

砂層の圧力分布に関する一実験

正員 後藤 正 司*

AN EXPERIMENT OF PRESSURE DISTRIBUTION IN SAND-LAYER

Shoji Goto, C. E. Member

Synopsis; With a view to measuring pressure distribution in comparatively thin sand-layer, the power required and the sand-layer displacement occurring when pulling up a plate buried in sand-layer were simultaneously recorded.

The results of the experiment show an example of determining pressure distribution in sand-layer and the critical angle of normal pressure on it.

要旨 比較的薄い砂層内の圧力分布を測定する目的を以て砂層内に入れた小皿を引上げる時の力と変位を同時記録した。この結果から砂層内の圧力と垂直圧力の限界角を推定せんとする一例を述べたものである。

目 次

- | | |
|-----------------|---------------|
| (1) 緒 言 | (4) 限界角に就て |
| (2) 実験方法及記録解析法 | (5) 載荷せる場合の圧力 |
| (3) 引上抵抗による測定結果 | (6) 結 言 |

1. 緒 言

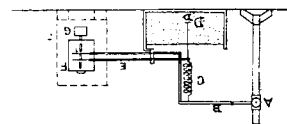
土中の圧力分布に就ては土圧理論の発展と共にその実験測定も之まで色々とは行はれて来てゐる。然し乍ら圧力測定といふものが本来必ず変位を伴つて測定されるものであるから、比較的弾性率の大きい物質に於いてはその歪が測定出来る場合は無難であらうが、変位の大きいものにとつては変位をなす前後の状態が、かなり異なるために厳密な意味である一定の状態の圧力を求めるといふことが困難となる。又測定器が面を持ち、その面が受ける力を測定する仕組のものでは測定器の面と材料との接触が思ふようにならない。喧ましく言へば測定器自身の面の變形が問題になつてくるのである。これは材料の粗密に依つて異なるのであるが水圧や気圧の測定に於ては考へられない事であろう。以上の困難を除き得る応力測定器が出現してゐない今日、土砂中の圧力を正確に知ることは難かしいのである。此処には敢へて簡単な引上抵抗法とも云ふべき方法で測定した結果を述べる次第である。只以上の困難の一つの点を避けるために、力と変位の同時記録をしたのである。

2. 実験方法及記録解析法

図一に示す如く大いサ (40.9cm×32.7cm×9.5cm) の木箱に乾燥砂を入れ小円板をこの砂の中に埋めこれをスプリングで引上げる仕組である。砂は現場等で通常使用されるものを用ひたが、その組成は次表の如くであつた。

		砂 組 成					
篩 番 号		30	40	50	60	220	250
直 径		.503	.361	.279	.221	.061	(mm)
重 量 比		8.0	22.4	26.0	16.0	27.0	0.6 (%)

図一



実験操作は次の如くである (図一参照)。先づ乾燥砂を箱に入れ針金を垂直につけた小円板を適當の深さに置き軽く砂にて埋め砂表面を平にならした後針金をスプリングの自然長さに於いて吊す。このスプリングと、引上量を示すべき鉤杆とを腕木 B に取付けこれをスクロウ A を廻転して静かに上げる。此の引上量と砂中の小円板の移動量は平行光線に依りオツシロ用のドラムの印画紙に記録される。ドラムの回転は略1分間に1回転の割合であり、移動量が割合に大きいので倍率は1~2倍内である。小円板の直径 (D) は 10mm, 16mm, 22mm, 20mm と4種のものを用ひた。針金と砂との摩擦力は砂層厚 4cm に対して 2g, 9cm に対して 7g 程度であつた。又針金をつけた小円板の重さは 1~1.3g でありこれも後の測定値の整理に於いて加算したがその量は全体の値に対して極めて小量である。引上力として利用したスプリングに就いては各々伸びと力の曲線を求め後にこ

* 早稲田大学助教授

のグラフから引上力を推定した。

記録解析法

印画紙上の記録は(図-2)の如き線で示される。図中 A は基準線, B は腕木の上昇, C は小円板の上昇を示してゐる。

斯の如き記録に就いて引上土圧を次の如く3種に分けて考へる。

(1) 始動土圧 スタートよりこの時までの直線的な移動は局部的に小円板の附近で砂の空隙が小さくなる為に生ずるものと考へ、この点から比較的全体に影響を持つ砂の移動が始まるものと考へた。図に於ては S 点の如き点の土圧。

(2) 流動土圧 砂粒子が運動を起して後、まさに粒子間の迂りを始めんとする時の土圧。記録写真を見てかゝの如き変化を起していると思はれる点の中で最大値を求める。(図-2)に於て S'-F 間の土圧の最大値。

(3) 破壊土圧 砂の組織が上の如き迂りを始めてから、引上力の増加なしに変位を増し始める時の土圧(図-2)に於て D 点の土圧。

以上3点について引上抵抗を求めるのであるが、小円板の上昇に従ひその前後の引上力は違つてゐるわけである。そこでスプリングの弾性係数を考慮し引上力の変化を直線的なものと仮定し上昇前後の値の平均を取つた。例へば(図-2)に於いて始動土圧 S に就ては $\frac{1}{2}\{L_s + (L_s - l_s)\}$, 流動土圧 F に対しては $\frac{1}{2}\{L_F + (L_F - l_F)\}$, D に対しては $\frac{1}{2}\{L_D + (L_D - l_D)\}$ なる各々の伸びに就てスプリングの力を求めたのである。

3. 引上抵抗に依る測定結果

砂層全体の厚さは常に 9.5cm に保ち小円板の深さを變へて測定した。その結果砂層深さと垂直圧力の関係は(図-3)の如くである。3つの場合の圧力は殆ど同様な傾向であるが、何れも 7cm の深さに於ける値が急に大きく出ゐるのは、箱の両側からきてゐる Arch action であると思はれる。

又、小円板の直径に就て見ると直径の小なる方が大きな圧力を示してゐることがわかる。これは、面に受ける圧力を測定するやうな方式の測定器に依る場合に考ふべき点だと思はれる。測定記録の写真より応力と変位の関係を求めて見ても(図省略)小円板の直径による違ひは明かに現はれてくる。又、層の深い時程流動的変位が大きくなるようである。

4. 限界角に就て

前述の如く小円板の大きさが引上抵抗に違つた値を与へるといふ事から、砂の移動の限界を求めることが出来るのではないかと考へた。先づ小円板の上に頂部のない逆立円錐形を考へこの部分の重量と、円錐形の側面に於ける摩擦力の垂直分力との和を引上抵抗とし、円錐形の側面の傾斜角 ρ を各深さに對して求めようとするのである。(図-5)に於て、小円板の直径を D, 深さを H_1 限界角を ρ とすれば截頭円錐 A, B, C, D の体積 V_1 は

$$V_1 = \frac{12}{\pi} (D + 2h \tan \rho)^2 (h + \frac{D}{2} \frac{1}{\tan \rho}) - \frac{1}{24} \frac{\pi D^3}{\tan \rho}$$

これより円筒 A, B, E, F を除いた部分の体積 V は

$$V = V_1 - \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi}{12} (6h^2 D \tan \rho + 4h^3 \tan^2 \rho)$$

となる。扱て砂の単位体積の重量を w, 内部摩擦角を ρ とすると $d\theta$ 間の体積の重量 W は

$$W = \frac{V}{2\pi} d\theta \cdot w$$

この $d\theta$ 陪分の側面に作用する摩擦力 f は

$$f = \tan \rho \cdot W \sin \rho = \tan \rho \frac{V}{2\pi} w \cdot \sin \rho \cdot d\theta$$

全側面の摩擦力 F' は

$$F' = \int_0^{2\pi} \frac{Vw}{2\pi} \tan \rho \sin \rho \cdot d\theta = V \cdot w \sin \rho \tan \rho$$

図-2

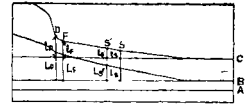


図-3

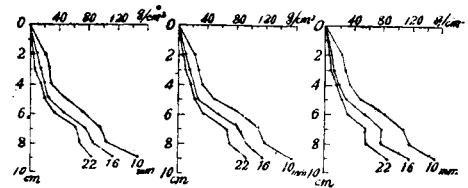


図-4

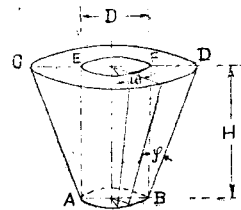
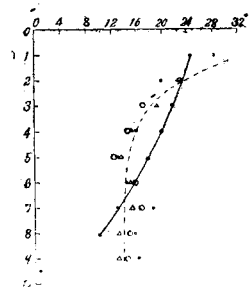


図-5



この垂直分力 F

$$F = V \cdot u \sin \phi \tan \rho \cos \phi$$

は故に実験値 P_0 (引上抵抗) は砂の重量とこの摩擦力の垂直分力との和として

$$P_0 = V_1 \cdot w + V \cdot u \sin \phi \cos \phi \tan \rho$$

の如く示される。

小円板上の円筒部分の重量を除けばその時の引上力 P としては

$$P = V \cdot w + V u \sin \phi \cos \phi \tan \rho$$

$$= \frac{\pi}{12} w (6h^2 D \tan \phi + 4h^3 \tan^2 \phi) \left(1 + \frac{1}{2} \sin 2\phi \tan \rho\right)$$

今砂の凝聚力を無視し、安息角 ϕ を以て内部摩擦角と見做して $\tan \rho$ を摩擦係数とすると

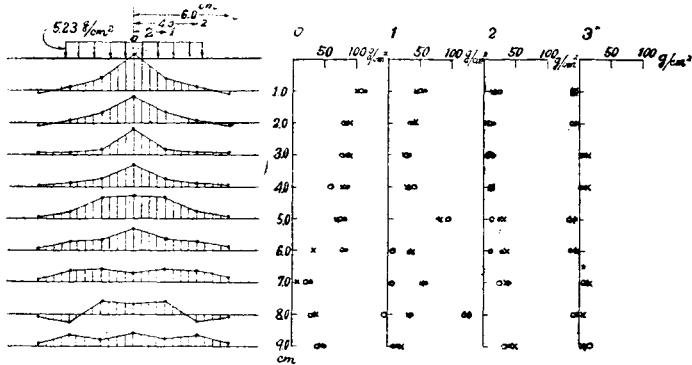
$$\tan \rho = 0.687$$

を得る。故に上式は

$$P = 0.218w(1 + 0.3435\phi)(6h^2 D \tan \phi + 4h^3 \tan^2 \phi)$$

となる。此の式に就いて D 即ち小円板の直径の3通りを、 h 即ち深さに応じて P なる実験値を満足する如き ϕ

図-6 ○始動土圧 ●流動土圧 ×破壊土圧



を図式によつて求めた。図-6 はこの値を示すものである。深さの3cm から5cm 位の所で点が固まるのはこの辺で上述の仮定が合ふからであらうか。表面近くに於ける砂の移動状態は深い点とはかなり違ふために点は一致して来ないのでと思はれる。何れにしても仮定に於ける限界角のとり方は砂の移動の限界が直線的なものとしてあるから、結果は第1次近似的の値であるが引上抵抗に対する考案

がこれで若し正しければ次第に正確な限界角が得られると思ふ。更に二次的にこの限界角を調べた。それは硝子箱の中に砂を入れ、中に入れた小幅の板を引上げ砂硝子面に置いた白墨の粉末の移動を見る方法である。これから得た結果を図-6の中に実線で示したがまだかなりの開きがあると言はねばならない。

5. 載荷せる場合の圧力

測定方法は前と同様である。荷重としては矢張り砂を用ひた。結果の一例は図-7の如くである。これは各点の流動土圧であり、荷重による影響のみを実数値から算出したものである。始動、流動、及び破壊の各応力は中心からの距離に応じて図7・6の1, 2, 3, 4の順に示した。図-7に於いて、底面近くに於いて点が不揃になるのはこれも Arch action か或は底面からの反力の為ではないかと思ふ。実験回数が少いので未だ充分なる資料となし得ないので今後も進めて見る積りである。

6. 結 言

以上簡単な実験であるが比較的薄い砂層内の垂直圧力に就て得た結果を要約すると、測定器の大いさに依つて圧力の値が違つて出てくること、これから限界角の値を導き得る可能を持つこと、又、底面近くでは底面の影響が入つてくると考へられる点である。更に依然として問題なのは砂層の圧力と言ふ時、砂の組織の変形に於いて如何なる状態を指すかといふことであろう。

此の実験にあたり工学士神山一君(当時早大生)の協力を得たこと、又日本學術振興会の御援助を受けたことを茲に併せ記して感謝の意を表する次第である。