

ドラグ・ショベルの斜面降下走行時における法肩形状の影響

独立行政法人 労働安全衛生総合研究所 正会員 ○堀 智仁
独立行政法人 労働安全衛生総合研究所 正会員 玉手 聡

1. 目的

ドラグ・ショベル等の掘削用機械が斜面を走行中に転倒して作業者が死亡する災害が年間 5 件程度発生している。既報では¹⁾、ドラグ・ショベルの斜面降下時の不安定性を明らかにするために遠心模型実験用の小型模型を作製し、斜面傾斜角を変えた斜面降下実験を行った。その結果、前進よりも後進で斜面を降下の方が安全であることを明らかにした。本稿では、法肩の形状の違いが機械の挙動に与える影響について検討を行った結果を報告する。

2. 実験の概要

本研究で使用したドラグ・ショベル模型は約 1/10 スケールであり、無線通信による操作が可能である。模型の詳細については既報を参照されたい¹⁾。遠心模型実験装置については、労働安全衛生総合研究所が所有する NIIS Mark-II centrifuge を使用した。図 1 に実験の概要を示す。模型斜面は関東ローム ($\rho_s=2.759$, $w_L=158.3\%$, $w_p=97.7\%$, $w_{opt}=102\%$) を用いて締固め圧力 50kPa で静的に締固めを行った。

走行実験は、遠心加速度 10G に到達した後、模型地盤の天端より走行開始して傾斜 $\alpha=30$ 度の斜面を降下するものである。データ等の計測については、走行の様子を高速度カメラにより撮影して、その動画を解析して挙動を求めた。本研究では、壁面に設置した二つの解析用マーカを結んだ A-A' と車軸に設置した二つのマーカを結んだ B-B' とのなす角を機体傾斜角 θ と定義した。

図 2 に法肩の形状を示す。本実験では、図 2(a)に示す、法肩を掘削しない条件と、図 2 (b) に示すように、法肩から天端方向と法先方向の $L/4$ の点を結んだ部分を掘削した条件の 2 種類で走行実験を行った。ここで、 L は模型の車軸間距離 (160mm) である。走行速度は、0.03m/s (実大換算 0.11km/h) および 0.09m/s (実大換算 0.32km/h) とした。表 1 に実験条件を示す。

3. 実験結果

高速度カメラで撮影した動画の解析結果を図 3 に示す。図に示したデータは、実大スケールに換算した角速度 ω と機体傾斜角 θ の関係であり、走行開始から斜面降下時に履帯前方が斜面上に接地するまでのデータを示している。法肩掘削条件の違いによる比較をすると、法肩を掘削した条件(Cs3, Cs4)の ω は、法肩を掘削していない条件(Cs1, Cs2) よりも小さい。すなわち、回転エネルギーが小さくより安定である。走行速度の違いによる比較をすると、速度の速い方は ω が大きい。この差は運動エネルギーの影響と考えられ、過去の実験結果と同じ傾向であった¹⁾。なお、

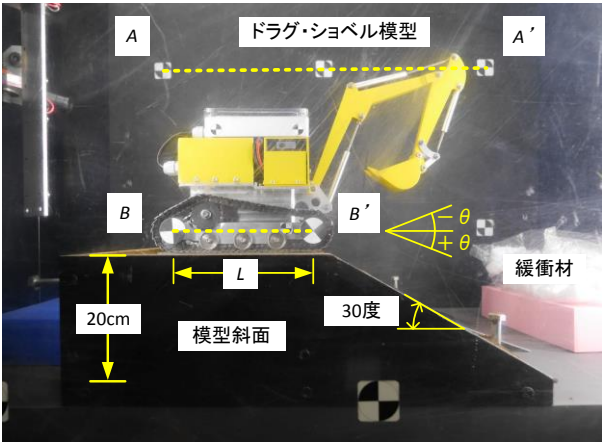


図 1 実験の概要

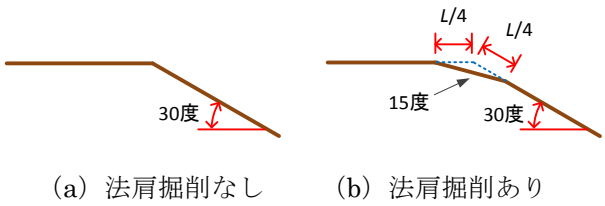


図 2 法肩の形状

表 1 実験条件

実験名	速度 V (m/s)	法面掘削
Cs1	0.03	なし
Cs2	0.09	なし
Cs3	0.03	あり
Cs4	0.09	あり

キーワード ドラグ・ショベル, 斜面降下, 転倒災害, 労働災害

連絡先 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6 独立行政法人 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ

本実験の結果から Cs3 ($V=0.03\text{m/s}$, 法面掘削あり) のみ模型は転倒せずに斜面を降下することが可能であった。以上のことから、斜面を降下する際には、地表面形状と走行速度が安全を左右する重要な要因であることが確認された。

図 4 に斜面降下時の機械の重心移動の概念図を示す。エネルギー保存則に基づき、斜面降下時の重心の移動量 Δh が回転エネルギーになるとすると、角速度 ω_{cal} は次式で表すことができる²⁾。

$$\omega_{cal} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{\Delta h}{h^2}} \quad (1)$$

ここで、 g は重力加速度である。 Δh は、模型の回転に伴う重心の移動量であり、 h は重心高さ ($h=65\text{mm}$) である。

表 2 に、実大スケールに換算した角速度の算出値 ω_{cal} を示す。法肩を掘削しない条件 (Cs1, Cs2) では、斜面を降下する際に、機体傾斜角 θ が 0 度から 30 度へ変化するのに対して、法肩を掘削した条件 (Cs3, Cs4) では、 θ が 0 度から 15 度、15 度から 30 度と変化する。 $\theta=30$ 度の結果を比較すると、法肩を掘削しない条件 (Cs1, Cs2) では $\omega_{cal}=20.92$ 度/s であるのに対して、法肩を掘削した条件 (Cs3, Cs4) では $\omega_{cal}=18.06$ 度/s であり、 ω_{cal} が約 1 割小さくなっている。これらの値は模型が法肩上で静止している条件のものであり、実際には走行により Δh が大きくなることが考えられる。

次に各実験ケースの Δh を動画解析により逆解析的に求めて ω_{cal} を算出した。図 5 に各実験ケースの角速度比 R_ω を示す。ここで、 R_ω とは実験で得られた角速度の最大値 ω_{max} を ω_{cal} で除した値である。法肩を掘削しない条件 (Cs1, Cs2) では R_ω が 0.85 と 0.82 であり、 ω_{cal} に比べやや小さい値であった。実験値が小さくなった原因としては、模型地盤の沈下等による影響が考えられる。一方、法肩を掘削した条件の R_ω は Cs3 で 0.46, Cs4 で 0.49 であり、法肩を掘削しない条件に比べ、 R_ω が著しく小さくなっていることが確認できる。

本実験結果から、法肩形状と走行速度は斜面降下時の安全性を左右する重要な要因であることが確認された。

4. まとめ

法肩の形状の違いにより、斜面降下時の安全性が異なることが明らかになった。安全に斜面を降下するためには法肩を掘削して機械に生じる角速度を小さくすることや、走行速度を可能な限り遅い速度とする必要がある。

参考文献 1) 堀智仁, 玉手聡: ドラグ・ショベルの斜面降下走行の遠心模型実験, 土木学会第 69 回年次技術講演会, pp. 1077-1078, 2014. 2) 堀智仁, 玉手聡: ドラグ・ショベルの斜面降下走行に関する基礎的検討, 平成 26 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集, pp. 111-114, 2014.

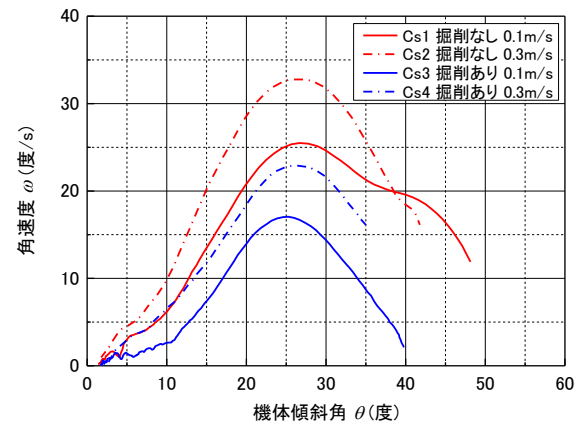


図 3 角速度と機体傾斜角の関係

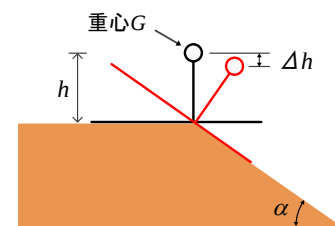


図 4 斜面降下時の重心位置の移動

表 2 角速度の算出値

実験名	機体傾斜角 θ (度)	Δh (mm)	角速度 ω_{cal} (度/s)
Cs1, Cs2	0→30	8.04	20.92
Cs3, Cs4	0→15	2.04	10.55
	15→30	5.99	18.06

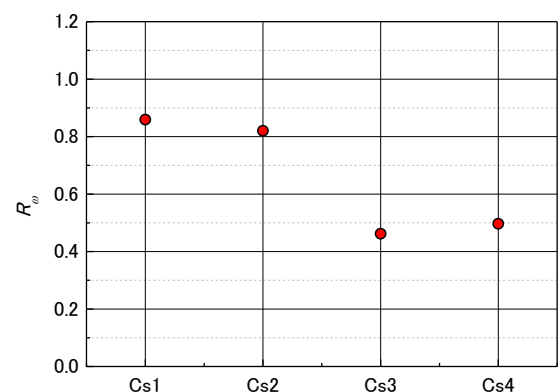


図 5 角速度の実験値と計算値の比較