

低温期での泥流などの対策に資するソイルセメント 中詰めトンパック開発基礎実験

北海道大学 ○山田孝 国土交通省北海道開発局苫小牧砂防海岸事務所 竹原隆博 本間雄介
株式会社北海道土砂資源化研究所 宮木康二
株式会社インボックス 秋山祥克 ソイルテクノロジー株式会社 武笠秀和

1. はじめに

樽前山直轄火山砂防事業の現場では緊急減災として、大型土嚢やブロックを用いた導流堤工や融雪泥流発生後の降雨による土砂流出捕捉のためのセルダム緊急閉塞工などが検討されてきた。大型土嚢を使う場合は、融雪泥流の衝撃力や摩擦などにより、土嚢が破れると中詰めの土砂が流出し、仮設堤工の機能低下あるいは機能損失につながるリスクがある。また、ブロックの運搬・設置やセルダム開口部の閉塞のための積み上げには長時間を要する。こうした課題に対して、筆者らは、現地発生土砂を用いた流動タイプのソイルセメントをコンクリートポンプ車で圧送してトンパックに中詰めし、それを用いて導流堤工やセルダム開口部緊急閉塞を行うことを検討している。ただし、融雪泥流の発生前や発生後の出来るだけ早い時期に施工する必要があるために、低温期での施工が前提となる。本研究では、そのための基礎実験として、樽前山直轄砂防事業区域内覚生川流域内の現地発生土砂を用いた、流動タイプソイルセメント供試体ならびに土嚢袋中詰め時のワーカビリティと強度特性を調べた。

2. 方法

現地発生土砂の材料特性を表-1 に示す。低養生温度におけるソイルセメント供試体試験の実施のため、以下の条件でソイルセメント供試体(φ150mm, H 300mm)を製作し、それらの圧縮強度(7 日, 14 日, 21 日 28 日養生強度)を測定した。11 月にソイルセメントを野外で配合することを想定し、苫小牧市の 11 月平均気温(5℃)を想定したソイルセメントの養生時間と強度発現性の関係を調べた。セメントは、現場で汎用している普通ポルトランドセメントとし、単位セメント量は、250kg, 水セメント比は 1 ケースとした。低温期における施工を想定し、練混ぜ水と養生温度は各々、5℃と 5℃を基本とし、20℃と 20℃、30℃と 20℃のケースを比較とした。次いで、単位セメント量を 3 ケース(100kg, 250kg, 400kg), セメントケースごとに水セメント比を 3 ケース変動させたケースで配合したソイルセメントを土嚢袋に充填し、そのワーカビリティ評価と強度発現

性を確認した(養生温度 5℃, 土嚢袋から φ100mm, H200 コア 3 本採取, 7 日養生強度, 28 日養生強度)。各セメントケースの水セメント比の中央ケースでの、5℃養生温度下での水和熱, 余剰水排出状況の確認, 供試体との比較(余剰水の排出効果の確認)を行った。なお、ソイルセメントの試験含水率を 80~98%, いわゆる「しゃぶコン」状態に設定したのは、施工時の高い流動性を確保し、ワーカビリティを重要視したためである。

3. 低温度におけるソイルセメント供試体の製作・養生後の圧縮強度の測定実験

図-1 に練り混ぜ水温度とスランプ値との関係を示す。練り混ぜ水温度とスランプ値には負の相関関係があるように見える。練り混ぜ水の温度が低いほうがスランプ値は大きく

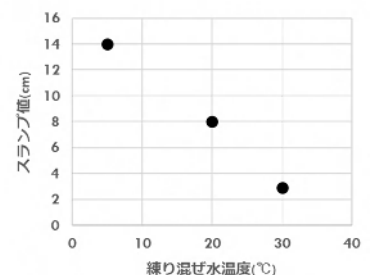


図-1 練り混ぜ水温度とスランプ値

流動性は高いため、ワーカビリティも高いと考えられる。7 日養生強度(平均値)は、0.058~0.066N/mm², 14 日養生強度(平均値)は、0.063~0.066N/mm², 21 日養生強度(平均値)は、0.060~0.078N/mm², 28 日養生強度(平均値)は、0.058~0.076N/mm²を示す。練り混ぜ水温度が 30℃の時は、養生日数 21 日を除き、他のケースよりも若干、養生強度(平均値)が高い。ただし全体的に見ると、練り混ぜ水温度、養生温度、養生日数の違いによる養生強度(平均値)の顕著な違いは認められない(図-2)。

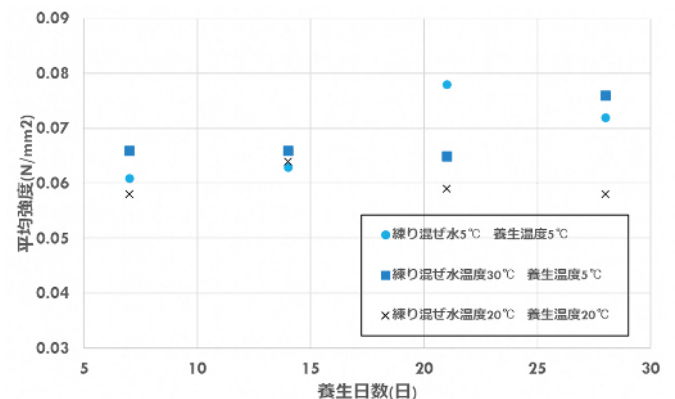


図-2 養生温度、養生日数と平均強度

表-1 現地発生土砂(樽前山覚生川流域)の材料特性

粒度試験	シルト+粘土: 30.4% 砂: 24.5% 礫: 45.1% 最大粒径: 37.5mm
土粒子密度試験	2.595g/cm ³ (平均値)
含水比試験(自然含水比)	62.3%(平均値)
細骨材の密度及び吸水率試験	飽和密度 3.62 g/cm ³ (平均値) 吸水率 7.29 %(平均値)
粗骨材の空隙率による土の空隙率試験	試験方法 E-b 最大乾燥密度 1.199g/cm ³ 最適含水比 31.2%
細骨材の有機不純物試験	暗赤褐色⇒使用できない

今回は、ソイルセメントが明確な強度ピークを発現する条件領域外での実験結果であると考えられる。そのような条件領域では、混ぜ水温度、養生温度、養生日数の違いが養生強度に与える影響は小さいと考えられる。これらの違いが養生強度の違いに顕著に発現されなかった理由として、いずれも高い含水比の条件での実験であったことが考えられる。ちなみに、試験含水比が約30～50%、単位セメント量200kgの場合の28日強度は0.5～0.9N/mm²である(大岡らが今回の大会で別途発表予定)。練り混ぜ水の温度が30℃の場合は、練り混ぜ水温度5℃よりも水和反応による固結化が進んだため、ワーカビリティは低いと考えられる。また、他のケースよりも若干、7日養生強度が高い値を示したのは、水和反応がより進んだためと考えられる。ただし、5℃、20℃の場合と比べてわずかな強度差であるため、強度発現のメリットはあまりないと考えられる。

4. 低温度におけるソイルセメント中詰め土嚢の製作、ワーカビリティ評価、圧縮強度等の測定実験

今回の実験条件では、ソイルセメント攪拌直後から土砂が吸水し、ゲル状となって高粘性を呈することが確認された。ワーカビリティ(スランプ値で評価)は、単位セメント量と試験含水比の組み合わせにより、いくつかのグループに分けられ、単位セメント量よりも試験含水比による違いによるところが大きい(図-3)。

7日養生強度(平均値)は、0.03～0.11N/mm²、28日養生強度(平均値)は、0.03～0.13N/mm²の値を示す。単位セメント

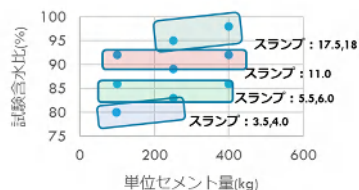


図-3 ワーカビリティ評価

量が多いほうが養生強度(平均値)は大きい。例えば、7日養生強度(平均値)では、単位セメント量400kg、試験含水比86%の場合は、単位セメント量100kg、試験含水比86%の場合の約5.5倍の強度を示す。単位セメント量400kg、試験含水比92%の場合は、単位セメント量100kg、試験含水比92%の場合の約3倍の強度を示す。28日養生強度(平均値)では、単位セメント量400kg、試験含水比86%の場合は、単位セメント量100kg、試験含水比86%の場合の約4.4倍の強度を示す。単位セメント量400kg、試験含水比92%の場合は、単位セメント量100kg、試験含水比92%の場合の約3倍の強度を示す。いずれの実験ケースにおいて、土嚢袋にソイルセメントを中詰めしてから数時間後には指で押しても明らかに固結した状態であることが確認された。ソイルセメント内(土嚢袋表面から約10cm内部)の温度変化を見ても、外気温5℃に対して、中詰め直後は約13℃から17℃と高く、確実に水和反応が生じている。中詰め後、2～4日程度後でその温度が外気温とほぼ等

しくなる。また、いずれの実験ケースにおいて土嚢袋へのソイルセメント中詰め後、初期水温の段階から土嚢袋表面の網目全体に澄んだ水滴が形成され、ソイルセメントの水和反応中の余剰水が排出されていることが確認できた。土嚢袋に中詰めしたソイルセメント内の水量の内、余剰水が占める割合を「余剰水排水率」とすると、0.7～6.7%の値をとる。試験含水比と余剰水排水率の関係は、正の相関が認められる。同じ程度の試験含水比で比較すると、単位セメント量100kgの場合の余剰水排水率は単位セメント量250kgや単位セメント量400kgの場合の約2～3倍と大きい。単位セメント量250kg、試験含水比89%の場合(図-4)において、余剰水が排出されない供試体(CASE2-1)と土嚢中詰めソイルセメント(CASE5-2)の7日養生強度(平均値)と比較すると、前者は0.066N/mm²、後者は0.08N/mm²の値を示す。28日養生強度(平均値)では、余剰水が排出されない供試体(CASE2-2)と土嚢中詰めソイルセメント(CASE5-2)の7日養生強度(平均値)と比較すると、前者は0.076N/mm²、後者は0.09N/mm²の値を示す。中詰め土嚢の強度(7日、28日養生強度)は、供試体のそれの約1.2倍大きな値を示す。土嚢中詰めソイルセメントの場合は、余剰水が土嚢袋から排出され、より水和反応が効果的に発生し、結果、養生強度が供試体のそれよりも大きくなったと考えられる。

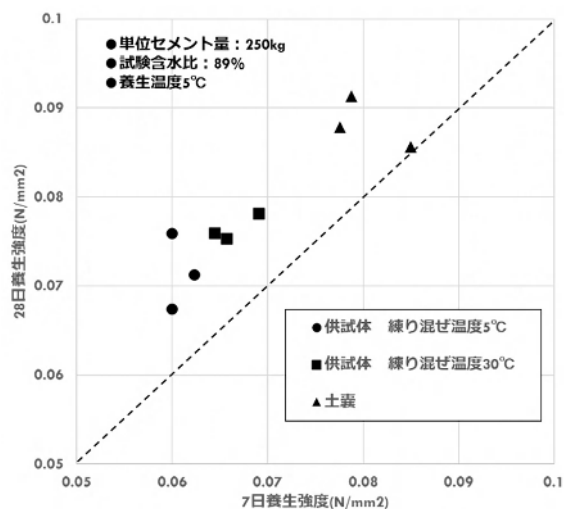


図-4 供試体と土嚢の強度の比較

5. おわりに

今回の実験条件で配合したソイルセメントは、土嚢袋に中詰め後、水和反応が発生し、数時間で固結し、7日養生強度(平均値)は、0.03～0.11N/mm²程度であること、中詰めソイルセメント本体は自立でき、土嚢袋が破損したとしても中詰め材は容易には流出しにくいと考えられる。トンパックにソイルセメントを中詰めした場合(令和5年度試験予定)も同様の効果は期待できると考えられる。本研究は、国土交通省河川砂防技術研究開発地域課題分野「北海道の厳寒期での緊急減災施設施工を可能とする「寒冷地用砂防ソイルセメント工法の開発」の令和4年度成果の一部である。