

水平成層地盤の Green 関数計算における Phinney 法の有効性について

運輸省港湾技術研究所 正会員 野津 厚

1. はじめに

水平成層地盤の Green 関数の計算において、角振動数に虚部を導入する Phinney 法¹⁾が用いられることがある。Phinney 法には数々の利点があるが、Phinney 法の導入が後続波形の誤差の原因となる可能性が懸念されていた²⁾。そこで本研究では Phinney 法を用いる場合と用いない場合の計算結果を比較することにより、Phinney 法が誤差の原因とはならないことを示す。また、Phinney 法を用いた計算手法が残留変位を含む震源近傍の地震動の計算に有効であることを示す。

2. 後続波形の位相

水平成層地盤の Green 関数の計算においては震源項を Bouchon の方法³⁾で波数積分の形に展開するが、このとき被積分関数には極が含まれるので、媒質が非減衰の場合や減衰がごく小さい場合には計算ができなくなる。そこで極を回避するため Phinney 法が用いられる。これは、 ω^* を正の定数として $\omega^* = \omega - \lambda i$ としたときに得られるフーリエ変換対

$$\begin{aligned}\hat{f}(\omega^*) &= \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega^* t} dt \\ f(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{f}(\omega^*) e^{i\omega^* t} d\omega^* e^{\lambda t}\end{aligned}\tag{1}$$

を利用して、周波数領域の計算を複素数 ω^* に対して実行するものである。この方法によれば非減衰の場合でも極の回避が可能である他、 $\lambda = 0$ の場合を別扱いする必要がないという利点もある。ところが、Phinney 法の導入により後続波形の位相のずれや波形の尾部のノイズが生じることが懸念され、Phinney 法の利用が回避される場合もあった²⁾。そこで本研究では点震源に対する水平成層地盤の応答 (1Hz 以下) を Phinney 法を用いる方法と用いない方法で計算し、それらの結果を比較することにより、誤差の有無について検討を行った。表-1 及び表-2 に検討条件を、図-1 に検討結果を示す。Phinney 法を用いる場合の計算では既往の研究事例⁴⁾から $\lambda = 1/T_W$ とした。ここに T_W は波形を求めようとする時間ウインドウである。Phinney 法を用いない場合の計算は久田²⁾がインターネットで公開しているコードを用いて行った。図-1 に示すように、Phinney 法を用いる場合と用いない場合の結果は後続波形を含め完全に一致している。このことから、Phinney 法が後続波形の誤差の原因となることは考えられない。

3. 残留変位が生じる場合の計算結果

Phinney 法を用いることの利点として、非減衰の場合にも対応できること等の他、 $\lambda = 0$ の場合を別扱いする必要がないことがある。このことから震源近傍で near-field 項や intermediate-field 項が卓越して残留変位が生じる場合の計算にも Phinney 法は有効である。このような事例として、ここでは半無限媒質 ($V_p=5400\text{m}$, $V_s=3200\text{m}$, $\rho=2.7\text{g/cm}^3$) の深さ 1000m の位置に (strike,dip,rake)=(0,0,0)、地震モーメント $M_0=2.8 \times 10^{17}\text{dyne}\cdot\text{cm}$ の点震源を置き、地表 (azimuth=0) における変位を計算した。図-2 の実線は震央距離 9000m における変位の radial 成分である。変位波形の残留値は別途計算した残留変位の理論値 (破線)⁵⁾と一致する。図-3 は震央距離 0-9000m における変位波形の radial 成分と vertical 成分の残留値 () を残留変位の理論値 (実線) と比較したものであるが両者は良く一致している。

4. まとめ

以上の検討により、Phinney 法が後続波形の誤差の原因とはならないこと、Phinney 法を用いた計算手法が

キーワード：Phinney 法，水平成層地盤，Green 関数，誤差，残留変位

連絡先：〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 電話：0468-44-5030 Fax：0468-44-0839

残留変位を含む震源近傍の地震動の計算に有効であることが示された。

謝辞

計算の一部は工学院大学の久田嘉章氏がインターネットで公開されているコードを用いて行いました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1)Phinney, R.A.: Theoretical Calculation of the Spectrum of First Arrivals in Layered Elastic Mediums, Journal of Geophysical Research, Vol.70, No.20, 1965, pp.5107-5123.
- 2)久田嘉章: 成層地盤における正規モード解及びグリーン関数の効率的な計算法, 日本建築学会構造系論文集, 第501号, 1997年, pp.49-56.
- 3)Bouchon, M.: A Simple Method to Calculate Green's Functions for Elastic Layered Media, BSSA, Vol.71, No.4, 1981, pp.959-971.
- 4) Bouchon, M.: Discrete Wave Number Representation of Elastic Wave Fields in Three-Space Dimensions, Journal of Geophysical Research, Vol.84, No.B7, 1979, pp.3609-3614.
- 5) Press,F.: Displacements, Strains and Tilts at teleseismic distances, Journal of Geophysical Research, Vol.70, No.10, 1965, pp.2395-2412.

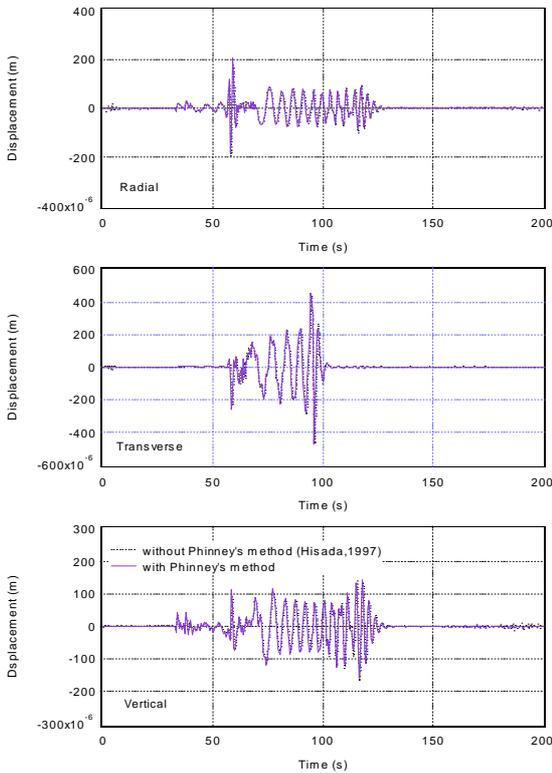


図-1 Phinney法を用いる場合と用いない場合の比較
観測点は(x,y,z)=(17430m, -199239m, 0m)

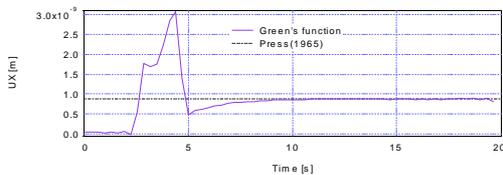


図-2 残留変位が生じる場合のGreen関数(実線)と残留変位の理論値(破線, Press, 1965)

表-1 地殻構造モデル

厚さ(m)	Vs(m/s)	Qs	Vp(m/s)	Qp	密度(g/cm ³)
2500	2200	50	3900	100	2.5
1000	2700	100	5100	200	2.6
12500	3500	150	6000	300	2.7
16000	3800	250	6800	500	2.9
-	4250	250	7600	500	3.1

表-2 震源パラメタ

震源位置(x,y,z:m)	M ₀ (dyne*cm)	strike	dip	rake	Tr (s)
(0,0,1000)	5.00E+23	220	50	20	0.4

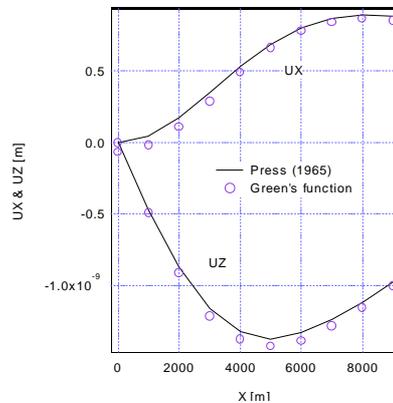


図-3 Green関数の計算から得られた残留変位()と
残留変位の理論値(実線, Press, 1965)