

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1 システムの再開発)

杭打ち 衝撃荷重 载荷試験

(株)ジオトップ 正会員 小嶋英治 正会員 二見智子  
正会員 本間裕介 正会員 桑山晋一  
(株)東京測振 正会員 渡辺基弘

1. はじめに

当社は 1995 年から衝撃载荷試験を行ってきたが、保有の衝撃载荷試験器のハードが老朽化したため、ハードおよびソフトの再開発を行った。

衝撃载荷試験<sup>1),2),3)</sup>は、軸方向の力と速度(粒子速度)を求める、軸方向の力を進行波と後退波とに分離する、軸方向力の力の後退波から、波形マッチングを行い、杭の抵抗を同定し杭の支持力を算定する、方法である。本システムでひずみおよび加速度を測定している理由は、軸方向の力および速度を求めるためである。なお、センサーとして速度計を用いず加速度計を用いているのは、衝撃载荷試験に耐えられる、手ごろな速度計がないためで、速度は加速度を数値積分して求めている。

ハード(写真1参照)の開発にあたっては、縦方向に断面の変化のある杭に適用できるように、サンプリングタイムを小さくすることを心掛けた。また縦方向に断面の変化のあることにより、杭周面で加速度およびひずみのばらつく時の対策として、測定システムの多チャンネル化を目指した。

本システムのソフトは以下の3種類で構成されている。すなわち、測定時に用いる、波のモニタリングソフト(写真1参照)、測定波の一次処理(デジタルフィルタ処理<sup>4)</sup>、データの再サンプリングなど)、進行波・後退波・CASE法の作図、波形マッチングと呼ばれる、杭の周面および先端のバネおよび減衰を同定する解析用ソフト、である。

2. ハードの仕様とモニタリングソフト

衝撃载荷試験測定システム(8ch仕様:加速度計4ch、ひずみ計4ch)の回路ブロックを図1に示す。AD変換は1ch当たり、分解能12bit、サンプリングタイム15μsec~8msecの可変、データ個数65,536以内で、トリガーは任意の加速度チャンネル選択、プレトリガー57,344ポイント以内、ポストトリガー65,536ポイント以内、トリガーレベル0~100%で指定、である。内蔵されているAD変換機の最速のサンプリングタイムは10μsecであるが、安定性を考慮して15μsecに抑えて使用している。

パソコンから、本システムのアンプ倍率、トリガー情報などを設定し、設定終了後、本システムをトリガー待ちにする。杭打機などを用いて杭に打撃を与え、杭に設置した加速度計が設定トリガーレベルを超えると、本システムにより加速度およびひずみのデータがAD変換され、パソコンにデータが収録される。次に、モニタリングソフトを稼働させ、パソコンのディスプレイに加速度・ひずみ・軸方向力の進行波および後退波・CASE法を作図する。加速度およびひずみのデータの良否を確認し、データが良好であれば、パソコンにデータを収録する。

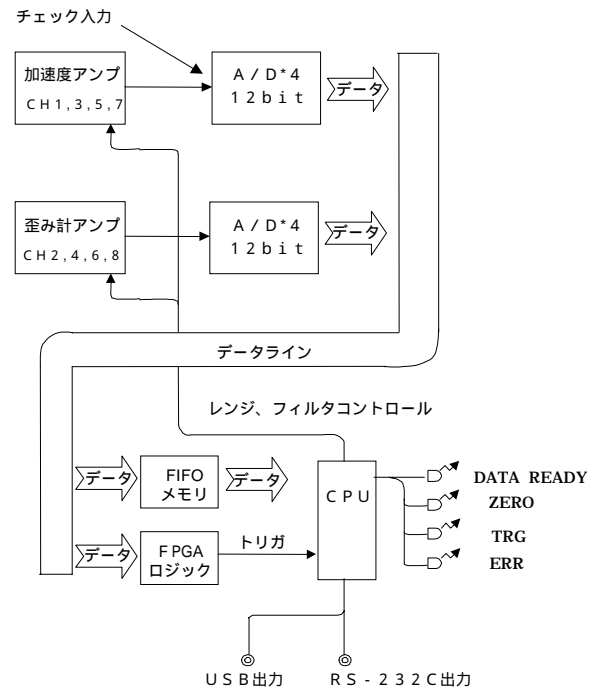


図1 ハードの回路ブロック図



写真1 衝撃载荷試験測定システム(HITTOP8)



写真2 周面自由杭の実験

### 3. 波形マッチング解析ソフト

波形マッチング解析<sup>1),2),3)</sup>における、杭の周面および先端の地盤抵抗モデルに Smith モデル<sup>1),2),3)</sup>を採用している。図2に杭先端および杭周面の力学モデルを、図3に杭・地盤におけるモデル化を、図4に波形マッチング解析のフローを示す。ここで、 $F(t)$ 、 $V(t)$ は、測定したひずみおよび加速度から求めた、杭頭における軸方向の加速度と速度（粒子速度）の時刻暦で、 $Z$ は杭体のインピーダンスである。なお、加速度から速度の変換は数値積分による。

$F(t) \cdot F(t)$  は、 $F(t)$ および $Z \cdot V(t)$ を用いて分離した、測定から求めた進行波・後退波である。波形マッチング解析では、杭の周面および先端抵抗に剛性および減衰を仮定し、計算進行波  $F(t)'$  ・ 計算後退波  $F(t)'$  を求める。測定から求めた後退波  $F(t)$  と計算後退波  $F(t)'$  とが合致（波形マッチング）するまでこれを繰り返す。ここで、波形マッチングに後退波  $F(t)$  を用いるのは、後退波に杭周面および先端の抵抗および減衰の情報が含まれているからである。 $F(t)$  と  $F(t)'$  が合致すれば、仮定した杭の周面および先端抵抗の剛性および減衰が妥当であり、かつ収束したと判断し解析を終了する。

### 4. 衝撃試験機の較正

本測定システムは、ひずみと加速度測定システムから構成されている。

本加速度の測定システムでは、杭の衝撃試験用のため、 $\pm 5000G \cdot \pm 500G$  等の大加速度用のセンサーを使用している。このような大きな加速度用のセンサーの較正に振動台等を用いることは容易ではない。そこで、較正された他の測定システムと、本システムの測定システムを容易に比較できるようにするために、本システムの加速度システムの2チャンネル分を、外部入力切替可（図1のハードの回路ブロック図でチェックと記入した箇所）とし、切替た内蔵アンプを1倍とした。この仕様により、別系統の測定システムで本システムのADを使用することが可能となり、較正された他の測定システムと比較することで、容易に較正できるシステムとなっている。

一方、ひずみ測定システムは、ひずみ較正器を用いて容易に較正できる。そこで、ひずみの測定システムには特別な較正用のシステムは組み込んでいない。

加速度メーカの較正值によれば、加速度計は入荷時期が同じであればばらつきはほとんどないが、入荷時期の異なったものでは $\pm 2\%$ 程度のばらつきがある。また、ひずみ計の感度のばらつきは小さいことが知られている。しかし、本システムでは全てのチャンネルごとにセンサーの較正值を入力できるシステムをとっている。

### 5. まとめ

本論文は衝撃載荷試験システムのハードおよびソフトの概要を紹介したものである。そのハードおよび波形マッチング解析フローの妥当性は、同名論文のその2、その3で、シンプルな杭・地盤のモデルを用い、衝撃載荷試験（写真2参照）の結果から検討する。

測定システムの多チャンネル化は、縦方向に変化のある杭だけでなく、多点の測定点を用いた衝撃載荷試験法に適用できるシステムとなっている。

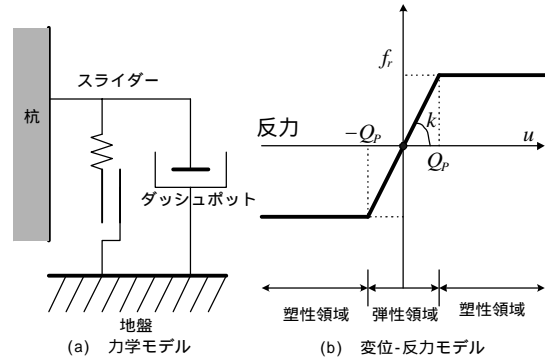


図2 杭先端および杭周面の力学モデル

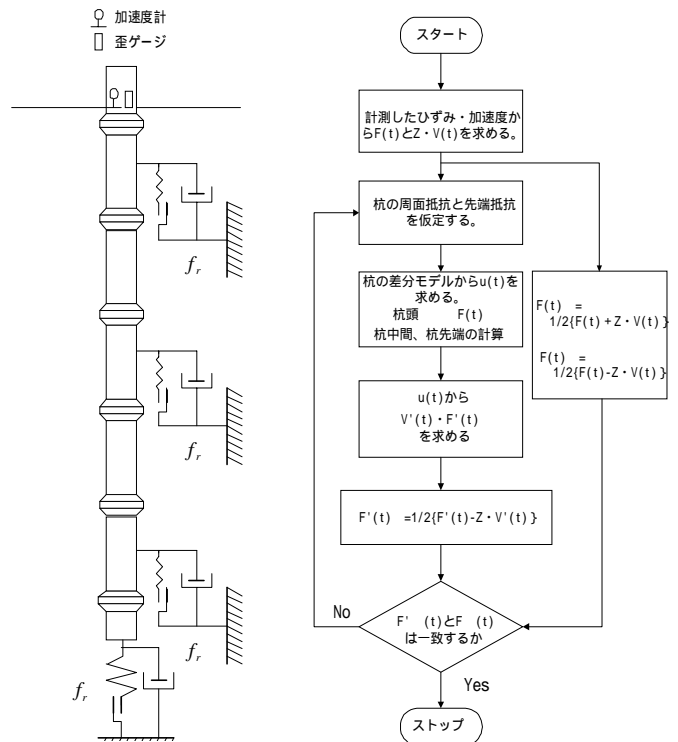


図3 杭・地盤のモデル化

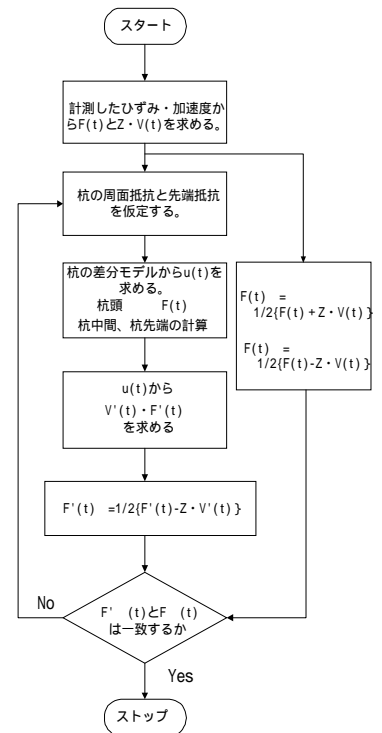


図4 波形マッチング解析プログラムのフロー

### 参考文献

- 1)地盤工学会：杭鉛直載荷試験方法・同解説、pp.227-244 2002.5.
- 2)松本樹典：波動理論の杭への応用における理論的背景、杭の打ち込み性および波動理論の杭への応用に関するシンポジウム発表論文集、土質工学会、pp.7-21、1989.
- 3)境友昭：波動理論の基礎 杭打ち解析のプログラム 杭の打ち込み性および波動理論の杭への応用に関するシンポジウム発表論文集、土質工学会、pp.23-33、1989.
- 4)斎藤正徳：漸化式デジタル・フィルターの自動設計、物理探査、31巻、pp.240-263、1979.

### 謝辞

測定時に用いるモニタリングソフトの開発にあたっては、早稲田大学理工学総合研究センターの山田眞教授の御教示を頂きました。感謝の意を表します。