

## 1. 序 論\*

深谷 潔\*\*, 梅崎重夫\*\*\*

## 1. Introduction\*

by Kiyoshi FUKAYA\*\* and Shigeo UMEZAKI\*\*\*

**Abstract:** In the field of the civil engineering and construction business, there are many accidents caused by construction machinery. The number of accidents is large next to that of fall accidents. Above all, the number of accidents due to excavators is greater number of accidents due to all construction machinery. The ratio of the fatal accidents due to excavators to the all of the civil and construction accidents is increasing.

The accidents in relation to excavators were investigated and analyzed. These accidents were divided into 4 types; “caught and crushed”, “overturn”, “struck by falling or flying object” and the others. Nearly the half of the accidents belongs to the first type. Therefore the countermeasures against the “caught and crushed” were studied during 1997–1999 fiscal years.

The “caught and crushed” accident has two factors, excavator and sufferer, and there are two approaches in prevention of the accident. Both approaches were studied.

An excavator is controlled by a person and the prevention of an accident depends on the operator. Therefore human factors of the operators are very important, especially in the situation where accidents occur. From this point of view, researches to clarify operator’s human factors were conducted. The devices that help operators also were studied.

Sufferers could avoid the accidents unless they approached the excavator. Therefore the countermeasures to prevent a person from approaching an excavator were investigated.

To sum up this specific research report, the following research subjects were conducted.

- (1) Development of the excavator simulation system in order to clarify operator’s human factors, especially in dangerous situations such as presence of co-workers near the excavator.
- (2) Experiments using the simulator to clarify the operator’s human factors, especially visual recognition of working circumstances.
- (3) Proposals of the methods to detect a person near an excavator in order to alarm the operator or to stop the excavator.
- (4) Proposal of the system to prevent workers from approaching an excavator.

**Keywords;** Excavator, Accident rate, Safety measure

### 1. はじめに

近年、土木建築工事の機械化施工技術が著しい進歩

を遂げるとともに、大型化・高速化した各種の建設機械が広く普及し、これに起因する労働災害も多発する傾向にある。実際、建設機械等による災害は、建設業

\* 第 27 回安全工学シンポジウム (1997)<sup>1)</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

\*\*\* 機械システム安全研究部 Mechanical and System Safety Research Division

で発生する死亡災害の約 15%，土木工事業で発生する死亡災害の約 25%を占め，災害の種類としては墜落災害に次いで多い。なかでも，シャベル系建設機械掘削機は，車両系建設機械の死亡災害の約 60%，休業災害の約 50%を占め，発生件数が多いだけでなく，重篤度も極めて高い。このシャベル系建設機械を対象にして，平成 9 年度より平成 11 年度にわたって安全対策を検討するための特別研究を行った。

## 2. 建設機械等による労働災害の現状

### 2.1 建設業における建設機械等による災害

Fig. 1 に建設業の死亡者数，建設機械による死亡者数，車両系建設機械の死亡者数，掘削機による死亡者数の年次変化を示す。また，Fig. 2 に全死亡者数に対する建設機械等の災害の割合の年次変化を示す。Fig. 1 で明らかなように，建設業における死亡者数は年々減る傾向が顕著であるが，建設機械による死亡者数の減少は少ない。そのため，Fig. 2 に示すように全死亡災害に対する建設機械等による死亡災害の割合は増加している。これは，建設業における機械化の進展によるものと思われる。特に掘削機による災害の割合は明らかに増加傾向が見られる。Fig. 3 に平成 8 年の建設業の建設機械等による死亡災害及び死傷災害について機械ごとに分類したものを示す。建設機械の災害の内でも，掘削機の災害が多く，半数以上に上ることが

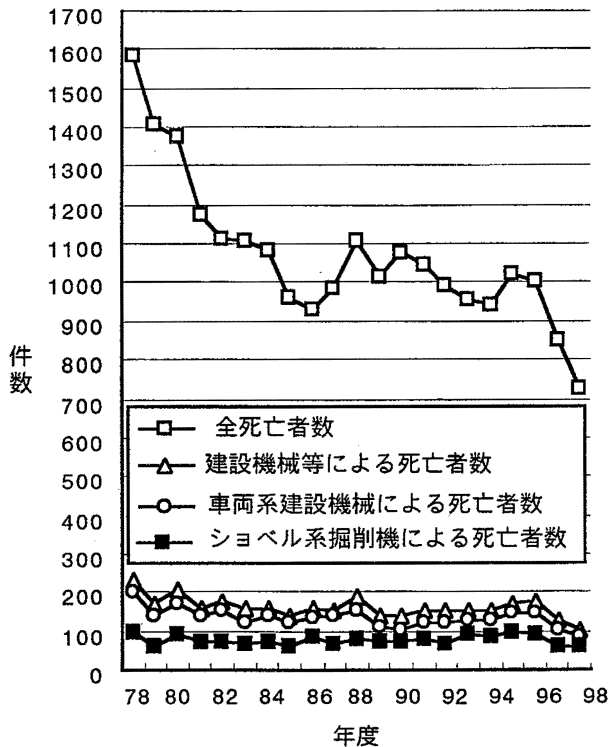


Fig. 1 The numbers of death in construction business. 建設業における死亡者数の推移

分かる。さらに，死傷災害の割合に較べて死亡災害の割合が大きいことは，掘削機による災害の重篤度が高いことを意味している。

### 2.2 シャベル系建設機械の災害の傾向

全産業における建設機械等による死亡災害の事故の型を，Fig. 4 に示す。挟まれ・激突による災害が大部分を占めている。

より詳しく事故の形態を調べるため，平成 10，11 年度の建設業の死亡災害事例の中からシャベル系建設機

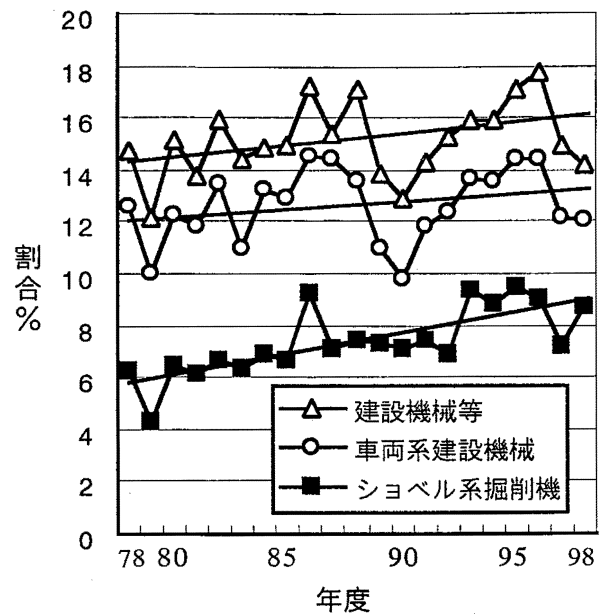


Fig. 2 The death rate of construction machinery. 建設機械等の死亡者数の建設業における割合

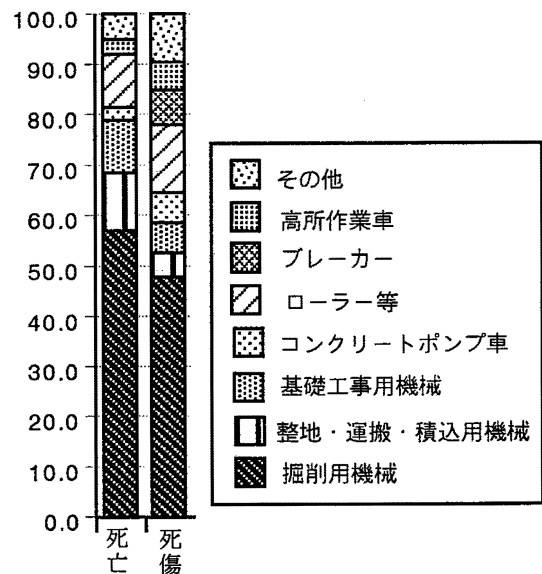


Fig. 3 The numbers of accidents in construction machinery. 建設機械等の災害の機械による分類

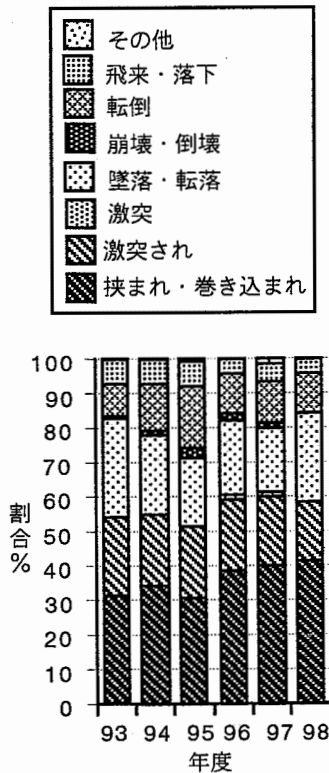


Fig. 4 The numbers of deaths in whole industry.  
全産業における建設機械による死亡者数

械の事例を選択し、類似した災害をまとめてグループ化を行った。その結果を Table 1 に示す。

大きく分けて、事故の型として「挟まれ、激突」「転倒、転落」「飛来、落下物」「その他」に分けられる。

「挟まれ、激突」には、「深い溝掘削時バケットが操作者から見えないので人に当てる。」「カウンタウエイトが大きく、回転時車両の幅からはみ出すので、そこにいる人間を挟む。」「カウンタウエイトが大きく、後方の視界を妨げるので後退時に人をひく。」というショベル系建設機械の代表的な災害が見られる。ただし、視野が制限されることは他の車両系建設機械にも見られ、また、クレーンも大きなカウンタバランスを持つ等、同様の問題は他の建設機械にもある。また、「運転席から身を乗り出すなどしたときに、体がレバーに当たって意図しない動きをして事故になった。」という多くの機械で共通に見られる災害もある。

「転倒、転落」は、路肩や傾斜地等の足場の悪いところでの作業に伴うもので、ショベル系建設機械に限らず車両系建設機械に共通する災害である。

「飛来、落下」は、「搬送中の荷物が外れる」等の災害で、クレーンによる災害と共通している。

上述したように、ショベル系建設機械の災害においても、災害の形態は他の建設機械と共通する部分が多く、その対策も共通する。ここでは、件数も多くショ

ベル系建設機械に特徴的な点を持つ「挟まれ」災害を中心に分析と考察を行った。

### 3. 「挟まれ」災害の分析

#### 3.1 FTA 分析

次の「挟まれ」災害を例に、FTA の分析を行った。さらに、同様な災害で見られる要因も付加した。これを Fig. 5 に示す。

(事例)「バックホーがこないうちに測量しよう。」としてしゃがんでスケールを押さえていた作業者を後退時にひいてしまった。

#### 3.2 「挟まれ」災害の論理的構造

Fig. 5 に示したように、「挟まれ等」の災害は人間と機械の接触によって特徴付けられる。人間の存在を論理変数  $H$  で示し、機械の存在を論理変数  $M$  で示すものとする、事故は、

$$H \cdot M = 1 \quad (1)$$

でモデル化できる<sup>2)</sup>。このとき、その対策は、

$$M = 0 \quad (\text{危険の除去}) \quad (2)$$

$$H = 0, M = 1 \quad (\text{隔離の原則}) \quad (3)$$

または

$$M = 0, H = 1 \quad (\text{停止の原則}) \quad (4)$$

とモデル化できる。そのための構造は、Fig. 6 に示す相互インターロックによって示される。

#### 3.3 危険源の除去

一般に災害の対策の最も基本的なものは(2)式に示される危険源の除去である。これが可能であれば後の対策は不要である。しかし、動力を用いて仕事をさせる場合には多かれ少なかれ危険源が存在する。掘削機の挟まれ災害については、超小旋回型の掘削機を用いることで、後部の車体巾よりのはみ出しがなくなり挟圧による危険性がなくなった。ただし、この場合でも後退や巻き込みによる危険性がなくなったわけではない。最近、作業性の上からも小旋回型のものが増えているが、従来型のものもなお多く使用されているので、掘削機の危険性がなくなったわけではない。以下に危険源への対処法を検討する。

#### 3.4 停止安全のクラス

挟まれ事故の対策は論理的に(3)及び(4)式で示され

Table 1 Typical patterns of accidents.  
典型的な事故の形態

事故の型	起因物／原因	典型的な災害事例	対策例
挟まれ・激突	バケットと激突	土止め支保工の設置直後、人孔内に設置したはしごで作業中、バケットとはしごの間に身体を挟まれた。	人間と機械の分離、人間センサ、バケット確認補助
	旋回時	倉庫解体工事現場において、ダンプの後方で作業していた被災者が建築廃材をダンプに積込むため旋回したドラグショベルの後方とダンプの間に挟まれた。	人間と機械の分離、周囲センサ、周囲確認補助、警報
	後退時	道路舗装工事において、ドラグショベルを用いて地ならし作業を行っていたところ、後進したドラグショベルに、補助作業員がひかれた。	人間と機械の分離、後方センサ、後方確認補助、警報
	レバーとの接触	近くの作業員から声をかけられたオペレータが、よく聞き取れなかったため身を乗り出したところ、腰が操作レバーにふれ、作業員がバケットと法面の間に挟まれた。	降車時のレバーロック
	逸走	ブレーキをかけずに降車したら、坂で動き出し止めようとしてひかれた。	降車時のブレーキとのインターロック
転落・転倒	路肩から転落	法面掘削作業現場において、ドラグショベルの移動中に路肩が崩れて、2m 下へ転落した。	ヘッドガード・脱出口の改善
	斜面から転落	河川敷で床掘りを終えて、ドラグショベルが勾配 35° の資材運搬路を上る途中に横転した。	ヘッドガード・脱出口の改善
	バケット移動中	河川改修工事において、鋼製矢板 8 枚を、ドラグショベルで吊り上げたところ、堤防道路より 1.5m 下の田んぼに転落死、その下敷きとなった。	モーメントリミッタの使用
	積み降ろし	トレーラーの荷台にドラグショベルを積込中、ドラグショベルが転倒し、下敷きとなった。	道板の改善
飛来落下	搬送物が人体に激突	河川護岸工事において、護岸ブロック下部の根固ブロックを吊り上げたところ、他の既設ブロックに当たり、吊っていたブロックが旋回して被災者の胸部に激突した。	
	搬送物の落下	ドラグショベルのフックを使用して敷鋼板をトラックの荷台に積込む作業中、敷鋼板が荷台に載せた際のショックで玉掛用具より外れ荷台より落下し、トラック後部で玉掛け補助作業をしていた被災者の頭部に接触した。	
その他			

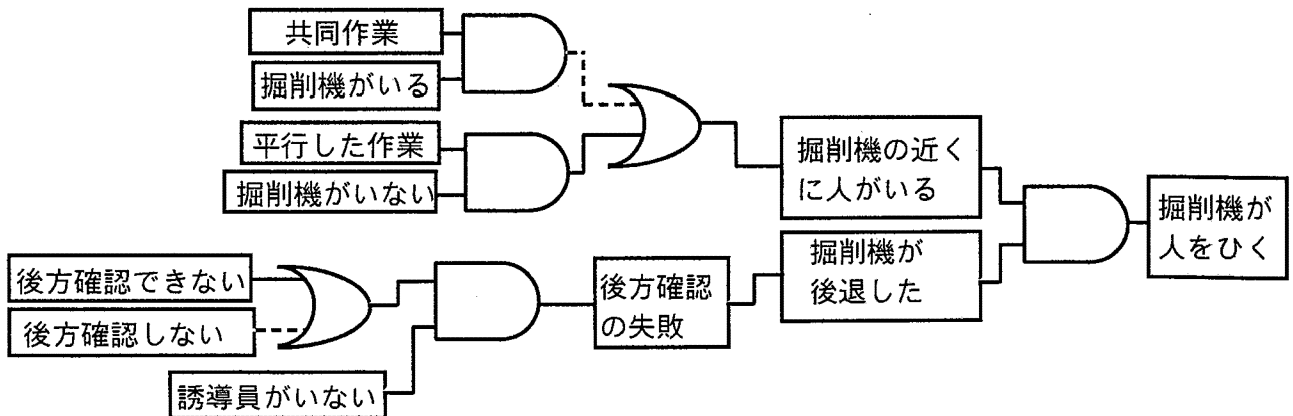


Fig. 5 FTA of a crushed accident by an excavator.  
掘削機によるはさまれ災害の FTA

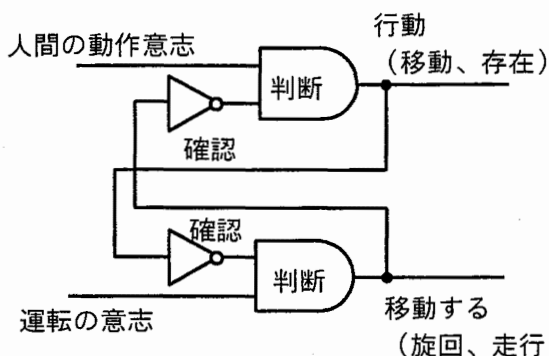


Fig. 6 Mutual interlock of a worker and an excavator.  
作業者と掘削機の相互インターロック

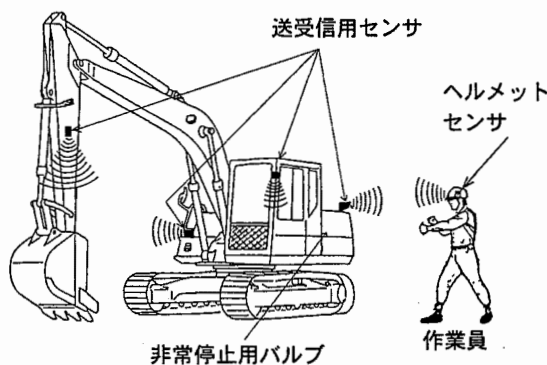


Fig. 7 Back Hoe with safety devices.  
接触防止型バックホー

Table 2 Classification of safety system.  
システムの安全のクラス

	クラス	例
1.	停止できない	ペースメーカ
2.	一定の条件でのみ停止できる	航空機
3.	いつでも停止できるが人間の関与が必要	自動車, 建設機械
4.	異常時には自動的に停止する	ロボット
4a	危険を検出して停止する	
4b	フェールセーフに停止する	
5.	フェールセーフに停止するが, 停止を防ぐ制御を有する	PSDI*

\* プレスの安全装置の一つで、光線式安全装置を起動装置としても使用するもの（手を出して引っ込めるとプレスが起動する）

るが、その実現形態は作業／システムによって異なる。(4)式で示される停止の原則による対策の可能性について杉本は、これを Table 2 に示すようなクラス<sup>3)</sup>に分けている。

ペースメーカのように、そもそも停止すること自体が災害であるシステムもある。このようなシステムでは、信頼性を上げる等によりひたすら停止しないようにする努力が必要である。材料もこのような性格を持っていて壊れないということが求められている。壊れて困るものについては多重化する等により信頼性を上げるアプローチがとられる。

航空機のようなシステムは、地上で停止しているという安全状態はあるが、一旦飛び上がるといつでも自由に停止できるわけではなく、飛び続けることが安全という特性を持つ。

自動車や建設機械は停止すれば安全であり通常はいつでも停止できるが、その制御を人間に委ねているの

で停止させるためにも人間の関与が必要である。人間にはエラーがつきものであり、停止すべきときに必ず停止できるとは限らない。

工場では自動化が進み、機械の制御を機械に委ねることも少なくない。この場合、機械によって常時の監視が可能であり、またフェール・セーフ化も可能であるので、人間の注意による監視より信頼性や安全性を向上できる。

前述のクラスは必ずしも固定したものではなく技術の進歩等に応じて安全性が高い方に移っていく。工作機械も昔は人間が操作しないと動かないものであったが、近年の自動化に伴って安全機能の自動化も進んできた。建設機械においても同様に自動化が始まっている。ショベル系建設機械においても、バケットの掘削深さを自動制御して容易に一定の深さの掘削を可能にする等、作業そのものも自動制御によって人間の技量を補う方向に向かっている。

現在は、旋回・後退時の確認は人間に委ねられているが、これをセンサを用いて行おうという試みも行われている。その一例を Fig. 7 に示す。これは建設省<sup>4)</sup>によって行われたもので、近接作業者のヘルメットに送受信機を取り付けでそれをセンサで検知し、警報や停止を行うものである。

### 3.5 機械工場と建設現場の違い

既に述べたように安全の機械化・自動化への流れがあり、この面では建設現場より工場の方が進んでいる。そこで両者を比較することで、建設業における対策の位置付けを明確にしたい。この両者の違いを Table 3 に示す。(3)式の  $H = 0, M = 1$  は掘削機の近くの危険領域に人を入れないということで、常識ではあるが、必ずしも厳守できない。機械工場においては、危険箇所は柵等で防護するが、建設現場では作業環境が日々変化するため、固定的な柵を用いることが困難であり、

Table 3 The difference of safety measures between in factory and in construction sites.  
安全対策のありかたの工場と建設現場の違い

	機械工場	建設現場
機械の例	ロボット	バックホー
$H = 0, M = 1$ (隔離の原則)	人を機械に接近させない	人が機械に接近しない
人間の危険領域への接近防止	柵, 囲いが可能	固定的設備は困難
環境	固定的	流動的
管理	一元的	多元的
接近の必要性	自働機械では少ない	必要な作業がある
$M = 0, H = 0$ (停止の原則)	人が少ないと機械が動く	人が来ると機械を止める
機械の運転の確認と判断	確認センサ(柵扉の開閉, 人間の接近)	監視作業員, 運転者, 安全センサ

設備的な手段ではなく標識等の管理的な手段で行わなければならないことが多い。しかも、建設現場では多くの業者が入って同時平行で作業することも少なくないが、そのため、管理が行き届かない場合が出てくる。さらに、機械では細かい作業ができないため、共同作業を必要とすることも多く、その場合は掘削機の近くの危険領域に人がいることが必要である。

そのために、(4) 式の  $M = 0, H = 1$  という掘削機を運転する側での対策、すなわち、人間がいる場合には、動かさないという制御が必要になる。工場の自動機械においてはこれは自動化できるが、建設機械では主に運転者に依存することになる。しかし、既に述べたようにバックホーでは後方の視界が悪く、運転者が人間のいないことを確認するのは必ずしも容易ではない。そのため、必要な場合には誘導員を置くことが義務づけられているが、実際には誘導員が配置されないことも少なくないし、誘導員自身がひかれるという災害事例もある。

#### 4. 研究課題

以上の考察より掘削機の運転に対する対策が不可欠であることは明らかである。しかし、建設機械は自動

車と同じく運転者が操作する機械であり、事故防止も人間に大きく頼らざるを得ないクラス3の状況にある。そのため、運転者の人間特性を基本にした安全対策をたてる必要がある。このような観点から、この特別研究は、人間特性の解明ということを重視した。

掘削機の運転における人間特性を研究するための手段として掘削機シミュレータの開発を行った。第2章においては、これについて報告する。

このシミュレータを用いてオペレータの作業中の注視点の測定や有効視野の測定等の人間工学的実験を行った。その実験内容と実験結果について第3章に報告する。

さらに、将来的には運転者が人間の接近を見て止めるのではなく、センサーによって人間の接近を検知し自動的に停止させることも必要となる。また、人間の接近を検知することは自動停止までいかなくても運転者に警告するだけでも役にたつ。そのため、画像処理によって人間の接近を検知する手段について基礎研究を行った。これについて、第4章で報告する。

一方、以上の停止の原則による対策の他に、隔離の原則による対策の検討も行った。掘削機の作業領域のように日々変動するものについて人間の接近を防止する固定的な柵を設けることは非現実的であるが、簡易な柵で人間の接近を防止するための手段についても検討した。これについて、第5章で報告する。

なお、これらの研究は、運転者に注意を促すことではなく、トラックの助手席側が死角になるという研究からトラックの助手席のドアに窓をつけたように、運転者の能力を活用できるような建設機械の改善方法や作業手順の改善につなげることを最終目的としている。

#### 参考文献

- 1) 深谷潔, 梅崎重夫, シャベル系建設機械の災害の分析と対策の傾向, 第27回安全工学シンポジウム, pp. 201-204 (1997).
- 2) 杉本旭, 深谷潔他, インターロックの論理構造, 第20回安全工学研究発表会, pp. 39-42 (1987).
- 3) 杉本旭, 制御による事故回避のための新しい安全の秩序化, 第27回安全工学シンポジウム, pp. 155-158 (1997).
- 4) 建設省, 接触防止型バックホウ(ヘルメットセンサ対応)の開発, 建設技術評価評価書(1992).

(平成13年2月14日受理)