

## 冬期現場計測による擁壁背面の土中温度分布

株式会社 ドーコン

北海道開発局網走開発建設部

北見工業大学

株式会社 ドーコン

○正会員 林 啓二

林 実雄

正会員 鈴木 輝之

正会員 小林 修司

### 1. はじめに

寒冷地における道路構造物（擁壁・小型コンクリート水路・カルバート・切土法面等）に対する凍上凍結及び凍結融解による被害<sup>1)</sup>については、あまり公にされることはなく、被災箇所についてはその都度補修されているようである。したがって、その対策工についても一部の構造物を除き、ほとんど指針化されておらず、設計時に凍上凍結対策が実施されていないのが実状である。

本報告は、これら構造物の凍上凍結対策の必要性を検証するための基礎データの収集を目的にしたものの一つで、実際に施工された擁壁の背面土中に温度センサーを配置し、その温度分布状況の現場計測（2002年11月～2003年6月）を行った結果を報告するものである。計測箇所は、図-1の位置図と図-2の平面図に示すように、現在建設中の旭川紋別自動車道（白滝丸瀬布道路）P=68,330の白滝大橋 A-1 橋台左側に設置された高さ約 8m の補強土壁を選定し、土中温度分布計測、壁面変位量計測、外気温計測、背面土の室内土質試験を実施したものである。

### 2. 計測内容とその目的

#### (1) 外気温計測

現地の外気温の推移を把握することと、今シーズンの凍結指数並びに過去のデータとの比較を目的に実施した。計測は1時間に1回の頻度で自動計測とした。

#### (2) 擁壁背面土の室内土質試験

擁壁背面土について、その物理的特性（土粒子の密度・含水比・粒度・液性塑性限界）と締固め、並びに凍上性試験を実施した。これについては、図-3に示す補強土壁背面の厚さ 1m の裏込材（ $\phi 0 \sim 80\text{mm}$  級切込砂利）<sup>2)</sup>と盛土材の 2 材料を採取した。

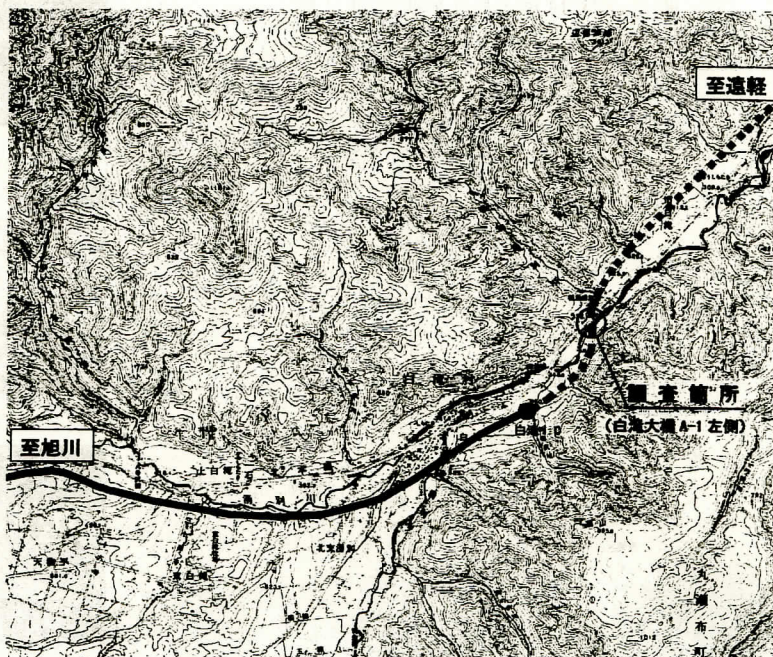


図-1 計測箇所位置図

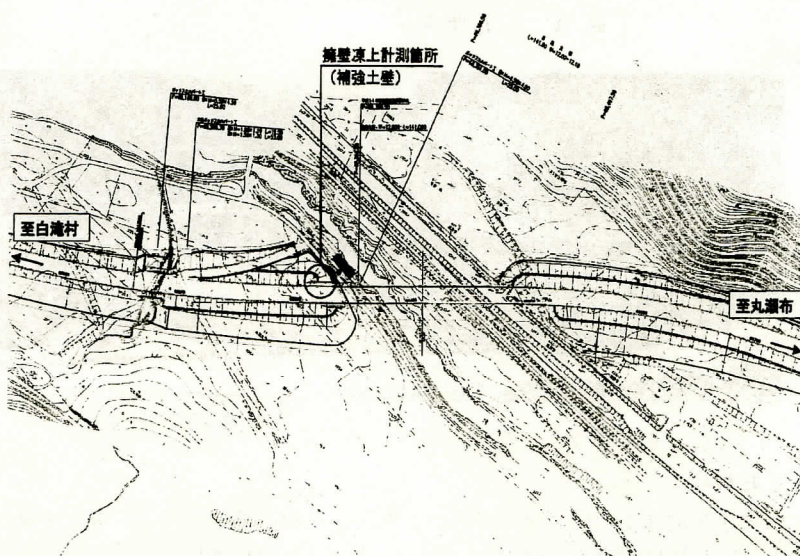


図-2 計測箇所平面図

Distribution of Temperature into Retaining Wall Rear by Field Measure of Winter Period

Keiji Hayashi, Shuuji Kobayashi (Docon Co., Ltd.)

Jituo Hayashi (Abashiri Development and Construction Department, Hokkaido Development Bureau)

Teruyuki Suzuki (Kitami Institute of Technology)



(3) 擁壁背面の土中温度計測<sup>3), 4), 5)</sup>

壁面及び地表面から進行する寒気の状態と凍結線の経時的変化、並びに補強土壁背面盛土内の土中温度分布の経時的な推移を把握するものである。この計測については、T熱電対を用いて、図-3に示すような配置センサーの配置とし、これも1時間に1回の頻度で自動計測した。

(4) 壁面変位置計測

凍結線が地盤内に進行すると、その凍結線に直角方向に凍結土圧と呼ばれている構造計算には反映されていない応力が作用することは周知である。ここでは、その壁面への影響を確認するために光波測距儀（マンモス）を用い、図-4の計器配置正面図に示すように壁面に9箇所のターゲットを設置し、その変位を1カ月に1回の頻度で計測した。図-5には計器配置側面図を示した。

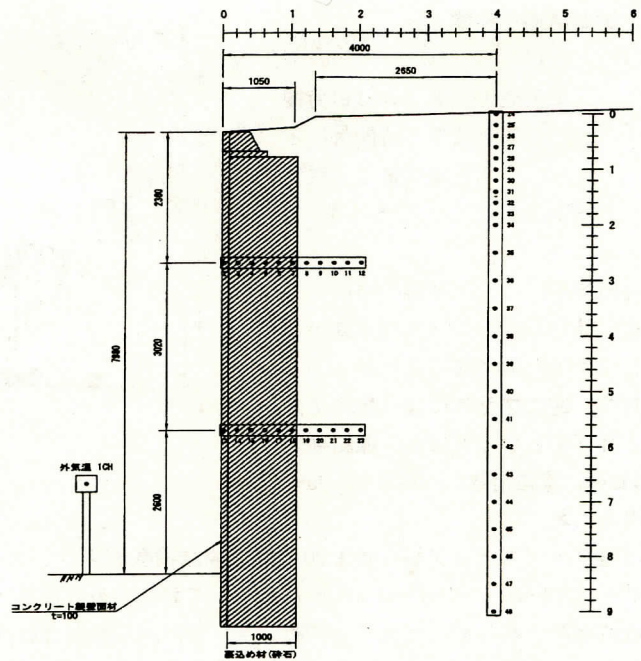


図-3 温度センサー配置図

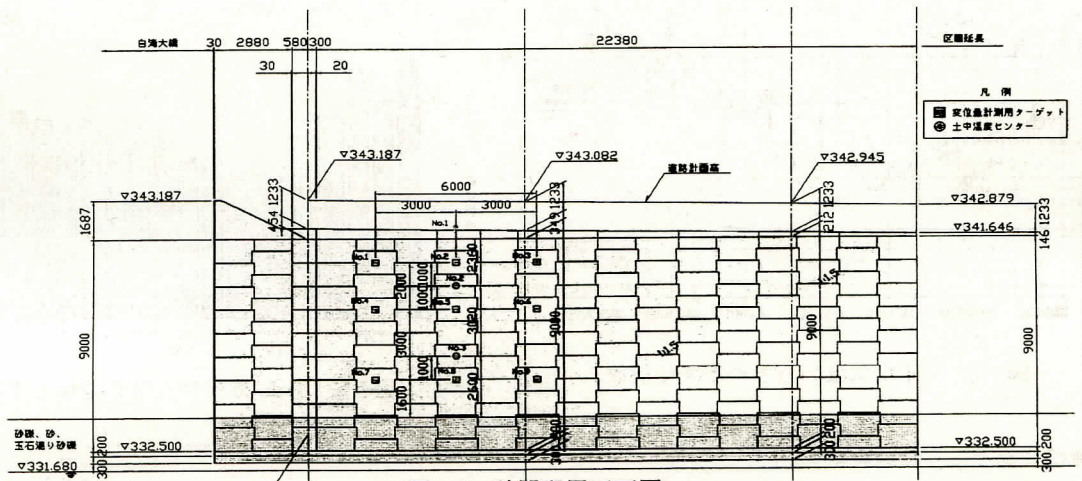


図-4 計器配置正面図

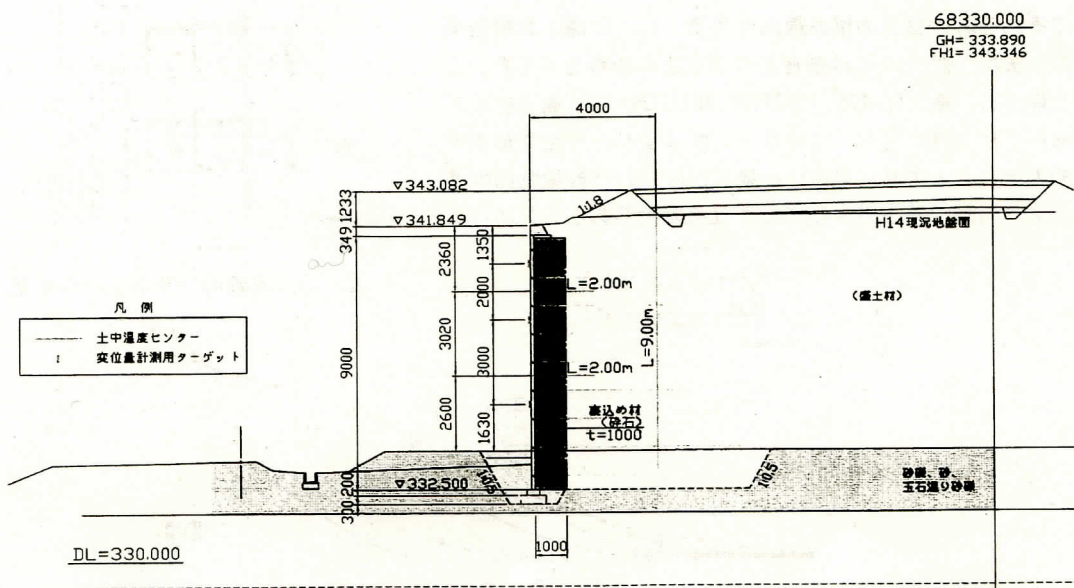


図-5 計器配置側面図



### 3. 測定結果と考察

#### (1) 外気温

図-6 に現地とアメダス（白滝観測所）による外気温を1時間毎に示した。また、平均気温の推移と現地の凍結指数を算出したものを図-7 に示した。

現地観測により、地盤の凍結が本格的に進行し始める日平均気温が連続してマイナスになったのが11月上旬で、逆にプラスになり始めたのが3月下旬となっており、凍結期間130days, 凍結指数  $F=950.1^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$  が得られた。

白滝アメダスデータから過去20年間の凍結指数を算出してみると、図-8に示すように、最大で  $F_{\text{max}}=1161.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ , 凍結日数147days（1982～1983年）となっており、最大値に対して8割以上の凍結指数となっており、このシーズンも比較的寒波が厳しかったものと判断でき、今回得られた凍結深さや温度分布データについては、最大級に近いものと考えてもそれほど大きな差異は無いものと考えられる。

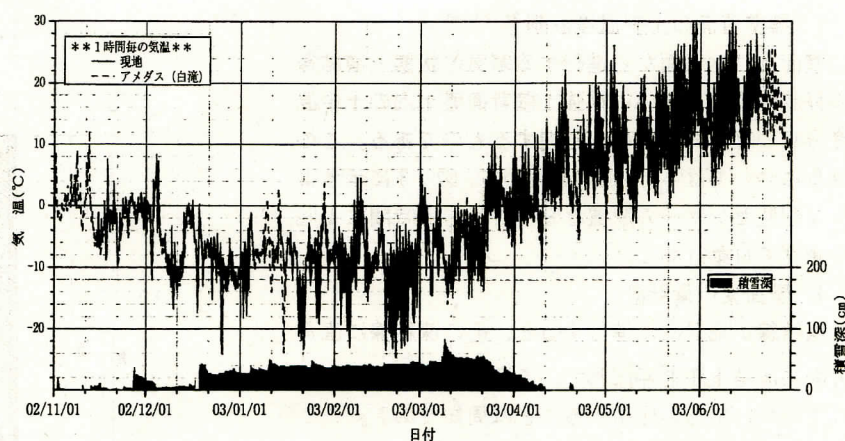


図-6 外気温の推移

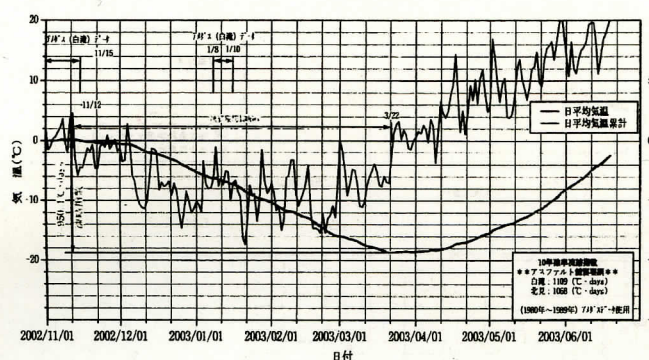


図-7 日平均気温から求めた凍結指数

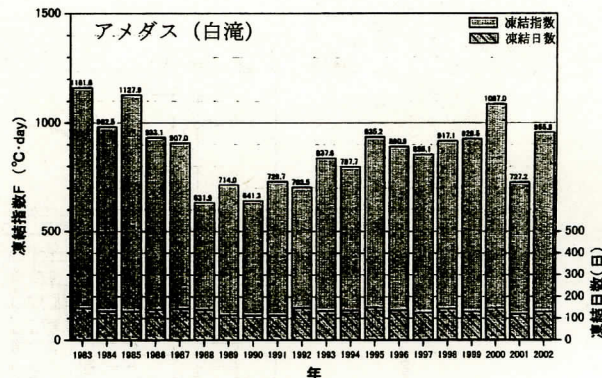


図-8 過去20年間の凍結指数と凍結日数

#### (2) 擁壁背面土の土質試験結果

背面土については、裏込材（厚さ1m,  $\phi 0\sim 80\text{mm}$  級）<sup>2)</sup>と盛土材について各種試験を行った。その結果を表-1に示した。また、図-9にそれぞれの粒径加積曲線図と写真-1,2に凍上試験結果を示した。また、図-10には壁背面の含水比の分布を示した。この結果、背面土の盛土材は凍上性材料 ( $W_n \leq 20\%$ ) で、裏込材は非凍上性材料 ( $W_n \leq 5\%$ ) となっており、これにより、今回凍結指数も比較的大きいことより、裏込材の効果がなければ擁壁壁面は凍結土圧により前面に押し出されてしまう可能性があることになる。

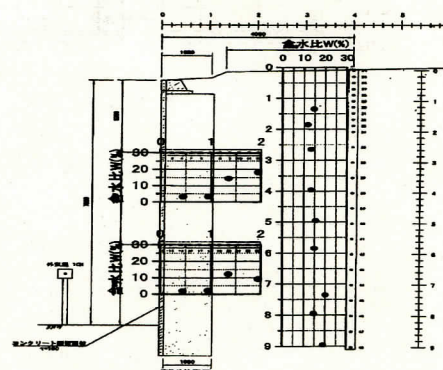


図-10 凍結前の背面土の含水比分布

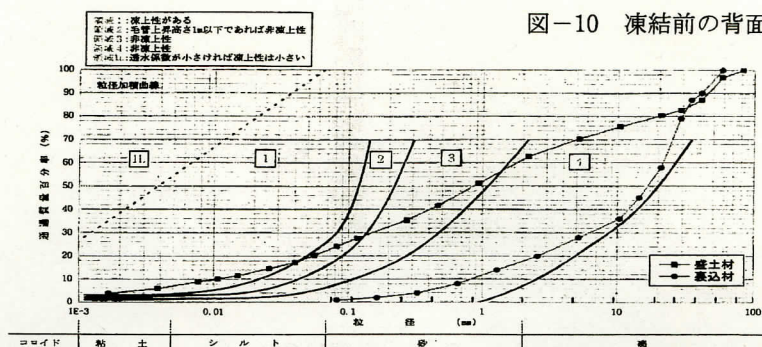


図-9 擁壁背面土の粒度分布



アイスレン



写真-1 盛土材凍上試験結果

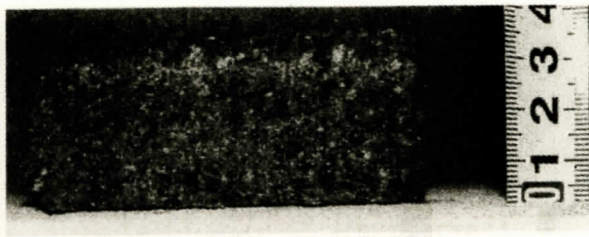


写真-2 裏込材凍上試験結果

表-1 擁壁背面土の土質試験結果

試験名	土質名	採取箇所	統一土質分類		土粒子の 組成試験	含水比 試験	粒度分布										30分圧特性					締固めの試験					トラフィカ ビリティ	凍上試験 (道路土工学会工法)		骨材のふるい分け試験 骨材の洗い試験
			分類名	分類 記号			石分 75以上 mm	細分 75~2 mm	中分 2~0.075 mm	細分 0.075~0.005 mm	0.005 未満	均等 係数 Uc	標準 偏差 Uc'	塑性 限界 Wp	液性 限界 Wl	塑性 指数 Ip	試験 方法	最大 乾密度 ρ dmax (g/cm³)	最適 含水比 Wopt (%)	最適含水比状態での時			最適含水比 状態の骨材の コーン貫入抵抗値 qc	凍上率 凍上率 (%)	凍上 係数 凍上係数 (%)					
																				試験密度	締固め率	単位体積重量								
																										γ <sub>t</sub> ρ d opt (1+Ws/100)	qc	%		
(g/cm³)	(%)	(g/cm³)	(%)	(kN/m²)	(kN/m²)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)								
盛土材	火山灰土	道路 盛土土層	火山灰質 土層	5FG	2.717	18.98	-	37.2	38.6	16.8	7.4	1.68.72	1.24	41.20	27.93	13.27	A-4 <sup>*)</sup>	1.715	19.20	1.710	98.7	20.3	1907	13.17 25.17 13.92 平均17.42	骨状 凍結	-				
裏込材	φ10~30mm級 砂利(白濁)	大東建設 株式会社 仮設道	-	-	2.724	7.05	-	-	-	-	-	-	-	NP	NP	-	B-4 <sup>*)</sup>	2.150	6.60	2.100	97.7	22.5	貫入不可 平均11.92	14.25 10.50 11.00 平均11.92	コナリ 状凍結	8.83				

\*1) 締固め試験方法A-a: 乾密度法, 凍上係数, φ10mm, 2507mm<sup>2</sup>

\*2) 締固め試験方法B-a: 乾密度法, 凍上係数, φ15mm, 4507mm<sup>2</sup>

### (3) 擁壁背面の土中温度分布と凍結深

壁背面の土中温度分布については、図-12~13に2002年12月1日から半月毎に2003年6月15日まで、14断面の土中温度分布状態を示した。これより、寒気による背面盛土内への凍結線の進行は、壁面からのものと地表面からのものがあり、壁面上部においては、地表面からのものと干渉し合うように背面方向に凍結が進行している状態となっている。これに対し、壁面下部においては、素地盤部及び盛土下部の熱容量により、背面土への凍結進行が上部より遅れた状態となっており、厳寒期(1月上旬~2月下旬)においては、凍結線が擁壁面に対して概ね3~6°程の勾配となっており、最大値は3月下旬で10°程の勾配となっていることがわかる。したがって、擁壁上部においては、裏込材(t=100cm)を大きく越えて170cm以上まで凍結線が進行した状態となっている。これについて図-11に地盤面からと壁面上下2箇所の土中温度計測地点での凍結線の推移を表してみた。これから壁面上部

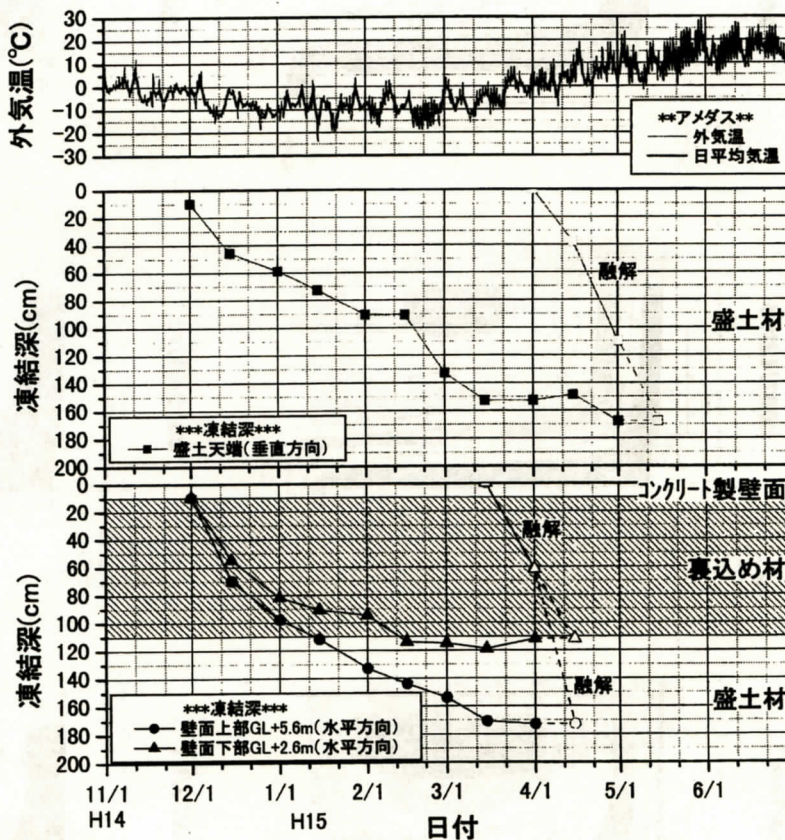


図-11 凍結線の推移

においては、凍結線が裏込材を大きく越えて盛土材に進行していることがわかる。また、この図の凍結線の推移について、壁面上部水平方向(裏込材から盛土材への進行)と天端からの垂直方向(盛土材への進行)をみると、2月中旬までは裏込材と盛土材の熱伝導率の相違から50cm以上凍結深に差があり、壁面方向からの凍結深が大きく上回っていたが、3月中旬~4月初旬には20cm程度の差しかなくなっていることがわかる。その後、壁面方向からの凍結は、平均気温がプラスになる4月上旬になると一気に壁面側から融解しており、これに対し、天端からの凍結は5月上旬まで徐々に進行しており、最終的には壁面からの凍結深と同等の170cm程まで到達していることがわかる。したがって、盛土材が凍上性材料であることより、天端部は応力解放状態であるから凍結土圧は発生しないが、壁面にはある凍結土圧が作用していることになり、壁面を前面に押し出す変位が発生していても不思議ではないことになる。



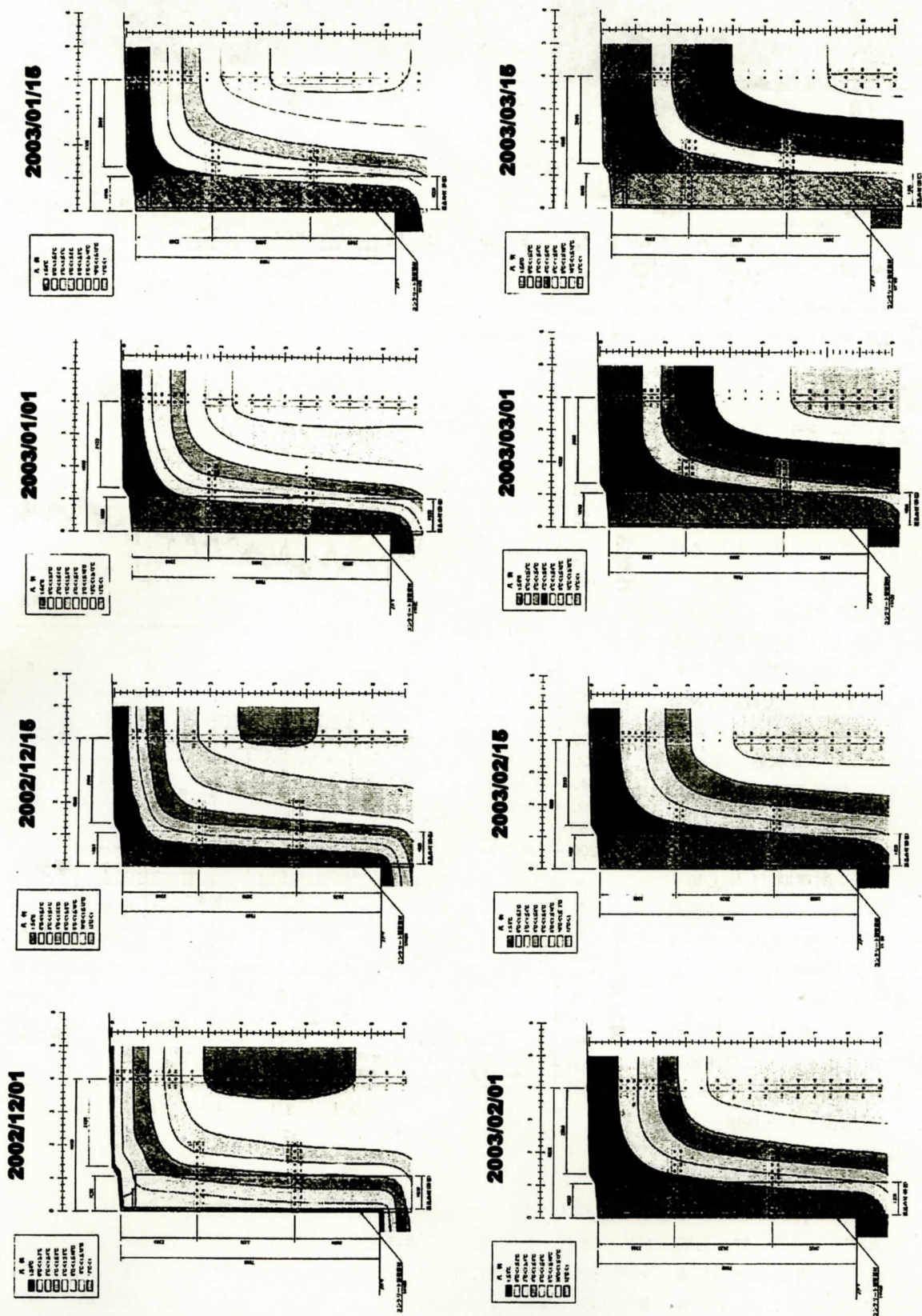
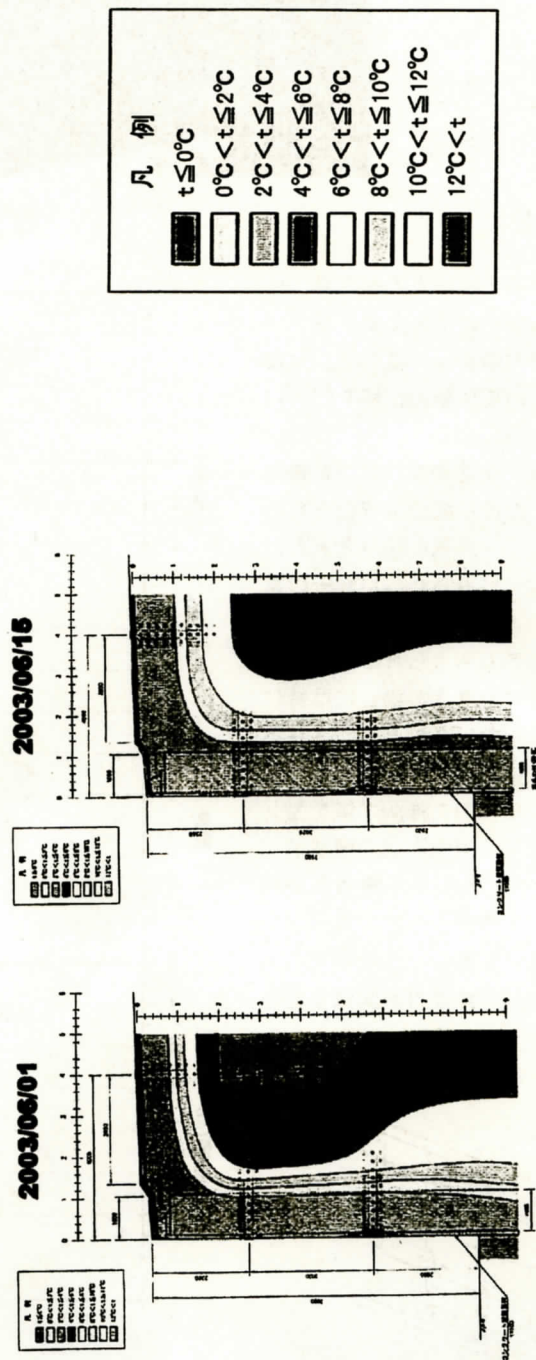
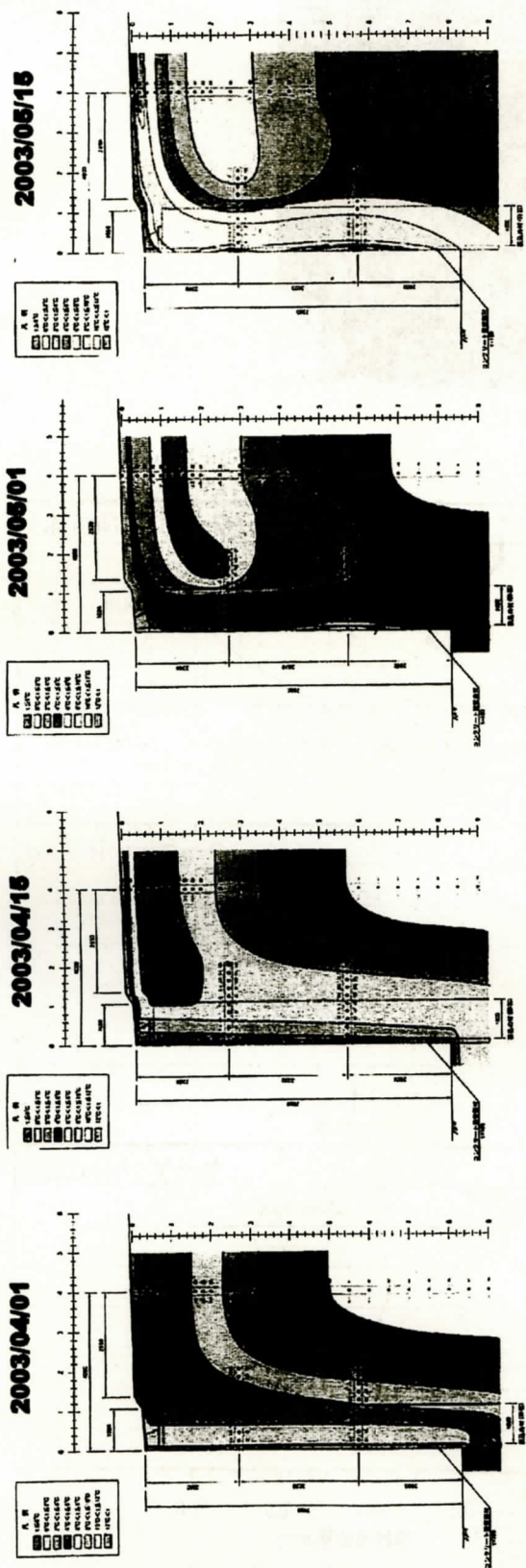


図-12 擁壁背面の土中温度分布 (1/2)



凡 例

	$t \leq 0^{\circ}\text{C}$
	$0^{\circ}\text{C} < t \leq 2^{\circ}\text{C}$
	$2^{\circ}\text{C} < t \leq 4^{\circ}\text{C}$
	$4^{\circ}\text{C} < t \leq 6^{\circ}\text{C}$
	$6^{\circ}\text{C} < t \leq 8^{\circ}\text{C}$
	$8^{\circ}\text{C} < t \leq 10^{\circ}\text{C}$
	$10^{\circ}\text{C} < t \leq 12^{\circ}\text{C}$
	$12^{\circ}\text{C} < t$

図-13 擁壁背面の土中温度分布 (2/2)



(4) 凍結土圧による壁面の変位量

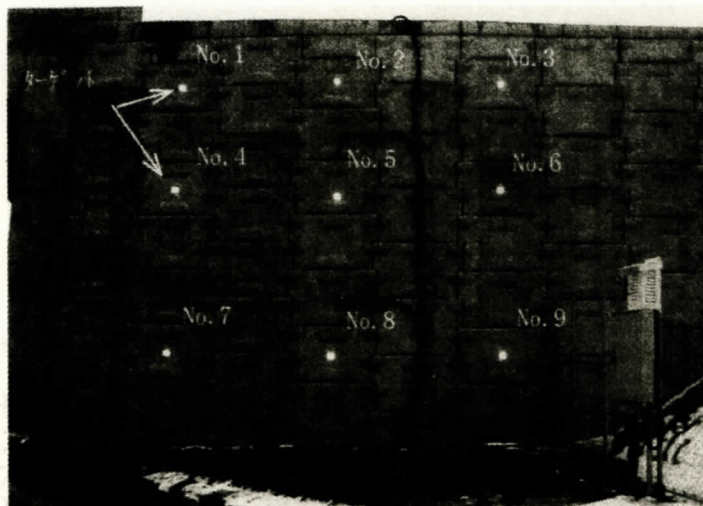


写真-3 壁面変位量測定ターゲット

壁面の凍結土圧による変位量については、写真-3 に示した測定用ターゲットの縦方向を一つにして、列毎に上中下段の変位量の推移を図-14 に示した。

この結果、壁面の変位は、厳寒期（1～2月）の凍結線の進行とともに前面に変位し、寒気の緩みとともに元に戻る傾向がみられるが、その量は2mm以下のオーダーで、光波測距儀の持つ誤差も考えられるため、壁面の変形だけを考えた場合には特に問題とはならないものと判断される。ここでの変位の戻りについては、計測データがないので推測の域を脱せないが、今回の補強土壁の構造が、図-15 に示すアンカー補強土壁であり、壁面への土圧をアンカープレート付き鉄筋で補強したタイプであり、その鉄筋の弾性力が関係しているものと考えられる。

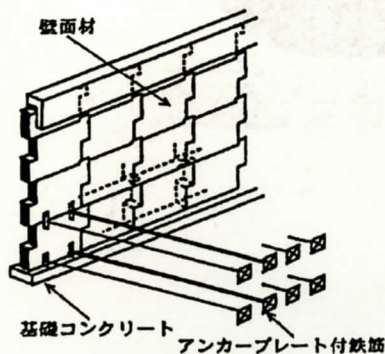


図-15 アンカー補強土壁<sup>6)</sup>

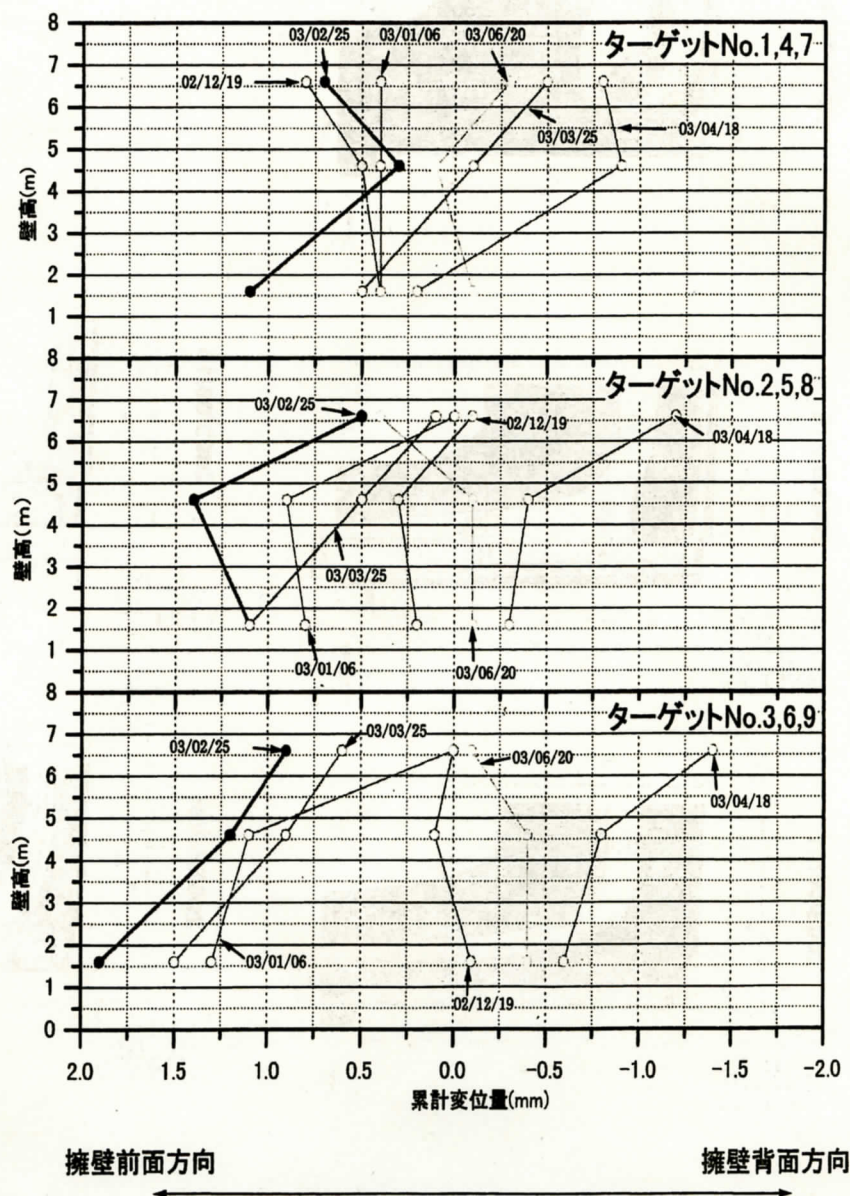


図-14 壁面の変位量の推移



#### 4. 計測結果のまとめ

高さ 8m の実際に施工されている擁壁の冬期間の各現場計測結果を以下にとりまとめた。

① 擁壁背面の土中温度分布及び凍結線の浸入については、寒気の浸入が壁面側からと地表面からの 2 方向になること、素地盤部及び盛土材の熱容量により、壁面上部（凍結深約 170cm）において下部（凍結深 120cm）の 1.4 倍程度凍結深が進行した状態となり、壁面に対して最大で 10° 程の勾配を持った凍結線の形状となった。この傾向については、北見工業大学における高さ 3m の L 型擁壁での試験施工結果<sup>7)</sup>でも同様の形状となっており、対策工法を採択する際の基礎的データとなるものといえる。

② 盛土材が凍上性の材料であることより、凍結線が進行するとそれに直角方向に凍結土圧が作用することになり、壁面が前面に迫り出す動きを示すことになる。しかし、今回の壁面変位量の計測結果によると、その動きは 2mm 以下となっており、ほとんど変状が確認できない状態であった。これは、厚さ 1.0m の裏込材（φ0～80mm 級切込砂利）の対策工の有効性を示すものであると考えられるが、今回計測した補強土壁の構造上の特徴も起因している可能性もあり、背面部材と盛土材の摩擦力で壁面を補強する帯鋼補強土壁やジオテキスタイル補強土壁での妥当性についてはここで明言することは難しく、今後施工箇所での計測や継続的な迫り出し状況の推移を確認していく必要がある。

③ ここで得られた擁壁背面の温度分布形状を北見工業大学から提案されている裏込材適用範囲と対比させてみた。この詳細については参考文献<sup>7)</sup>によるものとするが、その計算結果を今回の土中温度分布に対応させたものが図-16 である。

これは、あくまでも凍上対策として置換工法を採用するとした場合のもので、その範囲については現在検討段階のものであるが、高さ 3m の擁壁から得られた置換範囲が、今回の高さ 8m の場合での擁壁背面の低温域（2℃以下）を包括した状態となっており、その置換範囲の妥当性を証明するものとなる。しかし、擁壁下部や上部の置換範囲に不経済となる場所もみられるようで、施工性・経済性を考慮した置換範囲を今後再検討していきたいと考えている。

#### 5. あとがき

構造物に対する凍上凍結対策については、以前より徐々に注目されるようになってきており、構造物の計算に加味されていない凍結土圧について、フルーム水路や補強土壁については一部裏込材を採用するなどの対策も施されるようになってきている。これらについては寒冷地でしか発生しないことよりローカルルールとしかならないものであるが、実際、土留め構造物に限らず、様々な凍上被災が起きていることは事実で軽視できないものと考えている。この現場計測については、2 年間の通年計測を行っており、そのデータも含めて次回シミュレーション解析結果を発表したいと考えている。

最後に、現場の選定、準備及びデータ整理等にご協力いただいた、網走開発建設部道路第 1 課課長 小原康信氏、同遠軽道路建設事業所第 1 建設係長 庄司宣可氏、大北土建工業株式会社札幌支店 伊藤清治氏、測機舎商会株式会社 長谷川徹氏、井口直哉氏に感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 凍上技術テキスト：日本道路公団北海道支社札幌技術事務所、平成 15 年 3 月
- 2) 道路工事設計施工要領：北海道開発局建設部道路建設課監修、(社)北海道開発技術センター発行
- 3) ボックスカルバートの道路凍上現象：林 啓二、本間 公康、櫻庭 満、鈴木 輝之  
地盤工学会北海道支部年次報告会報告集第 35 号 p90～97
- 4) ボックスカルバートの道路凍上現象(2)：林 啓二、本間 公康、櫻庭 満、鈴木 輝之  
地盤工学会北海道支部年次報告会報告集第 37 号 p155～162
- 5) ボックスカルバートの道路凍上現象(3)：小林 修司、林 啓二、本間 公康、櫻庭 満、鈴木 輝之  
地盤工学会北海道支部年次報告会報告集第 40 号 p27～36
- 6) 道路土工 擁壁工指針：日本道路協会、平成 11 年 3 月、p132
- 7) 北見工業大学共同研究成果報告 置換工法による土留め構造物の凍上対策：  
土木開発工学科 鈴木 輝之、平成 15 年 3 月、2-1～2-4

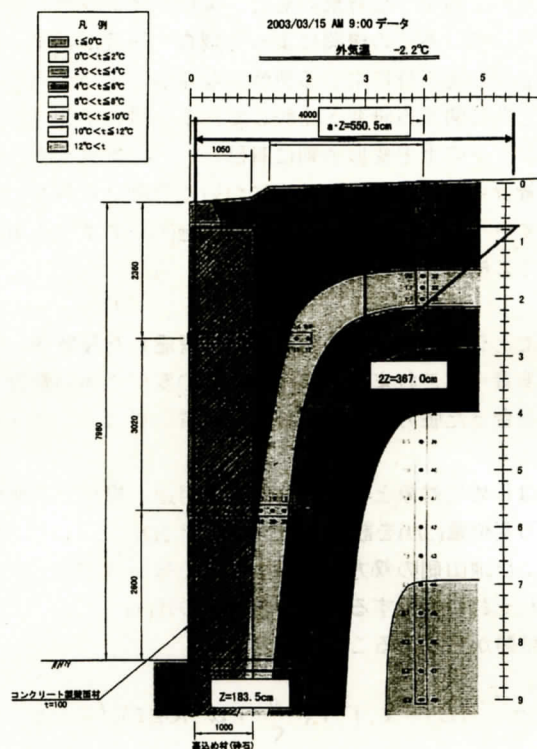


図-16 置換工法適用範囲の検証