

砂防ソイルセメントの寒冷地冬季施工の検討

(株)インバックス ○酒巻克之 秋山祥克 松村和樹

北海道大学 山田 孝 厚井高志

(株)北海道土砂資源化研究所 宮木康二

1. まえがき

北海道等の寒冷地で砂防ソイルセメントを冬季施工する場合の課題の一つは、コンクリート施工で行われるような防寒養生囲い¹⁾が必要と考えられ、ソイルセメントの場合には製造・締固め等の施工機材の配置が不可欠であることから大規模な防寒養生囲いが必要となり、コストもコンクリート施工よりも高くなることである。

また、冬季における災害復旧等も考えられる中、当該期においてもソイルセメントを活用して低コストで効果的な土木施工ができることへの期待は大きいと考える。

本報告は、ソイルセメントの冬季施工に関わる影響因子(各種温度、養生方法等)を供試体レベルでの試験によって確認するとともに、対策とその効果について混練物の温度推移や強度発現傾向等を検討したものである。

2. 試験条件

試験は、北海道千歳市において最低気温が -20°C 程度となる厳寒期に、以下の条件で実施した。

なお、試験可能な状態、即ち材料および供試体の成型終了までは凍結させない前提での試験とした。

2. 1 材料

- 土砂: 使用した土砂は試験場所近傍で採取した表-1に示す性状の表土と砕石を用い、双方とも凍結を防止するため曝気して含水比を低下させ40mmフルイでスクリーニングし、1:1の比率で試験に供した。
- 水: "含水比調整用"の水は、 60°C 程度の温水および水道水を用いた。
- 固化材: 高有機質土用セメント系固化材(太平洋セメント社製GS227)を使用し、単位セメント量は 180kg/m^3 および 230kg/m^3 とした。

表-1 試料土(表土)の性状

土粒子密度 (Mg/m^3)	粒度 (%)			最大乾燥 密度(Mg/m^3)	最適含水 比 (%)
	4分	砂分	細粒分		
2.704	29.2	52.4	18.4	1.468	21.7

2. 2 混練・成型

混練および成型は2022年2月1日に実施し、供試体サイズは $\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ として混練後直ちに成型した。

なお、屋外混練は、屋外にて約 60°C の温水を使用し、一方の室内混練は暖房した試験室内にて、水道水をそのまま使用した。

2. 3 供試体養生方法

- 屋外混練(屋外暴露): 成型後、下記の方法により屋外で24時間養生した後に脱型し、再び下記の方法で屋外養生した。なお屋根等の囲いは設けず、降雪の際には直ぐに供試体の除雪を行った。

*養生方法: アルミ蒸着+発泡ポリエチレンのシート(酒井化学工業製ラミパックSD²⁾)で供試体を覆い、材齢8日以降はシートを外した。

- 室内混練(標準養生): 成型後、被覆せずに室内で養生し、24時間で脱型後、再び被覆せずに 20°C 蒸気養生槽で養生した。

2. 4 養生期間

成型後、7日、28日、91日、9ヶ月の期間を、混練場所別にそれぞれ上記の方法で養生し各試験に供した。

3. 試験結果

3. 1 試験期間の気温推移

2. 2で成型した供試体を養生し所定材齢の試験に供したが、成型からほぼ3か月間の気温推移について千歳空港アメダスデータ³⁾を参照すると、2月の日最高気温は数日を除いて氷点下であり水であればほぼ凍結したままの状態が継続する期間と言える。また、3月はほとんどの日で最高気温と最低気温が、 0°C を挟んでおり凍結融解を繰り返す期間と言える。4月になると最低気温の平均がほぼ 0°C となり、凍結する頻度は極端に減少した。

3. 2 混練材料および混練物の温度

表-2に、混練材料、練上り時の温度測定結果を示した。水以外の材料温度は室内混練の4バッチ目を除いてマイ

表-2 材料温度、練上がり温度測定結果

区分	項目		固化材(GS227)量 (kg/m ³)			
			180		230	
			1バッチ目	2バッチ目	3バッチ目	4バッチ目
屋外練	材料投入時	表土	-5.4	-3.6	-7.1	-3.0
		砕石	-5.3	-4.7	-5.9	-5.9
	温度 (°C)	GS227	-6.1	-5.6	-5.7	-5.7
		湯	62	61	58	60
	練上り時刻		6:45	7:30	8:15	9:00
	練上り温度(°C)		12.7	13.1	12.7	12.9
室内練	材料投入時	表土	-3.4	-3.5	-1.9	2.8
		砕石	-3.1	-2.7	-2.7	-0.4
	温度 (°C)	GS227	-3.2	-2.7	-3.3	1.1
		水道水	6.7	5.2	5.3	6.8
	練上り時刻		10:20	11:00	11:30	13:50
	練上り温度(°C)		5.2	4.8	6.2	10.5

ナスの温度であったが、いずれの材料も含水量が低かったことにより凍結は認められなかった。なお気温よりも高くなったのは、室内でシート掛けしていたためと考える。

屋外混練においては、合計4バッチを混練するのに2時間強を費やしたが、練上がり温度は13℃程度で同等であった。一方、室内混練では午前中の3バッチでは5℃前後であったのに対し、13:50の最終バッチは10.5℃であった。これは気温が高くなったことによると考える。

寒中コンクリート施工における打ち込み時のコンクリート温度は5～20℃の範囲⁴⁾とされており、屋外・室内ともほぼこの範囲となった。なお、屋外混練の練上がり温度は、室内混練に比較して2℃から8℃程度高くなっており60℃の温水の効果が大きかったと言える。

図-1には、混練日の混練物温度推移を気温(千歳空港アメダスデータ³⁾)と併せて示した。

混練物温度について屋外混練を見ると、固化材180kgは練上がりから急激な温度低下となり、1時間足らずで0℃程度となった。一方、固化材量230kgは、温度低下のスピードは遅く0℃程度となるまでに2時間程度を要した。これは、固化材量の差による水和熱の影響と時間の経過に伴って外気温が上昇してきたことに起因すると考える。

なお、セメントは接水後1～2日間に最も激しく水和しこれにつれ発生する水和熱もこの期間において最も高いとされている⁵⁾。

被覆効果については、固化材量180kgで被覆有の方が温度低下がやや鈍く、被覆養生の効果があったと言える。

一方、室内混練では、固化材量180kgで5℃程度、固化材量230kgでは5～8℃程度を保ち、大きな温度変化は認められなかった。

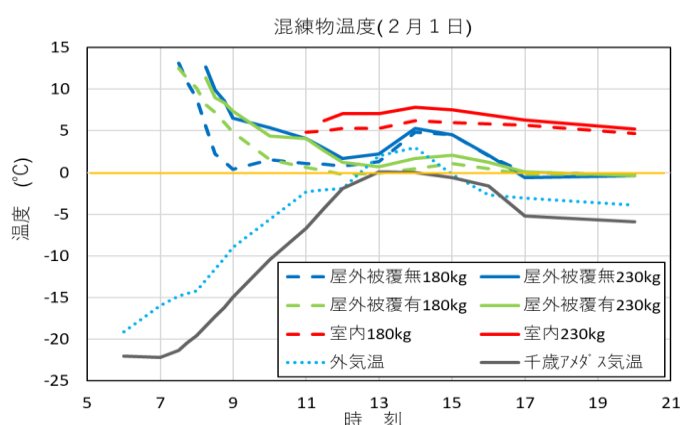


図-1 混練物の温度変化

混練日の翌日以降については、屋外混練の混練物温度は、被覆の有無や固化材量の違いに関わらず概ね外気温と同等の温度となり、2月中は一旦0℃付近まで上昇する時間帯はあるものの凍結域を脱しない時間帯が多かった。

3. 3 強度試験

成型後、2.3の方法で養生した供試体の所定材齢の圧縮

強さについて、気温の推移と併せて図-2に示した。

供試体の圧縮強さは標準養生、屋外暴露とも材齢の経過に伴って順調に増加し、特に屋外暴露では7日で4N/mm²程度であったものが、91日までの強度増進が大きく、9ヶ月では12～16N/mm²程度と7日強度の3倍以上の伸びが認められた。なお、3-1で述べたように、混練日から2ヶ月弱の期間は水が凍結または凍結融解を繰り返す気温となったが、7日後および28日後の供試体は表面こそ霜が付いた様子が観察されたが、内部の凍結あるいは凍害の様子は認められなかった。

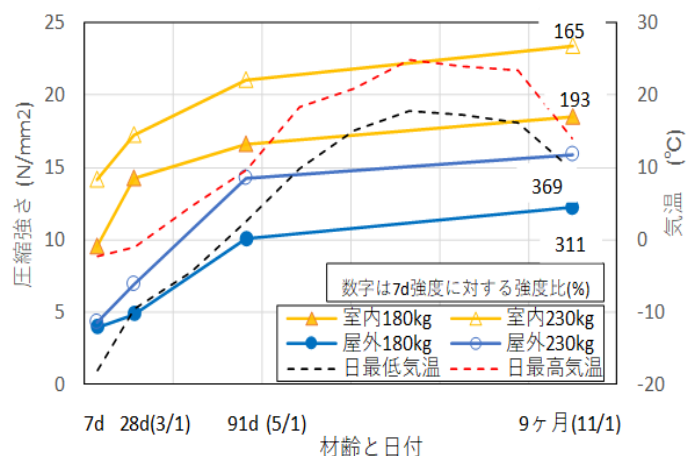


図-2 圧縮強さおよび気温の推移

4. まとめと考察

ソイルセメントの冬季施工における低温対策を供試体レベルで検討した結果、

- ・混練日から2ヶ月弱の期間は供試体が凍結融解を受ける気温であったが、膨張ひび割れ等の劣化は認められなかった。
- ・上記は、温水の使用および被覆養生に一定の効果があったためであり、低温対策として有用と考える。
- ・圧縮強さは材齢の経過に伴って増加したが、相対的には屋外暴露の方が低強度であった。しかし、一般的な使用の範囲では問題ないと考え。
- ・強度の伸びは屋外暴露において9ヶ月後の強度が7日強度の3倍以上となっており、このことから凍結融解による劣化等はなかったと考える。

今後、他の低温対策についても検討するとともに、今回の結果およびマッシュアップなソイルセメントにおける固化材の水和発熱効果等についてフィールドテストによる検証を行い、寒冷地冬季施工の実績に繋げていきたい。

参考文献

- 1) 鴻池組: 技術広報誌, ET458号(2010)
- 2) 酒井化学工業: NETIS 登録番号 CB-110047-VE(2012)
- 3) 気象庁 HP: <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 4) 北海道開発局道路設計要領: 第3集橋梁, 3-3-1(2022)
- 5) 峯岸敬一: コンクリート工学 Vol. 22, No. 3, pp5-12(1984)