

# クレーン機能付きドラグ・ショベルのつり荷走行時における機械の不安定化に関する研究

堀 智仁\*1, 玉 手 聡\*1

クレーン機能付きドラグ・ショベルには、クレーン作業を安全にするため JCA 規格（一般社団法人日本クレーン協会規格）に適合したフック等の安全装置が備わっている。一方で同機械による災害は近年多く発生しており、クレーン作業中の転倒が見受けられる。本研究では、つり荷走行時における不安定要因を明らかにするために、実機を用いた実験を行った。その結果、理想的な水平堅固条件においてもつり荷走行時にはつり荷の重さの約 1.3 倍の荷重が作用することや、走行路の起伏と走行速度はつり荷の荷重を増減させる不安定要因であることがわかった。

キーワード: ドラグ・ショベル, つり荷走行, 転倒災害, 実大実験

## 1 はじめに

掘削用機械によるクレーン作業<sup>1)</sup>は労働安全衛生規則第 164 条「主たる用途以外の使用制限」<sup>2)</sup>において原則的に禁止されており、クレーン作業が許される条件は限定されている。一方、近年ドラグ・ショベル等にクレーン機能が備わった機械が開発されている。この機械は車両系建設機械構造規格<sup>3)</sup>と移動式クレーン構造規格<sup>4)</sup>を満足するものであり、掘削作業とクレーン作業の両方を行うことが認められている。ただし、移動式クレーンのつり荷走行は労働災害防止の観点から原則として禁止されており<sup>5)</sup>、この制限はクレーン付きドラグ・ショベルについても同様である。しかしながら、実際の作業現場では、臨時的で代替の方法が採用できない場合等、作業の性質上やむを得ない理由でつり荷走行を行わざるを得ない場合がある。そのため日本クレーン協会（JCA）では「油圧ショベル兼用屈曲ジブ式クレーンのつり荷走行時の能力設定に関する指針」<sup>6)</sup>を制定し、つり荷走行を可能とする条件を示した。その主な内容は、つり荷の重さを定格荷重の 1/2 以下とし、その走行経路については「水平堅固で傾斜 1%以下の傾斜」<sup>7,8)</sup>とするものである。しかし、実際の建設現場の地盤では起伏や強度のばらつきも存在するため、このような地盤を走行する際に、機械が不安定化することが考えられる。そこで本研究では、ドラグ・ショベルのつり荷走行時の不安定要因を調べるために、実機を用いた走行実験を行った。この実験では、走行路の地盤条件や走行速度等をパラメータとして、つり荷の荷重変動と機体の揺動を調査した。

## 2 実験条件

### 1) 実験条件

過去に発生したドラグ・ショベルの転倒災害を調査したところ小型の機種で災害が多く発生していることから<sup>9)</sup>、本研究では、小型の機種を用いて実験を行った。実

験に使用したドラグ・ショベルを図 1 に示し、機械の仕様を表 1 に示す。表 2 に実験条件を示す。本実験では、作業半径やつり荷の重さ、走行速度、走行路、敷板の敷設条件をパラメータとした。作業半径は旋回中心からフック先端までの水平距離を示し、本実験では作業半径を 2.1m および 3m の 2 種類とした。それぞれの定格荷重は 10kN と 5kN であったため、つり荷の重さ ( $W_0$ ) は、その 1/2 とした。また、JCA 指針ではなるべく低速で走行することと規定しているため、走行速度は 2km/h および 3km/h とした。

つり荷の荷重については、格納式フックにロードセル（定格荷重 10kN）を取り付けて、サンプリングレート 100Hz でデータを収録した。

### 2) 走行路の条件

走行実験は 4 種類の走行路で行った。その走行路は、水平堅固の理想的な走行路を模擬したコンクリート床と、関東ロームを盛土して作製した平坦な地盤（平坦地盤）と起伏を有する地盤（起伏地盤）および平坦地盤に敷鉄板を設置した走行路である。盛土はまき出し厚 30cm とし、全 3 層で造成した。各層の締固めは写真 1 に示す、



図 1 実験に使用したドラグ・ショベル

表 1 ドラグ・ショベルの仕様

機械総質量	43.5kN
平均接地圧	26kN/m <sup>2</sup>
最高走行速度	4.2km/h

\*1 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ

連絡先: 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

労働安全衛生総合研究所建設安全研究グループ 堀 智仁\*1

E-mail: hori@s.jniosh.go.jp

表 2 実験条件

実験名	作業半径(m)	つり荷の重さ $W_0$ (kN)	走行速度 $V$ (km/h)	走行路	敷鉄板の敷設
Cs1	3	2.5	2	コンクリート床	-
Cs2	3	2.5	2	平坦地盤	-
Cs3	3	2.5	2	平坦地盤	○
Cs4	3	2.5	2	起伏地盤	-
Cs5	3	2.5	3	起伏地盤	-
Cs6	2.1	5	2	コンクリート床	-
Cs7	2.1	5	2	平坦地盤	-
Cs8	2.1	5	2	平坦地盤	○
Cs9	2.1	5	2	起伏地盤	-

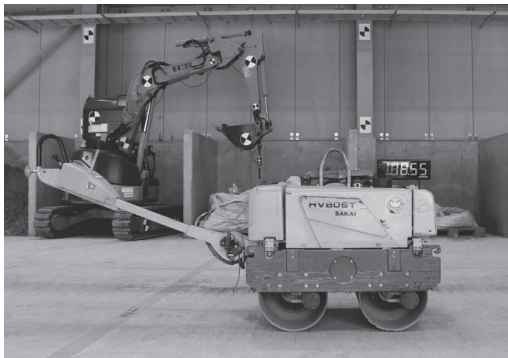
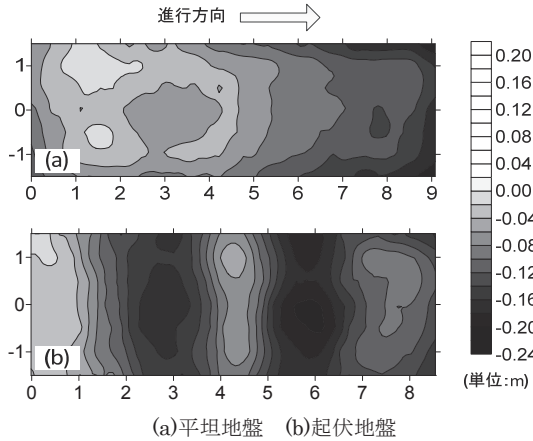


写真 1 振動ローラ



(a)平坦地盤 (b)起伏地盤  
図 2 走行路の地表面形状

ハンドガイド式の振動ローラ (HV80ST, 機械質量 7.25kN) により行った. 図 2 に平坦地盤と起伏地盤の地表面形状を示す. 起伏地盤には 2 箇所のくぼみがあり, その最急勾配は 4.5 度であった.

地盤の地耐力を調査するために, 平坦地盤において平板載荷試験 (地盤工学会基準 JGS1521-2012) を実施した. 荷重は段階式載荷により 5 段階で荷重を与えた. 図 3 に平板載荷試験の結果を示す. 図より, 走行路の極限支持力  $p_u$  は  $1693\text{kN/m}^2$  であり, 本実験で使用したドラグ・ショベルの平均接地圧 ( $p_m=26\text{kN/m}^2$ ) よりも大きな値であった.

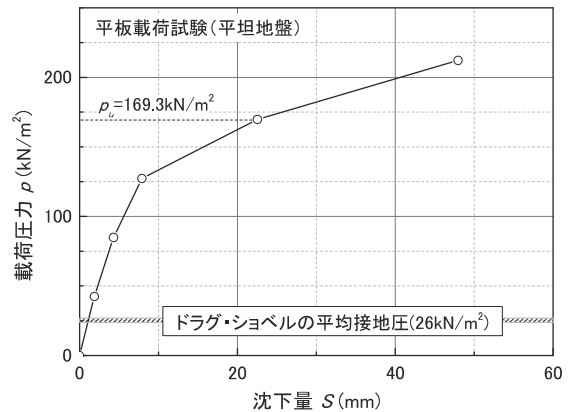


図 3 平板載荷試験結果

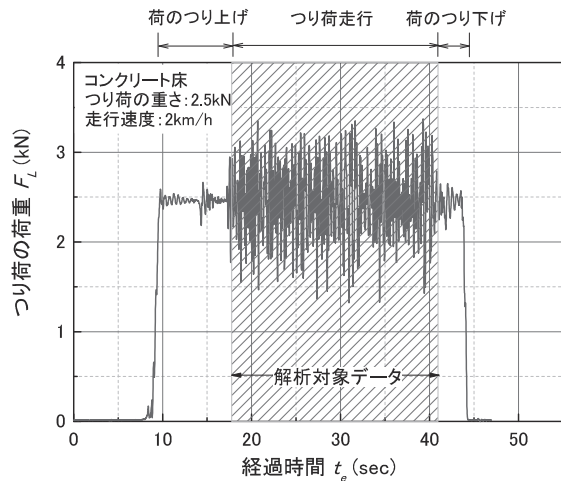
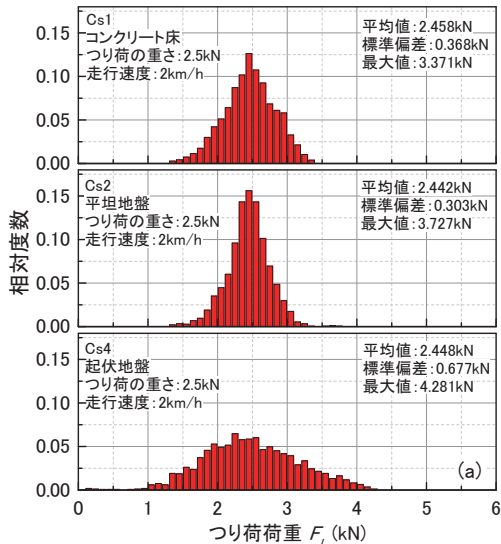


図 4 Cs1 におけるつり荷の荷重  $F_L$  の時刻歴

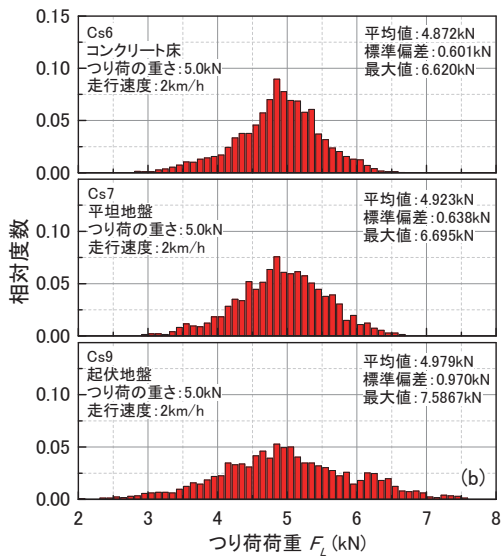
### 3 実験結果

#### 1) つり荷の荷重変動の解析

図 4 に Cs1 におけるつり荷の荷重  $F_L$  と経過時間  $t_e$  の関係を示す. 図より, 経過時間  $t_e=10\sim 17$  秒では, 荷をつり上げた状態でドラグ・ショベルは静止しているため  $F_L$  に変動は見られない. 一方,  $t_e=17\sim 41$  秒はつり荷走行時のデータであり, 機械の前進に伴い  $F_L$  は大きく増減している. 本研究では, 荷重の変動が大きい範囲のデータを解析対象とした.



(a) つり荷の重さ 2.5kN



(b) つり荷の重さ 5kN

図5 各実験条件における  $F_L$  の度数分布

(1) 走行路の違いが つり荷の荷重変動に与える影響

図5に各実験条件におけるつり荷の荷重  $F_L$  の度数分布 (階級間隔 0.1kN) を示す.  $F_L$  はつり荷の重さ  $W_0$  を中心として, 概ね左右対称に分布している. また, 理想的な水平堅固条件であるコンクリート床を走行した Cs1 と Cs6 では,  $W_0$  の約 1.3 倍の  $F_L$  が作用していた.

図5 (a) に,  $W_0=2.5\text{kN}$  の結果を示す. Cs1 (コンクリート床) と Cs2 (平坦地盤) を比較すると, Cs1 の  $F_L$  の方がやや広い範囲に分布しているが, 両者に大きな差はない. 一方, Cs4 (起伏地盤) の  $F_L$  は Cs2 よりも広く分布しており, 地盤起伏の影響により荷重の変動が大きくなっている. この結果は  $W_0=5\text{kN}$  の結果を示した図5(b)においても同様の傾向を示している. コンクリート床と平坦地盤の結果に大きな差がなかった理由としては, 平坦地盤の支持力が機械の接地圧に比べ十分高く, コンクリート床と同等の「水平堅固地盤」であったことが考え

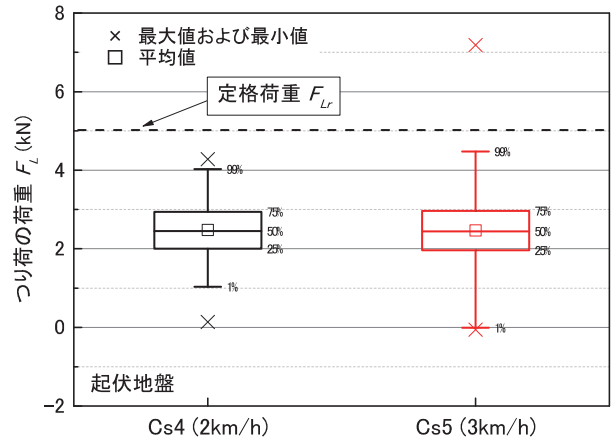


図6 走行速度が つり荷の荷重変動に与える影響

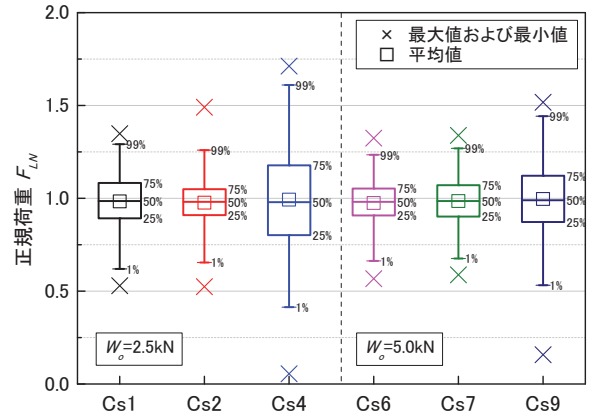


図7 各実験条件における正規荷重  $F_{LN}$  の比較

表3 各条件における変動係数および  $F_{L99}$  等

実験条件	正規荷重 $F_{LN}$	
	$F_{LN99}$	最大値
Cs1	1.29	1.34
Cs2	1.26	1.49
Cs4	1.61	1.71
Cs6	1.23	1.32
Cs7	1.26	1.34
Cs9	1.44	1.52

られる. 以上の結果から, 走行路の起伏の存在は  $F_L$  の変動を大きくさせる要因であることが確認された.

(2) 走行速度が つり荷の荷重変動に与える影響

走行速度の違いが つり荷の荷重の変動に与える影響について検討した. 図6にデータのばらつきの程度を図示したボックスチャートを示す<sup>10</sup>. 図中には, 1, 25 (第一四分位), 50 (中央値), 75 (第三四分位), 99 パーセントイルのほか, 最小値, 最大値および平均値を示している. 図より, Cs4 (2km/h) と Cs5 (3km/h) の 99 パーセントイルに相当する  $F_L$  の値 ( $F_{L99}$ ) を比較すると, Cs4 では 4.01kN であり, つり荷の重さ ( $W_0$ ) の 1.6 倍の荷重が作用していたのに対し, Cs5 の  $F_{L99}$  は 4.47kN であり  $W_0$  の 1.8 倍の荷重が作用していた. ここで,  $F_{L99}$  対

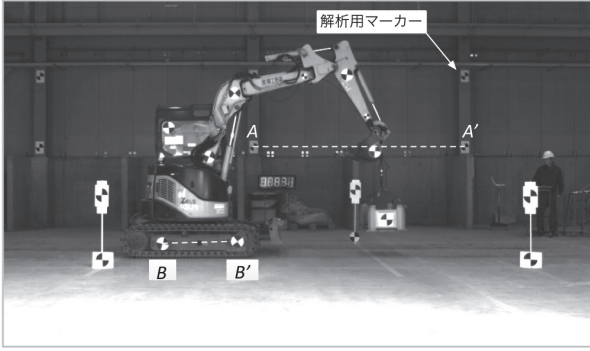


図8 高速度ビデオカメラによる計測画像の1コマ

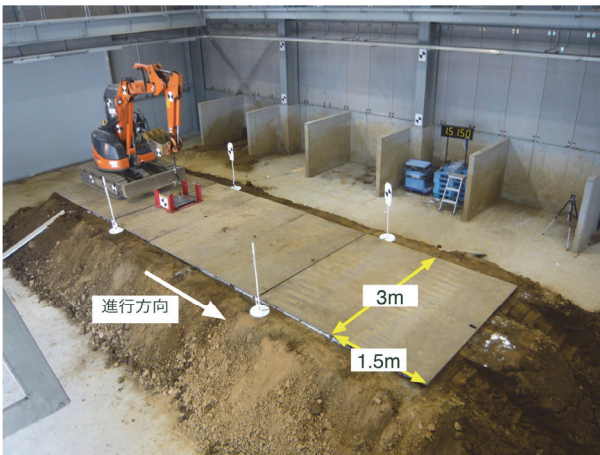


図9 敷板の敷設状況

る定格荷重 ( $F_{Lr}$ ) の割合を荷重余裕度  $I_a$  と定義した. 関係式を式 (1) に示す.

$$I_a = \frac{F_{Lr}}{F_{L99}} \quad (1)$$

Cs4 および Cs5 の  $I_a$  を求めた結果, それぞれ 1.25 と 1.12 であった. この結果から, 走行速度の増加に伴って荷重余裕度が減少することが確認された. そのため, 安全に作業するためには遅い速度とする必要がある.

### (3) つり荷の重さの違いが荷重変動に与える影響

つり荷の荷重の変動量を相対的に比較するためにつり荷の荷重  $F_L$  をつり荷の重さ  $W_0$  で除した値を正規荷重  $F_{LN}$  と定義した. 図 7 に各条件におけるボックスチャートを示し, 表 3 に 99 パーセンタイルの値 ( $F_{LN99}$ ) と最大値を示す.

コンクリート床を走行した Cs1 ( $W_0=2.5\text{kN}$ ) と Cs6 ( $W_0=5\text{kN}$ ) を比較すると,  $F_{LN}$  は Cs1 の方が広く分布している. また,  $F_{LN99}$  の値は, Cs1 が 1.29 であるのに対して, Cs6 は 1.23 であった. すなわち,  $W_0$  が小さい方が相対的に荷重の変動が大きくなっている.

一方, 平坦地盤を走行した Cs2 ( $W_0=2.5\text{kN}$ ) と Cs7 ( $W_0=5\text{kN}$ ) の比較では,  $W_0$  の違いによる差はほとんどみられない. 両ケースの  $F_{LN99}$  は同じ値であったが, 最大値は Cs2 の方が Cs7 よりも大きい.

起伏地盤における Cs4 ( $W_0=2.5\text{kN}$ ) と Cs9 ( $W_0=5\text{kN}$ ) の比較では, Cs4 の方が  $F_{LN}$  の分布は広く  $F_{LN99}$  について

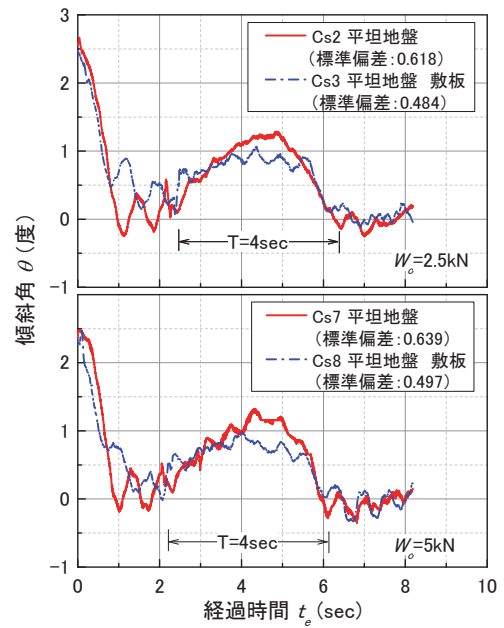


図10 敷板の敷設状況の違いによる傾斜角の比較

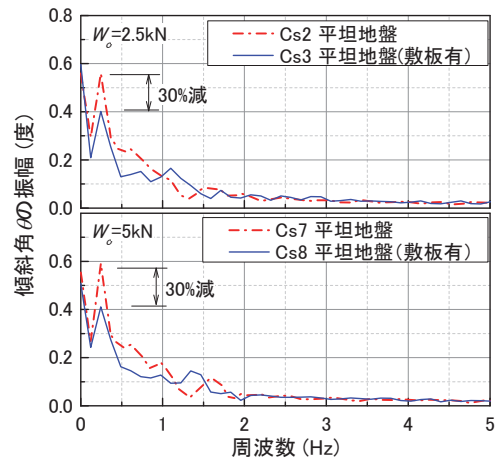


図11 周波数解析結果

も Cs4 は 1.71 であるのに対して Cs9 は 1.52 であった. この結果は, コンクリート床の結果と同様の傾向であり,  $W_0$  が小さい方が相対的に荷重の変動量が大きくなることがわかった.

このことから,  $W_0$  は定格荷重の 1/2 と同一条件であっても,  $W_0$  が小さい条件では, 荷重変動が相対的に大きくなり, 機体は不安定になることがわかった. そのため, 安定した走行には, 作業半径を小さくする必要がある.

### 2) 敷板の有無による機体揺動の比較

敷板の敷設状況が機体揺動に与える影響を調査するために, 走行中の機体の様子を高速度ビデオカメラで撮影してその揺動を解析した. 実験に使用した高速度ビデオカメラはフォトロン製 Fastcam SA3 であり, 実験では 500 コマ/秒で撮影した.

図8に高速度ビデオカメラによる計測画像の1コマを示す。解析用のマーカを機械と施設内の壁面等に設置した。本研究では、施設内の壁面に設置した2箇所の解析用マーカを結ぶ線(A-A')を基準線とした。走行中の機械の揺動については機械の履帯部分に設置した2つのマーカを結ぶ線(B-B')と基準線とのなす角を傾斜角 $\theta$ と定義して求めた。

図9に敷板の敷設状況を示す。実験に用いた敷板の寸法は、長さ3m、幅1.5m、厚さ22mmであり、一般的に使用されているものである。敷板は機械の進行方向に対して長軸方向が直交するように敷設した。

図10に $W_0=2.5\text{kN}$ および $5\text{kN}$ における傾斜角 $\theta$ と経過時間 $t_e$ の関係を示す。 $\theta$ は $W_0$ の違いおよび敷板敷設の有無にかかわらず、ほぼ同じように増減している。標準偏差を比較すると、敷板を敷設した方の値がいずれも約2割小さくなっている。

図11に傾斜角 $\theta$ を周波数解析した結果を示す。敷板の有無による違いを比較すると、 $W_0=2.5\text{kN}$ と $5\text{kN}$ の両ケースに共通して、敷板有りの場合の振幅は敷板無しに比べ小さくなっている。卓越する $0.25\text{Hz}$ 付近の振幅を比較すると敷板有りでは振幅が約3割減少している。以上の結果から、現場内でドラグ・ショベルをつり荷走行させる場合には敷鉄板を敷設した方が機体の揺動を低減できることが確認された。

#### 4 まとめ

掘削用機械のつり荷走行時における機械の不安定要因について検討し、以下の知見を得た。

- 1) コンクリート床のような理想的な水平堅固地盤においても、つり荷走行時にはつり荷の重さ( $W_0$ )の約1.3倍の荷重が作用することがわかった。
- 2) 走行速度の違いがつり荷の荷重 $F_L$ の変動に与える影響を調べるために、走行速度 $2\text{km/h}$ と $3\text{km/h}$ で比較を行った。その結果、つり荷の荷重 $F_L$ の変動量は速度の増加とともに大きくなり、 $3\text{km/h}$ ではつり荷の重さ( $W_0$ )の約1.8倍の荷重が作用することがわかった。
- 3) つり荷の荷重の変動について、つり荷の重さに対する相対的な比較を行った。その結果、つり荷の重さの小さい方が、相対的に変動が大きいことがわかった。
- 4) ドラグ・ショベルのつり荷走行時のつり荷の荷重の変動を小さくするためには、走行路の平坦さの確認と、走行速度の低下が重要なことがわかった。
- 5) 敷板の有無が機体揺動に与える影響を調査した結果、その敷設により、走行中の揺れは減少することが確認された。したがって、走行路には敷鉄板を敷設することが望ましいことがわかった。

#### 謝 辞

本研究の実施にあたり、元東京都市大学学部生の石野貴裕氏に協力頂いた。この場をお借りして感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 厚生労働省通達. 車両系建設機械を用いて行う荷のつり上げの作業時等における安全の確保について(平成4年10月1日基発第542号), 1992.
- 2) 労働調査会. 安衛法便覧I平成19年度版, 2007; 959-962.
- 3) 労働調査会. 車両系建設機械構造規格, 安衛法便覧II平成19年度版, 2007; 512-516.
- 4) 労働調査会. 移動式クレーン構造規格, 安衛法便覧II平成19年度版, 2007; 345-365.
- 5) 労働基準局長通達. 荷役, 運搬機械の安全対策について(昭和50年4月10日基発第218号), 1975.
- 6) 一般社団法人クレーン協会. 一般社団法人クレーン協会規格「油圧ショベル兼用屈曲ジブ式移動式クレーンのつり荷走行時の能力設定に関する指針」(JCAS2005-2005)
- 7) 杉沢博. JCA規格「油圧ショベル兼用屈曲ジブ式移動式クレーンのつり荷走行時の能力設定に関する指針」について(屈曲ジブ式移動式クレーン委員会報告), クレーン, 2006; 44(8): 23-26.
- 8) ISO4305: 1991 Mobile cranes determination of stability.
- 9) 吉川直孝, 伊藤和也, 堀智仁, 清水尚憲, 梅崎重夫, 濱島京子, 豊澤康男, 玉手聡. ドラグ・ショベルに係る死亡災害の調査分析, 安全工学シンポジウム2013講演予稿集, 2013; 697-735.
- 10) B.S. Everitt. 統計科学事典, 朝倉書店, 2002; 184,338.