

# 報文 高い貫入力を有するバイプロマシンとその施工例

—伸縮型リーダー装着—

松崎 雄二\*

## 1. はじめに

当社は、山留め工事でオーガーセメントミルク工法にてH鋼杭打設を主とする施工会社である。平成18年2月に、日本ではじめてドイツのパウアー社より伸縮型リーダーを有する油圧可変式超高周波バイプロマシンRG16T(写真-1)を導入した。導入前は、日本の施工現場では受け入れられない面もあるのではと危惧する部分もあったが、導入してから約2年が経過し、施工実績は40件を越すまでになってきている。少しずつではあるがRG16Tの機械性能が理解され、適用現場が増えてきている。

このRG16Tの貫入力と施工速度の早さは、他の工法や建設機械を凌ぐものがある。本報文では、このRG16Tの概要と施工実績の中から読者の興味を引くと思われる施工事例を4例ご紹介したいと思う。

## 2. 導入経緯

従来の施工方法では、施工日数が延びても縮むことはほとんどなく、顧客のニーズに応えきれないことが多かった。このような状況下では他社との差別化が難しいことから、当社では新しく設備投資することが必要との判断に至った。

このため、日本にない建設機械を求めて海外のマーケットを調査し、その中で

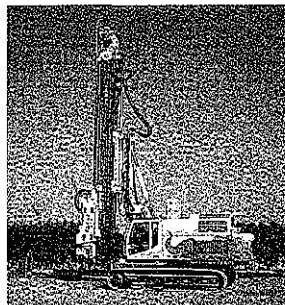


写真-1 RG16T

表-1 RG16T仕様

機械総重量	51t
マスト高	21.28m (最大) ~ 11.2m (最小)
作業半径	5.32m (最大) ~ 3.7m (最小)
最大パイル長	16m
マスト回転角度 (左/右)	100°/100°
マスト傾斜 (前方/後方/左右)	4°/10°/4°
クラウド力 (押し)	140/140kN
クラウド力 (引き)	160/200kN
エンジン出力	470kW
油圧メインポンプ	2 × 350l/min

興味を引かれるマシンを有していたパウアー社を訪問した。そして、多種に及ぶ建設機械を見学した結果、H鋼や鋼矢板を打設するRG16Tの導入に踏切った。

導入の理由としては、残土や濁水を出さずに施工できる点と施工スピードが速いことで、日本の建設現場に入ることにより、工期短縮と環境汚染の防止を図ることができると考えたためである。

## 3. RG16Tの概要

RG16Tの仕様を(表-1)に示すが、その特徴としては以下のような点をあげることができる。

- ・エンジン排気ガスはヨーロッパのステージⅢに適合。
- ・作動油はエコマークを取得した生分解性作動油を使用。
- ・伸縮型リーダーの自動垂直制御により、これまでにない高い精度が得られる。
- ・移動時はリーダーを縮めることにより機械の重心を低くさせ、走行時の安定度を増している。
- ・B-トロニックシステム(写真-2)により、エンジン・電気システム・油圧システム・アタッチメントの状況がモニターで管理できる。

## 4. バイブレーター (MR100V) について

RG16Tに装着して使用されるバイブレーターMR100V(写真-3)の仕様を表-2に示すが、大きなパワーと貫入力を有していることはいうまでもなく、遠心力を0か

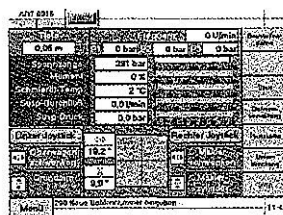


写真-2 B-トロニックシステム

表-2 MR100V仕様

油圧パワー	370kW
最大遠心力	1,000kN
最大回転数	2,400rpm
最大パイル長	16m
偏心モーメント	0~16kgm
総重量	4.2t

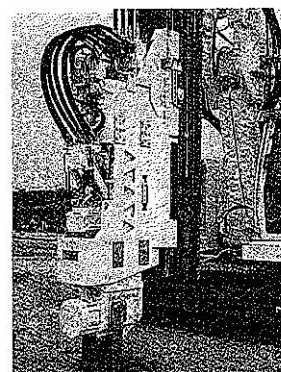


写真-3 MR100V

\*MATSUZAKI Yuzi ㈱ヤクシン 関東事業本部 | 川崎市高津区宇奈根684-1

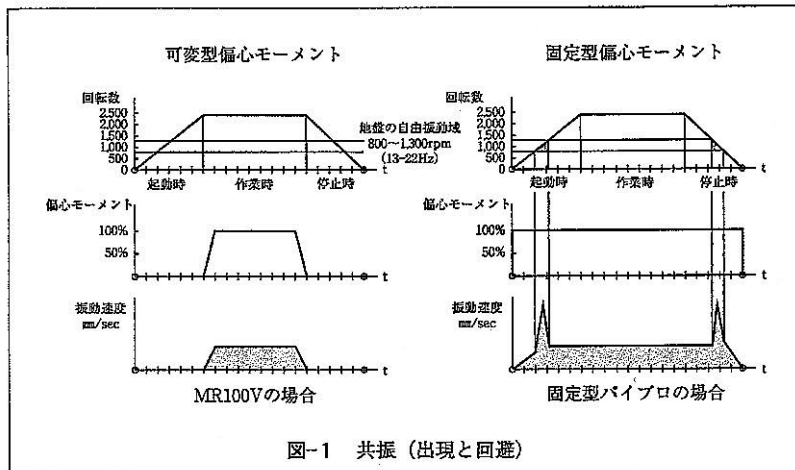


図-1 共振（出現と回避）

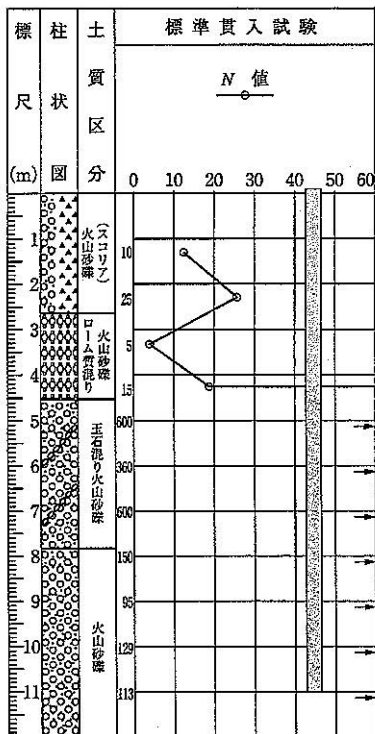


図-2 A現場の柱状図

ら50kNごとに細かく上げることができるため、地層に合わせた施工が容易にできること、また振動開始および停止時に発生する有害な共振を避け、瞬時に高周波領域に移行することができる設計となっている（図-1参照）。

また、写真-4に示されるように、パイプレータのリーダーへの取付けはシリンダーを使用した構造となっており、運転席のボタン1つで操作できる。

## 5. 施工例

ここでは、RG16Tを適用した現場の中から、特に多様な土質における例を以下にご紹介したいと思う。

### 5.1 A現場の例

当工事は建築の山留め用親杭打設工事であり、下記の仕様の杭が打設された。

- ・杭 種：H-400×400

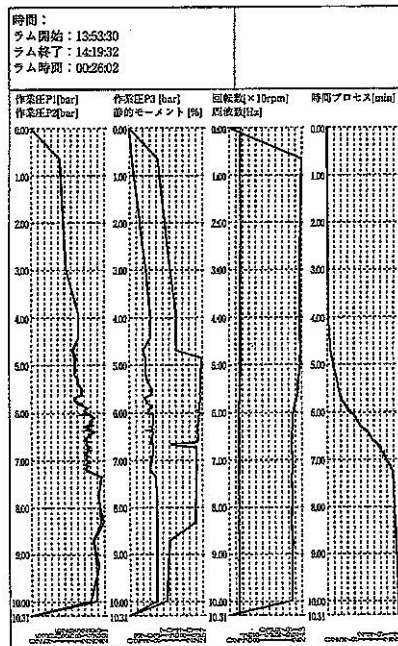


図-3 A現場の打設データ



写真-4 スレージ内シリンダー

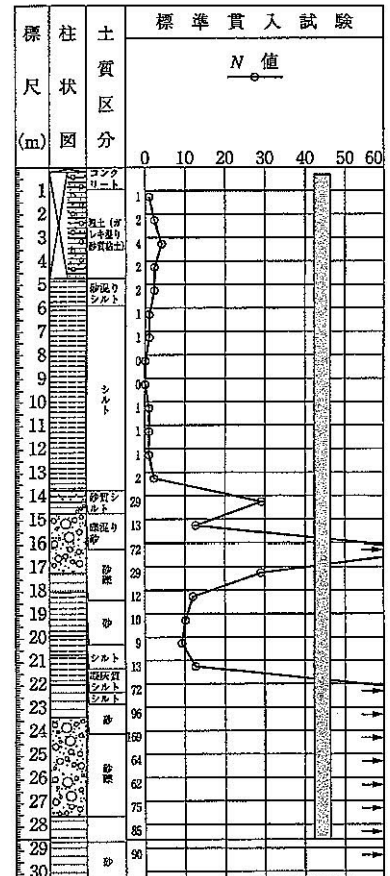


図-4 B現場の柱状図

- ・杭 長：L=11.0m&8.5m
- ・施工本数：118本

当現場は、図-2の土質柱状図に示されるように、これまでに施工した現場の中でも非常に硬質な地盤であった。GL-5m付近から出現する玉石混りの火山砂礫層は1m貫入するのに約20分かかったが、その部分を通過すると比較的容易に貫入することができた。なお、当現場におけるH鋼打設実績の1例を図-3に示す。

### 5.2 B現場の例

当工事は建築の仕切杭、支持杭および中間杭の打設工事であり、図-4に示す地盤中に下記の仕様の杭が打設された。

- ・杭 種：H-400×400, H-350×350
- ・杭 長：L=28.0m~29.0m
- ・施工本数：151本



写真-5 B現場の施工風景

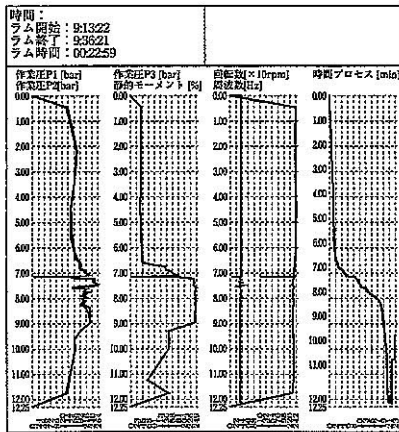


図-5 B現場の打設データ

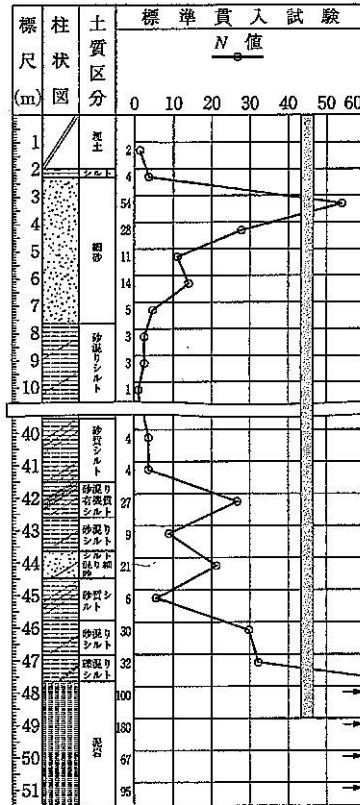


図-6 C現場の柱状図

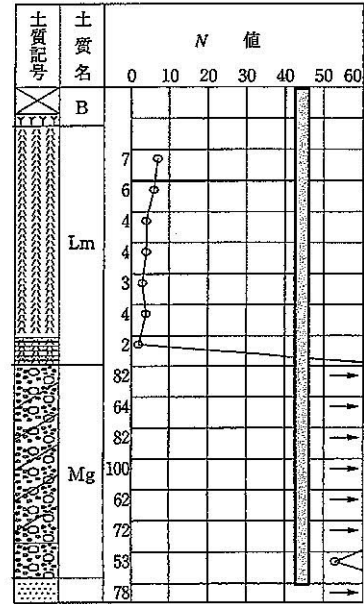


図-7 D現場の柱状図



写真-6 C現場の周辺風景

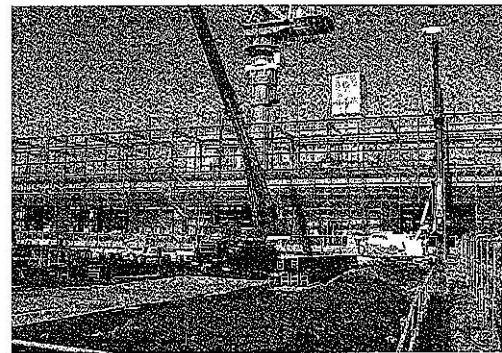


写真-7 D現場の施工風景

当工事は、建物地下解体中の現場での施工（写真-5）であり、施工スペースや他の解体関係のマシンとの作業調整などの面でも難しい現場であった。なお、打設されるH鋼はすべてボルトジョイントを1ヵ所所有しているが、H鋼1本当たりの打設時間はジョイント作業を含めて約60分程度であった。ジョイント後の打設実績の1例を図-5に示す。H-400×400、L=29mの重量は約5tにもなるため、パイプレタにかなりの負担がかかる予想されたが、実際にはパイプレタにかかる負担は少なく、問題なく施工は完了した。また、GL-24mから出現する砂礫層は、-25mまでは礫主体であったが、-25m以深は砂が主体となり、貫入に大きな支障とはならなかった。

### 5.3 C現場の例

当工事は建築の支持杭打設工事であり、図-6に示す地盤中に下記の仕様の杭が打設された。なお、深度が

49.0mと深いことから、図中ではGL-10m～-40m間の軟弱～軟らかいシルト層の部分を省略した。

- ・杭種：H-300×300
- ・杭長：L=49.0m
- ・施工本数：4本

当工事は敷地が15m×30mと狭く、隣家が建ち並んでいる（写真-6参照）。打設される杭はRG16Tで施工できるように13m+（12m×3本）の4本継ぎとし、ジョイントはボルト継手とした。なお、施工は2日間で無事完了した。

### 5.4 D現場の例

当工事は建築の山留め杭打設工事であり、図-7に示す地盤中に下記の仕様の杭が打設された。なお、山留め付近は鉄道高架（写真-7）が近接していることから、山留め杭の撓みを少なくするために大型のI型钢が使用



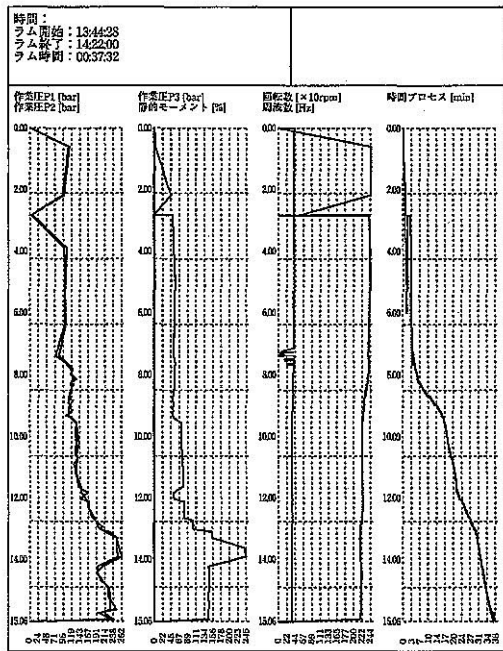


図-8 D現場の打設データ

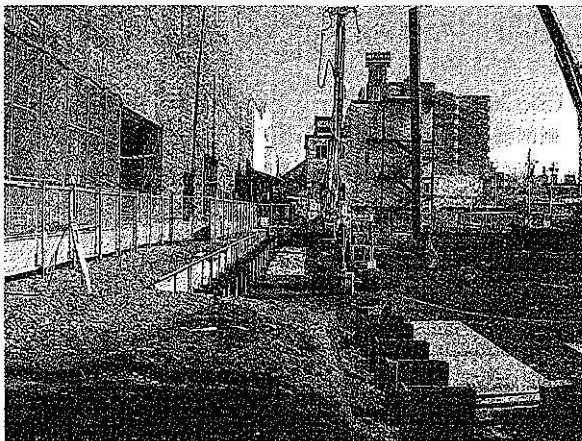


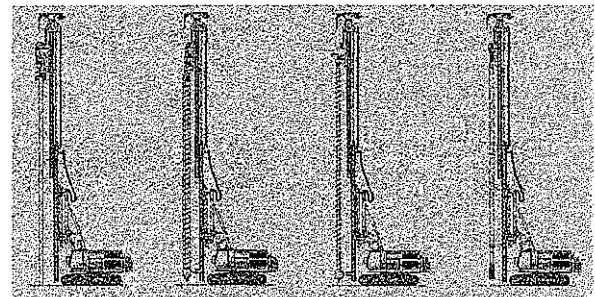
写真-8 D現場の施工風景

された。

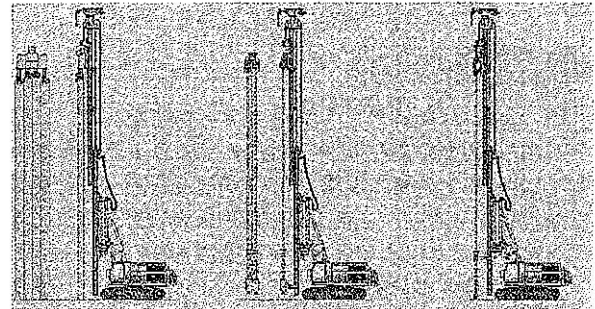
- ・杭 種: I-700×300
- ・杭 長:  $L=16.0\text{m}$
- ・施工本数: 55本

I-700×300は断面積が大きく、礫層に対しての貫入に不安があったが、予想に反して貫入はスムーズに行なえた。振動を軽減するため無理な圧入を行なわないように対策を行なった。I型鋼打設実績の1例を図-8に示す。

オーガセメントミルク工法では単純計算でも1本当り $10\text{m}^3 \times 55\text{本} = 550\text{m}^3$ もの杭残土が発生する。RG16Tの施工により残土の発生もなく(写真-8)、工期短縮につ



(パイブレータ) (ROW工法) (オーガ削孔) (CSM工法)



(シートパイルプレス) (SMW) (地盤改良)

図-9 アプリケーション

ながった。また、残土処分が発生するコストも削減することができた。

## 6. RG16Tのアプリケーション

RG16Tは、油圧回路システムと電気回路システムの組み合わせにより、多岐にわたるアタッチメントの装着が可能となっている。その応用例としては、図-9に示すように油圧パイブレータ、オーガ、カッターソイルミキシング(CSM)、SMW、ディープパイプロ、油圧ハンマー、シートパイルプレスなどがある。

今後は、パイブレータのみならず、これらのアタッチメントを使用した工事にも当マシンの適用を図って行きたいと考えている。

## 7. おわりに

振動を起こす施工方法は現場では敬遠されがちである。しかしながら、適用を許す環境下では、工期・工費などの面で優れた工法と考えている。RG16Tを都心や民家に近接した場所で適用できたのは、ひとえに施工現場の方々のご理解とご協力の賜物だと深く感謝しています。また、地方での施工においてご協力をいただいた方々にも深く感謝致します。

今後も、施工現場の工期・工費削減に少しでも貢献できるように努力したいと考えています。

## バイプロハンマ工法による H 鋼杭打設時の支持層確認手法に関する研究

バイプロハンマ H 鋼杭 支持層確認

日本大学生産工学部 正会員 ○下村修一  
丸藤シートパイル㈱ 非会員 中居正樹 同 斎藤由浩  
藤友㈱ 非会員 佐藤安生

### 1. はじめに

著者らは従来のバイプロハンマ工法に比べて起振力を高めたバイプロハンマを用いて構台などに使用する H 鋼杭の打設を行っており、施工時間の大幅な短縮を実現している。杭の施工品質を確保するには支持層への確実な根入れが重要であり、一般のバイプロハンマ工法による杭施工時の打止め管理では、杭の貫入速度やバイプロハンマのモーターの出力変化、動的支持力管理式などが用いられている<sup>1)</sup>。一方、埋込み杭などの他の杭工法では、施工時の負荷電流値を用いた積算抵抗値<sup>2)</sup>や回転トルクと掘削速度を用いた掘削抵抗値<sup>3)</sup>などを深度方向に連続的に求めて支持層を確認する手法がある。

本工法は文献<sup>2)</sup>と同様の施工管理システムを施工機械に搭載しており、施工時に偏心質量の回転周波数や杭の貫入速度などを連続的に計測している。そこで本報告ではこれらのデータを活用した新たな支持層確認指標の提案と現場実測データによる提案指標の検証を行った結果を報告する。

### 2. 施工機械の概要

写真 1 に施工機械の全景を示す。バイプロハンマの最大偏心モーメントは 160N・m、最高周波数は 40Hz である。また、本施工機械はバイプロハンマによる振動に加えてテレスコピックシリンダーとリフティングシリンダーにより最大 140kN の押込み力を加えることが可能である。

### 3. 支持層確認指標

#### 3.1 各データと N 値の比較

地盤は硬くなるにつれて貫入速度は低下し、バイプロハンマの油圧は上昇する。図 1 に土質、N 値、作動圧、打設速度の深度分布の一例を示す。深度 15m 付近以深を見ると、N 値は大きく増減を繰り返しているのに対し、作動圧(バイプロ)は一度増加しているが、その前後の増減は N 値に比べて変化が明瞭ではない。打設速度は、12~16m 間で増減が見られず、N 値の変動に対して明確な相関は認められない。両指標はある程度は地盤の硬さ分布に対応しているが、地盤の硬さとの相関性について言及するには両指標を総合して評価することが必要であると考えられる。

#### 3.2 支持層確認指標の提案

標準貫入試験では 63.5kg のモンケン を 76±1cm の高さから落下させ、サンプラーが 30cm 貫入するまでの打撃回数を N 値と定義している。一方、バイプロハンマ工法においても繰返しの打撃により、地盤を緩めて杭を貫入させており、加えた打撃力の累積値は N 値と相関性が高い指標となり得ると考えられる。

また、本施工機械の施工管理システムでは、偏心質量の偏心量、回転周波数や貫入速度などを連続的に計測している。これらのデータを用いることで地盤への打撃力とその打撃回数を連続的に算出することが可能である。そこで、支持層確認指標として次式に示すように起振力を基準となる杭の打設深度間隔で累積して 1cm あたりに換算した累積打撃力を提案する。

$$E_V = \sum_{i=1}^N F_i / d \quad (1)$$

ここに、

$E_V$ : 累積打撃力 (N/cm)

$F_i$ :  $i$  回目の打撃の起振力 (N)

$N$ : 基準打設深度間隔あたりの総打撃回数

$d$ : 基準打設深度間隔 (cm)

標準貫入試験では一定の打撃エネルギーを地盤に加えている。本工法の場合は起振力を随時変化させることが可能であるため、提案指標では打撃回数ではなく、各打撃時の起振力も考慮した累積打撃力とした。同一の施工長さにおいて累積打撃力が大きいほど地盤は硬いことを表すことになる。

#### 3.3 現場データを用いた検証

表 1 に累積打撃力の検証に用いた現場データの一覧を示す。検証は 4 サイトを対象にし、各サイトで実施された標準貫入試験結果とその近傍での施工結果から得られた基準



写真 1 施工機械の全景

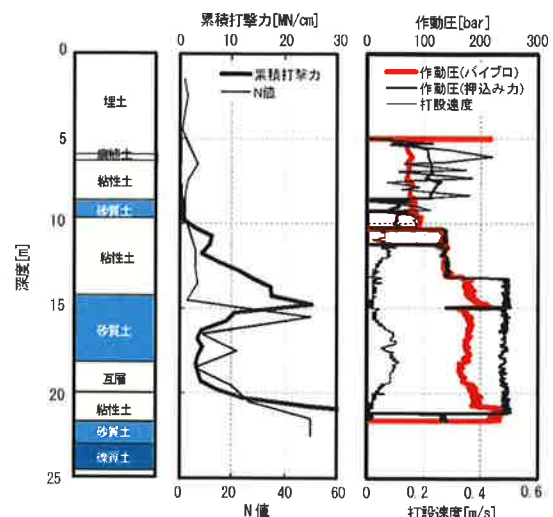


図 1 累積打撃力、作動圧、打設速度と N 値の比較 (A サイト)

打設深度間隔 50cm 毎の累積打撃力の比較により行った。

図 1~4 に各サイトの土質柱状図、N 値および累積打撃力の深度分布を示す。図 1 の A サイトは、20m 付近を支持層とする互層地盤で、15m 付近にも硬質層が分布している。累積打撃力は、15m 付近で大きく増加し、一旦減少した後、再び 20m 付近で増加が見られており、N 値の分布と概ね相関が良いことが確認できる。

図 2 の B サイトは、深度 20~40m 付近に硬質粘性土層が堆積し、40m を越えた付近の砂質土層を支持層とする L 型地盤である。累積打撃力は、20~30m の硬い粘性土でやや大きくなっているものの、それ以外は N 値と非常に近い分布が確認できる。

図 3 の C サイトは、7m 付近から砂質土層、礫質土層が続き、A、B サイトと比べると比較的浅い層を支持層としている。C サイトでは、全体的に N 値の分布と累積打撃力の分布が近い形状を示している。また、図 3 には近傍の二つのデータを併記しているが、両者は概ね調和的であり、累積打撃力は再現性の高い指標であることが確認できる。

図 4 の D サイトは表層がローム、粘土で深さ 14m 付近の細砂層を支持層とする B サイトと類似した地盤である。N 値と累積打撃力の分布形状は B サイトと同様に非常に良い対応を示していることが分かる。

以上より、L 型地盤や短尺杭だけではなく、中間に硬質層が分布する地盤や長尺杭、硬質粘性土層が堆積する地盤においても(1)式で定義した累積打撃力は N 値と相関性が高い指標であることが確認された。

図 5 に B サイトの N 値と累積打撃力の関係を砂質土と粘性土に分けて示す。N 値と累積打撃力の関係は砂質土と粘性土に分けることである程度の相関が認められる。また、粘性土は砂質土に比べて小さい N 値でも累積打撃力が大きくなる事が分かる。この傾向は他のサイトにおいても同様である。

#### 4. おわりに

本報告では従来工法よりも起振力が大きい施工機械を用いて施工する H 鋼杭の新たな支持層確認手法について提案し、限られた地盤条件ではあるが本手法は現場実測データと良い対応を示すことを確認した。今後はさらに現場実測データによる検証を増やすとともに、鉛直支持力との相関性について検討を進める予定である。

#### 【参考文献】

- 1) パイプロハンマ工法技術研究協会:パイプロハンマ設計施工便覧, pp.82-94, 2010.1
- 2) 多田ら:埋込み杭工法の施工管理手法の研究(その3),第41回地盤工学研究発表会, pp.1533-1534, 2006.7
- 3) 石井ら:無排土型場所打ちコンクリート杭の開発,日本建築学会技術報告集, Vol.20, No.44, pp.79-84, 2014.2

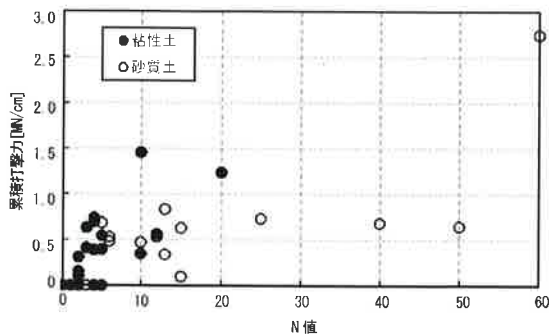


図 5 N 値~累積打撃力 (B サイト)

表 1 検証サイト一覧

サイト	地盤	杭打設長(m)	杭サイズ
A	互層	17	H-400
B	粘性土	42	
C	砂質土	13	
D	粘性土	14	

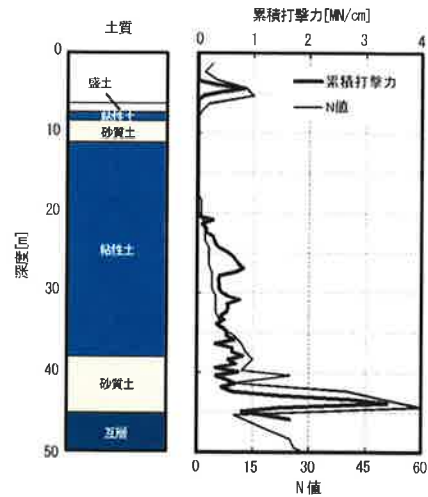


図 2 N 値, 累積打撃力の深度分布 (B サイト)

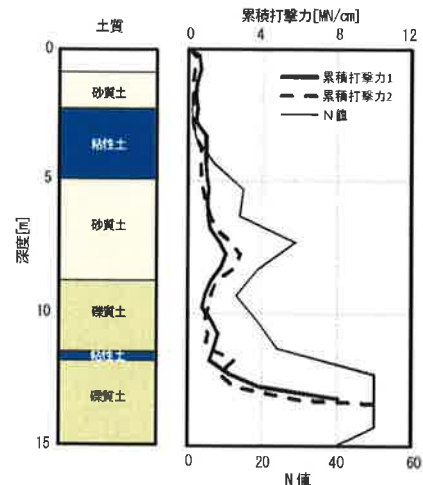


図 3 N 値, 累積打撃力の深度分布 (C サイト)

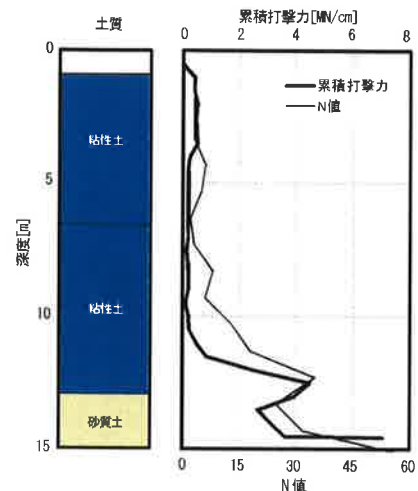


図 4 N 値, 累積打撃力の深度分布 (D サイト)