

凍上性材料による冬期盛土施工例

A winter earthwork construction example by frost heaving materials

土木研究所寒地土木研究所	○正 員	佐藤厚子 (Atsuko Sato)
北見工業大学名誉教授	正 員	鈴木輝之 (Teruyuki Suzuki)
土木研究所寒地土木研究所		林 憲裕 (Toshihiro Hayashi)

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷地では、冬期に施工された盛土が春先に沈下し、のり面が崩壊する場合がある¹⁾。このため、積雪寒冷地では、近年冬期土工を避ける傾向にある。しかし、災害復旧、作業工程の関係からやむを得ず冬期間でも土工事を行わなければならない場合がある。このため、積雪寒冷地における冬期土工の手引き²⁾では、冬期に盛土を施工する場合、対象土に対して凍上試験を実施し、凍上性材料と判定された場合は、凍上に対する対策工を検討しなければならないと記載されている。しかし、さまざまな凍上対策について実際にその効果を計測した事例^{3) 4)}は少ない。そこで、凍上対策の一つである遮水工法を適用して、凍上性材料による試験盛土を施工し、対策の効果を計測した。本報告は、これらの結果をまとめたものである。

2. 冬期土工による盛土の変状要因

冬期土工では夏期施工とは異なり寒冷気候下での施工となるため、次の要因により盛土が変状すると考えられる。

① 盛土材料の凍上性

盛土材料の凍上性は盛土の変状の程度に影響を与える要因と考えられる。

② 雪や凍結土の混入

雪や凍結土は、それ自体の締固めが不可能であるとともに、盛土体に大きな間隙を形成させてしまう。盛土あるいは埋め戻し材料中に雪や凍土の塊が混入してしまうと、融解後に大きな沈下をもたらす。

③ 施工中の盛土の凍上

冬期に凍上性の材料による盛土を施工する場合、施工が休止する夜間に気温が低下して、盛土が凍上することがある。これは、図-1 に示すように、地下水が比較的高い場合、盛土の凍結にともない地下水位面から凍結面への水の供給が容易となり、アイスレンズと呼ばれる氷

の層が幾重にも形成されることにより発生する現象である。地下水位が低い場合でも盛土材料の種類によっては凍上することがある。

これらの 3 要因のうち、①盛土材料の凍上性については、非凍上性材料による施工で変状を抑制できたことを確認している⁴⁾。②雪や凍結土が混入合した場合の問題は、冬期に施工した盛土の品質を決める大きな要因の一つではあるが、「冬期土工設計施工要領」⁵⁾において、雪や凍結土混入をできるだけ防止することとされている。これより、③施工中の盛土の凍上に着目した対策を対象としてその効果を確認した。

夏期では、盛土を施工する箇所の水分状態について目視での確認がある程度可能であるが、冬期では地盤が凍結してしまうと目視での確認が困難な状態となる。地下水が高い箇所に盛土を施工する場合、盛土工指針⁶⁾では、盛土の下部に排水層を設置することが記載されている。なお、北海道の建設現場では、冬期施工において地盤上に砂利などの排水性材料の基盤層を敷設し、その上に盛土を施工する方法が経験的に実施されている⁷⁾。この方法は効果が高いとされているが、盛土材料と変位量や密度、含水比などの盛土の性状について調べた例は非常に少ない⁸⁾⁴⁾⁹⁾。そこで、この効果について確認した。

3. 試験方法

3.1 盛土の施工方法

寒地土木研究所苫小牧施工試験フィールドにおいて、実物大の盛土を表-1 に示す材料により、平成 23 年度から平成 25 年度までの 3 年間で 3 回施工した。

盛土材料はいずれも火山灰質土であり、材料の自然含水比状態でのコーン指数は、H23 年度材料 1403 kN/m²、H24 年度材料 509 kN/m²、H25 年度材料 649kN/m² であり、普通ブルドーザの走行性を確保できる材料¹⁰⁾であることから、比較的良好な材料である。

材料の凍上性は、地盤工学会の方法¹¹⁾に準拠して試験を行った。しかし、供試体の凍結に関する凍結温度条件は地盤工学会法に準拠したが、凍結速度は準拠できなかったため、地盤工学会基準を満たしていない。地盤工学会では、凍上速度が 0.3mm/h 以上の場合、凍上性が高いと判定しているが、全ての試料がこれ以上であり、凍上性が高い材料である。

また、本調査では、盛土底面からの水分供給を遮断する目的で、排水を目的とした基盤層上に盛土を施工することから、この状態を想定して盛土材料の凍上性を確認

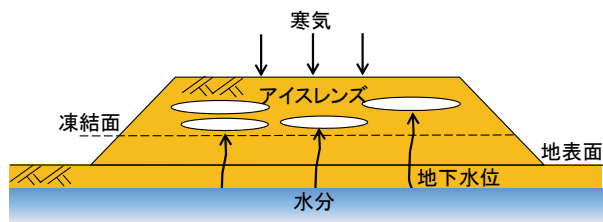


図-1 盛土凍上の原理

表-1 盛土材料の基本物性値

施工年度		H23	H24	H25
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$		2.626	2.546	2.732
自然含水比 $w_n(\%)$		40.47	67.91	68.6
粒度特性	最大粒径(mm)	19	26.5	19
	2mm 以上(%)	7.8	23.8	1.5
	75 μm ～2mm(%)	74.6	50.2	70.1
	75 μm 以下(%)	17.6	26.0	28.4
コンシステンシー限界	液性限界(%)	N.P.	N.P.	98.3
	塑性限界(%)	N.P.	N.P.	61.5
地盤材料の分類記号		S-FG	SFG	SF
最大乾燥密度 $\rho_{d\text{max}}(\text{g/cm}^3)$		1.270	0.989	0.995
最適含水比 $w_{\text{opt}}(\%)$		35.0	53.2	54.2
コーン指数 $q_u(\text{kN/m}^2)$		1403	509	649
透水係数 $k(\text{m/sec})$		2.45 $\times 10^{-6}$	4.51×10^{-7}	-
凍上性	凍上速度(mm/h)	0.387	0.660	1.205
	凍結膨張率(%)	27.4	116.6	67.2

した。すなわち、凍結に関する温度条件や凍結速度などの条件は地盤工学会基準にしたがったが、凍上に関する現場の条件に合あわせて、供試体内への水分の供給がな

い条件（給水しない条件）で凍上試験を実施した。

表-1 の材料により、表-2 に示す期間で盛土を施工した。H24 年度は、H23 年度よりも約 2 週間、H25 年度よりも約 3 週間、施工が遅くなったため、H23 年度、H25 年度よりも日平均気温の累積値の絶対値が小さい。ここでは、施工完了日を日平均気温の最大値として日平均気温の累積値を計算した。盛土の形状は、天端幅 4m、長さ 4.3m～8.2m、高さ 1.8m、こう配 1:1.5 である。代表的な盛土として、H25 年度に施工した盛土の形状を図-1 に示す。ここに、非凍上性材料の 0-80mm 級砂利を排水材料として盛土下の基盤層(h=0.5m)を施工している。

盛土は、施工中に休止期間を設けず 6 層まで仕上げる盛土(以降「1 日盛土」と称する)と 1 日 1 層ずつ 6 回に分けて 6 層施工する盛土(以降「6 日盛土」と称する)を施工した。また、H25 年度は、凍上による盛土底部からの水分供給を避ける方法として、砂利による基盤の上に盛土を施工する方法の他に遮水性の土木シートの上に盛土施工する方法も合わせて実施した。

それぞれの盛土は、各層の仕上がりが 30、60、90、120、150、180cm となるように 3t のタイヤローラにより 1 層あたり 6 回転圧して締固めた。

3.2 調査方法

盛土施工直後から施工翌年の夏までの間、図-2 に示す位置で、表-3 に示す項目を調査した。

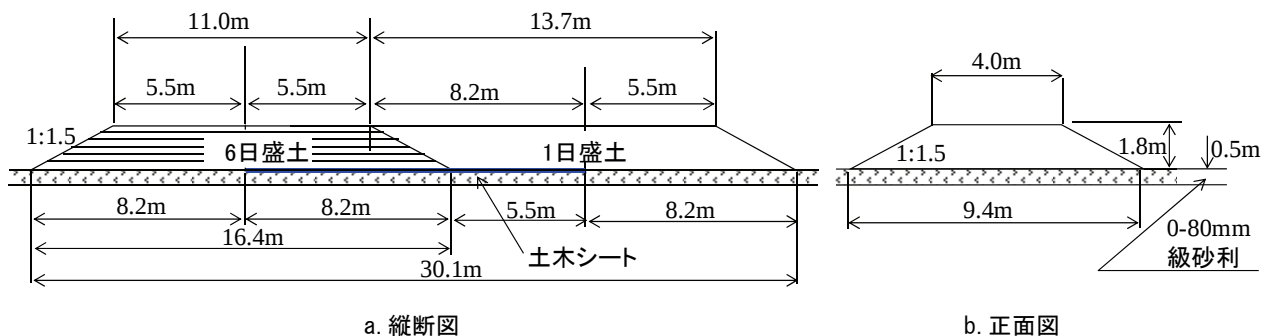


図-1 盛土の形状

表-2 盛土の施工時期および日平均気温の累積値

施工年度	施工時期	日平均気温の累積値の絶対値($^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$)
H23	H24.1.23-1.31	302.4
H24	H25.2.5-2.19	158.1
H25	H26.1.16 -2.1	293.4

日平均気温の累積値は、施工日からの積算値

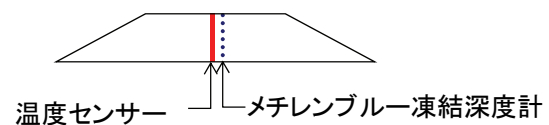


図-2 盛土の調査位置

表-3 盛土に関する調査項目

測定項目	測定方法	測定時期	間隔		測定箇所	
土中温度	メチレンブルー凍結深度計読み取り	施工時から翌年夏まで	3月まで	1週間	天端表面から1.8mまで	
			4月以降	1か月程度		
気温	温度センサー自動計測		1時間		天端表面から1.8mまで(10cm間隔)	
					盛土表面から1mの高さ	
天端の高さ	測量(3点)		4月以降	1か月程度	H23、H24	天端の木杭
					H25	天端のコンクリート板
密度 含水比	砂置換法(注砂法)		施工時		各層転圧直後	
		融解時		30cmごと		

4. 試験結果

4.1 給水しない条件での盛土材料の凍上性

給水しない条件で実施した凍上試験結果を表-4 に示す。すべての材料で、表-1 に示す通常の凍上試験方法による結果より、凍上速度、凍結膨張率は小さくなっている。H23 年度施工材料は、通常の凍上試験方法では凍上性の高い材料と判定されたが、給水しない条件では、地盤工学会の判定指標に準ずると凍上性の低い材料となる。これらのことから、盛土下部からの給水がない施工方法は凍上を抑制する効果が期待できる。

表-4 給水しない条件での盛土材料の凍上性

施工年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度
凍上速度(mm/h)	0.045	0.256	0.262
凍結膨張率(%)	0.0	14.0	9.86

4.2 盛土の凍結状況

温度センサーにより計測した盛土内の温度から 0℃未満となる箇所を推定して凍結箇所を求めた。計測例として H23 年度盛土の凍結状態を図-3 に示す。1 日盛土は時間の経過とともに徐々に盛土の凍結深さが深くなっていき、気温が上昇する時期になると盛土の表面から融解していった。6 日盛土は、夜間の盛土作業休止中に 5～10cm の凍結がそれぞれの層の表面に見られた。盛土の施工は常に凍結していない材料を用いたが、夜間の盛土作業休止により、表面が冷却され、結果的に盛土のほとんどが凍結した状態となった。このため、1 日盛土よりも深い位置まで凍結し、盛土が完全に融解するまでの時間も長くなった。H23、H25 盛土も同様な傾向であった。

4.3 凍結融解にともなう盛土の含水比の変化

盛土施工時と、施工から一冬経過して盛土が完全に融解したときの含水比として H23 年度盛土、H25 年度盛

土の含水比を図-4 に示す。図中の数字は施工の層の順番を示し、1 は 1 層めで盛土の最下部であり、6 は盛土の天端を示す。1 日盛土、6 日盛土ともに融解時は盛土施工時よりも含水比が低くなっており、15%程度含水比が低下した箇所もあった。盛土下部に排水層を設置しない場合の施工を実施していないため、含水比低下の効果を十分に示すことはできないが、排水層に盛土の含水比の水分が移動したと考えられる。

H25 年度盛土に土木シートを施工した場合と施工しない場合の含水比の低下の傾向は 1 日盛土、6 日盛土どちらも同じ傾向である。土木シートを施工した盛土は、施工途中に土木シートの上面からの排水が見られた。土木シートが含水比の低下を妨げることはなく、逆に土木シートが盛土からの排水を促す効果があったと考えられる。土木シート施工と排水基盤層の設置では、含水比の低下の程度はほぼ同じであることから、排水基盤層の設置や土木シートの施工は含水比の低下に対しておおむね効果があると考えられる。ただし、土木シートを施工する場合は、周辺地盤よりも高くしたり勾配をつけるなど周辺からの水が流入しないように留意する。

4.4 凍結融解にともなう盛土の乾燥密度の変化

盛土施工時と、施工から一冬経過して盛土が完全に融解したときの H23 年度施工盛土の乾燥密度の変化を図-5 に示す。融解後の乾燥密度は施工直後よりも低い傾向にある。特に 6 日盛土は 1 日盛土よりも乾燥密度が低くなっている。図には示していないが H24 年度、H25 年度では施工時と融解時の乾燥密度のばらつきが大きかった。また、1 日盛土と 6 日盛土のいずれもばらつきが大きく、これらに大きな違いは見られなかった。今回の調査からデータのばらつきが大きく明確な密度の違いが見られなかったことから、さらにデータを重ねて調べたい。

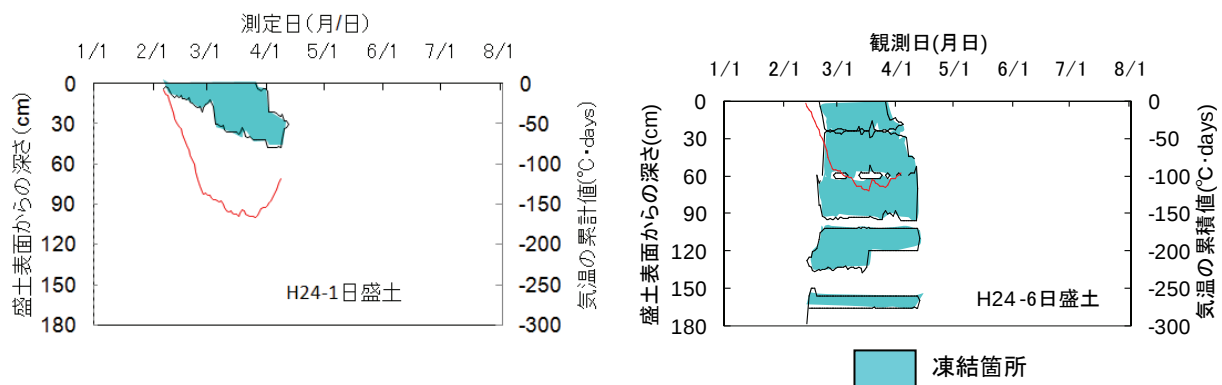


図-3 盛土の凍結状態

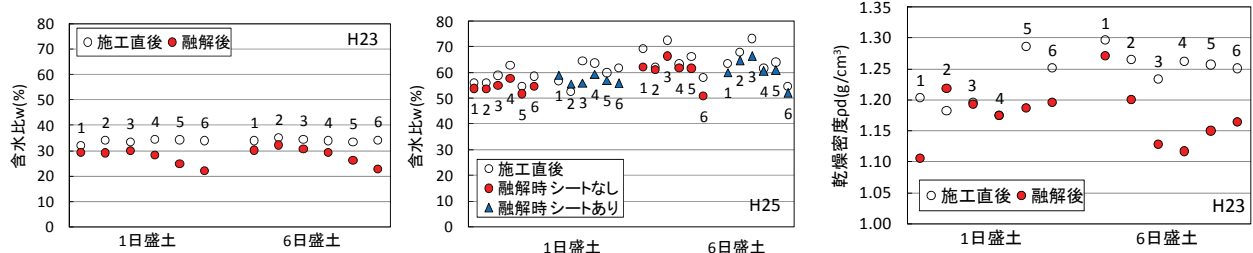


図-4 凍結融解にともなう盛土の含水比の変化

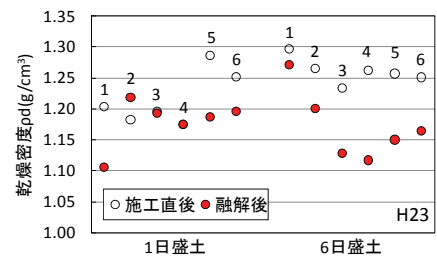


図-5 施工時と融解時の盛土の密度

4.5 凍結融解にともなう盛土の変状

凍結融解にともなう盛土の変状として、盛土天端部の高さの変化を図-6 に示す。1 日盛土は、H23 年度、H24 年度、H25 年度ともに、施工後、気温がマイナスの期間は盛土の天端は隆起し、気温がプラスに転じてから約 2 週間後に盛土は沈下しはじめた。盛土が完全に融解した後、H23 年度施工の盛土の天端位置は施工直後よりも少し高

い位置になった。H24 年度施工の盛土の天端位置は盛土施工時とほぼ同じ高さに、H25 年度施工の盛土は施工時よりも少し低い高さとなった。これに対し、6 日盛土の場合、H23 年度施工の盛土では、気温がマイナスの期間、盛土の天端の高さは、ほとんど変化せず、気温がプラスに転じてから約 2 週間後に盛土が沈下し、最終的な沈下量は約 5cm となった。H24 盛土では、盛土施工後わずかに隆起したが、その後沈下が続く、最終的な沈下量は約 5cm となった。H25 年盛土も気温がマイナスの期間に約 2cm 隆起し、その後沈下が続く最終的な沈下量は約 7cm となった。

全体的な傾向として、1 日盛土は 6 日盛土よりも凍上による盛土の天端の隆起量が大きい、盛土の融解による沈下量は小さく、最終的には施工時の盛土の高さとほぼ同じになった。しかし、6 日盛土は、凍上による盛土の天端の隆起量は 1 日盛土よりも小さいものの盛土の融解にともなう沈下量は大きく、沈下の収束にも時間を要する。これは、1 日盛土の場合は表面のみの凍上による施工盛土各層の隆起量が融解時に沈下するのに対し、6 日盛土では夜間休止による凍上による隆起量が融解時に沈下するためと考えられる。言い換えれば、6 日盛土では凍上による施工中盛土各層の隆起分の厚さだけ盛土量が少なくなっているといえることができる。これらのことから、盛土底部からの給水がない場合でも、盛土の施工に際しては凍上の影響を避けるようにする。

5. まとめ

本検討の結果、次のことがわかった。

- ① 1 日の盛土施工厚が大きい場合、凍上により盛土天端は隆起を生じるが、その後の盛土の融解により、盛土の高さは施工時とほぼ同じになる。また、1 日の盛土施工厚が小さい場合は凍上による盛土天端隆起量は小さいが、盛土の融解にともなう沈下量は大きく、沈下の収束にも時間を要する。
- ② 冬期盛土において、盛土下部に排水基盤層や土木シートを設置する場合は、凍上性材料による盛土施工が可能な場合がある。この場合においても、夜間の盛土作業休止はできるだけ避けるようにすべきである。

参考文献

- 1) 地盤工学会北海道支部地盤の凍上対策に関する研究委員会編：寒冷地地盤工学—凍上被害とその対策—、p.3、2009.12.
- 2) 冬期の河川・道路工事における施工の適正化検討会：積雪寒冷地における冬期土工の手引き【道路編】、p.15、2015.2、

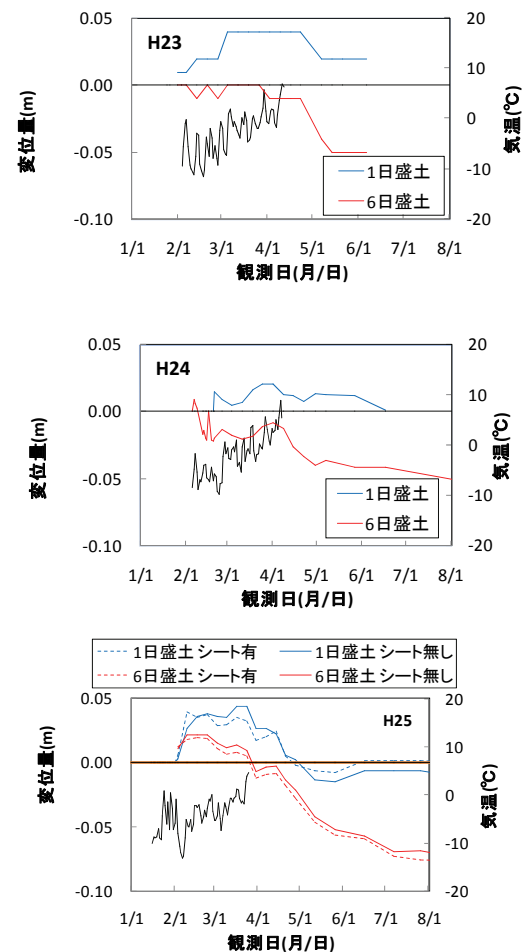


図-6 凍結融解にともなう盛土の変状

- 3) 安藤彰、高瀬一隆、佐藤厚子：切土法面における湧水、凍上対策について、第 52 回（平成 20 年度）北海道開発技術研究発表、2009.2.
- 4) 佐藤厚子、山梨高裕、鈴木輝之、川端伸一郎：冬期土工による盛土の品質について、第 54 回地盤工学会北海道支部年次技術報告会、2014.2.
- 5) 通年施工推進協議会：冬期土工設計施工要、1999.4.
- 6) 日本道路協会：道路土工—盛土工指針、p.202、2010.4
- 7) 冬期の河川・道路工事における施工の適正化検討会：積雪寒冷地における冬期土工の手引き【道路編】、p.26、2015.2.
- 8) 佐藤厚子、西本 聡、鈴木輝之：冬期施工による盛土の性状、第 53 回地盤工学会北海道支部年次技術報告会、2013.2.
- 9) 佐藤厚子、山梨高裕、鈴木輝之、川端伸一郎：冬期施工盛土の施工法と品質について、第 55 回地盤工学会北海道支部年次技術報告会、2015.2.
- 10) 日本道路協会：道路土工要綱、p.287、2009.6.
- 11) 地盤工学会：凍上量測定のための凍上試験方法、凍上性判定のための凍上試験方法、新規制定地盤工学会基準・同解説、p.247、2009.11.
- 12) 第 55 回地盤工学会北海道支部年次技術報告会、2015.2