

厚生労働科学研究費補助金
労働安全衛生総合研究事業

基礎工事用大型建設機械の転倒防止に関する研究

(H19 - 労働 - 一般 - 005)

平成 19 年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 玉手 聡

平成 20 年 4 月

目次	ページ
第1章 はじめに	1
1.1 研究要旨	1
1.2 研究の背景	1
1.3 研究の方法	2
第2章 災害調査	3
2.1 災害の概要	3
2.2 杭打ち機械の安定条件	10
2.3 現場地耐力の推定	18
2.4 まとめ	29
2.5 参考文献	31
第3章 実大現場実験	33
3.1 実験の概要	33
3.2 現場密度試験	35
3.3 水準測量	42
3.4 平板載荷試験	47
3.5 自走実験の実施と挙動の計測	54
3.6 杭打ち機械の安定度	62
3.7 自走時応答の実験的解析	70
3.8 まとめ	105
3.9 参考文献	107
第4章 遠心場走行模型の開発	109
4.1 杭打ち機械のモデル化	109
4.2 模型の構成と諸元	110

4.3	模型機体の安定度	113
4.4	車軸アームの荷重検定	114
4.5	遠心場加振実験による振動応答特性の調査	119
4.6	まとめ	132
4.7	参考文献	133
5.	遠心場走行実験	135
5.1	地盤のモデル化	135
5.2	実験方法と条件	137
5.3	実験結果	140
5.4	まとめ	148
5.5	参考文献	149
6.	まとめ	151
6.1	概説	151
6.2	第1章の要約	151
6.3	第2章の要約	151
6.4	第3章の要約	152
6.5	第4章の要約	152
6.6	第5章の要約	153
6.7	健康危険情報	153
6.8	研究成果による特許権等の知的財産権の出願・登録状況	153
7.	謝辞	155
8.	研究成果の刊行に関する一覧	157
9.	研究成果の刊行物・別刷り	159

第1章 はじめに

1.1 研究要旨

本研究の目的は基礎工事中大型車両系建設機械(以下、杭打ち機械と呼ぶ)の転倒災害を防止することである。このような転倒災害の原因は設置地盤の支持力不足にあるが、その背景には杭打ち機械がトップヘビーな構造を有しながら自走することと、この機械が設置される施工現場が潜在的に軟弱な地盤であることの2つの不安定要因がある。

本研究では施工現場を自走する杭打ち機械の不安定化メカニズムを明らかにし、安定設置に必要な地盤の支持力要件を検討する。

本研究は平成19年度より3年間での実施を計画し、以下の4名の研究者が携わる。

主任研究者 玉手 聡 (独立行政法人 労働安全衛生総合研究所)

分担研究者 末政直晃 (武蔵工業大学)

分担研究者 伊藤和也 (独立行政法人 労働安全衛生総合研究所)

リサーチアシスタント 堀 智仁 (独立行政法人 労働安全衛生総合研究所)

1.2 研究の背景

杭打ち機械は下部走行体と上部旋回体より構成される車両系建設機械である。この機械は地盤改良工事や基礎工事に用いられるものであり、主に軟弱地盤の対策工事に用いられる。従って、杭打ち機械は潜在的に不安定な地盤での作業を余儀なくされる。

過去に発生した転倒災害を調査すると、自走中の転倒が多く見られる。転倒状況を詳細に分析すると、アースオーガをリーダーの上部に位置させ、トップヘビーな状態で現場内を自走することが明らかになった。

労働安全衛生規則(厚生労働省令)では杭打ち機械の転倒を防止するために、設置地盤には沈下防止対策を講じなければならないことが述べられている。しかし、安定設置に必要な支持地盤の具体的な基準は示されておらず、判断は事業者に委ねられているのが現状である。

車両系建設機械構造規格(厚生労働省告示)では、機体は5度傾けても転倒しない安定度を有しなければならないことが定められているが、設置地盤は水平かつ堅固であることが前提とされている。また、走行時の安定度については触れられておらず、設置地盤の沈下や走行時における動揺の発生については想定されていない。

都市部の開発では地盤改良が行われ、大型建築工事では基礎工事が不可欠である。そのため、杭打ち機械の使用は近年増加しており、その転倒防止措置の検討は急務な問題となっている。

以上より、同種災害の発生を防止するためには、走行時における杭打ち機械の不安定性を考慮して安定度の閾値を再検討し、安定設置に必要な地盤の支持力条件を明らかにする必要がある。

1.3 研究の方法

本研究では機体と地盤の両方に存在する 2 つの不安定要因に着目し、次のメカニズムを明らかにする。一つはトップヘビーな構造を有する機械の走行時不安定メカニズムの解明である。もう一つは、キャタピラ基礎に生じる複合荷重の載荷が地盤支持力の減少に与える影響の解明である。不安定メカニズムの実験的解析に基づいて、杭打ち機械の安定設置に必要な地盤の支持力要件を検討する。

本年度(平成 19 年度)は主に、災害調査と自走時における杭打ち機械の挙動解析を実施した。挙動解析では、現場実大実験による解析を実施するとともに、遠心模型実験による不安定要因分析のための予備的検討を行った。その内容は次の取りである。

(1) 災害事例の調査

杭打ち機械の転倒事例を調査した。本調査の目的は機体の緒元や作業状態ならびに地盤条件等の危険要因を明らかにすることであった。平成 14 年に発生した災害事例に着目し、工学的な分析を行った。発生時の作業状況と施工地盤の条件を整理し災害原因を考察した。

(2) 現場実大実験

自走時における杭打ち機械の実挙動を調査するために、現場実験を実施した。この実験は東京労働局、国土交通省関東整備局ならびに東京国際空港整備事業企業体の協力により実施された。本実験では地盤の支持力、不陸および傾斜を事前に調査し、その後、実機を自走させた。この一連の実験によって自走する機械に生じる固有な挙動が明らかになるとともに、その発生に与えた走行条件と設置地盤の条件が明らかになった。

(3) 小型走行模型の設計製作

杭打ち機械を約 1/30 スケールに縮小した小型走行模型を製作した。この模型の筐体は 30 g の遠心力場で生じる自重増加に対して十分な強度有する必要があるとともに、動力には自走可能な走行性能が必要とされる。遠心模型実験では実機と同じ接地圧力レベルが再現可能である。本実験では模型の操作をワイヤレス化することによって、自走挙動の拘束を極力減少させる手法が試みられている。履帯を支持する車軸と各補助輪には荷重分布を計測するための荷重計を配置し、模型上部には動揺を計測するための 3 方向加速度計を配置した。また、リーダー部のウエイト高さを調整することにより任意な重心高さを与えることが可能である。

(4) 遠心場走行実験

上記(3)で製作した模型を遠心模型実験装置に搭載して加振実験と走行実験を行った。加振実験では模型の振動応答特性を調査した。走行実験では製作した実験システムの性能確認を目的に、地盤の弾性と支持力ならびに模型の安定度が異なる条件における応答加速度と履帯の接地圧力分布の関係を予備的に検証した。

以上に従って、本報告では今年度実施した災害調査と自走時における杭打ち機械の挙動解析結果の内容の詳細について述べる。

第2章 災害調査

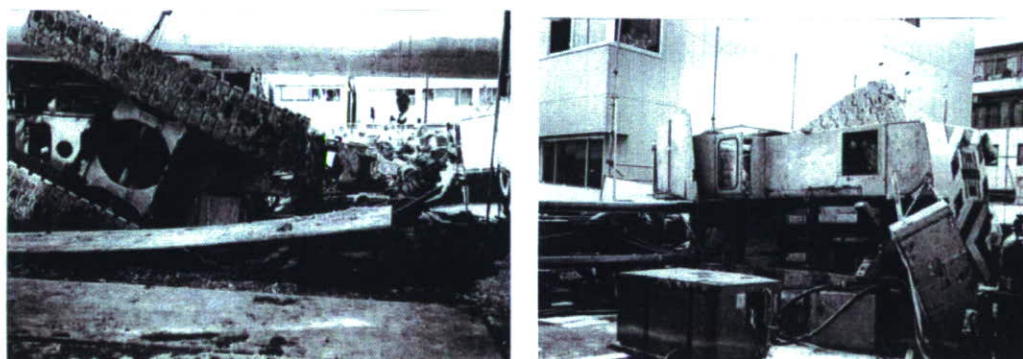
2.1 災害の概要

2002(平成14)年に大阪市の建築工事現場において、写真2-1-1に示す杭打ち機械の転倒災害が発生した。クローラの車軸付近には写真2-1-2のような大きな沈下が見られ、この機械は設置地盤が不安定なことが原因で転倒したことがわかる。この現場では地盤に安定処理が施されるとともに、敷鉄板が敷設されていた。しかしながら支持地盤には局所的な崩壊が生じ、機械は転倒した。

本報告では、本災害の資料調査に基づいて、設置地盤の支持力と履帯接地圧の比較による安定性の検討を行い、次に転倒メカニズムを推察する。さらに、SMW施工における杭打ち機械の安定上の問題点を考察する。



写真 2-1-1 2002(平成14)年に大阪市内で発生した杭打ち機械の転倒



a) 車軸付近が地盤に沈下した様子

b) 横向きとなった上部旋回体

写真 2-1-2 転倒した杭打ち機の状況

2.1.1 災害発生までの過程

本転倒災害の発生までの過程は表 2-1-1 の通りであった。この災害では現場の作業員 2 名が重傷を負った。

表 2-1-1 転倒災害発生までの過程

経過	時刻	作業内容
4 日前		地盤改良工事の施工が開始された
前日		山留め重機搬入・組立作業
当日	8:00	朝礼
	9:00	杭打ち機組立(前日からの継続作業)と杭打ち機段取り(溝掘, 敷鉄板等)等の作業を開始する。
	10:00	バックホウによる溝掘り作業中に既存水道管を破損する
	10:03	水道局へ連絡する
	10:05	水中ポンプにて排水を行う
	10:45	水道局が到着する
	11:30	止水が完了する
	11:45	水道管復旧が完了し, 溝掘り作業及び養生鉄板(敷鉄板)の敷設作業再開する
	12:15	同作業が完了する
	13:00	杭打ち作業着手のため, 杭打ち機が移動を開始する
	13:10	杭打ち機が転倒した

2.1.2 災害当日の状況

災害が発生した当日は午前 9 時より安全ミーティングが行われ, その後, 作業が開始された。この日の作業では始めに, 杭打ち機械の組み立てが行われた。この杭打ち機械は 3 軸のアースオーガであり, 地中連続壁(ソイルミキシングウォールであり, 以下 SMW と呼ぶ)を施工するためのものである。機械の組み立ては約 1 時間で終了した。

SMW の施工に先立って, 打設予定位置の溝掘削作業が行われた。この溝は幅 1m, 深さ 0.8m であり, 長さは 7m である。この溝は探索堀とも呼ばれ, オーガによる地中掘削とこ

れに引き続いて実施するセメントと土の混合(これを削孔混練りと言う)をスムーズに行うために実施するものである。

図 2-1-1 は日本材料学会「ソイルミキシングウォール(SMW)設計施工指針(改訂版)」¹⁾に示された標準的な施工手順を示す。「溝掘り」は施工位置の精度及び品質を向上させるためと、施工位置における地中障害物の有無を調査するために実施されるものである。またこの探索掘した溝は、削孔混練時の発生泥土の処理溝としての機能も有する。最終的にはこの溝部分に頭つなぎ梁が設置され、一体化した SMW が構築される。

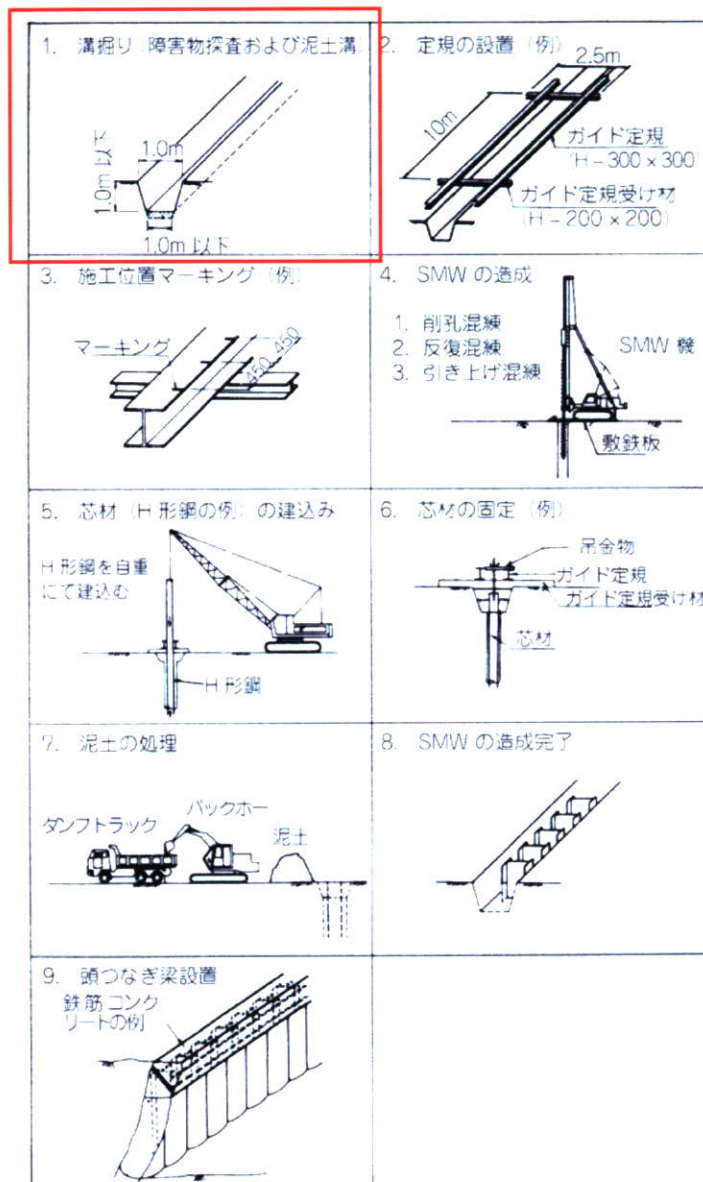


図 2-1-1 SMW の施工手順書

(日本材料学会「ソイルミキシングウォール(SMW)設計施工指針(改訂版)」)

従って、SMW の施工では杭打ち機械を溝の近傍に位置させて打設が行われる。しかし、後述するが杭打ち機械の自重は 365kN(37.25tonf)を有しており、壁面の安定性に影響を与えたことが想像できる。その後の作業プロセスは次の通りであった。

午前 10:00 頃、深さ 40 から 50cm 程度を溝掘削したところ、一辺約 30cm の四角形の板状の障害物を発見した。作業員はこれをバックホウで撤去しようとしたところ、その隣に埋設された水道管を誤って破損し、出水させた。これに伴って、この溝は大量に湛水する事態となった。

午前 10:30 頃大阪市水道局の担当者が現場に到着して止水作業が行われた。出水から止水までの間においては、排水ポンプを作動させて水を外部に排水し、湛水量を極力減少させる対策が講じられた。後述する杭打ち機械の転倒はこの溝近傍の位置で発生しており、水が地盤を軟化させたために杭打ち機械が不安定した可能性も考えられる。

午前 11:40 頃、止水作業が終了し、パイプからの出水は停止した。その後、溝掘削を再開した。

午後 0:15 頃、溝掘削、及び敷鉄板の敷設の作業を終了した。なお、この敷鉄板とは杭打ち機械の設置に際して、載荷圧力を分散させて沈下を防止するために、地盤表面に敷設したものであった。

午後 1:00、杭打ち機械の移動を開始した。

午後 1:10 頃に前述した溝掘削近傍の施工位置に到着した。この時、敷鉄板に沈下が生じ、機体はゆっくりと傾斜した。図 2-1-2 はこの時の回避動作から転倒までの様子を概念的に示す。機体傾斜の発生を察知した運転士は図に示すように溝近傍から機体を後退させるとともに、上部を右旋回させて転倒モーメントを減少させている。しかし、機体の傾斜は収まらずむしろ増加し、最終的に転倒に至った。この転倒に際して、機体に搭載されていたコンプレッサーが現場作業員と警備員に激突し、両員とも骨折の重傷を負った。

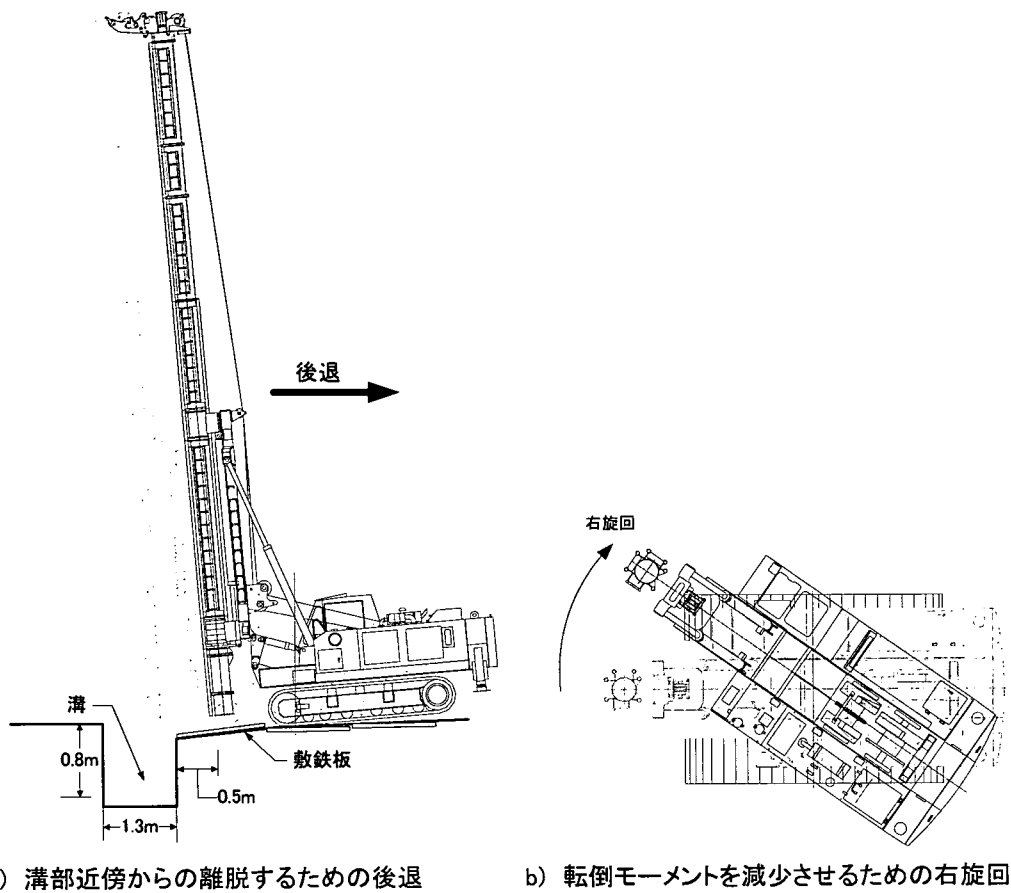


図 2-1-2 転倒直前の回避動作状況

2.1.3 施工上の問題点

(1) 機械と溝の離隔不足

杭打ち機が転倒に至る直前の位置と掘削溝の関係を図 2-1-3 に示す。図の a) に示す杭打ち機の位置関係よりクローラ先端と溝壁部との距離は 1.2m であったことがわかる。同図の b) に示す斜面の崩壊状況より、その発生位置はクローラの前方向約 1/4 の部分を占めていた。図面より概算した崩壊の奥行きは約 2.0m である。この掘削溝は上部 1.0m、深さは 0.8m であった。

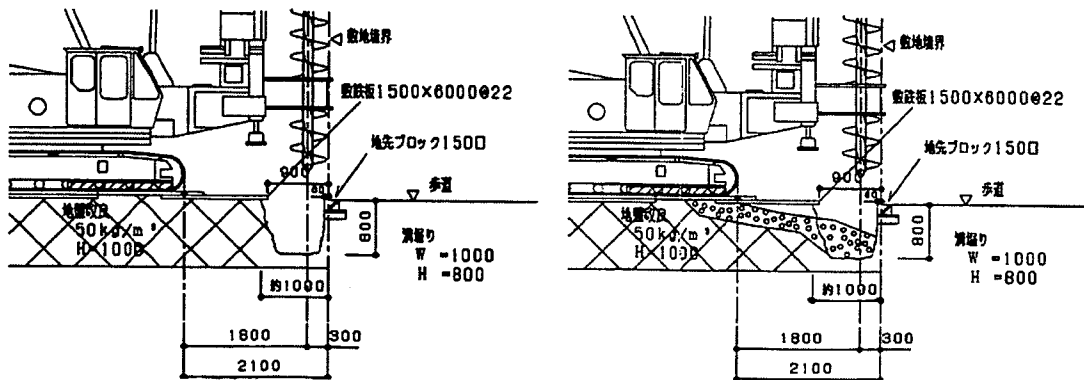
日本材料学会「SMW 設計施工指針」では、溝幅は上部 1.0m、底部 0.7m、溝深さは 0.6m を施工の標準値として示している。当該現場に設けられた掘削溝の深さはこの標準値に比べて 0.2m 大きかった。

これに加えて同指針では、溝壁面とクローラ端の間の離隔について、法先から地表に向かって 45° の角度で延長して得られる掘削影響線から、さらに 0.2m 以上の離隔を与えて設置するように指示している。従って、必要離隔は掘削深さと 0.2m の和であり、本施工では

必要な離隔は1.0m以上を確保すべきであった。しかし、今回の事故発生時には寄り付き寸法が0.9mであり、離隔は基準よりも少なかった。

(2) 設置地盤の支持力不足

地表面には敷鉄板が壁面部から重複させるように敷設されていたが、写真 2-1-1 より明らかなように敷鉄板は大きく折れ曲がり、履帯には明らかな沈下が見られた。従って、支持地盤の強度が不足したことによって、沈下は生じたことがわかる。杭打ち機械は図 2-1-4 に示すように敷地の境界近くに位置していた。この部分の表層は施されたセメント安定処理が不均一であり、その改良効果は機械を支持するには不十分なものであったと考えられる。事故後に検証された地盤支持力の調査結果は高く推定されているものの、転倒時における実際の地盤支持力は接地圧力以下であったことが沈下の発生からも明らかであった。



a) 溝壁部が崩壊する前の状況

b) 転倒の原因となった崩壊の様子

図 2-1-3 杭打ち機械が転倒に至る経過

2.2 杭打ち機械の安定条件

2.2.1 安定度の確認

転倒した杭打ち機械は図 2-2-1 に示す日本車輛製 DHJ40 であり、その諸元は表 2-2-1 の通りである。重心の位置は水平方向(G_x)が 0.62m であり、これは履帯の中心からリーダー側に 0.62m の位置であることを意味する。また、 G_x は重心の水平偏心量(e)とも見なされる。鉛直方向(G_y)は 3.36m であり、地表面から 3.36m である。

下部走行体に備わる履帯の寸法は図 2-2-1 に示すとおりである。地盤に対する接地面の長さ(L)は 3.475m である。 L に対する e の比の値は約 1/5.6($=e/L$)である。

厚生労働省令車両系建設機械構造規格²⁾の第 3 条では、杭打ち機械は前後および左右方向に対して 5 度以上の安定度(θ_s)を有しなければならないことを述べている。

表 2-2-1 杭打ち機械(日本車輛製 DHJ40)の諸元

装置名	重量(①) (kN)	重心位置(②) (m)	①×②	重心高さ(③) (m)	①×③
本体リーダー一式	295.5	0.02	5.9	2.36	697.4
カウンター追加分	10.0	-3.00	-30.0	2.00	20.0
配電盤	3.0	1.40	4.2	1.80	5.4
SKC-60VF	30.0	3.83	114.9	11.46	343.8
スクリュー	30.0	4.07	122.1	5.50	165.0
スクリューガイド	2.0	4.07	8.1	2.00	4.0
キャブタイヤ	2.0	3.11	6.2	7.15	14.3
全体	372.5	$G_x=0.62m$	231.5	$G_y=3.35m$	1249.9

本杭打ち機械について安定度を計算すると以下の通り求められる。

1) 前後方向

不安定側となるリーダー側の安定度(θ_{sf})は式(2-2-1)の関係が成り立つ。

$$\tan \theta_{sf} = \frac{L - 2e}{2H} \quad (2-2-1)$$

上記の値を代入して θ_{sf} を求めるとその値は次の通り求められる。

$$\theta_{sf} = 18.4 \text{ 度} > 5 \text{ 度} \quad (2-2-2)$$

2) 左右方向

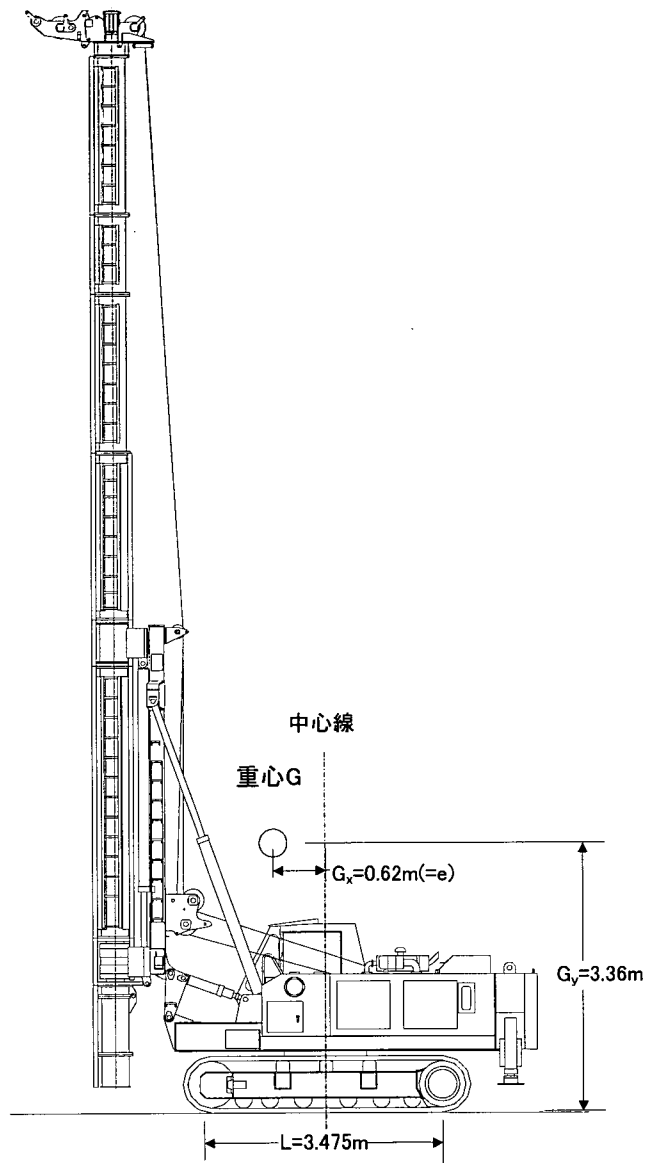
左右方向の安定度(θ_{ss})は式(2-2-3)の関係が成り立つ。

$$\tan \theta_{ss} = \frac{S - 2e}{2H} \quad (2-2-3)$$

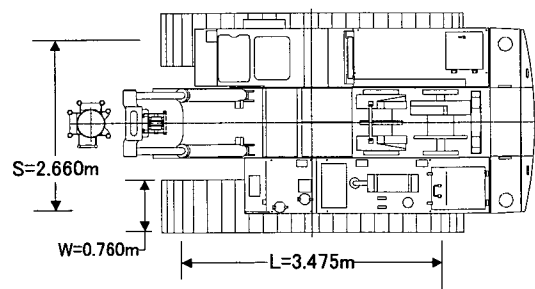
同様にして値を代入すると、 θ_{ss} の値が次の通り求まる。

$$\theta_{ss} = 11.9 \text{ 度} > 5 \text{ 度} \quad (2-2-4)$$

従って、本杭打ち機械は前後方向に対して 18.4 度を有するとともに、左右方向に対して 11.9 度の安定度を有しており、法令で定める値以上の安定度を有していたことが分かった。



a) 立面図



b) 平面図

図 2-2-1 杭打ち機械(日本車輛製 DHJ40)の概要

2.2.2 履帯面に働く接地圧力

履帯面に働く接地圧力は支持地盤が剛体であることを仮定して求めることが可能であり、その計算方法が JIS A 8509-1:2007「基礎工事機械—安全—第一部：くい打ち機の要求事項」³⁾に示されている。また、(社)日本建設機械化協会の「移動式クレーン、杭打ち機械等の支持地盤養生マニュアル」⁴⁾は旋回角度を考慮した接地圧力分布の具体的な計算方法を解説している。本項ではこの解説に基づいて接地圧力を計算する。

1) 横向き状態における左右履帯の反力

図 2-2-2 に示すように 2 次元上に投影された立面図において、 t は任意な偏心量の値である。すなわち、上部旋回体の旋回量によって変化する値である。この時、左右の履帯に働く反力 F_L と F_R はそれぞれ式(2-2-5)と式(2-2-6)で求められる。

$$F_R = \frac{M}{S} \left(\frac{S}{2} - t \right) \quad (2-2-5)$$

$$F_L = \frac{M}{S} \left(\frac{S}{2} + t \right) \quad (2-2-6)$$

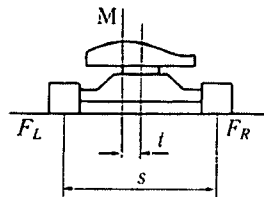


図 2-2-2 横向き状態における機械のパラメータ

さらに、上部旋回体が下部走行体に対して 90 度の向きにある時における左右の履帯面に働く反力を求める場合は、機体の重量(M)と 90 度旋回による重心の偏心量(t_{90})を考慮すればよい。すなわち、右側クローラの反力(F_{R90})及び左側クローラの反力(F_{L90})は上記の寸法諸元を代入して、次の通り得られる。ここで、変数に下付きで示した数値は旋回角度を示すものとし、表記な場合は任意な角度であることを意味するものとする。

$$\begin{aligned} F_{R90} &= \frac{M}{S} \left(\frac{S}{2} - t_{90} \right) \\ &= \frac{372.5}{2.660} \left(\frac{2.660}{2} - 0.62 \right) \\ &= 99.4(kN) \end{aligned} \quad (2-2-7)$$

$$\begin{aligned}
 F_{L90} &= \frac{M}{S} \left(\frac{S}{2} + t_{90} \right) \\
 &= \frac{372.5}{2.660} \left(\frac{2.660}{2} + 0.62 \right) \\
 &= 273.1(kN)
 \end{aligned}
 \tag{2-2-8}$$

なお、 $t=0$ の時は左右の履帯に働く載荷荷重は等しくなる。その値を F_M と呼ぶものとし、次の通り求められる。

$$\begin{aligned}
 F_M &= \frac{M}{2} \\
 &= \frac{372.5}{2} \\
 &= 186.3(kN)
 \end{aligned}
 \tag{2-2-9}$$

$t \neq 0$ の時に左右の履帯面に働く平均接地圧力 P_{RA} と P_{LA} 、ならびに $t=0$ の時に履帯面に働く平均接地圧力 P_{MA} とすると、その値は先の載荷荷重を履帯の設置面積($W \times L$)で除して得られ、それぞれ式(2-2-10)から(2-2-12)の通り求められる。

$$\begin{aligned}
 P_{RA} &= \frac{F_{R90}}{WL} \\
 &= \frac{99.4}{0.76 \times 3.475} \\
 &= 37.6(kPa)
 \end{aligned}
 \tag{2-2-10}$$

$$\begin{aligned}
 P_{LA} &= \frac{F_{L90}}{WL} \\
 &= \frac{273.1}{0.76 \times 3.475} \\
 &= 103.4(kPa)
 \end{aligned}
 \tag{2-2-11}$$

$$\begin{aligned}
 P_{MA} &= \frac{F_M}{WL} \\
 &= \frac{186.3}{0.76 \times 3.475} \\
 &= 70.5(kPa)
 \end{aligned}
 \tag{2-2-12}$$

2) 前後方向に対する履帯面上の圧力分布

図 2-2-3 に示すように左右方向に対する重心位置の偏心量(r)、タンブラ間距離(L)及びシ

ユー幅(W)から、接地反力の分布が直線的であると仮定すると、右クローラ前端的接地圧(P_{RF})、後端の接地圧(P_{RB})、左クローラ前端的接地圧(P_{LF})及び後端の接地圧(P_{LB})はそれぞれ式(2-2-13)～式(2-2-16)で求まる。

$$P_{RF} = \frac{F_R(L+6r)}{W \cdot L^2} \quad (2-2-13)$$

$$P_{RB} = \frac{F_R(L-6r)}{W \cdot L^2} \quad (2-2-14)$$

$$P_{LF} = \frac{F_L(L+6r)}{W \cdot L^2} \quad (2-2-15)$$

$$P_{LB} = \frac{F_L(L-6r)}{W \cdot L^2} \quad (2-2-16)$$

ただし、 r と t の間には次式の関係が存在し、 θ は上部旋回体と下部走行体のなす角である。

$$\tan \theta = \frac{t}{r} \quad (2-2-17)$$

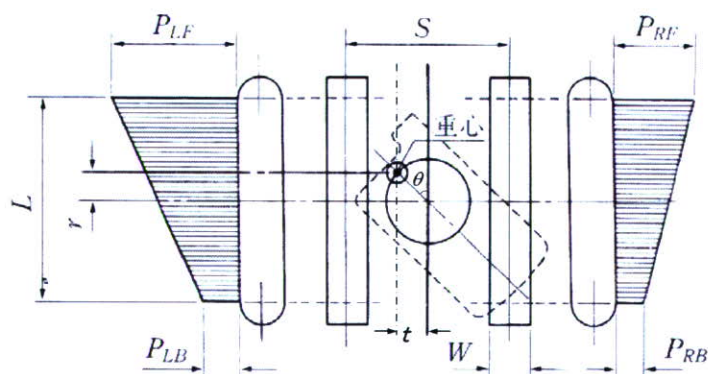


図 2-2-3 $r < L/6$ の時の履帯反力

さらに、 $r > L/6$ の場合には、図 2-2-4 に示す三角形分布となり、 P_{RF} と P_{LF} は式(2-2-18)および式(2-2-19)となる。

$$P_{RF} = \frac{4F_R}{3W(L-2r)} \quad (2-2-18)$$

$$P_{LF} = \frac{4F_L}{3W(L-2r)} \quad (2-2-19)$$

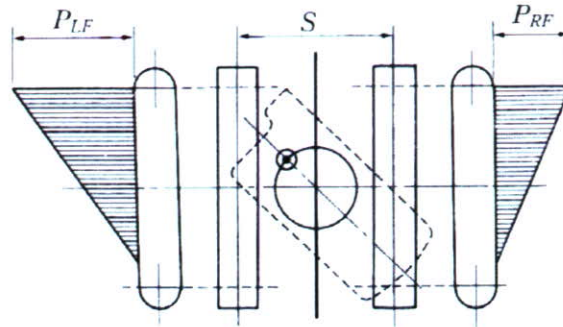


図 2-2-4 $r > L/6$ の時の履帯反力

転倒した際にオペレータは回避行動として、上部旋回体を回転させて転倒モーメントを減少させている。しかしながら、傾斜を開始した際のこの旋回角度はほぼゼロであり、上部旋回体はほぼ進行方向を向いていた。この状態で生じた接地圧力により地盤には沈下が生じたものと見なされる。すなわち

$$r_0 = 0.62(m) \quad (2-2-20)$$

$$\begin{aligned} \frac{L}{6} &= \frac{3.475}{6} \\ &= 0.58(m) \end{aligned} \quad (2-2-21)$$

である。従って、本件の場合における r_0 と $L/6$ の関係は次に通りととなる。

$$r_0 > \frac{L}{6} \quad (2-2-22)$$

以上より、履帯面に生じたと考えられる最大接地圧力 P_{LF0} は、 r_0 と式(2-2-9)の結果を式(2-2-19)に代入して得られる。

$$\begin{aligned} P_{LF0} &= \frac{4F_M}{3W(L-2r)} \\ &= \frac{4 \times 186.3}{3 \times 0.76 \times (3.475 - 2 \times 0.62)} \\ &= 146.2(kPa) \end{aligned} \quad (2-2-23)$$

一方、転倒後の旋回角度(θ)を 45° と仮定して同様な計算を行うと、偏心量 r_{45} は式(2-2-24)の通りである。

$$\begin{aligned} r_{45} &= l_{45} \\ &= r_0 \cos \theta \\ &= 0.62 \times \cos 45^\circ \\ &= 0.44 \end{aligned} \quad (2-2-24)$$

その結果,

$$r_{45} < \frac{L}{6} \quad (2-2-25)$$

となる。従って、履帯反力のうち最大なる値(F_L)は式(2-2-6)に t_{45} の値を代入して得られる。最大接地圧力はこの F_{L45} の値を式(2-2-15)に値を代入することにより得られる。

$$\begin{aligned} F_{L45} &= \frac{M}{S} \left(\frac{S}{2} + t_{45} \right) \\ &= \frac{372.5}{2.660} \left(\frac{2.660}{2} + 0.44 \right) \\ &= 247.9 \text{ (kPa)} \end{aligned} \quad (2-2-26)$$

$$\begin{aligned} P_{LF45} &= \frac{F_{L45} (L + 6r_{45})}{W \cdot L^2} \\ &= \frac{247.9 \times (3.475 + 6 \times 0.44)}{0.76 \times 3.475^2} \\ &= 165.2 \text{ (kPa)} \end{aligned} \quad (2-2-27)$$

以上より、旋回角度の違いは最大接地圧力の値に差を与え、本事例の場合では $\theta=45$ 度の場合が $\theta=0$ の場合よりも大きくなった。そして、機械の履帯面上に生じた接地圧力の値は146(kPa)から165(kPa)程度であったと推定された。

なお、ここで用いた計算式は地盤を剛体と仮定して導かれたものである。そのため、接地圧力により生じた沈下が引き起こす機体傾斜と、さらにこれに伴って接地圧力増分については考慮していない。従って、得られた計算値は接地圧力を小さく、すなわち危険側に評価している可能性がある。

2.3 現場地耐力の推定

2.3.1 地盤の養生状況

災害発生現場では地盤表層にセメント安定処理が施されていた。その配合条件⁵⁾は 50kg/m^3 であった。改良深さは1mが計画されていたが、実際には0.7m程度であった。実施範囲が計画よりも浅くなった原因は、下層に粘土層が存在したためである。すなわち、粘土は掘削によってブロック化するため、セメントと均一に混合させることがバックホウには難しかったためである。

後に示す図2-3-1に現場の概略を示し、安定処理された部分を図にハッチングして示す。敷地境界には工事用のフェンスが設置されていたため、その基礎部を避けるように安定処理は実施された。

安定処理の方法はバックホウを用いた現場混合方式であった。この方法の概略は次の通りである。

- ① セメントを現場内に散布する
- ② バケツで表層を攪拌し、土とセメントを混合する。
- ③ バックホウの走行により転圧し、締め固める。

一般的に、現場攪拌方式はプラント混合方式に比べて混合効果にバラツキが生じやすいことが知られている。その結果、処理後の地盤強度にはバラツキが大きい。深層混合処理工法における配合設計⁶⁾では室内配合試験による一軸圧縮強度(q_{ul})に対して実施工における処理地盤の一軸圧縮強度(q_{uf})は減少することを考慮して、 q_{ul}/q_{uf} で定義される割り増し係数⁶⁾には1.1から2.2が用いられている。表層安定処理における強度の変動は一般的にさらに大きくなるため、割り増し係数にはさらに大きな値が必要と言える。

2.3.2 セメント安定処理土の強度推定

セメント安定処理された表層土の強度を明らかにするために、2つの方法で実験的な調査が行われた。一つは、原位置にて採取した非改良土を室内にてセメント混合して供試体を作製して行う一軸圧縮試験であり、これを室内配合試験と呼ぶ。もう一つは、安定処理における攪拌混合を現場で再現し、供試体を作製して行う一軸圧縮試験であり、これを現場配合試験と呼ぶこととする。

(1) 室内配合試験

現場で採取した非改良土(表層砂質土)を用いて安定処理土を作製した。非改良土を室内にてセメントと十分に攪拌混合して、理想的な条件の安定処理土の供試体を作製し、一軸圧縮強さ(q_u)を調査した。非改良土の物理特性を表2-3-1に示す。セメントの配合条件は表2-3-2に示す3種類の条件であり、材齢3日と7日の強度を調査した。現場における配合条件は 50kg/m^3 であった。転倒は安定処理後4日目に発生した。材齢3日と7日の q_u より、材齢4日の q_u を計算した結果 q_{ur4} は 370kPa と推定された。