

緊急ブレーキ装置(後進用)搭載タイヤローラーの開発

榎田 成基*

1. はじめに

従来舗装工事現場において安全は最優先事項であることから、発注者、施工会社、機械メーカーは協力して安全性向上のための各種の方策について取り組んできた。これらにより建設現場における工事事務発生件数は減少傾向にあるものの依然として年間およそ260件との報告がある。¹⁾ 図1に示すように重機のうちバックホウによるものが約60%を占めるが、転圧ローラーにかかわる事故も全体の約5%を占めている。また、図2に示す動作状況別のグラフによると、最も事故が多いのは車両後退時であり、全体のおよそ30%を占めている。

特にタイヤローラーは転圧作業時に駆動輪(後輪)から施工路面に進入し、機種によっては後方の視界が悪い場合もある。後進時における事故の危険性が高いと推察されたので、後進時の安全性向上に寄与しうる緊急ブレーキ装置を搭載したタイヤローラー(サカイYDN-1TZ3/0103)を開発した。ここではその性能や特徴について報告する。

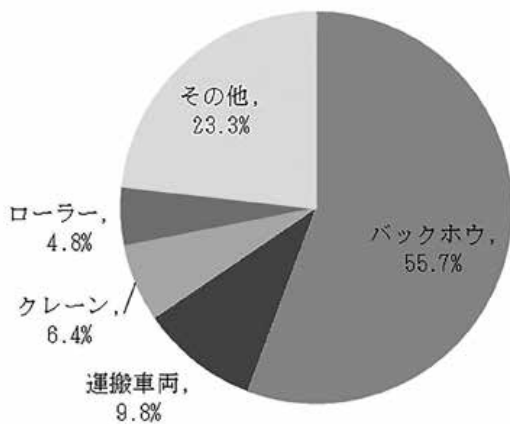


図1 重機の種類別事故発生割合¹⁾

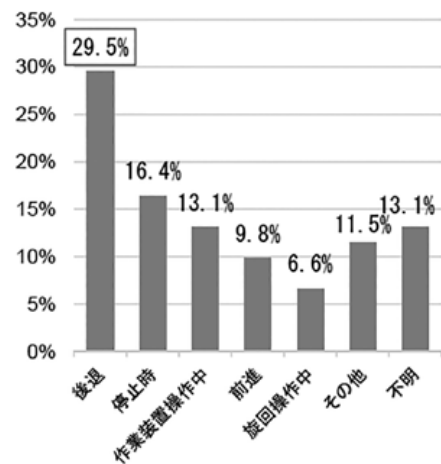


図2 重機の動作状況別の事故発生割合¹⁾

* 酒井重工業(株) 技術開発部

2. 従来型タイヤローラーの安全性

タイヤローラーのブレーキ機能は、保安基準適合車両のため、以下の機能を満足したものである。

- ①主ブレーキ（ブレーキペダル）：制動距離 5 m以下， 20km / h時
- ②駐車ブレーキ：1 / 5（12°）勾配で停止状態の保持

さらに、タイヤローラーは油圧駆動（HST）車両のため、前後進レバーを中立の位置にすることで車両を停止することもできる。以上のように、タイヤローラーは3種類のブレーキを備えている。またタイヤローラーはブレーキ性能ばかりではなく、図3のように運転席からの前後方向への視界性は欧州視界基準（1 m×1 m）を満足している。特に車両後方ではタイヤカバーを開けるとほぼ車両直下まで見通すことができる。このように優れた視界性および3種類のブレーキを装備するタイヤローラーはすでに5,000台以上が市販されており十分な実績がある。

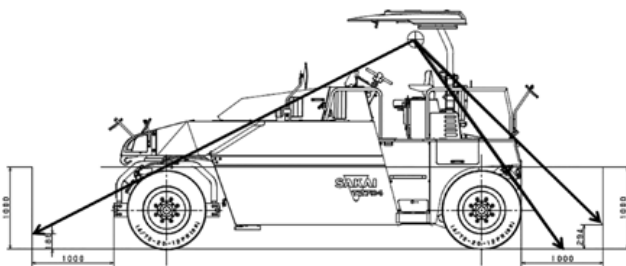


図3 タイヤローラーの視界説明（単位：mm）



写真1 安全装置

また、後付け搭載可能な安全オプション製品として、車両前後の作業員や重機などの対象物を検知して運転者や周囲作業員へブザー警報を発することのできる安全装置（写真1）もある。

3. 緊急ブレーキ装置の概要

3.1 トリプル・セーフティ機能

今回開発した緊急ブレーキ装置（NETIS：HK-180024-A）は、以下に示す緊急ブレーキ機能、バックモニター、表示と音による警報機能の3つの安全機能（トリプル・セーフティ機能）で構成されている。

- ① セーフティI：車両後方に取り付けた3Dセンサーにより作業員や重機などの対象物を検知した後、衝突の危険が高まっていると判断したときに、衝突回避または衝突被害軽減のために緊急ブレーキを作動させる機能

- ② セーフティII：車両後方に設置した後方カメラにより撮影された画像をディスプレイに常時モニターすることにより、運転者の後方監視を支援する機能
- ③ セーフティIII：ディスプレイの表示とスピーカーからの音声や警報音を使用した運転者と周囲作業員への警告機能

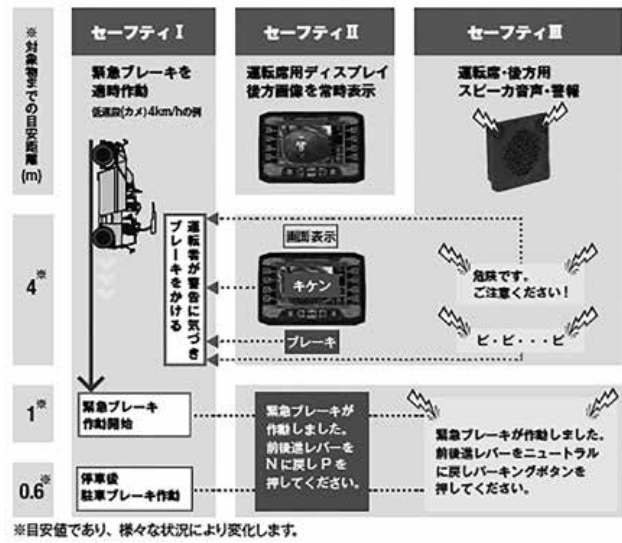


図4にトリプル・セーフティ機能の実施具体例を示す。

図4 トリプル・セーフティ機能の実具体例

3.2 緊急ブレーキの作動タイミング

緊急ブレーキ機能は、車速センサー（速度）と3Dセンサー（距離）により対象物との衝突時間を求めブレーキタイミングを自動調整している。図5は車速と対象物までの距離との関係である。例えば、車両が速度（ V_l ）で後進する場合、対象物までの距離が「注意ゾーン」に入ると、図4（セーフティIII）に示すように、警報音声とともにディスプレイに「キケン」と表示される。さらに「警告ゾーン」に入ると警報音とともにディスプレイに「ブレーキ」と表示される。最終的に「緊急ブレーキ作動ライン」の距離に達すると緊急ブレーキが作動する。

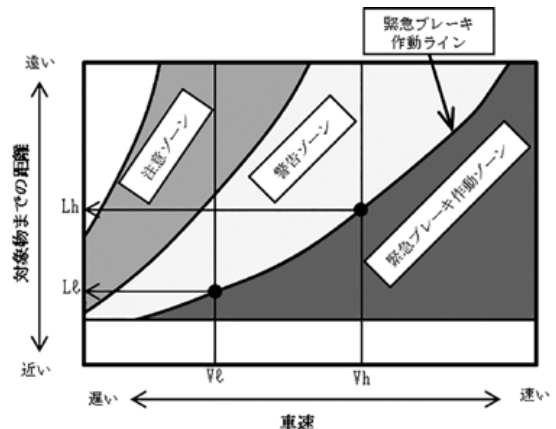


図5 緊急ブレーキタイミング

これらの「注意・警告・緊急ブレーキ」のタイミングは車速に応じて調整している。例えば、本装置は車両後方の対象物を検知後、低速（ V_l ）時には距離（ L_l ）、高速（ V_h ）時には距離（ L_h ）の各地点で緊急ブレーキを作動させる。また、「注意・警告」の各ゾーンで対象物が検知された場合、警報に気づいて、運転者が車両を減速させる、あるいは作業員が検知範囲の外へ移動する

と、緊急ブレーキを作動させずに通常作業状態に復帰する柔軟なシステムとした。これによって緊急ブレーキ作動回数を最小限に抑制できるため、安全性は言うまでもなく施工性の両方を満足することが可能になった。

3.3 舗装品質を確保した緊急ブレーキ

本装置の開発においては、緊急停止時においても一定の舗装品質を確保できる機構となるように配慮した。そこで、安全を確保しながら緩やかに停止させるために静油圧（HST）ブレーキを作動させる仕組みを採用した。これによってタイヤをロックせずに車両を停止させることができるので、アスファルト混合物の押出しや引きずりなどを抑止して平坦性への影響を最小限にとどめることが可能になった。

3.4 施工性を確保した緊急ブレーキ

3Dセンサーはその性能上、湯気や土埃などの細かいものであっても物体として検知するため、転圧時に発生する湯気も対象物として検知する可能性が予測された。マネキンを使用した試験施工（写真2）で確認したところ、3Dセンサーはマネキンと湯気の両方を検知して図6のような点群データを示した。本結果により、本来対象物として検知すべき作業員（マネキン）が湯気の中に埋没し判別できないことが明らかになった。



写真2 舗装現場で発生する湯気

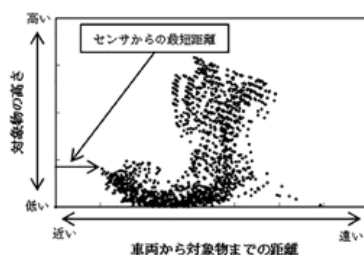


図6 3Dセンサーの検知データの例

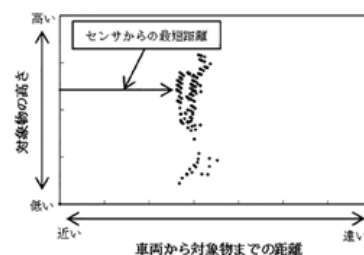


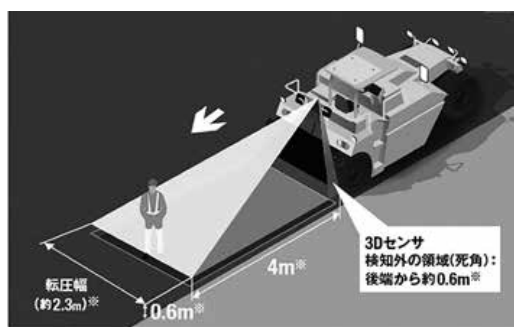
図7 図6のデータを除去した結果

3Dセンサーが湯気を対象物として検知すると不要な緊急ブレーキが頻繁に作動することになる。そこで、湯気とマネキンのデータを分析した結果、反射強度に違いがあることが判明したので、その性質を利用して、湯気や土埃などを対象物として認識しない技術を開発した。図7はこの開発技術を使用して湯気データを除去した結果である。これにより不要な緊急停止を最小限に抑制することが可能になった。

3.5 施工性を考慮した検知エリア

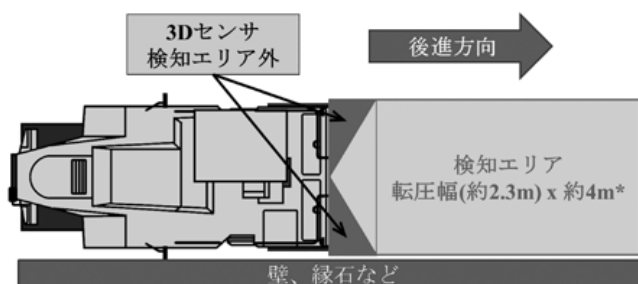
3Dセンサーの測定範囲（図8）は幅2.3m（転圧幅と同等）、長さ4m（フレームの後端から）の矩形で、これを底面とし、頂点を3Dセンサー設置位置とする四角錐状の立体形状である。ただし、底面と路面との間の約0.6mの空間と車両後方直近の両側には3Dセンサーの非検知空間（死角）がある。

本装置は、検知幅を転圧幅としているので、図9に示すように検知エリアの外側直近の壁や縁石沿いの転圧作業も可能になった。



※目安値であり、様々な状況により変化します

図8 立体形状の検知空間と死角



※目安値であり、様々な状況により変化します

図9 壁や縁石沿いの転圧作業も可能

4. 緊急ブレーキ装置構成

本装置の主要機器の搭載位置は図10に示すとおりで、車両後方の3Dセンサー、後方カメラ、後方用スピーカー、運転席用ディスプレイと運転席用スピーカーから構成される。

3Dセンサーは車両後端から車両後方の対象物までの距離を測定し、後方カメラは車両後方映像を撮影する。後方用スピーカーは、車両後方や周囲で作業している作業者に音声で危険を知らせ、運転席用スピーカーは、運転者に危険を知らせる機能を備えている。運転席の計器盤正面に備えられたディスプレイは、後方カメラによる映像を常時モニタしながら、注意喚起、センサー検知状態、対象物との距離、緊急ブレーキ解除方法などの表示、および、取扱説明書の表示などの機能を備えている。

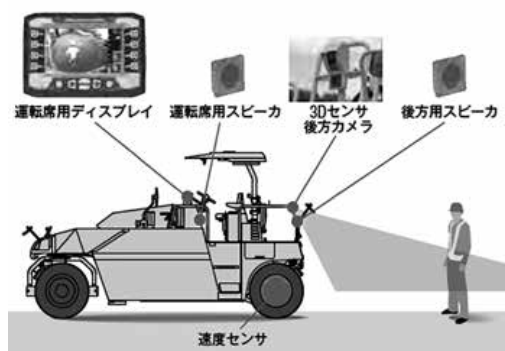


図10 緊急ブレーキ装置の主要機器と搭載位置

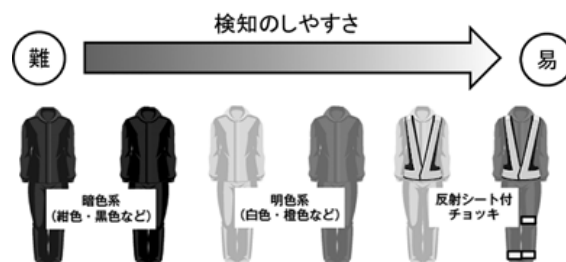


図11 作業着の色と検知のしやすさ

なお、3Dセンサーは対象物の色や反射率によって検知のしやすさに違いがある。例えば、図11のように明色系（白色、橙色など）の作業着は検知しやすく、暗色系（黒色、紺色など）の作業着は検知しにくい。また安全チョッキに付いている反射シートは非常に検知しやすいので、作業者には反射シート付きの安全チョッキの着用を推奨している。また、欧米などで普及している反射シート付きの作業ズボンや安全靴等を着用することにより安全性はさらに向上する。

5. おわりに

開発にあたって、最近、自動車などで普及している、いわゆる自動ブレーキ（衝突軽減システムとも称す）を転圧ローラーという作業機械に適用するにはいくつかの技術的課題が考えられた。まずは安全性向上という最重要課題である。これに加えて、舗装品質の確保（舗装の仕上げ面を乱さない緊急ブレーキの制御方法）および施工性の確保（舗装路面から立ち上がる湯気や縁石、構造物の影響を最小限にする緊急ブレーキ作動システム）があり、これらにも可能な限りの配慮と工夫を施した。なお、開発機は、緊急ブレーキ装置搭載車両として製造しており、車検取得も可能なので、従来のタイヤローラーと同様に公道を運転できる点も大きなメリットと考える。

本緊急ブレーキ装置（後進用）搭載タイヤローラーの開発に関してはローラーメーカーとして誤作動などが起きないように可能な限り信頼性を高めるとともにトリプル・セーフティ機能を実現した。本タイヤローラーによって舗装工事現場の安全性向上に多少なりとも寄与できればと期待している。今後は本緊急ブレーキ装置を他機種へ適用することで、建設現場全体の安全性が高められ、建設現場の人材不足解消の一助となればと考えている。

〔参考文献〕

- 1) 国土交通省 大臣官房技術調査課：平成26年の直轄工事における事故発生状況、安全啓発リーフレット参考資料（2015）