

23. モータグレーダのブレーキアシストシステム

高速走行可能な建機のブレーキ補助システム開発

鹿島道路株式会社 機械部

鈴木 泰
○野田 哲也
伊藤 圭祐

1. はじめに

モータグレーダ(以下、グレーダ)は、前後の車輪間にブレードを持ち、機械の前進動作によって路盤等を整地する建設機械である(写真-1)。グレーダによる路盤整地作業は、敷き均した面を作業員が検測しながら行うのが一般的であり、常にグレーダ周辺に作業員が存在している。そのためグレーダ運転員は整正作業を行いながら、作業員や転圧ローラとの接触に注意を払う必要がある。



写真-1 グレーダ全景

グレーダの路盤整正作業は前後進を繰り返しながら行い(図-1)、後進する際は距離にもよるが20~30km/hの速度で走行するのが一般的である。これは単位時間当たりの生産性を確保するためには後進速度を高く設定しなければならないからである。

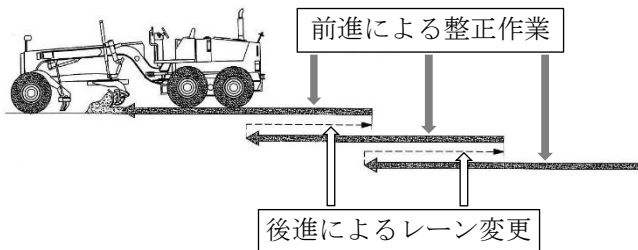


図-1 グレーダの前後進繰返し作業

ハンドルを握る運転員は整正作業時には前方を向いて運転するので、前方向の視認性は阻害され

ない。しかし後退する時は、後ろを振り返って後方の安全を確認しつつハンドル操作を行わなければならない。その際、運転員は後退操作を振り返っての後方視認という無理な姿勢になるため、危険を察知し回避行動をとるのに操作の遅れや、判断ミスを招きかねない。さらに、グレーダはキャビン後方に大きなエンジンフードを備えた構造ゆえ、後方視界が極端に悪いレイアウトになっている。

これらのグレーダの特性を考慮し、グレーダとグレーダの周囲にいる作業員や共同で作業している転圧ローラなどとの接触事故を防ぐための補助装置として、運転員への作業負荷も考慮した自動ブレーキ(ブレーキアシスト)システムの開発を行った。本報は、国内で初めてグレーダに実用化した自動ブレーキシステムの開発に関して報告するものである。

2. 背景

後進時の安全対策として車両に後方監視センサが装備されたグレーダは以前から現場導入されていた。これは、後方監視センサが作業員や転圧ローラ等を障害物として検知した場合に警報などを発して、注意を喚起する装置である。しかしレンタル会社保有機やユーザが工夫を凝らして装着するレベルでの導入にとどまっているのが現状である。リアビューカメラを備えた機種もありカメラ映像をモニタにより確認することが出来るが、モニタを注視しながら後進すると周囲の安全確認が疎かになるため、決定的な安全対策とはいえない。このように、運転員の制動操作に代わりグレーダの動きを自動的に止めて確実な安全を確保する装置は現場導入するには至っていないのが現状であった。

2.1 グレーダ後方の死角

運転員からモータグレーダ後方を目視確認した状況を図-2に示す。後方の安全を確認しつつ後進するが、死角となる部分が広く、後進時に検出を行う作業員がいたとしても目視で確認することが困難なため特に注意が必要である。

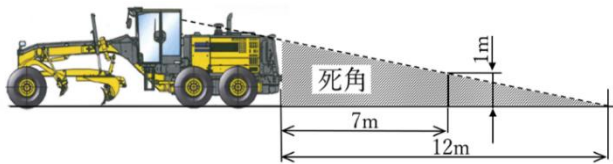


図-2 3.7mクラスのグレーダの後方死角範囲

また、グレーダ後方の死角について、運転員と作業員で認識にズレが生じる傾向にある。作業員は運転員から見えているだろうと思ひ込み、運転員は作業員がグレーダの死角に入り込むわけがないと思ひ込む。このような認識のズレが生じないよう安全教育を行うが、時間経過とともに作業員がグレーダに不用意に接近した作業になってしまう。そのために監視員を配置するなどして、安全な作業環境を確保しなければならない。

2.2 グレーダの制動距離

3.7mクラスの社有グレーダを用いて急ブレーキ操作(フットブレーキを一気に目一杯踏み込む)により車体が完全に停止するまでの制動距離の測定を行った。現場の作業条件を再現するために、路盤面上で行った。後進速度と急ブレーキ操作による制動距離の関係を図-3に示す。

後進時の最大速度36km/h(4速, 1900rpm)の場合、運転員が危険を察知して急ブレーキ操作をしても停止するまでに10m以上必要だということが分かった。またこの急ブレーキによる減速加速度が大きいため、グレーダ運転員にも大きな負荷が掛かり、それにより負傷する可能性がある。従って、運転員の安全確保のためにも一様に急制動を掛けるのではなく、状況に応じて段階的なブレーキ操作を行うよう検討した。

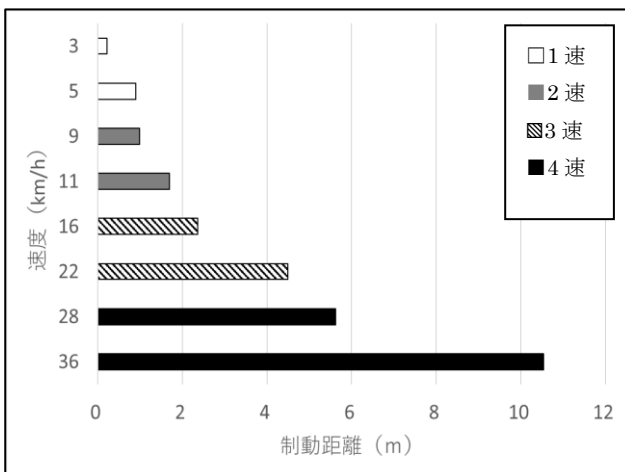


図-3 急ブレーキ操作による各速度における制動距離

3. ブレーキアシストシステム開発の方針

監視対象物を検知するセンサの設置場所により、前後進どちらでも自動ブレーキの作動設定は可能だが、死角の多い後進走行時のみ自動的にブレー

キを作動させ、運転員のブレーキ操作を支援するシステムとした。グレーダのような高速走行で作業する建機を急停止させることは、前述のように運転員に与える負荷が大きい。そのため検知エリアを複数設けることが可能な長距離用センサを採用し、センサの識別エリアごとの出力信号により段階的にブレーキを効かせ、確実かつ柔軟なブレーキ動作を確保し、運転員が被るブレーキ時の衝撃を緩和することとした。また、車検適用にも問題が無いシステムとするため、グレーダのブレーキ装置を改造することなく、既存のブレーキ装置にアクチュエータを取付けてブレーキを作動させる仕組みとした。開発対象となるシステムが備える機能は自動ブレーキであるが、運転員の補助としての位置付けを明確にするためにブレーキアシストシステムという名称を採用した。

4. ブレーキアシストシステムの構成

後進時の後方物体検知用センサとして赤外線センサとミリ波レーダ(写真-2)を採用した。



写真-2 赤外線センサとミリ波レーダ

社有の転圧ローラは既に、ステレオカメラセンサを採用したブレーキアシストシステムを搭載しているが、グレーダはローラと比較して現場内でも高速走行をする建機であることから、対象物を長距離で検知可能な赤外線センサを採用することとした。この赤外線センサは作業員が着用している安全ベストのリフレクタとそれ以外の物体の反射率の違いを検知する機能を備えており、安全ベストのリフレクタを人と見なすよう設定している。また複数の識別エリアを構成可能で、識別エリアごとに出力信号を設定することが出来る。対象物を検知した際の出力信号を用いて、段階別にブレーキを作動させるとともに、警告メッセージを周囲の作業員へ発することで危機行動をとらせる。同時に、車内に設置した積層灯とスピーカにより運転員に停止行動を促す。

この赤外線センサとは別系統でミリ波レーダセンサを装備した。これは、グレーダ後方の直近にある全ての対象物を検知することが可能で、万一赤外線センサに不具合が生じた場合でも全ての物体を対象としてブレーキ操作を行うよう設定されている。ミリ波レーダセンサは、赤外線センサのバックアップ装置として機能する役割を与えている。このように二重の検知機構を備えることにより安全性を高めている。

作動したブレーキの解除は、運転員がシフトレバーを中立に戻すことによりなされるため、物体検知信号が解除されても車体は中立状態にあり停止状態を維持する機構となっている。これらセンサの識別エリア及びエリアごとの出力信号を設定する制御盤をグレーダキャビン内に配置し、各センサの検知状況を運転員が確認できるようにした(写真-3)。



写真-3 ブレーキアシストシステム制御盤

5. センサを用いた制動距離測定試験と課題

ブレーキアシストシステムを搭載した 3.7mクラスのグレーダを用いて制動距離測定試験を実施した。制動の制御方法としては、赤外線センサの出力を検知範囲内で遠距離、中距離、近距離の3つの識別エリアに分け、エリアごとに異なる出力信号に応じて段階的にブレーキ操作を行い、減速させる方法とした。

5.1 制動距離試験結果

グレーダ後進時の速度段ごとに1速の3km/hから4速の36km/hの最高速度まで測定を行った結果を図-4に示す。低速後進時はどの速度でも25m先にある対象物に対して7m程度手前で停止することが可能だったのに対し、高速走行では低速走行と比較してやや長めの制動距離となったが、対象物に接触する手前で停止できることが確認できた。

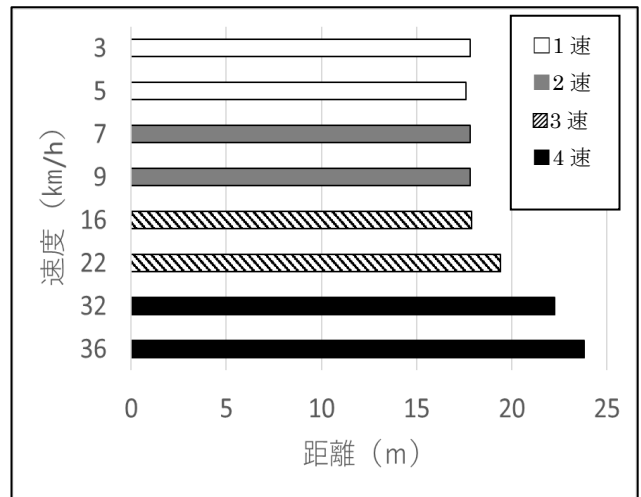


図-4 センサを用いた制動距離

5.2 ブレーキアシストシステムの課題

ブレーキアシストシステムを搭載したグレーダによる自動ブレーキの性能を確認することができたが、遠距離エリアからフットブレーキ操作を行うと、離れた対象物を検知した場合、ブレーキを掛けるタイミングが早過ぎ、後方の安全を確保できている状況でも常に自動ブレーキが作動してしまい作業効率が低下する懸念が生じた。このことから速度変化に応じてどの速度域でも、対象物まで一定の距離を置いて停止できるようエンジンブレーキで減速を行い、次の段階としてフットブレーキ操作で停止行動をとる必要がある、という課題が残る結果となった。

6. 課題への対策と制御方法の確立

6.1 課題への対策

停止距離測定試験の課題から、赤外線センサで設定可能な3つの識別エリアの範囲設定の見直しを行った。

もっとも遠い「遠距離エリア」ではミッションの後進速度段を3速あるいは4速としていた場合は2速へ機械的にシフトダウンし減速させる(写真-4)と同時に警報装置を作動させ運転員と周囲の作業員へ音と光で警告する設定とした。次の「中距離エリア」では遠距離エリアで作動させた状態を保ちながら、エンジン回転数をアイドルに下げ、エンジンブレーキを効かせることによりさらに減速させる。もっとも接近した「近距離エリア」では遠距離、中距離エリアで作動した装置を自己保持した状態でフットブレーキを作動させる(写真-5)。このようにエリアごと段階的なブレーキ操作の設定を見直すことにより、安全且つ柔軟なブレーキ操作を確実にを行い、どの速度域でも対象物まで安全な距離を保って、停止できるよう改良を施した。

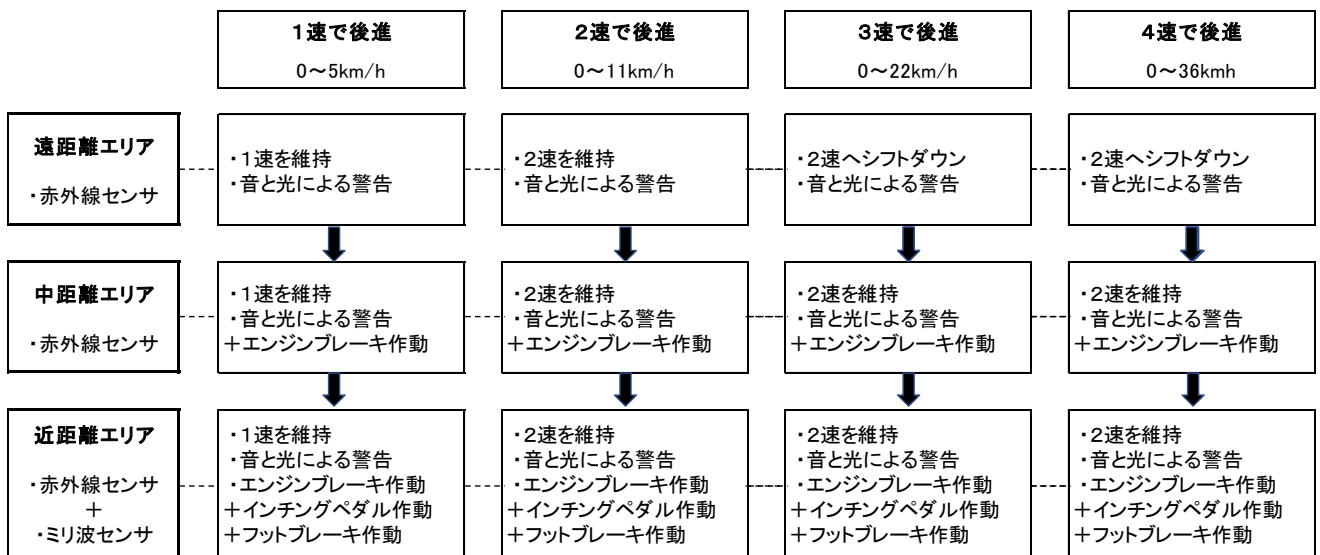


図-5 検知エリアごとのブレーキ自動制御フロー



写真-4 速度段シフトダウン装置

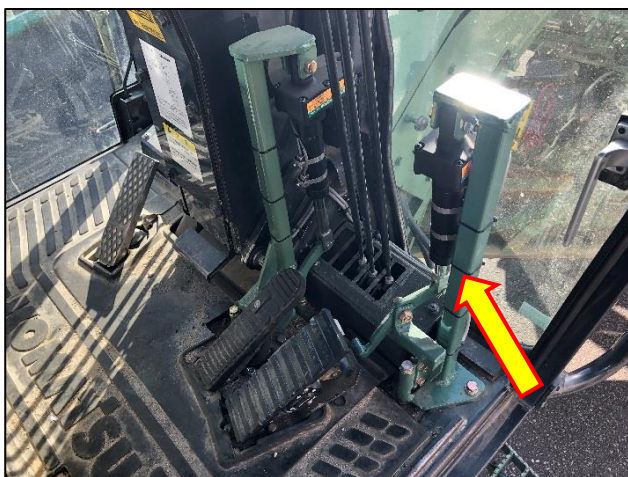


写真-5 フットブレーキ作動装置

象物に対して一定の距離を保って確実に停止することが確認された。制動初期に車速を減速させることで運転員や周囲の作業員へ危機回避行動を促すこともでき、その段階で対象となる物体が除かれれば、後進を再開することもできる。作業効率を低下させないことも重要であり、運転員にストレスなく作業を継続させることも考慮した。

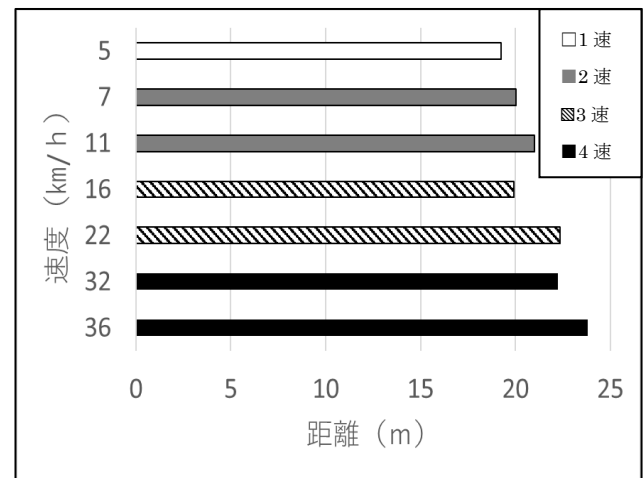


図-6 改良後の制動距離測定試験結果

6.2 改良後の制動距離測定結果

改良を行ったブレーキアシストシステムで再度、制動距離測定試験を行った。この結果から全ての速度段、速度域にかかわらず段階的なブレーキ操作を設定することで、図-6の通り 25m先にある対

7. おわりに

今回開発したブレーキアシストシステムは、グレーダを安全かつ柔軟なブレーキ動作で確実に停止させることができる装置としての機能を有していることを確認することができた。まずは社有グレーダに装備し、引続きシステムの改良を進め、安全性・機能性の向上を図っていく所存である。

建機の安全性向上を目的としたシステムとして、今後その応用の場を広げ、転圧ローラ、グレーダに続き、ブルドーザへの展開も検討したい。その結果として、建機と人・モノとの接触による災害を減らすことに貢献できれば幸いである。