

地下水位変動に伴う軟弱粘土の圧密遅延トラブルと対策 (解析編)

鴻池組 技術部 正会員 ○久松 伸一 鴻池組 技術部 正会員 國富 和眞
 鴻池組・上の組 JV 森本 達司 鴻池組 技術部 上代 真之輔

1. はじめに

本工事は、軟弱な砂層と粘土層が合計 10m 程度の厚さで堆積した地盤上に、高さ 3.9m の宅地造成盛土を建設するものである。軟弱地盤対策（液状化対策、圧密促進）としてグラベルコンパクションパイル（GCP）工法を採用し工事を進めたが、所定の期間内に圧密が収束しない箇所が発生した。原因調査の段階で粘土層下の砂層の地下水位（被圧水位）の高さや変動がその要因と考え、圧密促進対策には地下水位低下工法（スーパーウェルポイント工法）を採用した¹⁾。本報告では、地下水位変動に伴う圧密遅延現象や圧密促進対策効果について、FEM 圧密沈下解析を用いて検証した結果を述べる。

2. 解析条件

(1) 解析方法

解析は、地盤内における地下水と地盤の挙動をそれらの相互関係を含めて厳密に考慮できる断面 2 次元 FEM 圧密沈下解析「DIF システム（デジタルソイル株式会社）」を用いて実施した。解析手順としては、まず水位低下以後の予測解析の精度を高めるために、実測沈下量や水頭情報に基づいた同定解析を実施し、その後、砂層（ds）の初期水頭条件を変化させた解析を行い、圧密遅延現象の発生メカニズム等を検証した。

(2) 解析モデル

解析モデルを図-1 に示す。幾何境界条件は、解析領域底面を水平・鉛直方向変位固定、解析領域側面を水平方向変位固定とした。水理境界条件は、上面・下面境界で排水、側面境界のうち粘土層は非排水、砂層は排水条件とした。同定解析における地下水位の位置は地表面である。

(3) 地盤条件

物性条件の一覧を表-1 に示す。粘土層（apt, am）は関口・太田モデル（弾塑性モデル）、その他の土層は線形弾性モデルとした。粘土層の物性条件は圧密試験結果を基本に設定したが、表-1 (b) に示す物性条件（apt, am）の網掛け箇所は、同定解析での再現性を考慮して圧密試験結果のばらつきの範囲内で調整した値になっている。具体的には、初期の計算沈下量を抑えるために apt 層の過圧密量を 5kN/m² 増加させ、揚水時の沈下量を再現するために am 層の圧縮指数を試験値の最大側の値とした。

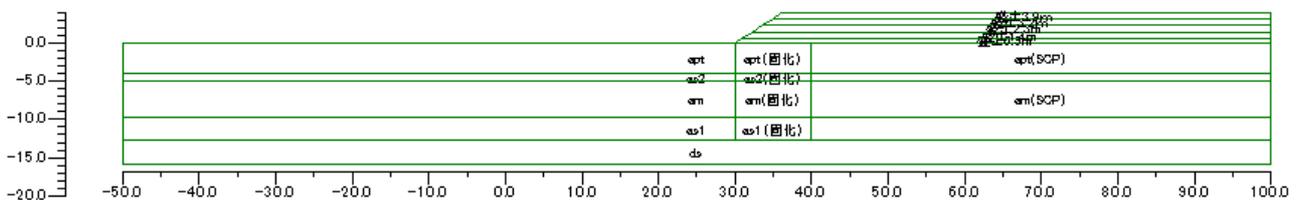


図-1 検討断面

表-1(a) 物性条件（線形弾性モデル）

土層名	γ_t (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν	k (cm/sec)
as2	17.00	11000	0.33	1.00×10^{-3}
as1	17.00	16000	0.33	1.00×10^{-3}
ds	19.00	56000	0.33	1.00×10^{-2}
新規盛土	12.54	31000	0.33	1.00×10^{-2}

表-1(b) 物性条件（関口・太田モデル）（同定後）

土層名	γ_t (kN/m ³)	λ	Λ	e0	M	ϕ' (度)	D	K0	ν	ΔPc (kN/m ²)	k (cm/sec)	λk
apt	12.4	0.67	0.800	3.64	1.636	40	0.071	0.36	0.26	25.0	8.00×10^{-7}	0.39
am	16.2	0.39	0.840	1.63	1.200	30	0.104	0.50	0.33	20.0	4.86×10^{-7}	0.39
apt (GCP)	12.4	0.50	0.800	3.64	1.636	40	0.053	0.36	0.26	25.0	3.18×10^{-6}	0.29
am (GCP)	16.2	0.29	0.840	1.63	1.200	30	0.077	0.50	0.33	20.0	3.69×10^{-6}	0.29
備考			※1		※2	※3	※4	※5	※6		※7	

※1. $\Lambda = 1 - \kappa / \lambda$ ※4. $D = (\lambda - \kappa) / M (1 + e_0)$ ※7. パロンの解の t_{50} にテルツァーギの一次元の解の t_{50} が一致するように換算透水係数を与えた
 ※2. $M = 6 \sin \phi' / (3 - \sin \phi')$ ※5. $K_0 = 1 - \sin \phi'$ (Jakyの式)
 ※3. 参考文献²⁾ ※6. $\nu = K_0 / (1 + K_0)$

キーワード FEM 圧密沈下解析, 地下水位変動, スーパーウェルポイント工法

連絡先 〒136-8880 東京都江東区南砂 2-7-5 (株)鴻池組 土木事業本部技術部 TEL 03-5617-7791

3. 解析結果

解析では実際の工程を忠実に再現した。ここでは、図-2 に示す沈下板位置での沈下量を主体に解析結果を述べる。

(1) 解析値と実挙動の比較結果

沈下板位置の沈下量時系列図を図-3 に、揚水位置および70m離れた位置の ds 層の全水頭変化を図-4 に示す。

同定解析後の計算沈下量は盛土初期段階を除いて実測値を概ね近似できている。また、揚水に伴う全水頭の変化の計算値が実測値をよく再現できている。揚水時以降の予測解析の精度は確保できていると考えられる。

同定解析による工事完了 10 年後の沈下量（沈下収束相当値）は、沈下板位置で 0.66m、1 次元的な沈下となる解析領域右端で 0.73m であった。

(2) 圧密遅延現象の発生メカニズムの推定

実測沈下挙動を再現した解析条件を基本に、ds 層の初期水位を増加させたケース（+1.0m, +2.0m）の解析を実施した。解析結果を図-5 に示す。

同定解析（水位地表面）では揚水前後の実測沈下の再現性はよいが、盛土初期段階の計算値は実測値を上回っている。一方、ds 層の初期水位が+2.0m のケースでは、盛土初期の実測沈下は再現できるが、盛土完了後の実測沈下を表現できない。これより、本工事での圧密遅延の原因（発生メカニズム）は次のように推定される。

- ・ 下部砂層（ds 層）の地下水位が盛土初期に相当な高さに一旦増加した後、盛土途中あるいは盛土完了以降から徐々に元の地下水位に低下した。
- ・ したがって、沈下収束判定の際には、下部砂層（ds 層）の地下水位が低下している状態で、沈下量および沈下速度が増加したため、収束判定不能（圧密遅延）になったと考えられる。

4. おわりに

本報告では、圧密試験結果や地下水の状態を考慮した FEM 圧密沈下解析を用いて実地盤の沈下挙動を再現し、施工中の地下水位（水頭）の変化が圧密の進行に大きく影響することを検証した。軟弱地盤上の盛土工事で、高い被圧水位の存在や水位変動の恐れがある場合には圧密遅延現象発生に対して注意が必要で、こうした状況に遭遇した場合には長期的な地下水位監視も重要になると考えられる。本事例が今後の類似工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 國富和真他：地下水水位変動に伴う軟弱粘土の圧密遅延トラブルと対策（現象の概要および対策編），第 71 回土木学会年次学術講演会（投稿中），平成 28 年 9 月
- 2) 地盤工学会：地盤工学ハンドブック，P94, P345, 平成 11 年

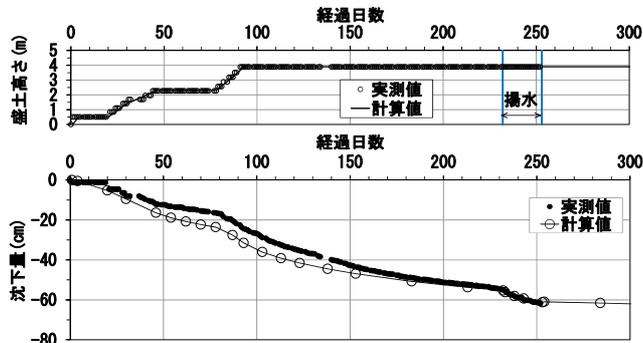
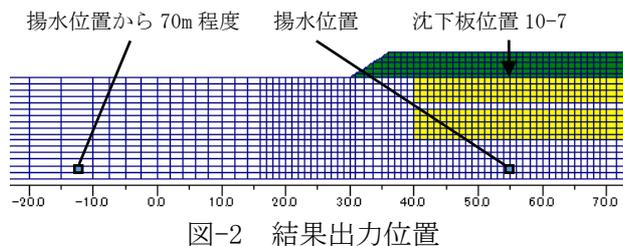


図-3 沈下板位置（10-7）の沈下量時系列図

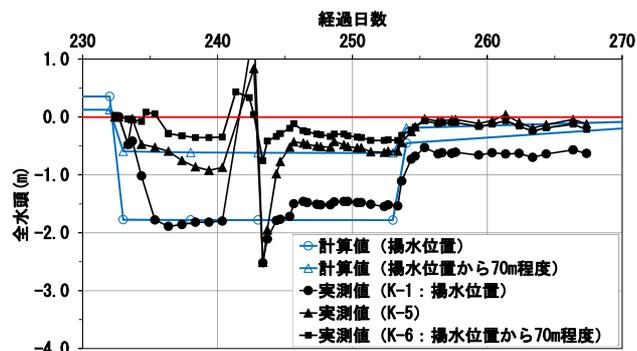


図-4 ds 層の全水頭時系列図

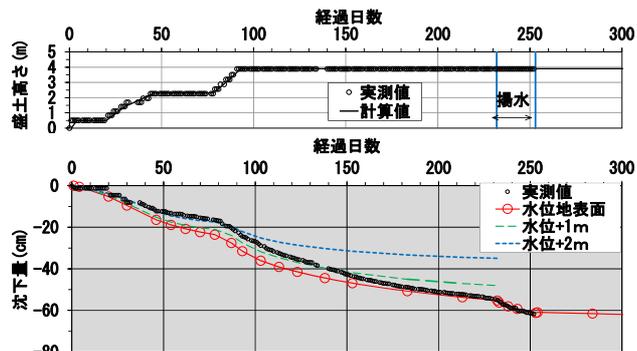


図-5 ds 層の初期水位の変化と沈下性状への影響