

地盤の不整形性によって生じる地震動の位相ずれに関する検討

九州大学 学生員 ○有澤 謙一
九州大学 フェロー 大塚 久哲
九州大学 正会員 古川 愛子

1. はじめに

地震動は耐震設計上の基盤面に到達する時刻にずれが生じ、見かけ上、工学的基盤面に沿って地震動が伝播することになる。この現象を、設計では一つの地震波が順々に遅れて伝播すると考え、位相ずれ入力をするることにより簡易的に考慮している。本研究では、断層モデルから算出した地震基盤面における基盤波を入力地震動とし、2次元有限要素法を用いて不整形地盤の線形解析を行い、不整形性によって生じる地震動の位相ずれについて検討を行う。

2. 解析条件

本研究では、まず初めに、統計的グリーン関数法を用いて断層から発生する地震基盤面における基盤波を算定する。断層モデルと断層パラメータを図-1、表-1に示す。

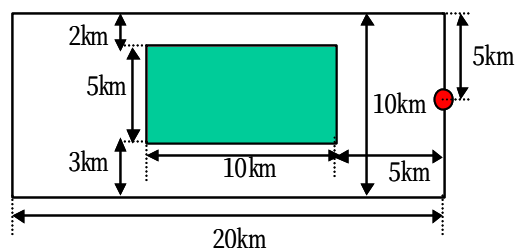
次に、これを基盤入力波として、2次元有限要素法により地震基盤面以浅の地盤の解析を行う。地盤構造を図-2に、物性値を表-2に示す。工学的基盤面に段差がある不整形地盤を対象とした。検討の対象としたのは図-2に示す水平方向1000mの領域であるが、境界の影響がこの領域に表れないようにするため、有限要素法解析においては左右に十分な幅の領域(1000m ずつ)を設けた。解析地盤のメッシュ間隔は水平・鉛直方向ともに5mとした。拘束条件は地盤モデルの側面・底面ともに粘性境界とした。減衰はレーリー減衰を採用した。主要なモードの固有振動数は、1.16Hz(1次)と1.39Hz(4次)であり、それぞれ工学的基盤面の深い地点と浅い地点と同じ地盤構造を有する成層地盤の卓越振動数に相当する。

基盤入力波の違いが位相ずれに与える影響について検討するため、図-2の地盤構造の500m地点を、断層面中心位置の直上から左側40km地点に設置した場合、右側40km地点に設置した場合について検討を行い、それぞれをケース1,2とした。なお基盤入力波の位相ずれは考慮していない。

3. 基盤入力波の作成

断層モデルから基盤入力波を合成する手法として入倉・釜江によるグリーン関数法¹⁾を採用した。要素地震動はBooreの方法¹⁾により求めた。表-3に要素地震動の諸元を示す。本研究ではアスペリティのみが滑るとした。

図-3に基盤入力波の加速度時刻歴波形とフーリエスペクトルを示す。断層の右側に位置するケース2の基盤波の継続時間が長い理由は、断層の破壊の伝播方向が左であるのに対し地震波の伝播方向は右であることから、地震動が長い時間観測されるためである。



■ アスペリティ ● 破壊開始点

図-1 断層モデル

表-1 断層パラメータ

断層長さ	20(km)
断層幅	10(km)
傾斜角	90(°)
せん断波速度	2.5(km/s)
破壊伝播速度	2.0(km/s)
地震モーメント	3.05×10^{25} (MN・m)
ライズタイム	0.537(sec)
アスペリティの面積	50(km ²)

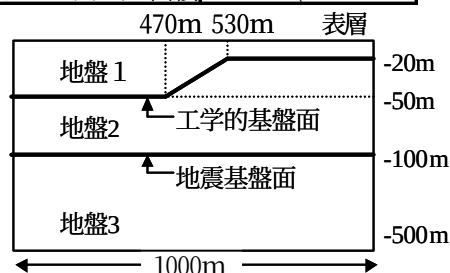


図-2 地盤構造

表-2 地盤物性値

	ポアソン比 ν	せん断波速度 V_s (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	減衰定数 h
地盤1	0.45	300	1.8	0.05
地盤2	0.45	700	1.9	0.05
地盤3	0.45	3000	2.3	0.01

表-3 要素地震動の諸元

せん断波速度	2.5(km/s)
密度	2.5(g/cm ³)
応力降下量	50(bar)
要素地震モーメント	3.05×10^{22} (MN・m)
マグニチュード	4.1
継続時間	3.24(sec)

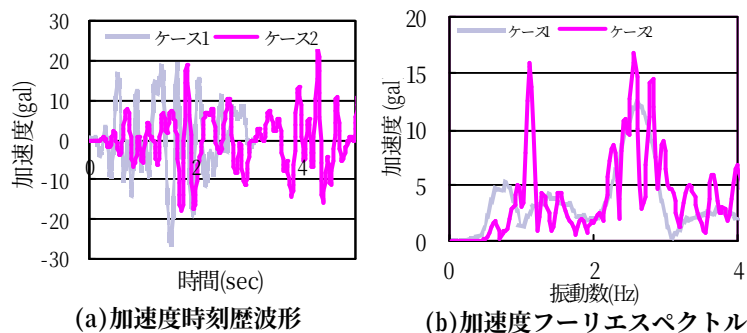


図-3 地震基盤面における基盤入力波

4. 解析結果

図-4に、地表面最大変位分布を示す。470mから530mの区間は工学的基盤面が傾斜している区間であり、その影響で不整形部の左側で応答が大きくなっている。

工学的基盤面上の7地点での変位波形と変位のフーリエスペクトルを図-5、図-6に示す。

ケース1では、地震開始直後から最大振幅を迎えるまでの間は、若干ではあるものの波形が左側から右側に伝わっている様子が見て取れる。これは、左側の方が工学的基盤面が深く、直達波の到達時刻が早いのである。一方、不整形部において地震波が反射・屈折することによって発生する回折波が工学的基盤面の深い左側に伝わるため、最大振幅発生より後の時間では、波形が右側から左側に伝わっているように見て取れる。また、ケース1では、7地点の波形には位相ずれが見られるだけでなく、波形の周波数特性にも違いが見られる(図-6(a))。これは、不整形部で発生し側方に伝わる回折波の影響と考えられる。一方、ケース2の基盤波は継続時間が長く、また卓越振動数が1.12Hzと工学的基盤面の深い側の地盤の固有振動数に近い(図-3(b))、回折波に比べ直達波の影響が大きい。波形は主に左側から右側に伝わっているように見て取れ、波形の周波数特性の違いも小さい(図-6(b))。

図-7に工学的基盤面での変位波形から算出した、100m地点と300m, 400m, 470m, 500m, 530m, 600mの6地点の間で見かけの伝播速度を示す。正の伝播速度は地震波が左から右へ伝わることを示す。図-7(a)は地震発生後から応答が収束するまでの全時間領域に対して算定した結果であり、いずれの地点も左から右へ伝わっており、主に工学的基盤面の深さの違いにより直達波の到達時刻に差があることに起因している。工学的基盤面深さの異なる100m地点と500-600m地点の間の伝播速度は0.24-0.30km/secと小さく、この影響を無視することはトンネルなどの地中構造物に対し危険側の評価を与えることになり、位相ずれの考慮が必要であると考えられる。

図-7(b)は入力波の継続時間終了後、応答が収束するまでの時間に対して算定した結果である。ケース2の伝播速度は非常に大きく位相ずれはほとんどないが、ケース1では不整形部より右側は負の伝播速度となっており、右から左へと回折波が伝わっていることが分かる。変位振幅は小さいものの、伝播速度が小さい(0.42-0.56km/sec)ので、注意が必要であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、工学的基盤面に段差がある不整形地盤に対して地震基盤面以浅の地震応答解析を行い、工学的基盤面における地震動の位相ずれについて検討を行った。工学的基盤面の深さの差と、不整形部で発生する回折波によって位相ずれが生じ、小さな見かけの伝播速度を生じることがわかった。

参考文献

1)理論地震動研究会：地震動、その合成と波形処理、鹿島出版会、1994。

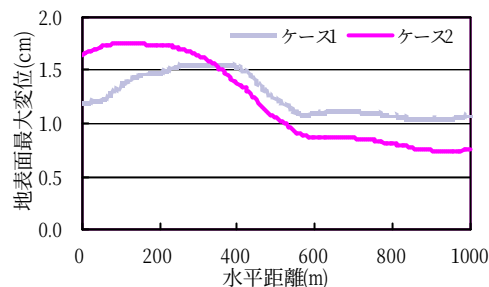


図-4 地表面最大変位分布

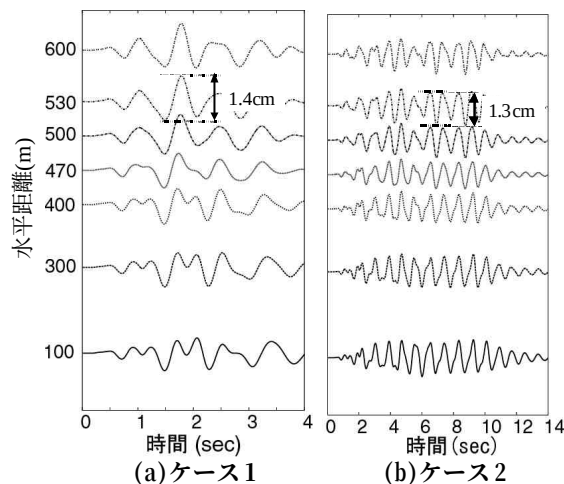


図-5 工学的基盤面における変位波形

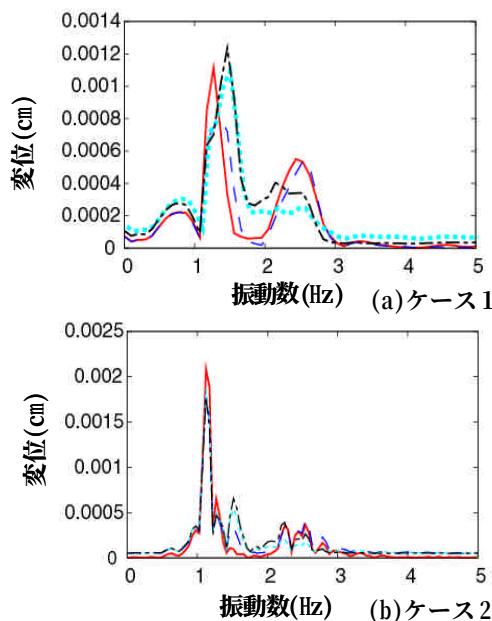
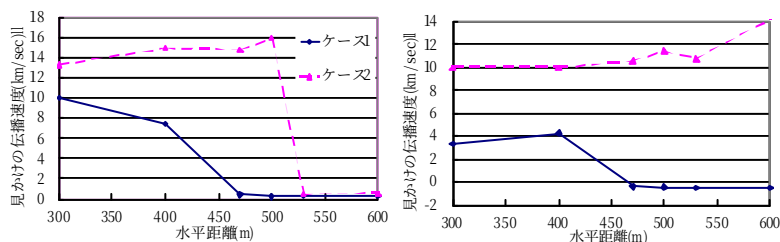


図-6 工学的基盤面での変位のフーリエスペクトル



(a)全継続時間を対象として算出した結果 (b)入力波の継続時間終了後、応答が収束するまでの時間を対象として算出した結果

図-7 工学的基盤上の100m地点と各地点間の地震動の見かけの伝播速度