

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(Ⅱ)

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 竹原隆博 岩田清徳 本間雄介 宮崎亮直

株式会社北海道土砂資源化研究所 宮木康二 大岡辰弥 株式会社インボックス 秋山祥克

1. はじめに

樽前山での融雪型火山泥流ならびにその発生後の降雨による土砂流出に対する緊急減災として、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、令和5年度に引き続き、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を用いた、流動タイプソイルセメント土嚢袋中詰め時のワーカビリティと強度特性を調べ、現地試験施工時のサイクルタイムを検討した。

2. 方法

現地発生土砂の粒度は、シルト+粘土:30.4, 34.1% 砂:24.5, 29.2%, 礫:36.7%, 45.1%, 最大粒径:37.5mm, 75mmである(2022年度, 2023年度)。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。5月, 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いずれも5℃とし、20℃と30℃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), 試験含水比を「しゃぶコン」状態の80~98%(令和4年度試験), 53~72%(令和5年度試験)の範囲で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。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。

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 に試験含水比とスランプ値との関係を示す。試験含水比が約60%の場合、スランプ値は約4cmであり、試験含水比が約85%より大きくなるとスランプ値も約12~18cmと急激に増加し、ワーカビリティも高くなる。トンパ

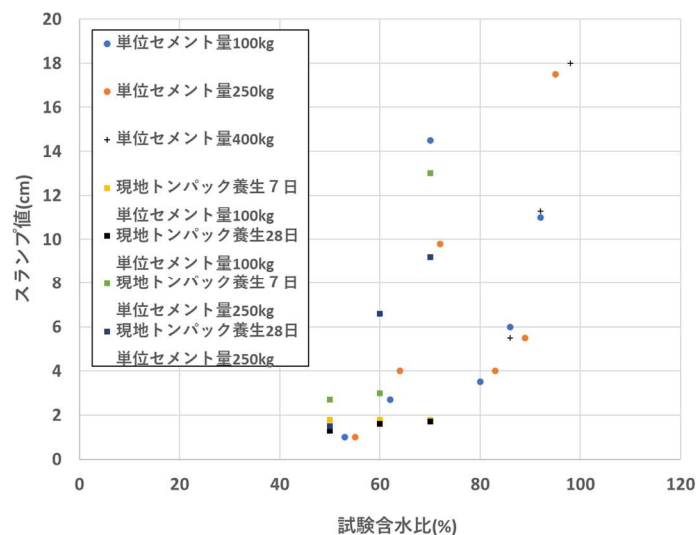


図-1 試験含水比とスランプ値との関係

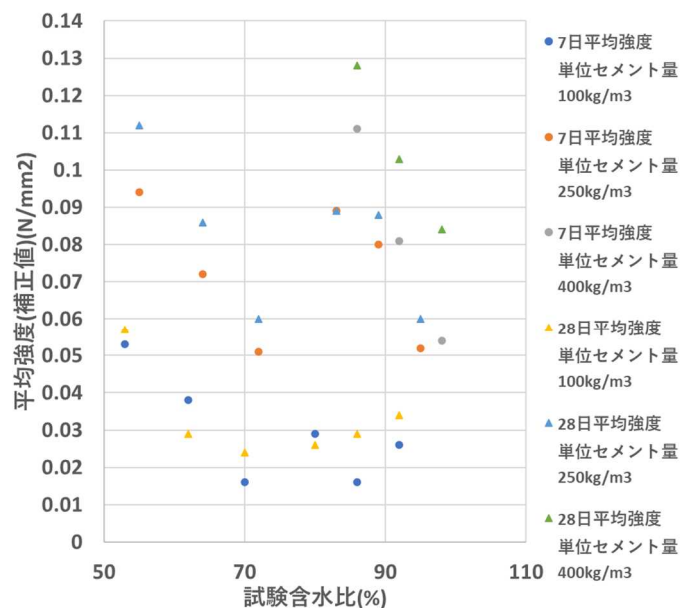


図-2 試験含水比と平均強度との関係

ックに中詰めした場合は、土嚢袋に中詰めした場合に近く、試験含水比に応じて同等のワーカビリティを確保できる。

試験含水比が89%の場合、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。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。その理由として、いずれも高い含水比の条件であるためと考えられる。

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

図-2 に試験含水比と平均強度との関係を示す。試験含水比が高くなると平均強度が小さくなる傾向はだまかには認められる。7 日養生強度(平均値)は、 $0.02 \sim 0.11 \text{ N/mm}^2$ 、28 日養生強度(平均値)は、 $0.03 \sim 0.13 \text{ N/mm}^2$ の値を示す。同じ試験含水比では、単位セメント量が大きいほうが養生強度(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% の場合のその約 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% の場合のその約 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% の場合のその約 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% の場合のその約 3 倍の強度を示す。試験含水比が 50%～70% の領域においても単位セメント量 250kg の方が 100kg よりも大きな強度を示す。なお、練り混ぜ温度 5℃ の時の 28 日養生強度は 7 日養生強度の最大約 1.2 倍まで増加している。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 10 cm 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。

5. ソイルセメント中詰めトンパックの現地施工、ワーカビリティ、強度特性

これまでの供試体実験、土嚢中詰め実験の結果を基に、樽前山直轄砂防事業区域内菅生川流域内の工事現場の一面で、2023 年 12 月に現地発生土砂を用いてソイルセメントを配合し、中詰めトンパックを 12 個、試験施工した。単位セメント量は 100kg、250kg の 2 ケース、試験含水比は 50%、60%、70% の 3 ケースであり、外気温はほぼ 0℃、練り混ぜ水の温度は 5.3～8.2℃ である。2023 年 12 月 18 日と 2024 年 1 月 8 日、9 日に 7 日強度、28 日強度を測定するための供試体コアを切り出し、実験室にて圧縮強度を測定した(図-3)。単位セメント量 100kg の場合、試験含水比 50% は、両者とも同じ程度の強度であるが、試験含水比 60%、70% の場合は、トンパックのほうが約 2～3 倍大きな強度を示す。単位セメント量 250kg の場合、試験含水比 50%、60% の場合は、両者とも同じ程度の強度を示すが、試験含水比 70% の場合は、トンパックのほうが約 7 倍大きな

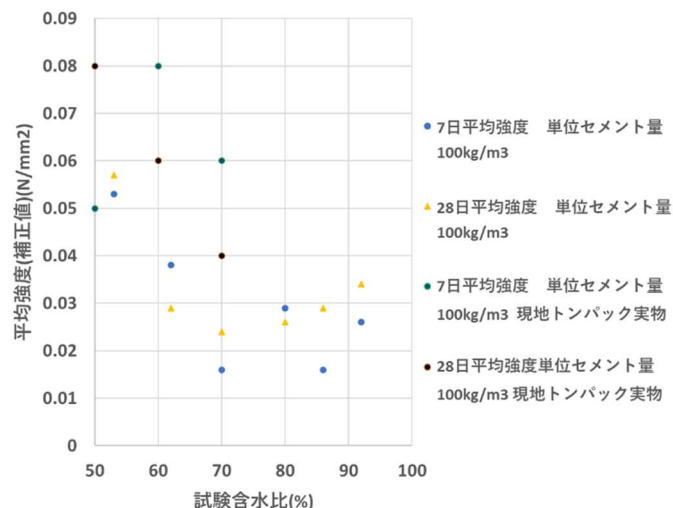


図-3 試験含水比と平均強度との関係(単位セメント量：100kg/m³)

値を示す。試験含水比 50%、60% の時よりも 70% のほうが約 4 倍大きな値を示しているが、理由は不明である。トンパックにソイルセメントを中詰めした後に、含水率の分布に偏りができ、局所的に水和反応がより効果的に発生して強度が高くなったところを採取したためとも考えられる。また、トンパックに中詰めした場合、試験含水比 50、60% のときは、土嚢袋での 7 日平均強度と同じ程度、発現しているとみなせる(土嚢袋中詰め時の温度は 5℃、トンパック中詰め時は 0℃ 近傍という違いはあるにもかかわらず)。単位セメント量 100kg の時の 28 日強度は 7 日強度とそれほど違いが認められないにもかかわらず、単位セメント量 250kg の場合は、28 日強度が 7 日強度の約 2 倍～14 倍とかなり大きな結果となった。単位セメント量 250kg の場合、トンパックの中で水の不均一な分布が発生し、コア採取箇所付近が固化に適した含水状況であった可能性も考えられる。ソイルセメント中詰めトンパックを 1 つだけ製作するのに必要な時間は最大約 20 分である。一連の作業の中で、土砂投入、セメント投入攪拌に各々 4 分、6 分 30 秒ほどの時間を要している。同一条件(単位セメント量、含水比、養生日数等)で複数個製作する場合は、作業効率化が可能となるため、相応に時間短縮ができる。

5. 結論

1) 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、水和反応が発生して数時間で固結する。また、十分なワーカビリティを確保できる。2) 供試体、土嚢袋中詰めの場合の 7 日養生強度(平均値)は、 $0.03 \sim 0.11 \text{ N/mm}^2$ 程度であり、その後の強度変化はあまり認められない。3) トンパックに中詰めした場合、試験含水比 50、60% のときは、土嚢袋での 7 日平均強度と同じ程度、発現している。サイクルタイムは、1 個のみ製作する場合で最大約 20 分であった。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、5 年度成果の一部である。