

くい打機模型の自走挙動による応答加速度と接地圧力の計測

武蔵工業大学 学生会員 前田周吾 正会員 末政直晃
(独)労働安全衛生総合研究所 正会員 玉手 聡 正会員 堀 智仁

1 はじめに

近年、基礎工事中大型建設機械（以下、くい打機という）の転倒災害がたびたび発生しており、その防止は極めて重要な課題となっている。くい打機の転倒防止に関する基準は国内外で定められている^{1),2),3),4)}し、これらの基準では、地盤が備えるべき条件について記述されておらず、安定設置に必要な地盤の支持力要件や、平坦さに関する条件が未解明である。

昨年度はくい打機の転倒メカニズムを明らかにするために、1/25 スケールのくい打機模型を製作し遠心場走行実験を行った^{5),6)}。模型地盤は、発泡ウレタンフォームを用いて一様で水平堅固な地盤を模擬した。その結果、機体の揺れに伴う接地圧力の変動を確認した。

今年は、走行地盤をより現実的に再現するために、関東ロームを締固めて模型地盤を作製した。

本報告では、関東ローム地盤におけるくい打機模型の遠心場走行実験について、その実験方法と得られた結果を述べる。

2 試験方法および試験条件

2.1 くい打機の小型模型

写真1は、くい打機の実験用模型^{7),8),9)}を示す。この模型は実機を1/25スケールで再現したものであり、遠隔操作による遠心場走行が可能となっている。

モーター、減速機、バッテリー等の部品は重心位置が実機と等しくなるように配置されている。表1に実機と模型における主要諸元の比較を示す。

前後の車軸とその間に備わる補助輪は、アームで支持された片持ち梁構造をしている。これらのアーム部分にはひずみゲージが貼られており、履帯面に働く接地圧分布の測定が可能となっている。また、リーダーには加速度計を設置しており、機体に生ずる揺れを測定できる。模型に設置した加速度計の名称は図1に示すように Acc,1 ~ Acc,5 と定義した。車軸の名称は前輪から FS(Front Sprocket), FR(Front Roller), CR(Center Roller), RR(Rear Roller), RS(Rear Sprocket)である。

表1 実機と模型における主要諸元の比較

	くい打機						
	実物			1/25 模型			
質量と重心距離	質量 (ton)	水平 x(m)	鉛直 y(m)	質量 (g)	水平 x(cm)	鉛直 y(cm)	
下部走行体	7.3	2.58	1.43	1024	6.5	2.7	
上部構造体	機体・リーダー	34.3	-1.61	12.42	1077	10.3	9.7
	アースオーガ類	13.7	-2.45	15.98	952	-3.8	58.3
合計	55.3	Gx=0.88	Gy=6.08	3053	Gx=35	Gy=22.5	
接地圧力(kPa)	101			133 (25g 場)			
走行速度(km/h)	1.08 (=30cm/sec)						

重心距離のうち水平(x)は前輪設置面からの距離であり、鉛直(y)は設置面からの距離である。

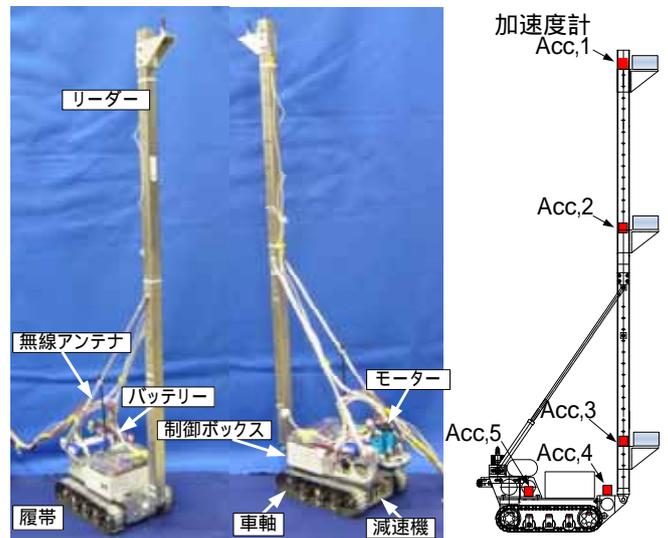


写真1 くい打機模型

図1 加速度計位置

2.2 実験装置および実験概要

図2に実験の概要を示す。実験に用いた容器は幅250mm、長さ800mm、高さ300mmである。遠心装置の回転に伴う風の影響を排除するために風防カウルで全体が覆われている。走行時の移動距離は、ワイヤー式変位計で測定した。関東ロームを用いて作製した模型地盤を、実地盤として模擬し遠心場走行実験を行った。

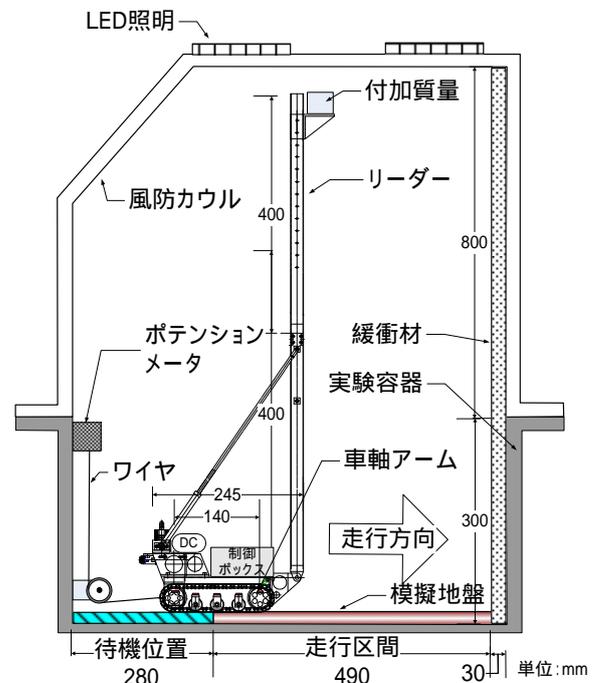


図2 遠心模型実験の概要図

写真2は実験に使用した遠心模型実験装置(NIIS Mark-Centrifuge)を示す。本装置の、回転半径は2.30m、最大加速度は100gである。

キーワード：くい打機 遠心模型実験 転倒災害 支持力 関東ローム

連絡先：武蔵工業大学 都市基盤工学科 地盤環境工学研究室 TEL03-5707-2202

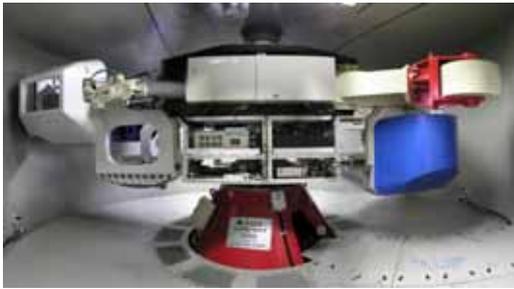


写真2 遠心模型実験装置 (NIIS Mark-Centrifuge)

表2 実験条件

安定度 (deg)	重力 (G)	付加質量 (g)	付加位置	最大接地圧力 q_{max} (kPa)
10	5	440	上	31.7
5	5	600	上	42.9

表2に実験条件を示す。付加質量の重量を変えることによって安定度を5度, 10度の2つの条件に設定した。付加質量位置は図1に示すようにリーダーの上部である。

2.3 模型地盤の作製

模型地盤は実験容器内の縦 490mm×横 250mm の走行路部分に作製した。土試料には最適含水比に予め調整した関東ロームを用いた。実験容器の壁面にはシリコングリスを塗布して摩擦を低減した。模型地盤の作製では、上層と下層の2層に分けて静的に締固めた。

1) 下層の作製

関東ロームをシャベルで静かに容器内に投入し、スクレーパーで表面高さを一定にした。その後、走行路部分と面積が等しい載荷盤を上部に設置し、載荷圧力が147kPaとなるように荷重を与え、1時間締固めた。この時に投入された関東ロームの質量は締固め後の層圧が2.5cmとなるように予め調整した。

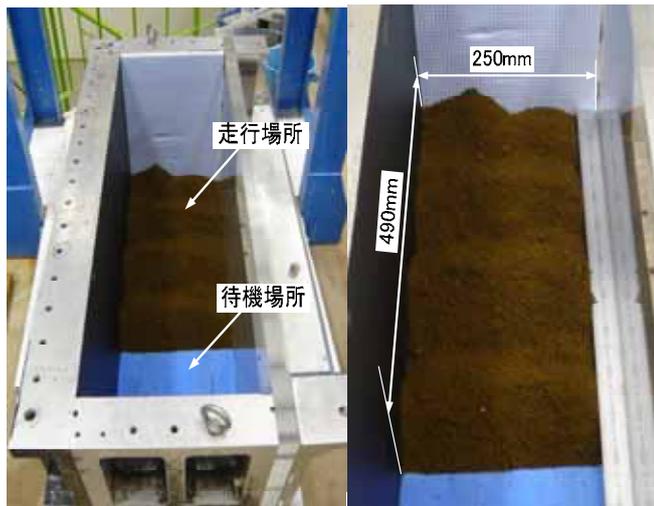


写真3 模型地盤の表面作製状況

2) 上層の作製

締固めた下層の表面を軽く乱して上層との連続性を高めた。下層と同様にして関東ロームをシャベルで静かに容器内に投入した。但し、上層の作製ではその後にスクレーパーによる高さの調整は行っていない。これは、締固め後の表面に意図的に表面(写真3)を再現するためである。

そのために 25cm×4cm の載荷面を有する載荷板を用いて、進行方向に分割して締固めを繰り返した。

写真4は作製した模型地盤を示す。地盤に表面が形成されていることがわかる。また、白い点は、走行実験終了後にハンドベーン試験を行うポイントを示したものである。



写真4 模型地盤

3) 模型地盤の表面形状

地盤作製後、模型地盤の表面の形状を明らかにするために、レーザー変位計を用いて計測を行った。その結果を図3に示す。

変位(s)が0mmから63mmは一様な発泡ウレタンフォーム上であり表面高さ(h)はほぼ0mmである。を計測したものである。関東ローム地盤は63mm以降である。

変位(s)が63mm~130mmの間では、表面が7mm程度下降している。そして $s=130\sim290$ mmでは、約14mm上昇している。その後、 $s=290\sim500$ mmでは再度緩やかに下降し、その値は10mm程度である。計測は535mmまで行った。

また、60mmの間隔でCenter, Left, Rightの3カ所について計測を行った。

その結果、Rightの値が全体的に小さい。従って、くい打機は進行方向に対して右側が左側に比べて約2mm低い。しかし、その値は小さいことから、走行路はほぼ奥行き方向に対して水平とみなされる。

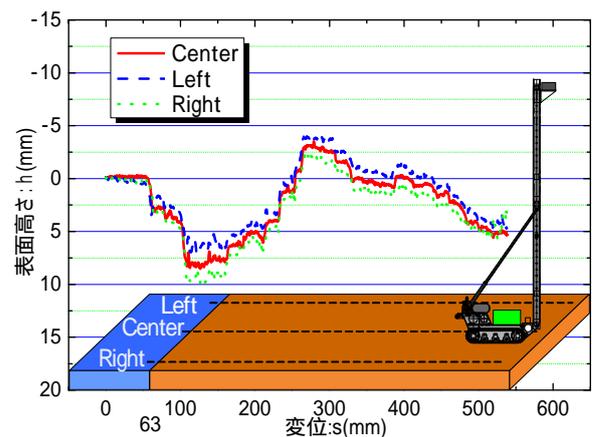


図3 模型地盤の表面計測

4) 地盤の表面と応答加速度の関係

図4は模型地盤の表面形状と、小型模型のリーダー上部における応答の比較を示す。応答加速度(r_a)の値は進行方向成分を正とした。

2つのグラフは形状が酷似していることから、応答加速度と地表形状は関係性が見られる。

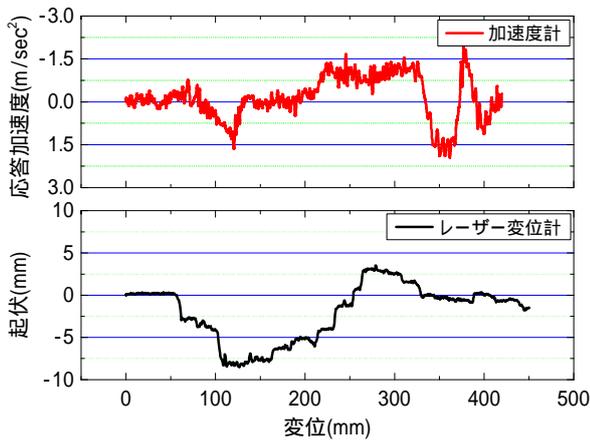


図4 応答加速度と表面の関係

3 実験結果の比較と考察

遠心場走行実験では、くい打機模型を待機位置から加速させ、その後、定速走行させた。この加速に要する距離は150 mm程度である。この時、履帯は全面が走行地盤上に位置する。従って本研究では、走行距離(s)が150 mm以降のデータを解析対象とした。

3.1 応答加速度と時間の関係

(1) 進行方向成分

搭載する質量を変えて異なる安定度を再現し、自走挙動を比較した。この質量を本報告では付加質量と呼ぶ。付加質量は600gと440gの2種類であり、高さ85cmのリーダー上部に搭載して固定した。これによる安定度はそれぞれ、5度と10度とする。

履帯を支点とした回転運動に対する慣性モーメント¹⁰⁾は5度の場合が10度の場合と比べて大きく定性的に長周期化する。

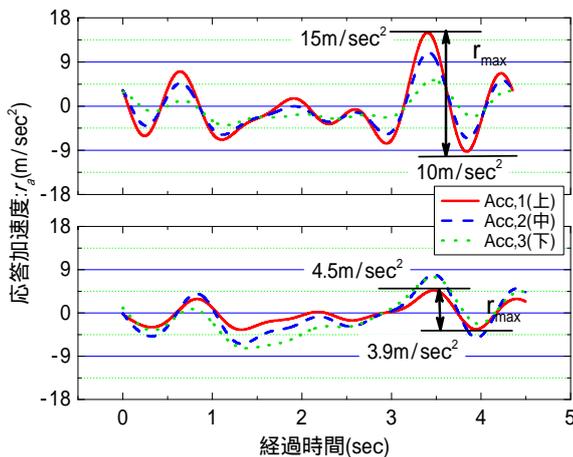


図5 応答加速度と経過時間の関係(進行方向)

図5に、リーダーの上部、中間部、下部における応答加速度(r_a)の経時変化を示す。

リーダー上部(Acc,1)における応答を比較すると、 r_a の振幅は安定度が10度の時に大きい。これは前述に示すように、安定度5度は慣性モーメントが安定度10度に比べ大きいことから、長周期的に機体が揺れ、反対に慣性モーメントが小さい安定度10度の場合では短周期的に機体が揺れたことが考えられる。

加速度計の位置における応答波形を比較すると、安定度10度はリーダー上部(Acc,1)、中間部(Acc,2)、下部(Acc,3)の順で振幅が大きい。しかし安定度5度はAcc,3、Acc,2、Acc,1と揺れており違いが見られた。これは、重心位置の違いによる揺れの周期の違いが原因であると考えられ、重心位置の違いによって、揺れ方に違いが現れることが明らかとなった。

(2) 左右方向成分

図6に、左右方向成分の r_a を示す。リーダー上部の応答加速度(Acc,1)はマイナス側が幾分、両実験結果に共通して大きく現れている。その値の偏りは、奥行き方向の傾斜に一致しており、わずかな影響が見られる。

Acc,1における揺れの方向成分を図5と図6により比較する。 r_a の最大値と最小値の差を最大揺動と定義(r_{max})すると、進行方向の r_{max} は安定度の違いによる差が見られる。一方、左右方向の揺れはくい打機に特有の現象として現れるようであり、安定度の違いによる差が見られない。

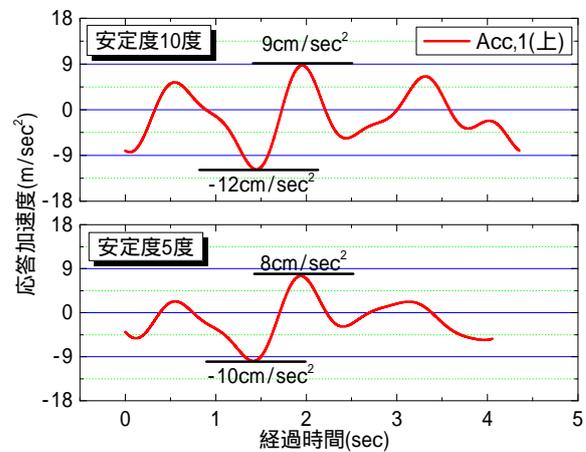


図6 応答加速度と経過時間の関係(左右方向)

3.2 揺れの周波数特性

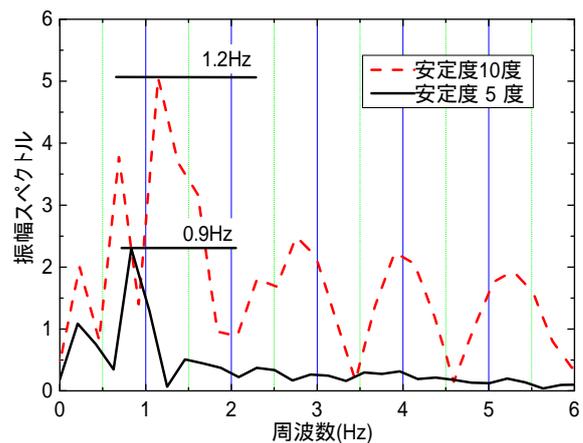


図7 周波数と振幅スペクトル関係

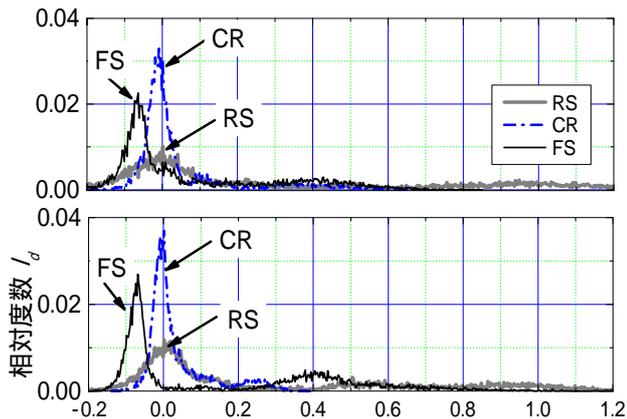
図7に応答加速度を周波数解析して求めた振幅スペクトルの分布を示す。

両安定度においてスペクトルのピークが1Hz付近に発生しているが、その値には若干の差が現れている。すなわち、安定度5度では0.9Hz、安定度10度では1.2Hzに卓越周波数があり、安定度の低下に伴う長周期化が見られる。これは先に述べた慣性モーメントの差による影響と定性的に一致する。

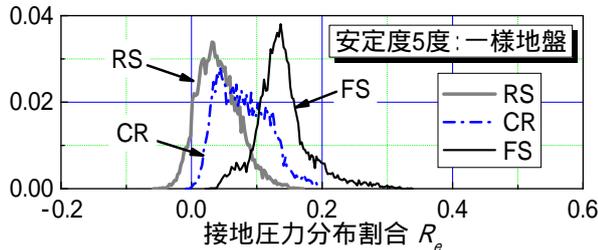
3.3 履帯接地圧力の分布

図8(a)に関東ローム地盤における安定度5度と10度の接地圧力分布割合(R_e)と相対度数(I_d)の関係を示す。ここで、接地圧力分布割合(R_e)とは、各車軸に作用する荷重から接地圧力をそれぞれ算出し、その値を全接地圧力の合計で除した値のことである。接地圧力分布割合を算出後、度数分布解析を行った。

くい打機は、前方にリーダーが搭載されていることにより進行方向にむかって転倒モーメントが働く建設機械である。そのため、履帯にかかる静的接地圧力は最前部の車軸(FS)が理論上最大となる。



(a)安定度5度,10度,関東ローム地盤



(b)安定度5度,一様地盤

図8 接地圧分布割合の度数分布解析

ところが、各車軸の R_e のピークは0付近に見られるが、 R_e は広い範囲に分布している。FS(前軸)とRS(後軸)の R_e は最大約1を示した。これは、機体が瞬間的に前軸、又は後軸による一点支持状態になったことを示している。この原因は、模型地盤の表面に存在した起伏が過大であったためと考えられる。 R_e のピークが0付近に分布したと考えられる。また、安定度5度、10度では顕著な差は見られない。

図8(b)に発泡ウレタンフォームを用いて水平堅固地盤を製作して行った結果を示す。安定度は5度である。

関東ローム地盤の結果と比較すると、最大相対度数と分布形状に違いが見られる。最大相対度数(I_d)はFSが大きくRSが小さい。くい打機は前方に長尺なリーダーを搭載しているため重心位置が履帯の中心より前方にある。そのため、FSの I_d が大きくなっている。 R_e は正規分布的に分布している。弾性的な地盤支持状態であるため、機体に生じる揺れが小さいためであると考えられる。

また、応答加速度の最大振幅を比較すると、一様地盤では 1m/sec^2 であるのに対して関東ローム地盤では 15m/sec^2 であ

る。このことから関東ローム地盤では、大きな揺れが生じていたことが分かる。

4 まとめ

くい打機の自走挙動を明らかにすることを目的に、関東ロームを用いて作製した模型地盤で遠心場走行実験を行った。

- 1)レーザー変位計により計測される地盤の表面形状と、加速度計により計測される応答加速度には関係性が確認された。
- また、左右方向についての地盤の傾斜は、計測値に影響がわずかに現われることも明らかとなった。
- 2)安定度5度と10度について進行方向の応答加速度は顕著な大小関係が存在したが、左右方向の応答加速度は微小な大小関係しか存在しなかった。
- 3) 応答加速度を周波数解析した結果、卓越周波数が、安定度5度では0.9Hz、安定度10度では1.2Hzと若干の差が見られた。これは慣性モーメントの差による影響と考えられる。
- 4) 履帯に作用する接地圧を計測した結果、水平かつ堅固を模擬した発泡ウレタンフォーム地盤ではFSの接地圧力分布が最大であった。しかし、凹凸がある関東ローム地盤において、FSの接地圧力分布は最小となり、凹凸のある関東ローム地盤特有の影響であると言える。

5. 謝辞

本研究は平成19年度厚生労働科学研究費補助金(労働安全衛生総合研究事業)の交付を受けた研究課題「基礎工事中大型建設の転倒防止に関する研究(H19-労働一般-005)」において得られた成果であり、関係各位に対し、ここに謝意を表します。

6 参考文献

- 1) 労働調査会：安衛法便覧Ⅰ，労働安全衛生規則車両系建設機械構造規格，pp.966-967，2007。
- 2)労働調査会：安衛法便覧Ⅱ，車両系建設機械構造規格，pp.512-516，2007。
- 3) British Standards Institution：BS EN 996, Piling equipment - Safety requirements, 1996.
- 4) British Standards Institution: BS EN 791, Drill rigs - Safety, 1996.
- 5) 玉手 聡：基礎工事中大型建設機械の転倒防止に関する研究，厚生労働省科学研究費補助金労働安全衛生総合研究事業平成19年度総括分担報告書，2008
- 6) 伊藤達彦，玉手 聡，堀 智仁，末政直晃，片田敏行：杭打ち機械の小型模型を用いた自走実験の計画，第4回地盤工学会関東支部発表講演集，pp375-376，2007.
- 7) 堀 智仁，玉手 聡，伊藤達彦，末政直晃：杭打ち機械模型の作製と遠心場走行実験 第43回地盤工学会研究発表会概要集，pp43-44，2008
- 8) 玉手 聡，堀 智仁：自走式杭打ち機械模型の作製と遠心場走行シミュレーション，第63回年次学術講演会講演概要集，pp243-244，2008
- 9) 前田周吾，玉手 聡，堀 智仁，末政直晃，片田敏行：自走式くい打機の遠心実験用模型に関する一考察，第5回地盤工学会関東支部発表会発表講演集，pp145-148，2008
- 10)堀 智仁，玉手 聡，前田周吾：自走式くい打機模型における付加質量位置の違いが走行挙動に与える影響，第5回地盤工学会関東支部発表会発表講演集，pp141-144，2008