

# 建設機械の安全対策に関する研究事例

飯 盛 洋

建設業における労働災害死亡事故のうち、建設機械が関係した事故は依然として多く発生しており、これを少しでも減少させるためには建設機械の安全対策を強力に推し進める必要がある。労災事故の原因はヒューマンエラーに帰せられることが多いが、これを建設機械の側でできるだけ取り除くことが求められている。

本報文は、施工技術総合研究所がこれまでに実施してきた建設機械の安全対策に関する業務のうち、基礎的な試験を行って実施した事例の一部を紹介するものである。

キーワード：建設機械、労働災害、安全対策、危険検知装置、走行警報装置

## 1. はじめに

労働災害における死亡事故のうち、建設機械が関係した事故は墜落事故に次いで多く発生している。この建設機械が関わる労災事故を少しでも低減させるには、リスクアセスメントの考え方によれば、①機械の本質安全設計によるリスクの削減、②安全防護対策によるリスクの削減、③使用上の情報によるリスクの削減、という優先順位で対策を講じることが求められる。

施工技術総合研究所においても国土交通省から委託を受け、建設機械施工の安全対策に関する検討業務を数多く実施してきたが、ここでは、その中から上記②に相当する下記の安全対策について検討した事例を紹介する。これらの装置・機構はいずれも標準装備化を図る上で何らかの課題が残っていたものである。

- ①危険検知・警報装置及び視覚補助装置
- ②走行警報装置
- ③舗装用ローラの転倒時保護構造（ROPS）
- ④ハンドガイドローラのホールド・ツー・ラン

## 2. 危険検知・警報装置及び視覚補助装置

建設機械による轢かれ、挟まれ等の事故防止対策として、バックミラー、非常停止装置（高所作業車）等がある。しかし、これらは運転員が意識して利用しないと効果がない。これに対し、超音波、レーダ、赤外線等を用いて常に機械周囲を監視し、設定範囲内に作業員等が侵入した場合に警報を発する危険検知・警報

装置またはCCTV（閉回路テレビジョン）による視覚補助装置等が開発され、一部市販されている。

これらについて評価、選定の手引きを作成すべく、ISO/CD16001（現在はFDIS）を翻訳、修正して日本建設機械化協会規格「JCMAS H017 土工機械－危険探知システム及び視覚補助装置－性能要求事項及び試験方法」が定められた。この規格では危険検知システムとして①レーダセンサ、②超音波センサ、③超音波トランスポンダを、また、視覚補助装置としてCCTVを取り上げて、試験方法と性能要求基準を定めている。

施工技術総合研究所では、平成14年度にJCMAS H017に規定された4種類の危険検知装置及び視覚補助装置と国内での普及率が比較的高い赤外線反射式の危険検知装置について、構内にて装置単体の基本的な特性試験を実施した。引き続き、平成15年度はレーダを除いた3種類の装置と赤外線反射式の危険検知装置を20t級タイヤローラ及び12t級油圧ショベルに取り付け（写真－1）、検知範囲を測定（図－1）した後、構内にて模擬作業（タイヤローラ：後進走行、油圧ショベル：溝掘り作業）を行って現地適応性を検証した。

これらの結果も含めて各装置の使用条件の適否を要約すると表－1のようになる。

危険検知装置及び視覚補助装置は、「轢かれ」、「挟まれ」事故の防止に有効である。しかし、表－1に示すように、各装置毎の特徴を十分に理解した上で、取り付けようとする建設機械及び現場状況に適した装置

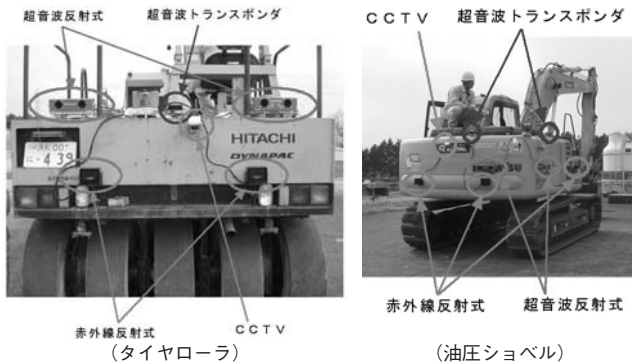


写真-1 危険検知装置及び視覚補助装置の取付位置

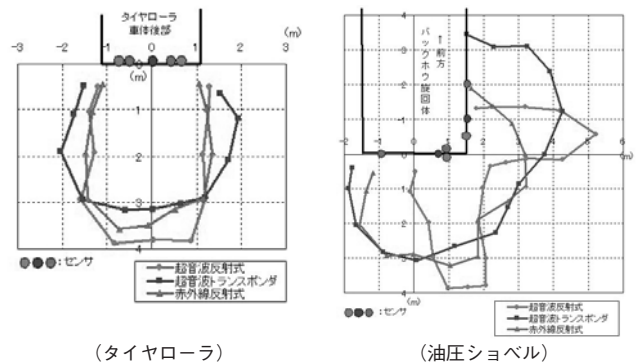


図-1 危険検知装置の検知範囲

表-1 危険検知・警報装置及び視覚補助装置の特徴

区	方式	使用に適する条件	使用に適さない条件	備考
危険検知・警報装置	超音波反射方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>現場が開けた場所で、機械周辺に障害物や丈の高い草等が少ない場合</li> <li>対物衝突も防止したい場合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>機械の近傍に丈の高い草が群生していたり、機械が境界に置くバリケード等のすぐ傍まで接近するような場所</li> </ul>	
	赤外線反射方式			
危険検知・警報装置	超音波トランスポンダ	<ul style="list-style-type: none"> <li>機械周囲に障害物が多くあり、他の方式では人間以外の誤検知が頻繁に発生するような場所で、人間だけを識別して検知したい場合</li> <li>機械の周囲に立ち入る者をレスポンスを装着した人間だけに限定できる場合</li> <li>気象条件等の外乱の強い場合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>機械周囲にレスポンスを装着していない人間が多く立ち入るような場合</li> <li>対物衝突も防止したい場合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>レスポンスを装着していないものは検知しない(できない)</li> <li>車両のオペレータと周囲の作業員(レスポンス装着)の双方に警報を発することができる</li> </ul>
視覚補助装置	CCTV モニタ	<ul style="list-style-type: none"> <li>障害物以外の情報も得たい場合(転落等の危険のある法肩、段差、穴等を検知したい場合)</li> <li>周囲の照度が十分あり、カメラレンズやモニタに直射日光が当たらないような場合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>カメラレンズやモニタに直射日光が当たり見づらくなる場合が多い場合</li> <li>夜間工事等周囲が暗い場所でTVカメラの照度が不足する場合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>超音波反射方式や赤外線反射方式のような誤検知はないが、オペレータが見落とせば危険検知は不可能</li> <li>対象までの距離の判定が難しい</li> </ul>

を選定しないと有効に機能しない可能性がある。最近では、誤検知を少なくすること及び作業員にも警報を発することを目的に機械周囲の作業員に受信機を装備させるトランスポンダのようなタイプのものが増えてきており、さらに選択肢が広がっている。

### 3. 走行警報装置

建設機械による轢かれ、挟まれ等の事故を防止する機器のひとつに、建設機械が走行する際に警告音を発し、作業員に注意を喚起する走行警報装置(主にバックアップアラーム)がある。

走行警報装置の機能は、建設機械の走行に連動して作業員が十分知覚できる大きさの警告音を発生することである。したがって、警告音の音量は建設機械の騒音レベルを上回っている必要がある。このため、工事現場の周囲騒音は走行警報装置の音が卓越しがちで、

周辺住民から音量を下げるよう苦情が出ることもあり、比較的住居に近い工事現場では警告音を止めざるを得ない状況も起きている。

本章では、この走行警報装置について検討した内容の一部を紹介する。

#### (1) 現行の走行警報装置の音響特性

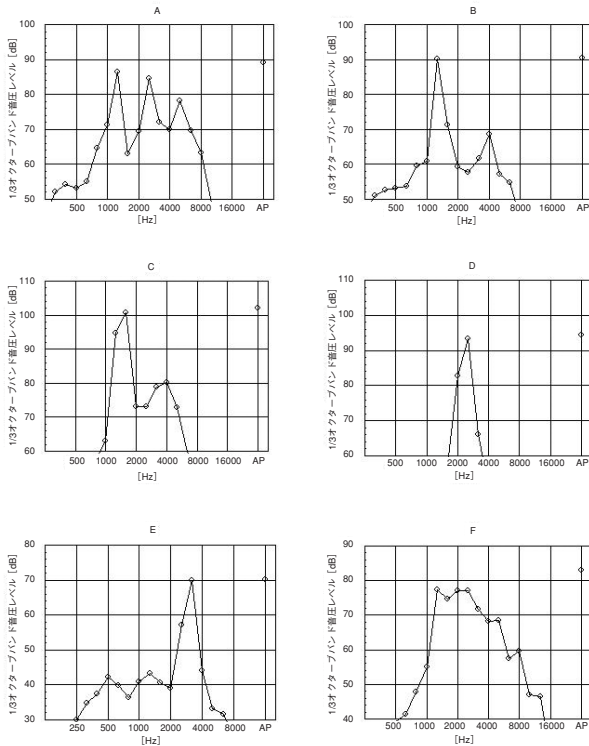
建設機械のバックアップアラームとして広く採用されている表-2に示す6種類の装置について、これをコンクリート面上に置いたホイールローダの後部に取り付けて音を発生させ、周波数特性や音の伝わり方等の音響特性を測定した。なお、表中のFは国内での実績はないが、数年前から欧州向けに出荷されていることから対象に加えたものである。

##### (a) 音圧レベルおよび周波数特性

各走行警報装置の警報音(機械後方の測定点、音源からマイクまでの距離7m)の周波数特性を図-2に

表一 測定対象の走行警報装置

	メーカー	用途 (取付対象建設機械)	備考
A	E社	ブルドーザ, ホイールローダ, 油圧ショベル	
B	E社	ブルドーザ	
C	Y社	ブルドーザ, ホイールローダ, 油圧ショベル	
D	Y社	油圧ショベル	
E	M社	タイヤローラ, 振動ローラ	
F	Y社		広帯域型



図一 走行警報装置の警報音の周波数特性

示す。

警報装置 B, C, D, E は 1,000 ~ 3,000 Hz の間で単一の卓越周波数を持つ音で、耳につく音である。警報装置 A は 1,000 ~ 5,000 Hz の間に 3 つのピークを持っているが、音質は B, C, D, E と似ており、やはり耳につく。

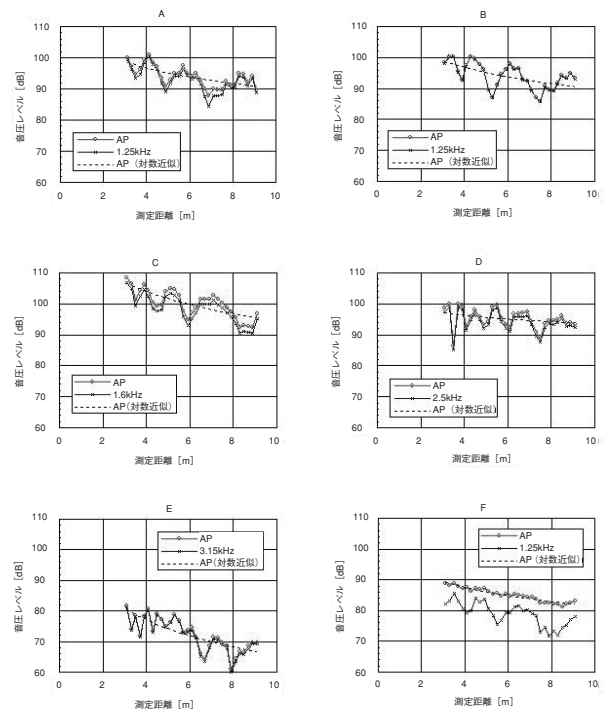
警報装置 F は他とまったく異なり、1,250 ~ 2,500 Hz の間が比較的平坦な広帯域ノイズに近い音である。刺激が強くない分、警報音としての緊迫感あまり感じられない。

(b) 音の伝わり方

図一 3 は、それぞれの警報装置について、音源 - 受音点間距離を約 3 m から 9 m の間で 20 cm きざみで変化させて警報音の大きさを測定した結果である。警報装置 F 以外はいずれも音の距離減衰が一様ではなく、10 dB 程度の振幅で変動している (F について

も、特定の周波数で見ると同じように変動している)。これは、警報装置からの直接音と地面に反射した間接音が受音点で干渉しているためで、2 つの音の位相が一致するところでは大きく、位相が逆になるところでは小さくなる。この現象は、音が単一スペクトル (単一周波数の正弦波等) に近いほど、また、地面が平坦で硬いほど明瞭に起こる。今回の測定場所はコンクリート舗装面だったので、粗い地表面では干渉の作用はこれより弱いと思われるが、単一スペクトルの音波の特徴として理解しておくべきであろう。

音が図一 3 の警報装置 A ~ E のような伝わり方をすると、たとえば、固定した位置で機械に背を向けた受音者には、機械が受音者に近づいている場合でも、近づいたり遠ざかったりするように聞こえることになり、方向、距離感が把握しにくくなることが考えられる。警報装置 F は広帯域ノイズを音源としているので、地面との干渉は観測されない。



図一 3 走行警報装置の警報音の距離減衰

(2) 評価, 課題

これらの警報音を評価するには ISO7731 「作業場所の危険信号 - 聴覚危険信号」が参考になる。その要点を抜粋すると以下ようになる。

- ①音圧レベル： A 特性音圧レベルが周囲騒音を 15 dB 以上超え、かつ A 特性音圧レベルが 65 dB 以上の場合に、通常、明瞭に聞こえる。
- ②周波数：聴覚危険信号は 300 ~ 3,000 Hz の周波数を基準とすべきである。聴力損失があったり、聴覚

保護具を着用している人達へのニーズを満たすため、聴覚危険信号は 1,500 Hz 以下の帯域で十分なエネルギーを持つようにする。

③時間的特性：音圧レベルの時間的分布については、一般に、経過時間中変動しない聴覚危険信号よりも脈動する信号を選択する方がよい。パルス繰返し周波数は 0.2～5 Hz の範囲が望ましい。

この ISO7731 に基づいて各走行警報装置を評価するために、測定結果を表一 3 に整理した。

警報装置 C, D, E は単一周波数の音を出すもので、1,500 Hz 以下の帯域の音のエネルギーが不十分である。この 3 種類は甲高い音で、連続して暴露されると非常に不快に感じる音である。

警報装置 A, B の警報音は聴覚危険信号としての要件は満たしているが、連続して鳴った場合には不快である。警報装置 A, B, C, D, E の音は工事現場周辺から苦情が出やすいタイプといえる。

警報装置 F の音は広帯域ランダムノイズをほぼ 500～4,000 Hz の範囲で切り出した音で、他とはまったく異なった音色である。この音は、比較的軟らかい音色だが、危険信号としての迫力（強さ）にやや欠けるところがある。また、周囲の機械音等の雑音に埋もれやすい音色ともいえる。

走行警報装置は危険の発生を報知するというより、機械の走行動作状態を知らせるためのものといえる。したがって、その音圧レベルは必要以上に大きくならないよう、また、音色はあまり不快でないものにすることが望ましい。この観点からすると、現在、普及している建設機械用バックアップアラームの警報音は改善の余地があると思われる。

#### 4. 舗装用ローラの転倒時保護構造 (ROPS)

ローラが関わる労働災害は、負傷まで含めると機械に轢かれるケースが最も多いが、死亡事故だけでみるとローラの転落・転倒によるオペレータの死亡が半数近くを占める。このような事故形態において被災の程度を軽減するには ROPS (Roll Over Protective Structure) が有効である。ROPS の国際規格に ISO3471 があるが、我が国ではこれを JIS 化 (JIS A 8910) する際にローラは除外された。この理由は、ROPS が効果を発揮するにはシートベルトの装着が不可欠であるが、シートベルトで身体が拘束されると、たとえば舗装用ローラ等では締め固め作業の際に路肩や構造物周りを目視確認することが困難になる等、作業性が損なわれるという状況が予想されたためである。

そこで、シートベルトを装着した場合にどの程度作業性が低下するのか、模擬作業試験を実施して検証を行った。使用した機械は車体後部に模擬 ROPS を、ベンチシートの中央にシートベルトを取り付けた 4 t 級のコンバインドローラである。試験は水平堅土上に路肩を想定した白線（直線及び曲線）を引き、そこに車輪端部を合わせて走行させて模擬作業を行い、そのときのオペレータの姿勢と周辺視野について調査した。

これによると、オペレータの身体はシートベルトによりシート中央部で拘束されているため、ベルトをしない場合に比べ上体を大きく傾ける姿勢をとっていた（写真一 2）。これはオペレータからの聞き取り調査からもわかるが、かなり無理な姿勢であり、時間とともに慣れるというものではない。また、このような運転

表一 3 走行警報装置の評価

警報装置	用途	測定結果							
		音圧 (dB/1 m)	ピーク周波数 (Hz)			発音パターン			
			第 1 ピーク	第 2 ピーク	第 3 ピーク	ON (s)	OFF (s)	合計 (s)	繰返し (Hz)
A	ブルドーザ ホイールローダ 油圧ショベル	106.1	1,250	2,500	5,000	0.52	0.46	0.98	1.0
B	ブルドーザ	107.3	1,250	—	—	0.51	0.45	0.96	1.0
C	ブルドーザ ホイールローダ 油圧ショベル	119.2	1,600	—	—	0.34	0.43	0.77	1.3
D	油圧ショベル	111.4	2,500	—	—	0.34	0.41	0.75	1.3
E	タイヤローラ 振動ローラ	87.1	3,150	—	—	0.29	0.36	0.65	1.5
F		99.9	1,250～2,500 で平坦			0.58	0.51	1.09	0.9



<ベルトなし、左寄り姿勢>



<ベルト着用、左傾姿勢>

写真-2 路肩締め固め模擬作業時のオペレータ姿勢

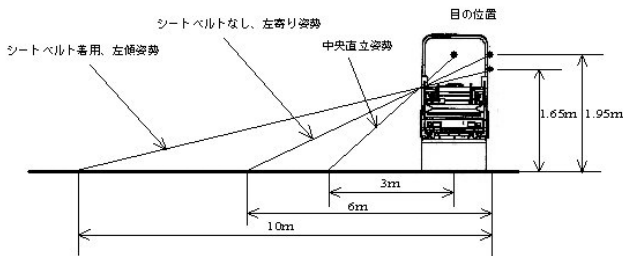


図-4 視点の違いによる側方死角の増大

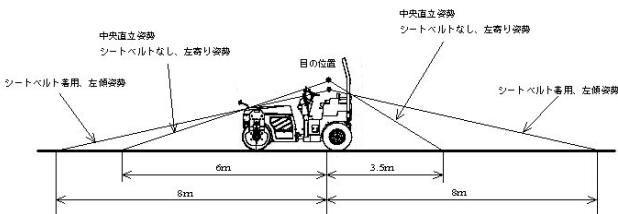


図-5 視点の違いによる前後方向の死角の増大

姿勢になると視点が低くなり（図-4、5）、狭い範囲を注視することになるだけでなく、注視する反対側の死角が増大し、新たな危険性が発生する恐れがある。

このように、オペレータを車体中央に拘束するシートベルトは依然として我が国の施工法になじみにくいものであるが、たとえばシートを左右スライド式またはスイング式にすることによりベルトを着用しても無理な姿勢にならないようにし、舗装用ローラにおいてもROPSの標準装備化は可能であると思われる。因みにJIS A 8910は平成16年に改正され、締め固め機械も対象に加えられた。

## 5. ハンドガイドローラのホールド・ツー・ラン

我が国で使用されているハンドガイドローラは、操

作レバーから手を放しても走行し続ける。そのため、後進時にオペレータが転倒したときに轢かれるという事故が多い。欧米では前後進レバーから手を放すとレバーが中立に戻り、機械が走行を停止するようになったものが一般的である（写真-3）。これはフェイルセーフの一種でホールド・ツー・ランと呼ばれている。

これまで日本人の体格や我が国での使用法を考えるとホールド・ツー・ランはなじみにくいと考えられてきたが、これが普及の妨げになっている。そこで、ホールド・ツー・ラン機能がハンドガイドローラの作業性にどのような影響を与えるか、この機能を備えた640kg級のハンドガイドローラを用いて模擬作業試験を行い、検証を行った。

その結果、作業性に関して以下のことがわかった。

- ①速度を維持するのに余計な神経を使う。
- ②前後進レバーを放すわけにいかないのです、ステアリ

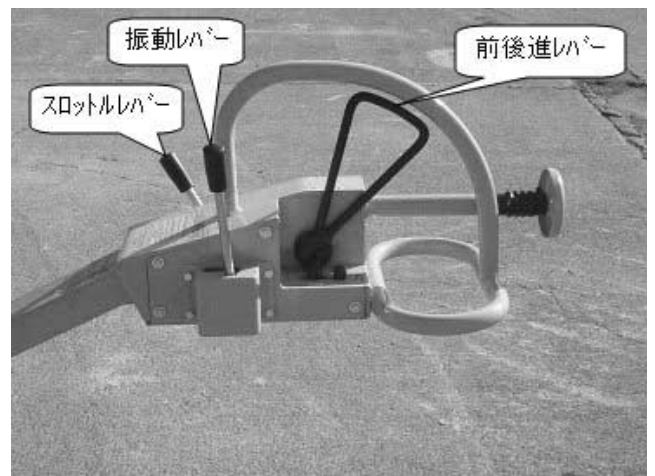


写真-3 ホールド・ツー・ラン機能付きハンドガイドローラの操作レバー

ングを切り易い位置に自由に移動することができない。

- ③前後進レバーを握ったまま方向転換を行うのは、かなり力が要る。
- ④この方式は比較的早く慣れると思われる。
- ⑤普及を図るためには、前後進レバーの向き、高さ、グリップ形状の改善や振動レバー等、他のレバーの操作性の向上（スイッチ化等）が必要である。

## 6. おわりに

本稿では、建設機械の安全対策のうち、標準装備化を図る上で課題が残っていた装置についての検討事例を紹介した。

一般に、安全対策は機械のコストアップにつながり、また、ユーザ側でも作業性の低下を懸念するせいか、安全装置を装備することに必ずしも積極的であるとは言いがたい。このため、メーカーではこれらの安全装置をオプションで設定していることが多い。

これらの標準装備化を推進するには、関係者の意識向上を図るだけでは足りず、やはり装備の義務付けが迅速かつ確実な方法である。幸いにして建設機械のC規格（個別機械安全規格）も着実に整備されつつあるので、これを引用する形でEUの「機械指令」のような強制力を持つ法規制を実施することが望まれる。

施工技術総合研究所では、建設機械施工における労働災害だけでなく、公衆災害についてもその安全対策に関する研究を継続的に実施しているが、これまで数多く手がけた情報化施工関連業務で蓄積した技術を有効に活用し、より信頼性の高い安全対策の研究に取り組んでいきたい。

JICMA

### 【筆者紹介】

飯盛 洋（いもり ひろし）  
社団法人日本建設機械化協会  
施工技術総合研究所  
研究第四部  
次長

