

15.6 積雪寒冷地における冬期土工の品質確保に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 26

担当チーム：寒地基礎技術研究グループ（寒地地盤）

研究担当者：山梨高裕、佐藤厚子、安達隆征、山田充

【要旨】

冬期の盛土施工は、通常の時期の施工と比較して、凍結・凍上により施工した盛土の品質の低下や、固化材による改良強度が十分発現しないなどの問題がある。本研究は、これらの問題に対応するため、それぞれの現象を把握し、冬期土工の施工法および品質管理基準、低温下で改良効果を有する固化材による改良方法、低コストな方法である寒冷気候を利用した高含水比土の改良技術について提案することを目的としている。平成 25 年度は、23 年度、24 年度に引き続き、冬期施工に関する調査、試験を行うとともに、低温下でも改良が可能な固化処理に関する屋外実験を行った。その結果、寒冷下での施工では、盛土の立ち上げ速度が遅くなると盛土内に層状の凍土が残留し凍結深さが大きくなること、断熱材の敷設は凍結抑制効果が大きいことなどを確認した。また、生石灰による改良の発熱を利用することにより、凍結深さが低減されることがわかった。

キーワード：積雪寒冷地、冬期施工、固化、凍上

1. はじめに

積雪寒冷地では、冬期に施工される盛土において、締固め不足や固化処理での強度発現不足のため、施工後手直しを要する場合があります。したがって、寒冷気候下の施工に関する基準の提案、固化処理技術の開発が必要である。また、寒冷気候を利用した土の改良技術の開発は、低コスト化を実現し、寒冷気候下での効率的な施工に有益である。本研究は、これらを明らかにするため、冬期土工における品質管理基準の提案、低温下での固化処理技術の提案、低温を利用した土の改良技術の開発を行うものである。

2. 冬期土工における品質管理基準の提案に関する研究

冬期盛土における品質管理基準を提案するために、冬期盛土を試験施工し、施工時および盛土融解後の性状を調査した。

2.1 過年度までの冬期土工の施工法と品質に関する研究の概要

平成 23 年度、24 年度の研究では、冬期に実施した盛土が変状する現象のメカニズムを解明するため、冬期に試験盛土を実施した。

平成 23 年度に実施した盛土融解後の開削調査により、盛土内の凍結しなかった箇所では密度の変化がなかったのに対し、凍結・凍上した箇所では密度が低下する傾向

が見られた。この結果より、盛土を凍上させないことにより、盛土の品質を向上させることができる。

そこで、平成 24 年度の試験施工では、盛土を凍上させないことを目的として、盛土を断熱する方法、施工時に凍結した箇所を除去してから転圧する方法、非凍上性材料による盛土に着目して、試験施工を実施した。

冬期の気温がマイナスの時期に盛土を施工すると、盛土の表面から盛土が凍結する。このとき、盛土材料が凍上性を有していれば、図-1 に示すように、凍結面より下方の未凍結部分より移動してくる水分によって凍結面付近でアイスレンズが形成される。このアイスレンズは、気温、未凍結部の土質、水分量の影響を受け厚さが異なる。そこで、平成 23 年度、24 年度の試験施工では、未凍結部からの水分移動の影響を排除するため、排水性材料による基盤の上に盛土を設置した。

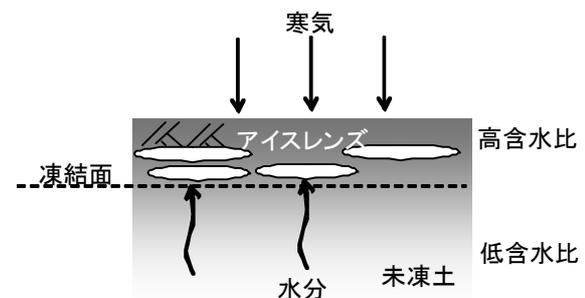


図-1 凍上の原理

2.2 平成24年度冬期盛土試験施工

2.2.1 試験施工方法

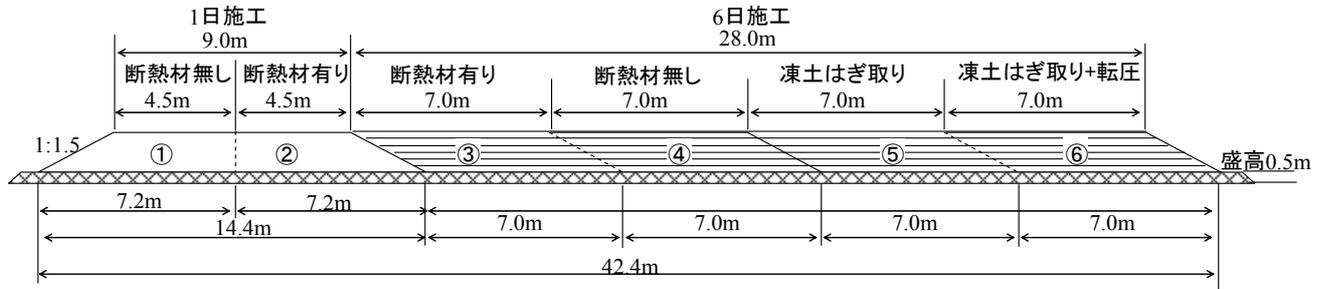
前年度に引き続き、平成25年2月12日～20日に冬期盛土を施工し、平成25年9月に盛土開削調査を行った。

平成23年度試験施工の研究結果より、盛土を凍上させないことで盛土の品質向上が可能であることがわかった。そこで、断熱する方法、施工時に凍結した箇所を除去してから転圧する方法、非凍上性材料による方法に着目して盛土を施工した。

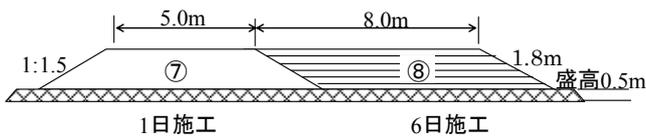
表-1に示す材料により、天端幅4～5m、高さ1.8m、こう配1:1.5の盛土を8種類施工した(図-2)。表-2に施工条件の概要を示す。

表-1 盛土材料の基本物性値

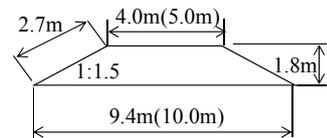
盛土材	1(凍上性)	2(非凍上性)
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.546	2.745
自然含水比 $w_n(\%)$	67.91	9.23
粒度特性	2mm以上(%)	23.8
	75 μm ～2mm(%)	50.2
	75 μm 以下(%)	26.0
コンシステンシー限界	N.P.	N.P.
地盤材料の分類記号	SFG	GS
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	0.989	2.064
最適含水比 $w_{opt}(\%)$	53.2	8.8
コーン指数 $q_u(\text{kN/m}^2)$	508.6	2111.1
透水係数 $k(\text{m/sec})$	4.51×10^{-7}	1.54×10^{-5}



a. ①②③④⑤⑥側面図



b. ⑦⑧側面図



c. 断面図

図-2 盛土の形状

表-2 平成24年度施工条件

盛土No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
施工日 (平成25年2月)	5日		12日,13日,14日,15日,18日,20日				8日	12日,13日,14日,15日,18日,19日
1日の施工層数	6		1				6	1
盛土材	1(凍上性材料)						2(非凍上性材料)	
断熱材	無	有	無					
凍土部分削除	無				有		—	
凍土削除後転圧	—		無		有	—		
基盤材	有 (底部からの水分移動無し)							

各材料について粒度分布による凍上性を判定²⁾したところ、盛土材1は凍上性を排除できない材料であり、盛土材2は非凍上性の材料である。各層の仕上がりは30、60、90、120、150、180cmとなるように施工した。冬期土工が盛土の変状に与える影響を確認するため、次の項目に着目して盛土を施工した。

(1) 盛土の施工速度が盛土の性状に与える影響

夜間に盛土作業が休止すると、盛土表面が凍上する。これにより、盛土が変状する現象を調査するため、試験盛土を実施した。平成23年度に引き続き、平成24年度は、平成23年度とは異なる材料2種類を使用し、休止期間の有無による盛土の変状を計測した。

盛土の休止期間のない場合の盛土として1日で天端までの6層(1層30cm)を施工した。休止期間を多くとる盛土として1日1層(30cm)ずつ6日以上で施工した。①②⑦は1日で、③④⑤⑥⑧は6日以上で施工した(写真-1)。



写真-1 試験施工状況

(2) 施工中の盛土表面の断熱対策が盛土の性状に与える影響

盛土施工中および盛土施工後の盛土の凍結を抑制するため、盛土を外の冷気から断熱する方法として、盛土を断熱材(XPS)で覆った。使用した断熱材は、熱伝導率 $0.033 \times 10^{-6} (\text{W/m} \cdot \text{K})$ 、厚さ5cmである。②は施工後盛土全体に断熱材を敷設した(写真-2)。③は盛土休止から盛土再開までの間、盛土全体に断熱材を敷設した。さらに、盛土完成後、断熱材が風で移動しないよう盛土全体を土木シートで覆った。

(3) 凍土の除去が盛土の性状に与える影響

平成23年度の調査により、夜間の盛土休止による盛土表面の凍結部分が盛土内に残留し、この凍結した箇所

の密度が低かった。このことから、夜間の盛土作業休止にともない凍結した部分を除去した(写真-3)。⑤は、各施工日の施工開始前に盛土表面の凍結土を除去した後、次の層を施工した。平成23年度の調査では、凍土除去のみでは、盛土の密度が減少した³⁾。そこで、⑥では凍土除去後の表面を転圧してから次の層を施工した。

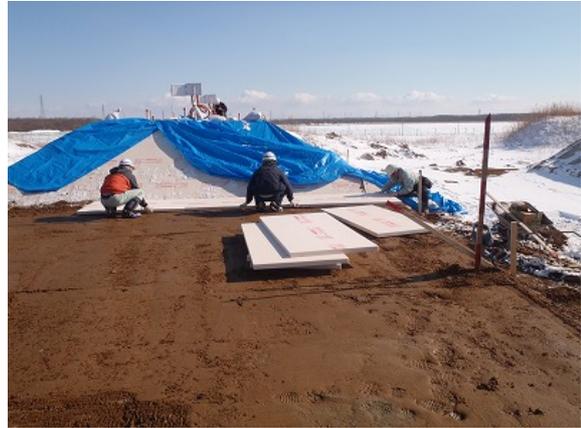


写真-2 断熱材施工状況



写真-3 凍土除去状況

(4) 盛土材料の凍上性が盛土の性状に与える影響

盛土材料が凍結しても凍上しない材料であれば、盛土の変状がない。そこで、盛土材料の違いによる変状の有無を調査するため、凍上性が異なる材料により、試験盛土を行った。①～⑥は凍上性材料、⑦⑧は非凍上性材料である。

2.2.2 調査方法

盛土に関する調査項目を表-3に示す。平成24年度は、特に夜間の盛土作業休止中における盛土の凍上状況に着目した調査を行った。凍上状況を測定するため、盛土施工時と盛土施工翌日の強度と含水比を測定した。また、夜間の盛土作業休止中に凍結した盛土の厚さを測定した。さらに盛土が融解した後、盛土を開削し含水比と密度を測定した。

表-3 盛土に関する調査項目

測定項目	測定時期	No.	測定箇所	備考
コーン指数	施工時	③④⑤⑥	盛土表面	コーンペネトロメーター
	翌日施工前			
	凍土除去後	⑤⑥		
	凍土除去転圧後	⑥		
含水比	施工後 翌日施工前	③	盛土表面	JIS A 1203
		④⑤	凍結部	
		⑥	凍土除去の下	
凍結厚さ	翌日施工前	⑤⑥	1,2,3,4,5 層	定規(3 箇所)
凍上量	翌日施工前	③④⑤⑥⑧	1,2,3,4,5 層の天端 施工後と翌日施工前の差	水準測量(3 点)
土中温度	施工直後から開 削まで	①②	6cm ごと 1.2 m まで	温度センサー
		③④⑤⑥⑦⑧	6cm ごと 1.8m まで	
気温		①②③④⑤⑥⑧	盛土表面から 1m の高さ	
高さ (変状確認)		すべて	天端	水準測量(3 点)
含水比 (凍上状況確認)	2/27、3/27	①②③④⑤⑥	10cm ごと	ボーリング採取試料
密度	施工時 (2月)	すべて	各層転圧後天端	砂置換法(3 点) 融解後は開削調査に よった
		⑤	1,2,3,4,5 層凍土除去後	
		⑥	1,2,3,4,5 層凍土除去転圧後	
	融解後(9月)	すべて	30cm ごと	

2.2.3 冬期盛土試験施工結果

(1) 施工中の盛土の状態

a) 盛土施工前後の含水比の変化

⑤⑥について、施工時と翌日施工前における、盛土表面の凍土と、その直下の含水比を図-3 に示す。凍土部分の含水比は、施工時と比較して、20%以上高くなっていた。これに対し、凍土下の含水比は、一部例外があるものの施工時より、4%程度低くなっていた。夜間の盛土休止期間中に盛土表面が凍結し、この部分の含水比が高くなり、その下の含水比が低下していたことから、夜間の盛土休止があると、30cm の限られた範囲でも凍上現象があるといえる。凍上の発生箇所は平面的に不均一であることから、凍上した箇所が融解することにより、盛土の不陸発生の要因となる可能性がある。

これに対し、②③断熱材を敷設した箇所では、断熱材の下は凍結していなかった。冬期施工時に断熱材を敷設することにより、不陸発生を抑制できる。

b) 盛土施工方法と強度および含水比

平成 23 年度の試験において、凍土を除去すると盛土の密度が低下した結果が得られた。そこで、凍土除去と凍土除去後の転圧の有無による密度の変化と強度を調べた。図-4 に盛土施工時、凍土除去時、凍土除去後転圧し

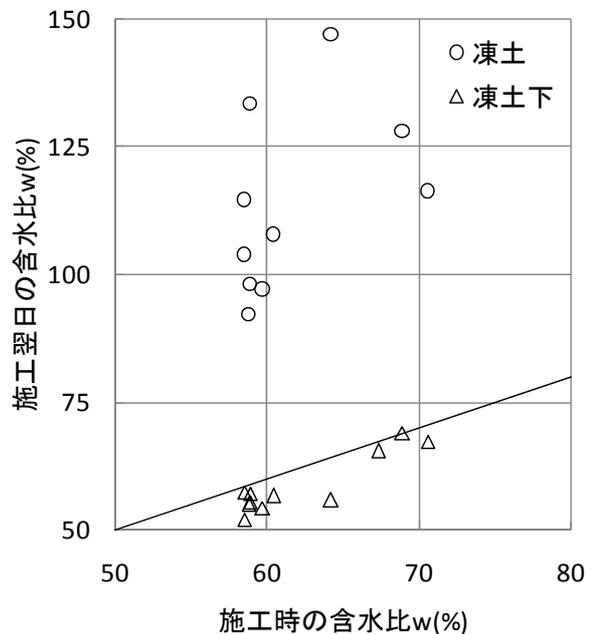


図-3 施工時と施工翌日の盛土の含水比の変化

たときの乾燥密度を示す。

すべての盛土で、凍土を除去することにより、凍土除去箇所の乾燥密度は低くなっている。また、凍土除去後転圧することにより、盛土の乾燥密度は高くなり、凍土

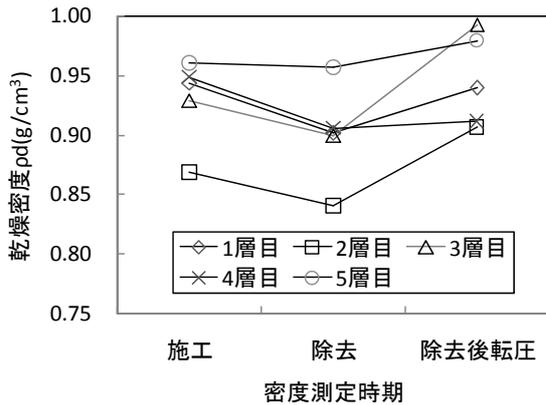


図-4 凍土の除去と盛土の乾燥密度

除去前の密度とほぼ同じかそれ以上の密度となった。これより、凍土を除去するだけでは、盛土内部に密度の低い箇所が存在し、不均一な盛土となり、盛土の不陸が発生する。凍土を除去した場合は、除去した箇所を転圧した後、次の層の施工を行うことが望ましい。

次に、断熱材敷設箇所、対策無し、凍土除去、凍土除去後転圧した箇所の強度と含水比を測定した。強度は、盛土表面のコーン指数である。図-5に3層目のコーン指数の例、図-6に含水比の例を示す。対策無しでは、コーン指数は貫入不可であった。しかし、盛土表面は凍結しており、含水比が高いことから、凍結による一時的な強度増加と考えられ、高含水の凍土が融解すると、強度が低くなるので注意しなければならない。

断熱材敷設箇所のコーン指数および含水比は、転圧直後も変化がなかった。断熱材敷設箇所は、目視では凍結は確認されなかった。

凍土除去箇所、凍土除去後転圧した箇所では、施工直後よりもコーン指数が約500kN/m²以上高くなり、また、含水比が10%低下した。これは、凍上により含水比が上昇した箇所を除去したため、その下方の含水比は低下し、これによりコーン指数が大きくなったものと考えられる。凍土除去後転圧した箇所は、コーン指数が大きくなった。同じ含水比の箇所をさらに転圧したことによりコーン指数が大きくなったと考えられる。凍土除去後の転圧は盛土の品質を向上させることが確認できた。

c) 夜間の盛土休止による変化量 (凍上量)

盛土休止により、盛土表面が凍上すると考えられることから、作業終了時(午後4時)および、翌日作業開始時(午前8時)に盛土の高さを測定した。凍上性材料、非凍上性材料において、盛土休止回数5回で施工したときの各層の変化量を図-7に示す。ここで変化量とは、作業終了時

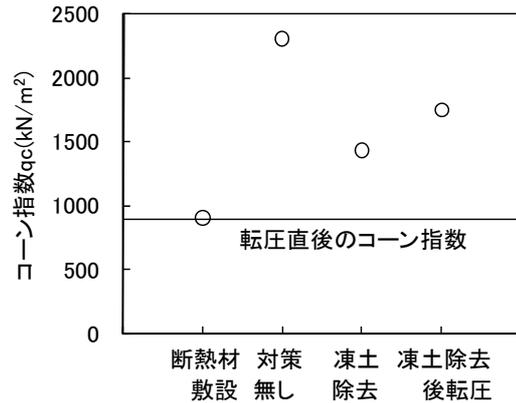


図-5 冬期施工した盛土表面の強度

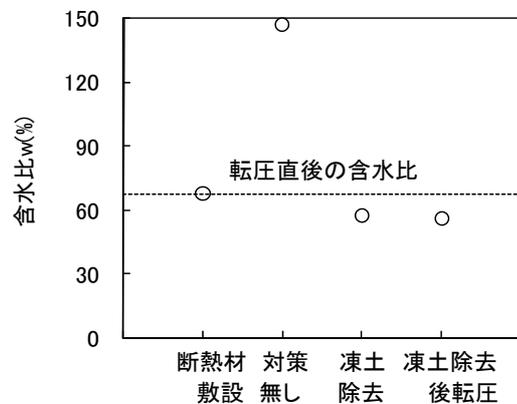


図-6 冬期施工した盛土表面の含水比

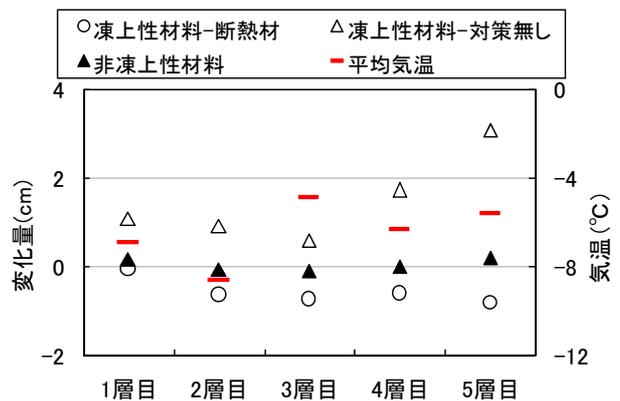


図-7 夜間の盛土休止中の変化量

と開始時の盛土の高さの差である。図には、作業終了から、翌日作業開始時の間の正時で測定した気温の平均値も合わせて示した。

断熱対策をしない盛土では、すべての層で盛土が隆起した。非凍上性材料では、盛土休止による変位はほとんど

どなかった。

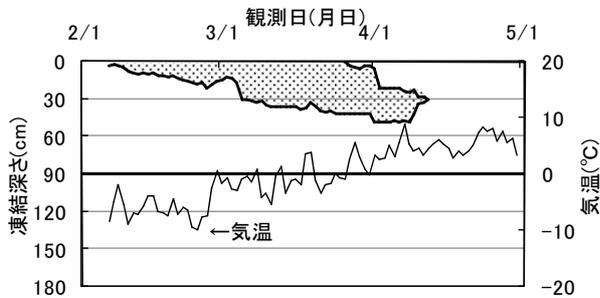
断熱材を敷設した盛土は、各層ともに数 mm の沈下があり、盛土休止中、自重により圧縮し沈下したと考えられる。盛土の高さが大きいほど沈下量が大きくなっている。これは、盛土の施工数が多いほど、圧縮沈下対象の層が厚くなることおよび上載荷重が大きくなったため

と思われる。盛土の圧縮により密度が大きくなり、不陸が発生しにくくなると考えられる。

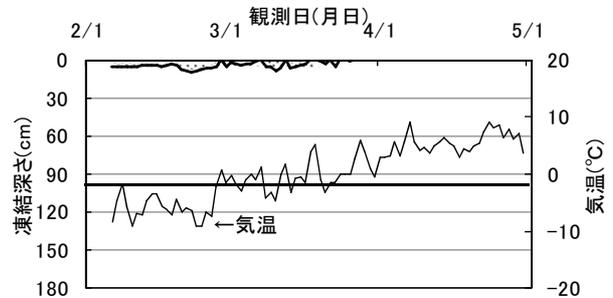
(2) 施工後の盛土の状態

a) 盛土の凍結状態

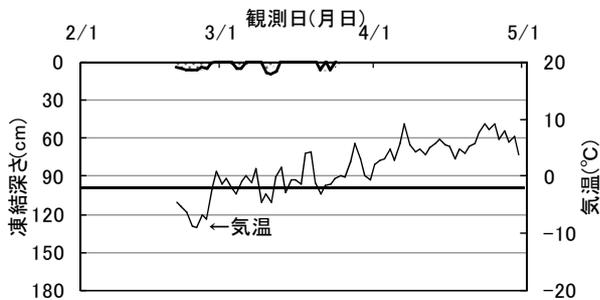
盛土の温度測定データからマイナス温度となる領域を推定し、観測日ごとに盛土内の凍結深さを求めた(図-8)。



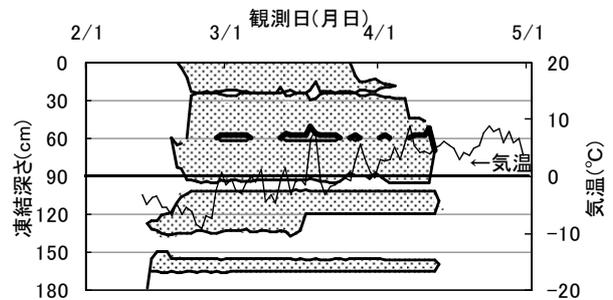
①凍上性材料-6層/日



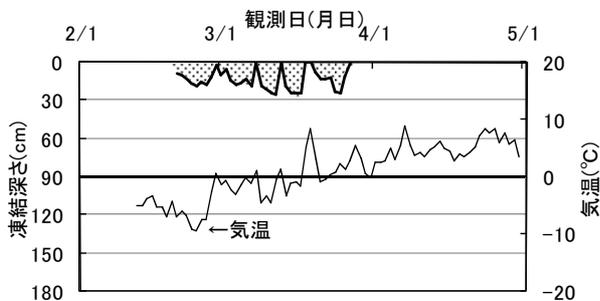
②凍上性材料-6層/日 (断熱)



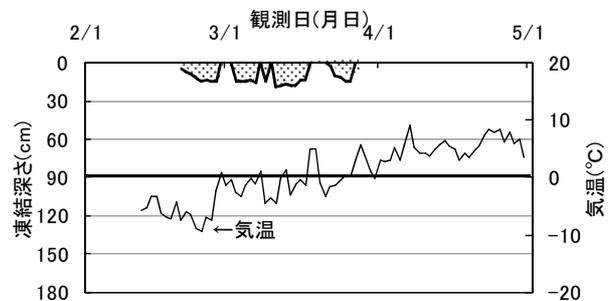
③凍上性材料-1層/日 (断熱)



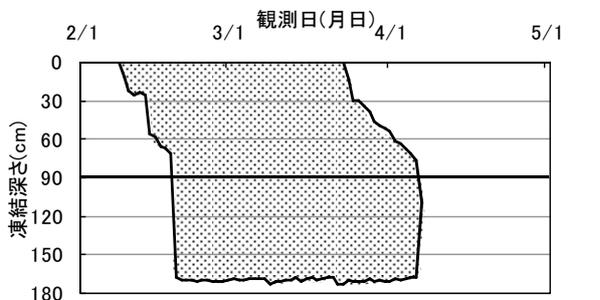
④凍上性材料-1層/日 (対策無し)



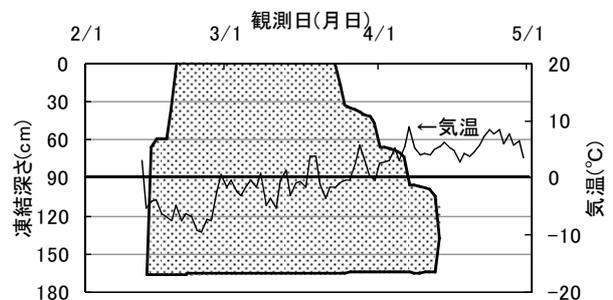
⑤凍上性材料-1層/日 (凍土除去)



⑥凍上性材料-1層/日 (凍土除去後転圧)



⑦非凍上性材料-6層/日



⑧非凍上性材料-1層/日

■ 凍結部分

図-8 盛土の凍結状態

図-8①6層/日で施工した盛土は、時間の経過とともに徐々に盛土の凍結深さは大きくなっていった。

②③断熱をした盛土は1日の施工量にかかわらず、盛土はほとんど凍結しなかった。断熱材の凍結抑制効果は大きかった。しかし、幅5m程度、長さ7m程度、厚さ30cmの小さな盛土であっても、盛土作業前に天端の断熱材を撤去し、施工後断熱材を敷設作業は約1時間を要することから、他の効率的な方法および材料の検討が必要である。

図-8④1層/日の施工では、夜間一晩休止中に4~5cmの凍結が盛土表面に見られた。盛土の施工では常に凍結していない材料を用いたが、盛土休止により、表面が冷却され、最終的には、盛土のほとんどが凍結した状態となり、図-8①1日で完成断面まで施工した場合よりも凍結深さは大きくなった。

図-8の⑤⑥盛土は、施工途中で凍結した部分を除去したため、④盛土よりも凍結深さは小さかった。また、図-8①1日で完成断面まで施工した場合よりも凍結深さが小さくなっている。これは、盛土完成が①よりも2週間程度遅くなり、さらにあまり気温が低くなかったことによる影響が考えられる。

図-8⑦⑧非凍上性材料による盛土は、施工直後から盛土全体が凍結した。これは非凍上性材料の熱伝導率が高いためであると考えられる。

b) 盛土内部の含水比

盛土内部の含水比の深さ方向の分布の一例として、2/27の測定結果を図-9に示す。

③1層/日の施工で断熱した場合は、含水比の高い箇所が無く、水分移動がほとんどなかったといえる。盛土は凍上しなかったと判断できる。

④凍結に対する対策無しでは、表面部、表面から30、60、120、150cmの深さで含水比が高くなっており、それらのすぐ下方で含水比の低い箇所がある。これは、盛土施工が休止された箇所であり、夜間の気温が低い時間に施工箇所で凍上が発生したものと考えられる。

⑤凍土を除去した盛土は、盛土表面に含水比の高い箇所とそのすぐ下方に含水比の低い箇所があり、この箇所では凍上が発生している。しかし、盛土内部には含水比の高い部分がなく、凍上現象によって移動し集中した水分は凍土として除去されたと考えられる。

盛土融解後の開削調査結果より、盛土を断熱する方法、施工時に凍結した箇所を除去してから転圧する方法では、盛土の凍結を抑制できることが確認できた。また、非凍上性材料による盛土では、凍結しても凍上しないことが

確認できた。

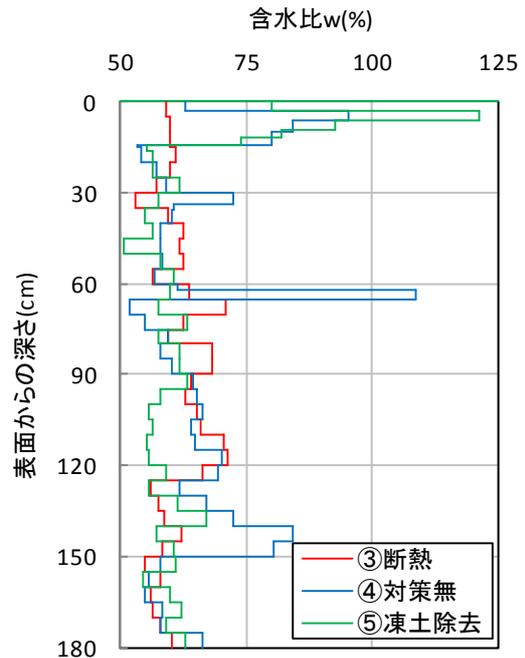


図-9 盛土の深さ方向の含水比分布の一例

c) 施工時と開削時の含水比

平成23年度と平成24年度に施工した盛土は、排水材による基盤の上に施工した。平成24年度に施工した盛土について、施工時と開削時の含水比の関係を図-10に示す。

盛土融解後の開削時の調査では、非凍上性材料による盛土⑦⑧以外は、施工時よりも含水比が低くなった。基盤材が排水材となり、盛土内の水分が重力方向に移動し、盛土の含水比が低下する現象と考えられる。

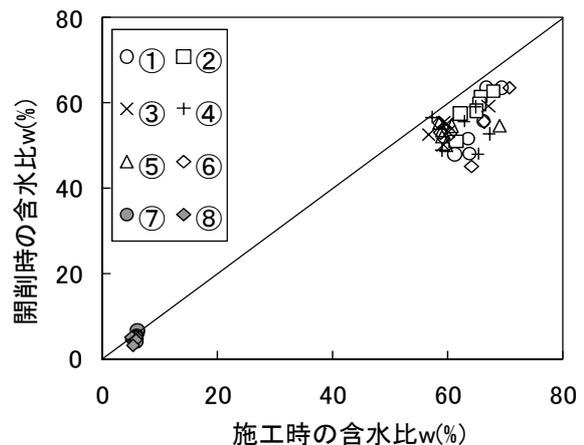


図-10 施工時と開削時の盛土の含水比

また、平成23年度、24年度に施工した盛土は、融解後の変状が比較的小さかった。これは、盛土内の水分が

盛土底部の排水性材料による基盤材から排水されたことにより、盛土の品質が向上し、変状がなかったと考えられる。

2. 3 平成 25 年度冬期盛土試験施工

2.3.1 試験施工方法

(1) 排水条件に着目した盛土

平成 24 年度の開削調査では、盛土内部の重力方向の水分移動の変状の影響のため、凍上による変状のみを測定できなかった可能性がある。この影響を排除するため、平成 25 年度の冬期盛土は、盛土底部からの水分移動を遮断するための方法を、排水性の基盤の代わりに非透水性の土木シート(ブルーシート)によることとした。

平成 26 年 1 月 14 日～29 日に冬期盛土を施工した。

平成 25 年度の盛土施工条件を表-4 に、盛土材料の基本物性値を表-5 に、盛土の形状を図-11 に示す。

表-4 平成25年度施工条件

盛土No.	①	②	③	④
1日の施工層数	6		1	
盛土材	a		b	
排水の遮断	無	有	無	

表-5 盛土材料の基本物性値

盛土材		凍上性
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$		2.732
自然含水比 $w_n(\%)$		68.59
粒度特性	2mm 以上(%)	1.5
	75 μm ～2mm(%)	70.1
	75 μm 以下(%)	28.4

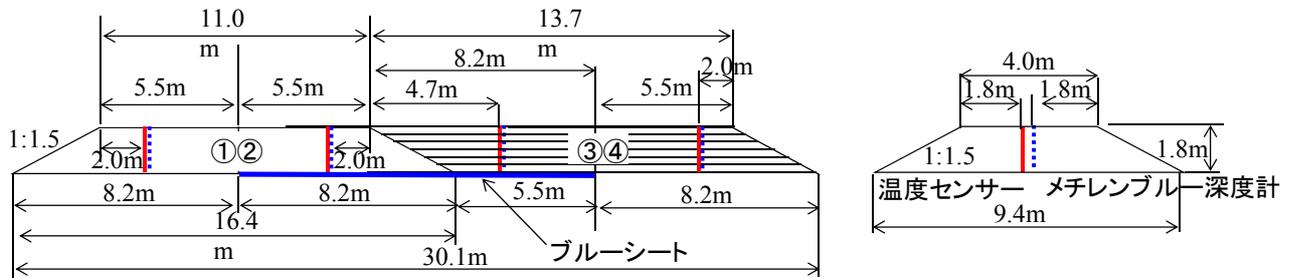


図-11 底部および盛土からの水分移りがない盛土

(2) 凍結した材料による盛土

凍土による盛土は、十分な締固めができず、盛土の融解後に大きな沈下をもたらすとされてきたが、これまで、この現象を測定した例がない。そこで、凍土により施工した盛土が、融解したときの変状を測定した。平成 23

年度冬期施工した盛土材 a、平成 24 年度冬期施工した盛土材 b (表-1 盛土材 1)により、図-12 に示す盛土を施工した。凍土による盛土は、各盛土材を自然状態で凍結させ、30cm 以下に小割りした後、凍結していない盛土材により間詰めしながら施工した。



写真-4 凍土の小割り



写真-5 小割りした凍土



図-12 凍土による盛土の形状

2.3.2 調査方法

調査方法を表-6に示す。

平成26年度において、平成25年度に施工した盛土の融解過程における盛土の変状を調査するとともに、盛土が融解した後、施工した盛土を開削して、密度を測定する。

表-6 平成25年度施工の盛土に関する調査項目

測定項目	測定時期	備考
凍結厚さ	施工前	定規(3箇所)
凍上量	施工前	水準測量(3点)
土中温度	施工直後から開削まで	温度センサー
気温		
高さ (変状確認)		
密度	施工時 融解後	砂置換法(3点) 融解後は開削調査による



写真-6 冬期の固化材による改良

3.2 調査結果

図-13は、生石灰系固化材を混合してからの気温の経時変化と、石灰系固化材により改良した材料の凍結深さを示したものである。凍結深さは測定した温度よりマイナスとなる深さを計算した。

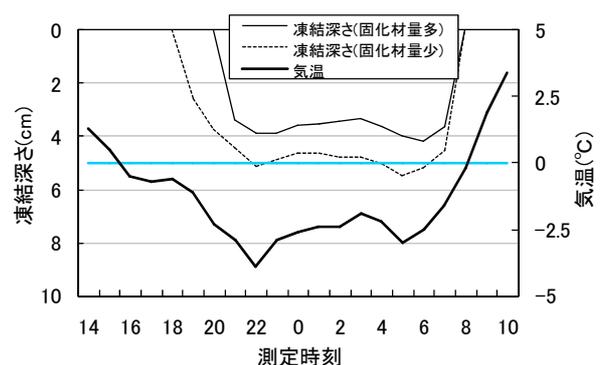


図-13 調査日の凍結深さと気温

3. 低温下での固化処理技術の提案に関する研究

セメントや生石灰などの固化材による改良では、マイナス温度で固化材を不良土に混合すると、その後養生温度をプラスにしても強度発現しないことが、平成24年度の研究により明らかになっている。

一方、固化材のうち、生石灰による不良土の改良では、生石灰が対象土中の水分を吸収して固化すると同時に、発熱反応が発生する⁹⁾。この発熱を利用して、改良土の防寒養生として利用する場合の適用の可能性を検討するため、実際の施工現場で改良土の温度を計測した。

3.1 施工および調査方法

平成25年12月、生石灰系固化材により改良する施工現場において、固化材混合量を、固化材量 12kg/m^3 、 22kg/m^3 混合し、混合してからの温度変化を気温とともに測定した。写真-6は、不良土と生石灰を混合している状態である。

生石灰系固化材を混合した時刻は、固化材量 12kg/m^3 で11時、固化材量 22kg/m^3 で15時であった。固化材を混合してからの時間経過ともない気温は低下し、16時にはマイナスとなり、深夜には、 -4°C まで低下した。こ

の間、固化材量 12kg/m^3 の改良土の凍結深さは 5.5cm 、固化材量 22kg/m^3 の改良土では 4.0cm であった。

気温がプラスになると凍結した改良土はすべて融解した。固化材量が多いと発熱量が多く凍結深さが小さい傾向にある。生石灰系固化材により改良したことにより、凍結深さが低減されたと考えられる。

3.3 固化材により改良した材料による盛土施工

生石灰系固化材では、固化材混合後 24 時間までの間に、発熱膨張反応が生じる⁵⁾。このため、この期間は盛土の転圧を行うことができない。そこで、転圧後の盛土の上で、生石灰系固化材の発熱膨張反応のための養生を行う方法により、固化材混合後の材料の凍結が抑制される可能性があると考えられる。

そこで、平成 26 年 1 月 14 日～23 日まで生石灰、高炉 B 種セメントにより、不良土を改良し、試験盛土を施工した。図-14 に示す断面で、固化材を混合しながら盛土を施工し、温度を計測した。固化材は高炉 B、生石灰である。今後データを整理して盛土内の状況を確認する。

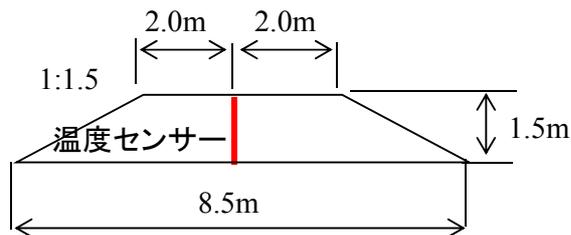


図-14 固化材により改良した材料による盛土

4. 低温を利用した土の改良技術の開発に関する研究

平成 24 年度、寒冷気候を利用することにより、大型土のうの中に入れた高含水比の土砂の含水比を低下させることがわかった。これは、大型土のう内の土砂が寒冷気候により凍上することを利用したものである。土のうの中の土砂がマイナス気温下で、凍上すると、土のう内部の水分が土のう内の表面側に移動することにより、土のう内部の含水比が低下する。水分が土のう内の表面側に移動した水分は、土のう内の土砂が融解するとき、蒸発散して、土のう全体の含水比が低下する。

平成 25 年度は、この現象が冬期に限定されるものかを確認するため、夏期に置き土した材料の含水比を測定した。

北海道内の 6 箇所へ置き土された土砂について、表面からの深さと含水比の変化を調べた。図-15 に置き土表面からの深さと含水比を示す。

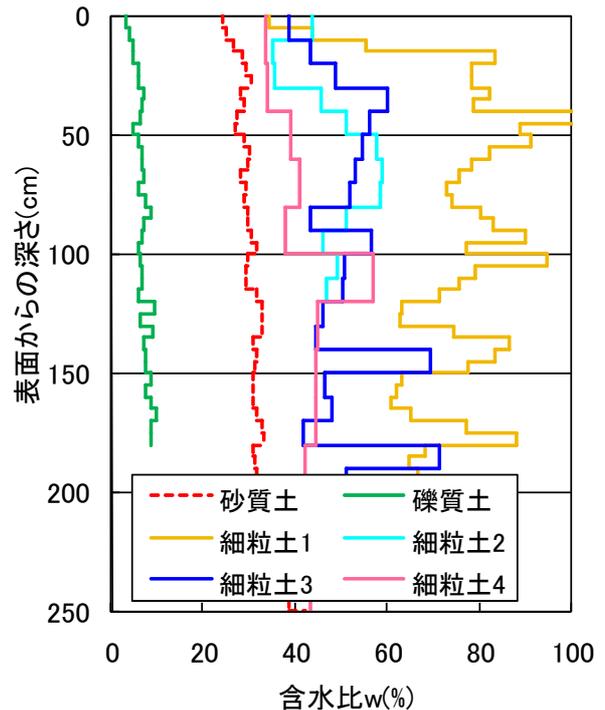


図-15 地表面からの深さと含水比の変化

6 箇所すべて、置き土してから 8 月下旬～10 月中旬に採取して、測定したデータである。

砂質土と礫質土は含水比の変化が少なかった。

細粒土 1 では、盛土内部の含水比は 70% 程度であり、表面から 25cm 程度まで、30% に低下した。細粒土 2 は、表面から 50cm 程度まで含水比の低下がみられた。細粒土 3 は、表面から 30cm 程度まで含水比の低下が見られた。

全体として置き土内部までの含水比の大幅な低下改善は見られなかった。寒冷気候を利用した含水比低下は、凍結深さよりも深い箇所から、凍結付近に水分移動があることから、凍結深さまでの含水比低下が可能である⁶⁾。したがって、凍結深さが 50cm よりも深い地域では、夏期間の脱水よりも深い箇所まで含水比低下ができる。

なお、大型土のうによる脱水では、土のう内に土砂を投入したり、改良後土砂を土のうから取り出すなどの作業が必要であることから、平成 25 年度は、この作業をしない方法として、大型土のうを用いずに寒冷気候を利用した脱水の可能性を確認した。凍結深さよりも盛土高を高くして施工した(写真-7)。今後は、盛土融解後に盛土内部の含水比を測定する予定である。



写真-7 寒冷気候を利用した含水比低下実験

5. まとめ

本研究において、積雪寒冷地における冬期盛土に関する調査および不良土改良の調査、実験を行った。その結果以下の知見が得られた。

- ① 盛土の施工速度が速いと凍結回数を少なくできるので凍結深さが小さく、冬期に凍上した盛土が融解するまでの時間が短くなり、盛土の沈下を早期に収束できる。
- ② 断熱材による凍結・凍上抑制効果は大きく、盛土はほとんど凍結しなかったことから、盛土作業の夜間休止による変状の抑制には、断熱材の利用が効果的である。
- ③ 非凍上性材料による盛土は凍上による変状が小さいので、夜間休止による影響が少ない。
- ④ 凍結した部分を除去すると凍結・融解による変位量が少ない。また、除去後はコーン指数が大きくなり、特に凍土を除去した後に転圧すると、より強度が大きくなる。これより、盛土の品質向上のためには、凍土層除去およびその後の締固めも有効である。
- ⑤ 生石灰系固化材による改良の場合、生石灰系固化材と対象土砂との混合時の発熱を利用することで、強

度発現の可能性がある。

- ⑥ 夏期に行った置き土の含水比測定では、脱水効果は材料土の表面の 25cm～50cm 程度の深さに限定された。冬期の寒冷気候を利用する含水比低下方法は、凍結深度が影響範囲となるため、夏期より深い箇所までの含水比低下効果が見込まれる。

なお今後については、平成 25 年度に施工した盛土の開削調査を行い、盛土底部からの排水の有無の影響、固化材による改良土の冬期の初期養生期間の検証、冬期間の含水比低下等について調査を行う予定である。

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.231、2009.12
- 2) ISSMFE TC-8: Grain size distribution as a frost susceptibility criterion of soil, VIT Symposium, Vol.1, pp.29-32, 1989.
- 3) 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.
- 4) 佐藤厚子、西本聡：冬期土工の留意点について—春先に壊れない盛土を目指して—、第 52 回（平成 20 年度）北海道開発局技術研究発表会論文集（CD-ROM）、2008.2.
- 5) 日本石灰協会石灰安定処理委員会：石灰による路床路盤の安定処理工法、1985.8.
- 6) 佐藤厚子、中村大、鈴木輝之、西本聡：自然寒冷下での凍結融解過程における高含水比土の水分挙動、地盤工学ジャーナル Vol. 4, No. 2, 2009.6.

A STUDY ON MAINTENANCE OF WINTER EARTHWORK QUALITY IN COLD, SNOWY REGIONS

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2014

Research Team : Cold-Region Construction Engineering Research Group
(Geotechnical)

Author : YAMANASHI Takahiro

SATO Atsuko

ADACHI Takayuki

YAMADA Mitsuru

Abstract : Fill construction has more problems in winter than in other seasons, including degradation of fill quality due to freezing and frost heave, and insufficient improvement of fill strength from the addition of stabilizer. This study aims to understand and address problems such as those above by proposing the following: earthworks methods and quality-control standards for winter, a method for improving fill strength by the addition of a stabilizer that performs well under low-temperature conditions, and low-cost techniques for improving high-moisture-content soil by exposing it to the cold. As in FY 2011 and 2012, we continued to carry out studies and experiments on fill construction in winter of FY 2013, and we performed outdoor experiments on a solidification process that can improve fill strength even under low-temperature conditions. It was found that under cold climatic conditions, frozen layers of ground form in a fill, which causes the frost penetration depth to increase when the fill construction speed is slow, and that the laying of insulating material is very effective in controlling freezing. It was also found that the use of heat generated by quicklime reduces the frost penetration depth.

Key words : winter construction; cold and snowy regions; solidification; frost-heaving