

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(Ⅲ)

北海道大学 ○山田孝 厚井高志 笠井美青

国土交通省北海道開発局苫小牧砂防海岸事務所 松本 洋光※ 岩田清徳 本田 浩貴※※ 上原 玲音

※(現)旭川開発建設部サニダム管理支所 ※※(現)旭川開発建設部治水課

株式会社北海道土砂資源化研究所 宮木康二 大岡辰弥

1. はじめに

樽前山での緊急砂防減災では、融雪型火山泥流ならびにその後の降雨による土砂流出への対応が必要である。発表者らは、現地発生土砂を用いた流動タイプのソイルセメントをトンパックに中詰めし、それを用いて緊急導流堤の施工やセリ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かつ短期間に施工する必要があるために、低温期施工が前提となる。2023 年度の研究では、樽前山直轄砂防事業区域内覚生川流域内での現地発生土砂(粘土・シルトの多い火山灰質土砂)を用いて、12 月の現場において、流動タイプのソイルセメントのワーカビリティ、トンパックに中詰め養生した時の強度、施工時のサイクルタイム等を明らかにした。2024 年度は、砂成分の多い火山灰質土を用いて 12 月に現場施工し、2023 年度結果(土嚢袋中詰めも含む)との比較を行った。そうした成果をもとに、低温期でのソイルセメント中詰めトンパックの製作方法を提案した。

2. 方法

現地発生土砂の材料特性については、2023 年度は、粘土・シルトが 34.1%と多く、砂は 29.2%である。2024 年度は、粘土・シルトは、21.6%に対して、砂が 47.8%と多い。

2024 年 12 月 12 日、13 日に現地発生土砂を用いてソイルセメントを現地で配合し、スランプ値などを計測し、中詰めトンパックを 8 個、施工した。単位セメント量(普通ポルトランドセメント)は 100kg、250kg の 2 ケース、試験含水比は 50%、70%の 2 ケースであり(配合時の加水のみの含水率)、外気温は 5℃以下、練り混ぜ水の温度は 5～10℃である。ソ

イルセメント内の水和反応を把握するために、トンパック 1 個当たり 5 箇所、計 40 箇所に自記温度計を設置し、1 分間隔で計測した。また、7 日養生強度、28 日養生強度を測定するための供試体コアをトンパック 1 個当たり 5 個(上面：2 個、側面：3 個(上部、中部、下部)、計 40 個採取した。その後、実験室にて圧縮強度を測定した。

3. ソイルセメントのスランプ値と試験含水比、セメント混入量との関係、水和反応の実態

図-1 に試験含水比とスランプ値との関係を示す。全体的に見て、試験含水比が大きくなると、スランプ値も大きい傾向がある。試験含水比 50%近傍では、トンパック(2023、2024 年度)のスランプ値は、土嚢袋中詰め用のソイルセメント(2023 年度実験室にて製作)のそれらに近似している。試験含水比が 60%～70%では、平均値近傍の値となっている。トンパックのみに限ると、100kg では、砂の多い土砂、粘土・シルトの多い土砂のスランプ値は、各々、0.7～2.2cm、1.3～1.8cm であり、両者の違いは明確ではない。

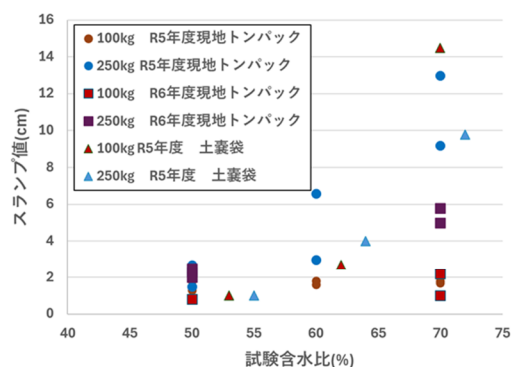


図-1 試験含水比とスランプ値

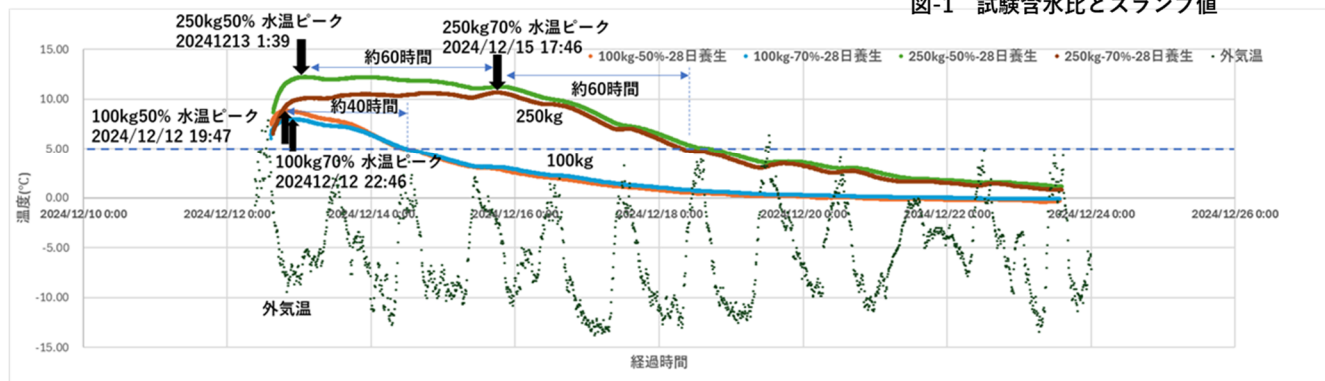


図-2 水和温度の時間変化(温度データは、1つのソイルセメント中詰めトンパックに設置した5つの温度計のデータ平均値)

250kg では、砂の多い土砂、粘土・シルトの多い土砂のスランプ値は、各々、2.0～6cm、1.8～13cm であり、後者の方が大きい。試験含水比が 50%の時は、両者の違いはほとんどない。

図-2 にソイルセメント内部の温度の時間変化を示す。温度データは、1つのトンパックに設置した 5 つの温度計のデータ平均値である。ピーク温度は、100kg の場合は、8～9℃ 程度、250kg の場合は、11～12℃ 程度である。100kg、250kg とともに、ソイルセメント中詰め直後から温度が上昇する。100kg では、水温ピーク後は、温度が減少し続け、約 40 時間後には 5℃に到達する。250kg では、水温ピーク後は、約 60 時間は大きくは変化せず、養生温度として 11～12℃程度の状態が続いている。それ以降は、温度が低下し、約 60 時間後には 5℃近傍に到達する。温度は、外気温の変動と連動せずに減少しているため、ソイルセメント内部から外部への放熱状態が継続していたと想定される。発熱量、水和速度、累積発熱量をコンクリート質量、ソイルセメントの比熱、温度変化、セメントの水和熱などから計算した結果、250kg の場合は、100kg の場合よりも、発熱量、水和速度(温度がピーク近傍に達するまでの間)は大きく、特に、累積発熱量ではその違いが顕著となった。250kg では、温度がピークに達してから累積発熱量が約 60 時間、維持され、100kg の場合は、温度がピークに達してからすぐに累積発熱量は減少しており、放熱状態に移行する結果となった。発熱量が大きく長い時間継続することが圧縮強度の増加に関与していると考えられる。

4. ソイルセメントの圧縮強度

図-3 に、7 日強度と 28 日強度との関係を示す。砂が多い土砂を使用した 250kg の場合は、7 日強度でも、最小管理強度の目安となる 2N/mm^2 に近く、28 日強度では、この値を超過している。砂が多い場合は、ソイルセメント骨格が強化されやすいこと、粘土・シルトが多い場合は、高いサクションのため水の一部が吸引され、水和反応に有効な水が減少したことが考えられる。また、セメント量が 250kg の場合は、トンパックの方が土嚢袋よりかなり強度が大きい。その主な要因としては以下の二つの事項が考えられる。

① 温度養生効果

トンパック中詰めの場合、ソイルセメント内部の温度がピークを迎えた後も 60 時間程度維持されるため、温度が比較的高い環境で長時間養生される。土嚢袋中詰めの場合、熱が外部に逃げやすく、ピーク後すぐに温度が下がってしまうため、水和反応が十分に進みにくい。

② 断熱効果

トンパック中詰めの場合、外部との熱交換が少ないため、内部の温度が高く維持されやすく水和反応が進みやすい。土嚢袋の場合は、空気との接触面積が大きく、熱が逃げやすいため、温度上昇が限定され、強度発現が遅くなる。

5. 結論

- 1) 2023, 2024 年度のソイルセメント配合条件では、スランプ値から判断すると、流動タイプのソイルセメントとして活用することが十分可能である。
- 2) 2024 年度の現地発生土砂(砂の多い土砂)、施工条件で配合したソイルセメントは、7 日強度では最小管理強度 (2.0N/mm^2) に近く、28 日強度ではこの値を超過する。
- 3) これまでの成果により、図-4 に示すソイルセメント中詰めトンパック製作方法を提案した。

本研究成果は、ソイルセメント中詰めトンパック型枠一体型緊急堤、セルダム開口部緊急閉塞工、さらには、崩壊土砂や落石等の捕捉、河岸侵食軽減等への活用が期待できる。

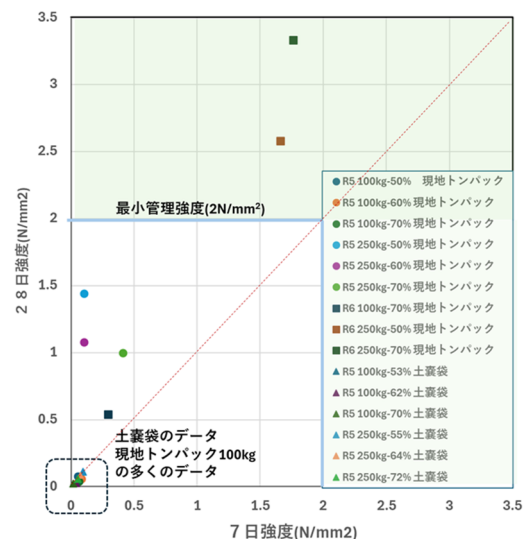


図-3 7日強度と28日強度

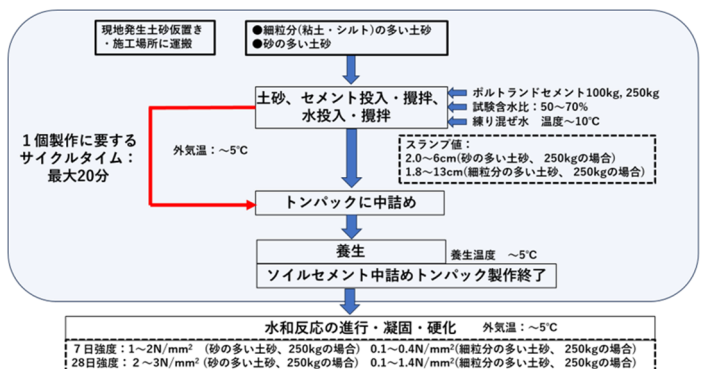


図-4 ソイルセメント中詰めトンパック製作方法

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5,6年度成果の一部である。