

## 広域・詳細 FEM による断層変位・地震動評価のための数値解析

電力中央研究所	正会員	○澤田 昌孝
大成建設	正会員	羽場 一基
東京大学	正会員	藤田 航平, 市村 強
海洋研究開発機構	フェロー会員	堀 宗朗

### 1. はじめに

断層変位に対する構造物の設計・安全評価を行う場合、構造物に入力される断層変位を定量的に評価する必要がある。著者ら<sup>1)</sup>は断層変位評価のための有限要素法 (FEM) プログラムの開発を行ってきた。断層面の応力-ずれ変位関係を精度良く計算するため、厳密に導出された高次ジョイント要素およびエネルギー保存に優れたシンプレクティック時間積分を並列 FEM プログラムに実装した。そのプログラムを用いて 2014 年長野県北部の地震や 2016 年熊本地震で発生した地表地震断層を対象に数値解析を実施し、その適用性を示した。

断層変位の発生位置にある構造物は、同時に強い地震動を受けると考えられる。断層変位と地震動の重畳を検討するための解析手法について検討を開始した。

### 2. 断層変位評価の高性能計算とその拡張

地盤の応力-ひずみ関係、断層面上の応力-ずれ変位関係を設定し、適切な初期条件、境界条件を与えれば、断層挙動に対する連続体の数値モデルが設定される。断層変位評価の解析では、地盤・断層の連続体モデル (平面 5 km×5 km, 地表から深さ 1 km 程度) を構築し、モデル底面に与える入力ずれ変位の伝播・散逸過程を評価することで、地表でのずれ変位を評価する。

ただし、一般に地表地震断層が現れる地震の震源断層の長さは上記の解析モデルのサイズを上回るため、より広域を対象とした解析から境界条件を設定する必要がある。従来は広域の解析に食い違いの弾性論を用いていたが、動的解析の実施を念頭に、FEM による広域・詳細の 2 段階の解析により断層変位・地震動の重畳を考えることとした。まず、2 段階とも静的解析とする試計算を実施した<sup>2)</sup>。本稿では、後半の詳細 FEM を動的解析で実施する試計算について示す。

### 3. 2008 年岩手・宮城内陸地震の断層変位解析

試計算は 2008 年岩手・宮城内陸地震 (M7.2) を対象

に実施した。本地震において、余震域東縁に沿って北北東-南南西走向に約 20 km にわたって断続的に地表地震断層が確認された<sup>3)</sup>。本地震については、震源インバージョン解析により、図 1 のような断層上のすべり分布<sup>4)</sup>が得られている。このすべり分布の断層上端を EL-776 m として解析に用いた。

広域モデルでは長さ 38 km の断層全体を含む 40 km×50 km の領域の地表から EL-20 km までを対象とした (図 2)。詳細モデルでは、地表断層と IWTH25 を含む 15 km×10 km の領域の地表から EL-776 m を対象とした。防災科学技術研究所が公開する J-SHIS 深部地盤データベースに基づき、地形・地層構造を考慮した。広域および詳細の解析モデルをそれぞれ図 3、図 4 に示す。広域モデルでは断層を特に意識せずメッシュを作成し、詳細モデルでは、断層を同一の傾斜で地表まで延長し、ジョイント要素で表現する。

広域 FEM 解析では、図 1 に示したすべり分布から地震モーメント分布を算出し、断層周辺の節点に点震源として作用させた。広域モデルは節点数が 13 億以上となる大規模モデルであり、3584 CPU コアの並列計算を実施し、詳細モデルの底面・側面の節点変位を計算した。

詳細 FEM 解析では、次のように境界条件を設定した。まず、広域 FEM 解析から得られた変位を底面・側面境界に与えることで反力を求めた。底面・側面にダッシュポット要素を配し、その内側に反力を、外側に変位を与えた。反力および変位は、増加率のピークが  $t = 1.5$  秒の規格化 Yoffe 関数で与えた。これにより詳細モデルの断層が破壊することによって生じる地震をモデル外に適切に透過させた。ここで示す解析では、減衰は考慮しなかった。

図 5 にずれの伝播の様子を示す。断層の南側で地下のずれ変位が大きく、地表においてもその影響が見られる。3 秒以降はほとんどずれ変位の増加は見られない。

キーワード 断層変位, 高性能計算, 並列計算, 重畳, 地震動

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1 6 4 6 (一財) 電力中央研究所 TEL 070-6568-9631

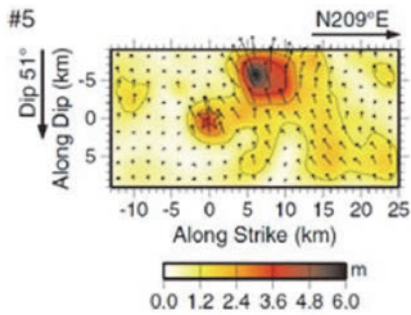


図1 断層上のすべり分布<sup>4)</sup>

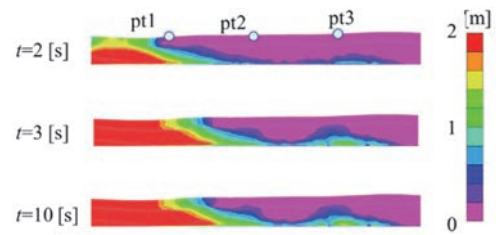


図5 ずれ変位分布の変化 (右側が北)

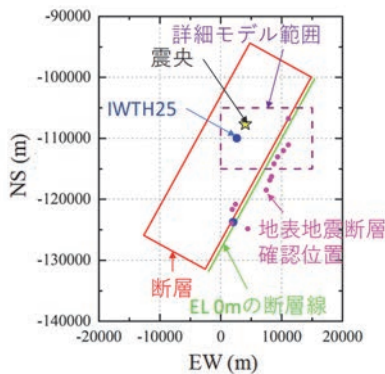


図2 解析領域 (広域)

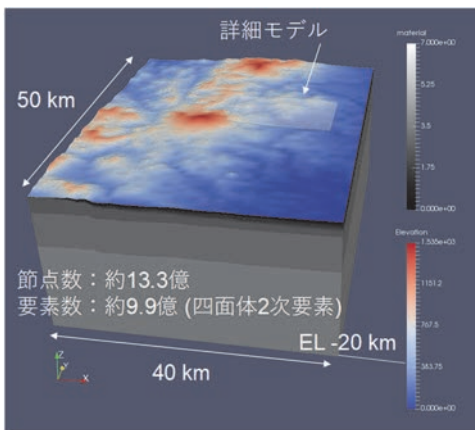


図3 解析モデル (広域)

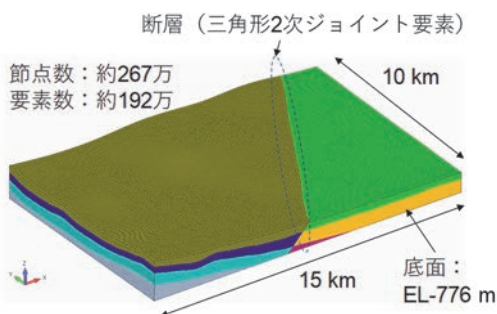


図4 解析モデル (詳細)

図6に観測点 pt2 (+y 側)における地表加速度履歴 (3 Hz ローパスフィルター適用) を示す. このように動的解析では地表加速度を出力することができる.

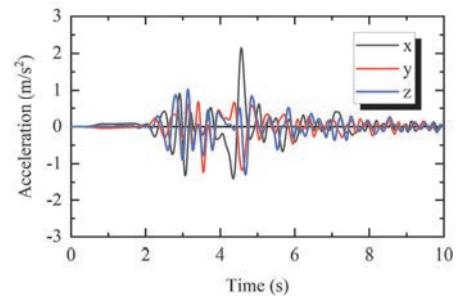


図6 pt2における地表加速度履歴

### 5. おわりに

広域 FEM 解析において断層の破壊過程を考慮した動的解析を実施し, 詳細 FEM 解析の境界条件を設定すれば, 断層変位と地震動をともに計算できる解析手法となり, 断層変位と地震動の重畳に関する諸検討に適用できる.

### 参考文献

- 1) 澤田昌孝, 羽場一基, 堀宗朗: 地表地震断層を伴う実地震を対象とした高性能計算による地表断層変位評価, 土木学会論文集 A2, Vol.74, No.2, pp.L\_627-L\_638, 2018.
- 2) 澤田昌孝, 羽場一基, 藤田航平, 市村強, 堀宗朗: 広域・詳細 2 段階の FEM による 2008 年岩手・宮城内陸地震の断層変位解析, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会予稿集, CS11-16, 2020.
- 3) 遠田晋次, 丸山正, 吉見雅行, 金田平太郎, 栗田泰夫, 吉岡敏和, 安藤亮輔: 2008 年岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層, 地震 第 2 輯, Vol.62, pp.153-178, 2010.
- 4) Asano, K. and Iwata, T.: Characterization of stress drops on asperities estimated from the heterogeneous kinematic slip model for strong motion prediction for inland crustal earthquakes in Japan, *Pure Appl. Geophys.*, Vol.168, pp.105-116, 2011.