

地盤変形の影響を考慮した鋼管矢板井筒護岸の設計 (その 2)

—遠心模型実験に対する弾・粘塑性構成式の適用性検討—

有効応力解析 遠心模型実験 弾・粘塑性構成式 鹿島建設 (株) 正会員 ○村上 武志, 山田 岳峰, 上本 勝広 鹿島建設 (株) 国際会員 森川 誠司, 小林 一三 国土技術政策総合研究所 正会員 宮田 正史 国土交通省 東京空港整備事務所 福本 裕哉

1. はじめに

現空港の沖合いに建設する羽田空港 D 滑走路島は、埋立部と栈橋部からなり、構造境界には抗土圧構造物である鋼管矢板井筒護岸 (以下接続部) を建設する。接続部は埋立部の高盛土により、施工中から長期にわたる地盤の水平変位影響を受ける事から水平変位の予測精度を高める必要がある¹⁾。地盤の長期的な変形挙動の予測は弾・粘塑性構成式を用いた土・水連成 FEM 解析を用いて実施することが多いが、水平変位に着目した検討実績は比較的少なく、また一般的に降伏曲面にカムクレイモデルを用いた構成式では水平変位が過大に評価される事が多い²⁾。そこで、接続部背後の盛土載荷時の水平変位に着目して遠心模型実験や土質材料の力学試験を実施し、これをシミュレーションすることによって、弾・粘塑性構成式として適用実績の多い関口・太田モデルの適用性を検討すると共に、降伏曲面に修正カムクレイモデルを用いた構成式の水平変位予測への適用性について検討する。

2. 実験装置・方法

接続部の遠心模型実験の概要図を図-1 に示す。実験に使用した地盤材料は主にカオリン粘土であるが、サンドマットを模擬して表層には豊浦砂を敷いた。遠心力は 100G とし、接続部の背面構造は比重の異なる 2 種類の液体 (軽量材位置に水 (比重 1.0)、標準材位置にヨウ化ナトリウム溶液 (比重 1.8)) を図-1 に示すゴムバック内に注入することによってモデル化した。実スケール (実験モデルに対し、長さを 100 倍、時間を 10,000 倍したスケール) で約 11m の高さまで 300 日で載荷したのち、25 年放置した。計測は軽量材および標準材直下、矢板前面にポテンシオメータを設置し、鉛直変位を計測した。地盤側面にはメンブレンを貼り付け、ターゲットを設置して地中変位および矢板の水平変位を画像解析によって計測した。地盤中には間隙水圧計を設置した。

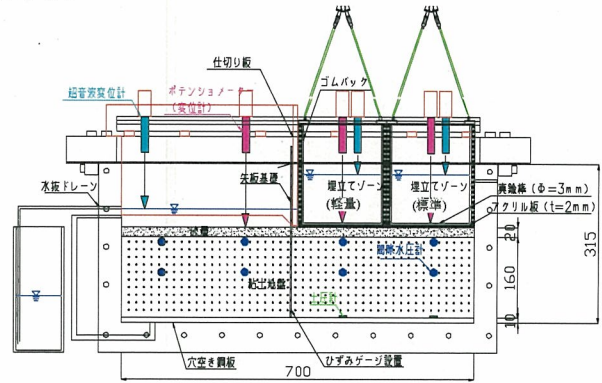


図-1 遠心模型実験概要図

表-1 粘土の解析定数設定値と設定根拠

土質パラメータ		算出に用いた試験	採用値
圧縮指数	λ	三軸等方圧密試験	0.256
膨潤指数	κ	標準圧密試験	0.033
ガレイトン係数	D	p -一定三軸 CD 試験	0.071
限界応力比	M	三軸 CU 試験	1.07
有効ポアソン比	ν'	p -一定三軸 CD 試験	0.2
初期透水係数	k_0	三軸透水試験 標準圧密試験	1×10^{-6} (cm/s)
初期体積ひずみ速度	\dot{v}_0	標準圧密試験 $\dot{v}_0 = \alpha/t_c$	7×10^{-7} (1/day)
二次圧密係数	a	長期三軸等方圧密試験	0.0017

カオリン粘土の解析用物性値は、別途実施した標準圧密試験、三軸 CU 試験、長期三軸等方圧密試験などから決定した。解析用物性値と設定根拠となった試験結果を表-1 に示す。透水係数 k_i は間隙比 e の変化に応じて式(1)により変化させた。ここで γ_w は水の単位体積重量である。

$$\frac{k_i}{\gamma_w} = \frac{k_0}{\gamma_w} \exp\left(\frac{e - e_0}{\lambda}\right) \dots (1)$$

3. シミュレーション解析の概要

シミュレーション解析は 2 次元土・水連成弾・粘塑性解析によって実施した。解析モデルを図-2 に示す。解析モデルは実スケールとし、粘性土材料であるカオリン粘土の構成式として、関口・太田による弾・粘塑性モデル²⁾と関口・太田モデルの降伏曲面を Hashiguchi and Chen⁴⁾, Asaoka⁵⁾らにならひ、修正カムクレイ型に変更したモデル (以下、関口・太田モデル (修正カムクレイ型)、図-3 参照) の 2 次元

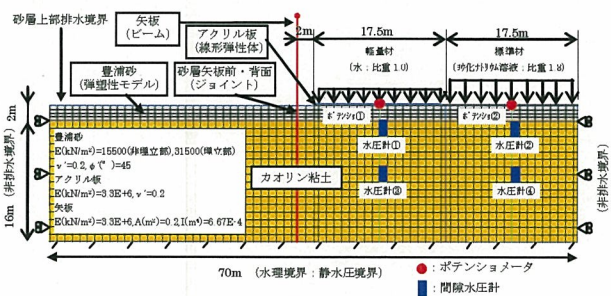


図-2 解析モデル図

Design of steel pipe sheet-pile cellular seawall considering the effect of the ground deformation (Part 2) - Investigation of elasto-viscoplastic constitutive model by centrifuge model test -, Takeshi MURAKAMI, Seiji MORIKAWA, Takemine YAMADA, Ichizo KOBAYASHI, Katsuhiro UEMOTO (Kajima Corporation), Masafumi Miyata (National Institute for Land and Infrastructure Management), Hiroya FUKUMOTO (Ministry of Land, Infrastructure and Transport)

ースについて解析を行なった。豊浦砂は弾塑性体 (Drucker-Prager) とした。矢板はビーム要素でモデル化し、砂層位置の矢板前・背面にはジョイント要素を配置してすべりを考慮した。矢板の背面荷重は等分布荷重でモデル化した。粘性土以外の物性値、変位境界条件および排水境界は図-2 に示す通りである。

4. 力学試験の一要素解析

遠心模型実験のシミュレーション解析に先立ち、カオリン粘土の力学試験 (排水せん断試験) の一要素解析によって、関口・太田モデルと関口・太田モデル (修正カムクレイ型) の適用性について検討した。試験は拘束圧 100,200,400kPa の 3 ケースについて行ない、それぞれに対してシミュレーションを行なった。図-4 に関口・太田モデルと、関口・太田モデル (修正カムクレイ型) の応力-ひずみ関係のシミュレーション結果を示す。軸差応力は初期の圧密圧力で除し、無次元化している。関口・太田モデルと比較して、関口・太田モデル (修正カムクレイ型) は実験結果を良好にシミュレートしていることが分かる。

5. 遠心模型実験のシミュレーション解析

図-5、図-6 に軽量材直下 (ポテンシ①) および標準材直下 (ポテンシ②) の鉛直変位の経時変化を示す。軽量材直下の鉛直変位は両モデルともに実験結果を良く再現できている。標準材直下の鉛直変位は、関口・太田モデルでは実験結果と比較して大きめの値になっているが、両モデルともに概ね実験結果を再現できることが分かる。ただし、両モデルによる解析とも沈下の進行は実験結果よりも早くなる傾向がある。

図-7 に 25 年放置終了後の矢板の水平変位を示す。実験結果と比較して関口・太田モデルは最大値で約 3 倍の変位となっているが、関口・太田モデル (修正カムクレイ型) は概ね実験結果と整合している。

図-8 に水圧計④の過剰間隙水圧の実験結果と解析結果を示す。両モデルによる解析は、ともに概ね実験結果を表現出来ている。

6. まとめ

遠心模型実験のシミュレーションにおいて、鉛直変位に関しては関口・太田モデルは実験結果と比較し、やや大きめの沈下量を示すものの、ともに概ね実験結果を再現でき、設計上安全側の評価を与えることが確認できた。一方、水平変位に関しては関口・太田モデルは実験結果の 3 倍程度大きく、関口・太田モデル (修正カムクレイ型) は実験結果を良く再現できることが分かった。なお、施工事例 3 ケースについて地盤変位の検証を実施し、同様の結果を得たことから、水平変位の予測には、関口・太田モデル (修正カムクレイ型) の適用が妥当であることを確認した。

謝辞：本検討にあたり、東京工業大学太田教授、大野助手 (現立命館大学)、神戸大学飯塚教授には貴重なご意見を頂いた。ここに謝意を表します。なお、本検討は東京国際空港D滑走路建設外工事の設計業務の一環として実施した成果の一部である。

参考文献： 1) 坂梨他：地盤変形の影響を考慮した鋼管矢板井筒護岸の設計(その1),第 42 回地盤工学研究発表会, 2007. 2) 水野他：低置換 SCP 工法における二次元有限要素圧密変形解析の精度検証, 第 41 回地盤工学研究発表会, 2006 3) Sekiguchi,H. and Ohta,H.:Induced anisotropy and time dependency in clays,Proc.Specialty Session9,9th ICSMFE,pp.229-239,1977. 4) Hashiguchi,K. and Chen,Z.P. :Elastoplastic constitutive equation of soils with the subloading surface and rotational hardening. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics ,Vol.22,pp197-277.1998. 5) Asaoka,A.,Noda,T., Yamada,E. Kaneda,K. and Nakano,M :An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, Soils and Foundations, Vol.42(5),pp.47-57,2002.

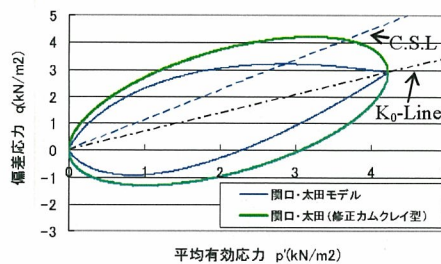


図-3 降伏曲面の概念図

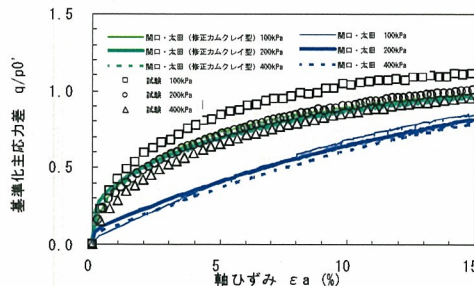


図-4 p一定排水せん断試験のシミュレーション

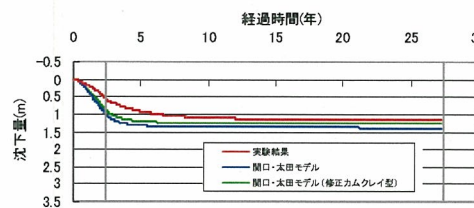


図-5 軽量材直下 (ポテンシ①) の鉛直変位の比較

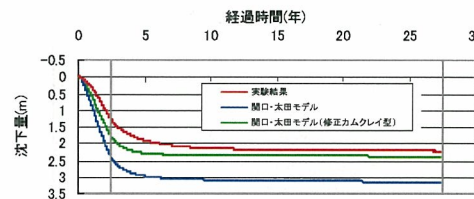


図-6 標準材直下 (ポテンシ②) の鉛直変位の比較

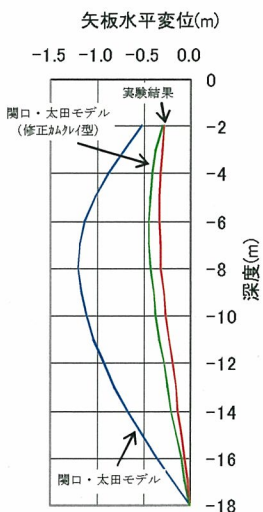


図-7 矢板水平変位の比較

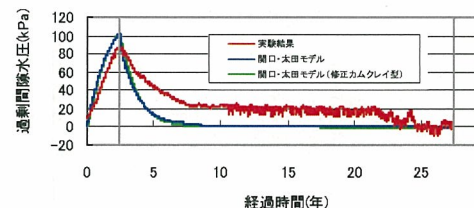


図-8 水圧計④の過剰間隙水圧の比較