

砂防ソイルセメント（流動タイプ）の温度測定結果について

国土交通省 近畿地方整備局 六甲砂防事務所 光永 健男* 鉦橋 浩
 株式会社 木島組 阪本 正紀
 ○ 株式会社 本久 小布施 栄
 株式会社久栄総合コンサルタント 中濃 耕司

1. はじめに

激甚災害級の災害が頻発し防災施設の建設需要が増えるのに対して、予算はもとより人手、資材、物流あらゆるものが逼迫する傾向が強まっている。砂防ソイルセメントは、土砂の有効活用技術としてこうした社会状況に対応しうる技術として期待が持てる工法である。砂防ソイルセメントでは転圧タイプが広く普及しているが、品質の安定性や大礫・巨礫の活用など土砂利活用幅の広がりという点では流動タイプにも利がある。一方、流動タイプは実績が乏しく公表される品質データも少ないため信頼性に乏しいといった側面もあり、特に流動タイプはコンクリートと性状が似ているためコンクリートとの比較で議論されることが多く、その中でも温度ひび割れや劣化に対する懸念がしばしば指摘される。砂防ソイルセメントでは、ひび割れや劣化については外部保護材の外部拘束により対応する構造となっているが、ひび割れ発生に影響を及ぼす構造体内部の温度変化への着目は流動タイプの品質確保、信頼性向上の観点から重要である。六甲砂防事務所管内の荒神山西砂防堰堤では、現地発生土砂と撤去対象の鋼製枠堰堤の中詰め材である礫材の有効活用を目的に流動タイプを採用し砂防堰堤を構築した。本報ではその施設構築に際して実施した温度測定結果について報告する。

2. 調査対象及び内容

施設は、堤高 14.5m 堤長 50m の透過型砂防堰堤である。上下流および透過部側面を波型鋼板パネルの外部保護材とした流動タイプの砂防ソイルセメント堰堤でリフト高は 1.2m を標準としている。この流動タイプの概要を表 1 に示す。本調査は温度ロガーによる流動タイプの内部温度と、デジタル温度計による打設翌日朝の表面温度の測定を実施した。内部温度の測定は、中心部と外部保護材に接する部分（以下、「端部」とする）の温度変化とその差異を把握することを目的とした（図 1, 2）。外部保護材が鋼製であることから端部の温度計測は外気温や気象による影響を受けやすい南面（下流側）で実施した。併せて比較対象としてブリキ製モールド付の供試体を作製し温度計測を実施した。また、冬期施工におけるシート養生の妥当性について検証することを目的として、打設日の翌朝の表面温度、外気温、端部のソイルセメントの表面温度、ソイルセメントとシートの界面温度の温度計測を実施した（図 3）。

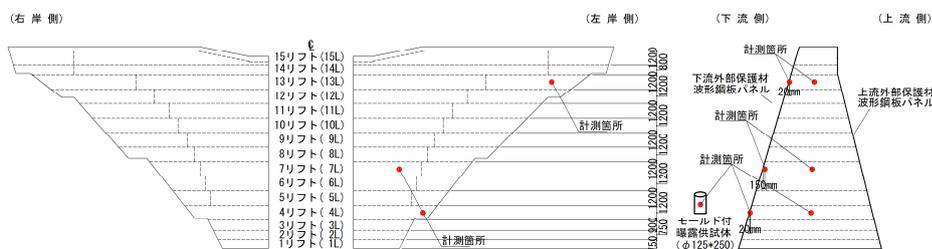


図 1 温度ロガー設置箇所（正面）

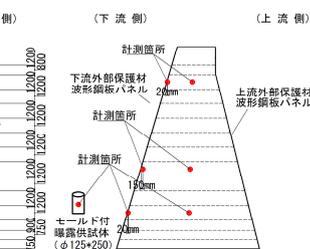


図 2 温度ロガー設置箇所（側面）

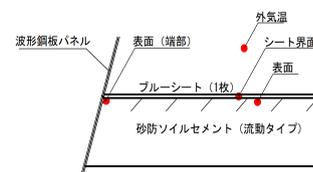


図 3 表面温度測定位置

表 1 調査対象施設の流動タイプの概要

母材	使用セメント	単位セメント量 (kg/m ³)	単位水量 (kg/m ³)	大礫（粗石）混入率 (%)	平均現場圧縮強度 (N/mm ²)	外部保護材	施工期間
マサ土（細粒分まじり砂質礫）	高炉セメント（B種）	230	310 以下 (260~310)	17	10.4	波型鋼板パネル SS300 (3.2 mm)	R3.12.21~ R4.4.27

3. 温度測定結果

3.1 流動タイプの内部温度

打設した流動タイプの中心部と外部保護材内側の端部に設置した内部温度の計測結果を図 4~8 に、温度計測の概要を表 2 に示す。ここで、温度センサーの端部からの離隔は 4L 及び 13L で 2 cm、7L で 15 cm である。中心部の温度は、事前に実施した温度応力解析より最高温度 41℃ を想定していたが、最高温度 34.7℃ と想定よりも温度上昇が小さかった。これには粗石混入による温度低減効果の可能性も想定される^{*1)}。また、打ち重ねによる温度の累積もなく緩やかに温度が終息する傾向であった。端部の温度は、事前の温度応力解析による端部の最高温度は 23.4℃ であったが、測定値は 26.6~33.8℃ と想定よりも高い値を示した。このような状況もあり、中心と端部での温度差は小さくなり、その最高値は 15.6℃ と外部拘束によるひび割れが生じにくい温度であった^{*2)}。

* 現. 国土交通省 中部地方整備局 富士砂防事務所

表 2 調査対象施設における温度計測概要

個所	打設日	保護材との 離隔 (cm)	中心部 最高温度 (°C)	中心部 平均温度 (°C)	端部 最高温度 (°C)	端部 平均温度 (°C)	中心-端部 最高温度差 (°C)	上昇温度 (打設時) (°C)	上昇温度 (打重時) (°C)
4L	1/17	2	19.0	15.5	28.7	14.9	10.8	7.8→12.2	8.9→15.4
7L	2/16	15	24.3	21.2	26.6	18.9	10.7	7.1→17.4	13.8→23.6
13L	4/14	2	34.7	26.3	33.8	22.3	15.6	22.4→34.7	26.1→30.8

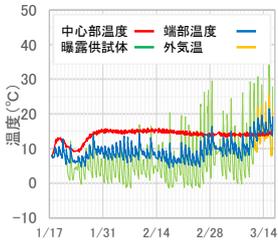


図 4 4L 計測温度 (a)

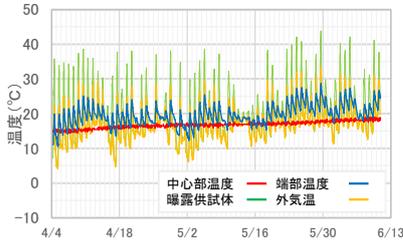


図 5 4L 計測温度 (b)

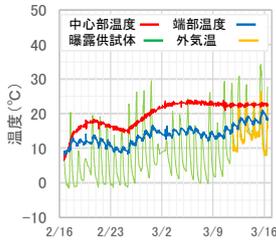


図 6 7L 計測温度 (a)

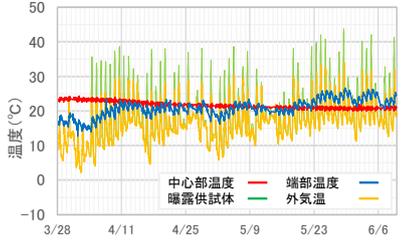


図 7 7L 計測温度 (b)

外気温は、3月初旬までは最低気温が0°C近くとなる日が続く、4月初旬にかけて最低気温が上昇した。以降、最低気温は10°Cを超える日が多くなり、日中の寒暖差が大きくなるとともに最高気温が25°Cを超える日も目立つ。ここで、曝露供試体の温度は、外気温と連動的に変化し、最低温度は外気温程度であったが最高温度は外気温よりも10°C程度高くなることもあり、著しい日射と外気の影響を受けることが確認された。これに対して外部保護材の内側の端部温度は、1/22～2/28の深夜から早朝の外気温低下時における気温に対して平均で5.5°C高く、日中の外気温が最も上昇するとき、離隔2cmの場合で外気温と同程度あるいはそれ以下、離隔15cmではこれよりも小さい値を示した。曝露供試体では外気温よりも10°C近く高くなることと対比すれば、鋼製外部保護材により日射や外気温の影響が緩和されていることがわかる。また、離隔2cmのケースと15cmのケースを比較すると、離隔15cmのケースの方が日あたりでみた温度の振幅が小さくなっている。このことから、流動タイプにおいても劣化の影響深度は比較的浅いことも考えられる^{※3)}。

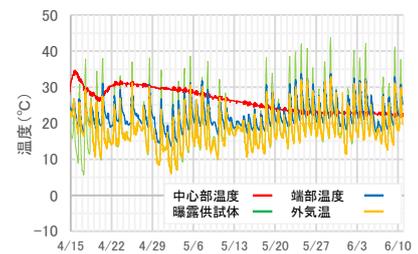


図 8 13L 計測温度

3.2 表面温度測定結果

寒中施工では給熱養生することが一般的であるが、流動タイプは単位水量が多いため急激な乾燥は乾燥ひび割れを助長する可能性が高いことからシート養生とした。図9～11には打設翌日の最低気温となる7:00前後に計測をした温度測定結果を示す。打設面に敷いたシートと表面部との間を計測したシート界面温度は外気温より約5°C程度高く、端部温度も同様に5°C程度外気より高い値を示した。この結果からシート養生でも表面温度は外気温より約5～10°C程度高い状態を維持し放熱を抑制できていることがわかる。図12には標準養生供試体と冬期の現場曝露供試体の圧縮強度測定結果を示すが、曝露供試体では初期強度が小さくなるものの材齢128日では標準供試体とほぼ同じ強度になった。これらの結果より、冬期のシート養生では表面部の凍結による品質不良が懸念されたが、外気温が0°C以上であれば凍結による影響は小さいことが確認された。

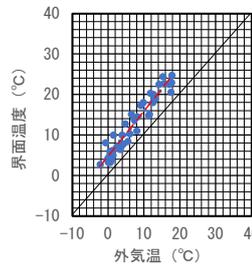


図 9 シート界面温度

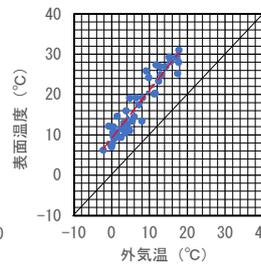


図 10 表面温度

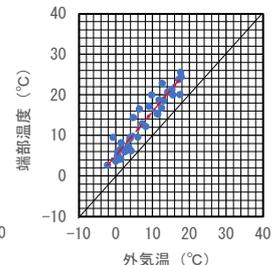


図 11 端部温度

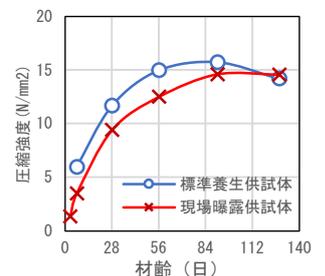


図 12 1/17に作成した供試体の曝露養生試験結果

4. おわりに

今回の温度測定により、流動タイプの内部温度は想定より小さく、外部保護材により放熱が抑制されるとともに外気温の影響による温度変化が緩和され、中心と端部で著しい温度差が発生しないことがわかった。また外気温が0°C程度であれば品質の影響懸念も小さくシート養生程度の施工で品質確保が可能であることが確認できた。

【参考文献】1) 穂積ら；流動タイプ砂防ソイルセメントの大礫活用試験施工結果報告 令和4年度砂防学会研究発表概要集 令和4年5月 2) (公社)日本コンクリート工学会 マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016年 3) 佐藤ら；低強度建設材料の凍結融解可能性とその対策 平成18年度砂防学会発表概要集 平成18年5月