

ランダム地震波による杭基礎の応力

九州大学工学部 小坪 清 真
同大学院学生 緒方 信 英

1. まえがき

地震時における地盤変形の影響を考慮した場合の杭基礎の応力は従来の理論(基礎地盤変形の影響を考慮することなしに、杭頭に地震時の載荷重量の慣性力に相当する水平力を静的に加える方法)に比し、著しく大きくなる事を先に¹⁾定常的な場合について理論及び実験的に示した。

ここでは、実際に記録された強振記録を外力として採用し、基礎地盤変形の影響を考慮して、杭基礎の地震応答計算を示す。地震波としては El-Centro 地震の N-S 成分の加速度記録をそのまま用いた。また、数値積分に際しては、杭の長さ方向には階差式になおし、線形加速度法を用いた。併せて、定常的な振動に対しての模型実験も行なつたので、その実験結果も示した。

2. 杭の横抵抗に関する微分方程式

杭についての微分方程式は次の様に表わされる。

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(EI \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} \right) = - \frac{wA}{g} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \ddot{\phi} \right) - \mu \frac{\partial y}{\partial t} + p_m \quad \dots\dots(1)$$

$$p_m = K(z) D (u - y) - \frac{w_m \delta D}{g} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \ddot{\phi} \right) \quad \dots\dots(2)$$

ここで、

p_m = 杭の単位長さ当りに加わる土圧

EI = 杭の曲げ剛性

wA = 杭の単位長さ当りの重量

D = 杭の外径

K = 杭に関する横方向地盤反力係数

y, u = 杭および地盤の下層地盤に対する相対変位

ϕ = 下層地盤の地震動

$\dot{\phi} = \partial \phi / \partial t$

w_m = 土の単位体積重量

g = 重力の加速度

μ = 杭についての減衰係数

δD = 杭の単位長さ当りに附着すると考えられる土の体積

(2) 式中の u は次の地盤に関する微分方程式を解くことにより求める。

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(G_m(z) \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \frac{w_m}{g} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \ddot{\phi} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) \right) \quad \dots\dots(3)$$

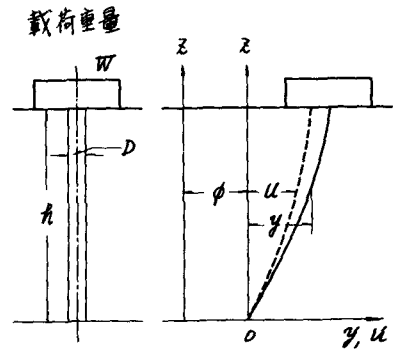


図 - 1

ここに、

G_m = 地盤のせん断弾性係数

E = 地盤についての減衰係数

地盤の境界条件としては、 $z = h$ においてはせん断力は 0 であり、 $z = 0$ においては基礎地盤は下層地盤と同一の運動をする。また、杭の境界条件としては $z = h$ において回転拘束、 $z = 0$ においてはヒンジとみなして計算を行なった。

なお、減衰がどのような形式で表わされるか不明な点が多いが、ここでは、基礎地盤についてはせん断変形速度に比例する減衰が効くき、杭については下層地盤と杭との相対速度に比例する減衰力が作用するものと仮定した。実際の数値計算に際しては、計算を簡単にするために減衰係数は深さ、地震周期その他に無関係な定数とした。さらに(2)式中の $2\alpha h D$ の値の推定に関しては今後の研究にまかぬばならないが、ここでは一応 $h D$ の値は杭の断面積に等しいものとした。すなわち、杭が排除した体積に等しい体積の土が一層に、深さ、振動周期に無関係に杭に附着するものとして計算を行なった。

3. 応答計算

前述した様に、(1)、(2)、(3) 式を階差式になおし、線形加速度法を用いて応答計算を行なう。

(3) 式は階差になおせば次のように表す事が出来る。

$$\{\ddot{u}\} = -\ddot{\phi}\{1\} - [C_u]\{\dot{u}\} - [k_u]\{u\} \quad \dots\dots (4)$$

ここに、 $[C_u]$ 、 $[k_u]$ は次の様に表わされる。

$$[C_u] = \frac{gE}{w_m h^2 \lambda^2} \{D\}$$

$$[k_u] = \frac{gG_0}{w_m h^2 \lambda^2} \{D\}$$

$$\{D\} = \begin{bmatrix} 2 & -2 & & & \\ -1 & 2 & -1 & & 0 \\ & -1 & 2 & -1 & \\ & & & \ddots & \\ 0 & & & & -1 & 2 & -1 \\ & & & & & -1 & 2 \end{bmatrix}$$

全探に(1)式も

$$\{\ddot{y}\} = -\ddot{\phi}\{1\} - [C_p]\{\dot{y}\} - [k_p]\{y\} - [l_u]\{u\} \quad \dots\dots (5)$$

ここに、 $[C_p]$ 、 $[l_u]$ は次の様に表わされる。

$$[C_p] = \frac{g\mu}{wA + w_m b D} \{F\}$$

$$[l_u] = -\frac{gK_0 D}{wA + w_m b D} \{F\}$$

$$\{F\} = \begin{bmatrix} A & & & & 0 \\ & 1 & & & \\ & & 1 & & \\ & & & \ddots & \\ 0 & & & & 1 \end{bmatrix}$$

$$A = 1 / \left\{ 1 + \frac{2w}{h\lambda(wA + w_m b D)} \right\}$$

$1/\lambda$ = 分割数

$$[k_p] = \frac{8EI}{(\omega A + 2\omega_{LD}) L^4} \begin{pmatrix} A(6+r) & -8A & 2A & 0 \\ -4 & 7+r & -4 & 1 \\ 1 & -4 & 6+r & -4 \\ 1 & -4 & 6+r & -4 \end{pmatrix}$$

図-7は計算結果を明示したものである。この図では地盤の性質を変えた場合の杭頭における曲げモーメントを *Change* の式による値と比較した。

変位は地盤変形を考慮した場合の杭頭
 の曲げモーメントを示し、破線は従来慣
 用されている Chang の式による値と算
 出してプロットしたものである。

図から明らかになるように、地盤変形を考慮すると、杭に生ずる曲げモーメントは *Chang* の式による値よりも非常に大きくなる事がわかる。

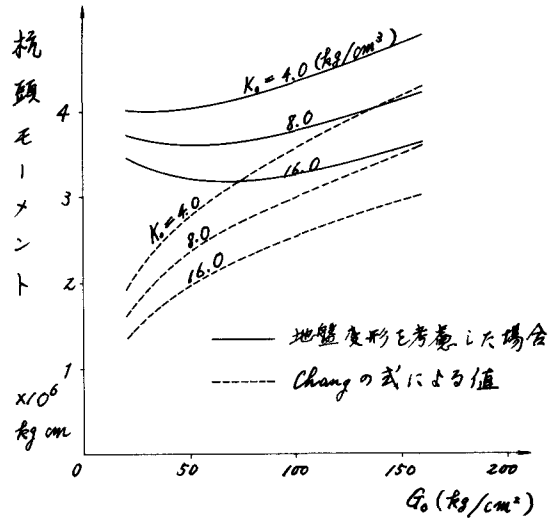


图 - 2

4. 模型實驗

ここでは定常的な振動を振動台に与え、大場合の樓型杭の曲げモーメントの実験結果を図示する。

実験装置は図-3に示すように、 $130\text{ cm} \times 70\text{ cm} \times 70\text{ cm}$ の砂箱に砂と深さ 50 cm まで入れ、模型杭としてバークライトチューブを用いた。チューブの上端は回転拘束の条件とみたすために2本のチューブを頭部で連結した。加速度計とチューブの上端と、振動台上にそれぞれ1個設置した。載荷重量としては 630 gr 、 1430 gr 、 2230 gr 、 3040 gr 、 3940 gr 、 4860 gr の6通りの場合を行った。

まず、砂箱中の砂が十分安定した状態になったと思われるまで砂箱に振動を加える。しかる後に砂箱を振動させ、チューブ上端の加速度といろいろ変えた場合のチューブの振動曲げかじりみを測定し、

次に振動台を静止させ、チューブの上端にその時の載荷重量の慣性力に等しい水平力を加え、杭の静的曲げひずみを測定した。

チューブの曲げ剛性は $EI = 8.11 \times 10^4 \text{ kg cm}^2$
 外径 $D = 25 \text{ cm}$ 、内径 $d = 22 \text{ cm}$ である。

図-4 はいろいろな加速度に対する振動曲げひずみを測定して、グラフにプロットし、それから $\alpha(\text{震度}) = 0.1$ の場合を統一して図示したものである。

図からわかる様に、砂の変形の影響が著しく大であることがわかる。特に、杭の下部においては載荷重量の影響は少なく、殆んど砂の変形の影響によるものと思われる。

以上から明らかのように、杭基礎におよぼす地盤変形の影響は非常に大きい。したがって、杭基礎の耐震設計にさいしては地震時における基礎地盤の変形の影響を十分に考慮する必要がある。

- 1) 小坪・緒方：軟弱地盤中の杭基礎に生ずる地震時応力について

九州大学工学集報，第39巻，第3号
 昭41.10

- 2) Y. L. Chang : Discussion on the Paper
 "Lateral Pile-Loading Tests"
 by Lawrence B. Feagin
 Trans. ASCE, Vol 102, 1937

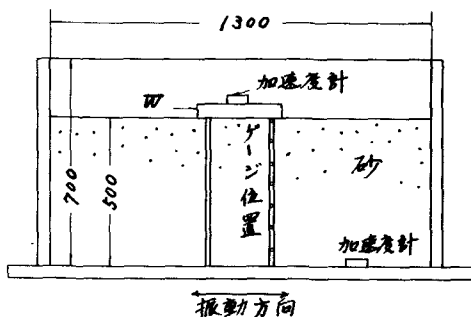


図-3 模型杭と砂箱

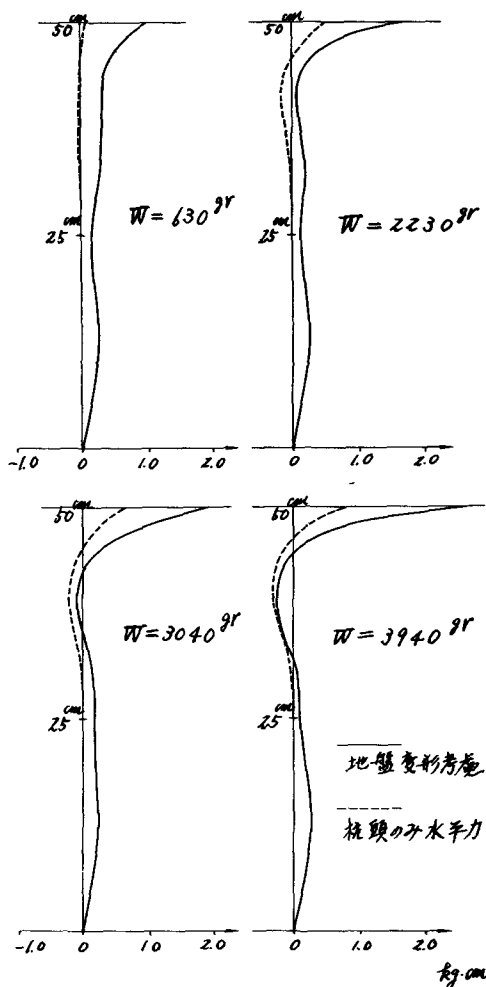


図-4 モーメント分布図