

(5) 歴史地震資料に基づく地震動確率曲線に影響する要因

清水建設株式会社 技術研究所 ○石川 裕
 同 大崎研究室 奥村俊彦
 同 同 石井 清

1. はじめに

昨今、確率論手法に基づく構造物の地震時安全性評価が注目を集めている。評価における第一ステップは構造物建設サイトにおける地震危険度解析であり、解析結果は地震動確率曲線として次のステップである構造物の応答・損傷度解析へ引き継がれる。地震危険度解析を行う場合、地震カタログやアテニュエーション式など、いくつかの条件設定を行う必要があるが、得られる地震動確率曲線がどの条件にどの程度影響を受けるかについて検討しておくことは重要であると考えられる。本研究においては、まず最初に、歴史地震資料に基づき東京における地震動確率曲線を求めた上で、地震動確率曲線を算定する場合に設定する条件のうち、面震源モデル、Gutenberg-Richter 式の b 値、アテニュエーション式などの諸条件を変化させた場合の解析を行い、いかなる要因が地震動確率曲線に支配的であるかについて検討を行った。

2. 解析手法

本検討で用いた地震危険度解析手法のフローを図-1示す。解析手法は歴史地震資料に基づく標準的なもので、地震活動度が一様と見なせる領域（以下、これを面震源と呼ぶ）ごとに Gutenberg-Richter 式の a, b 値を設定した上で、経時的な地震発生はポアソン過程に、規模別地震発生数は Gutenberg-Richter 式に従うものとし、地震発生位置は面震源内で一様ランダムと仮定することにより地震発生をモデル化した。

また、サイトにおける地震動強度は地震のマグニチュードと震央距離から評価される最大地動加速度のアテニュエーション式により算定した。なお、式に含まれるばらつきは、対数正規分布により考慮している。

3. 解析結果（その1-東京における地震動確率曲線）

本検討では、まずケーススタディとして、東京における地震動確率曲線を算定した。図-2に解析に用いた面震源モデルを示す。図中、モデルAは東京周辺の地震発生様式に基づき設定した15分割のモデル¹⁾、モデルBは後に感度解析を行う場合の簡単なモデルである。Gutenberg-Richter 式の a, b 値を算定するための地震カタログは表-1に示す3種類のカatalogを組み合わせて用いた。

面震源モデルA, Bの各面震源について最小二乗法により求めた b 値、およびマグニチュード5以上の地震の年平均発生率を表-2に示す¹⁾表には各面震源ごとに地震カタログから抽出した最大マグニチュードも合わせて示している。

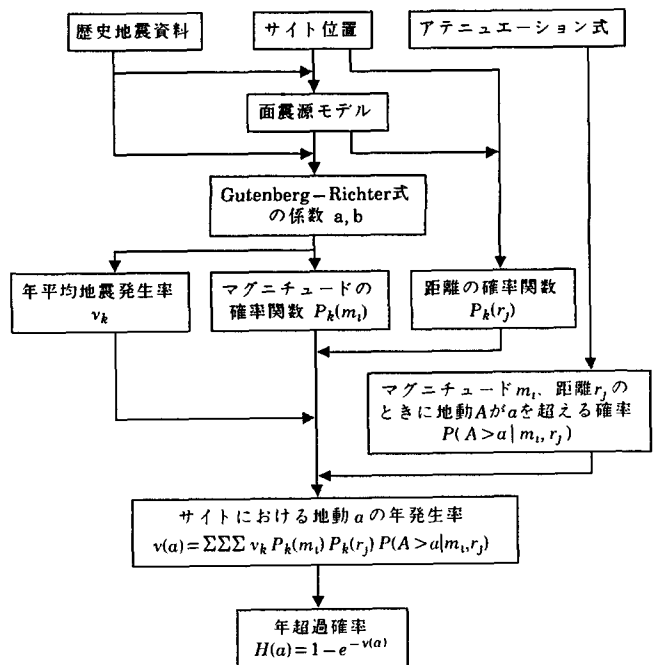


図-1 本解析のフロー

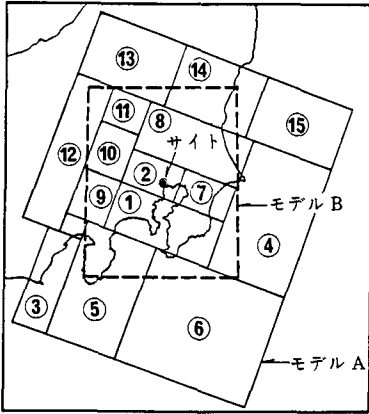


図-2 面震源モデル
(モデルAは文献1)による)

解析に用いたアテニュエーション式は亀田ら⁵⁾の提案による次式 ($S_n=0$ とし、震央域の頭打ちは考慮しない) である。

$$a_{max} = 349 \times 10^{0.232m} \times (\Delta + 30)^{-0.959} \quad (1)$$

ただし、 a_{max} : 最大地動加速度 (gal)
 m : マグニチュード
 Δ : 震央距離 (km)

また、式に含まれるばらつきは、対数標準偏差で 0.5 と仮定した。

このようにして得られた東京における地震動確率曲線を図-3に示す。図-3から再現期間 100年 (年超過確率 9.95×10^{-3}) の最大地動加速度を読めば、ほぼ450galである。この値は既往の研究⁶⁾と比べてやや大きいが、これはアテニュエーション式のばらつきを考慮しているためと考えられる。

また、図-3には面震源モデルBについて求めた地震動確率曲線も合わせて示しているが、両者にはほとんど差がない結果となっている。

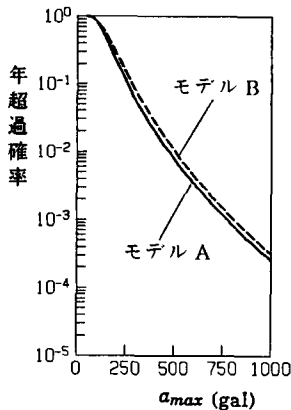


図-3 東京における地震動確率曲線

表-1 解析に用いた地震カタログ

期間	カタログ名	最小マグニチュード
1600~1884	宇佐美カタログ ²⁾	7.5
1885~1925	宇津カタログ ³⁾	6.0
1926~1983	気象庁カタログ ⁴⁾	5.0

表-2 b値および年平均地震発生率

(a) 面震源モデルA (文献1)より引用)

No	地震発生率	b 値	最大マグニチュード
1	0.451	0.902	7.9
2	0.177	0.614	7.1
3	0.226	1.026	6.4
4	2.279	1.092	6.6
5	1.232	0.864	7.3
6	1.645	0.963	8.2
7	0.669	1.058	6.5
8	1.799	1.100	7.2
9	0.266	0.622	6.8
10	0.153	0.708	6.9
11	0.041	0.452	5.8
12	0.112	1.001	6.2
13	0.151	0.738	6.4
14	1.242	1.273	7.5
15	4.418	1.062	7.3

(b) 面震源モデルB

No	地震発生率	b 値	最大マグニチュード
1	6.349	1.107	7.9

(注) 最大マグニチュードはモデルAの震源 No.1を参考に 7.9とした。

4. 解析結果（その2—地震危険度解析の感度解析）

次に図-3で得られた地震動確率曲線を支配している要因について検討する。図-4は面震源モデルAの各面震源から発生する地震が、サイトにあるレベル a 以上の加速度をもたらす確率（各面震源で発生する地震の年平均発生率と地震が発生した時にサイトで a 以上の加速度が生じる確率の積で求められる）の全体に対する割合を加速度レベルごとに示したものである。この図はサイトにおける地震動確率曲線に対する各面震源の貢献度を表すものであるが、同図から、50gal程度の加速度レベルでは多くの面震源が貢献しているのに対し、加速度が大きくなるにつれてサイトに比較的近い面震源の貢献度が大きくなり、特に400gal程度以上の加速度レベルでは、No.1およびNo.2の面震源で発生する地震で地震動確率曲線がほぼ決定されていることがわかる。また、本解析では、サイトに比較的近いNo.1の面震源において、マグニチュード7.9まで地震が発生する可能性を認めており、これが面震源モデルAと、非常に単純に設定した面震源モデルBの解析結果にそれほど差を生じさせない原因となっているものと考えられる。

以上の検討の結果、今回の条件では、面震源モデルA、Bによる地震動確率曲線としてほぼ同じものが得られたので、以下においては単純な面震源モデルBを用いて他の要因の影響度を検討する。

図-5はマグニチュード6以上の地震の年発生率を一定にするという条件で、 b 値を0.8, 1.0, 1.2と変化させた場合の地震動確率曲線を示したものである。 b 値、および地震発生率は解析で用いる地震カタログや設定する面震源モデルの形状などにより影響をうけるパラメータであるが、 b 値が小さいほどマグニチュードが大きい地震の発生頻度が相対的に増加するため、その傾向を反映した結果となっている。しかしながら、 b 値の影響度はそれほど大きいものとは言えない。

図-6は最大マグニチュードの影響を見るために、最大マグニチュードを7.6, 7.9, 8.2と変化させた場合の地震動確率曲線を示したものである。最大マグニチュードに近いような規模の大きな地震は発生頻度がそれほど高くないため、低加速度レベルにおいては最大マグニチュードは影響せず、500galを超えるようなレベルにおいてのみ影響がわずかに現れる結果となっている。

図-7はアテニュエーション式を変えた場合の地震動確率曲線を比較したものである。図中実線は先に示した亀田らの式を用いた場合、また、点線は佐伯ら⁷⁾の提案した次式（第2種地盤の式）を用いた場合の結果である。

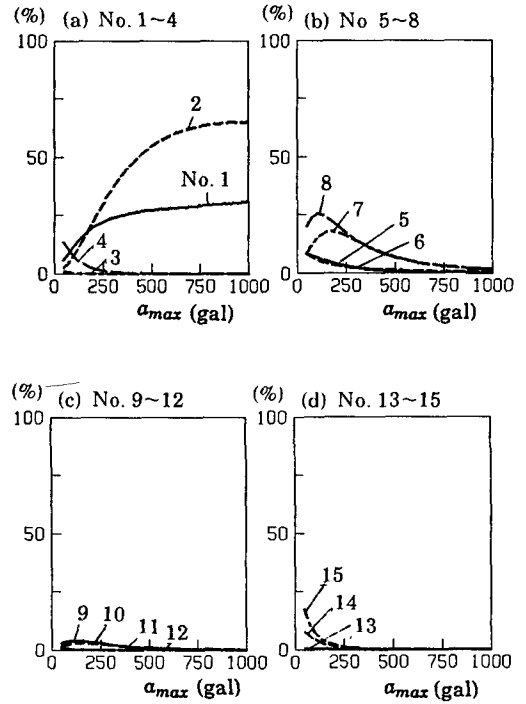


図-4 加速度レベルごとの各面震源の貢献度

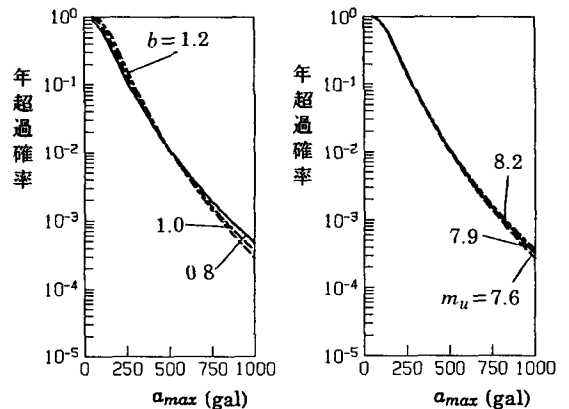


図-5 b 値の影響

図-6 最大マグニチュードの影響

$$a_{max} = 13.2 \times 10^{0.330m} \times \Delta^{-0.806} \quad (2)$$

図-7では比較のため、いずれの場合も式のばらつきを対数標準偏差 0.5の対数正規分布で考慮しているが、用いるアテニュエーション式により地震動確率曲線は大きく影響されることがわかる。特に 500gal 程度以上の加速度をもたらすのは、ばらつきを考慮したとしても、サイトにかなり近い所で生起する地震であると考えられ、このような場合にはアテニュエーション式を求めるときに用いたデータの範囲を逸脱した、すなわち式の外挿により最大地動加速度を予測していることになる。特に、本検討で用いた両式を震央距離が10km以内の場合に外挿して用いると、式より求められる最大地動加速度は大きく差があるものとなるため、その影響が地震動確率曲線に反映されたものと推察できる。また、このことから500gal程度以上の加速度レ

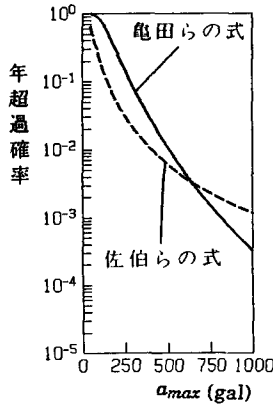


図-7 アテニュエーション式の影響

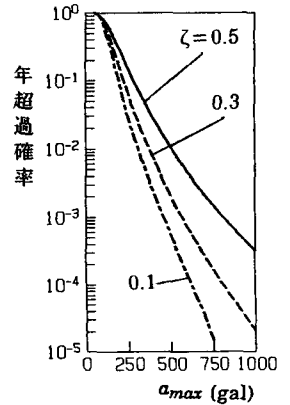


図-8 式のばらつきの影響

ベルの地震動確率曲線は、サイトに非常に近い所で発生する地震に大きく支配されており、震央域における地震動の適切な評価が地震動確率曲線の精度向上のためには必要であることが示唆される。

図-8はアテニュエーション式のばらつきの影響を見るために、ばらつきを対数標準偏差で 0.5, 0.3, 0.1 と変化させた場合の地震動確率曲線を示したものである。図より、アテニュエーション式のばらつきにより地震動確率曲線は曲線全体にわたって影響を受けることがわかり、例えば、サイトにおける表層地盤特性などの影響をアテニュエーション式にもりこむことにより、式のばらつきを減らすことができれば、より妥当な地震動確率曲線が算定できるようになるものと考えられる。

5. おわりに

本研究では、地震危険度解析において設定する条件のうち、Gutenberg-Richter 式の b 値、最大マグニチュード、および最大地動加速度のアテニュエーション式を変化させた解析を行い、歴史的な地震資料に基づき算定される地震動確率曲線が、いかなる要因に強く影響されているかについて検討を行った。検討の結果、b 値や最大マグニチュードよりもアテニュエーション式が地震動確率曲線には強く影響しており、特に、本解析のように、地震発生位置をランダムと考える場合には、震央域における地震動推定の精度が大きな加速度レベルの地震動確率曲線を支配していることが明らかになった。なお、本研究における解析結果の一部は参考文献1)から引用させていただいたものである。ここに記して感謝したい。

<参考文献>

- 1)加藤他 (1985):高層建物の地震リスク評価—その2—歴史地震資料による地震動解析, 日本建築学会大会.
- 2)Usami, T. (1979): Study of Historical Earthquakes in Japan, BERI, Vol.54, pp.399-439.
- 3)宇津 (1982):日本付近のM 6.0以上の地震および被害地震の表, BERI, Vol.57, pp.401-463.
- 4)気象庁:地震月報および地震月報別冊.
- 5)Kameda, H. et al (1982): Microzonation and Simulation of Spatially Correlated Earthquake Motions, Proc. of the 3rd International Microzonation Conference, Vol.3, pp.1463-1474.
- 6)たとえば、服部(1977):日本付近の地震危険度に関する考察—地震活動度、および地盤特性を考慮した地震危険度 mapの提案—, 建築研究報告, No.81.
- 7)佐伯他 (1977):わが国の地盤上で得られた加速度記録の特性, 土木学会第31回年講 I, pp.304-305.