

六甲山系における搬入条件が厳しい現場での砂防ソイルセメント (流動タイプ) による砂防堰堤の構築と施工効率の向上

国土交通省 近畿地方整備局 六甲砂防事務所 足立 則秋
株式会社 木島組 阪本 正紀
○ 株式会社 本久 小布施 栄

はじめに

近年、頻発する豪雨災害により国土強靱化や流域の保全に対して社会的な関心が高まり、一層のハード対策の推進が求められている。一方、気候変動の要因であるCO₂の削減といった世界的な環境意識の高まり、燃料や原材料をはじめとする資材価格の高騰、担い手不足など、大きな課題に直面し、コスト縮減だけでなく脱炭素化、省資源化、生産性向上といった視点を持つことが必要とされるなか、砂防ソイルセメントの有用性が再認識される場所である。本工事は既存鋼製枠堰堤(以下、「鋼製枠」)を撤去し新たに透過型堰堤を建設するもので、数種の現地発生土砂に加えて鋼製枠の中詰材を砂防ソイルセメント流動タイプ(以下、「流動タイプ」)で構築することにより有効活用した事例である。また、六甲山系においては山麓に発達する都市や住宅地の密集により資機材の搬入に支障をきたすことが多く、しばしば索道による施設建設が計画されるが安全性や施工性に難がある。本工事ではこれらの施工にかかる課題に工夫を加えることで施工効率を向上させた。本報告ではこれらの施工や工夫について報告する。

1. 現場概要

現場は神戸市東灘区住吉川流域にあり、堤高:14.5m、堤長:50.0m、V:2367m³の透過型堰堤の建設工事である。本堤施工に先立ち阪神淡路大震災後に谷止工として建設された既設鋼製枠堰堤の撤去(3700m³)および地山掘削(2600m³)を施工し、3700m³の現地発生土砂は石材と土砂に分け埋戻しを含め有効活用する。建設地は住宅団地を通過した先にあり、団地内の道路は急こう配かつ狭い生活道路であり、団地内からの資機材の搬入およびラフテレーンクレーンの進入は困難であることから索道による施工となっている。

2. 土砂のばらつきを考慮した配合計画

流動タイプに用いた母材は、兩岸の掘削土砂、既存堰堤に堆積する土砂、鋼製枠の中詰材として用いられている土砂および石材で、土砂は細粒分質砂質礫に分類されるマサからなる。表1に現地発生土砂の物性と配合概要、図1に粒度分布を示す。土砂は採取場所や深度によって粒度がばらつくほか、堆積土砂と掘削土砂でも粒度に大きな差が生じている。骨材の粗粒率に着目すると材料分離しやすい土砂と粘性の大きな土砂が併存している。流動タイプは水量の多少によりコンシステンシーに相違が生じ施工性や品質に大きく影響を及ぼす。このため、配合試験に先立ち土質のばらつきを把握し、それぞれの土砂で材料分離をしない単位水量の上限を求め強度確認を行ったうえで、施工品質上最も危険側となる右岸深

表1 現地発生土砂の物性及び基本配合

土質概要	自然含水比	%	4.1 (4.1~8.8)	
	2mm以下の粒度	%	50.3 (47.2~72.7)	
	細粒分含有率	%	13.0 (2.9~15.7)	
	細骨材率	%	63.4 (63.4~87.1)	
	粗粒率	細骨材	g/cm ³	2.26 (2.25~2.95)
		粗骨材		7.75 (6.35~7.75)
	密度	細骨材	g/cm ³	2.522
		粗骨材	g/cm ³	2.471
		石材	g/cm ³	2.618
	吸水率	細骨材	%	1.19
粗骨材		%	1.40	
石材		%	0.46	
実積率	土砂	%	71.1	
	石材	%	58.4	
配合概要 (一次材)	単位セメント量	kg/m ³	230 (250)	
	単位水量	Kg/m ³	310 以下 (250~325)	
	スランプ	cm	22 以下	
	礫混入 30min 後の スランプ	cm	5 以上	
	現場目標強度	N/mm ²	4.0 ※一般に 3.0	
	配合目標強度	N/mm ²	7.78 ※一般に 5.91	

() 内は、予備試験を含めた試験結果

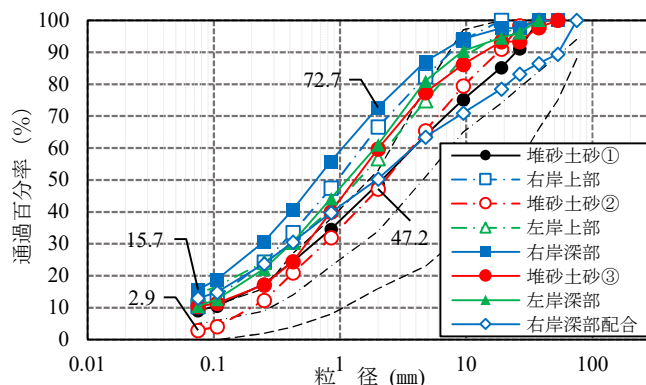


図1 現地発生土砂の粒度

部の土砂を選定し配合試験を行った。単位水量の上限を定め土砂の性状に応じて単位水量の設定範囲内で施工ができるようにしたことで複数種の土砂の混在に伴う物性変化や粒度変化があってもソイルセメント材の施工性、性状維持、強度品質を確保することが可能かつ容易となる。なお、現場目標強度及び配合強度は礫混入に伴う圧縮強度の低下を考慮し割増しを行っている。

3. 流動タイプの施工

3.1 流動タイプの製造

流動タイプは、現地発生土砂にセメントミルク、あるいはセメントと水を添加して混合攪拌し泥状にしたもので、打ち込み後振動締固め機で締固める。自硬性により

硬化することから転圧作業が不要となり、狭隘な施設形状や締固めが困難な土砂での適用性に優れる。さらに、仕上がり 1 立米に対し $\phi 500$ mm 程度までの石材を最大 30% まで混入して活用可能な点も流動タイプの利点として挙げられる（本現場では確保石材量より 17% の混入率）。現地発生土砂とセメントスラリーを混合しベースのソイルセメント材を一次材として製造し、そこに石材を投入して混合することで均質なソイルセメント材の製造が可能となる。加えて、ソイルセメント材と石材が一体となった混合物として打設することにより粗石まわりも密実で単位体積重量も大きくなるといった品質利点も生まれる。¹⁾²⁾ また、活用可能な粒径が広がることで現地発生土砂の有効活用幅が広がるだけでなく、石の活用体積分のセメントを減らすことができ 140t のセメント量低減となった。また、コンクリート堰堤であった場合と比較した施工全体の大型車両運行数は 1949 台から 877 台 (45%) となり、省資源化や CO_2 排出削減のみならず周辺住環境の保全にもつながるものとなった。

3.2 水量の設定

流動タイプの施工が困難となる要因の一つにフレッシュ性状の不安定さがある。本工事では物性が異なる数種の現地発生土砂を用いていることから土砂のばらつきは不可避であり、施工や品質への影響抑制の観点から単位水量を日々調整することとしている。ここで、単位水量、スラリー量とスランプの関係を図 2, 3 に示す。同じ単位水量、スラリー量であってもスランプに大きな隔たりがあり、ソイルセメント材の性状の相違が単に水量によって決まるものではないことを示唆している。生コンのように骨材の質や量など管理された材料と異なり、同じ単位水量であっても土の物性や粒度の違い、微粒分の多少、気温や経時によってソイルセメント材の性状が変化することが考えられるが、とりわけ土砂に含まれる礫量の多少によりモルタル分に占めるスラリー量が変わることでソイルセメント材の性状に相違が生ずるものと考えられる。このように土砂の物性のばらつきが大きい場合、それに都度対応するほうが、決定配合通りとするよりも性状が安定し材料分離や空隙など発生させ

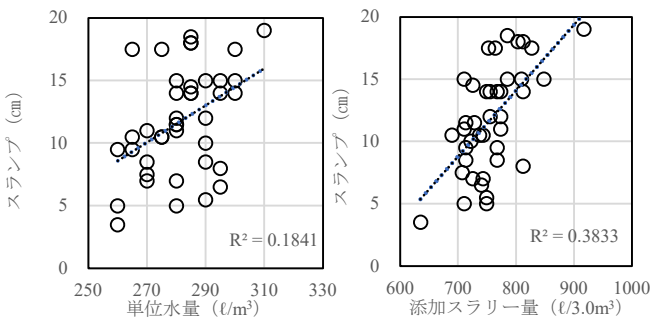


図 2 単位水量とスランプ

図 3 スラリー量とスランプ

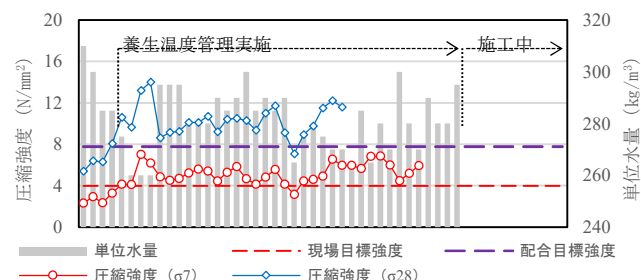


図 4 単位水量と圧縮強度の試験結果

ないといった点で品質的に望ましいと考えられる。また、施工初期段階では養生温度の影響や過度の水量調整により不安定な強度発現となっているが、施工進展に伴い比較的安定した圧縮強度結果が得られており、水量調整による品質影響は小さいと考えられる（図 4）。

3.3 索道と打設機材の改良

索道は一般に単走式の索道で計画されることが多い。この場合、索道線下は軸の直線上のみとなるため上下流部の打設個所には横引きワイヤーを仕掛け曳く必要があるが、荷ぶれや接触の危険が生じるなど施工性に難がある。このため本現場では単走型 H 型索道とした。H 型索道は軸に平行な 2 本のケーブルが施工範囲全体を網羅し、それに直交するケーブルをウィンチのみの操作で曳くことが可能なため施工範囲全域での荷の移動が容易となる（写真 1）。これに伴い作業人員の削減と省力化ができ、施工性と安全性が向上した。さらに、投入機材であるベッセルに電動式チェーンブロックを取り付け、排出操作をラジコンで行うことで投入時のワイヤーの付け外し手間を省力化した（写真 2）。これに伴い 1 サイクルの投入時間が 10 分から 3 分程度にまで短縮した。堤体下部施工時はソイルセメント材をバックホウにより直接投入し、5 リフト目より索道打設を実施したが、索道打設でも打設効率に優れた直接投入と比べ 85% 程度の打設能力が得られ工夫の効果認められる（図 5）。



写真 1 H 型索道 写真 2 改良ベッセル

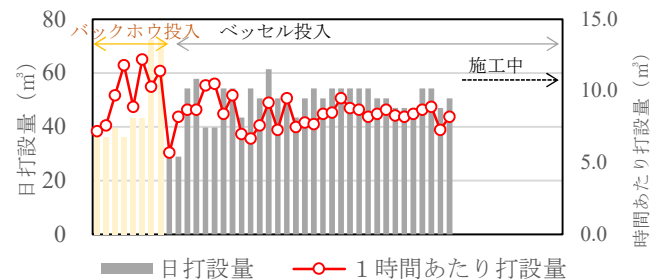


図 5 日打設量と時間あたり打設量

4. おわりに

流動タイプは様々な活用利点が期待できる反面、実績に乏しく施工や品質上の課題も明らかでない。こうしたことを踏まえ施工の課題とその取組方法や施工結果の一部について事例を示した。まだ不明な点が多い工法であるものの、今後の社会の在り方を展望するとさらに技術知見を深める必要があり、今後さらなる工夫を検討し取り組むことで工法の確立に寄与したいと考える。

【参考文献】1) 小布施ら；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 平成 29 年度砂防学会研究発表概要集 平成 29 年 5 月、2) 小布施ら；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平成 30 年度砂防学会研究発表概要集 平成 30 年 5 月