

鹿山排水路における施設機能診断について

帯広開発建設部 農業開発第2課 ○下元竜太郎
堀内 隆
國見 圭嗣

国営草地開発事業上陸別地区で造成された鹿山排水路では、積ブロック護岸が全体的に前傾している。適切な対策工法の検討にあたっては劣化の要因やメカニズムを踏まえることが重要である。そのため、国営造成水利施設保全対策指導事業による施設機能診断で前傾の要因を検討した結果、凍上に起因する可能性が高いと判断された。

本報では、平成 19 年度に実施した施設機能診断調査による劣化要因の推定や診断手法の評価に関して報告を行うものである。

キーワード：調査・計画、ストックマネジメント、排水路、詳細調査、凍上

1. はじめに

国営、都道府県営事業等により造成された基幹的な農業水利施設は、平成 14 年度時点において、用排水路の延長が約 4 万 5 千 km、点的施設数(貯水池、頭首工、用排水機場等)が約 7 千カ所にものぼり、末端施設まで含めれば再建設費ベースで約 25 兆円にも及ぶ社会資本ストックとして形成されるに至っている¹⁾。これらの施設は、食料生産基盤としての機能だけではなく、自然環境の保全等の多面的な機能を有し、国民全体に便益を供給する社会的共通資本となっている。

しかし、これらの施設の相当数は、老朽化が進行し更新が必要な時期を迎えているが、適期での対応には様々な課題があり、保全技術の確立が急務になっている。

このため、既存施設の長寿命化を図り、ライフサイクルコストを最小にするストックマネジメントの考え方を導入するために平成 15 年度より国営造成水利施設保全対策指導事業が創設されている。

平成 19 年度に国営造成水利施設保全対策指導事業による機能診断調査を実施した国営草地開発事業上陸別地

区の鹿山排水路において、積ブロック水路に前傾が起きていることが確認された(図-1)。本地区が北海道の中でも極寒の地域に属していることから、積雪寒冷地特有の現象である凍上力が上部に作用したことによって引き起こされたものと推定された。この現象の再発防止工法を検討するにあたっては、劣化メカニズムを把握し要因の除去や抑制を図ることが重要である。本報では、積ブロックの劣化状況や要因の推定に関する調査手法について報告を行うものである。

2. 鹿山排水路の概要

(1) 事前調査

調査対象施設は、十勝支庁管内陸別町に位置する全長 1,537m の鹿山排水路である(図-2)。本施設は、昭和 60 年から平成元年にかけて建設され、施工後 19 年が経過している。水路護岸は、連結ブロック及び積ブロックで構成されている(表-1、図-3)。



図-1 積ブロックの前傾



図-2 位置図

表-1 施設諸元

区 間	延長 (m)	構 造	規 模		
			流量 (m ³ /s)	敷幅 (m)	法勾配
No. 0+13.20～No. 5+94.50	581.30	連結ブロック	10.3	2.0	1:2.0
No. 5+94.50～No. 13+87.50	793.00	積ブロック※ ふとんかご	10.3	4.0	1:0.4
No. 13+87.50～No. 15+50.00	162.50	連結ブロック	10.3	2.0	1:2.0
合 計	1,536.80				

※右岸：積ブロック、左岸：ふとんかご

現地踏査の前に、施設管理者である陸別町に聞き取り調査を行った。その結果、現在の積ブロックにおける前傾については原因を特定できていない状況にあり、このまま放置した場合、積ブロックが破損や倒壊に至ることも懸念されるため、対策を望んでいた。なお、本排水路においては施設造成後から現在までに3回の豪雨被災があり、うち2回は河床洗掘から背面土砂の吸出しが発生し、積ブロックが後方へ倒壊するものであった。

護岸の前傾は背面からの外力によることから、その要素を①凍上、②残留水圧、③土圧(盛土)、④上載荷重(積雪、農作業機械、牛舎)と仮定して周辺環境にも着目した現地踏査を行うこととした。

(2) 現地踏査

事前調査結果を踏まえ、徒歩巡回点検による異常箇所や変状の把握を目的とした現地踏査を行った。積ブロック区間においては護岸が前傾に至る要因について周辺状況に着目した現地踏査を行った(図-4)。

前傾は、複合的な要因によると考えられたが、背面盛土、農作業機械による荷重、牛舎の有無にかかわらず路線全体にわたって確認された。

また、積ブロックには水抜孔が設置されていることから、前傾要因は残留水圧ではなく、凍上である可能性が考えられた。

地盤の凍上は、冷気・土質・水分の三要素が全てそろった状態で発生する土壌中の氷晶(アイスレンズ)により引き起こされる。一般に積雪地域では、雪による断熱効果があるため、冷気が地盤へ侵入しにくいと考えられている。しかし、本排水路の積ブロックは、法面勾配が1:0.4と急であることから着雪せず、冬期間を通してブロック前面からの冷気が侵入すると考えられた。また、排水路という特性上、河川から十分な水分供給が可能である。この様に、凍上要因の冷気と水分は整っていることから、詳細調査として土質調査が必要と判断した。

なお、凍上による前傾は、図-5に示すメカニズムであると推定した。

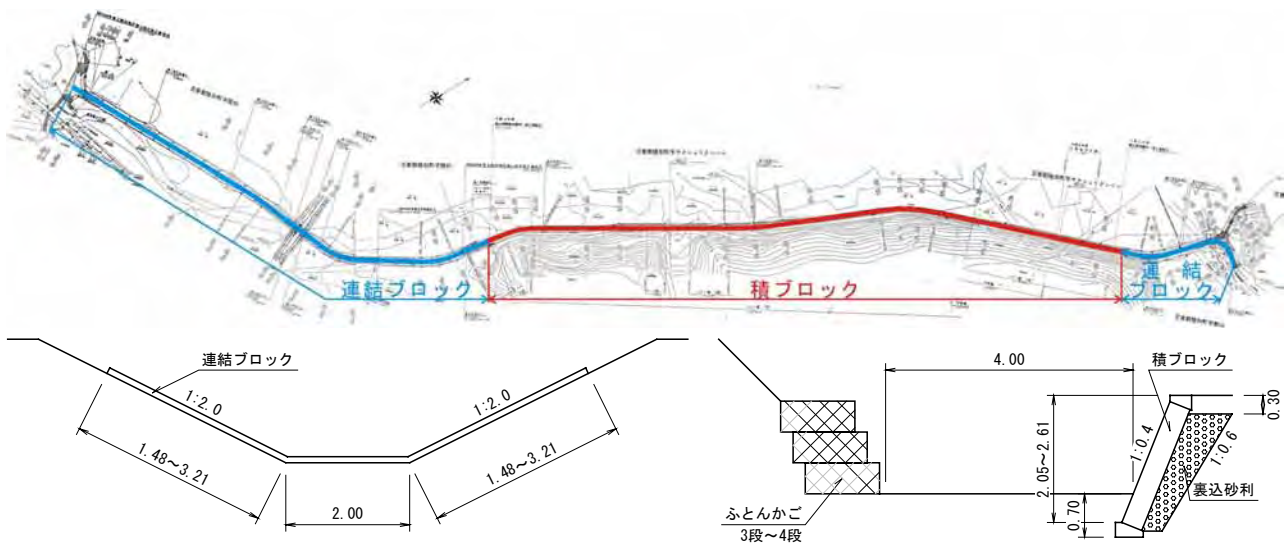


図-3 平面図と標準断面図

No. 5+94.50																																														
積ブロック番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43			
背後地の状況	農地、盛土なし																																													
積ブロック傾斜角度	71	70	70	69	71	74	74	69	72	71	73	75	74	72	73	71	69	71	70	70	71	70	70	70	71	71	70	68	68	68	68	69	68	69	70	70	68	70	69	69	69	70	69	68		
特記事項					①																																									
定点調査番号	3				4								5				6																													12

No. 13+87.50																																															
積ブロック番号	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81									
背後地の状況	集積場、盛土											牛舎、盛土											パドック、盛土																								
積ブロック傾斜角度	69	70	69	70	70	68	69	69	75	71	72	71	74	70	72	70	71	70	69	68	70	74	75	73	71	70	71	71	71	70	71	71	71	71	69	70	69	69									
特記事項																																															
定点調査番号																																															

積ブロック傾斜の凡例 68.1度が造成角度(1:0.4) 黄色 : 70~72度 赤色 : 73~74度 青色 : 75度
 特記事項 ① 6、35はブロックにひび割れが見られる。 ② 72だけ積ブロックが割れている。河床低下による沈下と考えられる。

図-4 現地踏査結果と定点調査箇所(積ブロック区間の抜粋)

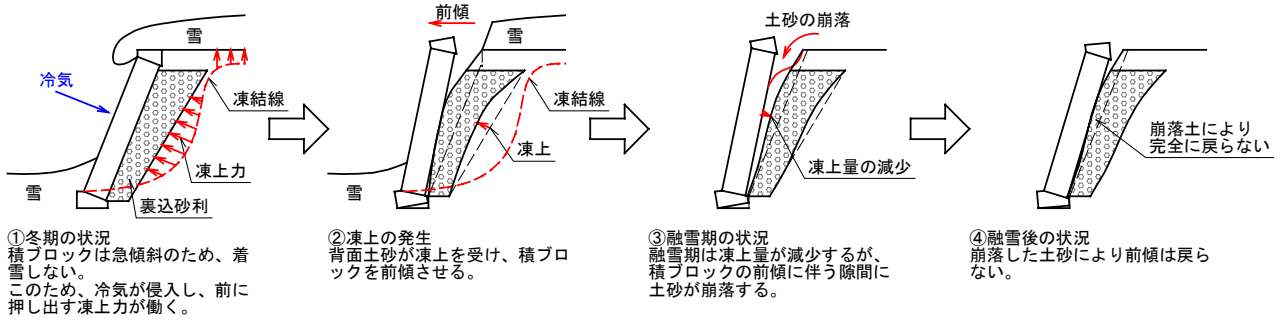


図-5 凍上による前傾メカニズムの推定

3. 機能診断調査

(1) 現地調査(定点調査)箇所決定

現地踏査から変状(洗掘・積ブロックの傾き・ひび割れ等)の程度を整理するとともに、積ブロックの変状を詳細に把握するため、19箇所の定点調査箇所を選定した(図-4)。

(2) 凍上調査手法の検討

凍上に関する調査は、得られる成果と費用(費用対効果)及び調査時期を勘案し、段階的に精度を高めるよう以下に示す手順で行った。

- ①現象の把握(傾斜度測定、裏込砂利の沈下量調査)
- ②背面土の凍上性調査(土層構成調査、室内凍上試験)
- ③冬期間の状況確認(凍結深度、地温、地下水位)

表-2 観測結果一覧

目的	調査内容	調査数	箇所
①現象の把握	横断測量	19箇所	定点3~21
	裏込砂利の沈下量	19箇所	定点3~21
②背面土の凍上性調査	土層構成	3箇所	定点5, 15, 19
	室内土質試験	1箇所	定点11
	凍上試験	3箇所	定点5, 15, 19
③冬期間の状況確認	積雪状況	全区間	
	凍結深度	1箇所	定点11
	地温	1箇所	定点11
	地下水位	1箇所	定点11

*裏込砂利より農地側の地山

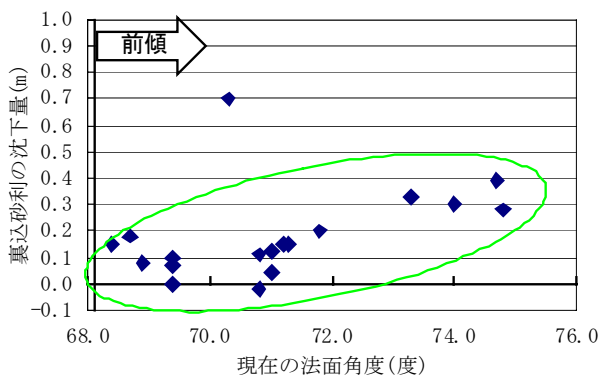


図-6 現在の法面角度と裏込砂利の沈下量

実施した調査項目を表-2に示す。なお、本報では裏込砂利より農地側の地山を背面土と記す。

a) 現象の把握

凍上に起因した前傾現象を把握するため、横断測量による傾斜度測定と裏込砂利の沈下量調査を行い、造成時法勾配からの変化量と、裏込砂利の沈下量を確認した。図-6に示す結果から、前傾の程度が増加するに従い、沈下量も増加する正の相関が見られた。

このように、図-5の④に示した現象が確認されたため、凍上による変状である可能性が高まった。

b) 背面土の凍上性調査

凍上の三要素である土質面の評価を行うため、3地点でオーガーボーリングによる土層構成把握と凍上試験を、1地点で室内土質試験を行った。

本排水路の背面土においては、シルト層が厚く堆積していた。また、凍上試験を行った結果、全ての地点で霜降状の凍結様式となり、凍上対策が必要²⁾であると判定された。

凍上は、土の毛管上昇による水分供給の観点からシルトで最大となる³⁾が、定点11のシルト層は室内土質試験(粒度試験)の結果、凍害を受けやすい土の粒度範囲⁴⁾にあり、凍上発生の可能性が高いことが示された(図-7)。

以上より、土質的な側面においても凍上の発生する条件は整っていると考えられた。

c) 冬期間の状況確認

前項までの調査結果から、積ブロックの前傾要因として凍上の可能性が高いと考えられた。しかし、積ブロック背面には、凍上性の低い裏込砂利が置換材として用い

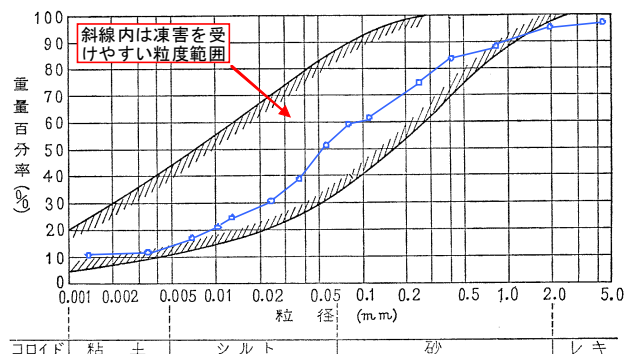


図-7 凍害を受けやすい土の粒度範囲と粒度試験結果

られていることから、凍結線が置換材を越えて背面の凍上性土砂に侵入する状況を確認しない限り仮定したメカニズムは成立しない。そのため、冬期間の凍結深度、地温、地下水位、積雪状況の確認を行った。

凍結深度、地温、地下水位調査は、周辺状況や営農に支障を来さない地点として図-4に示した定点11で行い、積雪状況調査は全区間について目視で行った。

凍結深度はメチレンブルー凍結深度計を、地温は熱電対を用いて測定した。凍結深度計の長さは2.0mとし、熱電対はGL-0.5m、-1.0m、-1.5mに設置した。これらの観測機器は、積ブロック天端前面から0.5m農地側に設置した。また、地下水位観測孔は凍結深度計からさらに2m農地側の地点に設置した。観測機器の設置状況図を(図-8)に示す。

凍結深度、地下水位の調査頻度は月2回とし、地温の計測頻度は1時間間隔とし、平成20年1月15日から観測を開始した。

なお、地下水位観測孔を設置する際に行ったボーリング工のコアでアイスレンズを確認したことから、実際に背面土において凍上が起きている事が確認された(図-9)。

<積雪状況>

積雪状況を調査した結果、メカニズムで想定したとおり、積ブロックに着雪はほとんど見られなかった(図-10)。

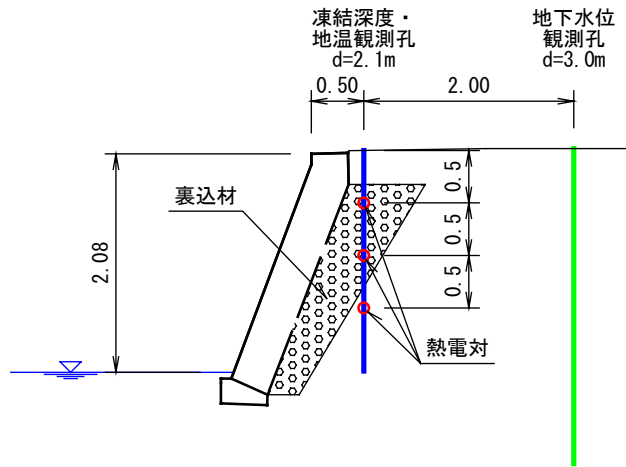


図-8 観測機器設置状況(定点11、単位:m)

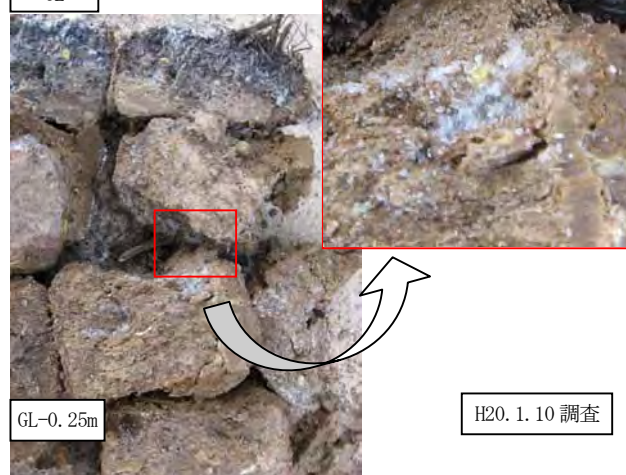


図-9 ボーリングコア中のアイスレンズ(地下水位観測孔)

また、積雪深も1月下旬まで20cm以下であったことから、本排水路は積ブロックの前面および上面の2方向から寒気が侵入しやすく、凍結に対して厳しい環境であることが明らかになった。

<凍結深度・地温・地下水位>

地温の観測結果を図-11に示す。地温は、1月18日以降、全ての深度で零度以下となった。最も深い深度の地温(GL-1.5m)は、2月4日に最低の-0.5°Cを観測した。

凍結深度、地温、地下水位の観測結果を表-3に示す。凍結深度は、観測当初から裏込砂利の範囲(GL-0.3m~1.3m)を超え、背面土に達していた。

地下水位は、1月下旬までGL-1.85m~1.89mであり、河川水位より高かったが、2月になると急激に低下し、20日時点で河川水位より低くなっている。しかし、凍結深度計による凍結範囲の先端からは、2月20日現在で地下水位面から39cmほど上方の距離にあるものと想定されており、凍上の要因と考えられる背面土への水分供給



図-10 積雪状況(H20.2.13 定点15)

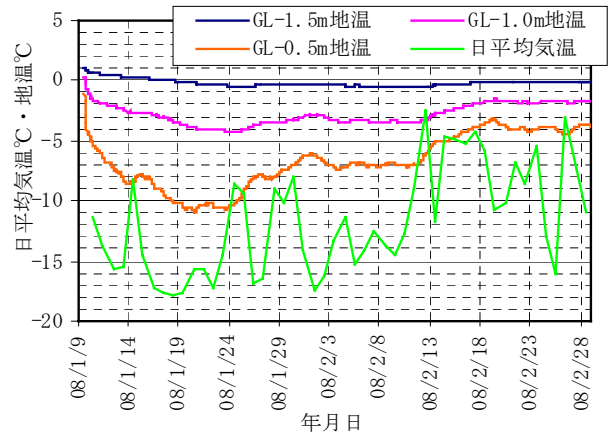


図-11 地温観測結果(気温は陸別アメダス)

表-3 観測結果一覧

	1月15日	1月21日	1月30日	2月13日	2月20日	
凍結深(GL-m)	1.54	1.66	1.75	1.80	1.81	
地下水位(GL-m)	1.85	1.89	1.89	2.36	2.50	
地温(°C)	GL-0.5m点	-8.0	-10.4	-7.0	-5.1	-10.8
	GL-1.0m点	-2.7	-4.0	-3.2	-2.8	-3.9
	GL-1.5m点	0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.2
積雪(cm)	0*	0*	17	16	14	

*機器設置時に除雪(1/9)

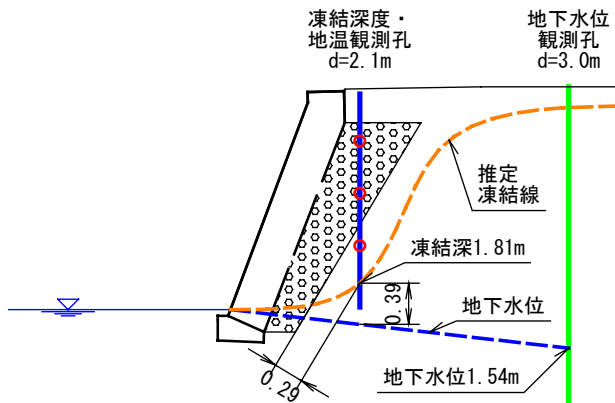


図-12 凍結の侵入状況(H20.2.20、単位:m)

(地下水位の毛管上昇)が行われているものと考えられる(図-12)。

積ブロック背面における凍結線の分布は、本調査からは一概に把握できないが、冷気の侵入が積ブロック前面および上面の2方向であることから、図-12のオレンジ線で示した形となることが推測される。この状態において、凍結線は置換材から背面土中に29cm程度侵入していると想定できる。

4. 劣化要因の推定

積ブロックに見られる前傾の要因として、凍上の可能性が高いと考えられたことから、表-2に示すa)現象の把握、b)背面土の凍上性調査、c)冬期間の状況確認を段階的に実施した結果から、凍上が積ブロック劣化の主要因と判断された。しかし、この結果は平成19年度の限られた調査から導かれたものであり、メカニズムを確定するためには今後も検証を継続する必要がある。

5. 対策工法の検討

劣化要因は凍上であると判断されたことから、この劣化に対する対策工法としては、凍上の要素である、冷気、土質、水分のいずれかを取り除けばよいと考えられる。

凍上対策工法として一般的な工法は、凍結が侵入する範囲に分布する凍上性の背面土を非凍上性材料に置き換えることである。しかし、この工法は、積ブロックを新設するのと同様な工事が必要となり、予防保全対策としては不適切である。また、水分供給を絶つことも対策工法になるが、排水路という特性上これ以上の地下水位を低下させることはできない。以上から、冷気の侵入を防止する工法の採用が有力と考えられるが、既設積ブロックに対して断熱効果を兼ねた補修や補強を行う工法は既往実績に乏しいため、今後の検討課題である。

6. 結論

施設機能診断を実施した排水路において、積ブロックの天端が水路側に倒れ込む劣化(前傾)が見られた。現地踏査結果からは、劣化要因の可能性として凍上が示唆されたため、現地調査においてa)現象の把握、b)背面土の凍上性調査、c)冬期間の状況確認を段階的に実施した。

これらの調査結果は次の通りであった。

- ・凍結線は積ブロックの裏込砂利を超え、背面土砂まで達していた。
 - ・積ブロックの背面土砂は、凍上しやすい土質であるシルト質が分布していた。
 - ・この土を用いた凍上試験を実施した結果、凍上性の土であると判定された。
 - ・凍結線と地下水位は39cm程度しか離れていないことから、水分が十分に供給される位置であると考えられた。
 - ・地下水位観測孔を設置するために実施した背面土砂のボーリングコアにはアイスレンズが発生していた。
- 以上のように、凍上の三要素である冷気・土質・水分の全ての要素で凍上の条件を確認したことから、前傾の要因は凍上によると考えられた。

7. あとがき

鹿山排水路では、平成20年度も引き続き劣化要因調査(凍上調査)と今後の試験施工に向けて複数の対策工法の検討を行っている。しかし、本報で述べたとおり、既設積ブロックに対する断熱工法は、これまでに事例が少ないことから本格的な採用には現地実証試験が望ましい。

このため、平成21年度はストックマネジメント技術高度化事業による対策工法の適用と評価の中で試験施工を行い、建設コストの削減を図りつつ、現場条件に適応した対策工法の検証を実施する計画である。

謝辞: 本調査の実施にあたり、指導助言等のご協力を頂いた独立行政法人寒地土木研究所水利基盤チームをはじめ関係各位の皆様には末筆ながら深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 保全対策センター: 農業水利施設ストックマネジメントマニュアル「共通編」, pp1(2007)
- 2) 社団法人日本道路協会: 道路土工-排水工指針, pp242-243(1987)
- 3) 木下誠一「凍土の物理学」, pp41, 森北出版(1982)
- 4) 河上房義「土質力学<第6版>」, pp251, 森北出版(1992)