くい打機の自走挙動に関する実験的解析(その1)

ー 遠心模型実験のモデル化と実験条件 ―

独立行政法人労働安全衛生総合研究所 正会員 〇玉手 聡, 堀 智仁 東京都市大学大学院 学生会員 前田周吾, 正会員 末政直晃

#### 1. はじめに

基礎工事用大型車両系建設機械(以下,くい打機と 呼ぶ)の転倒災害が度々発生している(写真1参照). その転倒原因の多くは設置地盤の支持力不足にあるが, 背景にはくい打機がトップヘビーな構造を有しながら 現場内を自走することと,設置される施工現場が軟弱

地盤であるなど潜在 的な危険要因がある と思われる.

本研究では,地盤 側と機体側に存在す るくい打ち機固有の 不安定要因に着目し 遠心模型実験による 調査を行った.本報 告では本実験の概要 について述べる.



与具 転倒災害の様子

### 2. くい打機のモデル化と遠心模型実験

#### 1)実験のモデル化

自走に伴って揺動するくい打機の挙動を実験的に再 現するために,回転運動に関する相似則を検討した. 以下では添え字 *p* が実機を示し,*m* は模型を示す.

相似比率が n 倍の時,慣性質量を I, 傾斜角を $\theta$ , ダ ンピング係数を c,時間を T,接地面積を A,腕の長さ l,地盤の弾性係数 k, ひずみを $\varepsilon$ ,重力加速度を g とす る.慣性モーメントの比  $r_i$ は式(1)により表され,土の 粘性によるダンピング力のモーメントの比  $r_c$ は式(2), さらに地盤反力によるモーメントの比  $r_e$ は式(3),そし て転倒モーメント $r_m$ の比は式(4)で表される<sup>1),2)</sup>.

$$r_{i} = \frac{I_{m} \overset{\bullet}{\sigma}}{I_{p} \overset{\bullet}{\phi}_{p}} = \frac{1}{n} \times \left(\frac{T_{p}}{T_{m}}\right)^{2} \quad (1) \quad , \quad r_{c} = \frac{c_{m} l_{m} A_{m} \overset{\bullet}{\phi}_{m}}{c_{p} l_{p} A_{p} \overset{\bullet}{\phi}_{p}} = \frac{1}{n^{3}} \times \frac{c_{m}}{c_{p}} \times \frac{T_{p}}{T_{m}} \quad (2)$$

$$r_e = \frac{k_m \varepsilon_m l_m A_m \theta_m}{k_p \varepsilon_p l_p A_p \theta_p} = \frac{1}{n^3} \quad (3), \qquad r_m = \frac{m_m l_m g_m}{m_p l_p g_p} = \frac{1}{n^3} \times \frac{g_m}{g_p} \quad (4)$$

ここで,式(1),(2),(3),(4)に示すモーメントの比が 全て等しくなる条件は式(5)の関係であり,その成立条 件は式(6),(7),(8)の通りとなる.

$$r_i = r_c = r_e = r_m = \frac{1}{n^3}$$
 (5),  $\frac{T_m}{T_p} = \frac{1}{n}$  (6)

$$\frac{c_m}{c_p} = n$$
 (7) ,  $\frac{g_m}{g_p} = n$  (8) ,  $\frac{v_m}{v_p} = 1$  (9)

模型に n 倍の重力と地盤に n 倍のダンピング係数を 与えると,現象は 1/n の時間で再現される.従って,速 度(v)は模型と実物で等しく与える必要がある.なお, 本実験では土の粘性を n 倍とする人工的な調整は施し ていない.しかし,くい打機から模型地盤に働く接地 圧力を降伏支持力以下のレベルで与えるようにするこ とで,ダンピング力が運動に与える影響は減少させた. 2)実験装置

約 1/25 スケールのくい打機の小型模型 <sup>3)</sup>を写真 2 に 示し,実機との主要諸元の比較を表 1 に示す.模型は 高さ 80cm,長さ 25cm,幅 15cmの外形を有し,機体重 量は 27.4N である.リーダーに付加質量を搭載するこ とにより,重心位置を変えた任意な安定度を再現する ことが出来る.この模型の走行は無線により遠隔操作 する.遠心場で 30cm/sec 以上の速度を発生可能な動力 が備わっており,実機と同レベルの速度を再現可能で ある.また,筐体には 30g 場における自重に耐えうる 強度が与えられている.

機体に搭載するモーター,減速機,バッテリー等は 重心が実機と等しくなるように配置している.

表1 実機と模型における主要諸元の比較

	実機			1/25 模型		
	重量	水平	鉛直	重量	水平	鉛直
重心	(kN)	距離	距離	(N)	距離	距離
		(m)	(m)		(mm)	(mm)
機体	470.5	1.4	4.6	27.4	52	154
施工装備	71.5	-2.5	15.9	3.2	102	840
全体	542.0	0.88	6.08	30.5	36	225
平均接地圧力	101kPa			90kPa (25g 場)		
安定度	8			10 (任意に設定可能		
走行速度	1.1km/h (=30cm/sec)					

キーワード くい打機,転倒事故,自走シミュレーション,遠心模型実験

連絡先 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6 (独)労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ



写真2 くい打機模型の加速度計位置

前後の車軸とその間に備わる補助輪は筐体からアー 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りつけられており,載 荷荷重を計測できる.リーダーには加速度計を設置し, 走行中の揺動を測定する.

# 3) 模型地盤の支持力と分布

実験容器内に幅 250mm 長さ 490m の模型地盤を作製 し、くい打機模型を走行させた.模型地盤は最適含水 比の関東ロームを模型地盤と同じ面積を有する載荷板 を介して 150kPa の圧力で静的に締め固めて作成した.

図1は模型地盤における載荷圧力(q)-沈下比(s/D)関係 を示す.ここで,qは荷重を載荷面積(A)で除した値で あり,Aは30mm×30mmの正方形である.s/Dは沈下 量(s)を辺長(D)で除した値である.sは1mm/minの定速 で与えた.載荷初期のs/D<0.02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.その後,屈 曲点が現れるが,明確なピークは示さない.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,  $q_u$ は約270kPaである.

図 2 は模型地盤における平面的な強度の分布特性を 調べるために行ったミニベーン試験の結果を示す.本 試験は 5cm 間隔の格子状に 45 カ所で実施し,得られた 抵抗値から換算してせん断強度(τ<sub>i</sub>)を求めた. τ<sub>i</sub> の値は 56kPa から 144kPa の間に分布し, 109.2kPa が平均値で あり 120kPa が最大頻度である.変動係数は 0.2 である.



図1 関東ローム模型地盤の載荷 応力(q)と沈下比(s/D)の関係 持

図 2 ベーン試験による 換算せん断強度の変動分布

### 4) 機体の設定安定度と自走実験の方法

くい打機模型に異なる安定条件を与えて自走させ, 走行挙動を比較した.実験条件を表2に示す.安定度(a) とは車両系建設機械構造規格で定められた機械の安定 基準である.安定可能な傾斜角を意味するものであり, この値が増加すると機体の安定性は高くなる.くい打 機では a が5 度以上と定められている.今回の実験で a が5 度と 10 度を比較するとともに,同一安定度におい て異なる重心距離,すなわち,高重心と低重心の場合 の比較を行った.

履帯における接地圧力の最大値は q<sub>u</sub>の 1/2 程度以下 となるように,走行は 5g の遠心力場で実施した.

表3実験名称と機体の安定条件

実験名称	安定度, a (deg)	前輪からの重心距離, <i>l</i> (cm)
Cs1	10	13.4
Cs2	10	23.9
Cs3	5	32.4

# 3. 遠心場走行における計測と機体揺動

遠心実験における計測結果の一例を図3に示す.模型の移動距離をポテンションメータにより計測すると 共に,機体の揺動を加速度計で計測した.また,詳細 は別報<sup>4</sup>に譲るが車軸と補助輪における載荷荷重から 履帯における接地圧力の分布を解析すると共に,高速 度カメラによる運動解析を行った.図4 は機体揺動の 周波数分布を比較して示す.卓越周波数は1.2Hz と 2Hz 付近に現れ,安定度に比べて重心位置の違いによる影 響が見られる.くい打機の安定性に与える機体側と地 盤側の要因について今後詳細を検討する予定である.



謝辞:本研究は厚生労働科学研究費補助金において得 られた成果であり,関係各位に対し,謝意を表します. 参考文献:1)香川崇章:度構造物の模型振動実験における相似則,土木学 会論文報告集,第275号,pp.69~77,1976.2)玉手 聡:移動式クレーン の安定接地に必要な地盤の支持力要件,産業安全研究所安全資料, NIIS-SD-NO.22,2006.3)堀智仁,玉手聡: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,土木学会第63回年次学術講演会講演集 CDROM,pp.151-156,2008.4)前田周吾,末政直晃,玉手聡,堀智仁:く い打ち機の自走挙動に関する実験的検討,土木学会第64回年次学術講演 会講演集 CDROM,投稿中,2009.