

平成24年度

盛土の冬期施工における現状と対策

—冬期土工による変状を避けるために—

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地地盤チーム ○佐藤 厚子
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地基礎技術研究グループ 西本 聡
 北見工業大学名誉教授 鈴木 輝之

北海道では、工期短縮、災害復旧、通年雇用などにより冬期に土工を実施することがある。しかし、冬期に施工される盛土において、春先の融解期に沈下やのり面の崩壊が発生する場面がある。その原因として、夏期に施工する盛土と比較して締固め度が低くなる原因として、作業工程の都合上やむを得ず盛土途中で寒気の中、施工を中断する場合などが考えられる。そこで、北海道各地で行った冬期と夏期に施工した盛土の変状調査データを再整理するとともに、試験施工による盛土の性状を把握した。その結果より、現時点での冬期土工における変状を少なくするための対策をまとめた。

キーワード：冬期土工、品質、密度、含水比

1. はじめに

寒冷地では、冬期に施工した盛土が融解期に沈下・変形する例が報告されている¹⁾。その原因として、冬期施工では、盛土材の凍結や雪の混合により、夏期に施工する盛土と比較して密度などの品質が低下するとされていること²⁾や、作業工程の都合上やむを得ず盛土途中で寒気の中施工を中断することによる盛土中の凍土層の形成が考えられる。そこで、北海道各地で行った冬期と夏期に施工した盛土について、施工後の状況を確認するとともに、試験施工により冬期施工した盛土の性状を把握した。さらに、過去に実施した冬期土工に関する試験結果をあわせて検討し、新たに盛土の冬期施工における現状と対策をまとめた。

2. 調査方法

冬期施工による盛土の変状と対策をまとめるにあたって、過去に実施した冬期土工に関する報告³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾、夏期および冬期に施工された盛土の融解期の状況、冬期の試験施工による盛土の状況⁷⁾について整理しとりまとめることとした。その詳細は次のとおりである。

(1) 施工時期が締固め度に与える影響

北海道内で同じ材料により、夏期と冬期に実物大の試験盛土を施工し、施工時と開削時に盛土の密度と、盛土の沈下量を測定した。盛土材料の概略と施工箇所のそ

の年の凍結指数を表-1に示す。夏土工は、7月下旬から11月中旬までの間に、冬土工は、1月中旬から2月下旬までの間に施工した。

表-1 現場試験施工の土質

No.	箇所名	土質分類名	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (t/m ³)	最適含水比 w_{opt} (%)	凍結指数 (°C・days)
1	札幌	F	1.120 ^{*C}	45.0	244.6
2	天塩川	F	1.322 ^{*A}	32.5	794.6
3	天塩川	FS	1.614 ^{*C}	20.4	979.6
4	追分	FS	1.308 ^{*A}	32.6	736.6
5	十勝川	F-S	1.595 ^{*C}	24.3	815.2
6	釧路川	S	1.556 ^{*A}	21.7	439.5
7	札幌	S-F	1.567 ^{*A}	19.4	295.3
8	釧路	S-G	1.419(夏) ^{*C} 1.410(冬) ^{*C}	21.9(夏) 23.1(冬)	481.1
9	小樽	SFG	1.320 ^{*C}	30.0	410.4
10	比布	GS	2.190 ^{*C}	7.9	829.8
11	常呂川	GS-F	1.673 ^{*C}	15.2	943.0
12	旭川	GS-F	1.802(夏) ^{*C} 1.951(冬) ^{*C}	13.7(夏) 11.6(冬)	642.2
13	江別	SF-G(V)	-	-	761.0
14	白老	SFG(V)	-	-	341.3
15	大樹	SFG(V)	-	-	911.9
16	苫小牧	GS(V)	-	-	487.9

土質分類名 F：細粒土 S：砂質土 G：礫質土 V：火山灰

*A：A法 *C：C法

(夏)：夏期土工 (冬)：冬期土工

(2) 施工時期と未凍結期の変状

北海道開発局各開発建設部の盛土施工現場において、夏期と冬期に実施した盛土の密度を測定するとともに未凍結期に盛土の変状を調査した。調査数を表-2 に示す。

表-2 冬期盛土の実態調査数

調査時期		土質		
		粘性土	砂質土	礫質土
平成 22 年度冬	河川	2	6	21
	道路	-	6	24
平成 22 年度夏	河川	2	2	2
	道路	3	5	30
平成 23 年度冬	河川	-	3	7
	道路	-	1	6

表-3 盛土材料の基本物性値

土粒子密度 $\rho_s(t/m^3)$	2.626	
自然含水比 $w_n(\%)$	40.47	
粒度特性	2mm 以上($\%$)	7.8
	75 μ m~2mm($\%$)	74.6
	75 μ m 以下($\%$)	17.6
コンシステンシー限界	N.P.	
地盤材料の分類記号	S-FG	
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(t/m^3)$	1.270	
最適含水比 $w_{opt}(\%)$	35.0	
コーン指数 $q_u(kN/m^2)$	1403	

表-4 施工条件

盛土No.	①	②	③	④	⑤	⑥
施工時期	12月中		1月中			
1日の施工層数	6	1	6	2	1	2
凍結部分の削除	無					有

(3) 施工方法の違いが盛土の性状に与える影響⁷⁾

作業工程の都合上やむを得ず盛土途中に寒気の中、施工を中断することによる盛土の変状を確認するため、苫小牧施工試験フィールドにおいて実物大の盛土を施工した。盛土は、表-3の材料により、天端幅4m、高さ1.8m、のりこう配1:1.5、長さ5~7mで施工した。盛土材料は、粒度分布による分類⁸⁾では非凍上性であり、自然含水比が最適含水比よりも若干高いもののコーン指数が高く締固めしやすい材料⁹⁾である。

表-4 の施工条件で盛土を施工した。①と②は 12 月中旬に、③④⑤⑥は北海道の厳冬期である 1 月下旬~2 月上旬に施工した。①と③は 1 日で天端までの 6 層を施工し、②と⑤は 1 日 1 層ずつ 6 日間で施工、④と⑥は 1 日 2 層ずつ 3 日間で施工した。これにより、①と③は盛土天端のみ、②と⑤は天端と盛土施工中 5 回、④は天端と盛土施工中 2 回、寒気にさらされる。②④⑤は、施工時に盛土表面が凍結していても、そのまま次の層を施工した。⑥は盛土施工前に凍結した部分をはぎとってしてから次の層を施工した。なお、凍上による盛土下方からの

水分供給¹⁰⁾を避けるため、盛土は、0-80mm 級砂利による高さ 0.5m のフィルター層上に施工した。各盛土について、温度、高さ、N 値、含水比、密度を測定した。

3. 調査結果

(1) 施工時期が盛土の変状に与える影響

a) 施工時期と盛土の締固め度

同じ材料により、夏期と冬期に施工した盛土の密度を図-1に示す。砂質土、礫質土、火山灰で、夏期土工と冬期土工による盛土の密度のばらつきは、ほぼ同じである。

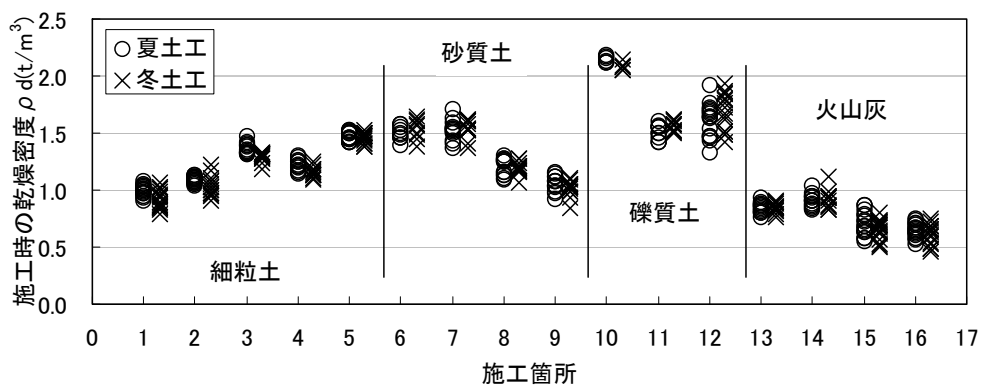
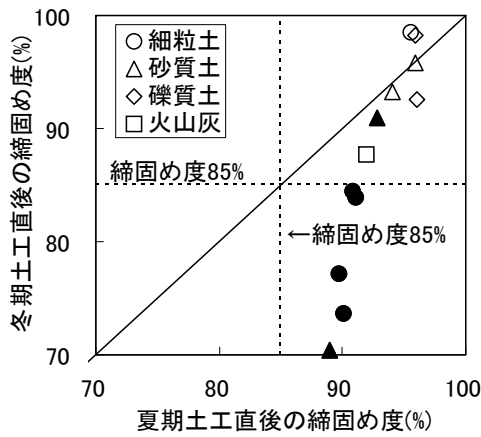


図-1 夏期土工と冬期土工の密度



黒塗りは冬期土工で夏土工より
含水比が高くなった盛土

図-2 冬期土工と夏期土工の施工時の締固め度

細粒土と砂質土No.6は、夏期土工と比較して冬期土工の密度のばらつきが大きい。すなわち、細粒土による施工では、冬期土工は夏期土工よりも盛土が不均一となる傾向にある。

次に、図-1の現場について夏期土工と冬期土工の施工時の締固め度の平均値を求めた。試験施工した時期の締固め試験は4.5kgランマーを用いる場合が多かった¹¹⁾ので、現行の規格値¹²⁾である2.5kgランマーによる締固め度とするために、熊谷らの論文¹³⁾に基づき4.5kgランマーによる締固め度を修正し図-2に示す。図には、明確な最大乾燥密度を得ることの出来なかった3試料の火山灰は示していない。夏期土工ではすべての盛土で盛土の規格値85%を満足していた。しかし、同じ条件で施工した冬期土工では一部を除いて夏期土工よりも締固め度が低くなっている。細粒土でこの傾向が大きい。砂質土で冬期施工による締固め度が低かった盛土の細粒分含有率は46%であった。これらの材料は、冬期施工時には夏期施工時よりも含水比が高くなっており、十分な締固めができなかったものと思われる。なお、細粒土であっても施工含水比が最適含水比付近である場合は、夏期土工、冬期土工ともに十分な締固め度を得ることができた。以上より、細粒分含有率が40%より大きく、冬期に含水比が高くなりやすい材料は冬期土工には適さないといえる。

b) 夏期土工と冬期土工による盛土の沈下量

これらの盛土について、施工時から開削時までの盛土の沈下量を図-3に示す。盛土の施工から開削まで長い場合で夏期土工では約1年、冬期土工では約4か月であった。全体の傾向として、夏期土工では施工から開削までの時間が長いにもかかわらず、夏期土工と比較して冬期土工の沈下量が多い。細粒土では、冬期盛土の沈下量が多い傾向にある。

細粒分含有率が盛土の沈下と関係があると考え、細粒

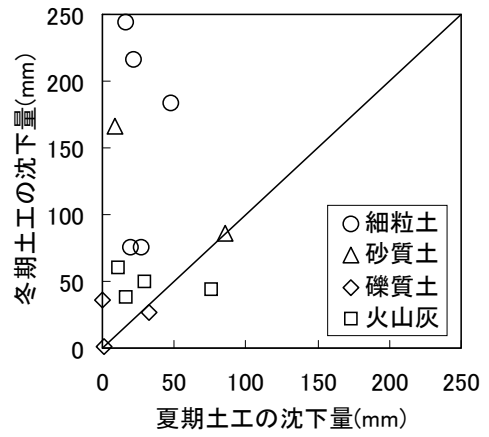


図-3 冬期土工と夏期土工の盛土の沈下量

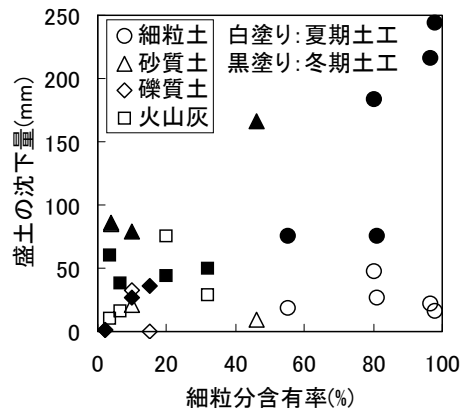


図-4 細粒分含有率と盛土の沈下量

分含有率と盛土の沈下量を求めた(図-4)。夏期土工では、細粒分含有率によらずほとんどの盛土で沈下量50mm程度以下であった。しかし、冬期土工では、細粒分含有率が40%未満では、細粒分含有率と沈下量に関係は見られないが、細粒分含有率が40%を超えた6箇所では、沈下量は75mm以上となった。これらの盛土の締固め度は、1箇所ですべて十分な締固め度であったが、他の5箇所では締固め度は不十分であった。このことから、細粒分含有率が40%を超える材料により、冬期土工を行うと十分な締固め度が得られず、盛土融解期に変状する可能性があるといえる。

(2) 施工時期と盛土融解期の変状

夏期土工と冬期土工による盛土の締固め度を図-5に示す。夏期盛土、冬期盛土ともに北海道開発局の規格値である締固め度の最低値が85%以下の箇所があった。締固め度85%以下の箇所は夏期土工では4箇所(44箇所中)全体の10%、冬期土工では25箇所(76箇所中)全体の33%であった。締固め度の最低値は、夏期土工よりも冬

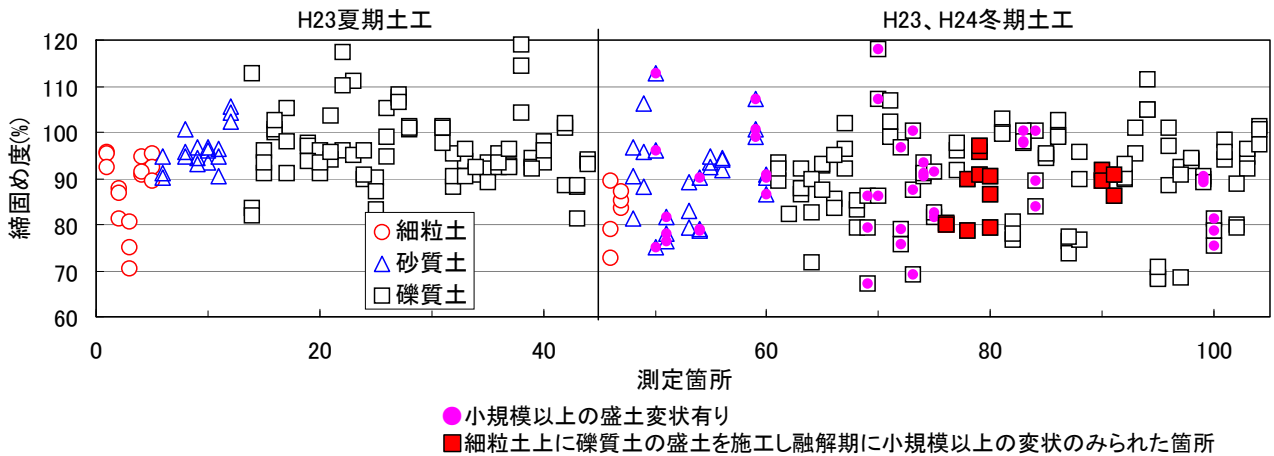


図-5 施工時期と盛土融解期の変状

期土工の方が低く、締固め度のばらつきも夏期盛土よりも冬期盛土が大きい。

夏期土工では、変状した箇所がなかったが、冬期土工では 21 箇所に変状が見られた。冬期土工の変状の中には、盛土を再構築しなければならなかった箇所が 2 箇所含まれている。冬期土工では夏期土工と比較して、締固めが不十分になりやすく、このために盛土融解期に変状が発生しやすくなると考えられる。冬期の施工では、夏期よりも入念な締固めが必要である。

図-5 には、夏期に細粒土を施工し、冬期に細粒土の上に礫質土を施工した盛土で小規模な変状のみられた箇所もあわせて示した。この変状は、降雨や融雪水が上層の礫質土を通して盛土内部に浸透し、透水性の低い細粒土中にたまり、水分を多量に含むことによりせん断力が低下し、単位体積重量の大きな上部の礫質土の盛土を支えることができなくなったことによると考えられる。施工時だけでなく、完成後の変状も予測した材料選択が必要である。

冬期盛土では、搬入された土砂が凍結していることはなかったが、全体の傾向として、盛土の品質は夏期と比較して低いといえる。

(3) 施工方法の違いが盛土の性状に与える影響¹⁴⁾

盛土施工中に作業を中断することによる盛土の性状へ与える影響を試験施工により調べた。6種類の盛土のすべての施工において、施工後の夜間はマイナス気温であったことを確認している。

a) 盛土の凍結状態

盛土内の温度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状況を求めた。図-6 は、1月中旬に施工したものである。③④⑤⑥盛土の施工時は、日平均気温が-13°C程度であり、④⑤⑥盛土では次の層の施工前には、前日に施工した盛土表面に 8~9cm 程度

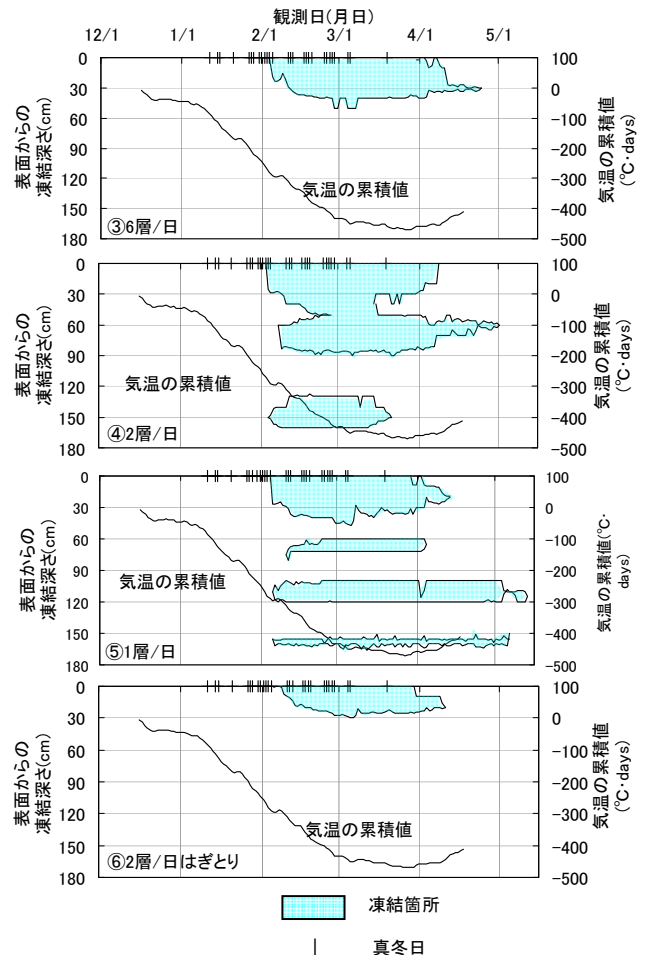


図-6 盛土の凍結状態

の凍結が見られた。1日で6層施工した③は、盛土表面からの凍結であり、施工後の時間の経過とともに凍結深さは大きくなっている。④盛土では3層、⑤盛土では4層の凍結部分が確認できた。盛土施工中の中断回数が多いほど凍結する層の数が多い。

表-5 盛土の最大凍結深さ

盛土 No.	①	②	③	④	⑤	⑥
最大凍結深さ(cm)	65	88	50	160	165	30

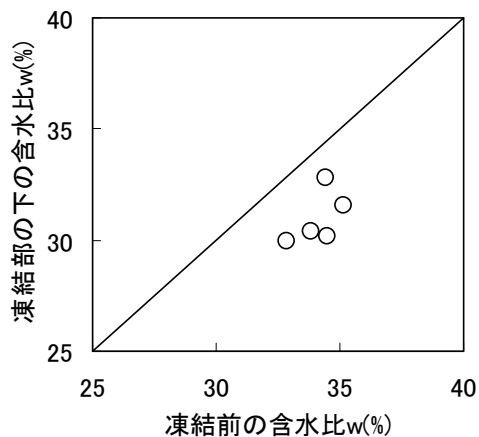


図-7 凍結による含水比の変化

測定期間中の盛土の最大凍結深さを表-5 に示す。⑥→③→①→②→④→⑤の順に盛土の最大凍結深さは大きくなっている。このことから、凍結箇所をはず取りながら施工すると盛土の凍結深さを最も小さくできる。1日 で天端まで施工が可能であれば、施工日の気温が低くても、凍結期間を短くできる方が凍結深さを低減できる。施工中に中断期間がある②は中断期間がない①よりも、④⑤は③よりも凍結深さが大きくなったことから、中断期間をとらないことにより凍結深さを低減できる。

b) 盛土の凍上

⑤⑥盛土の施工直後の含水比と施工翌日の凍結部の下の含水比を図-7に示す。測定した5点すべてで、凍結部の下の含水比は、凍結前の含水比よりも低くなっていた。これは、凍上により土中の水分が凍結部へと上昇したためと考えられる。30cmの層の中で、水分移動を生じ、盛土内で凍上現象が発生していたと考えられ、盛土融解後の変状が懸念される。盛土を凍上させないための対策として断熱することも有効であると考えられる。

c) 凍上による盛土密度の変化

施工時と融解後の盛土の密度を図-8 に示す。全体の傾向として、非凍結部は施工時の密度と融解後の密度はほぼ等しいが、凍結部は施工時の密度と比較して融解後の密度は低くなっている。盛土施工時には、測定したすべての箇所が締固め度 90%以上を確保していたが、凍結した箇所は締固め度が低くなり、85%程度になった箇所もある。これは、凍上により、盛土内にアイスレンズが

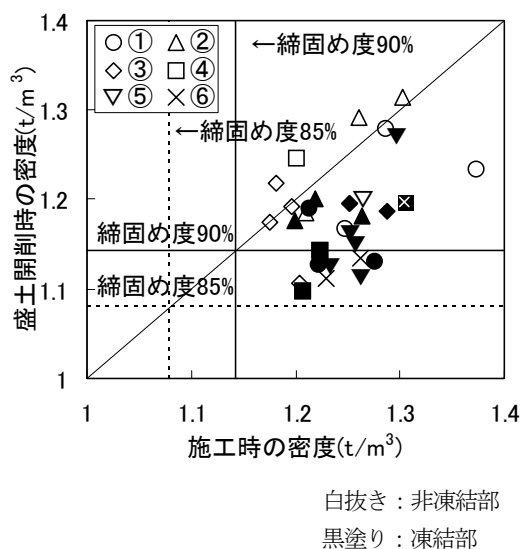


図-8 施工時と開削時の盛土の密度

盛土内の乾燥密度が低下したものと考えられる。この空洞化してゆるんだ盛土中に融解した水分や雨水が浸透することにより、水みちが発生し、盛土の沈下や変形を引き起こす可能性がある。

4. 冬期土工による変状を避けるための対策

本検討で得られた結果とこれまでに得られている知見をあわせて冬期土工による盛土の変状を避けるために次の対策が有効と考えられる。

- ① 盛土の締固めを十分に行い、締固め度の高い盛土を施工する。
- ② 細粒分含有率が40%を超えると盛土の沈下量が大きくなる場合がある。
- ③ 夏期から冬期まで、続けて工事を行う場合、冬期施工だけでなく、夏期施工時の盛土材を良質土で行うようにする。
- ④ 盛土材料は非凍上性の材料を用いる。
- ⑤ 施工中の盛土内部への凍結を低減させるため、1日の施工高さを大きくする。または、盛土を断熱する。

5. おわりに

本検討により、冬期施工における現状を調査し、盛土の凍結が品質低下を引き起こすことがわかった。この対策として、冬期施工により盛土を変状させない方法をい

くつか提案できた。今後は、施工中の盛土を凍結させない方法について検討する予定である。

謝辞：最後になりましたが、今回の検討にあたり、盛土現場を提供いただきました北海道開発局の関係者の皆様に対し、心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 地盤工学会北海道支部：斜面の凍上被害と対策のガイドライン、p45、2010.
- 2) 桜庭満、西川純一：低温状態における土の締固め特性、開発土木研究所月報 No.547、1998.12.
- 3) 川西 是、能登繁幸、荻野治雄、佐々木晴美、奥田稔、根守克己、東海林邦夫、相馬和則、原田厚子：土工の冬期施工に関する研究（第1報～第5報）、第24回～28回北海道開発技術研究発表会論文集、1981～1985.2.
- 4) 佐藤厚子、西本 聡、鈴木輝之：安定処理土の強度と凍上性の関係、地盤工学会北海道支部創立 50 周年記念シンポジウム、2006.4.
- 5) 佐藤厚子、鈴木輝之、西本 聡：セメントおよび石灰改良土の発現強度に及ぼす影響、地盤工学ジャーナル Vol.3、No.4、2008.12.
- 6) 渡邊栄司、西本 聡：冬期土工の品質向上に向けた研究、北海道開発土木研究所月報 No.607、2003.12.
- 7) 佐藤厚子、西本聡、鈴木輝之：冬期施工による盛土の性状：地盤工学会北海道支部技術報告集第 53 号、2013.2
- 8) ISSMFE TC-8: Grain size distribution as a frost susceptibility criterion of soil, VIT Symposium, Vol.1, pp.29-32, 1989.
- 9) 日本道路協会：道路土工要綱、p.287、2009.6.
- 10) 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.
- 11) 土質基礎研究室：北海道開発局道路・河川工事仕様書盛土品質管理に関連する事項の改訂について、開発土木研究所月報 No.439、1989.12.
- 12) 北海道開発局：道路・河川工事仕様書、2012.4
- 13) 熊谷守晃、荻野治雄、能登繁幸：盛土の締固め密度管理基準の問題点について、第 39 回土木学会年次学術講演概要集第 3 部、1984.10.
- 14) 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.