

厳寒地の気象変化がコア越冬面に与える影響について

Influence of Winter Weather in Extremely Cold Climate on Dam Core Surfaces

伊藤 淳^{*1} 山上 雅弘^{*2} 山岸 保^{*2} 朝賀 晃二郎^{*2}
Atsushi Ito Masahiro Yamagami Tamotyu Yamagishi Koujirou Asaga
瀧野 千里^{*3} 石井 仁^{*4} 松浦 勇司^{*4} 伊東 秀規^{*4}
Chisato Takino Hitosi Ishii Yuuji Matsuura Hidenori Itou

【要旨】

冬期間の環境が厳しい北海道において施工されるフィルダムコアゾーンの越冬面対策は、従来コア上部に凍結防止保護層として、ロック材等透水材料を1m程度盛り立て、翌春撤去し、盛立作業を再開するのが通例であった。しかし、この施工方法では次のような問題点があった。

- ① 盛立施工可能時期終盤において、一度、凍結防止保護層のロック材を盛り立てると天候が良くなってもコア盛立を再開することが困難である。
- ② 凍結防止保護層の材料がコアに食い込み、凍結防止保護層撤去時にコアが緩んだり、取り除かれたりする為、前年度最終層は再施工の可能性が大きくなる。

私たちは留萌ダムの越冬面対策として、上記の問題点を解決し、コスト面でも優れるコア最終層を凍結防止保護層とする施工方法を提案した。

この対策は本州以南で広く行なわれているが、北海道開発局においては、過去にこのような越冬面対策の実績がなかった。しかも留萌ダムでは最低気温が氷点下30度以下に下がる為、越冬期間中には温度観測計器を設置し、さらに盛立再開時には土質試験を行い、気象変化がコア越冬面に与える影響について調査を実施した。ここでは2年間にわたり実施したコア越冬面対策と調査結果について報告する。

【キーワード】 越冬面対策 凍結防止保護層 熱電対 保温効果 現場品質管理試験

1. はじめに

北海道の北西部、札幌と稚内のほぼ中央に位置する留萌市を流れる留萌川は、天塩山地を源として、日本海に注ぐ、流域面積約270km²、幹線流路長約44kmの一級河川である。留萌ダムはこの留萌川水系チバベリ川に建設され、洪水調整、流水の正常な機能の維持、留萌市への水道用水の補給を目的とした多目的ロックフィルダムである。

留萌ダムの位置図を図-1に、ダム標準断面図を図-2に工事概要を表-1に示す。

留萌ダムが建設される幌糠地区は、留萌川河口から約20km上流に位置し、毎年11月から4月までは雪に囲まれ（最大積雪深3m程度）、最低気温が氷点下30度以

下まで下がる厳しい環境にあるため、コアゾーンの越冬面対策については、盛立工事開始時より最も重要な検討課題であった。

従来、冬期間の環境が厳しい北海道にて施工されるコアゾーンの越冬面対策は、凍結防止保護層（以下保護層）として、コア上部にロック材等透水材料を1m程度盛り立て、翌春撤去し盛立作業を再開するのが通例であった。

しかし、この方法では、一旦保護層を施工した場合、その後コア盛立が可能となったとしても施工を再開できないこと、また保護層の材料がコアに食い込む為、盛立再開時に前年最終層の再施工が必要となる等の問題点があった。そこで留萌ダムでは、冬期間中止直前のコア最終層をそのまま保護層とする越冬面対策を提案した。

1. 土木本部 ダムグループ 2. 札幌支店 留萌ダム作業所 3. 札幌支店 雄武ダム六期作業所
4. 国土交通省北海道開発局 留萌開発建設部 留萌ダム建設事業所

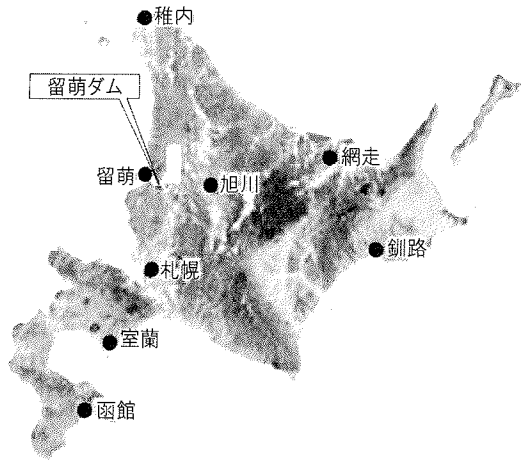


図-1 留萌ダム位置図

表-1 工事概要

発注者	国土交通省 北海道開発局 留萌開発建設部
施工者	飛島・鉄建・岩田 特定建設工事共同企業体
ダム形式	中央コア型ロックフィルダム
堤高	41.2m
堤頂長	440.0m
堤体積	1,225,000m ³
集水面積	42.0km ²
湛水面積	2.20km ²
総貯水容量	23,300,000m ³
工期	平成14年2月22日 ～平成21年12月17日

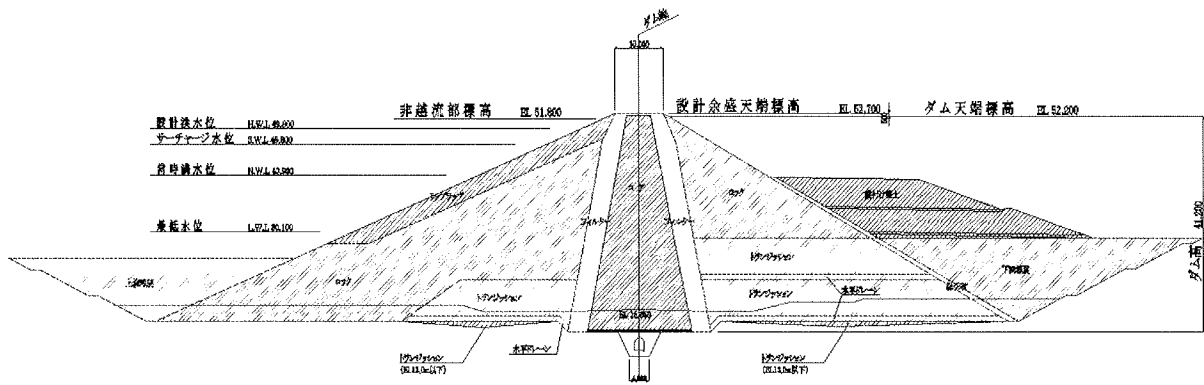


図-2 留萌ダム標準断面図

2. 留萌ダムで提案したコア越冬対策

コア最終層を保護層とした場合のメリットは、下記のとおりである。

- ・施工可能時期終盤は気象条件が厳しくなり、いつコア盛立を完了させるかの判断が難しい。従来のロック材等の透水材料を保護層とした場合、保護層施工完了後、天候が良くなっても盛立を再開することが困難である。一方、コア最終層をそのまま保護層とすれば、保護層施工時期の判断が必要なくなる。
- ・原石山から発破により採取した材料を保護層材とした場合、保護層がコア表面に食い込むため、保護層材料撤去時にコアが緩んだり、取り除かれたりする。その結果、前年の最終層の一部を除去したり、再転圧等の必要性が発生し、再施工となる可能性が大きい。し

かし、コア最終層を保護層とした場合、コア盛立再開時に保護層がコアとしての要求品質を確保出来ていることが確認できれば、そのまま次層の施工を開始することも可能である。

- ・保護層が薄くなる為、越冬対策費用のコスト縮減が可能となる。

留萌ダムでは、最終層を保護層とする提案をした為、結果的に保護層は一般コアの盛立仕様(表-2)と同様となった。(図-3)

越冬による品質低下が無ければ保護層をそのまま残すことも可能だったが、北海道開発局では過去に施工実績がなかった為、発注者と協議の結果、盛立再開時には保護層とした最終層を除去することとした。

表-2 一般コア盛立仕様

仕上り厚	転圧回数	転圧機械
20cm	6回	11t級振動ローラー

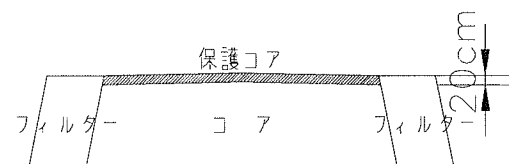


図-3 保護コア材施工断面図

3. 平成 16 年度の施工と調査内容¹⁾

保護層の目的は、コアの凍結防止対策にある為、冬期間中、保護層及びコア内部に熱電対を設置し、気象変化に伴う温度変化を測定した。

熱電対は、被覆熱電対 (VT6) を使用し、保護層を含んでコア内 1.0m の深度まで挿入し、土中温度を測定した。設置孔の削孔径はφ50mm、測定部の設置深度は地表面から 0cm・5cm・10cm・20cm・40cm・60cm・80cm・100cm の 8 点とし (図-4 参照)、設置位置については、側線 NO.11・NO.13・NO.16 のダム軸上の 3 ヶ所とした。(図-5、図-6 参照)

データは、NO.13 付近に設置した収録装置にて自動計測を行い、自動計測装置は融雪水が浸入しないよう防水型 BOX に収納し、地盤より約 1.5m 高の位置に固定した。

さらに盛立再開時には、保護層の下層のコアについて現場密度試験・現場透水試験を実施し、越冬による品質の影響について評価した。

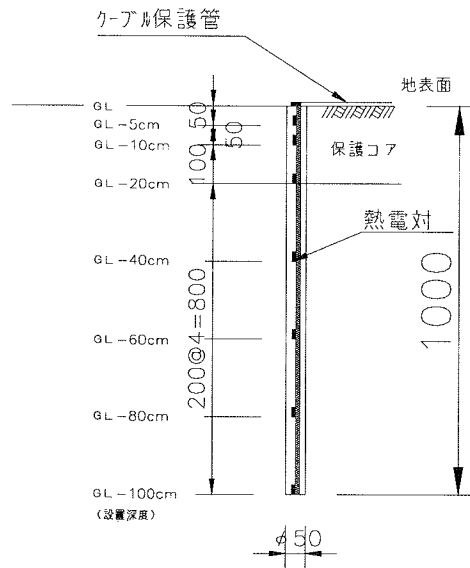


図-4 熱電対設置断面図

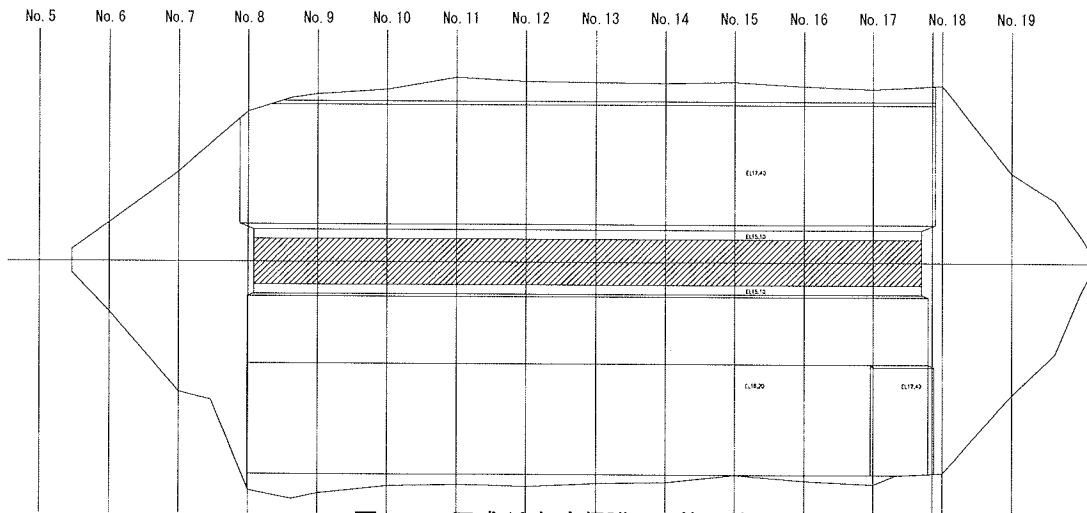


図-5 平成 16 年度保護コア施工位置図

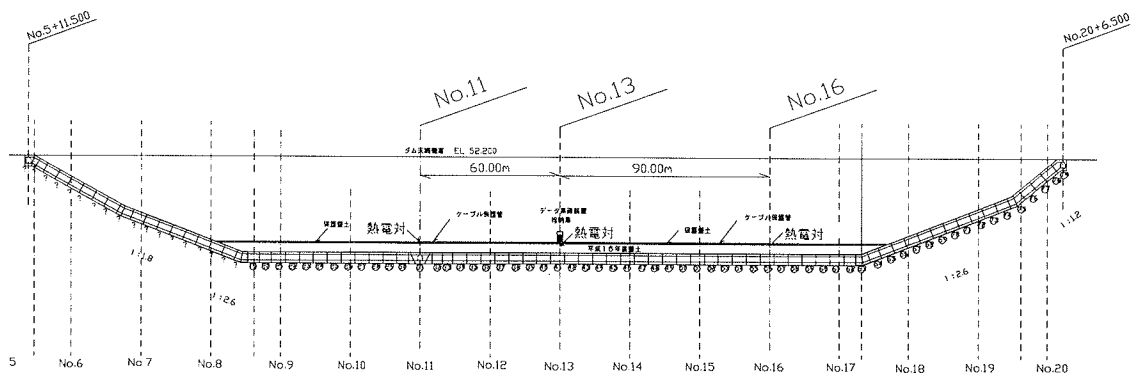


図-6 熱電対設置位置図

4. 平成 17 年度の施工と調査内容

平成 17 年度の保護層は、平成 16 年度に実施した当該工法（コア材 $t=20\text{cm}$ ）と従来工法（ロック材 $t=100\text{cm}$ ）が受ける気象の影響の違いについて比較するために、エリアを分けて実施した。（図-7～9参照）

保護層及びコア内部の温度計測についても平成 16 年度と同様に被覆熱電対（VT6）を使用した。当該工法については平成 16 年度と同様に保護層を含んでコア内 1.0m の深度まで挿入し、地表面から 0cm・5cm・10cm・20cm・40cm・60cm・80cm・100cm の 8 点で温度変化

を測定し、側線 NO.13・NO.15 のダム軸上 2ヶ所に設置した。一方従来工法については側線 NO.7+25・NO.17+20 のダム軸にて保護層を含んで 2.0m まで挿入し、ロック材による保護層の温度変化（地表面から 30cm・60cm）の他、コア内部の温度変化についても当該工法と同じ深度にて 8 点測定した。（図-10 参照）

さらに盛立再開時には、平成 16 年度と同様に保護層の下層のコアについて現場密度試験・現場透水試験を実施し、越冬による品質の影響について評価した。

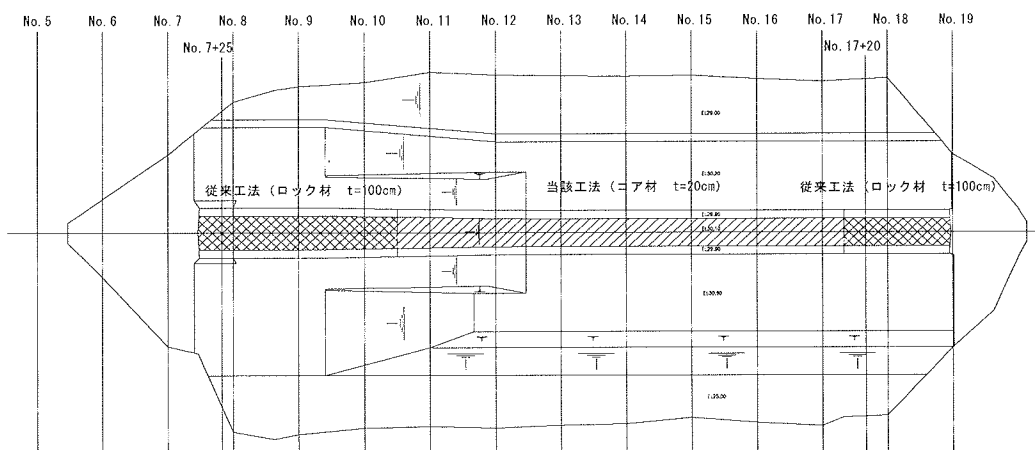


図-7 平成 17 年度保護コア施工位置図

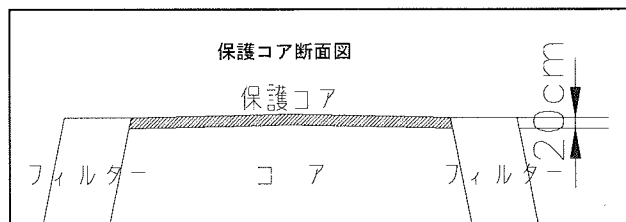


図-8 当該工法

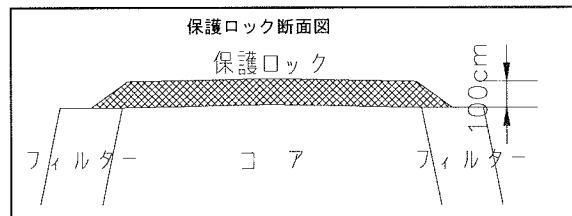


図-9 従来工法

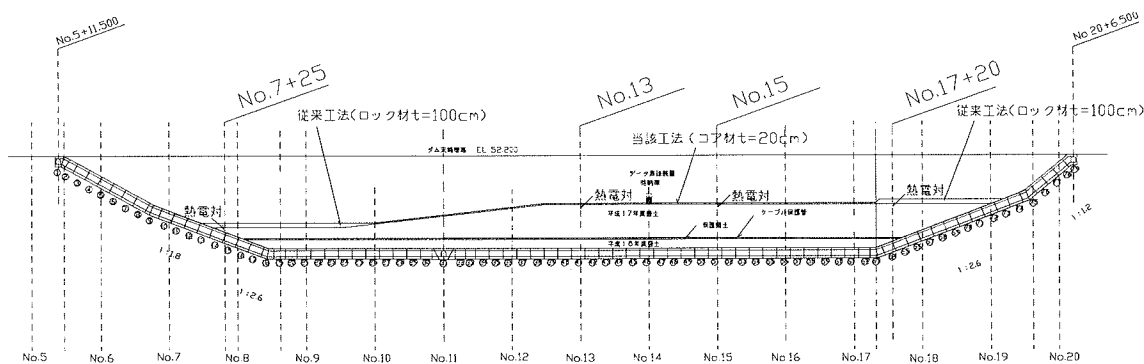


図-10 平成 17 年度熱電対設置位置図

5. 測定結果¹⁾

平成16年度(平成16年10月27日～平成17年3月31日)、平成17年度(平成17年11月17日～平成18年3月31日)の熱電対によるコア内部温度測定結果のグラフを示す。(図-11、図-12 参照)

図-11 及び図-12 より得られる各側線の測定箇所における最低気温及び積雪深を表-3、表-4にまとめる。

また、ロック材の保護層内部の温度測定結果を表-5にまとめる。

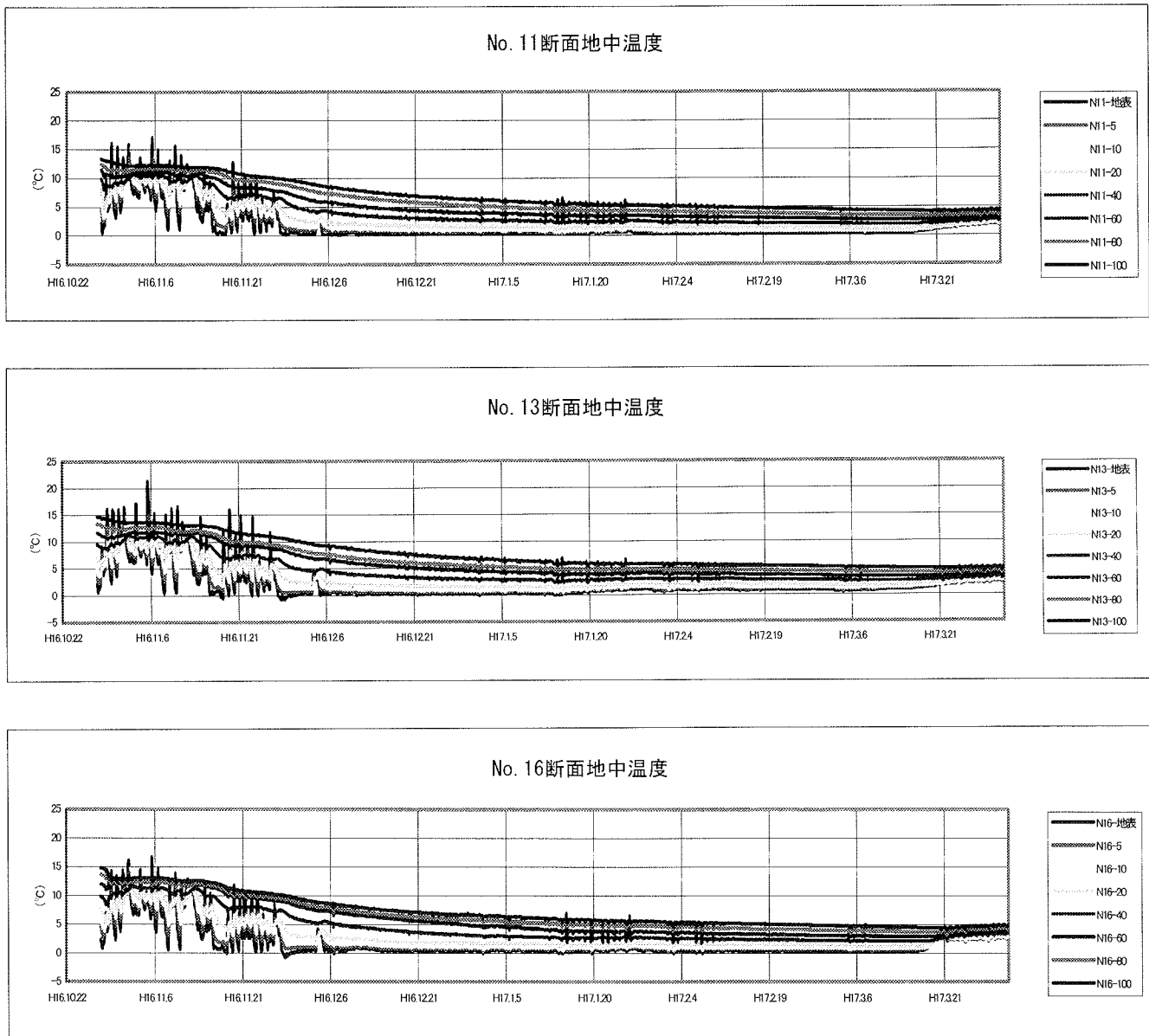


図-11 平成16年度各側線温度変化

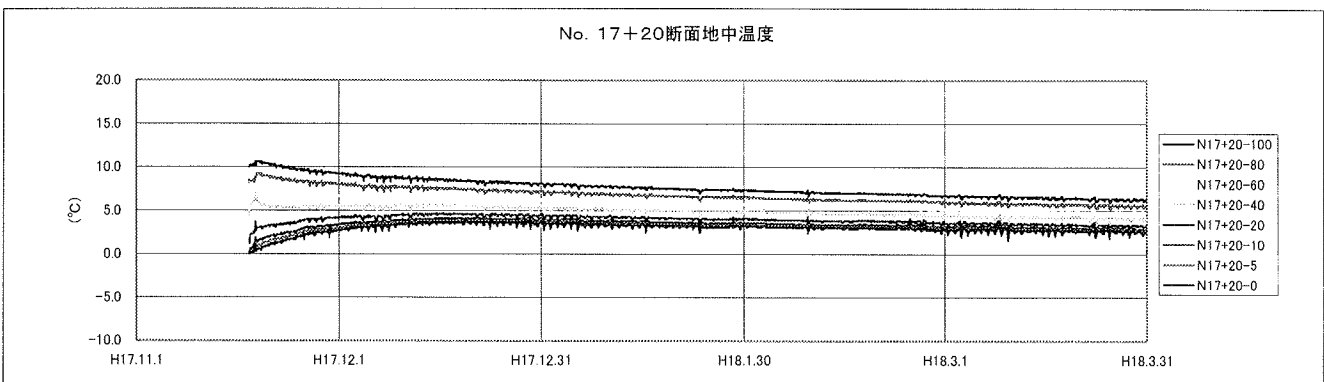
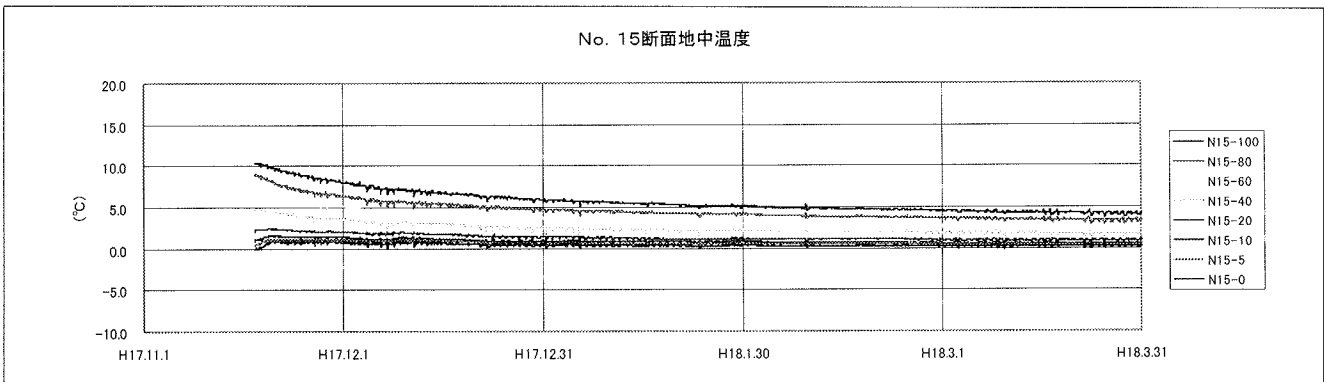
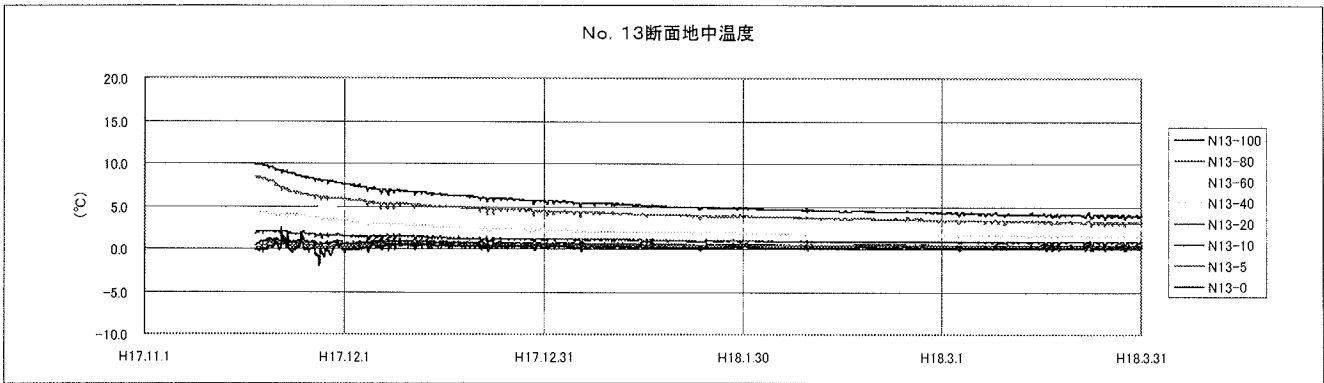
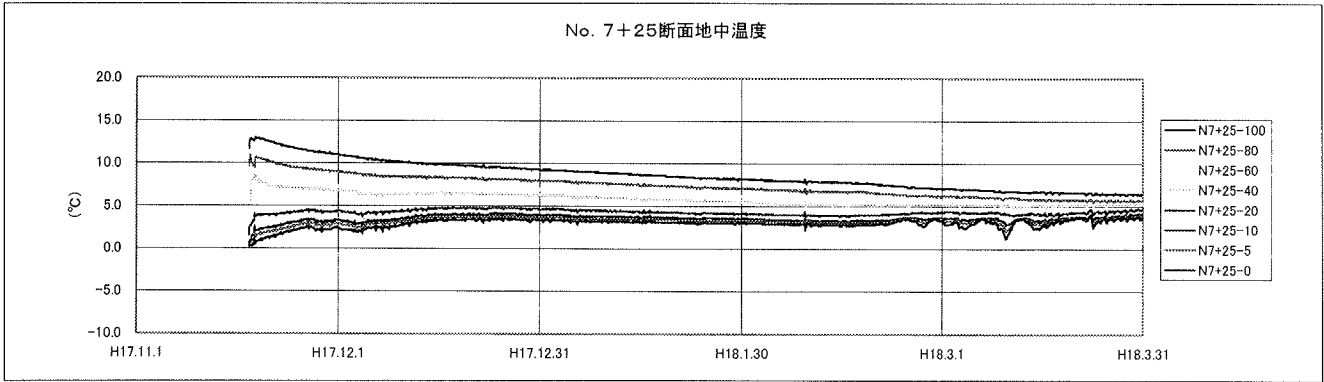


図-12 平成17年度各側線温度変化

表-3 平成16年度保護層及びコア内部日最低温度

測点		測定深度							
		地表面	GL-5cm	GL-10cm	GL-20cm	GL-40cm	GL-60cm	GL-80cm	GL-100cm
No.11	測定日時	2004/11/28 17:00	2005/1/1 2:00	2005/2/7 17:00	2005/2/1 17:00	2005/3/4 11:00	2005/3/4 11:00	2005/3/19 23:00	2005/3/24 16:00
	最低地中温度 °C	0.1	0.4	0.5	1.0	1.8	2.6	3.2	3.8
	最低外気温 °C	-3.8	-25.9	-8.6	-16.9	-10.7	-10.7	-5.9	-3.9
	積雪深 cm	1	146	181	182	256	256	213	190
No.13	測定日時	2004/11/28 7:00	2005/1/1 2:00	2005/1/15 10:00	2005/1/14 11:00	2005/1/14 16:00	2005/3/21 11:00	2005/3/21 11:00	2005/3/24 14:00
	最低地中温度 °C	-0.8	0.3	0.4	0.9	2.1	3.0	3.7	4.3
	最低外気温 °C	-3.8	-25.9	-25.5	-21.9	-21.9	-2.1	-2.1	-3.9
	積雪深 cm	0	146	150	155	155	207	207	192
No.16	測定日時	2004/11/28 7:00	2005/1/1 2:00	2005/1/14 17:00	2005/1/19 15:00	2005/2/7 10:00	2005/3/21 10:00	2005/3/21 10:00	2005/3/21 10:00
	最低地中温度 °C	-0.8	0.2	0.5	1.1	1.7	2.6	3.2	3.9
	最低外気温 °C	-3.8	-25.9	-21.9	-17.7	-8.6	-2.1	-2.1	-2.1
	積雪深 cm	0	146	154	135	181	208	208	208

表-4 平成17年度コア内部日最低温度

測点		コア内測定深度							
		GL-0cm	GL-5cm	GL-10cm	GL-20cm	GL-40cm	GL-60cm	GL-80cm	GL-100cm
NO.7+25 (保護ロック)	測定日時	2005/11/17 16:00	2005/11/17 16:00	2005/11/17 16:00	2005/11/17 16:00	2006/3/11 18:00	2006/3/22 12:00	2006/3/23 12:00	2006/3/28 11:00
	最低地中温度 °C	0.2	0.3	0.3	1.5	4.9	5.1	5.5	6.3
	最低外気温 °C	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	0.9	-8.7	-13.8	-5.1
	積雪深 cm	30	30	30	30	176	201	200	181
NO.13 (保護コア)	測定日時	2005/11/27 6:00	2005/11/17 16:00	2005/12/22 16:00	2006/3/23 13:00	2006/3/23 13:00	2006/2/8 10:00	2006/3/23 12:00	2006/3/25 12:00
	最低地中温度 °C	-2.0	0	0.2	0.5	1.3	2.0	2.7	3.5
	最低外気温 °C	-7.6	-0.8	-21.5	-13.8	-13.8	-22.5	-13.8	-2.9
	積雪深 cm	31	30	119	199	199	196	200	195
NO.15 (保護コア)	測定日時	2006/3/10 10:00	2006/3/10 9:00	2006/3/10 10:00	2006/3/10 10:00	2006/3/23 12:00	2006/3/25 14:00	2006/3/23 13:00	2006/3/25 14:00
	最低地中温度 °C	-0.2	0	0	0.2	1.2	2.0	2.9	3.7
	最低外気温 °C	-19.0	-19.0	-19.0	-19.0	-13.8	-2.9	-13.8	-2.9
	積雪深 cm	183	183	183	183	200	190	199	190
NO.17+20 (保護ロック)	測定日時	2005/11/17 17:00	2005/11/17 17:00	2005/11/17 17:00	2005/11/17 17:00	2006/3/25 11:00	2005/11/17 16:00	2006/3/25 10:00	2006/3/25 10:00
	最低地中温度 °C	0	0	0.1	1.2	3.6	4.1	5.2	6.0
	最低外気温 °C	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-2.9	-0.8	-2.9	-2.9
	積雪深 cm	30	30	30	30	196	30	196	196

表-5 保護ロック内最低温度

測線	日付	測定深度										
		外気温 (標準観測所)	ロック材		コア材							
		30cm	60cm	0cm	5cm	10cm	20cm	40cm	60cm	80cm	100cm	
NO.7+25	2月8日	-9.2	-9	-6.1	2.2	2.3	3.1	3.9	5.2	5.8	6.8	8
NO.17+20	2月9日	-11.4	-8	-4	3	3.1	3.4	3.9	4.8	5.6	6.4	7.2

以上より、次の事が分かった。

- ① 温度変化のグラフから平成16年度と平成17年度ともに設置後、雪の降り始め時期は、地表面において氷点下まで下がったが、保護層も含めてコア内部において氷点下以下まで下がらなかった。
- ② 積雪後は、外気温の影響をあまり受けていない。これは積雪による保温効果だと考えられる。
- ③ 保護層をコア材とした当該工法の場合、深部に行く程、温度が高く0~5°C程度の温度に収束した。

- ④ 保護層をロックとした従来工法の場合、表面から20cmの範囲のコアに対し保温効果が働き1~3°C程度コアの温度が上昇した。
- ⑤ 平成17年度の結果より、コア内部の温度を当該工法（NO.13・NO.15）と従来工法（NO.7+25・NO.17+20）で比較すると、保護層下部20cm範囲の最低温度は、両工法とも同じであるが、最終安定温度は、1°C~3°C程度従来工法の方が高かった。④と同様にロック材の保護層による保温効果があったと考えられる。

6. コアの品質試験結果

保護層を撤去した後、コアの現場密度試験・現場透水試験を実施し、越冬後のコアの品質を確認した。

平成17年度に従来工法の箇所は、保護層をバックホウにて撤去した後、コア面を観察した結果、ロック材の食い込みによるコアの損傷が激しく、また、ロック材撤去時、一部コアも撤去されている為、コア1層(20cm)分を撤去することになった。

従って、NO.7+25・NO.17+20の品質管理試験は、コア撤去後前年度最終層のさらに下層で行なった。

試験実施位置は、図-13及び図-14に示すとおりである。なお、現場密度試験は、φ30cm、H=20cmの突き砂法、現場透水試験は、φ30cm、H=30cmの定水位法によって行った。

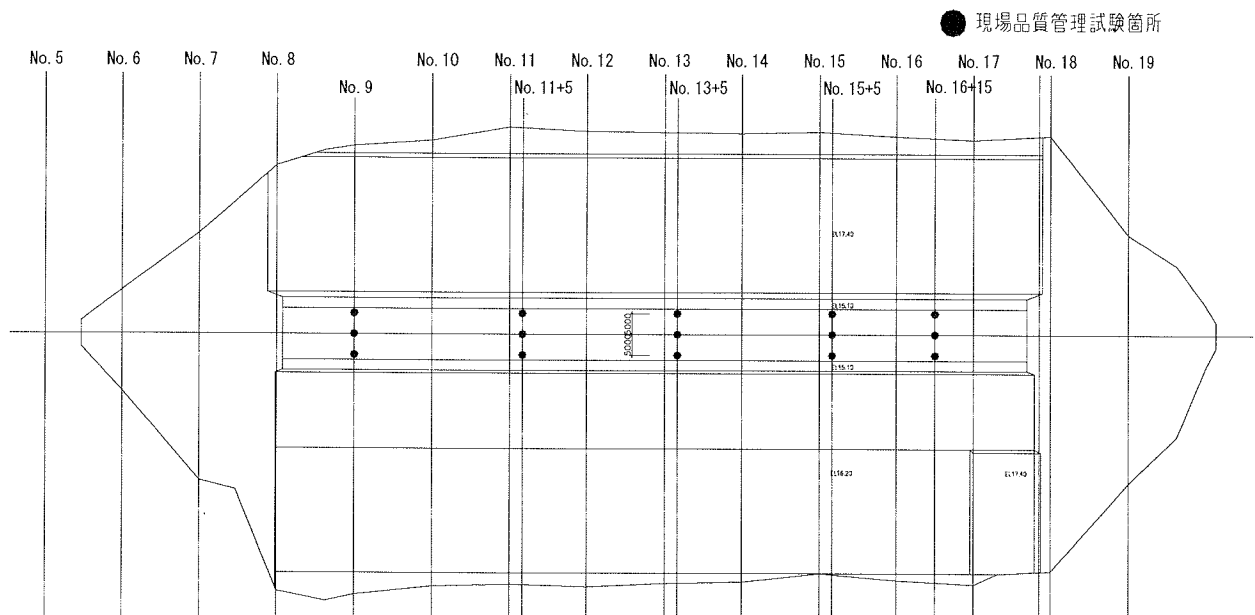


図-13 平成16年度品質管理試験位置図

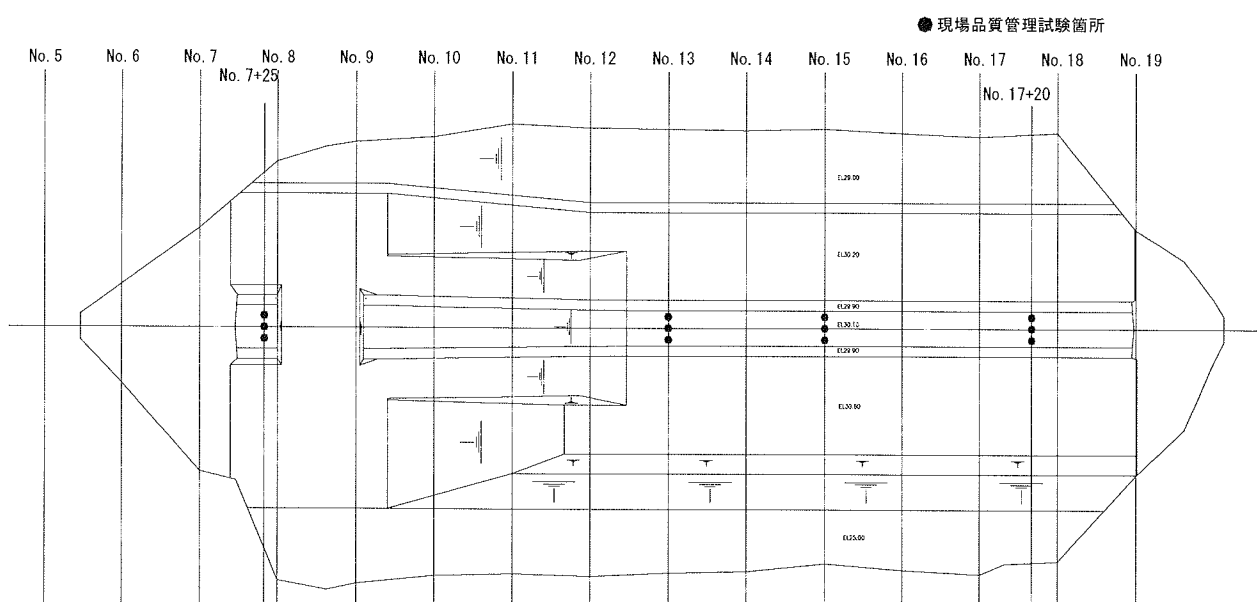


図-14 平成17年度品質管理試験位置図

現場品質管理試験の結果を表-6, 表-7に示す。

表-6 平成16年度試験結果一覧表

種別	試験箇所	測線No	位置	締めめ試験		現場品質試験					現場	備考
				最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(t/m^3)$	最適含水比 $W_{opt}(\%)$	乾燥密度 $\rho_{d-63mm}(t/m^3)$	含水比 $W_{63mm}(\%)$	D値 (%)	$W_{63} \cdot W_{opt}$	礫率 $P_{63mm}(\%)$	透水係数 $k(cm/s)$	
留萌ダム 品質管理基準	-	-	-	-	-	-	-	95 \leq	+1 \sim +3	-	$\leq 1 \times 10^{-5}$	
確認試験	19層目	9+0	-5 (上流)	1.762	172	1.755	183	996	1.1	105	24E-06	保護層(20cm)を剥ぎ取り無転圧
		9+0	0 (セタ)			1.673	175	950	0.3	154	98E-06	"
		9+0	+5 (下流)			1.674	207	950	35	195	49E-06	"
		11+5	-5 (上流)	1.762	172	1.809	185	1027	1.3	235	69E-06	"
		11+5	0 (セタ)			1.688	174	958	0.2	162	73E-07	"
		11+5	+5 (下流)			1.845	167	1047	-0.5	195	1.14E-06	"
		13+5	-5 (上流)	1.762	172	1.812	159	1028	-1.3	234	79E-06	"
		13+5	0 (セタ)			1.693	172	961	0.0	314	1.37E-05	" 18層目(1.7E-06cm/s)
		13+5	+5 (下流)			1.861	167	1066	-0.5	255	3.11E-06	"
		15+5	-5 (上流)	1.740	175	1.756	182	1009	0.7	212	29E-06	"
		15+5	0 (セタ)			1.724	190	991	1.5	209	1.0E-06	"
		15+5	+5 (下流)			1.655	203	951	28	253	7.2E-07	"
		16+15	-5 (上流)	1.740	175	1.743	189	1032	1.4	393	7.31E-07	"
		16+15	0 (セタ)			1.819	196	1045	2.1	394	4.8E-06	"
		16+15	+5 (下流)			1.808	200	1039	25	396	4.1E-06	"

表-7 平成17年度試験結果一覧表

種別	試験箇所	測線No	位置	締めめ試験		現場品質試験					現場	備考	
				最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(t/m^3)$	最適含水比 $W_{opt}(\%)$	乾燥密度 $\rho_{d-63mm}(t/m^3)$	含水比 $W_{63mm}(\%)$	D値 (%)	$W_{63} \cdot W_{opt}$	礫率 $P_{63mm}(\%)$	透水係数 $k(cm/s)$		
留萌ダム 品質管理基準	-	-	-	-	-	-	-	95 \leq	+1 \sim +3	-	$\leq 1 \times 10^{-5}$		
確認試験	94層目 (右岸)	13+0	-4 (上流)	1.781	17.5	1.787	15.6	100.4	-1.9	23.8	4.87E-06	保護層(20cm)を剥ぎ取り無転圧	
		13+0	0 (セタ)			1.756	15.0	98.6	-2.5	11.3	3.48E-06	"	
		13+0	+4 (下流)			1.788	15.8	99.3	-1.7	30.2	1.65E-06	"	
		15+0	-4 (上流)			1.741	16.8	97.8	-0.7	26.5	5.50E-06	"	
		15+0	0 (セタ)			1.759	16.4	98.8	-1.1	35.4	3.47E-06	"	
		15+0	+4 (下流)	1.764	16.0	99.0	-1.5	31.1	3.77E-06	"			
		17+20	-4 (上流)	1.784	20.0	100.2	2.5	22.2	3.02E-06	"			
		17+20	0 (セタ)	1.771	19.2	99.4	1.7	26.7	4.77E-06	"			
		17+20	+4 (下流)	1.773	20.0	99.6	2.5	33.3	3.17E-06	"			
		55層目 (左岸)	7+25	-4 (上流)	1.771	17.6	1.746	20.0	98.6	2.4	12.8	7.06E-07	"
			7+25	0 (セタ)			1.763	19.3	99.6	1.7	21.5	2.26E-06	"
			7+25	+4 (下流)			1.758	19.2	99.3	1.6	20.8	1.33E-06	"

上記結果より、次の事が分かった。

- ① D値に関しては、平成16年度・平成17年度ともに規格値(D \geq 95%)を満足した。
- ② 平成16年度の現場透水試験結果は、1点透水係数が規格値($k \leq 1.0 \times 10^{-5} cm/s$)を満足しなかった。その原因としては、保護層撤去後の該当箇所は含水比が低く、透水係数が規格値を僅かに下回る結果になったのではないかと考えられる。当該箇所は、その影響範囲のコア(19層目)を撤去し、再施工を行った。その際、その下層(18層目)の品質管理試験を実施し、締め固め度D値=98.0%、透水係数 $1.73 \times 10^{-6} cm/s$ と所要の品質を満足する結果を得た。
- ③ 平成17年度の現場透水試験結果は、全て規格値($k \leq 1.0 \times 10^{-5} cm/s$)を満足した。

- ④ 保護層の撤去作業は、下層を緩めない様慎重な施工が望まれるが、保護層撤去後の品質試験開始前の再転圧時、含水比が低いと考えられる場合、加水等の含水比調整が必要と考える。

7. まとめ

留萌ダムにて提案したコア凍結防止保護層をコア最終層とする越冬対策は、2年間にわたる調査結果、次の事が分かった。

- ① 保護層をロック材とする従来工法も、コア最終層を保護層とする当該工法でも、外気温が氷点下以下に下がっても保護層を含むコア内部温度が、表面以外は氷点下以下に下らない為、コアが凍害を受けることが無かった。

- ② 従来工法では、盛立再開時の品質管理試験結果、D 値及び透水係数の規格値を満足したが、当該工法では、一部透水係数が規格値を満足する事が出来なかった。
- ③ 当該工法では、従来工法に比較して、保護層の厚さが厚いこと等により、保温効果が働きコア内部の最終安定温度が 2~3℃高くなった。
- ④ 従来工法の場合、保護ロックと接するコアを損傷すること、また、融雪水によりコア表面の細粒分がフィルタ敷に流出することから、当該工法と同様に 1 層分のコア撤去を余儀なくされた。

以上の結果より、保温効果などにより外気温の影響によるコア内部の温度変化については従来工法のほうが有利であるものの、当該工法であっても凍害等の影響を受け無い事が分かった。総合的に判断して私たちは、コアの盛立と越冬対策を同時に出来る今回の提案が、越冬対策を効率的に実施できると判断している。

また、コア表面以外コアの内部は氷点下にならないこ

とから今後、たとえばコア表面をシート等により覆うこと等の対策を考えれば、経済性の比較検討が必要とはなるが、コア最終層（保護層）を撤去しないことを視野に入れた試験を実施し、新たな越冬対策として提案していきたいと考えている。

8. おわりに

最後に本工事の施工及び調査において、ご理解・ご指導・ご協力頂いた発注者である国土交通省北海道開発局 留萌開発建設部 留萌ダム建設事業所の皆様に心から感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 佐藤祐介, 赤坂友二, 沢田君雄: 留萌ダムの越冬面処理について—コアゾーンにおける越冬対策—, 第 49 回 (平成 17 年度) 北海道開発局技術研究発表会論文集, 北海道開発局, 2006,2

Summary In Hokkaido, where the environment is fierce in winter, the core zones of fill dams have normally been covered with a pervious material, such as rock, to a depth of around 1 m to protect the core surfaces from freezing during winter. The cover has then been removed in the following spring to restart banking work. However, this method has posed the following problems:

- (1) Near the end of the season in which banking work is feasible, it is difficult to restart the work once the protective rock layer is constructed, even if the weather improves within the season.
- (2) The protective layer can bite into the core, causing the core to become loose or broken off during the removal of the protective layer. The last layer of the core placed in the previous year is therefore prone to be re-placed.

The authors proposed a method in which the last layer of the core is used as the protective cover as economical measures for Rumoi Dam to protect its core surfaces from the harsh winter environment while solving the above-mentioned problems.

This method is widely practiced in Honshu and southern areas but has never been carried out in areas covered by the Hokkaido Regional Development Bureau. Since the minimum air temperature at Rumoi Dam falls below -30°C, thermal observation equipment was placed to measure the temperatures in the overwinter period, and geotechnical tests were conducted when re-starting banking, in order to investigate the effects of weather changes on the core surfaces. This paper reports on the overwinter measures for core surfaces taken in two years and the results of investigation.

【Keywords】 overwinter measures for core surfaces, protective layer against freezing, thermocouple, insulating effect, field quality control test