

基盤が2方向に傾斜する地点における地表面地震動の局所的な増幅について

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○杉山佑樹, 田中浩平, 坂井公俊
(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 阪田暁, 川中島寛幸, 千代啓三

1. はじめに

工学的基盤面が傾斜した不整形地盤では、局所的に地表面地震動が大きくなる場合がある。鉄道構造物の耐震設計基準¹⁾においても、不整形地盤による地震増幅が想定される地点は「詳細な検討が必要な地点」として、別途検討が必要となっている。このとき、基盤が複数方向に傾斜する場合には、二次元的な影響だけでなく、三次元的な影響によって地震動がより顕著に増幅する可能性も考えられるが、これが二次元的な影響と比較してどの程度大きくなるのかという知見は十分に揃っていない。そこで本検討では、数値解析を用いて、基盤が2方向に傾斜する地点における地表面地震動の局所的な増幅効果の有無を把握するための検討を行った。

2. 解析概要

本検討では、単一の表層地盤 ($V_s=100\text{m/s}$, 密度 $=1.6\text{ g/cm}^3$) と基盤 ($V_s=400\text{m/s}$, 密度 $=2.0\text{ g/cm}^3$) からなる2層構造で、x方向とy方向の2方向に傾斜する三次元地盤モデル (図1(c)) を用いた地震応答解析を実施した。解析モデルのメッシュサイズは傾斜部における保証周波数が10Hzとなるように十分に小さく設定した。モデル側方は自由地盤を粘性ダンパーで接続した粘性境界とし、モデル下方は粘性ダンパーを接続した吸収境界とした。減衰は1Hzと5Hzで15%となるレイリー減衰 ($\alpha=1.571$, $\beta=7.958 \times 10^{-3}$) を与えている。最大加速度400galのホワイトノイズ (継続時間40.96秒) をx方向に入力し、線形時刻歴解析を実施した。積分時間間隔は0.01秒である。

また、2方向傾斜を有する三次元地盤との比較対象として、表1に示すように、 $x=10\text{m}$, $y=10\text{m}$ ごとの直下の地盤構造に基づく一次元地盤 (図1(a)) と、x方向とy方向それぞれ10mごとの断面を想定した二次元地盤 (図1(b)) の地震応答解析も実施した。ただし、三次元地盤のx方向に加振した場合、x方向の二次元断面に対しては面内加振と見なせるが、y方向の二次元断面に対しては面外加振と見なせることから、図1(b)に示す二次元地盤の地震応答解析では、x方向とy方向それぞれに加振している (表1, 解析パターン2, 3)。

各解析結果から地表面地震動の差異を把握し、不整形地盤による二次元的な影響と三次元的な影響を比較することとした。

3. 解析結果

不整形地盤において発生する表面波の影響を把握するため、三次元解析および二次元解析と、一次元解析の地表面地震動との差分を表面波として評価した結果の一例 (図1(c), 地点①) を図2に示す。二次元解析の水平方向伝播波を見ると、加振方向によって最大加速度が異なっており、x方向 (面内) 加振の場合に発生するレイリー波とy方向 (面外) 加振の場合に発生するラブ波の特性の違いが表れている。三次元解析の水平方向伝播波を見ると、二次元解析結果と比べて最大加速度が大きくなっており、2方向の傾斜からそれぞれ発生する表面波の影響を受けていると考えられる。この地表面地震動の差異をフーリエ振幅比 (3D/1D, 2D/1D) によって評価した結果を図3に示す。フーリエ振幅比が1.0を上回るまたは下回る周波数帯には、表面波等の影響が含まれていると考えられ、三次元解析結果は二次元解析結果と比べてフーリエ振幅比の最大値が大きくなっている。このことから、1方向に傾斜する不整形地盤 (二次元解析) と比べて、2方向に傾斜する不整形地盤 (三次元解析) では地表面地震動が大きくなる可能性があると考えられる。

例えば、堆積盆地では、盆地端部で生成される表面波が盆地内部で滞留することなどにより地震動が増幅する場合がある^{2),3)}。2方向傾斜を有する不整形地盤でも同様に、2つの傾斜が重なる地点周辺で表面波が滞留し、地震動が局所的に増幅する可能性が考えられる。そこで、2方向傾斜による局所的な影響を把握するため、1方向に傾斜する不整形地盤の二次元解析結果 (解析パターン2, 3) から計算したフーリエ振幅比 (2D/1D) を足し合わせることで評価したフーリエ振幅比 (2D (x方向+y方向)/1D) と、三次元解析結果から計算したフーリエ振幅比 (3D/1D) を比較することで、二次元では表現できない局所的な影響について分析した。図1(c)の地点①~④における評価例を図4に示す。まず、フーリエ振幅比 (3D/1D) を見ると、振幅比の最大値は地点①, ④で大きくなっている。地点②,

表1 解析パターン

解析パターン	加振方向	解析モデル
1	x (= y)	x:10m, y:10m ごとの一次元地盤 (図1(a))
2	x (面内)	y:10m ごとのx方向二次元地盤 (図1(b))
3	y (面外)	x:10m ごとのy方向二次元地盤 (図1(b))
4	x	三次元地盤 (図1(c))

キーワード 不整形地盤, 地表面地震動, 地震応答解析, 表面波, フーリエ振幅比

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7394

③では直下に存在する基盤傾斜の影響のみを受けていると考えられるのに対し、地点①、④では2方向それぞれの基盤傾斜の影響を受けるためであると考えられる。次に、二次元解析結果の足し合わせにより評価したフーリエ振幅比は、いずれの地点でもフーリエ振幅比(3D/1D)とよく一致しており、地点①~④では二次元解析の足し合わせにより2方向傾斜の影響を表現できることが分かる。

最後に、2方向傾斜の影響を比較的受けやすい三次元地盤モデルの対角線上において、 $x = y = 50\text{m} \sim 400\text{m}$ まで10m 間隔で計算したフーリエ振幅比(2D(x方向+y方向)/1D)とフーリエ振幅比(3D/1D)を並べ描いた結果を図5に示す。 $x = y = 100\text{m} \sim 200\text{m}$ 地点では、フーリエ振幅比の山が大きくなっており、特に表面波の影響が大きい領域を表している。また、いずれの地点でも二次元解析結果の足し合わせにより評価したフーリエ振幅比と、三次元解析結果から評価したフーリエ振幅比はほぼ一致している。これらのことから、2方向に傾斜する不整形地盤では、2つの傾斜が重なる地点($x = y = 100\text{m} \sim 200\text{m}$)で表面波等により地表面地震動の増幅が大きくなるものの、本検討における解析モデルでは2方向の表面波の重ね合わせによってその特徴を適切に表現可能であると言える。

4. まとめ

基盤が2方向に傾斜する不整形地盤の三次元地震応答解析を実施し、基盤が1方向に傾斜する不整形地盤の二次元解析結果や基盤傾斜が存在しない一次元解析結果と比較することで、本検討における解析モデルでは、2方向傾斜が重なる地点で表面波が滞留することなどによる局所的な影響はほとんどないことが分かった。ただし、本検討は1つの三次元地盤モデルのみを対象とした結果であり、基盤傾斜の角度が急な場合や2つの基盤傾斜同士の角度が変化する場合における局所的な増幅効果の有無について、今後検討を行う予定である。

参考文献

- 1) (公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善出版，2012.2)大堀道広，南忠雄：2次元AL法による堆積盆地の地震動解析，地震研究所彙報，Vol.65，pp.809-850，1991.3)永野正行：2次元盆地端部構造の地震動増幅と表面波の干渉，日本建築学会構造系論文集，No.552，pp.85-92，2002.

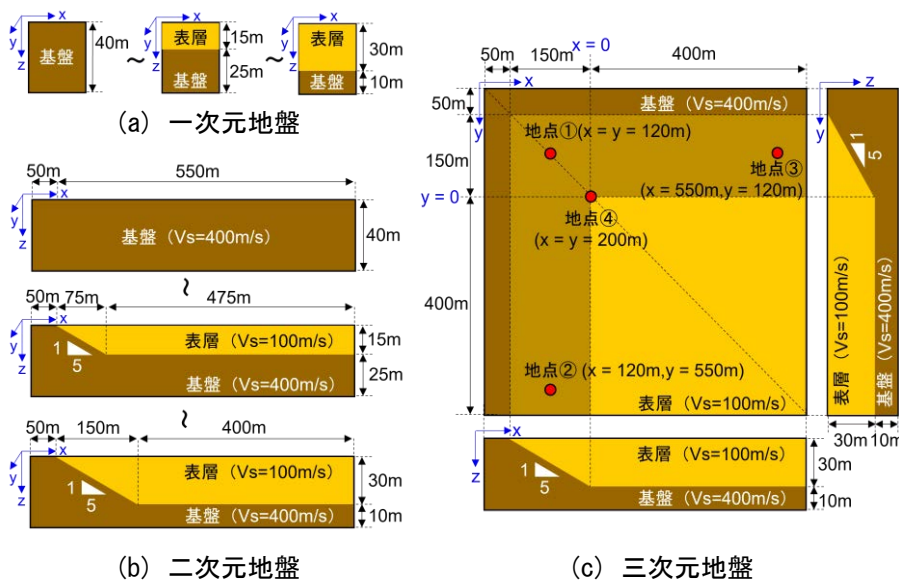


図1 解析モデルのイメージ

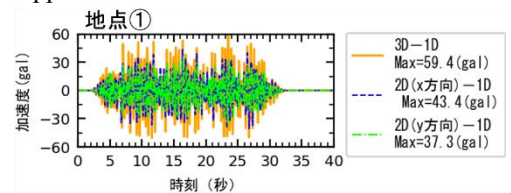


図2 三次元解析と二次元解析の水平方向伝播波(3D-1D, 2D-1D)

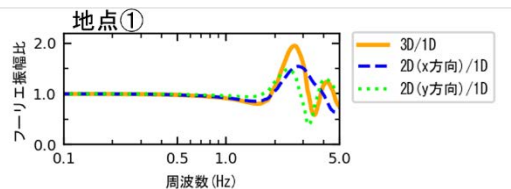


図3 地表面地震動のフーリエ振幅比(3D/1D, 2D/1D)

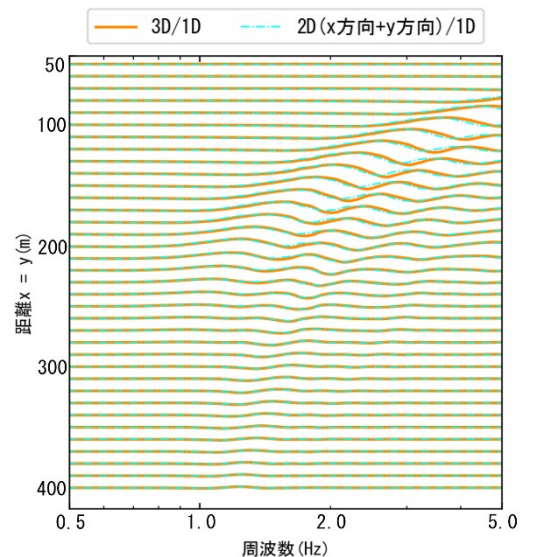


図5 三次元地盤モデルの対角線上における地表面地震動のフーリエ振幅比(3D/1D, 2D足し合わせ/1D)

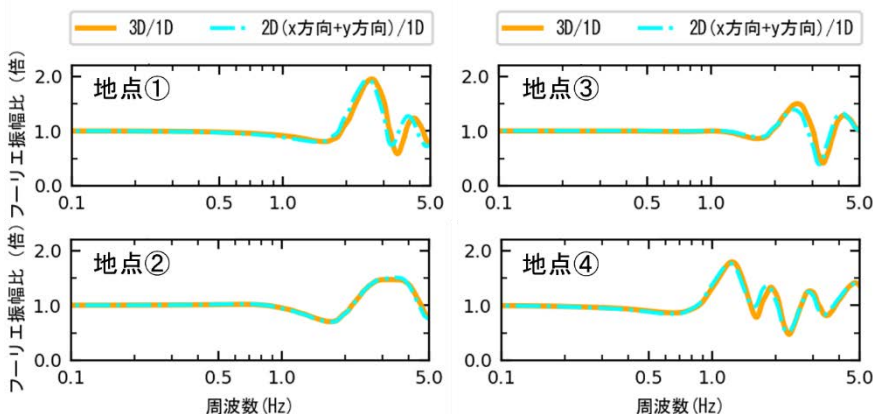


図4 地表面地震動のフーリエ振幅比(3D/1D, 2D足し合わせ/1D)