

ドラグ・ショベルの斜面等走行時の不安定性に関する基礎的検討

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

1. 目的

ドラグ・ショベルが斜面上を走行中に転倒して、運転者や労働者が死亡する災害が毎年5件程度発生している。転倒時保護構造（ROPS）等により運転者が保護されて労働災害に至らなかった事例も考慮すると、同機械の転倒災害は相当数発生していると考えられる。既報では^{1),2)}、遠心模型実験用の小型模型を用いて、斜面の傾斜角を変えた走行実験の結果から斜面降下時の不安定性を示した。本稿では、残土等を模擬した地盤を乗り越える実験を行い、斜面降下実験との比較について報告する。

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、当研究所が所有する NIIS Mark-II centrifuge を使用した。

実験では、10G の遠心力場で機械が斜面を降下する「斜面降下実験」と、残土等を乗り越える「乗り越え実験」を実施した。図1に実験の概要を示す。模型地盤は関東ローム（ $\rho_s=2.759$, $w_{opt}=102\%$ ）を用いて、締固め圧 50kPa で締固めた後、所定の形状に成形した。斜面降下実験における斜面の勾配 α は3種類（20度、25度、30度）であり、乗り越え実験における勾配は4種類（15度、20度、25度、30度）である。高さはそれぞれ 200mm（実大換算 2m）とした。なお、模型の走行速度 V は 0.03m/s（実大換算 0.108km/h）とした。

計測については、走行挙動を高速度カメラで撮影して、動画解析により模型の揺動を求めた。本研究では、壁面に設置した2つのターゲットマーカを結ぶ側線 $A-A'$ と、模型の車軸部分に設置した2つのターゲットマーカを結ぶ側線 $B-B'$ とのなす角を機体傾斜角 θ と定義した。

3. 実験結果

動画を解析して求めた機体傾斜角 θ と角速度 ω の関係を図2に示す。この図は、同じ θ で ω を比較した場合、 ω が大きい方が回転運動エネルギーは大きく、より不安定であることを意味している。図より、斜面傾斜 α の増加とともに ω は大きくなっており、模型は不安定化している。また、斜面降下実験と乗り越え実験の結果を比較すると、乗り越え実験の ω が全体的に高くなっている。この結果から、乗り越え実験の方が機体は不安定化することがわかった。なお、実験で模型が転倒した条件は、斜面降下実験では $\alpha=30$ 度、乗り越え実験では、 $\alpha=25$ 度および $\alpha=30$ 度の3ケースであった。

斜面降下実験の $\alpha=30$ 度と乗り越え実験の $\alpha=15$ 度では、角速度の最大値 ω_{max} は、ほぼ等しいにもかかわらず、斜面降下実験（ $\alpha=30$ 度）では模型が転倒し、乗り越え実験（ $\alpha=15$ 度）では転倒しなかった。このように、発生する最大角速度（回転運動エネルギー）が同じであっても、安定限界には違いがみられた。この原因とし

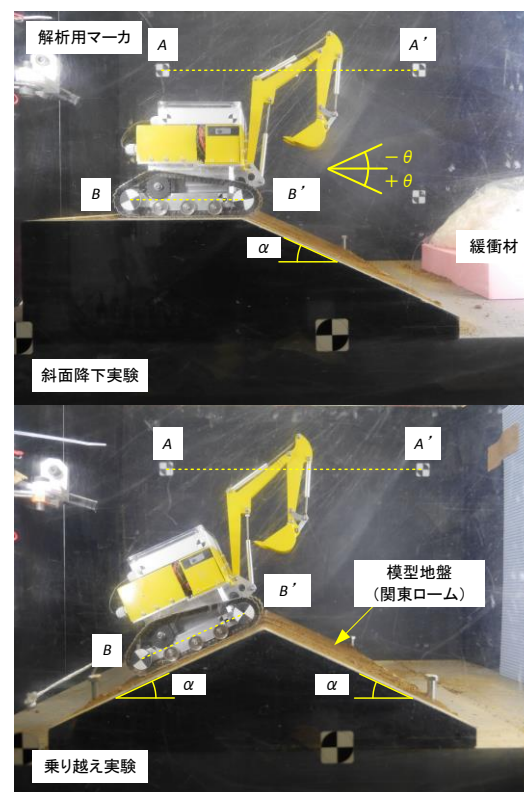


図1 実験の概要

キーワード ドラグ・ショベル, 斜面降下, 乗り越え, 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)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ

て、 $\omega_{\max}$ が発生したときの機体傾斜角 θ と α の関係が影響したものと考えられる。それを踏まえて、機械の転倒条件について検討した。図3にドラグ・ショベルの転倒時の重心移動の概念図を示す。履帯を走行装置とする機械は、機械の重心が法肩（法面の上端）や残土の頂部を通過した際に模型が回転し始める。この時に発生する回転運動エネルギーは位置エネルギーの変化量 Δh に相当する。その後、模型は履帯の前方を支点（転倒支点）として回転し、機械の重心が転倒支点より前方に移動した際に転倒する。すなわち、転倒するために必要な運動エネルギーは Δh_c となる。

力学的エネルギー保存則に従い、回転運動エネルギーである角速度 ω と位置エネルギーの変化量 Δh の関係式は、式(1)で表すことができる²⁾。

$$\omega = \sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{\Delta h}{h^2}} \quad (1) \quad D_t = \frac{\omega}{\omega_c} \quad (2)$$

ここで、 g は重力加速度、 h は重心の高さである。

各実験条件での Δh および Δh_c から ω および ω_c を求め、 ω を ω_c で除した値を動的転倒危険度 D_t と定義した。関係式を式(2)に示す。 D_t は1より大きい場合に転倒する可能性があることを意味している。

図4に各実験条件における動的転倒危険度 D_t を示す。斜面降下実験（○印）と乗り越え実験の結果（△印）を比較すると、斜面降下実験に比べ、乗り越え実験の D_t が約2倍となっている。そのため、残土等を乗り越える際には、斜面降下時に比べ機械が不安定化しやすく、傾斜の緩い条件でも転倒する可能性があることがわかった。

また、前述した斜面降下実験（ $\alpha=30$ 度）と乗り越え実験（ $\alpha=15$ 度）の D_t を比較すると、斜面降下実験（ $\alpha=30$ 度）では1.418であり、乗り越え実験（ $\alpha=15$ 度）では、0.780であった。このことから、 D_t は実験結果と整合していた。その他の結果については、乗り越え実験における $\alpha=20$ 度の D_t は1以上であったが、実験では模型は転倒しなかった。この実験条件のみ D_t と実験結果に相違がみられたが、それ以外の結果は理論的な検討結果と実験結果は良く対応していた。

4. まとめ

斜面降下実験と乗り越え実験の角速度 ω について同じ斜面傾斜角 α で値を比較すると、乗り越え実験の方が生じる角速度 ω が大きく、機体がより不安定化することが明らかになった。

模型が転倒する条件から転倒危険度 D_t を求め、斜面降下実験と乗り越え実験を比較した。その結果、残土等を乗り越える際の D_t は斜面降下実験の約2倍であり、残土等を乗り越える際には緩い傾斜でも転倒する可能性があることが明らかになった。

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時における法肩形状の影響, 土木学会第70回年次技術講演会, pp.391-392, 2015.

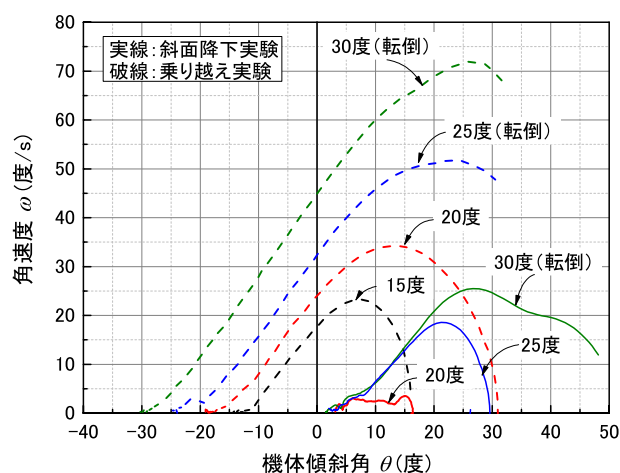


図2 機体傾斜角 θ と角速度 ω の関係

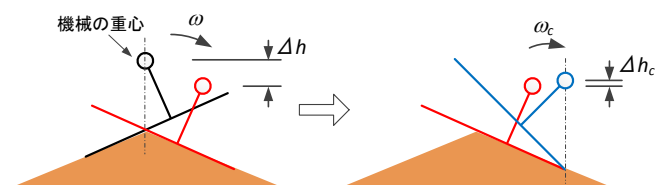


図3 転倒時の重心移動

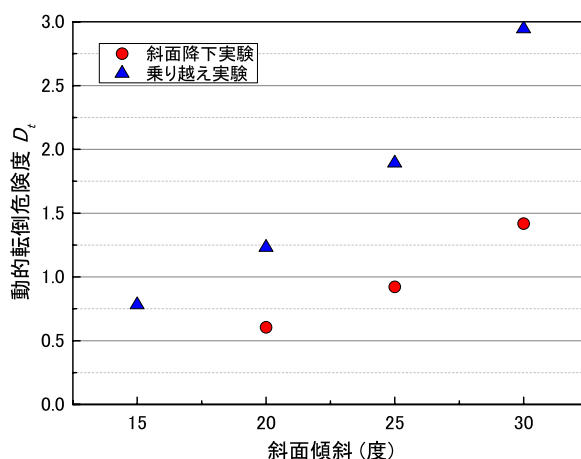


図4 斜面傾斜と動的転倒危険度 D_t の関係