

III-380 杭の応力波解析における逸散減衰の重要性

金沢大学工学部 正会員 山上 尚幸
 金沢大学工学部 正会員 松本 樹典

1. はじめに

波動理論に基づいて杭の支持力(打込み時の貫入抵抗や静的支持力)を推定したり、打込み性を予測する手法が急速に発展している。それらの手法の多くは、杭の応力波伝播を次元波動理論によって解析している。断面形状があまり複雑でない杭の杭打ち時の挙動を次元波動理論によって解析することは実用上十分の精度を有するであろう。したがって、支持力推定や打込み性の予測の成否は解析に用いる地盤モデルの種類とそのパラメータの値の設定に大きく依存する。

本研究では、杭打ち解析に用いる地盤モデルの違いが杭の応力波伝播に与える影響を考察することを目的として、杭打ちのシミュレーション解析を行なった。応力波解析には、著者らが開発した特性曲線解析法に基づく応力波解析プログラム¹⁾を用いた。杭打ち解析において逸散減衰を考慮することが非常に重要であることを示す。

2. 杭打ちのシミュレーション解析

解析条件 杭は断面が一定のコンクリート杭を想定し、表1のような力学的・幾何学的条件を設定した。全長16mの杭が12mだけ根入れされており、杭側面には深さ方向に一樣な周面摩擦、および先端地盤抵抗が作用しているものとする。

解析にはRandolph(1987)の地盤モデル(図1)を用いた。スライダは最大周面摩擦応力 τ_{max} (または最大先端応力 $(\sigma_b)_{max}$)、バネは周辺地盤の弾性変形、ダッシュポットは逸散減衰を表している。周面摩擦に対するバネ定数 k_s と減衰定数 c_s は、Novakら(1978)の研究に基づいて以下の式で決定した。

$$k_s = 2.9G / (2\pi r_o) \dots (1) \quad c_s = G / V_s \dots (2)$$

先端地盤のバネ定数 k_b と減衰定数 c_b は、Lysmer and Richart(1966)に従って、次式で決定した。

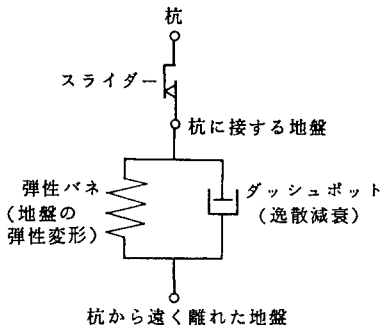


図1 解析に用いた地盤モデル (Randolph model)

$$k_b = \frac{4G}{\pi r_o(1-\nu)} \dots (3) \quad c_b = \frac{3.4G}{\pi(1-\nu)V_s} \dots (4)$$

上式において、 r_o は杭の半径である。 G 、 ν 、 V_s は、それぞれ地盤のせん断剛性、ポアソン比、せん断波速度である。せん断波速度 V_s は土の密度を ρ_s として、 $V_s = \sqrt{G/\rho_s}$ で与えられる。

図2は、杭頭に与える打撃応力である。この波形は、落下速度2m/s、重量400kgfの剛体ハンマーがバネ定数 6×10^5 kgf/cmのクッションを介して杭を打撃した場合に得られるものである²⁾。

表2のような条件で2通りの解析を行なった。Case1は、逸散減衰を考慮しない場合であり、Case2は逸散減衰を考慮した場合である。両ケースの最大支持力 P_{max} は等しく設定されており、 $P_{max}=567$ tfである。

表1 解析に用いた杭の条件

直径	D	30.0 (cm)
断面積	A	706.9 (cm ²)
長さ	L	16.0 (m)
根入れ長	L_d	12.0 (m)
ヤング率	E	3.5×10^5 (kgf/cm ²)
密度	ρ	2.14 (g/cm ³)
波速度	c	4000 (m/s)

表2 Case2の解析に用いた地盤パラメータ

	Case1	Case2
せん断剛性 G (kgf/cm ²)	500	500
ポアソン比 ν	0.49	0.49
密度 ρ_s (g/cm ³)	1.6	1.6
せん断波速度 V_s (m/s)	175	175
周面バネ定数 k_s (kgf/cm ³)	15.4	15.4
周面減衰定数 c_s (kgfs/cm ³)	0.0	0.029
最大摩擦応力 τ_{max} (kgf/cm ²)	0.5	0.5
先端バネ定数 k_b (kgf/cm ³)	83.2	83.2
先端減衰定数 c_b (kgfs/cm ³)	0.0	0.061
最大先端抵抗 $(\sigma_b)_{max}$ (kgf/cm ²)	2.0	2.0

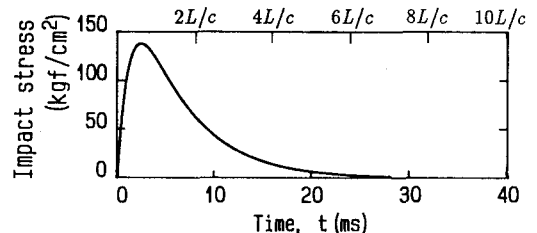


図2 解析に用いた杭頭の打撃応力

解析結果 図3は、杭頭から2m下の位置の応力波形の計算結果である。逸散減衰を考慮しないCase1では、打撃応力が杭体を5往復した時点($t = 10L/c$)以降でも応力が振動している。実際の解析は $t = 20L/c$ まで行なったが、応力の振動は続いた。一方、逸散減衰を考慮したCase2では、Case1で見られたシャープな振動は無い。時刻 $t=30ms$ 以降で応力は完全に0となり、杭打ちが完了したことを示している。

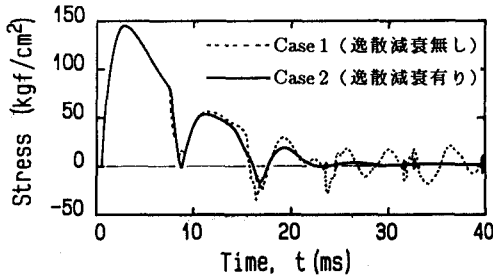


図3 応力波形の計算結果 ($x=2m$)

図4は、両ケースでの杭頭の時間-変位曲線である。逸散減衰を考慮していないCase1では、時刻 $t=25ms$ ではほぼ最終貫入状態に達しているが、わずかに振動が続いており1打当りの貫入量を一義的に決定できない。ただし、時刻 $t=25ms$ 以降の平均的な変位量は1.25cmである。一方、逸散減衰を考慮したCase2では、時刻 $t=22ms$ 以降で変位が一定となり、1打当りの貫入量は1.01cmとなっている。ここで重要なことは、両ケースの最大杭支持力が同じであるにも関わらず、最終貫入量の予測値が異なっていることである。すなわち、打込み性の予測結果は、地盤モデルの相違(逸散減衰の有無)によって大きく左右される。

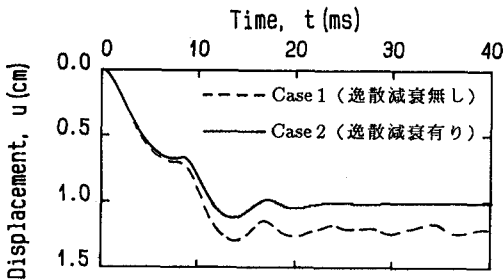
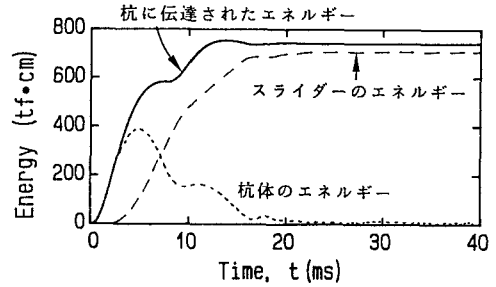
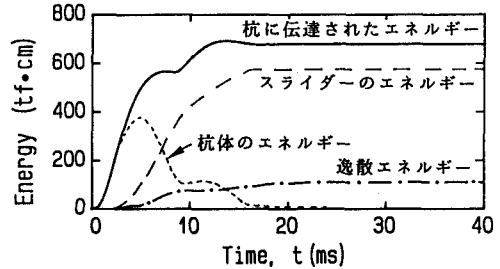


図4 杭頭の時間-変位曲線の計算結果

以上のような、地盤モデルの違いによる杭応答の違いは、図5に示すエネルギー収支によって説明される。図5(a)のCase1では、杭に伝達された打撃エネルギー U_0 の一部は、杭体のエネルギー U_p (運動エネルギーとひずみエネルギーの和)と地盤の弾性変形エネルギー U_K (地盤バネの変形エネルギー)に変換され、残りはスライダで消費される。地盤バネのエネルギー U_K は図に示してい



(a) Case 1 : 逸散減衰無し



(b) Case 2 : 逸散減衰有り

図5 エネルギー収支の計算結果

ないが、時刻 $t=20ms$ 以降ではほぼ U_p と同程度であった。図5(b)に示すCase2では、杭に伝達されたエネルギーはさらに逸散エネルギー U_{rad} によっても消費されている。逸散エネルギーは地盤中の波動伝播によって失われるエネルギーであり、ダッシュポットで消費されるエネルギーに等しい。

図5において注意すべき点は、杭に伝達されるエネルギー U_0 の値が両ケースで異なっていることである。さらに重要なことは、杭に伝達されたエネルギー U_0 の内、杭の地盤への貫入に使われるエネルギー U_{ps} (スライダのエネルギー)の割合が異なっていることである。Case1では $U_{ps}/U_0=0.96$ 、Case2では $U_{ps}/U_0=0.84$ である。この差は逸散減衰の有無によるものである。このことが、一打当りの貫入量の差(図4)の原因となっている。

杭打ち解析において逸散減衰を考慮することの重要性は文献3)4)5)で既に指摘されている。本研究においても同様の結論が得られた。数多くの実際の杭打ちの解析を行なうことによって、地盤パラメータ値の決定法について詳細に検討することが今後の課題であろう。

参考文献

- 1) Matsumoto and Takei(1991):Proc. Conf. on Deep Foundation Practice, pp.153-160.
- 2) 境(1990):波動理論の杭打ち問題への応用に関する研究, 学位論文, pp.26-34.
- 3) Randolph M.F.(1987):Proc. 9th S.E. Asian Geotech. Conf., pp.6.1-6.14.
- 4) Novak et al(1978):J. Eng. Mech. Div., ASCE, Vol.104, No.EM4, pp.953-959.
- 5) Lysmer & Richart(1966):J. Soil Mech. Fnds. Div., ASCE, Vol.92, No.SM1, pp.65-91.