

高性能計算を用いた断層変位評価 (2) 予測解析における入力ずれ変位の設定方法の検討

一般財団法人電力中央研究所 正会員 ○澤田 昌孝
 大成建設株式会社 正会員 羽場 一基
 海洋研究開発機構 フェロー会員 堀 宗朗

1. はじめに

大規模な内陸地震が発生すると、地震動だけでなく、地表に生じる断層変位によっても土木構造物が被害を受ける場合がある。断層変位に対する構造物の設計・安全評価を行う場合、構造物近傍の断層の変位を定量的に評価する必要がある。断層変位の予測・評価手法として連続体力学に基づく数値解析がある。著者らは、断層変位評価のための並列有限要素法プログラムの開発を行い、2014 年長野県北部の地震の解析によりその適用性を確認した¹⁾。本稿では予測解析を行う際の条件のうち地下でのずれ変位の設定について検討した。

2. 高性能計算による断層変位評価

図1のように地盤と断層の連続体モデルを構築し、モデル底面に入力ずれ変位 Δ を与え、ずれ変位の伝播・散逸過程を解析することで、地表面のずれ変位 δ およびはじめて地表にずれ変位が生じるときの入力ずれ変位 Δ_c を評価する。100万自由度以上の大規模な三次元解析を行う。

分岐断層・副断層

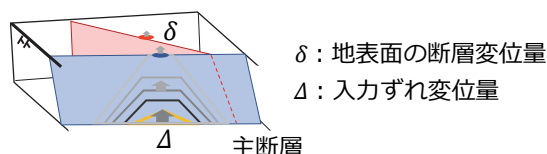


図1 断層・地盤の連続体モデル

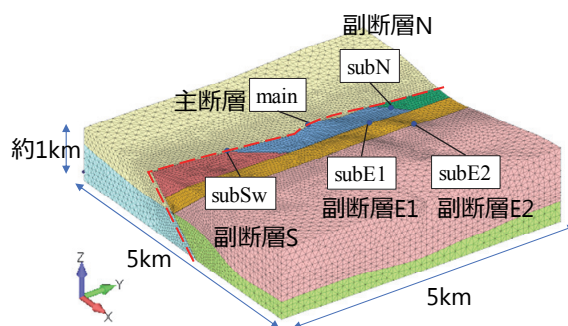


図2 有限要素メッシュ

3. 2014 年長野県北部の地震の再現解析および予測解析の条件設定

解析の対象は、2014 年 11 月 22 日に発生した長野県北部の地震である。震源域の南側に 9km に渡って発生した地表地震断層のうち、副断層が生じた北端部を含む 5km×5km (深さ 1km) の解析モデルを構築した。地盤は物性の異なる二層構造であり、主断層 1 面 (東傾斜 40 度) と副断層 4 面を考慮している副断層 E1, E2 は主断層と走向が一致し 40 度である。副断層 N および S は主断層と走向が 45 度異なり、副断層 N は北傾斜 45 度、副断層 S は南傾斜 45 度である。断層の物性はクーロンの摩擦則 (粘着力 0.025MPa, 摩擦角 25 度) に基づき、設定した。

入力ずれ変位は、食い違いの弾性論により求めた変位をモデル底面に変位境界として設定する。再現解析では、主断層面上のすべり分布は、地殻変動の逆解析結果を地表での主断層変位を再現するように補正して用いた¹⁾。一方、予測解析ではこのような逆解析結果は用いることができない。そこで、震源を特定した場合の強震動予測手法²⁾を参考に、震源断層 (主断層) 上のすべり量を設定する。すなわち、(1) 震源断層の長さ・幅・深さ・傾斜角の設定、(2) 地震モーメントの計算、(3) 地震モーメントと断層面積と岩盤のせん断剛性から平均すべり量を計算、(4) アスペリティの個数・位置を設定と背景領域も含めたそれぞれの平均すべり量を計算、という流れである。(1)については再現解析と共通とし、(3)で平均すべり量 0.63m を得た。震源断層上に一樣にこの平均すべりを与えただけでは、副断層での地表変位は発生しなかった。一方、地表地震断層に添ったずれ変位は一樣ではないことが一般的である。そこで、副断層において変位が発生しやすいケースとして、震源断層の副断層周辺にすべりの大きい領域を設定した。この領域での最大すべりの算定には、松田ほか (1980)³⁾

キーワード 高性能計算, 断層変位, 副断層, 並列計算, 三次元解析

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財) 電力中央研究所 TEL 070-6568-9631

で示された $D=10^{-4}L$ (D : すべり, L : 地表地震断層長さ) を用いた. ここでは L に断層長さ 20km を代入し, $D=2.0\text{m}$ を得た. また, すべり分布として図 3 に示す幅 2.5km の三角形分布とした. 予測解析での震源断層でのすべり分布のイメージを図 4 に示す.

4. 解析結果

解析は食い違いの弾性論から得た変位の 2 倍までの変位を漸増的に载荷した. 最大ずれ変位は再現解析では, 3.0m, 予測解析では 4.0m となる. 図 5, 図 6 にそれぞれ再現解析, 予測解析から入力ずれ変位 Δ に対する図 2 の評価点でのずれ変位の変化を示す. 図 5 を見ると, Δ が小さい段階では地表にずれ変位は現れないが, $\Delta=0.7\text{m}$ で主断層にずれ変位が発生し, さらに $\Delta=2.6\text{m}$ で副断層 E1 にもずれ変位が発生する. 一方, 図 6 では, $\Delta=0.7\text{m}$ で主断層にずれ変位が発生し, $\Delta=2.8\text{m}$ で副断層 E1 にずれ変位が発生する. さらに $\Delta=3.7\text{m}$ で副断層 E2 にずれ変位が生じている. 再現解析と予測解析で主断層, 副断層 E1 にずれ変位が生じる Δ は類似している. 以上より, ここで示した震源断層上のすべりの設定方法は予測解析の条件設定方法として一つの有効な方法であると考えられる. ただし, 地表付近のすべりの大きい領域の位置, 幅, すべり分布形状については, その結果への影響や確率を議論する必要があると考えられる.

5. おわりに

本稿では, 2014 年長野県北部の地震を対象とした解析モデルを用いたが, 地表地震断層の発生した他の実地震を対象とした解析も進めている.

本研究の一部は, 経済産業省資源エネルギー庁 発電用原子炉安全対策高度化技術基盤事業 (原子力発電所のリスク評価、研究に係る基盤整備) として実施したものである.

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(応用力学), Vol.74, No.2, pp.I_627-I_638, 2018.
- 2) 地震調査研究推進本部: 震源断層を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」), 2016.
- 3) 松田時彦, 山崎晴雄, 中田高, 今泉俊文: 1896 年陸羽地震の地震断層, 地震研究所彙報, Vol.55, pp.795-855, 1980.

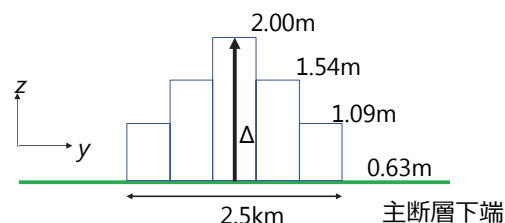


図 3 副断層近傍でのすべり分布

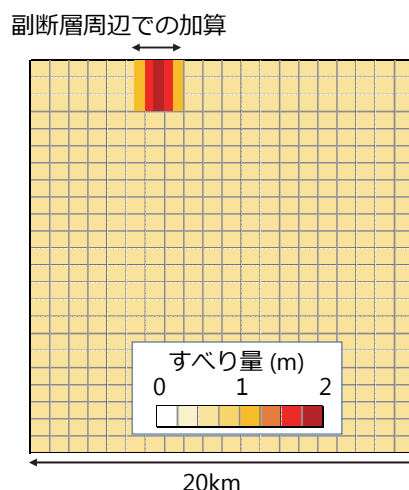


図 4 震源断層でのすべり分布 (予測解析)

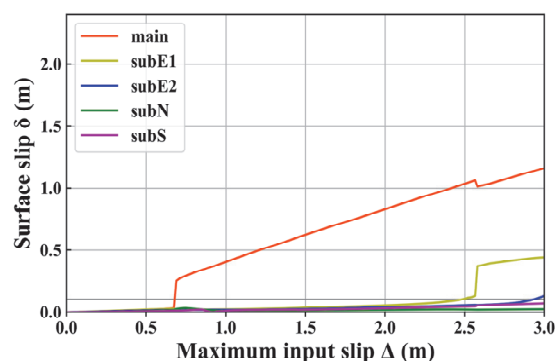


図 5 入力ずれ変位と地表ずれ変位 (再現解析)

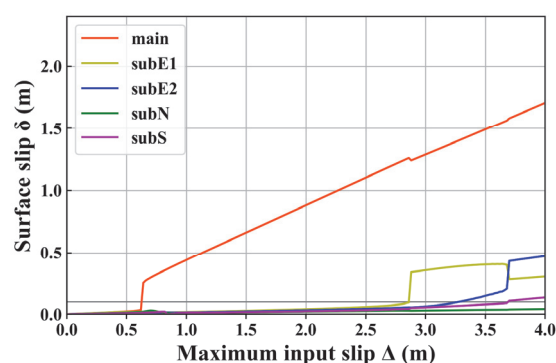


図 6 入力ずれ変位と地表ずれ変位 (予測解析)