

# 模型杭基礎の実験的研究

## An Experimental Study on a Model Pile Foundation

構造物の基礎設計に関しては、「道路橋示方書Ⅳ」に弾性体基礎として林-Changの水平方向地盤反力係数 ( $K_H$ ) を考慮した設計手法がある。構造物の下部構造から決まる変位量は、ほとんど構造部材の挙動が弾性領域であると計算される。一方地盤は、完全な弾性体ではない為に荷重の増加とともに地盤の塑性化領域が徐々に広がり非線形的結果を示すものとなる。許容応力度の想定では残留変位を小さく押え、弾性域状態を確保する為に水平変位量を制限している。しかしながら、実際には地震状態、地盤環境によっては制限を越える事も多々起こり得る。変位量の大きい場合や液状化状態では、非線形状態であるといえる。

筆者は、弾性域状態で決定される設計定数 ( $K_H$ ) の設定などが非線形性の挙動としてどの様に検証すべきかを研究している。特に、現地水平載荷試験では、杭軸方向にその影響をとらえる事は難しい。よって、室内実験により杭内面にゲージを張る手段や、杭頭部に両振り起振により地震振動状態を再現させるシステム開発を試みながら静的な設計諸元の動的挙動との相互関連について研究の一部としてここに報告する。

松井 義孝\*



### 1. はじめに

平成7年1月の兵庫県南部地震をはじめとする最近の大型地震の被害には目を覆うものがある。とりわけ社会資本ストックとしての構造物のダメージは大きい。構造物についての被害状態は目視できるが基礎杭については確認できず何らかの被害を被っているのではないかと思われる。杭の許容水平変位量は基礎の弾性領域の範囲以内として杭径の1%以下 ( $\leq 15\text{mm}$ ) と制限しているが実際には制限を超える場合も起こり得る。従来、現場における杭の水平載荷試験法は、杭外壁に貼ったひずみゲージと杭頭及び載荷点の変位計測をダイヤルゲージ、傾斜計等によって計測されているが打ち込み時の破断等も多く、根入れ長の大きい場合には計測不可能なことが多い。本室内実験では、従来不可能とされていた細い金属管内壁に正確にひずみゲージを貼ることや、杭頭部に所定の入力波を入力し両振り振動状態になるシステム開発を試作検討している。

ここに、実験と検討結果の一部を紹介する。

### 2. 研究目的

基礎設計における地震時水平方向地盤定数 ( $K_H$ )

は、林-changの手法にみられるように弾性領域における常時定数 ( $K_H$ ) に  $\alpha$  値 (2倍) をかけて地震定数として扱っている。筆者は、現場実験では、杭軸方向の定量的挙動を把握する事は困難と考え室内実験で地震時挙動を捉えたいと考えた。よって、室

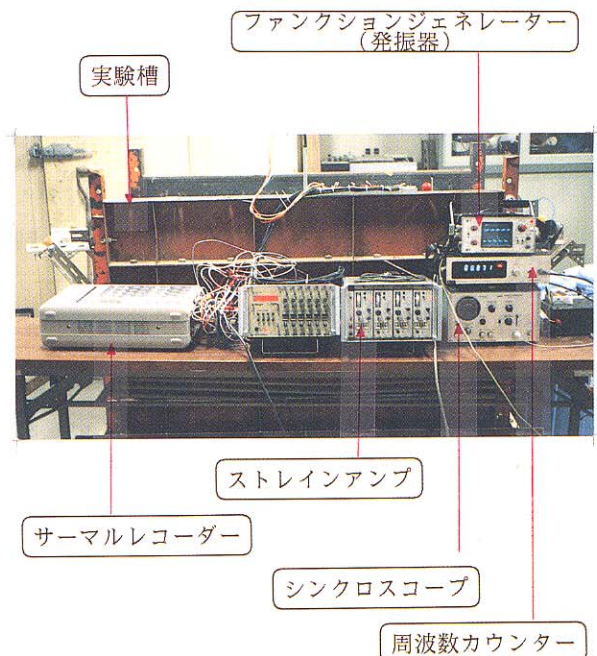


写真-1 実験装置 (1)

\* 企画調査室 室長 (技術士: 鋼構造及びコンクリート, RCCM: 土質及び基礎) Yoshitaka MATSUI

内実験では各種実験装置の開発とその実用性も有効な研究のひとつでもある。そして、室内実験による動的挙動と数値理論解との整合を検討し、特に杭基礎の地震時水平方向地盤定数などの非線形的設計手法として明らかにしたいと考えている。

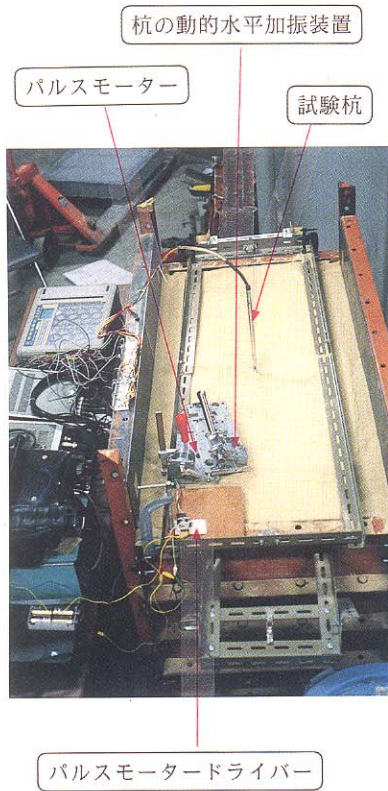


写真-3 動的水平加振装置



写真-4 静的水平載荷装置

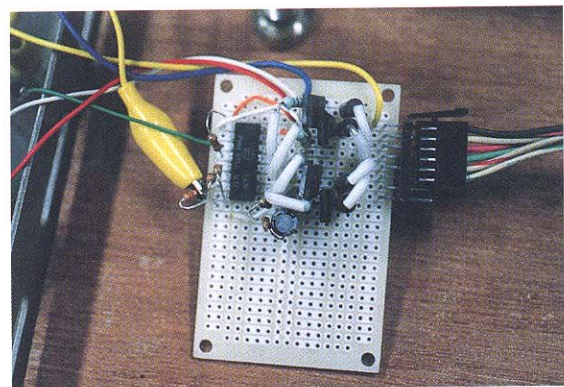


写真-5 パルスモータードライバー

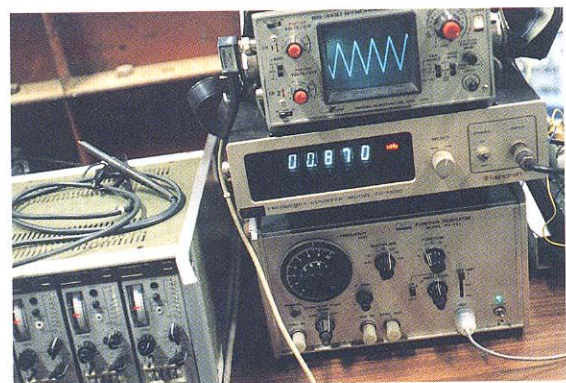
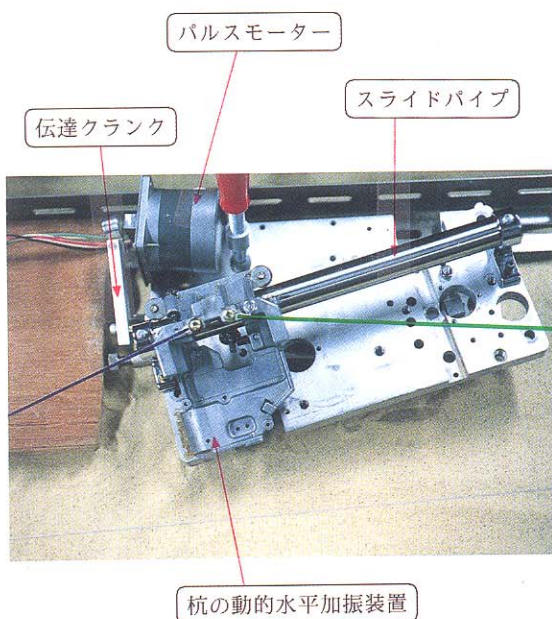


写真-6 入力波

### 3. 実験装置及び模型杭

実験槽は、高さ・幅・奥行きがそれぞれ90×60×120cm(高さ可変)のコンクリート型枠用メタルフォームを緊結して使用し槽内の砂は、ややゆるずめの豊浦標準砂を用いた。

水平載荷実験では、外径 0.8mmのステンレス製ストランドワイヤーによって杭の任意の高さに水平載荷出来るように配置され、他端は槽外で滑車を介し重錘によって載荷し1/100mm 読みのデジタルダイヤルゲージを設置した。杭材は、高精度で簡単に入手可能なアルミパイプ(外径12mm, 肉厚1mm)を用いた。(  $E = 6.8 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $I = 5.27 \times 10^{-2} \text{ cm}^4$  ; 実測値 ) 模型杭の製作は、接着時の加圧に磁石を用い、接着面に2~5kg/cm<sup>2</sup>の加圧をするために管外に配置したマグネット・コイルに通電する。本実験に使用した模型杭は先端から8cm間隔で管内に7枚のひずみゲージを貼り、ひずみ増幅器を経由してデータアナライザーに収録解析する方法をとり、実験槽に先端ピン構造として建て込んだ。

動的試験として、杭頭部にワイヤーを掛け両振りするシステムを開発した。これは、サイン波、矩形波等の入力波を入力し周期と振幅を可変出来るシステムとして試作した。これらの機器、部品は写真(1, 2)実験装置に示し仕組みについて次の通りである。まずファンクションジェネレーターから電圧波形パルスを送り安定化電源を通してパルスドライバーに伝達する。ここでは電圧を電流に替えて、4相に順次周波数をパルスモーターに伝え、クランクが回転し水平加振装置が水平に動き左右のワイヤーより杭が交番する。地中部では、杭体管内に貼られたひずみゲージが感知しストレインアンプを通してサーマルレコーダーに記憶される仕組みです。

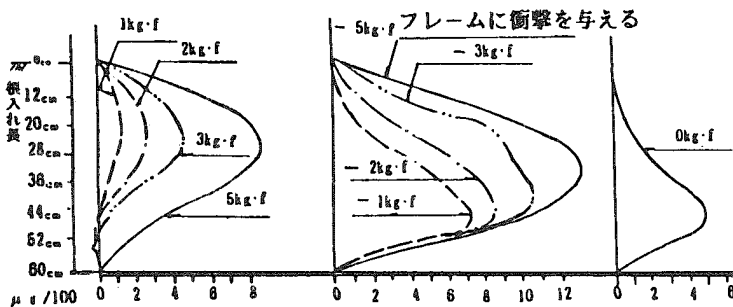


図-1 荷重-変位曲線 (h=60cm)

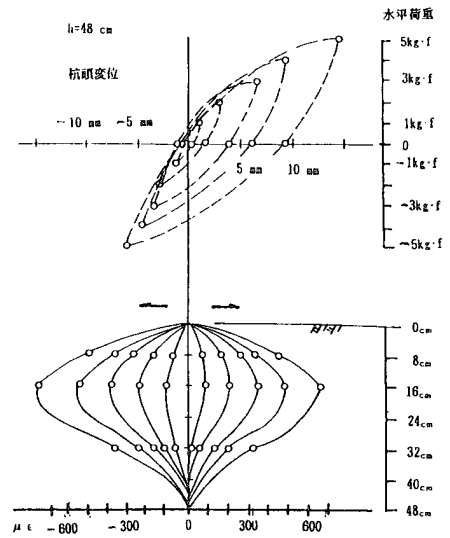


図-2 杭頭変位-荷重曲線(h=48cm)

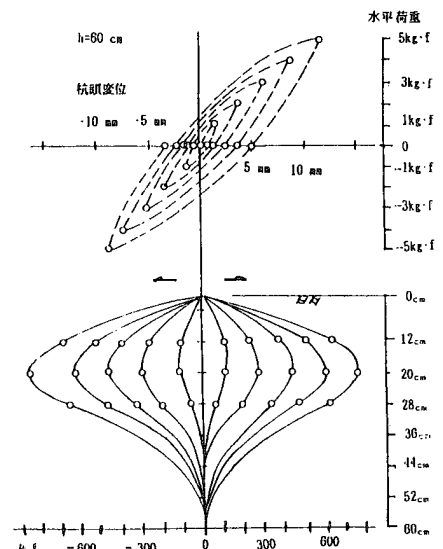


図-3 杭頭変位-荷重曲線(h=60cm)

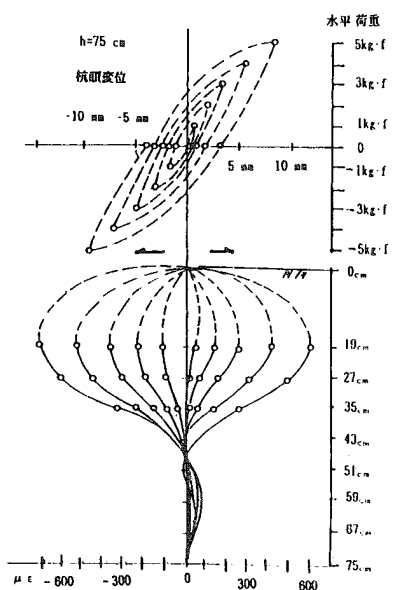


図-4 杭頭変位-荷重曲線(h=75cm)

#### 4. 実験結果

本実験では、片引き水平載荷試験及び両引き交番試験等の静的試験と杭頭部をある周波数を持った動的交番試験を行った。

静的試験については、図-1に示す通り、根入れ長 $h=60\text{cm}$ について行ったものであり、荷重の増加にともなって、最初のパターンを大きく変えることなくひずみの増大がみられる。つぎに $5\text{kgf}$ 載荷の状態ではフレームにプラスチックハンマーでわずかに衝撃を与えることによって、ひずみは急激に増大し、あたかも等分布荷重を受けたような放物線状を呈する。これは杭頭の荷重の増加にともなって砂の中に成長したアーチアクションから応力の再配分への移行を示すものであり、水平力を受ける杭の地震時に於ける挙動を示唆するものと思われる。そこから、 $1\text{kgf}$ 毎に除荷するにつれて、杭先端部のひずみを維持しながら地表に近いほうからひずみの減少が見られ、荷重を完全に除去した後も杭の先端は周囲の砂による拘束が残る。この段階ではフレームに衝撃を与えても消滅には至らない。これは、ここではもはやフレームと杭の間に強いアーチが存在しないことを意味する。しかし、杭頭にわずかに手をふれると消滅する。図-2～図-4は杭長が $h=48\text{cm}$ 、 $h=60\text{cm}$ 、 $h=75\text{cm}$ について、静的試験による地震時を想定した交番荷重の水平載荷試験の杭頭変位-荷重曲線である。図-3、 $h=60\text{cm}$ の杭頭変位履歴曲線では、各荷重ごとの頂点を結ぶ線は、やや直線をなしており、水平荷重ゼロの時の残留変位量についても、荷重ごとに順次配列されているのがみられる。これは、非常によい復元性を示しているといえる。図-2、 $h=48\text{cm}$ では、初期の状態から荷重を増すごとにプラス側に傾いて行き、各荷重ごとの頂点を結ぶと円弧状をなしている。このことは、支持層までの根入れ長の浅い杭にあっては、杭頭に初期に受けた荷重の方向に変位が左右され、交番載荷にもかかわらず、一方的に変位が累積し、極めて復元力に乏しいことを示している。図-4、 $h=75\text{cm}$ では、載荷の初期段階（荷重の小さい領域）では $h=60\text{cm}$ の場合と同様な直線状の復元傾向がみられるが、荷重を増すにつれて、変位量の増加率が大きくなり、各荷重ごとの頂点を結ぶ線は、ゆるい反向曲線を描いている。これは、支

持層までの根入れ長が長いために、杭頭変位の大きい領域では、乾燥標準砂の周囲地盤によって影響を受けることによって、杭頭の挙動が、塑性状態に近いような非線形的挙動を呈しているように見受けられる。動的交番試験については、正弦波を入力し地中部応力状態並びに杭頭変位履歴曲線も静的載荷状態の様な様子がうかがわれた。ここでは、未だ動的試験システムの試行的改良を加えている段階であるのでデータを割愛する。

#### 5. まとめ

模型杭を用いた室内試験では、装置を手作りながらの研究段階であり、それらの一部として報告した。

システム機器の考案については、特に金属管内面にゲージを貼る事が可能になった事の意義は大きい。又、動的交番試験についても電圧波形から電流に替えて周波数として杭頭の動力を伝える装置も画期的な考案であろうと思われる。これらの機器の考案に当たっては、共同研究者である北海学園大学早川寛志教授の功績によるものである。

静的水平載荷試験の結果、片引き載荷では載荷時に衝撃を与えると杭中央部に極端なひずみの増大が見られそこから除荷の過程ではひずみは杭頭部から減少する。これは、地震時の挙動や断面変化の問題を示唆しているものと思われる。両振り載荷の結果では、従来の現場載荷試験のパターンと良く一致している。杭基礎の設計では、水平方向地盤反力係数の取り扱いが重要である。今後、動的装置を用い杭と地盤の非線形領域問題として種々検討を加えていく所存である。

#### 参考文献

- 1) 松井、早川他：模型杭に関する実験的研究  
 (土木学会北海道支部論文報告集第50号)
- 2) 松井、早川他：模型杭による水平載荷に関する実験的研究  
 (土木学会第49回年次学術講演会)
- 3) 松井、早川他：模型杭の動的挙動について  
 (土木学会北海道支部論文報告集第52号)
- 4) 伯野、横山他：模型杭基礎の復元力特性に関する  
 オンライン・リアルタイム実験