

17. くい打機の転倒に与える施工現場の支持力要因

(独)労働安全衛生総合研究所 ○玉手 聡
同 上 堀 智仁

1. はじめに

基礎工事用の大型建設機械の転倒災害が度々発生している。その転倒原因の多くは設置地盤の支持力不足に見られるが、その背景にはくい打機がトップヘビーな構造を有しながら自走することと、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存在する。

本報告では、はじめに国内外の安全基準を概説し、次に過去に発生した転倒事例について、機体と地盤条件を整理する。そして、事故の発生原因と今後解明が必要とされる問題点を考察する。

2. 国内外の安全基準

労働安全衛生規則¹⁾では、基礎工事用機械(以下、くい打機と呼ぶ)の倒壊防止について述べており、軟弱な地盤における沈下防止措置を義務付けている。また、車両系建設機械構造規格(厚生労働省告示)²⁾では、建設機械が備えなければならない安定度を機種毎に定めている。

安定度は限界傾斜角の下限値を意味し、機械が最も不利となる方向に対して満足しなければならない値である。ブル・ドーザー等ではその値を35度と高く設定する一方で、くい打機は5度となっている。すなわち、くい打機はブル・ドーザー等に比べて安定度が低く不安定な機械といえる。なお、安定度の値は水平かつ堅固な面に対する設置が前提とされている。

日本材料学会が発行するソイルミキシングウォール設計施工指針³⁾では、独自に安定度の推奨値を示している。その値は、作業時が7°以上とし、走行時は9°以上としている。この値は日本建設機械化協会ならびに、関係業界が発行するマニュアルで標準的に示されている。

欧州規格では、くい打機について2つの安全基準を示している。一つは、EN-996- Piling equipment - Safety requirements⁴⁾である。この基準では、くい打機の状況を施工時と休止時の2つに大別し、さらに両状況をそれぞれ3つに分類して、2つの指標を示している。詳細は文献⁴⁾に譲るが、この指標には作用荷重の安全率と機体の安

定度が示されている。6つの荷重状態に対する安定度(Stability angle)は自走以外の場合を5度、自走する場合は8度としている。

もう一つの基準はEN-791(1996) -Drill rigs- Safety⁵⁾である。この基準においても同様に条件を2つの作業状態、すなわち自走時と施工時に大別して次のように解説している。「移動中は、前後左右方向に対して10度以上を有し、その他の状況では5度以上を有しなければならない。安定度10度は、加速時と停止時の動的な力の作用による影響が考慮された値である」。

表1は国内外の基準を比較して示す。くい打機が備えるべき安定度は日本とヨーロッパに共通して示されている。しかし、その値には差がある。施工時の安定度は日本とヨーロッパで値が共通して5度であるが、自走時については、日本では特示していない。一方、ヨーロッパでは機種によって8度または10度であるが、いずれも、施工時に比べて大きく設定されている。

表1 くい打機の安定に関する基準の国際比較

	安定度		設置地盤	
	施工時	走行時	支持力	傾斜
安衛則と構造規格	5	5	堅固	水平
団体等の推奨値	7	9	$F_s=1.5$	1/100
EN996(Piling eq.)	5	8	—	—
EN791(Drill rig.)	5	10	—	—



写真1 転倒災害の様子

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た。しかし、機体の傾斜増加は収まらず、転倒に至ったものである。

先にも述べた通りこの地盤では浅層部分にあらかじめ安定処理が施されていた。しかし、機械を移動させた箇所は当該現場の敷地境界付近であった。敷地の外周部にはネットフェンスが設けられていた。このフェンスが安定処理の障害となったために、部分的に地盤の支持力は低い箇所が存在していた。

4. くい打機の安定条件

4.1 機械の安定度

先に述べたとおり、くい打機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。表3は本件のくい打機の諸元を示し、これに基づいて計算した機体の前方と側方の安定度を表4に示す。機体前方に対する安定度は18.4度であり、側方の安定度は11.9度であった。従って、本くい打機の安定度は規則で定める値よりも大きく、安定な条件であった。

表3 くい打機の諸元

水平方向の重心位置 (G_x)	0.62m
鉛直方向の重心位置 (G_y)	3.36m
履帯の接地面の長さ (d)	3.475m
左右の履帯の中心間隔 (S)	2.660m

表4 機体の安定度

	前方安定度	側方安定度
関係式	$\tan \theta_{sf} = \frac{L - 2G_x}{2G_y}$	$\tan \theta_{ss} = \frac{S - 2G_x}{2G_y}$
安定度	$\theta_{sf} = 18.4 \text{ 度} > 5 \text{ 度}$	$\theta_{ss} = 11.9 \text{ 度} > 5 \text{ 度}$

4.2 履帯に作用する接地圧

履帯面に働く接地圧力の計算方法が JIS⁶⁾に定められている。履帯面上に投影した重心と中心間の距離(e)の違いにより、接地圧力の分布は表5に示すような5つに分類されている。なお、支持地盤は水平かつ堅固であることが仮定されている。

この接地圧力の分布は図4に示すとおり上部構造体の旋回角度(θ)によっても変化するため、その計算では別途考慮が必要である⁷⁾。傾斜を開始した当初は上部構造体が前方を向いていたが、転倒直前には右前方約45度に旋回させていた。

本事例では履帯の長手方向に対する作用位置(e)が $\theta=0$ の時に $e > d/6$ となり、圧力分布は三角形となる。一方、 $\theta=45$ の時は $e < d/6$ であり、分布は台形となる。接地圧力の理論分布は図4のような三角形である。以上の検討に基づいて推定した最大接地圧力の値を表6に示す。

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、履帯接地圧力の最大値は146(kPa)から165(kPa)程度であったと推定された。なお、沈下によって生じる機体傾斜は転倒モーメントを増加させるため、最大接地圧力はさらに大きく生じる場合がある。

表5 重心と履帯接地圧力の関係(JIS A 8509-1:2007)

履帯の接地圧力分布	単一荷重 P (重心)の作用位置	接地圧力 (最小: σ_1 , 最大: σ_2)
	$e=0$ 中央に P	$\sigma_1 = \sigma_2 = P/bd$
	$e < d/6$	$\sigma_1 = \frac{P(1-6e/d)}{bd}$ $\sigma_2 = \frac{P(1+6e/d)}{bd}$
	$e = d/6$	$\sigma_1 = 0$ $\sigma_2 = 2P/bd$
	$e > d/6$ $c = d/2 - e$	$\sigma_2 = 2P/3bc$
	$e = d/3$	$\sigma_2 = 4P/bd$

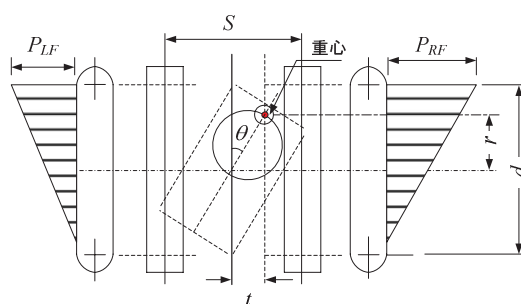


図4 履帯に作用する接地圧 ($r > L/6$ の場合)

表6 転倒時における履帯の最大接地圧力の推定値

旋回角, θ (deg)	0	45
最大接地圧力, σ_2 (kPa)	146	165

5. 現場地耐力の推定

施工現場は深さ約0.7m以深の土質が粘土であり、 q_u の値が30kPa前後の軟弱地盤であった。この粘土地盤に対する履帯の支持力(q_d)は110kPa程度と推定され、 $q_d < P_{max}$ の不安定条件であった。地表から深さ約0.7mの範囲には砂質土が存在した。セメ

ント安定処理は当初、深さ 1m までを計画したが、実際には 0.7m 程度までしか処理されていなかった。処理深さが計画よりも浅くなった原因は粘土とセメントを均一に混合することが困難なためであった。

安定処理された地盤箇所をスウェーデン式サウンディング試験により調査した。試験は転倒位置の近傍 2 地点(SWS_1 と SWS_2 の地点)と、そこから約 8m 離れた地点(SWS_3 の地点)と 10m 離れた地点(SWS_4 の地点)の計 4 地点である。

図 5 はこの試験結果に基づいて計算した一軸圧縮強さ(q_u)の分布を示す。安定処理が施された浅層部すなわち、地表から深さ 0.75m の q_u は 0.7m 以深のそれに比べて大きな増加が見られる。しかしながら、浅層部の q_u には調査地点の違いによって大きな差が見られる。

転倒付近の SWS_1 および SWS_2 による q_u は、SWS_3 および SWS_4 のそれに比べ小さく、重機を支持できない強さであった。これはセメント安定処理の深さが予定よりも浅くまた、敷地境界部は囲いフェンスが障害となって不十分な処理状態であったためである。転倒はこの境界付近で発生しており、安定処理における施工上の問題も明らかになった。

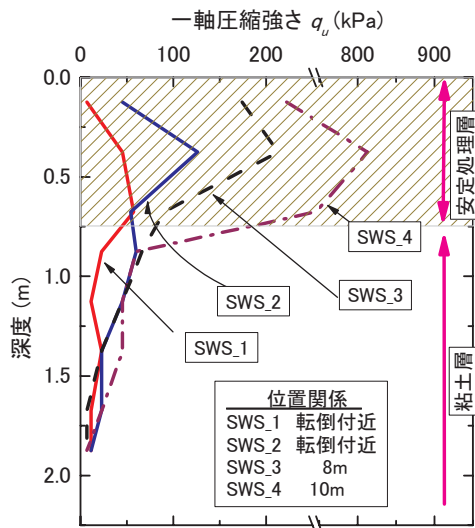


図 5 スウェーデン式サウンディング試験の結果より算出した一軸圧縮強さ (q_u) 分布

6. 転倒原因と再発防止対策の考察

くい打機は大型の建設機械であるため、その転倒は建設現場内のみならず周辺社会にも多大な影響を及ぼす。本事例の転倒原因は次の通り要約できる。

- 敷地境界付近の地盤養生が設置されたフェンスが障害となって不十分な施工となり、部分的に支持力は低い状態にあった。
- セメント安定処理による表層地盤の改良深さが計画よりも小さかった。

- 準備掘削された溝が所定よりも深く、また機械と溝の離隔も少なかった。
- 水道管の破壊により溝が湛水し、地盤を軟化させた。
- 水道管の修復後直ちに、地盤の安定性を確認せずに作業を再開した。

施工上のミスを中心に防ぐことは容易でない。しかし、準備が不十分なことにより生じた災害については、その防止は可能と考えられ、危険は低減されるべきものである。特に施工現場の支持力については養生の確実な実施により、沈下を防止できる。なお、地盤養生における安全要件とその設定レベルについては明らかでなく、事業者委ねられているのが現状であり、検討が必要である。

7. まとめ

くい打機の転倒事例を調査した。機体の諸元や作業方法ならびに地盤養生等の条件を分析し、発生原因を考察した。その結果、現場地盤は軟弱であり潜在的な危険性を有していたことがわかった。加えて施工中の水道管破損による溝の湛水トラブルも発生し、地盤を劣化させた可能性も明らかになった。さらに作業上のミスも重なり、転倒災害に至ったことがわかった。

くい打機による施工においては様々な危険要因が存在し、災害はいくつかの要因が重なって発生するものと見られる。この中で大型機械を支持する施工地盤のリスク評価は最も重要な課題と考えられ、安定設置に必要な地盤支持力や傾斜などの必要条件について今後検討したいと考えている。

謝辞：本研究は厚生労働科学研究費補助金による研究(課題番号 H19-労働-一般-005)で得られた成果⁸⁾である。関係各位に対し謝意を表します。

参考文献

- 労働調査会: 安衛法便覧 I 平成 19 年度版, p.967, 2008.
- 労働調査会: 安衛法便覧 II 平成 19 年度版, p.513, 2008.
- (社)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), SMW 掘削機械転倒防止のための重点管理基準, p.78, 2002.
- British Standards Institution: BS EN 996, Piling equipment - Safety requirements, 1996.
- British Standards Institution: BS EN 791, Drill rigs - Safety, 1996.
- (社)日本規格協会: JIS A 8509-1:2007 「基礎工事機械 - 安全 - 第一部: 杭打ち機の要求事項」, pp.20-33, 2007.
- (社)日本建設機械化協会: 移動式クレーン・杭打ち機械の支持地盤養生マニュアル, pp.9-22, 2000.
- 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, pp.3-31, 2008.