-4.7.8に示す。
- ・金属補修剤(デブコンA¹³):金属含有のパテ状のエポキシ系補修剤(比重:
  2.3)。主剤と硬化剤を混合すると、化学反応により硬化する(可使時間:
  45min/25℃,硬化時間:1~6mm厚みの場合、16hour/25℃)。硬化後は非常に硬質な
  硬化物となり、金属全般、コンクリートに対する接着力が強いという特徴を有する。
  主な用途は配管、タンク等の修理、鋳物の穴埋め、肉盛り修正等である。
- ・金属補修剤はパテ状であり、肉盛りも可能なため、アタッチメントに対して肉盛りを 行うことで、アタッチメントを任意の方向(角度)に設置することが可能となる。
- ・発信はアタッチメントの中心部をアタッチメント平面(50mm×50mm)に垂直となる方 向に鋼製ハンマーで打撃して行い,受信センサはアタッチメントの近傍にパテ材によ り設置して反射波の計測を実施。



アタッチメント: 50×50×16mm(材質SS400)



アタッチメント への補修剤塗布

金属補修剤:デブコン



補修剤で角度調整 を行ったアタッチメント

図-4.7.8 アタッチメント

(3) 監査廊からの衝撃弾性波法による堤体水平打継目状態調査手法の適用性確認

Aダムにおいて、堤体監査廊の壁面からアタッチメントを使用して任意方向へ弾性波を 発信し、堤体内部の水平打継目の状態を把握する調査手法の適用性の確認を実施した。A ダムでは図-4.7.9に示す、5箇所(測点8-1、測点8-2、測点9-1、測点9-2、測点12-1) に測点を設定し、この5箇所において、図-4.7.10に示すように、上下流方向に5度ずつ 変化させた4つの方向に対して計測を実施した。なお、5箇所の測点のうち、測点8-2に ついては監査廊の斜路部に位置し、そのままアタッチメントを貼り付けると、図-4.7.7に おける縦断形状がダム軸方向に斜めになる状態と同じであり、左岸側に傾斜した方向に弾 性波が発信されることになるため、金属補修剤を肉盛りしてアタッチメントの方向を調整 してダム軸方向に対しては鉛直上方に弾性波が発信されるようにした。その他の4箇所の 測点については水平部であるため、ダム軸方向に対する方向調整は実施していない。測点 9-2における計測用アタッチメントを用いた計測状況を図-4.7.11に示す。



図-4.7.9 モデルダム Aダムの監査廊内からの計測測点5箇所



図-4.7.9 モデルダム Aダムの監査廊内各測点での計測4方向



図-4.7.11 計測用アタッチメントを用いた計測状況(測点 9-2)

【計測結果】

計測用アタッチメントを設置して,監査廊壁面から堤体に対して計測を行った場合 の代表的な測定波形を示し,本対応方策の適用性について示すこととする。

図-4.7.12 に、測点 8-1-2、及び測点 9-2-2 における再現性の高い代表的な計測波 形を示す。これによると、測点 8-1-2 における計測波形から、監査廊上面(EL. 201.0 m)から 3.5mの距離、すなわち、EL. 204.5mの水平打継目に対応する位置で反射が明 瞭に生じ、打継目の状態としてはタイプIVに分類される状態であることがわかる。な お、測点 8-1-2 の上位標高については、表-4.6.16 に示したように洪水吐き越流頂部 からの計測によって EL. 212mにはタイプIVに分類される、変状が非常に進んだ状態の 水平打継目があり、そのため、EL. 212mよりの低い標高の情報は得られていなかった が、監査廊内からの計測によって EL. 212mよりも低標高部の打継目状態が確認された と言える。また、測点 9-2-2 における計測波形から、監査廊上面(EL. 205.5m)から 3.5m, 5.0m, 6.5m, 8mの距離, すなわち, EL.209m, EL.210.5m, EL.212m, EL.213.5mの水平打継目において反射が生じる状態であると言える。この BL.9の計測結果に関しても表-4.6.8 あるいは表-4.6.17 に示されているように, 洪水吐の越流頂からの計測結果であるでは情報が得られていなかった EL.212mよりも低標高部の打継目状態が確認されたと言える。

次に、図-4.7.13に、測点12-1-1、測点12-1-2、測点12-1-3及び測点12-1-4に おける再現性の高い代表的な計測波形を示す。また、図-4.7.14に、測点12-1-1~測 点12-1-4からの各測線と堤体下流面が交差されるおおよその標高を示したが、それ ぞれの測線と堤体下流面と交点の標高を示す伝播時間に反射波を示す波形が確認され ることが、図-4.7.13に示した計測波形から読み取れる。したがって、監査廊の壁面 から任意の方向に対して計測を実施する方法の有効性が確認されたと言える。

今回,限られた計測点での限られた方向に対する計測を実施したのみであるが,コ ンクリートダム堤体の内部に配置された監査廊の壁面からアタッチメントを用いて 様々な方向に対して弾性波を発信・計測することで,堤体天端からの計測では確認で きなった範囲についても状態が確認できる。例えば,BL.3に対して監査廊を利用して 図-4.7.15のように計測した場合,新たに情報が得られる範囲は表-4.7.2のようにな る。



図-4.7.12 測点 8-1-2 および 測点 9-2-2 における代表的な計測波形



## (c) 測点12-1-3

(d) 測点12-4-2

図-4.7.13 測点 12-1-1~測点 12-1-4 における代表的な計測波形



図-4.7.14 測点 12-1-1~ 測点 12-1-4 からの計測測線と堤体形状との関係



図-4.7.15 監査廊を利用した堤体内部の計測計画事例(Aダム-BL.3)





#### 4.7.3 堤体天端アスファルト舗装面からの堤体内部計測手法の検討

堤体天端のアスファルト舗装面は,強度も弱く,弾性波を発生させるためのハンマーに よる打撃に対して脆く,複数回の打撃により測定面が破損し,的確に弾性波を発信・受信 することが困難となる。これのような状況に対して,アスファルト舗装面を補強すること で,舗装を一時撤去することなく,衝撃弾性波法による計測を可能とするものとする。舗 装面の補強方法としては,監査廊内からの計測において計測用アタッチメントを壁面に貼 り付ける際に使用した金属用補修剤をアスファルト舗装面に塗布することによるものとし て,この方策の妥当性について検討を行った。

(1) 検討方法

モデルダムであるAダムの天端における同一箇所で,①アスファルト舗装面からの計 測,②金属用補修剤で補強した舗装面からの計測,③舗装を撤去した堤体コンクリート面 からの計測,という3条件での計測を行い,その計測波形等を比較することとした。

(ア)計測測点の配置

Aダムの BL. 11 の天端に図-4.7.16 に示す配置で測点を設置して計測した。





図-4.7.16 計測測点の配置

(イ) 舗装面の補強方法

金属補修剤をアスファルト舗装面の表面に塗布することで補強する。 金属補修剤(デブコンA):鉄粉含有のパテ状のエポキシ系補修剤(比重:2.3)。 主剤と硬化剤を混合すると、化学反応により硬化する(可使時間:45min/25℃,硬 化時間:1~6mm 厚みの場合、16hour/25℃)。硬化後は非常に硬質な硬化物とな り、金属全般、コンクリートに対する接着力が強いという特徴を有する。¹³⁾ 主な用途は、配管、タンク等の修理、鋳物の穴埋め、肉盛り修正等である。



図-4.7.17 使用した金属補修剤(金属含有エポキシ系補修剤)¹³⁾

(2) 検討結果

①アスファルト舗装面からの計測

アスファルト舗装面をそのままハンマーで打撃し、衝撃弾性波法によってダム堤体を 計測した。ハンマー打撃後のアスファルト舗装面の状況を図-4.7.18に示すが、ハンマ ーによる打撃で測定面が崩れ、再現性の高い弾性波を発信させることができない状態と なった。また、アスファルト舗装面を直接打撃・計測した波形を図-4.7.19に示す。



図-4.7.18 ハンマー打撃後のアスファルト舗装面



図-4.7.19 アスファルト舗装面を直接打撃・計測した波形(測点 No.1)

②金属用補修剤で補強した舗装面からの計測

アスファルト舗装面に金属補修剤を塗布,補強し,その面に対してハンマーで打撃し,衝撃弾性波法によってダム堤体を計測した。金属補修剤の塗布状況及び計測状況を図-4.7.20に示す。



金属補修剤(2剤混合)



金属補修剤の塗布(舗装面の補強)状況



金属補修剤で補強した面での計測

図-4.7.20 金蔵補修剤の塗布状況及び補強面での計測状況

また,計測後に金属補修剤を剥離除去した状況を図-4.7.21 に示す。金属補修剤は, ノミ等で側方から力を加えることで容易に剥離除去が可能であることが確認された。除 去後,舗装面も薄層の剥離が生じたが,道路供用には支障が無い程度であり,許容範囲 内である。



図-4.7.21 計測実施後の金蔵補修剤の撤去後状況



補強したアスファルト舗装面から打撃・計測した波形を図-4.7.22に示す。

図-4.7.22 補強したアスファルト舗装面から打撃・計測した波形(測点 No.1)

③舗装を撤去した堤体コンクリート面からの計測

測点部分のアスファルト舗装を 0.5m×5mの範囲で撤去し、堤体コンクリートを露 出させ、コンクリート面から打撃し、計測を実施した。アスファルト舗装の撤去状況及 び堤体コンクリート面からの計測状況を図-4.7.23に示す。堤体コンクリート面から打 撃・計測した波形を図-4.7.24 に示す



オーリス反射法波形 5.00 Volts

3m

4m

2m

-5.00-

ò

伝播時間

1m

図-4.7.23 アスファルト舗装撤去状況と堤体コンクリート面からの計測状況



6m

時間 (sec)

7m

8m

.....

10m

9m



3条件での計測の結果について,舗装撤去後の堤体コンクリート面からの打撃・計測 を基準としてとりまとめると以下のとおり。

- ・アスファルト舗装面からの打撃計測では、弾性波は堤体深部まで伝播されない。
- ・金属補修剤を用いて補強したアスファルト舗装面からの打撃で計測される波形は堤
   体コンクリート面から打撃・計測した波形にほぼ類似しており、堤体深部まで伝播している。波形から、伝播した深度はコンクリート面から打撃・計測したものと同等またはそれ以上である。
- ・金属補修剤を用いたアスファルト舗装面の補強は、ハンマーによる打撃に対する耐 久性を有し、計測に特段の支障が生じることも無かった。また、計測後、ノミ等で 側方からの力を加えることで容易に金属補修剤を剥離撤去可能であり、撤去後の舗 装面には道路供用の支障となるような損傷は生じなかった。

以上のことから,アスファルト舗装面を今回使用した金属補修剤を用いて補強することは,舗装を撤去することなく,同等の計測結果が得られることから,衝撃弾性波法の ダム堤体への適用拡大に向けての有効な方策であると言える。

#### 4.8 本章のまとめ

本章では、衝撃弾性波法を用いて、コンクリートダム堤体の水平打継目の変状を把握す る手法についての検討を行った。

まず,コンクリート基礎杭の損傷調査等にこれまで用いられてきた,高い領域から低い 領域までの周波数成分を有する弾性波を入力し,反射波として戻ってくる弾性波の高周波 数領域の成分を取り出すことで,数mオーダーを超える距離に存在する微細な欠陥を把握 可能なシステムに着目して,この計測システムをコンクリートダム堤体に対して適用する とした。

手法の検討に当たっては、モデルダムとして、水平打継目に劣化変状が進展している、 四国地方に位置するAダムを選定し、Aダムに対する計測、検討及び評価の実施を通じて 手法の定型化の検討を実施した。

利用した衝撃弾性波法の計測システムは、一般的なコンクリート構造物に対する適用事 例しかないことから、コンクリートダム堤体の調査に適用するためには、コンクリートダ ム堤体中の弾性波の伝播特性及び透過反射特性を把握する必要があった。

そこで、まず、ダムコンクリートを用いて作製した大型供試体に対して、衝撃弾性波法の計測システムを用いて計測を行う室内試験を実施し、一般的なコンクリートに比較して、使用骨材が大きく、材料分離が生じ易く、不均質になりやすいダムコンクリートで構築された構造物中の弾性波の透過・反射特性について検討を行った。この室内試験の実施によって、ダムコンクリートの構造物においても、弾性波伝播速度のばらつきの程度は最大1.78%と一般的なコンクリート構造物におけるばらつきの程度5%に対して十分小さいことが確認されるとともに、弾性波の指向性についても一般的なコンクリート構造物と同等の6.5°~9.7°であることが確認された。

また,Aダム堤体に対する衝撃弾性波法による計測の結果から,供用中のコンクリート ダム堤体における弾性波の伝播特性について検討を行った。その結果,供用中のコンクリ ートダム堤体中の弾性波伝播速度のばらつきは3%程度であり,室内試験で確認された値 に比較するとやや大きいが,一般的なコンクリート構造物における弾性波伝播速度のばら つきと同程度であることが確認された。また,反射波が生じるような劣化部が複数存在す るようなコンクリートダム堤体の状態においても,弾性波伝播速度は,伝播距離に応じて 速度が低下する,あるいは変動係数が大きくなるような傾向はないことも確認され,一般 的なコンクリート構造物と同様であることが確認された。 これらの大型供試体を用いた試験及び供用中のコンクリートダム堤体における弾性波伝 播速度特性の検討結果から、コンクリートダム堤体においても、弾性波の透過反射特性に 関しては一般的なコンクリート構造物と同様に取り扱う事が可能であることが確認され た。

衝撃弾性波法によって計測された堤体打継目での弾性波の透過反射特性である計測波形 パターンと打継目状態との関係については、Aダム堤体で別途行われていた調査ボーリン グの結果との対比によって設定することとし、同一点での10回程度の計測における波形 パターンの比率から4段階の打継目状態区分を推定する方法を提案した。これによって、 コンクリートダム堤体の水平打継目の変状を非破壊試験によって、面的な分布を含めて状 態を推定することが可能となった。

衝撃弾性波法による計測を行い、コンクリートダム堤体の水平打継目状態を推定する手 法を多くのコンクリートダムに対して広く実施するための障壁としては、堤体天端からの 鉛直下方向の計測では、情報が得られる範囲が限定的であること、計測実施するためには 天端のアスファルト舗装を一旦撤去する必要があること、の2点が存在した。この障壁の 対処方策として、前者については、堤体監査廊から計測用アタッチメントを用いて計測を 行う手法について提案し、これによって堤体内部のより広い範囲の状態が把握できる可能 性があることを示した。後者に対してはアスファルト舗装面を金属補修材の塗布によって 補強することで、舗装を撤去して堤体コンクリート面を直接打撃し、計測を行った場合 と、ほぼ同様の計測結果を得ることが可能になることを確認した。これら2点の対処方策 によって、衝撃弾性波法を用いたコンクリートダム堤体の水平打継目状態の把握が、より 多くのダムで適用される機会が増加するものと考えている。

### 参考文献

- 1) 財団法人先端建設技術センター:先端建設技術・技術審査証明報告書「オーリス(非 破壊探査システム)」, 1997年3月
- 2) 永井哲夫,中村敏明,永野賢司:高周波衝撃弾性波法による杭基礎の健全性評価,地 盤工学会誌, Vol. 61, No. 8, pp. 26~29, 2013 年 8 月
- 3) 公益社団法人日本コンクリート工学会:コンクリート診断技術 '14 [基礎編], pp.112~119, 2014年2月
- 4) 永井哲夫,小泉和広,永野賢司,北澤浩二:高周波衝撃弾性波法による岩塊や転石の 形状寸法調査,第43回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集,pp.140~145, 2015年1月
- 5) 永井哲夫,中村敏明,岡田哲美,中村大史:高周波衝撃弾性波法による岩盤内の不連 続面分布の把握,第44回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集,pp.131~136, 2016年1月
- 6) 塩月隆久,孫建生:地震被害等を受けたコンクリート構造物への非破壊探査の適用事例,土木学会第2回耐震補強・補修技術及び耐震診断技術に関するシンポジウム講演論文集,pp.217~224,1998年7月
- 7) 市川滋己,永井哲夫,鎌田敏郎:供用中のコンクリートダム堤体における弾性波伝播 速度の特性,コンクリート工学年次論文集,Vol.41,No.1,pp.1769~1774,2019年7 月
- 8) 市川滋己,鎌田敏郎,杉浦友宣,林直良:衝撃弾性波法を用いたコンクリートダム堤 体の水平打継目調査,大ダム,No. 241, pp. 117~122, 2017 年 10 月
- 9) 市川滋己,新屋敷隆,鎌田敏郎:衝撃弾性波法を用いたダム堤体の打継面調査,ダム 工学,27(1),pp.16~25,2017年3月
- 10) 市川滋己,永井哲夫,鎌田敏郎:衝撃弾性波法によるコンクリートダム打継面評価のための基礎的研究,コンクリート構造物の補修,補強,アップグレード論文報告集,第 18 巻, pp. 373~378,2018 年 10 月
- 11) 坂本浩之,吉川正浩:高周波衝撃弾性波法(オーリス)を用いた調査事例,電力土木, No. 343, pp. 112~114, 2009 年 9 月
- 12) 独立行政法人水資源機構:川上ダム本体建設工事設計図,2017年4月

13) (株) ITWパフォーマンスポリマーズ&フルイズジャパン:Devcon総合カタ
 ログ,2017年4月

# 第5章 赤外線サーモグラフィ法を用いた堤体水平打継目状態把握

#### 5.1 本章の概要

コンクリートダム堤体の維持管理に対して懸念をもたらす変状として、コンクリートダムの堤体下流面の漏水現象に進展する水平打継目の変状がある。この水平打継目の変状の状態を把握するために、一般的に実施されている調査手法には課題があり、変状が懸念されるダム堤体に対する必要な調査が十分に実施されていないことは否めない。

本章においては、必要な調査が十分に実施されていないという課題に対して、非破壊試 験を用いた新たなコンクリートダム堤体の水平打継目の状態調査手法の提案による課題の 解消を目的とした検討の一環として、赤外線サーモグラフィ法を用いたコンクリートダム 堤体の水平打継目状態把握手法について検討した結果について述べることとする。

検討内容としては,水平打継目に顕著な変状が発生し,堤体下流面漏水が確認される重 カ式コンクリートダムを赤外線サーモグラフィ装置で撮影し,取得した熱画像を分析し, その分析結果を基にして,打継目の変状の有無,ならびに変状の程度を判定する手法に関 する提案である。

### 5.2 赤外線サーモグラフィ法による堤体水平打継目の調査手法の検討

## 5.2.1 赤外線サーモグラフィ法の適用について

コンクリートダム堤体の水平打継目が劣化,すなわち上下層のコンクリートの一体性や 密着度が低下すると下流面漏水が発生する。水平打継目の劣化が進展すると,下流面で確 認される漏水量も増加すると推定されることと,あるいは開口した水平打継目には多くの 水が滞水しやすいことに着目し,下流面で確認される漏水の状態,すなわち,濡れている 範囲で,水平打継目の状態を点検・判定することは,ダム堤体の維持管理においては一般 的に実施されていることである。点検・判定の参考事例として,ダム定期検査の手引き 【河川管理施設のダム版】ダム施設・貯水池の状態検査-個別判定例-¹¹に示された判定 の基準を**表-5.2.1**に示す。

表 5.2.1 コンクリートダム堤体の状態(上流面・下流面)の判定基準¹⁾

判	定		判	定	の	基	準					
а		劣化・損傷等により、ダムの多 がある状態 【例】 ・堤体コンクリート深部までの 水が生じるとともに漏水量に増 低下が認められる状態	そ全性及 うクラッ 曾加傾向	いび機能 いクの通 」がみら	能への 進行や: られる;	影響が 水平打 など、:	認められ 継目の身 堤体の安	れ、直ちに ら化・剥離 安定性及び	措置 によ 止水 [;]	を講 り、 機能	じる 多量 著	必要 の漏 しい
b	1	ダムの安全性及び機能は保持さから、速やかに措置を講じる必 【例】 ・堤体コンクリートにクラック など、異状の兆候が認められ、 ると判断される状態	れてい >要があ が発生 今後、	ヽると判 うる状態 ミしたり 堤体0	判断さ ^た 態 り、水 ^に の安全	れるも) 平打継 性及び.	のの、 目の劣化 止水機能	ξ状の兆候 ε・剥離や εに影響を	が認 漏水 及ぼ	めら 量すお	れる 増加 それ	こと する があ
b	2	ダムの安全性及び機能は保持さ 要に応じて措置を講じる必要か 【例】 ・手摺り、排水溝等において、 ・構造物の劣化・剥離等の状態	れてい 「あるり 劣化・ 気から、	いると ^判 、態 損傷 、 状態 、	判断さ 等によ 監視を	れるも る変状 強化す	のの、≇ の発生か る必要か	ら化・損傷 が認められ がある状態	等の	状態	から	、必
с		劣化・損傷等が認められない、 機能に影響を及ぼすおそれがな 【例】 ・堤体コンクリートに軽微なク 生するなど、部分的かつ軽微な 態を監視すれば問題のない状態	マは いと ッラック い 劣化・	そう そでです して が 発 生 り が 発 生	劣化・ れ、状	損傷等 態監視 り、水 られる	は生じて を継続す 平打継目 ものの、	ているが、 †ることで 目の劣化・ 日常の巡	ダム 良い 剥離	の状 、点安態 漏検	全性 水等 よ	及び が発 り状

ただし、下流面漏水の状態で判定を行うとしても、実際に漏水が堤体下流面を濡らす面 積は、同一の漏水量があったとしても日射や湿度等の環境条件によって差異が生じること が想定できる。また、堤体下流面の漏水状態の把握は、遠方からの目視によるのが一般的 であるため、堤体下流面にはエフロレッセンスの析出跡や経年による表面汚れ等が存在す ることから,漏水の有無を目視あるいは可視画像で確認することは困難であると言っても 過言ではない。

一方で、堤体から滲出する漏水の温度は、堤体下流面の温度と同一であるということは 極めて稀であると推察されるため、漏水滲出部、すなわち劣化が進展した打継目部と堤体 一般部、健全な打継目部との間には温度差が生じると考えられる。したがって、このコン クリートダム堤体表面の温度差に着目することで、水平打継目の変状状態を把握・判定す ることが可能になると考えた。

赤外線サーモグラフィ法は,離れた位置から対象物の表面温度を精度良く計測できる非 破壊試験手法²⁾³⁾⁴であり,接近することが困難な堤体下流面にも対応可能な手法である。 この離れた位置から対象物が計測可能という特徴は,コンクリートダム堤体の形状及び規 模に起因した,接近しての計測は困難であるという計測条件に対しても適合する。赤外線 サーモグラフィ法を用いたコンクリートダム堤体の変状調査に関する既往研究として,小 堀らの研究⁵⁾が存在するが,この研究においては堤体表面のコンクリート剥離を主たる対 象としており,水平打継目の変状については対象としていない.

そこで、コンクリートダム堤体の水平打継目の健全部と劣化部との温度差に着目し、こ の温度差を赤外線サーモグラフィ法による計測・分析することで、水平打継目の変状状態 の分類判定を行う手法について検討することとした。
## 5.2.2 検討方法

赤外線サーモグラフィ法を用いた堤体の水平打継目の状態把握手法の検討については, 漏水が確認される供用中のコンクリートダムをモデルダムとして選定し,堤体下流面の熱 画像を計測し,その計測された温度を基にして水平打継目の劣化程度の分類評価を実施す ることで行った。

(1) モデルダム

本検討においてモデルダムとして,赤外線サーモグラフィ法を用いて水平打継目から の漏水部を含めて堤体下流面の表面温度を計測したのは,第4章でモデルダムとした, 四国地方に位置する,1974年に完成した堤高42m,堤頂長138mの重力式コンクリート ダムである。Aダムの下流面漏水状況写真を図-5.2.1に示す。Aダムの堤体下流面図, 堤体平面図及び堤体標準断面図を図-5.2.2~図-5.2.4に示す。このダムの左岸側のBL.2 ~BL.5の下流面を対象として計測を行った。

また,堤体下流面は南南西を向いているが,ダムサイトは谷地形に位置することから 早朝には左岸の尾根によって日射が遮られ左岸側のブロック(BL.2~BL.3)が日陰になる とともに,夕方にはゲート門柱によって日射が遮られ右岸側のブロック(BL.4~BL.5)が 日陰になるという日射条件にある。



図-5.2.1 Aダムの漏水状況





図-5.2.3 Aダムの堤体平面図

図-5.2.4 Aダムの堤体標準断面図

(2) モデルダムの計測方法

赤外線サーモグラフィ法による温度測定は,表-5.2.2に示す仕様の赤外線サーモグラフィ装置(図-5.2.5)を用いて,図-5.2.3にも示したAダムの堤体左岸天端下流側の駐車場から行った。赤外線サーモグラフィの設置状況を図-5.2.6に示す。計測位置からの堤体下流面までの距離は約35~60mで,計測対象面に対する撮影角度は水平方向で約30~60°,鉛直方向で約57~75°である。なお,距離と視野角の関係から,対象とする計測範囲全体を1回で撮影できないため,図-5.2.7に示すように水平方向に4回,鉛直方法には3回~4回に分けて計測を行った。

計測の時期は、気温が高く、かつ日射量も多いため、堤体コンクリートへの熱供給が 多い夏季と、堤体表面コンクリートが収縮し、漏水が増加する冬季に実施することとし て、令和元年9月4日~5日と令和元年12月10日~11日に実施した。

項目	仕様		
型式	日本アビオニクスR300SR(60Hz)		
センサ	2次元非冷却センサ(マイクロポロメータ)		
センサ解像度	像度 320(H)×240(V)		
	-40°C ∼ 500°C		
温度測定範囲	$\begin{array}{rcl} R1 : -20^{\circ}C & \sim & +60^{\circ}C \\ R2 : -40^{\circ}C & \sim & +120^{\circ}C \\ R3 : & 0^{\circ}C & \sim & +500^{\circ}C \end{array}$		
測定波長	波長 8. 0~14. 0μm		
温度分解能(NETD) ※[波形ノイズ/10]で定義	R1:0.05℃ (at30℃, 60Hz) 0.03℃ (アベレージング:強の場合) R2:0.08℃ (at30℃, 60Hz) R3:0.3℃ (at30℃, 60Hz)		
温度指示精度	R1: 環境温度 10~40℃:±1℃ 環境温度 10℃未満:±2℃ 環境温度 40℃超 :±2℃ R2、R3: 環境温度-15~50℃:±2℃ 又は 読み値の±2%のいずれか大きい方		
瞬時視野角	通常熱画像:1.21mrad		
焦点範囲	10cm ~ ∞ (標準レンズ搭載時)		
視野角	水平22°×垂直17°, 精度:±10%		
フレームタイム	60Hz		

表-5.2.2 赤外線サーモグラフィ計測装置の性能仕様



図-5.2.5 使用した赤外線サーモグラフィ計測装置⁶⁾



図-5.2.6 計測対象(Aダム下流面)と撮影位置との関係



図-5.2.7 計測対象(Aダム下流面)に対する赤外線サーモグラフィ計測装置の視野切換

### 5.2.3 計測結果と考察

(1) 夏季計測

夏季計測時における環境条件として、A ダム管理所で計測している外気温とダム貯水位の 9/4 の 0 時から 9/5 の 12 時までの変化を図-5.2.8 に示すが、外気温は 21.4~30.5℃の間で、貯水位については EL.225.76~226.06mの間で変動した。また、計測時の天候は概ね晴れであったが、計測を開始した 9/4 の 7 時の 12 時間前までにダム地点では累加雨量で 6mmの降雨があり、加えて、A ダムでは通常の堤体の維持管理として夏季の晴天日には BL.4 及び BL.5 において堤頂部から下流面に対する撒水を概ね10 時から 17 時の間実施しており、堤体が全体的に湿潤な状態から計測を開始している。図-5.2.9 に、計測開始時(9/4:7 時)における堤体下流面の状況写真を示す。



図-5.2.8 計測実施期間の気温と貯水位



図-5.2.9 夏季計測開始時 (9/4:7時)の堤体下流面状況

夏季計測の結果として、9/4の7時、10時、13時、16時、18時、及び9/5の6時における BL.3、BL.4、及び BL.5の EL.224.0m 付近の熱画像とその範囲を含む可視画像を表-5.2.3~表 5.2.5 に示す。

これらの熱画像から、①堤体の水平打継目部は水平打継目の上下の一般部のコンクリー ト表面に比較して低温である、②漏水による滲みが生じている箇所、あるいは降雨や人工 的な撒水によって湿潤状態になっている箇所は、乾いている箇所に比較して明らかに低温 である、ということが確認される。

①の現象が発生するのは、Aダムにおいては図-5.2.10に示すように、下流面と打継目 との交点が面木によって三角形に面取りされているため、他の部分に比較して、日射エネ ルギーが当たりにくく位、放熱しやすいことに起因したものと推察される。一方、②につ いては夏季には堤体表面よりも温度が低い降雨水及びダム貯留水、ならびにダム貯留水が 透過する堤体も夏季には表面より内部の方が低温であることに起因したものと推察され る。



図-5.2.10 面木によって面取りされた堤体下流面と打継目の交点



表-2.3 BL.3の熱画像と可視画像(夏季計測)



表-5.2.4 BL.4の熱画像と可視画像(夏季計測)



表-2.2.5 BL.5の熱画像と可視画像(夏季計測)

つぎに、下流面への撒水の無い BL.3 において、計測当日の貯水位よりも高標高に位置する EL.228.5m と EL.227.0m の水平打継目,ならびに貯水位よりも低標高に位置する EL.225.5 mと EL.224.0mの水平打継目に着目して、日射及び気温が変化する環境状態における、打継 目及びその周辺温度について分析した。なお、9/4 の計測開始の時点において、EL.227.0m の打継目及び EL.225.5mの打継目には、前日の降雨によると推定される滲みが可視画像(目 視)で確認される状態であった。

**表-5.2.6**に, BL.3のEL.224.0m, EL.225.5m, EL.227.0m, EL.228.5m水平打継目の 計測時間毎の熱画像と4m区間(J.3-2m~J.3-6m)の表面温度分布を示す。また, 図-5.2.11には,各打継目の4m区間(J.3-2m~J.3-6m)における平均温度と最低温度の経時 変化を示す。



表-5.2.6(1) BL.3のEL.224.0m, EL.225.5m, EL.227.0m, EL.228.5m水平打継目 のJ.3-2m~J.3-6mの表面温度分布(9/4:7時~12時)



表-5.2.6(2) BL.3のEL.224.0m, EL.225.5m, EL.227.0m, EL.228.5m水平打継目 のJ.3-2m~J.3-6mの表面温度分布(9/4:13時~18時)



表-5.2.6(3) BL.3のEL.224.0m, EL.225.5m, EL.227.0m, EL.228.5m水平打継目 のJ.3-2m~J.3-6mの表面温度分布(9/4:19時~9/5:9時)



図-5.2.11 BL.3 の4つの水平打継目の平均温度及び最低温度の経時変化

これらの表および図から、以下のことがわかる。

①可視画像で濡れていると判断される部分については、熱画像においては低温域として 計測されている。

②可視画像では濡れていると確認されるだけであっても,熱画像では0.1℃オーダーの 小さなものであるが濡れている範囲には面的には温度差の発生が確認され,中心から外 に向かって温度が高くなる傾向が確認される。

③可視画像では濡れている判断ができない範囲の一部には,熱画像ではある程度の広が りを持った低温域として計測される範囲が含まれる。また,この低温域についても中心 から外に向かって温度が高くなる傾向が確認される。

④打継目部の温度は、気温の上昇・低下に応じて、変化していることが確認される。
 ⑤日射による熱供給に起因するものと推察されるが、9~16時の打継目温度の上昇・下降は、気温の上昇・下降に比して大きく変化している。

⑥計測開始時に降雨水による濡れ滲みが最も確認され,最も変状が進んだ打継目である と推察される EL. 227. 0m 打継目に着目とすると,他の打継目に比較して温度上昇量は小 さく,気温低下に伴う温度下降期においては温度下降量が小さく,夜間には最も温度が 高くなる傾向が確認される。すなわち,外部からの熱供給に対して遅鈍な変化を示して いる。この傾向は,一般的なコンクリート構造物において表層部に欠陥がある場合に計 測される,欠陥部の表面温度は,周囲に比較して,上昇時には高温であり,下降時には 低温であるという特徴⁷⁾⁸⁾(図-5.2.12)と異なるものである。このような温度上昇・下 降傾向を示す要因は,明確では無いが,変状部には一般部よりも多く存在していると推 察される,比熱がコンクリートの約4倍である水による影響があると考える。



図-5.2.12 一般的なコンクリート構造物の健全部と欠陥部の表面温度変化モデル⁷⁾

以上に示した夏季計測における,水平打継目の劣化度と堤体下流面の漏水(・滲み)の温 度との関係を整理すると,劣化度は,打継目温度-堤体表面温度との間に図-5.2.13に示 すような関係にあると考えることができる。



図-5.2.13 夏季における劣化度と温度差(打継目温度-堤体表面温度)との関係(イメージ)

(2) 冬季計測

冬季計測時における環境条件として,Aダム管理所で計測している外気温とダム貯水位の12/10_0時から12/12_0時までの変化を図-5.2.14に示すが,外気温は2.4~15.0℃の間で, 貯水位については EL.228.10~228.09mの間で変動した。また,計測時の天候は概ね晴れで あった。図-5.2.15に計測開始時(12/10:12時)における堤体下流面の状況写真を示す。

冬季計測の結果として,12/10の12時~12/11の12時におけるBL.3,BL.4,及びBL.5の EL.224.0m付近の熱画像とその範囲を含む可視画像を表-5.2.7~表 5.2.9に示す。

また,漏水が生じている打継目から,BL.3のEL.227.0mの打継目,BL.4のEL.225.5mの 打継目,BL.5のEL.219.5mの打継目,の3箇所を抽出し,12/11日の8時の状況について, 可視画像, 熱画像,及び打継目の温度分布を表-5.2.10に示す。



図-5.2.14 計測実施期間の気温と貯水位



図-5.2.15 冬季計測開始時(12/10:12 時)の堤体下流面状況







表-2.5.9 BL.5の熱画像と可視画像(冬季計測)





冬季計測において得られた熱画像では、①漏水によって濡れている部分については周辺 部に比較して、明確な温度差がある、②漏水で濡れている下流面及び水平打継目は中が低 温で外側に広がる(乾いている範囲に向かう)ほど、徐々に温度が上昇する、③熱画像で 確認される温度差から、水平打継目の変状の大小が概ね把握できる、という夏季計測で確 認された特徴が確認された。

しかし、その一方で、夏季計測において確認された変状の発生有無に関わらず、すべて の水平打継目の温度は周囲の温度に比較して低温であるという傾向は認められず、その傾 向は漏水滲み、あるいは他から供給された水によって湿潤状態であると推定される水平打 継目のみ認められる。そして、乾いた水平打継目の温度は、温度上昇期には周囲に比較し て高温であるという傾向を示しており、これは一般のコンクリート構造物で表層部に空隙 等欠陥がある場合に確認される現象⁷⁾⁸⁾(図-5.2.12)と同じ傾向である。夏季計測実施日 の前日に降雨があり、堤体が湿った状態であったことを考慮すると、堤体が乾いた条件に おいては、一般のコンクリート構造物で表層部に欠陥があるのと同一の温度変化特性を示 すと考えることができる。

また、漏水が確認された箇所の温度は多くの箇所では周囲よりも低温であるが、BL.5の EL.219.5m水平打継目の左岸側端部付近においては漏水の温度が周囲よりも高温となる現 象も確認されている。このBL.5のEL.219.5m水平打継目の左岸側からの漏水は、他の箇 所に比較して多いと認識されてきた箇所であることから、他の漏水箇所で計測される温度 の傾向と異なる要因について以下に検討する。

冬季計測を実施した期間(12/10~11)における貯水池中(EL. 215.18~227.68m)の水温 は概ね 12.6℃であり、堤体内部のコンクリート温度についてもほぼ同程度であると考えら れる。したがって、堤体の水平打継目を滲出経路として堤体下流面に滲出した時点におけ る漏水の温度は貯水池の水温と同程度の温度であると推察できる。一方で、外気温は 2.5℃(12/11 8:00)であり、堤体下流面の温度については 9~10℃である。

一般的に,温度差のある物質が接触した場合には,物質との間で熱交換が生じ,高い温度の物質は温度が低下し,温度の低い物質は温度が上昇する。また,液体の気化のためには気化熱が必要となるため,その場合にも温度は低下する。

以上のことを思慮すると、冬季計測において堤体下流面で計測された漏水箇所による、周 辺との温度差の違いは次に示すロジックによって生じているものと考える。 ①水平打継目の劣化度:大(→開口幅:大)

- → 漏水量:大
  - → 下流面に流出しても外気あるいは下流面コンクリートであまり冷やされない。
  - → 漏水の温度は貯水池水温と差が無い。

②水平打継目の劣化度:小(→開口幅:小)

- → 漏水量:小
  - → 漏水量が少ないため、外気あるいは下流面コンクリートで冷やされる。
    - → 漏水の温度は、低下する。

③水平打継目の劣化度:微小

- → 漏水量:滲み程度
  - → 漏水の気化
    - → 下流面コンクリートよりも温度は低下する。

以上に示した水平打継目の劣化度と堤体下流面の漏水(・滲み)の温度との関係を整理すると、劣化度は、打継目温度-堤体表面温度との間に図-5.2.16 に示すような関係にあると考えることができる。



図-5.2.16 劣化度と温度差(打継目温度-堤体表面温度)との関係(イメージ)

(3) 打継目状態の分類区分

夏季計測及び冬季計測において確認した堤体下流面表面における温度分布から推定した図-5.2.13 及び図-5.2.16 の関係を基に、貯水池水温、堤体の表面温度、及び打継目温度との関係から水平打継目の変状の程度を分類する、表-5.2.11 に示す区分を提案する。

劣	損傷 程度	TA < TB	TA > TB
化 度		堤体表面温度と打継目温度との関係	
1	健全	打継目温度 ≓堤体表面温度	打継目温度 ≓堤体表面温度
2		打継目温度 < 堤体表面温度	打継目温度 <
3		打継目温度<<< 堤体表面温度	堤体表面温度
4	損傷大	打継目温度<<<< 堤体表面温度	打継目温度> 堤体表面温度

表-5.2.11 打継目状態の分類区分

ここに、T_A:貯水池水温 T_B:堤体表面温度

#### 5.3 本章のまとめ

供用中のコンクリートダム堤体において,水平打継目からの漏水,あるいは水平打継目 での滞水現象に着目し,赤外線サーモグラフィ法による計測を夏季及び冬季に実施し,計 測結果を用いて水平打継目の状態についての評価を試みた。この結果,堤体コンクリート や水平打継目の状態と赤外線サーモグラフィ法によって計測される温度との間には,以下 の関係があることが確認された。

- (1) コンクリートダム堤体表面が湿潤状態にあるとき、水平打継目の温度は周囲の一般 部の表面温度に比較して低い。このとき、水平打継目の劣化が進んでいる箇所の方がよ り低温として計測される。
- (2) コンクリートダム堤体表面が湿潤状態にあるとき、気温あるいは日射エネルギーの 変化に伴う、水平打継目部の温度変化は、堤体表面温度の変化に対して遅延し、その温 度変化の遅延程度は変状が進展した水平打継目のほうが大きい。これは一般のコンクリ ート構造物の表層部に欠陥がある時に確認される温度変化の傾向とは異なる。
- (3) コンクリートダム堤体表面が乾燥状態にあるとき、気温の上昇、あるいは日射エネ ルギーによって堤体表面の温度が上昇する際には水平打継目の温度は周囲の一般部の堤 体表面温度に比較して高温となる。しかし、温度上昇が収束、あるいは降下過程におい ては水平打継目の温度の方が低温となる。これは一般のコンクリート構造物の表層部に 欠陥がある場合の温度変化の傾向と同一である。
- (4) 下流面コンクリート温度に対して貯水池水温が低く,水平打継目からの漏水が確認 される場合,水平打継目の変状が進んでいる方が水平打継目での温度は低い。
- (5)下流面コンクリート温度に比較して貯水池水温が高く、水平打継目からの漏水が確認される場合、変状が進展しておらず漏水量も少ない状態では水平打継目付近の温度は一般部に対して低くなるが、水平打継目の変状が進んでいる場合には高くなる。

このように、堤体表面温度と水平打継目付近温度との関係は、水平打継目の堤体表面付 近の変状に関係することが確認された。今後、異なった環境条件や貯水位条件、あるいは 他のダムへの適用等の行い、計測データを蓄積することで精度をより向上させることが可 能になるが、Aダムに対する今回の計測で確認された事項は、水平打継目間、あるいはあ る水平打継目のある範囲に対する変状の状態の相対的な評価を行うことを可能にする。

したがって,赤外線サーモグラフィ法によるコンクリートダム堤体の調査は,変状が生 じている水平打継目,あるいは水平打継目の範囲の抽出に資するものと考える。

### 参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局河川管理課流水管理室:ダム定期検査の手引き[河川 管理施設のダム版]ダム施設・貯水池の状態検査-個別判定例-, pp.16, 2016 年 3 月
- 2) 例えば社団法人日本非破壊検査協会編:新コンクリート非破壊試験, pp. 99~104, 2010 年 3 月
- 3) 例えば公益社団法人日本コンクリート工学会編:コンクリート診断技術 '14[基礎 編], pp. 109~112, 2014年2月
- 4) 例えば阪上隆英:赤外線サーモグラフィによる構造物の非破壊検査,溶接学会誌,第
  72 巻,第4号,pp.251~255,2003 年
- 5) 小堀俊秀, 冨田尚樹, 佐々木隆, 山口嘉一:赤外線カメラを用いたコンクリートダム 堤体の健全度診断手法の提案, 土木学会第 59 回年次学術講演会概要集VI, pp. 389-390, 2004 年 9 月
- 6) 日本アビオニクス(株):インフレック R300SR 製品カタログ
- 7) 一般社団法人日本非破壊検査協会:NDIS3428:2009「赤外線サーモグラフィ法による建築・土木構造物表層部の変状評価のための試験方法」, pp. 8, 2009 年 9 月
- 8) 土木コンクリート構造物のはく落防止用赤外線サーモグラフィによる変状調査マニュ アル作成委員会編:土木コンクリート構造物のはく落防止用赤外線サーモグラフィに よる変状調査マニュアル, pp. 47~49, 2005 年 3 月

# 第6章 非破壊試験を用いたコンクリートダム堤体の水平打継目状

### 態把握方法の提案

### 6.1 本章の概要

コンクリートダム堤体において経年によって生じる変状のひとつである水平打継目の変 状を的確に把握することは、コンクリートダムの長寿命化を図るうえで重要であるが、こ の堤体の水平打継目の変状の状態を把握する方法として、第4章においては衝撃弾性波 法、第5章においては赤外線サーモグラフィ法について検討を行った。

6.2においては、この2種類の非破壊試験方法を組み合わせて、コンクリートダム堤体の水平打継目の状態について非破壊試験を用いて把握する合理的な方法について、検討し、提案を行う。

堤体の水平打継目に変状が確認され,堤体の性能に影響があると判断された場合には, 補修が行われるのが一般的である。6.3においては,この水平打継目の変状に対して実 施されている補修工法について概説したのち,補修工法のうちの注入工法に着目して,注 入工法の効果について本研究で提案を行った非破壊試験方法によって検証・確認する方法 について述べる。

### 6.2 衝撃弾性波法と赤外線サーモグラフィ法を併用した水平打継目状態把握

本研究においては、コンクリートダム堤体の水平打継目の変状の状態を把握する方法と して、衝撃弾性波法を用いる方法、及び赤外線サーモグラフィ法を用いる方法について、 検討を行ってきた。それぞれの方法についての概要を表-6.2.1に示す。すなわち、衝撃弾 性波法による方法については堤体内部の水平打継目の状態を面的に把握することが可能で はある。ただし、これを実現するためには従来から調査手法であるボーリング調査に比較 すると、工期の短縮及びコスト縮減はされているものの、時間とコストを要する。一方、 赤外線サーモグラフィ法については、短時間・低コストでの調査が可能となるがあくまで 堤体の上下流面の付近のみが対象範囲という課題を有する。

	衝擊弾性波法	赤外線サーモグラフィ法	
状態把握の対象打継目での弾性波の透過反射		堤体下流面の表面温度を計測し、	
方法	特性に基づき状態を推定	打継目部と周辺部との温度差を基	
		に状態を推定	
対象とする	天端及び監査廊内からの計測を組	堤体の上下流面付近のみ。	
打継目の範	み合わせて行うことで、広い範囲		
囲	な状態の把握が可能。上下流端部		
	の評価は不可能		
調査に要す	ボーリング調査に比較すると、省	現地作業は1名体制で,数日程度/	
る時間とコ	カ化及び低コスト化を図ることは	ダムで実施可能(内業(分析評価)は	
スト	可能であるが、現地作業には複数	別途)。	
	名体制で 1h/計測点程度を要する		
	(内業(分析評価)は別途)。		

表-6.2.1 本研究で提案する2種類の堤体水平打継目状態把握調査手法

この2種類の手法,それぞれの得失,ならびに,一般的な経年的な水平打継目の変状は 堤体の上下流端から堤体に内部に向かって進展していくという劣化メカニズムを考慮し て,図-6.2.1のフローに示す,赤外線サーモグラフィ法を概略調査,すなわちスクリーニ ングを目的として実施し,その上で詳細調査として衝撃弾性波法を実施する,2種類の非 破壊試験方法を併用する調査方法を提案する。

これによって,詳細調査である衝撃弾性波法による調査の合理化と,衝撃弾性波法によ る調査結果に対して赤外線サーモグラフィ法による調査結果を加味した最終とりまとめを 行う事で水平打継目状態推定の精度向上も期待される。



図-6.2.1 非破壊試験を用いたコンクリートダム堤体の水平打継目の状態把握方法(案)

### 6.3 水平打継目補修工事における施工の確実性確認への適用

### 6.3.1 変状が生じた水平打継目の補修工法

コンクリートダム堤体の水平打継目に変状,すなわち上下の打設リフトの一体性が低下 した場合,3.3.2でも述べた通り,打継目部の水密性が低下して漏水が発生,あるい は打継目部のせん断抵抗力が低下して堤体の安定性に影響が生じることとなる。なお,下 流面漏水が生じているような状態の場合には,貯水機能の低下だけでなく,美観の低下, 打継目を水が透過することによるセメント水和物の溶出,あるいは打継目への揚圧力の作 用による堤体安定性の低下の原因となる。このような状況から,水平打継目に変状が生じ た場合には必要に応じて補修が行われる。以下に,コンクリートダムで行われている補修 工法について,主に漏水対策として行われる工法と堤体安定性低下対策として行われる工 法に分けて概説する。

(1) 漏水に対する補修工法

コンクリートダム堤体の水平打継目の変状により下流面漏水が生じている場合の補修に おいては、堤体下流面からは施工しないという大原則がある。これは下流面で止水措置を 行った場合には水平打継目への揚圧力の作用が継続する可能性があるからである。ダムの 漏水対策として基準あるいは指針で定められた対策は存在せず、ダム毎にその対策をし、 最適な対策を選定している¹⁾²⁾³⁾。ダム堤体に対して実施される対策について、大別すると 以下の2種類の方法がある。

①変状が生じた水平打継目に対して、上流面、すなわち水の浸透経路の入り口を表面被 覆や充填工法によって遮断する方法。

②水平打継目の開口部に,注入材を注入することで,水の浸透経路を閉塞してしまう方法。

このうち①の方法については補修材料が露出していることから、材料の劣化が早いこと が懸念されるとともに、外観的にも補修の実施が明瞭になってしまうという課題を有して いる、①の方法については表面だけを補修、すなわち、欠陥が残置することを許容する補 修方法であることから、選定を避けることがある。また、②の方法においても注入材料に は、無機系あるいは有機系の2種類に大別できるが、無機系の注入材料を使用することが 多い。以下に適用実績の多い、無機系材料を使用した注入工法を用いた漏水対策の方法に ついて示す。 ·注入材料

注入に用いる材料としては一般的には微細な間隙に対しても注入可能な微粒子セメ ントあるいは超微粒子セメントを用いたセメントミルクを用いることが多い。注入対象 の間隙が広く、多量の材料が注入されるような場合には、ベントナイト、セメント及び 水を混合したミルクに吸水性ポリマーを加えた注入材を使用することもある。

・注入方法

注入は図-6.3.1に示すような、上流面の水平打継目を覆うように設置した注入プレートから実施、またはより確実な注入を行うために対象の水平打継目と交差するように 削孔した孔から実施することもある。これらの注入は図-6.3.2に示すように堤体上流 面から実施することもあるが、貯水位が高い場合には水中からの作業となるため、図-6.3.3に示すようにダム天端から鉛直方向に削孔して注入することもある。

注入はグラウトポンプを用いて対象とする水平打継目に対して注入材の濃度を少し ずつ濃くしながら行う。注入材の配合事例を表-6.3.1に,注入量の管理状況を図-6.3.4に,注入時の圧力管理状況を図-6.3.5に示す。注入時に注入圧力が高すぎると水 平打継目に生じている間隙が開口する恐れがあることから,この面に作用する堤体自重 以下とする必要があり,実際には注入材自重+0.01MPa 程度による注入とすることが多 い。そのため,間隙が確実に閉塞されないまま,注入を終了してしまう可能性がある。



図-6.3.1 堤体上流面の注入プレート・注入孔の事例4)



図-6.3.2 堤体上流面からの注入作業状況の事例(ゴンドラからの作業)



図-6.3.3 堤体天端からの注入作業状況の事例4)

表-6.3.1 注入材配合の事例

配合	超微粒子 セメント	水	練り上がり 量
A配合	15kg	30kg	35L
B配合	30kg	30kg	40L
C配合	40kg	30kg	43L



図-6.3.4 注入材の混合の状況例



図-6.3.5 注入量管理状況の事例

図-6.3.6 注入圧管理状況の事例

(2) 堤体安定性低下に対する補修工法

水平打継目に変状が生じ、上下リフト間に間隙が生じたような場合には打継目のせん断 強度は低下していることが想定される。この場合、間隙にセメントミルク等を注入したと しても当初のせん断強度に回復させることは困難である。そのため、堤体の安定に対して 不足するせん断抵抗力を補うため、堤体に鉛直方向に削孔を行い、変状が生じた打継目を 縫うように鉄筋を挿入してせん断補強を行うこともある。以下に鉄筋挿入により補修を行 った事例を示す。

鉄筋挿入により補修を行ったダムとして,第4章及び第5章でモデルダムとした,Aダ ムの事例を示す。Aダムにおいては堤体左岸側のBL.2のEL.230.0m打継目のせん断強度 の低下が懸念された。そこで、当該打継目を縫う形でD32、L=4mの鉄筋を52本、堤体に 鉛直方向に挿入している。補修工事の概要図として、堤体下流面図(BL1~BL.5)を図-6.3.7に、堤体断面図を図-6.3.8に、鉄筋挿入配置平面図を図-6.3.9に、詳細断面図を図 -6.3.10に示す。また、図-6.3.11には鉄筋挿入工の施工フローを図-6.3.12には施工状況 を示す。なお、図-6.3.11のフローにおける孔内注水、水位観測、水押し試験、及び超微 粒子セメント注入は、鉄筋挿入工に先立って、水平打継目の透水性(水密性)の確認及び 補修として行ったものである。

なお、この堤体安定性低下に対する補修工法のうち、鉄筋挿入工自体は確実な施工が問題なく実施できることが推察される。しかし、水平打継目への注入については、(1)漏水 に対する補修工法においても述べたとおり、注入圧を高くすることができないため、空隙 が残置されたまま、工事が終了してしまい、下流面漏水が残る可能性がある。



図-6.3.7 BL2 補修工事(下流面図)











図-6.3.11 鉄筋挿入工の施工フロー


図-6.3.12 鉄筋挿入工施工状況

#### 6.3.2 非破壊試験を用いた施工の確実性の確認

水平打継目に変状が生じた時に行う補修のうち,セメントミルクを水平打継目の間隙に 注入する工法は,注入圧が過大であると間隙が拡大する可能性があるため,大きな注入圧 を作用させることができず,そのため,間隙を完全に充填できないことがある。すなわ ち,不完全な状態で作業を終えてしまう恐れがあるということである。注入工は,漏水対 策が主目的であることから,補修による効果が十分発揮されないということになる。

一方で、この打継目への注入による漏水量の低減効果は、貯水位が上昇、あるいは気温 が低下してコンクリートが収縮するような漏水量が増える条件になるまで、確認すること ができない。そのため、ダムの貯水池運用によっては補修を行って数年後に初めて補修効 果の検証が可能となる場合がある。仮に、注入後、時間を置くことなく、その効果につい て検証することが可能となれば、仮に注入不足で水みちが残っていた場合には追加注入を 行うことが可能となり、確実な漏水対策の実施、すなわち合理的な補修の実現に寄与する ことができると考えられる。

水平打継目への注入は開口した間隙に対して充填・閉塞することを期待するものである ことから,開口部に注入材が確実に充填されたことを確認することができれば,漏水対策 として効果があることを確認したことになる。

そこで,この注入による漏水補修の施工の確実性を確認する手法として,第3章で述べた衝撃弾性波法を用いることができると考え,その適用性について検証した。

(1)検証の方法

注入による補修効果の確認に前節で述べた手法が適用可能かの検証として,実際のダム 堤体への注入工法による補修工事の前後に,衝撃弾性波法での計測を行い,計測結果に注 入前後の打継目状態の変化が反映されているか否かを確認することとした。

検証に用いたのは、本研究でモデルダムとして取り扱ってきた、堤高42mの重力式コン クリートダムのAダムである。AダムのBL.3においては、下流面漏水対策としてダム天端 から鉛直方向に削孔(φ66mm)し、下流面で漏水が確認されていた標高(EL.230.0m, EL.228.5m,及びEL.227.0m)の水平打継目に対して超微粒子セメントと水とを混合した セメントミルクを注入する漏水対策を行っている。このセメントミルク注入作業の前後 に、衝撃弾性波法を用いて堤体天端から計測を行い、対象となる水平打継目における弾性 波の透過・反射特性の変化について分析し、注入の効果が確認できるかについて検証を行 った。なお、BL.3における衝撃弾性波法の測点はダム軸方向に2m間隔、上下流方向に1 m間隔のダム軸方向×上下流方向:6×4の合計24点を配置している。注入孔の位置につ いては対策前に計測した結果に基づいた3層の打継目の状態を総合的に考慮し、測点1-2、測点2-1、測点3-2、測点4-1、測点4-2、測点5-1、及び測点6-2の7箇所とした。な お、注入孔を設けた測点における注入後の計測については注入孔から少しずらした位置に 計測点を設けて計測した。衝撃弾性波法を用いて注入効果の検証を行ったAダムの水平打 継目の位置を図-6.3.13に示す。



図-6.3.13 衝撃弾性波法を用いた注入効果の検証を行った水平打継目の位置

(2) 計測結果と考察

注入前後に衝撃弾性波法によって計測した波形を基に推定した,水平打継目の各測点の 状態変化を水平打継目別に,表-6.3.2~表-6.3.4及び図-6.3.14~図-6.3.16に示す。

表-6.3.2~表-6.3.4 及び図-6.3.14~図-6.3.16 に示した結果によると、一部の測点を除き、注入によって概ね1~2ランク改良されていることが分かる。状態の改良は注入孔近傍だけでなく、周辺の測点においても改良は確認され、注入の効果が衝撃弾性波法を用いた計測で確認できると言える。一部の測点については変化なし、場合によっては状態が悪くなっていることを示す結果が得られている。変化無しの結果については注入が不十分であること、状態が悪くなった箇所については何らかの要因(例えば注入圧力が過大等)によって劣化したことを示すものであり、これらの情報についても注入の結果の評価、すなわち補修効果の検証、追加施工の判断においても有益なものとなる。



、 タイプN マイプロ 日 インプロ ロプイグロ

• • • •

4

4

3

1-3

玉活

倒 Ц

2

1-2

1

売上

流下



ボゴ

2

1-2

3

4

1-4

211

-0LLL. 220.	<b>杵</b> 田	浦冇	変化なし	1ランク劣化	1ランク劣化	1ランク改良	1ランク劣化	変化なし	1ランク改良	1ランク改良	2ランク改良	1ランク劣化	1ランク改良	1ランク改良	1ランク改良	3ランク改良	2ランク改良	変化なし	1ランク改良	2ランク改良	1ランク改良	1ランク改良	1ランク改良	1ランク改良	1ランク劣化	1ランク劣化
/≪ IL \UI				注入孔			注入孔				注入孔				注入孔	注入孔			注入孔					注入孔		
2월 11 11 22	犬態評価	注入後	п	п	ц	п	п	П	П	П	Ι	П	П	П	П	Ι	Ι	Ι	П	Ι	П	П	П	П	П	н
<b>とていた</b>	測点の北	注入前	п	I	I	Ш	I	П	Ш	Ш	Ш	I	Ш	Ш	Ш	IV	Ш	Ι	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ι	I
Ľ Ľ	۲ R	測品	1-1	1-2	1–3	1-4	2-1	2-2	2–3	2-4	3-1	3-2	3–3	3-4	4-1	4-2	4–3	4-4	5-1	5-2	5-3	5-4	6-1	6-2	6–3	6-4
0.0.0	対象	打継目												BL.3	EL.228.5m											

表-6.3.3 注入前後の状態評価の変化(BL3_EL.228.5m)²⁾



注入前



図-6.3.15 注入前後の状態評価の変化(BL3_EL.228.5m)²⁾

	ų			6-2		6-3	6 ⁴							9	<b>•</b> ,	5	6-2	- c		6-4						- N
EL. 227. 0m) ²⁾		<b>順</b>	1ランク悪化	1ランク改良	変化なし	評価できず	変化なし	変化なし	変化なし	1ランク改良	変化なし	2ランク改良	1ランク改良	変化なし	評価できず	2ランク悪化	変化なし	1ランク改良	1ランク改良	2ランク改良	変化なし	変化なし	2ランク悪化	2ランク改良	1ランク改良	2ランク改良
変化 (BL3				注入孔			注入孔				注入孔				注入孔	注入孔			注入孔					注入孔		
態評価の	於態評価	注入後	П	Ш	п	Ι	Ħ	Ι	Ι	П	Ι	П	П	Ι	Ι	Ħ	Ι	п	П	Ι	Ι	Ш	Ш	п	Ш	I
前後の状〕	測点のわ	注入前	I	IV	I	Ι	Ħ	Ι	Ι	Ш	I	IV	Ш	Ι	I	I	I	Ш	Π	Ш	I	Ш	Ι	Ш	IV	Ħ
注入身	4	测点	1-1	1–2	1–3	1-4	2-1	2-2	2–3	2-4	3-1	3–2	8–8	3-4	4-1	4–2	4–3	4-4	5-1	5-2	5-3	5-4	6-1	6–2	6–3	6-4
表6.3.4	対象	打継目												BL.3	EL.227.0m											



0
227.
щ
ຕ່
(BL
変化
6
ы
俥
詀
<del>лл</del> Э
÷
6
থাপ
10
洉
2
·
罛
4
с. С
1
9

#### 6. 4 本章のまとめ

本章においては、コンクリートダム堤体の水平打継目の変状の状態を把握する方法とし て、非破壊試験である衝撃弾性波法と赤外線サーモグラフィ法を併用して実施する方法を 提案した。具体的な併用方法としては、赤外線サーモグラフィ法を概略調査として用い、 衝撃弾性波法による調査を詳細調査として位置づけるものである。すなわち、得ることが できる変状の情報が水平打継目の端部にあたる上下流面付近に限定されるものの、調査に 要する外業時間が短く、かつ省力化を図った調査が可能である、赤外線サーモグラフィ法 による調査を概略調査として実施する。そして、赤外線サーモグラフィ法による調査で抽 出された変状が懸念される水平打継目に対して衝撃弾性波法による計測を重点的に実施す るという手順で実施するものである。これによって、衝撃弾性波法による調査の効率化が 期待できる。さらに、赤外線サーモグラフィ法で得られる上下流面付近の情報を加味する ことで水平打継目の状態把握の精度向上を図ることができる方策である。

また、本章では併せて、提案した非破壊試験を用いた堤体の打継目状態を把握する技術 を活用するものとして、貯水機能補修、すなわち漏水対策として実施される水平打継目へ のセメントミルク注入の効果確認への衝撃弾性波法の活用について述べた。モデルダムに おいて実施された打継目への注入前後の状態評価への適用の結果から、提案した衝撃弾性 波法は、注入の効果を確認する方法としても有効であることを示した。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所:ダム補修事例に関する調査,国土技術政策研究 所資料第262号,2005年6月
- 2)藤田将司,市川滋己,田野弘明:既設コンクリートダムの長寿命化に向けた新工法による漏水対策の検討,土木学会第72回年次学術講演会講演概要集,VI-012,2017年9月
- 3) 公益社団法人日本コンクリート工学会:コンクリートのひび割れ調査,補修・補強指 針-2013-, pp.344~349, 2013 年 4 月
- 4) 市川滋己,鎌田敏郎:コンクリートダムの漏水対策の評価方法に関する研究,「非破 壊手法を用いたコンクリート構造物の補修評価」に関するシンポジウム論文集,日本 コンクリート工学会, pp.159~164, 2018 年 9 月

# 第7章 コンクリートダム堤体の性能評価手法

#### 7.1 本章の概要

本章においては,前章までに提案した,非破壊試験を用いたコンクリートダム堤体の水 平打継目の状態把握手法を実施して得られる結果である打継目変状状況図を用いて,コン クリートダム堤体の性能を評価する手法について述べる。

コンクリート堤体に要求される性能については、河川管理施設等構造令¹⁾の第四条(構 造の原則)に、「必要な水密性を有し、及び予想される荷重に対し必要な強度を有するも のとするものとする。」「予想される荷重によって滑動同士し、又は転倒しない構造とす るものとする。」と定められている。すなわち、コンクリートダム堤体に対しては、堤体 の安定性に関わる構造性能とダム設置の目的に関わる貯水性能が求められている。そこ で、7.2においてはコンクリートダム堤体の安定性に関わる構造性能の評価手法につい て述べることとし、構造性能の要求事項を概説したのち、滑動に対する安定性、及び転倒 に対する安定性という二つの構造性能の要求事項について、非破壊試験を用いた打継目状 態の把握結果を利用して評価する手法について述べる。続く7.3においてはコンクリー トダム堤体の貯水性能について非破壊試験を用いた打継目状態の把握結果を利用して評価 する手法について述べる。

#### 7.2 非破壊試験結果を用いた堤体安定性に係る構造性能評価手法の提案

#### 7.2.1 コンクリートダム堤体に要求される構造性能

コンクリートダム堤体に要求される堤体安定性に係る構造性能は,設計荷重が作用した時に,堤体が損傷することなく,安定した状態を保持することである。河川管理施設等構造令施行規則の第九条¹¹においては,コンクリートダムの安定性及び強度については次のように定められている。

①コンクリートダムは、ダムの堤体と基礎地盤との接合部及びその付近におけるせん 断力による滑動に対し、必要なせん断摩擦抵抗力を有するものとする。(図-7.2.1)

②重力式コンクリートダムの堤体は、その上流面に引張応力を生じないものとする。 (図-7.2.2)

③コンクリートダムの堤体に生じる応力は、標準許容応力を超えてはならないものと する。標準許容応力は、ダムの堤体の材料として用いられるコンクリートの圧縮強度を 基準とし、安全率を四以上として定めるものとする。(図-7.2.3)



図-7.2.1 ①滑動に対する安定条件



図-7.2.2 ②転倒に対する安定条件



図-7.2.3 ③堤体内部発生応力に対する安定条件

コンクリートダム堤体のある水平打継目に変状が生じ,打継目を境として堤体の一体 性が低下した場合を想定すると,このうち③については水平打継目の変状の影響は無 い。また,①及び②の条件については,堤体が剛体として一体的に挙動するという前提 で堤体と基礎岩盤との関係で設定されたものであるが,ここでは,水平打継目に変状堤 体の水平打継目とその上位の堤体との関係で考えるものとする。(図-7.2.4)

以上のことから,水平打継目に変状が生じた場合における,堤体の安定に関する構造 性能に関しては,①滑動に対する安定性と②転倒に対する安定性を対象として評価を実 施するものとする。



図-7.2.4 堤体安定性に関する構造性能の評価対象



図-7.2.5 水平打継目に変状が生じた堤体安定性に関する構造性能評価のフロー

### 7.2.2 滑動に対する安定性の評価

水平打継目に変状が生じたコンクリートダム堤体の滑動に対する安定性に対しては、 その変状の範囲と変状の程度,ならびに変状が生じた時の強度特性の変化が影響する。 そこで,図-7.2.6に示す手順で安定性を評価することを提案する。



図-7.2.6 水平打継目に変状が生じた堤体の滑動に対する安定性評価フロー

ここで,安定性評価フローの(1)変状(分離)範囲の評価,(2)変状(分離)部の 強度評価,(3) 滑動に対する安定性評価,に分けて実施手順を説明する。

(1) 変状(分離)範囲の評価

第6章で述べた非破壊試験による水平打継目状態の把握手法を用いて,対象とする水 平打継目の変状状態を推定する。状態の推定結果は、タイプⅠからタイプⅣの4段階の タイプ区分(表-7.2.1)の分布図として得られる。このタイプ別の分布図からは、タイプ 別の面積比率が算定可能である。しかし、このタイプ区分は、弾性波の透過反射特性を 基に分類したタイプ分けであり、タイプⅡ~タイプⅢと評価した範囲にも密着した健全 な部分が含まれていることから、堤体安定性への影響においては、あまり意味を為さな い。そこで、表-7.2.1~表-7.2.3に示した各タイプの打継目状態を基に、より直接的な 密着した状態(A)と非密着の状態(B)の2区分に、再区分することとした。

# 表-7.2.1 打継目状態の4段階のタイプ区分 表-7.2.2 ボーリング調査での打継目

#### (表-4.5.9 再掲)

状態区分	(表−4.	5.	Z	再預)
化恐伦刀	$(42^{-4})$	J.	2	丹狗/

タイプ	測点周りの打継面	測点周りの打継目	ボーリング調査結果	1	状態	状	態	ボーリング調査	代表的なボアホールカメラ画像
<u>区分</u> タイプ I	の状態イメージ イン2m 1~2m を着	の状態推定 ・打纏目には分離が無 い、あるいは分離してい たが注入材等で完全に充 填されている状態であ り、間隙(空隙)は無い状 態。 ・衝撃弾性波法による測 定波形は「パターンA」 に相当するもの。	による状態評価区分 (イ)及び(ロ)		イ	分離面(t がţ	ンび割れ) 無い	- よる戦会和来 ・ 打線目に分離面 (ひび朝れ)は認めら れない。 ・ 打線目が面として 認められるが一体化 している。	1461 1466 1476 1476 1476 1476 1476 1476
タイプⅡ	分離 密着 分離 分離	・打継目の大半はタイプ Iと同じ状態ではある が、一部は分離し間隙 (空隙)がある状態。 ・衝撃弾性波法による測 定波形は「パターン日」 に相当するもの。	<ul> <li>(イ)及び(ロ) が 過半数</li> <li>一部は(ハ)及び (二)</li> </ul>				分離面が 完全に 閉塞	<ul> <li>・打総目に明瞭な分</li> <li>離面(ひび割れ)が認められる。</li> <li>・分離面(ひび割 れ)は完全に閉塞されていると推測できる (狭在物または止 水材により閉塞)。</li> </ul>	
タイプ皿	密着 分離 密着	・打雑目の一部はタイプ Iと同じ状態であるが、 過半は分離して間隙(空 験)が生した状態。 ・衝撃弾性波法による測 定波形は「パターン日」 に相当するもの。	ー部は (イ)及び(ロ) (ハ)及び(二)が 過半		Λ	分離面 (ひび割れ) が有る	分離層が 部分的に 閉塞	<ul> <li>・打縦目に明瞭な分</li> <li>※ 甜菜(ひび割れ)が認</li> <li>められる。</li> <li>・分離面(ひび割れ)</li> <li>れいは部分的に閉塞</li> <li>されていると推測できる(狭在物または 止水材により部分的に</li> </ul>	
タイプⅣ	分離	・打雑目の大半は分離 し、連続的な面状の間隙 (空隙)が生じている状 態。 *衝撃弾性波法による測 定波形は「パターンC」 に相当するもの。	(=)		=.		分離面が 全体的に 閉塞	<ul> <li>・打総目に明瞭な分 離面(ひび割れ)が認 められる。</li> <li>・分離面(ひび割 れ)は全体的に開口 している。</li> </ul>	на на на на на на на на на на

#### 表-7.2.3 打継目状態評価区分とボーリング調査による確認状態との対比関係

打継目状	態評価区分		タイ	プI			タイ	プⅡ			タイ	プロ			タイ	プⅣ	
ボーリング	状態	イ		Λ	=	イ		Л	=	イ		ハ	=	イ		л	=
調査による	確認箇所数	13	15	3	0	11	2	9	0	5	0	3	0	0	0	0	1
状態	百分率(%)	90	).3	9.7	0.0	59	9.1	40.9	0.0	62	2.5	37.5	0.0	0	.0	0.0	100.0

タイプ I ~タイプIVの4段階のタイプから密着した状態(A)と非密着の状態(B) に,再区分するための関係付けを表-7.2.4に示す。

表-7.2.4 堤体安定性評価用の打継目状態区分と非破壊試験による状態推定 で分類したタイプとの関係

		水平打継目の状態分類区分
	状態(A):	タイプ I x 0.0% +タイプ Ⅱ x 5.0% +タイプ Ⅲ x 1.0% +タイプ Ⅳ x 0.0%
設	密着	אר איז ער איז
定	状態(B):	<i>゚゙゚</i> ゟ゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙ヽヽ1004 ↓ ゟ゙゙゙゙゙゙゚ゟ゚゚ ⁻ ゚゚゚゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙ ^ヽ 1004 ↓ ゟ゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゚ ^ヽ 10004 ↓ ゟ゙゙゙゙゙゙゙゚
	非密着	ジョフ I ~ 10% 〒ジョフ II ~ 50% 干ジョフ III ~ 90% 干ジョフ IV × 100% 

表-7.2.4の関係から、安定性評価対象打継目における状態(A)と状態(B)との面積比率が算定され、この面積比率を用いて安定計算に用いる。

(2) 変状(分離)部の強度評価

健全部(密着部)及び変状(非密着)部のせん断強度(純せん断強度 τ₀,摩擦係数 f)については、文献,既往の室内試験結果等を参考にして基本的には設定することと するが,対象ダムのコア供試体等を用いた強度特性試験結果がある場合にはそれらの値 を総合的に評価して,せん断強度を設定する。

以下に,文献,既往の室内試験結果からの強度特性を設定した結果を示す。 ア)文献

文献①:多目的ダムの建設²⁾

「コンクリートの水平打継面のせん断摩擦安全率を検討する必要がある場合は,一般に打継面の強度低下を考慮してせん断強度は圧縮強度の1/7~1/10,内部摩擦係数は0.65~0.8が用いられる。」

文献②:ダム設計基準3)

「内部摩擦係数fについては, Henny が引用した実験の例では0.70, 米国開拓局の 設計基準では0.65となっているが, 畑野正の実験によってみても若干これを増大し 得るものと思われるので,一般に0.65~0.80とする。τ₀の値は岩盤とコンクリート のせん断抵抗強度のうち,小さい方の値をとらなければならない。」 文献③:畑野正の研究⁴⁾

二面せん断試験装置を用いて以下の5種類の摩擦抵抗試験を実施し、その結果は次のとおり。

a) 平滑な石材の面とコンクリートの面との摩擦抵抗試験

(試験結果) τ = 0.65 σ

b) 粗な石材の面とコンクリートの面との摩擦抵抗試験

(試験結果) τ = 0.80 σ

c) 平滑な石材の面にコンクリートを打継ぎ, その面のせん断摩擦抵抗試験

(試験結果)  $\tau = \tau_0 + 0.80 \sigma$ 

コンクリート配合 C=250kg/m³, W/C=68%のとき τ₀=25kgf/cm²

d) 粗な石材の面にコンクリートを打継ぎ、その面のせん断摩擦抵抗試験

(試験結果)  $\tau = \tau_0 + 0.90 \sigma$ 

コンクリート配合 C=250kg/m³, W/C=68%のとき τ₀=25kgf/cm²

e)コンクリート供試体のせん断摩擦抵抗試験

(試験結果)  $\tau = \tau_0 + 1.15 \sigma$ 

コンクリート配合 C=250kg/m³, W/C=68%のとき τ₀=55kgf/cm²

イ)既往のダムコンクリート打継目せん断試験結果

水平打継目のせん断強度把握や,合理化施工における水平打継目処理の簡略化等を目 指した検討として,簡易一面せん断試験等を用いた数々のせん断試験⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾が実施さ れており,これらの試験結果を表-7.2.5 に示す。

これらによれば、以下のことがいえる。

純せん断強度 τ₀は,打継目処理方法(特に敷モルタルの有無)の影響を受けており, たとえば,室内供試体の試験結果では,グリーンカット,打設面清掃,敷モルタルすべ てを省略した場合, τ₀は均一部圧縮強度の4~7%程度の値となっている。

摩擦係数 f には打継目処理方法の簡略化の影響は認められず, f の値はコア供試体では 0.7~1.0 程度,室内供試体では 0.8~1.20 程度である。

ウ) ひび割れが生じた面に対するせん断試験結果¹⁰⁾

岩手・宮城内陸地震によって,施工中であった胆沢ダムの洪水吐き導流壁は,水平方向の貫通ひび割れが生じたため,洪水吐き補修方法の検討に資する目的で,コア試料を採取し,ひび割れ面での一面せん断試験を実施している。試験の結果は,見かけの摩擦係数(=せん断応力/垂直応力)について,水平変位と摩擦係数の関係を整理すると,最大荷重時点では見かけの摩擦係数は2~3程度の値を示すが,最大荷重直後は水平変位に伴って摩擦係数が大きく低下していき,水平変位20mmでは摩擦係数が0.65まで低下したとなっている。

223

<del>*</del> /#≅ ++/	三人生		打維目外	処理方法		는 태순 누구 많스	打絲目せ	ん断強度	一般部圧縮強度	本単	#
大型ス		グリーンカット	打設面清掃	敷モルタル	打設間隔	ロションボン 西口	$r_0(N/mm^2)$	f	$(N/mm^2)$	日で	ШЖ
		ポリッシャージェット	小洗い				2.13	1.02			
	左日 が 1.		<b>ー</b> キぐぐしれ	レーキ敷均し			010	1 04		KCD用コンクリート採取	朱老小酢
	コンス		<u> </u>		3⊞	$91\square$	61.2	1.04	9.02	コアによる簡易一面せん	参も 入 関
	上回大が上	なし	小洗い				1.24	1.05		断試験	ír
职 ٿ			コな	ポリッシャー 塗布			1.34	1.04			
П	境川ダム	スイーパー	옷 가 나 나 다	+	B		5.79	0.73		KCD用コンクリート採取 ココニトゥ 巻目 エユノ	参考文献
r i	試験施工	なし	同止水沈净	e 2	小明	תת	2.54	1.09	0.61	⊿ /に よる間汤一回せん 断試験	(9
供 試										原位置ロックせん断試験	
( 本	AZL	あり	高圧水洗浄	あり	不明	約6ヶ月	3.4(※)	1.04(%)	不明	をRCD用コンクリート	参考文献
:										施工部に対して実施。 (※)図からで詰取値	(9
										(※)凶がらの読取値	
	יי ג ר	スイーパー					1.1(%)	1.13(%)		RCD用コンクリート採取 コディト 7 篇目 - 五立 /	キャント
	HA A A		高正大洋油	\$P (1)	不明	91日			不明	コノによる間多一国でん	参ち 入販
	験施工	なし		N. N	-	[	0.7(%)	1.11(%)	-	断試験。 (※)図からの読取値	(9
		ワイヤブラシ	小栄水				1.62	1.02			
	布 国 ダ ム 田 の 日 タ ム		ワイヤブラシ	L			2.14	0.95			+ + + +
{KH		-~+	+水洗い	mpc.u	3日	28日	1 00	600	8.29	全込試験用決試体による 箇目面西井/熊学校	参考入职 5
£		6	- 01////				1.92	0.88			ò
試			なし	なし			0.38	1.23			
ĕ ⊞	RCD用⊐									室内試験用供試法による	参考女献
〔	ンクリート配合	なし	なし	なし	24時間	$91\square$	0.83	1.12	20.1	まに 部の111111111111111111111111111111111111	رT (۲
E t				1.5cm			2.98				
£ #	内部有ス			セメントミル			2 01			室内試験用供試体による	
いち	レプノプコ	ワイヤブラシ	高圧水洗浄	ク配合2種類× 栫工厚2種類	24時間	$91\square$	$\sim 2.54$	1.00	14.5	簡易面一面せん断試験。 結単は f =1 00の冬件が	参考文献 8)
	▶ 下用配合						1.93			10を算出	ò
		なし	なし	1 % L			1.09				

表-7.2.5 既往のダムコンクリート打継目のせん断試験結果

エ)分離した打継目を模擬した供試体に対するせん断試験結果

分離した(非密着の)打継目のせん断強度の概要を把握する目的で,分離した打継目 を模擬するものとして,様々な方法で打継ぎ部に弱部を設けた供試体を作製し,簡易 一面せん断試験を実施した。打継目の状態を模擬したケースは,表-7.2.6に示す6ケ ースとした。供試体作製に使用したコンクリートの配合を表-7.2.7に、コンクリート 材料を表-7.2.8に示した。なお,実際のダムコンクリートではセメントには中庸熱ポ ルトランドセメントが使用されているのが一般的であるが,本試験では,強度発現ま での材齢を短縮する目的で早強ポルトランドセメントを使用した。使用コンクリート の一軸圧縮強度試験結果を表-7.2.9に示す。この一軸圧縮強度試験結果から,材齢7 日であれば,一般的なダムコンクリートの材齢91日時点における発現強度があると判 断し,材齢7日で簡易一面せん断試験を実施した。簡易一面せん断試験機の模式図と 試験状況を図-7.2.7に示す。簡易一面せん断試験用供試体の寸法はφ200mm×h200mm であり,打継目を設ける場合には下層を高さ100mmにおいて打ち止めて打継目処理を 行い,上層を打設する。なお,本試験でのグリーンカットは,ワイヤブラシを用いて粗 骨材が露出程度まで上面のモルタル分を除去した。また,打設直後のコンクリートに は凝結遅延剤を散布してグリーンカットを容易としている。

簡易一面せん断試験の結果を表-7.2.10 及び図-7.2.8 に示す。また,各ケースのせん断試験後の供試体を表-7.2.11 に示す。簡易一面せん断試験の結果からは,完全に分離した打継目では純せん断強度τ₀はほぼ 0N/mm²となるが,摩擦係数f は一般部と同等である f=1.0 以上が期待できることが分かる。

ケース名	ケース概要
一般部	打継なし
使令た打怨日	下層コンクリート打設 18 時間後に, グリーンカットを実施。その後, モルタル
健主な打陸口	を敷き、上層コンクリート打設。
十丁约以加亚田和丁	下層コンクリート打設硬化後, グリーンカットを施工せず, 敷モルタルが無い
打極処理無し	状態で上層コンクリートを打設。
グリーンカット+剥	下層コンクリート打設 18 時間後にグリーンカットを実施し, 打継目に剥離剤を
離剤	塗布したのち,敷モルタルが無い状態で上層コンクリートを打設。
グリーンカット+ラ	下層コンクリート打設 18 時間後にグリーンカットを実施し, 打継目にラップフィ
ップフィルム	ルムを敷設した後、敷モルタルが無い状態で層コンクリートを打設。
グリーンカット+凝	下層コンクリート打設 18 時間後にグリーンカットを実施し, 打継目に凝結遅
結遅延剤	延剤を散布した後,敷モルタルが無い状態で上層コンクリートを打設。

表-7.2.6 分離した打継目を模擬した供試体の試験ケース

粗骨材	水結合材	泪和杜索	含血生物				単位	立量(kg∕r	n ³ )			
最大寸法	比	池和竹竿	而自竹竿	水	結合材	細骨材		粗骨	骨材		AE減	A 드 숙네
Gmax	W/C+F	F/C+F	s/a	W	C+F	S	G1	G2	G3	G4	水剤	AE剤
(mm)	(%)	(%)	(%)			5~0	150~80	80~40	40 <b>~</b> 20	20 <b>~</b> 5	Ad1	Ad2
150	51.4	30	26.7	108	210	540	372	372	372	372	0.84	0.034

表-7.2.7 せん断試験用供試体作製コンクリートの配合

# 表-7.2.8 供試体作製コンクリートの材料 表-7.2.9 供試体作製コンクリートの

圧縮強度

種類	名称
セメント	早強ポルトランドセメント
フライアッシュ	中部電力碧南火力発電所産
粗骨材	秩父産砂岩砕石
細骨材	秩父産砂岩砕砂
AE減水剤	ヴィンソル80
AE剤	ヴィンソル
L	1

				工加压反					
材齢	No	一軸圧	縮強度	動弾性係数					
(日)	NO.	(N/r	nm²)	$(\times 10^{4}$	N/mm ² )				
	1	7.78		1.788					
1	2	7.99	7.8	1.836	1.806				
	3	7.63		1.794					
	1	28.4		2.904					
5	2	29	28.4	2.937	2.916				
	3	27.8		2.907					
	1	32.8		3.024					
7	2	32.1	32.3	3.049	3.039				
	3	31.9	Ī	3.043					





図-7.2.7 簡易一面せん断試験装置の模式図と試験状況

ノナット	<b>屋延剤</b>	せん野	応力で	$(N/mm^2)$	4.45	1.73	2.48	3.25	3.25	1.49	0.72	0.90	2.07	38	3
ゲリー、	+凝結	י ד לי די	国ルひノJ 0 (N / ² )		3.11	1.21	1.74	1.88	1.88	0.86	0.34	0.42	0.97	0.3	1.
しせいト	マイバトム	せん野	応力で	(N/mm ² )	0.63	1.01	4.21	0.95	2.31	0.23	I	I	I	10	43
بر(ب بر	+ - - - - - - - - - - - - -	と 子 七 ゼ	国 NC い 0		0.44	0.71	2.95	0.55	1.34	0.14	-	-	I	.0	1.
ンカット	離剤	ほん断	応力で	$(N/mm^2)$	6.12	6.48	68 [.] L	3.54	4.95	3.70	2.52	3.32	3.23	34	16
بر	、 下 、 下	直応力	σ	$(N/mm^2)$	4.29	4.54	5.53	2.04	2.86	2.14	1.17	1.55	1.51	1	.1.
	「理なし	せん野	応力で	$(N/mm^2)$	10.3	11.1	09.6	6.12	7 <i>.</i> 77	6.42	5.65	4.82	4.33	37	1
	打継処	直応力	а	$(N/mm^2)$	7.23	7.76	6.72	3.53	4.49	3.71	2.64	2.25	2.02	2.	1.
	打継面	せん野	応力で	$(N/mm^2)$	16.1	14.1	15.9	9.19	9.70	11.6	8.39	7.91	I	97	06
	健全な	直応力	ρ	$(N/mm^2)$	11.3	06'6	11.1	5.31	5.60	6.68	3.91	3.69	I	3.	1.
	设部	せん野	応力で	$(N/mm^2)$	13.9	14.5	13.5	10.4	9.47	10.9	6.47	7.04	6.80	52	98
	₽ 	直応力	ρ	$(N/mm^2)$	9.73	10.1	9.48	5.98	5.46	6.32	3.02	3.28	3.17	3.	1.0
	供 1	Li Li	<b>₹</b>	.0N	1	2	3	( <b>4</b> )	<b>(2</b> )	9	$(\mathcal{L})$	8	(6)	/mm²)	f
倾斜角。				35			30			25		ୟ (N			

表-7.2.10 模擬打継目供試体を用いたせん断試験結果



図-7.2.8 試験結果(直応力とせん断応力との関係)



表-7.2.11 せん断試験後供試体せん断面

既往の文献及び室内試験結果である、以上のア)~エ)を基に、打継目におけるせん 断強度を再整理したものが、表-7.2.12である。

せん断面	山 曲 - 担 抑	純せん断強度	内部摩擦係数	
の状態	山英:依拠	$ au_0$	f	
	タ日的の建乳2	圧縮強度	0.65~0.80	
	多日的の建設で	の 1/7 <b>~</b> 1/10		
健全な	ダム設計基準 ³⁾	_	0.65~0.80	
打継目	畑野の研究(粗な石材の面にコンクリートを打	$0 = N / m^2$	0.90	
	継ぎ,その面のせん断摩擦抵抗試験)4)	2.5N/ mm		
	既往試験結果 5)6)7)8)9)	5.7~1.1N/mm²	0.73~1.13	
	畑野の研究(粗な石材の面とコンクリートの面	$0 N/m^2$	0.00	
ひび割れ面	とのせん断摩擦抵抗試験)4)	U N/ mm	0.80	
•	胆沢ダム洪水吐貫通ひび割れ面における	$0 N/m^2$	0.65 0 租庄	
分離打継目	試験結果 10	U N/ mm-	0.03~2 栓度	
	模擬分離供試体のせん断試験結果	0.1 N/mm ²	1.43	

表-7.2.12 文献及び既往せん断試験結果におけるせん断強度

既往の文献及び室内試験結果をもとにして,密着した(健全な)打継目と非密着(分離) した打継目でそれぞれせん断強度を設定するが,以下の点に配慮して,**表-7**.2.12 に示し た値に対して十分に安全側に考慮して,**表-7**.2.13 に示した値を設定することとした。

・変状が生じたものに止水材等の注入・充填等の補修が行われた場合のせん断強度の 回復等の効果は限定的であると推察されるが,打継目自体は密着した(健全な)打継目 と推定される可能性があり,健全と推察される面積が実際よりも大きく推察される可 能性があること。

・非密着(分離した)打継目の状態についても、その状態が不明確なこと。

・水中の摩擦係数は気中の摩擦係数に比較して低下する傾向を有すること。11)

打継目状態		設定値							
状態(A)	純せん断強度 ┰(N/mm²)	2.0							
密着打継面	摩擦係数 f	0.65							
状態(B)	純せん断強度 ェ (N/mm²)	0.0							
非密着打継面	摩擦係数 f	0.65							

表-7.2.13 打継目のせん断強度設定値

(3) 滑動に対する安定性の評価

(1) 変状(分離)範囲の評価,並びに(2) 変状(分離)部の強度評価を行った結果 に基づいて,滑動に対する安定性を評価する方法について,事例として本研究における モデルダムとして取り扱っているAダムに対する照査を行い,説明に代えることとす る。

ア)変状(分離)範囲の評価

変状が懸念される打継目の状態は,非破壊試験を用いた堤体の水平打継目状態把握手 法を用いて,表-4.6.12~表-4.6.19のように,面的に変状の分布状況が推定される。

各打継目の変状の分布状況図から各打継目(BL. 3~BL. 12)の状態タイプの面積百分率は,表-7.2.14及び図-7.2.9のように算出される。

ブロック	福古	夕珎		非調査範囲の			
7499	际同	口小	Ι	Π	Ш	IV	百分率(%)
	230	左岸2−1	35.6	57.3	7.0	0.0	18.5
	228.5	左岸−2	22.7	77.3	0.0	0.0	18.5
	227	左岸−3	44.1	35.2	20.6	0.0	45.3
3	222.5	左岸−4	47.5	40.0	12.5	0.0	65.6
	219.5	左岸4-1	95.0	5.0	0.0	0.0	74.6
	218	左岸4−2	91.7	8.3	0.0	0.0	76.9
	216.5	左岸4−3	70.2	13.7	16.1	0.0	78.8
	227	4B-1	19.3	80.7	0.0	0.0	43.8
4	225.5	左岸−5	9.7	90.3	0.0	0.0	52.0
4	224	4B-2	40.2	59.8	0.0	0.0	55.8
	222.5	4B-3	68.4	22.3	9.3	0.0	63.6
	233	左岸−6	0.0	95.9	4.1	0.0	20.0
	230	5B-1	0.0	100.0	0.0	0.0	20.0
F	228.5	5B-2	18.0	82.0	0.0	0.0	20.0
5	227	5B-3	38.3	61.7	0.0	0.0	20.0
	224	左岸-7	41.5	51.1	7.4	0.0	37.9
	219.5	左岸−8	91.0	9.0	0.0	0.0	49.9
6	215	6B-1	30.9	45.2	23.9	0.0	89.8
7	215	7B-1	23.5	49.8	26.8	0.0	84.0
0	215	8B-1	16.3	69.0	14.7	0.0	83.8
0	212	(左岸-12)	38.9	0.0	43.0	18.1	87.0
0	212	(左岸-12)	73.1	21.6	0.0	5.3	87.0
9	215	9B-1	69.0	31.0	0.0	0.0	86.9
10	215	10B-1	49.1	20.9	16.1	13.9	86.8
	230	11B-1	8.2	91.8	0.0	0.0	41.7
	228.5	11B-2	9.5	90.5	0.0	0.0	47.4
11	227	11B-3	20.4	79.6	0.0	0.0	52.8
	224	11B-4	45.3	50.9	3.9	0.0	67.2
	222.5	右岸-13	28.2	47.9	19.0	4.9	60.0
	218	右岸-14	100.0	0.0	0.0	0.0	92.9
	231.5	12B-1	23.4	71.9	4.7	0.0	53.7
10	230	右岸-15	60.6	29.4	10.1	0.0	78.2
12	228.5	12B-2	0.0	75.7	24.3	0.0	90.0
	227	12B-3	49.8	50.2	0.0	0.0	90.1

表-7.2.14 水平打継目の状態タイプの面積百分率





次に,表-7.2.4に基づき,打継目の状態を状態(A)(密着)と状態(B)(非密着)の2 区分に変換する。変換した結果を表-7.2.15及び図-7.2.10に示す。

ブロック	標高	打継目	打継目状態(	安定計算用)	ブロック	標高	打継目	打継目状態(安定計算用)	
	(EL. M)	石竹	A ₁ (%)	B ₁ (%)		(EL. M)	石亭	A ₁ (%)	B ₁ (%)
	230	左岸2-1	61.4	38.5	6	215	6B-1	52.8	47.2
	228.5	左岸−2	59.1	40.9	7	215	7B-1	48.7	51.4
	227	左岸−3	59.4	40.6	0	215	8B-1	50.6	49.4
3	222.5	左岸−4	64.0	36.0	0	212	(左岸-12(8B))	39.3	60.7
	219.5	左岸4-1	88.0	12.0	0	212	(左岸-12(9B))	76.6	23.4
	218	左岸4−2	86.7	13.3	9	215	9B-1	77.6	22.4
	216.5	左岸4−3	71.6	28.4	10	215	10B-1	56.3	43.8
	227	4B-1	57.7	42.3		230	11B-1	53.3	46.7
4	225.5	左岸−5	53.9	46.1		228.5	11B-2	53.8	46.2
4	224	4B-2	66.1	33.9	11	227	11B-3	58.2	41.8
	222.5	4B-3	73.6	26.4		224	11B-4	66.6	33.5
	233	左岸-6	48.4	51.6		222.5	右岸-13	51.2	48.8
5	230	5B-1	50.0	50.0		218	右岸-14	90.0	10.0
	228.5	5B-2	57.2	42.8		231.5	12B-1	57.5	42.5
	227	5B-3	65.3	34.7	10	230	右岸-15	70.3	29.9
	224	左岸-7	63.6	36.4	12	228.5	12B-2	40.3	59.7
	219.5	左岸-8	86.4	13.6		227	12B-3	69.9	30.1

## 表-7.2.15 水平打継目の状態推定結果



図-7.2.10 水平打継目状態推定(密着・非密着の区分)

イ)変状(分離)部の強度評価

Aダムにおいては堤体から採取したコア試料を用いたせん断試験は実施しておらず, かつ,分離した,すなわち変状が生じた打継目に対して注入を行っているため,変状部 の強度評価については,**表**-7.2.13 をそのまま用いることとする。なお,対象ダム堤体 の状況に応じて,強度評価については見直すことが必要である。

ウ)滑動に対する安定計算

滑動に対する安定については、対象とする水平打継目の上位の躯体に対して、以下の Henny の式による安全率を算定して、評価を行う。

 $F_{s} = (\tau_{0} \times L + f \times V)/H$ 

ここに、F_s: Hennyの安全率、τ₀: 純せん断強度、L: 打継目の上下流方向長さ f: 摩擦係数、V: 鉛直方向断面力、H: 水平方向断面力

このとき,鉛直方向断面力及び水平方向断面力については,基本的には河川管理施設 等構造令施行規則及び河川砂防技術基準に定められた方法で算定を行うものとするが, 揚圧力についてはこれらの基準に依らずに算定する。これらの基準では,堤体は基礎に 完全に密着している状態として揚圧力は上流側: $1/_3 \times H($ 水深),下流側:0の三角形分 布で堤体底面に作用することとしているが,水平打継目に変状が生じ,非密着状態にあ ることを前提にしている本検討においては上流側:H(水深),下流側:0の三角形分布 で作用するものとして設定する。そして,非密着の比率がa%の場合には上流側:  $a'/_{100} \times H($ 水深),下流側:0の三角形分布で底面に揚圧力が作用するものとして算定 する。

Aダムの場合,表-7.2.15 あるいは図-7.2.10 から分かるように非密着の比率は概ね 50%以下であることから,ここでは非密着率を 50%として,各水平打継目の上位の堤 体に対する作用する断面力を算定し,表-7.2.13 に示したせん断強度を用いて,安全率 を算定した結果を表-7.2.16 に示す。この結果によると,滑動に対する安全率は,河川 管理施設等構造令施行規則第9条に定められた安全率=4以上を十分上回っていること が確認され,この場合,滑動に対する安定性に関する構造性能を満足しており,補修の 必要は無いと評価される。

234

ブロック	標高 (EL. m)	打継目 名称	滑動安全率 (Hennyの安全率)	ブロック	標高 (EL. m)	打継目 名称	滑動安全率 (Hennyの安全率)
	230	左岸2-1	28.6	6	215	6B-1	8.5
	228.5	左岸−2	19.4	7	215	7B-1	8.0
	227	左岸−3	17.0	0	215	8B-1	8.2
3	222.5	左岸−4	12.9	8	212	左岸-12(8BL)	6.2
	219.5	左岸4-1	14.4	0	212	左岸-12(9BL)	10.9
	218	左岸4-2	13.1	9	215	9B-1	12.0
	216.5	左岸4-3	10.2	10	215	10B-1	9.0
	227	4B-1	16.5		230	11B-1	25.1
4	225.5	左岸-5	13.7		228.5	11B-2	17.8
4	224	4B-2	14.7	11	227	11B-3	16.7
	222.5	4B-3	14.6		224	11B-4	14.8
	233	左岸-6	79.9		222.5	右岸-13	10.5
	230	5B-1	23.6		218	右岸-14	13.6
F	228.5	5B-2	18.8		231.5	12B-1	45.6
5	227	5B-3	18.5	12	230	右岸-15	32.4
	224	左岸-7	14.2		228.5	12B-2	13.7
	219.5	左岸-8	14.1		227	12B-3	19.8

表-7.2.16 堤体安定性(滑動)の検討結果

#### 7.2.3転倒に対する安定性の評価

水平打継目に変状が生じたコンクリートダム堤体の転倒に対する安定性に対しては, その変状の範囲と変状の程度が影響する。そこで,図-7.2.11に示す手順で安定性を評 価することを提案する。



図-7.2.11 水平打継目に変状が生じた堤体の転倒に対する安定性評価フロー

ここで,安定性評価フローの(1)変状(分離)範囲の評価,(2)転倒に対する安定 性評価,に分けて実施手順を説明する。

(1) 変状(分離)範囲の評価

変状(分離)範囲の評価については、7.2.2(1)と同一である。

(2) 転倒に対する安定性評価

堤体の転倒に対する安定性については,設計荷重作用時に,対象とする水平打継目の上 位の躯体の上流端に生じる応力を算定して,評価を行う。

堤体の上流端に生じる応力は、図-7.2.3にも示したが

$$\sigma_u = \frac{V}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right)$$

ここに, $\sigma_u$ :上流端鉛直応力

V:応力を求める水平断面に作用する単位幅当たりの鉛直力

B:ダムの厚さ(上下流方向の長さ)

e :応力を求める水平断面の中立軸から鉛直力 V の作用点までの距離

で算定する。

このときの鉛直方向断面力 V及び中立軸から鉛直力の作用点までの距離 eについて は、基本的には河川管理施設等構造令施行規則及び河川砂防技術基準に定められた方法 で算定を行うものとするが、揚圧力についてはこれらの基準に依らずに算定する。これ らの基準では、堤体は基礎に完全に密着している状態として揚圧力は上流側: $1/_3 \times H($ 水深)、下流側:0の三角形分布で堤体底面に作用することとしているが、水平打継目 に変状が生じ、非密着状態にあることを前提にしている本検討においては上流側:H(水深)、下流側:0の三角形分布で作用するものとして設定する。そして、非密着の比 率が a%の場合には上流側: $a/_{100} \times H($ 水深)、下流側:0の三角形分布で底面に揚圧 力が作用するものとして算定することとする。

このとき、非密着の面積比率 $\alpha$ が増加すると作用する揚圧力が増加するため、圧縮側を正の値とすると堤体上流端応力 $\sigma_u$ は減少することとなる。堤体上流端に引張応力が生じない非密着面積比率の最大値を非密着限界面積比率 $\beta$ %とすると、上流端応力が $\sigma_u$ = 0N/mm²となる非密着面積比率が $\beta$ %となる。

したがって、堤体の転倒に対する安定性に関する構造性能は、非破壊試験方法で推定 把握した非密着面積比率:  $\alpha$  とそれぞれの打継目に対する非密着限界面積比率  $\beta$  との間 に、 $\alpha \leq \beta$ の関係となっているときに満足していることになる。

ここで、Aダムにおける水平打継目標高毎に上位の堤体に対する断面力から算定され た非密着限界面積比率 $\beta$ と、非破壊試験を用いて推定された非密着面積比率 $\alpha$ との関係 を、非越流部ブロック(BL.3~BL.5, BL.11~BL.12)と越流部ブロック(BL.6~BL.10)と に分けて示したものを、図-7.2.12と図-7.2.13に示す。この結果によると、変状が懸 念された水平打継目における非密着面積比率 $\alpha$ は、いずれも限界面積比率 $\beta$ を下回って おり、Aダム堤体においては転倒に対する安定性に関する構造性能を満足しており、補 修の必要は無いと評価される。







図-7.2.13 転倒条件の検討結果(Aダム越流ブロック)

#### 7.3 非破壊試験結果を用いた貯水性能の評価手法の提案

#### 7.3.1 コンクリートダム堤体に要求される貯水性能

コンクリートダム堤体に要求される貯水性能とは、堤体の持つ遮水性能によって、水を堤体の下流側に漏らすことなく、貯水する性能である。堤体から下流側に水が漏れる現象は、形態別に分けると次の5つの形態が想定される。漏水現象の形態模式図を図-7.3.1~図-7.3.2に示す。

①堤体の上下流面に貫通する縦方向ひび割れが発生した場合

②堤体の上下流面に貫通する水平方向のひび割れが発生した場合

③堤体の上下流面がつながった、水平打継目の分離等の変状が発生した場合

④堤体の横継目に設置された止水板に損傷が生じた場合

⑤堤体の上流面から,縦方向ひび割れ,水平方向ひび割れあるいは水平打継目の変状 によって形成される漏水経路が横継目に設置された止水板の下流側に繋がった場合

これらの発生形態のうち、①②③の3形態については、堤体下流面で漏水が滲出~流 出という形態で確認される。一方、④及び⑤の形態については、①~③と同様に、堤体 下流面で確認される場合もあるが、横継目に設置された継目排水孔で排水される漏水量 の増加という形で漏水が確認されることもある。



図-7.3.1 漏水発生形態模式図(①~③)(堤体を下流側から見た図)



図-7.3.2 漏水発生形態模式図(④~⑤)(横継目止水板付近を上部から見た図)

これらの変状が発生したときに堤体の貯水性能が低下したことになるが,この貯水性 能の低下は,地震による堤体の損傷等によって突然,発生することもあるが,経年的な 変状の進展によって貯水性能の低下が潜在期,進展期,加速期という形で徐々に進展す ることが多いと推察される。そのため,コンクリートダム堤体に要求される貯水性能を 適切に維持していくためには,下流面の漏水現象や継目排水孔で計測される漏水量の増 加という目に見える形での貯水性能の低下が発生したときは基より,潜伏期の段階にお いても変状の状態を的確に把握することが必要である。

コンクリートダム堤体の貯水性能に影響を及ぼす形態としては、前述のとおり、5つ の形態が存在するが、ここでは、本研究で主として検討を行ってきた、コンクリートダ ム堤体の水平打継目の変状発生に起因して生じる③あるいは⑤の形態による貯水性能の 低下を対象としてその性能評価を実施するものとする。

### 7.3.2 貯水性能の評価

水平打継目に変状が生じた場合のコンクリートダム堤体の貯水性能の評価は、基本的 には水平打継目に、堤体下流面あるいは止水板の下流側の横継目まで連続した漏水経路 が形成されている、あるいは形成されつつあるか、否かという評価を行うことになる。 したがって、図-7.3.3に示す手順で貯水性能を評価することについて提案する。



図-7.3.3 水平打継目変状が生じたコンクリートダム堤体の貯水性能の評価手順
ここで, 貯水性能の評価フローの(1)変状(分離)範囲の評価, (2) 漏水経路とな り得る連続した変状の存在有無の確認, に分けて実施手順を説明する。

(1) 変状(分離)範囲の評価

変状が懸念される打継目の状態は,非破壊試験を用いた堤体の水平打継目状態把握手 法を用いて,表-4.6.12~表-4.6.19のように,面的に変状の分布状況が推定される。 貯水性能の評価においては,構造性能評価で行ったような面積比率を算定するような定 量的な評価は行わず,変状(タイプI~タイプIV)の分布状況を確認するところまで実 施する。

(2) 貯水性能の評価

**表-7.2.1~表-7.2.4**に示したように、変状状態のタイプ分類において、タイプ I は、打継目がほぼ密着している状態を想定しており、タイプ II、タイプ II、タイプ IVと 少しずつ非密着の部分が多くなることを想定している。したがって、タイプ I は遮水層 となり、タイプ II、タイプ III、タイプ IVとなるに従い、透水性が高くなると考えること ができる。したがって、次のように、打継目の状態と漏水経路、貯水性能との間には関 係が成立すると考える。

- ① 水の浸入口となる堤体上流面から、堤体下流面、あるいは横継目までの間に、タイプIが連続して分布し、漏水経路を遮断していれば、漏水は発生せず、貯水性能を有する。
- ② タイプⅡ,タイプⅢ,タイプⅣのいずれかが堤体上流面から下流面,あるいは横継 目まで連続している場合,漏水の経路となる可能性がある。
- ③ タイプIVが上流面から堤体下流園あるいは横継目まで連続している場合,漏水が発 生する状態である可能性が高く,貯水性能は低い。
- ④ タイプⅡ,タイプⅢ,タイプⅣが連続している場合,漏水量の大小は,連続した漏
  水経路上において状態が良いタイプの影響を受ける。

図-7.3.4 にモデルダムであるAダムの打継目の貯水性能を事例として示した。タイプ I からタイプIVの分布状況から貯水性能は(a)  $\rightarrow$  (b)  $\rightarrow$  (c)の順序で低くなっていると評価 できる。このように、非破壊試験の結果を用いて貯水性能を評価することが可能とな る。また、これは予防保全対策の実施時期等の判断においても資するものである。



(b) 打継目(b)の貯水性能の評価(Aダム_BL.3_EL.228.5m(補修後))



(c) 打継目(c)の貯水性能の評価(Aダム_BL.3_EL.228.5m(補修前))

図-7.3.4 非破壊試験結果に基づく水平打継目の貯水性能の評価事例

## 7.4 本章のまとめ

本章においては,非破壊試験を用いたコンクリートダム堤体の水平打継目の状態把握手 法の実施結果である打継目変状状況図を用いて,コンクリートダム堤体の性能を評価する 手法について述べた。コンクリートダム堤体に要求される主な性能は,堤体の安定性に関 する構造性能と水を貯める性能である貯水性能の二つに大別される。

まず,堤体の安定性に関する構造性能において,水平打継目に変状が生じた場合に影響 を受けるのは,滑動に対する安定性すなわち抵抗性能,ならびに転倒に対する安定性,す なわち抵抗性能であることを示し,これらについて概説した。

その上で滑動に関しては、①非破壊試験を用いた打継目の変状の状態区分であるタイプ I ~タイプIVの4段階から、打継目の密着と非密着の2区分に再区分を実施する。②文献 及び既往の試験結果等から、密着した状態と非密着状態での打継目のせん断強度を設定す る。③河川管理施設等構造令の規定に準拠した方法で①②の結果を用いて堤体の滑動に対 する安全率を算定する、という3段階で滑動に対する抵抗性能を評価する手法を提案し た。

つぎに、転倒に対する抵抗性能には、揚圧力が作用する面積、すなわち水平打継目の非 密着の部分の比率が影響することに着目して、堤体が転倒に対して安定な状態である上限 の非密着の面積比率を非密着限界面積比率βと定義して、各打継目の非密着部分の面積比 率αとの大小関係から、転倒に対する抵抗性能を評価する手法を提案した。

貯水性能については,貯水性能が堤体上流面から下流面,あるいは横継目に連続的に繋 がった非密着状態の打継目によって形成された漏水経路の有無に因って影響を受けること に着目し,打継目の変状の状態分布から評価することとした。具体的には,非破壊試験手 法によって推定された打継目の変状分布において,ほぼ密着していると評価可能なタイプ Iの分布が,遮水領域として堤体上流面から下流面あるいは横継目までの漏水経路を遮断 するように分布している際は,貯水性能に優れると評価するという手法を提案した。

この提案したコンクリートダム堤体に要求される性能の評価手法によって,堤体の水平 打継目に変状が発生した堤体に対する補修の可否判断を的確に実施することが可能になる と考える。

## 参考文献

- 河川管理施設等構造令:昭和五十一年政令第百九十九号,最終改正:平成二十五年 七月十一日施行
- 2) 財団法人ダム技術センター編:多目的ダムの建設-平成17年版,第5巻設計Ⅱ編, pp.16,財団法人ダム技術センター,2005年6月
- 3) 国際大ダム会議日本国内委員会:昭和三十二年制定ダム設計基準, pp.21, 社団法人日 本大ダム会議, 1957 年 9 月
- 4) 畑野正:コンクリートダムの滑動安定度について、土木学会論文集第6号、pp.6~
  13、土木学会、1951年8月
- 5) 瀬古育二,山口温朗,自閑茂治: RCD コンクリートのせん断強度に関する検討,ダム技術, No. 26, pp. 56~65, 1988 年 10 月
- 6) 中村信悟:境川ダムにおける RCD 用コンクリートの性質について-より高く(安全性), より楽に(施工性),より優れた(品質), RCD 工法をめざして-,ダム技術, No. 26, pp. 199 ~206, 1988 年 10 月
- 7) 永山功,渡辺和夫,田中靖:重力式コンクリートダムの設計におけるコンクリートの せん断強度について,ダム技術,No. 26, pp. 48~55, 1988 年 10 月
- 8) 鈴木敦,加納茂紀,原稔明:RCD 工法における連続打設に向けた基礎的研究,ダム工学,12(1),pp.4~16,2002年3月
- 9) 大藪勝美,木戸研太郎,鈴木敦,中村武:重力ダム高位標高部の施工の高速化のための基礎的検討,ダム工学,19(3),pp.151~164,2009年9月
- 10) 佐々木隆,小山幸男,佐藤彰,宍戸善博:岩手・宮城内陸地震による胆沢ダム洪水吐 き被害の調査・分析,ダム工学,19(2),pp.76~93,2009年6月
- 11) Mathieu Rochon-Cyr, Pierre Leger : Shake table sliding response of a gravity dam model including water uplift pressure, Engineering Structures 31, pp.1625-1633, 2009

## 第8章 結論

本論文では、コンクリートダムを長寿命化するための維持管理に必要不可欠な点検・健 全度の評価に用いる堤体の水平打継目の状態把握について非破壊試験を用いて実施する手 法について検討した。そして、更に、この手法によって実施された状態評価結果を用い て、コンクリートダム堤体の性能を評価する方法について検討を行った。

以下に、本論文で得られた結果を各章毎に要約し結論とする。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的、及び本論文の構成と内容を述べた。

第2章においては、コンクリートダムの維持管理の現状を示すものとして、我が国にお けるコンクリートダムの設置状況と性能維持のための維持管理システムをとりまとめると ともに、ダムの規模や完成後の経過年数等が多様な17基のコンクリートダムにおいてダ ム定期検査と同様の着眼点での状態判定の結果を基に、我が国におけるコンクリートダム の変状を分析・検討した。コンクリートダムの変状を分析・検討した結果,(1)ダムの状 態として,直ちに措置を講じる必要のあるダムは存在しないが,速やかに措置を講じる必 要のある状態が確認されるダムが存在するとともに、ほとんど全てのダムにおいて必要に 応じて措置を講じる必要のある状態となっている部分が存在すること,(2)コンクリート の乾燥や温度低下による収縮現象に起因すると推察されるひび割れ、ならびに堤体下流面 で確認されるひび割れや水平打継目からの漏水がほとんどのコンクリートダムにおいて確 認される主要な変状であること、コンクリートダム洪水吐の越流部あるいは導流部におけ る放流水による摩耗やキャビテーションによる変状も多くのコンクリートダムで確認され る状況にあること、これらの変状については、現時点ではダムの安全性及び機能は保持さ れていると判断されているが、維持管理を適切に実施しなければならない状況にあるこ と、(3) コンクリートダムの変状の中でも洪水吐きの摩耗やキャビテーションによる変 状、ならびに堤体下流面漏水として確認される水平打継目の変状は、経年的な進展が確認 されるものであり、状態を把握すべき変状であり、特に、水平打継目の変状は、ほとんど のダム堤体で確認されるものであるが、変状が堤体内部で進展するため、状態の把握が容 易に行えないこと,変状が進展した場合,直接,堤体の機能低下に影響することから,特 に状態の把握を留意して実施すべき変状であること、を指摘した。

第3章においては、コンクリートダム堤体の水平打継目の変状について整理・分析を行い、さらに水平打継目の状態を把握する方法について検討した。まず、コンクリートダム 堤体は、一般のコンクリート構造物と比較して、①大規模で重厚な無筋コンクリート構造 物であること、②大粒径骨材を使用して、材料分離が生じやすく、骨材下面界面の付着強 度が相対的低くなる可能性があるダムコンクリートを使用していること,③堤体は薄層厚 の矩形ブロックを積み重ねていき構築していくため,打継目が構造的に相対的に弱部とな る可能性がある構造物であること,という水平打継目に変状が生じやすい構造物であると いうことを示した。

次に、水平打継目の変状の発生機構として、①日常的なコンクリートダム堤体の挙動 (繰り返し作用)に起因するもの、②ASR 等の他の劣化原因に起因するもの、という大別 して2種類のものがあり、水平打継目に変状が発生することによって、①堤体構造の安定 性、②貯水機能、というダム堤体の性能にどのような影響がどのように及ぶかということ について述べた。そして、水平打継目に変状が生じて、堤体下流面漏水が確認されている ダムの事例として4ダムを示し、明らかになっている範囲で、変状の発生時期、発生要 因、及び進展状況について概説した。

更に、ダム性能に影響が及ぶ水平打継目の変状の状態を把握する手法として、現在、一 般的に行われている調査ボーリングを用いた手法については、①健全な堤体コンクリート を小規模ながら破壊すること、②変状の状態把握に要するコストが多大になること、③変 状を把握するために必要な現地作業に長期間を要しすることがあるため、調査の実施が困 難となることがあること、④変状を把握するためには、一時期にダムの貯水機能を低下さ せる措置を執らなければならないことがあること、という課題を有しており、水平打継目 の変状を把握する新たな手法が必要であることを述べた。そして、現行の変状把握手法に おける課題を克服する手法としては、衝撃弾性波法とサーモグラフィ法という非破壊試験 の手法を用いることが有望であるとして、これらを用いた水平打継目の変状の把握を行う 新たな手法について取り組むこととした。

第4章においては、衝撃弾性波法を用いて、コンクリートダム堤体の水平打継目の変状 を把握する手法についての検討を行った。まず、コンクリート基礎杭の損傷調査等にこれ まで用いられてきた、高い領域から低い領域までの周波数成分を有する弾性波を入力し、 反射波として戻ってくる弾性波の高周波数領域の成分を取り出すことで、数mオーダーを 超える距離に存在する微細な欠陥を把握可能なシステムに着目して、この計測システムを コンクリートダム堤体に対して適用するとした。手法の検討に当たっては、モデルダムと して、水平打継目に変状が進展している、四国地方に位置するダムを選定し、このダムに 対する計測、検討及び評価の実施を通じて手法の定型化の検討を実施した。

しかし,利用した衝撃弾性波法の計測システムは,一般的なコンクリート構造物に対す る適用事例しかないことから,コンクリートダム堤体の調査に適用するためには,コンク リートダム堤体中の弾性波の伝播特性及び透過反射特性を把握する必要があった。そのた め,まず,ダムコンクリートを用いて作製した大型供試体に対して,衝撃弾性波法の計測 システムを用いて計測を行う室内試験を実施し、一般的なコンクリートに比較して、使用 骨材が大きく、材料分離が生じ易く、不均質になりやすいダムコンクリートで構築された 構造物中の弾性波の透過・反射特性について検討を行った。この結果、ダムコンクリート の構造物においても、弾性波伝播速度のばらつきの程度は最大1.78%と一般的なコンクリ ート構造物におけるばらつきの程度5%に対して十分小さいことが確認されるとともに、 弾性波の指向性についても一般的なコンクリート構造物と同等の6.5°~9.7°であること を確認した。さらに、モデルダム堤体に対する衝撃弾性波法による計測の結果から、コン クリートダム堤体中の弾性波伝播速度のばらつきは3%程度であり、室内試験で確認され た値に比較するとやや大きいが、一般的なコンクリート構造物における弾性波伝播速度の ばらつきと同程度であることを確認した。また、反射波が生じるような劣化部が複数存在 するようなコンクリートダム堤体の状態においても、弾性波伝播速度は、伝播距離に応じ て速度が低下する、あるいは変動係数が大きくなるような傾向はないことも確認され、一 般的なコンクリート構造物と同様であることを確認した。これらの結果から、コンクリー トダム堤体においても、弾性波の透過反射特性に関しては一般的なコンクリート構造物と 同様に取り扱う事が可能であることを確認した。

衝撃弾性波法によって計測された堤体打継目での弾性波の透過反射特性である計測波形 パターンと打継目状態との関係については、Aダム堤体で別途行われていた調査ボーリン グの結果との対比によって設定することとし、同一点での10回程度の計測における波形 パターンの比率から4段階の打継目状態区分を推定する方法を提案した。これによって、 コンクリートダム堤体の水平打継目の変状を非破壊試験によって、面的な分布を含めて状 態を推定することが可能となった。

衝撃弾性波法による計測を行い、コンクリートダム堤体の水平打継目状態を推定する手 法を多くのコンクリートダムに対して広く実施するための障壁としては、堤体天端からの 鉛直下方向の計測では、情報が得られる範囲が限定的であること、計測実施するためには 天端のアスファルト舗装を一旦撤去する必要があること、の2点が存在するものとかんが えられた。そこで、対応策として、前者に対しては堤体監査廊から計測用アタッチメント を用いて計測を行う手法について提案し、これによって堤体内部のより広い範囲の状態が 把握できる可能性があることを示した。また、後者に対してはアスファルト舗装面を金属 補修剤の塗布によって補強することで、舗装を撤去して堤体コンクリート面を直接打撃 し、計測を行った場合と、ほぼ同様の計測結果を得ることが可能になることを確認した。 これら2点の対応策によって、衝撃弾性波法を用いたコンクリートダム堤体の水平打継目 状態の把握が、より多くのダムで適用される機会が増加するものと考えている。

第5章においては、赤外線サーモグラフィ法による水平打継目の変状状態の把握につい て、供用中のコンクリートダム堤体に対する計測データに基づき検討を行った。その結 果,次に示す5つの事項を確認した。(1)コンクリートダム堤体表面が湿潤状態にあると き,水平打継目の温度は周囲の一般部の表面温度に比較して低い。このとき,水平打継目 の劣化が進んでいる箇所の方がより低温として計測される。(2)コンクリートダム堤体表 面が湿潤状態にあるとき、気温あるいは日射エネルギーの変化に伴う、水平打継目部の温 度変化は、堤体表面温度の変化に対して遅延し、その温度変化の遅延程度は変状が進展し た水平打継目のほうが大きい。これは一般のコンクリート構造物の表層部に欠陥がある時 に確認される温度変化の傾向とは異なる。(3) コンクリートダム堤体表面が乾燥状態にあ るとき、気温の上昇、あるいは日射エネルギーによって堤体表面の温度が上昇する際には 水平打継目の温度は周囲の一般部の堤体表面温度に比較して高温となる。しかし、温度上 昇が収束、あるいは降下過程においては水平打継目の温度の方が低温となる。これは一般 のコンクリート構造物の表層部に欠陥がある場合の温度変化の傾向と同一である。(4)気 温に比較して貯水池水温が低く,水平打継目からの漏水が確認される場合,水平打継目の 変状が進んでいる方が水平打継目での温度は低い。(5)気温に比較して貯水池水温が高 く、水平打継目からの漏水が確認される場合、変状が進展しておらず漏水量も少ない状態 では水平打継目付近の温度は一般部に対して低くなるが、水平打継目の変状が進んでいる 場合には高くなる。

これらの5つの事項は、水平打継目の堤体表面付近の変状の状態が、表面温度によって 把握可能ということを示唆しており、すなわち赤外線サーモグラフィ法を用いることで水 平打継目の状態把握が可能であることが確認された。

第6章においては,第4章と第5章で述べた,非破壊試験である衝撃弾性波法と赤外線 サーモグラフィ法を併用して,コンクリートダム堤体の水平打継目の変状の状態を把握す る方法を提案した。具体的には,概略調査として赤外線サーモグラフィ法によって変状の 進展が懸念される水平打継目をスクリーニングした上で,詳細調査として衝撃弾性波法に より打継目の状態を定量診断するための,異種の非破壊試験を組み合わせて実施するもの である。これによって必要な部分への重点的な詳細調査の実施が可能になり,調査全体の 合理化,効率化が可能となる。さらに,衝撃弾性波法による状態把握が困難な上下流面付 近に赤外線サーモグラフィ法で得られる情報を加味することで水平打継目の状態把握の精 度向上を図ることが可能となる。

また,さらに,提案した非破壊試験を用いた堤体の打継目状態を把握する技術を活用す るものとして,貯水機能補修,すなわち漏水対策として実施される水平打継目へのセメン トミルク注入の効果確認への衝撃弾性波法の活用について述べた。モデルダムにおいて実

250

施された打継目への注入前後の状態評価への適用の結果から,提案した衝撃弾性波法は, 注入の効果を確認する方法としても有効であることを示した。

第7章においては、非破壊試験を用いたコンクリートダム堤体の水平打継目の状態 把握手法の実施結果である打継目変状状況図を用いて、コンクリートダム堤体の性能 である、堤体の滑動に抵抗する構造性能、堤体の転倒に抵抗する構造性能、及び貯水 性能について評価する手法について提案を行った。滑動に関しては、①非破壊試験を 用いた打継目の変状の状態区分であるタイプI~タイプIVの4段階から、打継目の密 着と非密着の2区分に再区分を実施する。②文献及び既往の試験結果等から、密着し た状態と非密着状態での打継目のせん断強度を設定する。③河川管理施設等構造令の 規定に準拠した方法で①②の結果を用いて堤体の滑動に対する安全率を算定する、と いう3段階で滑動に対する抵抗性能を評価する手法を提案した。

転倒に対する抵抗性能には,揚圧力が作用する面積,すなわち水平打継目の非密着 の部分の比率が影響することに着目して,堤体が転倒に対して安定な状態である上限 の非密着の面積比率を非密着限界面積比率βと定義して,各打継目の非密着部分の面 積比率αとの大小関係から,転倒に対する抵抗性能を評価する手法を提案した。

貯水性能については,貯水性能が堤体上流面から下流面,あるいは横継目に連続的 に繋がった非密着状態の打継目によって形成された漏水経路の有無に因って影響を受 けることに着目し,打継目の変状の状態分布から評価することとした。具体的には, 非破壊試験手法によって推定された打継目の変状分布において,ほぼ密着していると 評価可能なタイプIの分布が,遮水領域として堤体上流面から下流面あるいは横継目 までの漏水経路を遮断するように分布している際は,貯水性能に優れると評価すると いう手法を提案した。

第8章は結論であり、本研究の内容を総括し、各章で得られた知見、提案内容を簡潔に 要約した。

251

## 謝辞

本研究の実施及びとりまとめにおいて、大阪大学大学院工学研究科教授鎌田敏郎先生か らは、ひとかたならぬご指導とご鞭撻をいただいたことを厚くお礼申し上げます。鎌田敏 郎先生には、以前から、水資源機構のあるダムにおける技術検討会の委員としてご指導を 頂くというご縁を持たせて頂いておりましたが、コンクリートダムの維持管理に関する研 究を行いたいという突然のお願いに対しても、暖かく門戸を開いていただき、大学での研 究の機会を頂きましたことを改めて深く感謝申し上げます。この3年間は自分の人生の中 でも非常に充実した期間であり、鎌田敏郎先生には心より感謝申し上げます。

大阪大学大学院工学研究科教授乾徹先生,ならびに大阪大学接合科学研究所准教授堤成 一郎先生には,本学位論文の審査を快く引き受けていただき,本論文をまとめるに当たり 貴重なご指導,ご指摘,ご助言を頂きました。心より感謝申し上げます。

大阪大学大学院工学研究科助教寺澤広基先生には,研究に対する暖かい助言を頂くほ か,様々なご支援を頂きまして,心より感謝申し上げます。

大阪大学大学院特任研究員服部晋一氏,(一財)沿岸技術センター秋山斉氏,ならびに西 日本本高速道路エンジニアリング関西(株)鈴木真氏には,研究に対するご助言の他,社会 人の博士後期課程学生の先輩として様々なアドバイスを頂き,心から感謝しております。 また,社会基盤設計学領域の学生の皆さんには,ゼミや交流会等において,父親のような 年齢である私に対しても友人のように自然に接していただいたことを感謝いたします。

水資源機構総合技術センター元所長桜井力氏,ならびに水資源機構総合技術センターダ ムグループ長木戸研太郎氏には,大学院博士後期課程への入学のきっかけを作って頂い た,あるいは背中を強く押して頂きました。このお二人が居なかったら,本研究はまとま ることは無く,深く感謝しております。

また、本研究で用いた衝撃弾性波法調査システムの開発者の一人である、永井哲夫氏に は、計測された波形の解釈等のアドバイスを頂きましたことを感謝申し上げます。

最後になりましたが、本研究は、水資源開発公団入社後、現在に至るまでの多くの時間 をコンクリートダム及びダムコンクリートに関する技術や研究開発に携わってきた著者 が、独立行政法人水資源機構に勤務しながら大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 に在籍した3年間で、それまでの業務のなかで実施してきた内容を改めて深く分析検討を 行ったもの、ならびに大学院において新たに取り組んだ内容についてとりまとめを行った ものです。そのため、現地計測等でお世話になった水資源機構の現場事務所の職員の皆様 に厚くお礼を申し上げると共に、水資源機構のコンクリートダムの維持管理の記録、ダム 堤体に対する非破壊試験による計測データ等を数多く使用させていただいたことについて この場を借りて感謝の意を表します。