

# 41. 移動式クレーン転倒事故低減システムの開発

建設省関東技術事務所：小笠原 保，\*廣末 理恵  
 (株)小松製作所：大草 一昭

## 1. はじめに

我が国における最近の労働災害の状況を見ると、建設業における死亡者数は全産業の約40%を占めている。

特にクレーン等による死亡災害は、表1に示すとおり、業種別では建設業が、機種別では移動式クレーンが全体の4割強を占めている。

中でも、転倒事故については落下に次ぐ発生件数の多さに加えて、クレーンのオペレータだけでなく周囲への影響も甚大であることから、事故を抑止し、機体の安全性を向上させるものとして、「移動式クレーン転倒事故低減システム」の開発を行った。

表-1 クレーン等による業種別・機種別・原因別災害発生状況

種別	固定式クレーン					移動式クレーン					その他・モレバツ等	合
	塔式クレーン	橋脚クレーン	クレーン	その他のクレーン	計	トラッククレーン	クレーン	クレーン	クレーン	計		
建設業	37	5	2	4	48	1	3	1		5	7	55
林業												
建設業	2	4	3	3	12	10	22	19	19	1	58	70
林業	3			2	5	4				1	3	19
建設業	1		1		2	1					1	4
林業	6				6	2	2	2	2		6	12
合計	50	9	3	6	68	14	21	14	14	1	76	144
建設業	22	3	4	1	30	5	9	9	9	26	0	61
林業						3	12	1	1	17	0	31
建設業			1	3	4	2	1	1	1	4	0	8
林業	28	3	2	1	34	4	8	7	1	23	0	54

現在、装着が義務づけられている安全装置である過負荷防止装置は、アウトリガ張出長さ自動検出、旋回領域制限など、近年、特にその機能が著しく進化した安全装置である。その基本機能である過負荷についての安全の確保は、作業機フットピン回りの力のモーメントのつりあいを基本原理としている。

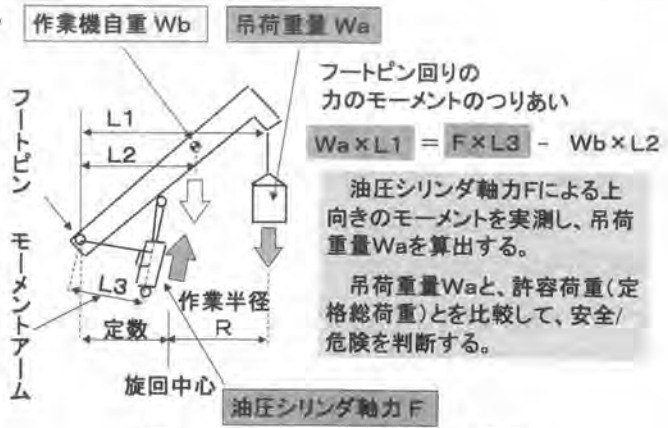


図-1 過負荷防止装置の基本原理

図—1にあるように、上向きの力のモーメントを実測し、作業機の姿勢検出を行い、自重による力のモーメントを差し引いて、吊り荷重量（モーメント）を算出する。この吊り荷重量とあらかじめ姿勢別に算出してある許容荷重（定格総荷重）との比較により安全／危険を判断している。

この方法によると、設置地盤が水平堅土上の場合においては、装置の故障や誤設定・誤操作、意図的な過負荷作業を行う等の場合を除けば、確実に過負荷による作業機の破損や、転倒事故を予防することが可能である。しかし、地盤の沈下により車体が傾斜したときには、

- ① 作業機の起伏アクチュエータによる上向きの力のモーメント検出に、傾斜に起因する算出誤差が生じる。
- ② 安全／危険を判断する定格総荷重が傾斜状態に対応したものでない。

などの理由により適正な機能が望めなくなる。

したがって、沈下等による車体の傾斜に対応するためには、車体傾斜角度情報を用いて車体傾斜に関する警報を発令する方法、車体傾斜角度を実測し現行の過負荷防止装置を車体傾斜角度で補正する方法、アウトリガの反力情報を用いて警報を発令する方法等の適用が考えられる。

この中で、今回の転倒事故低減システムにアウトリガ反力情報を採用したのは、

- ① アウトリガ反力値が、地盤の沈下現象に直接関与する物理パラメータであること。
- ② 重負荷時に発生するアウトリガの浮きの有無を、その数値により認識できること。
- ③ 総合重心位置の算出により、安全性を転倒限界との位置関係を把握できること。
- ④ 反力センサとアウトリガ張出長さセンサ等シンプルな機器構成で実現できること。

等、安全装置として優れた可能性を有するためである。

なお、アウトリガ反力情報による安全装置は少なくとも昭和50年には考案されていたが、これまでのところ、車両に搭載され、広く普及されるには至っていない技術であった。

## 1. 転倒事故低減システムの概要

本システムは吊上げ荷重25トンクラスX型アウトリガ仕様のクレーン車(車両重量26.9トン)に装着し、各種実験を行った。

今回開発したシステムは、アウトリガの接地反力値を直接検出し、その情報をモニタ画面に表示するとともに、転倒に至る余裕が小さくなった場合には警報を発令し、オペレータに回避処置を促すものである。本システムの機器構成を図2に示す。

アウトリガフロート（接地板）部において反力センサにより直接検出された接地反力値は、アウトリガ張出長さ情報とともに下部コントローラに入力され、デジタル信号に変換された後、上部コントローラに送信される。（電圧信号をデジタル信号に変換するのは、上下間の信号伝達を行う電気スイベル部での信号変化の影響を避けるためである。）上部コントローラでは、信号受信後、CRTモニタに画面表示すると同時に、内部計算により安全／危険を自動判断し、危険と判断した場合には画面上に警報表示およびブザーによりオペレータに警報を発令し、機体を自動停止させることも可能である。

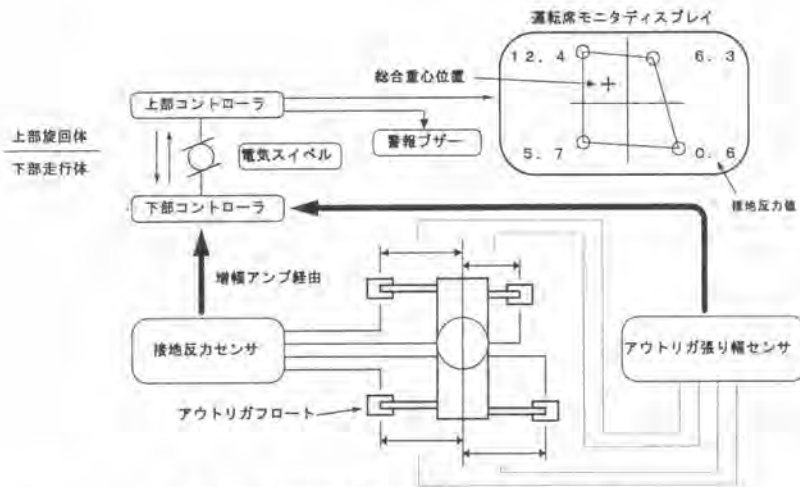


図-2 転倒事故低減システム機器構成図

(1) 反力検出の方法

本システムにおいては、総合重心位置と転倒支点（線）の位置関係で警報を発令しており、そのためには高精度（±1～2%）の反力検出が必要である。反力を検出するには、種々の方法があるが、①計測性能、②コストの将来的な可能性、③重量増加が少ない、④従来構造を大幅に変更することなく装着可能である等の面から、今回はピン型荷重センサを選択している。

ピン型荷重センサの仕様を以下に示す。

計測範囲	0～30トン	許容過負荷	36トン（120%）
外形寸法	Φ50mm×L201mm	単体計測性能	非直線性 1%/FS以内
ヒステリシス	1%/FS以内	供給電源電圧	DC±15V
出力信号形態	DC 0～1.0V（内蔵アンプによる出力）		

ピン型荷重センサは周方向に出力感度が異なるという特性を持ち、供試車両の様にX型アウトリガ方式の場合、アウトリガジャッキ量によりピン型荷重センサに加わる力の角度が変わってくる。従って、常用する角度域を最大感度点近傍に設定している。なお、最大感度点角度から±3度程度のジャッキ量範囲であれば、外力に対して0.14%程度の計測誤差であり、実用上、利用可能なレベルである。

また、最大感度方向近傍を使用するため、センサ支持部に周方向回り止めの構造を設けている。

(2) 反力および総合重心位置による表示

運転席のCRTモニタには、図3に示す以下の内容を表示する。

- ① 各アウトリガ脚の接地反力（単位：トン）を拡大文字で表示。
- ② アウトリガフロート接地座標による転倒限界領域の表示。

アウトリガフロートが地盤と接地する位置座標（ $X_i$ ,  $Y_i$ ）の車体前後方向位置 $X_i$ は車体寸法の定数であり、車体左右方向座標 $Y_i$ は各アウトリガ張出長さにより決まる数値である。（座標原点は旋回中心、添え字 $i$ は前右、後右、後左、前左をそれぞれ表す。）

各アウトリガ張出長さは、過負荷防止装置のアウトリガ張出長さセンサの情報を利用してはいる。4点の接地点により構成される四角形は、アウトリガの異張出（各脚の張出量が異なる組み合わせ）に対応し、その形状が自動的に可変表示される。

### (3) 総合重心位置の表示

車両重量および吊荷重量の総合重心位置座標  $(X_c, Y_c)$  は、以下で算出される(図4参照)。

$$X_c = \Sigma (F_i \times X_i) / \Sigma F_i$$

$$Y_c = \Sigma (F_i \times Y_i) / \Sigma F_i$$

総合重心位置座標は、画面上に「+」印で表示され、作業機の動作および吊荷の動き等によって上記の領域内を移動する。

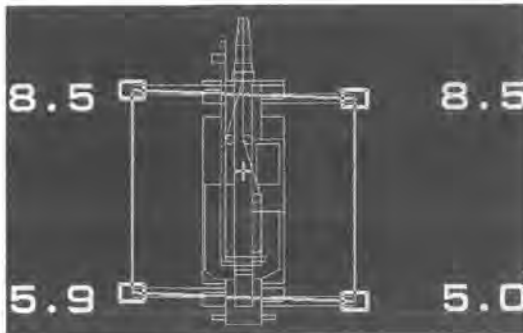


図3 画面表示例

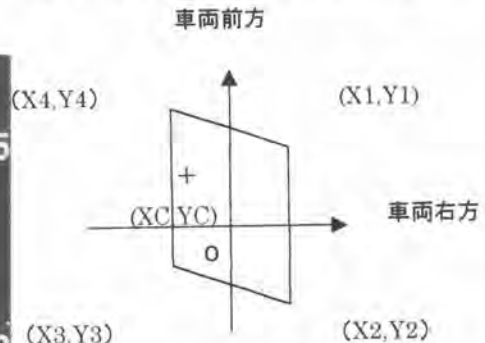


図4 座標系の説明

### (4) 警報発令の方式

#### ① 重心位置による方法

アウトリガフロートの各接地点を両端とする辺が転倒する場合の転倒限界線となるので、検出した総合重心位置からの距離を計算し、その数値が予め設定した警報しきい値を下回る場合に警報を発令し、CRTモニタ上で転倒線および総合重心位置表示色を赤色に表示変更する。

なお、前後左右の4辺までの距離をそれぞれ常時監視することにより、作業中の任意の状況への対応を可能にしている。

#### ② 接地反力による方法

接地反力情報のみの取り扱いにより、隣り合う2脚のアウトリガ反力が計器の誤差や吊荷の揺れがある場合でも安全を確保できる一定の規定値以下になった場合に警報を発令する。

この場合においても、各辺に対応する4通りの組み合わせに関してそれぞれ常時監視することにより、作業中の任意の状況への対応を可能にしている。なお、警報時においては、該当する2脚の反力値の表示色を青色に表示変更する。

## 3. 実車搭載結果

転倒事故低減システムを実車に搭載した場合の性能を定置式の基準センサ出力と同時計測し、基準センサと比較することによって確認した。

### (1) 実験条件

アウトリガ全脚最大張出

作業機長さ 13.7m (2段ブーム長)

吊荷重量 5.0トン 負荷率約60%

計測条件 100msec間隔、300秒間計測

上記の条件により、前方より時計回りに1周(360度旋回)した軌跡を図5に示す。



図5 総合重心位置の旋回時の軌跡

## (2)実験結果

### ① 総合重心位置表示の挙動

算出表示した総合重心位置は、転倒限界線内の領域を旋回等の操作に従い移動表示される事が確認された。

### ② 接地反力値の計測精度

ピン型荷重センサの場合、センサメーカーが実施する較正ベンチでの単体計測性能と車載時の計測性能とは、センサ両端の支持部の剛性等が異なるため、必ずしも同一になるとは限らない。

よって、今回の場合は計測に先立ち、各脚のピン型荷重センサは定置式の基準センサにより車載上での較正を行っている。なお、較正マップは0～30トンまでを複数の直線で近似する方式を取っている。

また、反力センサの出力特性としてヒステリシスが生ずるため、較正值はその平均をとり、任意の操作時においても、その差を小さくしている。

較正後、各脚の反力値は、基準センサの出力に対して±1～2%の範囲内に入っていた。

### ③ 総合重心位置の計測精度

共通のアウトリガ張出長さ情報を与えて定置式の基準センサにより算出した総合重心位置と、ピン型荷重センサにより算出した総合重心位置は、実測で最大約90mmの座標間距離誤差となった。

この結果は、机上計算において、センサ単体で±1%の誤差を有する場合の総合重心位置算出誤差が最大150mmであることと比べ、妥当な計測値である。

## 4. 考察

### (1) システムの特性

本システムは基本的に吊作業時における車両の状態をよりわかりやすくオペレータに情報伝達し、警報を発令するものであるが、確実な安全作業を実現するためには、いくらかの留意事項がある。

#### ① センサの計測誤差の考慮

当然ながら、一般にセンサは検出誤差を伴うものであり、反力センサといえどもその例外ではない。従って、計測値情報により警報を発令する安全装置において警報しきい値を設定する場合には、その計測誤差を考慮したものでなければならない。

#### ② 荷揺れによる総合重心位置の変動の考慮

反力計測による総合重心位置の算出により荷揺れが生じた場合には、総合重心位置が変動する現象が改めて確認された。

通常の吊り作業において特に熟練したオペレータの場合、その操作による吊り荷の揺れはごくわずかに抑えられる。そのため、安全装置の機能として突発の吊荷の揺れに対してどれだけの余裕をとるべきであるかを規定する必要がある。

### (2)コストについて

#### ①反力センサのコスト

反力センサにおいても、一般の計測器と同様、高精度になるほど高価になる。

また、自動車などの安全装置と異なり、その生産数量が1台あたり4個使用するとしても文字どおり桁違いに少ないため大量生産によるコストダウンが困難である。

加えて、クレーン車のアウトリガの構造や車両の車格サイズにより、反力検出構造や計測範囲（フルスケール）が異なるなど、共通仕様の部品を使用するのが難しい点も問題となる。

#### ②信号の情報伝達装置のコスト

本システムは、現行の過負荷防止装置装着車両に付加的に装着したものであるため、専用のコントローラを上下にそれぞれ装備している。

過負荷防止装置の機器構成においても、アウトリガ張出長さセンサなど下部走行体からの検出器情報を運転席に送信するために上下間の通信を行う多重電送装置を装備しており、信号伝達のコストを考える場合には過負荷防止装置からの安全機能の独立化の一方で、入力・通信機能の統一化も考慮されるべきである。

## 5. あとがき

今回の開発により、アウトリガ反力情報を用いた転倒事故低減システムは、過負荷防止装置を補助する安全装置として車載上で有効に機能するものであることが検証された。

安全装置という機能の性格上、その信頼性や、計測精度の管理および警報しきい値の数値決定等、安全機能の設定に関しては技術的により詳細な検討が必要である。また、今後の普及化のためには、より低廉な価格での供給を可能にする方向の検討も不可欠と考えられる。

今回の開発が、さらなる安全化技術の推進のきっかけとなることを期待するとともに、実際の作業現場の安全管理に有効に機能し、転倒事故の低減に貢献することを切に願うものである。

最後に、開発にあたってご尽力いただいた（社）日本建設機械化協会、製作を担当した（株）小松製作所ならびに関係各位に感謝の意を表するものである。