

砂防ソイルセメントの施工時間変化に伴う出現強度特性

北海道網走土木現業所 : 大谷 栄, 片岡 勝裕  
 明治コンサルタント株式会社 : 岡崎 修, 重田 浩司, 井上涼子  
 北海道士質試験協同組合 : 宇山 哲司

1. はじめに

近年の砂防事業では、残土の有効活用・コスト削減を目的に、砂防ソイルセメントが多く使われ始めている。ソイルセメントは、一般コンクリートより低強度で土とコンクリートの特徴を併せ持つ材料である。施工現場においては現地発生土とセメントを混合して製造するが、その配合量は室内配合試験により決定される。しかし、実際の施工現場では室内配合試験とは異なる条件（混合・運搬・転圧・養生・施工時間等）が加わり、ソイルセメント強度が室内試験結果と異なる場合がある。本発表では、砂防ソイルセメントの施工時間変化に伴う出現強度特性について述べる。

2. 試験施工概要

試験箇所：北海道置戸町勝山 常呂川水系稻積川  
 施工構造物：砂溜工の周囲堤  
 試験目的：配合試験と同様にソイルセメント強度を得られるか確認  
 目標強度：3.0 [N/mm<sup>2</sup>]  
 強度確認：①転圧後の締固め度をRI 測定器で計測  
 ②計測した密度相当の供試体を現地で作成し強度を確認

3. 現場材料特性 (図-1~図-2.)

材料の特徴：現河床堆積物で亜円礫から円礫で構成  
 粒度分布：礫分が約70%を占める礫質土  
 締固め特性：最適含水比9.8% (施工含水比9~12%)  
 最大乾燥密度2.024g/cm<sup>3</sup>

4. 室内配合試験 (図-3.)

供試体：直径15cm 高さ30cm 使用礫径40mm以下  
 最適含水比9.8%でセメント混合直後に転圧  
 (3層に分けて、振動締固めで1層30秒転圧)  
 配合強度：4.5 [N/mm<sup>2</sup>] (目標レベルIII3.0 [N/mm<sup>2</sup>] に割増係数1.5)  
 必要配合量：単位セメント量80kg/m<sup>3</sup> (10kg ラウンド切上げ)

5. 試験施工

試験施工の結果、現場で作成した供試体強度は $\sigma_{28} = 1.0 \sim 2.0$  [N/mm<sup>2</sup>] と、目標強度を満たさなかった。しかし、試験盛土の強度(コア抜き供試体)は $\sigma_{28} = 3.5 \sim 3.9$  [N/mm<sup>2</sup>] と、目標強度を満足していた。

6. 要因の検証

試験施工で供試体強度が目標強度を満足しなかったその要因を検証するために、室内配合試験と試験施工の条件を整理した。(表-1.)  
 その結果、室内配合試験と試験施工現場、現場の供試体作成条件を比較してみたところ「供試体作成経過時間」と「締固め度」に大きな違いがあることが確認された。

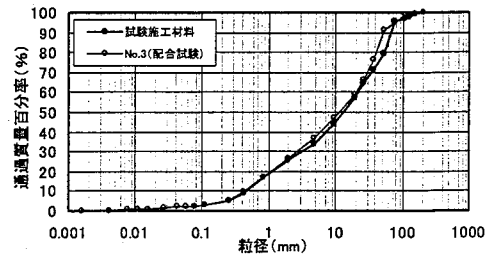


図-1. 粒径加積曲線<sup>2)</sup>

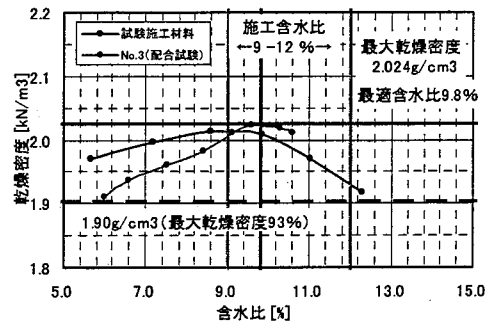


図-2. 締固め曲線<sup>2)</sup>

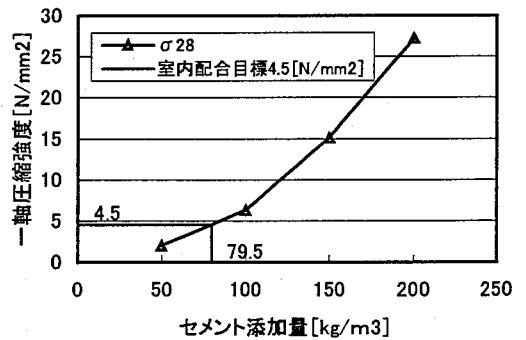


図-3. 配合量と強度出現<sup>2)</sup>

表-1 室内配合試験、試験盛土(コア抜き供試体)、現場養生の供試体の条件と考察<sup>2)</sup>

要因	室内配合試験	試験施工現場		考 察
		試験盛土 (コア抜き供試体)	現場養生の供試体	
土量 (密度)	室内配合 No.2 最大乾燥密度の値を採用 (2.024g/cm <sup>3</sup> ) 202.4kg (0.1m <sup>3</sup> より換算) φ40mm以上の礫は除去	1バッチ 8.0m <sup>3</sup> の土量	試験盛土密度に合わせて供試体の重量計算 φ40mm以上の礫は除去	問題なし
セメント添加量	50、100、150、200kg/m <sup>3</sup>	640kg 使用 (80 [kg/m <sup>3</sup> ])	試験盛土材料混合後に採取	問題なし
含水比	最適含水比9.8%	混合直前9.5~11.3%	転圧後10.1~11.8%	試験施工時は、含水比の低下が懸念
混合	混合機械で1分	スクリューで12分混合		問題なし
転圧	振動締固めで30秒転圧	振動ローラで(2~12回)	4.5kgランマーによる突固め	転圧エネルギーに違いあり
締固め度	102% (密度2270kg/m <sup>3</sup> )	89~92%		締固め度の差が大きい
供試体作成経過時間	混合後0時間	2~6時間	3~9時間	供試体作成時間の差が大きい
養生方法	室内20℃恒温	現場養生 (シート被膜)		特に問題なし

条件整理の結果、目標強度に影響を与えたと考えられた「供試体作製経過時間」と「締固め度」について、再度、室内試験を行った。試験は、混合から供試体作製までの時間を変化させて、締固め度 90% 目標に供試体を作製し、圧縮強度を測定した。

表-2. 検証試験及び配合試験 圧縮強度結果一覧<sup>2)</sup>

ケース	単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	供試体作成経過時間	締固め方法	見掛け密度 (g/cm <sup>3</sup> )	締固め度 (%)	含水比 (%)	圧縮強度 (σ <sub>28</sub> ) N/mm <sup>2</sup>	締固め作業時の状態			
①	50	0h	振動締固め	2.271	102.3	9.8	1.99	限界まで締固めた状態 ペースト(セメント)上昇			
②							6.25	限界まで締固めた状態 ペースト(セメント)上昇			
③							15.07	限界まで締固めた状態 ペースト(セメント)上昇			
④							27.20	限界まで締固めた状態 ペースト(セメント)上昇			
⑤	100	2h	4.5kgランマー	2.007	90.0	10.3	2.01	やや余裕を残し締固めた状態			
⑥	150	0h	4.5kgランマー	2.016	90.4	-	2.92	やや余裕を残し締固めた状態 バサバサ感：有			
⑦		2h					1.967	88.2	10.4	1.85	限界まで締固めた状態 バサバサ感：有
⑧		(90.0)					(3.07)				
⑨	4h	1.977	88.7	9.5	1.44	限界まで締固めた状態 バサバサ感：有					
⑩	150	0h	振動締固め	2.292	102.8	11.4	14.17	限界まで締固めた状態 ペースト(セメント)上昇			
⑪		2h					2.051	92.0	10.5	4.28	限界まで締固めた状態 バサバサ感：有、含水比0.9%低下
⑫		4h					1.986	89.1	9.5	1.48	限界まで締固めた状態 バサバサ感：有、含水比2.0%低下

※⑧は、締固め度 90% とならなかったため、⑦と⑩の比例計算より値を想定した。

## 7. 考察

### 【供試体作成時間と圧縮強度】(図-4.)

②0時間-締固め度 102%-圧縮強度 6.25N/mm<sup>2</sup>と⑤2時間-締固め度 90%-圧縮強度 2.01 N/mm<sup>2</sup>を比較すると、明らかにケース⑤の強度が低い。その理由として、セメント硬化作用の途中で供試体を作製したため凝結作用を妨げた、時間の経過とともに水和反応が進み、含水比が低下し十分な締固め度が得られなかった、等が考えられる。

### 【セメント添加量と締固め度】(表-2. 図-5.)

作成経過時間が同じ 2 時間でも、ケース⑤単位セメント量 100kg/m<sup>3</sup>で締固め度 90%の供試体を作製する場合には、やや余裕を残した締固め状態であったが、ケース⑦単位セメント量 150 kg/m<sup>3</sup>では作業的に限界まで締固めた状態でも締固め度 88%でしか作製できなかった。これは、水和反応が早い材料ほどセメントペーストの塑性が失われやすく、締固めが困難となる場合があるためと考えられる。

### 【本施工時のセメント添加量と目標圧縮強度】(図-5.)

実際の工程を考え施工時間 2 時間を条件とすると、単位セメント量を増加しても単純に強度は大きくなると考えられたことから、本施工は、単位セメント量 100kg/m<sup>3</sup>で締固め度 92%を施工条件とした。

その結果、本施工での出現強度 3.46~6.26 [N/mm<sup>2</sup>] が得られ、目標強度 3.0 [N/mm<sup>2</sup>] を満足することができた。

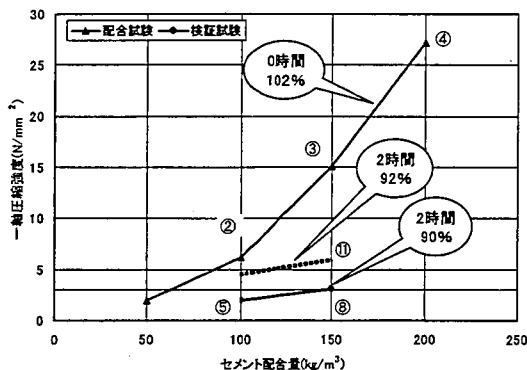


図-4. 配合試験時と検証試験時の一軸圧縮強度<sup>2)</sup>

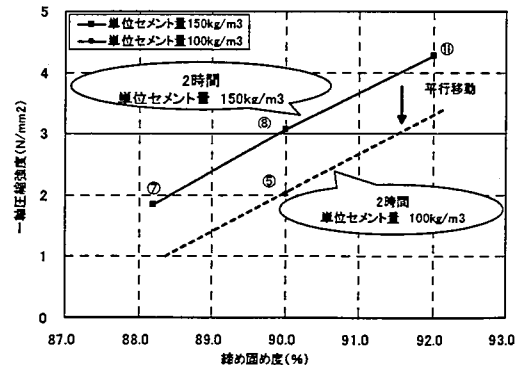


図-5. 2 時間経過後の締固め率と一軸圧縮強度<sup>2)</sup>

## 8. まとめ

ソイルセメント強度は、セメント添加後から締固め及び整形までに時間を多く費やすと、添加量を多くしても目標強度を満たさない場合がある。そのため、ソイルセメントの強度設定では、セメント添加量・締固め度・施工含水比を規定するほかに、施工時間(混合から転圧まで)を加味して出現強度特性を把握することが重要である。

参考文献 1) 砂防ソイルセメント活用ガイドライン 2002 砂防ソイルセメント活用研究会

2) 稲積川砂防工事(施工管理) 試験施工報告書 平成 18 年 1 月 北海道網走土木現業所