

材料特性からみた砂防ソイルセメントの強度変化について

国土交通省立山砂防事務所 ; 渡部 修・吉村 明
財団法人 砂防・地すべり技術センター; 池田 暁彦・井川 忠

1. はじめに

砂防ソイルセメント構造物に対して求められる要求性能は、構造的安定性から求められる内部応力に対する抵抗性（最大圧縮応力）と外力に対する重量であると考えられる。これらの要求性能を満たすためには、活用する現地発生土砂が所定の要求性能を得られるか、あらかじめ把握しておく必要がある。

本研究では、立山砂防事務所管内に存在する4種類の現地発生土砂（河床砂礫・トンネルズリ・基礎改良残土・鳶泥）を用いて、練混ぜ直後と越冬後1年以上経過し凍結融解を受けたコア供試体/曝露供試体の圧縮強度試験結果から、材料毎の強度変化やコア供試体圧縮強度と曝露供試体圧縮強度の関係などについて分析した。

なお、本研究では立山砂防事務所管内において活用事例のない INSEM 工法について試験を実施した。

2. 試験施工の概要

本研究に用いる現地発生土砂は、表.1 に示すような土砂特性である。これらの土砂に対して自然含水比の状態単位セメント量を C100/C200/C300 の3種類に変化させた場合の圧縮強度の変化を把握するものとした。

なお、試験に際し実際の砂防ソイルセメント構造物の発現強度を確認するために、本施工と同様の施工機械を用いて試験施工ヤードを製作し、ここより採取したコアを用いて圧縮強度試験を行った。また試験施工ヤードと同じ材料を用いて曝露供試体を作製し、コア供試体と同様に圧縮強度試験を行った。試験施工に用いた施工機械/配合条件等について表.2 に示す。

曝露供試体については、 σ_7/σ_{28} /そして越冬後1年以上（正確には σ_{383} ）の圧縮強度を測定した。しかし、試験施工ヤードから採取したコアについては降雪の影響により試験施工直後の圧縮強度（ σ_7/σ_{28} ）は確認できなかった。また表.2 に示すように、試験施工に用いた各材料は自然含水状態であり、河床砂礫以外は最適含水比を上回っている。このような前提条件より得られたコア供試体/曝露供試体の圧縮強度試験結果の総括を表.3 に示す。

3. 圧縮強度試験の結果

3.1 INSEM 工法における 28 日圧縮強度の推定

INSEM 工法における材齢 28 日の圧縮強度に対して、単位セメント量に着目して整理した結果を表.4、図.1 に示す。

改良残土と鳶泥についてはほぼ同様の圧縮強度特性を示したため、併せて整理するものとした。

コア供試体/曝露供試体の圧縮強度試験結果から、各材料の単位セメント量と発現強度の関係について考察した。
○河床砂礫：4材料の中で最も発現強度が大きく、また単位セメント量と圧縮強度は高い相関(0.952)が得られた。
○トンネルズリ：河床砂礫の次に発現強度が大きくなったが、投入セメント量に対する強度増加は小さいことが確認された。また単位セメント量と圧縮強度の相関は(0.874)となった。

表.1 立山砂防管内の現地発生土砂

種類	内容・備考
河床砂礫	スゴ谷の床固工の掘削に伴う河床砂礫 (花崗岩主体で堆積岩も含む)
トンネルズリ	白岩トンネルの掘削に伴うズリ (花崗岩主体で破砕された角張った礫形状をなす)
改良残土	湯川12号砂防えん堤の基礎処理に伴い発生した残土 (凝灰岩主体でセメント固化物を多く含む)
鳶泥	安政地震による鳶崩れ残土の二次移動堆積物 (礫は花崗岩主体で土砂分を多く含む)

表.2 試験施工及び配合条件

共通条件	1試料あたり3単位セメント量(kg/m ³)	C = 100, 200, 300			
		現地発生土砂	自然含水比(%)	最適含水比(%)	
含水比	河床砂礫	7.7	9		
		トンネルズリ	7.8	1.6	
		改良残土	58.3	48.8	
		鳶泥	14.4	8.9	
コア供試体	試験施工条件	最大骨材粒径	80mm以下		
		混合	アジテータ重(4.5m ³)		
		敷均し	ハックキ(0.6m ² 級)		
		転圧・締固め	t=30cm×2層 振動ロー(3~5t級)		
曝露供試体	最大骨材粒径	40mm以下			
	供試体作製方法	ジャッキ工法			

表.3 圧縮強度試験結果

現地発生土砂	単位セメント量(kg/m ³)	曝露供試体圧縮強度(σ N/mm ²)			コア供試体圧縮強度(σ N/mm ²)
		7	28	383	
河床砂礫	C100	9.7	11.4	15.4	8.9
	C200	11.8	16.9	19.4	16.2
	C300	22.5	28.8	30.3	6.1
トンネルズリ	C100	5.5	9.2	13.7	3.3
	C200	9.0	12.8	16.2	3.1
	C300	9.9	14.1	12.2	2.6
改良残土	C100	1.3	1.9	2.3	1.5
	C200	1.6	3.1	4.1	1.9
	C300	1.3	1.4	2.0	4.1
鳶泥	C100	1.4	2.1	2.7	3.3
	C200	1.9	2.5	3.9	2.8
	C300	2.3	2.1	4.7	2.3
※コンクリート	C225~250	12	29	-	-

※コンクリート標準示方書基準編(高炉セメントB種)

表.4 単位セメント量と推定 28 日圧縮強度の近似式

試料名	近似式	相関係数 R
河床砂礫	$\sigma_{2837} = 0.0322 \times C + 0.592$	0.952
トンネルズリ	$\sigma_{2837} = 0.0051 \times C + 1.150$	0.874
改良残土 鳶泥	$\sigma_{2837} = 0.0004 \times C + 1.549$	0.067

○改良残土／鳶泥：単位セメント量毎の発現強度は改良残土／鳶泥ともに $5\text{N}/\text{mm}^2$ 未満と小さくなった。また単位セメント量と圧縮強度の相関は非常に低い値 (0.067) を示した。

これらのことから、河床砂礫／トンネルズリについては、比較的高い相関を示したため、推定ではあるが単位セメント量に対する圧縮強度を把握することが可能となった。しかし、改良残土／鳶泥については、低い相関を示しており現時点のデータからの推定は適当でないと考えられる。

3.2 曝露供試体の圧縮強度の変化

曝露供試体の圧縮強度の変化を図.2 に示す。

一般に、無筋コンクリートの場合 σ_7 から σ_{28} における圧縮強度の増加は2倍以上である。それと比較した場合、改良残土など一部の材料で2倍近い増加が見られるが、一般に1.1～1.5倍程度にとどまっている。また、 σ_{28} から凍結融解の影響を受けた越冬後1年以上経過した圧縮強度 (σ_{383}) は、トンネルズリ C300 を除き、わずかながら圧縮強度の増加が確認できた。

トンネルズリ C300 の強度低下の要因として、供試体作製時に十分な二次破碎／粒度調整ができておらず、内部に空隙が多く生じたと考えられる。

これらのことから、各材料ともに凍結融解の影響を受けても、わずかながら圧縮強度が増加することが確認されたため、凍結融解による強度低下の可能性は低いと推定される。

3.3 コア供試体と曝露供試体の圧縮強度の関係

コア供試体と曝露供試体の圧縮強度の関係を図.3 に示す。

コア供試体圧縮強度は、河床砂礫 $\text{C}200\text{kg}/\text{m}^3$ のケースのみで $10\text{N}/\text{mm}^2$ 以上を示し、河床砂礫を除けば概ね一定で $5\text{N}/\text{mm}^2$ 以下となり、単位セメント量に比べ相対的に小さい値を示す結果となった。

曝露供試体の圧縮強度は、河床砂礫で $15\text{N}/\text{mm}^2$ 以上と相対的に大きい値を示した。また他3材料についてもセメント量に比較して微増ではあるが圧縮強度の増加がみられた。

これらのコア／曝露供試体の試験結果から、改良残土／鳶泥の一部を除き、曝露供試体で大きな強度を発現することが確認できた。

4. おわりに

本研究では今後の砂防ソイルセメント工法の活用に資するために材料試験／配合試験／試験施工を行い、砂防ソイルセメントの強度変化の把握に努めた。これらの試験から得られたデータは限られた条件下での整理結果に過ぎず、自然含水比の状態や施工機械等の各種条件の違いにより発現強度が変化することが予測される。よって、今後の施工結果などを踏まえ、適宜情報を蓄積し、材料特性の性状を把握することが必要である。

本研究を通じて立山砂防管内の現地発生土砂の性状を概略ではあるが把握することができた。今後は、材料毎の適用部位に係わる研究やこれらの材料をブレンドするなど、多様に活用したケースでの検討が必要であると考えられる。

参考文献

1) 砂防ソイルセメント活用ガイドライン：砂防ソイルセメント活用研究会編

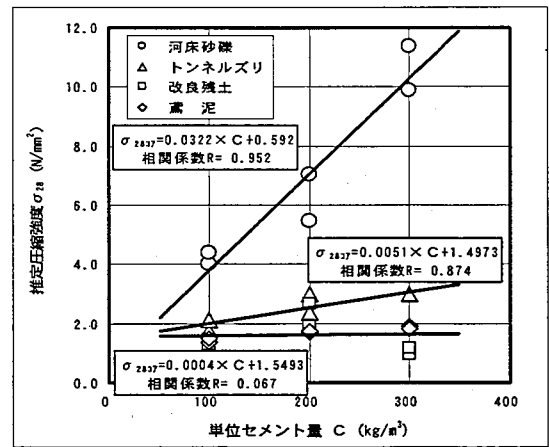


図.1 推定圧縮強度と単位セメント量の関係

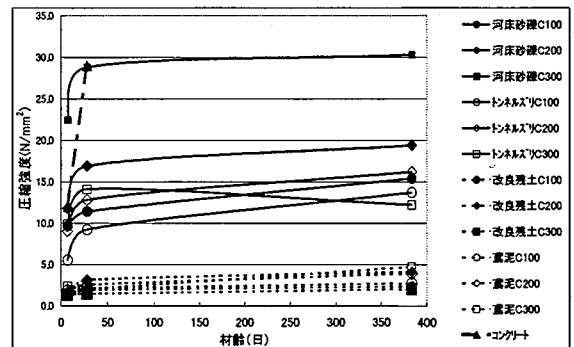


図.2 曝露供試体の圧縮強度の変化

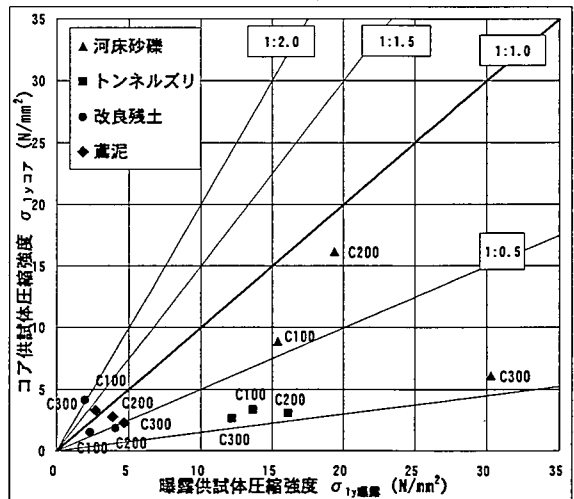


図.3 コア供試体と曝露供試体の圧縮強度の関係