

西名古屋火力発電所リフレッシュ工事 放水口工事報告（その1）

一動的有効応力解析を用いた放水口の耐震設計一

中部電力(株) 正会員 滝川 真太郎 河村 晋平 神谷 尚寿
鹿島建設(株) 正会員 吉原 知佳 ○大浦 志郎 京川 裕之

1. はじめに

中部電力(株)は、平成 25 年 11 月より愛知県海部郡飛島村に位置する西名古屋火力発電所のリフレッシュ工事を進めている。本工事は、同発電所で冷却水として使用した海水を海洋へ放水するための放水口を構築するものである。本文では、放水口工事の設計内容について報告する。

表-1 放水口主要工事仕様・数量

項目	仕様または数量
基本形状	内寸：幅×高 9.7m×29.036m × 5.5m 延長：31.75m
仮締切仕様	鋼管矢板φ1500 L=24m n=17本 鋼管矢板φ1000 L=24m n=2本
土留め仕様	ハット型鋼矢板50H L=21.5m×22.0m n=122枚
基礎杭仕様	鋼管杭φ900 t=22~12mm (SM570,SKK490,SKK400) L=48m n=50本
地盤改良仕様	浅層攪拌工法、砂杭締固め工法(改良率:16.0%)
コンクリート仕様	f _{ck} =33N/mm ² 、高炉セメントB種

2. 構造概要および耐震設計方針

新設する放水口（表-1、図-1～3）は、杭基礎形式からなる 4 連および 2 連の RC カルバート構造であり、名古屋港飛島ふ頭南コンテナターミナル内に位置している。本設計における耐震設計条件および液状化判定方法を表-2 に示す。耐震設計方法は応答変位法を基本とし、指針に準拠したレベル 1 地震動に加え、大規模地震である東海・東南海・南海連動型地震動を想定した指定地震動の耐震設計を実施している。特に、本文で記載する地盤改良及び基礎杭については、指定地震動で仕様が決定しており、その検討においては動的有効応力解析プログラム FLIP¹⁾を適用している。Bs 層と ANs2 層は液状化対策が必要と判定され、Bs 層は浅層改良、ANs2 層は砂杭締固め工法(改良率 16.0%)とした。

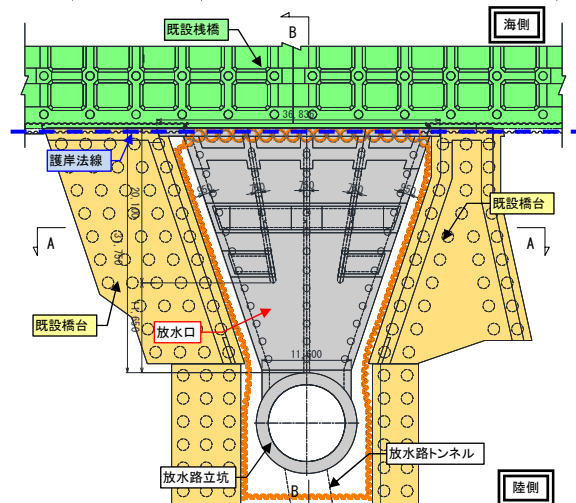


図-1 放水口平面図

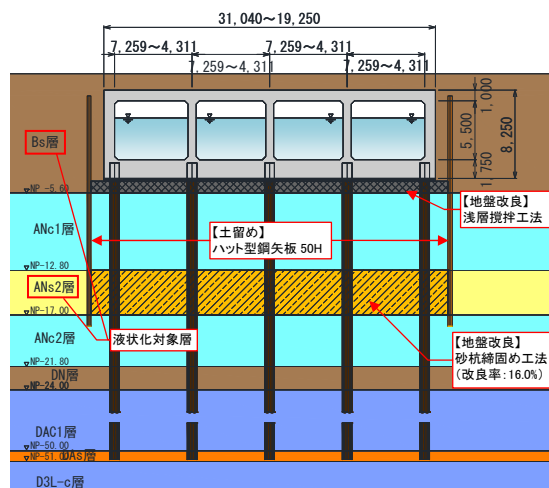


図-2 放水口4連部 横断面図(A-A断面)

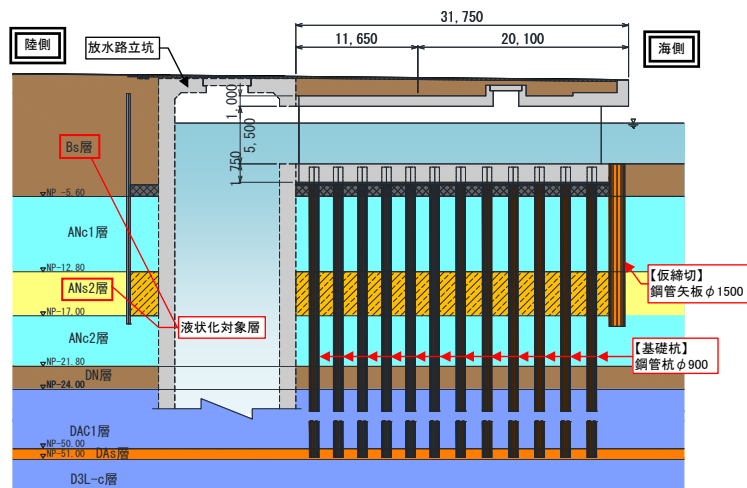


図-3 放水口縦断面図(B-B断面)

表-2 耐震設計条件・液状化判定方法

設計地震動	耐震設計条件		液状化判定方法	
	設計法	応答変位法	液状化判定方法	「道路橋示方書 V耐震設計編」によるFL法
レベル1地震動	地盤変位	「下水道施設の耐震対策指針と解説」に準拠	地震時せん断応力	地表面設計水平震度Khから、道路橋示方書により算定
指定地震動	設計法	応答変位法 / 動的解析法 ^{※1}	液状化判定方法	・「道路橋示方書 V耐震設計編」によるFL法 ・改良後の地盤については、FL法と併せてFLIP有効応力解析より過剰間隙水圧比0.95未満を確認
	地盤変位	FLIP有効応力解析	地震時せん断応力	SHAKE解析より、各層の最大せん断応力 τ_{max} を用いて、 $L=\tau_{max}/\sigma'_{vi}$ により算定
クライテリア		短期許容応力度	耐震設計用許容応力度 ^{※2}	

※1 基礎杭の側方流動に対する検討のみFLIP解析を用いた動的解析法を適用
※2 「高圧ガス設備等耐震設計基準」に基づく耐震設計用許容応力度

キーワード 液状化, 杭基礎, 2次元 FLIP 解析, 側方流動

連絡先

〒490-1446 愛知県海部郡飛島村東浜 3-5 中部電力(株)西名古屋火力建設所 土木建築課, 鹿島建設(株)西名古屋火力土木工事事務所

3. 設計上の課題

放水口の設計における課題を以下に示す。これらの制約条件の中で、コストインパクトが比較的大きい工種である地盤改良および基礎杭を合理的かつ現実的な仕様にすることが求められた。

- (1)コンテナターミナル内にあるため、開削で施工できるスペースが限定される。
- (2)既設構造物と隣接していることから、地盤改良の余改良を十分に確保することが困難である。
- (3)護岸近傍であり、立坑背面側から海側へ作用する地盤の側方流動による構造物への影響が大きい。

4. 液状化対策の検討

砂杭締固め工法の場合、通常は周辺地盤からの過剰間隙水圧の伝搬を考慮した余改良幅を設定する必要がある。しかし、余改良幅を設けるには隣接する既設構造物の撤去等の大掛かりな工事が必要であるため、地震時の周辺の過剰間隙水圧の伝搬を遮断する事を目的として、土留め鋼矢板を残置し鋼矢板内部の躯体直下のみを地盤改良した。検討は、2次元FLIP解析を実施することで改良体に液状化が生じないことを確認した。解析モデル(図-4)は、躯体は線形弾性体要素とし、鋼矢板は線形梁要素にてモデル化した。加振終了後の改良体の過剰間隙水圧比(図-5)は0.95未満に抑えられており、鋼矢板内部のみの改良で十分に液状化対策効果があることを確認し、地盤改良範囲の削減を図るとともに、限られたヤード内での施工を可能とした。

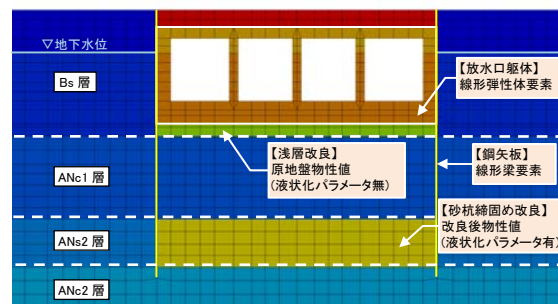
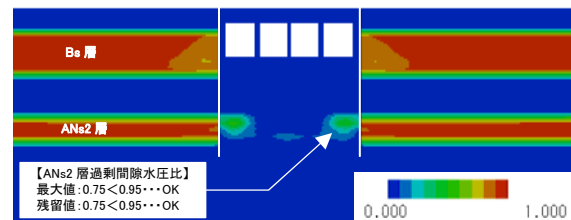


図-4 解析モデルの拡大図（横断方向）



図一5 過剰間隙水圧比のコンター図(加振終了時)

5. 基礎杭の設計

基礎杭の設計は、横断方向の検討は応答変位法を、縦断方向の検討は杭をモデル化した2次元 FLIP 解析による動的解析を実施し、縦断方向の検討により仕様が決定した。FLIP 解析では、放水口躯体、基礎杭、立坑、鋼管矢板および栈橋をモデル化し、放水口躯体は線形弾性体要素とし、その他の構造物はすべて非線形梁要素にてモデル化を行った（図-6）。また、側方流動に対して地盤が杭間をすり抜ける3次元的な相互作用を考慮できるように、杭-地盤相互作用バネを設定した。杭の照査は、軸力と曲げのそれぞれの断面力が最大となる時刻の組合せ応力で行った。解析の結果、陸側より海側の杭の照査が厳しくなる傾向となり、各杭列の応力状態に適合した最適杭仕様を配置することで、放水口全体の杭仕様の合理化を図った。さらに、杭頭付近に発生する大きな応力に対しては、上杭に高強度材である SM570 材を用いることで板厚のスリム化を図り鋼材量の削減を行った。曲げ最大時の杭の応力度深度分布図を図-7に示す。

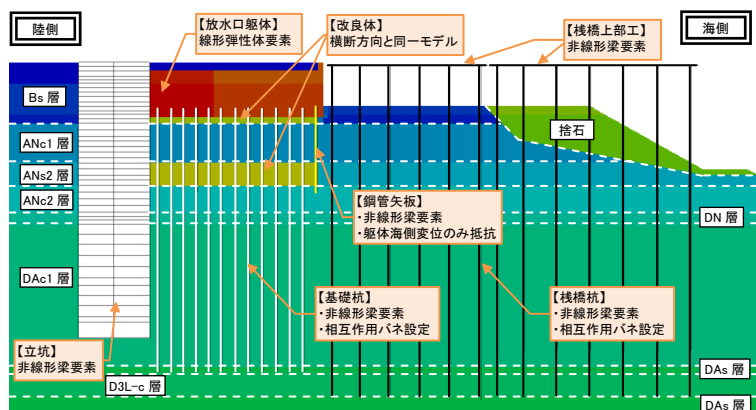


図-6 解析モデルの拡大図（縦断方向）

6. おわりに

動的有効応力解析（FLIP）において、放水口や周辺構造物ならびに周辺地盤を適切にモデル化することで、上述した設計課題に対し液状化対策および基礎杭の合理的設計を行った。また、今回の設計手法は、同様の杭基礎工事である放水路工事にも適用し、同発電所の放水設備全体の合理化を図った。

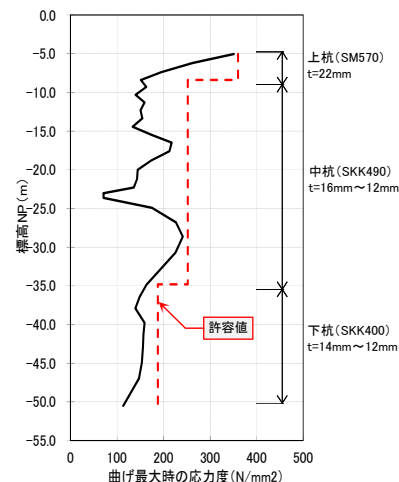


図-7 杭の応力度深度分布