

北海道重粘土を用いたソイルセメントの諸特性

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

1 はじめに

2018年9月に発生した北海道胆振東部地震の災害関連事業では、ソイルセメントが多く採用された。ソイルセメントの主材料は、細粒分や有機物を多く含む現地発生土砂であった。よって活用の際は、強度発現性の向上やセメントとの混合・敷均し・転圧作業の施工性を確保するため、砂利を混合するなどの工夫を施した。

しかし、このような現地発生土砂をそのままで活用する事が可能となれば、「北海道における新しいソイルセメント」として、より広い分野での活用ができるなどメリットは大きい。このような背景から本研究では、北海道の特殊土の中から重粘土を選定し、その特性を勘案して固化材の分割添加の検討を行った。また、固化材の分割添加にて製造したソイルセメントを用いて作製した供試体にて屋外暴露試験を実施し、凍結融解に対する耐性を確認検討した。

2 試験概要

2.1 対象土砂の特性

対象とした重粘土は、2018年9月の北海道胆振東部地震で被災した北海道厚真地区ウクル沢より採取した。採取した重粘土の諸特性を表1に、分布図状況を図1に示す。

表1 対象土砂の諸特性

項目	単位	値	項目	単位	値
土粒子密度	(g/cm ³)	2.660	塑性限界	(%)	25.5
自然含水比	(%)	44.3	強熱減量	(%)	5.8
細粒分含有量	(%)	81.7	pH		5.2
液性限界	(%)	66.5	—	—	—

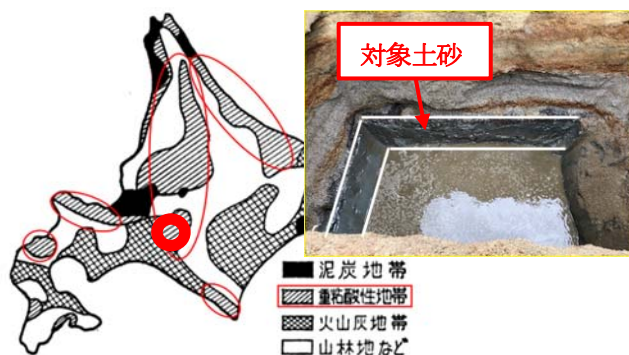


図1 北海道特殊土壌分布図¹⁾

2.2 試験方法

対象とした重粘土は、その特性から自然状態では固化材との混合が難しく、一般的なミキサーによる混合では固化材と均等に混ざらない状態であった。このような場合、良質材料であるクラッシュランなどを混合して対処するこ

とが一般的である。しかし、本試験では重粘土単独での活用を目的としているため、混合方法の検討を実施した。結果より固化材分割添加を採用した。

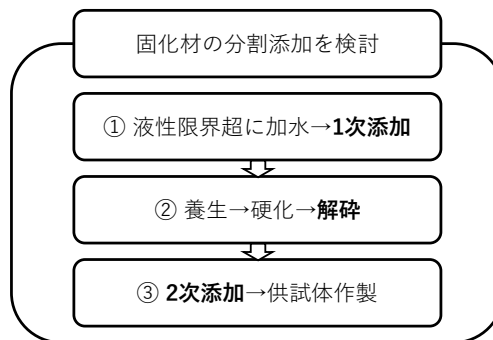


図2 分割添加の作業フロー

作製したソイルセメントの配合は、目標強度 $\sigma = 2.0\text{N/mm}^2$ 以下の低強度になるように予備試験を実施し、1次添加量、2次添加量を使用固化材の種類に応じて設定した。以下に配合量を示す。なお、添加した固化材は、重粘土の特性を考慮して高炉セメントB種と高有機質土用セメント系固化材の2種類を用いた。

表2 分割添加配合一覧表

固化材種		高炉セメントB種	高有機質土用セメント系固化材
固化材量 (kg/m ³)	一次添加	350	200
	二次添加	50	100
	合計添加量	400	300

表2に示す通り、固化材を添加し供試体を作製し、標準養生(20℃±2.0、水中養生)にて養生した。なお、供試体寸法はφ150×H300とし、暴露試験用供試体と標準養生供試体を作製した。また、1次添加後はポリ袋にて密封し3日間養生した。暴露試験用供試体については、材齢28日養生完了後に屋外に設置し、標準養生供試体は水中養生を継続した。

2.3 暴露試験

暴露試験は、北海道千歳地内にて2020年11月中旬から開始した。暴露試験中の外気温度は、試験箇所から南東約15kmにある千歳空港アメダスデータを参照し、図3に示した。暴露用供試体は近年の積雪深を考慮し、地上から0.90m程度の高さに設置した。特別な屋根や囲い等は設けず、積雪で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。供試体型枠は暴露前に脱型し、被覆していない状態とした。

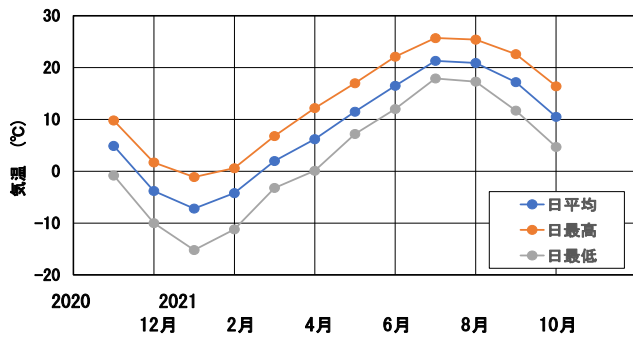


図3 試験期間の月平均温度の推移

3 試験結果

暴露試験は2020年11月中旬より開始し、本報告まで約1.5年経過、現在も継続中である。暴露試験継続中に経過期間6ヶ月後と1年後で、圧縮強度・単位体積重量および含水比・化学試験を実施した。なお、対象として作製した標準養生供試体についても併せて実施した。得られた各種結果を表3に示す。

なお、表4示す通り、暴露試験期間中に外気温度が0°Cを跨いだ回数が98回発生しており、凍結融解が同回数発生したと言える。

表3 試験結果一覧表

項目	高炉セメントB種					高有機質土用セメント系固化工材					
	標準養生*		暴露			標準養生*		暴露			
	1ヶ月	6ヶ月	1年	6ヶ月	1年	1ヶ月	6ヶ月	1年	6ヶ月	1年	
供試体重量(g)	8,770	8,737	8,723	6,219	6,355	8,555	8,648	8,688	6,644	7,324	
(湿潤密度(g/cm ³))	1.654	1.648	1.646	*2	*2	1.614	1.631	1.639	*2	*2	
圧縮強さ	補正なし	0.39	3.60	4.58	0.83	0.84	0.55	1.09	1.99	0.72	0.64
(N/mm ²)	補正あり	—	—	—	1.2	1.4	—	—	—	1.0	1.1
供試体含水比(%)	51.3	52.8	51.8	24.9	31.3	56.3	58.4	57.5	24.9	32.1	
供試体 pH	表面部	11.9	11.6	11.1	8.7	8.4	11.8	11.2	10.9	8.6	8.2
	中心部	11.8	11.6	10.9	11.8	11.0	11.8	11.6	10.8	11.7	11.0
Cr ⁶⁺ 溶出量(mg/l)	0.02	—	—	—	—	<0.02	—	—	—	—	—

※圧縮強さの“補正あり”については、暴露供試体の劣化した表面部をそぎ落とした後全部の概略断面積から求めた値
*1 室内20°C水中 *2 容積測定不能

表4 0°Cを跨いだ回数

令和2年		令和3年			
11月	12月	1月	2月	3月	4月
13	18	10	16	19	17
令和3年					
5月	6月	7月	9月	10月	合計
—	—	—	—	5	98



写真1 暴露試験状況

高炉セメントB種を添加した標準養生供試体は、1ヵ月から1年の期間経過に伴い明瞭な水和反応が認められ、発現強度は約12倍に伸びた。一方、高有機質土用セメント系固化工材を添加した標準養生供試体は、同様に明瞭な水和反応が認められたが1ヶ月後から1年後の強度伸び率は約4倍であった。これはJISセメントとセメント系固化工材の

組成の差に起因するものと考え²⁾。得られた圧縮強度には顕著なバラツキが無かったことから固化材分割添加によって対象土と固化材が均質に混合されたと推測される。

暴露試験を実施した供試体は、セメントの種類に関係なく写真1で確認できるように凍結融解の影響を受けており、表面部で劣化が認められた。高炉セメントB種を添加した暴露試験用供試体は、1ヶ月後と1年後を比較すると強度が約2倍に伸びていた。また、供試体は暴露の影響により表面部が劣化していたため、劣化の影響部分をそぎ落とした後の供試体の直径を測定し、補正後圧縮強度を求めた。その結果、6ヶ月後補正後強度は1.20N/mm²、1年後は1.40N/mm²となったことから、経過に伴い水和反応が促進していることが確認できた。なお、高有機質土用セメント系固化工材を用いた場合もほぼ同様の傾向であった。

単位体積重量は、冬期に発生した凍結融解の影響よりも乾燥による影響が大きく暴露試験開始時1ヶ月から6ヶ月で供試体重量が約30%低下していた。しかし、その後の6ヶ月から1年後は、5回程度凍結融解の影響は受けたものの単位体積重量の低下はほとんどない状態であった。

pHは、供試体の表層部が6ヶ月で8.7、1年後では8.4と中性化していたが中心部は、暴露試験開始時と変わらない結果であった。

4 まとめ

重粘土に固化材分割添加して作製したソイルセメント供試体の屋外暴露試験結果より以下に示す知見を得た。

- 一般的な混合方法の適用が難しい重粘土に対し、固化材分割添加することにより、単体でもソイルセメントの製造が可能となった。
- 凍結融解の影響により供試体表層部は劣化したが、適切な水和反応が認められたことから内部の強度が微増した。

これらの結果より、ソイルセメントへ活用が難しいとされていた重粘土についても固化材分割添加を活用するなど工夫する事で活用も可能になると考える。

今後は、重粘土を用いた試験の継続、その他の北海道の現地発生土砂についても試験条件(場所、気象条件)を変化させた試験など実施し、北海道特有の条件でも活用できる新しいソイルセメントの形(設計・施工含めた)を模索していきたい。

謝辞

北海道大学 農学研究院 基盤研究部門 森林科学分野 山田 孝教授、同大学 広域複合災害研究センター 厚井 高志准教授には、試験へのご助言を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 松田:北海道の特殊土壌とその改良, 農業土木学会誌 Vol. 48, No. 7, 1980
- 2) 社団法人セメント協会:セメント系固化工材による地盤改良マニュアル第5版, pp.3-5, 2021