

内陸地震による地表での断層変位の 推定に関する一検討

中川 英則¹

¹茨城工業高等専門学校 自然科学科(数学教室) 准教授 (〒312-8508 茨城県ひたちなか市中根866)

E-mail: hide@ge.ibaraki-ct.ac.jp

地表地震断層による大きな地盤変形は、局地的とはいうものの、原発やダムなどの重要構造物にとって致命的な被害を及ぼす。内陸の浅いところで地震が生じた場合、地表での変位分布を予測し構造物への評価に役立てたいところではあるが、そのためには、震源断層の動く方向や位置、断層面上の速度分布などを色々と変えてみて、さらには、地盤の層構造における境界付近のあいまいさ、物性値のあいまいさを考慮した上で、最悪なケースを踏まえて構造物への評価につなげる必要がある。本稿は、この視点に立ち、これまでに得た結果とそれへの反省を踏まえ、震源断層のずれから一貫したシミュレーションを行うためのプロトタイプを構築し報告したものである。

Key Words : Surface earthquake fault, Fault displacement, Probablistic Hazard Analysis

1. はじめに

1992年のランダース地震や1999年のトルコ・コジャエリ地震、同年の台湾・集集地震では、断層すべりに起因した大きな変位波形が観測され、大きな地盤変位が直接の原因となる構造物の被害が報告された。被害は局地的とはいうものの、原発やダムなどの重要構造物にとって大きな地盤変位は致命的であり、実際にそのための評価が緻密に行われている¹⁾。例えば、原子力安全・保安院(NISA)のHPに、実際に地表地震断層が現れた地点での水準点測定の結果と、食い違いの弾性論を用いて計算した地盤変位推定量の比較が載っていた²⁾。そこでは、1km四方の広範囲に渡り、その範囲に例えば大きさ10cmの水平変位量を当てるといった粗い尺度での比較が行われてはいるものの、地点ごとに大きくばらつく変位の向きと大きさが、実際の水準点測定の結果とほとんど一致していることに目を見張る。

これまで、断層進展に伴う破壊過程を計算を行うための数値解析手法である非線形スペクトル確率有限要素法³⁾ (以下NL-SSFEMと呼ぶ)をベースに、断層変位による地表変形の評価を行ってきた⁴⁾。そこでは、工学的基盤のさらに上に位置する未固結な表層地盤内での破壊進展が主な対象であり、砂槽を用いた地表地震断層のモデル実験の再現、実際の断層の再現シミュレーションを通してNL-SSFEMの有効性を検討してきている。食い違いの弾性論を用いた解析だけでも、地点ごとの変位の向きと大きさのばらつきの推定でこれだけ一致するのであるから、震源断層から工学的

基盤までのずれ変位量を食い違いの弾性論に基づき推定し、さらに地盤の非線形な特性が大きくなる表層地盤でNL-SSFEMを用いて詳細にその変位量および分布を追跡すれば、より精度の高い評価ができるのではないかと、というのが本研究の始点である。

その際に重要となるファクターは、地表に出るか、伏在化するかも含めての地表での変位分布⁵⁾のばらつきである。正直なところ、実際に断層が動いてみないと断層面上での速度分布も含めて破壊の方向性は分からない。ましてや内陸型の地震であるので、動く時期も含めて予測は不可能である。また、表層の地盤について層構造は把握できても、各層の地点ごとの入れ替わりや物性値の細かな分布は詳細には分からない。だとすると、断層面の動く方向や位置、断層面上に与える速度分布などを色々と変えてみて、さらに地盤の層構造の大体の位置までは把握した上で物性値の分布をばらつきとして与え、最悪なケースを踏まえて構造物への評価につなげればよいと思われる。

本稿は、上記の視点に立ち、これまでに得た結果とそれへの反省を踏まえ、基盤断層のずれから一貫したシミュレーションを行うためのプロトタイプを構築し報告したものである。

2. 未固結な表層地盤内での断層進展

2章では、未固結な表層地盤の底面にずれ変位が与えられたときの表層地盤内における破壊の進展シミュレーションを通して得たこと、および、そこから

表-1 解析モデルのパラメータ(縦ずれ断層-逆断層)

平均弾性係数	20000 k N/m ²
ポアソン比	0.30
密度	1600 kg/m ³
内部摩擦角	40 deg
粘着力	38 k N/m ²
初期最大圧縮強度	150 k N/m ²
初期最大引張り強度	33 k N/m ²
弾性係数の標準偏差	15 %
弾性係数の相関距離	0.5 m

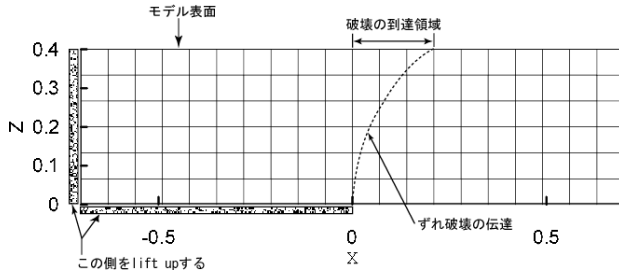


図-1 縦ずれ断層の解析モデル (Dip=60[deg])

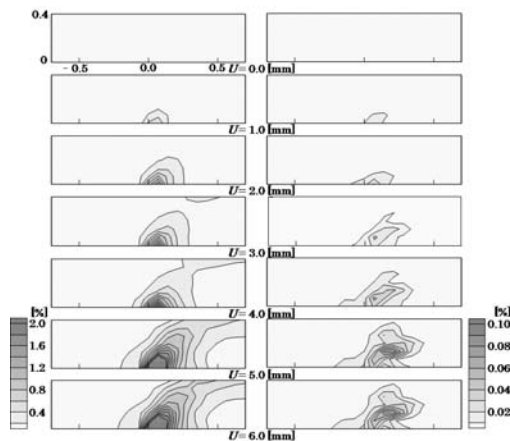


図-3 縦ずれ断層のせん断進展の様子(左: 最大せん断ひずみの平均値, 右: 最大せん断ひずみの標準偏差)

浮上した課題についてまとめる. 2.1節が砂槽を用いた断層モデル実験^{6)~8)}の再現シミュレーションについてであり, 2.2が実際の地表地震断層についてのシミュレーションについて述べる.

2.1 砂槽を用いた断層モデル実験の再現

砂槽の底面に強制変位が与えられたときの縦ずれ断層, 横ずれ断層のモデル実験の再現シミュレーションについてまとめる. 谷らの行った断層モデル実験^{6)~8)}をもとにしており, その詳細については文献⁴⁾を参考して頂きたい. 実験は, 実際の断層との相似則が成り立つ仮定のもとで行われている. この理由については, HORSFIELD(1977)⁹⁾が詳しい. 実験では砂槽の底面に静的な強制変位を与えているが, 近年の研究報告^{10), 11)}ではフリグステップという現象が取り上げられ, 実際の断層で大きな地盤変位が表れた理由を再現, 解明

表-2 解析モデルのパラメータ(横ずれ断層)

平均弾性係数	1225 k N/m ²
ポアソン比	0.25
密度	1600 kg/m ³
内部摩擦角	51 deg
粘着力	38 k N/m ²
初期最大圧縮強度	215 k N/m ²
初期最大引張り強度	27 k N/m ²
弾性係数の標準偏差	30 %
弾性係数の相関距離	0.5 m

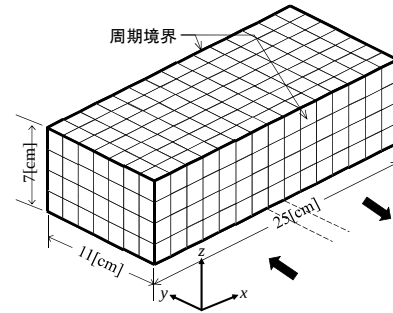


図-2 横ずれ断層の解析モデル

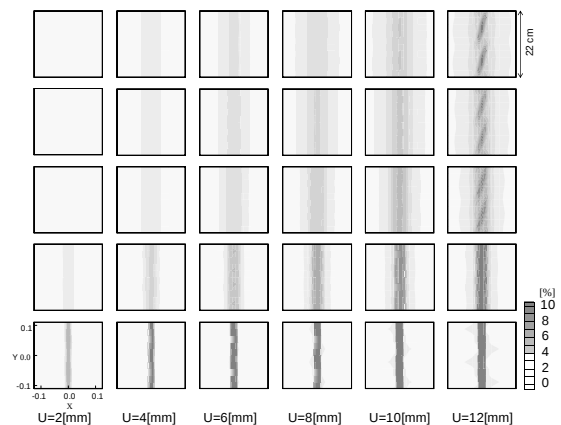


図-4 横ずれ断層運動に伴って生じる雁行したせん断帯進展の様子

している. その際に, 半無限成層地盤に対するGreen関数の静的項が大きな意味をもつ¹¹⁾. また, 横ずれ断層については, 静的な強制変位を与えた方が動的な変位の場合よりも, 表面での破壊領域が広がることも知られている. 安全側をとる意味も含めてこれらの理由から, 静的な強制変位としていると著者は認識している. ただ, 実際の断層は動的であること, フリグステップの再現においても, 静的な項は決定的な意味を持つが, そこにGreen関数の動的な項の成分も加わって完全となっていること¹¹⁾を記しておく.

表1および図1に縦ずれ断層(逆断層Dip=60[deg])のモデル実験に対する数値シミュレーションの計算条件について, 表2および図2に横ずれ断層のモデル実験に対する計算条件について, それぞれまとめる. NL-SSFEMで扱う対象は確率モデルである. ここでは, 物性値として結果に大きく作用する弾性係数について, 弾性

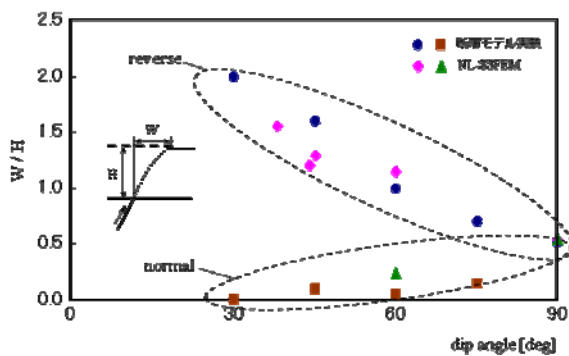


図-5 傾斜角 α と到達位置 W の関係

表-3 セン断帯の形状パラメータの比較

砂槽の厚さ	3 cm	5 cm	7 cm
θ [deg]			
断層モデル実験	26	31	27
NL-SSFEM	23	29	31

砂槽の厚さ	3 cm	5 cm	7 cm
S [cm]			
断層モデル実験	10.5	11.0	11.0
NL-SSFEM	10.8	11.6	11.0

砂槽の厚さ	3 cm	5 cm	7 cm
R [cm]			
断層モデル実験	2.5	7.0	8.0
NL-SSFEM	2.0	2.5	5.0

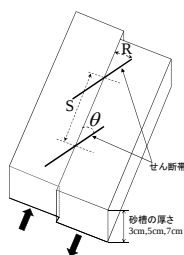


表-4 解析モデルのパラメータ (野島断層)

平均弾性係数	20000 k N/m ²
ポアソン比	0.30
密度	1600 kg/m ³
内部摩擦角	40 deg
粘着力	38 k N/m ²
初期圧縮強度	150 k N/m ²
初期引張り強度	33 k N/m ²
弾性係数の標準偏差	15 %
弾性係数の相関距離	0.5 m

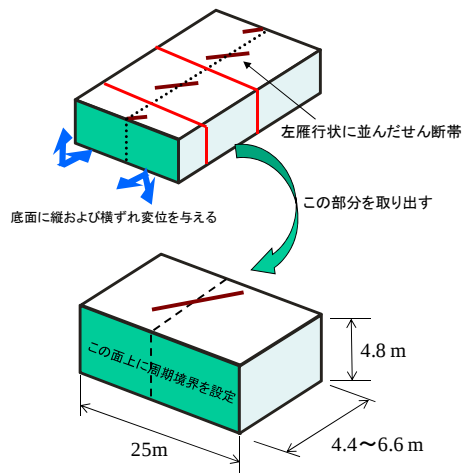


図-6 野島断層の解析モデル

係数の平均値からのずれ量を、そのばらつきが平均 0 の正規分布として仮定している。また、2 点間の弾性係数の相関性を相関距離というパラメータによって加味している⁴⁾。材料非線形性は考慮しているが、間隙水の影響および有限変形による非線形性は加味していない。この点は、後に有限変形を加味した形に修正する必要がある。ただ、実際の現地地盤を対象とした際に、弾性係数を割り出す手立てとして、微小ひずみ時の変形特性を表す指標であるせん断弾性波速度 (V_s) が現実的となる。この V_s は、原則として PS 検層等の地盤調査から設計用値を設定するが、標準貫入試験による N 値、一軸圧縮強度 q などを参照した式で表されるなどが多い。これが微小ひずみとしている理由であるが、数値解析を行う上で、非線形性による変形局所化と非線形な確率過程を同時に扱う問題を解くことになり、ただでさえも複雑になる設定の中で、その仮定を明確にするためでもある。詳細は文献⁴⁾を参考頂きたい。

断層のモデル実験およびその再現シミュレーションの比較を図 3, 4, 5 および表 3 に示す。縦ずれ、横ずれともに実験結果とよい相関を示しているが、これは、モデルの設定が明確に定まることが大きな要因である。縦ずれ断層の実験およびシミュレーションでは、図 5 の結果が得られたが、逆断層では θ の増加に伴って W/H が減少し、正断層では傾斜角 θ によらずほぼ一定値となる。また、横ずれ断層の場合は、弾性係数の影響は縦ずれの場合よりも顕著であり、層厚の違いによってせん断ひ

ずみの幅が変わる(表 3)⁴⁾。この点の理由について、密な砂は正のダイラタンシー特性を示し、断層直上の変形がより遠くに伝播される性質による¹²⁾。

NL-SSFEM の特徴として、確率を捉えている意味からも積分値であり、図 3, 4 に示すようにどうしても拡散したばやけた結果となる。平均、分散ともシミュレーションではせん断帯進展の際の分岐はとらえている(図 4)ものの、破壊過程を正確に再現しているとはいいがたい。この点に関して、近年、DEM による解析結果が発表^{13), 14)}されており、そこではせん断帯進展の際の複瓦構造の再現に成功している。不連続体ベースのシミュレーションの威力が分かるが、連続体ベースのシミュレーションにも利点はある。それは、確立された連続体力学の支配方程式から汎関数の弱形式を通しての数学的離散化であり、その意味で物性の意味が明確であり、確率モデルに載せやすいこと。材料物性に確率モデルを導入することで、負荷から除荷への遷移を確率的に起こし、その結果として係数の不連続性が緩和されるため、特別な扱いをせずとも通常非線形有限要素法における繰返し計算によって自動的に最も不安定な分岐解が求められるという点^{3), 15)}。実際の地盤物性のあいまいさが取り込め、得られた結果の確率特性から統計的な推定および検定に持ち込み易いことなどである。不利な点は、破壊後の挙動まで一貫して解析するためには何らかの工夫が必要となること。また、確率場の展開も関係するため、計算の自由度が大幅に増すこと³⁾などである。

表-5 せん断帯の形状パラメータの比較(野島断層)

	実際の計測値	NL-SSFEM
雁行配列の形状	左雁行	左雁行
θ [deg]	22~35	25
S [m]	4.0~6.0	6.0
R [m]	0.5~1.5	1.4

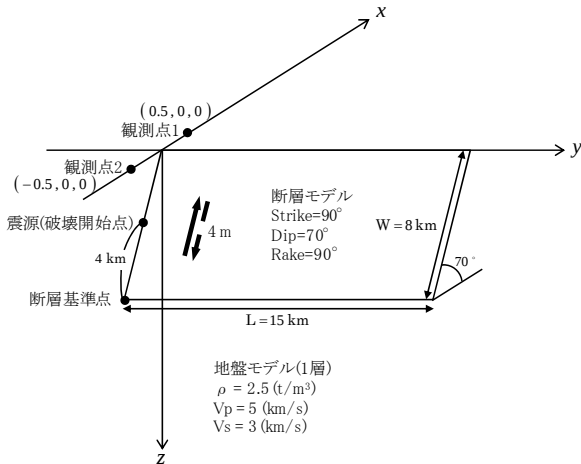


図-7 食い違いの弾性論の計算に用いる解析モデル

2.2 実断層のシミュレーション

実断層のシミュレーションとしては、例えば、1995年の阪神淡路大震災で地表地震断層が生じた野島断層の梨本地区を取り上げてみた¹⁶⁾。この地区は小河川沿いに

あり、表層は大阪層群であり、河床性の堆積物となる粘土層と砂礫層からなる軟弱地盤である。花崗岩層は4m~6m下に現れるため、未固結層の厚さはその程度であることが推定される¹⁶⁾。各層の厚さや形状が不明であったため、層を区別せず一様な層厚4.8mの水平層を取り込んだ確率モデルとした。左雁行断層を表現するため、走向方向には周期性を仮定する。走向方向の長さを6m前後の間で変化させ、左雁行断層の長さを決定する。境界条件の影響を除くため走向直角方向の長さを25mとした。

弾性係数はN値に基づき推定した¹⁷⁾。地盤が軟弱であるかどうかは、N値によって判定されることが多く、一般に軟弱地盤は粘性土でN=4以下、砂質土でN=10以下と判定される¹⁸⁾。この地区の大阪層群は一般に上部でN値は20以下であり、粘土層では10前後、砂礫層でも30程度となる。梨本地区は其中でも粘土層と砂礫層からなる軟弱な地盤であることからN値を9程度と設定し、最終的に対応する弾性係数の平均値をそれより若干低めの6125kPaとした。確認のため、N値がおおよそ7および18である場合のシミュレーションも合わせて行っている⁴⁾。その他の物性値は表の通りである。シミュレーションの結果を表にまとめたが、雁行状断層の発生の有無、断

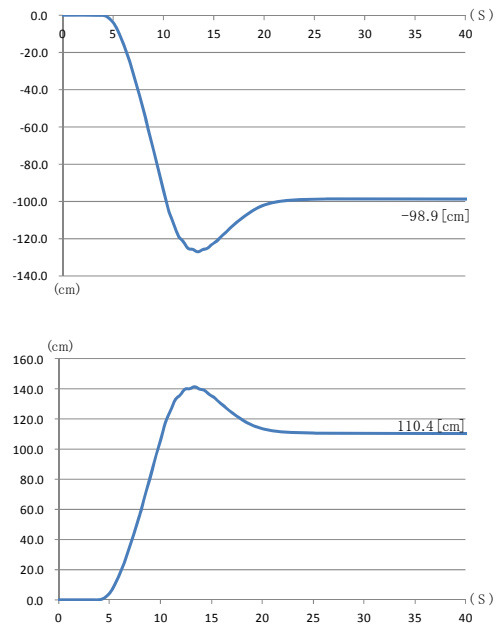


図-8 地表地震モデルによる変位波形

層の間隔、斜交角度等について、実測値と良好な相関を示した。この他に、NL-SSFEMを用いて、未固結な表層底面にどのくらいのずれ変位が与えられたとき、地表地震断層が出現する確率はいか程になるかを計算しているが、詳細は文献⁴⁾を参考にして頂きたい。

2.3 考察

未固結な表層地盤の底面にずれ変位が与えられたときの表層地盤内における破壊の進展シミュレーションでは、層厚が10m以下となる浅い層を対象としてきた。これは、NL-SSFEMによる計算結果と実測データを比較する必要があったことから、良好な地盤物性のデータが得られるトレンチ調査が行われた断層を対象としていたことによる。結果としては、実断層の場合と良好な相関を示しているが、実際にトレンチ調査などを行っている場合を除き、層の境界がはっきりと定まることは稀である。2.1節でNL-SSFEMの利点として、実地盤における物性のあいまいさが取り込めることを述べたが、層の境界のあいまいさ1つについても、境界の上下にどの程度の相関性を入れればよいかもまだ分かっておらず次のステップにおける課題となる。次のステップにつなげるためには、まずは未固結層の厚さが数十メートルに及び、かつ、層

構造を成すような場合のシミュレーションが必要となる。また、最終的には1章に述べたように、断層面の動く方向や位置、断層面上に与える速度分布などを色々に変えてみた上で、地盤の層構造における境界付近のあいまいさ、物性値のあいまいさを取り込み、最悪なケースを踏まえて構造物への評価につなげる必要がある。

3. 上町断層を対象としたシミュレーション

2.3節を踏まえて、そのプロトタイプとなるものを早急に

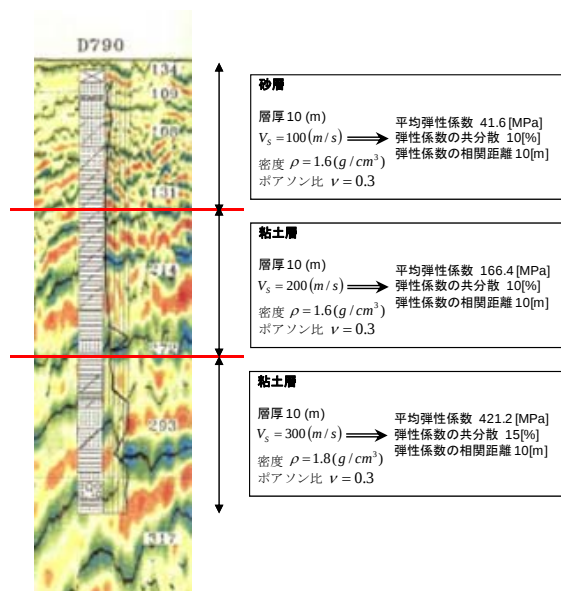


図-9 縦ずれ断層の解析モデル

※文献19)の第6図の一部を加工させて頂きました

構築してみる必要があることから、3章ではその報告を行う。取り上げた断層は、表層地盤のせん断弾性波速度 (V_s) の分布も含めて色々な観点から綿密な調査が行われている上町断層^{19)~22)}である。

3.1 問題設定

上町断層系は、大阪府豊中市から大阪市を経て岸和田市に至る断層帯で、大阪平野下を南北に延びる長さ約45kmの逆断層である。佛念寺山断層、上町断層、桜川撓曲、住江撓曲と泉北丘陵西縁に分布する断層群が一連の活断層系をなしている。ほぼ南北方向に延びており、断層帯の東側に西側に乗り上げる逆断層である。

シミュレーションではまず、食い違いの弾性論の計算に基づき^{23)~25)}、震源断層で与えたずれが表層地盤面の直下まで到達したときにどうなるかを計算する。その上で、表層地盤の底面にそのずれ量を与え、表層地盤内の破壊の進展をNL-SSFEMにより解析する。

3.2 震源断層から工学的基盤までのシミュレーション

震源断層から工学的基盤までは、食い違いの弾性論を用いての数値解析となる。本研究では、半無限成層地盤に対するGreen関数の計算に際して、久田による理論的地震動計算プログラムを利用させて頂いた^{23)~25)}。これは、オープンソースとしてHP上に公開されているもので、文献^{23)~25)}によりその情報を知ることができた。水平成層の弾性体を伝播する波動場の計算において用いた、震源断層のモデルを図7に示す。地盤は半無限一様地盤 ($\rho = 2.5 \text{ t/m}^3$, $V_p = 5 \text{ km/s}$, $V_s = 3 \text{ km/s}$) とし、断層面のすべりは4mで一定、すべり速度関数は継続時間1秒の三角形関数となっている。断層面の大きさやDip角などについては、堺市のHP上の情報²¹⁾を参考に大

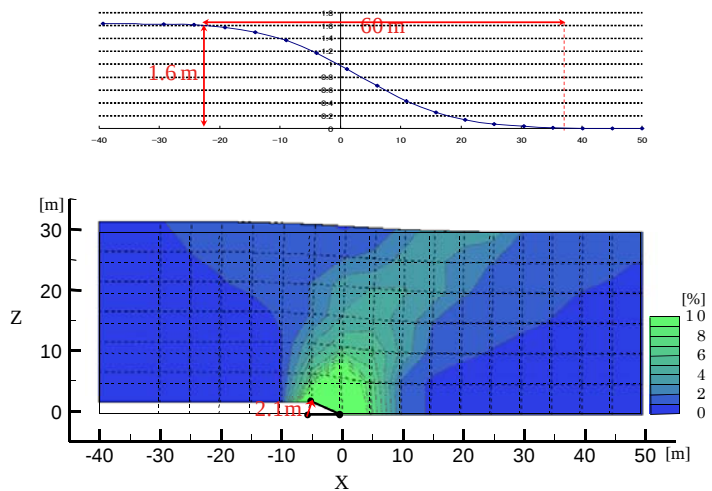


図-10 縦ずれ断層の解析モデル

※文献12)の第6図の一部を加工させて頂きました

枠を定めた。

数値解析結果として、図8に示す静的解による断層ずれ変位 (fling) を得た。図8における上の図が観測点1における上下方向の静的変位であり、下の図が観測点2における上下方向の静的変位である。上盤側となる観測点2の変位は、下盤よりも大きくなっていることが分かる。そして、経過時間 20 S を過ぎたあたりから、上下成分には断層すべり変位に起因するfling が現れている。久田により、flingは断層運動の静的解の寄与であり距離減衰が $1/r^2$ と大きいため、flingは地表断層の断層面近傍でのみ卓越する現象であることがGreen関数の近似解を用いて示されている¹¹⁾。

以上の数値解析結果から、未固結な表層地盤の底面に与えるトータルのもずれ変位量が、209.3 cm (=98.9cm+110.4cm) と得られた。因みに、この静的変位量は地表での値である。厳密には、地表からz方向に30m下がった地点での変位量を計算すべきであり、その意味でかなり粗い計算である。ただ、3.3節で扱う表層地盤の厚さは30mと断層サイズに比して、ほぼ無視できるくらいのサイズであること、地表面上的変位の計算時間に比べて、地中内部の変位量は時間がかかることから、今回は地表での変位量を表層地盤の底面に与えるずれ変位量とした。

本稿は、これまでに得た結果とそこでの課題となった点を踏まえ、基盤断層のずれから一貫したシミュレーションを行う必要性が浮上したことによるプロトタイプ構築の概要である。そのため、かなり粗い計算となっていることを申し上げておく。食い違いの弾性論を用いての数値解析の検討、およびそこで得たずれ変位量を用いての未固結な表層地盤内の破壊の進展計算については、今後の研究で詳細に検討し、報告してゆきたい。

3.3 表層地盤における断層進展のシミュレーション

3.2節で得た変位量を未固結な表層地盤の底面にず

れ変位として与え、NL-SSFEMにより表層地盤内の破壊の進展を計算する。表層地盤の解析モデルを図9に示す。杉山らにより精密に調べられた大阪市内における上町断層のS波反射法地震探査の結果を用いて、せん断波速度より各層の弾性係数を求めている。また、弾性係数の共分散および相関距離は、ここでは仮定している値である。厳密には、これらの値の検討も必要である。この設定の下で、NL-SSFEMにより、破壊の進展を表現する最大せん断ひずみの平均値の分布図を図10に示す。構造物にとって重要となるファクターは、地表に出るか、伏在化するかも含めての地表での変位であるが、ここでは地表の変位として、垂直変位のギャップの最大が1.6m、水平方向への地表の変状領域が60m、という結果を得た。

4. 結び

今回の目的は、これまでに得た情報をもとに、震源断層のずれから一貫したシミュレーションを行うためのプロトタイプの構築であったため、計算としてはかなり粗いものとなっている。ただ、文献によれば、新淀川付近の上町断層の最新活動にともなう上下変位量は1.6m～1.9m以上、約2.4m以下と見積もられており、プロトタイプとしての最低ラインはどうかクリアできたか、という勘はもっている。また、震源断層面上の各小断層に与えるずれ量の分布、その各方向により、表層地盤の底面に与えるずれ量はかなり異なってくるのが、実際に食い違いの弾性論の計算を通して分かった。この点はとても重大なことで、例えば地表地盤内部の破壊の進展がかなり正確に追えたとしても、そこまで与える変位量の見積もりが危ういと、結果として地表面上的変位のばらつきは全く意味をなさない、ということになる。これは、震源断層のずれから一貫したシミュレーションを行うためのプロトタイプを構築することで、初めて著者自身が気づかされたことである。理論的に当たり前のことなのかもしれないが、それにしてもここまで値ががらっと変わるものとは見積もりが甘かったと痛感した。今後の研究として、構造物への評価につなげる最悪なケースとは、一体どう考え、想定してゆけばよいのか、ということが大きな課題となろう。最後に、地震波動論における表現定理の要となる成層地盤のGreen関数に、確率的な取り扱いが久田により組み込まれようとしていることを知った。そこに希望の光を見る気持ちで結びとしたい。

謝辞：本稿では、半無限成層地盤に対するGreen関数の計算に際して、久田教授(工学院大)がHP上で公開されているソースプログラムを利用させて頂きました。ここに併せて感謝の意を表します。

参考文献

1) 東京電力株式会社：敷地近傍の耐震設計上考慮する活断層の変位に伴う基礎地盤の変形の影響評価について、平成20年12月4日

2) 日本原子力発電株式会社 原子力発電安全審査課：敦賀発電所3号及び4号炉 活断層の変位に伴う基礎地盤の変形評価、平成23年2月。
 3) M.S. Anders, M. Hori : Stochastic Finite Element Method for Elasto-Plastic Body, *Int. J. Num. Meth. Eng.*, Vol. 46, pp. 1897-1916, 1999.
 4) 中川英則, 堀 宗朗：非線形スペクトル確率有限要素法を用いた地表地震断層のシミュレーション, 土木学会論文集 A1 Vol.67/No.2, pp.225-241, 2011.
 5) 翠川三郎, 三浦弘之: 内陸地震による地表での断層変位分布, 日本建築学会 構造工学論文集 Vol.50B, 2004.
 6) 上田圭一, 谷和夫: 基盤の逆断層変位に伴う砂層の変形, 第27回土質工学研究発表会, No.498, pp. 1353-1354, 1992.
 7) 小山良浩, 谷和夫: 横ずれ断層の模型実験で観察された砂地盤の表面に発達するせん断帯の構造分析, 土木学会論文集, No. 750/III-65, pp. 171-181, 2003.
 8) 谷和夫, 小山良浩: 横ずれ断層の模型実験で観察された砂地盤の内部に発達するせん断帯の構造分析, 土木学会論文集, No. 757/III-66, pp. 235-246, 2004.
 9) W.T. HORSFIELD: AN EXPERIMENTAL APPROACH TO BASEMENT-CONTROLLED FAULTING, *Geologie en Mijnbouw* 56, pp.363-370, 1977.
 10) 久田嘉章：活断層と建築の防災対策, 活断層研究, 28号, pp.77-87, 2008.
 11) Yoshiaki Hisada, Jacobo Bielak : A Theoretical Method for Computing Near-Fault Ground Motions in Layered Half-Spaces Considering Static Offset Due to Surface Faulting, with a Physical Interpretation of Fling Step and Rupture Directivity, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 93, No. 3, pp. 1154-1168, June 2003.
 12) 香川 敬祐, 河合 貴行, 谷 和夫：横ずれ断層運動による砂地盤表面の変形構造に及ぼす密度の影響, 第37回地盤工学研究発表会(大阪), 973 E-14, 2002年7月。
 13) 竿本英貴, 吉見雅行, 国松直：横ずれ断層運動に伴うせん断帯発達過程に関するDEMシミュレーション, 土木学会地震工学論文集, Vol.28, No.179号, pp.1-7, 2005.
 14) 谷山尚：横ずれ断層によって表層地盤に形成されるせん断帯-DEMによる解析-, 土木学会論文集C, Vol.64 No.3, pp.485-494, 2008.
 15) B. Jeremic, K. Sett, M.L.Kavvas: Probabilistic elasto-plasticity: formulation in 1-D, *Acta Geotech.* 2 (2007) pp.197-210.
 16) 谷和夫, 上田圭一, 阿部信太郎, 仲田洋文, 林泰幸：野島地震断層で観察された未固結な表層地盤の変形構造, 土木学会論文集 Vol. 568, III-39, pp. 21--39, 1997.
 17) N値の話編集委員会：N値の話, 理工図書, 1999.
 18) 安川郁夫, 今西清志, 立石義孝：絵とき土質力学(改訂2版), オーム社, 2000.
 19) 杉山雄一, 七山 太, 北田奈緒子, 横田 裕：大阪市内における上町断層のS波反射法地震探査, 活断層・古地震研究報告, No. 1, p. 143-151, 2001.
 20) 杉山雄一 他：上町断層系の補足調査(その2)ー新淀川北岸における追加ボーリングとS波反射法地震探査データの再解釈に基づく上町断層の活動性評価ー, 活断層・古地震研究報告 No. 3, p. 117-143, 2003.
 21) 堺市 危機管理室 地震防災：http://www.city.sakai.lg.jp/city/info/kanribosai/img/tyousa_02_5.pdf.
 22) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会 資料, 上町断層帯の長期評価について, 平成16年3月10日。
 23) 日本建築学会：地盤振動 - 現象と理論 -, 丸善, 2005.
 24) Yoshiaki Hisada : An Efficient Method for Computing Green's

Functions for a Layered Half-Space with Sources and Receivers at Close Depths, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 5, pp. 1456-1472, October 1994.

25) Yoshiaki Hisada : An Efficient Method for Computing Green's Functions for a Layered Half-Space with Sources and Receivers at Close Depths (Part 2), Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 85, No. 4, pp. 1080-1093, August 1995.

ONE EXAMINATION ABOUT ESTIMATION OF SURFACE FAULT DISPLACEMENT DUE TO INLAND EARTHQUAKES

Hidenori NAKAGAWA

Although hazards due to surface earthquake fault are local, it does damage fatal to important structures, such as nuclear power plants or dams. For the safety of these structures, it is required to estimate precisely the surface deformation caused by surface earthquake faults. But, it is very difficult to compute the fault rupture propagation and estimate surface deformation precisely because of the ambiguity in physical properties of soft layer deposit and the large variability of the ground deformation depending on the source fault movement. As the second best plan, it ties to evaluation of structures in considering the worst case acquired by changing many parameters such as direction of a source fault, speed distribution on a gap of source fault, furthermore, by constructing an alternative stochastic model for the surface deposit to represent the uncertainty of surface structures. In this study, the prototype was built to calculate the ground surface deformation consistently from the dislocation of source fault from the above-mentioned viewpoint based on the result obtained by previous researches and its reflections.