

防災工学

第10回

千葉大学 工学部 都市環境システムコース

丸山 喜久

<http://ares.tu.chiba-u.jp/marulab/index.html>

[ymaruyam@tu.chiba-u.ac.jp](mailto:yमारuyam@tu.chiba-u.ac.jp)

1

地震ハザード曲線

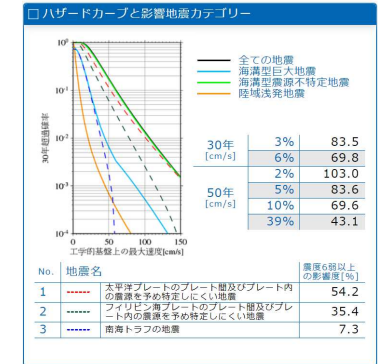
Excelで学ぶ地震リスク評価

地震は、いつ、どこで、どの規模で起こるか分からないので、モデル化される。

によって

地震ハザード曲線の評価方法

- ①
- ②
- ③



<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>

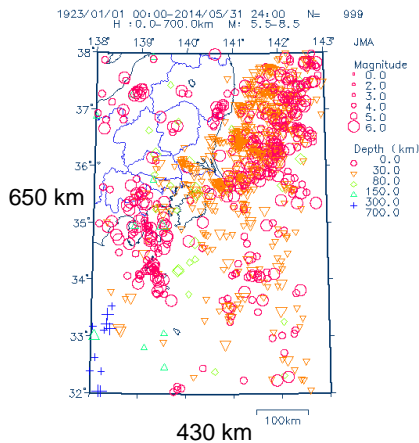
ある地点での、将来起こるかもしれない

を表すもの

2

地震発生確率の計算

Excelで学ぶ地震リスク評価



<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/db/index-j.html>

マグニチュードと地震発生個数の関係 (80年間)

マグニチュード	発生個数
5以上	2000
6以上	200
7以上	20
8以上	2

Gutenberg-Richterの関係式

直線の傾きを表すbは、b値と呼ばれ、0.9~1の値を示す。

3

地震発生確率の計算

Excelで学ぶ地震リスク評価

単位面積あたりの年平均発生個数

マグニチュード	発生個数 (80年)	単位面積あたりの年平均発生個数
5		
6		
7		
8		

4

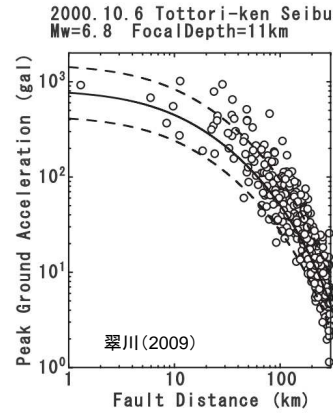
地震情報から揺れへの換算

地震→地震動

地震の揺れの強さと震源からの距離との関係を式に表したもの

GMPE: Ground motion prediction equation

- A: PGA, PGV
- M:
- X:
- D:

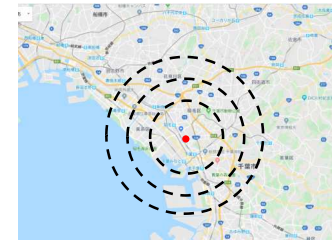
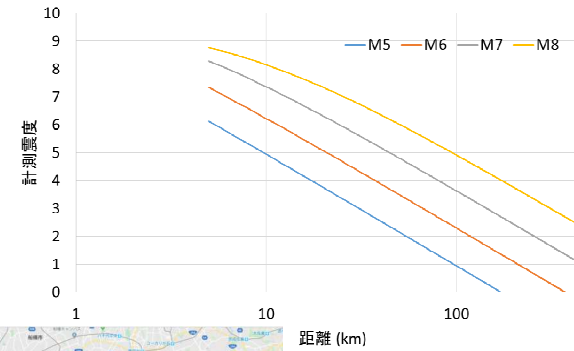


地震情報から揺れへの換算

Excelで学ぶ地震リスク評価

$$I = 1.36M - 4.03 \log_{10}(X + 0.000675 \cdot 10^{0.5M}) + 2.205$$

I: 計測震度



地震情報から揺れへの換算

Excelで学ぶ地震リスク評価

$$I = 1.36M - 4.03 \log_{10}(X + 0.000675 \cdot 10^{0.5M}) + 2.205$$

Xについて解くと

計測震度I	マグニチュードM				単位: km
	5	6	7	8	
0.5	128.7	279.8	607.9	1320.1	
1	96.7	210.1	456.3	990.4	
1.5	72.6	157.7	342.4	742.6	
2	54.5	118.4	256.8	556.4	
2.5	40.9	88.8	192.4	416.5	
3	30.7	66.6	144.1	311.3	
3.5	23.0	49.8	107.8	232.3	
4	17.2	37.3	80.4	172.9	
4.5	12.9	27.9	59.9	128.2	
5	9.6	20.8	44.5	94.7	
5.5	7.2	15.4	32.9	69.5	
6	5.4	11.4	24.2	50.5	
6.5	4.0	8.4	17.7	36.3	
7	2.9	6.2	12.7	25.6	
7.5	2.1	4.5	9.0	17.6	
8	1.6	3.2	6.3	11.5	
8.5	1.1	2.2	4.2	7.0	
9	0.8	1.5	2.6	3.6	

I = 5.0以上

揺れの大きさの超過確率の計算

Excelで学ぶ地震リスク評価

M	発生個数 (80年)	単位面積あたりの年平均発生個数
5	1800	8.05×10^{-5}
6	180	8.05×10^{-6}
7	18	8.05×10^{-7}
8	2	8.94×10^{-8}

計測震度I	マグニチュードM			
	5	6	7	8
0.5	128.7	279.8	607.9	1320.1
1	96.7	210.1	456.3	990.4
1.5	72.6	157.7	342.4	742.6
2	54.5	118.4	256.8	556.4
2.5	40.9	88.8	192.4	416.5
3	30.7	66.6	144.1	311.3
3.5	23.0	49.8	107.8	232.3
4	17.2	37.3	80.4	172.9
4.5	12.9	27.9	59.9	128.2
5	9.6	20.8	44.5	94.7
5.5	7.2	15.4	32.9	69.5
6	5.4	11.4	24.2	50.5
6.5	4.0	8.4	17.7	36.3
7	2.9	6.2	12.7	25.6
7.5	2.1	4.5	9.0	17.6
8	1.6	3.2	6.3	11.5
8.5	1.1	2.2	4.2	7.0
9	0.8	1.5	2.6	3.6

単位: km

ポアソン過程

時間的にまったく不規則に起こる多くの独立事象の発生過程は、ポアソン過程によってモデル化できる。

ポアソン過程は、以下のような仮定に基づき定式化される。

微小時間 Δt の間に事象が2回以上発生する確率は無視できる。

$N(\Delta t)$: Δt 時間内に事象の起こる回数

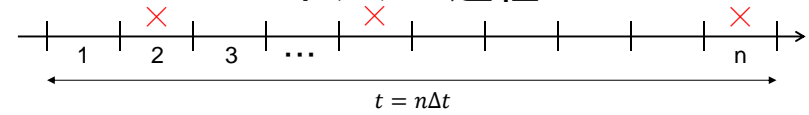
ある時間内での事象の発生は、これと重複しない他の任意の区間における事象の発生に対して独立である。



微小時間 Δt 内における事象発生確率は、 Δt に比例する。

ν : 単位時間の平均発生回数

ポアソン過程



t 時間内に k 個の事象が起こる確率

n が十分大きいとき $|x| < 1$ のとき $(1+x)^\alpha = 1 + \alpha x + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2!}x^2 + \dots$ 一般化二項定理

$$\left(1 - \frac{\nu t}{n}\right)^n = 1 - \nu t + \frac{1 \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right)}{2!}(\nu t)^2 - \frac{1 \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot \left(1 - \frac{2}{n}\right)}{3!}(\nu t)^3 + \dots$$

したがって、 $n \rightarrow \infty (\Delta t \rightarrow 0)$ とすると

揺れの大きさの超過確率の計算

t 時間内に少なくとも1回地震が発生する確率

Excelで学ぶ地震リスク評価

$$p[N(t) \geq 1] = 1 - p[N(t) = 0]$$

M	発生個数 (80年)	単位面積あたりの年平均発生個数
5	1800	8.05×10^{-5}
6	180	8.05×10^{-6}
7	18	8.05×10^{-7}
8	2	8.94×10^{-8}

計測震度5.0以上の揺れ

M5の場合の年平均発生回数 (ν_{M5})

M6の場合の年平均発生回数 (ν_{M6})

M7の場合の年平均発生回数 (ν_{M7})

...

計測震度5.0以上の揺れとなる地震の年平均発生回数

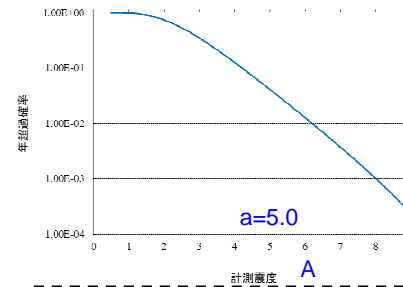
1年間で計測震度5.0以上の揺れとなる地震が少なくとも1回発生する確率

計測震度 t	マグニチュードM			
	5	6	7	8
0.5	128.7	279.8	607.9	1320.1
1	96.7	210.1	456.3	990.4
1.5	72.6	157.7	342.4	742.6
2	54.5	118.4	256.8	556.4
2.5	40.9	88.8	192.4	416.5
3	30.7	66.6	144.1	311.3
3.5	23.0	49.8	107.8	232.3
4	17.2	37.3	80.4	172.9
4.5	12.9	27.9	59.9	128.2
5	9.6	20.8	44.5	94.7
5.5	7.2	15.4	32.9	69.5
6	5.4	11.4	24.2	50.5
6.5	4.0	8.4	17.7	36.3
7	2.9	6.2	12.7	25.6
7.5	2.1	4.5	9.0	17.6

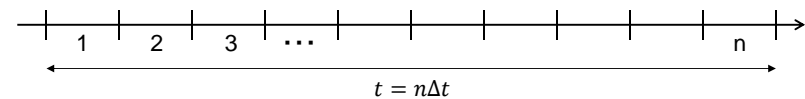
地震ハザード曲線

t 年間に少なくとも1回地震が発生する確率

$$p[N(t) \geq 1] = 1 - p[N(t) = 0] = 1 - e^{-\nu t}$$



年平均発生回数 ν の地震が時刻0で発生したあと、次の地震が起こるまでの時間間隔 T が t 以下となる確率



$$p(T \leq t) = \nu \Delta t + (1 - \nu \Delta t)\nu \Delta t + \dots + (1 - \nu \Delta t)^{n-1}\nu \Delta t$$

n が十分大きいとき $p(T \leq t) = F_T(t)$

時間間隔 T の確率分布関数

平均再現期間

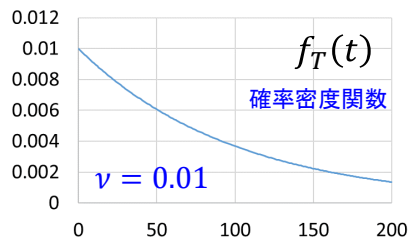
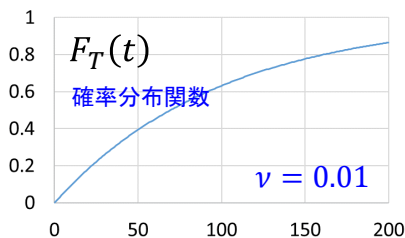
時間間隔 T の確率密度関数

$$f_T(t) = \frac{dF_T(t)}{dt}$$

時間間隔 T の期待値 $\nu t = u$ とおき、置換積分

$$E[T] = T_R$$

ポアソン分布が回数に着目したものであるのに対して、指数分布は時間間隔に着目したもの



再現期間 T_R 内に地震が起こらない確率

$$p[N(T_R) = 0] =$$

再現期間 T_R 内に地震が少なくとも一回起こる確率

$$p[N(T_R) \geq 1] =$$

再現期間と超過確率

地震動の強さがあるレベルを超える地震が何年に1度起きるかを表したものの

ある期間内に少なくとも1回地震動の強さがあるレベルを超える確率

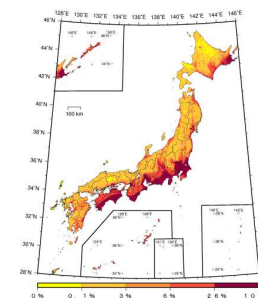
例: 50年の超過確率が10%である地震の再現期間は?

地震が1年間で発生する確率を p とすると、1年間で地震が発生しない確率は

地震が50年間で少なくとも1回発生する確率 P_{50} は、

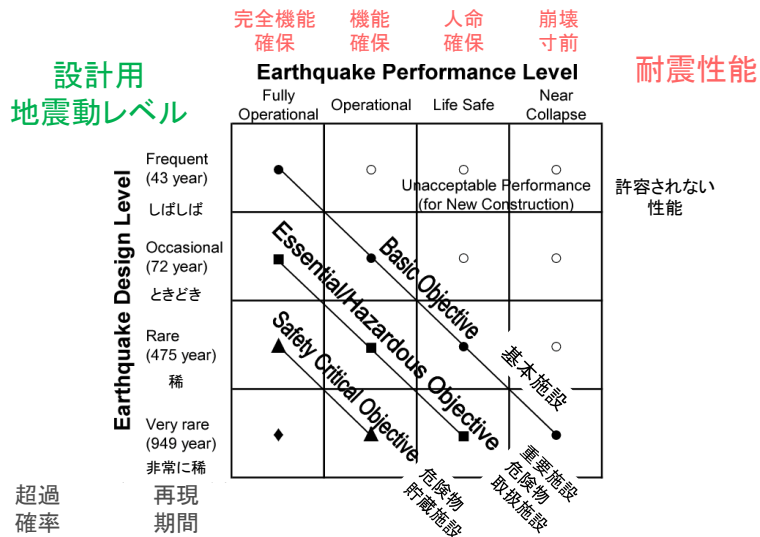
したがって、再現期間 T_R は

今後 30 年間に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる確率



耐震性能と地震動レベル

Structural Engineering Association of California (SEAOC, 1995)
Vision 2000 : performance based seismic engineering of buildings



土木構造物の耐震設計の考え方

神戸に発生したような極めて大きな地震動を今後の構造物の耐震設計において考慮すべきか?

構造物の供用期間内に 1~2 度発生する確率をもつ地震により生じ、それが作用しても構造物が損傷しない。

きわめて希であるが非常に強い地震動を定式化したもので構造物が損傷を受けることを考慮してその損傷過程にまで立ち入って構造物の耐震性能を照査する

破壊してもよいもの、許容の残留変形内に収めるもの、あるいは、全く損傷を受けないもの、というように