

表層地盤被害に及ぼす不整形な地層構造に起因する多次元効果の重要性

名古屋大学 (正)○中井健太郎, (フェロー)野田利弘, (学)鈴木彩華
地震予知総合研究振興会 (フェロー)浅岡顕

1. はじめに

地盤内部は起伏に富んだ地層構成を形成しているため、地震時の波動伝播は複雑となる。調査結果によると、堆積盆地内で揺れが局所的に大きくなり、地震被害が甚大化した事例が報告されているが、これは堆積層内の加速度増幅に加え、盆地端部の不整形基盤から生成された表面波の伝播や実体波と表面波の複雑な干渉が影響していると考えられる。本報では、軟弱な粘性土が堆積する堆積盆地を対象に多次元地震応答解析を実施し、地層不整形性が表層地盤被害へ及ぼす影響を検討する。用いた解析コードは、砂から中間土、粘土までを同じ理論的枠組で記述するSYSカムクレイモデル¹⁾を搭載した水～土連成有限変形解析コード**GEOASIA**²⁾である。

2. 解析条件

解析は二次元平面ひずみ条件で実施した。解析モデルを図1に示す。盆地形状を呈する硬質な基盤に、軟弱な粘性土が堆積する地盤を想定した。底面

および側面は非排水境界、上面は大気圧境界とし、地盤底面全節点に $V_s=2,300\text{m/s}$ に相当する粘性境界を用いた。入力地震動を図2に示す。Kik-net 益城観測点における熊本地震の地中観測記録(深度 252m)のEW成分を2E波と見做し、下端全節点の水平方向に等しく入力した。地震時は境界両側端で側方境界要素単純せん断変形境界を設定した。

3. 堆積層厚の影響 (一次元解析)

最初に、地層不整形性に起因する堆積層厚の影響を把握するために、堆積層の厚さを変えた一次元地震応答解析を実施した。解析対象は図1の①～⑧に示す地点直下の地層構成を反映した。図3に堆積層表層部の平均有効応力低下率を示す。平均有効応力低下率は、堆積層が厚くなるほど(②→③→⑥→⑦→⑧)増加する。ただし、④、⑤を見ると堆積層厚に対して平均有効応力低下率の増加程度が大きい。

そこで図4に、各地点における速度応答のフーリエ振幅スペクトルを示す。堆積層が厚くなるほど地盤の固有周期が長くなるので、長周期成分での増幅が顕著となる。

図から④、⑤の固有周期は1.0～1.3秒程度であるが、入力地震動のフーリエ振幅スペクトル(図2)の卓越周期帯

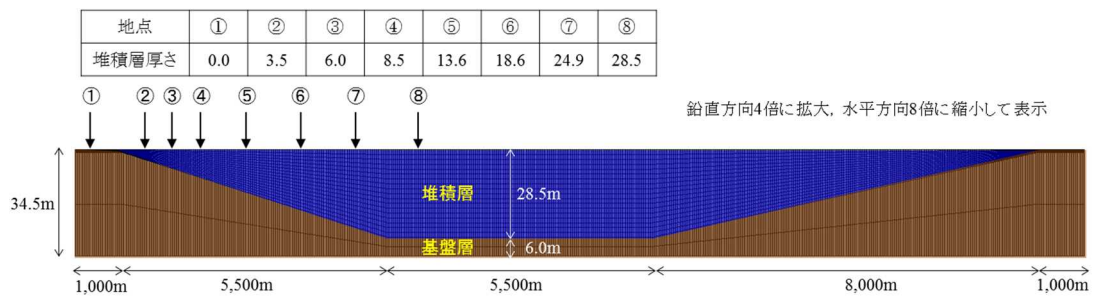


図1 解析モデル

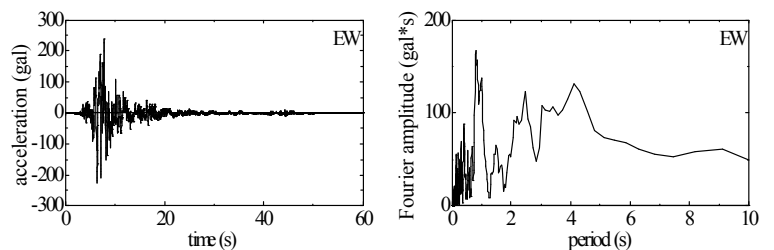


図2 入力地震動(熊本波)

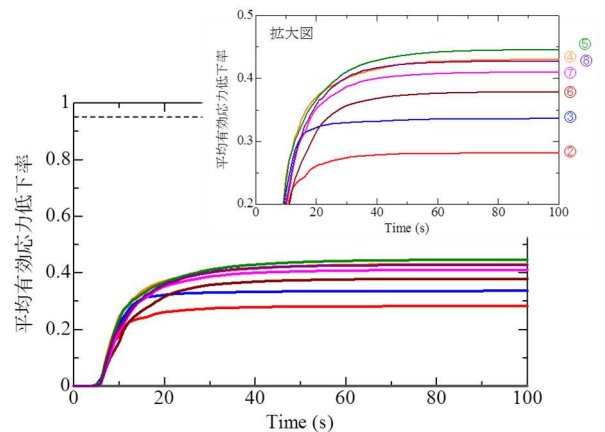


図3 平均有効応力低下率の比較

地層不整形性, 堆積盆地, 表面波, 地震応答解析, 多次元効果

と一致する。④、⑤で平均有効応力低下率が局所的に大きくなったのは、地盤の固有周期と地震動の卓越周期の一致による共振のためである。

4. 表面波 (Rayleigh 波) の影響 (多次元解析)

続いて、地層不整形性に起因して発生する表面波の影響を把握するために、多次元地震応答解析を実施した。図5にせん断ひずみの経時変化を示す。傾斜基端部で生成された表面波(ここでは二次元解析のためRayleigh波)が時間経過とともに伝播するため、せん断ひずみも徐々に中央部へと広がっていく(②→④)。基盤傾

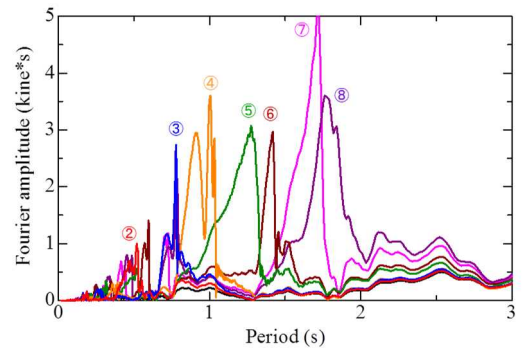


図4 各点のフーリエ振幅スペクトル

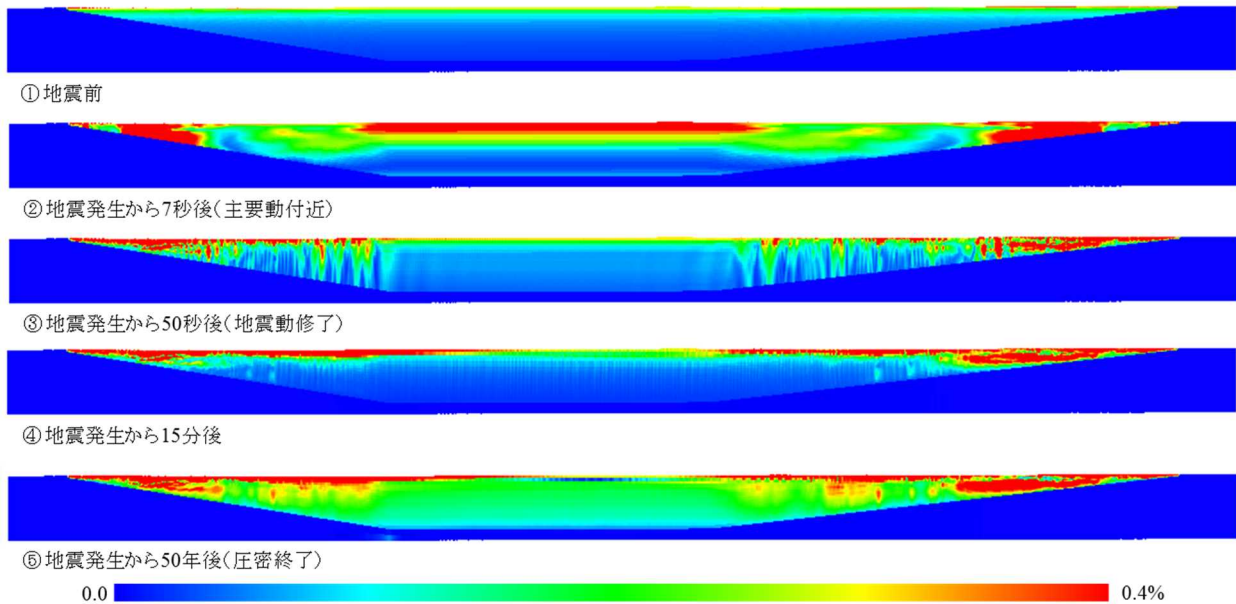


図5 せん断ひずみの経時変化

斜部上で、表層だけでなく深部でもせん断ひずみが大きくなっているのは、3.で説明した共振作用に加えて、表面波と実体波の干渉による影響である。地震終了後(⑤)を見ると、基盤傾斜部だけでなく、鉛直方向の層構成が等しい地盤中央部であっても、せん断ひずみは非一様に発生している。図6は、地点⑤における平均有効応力低下率を示す。多次元解析では、平均有効応力低下率の上昇程度が一次元解析に比べて大きいことに加えて、地震動終了後も緩やかに上昇し続ける。これは実体波と表面波の増幅的干渉効果に加えて、盆地内で表面波が滞留したためである。このように、地盤の不整形性を考慮すると、表面波の生成・伝播に加えて、実体波と表面波が干渉することで、盆地内部での後揺れ現象や地盤被害の局所化・甚大化が現れるが、これらは一次元解析では全く再現できない現象である。

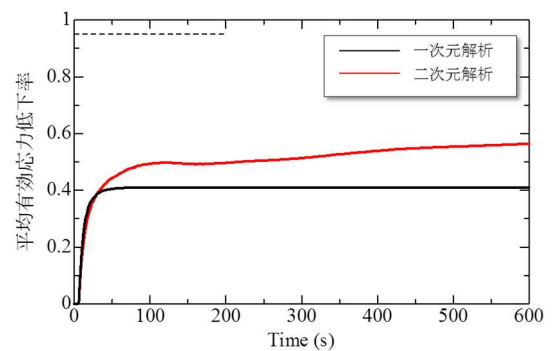


図6 平均有効応力低下率の比較

既存の多くの被害予測手法は、実質的に地盤の非線形性がほとんど考慮されていないだけでなく、鉛直一次的な評価であるため、不整形な地層構造に起因する多次元効果も考慮されていない。本稿の解析結果から、表面波の生成・伝播に代表される多次元効果は無視できる程度ではなく、より現地に即した被害予測のためには考慮すべき事項であることを強調したい。

参考文献 1) Asaoka, A. et al.: An elasto-plastic description of two distinct volume change ..., *S&F*, **42**(5), 47-57, 2002. 2) Noda, T. et al.: Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type ..., *S&F*, **48**(6), 771-790, 2008.