

経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法への 近地項・中間項の導入に関する基礎的検討

港湾空港技術研究所 正会員 ○長坂 陽介
港湾空港技術研究所 正会員 野津 厚

1. はじめに

2016年4月16日1時25分(JST)に発生した熊本地震の本震(Mj7.3)では断層近傍で多くの強震記録が得られた。著者らはこれまでに点震源と経験的サイト増幅・位相特性を用いた強震動シミュレーションモデル構築を行い、益城町の特徴的なパルス等をよく再現できることを確認した¹⁾。当モデルは工学的に重要な1Hz付近の強震動をよく再現する一方、多くの地点で0.6Hz以下の低周波数帯で過小評価となる傾向があった。これは、シミュレーションが実質的に遠地項のみを考慮したものであり、断層近傍で卓越する近地・中間項を考慮していなかったことが原因の1つであると考えられる。多くの経験的・統計的グリーン関数法による強震動シミュレーションも同様に遠地項のみを考慮したものとなっている。2016年熊本地震ではGNSSや強震記録の解析から浅部が大きくすべったと推定されており²⁾など、断層近傍では特に低周波数成分に近地・中間項が大きく寄与したと考えられる。断層極近傍の観測記録にも、図1に示すように近地・中間項特有のフリングステップが見られる。また、近地・中間項が低周波数帯だけでなく0.6Hz程度まで影響しているとすれば構造物の被害にも関係する可能性があり、強震動モデルに組み込む必要がある。そこで、本研究では、遠地項だけでなく近地・中間項を含めた2016年熊本地震本震の強震動の再現を行うことを最終的な目的として、強震動予測モデルへの両項の導入と、解析解との比較による検証(verification)を行った。以下、これらについて述べる。

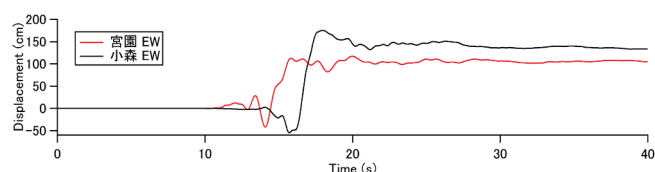


図1 2016年熊本地震本震における断層近傍地点変位波形

2. 方法

近地・中間項は野津(2006)³⁾の簡便法を用いて評価する。この方法では、まず、遠地項の統計的グリーン関数としてオメガスクエアモデルに従う震源スペクトルに幾何減衰、非弾性減衰を考慮したものを求めておく。これに近地・中間項を加えるため、全無限弾性体のせん断くい違いによる理論変位場の遠地項に対する比(周波数領域)³⁾を用いて補正し、最後にフーリエ逆変換により時間領域でのグリーン関数を得る。補正は、r成分は遠地P波、 $\theta\phi$ 成分は遠地S波をそれぞれ補正元とする。震源断層の時空間的広がりグリーン関数を入倉ら(1997)⁴⁾の方法で重ね合わせることで考慮する。本稿では解析解と比較するためサイト増幅特性は考慮しない。

比較に用いる解析解については、中央防災会議(2001)⁶⁾および増田・引間(2002)⁷⁾が、円形の断層面全体が同時に同量すべる場合について、断層面の中心を通り断層面に垂直な直線上の観測点における地震動の解析解を求めており、ここではこれを用いる。数値解も同様の断層面、破壊様式として求めている。用いたパラメータは表1の通りである。

表1 パラメーター一覧

密度 ρ	2700 kg/m ³
S波速度 V_s	3000 m/s
P波速度 V_p	5196 m/s
Q	∞
断層半径 S	1000 m
ライズタイム τ_r	1 s
すべり量 D	2 m
ラディエーション係数	理論値
M_0	$\rho V_s^2 S D$ Nm
f_c	$0.66 V_s / S^{0.5}$ Hz
走向, 傾斜, すべり角	$90^\circ, 0^\circ, 0^\circ$

3. 計算結果と考察

野津(2006)による計算結果(以下数値解とする)と解析解を比較する。まずは数値解の空間分割数依存性の確認を行うため、断層面中心の深さ(断層最短距離)を1m,

キーワード 強震動シミュレーション, フリングステップ, 近地項, 中間項

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 港湾空港技術研究所 地震動研究グループ TEL 046-844-5085

10m として断層面中心直上の地表地点(深さ 0m)での数値解を要素間距離を変えて求め、EW 成分を解析解と比較した。時間分割数は空間分割数の平方根として高・低周波数でオメガスクエアモデルに従う結果となるようにしている。

比較結果を図 2 に示す。これより、震源深さ 1m のときは要素間距離が 2m 以下で、震源深さ 10m のときは要素間距離が 20m 以下で数値解と解析解が一致することが分かる。それ以上は要素間距離が大きくなるに従って解析解との乖離も大きくなる。これより、要素間距離が断層最短距離の 2 倍以下程度であれば数値解と解析解がよく一致することが分かった。

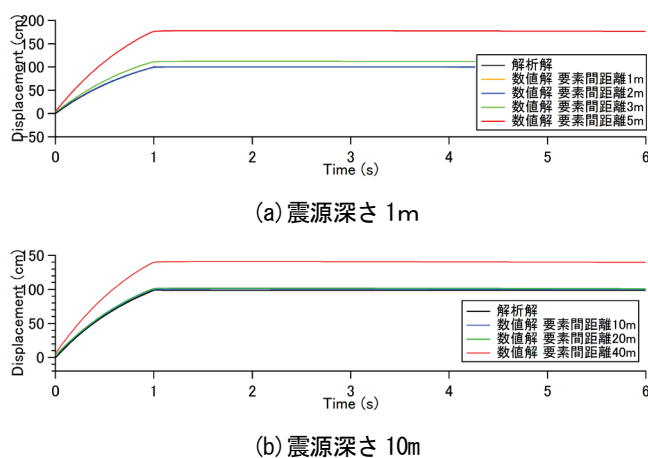


図 2 空間分割依存性検討

次に、断層最短距離による各項の寄与の変化を調べるため、震源深さを 100m, 1000m, 10000m と変えて各項ごとに数値解を求めて図 3 に示した。図 3 では要素間距離を 1m として計算している。震源深さ 100m では近地項が卓越しているように見えるが、中間項 P 波と中間項 S 波もそれに近い振幅を示している。近地項, 中間項 P 波, 中間項 S 波は r 成分と $\theta\phi$ 成分を共に含んでおり、従って斜め入射の場合は r 成分も水平動に効くことになる。

震源深さ 1000m では、中間項 S 波が最終変位に最も寄与していることが分かる。震源深さ 100m と 1000m では近地項, 中間項 P 波, 中間項 S 波の向きが逆になっているが、これは入射角によって理論ラディエーション係数の符号が変わるためと考えられる。従って、断層面の広がりや対象地点までの距離の関係も変位波形を決定する重要な要素であることが分かる。また、震源深さ 10000m では遠地項 S 波が最大変位をもたらす、永久変位より大きくなる。

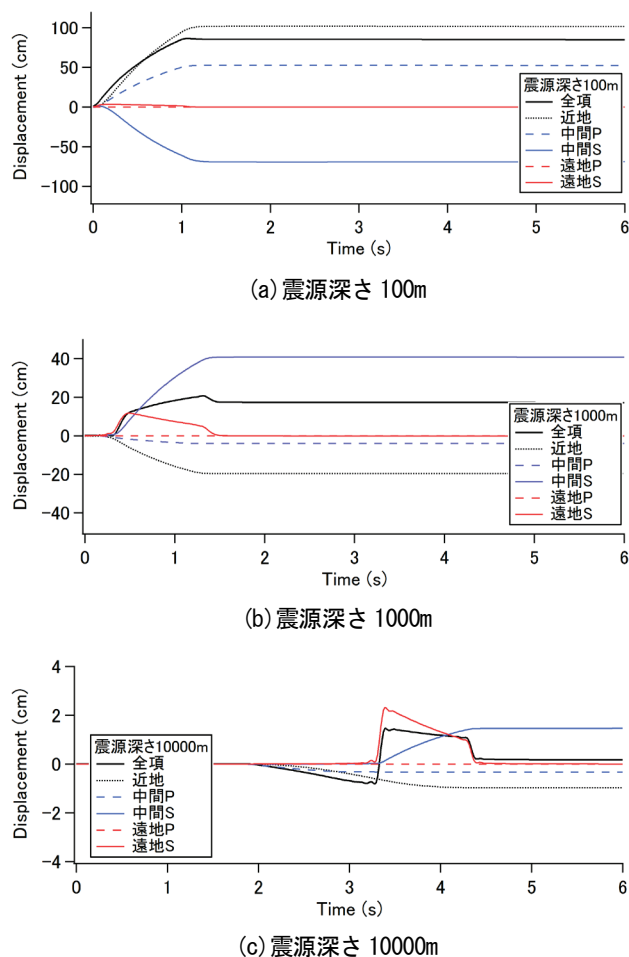


図 3 数値解における各項の寄与

4. まとめ

本検討により、野津(2006)の方法を用いて中間・近地項を含む地震動を数値的に計算できることを確認した。今後は 2016 年熊本地震にこの方法を適用して表層付近のすべりをモデル化し、深部と組み合わせた強震動モデルを構築する。

謝辞：本研究では、熊本県・気象庁の強震観測記録を使用しました。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Nagasaka, Y. and Nozu, A.: Strong ground motion simulation of the 2016 Kumamoto Earthquake of April 16 using multiple point sources, Earth Planets Space, 2017. 2) Asano, K. and Iwata, T.: Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from the kinematic waveform inversion of strong motion data, Earth Planets Space, 2016. 3) 野津厚：統計的グリーン関数に近地項と中間項を導入するための簡便な方法, 第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集, 2006. 4) 佐藤智美：近地項と中間項を考慮した三成分統計的グリーン関数生成手法の高度化, 日本建築学会構造系論文集, 2009. 5) 入倉孝次郎, 香川敬生, 関口春子：経験的グリーン関数法を用いた強震動予測方法の改良, 日本地震学会講演予稿集, 1997. 6) 増田徹, 引間和人：断層近傍における地震動, 日本地震学会予稿集, 2002. 7) 中央防災会議：http://www.bousai.go.jp/jishin/chubu_kinki/syousai/pdf/sankousiryoku4.pdf, 2001.