

Ⅲ - B14

杭の応力波と貫入曲線について

東京理科大学	学生会員	原 健二
東京理科大学	名誉会員	藤田圭一
大成ロテック(株)		中村俊博
N T T		高松 寛

1. はじめに

砂地盤に模型杭を打込んだとき、杭体に生じた応力波と杭の貫入量の時刻歴と、応力波に対して行った時間-周波数解析法であるWavelet変換¹⁾結果との関係を検討し、異なった密度および打込み条件で計測された杭の応力波の特徴が、Wavelet変換結果に現れたことを述べる。

2. 実験と解析方法

乾燥または飽和豊浦砂地盤に、動的載荷装置によりハンマーを自由落下させて杭を打込み、一打撃ごとに、光学式変位計により杭の貫入量と、ハンマーの衝突により杭体に発生した応力波を杭頭付近の2断面に貼付けた半導体ひずみゲージで計測した。杭の応力波から、一次元波動理論を適用した2点ゲージ法により、打撃効率、動的貫入抵抗、杭の速度波形を算出した。また、杭の応力波の時間-周波数特性を検討するため、Morlet関数をマザー関数としてWavelet変換を行った。なお、数種類の地盤の相対密度、ハンマーの打撃エネルギーの組合わせで実験と解析を行った。

3. 考察

図-1～5は、相対密度90%の飽和砂地盤に打撃エネルギー600kgf・cmで、図-6と7は、相対密度77%程度の乾燥砂地盤に打撃エネルギー200kgf・cmで杭を打込んだ場合の計測・解析例である。

図-1～3は、ハンマーの打撃による杭の速度、貫入量、応力波をそれぞれ時刻歴で示している。図-1には、杭の速度が負になる所が3箇所見られるが、これは杭が上昇しているためで、杭の貫入が停止したときに、杭と地盤にリバウンドが発生したことを裏付ける。図-2では、杭は大きく貫入したのち、わずかに上昇するが、再び下降、上昇を繰り返しているのが示されている。

図-3は、杭頭付近の応力波を示すが、ハンマーの打撃で最大圧縮応力度が生じたあと、引張と圧縮を繰り返しながら減衰しているが、応力度が立ち上がっている所が3箇所程見られる。その位置は、それぞれ図-1の速度で負から正へ移る点、および、図-2の貫入曲線で下降し始める点と対応している。ハンマーは杭と衝突したあと、杭と一時離れるが、杭の動きがほとんど停止したとき、再び杭と衝突しているためである。

図-4は、図-3の杭の応力波をWavelet変換した結果で、時間-周波数-パワーの三次元表示を俯瞰図の形でまとめているが、変換結果の全体像を捉えることができる。図-5は、図-4の周波数を横軸、パワーを縦軸にとって表示している。パワーは、杭とハンマーの衝突直後に大きい、そのピークは固有周波数よりやや小さいところに発生していることが示されている。この時刻に杭が地中に貫入し始めているので、固有周波数より小さいすなわち周期の長い波は、地盤が杭の貫入に抵抗する現象に伴うものと解釈して差し支えない。なお、本来の杭の応力波の固有周期は0.38ms、固有周波数は2.57kHzであるから、ここでは、固有周波数以外の周波数をもった波形が重なったものを応力波として取扱っている。

図-2において、第二波、第三波も同様であるが、第一波の打撃によって生じた杭の貫入曲線の起点と終点を半周期とする杭の動きは、杭が地盤の抵抗に打ち克って貫入したが、遂に地盤の抵抗に屈した軌跡である。図-5には谷が3箇所見られるが、この谷の位置は前述の半周期から求めた周波数(実線の矢印)とほぼ一致している。これは、一連の現象がWavelet変換結果の形状に現れたものと考えられる。

杭の応力波、ウェーブレット変換、杭の貫入曲線、動的貫入抵抗、打撃効率

〒278 野田市山崎2641 東京理科大学 TEL 0471-24-1501(内線4056) FAX 0471-23-9766

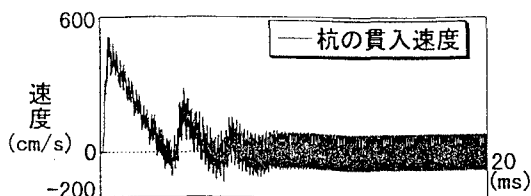


図-1 杭の貫入速度と時間の関係

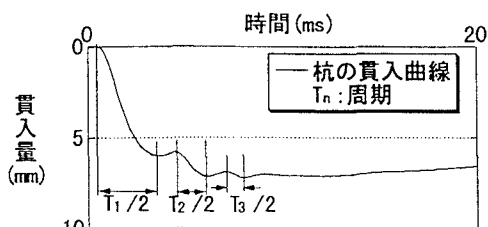


図-2 貫入量と時間の関係

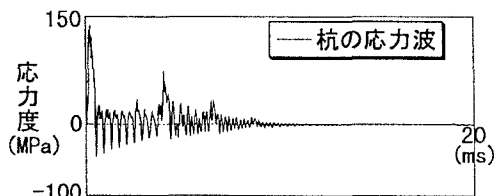


図-3 杭の応力波と時間の関係

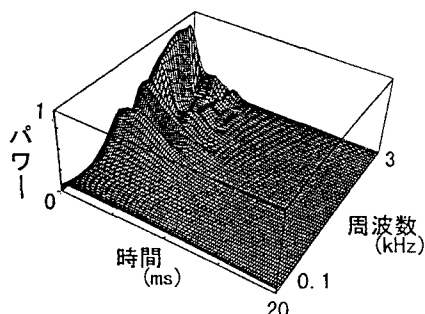
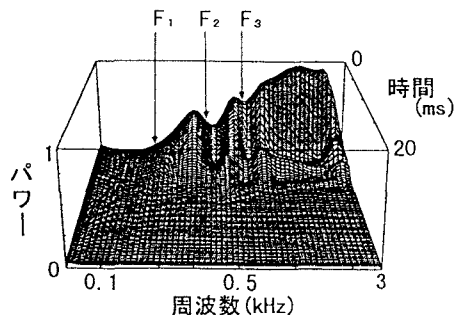


図-4 Wavelet変換結果（俯瞰図）



←：貫入曲線から求めた周波数 $F_n = 1/T_n$

図-5 変換結果と貫入曲線の関係

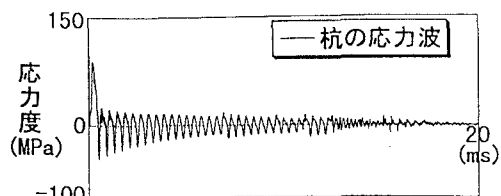


図-6 杭の応力波と時間の関係

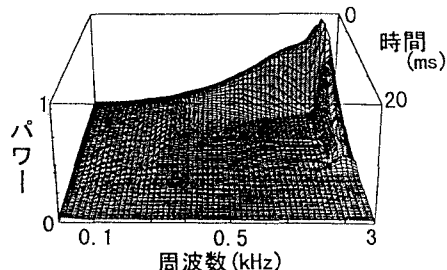


図-7 Wavelet変換結果

図-6は、図-1～5より相対密度が小さく、打撃エネルギーが小さいときの試験結果である。図-7は、図-6のWavelet変換結果で、横軸を周波数によって表示しているが、図-5と比較すると凹凸が非常に小さいなだらかな形状をなしている。変換結果のパワーはその最大値で無次元化しているが、実際には、図-7は図-5の3/4の大きさで、固有周波数よりやや小さい位置にパワーの最大値が見られる。図-3と図-6に示す応力波と時間の関係を比較すると、確かに違いは認められるが、Wavelet変換を行うとその違いが一層明らかに見られる。

4. まとめ

- (1) 杭の応力波、貫入量および貫入速度の時刻歴によれば、ハンマーと杭は衝突を繰り返している。
- (2) ハンマーと杭の衝突後、杭の貫入に要する時間を半周期とする周波数は、Wavelet変換結果の谷の位置とほぼ一致する。
- (3) ハンマーと杭の衝突で発生した応力波をWavelet変換すると砂地盤の相対密度と打撃エネルギーによる違いが明瞭に現れる。

<参考文献> 1) 藤田、村井、原：乾燥・飽和砂地盤に打込んだ杭の応力波のWavelet解析、第31回土質工学究発表会、pp. 1711～1712 2) 藤田、村井、原：杭の応力波のウェーブレット解析による時間-周波数特性の評価、土木学会第52回年次学術講演会、pp. 78～79