

図2 昨年度の実験結果 (一様地盤)



写真2 遠心模型実験装置 (NIIS Mark-II Centrifuge)

3. 改善方法の検討

(1) 履帯の改良

昨年度の実験では、走行後の模擬地盤表面に写真3-a)のような劣化が見られた。その原因は写真3-b)に見られるように履帯を構成する要素の間に隙間が存在したためと考えられる²⁾。履帯要素は金属チェーンに溶接されている。この各要素がスプロケットを通過して地盤に設置する際に、開いた隙間が収縮する。その結果、地盤を挟み込む問題が発生した。この問題により、速度には図2に示すような走行の定常性の低下が見られた^{3), 4)}。

この問題を改善するために、今年度は履帯を構成する各要素の長さを5mmから8.5mmに増加させ、構造的に一部を重複させた。その結果、要素がスプロケットを通過する前後に見られた隙間の収縮を防止できた。また同様に、幅は25mmから30mmに増加させて接地圧力を減少させた。改良後の履帯を写真3-c)に示す。



(a) 走行後模型地盤 (b) 改良前履帯 (c) 改良後履帯
写真3 履帯形状と模型地盤劣化

(2) 車軸の改良

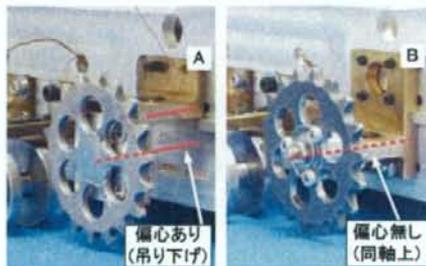
下部走行体に備わる車軸は車体より片持ち梁構造で支持され、ひずみゲージが貼り付けられている。

昨年度の実験では最大荷重が働く前方車軸: Front Sprocket(FS)の実験値が機体の傾斜を考慮しない理論値に比べて小さく、矛盾が見られた。この原因はくい打機模型が遠心場で走行する際に、履帯に生ずる引張力にあることがわかった。

写真4-a)に昨年度の車軸の拡大写真を示す。昨年度の車軸は、スプロケットの回転軸とアームの中心軸が離れている。そのため、走行時の履帯に生じる引張力が水平力となって車軸に働く。その結果、車軸アーム部分には、図3に示すように“ねじれ力”が働き、鉛直荷重の計測値に影響を与えることがわかった。

そこで、今年度はねじれ現象の発生を極力小さくさせるために、回転軸とアームを同軸上に配置した。同時にアーム各部の板厚を増加させ剛性を高めた(写真2のAとB)。改良後の車軸の拡大写真を写真4-b)に示す。

これに加えて、計測は1ゲージ法からアームの表面と裏面の両面にひずみゲージを貼った2アクティブゲージ法に変更して鉛直荷重に対する応答倍率を増加させた。



(a) 改良前車軸 (b) 改良後車軸
写真4 車軸形状の比較

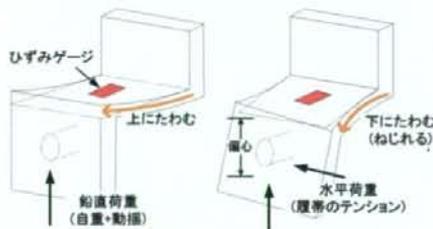


図3 車軸アームのねじれの様子

(3) 加速度計の追加

自走時の機体に生じる動揺は加速度計における応答加速度の水平成分、すなわち進行方向と左右方向を計測している。

昨年度はリーダーの上部と下部の2カ所と下部走行体の1カ所の計3カ所を計測したが、挙動の把握にはデータの不足が見られた。そのため、今年度はリーダーにおける計測を2カ所追加した。

4. 実験結果の比較と考察

走行実験では、くい打機模型を待機位置から加速させ、次に定常走行させる。この加速に要する距離は 15cm 程度である。この時、履帯は全面が試験地盤上に位置する。

従って本研究では、走行距離が 15cm 以降のデータを解析対象とした。

(1) 応答加速度と時間の関係

図 4 に、応答加速度の進行方向成分を実大スケールに換算して示す。

昨年度と今年度に共通して、経過時間 2.5 秒付近に走行開始後の動揺が現れている。その後は定常走行区間である。波形を比較すると、昨年度の応答加速度は、およそ 2.0m/sec^2 の幅で揺れていたのに対して、今年度は 1.0m/sec^2 程度に減少している。これは履帯の改良によって、くい打機模型は、より定常的な走行が可能になったことを示していると考えられる。

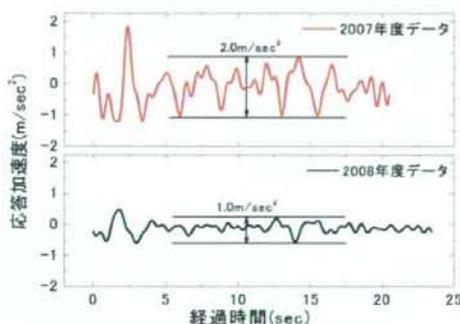


図 4 応答加速度と経過時間の関係(実大換算)
(24g、一様地盤)

(2) 応答加速度の軌跡

図 5 は応答加速度の x 方向(進行方向)と y 方向(左右方向)の軌跡を示す。両年度の結果に共通して x 方向成分の値が大きく現れている。これは、くい打機模型が左右よりも前後に大きく揺れながら走行しているということを示している。

詳細に比較すると y 方向の応答加速度に大きな違いはみられない。しかし x 方向の応答加速度は約 1/2 に減少している。この減少は、履帯や車軸などを改良したことにより走行の定常性が増したためであると考えられる。

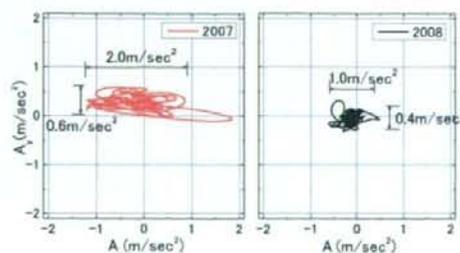


図 5 x 方向と y 方向の関係

(3) 動揺の周波数特性

図 6 は応答加速度をフーリエ解析して求めた振幅スペクトルの分布を示す。

両実験ではほぼ共通した周波数に 2 つのピークが見られる。1 つは 2Hz 付近にあり、もう 1 つは 0.5Hz 付近である。金属チェーンのヒンジ間隔 6mm と走行速度 30cm/sec より求まる周期に 25g 場の相似則を考慮して求まる周波数が 2Hz である。従って、2Hz 付近のピークはチェーンの凹凸と定常的なノイズによるものと考えられる。一方、0.5Hz では自走中におけるくい打機の動揺を示しており長周期的な挙動が特徴的に発生している。

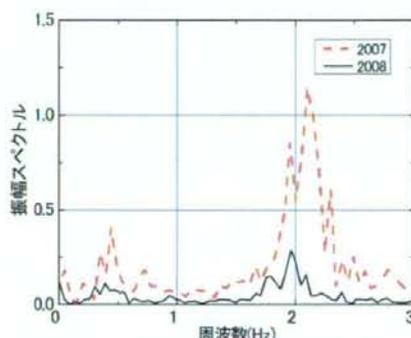


図 6 周波数と振幅スペクトル関係

(4) 履帯接地圧力の分布

図 7 は、昨年度に測定された車軸荷重を各車軸の接地圧力分布割合で示した図である。縦軸は相対度数(I_d)、横軸は接地圧力分布割合の実験値(R_d)である。ここで、接地圧力分布割合とは、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。

ピーク I_d に対応する R_d の値をみると前から 2 番目の車輪である FR が最大であり、最小は後軸の RS となっている。転倒モーメントが働いているくい打機では、最前部の車軸(FS)が最大 R_d を示すはずである。

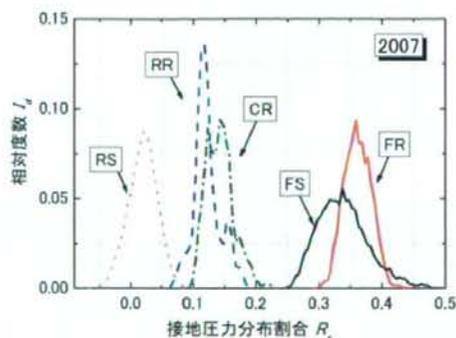


図 7 相対度数と圧力分布比の関係

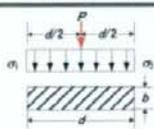
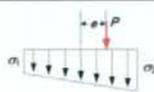
しかしながら、FSはFRよりも小さく現れており計測には問題があったことがわかる。その問題とは前述の通り、車軸とアームの偏心により生じた荷重の干渉であった。そのため、車軸アームの構造に改善を施した。図8は、FSにおける接地圧力の実験値とJIS基準⁵⁾により算出した理論値で除した値 R_v での傾度分布を示す。

表2は、このJIS基準に定められた接地圧力の分類と最大圧力の関係式を示す。今回の実験で偏心量 e は1.8cm、長さ d は14cmである。 $d/6$ は2.3cmとなるので、 $e < d/6$ の関係が成り立つ。よって、集中荷重 P の作用位置が $e < d/6$ のときの公式を用いた。

2007年度には、分布が広く、値にはばらつきが大きく見られる。また、平均値は0.765であり理論値よりも小さい。一方、改善を施した2008年度のデータでは、分布の幅が狭くなるとともに、平均値は1.027となり理論値にほぼ一致した。

従って、改良によって本実験装置は挙動の再現性が向上するとともに、計測値の精度が向上したと考えられる。

表2 接地圧力の分類と最大圧力の関係式

集中荷重による 接地圧力分布	集中荷重 P の 作用位置	載荷圧力の最大値 (σ_2)と最小値(σ_1)
	$e=0$ 中間に P	$\sigma_1 = \sigma_2 = P/bd$
	$e < d/6$	$\sigma_1 = \frac{P(1-6e/d)}{bd}$ $\sigma_2 = \frac{P(1+6e/d)}{bd}$
	$e = d/6$	$\sigma_1 = 0$ $\sigma_2 = 2P/bd$
	$e > d/6$ $c = d/2 - e$	$\sigma_2 = 2P/3bc$
	$e = d/3$	$\sigma_2 = 4P/bd$

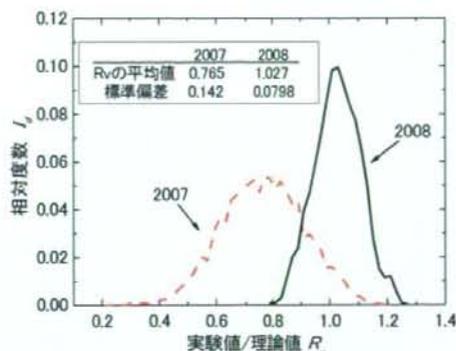


図8 FSの接地圧力の比較

5. 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、遠心場走行実験を行った。

実験結果には過大な挙動や、応答のばらつきが見られるとともに、車軸の計測値には荷重の干渉が生じていることが分かった。これらの問題点を解決するために、実験模型に改造を施した。その結果、挙動の再現性が向上するとともに、計測精度を向上できることが分かった。

6. 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「基礎工事用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。

7. 参考文献

- 1) 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.
- 2) 玉手 聡: 基礎工事用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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 基礎工事機械-安全-, 第一部: くい打機の要求事項, JIS A 8509-1, pp.25, 2007.

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

くい打機 遠心模型実験 転倒災害

(独) 労働安全衛生総合研究所 国際会員 ○ 堀 智仁
 (独) 労働安全衛生総合研究所 国際会員 玉手 聡
 武蔵工業大学 学生会員 前田 周吾

1. はじめに

自走式くい打機は、地盤改良や基礎工事に用いられる大型の車両系建設機械である。従って、この機械は潜在的に不安定な地盤の上での作業を余儀なくされる。そのため、近年この機械による転倒災害が相次いでいる。

くい打機の転倒防止に関する基準が国内外で定められている^{1),2),3)}。この基準は機械が有するべき安定度を規定するもの、設置地盤については水平堅固を前提とし、必要な支持力条件について述べられていないのが現状である。筆者らは、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作製し遠心場走行実験を行った。そして、得られた結果と実大走行実験の結果と比較したところ、くい打機模型の走行時挙動は実際のくい打機とほぼ等しい周期で動揺していることを確認するとともに、走行時の機体の揺れに伴う接地圧力変化を定量的に評価することが可能であることを明らかにした^{4),5)}。

本報告では、同一安定度において異なる重心高さが与えられたくい打機の自走時挙動について、遠心場走行実験を行ったのでその結果を報告する。

2. 実験条件および実験方法

(1) くい打機模型

図 1 に作製したくい打機模型を示す。この模型の特徴は、各車軸のアーム部分にひずみゲージを貼り付けて、走行時の車軸に作用する荷重の計測が可能であるとともに、リーダー上部に加速度計を設置することで走行中の機体の挙動も測定可能となっている⁵⁾。

(2) 地盤のモデル化

模型地盤は硬質のウレタンフォーム(密度 $\rho=61\text{kg/m}^3$)を用いて作製した。ウレタンフォームの強度特性を明らかにするために、支持力試験を行った。試験はひずみ制御で行い、載荷速度は 1mm/min である。試験に用いた載荷板の形状は長方形(25mm×50mm)である。図 2 に載荷応力と沈下比の関係を示した。沈下比 s/D とは沈下量(s)を載荷板の短辺(D)で除した値である。載荷初期では s/D 増分に対する q 増分は大きく、直線的な関係がみられる。さらにこの関係には屈曲点が見られ、明確なピークは見られない。屈曲点前後の 2 つの接線の交点を極限支持力 q_u と定義すると、試験に用いたウレタンフォームの極限支持力は約 100kPa となる。

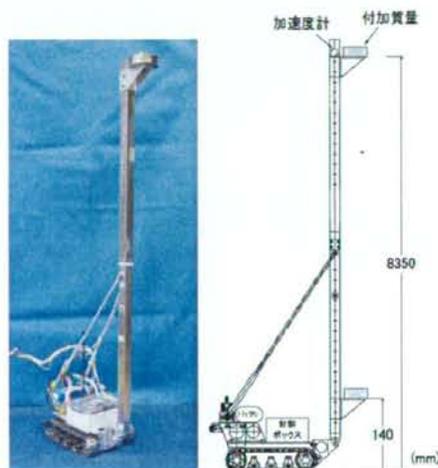


図 1 作製したくい打機模型

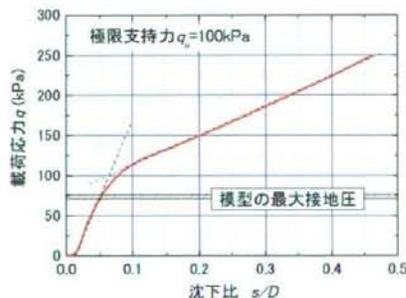


図 2 ウレタンフォームの支持力試験結果

(3) 実験の概要

図 3 は実験に使用した遠心模型実験装置の概要を示す。模型の操作は制御室からスリッピングを介して無線で行う。

遠心場走行実験の概要を図 4 に示した。実験で用いた容器は幅 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除くために模型はアクリル製の風防カウルで全体が覆われている。模型の走行速度は図に示すようにワイヤー変位計を用いて計測した。走行実験は、所定の遠心加速度を与えた後、動的相似

則に従い速度約 35cm/sec で走行させた。走行中の機体挙動は加速度計によって計測し、履帯に作用する接地圧力変動を車軸に貼り付けたひずみゲージにより計測する。なお、本研究では車軸の名称を前輪から、FS(Front Sprocket), FR(Front Roller), CR(Center Roller), RR(Rear Roller), RS(Rear sprocket)と定義した。

車両系建設機械構造規格²⁾では、機械が有するべき安定度として「水平堅固な面の上で安定度 5 度を有するものでなければならない」と規定している。ここで、安定度 5 度とは、機体を 5 度傾斜させても転倒しない安定度のことである。本研究では、安定度 5 度、10 度、15 度の 3 種類の条件で付加質量の位置を図 1 に示す高さ 835mm, 140mm と変えて走行実験を行った。本報告ではそれぞれを高重心、低重心と呼ぶことにする。

実験条件を表 1 に示す。遠心模型実験装置では、回転半径に比例して遠心力が増加するため、付加質量位置の違いにより作用する遠心加速度が異なる。そのため、その影響を考慮して付加質量の重量を算出した。遠心加速

度は最大接地圧がウレタンフォームの極限支持力を短期的な支持力安全率 1.5 で除した値(67kPa)に一致するように調節した。

表 1 実験条件

安定度	重心位置	付加質量(g)	遠心加速度(G)
15 度	高い	150	14.5
	低い	220	12.0
10 度	高い	440	9.0
	低い	560	6.5
5 度	高い	980	6.5
	低い	980	4.5

3. 実験結果

(1) 応答加速度

図 5 は応答加速度と経過時間の関係を示したものである。図に示したデータは、定速走行時のものである。値は実大スケールに換算したのち、5Hz のローパスフィルターを施してノイズを除去している。同一安定度における応答波形を比較すると、低重心の応答加速度がやや大きい値である。

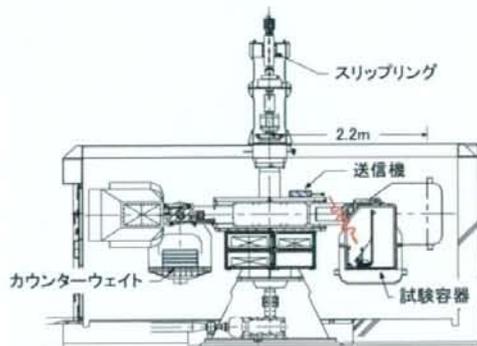


図 3 遠心模型実験装置の概要⁶⁾

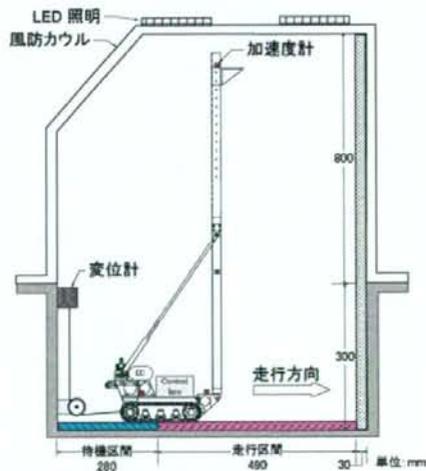


図 4 遠心場走行実験の概要

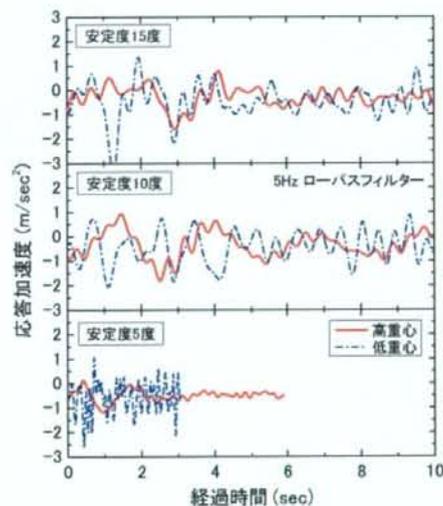


図 5 応答加速度の時刻歴

図 6 は、それぞれの応答加速度を周波数解析した結果である。重心位置の違いで差が見られ、高重心では場合 0.7Hz 付近に卓越周波数が見られる。一方、低重心では 1~2Hz 付近に卓越周波数が見られる。しかしながら、安定度の違いにかかわらず、同様の周波数成分を含んでおり地盤の反力係数の影響が支配的と見られる。このように、重心位置の違いで卓越周期に差が生じた原因として、慣性モーメントの差が考えられる。高重心の場合は、慣性モーメントが大きく長周期的に機体が揺れ、反対に低

重心の場合では、短周期的に機体が揺れたことが考えられる。

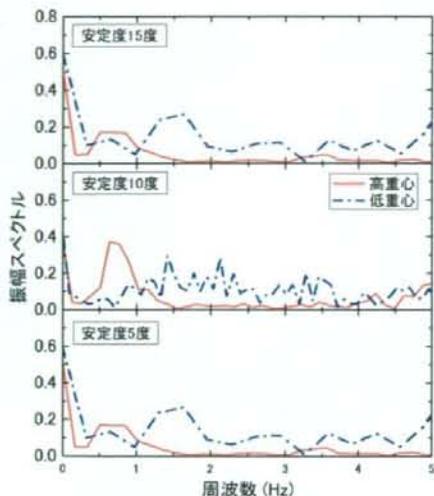


図6 応答加速度の周波数解析結果

(2) 履帯に作用する接地圧

図7に走行時の履帯に作用する接地圧力と経過時間の関係を示した典型的な試験結果を示す。図に示すデータは定速走行時における結果であり、応答加速度の結果と同様に、5Hzのローパスフィルターを施している。履帯に作用する接地圧力を比較すると、FS（前輪）に作用する接地圧が大きく、CR（中央補助輪）と、RS（後輪）はほぼ等しい。また、CRは接地圧の増減が小さいのに対し、FSとRSの増減は大きい。また、位相が逆転しているため、走行時の機体の揺れは前後に生じていることがわかる。

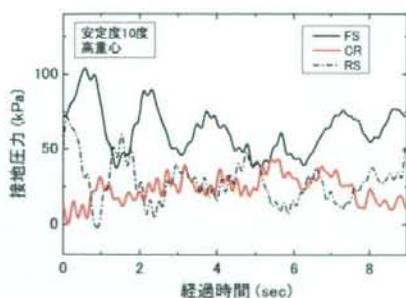


図7 走行時の履帯に作用する接地圧力

図8は接地圧の変動を示す。ここで、全接地圧に対する各車軸の接地圧の比を接地圧分布割合と定義する。接地圧分布割合に対して度数分布解析を行った。図8(a)に示した安定度15度の各車軸の接地圧力分布割合を比較

すると、重心位置の違いによる顕著な差は見られない。それに対して、図8(b)に示した安定度10度では、低重心のFSの接地圧分布割合が大きく、かつ広い範囲に分布している。図8(c)に示した安定度5度では、その差が顕著であることがわかる。これは、応答加速度の結果と同様、慣性モーメントの違いによる影響であると考えられる。

表2にFSの接地圧分布割合の平均値と標準偏差を示す。それぞれの結果を比較すると、安定度10度と5度では、平均値、標準偏差ともに低重心の値が大きくなって

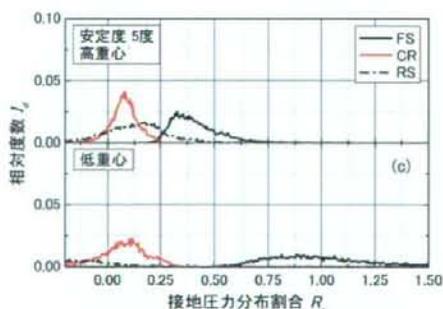
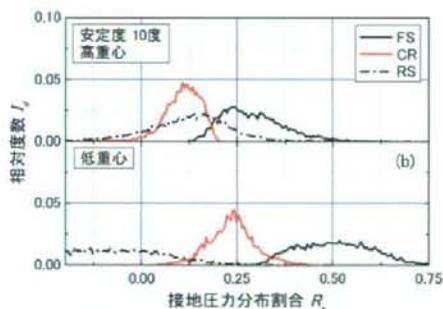
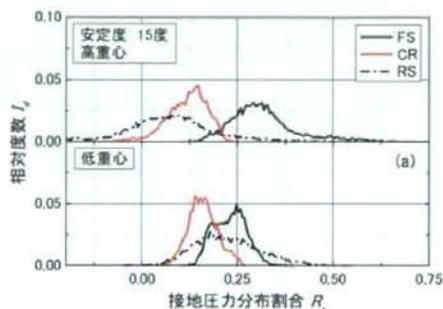


図8 接地圧分布割合の度数分布解析結果

(a) 安定度15度 (b) 安定度10度 (c) 安定度5度

いる。それに対して、安定度 15 度の結果については、重心位置の違いによる顕著な差は見られないことがわかる。このことから、安定度の低下に伴い、慣性モーメントの違いによる影響が強くなり、前輪の接地圧および接地圧変動が大きくなることが明らかになった。

以上の結果から、静的な安定度が同じであっても、重心位置の違いによって、くい打機械の走行時挙動に与える影響が異なることが明らかになった。今後は、さらなるデータの蓄積を行うとともに、慣性モーメントと接地圧変動の関連性について検討する予定である。

表 2 FS の接地圧分布割合の平均値と標準偏差

安定度	重心位置	平均値	標準偏差
15 度	高い	0.316	0.088
	低い	0.230	0.042
10 度	高い	0.290	0.081
	低い	0.510	0.105
5 度	高い	0.409	0.113
	低い	1.108	0.992

4. まとめ

- 1) 同一安定度で付加質量の位置を変化させて遠心場走行実験を行った結果、重心位置の違いによって、実験結果に差が見られた。
- 2) 応答加速度を周波数解析した結果、高重心の場合は、長周期的な揺れが生じ、反対に、低重心の場合、短周期的な揺れが生じていた。これは、慣性モーメントの違いによる影響であると考えられる。
- 3) 履帯に作用する接地圧を計測した結果、応答加速度の結果と同様に、重心の位置の違いにより顕著な差が見られ、安定度の低下に伴い、フロントヘビーでさらに、接地圧変動が大きくなることが明らかになった。

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。

参考文献

- 1) 安衛法便覧Ⅰ平成 19 年度版，労働調査会出版局，労働調査会，pp.967.
- 2) 安衛法便覧Ⅱ平成 19 年度版，労働調査会出版局，労働調査会，pp.512.
- 3) EN-791, Drill rigs-Safety, pp.11, 1996
- 4) 玉手ら：杭打ち機械の自走時における動揺計測実験，第 43 回地盤工学会研究発表会発表講演集，pp.41-42, 2008.
- 5) 堀 智仁，玉手 聡，末政直晃，伊藤達彦：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発表講演集，pp.43-44, 2008.

表会発表講演集，pp.43-44, 2008.

- 6) 伊藤和也，玉手 聡，豊澤康男，堀井宜幸：新遠心模型実験装置(NIIS-Mark II Centrifuge)の開発，産業安全研究所研究報告，NIIS-RR-2005，pp.57-74, 2006.

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⁾、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。

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

本報告では、関東ロー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
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 (=30km/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。

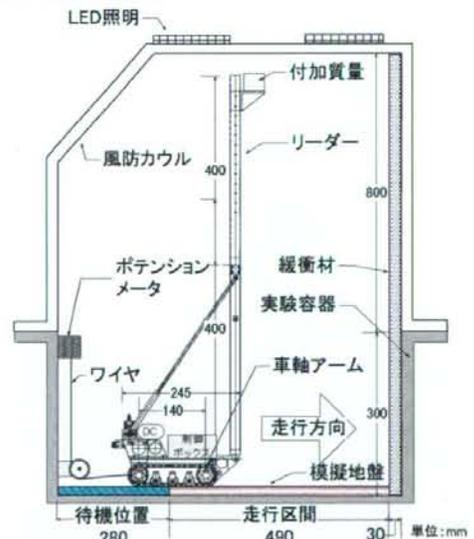


図2 遠心模型実験の概要図

写真2は実験に使用した遠心模型実験装置(NIIS Mark-II 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 関東ローーム

連絡先：武蔵工業大学 都市基礎工学科 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-II 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ペ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=130～290mm では約 14mm 上昇している。その後、s=290～500mm 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、走行路はほぼ進行方向に対して水平とみなされる。

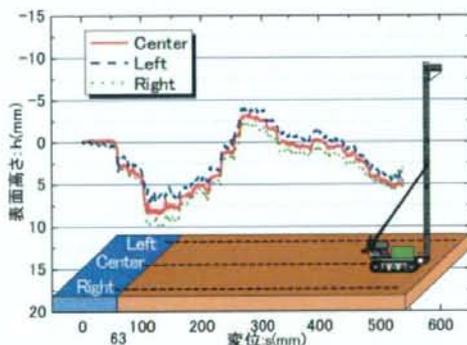


図3 模型地盤の表面計測

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(a_g)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、応答加速度と地表面形状は関係性が見られる。

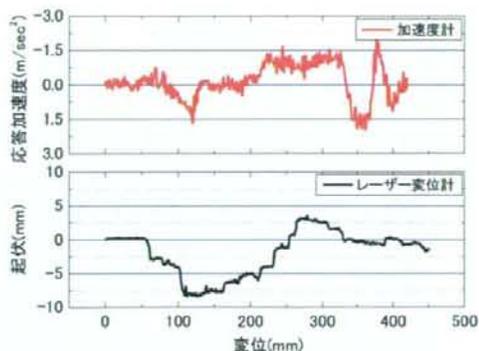


図4 応答加速度と表面の関係

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板上に位置する。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。

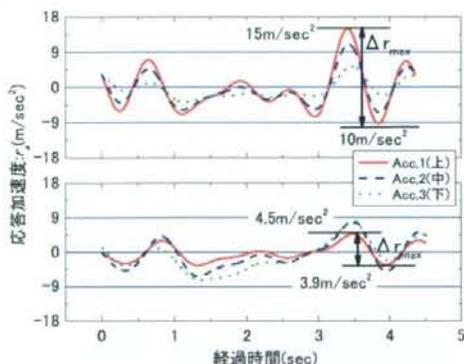


図5 応答加速度と経過時間の関係(進行方向)

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度と比べて大きいことから、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(Δr_{max})すると、進行方向の Δr_{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。

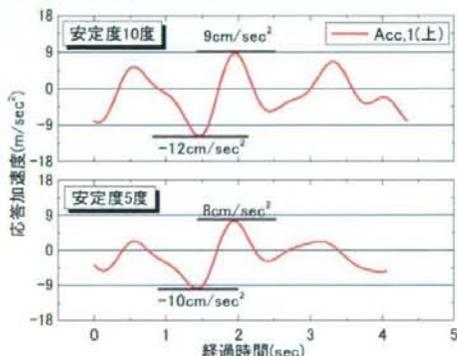


図6 応答加速度と経過時間の関係(左右方向)

3.2 揺れの周波数特性

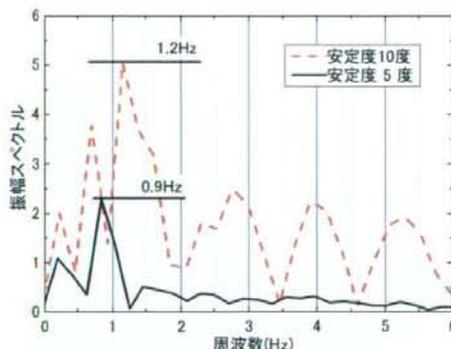


図7 周波数と振動スペクトル関係

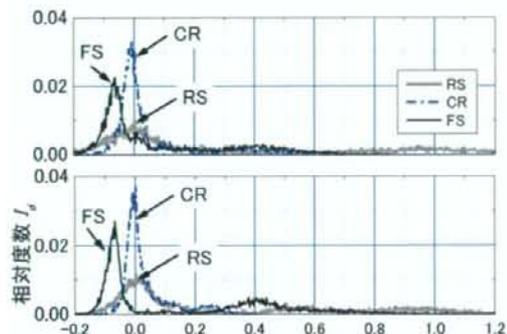
図7に応答加速度を周波数解析して求めた振動スペクトルの分布を示す。

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。

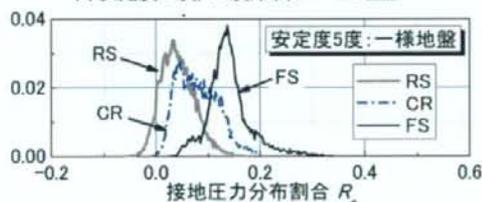
3.3 履帯接地圧力の分布

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_e)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、機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_e)はFSが大きくRSが小さい。くい打機は前方に長尺なり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_e 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「基礎工事用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：基礎工事用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，末政直見，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，pp.375-376，2007。
- 7) 堀 智仁，玉手 聡，伊藤達彦，末政直見：杭打ち機械模型の作製と遠心場走行実験，第43回地盤工学会発表発表会要集，pp.43-44，2008。
- 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要集，pp.243-244，2008。
- 9) 前田吾吾，玉手 聡，堀 智仁，末政直見，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発表講演集，pp.145-148，2008。
- 10) 堀 智仁，玉手 聡，前田吾吾：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発表講演集，pp.141-144，2008。