

1. はじめに

我が国は急峻な地形が多く、生活しやすい平坦地を確保するには法面が多く出現する。また地震や台風によって自然斜面の地滑りも多発する。このような法面や自然斜面の防災を目的として法面工事は不可欠なものである。その工事手順は、斜面の掘削、フレーム組み、モルタル吹き付けに大別される。最も危険を伴うのは斜面掘削であり、現在では、写真 - 1 に示すようにオペレータが操縦するバックホウによる方法が主流である。一部遠隔操作の技術導入も図られているが、後述するように問題点も指摘されている。

本研究では、事故レベルを3段階に区分することによって危機管理費用の内容を検討したうえで、安全性向上のために深刻な事故が発生する確率を極力小さくする方策として、ロボット遠隔操作の具体的な改善案を提示する。



写真 - 1 : オペレータが操縦するバックホウによる法面掘削の状況

2. 本研究における危機管理費用の考え方

ある工事の施工費用を CC , 危機管理費用を CE とすると全体費用 C は式 (1) で表される。

$$C=CC+CE \quad (1)$$

ここに、 $CC = \text{施工期間} \times \text{平均施工単価}$ (2), $CE = (PL \cdot CL) + (PM \cdot CM) + (PH \cdot CH)$ (3) ただし、 $PL, PM, PH = \text{軽微 L, 中程度 M, 深刻 H の事故が発生する確率}$, $CL, CM, CH = \text{それぞれの程度の事故が発生したときの復旧費用である}$ 。

式 (3) に示す CE を下げるためにはそれぞれの程度の事故の発生確率 P を小さくする必要がある。このために $K \cdot Y$ 活動¹⁾ といった安全管理は日ごろ実施されている。しかしながら事故の発生確率 P を 0 にすることは困難であり、思いがけず事故が起こってしまうのが現状である。L と M は事故当事者が起こしてしまう事故が多く、丁張を作る際に釘を打っていて自分の指を叩いてしまったり、法面作業中に頭上への注意が不足し、小さな落石で怪我を負うような事故である。このような事故は事故当事者が気をつけていれば防ぐことができ、 PL, PM を小さくすることは比較的容易である。しかし H の事故は気をつけていても防ぐことが困難な事故である。例えば、機械にオペレータが搭乗している時に山が崩壊し、機械もろとも巻き込まれ人命を失ってしまう事故である。

式 (3) に示す CE は不確定ながら事故が発生した場合には金額が大きくなる。その代わりに保険を利用する方法がある。事故が発生しなくとも確実に保険掛金を必要とするが、深刻な事故が生じた場合でも負担金額が増えることはない。しかし H のような人命を失う事故が起こってしまった場合、保険だけの対処で十分だろうか。遺族は悲しみ、係わっている人すべてが悲しむ。会社は遺族に慰謝料を払うが、人の命を金で代えられることはできない。例え慰謝料を受け取ったとしても気持ちを治めることはできない。だからこそ PH を限りなく 0 に近づける方策が必要である。

3. 遠隔操作による掘削工の現状と問題点

遠隔操作が可能な掘削機械としてロッククライミングマシン²⁾ がある。アンカーとなる立ち木を探し、その立ち木にくっったワイヤーを斜面に沿って垂らし、機械本体に取り付けてあるウインチでワイヤーを巻き取りながら登っていくので、ほぼ 90° までの斜面で移動可能である。現在は、 30° 以上の急斜面の場合に写真 - 2 に示すリモコンを操作して遠隔作業を行っている (写真 - 3 参照)。ただし、遠隔操作のときは通常



写真 - 2 : 掘削機械のリモコン



写真 - 3 : 遠隔操作による掘削状況

と目線が変わってしまうため削り過ぎてしまうことも散見される。また現場によっては近くで見ることができないため丁張通りに掘削できず、デコボコした面になってしまうこともある。

4. 改善案とそれぞれの利点

条件によって遠隔操作に切り替えるよりも、常に遠隔操作で作業できれば、安全性が向上する。そのための具体的な改善案を以下のように提案する。以下の3案に共通するコンセプトは次の2点である。オペレータの目の代わりとなる各種カメラを利用すること。通常と異なる目線になり感覚がずれて削り過ぎることを防ぐために削り過ぎ防止センサーを装備すること。

(1) プラン1 : GPS を用いた遠隔操作

第1提案はGPSを用いて遠隔操作にすることである。トランシットのように必要な数値を打ち込み、コンピュータで勾配を計算し、掘削すべき箇所をピンポイントで見極める。

現在のGPSはとても進歩していて、カーナビゲーションにも見られる通り、現在地を算出し、場所を立体的に表示してくれる。その機能を利用して現在地を算出し山全体を映す。次に掘削したい箇所を立体的グラフィックにして表し、サーモグラフィーのように色分けをし、既に掘削してある箇所は青色、まだ出ている箇所は赤色にするなどよりわかり易く表す。

(2) プラン2 : ラジコンヘリコプター (ラジコンヘリ) を用いた遠隔操作

第2提案はラジコンヘリを用いて、バックホウの遠隔操作をすることである。ラジコンヘリは細かな制御が可能で、高性能カメラを搭載すれば、掘削工の対象としている山全体を映すことも、掘削部の細部を映し出すこともできる。

立体視画像を撮影できるカメラを利用し、適切な位置にラジコンヘリをホバリングさせれば、自分の目で見ている感覚で作業することが可能となる。

(3) プラン3 : キャビンにカメラを用いた遠隔操作

遠隔操作になった場合、オペレータが搭乗しているのと異なることは、目線が違うことである。そのことにより作業時間がかかってしまったり、必要以上に掘削し過ぎてしまうことがある。そうならないためにキャビン (バックホウの操縦席) にカメラを付け通常作業と変わらない目線の映像をオペレータが装着するバーチャルモニターグラスに送る。

5. 最終提案

プラン2は小回りが効き、細部まで映し出すことができるのだが、天候に左右されやすく、特に風には弱い。最大風速が10m/sを超えてしまうと安全限界として作業をすることができない。プラン1は正確に作業することができ、将来的には最も有効と思われるが、現段階では操縦する人間を育成するのに時間がかかってしまい、すぐに活用することができない。それに比べプラン3はいつもの作業と変わらず同じ目線で作業ができ、人が搭乗していないため安全に作業することができる。現段階では最も有効的なプラン3を活用しながら将来的にプラン1に移行するという段階的な改善案が必要と考えられる。このとき、式(2)における平均施工単価は大きくなることが予想されるが、施工期間を短縮できる可能性が高くなり、結果として施工費用CCの低減につながる可能性も副次的に発生する。

参考文献 : 1) http://www.kana-rou.go.jp/users/kijyun/az_kanri_02.htm , 2) 大昌建設(株)内部資料