

改質浚渫土の圧密特性（その2） FEM による改質浚渫土の圧密解析

圧密 改良土 有限要素法

(株) 大林組 国○梅原由貴 正 松本幸久
名古屋大学 国 野田利弘 国 中野正樹
(一社) GEOASIA 研究会 国 高稲敏浩

1. はじめに

全国の港湾では、航路確保のための浚渫工事が日々行われている。浚渫土は、仮置きされた後に埋立造成工事の材料として使用される場合も多い。浚渫土の粘着力が高い場合、運搬時の作業性向上のために高分子系やセメント系添加材で改質してから運搬・埋立することが考えられる。しかし、特に高分子系の改質浚渫土の圧密特性に関しては不明な点も多い。本論文では、改質浚渫土の土質試験結果¹⁾をもとに実施工を想定した FEM 解析を行い、圧密挙動をシミュレーションした結果を報告する。

2. 解析方法

改質浚渫土の圧密挙動をシミュレーションすることを目的として、GEOASIA²⁾を用いて水～土連成の有限変形 FEM 解析を行った。GEOASIA は、上負荷面概念に基づく弾塑性構成式 SYS Cam-Clay モデル³⁾を搭載した解析コードであり、非常に緩い軟弱な粘性土の挙動も表現できる。また、土の大圧縮に伴う透水性変化モデル（透水係数の間隙比依存性⁴⁾）を導入している。

解析で想定した施工イメージと解析モデルを図-1 に示す。水深 7.2m の海に層厚 12m の改質浚渫土の埋立を 0.011m/日の速度で行った後、最終的な層厚が 17m となるように改質浚渫土の上に盛土（単位体積重量 20kN/m³）を 0.015m/日の速度で造成することとした。解析は 1 次元で用い、改質浚渫土の要素を想定埋立速度に合わせて追加した後に、上部に盛土重量に応じた荷重をかけることで施工条件を再現した。沈下量は改質浚渫土による分のみ考慮し、盛土部分は考慮していない。モデルの下端と左右端は非排水境界とした。要素間の上下方向の境界は、海水面以上では大気圧境界、沈下に伴い海水面まで下がった際に排水境界、海中では境界条件なしとした。

解析ケースと主な材料定数を表-1 に示す。松本ら¹⁾が報告した室内試験のうち、改質前の含水比が 100%の試料について解析を実施した。ケース A が無改質の浚渫土（以下「無改質」）、ケース B が高分子系改質材 15kg/m³による改質浚渫土（以下「高分子」）、ケース C が高炉セメント B 種 50kg/m³による改質浚渫土（以下「セメント 50kg/m³」）、ケース D が高炉セメント B 種 80kg/m³による改質浚渫土（以下「セメント 80kg/m³」）である。

材料定数は、松本ら¹⁾が報告した室内試験（圧密試験、三軸圧縮試験）結果に対して再現解析を実施して決定した。また、圧密試験で得られた間隙比と透水係数の関係に合わせて、解析でも透水係数を変化させた。室内試験条件や結

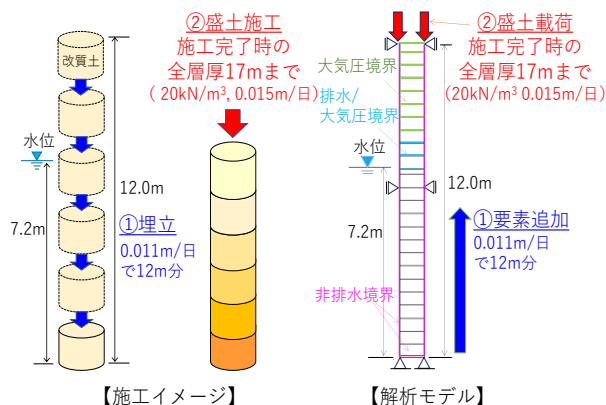


図-1 施工イメージと解析モデル

表-1 解析ケースと材料定数

		ケースA 無改質	ケースB 高分子	ケースC セメント 50kg/m ³	ケースD セメント 80kg/m ³
条件	初期含水比[%]	100	100	100	100
	改質材	無し	高分子系 改質材	高炉 セメント B種	高炉 セメント B種
	添加量[kg/m ³]	0	15	50	80
解析 材料 定数	圧縮指数 λ	0.263	0.263	0.263	0.486
	膨潤指数 κ	0.05	0.05	0.0214	0.018
	限界状態定数M	1.15	1.15	1.34	1.8
	NCLの切片N	2.8	2.8	3	4.016
	ポアソン比 ν	0.2	0.2	0.2	0.2
	透水係数k[m/s]	2.15×10^{-9}	1.22×10^{-8}	2.08×10^{-8}	3.51×10^{-8}
	透水係数変化指数	0.399	0.374	0.373	0.441
	初期比体積 v_0	3.748	4.184	4.224	4.641
	初期の構造の程度1/R*	1.01	3.00	1.20	1.01

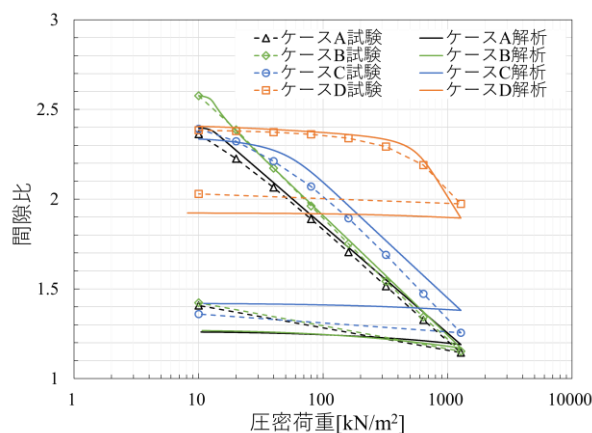


図-2 室内試験とその再現解析結果（e-logp 曲線）

果の詳細に関しては、松本ら¹⁾の報告を参照されたい。

3. 解析結果

図-2 に各ケースの圧密試験で得られた e -log p 曲線と、材料定数決定のために実施した再現解析の結果を示す。試験結果をみると、ケース A 無改質とケース B 高分子の e -log p 曲線は類似している。ケース D セメント 80kg/m³ は他のケースと比較して、大きい圧密荷重下でも高間隙比状態を維持していた。セメントによる強度増加のため骨格が維持されていると考えられる。ケース C セメント 50kg/m³ はその中間の間隙比となった。どのケースも表-1 の材料定数により、概ね室内試験結果を再現できた。

図-3 に、解析で得られた、ケース B 高分子の層厚 12m 埋立完了時と圧密完了時の間隙水圧と、初期からの間隙比変化の分布図を示す。12m 埋立時にはモデル下端で過剰間隙水圧が発生している。間隙比変化を見ると、12m 埋立時にはモデル下端と水面の上部で間隙比変化が大きくなり圧密が進行している。水面の上部で圧密が進行しているのは、要素間を大気圧境界としたためである。最終的に全体が比較的均一な間隙比変化量になり圧密完了した。改質浚渫土の自重分よりも盛土荷重分の影響が大きく、全深度でほぼ同様な間隙比変化量になった。

図-4 に、改質浚渫土層上端の沈下量の経時変化を示す。埋立開始時点が 0 日、埋立完了時点が約 1,100 日、盛土完了時点が約 1,800 日である。最終沈下量が大きい順に、ケース B 高分子>ケース A 無改質>ケース C セメント 50kg/m³>ケース D セメント 80kg/m³ となり、最終沈下量はケース B が一番大きく、約 3.1m であった。収束の速さは透水係数に応じて、ケース D>ケース C>ケース B>ケース A となった。

表-2 に、解析結果一覧を示す。圧密度 90%までの時間 t_{90} と埋立+盛土完了後からの残留沈下量は、 t_{90} が短く残留沈下量が小さい順に、ケース D セメント 80kg/m³<ケース C セメント 50kg/m³<ケース B 高分子<ケース A 無改質となった。ケース A, B では t_{90} が 10 年以上で残留沈下量も 1m 以上となっており、圧密促進工法等の検討が必要と考えられる。載荷盛土の層厚については、改質浚渫土層の最終沈下量分の余盛が必要であると考え、1.3~3.2m 分の余盛が必要であることがわかった。1m² あたりの埋立土量は、12m 埋立完了時（モデル下端での上載荷重約 170kN/m² 時）の改質浚渫土層の沈下量分は余分に改質浚渫土を埋立可能であると考えて算出したもので、低荷重レベルでの圧縮量が大きいほど埋立土量が大きくなる。沈下速度や圧密特性により、ケース B, C は埋立土量が大きい結果となった。

4. まとめ

改質浚渫土を用いて埋立造成した地盤に関して、GEOASIA による 1 次元 FEM 解析を実施して、圧密挙動を確認した。添加材の種類や量によって圧密挙動が変化することから、造成後地盤の用途や工期・工費に応じた改質方法の検討が必要である。今後は、2 次元モデルでの解析や、屋外実験による FEM 解析の妥当性確認を進めていく。

参考文献 1)松本ら：改質浚渫土の圧密特性（その 1），地盤工学研究発表会，2025.7. 2)Noda et al.: Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, S&F, Vol. 45, No. 6, pp. 771-790, 2008. 3) Asaoka et al.: An elasto-plastic description of two-distinct volume change mechanisms of soils, S&F, Vol.42, No.5, pp.47-57, 2002. 4) Taylor, D. W.: Fundamentals of Soil Mechanics, John Wiley & Sons, New York, USA, 1948.

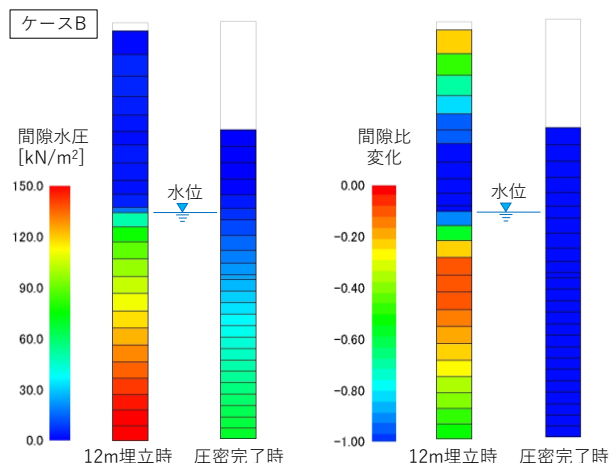


図-3 間隙水圧と間隙比変化の分布図（ケース B）

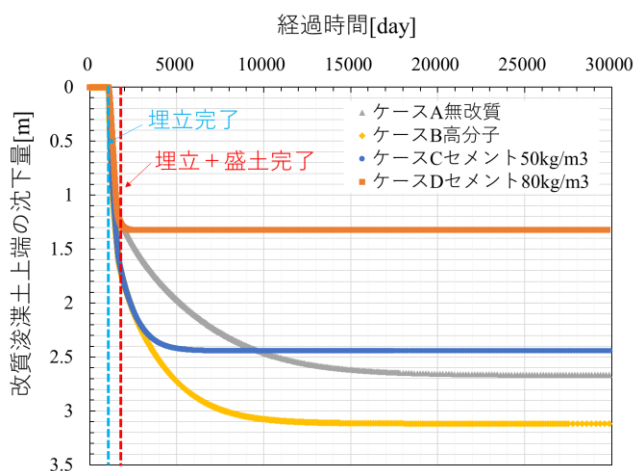


図-4 改質浚渫土上端の沈下量の経時変化

表-2 解析結果一覧

ケース	最終沈下量 [m]	圧密度90%にかかる時間 t_{90} [day]	埋立+盛土完了後の残留沈下量 [m]	載荷盛土層厚 [m]	1m ² あたり埋立土量 [m ³]
ケースA 無改質	2.67	9080	1.427	7.75 (余盛2.75)	12.17
ケースB 高分子	3.12	5540	1.384	8.20 (余盛3.20)	12.32
ケースC セメント 50kg/m ³	2.44	2940	0.718	7.50 (余盛2.50)	12.34
ケースD セメント 80kg/m ³	1.32	1600	0.039	6.30 (余盛1.30)	12.05