

線状地中構造物周辺地盤の地震時挙動における位相差入力の影響に関する一考察

大成建設（株） 正会員 ○坂下 克之
 大成建設（株） フェロー会員 志波 由紀夫
 大成建設（株） 正会員 渡辺 和明

1. はじめに

トンネル等の線状地中構造物の耐震性照査では、入力地震動の位相差を考慮する場合がある。そのときの地盤応答解析手法としては、入力地震動が剛基盤面上を時間差を伴って移動する入力方法（E+F 入射）によるのが一般的である。今回、入力地震動を上昇波として入力する方法（2E 入射）により地震動の位相差入力解析を実施し、E+F 入射法との違いや地盤応答の特性について定性的な検討を行った。

2. 解析手法および解析条件

図-1 に解析手法の概念および今回設定した解析条件を示す。2E 入射による位相差入力解析手法は、解析モデル下端各節点にダンパーを取り付け、ダンパー下端を上昇波の2倍の振幅をもつ地震動で伝播方向に時間ずれを生じさせながら加振する。E+F 入射の場合は、解析モデル下端各節点を直接強制加振する。

今回解析ケースは、加振方向については面外（トンネル軸直角方向）加振のケースと面内（トンネル軸方向）加振のケースを、入射方法については2E 入射および比較のために面外加振のみ E+F 入射のケースを、位相伝播速度については500m/s と1000m/s のケースを設定した。入力地震動は、表層の1次固有振動数(1.67Hz)を中心振動数としてもつRicker 波（最大加速度100Gal, 最大変位1.8cm）を用いた。

以下、「変位」とは、面外加振の場合は「面外水平変位」、面内加振の場合は「面内変位」（水平成分と鉛直成分がある）をさし、「ひずみ」とは、図-1 に示すように、面外加振の場合は「面外水平せん断ひずみ」、面内加振の場合は「水平直ひずみ」をさすものとする。

ところで、図-2 に示すように、地盤が各々独立な1次元土柱の連なり＝「土柱列」とであると仮定してみる。この場合、1次元土柱について解析した応答変位を $u(z, t)$ (z : 深さ, t : 時間) とすると、変位の2次元的な分布は $u(z, t - x/c)$ (c : 位相伝播速度) と表され、特定時刻・特定深さにおける地盤変位の水平方向の分布形状は、1次元土柱のその深さにおける変位時刻歴波形の時間軸を $-c$ 倍した形となる。また地盤のひずみは、 $-v(z, t)/c$ (v : 応答速度) となる。本検討では2次元地盤の位相差入力に対する挙動が上記の「土柱列」仮定から推定できるかどうかあわせて調べた。

3. 解析結果

図-3 に解析結果の一例を示す。E+F 入射と2E 入射との比較では、前者では解析領域下端から反射波が逸散しないため、最大応答値が後者より大きく、入力地震動が通過した後も自由振動の挙動が残る。なお両ケース

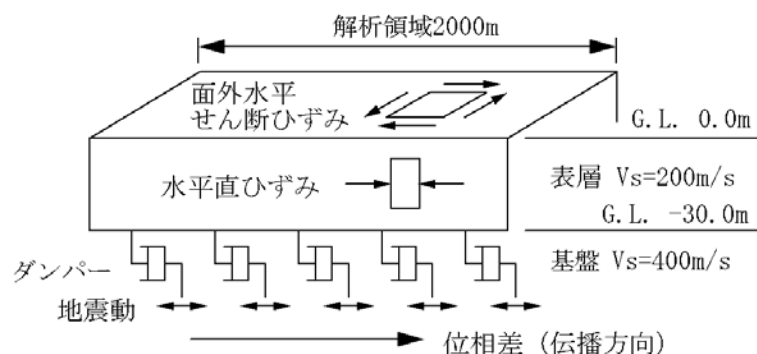


図-1 解析手法の概念および解析条件（2E 入射）

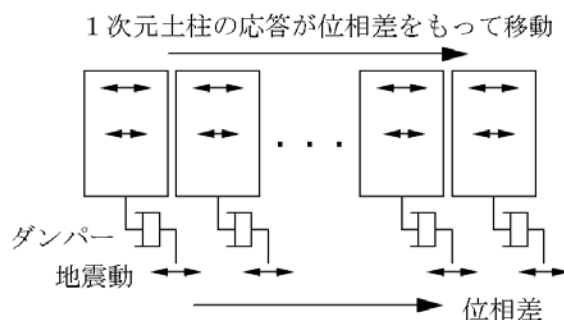


図-2 「土柱列」の仮定の概念

キーワード 地盤, 地震動, 位相差入力, 地震応答解析, 線状地中構造物

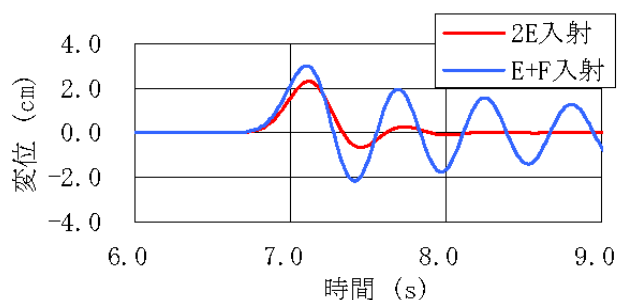
連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL 045-814-7231

とも変位時刻歴波形はそれぞれ1次元土柱の結果とほぼ一致していた。次に、図-3の(a)と(b)とを見比べてみると、地盤の変位分布形状は、変位時刻歴波形の横軸1秒を位相伝播速度倍した500mとし、左右反転したものとはほぼ重なる。これは前項で述べた「土柱列」の仮定から予測されたように、地盤の応答として1次元土柱の変位形状が入力地震動と同じ位相伝播速度で水平方向に移動する形となっている。

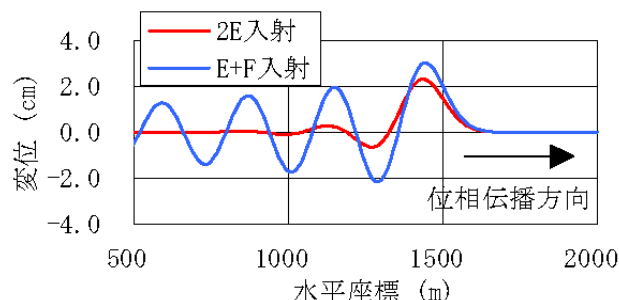
図-4に、G.L.-7.5m（トンネル軸線想定深さ）における最大変位、最大ひずみ、波長について、「土柱列」仮定による推定値との比較を示す。波長とは応答変位の水平方向の分布形状において最大変位のピークから次のピークまでの距離とした。同図より各応答値とも、本解析条件においては、位相伝播速度が1000m/sの場合、「土柱列」仮定からの推定値とよく合っており、地盤の水平方向の連成の影響が少ないことがわかる。位相伝播速度が500m/sの場合には、面内加振のケース等で推定値から外れてくるものがみられる。これらについては変位時刻歴波形の形状も1次元土柱の結果と若干異なっていた。これは位相伝播速度が小さいと波長も短くなり、地盤の水平方向の連成効果の影響が生じるためと考えられる。面内加振では地盤の水平直ひずみの影響で鉛直変位も発生する。同じ振幅の入力に対しては位相伝播速度が小さいほど波長が短くなり地盤の直ひずみも大きくなるため、鉛直変位も大きくなっている。波長については、参考として共同溝設計指針に規定されている応答変位法に適用する地盤振動の波長の本地盤条件での値もあわせて示しているが、指針の波長に対応するような波長が発生する条件としては、本解析条件の場合は位相伝播速度が300m/s程度のときとなる。

4. まとめ

入力地震動の位相差を考慮した地盤の地震応答解析を実施し、トンネル等の線状地中構造物の耐震性を検討する際に必要になる地盤の挙動を定性的に把握した。また解析条件によっては挙動を1次元土柱の応答から推定できることを示した。今後は基盤に段差・傾斜がある場合等についても検討を続けていきたい。



(a) 解析モデル中央（水平座標 1000m）における変位時刻歴



(b) 時刻 8.0s における変位分布

図-3 面外加振・位相伝播速度 500m/s のケースの G.L.-7.5m（トンネル軸線想定深さ）の絶対変位

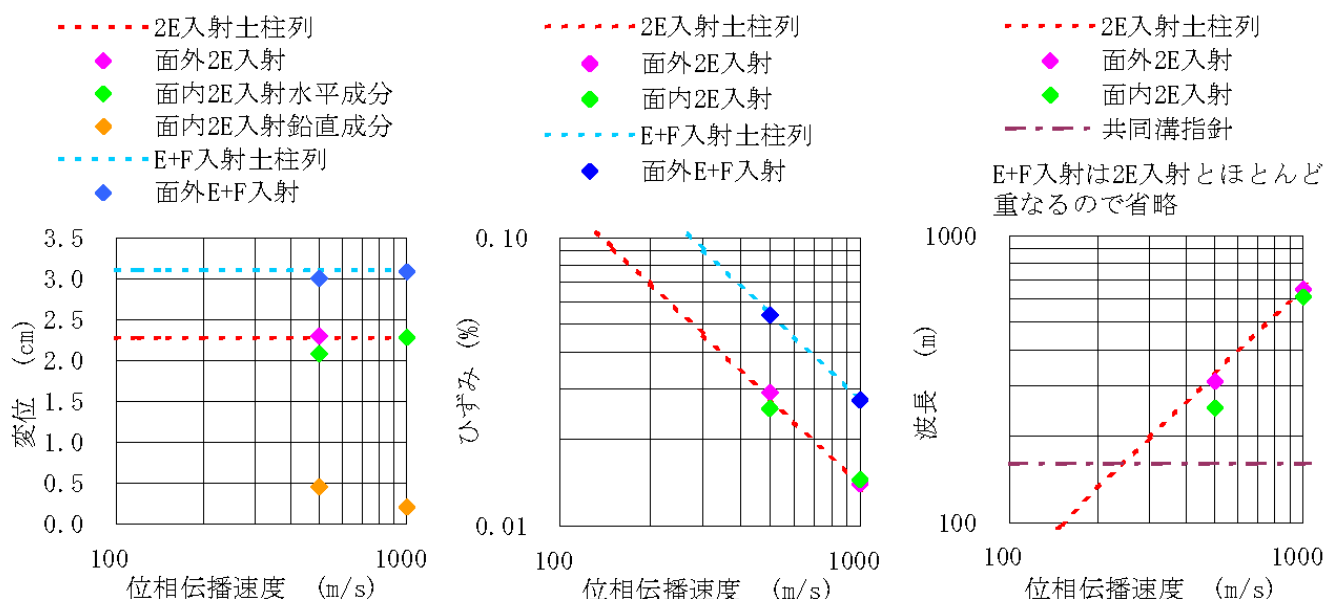


図-4 G.L.-7.5m（トンネル軸線想定深さ）における応答値比較