

水平変位の再現性に着目した大規模盛土の弾粘塑性解析

鹿島建設(株) 正会員 ○大野進太郎

鹿島建設(株) 正会員 森川 誠司

国土交通省関東地方整備局 志茂 香

1. はじめに

羽田空港D滑走路工事に代表されるように、近年の大規模軟弱地盤工事では長期圧密沈下だけでなく、水平変位の高精度な予測が必要となるケースが増加している。羽田空港D滑走路の設計・施工においては、関口・太田による弾粘塑性構成モデル（関口・太田モデル）のオリジナルカムクレイ型の降伏曲面形状を修正カムクレイ型に変更した構成モデル（関口・太田モデル（修正カムクレイ型））を用いて、接続部護岸の水平変位を予測し、高い精度を実現した^{1), 2)}。著者らは、水平変位の予測精度の更なる向上を目的として、降伏曲面形状がその予測精度に及ぼす影響に着目し、オリジナルカムクレイや修正カムクレイの特徴を内包するより一般性の高い構成モデルである Exponential Contractancy モデル³⁾（以後、EC モデル）を土・水連成 FEM 解析プログラムに導入した。本論文は、その解析プログラムによる地盤の弾粘塑性解析事例を報告するものである。

2. EC モデルの概要

大野ら³⁾が提案した EC モデルの降伏関数は以下のとおりである。

$$f(\sigma', \varepsilon_v^p) = MD \ln \frac{p'}{p'_0} + \frac{MD}{n_E} \left(\frac{\eta^*}{M} \right)^{n_E} - \varepsilon_v^p = 0 \quad (1)$$

$$\eta^* = \sqrt{\frac{3}{2}} \|\eta - \eta_0\|, \quad \eta = \frac{s}{p'}, \quad s = \sigma' - p'1, \quad \eta_0 = \frac{s_0}{p'_0}, \quad s_0 = \sigma'_0 - p'_0 1, \quad p' = \frac{1}{3} \sigma' : 1, \quad p'_0 = \frac{1}{3} \sigma'_0 : 1 \quad (2)$$

ただし、 σ' ：有効応力テンソル、 σ'_0 ：先行時有効応力テンソル、 η^* ：関口・太田による応力比パラメータ、 ε_v^p ：塑性体積ひずみ、 M ：限界応力比、 D ：ダイレイタンス係数、 n_E ：降伏曲面の形状調節パラメータである。上述したパラメータの内、既往のモデルから新たに追加されたものがパラメータ n_E であり、解析対象となる地盤に応じて、非排水三軸試験の応力経路などとのフィッティングにより同定可能である。図1にパラメータ n_E を 1.0～2.2 と設定した場合の降伏曲面の形状を示す。 n_E が 1.0 の場合、その形状は関口・太田モデルに帰着し、 n_E が 1.5 の場合、修正カムクレイモデルに近い形状となることがわかる。また、図2にp一定排水せん断試験⁴⁾に対する EC モデルによるフィッティング結果を示す。粘土によって、様々な n_E の同定値が得られることがわかる。

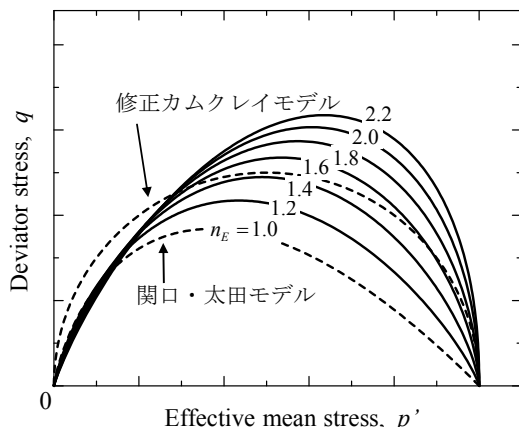
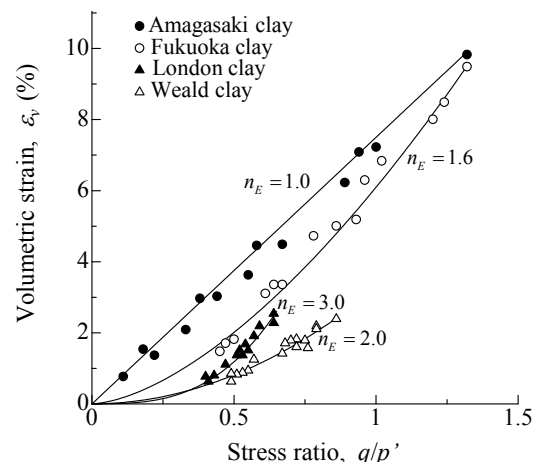


図1 ECモデルの降伏曲面

図2 p一定排水せん断試験⁴⁾に対するフィッティング

キーワード 弾粘塑性解析, 土・水連成, 有限要素法, 水平変位

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株) 土木設計本部 TEL 03-6229-6684

3. ECモデルによる弾粘塑性解析事例

図3に羽田空港D滑走路接続部護岸を対象としたECモデルによる弾粘塑性解析結果を示す。解析条件は実施設計時のものと同様とした(条件の詳細は村上ら¹⁾を参照)。解析断面は、接続部背面における埋立高さが最も高い滑走路断面とした。また、降伏曲面の形状調節パラメータ n_E が解析結果に及ぼす影響を検討するために、その設定値を1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00の5通りとした。なお、弾粘塑性解析を実施するにあたり、ECモデルの降伏関数(式(1))を村上ら¹⁾の方法に従い弾粘塑性モデルに拡張している。

図3から、パラメータ n_E は、沈下にはほとんど影響を及ぼさないのに対し、水平変位には非常に大きな影響を与えることがわかる(天端水平変位の範囲は33~89cmであった)。なお、パラメータ n_E を1.50と設定したケースは、当該工事の設計・施工に用いられた関口・太田モデル(修正カムクレイ型)の結果とほぼ整合している。これは、2で記載した通り、降伏曲面の形状が近いためであると考えられる。当該工事において、関口・太田モデル(修正カムクレイ型)が高い精度を発揮したことから、羽田空港付近の地盤に対するパラメータ n_E の設定値は、1.50程度が妥当であると推察される。

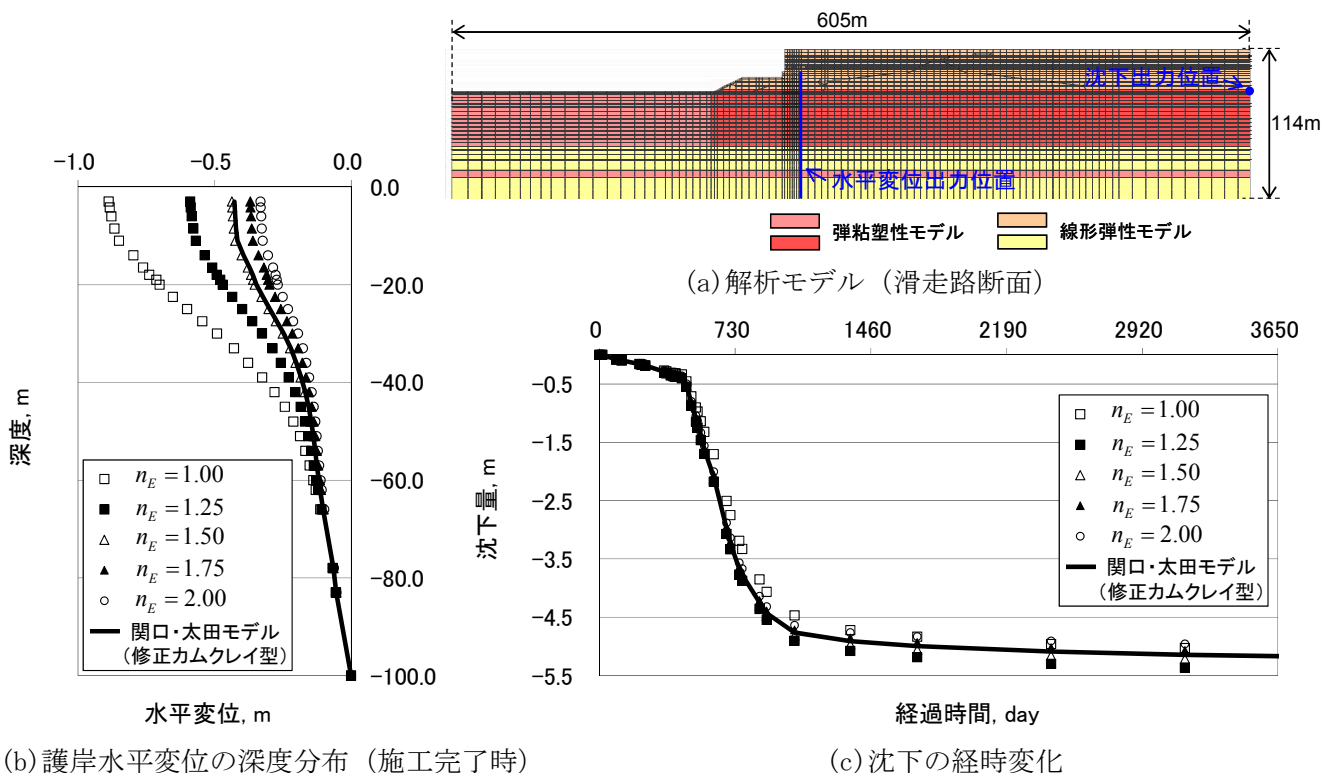


図3 羽田空港D滑走路接続部護岸を対象とした弾粘塑性解析結果

4. おわりに

大規模盛土を対象とした弾粘塑性解析から、ECモデルの降伏曲面の形状調節パラメータ n_E は盛土の水平変位予測結果に大きなインパクトを与えることがわかった。解析対象となる地盤に応じて最適なパラメータ n_E を採用することにより、水平変位の予測精度が大きく向上することが期待できる。今後は、パラメータ n_E について、実現場への適用検討を数多く実施し、同定値のデータを蓄積するとともに、観測施工における逆解析パラメータとしての適用性も検討したい。

参考文献

- 1) 村上ら：弾粘塑性 FEM 解析による大規模護岸構造物の変形予測，土木学会論文集 C，Vol. 68，No. 2，pp. 224-238，2012。
- 2) 村上ら：羽田空港D滑走路埋立／栈橋接続部の鋼管矢板井筒護岸の挙動予測—その3弾粘塑性FEM解析による護岸挙動の予測と施工への反映—，第45回地盤工学研究発表会，pp. 2085-2086，2010。
- 3) 大野ら：非線形コントラクタンシー表現関数を用いた土の弾塑性構成モデル，応用力学論文集，Vol. 9，pp. 407-414，2006。
- 4) 柴田：粘土のダイラタンシーについて，京大防災研年報6号，pp. 128-134，1963。