

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：西本聡、佐藤厚子、安達隆征、山田充

【要旨】

冬期の盛土の施工はこれ以外の時期での施工と比較して、盛土の品質低下や、固化材で改良する場合は十分な強度発現がないことなどの問題がある。これらに対応するため、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の提案、低温下で改良効果を有する固化材による改良方法の提案をする。さらに、低コストな改良方法として、寒冷気候を利用した高含水比土の改良技術の提案するための検討を行う。平成 24 年度は主に冬期施工に関する調査、試験を行うとともに、固化材により改良した材料の強度特性の確認、高含水比土の改良実験を行った。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を確認した。また、寒冷気候を利用して高含水比土を改良できることもわかった。

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る¹⁾。このため、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。



写真-1 砂置換による盛土の密度測定(冬期)

2. 冬期に施工された盛土の性状

2.1 冬期と夏期に施工された盛土の実態調査

冬期に施工される盛土の調査として、夏期に施工される盛土との比較をするために、夏期(44 箇所)と冬期(76 箇所)に施工した河川堤防(45 箇所)および道路盛土(75 箇所)について、施工直後の盛土の密度を測定した(写真-1)。さらに、これらの盛土の施工翌年の春先の融雪期に盛土の状況(写真-2)を調査した。夏期盛土と冬期盛土による盛土の締固め度を図-1 に示す。夏期盛土、冬期盛土ともに国土交通省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%以下の箇所は夏期盛土では4箇所(44箇所中)で全体の10%、冬期盛土では25箇所(76箇所中)で全体の33%であった。締固め度の最低値は、夏期盛土よりも冬期盛土の方が低く、締固め度



写真-2 春先の小規模な崩壊

のばらつきも夏期盛土よりも冬期盛土が大きい。

施工翌年の状況については、夏期盛土では、変状した箇所がなかったが、冬期盛土では21箇所に変状が見られた。冬期盛土の変状の中には、盛土を再構築しなければ

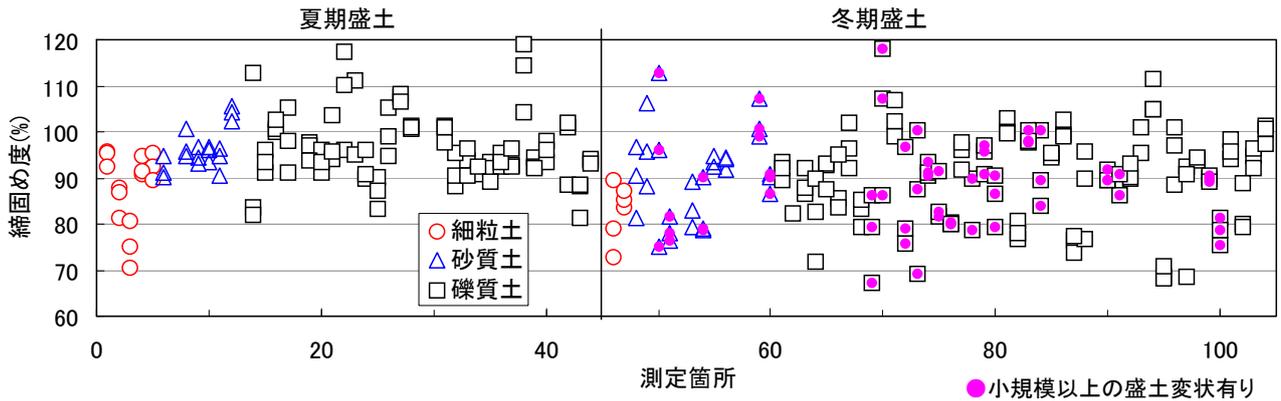


図-1 施工時期の違いによる締固め度と盛土融解期の変状の有無

らなかった箇所が2箇所含まれている。冬期盛土では夏期盛土と比較して、締固めが不十分となる場合があり、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。

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。

2. 2 1 日の施工層数の違いによる凍結の影響について

冬期盛土を施工すると盛土内に凍結部分が残る、春先に凍結部分が融解することにより、盛土が沈下し変状すると推定される。これを確認するために、寒地土木研究所苫小牧施工試験フィールドにおいて、細粒分礫まじり砂(S-FG)に分類される材料により、図-2、表-1の条件で、



写真-3 試験施工状況

6種類の盛土を施工した。なお、1層の施工厚さは30cmである。この盛土について施工直後の密度と含水比および施工後の強度、施工からの時間経過と盛土の温度を調べた。

表-1 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
凍結部分の除去	無					有

2. 2. 1 盛土の凍結状態

盛土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-3)。1日で6層施工した①③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。12

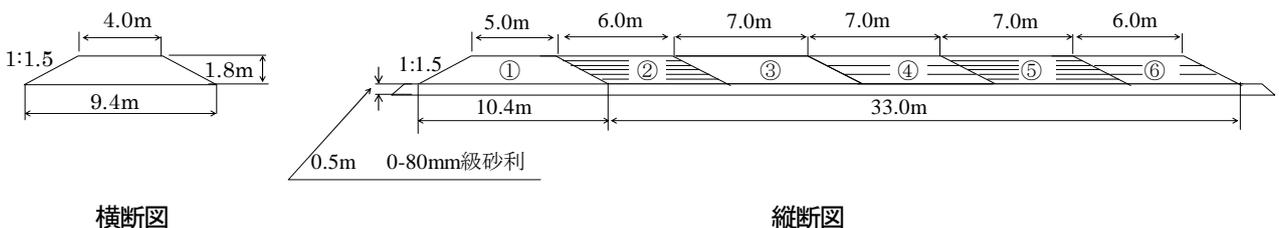


図-2 試験施工による盛土

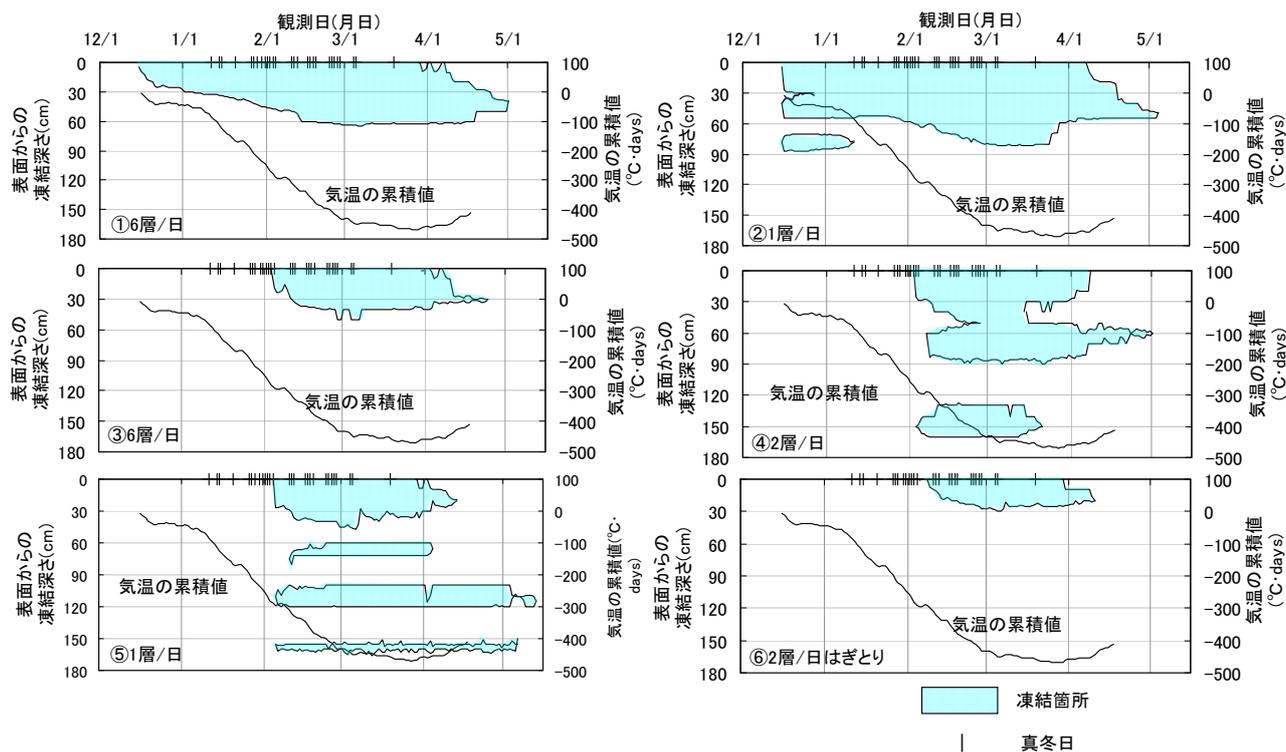


図-3 盛土の凍結状態

月に施工して凍結期間の長い①が、1月に施工した③よりも凍結深さが大きい。

②の6日で6層の施工では、1、2、3層目は日平均気温が-3°C程度での施工であった。施工翌日には盛土表面に3~4cm程度霜柱ができていたが、日中の気温がプラスになったこともあり、盛土施工中に霜柱が融解したと思われる、盛土内には凍結箇所がなかった。しかし、4、5層目は真冬日(日最高気温がマイナス)での施工であったため、盛土内にそのまま凍結箇所が残った。4層目の凍結箇所はその後時間の経過とともに消失したが、これは、1、2、3層目の凍結していない盛土からの熱によるものと考えられる。5層目の凍結箇所は、盛土表面からの凍結と重なり、凍結深さがより大きくなった。

③④⑤⑥の施工時は、日平均気温が-13°C程度であり、④⑤⑥では、前日に施工した盛土表面に8~9cm程度の凍結が見られた。凍結した箇所に未凍結の材料を施工しても融解しなかったことから、④⑤は盛土内に層状に凍結箇所が残ったものと考えられる。④では3層、⑤では4層の凍結部分が確認できる。施工の日数が多いほど凍結する層の数が多い傾向にある。

次に盛土の最大凍結深さを表-2に示す。⑥③①②④⑤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、⑥のように凍結箇所をはぎ取りながら施工する

表-2 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

と盛土の凍結深さを最も小さくできるが、施工に手間がかかるのが難点である。また、①③のように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、凍結深さを低減できる。一方で、④は⑤の半分の施工日数であるが、盛土の凍結深さの低減に対して効果が小さかった。

2. 2. 2 盛土の開削時の密度および含水比

施工時と融解後の盛土の密度を図-4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、測定したほとんどの箇所での締固め度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、国土交通省の基準値である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(析出氷晶)ができ、アイスレンズ融解後はそのまま空洞になったため、盛土内の乾燥密度が低下したのと考えられる。

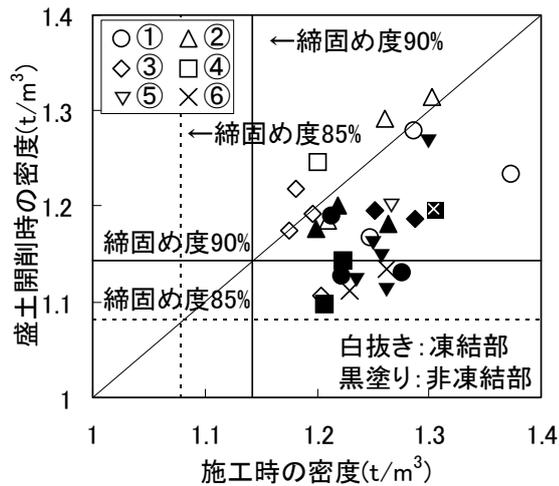


図-4 盛土の密度の変化

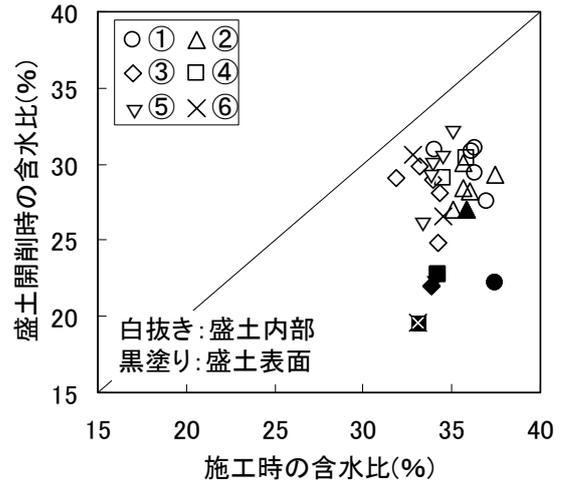


図-5 盛土の含水比の変化

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ことがあると考えられる。⑥盛土では、表面だけしか凍結しなかったが、凍結の有無にかかわらず、施工時と比較して開削時の乾燥密度が小さかった。これは、盛土施工時は仕上がり厚さ 30cm の密度であったが、翌日の施工前に、8~9cm の凍結部をはぎ取るため、仕上がり厚さが約 40cm となり、同じエネルギーで締め固めることにより、盛土の乾燥密度が低くなったためと考えられる。

次に、盛土の施工時と開削時の含水比の関係を図-5 に示す。盛土融解後の含水比は、盛土施工時よりも低くなっている。特に盛土表面（施工順としては6層目）の含水比低下が大きい。

3. 固化材により改良した材料の寒冷下での強度特性

固化材により改良した材料による盛土を施工するときの室内配合試験の養生条件²⁾は、北海道で冬期に施工する場合と大きく異なる。そこで、実際の施工を想定した養生による発現強度を求めた。自然含水比状態でのコーン指数は 300kN/m² 以下で湿地ブルドーザの走行性を確保できない³⁾ほど強度の低い不良土について、養生温度を、20℃、5℃、-20℃として一軸圧縮強さを求めた。

養生温度を 20℃の一定にしたときの 1年後の一軸圧縮強さと養生温度を変化させたときの 1年後の一軸圧縮強さの関係を図-6 に示す。高炉 B 種セメントにより改良した場合、初期の養生温度を 5℃としてその後-20℃としても、再び養生温度を 20℃にすれば、1年後の一軸圧縮強



写真-4 冬期の固化材による改良の例

さは、養生温度を 20℃の一定にしたときとほぼ等しい。しかし、初期の養生温度を-20℃とした場合の 1年後の一軸圧縮強さは、20℃の一定温度で養生した場合の約 1/3 程度の強度であった。

生石灰により改良した場合でも、初期の養生温度を 5℃としてその後-20℃としても、再び養生温度を 20℃にすれば、高炉 B 種セメントと同様に 1年後の一軸圧縮強さは、養生温度を 20℃の一定にしたときとほぼ等しくなった。また、初期の養生温度を-20℃とした場合の 1年後の一軸圧縮強さは、20℃の一定温度で養生した場合の約 1/2 程度の強度であった。

いずれの固化材により改良しても初期養生温度が 5℃であれば、その後-20℃となってもふたたび 20℃に養生温度を高くすることにより、20℃の一定温度による養生とほぼ同じ強度となったが、初期養生温度が-20℃であれ

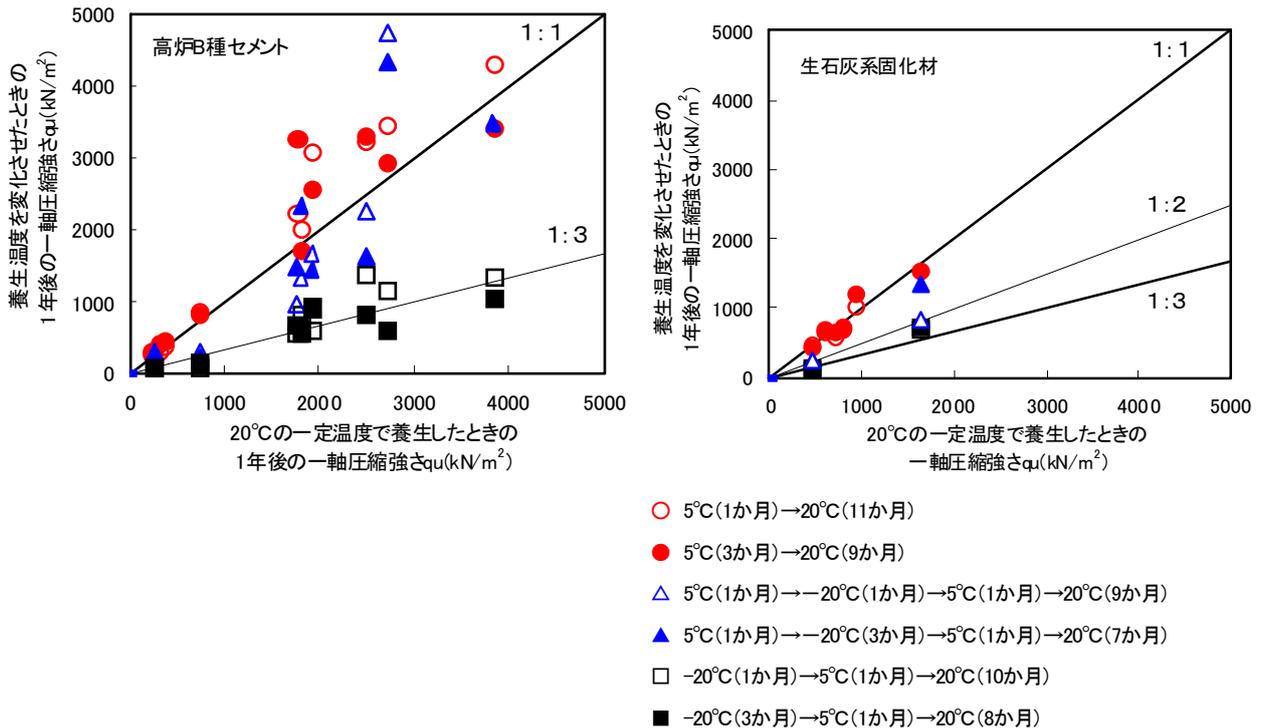


図-6 固化材による改良土の養生温度の違いによる強度発現

ばその後養生温度を高くしても強度は低かった。このことより、固化材による改良の場合は、マイナス気温での改良を行わないか、マイナス気温とならないような対策が必要である。

4. 寒冷気候を利用した高含水比土の改良

地盤が凍上するとき、地表面から冷却され凍結が侵入することにより未凍土側の水分が凍結面に移動してアイスレンズを生成させていくことが知られている⁴⁾。このとき水分が移動することにより未凍土側では含水比が低下する。この原理により北海道の冬期の寒冷な気候を利用して、高含水比の浚渫土砂の含水比を低下させることができれば、高含水比土のまま改良するよりかなりコストの低い改良が期待される。そこで、寒冷気候を利用した脱水工法を実用化するため、大型土のうを用いて冬期間の凍結による含水比低下実験を行った(写真-5)。

図-7に示すように土のうの高さの1/2の位置(35cm)で温度を測定した。同じ条件で作成した土のうについて約1か月に1回、温度を測定した位置で含水比を測定した。

図-7に女満別に設置した大型土のうの含水比変化を示す。土のう内部が凍結していた12月10日から3月26日の時期は、土のう中心部と比較して表面に近い箇所



写真-5 大型土のうによる含水比低下実験状況

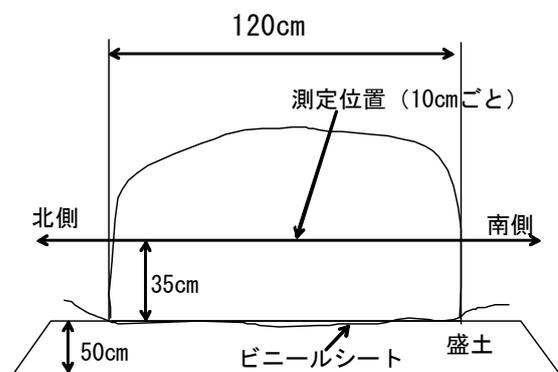


図-7 温度と含水比測定位置



写真-6 大型土のうの開削状況

含水比が高い。土のうが完全に融解した5月1日、5月21では、土のう内部の含水比は変化しないが、土のう表面の含水比が低くなり、土のう内部とほぼ同じになった。これより大型土のうでも同様な含水比の変化となると考えられ、大型土のうによる含水比低下技術が有効であると考えられる。今後の調査で確認したい。

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。その結果を要約すると以下の通りである。

- ① 冬期施工の盛土は夏期施工と比較して品質が低い傾向にある。その原因の一つとして、盛土の立ち上げ速度が遅くなる（施工日数が多くなる）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を確認した。
- ② 固化材による改良土の低温下での強度特性を確認したところ、初期の温度管理を適切に行えば、十分な強度が期待できることがわかった。
- ③ 寒冷気候を利用することにより、自然の曝気乾燥よりも効率的に含水比を低下できることがわかった。

なお今後については、冬期施工時に寒気を断熱することによる盛土の品質への影響、固化材による改良土の冬期の初期養生期間の検証等について調査を予定している。

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) 地盤工学会：土質試験の方法と解説―第一回改訂版―、

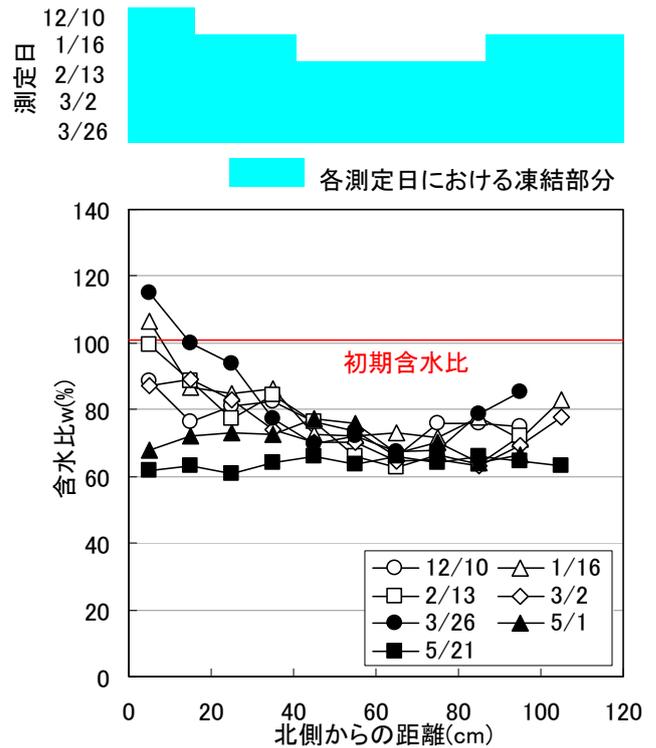


図-8 大型土のう内の含水比変化

pp.300-316、2000.3.

3) 日本道路協会：道路土工要綱 p.334、2009.6

4) 地盤工学会：土の凍結―その理論と実際―、1994.6

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 : NISHIMOTO Satoshi
SATO Atsuko
ADACHI Takayuki
YAMADA Mitsuru

Abstract : Winter construction requires higher quality and more points to pay attention to compared with works in other seasons. To clarify such requirements, this study aims to present winter earthwork methods and quality control criteria, an improvement method using a solidifier that displays an improvement effect at low temperature, and a technology to improve high water content soil using a cold climate. In FY 2011, surveys and tests concerning winter construction were mainly conducted and experiments were conducted on the properties of solidified materials and improvements in high water content soil. The results revealed that embankment quality may become lower in construction in the cold season compared with other seasons. It was also found that high water content soil can be improved using a cold climate.

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