

寒冷地暴露試験におけるソイルセメントの内部温度に関する一考察

株式会社インボックス ○小林瑞穂 秋山祥克 松村和樹 酒巻克之 橘木貞則
株式会社北海道土砂資源化研究所 宮木康二
北海道大学 山田孝 厚井高志

1 はじめに

北海道の現地土砂は主に火山灰土、泥炭土、重粘土および黒ボク土に分けられる。これらの土砂はソイルセメントとして活用するにあたり、シルト・粘土分や有機不純物を多く含むため強度発現性が低下する傾向がある¹⁾。また、セメントやセメント系固化材は低い養生温度において強度発現が小さいと知られており²⁾、寒冷地である北海道ではソイルセメントの活用は現状少々困難と想定される。しかし、北海道は本州より用地確保が比較的容易であるため、低強度でも耐久性があれば構造物としての品質は問題ないと考える。そこで筆者らは、ソイルセメントの最小管理強度¹⁾に満たない低強度領域で、北海道の気候・土質・地域特性および社会条件等に適応し、耐久性を重視した新しいソイルセメントの開発を目的とした。その一環として、筆者らはソイルセメント供試体の屋外暴露試験を行い、主に耐凍結融解性を確保するための検討を開始した。

ソイルセメントの凍結融解や温度との関係についての知見は少なくない^{3) 4)}。しかし、凍結融解を受ける供試体の内部温度について検討した例は少なく、本検討の中で、供試体表面からの距離・供試体内部の温度振幅・外気温との関係においての知見が得られたので報告する。

2 試験概要

2.1 供試体作製

試料土として、富良野川2号堰堤近傍の溪岸斜面で採取した火山灰質砂を用いた。試料土の性状は、表1に示す通りである。この試料土および高有機質土用セメント系固化材を用いて室内配合試験にてソイルセメント転圧タイプ（目標強度：標準養生材齢28日 $=1\sim 2\text{N/mm}^2$ ）の示方配合を決定した。この示方配合を用いて、内部温度測定用供試体および強度測定用供試体を作製した。なお内部温度測定用供試体は $\phi 30\text{cm}$ の塩化ビニルモールド、強度測定用供試体には $\phi 15\text{cm}$ モールドを用いた。供試体作製後、内部温度測定用供試体にはモールド枠から5cm間隔にて供試体天端より深さ15cmに、北東から南西に向けて横一列に温度センサ（測定範囲 $-40\sim 110^\circ\text{C}$ 、精度平均 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ ）を8個埋め込んだ。温度センサは北東側から、L-15、L-10、L-5、CL-0、CR-0、R-5、R-10、R-15と付番した（図1）

2.2 試験環境

暴露供試体の条件は表2の通りである。暴露供試体は28日間の前養生期間を設けた後、北海道富良野市内（標高175m）にて、平年の積雪深を考慮し、地上から1.2m程度の高さに設置し暴露を開始した。この時、屋根や囲い等は設けなかった。ただし、積雪で暴露供試体が埋もれると保温状態となるため、適宜除雪を行った。

表1 試料土の性状

土粒子密度(g/cm^3)	2.559
自然含水比(%)	19.2
礫分(%)	16
砂分(%)	84
細粒分(%)	0
最大乾燥密度(g/cm^3)	1.670
最適含水比(%)	18.4
強熱減量(%)	3.5
pH	5.0

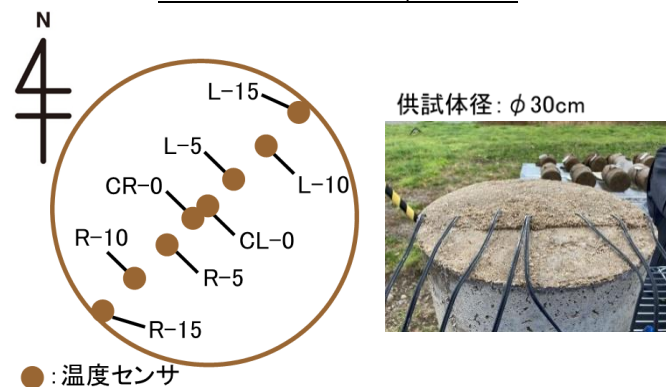


図1 温度計埋め込み模式図と状況写真

表2 暴露試験供試体の条件

固化材量 (kg/m^3)	含水比 (%)	室内標準養生(σ_{28})	
		単位体積重量 (kN/m^3)	圧縮強度 (N/mm^2)
160	23.5	18.91	1.70

3 試験結果と考察

供試体の暴露は2021年初旬より開始し、最大1.5年間暴露予定である。暴露供試体は試験期間中、外観に大きな変化は認められなかった（2022年3月末時点）。

供試体内部の温度測定では、特徴的な温度推移が見られたので、図2、図3、図4に例示する。なお温度測定データとの比較対象として、暴露試験地より南東約670mに位置するアメダス富良野観測所（標高174m）による気温測定データを併記した（灰色線）。

図2において、両端の測点（L-15・R-15）を除く温度測定データは、外気温の変動にほとんど左右されず、 $-1\sim 0^\circ\text{C}$ 間に推移した。また、図3では端部1測点（R-15）を除くデータにおいて、温度が上昇しても 0°C を越えず緩やかに折り返した。そして、図4では、温度が低下しても -5°C をほぼ下回らず緩やかに折り返した。3つのグラフは、両端

の測点の温度振幅（外気温や日射からの温度への影響）が他測点より大きいこと、また両端の測点を除く測点が-5～0℃を跨いだ温度上昇または下降をほとんどしない期間があることが共通する。

両端の測点の温度振幅については、日照条件の違いと日射の影響に伴うセメント水和熱発生の影響と考えられる。3つのグラフの中でも、3月10日15時はR-15において記録開始より過去最高値の28.8℃を記録した（3月10日時点）。R-15は供試体の南西側端の測点であり、この日の日照時間は10時間であったことから、非常に日射の影響が大きかったと推察される。また、他の測点についても南西側からの日射による温度伝播の影響が見られた。なお、3月末までの期間中、温度センサが25℃を超えた回数は4回であり、いずれも3月中であった。

温度振幅が小さくなる期間については、供試体表面からの距離による温度伝播の差が関係するが、その影響のみであれば外気温に追従する温度振幅となると考えられる。しかし外気温の温度振幅に追従していない、温度停滞が多く見受けられる。これは、-5～0℃間で供試体内部の水分が固液平衡状態、つまり加熱・冷却による熱量と液体・固体の状態変化による熱量が釣り合う状態となっていると予想される。この温度停滞の原因が固液平衡であるとする、外気温の低下または上昇により、外気の熱量で供試体内の水分は凍結または融解を始める。しかし、供試体内の水分が完全に凍結または融解する前に外気温が上昇または低下するため、水分は元の液体または固体状態に戻る。よって、この液体→固体または固体→液体の状態変化に外気の熱量が消費され、供試体温度が停滞すると推測できる。

4 まとめ

本報告では、北海道富良野川流域で採取した現地土砂を用いて作製したソイルセメント供試体の屋外暴露試験における内部温度に関して考察した。その結果、寒冷地にて暴露を行うと供試体内部の温度振幅が小さくなる期間が認められた。これは、外気の熱量が消費され、-5～0℃間で供試体内部の水分が固液平衡状態となるためと考えられた。

凍結融解の繰り返しによる劣化は、凍結する速度・温度・時間の影響が大きい、ソイルセメントに関してはこれらに加えて土砂の比熱、固化体の強度⁵⁾、水分、空隙⁶⁾および打設量も重要な因子となると考える。また、温度停滞が耐久性に与える影響は未だ不明であるが、不完全な凍結融解の発生が認められたことは新しいソイルセメントを開発するにあたって重要な知見となると予想される。今後は、これら因子や強度確認用供試体の発現強度など新たなデータを用いて、深く考察していきたい。

謝辞

北海道建設部土木局河川砂防課および上川総合振興局旭川建設管理部富良野出張所には、試験へのご助言やご協力をいただきました。記して謝意を表します。

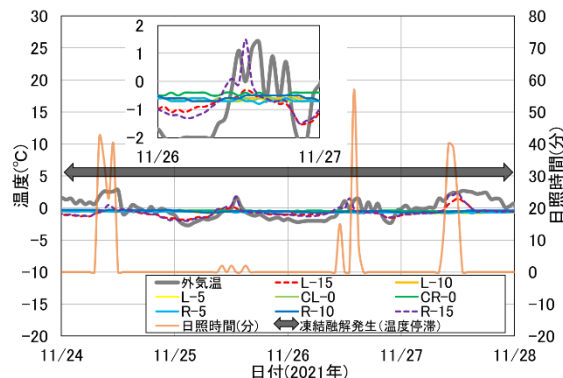


図 2 暴露試験観測温度グラフ (11/24~28)

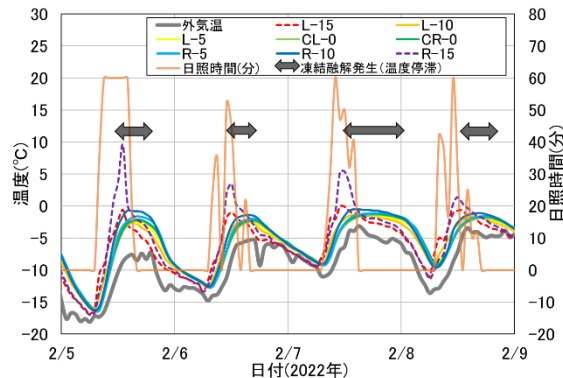


図 3 暴露試験観測温度グラフ (2/5~9)

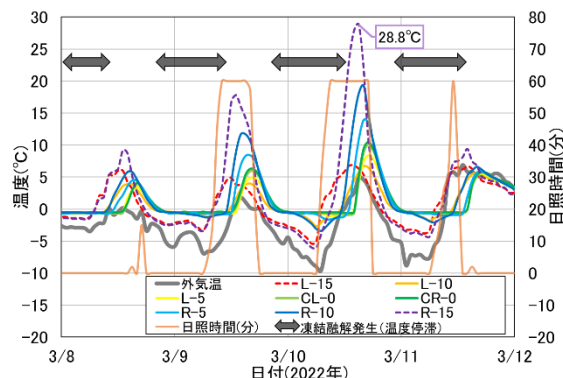


図 4 暴露試験観測温度グラフ (3/8~12)

参考文献

- 1) (一財)砂防・地すべり技術センター：砂防ソイルセメント施工便覧、p16-17、p34、p55-57、2016
- 2) 社団法人セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第4版、p. 54、2012
- 3) 中濃耕司ら：自然環境下における INSEM 及び INSEM 構造物の経年変化、砂防学会誌、Vol. 68、No. 4、p. 20-27、2015
- 4) 片山哲雄ら：砂防ソイルセメントの耐摩耗性、耐凍結融解性について、砂防学会研究発表会概要集、p. 210-211、2006
- 5) 佐藤厚子ら：セメントおよび石灰改良土の発現強度に及ぼす養生温度の影響、地盤工学ジャーナル、Vol. 3、No. 4、331-342、2008
- 6) 橋本聖ら：異なる養生温度条件下でのセメント改良土の強度発現、寒地土木研究所月報、No. 705、2012