

## 杭頭固定度と杭支持層の不陸を考慮した基礎構造物の地震時挙動

中電技術コンサルタント(株) 正会員○岩田 直樹, 古川 智  
 中国電力(株) 土木部 正会員 澄川 健, 平岡 順次  
 山口大学 工学部 正会員 三浦 房紀

### 1. はじめに

三隅発電所は、中国電力(株)が島根県三隅町に建設中の石炭専焼火力発電所であり、発電所敷地用地の埋立造成が完了している。通常、火力発電所の耐震設計は、「火力発電所の耐震設計指針」<sup>1)</sup>に準拠し震度法により設計され、地盤種別、地域等により決定される水平震度により杭頭の作用外力が計算される。これを基に基礎の水平変位量より杭頭の固定度をヒンジか剛結に選定し、Changの式により杭体の応力度、杭径等が決定されている。しかしながら、当発電所の基礎岩盤は不陸が大きく、土木構造物の基礎杭の長さが著しく変化する所がある。一般的に、こういった不整形地盤では、不整形な境界から二次的な表面波が発生することや成層地盤に比べ振動が大きくなる場合や上下動成分が卓越する場合があることが知られており、不整形さが杭基礎に及ぼす影響が心配されることから、地盤条件、構造物の振動特性を考慮した解析が必要だと考えられる。

本文は、2次元線形FEM解析を行い、不整形な基礎地盤の地表面応答や基礎杭に及ぼす影響と基礎の設計を行う際に問題となる杭頭固定度による影響について検討を行った結果を報告するとともに、現設計の妥当性について検討を行ったものである。

### 2. 解析方法

歪み依存性を考慮した重複反射理論による地盤応答解析を行い、土質定数や各層毎の地震動を推定し、その結果をもとに直接積分法による2次元線形FEM解析を行う。

### 3. 解析モデルと解析条件

基盤の不整形度が大きく、上部構造物の大きい排煙脱硫装置基礎のモデル化を行った。また、不整形さの影響を検討するため、深い埋立層をもつ水平成層地盤と浅い埋立層をもつ水平成層地盤のモデル化も行った。PHC杭は梁要素でモデル化し、杭頭の固定度は杭頭に設けた回転バネのバネ定数により表現する。また杭先端は、基盤に梁要素を設置し杭の根入れの効果を表現した。このため杭先端条件は固定と同一となった。側方境界及び底面境界は粘性境界とし、側方境界より1次元解析より得られた各層毎の地震動を入力する。

せん断弾性係数は、歪み依存性を考慮した重複反射解析により算出し、その他の地盤定数は土質試験結果より決定した。また、地盤の減衰は、固有値解析より求まる固有周期をもとにレーリー減衰を設定した。

基盤入力地震波としては、図-2に示す境港の地表面で観測された加速度波形を基盤に戻し、最大加速度を100galに調整したものをを用いる。加速度100galは、発電所計画地点を中心に半径160kmの範囲での過去の地震分布より求めた100年確率地震動に対応している。

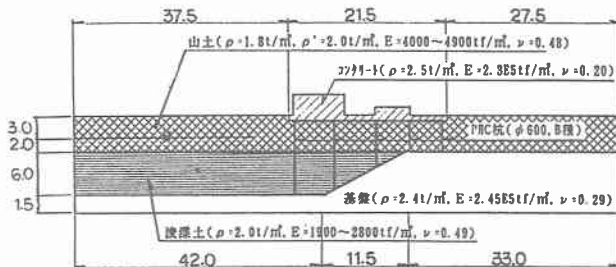


図-1 解析モデル

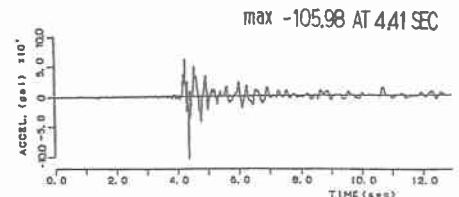


図-2 入力地震波

4. 解析結果

(1) 不整形地盤による影響の検討

不整形地盤，深埋立水平成層地盤，浅埋立水平成層地盤の3ケースについて，杭頭の回転バネを半固定 ( $K = 10^4 \text{tf}\cdot\text{m}/\text{rad}$ ) とした場合の杭の断面力について比較を行った。図-3に杭の深さ方向の曲げモーメントの分布を示す。不整形地盤内の杭の曲げモーメントは，基礎傾斜の前面側（杭長が長い側）で平行地盤に比べ小さくなるが，背面側（杭長が短い側）では逆に大きくなっている。これは，傾斜背面に比べ前面の鉛直変位が大きく基礎が回転を伴うような変位をしているためである。また，この回転運動により鉛直変位の大きい前面側で最大8tf程度の軸力の増減が生じた。この回転運動は，水平成層地盤ではほとんど発生しない。図-4は地表面の水平及び鉛直加速度応答を描いたものである。水平加速度は，傾斜前面側で水平成層地盤に比べ大きな応答を示している。また，鉛直加速度応答は水平成層地盤ではほとんど発生していないが，不整形地盤では傾斜部から傾斜部前面にかけて大きな応答を示す。

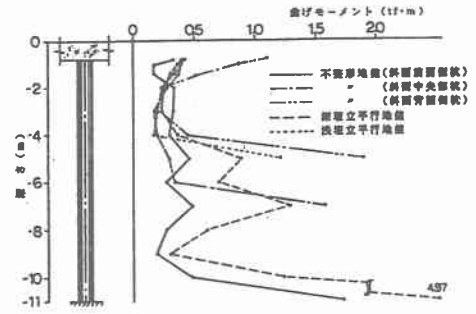


図-3 杭発生最大モーメント

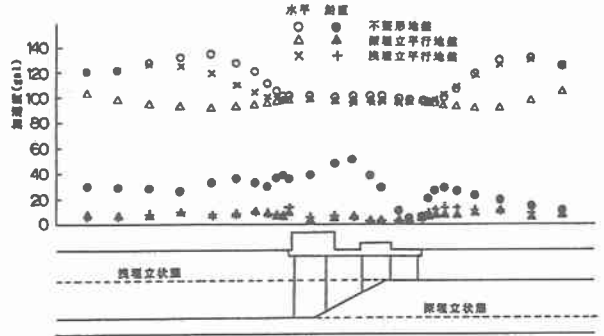


図-4 地表面加速度分布

(2) 杭頭固定度による影響の検討

杭頭の固定には埋込み型と鉄筋定着型があり計算上剛結とされるが，実際には回転バネ定数が $10^4 \text{tf}\cdot\text{m}/\text{rad}$ 程度の固定度だと報告されている<sup>2)</sup>。このことから，今回バネ定数をヒンジ，半固定 ( $10^4 \text{tf}\cdot\text{m}/\text{rad}$ )，剛結の3種類について比較検討を行った。表-1に杭先端及び杭頭部の最大発生曲げモーメントを示す。杭先端固定であるため杭頭の固定度によらず杭先端で曲げモーメントが最大となる。杭中央部の曲げモーメントは杭頭の固定度によらず同程度の大きさであり，杭頭固定度の違いによる影響はあまり現れない。また，杭先端を半固定とした場合も同様の傾向となった。このことは，杭の剛性が低く地盤の変形により断面力が支配されているためだと考えられる。

(3) 設計の妥当性の検討

表-2に現設計と今回の解析結果の比較を示す。応答解析による曲げモーメントは，杭頭の固定度，基礎地盤の状況によらず設計値に比べかなり小さくなっている。一方軸力は，不整形地盤の場合，傾斜地盤付近で生じる上下方向変位により軸力8tf程度増減するが杭の許容値内である。今回の解析の範囲では，現設計は応力的に安全側にあり妥当性が示されたが，杭の剛性や配置，基礎の傾斜の具合，表層厚さによっては，傾斜地盤周辺で断面力の増加，減少が生じることも考えられ注意を要するものと考えられる。

表-1 杭頭固定度の違いによる杭発生最大モーメント

(単位: tf m)

項目	ヒンジ		半固定		剛結	
	杭頭	杭先端	杭頭	杭先端	杭頭	杭先端
傾斜前面側杭	8.2E-4	1.73	0.34	1.74	0.57	1.74
傾斜背面側杭	3.9E-3	1.87	1.10	1.89	1.79	1.90

表-2 設計と応答解析結果の比較

項目	震度法		応答解析	
	M(tfm)	N(tf)	M(tfm)	N(tf)
傾斜背面側杭	8.6	85.3	1.7	78 ~ 92
傾斜前面側杭	8.6	19.3	1.9	21 ~ 17

参考文献: 1) 日本電気協会: 火力発電所の耐震設計指針 (電気技術指針火力編), 1992

2) 土質工学会: 杭基礎の設計法とその解説, pp. 752~756, 1987