

レベル2地震動作成方法に関する一提案

—サイト増幅特性からサイト位相特性を求める試み—

(株)アライズソリューション 正会員 吉田 隆千代

1. はじめに

「港湾の施設の技術上の基準・同解説(2007)」¹⁾(以下、港湾基準)では、レベル2地震動の作成に対して統計的グリーン関数の適用が推奨され、計算プログラムが公開されている。このプログラムを用いると、断層パラメータと中小地震の地震動を設定しさえすれば誰でも簡単にレベル2地震動を作ることができる。しかし、この方法にはサイト特性のうち位相特性が正しく評価されないという問題がある。すなわち、スペクトルインバージョンにより得られたサイト増幅特性に中小地震の地震動の位相を付け加えてサイト特性としているが、関連のない振幅と位相を別々に求め合成することは数理的に無意味であり、因果的でない地震波ができるおそれがある。そこで本稿では、数理的に意味のあるサイト特性を得るために、サイト増幅特性のヒルベルト変換からサイト位相特性を求める方法、を提案した。

2. サイト特性の因数分解

サイト特性をつぎのように表す。

$$H(\omega) = |H(\omega)|e^{i\phi(\omega)} \quad (1)$$

ここに、 ω は角周波数、 $|H(\omega)|$ はサイト増幅特性、 $\phi(\omega)$ はサイト位相特性である。

サイト特性が因果的であるとすると、サイト特性は最小位相推移関数 (Minimum-phase-shift function 以下 MPS)

$H_M(\omega)$ と全域通過関数 (All-Pass function 以下 AP)

$H_A(\omega)$ に因数分解できる²⁾。

$$H(\omega) = H_M(\omega)H_A(\omega) \quad (2)$$

$H_M(\omega)$ と $H_A(\omega)$ はそれぞれ、

$$H_M(\omega) = |H_M(\omega)|e^{i\phi_M(\omega)} \quad (3)$$

$$H_A(\omega) = |H_A(\omega)|e^{i\phi_A(\omega)} \quad (4)$$

と表されるので、これらを(2)に代入するとつぎのように書ける。

$$H(\omega) = |H_M(\omega)||H_A(\omega)|e^{i\{\phi_M(\omega)+\phi_A(\omega)\}} \quad (5)$$

ここで、APの振幅特性は、

$$|H_A(\omega)| = 1 \quad (6)$$

であるため、(1)(5)(6)より次式が得られる。

$$|H(\omega)| = |H_M(\omega)| \quad (7)$$

$$\phi(\omega) = \phi_M(\omega) + \phi_A(\omega) \quad (8)$$

(7)(8)から、サイト増幅特性は MPS の振幅と同一であり、サイト位相特性は MPS の位相と AP の位相の和で表されることがわかる。さて、AP はインパルス作用時刻を表す位相関数であり、サイトの伝達特性に及ぼす影響は小さいと考えられる。よって、ここでは、サイト位相特性に対する AP の影響を無視し、MPS の影響のみを考慮することとした。なお、この処理の妥当性について APPENDIX にて補足説明を行う。

3. サイト増幅特性からサイト位相特性を求める方法

MPS の振幅と位相の間にはヒルベルト変換の関係があり、位相は振幅から次式のように求められる。

$$\phi_M(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\log|H_M(y)|}{\omega - y} dy \quad (9)$$

(9)はコーシーの主値積分であるため解析解を得るのは困難であるが、フーリエ解析によれば容易に計算できる(図1)。

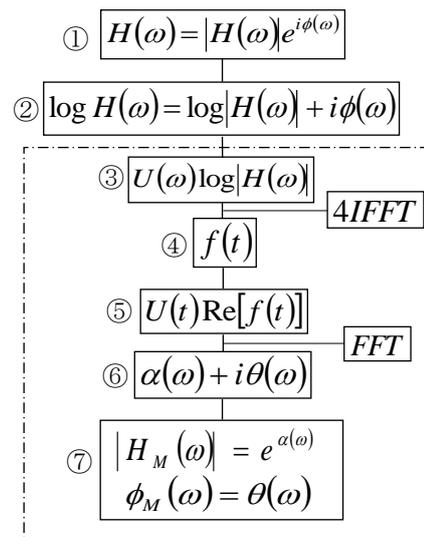


図1 MPSの計算フロー

MPS の計算フローを示す (図 1) . ①サイト特性を与える. ②対数をとる. ③実部にステップ関数をかける. ④4 倍してフーリエ逆変換 (IFFT) を行い, 複素数値関数を求める. ⑤実部にステップ関数をかける. 最後に, ⑥フーリエ変換 (FFT) を行くと, ⑦MPS の振幅と位相が得られる (MPS の振幅は⑥の実部の指数をとれば与えられ, MPS の位相は⑥の虚部に等しくなる) .

計算フローの③をみると, MPS の計算に必要なものはサイト特性のうち振幅特性だけであることがわかる. そのため, 振幅特性 (サイト増幅特性) が与えられている場合は, ③からスタートし, ④⑤⑥⑦を行えば, MPS が計算され, サイト位相特性を得ることができる.

4. 検証解析

提案法の有効性を確かめるために解析を行った. 検討対象サイトは K-NET 広島 (HRS013) とした. 解析は, まず, スペクトルインバージョンにより算出されたサイト増幅特性をもとに, サイト位相特性を MPS 計算フローにしたがって求めた. なお, サイト増幅特性は野津ら³⁾により計算されたものを使用した.

サイト増幅特性と, それをもとに作成したサイト位相 (MPS の位相) 特性を示す (図 2) . 図中, 下側がサイト増幅特性, 上側がサイト位相特性である.

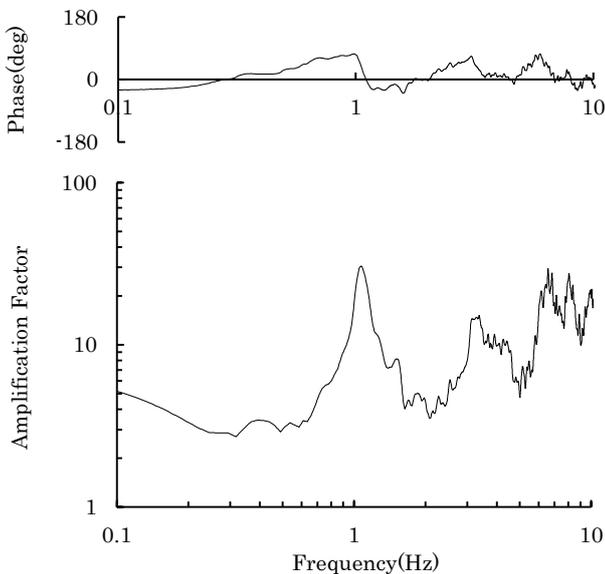


図 2 サイト特性

つぎに, M6.9 直下地震に相当する断層パラメータを設定し, 得られたサイト特性を用いてサイトにおける模擬波を作成した. さらに, 港湾基準の方法 (サイト位相特性に中小地震の地震動の位相を用いる方法) による模擬波を併せ作成し, 比較を行った (図 3) .

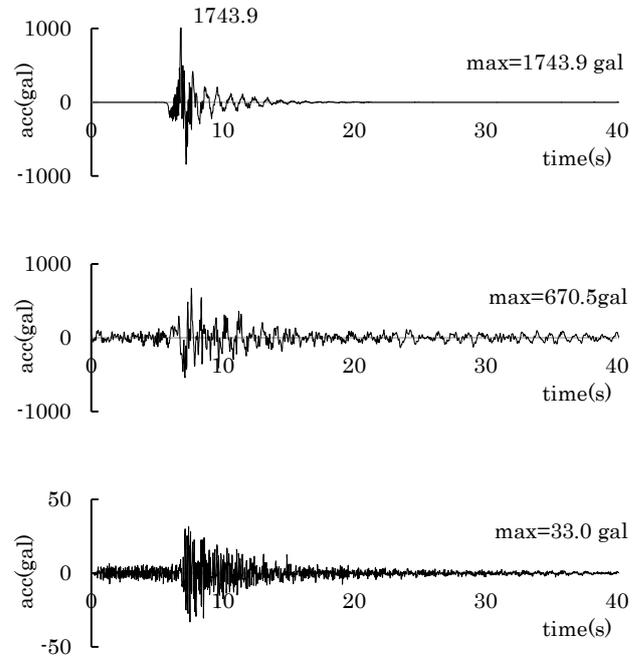


図 3 模擬波および中小地震の地震波

図中, 最上段は提案法による模擬波, 中段は港湾基準の方法による模擬波, 最下段はサイトで観測された中小地震 (M5.0) の地震波である. 因果性に注目すると, 提案法により作成した波形は因果性が確保されている. すなわち, 直達 S 波の前に到達した波はない. 一方, 港湾基準の方法により作成した波形には, 本来想定していない初期微動様の波が直達 S 波の前に発生しており, 因果性が壊れている. また, 継続時間が長く, 波形の包絡形状が中小地震動のそれによく似ており, 中小地震の地震動の位相特性が強く現れている. 最大加速度をみると, 提案法の 1743.9gal に対し, 港湾基準による方法は 670.5gal である. サイト増幅特性とサイト位相特性の間に関連がないため過小評価されたと考えられる.

5. まとめ

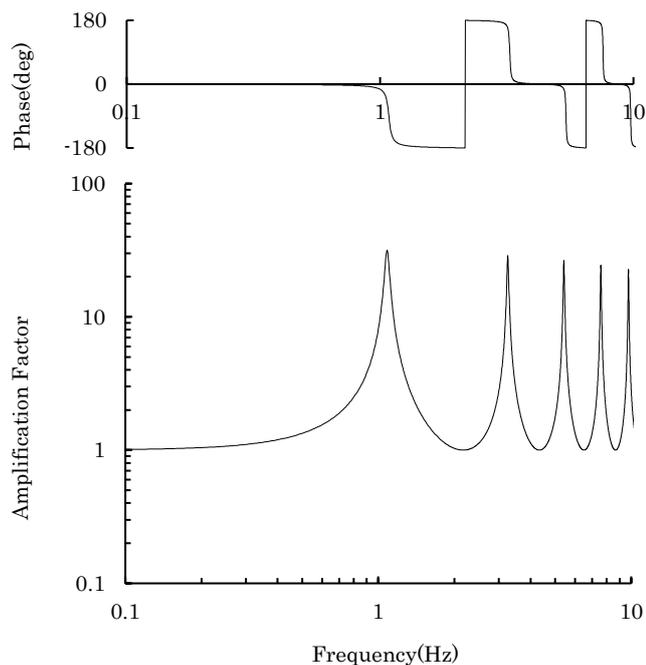
サイト増幅特性からサイト位相特性を求める方法を提案し, 有効性を確認するために検証解析を行った.

謝辞 国立研究開発法人防災科学技術研究所のデータを使用させていただきました. お礼申し上げます.

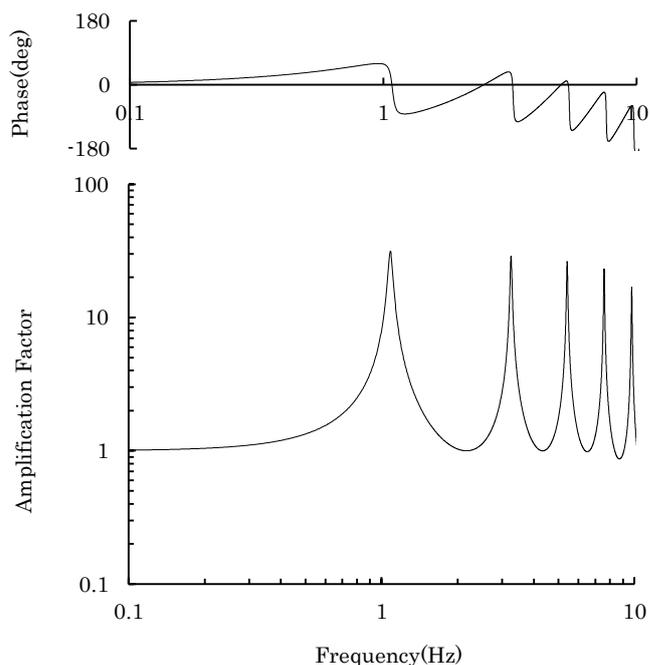
参考文献

- 1) (社) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (上巻), pp. 351-360, 平成 19 年 7 月
- 2) 和泉正哲, 勝倉裕, 大野晋: 地震動の因数分解に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 390 号, pp. 27-33, 昭和 63 年 8 月
- 3) 野津厚, 長尾毅: スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等におけるサイト増幅特性, 港湾空港技術研究所資料, No. 1112, 2005. 12

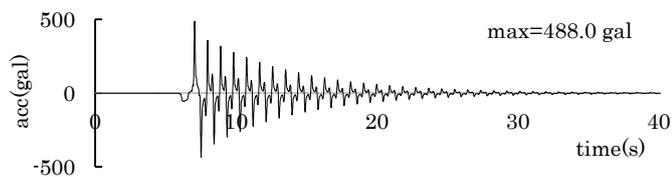
APPENDIX [処理の妥当性]



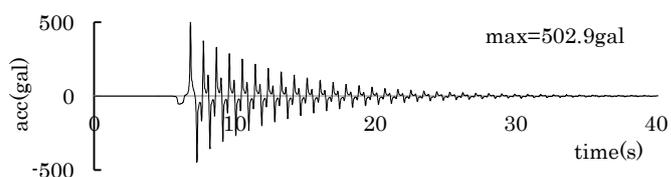
付図1 サイト特性 (方法1)



付図2 サイト特性 (方法2)



付図3 模擬波 (方法1)



付図4 模擬波 (方法2)

処理の妥当性について補足説明を行う。1次元成層地盤モデルによるサイト特性(方法1)を付図1に、振幅特性を1次元成層地盤モデルより求め、位相特性を提案法より求めたサイト特性(方法2)を付図2に、M6.9直下地震に対する方法1の模擬波を付図3に、M6.9直下地震に対する方法2の模擬波を付図4に示す。

方法1による模擬波と方法2による模擬波は、ほぼ一致している。両者の間に若干の差異が見られるのは、方法2による模擬波作成においてAPの位相を無視したためである。