

### 空気注入不飽和化工法の開発 その9：レベル2地震動に対する照査の一例

(株)ニュージェック 正会員○曾根 照人 四国地方整備局 正会員 小泉 勝彦  
 東亜建設工業(株) 正会員 浅田 英幸 (株)不動産テトラ 正会員 新川 直利  
 オリエンタル白石(株) 正会員 藤井 直 (株)ダイヤコンサルタント 正会員 山浦 昌之  
 愛媛大学 正会員 岡村 未対

#### 1. はじめに

空気注入不飽和化工法(Air-des 工法)は、地盤中に空気を注入することにより地震時の間隙水圧の上昇を抑制する液状化対策工法である。本稿では、空気注入不飽和化工法を適用した地盤に対して、二次元有効応力地震応答解析 FLIP<sup>1)</sup>を適用する際の地盤パラメータの設定方法について検討し、要素毎の有効上載圧力を考慮したパラメータ設定方法を構築した結果を報告する。また、重力式岸壁への空気注入不飽和化工法の適用により、地震時の水平変位を抑制し、レベル2地震動に対する性能規定を満足することができた事例について報告する。

#### 2. 不飽和地盤の液状化強度

不飽和化された土は、土中の間隙に空気が存在することによって液状化強度が増加する。これは、地震により間隙水圧が上昇すると気泡の圧縮に伴う体積減少により、間隙水圧の上昇が抑制されるためである。この間隙水圧抑制効果は間隙中に存在する空気の圧縮性がその支配的な要因である。岡村ら<sup>2)</sup>は過剰間隙水圧が有効上載圧力と同値になるときの体積ひずみを体積ひずみポテンシャル  $\varepsilon_v^*$ (式(1))と定義し、体積ひずみポテンシャルは、液状化強度倍率 IR(不飽和状態での液状化強度比/飽和状態での液状化強度比)とユニークな関係(式(2), 図-1)にあることを示している。

$$\varepsilon_v^* = \frac{\sigma_v'}{P_0 + \sigma_v'} \left(1 - \frac{S_r}{100}\right) \frac{e}{(1+e)} \quad \dots (1)$$

$$IR = \frac{R'}{R} = \log(6500 \varepsilon_v^* + 10) \quad \dots (2)$$

ここで、 $P_0$  は真空圧を基準とした絶対圧であり、その他の圧力は大気圧を基準とした通常のゲージ圧である。

$P_0$ : 静水圧(絶対圧),  $\sigma_v'$ : 有効上載圧力,  $S_r$ : 飽和度(%),

$e$ : 土の間隙比,  $IR$ : 液状化強度倍率,

$R'$ : 不飽和状態での液状化強度比,  $R$ : 飽和状態での液状化強度比

図-2 は不飽和土における繰返し非排水三軸試験結果をもとに、

繰返し回数 5 回, 10 回, 50 回における不飽和化に伴う液状化強度増加量を、繰返し回数 20 回における不飽和化における液状化強度増加量で正規化したものを各体積ひずみポテンシャル  $\varepsilon_v^*$  でプロットしたものである。なお、液状化の定義は軸ひずみ両振幅 5% である。図-2 より、液状化強度増加量を正規化した値は、 $\varepsilon_v^* \leq 0.005$  ではややばらつきがおおきいものの、それ以外では体積ひずみポテンシャルによらず概ね 1.0 付近に分布している。これから、不飽和化に伴う液状化強度の変化は、傾きは変化せず平行移動する形となることが分かる。そのため、式(2)で求まる繰返し回数 20 回での液状化強度比の増加分は、全ての回数での増加分として与えることができる。

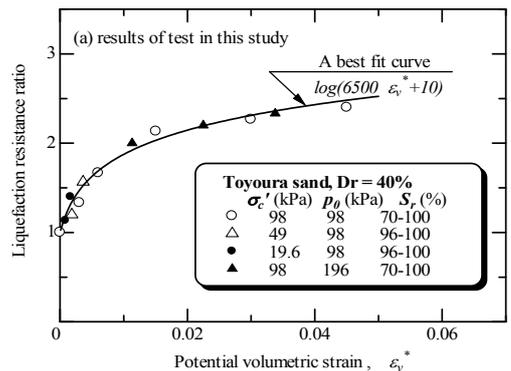


図-1  $\varepsilon_v^*$ と液状化強度倍率<sup>2)</sup>

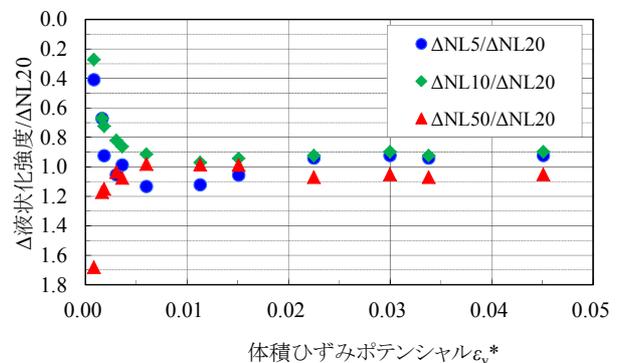


図-2 繰返し回数 20 回の液状化強度増加量と各繰返し回数における液状化強度の増加量の関係

キーワード 空気注入不飽和化工法, 地震震応答解析, 不飽和土, 液状化対策

連絡先 〒531-0074 大阪市北区本庄東 2-3-20 株式会社ニュージェック港湾・海岸グループ TEL06-6374-4038

### 3. FLIP を用いた不飽和地盤のモデル化

2.で示した不飽和地盤の液状化強度を有効応力地震応答解析で考慮する方法としては、液状化強度比を割り増す方法、間隙水の体積圧縮係数に飽和度(空気量)を考慮する方法がある。FLIP では、間隙水の体積圧縮係数に飽和度(空気量)を考慮して体積圧縮係数を小さくすると液状化強度が低下する不具合を生じる。そのため、液状化強度比を割り増す方法で不飽和地盤をモデル化する。不飽和土の液状化強度比は図-1 に示すように体積ひずみポテンシャルに応じて大きくなる。その体積ひずみポテンシャルは、有効上載圧力、初期間隙水圧が関係しているため1次元・2次元状態を考慮した場合、同一土層であっても、地盤の不飽和化による対策効果が異なる。したがって、対策効果を適切に考慮した数値シミュレーションを実施するには各要素に異なるパラメータを入力する必要がある。しかし、2次元解析において要素数は数千要素にもなり、設計実務で個々に異なるパラメータを入力することは非常に煩雑となり、ケアレスミスの増加、多大な解析時間・費用につながる可能性が高い、したがって、そうした問題を解決するために、各要素に異なるパラメータを自動的に設定することのできるシステムを作成した。システムのフローを図-3 に示す。

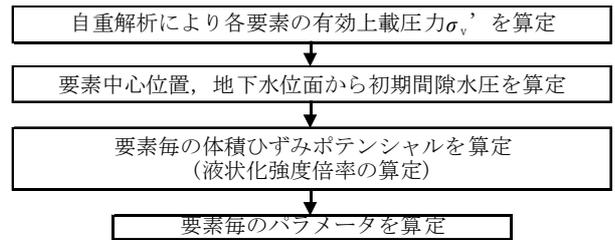


図-3 システムのフロー

### 4. FLIP を用いたレベル2地震動に対する性能照査

対象施設は、重力式岸壁である。当岸壁の裏埋土及び盛砂の等価 N 値を 5 と設定し、空気注入不飽和化工法の開発。その8で示した必要飽和度を算定した結果、必要飽和度は 97.2~99.4%となった。このため、設計飽和度 95%でレベル2地震動に対する性能照査を実施した一例を以下に示す。性能規定は、地震後の変位(残留変位)に関して水平方向、100cm 以下と設定した。照査結果を表-1、図-4、図-5 に示す。飽和度を 95%に低下することで、未改良断面に対し残留水平変位で 63%低減させることができ性能規定を満足できる結果となった。

表-1 性能照査結果

ケース	飽和度 $S_r$ (%)	残留変位(cm)		
		水平方向		鉛直方向
Case1	100.0	120	> 100 OUT	23
Case2	95.0	75	≤ 100 O.K	23

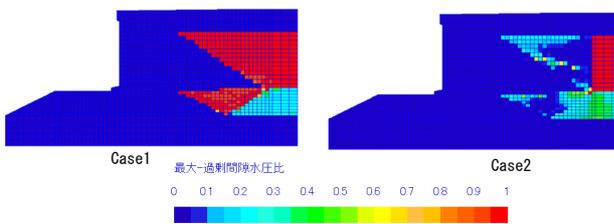


図-4 最大過剰間隙水圧比分布

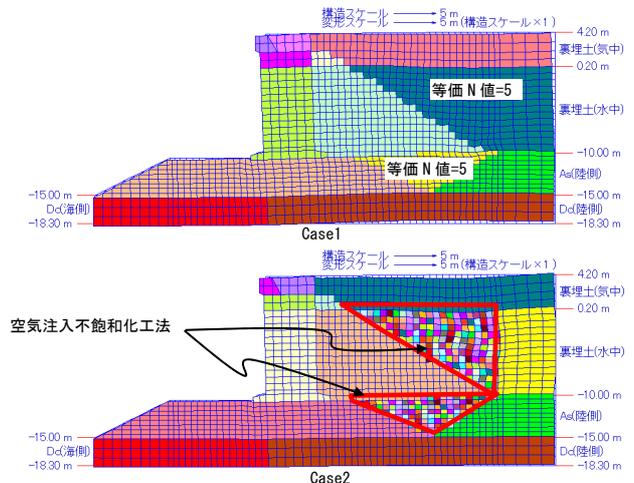


図-5 残留変位図

### 5. おわりに

空気注入不飽和化工法を適用した地盤に対して、二次元有効応力地震応答解析 FLIP を適用する際の地盤パラメータの設定方法について検討し、要素毎の有効上載圧力を考慮したパラメータを設定できるシステムを構築した。これにより不飽和の液状化強度を FLIP 解析に適切に考慮できるようになった。このシステムを用いて、空気注入不飽和化工法を評価した2次元地震応答解析により、本工法の有効性を確認することができた。

今後は、模型実験を実施しそれとの比較検証により解析精度の向上を図る必要がある。また、地盤内の間隙水の移動を考慮できる詳細な解析手法の適用による地盤改良範囲の縮減検討も必要である。

### 参考文献

- 1) Susumu.Iai,Yasuo Matsunaga,Tomohiro Kameoka:Space Plasticity Model for Cyclic Mobility,Report of Harbour Research Institute,Vol.27,No.4,pp.27-56,1990.
- 2) Mitsu Okamura and Yasumasa Soga:Effects of pore fluid compressibility on Liquefactionresistance of partially saturated sand,Soils and Foundations Vol.46,No.5,pp.695-700,2006.