

建設省土木研究所 正員 〇浅沼秀弥
 " " 塩井幸武
 " " 山本洋司

1. まえがき

浸透流による地盤の破壊現象は、地下水面以下の掘削工事に於いてしばしば経験されるが、この現象は地盤の不均一性や地質条件の細かい変化に大きく支配され、一般に理論的取扱いは困難であると言われており、従来から経験的な判断を加えて対策を行っているのが実状である。従来の取扱いは、専ら砂質地盤を対象としておりシルト質や粘土質の場合の考え方が明らかでなく、玉石層から粘土層の場合までを通した性状の解明が必要であるとともに、対策工法の検討も必要とされている。そこで、模型実験によりクイックサンド現象の一般的性状の把握とともに、対策工法の効果の検討を行い、さらにこの現象に対する合理的な安全率の算定法について考察を加えた。

2. 実験方法

(1) 実験水槽；図-1に示すような水槽を用いた。

(2) 地盤材料；地盤材料として用いた砂は表-1に示す諸元の高森砂(珪砂)で、複層地盤を形成するため、透水係数が約10倍異なる2種の砂(A砂、C砂)を採用した。

	高森砂	
	A	C
比重 G_s	2.70	2.60
最大粒径 D_{max}	1.00	0.84
最小粒径 D_{min}	0.05	0.05
60% 粒径 D_{60}	0.60	0.29
10% 粒径 D_{10}	0.30	0.12
均等係数 U	2.00	2.40
飽和透水係数 k_{sat}	1.57	1.51
間隙比 e	0.72	0.73
透水係数 k	4.8×10^{-3}	5.8×10^{-3}

表-1 砂の諸元

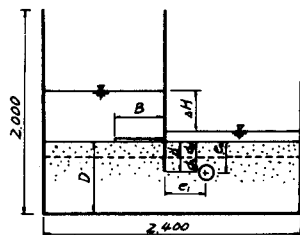


図-1 実験水槽

(3) 実験方法；地盤は予め水を張った水槽に砂を落下させて形成し、下流側水位はオーバーフローによる固定とし、上流側水位を変化させる方法をとった。流量はストップウォッチとメスシリンダーにより、またポテンシャルは水槽側面に設置したマンメーターの水位から測定した。流線は Fluorescent Sodium Uranine を用いて、代表的なケースの流線写真と撮影した。

クイックサンド状態になった瞬間を何と定義するかは議論のある所であるが、今回の実験においては下流側矢板に接する地盤表面の盛り上がり開始をもってクイックサンド状態とした。

3. 根入れ長の効果

矢板の根入れ長の効果を調べるため、根入れ長 d を変化させ(矢板が固定されているため、地盤厚 D を変化させた)、クイックサンドを起す瞬間の限界水頭差 ΔH_{cr} を計測した。結果は図-2に示すように d と ΔH_{cr} の間には線型関係が成立するものと思われる。流線が楕円で表わされる場合、浸透木を考慮に入れた砂の有初重量 ($\gamma_{sat} = \gamma_{sub} - \gamma_w \frac{d}{D}$) が負になる領域 $\pi d \gamma_{sub} / \Delta H_{cr}$ をパラメーターとして表したものを図-3に示すが、この領域が下流側地盤表面に達した時クイックサンド状態と仮定すれば $\Delta H_{cr} = \frac{\gamma_{sub}}{\gamma_w} \cdot \pi d$ となり、実験結果をほぼ支持している。

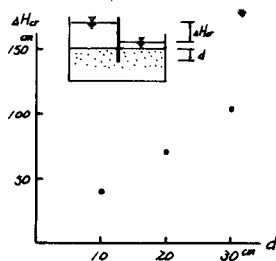


図-2 根入れ長の効果

4. グランゼットの効果

上流側矢板背面に止水膜(グランゼット)を敷き、浸透路長を長くすることによってクイックサンドを抑える背面グランゼット工法の効果を調べるため、根入れ長を一定 ($d = 20 \text{ cm}$) にして、グランゼット長 B を変化させてクイックサンドを起す限界水頭差 ΔH_{cr} を測定した。結果を図-4に示すが、 B と ΔH_{cr} の間には根入

れ長と同様 線型関係が成立するが、その効果は根入れ長には及ばないようである。

5. リリーフウエルの効果

下流側の流線方向を変えて浸透水力の方向成分を小さくする目的で設置する リリーフウエルの効果を調べるため、天板根入れ長を一定 ($d=20\text{cm}$) にして、リリーフウエルから自然排水させながら計測を行った。水頭差の小さい間はリリーフウエルからのみ排水されるが、水頭差が大きくなる (約 50cm) と越流を始め、流線がリリーフウエルの無い場合の形状に近くなると限界水頭差に達し破壊する。実験はウエルの位置を2箇所に变化させて行ったが、いずれの場合も ΔH_0 は約 110cm であった。

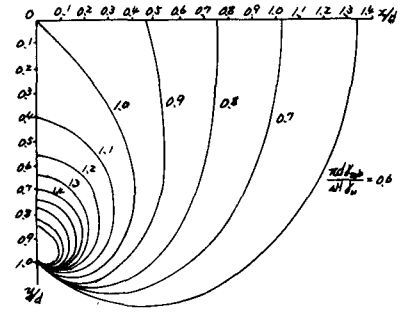


図-3 等水頭勾配線図

6. 二層系地盤の影響

実際の地盤は単層地盤であることは稀で、水平に堆積した複層地盤から成ることが多いが、過去の研究で複層地盤と扱った例は少ない。ここでは透水性数の異なる種の砂を用いて二層地盤を形成し、層の状態が限界水頭差に及ぼす影響を調べた。実験は天板根入れ長を固定 (20cm) し、二層の層序と層厚を変化させて行った。結果を図-5に示すが、透水性数の小さいC砂を上層にする場合、上層の層厚が厚いほど限界水頭差が小さくなっている。これは上層の透水性数が小さい場合、等ポテンシャル線が上層部で水平 (即ち、流線が鉛直) に近くなり、その間隔も狭くなって水頭勾配が大きくなり、クイックサンドを起こしやすくなるためである。また、二層の境界が地盤表面下 20cm の場合のポテンシャル分布は、上層がA砂であってもB砂であってもほぼ同様の形状を示し、境界線が深い場合は単層構造の場合の状況に近くなるものと考えられる。

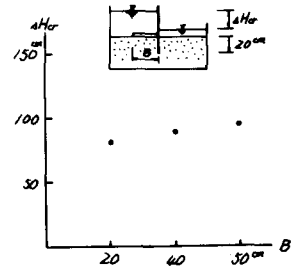


図-4 プラット長の影響

7. クイックサンドに対する安全率の簡易計算法

実際の天板の設計にあたっては、簡便な手段である程度の精度を期待でき、かつ多様な境界条件に適用可能な計算手法の開発が望まれており、今次に定義する安全率を提案する。

$$F_s = \frac{W_{sub} + (U_L - U_R) \tan \phi + CL}{U}$$

ここで F_s : クイックサンドに対する安全率

W_{sub} : 崩壊砂柱の水中重量

U_L, U_R : 崩壊砂柱の左右面に作用する過剰間隙水圧

ϕ : 砂の内部摩擦角

CL : 崩壊面の粘着力によるせん断強度

U : 崩壊砂柱の底面に作用する過剰間隙水圧

過剰間隙水圧分布と直線と仮定し、各実験ケース毎に限界水頭差に達した時の安全率を上式で計算した結果を、現行式 (Terzaghi, 首都公団) の計算値と比較して表-2に示した。提案式による結果はほぼ1に近くなっており、砂のせん断強度も考慮した提案式の妥当性を示していると言える。

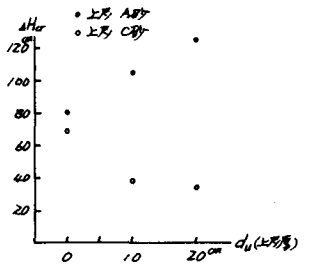
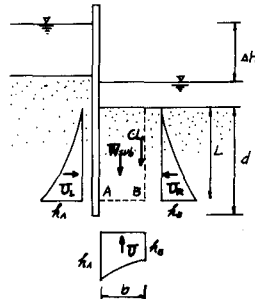


図-5 二層系地盤の影響

実験ケース	安全率の比較	Terzaghi	首都公団	提案式
一層系地盤				
A-1	0.683	0.530	0.956	
A-2	0.789	0.576	1.033	
A-3	0.778	0.619	1.059	
C-1	0.653	0.507	0.947	
二層系地盤				
AC-1	2層/0.304 7%	0.520	—	0.820
CA-1	2層/1.375 7%	0.781	—	0.802
プラット				
A-4	0.652	—	1.000	
A-5	0.624	—	1.058	
A-6	0.572	—	1.129	

表-2 安全率の比較