

## 重量構造物基礎への地盤改良併用直接基礎の適用

東北電力(株) (正)永井 志功 ○(正)阿部 俊逸 (正)大井 翔平  
(株)大林組 (正)田摩 仁 (非)鈴木 直子

### 1. はじめに

東北電力上越火力発電所は新潟県上越市直江津港湾内東側に位置し、最先端技術を有したガスタービンコンバインドサイクル発電設備とする計画であり、2023年6月の運転開始を目指して建設工事を進めている。当初、本工事の基礎に対して、ほぼ正規圧密状態の厚い沖積粘土層の大きな圧密沈下が懸念されたが、建設敷地での厚さ1mの大規模先行盛土（プレロード）施工時に行った層別沈下計による沈下計測から、沖積粘性土層の圧密より表層の埋土層の沈下が支配的であることが分かったり。本稿では、基本設計時に杭基礎で計画されていた重量構造物である排水貯槽について、先行盛土時の沈下計測結果、計測結果の再現解析から得られた地盤物性および沈下特性に関する知見から、地盤改良を併用した直接基礎を適用した事例を報告する。

### 2. 地層構成

図1に地層構成と排水貯槽の構造を示す。表層のBcg層は泥岩砕石による埋土層で、泥岩片が多く混入しており地盤物性のばらつきは大きい。その下に沖積の砂質土と粘性土の互層が厚く堆積している。軟弱地盤であるBcg層や中間層のAc2層～Ac4層がほぼ正規圧密の粘性土層であり、計画高さへの1.0mの嵩上げにより長期的に大きな圧密沈下が発生することが懸念された。しかし、先行盛土時の沈下計測結果、および計測結果の再現解析によって評価された各土層の地盤物性および沈下特性から、Bcg層以外で過大な圧密沈下は発生しないと判断された。

### 2. 排水貯槽の沈下予測解析

#### 2.1 地盤定数の設定

排水貯槽は幅Bが約13.5m、長さLが約36.5m、地上高さHが6.0mの大型貯槽である。接続される可撓管のスペックから沈下目標値を50mmと設定した。排水貯槽直下の軟弱なBcg層は、支持力増加と地盤物性のバラツキの均質化を目的に、中層混合処理工法によるセメント系地盤改良を計画した。先行盛土の荷重度は $14\text{kN/m}^2$ であるが、排水貯槽の満水時荷重度は $105\text{kN/m}^2$ である。解析に用いた地盤定数を表1に示す。先に実施した沈下計測の再現解析における地盤定数を一部見直して用いた。具体的には、Ac2層、Ac3層の過圧密比OCR

について、地盤調査結果ではそれぞれ1.6と1.2であったが、先行盛土の荷重で担保できる $\text{OCR}=1.1$ とした。また、微小ひずみレベルの変形係数 $E_0$ に乗じる低減係数 $\alpha$ をせん断剛性低下率とせん断ひずみの関係式( $G/G_0 \sim \gamma$  曲線)<sup>2)</sup>に基づき、再現解析の $\alpha=0.9$ から0.6に見直した。

#### 2.2 解析モデル

沈下予測解析には3次元土水連成FEMを用いた。解析ソフトは汎用FEMソフトSoil-Plusを用いた。解析モデルを図2に示す。解析エリアは、増加地中応力の伝播範囲を考慮し、排水貯槽の長辺Lに対して水平方向には排水貯槽端部から、鉛直方向には基礎スラブ底面から2Lの長さを確保した。

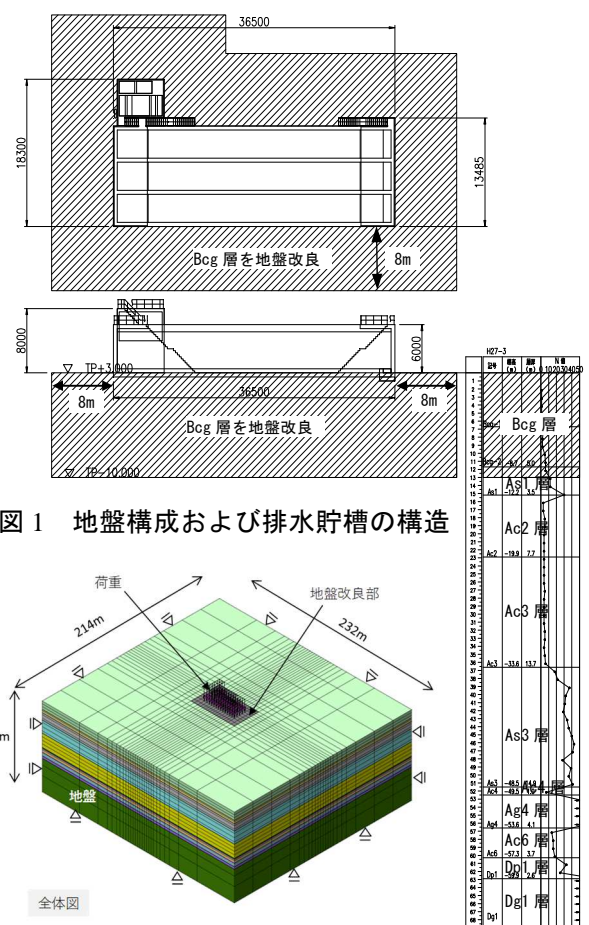


図1 地盤構成および排水貯槽の構造

図2 3次元土水連成FEM解析モデル

キーワード 重量構造物、地盤改良、直接基礎、圧密沈下

連絡先 〒942-0027 新潟県上越市八千浦1 東北電力(株) 上越火力発電所建設所 土木建築課 TEL025-549-6416

表2 解析ケース

解析ケース	粘性土層の過圧密比	地盤改良強度	地盤改良範囲	排水貯槽底板の曲げ剛性
Case1	Ac2層 OCR=1.1 Ac3層 OCR=1.1	qu=100kN/m <sup>2</sup>	排水貯槽駆体+8m	考慮
Case2	Ac2層 OCR=1.1 Ac3層 OCR=1.1	qu=100kN/m <sup>2</sup>	排水貯槽駆体+13m	考慮
Case3	Ac2層 OCR=1.1 Ac3層 OCR=1.1	qu=500kN/m <sup>2</sup>	排水貯槽駆体+8m	考慮

Ac2層とAc3層は構成則に関口・太田モデルを用いた弾塑性ソリッド要素でモデル化し、その他の層は弾性ソリッド要素でモデル化した。解析ケースは表2のとおりである。

2.3 解析結果

図3に増加地中応力コンターを示す。いずれのケースも地盤改良体による荷重分散効果が認められる。増加地中応力 $\Delta P$ は、Case1では地表面荷重Pに対しAc3層下端では約0.2P、それ以深は全体沈下量に影響しない程度まで低減されている。荷重伝達深度については、地表面レベルから見ると排水貯槽の寸法L=3Bに対応した長方形等分布荷重に対する圧力球根<sup>3)</sup>の伝達深度3.5Bよりやや深いDp1層まで伝達されている。これは、地盤改良により荷重面が下方に移動しただけでなく、荷重度に対して地盤改良強度が低く、改良体の剛性が小さいことで皿状変形し、中央部の荷重がより深部にまで伝達されたと考えられる。Case2では、地盤改良範囲を拡張して荷重分散効果の増加を期待したが、拡張した範囲の改良体が皿状変形の低減に有効ではなく、中央部の荷重がCase1と同様に深部まで伝達したと考えられる。Ac3層下端の $\Delta P$ はCase1と同等であった。一方、Case3の $\Delta P$ は、Bcg層下端では約0.2P、Ac3層下端では約0.1Pまで低減されている。地盤改良強度の増加により地盤改良体による大きな荷重分散効果が認められた。図4に示すとおりCase3の沈下量は、中央部36mm、端部27mmとなり、排水貯槽に接続される可撓管の許容沈下量100mmから設定した沈下目標値の50mmを満足する結果となった。

3. おわりに

重量構造物の排水貯槽に対して、先行盛土による沈下計測結果、計測結果の再現解析から得られた地盤物性および沈下特性に関する知見を反映した沈下予測解析を実施し、信頼性の高い沈下予測値を確認した上で杭基礎を地盤改良併用の直接基礎に変更した。これにより、工期、工事費が削減され、大幅な合理化を図ることができた。

**参考文献** 1) 地盤工学フォーラム東北 2019、pp.5-8、2020.1 2) 今津、福武：砂礫材料の動的変形特性、第21回土質工学研究発表会、pp.509-512、1986 3) 松岡：土質力学、森北出版、p.85、1999

表1 FEM解析で用いた地盤定数

(1)弾塑性ソリッド要素：関口太田モデル

層序	地層名	$\lambda$	$\kappa$	$I_p$	$e_0$	M	D	圧密試験 入力	
								k (m/sec)	k (m/hour)
3	Ac2	0.202	0.017	51.7	1.1	0.952	0.093	6.0E-09	2.2E-05
5	Ac3	0.245	0.020	50.5	1.3	0.958	0.102	2.9E-09	1.1E-05

層序	OCR	$K_1$	$K_0$	$\nu'$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	
3	Ac2	1.10	0.78	0.66	0.397	16.9
5	Ac3	1.10	0.70	0.65	0.395	16.9

(2)弾性ソリッド要素

粘性土層

層序	地層名	$E_0$ (MN/m <sup>2</sup> )	$\alpha$	E (MN/m <sup>2</sup> )	k (m/s)	圧密試験 入力	
						k (m/s)	k (m/s)
1	Bcg	144	0.02	2.4	1.12E-08	1.12E-07	
4	As2	144	0.33	329	1.74E-09	1.74E-09	
9	Ac5	795	1.00	795	2.16E-09	2.16E-09	
11	Ac6	614	1.00	614	2.25E-09	2.25E-09	

砂質土層

層序	地層名	E (MN/m <sup>2</sup> )	$\nu'$	D <sub>20</sub> mm	k (m/sec)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sin \psi'$	$K_1$
2	As1	296	0.33	0.030	8.5E-07	19.8	0.602	0.40
4	As2	144	0.33	0.056	4.6E-06	18.0	0.602	0.40
6	As3	372	0.33	0.085	1.4E-05	21.6	0.588	0.41
8	Ag4	693	0.33	0.228	1.4E-04	21.1	0.755	0.25

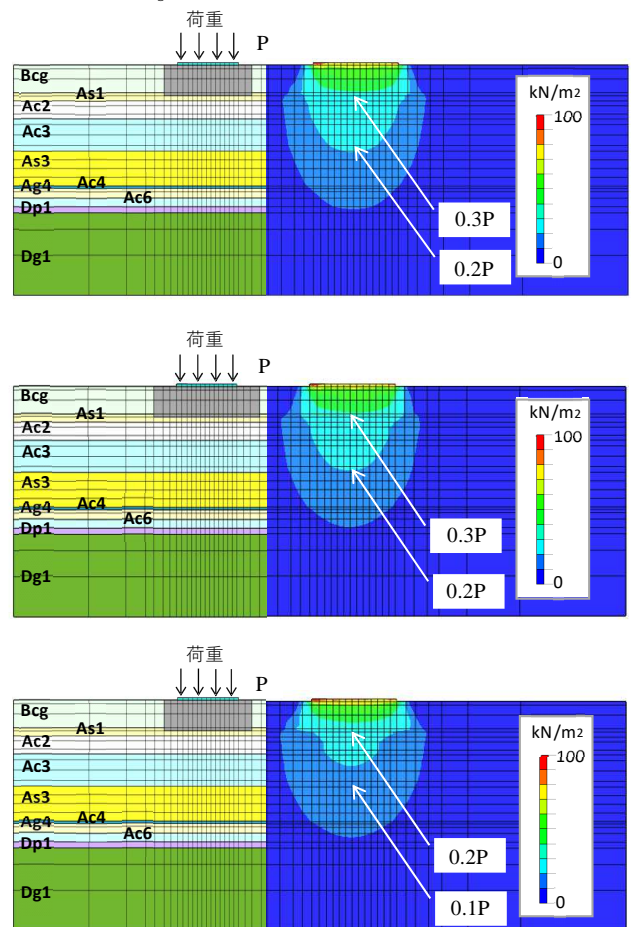


図3 増加地中応力コンター図

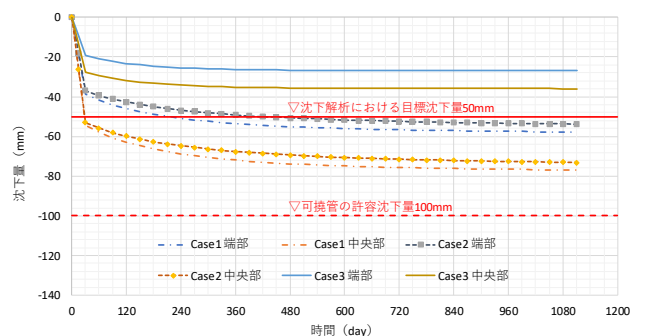


図4 地表面沈下量の経時変化図