



土 木 研 究 所 資 料

第 1 0 3 9 号

基礎杭と地盤の動的相互作用に関する実験

昭和 50 年 4 月

建設省土木研究所

まえがき

本報告は地震時の地盤のせん断変形によって生じる基礎杭の変形と応力の算定法を検証するために行なった模型振動実験の結果をとりまとめたものである。

昭和50年4月

振動研究室	室長	栗林栄一
	研究員	川島一彦
	技官	木本正則
	技官	宮田忠明

目 次

まえがき

1. 概 説	1
2. 模型および計測器	2
2-1 模 型	2
2-1-1 地盤模型	2
2-1-2 杭 模 型	2
2-2 計 測	4
2-2-1 変位の測定	4
2-2-2 ひずみの測定	6
2-2-3 加速度の測定	6
3. 実験の種類および方法	9
4. 実験結果	10
4-1 静的な杭頭の横方向引張り実験	10
4-2 振動実験	11
5. 実験結果の検討と考察	30
参考文献	34

1. 概 説

地震時に基礎杭に変形を及ぼす要素のうち主要なものとしては、上載構造物の自重とそれに作用する慣性力、および、杭周辺の地盤のせん断変形の2つがあげられる。後者については、表層地盤と基礎杭の相互作用を表わすモデルとして、杭の質量は無視し弾性基礎上の梁として取り扱う方式を提示した(参考文献1および2)。本報告はこのような計算法を検証するために地中部の杭を中心にして行なった模型実験の結果をとりまとめたものである。

2. 模型および計測器

2-1 模型

2-1-1 地盤模型

地盤模型の材料としてはアクリルアミド系グラウト剤のゲルを使用した。アクリルアミド系グラウト剤の模型材料としての性質は参考文献(3)に詳しく示されているので、簡単に述べると以下の通りである。

- (1) ほぼ弾性的な性質をもっており、ポアソン比 $\nu \doteq 0.5$ 、単位体積重量 $\gamma \doteq 1.0 \text{ g/cm}^3$ である。
- (2) 比較的広い範囲の弾性係数を自由に作り出すことができる。
- (3) 実験期間中に安定した状態を保持できる。

地盤模型の大きさは縦、横とも 90 cm 、高さ 30 cm とし、できるだけ均一な剛さとなるように作成した。地盤の弾性係数は軟い場合 ($E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$) および固い場合 ($E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$) の2種類とした。

2-1-2 杭模型

杭模型は硬度 50° の合成ゴムを用いて、図2-1に示すように直径 3 cm 、長さ 30 cm 、 40 cm 、 45 cm の3種類を作成した。単位体積重量は 1.4 g/cm^3 である。剛さと直径を決めるにあたっては、地盤の剛さと杭の剛性の比を表わす特性値 β と杭長 l の積 βl が $\beta l > \pi$ となるよう考慮した。

杭模型の弾性係数は一端を固定してカンチレバー梁とし、曲げ振動の周期から求めた。この際、振動振幅の大きさを変化させ、杭模型外周面にはったひずみゲージに生じるひずみ量との関係で杭模型の弾性係数を示すと図2-2、図2-3のようになる。杭模型の弾性係数は杭に生じるひずみの大きさによって変化するが、後述するように、振動実験中に杭に生じる曲げひずみの大きさ(ひずみゲージで検出した値)は $(20 \sim 50) \times 10^{-6}$ 程度であるので、杭の弾性係数はおおむね 30 Kg/cm^2 程度と考えられる。

杭模型の先端は回転に対する抵抗を無くすために丸くした。

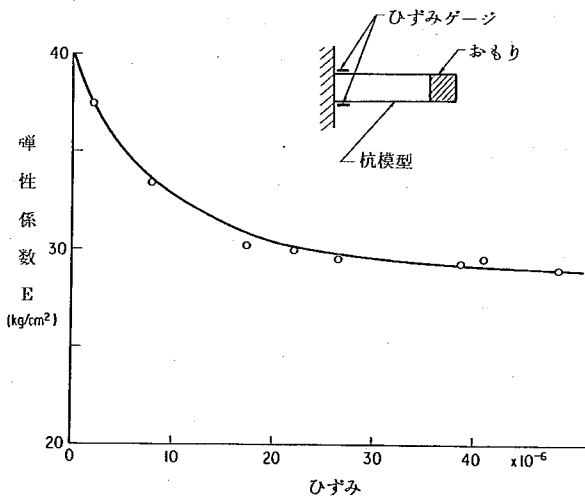
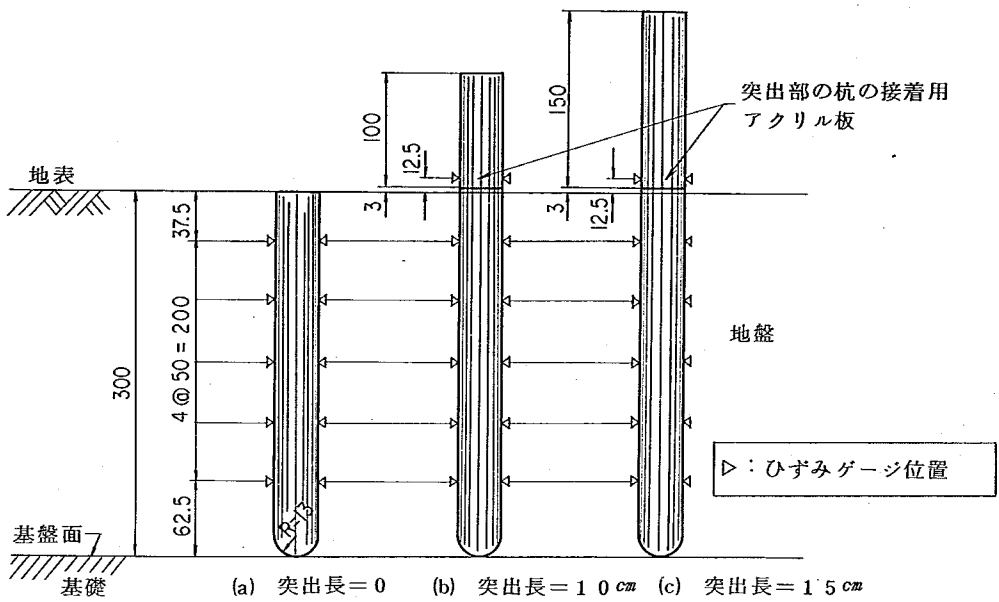


図 2 - 2 杭模型のゴムの弾性係数 (曲げ振動数から)

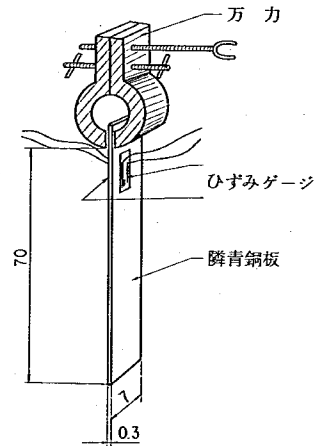


図 2 - 3 変 位 計

2-2 計測

2-2-1 変位の測定

(1) 変位計

変位の測定は図2-3に示すように、幅7mm、厚さ0.3mm、長さ7cmの焼青銅板をcantilever式に固定し、自由端に伝えられる変位によって生じる曲げひずみを支持端近くの両面にはったstrain gaugeによって測定するようにした。また、自由端はその端部を5mmほど直角に折曲げ、測定物にあてた。この時、あらかじめ中立点からどちらかの方向に変位計をずらして取付け、中立点から両方向の変位が測定できるようにした(図2-4)。変位計の剛性は20g/cm、1次固有振動数は30Hzである。

変位計の変位とひずみの関係の一例を示すと図2-5のようになり、±1mmの範囲内では、ほぼ完全な直線関係にある。

変位の測定は、図2-6に示すように基盤面(振動台)、杭の頂部、杭の地表面位置、地盤表面(杭中心から15cmの点)で行なった。

(2) 変位計の精度

変位の測定対象物に変位計を接触させると、

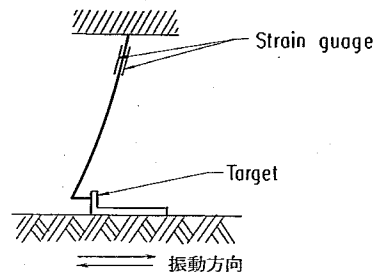


図2-4 Cantilever式変位計の取付

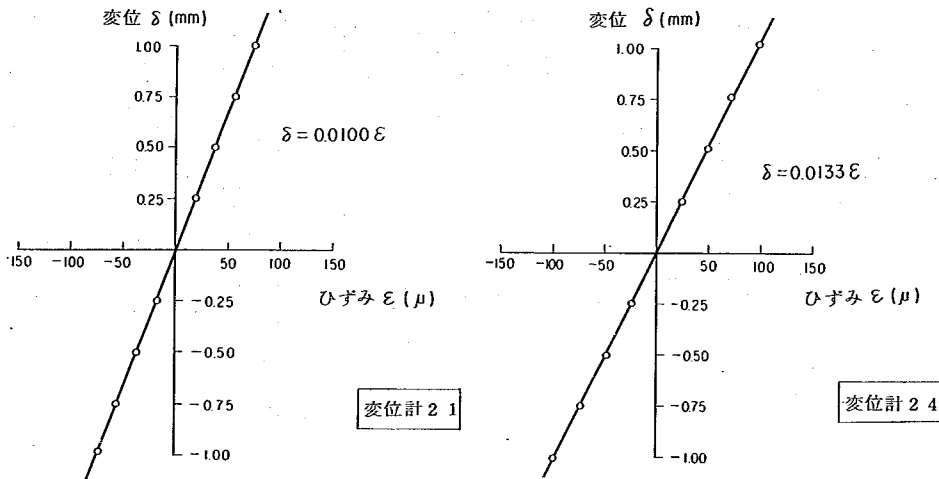


図2-5 変位計の変位-ひずみの関係の1例

変位計自体の剛性により対象物の変形が乱される。軟かい模型地盤の表面の変位を測定するような場合に、特にこの影響が大きいと考えられる。したがって、以下に模型地盤の表面の変位を測定する場合を中心にして、変位計の精度を検討した。

図 2-7 に示すように、地盤模型の表面に半径 B (cm) のターゲットを置き、これに変位計を接触させた場合を考える。模型地盤全体が δ だけ変位すると、変位計の剛性によって模型地盤の表面は $\Delta\delta$ だけ変位する。模型地盤を半無限弾性体として取扱い、Mindlin II 解を用いて変位量 $\Delta\delta$ を求めると次のようになる。

半無限弾性体内の 1 点 (o, c) に水平方向集中荷重が作用した場合の任意点 (r, θ , z) における水平変位は、ポアソン比を 0.5 と仮定すると、

$$u(r, \theta, z) = \frac{3P}{8\pi E_s} \left[\frac{1}{\sqrt{r^2 + (z-c)^2}} + \frac{1}{\sqrt{r^2 + (z+c)^2}} + \frac{2cz}{\{r^2 + (z+c)^2\}^{3/2}} \right. \\ \left. + r^2 \cos^2 \theta \frac{1}{\{r^2 + (z-c)^2\}^{3/2}} + \frac{1}{\{r^2 + (z+c)^2\}^{3/2}} - \frac{6cz}{\{r^2 + (z+c)^2\}^{5/2}} \right] \dots (2-1)$$

となる。(2-1) 式は集中荷重の作用点においては解が求められないため、ターゲットの円周上における変位を求め、この値の平均値をもってターゲットの変位 $\Delta\delta$ と見なすことにする

$$\Delta\delta = u(B, 0) = \frac{1}{B} \int_0^B u(B, \theta, 0) \cdot B \cos \theta \cdot d\theta = \frac{5P}{4\pi E_s B} \dots (2-2)$$

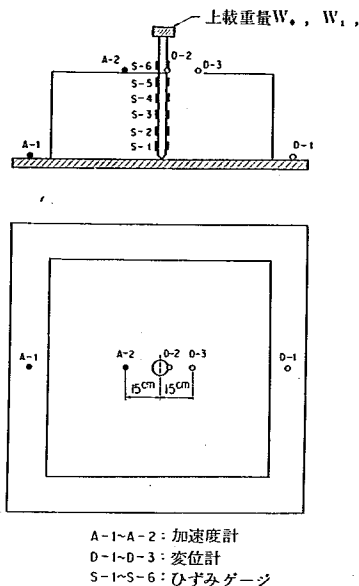


図 2-6 計測点

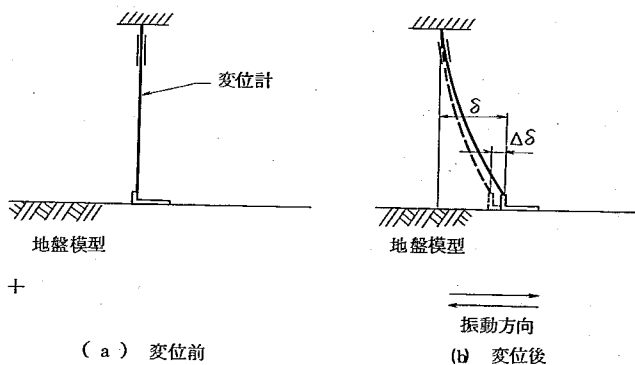


図 2-7 変位計の精度

ここに、 4δ ：変位計の剛性による模型地盤表面の変位

B ：変位計を接触させるターゲットの半径

E_s ：模型地盤の弾性係数

P ：変位計からターゲットに伝えられる力

今、模型地盤全体が図 2-7 に示したように δ だけ変位した場合に変位計に生じる反力 P は

$$P = \frac{3EI \cdot \delta}{\ell^3} \dots\dots\dots (2-3)$$

ここに、 δ ：模型地盤の変位量

E ：変位計の素材の弾性係数

I ：変位計の断面二次モーメント

ℓ ：変位計の長さ

となる。したがって式 (2-2) と式 (2-3) から、 4δ は次のようになる。

$$4\delta = \frac{15}{4\pi} \cdot \frac{E}{E_s} \cdot \frac{I}{B\ell^3} \delta \dots\dots\dots (2-4)$$

ここで、変位計の精度を δ に対する 4δ の比、すなわち $4\delta/\delta$ で表わすことにすれば、変位計の剛さとターゲットの大きさに関する諸元 $I/B\ell^3$ は、模型地盤の弾性係数と変位計の素材の弾性係数の比 E/E_s の関数として次のようになる。

$$\frac{I}{B\ell^3} = \frac{4\pi}{15} \cdot \frac{E_s}{E} \cdot \frac{4\delta}{\delta} \dots\dots\dots (2-5)$$

式 (2-5) を図示すると図 2-8 のようになり、これから、今回の実験では $4\delta/\delta$ はおおむね $1/1000$ 程度となる。

2-2-2 ひずみの測定

杭模型に生じる曲げひずみは図 2-1 に示したように、杭外周面のあい対する 2 カ所ずつに貼ったひずみゲージにより測定した。ひずみゲージの取付けは図 2-9 に示すように、長さ約 25 mm、深さ 2 mm の溝を作り、この中にひずみゲージを接着した後、防水剤をつめて防水処置を施した。

次に、杭に生じるひずみと杭の外周に取付けたひずみゲージが検出するひずみの相関を調べるために、杭模型の下端を固定し、上端を水平方向に引張り、実際に杭に生じるひずみとひずみゲージが検出するひずみの比を求めた。この結果は図 2-10 のようになり、杭模型の弾性係数を 30 Kg/cm^2 とすると、両者の比は $400 \sim 1,000$ となった。しかし、ひずみゲージに生じたひずみが比較的大きい場合の結果を用いると、両者の比はおおむね 500 程度と考えられる。

2-2-3 加速度の測定

加速度は図 2-6 に示すように、基盤面 (振動台) および地盤表面で小型加速度計により計測した。

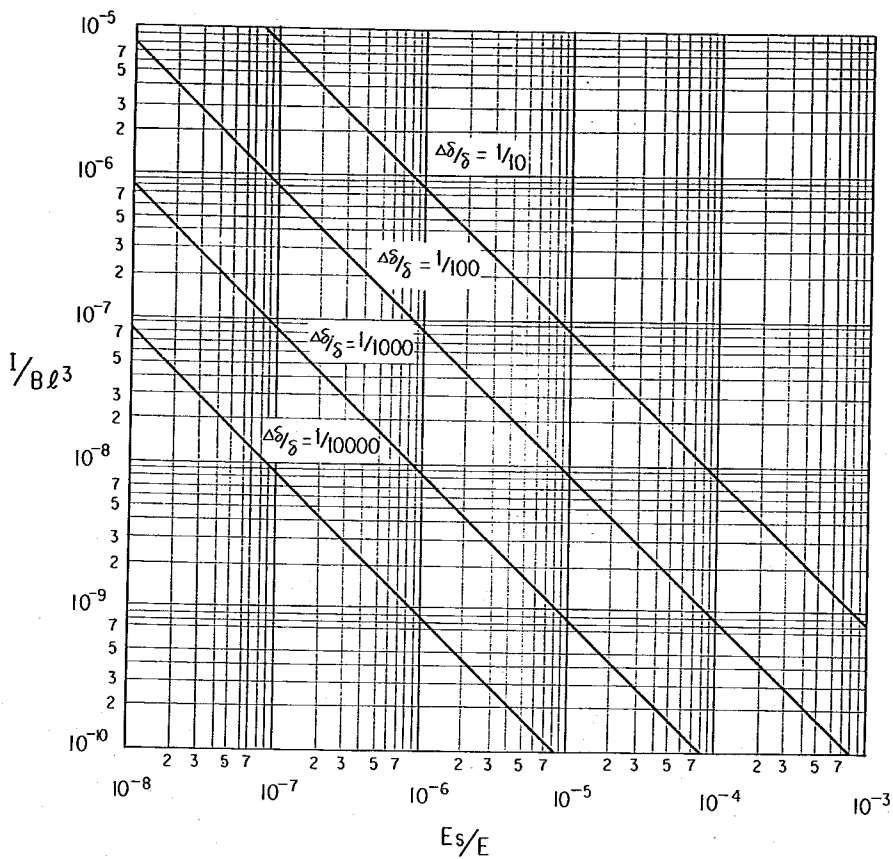


図 2 - 8 変位計の精度限界線

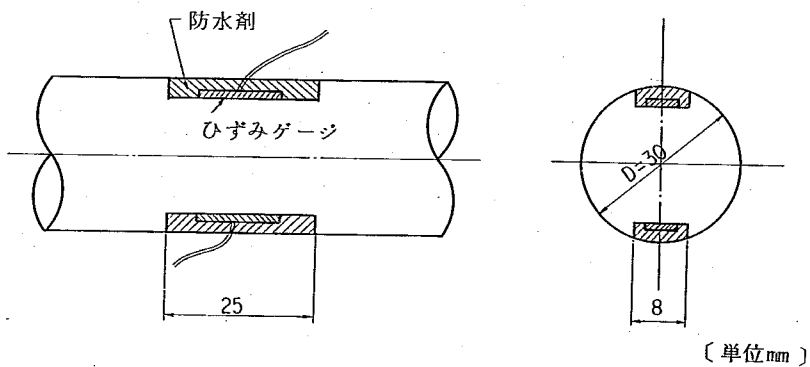


図 2 - 9 ひずみゲージの取り付け

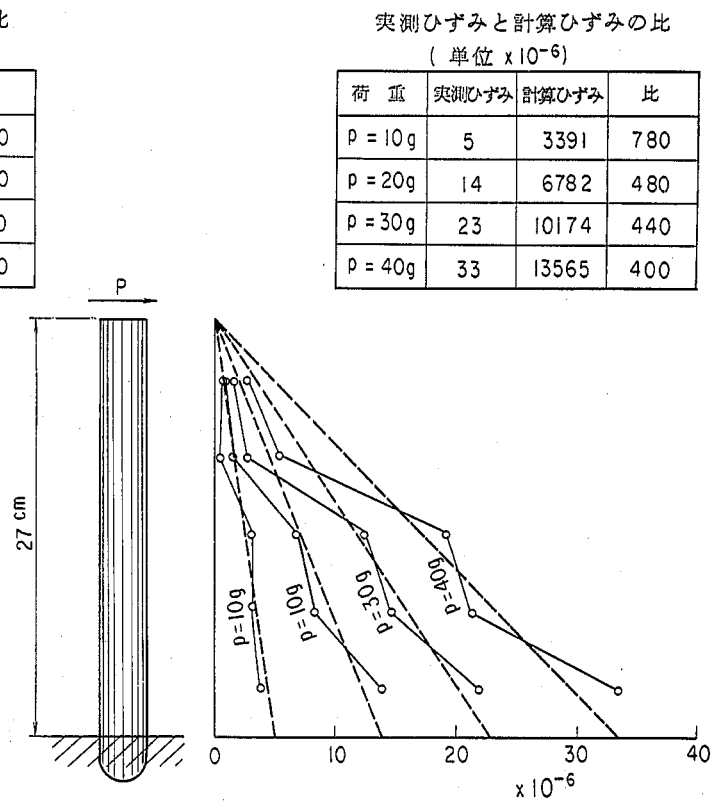
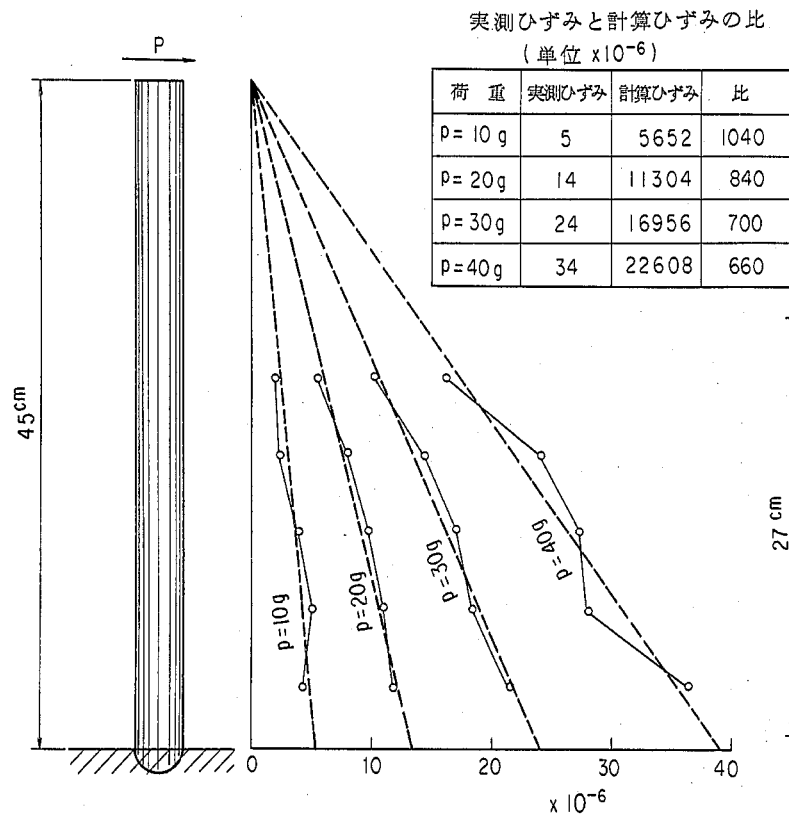


図 2-10 杭に生じるひずみとひずみゲージが検出するひずみの相関

3. 実験の種類および方法

実験の種類および方法は以下の通りである。

(1) 静的な杭頭の横方向引張り試験

杭頭を静的に横方向に引張り、杭に生じる曲げひずみ、杭頭の変位および地盤表面の変位を測定した。

(2) 振動実験

基盤面に水平方向の正弦振動 ($3\text{Hz} \sim 30\text{Hz}$) を与え、地盤の1次と2次共振点近傍、および杭突出部の1次共振点近傍の応答値を測定した。また、上載荷重の影響を調べるために、杭頭部に上載荷重 ($W_1 = 91\text{g}$ および $W_2 = 157\text{g}$) を付加した場合についても同様の実験を行った。

実験の種類をまとめると表3-1となる。

表3-1 実験種類一覧表

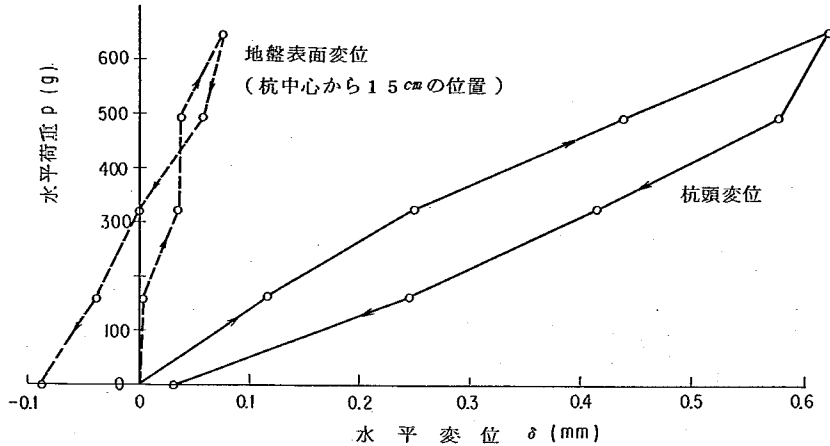
地盤の種類	地盤が軟かい場合 ($E_1 = 1.2\text{Kg}/\text{cm}^2$)									地盤が固い場合 ($E_2 = 4.1\text{Kg}/\text{cm}^2$)								
突出長 ℓ (cm)	無し (0 cm)			10 cm			15 cm			無し (0 cm)			10 cm			15 cm		
1) 杭頭の付加重量	W_0	W_1	W_2	W_0	W_1	W_2	W_0	W_1	W_2	W_0	W_1	W_2	W_0	W_1	W_2	W_0	W_1	W_2
静的引張り実験	○			○						○			○					
振動実験	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注1) $W_0 = 0\text{g}$, $W_1 = 91\text{g}$, $W_2 = 157\text{g}$

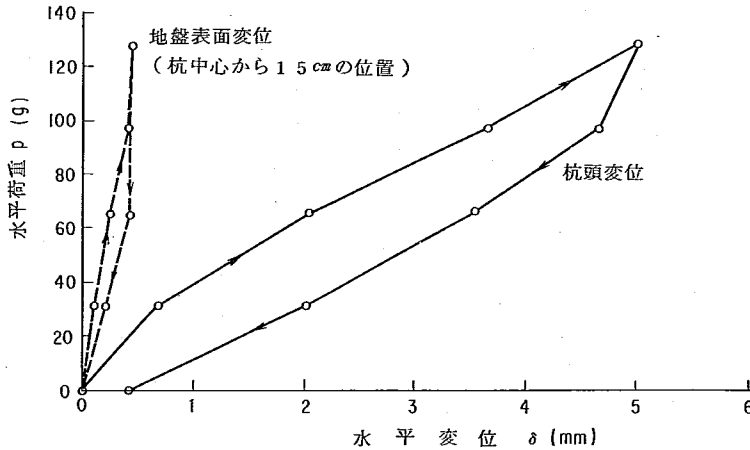
4. 実験結果

4-1 静的な杭頭の横方向引張り実験

杭頭を静的に横方向に引張った場合の変位の履歴を図4-1に、曲げひずみの分布を図4-2に示す。



(a) 突出長 = 0 cm



(b) 突出長 = 10 cm

図4-1 杭頭を静的に横方向に引張った場合の変位の履歴（杭頭および杭中心から15cmの位置の地盤表面）（地盤が軟かい場合）

4-2 振動実験

基盤に正弦波形を作用させた場合に杭に生じる曲げひずみ分布 (1 周期分) を、突出長 $\ell = 0$ cm および 10 cm, 重量荷重 $W_0 = 0$ g および $W_2 = 157$ g に対して示すと図 4-3 ~ 図 4-10 となる。ここで、

図 4-3 : 杭の曲げひずみ分布 (地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 0$ cm, 上載荷重 $W_0 = 0$ g),

図 4-4 : 杭の曲げひずみ分布 (地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 0$ cm, 上載荷重 $W_2 = 157$ g),

図 4-5 : 杭の曲げひずみ分布 (地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10$ cm, 上載荷重 $W_0 = 0$ g),

図 4-6 : 杭の曲げひずみ分布 (地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10$ cm, 上載荷重 $W_2 = 157$ g),

図 4-7 : 杭の曲げひずみ分布 (地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 0$ cm, 上載荷重 $W_0 = 0$ g),

図 4-8 : 杭の曲げひずみ分布 (地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 0$ cm, 上載荷重 $W_2 = 157$ g),

図 4-9 : 杭の曲げひずみ分布 (地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10$ cm, 上載荷重 $W_0 = 0$ g),

図 4-10 : 杭の曲げひずみ分布 (地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10$ cm, 上載荷重 $W_2 = 157$ g),

である。これらの一周期間の曲げひずみ分布の中から、代表的と思われる曲げひずみ分布を抜き出して比較すると図 4-11 ~ 図 4-14 となる。ここで、

図 4-11 : 代表的な杭の曲げひずみ分布 (地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 0$ cm),

図 4-12 : 代表的な杭の曲げひずみ分布 (地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10$ cm),

図 4-13 : 代表的な杭の曲げひずみ分布 (地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 0$ cm),

図 4-14 : 代表的な杭の曲げひずみ分布 (地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10$ cm) である。

なお、参考のために、基盤にランダムな地震動を与えた場合の応答値を図 4-15 に示す。

表 4 - 1 固有振動数 (Hz)

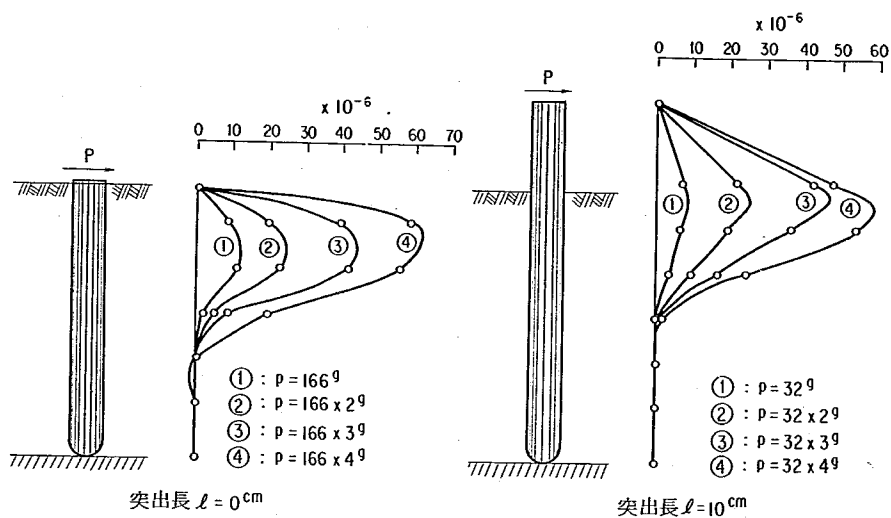
(a) 地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$

	上載荷重 W_0			上載荷重 W_1			上載荷重 W_2		
	地盤 1 次	杭 1 次	地盤 2 次	地盤 1 次	杭 1 次	地盤 2 次	地盤 1 次	杭 1 次	地盤 2 次
突出長 $\ell = 0 \text{ cm}$	4.8		1 6.0	4.8		1 6.0	4.8		1 6.0
突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$	5.3	1 4.0	1 6.2	4.8	7.0	1 6.2	5.2	4.7	1 6.2
突出長 $\ell = 15 \text{ cm}$	5.2	1 1.5	1 6.5	5.5		1 6.0	5.5		1 6.0

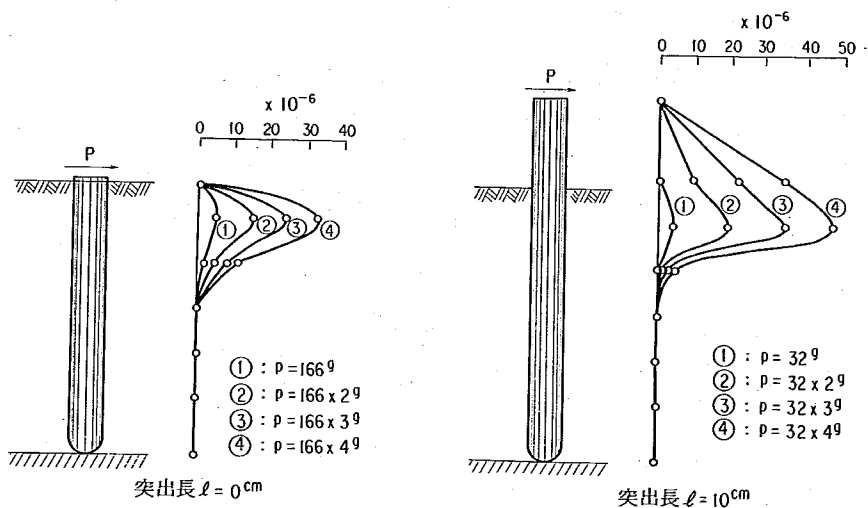
(b) 地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$

	上載荷重 W_0			上載荷重 W_1			上載荷重 W_2		
	地盤 1 次	杭 1 次	地盤 2 次	地盤 1 次	杭 1 次	地盤 2 次	地盤 1 次	杭 1 次	地盤 2 次
突出長 $\ell = 0 \text{ cm}$	8.5		2 9.0	8.5		2 9.0	8.5		2 9.0
突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$	8.3	2 0.5	2 9.0	8.3	9.3	2 9.0	8.3	6.5	2 9.0
突出長 $\ell = 15 \text{ cm}$	8.0	9.7	2 9.0	8.0	6.0	2 9.0	8.0	4.5	2 9.0

注) $W_0 = 0 \text{ g}$, $W_1 = 91 \text{ g}$, $W_2 = 157 \text{ g}$

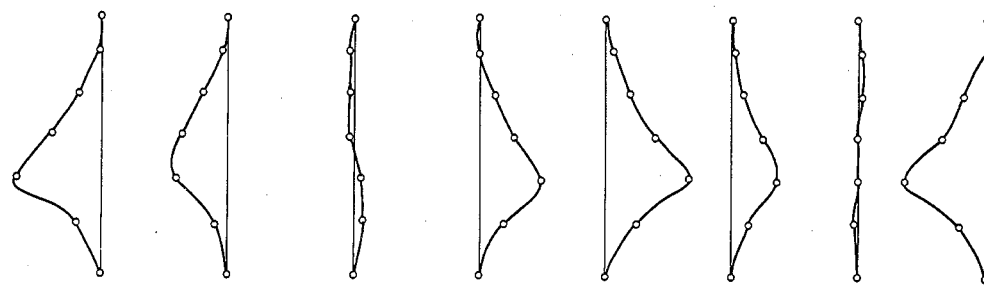
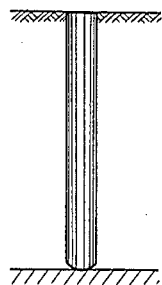


(a) 地盤が軟い場合 ($E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$)



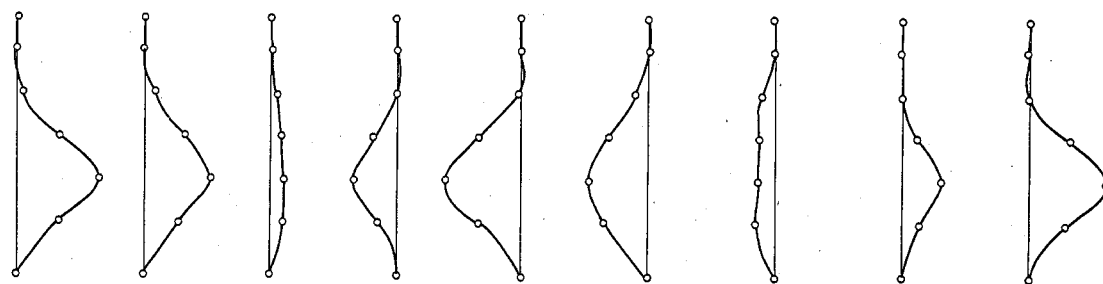
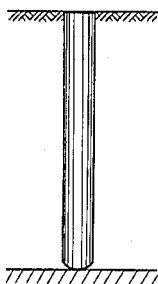
(b) 地盤が固い場合 ($E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$)

図 4 - 2 杭頭を静的に横方向に引張った場合の曲げひずみ分布
(実験値)



(a) 地盤の1次共振点近傍 (4.8 Hz)

0 50 100 150 200 $\times 10^{-6}$



(b) 地盤の2次共振点近傍 (16 Hz)

0 5 10 15 20 $\times 10^{-5}$

図 4 - 3 杭の曲げひずみ分布 (地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ kg/cm}^2$,
突出長 $\ell = 0 \text{ cm}$, 上載荷重 $= W_0 = 0 \text{ g}$)

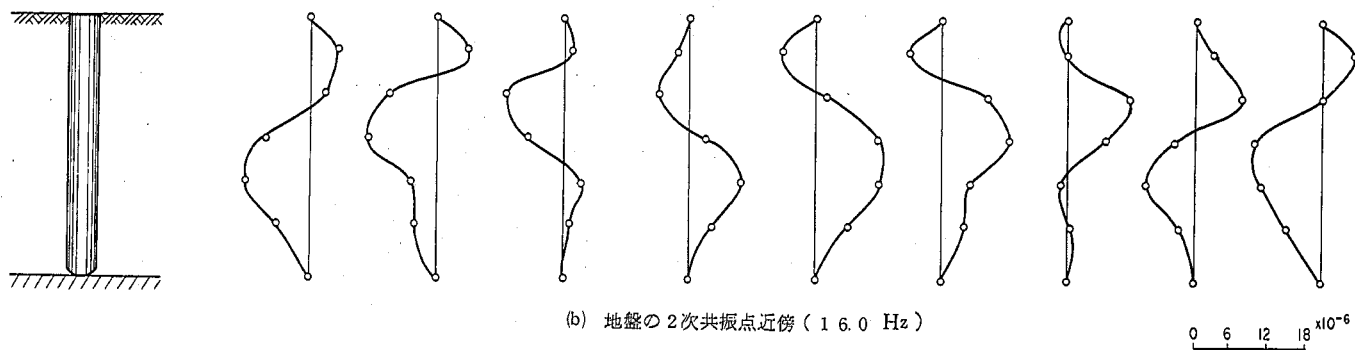
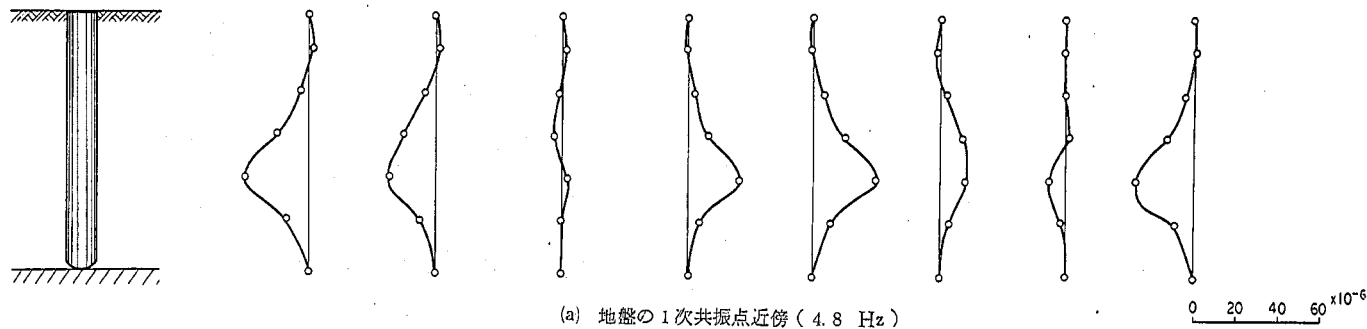


図 4 - 4 杭の曲げひずみ分布 (地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 0 \text{ cm}$, 上載荷重 $W_2 = 157 \text{ g}$)

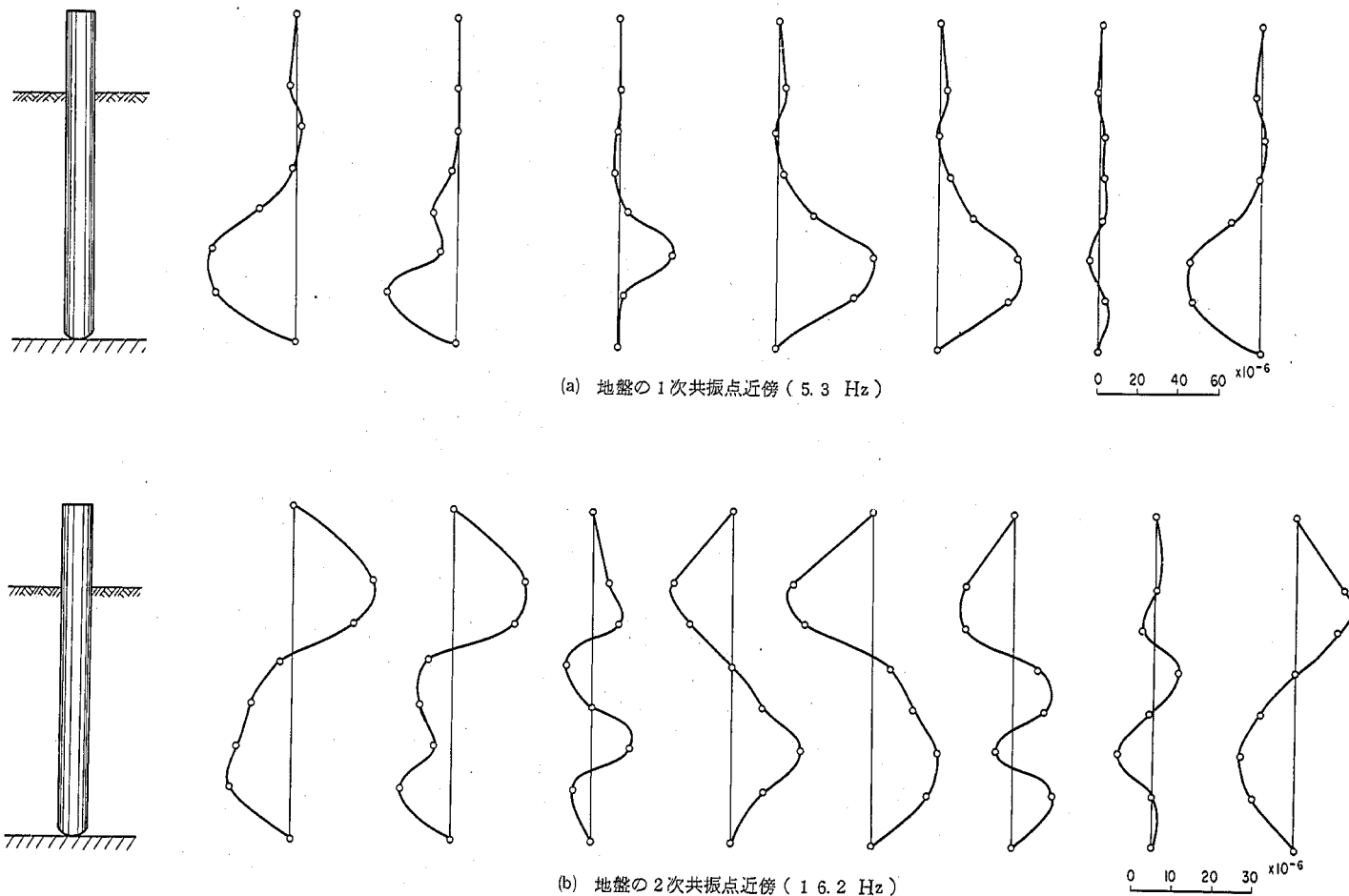
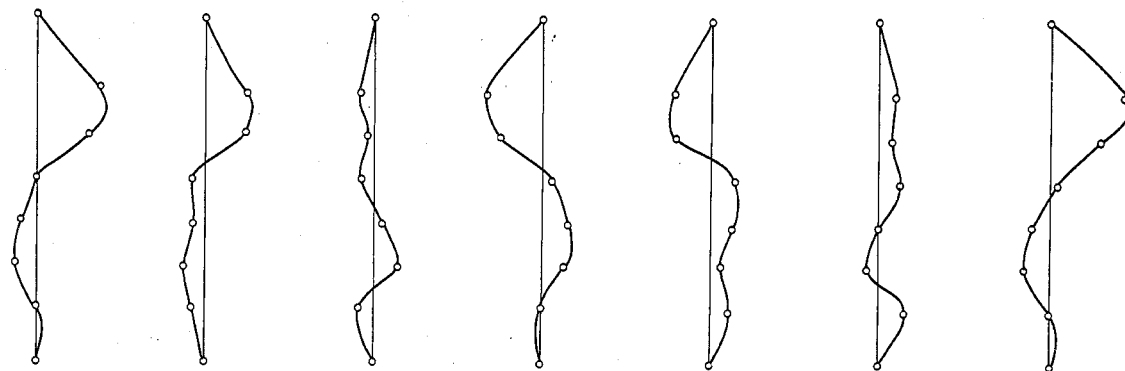
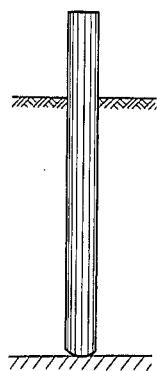


図 4 - 5 - 1 杭の曲げひずみ分布 (地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$, 上載荷重 $W_0 = 0 \text{ g}$)



(c) 杭頭の1次共振点近傍 (1.4 Hz)

0 3 6 $\times 10^{-6}$

図 4-5-2 杭の曲げひずみ分布 (地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ kg/cm}^3$, 突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$, 上載荷重 $W_0 = 0 \text{ g}$)

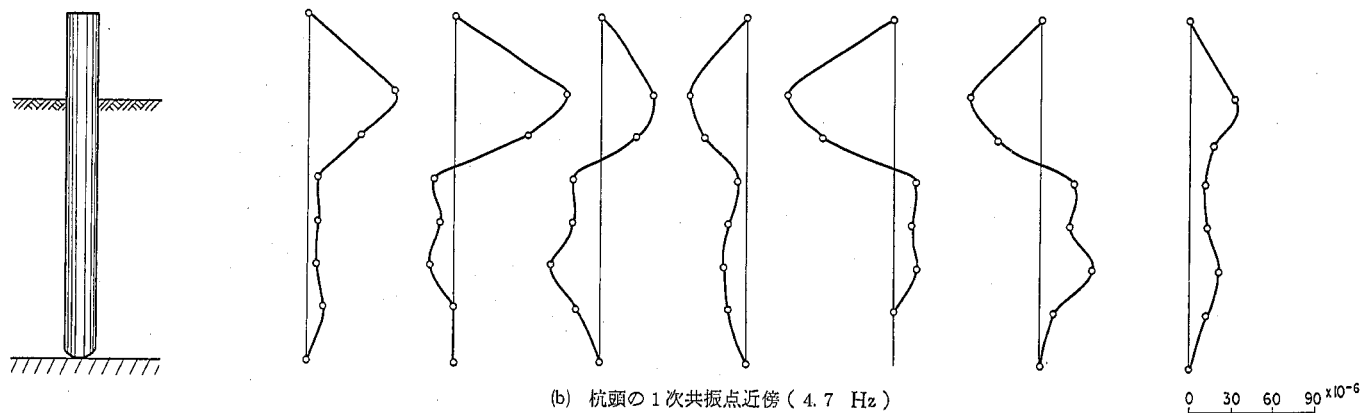
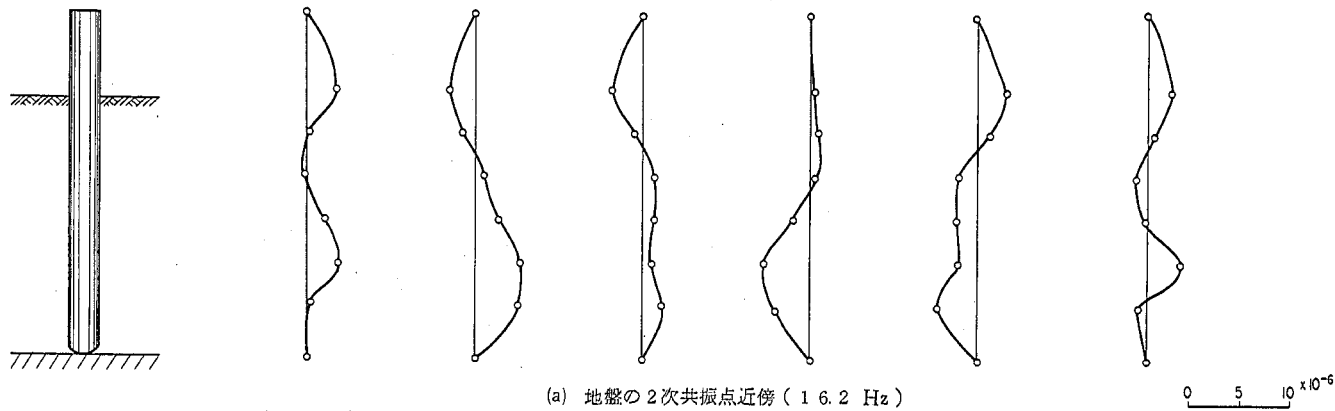
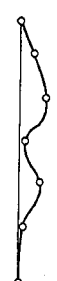
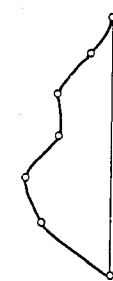
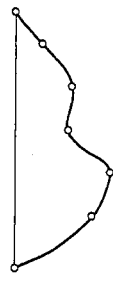
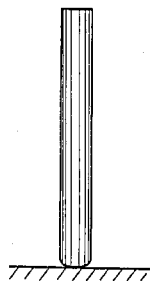
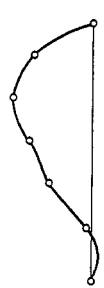
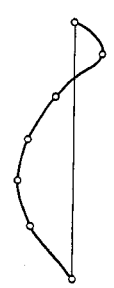
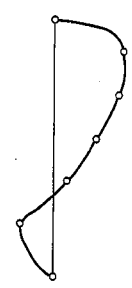
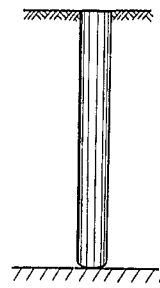


図4-6 杭の曲げひずみ分布 (地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$, 上載荷重 $W_2 = 157 \text{ g}$)



(a) 地盤の1次共振点近傍 (8.5 Hz)

0 25 50 75 $\times 10^{-6}$



(b) 地盤の2次共振点近傍 (29.0 Hz)

0 2 4 6 $\times 10^{-6}$

図 4 - 7 杭の曲げひずみ分布 (地盤が固い場合 $E_s = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 0 \text{ cm}$, 上載荷重 $W_0 = 0 \text{ g}$)

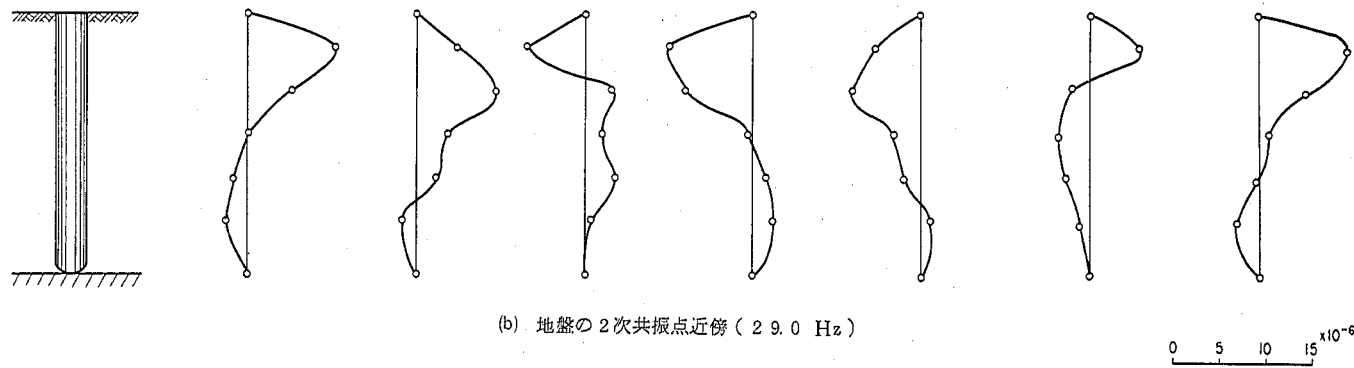
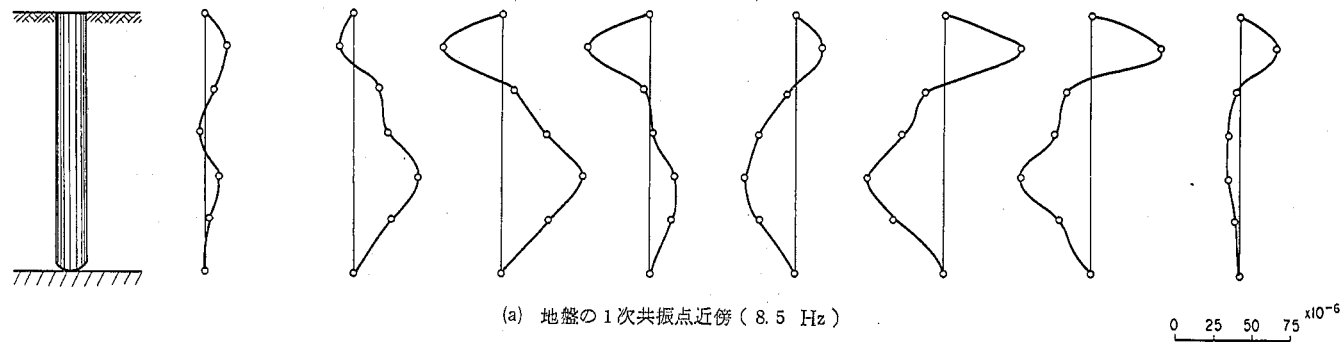


図 4 - 8 杭の曲げひずみ分布 (地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 0 \text{ cm}$, 上載荷重 $W_2 = 157 \text{ g}$)

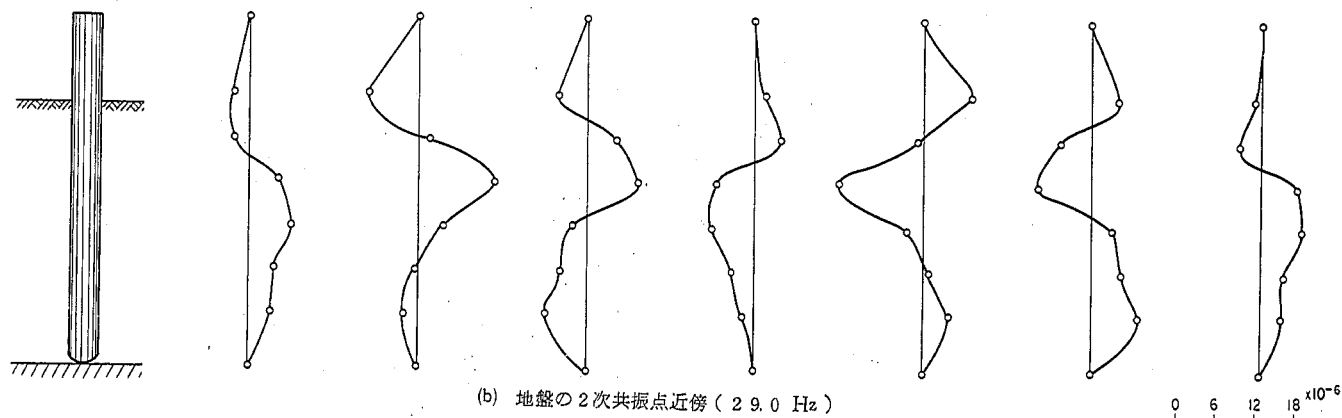
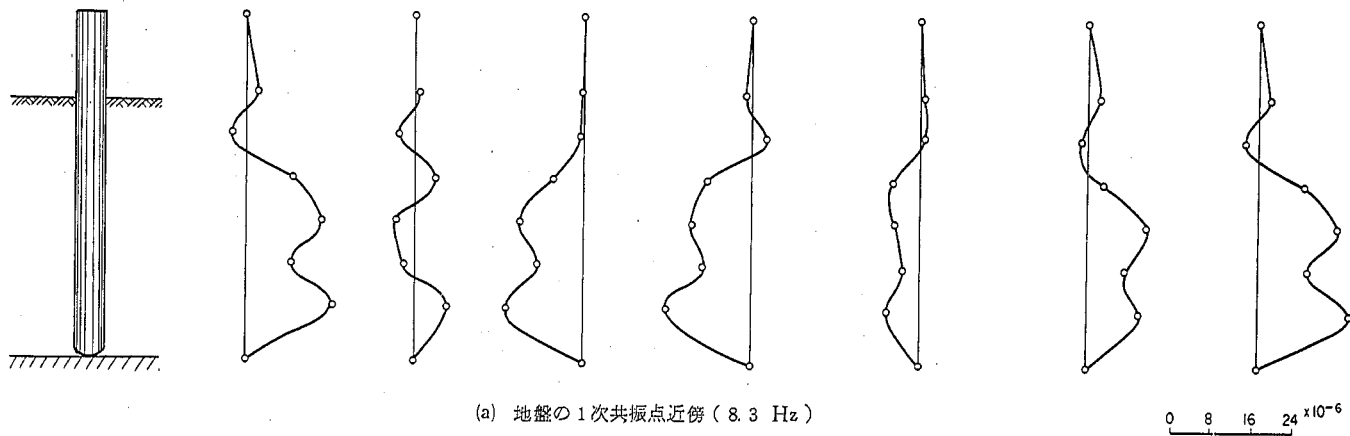


図 4 - 9 - 1 杭の曲げひずみ分布 (地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $l = 10 \text{ cm}$, 上載荷重 $W_0 = 0 \text{ g}$)

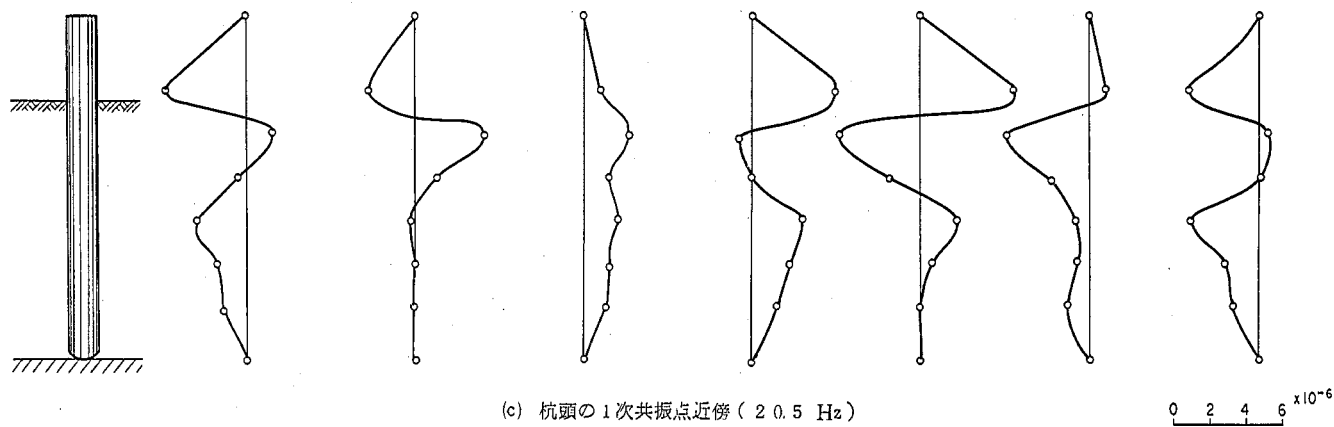


図 4 - 9 - 2 杭の曲げひずみ分布 (地盤が固い場合 $E_s = 4.1 \text{ kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$, 上載荷重 $W_0 = 0 \text{ g}$)

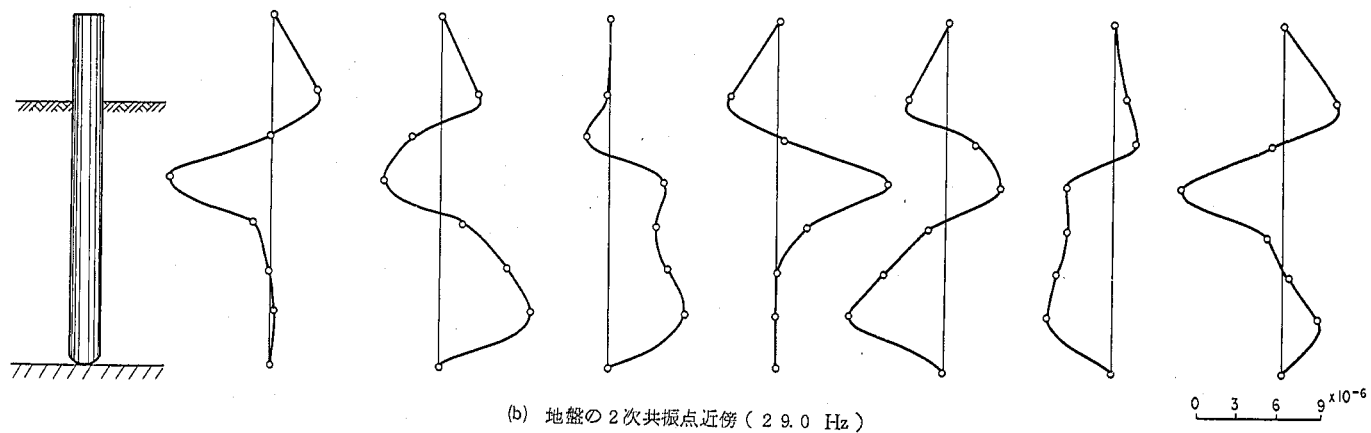
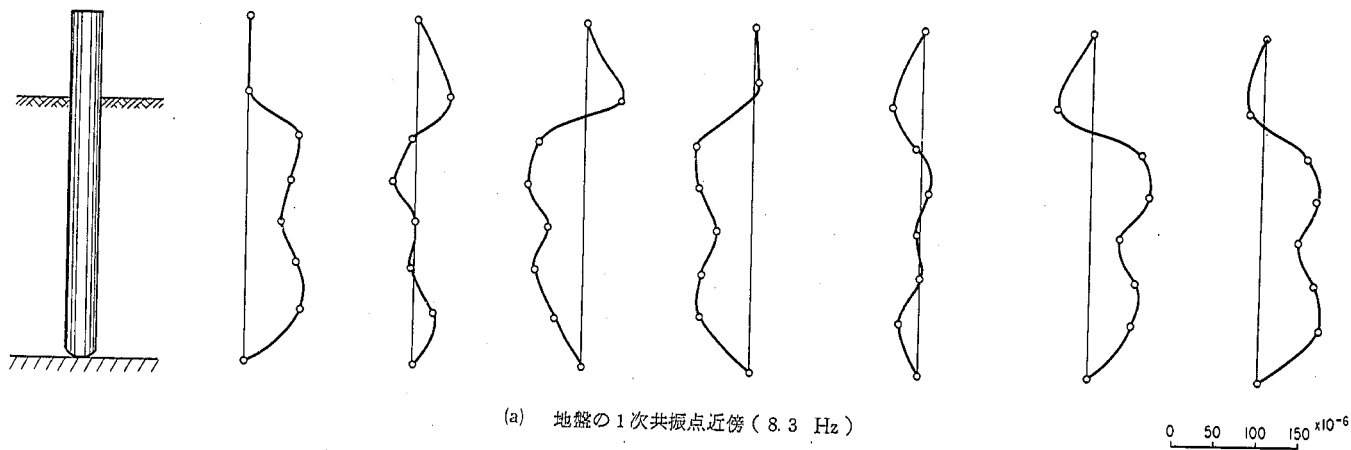


図 4-10-1 杭の曲げひずみ分布 (地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$, 上載荷重 $W_2 = 157 \text{ g}$)

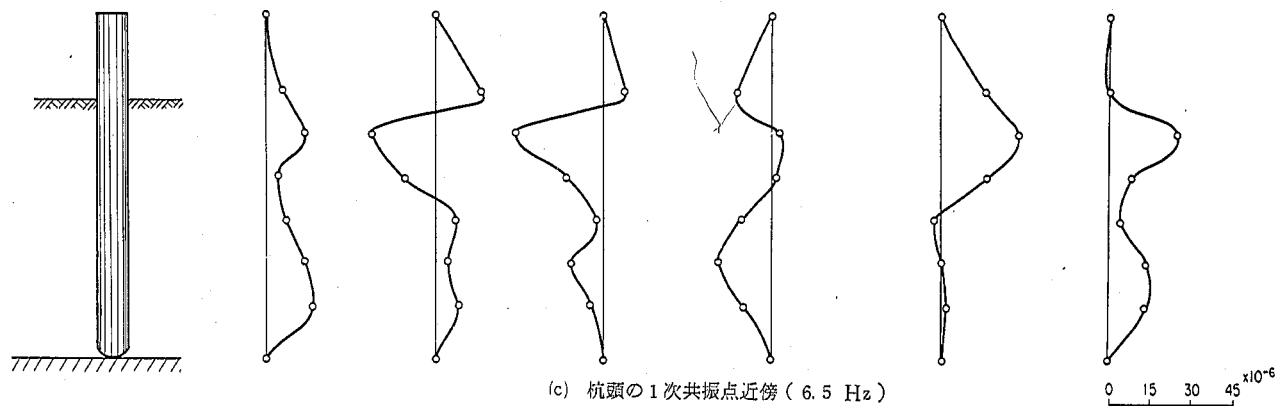
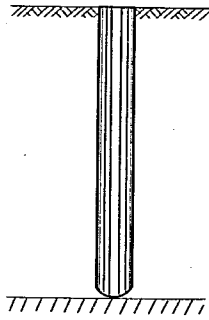


図 4 - 1 0 - 2 杭の曲げひずみ分布 (地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$,
上載荷重 $W_2 = 157 \text{ g}$)

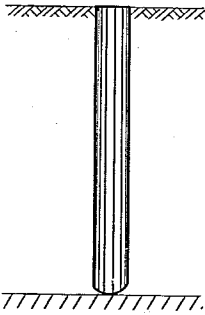


(i) 上載荷重なし W_0

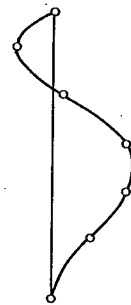


(ii) 上載荷重あり W_2

(a) 地盤の1次共振点近傍



(i) 上載荷重なし W_0

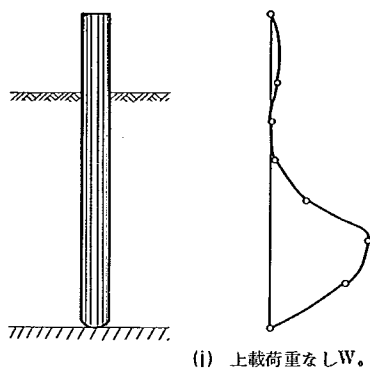


(ii) 上載荷重あり W_2

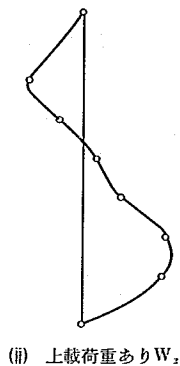
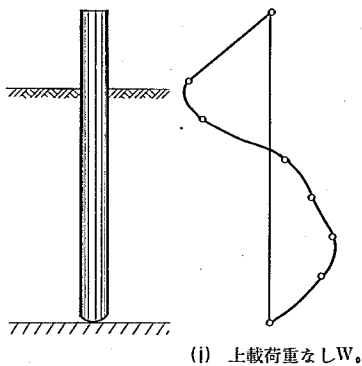
(b) 地盤の2次共振点近傍

図4-11 代表的な杭の曲げひずみ分布

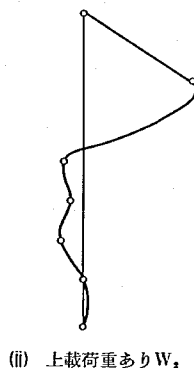
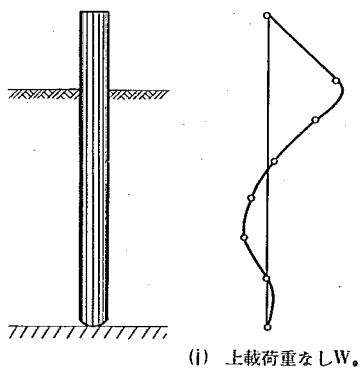
(地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 0 \text{ cm}$)



(a) 地盤の1次共振点近傍



(b) 地盤の2次共振点近傍



(c) 杭頭部の1次共振点近傍

図4-12 代表的な杭の曲げひずみ分布

(地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$)

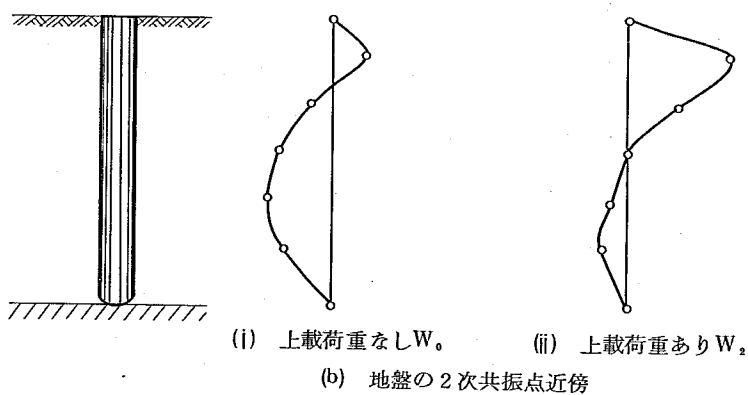
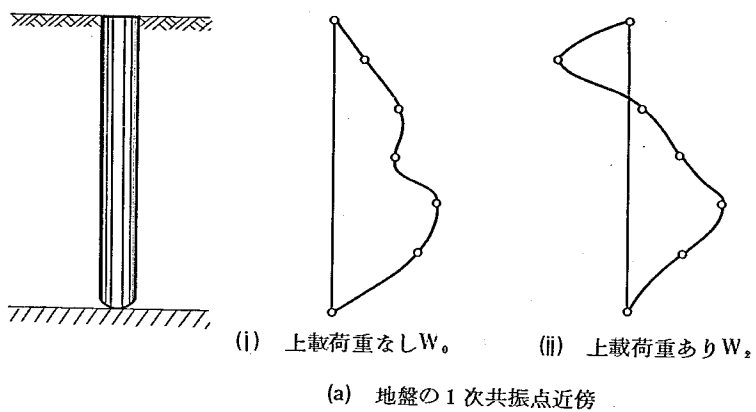
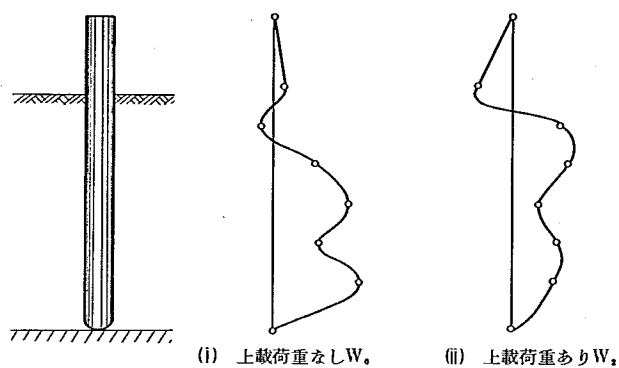
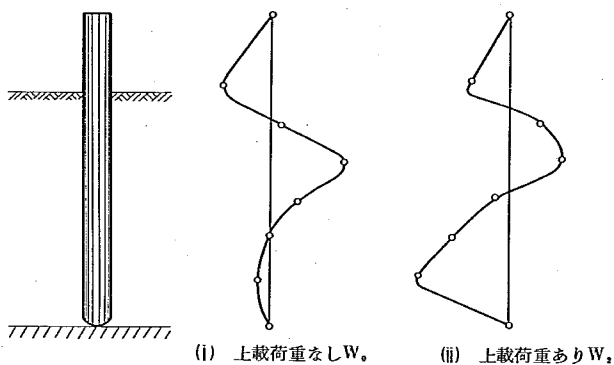


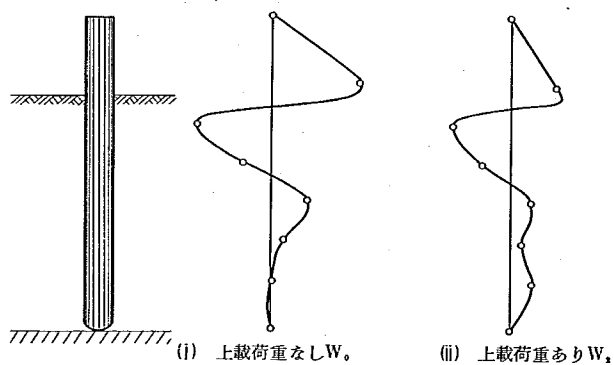
図 4 - 13 代表的な杭の曲げひずみ分布
(地盤が固い場合 $E_s = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 0 \text{ cm}$)



(a) 地盤の1次共振点近傍



(b) 地盤の2次共振点近傍



(c) 杭の1次共振点近傍

図4-14 代表的な杭の曲げひずみ分布

(地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$, 突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$)

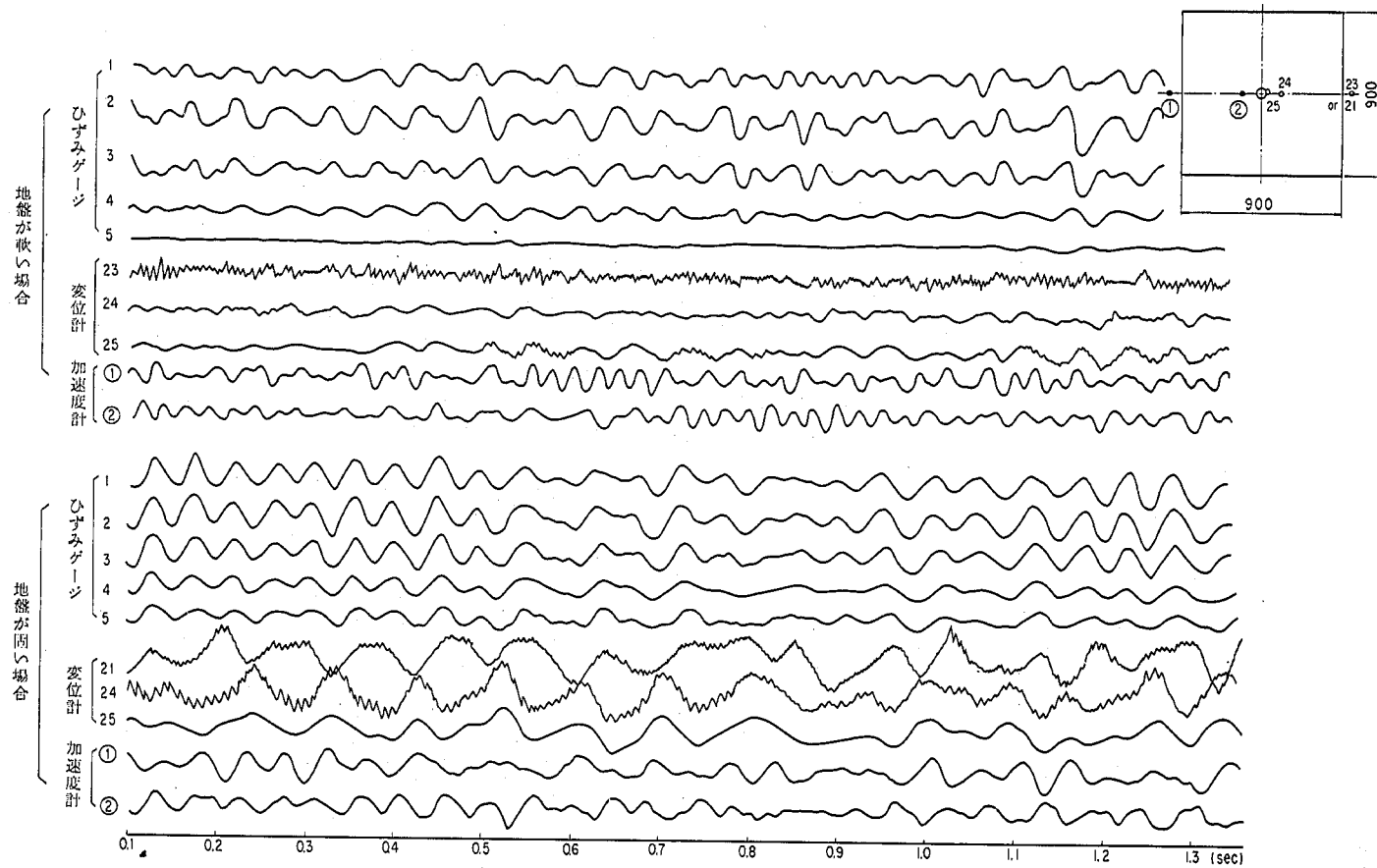


図 4 - 15 基盤にランダムな地震動を作用させた場合の応答波形 (突出長 $\ell = 0 \text{ cm}$, 上載荷重 $W_0 = 0 \text{ g}$)

5. 実験結果の検討と考察

5-1 静的な杭頭の横方向引張り実験

杭を弾性支承上の梁として取扱い、杭頭に水平荷重 P が作用した場合の曲げモーメントは次式となる。ただし、杭長が π/β 以上であるので半無限長の杭として取扱う。

地上に出ていない杭

$$M(x) = \frac{P}{\beta} e^{-\beta x} \sin \beta x \quad \dots\dots\dots (5-1)$$

地上に出ている杭,

$$\begin{aligned} \text{地上部: } M(x) &= P(x + \ell) \\ \text{地中部: } M(x) &= \frac{P}{\beta} e^{-\beta x} \{ \beta \ell \cos \beta x + (1 + \beta \ell) \sin \beta x \} \quad \dots\dots\dots (5-2) \end{aligned}$$

ここで、 ℓ は地上に出ている杭長であり、 x は地表面から下向きを正にとった座標軸である。式 (5-1)、(5-2) を用いて、地盤反力係数が深さ方向に一樣で $K \doteq E_s$ であると仮定し、杭に生じる曲げひずみ分布を求めると図 5-1 のようになる。図 4-2 に示した実験結果と比較すると次のようになる。

- (1) 曲げひずみの分布はよく一致する。ただし、最大曲げひずみの発生する位置は、計算式で与えられる位置よりもわずかに深くなっている。これは杭に対する地盤の拘束が地表面近くで小さくなっていることを示していると考えられる。
- (2) 杭に生じるひずみとひずみゲージが検出するひずみの比を 500 程度 (図 2-10 参照) と考えて実測ひずみと計算ひずみの相関を求めると表 5-1 のようになり 0.5~2.6 倍と比較

表 5-1 実測曲げひずみと計算値の比較 (杭を横方向に静的に引張った場合) ($\times 10^{-6}$)

1) 荷重	地盤が軟かい場合 ($E_1 = 1.2 \text{ kg/cm}^2$)						地盤が固い場合 ($E_2 = 4.1 \text{ kg/cm}^2$)					
	突出長 $\ell = 0 \text{ cm}$			突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$			突出長 $\ell = 0 \text{ cm}$			突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$		
	実測 ひずみ	計算 ひずみ	2) 比	実測 ひずみ	計算 ひずみ	2) 比	実測 ひずみ	計算 ひずみ	2) 比	実測 ひずみ	計算 ひずみ	2) 比
P_1	12.5	3,000	2.08	8.8	4,150	1.06	5.0	2,200	1.14	3.8	4,100	0.46
P_2	25.0	6,000	2.08	26.3	8,300	1.58	15.0	4,400	1.70	18.8	8,200	1.15
P_3	43.8	9,000	2.43	47.5	12,500	1.90	23.8	6,600	1.80	36.3	12,300	1.48
P_4	62.5	12,000	2.60	60.0	16,600	1.81	32.5	8,800	1.85	47.5	16,400	1.45

注 1) 突出長 $\ell = 0 \text{ cm}$ の場合; $P_1 = 166 \text{ g}$, $P_2 = 166 \times 2 \text{ g}$, $P_3 = 166 \times 3 \text{ g}$, $P_4 = 166 \times 4 \text{ g}$

突出長 $\ell = 10 \text{ cm}$ の場合; $P_1 = 32 \text{ g}$, $P_2 = 32 \times 2 \text{ g}$, $P_3 = 32 \times 3 \text{ g}$, $P_4 = 32 \times 4 \text{ g}$

注 2) 杭に生じる曲げひずみとひずみゲージが検出するひずみの比を 500 とした (図 2-10 参照)

的によく近似した結果となった。

5-2 振動実験

地中部だけの杭の曲げひずみの分布を参考文献(1)に従って求めると図5-2のようになる。図4-11および図4-13に示した実測結果と比較すると次のようになる。

- (1) 曲げひずみの分布は
おおむねよく一致する。

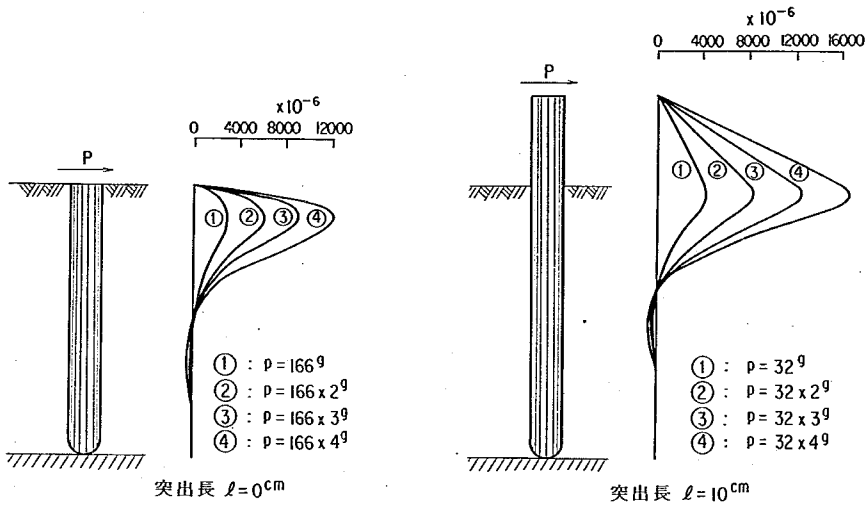
表 5-2 実測曲げひずみと計算値の比較
(振動実験, $\ell = 0$ の場合)

ただし, 1次モードでは最大値の生じる位置は実測結果の方が計算値よりも深くなっており, 2次モードでは地表面近くの曲げひずみ

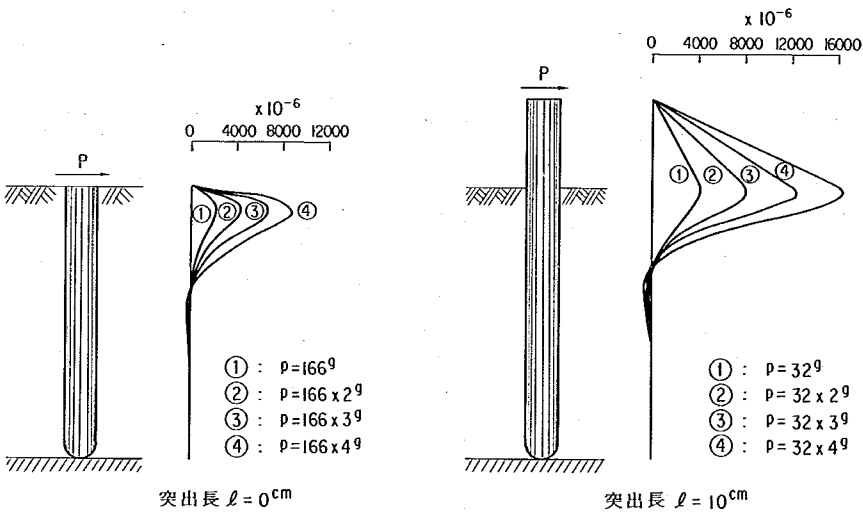
モ ー ド	地盤が軟い場合			地盤が固い場合		
	実 測 ひずみ	計 算 ひずみ	比	実 測 ひずみ	計 算 ひずみ	比
1 次	6.7	344	9.7	11.5	375	15.3
2 次	32.4	2,757	5.9	114.0	3,260	17.5

値は実測結果の方が計算値よりも小さい。これらはいずれも杭に対する地盤の拘束が地表面近くで小さくなっていることを示していると考えられる。

- (2) 杭に生じるひずみとひずみゲージが検出するひずみの比を500程度と考えて実測ひずみと計算ひずみの相関を求めると表5-2のようになり, 10~18倍の範囲で値がばらついた。ただし, 表5-2は地表面位置における杭の横方向変位を1mmに換算した場合の結果を示している。

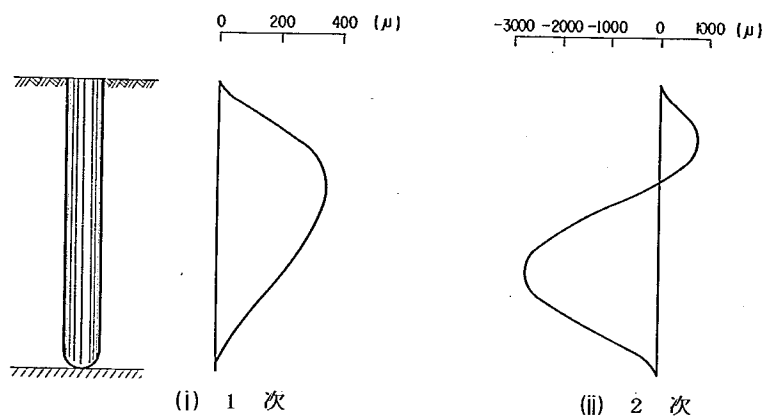


(a) 地盤が軟い場合 ($E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$)

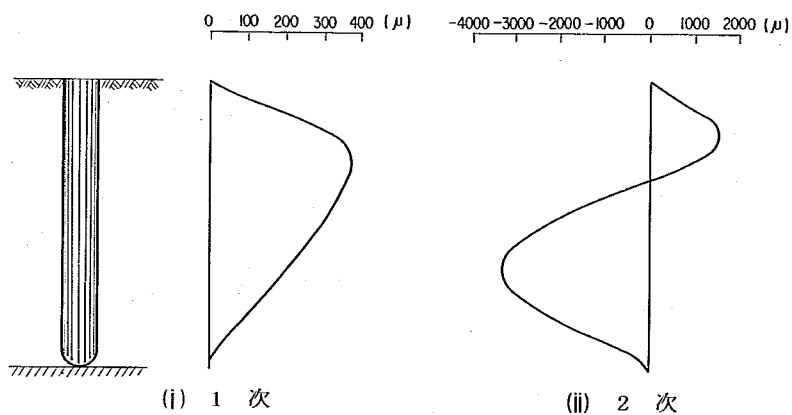


(b) 地盤が固い場合 ($E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$)

図 5 - 1 杭頭を静的に横方向に引張った場合の曲げひずみ分布
(計算値) (実験値は図 4 - 2 参照)



(a) 地盤が軟い場合 $E_1 = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$



(b) 地盤が固い場合 $E_2 = 4.1 \text{ Kg/cm}^2$

図 5 - 2 杭の曲げひずみ分布 (杭頭の変位を 1 mm とした場合の計算値)

参考文献

- 1) 小坪清真, 高西照彦, 鋼橋脚の耐震性におよぼす基礎地盤変形の影響, 土木学会論文集, 第156号, 昭和43年8月
- 2) 建設省土木研究所: 地震時における地盤の変形を考慮した基礎杭の応力算定法, 土木研究所資料 第972号, 昭和49年10月。
- 3) 建設省土木研究所: 高い橋脚をもつ橋の中小地震による変形の解析, 株式会社長大橋設計センター委託報告書, 昭和50年3月。
- 4) 建設省土木研究所: 沈埋トンネルおよび盛土の耐震性に関する調査報告 沈埋トンネルおよび盛土の模型振動実験, 土木研究所資料 第852号, 昭和48年12月。

基礎杭と地盤の動的相互作用に関する実験

土研資料第1039号

昭50.4(1975)

栗林栄一、川島一彦
木本正則、宮田忠明

キーワード

動的な地盤の変形、杭に生じる応力、杭に生
じる変形、実験

要 旨 地震時の地盤の剪断変形によって生じる基礎杭の変形と応力
の算定法を検証するために合成樹脂を主材とする模型地盤と
模型杭を用いて静的な変形に応力および動的な変形と応力を実験によって
求めた。

郵便はがき

十円切手
をはって
下さい

2 8 0 - □ □

千葉県千葉市穴川

四丁目十二番五二号

建設省土木研究所

振動研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1039号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印

