

無人化施工技術 (吹付けロボット)の 開発

山本三千昭

1. はじめに

皆さんが思い浮かべる富士山は、世界遺産にこそ登録されなかったものの、駿河湾側から見た冠雪した美しい姿でしょう。ところが普段紹介されることのない西側には、容赦ない自然の営みにより山頂から中腹にかけて大沢崩れと呼ばれる深く大きな谷（写真-1）が刻まれています。

この大沢崩れからは毎年約15万m³にもなる崩落土砂が土石流となって流下し、これまで度々土砂災害が発生しています。

このため、昭和44年度から国の直轄砂防事業が始められ、昭和57年度からは「大沢崩れ」対策の一環として、大量の土砂発生源である大沢崩れ源頭域対策のための調査工事が着手されています。

源頭域は急峻かつ狭隘な地形で、2,000mを超える高標高地における砂防工事は世界的にも例がありません。

調査工事では、具体的な施工方法に関する試験工事や、作業の安全対策のための建設機械の遠隔操作（無人化施工）に関する検討が進められています。また、国立公園特別保護地区及び特別名勝富士山内にあるため、環境、景観等への配慮も行われています。

無人化施工技術は高標高での厳しい気象環境や地形条件を克服し、作業員等の安全を確保しつつ目的を達成できる



写真-1 大沢崩れ

土木技術として、優先的な調査項目に位置づけられています。

施工技術総合研究所では、富士砂防事務所の委託により平成10年度から無人化施工技術の開発を実施しており、これまでに開発した技術が調査工事に導入されています。以下にその概要を紹介することとします。

2. 無人化の対象とその特徴

無人化の対象は、落石、崩落等の恐れがある斜面直下やオーバーハングした溶岩下で行われるスコリア侵食防止工（図-1）です。本対策工は、基礎部の掘削を含め多くの工種で構成されていますが、中でも吹付工（乾式）は危険性が高い場所での長時間作業となるため、優先的な対象としています。

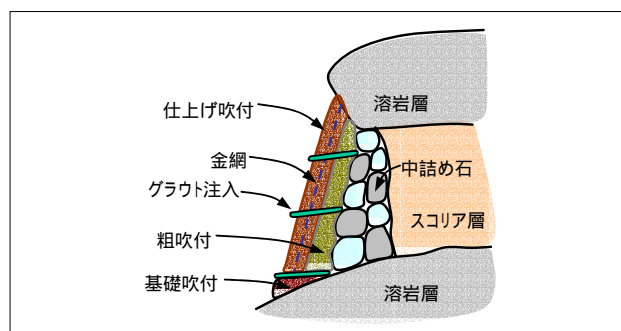


図-1 スコリア侵食防止工の例

無人化施工技術の開発においては、施工場所における次の特徴を考慮しています。

- ・機材運搬のほとんどをヘリコプターに頼っているため、大型建設機械が使用できない（分解質量2t以下）。
- ・峡谷は深く狭いため、GSPの使用が困難である。
- ・監視用カメラ（固定カメラや移動カメラ）の使用も制約される（見えない箇所が多い）。
- ・溪岸や渓床が急峻で起伏の激しい岩盤であり、重機走行が制限される（造成できても1台分の幅）。
- ・現場の地形・地質が複雑である（掘削後でない基礎部溶岩やスコリア層の地形、地質が確認できない）。
- ・周囲の景観と違和感のない形状や色彩に仕上げられる（溶岩の形状、スコリア層の色彩に合わせる）。

3. 無人化施工技術（吹付けロボット）の概要

(1) 機械構成

開発に際しては既述の特徴や汎用性等を考慮し、既存機械による現地での試験成果を踏まえ、遠隔による簡単な操作と操作室でも出来形管理ができるシステム開発を目指し、機械構成をベースマシン、吹付け装置、距離測定装置、画



写真 - 2 吹付けロボットの機械構成

像処理装置等としました。

写真 - 2 にベースマシン搭載装置を示します。

ベースマシンは、アームが左右に動かせるオフセット機構付きで、各軸にセンサを装備した汎用機種を採用し、作業範囲（約横 2 m × 縦 3.5 m）の確保、ベースマシンの姿勢、吹付けノズル位置等の検出及び制御ができるようにしました。

距離測定装置は、施工面の形状を取得する重要な視覚センサであり、測定データの高速画像処理を可能とする多眼ステレオカメラ（9 眼式）を採用し、面的な出来形管理を行えるようにしました。

吹付け装置はノズルの揺動、旋回が可能なもの。

(2) 特 長

開発技術には次の 2 大特長があります。

(a) レバー 1 本による吹付け作業

ベースマシンと吹付け装置の連動制御により、レバー 1 本で方向を与えるだけで吹付け作業ができます。

- ・吹付けノズルが設計勾配面に対し、吹付け角度(90°)を維持するように自動的に制御。
- ・吹付けノズルが設計勾配面と吹付け距離 1 m (指定) を維持しながら並行に動くように制御。
- ・吹付けノズル位置を画像に表示。

(b) 出来形管理

作業中、操作室から吹付け厚さ分布と勾配の確認ができ、面的な管理が可能となり、従来の検測ピンによる管理（点の管理）が不要となります。

- ・測定データを瞬時に解析し、形状や吹付け厚さをモニタに表示（自動計測も可能）。
- ・設計勾配の基準線を断面画像内に用意（仕上げ面を目標とした管理も可能）。

(3) モニタ表示画像の例

オペレータに提供される画像は、次の 3 種類ですが、作

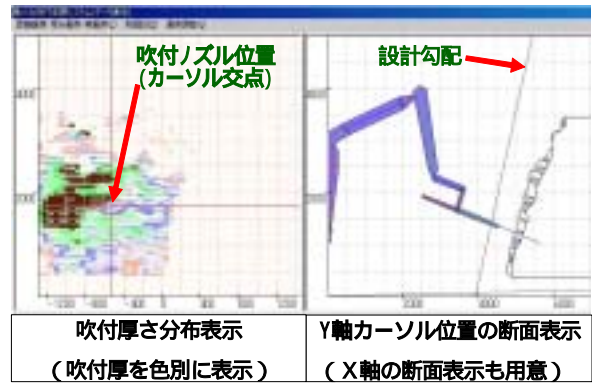


図 - 2 モニタ表示画面の例

業中は主に図 - 2 に示す画像を用います。

- ・距離画像（機械と対象面までの距離を表示）
ブーム向きが対象面に直角かを判断できます。
- ・吹付け厚分布画像（図 - 2（左））
吹付けノズル位置、吹付け厚さの過不足（量と位置）、出来形等を面的に判断できます。
- ・断面画像（図 - 2（右））
吹付けノズル位置の X 軸及び Y 軸の断面形状、吹付け厚さ、機械姿勢等を判断できます。

4 . おわりに

紹介した吹付けロボットにより吹付け作業が安全な場所から容易に行えるようになりましたが、無人化施工技術としてはまだ十分とは言えず、ソフト開発による現状の機械構成での自動化、施工場所における機械位置や作業位置の認識、計測・施工範囲の拡大、装置開発による適用工種の拡大等の課題が残されています。

当研究所ではこの他にも建設ロボットの開発に携わっており、車載カメラ映像による観察と遠隔操作の面で無人化施工と共通した技術が用いられています。最近の 10 年間では、高構造物の維持管理作業における安全性、効率性等の向上を目指した塗装ロボット、磁石車輪で移動する点検ロボットなどがあります。

当研究所は遠隔操作の標準化や情報化施工技術にも携わっており、今後とも現場からの要望等を踏まえて無人化施工技術の進展に貢献して行きたいと考えていますので、さらなるご支援をお願い致します。

《資料提供》
国土交通省中部地方整備局富士茶房事務所（昭和 45 年度開設）

[筆者紹介]
山本三千昭（やまもと みちあき）
社団法人日本建設機械化協会
施工技術総合研究所
研究第一部専門課長

