第18回NIED-NU研究会

平成31年2月9日

地盤不整形性を考慮した地震応答解析による 表面波の再現と表層地盤被害に及ぼす影響



背景 ~不整形基盤から生成される表面波~

- ✓ 主たる成分は、地表付近の硬質な基盤と軟弱な堆積層との不整形境 界で生成される「表面波」であると言われている。
- ✓ 表面波は伝達時の距離減衰が小さく、震源から数百キロ離れた震度 ゼロの地点まで伝わることもある.



地震調査研究推進本部(素材集): <u>http://www.jishin.go.jp/ma</u> からダウンロードした図面に加筆



古村 孝志, 武村 俊介, 早川 俊彦 (2007): 2007年新潟県中越沖地震 (M6.8) による首都圏 の長周期地震動,地学雑誌, Vol. 116, No.3-4, pp. 576-587.

背景 ~不整形基盤から生成される表面波~

「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」 H27.12 内閣府

<u>長周期地震動とは?</u>

- ✓ 周期2秒~10秒程度のやや長周期の地震動のこと.
- ✓ 超高層建築物の長時間にわたる大きな揺れや石油タンクのスロッ シングなど、共振による地震被害の拡大が懸念される.



内閣府HP: http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_report.html

背景 ~不整形基盤から生成される表面波~

高層ビルや石油タンクのスロッシングに対する検討は進められているが、 表面波が表層の被害に与える影響は未だ十分には議論されていない.

✓ 南海トラフ巨大地震に対する被害予 測(内閣府; 2012)など, 既往の液状 化予測手法は鉛直一次元的な評価 に留まっている.

✓ 地震応答解析においても、地盤モデ ルの簡略化の観点から、水平成層地 盤を仮定することが多い。

表面波生成などの多次元的な効果が考慮されておらず,地表での揺れや 液状化危険度を過小評価してしまう危険性があるのでは.





本研究の目的

- 水~土連成有限変形解析コード GEOASIAを用いて,
- 地層の不整形性を考慮した二次元・三次元地震応答解析 (弾性解析)を実施し、不整形基盤から生成される表面波 (Rayleigh波・Love波)を数値的に再現する.
- 2. 弾塑性解析によって, 堆積盆地地盤の不整形性が表層地 盤被害へ及ぼす影響を検討する.

本研究の目的

水~土連成有限変形解析コード GEOASIAを用いて,

- 地層の不整形性を考慮した二次元・三次元地震応答解析 (弾性解析)を実施し、不整形基盤から生成される表面波 (Rayleigh波・Love波)を数値的に再現する.
- 2. 弾塑性解析によって, 堆積盆地地盤の不整形性が表層地 盤被害へ及ぼす影響を検討する.

①再現解析 ~解析モデル~

単位体積重量

y (kN/m³)

20.0

16.0

理論解と比較検証できるように、一相系線形弾性体の微小変形解析



time (s)

noriod (e)

①再現解析 ~Rayleigh波~

速度ベクトル



不整形部で生成し、左から右方向へ伝播する波が生成

①再現解析 ~Rayleigh波~

不整形部付近



浅部で反時計回り,深部で時計回りの軌跡を描く. 深部ほど振幅が小さい.

①再現解析 ~Rayleigh波~

不整形部から離れた地点



遠距離まで減衰せずに伝播している. きれいな正弦波形を示す.



①再現解析 ~Rayleigh波~ Rayleigh波の特徴 半無限一相系弾性地盤の理論解 解析結果 -0.5 0.5 1.0 1.5 0.I 0.2 ទ្រីខ 0.4 水平変位 0.63 15 0.5 t 変位振興 □ 表層で反時計回り, 深部で時計回りの楕円軌道を描く. □ 地表から0.19λで回転方向が逆転する. □ 深部ほど振幅が小さくなる. □ 他層系地盤の場合,波群が次第に広がる(分散現象) ←省略

①再現解析 ~Love波~

速度ベクトル



不整形部で生成し、 地表面を左から右方向へ伝播する波が生成

①再現解析 ~Love波~

不整形部付近



不整形部で波が生成・伝播している。

①再現解析 ~Love波~

不整形部から離れた地点



遠距離まで減衰せずに伝播している. きれいな正弦波形を示す.



本研究の目的

- 水~土連成有限変形解析コード GEoAsiAを用いて,
- 地層の不整形性を考慮した二次元・三次元地震応答解析 (弾性解析)を実施し、不整形基盤から生成される表面波 (Rayleigh波・Love波)を数値的に再現する.
- 2. 弾塑性解析によって, 堆積盆地地盤の不整形性が表層地 盤被害へ及ぼす影響を検討する.

②弾塑性解析 ~解析モデル~

硬質な基盤に軟弱な粘性土が堆積した盆地地盤





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。

②弾塑性解析 ~軟弱層の堆積厚さの影響(一次元解析)~



堆積層が厚いほど、地盤の固有周期が長くなり、長周期成分での増幅が顕著. ④、⑤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現象.

(2)弾塑性解析 ~表面波の影響(二次元解析)~

x方向(水平)のみ加振

せん断ひずみ



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、表層地盤で発生するせん断ひずみ分布は非一様・不均一 に分布.

鉛直方向の層構成が等しい地盤中央部であっても、せん断ひずみ分布は非一 様であり、一次元解析では全く再現できない現象、

(2)弾塑性解析 ~表面波の影響(二次元解析)~







100 200 300 400 500 200 300 400 500 200 300 400 500 1000 Time (s) Time (s) Time (s)

二次元解析は地震終了後も徐々に平均有効応力が低下していく. ☞ ④周辺は局所的に揺れが大きく,一度,塑性膨張を示す,

②弾塑性解析 ~表面波の影響(二次元解析)~

地震後の沈下量



ガタガタとした不連続・不均一な地盤沈下を示す. 局所的に沈下量が大きい.

②弾塑性解析 ~表面波の影響(三次元解析)~

<u>x方向(水平)のみ加振: Rayleigh波</u>

0y. 0d. 0h. 0m. 0.00999sec. -- 3701step

<u>y方向(奥行)のみ加振:Love波</u>

0y. 0d. 0h. 0m. 0.00999sec. -- 2301step

<u>x+y方向加振:Rayleigh波+Love波</u>

0y. 0d. 0h. 0m. 0.00999sec. -- 2601step

②弾塑性解析 ~表面波の影響(三次元解析)~

平均有効応力低下率の比較



ー次元解析よりも、多次元解析の方が平均有効応力低下率が大きい. (今回の解析では)Love波よりも、Rayleigh波の方が大きく減少する.

まとめ

地層の不整形性を考慮した二次元・三次元地震応答解析(弾性解析)を実施し、 不整形基盤から生成される表面波(Rayleigh波・Love波)を数値的に再現する.

- ✓ 地層の不整形性を考慮した地震応答解析を実施し、不整形基盤から生成される表面波(Rayleigh波・Love波)を数値的に再現した.
- ✓ 波の軌跡や分散特性など、表面波の特徴を確認した.

弾塑性解析によって, 堆積盆地地盤の不整形性が表層地盤被害へ及ぼす影響を 検討する.

- ✓ 地盤不整形性に起因して,表層の地盤被害は,非一様に発生し, 局所的に甚大化する.
- ✓ 表面波の伝播や実体波との干渉によって、一次元解析よりも多次 元解析の方が被害が大きくなる。

不整形な地層・基盤構造による多次元的効果が考慮されていないことも多いが,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,より精緻かつ実情に合った被害予測のためには考慮すべき事項

熊本地震 阿蘇カルデラ内に発生した陥没性亀裂





写真(a)と(c)は、毎日新聞(http://mainichi.jp/articles/20160507/dde/012/040/015000c)より.

熊本地震 阿蘇カルデラ内に発生した陥没性亀裂



不整形基盤から生成した表面波が厚い軟弱な火山灰質粘性土を局所的に乱し, 山地斜面に平行な亀裂群を発生させたのでは

3. 陥没性亀裂発生の要因



