

1 . 序 論

前 郁 夫*

1. INTRODUCTION

Ikuo MAE*

Movable cranes and fork lift trucks have been widely used in many industrial places because of their efficient mobility. Accordingly overturning accidents of these transportation machinery have occasionally happened due to their unstable conditions. The number of accidents associated with cranes have been decreasing, yet they still account more than 6,500 accidents. Among them, overturning is the major cause of accidents which account for 10% of all movable crane accidents. Overturning of movable crane have a high potential of risk that will induce serious accidents not only to workers in a workplace but to pedestrians in a city area.

One type of safety measure against overturning accidents is fastening a safety device as a moment-limiter to a movable crane. This was regulated in 1972 and have played an important role in decreasing overturning accidents. This safety device, however, is concerned only to the operation on a firm ground so that safe operation on a soft, weak ground mainly depends on skill of the workers.

So far as a fork lift truck concerned, this machine is more likely to be unstable compared with other transportation machinery due to its shape characteristics. Hence many overturning accidents also take place during its operation.

Considering the situation of movable cranes and fork lift trucks, it is necessary to conduct research on safety measurement against overturning accidents.

The main objective of this research project is to develop a safety device that will prevent movable cranes from overturning on a soft ground and to develop a protective device that will prevent the operator from getting injury. For this purpose, comprehensive research work have been carried out as follows :

- 1) A study of evaluation of ground characteristics and of dynamic behaviour of movable cranes on a slope to establish the requirement of the safety devices.
- 2) Developing an outrigger for the soft ground use and evaluate its effectiveness from a safety point of view.
- 3) Clarify the mechanism of overturning by making use of an actual fork lift truck and develop a safety device to protect a operator from ejection and moderate the impact on to the ground.

* 機械研究部長 Mechanical Engineering Research Division.

1.1 はじめに

運搬機械のうち移動式クレーンやフォークリフトトラックは、その特長である機動性から多くの産業分野において大量の台数が稼働している。

これに伴って、この種の運搬機械に関連して発生する労働災害も毎年かなりの数に達している。災害統計によると昭和58年の移動式クレーンによる休業4日以上の死傷者数は804名であり、うち死亡災害は65件となっている。この原因として吊荷の落下、狭圧、墜落などのほか、機体の転倒がある。とくに最後の転倒は、移動式クレーンが有する不安定性に起因するものであり、とくに市街地における転倒は第3者に対する損傷、被害を及ぼすこともあり、社会的影響も大きい。

移動式クレーンの転倒防止のための安全装置としては、過負荷防止装置、水平維持装置、水平検出装置等があり、このうち過負荷防止装置は昭和47年クレーン等安全規則で設置が義務づけられ、これらにより転倒災害の発生はかなり減少している。しかし、これらは軟弱地盤その他支持地盤の不良による傾斜に対する安全機能に欠けることから、万全のものとは云えず、上記条件下においては、オペレータの地盤支持力に対する知識の不足または判断ミス、あるいは確認の不履行などによって、稼働中に転倒を招く場合も少なくない。

またフォークリフトについては、その構造、機能から他の運搬機械にくらべ著しく安定度が悪いことは明らかであり、これもオペレータの操作ミスや、走行面の不陸などにより転倒を生ずる場合があり、これによる災害の発生もかなり報告されている。

なお、このような移動式クレーン、フォークリフトの転倒災害の代表的な死亡災害事例の概要を本章の末尾に示した。

当研究所においてはこの種の労働災害を防止するための有効な手段を求めため、昭和57年度、昭和58年度の2ヶ年計画により特別研究を実施することとした。

災害事例の検討から、移動式クレーンについては、アウトリガの地耐力の問題、傾斜した状態での旋回中の安定性に関する問題、フォークリフトについては、旋回走行時の安定性に関する問題および万一転倒した場合の乗員の保護装置に関する問題を研究の対象として選定した。

1.2 研究の概要

(1) 軟弱地盤における荷重—沈下特性について（関東ロームの場合）

移動式クレーンの傾斜転倒の原因として第一に挙げられるのは、張り出したアウトリガフロート部が沈下することによるものである。この沈下は支持地盤の地耐力が不足することに起因する。

本研究では、アウトリガフロートを介して地盤に作用する荷重とそれによる沈下の関係について考察した。

地耐力は地盤を構成する土の力学的性状に依存するものであり、戴荷による沈下破壊現象は地盤の種類によってかなり変動する。ここでは関東ロームを用いた実験土槽内に作成した模擬地盤に対してアウトリガフロート模型の戴荷板を用い、戴荷圧と沈下量の関係を明らかにした。

また戴荷板の形状、寸法等が沈下量に及ぼす影響について、模擬地盤および清瀬実験場構内の盛土地盤に対して実験を行い考察した。

これらの研究を通じ、軟弱地盤の荷重—沈下の関係について、土の力学的性状を基に明らかにするとともに、移動式クレーンのアウトリガの沈下防止のために有用な情報を得た。

(2) 移動式クレーンの転倒防止

移動式クレーンは、通常水平でかつ堅固な支持面上で使用されることが原則であるが、実際の作業時には必ずしもこの使用条件を満足するとは限らない。それはアウトリガ接地地盤の不陸や、地盤強度の不足から生ずる沈下によって傾斜した状態が生ずる場合があるためである。これらは、アウトリガが高さの調整を十分に行うとか、地盤の強度に応じた接地面積の拡大をはかるなど作業時におけるオペレータの周回な注意と対処の諸方策が講ぜられれば問題がないと云えるが、これが守られない場合には、作業中の機体の傾斜や甚しい場合には転倒を招く結果となる。

本研究は、移動式クレーンが傾斜した状態で旋回運動を行うような場合の安定度すなわち動的安定性の解析をつり荷の荷振れ角度と転倒モーメントの関係、機体が傾斜して旋回するクレーンの運動方程式の作成とその数値計算などにより行い、さらに実機を用いた旋回実験により、旋回モーメント、慣性モーメントの決定と数値計算の結果との比較などを行つている。これ

らから得られた諸データは、移動式クレーンの動的安定性を検討する場合の理論的根拠の一助となるものである。

このほか、本研究では、(1) 軟弱地盤における荷重一沈下特性についての研究において得られた結果を基に、数種のアウトリガフロートを試作し、沈下予測に有効なフロート、沈下量が比較的少ないフロートの実機への適用を試みた結果についても報告している。

(3) フォークリフトの転倒災害防止

フォークリフトは前述したように転倒し易い構造であり、操作運転の適正化が強く求められている運搬機械と云える。このため比較的操作が単純な機種でありながら労働安全衛生規則等においても運転技能講習を義務づけている。

本研究は、万一転倒が発生した場合において、運転者が重大な被害を受けないための保護装置の開発をめざしたものである。

最初にフォークリフトの横転に関して、最も転倒し易い旋回走行を行った際の機体の安定性を検討するために簡単なモデルを考え、このモデルに対して静的または動的な安定解析を行った。このとき、地盤の傾斜、旋回時の遠心力などを考慮し、これらによる転倒モーメントと重力による復元モーメントの釣合いから安定限界を求めた。

このときのパラメータは、フォークリフトの軸距等の機体諸元と重心位置、走行速度、旋回半径などである。

次いで、転倒時に運転者を保護する安全装置について検討を行い、転倒の際に直ちに作動することが可能で緩衝効果の高いエアバッグ方式を選定した。

この方式を採用する場合、エアバッグをいつ、どのような状態になったときに膨らませるかという点が問題であり、機体傾斜の検出装置についても検討した。さらにエアの供給源については実用性が高いと思われる圧縮空気タンクを用いることとした。

以上のような各種の検討から安全装置の試作を行い、これを実機に装着し、作動状況、効果の確認実験を実施した。この結果、運転者の保護と云う所期の目的を果す装置として実用化し得ることを確認した。

以上、本特別研究に含まれる3つの研究の概要を述べたが、これらの研究成果はそれぞれ、今後の運搬機械の転倒災害の防止対策に対して直接、間接に有用な情報を提供していると考えられるが、時間的制約やその他の条件から、必ずしも満足すべきものでなく、残された問題については、さらに経常研究として研究を進めて行きたいと考えている。

1.3 災害事例

本研究のために参考とした過去に発生した移動式クレーン転倒による死亡災害、フォークリフト転倒による死亡災害の事例をそれぞれ表 1-1、表 1-2 に示す。

表 1-1 移動式クレーン転倒災害事例

業 種	機 械 名	事 故 の 型	災 害 の 概 要
土木工事業 (山形)	車輻搭載型 トラッククレーン (2トン)	転 倒	木材(710kg)を車輻搭載型トラッククレーンの荷台からおろす作業中、片側のアウトリガが雪中に沈んだためクレーンが傾き、運転者がクレーンとブロックの間に挟まれた。
土木工事業 (和歌山)	トラッククレーン	転 倒	トラッククレーンを使用してコンクリート打設中、アウトリガが土の中にめり込んだためクレーンが転倒しブームが作業者に当たった。
金属製品製造 (長崎)	トラッククレーン (4.9トン)	転 倒	アパート新築工事現場で、鉄骨製階段(1.8トン)をトラッククレーンを用いてトラックより荷おろし中、張り出していたアウトリガの1脚が地中に埋り、クレーンが傾いてつり荷が落下し、その下敷きとなった。
建築事業 (千葉)	トラッククレーン (20トン)	転 倒	電話局庁舎の基礎工事現場において、トラッククレーン(3段式ジブ、全長26m)が倒れ、16m離れた位置で作業していた人夫がクレーンのジブに打たれた。
建築事業 (富山)	トラッククレーン (35トン)	転 倒	橋梁架設用の門構を橋台に設置するためトラッククレーンで門構をつり上げて旋回中、堤防上にあったトラッククレーンのアウトリガ付近が崩れて転倒し、橋台で合図していた作業者が、倒れたジブに挟まれた。
建築事業 (静岡)	トラッククレーン (25トン)	転 倒	生コン打設のためにトラッククレーンを据えつけ、バケットに生コンを入れてつり上げ、ジブを伸したところ、クレーンが転倒し、足場の上で作業中の者がはね飛ばされた。
建設事業 (宮崎)	トラッククレーン	転 倒	トラッククレーンで鉄骨をつり上げて約90度旋回したところ、トラッククレーン左側のアウトリガが地中にめり込んだためクレーンが傾き、鉄骨上でボルト締めをしていた作業者がジブと鉄骨に挟まれた。
建設業 (千葉)	トラッククレーン (16トン)	転 倒	橋上において、トラッククレーンで籠形ブーム(約0.9トン)をつり、橋下につり降そうとしたところ、クレーンが傾き、指示していた作業指揮者がクレーンと欄干に挟まれた。
貨物取扱業 (山形)	車輻搭載型 トラッククレーン (2.05トン)	転 倒	車輻搭載型トラッククレーンでブルドーザーの排土板(約1.5トン)をつり降そうとしたとき、路面が雪のため若干傾斜したため転倒し、トラックの側面で操作していた作業者が下敷きとなった。
運輸業 (大分)	車輻搭載型 トラッククレーン (2.9トン)	転 倒	トラッククレーンを使って岩壁上から海上のFRP船に荷(1.2トン)を積み込み中、トラッククレーンが転倒しそうになったので2m下の海中に飛び込んだが、上から車輻搭載型トラッククレーンが落下した。
貨物取扱業 (山口)	トラッククレーン (11トン)	転 倒	幅員約4.5mの道路路上に設置されたトラッククレーンにて、ヒューム管を道路下約7.8mの敷設場所につり降す作業中、クレーンのアウトリガベースのアスファルト舗装部分が突然陥没したため道路下に横転した。
建設業	トラッククレーン (20トン)	転 倒	新築工事現場において、埋戻しをした所に厚さ12cm、長さ80cm、幅25cmの板2枚を敷板とし、その上にアウトリガを張って型枠材を荷おろししたところ、クレーンの右側前アウトリガが約20cm下ったため、クレーンが転倒した。
建設業 (高知)	トラッククレーン	転 倒	移動式クレーンに重量6.4トンの岩塊をつり上げ旋回中、路面が軟弱のためクレーンが傾き横転しその下敷きとなった。
建設業 (愛知)	車輻搭載型 トラッククレーン	転 倒	庭石をトラックで運んできて、車輻搭載型トラッククレーンで庭石をつり、90度旋回させたとき、アウトリガが路肩にめり込んでトラックが横転し、荷台に乗っていた作業者が3m下に転落した。
建設業 (高知)	車輻搭載型 トラッククレーン (2.9トン)	挟 圧	会社の敷地内土留工事予定場所で、車輻搭載型トラッククレーンを用いて、このトラッククレーンに積んであったコンクリート溜ます(重さ約2トン)を降そうとしたところ、アウトリガの下の地盤がゆるんでへこみ、トラックが傾いたため、トラックの右側でクレーンの操作をしていた被災者がトラックの脇に積んであった大谷石の間に挟まれた。

表 1-2 フォークリフト転倒災害事例

業 種	機 械 名	事 故 の 型	災 害 の 概 要
沿岸荷役業 (大 阪)	フォークリフト (3トン)	転 倒	上屋前に仮置された板材2束をトラックに積むためにワイヤスリングでフォークに玉掛け、持上げようとした処、機体が転倒し始めた。作業者は飛び降りたが逃げ切れず挟まれて死亡した。
倉庫荷役業	フォークリフト (2トン)	転 倒	フレキシブルコンテナ(鉱物原料1.5トン)6個をトラッククレーンに積み付けるため、フォークの片側にかける3m持上げて前進し、倉庫の出口で右折しようとした処、フォークリフトが倒れ、横を通行中の作業者と運転手が共に被災した。
金属製品製造	フォークリフト (2.5トン)	転 倒	圧延用ローラー(1.8トン)を運搬の際、ワイヤロープで玉掛けし、フォークリフトの左側爪先端に掛け、吊り上げた時、床の鉄板が抜けそのため転倒した。その際、玉掛した作業者頭部を圧壊死亡させた。
倉 庫 業	フォークリフト (2トン)	転 倒	パレット4枚(80kg)を積載したフォークリフトを倉庫より約90m進行し、曲り角で急旋回しようとした処横転し、路上に放り出されフォークリフトの下敷となり死亡した。
アルミ製造業	フォークリフト (1.35トン)	転 倒	アルミの材料1パレット分(1.39トン)をフォーク先端に載せ後退した処、車体後部が浮き上がった。その時近くの作業者3名が後部に乗り一時バランスを取ったがまた浮き上り振り落された。同時に前傾したため荷が滑り落ち、車体は元に復したが、1名が後輪の下敷きとなり死亡した。
沿岸荷役業 (三 重)	フォークリフト (2トン)	転 倒	倉庫入口の傾斜路(約10度)でフォークリフト空車を後進中、後車輪が脱輪したため、横転し、頭部を挟まれ骨折死亡した。
沿岸荷役業 (鹿 児 島)	フォークリフト (3.5トン)	転 倒	フォークリフト修理のため他のフォークリフトでけん引し修理工場に運ぶ途中、傾斜地でけん引していた方が横転し、運転者が投げ出され、下敷きとなり死亡した。
沿岸荷役業	フォークリフト (3.5トン)	転 倒	米材8本の束(約6トン)にワイヤロープを掛けフォーク片側にて吊った処、フォークリフトが横転し、運転者は投げ出され、ヘッドガードの下敷きとなり死亡した。
製 紙 業	フォークリフト (1.5トン)	転 倒	古紙をトラックに積載中、クランプ(荷物をはさむアタッチメント)を4mの高さに上げかつマストを前傾して走行旋回したところ、荷の反動と凹部に左前輪が入ったために横転し、投げ出された運転者はトラックとフォークリフトにはさまれ胸を強打し死亡した。
倉庫荷役業	フォークリフト (クランプ付 2.5トン)	転 倒	段ボール原紙の巻取紙のはい替作業中、二段積みとなっていた巻取紙がクランプリフトに倒れかかり横転した。運転者はヘッドガードの下敷きとなり死亡した。
その他製造業	フォークリフト (2.5トン)	転 倒	重量800kgのガラス繊維材入り袋をトラックに積み込み作業中トラックの横で左に旋回したところ遠心力が働き荷の袋が揺れ左側に傾いたので運転者は飛び降りたが倒れて来たフォークリフトの下敷になって死亡した。
建築工事業 (広 島)	フォークリフト	転 倒	バケットつきのフォークリフトにより、倉庫内の塵介置場の塵介をダンプトラックに積込中、建屋内の排水溝の覆板の間に前輪を落としフォークリフトが横転した。運転士はヘッドガードと地面の間に頭をはさまれ死亡した。バケット使用時の最大積載荷重は700kgである。