

杭の打込みモデルと挙動に関する研究

鳥取大学大学院（学）○下向 孝寛

鳥取大学工学部（正） 榎 明潔

鳥取大学大学院（学） 石川 智喜

1. はじめに

本研究の目的は、杭打ちのモデル化を行い、これを用いて振動、衝撃による杭の貫入量を刻々と解析することで、杭の挙動を明らかにすることである。さらに、衝撃によるモデル実験を行うことで杭の打込みのメカニズムを解明することである。

2. 杭の打込みのメカニズム

杭を剛体、地盤を剛塑性体として図1のようなモデル化を行った。杭には起振機が取り付けられており、起振力が発生する。それによって、杭に加速度が働くことで周辺地盤に加速度が発生し、地盤の支持力は変化すると考えられるが、本研究ではその加速度を無視し、地盤の支持力を一定と考えた。そのモデルにはスライダを用いて、スライダ強度は一定としている。また、スライダの残留変位は保存される。図中の(a)は杭の変位方向と逆向きの起振力によって杭と地盤が離れる（分離する）境界である。

ここで、杭の運動については静止、起振力による貫入、分離、自重によって貫入する4つのモードが挙げられる。それを図2に示す。まず、 $Mg < S$ において杭の静止条件には、貫入しない条件 $Q(t) + Mg < S$ と、分離しない条件 $Q(t) + Mg > 0$ がある。貫入する条件は $Q(t) + Mg > S$ で、分離する条件は $Q(t) + Mg < 0$ である。また、 $Mg > S$ では杭の自重のみで貫入する。この図は、諸元によって Mg を決定し、この Mg 線上で $Q(t)$ が変化することによってその一刻、一刻で杭がどのような運動をしているかを示した図である。

次に、図1のモデルから貫入時の運動方程式は $M\ddot{u} = Q(t) + Mg - S$ となり、

ここで $Q(t) = 2mr\omega^2 \sin \omega t$ (m :起振機の偏心質量、 r :偏心距離、 ω :角速度)、スライダがすべり始める時刻を t_1 として解くと、変位は (1)式から求めることができる。

$$u = -\frac{2mr}{M} \sin \omega t + \frac{1}{2} \left(g - \frac{S}{M} \right) (t - t_1)^2 + \cos \omega t_1 (t - t_1) + \frac{2mr}{M} \sin \omega t_1 \quad (1)$$

変位が終わる条件としては、杭の速度が0となる時である。

また、数種類の既存の起振機の諸元で図2の運動モードを考えると、分離領域に必ず発生していることがわかった。そこで分離後の運動方程式を考えると、 $M\ddot{u} = Q(t) + Mg$ となり、分離前に起こっていた変位を u_0 、分離する時刻を t_2 として解くと、分離後の杭の変位は (2)式で求めることができる。

$$u = -\frac{2mr}{M} \sin \omega t + \frac{1}{2} g (t - t_2)^2 + \frac{2mr\omega}{M} \cos \omega t_2 (t - t_2) + u_0 + \frac{2mr}{M} \sin \omega t_2 \quad (2)$$

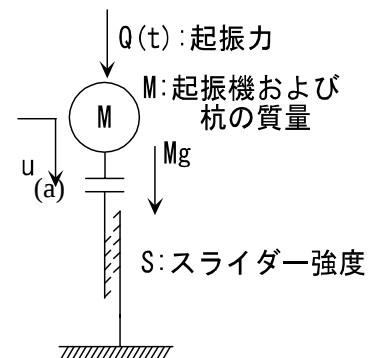


図1 杭と地盤のモデル

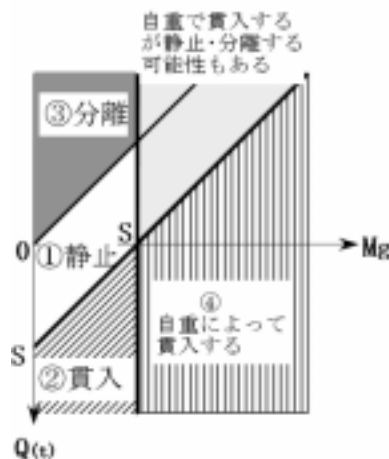
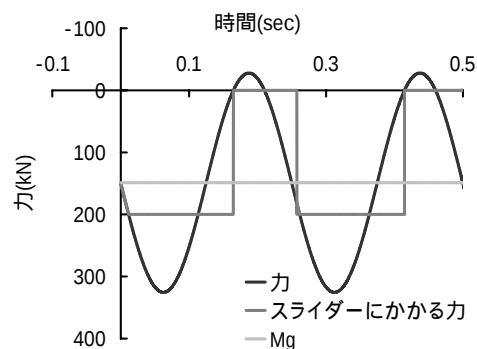
図2 $Q(t)$ - Mg - S 図

図3 力のグラフ

キーワード 杭打ち、振動、衝撃

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101番地 鳥取大学工学部土木工学科

分離が終わる条件としては、杭の変位が分離前のスライダの残留変位と同じになる時である。その時を杭と地盤が衝突する時と考えた。衝突を非弾性衝突と仮定すると、衝突エネルギーは衝突時の速度 $\dot{u}_0$ を用いて $Ei = M\dot{u}_0^2 / 2$ で表すことができる。これを杭の貫入に伴う位置、摩擦によるエネルギーに消費される。

ここで、分離と貫入が交互に起こるような解析条件を用いた力と変位のグラフを図 3 と図 4 に示す。また、 Mg 、 S 、 $Q(t)$ を変化させることで図 2 に示した通り、杭の運動モードは異なってくる。そこで図 5 に Mg 、 $Q(t)$ を一定にして S を 3 パターン変化させた図を示す。

スライダー強度が自重よりも小さい場合 においては自重によって杭が貫入し、強度を増加させた 場合には、起振力によって貫入が起こる。さらに増加させた 場合には、分離が多く起こっていることがわかる。

3. 衝撃杭打ちのモデル実験

図 6 のような実験装置を使って衝撃力による杭の貫入のモデル実験を行い、杭の貫入量を調べた。スライダー強度として、空圧シリンダーによって側圧をかけ杭に垂直力をかけている。杭にはノッカーとロードセルを結合させてノッカーの衝撃力によって杭が貫入する仕組みになっている。また、杭に加速度計、レーザー変位計を取り付け、杭の加速度、貫入量を調べた。図 7 にレーザー変位計から得られた生データと、low pass filter をかけたものを示す。また、その変位から求めた速度を図 8 に示す。次に図 8 の速度グラフの最大値を衝突時の速度とし、衝撃力をエネルギーとして求めた変位を図 9 に示す。

4. 結論

起振機による杭の打込みにおいて、地盤の支持力によって、杭の静止、杭の自重による貫入、起振力による貫入、衝撃による貫入の 4 つの運動モードを持つことがわかった。

振動杭打ちに関しても、実際の杭打ち問題を考えた際、分離の現象、即ち衝撃の影響も含まれることがわかった。

今後の課題は、振動でも同様のモデル実験を行うことで、振動による杭の打込みメカニズムを解明することである。また、実際の地盤で実験を行うことで、杭がどのような挙動を示すかを確認することである。

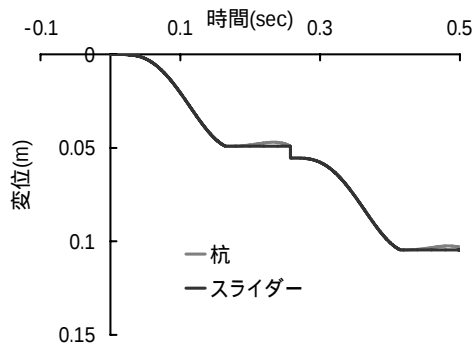


図 4 変位グラフ(解析)

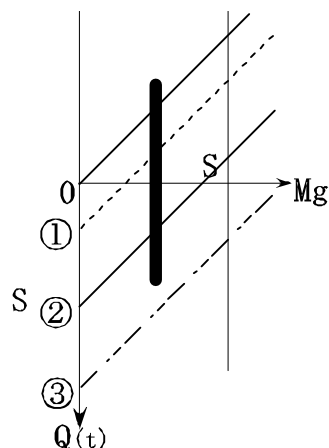


図 5 状態図

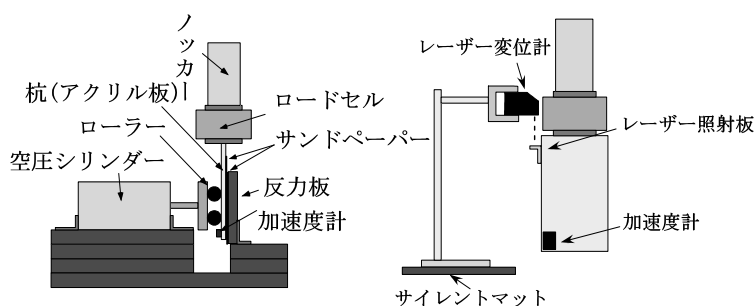


図 6 実験装置概略図

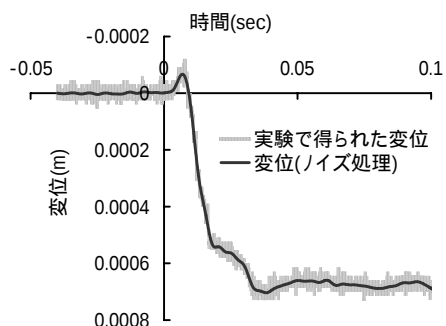


図 7 変位グラフ(実験)

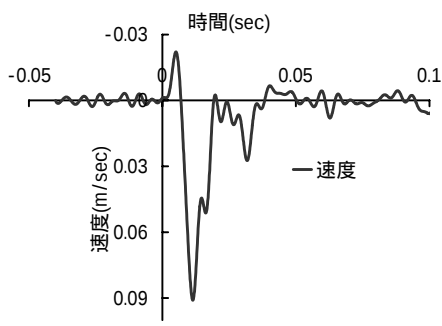


図 8 速度グラフ

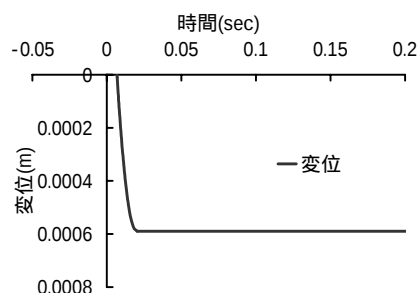


図 9 変位グラフ