

一又はオペレータの着座位置において明確に視認できる表示に示されなければならない。すなわち、自走時と掘削時における最大許容傾斜角である。掘削中、走行中、停車中において考慮されるべき規制と特別な措置に関する詳細な事項は7.4.2項にあるオペレータに関する事項に示されている。

次に、5.5.2項では安定性の計算に関する定義が述べられている。その内容は以下の通りである。

5.5.2 Definitions for stability calculations

The following factors and symbols shall be used to calculate the stability:

G_t is the total weight of the drill rig including all equipment;

X_t is the abscissa of the total center of gravity referred to the tipping line;

Y_t is the ordinate of the total center of gravity referred to the tipping line;

α_s is the static stability angle ($\alpha_s = \arctan X_t/Y_t$);

M_w is the overturning moment of wind forces;

M_a is the overturning moment of centrifugal forces;

M_f is the overturning moment of other working forces;

$M_r = M_w + M_a + M_f$ i.e. the total overturning moment;

$M_s = G_t * X_t$ i.e. the total stabilizing moment;

$\Delta x = M_r / G_t$ i.e. the apparent horizontal displacement of the centre of gravity, equivalent to the effect of the overturning moment;

α_d is the dynamic stability angle, i.e. $\alpha_d = \arctan(X_t - \Delta x) / Y_t$

Note: Tipping lines are defined in 3.10 and also shown in figure 2 to 6. The stability angles are illustrated in figure 7.

5.5.2 安定性計算のための定義

以下の変数とシンボルを安定性の計算に使用するものとする:

G_t はすべての設備を含むくわい打機の全重量である。

X_t は転倒支線に対する全重心の水平の座標(距離)である。

Y_t は転倒支線に対する全重心の高さの座標である。

α_s は静的安定度($\alpha_s = \arctan X_t/Y_t$)である。

M_w は風力による転倒モーメントである。

M_a は遠心力による転倒モーメントである。

M_f は他の作用荷重による転倒モーメントである。

$M_r = M_w + M_a + M_f$, すなわち, 全転倒モーメント,

$M_s = G_t \times X_t$, すなわち, 全安定モーメント,

$\Delta x = M_r / G_t$, すなわち, 転倒モーメントの効果と同等な重心の見かけの水平変位,

a_d は動的安定度, すなわち, $a_d = \arctan(X_t \Delta x) / Y_t$

注意: 転倒支線は, 3.10 節で定義されるとともに, Figure の 2~6 に示されている. 安定度は Figure 7 に図示されている.

ここで, 静的安定度(a_s)と動的安定度(a_d)が定義されており, a_s は全重心と転倒支線を結ぶ線と鉛直軸のなす角であり, EN-996 と同じである. 一方, a_d は新たに定義された指標であり, 機体に働く 3 つの水平力を定義して考慮している.

注意(Note)で参照する Figure 2 から 7 を以下に示す. 図 3-2-2(EN-791 の Figure 2 に対応)と図 3-2-3(EN-791 の Figure 3 に対応)はホイール式走行体を有するくい打ち機の自走時における転倒支線(Tipping line)を示している.

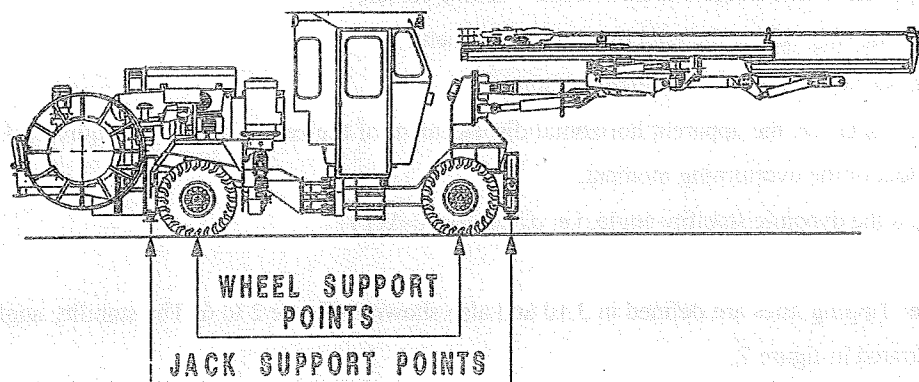


Figure 2. Wheel mounted drill rig

図 3-2-2 ホイール式走行体に搭載されたくい打機
(EN-791 における Figure 2. Wheel mounted drill rig)

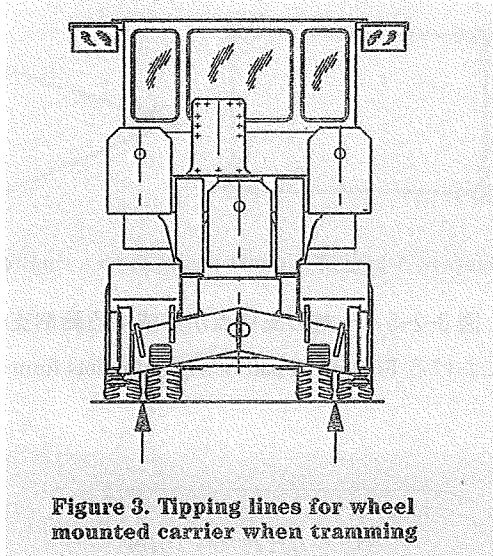


図 3-2-3 ホイール式下部走行体を有するくい打機の自走時における転倒支線
(EN-791 における Figure 3. Tipping lines for wheel mounted carrier when tramming)

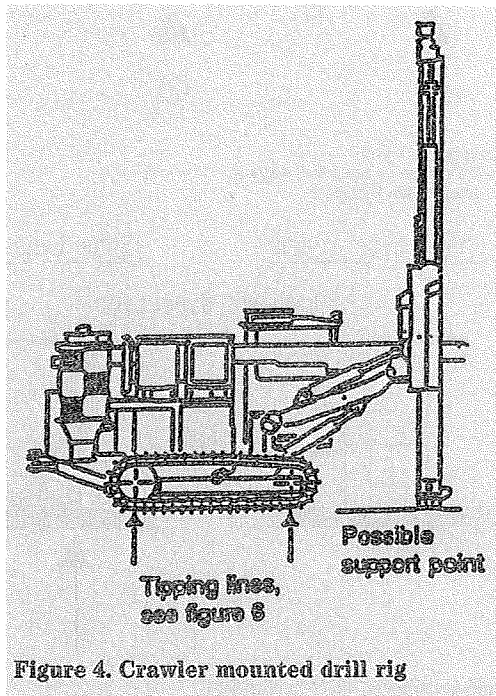


図 3-2-4 履带式下部走行体を有するくい打機の転倒支線
(EN-791 における Figure 4. Crawler mounted drill rig)

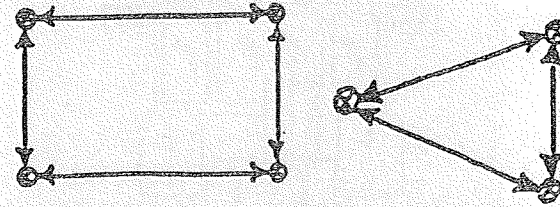
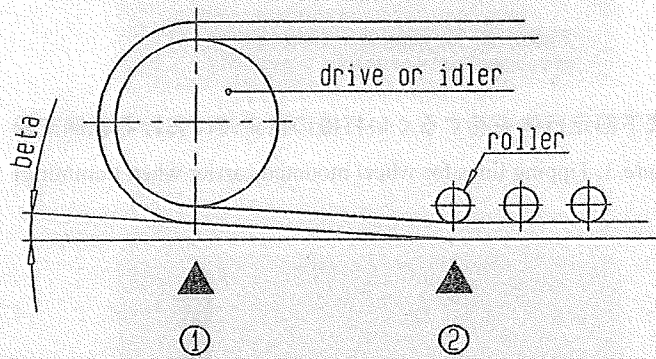


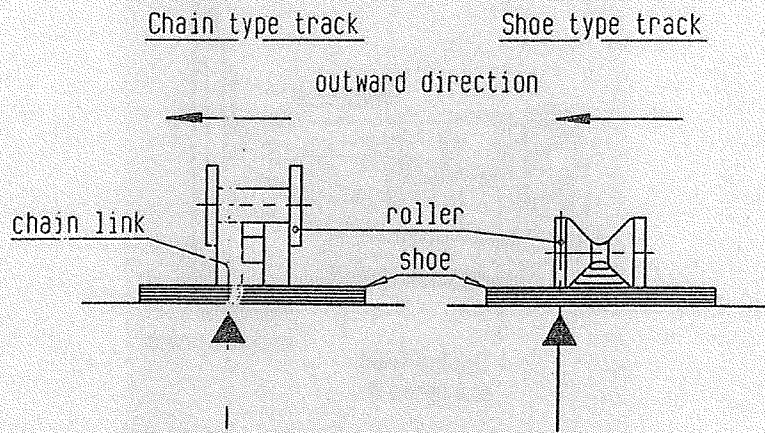
Figure 5. A pair of support points form a tipping line

図 3-2-5 一对の支持点が形成する転倒支線

(EN-791 における Figure 5.A pair of support points form a tipping line)



a) Tipping line in direction of travel
 Choose ① if beta is lower than or equal to 2 degrees.
 Choose ② if beta is greater than 2 degrees.



b) Tipping line perpendicular to the direction of travel

Figure 6. Tipping lines of crawlers

図 3-2-6 履帯における転倒支線

(EN-791 における Figure 6. Tipping lines of crawler)

図 3-2-4(Figure 4)は履帯式のくい打ち機について転倒支線(Tipping line)を示している。また図 3-2-5(Figure 5)は支持点の組合せによって構成される転倒支線を示している。

図 3-2-6(Figure 6)は下部走行体が履帯式の場合について、前後左右の転倒支線を詳細に解説している。補助輪の接地面に対する駆動輪あるいは従動輪の接地面の高さの相対的な高さ条件により、転倒支点は異なる。接地面を結ぶ線と水平面のなす角が 2 度を闊として、転倒支点の選択は分けなければならないことを述べている。

図 3-2-7(Figure 7)では先に述べた静的と動的の 2 つの安定度が図で示されている。なお、文中で参照している 3.9 節と 3.10 節では安定度と転倒支線について、以下の通り定義している。

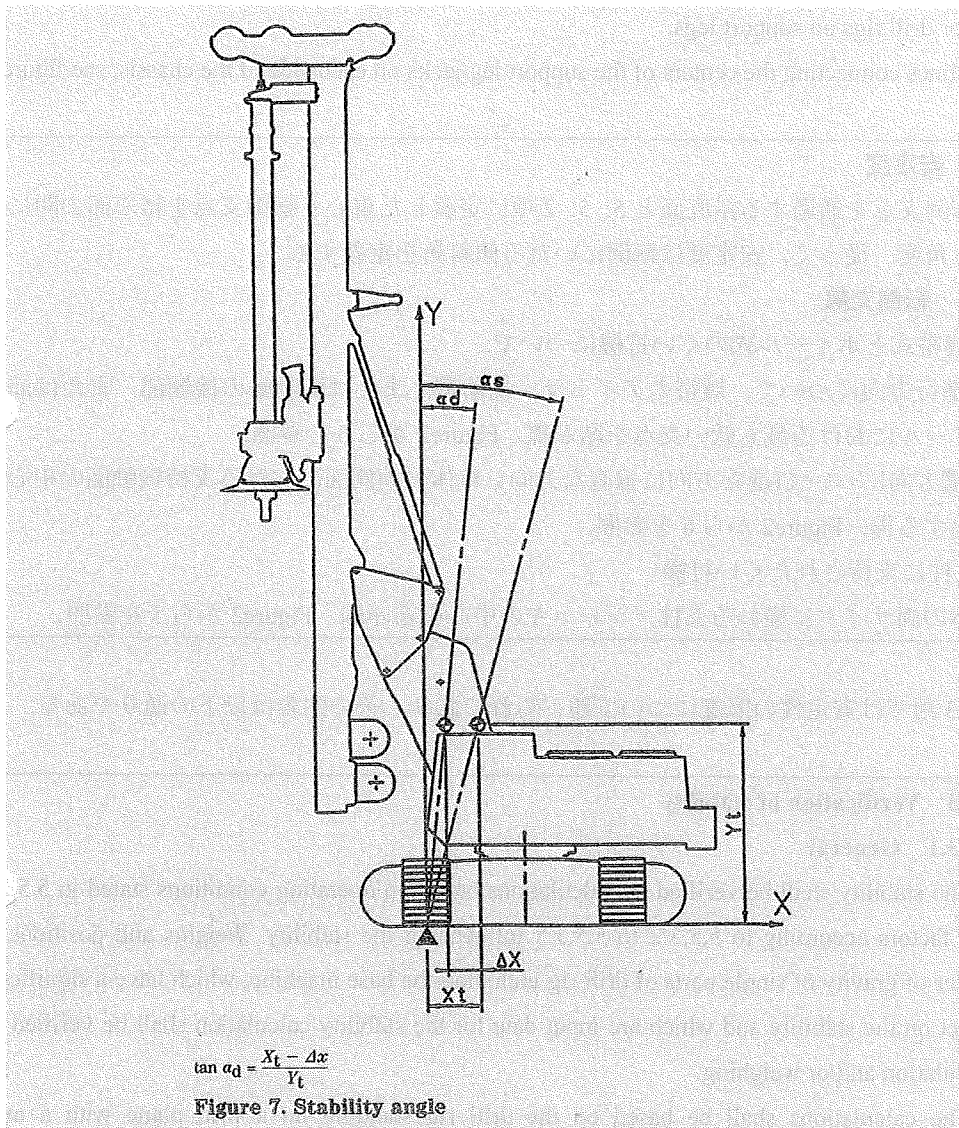


図 3-2-7 安定度(Figure7. Stability angle)

3.9 Stability angle

The angle between the vertical plane, passing through the tipping line and the plane passing through the center of gravity, displaced as defined in 5.5.2 and the tipping lines. The stability angle thus defines the tilt angle to overturning.

3.10 Tipping lines

a) For drill rigs, crawler and wheel mounted:

- 1) in the direction of travel, the lines connecting the lowest support points of contact of the idlers, rollers or the drivers of the tracks or the front wheels, see figure 2 to 6;
- 2) In sideward direction (perpendicular to the direction of travel) , the lines passing through the center of the support contact area on each side of the chassis, see figure 2 to 6.

b) For drill rigs on support legs;

The lines connecting the centers of the support leg/jacks on each side of the chassis, see figure 2 to 5.

3.9 安定度

転倒支点を通過する鉛直面と 5.5.2 項に定義した重心と転倒支点を結ぶ面の間にできる角度。従って、安定度は転倒にいたる傾斜角を定義する。

3.10 転倒支線

a) 履帯式とホイール式のくい打機について:

- 1) 進行方向について、履帯のアイドラ、補助輪、または駆動輪の接触部、または前方ホイールにおける最も低い支点を結ぶ線。Figure2 から 6 を参照。
- 2) 横方向について(進む方向に垂直な方向)、車体の両側面における支持接触面の中心を通過する線。Figure2 から 6 を参照。

b) 支柱に支持されたくい打機

車体の両サイドに備わる支柱/ジャッキの中心を結ぶ線。Figure2 から 5 を参照。

5.5.3 項では安定性の照査について述べられており、その内容は以下の通りである。

5.5.3 Verification of stability

5.5.3.1 General

The stability shall be verified by calculations based on operating conditions stated in 5.5.3.6 and factors according to 5.5.3.2 to 5.5.3.5 influencing the stability. Weights and positions of center of gravity of single parts of drill rig including the base machine, which have a significant effect on the stability and which are input data for the stability calculation shall be verified by calculation and/or weighing.

The calculations shall be based on the drill rig standing on a firm plane with a mast

inclination as specified and stated in the operator's instructions and for the tipping line giving the lowest stability.

5.5.3.2 Center of gravity

The position of total center of gravity (X_t, Y_t) and the total weight, G_t , shall be measured by testing or calculated using the center of gravity and weights of all parts of the drill rigs.

In the case when a single main part is movable, the calculation shall be based on the position giving the condition of lowest stability, e.g. the rotary drive in its highest position, drill rig mast positioned as far out as possible and having its greatest forward inclination as specified in the operator's instructions.

For drill rigs with oscillating tracks the displacement of the center of gravity of the drill rig at the limits of the oscillating movements shall be taken into account in the stability calculations.

NOTE: the final tipping lines remain the same as defined in 3.10.

5.5.3 安定性の照査

5.5.3.1 一般

安定性は 5.5.3.6 項に示した作業状態及び安定性への影響に関する 5.5.3.2 項から 5.5.3.5 項に基づく要因に基づいた計算によって照査するものとする。下部走行体を含むくい打機を構成する部材の重さと重心位置、すなわち安定性に多大な影響を及ぼすもの及び安定解析に入力すべきデータは解析及び計量によって明らかにされなければならない。

計算はオペレータの指示書に明示されたマスト(リーダー)の傾斜角を有して堅固な面に設置され、そしてもっとも安定性が低くなる転倒支線におけるくい打機に対するものである。

5.5.3.2 重心

総重心(X_t, Y_t)の位置と全重量(G_t)は試験による測定あるいは、くい打機の構成する全ての部材の重心位置と重さに基づく計算によって得られるものとする。

なお主要な一部材が可動なもの場合は、計算は最も安定性を低く与える設置位置に基づいて計算するものとする。例えば、最も高い位置に設置された回転貫入装置、可能な限り離れた位置に設置されたマスト(リーダ)、そしてオペレータ指示書に記載されたなかで最大の前方傾斜角を与えたマストの状態である。

凸凹した走行路におけるくい打機については、最大揺動におけるくい打機の重心の変位が安定計算に考慮されなければならない。

注意： 最終的な転倒支線は 3.10 節で定義されたものと同じである。

安定性を照査する場合に考慮すべき要素が述べられるとともに、マストの傾斜に関する記述と設置地盤は堅固とすべきことを述べている。重心についてはその座標を変動させる要因が述べられている。加えて、自走路の凹凸による機体揺動とそれに伴う傾斜を

安定計算に考慮すべきことが述べられている。

以下では 5.5.3.3 項に動的荷重, 5.5.3.4 項に風荷重, 5.5.3.5 項にその他の作業荷重について述べている。

5.5.3.3 Dynamic forces

For drill rigs having a tunable superstructure, the centrifugal force which acts on the center of gravity of the rotating masses, shall be taken into account in the calculation of stability.

5.5.3.4 Wind force

The wind force shall be taken into account in the stability calculation. The wind force shall be assumed to act on the drill rig, including stacked drill rods and other equipment, adding to the overturning moment. The wind forces shall be calculated according to clause 4 of ISO 4302:1981. The dynamic air pressure, q , from the wind shall be chosen as follows.

While drilling:

- $q=250\text{Pa}$ (corresponding to a wind speed of 20 m/s)

under parked and out of services conditions:

- $q=800\text{Pa}$ (corresponding to 36 m/s) for areas up to 20m above ground;

- $q=1100\text{Pa}$ (corresponding to 42m/s) for areas between 20m and 100m aboveground.

For off-shore applications:

- $q=1650\text{Pa}$ (corresponding to 49m/s).

5.5.3.5 Other working forces

Other working forces that can influence the stability shall be taken into account when calculating the stability e.g.:

- The winch force between drill mast and drilling tool in the bore hole. The drill string and tool shall not be regarded as a support when only a rope is being used for pulling up the drilling tool;
- In the case of drilling down, the drill string may be considered as a support;
- In the case of upwards drilling it shall be checked that the available feed forces do not make the rear part of the drill rig lift.

5.5.3.3 動的な力

上部旋回体を有するくい打機については、慣性質量の重心に働く遠心力を安定性の計算に考慮しなければならない。

5.5.3.4 風荷重

風荷重は安定性計算で考慮にされるべきものである。風力は転倒モーメントとなつてくい打機本体に働く荷重, 及び掘削装備およびその他の装備に働く荷重を想定するものである。風荷重は ISO4302 : 1981 の第 4 章に従って計算されるものとする。風による

動的な風圧力, q は以下の通り選択するものとする.

掘削中:

- $q=250\text{Pa}$ (風速 20m/s に対応)

駐機中あるいは休止中

- $q=800\text{Pa}$ (風速 36m/s に対応)地上 20m 以上の高さ

- $q=1100\text{Pa}$ (風速 42m/s に対応)地上 20m から 100m の高さに対応

海岸地域における適応について:

- $q=1650\text{Pa}$ (49m/s に対応する).

5.5.3.5 その他の外力

安定性に影響を及ぼすその他の作業荷重は安定性を計算するときに考慮されなければならない. 例えば:

- 掘削坑内にある掘削器具とマスト(リーダ)の間において, その引き上げ時に働く荷重. 掘削器具のつり上げに使用すれ用具がロープのみの場合は, 掘削器具とそのつり下げワイヤを支持器具とはみなさない.
- 掘削を行っている場合では, つり下げワイヤを支持器具と見なす場合がある.
- 上向きの掘削の場合は, 有効な送り分力が掘削器具の後部に持ち上げる力を与えないか確認が必要である.

上部旋回体を有する機械に対して旋回に伴う遠心力の考慮が述べられている. さらに, 風荷重については風速と風圧力の関係が定量的な値で示されており興味深い. その他の外力についてはワイヤでつり下げた掘削装置による荷重の取り扱いについて, 作業状況毎に示している.

次に, 作業条件について, 施工時, 移動時そして斜面における施工時に大別して安定性の考慮に必要な条件を述べている.

5.5.3.6 Operating conditions

The stability of the drill rig shall be calculated for the following operating conditions which shall be stated in the operator's instructions.

a) Working

The calculation shall be carried out for the most unfavorable combination of conditions that may occur (see examples bellow):

- Booms, service platforms and feed extension in advanced positions and turned to the limit of the working area. The rated load shall be applied to the services platform;
- Steering turned in the extreme and most unfavorable position (articulated carrier)
- Mast at the utmost front upward position and maximum forward mast inclination;

- Attachments at their highest position;
- Most unfavorable choice of tipping line;
- Wind coming from the most unfavorable direction;
- Centrifugal forces applied to the superstructure;
- Maximum pulling forces on the rope suspended tool in the bore hole.

The effect of overturning moments is equivalent to, and can be taken into account as, an apparent horizontal forward displacement Δx of the total center of gravity of the drill rig.

The total apparent displacement of the center of gravity is expressed as follows:

$$\Delta x = (M_w + M_a + M_f) / G_t$$

Where the moment due to wind, centrifugal and other forces are calculated in the most unfavorable simultaneous combination that may occur as foreseen in the operation's instructions. The stability angle is calculated :

$$\tan \alpha_d = (X_r - \Delta x) / Y_t$$

b) Tramming

Stability in tramming shall be calculated for the specified conditions as stated in the operator's instructions, taking into account the most unfavorable case.

c) Working on slopes

The stability calculations shall be done for the most unfavorable as allowed in the operator's instruction.

5.5.3.6 操作条件

くい打機の安定性は、オペレータの指示書に記載されている通り、以下の操作条件について計算されるものである。

a) 施工時

安定性計算は、起こりうる最も不安定状況の組み合わせに対して行うものとする(以下に例を示す):

- 作業領域内における初期位置から最大位置までにブーム、作業用プラットフォームと送り用具を伸張させた状態。定格荷重はサービスプラットフォームに適用される。
- 最も不安定な位置に操舵されたとき(連結式装置)
- 最も前方位置にマストを位置させた状態、及びマストに最大傾斜を与えた状態
- 付属設備が最大高さにある状態
- 転倒支線が最も好ましくない状況
- 最も好ましくない方向からの風
- 上部旋回体に働く遠心力
- 掘削項内に器具がロープでつり下げられた状態で働く最大の引っ張り力

転倒モーメントの影響は、くい打機の全体重心の見かけの前方変位 Δx と同等なものとして考慮することができる。全体の重心の見かけの変位は、以下の通りに表される：

$$\Delta x = (M_w + M_a + M_f) / G_f$$

ここで、風、遠心力およびその他の外力によるモーメントはオペレータの指示書において予見されうる最も好ましくない状況を組み合わせによる計算である。

安定度は次式によって計算される：

$$\tan a_d = (X_f - \Delta x) / Y_f$$

b) 移動時

移動時の安定度は、オペレータの指示書において特別な状況、すなわち最も好ましくないケースを考慮した状況に基づいて計算するものである。

c) 斜面施工時

安定性の計算はオペレータの指示書に示されている最も不利な条件に対して実施するものとする。

次に 5.5.3.7 項では安定性に影響するマスト部の傾斜計測について述べ、5.5.3.8 では荷台やトレーラに取り付けられたタイプのくい打機の安定性について述べている。

5.5.3.7 System for the measurement of inclination as regards stability

For checking the stability under tramming condition and whilst working with a capacity table, the drill rig shall be equipped with a measuring system e.g. and inclinometer. The measuring system shall show the operator the actual absolute forward, backward and lateral inclination of drill mast (when this is relevant to the stability). If major parts of the drill rigs can be moved horizontally and this has an effect on the stability, the operator shall be able to determine the position of these parts from the operator's position.

A simple system for measuring the absolute inclination of the drill rig shall be provided, e.g. a bubble level or pendulum system.

5.5.3.8 Stability of truck and trailer mounted drill rigs.

In addition to the above mentioned criteria the following shall be considered. When a drill rig and its auxiliary equipment is mounted on a truck or trailer chassis, the weight distribution, axle and tyre loading shall be within the limits specified by the vehicle manufacture.

Consideration shall be given to the effect of the vehicle suspension.

5.5.3.7 安定性に関する傾斜計測のためのシステム

移動中及び許容荷重内での作業中におけるくい打機の安定性の確認のために、くい打機には計測システムを備えるものとする。例えば傾斜計である。計測システムはオペ

レータにマスト(リーダ)の正確な前方, 後方及び側方の絶対傾斜角を示すものである。(これが安定性に関連しているとき) もし, 主要なくい打機の部材が水平移動可能でこれが安定性に影響を持つ場合は, オペレータはそれらの部材の位置を着座位置から決定することができるようであればならない。くい打機の絶対傾斜を測定する簡単なシステムの一つとして, 例えば気泡型の水平指示器や振り子型装置がある。

5.5.3.8 トラックおよびトレーラに取り付けられたくい打機の安定性

上述の基準に加えて, 以下の事項を考慮するものとする。くい打機とその補助装置がトラック又はトレーラの車体に取り付けられる場合は, 重量分布, 車軸と車輪の荷重分布が車両製造者によって示された限界以内とするものとする。

次の 5.5.4 項では履帯面に生ずる圧力分の計算について述べている。その内容は先の EN-996 と同じである。

5.5.4 Ground pressure, calculation for crawler mounted drill rigs

5.5.4.1 General

For crawler mounted drill rigs the highest ground pressure which can occur shall be calculated according to 5.5.4.2 for the operating conditions according to 5.5.3.6. The values shall be stated in the operator's instructions.

5.5.4.2 Calculation of ground pressures

The calculation of the maximum ground pressure that can occur in the contact point between tracks and ground shall be carried out in accordance with figure 8. The total vertical resultant force, see 3.11, in its point of application, shall be divided into single loads, P , on each track according to the position of the resultant force.

----- Omission -----

5.5.4 クローラを下部走行体に有するくい打機の接地圧力の計算

5.5.4.1 一般

クローラが備わるくい打機にて生じうる最大接地圧力は, 5.5.3.6 項による操作条件について 5.5.4.2 項に従って計算されるものとする。その値はオペレータの支持書に明示されるものとする。

5.5.4.2 接地圧力の計算

履帯と地面の間で接触点に生ずる最大接地圧力の計算は Figure8 に従うものとする。履帯面上における鉛直荷重の作用分布は 3.11 節に従って, 合力の単一荷重 P が作用する位置により分類される。

----- 省略 -----

3.3 安全基準の国際比較と要点

安定度(the stability angle)はくい打機の転倒を防止するうえで重要な基準の一つである。安定度は国内外の基準において定められているが、その値と適用条件には差も見られた。表 3-3-1 は欧州規格である EN-996(Piling equipment-Safety requirements)と EN-791(Drill rigs-Safety)及び厚生労働省告示である車両系建設機械構造規格の内容を比較して示す。

EN-996 と EN-791 では共通して走行時の値を施工時に比べて大きく設定している。自走時のくい打機は施工時に比べて不安定であり、安定性を高くしなければならないことを示している。なお、両 EN 規格の自走時における安定度の値は異なっており、機種により差も与えられている。

なお、EN-996 では走行時の安定度 8 度について次のような注釈も示している。

Value of α can be reduced to 5 deg if travelling on paved surfaces or bearing plates / timbers.

すなわち、舗装面ならびに敷鉄板や敷板で養生された支持地盤を自走する場合は安定度の(最低基準)値(α)を(施工時と同じ)5 度に減ずることができるとしている。

我が国の構造規格で規定する安定度の値は 5 度が採用されているが、この値は欧州規格が限定する「水平かつ堅固」な条件に一致したものである。これは、労働安全衛生規則第 173 条において沈下防止措置の実施を義務づけていることにも合致する。しかし、EN-996 は地盤状態が良好な場合に安定度の条件を緩和しても良いことを述べているとも見られ、現場地盤が舗装路面や水平堅固でない限り、安定度を 5° に低減することはできないと言っているようにも思われる。

表 3-3-1 転倒防止に係る安全基準の比較

	安定度(deg)			
	安全基準		推奨値	
	施工時	走行時	施工時	走行時
日本	5		7	9
EN-996	5	8		
EN-791	5	10		

また、欧州規格には我が国の基準では述べていない詳細な規程が多く含まれている。なかでも、転倒支線(Tipping line)の明確化と動的安定度(Dynamic stability angle)の考えの導入は特徴的なものと思われる。

転倒支線を補助輪(roller)かあるいは駆動輪(drive)または従動輪(idler)のいずれかにするかは接地面とのなす角度によって変わることを述べている。すなわち、補助輪の接地面と駆動輪あるいは従動輪の接地面を結ぶ線と水平面のなす角の大きさが 2 度よりも大きい場合は補助輪を転倒支線とし、小さい場合は駆動輪あるいは従動輪を転倒支線とするものであ

る。我が国の構造規格にはこの点についての記述はない。JIS では最も不利となる転倒支線の選択を述べているが、いずれに車輪を選択するかは事業者に委ねられているのが現状のようである。

動的安定度は、転倒支点に対する重心位置の関係から求まる安定度について、さらにその値を減じて機体をより安定化させるための追加的な指標の値と言える。静的な安定性の指標である「安定度」から、動的な不安定性の指標である「動的安定度」を差し引いて、実質的な安定度を求めさせている。そして、この値が基準の安定度を満足したうえで、くい打機は使用されなければならないことを定めている。

動的な不安定要因には、「風荷重」、「遠心力」そして「その他の作業荷重」が考慮されている。風荷重は施工条件や地域に応じて値が規定されている。遠心力は上部旋回体の旋回に伴って発生する荷重である。その他の作業荷重は、掘削機械を引き抜く際に生じる荷重やその他の安定性に影響を及ぼす荷重を考慮しなければならないと述べている。我が国の構造規格では、動的安定度に類する要因の考慮は述べられていない。なお、「機械の包括的安全対策に関する指針」においては、転倒に必要な措置の実施を述べており、我が国においても今後より安全性を向上させる必要がある。

以上より、我が国の安全基準に示された安定度をはじめとするその他の基準は、最低限満足されなければならないものであり、その意味では欧州規格にも一致することがわかった。しかしながら、欧州基準ではさらに、実施上の要件や適合条件を詳細に示しており、基準を満足させるための検討がわかりやすく示されていることもわかった。結果的に欧州の使用者にとっては、安全の確認作業が少し煩雑なものとなっている可能性はあるが、災害の防止に有効な規制のもとでくい打機が使用されている。その意味では、日本の安全に関する検討は製造者や使用者の自主的な判断に多くが委ねられており、内容がブラックボックス化しているような懸念も持った。

転倒事故の発生が多い自走時の安定度については、欧州基準で閾値を高く設定して示している。しかしながら、自走時の不安定要因については、動的安定度のように項目が明示されていない。その結果、作業時の安定度に比べて自走時の安定度は、現在の基準値で十分に達成されているかは疑問も残る。くい打機は掘削や盛土された現場内を移動して作業する。そのため、支持力の不均一さや起伏により揺動が発生しやすく、転倒の危険性は静止時に比べて高い。従って、自走時の安全基準については、その転倒危険性を解明して適切に余裕を加算する必要がある。しかしながら、この危険要因とその影響や効果については明らかでなく、解明の必要がある問題と言える。また、機械側の条件については詳細な記述が見られるものの、地盤側の安全条件については、国内外において多くは触れられていない。地盤養生も事業者委ねられているのが現状のようであり、方法は経験的に判断されている場合が多い。従って、転倒危険性に与える地盤側の要件についても解明が必要なのことがわかった。

3.4 まとめ

(1) 国内における安全規則

くい打機の転倒防止に関する安全基準等を調査した結果、我が国では以下に示す4つの基準等が定められている。

1. 労働安全衛生規則
2. 車両系建設機械構造規格
3. 日本材料学会 ソイルミキシングウォール設計施工指針
4. 日本工業規格 JIS A 8509-1

労働安全衛生規則では、くい打機の倒壊防止を述べており、軟弱な地盤における沈下防止を義務付けている。しかしながら、支持力や、沈下の閾値についてはふれておらず、安全の判断は事業者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、建設機械が備えなければならない安定度について機種毎に定めている。ブル・ドーザー等の安定度は35度と高く設定する一方で、くい打機では5度となっている。従って、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ことがわかった。なお、安定度の値は「水平かつ堅固」な面に対する設置が仮定されている。

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。

日本工業規格では、くい打機の履帯面上に生ずる載荷圧力分布の形状とその最大値(σ_2)の計算方法が日本工業規格のJIS A 8509-1に定められている。機体重心の水平偏心量(e)と履帯諸元の相対的な関係に基づいて載荷圧力分布は5種類に区分されている。なお、設置条件については構造規格と同様に水平で堅固な地盤が仮定されている。

(2) 国外における安全規則

くい打機に関する安全基準の調査が欧州規格(European norm)に示されている。

1. EN-996(1996) -Piling equipment-Safety requirements
2. EN-791(1996) -Drill rigs-Safety

この2つの基準は欧州各国で基準として採用されており、英国のBS、ドイツのDIN、オランダのNENなどに同様な内容で記述され用いられている。

EN-996(1996) -Piling equipment-Safety requirements では、くい打機の安定条件について、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。

EN-791(1996)-Drill rigs-Safety では、2つの作業状態（自走時と施工時）についてくい打機の安定度を以下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ている」。

以上より、EN-996とEN-791に示された安定度の値は、自走時とそれ以外の状態に区分されている。両ENにおいては、自走時における安定度の値が、それ以外の状態に比べて大きい。しかしながら、この自走時における安定度の値には、両ENで若干の差も見られた。

(3) 国内と海外の法令規則の比較

安定度(the stability angle)はくい打機の転倒を防止するうえで重要な基準の一つである。安定度は国内外の基準に定められているが、その値と適用条件には差も見られた。我が国の安全基準に示された安定度をはじめとするその他の基準は、最低限満足されなければならないものである。従って、その意味では欧州規格と値は一致する。しかしながら、欧州基準ではさらに、実施上の要件や適合条件からレベルに応じた値などを詳細に示しており、基準を満足させるための検討がわかりやすく示されている。

転倒事故の発生が多い自走時の安定度については、欧州基準で閾値を高く設定して示している。しかしながら、施工時における動的安定度のように自走時の不安定要因は示されておらず、閾値だけを高く設定している。従って、閾値の差によってもたらされる安全の効果が十分なものは明確でなく、再確認する必要がある。また、自走時の転倒に与える危険要因とその影響程度は明らかでなく、解明の必要がある。また機械側の条件には詳細な記述が見られるものの、地盤側の安全条件については、国内外において多くは触れられていない。その結果、地盤養生は事業者任せられている現状も見られ、地盤工学的な危険性の解明も必要であることが明らかになった。

3.5 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) (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.
- 4) (社)日本規格協会：JIS A 8509-1:2007 「基礎工事機械－安全－第一部：くい打機の要求事項」, pp.20-33, 2007.
- 5) British Standards Institution：BS EN 996, Piling equipment - Safety requirements, 1996.
- 6) British Standards Institution: BS EN 791, Drill rigs – Safety, 1996.

第4章 実大現場実験

4.1 実験の概要

実大走行実験は東京国際空港国際線地区エプロン等整備等事業が行われているエリアの南西にて実施した。本実験では走行路の地盤条件と機体に生じる挙動の関係を明らかにするために、水準測量と平板載荷試験をはじめに実施した。次いで走行路に敷鉄板を敷設した後、くい打機械を自走させ、機体に生じる加速度応答を後述する3個所で計測した。実験を行った場所を図4-1-1に示す。本事業では、ピーク時に20機を超えるくい打機械が稼働しており、工事は24時間体制で行われていた。工事の様子を写真4-1-1に示す。

写真4-1-2は走行路を撮影したものである。走行路には1.8m間隔で小さな金属製の杭が設置してあったため、本研究では図4-1-2に示すようにNo.1-a~No.32-dと番号をつけて、水準測量の測点とした。図中には現場密度試験と平板載荷試験を実施した地点も示している。現場密度試験および平板載荷試験の詳細については後述することにする。



図4-1-1 東京国際空港国際線地区エプロン等整備事業A工区と実験現場



写真 4-1-1 東京国際空港国際線地区エプロン等整備事業の A 工区の様子

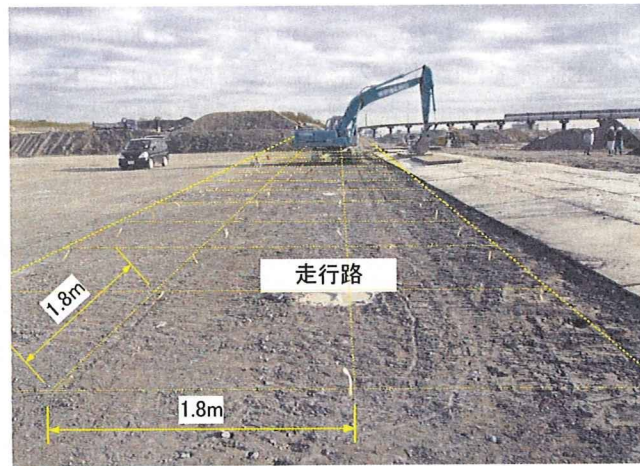


写真 4-1-2 走行路

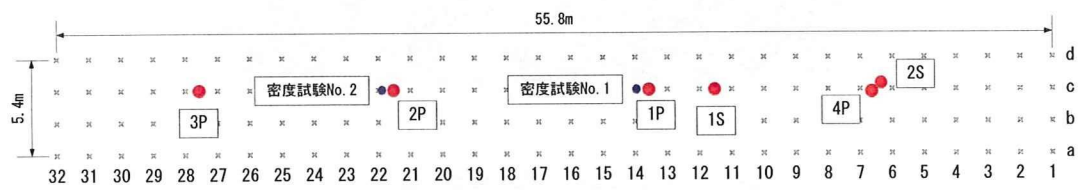


図 4-1-2 走行路の概略図 (P, S: 平板載荷試験)

4.2 現場密度試験

4.2.1 現場密度試験の概要

現場密度試験¹⁾の基本的な測定項目は密度と含水比であり、密度は体積と質量を測定することで求められる。土の体積を直接測定することは困難であるため、様々な工夫がされている。これが現場密度試験の大きな特徴であり、測定する上で人為的な誤差が入りやすい部分でもある。

現場密度試験には、砂置換法、突き砂法、水置換法等の方法がある。本実験では、最も標準的な砂置換法によって現場密度を測定することにした。

4.2.2 試験器具および試験用砂

(1) 試験器具

密度測定器はジャーとアタッチメントからなる。写真 4-2-1 にそれぞれの写真を示す。ジャーは、容量約4リットル、高さ約200mmの透明プラスチック製瓶で、瓶の先端がアタッチメントに接続できるようになっている。アタッチメントはピクノメータートップと漏斗、バルブが一体となった金属製のものである。また、写真 4-2-2 はベースプレートである。



写真 4-2-1 ジャー（左）およびアタッチメント（右）



写真 4-2-2 ベースプレート

(2) 試験用砂

試験用砂は、JIS Z 8801 に『標準網ふるいの呼び寸法 2mm を通過し、75 μ m に残留する粒径範囲のもので、水洗いして十分に乾燥した砂とする』と規定されている。本研究では、試験用砂に豊浦砂を採用した。