

## 潮位変動に対する飽和/不飽和地盤の応答予測

佐々真志・李 風英・関口秀雄

## 1. 研究目的と内容

本研究は、波浪や地下水変動等の動的環境外力を受ける水際不飽和地盤の不安定化問題を対象として、土の飽和/不飽和浸透と弾塑性特性を忠実にモデル化した連成解析コードを開発することを目的としている。具体的には、不飽和土の乾燥収縮、圧縮/せん断挙動、浸潤膨張とコラプス過程、及び繰り返し塑性挙動を統合的に記述可能な一般形の弾塑性構成モデルを開発した。そして、本構成則と新たに提案する増分形の水分特性曲線モデルを組み込むことにより、飽和/不飽和地盤の二次元弾塑性変形と間隙空気-水連成流れを一体的に予測しうる有限要素解析コードを開発している。本解析コードによると、砂浜海岸の潮位変動応答すなわち地下水変動、サクシオンならびに飽和度等の時系列変化を精度よく予測することができる。以下では、モデリングの要点と解析結果の例(図1, 2)を示す。

## 2. 水際不飽和土の弾塑性モデリング

ネット応力  $\sigma'' = \sigma - u_a$  (ここに  $\sigma$  は全応力、 $u_a$  は間隙空気圧) とサクシオン  $s = u_a - u_w$  (ここに  $u_w$  は間隙水圧) を応力変量として構成される Alonso(1990)らによる弾塑性モデルを拡張することにより、次のかたちの一般化した不飽和土の弾塑性構成式を導出している。

$$d\sigma''_{ij} = C_{ijkl}^{ep} d\varepsilon_{kl} - \left\{ A_s + \frac{\lambda_s - \kappa_s}{v(s_0 + p_{at})} \right\} C_{ijkl}^{ep} \delta_{kl} ds \quad (1)$$

ここに、 $\delta_{ij}$  は Kronecker のデルタ記号、 $C_{ijkl}^{ep}$  は弾塑性テンソル、 $A_s$  はサクシオン変化に対する体積圧縮係数である。本モデルの特徴として、 $\sigma''_{ii}/2 \geq p_0$  かつ  $ds < 0$  の条件下において  $\delta_{ij} = -\delta_{ij}$  と置き換えることにより、水面変動下における不飽和土の塑性圧縮ひずみの蓄積過程(すなわち、サクシオン増加にともなう乾燥収縮とサクシオン減少にともなうコラプス圧縮)の表現を可能としていることが挙げられる。また、サクシオンが一定すなわち  $ds = 0$  の場合には、上記の構成式(1)は飽和土の構成式に帰着する。

## 3. 飽和/不飽和砂地盤の弾塑性変形と間隙空気-水連成流れの一体解析

土の飽和/不飽和浸透を予測する上で、水分特性曲線(飽和度  $S_w$  -サクシオン関係)の役割は重要である。本研究では、非定常な間隙空気-水連成流れの場を解析する観点から、次式のような増分形の水分特性曲線を提案している。

$$dS_w = - \left( \frac{1 - S_w}{n} \cdot A_s + a \right) \cdot ds \quad (2)$$

ここに  $n$  は土の間隙率、 $a$  は間隙空気量の変化の影響を表すパラメタである。

本研究では、提案する増分表示の弾塑性構成式(1)ならびに水分特性曲線式(2)を組み込んだ有限要素方程式系(応力の釣合い式、間隙空気及び間隙水の貯留方程式からなる)を一体的に解くことにより、土骨格の変位増分、間隙水圧及び間隙空気圧の場を求めることを可能としている。

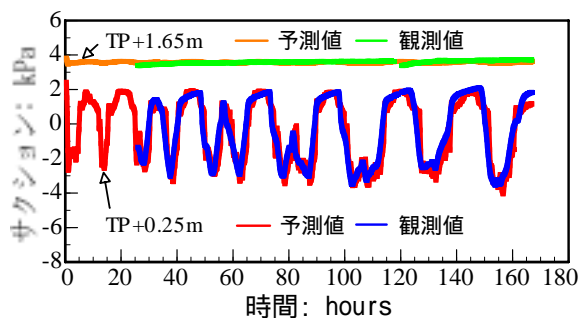


図1 潮位・地下水位変動にともなう砂浜海岸のサクシオン変化の時刻歴：予測と観測結果

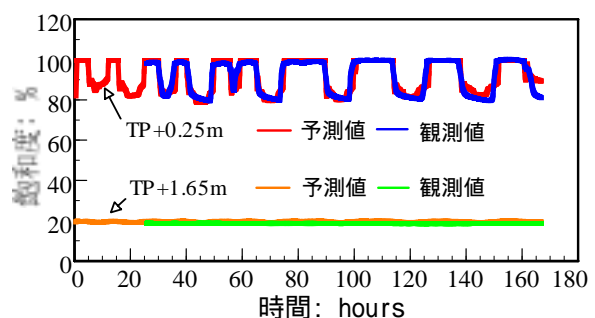


図2 潮位・地下水位変動にともなう砂浜海岸の飽和度変化の時刻歴：予測と観測結果