

DTH 杭掘削機械による支持層評価システムの開発

杭基礎 強制振動 支持層

株式会社 ケー・エフ・シー 国際会員 ○渡邊 直人
 株式会社 ケー・エフ・シー 阿波 宏司
 石川工業高等専門学校 国際会員 新保 泰輝
 一般財団法人 先端建設技術センター 山本 拓治

1. はじめに

杭先端が支持層に未到達の場合、設計支持力が得られず、構造物の安定が確保できない。また、支持層に過到達の場合、施工ロスが大きくなり工程に影響する。そのため、精度よく迅速に、支持杭の支持層管理（打止め管理）を行うことができる技術が求められている。杭先端支持力に関する研究は多く行われているものの、鋼管杭先端が基盤に到達したかどうかを削孔中に、リアルタイムに評価する定量評価技術はほとんど存在しないのが現状である。特にダウンザホールハンマー（以下、DTH）を用いた空気圧駆動の打撃系掘削装置は、油圧駆動掘削装置と異なり、ダイレクトに掘削と連動したパラメータとなる油圧が測定できないので、掘削の主体をなす打撃掘削エネルギーが測定できない。そのため、現在でも、掘削時に排出される掘削ブリの目視確認、掘削経過時間の計測等の定性的あるいは一律とは言えないオペレーターの運転操作による掘進速度等、定量的地盤状況の把握につながらないデータに頼る他はなく、支持層到達を定量的に評価できていない。以上の状況を踏まえ、筆者らは既存の掘削機械に各種センサを搭載し、機械データを分析することで、支持層を含め地盤状況をリアルタイムに評価できる装置や評価手法を開発することが重要と考えた。

2. システムの概要

過酷な現場環境下や高振動の機械でも、安定的にデータを取得でき、かつ、安価で汎用的なシステムを構築する必要がある。図-1 に掘削機とセンサの取付け状況を示す。掘削機の回転圧力、フィード圧力を測定する油圧センサ、エアコンプレッサーの圧力を測定するセンサをつけるとともに、掘削速度や掘削深度を測定するワイヤーエンコーダー（深度センサ）、回転数を測定するセンサ、機械振動を取得するための加速度センサを取り付けた。

また、記録装置としてのデータロガーとリアルタイムの監視が可能な無線データ送受信機、また、別の場所でセンサ制御可能なゲートウェイ、データ蓄積のためのクラウドサーバーを備えている。加速度計は、米国で開発された高振動にも強い 3 成分の小型無線式加速度センサである(写真-1)。

3. 解析モデルと打撃掘削体積比エネルギー

本研究では、DTH の挙動を図-2 のように地盤とハンマービットを一質点系のバネとダッシュポットで構成されたモデルと仮定している。すなわち、ハンマービットが地盤に衝撃力を与え、その反力によってハンマービットが反射する挙動を強制振動現象と捉えて解析している。ハイスピードカメラを使用して、ハンマー打撃数を求めたところ、実測は秒間 18 回であった。

また、表-1 に示すように、Hyper81Robit 社ハンマーカタログ²⁾では、定格でコンプレッサー圧力 1.0MPa~1.3MPa において、打撃数 1019~1177BPM(17~20 回/秒)ということが分かっている。加速度センサから STFT を用いて算出した値とほぼ同じで、打撃数はコンプレッサー圧力と比較検証すれば真値に近似されることは容易に推測できる。

打撃エネルギーは DTH システムの運動エネルギーである。

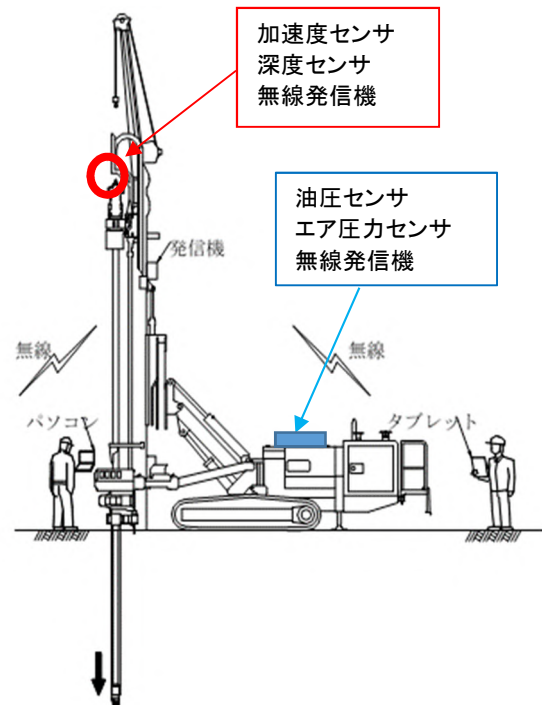


図-1 システムの概要



写真-1 3成分小型無線式加速度センサ

Development of Support Layer Evaluation System Using DTH
 Pile Drilling Machine

NAOTO Watanabe(KFC LTD.)
 HIROSHI Awa(KFC LTD.)
 TAIKI Shimbo(NIT,Ishikawa College)
 TAKUJI Yamamoto(Adv.Construction Technology Center)

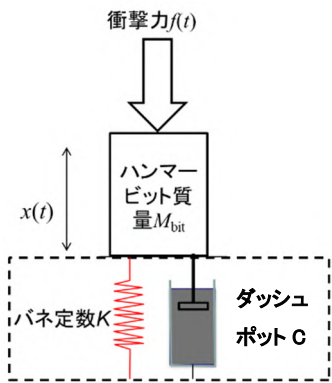


図-2 解析モデル

打撃掘削体積比エネルギーは、以下の式で評価した。³⁾

$$S_E = \frac{E_i \times bpm}{A_H \times P_R}$$

S_E : 掘削体積比エネルギー(J/cm³) E_i : ピストン打撃によって掘削機で発生した打撃エネルギー(J)

bpm : 打撃数(blow/min) P_R : 掘進速度(cm/min) A_H : 孔断面積(cm²)

表-1 Hammer Frequency²⁾

PRESSURE		BLOWS PER MINUTE
(in PSI)	(Mpa)	(BPM)
100	0.689	832
125	0.861	931
150	1.034	1019
175	1.206	1101
200	1.378	1177
225	1.55	1249
250	1.723	1316
275	1.895	1380
300	2.067	1442

4. 現場適用結果

本手法の妥当性を検証するために、事前に実施された調査ボーリング結果とその近傍での削孔結果を比較した。図-3は、削孔深度ごとの土質柱状、N値、掘削体積比エネルギー、掘進速度、エアコンプレッサー圧力のデータである。

図-3より、礫の存在、含有率の差が認められる。深度3～6m付近で玉石が混入しエネルギーは高くなる。それ以深では、打撃掘削体積比エネルギーは徐々に低下し11～13mの砂で、最小値となる。それ以深の傾向はN値と同様な変化が認められるがエネルギー値は高い。これは、局所的な玉石および礫含有率の差と思われる。深度22m付近では、N値どおり最大値となり、安定的に打撃掘削体積比エネルギーも大きくなっている。呼応して深度14m以深では掘進速度も低下している。これらから、DTH杭掘削機械による支持層評価システムの有効性が確認できたと考えられる。

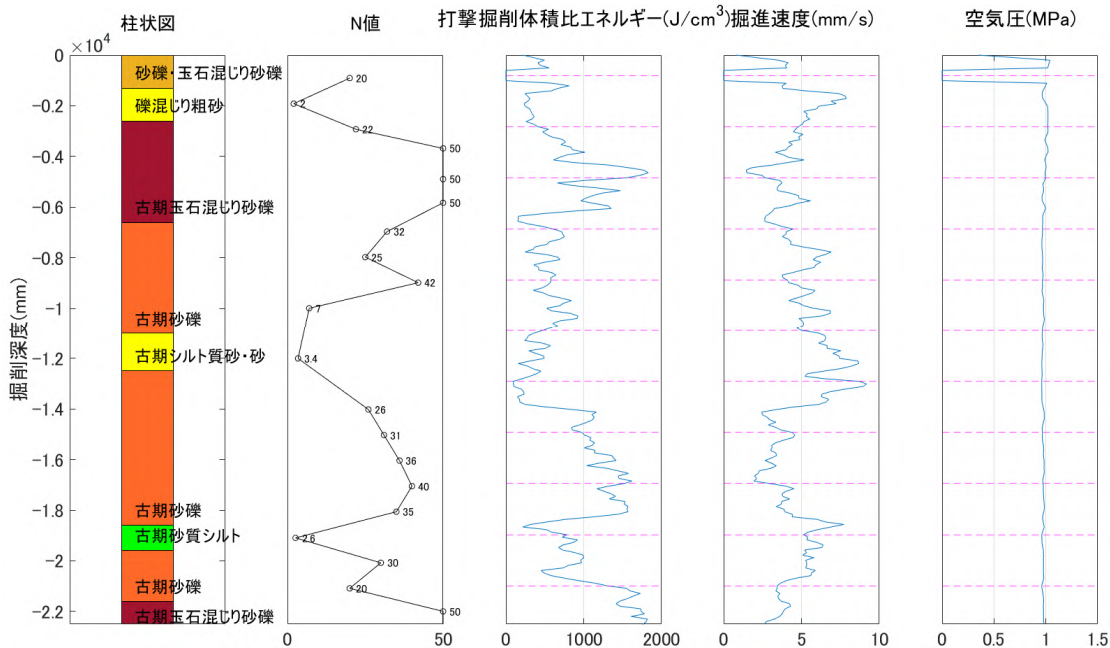


図-3 測定結果例

5. おわりに

DTH杭掘削機械による支持層評価システムの開発の第一歩として、各種センサを選定し、施工試験を行った。

その結果、DTH杭掘削機械による支持層および地盤評価システムの有効性が確認できた。今後は、掘削時の加速度データを収集し、応答加速度で、地盤の剛性を評価する手法の開発を進めていくとともに、掘削速度等機械データ、掘削ズリを基にAIを活用してN値や変形係数等の地盤定数を深度毎にリアルタイムに求めることにより、支持層確認が評価できる方法についても検討していきたい。

参考文献

- 1) 坪内悠馬ら：DTHの応答加速度波形を利用した地盤の剛性評価手法の開発，令和4年度土木学会学術講演会,Ⅲ-392
- 2) Hyper81 DTH HAMMER,Robit
- 3) 松井 保 ら：トンネル技術者のための地盤調査と地山評価,鹿島出版会