

濃尾平野の三次元不整形地盤構造が後続位相に与える影響に関する研究

後続位相 三次元不整形地盤構造
継続時間 Semblance 解析

正会員 成田 忠祥* 同 高橋 広人**
同 福和 伸夫*** 同 飛田 潤****

1.はじめに

2003年に起きた十勝沖地震において、震源から遠く離れた盆地構造を有する苫小牧の石油タンクがスロッシング現象により炎上したことは深部地盤構造と後続位相との関係の重要性を我々に知らしめる契機となった。濃尾平野においても、苫小牧のような深部地盤構造の不整形性を有している。図1に示した鳥取県西部地震(2000年10月6日)におけるH/Vスペクトルの一次卓越周期より、濃尾平野は東北東から西南西に向かって堆積層が厚くなっている、三次元的に不整形性を有した堆積盆地である。来るべき東海・東南海地震が長周期地震動であることを考えても、また、今までマグニチュードが大きい長周期地震動が超高層建築物の林立する都市部を直撃した経験がないことを考えても、濃尾平野の三次元的な不整形地盤構造と後続位相との関係について解明していく必要がある。

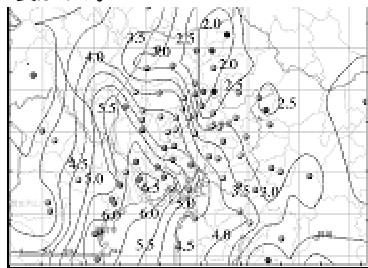


図1 H/Vスペクトルの一次卓越周期

そこで、本論では、大都市圏強震動総合観測ネットワークにより収集された高密度観測記録及び二次元FEM解析を用い、濃尾平野の三次元不整形地盤構造が後続位相に与える影響について解明することを目的とする。

2. 濃尾平野と継続時間の関係

濃尾平野に対して西から伝播する岐阜県美濃中西部地震(1998年4月22日)、東から伝播する静岡県中部地震(2001年4月3日)、遠方地震である鳥取県西部地震(2000年10月6日)を対象に、濃尾平野における速度波形の継続時間分布を図2に示す。ここでは、包絡波形の最大振幅を基準とし、その50%の振幅が最初に生じる時刻から最後に生じる時刻までを継続時間と定義した。遠方地震である鳥取県西部地震は、愛知県・三重県境～名古屋市西部～名古屋市南部にかけて、継続時間が長くなっているため、図1に示したH/Vスペクトルの一次卓越周期の分布と対応がよい。鳥取県西部地震は、震源が遠く浅いため、様々な種類の波動を含み、濃尾平野では長周期成分を多く含んだ表面波が優勢となっているため、堆積層が厚い地域で継続時間が長くなっていると考えられる。一方、地震波が西から伝播する岐阜県美濃中西部地震及び東から伝播する静岡県中部地震では、継続時間が伸長している地域が異なる。岐阜県美濃中西部地震は、濃尾平野南部において、やや東に向かって継続時間が長くなっているのに対し、静岡県中部地震は、明らかに濃尾平野西部に向かって継続時間が長くなっている傾向がある。このような地震波の到来方向の差異について検討するため、図3に示す濃尾平野の傾斜構造を表現した解析モデルを対象に、二次元FEM解析を行った。入力波としては、図4に示す岐阜県美濃東部地震(2001年1月6日)のKIK-netの羽島における地中計のEW方向速度波形記録を用い、SV波場において鉛直下方入射、右から30°入

射、左から30°入射した。図5に入力方向毎の地表面継続時間分布を示す。鉛直下方入射時はやや左上がり、右から30°入射時は左上がり、左から30°入射時はやや右上がりの傾向を示しており、実測記録の結果と調和的である。この継続時間分布の傾向は、基盤が傾斜しているため、鉛直下方入射時は、屈折した直達波が堆積層の厚い方向へ向かって伝播している、右から30°入射時は、その傾向が顕著となり、左から30°入射時は逆にその傾向が緩和されるためと考えられる。以上の結果より、濃尾平野のような傾斜構造を有している盆地では、継続時間分布は、地震波の入射方向によって変化し、一意に堆積層が厚い

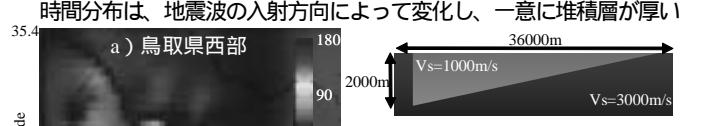


図3 解析モデル

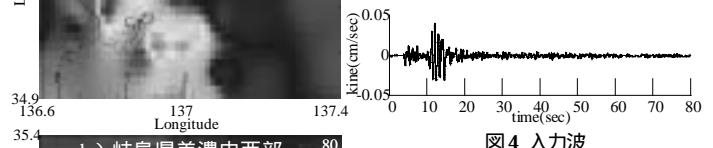


図4 入力波

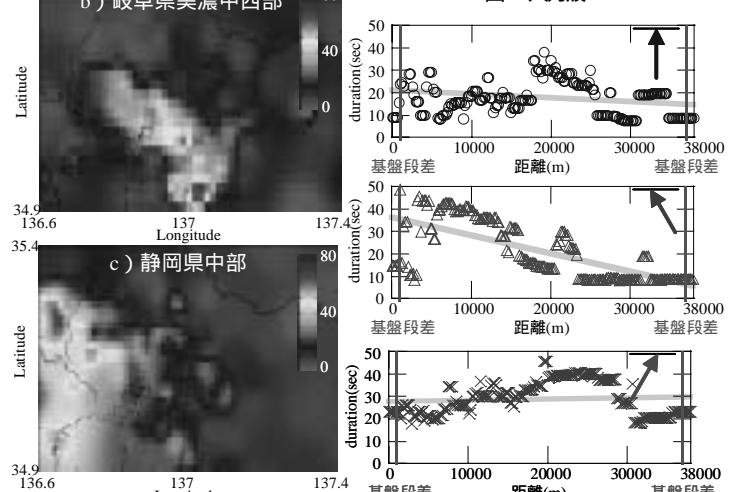


図5 入力方向毎の継続時間分布(実測)

図5 入力方向毎の継続時間分布(解析)

地域ほど継続時間が長いと言は切れないという知見を得た。

3. 濃尾平野におけるRayleigh波の伝播性状

地盤震動の継続時間に影響を及ぼすRayleigh波に着目し、濃尾平野におけるRayleigh波の伝播性状について検討した。検討に用いた地震動は、岐阜県美濃中西部地震(1998年4月22日)である。震央位置及び検討に用いた測線Aを図6に示す。測線Aに含まれる観測地点におけるa)鳥取県西部地震(2000年10月6日)のH/Vスペクトル及び1次卓越周期、b)中心周期2秒、c)中心周期3秒、d)中心周期4秒のGauss型フィルター波形及び包絡波形を図7に示す。なお、各観測地点の震央

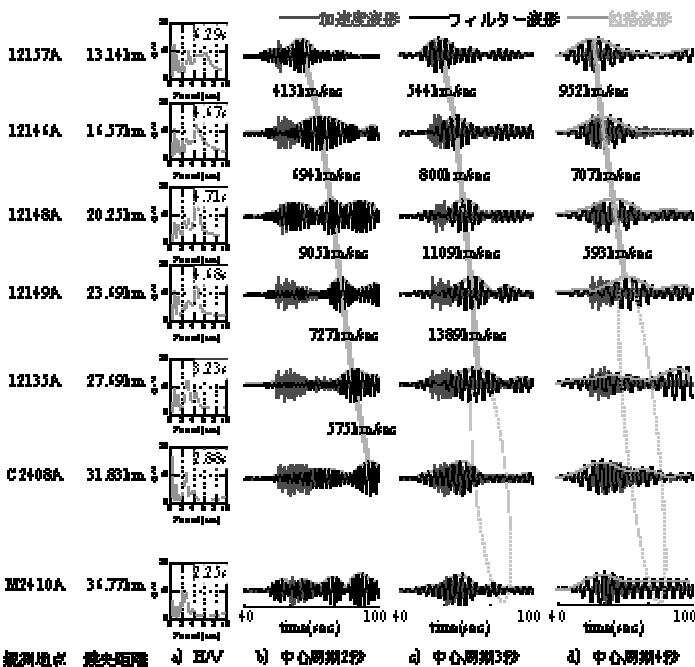


図 7 H/V スペクトル、中心周期の異なる Gauss 型フィルター波形及び包絡波形

距離に応じて上から下へ波形を配置している。中心周期の違いにより、波群が異なる速度で伝播しているが、周期が長くなるにつれて、伝播速度が一様に速くなっていると言えない。これは、群速度の伝播速度がエアリー相の影響を受けていることが一因として考えられる。また、中心周期 2 秒のフィルター波形は濃尾平野東部まで伝播しているのに対し、中心周期 3 秒のフィルター波形は、12135A まで、中心周期 4 秒のフィルター波形は 12149A までしか明確な伝播が見られない。

このような伝播性状は、Rayleigh 波の振幅に起因していると考え、図 8 に示した堆積層厚さ H を変化させたモデルを対象に、深さ変化に伴う Rayleigh 波の振幅について検討した。図 9 に Rayleigh 波の分散曲線、図 10 に Rayleigh 波の振幅 (Medium Response)、図 11 に Rayleigh 波 H/V スペクトルを示す。これらの図を比較すると、分散曲線のエアリー相に相当する振動数で Rayleigh 波の振幅が最大値を示しており、H/V スペクトルは最小値を示している。すなわち、エアリー相において、Rayleigh 波の振幅が最も大きくなるとともに、H/V スペクトルから分かるように、水平動に比べ鉛直動が卓越するため、Rayleigh 波のオービット形状は縦長の軌跡を描くと考えられる。一方、H/V スペクトルのピーク位置である地盤の卓越振動数より低振動数側において、Rayleigh 波の振幅は最小値を示している。すなわち、地盤の卓越振動数では、オービット形状は横長の軌跡を描くが、描く軌跡が非常に小さいオービットとなると考えられる。

解析で得た知見を基に、前述した実測記録の Rayleigh 波の伝播性状に関して検討すると、中心周期 3 秒のフィルター波形において、明確な伝播が見えなくなった C2408A の 1 次卓越周期は 2.88 秒であり、この地点においては 3 秒の Rayleigh 波の振幅は非常に小さくなっていると考えられ、また、中心周期 4 秒のフィルター波形においても、明確な伝播が見えなくなった 12135A の 1 次卓越周期は 3.23 秒であり、この地点において 4 秒の Rayleigh 波の振幅は非常に小さくなっていると考えられる。以上の結果より、実測記録においても、解析結果同様、地盤の卓越周期より長周期側は Rayleigh 波の振幅が非常に小さくなると言える。

次に、濃尾平野における中心周期 2 秒及び 3 秒の Gauss 型フィルター

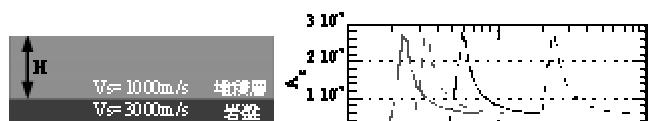


図 8 解析モデル



図 9 分散曲線 (群速度)

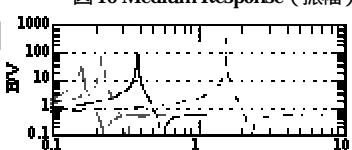


図 10 Medium Response (振幅)



図 11 H/V スペクトル

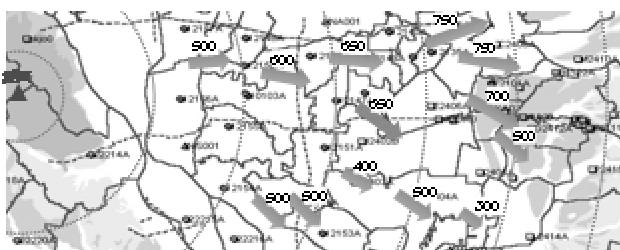


図 12 中心周期 2 秒の Rayleigh 波伝播性状

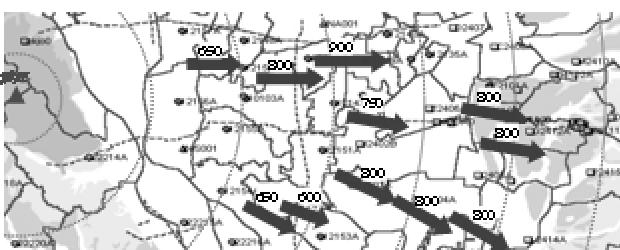


図 13 中心周期 3 秒の Rayleigh 波伝播性状

波形の伝播性状について Semblance 解析を用いて検討した。Semblance 解析とは、N.S.Neidell ら¹⁾により提案された表面波の伝播特性を推定する方法である。図 12 に中心周期 2 秒の Rayleigh 波の伝播性状を示す。なお、矢印の向き及び大きさが伝播方向及び伝播速度を表し、図中に示した数字は伝播速度を表している（単位は m/sec）。サイト毎に伝播速度の差が大きく、全体として、北東になるにつれて伝播速度は速くなっている。伝播方向としては濃尾平野を回り込むように伝播しており、従来の表面波が同心円状に伝わるという仮定と異なる。一方、図 13 に示した中心周期 3 秒の Rayleigh 波の伝播性状において、サイト毎に伝播速度の差が小さく、同心円状に伝播している。このような周期特性の違いによる Rayleigh 波の伝播性状の違いは、図 25 より周期が長くなるほど深さ変化に伴う群速度変化が少なくなることに起因していると考えられる。

4. まとめ

本論では、実測と解析により濃尾平野の三次元不整形地盤構造が後続位相に与える影響について検討し、1) 濃尾平野のような傾斜構造を有している盆地では、継続時間分布は地震波の入射方向によって変化する、2) エアリー相において、Rayleigh 波の振幅が最も大きくなり、地盤の卓越振動数より低振動数側では最小値を示す、3) 周期特性の違いにより濃尾平野の Rayleigh 波伝播性状は異なる、という知見を得た。

参考文献

1) Neidell, N.S. and M.T. Taner: Semblance and other coherency measures for multichannel data, Geophysics, 36, pp.482-497, 1971

*中部電力（株）・修士（工）

**応用地質（株）・修士（工）

***名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

****名古屋大学大学院環境学研究科 助教授・工博

* Chubu Electric Power Co., Inc., M.Eng.

** Oyo Corporation Co., Inc., M.Eng

*** Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

**** Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng