

冬期土工の留意点

佐藤 厚子¹・西本 聡¹

¹土木研究所 寒地土木研究所 寒地地盤チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

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場合がある。しかし、冬期間の土工は、低温下での作業であることおよび雪や凍土が混入することにより、夏期に施工する場合と比較して盛土の品質が低下すると考えられる。寒地土木研究所では、これまで冬期土工に関する室内試験、現場試験施工を行い、冬期土工での問題点とその対策を提案してきた。今回これまでのデータに、新たに現場施工データを加えて、土質、気象条件などの留意点をまとめることができた。

キーワード 通年施工、土工、品質、寒冷地、低温

1. はじめに

国土交通省通年施工推進協議会では、平成 11 年 4 月冬期土工設計施工要領を制定し、積雪寒冷地において冬期間に土工を設計施工する上での技術指針を示している。この要領にしたがえば、冬期間でも夏期施工と同様な品質の盛土を施工できるはずである。しかし、冬期土工で施工した盛土が春先に融解し被災する事例がある。また、要領には、夏期土工では適用外の高含水の土質でも冬期土工では適用できると読み取れる記述がある。冬期土工にはこのような問題点も課題として残っている。

これまで、寒地地盤チームでは冬期土工の品質向上に向けて検討を行ってきた。今回、冬期土工に関するデータを集約し、冬期土工の留意点について取りまとめることができた。

2. 調査概要

冬期土工の実現に向けて次に示す調査を実施した。

(1) 凍土および雪混入による盛土の品質¹⁾

冬期土工では施工中に凍土や雪の混入が避けられない場合がある。凍土の強度が大きければ、締め固め時に破碎されず締め固め不足が懸念されることから、凍土の強度を確認した。砂質土、火山灰、粘性土の3種類について最適含水比、最大乾燥密度付近に締め固めた材料を温度を

変えて凍結させた後一軸圧縮強さを求めた。また、室内において最適含水比付近に含水調整した11試料について、凍土または雪を混入して締め固めた場合の密度の変化を求めた。このとき、凍土は重量比で、雪は体積比で混合した。

(2) 施工時の気温と盛土の品質²⁾

冬期土工では低温下で施工することから、凍結温度を変えて作製した凍土を 0°Cの恒温室で締め固めたときの密度を測定した。ここでは、凍土の温度が締め固め中に変化しないと考え、盛土の品質を確保できる冬期土工が可能な温度を求めた。

(3) 安定処理土の施工^{3),4)}

不良な材料により盛土を施工する場合の対策の1つとして、セメントや石灰などの固化材により固化する方法がある。固化材により固化するとき低温下では発現強度が低くなることから、室内において養生温度を変えたときの強度を求めた。また、安定処理土の凍上性として道路土工土質調査指針により凍上率⁵⁾を求めた。

(4) 冬期土工と夏期土工の比較^{1),6)}

北海道内 14 箇所において夏期と冬期に盛土を施工し、品質を確認した。

(5) 現場施工に対応した対策工法の検討^{6),7)}

冬期土工では、凍土が混入しないようにすべきであるが、実際は完全に除去することは困難である。そこで凍土の混入を想定した対策として、寒地土木研究所苫小牧

試験フィールドにおいて、3種類の土質について、凍結土を細粒化して施工する方法、および薄層転圧する方法により、盛土の品質を確認した。

3. 調査結果

各項目について調査した結果を示す。図中に示している地名は試料採取箇所である。

(1) 凍土および雪混入による盛土の品質

凍土の温度と強度の関係を確認した。図-1 に凍土作製時の温度と一軸圧縮強さの関係を示す。材料により、一軸圧縮強さに違いはあるものの作製温度が低いほど一軸圧縮強さは大きい。作製温度がプラス、すなわち凍結していない供試体の一軸圧縮強さは非常に小さいことから、凍土が混入した材料により盛土を施工した場合は、盛土が融解したときに著しい強度低下が懸念される。

次に、凍土または雪を混入して締め固めたときの乾燥密度の変化を図-2 に示す。比布、旭川など乾燥密度の大きな材料では、凍土の混入率が大きくなると乾燥密度は小さくなる傾向にある。比布、旭川、釧路川、札幌A、札幌Bでは、 -5°C 、 -20°C の温度で凍土を作製し締め

固めを行った。札幌A、札幌Bを除いて、凍結温度が異なっても、凍土の混入率と乾燥密度の関係は同じであった。雪を混入した場合は、混入率の増加とともに乾燥密度は減少し、減少の程度は凍土の混入よりも大きい。雪は空隙と水分であるため、直接乾燥密度の減少に影響を与える。

含水比を変えた場合について、凍土の混入率と締め固め度との関係例として、砂質土に関する試験結果を図-3に示す。最適含水比よりも低い含水比では、凍土を締め固め

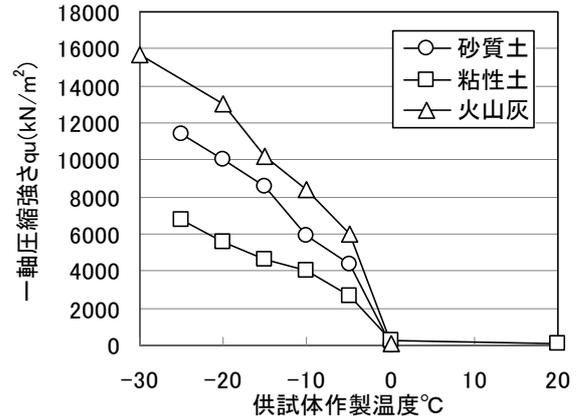


図-1 供試体作製温度と強度

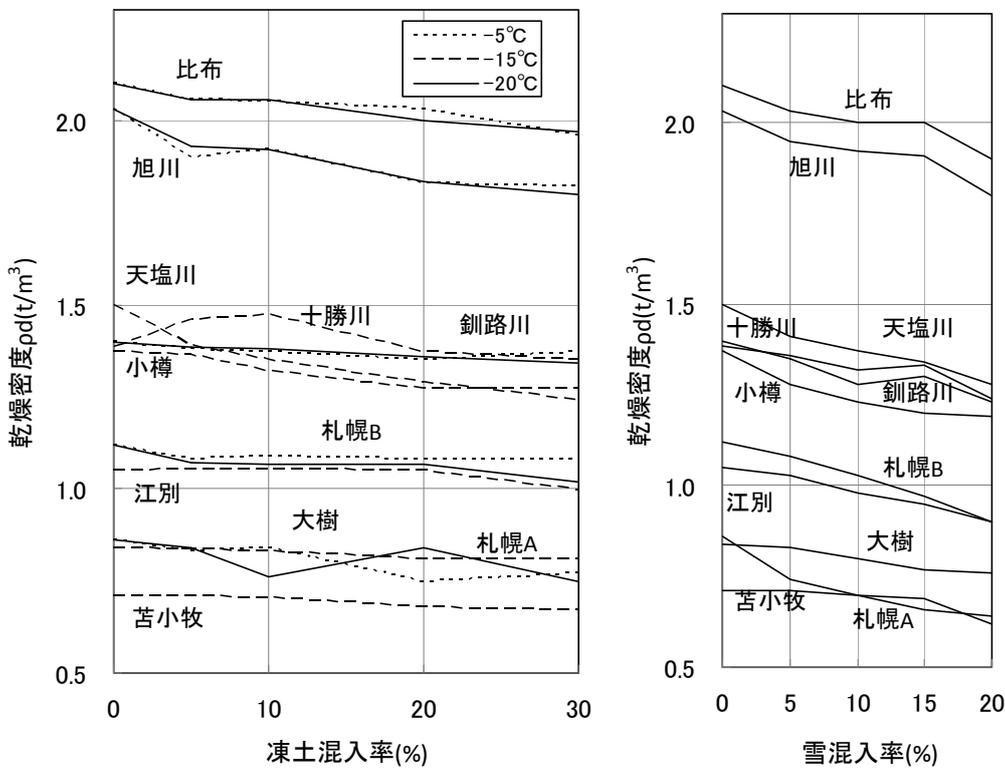


図-2 凍土または雪混合による締め固め密度への影響

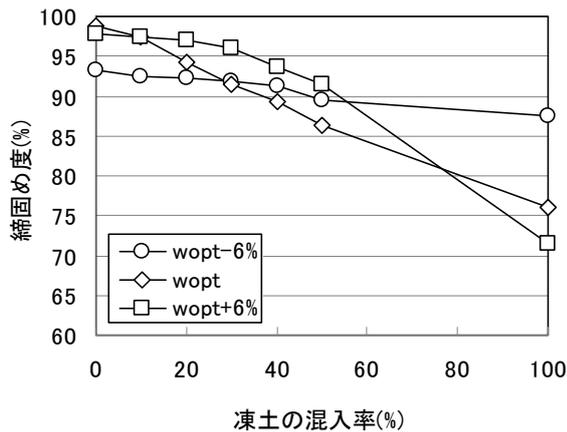


図-3 含水比の違いと凍土の混入率と締固め度

でも北海道開発局の道路盛土の基準締固め度である85%⁸⁾を確保できた。しかし、最適含水比を含め湿潤側の含水比では、凍土の混入が50%を超えると締固め度は基準値を満足しなくなる。この傾向は他の土質でも同様であり、粘性土では、最適含水比を含め湿潤側の含水比では、40%を超えると基準締固め度を満足しなかった。以上より、凍土の混入率が大きくなると基準締固め度を確保できなくなり、含水比が高いほどこの傾向が大きくなる。

(2) 施工時の気温と盛土の品質

砂質土、粘性土、火山灰について凍結温度を変えて作製した凍土を締め固めたときの密度を求めた。このとき、冬期土工での締め固め不足を締め固め回数の増加により対処できるかについてもあわせて検討した。図-4 に凍土作製時の温度と乾燥密度の関係を示す。砂質土、粘性土、火山灰土のいずれも凍土作製温度が-20℃から-5℃までは乾燥密度が低く-5℃から0℃にかけて急激に乾燥密度が大きくなっている。凍土作製温度に関わらず、締め固め回数を大きくしても乾燥密度に変化はなかった。火山灰は明確な最大乾燥密度を得られない材料であったため、締め固め度を求めることはできなかった。砂質土、粘性土はプラスの状態では基準締固め度85%を十分確保できたが、マイナスの状態では確保できなかった。このことから、盛土の施工は材料の温度が0℃を下回らない条件の下で実施しなければならない。

(3) 安定処理土の施工

自然含水比状態ではトラフィカビリティを確保することが困難な材料をセメントや生石灰などの固化材により改良し、盛土材料とする工事が冬期間に実施される場合がある。そこで、このような不良土を固化材により改良し、養生温度が強度発現に与える影響を調べた。図-5は、GCsに分類される自然含水比約54%、コーン指数

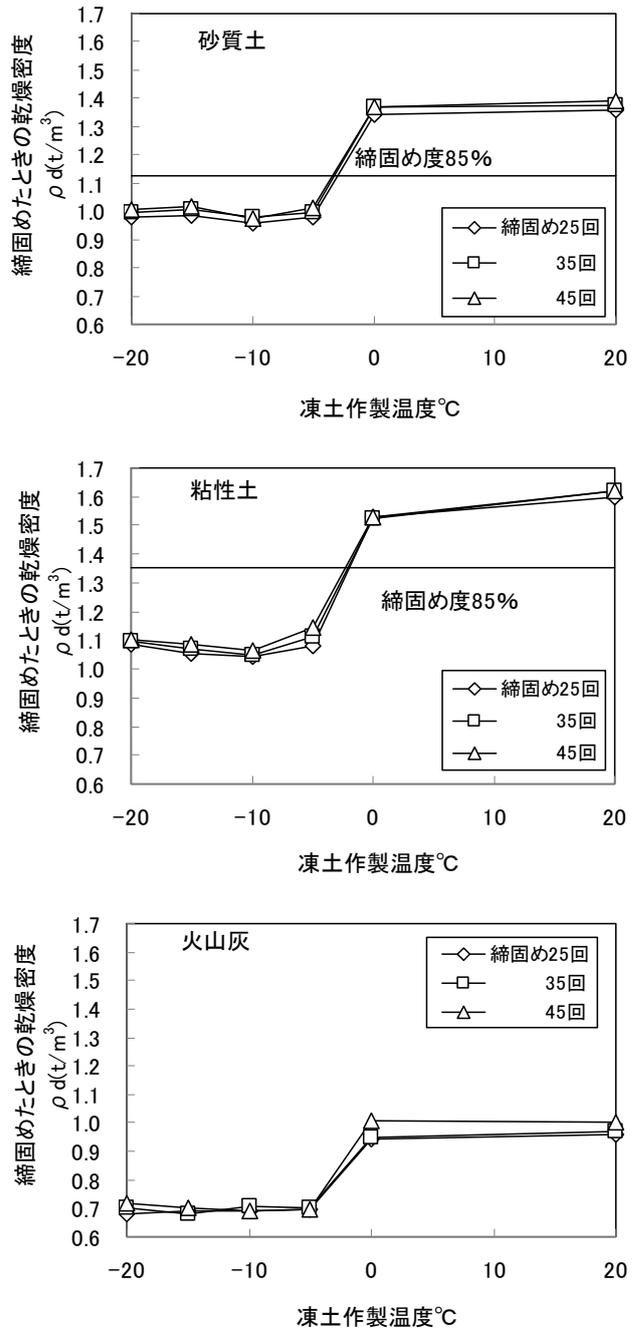


図-4 施工時の気温と締め固め密度の関係

が測定できないほどの軟弱な材料をセメントにより改良した場合について養生温度を途中で変化させたときの一軸圧縮強さ(q_u)の発現状況を示したものである。

養生温度を一定とした場合、時間の経過とともに q_u は大きくなっている。しかし、養生の温度-20℃では強度発現がほとんど認められない。

養生温度を途中から変えた場合について、はじめに養生温度5℃とし引き続き20℃で養生する場合(a)は、養生温度5℃では q_u は小さいが、20℃にすることによって q_u は回復している。次に、5℃→20℃→5℃→20℃と養生

養生温度を変化させた場合(b)は、5°Cの養生で若干 q_u の増加があるものの養生温度を-20°Cとした間はほとんど q_u の変化は認められない。その後 5°Cへと養生温度を上げることによって q_u は増加の傾向を示し、さらに 20°Cへ養生温度を上げると q_u は急速に増加し、初めから 20°Cで養生したときと同じ q_u となった。しかし、初めに-20°Cで養生した場合(c)は、養生温度を上げて、ほとんど q_u の増加はない。

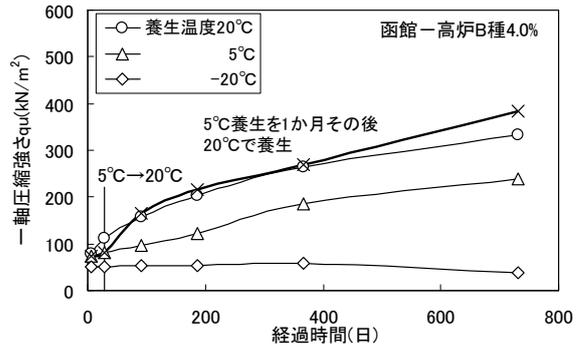
すべての試料について、20°Cの一定温度で養生したときに対する途中で養生温度を変えた場合の強度発現を図-6に示す。

高炉B種セメントによる改良土(a)では、はじめに5°Cで養生した後 20°Cで養生すると、20°Cの一定温度で養生した場合よりも q_u は大きくなった。はじめに5°C養生した後、-20°Cで養生、その後5°Cで養生に引き続き20°Cで養生したときは、20°Cの一定温度で養生した場合とほぼ同じ q_u となる。はじめに-20°Cで養生した後、5°Cで養生、引き続き20°Cで養生したときは、20°Cの一定温度で養生した場合の1/3程度までしか強度発現しない。

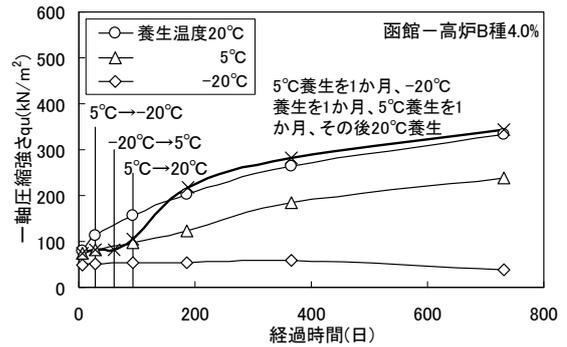
生石灰系固化材による改良土(b)では、はじめに5°Cで養生した後 20°Cで養生すると、20°Cの一定温度で養生した場合とほぼ同じ q_u となり、その後大きな強度発現はない。はじめに5°C養生した後、-20°Cで養生、その後5°Cで養生後に引き続き20°Cで養生したときは、20°Cの一定温度で養生した場合の1/2程度までしか強度発現しない。はじめに-20°Cで養生した場合は、その後、5°C、引き続き20°Cで養生しても、 q_u は20°Cの一定温度で養生した場合の1/3程度の強度発現しかない。

以上より、冬期に固化材による改良を行う場合には、気温がマイナスにならないような時期に実施するか、気温がマイナスにならないような対策が必要である。

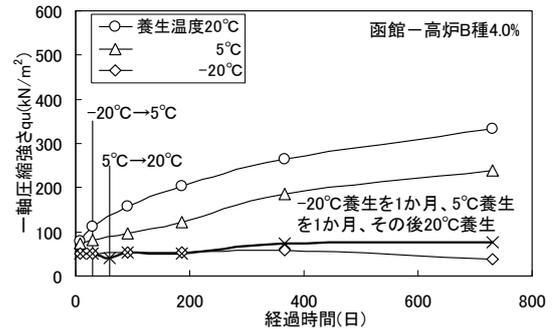
北海道9か所から採取した不良な材料を固化材により改良したときの一軸圧縮強さと凍上率の関係を図-7に



(a) 5°C、20°Cで養生したときの一軸圧縮強さの変化

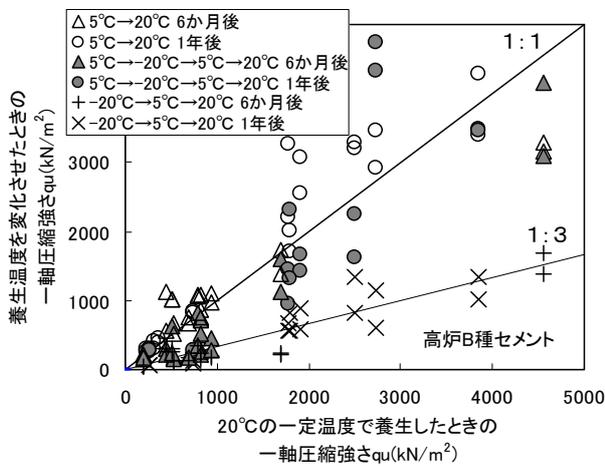


(b) 5°C、-20°C、20°Cで養生したときの一軸圧縮強さの変化

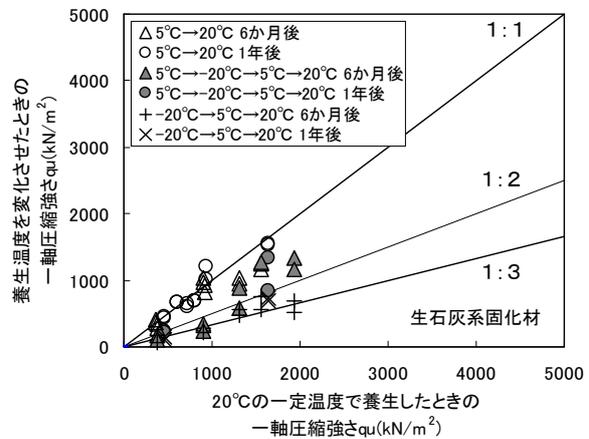


(c) はじめに-20°Cで養生したときの一軸圧縮強さの変化

図-5 低温養生での発現強度



(a) 高炉B種セメント



(b) 生石灰系固化材

図-6 20°Cの一定温度で養生したときに対する途中で養生温度を変えた場合の強度発現

示す。固化材の種類に関係なく $q_u=300\text{kN/m}^2$ を越えると凍上率は 20%以下となるが、 $q_u=300\text{kN/m}^2$ までの範囲では一軸圧縮強さと凍上率には明確な関係はなく、この範囲では強度のみで凍上率を推定できない。固化材により改良しても凍上性の材料である可能性があるため、凍上を抑制しなければならない箇所への改良土の施工には注意が必要である。

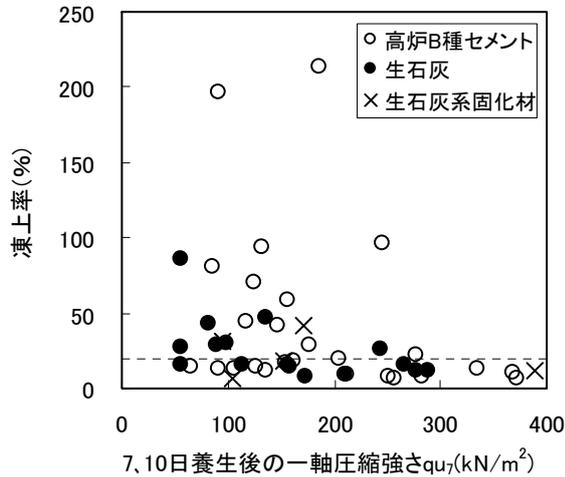


図-7 一軸圧縮強さと凍上率

(4) 冬期土工と夏期土工の比較

図-8 に 14 箇所で行った冬期土工と夏期土工による締固め度を示す。冬期土工のみ実施した箇所については、夏期土工による締固め度を 70%として示した。夏期土工と比較して冬期土工では、締固め度が低くなる傾向がある。夏期土工に対して冬期土工は 0.95 程度であり、高含水比土では夏期土工に対して冬期土工は 0.85 にまで締固め度は低下した。したがって、冬期土工で基準締固め度を確保するためには夏期土工以上のエネルギーにより締固めなければならない。

14箇所のうち夏期土工で基準締固め度を確保でき、冬期土工で基準締固め度を確保できなかった盛土は4箇所であった。このうち、2箇所の材料は高含水比火山灰であった。他の1箇所は夏期土工における締固め度が85%を少し上回る程度であった。以上から、高含水比火山灰や、締固めが十分にできない材料は冬期土工に向かない材料といえる。

(5) 現場施工に対応した対策工法の検討

凍土の混入を想定して盛土を施工し、締固め度を求めた。火山灰、砂質土、粘性土について凍土を層厚 30cm で施工、凍土を破碎して層厚 30cm で施工、目視で確認される凍土を可能な限り除去した後、層厚 20cm で施工の 3 種類で盛土を施工した。また、火山灰については、

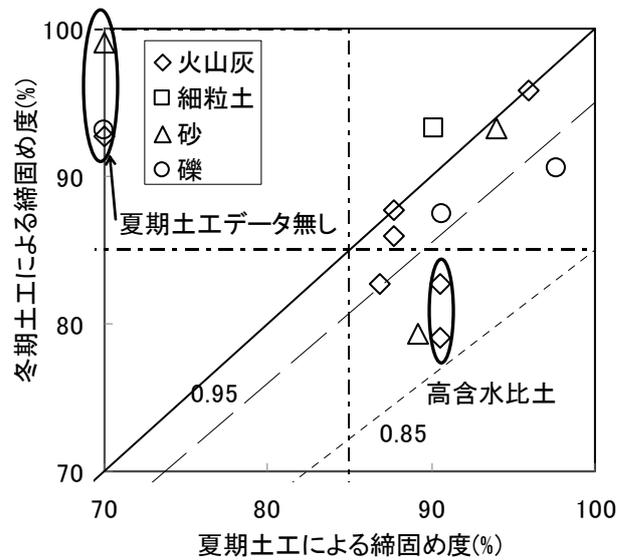


図-8 夏期土工と冬期土工の盛土の締固め度

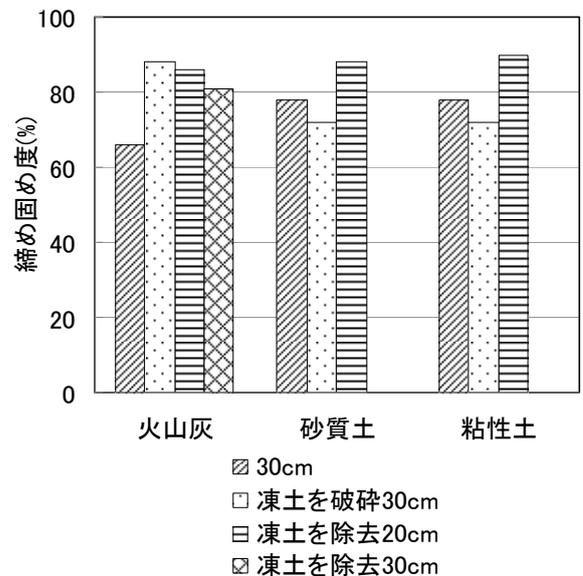


図-9 施工方法の違いと締固め度

凍土をできる限り除去した後層厚 30cm で施工した。

盛土の締固め度を図-9 に示す。凍土をそのまま 30cm で施工した場合にはすべての材料で締固め度 85%を得ることができなかった。凍土を破碎して層厚 30cm で施工した場合には火山灰、粘性土で破碎しないで層厚 30cm で施工するよりも大きな締固め度が得られた。しかし、粘性土では締固め度 85%を得ることができなかった。砂質土では、破碎しないで層厚 30cm で施工したときよりも締固め度は小さくなった。凍土を可能な限り除去した後層厚 20cm で施工した場合には、すべての盛土で締固め度 85%を確保できた。凍土を可能な限り除去した後層

厚 30cm で施工した場合は、締固め度 85%を確保できなかった。締め固め層厚 20cm 施工にすることにより、層厚 30cm 施工よりも大きな締め固めエネルギーとなることから、目視では確認できずに混入した凍土が層厚 30cm 施工では破碎されず残存し、層厚 20cm 施工では破碎され、締固め度が大きくなったと考えられる。以上より、冬期土工では凍土をできる限り除去し締固め層厚を薄くすることが締固め度を大きくすることに有効であるといえる。

4. まとめ

本報告について取りまとめると、冬期土工の留意点として次のことがいえる。

- ① 凍土は凍結温度が低いほど大きな強度を有するが、融解すると脆弱になる。
- ② 凍土や雪の混入率が大きくなると基準締固め度を確保できなくなり、含水比が高いほどこの傾向が大きくなる。
- ③ 盛土の施工では、材料の温度がマイナスとなると盛土の品質を確保できなくなるため、マイナスにならない条件で施工する。
- ④ 固化材により不良土を改良する場合は、0℃を下回らない条件で施工する。また、改良した材料は凍上する可能性があるため、凍上を抑制しなければならない箇所に施工する場合は凍上性判定試験により凍上性を確認する。
- ⑤ 冬期土工では夏期土工よりも締固め度が低くなるため、転圧回数を大きくしたり、転圧機械の重量を大きくするなど、夏期土工よりも大きなエネルギーにより締め固めなければならない。また、高含水比火

山灰や締固めが十分にできない材料は冬期土工に向かない材料といえる。

- ⑥ 冬期に施工しなければならない場合は、締固め度を大きくするために、締固め層厚を薄くすることが有効である。

5. おわりに

本報告により、これまで、寒地地盤チームで実施してきた冬期土工に関する留意点をまとめることができた。今後、この留意点が冬期土工を実施する際に現場での施工の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 川西 是、能登繁幸、奥田稔：土工の冬期施工に関する研究（第 5 報）、第 28 回北海道開発技術研究発表会論文集、1984.2.
- 2) 桜庭 満、西川純一：低温状態における土の締固め特性、北海道開発土木研究所月報 No.547、1998.12.
- 3) 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.
- 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) 日本道路協会：道路土工土質調査指針、1986.11.
- 6) 桜庭 満、西川純一：冬期土工の可能について—土木工事の通年施工に向けての研究—、北海道開発土木研究所月報 No.580、2001.9.
- 7) 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.
- 8) 北海道開発局：道路河川工事仕様書、2008.4