

ソイルセメントの北海道における屋外暴露試験

(株)インバックス ○酒巻克之 秋山祥克 松村和樹 小林瑞穂
(株)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

北海道の砂防ソイルセメント技術の構築と普及においては、① 厳しい気象、②火山性の地形・地質といった特殊な条件がある。①については低温低湿度条件下におけるソイルセメントの耐久性が懸念されること、また②については、フィルダムのように施工面を広くとれるサイトでは低強度の堰堤構築が可能となる、および土質として火山灰土等の特殊土や酸性土が多い¹⁾という特徴があるなどの背景がある。

本報告では、土砂の性状やソイルセメントの配合・固化材種および強度を変化させた供試体を道内の屋外に暴露して各種の試験を実施し、耐久性について検討した。なお、結果として、供試体の健全度において特徴的な事象が認められたため、粉末 X 線回折や偏光顕微鏡観察を行い、その事象の要因および対策について検討・考察した。

2. 試験方法

試験は表-1 に示す試料土および表-2 に示すような試験条件を変え 3 回に分けて実施しており、以下それぞれを富良野Ⅰ,Ⅱ,Ⅲと称す。なお、試験は北海道富良野川の土砂を用い、富良野市内で実施した。

2. 1 固化材

固化材として、高炉セメント B 種(以下、高炉 B と称す)および高有機質土用セメント系固化材(以下、固化材と称す)を用いた。

2. 2 供試体設置条件

供試体はΦ150×300mm の円柱とし、積雪深を考慮して地上 1.2m に囲い等を設けずに設置し、降雪の際は適宜除雪した。したがって、全ての気象条件に晒されることとした。なお、表-2 の“完全暴露”とは、脱型した無垢の状態暴露したもの、“モールド被覆”とは、モールドの天端および側面の 10mm 弱のスリット部以外はモールドで被覆された状態で暴露したものである。

2. 3 試験項目

供試体作製から 1 ヶ月の標準養生(20℃水中)を経た後に暴露を開始し、6 ヶ月、12 ヶ月および 18 ヶ月後に供試体の圧縮強さ、pH(表層および中心部)、含水比の各試験を実施した。また、劣化解析に際しても暴露開始から、富良野Ⅰは 7 ヶ月後、富良野Ⅱは 8 ヶ月後、富良野Ⅲは 6 ヶ月後にそれぞれ同様の試験を実施した。

3. 試験結果

3. 1 気象データ

供試体設置場所の南東約 670m の気象庁アメダスデータ²⁾を参照し暴露期間各月の温湿度経時変化を図-1 に示した。全暴露期間(3 シーズン)の月平均気温の推移は同様であり、12～2 月の最高気温は氷点下、最低気温は 11 月～4 月では氷点下であった。一方、月平均湿度においてもシーズン間の推移は同様であり、4 月から 5 月に低くなり当該月の観測値最小湿度は 10～15%まで低下した。これは、後述する供試体の急激な劣化が認められた時期と一致した。

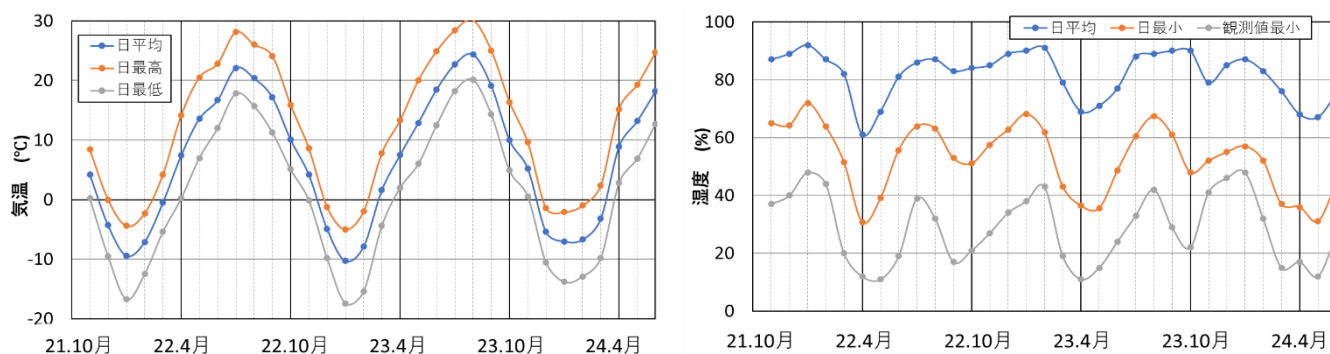


図-1 暴露期間における気温・湿度の変化

表-1 試料土の性状

試験項目	21.7.6採取 富良野Ⅰ	22.8.22採取 富良野Ⅱ	22.10.26採取 富良野Ⅲ
自然含水比(%)	19.2	31.2	9.1
粒度組成 (%)	レキ	15.8	26.5
	砂	84.2	41.7
	シルト 粘土	0.0	31.8
pH	5.0	5.4	5.7
強熱減量(%)	3.5	6.0	2.3

表-2 試験条件

項目	富良野Ⅰ	富良野Ⅱ		富良野Ⅲ	
暴露開始日	2021年10月22日	2022年10月26日		2022年12月23日	
固化材種	固化材	高炉B	固化材	高炉B	固化材
固化材量(kg/m ³)	160	220	130	250	160
試験含水比(%)	23.5	28.3	29.4	24.1	18.5: LW 21.6: HW
暴露開始時(28d) 強度(N/mm ²)	1.71	2.10	2.11	6.72	7.73 6.30
暴露の方法	完全暴露 モールド被覆	完全暴露	完全暴露 モールド被覆	完全暴露	

3. 2 強度の推移

図-2に暴露供試体の強度推移を示した。暴露開始時の強度が低い富良野Ⅰおよび富良野Ⅱの固化材-暴露供試体は、暴露開始から7ヶ月以降、急激に劣化し元の円柱供試体の形状を維持できず強度測定が不可能な状態となった。

一方、他の供試体については外見上ほぼ原型を維持したものの、19~21ヶ月材齢では強度低下が認められた。しかし、強度試験後に割裂して内部状況を確認したところ、供試体外周の厚さ7~16mm部分では硬度や色味が内部と異なることが確認できた。供試体表層部では中心部よりもpHが低くなっており、供試体外側の一定深さ部分では炭酸化等の劣化に与える影響があったことを示唆している。図-2は供試体の健全部を真円とみなして有効断面積を求め健全部の強度を再計算して示したものである。これによれば、富良野Ⅲの固化材-HW(高含水比)暴露で、ごく僅かな強度低下が認められたものの、他の供試体は19~21ヶ月までは横這い若しくは増加していると言え、これは、供試体外周部は劣化してもこの部分が内部の健全部を被覆することになり、強度を維持したものと考える。

4. 劣化解析

前述のように富良野Ⅰ,Ⅱの固化材-暴露の条件では材齢7ヶ月経過後、急激に供試体の原型を保てないほどの激しい劣化が認められた(写真-1)。以下に劣化部と健全部について粉末X線回折、偏光顕微鏡観察による劣化要因とその対策を述べる。

4. 1 粉末X線回折(XRD)と偏光顕微鏡観察

XRDにより生成物として検出されたのは、エトリングサイト、二水石膏および方解石であり、激しい劣化のあった富良野Ⅰ,Ⅱの固化材-暴露では、エトリングサイトは認められず二水石膏と方解石が検出された。一方、被覆されたものおよび高炉B供試体さらに富良野Ⅲの固化材-暴露供試体ではエトリングサイトが検出され、二水石膏および方解石は検出されなかった。

偏光顕微鏡観察では、劣化部において炭酸化およびエトリングサイトの消失とともにクラックの発生が確認されたのに対し、健全部ではエトリングサイトの生成が認められ、前述のXRD結果が裏付けられた。

4. 2 劣化要因と対策

セメント系固化材の主要水和物であるエトリングサイトは、水分が少なく空気の透過が多いと炭酸化して分解が進行しやすい鉱物である³⁾。さらに、炭酸化した湿潤な環境では二水石膏に変化する⁴⁾と言われており、富良野Ⅰ,Ⅱの「固化材-暴露」では炭酸化の進行によりpHが低下し、エトリングサイトが二水石膏や方解石などに分解したと考える。

劣化の抑制対策としては、a)固化体を被覆する、b)高強度とする、c)調達が容易な高炉B種セメントを用いることが有効である。なお、富良野Ⅰ,Ⅱにおける固化材を用いた低強度供試体でもモールド被覆したものでは強度を維持したことより、基本的にはa)の固化体を被覆する対策のみを講じることで劣化の発生を防止できると考える。

5. まとめ

北海道の厳しい気象条件においてソイルセメント供試体を屋外暴露した場合、暴露開始時の強度が低いセメント系固化材を用いた供試体は大きな劣化が認められた。劣化の主要因は、セメント系固化材の主要水和物であるエトリングサイトが炭酸化によって分解したことと考えるが、供試体を被覆した場合にはこのような現象が確認できなかった。

したがって、鋼材・コンクリートブロック等で覆われた内部材は、北海道などの寒冷地での適用においても問題ないと考える。

<謝辞>

本試験に際し、上川総合振興局旭川建設部富良野出張所様にご協力頂きました。記して謝意を表します。

<参考文献>

1)松田:農業土木学会誌、Vol.48、No.7(1980)

2) 気象庁 HP: <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>

3)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(2021)

4)吉良 他:石膏と石灰、No.159、pp.2-7(1979)

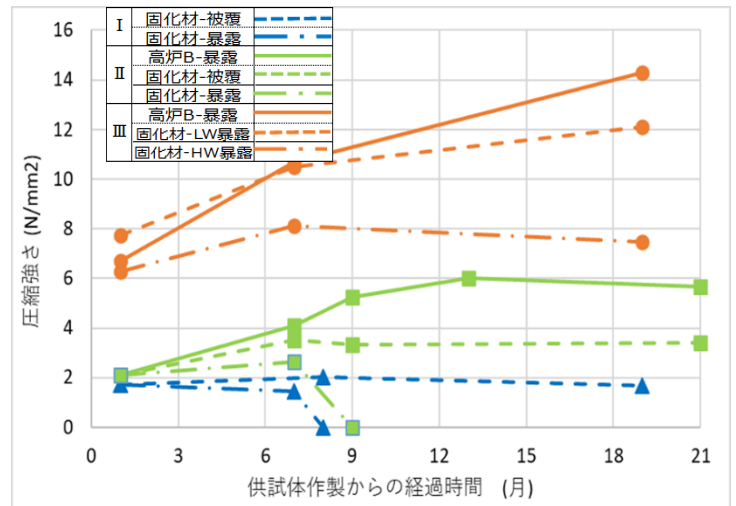


図-2 暴露供試体の強度推移

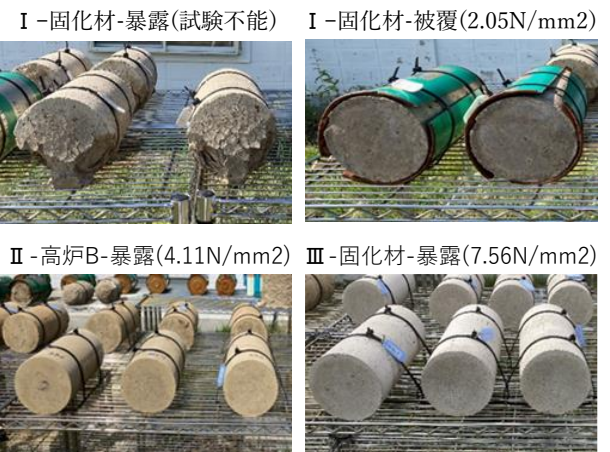


写真-1 供試体暴露状況と健全度