

地盤の逆断層の破壊に伴い発生する地盤振動に与える不均質性の影響

逆断層，地震動，不均質性

名古屋大学

学生会員 ○阪口 崇博

国際会員 山田正太郎 野田 利弘

(公財)地震予知総合研究振興会

国際会員 浅岡 顕

1. はじめに

著者らの研究グループ¹⁾ではこれまでに，慣性力を考慮した水～土連成有限変形解析コード **GEOASIA**²⁾を用いて，脆性的な地盤材料を対象に，ひずみの局所化を伴う進行性破壊現象として逆断層的な破壊を再現している．また，地盤のランダムな不均質性に起因して，破壊時には不規則な振動波形が得られること，さらには，破壊時に非破壊領域に蓄えられた弾性エネルギーが解放されることなどを示している．今回は，不均質性の程度の違いが発生する地盤振動に与える影響について同手法を用いて調べたので，その結果を以下に示す．

2. 解析条件

計算は 2 次元平面ひずみ条件にて行った．

図 1 に解析に用いた有限要素メッシュおよび境界条件を示す．幅 48m，厚さ 8m の水平成層地盤の両側面に，プレートの運動による影響を想定した定率変位を与えた．圧縮したときに逆断層のような上下方向のズレが発生し得るよう，底面の鉛直方向の固定は 1 節点のみとし，赤線上の節点間に角度不変条件を

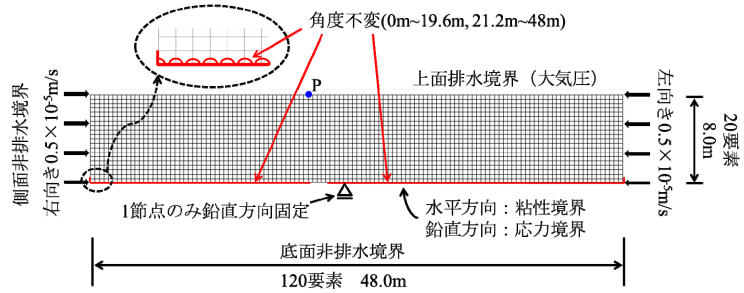


図 1 有限要素メッシュと境界条件

与えるとともに，1 つの節点の鉛直方向の変位を固定した．底面が水平を保って運動するように，底面両隅部に角度不変条件を課した．底面水平方向には地盤の破壊により発生した振動を境界から散逸させるために，粘性境界を課した．載荷速度は，地盤内部で間隙水の移動がほとんど生じることのないような変位速度(0.5×10^{-5} m/sec)で与えた．これらの解析条件は，既報¹⁾に等しい．

想定した地盤は，強度や剛性等，実際の岩盤とは異なるが，少なくとも非常に脆性的という面においては岩盤と同様な性質を有している．また，一見均質に見える地盤であっても，実際の地盤では僅かな不均質性を有していることを考慮し，NCL の切片 N の値を $2.00 \pm \sigma$ の範囲内で乱数を発生させることでランダムな不均質性を与えた．N の違いにより，過圧密比に不均質性が生まれ，結果としてせん断時のピーク強度に違いが現れる．図 2 に初期過圧密比分布を示す． σ の違いに応じて，過圧密比の不均質性が増していることを確認できる．その他の材料定数や初期値は既報¹⁾に等しいので，本稿では割愛する．

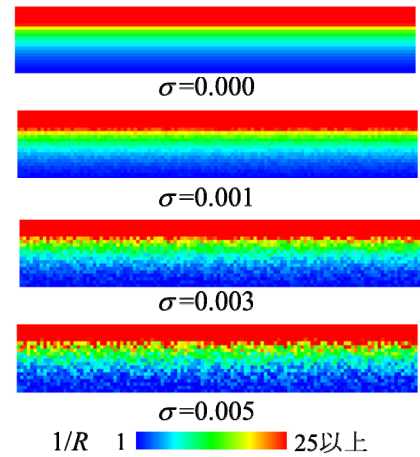


図 2 初期過圧密比分布

3. 解析結果

図 3 に圧縮応力-圧縮ひずみ関係，図 4 にせん断ひずみ分布を示す．圧縮応力は地盤側面に垂直に作用する力の初期からの増分を初期断面積で割った値，変位は両側面における水平変位の合計値を解析領域の幅で割った値である．不均質性が増すほど低い荷重で荷重低下が生じている．これは，要素レベルの強度の最小値が低くなるためである．一方で，不均質性が増すほど要素レベルの強度の最大値は増加する．このため，不均質性が大きい場合には，破壊が発生しても，ひずみの局所化の進行が早い段階で停止している．また，これに伴って，不均質性が増すほど荷重の低下量が小さくなっている．

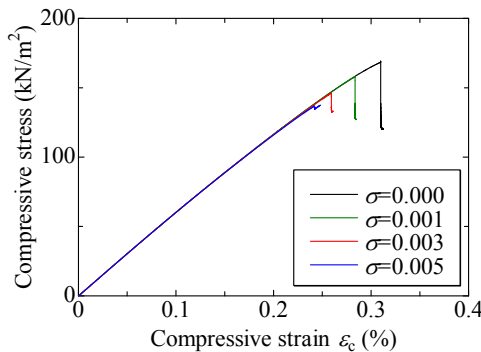


図 3 圧縮応力-圧縮ひずみ関係

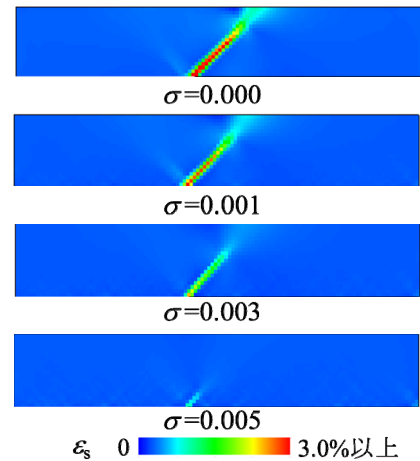


図 4 せん断ひずみ分布

図5に破壊時に節点Pで観測される加速度応答の時刻暦を示す。不均質性が増すほど最大加速度が大きくなり、振動の継続時間が長くなっている。これは、不均質性が低いほどひずみの局所化が進行しやすいことに対応している。また、 $\sigma=0.000$ の場合には初期に最大加速度に達した後、指数関数的に加速度が減少している。これも不均質性が低いほど、よどみなくひずみの局所化が進行するためである。不均質性が増すと、すべり線上の要素がピークを迎えるタイミングにタイムラグが生じることに起因して、 $\sigma=0.003$ までは、振動の不規則性が増しているが、 $\sigma=0.005$ では、破壊の進行自体がすぐに止まってしまうため、すなわち要素レベルで生じる破壊イベントの回数自体が減少するため、再び不規則性が見られなくなっている。

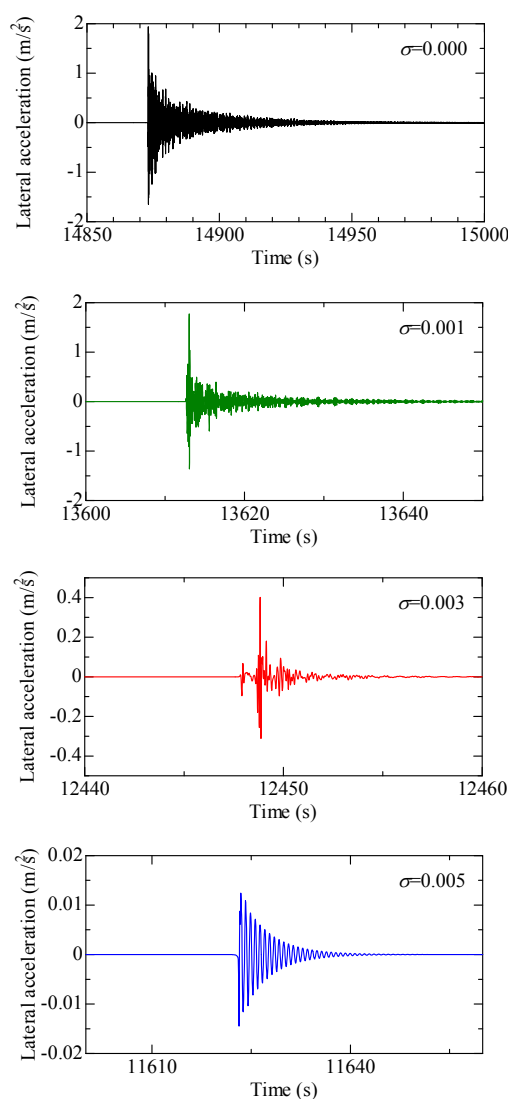


図5 点Pにおける水平加速度応答

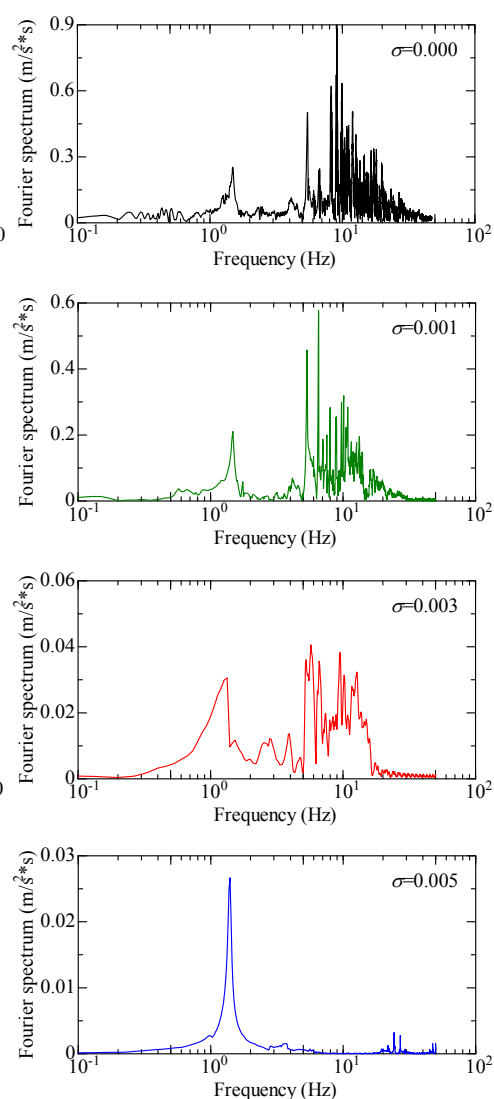


図6 点Pにおける水平加速度応答のフーリエスペクトル

図6に図5に示す振動のフーリエスペクトルを示す。 $\sigma=0.003$ の場合に注目すると、周波数1.3Hz付近と5.7Hz付近に卓越したスペクトルが存在する。1.3Hz付近のスペクトルは解析領域の横幅48.0mの往復距離を地盤底面のせん断剛性から算出した弾性波速度 $V_s=124\text{m/sec}$ で割った値の逆数に近いことから、側面で水平方向に反射する波を表していると考えられる。したがって、5.3Hz付近に卓越するスペクトルが断層的破壊に伴い発生した波の周波数特性を表していると考えられる。不均質性が増すほど最大加速度が小さくなるため、 $\sigma=0.005$ の場合では5.3Hz付近の山は見られないが、卓越振動数は σ の値に大きく依存していないように見受けられる。したがって、本稿で取り扱うような単一の材料からなる地盤では、地盤状態の不均質性は周波数特性に顕著な影響を与えないと考えられる。

4. おわりに

本研究で得られた知見を以下に示す。① 不規則性が増すと、要素レベルの強度の最小値が低くなるため、断層破壊に至るピーク強度が低下する。一方で、不規則性が増すと要素レベルの強度の最大値が上がるため、ひずみの局所化が伸展しにくくなり、荷重低下の程度が抑制される。② 不規則性が増すと、ひずみの局所化の進展が滑らかに生じなくなることから起因して、基本的には発生する振動が不規則になるが、不均質性が更に増すと破壊の進行自体が抑制されるため、発生する振動に見られる不規則性が再び見られなくなる。③ 単一の材料から成る地盤であれば、地盤の不均質性は周波数特性の顕著な影響を与えない。

謝辞：本研究は科学研究費補助金（基盤研究(B)：課題番号25289143）の補助を受けて実施した。

参考文献) 1) 山田正太郎, 野田利弘, 浅岡頭 (2015): 慣性力を考慮した弾塑性有限変形解析による正断層・逆断層の破壊とそれに伴う波動生成シミュレーション, 断層変位評価に関するシンポジウム講演論文集, 45-50. 2) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, S&F, 48(6), 771-790.