

現地発生土砂を活用した砂防施設建設に関する基礎的研究

長崎大学大学院生産科学研究科
松井 宗廣

日本の国土は約 7 割が山地で、急流河川が多く、地質的にぜい弱で、台風や集中豪雨が頻発し土砂災害が発生しやすい自然条件にあるため、毎年約 1,000 件もの土砂災害が発生している。土砂災害の防止・軽減のためにはハード面の対策の着実な実施が極めて重要であるが、日本社会は少子高齢化の進展、及び、財政健全化等から公共投資の抑制が継続しておりハード対策の効率化は重要課題となっている。そのため、本研究は砂防のハード対策実施における効率化（コスト縮減、合理化施工）を目的として以下の検討を行った。

砂防のハード対策の中核をなす主要構造物は砂防堰堤である。そこで本研究では砂防堰堤建設における基礎掘削で生じる現地発生土砂を従来のような土捨て処分によらず極力有効活用し、セメントと混合した材料、いわゆる砂防ソイルセメントとして使用する INSEM (In-situ Stabilized Excavated Materials) 工法（以下、単に本工法）について、設計と施工の両面から基本的な問題点を明らかにし検討したものである。

第 2 章では砂防施設整備のコスト縮減が図れる本工法の原点となった多目的ダムにおける RCD 工法の砂防分野への導入にあたっての問題点とその解決を目的として日影 1 号上流砂防堰堤（以下、日影 1 号）の基礎工事に関する現地試験施工を実施した。その結果、RCD 工法は施工性に優れるが砂防の場合、施工ヤードが狭小なため現場条件に適した改良が必要であることが判明した。そこで、VC 試験機の改良、締固め機械の小型化等を図り一般的な砂防堰堤のコンクリートの日打設量（約 80m³程度）を大きく超える約 130m³を達成、非出水期内に基礎工事を終えることができ工事の進捗に大きく寄与した。

第 3 章では 1990 年雲仙普賢岳火山噴火災害対策として特に緊急性が必要とされたことから日影 1 号で施工性が実証できた RCD 工法と同じ施工方法で本工法を応急対策に適用することを計画、試験施工を行い、所定の強度、並びに日影 1 号同様優良な施工性が確認できたため本工法を仮設鋼製矢板護岸背後の補強に適用し短期間での有人施工が実施できた。

ここで 2 章の日影 1 号での検討結果が生きることとなった。一方、雲仙における恒久対策の要である水無川 1 号砂防堰堤（以下、堰堤）は警戒区域内に建設する必要があるが有人施工では困難であった。そこで、火砕流の流動特性について検討を行い同区域内での有人施工可能範囲、施工安全体制の構築とあわせ、無人化施工技術について検討した。

当初、無人化施工技術は除石工事を目的として検討したが、有人の1/2程度の施工性となるものの集土、掘削・積込み、土砂の運搬という一連の施工の安全体制を確立できたことから、除石工事の建設機械がRCD工法と共通していることに着目し、堰堤建設への無人化施工の適用について検討した。その結果、堰堤本体部は上下流に土砂を盛りたてて型枠とする、いわゆる土砂型枠を用いる等により堰堤の無人化施工を実現させた。

堰堤の両袖部は火砕流到達時間に対して避難時間に余裕があるため本工法による有人施工とした結果、スケールメリットが十分に発揮でき打設総量16万5千 m^3 を短期間で施工することができた。なお、雲仙では堰堤本体部はRCD工法にかえてRCC工法、また、袖部は後にガイドライン等でINSEM工法と定義されたが当初はCSG工法と呼んだ。

第4章では雲仙における本工法の大規模施工を契機に本工法を全国展開することとなったが、雲仙の現地発生土砂は材料として優良であったがために基礎的な課題が残されたままであった。そこで主要課題を明示し対応策を提案するため室内試験、現地試験施工を行った。主要課題は①配合検討における含水比の扱い、②必要とする圧縮強度とセメント使用量、③室内試験による供試体圧縮強度と実施工の構造体の圧縮強度の関係、④本工法の弱部となる水平打ち継ぎ目におけるせん断強度、⑤六価クロムの基準値以上の溶出等である。このうち⑤は環境への影響として5章で扱った。試験検討の結果、マサ土を用いた場合、ピーク強度を求める配合検討において土砂の含水比は9~12%が合理的であり、要求性能として圧縮強度 $>3\text{N}/\text{mm}^2$ を満たすためには単位セメント量 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 以上が必要、また、コアは供試体の圧縮強度と同等程度以上となるため室内試験結果による強度評価で十分であること、さらに本工法のみで構築した砂防堰堤の場合、本体上部付近では水平外力に対する安全率(4.0)を下まわることとなり、補強等の検討が必要となる等の知見を得た。

第5章では本工法の環境面への課題である施工時の騒音、環境基準値以上の六価クロムの溶出原因とその対処法について評価、検討した。その結果、本工法による騒音は通常の工事騒音と同レベルであり特段の問題が無いこと、また、六価クロムについては室内試験、現地試験施工において使用するセメントの六価クロム含有量の事前確認が有用である等の知見を得た。

第6章では本工法は経済性、施工性に優れるため国内外の大規模土砂災害の復旧工事に活用されており、その代表事例を紹介した。国内の代表事例として三宅島2000年噴火、2008年岩手・宮城内陸地震における土砂災害対策、海外の代表事例としてインドネシア共和国南スラウェシ州のバワカラエン山の大规模山体崩壊の砂防対策に活用されている事例を紹介した。

第7章結論においては、各章で得られた重要な知見を総括して、結論とした。