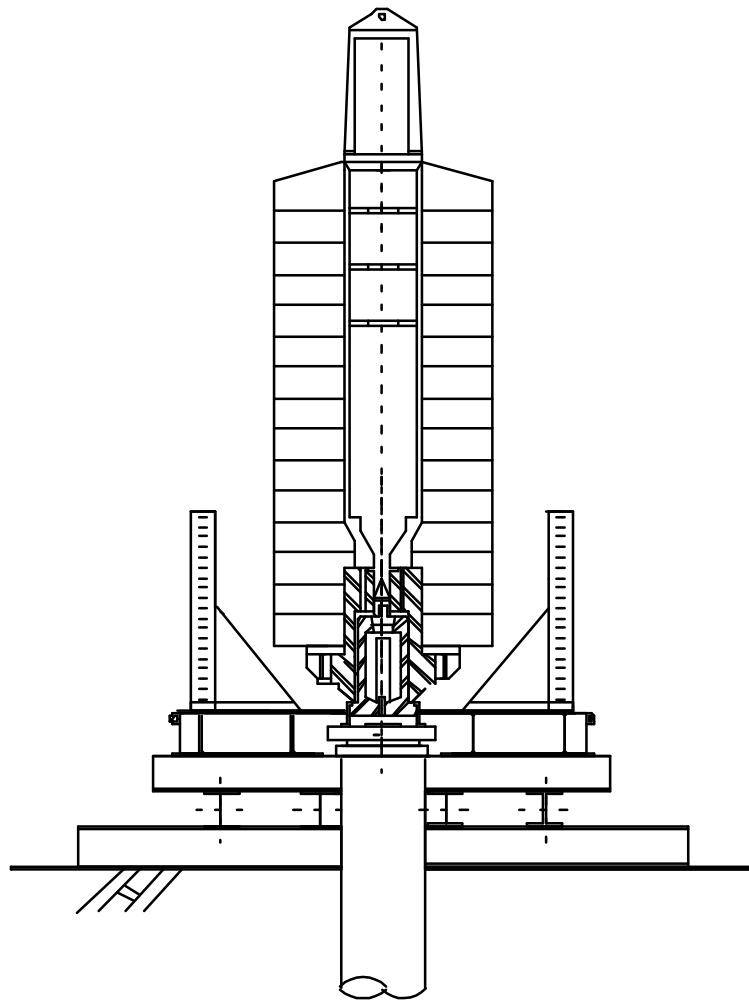




## スタナミック試験の概要



2007.6.1

多摩火薬機工 株式会社

## 1. スタナミック試験(急速荷重試験)の概要

スタナミック試験は、静的荷重試験と衝撃荷重試験の中間的な特徴を持つ、急速荷重試験方法で、カナダのバーミングハンマー社とオランダの応用工学研究所(TNO)により共同で開発された。

試験は、杭頭に載せた反力マスを特殊な推進剤の燃焼ガス圧力により打ち上げ、反力マスに発生する慣性力を利用し、その慣性反力を杭頭に載荷する。標準的には、反力マスを20Gの加速度で打ち上げ、約0.1秒間の荷重を杭頭に載荷する。図1-1に試験概要を示す。その特徴は荷重特性として、

- ・ 荷重時間はハンマーによる衝撃荷重試験と比べて数倍長く、荷重時の杭体の応力状態は、静的荷重とほぼ等しい(図1-2)。
- ・ 静的荷重試験と比べ荷重速度が大きく、杭体、地盤の動的効果を考慮しなければならない。
- ・ 荷重保持をしない単調荷重である。

また荷重装置の特徴として、

- ・ 標準で約20Gの加速度を与えることから荷重荷重の5%程度の反力マスで所定の荷重荷重を得ることができる。
- ・ 反力マスの慣性反力により荷重することから、反力杭を必要しない。
- ・ 試験時間が短く、現場の拘束時間が短い。

等があげられる。

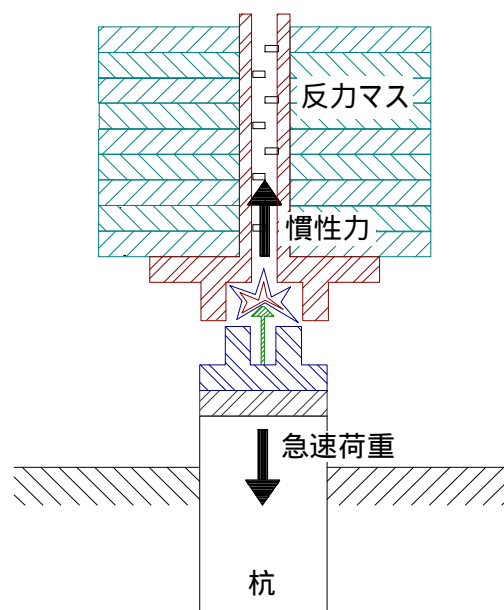
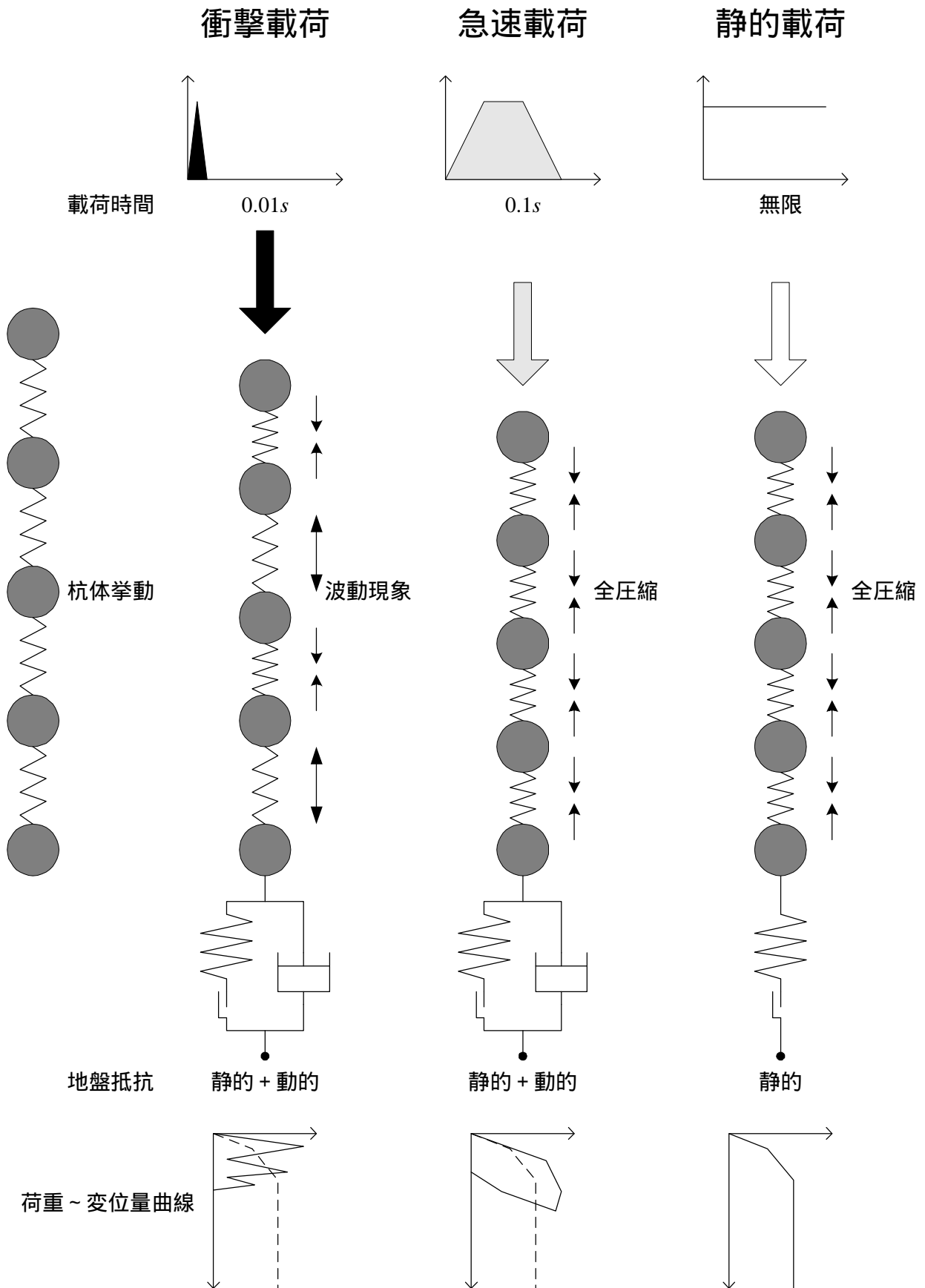


図 1-1 スタナミック試験の荷重原理



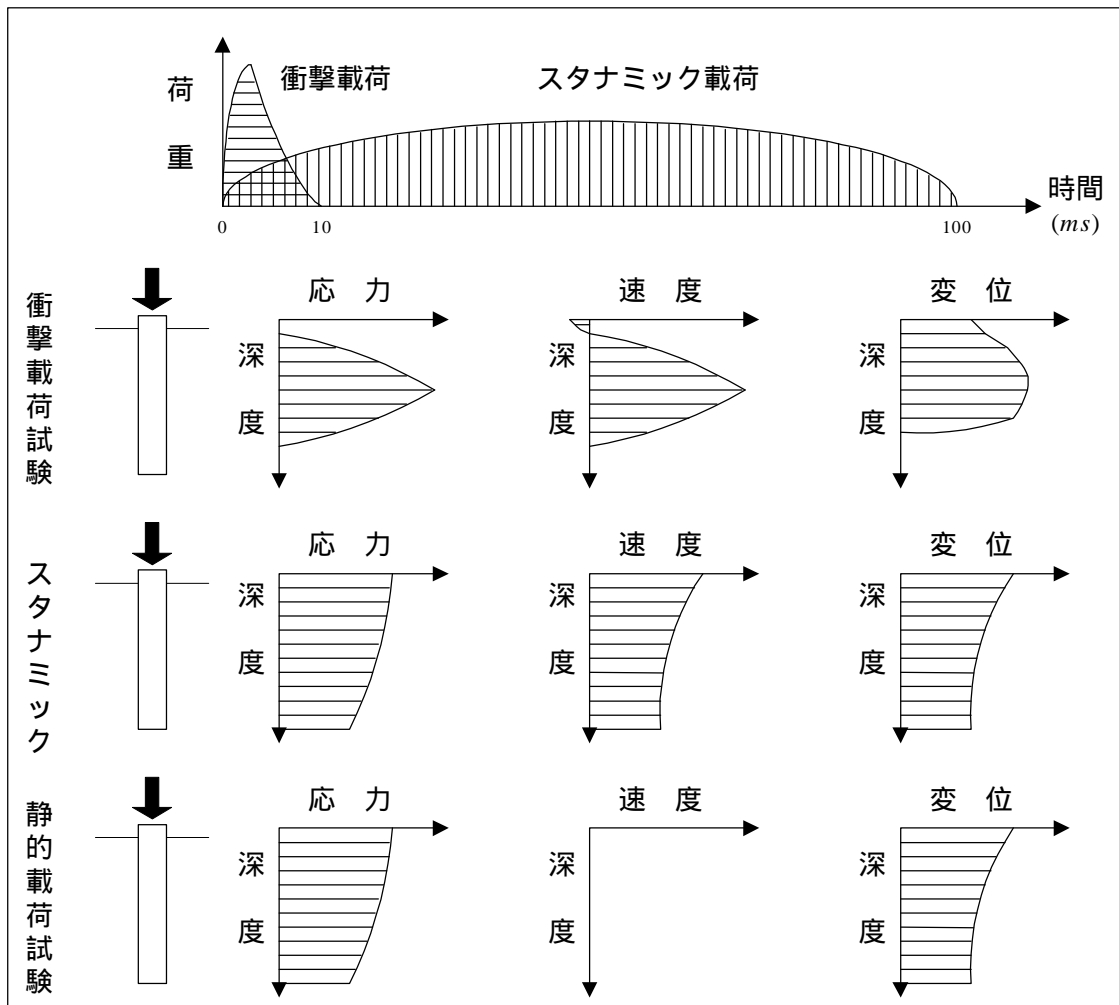


図 2-2 载荷試験時の杭挙動の比較

## 2. スタナミック試験の装置

### 2.1 載荷装置

スタナミック試験の載荷装置は、表 2-1 に示す機材により構成される。図 2-1 に載荷装置の概要を示す。

表 2-1 載荷装置の主な機材

機材	機能
パイルキャップ	ピストンを固定するための載荷プレート
仮設架台	グラベルコンテナの支持台
ピストン	ロードセル、レーザー変位計と一体化されており、中に推進剤を装填
シリンダー	燃焼室
サイレンサー	消音機能付きの排気装置
反カマス	鋼製またはコンクリート製の反力体
砕石	打ち上げた反カマスの落下時の緩衝材
グラベルシェル	砕石の格納容器

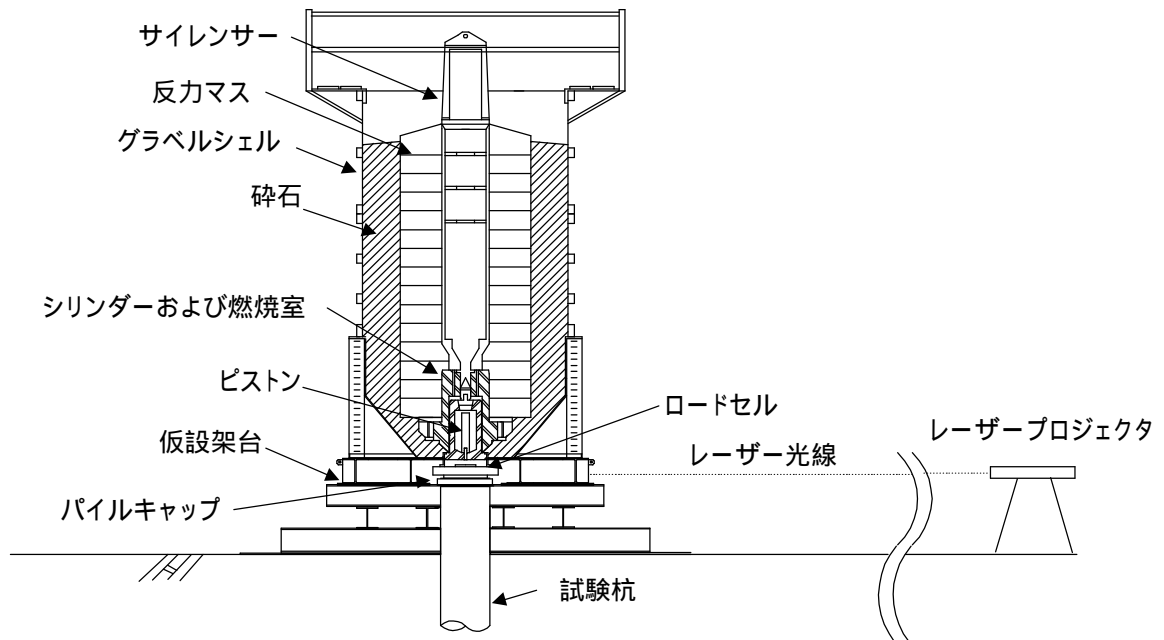


図 2-1 スタナミック載荷装置

## 2.2 計測装置

スタナミック試験の計測装置は、標準的にはロードセル、レーザー変位計、加速度計をセンサーとして、FPDS( Foundation Pile Diagnostic System )により構成される。

採取された計測データは FPDS( シグナルコンディショナー、コンピュータ )に送られ、サンプリング周波数 4~10kHz でデジタルデータとして保存される。スタナミック試験の標準的な計測フローを図 2-2 に示す。

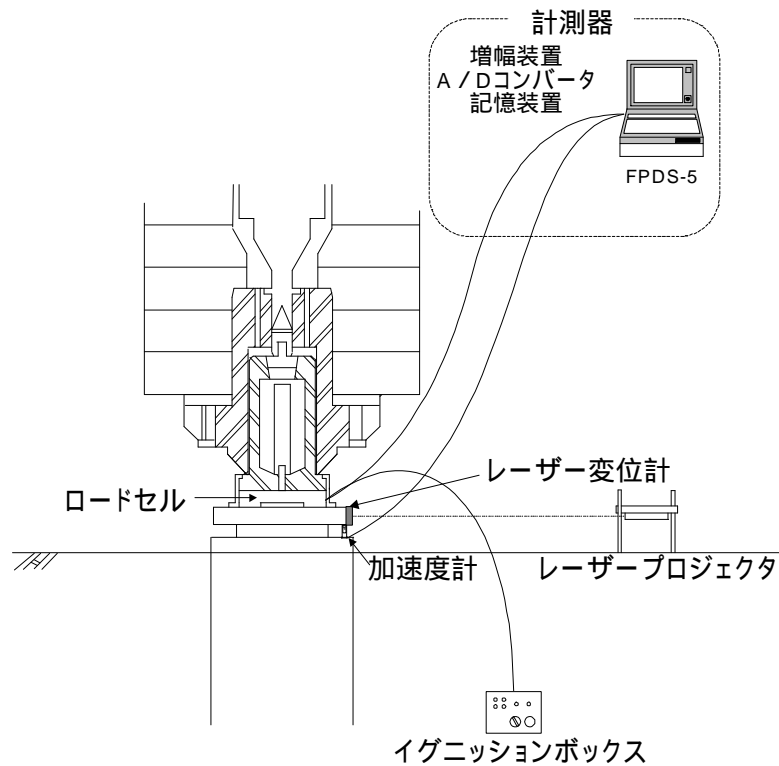


図 2-2 計測フロー

### 3. スタナミック試験の装置組立と試験手順

スタナミック試験装置の組み立ては、まず、杭頭にパイルベースを設置し、その上にロードセルとレーザー変位計が内蔵されたピストンを載せる。次にサイレンサーと一体化したシリンダーをピストンに挿入設置する。この段階から荷重、変位の計測が始まる。

砕石格納のためのシェルを設置した後、反力マスを載せて、反力体の落下時の衝撃荷重を吸収するための砂利をシェルと反力マスとの間に挿入し、装置の組み立てが完了する。

試験はイグニッションによりピストン内で急速燃焼させた推進燃料から発生した高圧ガスが、反力体とシリンダーを押上げる。打ち上げ時の慣性反力が荷重として杭頭に作用する。荷重と杭頭変位および加速度は、ロードセル、レーザー変位計と杭頭に設置された加速度計で計測される。計測データは 0.25ms 毎に採取され、FPDS-5( Foundation Pile Diagnostic System-5 )に送られ、デジタルデータとして保存される。スタナミック試験の載荷課程を図 3-1 に示した。

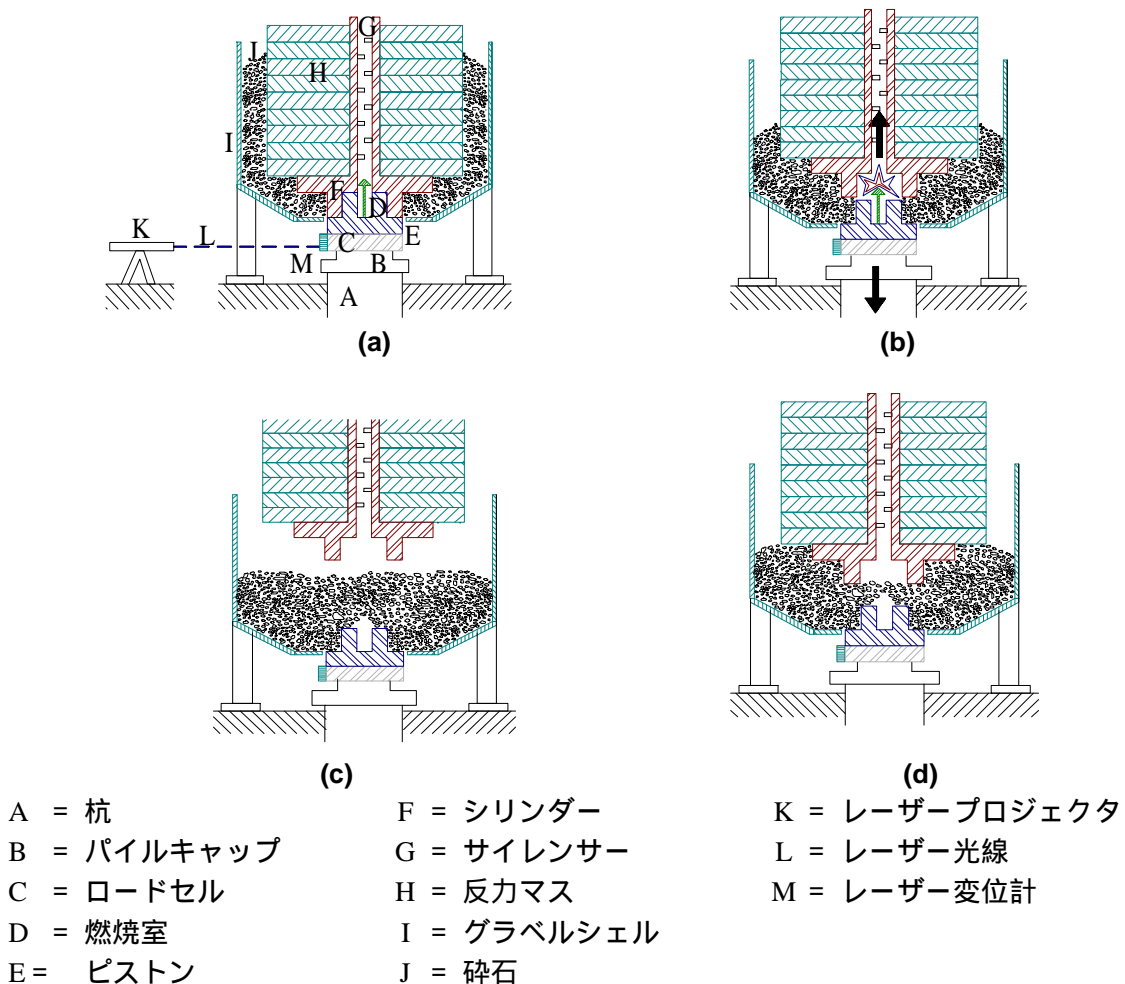


図 3-1 スタナミック試験載荷過程

#### 4. スタナミック試験の計測結果と解析

##### 4.1 測定データ

図 4-1 にスタナミック試験の測定例を示す。スタナミック試験の計測データは、時間軸上の荷重、杭頭の変位、速度、加速度により構成される。うち、荷重、変位および加速度は直接計測され、速度は、変位の時間微分または加速度の時間積分から得られる。

荷重と変位から、杭頭の荷重～変位量曲線が得られる。

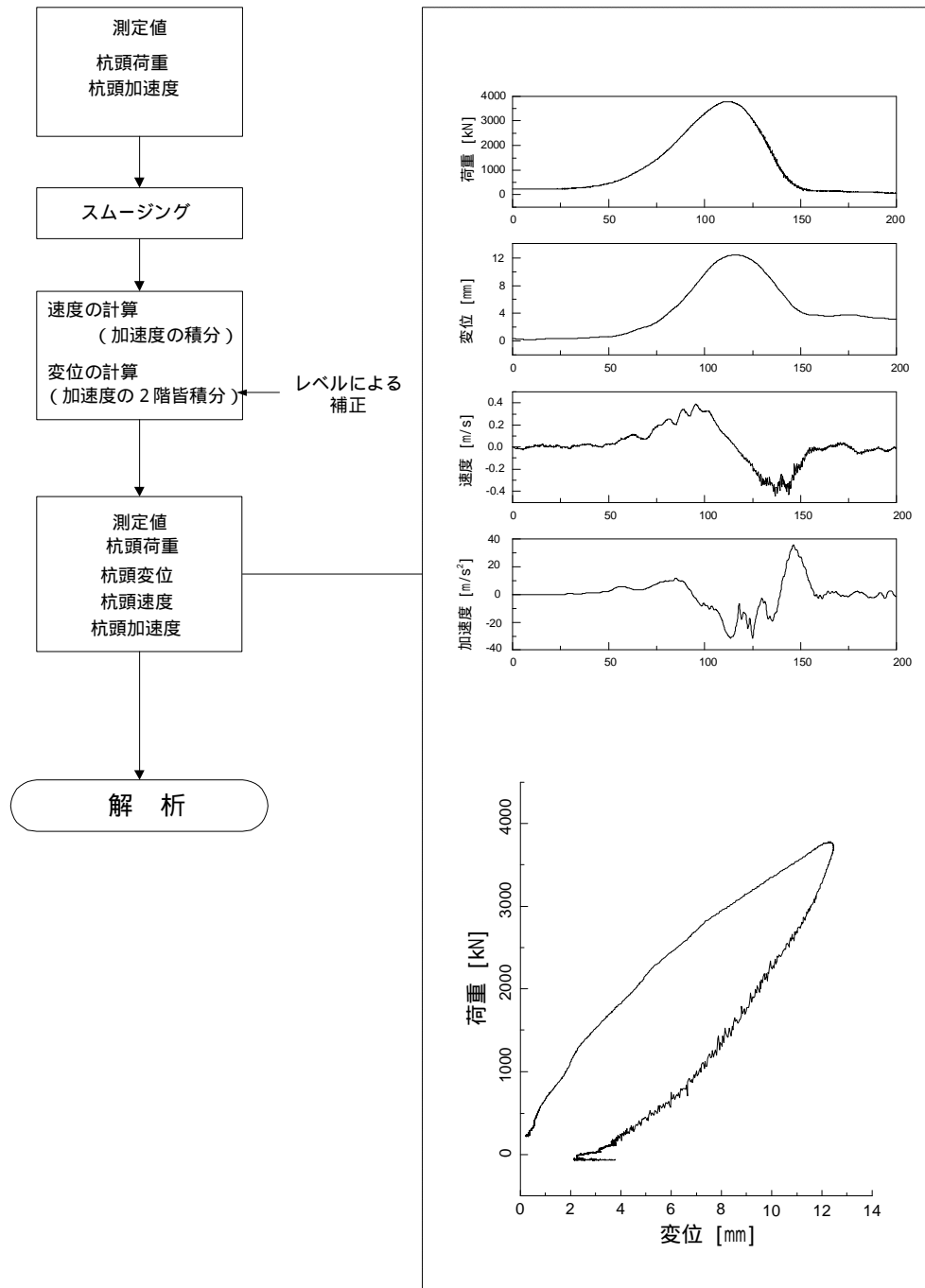


図 4-1 スタナミック試験計測データ



## 4.2 スタナミック試験の解析

### 4.2.1 除荷点法解析

除荷点法解析は、杭を一質点系の剛体と仮定し、図 4-2 に示すような質量  $M$ 、ダッシュポット  $C$ 、地盤ばね  $K$  を有する一自由度系の運動として杭の挙動をモデル化するものである。

解析の目的は、杭頭ばね定数を求めることにより静的な荷重～変位量関係をスタナミック試験結果から推定することである。解析に必要なパラメータは  $M$ 、 $C$ 、 $K$  である。

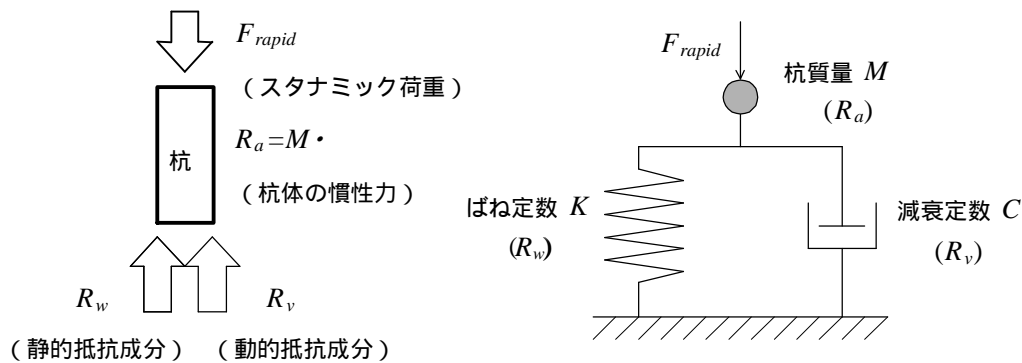


図 4-2 スタナミック試験における抵抗力成分と一質点系によるモデル化

この方法は、Middendorp et al.(1992)が提案した方法であり、スタナミック試験の急速荷重(スタナミック荷重)  $F_{rapid}$  が、杭の静的抵抗成分  $R_w$  (地盤および杭の静的変形を表す)、杭の貫入速度に比例する地盤の動的抵抗成分  $R_v$  および杭の慣性力  $R_a$  の和と釣り合うとして、杭の静的抵抗成分  $R_w$  を導くもので、力の釣り合いは、式(1.1)で与えられる。

$$F_{rapid(t)} = R_{a(t)} + R_{soil(t)} \dots\dots\dots(1.1)$$

ここで、

$$R_{soil(t)} = R_v(t) + R_w(t)$$

$R_{soil(t)}$  : 地盤抵抗力

$$R_{a(t)} : \text{杭の慣性力} \quad R_{a(t)} = M \cdot \alpha(t)$$

$$R_v(t) : \text{杭の貫入速度に比例する地盤の動的抵抗成分} \quad R_v(t) = C \cdot v(t)$$

$R_w(t)$  : 杭の静的抵抗成分 (地盤および杭の静的変形を表す)

解析は、スタナミック荷重  $F_{rapid}$  から杭の慣性力  $R_a$ 、杭の貫入速度に比例する地盤の動的抵抗成分  $R_v$  を順次差し引いて、残った抵抗力が杭の静的抵抗成分  $R_w$  であり、静的な荷重～変位量曲線に相当するものとして求める方法である。

具体的な解析手順は、以下の通り。

i) 杭体の慣性力  $R_a$  をスタナミック荷重  $F_{rapid}$  から差し引き,  $R_{soil}$  ~ 変位置曲線を求める。

$$R_a(t) = M \cdot \alpha(t)$$

$M$  : 杭の質量, 杭の仕様から求める。密度 × 断面積 × 長さ

$\alpha(t)$  : 計測値または, 計測変位の 2 階微分

$$R_{soil(t)} = F_{rapid(t)} - M \cdot \alpha(t)$$

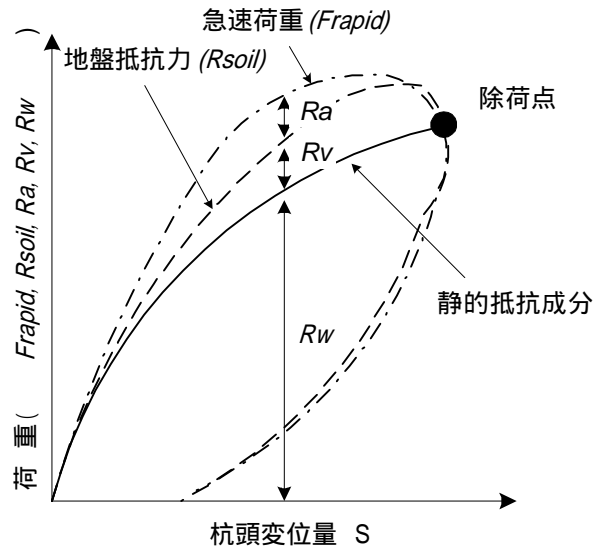


図 4-3 除荷点法における静的抵抗成分

ii) 杭の貫入速度に比例する地盤の動的抵抗成分  $R_v$  を求め、 $R_{soil}$  から差し引き、静的抵抗成分  $R_w$  の荷重～変位量曲線を導く。

$R_{soil} \sim s$  曲線上の最大変位点を除荷点(Unloading point)と呼ぶ。除荷点では速度  $v = 0$  であるため  $R_v = 0$  となり、除荷点では  $R_w = R_{soil}$  となる。すなわち除荷点に対応する  $R_{soil}$  は、スタナミック試験における静的抵抗成分の最大値  $R_{w(max)}$  と解釈される。 $R_{soil}$  が最大値  $R_{soil(max)}$  に達した時の速度を  $v^*$  とする。 $R_{soil(max)}$  と  $R_{w(max)}$  の差が  $R_v$  であるとして減衰定数  $C$  を次式により決定する。

$$C = \frac{R_{soil(max)} - R_{w(max)}}{v^*}$$

$$R_v(t) = C \cdot v(t)$$

$C$  : 地盤の粘性減衰定数, 前述の式より求める。

$v(t)$  : 計測変位の 1 階微分, または計測加速度の 1 階積分

$$R_w(t) = R_{soil}(t) - C \cdot v(t)$$

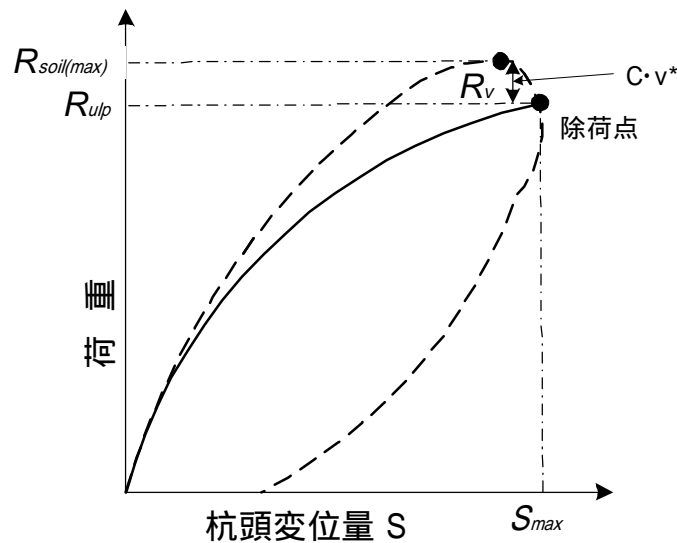


図 4-4 除荷点法による地盤の動的抵抗成分

#### 4.2.2 詳細解析

除荷点法は、簡便な解析法であり、静的な荷重～変位置関係を推定する方法として、充分実用性の高い結果が得られる。しかし、杭を質点とみなして杭頭の測定変位を杭全体の變位としていることなどから、長尺杭や自由長の長い杭に対して、剛体モデルとしての誤差が大きくなる危険がある。また、先端支持力と周面支持力を分離するような場合、詳細解析を実施する。

詳細解析は、衝撃載荷試験法で用いられている一次元波動理論による波形マッチング手法で行なう。モデルは、杭体を弾性体とし、地盤の周面抵抗と先端抵抗をバネ(静的抵抗力)とダッシュポット(粘性抵抗力)によるスミスモデルとする(図 4-5)。

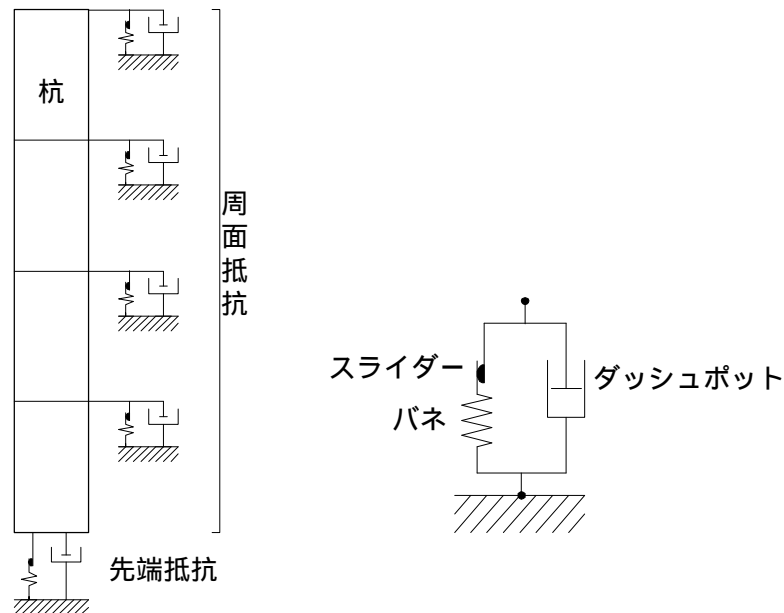


図 4-5 詳細解析に用いる杭体 - 地盤モデル

このモデルは、地盤と杭との境界での力の釣り合いを考えモデル化したものである。解析の手順は、以下のようにして行う(図 4-6 詳細解析の手順図参照)。

- 土質柱状図および土質試験の結果から地盤のパラメータ(バネ定数  $K$  , 最大抵抗応力  $\sigma_y$  , ダンピング係数  $C$  )を求める。
- パラメータをもとに時間軸上の杭頭変位曲線を計算する。
- 杭頭変位～時間軸曲線の計測値と計算値が一致するまで、パラメータを変化させて計算する。
- 計算値と測定値が一致したときの静的な地盤パラメータ(  $K$  ,  $\sigma_y$  )を用いて荷重伝達法により杭頭の静的な荷重～変位置曲線を計算する。

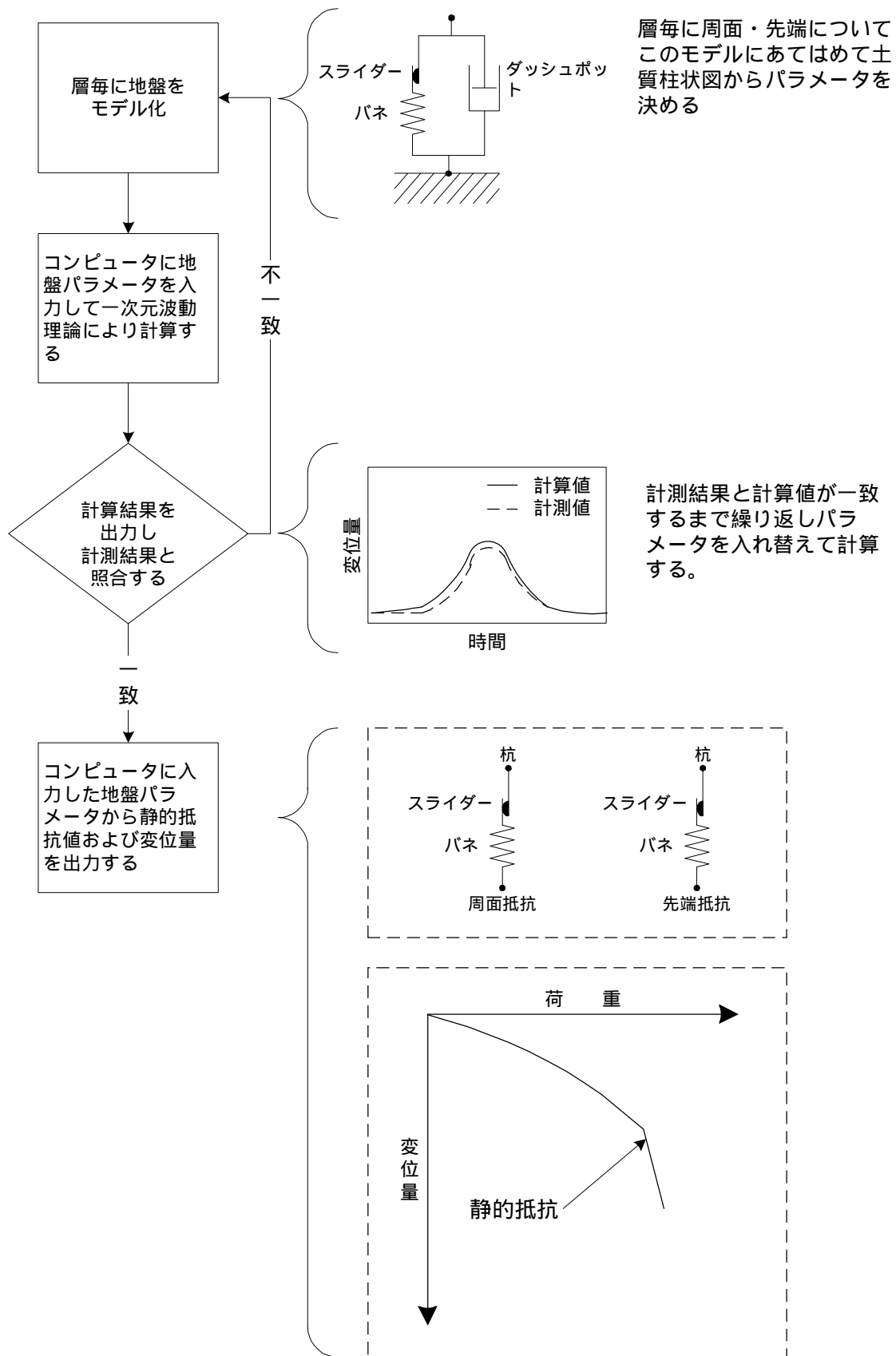


図 4-6 詳細解析の手順図