

Ⅲ-470

波動理論を用いた振動式杭打機の打撃解析

清水建設(株) ○正会員 宮川 昌宏
 清水建設(株) 正会員 別所 友宏
 清水建設(株) 正会員 竹中 幹

1. はじめに

波動理論を用いた杭の打込み性の検討は、ディーゼルハンマや油圧ハンマなどについて多く実施されており、その有効性は各方面で認められている。しかし、振動式杭打機（パイロハンマ）への適用については、国外での発表を除けばほとんどないのが現状である。

現在、振動式杭打機を用いた杭の打設および引抜きで、振動による地盤抵抗の低減という観点から施工機械の選定が行われている。しかし、この検討方式では打込み時の地盤抵抗と杭打ち機能力の比較はできるが、杭体発生応力や杭先端変位の計算ができないほか、実際の打設時に計測を行っても、それらから地盤抵抗を推定することはむずかしい。

本報告は、波動理論の振動式杭打機への適用性について、一考察を行うものである。

2. 従来の貫入計算と波動理論

従来の貫入計算は、土の静的な極限支持力をもとに動的な地盤抵抗を求め、以下の2つの関係式から貫入検討を行って、仕事量から貫入速度を計算するものである。¹⁾

①動摩擦抵抗（ T_v ）＜起振力（ P ）

②動先端抵抗（ R_v ）＜振動荷重（ W ）

また、波動理論は断面積 A 、弾性係数 E 、密度 ρ の杭において、荷重 F を作用させた時の運動方程式(1)および(2)からは、

$$-\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} dx = \{\rho \cdot A \cdot dx\} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad \cdots (1)$$

$$F = -E \cdot A \cdot \epsilon = -EA \frac{\partial u}{\partial x} \quad \cdots (2)$$

伝搬速度を c とすると、(3)式のようにになる。

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad \cdots (3)$$

これが1次元の波動方程式であり、これをもとに実際には図-1に示す地盤、杭、杭打機のモデルで計算を行い、貫入速度、応力の算出する。

杭打機によって発生する外力 F は、振動体の重量

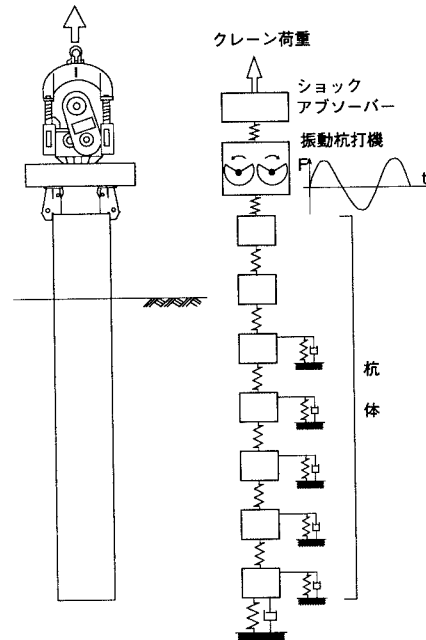


図-1 計算モデル

表-1 鋼管杭・杭打機仕様

鋼管杭	杭 径	φ 1000 (mm)
	杭 長	21.0根入れ19.0 (m)
	肉 厚	9.0(mm)
	ヤング係数	2.1E+10 (N/m ²)
杭打機	偏心モーメント	50 (kg・m)
	最大回転数	26 (Hz)
	振動重量	4.5 (t)

表-2 土質条件

土層	土 質	層厚(m)	N値	粘着力 (KPa)
1	SILT	2.9	10	5.0
2	CLAY	6.1	20	10.0
3	CLAY	1.0	27	13.5
4	CLAY	5.9	22	11.0
5	CLAY	2.1	35	17.5

を m 、偏心距離を r 、回転数を f とすると、 $F_v = m \cdot r \cdot (2\pi \cdot f)^2 \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$ となり、ある貫入深で数周期分の計算をし、その平均値をその深さでの結果とする。

3. 検討概要

具体的には、振動式杭打機による鋼管杭打設について、実測された貫入速度と従来の貫入計算結果、波動理論を用いた計算結果を比較する。

使用した鋼管杭および杭打機の諸元を表-1に、土質条件を表-2に示す。

振動式杭打機の打撃解析では、非常に周期の短い荷重を繰返して地盤に与えるため、打撃工法（ディーゼルハンマ、油圧ハンマ）での動的な土質定数をそのまま使用することは難しい。そこで、従来の計算方法で使用している低減係数を地盤のセットアップ率として使用し計算を行った。従来の計算方法での低減係数は、周面摩擦については(4)式を、先端抵抗については(5)式を使用した。

$\mu 1$ ：動摩擦低減係数

$$\mu 1 = 0.13 + 0.87 \cdot e^{(-0.52 \cdot \frac{P}{W})} \quad \dots (4)$$

P ：パイプロハンマの起振力 (t)

W ：振動荷重 (t)

(パイプロハンマ振動重量+杭重量)

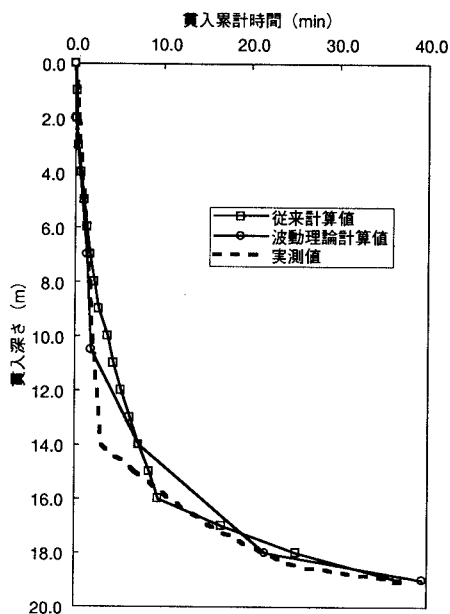


図-2 計算結果の比較

$$\mu 2 = e^{(-0.0652\sqrt{I})} \quad \dots (5)$$

I ：パイプロハンマの力積 (kg·cm)

また、地盤バネは線形バネを使用し、弾性限界変位量 (Quake) は、周面について 0.1inch (2.54mm) を、先端について $\phi/120$ を基準とし、ダンパー定数は打撃工法に比べ2倍の値を使用した。

4. 結果と考察

貫入速度の計算結果と実測値の比較を図-2に示す。従来および波動理論による計算結果が非常に実測値に近いものとなり、適用可能であることがわかった。

使用した土質定数については推定の域をでないが、従来から実験的に求めた低減係数を用いることにより、かなり良い適合性を示しており、今後の検討における目安になるものと考えられる。

また、今回は実測値との比較はできなかったが杭体発生応力の結果を図-3に示す。この結果が検証されれば、打設時の応力を事前にチェックでき非常に有効であると考えられる。

本検討は、ほぼ一様な粘性土地盤という条件であり、また比較したケースも1例という限られたものであるが、今後、砂地盤での適用性の検討、様々な振動式杭打機での適用性など、さらに実積を重ねていく必要がある。

参考文献 1) 仮設鋼矢板ハンドブック 日本建設機械化協会編 (1982) pp.191~199

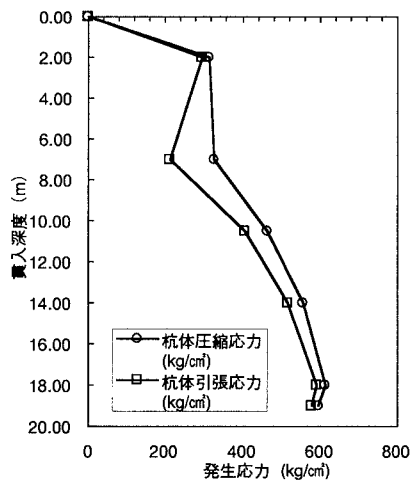


図-3 杭体発生応力