

## 5. 掘削機への接近防止対策\*

深谷 潔\*\*

### 5. Countermeasures Against Human's Approaching an Excavator\*

by Kiyoshi FUKAYA\*\*

**Abstract:** There are two kinds of countermeasures against caught accidents by excavators. One is related to excavators and the other is related to co-workers. In this chapter the latter approach, that is, the countermeasures to prevent co-workers from approaching excavators were studied.

Since the working areas of excavators are dangerous, the areas are often guarded by fences. In general the fences used in construction sites are simple except for the fences surrounding the construction sites. For example, the fences of color cones with side bars are widely used. Such simple fences may be stridden over by workers. On the other hand in factories the dangerous areas are guarded by tall fences and the entrances to the areas are monitored. In construction sites the dangerous areas change every day, so tall and strong fixed fences are impractical. Therefore the simple fence with the monitor system is proposed in this report.

The experiment to estimate the intrusion prevention effect of the simple fence with side bars was carried out. The height of the side bar of the fence was changed and the behavior of the subjects such as striding over the bar, passing through under the bar, or detouring around the bar, was observed. All the subjects strode over the bar when it was low and passed through under the bar when it was high, and some subjects made a detour around the bar when it was middle height. The heights for detouring were from 65 cm to 90 cm, depending on the stature of the subject. The conclusions are that since the fence of the color cones of 70 cm height with side bars is rather too low to prevent persons from entering the dangerous area, its effect is nothing but telling persons not to enter the area, and as the result the higher fences are needed.

**Keywords;** Approach prevention, Intrusion prevention, Effect of a fence

#### 1. はじめに

掘削機による接触災害を防止するための手段として大きく分けて2つのアプローチがある。掘削機の側での対策と被害者側での対策である。第3章では掘削機側の運転者の特性、第4章では運転者を補助する手段について検討したが、この章では被害者に対する対策について検討した。

被害者側の対策とは、掘削機に人を近付けないことで、そのための手段としては、掘削機の外に監視者を

置く方式や、掘削機の作業領域周辺に簡易な柵を設ける方式などが考えられる。また、車体の外側に磁石で着脱可能なバンパーを取り付ける方式も何種類か開発されている。これについては、別の機会にゆずり、ここでは、柵によって人間の接近を防止するという手段について、検討した。

はじめに、簡易な移動式の柵にセンサ機能を持たせる方式の検討を行った。すなわち、人間が防護領域に入るために柵を破ったということを検出するシステムである。このシステムについて、その要件を検討し、柵

\* 機械学会第8回交通・物流部門大会(1999)<sup>1)</sup>、第30回安全工学シンポジウム(2000)<sup>2)</sup>で一部発表

\*\* 機械システム安全研究部、境界領域研究グループ Mechanical and System Safety Research Division, Interdisciplinary Research Group

部分の試作を行った。

また、このような簡易な柵による人間の侵入防止効果について、人間工学的実験による検討を行った。すなわち、簡易な柵に対してまたぎ越したり、くぐったりしないかどうかについて検討した。

## 2. 移動式柵

### 2.1 移動式柵システムの概要

掘削機の作業領域は危険である。特に後方は旋回時に車体の巾からはみ出すため、その旋回半径内は立ち入り禁止になっている。その作業領域はコーン等 (Photo 1 参照) による簡易な柵を用いて立ち入り禁止区域を設定してきた。一般に建設現場では危険領域が日々変わることも少なくなく、工事現場全体を仕切る塀等を除いて、これらの簡易な柵を用いることが多い。一方、工場においては、柵は身長以上とし、乗り越えられることを防止するために横の柵をなくす等の配慮した柵が用いられている。さらにこれらの柵は単に人間の行動を規制するのみならず、その開口部 (扉) の監視により機械の運転を制御することで接触災害を防止している。しかし、建設現場の日々移り変わる危険領域に対してこのような固定的柵を設けることは現実的ではない。ここでは扉の監視に習って、コーンによる立ち入り禁止区域の設定を人間側のみならず掘削機の運転側に反映するシステムについて検討した。すなわち、柵の状態を常時監視していて、人間が柵を越えた場合に、掘削機側で直ちにそれを検知し対処するシステムである。

なお、掘削機側の対処としては、工場における機械類の運転と同様に自動的に運転を停止させることが望ましいが、運転者に警報を発するだけでも効果があると思われる。

### 2.2 移動式柵の要件

建設現場のように状況の変化が大きい作業現場では立ち入り禁止区域は一時的なものであり、そのため、容易に変更できることが必要である。

また、立ち入り禁止領域を区切るものは、人間の立ち入りを阻止できるものでなければならない。

しかしながら、容易に設定・変更できる柵であるため、人間がどうしても乗り越えようと思えばそれを阻止することは困難である。そのため、人間が柵を越えたことを検出する機能が必要である。

また、容易に移動できる柵では、立ち入り禁止領域を設定していても、柵を越えるかわりに柵を動かして領域に侵入する恐れがある。これを防止するために、柵を動かした場合にもこれを検出できることが必要である。

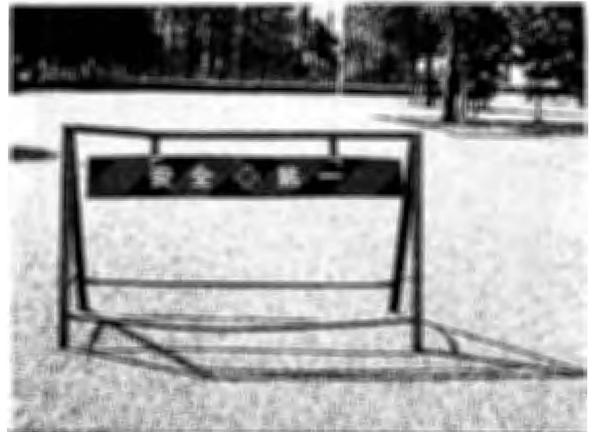


Photo 1 A simple low fence.  
簡易な柵の一例

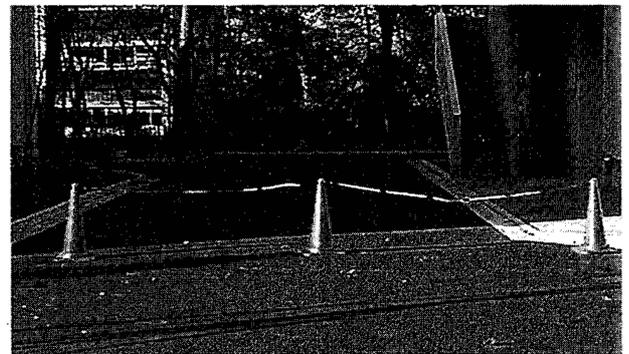


Photo 2 The monitoring fence.  
監視機能機能付き柵

以上の考察をまとめると、以下の要件が必要である。

- (1) 立ち入り禁止領域を容易に設定できる。
- (2) 柵を人間が容易に越えられない。
- (3) 柵を越えた場合に検出できる。
- (4) 柵を動かした場合に検出できる。
- (5) 柵と掘削機の間で通信ができる。

### 2.3 移動式柵の構成

以上の要件を満たす移動式柵を検討した (Photo 2 参照)。その適用の一例を Fig. 1 に示す。これは、掘削機の後方を立ち入り禁止にした例である。その構成を Fig. 2 に示す。これは、建設作業で領域を仕切るのに用いられるカラーコーンをベースにしていて、カラーコーンとカラーコーンの間をケーブルで結んだものである。そこに、通行のためにケーブルを外したり、コーンを動かしたときに信号を遮断するセンサ機能を付加したものである。ケーブルを通して信号を伝達していて、信号が遮断されたときに、警報を出す構成である。

信号ケーブルとカラーコーンの接続は磁石式コネクタを用いた (Photo 3 参照)。これは電気ポット等で使

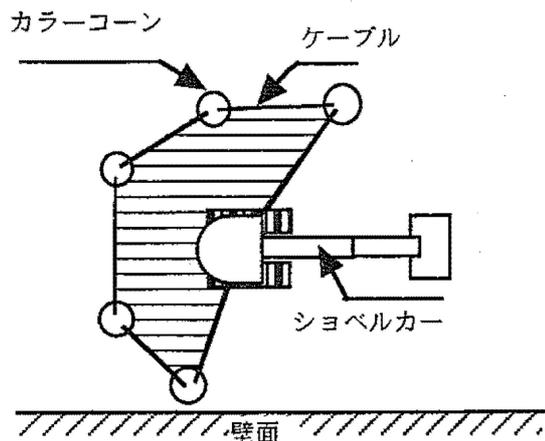


Fig. 1 Application of monitoring fence to an excavator.  
監視機能付き柵の掘削機への適用

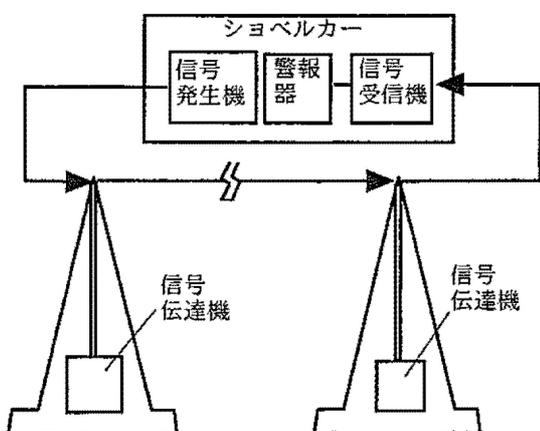


Fig. 2 Signal transmission system of the monitoring fence.  
監視機能付き柵の信号伝達システム

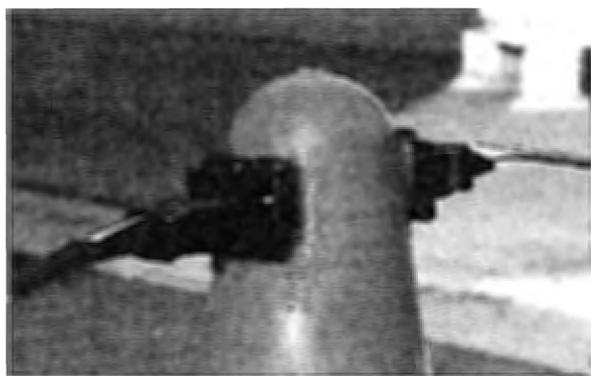


Photo 3 Magnetic connector.  
磁石式コネクター

用されているものと同じであり、接触させると磁石で固定される。カラーコーンの配置は元々容易であり、また、ケーブルの接続もこのような方式によって容易に行える。したがって、(1)の要件を満たすと思われる。

ケーブルはコーンの頭部で接続する。コーンの高さは約70 cmであり、くぐるには低すぎ、またぐには多

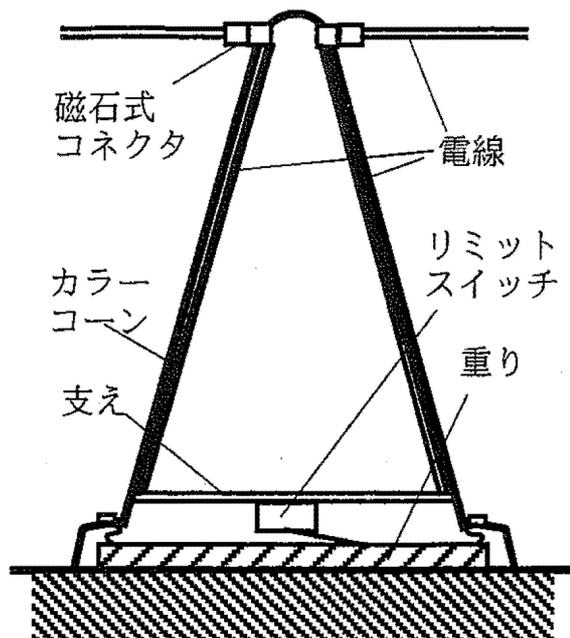


Fig. 3 Structure of sensor in color cone.  
センサコーンの構造

少高い。したがって、これは(2)の要件を満たすものと思われる。これについては別途検討した。

柵を越えるときには、くぐったり飛び越えるのでなければ柵のケーブルに引っ掛かるので、コネクターが外れる。これによって信号が遮断されるので、人間の通過を検出することができる。これで、(3)の要件を満たすことができる。

また、(4)の要件を満たすために、コーンを持ち上げたら信号が遮断するようにしている。すなわち、重りとリミットスイッチを用い、上部のコーンを少し持ち上げると重りと離れることで、リミットスイッチが切れるようにしている。なお、重りは、ひもで上部のコーンと接続されていて、大きくコーンを持ち上げるとコーンと共に移動する。コーン内部の構造を Fig. 3 に示す。

## 2.4 信号処理系の構成

Fig. 2 においては、信号源からの信号を伝達し、最終の信号受信器において信号が受信されている場合を安全であるとみなし、掘削作業等の危険な作業の許可を与える構成とした。この場合、安全情報はオン信号で与えられているので、柵が破られるという異常や機器の故障によってオフとなるように構成することが可能であり、フェールセーフなものにできる。

信号源としては、直流を用いる方法と交流を用いる方法の2通りがあるが、フェールセーフ信号処理においては、固着故障の影響を防止するために交流信号を用いる。すなわち、直流信号で信号伝達している場合に

は、電源出力と信号線が短絡するとオン信号と誤認されるおそれがある。これに対して交流信号の場合には、短絡は電圧レベルが一定になるので故障時オフとなる。

本システムの場合には、システム動作時は常時信号を出力していかまわないので、特別の配慮は不要である。感電防止のためには低電圧であることが望ましく、また、掘削機に搭載することを考慮すると、掘削機のバッテリーの直流を電源とする発信回路を用いればよい。

信号受信機においては、この信号を整流してノーマルクロズの電磁弁を開き、掘削機の動作を可能とする。ノーマルクロズであるから、信号が遮断されれば弁が閉じ、掘削機の動作が停止する。

Fig. 2では、掘削機を自動停止させる場合を考えて、フェールセーフ化のためにコーンと掘削機は有線で結ぶ構成としている。そのためのケーブルは釣り竿の釣り糸のように、位置が固定されないようにつるすことを考えたが、掘削機が動き回することを考えると、有線では実用化は困難かもしれない。自動停止ではなく警報に使用する場合フェールセーフにならないので、この部分は無線を使用すべきかもしれない。

### 2.5 実用性の検討

このように人間の立ち入り禁止領域を監視することの有用性であるが、掘削機を自動停止させる場合は勿論、警報の場合でも十分有用と思われる。

一般に人間は予期していないことには機敏に対処することは困難であるが、予期していれば機敏に対処することが可能である。この場合も、近くに人がいるかどうか分からない場合には運転者に注意を要求することは酷であるが、近くに人がいることが分かっている場合には、離れるまで待ったり、見易い位置にいるのなら注意しながら作業を行うといった対処を要求することも無理ではない。

今回の方式を実用化するためにはいくつか検討すべき課題がある。その1つは、人が近づくときに外したケーブルを誰に再接続させるかという問題である。防護する領域が狭い場合には、人が来るたびに運転者が侵入者に注意して元に戻して退去させるということも可能であるが、防護領域が広い場合には運転者の声が届き難くなるおそれがある。また、従来のコーンの利点の一つが重ねて保管できることであるが、リミットスイッチを取り付ける等の加工をすると重ねられなくなる。このように、実用化のためには検討すべき課題があるが、柵に監視機能を持たせるという基本方式は有効であり、検討する価値はある。

## 3. 柵の高さの人間工学的評価実験

### 3.1 柵高さ実験の目的

工場における柵では、それを身長に対して十分高くすることや、途中で横棒を持たない構造とすることで乗り越えられないものとして扱ってきた。したがって、人間が立ち入り禁止領域に出入りする箇所は出入り口等の開口部に限定することができ、そこを監視することで、危険領域内に人がいないという保証を与えることができた。

しかしながら、建設現場においては作業工程の進行に伴って作業内容も必要とする資材も変わっていくため、物の配置が流動的である。そのため、建設現場とその外側を分離する塀を除いては固定的な柵を設置する余地が少ない。したがって、柵等も簡易的なものにならざるを得ず、立ち入りを禁止するという人間の挙動を制御する効果も限界があるといわざるを得ない。

このような状況において、柵というものが人間の行動を制御する効果について検討することが必要である。そのために、柵の高さの人間の行動への影響を調べるための実験を行った。

### 3.2 柵高さ実験の方法

柵として最も簡単な一本の横棒を用いて、この設置高さによって人間の行動がどのように規制できるかについて検討した。

Fig. 4に示すように、2つの基準点の間に横棒による柵を設け、8 kgの荷物を持った被験者に2つの基準点の間を往復させた。その際に、柵をまたいでもくぐっても迂回してもよいが走らないでなるべく早く往復するように教示した。その往復の様子をビデオに撮影し、また、往復の時間を計った。その際に、なるべく早く

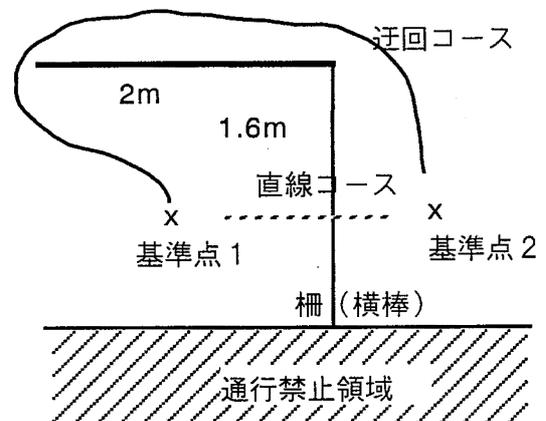


Fig. 4 Fence and detour.  
柵と基準点の平面図

往復すること、コースの選択は任意であることを教示した。

この実験を柵の高さを 50 cm から 5 cm きざみに増加させて行った。この場合、どの被験者も柵が低い場合にはまたいで通過し、柵が高くなるとくぐって通過したが、2 回連続してくぐると言う動作になった高さで実験を打ち切った。

また、100 cm から 5 cm きざみに柵の高さを下げて同様の実験を行った。この実験では、柵が高い場合にはくぐり、柵が低くなるとまたぐという挙動をとったが、この場合も 2 回連続して柵をまたいだ高さで終了とした。

また、被験者の身長も計測した。

### 3.3 柵高さ実験の結果

Fig. 5 に柵の高さを上げていった場合の各被験者ごとの柵の高さに対する所要時間を示す。どの被験者も柵が低い場合にはまたいで通過し、柵が高くなるとくぐって通過したが、一部の被験者を除きまたぐ動作とくぐる動作の間に迂回するという動作がみられた。往復とも迂回した場合と片道のみ迂回した場合があった。図ではこの部分はマーカーを塗りつぶすか四角で囲って示した。迂回によって所要時間が増加するのは当然であるが、迂回の前で所要時間の増加が見られる。

この実験において、柵をまたいだ場合のもっとも高い柵の高さ（またぎ上限）と柵をくぐる場合の最も低い柵の高さ（くぐり下限）および迂回が見られた柵の高さと被験者の身長との関係を Fig. 6 に示す。

迂回した場合の柵の高さの平均又はまたぎ上限とくぐり下限の中間点の柵の高さと身長との関係を、柵を上げていった場合と下げていった場合について Fig. 7 に示す。人間は前の動作に倣おうとする傾向があるため、

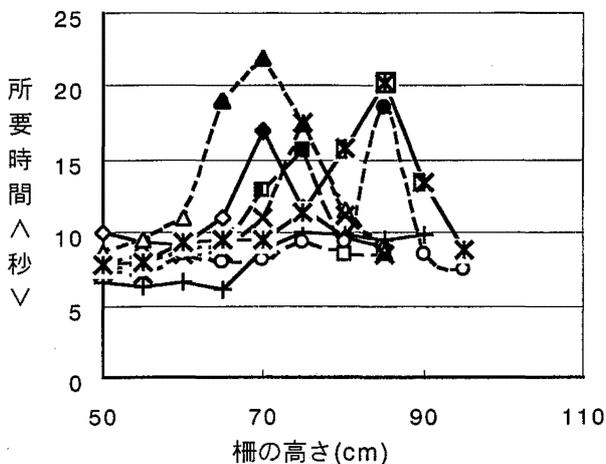


Fig. 5 The motion time of each subject. 被験者ごとの移動所要時間

またぎとくぐりの境界線は上げていった場合より下げていった場合の方が低い。

### 3.4 柵についての考察

一般に人間はなるべく楽な行動をとると考えられる。そうすると、またぐ、くぐる、迂回するという3つの動作の中で最も負荷が低いと被験者が感じる動作をとると考えられる。

またぐという行為は柵の高さが高くなるほど負荷が増し、くぐるという動作は柵の高さが低くなるほど負荷が増す。また、迂回は、迂回する距離によって負荷が変わるが、柵の高さには関係がない。したがって、この関係は Fig. 8 のようになる。

くぐる動作やまたぐ動作の負荷は、着衣や荷物等で異なり、迂回の負荷は、迂回路の長さ等で変わると思

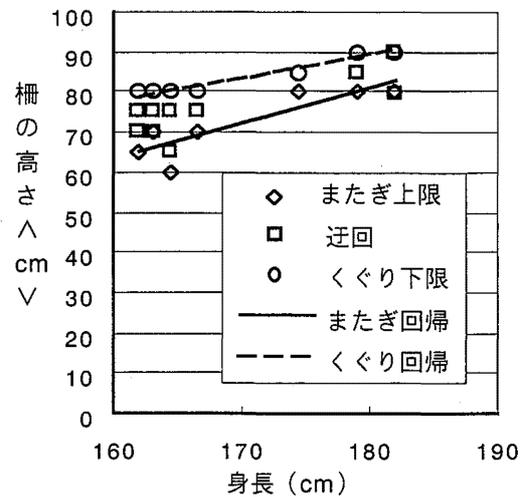


Fig. 6 Stature and height of bar at which the subject changes the behavior. 身長と挙動が変わる柵の高さ

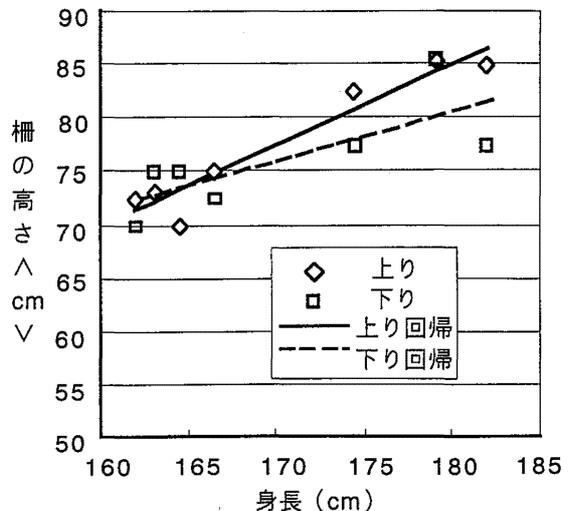


Fig. 7 Stature and height of bar preventing pass through. 身長と通過防止する柵の高さ

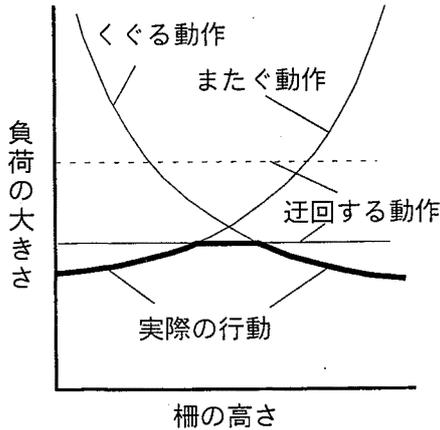


Fig. 8 Estimated load and height of fence.  
柵の高さと人間に対する仮想的負担

われるが、迂回の負荷が相対的に大きい場合にはくぐるかまたぐかして柵を越えてしまう。鎖等の柵が効果を持つのは、柵は越えてはいけないという教育効果による心理的な負荷が大きい場合であるが、これも急いでいる等の理由で、迂回の負荷が大きくなれば柵を越すことを防止することができない。

今回の実験で明らかのように、一本棒の柵が人間の通行を防止できるのは、極めて狭い範囲の高さのみであり、その高さも身長によって変化する。したがって、不特定の人間の通行を防止するためには、一本棒では十分ではない。少なくともくぐるのを防止する横棒とまたぐのを防止する横棒の2つの高さの棒を併用する

ことが必要である。すなわち、柵の上側は身長の高い人もまたぎ越さない高さにし、柵の下側は身長の高い人もくぐらない高さにする必要がある。

#### 4. おわりに

掘削機に人間を接近させない柵システムの提案と、柵の高さの人間の挙動への影響を調べる実験を行った。

簡易な柵に監視機能を付加することを提案し、このような監視機能付きの柵の一例を試作した。監視機能により、立ち入り防止効果を向上させることが期待できる。

各種の高さの柵の効果の実験から明らかになったように、背の低い柵は立ち入り禁止を示すのみで、進入防止効果は期待できない。現実に進入防止を行うためには、身長近くある柵を用いるか、今回の提案のようにセンサーを用いて柵を監視する等の対策が必要と思われる。

#### 参考文献

- 1) 深谷潔, 国定篤史, 人間の接近検知による掘削機の接触防止, 機械学会第8回交通・物流部門大会, pp. 153-154 (1999).
- 2) 深谷潔, 一本棒の柵による人間の進入防止効果について, 第30回安全工学シンポジウム, pp. 295-296 (2000).

(平成 13 年 2 月 14 日受理)