

ドラグ・ショベルの斜面降下走行の遠心模型実験

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・ショベルなどに代表される掘削用機械は、建設機械の中で最も災害の多い機械である。過去に発生した労働災害を調査した結果、事故の型別で比較すると「はさまれ、巻き込まれ」による災害が最も多く、次いで、「激突され」、「墜落、転落」の順となっていた。転落、墜落災害では、斜面で作業中に機械とともに転落する災害が最も多く、機械の安定度（限界傾斜角）よりも緩い斜面を走行中に転倒する事例も見られた。このような、機械の転倒メカニズムについては明らかになっていないのが現状である。そこで本研究では、同機械における斜面走行時の転倒災害を防止することを目的に、ドラグ・ショベル模型を作製し、基礎的な遠心模型実験を行った。本報告では、作製した模型の概要と斜面降下実験の結果について報告する。

2. 遠心実験用小型模型の製作

過去に発生したドラグ・ショベルによる転倒、転落災害の調査結果¹⁾より、バケット容量 0.2m^3 未満の小型の機種による災害が大部分を占めていることがわかった。そのため、本研究では、小型機の模型を作製することとした。

模型は10G場の遠心場で走行実験を行うことを想定し、実機の1/10スケールで製作した。重心位置が実機とほぼ等しくなるよう、モータや減速機、バッテリー等を配置した。図1に作製した模型を示す。表1に実機と模型の諸元の比較を示す。安定度については模型と実機でやや差があるものの、遠心力下での接地圧はほぼ等しい。

3. 実験の概要

本実験では労働安全衛生総合研究所が有する遠心模型実験装置 NIIS Mark-II Centrifuge(最大遠心加速度 500G, 有効半径 2.3m)を使用した。模型地盤については、発砲ポリエチレン(極限支持力 $P_u=100\text{kPa}$)で作製した。図2に実験の概要を示す。斜面降下実験は、斜面の天端より走行を開始して模型を降下させた。斜面の傾斜は4種類($\alpha=15, 20, 25, 30$ 度)とし、高さは200mmとした。走行速度 V は 0.03m/s (実大換算

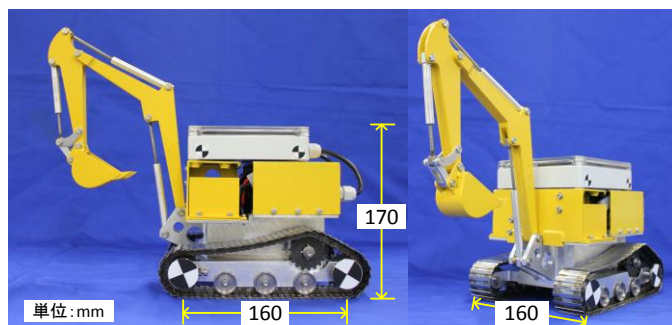


図1 ドラグ・ショベル模型

表1 実機と模型における主要諸元の比較

	実機		模型	
	水平 x(m)	鉛直 y(m)	水平 x(m)	鉛直 y(m)
重心距離	0.24	0.81	0.01	0.06
合計重量	46.16kN		38.56N (10G 場では 385.76N)	
平均接地圧	40.36kPa		40.18kPa(10G 場)	
安定度	前方	後方	前方	後方
	42.2 度	57.3 度	49.4 度	56.3 度

※水平方向の重心位置は旋回中心を基準にして前方を(+)で表示している。

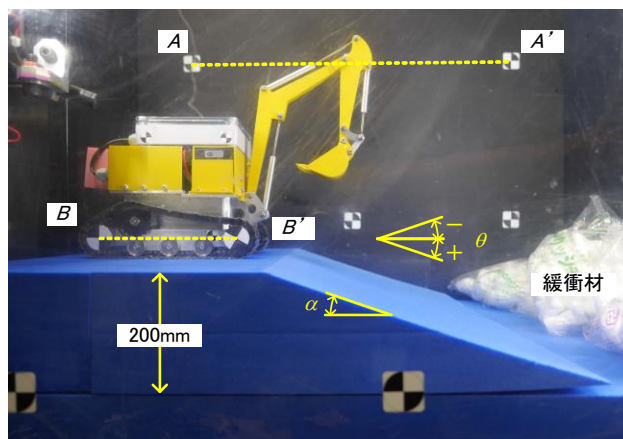


図2 実験の概要

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

0.108km/h)および0.09m/s(実大換算0.324km/h)とした。さらに、進行方向の違いによる影響を調べるため、 $\alpha=30$ 度において、後進により斜面を降下する実験を行った。

計測については、走行挙動をデジタルカメラ(Panasonic 社製)で撮影し、動画を解析して模型の揺動を求めた。具体的には、容器壁面に設置した2つのマーカーを結ぶ側線 A-A'と、模型の車軸部分に設置した2つのマーカーを結ぶ側線 B-B'とのなす角 θ を求めた。なお、撮影速度は60フレーム/秒、解像度は1920×1080である。

4. 実験結果

図3に実験結果の一例を示す。本研究では、機械が前方に傾斜する方向の回転をプラス(+)とした。図中のデータは $\alpha=25$ 度、 $V=0.03\text{m/s}$ である。天端走行中は機体傾斜角 θ の変動は少ないが、路肩を通過して斜面上を走行した際には、 θ および角速度 ω に大きな変動が見られる。その後、斜面上の走行では、斜面傾斜($\alpha=25$ 度)とほぼ等しい値で推移している。

図4に各実験条件での機体傾斜角 θ と角速度 ω の関係を示す。図中の破線は $V=0.03\text{m/s}$ の結果であり、実線は $V=0.09\text{m/s}$ の結果である。両者を比較すると、全ての条件において実線で示した $V=0.09\text{m/s}$ の最大

値($\omega_{\max}$)が大きくなっている。すなわち、斜面を降下する際、速度が速いと機械がより不安定化することを意味する。同一 θ に対する ω を比較すると、例えば $\theta=10$ 度では、 $\alpha=15$ 度の ω に比べ、 $\alpha=20$ 度では約2倍、 $\alpha=25$ 度では約3倍、 $\alpha=30$ 度では約4倍であった。ドラグ・ショベルのような履帯式の走行装置の場合、本研究のように斜面を降下する際に、重心位置が凸部を通過した直後に機体は大きく傾き、それに伴って角速度 ω が発生する。そのため、 α の増加とともに ω が大きくなったと考えられる。なお、 $\alpha=30$ 度で前進した際に模型は転倒した。このことから、安定度よりも緩い斜面でも転倒することが確認された。

斜面傾斜 $\alpha=25$ 度における $V=0.09\text{m/s}$ では、 $\alpha < \theta$ となっており、かつ、 ω の一部がマイナスとなっている。これは、履帯後部が浮き上がった後に復元力で元の状態に戻ったことを意味しており、転倒の危険性が高かったことが考えられる。

進行方向の違いによる影響を比較すると、 $\alpha=30$ 度で前進により斜面を降下した際には転倒するのに対して、後進では転倒することなく斜面を降下することが可能であった。 θ - ω 関係を比較すると、両者には大きな差がみられ、前進に比べ後進では発生する θ および ω は半減している。前後方向で安定度は異なるものの、進行方向の違いによって安全性に大きな差があることが実験より明らかになった。

5. まとめ

ドラグ・ショベル模型を作製して、遠心模型実験を行った。その結果、斜面降下時にはなるべく速度を低下させる必要があることや、進行方向の違いにより安全性が大きく異なることが明らかになった。

参考文献

1) 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, pp. 396-399, 2013.

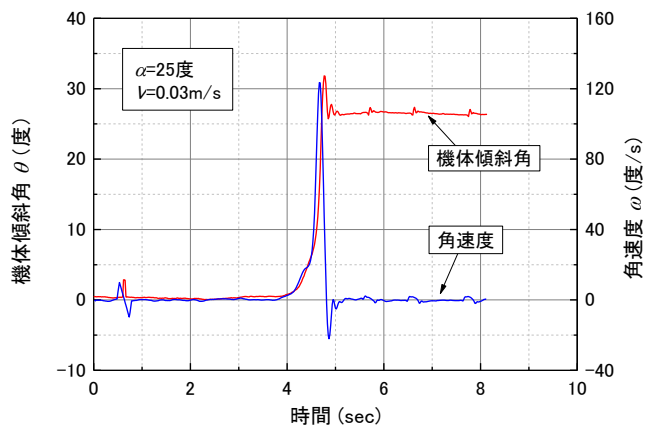


図3 実験結果の一例

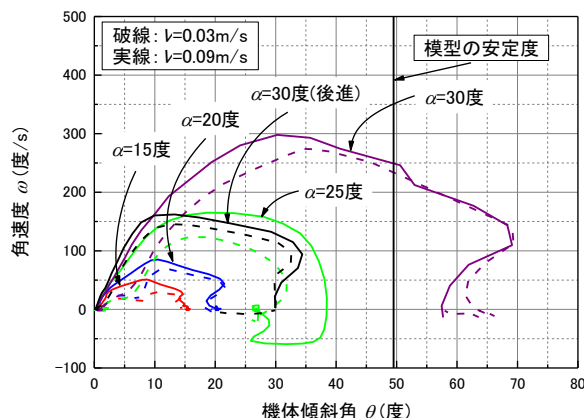


図4 角度 θ と角速度 ω の関係