

7. 油圧式高周波杭打機の研究開発

建設省土木研究所*樋野親俊
 建設機械調査川添紀一
 高橋エンジニアリング田崎靖朗

1. まえがき

市街地におけるほとんどの基礎、土留工事は、法律による使用上の制約を受けることもあり、公害対策形と称される機械や工法により施工されている。しかし、現在使用されている対策形機械の施工性、経済性について調べてみると、従来形に比較して、かなり劣るものが多く、その改良が急務とされている。

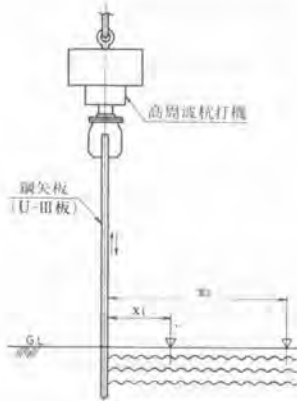
本研究開発は、従来形振動杭打機で問題となっている地盤振動を、高周波の振動を利用することで施工性能を確保したまま低減させようと考え、昭和51年度から研究開発を進めてきた結果、ほぼ実用化の見通しを得たので、ここに発表する。なお、昭和53年度からは、主として油圧式高周波杭打機及び周辺機器開発のハード面を建設機械調査(KK)及び(KK)高橋エンジニアリング、開発方針や杭打実験、理論解析等を建設省土木研究所において、夫々分担して行ってきたものである。

2. 開発の理論的根拠

2-1 高周波振動による地盤振動の距離減衰効果

従来形振動杭打機の振動数10~20Hzを更に高めた場合に、地盤振動の距離減衰量がどの程度大きくなるかを理論的に検討してみた。仮定条件として、杭の打込深さが比較的浅く、表層部に振源があった場合のレーリー波のみを考慮した地盤振動の距離減衰量は、(1)式により求められる。第1項は、いわゆる幾何減衰量を示すものであり、単に x_1 と x_2 のみの関係で決定され、この場合には、倍距離($x_2/x_1=2$)で3dB/DDとなる。次に第2項は、振動が伝搬する過程で、媒体の粘性抵抗等によって生じる内部減衰量であり、単に x_1 と x_2 のみの関係以外に、地盤性状、振動数によって決定されるものである。ここで、 $x_1=7.5$ mとし、 $\eta=0.1$ 、 $V_R=240$ m/secとした場合の各周波数ごとの

数値計算結果と実測値との比較を図-1に示す。図からも分かるように、振動数を高めると減衰量は増大し、特にその効果は、15m以遠で急激に大きくなっている。また、地盤振動の計量単位である振動レ



$$\Delta L = L_1 - L_2 = 10 \log \frac{x_2}{x_1} + 55 \cdot \frac{f \cdot \eta}{V_R} (x_2 - x_1) \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 ΔL : 振動源からの距離 x_1 、 x_2 間における減衰量 (dB)

f : 杭の加振振動数 (Hz)

η : 地盤の損失係数 (通常 0.01 ~ 0.1 程度)

V_R : レーリー波の伝搬速度 (100 ~ 300 m/sec)

ベル (VL) は、人体感覚に合わせて $8 \sim 90 \text{ Hz}$ 間で -6 dB/oct の補正が加えられている (図-2 参照) ことから、高周波振動を利用することは有効である。

2.2 高周波振動による杭打性能

高周波杭打機と従来形杭打機との基本的な相違点は、杭を加振する振動数が高いか、低いかだけであり、高周波の振動で杭が打込めるか否かは、振動杭打工法で要求される条件を満たすことができるか否かで決定される。従って、高周波杭打工法でも、杭打性能を決定する第1の要因は、杭振幅の大きさであり、第2義的には杭打機重量が関係すると考えられる。

杭振幅の目安としては、経験的に地盤条件から最小必要振幅量として、砂質土では $A_{0s} = \sqrt{0.8 Ns + 1}$ 、粘性土では $A_{0c} = \sqrt{1.6 Nc + 1}$ 以上のものが必要と言われており、高周波杭打工法についてもこの値を満足することが、必要条件であると考えられる。

ここで、杭打機の必要動力に着目した場合、従来形の作動方式で、起振振動数を $50 \sim 60 \text{ Hz}$ まで上げていくと、(2)式から分かるように必要動力が、数百 kW となり、全く実用的でなくなってしまう。

$$W_0 = 0.3 Q_0 \cdot \left(\frac{A_0 \omega^2}{g} + 1 \right) \cdot A_0 \cdot \omega \times 10^{-5} \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 W_0 : 必要動力 (kW)、 Q_0 : 杭打機の起振部重量 (Q_M) + 杭重量 (Q_p) (Kg)
 A_0 : 杭振幅量 (mm)、 ω : 角振動数 (rad/sec) ($\omega = 2\pi f$)
 f : 起振振動数 (Hz)、 g : 重力加速度 ($g = 9,800 \text{ mm/sec}^2$)

この解決策については、起振部重量 (Q_M) を軽くし、かつ許容できる範囲内に起振振動数 (f) と杭振幅量 (A_0) を小さくすることで、必要動力 (W_0) を極力下げて、杭打性能が低下した分については、杭打機の起振部以外の重量でカバーする方法を試みることにした。

3. 開発内容

3.1 杭打機の構造と主要諸元

起振部の作動機構については、前述のように杭打機全体を振動させる方式のものは、必要動力が著しく大きくなってしまふこと、及び軸受部分や動力伝達機構の耐久限界等に問題があるため、油圧アクチュエータを利用することで、起振部重量 (Q_M) の軽量化を図り、かつ起振振動数については、 $40 \sim 60 \text{ Hz}$ の範囲をねらった油圧式高周波杭打機の製作を行った。この油圧式高周波杭打機とほぼ同

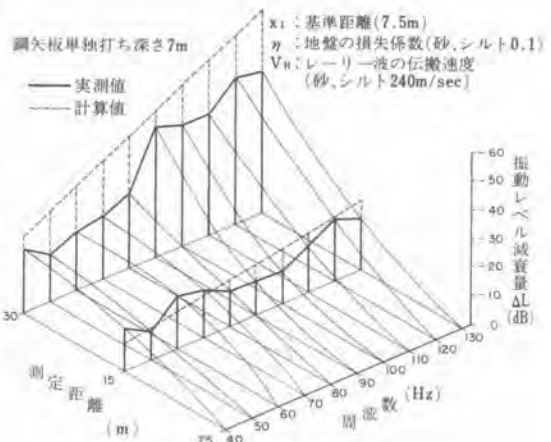


図-1 地盤振動の距離減衰効果

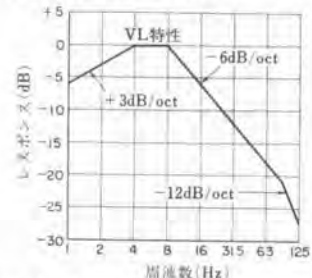


図-2 振動レベルの周波数レスポンス

表-1 主要諸元比較一覧表

請元名称	機種	高周波杭打機	従来形振動杭打機
起振力	ton	0 ~ 28	28.3
必要動力	KW	35 ~ 60 (40 ~ 60 Hz)	6.0
無負荷時の振幅	mm	2.5 ~ 1.7 (40 ~ 60 Hz)	7.6
偏心モーメント量	kg-cm	—	2,100
回転数 (振動数)	rpm (Hz)	2,400 ~ 3,600 (40 ~ 60)	1,100 (18.3)
機械重量 (起振部重量)	Kg	4,500 (700)	3,334 (2,770)

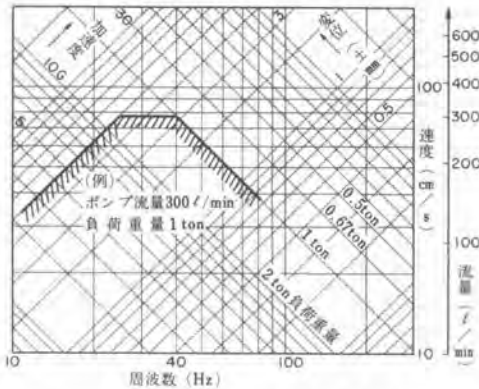


図-3 高周波杭打機の起振特性

程度の性能を有する従来形振動杭打機 (KM2-2000E) との主要諸元の比較を表-1に、起振特性、外観図を図-3、図-4に示す。

3-2 実験結果及び考察

図-5は、土木研究所構内の建設機械屋外実験場で行った油圧式高周波杭打機による打込実験データを杭振幅量の大きさをパラメータに、打込速度を比較したものである。

ここで、杭振幅量 A (mm) を変数に、杭深度 9 m までの平均打込速度 V (cm/sec) との関係を一重回帰式で表わすと、次式となる。

$$V = -2.12 + 2.84 A \quad (r \approx 0.8) \quad (3)$$

これから言えることは、土木研究所構内の地盤条件

で、高周波杭打機により杭を貫入させるには、最低 0.75 mm 以上の杭振幅量が必要であり、また従来形振動杭打機と同程度 (図-6 参照) の貫入特性を得るには、約 2 mm の杭振幅量が必要である。

次に図-6は、同じ実験場で行った各種振動杭打機による打込実験データを基に、杭振幅量と総重量 (機械重量+杭重量) をパラメータにして、打込速度を比較したものである。

ここで、杭振幅量 A (mm) と総重量 Q (ton) を変数に、杭深度 6 m までの平均打込速度 V (cm/sec) との関係重回帰直線式によって表わすと、次式となる。

$$V = -7.51 + 0.94 A + 1.5 Q \quad (r \approx 0.8) \quad (4)$$

この式からも分かるように、杭の貫入量の良否を決める要因は、単に杭振幅量のみではなく、総重量にも関係しており、両者の組合せで貫入速度は、決定されるものと思われる。なお、両者単独での関係については、やはり杭振幅量の方が高い相関を持っていることがわかった。

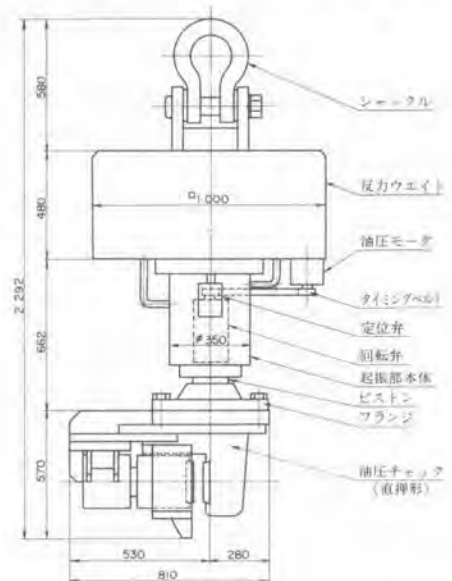


図-4 高周波杭打機の外観図

最後に、従来形振動杭打機 (KM 2-2000E) との性能比較を図-7 に示す。

杭の貫入特性については、ほぼ同程度の能力を示し、杭深度 9 m までを約 3 分で打込みを完了している。

騒音は、杭深度 4 m 付近まではほぼ同レベルであるが、5 m 付近からは、高周波杭打機の方が低下傾向を示し、7~9 m では約 6.7 d B(A)/30m となっている。

地盤振動は、理論通り高周波振動の距離減衰効果が顕著であり、従来形のものに比較して 10~15 dB 小さく、60~65 dB/15m となっている。

4. まとめ

以上、土木研究所構内での実験結果を報告したが、今後は、各種地盤への適応性を把握するためにも、実際の工事現場で試験施工を重ねて、より実用機としての信頼性を高めたいと考えている。

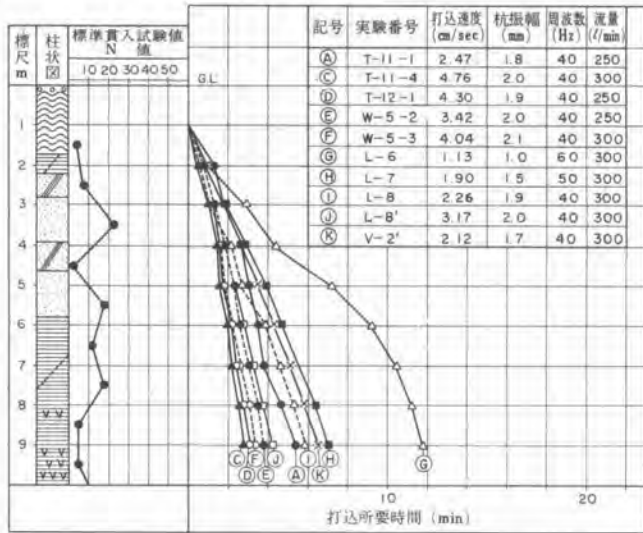


図-5 杭振幅量と打込速度の関係

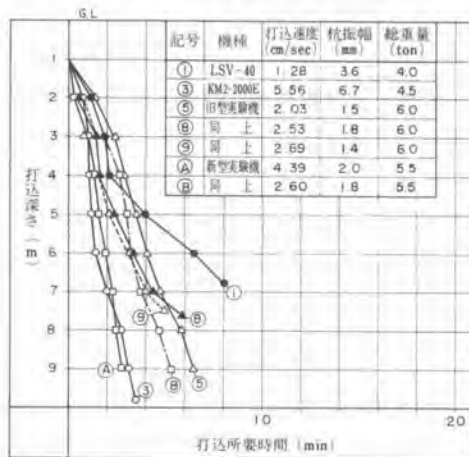


図-6 杭振幅量、総重量と打込速度の関係

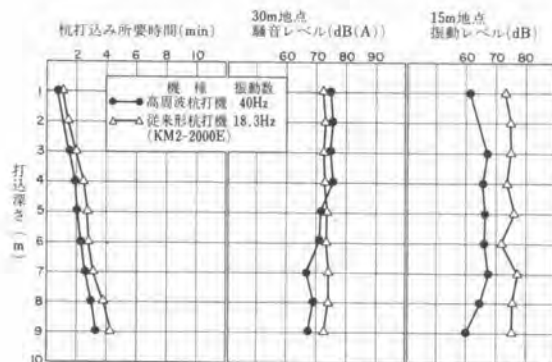


図-7 従来形振動杭打機との性能比較