

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員 〇野村由司彦

正員 有岡 良祐

梅津 孝雄

1. まえがき 筆者らは、粒度分布のよい山砂を対象として、先端が閉そくされた貫入体の大地に水平な方向の貫入について、砂地盤の密度、土被、貫入体直径と先端抵抗力との関係を模型実験によって検討した結果を前回の大会で報告した。本報告では、土被が貫入体直径の数値程度で浅い時に現れる“地表面にズリ上りを発生させて貫入する”変形機構について理論的に検討を行ったもので、貫入体前面に砂粒子塊から成る掘削刃先が生じていること、貫入体先端から地表まで左右に一定の広がりをもち、前方に円弧状のすべり面をもつ4分の1球に似た形状の土塊が円弧すべり面上も全般的に断破壊していること、および、せん断抵抗が粒子間の摩擦力のみであることを仮定し、受動土圧論を適用して実験結果を理論的に明らかにした。

2. 実験結果 実験には乾燥砂を用い、表1にその特性を示す。さらに、この山砂の摩擦角 ϕ と乾燥密度 γ 、せん断面に働く垂直応力 P との関係を三笠式一面せん断試験によって求め、

Specific gravity, G_s	2.45
Uniformity coefficient, U_c	2.92
Effective grain size, D_{10}	0.11
Roundness	0.2

次式を得た。 ϕ :[$^\circ$] , γ :[g/cm^3] , P :[kg/cm^2]

$$\phi(\gamma, P) = (-4.6 + 61.1 \gamma^2) \cdot (52.2 - 0.039 P) / 51.9 \quad (1)$$

次に、水平貫入試験によって、「疎」の場合($\gamma=1.63 g/cm^3$, 自然堆積)、「密」の場合($\gamma=1.53 g/cm^3$, $3.5 kg/cm^2$ の圧力で加圧)について、 $F-H'(=H+D)-D$ の関係、および力の相似比 F^* と長さの相似比 D^* との関係として式(2)~(4)を得た。 $F=0.767(H')^{0.777}D^{0.411}$, $F^*=(D^*)^{2.58}$ (「疎」, $H/D > 2$ の場合で、ズリ上りが生じない) (2)

$$F=0.157(H')^{0.88}D^{0.71}, F^*=(D^*)^{2.57} \quad (「疎」, $H/D < 2$ の場合で、ズリ上りが連続的に生じる) \quad (3)$$

$$F=0.317(H')^{2.02}D^{0.86}, F^*=(D^*)^{2.98} \quad (「密」の場合で、ズリ上りが断続的に生じる、写真1参照) \quad (4)$$

式(2)~(4)に示すように、ズリ上りが生じない場合、 F は H' の約1乗と D の約2乗に比例し、ズリ上りが生じる場合は、逆に、 F は H' の約2乗と D の約1乗に比例することと、どのような変形機構でも力の相似比と長さの相似比との関係が等しいことを明らかにした。

3. 理論検討

(1) 概説 ズリ上りが生じる場合について、 $F-H'-D$ の関係について理論検討を加えた。図1に示すように、貫入体先端に砂粒子塊から成る、にげ角 0° の掘削刃先が生じ、この掘削刃先によって図1に示す土塊が掘削刃先上面 $ABCB'$ と、 CD に代表されるすべり面上で受動土 (写真1, 断続的なズリ上りの発生, 「密」, $D=3.75$ cm, $H=15$ cm) 圧状態で全般的に断破壊するという変形機構を仮定した。この変形領域の $Y-Z$ 断面は右上、左上へ一定の角度 α をもつ直線から成り、 $X-Z$ 断面は刃先から地表面に達する円弧すべり面から成る。なお、円弧の中心が地表面下にある場合、 $X-Z$ 断面は図2 α_0 のようになると考えた。

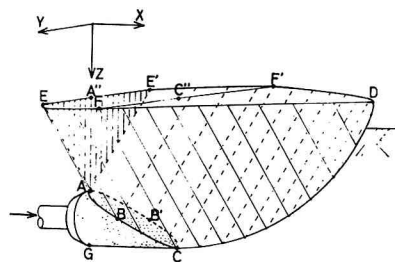
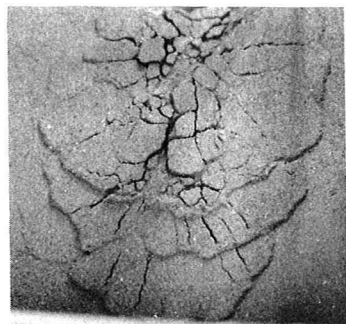


図1. ズリ上りが生じる場合の変形機構

(2) 数値計算法 以下の手順により、 F の数値計算を行った。

a) 定数の値を与える。砂地盤の密度 γ 、貫入体直径 D 、土被 H 、ズリ上り面の広がり角度 α 、地表面隆起高さ $G_2(H+D)$ 、力の作用点の貫入体底面からの高さ $(1-C_1) \cdot D$ 、式(1)から得られる $\phi=C_1-G_2 \cdot P$ なる式における C_1 , G_2 の値。

b) 次の変数の初期値を与える。掘削刃先の刃物角 ($180^\circ - \theta$)。円弧すべり線の円弧中心位置 (X_0, Z_0)。掘削刃先上面での摩擦角 ϕ 。円弧すべり面での摩擦角 ϕ' 。掘削刃先底面での摩擦角 ϕ'' 。

c) 変形領域の体積 V 、重量 W 、および重心位置 X_G を計算する。

d) 図2に示す摩擦円法により、 $\bar{F}$ を計算する。

e) $\bar{F}$ と $\bar{F}'$ の作用点と方向から下点を求める。

f) 下点と $\bar{F}$ の作用点から $\bar{F}$ の方向 ϕ を求め、 $\bar{F}'$ の方向と大きさ、 $\bar{F}$ の方向、 $\bar{F}'$ の方向から $\bar{F}$ の大きさを計算する。

g) 変数 θ, X_0, Z_0 を変化させて、 F の最小値を計算する。

h) $\bar{F}, \bar{F}', \bar{F}''$ から各すべり面上の垂直応力を求め、式(1)により ϕ, ϕ', ϕ'' を計算する。

i) この ϕ, ϕ', ϕ'' を用いて、b) ~ g) を繰返して、 F を決定する。

(3) 計算結果、および実験結果との比較、検討

「密」の場合、図4、5に示すように、 $D=1.25\text{cm}$ に対する計算値がやや小さい値となっているが、その他はよく一致している。「疎」の場合、図6、7に示すように、ズリ上りが生じる $H/D < 2$ の領域で計算値は実験値によく一致している。

ここで、式(3)、(4)との比較のため、 $F-H'-D$ 関係と $F-D^*$ 関係を求め、式(5)、(6)に示す。

$$F = 0.0879 (H')^{1.82} D^{1.20}, F^* = D^{*2.03} \text{ (「疎」で } H/D < 2 \text{ の場合)} \quad (5)$$

$$F = 0.161 (H')^{2.08} D^{0.89}, F^* = D^{*2.89} \text{ (「密」の場合)} \quad (6)$$

さらにズリ上りの実行 X_0 について検討する。「密」の場合、 H/D が 0, 4, 8 で増大するに従って、 X_0/H の実験値は、1.7, 0.9, 0.8 に減少するのに対して、計算値は、4.2, 1.25, 0.5 に減少しており、 H/D の増大による X_0/H の減少を明らかにすることができた。ここで、式(5)、(6) について考察する。 F^* が D^* の3乗に等しいのは、せん断抵抗がズリ上り領域の重量に比例し、ズリ上り領域の重量の相似比が D^* の3乗になるからである。また、同じ H において、 D が増加した時には、 F の作用点が上昇し、円弧すべり面に働く反力が水平方向に近づき、 F は急激に増加する。そのため、ズリ上り領域の重量が大きくなっても、円弧すべり面の半径を大きくして、円弧すべり面に働く反力を上向きにした方が F を小さくできる。このような増減を経て、 F が D の約1乗に比例するという計算結果を得ることができたと考えられる。

(4) 理論計算値の誤差

理論計算値の誤差として、 $\alpha, G_1, G_2, G_f, G_2$ の10%の誤差による F の理論計算値は、それぞれについて、14%, 33%, 14%, 45%の誤差を生じる。このように、計算に用いた定数のうちで、砂地盤の摩擦角の概略を与える定数 G_1 の設定に注意すれば、本理論計算法は F の概略を求める場合に有効である。

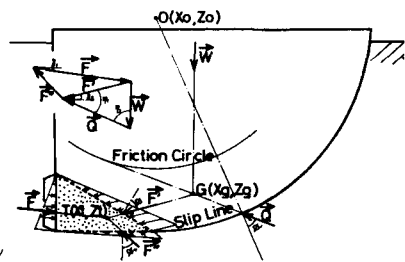


図2 変形領域に働く力の関係

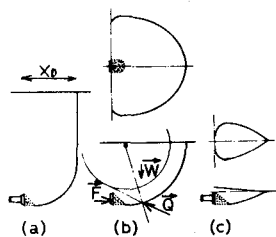


図3 すべり面形状の計算結果

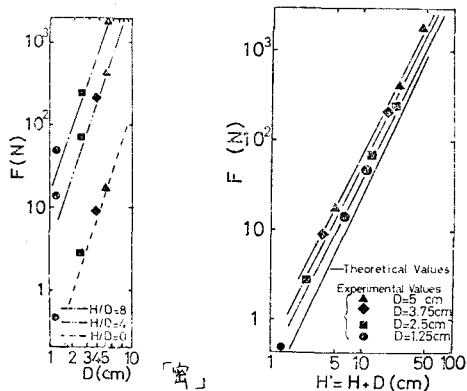


図4 H/D を一定として幾何学的相似を保つ場合の、 F と D の関係
計算値: 線 実験値: 記号

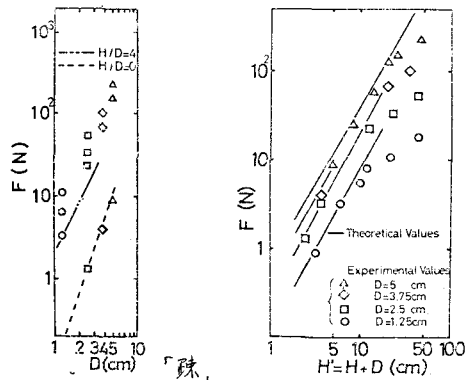


図5 F と H' の関係
図6 H/D を一定として幾何学的相似を保つ場合の、 F と D の関係
計算値: 線 実験値: 記号