

III-70 有限深さの砂地盤の支持力

東大工学部 正員 今井 五郎

■ はじめに

剛な水平基盤を有する粘土層の支持機構についてはかなりの研究が見られ、Livneh, Vyalovらはある厚さの粘土層には引き裂き破壊が生じるとして解析を行なっている。山口博士は三層地盤の実験でその存在を明らかにし、砂質土に近いものでは引裂き破壊が生じ難いことを指摘している。砂地盤については現実的要請が少ないせいであろうか、この点を確めた研究は余り見られない。

一方現場では極限支持力と同時に沈下量の推定が問題となり、両者を結びつける方法として平板載荷テストがよく行なわれる。地盤の荷重～沈下特性が極限支持力とどう関連しているかは未だよく判っていない問題であろう。この点有限深さの基盤を有する地盤に關してこの種の研究をまとめておくことは、実際に役立つことがあるかもしれない。本報告は以上のことを念頭に置き、水平基盤を有する砂地盤の支持力をモデル地盤で実験して得た結果を報告する。実験は尺厚が支持力・沈下に与える影響を中心にとり出すように行なった。

■ 実験装置および実験方法

装置の概略は図-1に示してある。装置全体は、平面歪のモデル砂地盤に剛体の帯荷重を荷重制御の下で垂直に押し込むようにできている。二枚のガラス板が4cmの間隔を保って平行に固定され、その間に砂が投入される。モデル地盤の横方向の長さは47cmである。基盤は極力剛度をあげるためにコンクリートブロックを使用した。これは高さの異なるものを幾つか作製しそれらによって砂尺厚 H を2~22cmの範囲で変化させられるようにした。

載荷棒は木製で、巾 B は3cmのものと2cmのものを使用した。載荷棒は終始垂直を保つよ

うになっている。載荷は装置下部の受け板に五分毎に一枚の荷重板を載せて行なう荷重制御方法をとった。沈下量は載荷棒上部の動きをダイヤルゲージで測定して求めた。基盤の表面と載荷棒の底面には砂粒子が貼りつけてあり、それらに接する砂粒子が横方向に移動することを拘束している。

モデル砂地盤の形成方法の相違は地盤の構造を変化させるので極力同一の方法で締固めることが望ましい。本実験はその点不十分であるが次の様にした。上部にロートを冠した筒の中に規定量の砂を入れ、それを水平方向に移動して5mm程度の砂尺を順次積みあげる。ゆる詰めめ地盤はこれを経て形成する。密詰めめ地盤は、新たに砂尺が3cm積みあげられる度に、装置の下部を木ツチで300回叩く。この様にして得たモデル地盤の間隙比は、ゆる詰めで0.775~0.857、密詰めで0.585~0.620の範囲に入り、かなりのバラツキを示した。使用した砂は相模川砂であるが、0.074mm以下と0.84mm以上は

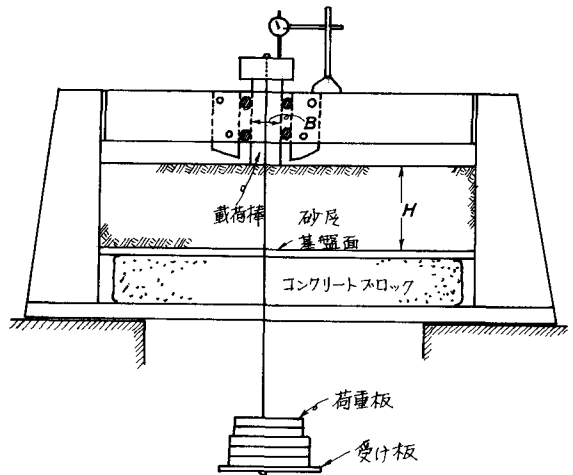


図-1 実験装置の概略

水洗いでフルイ落としてある。砂粒子の比重は 2.708, 均等係数は 2.09 で, 最大・最小間隙比は夫々 1.081, 0.526 である。この値を用いて試みにモデル地盤の相対間隙比を計算してみると, 密詰が 0.831~0.894, ゆる詰が 0.404~0.551 の範囲にあり, この場合のゆる詰は *medium* とみるべきである。

実験は, ① $B=3\text{cm}$, 密詰, ② $B=2\text{cm}$ ゆる詰, ③ $B=3\text{cm}$ ゆる詰, ④ $B=2\text{cm}$ 密詰, の四種類に分けて行ない, 夫々の場合で厚 H をゆるされる範囲一杯に変化させて, 厚の影響を充分にとり出せるようにした。

■ 実験結果とその考察

◎ 極限支持力と厚の関係 …… 実験から得た極限支持力 q_u (単位面積) を Terzaghi の支持力係数 N_r ($q_u = \frac{1}{2} \gamma B N_r$) に換算して H/B との関係を示したのが図-2 である。ここに示した支持力係数は, 別に求めた $N_r \sim e$ の関係 ($H/B > 3.88$ の範囲で求めた) を用いて密詰の場合は $e=0.60$, ゆる詰の場合は $e=0.81$ の時の値に補正してある。

この結果の示す特徴は, N_r の値が $H/B \cong 2$ を境として急変する点にある。即ち, 厚が載荷巾の 2 倍以上ある場合, 支持力は厚に無関係であるが, 2 倍以内であると厚が薄くなるにつれて支持力係数は急増していく。ちなみに実験で観察されたスベリ線の深さ (肉眼によるもので誤差が大きい) は, 載荷巾の 1.8~2.1 倍の範囲にあった。このことから, 水平基礎が (半無限体とみなせる場合の) スベリ線の底部にひかかるまでは, 基礎は支持力に影響を与えないが, ひかかり始めると支持力を急増せしめると考えても, 大きな誤まりではなからう。

もう一つの特徴は $0.8 < H/B < 2$ の範囲では N_r のたちあがり方が間隙比によらず似ていることである。 $N_r, H/B$ を両対数でとてみると, たちあがりの角度は双方で殆ど一致している。これは H/B と e が支持力係数に与える影響が各々独立であることを意味する。但しこれは二種類の間隙比からの推論であるから一厚の実験結果を持つ必要がある。

本実験から得られた支持力係数は, 一般に予想されるものに比して極めて大きい。その原因はガラスと砂粒子との摩擦力が主なものであろうが, 本報告では定性的議論にとどめるので補正はしなかった。

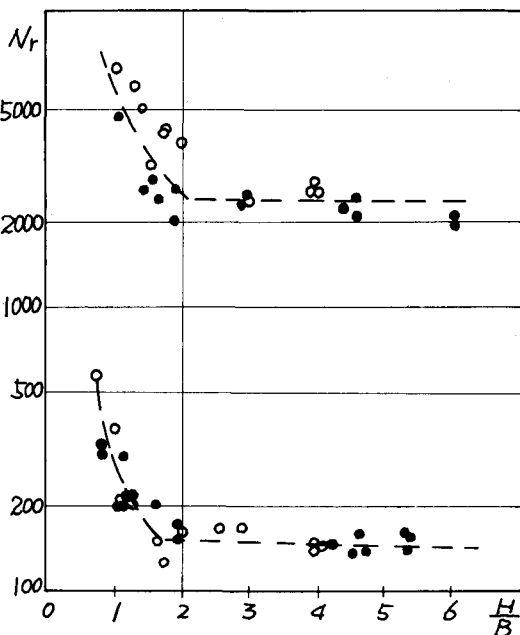


図-2 支持力係数と H/B の関係

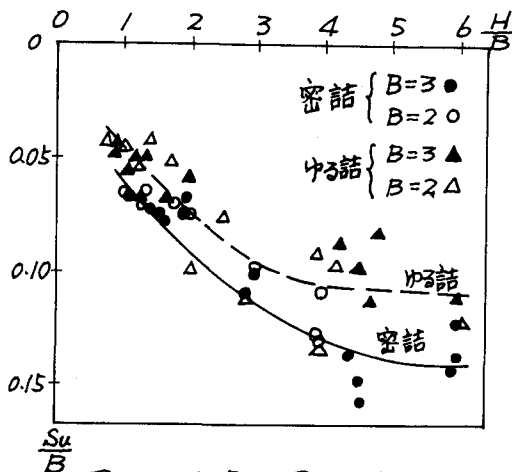


図-3 破壊沈下量と H/B の関係

◎破壊沈下量と尾厚との関係……………モデル地盤が破壊するときの沈下量は尾厚により変化する。その関係を示したのが図-3（前頁）である。この破壊沈下量の推定は実験的に困難であるので、沈下量の対数と g/g_u をプロットした場合に、ほぼ $g/g_u > 0.6$ では直線関係が得られることを利用して、その直線を $g/g_u = 1$ のところまで外挿して、破壊沈下量 S_u を定めた。

密詰の場合も、ゆる詰の場合も H/B が小さくなると S_u/B は減少する。これはある載荷巾を考えた時に、尾厚が小なる程破壊に要する沈下量の小さく済むことを示し、極限支持力の増大とかねね合わせで考える時に、地盤全体がより brittle な材料として挙動することを暗示している。 S_u/B が H/B に無関係に一定となる範囲は密詰とゆる詰とで異なり前者はほぼ $H/B > 4$ 、後者は 3 以上と考えても良いであろう。これは、基盤の存在が最終沈下量に反映するのは、支持力の場合よりもより深いところから始まることを示す。また、ゆる詰よりも密詰の方がより深い深度から影響を与えている。これは、地盤の沈下に影響を及ぼす領域が、ゆる詰の場合、一定範囲内に限られているが、密詰の場合は深くまで達しているせいであろう。

◎荷重-沈下特性と尾厚との関係……………以上、極限支持力と破壊沈下量とを別々に分けて尾厚との関連を見てきたが、ここではそれらをまとめていく方向を探ってみる。そのために変形係数的なものを考えることにした。たゞし載荷巾の影響を相殺するために、沈下量を載荷巾で割った量 S/B を用いて、 $D = g/(S/B)$ なる量を考え以下で議論を進めてみることにする。

D が荷重 g の増加に伴ってどの様に変化するかを見るために、 $\log D$ と g/g_u の関係をプロットしてみる。図-4 に示したように、この関係は初期と最終部分を除いてほぼ直線で近似できる。この性質を利用して更に具体的に議論を進めるために、 D の初期値 D_0 （直線を $g/g_u = 0$ に外挿して得られる D の値）と、 g/g_u に対する直線の傾き α を計算し各々を H/B に対してプロットをする。

D_0 と H/B の関係は図-5 に示されている。この関係の特徴的なことは、密詰でもゆる詰でも H/B が減少すると D_0 が大きくなることである。これは、

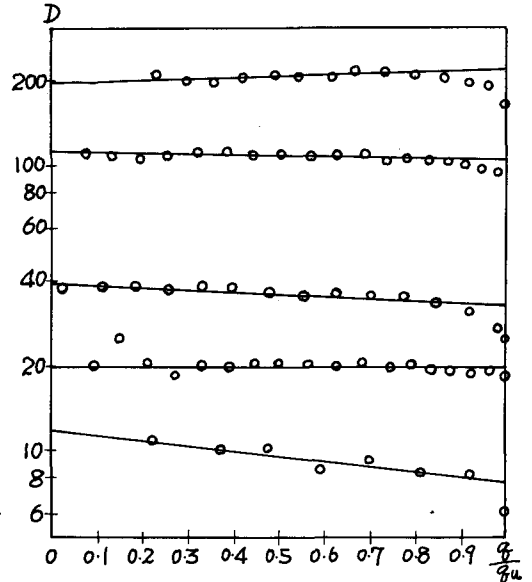


図-4 $\log D - g/g_u$ の関係 $B = 2.04 \text{ cm}$

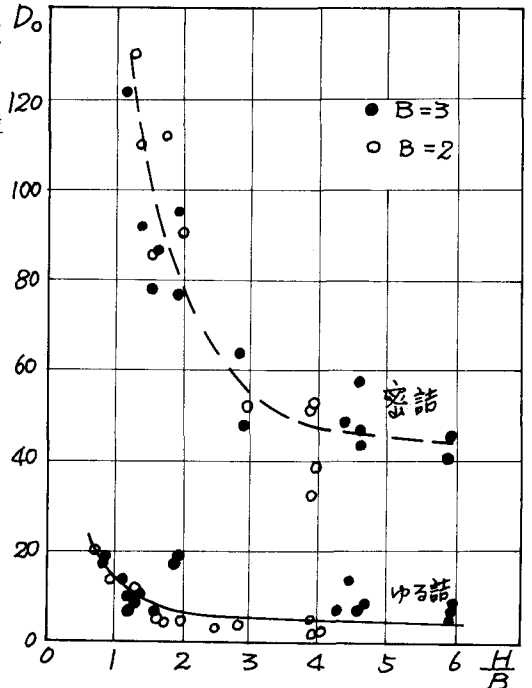


図-5 D_0 と H/B の関係

底厚が減少すると、沈下に対する地盤の抵抗が増すことを示している。この D_0 のたちあがり点は、密詰の場合 $H/B=3.5$ ，ゆる詰の場合は2の付近にある。ゆる詰の場合と比べると、密詰の場合は基盤の深さの影響をより深い時点から反映する。

α の H/B に伴う変化は 図-6 に示されている。(ゆる詰のデータは捨棄してある。) 密詰の場合の α の変化は興味深い。 $H/B < 2$ の範囲では α はプラス2以上の時にはマイナスとなり、 α は H/B の増大と共にほぼ直線的に減少している。この結果は、底厚が載荷巾の2倍以内である場合には、荷重の増加につれて、地盤の沈下に対する抵抗力がどんどん増し

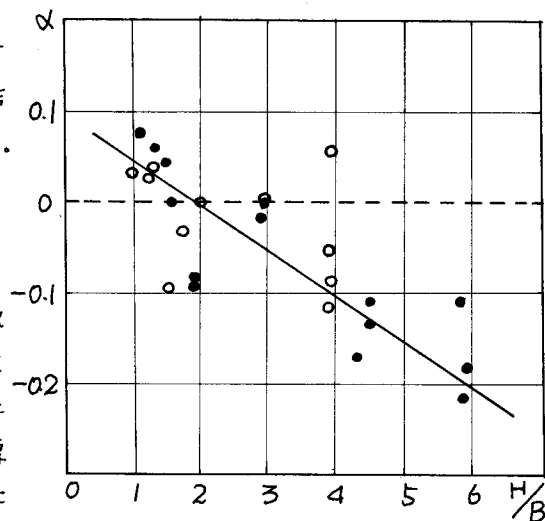


図-6 α と H/B の関係

ていくことを示し、逆に、 $H/B > 2$ の場合には、地盤の沈下に対する抵抗力がどんどん減少していくことを示している。このように D_0 , α の二つの量は、地盤の荷重-沈下特性曲線に与える底厚の影響をかなり良く反映していると言、て良いだろう(ゆる詰の場合を除く)。 D_0 , α が何故にこのような変化を示すのかに就いては目下考察を進めている段階である。おそらくは、基盤の表面性状、 H/B なる幾何量等によつて、砂粒子がどのようにその移動を拘束されるのかという問題、すなわち支持機構の問題にあると思われる。この意味では、砂粒子の移動、スベリの発生等に関して具体的に検討を進め得る形でデータを示し得ない現在、確実なことは言えない。

◎支持機構について……………砂の場合に引裂き破壊が生じるかどうかは一つの興味の対象であつた。密詰の場合、 H/B を 0.8 から 6 程度まで変化させてみたが、全ての場合に通常のスベリにフクレ上りを伴うスベリ破壊を起こした。ゆる詰の場合は、 $H/B < 2$ の範囲の実験は全て通常のスベリ破壊を生じ、引裂き破壊は生じなかつた。ゆる詰の $H/B > 2$ の範囲では観察が行き届かずに正確なことは言えない。密詰の場合には、引裂き破壊は生じないと言、ても良いであろう。

■ あとがき

以上、表記の題目に関する実験的研究の結果をまとめてみた。本研究を始める時から念頭にあつたのは、この実験の規模が小さすぎて、実際には現われなような問題が結果の中に支配的に現われてくるのではないかということであつた。今でもこの疑問はぬぐえていない。なお学会の当日には、スベリ線に関するスライドをお見せすることができると思う。最後に、本実験を実質的に担ひ、精力的に推進して下さつた学生の森俊雄君(現道路公団)に深く感謝致します。

↓ 参考文献 ↓

- 1) Vesic, A.S., *Bearing Capacity and Settlement of Foundations*, Duke University, 1967
- 2) Vyalov, S.S., *Bearing Capacity of Weak Soil Layer with Underlying Rigid Base*, 1967, Proc. 3rd A.R.C
- 3) 山口, 寺師, 他, 多層地盤の支持力について(第2報), 1970, 第5回土壌工学研究発表会 「 on SMFE
- 4) 最上 編, 土質力学(技報堂)内, 山口著:土の塑性力学, 1969