

緊急ブレーキ装置(後進用)搭載タイヤローラの開発

うちやま けいいち くしだ しげき
 内山 恵一* 櫛田 成基**
 えんどう りょうへい* ぁおやま まさき***
 遠藤 涼平*** 青山 雅規***

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。これらにより事故件数は減少してきたものの、さらに事故発生ゼロに向けての努力が行われている。近年では施工会社自らが安全装置の開発を手掛けている例も見られる。本文では、当社で新たに開発した緊急ブレーキ装置を搭載したタイヤローラの開発経緯と性能について紹介する。なお本装置の開発では、安全性の向上(車両後進時に車両後方にいる作業員や重機などの対象物を検知した場合の緊急ブレーキの作動と警報機能)を最重要事項として位置付けた。これに加えて、舗装品質の確保(舗装の仕上がり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(舗装路面から発生する湯気や縁石、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)についても可能な限りの配慮と工夫を施した。

キーワード：緊急ブレーキ、自動ブレーキ、タイヤローラ、安全装置、転圧機械、舗装工事、湯気、反射シート

はじめに

建設現場における工事事故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、転圧ローラにかかわる事故比率の合計も全体の約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。

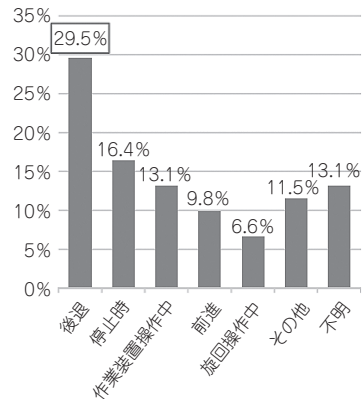


図-2 重機の動作状況別の事故発生割合¹⁾

特にタイヤローラ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(サ

カイ YDN-ITZ30103)を開発した。ここでは開発の経緯や特徴について報告する。

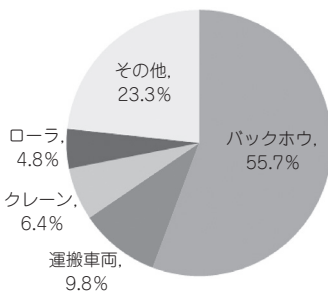


図-1 重機の種類別事故発生割合¹⁾

1. 従来型タイヤローラの安全性

タイヤローラのブレーキ機能は、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5m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、タイヤローラは3種類のブレーキを備えている。またタイヤローラはブレーキ性能ばかりではなく、図-3の

* 酒井重工業(株) 技術開発部 部長代理
 ** / / 研究第1グループ リーダー
 *** / / 研究第1グループ

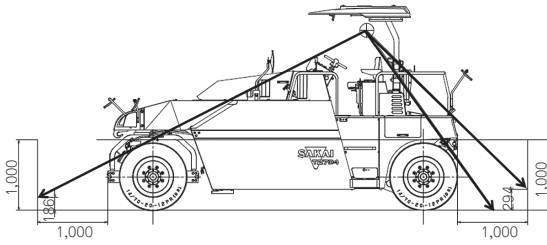


図-3 タイヤローラの視界説明 (単位: mm)



写真-1 安全装置

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(1×1m)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。

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ができる装置もある(写真-1)。

2. 事故原因に関する観察例

前述のように従来から転圧ローラの安全性向上には様々な配慮がされてきたが、事故は依然としてゼロにはならない。そこで実際の施工現場における転圧作業を詳しく視察した結果、以下のような事故に対する潜在リスクが観察された。写真-2に現場視察時における機械と作業員の位置関係を示す。

- ①後進時、運転者は左側サイドミラーだけを見て運転している。
- ②このとき、運転者は後方右側の作業員には気づいていなかったと思われる。
- ③作業員はローラ後方から徒歩で移動中だったので、ミラーの視界範囲内にいなかった。
- ④この状況では運転者は誰もいないはずと思い込むことが想定された。

以上のことから、運転者の“まさか・うっかり”



写真-2 タイヤローラ後進時の現場状況

などの人的ミス(ヒューマンエラー)による事故発生のリスクが高いと考えられ、ヒューマンエラーに依存しない新たな緊急ブレーキの開発に取り組んだ。

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

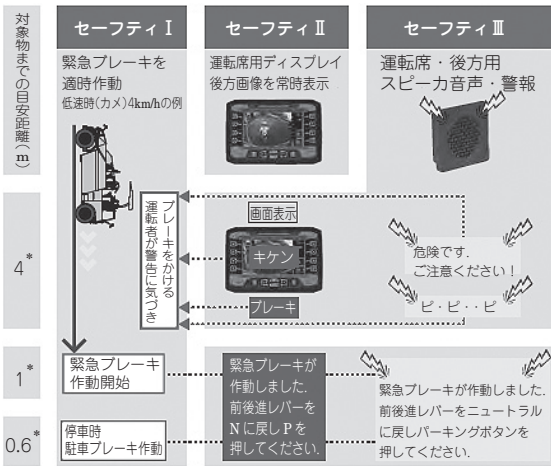
今回開発した緊急ブレーキ装置(NETIS: HK-180024-A)は、以下に示す緊急ブレーキ機能、バックモニタ、表示と音による警報機能の3つの安全機能(トリプル・セーフティ機能)で構成されている。

- 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。

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(速度)と3Dセンサ(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_e)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)



*目安値であり、様々な状況により変化します。

図-4 トリプル・セーフティ機能の実施具体例

に示すように、警報音声と共にディスプレイに「キケン」と表示される。さらに「警告ゾーン」に入ると警報音と共にディスプレイに「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。

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、あるいは作業者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。

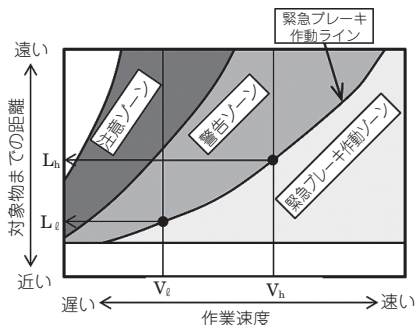


図-5 緊急ブレーキタイミング

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し出しや引きずり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-3)で確認したところ、3Dセンサ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者(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-3 舗装現場で発生する湯気

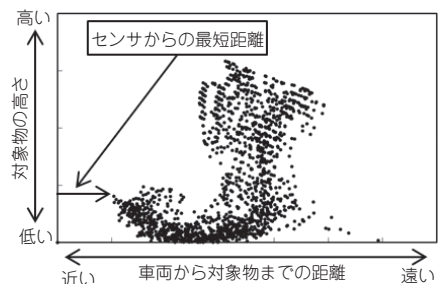


図-6 3Dセンサの検知データの例

3Dセンサ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

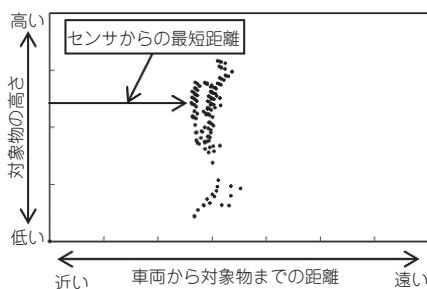


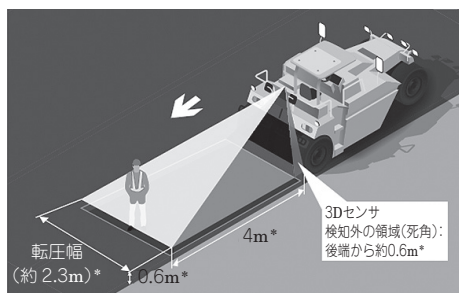
図-7 図-6 のデータから湯気的数据を除去した結果

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的数据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の空間と車両後方の直近の両側には3Dセンサの非検知空間(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

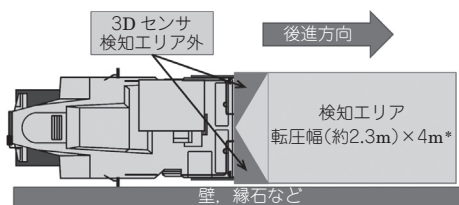


図-9 壁や縁石沿いの転圧作業も可能

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、後方カメラ、後方用スピーカ、運転席用ディスプレイと運転席用スピーカから構成される。

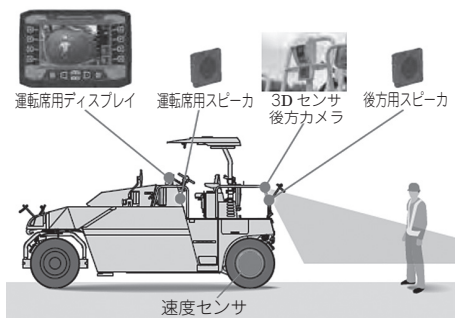


図-10 緊急ブレーキ装置の主要機器と搭載位置

3Dセンサ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。

なお、3Dセンサ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。

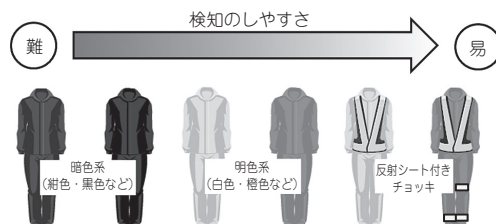


図-11 作業着の色と検知のしやすさ

5. 起動時の信頼性と今後の課題

本緊急ブレーキ装置は、エンジン始動(キーオン)時に自動で起動するシステムで、起動中には各機器およびセンサとの通信状態をチェックしている。もし何らかの不具合を検知したときにはディスプレイにエラーを表示して、緊急ブレーキ装置が作動しないことを運転者へ知らせる。このように、緊急ブレーキ装置の作動状態を明示することにより、システムの信頼性を向上させた。作動チェック中の約20秒間、ディスプレイには「センサチェック中」の表示と警報音が発生して運転者へ注意喚起する。これは、特に起動中に車両を動かす場合の安全対策として有効である。今後の課題として、起動時間を短縮し、より安全な緊急ブレーキ装置に改良する予定である。

6. ま と め

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る)を転圧ローラ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(舗装の仕上がり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(舗装路面から発生する湯気や縁石、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。

おわりに

本緊急ブレーキ装置(後進用)搭載タイヤローラの開発に関してはローラ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。これらの精度を保証するため、新車製造時に組立て・検査を行い出荷する車両とした。本タイヤローラ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。

本緊急ブレーキ装置をご使用いただいた方々には安全性向上に向けた改善改良へのご意見やご指導をいただき、更なる安全性を向上した機械の開発に取り組む所存である。

問合わせ先

〒350-1156 埼玉県川越市中福849

酒井重工業(株) 技術開発部 研究第1グループ
櫛田 成基

TEL : 049-256-4550 FAX : 049-264-2101

E-mail:s-kushida@sakainet.co.jp

【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)