

縦方向に断面の変化のある杭に適用できる衝撃载荷試験の基礎的研究  
(その3 波形マッチング解析の検討)

衝撃荷重 先端支持力 摩擦

(株)ジオトップ 正会員 桑山晋一 正会員 小嶋英治  
正会員 本間裕介

1. はじめに

衝撃载荷試験システムのハードおよびソフトを再開発し、同名論文その1ではその概要を、その2ではハードシステムを検討した。本論文のその3では波形マッチング解析を検討するものである。

波形マッチング解析では、杭頭付近における軸方向の力の後退波を測定したデータから求め、この力の後退波をマッチングして杭の抵抗を求めている。この解析に後退波を用いているのは、後退波に杭の周面および先端のパネおよび減衰の影響が含まれるためである。逆にいえば、杭の抵抗および減衰が大きすぎて、杭先端からの後退波がもどってこない場合には、杭先端の抵抗および減衰の同定はできないことになる。しかし、与えた打撃力が充分であれば、これは健全な杭といえる。

本システムの波形マッチング解析ソフトには、杭の周面および先端の地盤抵抗モデルに Smith モデル(詳細はその1を参照のこと)を採用している。波形マッチング解析のフローはその1に示した。また、Smith モデルのプログラムの検討は、入力に正弦波などを用いてデバック済みである。

そこで、その3の本論文は、図1に示す、杭・地盤系のシンプルなモデルで衝撃载荷試験を行い、波形マッチング解析の結果から、本システムの波形マッチング解析フローの妥当性について検討するものである。

2. 実験モデルと測定方法

実験には、節杭(500-400)および直杭(400)の2種類の杭(8m、B種)を用いた。

前述したように、本論文の検討は、実験から Smith モデルの妥当性を検証するものではなく、波形マッチング解析のフローの検討である。そこで、実験で用いる、杭・地盤系のモデルには、その2で用いた、杭の周面を自由面としたシンプルなモデルを使用した。杭の周面を自由面とするために、先端を閉鎖した鋼管をソイルセメント埋設工法で打設し、その鋼管の中に2種類の試験杭を立て込んだ。この他、厚さ5mmの合成ゴム5層を杭先端に敷いて杭を建て込んだ実験も試みた。

衝撃装置は、同名論文その1の写真2の左側に示す、重錘3kNを用いた。また、重錘の落下高さは800mmに統一した。

杭の加速度およびひずみ波形は、その2の成果として、軸対象の2波の平均で評価した。

4. 実験結果と波形マッチング解析結果

図2~4に、直杭、節杭、直杭の先端にゴムを挿入した杭の、3種類の測定結果と波形マッチング結果を示す。それぞれ上から、軸対称の平均した加速度波形、軸対称の平均したひずみ波形、ひずみ波形から求めた力F(t)の波形(実線)、加速度波形から得ら求めたZ・V(t)

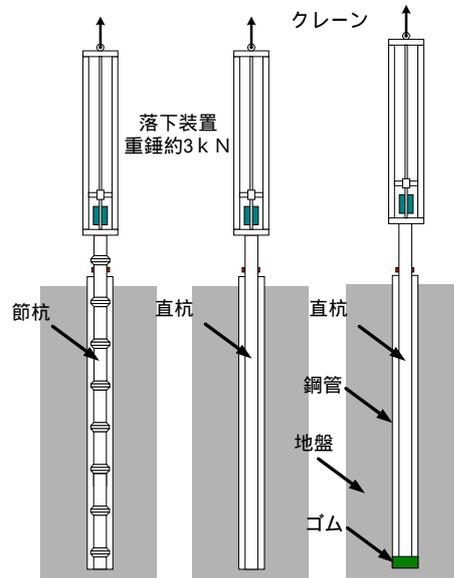


図1 実験に用いた杭・地盤モデル

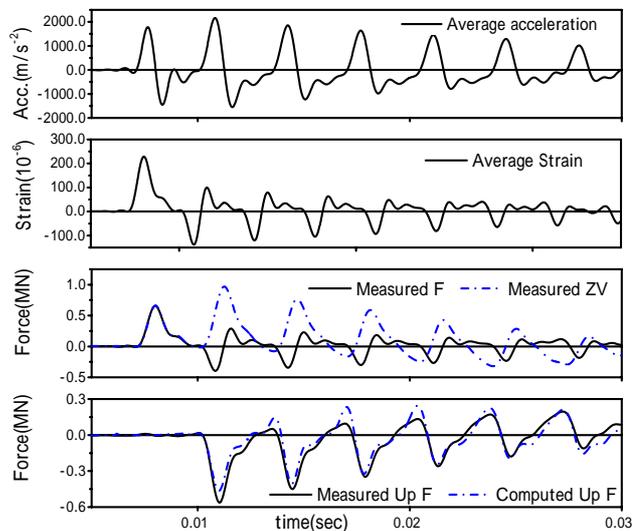


図2 直杭の波形マッチング結果

の波形(一点鎖線)、測定したF(t)とZ・V(t)から求めた力の後退波(実線)、マッチング解析から求めた力の後退波(一点鎖線)、である。ここで、Z・V(t)は測定した杭頭の加速度を数値積分して求めた速度の時刻歴に、抗体のインピーダンスを乗じたものである。

進行波F(t) および後退波F(t)は次式から求めた。

$$F(t) = \{ F(t) + Z \cdot V(t) \} / 2$$

$$F(t) = \{ F(t) - Z \cdot V(t) \} / 2$$

なお、測定した加速度波形、ひずみ波形にはデジタルのローパスフィルター(fp=1kHz, fs=1.5kHz)をかけ、以

降のマッチング処理を行っている。

本実験では、2種類の杭を用いているため、杭を鋼管に建て込んで衝撃載荷試験を行っている。このため、衝撃試験時に杭が浮き上がる現象が生じている。重錘の落下高さを統一し、実験ごとに打撃の中心を杭芯にあわせたが、データを見ると、杭に生じている加速度およびひずみの最大値が異なっている。また、杭の浮き上がる時間は一様ではなく、早く浮き上がる時と遅く浮き上がる時がある。波形マッチングでは、杭が浮き上がると、杭の支持条件が途中から変わり、マッチングに支障をきたす。そこで、波形マッチング解析に用いたデータは、衝撃載荷試験時に浮き上がる時間の遅いものを選んだ。

図2～4の、上から3番目に  $F(t)$  と  $Z \cdot V(t)$  の波形を示す。これらの図から、 $F(t)$  と  $Z \cdot V(t)$  が全く一致している。これは、杭周囲の摩擦が全くなく、杭単体の伝播による減衰が小さいためである。逆に、杭の周囲摩擦が大きい場合は、 $F(t)$  が  $Z \cdot V(t)$  の立ち上がりから一致しない。

図2～4の最下図に、 $F(t)$  と  $Z \cdot V(t)$  から求めた力の後退波を示す。これらの図から、図2、4の直杭の力の後退波を考察すると、杭頭から杭先端まで波が伝わり、更に杭頭に戻るまで、途中の反射が生じていないことが確認される。ただし、図3の節杭では若干の反射が生じているようであるが、他の同じ実験では生じていない例もあり、杭のみの場合、節部での波の反射はないと判断する。

図2の直杭に用いたマッチングの諸元は、杭については、断面積  $703\text{cm}^2$ 、弾性係数  $3.92\text{MN/cm}^2$ 、周面耐力  $0.0\text{MN}$ 、杭周囲の減衰  $0.0045\%/m$  で、杭の先端については、初期剛性  $0.008\text{MN/mm}$ 、減衰  $0.036\%$  の例を示した。また、伝播速度は実測で用いた値を使用した。

図3の節杭に用いたマッチングの諸元は直杭に用いた杭の諸元とほぼ同じである。ただし、杭周囲の減衰は  $0.006\%/m$  で、杭の先端初期剛性および減衰はそれぞれ  $0.025\text{MN/mm}$ 、 $0.048\%$  の例である。すなわち、節杭のマッチング解析結果は、杭を直杭として解析した例である。この他、再サンプリングでサンプリング間隔を小さくし、かつ杭の分割も細かくし、節杭の節部を考慮した解析を行った。しかし、マッチング結果は、図3に示す節杭の節部を無視して直杭とした解析結果とほぼ同じであった。これは、杭のみの場合、節部での波動の反射が小さいことを意味している。ただし、これは杭のみで行った実験であることに注意して頂きたい。すなわち、実際に施工されている節杭は、周面摩擦が大きいことは、鉛直載荷試験からも確認済みである。

図4の直杭で先端にゴムを挿入した杭に用いたマッチングの諸元は、直杭に用いた杭の諸元とほぼ同じである。ただし、杭の先端初期剛性および減衰は、それぞれ  $0.002\text{MN/mm}$ 、 $0.08\%$  である。図4の最下図のマッチング結果は、2波あたりまで下合致していない。これは、ゴムを挿入した杭は打撃時に杭の浮き上がりが大きかつ

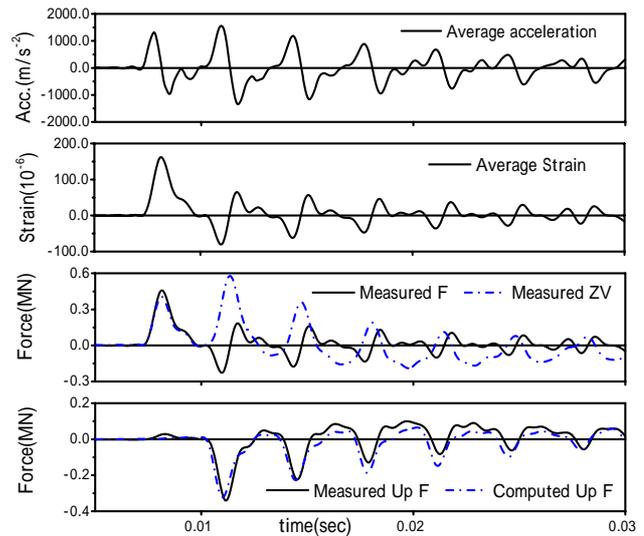


図3 節杭の波形マッチング結果

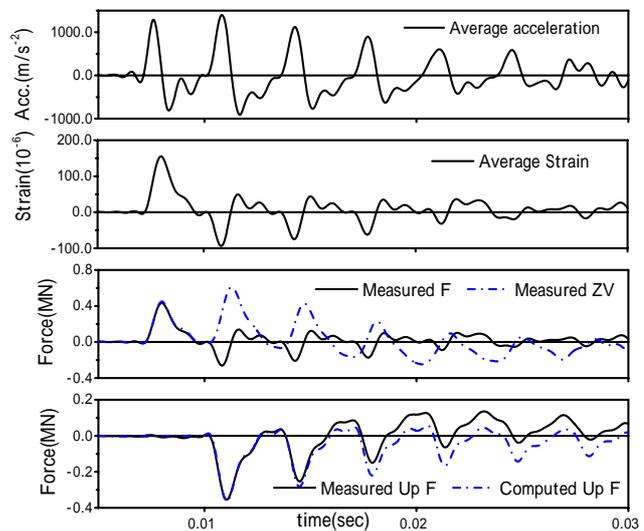


図4 直杭の波形マッチング結果  
(先端にゴム挿入)

たのではないかと考える。

その2で、節杭の杭頭付近における節部の上下(400、800mm)での加速度およびひずみ波形を測定し、節部で波の反射が生じていないことを確認している。これは、上記のマッチング解析結果と合致する。

## 5. まとめ

杭・地盤系のシンプルなモデルで衝撃載荷試験を行い、波形マッチング解析の結果から、開発した波形マッチング解析のフローの妥当性について検討した。

本システムの波形マッチング解析ソフトには、杭の周面および先端の地盤抵抗モデルにSmithモデルを用いているが、ソフトとしての検証は、入力に正弦波などを用いてデバック済みである。本論文の検討対象は、波形マッチング解析における、全体のフローとした。そこで、実験に杭周面を自由面としたシンプルなモデルを用い衝撃載荷試験を行った。この結果の後退波を波形マッチングした結果、良い一致を得た。そこで、開発した波形マッチング解析のフローが検証できたと考える。