

【特集】生命と国土を守る深山に築かれた砂防という「盾」

SABO

海上に突出し、東西南北に広がる日本列島。そびえるその急峻な山々に地震や大雨といった自然の力が加わり、削られた土砂が渓谷を伝って生活圏になだれ込む。この土砂を押さえ、山を鎮め、平野部の安全と安心を約束する事業が「砂防」だ。国土交通省は、砂防堰堤の整備や法律に基づく土砂災害警戒区域等の指定促進など、ハードとソフトの両面から、災害に強い国土づくりを進めている。日本には6,000基を超える砂防堰堤が築かれているが、その多くが深い山峡にあり、人の目に触れることはほとんどない。

地球が誕生して46億年。悠久の時を超えて、この惑星の表層はいまだに安定することを拒んでいる。地球は巨大な生命体とも言える。プレートは移動し続け山や大地が代謝を繰り返している。山崩れは地球規模で見れば擦傷程度の自然現象だ。しかしそこに人の暮らしがある限り、それは甚大な自然災害となって人命と財産を脅かす。人知れず日常を守り続ける山に築かれた「盾」にスポットを当てる。



初代・歌川広重が描いた東海道五拾三次 箱根(所蔵:箱根町立郷土資料館)

急峻な山々を頂く日本列島。そびえる山の脅威をいかに治めるか、古来、わが国は世界に冠たる「砂防」の知見と技術を積み上げてきた。その来歴と展望について、公益社団法人砂防学会の山田孝会長にお話を伺った。

土砂災害は

自然現象ではない

「まず初めに「砂防」の本質的な意味について教えてくださいませんか？」

近年、毎年のように各地で土砂災害が発生しています。砂防とは、この土砂災害の防災・減災を目的とした行為のことを指します。どこでいつどのくらいの量の土砂や流木、水が生産されて、どのくらいの頻度で流出、氾濫するのか、学術的な知見をもって技術を確立し、災害を減じる。これが砂防の基本的な目的になります。

その土砂災害について今一度考えてみましょう。例えば山崩れは土砂移動現象という自然現象です。土砂が崩れて流出、氾濫した先に人間の生活圏があり、家屋の倒壊や死傷

の流出につながるのか、従前の知見に加え新たなモデルを見出して、再現・予測の仕方を調査研究する必要があります。そうした研究、学術知見の蓄積と高度化、一般化が当学会の使命であると考えています。

ハード整備が

前提となる砂防

「砂防という概念はいつ頃から発

者が発生するにいたって初めて「土砂災害」として認識される。無人島の山奥で山が崩れても土砂災害とは言いません。それは単なる自然現象です。土砂災害は土砂移動現象という自然現象と人間活動の生産・生活圏がオーバーラップした状態と言えます。



2024年9月の大雨による石川県輪島市の状況(出典:国土交通省HP「令和6年9月20日から大雨による土砂災害発生状況」)

祥したのでしょう？」

砂防という行為が本格化したのは明治期ですが、江戸時代の一六六六(寛文六)年に幕府が「諸国山川掟」という法令を發布しており、これが森林の乱開発による土砂流出を防ぐことを目的とした砂防の始まりと言われています。広

重が描いた「東海道五拾三次」を見るとほとんどの山は緑ではなく茶色やグレーで描かれています。当時の山は禿山だった。住宅や神社仏閣の建設などで木材の需要が急速に高まり、各地で伐採や森林土壌の採取が進んだんですね。そこで山が崩れ土砂が流出、洪水が頻発するようになる。河川に堆積した土砂は当時物流の要だった舟運にも悪影響を及ぼしました。諸国山川掟は山林の再生を目的として伐採を禁止、植林を奨励しました。山からの土砂流出を森林の再生などによって抑止しようとする試みです。

ちなみに、荒れた山にいかにして豊かな緑を回復するか、大地に健全な植生を育むかといった課題は農林分野、森林科学の所掌です。現在、砂防をリードする人材に農学部

「砂防学会は、その学術的知見を技術として昇華することを担っているということでしょうか？」

土砂移動現象といってもその実相は実に多様です。大雨や台風によって発生する山崩れ、この崩壊に起因する地滑りや土石流、加えて融雪期に大量の雪が一気に融けると大雨と同様の効果をもたらします。地震による斜面崩壊もある。更に日本には多くの活火山があります。噴火し、火山灰や火砕流が山に堆積して、その後雨が降れば土石流の要因になる。土砂の流れではありませんが、雪崩も土砂移動現象の一つと捉えています。

一方で気候変動によって雨の降り方が変化しています。大量の水が山に供給されるようになる。その水がどのように流出して土砂や流木



公益社団法人砂防学会 会長
北海道大学 特任教授
山田 孝 Takashi Yamada

の出身者が多いのは、その林学の知見が必要とされていることが背景にあります。

「植生によって山の地盤を安定させる」という発想は現代の砂防にも通ずるものがあります。

しかし、一方でその過度な期待が誤謬を生むことになったと私は考えています。山に立派な木が繁茂していれば土砂は流出せず、災害も少なくなるかという決断はそうではありません。過信してはいけません。私は学生の頃、砂防学の恩師から「山に木があるから崩れないのではなく、地表や地盤が安定しているから木があるのだ」と諭されました。植生の効果をすべて否定するわけではなく、地表や地盤は植生もろともいとも簡単に崩れてしまいます。

やはり基盤となるのは、地表や地盤を安定させるための土木的な措置です。砂防施設によって豊かな緑や水圏の生態系が失われ、自然環境の破壊につながるという論調もみられます。自然生態系の保全はもちろん重要ですが、砂防施設が下流域の災害を防止・軽減し、人間の生産・



砂防に関する海外との学術研究発表会にも参加し、国際的交流を深めている(提供:砂防学会)



社会的影響の大きな土砂災害が発生すると、その地域の関係者などからなる調査団を派遣し、災害の状況や原因、必要な対策、今後の課題などを調査する(提供:砂防学会)

生活圏を守っているという厳然たる事実があります。土砂災害の防災・減災と自然生態系の保全の両立を目指した砂防施設の整備がとても重要であると思います。

「日本の砂防技術は世界的にその有効性が認識され、砂防は「SABO」として国際語にもなっていますね。」

日本は国土の約七割が山です。残りの約三割の平野部に一億二千万余りの人々が暮らしている。その限

られた生活圏を守らなければなりません。土砂災害対策としての砂防は、そうした地形的な条件を背景として学術知見を蓄積し、技術的な進歩を促してきました。結果として、土砂災害と対峙する世界の国々の課題解決に寄与することができるようになった。社会・経済条件が異なると日本の砂防技術をそのまま適用するわけではありませんが、土砂が生産されて流れるといった原理は、地球上で共通する現象です。土砂移動現象とその制御についての日本の高度な学術知見と砂防技術は、非常に大きな価値を有していると言えるでしょう。あわせて海外の土砂移動現象や土砂災害、対策を学び、日本の砂防技術をより一層向上させていくことも必要です。

ソフト対策をハード対策の上に乗せる

日本は今、少子高齢化、気候変動といった課題に直面しています。こうした状況に対し、今後砂防にはどのような観点が求められるので

防災・減災の両輪にたとえられませんが、土砂災害の場合、両輪というよりはハード対策を基軸として、その上にソフト対策が載っているというあり方が基本であると考えます。

現場で学び現場に戻る

激甚化、多様化する土砂災害に対して人的資源の充実、砂防技術の進歩が課題になります。砂防学会としてどのように取り組んでおられますか？

やはり核となるのは砂防人材の育成だと思います。当学会では五年前に砂防人材育成行動計画を策定し、専門委員会を立ち上げて主に若手を対象とした人材の育成に力を入れています。鍵になるのは多様な分野との連携。産官学の会員が集い、関連な情報交流を行えることが当学会の強みです。更に広範な場において議論を深化させ、学会の活動をより一層活性化させたいと考えています。

砂防施設も老朽化しているものがあります。山を含む流域の状態も変化し続けている。土砂や流木が生

しょうか？

土砂災害がもたらす人的被害は、他の大規模自然災害に比して甚大なものになります。ピンポイントで発生し、局所的であるがゆえに尊い命が失われる割合が大きい。人命が失われないようにすることは大前提ですが、あわせて財産を守ることでも大きな使命となっています。現在の生産・生活体系を維持するには、繰り返しになりますがやはりハード対策が基盤になる。地震や巨大噴火に対してハード対策は困難な面があります。土砂災害対策のための



都道府県と気象庁は土砂災害警戒情報を共同で発表し、市町村の避難指示の発令や住民の自主避難の判断を支援している(出典：気象庁HP <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/bosai/doshakeikai.html>)

産・流下・氾濫・堆積する場である山のモニタリング、監視は今まで以上に重要になります。その山を診る力量を体得できるのは、やはり現場です。山や流域の見方を被災地を含めた現場で学ぶ。そこで育まれた学術知見や技術をもってまた現場に戻る。現場に始まり現場に戻るという姿勢が、砂防には不可欠だと思います。

確かに山深い谷間で人知れず下流の生活圏を守る盾として機能している砂防施設に想いを馳せることは難しいかもしれません。

砂防施設は目立たないです。人知れず山の中にあるのが普通です。砂防施設は縁の下の力持ち、黒子的な存在ですよね。しかし、その施設がないと大雨や地震、噴火の際に甚大な被害がもたらされることが多い。粛々と着実にその整備を進めていくことが大切だと思います。

一方で平常時には誰からも注目されない状況は厳しいものがある。平常時にも役に立ち、土砂災害が発生するような危険な時には砂防の本領を発揮できればと思います。インドネシアではおよそ五〇年にわ

ハード対策はエリアを特定できる対策だけに効果が大きいと言えます。

これまでは百年に一度の大雨を想定して砂防堰堤などが整備されてきましたが、今や雨の降り方が激変していますから二百年、三百年という長いスパンでの降雨を前提にした検討が必要です。現在の砂防施設では十分に対応しきれない場合も考えられる。従前の規模のままでは、効果的な減災は難しい場合があるという意識が必要だと思います。

行政が住民に対して危険エリアの周知や避難に関する情報提供を行う土砂災害警戒避難対策も進められています。ハードとソフトを有機的に関連づける方策も重要になりますね。

少子高齢化は特に山間部で深刻な状況です。若年層の消防団員や自治会担当者がいなくなり、早期の避難が困難となる事態が増えることが危惧されます。適切に管理された砂防施設があれば、土砂や流木の氾濫範囲が狭められ、逃げる時間も稼ぐことができます。大事なものはハード対策がソフト対策を支えるという視点です。ハードとソフトは

たつて日本の技術による砂防施設が整備されていますが、堤体の天端を道路にしたり、堰堤の堆砂池を観光車のダートコースに使ったり。砂防施設の活用手法はたくさん考えられる。日本では堰堤の高低差を利用した小水力発電の事例もあります。防災・減災とインフラツーリズムなどを想定した観光資源としての活用、その二段構えの活用・管理の試みに期待したいですね。

建設業界としてもこれまで培ってきた施工技術を駆使した多様な提案ができるように思えます。

砂防堰堤は一九九〇年代以降、



上/コンクリート型の砂防堰堤。下/鋼製の砂防堰堤



右/若手砂防研究者の育成を進め、学会の持続的な発展にも努めている。左/砂防学会では、大学生を対象に、国や都道府県・民間企業に就職した場合、砂防に関してどのような仕事に携わるのか、就職説明会を開催している(いずれも提供：砂防学会)

不透過型砂防堰堤からシフトして透過型の鋼製堰堤が主流になりつつあります。鋼管を組んだジャングルジムのような構造で、渓流の連続性を妨げることなく自然環境に配慮しながら、土石流が発生した時には土砂や流木を効果的に捕捉できます。従来にはない構造や施工方法は、建設業界をはじめとする広範囲な分野との連携から生まれました。今後は建設業界との連携が今まで以上に重要になるでしょう。知見の情報交流を深め、互いの技術を高め合っていく、そうした関係性を築いていきたいと考えています。

日本の近代砂防発祥の地

立山砂防「富山県」

白岩砂防堰堤(近年)

本堰堤の高さは63m、副堰堤を含めた落差は108mに達する国内最大の堰堤。赤木正雄の指導のもと内務省工手柿徳市によって設計された。コンクリート堰堤と方格柵を積み上げた土堰堤の独創的な複合構造は近代砂防の技術的な到達点と評価される。



山の「釜」に溜まった 四億立米の土砂

列島のほぼ真ん中に屹立する立山連峰は、日本の近代砂防発祥の地と言える。急峻な山が連なるその特異な地形が長年にわたって数々の砂防技術を生み出してきた。

雄大な立山の南麓に東西約六・五キロ、南北約四・五キロの巨大なくぼ地「立山カルデラ」があり、ここでは今もなお侵食や崩壊が繰り返され、土砂を生産し続けている。この土砂の流出を抑制し、下流域に広がる扇状地、富山平野を土砂災害から守る。立山カルデラを源流域に抱える常願寺川では、明治期から百年余りにわたって砂防事業が展開されてきた。富山平野の中央を北に向かって流下し、富山湾に注ぐ常願寺川の流路延長は五六キロ。そのうち平野部を流れるのは、一八キロに過ぎない。標高差三、〇〇〇以上の平均河床勾配は、一／三〇。世界的にも類を見ない急勾配の河川だ。明治期に常願寺川を視察したお雇い外国人技術者ヨハネス・デ・レーケをして「これは川ではない。滝である」と

言わしめたという話もある。

立山カルデラは一八五八(安政五)年、マグニチュード七を超えると推定される安政飛越地震によって、膨大な量の土砂を抱くことになった。カルデラ内の大鷲山、小鷲山が崩れ(鷲崩れ)、四億立方メートルの土砂が生産された。山そのものが崩壊し、二つの山が消えた。この土砂が常願寺川の上流部を堰き止める。その際に形成された土砂ダムが二度にわたって決壊し、土石流となって富山平野を襲い、死者一四〇名、負傷者八、九四五名という大災害を引き起こした。

流出した土砂によって河床が上昇した常願寺川は、震災以降日本

一の暴れ川と言われるようになり、カルデラ内に残った土砂を流し続け、下流域の生活圏を度々脅かした。現在も二億立方メートルの土砂が残留しており、この全量が流出すると富山平野一帯が厚さ約二メートルの土砂に埋まるという。富山市の人口が四〇万人に達した今、想定される被害は安政飛越地震の比ではない。

直轄の威信をかけた砂防事業

現在、常願寺川流域で直轄の砂

防事業を所管する、立山砂防事務所

の石田孝司所長にお話を伺った。「カルデラは『釜』という意味があります。およそ四万年前に最後の噴火があり、その後長い年月をかけて侵食が進み、土砂を流し続けながら今の地形になったのが立山カルデラと言われています。明治期に入り、下流域の洪水氾濫を防ぐためには、上流での土砂の生産と流出の抑制が必要であるとする思想が生まれたと言えます」。

一八八三(明治十六)年に石川県から分県した富山県は、一八九一(明治二十四)年、先のデ・レーケ

の指導のもと下流域での治水事業を計画し実行するが、河川整備だけでは効果は限定的だった。一九〇六(明治三十九)年、富山県はカルデラ内の水源荒廃地で砂防事業に着手する。しかし、度重なる豪雨によって砂防堰堤は築造と破壊を繰



国土交通省 北陸地方整備局
立山砂防事務所
所長
石田 孝司 Koji Ishida



昭和8年頃

泥谷砂防堰堤群(近年)

標高差120mの急勾配の谷に築かれた19基の堰堤と3基の床固かなる階段状の砂防堰堤群。側岸の土留めや表面排水路ともあいまって、植生が見事に回復した。上空からは堰堤群は旺盛な緑に隠され、自然に溶け込んでいるようである。渓谷に置かれた人工の構造物は山と融合、一体化したかの様相を呈する



本宮砂防堰堤(現在)

蒲字の理論に基づき中流域に建設された。堤高約22m、堤長約107m。貯砂量5,000,000m³は国内最大級を誇る。当時としては最先端の施工機械を導入しわずか2年で完成した。周辺は人々が日常を営む生活圏だ。「左岸側の山にある不動尊はいつしか近隣の皆さんから堰堤不動尊と呼ばれるようになりました。堰堤に親しみを感じていただいているようで嬉しいですね」と石田所長は相好を崩す(撮影：中原一隆)





雑穀砂防堰堤(現在)

石田所長が常願寺川の右支川である称名川の堰堤群を案内してくれた。この一帯は渓谷が安定していたことからデ・レーケも大きな危険性を認識してはいなかったという。ノーマークだった称名川は昭和44年の大雨により各所で深岸が崩壊し、土石流となって下流側へ押し寄せ、堆積した土石が渓谷を埋め、川の状態は一変した。以降、平成11年まで階段状の床固や堰堤の整備を進めてきた(撮影:中原一隆)

り返す状況だったという。

一九二四(大正十三)年の砂防法改正を受けて、県の砂防事業は一九二六(大正十五)年に当時の内務省に引き継がれた。その直轄砂防事業が現在も続けられている。「鳶崩れから一七〇年近くが経ちますが、大昔のことという感覚は希薄です。今も不安定な土砂がカルデラ内に大量に残っている。その流出を抑制することが至上命題であることに変わりありません。カルデラ内の土砂流出対策をはじめ流域内の斜面崩壊対策、土砂流出の抑制、調節など、多面的に常願寺川流域全体で土砂流出をコントロールしながら、今にいたっています」と石田所長は話す。

当時の内務省新潟土木出張所立山砂防事務所初代所長として就任したのが、後に「近代砂防の父」と評される赤木正雄だ。同氏は「我が国の治水の根本は砂防である」という信念から砂防の発展に尽力した。常願寺川においては、白岩に高い堰堤を築き、ここを起点として上流に十数基の堰堤を配置するといった計画を立て、実行に移した。

技術者たちの意志が形となった堰堤、白岩は二〇〇九(平成二十一年)年に砂防施設で全国初、更に二〇一七(平成二十九)年に泥谷と本宮を加えた三方所の砂防施設は国の重要文化財に指定された。

深い山で力を尽くす 人たちがいる

立山の砂防事業はスケールが大きい。常願寺川流域には一〇〇基以上の砂防堰堤が築かれており、加えて多くの床固や護岸、山腹工が施

石田所長がこう説明してくれた。「赤木先生は自費でオーストリアに留学されましたが、帰国後しばらくして所長を拝命します。カルデラ内をつぶさに調査し、近代技術を用いれば砂防工事は可能であると確信されたそうです」。赤木の挑戦は綿密な調査から始まった。

技術者たちの志が 独創的な治水技術を生み出す

赤木は、立山カルデラ内に存在する大量の不安定土砂を治めるための有効な手立てとして、カルデラの出口付近にコンクリートを用いた白岩砂防堰堤を計画する。本堰堤の高さは六三、七基の副堰堤を含めた落差一〇八、国内随一の規模を誇る。重力式コンクリートダム、導流堤、方格枠を用いた土堰堤といった異なる形式が一体となった複合的な土木構造物だ。この独創的な堰堤は、現在も現役で効果を発揮している。「まずはカルデラの出口で不安定な土砂をしつかりと抑える強固な堰堤を構築するために、セメントなどの資材や人員を効

使われている。その施工、管理を立山砂防事務所が担っている。ネックになるのは施工期間だ。冬季は積雪で山が閉ざされるため、六月から十月までの五カ月間ほどで集中的に整備を進める必要がある。立山の砂防事業が長期にわたる背景に、この限られた施工期間がある。石田所長は立山カルデラとその周辺の砂防工事のために設置された夏場限定の水谷出張所をあげてこう説明する。「出張所長をはじめとする職員、職員を含めると多い時には三〇〇名近くの方が宿舎で寝食をともにしながら施工に当たっている。「水谷村」ともいわれるこの現場は立山カルデラ近くに位置しており、鳶崩れの堆積土の上の狭い平場につくられている。このような山深い現場で下流域の安全・安心のために日々力を尽くしている方々が大勢いる。そのことを是非多くの皆様に知っていただきたいと思います」。

冬季を迎え各現場が撤収した後にも、翌年の雪融けとともに始まる施工に向けた調査や検討、工事発注の準備が控えている。赴任し

率的に運搬するための専用軌道を敷設しました。これによって現地のコンクリートの製造、打設が可能になりました。軌道を整備すること自体が先見の明。今で言うところの生産性向上、省人化につながる発想があったと考えています」と石田所



赤木正雄氏(提供:(一社)全国治水砂防協会)



立山カルデラを調査する初代所長・赤木正雄氏

て二年、その指揮を執る石田所長は「一〇年後、二〇年後の姿を想像し、特性の異なる荒廃地でその条件にあった構造、施設配置計画などを自分の頭を使って考えることが砂防の面白さだと思っています」と話す。職員たちにも現場の状況を自分の目でよく見て、将来の山や溪流、下流域の姿を思い描きながら計画や施工を進めようと日ごろから呼びかけ、そして職員たちはそれに応えてくれているという。

初代所長の赤木氏は、内務省を退官した後も度々この地を訪れ、白岩砂防堰堤と泥谷砂防堰堤群は必ず視察されたという。そして、泥谷の砂防工事は「会心の作」と自慢されていたそうである。「泥谷は堰堤工と山腹工を組み合わせて短期間で施工されました。そして溪岸の地盤が安定し、今では施設が見えないくらいに周辺は樹木で覆われています。このように、荒廃が進んだ谷に對し、小さな働きかけで大きな効果を得ることこそが砂防の理想の形の一つだと考えています」。

立山砂防事務所所長室には、歴代の所長名が掲げられていると

長は説明する。同時期中流域では内務省技師の蒲孚の理論に基づいた本宮砂防堰堤が整備される。県の事業で実現が叶わなかった強靱な砂防施設の整備が常願寺川流域で次々と行われた。上流域から下流域までを網羅する水系一貫の砂防構想は一九四九(昭和二十四)年「常願寺川改修改訂計画」に結実し、日本の急流荒廃河川における治水理論の規範となったと言える。「昭和初期の約一五年の間に、これだけ大規模な砂防構造物の整備がほぼ同時に進行していた。本宮砂防堰堤にいたってはわずか二年ほどで竣工しています。当時の技術者、施工者の強い志を感じます」と石田所長は感嘆する。

当時、災害の源となる上流域の整備を重視した赤木と、まず中流域の好地点に高い砂防堰堤を築いて応急処置とし、次に下流域の改修、そして同時に上流域の砂防工事を実施すべきとする蒲の間で「砂防論争」が展開されたという。「このような技術的な議論が交わされていたことを知り、胸が熱くなりました」と石田所長は話す。

いう。赤木正雄の名も常に石田所長の背後にある。けっこうなプレッシャーを感じると笑いながら、最後にこう話してくれた。「先人たちの工夫と苦勞、そして今も山深い現場で肅々と施工に当たる方々があつてこそ、平地の生活圏が守られています。そのことに想いを巡らせていただきたいと切に願っています」。



事務所に隣接した「SABO展示室」[富山県立山カルデラ砂防博物館]では大型のジオラマやトロッコ列車などを展示。立山の自然や歴史、砂防の意義を知ることができる。赤木正雄が愛用したメガネや書籍なども収蔵しており、石田所長は行き詰まった時にここを訪れ考えを整理することがあるという(提供:富山県立山カルデラ砂防博物館)

災害の只中にある復旧の現場

赤谷3号砂防堰堤「奈良県」



完成した3号砂防堰堤(最上段)

紀伊半島を襲った 未曾有の土砂災害

二〇一二年九月、日本列島に上陸した台風一二号は、記録的な大雨によって紀伊半島を中心に、未曾有の規模で河川の氾濫や浸水、土砂災害を引き起こした。この紀伊半島大水害による斜面崩壊は三、〇〇〇カ所超、崩壊土砂の総量は約一億立方メートルに及んだ。奈良県と和歌山県では一七カ所で河道閉塞が確認され、土砂によって形成された天然ダムの越流、決壊が懸念される五カ所に対し、国土交通省は日本建設業連合会を通じ、ゼネコン各社に協力要請を通達する。奈良県赤谷地区では一千万立方メートル以上の土砂が崩れ、一晩にして一〇〇万立方メートルの水を貯留する天然ダムが形成された。この地に緊急対策工事に走ったのが、鹿島建設(株)関西支店のメンバーだった。

同社は被災ポイントの三キロほど手前から工事の生命線となる進入路の緊急施工に着手した。一刻も早くダム湖から水を抜くために、緊急対策工事としてポンプで強制

人が入場しない現場

緊急対策から抜本対策まで、赤谷の現場は災害の只中であつたと言えるだろう。災害が終息した後に復旧に当たる現場とは、その性質が異なる。一千万立方メートル超の土砂が流出した深層崩壊の現場だ。土砂が三〇〜四〇メートルの厚さで崩れた斜面は、手つかずのまま残っている。斜面を見上げれば、そこに亀裂の入った土塊が露出していた。現場が易々



調査のため現地へ徒歩で向かった

的に排水。並行して土砂を掘削して排水管を設置、仮排水路の構築に取り掛かる。しかし着工直後に台風一五号が襲来し、閉塞した河道の一部が決壊した。当時、課長代理としてその現場を目撃した鹿島建設の森田真幸氏は、その時の印象をこう振り返る。「下流側から崩落ポイントにアプローチするにはあまりにも危険なため、山を登って迂回することになりました。ほとんど登山です。上から崩落した斜面を見下ろした時、その被害の大きさに愕然としました。崩壊範囲が広すぎて、現場

の状況を把握することも困難だった。心底怖いと思ったことを覚えています」。同時に、避難を強いられている地域住民のために一日も早く復旧する、その土木技術者としての使命を果たす覚悟を決めたことも事実だった。

台風の波状攻撃との闘い

森田氏は、途中転勤で短期間離れることはあつたものの、二〇二四年七月の完工までこの現場に一三年間かかわり、最後は所長として全うすることになる。

その後も台風が紀伊半島を襲い、完成間際の仮排水路が損傷。その後も何度か発生した越流を、強靱な志と技術をもって乗り越えながら、緊急対策工事の仮排水路は被災後約二年で完成した。

堤は着工前にも斜面が崩れ、想定した位置に構築できず、再設計と設置位置の変更を余儀なくされた経緯がある。「本来、掘削して強固な基礎地盤を露出させてから本体を構築しますが、赤谷では大量に堆積した崩落土砂をすべて撤去する時間的な余裕がありません。そのため、堆積土砂を地盤改良し砂防堰堤をつくることになりました。それでも二号砂防堰堤は袖部が損壊したものの、脚部がしっかりと固定されていたため、土石流災害は免れました。堰堤の効果は間違いなく発揮されていたと思います」と森田氏は自負する。損壊によって工期の遅れを憂慮したが、土石流を抑止したことに対して「よくやってくれた」と、発注者からも感謝の言葉をいただいたと話し、安堵の表情を見せた。



鹿島建設株式会社
関西支店 赤谷工事事務所
所長(当時)

森田 真幸 Masayuki Morita



全体工事概要



右／出水期の掘削・土砂運搬は遠隔操作による無人化施工で実施された。最盛期には最大15台の重機が活躍した



左／重機のARカメラがコンクリートブロックの背面にあるARマーカを読み取ることで設置位置を割り出し、重機に搭載された人工筋肉ロボットが重機を操作することで、コンクリートブロックの把持から設置までの一連の作業を自動化した



2012年6月の台風4号により、完成間近の仮排水路が土砂で覆われた

「重機が量を把握して施工しているわけではありませんが、今後、重機にかかる負荷をセンサーによって緻密に計測できるようになれば、更に自律的な自動化施工が可能になる。そうした課題を見出せたことも、成果の一つだと考えています」と森田氏は展望する。

施工期間中にはインドネシアや中国をはじめとする海外の研究者の視察が相次ぎ、日本の砂防技術に対する注目度の高さを実感したと

「雨が降れば地盤の状況は激変します。事前の予測、計算だけでは判断が難しい局面が多くありました。どこまでリスクを覚悟するか、そのうえでやるべきことを

やっておかないと思わぬところで浸食や沈下の懸念がある。一方で、すべて



完成全景

をプログラムで再現することはとても難しかったが、本社の自動化施工推進室の全面的なバックアップを得ながら、課題をクリアしていきました」と森田氏は話す。

技術者たちは、自動化施工を更に進化させるための道筋を模索している。ソイルセメントの敷均し・転圧は自動化に成功した。施工エリアの幅に合わせて必要となる量をクローラードンプによって予定の位置に搬入し、ブルドーザーはそこに敷き均す量があることを前提に稼働する。搬入された量や資材の性状などを管理しておくことで、効率的な自動化施工が可能となっている。

「土木技術者の真価が問われる現場」と森田氏は、赤谷に着任するまで砂防工事に関する経験はほとんどなかったと明かす。緊急招集された立場としては無理もない。インターネットや資料で可能な限り情報を渉猟した。しかし、工事は現場から得られる情報と知見こそが本物だ。

の対策に固執すると、工事は前に進みません。そうした微妙なバランス感覚が求められる現場でした」。山の姿を見て、いかに早く確実に施工を進めるかを常に考えていたと森田氏は話す。

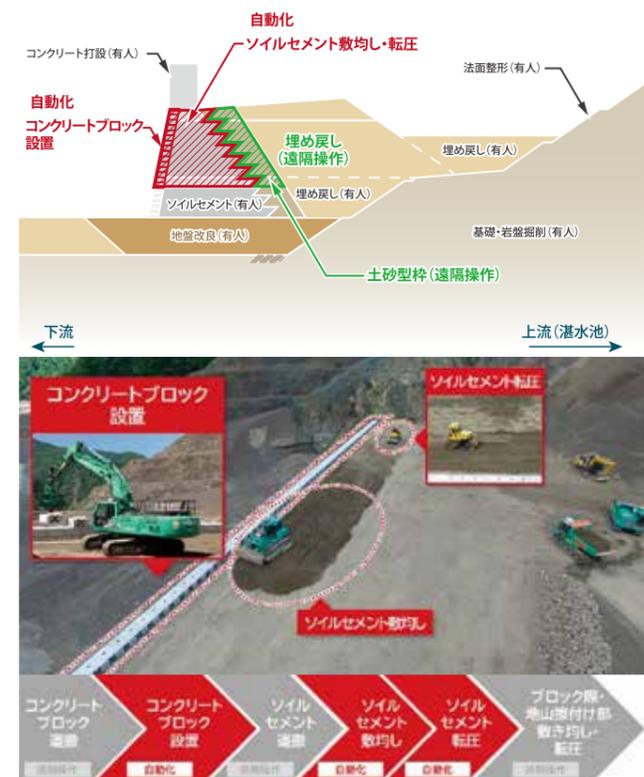
と安定することは考えられない。森田氏はこう語る。「雨が降れば、斜面からは間断なく土砂が流入して堆積します。河道も斜面も災害が進行しているという印象が強かった。実際に幾度となく再崩落や越流が発生しています。台風による地盤の浸食や構造物の損傷といった懸念、何よりも安全対策を常に念頭において施工する必要があるました」。施工の最中に再崩落が起きないように、祈るような気持ちだったのだろう。

「監視」が主業務になる。自動運転ソフトウェアで計算し、一連の作業を文字通り自動で施工した。オペレーターは操作をすることなく

以前の、排水管の設置などはリモコンによる無人化施工を実施していたが、出水期には人の立ち入りが制限される三号砂防堰堤の築造現場では、自動化施工が必須になった。「無人化施工は複数のモニターを監視しながら人が遠隔操作するので、どうしても時間がかかり精度の維持も困難な面があります。そうした課題を克服するため、自動化することで大幅に施工効率を上げることができました」と森田氏は評価する。

同社はダム現場を舞台として、自動化施工で数々の実績を残してきた。赤谷では、これまで培ってきたその技術を更に高度化させることが課題になった。属人化している施工の技をプログラム化することもその一つだ。「人が経験や勘で施工しているプロセスを自動化施工に適したプロセスに改善し、人が操作するより、ムリ・ムダ・ムラのない動き

そのリスクを根本的に回避するには、現場に人が立ち入ることなく施工を進捗させるしかない。二〇二〇年に着手した三号砂防堰堤の施工で、鹿島建設は無人化、自動化技術を結集し、施工を本格化させた。土砂型枠や埋戻しは遠隔操作による無人化施工で行った。下流側のコンクリートブロックの設置とその背面でのソイルセメントの敷均し、転圧に自動化施工を導入。コンクリートブロックの把持、設置の工程でも材料を損傷せず特定のポジションに確実に設置できるように、オリジナルのコンクリートブロックと把持装置を新たに開発した。



自動化施工・遠隔操作施工区分。ソイルセメント敷均しと転圧作業は、建設機械の自動運転を核とした次世代建設生産システム「A⁴CSEL[®]」を導入した