

III-125 ハンマー落下時の場所打ち杭の挙動

九州大学工学部 ○学生員 前田秀喜
建設技術研究所福岡支社 正員 松井謙二
日本道路公団 正員 前田良刀
九州大学工学部 正員 烏野 清

1 緒言

近年、都市内土木工事において、振動、騒音公害などの施工環境条件により、場所打ち杭が数多く採用されるようになった。ところが、この場所打ち杭については、支持力の定量的評価法として鉛直載荷試験があるだけであり、また、この試験には多額の費用を要することから、場所打ち杭の品質管理は事実上なされていまいと悪い。そこで本研究は、場打ち杭頭部にハンマー($W=1.012t$)による衝撃力を加え、それにより得られた杭頭変位、杭頭ひずみ、及び深さ方向の杭各点のひずみにより、場所打ち杭の挙動を明らかにしようとするものである。

2 解析方法

杭頭にハンマーを落下させた時の振動は複雑なものになるが、ここでは簡単に杭の剛体としての振動と伸縮振動との和として考えることとする。

<剛体振動>いま、杭を完全な剛体として、ハンマーの衝撃力によって鉛直振動をしているとすると振動方程式は、

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = P(\tau) \quad (1)$$

となる。上式をデュアメル積分を用いて解くと、杭の応答変位は次式で得られる。

$$\left. \begin{aligned} y(t) &= \frac{1}{mn} \int_0^t P(\tau) \exp\{-hn(t-\tau)\} \sin n(t-\tau) d\tau & t \leq t_0 \\ y(t) &= \frac{1}{mn} \int_0^{t_0} P(\tau) \exp\{-hn(t-\tau)\} \sin n(t-\tau) d\tau & t_0 \leq t \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

n : 杭の振動数 $P(\tau)$: ハンマーによる衝撃力 h : 減衰定数 t_0 : ハンマーが杭頭から離れる時刻
 $m (=m_p+m_s)$: 杭及び杭と一体となって振動する土の質量

上式において、杭の振動数 n は実験より求めたもので、杭頭変位の周期よりハンマーの載荷時間をひいて求めたものである。ここで、未知数である m, h が判れば、数値積分によって杭の応答変位 $y(t)$ を求めることができる。また、ハンマーの種類及びクッション材を選び、適当な落下高さを選べば $p(\tau)$ はかなりの精度で正弦波に近似できる。

<伸縮振動>杭自体の全伸縮量は、杭各点のひずみが得られる場合次式となる。

$$y_p(t) = \int_0^t \epsilon(t, x) dx \quad \epsilon(t, x) = A(t)X^{i-1} + B(t)X^{i-2} + \dots + I(t) \quad (3)$$

$\epsilon(t, x)$: 杭の深さ方向 x の時刻 t におけるひずみ分布 $A(t), B(t) \dots I(t)$: 定数

また、衝撃波 $P(\tau)$ が正弦波に近似できる場合には、次式により杭全体の全伸縮量を推定できる。

$$\left. \begin{aligned} y_p(t) &= \frac{L\epsilon_0}{\pi} \exp\left(-\frac{h\pi C}{2L}t\right) \left(1 - \cos \frac{\pi C}{L}t\right) & 0 \leq t \leq L/C \\ y_p(t) &= \frac{2L\epsilon_0}{\pi} \exp\left(-\frac{h\pi + 2hnt}{2}\right) \cos nt & L/C \leq t \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ϵ_0 : 杭頭ひずみの最大値 C : 衝撃波伝播速度 h : L/C 前の減衰定数 $\bar{t} (=t-L/C)$: L/C 後の時間
 h : L/C 後の減衰定数 $n (= \pi C/L\alpha)$: L/C 後の伸縮振動の振動数

上式で $0 \leq t \leq L/C, L/C \leq t$ により振動数が異なるのは、杭先端反射と杭頭反射の場合の反射率の影響によるため、 α は実験より求めた補正係数であり 1.05 程度の値である。

以上より、杭頭変位は剛体振動と伸縮振動の和として求めることができる。

表-1: ケース分け

	杭種	クッション材
CASE 1	P1	木製
CASE 2	P2	木製
CASE 3	P2	ゴム製

3 結果

本研究では、土層構造の異なる二本の杭について、杭頭クッション材に木製のものとゴム製のものとを用い実験を行った。以下、便宜上表-1の様にケース分けをし結果を整理した。

まず最初に、杭頭クッション材にゴム製のものを使用した場合と木製のものを使用した場合の杭頭ひずみを図-1に示す。衝撃波は $p(t) = E A \varepsilon_t(t)$ (E : 杭の弾性係数、 A : 杭の断面積、 ε_t : 杭頭ひずみ) として得られるので、図より杭頭クッション材を木製のものにすることにより、衝撃波は正弦波に置換できることが分かる。よってCASE 1, CASE 2については衝撃波を正弦波に置換し(2)式に代入することにより剛体変位を計算した。ここで問題になるのが減衰

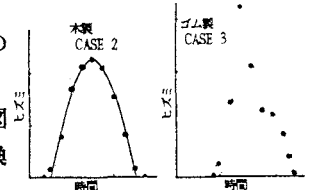


図-1: 杭頭ひずみ

定数 h と杭と一体となって振動する土の質量 m_s の値である。図-2に減衰定数 h を固定し、質量 m に対する剛体変位を示す。この図より $m=6.0$ を最適値にとると、杭と一体となって振動する土の質量 m_s は杭が排斥した土の質量にほぼ近い値が得られた。

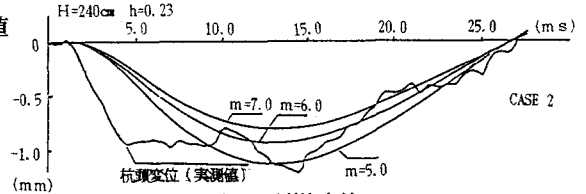


図-2: 剛体変位

次に、(3)、(4)式より得られた伸縮量を図-3に示す。これらの伸縮量はほとんど同じ値として得られ、杭頭ひずみが正弦波に近似できれば伸縮量が推定できるといえる。また、同図に杭頭変位の実測値と、剛体振動と伸縮振動との和として求めた杭頭変位を示す。この杭頭変位は、図-2に示す剛体変位量 ($m=6.0$) と(4)式より得られた伸縮量の1/2の和と仮定して求めたものである。

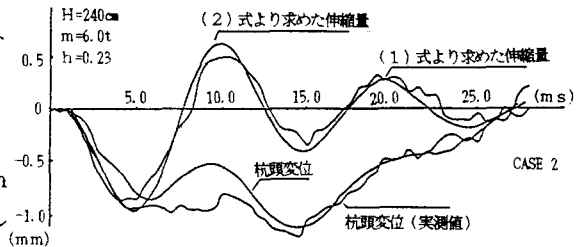


図-3: 伸縮量及び杭頭変位

図-4には落下高さに対する杭頭変位の変化を示した。杭頭変位の周期は落下高さに対し大きく変化する場合(CASE 1)と変化しない場合(CASE 2)とがある。図-4より求めた杭の振動数 n を用い、 $k = m n^2$ で計算した地盤のバネ定数の杭頭荷重に対する変化を図-5に示す。図よりCASE 2では地盤のバネ定数 k の値にほとんど変化が見られないのに対し、CASE 1ではその値が杭頭荷重が増大するに伴い大きく減少している。これは地盤の非線形性が現れたためと思われ、この場合杭の支持力を推定する時の目安となるものと考えられる。

4 考察

以上より、衝撃荷重による場所打ち杭の挙動は、剛体振動と伸縮振動の和として解析できた。また以下のことがいえる。

①衝撃波形は杭頭のクッション材に木製のものを用いることにより正弦波に近似できる。②杭と一体となって振動する土の質量は、杭が排斥する土の体積分を取ればよい。③減衰定数 h は杭頭荷重が増大するに伴い大きくなる。④杭の振動数 n 及び地盤のバネ定数 k は、杭頭荷重が増大するにともない小さくなる傾向がみられる。

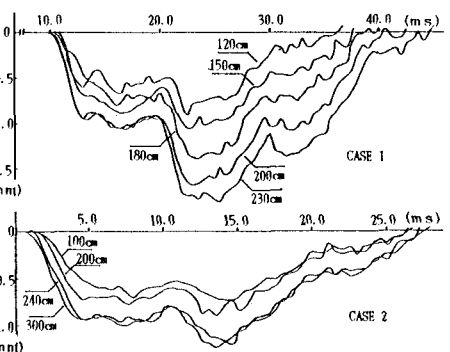


図-4: 落下高さに対する杭頭変位

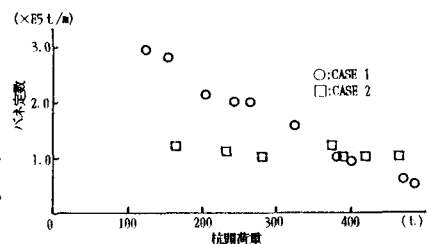


図-5: 杭頭荷重に対する地盤のバネ定数