

# PDM (Pile Driving Monitor)

## — 打撃杭変位の自動読取り装置 —

りんかい日産建設株式会社 新谷 聡 坂本 易隆  
株式会社シーズエンジニアリング 西村 真二

ハンマ打撃による杭打ち作業において、打ち止め時の変位量(貫入量およびリバウンド量)を非接触方式にて自動計測する技術「PDM(Pile Driving Monitor)ー打撃杭変位の自動読取り装置ー」を、国土交通省の新技术情報提供システム(NETIS: QSK-200002-A)に登録した。従来技術は杭直下での手動計測および手動読み取りで対応していたため、計測作業の安全性や計測精度に課題があった。「PDM」を活用することで、「作業員の安全性向上」や「施工性向上」「計測精度向上」といった効果が期待される。

### 1. はじめに

杭打ちの施工において、杭の支持力確認は大切な施工管理項目である。これまでの杭の支持力確認は、ハンマ打撃中の杭直下にて熟練作業員が変位(貫入量およびリバウンド量)を計測し、その後人力で計測値を読み取っていたため、計測作業の安全性や計測精度に課題があった。そこで、杭打ち作業において、非接触方式にて杭の変位量を自動計測できる「PDM(Pile Driving Monitor)ー打撃杭変位の自動読取り装置ー」(以後「PDM」と記載)の適用性を確認するため、現場実証を行った。

PDMは、赤外線レーザーにて杭に直接貼り付けた反射ステッカーを追跡することにより、杭の変位量を非接触方式にて自動的に読み取る装置である。PDMの活用により、杭打ち止め時の支持力確認において「作業員の安全性」や「施工性」「計測精度」の向上が期待された。りんかい日産建設株式会社と株式会社シーズエンジニアリングは、共同でPDMの現場実証を行い、これまでの計測方法により得られた値と比較し、その結果をとりまとめ、国土交通省の新技术情報提供シ

ステムに登録した(NETIS:QSK-200002-A)。本稿は、PDMの技術紹介と現場実証結果、PDMによる効果を報告するものである。

### 2. PDMの技術紹介

PDMは、ハンマ打撃による杭打ち作業において、非接触方式にて杭の変位量を自動計測できる装置である(写真ー1参照)。その計測原理は、PDMが発光する赤外線レーザーが、杭に直接貼り付けた反射ステッカーに反応し、杭の変位量やリバウンド量を計測するという仕組みになっている。PDMは、測量に用いるレベルをやや大きくした形状であり、PDMを三脚で据え付けるか、もしくは直接地面の上に置いて杭の変位を計測する(図ー1参照)。杭の変位量計測精度は、PDMの据え付け位置を杭より6~10mとすることで、±0.1mmと高精度な計測が可能となる。また、打撃杭の変位計測は、非常に短時間に起こる現象を捉えることになるため、PDMのデータサンプリングの周波数は最高4,000Hzとなっている。また、トリガーを適切に設定することにより、貫入量とリバウンド量の有効データを抽出することができる。PDMは、100V電源を必要とするが、バッテリー充電による稼働も可能



写真-1 PDM装置

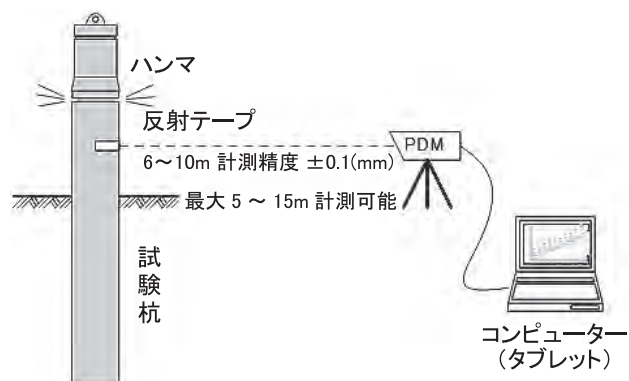


図-1 PDM計測の概念図

表-1 PDMの主な仕様と適用条件

仕様	PDMの形状寸法 (w×h×d)	172×200×342(mm)
	重量 (バッテリー含)	4 (kg)
	サンプリング周波数	4,000(Hz)
	変位計測精度	±0.1(mm) : 校正時に確認
	I P 分類	I P 6 5
適用条件	杭とPDMの距離	6~10(m)、最大5~15(m)
	PDM設置スペース	2×2 (m)
	計測条件	杭とPDM間が見通せること PDM設置点は不動点であり、ハンマ打撃による振動や波浪による影響を受けないこと

となっている。また、PDMの操作はタブレットにより行うが、PDMとタブレット間は、無線通信、もしくはUSBケーブルによる接続で操作可能となっている。PDMの主な仕様と適用条件を表-1に示す。

### 3. PDMの現場実証結果

ハンマ打撃による杭打ち作業において、PDMを用いた現場実証を行った。現場は、杭径800mm、杭長58.5~61.0mの鋼管杭を油圧ハンマIHC-S90にて最終打撃する岸壁築造の港湾工事であり(写真-2参照)、杭打ち止め時の変位計測により支持力を確認する施工管理を行っていた。現場実証では、従来方式の熟練作業員による手書き計測と、PDMによる計測を行い、それぞれの計測結果から杭の支持力を算出し(以後これを「杭の抵抗力」と称す)、その支持力が設計の



写真-2 ハンマ打撃による杭打ち作業

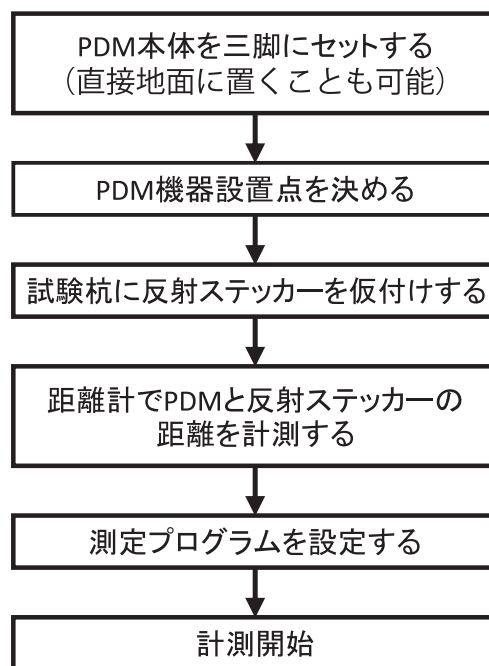


図-2 PDM計測方法

支持力(以後これを「杭の設計値」と称す)に達しているか確認した。なお、杭の抵抗力算出の管理式にはハイリー式を採用しており、管理式に用いる杭の変位量(貫入量とリバウンド量)は、杭の最終打撃前10回の平均値としていた。

#### 3-1.PDMを用いた変位量計測方法

PDMによる計測手順は、最初にPDMの設置位置を選定する。この際、PDMの設置点は不動であることが条件となるが、計測する杭とPDMの距離が計測の精度に影響すること、杭とPDMが見通せることに注意する。また、現場の天候と日射条件により、杭に貼り付ける反射ステッカーの必要枚数が異なるので、測定プログラム設定時に確認し、計測に備える。PDM計測の開始は、杭の打ち止め付近(杭の抵抗力

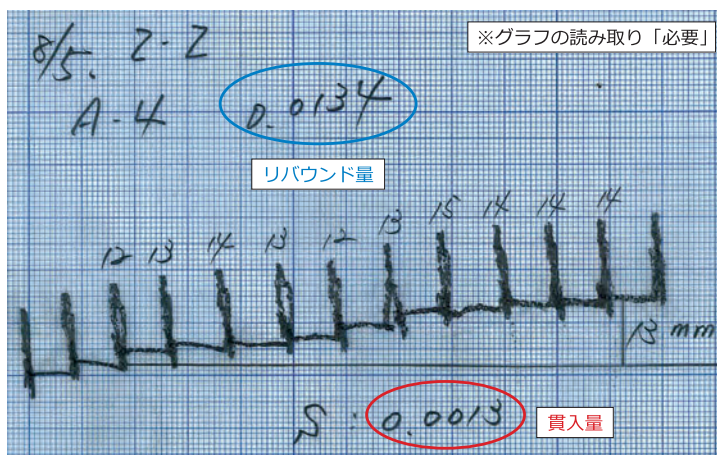


図-3 従来の熟練作業員による変位量の計測結果



を確認する高さ)で、杭に反射ステッカーを貼り付け、タブレットにて計測開始を操作する。計測データは、最終打撃前10回を含め多く取得することも可能であるが、反射ステッカーが計測範囲外とならないよう留意する。計測は熟練作業員に限定されることなく操作が容易である。PDMの計測方法を図-2に示す。

### 3-2. 従来の変位量計測方法

従来の変位量計測は、杭に貼り付けた紙上に熟練作業員が鉛筆を押しあて、打撃ごとに水平移動させながら杭の変位量を「手書き」にて直接記録していた。この方法においても、計測位置(変位量を直接記録する鉛筆の位置)が不動点となることが計測条件であるが、港湾工事においては作業船の揺れや、熟練作業員の個人差により、計測誤差が生じやすい状況となっている。さらに、杭に貼り付けた紙から変位量(貫入量とリバウンド量)を読み取るが、この際も読み取り誤差を生

じやすい状況となっている(図-3参照)。

### 3-3. 計測結果の比較

PDMによる変位量の計測結果は、取得したデータより最終打撃前10回をタブレットで指定すると、その変位量の作図シートと、打撃毎のリバウンド量と貫入量と、それら10回の平均値を集計した一覧表シートが作成される(図-4参照)。PDMによる計測結果シートの作成(計測値の読み取り)は、計測結果をタブレット内で自動的に集計するので、従来の方法のように読み取り誤差は生じない仕組みとなっている。

従来の計測方法によって得られた変位量(これを「従来の計測値」と称す)とPDMを用いた計測方法によって得られた変位量(これを「PDMの計測値」と称す)より、それぞれハイリー式を用いて杭の抵抗力を算出した結果の一例を表-2に示す。なお、杭の抵抗力算出に採用したハンマ打撃の対象回数は全て同じであり、ハイリー式に用いるハンマ係数やハンマエネルギーは同条件としている。

表-2より、貫入量に着目すると、従来の計測値とPDMの計測値は、それぞれ1.3mm、1.8mmとなり、同様にリバウンド量に着目すると、それぞれ13.4mm、15.1mmとなっており、どちらの値もPDMの計測値が従来の計測値よりやや大きな値となっているが、概ね同等の値であった。これは、他のデータにおいても同様の傾向を示しており、従来の計測が熟練作業員により杭に直接鉛筆を押しあてて変位を記録しているのに対し、PDMの計測は杭の変位に触れることなく高い周波数にてサンプリングしているという方法の違いから生じている差ではないかと考えられる。これにより、PDMの計測および計測結果シートの作成は、一定の計測精度にて、従来の計測と同程度の計測が可能と確認できた。さらに、従来の計測値から求められた杭の抵抗力と、PDMの計測値から求められた杭の抵

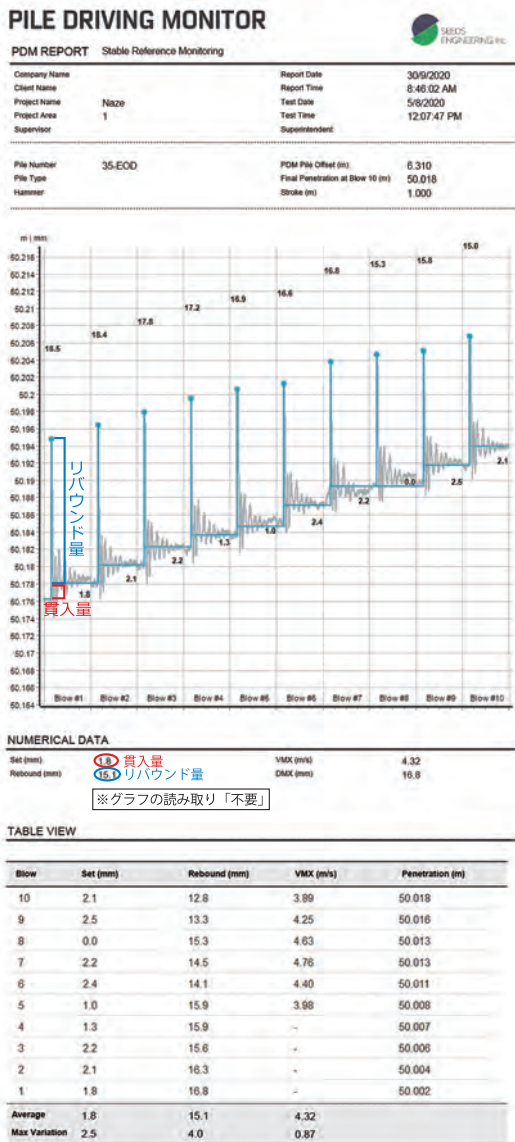


図-4 PDMによる変位量の計測結果シート

表-2 計測値と抵抗力の算出結果

	従来の計測値	PDMの計測値
貫入量(mm)	1.3	1.8
リバウンド量(mm)	13.4	15.1
杭の抵抗力(kN)	19,375	16,578
杭の設計値(kN)	5,991	5,991
判定	OK	OK



写真-3 従来の「手書き」計測状況

抗力は、それぞれ 19,375kN、16,578kN となり、どちらも杭の設計値を上回る値となった。

### 3-4. PDM による効果

PDM 計測による効果を、「作業員の安全性」「施工性」「計測精度」の観点から評価した。以後、着目した観点毎に現場実証の結果を報告する。

#### ① 作業員の安全性

従来の計測では、打ち止め時の変位計測を、熟練作業員による「手書き」計測で対応していた(写真-3 参照)。従来の計測は、ハンマ打撃による杭打ち作業の直下(もしくはその近傍)で計測作業を行うため、激しい騒音やハンマや杭頭部から予期せぬ破片落下などの可能性があり、作業員に重大な安全上のリスクを与える可能性があった。これに対して、PDM の計測では、「非接触方式」により遠隔にて自動計測するため、ハンマ打撃による杭打ち作業の直下へ作業員が立ち入ること無く、危険を回避することができた(写真-4 参照)。これにより、従来の計測に比べ PDM の計測は、作業員の安全性を飛躍的に向上させることとなった。なお、PDM の可視光レーザーは光学上安全な赤外線を使用している。

#### ② 施工性

従来の計測は、「熟練作業員」による手書き測定で対応していたため、計測可能な作業員に限られていた。これに対し PDM の計測は、変位量計測と計測後の計測結果シート作成を自動的に行うため、熟練作業員によらず「誰でも」対応できるようになった。これにより、PDM の計測は、従来の計測より施工性(作業性)を向上させることとなった。

#### ③ 計測精度

従来の計測は、熟練作業員による手書き計測と、計



写真-4 PDMによる「非接触」計測状況

測後の貫入量およびバウンド量の読み取り時の人的作業による「個人差」が計測精度に影響を及ぼす可能性があった。PDM の計測は、杭の変位計測および変位値の読み取りが自動化され、さらに計測のサンプリングが 4,000Hz と高周波数、かつ変位精度  $\pm 0.1\text{mm}$  であるため、「計測精度向上」を可能とした。

### 4. おわりに

杭打ちの施工において、大切な施工管理項目である杭の支持力確認に「PDM(Pile Driving Monitor) - 打撃杭変位の自動読取り装置 -」を活用して現場実証を行った。その結果、PDM の計測は、従来の計測と同程度の計測が可能であると確認できた。また、PDM の計測は、従来の計測と比較して「作業員の安全性」「施工性」「計測精度」を向上させるという効果を確認することができた。

今後は、PDM の計測を多く導入し、より有効なデータが蓄積されていくことを期待しつつ、引き続き杭打ち施工の安全性や施工性のさらなる向上に努めていきたいと考えている(写真-5 参照)。



写真-5 PDM(Pile Driving Monitor) - 打撃杭変位の自動読取り装置 - の活用状況