

掘削用機械の斜面降下時における進行方向と安定性の関係

(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

掘削用機械(以下、ドラグ・ショベルという)が斜面を走行中に転倒し、運転者や機械周辺で作業していた作業者が死亡する災害がたびたび発生している。筆者らは、これまで小型のドラグ・ショベルによる遠心場走行実験を行って、斜面降下時の機体の不安定性を検証してきた。その結果、斜面を前進で降下する場合と、後進で降下する場合で安定性は大きく異なることが明らかになった¹⁾。本稿では、斜面降下時の機械の進行方向の違いが安定性に与える影響について検討を行った結果を報告する。

2. 遠心模型実験

図1にドラグ・ショベル模型による遠心模型実験の概要を示す。模型は1/10スケールで作製した。模型の安定度(限界傾斜角)は前方49.4度、後方56.3度である¹⁾。斜面降下実験では、遠心模型実験装置を使用して10Gの遠心場で模型を走行させて30度の斜面を降下する実験を行った。地盤は関東ロームを締め固めて作製した。

走行中の機体の揺動を高速度カメラで記録し、動画を解析して機体傾斜角 θ や角速度 ω を求めた。ここで、機体傾斜角 θ は、容器壁面に設置したターゲットマーカーAとA'を結ぶ線と、模型の車軸に設置したBとB'を結ぶ線のなす角度であり、模型が前方に転倒する θ の極性をプラスとした。また、本研究では、前進で斜面を降下する実験を「前進降下」、後進で斜面を降下する実験を「後進降下」と定義した。

図2に機体傾斜角 θ と角速度 ω の関係を示す。前進降下と後進降下の結果を比較すると $\theta < 13$ 度では両者に差はないが、 $\theta > 13$ 度では前進降下の ω の方がやや大きい。また、前進降下において模型は転倒したが、後進降下では模型は転倒せずに斜面を降下することができた。そのため、斜面降下時の機械の進行方向の違いによって安定性が大きく異なることがわかる。

3. 実験のモデル化と不安定要因の検討

機械の進行方向の違いが安定性に与える影響を検討するため、模型を1質点剛体モデルでモデル化した。図3に天端および斜面上の接地圧分布の概念図を示す。ドラグ・ショベルの重心位置は履帯の中心(旋回中心)よりもやや前方に位置するため、平坦な天端に機械を設置した場合、接地圧は図に示すとおり台形状に分布する。一方、機械が天端から斜面上に移動した場合、荷重の作用位置が法先側に移動する。すなわち、荷重の偏心率が増加するため、それに伴い法先側の接地圧が増加する。

次に、天端と斜面上での接地圧を、JIS²⁾に規定されている算出式を基に求めた。なお、本研究では、上部旋

キーワード ドラグ・ショベル, 死亡災害, 遠心模型実験

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

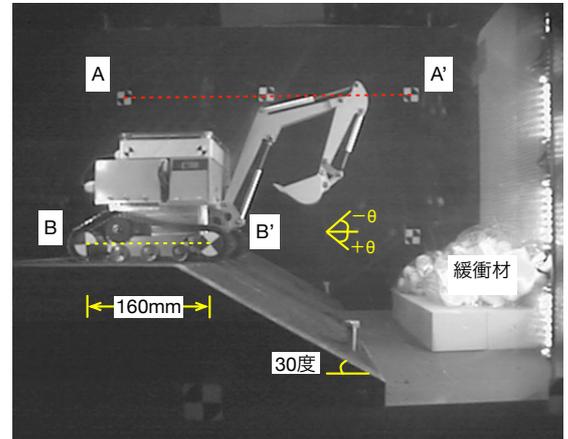


図1 斜面降下実験の概要(遠心模型実験)

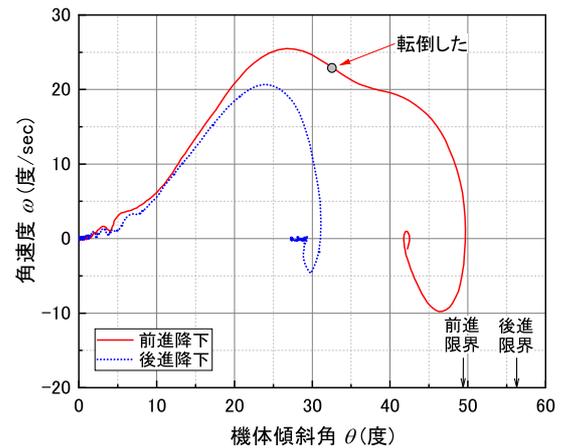


図2 機体傾斜角 θ と角速度 ω の関係

回体の前方（運転者から見て前方）の接地圧を P_F 、後方の接地圧を P_B と定義した。

図4に斜面傾斜角 α と接地圧 P の関係を示す。 α の増加に伴って法先側の P （塗りつぶし）が増加していることがわかる。一方、法肩側の P （白抜き）は α の増加に伴って減少し、前進降下では $\alpha=16$ 度で P_B がゼロになり、後進降下では、 $\alpha=32$ 度で P_F がゼロになることがわかった。すなわち、接地圧が台形分布から三角形分布に移行する。遠心模型実験における斜面上の法先側の P ($\alpha=30$ 度) の値を比較すると、前進降下では $P_F=140.0\text{kN/m}^2$ であるのに対し、後進降下では $P_B=89.3\text{kN/m}^2$ であった。この結果から、前進降下時には後進降下時の 1.57 倍に接地圧は増加することがわかった。

次に、接地圧の作用によって発生する沈下量を推定するため、遠心模型実験後に模型地盤に対して支持力実験を行い、载荷応力 σ と沈下量 s の関係を求めた。実験では、模型の履帯幅と同じ 30mm 角の载荷板を用いて、変位制御 (1mm/min) にて荷重を与えた。図5に σ と s の関係を示す。斜面上において発生する沈下量を推定した結果、前進降下では 6.7mm、後進降下では 3.4mm であり、これに伴う傾斜増分が前進降下で 2.4 度、後進降下で 1.2 度となる。そのため、法先側の接地圧 P がさらに増加する。

以上の結果から、斜面降下時の機械の姿勢の違いにより、地表面に生じる接地圧の分布形状やそれに伴う沈下量が異なることがわかった。特に、斜面を前進で降下する場合には、荷重が法先側に集中して作用するため、機体が不安定化したことが考えられる。

4. まとめ

斜面降下時の機械の進行方向の違いが安定性に与える影響について検討した。その結果、斜面を前進で降下した場合、後進で降下した場合に比べて 1.57 倍の接地圧が作用し、それに伴って大きな沈下が発生することがわかった。特に、前進で斜面を降下する際には、荷重が法先側に集中して作用するため、機体が不安定化することが考えられる。そのため、後進で斜面を降下した方が安定して斜面を降下できると考えられる。しかし、後進で斜面を降下する場合には、視界が悪く周辺で作業している労働者を轢く等の別のリスクがあるため、慎重に検討を重ねる必要があると考える。

参考文献

- 堀智仁, 玉手聡 (2019) 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, 土木学会平成 28 年度全国大会, 第 71 回年次技術講演会概要集, pp. 103-104.
- (一社)日本規格協会 (2007) JIS A 8509-1:2007 「基礎工事機械-安全-第一部:杭打ち機の要求事項」, pp. 20-33, 2007.

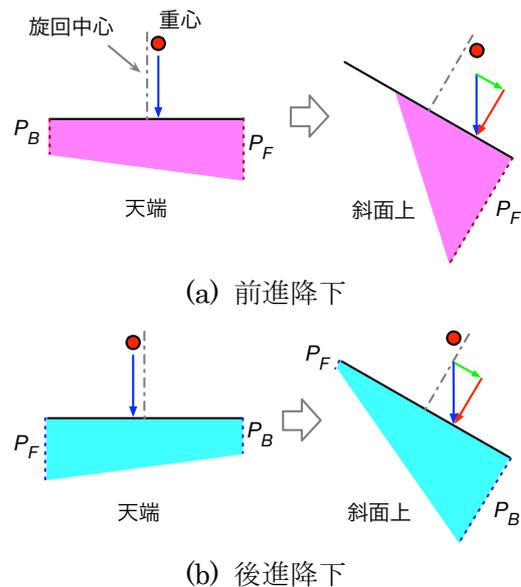


図3 天端および斜面上での接地圧分布

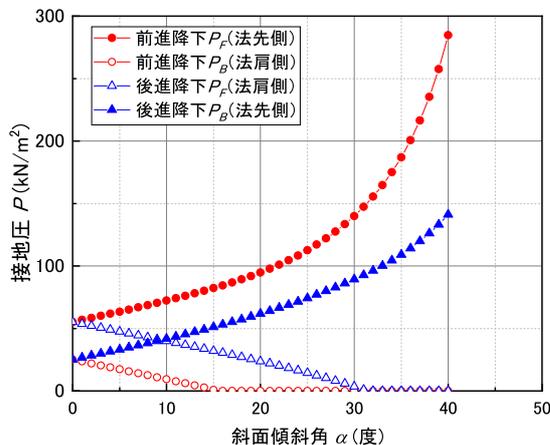


図4 斜面傾斜角 α と接地圧 P の関係

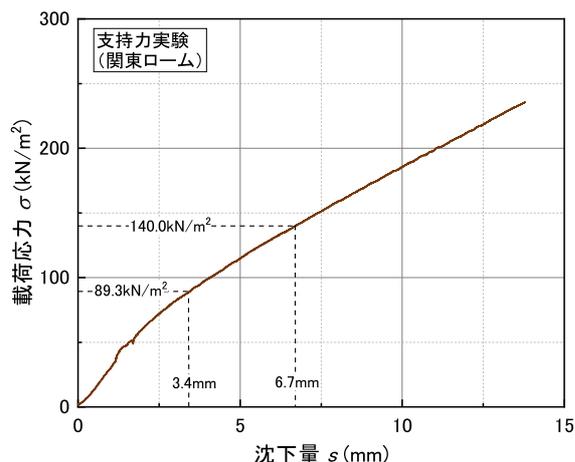


図5 関東ローム地盤支持力特性