

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3)

—弾・粘塑性解析による鋼管矢板井筒護岸の挙動—

埋立地盤 側方流動 有効応力解析

鹿島建設 (株) 正会員

○渡邊 洋介, 坂梨 利男

同上 正会員

村上 武志

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

羽田空港D滑走路の埋立部と棧橋部の境界に建設する接続部護岸 (以下、鋼管矢板井筒護岸) の設計は、軟弱な海底地盤に約 40m を越える高盛土を急速に施工するため、施工の初期段階から供用後長期に亘る圧密沈下や水平変位の影響を考慮する必要がある<sup>1)</sup>。そのため、合理的な設計を行うためには地盤変位、特に水平変位を適切に評価することが重要となる。本稿では、地盤の水平変位を合理的に評価するため、(その2)において今回の設計条件下における地盤の水平変位予測への適用性が確認された関口・太田による弾・粘塑性モデルの降伏曲面に修正カムクレイモデルを適用した構成式<sup>2)</sup>による、施工中～供用期間中の地盤変形影響を考慮した鋼管矢板井筒護岸の挙動評価の概要について報告する。

2. 接続部護岸のモデル化

原地盤の粘性土に修正カムクレイ型の構成式を適用した土・水連成2次元FEM解析により、護岸の長期地盤変形評価及び鋼管矢板井筒護岸の断面照査を実施した (図-1)。解析断面は、背面埋立高さが最も高い滑走路断面を選定した。

本解析では、鋼管矢板井筒護岸と地盤との相互作用を評価するため、地盤のメッシュ中に鋼管矢板井筒構造を詳細にモデル化した (図-2)。鋼管矢板井筒護岸の外壁および隔壁矢板を線形梁要素で、隔壁矢板間の高耐力継手を2方向の非線形バネでモデル化した。高耐力継手のせん断バネ特性は、1m長の実物大切出しモデルを用いた押し抜きせん断試験及び交番載荷試験結果を基に設定した (図-3)。井筒内部の地盤はソリッド要素とし、外壁矢板と背面地盤の接触面についてはジョイント要素を設け、目開きを再現可能なモデルとした。

埋立の施工過程は盛土要素を追加し自重を作用させ、解析ステップは実際の施工工程及び開港100年後までの放置期間を考慮して設定した。

地盤改良 (低置換SCP及びSD)部のモデル化は、鉛直方向に排水境界を設け、Barronの圧密理論解と解析モデル (平面ひずみ条件)におけるTerzaghiの理論解が50%圧密時間で一致するように水平方向圧密係数を換算することにより再現した。

表-1に原地盤のうち粘性土地盤の解析用物性値を示す。

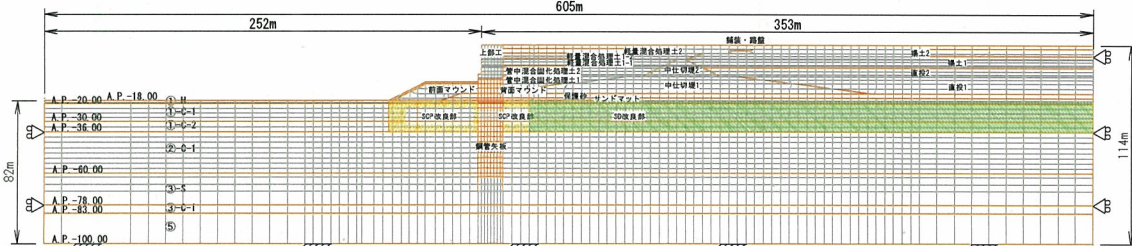


図-1 解析モデル

表-1 粘性土地盤の解析用物性値

土層名		①-H	①-C-1	①-C-2	②-C	③-C-1
飽和単位体積重量	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.0	13.5	15.0	18.0	18.0
水中単位体積重量	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	5.9	3.4	4.9	7.9	7.9
圧縮指数	$C_c$	0.50	1.31	1.13	0.36	0.49
圧縮指数 (自然対数)	$\lambda$	0.217	0.569	0.490	0.156	0.213
膨潤指数 (自然対数)	$\kappa$	0.022	0.057	0.049	0.016	0.021
過圧密比	OCR	4.1	1.7	1.7	2.5~3.6	2.5
圧密降伏応力	$P_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$P_c = OCR \times \Sigma \gamma' H$				
初期間隙比	$e_0$	1.8	3.5	2.9	1.1	1.1
内部摩擦角	$\Phi$ (°)	33.0	36.0	38.0	36.0	40.0
破壊時応力比	$M$	1.33	1.46	1.55	1.46	1.64
ダイレイタンス係数	$D$	0.052	0.078	0.073	0.046	0.056
静止土圧係数 (正規圧密時)	$K_0$	0.46	0.41	0.38	0.41	0.36
ポアソン比	$\nu$	0.32	0.29	0.28	0.29	0.26
静止土圧係数 (過圧密時)	$K_1$	0.99	0.56	0.53	0.70~0.87	0.65
二次圧密係数	$\alpha$	3.10E-03	5.05E-03	5.03E-03	2.98E-03	4.05E-03
初期体積ひずみ速度	$v_v$ (1/day)	2.23E-07	3.64E-07	3.62E-07	2.14E-07	7.64E-05
圧密係数	$c_v$ (cm <sup>2</sup> /day)	100	100	100	1000	1000
水平方向透水係数	$k_h$ (cm/s)	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-07	2.00E-07	1.00E-07
鉛直方向透水係数	$k_v$ (cm/s)	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-07	2.00E-07	1.00E-07

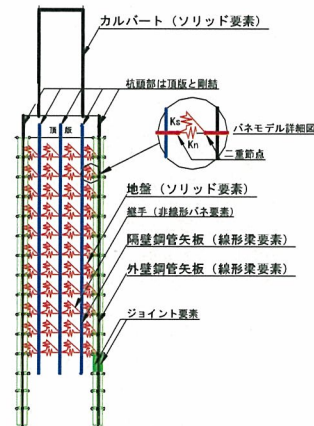


図-2 鋼管矢板井筒モデル

Design of steel pipe sheet-pile cellular seawall considering the effect of the ground deformation (Part 3) – Behavior of the seawall estimated by elasto-viscoplastic analysis –, Yosuke WATANABE, Toshio SAKANASHI, Takeshi MURAKAMI (Kajima Corporation), Masafumi MIYATA, Hiroya FUKUMOTO (Ministry of Land, Infrastructure and Transport)

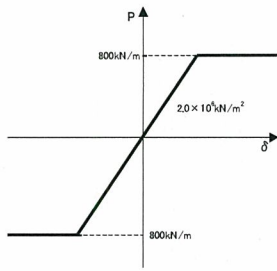
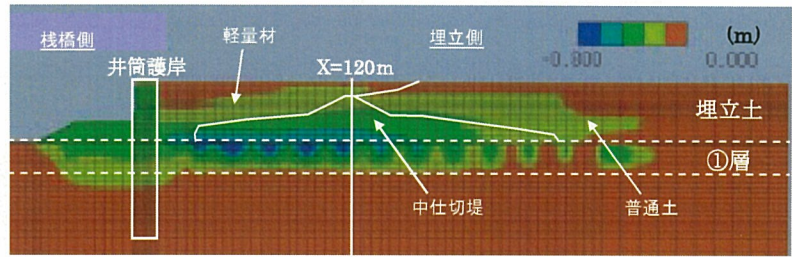


図-3 高耐力継手のせん断バネ特性



(a)水平変位コンター(開港100年後)

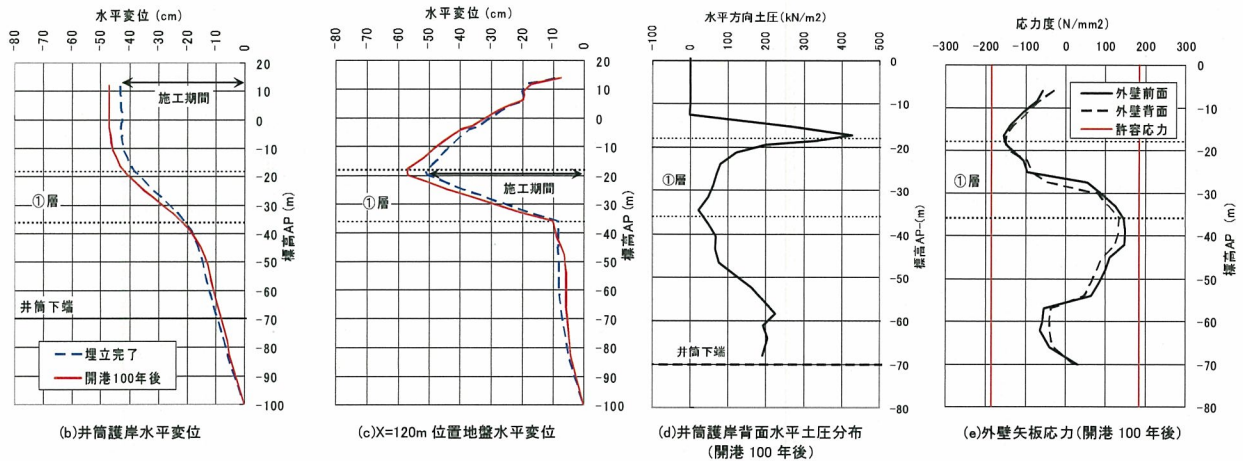


図-4 解析結果

### 3. 解析結果及び変形挙動考察

図-4 に解析結果を示す。以下に、解析結果に基づき、接続部及び周辺地盤の変形挙動等の特徴を示す。

#### 1) 鋼管矢板井筒護岸変位

鋼管矢板井筒護岸は天端の変位が最も大きく埋立側から栈橋側に倒れこむ変形モードとなった。矢板打設から開港100年後までの天端の水平変位は約50cmで、そのうち90%程度は施工期間中に発生する結果となった(b)。

#### 2) 背面地盤水平変位

背面埋立部の水平変位は既海底面(AP-18m)付近で最大となっており(a)、SD改良層である①層(層厚18m)の変位がその大部分を占める。井筒護岸から120m背面側(中仕切堤中央付近)では最大60cm程度の変位量となった(c)。接続部背面～中仕切堤までは作用土圧及び圧密沈下による護岸背面の段差低減のため軽量材(軽量土及び管中土:  $\gamma_{sat}=10\sim14\text{ kN/m}^3$ )を、中仕切堤より埋立中央部側は普通土( $\gamma_t=18\text{ kN/m}^3$ )を使用することから、埋立の進捗に伴い埋立材の重量差による①層の水平変位の発生が顕著になる。また、護岸背面の軽量材は中仕切堤の沈下に追随し、時計回りに回転する変形モードとなるため、背面マウンド付近にその荷重が集中する(d)。

#### 3) 鋼管矢板の断面照査

鋼管矢板に発生する応力は地盤の残留変位の影響で開港100年後で最大となり、既海底面(AP-18m)付近及び①層下端(AP-36m)付近でピーク値となった(e)。鋼管矢板の曲げモードが①層の水平変位と相関することから、鋼管矢板井筒護岸が抗土圧構造物として機能していることを示す結果である。

#### 4) 地盤物性値の感度

今回の設計で断面決定の主要因となる粘性土地盤の物性値が接続部護岸断面に与える影響を把握する目的で感度分析を実施した。地盤物性は、土層毎に主要なものを変動させたが、②層上部の過圧密比(OCR)、①層の圧縮指数(Cc)及び限界応力比(M)の感度が他に比べ相対的に大きい結果となった。

### 4. まとめ

地盤の水平変位を比較的精度よく再現できると考えられる修正カムクレイ型の構成式を適用した地盤のFEMモデルに、鋼管矢板井筒護岸を一体的にモデル化し地盤と構造物の相互作用を合理的に評価することが出来た。今後は施工時の各種計測データから施工時の安全性、及び今回報告した鋼管矢板井筒護岸の挙動を確認していく予定である。本報告は東京国際空港D滑走路建設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.  
2) 村上他: 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2), 第42回地盤工学研究発表会.