

箇所別の違いを考慮した入力地震動による不整形地盤の応答解析

九州大学大学院 学生会員○矢野 恵美子
(株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 橘 義規

九州大学大学院 フェロー 大塚 久哲
九州大学大学院 正会員 古川 愛子

1. はじめに

沈埋トンネルなどの耐震設計実務では、基盤面に地震波が到達する時刻をずらした位相差入力を行うことにより入力地震動の違いを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波と、位相ずれを考慮した地震波を入力した場合の不整形地盤の応答比較を行い、地中構造物縦断方向の耐震設計における地震波の入力方法について考察を行う。

2. 工学的基盤面における地震動の評価¹⁾

(1)解析条件：中部地方のある断層を図-1のようにモデル化し、工学的基盤面における箇所別地震動を算出した。断層パラメータを表-1に示す。破壊開始点は図-1に示す位置とする。また、地表面から断層までの地盤構造を表-2に示す。断層モデルから大規模地震動を合成する手法として入倉・釜江の方法²⁾を採用した。要素地震動はBooreの方法³⁾により経験的に求めた。表-3に要素地震動の諸元を示す。要素地震動の断層の大きさは $1\text{km} \times 1\text{km}$ とした。また、地震基盤面から工学的基盤面までの地震波の増幅は次元解析で考慮し、工学的基盤面で抽出した地震動を合成に用いる要素地震動とした。なお、本研究ではアスペリティのみがすべるとした。

(2)工学的基盤面における地震波の抽出：工学的基盤面における地震波の抽出は、図-2に示すように断層の中心点直上から東西に500mずつ、計1kmに対して20m間隔で行った。

図-3(a)に工学的基盤面における抽出対象地点の地震波の例として、抽出地点の西端部、中心部、東端部の時刻歴変位波形を示す。同図によれば各地点の地震動波形の位相のずれはほとんどなく、波形自体が異なっていることが確認できる。また、図-3(b)に示した各地震動波のフーリエスペクトルを比較すると、低い振動数領域では各地震動のスペクトルが似通っているが、1 Hz以上の領域では異なる振動特性を示しており、特に1.5Hz付近でその差が最も大きい。

3. 2次元不整形地盤の応答解析⁴⁾

(1)解析条件：図-4に示すような4モデルを対象として、不整形地盤の応答解析を2次元FEMモデルを用いて実施した。側方は自由境界とし、応答値の評価は側方境界の影響を受けないモデルの中央部200mに対して行う。モデルの自由度は水平、鉛直の2自由度を与え、水平方向加振を行った。解析に用いる地盤物性値を表-4に示す。地震波は、地盤モデル底面の各節点に変位波形を剛ばねを介して入力した。入力

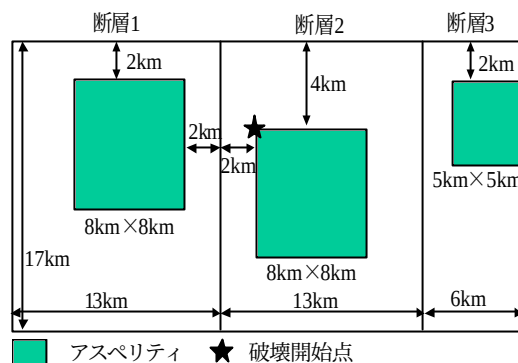


図-1 断層モデル

表-1 断層パラメータ

	断層1	断層2	断層3
断層長さ (km)	13	13	6
断層幅 (km)	17	17	17
傾斜角 (°)	65	65	65
せん断波速度 (km/sec)	3.5	3.5	3.5
破壊伝播速度 (km/sec)	2.5	2.5	2.5
地震モーメント (MN・m)	5.55×10^{13}	5.55×10^{13}	2.56×10^{13}
ライズタイム (sec)	0.7	0.7	0.5
アスペリティの面積 (km ²)	$8\text{km} \times 8\text{km}$	$8\text{km} \times 8\text{km}$	$5\text{km} \times 5\text{km}$

表-2 地盤構造

	深度 (m)	厚さ (m)	せん断波速度 V_s (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)
地表面	0	4	220	19
	4	54	450	19
	58	52	540	19
工学的基盤面	110	42	640	19
	152	10	1100	19
	162	22	1100	23
	184	26	2200	23
	210	290	2200	23
地震基盤面	500	10000	3500	26

GL ± 0m ~ -210m：長久手ボーリングデータによる
 $V_s = 3500\text{m/s}$ の深さ：名古屋地盤図による

表-3 要素地震動の諸元

	断層1	断層2	断層3
震源距離 (km)	10	10	10
せん断波速度 (km/sec)	3.5	3.5	3.5
密度 (g/cm ³)	2.7	2.7	2.7
応力降下量 (MPa)	5	5	5
要素地震モーメント (MN・m)	1.08×10^{10}	1.08×10^{10}	2.05×10^{10}
マグニチュード	4.6	4.6	4.9
継続時間 (sec)	4.5	4.5	5.6

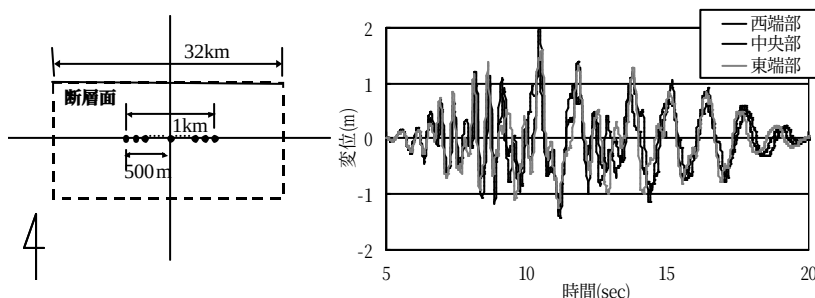
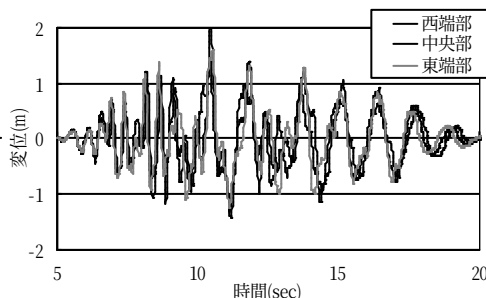


図-2 地震波の抽出地点



(a)変位の時刻歴波形

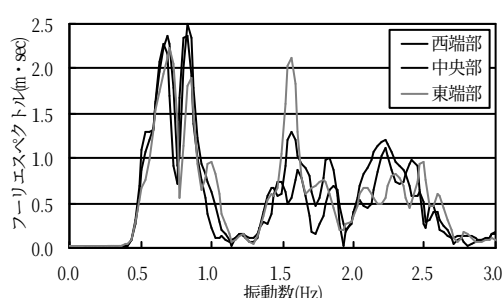


図-3 基盤地震波の例

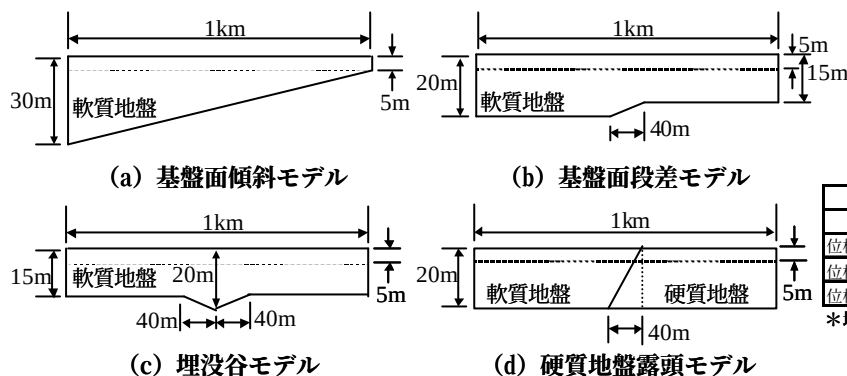


図-4 対象地盤モデル(波線はひずみ評価深さを示す)

地震波は表-5に示す5ケースを想定する。

(2)動的解析結果：地盤の水平位置400mから600mにおける地中深さ5mの位置の最大地盤ひずみ分布を図-5から図-8に示す。各図(a)は地震波が地盤モデルの左端から到達する場合、(b)はモデル右端から到達する場合である。

不整形性の小さい図-5の基盤面傾斜モデルの場合における「考慮なし」と「考慮あり」のひずみは、若干異なる分布をしているが、その差は小さい。また、箇所別地震動の違いを位相ずれで考慮すると、みかけの伝播速度をいくつにするかで、評価されるひずみの値が異なり、「考慮あり」との大小関係も一定の傾向はない。

次に、不整形性の大きい図-6, 7, 8では、「考慮あり」と「考慮なし」とで同様のひずみ分布を呈しており、地盤の不整形部において最大ひずみが生じている。また、位相ずれを考慮した場合では、地震波の入力方向によっては地盤ひずみの大小関係が逆転する場合がある。また、不整形地盤における地盤ひずみの大小関係や分布傾向は、地盤の傾斜方向あるいは地盤の周期特性と、地震波の入射方向の組み合わせで似通った傾向を示すことが確認できる。

4. まとめ

本研究により、以下のような知見が得られた。

(1)断層モデルを用いて地中構造物縦断方向の耐震設計に用いる地震動の評価を試みた。その結果、断層直上の1km間で評価した箇所毎の地震動は、同一波形に位相ずれが生じたものではなく、波形自体やスペクトルが大きく異なるものとなった。

(2)合成した地震動を用いて地盤の地震応答解析を行った結果、地盤ひずみに及ぼす箇所別地震動の違いの影響は小さいことがわかった。一方で、あまりに小さな見かけの伝播速度を考慮すると、地盤ひずみを過大、あるいは過小に評価してしまう。また、見かけの伝播速度として5km/sを考慮し、地震波の入力方向を2方向考慮すれば、やや安全側ではあるが箇所別地震動を考慮した場合と概ね同じ結果が得られた。

参考文献 1)橘義規, 大塚久哲, 古川愛子, 矢野恵美子, 田中宏典:箇所別に異なる入力地震動を考慮した不整形地盤の応答に関する研究, 土木学会地震工学論文集, 第28巻, 2005。

表-4 地盤物性値

	ポアソン比 ν	せん断波速度 V_s (m/sec)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	減衰定数 h
軟質地盤	0.45	100	18	0.15
硬質地盤	0.45	300	20	0.05

表-5 入力地震波ケース

考慮なし	図-3(a)の断層中央部の地震波を一樣入力した場合
考慮あり	断層モデルから算出した箇所別地震動を考慮した場合
位相ずれ入力1km/s	「考慮なし」の波形に位相ずれを考慮した場合 (1, 2, 5km/sは見かけの伝播速度)
位相ずれ入力2km/s	
位相ずれ入力5km/s	

*地震波が地盤モデル左端と右端から到達する場合について検討

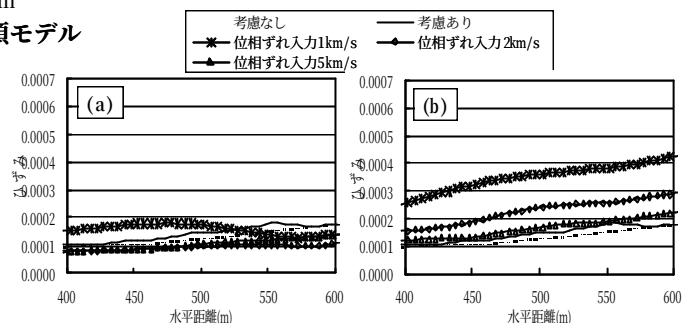


図-5 基盤面傾斜モデル

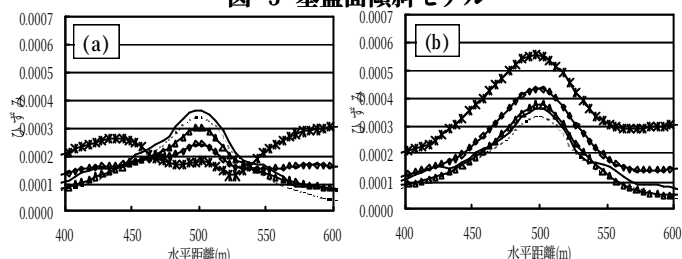


図-6 基盤面段差モデル

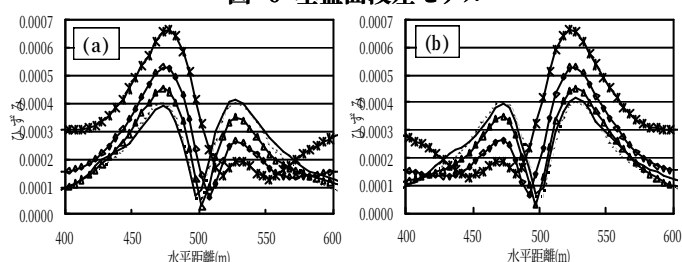


図-7 埋没谷モデル

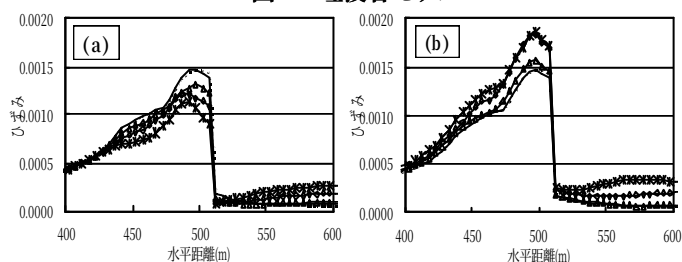


図-8 硬質地盤露頭モデル

2)Irikura K. and Kamae K.:Simulation of strong ground motion based on fractal composite faulting model and empirical Green's function, 第9回日本地震工学シンポジウム, pp.E-019～E-024,1994

3)Boore D.M. :Stochastic simulation of highfrequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bill. Seim. Soc. Am., Vol.73,No.6, pp.1865-1894, 1983.

4)橘義規, 大塚久哲, 古川愛子, 矢野恵美子:箇所別の違いを考慮した入力地震動による不整形地盤及び地中構造物縦断方向の応答解析に関する研究, 構造工学論文集Vol. 52A, 2006。