

新仙台火力発電所本館基礎における鉛直載荷試験を考慮した設計の合理化について

東北電力(株) 新仙台火力発電所建設所 正会員 ○佐藤 唯
東北電力(株) 新仙台火力発電所建設所 正会員 齊藤 知秀

1. はじめに

東北電力(株)新仙台火力発電所では、電源の安定供給と温室効果ガスの排出抑制を目的として、既設号機を廃止し、3号系列を新設するリプレース工事を実施中である(図-1)。このうち、本館建屋(タービン建屋)の基礎は、83.8 m×83.3 mの基礎スラブと鋼管杭(φ800mm, L=12.5~19.5m, 560本)から構成される杭基礎構造となっている。通常の杭設計では、「建築基礎構造設計指針(日本建築学会)」(以下、「建築指針」という。)の算定式により杭の支持力を算定することが一般的であるが、本基礎杭は大口径であり、指針適用範囲外となることから、適切な杭の支持力評価が課題となった。

一方、本館建屋の基礎については、設備の重要度に鑑み、建築基準法における設計要求レベルを満足することを前提として、さらに大地震時(レベル2地震時)の耐震性を評価しておくことが、設備管理上の重要な要素となる。

本稿では本館基礎設計において実施した、鉛直載荷試験による杭の支持力評価と大地震時の耐震性能の評価結果について報告する。

2. 本館基礎付近の地盤条件と本館基礎諸元

本館基礎設置エリアの地層は、東宮浜層の凝灰岩(Tg-tf)、火山礫凝灰岩(Tg-lp)を基盤とし、基盤上面は、5°程度緩く傾斜している。

基盤岩上部には、N値18程度の沖積第2砂質土層(As2)が層厚3~7 m程度で分布し、さらにその上位にはN値20程度の沖積第1砂質土層(As1)が層厚10 m程度で分布する。

一方、基礎スラブ上には、上部荷重が全体に分布するため、基礎全体に杭を配置し、基礎スラブ厚は一定とすることを基本とし、ガスタービン、復水器、通信鉄塔付近の建築柱脚等、局所的に荷重が大きく作用する箇所については、スラブ厚および杭本数を増加させ、合理的な構造となるように配慮した。

本館基礎スラブのイメージ図を図-2に、地質断面図を図-3に示す。

3. 鉛直載荷試験による杭の支持力評価

杭の支持力評価は、杭本数や杭諸元に影響を与えることから、設計の信頼性向上および設計合理化につながる重要な要素となる。

基礎杭の設計において、建築指針の算定式が適用できる杭径の範囲はφ450mm~φ650mmとされており、杭



図-1 新仙台火力発電所3号系列 鳥瞰図

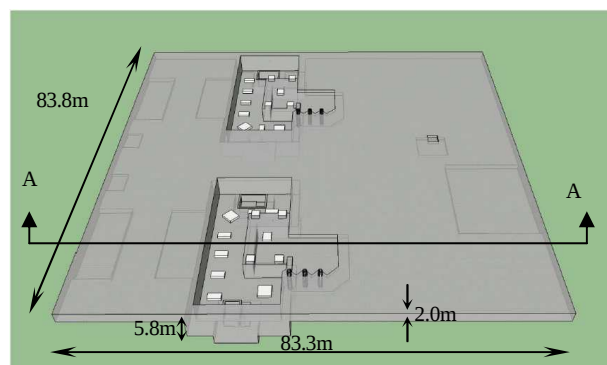


図-2 本館基礎スラブ イメージ図

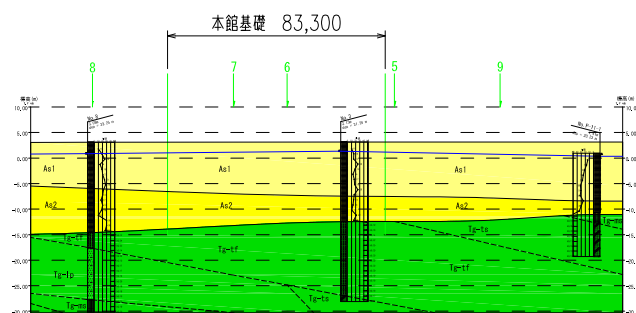


図-3 地質断面図(A-A断面)

キーワード 基礎設計, 鉛直載荷試験, 耐震性能

連絡先 〒985-0901 仙台市宮城野区港五丁目2-1 TEL 022-362-5062 FAX 022-362-5064

径が大きくなれば閉塞効果が十分発揮されず、先端支持力算定式が過大評価となる可能性がある。本基礎杭の杭径はφ650mm 超となるため、本設計においては、設計信頼度向上と合理化追求の観点から、杭の鉛直載荷試験を実施して、杭の支持力（極限支持力）を評価することとした。杭の鉛直載荷試験は本館周辺部の2箇所で実施した（根入長、杭1；2.2D、杭2；5.0D）。

一方、道路橋示方書では、杭径に限らず軟岩を対象とした支持力推定式「軟岩・土丹を支持層とする支持力推定法」が記されている。

図－4 に建築指針、道路橋示方書の推定式から算定される極限支持力と鉛直載荷試験結果結果を示す。

建築指針と鉛直載荷試験の先端支持力を比較すれば、杭1（根入長 2.2D）では同等となったが、杭2（根入長 5.0D）では建築指針が過大に評価される結果となった。これは、前述した大口径の影響等により、実際には閉塞効果が十分に発揮されなかったことが、この差の要因として推察される。

また、道路橋示方書と鉛直載荷試験を比較すれば、両杭とも、極限支持力は鉛直載荷試験の方が大きく、試験結果を設計値に用いることにより、杭本数を 20% 程度低減することが可能となった。

4. 設計クライテリアと耐震性能の評価について

本設計における検討ケースは、常時、レベル1地震時、レベル2地震時とした。さらにレベル2地震時は、保有水平耐力時と時刻歴波形を用いた上下連成解析（SR モデル）による検討を行った。

上下連成解析による検討に用いる設計用入力地震動は、建築基準法に基づき、告示波（3波）、既往波（3波）、サイト波とした。なお、サイト波は、2011 年東北地方太平洋沖地震および「宮城県第三次被害想定調査報告書」における想定宮城県沖地震・長町 - 利府線断層帯の地震を対象とした。

一方、設計クライテリアについては、建築基準法に基づき、常時・レベル1地震時は許容応力度とし、レベル2地震時については基礎スラブが保有水平耐力時に降伏耐力を超えないこととした。またレベル2地震時の杭体については、建築基準法上の照査対象とされていないため、杭基礎の許容塑性率 4.0 以下¹⁾と設定し、塑性化を許容した合理的な設計を行った（表－1）。

レベル2地震時における杭の耐震性能は、上下連成

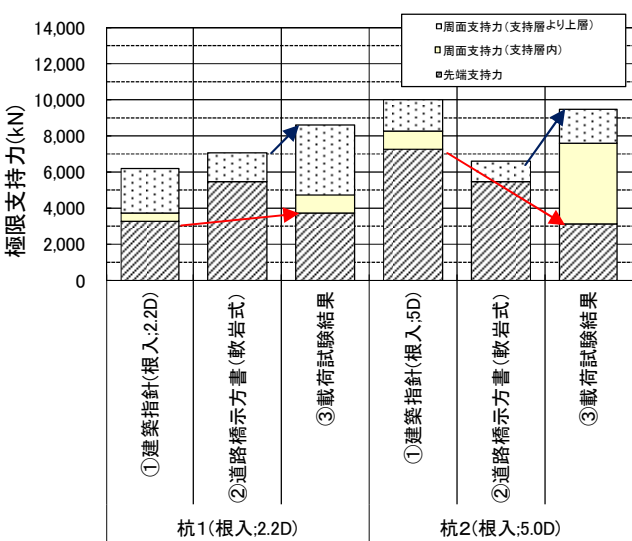


図-4 極限支持力の比較

表-1 設計クライテリア

検 討 状 態		杭体	基礎スラブ
常時		長期許容応力度	
レベル1地震時		短期許容応力度	
レベル2地震時	保有水平耐力時	—	曲げ耐力(降伏) およびせん断耐力
	上下連成解析に 基づく検討	許容塑性率 (4.0)	—

解析により得られた応答値を外力として、杭を完全弾塑性のビーム要素にモデル化するとともに、地盤バネの非線形性を考慮したモデルにて、プッシュオーバー解析を行い、応答塑性率を指標として評価した。

解析の結果、応答塑性率は最大 2.22 となり、レベル2地震時は一部の杭において、塑性域に入るものの、杭基礎全体の耐力不足に至る程の損傷ではなく²⁾、レベル2地震後も、基礎全体として所要の耐震性能を有していることを確認した。なお、応答塑性率 4.0 に達する地震動レベルについて、作用荷重を段階的に係数倍する方法で算出した結果、基礎スラブ上での最大加速度は 900gal 程度と推定された。

5. おわりに

鉛直載荷試験により杭の支持力を適切に評価し、杭設計の合理化につなげることができた。また、レベル2地震時の耐震性能を評価し、レベル2地震作用後も、所要の耐震性能を有していることを確認できた。

参考文献：1) (社)日本道路協会：杭基礎設計便覧，pp215～217、2) 中野正則他：鋼管杭基礎の模型水平載荷実験，第 32 回地盤工学研究発表会，pp1573～1576