

京都大学 工学部 正員 青木 一男  
 京都大学 工学部 正員 松尾新一郎  
 日本鋼管 正員 中馬 成夫

## 1. はじめに

Tetraghiのクイックサンド理論などは、浸透水圧による土塊の変形および破壊による透水係数の変化や応力状態について考慮されておらず、ある水位差に対してポテンシャル分布が一意的に決まり、進行性の破壊については、不十分である。本研究では、クイックサンド現象のより正確な解明を行なうために、有限要素法を用い浸透水圧による地盤の変形や応力状態の解析とそれにもなる透水係数の変化を考慮した浸透解析を行なった。

## 2. 解析手法

解析の手順は、まず十分小さな水頭を上流側に与え、ポテンシャル分布、地盤の変形、間ゲキ比の変化を求めさらにモールクーロンの破壊規準により各要素の破壊の判定を行なう。次に間ゲキ比の変化より新しい透水係数を求める。このような手順により水頭を段階的に増加させて計算を繰り返した。

(a) 塑性化の判定 --- 浸透圧により引き起こされる各要素ごとの応力に重力、土圧などの応力を加えた全応力を求めなければならない。ここで土圧は、上流側の水位が上昇する場合や下流側を掘削してゆく場合、下流側は静止状態から受働状態へ、上流側は、主動状態へ移って行くものとした。すなわち上流側では、 $K_0 \leq K \leq K_0$ 、下流側では、 $K_0 \leq K \leq K_p$ なる $K$ を与えて解析した。塑性化の判定は、モールクーロンの破壊規準より、

$$S = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)_0} = \frac{(1 - \sin \varphi)(\sigma_1 - \sigma_3)}{2(\cos \varphi + \sigma_3 \sin \varphi)}$$

と考え、 $S \geq 1$ であれば、せん断破壊状態にあると見なした。これら破壊した要素については、それ以後、ヤング率 $E$ を、小さな値( $E/10$ )とした。

(b) 透水係数の変化 --- 飽和領域において応力状態に依存する透水係数と間ゲキ比の間に  $e = a \log k + b$  のような関係が認められることがLame(1969)の研究より明らかになっている。ここで $e$ は間ゲキ比、 $a$ 、 $b$ は、材料によって決まる係数。よって上式により間ゲキ比の変化にもない、新たな透水係数を求め次の段階の解析へ導入した。また塑性化した要素については、かなりの透水係数の増大が予想されるので、その効果を解析する上で考慮する必要がある。本解析では、塑性化した要素について、その段階で上式における係数 $a$ を $a/2$ に小さくすることで導入した。

## 3. 解析結果

上流側の水位の増加とともに地盤の変形、応力状態ならびにポテンシャル分布がどのように変化するかの解析結果および限界状態を与える限界水深についても考察を行なった。なお地盤の諸定数については、表-1に示す。

(a) 塑性域の発生と発達 --- 上流側の水位増加にもなる塑性域の発生とその発達を示したものが、図-1である。塑性域は、まず下流側の表面付近に、続いて矢板の先端付近に発生する。さらに水位差が大きくなると、塑性域は、矢板の先端付近から地表面の方向へと広がって行く。塑性域がまず表われるのが水位差 $H/D = 0.75$ の時であり、急激に塑性域が広がり始めつゝには矢板の先端から下流側の地表面にまで広がる時の水位差は、およそ $H/D = 2.0$ である。その時の塑性域の幅は、地表面付近を除けば $D/2$ であることがわかる。この有効単位体積重量 $\gamma_{\text{face}}$ の負の領域と水位差との関係を示したものが図-2である。この図と図-1を比較すると塑性域の発達とともに $\gamma_{\text{face}}$ の負の領域も広がすが、塑性域の広がりがより発達早い。

(b) ポテンシャル分布 --- 初期段階では変形にもなる透水性の変化も小さく、ほとんどポテンシャル分布に対する影響はみられない。しかし塑性域の発達とともに、矢板付近の透水係数が急激に大きくなり水位差 $H/D = 2.0$

では、セロ等ポテンシャル線が上流側へ移動する。クイックサンドによる破壊の前に流線が下流側で矢板の方向へと変化することが知られており、この解析によって説明できると考えられる。

(c)変位状況 --- クイックサンド現象のひとつとして、下流側の地表面が盛り上がったことが知られている。図-3は、上流側水位の増加とともに下流側地表面の鉛直変位を示したものである。変位は、水位差の増加とともに徐々に増え、 $H/D = 1.8 \sim 2.0$  で急激に増加する。変位は特に幅  $D/2$  ほどが大さい。

このことは、崩壊の幅が矢板の根入れ深さの半分 ( $D/2$ ) であるという Terzaghi の仮定がほぼ正しいことを証明している。

(d)破壊の判定 塑性域の発達か矢板の先端から地表面まで達した  $H/D = 2.0$  において破壊に達したと考えられる。ここで示す

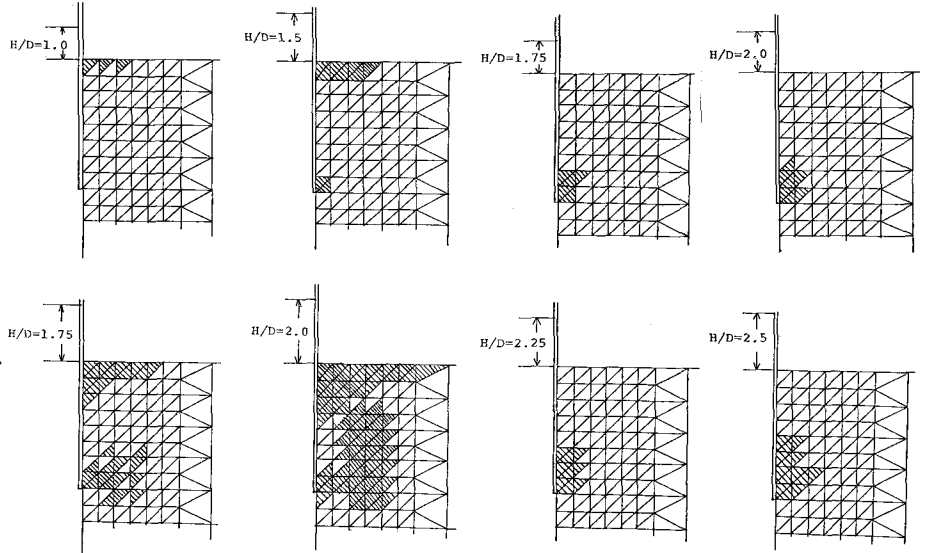


図-1 塑性域の発達

限界水頭は、地盤が不安定になる水位であり、完全崩壊を示す水位ではない。各理論の示す限界水頭  $H_p/D$  を表-2に示す。これからわかるように本研究の値はかなり小さい。これは、本研究の示す  $H_p$  は、地盤が不安定になる水位であり、その他の理論は完全崩壊になる水位と表わすものと考えられる。さらに本解析において、矢板近傍のポテンシャル分布は、限界水頭に近づくにつれ透水係数を変化させることによる影響が小さくなることわかっており、従来の理論ではその影響が考慮されていないためである。

4. おわりに

クイックサンド現象を解明するにあたり、浸透流による変形解析とそれによる透水係数の変化を考察した浸透解析を行ない、塑性域の発達状態、ポテンシャル分布および変形挙動を考察した。今後の問題点としては、塑性域に達した場合の弾性係数、透水係数の変化について実験より明らかにしていきたい。

<参考文献> 1) 松尾、河野：地下水位低下工法、鹿島出版会、1970、pp 101~121

表-1 地盤諸定数

透水係数 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )	内部摩擦角 ( $^\circ$ )	初期間欠比	上流側の 工圧係数	$\alpha$
0.36	24	0.55	0.3	0.4
弾性係数 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	ポアソン比	水平単位保種 重量 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	下流側の 工圧係数	$\beta$
100	0.3	0.93	1.7	0.93

表-2 各理論の限界水頭

	Terzaghi	Kochina	河野・久保田	本研究
$H_p/D$	2.76	2.93	2.81	2.0

図-2  $\sigma_{net} \leq 0$  の領域の発達

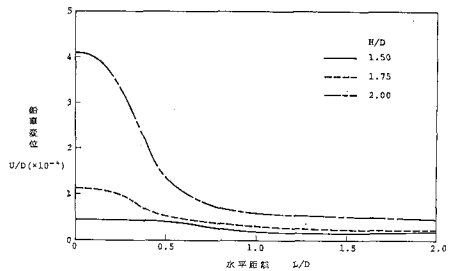


図-3 下流側地表面の鉛直変位