

インドネシア国内における砂防ソイルセメント工法の現状 ＜バワカレン山大規模崩壊土砂低減事業における事例紹介＞

八千代エンジニアリング(株) 国際事業部 マカッサル作業所長 渡辺岳志

砂防施設計画担当 松永 繁

砂防ソイルセメント担当 末吉慶三

1. 事業の概要

2004年3月のインドネシア国南スラウェシ州のバワカラエン山の大規模崩壊により、ジェネベラン川流域において土砂災害が発生した。

バワカレン山大規模崩壊土砂低減事業 (JBIC 借款事業) は、既存インフラの修復、砂防施設及び土砂流予警報システムを整備することにより、土砂災害から人命及び農地を含む公的・私的財産を守り、下流にあるビリビリダムの機能を改善することを目的に、2005年から開始され、現在執行中であり、2010年12月に完成予定である。

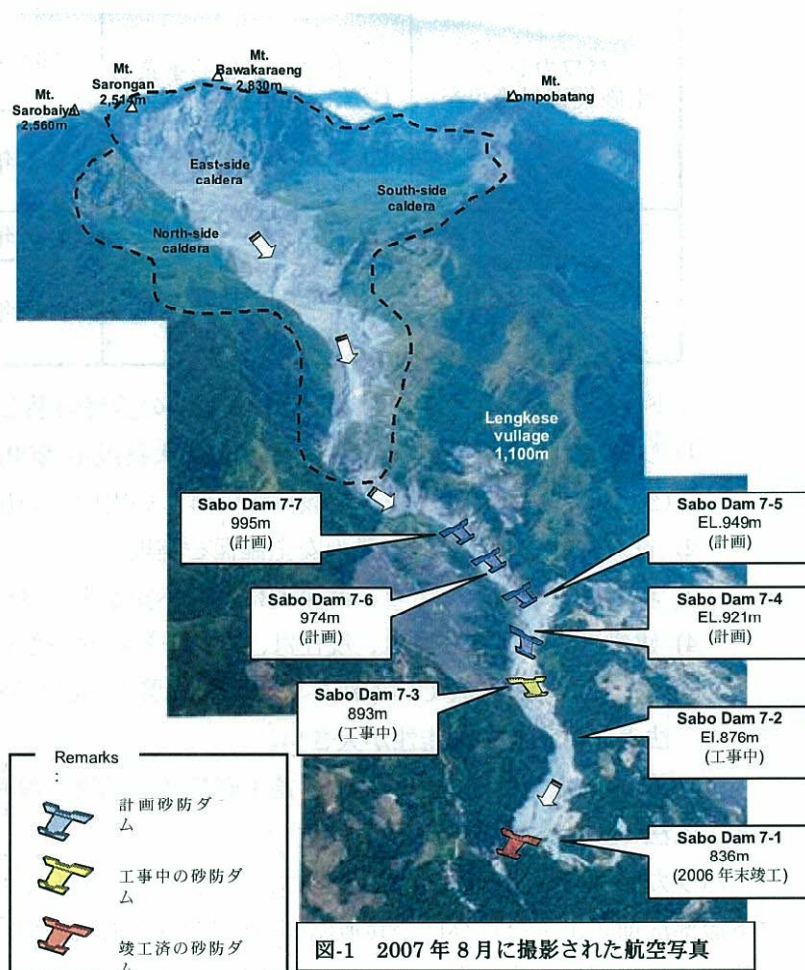
図-1 は、2007年8月に撮影された航空写真であり、図中で白っぽく見える土砂は、2004年3月に発生した崩壊残土である。東カルデラ～西カルデラ出口までは、今でも70万 m³ 以上の不安定土砂が堆積している。

2. 土石流の発生

上流で発生する土石流の土砂源は、2003年の崩壊斜面からの直接流出がほとんどである。発生時期は、雨季から乾季の始めに発生するものがほとんどで、未だにその発生頻度は高い。2007年1月から5月までの5ヶ月間に、土石流の発生した回数は、23回以上が観測されている。これらの土砂源は、東カルデラ壁面からの百万 m³ 規模の崩壊が観測され、崩壊面が一定の安定斜面になるまで続くものと予想されている。このように土石流が多発する状況では、土石流を制御する対策工の施工は、困難であるため、図中に示すカルデラ直下流での砂防堰堤の建設が進められている。

3. 砂防ソイルセメント工法を用いた砂防堰堤の建設

ジェネベラン流域では、雨季(11月～4月)と乾季(7月～10月)に別れ、過去5年間では、年間平均降雨量 3,400mm の99%は雨季に集中している。このため、砂防堰堤の施工時期は、乾季中の7月から10月までの4ヶ月間に限られ、施工の簡素化、工期の短縮に有効な砂防ソイルセメント工法を採用している。



インドネシア国内での砂防堰堤の施工は、これまで人力による練り石積みのメンソリ工法が多く用いられており、ソイルセメント工法による施工実績は、建設と計画を含めても、表－1 に示すとおり少ない。

表－1 インドネシアにおけるソイルセメントの実績

プロジェクト名	発注者	竣工及び 竣工予定年度	施設名(仮称)	備考
ISDMプロジェクト	JICA (INSEM工法)	2005年12月	Kaliadam堰堤	完成
パワカレン 土砂災害対策事業	インドネシア公共事業省 (ISM工法及びCSG工法)	2006年12月	Sabo Dam 7-1	完成
		2007年5月	Sabo Dam 7-2	完成
			Sabo Dam 7-3	完成
		2008年12月	Sabo Dam 7-4～7-7	計画中
メラピー火山 緊急対策事業	インドネシア公共事業省 (INSEM工法)	2007年12月	W0-RD1	施工中
		2008年12月	W0-RD2	計画中
			PU-RD1～RD7	

インドネシア国におけるソイルセメント工法の活用効果として次のようなものが考えられる。

- 1) ソイルセメント(CSG 5N/mm²) 日最大打設量 200m³ により工期短縮で施設の早期効果を実現
(生コンの運搬、プラントの設置等の難しい場所での施工)
- 2) 省人化施工により作業員の安全確保を実現
- 3) 現地発生材利用により、河床内にある不安定土砂量の削減
- 4) 建設コストに関しては、現在は、人件費等が安いため、従来工法よりも割高となっており、緊急工事として適用されているが、今後、人件費の高騰や施工機械の使用による省力化等により、従来工法より安くなる可能性が大きい。
- 5) 従来工法の経験工法に比べ、施工管理及び品質管理面で工学的な判断が可能となる。

4. 工法の適用部位と目標配合強度

パワカレン土砂災害での適用部位は、砂防ダムの主ダム、副ダムの全断面、水叩き工、上流部保護工、下流部洗掘防止工ならびに公共道路の河床部洗掘防止保護工に採用している。ISM 工法と CSG 工法では強度の違いがあるため、ISM 工法を外部コンクリートとして CSG 工法を内部コンクリートとして採用している。本事業での適用部位及び各部位での目標配合強度を表－2 に示す。図－2 には、適用部位の位置を写真と略図で示す。

5. ソイルセメントの設計値

配合セメント量は、ソイルセメント配合設計手法に基づいて配合強度を満足するセメント量を設定した。混合する水の量は、材料の自然含水比を考慮して決定し、現場の天候状況により散水、加水の修正を加え調節している。

表-2 適用部位と配合強度

施設名・施工年	適用部位		配合強度
砂防ダム 7-2&7-3 ・2007 年施工中	越流部 水通し部	土石流通過時の石礫による磨耗作用を著しく受ける部位	21 N/mm ²
	内部	土石流が直接衝突する可能性の低い部位	5 N/mm ²
	非越流部 (袖部)	土石流の頻繁な衝突が予想される部位	18 N/mm ²
	水叩き部 基礎部	石礫の流下による磨耗作用を直接受けない部位	5 N/mm ²
	水叩き部 表面部分	石礫の流下による磨耗作用を受ける部位	18 N/mm ²
保護工 砂防ダム 7-1 補強 工事・2006 年竣工	上流非越流保護部	泥流・土石流の流向を制御し、地山の崩壊を防止する部位	5 N/mm ²
	道路法面保護工	泥流・土石流の流向を制御し、道路法面の局所洗掘を防止する。	5 N/mm ²

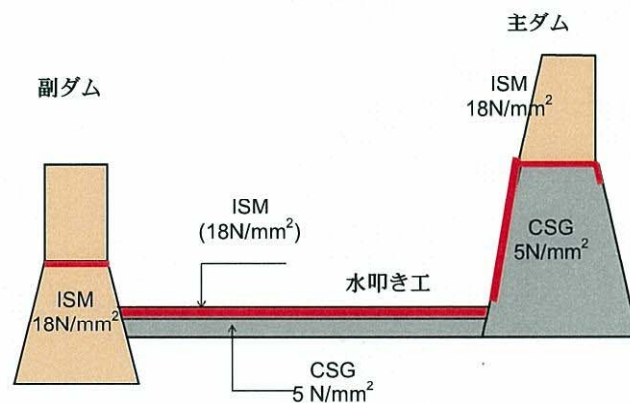


図-2 写真と略図による適用部位の位置

6. 今後の課題

ソイルセメント工法の現地普及について以下に述べる。

(1) コスト面での改善策

従来、インドネシア国内での砂防ダム建設にはメソンリ工法（粗石積工）とコンクリート工法の併用により建設された砂防ダムが多い。メソンリ工法は、多くの人力を必要とするが現地での人件費が安いため、メソンリ工法はソイルセメント工法の約7割である。

一方、土石流発生頻度の高い山岳地域、活火山地域では、施工時の安全管理面において問題があり、そのような場所での品質管理も難しい。

メソンリコンクリート工法は古くから灌漑堰、護岸工建設に多く活用されているので、インドネシア国内施工業者によって容易に施工できる工法である。

現在、本事業においては、ソイルセメント工法は、コスト面でメソンリ工法より劣っているが、今後、人件費の高騰や施工機械の使用による省力化等により、従来工法より安くなる可能性が大きいので改善する必要があると考える。

(2) インドネシア国内施工業者への普及

他外国に比べてインドネシア国では、山岳地域、活火山地域での土砂災害が頻繁に起っており、ソイルセメント工法の採用効果は大きいと考えられる。

また、インドネシア国内での普及に関しては、ISDM プロジェクト(JICA)で作成されたマニュアル等もあり、今後、インドネシア語マニュアルの作成、インドネシアの現状にあった施工現場での品質管理、配合設計のマニュアル化を図る必要があると考える。