

地点別の地盤増幅特性を考慮した応答スペクトルによる地震危険度解析

中央大学大学院 学生会員 星井 秀之
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

近年、日本各地での主要地震源の活動度の調査が進んでおり、将来発生が危惧される大地震に対して、確率的に表現される機会が増えている。この中で、地震動強さの発生確率を卓越周期のペースで把握することは、重要な課題の一つである。既存の研究¹⁾では、地震動強さの指標に加速度応答スペクトルを用いて日本の7都市における等確率スペクトル(UHS: Uniform Hazard Spectrum)を算出し、地点間の地震危険度の比較を行っている。この研究では各都市の地盤特性がそのまま結果に反映される為、地域毎の細かな地盤条件の違いによる地震波の増幅特性の違いが反映しにくいと考えられる。しかし、現在では地盤増幅特性に関する研究、さらには地盤データの整備が行われてきている為、従来よりも精度良く地盤固有の増幅特性を算定することができるようになってきた。

そこで本研究では、東京都庁・東京都23区の区役所を対象地点として、地点毎の地盤増幅特性を考慮し、UHSを用いて地震危険度解析を行っていく。そして、どのパラメーターがUHSに影響を及ぼすのか、検討することを本研究の目的としている。

2. 地震危険度解析の概要

本研究では、地震調査委員会が示す「長期的な地震発生確率の評価方法について」に基づいて地震危険度の評価を行っていく。地震危険度解析の概要を以下に示す。

2.1 地震動強さ

地震動強さは工学的基盤面の加速度応答スペクトルに、表層地盤の地盤増幅率を乗じることで算出する。

工学的基盤面における加速度応答スペクトルの推定は安中氏等(1997)によって提案された推定式を用いる。推定式を以下に示す。

$$\log S_A(T) = C_m(T)M + C_h(T)h - C_d(T)\log d + C_o(T)$$
$$d = X + 0.334\exp(0.653M)$$

$S_A(T)$: 加速度応答スペクトル(cm/s^2)
 T : 固有周期(s) M : マグニチュード h : 震源深さ(km)
 X : 震源距離(km) $C_m(T), C_h(T), C_d(T), C_o(T)$: 回帰係数

また表層地盤(地表面~工学的基盤面)の地盤増幅特性の評価は、東京都土木技術センターのHP³⁾に掲載されている地盤データを用いる。そして、その地盤データを基に重複反射理論の考え方を用いて周波数応答関数を算出し、地盤増幅率の評価を行う²⁾。

2.2 UHS

地震動強さが着目期間内に少なくとも1度ある値を超える確率(ハザードカーブ)を以下の式で算出する。

$$P(Y > y; t) = 1 - \prod_k \{1 - P_k(Y > y; t)\}$$

Keyword:地震危険度解析,加速度応答スペクトル,地盤増幅特性

連絡先: 〒112 - 8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 tel.03-3817-1816 fax.03-3817-1803

表-1 想定地震の諸元

	M	平均発生間隔	最新活動時期	分布形状	震源深さ(km)
(a)	東京湾北部地震	7.3	23.8年	ポアソン	30
	平井断層帯	7.5	7000年	ポアソン	20
	鴨川低地断層帯	7.2	7900年	ポアソン	15
	立川断層帯	7.4	12500年	BPT	18
(b)	神保・国府津・松田断層帯	7.5	1050年	BPT	10
	想定東海地震	8	118.8年	BPT	20
	東南海地震	8.1	86.4年	BPT	20
	南海地震	8.4	90.1年	BPT	20

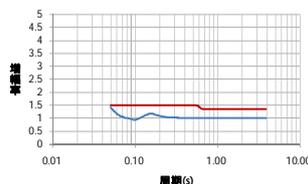


図-1 種地盤(中央区)

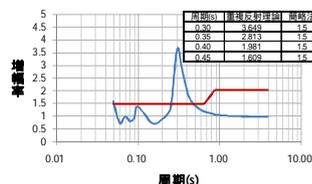


図-2 種地盤(豊島区)

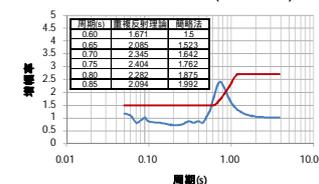


図-3 種地盤(足立区)

そして固有周期毎に求めた超過確率の等しいスペクトル値を結ぶことでUHSを算定する。

2.3 想定地震

一般的に地震危険度解析はあらゆる震源からの地震リスクの重ね合わせにより対象地点の地震危険度を評価することができる。そこで想定震源は、(a)首都圏直下型地震に関わるであろう震源(b)南海トラフを震源とする地震を対象とする。想定地震の諸元を表-1に示す。

3. 解析結果と考察

UHSの算出結果に寄与するパラメーターとして、地震の発生間隔、確率分布形状、距離減衰、そして地盤増幅特性の影響が関係することは十分に考えられる。UHSの算出結果に対するパラメーターの影響を検証し、考察していく。

3.1 地盤構造と地盤増幅特性の関係性

地盤柱状図から重複反射理論より算出した周波数応答関数を基に地盤構造と地盤増幅特性の関係を探るべく以下に示す検討を行った。

(a) 重複反射理論と簡略法の算出結果の比較

建築基準法による簡略法では地盤条件を大きく3種類に分類し、その地盤条件に応じて増幅特性を決定することができる。そこで、対象地点の24地点において、重複反射理論と簡略法による算出結果の比較を行うことで、地盤条件の違いによる地盤増幅特性の傾向を把握するとともに、簡略法を用いることで地盤増幅特性を評価することができるのか検証を行った。種地盤に該当する地点の比較結果の一例をそれぞれ図

-1,2,3に示す。種地盤に該当する地点では、固有周期 $T=0.2$ 秒以降において簡略法により表現することができた。固有周期 $T=0.2$ 秒とは平屋の木造住宅の危険周期帯(1次モード)に相当し、さらに周期が2.0秒にまで及びと多様な構造物の危険周期帯と一致する。その為、周期 $T=0.2$ 秒以降の比較結果について着目すると、簡便法により地盤増幅特性をほぼ表現できると考えられる。しかし、種地盤に該当する地点では、比較結果から $T=0.2$ 秒以降において計算値が簡便法を上回る固有周期帯が存在した。この結果から、種地盤に該当する地点では、地盤のどのような条件において増幅率のピークが現れるのか検討をする。

(b)感度解析

24地点の(a)の比較結果から次のことが推測される。相重なる2層間(第 i 層<第 $i+1$ 層)の地盤構造特性(層厚, 単位体積重量, せん断弾性係数)の比が大きな地盤構成上層厚より突出している層を持つ地盤構成

、共に増幅率に影響を与えられる。については表-2に示す豊島区役所の地点における3層と4層が該当する。さらにについては、他の地点では地盤の固有周期 $T=0.35$ 秒前後であるが、足立区役所の地点も含めたに該当する地点では固有周期 $T=0.75$ 秒付近となり他の地点よりやや卓越周期が長くなっている。しかし、「層厚の突出」による影響は計算値からでは判断がつかない為、感度解析を行った。

「層厚の突出」による影響を検証するべく、に該当する足立区役所の地点における地盤モデルを基に「当該層厚」と「上層厚」を変動させた。表-3に足立区役所の地盤モデルを示す。初めに、3層の層厚のみを変動させ、その結果を図-4に示す。感度解析の結果から「層厚の突出」が固有周期をやや長周期側に移行させ、それに応じて増幅率のピーク値が段々下降していくことが確認できた。次に、2層の層厚のみを変動させ、その結果を図-5に示す。2層の層厚を厚くしていくことで、3層との地盤構造特性の比が小さくなるが、見かけ上の工学的基盤面(=5層:砂礫)の上端面における深度は深くなるといえる。

感度解析の結果から工学的基盤面の上端面における深度が深くなっていくことで、増幅率のピーク値は小さくなっていくが、その分ピークの位置が長周期側に移行していくと考えられる。

3.2 UHSの算出結果

東京都庁と23区の区役所についてUHSより地震危険度の評価を行ったが、本報では新宿区役所の地点における東京湾北部地震, 想定東海地震の地震動強さ, 増幅特性をそれぞれ図-6, 7に示し, UHSの算出結果を図-8に示す。

震源毎の地震リスクを対象地域で地震が発生した場合, その地震動をもたらした地震がどの地震である可能性が高いかを相対確率で表した貢献度を算出した。その結果, 固有周期 $T=0.4$ 秒時では東京湾北部地震が77.5%とし, 他の地震リスクよりも際立っている。しかし, $T=1.0$ 秒時では東京湾北部地震が23.2%であるのに対し, 想定東海地震が74.5%とし, 想定東海地震が対象地点の地震リスクの大半を占める結果となった。 $T=0.4$ 秒時には東京湾北部地震による地震リスクが大部分を占めている要因として, 図-6, 7からも明らかなように他の震源からの地震動強さよりも際立っていた為と考えられる。

表-2 地盤モデル(豊島区)

層	土質	層厚(m)	単位体積重量(tf/m ³)	せん断弾性係数(tf/m ²)
1	ローム	3.5	1.35	2187.00
2	シルト	2.98	1.7	3997.30
3	粘土	6.02	1.5	3854.95
4	砂礫	9.4	2.1	16311.60
5	砂礫	—	2.1	19285.71

表-3 地盤モデル(足立区)

層	土質	層厚(m)	単位体積重量(tf/m ³)	せん断弾性係数(tf/m ²)
1	表土	2.19	1.9	5669.17
2	砂	4.98	1.85	2786.75
3	シルト	26.23	1.7	5072.42
4	シルト	11.5	1.7	7197.89
5	砂礫	—	2.1	19285.71

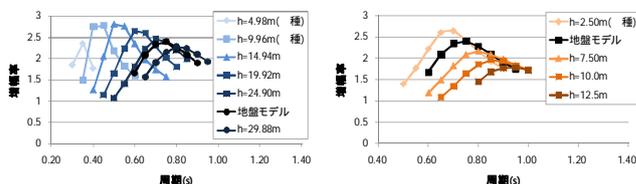


図-4 当該層厚の変動

図-5 上層厚の変動

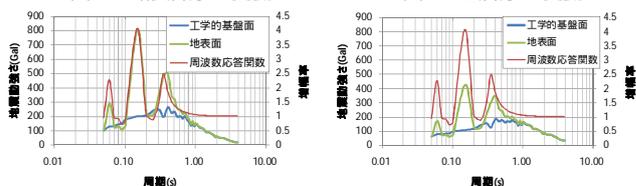


図-6 東京湾北部地震

図-7 想定東海地震

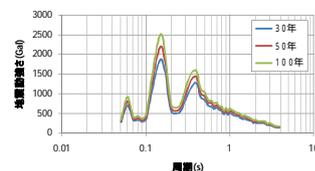


図-8 UHSの算出結果

一方で, $T=1.0$ 秒時の地震動強さには大きな差はないものの地震リスクの貢献度が大きく開いた。その理由としては, 地震モデルの確率分布形状の違いによるものが大きいと考えられる。

4. おわりに

地震危険度解析を行う上でどのパラメーター(地震の確率分布形状, 距離減衰, 地盤増幅特性)が解析結果に影響を及ぼすのか, 検討することを目的としていた。UHSの算出結果を基に地震貢献度から固有周期帯によって対象地点に占める想定地震の貢献度が異なることが分かった。このことから固有周期帯に応じUHSを算出する際のパラメーター(距離減衰, 増幅特性, 確率分布形状)の影響度合いを見て取ることができた。そして今後の課題として, 感度解析の部分をさらに進めており, 図-2のような要注意の「特定周期」の可能性を簡潔な条件で与えて簡略法の付加情報とすることを目指している。

【参考文献】

- 1) 福島 誠一郎: 設計用スペクトルの確率論的相互比較, 信頼性設計技術ワークショップ報告書
- 2) 大崎 順彦: 新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会
- 3) 東京都土木技術センターHP: 東京の地盤 <http://doboku.metro.tokyo.jp/start/03-jyuhou/geo-web/00-index.html> (2010/01/15)