

徳島大学工学部 正員 山上 拓男
徳島大学大学院 学生員 〇滝 昌和

1. まえがき

浸透流に起因した地盤の変形～破壊現象であるクイックサンド現象の解析については、種々の研究がなされて来た。しかし、その多くは地盤の終局破壊に着目した強度論的な取扱いであり、完全崩壊に至るまでの地盤の変形性状の推移や進行性破壊の様相を明らかにすることはできない。事実、筆者らの均質砂地盤を用いた1次元および2次元模型実験によれば、クイックサンド現象が進行性破壊であり、地盤の局所的な支持力低下が完全噴砂の発生するかなり以前から生じているという知見を得ている。こうした現象をより正確に予測するにとどまらず、一般的な土-水相互作用問題の統一的解析法を見出す過程として、非線形弾性構成則に基づく数值解析法を検討してきたが、破壊域が実際現象に比べ格段に早く出現するという難点を解消できないまま現在に至っている。本報告は、新たに弾・塑性構成則を導入した一定式化、ならびにその結果を述べるものである。

2. 弾・塑性論に基づく応力～変形解析の概要

砂の構成則については従来より、種々の立場から多数の研究がなされているが、本報告では西・江刺²⁾により開発された弾・塑性論に基づく応力～ひずみ関係式を用いた。彼等の構成式は砂のダイレイタンシー特性、応力経路依存性および中間主応力や初期応力の影響などを比較的良好に現れし得るものである。紙数の都合上、ここではその概略を摘記するにとどめる。各式の誘導および、内容の詳細については参考文献を参照されたい。

(1) 塑性ひずみ増分： $\{d\epsilon\}^p$

降伏関数

塑性ポテンシヤル

硬化関数

せん断に関する条件式： $f_s - f_{s,y} = \tau_{oct}/\sigma'_m - (\tau_{oct}/\sigma'_m)_y$ $f_s = \tau_{oct}/\sigma'_m + M_m(b)$ $(\tau_{oct}/\sigma'_m)_y = F_3(d, \tau_{oct}, b)$

圧密に関する条件式： $f_c - f_{c,y} = \sigma'_m - (\sigma'_m)_y$ $f_c = \sigma'_m$ $(\sigma'_m)_y = F_2(\int d\epsilon^p)$

ここに、 τ_{oct} と σ'_m はそれぞれ、八面体せん断応力($= \frac{1}{3}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$)および平均有効主応力($= \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$)であり、また、添字のs, c, yは各々、せん断、圧密および降伏を示すものである。以上で定義される条件式を塑性論に基づき変形すれば、次式により塑性ひずみ増分 $\{d\epsilon\}^p$ が求まる。

$$\{d\epsilon\}^p = h_s \left\{ \frac{\partial f_s}{\partial \sigma} \right\} \left\{ \frac{\partial f_s}{\partial \tau} \right\}^T \{d\sigma\} + h_c \left\{ \frac{\partial f_c}{\partial \sigma} \right\} \left\{ \frac{\partial f_c}{\partial \tau} \right\}^T \{d\sigma\} \quad \text{ここで、} h_s \text{と} h_c \text{は共に比例定数である。}$$

(2) 弾性ひずみ増分： $\{d\epsilon\}^e$

弾性ひずみ増分は、一般化されたフックの法則により決定され、 $\{d\epsilon\}^e = [D]\{d\sigma\}$ で表わされる。本報告では、弾性マトリックス $[D]^E$ に含まれる弾性定数はせん断弾性係数Gと体積弾性係数Kを用いて解析を行った。

(3) 破壊条件式

破壊条件式は強度定数の推定が容易で、かつ安全側の結果を与えるMohr-Coulombの破壊基準を採用した。なお、b-値($= \sigma_2/\sigma_1 - \sigma_3$)を導入することにより中間主応力の効果が考慮し得るものである。

3. 解析モデルの概略

解析手法は有限要素法であるが、解析モデルの要素分割、断面諸元および境界条件を図-1に示した。なお、図中に示す如く矢板は厚さを無視し、その変形は考慮しない完全固定としている。また、平面ひずみ問題と考えて解析し、模型実験より得た知見から、地盤内の変形に伴う透水係数の変化は無視して透水係数は常に一定の均質等方性地盤と考えた。次に、西・江刺の構成式を用いた応力～変形解析で必要となる材料の物性値(初期間隙比： e_0 、砂の内部摩擦角： ϕ 、 ϕ_m 、比例定数： G' 、 λ 、 κ 、静止土圧係数： K_0 、ポアソン比： ν)および、その他の

表-1 材料の物性値

e_0	0.776
ϕ_f	39.5°
ϕ_m	34.7°
G'	286.0
λ	0.0164
κ	0.0077
K_0	0.364
ν	0.267
G_s	2.687
k	0.100cm/s

諸定数(土粒子の比重: G_s , 透水系数:

k)を表-1に表わした。表に示した諸定数は、模型実験で用いたと全く同一の試料について各種土質試験を行って算出したものである。

4. 解析結果および考察

地盤内の要素の破壊域の拡大状況は、水位差 $\Delta H=20\text{cm}$ で初めて矢板先端部の要素がせん断破壊を起こし、以後、水位差増大に伴い逐次下流側矢板近辺の要素が地表面に向って破壊して行った。このうち、かなり破壊域が拡大した状態のものを図-2に示したが、図は実験で観察された破壊の状況とよく合致している。ところで、先に報告した模型実験で観測した地盤の支持力低下の始まりは水位差で約 50cm の時であったことを考慮すれば、本解析は地盤の完全崩壊以前の強度低下を十分に予測し得ると考える。次に、水位差 45cm の時の地盤の変形状態を図-3に示した。図は実験で見られた下流側矢板附近の盛り上がりや上流側矢板近辺の下降および矢板周辺部の地盤の挙動をよく表わしている。なお、破壊域の発生状況についても言えることであるが、実験結果との若干の相違は、本解析が微小変形理論に基づくことや境界条件および矢板部分の処置などに関係すると考える。今後、改良して行くつもりである。一方、図-4は要素の応力経路を σ_m - τ_{oct} 面にプロットしたものである。図は下流側要素が浸透力の影響により応力レベルの低下傾向を示して破壊に至る過程をよく表わしている。

5. 結言

本報告はクイックサンド現象を西・江刺の構成則を導入して、土-水相互作用系の問題として有限要素解析したもので、模型実験結果と比較的良好な対応を示した。従って、本解析手法の妥当性と有意性が確認されたと考える。なお、破壊した要素の破壊後の処置やその地盤全体に及ぼす影響の評価などの問題について、今後さらに研究して行きたい。

<参考文献> 1) 山上・滝(1980): クイックサンド現象に関する実験的考察, 第15回土質工学研究発表会(投稿中)。2) 西・江刺(1977): 軟質地盤における基礎の支持力と変形(その1), 電力中央研究所報告。

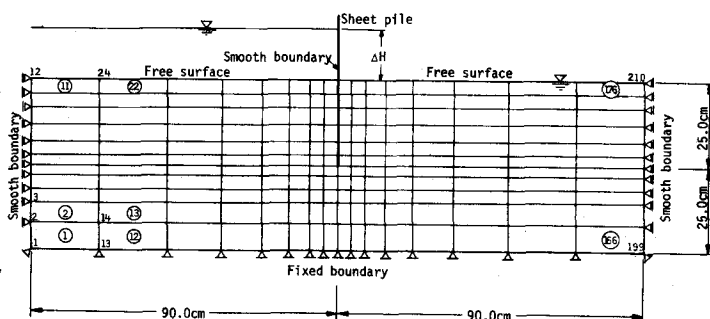


図-1 要素分割(2次元模型地盤)

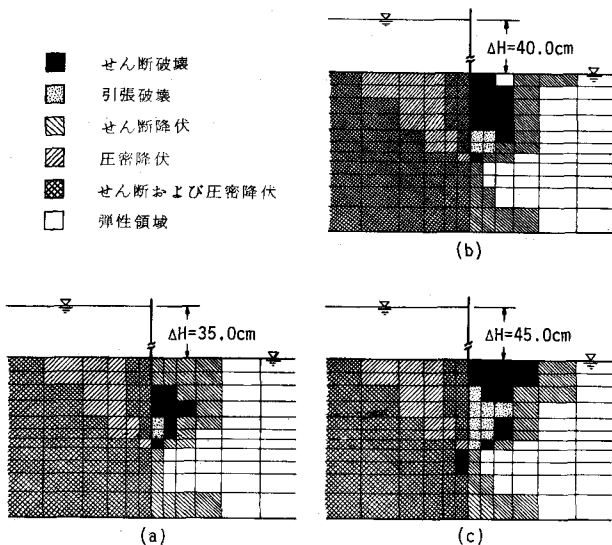


図-2 水位差増大に伴う破壊域の発生とその拡大状況

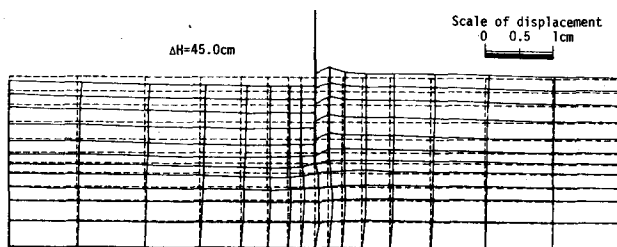


図-3 地盤変位図

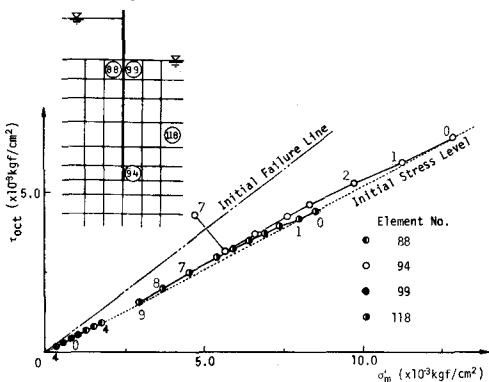


図-4 地盤内要素の応力経路