

III-B 39

杭の応力波のウェーブレット解析による時間一周波数特性の評価

東京理科大学 正会員 藤田 圭一
 顧問 正会員 ○村井 貞人
 東京理科大学 学生会員 原 健二

1. はじめに

杭の静的支持力は、打込み中に発生した過剰間隙水圧が経過日数とともに消散するに伴って増加し、その期間は数カ月にも及ぶ。杭の設計に用いる静的支持力は、この段階のものが望まれている。

杭打ち時に杭頭部に取付けたストレインゲージ・加速度計の測定結果に一次元波動理論を適用して杭の動的貫入抵抗を求め、杭の静的支持力を推定することが行われているが、過剰間隙水圧が高い時期のデータによる支持力判定は信頼性に欠ける。そのため、杭打込みから1～2カ月後の再打撃が推められているが、現場での実施は困難なことが多い。

我々の一連の研究で、乾燥砂および飽和砂地盤における杭打ち時に計測した杭の応力波は、明らかに異なっていることを確認¹⁾している。藤田・池田ら(1995)の研究²⁾では、両者の応力波を差し引いて、調和分析し、この成分が過剰間隙水圧に関係していることを見い出しているが、この方法を現場に応用することは不可能である。本報は、打込んだ杭の応力波のみで検討が可能な時間一周波数解析法であるウェーブレット解析³⁾に着目して、過剰間隙水圧の問題に取扱ったものである。

2. 実験および解析方法

(1)杭の応力波の計測:動的載荷試験によってハンマーの打撃により杭体内に生じた応力波を杭に貼付したストレインゲージで計測した。

(2)試験条件:各地盤の実験条件と性質を表-1、-2に示す。

(3)連続ウェーブレット解析:連続ウェーブレット変換は、時系列データ $f(t)$ とウェーブレット関数系とのたたみ込み積分で表される。マザーウェーブレット $g(t)$ として、

$$g(t)=\exp(-\frac{t^2}{2})\exp(int) \quad (n=2\pi, \text{Morlet関数})$$

を選択した。

3. 解析結果

(1)Morlet関数の応力波への適用

図-1は、杭打ち時に杭頭部で計測した杭の応力波である。この波形に対して、逆連続ウェーブレット変換結果を図-1の太線に示す。図-1を見ると、応力

表-1 実験条件

		乾燥・飽和砂	珪藻泥岩*
杭	直径(cm)	2.500	2.503
	断面積(cm ²)	4.906	4.921
	長さ(cm)	100.000	90.000
	密度(g/cm ³)	7.860	7.826
	ヤング率(×10 ⁶ kgf/cm ²)	2.100	2.107
	波速度(m/s)	5140.0	5137.1
ハンマー	直径(cm)	9.600	3.000
	断面積(cm ²)	70.120	7.069
	長さ(cm)	18.000	97.000
	重量(kgf)	10.000	5.4
	落下高(cm)	60.000	4.000
土槽寸法φ×H(cm)		30.5×50.0	26.0×25.0

表-2 各地盤の物理的性質

	乾燥砂	飽和砂	珪藻泥岩*
含水比(%)	0	23.3	112~118
間隙比	0.617	0.617	2.42~2.72
比重	2.65	2.65	2.16~2.21
湿潤密度(g/cm ³)	1.642	2.021	1.32~1.34
飽和度(%)	0	100	98~100
q _u (kgf/cm ²)	-----	-----	8~10

*: 金沢大学・松本ら(1990)測定データ

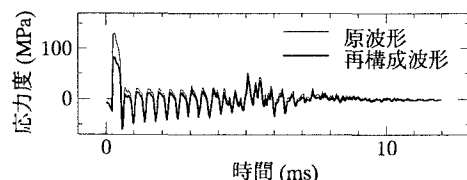


図-1 原波形と再構成波形

波の振幅はやや小さくなっているものの、応力波の発生時刻および原波形を良好に再現している。これは対象波形である応力波の解析に、多数あるマザーウェーブレットの中からMorlet関数を選んでよいこと示す。

(2)各地盤で計測した応力波に対する変換結果

図-3は、乾燥砂、飽和砂および珪藻泥岩地盤で計測した杭の応力波に対して連続ウェーブレット変換を行った結果を示している。これら3つの変換結果には、明らかな特徴がみられる。飽和砂地盤と珪藻泥岩地盤の変換結果は、ハンマーが杭に衝突した後に2つの大きなピークが明瞭に認められるが、この特徴は乾燥砂地盤の変換結果には認められない。また、それらのピークの周波数は両地盤ともに約300～350Hzおよび約600～650Hzである。

珪藻泥岩地盤中に埋設した間隙水圧計で松本らが測定した過剰間隙水圧波形に対しても、連続ウェーブレット変換を行った。杭先端部および周辺部における変換結果は、周波数約270Hzにピークを持っていた。

4. 考察

飽和砂地盤および珪藻泥岩地盤における応力波の変換結果において、ハンマー衝突後に認められるピークは、表-1および表-2に示すように土の種類、実験条件が異なるにもかかわらず、①両者の変換結果は極めて類似している②乾燥砂地盤における応力波の変換結果とは異なる③両地盤の性質の共通点は水で飽和している④地盤中に埋設した間隙水圧計により測定された過剰間隙水圧波形における変換結果のピークの周波数とほぼ一致していることから、杭打ち時に発生した過剰間隙水圧によるものであると断定しても差し支えないと考える。

5. まとめ

杭打ち時に計測した応力波からウェーブレット変換の適用することで直接、過剰間隙水圧成分を取り出すことが可能である。最後に珪藻泥岩の応力波を提供して頂いた金沢大学の松本樹典氏に深く感謝の意を表します。

《参考文献》

- 1) 藤田ら他: 砂地盤中の水が応力に及ぼす影響, 第25回土質工学研究発表会, pp. 1393～pp. 1394, 1990.
- 2) 藤田ら他: 杭の応力波に及ぼす過剰間隙水圧の影響, 第30回土質工学研究発表会, pp. 1443～pp. 1444, 1995.
- 3) 藤田ら他: 乾燥・飽和砂地盤に打込んだ杭の応力波のウェーブレット解析, 第31回地盤工学研究発表会（投稿中）.
- 4) 松本ら他: 珪藻泥岩における先端支持杭の静的および動的載荷試験, 第25回土質工学研究発表会, pp. 1413～pp. 1416, 1990.
- 5) 榊原: ウェーブレット入門, 数理科学.

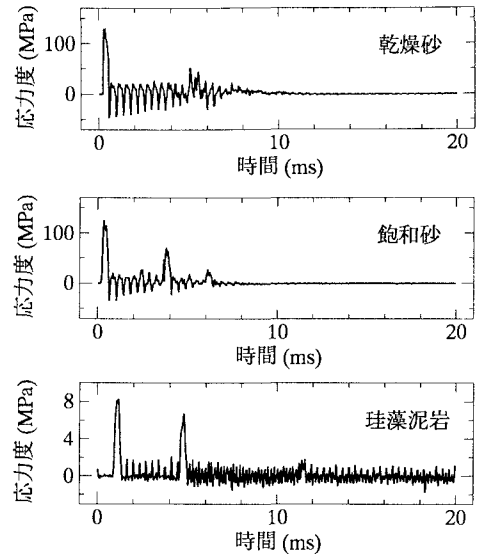


図-2 杭の応力波（変換対象波形）

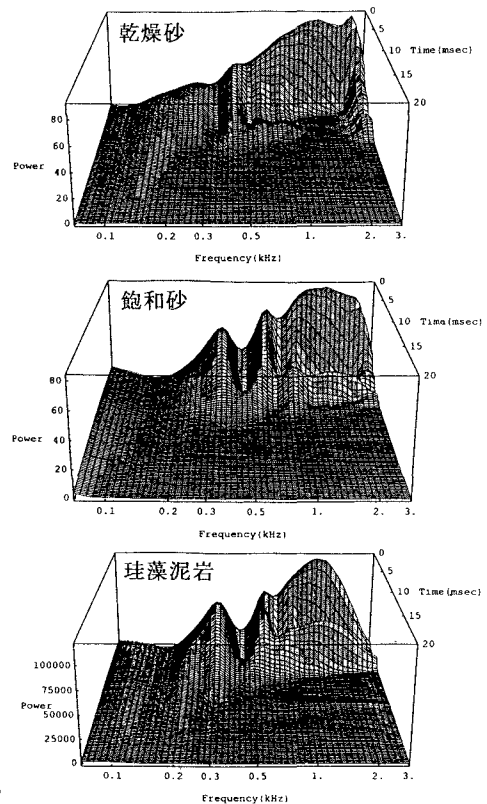


図-3 各地盤における変換結果