

能代火力発電所第3号機ボイラー基礎の設計合理化

東北電力(株)能代火力発電所建設所	正会員	○岩館 礼
東北電力(株)能代火力発電所建設所	正会員	上沢 成也
東北電力(株)能代火力発電所建設所	法人会員	津谷 武輝

1. はじめに

能代火力発電所は、1号機（出力60万kW）が平成5年に、2号機（出力60万kW）が平成6年に運転を開始している。3号機（出力60万kW）は、既設1・2号の南側隣地にて平成32年6月の運転開始に向け鋭意工事を進めており（図-1）、そのうちボイラー基礎は、平成28年3月から工事を開始し、平成29年1月に基礎引渡しを完了している。

ボイラーは、建築確認申請の対象とならない構造物であることが確認できたため、基礎については土木基準に準拠して設計した。本稿では、ボイラー基礎における設計の合理化について報告する。



図-1 能代火力発電所第3号機 完成予想図

2. 設計条件

(1) 地盤条件

能代火力発電所は、砂丘前面の遠浅の海域を埋め立てた造成地であり、埋土は粒径均一な細砂を主体とした浚渫土砂である。

地層構成は、図-2に示すように、N値5程度の緩い埋土層(Bs)が層厚約10mで一様に分布しており、埋土層の下に第四紀完新世～更新世末期の沖積層が層厚60m以上で堆積している。沖積層は、N値20～40程度の砂質土層(As1～As4)とN値10程度の粘性土層(Ac2～Ac4)からなる互層であり、最下層はN値50以上の砂礫層(Ag5)となっている。各地層は層厚変化が緩やかで、概ね連続性をもって水平に

堆積している。

本工事においては、この砂礫層(Ag5)を杭基礎の支持層として設定している。

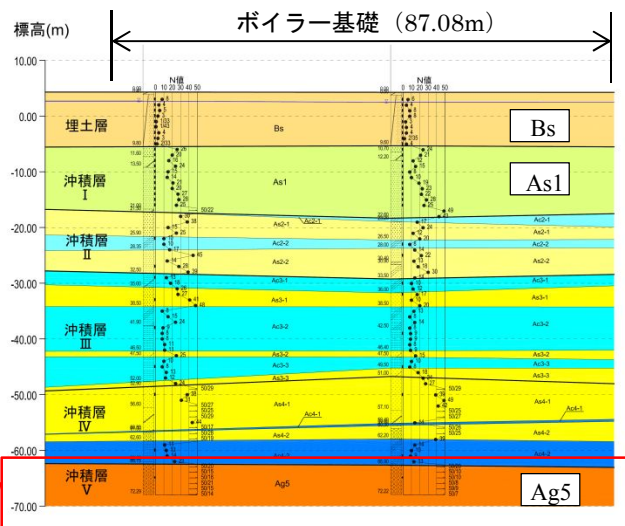


図-2 地質断面図

(2) 基礎構造

ボイラー基礎スラブの平面寸法は、43.43～61.93m (NS方向)×87.08m (EW方向)である。（図-3）

杭の仕様は、上杭をSC杭、下杭をPHC杭とした異種杭の組合せによる杭を採用した。

杭の打設工法は、最大杭長が70m近くなることから、孔壁崩壊による杭の沈設不能リスク軽減という観点から、中掘り工法を採用した。

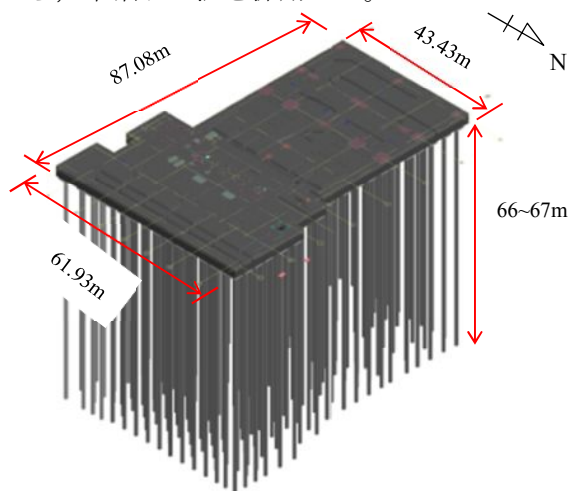


図-3 ボイラー基礎イメージ図

キーワード 杭基礎、異種杭、水平変位の制限緩和

連絡先 〒016-0807 秋田県能代市字大森山 1-6 TEL 0185-52-2021 FAX 0185-52-1920

(3) 液状化判定と地盤定数の低減

液状化の判定は、「道路橋示方書・同解説（日本道路協会）」（以下、道示という）に基づき、地表面から20m以浅に存在する埋土層（Bs）および沖積砂質土層（As1）の2種類について行った。

液状化判定における判定結果、低減係数を表－1に示す。

表－1 液状化判定と低減係数

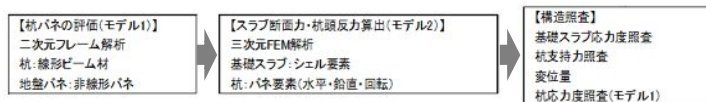
地震動		液状化判定 ○：生じない ×：生じる		低減係数	
		Bs層	As1層	Bs層	As1層
レベル1		○	○	—	—
レベル2	タイプⅠ	×	×	1/3	2/3
	タイプⅡ	×	×	2/3	2/3

3. 構造解析概要

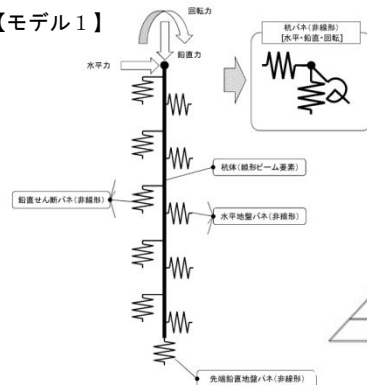
(1) 構造解析手法

基礎スラブおよび杭の構造解析においては、基礎スラブをシェル要素、杭をバネ要素にてモデル化した三次元 FEM 解析による検討を行った。構造解析フローを図－4 に示す。

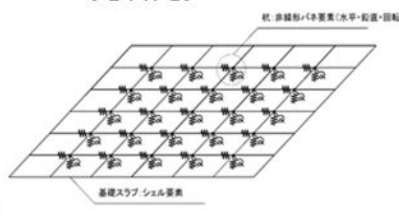
【構造解析フロー】



【モデル1】



【モデル2】



図－4 構造解析フローおよびモデル概要図

(2) 設計クライテリア

ボイラーは建築確認申請の対象とならない構造物であることが確認できたため、基礎については道示に準拠して設計を行った。

設計クライテリアを表－2 に示す。常時・レベル1地震時は許容応力度および許容支持力、レベル2地震時は降伏耐力（杭体は許容塑性率4.0）および極限支持力とし、塑性化を許容した合理的な設計とした。

許容鉛直変位量は、上部構造の要求事項である常時・レベル1地震時で30mmとした。

許容水平変位量は、上部構造の要求事項が無いこ

とから、道示に基づき、常時は15mm（杭径の1%かつ15mm以下）とした。レベル1地震時については、常時同様の許容水平変位量15mmを満足させようとすると、杭体応力度に著しく余裕が生じた（照査値0.5程度）。

道示によると¹⁾、「地盤が軟弱な場合、基礎の変位を許容変位以下にしようとする」と、杭体応力度や杭頭反力に著しく余裕が生じるような場合があり、その場合は必要に応じ水平変位の制限値を緩和して設計を行うことが合理的となる。」とされており、N値5程度の緩い埋土層（Bs）が分布する当発電所の地盤条件に合致する。その場合の許容水平変位の制限値は、杭径の3.5%としてよいとされていることから、レベル1地震時の許容水平変位量は35mm（杭径φ1000mm）とした。

(3) 杭の照査結果

照査の結果、杭本数206本、杭径φ1000mm、鋼管厚19mm、杭長66～67mとなった。そのうちSC杭長は18mであり、SC杭とPHC杭を組み合わせることで、鋼管杭に比べ約25%のコストを低減した。

また、水平変位制限の緩和条項を適用し、レベル1地震時の許容水平変位を15mm→35mmとすることで、杭本数を259本→206本と約20%低減した。

なお、杭体応力度の照査値は0.7程度となった。

表－2 設計クライテリア

検討状態	杭 体	基礎スラブ	支持力
常時	長期許容応力度 許容鉛直変位量(30mm) 許容水平変位量(15mm)		長期許容支持力
レベル1地震 (一次設計)	短期許容応力度 許容鉛直変位量(30mm) 許容水平変位量(杭径の3.5%)		短期許容支持力
レベル2地震 (二次設計)	許容塑性率(4.0)	曲げ耐力(降伏) およびせん断力	極限支持力

4. おわりに

ボイラー基礎の設計にあたっては、SC杭とPHC杭を組み合わせた杭の採用、水平変位制限の緩和条項の適用により設計合理化を図ることができた。

また、杭本数を減らすことで、杭の施工期間短縮に寄与した。

参考文献

1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編，pp416-422