

## 非線形パラメタを用いた経験的グリーン関数法による 境港の強震動シミュレーション

独立行政法人港湾空港技術研究所 正会員 野津 厚

### 1. はじめに

大地震の震源とサイトを結ぶ波線は、非線形挙動を示す表層地盤を複数回横切ることがある（図1）。その結果、地震波が地盤の非線形挙動の影響を複数回受ける場合のあることが報告されている<sup>1)</sup>。このことをここでは多重非線形効果とよぶ。前報<sup>2)</sup>では、経験的グリーン関数法において多重非線形効果を考慮するための非線形パラメタを新たに提案した。ここでは、非線形パラメタを用いて2000年鳥取県西部地震による境港の強震動シミュレーションを行う。

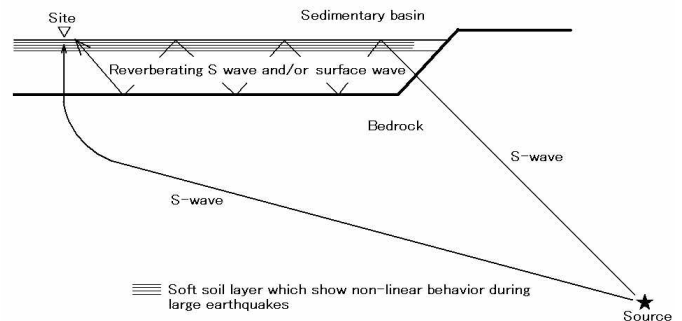


図1 多重非線形効果の概念図

### 2. 手法

提案手法は2つの非線形パラメタ $\alpha_1$ と $\alpha_2$ を用いるものである。 $\alpha_1$ は堆積盆地内の媒質の平均的なS波速度の低下率を示すパラメタである。すなわち $\alpha_1 = V_s/V_{s0}$ である。ここに $V_s$ は非線形時のS波速度、 $V_{s0}$ は線形時のS波速度である。一方 $\alpha_2$ は堆積盆地内の媒質の平均的な減衰定数の増分を意味するパラメタである。経験的グリーン関数（余震記録）の直達S波の到来時刻を $t_0$ としたとき、経験的グリーン関数は次式により補正される。

$$\begin{aligned} g'(t) &= g(t) & (t < t_0) \\ g'(t_0 + (t - t_0)/\alpha_1) &= g(t) \exp(-\alpha_2(t - t_0)) & (t > t_0) \end{aligned} \quad (1)$$

ここに $g'(t)$ は補正後の経験的グリーン関数、 $g(t)$ は補正前の経験的グリーン関数である。なお、減衰定数の増分 $\alpha_2$ が $\alpha_1$ に依存しないとの前提で補正を行うため、式(1)の右辺を計算する際、まず $g(t)$ から帯域通過フィルタにより特定の帯域（バンド幅0.08Hz）をとりだし、この時間関数に $\exp(-\alpha_2(t - t_0))$ を乗じた上で、すべての帯域について加え合わせた。この点で、今回の手法は前報<sup>2)</sup>と若干異なっている。

### 3. 境港の強震動への適用

まず、経験的グリーン関数を用いたインバージョンにより鳥取県西部地震の震源モデルを構築した。グリーン関数としては2000年11月3日16時33分の余震記録を用いた。インバージョンにはK-netおよびKik-netの5つのサイト（TTRH02, TTRH04, OKYH14, SMN001, SMNH10）のtransverse成分を用いた（0.1-2.0Hzの速度波形）。本震波形のS波到来時刻の1秒前から15秒をインバージョンのターゲットとした。破壊フロントは、気象庁発表の震源時刻の4.0秒後から、気象庁発表の震源を中心として同心円状に速度2.8km/sで広がるものとした。図2にインバージョンで得られた最終すべり量の分布を示す。図3にSMN001とSMNH10（図4に位置を示す）での合成波と観測波の比較を示す。両者の一致はおおむね良好である。なお、ここではSMN001とSMNH10の観測波は非線形性の影響を受けていないとの前提でモデリングを行った。フォワードモデリングによる場合、このような前提でのモデリングは難しかった<sup>2)</sup>。インバージョンによる場合も、非線形性を考える方が多少残差が小さくなるが<sup>2)</sup>、その効果は小さいので、ここでは非線形性を無視した。

キーワード：経験的グリーン関数法，多重非線形効果，非線形パラメタ，2000年鳥取県西部地震  
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 電話：0468-44-5058 FAX：0468-44-0839

ここで得られた震源モデルを用い、港湾地域強震観測の観測点（境港-G, 図4）で得られた余震波形をグリーン関数として本震波形を計算する．まず，地盤の非線形挙動を一切考慮せずに計算を行う．図5に合成波と観測波の比較を示すが（0.1-2.0Hz の速度波形，transverse 成分），合成波の後半部分において，位相は観測波と比較して系統的に早く，振幅は観測波と比較して系統的に大きくなっている．また，振幅と位相の差異は，波形の後半部分ほど顕著に表れていることも注目される．次に，非線形パラメタを境港-G の経験的グリーン関数に適用して補正し，改めて境港-G における本震波形を合成した．非線形パラメタは試行錯誤により

$\alpha=0.93$ ， $\beta=0.02$ とした．図6（上）に示すように，非線形パラメタを用いることにより合成結果は著しく改善される．観測波においては，まず周期約2秒のパルス状の波形が数波続き，周期約5秒の後続位相がこれに続くが，各々の位相の到来のタイミングと振幅が，かなり良好に再現されている．図6（下）には，参考のため，境港-G の余震波形から計算した合成波形と，気象庁観測点における観測波の比較を示す（0.1-2.0Hz の速度波形，transverse 成分）．気象庁観測点は境港-G から西に1.5kmほど離れた観測点である（図4）．経験的グリーン関数法では，本来，波形を合成しようとするまさにその場所で取得した小地震記録を用いるときに最も精度が良いはずであるが，図6（下）は図6（上）よりもかえって一致度が良い結果となった．この結果が得られた理由として，境港-G と気象庁観測点が，ここで対象としているような2Hz以下の振動数成分に影響するような比較的深い地盤構造を共有していること，境港-G の本震波形が液状化を含むような表層地盤の強い非線形挙動の影響を受けており，ここで採用しているような非線形パラメタを用いる簡易な方法では完全な再現は難しいことなどが推察される．

#### 4. まとめ

ここでは，経験的グリーン関数法において多重非線形効果を考慮するための非線形パラメタを用いて2000年鳥取県西部地震による境港の強震動シミュレーションを行った．非線形パラメタパラメタは，簡易なものであるにも関わらず，非線形性の影響を受けたサイトでの強震動シミュレーション結果を著しく改善する．

謝辞

本稿ではK-net，Kik-netおよび気象庁の記録を使用しています．

参考文献

1) Nozu, A. and Uwabe, T.: Applicability of empirical Green's function method to strong motion records on man-made island in Kobe, *Proc. 12th WCEE*, 538/4/A, 2000.

2) 野津厚：サイトの非線形パラメタを取り込んだ経験的グリーン関数法，第26回地震工学研究発表会講演論文集，2001年8月，pp.201-204．

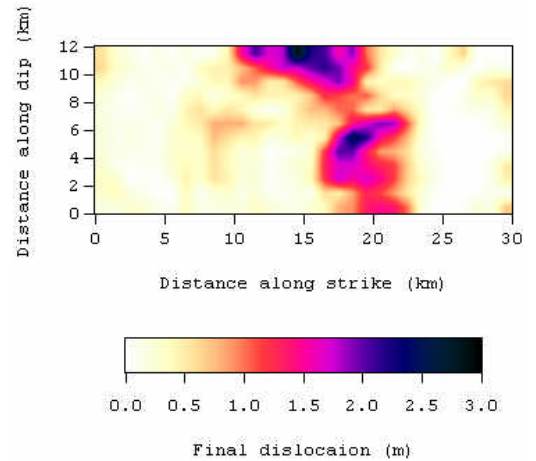


図2 インバージョンで求めた震源モデル

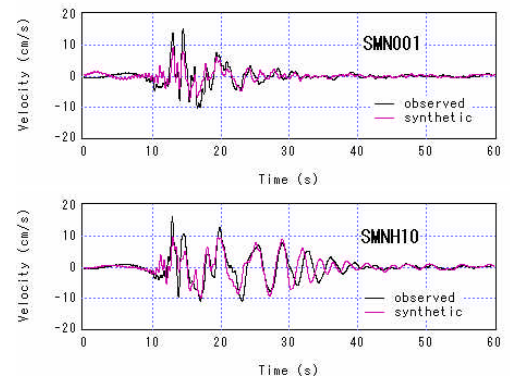


図3 SMN001 と SMNH10 での合成結果

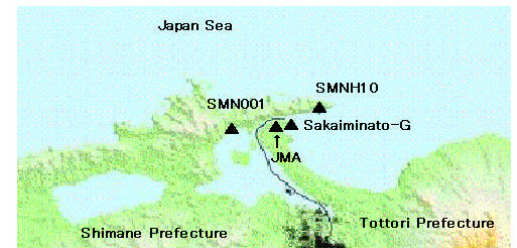


図4 境港周辺の観測点

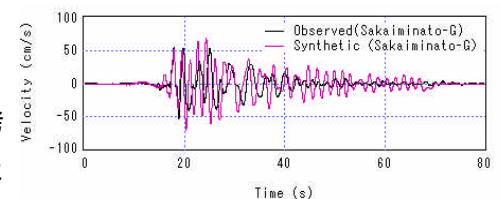


図5 境港-G での合成結果（線形）

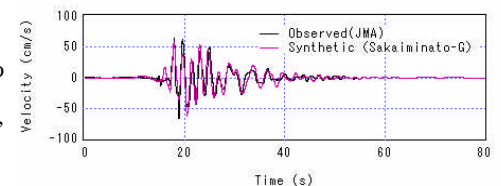
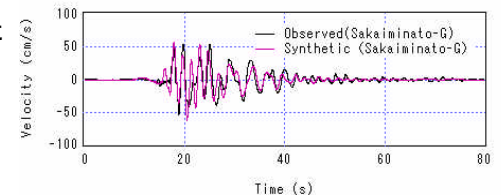


図6 境港-G での合成結果（非線形）

（下段は気象庁の観測波との比較）