

断層近傍の大変形を考慮した有限差分法による地震動評価

京都大学工学研究科

正会員

清野純史

京都大学大学院

学生会員

本田武史

京都大学大学院

学生会員

玉井達毅

1. はじめに

断層面上ではくい違いに伴う大変形が生じており、このような大変形をモデル化することにより、より現実に近い地震動の予測が可能となるはずである。

本研究では Euler 的な記述と Lagrange 的な記述を組み合わせた計算手法であるラグランジュ・パーティクル有限差分法 (LPFDM)¹⁾ を断層近傍領域に適用し、有限差分法 (FDM) を適用したその周辺領域と結合させることにより、断層近傍の大変形を考慮した地震動解析を行った。

2. 解析手法

LPFDM は有限差分法 (FDM) のスキームにきわめて平易なアルゴリズムを加えることにより、大変形解析を可能にする手法である。解析対象となる物質をマテリアルポイントと呼ばれる粒子に分割し、物質の情報 (ラグランジュ変数) はこのマテリアルポイントによって空間に固定された矩形格子 (オイラー格子) 上を自由に移動する粒子 (図-1) によって運ばれたラグランジュ変数 (位置、質量、応力、ひずみなどあらゆる物質情報) は一定時間きざみごと、粒子の存在する格子に投影され、それはさらに格子点 (計算点) に特定の内挿関数を用いて集約される。そしてこの格子点で運動方程式を解けば、次の時間ステップでの格子点の変位増分が計算される。従って格子はこの時点で、粒子を載せながら変形することになり、ラグランジュ変数も更新される。変形した格子は次の計算サイクルに備え、移動した粒子をその位置に残し、再び元の位置に戻される。本研究では以下の 2 通りの解析を行なう。

(a) 震源断層付近の大変形を伴う領域には LPFDM を用い、その他の領域は有限差分法を用いて計算したもの (以下 Hybrid 法)。

(b) 全ての解析領域を有限差分法のみで計算したもの (以下 FDM)。

3. 運動学的断層モデル

ここでは運動学的断層モデルに基づいた 3 種類の断層モデルを仮定し、各々について Hybrid 法と FDM で解析を行い Hybrid 法の有効性を検討した。

(1) 断層の拡がりを考慮した断層モデル

解析領域は格子間隔 250m で離散化する。また、断層形状を図-2 に示す。断層長さは 16.0km、断層幅は 8.0km、走向 0°、傾斜角 90°、すべり角 180° の左横ずれ断層である。断層の中央に位置する震源で生じた破壊が同心円状に広がる破壊伝播を考え、断層面上の全ての点で同様の破壊が起こるものと仮定した。地震モーメント M_0 は 4.0×10^{25} dyne · cm、計算時間間隔は $\Delta t = 0.01$ (sec) とする。図-3 に地表面速度波形を示す。二つの手法によって求められた波形がほぼ一致している。これは格子間隔に比べて、マテリアルポイントの移動量が小さいためである。

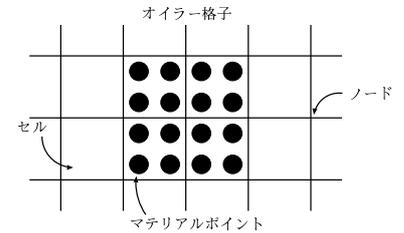


図 1: LPFDM の格子形状

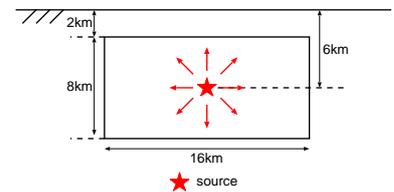


図 2: 断層モデル 1,2

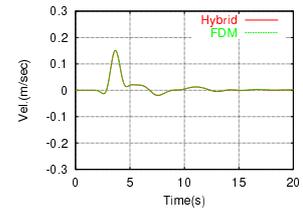


図 3: 地表面速度波形 1(x 成分)

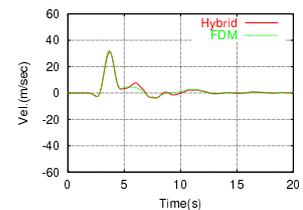


図 4: 地表面速度波形 2(x 成分)

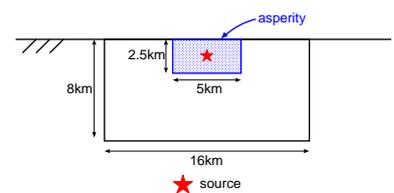


図 5: 断層モデル 3

キーワード：有限差分法, LPFDM, 断層, 地震動

連絡先：〒 606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL：075-753-5132 FAX：075-762-2005

(2) 巨大なくい違いを生じる断層モデル

ここでは二つの手法の違いが明らかになるように、地震モーメント M_0 を 8.6×10^{27} dyne · cm とし、その他のパラメータは(1)と同様とした。ただし、(2)の場合当然のことながら断層諸元の相似則は満足していない。図-4に地表面速度波形を示す。Hybrid法から求められた波形にはより短周期の波が含まれており、FDMとの違いが現れた。

(3) アスペリティを考慮した地表面断層モデル

次に、アスペリティを考慮し断層上端が地表面に達している断層モデルを考える。断層形状を図-5に示す。アスペリティは断層上方の長さ5km、幅2.5kmの領域に設定した。地震モーメント M_0 はモデル1と同じ 4.0×10^{25} dyne · cm としている。図-6に地表面速度波形を示す。波形を比較すると、Hybrid法の方がピークが大きく、継続時間が長くなっていることがわかる。また時間の経過に伴い、両手法の速度波形のずれが大きくなっている。(3)は(2)に比べて地震の規模は小さいものの断層が地表面に達しており、アスペリティ部分で10m程度のくい違いを生じている。そのためマテリアルポイントの移動が地表面速度波形に大きく影響を与えているものと考えられる。

4. 台湾集集地震の地震動シミュレーション

台湾・集集地震は1999年9月21日午前1時47分（現地時間）に発生した。震央位置は南投県集集镇付近で北緯25.85度、東経120.81度、モーメントマグニチュード M_w は7.5である。

計算時間間隔は $\Delta t = 0.05$ (sec) とし、計算領域は格子間隔1.0kmで離散化する。また既往の研究²⁾を参考にし、地盤のパラメータを決定した。本研究では簡単のため、地盤を1層の地震基盤のみとする。解析モデルの形状を図-7に示す。断層長さは80.0km、断層幅は40.0km、走向0°、傾斜角26.5°、すべり角82°、地震モーメント M_0 は 2.4×10^{27} dyne · cm とした。

台湾における観測記録の速度波形と解析によって得られた地表面速度波形との比較を図-8、図-9に示す。ここでは地盤モデルは1層としており堆積層の影響などが考慮されていないため、解析により求められた波形と観測記録の波形の形状に着目した。この図より解析によって得られた波形が観測波形の特徴を良く捉えているのがわかる。

5. 結論

本研究では、運動学的断層モデルに基づいた3種類の断層モデルを仮定し、LPFDMとFDMを組み合わせたHybrid法を用いて解析を行った。さらに、この手法を用いて1999年の台湾・集集地震のシミュレーションを試みた。その結果、格子間隔に対してひずみレベルが大きいほどLPFDMを導入する効果が現れることがわかった。さらに、断層が地表面に近づくほど地表面における地震動に与える影響は大きくなる。また、実際の断層をLPFDMで解析し、観測記録と比較することによってこの手法の有効性を確認することができた。

参考文献

- 1) K.Konagai and J.Johansson : Lagrangian Particles For Modeling Large Soil Deformations, Seismic Fault Induced Failures,pp99-106,2001
- 2) Japan Society of Civil Engineers : THE 1999 JI-JI EARTHQUAKE,TAIWAN -Investigation into Damage to Civil Engineering Structures-,1999

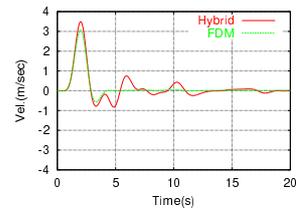


図 6: 地表面速度波形 3(x 成分)

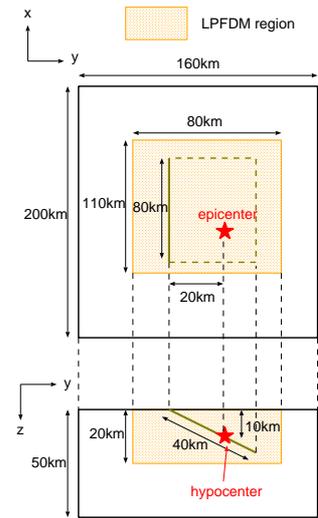


図 7: 解析モデル (台湾)

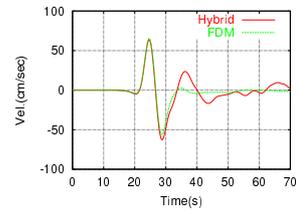


図 8: 解析波形

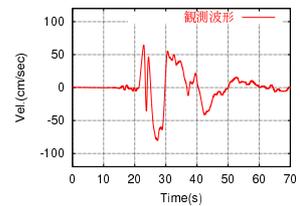


図 9: 観測波形