

7. 打撃式杭打機における エネルギー伝達率の測定について

建設省土木研究所 北川原 徹

建設機械化研究所 藤本 義二・*西ヶ谷 忠明

1. まえがき

打撃式杭打機の能力を表わす一項目として打撃エネルギーがあげられるが、この値はラム重量とラム落下高さの積をもって表わされる場合が多く、ラムの落下行程やクッション材で消費されるエネルギーについては不明のために、杭打機の出力としての表示には適当でない。さらに、最近の打撃式杭打機は、騒音対策のためにクッション材に工夫を凝らしたドロップハンマの登場や、排気煙を清浄に保つために燃焼方式を改善したディーゼルハンマの実用化など多様化しているために、ラムの落下行程で消費されるエネルギーは、機種毎に大幅に異なった値をとることも考えられる。従って杭打機の能力表示としては、これらの損失エネルギーを差引いた、何れの打撃式杭打機にも適用できるような表示方法が求められる。

本報告は、打撃式杭打機の能力を、杭頭部へ伝達されたエネルギーで表わすこととして、ディーゼルハンマ及び油圧ハンマの杭打実験を中心に、その測定方法について述べたものである。

2. 実験の概要

2.1 実験場所の地質

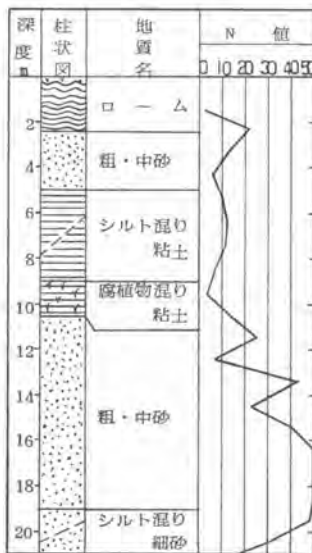


図-1 地質柱状図

実験場所の地質は図-1の柱状図に示すように、地表面から深さ10mまではN値20以下の比較的軟い層であるが、5～9m間では強い粘性を示すシルト混り粘土層を介在している。10m以深では主として粗・中砂層となり、14～20mでN値40以上の中間支持層を構成する。実験は杭先端がこの中間層に達してから行なった。

2.2 杭打機と杭の組み合わせ

実験対象とした杭打機と杭は次のような組み合わせで行なった。

- (1) 2.5 tディーゼルハンマA；鋼管杭（直径40 cm、厚さ9 mm、長さ1.7 m先端開放杭）
- (2) 2.5 tディーゼルハンマB（燃料噴射霧化方式）；鋼管杭（直径40 cm、厚さ9 mm、長さ1.7 m先端開放杭）
- (3) 8 t油圧ハンマ；PHCパイルB種（直径50 cm、厚さ90 mm、長さ1.5 m先端閉塞杭）

2.3 測定項目

主な測定項目は図-2の測定フローに示すように、打撃力と杭体変位量およびラム落下高さである。

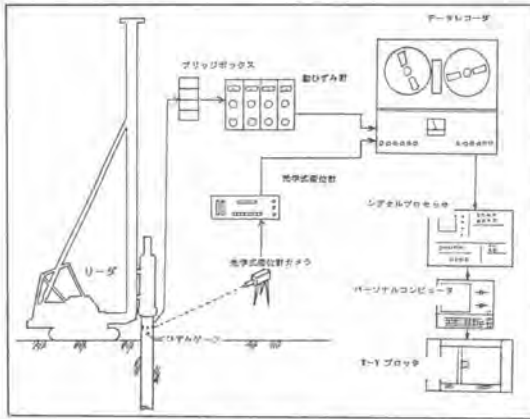


図-2 計測のフロー

打撃力は、杭の打撃端から1m杭先側の円周方向に等間隔で貼付した4枚のひずみゲージにより測定した。測定は各ゲージ毎に独立して行ない、解析時に4方向の平均値を求めた。杭頭変位は、無接触の光学式変位計を使用し、杭打地点から約20m離れて計測した。変位計測のためのターゲットは、杭頭部のひずみゲージ貼付位置に重ねて設置した。ディーゼルハンマのラム落下高さは、16mmカメラを用いてラム上死点を撮影し、後日これをフィルム上から読みとった。油圧ハンマのラムストロークは、機械操作盤

上で設定できるうえに再現性も良好であったので設定値とした。また、打撃力と杭頭変位はデータレコーダに記録したが、各データ毎に、ラム落下高さの値と打撃力等は正しく対応づけられるよう十分な注意を払った。

2.4 使用計測器の性能および光学式変位計

打撃時に杭頭部に発生するひずみは、立ち上りが非常に速いため高い周波数応答を備えた計器類を用いて計測しなければならない。今回の実験に用いた計測器は、記録・再生の全ての段階においてDC~5KH ζ の周波数範囲を確保した。

次に光学式変位計の主な要素は、① 明暗の強いコントラストをもつターゲット、② レンズ、③ 光電子増幅管(②、③はカメラ部)、④ サーボ制御回路およびアンプ等である。今回の計測では、ターゲットに約30cm \times 40cmのケント紙を中央で上下に2分し片側を黒く塗ったものを杭に貼り付けて使用し、カメラには600mm望遠レンズを使用した。ターゲットの動きは、光電子増倍管のフォトカソード上の動きとしてとらえられる。フォトカソードからはアバーチャに向かって、ターゲットからの光のコントラストに比例した電子イメージが投射される。アバーチャでは、電子イメージを常に中央で検知するようにサーボ回路が働き、フォトカソードからの電子ビームを制御する。このとき偏向コイルに流されるフォードバック電流が、ターゲットの変位に比例した電流として計測される。光電子増倍管の構成を図-3に示す。

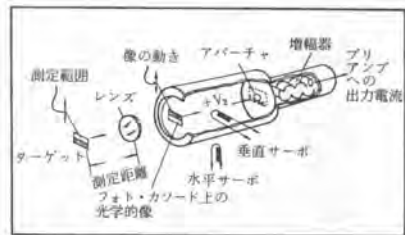


図-3 光電子増倍管(イメージディセクター式)

3. 実験結果

3.1 打撃力と杭頭変位

図-4 にディーゼルハンマ A による、図-5 に油圧ハンマによる打撃力および杭頭変位波形を示す。ディーゼルハンマの打撃力波形では、打撃直前の空気圧縮行程による緩やかな力の変化が見られる。杭頭変位は、この時点でやはり僅かな変化を示し打撃力の立ち上りより緩やかな速度で変化(貫入)し最大変位に達した後、リバウンドを生じ、やがて平衡状態となる。変位ゼロのラインから、この平衡状態までの距離が普通に言う貫入量に相当する。図-4 では、16.7 mm の最大変位、リバウンド 8.6 mm、貫入量 8.1 mm である。油圧ハンマでは図-5 にみられるように、打撃力は突然立ち上り、ディーゼルハンマの空気圧縮に相当する部分が無いことがわかる。また、ラムは 8 t の大質量のため力の作用時間が長い。図-5 では、最大変位 20 mm、リバウンド 12.9 mm、貫入量 7.1 mm である。

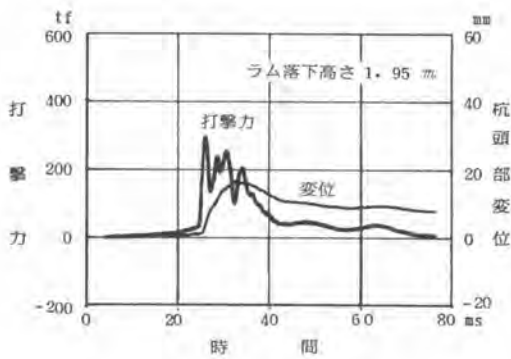


図-4 打撃力及び変位
(ディーゼルハンマ A)

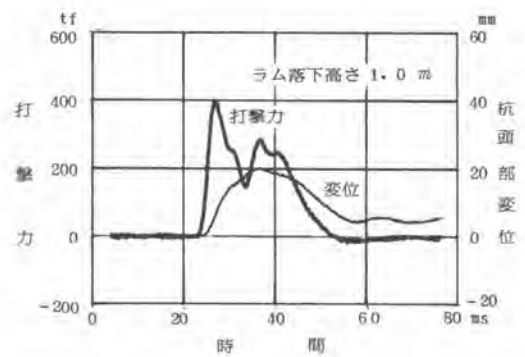


図-5 打撃力及び変位
(油圧ハンマ)

3.2 杭へ伝わったエネルギー

図-6 は図-4 をもとに、図-7 は図-5 をもとにそれぞれ縦軸に打撃力を、横軸に変位をとって描いた打撃力-変位線図である。従って、この曲線に囲まれた部分の面積が、杭頭部に伝達されたエネルギーの総量を表わす。同線図は、変位ゼロから出発して最大変位に達した後、リバウンドによりハンマ方向にエネルギーを返すことを示しているが、返還されるエネルギー量は地盤の

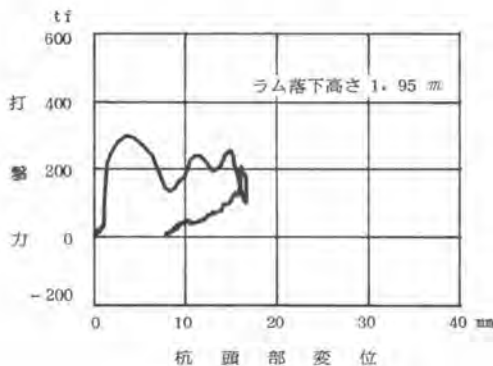


図-6 打撃力-変位線図
(ディーゼル A)

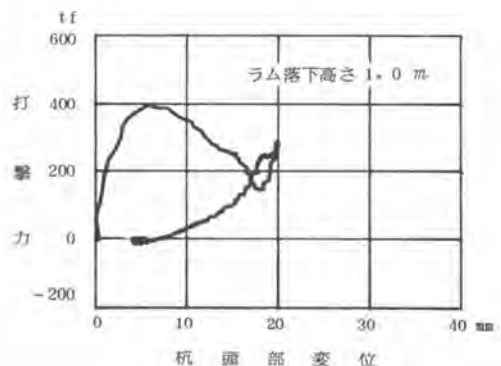


図-7 打撃力-変位線図
(油圧ハンマ)

抵抗によって変わる。ここに示すことはできなかったが、地盤抵抗が小さければ、殆んどのエネルギーを地盤が吸収してしまふ結果、杭変位が最大となる時点で打撃力はほぼゼロとなる。逆に地盤抵抗が大なる場合は、ハンマからのエネルギーは杭体及び地盤の弾性変形によって吸収された後、大きなリバウンドでハンマ方向に戻され、ラムをより高くはね上げる。

杭打機の出力として表わそうとする、杭に伝わったエネルギーは、打撃力-変位線図で示される変位最大の点までの打撃力の積分値とし、リバウンドエネルギーは計算に入れない。

図-8は、3種類の杭打機について上記の考えのもとに、杭に伝わったエネルギーを計算した結果である。ラム落下高さは油圧ハンマ0.5~1.2m、ディーゼルA 0.95~2.35m、ディーゼルB 1.66~2.62mの範囲でそれぞれ実験したものであるが、この範囲では、各ハンマとも杭に伝わったエネルギーは、ラムの位置エネルギーに対し直線関係にある。また、油圧ハンマはほぼ座標原点を通り、ラムの落下行程において空気圧縮等によるエネルギー損失が少ないことを示している。ディーゼルハンマは、ラムが落下し吸気ポートを閉じてから一定量の空気を圧縮するための仕事の大部分が損失エネルギーとなり、これは図-8において、破線及び実線を下方に延長し杭に伝わったエネルギーがゼロとなる時の位置エネルギーの値で表わされるものとする。次に、位置エネルギーに対する、杭に伝わったエネルギーの比をエネルギー伝達率とすると図-9が得られる。ディーゼルハンマは常に一定の損失エネルギーを必要とするので、ラム落下高さが高いほどエネルギー伝達率は向上する。

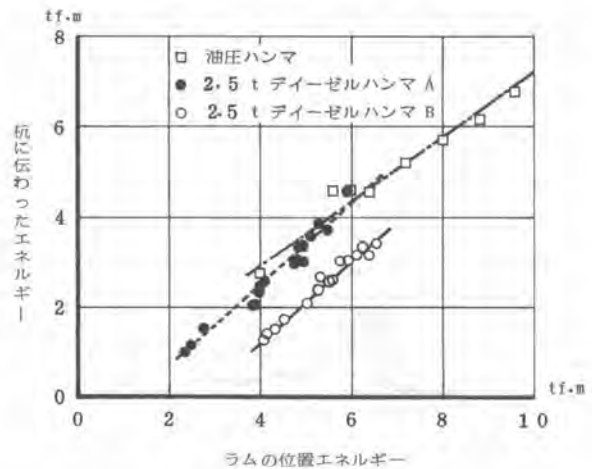


図-8 伝達エネルギーと位置エネルギー

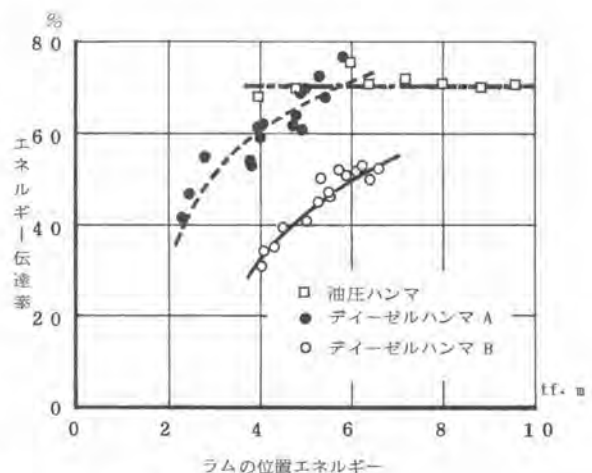


図-9 エネルギー伝達率

4. あとがき

従来一般的に行なわれていた、エンピツ書きによる杭の沈下記録に替り、杭の変位を打撃力と同期させて電気信号として計測することによって、杭の挙動に関する情報量が飛躍的に増加した。ここに述べた方法を標準化すれば、あらゆる打撃式杭打機の能力評価に適用できるものとする。さらに実測を重ね、これを確認してゆきたい。