

寒冷地における冬期土工の品質向上技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 20

担当チーム：寒地地盤チーム

研究担当者：西本聡、佐藤厚子、安達隆征

【要旨】

冬期に施工される盛土は、低温気象条件、地盤材料の凍結、雪の混入などにより、品質が十分確保されないことが多く、一般的に冬期には土工は行われぬ。しかし、災害復旧や非出水期である冬期に工事を行うことが有利となる河川堤防など冬期でも土工を行う場合がある。このため、冬期に施工した盛土の変形に関する対策工法の確立が望まれている。

そこで本研究では、冬期土工に関して、安定処理土の低温下における強度増加特性や凍上抑制効果を解明する。また、冬期土工の施工温度や土質の違いによる締固め効果、土質の違いによる雪・凍結土混入割合と締固め効果の検討を行う。さらに実物大盛土試験施工により夏期土工と冬期土工による盛土の品質を確認するとともに、冬期土工の品質を確保できる施工方法を検証し、冬期土工の施工技術を検討することとした。

その結果、冬期土工では夏期土工よりも品質が劣ること、氷点下では安定処理土の強度増加がないことなどが明らかになり、これらを考慮した施工方法に関する留意点を提案できた。

キーワード：冬期土工、品質、安定処理、施工

1. はじめに

積雪寒冷地において、一般的に冬期土工は行われぬが、現場の特殊事情によりやむを得ず冬期に施工する実態にある。このため、冬期土工による品質の低下を防止する配慮を行い、技術の向上と施工の推進を図ることを目的とした技術指針が定められている¹⁾。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、資源の有効利用の観点から冬期間にセメントにより改良した材料による盛土施工を実施する場合があり、固化材により安定処理して改良した材料の強度低下が懸念される。

そこで、冬期に施工した盛土の変形や強度低下に関して明らかにするため、これまでに冬期土工の品質向上に向けて行ってきた検討および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た。

2. 調査研究の方法

冬期土工の実現に向けて次に示す調査を実施した。

2.1 凍土および雪混入による盛土の品質²⁾

冬期土工では施工中に凍土や雪の混入が避けられない。混入した凍土の強度が大きければ、締固め時に破碎されず、粒径の大きな材料による盛土となるため、盛土内の

空隙が大きく密度が低くなる。この盛土内の凍土が融解すると、含水比の高い軟弱な材料となり、盛土の変形が発生したり、盛土の強度不足が懸念される。また、夏期土工では、施工できないような軟弱な材料でも材料が凍結することにより見かけ上の強度が発生し、トラフィカビリティを確保できるために容易に施工できる場合がある。さらに十分締固められているように見えてしまう。

そこで、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について温度を変えて凍結させた後一軸圧縮強さを求めた。

また、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。さらに、最適含水比とこれよりも湿潤側、乾燥側に含水調整し、凍土を混入させて締め固めたときの締固め度を求めた。このとき、凍土は重量比で、雪は体積比で混合した。

2.2 施工時の気温と盛土の品質³⁾

冬期土工では低温下で施工することから、低温が盛土の品質に与える影響を調べた。供試体作製時の温度を変えることは困難であるため、凍結温度を変えて作製した凍土を 0℃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。

2.3 安定処理土の養生温度と強度および凍上性^{4)~8)}

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の判定⁶⁾は、道路土工排水工指針により凍上率を求めた。

2.4 冬期土工と夏期土工の比較^{2), 9)}

北海道内の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。

2.5 現場での凍土混入による影響^{10), 11)}

冬期土工では、事前に凍結土を取り除いたとしても、施工中に凍結土塊が発生しやすく、その影響で十分な締固めができないことが考えられる。そこで、寒地土木研究所苦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. 調査研究の成果

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。

3.1 凍土および雪混入による盛土の品質

図-1 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、凍結時の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。このことから、凍結していないときには強度がない材料でも、凍結により見かけの強度が発生し施工可能となる。この場合、春先に凍結した盛土が融解すると、著しく強度が低下し盛土の崩壊に至ることが懸念される。

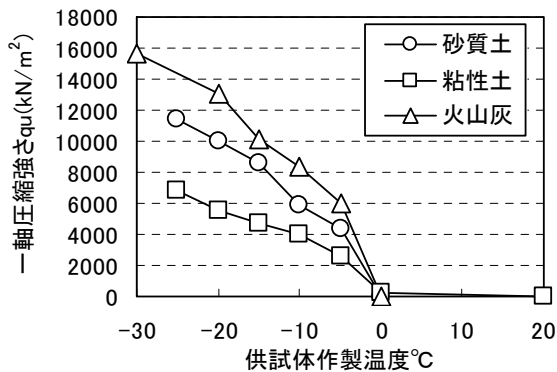


図-1 供試体作製温度と強度

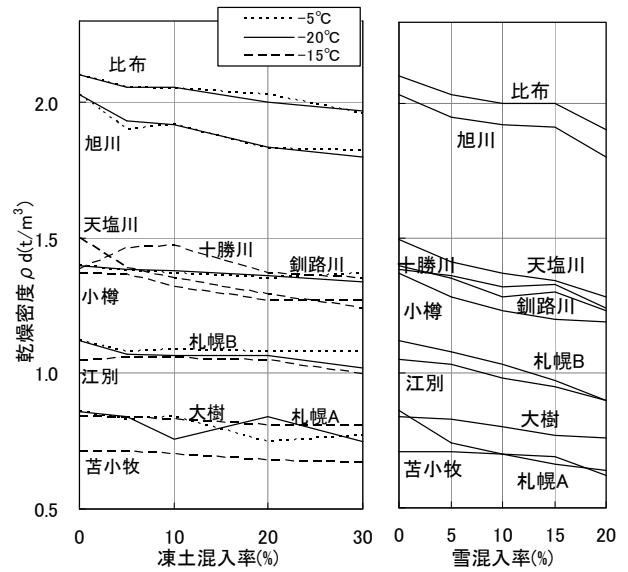


図-2 凍土または雪混合による締固め密度への影響

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。図中に示す地名は試料採取箇所である。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。

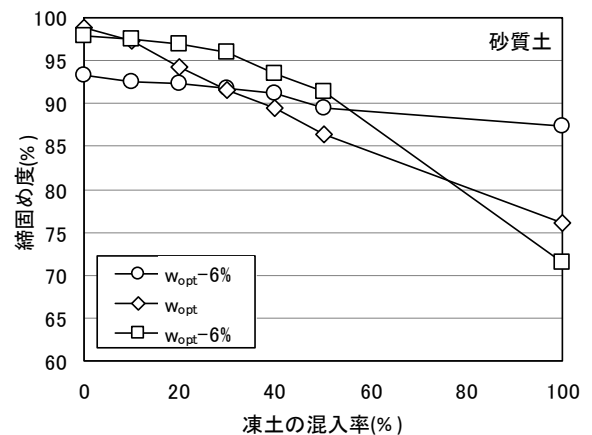


図-3 含水比の違いと凍土の混入率と締固め度

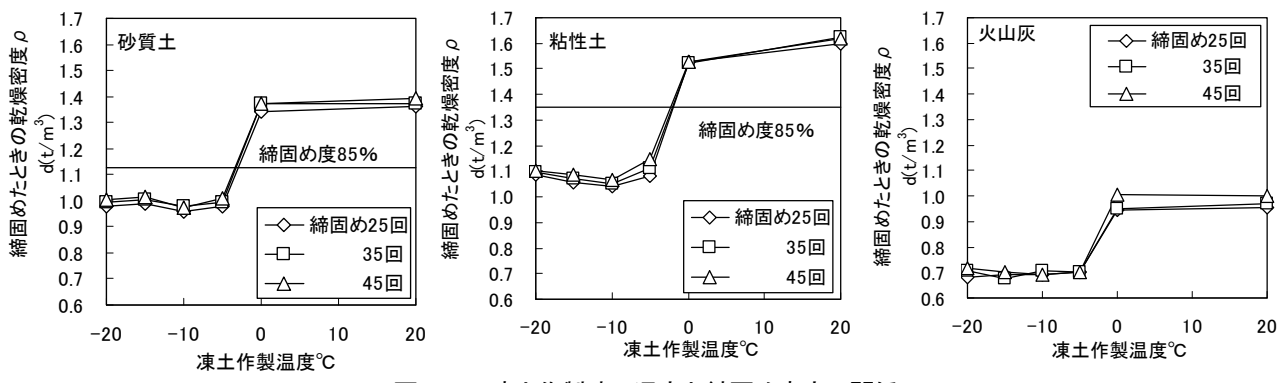


図-4 凍土作製時の温度と締固め密度の関係

含水比を変えた場合について、凍土の混入率と締固め度の関係例として、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、凍土の混入率が100%であっても北海道開発局の道路盛土の基準締固め度である85%¹²⁾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。

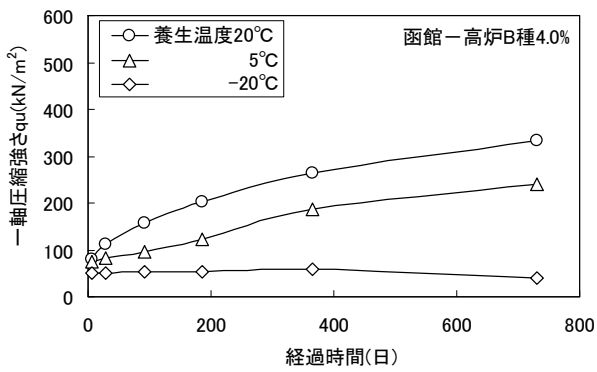
3.2 施工時の気温と盛土の品質

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、冬期土工での締固め不足を締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°Cから-5°Cまでは乾燥密度が低く-5°Cから0°Cにかけて急激に乾燥密度が大きくなっている。凍土作製温度がマイナスのときは、締固め回数を大きくしても乾燥密度に変化はなかった。養生温度がプラスの未凍結の場合は、粘性土では締固め回数を大きくしても乾燥密度は大きくならなかったが、砂質土と火山灰は、締固め回数を大きくすると若干乾燥密度は大きくなった。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、マイナスの状態となる場合は、凍結を配慮した施工を検討しなければならない。

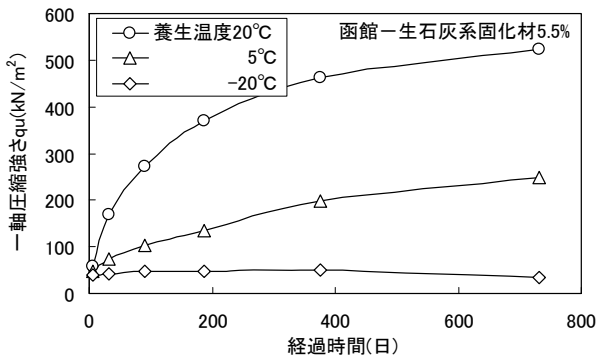
3.3 安定処理土の施工

3.3.1 安定処理土の養生温度と強度

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、GCsSに分類される自然含水比約54%、コーン指数が測定できないほどの軟弱な材料を高炉B種セメントおよび生石灰により改良した場合について養生温度を一定とした場合の養生日数と一軸圧縮強さの関係を示したも



(a) 高炉B種セメント



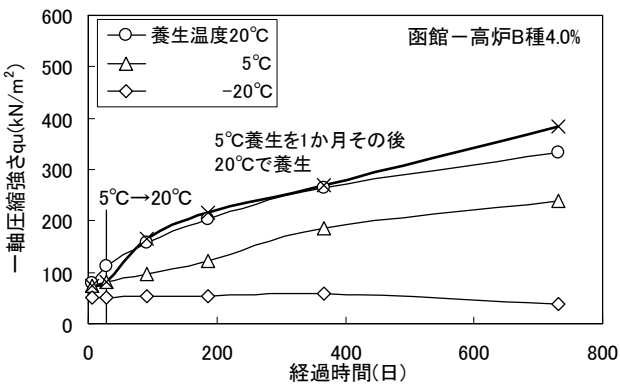
(b) 生石灰

図-5 養生日数と一軸圧縮強さの関係

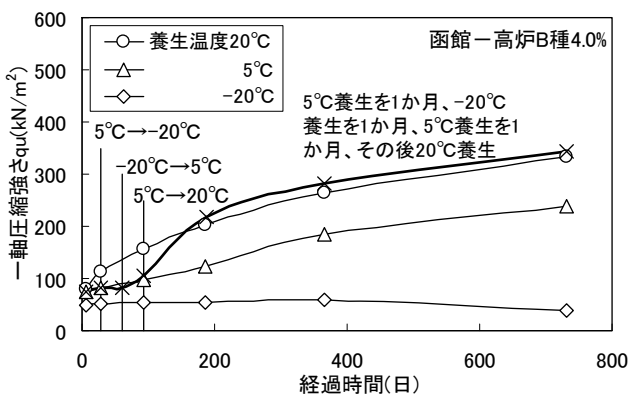
のである。高炉 B 種セメント、生石灰のいずれも、20℃、5℃で養生した場合、時間の経過とともに q_u は大きくなるが、-20℃で養生した場合、時間が経過しても q_u はほとんど変化しなかった。

次に、養生温度を途中で変化させたときの一軸圧縮強さ(q_u)の発現状況を図-6に示す。図には 20℃、5℃、-20℃の一定温度で養生したときの q_u の変化をあわせて示している。

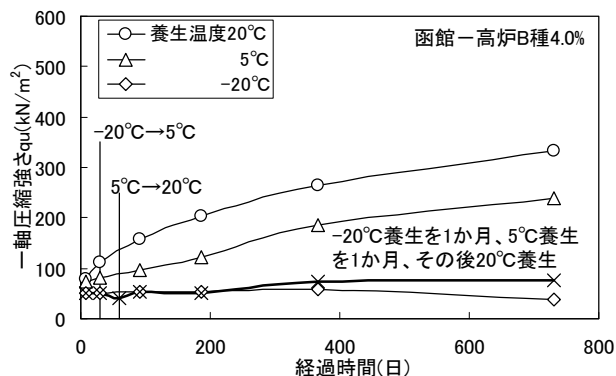
養生温度を一定とした場合、時間の経過とともに q_u は大きくなっている。しかし、養生温度を-20℃に一定と



(a) 5℃、20℃で養生したときの一軸圧縮強さの変化



(b) 5℃、-20℃、20℃で養生したときの一軸圧縮強さの変化



(c) はじめに-20℃で養生したときの一軸圧縮強さの変化

図-6 養生温度を途中で変えたときの発現強度

したとき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、はじめに養生温度を 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。供試体を作製してから 3 か月後には、20℃の一定温度で養生した場合とほぼ同じ強度となった。次に、5℃→20℃→5℃→20℃と養生温度を変化させた場合(b)は、5℃の養生で若干 q_u の増加があるものの養生温度を-20℃とした 1 か月の間はほとんど q_u の変化は認められない。その後 5℃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ている。さらに 20℃へ養生温度を上げると q_u は急速に増加し、約 2 か月で 20℃の一定温度で養生したときと同じ q_u となった。しかし、初めに-20℃で養生した後、5℃、20℃と養生温度を変えた場合(c)は、ほとんど q_u の増加はない。-20℃養生の前に 5℃で養生すると、時間経過により 20℃の一定温度で養生したときの q_u とほぼ同じとなったが、-20℃の養生の前に 5℃の養生過程を入れない場合には、 q_u の増加は少ない。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、改良時にマイナスにならないような対策が必要である。

3.3.2 固化材量と発現強度

固化材量を変えたときの q_u の推移を調べた。網走試料を高炉 B 種セメントで改良し、5℃、-20℃の一定温度で養生したときの q_u の推移の例を図-7に示す。5℃養生で経過時間が長くなると q_u の増加が認められた。また、固化材混合率が大きくなると q_u も大きくなり、経過時間に対する q_u の増加割合も大きい。養生温度-20℃では固化材混合率が 13%で、10%、11.5%よりもわずかに q_u が大きく現れているが、時間の経過による q_u の増加は止ま

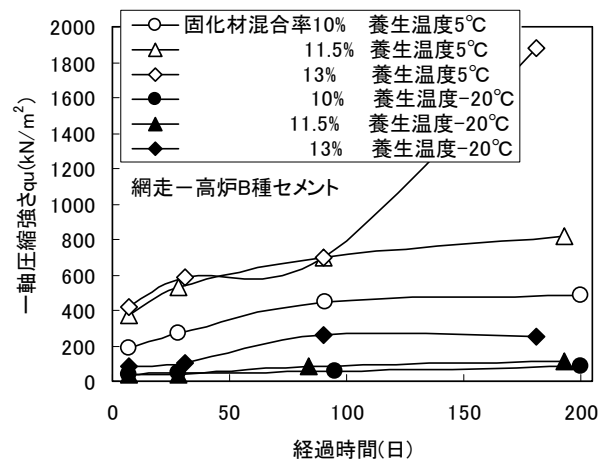


図-7 固化材量を変えたときの一軸圧縮強さの変化

っている。この傾向は生石灰系固化材による改良土も同様であった。このことから、高炉B種セメント、生石灰系固化材いずれも5℃養生による発現強度の低下を固化材の増加により補うことができるが、養生温度-20℃では、2%程度の固化材量の増加では発現強度は増加しないことがわかる。

3.3.3 温度低下を考慮した現場施工例¹³⁾

-20℃において施工および養生した場合、固化材の量の変更では発現強度の低下に対応できないが、5℃養生では固化材の量を増やすことにより、発現強度の低下に対応できることがわかった。そこで、冬期にかかる不良土の改良工事で、養生温度の低下を固化材量の増加により対応した例を示す。

改良の対象とした不良土は、自然含水比状態でのコーン指数が低く湿地ブルドーザでの走行性を確保できない材料である。この土はトンネル掘削により発生した蛇紋岩で、降雨、乾燥によりスレーキングする傾向が強い。この土の室内試験の結果、セメント系固化材により改良することとした。

改良した盛土の品質は衝撃加速度¹⁴⁾により管理することとした。室内試験の結果、7日養生後の衝撃加速度が46G以上あれば、盛土として十分な強度を有していると判断された。また、室内配合試験、現場試験施工の結果から、7日後の衝撃加速度を46Gとするためには、不良土1m³に対してセメント系固化材を25kg混合する必要があることが分かった。

図-8は、セメント系固化材により改良した盛土の衝撃加速度を示したものである。施工開始時から11月14日までは固化材を25kg/m³混合した。この間は、気温の低下とともに衝撃加速度は低くなっている。安定処理土は初期養生時に凍結すると強度発現が抑制されると考え、室内試験では養生室内の広さ、供試体の大きさを考慮し凍結しない温度として5℃を設定した。実際の工事

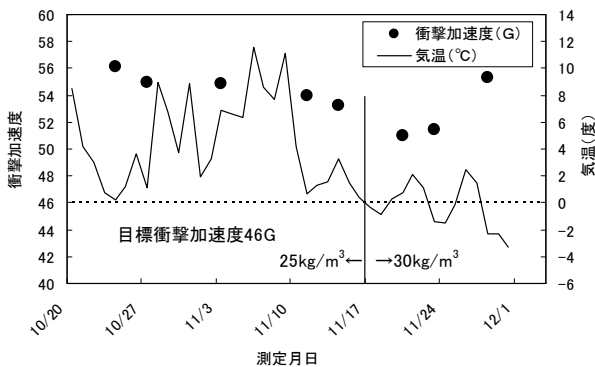


図-8 改良した盛土の衝撃加速度

では凍結しない時期を特定することが困難であったことからマイナスを確認した時点で固化材の増量を検討することとした。

11月17日に日平均気温がマイナスになったことを確認したので、盛土に必要な品質を確保できないと判断し、固化材を5kg/m³増加させ30kg/m³として施工した。固化材の増加により衝撃加速度は大きくなり、気温の低下による強度の低下を固化材の増加により対応することができた。

3.3.4 安定処理土の凍上性

北海道の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-9に示す。固化材の種類に関係なくqu=300kN/m²を超えると凍上率は20%以下となるが、qu=300kN/m²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

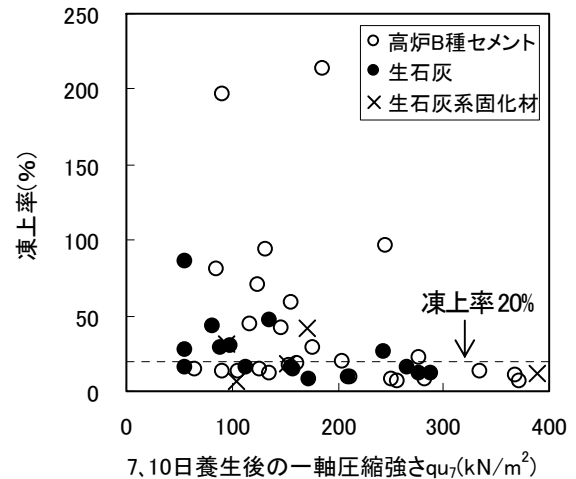


図-9 一軸圧縮強さと凍上率

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。

3.4 冬期土工と夏期土工の比較

図-10に14箇所で開催し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

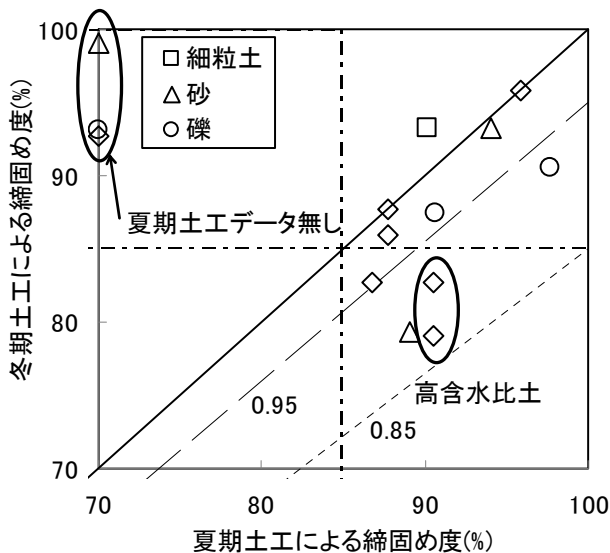


図-10 夏期土工と冬期土工の盛土の締固め度

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。

3.5 現場施工に対応した対策工法の検討

冬期土工では、凍土の混入を避けて施工することが望ましいが、完全に除去することは困難である。そこで、現場での施工に対応した対策工法を検討した。火山灰、砂質土、粘性土について凍土をそのまま30cmで施工、凍土を最大粒径20cmで破碎して層厚30cmで施工、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、凍土をできる限り除去した後層厚30cmでも施工した。

盛土の締固め度を図-11に示す。凍土をそのまま30cmで施工した場合は、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で施工した場合は、火山灰では締固め度85%を得ることができたが、砂質土、粘性土では、締固め度85%を得ることができなかった。凍土を除去して層厚20cmで施工した場合は、すべての材料で締固め度85%を得ることができた。火山灰のみの結果であるが、凍土を除去して層厚30cmで施工した場合は、凍土を除去して層厚20cmで施工した場合よりも締固め度は低く、85%を得ることができな

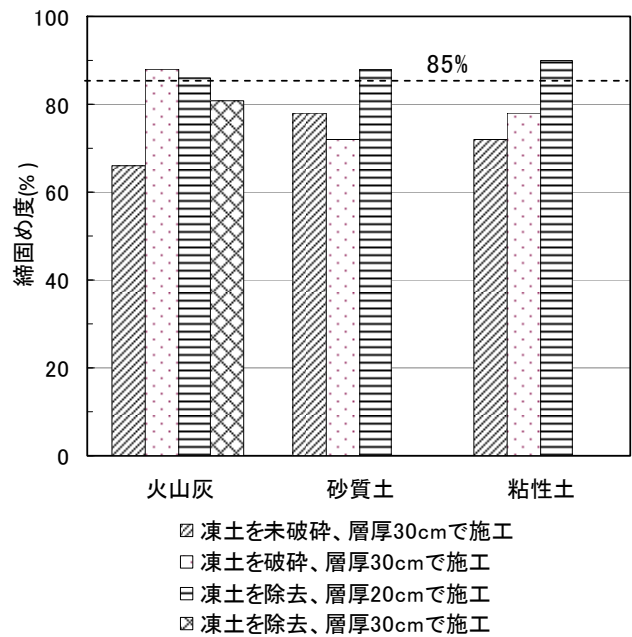


図-11 施工方法の違いと締固め度

かった。以上より、冬期土工では、凍土を破碎することにより締固め度を高くできる土質もあるが、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に対して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、冬期土工に関して次のことが明らかになった。

- 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、マイナス気温となると盛土の品質を確保できなくなるため、マイナス気温と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。

参考文献

- 1) 通年施工推進協議会：冬期土工設計施工要領、1999.4
- 2) 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 pp.71～82、1984.2
- 3) 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、pp.29～34、1998.12
- 4) A Sato, S Nishimoto and T Suzuki: “Relationship between Curing Temperature and Strength of Stabilized Soil”, Cold Region Engineering 2006, 2006.7
- 5) 佐藤厚子、西本 聡、鈴木輝之：「安定処理土の養生条件が発現強度に与える影響について」、第48回地盤工学会北海道支部技術報告集、2008.2
- 6) 佐藤厚子、西本 聡、鈴木輝之：「安定処理土の養生条件と発現強度の関係」、第43回地盤工学会研究発表会、2008.7
- 7) 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
- 8) 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 pp.133～138、2006.4
- 9) 日本道路協会：道路土工排水工指針、pp.238～248、1987.6
- 10) 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 pp.38～43、2001.9
- 11) 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 pp.2～9、2003.12
- 12) 北海道開発局：道路河川工事仕様書、2008.4
- 13) 小林暁、豊田義明、楡井賢司：「トンネル工事で発生する蛇紋岩ズリによる盛土施工—セメント改良検討・施工管理報告—」、第50回北海道開発局技術研究発表会論文集、2007.2
- 14) 佐藤厚子、西川純一：「衝撃加速度による安定処理土の品質管理方法」、セメント系安定処理土に関するシンポジウム、1996.2

A STUDY OF TECHNOLOGY TO IMPROVE THE QUALITY OF WINTER EARTHWORKS IN COLD REGIONS

Abstract : Earthworks are not usually conducted in winter, since the quality of embankments constructed during the colder months is often insufficient due to low-temperature weather conditions, freezing of geomaterials, the presence of snow and other factors. However, earthworks are conducted in winter in some cases (such as post-disaster restoration and river embankments) due to the more advantageous conditions of the dry winter season. This study therefore examined construction technology to ensure the quality of earthworks conducted in winter through laboratory experiments and full-scale test construction of an embankment. The results revealed that the quality of earthworks completed in winter was inferior to those performed in summer, that the strength of stabilized soil did not increase at sub-zero temperatures, and that it was possible to present points for consideration regarding construction under such circumstances.

Keywords: earthworks in winter, quality, stabilization, construction