

## ハイブリッドナミック試験の載荷特性および試験結果の解釈

杭急速載荷試験	地盤試験所	国際会員	○宮坂 享明	地盤試験所	正会員	武田 力
ハイブリッドナミック試験	日本工業大学	国際会員	桑原 文夫	Pile Dynamics Inc	国際会員	Garland Likins
載荷特性	GRL Engineering Inc	国際会員	Frank Rausche	地盤試験所	正会員	大石 淳之
	地盤試験所	正会員	富岡 努	地盤試験所	正会員	小林 剛

### 1. はじめに

ハイブリッドナミック試験とは、近年開発された 50MN 級試験荷重にも対応できる軟クッション重錘落下方式による杭鉛直方向急速載荷試験システムである。一般に軟クッション重錘落下方式急速載荷試験の載荷荷重性状（以下載荷特性という）は使用する軟クッションの特性によって大きく支配されることが知られている。ハイブリッドナミック試験も例外ではなく、使用される軟クッションの特性により載荷荷重の時刻歴が矩形になっていることは一昨年<sup>1)</sup>の報文にて既に報告され、ハイブリッドナミック試験の特徴となっている。

本報文は一昨年報告済みのハイブリッドナミック試験について、この矩形載荷荷重の発生メカニズムに関する考察を加えて、また試験結果を再整理して静的載荷試験から得られた静的極限地盤抵抗－沈下関係を推定するための多サイクルによる最適試験方法を提案した。

### 2. ハイブリッドナミック試験

#### 2-1 落下フレーム及びクッション特性

図-1 に落下フレームを示す。重錘のリフトは鉛直ジャッキを、落下は水平ジャッキを使用する。図-2 にクッションの単体を示す。弾性体、メタルおよびエアセルのハイブリッド製品でハニカム積層構造となっている。クッション単体は適用する応力によって 3 タイプ (10 MPa, 12.5 MPa, 15 MPa) がある。クッション単体を使用して直列並列などの組立てにより、任意のばね定数を持つ軟クッションが作れるのが特長である。



図-1

#### 2-2 試験計画および試験方法

ハイブリッドナミック試験は前記のクッションを用いることにより、従来の衝撃載荷試験と急速載荷試験を含む任意の相対載荷時間を有する動的載荷試験の実施を可能とした。ハイブリッドナミック試験の試験計画は、杭地盤系を剛体として、杭長、伝播速度、相対載荷時間、試験荷重を決定し、軟クッションのばねを計算する。その後計算したばね定数を有するクッションを組み立てる。



図-2

あらゆる動的載荷試験は杭の打撃工法と同様に、試験杭の支持力に大きな影響を及ぼすため、試験（打撃）回数を必要最小限に抑える必要がある。そのためハイブリッドナミック試験方法としては、まず杭地盤系が弾性挙動を示す範囲内において 3 サイクル以内とし、初期荷重沈下剛性を調べる。その後、非線形領域においては 2 サイクル以内とし、極限支持力特性を調べる。合計で 5 サイクル以内の多サイクル試験を行っている。載荷試験中は圧縮および引張りひずみをもって安全管理をする。ハイブリッドナミック試験の計測項目は、ブリッジタイプひずみ計および圧電タイプ加速度計がそれぞれ 2 点ずつとし、残留沈下の測定が 1 点としている。時刻歴変位は原則として速度からの数値積分値を用いるが、積分値に対しては非接触型変位計をもって検証する。

### 3. 試験結果の解釈

#### 3-1 載荷特性

ハイブリッドナミック試験の典型的な載荷特性の例として、急速荷重の時刻歴を図-3 に示す。図-3 を見ると、初期段階の荷重の急激な上昇現象や、中期段階の比較的平坦な波形、およびその後の荷重の緩やかな降下現象など三つの段階に分けることが確認できる。まず初期段階においては、荷重が僅か 5 ms 程度で急上昇し、波動現象が卓越し、波形マツチングをしやすい一方、引張波も起こす。中期段階においては比較的安定した荷重が 30 ms 程度持続し、杭全長に圧縮応力を与え続けることで引張応力を抑える役割を果たす。その後荷重が 30 ms 程度かけて緩やかに降下し波動現象を最小限にしている。これらの総合効果によりハイブリッドナミック試験は大きなエネルギーを安全に試験杭に伝達し、安定した載荷試験を実現させたのである。

#### Loading Characteristics of Hybriddynamic Test and Interpretation of Test Results

MIYASAKA Takaaki<sup>1)</sup>; KUWABARA Fumio<sup>2)</sup>; RAUSCHE Frank<sup>3)</sup>; LIKINS Garland<sup>4)</sup>; TAKEDA Tsutomu<sup>1)</sup>; OISHI Junji<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jibanshikenjo Co., <sup>2)</sup>Nippon Institute of Technology, <sup>3)</sup>GRL Engineering Inc, <sup>4)</sup>Pile Dynamics Inc

### 3-2 静的極限地盤抵抗の推定

ハイブリッドナミック試験から静的極限地盤抵抗を推定する際、地盤抵抗を完全に励起（モビライズ）させる必要がある。完全励起されていれば従来の除荷点法に沿って処理することにより、静的極限地盤抵抗を推定することはできるが、それ以外の場合は波形マッチングにより解析する。その場合、波形マッチングにより得られる地盤抵抗は入力されたエネルギーに比例した励起地盤抵抗しか確認できないため、最終的な静的極限地盤抵抗をワイブル法や双曲線などにより推定する必要がある。

一般に杭周面抵抗を完全励起させるためには、充分大きな打撃エネルギーを与える必要がある。それにより大きな杭頭残留沈下が起きる。ASTMのドラフトによれば少なくとも  $D/30$  ( $D$ : 杭径) 以上を必要としている。実際地盤抵抗が完全励起されているかどうかについては急速荷重一沈下曲線の形から簡単に判定できる。図-4 にその例を示す。

ハイブリッドナミック試験から静的 P-S 曲線を推定するためには、下記のプロセスを提案する。

- ① 杭地盤系の弾性域における除荷点をプロットする。
- ② 完全励起した地盤極限抵抗を  $D/10$  の変位にプロットする。
- ③ ワイブル曲線式により静的 P-S 曲線を作成する。

上記の方法により作成した静的 P-S 曲線を図-5 に示す。図-5 の中、R は急速荷重 (F) に慣性力を補正した地盤抵抗を表す。この試験例では静的載荷試験で極限まで載荷した杭を用いてハイブリッドナミック試験を行ったことにより、初期剛性に若干の相異が見られるが、ほぼ妥当であることがわかる。

### 3-3 杭周面抵抗分布

波形マッチング解析法の利点は、杭頭静的地盤抵抗が得られることほか、杭体のインピーダンスや地盤特性がはっきりしている場合に限り、杭周面抵抗分布も得られることである。図-6 に静的押し込み試験及び CAPWAP による波形マッチングから得られた杭周面抵抗分布を示す。静的試験から得られた分布形状とほぼ一致することがわかる。経験上先端球根を築造する埋込み杭などのような杭モデルを正しく評価できない場合、波形のマッチングが非常に難しいこと、マッチングが可能であっても正しい杭周面抵抗分布が求められないことなどがいえる。

## 4. まとめ

本報文は近年開発されたハイブリッドナミック試験の試験装置や、試験方法、載荷特性、試験結果の解釈などについて述べた。まとめると下記のとおりである。

- ① ハイブリッドナミック試験は 50MN 級試験荷重にも対応できる軟クッション重錘落下方式による動的杭鉛直方向載荷試験方法である。
- ② ハイブリッドナミック試験は衝撃載荷試験と急速載荷試験を含む任意の相対載荷時間に対応できる載荷試験方法である。
- ③ 試験杭の支持力に影響を及ぼさないために杭地盤系が弾性挙動を示す範囲内において 3 サイクル以内、非線形領域において 2 サイクル以内、合計で 5 サイクル以内の多サイクル試験が望ましい。
- ④ 静的極限地盤抵抗を推定する際、地盤抵抗が完全に励起（モビライズ）させる必要がある。
- ⑤ 地盤抵抗が完全に励起できない場合は波形マッチングにより解析する必要がある。
- ⑥ 提案した静的 P-S 曲線プロセスはほぼ妥当であった。
- ⑦ 杭体のインピーダンスや地盤特性がはっきりしている場合に限り、波形マッチングにより杭周面抵抗分布も得られる。

### 【参考文献】

- 1) 宮坂享明, 桑原文夫, その他; 大沈下を伴う杭急速載荷試験結果の解釈, 第 4 2 回地盤工学研究発表会 pp1185-pp1186, 名古屋, 2007 年 7 月

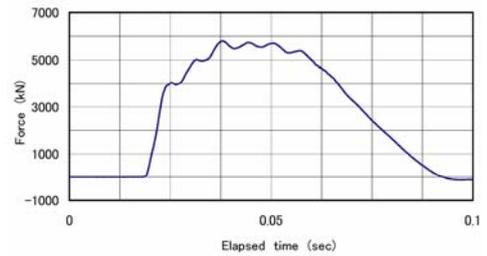


図-3 Hybrid dynamic Test の載荷特性

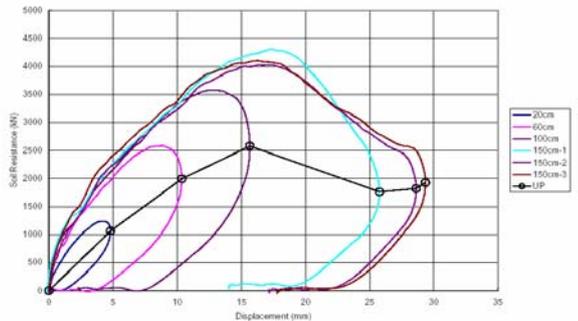


図-4 地盤抵抗の完全励起

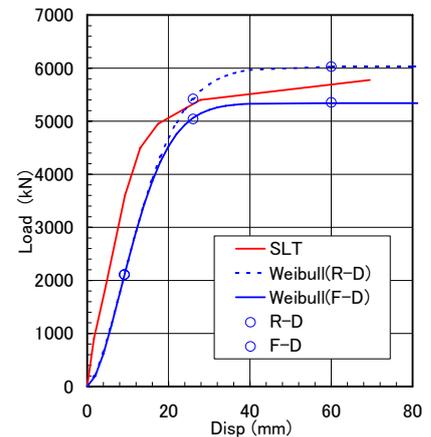


図-5 静的 P-S 曲線の推定

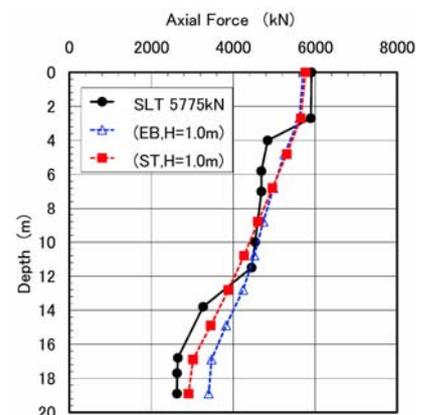


図-6 杭周面抵抗分布