

九州大学 工学部 正員 小坪清真  
九州工業大学 工学部 正員 高西照彦  
九州大学 工学部 学生員 〇井上真三

## I まえがき

近年、構造物は大型化、長大化の傾向にある。殊に現在計画中の本州四国連絡橋の基礎として、多柱基礎やケーソン基礎等が考えられている。構造物の耐震性を考える場合、基盤、地盤そして構造物との間の相互作用を考慮した地盤の応答特性を調べる事は重要な問題である。その耐震性の検討は、我国のように地震多発地帯に属し軟弱な地盤が多く、その中に基礎が構築される可能性の多い国では重要な問題である。

本論文は基盤から入射する地震波による表層地盤の応答に及ぼす群杭の影響について考察したものである。解析法は、地盤を矩形の有限要素にモデル化し、群杭の効果はその曲げ剛性による剛性マトリックスを前者のマトリックスに重ね合わせることによって表裏した。しかるのち、固有振動数、モードを求め、地震波として Elcenter 地震の  $N-S$  成分を用いて、地表の応答加速度、変位と計算した。

## II 解析方法

図-1 に示すような有限要素分割を考える。寸法は図の通りとし、境界条件として、節点 8~19 に  $x$  方向自由なローラーを取り付け、節点 1~7 は完全固定とした。群杭は図-1 に示すような地盤に打ち込んでいるものと考え、ここでは二次元問題として解析を行なっているので、次のような群杭をモデル化した。既に図-1 の節点の在る所に杭がくるように置き換え、単位幅当り杭が何本その節点にあるかを計算した。

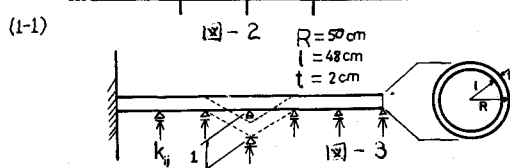
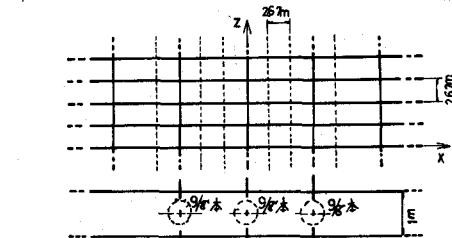
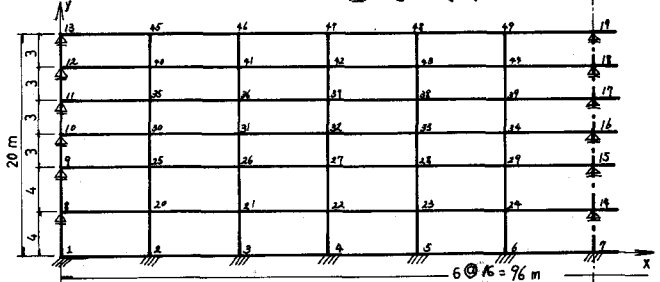
$$K = \frac{6EI}{4725l^3} \times$$

|       |        |       |        |        |        |
|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 46224 | -30717 | 12960 | -3656  | 864    | -144   |
| 39786 | -30780 | 13248 | -3312  | 552    |        |
|       |        | 43200 | -32940 | 12960  | -2160  |
| 対     |        |       | 44064  | -22916 | 8136   |
| 称     |        |       |        | 31104  | -11484 |
|       |        |       |        |        | 5064   |

$$E = 2.1 \times 10^7 \text{ t/m}^2, \quad I = \frac{\pi}{4} (0.5^4 - 0.48^4)$$

図-3 のように地盤に打ち込んだ杭を考えて、 $x$ -方向の剛度を知るため各節点をローラー支承とし、 $z$  変が単位長さ沈下したときの各節点の  $x$ -方向の反力、すなわち剛度  $k_{xi}$  を求めていった。 $y$ -方向の剛度も杭が入る事によって大きくなるはずがあるが本解析では微小であると考え、無視した。この剛性マトリックスを (1-1) 式に示す。杭が入った場合の全体の剛性マトリックスは (1-1) 式を土だけの剛性マトリックスの各節点の成分に加え合わせて作った。質量マトリックスは杭の質量が土の質量に対して非常に小さいので杭の質量を無視して土だけの質量マトリックスをそのまま使って解析を行った。このようにして求めた剛性マトリックスと質量マトリックスを固有値問題でよく使われる  $\alpha R$  法によって、固有値、固有ベクトルを求めた。これより求められる固有振

図-1 要素分割



動数、固有振動モードを用いれば、Modal Analysis によって、地震時における任意莫の時刻々の変位が得られる。すなわち、これらは次の式にて与えられることは周知の通りである。

$$y_i = \sum_{s=1}^n \psi_s \cdot Y_{is} \quad \psi_s: \text{規準座標}$$

$Y_{is}$ : 固有振動モード

規準座標  $\psi_s$  は次の微分方程式を解くことにより求められる。

$$\ddot{\psi}_s + 2h_s n_s \dot{\psi}_s + n_s^2 \psi_s = -\ddot{y}_0$$

$\beta_s$ : 第  $s$  次の刺激係数

$n_s$ : 第  $s$  次の固有円振動数

$h_s$ : 減衰定数 (本解析では 0.01 とした。)

### 解析結果

群杭がある場合とない場合との振動モードと一次と二次について比較すれば図-4、図-5の通りである。図より明らかなように、群杭を考慮した場合とない場合の差違は中央とその次の節点(杭を入れた仮定した点)に表われている。特に地盤の底部分のモードが小さいのは杭の底部が基礎と剛接しているものとして計算したためと考えられる。実際の対象物では底端を剛接にすればせん断力により杭が折れる危険がある。そこで本解析においても底端はヒンジ支点として解析を行うべきものであり、そうすれば底部のモードももう少し滑らかなものになり、たとえられる。変位応答については、減衰定数  $h_s = 1\%$  とし、外力として基礎の加速度  $\ddot{y}_0$  に El Centro 地震波を使って計算し図-6、図-7を得た。これらは地震最大加速度 290 gal に対する応答である。ただし、この図は節点 19 に対し  $\Delta t = 0.01 \text{ sec}$  間隔で 16.17 sec まで求めたものである。なお節点 14 ~ 19 までの最大変位を表-1に示す。

|        | 固有周期<br>1次         | 2次                 | 節点<br>19           | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   |
|--------|--------------------|--------------------|--------------------|------|------|------|------|------|
| 杭がある場合 | 0.739 <sub>s</sub> | 0.240 <sub>s</sub> | 0.43 <sub>cm</sub> | 1.38 | 2.46 | 3.76 | 5.07 | 6.41 |
| 杭がない場合 | 0.647 <sub>s</sub> | 0.220 <sub>s</sub> | 2.13               | 3.91 | 4.92 | 5.57 | 5.82 | 5.63 |

表-1に示すようにに群杭は地盤の固有周期を減少させ、応答変位を小さくするが、その効果は本計算例の場合約 10% 程度である。ランダム入力波に対する構造物の変位応答は略固有周期に比例するので、地盤が剛になれば変位が小さくなるのは当然であるが、群杭の効果は上部構造の固有周期との関連において論すべきであろう。

### 参考文献

土木振動学 (小坪清真著)

マトリックス構造解析の基礎理論 (J.S. シェムニスキー著、山田嘉昭 川井忠彦共訳)

有限要素法による構造解析プログラム (三本木茂夫、吉村信敏 日本鋼構造協会)

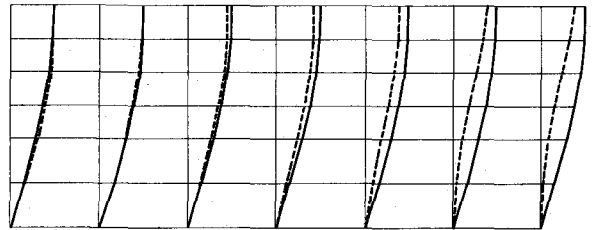


図-4 1次モード --- 杭がある場合  
— 地盤だけの場合

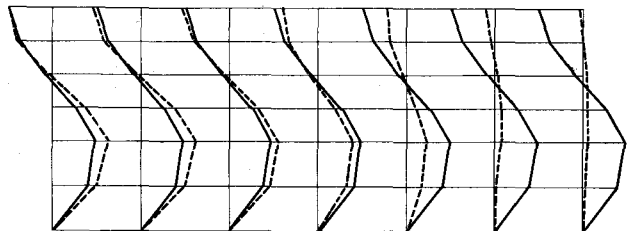


図-5 2次モード



図-6

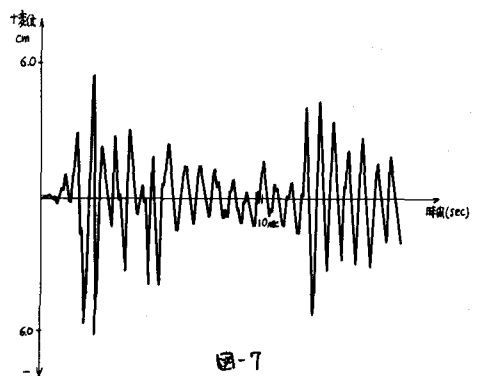


図-7