

くい違いを伴う断層面変位を考慮した地震動について

京都大学工学研究科 正員 清野純史
 京都大学工学研究科 フェロー 土岐憲三
 阪急電鉄 片山裕己

1. はじめに

断層面上では、くい違いに伴う変形が生じており、深層部の破壊面においてこのくい違いをモデル化することで、より実際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、オイラー的な記述による通常の有限差分法(以下 FDM)に、ラグランジェ的な計算手法であるラグランジアン・パーティクル有限差分法¹⁾(以下 LPFDM)を取り入れて、断層面上のくい違いを考慮した地震動解析を行うことで、地盤震動特性を定量的に評価することを目的としている。

2. 解析手法と定式化

LPFDM とは、マテリアル・ポイント（以下 M.P.）と呼ばれる物理点を持つ Lagrange 的な情報を元に、空間的に固定されたオイラー格子のノードで変位を差分計算し、それをもとに M.P. の変位を計算する手法である。

本研究では、断層のくい違いを伴う変形の大きい領域で LPFDM を用い、さらにその周りでは通常の FDM²⁾ で解析を行う。これを Hybrid 法と呼び、これが本研究の特徴である。また、初期条件の与え方の違いにより、2通りの断層モデルで解析を行った。すなわち、断層面に沿った格子点ごとにダブルカップルに基づく力対を与える運動学的断層モデルと、弾性波動論の枠組みの中で、断層面上での応力の状態と摩擦の構成則に基づいて破壊伝播を計算する動学的断層モデルである。

FDM により解くべき関係式は、以下に示す運動方程式と構成式である。

$$u_{i,tt} = \sigma_{ij,j} + f_i \quad (1)$$

$$\sigma_{ij} = \rho u_{k,k} \delta_{ij} + \mu (u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (2)$$

ここに添字 t は時間、 i, j, k は空間に対応、 δ_{ij} はクロネッカー

のデルタ、 u は変位、 ρ は密度、 μ はラメの定数、 f は体積力、また「 \cdot 」は j に関する微分を表す。

LPFDM におけるノード $[i]$ の変位(例えば x 方向)は次式のような差分式で計算される。

$$u_x^{[i]}(t + \Delta t/2) = u_x^{[i]}(t - \Delta t/2) + \Delta t^2 V_c / M_i (\sigma_{xx,x} + \sigma_{xy,y} + f_x) \quad (3)$$

ここに、 V_c はセルの体積、 M_i は M.P. から ノード $[i]$ に配分された質量の合計である。ノードの変位が求まると M.P. の位置も更新される。この移動によってセルの持つ情報も再更新され、再びノードの変位にフィードバ

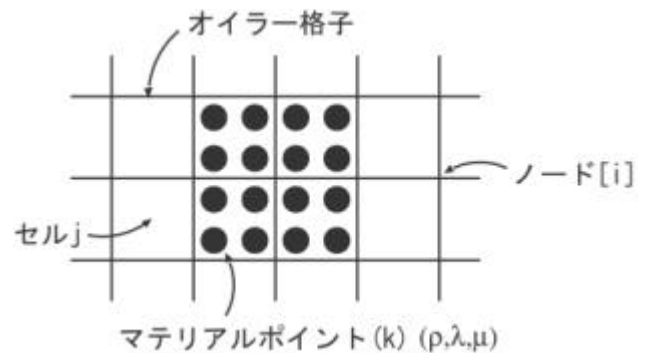


図-1 オイラー格子上的 M.P.

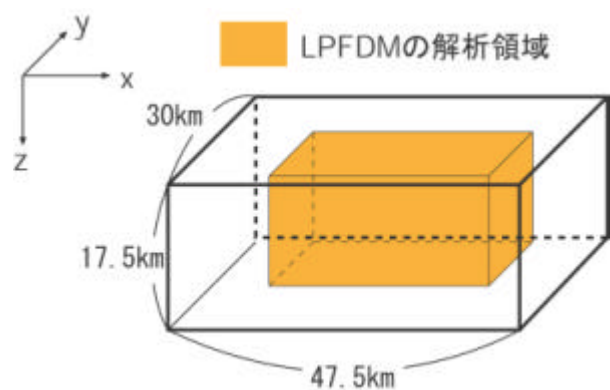


図-2 解析領域

有限差分法，LPFDM，断層の食い違い，運動学的モデル，動学的モデル

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 Tel. 075-753-5132, Fax. 075-721-2005

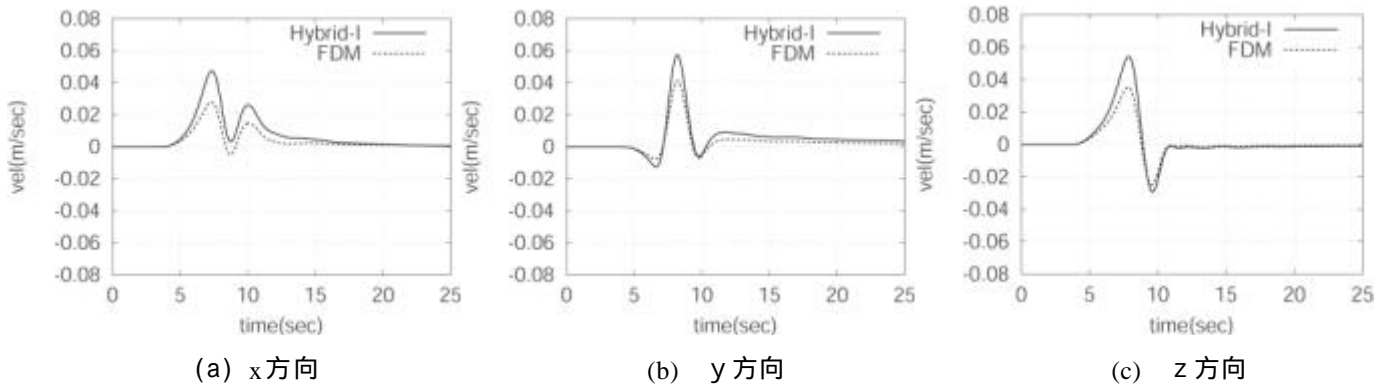


図-3 地表面速度成分 (観測地点(x, y, z)=(7.5km, 2.5km, 0.0km))

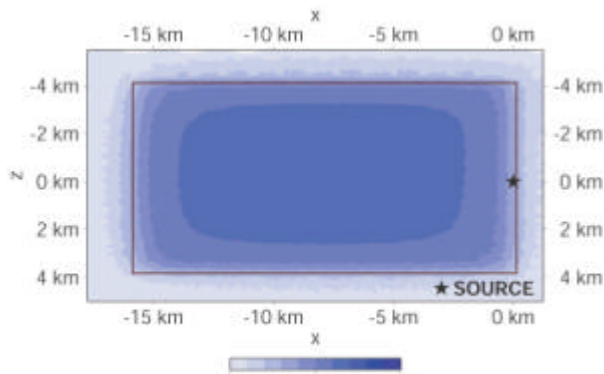


図-4 食い違い分布(Hybrid法I:原点は破壊開始点)

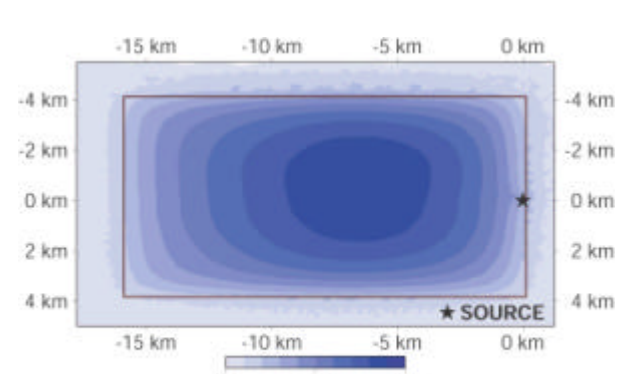


図-5 食い違い分布(Hybrid法II)

ックされる。

3. 解析結果

解析領域を図-2に示す。格子間隔は250m、計算時間間隔は0.025秒、地震モーメントは 6.3×10^{25} dyne \cdot cm、断層長さ16km、幅8kmの矩形断層とする。地盤の密度、S波速度、P波速度はそれぞれ2.5ton/m³、2500m/sec、4500m/secである。矩形断層の端で破壊が開始するとし、破壊伝播速度はS波速度の80%の2000m/secとした。

(1)運動学的断層モデル(Hybrid法I)

各速度成分の最大値はFDMよりもHybrid法Iの方が大きい値となっている(図-3)。これはマテリアルポイントの移動による断層面くい違い効果が入り込められているためと考えられる。震源断層のくい違い量の分布については、震源断層の平均は1.80mとなり、最も大きいくい違い量を示す震源断層の中央部では、その値は1.92mとなっている(図-4)。

(2)動力的断層モデル(Hybrid法II)

震源のモデル化が異なるためHybrid法Iとの直接の比較はできないが、図-5に示されるように、くい違いの分布は中央付近で大きな値をとり、最大で2.40mとなっている。

4. 結論

震源断層周辺において3次元に拡張したLPFDMを用いることにより、震源断層のくい違いに伴う断層面の大変形を考慮できるFDMとのハイブリッドモデル2つ(運動学的断層モデルと動力的断層モデル)を提案した。断層面のくい違いを考慮することで、通常のFDMとの波形の違いを確認することができた。

参考文献

- 1) Konagai, K. & J. Johansson: Lagrangian Particles for Modeling Large Soil Deformations, Seismic Fault Induced Failures, pp.99-106, 2001.
- 2) Graves, R.W.: Simulating Seismic Wave Propagation in 3D Elastic Media Using Staggered-Grid Finite Differences, Bull. Seism. Soc. Am., 86, pp.1091-1106, 1996.