

砂防ソイルセメント施工時の取組 (社宅裏沢砂防堰堤)

杉田 毅

関東地方整備局 日光砂防事務所 工務課 (〒321-1414 栃木県日光市萩垣面2390)

日光砂防事務所は日光地域の生命財産を土砂災害から護るために砂防事業を展開している。本稿にて報告する社宅裏沢砂防堰堤は日光市久次良地区に位置しており、土石流危険溪流「社宅裏沢」で現在施工中の砂防堰堤である。砂防堰堤を建設するにあたり、基礎工として用いた砂防ソイルセメント(流動タイプ)に関する取組について報告する。

キーワード 砂防堰堤, 砂防ソイルセメント(流動タイプ), 巨石利用

1. 日光砂防事務所について

日光砂防事務所は鬼怒川流域の砂防工事、那須岳の火山噴火対策に資する調査を所掌としており、足尾地区を除くほぼ日光市全域が管内となる(図-1)。

社宅裏沢は栃木県北西部の日光地域内(久次良地区)に位置しており、周辺は日光火山群からなる。日光地域の気象は、南からの湿った暖かい空気が日光の高い山々によって上昇し、積乱雲等を発達させることで多量の雨を降らせる。年間降水量で比較すると、平野部(宇都宮)に比べ、日光地域は約1.5倍の降雨量となっている。そのため、過去より土砂災害が発生している。鬼怒川流域の砂防工事は、1899年に栃木県営事業として着工されたが、流出土砂による甚大な災害が相次ぎ、1918年に国直轄の砂防事業として稲荷川から着手された。直轄砂防事業は、着手からこれまで100年地域とともに歩んでいる。



図-1 日光砂防事務所管内図

2. 社宅裏沢砂防堰堤について

(1) 砂防堰堤について

社宅裏沢砂防堰堤は土石流危険溪流に建設する堰堤高H=13mの透過型砂防堰堤であり、保全対象には災害時要援護者施設が含まれる(写真-1)。

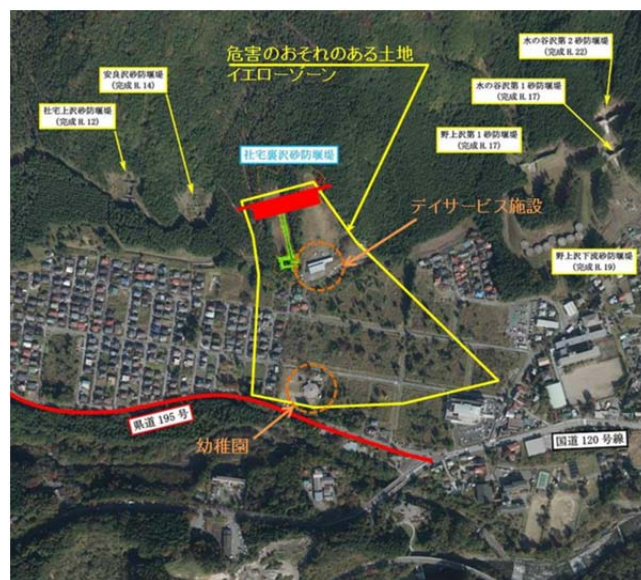


写真-1 社宅裏沢

(2) 流域地質と基礎工について

堰堤建設予定地は基盤岩の上部に火山由来の堆積物が堆積しており、その堆積層には巨石が多く埋没している。堆積物のうち、構造物基礎として不適切なローム層及び

土石流堆積物が約5m程度分布しており、その下層に崩壊堆積物層が堆積している。

砂防堰堤を建設するにあたり、基礎地盤を崩壊堆積物層としても支持力が不足するため、予め土質調査・試験配合を行った上で、基礎工（置換基礎）として砂防ソイルセメント（流動タイプ）を計画した（図-2）。

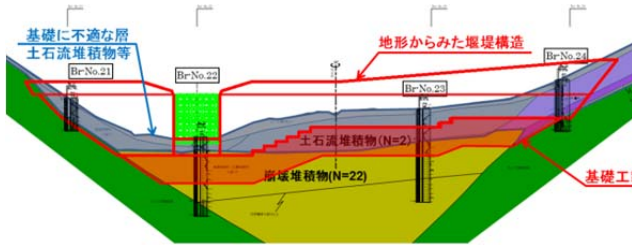


図-2 土質横断面

3. 施工時の課題と取組について

(1) 地質状況の情報共有・意見交換について

現地発生土を利用する砂防ソイルセメント工法において、作業土工により発生する掘削土がソイルセメント母材となる。現地の土質状況、掘削法面及び掘削土仮置時の養生等の設計思想や留意点等の情報共有・意見交換を行う取組として、三者会議を開催した。なお、本現場においては、地質状況が現場に大きな影響を及ぼすため、地質技術者の参画による三者会議とした。

(2) 母材の適合性に対する対応について

土石流堆積物を母材として利用する計画であったが、採取土の土質試験・簡易配合試験を実施したところ、物性値に大きな相違があり、基礎工として求める強度が確保出来ない結果となった（図-3）（図-4）。

計画時の土質試験・配合試験と比較すると、礫分（粒径2mm以上）が少なく、シルト分（粒径0.075mm以下）が多いためであり、土石流堆積物は母材として適さない事が分かった。

現場の発生土としては、崩壊堆積物層も発生するため、母材として利用可能であるか土質試験及び簡易配合試験を実施の上、採取層の変更を行った（図-3）（図-5）。

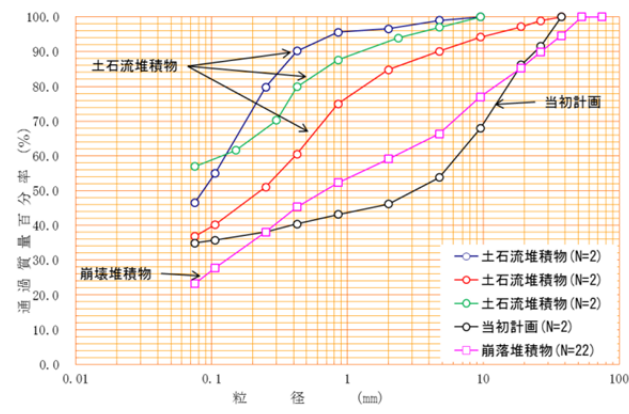


図-3 粒径加積曲線

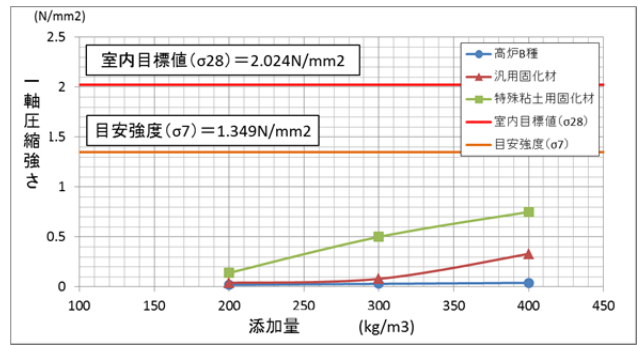


図-4 一軸圧縮強さ-添加量曲線図（土石流堆積物N=2）

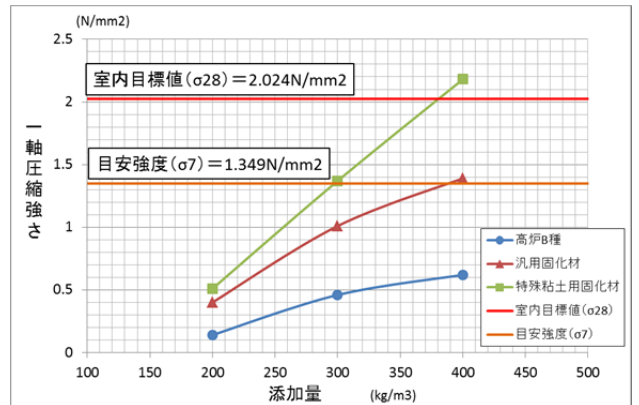


図-5 一軸圧縮強さ-添加量曲線図（崩壊堆積物N=22）

(3) 配合決定時の対応について

変更した母材の留意点は下記の通りである。

- ・細粒分含有率（粒径0.075mm以下）が高く（25%程度）、自然含水比が高い（64.5%）
- ・有機不純物の混入

留意点及び簡易配合試験の結果より、基礎工として求める強度が確保でき、経済的に有利な特殊粘性土用固化材を採用し、詳細な配合試験を実施した。

また、単位セメント量は、材料分離、ワーカビリティ、六価クロム溶出等から決定する必要がある。ワーカビリティの確保として、本母材は時間経過によるスランプロス（スランプの減少）の程度が激しいため、練混ぜ後60分スランプ10cmとして設定した。

混和剤等の決定には、設定した60分後スランプ10cmを確保しつつ、時間経過によるスランプロスの程度も参考に決定した（図-6）。

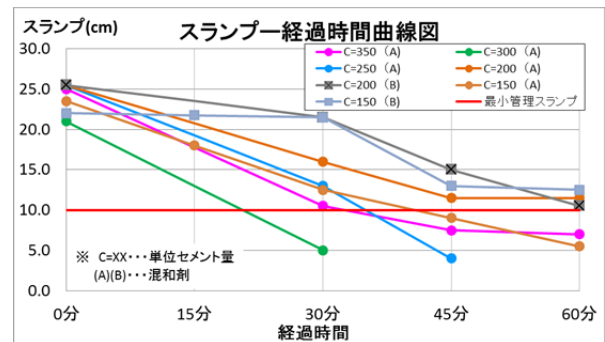


図-6 スランプ-経過時間曲線図

(4) 巨石混入による母材量低下に対する対応について

掘削土を母材として活用するが、砂防ソイルセメント（流動タイプ）においては、適用最大粒径をφ300mm程度以下としている。本現場では巨石の混入が想定より多かったため、歩留が悪く母材採取量が低下した。

一方で、通常重機にて取扱可能なφ300mm～500mm程度の粒径の巨石が多く、巨石の有効利用について検討を行った。日光砂防事務所管内の巨石（粗石）利用としては、現存する最古の堰堤である稲荷川第2砂防堰堤（登録有形文化財・土木遺産）等も堤体内に中詰め石（粗石）を配置することで、コンクリート使用量を軽減した事例があるが、同手法を本現場に適用するには課題が残る。

巨石利用する際の留意点（課題）は下記の通りである。

- ・巨石間の充填性（巨石下部や巨石間に空洞が発生しないか。）
- ・巨石利用による施工性の低下（日当たり打設量低下）

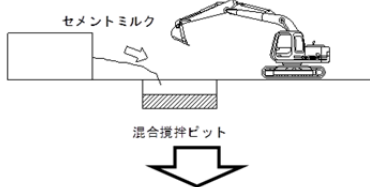
留意点に対しては、砂防ソイルセメント（流動タイプ）における粗石利用事例として、一度ベースソイルセメントを製造した後に巨石を投入・再混合（二次混合）し、打設する方式が過年度の砂防学会にて報告されている。

本現場でも過去の事例を参考に二次混合方式による巨石利用とした（図-7）。

また、施工性の低下を抑えるため、巨石・母材を必要量のみの搬入とする等の工夫を行った（写真-2）。

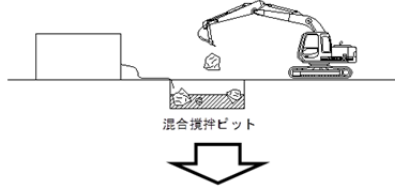
■ベースソイルセメントの製造

- ・混合攪拌ピットに母材投入
- ・現地プラントにてセメントミルク製造、投入
- ・攪拌混合（2min程度）



■巨石を利用したソイルセメントの製造

- ・混合攪拌ピットへ巨石投入
- ・二次混合（1.5min程度）



■砂防ソイルセメント（巨石込み）の打設

- ・クレーン打設（ホッパー、ベッセル等）

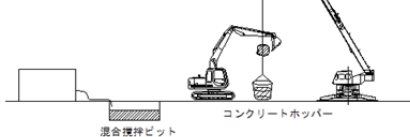


図-7 施工フロー図



写真-2 施工ヤード

4. 巨石利用に対する確認事項（成果）について

施工品質確認のため、チェックボーリングを実施した。チェックボーリングはボーリング径φ86mmとして、基礎工最下層までの6mを2本採取した。

採取したコアに対し、下記の確認等を実施した。

- ・コア外観確認（2本）
- ・一軸圧縮強度（8試料）

一軸圧縮試験は、礫の混入が視認出来る一般的な試料及びベースソイルセメントと巨石の界面を含む試料とした。

(1) コア外観（巨石間の充填性）について

未改良土塊などは確認されず、混合攪拌及び打設養生の状態が良好であることが確認出来た。また、巨石との密着性も良好であった。

巨石間の充填性については、巨石下にこぶし大のような大きな空隙を形成するようなものは無く、締固め不足等によるジャンカも確認されなかった。

ソイルセメント製造時の攪拌混合時に二次混合方式としたことで、巨石とベースソイルセメントとに一体化が図れたと考えられる。（写真-3）（図-8）

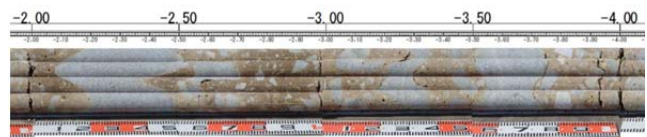


写真-3 コア4面合成写真

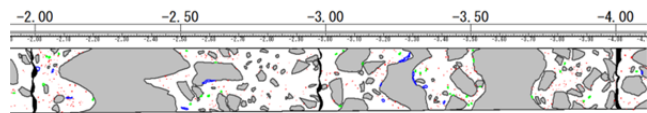


図-8 骨材、巨石（灰色）・空隙（着色）トレース図

(2) 日当たり施工量について

本現場においては、巨石を利用することで砂防ソイルセメント（流動タイプ）の日当たり施工量は大幅に向上

する結果となった。

ベースとなるソイルセメントについては、二次混合等の製造過程による作業量の増から平均製造量は73m³/日であり、日施工量の参考平均値（80m³/日）より若干低下した。一方、本現場で利用した巨石は約1,500m³であり、巨石を含めた全体の日当たり施工量は98m³/日となった（表-1）。

表-1 日当たり施工量

(m ³ /日)	流動タイプ 施工量	巨石 投入量	合計 施工量
全施工量	4,390	1,490	5,880
最大施工量	115	39	154
最小施工量	20	7	27
平均施工量	73	25	98

(3) 一軸圧縮試験について

基礎工として求める強度は、配合時室内目標値 2.024N/mm²（設計強度（施工時） 1.113N/mm²）であり、基礎工施工日に一軸圧縮試験（ σ_7 、 σ_{28} ）を行い、品質を確認していた。

一方で巨石は標準供試体には含まれないため、ベースソイルセメントと巨石の界面を起点とした破壊が発生するか確認を行った。確認手法は、チェックボーリングコアを利用し、一般的な試料（標準部）及びベースソイルセメントと巨石の界面を含む試料（界面部）を選定している（写真4）。

一軸圧縮強度について、配合試験や標準供試体（施工時）の材齢28日強度結果に比べて高い強度発現であった。また、界面部も良好に付着しており、界面を起点として破壊しても十分な強度を有することが確認出来た。本試験に合わせ、単位体積重量も参考に確認した（表-2）。



写真4 標準部（左）と界面部（右）の供試体（試験後）

表-2 一軸圧縮強度試験結果

コアの状態	採取深度 (GL-m)	参考比較データ <施工時供試体>				コア			単位体積重量	
		圧縮強度 (N/mm ²)		伸び率	圧縮強度 (N/mm ²)		伸び率	(g/cm ³)		
		σ_7	σ_{28}		試験値	平均		試験値	平均	
標準部	5.20	5.95	6.84	1.15	8.99	9.43	1.31	2.174	2.045	
	3.35	1.96	4.18	2.13	10.20		2.44	1.894		
	3.05	1.96	4.18	2.13	9.09		2.17	2.066		
界面部	5.30	5.95	6.84	—	7.02	6.66	—	2.142	2.198	
	4.10	3.69	4.51	—	6.34		—	2.266		
	3.40	1.96	4.18	—	4.57		—	2.260		
	1.20	4.15	5.84	—	8.70		—	2.122		

5. 今後に向けて

砂防工事により生じる掘削残土等を砂防ソイルセメントとして活用することで、残土処分にかかる費用の軽減、残土処分場の確保が不要となり、さらに環境負荷の軽減やコスト削減となるため、積極的な活用が望まれている。一般的な砂防ソイルセメント（転圧タイプ）に適さない残土であっても、本現場のような取組により流動タイプの母材として活用出来る事が確認出来た。

砂防ソイルセメントは現地土砂を母材として採取するため、その施工箇所毎に母材特性が変わる。そのため、本報告内容が全てそのまま活用される訳では無い。しかし、本現場で行った検討事例やアプローチ方法は参考になるものと考えられる。

まとめとして本現場で発生した課題と取組、成果について再掲する。

- 母材予定層の土質条件が大幅に悪化
採取可能な層を含め、土質試験及び簡易配合試験を複数ケース実施することで、速やかに採取層の変更を行った。
また次工程を見据え、簡易配合試験時に複数の固化材を用いて、強度確保の見通しをつけた。
- 細粒分含有率が高く、有機不純物の混入
土質条件に合わせて固化材を変更し、また事前に施工計画を検討することで、施工性を確保出来る配合とした。
- 巨石混入による母材採取率の低下
ベースとなる砂防ソイルセメントを製造後に巨石を投入し、再攪拌を行う二次混合方式を採用し、巨石を有効利用した。
巨石を約1,500m³使用出来たため、セメント系固化材の使用量を約300t程度削減し、経済性を向上させるとともに、環境負荷をさらに軽減した。

設計時の試験用試料採取は人力に頼らざるを得ない状況が多く、表層付近の土砂量は全掘削量からみると低い割合である。現場や用地等の状況にもよるが、試験用試料採取時も、重機による試掘・採取等することで深層データの取得も検討していきたい。

また、近隣地区にも類似地質のため基礎工を実施した後に本体工を施工する計画の砂防堰堤がある。本現場での取組を、設計・施工管理の参考にしていきたいと考えている。

参考文献

- （一財）砂防・地すべり技術センター：砂防ソイルセメント施工便覧
- 砂防学会：現地の粗石を活用した砂防ソイルセメント流動タイプの試験施工の実施事例について
- 砂防学会：現地の粗石を活用した砂防ソイルセメント流動タイプの基礎処理適用事例について