

Ⅲ - A365

SPT 時の応力波のウェーブレット変換と周波数—パワースペクトル図の特性

東電設計（株） 正会員 ○山口博史
東京理科大学 名誉会員 藤田圭一
学生会員 吉永拓生

1. はじめに

SPT 時のロッドに発生した応力度の時刻歴(応力波)をサンプリング間隔 $5\mu\text{s}$ で A/D 変換して記録した。応力波には乾燥豊浦砂地盤の相対密度で異なった特徴が見られるが、これを定量的に表現するのが困難であることから、応力波に対して Morlet 関数を Mother 関数とする連続ウェーブレット変換し、時間-周波数-パワーの 3 次元図を作成して示した。

2. 応力波のウェーブレット変換における周波数域の選定について

図-1 のモデル波(sin 波)とそのウェーブレット変換結果を図-2 に示す。各 sin 波はそれぞれの周波数を中心にある幅をもち、かつパワーは周波数に反比例して表現されるのがウェーブレット変換の特徴である。0.5kHz と 1.0kHz の sin 波は時間軸上に正しく分布しているが 0.1kHz の波は与えた 15ms の時間より大きい 30ms に分布している。これは解析上のことで止む得ないが、特に低周波数域に解析結果特を利用するときに注意すべき現象である。

図-4 は 1kHz の sin 波をサンプリング間隔 $20\mu\text{s}$ で Wavelet 変換した結果で、40kHz と 100kHz の周波数付近に小さな山が現れている。この山の周波数は実際には与えられていない信号であることからサンプリング間隔は $20\mu\text{s}$ ではなく $5\mu\text{s}$ にする必要がある。

応力波のウェーブレット変換で得られる周波数特性の縦軸は、応力度とサンプリングレートの積の 2 乗に係数をかけたパワーで表した。相対密度 40% のとき、応力波の継続時間は、約 50ms となる。同一スケールの周波数軸で比較するため 50ms に対して最低周波数 0.032kHz(解析上、周波数は階乗となるため)とし、最高周波数域は増幅器の応答周波数範囲が 0～200kHz を考慮して 100kHz と設定した。

図-5 の相対密度 80% の応力波と、そのウェーブレット変換した結果を図-6 に示す。3kHz 以上の周波数域には目立ったパワーがないので最高周波数域は 2.896kHz と定めた。

この相対密度 80% の場合は、応力波の継続時間は 15ms 以下であるが、0.07kHz 以下の低周波数帯域によるパワーの山には、ウェーブレット変換特有の計算のひずみによるゴーストが存在する。周波数域の設定には慎重な検討が必要である。

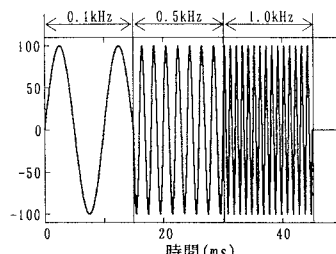


図-1 モデル (sin 波)

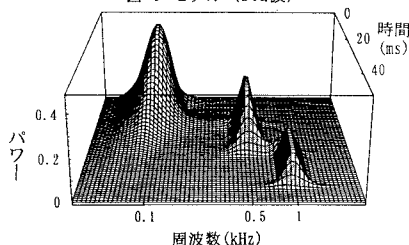


図-2 モデル波の Wavelet 変換結果 (周波数軸)

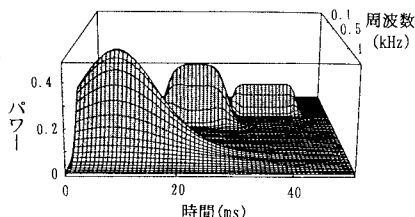
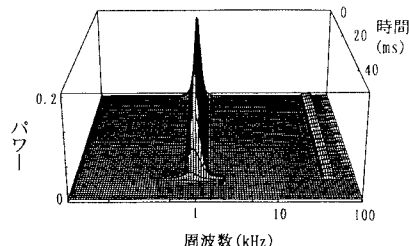


図-3 モデル波の Wavelet 変換結果 (時間軸)

図-4 サンプリング間隔 $20\mu\text{s}$ のモデル波の Wavelet 変換結果

準貫入試験、応力波、ウェーブレット変換、周波数特性

〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 TEL 0471(24)1501 FAX 0471(23)9766

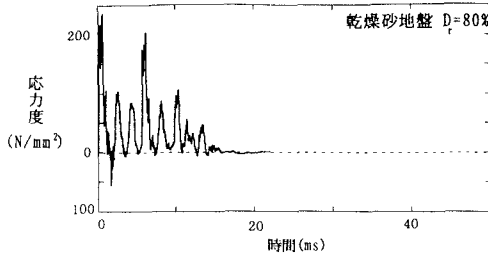


図-5 応力度の時刻歴

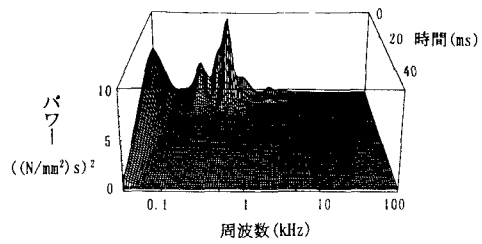


図-6 応力波の Wavelet 変換結果（周波数軸）

3. 時刻ごとの周波数—パワースペクトル図について

図-7 に示す相対密度 60% の応力波の場合、0.64ms に最初の衝突、その後 10.01、17.45ms に再衝突が認められる。また図-8 のウェーブレット変換結果からは、0.5kHz の周波数付近に 3 個の突出した山を見つけることができた。最も大きな山が突出している時刻は約 1ms で、次に突出する山の時刻は 10ms であり、3 つめの山の時刻は 18ms である。この時刻は衝突時刻と一致し、ウェーブレット変換結果の時間-パワー図には 3 回の衝突の影響がはっきりと現れている。突出した山は 0.5kHz 付近の周波数であり、先程の sin 波における 0.5kHz の周波数では時間-周波数を忠実に再現していたので非常に正確に繰返し衝突時刻を表しているはずである。

周波数—パワースペクトル図においてパワーの値が最も大きくなる 2ms の時刻（図-9）と 2 回目の衝突が起こった時刻（図-10）と 3 回目の衝突が起こった時刻（図-11）の周波数—パワースペクトル図を表した。

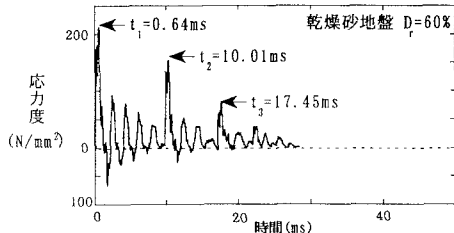


図-7 応力度の時刻歴

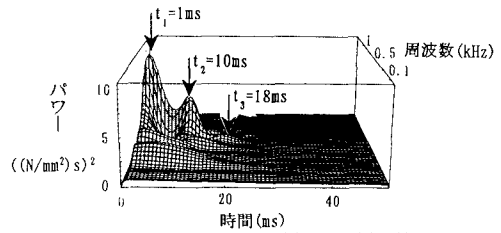


図-8 応力波の Wavelet 変換結果（時間軸）

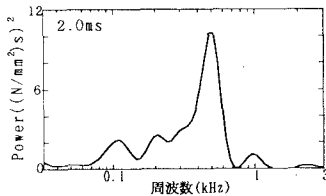


図-9 第1波の周期の時刻

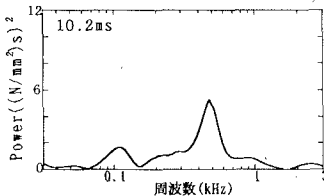


図-10 第2回目の衝突時刻

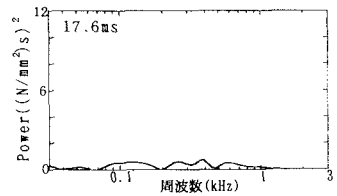


図-11 第3回目の衝突時刻

4. 結論

- (1)途中で周波数が変わる sin 波をウェーブレット変換すると、時間-周波数-パワー 3 次元図上に独立したパワーの分布を示す。低周波数ほどパワーが増幅され、また波の時刻域は広くなる傾向がある。
- (2)サンプリングレートを大きくすると、高周波数域にゴーストが現れることがある。
- (3)応力波のウェーブレット変換の周波数範囲を 0.032~2.896kHz とすると、応力波の継続時間が短い相対密度 80% のウェーブレット変換結果には低周波数域にゴーストが現れる。
- (4)相対密度 60% の応力波とそのウェーブレット変換結果にはハンマーとロッドの複数回の衝突が認められ、1 回目と 2 回目の衝突時刻のスペクトル図にはそれぞれ 4 つの突出したパワーの山が現れた。

<参考文献> (1)村井貞人：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 51 回年次学術講演会、pp.78～pp.79, 1996.9 (2)藤田圭一：SPT 時の応力波のウェーブレット変換と周波数—パワースペクトル図の解釈、土木学会第 54 回年次学術講演会（投稿中）