

III-569 弾塑性構成式を用いた地盤の浸透破壊解析

岐阜大学工学部 岡二三生 岐阜大学工学部 八嶋 厚
(株) 鴻池組 ○加藤 満 前田建設工業(株) 佐々木昭彦
(元岐阜大学)

1. はじめに 地下空間の有効利用や大深度地下構想が注目される近年、大規模地下掘削に伴う地盤の浸透破壊現象が問題となっている。しかしながら、砂地盤の浸透破壊問題に対する解析的研究に着目すると、土を無変形剛体として水の流れのみを解析する手法や、土を弾性体と仮定した解析手法が多く、砂の構成式を用いる、応力変化と浸透現象を同時に考慮した連成解析例はあまり多くない。そこで、本報では新たに弾塑性構成式を用いた浸透破壊解析法を提案し、解析例を示す。本解析手法では、過剰間隙水圧の蓄積による破壊への漸近現象を浸透破壊現象の主要なメカニズムとして捉えており、従来にはあまり行われていなかった初期状態から最終破壊状態に至るまでの変形や間隙水圧の蓄積などを数値解析的に再現できる。

2. 解析法について 本研究では浸透破壊を一種の液状化現象として捉えているため、既に提案している液状化解析プログラム¹⁾を一部改良して解析を行った。定式化は、Biotの二相混合物理理論に立脚した支配方程式を有限要素法と差分法で離散化することによって行い、砂の構成式としては、間隙水圧が蓄積する過程での塑性変形を忠実に再現可能な足立・岡モデル²⁾を用いている。

3. 浸透破壊解析 ここでは、一次元・二次元浸透破壊問題に対する本解析法の適用を行った。一次元解析モデルとしては、図-1に示すような、深さ40cmで鉛直方向に4つの正方形要素から成るものを設定し、下方から鉛直上向きに水圧を作用させた。用いた材料パラメータを表-1に示す。結果として、全4要素とも時間の経過とともに過剰間隙水圧が増加して平均有効応力が減少し、ついには平均有効応力が初期の5%になることで32秒後に破壊条件を満足した。また、図-2は解析モデルの深さ35cmにおける有効応力経路であるが、経路は原点に向かうという液状化現象にみられる傾向を示している。図-3は、各時間の全水頭分布を示している。限界動水勾配は $i_{cr} = 0.825$ であるが、水圧上昇32秒後には全水頭分布がその勾配にほぼ達している。なお、一次元解析においては、弾性・弾塑性解析の顕著な違いがみられなかった。

上記のように、本解析法は砂地盤の浸透破壊を表現できることが明らかとなったが、次に二次元解析を試みた。解析モデルを図-4に示す。解析は矢板の左側上部より水位を上昇させた場合について行ったが、材料パラメータは多くの模型実験に用いられている豊浦標準砂のものを、矢板と地盤の間にはジョイント要素を用いた。なお、透水係数は $k = 0.0001$ (m/sec)を用いた。ここではさまざまな角度から検討した全ての解析結果について紹介するのは困難であるため、一例

として、水位上昇速度 0.002 (cm/sec) の場合の等ポテンシャル線分布および破壊域を示す(1000000秒後)。破壊要素の拡大の様子をみると、弾性モデルでは矢板左側上部からほぼ順番に破壊域が拡大し、矢板右側に破壊要素が現れるのは、左側の全要素が破壊に至ってからである(図-5)。一方、足立・岡モデルでは図-6

表-1 材料パラメータ

密度	ρ	0.184 tf/m ³
初期透水係数	k_0	1.0×10^{-3} m/sec
静止土圧係数	K_0	0.5
初期間隙比	e_0	1.0
変相応力比	M_m^*	1.1
破壊応力比	M_f^*	1.28
膨潤指数	κ	0.5×10^{-2}
硬化パラメータ	G^*	200

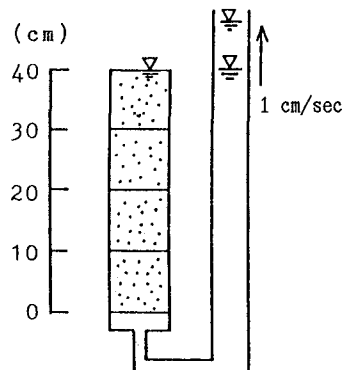


図-1 有限要素メッシュ

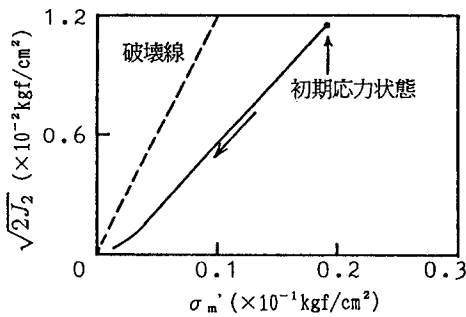


図-2 有効応力経路

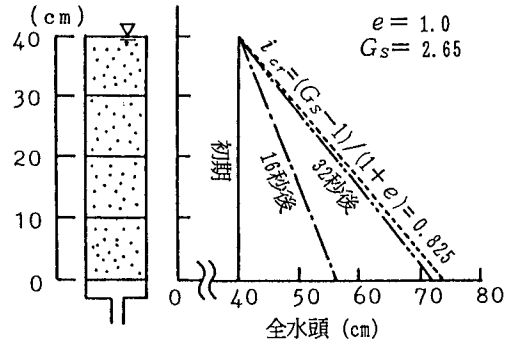


図-3 全水頭の分布

に示すように矢板左側の部分に未破壊要素が残っている状態でも、矢板右側に破壊要素が現れている。特に、矢板右側の先端部には等ポテンシャル線の集中する付近に局所的な破壊域がみられ、矢板の根入れ深さ1/2の幅で地盤が破壊するとしたTerzaghiの提案する設計法と同様の結果が得られた。

4. おわりに 本報では弾塑性構成式を用いた浸透破壊解析手法を提案した。本提案手法は浸透破壊現象の実挙動を再現するにあたって有効であると考えられる。今後、掘削問題への適用などを進める予定である。

5. 参考文献 1) 柴田 徹 他；FEM-FDM液状化解析手法とその適用性，第8回日本地震工学シム'ジウム講演集，

pp. 807-812, 1990. 2) Akai, K., T. Adachi and F. Oka; Constitutive Equations for Granular Non-cohesive Soils, Edited by Saada & Bianchini, Balkema, pp. 101-114, 1988.

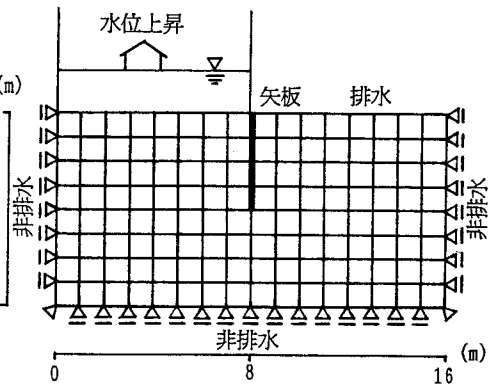


図-4 有限要素メッシュ

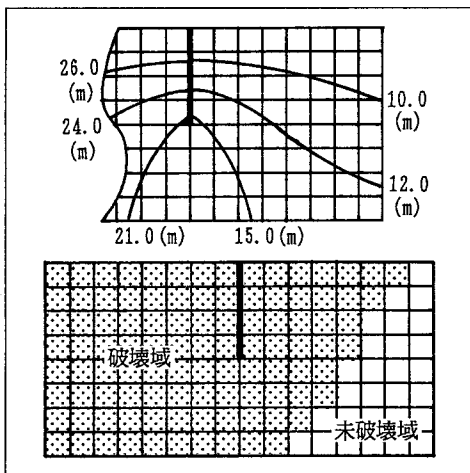


図-5 等ポテンシャル線の分布と破壊域の拡大(弾性モデル)

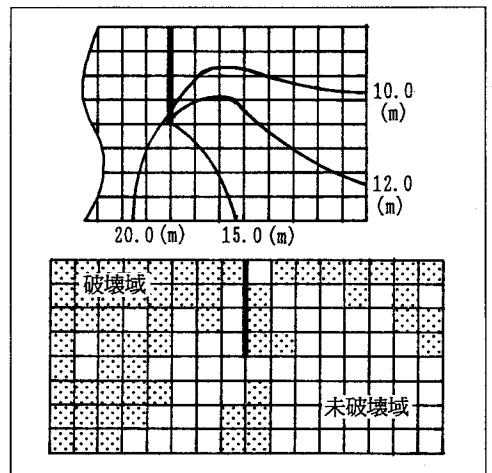


図-6 等ポテンシャル線の分布と破壊域の拡大(足立・岡モデル)