不整形地盤の波動伝播特性が軌道面の折れ角に及ぼす影響

- 鉄道総合技術研究所 正会員 川西 智浩
- 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆
- 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 青木一二三
- 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 山崎 貴之

1.はじめに

鉄道構造物の耐震設計では,L1 地震動に対して列車走行安定性を確保するために,軌道面における折れ角の照査を行うよう定めている.不整形地盤上に鉄道構造物を建設する場合,基盤傾斜部で発生する表面波などの2次的な波の影響により,軌道面に大きな折れ角が発生すると考えられる.そこで本報告では,不整形地盤の2次元 FEM 解析を実施することにより,不整形地盤の波動伝播特性が軌道面の折れ角に及ぼす影響について検討を行った.

2.解析方法

図-1 に示すように,堆積層と基盤層からなる二層系の不整 形地盤上に,橋脚を約 20m 間隔で建設することを想定する. まず,表-1 に示す各ケースについて,堆積層の固有周期を中 心周期にもつ Ricker Wavelet 波(最大加速度1(m/s²))を入力波 として面外方向に加振し,2次元弾性 FEM 解析を実施した. 次に,2次元 FEM 解析により算出した地表面加速度波形を各 橋脚に入力し,構造物の減衰定数を 5% として構造物の1 自由 度系動的解析を行うことにより,軌道面の折れ角 'を(1)式に より各時間ステップ毎に算出し,その最大値を求めた.

$$\theta' = \frac{\delta_2 - \delta_1}{l_1} + \frac{\delta_2 - \delta_3}{l_2} \tag{1}$$

ここで, ₁, ₂, ₃は各橋脚の絶対変位, *l*₁,*l*₂はスパンである. また,構造物の固有周期は線路方向のすべての橋脚について同 一であると仮定した.

3.構造物の固有周期と最大折れ角の関係

一例として CASE1 について,基盤傾斜端部位置における構造物の固有周期と最大折れ角の関係を算定した結果を図-2 に

示す.折れ角が最も大きくなる構造物の固有周期は約0.6(sec)であるが,この周期はCASE1における表層地盤の固有周期や入力波の卓越周期である0.8(sec)とは異なる値であるため,基盤傾斜部分で生成される表面波が水平方向に伝播し,折れ角に影響を及ぼしているものと考えられる.

4.最大折れ角に及ぼす水平方向伝播波の影響

基盤傾斜部分で生成される表面波(水平方向伝播波)が最大折れ角に及ぼす影響を検討するため,各地点に おいて地盤の1次元解析を別途実施し,2次元 FEM 解析の波形から1次元解析の波形を差し引く¹⁾ことにより, 水平方向伝播波を算定した.CASE1における水平方向伝播波のフーリエスペクトルを,図-3に示す.水平方 向伝播波の卓越周期は概ね 0.6(sec)となっており,水平方向伝播波が軌道面の最大折れ角と密接に関係してい



図-1 不整形地盤モデル

表-1 解析ケース

表層Vs(m/s)	100			150	200
インピーダンス比 <i>κ</i>	0.2			0.3	0.4
θ(°)	10	20	40	20	20
10		Case6			
15		Case7			
30	Case4	Case1	Case5	Case2	Case3
45		Case8			
90		Case9			

ることがわかる.また,水平方向に伝播する表面波の卓越周期は,表面波の群速度が停留する airy 相と大きく 関係していることがわかっており^{2),3)},図-4 に示した水平方向伝播波の群速度の算定結果を見ても,airy 相は 0.6(sec)付近に位置している.つまり,水平方向伝播波の airy 相の周期と,折れ角が最大となる構造物の固有 周期はほぼ一致している.面外加振時には,水平方向に伝播する波として Love 波が卓越すると考えられるた め,Love 波の群速度を適切に算定して airy 相を求めることにより,折れ角が最大となる構造物の固有周期を 把握することができると思われる.

5. 各パラメータが軌道面の折れ角に及ぼす影響

折れ角が最大となる構造物の固有周期は,表-1 に示した各ケースでそれぞれ異なるが,4.に示した性質 を利用し,構造物の固有周期を水平方向伝播波の airy 相の周期で正規化することにより,各ケースの折れ角を 比較することが可能となる.一例として,傾斜角 =30°,表層厚さ H=20m のケース(CASE1~CASE3)に ついて,表層 Vs を変化させた場合の最大折れ角の比較結果を図-5 に示す.地盤のインピーダンス比が小さい ほど最大折れ角が大きくなることがわかる.また,グラフの形状は各ケースで似ていることから,不整形地盤 の各パラメータを用いて,軌道面の折れ角をモデル化することも可能であると考えられる.

6.まとめ

本報告では,不整形地盤上に建設した鉄道構造物の軌道面における折れ角が,基盤傾斜部分で生成される表面波に大きな影響を受けることを示した.今後は,不整形地盤における波動伝播特性を考慮した折れ角のモデル化を実施し,その結果を耐震設計に反映させていきたいと考えている.

参考文献 1) 室野剛隆,西村昭彦,室谷耕輔: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,土木学会ローカルサイト・エフェクト・シンポジウム論文集,pp.183-188,1998.2) 佐 藤泰夫:弾性波動論,岩波書店,1978.3)秋山伸一:傾斜層で発生する波動とLove 波の関連,土木学会論文 集,No.459/I-22,pp.129-138,1993.





図-3 水平方向伝播波のフーリエスペクトル (CASE1)



図-4 水平方向伝播波の位相速度及び群速度(CASE1) 図-5 インピーダンス比が最大折れ角に及ぼす影響