

首都高速道路公団	正 員 玉 置	脩
同 上	" 〇矢 作	枢
同 上	" 三 橋 晃 司	
大成建設(株)土木設計部	" 茗ヶ原 義 彦	
同 上	" 鳥 居 勇	

1. ま え が き

ボーリングに関する基礎実験とその考察 (その1)¹⁾ で、大型模型実験について述べた。その中でボーリング過程を砂粒子の動きに着目して分類し、ボーリング開始時水頭差 H_{B0} およびボーリング終了時水頭差 H_{Bf} を定義した。そして、ボーリング開始時水頭差 H_{B0} ならびにボーリング終了時水頭差 H_{Bf} と地盤条件の関係を実験式の形で示した。本編はその続編として、従来設計計算に広く使用されているボーリング式 (今回は、Terzaghi の式²⁾、建築基礎構造設計規準³⁾ に採用されている式の2式を取り上げた) の限界水頭差と筆者らが定義したボーリング開始時水頭差 H_{B0} との比較を行い、これらの式の適合性に関して若干の考察を加えるものである。

2. 従来のボーリングに関する考え方

2.1 Terzaghi の式²⁾

Terzaghi は、図-1 に示すような地盤を想定している。図-1 において、矢板下流側の $D/2$ の幅の角柱 $oafe$ の砂の水中重量 W と、この角柱底部 oa に働く過剰水圧 U とのつり合いによつてボーリングを論じている。過剰水圧 U は、図-1 の $o-x$ 線上での過剰水圧の分布を考え、 oa 内での平均値 $\bar{\delta}_w ha$ を用いて次式で示される。

$$U = \bar{\delta}_w ha \frac{D}{2} \quad \dots\dots\dots(1)$$

一方、角柱 $oafe$ の砂の水中重量 W' は次式で示される。

$$W' = \frac{\gamma' D^2}{2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

よつて、ボーリングに対する安全率 F は次式で示される。

$$F = \frac{W'}{U} = \frac{\gamma' D}{\bar{\delta}_w ha} \quad \dots\dots\dots(3)$$

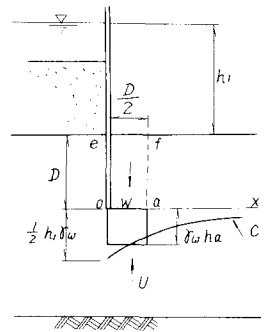


図-1 Terzaghi 式の説明図

2.2 建築基礎構造設計規準に採用されている式³⁾

建築基礎構造設計規準・同解説によれば、図-2 に示すような装置において、砂層の任意の面 $b-b$ における有効応力でボーリングを解釈し、最終的に根切り工事におけるボーリングの検討に応用しようとしている。面 $b-b$ 上の有効応力 \bar{P} は、A 槽と B 槽間の水頭差がゼロの場合は、 $\bar{P} = \gamma' \delta'$ (γ' は砂の水中単位体積重量) であるが、A 槽と B 槽間に水頭差 h をつけると、水は $i = h/L$ なる

動水こう配をもつて流れ、間ゲキ水圧を $U_w = i \cdot z \cdot \gamma_w$ だけ増加させるしたがって有効応力は次式で示される。

$$\bar{P} = z \cdot \gamma' - i \cdot z \cdot \gamma_w \quad \dots\dots\dots (4)$$

有効応力 \bar{P} がゼロの時、砂のせん断抵抗はゼロとなり、クイックサンド現象（ボーリングと同義と推定される）を呈する。この時の動水こう配を限界動水こう配 i_0 という。 i_0 は次式で示される。

$$i_0 = \frac{z \cdot \gamma'}{z \cdot \gamma_w} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \quad \dots\dots\dots (5)$$

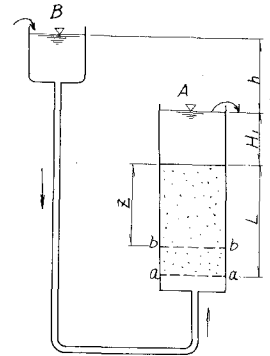


図-2 式(4)の説明図

3. 従来のボーリング式による値と実験値との比較検討

3.1 従来の式の適用とボーリングを生じさせる水頭差

従来のボーリング式、特に Terzaghi 式に使用するポテンシャルの算定方法は種々あるが、今回は主として有限要素法によつてポテンシャルの算定を行つた。

有限要素法を用いてポテンシャルの算定を行う場合の境界条件は次のとおりである。

- 図-3において
- A B 線上の節点の水頭として 1.00 m を与える。
- D E 線上の節点の水頭として 0 m を与える。
- 実験槽の壁 A F G E は完全な不透水層とする。
- B C は不透水性の矢板とする。

以上の条件のもとに算定したポテンシャル値と、実測によつて得られたポテンシャル値を、等ポテンシャル線図上で比較したのが図-3である。図-3において実験槽壁付近では若干のズレが認められるが、ボーリングに重要な影響をおよぼすと考えられる矢板近辺では、かなり良く一致していることがわかる。

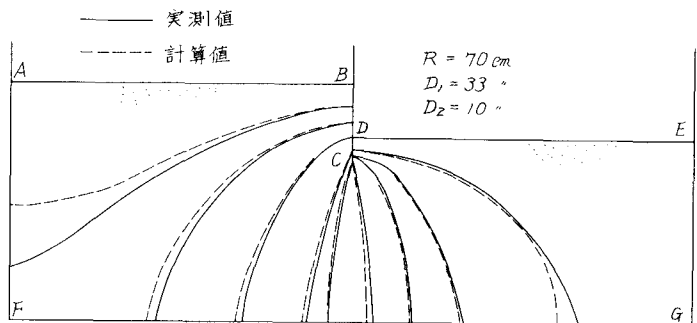


図-3 ポテンシャル計算値と実測との比較

3.2 Terzaghi 式と実験値との比較検討

Terzaghi 式と実験値との比較を行う場合の最大の問題点は、ボーリングの定義であろう。Terzaghi は、ボーリングに関して詳細な定義を与えていないが、ボーリング現象の説明の中に、下流側砂層表面の盛り上りを述べている。すなわち Terzaghi が想定したボーリングの限界状態も筆者らのそれとともに、下流側砂層表面の盛り上り状態に着目したものであり、両者の間に大きな差異が生じることはないと考えられる。

図-4は、式(3)で安全率 $F = 1$ となるような平均過剰水圧 u_{wa} に対応する水頭差 H_0 (限界水頭差)

とボーリング開始時水頭差 H_s の関係を、縦軸に Terzaghi の適合度 \bar{D} 、横軸に矢板先端から不透水層までの距離 R をとつて示したものである。パラメータは地盤条件である。

(D_1 : 上流側根入れ深さ, D_2 : 下流側根入れ深さ, 詳しくは前報参照) 適合度 \bar{D} は次式で与えられる。

$$\bar{D} = \frac{\text{理論値} - \text{実験値}}{\text{理論値}} = \frac{H_c - H_s}{H_c} \dots\dots (6)$$

図中、適合度 \bar{D} が正の領域では $H_c > H_s$ となり、Terzaghi 式によつて得られた限界水頭差 H_c を設計計算に用いることが危険なることを示し、逆に負の領域では安全となることを示している。図からわかるように、矢板先端から不透水層までの距離 R が 100 m の場合、Terzaghi 式の限界水頭差 H_c は安全側の値を示し、 R が 70 cm あるいは 40 cm の場合は危険側の値を示している。そして R が 90 cm の場合に H_c と H_s が一致すると推定される。また、矢板先端から不透水層までの距離 R が小さくなる程、Terzaghi 式の限界水頭差が危険側にはずれている。実験値からのはずれの割合は、最大 40% 程度であつた。

以上より、Terzaghi 式の適合度は地盤条件によつては著しく低下することがわかつた。特に矢板先端から不透水層までの距離が小さい程危険側の値を示していることに充分配慮する必要があると考えられる。

また、Terzaghi はボーリングが生じる領域として、矢板から根入れ深さ D の $1/2$ の幅を考えているが、この仮定の妥当性に関しては、はつきりとした結論が得られなかつた。

3.3 建築基礎構造設計規準に採用されている式と実験値との比較検討

建築基礎構造設計規準・同解説においても、ボーリングの詳細な定義を与えていない。式(5)によつて得られる限界水頭差 H_c とボーリング開始時水頭差を単純に比較する。この場合、動水こう配のとり方が不明確である。図-2において動水こう配は、 $i = h/L$ と定義されているが、地盤中のどの面で動水こう配を考えるか示していない。すなわち、ボーリングが発生する領域が不明である。動水長さ L として下流側根入れ深さ D_2 を用いる考え方⁽⁴⁾もあるが、この考え方は D_1 層内での水頭の損失を無視しており、不合理であると思われるので、ここでは最短流線長 ($D_1 + D_2$) をもつて動水長さとした $L = D_1 + D_2$ 、 $\alpha = D_2$ とすれば、式(4)は次のようになる。(図-6 参照)

記号	D_1 (cm)	D_2 (cm)
△	33	10
▲	40	10
□	40	17
■	17	10
○	33	17
⊙	10	10
●	17	17

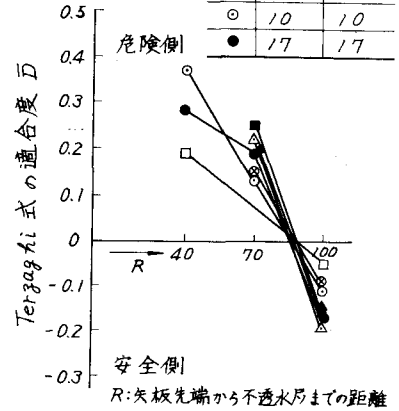


図-4 Terzaghi 式の適合度

記号	D_1 (cm)	D_2 (cm)
△	33	10
▲	40	10
□	40	17
■	17	10
⊗	5	5
⊙	10	10
●	17	17

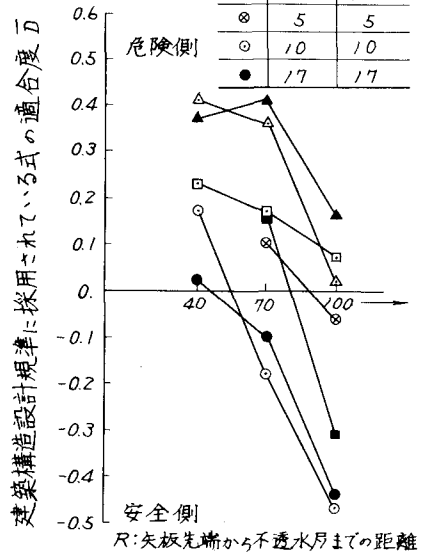


図-5 建築基礎構造設計規準に採用されている式の適合度

$$\bar{P} = D_1 \gamma' - \frac{H}{L} \cdot D_2 \gamma_w \dots\dots\dots(4)'$$

$$\bar{P} = 0 \text{ の時 } \frac{Hc'}{L} = \frac{Hc'}{D_1 + D_2} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \dots\dots\dots(5)'$$

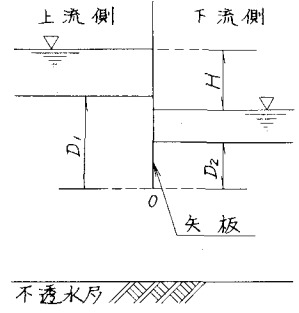


図-6 建築学会式の説明図

となる。これは、矢板先端0点で式(4)を適用した場合である。
式(5)で求められた限界水頭差Hcの適合度を図-5に示す。図-5

によれば、Terzaghi式の場合と同様、矢板先端から不透水層までの距離Rが小さくなる程危険側の値を示していることがわかる。全般的に、Terzaghi式より適合度は悪く、根入れ深さD₁、D₂が大きくなる程危険側の値を示し、そのはずれ方は±45%にも及んでいる。この式もTerzaghi式と同様、適用に際しては、地盤条件に関する充分なる配慮が必要であろう。

4. ま と め

以上をまとめてみると次のようになる。

- Terzaghi式は、矢板先端から不透水層までの距離Rが90cmの時実験と良く合うと推定される。R > 90cmの時は安全側の値を示し、R < 90cmの時は危険側の値を示す。従つてRが小さい場合の適用に関しては注意を要する。(はずれる度合はR = 40cmの時40%程度)
- 建築基礎構造設計規準の式はあまり良く合わない。(はずれる度合は±45%程度)

今回は、材料として豊浦標準砂を用い、大型実験槽によつて行つた約30ケースの実験の結果と従来設計計算等によく使用されているボイリング式との比較を行つたが、材料、土質条件等が限られたものであるため、不十分な点もあつた。今後、材料、土質条件等を変えて実験を行う予定である。

尚、実験にあたり、東京大学土木工学科助教授石原研而氏に御指導いただいたことを記し、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 玉置他 : 第27回土木学会年次講演会概要集
- (2) Terzaghi, K. Pech, R. B : Soil Mechanics in Engineering Practice, Wiley, 1968
- (3) 日本建築学会 : 建築基礎構造設計規準 . 同解説, 丸善, 1961
- (4) 鈴木, 原田 : 例題演習土質力学, 実業図書あるいは河上 : 土質工学計算法, 森北出版