

32. 自走中の荷振れに対するドラグ・ショベルの動的安定性

(独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 ○堀 智仁
 (独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 玉手 聡

1. はじめに

ドラグ・ショベルは建設機械の中でも最も災害の多い建設機械である¹⁾。近年では、クレーン機能を有する機種が広く普及しており、クレーン作業時の死亡災害も多く発生している²⁾。著者らは過去に実機を用いて走行路の地盤条件や走行速度等の違いが走り荷重変動に与える影響について調査を行った³⁾。しかしながら、既報では、機械の移動に伴う走り荷の「荷振れ」の影響については考慮していなかった。荷振れによって静止時よりも作業半径が増加するとともに転倒モーメントも増加することが考えられる。

本稿では、ドラグ・ショベルによる災害動向を整理して示すとともに、既往のデータを再度解析して、荷振れが作用半径の増加に与える影響を検討した。

2. 災害分析

2.1 ドラグ・ショベルによる死亡災害

解析に使用したデータは、厚生労働省の「職場のあんぜんサイト」に掲載されている死亡災害のうち、直近の3年（H27～H29）について詳細に分析を行った。図-1に、H22～H29の建設業およびドラグ・ショベルにおける死亡災害の推移を示す。当該期間の建設業における死亡者は2737人（平均342.1人/年）であり、H26年～H29にかけてやや減少傾向にある。一方、ドラグ・ショベルによる死亡者は263人（平均32.8人/年）であり、建設業におけるその約1割を占めている。

図-2にドラグ・ショベルにおける「事故の型」別の災害発生状況を示す。H27～H29の3年間でドラグ・ショベルによる死亡者は84人であった。

「事故の型」別の災害発生割合をみると、「激突され」が24人（28.6%）と最も多く、次いで、「墜落、転落」が23人（27.4%）、「はさまれ、巻き込まれ」が21人（25.0%）の順となっている。これら3つの事故の型で、全体の約8割を占めている。

次に、災害の多い3つの「事故の型」について詳細に分析した。図-3に分析結果を示す。

(1) 「激突され」(24人, 28.6%)

「激突され」(24人)における主な災害は、クレーン作業時に発生した災害が10人、ドラグ・ショ

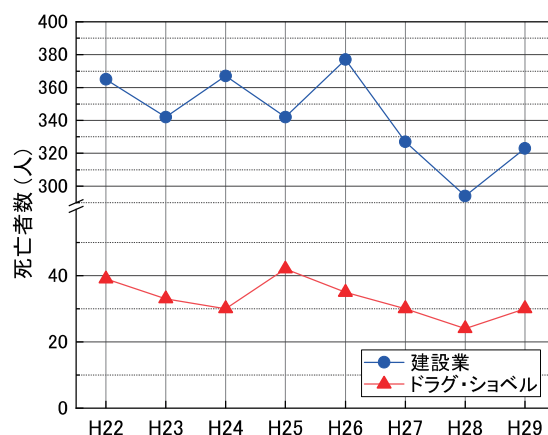


図-1 建設業およびドラグ・ショベルにおける死亡災害

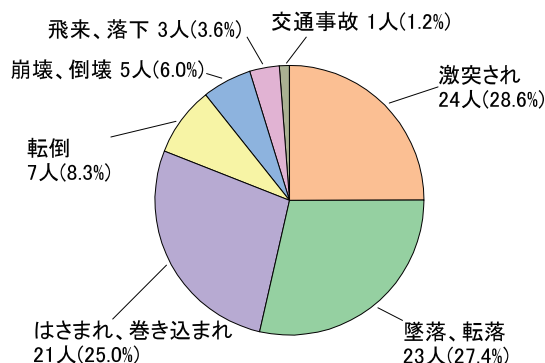


図-2 ドラグ・ショベルにおける「事故の型」別災害発生状況 (H27～H29)

ベルのバケットに激突された事例が5人、機械の走行・移動中に機械にひかれた事例が2人などであった。

(2) 「墜落、転落」(23人, 27.4%)

「墜落、転落」(23人)における主な災害は、クレーン作業時に発生した事例が8人、次いで、機械の積み込み・積み下ろし作業中に発生した事例が6人、斜面等を走行中に転落した事例が5人などであった。

(3) 「はさまれ、巻き込まれ」(21人, 25.0%)

「はさまれ、巻き込まれ」による主な災害は、機械の移動時に作業者が轢かれた事例が9人、旋回

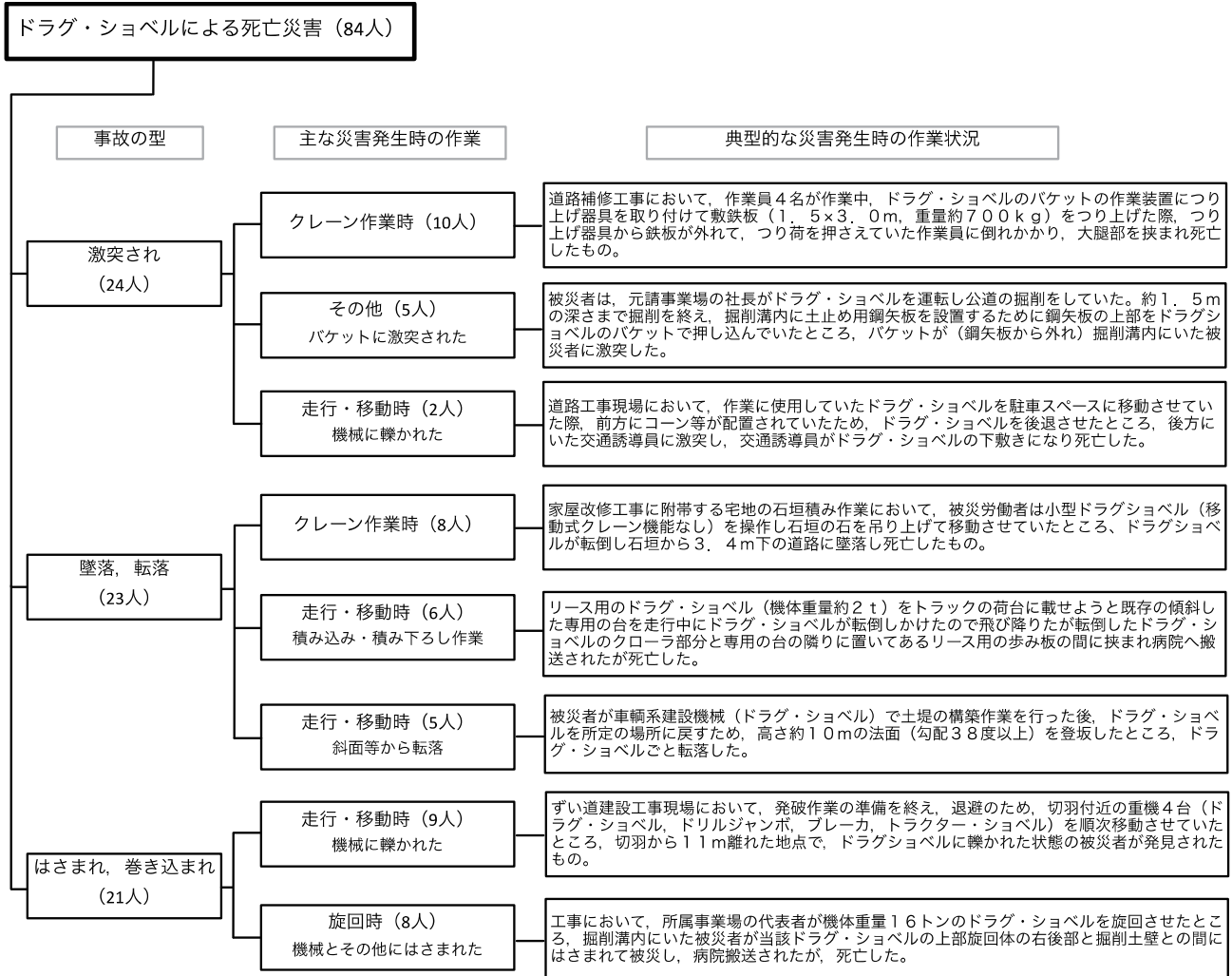


図-3 ドラグ・ショベルにおける死亡災害の詳細分析 (H27~H29)

時に機械とその他の構造物等に挟まれた事例が 8 人であった。

2.2 災害発生時の作業

災害発生時の作業別に結果をとりまとめたものを表-1 に示す。

最も死亡災害の多い作業は「クレーン作業」であり、24人(28.6%)であった。具体的には、機械が転倒した事例(9人)や、つり荷が落下して被災した事例(4人)、つり荷が激突して被災した事例(4人)などであった。

次いで災害の多い作業は、機械移動時に周辺で作業していた作業員が轢かれた事例が12人(14.3%)、旋回時に機械と構造物等にはさまれた事例が12人(11.9%)、機械の積み込み、積み下ろし作業中に登坂用具が重機運搬用トレーラーから外れて機械とともに転落した事例が8人、機械移動時に斜面等から転落した事例が8人、機械が法肩等に位置した際に地山が崩壊して機械とともに転落した事例が6人であった。

以上の結果から、ドラグ・ショベルは掘削用機械

表-1 災害発生時の作業 (H27~H29)

主な災害発生時の作業	死亡者数 (人)
クレーン作業時	24
機械移動時 (機械に轢かれた)	12
旋回時 (機械とその他に挟まれた)	10
機械の積み込み、積み下ろし作業時	8
機械移動時 (斜面等から転落した)	8
機械移動時 (地山の崩壊に伴い転落)	6
その他 (機械の誤操作)	2
その他 (バケットに激突された)	6
その他 (分類不能)	8
合計	84

でありながら、掘削作業時の災害は少なく、クレーン作業時や機械移動時に災害が多く発生していることがわかった。

3. つり荷走行時の荷振れが作業半径の増加に与える影響

つり荷走行時に機械が転倒した事例は多くない

表-2 実験条件

実験名	作業半径 R_W (m)	つり荷の重さ W_0 (kN)	走行速度 v (km/h)	走行路
Cs1	3	2.5	2	理想地盤 (コンクリート)
Cs2				平坦地盤 (関東ローム)
Cs3				起伏地盤 (関東ローム)
Cs4	2.1	5.0	2	理想地盤 (コンクリート)
Cs5				平坦地盤 (関東ローム)
Cs6				起伏地盤 (関東ローム)

ものの、クレーン機能付きドラブショベル特有の災害である。著者らは過去に実機を用いて走行路の地盤条件や走行速度等の違いが、つり荷走行時の荷重変動に与える影響について調査を行ったが、機械の移動に伴うつり荷の「荷振れ」の影響については考慮していなかった³⁾。荷振れによって静止時よりも作業半径が増加し、機体が不安定化することが考えられる。そこで、既往のデータを再度解析して、荷振れが作業半径の増加に与える影響を検討した。

3.1 実験の概要

(1) 実験条件

図-4につり荷走行実験の概要を示す。本研究では、転倒災害が多く発生している小型の機種（機械総重量43.5kN、平均接地圧26kN/m²）を用いた¹⁾。表-2に実験条件を示す。作業半径 R_W は3mおよび2.1mである。また、定格荷重はそれぞれ、5kNおよび10kNであるため、つり荷の重さ W_0 はその1/2とした。

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（以下、理想地盤という）と、関東ロームを盛土して作製した平坦な地盤（以下、平坦地盤という）および起伏を有する地盤（以下、起伏地盤）の3種類である。図-5に平坦地盤および起伏地盤の地表面形状を示す。なお、実験の詳細については既報を参照されたい³⁾。

(2) つり荷の揺動解析

つり荷走行時の機体およびつり荷の揺動を高速カメラで撮影して画像解析により荷の振れ角 θ_s 等を求めた。

画像解析では、図-4に示す実験場の壁面に設置したターゲットマーカーAおよびA'を結ぶ線と、ドラグ・ショベルのアームの先端に設置したマーカーBとつり荷に設置したマーカーB'を結ぶ測線とのなす角度 θ を求めた。本研究では、 θ とその平均値 θ_{ave} の差をつり荷の振れ角 θ_s と定義した。

3.2 実験結果

θ_s の結果をボックスチャートで示したものを図-6に示す。図中には、1, 25（第一四分位）、50（中央値）、75（第三四分位）、99パーセンタイルのほか、最小値および最大値、平均値を示した。 $W_0=2.5$ kNの結果（図-6(a))をみると、理想地盤の

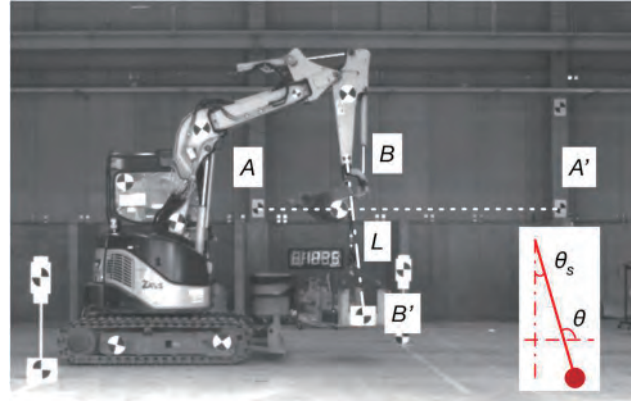
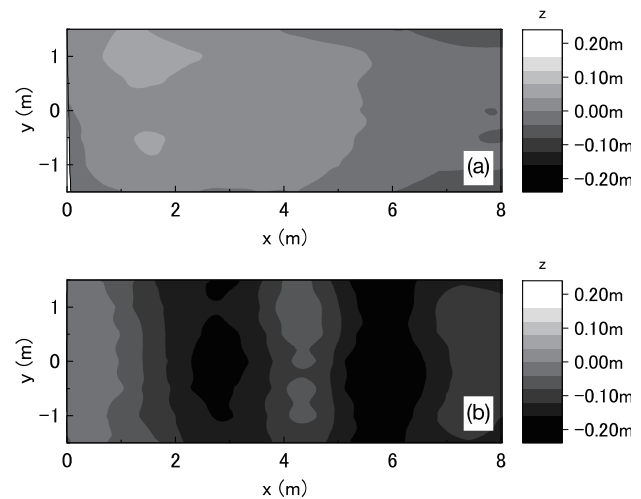


図-4 つり荷走行実験の概要³⁾



(a) 平坦地盤 (b) 起伏地盤

図-5 走行路の地表面形状³⁾

θ_s は±2度付近に分布しているのに対して、平坦地盤では、-5度から4度の範囲に分布しており、理想地盤よりも θ_s が広い範囲に分布している。これは地表面の僅かな起伏や強度のバラツキに起因するものと考えられる。起伏地盤は、-8度から15度に分布しており、地表面の起伏の影響により θ_s が大きくなっている。 $W_0=5.0$ kNの結果（図-6(b))も、 $W_0=2.5$ kNの結果と同様の傾向を示しているが、全体的に θ_s は $W_0=2.5$ kNの結果に比べ大きい。特に起伏地盤の θ_s は±17度に分布しており、荷が大きく振れていた。

次に、荷振れによる作業半径の増加について検討した。 θ_s の最大値 $\theta_{s,max}$ から作業半径の増加量

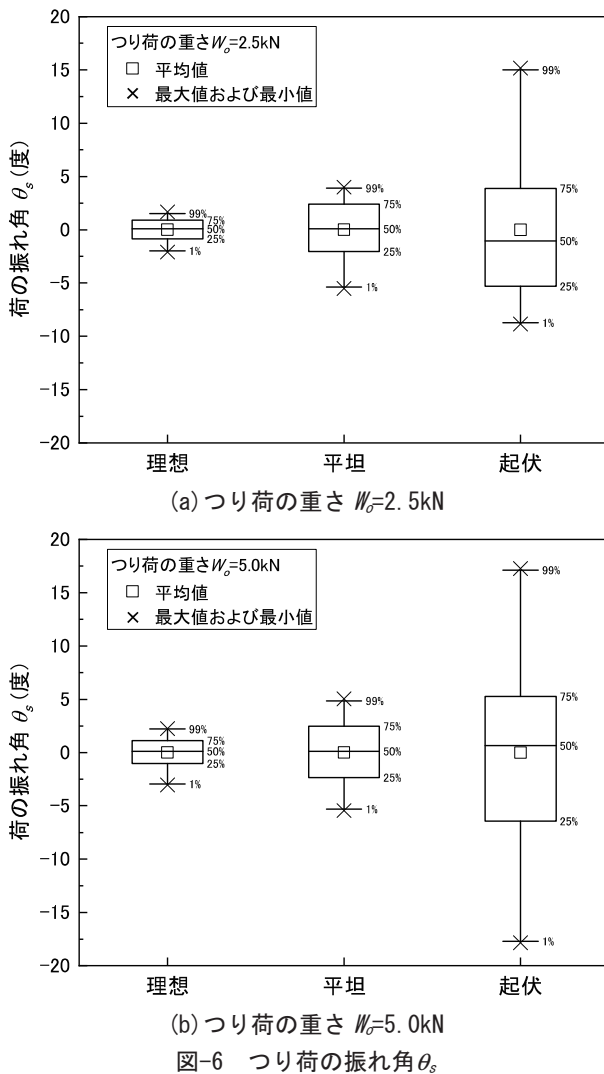


図-6 つり荷の振れ角 θ_s

ΔR_W は次式により求まる。

$$\Delta R_W = L \times \sin \theta_{s \max} \quad (1)$$

ここで、 L は図-4における $B-B'$ 間の長さである。最大作業半径 $R_{W \max}$ および作業半径の増加率 R_{Wi} は次式により求まる。

$$R_{W \max} = R_W + \Delta R_W \quad (2)$$

$$R_{Wi} = \frac{R_{W \max} - R_W}{R_W} \quad (3)$$

表-2 に最大作業半径 $R_{W \max}$ および作業半径の増加率 R_{Wi} を示す。

理想地盤における R_{Wi} は $W_o=2.5\text{kN}$ (Cs1)で 1.65%、 $W_o=5\text{kN}$ (Cs4)で 3.19%と作業半径の増加は僅かであるのに対して、平坦地盤では、 $W_o=2.5\text{kN}$ (Cs2)で 3.95%、 $W_o=5\text{kN}$ (Cs5)で 7.09%と増加した。さらに、起伏地盤においては、 $W_o=2.5\text{kN}$ (Cs3)で 14.82%、 $W_o=5\text{kN}$ (Cs6)で 23.99%と大幅に増加することがわかった。

一般的にクレーンのつり上げ能力は作業半径が

表-2 荷の振れ角から算出した作業半径の概算値

実験名	走行路	$\theta_{s \max}$ (度)	$R_{W \max}$ (m)	R_{Wi} (%)	F_r (kN)
Cs1	理想	1.67	3.05	1.65	4.93
Cs2	平坦	4.00	3.12	3.95	4.67
Cs3	起伏	15.18	3.44	14.82	3.83
Cs4	理想	2.26	2.17	3.19	9.24
Cs5	平坦	5.03	2.25	7.09	8.77
Cs6	起伏	17.26	2.6	23.99	6.77

大きくなるほど定格荷重は小さくなる。本実験で使用したドラグ・ショベルの定格荷重曲線から各 $R_{W \max}$ に対応した換算定格荷重 F_r を表-2 に示す。

$W_o=2.5\text{kN}$ では、機械静止時の定格荷重 5.0kN に対して、 F_r は平坦地盤で 4.67kN、起伏地盤では 3.83kN まで低下する。一方、 $W_o=5.0\text{kN}$ では、静止時の定格荷重 10kN に対して、平坦地盤では 8.77kN、起伏地盤では 6.77kN と F_r が 87%~67%と大幅に低下することがわかった。

以上の結果から、機械の自走中には荷振れによって作業半径が一時的に増加するため、見かけの定格荷重が減少する。荷振れをなるべく発生させないためにも、地盤の平坦性の確保は非常に重要である。

4. まとめ

つり荷走行中のドラグ・ショベルでは、走行路の起伏や地盤の支持力のバラツキ等によってつり荷が上下動して転倒モーメントを増加させる。これに加えて、荷が前後に振れると作業半径が増加するため転倒モーメントは増加する。したがって、荷振れによる転倒モーメントの増加を考慮して自走時の定格荷重は適宜減少させることが必要と言える。

参考文献

- 1) 吉川直孝, 伊藤和也, 堀智仁, 清水憲尚, 濱島京子, 梅崎重夫, 豊澤康男: ドラグ・ショベルに係る死亡災害の詳細分析と再発防止対策の検討, 土木学会論文集F6(安全問題), No.49, vol.2, pp.I_107~I_114, 2014.
- 2) 堀智仁: 掘削用機械による死亡災害の分析-平成22年から平成26年に発生した死亡災害-, 建設機械施工, Vol.70, No.2, pp.20~24, 2018.
- 3) 堀智仁, 玉手聡, 石野貴裕: ドラグ・ショベルのつり荷走行時における不安定要因の実験的検討. 土木学会論文集F6(安全問題), vol.69, No.2, pp.I_159~I_164, 2013.