

箇所毎に異なる基盤入力波と地盤の不整形性が表層地盤の応答に与える影響

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

地震動は地表面に到達する時刻にずれが生じ、見かけ上、地表面に沿って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、位相差入力を行うことにより簡易的に考慮している。本研究では、断層モデルから地震基盤面上の各地点における地震動を算出し、箇所別の基盤入力波を作成した。次に、2次元有限要素法を用いて成層地盤および不整形地盤の地震応答解析を行い、箇所別地震動と地盤の不整形性が表層地盤の応答の振幅および位相ずれに与える影響について検討した。

2. 解析概要

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。断層モデルと断層パラメータを図-1、表-1に示す。要素地震動はBooreの方法¹⁾により求めた。表-2に要素地震動の諸元を示す。

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。地盤モデルを図-2に、物性値を表-3に示す。成層地盤と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。ただし、不整形部では水平方向のメッシュ間隔を1mとした。拘束条件としては、側方境界を水平方向自由、鉛直方向を拘束とした。底面は粘性境界とした。減衰はレーリー減衰を採用した。不整形地盤の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。図-2の地盤モデルの500m地点を、断層面中心位置から左側40km地点に設置して検討を行った。

基盤入力波の違いが表層地盤の応答の振幅および位相ずれに与える影響について検討するため、統計グリーン関数法によって算出された地盤モデル中央点における地震基盤波を一樣入力するケース、統計グリーン関数法によって算出された箇所別の基盤入力波を入力ケース(媒質のせん断波速度3km/sec, 5km/secの2通り)について解析を実施した。また、箇所別の基盤入力波の平均的な見かけの伝播速度を算出したところ、それぞれ媒質のせん断波速度3km/sec, 5km/secに一致したため、地盤モデル中央点における地震基盤波を見かけの伝播速度3km/sec, 5km/secでずらすことにより位相差入力したケースも解析を実施した。さらに、箇所別地震動から平均的な見かけの伝播速度を差し引いた波形、すなわちランダムな位相の変動のみが残った地震波についても箇所別に入力した。以上、一樣入力、ランダムな位相ずれ入力、位相差入力、箇所別入力の4通り、伝播速度については3km/sec, 5km/secの2通りについて解析を実施した。

3. 基盤入力波の算出

図-3にモデルの左端、中央、右端における基盤入力波の平均的な位相ずれを差し引いた後の加速度時刻歴波形と応答スペクトル(減衰5%で試算)を示す。図-3(a)より、500m ずつ離れた3

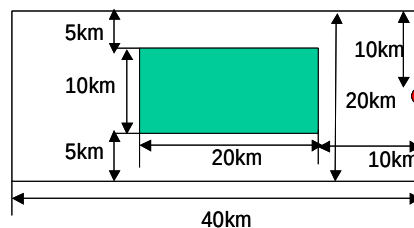


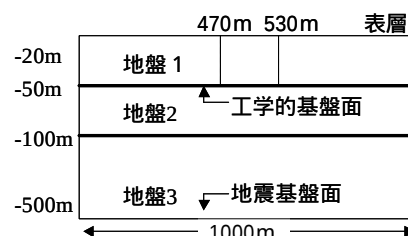
図-1 断層モデル
アスペリティ 破壊開始点

表-1 断層パラメータ

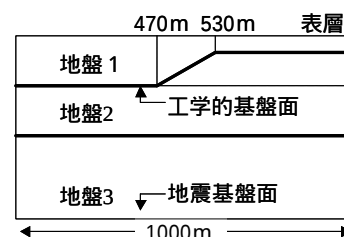
断層長さ	40(km)
断層幅	20(km)
傾斜角	90(°)
せん断波速度	3.0(km/s)
破壊伝播速度	2.5(km/s)
地震モーメント	2.438×10^{26} (MN・m)
ライズタイム	0.537(sec)
アスペリティの面積	50(km ²)

表-2 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)



(a) 成層地盤



(b) 不整形地盤

図-2 地盤モデル

表-3 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

キーワード 箇所別地震動, 不整形地盤, 振幅, 位相
連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡744 TEL 092-802-3374

点ではあるが、地震波の位相は非常に良く一致していることがわかる。振幅については、震源に最も遠い左側の地点の振幅が小さくなっており、箇所毎の差が表れている。図-3(b)では、振幅が違ふことを除いて、3点の周波数特性は非常に似ている。

4. 解析結果

(1) 地表面最大加速度分布

図-4(a)に、成層地盤における地表面最大加速度分布を示す。一様入力とランダムな位相の変動を考慮に入れた両ケースの最大加速度は同程度である。また、伝播速度3km/sec、5km/secともに、位相差入力と箇所別地震動のケースが同程度の最大加速度となっている。次に、伝播速度が最大加速度に与える影響について検討する。一様入力は、伝播速度が ∞ のケースと考えられることから、最大加速度が大きい順に、伝播速度 ∞ 、5km/sec、3km/secとなる。伝播速度3km/secのケースの最大加速度は一様入力の約半分程度となっている。以上のことから、ランダムな位相の変動が最大加速度に与える影響は小さく、見かけの伝播速度が与える影響が強いことがわかった。

次に、箇所毎に異なる基盤波が不整形地盤の最大加速度分布に与える影響について検討する(図-4(b))。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る。図-4(b)から、不整形地盤においても成層地盤と同様に、ランダムな位相の変動が最大振幅に与える影響は小さく、見かけの伝播速度が与える影響が強いことがわかった。また、伝播速度によって、不整形効果による増幅の程度が異なることが見て取れる。

(2) 地表面加速度応答の見かけの伝播速度

表-4に地表面での加速度波形から算出した100m地点と300m、400m、470m、500m、530m、600mの6地点の間の見かけの伝播速度を示す。正の伝播速度は地震波が右から左へ伝わることを示す。

成層地盤(表-4(a))の一様入力とランダムな位相の変動を考慮したケースでは、地表面加速度応答の伝播速度は非常に大きな値となり、位相ずれはほとんどない。位相差入力および箇所別地震動のケースでは、地表面加速度応答の見かけの伝播速度は基盤入力波の伝播速度にほぼ一致している。

不整形地盤(表-4(b))では、一様入力であっても地盤の不整形性により4.78-6.67km/secの位相ずれが生じた。箇所別の基盤波と不整形性の両方の影響がある場合は、それぞれが単独で作用した場合より小さな伝播速度が得られる地点もあり、最小で0.88km/secとなった。

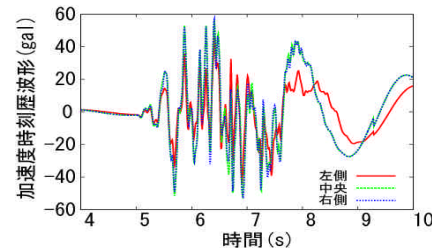
以上より、基盤波の位相ずれの程度によって、成層・不整形地盤ともに地表面応答の振幅が大きく異なることがわかった。また、特に不整形地盤では箇所別の基盤波は地表面加速度に大きな位相ずれを生じる可能性があることがわかり、箇所別の基盤波を考慮しないと地上および地中構造物の応答を正しく評価できないと考えられるので、位相差の考慮が必要であると考えられる。

5. まとめ

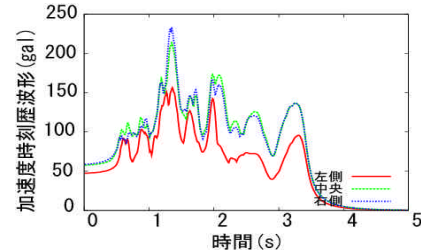
本研究では、成層地盤と工学的基盤面に段差がある不整形地盤に対して地震応答解析を行い、地表面加速度応答の振幅および位相ずれについて検討を行った。地表面

応答の振幅を推定する上で基盤波の伝播速度の影響が大きいこと、地表面の応答は箇所別の基盤波と地盤の不整形性の両方によって小さい見かけの伝播速度をとる可能性があることがわかった。

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。

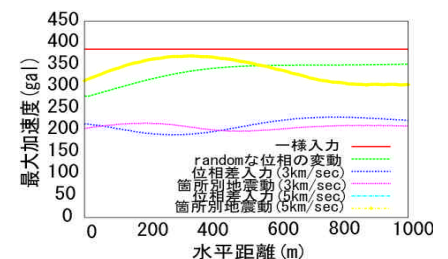


(a) 加速度時刻歴波形

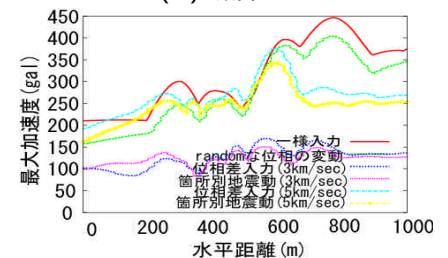


(b) 加速度応答スペクトル

図-3 地震基盤面における基盤入力波



(a) 成層地盤



(b) 傾斜地盤

図-4 地表面最大加速度分布

表-4 地表面加速度の見かけの伝播速度(100m点を基準)

入力方法/対象地点	300m	400m	470m	500m	560m	600m
一様	∞	∞	∞	∞	∞	∞
ランダムな位相差	∞	∞	∞	∞	∞	∞
位相差3000m/s	2.86	2.73	2.85	2.86	2.87	2.78
位相差5000m/s	5.00	5.00	5.29	5.71	5.38	5.56
箇所別3000m/s	3.33	3.00	3.08	3.08	3.07	2.94
箇所別5000m/s	5.00	5.00	5.29	5.71	5.38	5.56

(b) 傾斜地盤

入力方法/対象地点	300m	400m	470m	500m	560m	600m
一様	∞	∞	∞	6.67	4.78	5.00
ランダムな位相差	0.26	∞	∞	8.00	5.38	5.00
位相差3000m/s	2.00	-1.88	-3.70	-6.67	-8.60	∞
位相差5000m/s	3.33	4.29	2.85	2.35	2.39	2.63
箇所別3000m/s	2.22	2.14	1.76	1.60	1.65	0.88
箇所別5000m/s	4.00	5.00	3.08	2.50	2.53	2.78