

水平2方向の基盤傾斜が地表面地震動に与える影響に関する基礎的検討

鉄道・運輸機構 正会員 ○曾我 大介 川中島 寛幸 磯谷 篤実
 鉄道総合技術研究所 正会員 田中 浩平 坂井 公俊

1. はじめに

鉄道構造物の設計標準¹⁾には、工学的基盤の傾斜が1:10以上となる不整形地盤において、表面波による局所的な地震増幅の影響を簡易に考慮した設計地震動の補正手法が示されている。この手法²⁾は、線路方向にのみ基盤が傾斜する地点を対象としているが、実際には線路直角方向に基盤が傾斜する場合や、水平2方向いずれにも基盤が傾斜する場合もあり得る。今回は、これら基盤傾斜方向の違いを簡易に補正する手法を構築するための基礎的な検討として、基盤傾斜の幾何学的な位置関係が各地点の地表面地震動に与える影響を数値解析により評価した。

2. 数値解析モデル

不整形地盤の解析モデルとして、図1に示す形状をもつ地盤を作成した(傾斜角1:5)。2ケースの3次元モデル(1方向傾斜、2方向傾斜)であり、1方向傾斜は奥行き方向に600m押し出した地盤、2方向傾斜は奥行き方向にも面内方向と同様の不整形断面を有する地盤として作成した。表層地盤の物性値は $V_s=100\text{m/s}$ 、密度 $\rho=1.45\text{t/m}^3$ 、基盤の物性値は $V_s=400\text{m/s}$ 、密度 $\rho=1.50\text{t/m}^3$ とした。メッシュ分割は、傾斜部分($X=50\text{m}\sim 400\text{m}$)において保証周波数10Hzを満足するように設定した。モデル底面は粘性境界とし、側方は水平方向をローラー、鉛直方向を固定とした。側方境界からの反射波が傾斜部における解析結果に影響を与えないようにモデルサイズを十分に大きく設定した。解析は線形の時刻歴解析とし、入力地震動は40.96秒のホワイトノイズ($Dt=0.01$ 秒)を基盤に入力した。モデル全体系の減衰はレイリー減衰として設定し、1Hz、10Hzで3%($\alpha=1.795\cdot 10^{-1}$, $\beta=9.095\cdot 10^{-4}$)、10%($\alpha=5.984\cdot 10^{-1}$, $\beta=3.000\cdot 10^{-3}$)となる2ケースを設定した。解析には汎用有限要素解析ソフトFINAS/STAR³⁾を用いた。解析ケースは、1方向傾斜のX加振、Y加振と2方向傾斜のX加振(いずれも減衰3%)、2方向傾斜のX加振(減衰10%)の4ケースである。また、各地点の1次元地盤を水平成層地盤と仮定した理論計算も実施する。

3. 解析結果・考察

まず、1方向傾斜のX加振、Y加振における、地表/基盤のフーリエ振幅比(伝達関数)を図2、3に示す。これらの図には、水平成層地盤の理論伝達関数も重ねているが、両者を比較することで、基盤傾斜の影響の有無を確認できる。不整形の伝達関数は、水平成層と比べてピークが高周波数側に移動している。また加振方向の違いにより、不整形性の影響の程度に違いが見られ、Y方向加振の方が基盤傾斜の影響が大きくなることが確認できる。

上記と同様の手順により、水平成層と不整形地盤での伝達関数の比を不整形性の影響として考え、これを解析ケースごとに比較した結果を図4に示す。ケースごとの傾向について以下に整理した。

1方向傾斜 X加振、Y加振の比較(図4(a)): 図2、3に示したように基盤傾斜の影響がY加振で大きくなる。

1方向傾斜 X加振、2方向傾斜 X加振の比較(図4(b)): 傾斜区間内($x=50\text{m}\sim 200\text{m}$)では、1方向傾斜と2方向傾斜の伝達関数比が大きく変わらない。これは傾斜区間内が、両者の差の原因となる奥行き方向(X方向平行)の傾斜基盤が2方向の傾斜のちょうど交差部となる区間であり(図1の赤斜線部分)、奥行き方向の傾斜基盤による地震動の増幅が小さくなるためと推察される。一方で、傾斜区間外($x>200\text{m}$)では2方向傾斜の方が顕著に大きくなる。

1方向傾斜 X+Y加振、2方向傾斜 X加振の比較(図4(c)): 最も単純な仮定として、1方向傾斜のX加振とY加振

における基盤傾斜の影響の和から、2方向傾斜の影響を説明できるかを確認した。その結果、前述の通り、傾斜区間内では奥行き方向の傾斜基盤の影響が小さくなるため、XとYの和では過大評価となる。一方、傾斜区間外では伝達関数比が概ね一致するようになっているが、周波数帯によっては過小評価となっており、単純な和では完全に再現できないことが分かる。

2方向傾斜 X加振 $\eta=3\%$ 、10%の比較(図4(d)): 傾斜区間外では、減衰定数が大きくなるほど基盤傾斜の影響は小さくなる事が分かる。

【参考文献】1) 鉄道設計標準 耐震設計, 丸善, 2012, 2) 室野ら: 地震動に与える表層地盤の局所的変化の影響と耐震設計への適用性に関する提案, 1998, 3) Jin C. et.al: Evaluation of parallel version of nonlinear FEM solver FINAS, 2008.

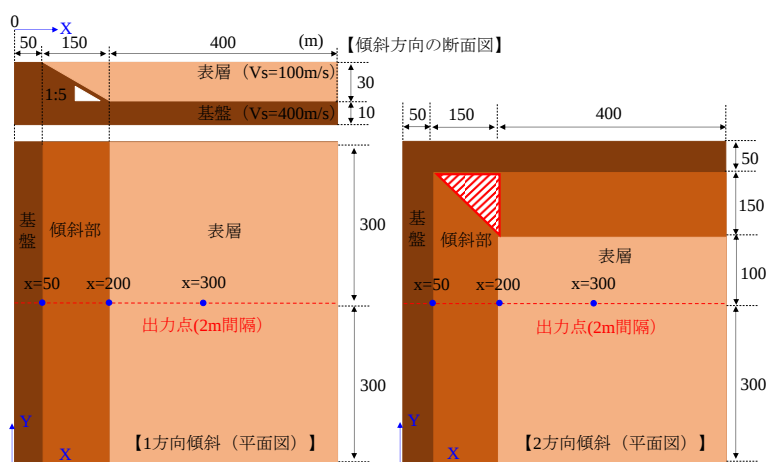


図1 傾斜基盤モデルの概要

キーワード 不整形地盤, 設計地震動, 鉄道構造物

連絡先 〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町 6-50-1 横浜アイランドタワー TEL:045-222-9083

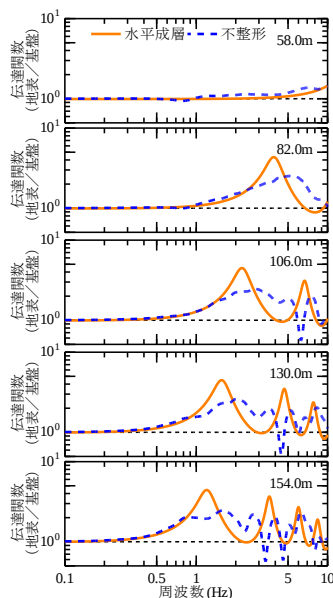


図2 1方向傾斜の伝達関数 (地表/基盤) (X方向加振)

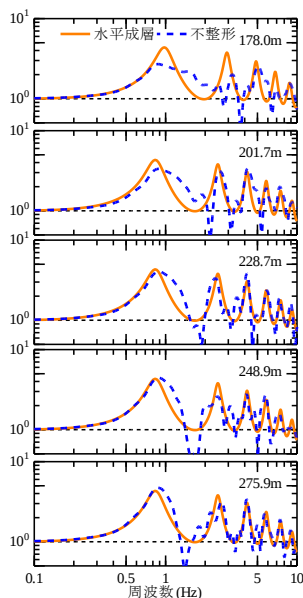
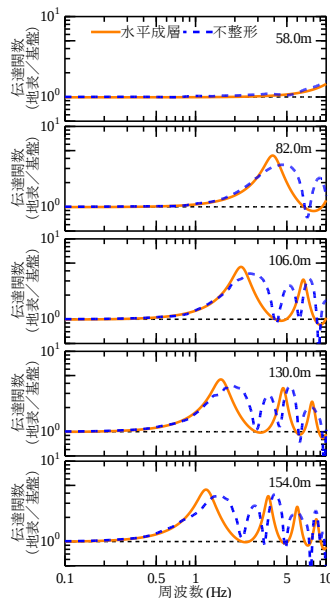
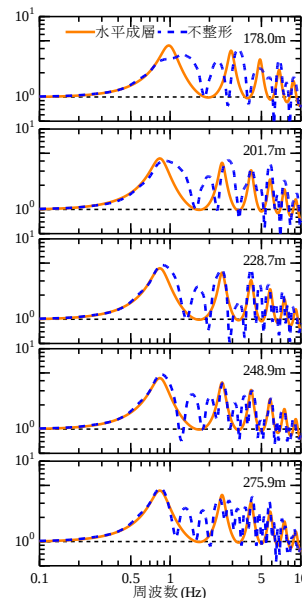


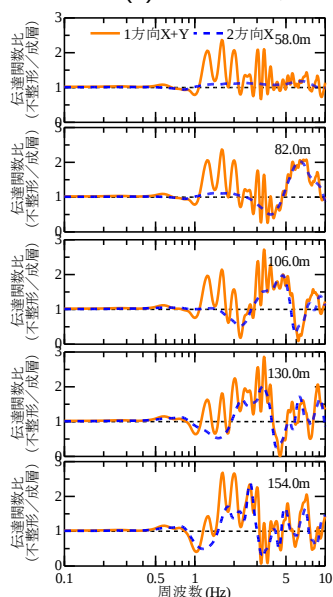
図3 1方向傾斜の伝達関数 (地表/基盤) (Y方向加振)



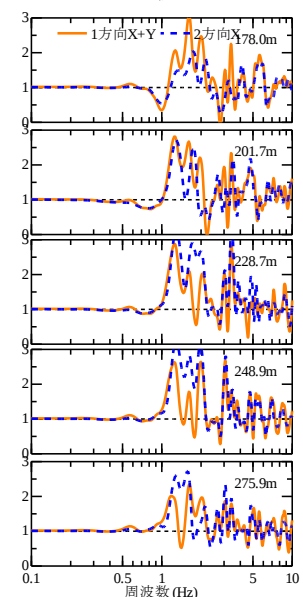
(a) 1方向傾斜のX加振とY加振の比較



(b) 1方向傾斜のX加振と2方向傾斜のX加振の比較



(c) 1方向傾斜のX+Y加振と2方向傾斜のX方向加振の比較



(d) 2方向傾斜のX方向加振 (減衰3%, 10%) の比較

図4 伝達関数の比 (不整形/水平成層)