

# 仙台火力発電所構内埋立地の地震動特性について

東北大学工学部 ○浅田 秋江  
 東北大学大学院 柳沢 栄司  
 東北電力仙台火力発電所 土方 恕或  
 東北電力土木部 遠藤 泰志

## (1) まえがき

軟弱地盤にある構造物基礎の耐震性に関する基礎的資料をつるために、土性のよく知られている仙台火力発電所埋立地の地盤中に直接地震計を埋設し、更にこの地盤中に地震計を取付けた鋼管杭を埋設して地震観測を行なっている。

この報告は、これまで得られた地震記録を解析して、仙台火力発電所埋立地の振動特性を考察したものである。

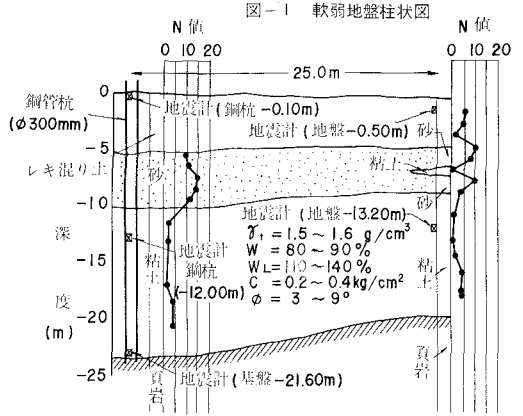


表-1 地震観測装置の性能

## (2) 地震観測について

地震計を埋設した軟弱地盤の土性は図-1に示す如く、およそ三層に分けられる。地表から約5mの深さまではレキ混り土があり、その下に約5mのゆるい砂層がある。さらにこの下に厚さ約12mの海成粘土からなる軟弱層があり、頁岩から成る基盤に達する。埋設した地震計は水平成分のみで、その埋設位置は図-1に示した通りである。

地震の観測に用いた装置の性能は表-1に示す如く、またそのブロックダイヤグラムは図-2に示す通りである。この装置は感度調整器を用いることによって加速度を記録し、また積分器を使用することによって変位を記録できるようになっている。記録装置は地震時に自動的に起動するようにした。

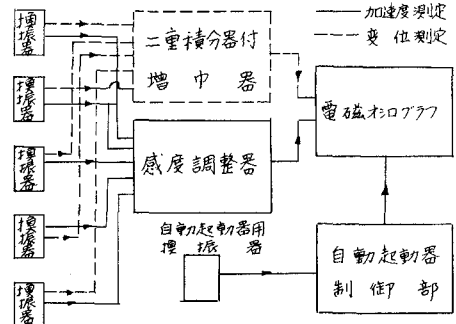
地震記録の解析は、主要動の中8sec間の記録を(1)式によってフーリエ解析し、変位および加速度スペクトルを求めた。

$$G\left(\frac{2n\pi}{T}\right) = \frac{2}{T} \sqrt{\left(\int_0^n f(t) \cos \frac{2n\pi}{T} dt\right)^2 + \left(\int_0^n f(t) \sin \frac{2n\pi}{T} dt\right)^2} \quad (1)$$

$T$ : 解析区間  $n$ : 正の整数  
 $f(t)$ : 地震加速度

換振器	固有周波数 感 度	10 C.P.S 15 $\mu A/gal$
感度調整器	減 衰 比	$\times 1 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{8}$
二重積分器 付増中器	型 式 電圧増中器 入力減衰器	CR積分回路2段式 約 200倍 0, -10, -30dB
電磁プロッタ	検波計固有周波数	50 C.P.S
自動起動器	最小起動入力電圧 最小起動感度	22 mV 0.005 cm/s

図-2 地震観測装置のブロックダイヤグラム



(3) 観測結果について

これ迄、観測された地震のうち比較的振中の大きいもの4つ(表-2および図-3~6)を選び、この4つの地震記録のそれぞれ主要部と思われる0.5sec間の部分を解析した。解析したスペクトルから共振曲線を描くと図-7~図-9に示す如くなる。

表-2

	発震時	震源地	震度
地震NO3	昭和41年6月24日6時52分	金華山沖	仙台Ⅱ
地震NO4	昭和41年7月18日13時39分	金華山沖	仙台Ⅱ
地震NO5	昭和41年11月18日14時20分	福島県沖	仙台Ⅱ
地震NO6	昭和41年12月27日10時25分	福島県沖	仙台Ⅲ

図-3および4は変位記録を表わしており、図-5および6は地盤が変位記録を、鋼管杭が加速度記録を表わしている。

図-3~6に示した地震記録および図-7~9に示した共振曲線から地盤の固有振動周期は0.9sec付近にあり、鋼管杭では0.6~0.7secの範囲にある。

地盤および鋼管杭の振中増中はいづれも軟弱層内では増大するが、それより上方の砂層内では着しい振中の増大はみられない。

(4) 結果に対する考察

(i) 地盤の振動性状について

厚さHmの表面層が基盤上に存在するとき、基盤における入射波の変位を $U_z=0$ 、地表面における地震波の変位を $U_z=H$ 、とすると、重複反射理論によって次式が成立つ。

$$U_z=0\left(x-\frac{H}{V}\right)=\frac{1}{2}\left\{U_z=H(\tau)+U_z=H\left(\tau-\frac{2H}{V}\right)\right\} \quad (2)$$

但し V: 横波の速度

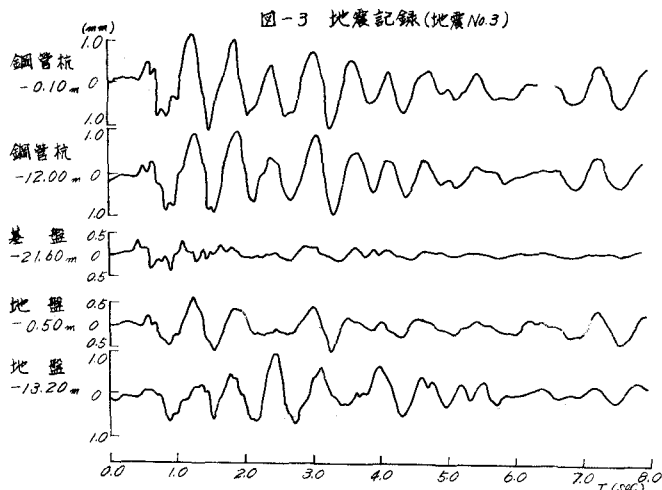


図-4 地震記録(地震NO4)

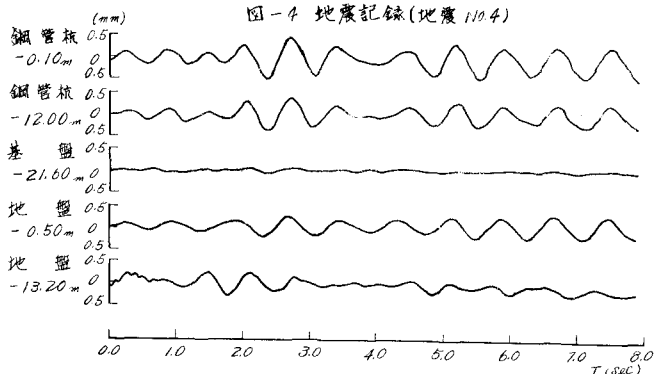


図-5 地震記録(地震NO5)

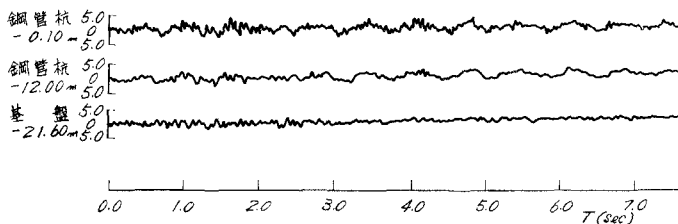
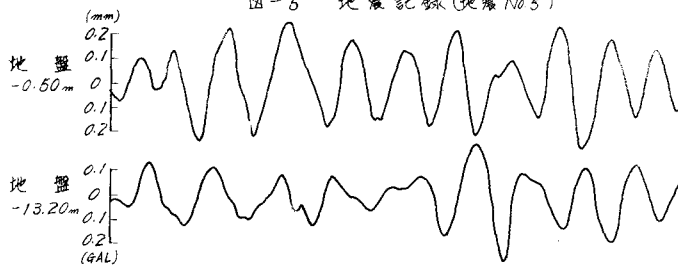


図-7 共振曲線(地震No.3)

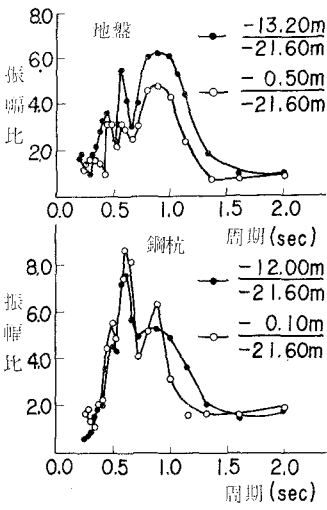


図-8 共振曲線(地震No.4)

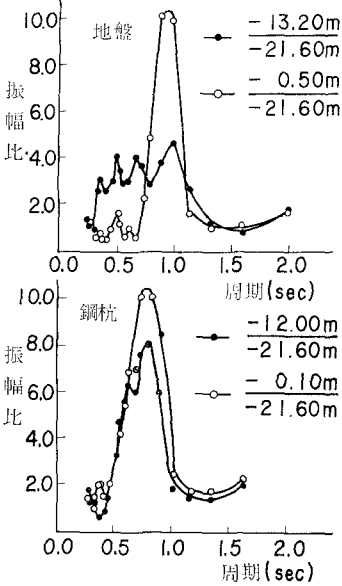
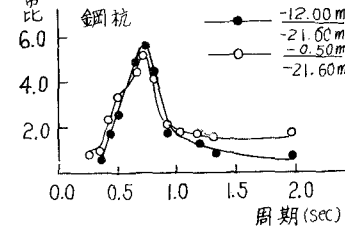


図-9 共振曲線(地震5)



して来るとする。入射面を原原 $O$ にして鉛直上方に $X$ をとり、入射波を $U_0$ 、 $\sigma$ 1層における変位を $U_1$ 、 $\sigma$ 2層における変位を $U_2$ 、 $\sigma$ 3層における変位を $U_3$ とすると、

図-6 地震記録(地震No.6)

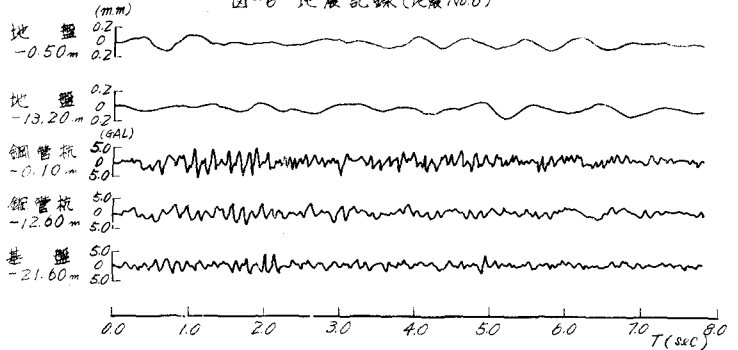
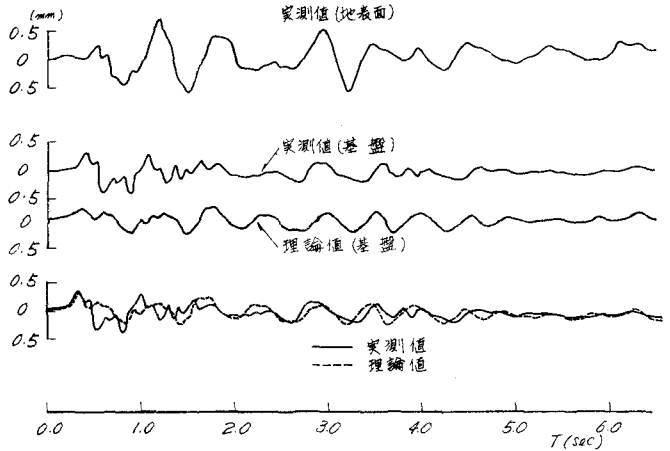


図-10 実測記録と応答記録の比較

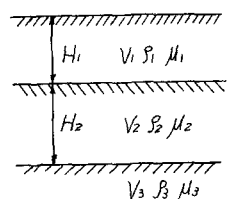


今仙台火力発電所構内埋立地の地盤を一層の表面層(厚さ24m)と仮定し、横波の速度を実測値から約120%と推定すると、(2)式から基礎盤における入射波形が求められ、図-10に示したように、実測記録と計算によって求めた記録が比較的類似することがわかる。しかしながら図-1に示した仙台火力発電所構内の地盤構造を一層と仮定するのは極端すぎるので、次に三層水平構造について検討してみよう。

今図-11に示すような三層構造を仮定し、 $\sigma$ 1層、 $\sigma$ 2層の厚さ、密度、剛性率および速度をそれぞれ $H_1, \rho_1, \mu_1, V_1, j, H_2, \rho_2, \mu_2, V_2$ とする。

今入射波に無限調和波が鉛直下方から入射

図-11 三層構造モデル



$$\begin{aligned}
 U_0 &= \cos(Pt - j_3 x) \\
 U_1 &= \frac{2R_1}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \cos(pt - \tan^{-1} \frac{Q}{P}) \\
 U_2 &= \frac{2R_2}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \cos(pt - \tan^{-1} \frac{Q}{P}) \\
 U_3 &= \frac{2P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \cos(pt - \tan^{-1} \frac{Q}{P})
 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 P &= 2\alpha \cos \frac{PH_1}{V_1} \cdot \cos \frac{PH_2}{V_2} - 2\alpha \sin \frac{PH_1}{V_1} \cdot \sin \frac{PH_2}{V_2} \\
 Q &= 2\beta \cos \frac{PH_1}{V_1} \cdot \cos \frac{PH_2}{V_2} + 2\beta \sin \frac{PH_1}{V_1} \cdot \sin \frac{PH_2}{V_2} \\
 K_1 &= \cos \left( 1 + \frac{H_2}{H_1} - \frac{x}{H_1} \right) \\
 R_2 &= \cos \left( 1 - \frac{x}{H_2} \right) \cdot \cos \frac{PH_1}{V_1} \cdot \frac{PH_2}{V_2} - \alpha \sin \left( 1 - \frac{x}{H_2} \right) \cdot \sin \frac{PH_1}{V_1} \cdot \frac{PH_2}{V_2} \\
 \alpha &= \frac{S_1 V_1}{S_2 V_2} \quad \beta = \frac{S_1 V_1}{S_3 V_3} \quad \gamma = \frac{S_2 V_2}{S_3 V_3} \\
 \frac{2\pi}{P} &= T \quad \frac{2\pi}{j_3} = V_3 T
 \end{aligned}$$

ここで仙台火力発電所構内埋立地の地盤について各層の変位を(3)式によって計算してみた。なお計算に用いた各数値を表-4に示す。

表-4 数値表

	H (m)	V (m/s)	S (g/cm <sup>3</sup> )
第一層	10	1000	2.0
第二層	12	120	1.55
第三層	—	3000	2.80

計算によって求めた振動形を示すと図-12の如く実測によって求めた振動形とは一致する。

図-12 地盤の振動形

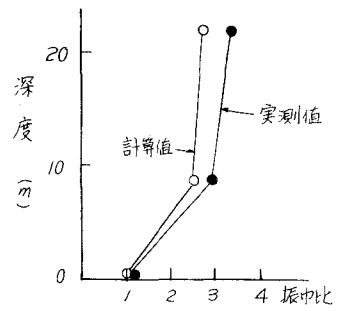
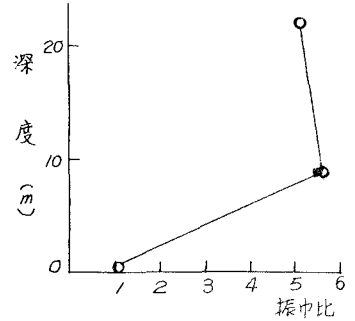


図-13 鋼管杭の振動形



(ii) 鋼管杭の振動性状について

仙台火力発電所構内埋立地内にてこんだ鋼管は杭頭に載荷重がないため、実際の構造物の基礎杭として取扱うことはできない。いづれ杭頭に載荷重をのせて実際の杭に近い状態における振動特性を調べる予定であるが、今回は鉛直方向の地中埋設管と考えて、その振動特性について検討する。

図-5および6に示している加速度記録をみると短周期の成分が卓越してみえるが、共振曲線を描いてみると図-9に示すように短周期のものは固有周期ではないことがわかる。図-7, 8および9から鋼管杭の固有周期は変位においても加速度においても、0.6~0.7 secの範囲である。

一方鋼管杭の振動形は図-13に示すように、粘土層においては振中の増大は著しいが、上部砂層内では振中の増中はほとんどみられない。

(5) あとがき

仙台火力発電所構内埋立地地盤内の地震応答は重複反射理論によって計算した応答記録と比較的一致することがわかった。地震波は軟弱層ではその振中が大きくなるが上部砂層ではほとんど増大しないので、一般的に軟弱層上部を砂礫で置換することはかなり耐震的に有効である。今後鋼管杭については杭頭に荷重をのせた実際の杭に近い条件で地震時の挙動を調べるつもりである。

引用文献: K. Kanai and S. Yoshizawa. "Relation between the Amplitude of the Earthquake Motions and the Nature of Surface Layer" Bull. Earthq. Res. Inst. 34 (1956)